



**SrTiO₃ NANOKÜPLERİN SENTEZİ,
YAPISAL KARAKTERİZASYONU VE
HETEROEKLEM UYGULAMALARI**

Lütfi Bilal TAŞYÜREK

**Doktora Tezi
Fizik Anabilim Dalı
Katıhal Fizik Bilim Dalı
Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN
2020
Her Hakkı Saklıdır**

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**SrTiO₃ NANOKÜPLERİN SENTEZİ, YAPISAL
KARAKTERİZASYONU VE HETEROEKLEM UYGULAMALARI**

Lütfi Bilal TAŞYÜREK

FİZİK ANABİLİM DALI
Katıhal Fiziği Bilim Dalı

ERZURUM

2020
Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



TEZ ONAY FORMU

**“SrTiO₃ NANOKÜPLERİN SENTEZİ, YAPISAL KARAKTERİZASYONU ve
HETEROEKLEM UYGULAMALARI”**

Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN danışmanlığında, Lütfi Bilal TAŞYÜREK tarafından hazırlanan bu çalışma, 13/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Katıhal Fiziği Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Abdulmecit TÜRÜT

İmza :

Üye : Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Emre GÜR

İmza :

Üye : Doç. Dr. Önder METİN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Mehmet YILMAZ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 07.02./2020 tarih ve 06./55..... 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

Doktora Tezi

SrTiO₃ NANOKÜPLERİN SENTEZİ, YAPISAL KARAKTERİZASYONU VE HETEROEKLEM UYGULAMALARI

Lütfi Bilal TAŞYÜREK

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

Danışman: Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN

Bu çalışmanın amacı SrTiO₃ nanoküplerinin heteroeklem uygulamalarında aygıt performansını nasıl etkilediğini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda; [100] doğrultusunda, 400 µm kalınlığında ve 1-10 Ω-cm öz direncine sahip n-Si kristalleri kullanıldı. Kristallerin kimyasal temizleme sürecinden sonra, kristalin mat yüzeyine buharlaştırma yoluyla Al metali kaplandı ve kristallerin diğer yüzeyine SrTiO₃ ile Au ve Ni ile desteklenmiş SrTiO₃-Au ve SrTiO₃-Ni nanoküplerinin spin coating metoduyla kaplandı. SrTiO₃, SrTiO₃-Au ve SrTiO₃-Ni nanoküplerinin XRD analizleri yapıldı, SEM ve TEM görüntüleri alındı. Sonra 10⁻⁵ torr basınç altında SrTiO₃, SrTiO₃-Au ve SrTiO₃-Ni nanoküpler üzerine Sputtering (saçtırma) yöntemi ile Ni nokta kontaklar kaplandı. Böylece, Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroeklemleri elde edildi. Bu heteroeklemlerin sıcaklığa bağlı *I-V* (akım-voltaj) ve *C-V* (kapasite-voltaj) ölçümleri yapıldı. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al hetero yapıların farklı metotlar (TE, Cheung ve Norde fonksiyonları) kullanılarak, *I-V* ölçümlerinden idealite faktörü (*n*), engel yüksekliği (Φ_b) ve seri direnç (*R_s*) gibi bazı temel parametreleri hesaplandı. Bu parametreler sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelendiğinde, artan sıcaklıkla engel yüksekliğinin arttığı ve idealite faktörü ve seri direncin artan sıcaklıkla azaldığı gözlemlendi. Bu değişimler heteroeklemdeki homojensizliğe atfedildi. Ayrıca, *C-V* ölçümlerinden Fermi enerji seviyesi, difüzyon potansiyeli, iyonize olmuş taşıyıcı yoğunluğu ve engel yüksekliği gibi elektriksel parametreleri hesaplandı. Sonuç olarak heteroeklemlerin fabrikasyonunda kullanılan perovskit oksit yapıdaki SrTiO₃ nanoküpleri elektriksel parametrelere olumlu etki ettiği gözlemlendi. Bu yüzden SrTiO₃, elektronik aygıt uygulamalarında potansiyel bir aday malzemedir.

2020, 133 sayfa

Anahtar Kelimeler: Heteroeklem, metal/nanoküp/yarıiletken kontaklar, SrTiO₃

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

SYNTHESIS, STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF SrTiO₃ NANOCUBES AND HETEROJUNCTIONS APPLICATIONS

Lütfi Bilal TAŞYÜREK

Atatürk University
Graduate School of Science
Department of Physics
Department of Solid State Physics

Supervisor: Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN

The aim of this study is to investigate how SrTiO₃ nanocubes affect device performance in heterojunction applications. In accordance with this purpose; n-Si crystals were used which have the 1-10 Ωcm resistivity, the thickness of 400 μm and the direction of [100]. After chemical cleaning process of wafers, Al metal was enlarged on the lusterless surface of crystals by vaporizing and SrTiO₃, SrTiO₃-Au ve SrTiO₃-Ni nanocubes are coated on other surface of wafers with spin coating method. The SrTiO₃, SrTiO₃-Au and SrTiO₃-Ni decorated with Au and Ni nanocubes have been characterized by using XRD analyses, SEM and TEM images. Then, Nidot contacts were vaporized on the SrTiO₃, SrTiO₃-Au ve SrTiO₃-Ni nanocubes under 10^{-5} torr pressure. So, Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al rectifying heterojunctions were obtained. The current-voltage (*I-V*) and (*C-V*) measurements of these heterojunctions were taken as a function of the temperature. The some basic parameters such as ideality factor (*n*), barrier height (Φ_b) and series resistance (R_s) of Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heterojunctions were calculated from the *I-V* measurements using different methods (Thermionic Emission, Cheung and Norde functions). When the values of these parameters were examined as a function of temperature, it was observed that the barrier height increased and the ideality factor and series resistance decreased as the temperature increased. This was attributed to inhomogeneous in heterojunction. Also, electrical parameters such as Fermi energy level, diffusion potential, ionised carrier density and barrier height were calculated from the *C-V* measurements. As a result, perovskite oxide SrTiO₃ nanocubes used in the fabrication of heterojunction have positive effects on electrical parameters. Therefore, SrTiO₃ is a potential candidate material in electronic device applications.

2020, 133 pages

Keywords: Heterojunction, metal/nanocube/semiconductor contacts, SrTiO₃

TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunmuş olduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde hazırlanmıştır.

Doktora yaptığım süre boyunca her türlü desteğini eksik etmeyen, gerek akademik yönden gerekse kişilik yönünden örnek aldığım, çalışmalarım süresince teorik ve pratik bilgisinden istifade ettiğim çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN'a tüm samimiyetimle teşekkür ederim. Çalışmalarımız da bizden desteğini esirgemeyen hocamız Sayın Prof. Dr. Abdülmecit TÜRÜT'e teşekkür ederim.

Tezimde gerek numunelerimin hazırlanmasında gerekse alınan ölçümlerde çok büyük yardımları olan başta Sayın Dr. Öğr. Üyesi Zakir ÇALDIRAN olmak üzere, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıza DENİZ, Sayın Öğr. Gör. Yılmaz ŞAHİN ve Sayın Dr. Hatice KAÇUŞ'a ayrı ayrı teşekkür ederim. Tezimde kullanmış olduğum SrTiO_3 , $\text{SrTiO}_3\text{-Au}$ ve $\text{SrTiO}_3\text{-Ni}$ nanoküplerin sentezlenmesinde emeği olan Sayın Doç. Dr. Önder METİN'e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Melike SEVİM'e çok teşekkür ederim.

Fizik Bölümü Yoğun Madde Fiziği laboratuvarlarında çalışma imkânı sağladığı için bölüm başkanlığına, üzerimde çok emekleri olan tüm Fizik Bölümündeki hocalarıma ve tüm arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini üzerimden hiç eksik etmeyen aileme, çalışmalarım sırasında yanırlarında olamadığım zamanlarda sabırla desteklerini sürdüren eşime ve çocukarıma sonsuz teşekkür ederim.

Lütfi Bilal TAŞYÜREK

Ocak, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1 Metal-Yarıiletken Kontaklar	5
2.1.1. Metal/ n -tipi Yarıiletken Schottky (Doğrultucu) Kontaklar.....	6
2.2. Metal-Yarıiletken Kontakların I - V (Akım-Voltaj) Karakteristikleri.....	10
2.2.1. Termiyonikemiyon teorisi.....	10
2.2.2. Cheung fonksiyonları	13
2.2.3. Norde fonksiyonları.....	14
2.3. C - V (Kapasite – Gerilim) Karakteristikleri	15
2.4. Heteroeklemler	18
2.5. SrTiO_3 Nanoküplerin Yapısal ve Elektriksel Özellikleri.....	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	24
3.5. Deney ve Ölçüm Sistemi	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	34
4.1. Giriş	34
4.2. SrTiO_3 , SrTiO_3 -Ni ve SrTiO_3 -Au İnce Filmlerinin Enerji Aralıklarının Belirlenmesi	34
4.3. XRD Desenleri	36
4.5. TEM Görüntüleri.....	40
4.6. Heteroeklemlerin I - V (Akım-Voltaj) Ölçümleri ve Cheung Fonksiyonlarının Kullanımı	42
4.7. Heteroeklemlerin I - V (Akım-Voltaj) Ölçümlerinde Norde Fonksiyonlarının Kullanılması	77

4.8. Arayüzey Hâl Yoğunluğu (N_{ss})	88
4.9. C-V (Kapasite-Voltaj) Ölçümleri ve Yapılan Hesaplamalar	90
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	108
5.1. Sıcaklığa Bağlı I-V Ölçümleri	108
5.2. Oda Sıcaklığında ve Sıcaklığa Bağlı C-V Ölçümleri	115
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	134



SİMGELER DİZİNİ

σ	Arayüzey hallerinin tesir kesiti
ϵ_0	Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
$J_{m \rightarrow s}$	Metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu
$\bar{\Phi}_b$	Ortalama engel yüksekliği
σ_i	Standart sapma
Φ_b	Schottky engel yüksekliği
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ_s	Yarıiletkenin elektron ilgisi
A	Diyodun etkin alanı
A^*	Richardson sabiti
A^{**}	Diyodun etkin Richardson sabiti
C	Kapasite
E_c	İletkenlik bandının tabanı (minimumu)
E_f	Fermi enerji seviyesi
E_g	Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
E_{ss}	Arayüzey hallerinin enerjisi
E_v	Valans bandının tepesi(maksimumu)
I	Akım
I_0	Satürasyon akımı
J	Akım yoğunluğu
J_{sT}	Ters doyma akım yoğunluğu
k	Boltzmann sabiti
m_e	Elektronun kütlesi
n	İdealite faktörü

N_d	Donöryoğunluğu
N_{ss}	Yarıiletkenle dengede olan hal yoğunluğu
N_c	Yarıiletkenin iletkenlik bandındaki hal yoğunluğu
q	Elektronun yükü
R_s	Seri direnç
T	Sıcaklık
V_d	Difüzyon potansiyeli
α	Soğurma katsayısı
h	Planck sabiti
ν	Frekans

Kısaltmalar

C-V	Kapasite-voltaj
FET	Field Effect Transistör (Alan Etkili Transistör)
I-V	Akım-voltaj
TE	Termiyonik Emisyon
MIS	Metal-yalıtkan-yarıiletken
MFS	Metal-ferroelektrik-yarıiletken
MESFET	Metal-yarıiletken alan etkili transistör
FCC	Yüzey merkezli kübik yapı
MODFET	Modülasyon katkılı alan etkili transistör
HEMT	Yüksek elektron mobiliteli transistör
HBT	Heteroeklem çift kutuplu transistör
XRD	X-ışını kırınımı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TEM	Geçirimli elektron mikroskobu
SrTiO ₃	Stransiyum titanat
SrTiO ₃ -Ni	Altın destekli stransiyum titanat
SrTiO ₃ -Au	Nikel destekli stransiyum titanat

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda metal/ <i>n</i> -tipi yarıiletken kontağın (a) Metal ile yarıiletkenin ayrı ayrı, (b) Kontak oluştuktan sonraki termal denge durumundaki enerji band diyagramları	7
Şekil 2.2. $\Phi_m > \Phi_s$ için metal/ <i>n</i> -tipi yarıiletken doğrultucu kontağın düz beslem altındaki enerji-band diyagramı	9
Şekil 2.3. $\Phi_m > \Phi_s$ için metal/ <i>n</i> -tipi yarıiletken doğrultucu kontağın ters beslem altındaki enerji-band diyagramı	10
Şekil 2.4. <i>p</i> -GaAs ve <i>n</i> -Ge yarıiletkenlerinden oluşturulan <i>p-n</i> heteroekleminin a) kontakdan önceki b) kontakdan sonraki enerji band diyagramı	19
Şekil 2.5. <i>n</i> -GaAs ve <i>p</i> -Ge yarıiletkenlerinin oluşturduğu <i>n-p</i> heteroekleminin a) kontakdan önceki b) kontakdan sonraki enerji band diyagramları	19
Şekil 2.6. Termal denge durumundaki <i>n</i> -Ge/ <i>n</i> -GaAs yarıiletkenlerinin oluşturduğu <i>n-n</i> heteroekleminin enerji band diyagramı	20
Şekil 2.7. Termal denge durumundaki <i>p</i> -Ge/ <i>p</i> -GaAs yarıiletkenlerinin oluşturduğu <i>p-p</i> heteroekleminin enerji band diyagramı	20
Şekil 2.8. ABO ₃ formundaki perovskit yapıların yüzey merkezli kübik yapısı	23
Şekil 2.9. SrTiO ₃ kristalinin kübik yapısı	24
Şekil 3.1. Sol-Gel yöntemiyle SrTiO ₃ nanoküplerinin elde edilmesi	27
Şekil 3.3. Sputtering saçtırma yöntemi ile SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al yapının üzerine Ni nokta kontaklarının kaplanması	30
Şekil 3.4. (a) Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin kesit görüntüsü (b) Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin kesit görüntüsü (c) Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin kesit görüntüsü	31
Şekil 3.5. <i>I</i> - <i>V</i> (akım-voltaj) ve <i>C</i> - <i>V</i> (kapasite-voltaj) ölçüm sistemleri	32
Şekil 3.6. LakeShore 340 sıcaklık kontrol ünitesi ve kriostat	32
Şekil 3.7. VAKSİS Sputtering cihazı	33
Şekil 3.8. VAKSİS termal buharlaştırma cihazı	33
Şekil 4.1. SrTiO ₃ ince filmi için oda sıcaklığında $(\alpha)^{1/2}$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı değişim grafikleri	35

Şekil 4.2. SrTiO ₃ -Ni ince filmi için oda sıcaklığında $(\alpha)^{1/2}$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı değişim grafikleri	35
Şekil 4.3. SrTiO ₃ -Au ince filmi için oda sıcaklığında $(\alpha)^{1/2}$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı değişim grafikleri	36
Şekil 4.4. SrTiO ₃ 'ün XRD deseni	37
Şekil 4.5. SrTiO ₃ -Au'ün XRD deseni	37
Şekil 4.6. SrTiO ₃ 'ün SEM görüntüsü	38
Şekil 4.7. SrTiO ₃ -Ni'ün SEM görüntüsü	39
Şekil 4.8. SrTiO ₃ -Au'ün SEM görüntüsü	39
Şekil 4.9. SrTiO ₃ 'ün TEM görüntüsü	40
Şekil 4.10. SrTiO ₃ -Ni'ün TEM görüntüsü	41
Şekil 4.11. SrTiO ₃ -Au'ün TEM görüntüsü	41
Şekil 4.12. Oda sıcaklığında ölçülen referans Ni/n-Si/Al ile Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al heteroeklemlerin <i>I-V</i> grafikleri	43
Şekil 4.13. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı <i>I-V</i> grafikleri	46
Şekil 4.14. Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı <i>I-V</i> grafikleri	47
Şekil 4.15. Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı <i>I-V</i> grafikleri	48
Şekil 4.16. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı idealite faktörü ve engel yüksekliği grafiği	50
Şekil 4.17. Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı idealite faktörü ve engel yüksekliği grafiği	51
Şekil 4.18. Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı idealite faktörü ve engel yüksekliği grafiği	51
Şekil 4.19. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı idealite faktörü grafikleri	52
Şekil 4.20. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı engel yüksekliği grafikleri	53
Şekil 4.21. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $dV/d(\ln I)$ - <i>I</i> grafikleri	54
Şekil 4.22. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $H(I)$ - <i>I</i> grafikleri	54
Şekil 4.23. Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $dV/d(\ln I)$ - <i>I</i> grafikleri	56

Şekil 4.24. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $H(I)-I$ grafikleri	56
Şekil 4.25. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $dV/d(\ln I)-I$ grafikleri	58
Şekil 4.26. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $H(I)-I$ grafikleri	58
Şekil 4.27. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	60
Şekil 4.28. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	60
Şekil 4.29. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	61
Şekil 4.30. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	62
Şekil 4.31. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	62
Şekil 4.32. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	63
Şekil 4.33. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	63
Şekil 4.34. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri görülmektedir.	64
Şekil 4.35. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin Cheung fonksiyonlarıyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	65
Şekil 4.36. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin Cheung fonksiyonlarıyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	65

Şekil 4.37. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin Cheung fonksiyonlarıyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	66
Şekil 4.38. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	66
Şekil 4.39. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	67
Şekil 4.40. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin [(1/ <i>n</i>)-1] ve engel yüksekliğinin 1/2kT'ye karşı değişim grafikleri	69
Şekil 4.41. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin [(1/ <i>n</i>)-1] ve engel yüksekliğinin 1/2kT'ye karşı değişim grafikleri	70
Şekil 4.42. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin [(1/ <i>n</i>)-1] ve engel yüksekliğinin 1/2kT'ye karşı değişim grafikleri	71
Şekil 4.43. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin $\ln(I_0/T^2)$ 'nin 1/T'ye karşı çizilen Richardson grafiği	73
Şekil 4.44. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin $\ln(I_0/T^2)$ 'nin 1/T'ye karşı çizilen Richardson grafiği	74
Şekil 4.45. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin $\ln(I_0/T^2)$ 'nin 1/T'ye karşı çizilen Richardson grafiği	74
Şekil 4.46. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin T ₀ anomalisini gösteren T'nin bir fonksiyonu olarak nT grafiği	75
Şekil 4.47. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin T ₀ anomalisini gösteren T'nin bir fonksiyonu olarak nT grafiği	76
Şekil 4.48. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin T ₀ anomalisini gösteren T'nin bir fonksiyonu olarak nT grafiği	76
Şekil 4.49. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı F(V)-V grafikleri	78
Şekil 4.50. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı F(V)-V grafikleri ...	79
Şekil 4.51. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı F(V)-V grafikleri...	80
Şekil 4.52. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği	82

Şekil 4.53. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	82
Şekil 4.54. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	83
Şekil 4.55. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerinin Norde fonksiyonundan elde edilmiş engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafikleri.....	83
Şekil 4.56. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen seri direnç değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği	85
Şekil 4.57. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen seri direnç değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği	85
Şekil 4.58. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen seri direnç değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği	86
Şekil 4.59. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerinin Norde fonksiyonundan elde edilen seri direnç değerlerinin sıcaklıkla değişim grafikleri.....	86
Şekil 4.60. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin TE, Cheung ve Norde metotları kullanılarak elde edilen engel yüksekliklerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	87
Şekil 4.61. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin TE, Cheung ve Norde metotları kullanılarak elde edilen engel yüksekliklerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri.....	87
Şekil 4.62. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin TE, Cheung ve Norde metotları kullanılarak elde edilen engel yüksekliklerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri	88
Şekil 4.63. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı olarak arayüzey hal yoğunluğunun arayüzey hal enerjisine karşı değişim grafikleri.....	89
Şekil 4.64. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı olarak arayüzey hal yoğunluğunun arayüzey hal enerjisine karşı değişim grafikleri.....	89
Şekil 4.65. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı olarak arayüzey hal yoğunluğunun arayüzey hal enerjisine karşı değişim grafikleri.....	90

Şekil 4.66. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde düz ve ters beslem durumlarında C–V grafikleri.....	91
Şekil 4.67. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde düz ve ters beslem durumlarında C–V grafikleri.....	91
Şekil 4.68. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde düz ve ters beslem durumlarında C–V grafikleri.....	92
Şekil 4.69. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde ters beslem durumlarında $1/C^2 - V$ grafikleri	93
Şekil 4.70. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde ters beslem durumlarında $1/C^2 - V$ grafikleri	93
Şekil 4.71. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde düz ve ters beslem durumlarında $1/C^2 - V$ grafikleri.....	94
Şekil 4.72. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı C-V grafikleri.....	96
Şekil 4.73. Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı C-V grafikleri	97
Şekil 4.74. Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı C-V grafikleri	97
Şekil 4.75. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2 - V$ grafikleri	98
Şekil 4.76. Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2 - V$ grafikleri.....	99
Şekil 4.77. Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2 - V$ grafikleri.....	99
Şekil 4.78. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı difüzyon potansiyeli grafiği	101
Şekil 4.79. Ni/SrTiO ₃ -Ni/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı difüzyon potansiyeli grafiği	102
Şekil 4.80. Ni/SrTiO ₃ -Au/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı difüzyon potansiyeli grafiği	102
Şekil 4.81. Ni/SrTiO ₃ /n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı donör yoğunluğu grafiği.....	103

Şekil 4.82. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı donör yoğunluğu grafiği.....	103
Şekil 4.83. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı donör yoğunluğu grafiği.....	104
Şekil 4.84. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı fermi enerjisi grafiği.....	104
Şekil 4.85. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı fermi enerjisi grafiği.....	105
Şekil 4.86. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı fermi enerjisi grafiği.....	105
Şekil 4.87. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı engel yüksekliği grafiği.....	106
Şekil 4.88. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı engel yüksekliği grafiği.....	106
Şekil 4.89. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı engel yüksekliği grafiği.....	107

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Oda sıcaklığında referans Ni/ <i>n</i> -Si/Al ile Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al, Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al ve Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerin <i>I</i> - <i>V</i> grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler	44
Çizelge 4.2. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı <i>I</i> - <i>V</i> grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler	47
Çizelge 4.3. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı <i>I</i> - <i>V</i> grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler	48
Çizelge 4.4. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı <i>I</i> - <i>V</i> grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler	49
Çizelge 4.5. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı <i>I</i> - <i>V</i> grafiklerinden geleneksel metot ve Cheung fonksiyonlarından elde edilen temel parametreleri	55
Çizelge 4.6. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı <i>I</i> - <i>V</i> grafiklerinden geleneksel metod ve Cheung fonksiyonlarından elde edilen temel parametreler	57
Çizelge 4.7. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı <i>I</i> - <i>V</i> grafiklerinden geleneksel metot ve Cheung fonksiyonlarından elde edilen temel parametreler	59
Çizelge 4.8. Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroekleminde Norde fonksiyonları kullanılarak elde edilen temel parametreler	79
Çizelge 4.9. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminde Norde fonksiyonları kullanılarak elde edilen temel parametreler	80
Çizelge 4.10. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminde Norde fonksiyonları kullanılarak elde edilen temel parametreler	81
Çizelge 4.11. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerindeki ($1/C^2-V$) değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri	94

Çizelge 4.12. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerindeki ($1/C^2-V$) değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri.....	95
Çizelge 4.13. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerindeki ($1/C^2-V$) değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri.....	95
Çizelge 4.15. Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2-V$ grafiklerinden elde edilen temel parametreler...	100
Çizelge 4.16. Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2-V$ grafiklerinden elde edilen temel parametreler...	101

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinin hızlı gelişimi, yarıiletkenlerin kullanıldığı elektronik devre elemanlarının kullanım alanlarını da artırmıştır. Schottky diyotlar ve metal/yarıiletken kontaklar bunların en önemlilerinden birisidir. Vakum teknolojisindeki gelişmeler bu devre elemanlarının daha hızlı gelişmesini sağlamıştır. 20. Yüzyılda yarıiletkenlerin elektronikte kullanım alanlarının artmasıyla teknolojinin ilerlemesine olumlu etkileri olmuştur. Çoğunluk taşıyıcıları ile akım sağlanan Schottky kontaklar, bazı yönleriyle azınlık taşıyıcıları ile çalışan pn eklemlerinden daha avantajlı özelliklere sahiptirler (Seeger 1991). İlk çalışmaları çok eski yıllara dayanan metal/yarıiletken Schottky kontakların (Braun 1874), üretimleri de daha basittir. İlk zamanlar dedektör olarak kullanılan kontakların, doğrultucu özelliklerini keşfedilmesiyle (Pierce 1907) kullanım alanları daha da artmıştır. Metal/yarıiletken kontaklar üzerinde yapılan araştırmalar (Schottky 1938; Mott 1938; Davydov 1939) özellikle kontakta meydana gelen engel potansiyeli üzerinde yoğunlaşmıştır. 1940'lı yıllarda Si ve Ge kullanılarak nokta doğrultucu kontakların üretilmesi ve termiyonik emisyon (TE) teorisinin (Bethe 1942) ortaya atılmasıyla gelişmeler devam etmiştir.

Kontaklar üzerinde yapılan çalışmalarda her zaman TE teorisiyle uyuşmadığı görülmüş ve idealden sapan bu durumları açıklamak için idealite faktörü (n) olarak tanımlanan bir parametre ortaya çıkmıştır. İdeal durumlar için $n=1$ olması gerekirken, $n>1$ olduğu durumlarda engel yüksekliği gerilime bağlı olduğu için TE teorisine uymamaktadır (Tung 2001).

Metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarının farkı olarak ifade edilen engel yüksekliği önemli elektriksel parametrelerden biridir (Rhoderick and Williams 1988). Engel yüksekliği arayüzey halleri ya da oksit tabaka gibi istenmeyen dış etkilerle olması gereken değerden farklı ölçülebilir. Elektriksel parametrelerin idealden uzaklaşmasını engellemek için metal ile yarıiletken arasına yalıtkan malzeme yerleştirmek ya da belirli sıcaklıklarda tavlama gibi farklı yöntemler kullanılabilir (Brillson 1993). Tavlama

işleminde ısı etkisiyle kimyasal reaksiyonlar, arayüzey pürüzlülüğü, katkı atomlarının yer değiştirmesi gibi etkiler ortaya çıkabilir (Cheung and Cheung 1986).

Metal ile yarıiletken arasına yalıtkan veya farklı yarıiletken malzemeler (SiO_2 , SnO_2 , TiO_2 , Si_3N_4 ve SrTiO_3 gibi) kullanılması arayüzey tabakasını izole ederek, yük geçişini düzenler. Bu tür yapılara metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) ya da metal-ferroelektrik-yarıiletken (MFS) adı verilir (Sze 1981; Nicollian and Brews 1982). Önceleri SiO_2 daha sık tercih edilirken son zamanlarda dielektrik sabitleri daha yüksek olduğu için SnO_2 , TiO_2 , Si_3N_4 kullanılmaktadır. Bunların dışında SrTiO_3 , BaTiO_3 , ZrTiO_3 gibi perovskit yapıdaki oksit yalıtkanlarda araştırma konusu olmaktadır. Bizim çalışmamızda kullandığımız SrTiO_3 üzerine son yıllarda birçok araştırma yapılmıştır (Suzuki *et al.* 1996; Jackson *et al.* 2012; Amoresi *et al.* 2018).

Yarıiletken aygıtlar endüstriyel teknolojinin çok önemli bir parçasıdır (Sze 2002). Yarıiletken cihazların imalatı için gerekli yapı taşlarından biri, iki farklı yarıiletken arasında oluşan heteroeklemlerdir (Neamen 2003). İki farklı yarıiletken kullanılarak elde edilen heteroeklemlerle ilgili ilk kapsamlı çalışma As katkılı ve katkısız Ge ile elde edilen Ge/GeAs heteroeklemidir (Anderson 1962). Anderson modeli olarak anılan bu çalışma bu konudaki hemen hemen bütün deneysel çalışmalara öncülük etmiştir. Bu çalışmada elektromanyetik alan teorisinde sunulan şartların sağlandığı gösterilmiştir (Adams and Nussbaum 1979). Fotovoltaik p-n heteroeklemleri üzerine de yapılan çalışmalarda deplasyon bölgesinde yük taşıyıcıların çok fazla olduğu görülmüştür (Sharma *et al.* 1970). Heteroeklemler, çevresel fotokataliz (Gu *et al.* 2016), güneş pilleri (Rath *et al.* 2012; Gerling *et al.* 2015) LED'ler (Alivov *et al.* 2003), fotodetektörler (Alferov 2001), fotoelektrotlar (James *et al.* 1973) gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır.

Heteroeklemlerin en önemli özelliği, farklı band aralıklarına sahip yarıiletkenlerin band aralığı dengesini sağlamalarıdır. Bu özellik eklemdeki engel yüksekliğinin değiştirilmesini veya idealite faktörünün iyileştirilmesini sağlayabilir. Ayrıca, heteroeklem malzemelerin homojenliği ve kimyasal dengesi de neredeyse ideal cihazlar

sağlayabildiklerinden deneysel araştırmalar için önemlidir. Yakın tarihli teorik ve deneysel çalışmalar, perovskit oksit bazlı p-n heteroeklemlerinin, normal p-n eklemlerin elektriksel özellikleri ile perovskit oksitlerin olağandışı özelliklerinin birleşimi sayesinde yarıiletken cihazlarda yüksek performans sağladığını ortaya koymuştur(Watanabe 1999; Tanaka *et al.* 2001).

Heteroeklemler yıllar geçtikçe özellikle optoelektronik alanda önemli rol oynamaya başlamıştır. Lazer diyotlar, fotodedektörler, transistörler gibi cihazlarda heteroeklemler kullanılmaya başlanmıştır (Kressel 1980). Son yıllarda metal oksitlerin hetero arayüzeylerde kullanılabilmeleri bilimsel ve teknolojik açıdan dikkat çekmiştir (Tiwari *et al.* 2003; Muraoka *et al.* 2004). Hetero arayüzeyi metal oksitlerden meydana gelen eklemlerin kontrol edilebilir fiziksel özellikleri yeni çalışmaların kapısını aralamıştır (Masatoshi *et al.* 1998; Kan *et al.* 2005). Perovskit oksit malzemeler kullanılarak üretilen heteroeklemlerin gözlemlenen özellikleri geleneksel yarıiletkenler kullanılarak üretilenlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir (Mitra *et al.* 2001; Zhang *et al.* 2002;Hu *et al.* 2003; Sun and Wong 2004; Su *et al.* 2013).

Perovskit yapılar ABC_3 formülüyle gösterilirler. C yerine oksijen gelirse ABO_3 perovskit oksit olarak tanımlanırlar (Erkişi 2015). Perovskit oksitler yüksek sıcaklıklarda basit kübik yapıdadırlar fakat düşük sıcaklıklarda kübik yapı ideal şeklinden uzaklaşır (Galasso 1969). Hacim merkezinde B, yüzey merkezindeO, köşelerde ise A (Sr, Ba, Zr vb.) elementleri yer almaktadır (Itoh and Hinatsu 1998). Perovskitlerin bazıları ideal yapıyı gösterirken bazıları da düşük simetrik yapıdadırlar. $SrTiO_3$, kübik perovskitlerin prototipi gibi ideal yapıdadır. İdeal yapıdan sapmaları inceleyebilmek için perovskitler iyonik kristaller olarak kabul edilirler(Suthirakun 2013). Perovskit oksitlerin mikroelektronik, süper kapasitörler, kataliz, sensörler ve süperiletkenler gibi pek çok kullanım alanı mevcuttur (Chandler *et al.* 1993; Bhalla *et al.* 2000; Shi and Guo 2012; Nuraje and Su 2013). Bunların dışında bellek aygıtları, heteroeklem fotokatalizler ve fotovoltaiıklar gibi kullanım alanları da vardır (Janousch *et al.* 2007; Wang *et al.* 2014; Kornblum *et al.* 2017).

Perovskit oksitler içinde SrTiO_3 , yüksek şarj depolama kapasitesi, yalıtım özellikleri, kimyasal dengesi ve görünür bölgedeki optik saydamlığı gibi özelliklerinden dolayı mikroelettronikte dikkat çeken malzemelerden biridir (Joshi and Lee 2005; Yang *et al.* 2010). SrTiO_3 indirekt enerji aralığı 3,20 eV, direkt enerji aralığı ile 3,75 eV olan (Bentham and Elsasser 2001) yüksek dielektrik özellik gösteren (Linz 1953; Nam *et al.* 1991) geleneksel yarıiletkenlerin ötesinde bir yarıiletkenidir. Çok işlevsel özelliklerinden dolayı yeni aygıt üretimleri için dikkat çeken oksit materyaldir (Kolodiazhnyi and Petric 2005). Ayrıca, SrTiO_3 , onu bir model elektronik malzeme haline getiren karma bir iyonik-kovalent bağ yoğunluğuna sahiptir ve SrTiO_3 'ün elektriksel iletkenliği, yalıtkanlıktan metalik maddeye önemli ölçüde değişebilir (Suzuki *et al.* 1996; Ramirez 1997). SrTiO_3 içindeki Ti boşluklarının etkisiz olması O ve Sr boşluklarından kaynaklanan kusurların doğal bir n-tipi yarıiletken özelliği göstermesine neden olmaktadır. P-tipi davranış elde edememenin nedenlerinden biri Sr bakımından zengin mikrokristaller oluşturma eğiliminde olmalarıdır.

Öte yandan, metal oksit nanoküplerin sentezi, temel ve teknolojik açıdan önemlidir, çünkü şekillerine bağlı fiziksel özellikleri özel uygulamalara göre ayarlanabilmektedir. Son zamanlarda belirli morfolojilere (örneğin, nanoküpler, nanorotlar, nanoteller ve nanotüpler) sahip çeşitli SrTiO_3 nanoküpleri, yüksek sıcaklıkta katı hal reaksiyonu, erimiş tuz yöntemleri, hidrotermal veya solvotermal yöntemler ve sol-gel yöntemleri ile imal edilmiştir.

Doktora tezi olarak sunulan bu çalışmada SrTiO_3 , Au ile desteklenmiş SrTiO_3 -Au, ve Ni ile desteklenmiş SrTiO_3 -Ni nanoküpleri kullanılarak elde edilen heteroeklemlerin üretimi ve sıcaklığa bağlı elektriksel karakterizasyonu incelenmiştir. XRD analizleri, soğurma ölçümleri yapılarak, SEM ve TEM görüntüleri alınmıştır. Her numune için sıcaklığa bağlı I - V ve C - V ölçümleri alınarak elektriksel karakterizasyon hesaplamaları yapılarak kıyaslamıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Metal-Yarıiletken Kontaklar

Metal-yarıiletken kontaklar bir metal ve bir yarıiletkenin uygun şartlarda birleştirilmesiyle meydana gelir. Kontakın metal kısmında enerji-band yapısı uygun herhangi bir metal kullanılabilirken, yarıiletken kısmında n-tipi ya da p-tipi yarıiletkenler kullanılmaktadır. Günümüzün gelişen teknolojisinde birçok uygulama alanı olduğu için metal-yarıiletken kontaklara yoğun ilgi gösterilmektedir. Mikrodalga karıştırıcı detektörler, güneş pilleri, hızlı anahtar(switching) uygulamaları, varaktörler (kapasitesi gerilimle değişen kondansatörler), metal-yarıiletken alan etkili transistörler(MESFET),mikrodalga devre elemanları (Neamen 2003), işlemsel yükselteçler (OP-AMP) (Würfl *et al.* 1996; Patel *et al.* 1997) gibi aktif devre elemanları ve Derin Seviye Geçici Spektroskopisi (DLTS) (Rohatgi *et al.* 1983; Stolt 1985), Isıl Uyarılmış Akım (TSC) ölçümleri (Abdelmalik 1991; Fleetwood *et al.* 1992) gibi yarıiletken karakterizasyon tekniklerinde farklı detektör uygulamaları, modülatör ve demodülatör uygulamalarında metal-yarıiletken kontaklar kullanılmaktadır.

Metal-yarıiletken Schottky kontaklar p-n eklemine göre bazı avantajlara sahip olduğu için daha fazla ilgi çekmiştir. Schottky kontaklar, çoğunluk taşıyıcısı ile çalışırken p-n eklemleri azınlık taşıyıcısı ile çalışırlar. Schottky kontakların kapasitans etkisi p-n ekleminde düşük olduğu için yüksek frekanslarda çalışabilirler. Anahtarlama süresi daha kısa olduğu için hızlı anahtarlama uygulamalarında kullanılabilirler (Seeger 1991). Bunların dışında Schottky kontaklarının p-n ekleminde avantajlı olduğu durumlar üretimlerinin daha kolay olması, çalışabildiği akım-voltaj değerlerinin daha düşük olması, güç kaybının daha az olması şeklinde sıralanabilir. Kontak ve doğrultma çalışmaları 1874'te Braun'un bazı metal ve metal bileşiklerinin yarıiletkenlerle yaptığı kontakların iletkenliğinin simetrik olmadığını keşfiyle başlamıştır. 1907 yılında Pierce yarıiletken üzerine metal püskürterek oluşturduğu kontakların akımı doğrultucu özelliğe sahip olduğunu açıklamıştır.

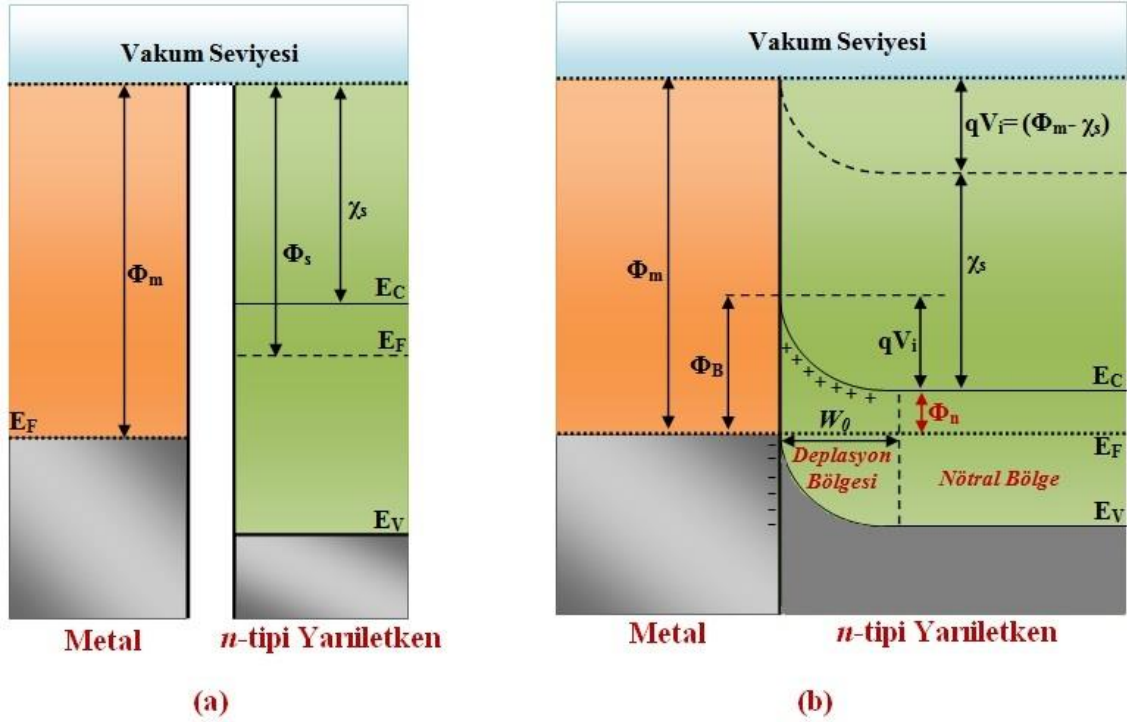
Metal-yarıiletken kontakların doğrultma özelliğini ön plana çıkaran en önemli parametre arayüzey engel potansiyelidir (Brillson 1982). Bu konudaki ilk çalışmalar, elektronların potansiyel engeli üzerinden sürüklenme ve difüzyon yoluyla geçtiğini öngören Mott ve Schottky tarafından yapılmıştır. Mott'a (1938) göre potansiyel engelinin oluşma nedeni metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktır. Mott ayrıca ara yüzeyde safsızlık (kirlilik) atomları olmadığı için elektrik alanın sabit olduğunu ve elektrostatik potansiyelin lineer olarak değiştiğini kabul etmiştir. Schottky (1938) ise elektrik alanın lineer olarak arttığını, engel bölgesindeki safsızlık atomlarının yoğunluğunun sabit olduğunu, elektrostatik potansiyelin Poisson denklemi ile uyumlu olarak değiştiğini ifade etmiştir. Yarıiletken fiziğinin gelişmesine önemli katkıları olan bu uygulamalara ek olarak Bethe (1942), metal yarıiletken doğrultucu kontaklarda TE teorisinin uygulanabileceğini göstermiştir.

Metal ve yarıiletkenin bir araya gelmesiyle oluşan kontakların istenilen elektriksel parametrelere sahip olması için aralarındaki direncin mümkün olan en az seviyede olması gerekir. Bu yüzden kontak temiz ve pürüzsüz bir yüzeyde oluşturulmalıdır. Meydana gelen bu kontakta her iki yönde de yük geçişleri olur. İki madde arasındaki yük geçişleri metal ve yarıiletkenin Fermi enerji seviyelerinin (elektrokimyasal potansiyelleri) eşitlendiği termal denge durumuna kadar devam eder. Böylece metal ve yarıiletkenin arayüzeyinde bir potansiyel engel meydana gelir. Kontakın yarıiletken kısmında meydana gelen ve serbest yüklerin olmadığı yüksek dirence sahip potansiyel engelini ilk açıklayan Schottky olduğu için bu kontaklar onun ismiyle anılmaya başlanmıştır. Ekleme oluşan potansiyelin nedeni metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktır (Sharma 1984).

2.1.1. Metal/n-tipi Yarıiletken Schottky (Doğrultucu) Kontaklar

İki madde kontak yapıldığı zaman Fermi enerji seviyeleri eşitlenebilmesi için yeni bir yük dağılımı meydana gelir. Bu yük dağılımından dolayı da bir dipol tabakası oluşur. Kontak iki metal arasında ise dipol tabakası yüzey yüklerinden kaynaklanır ve bu tip kontaklara, elektronlar her iki yönde de kolayca hareket edebildiği için **omik kontak**

denir. Eğer kontak metal ile yarıiletken arasında ise kontak omik ya da doğrultucu olabilir. Doğrultucu kontakta elektronlar bir yönde kolay hareket edebilirken, kontakta oluşan potansiyel engelinden dolayı diğer yönde zorlanırlar (Ziel1968).



Şekil 2.1. $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda metal/n-tipi yarıiletken kontakının (a) Metal ile yarıiletkenin ayrı ayrı, (b) Kontak oluştuktan sonraki termal denge durumundaki enerji band diyagramları

Metalin iş fonksiyonu Φ_m , Fermi enerji seviyesindeki bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için verilmesi gereken enerjidir. Yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s de aynı şekilde yarıiletkenindeki elektronun enerjisidir. Yarıiletkenin elektron yakınlığı χ_s ise iletkenlik bandının tabanındaki bir elektronu vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerjidir. Şekil 2.1a'da $\Phi_m > \Phi_s$ olduğu durum görülmektedir. Metalin Fermi enerji seviyesi yarıiletkeninkinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar aşağıdadır. Termodinamik nedenlerden dolayı sistemler kararlı olabilmek için minimum enerjili hali tercih ederler. Termal denge durumunda sistemin sadece bir tane Fermi seviyesi olur. Bu yüzden kontak yapıldıktan sonra yarıiletkenden metale elektronlar geçerek Fermi seviyeleri eşitlenir. Denge durumunda yarıiletkenden metale geçen elektronlar yarıiletkenin yüzeyine yakın bölgede yarıiletkenin n-tipi olmasını sağlayan iyonize olmuş donör atomları bırakırlar.

Bu katkı atomları elektron kaybettikleri için Şekil 2.1b'deki bükülmenin meydana geldiği bölgede serbest yük bulunmaz ve bu arayüzey bölgesi yüksek dirençli, pozitif yüklü ve yalıtkan bir bölge olur. Metale geçen elektronlar dağılmadan yüzeyde negatif yüklü bir tabaka oluştururlar.

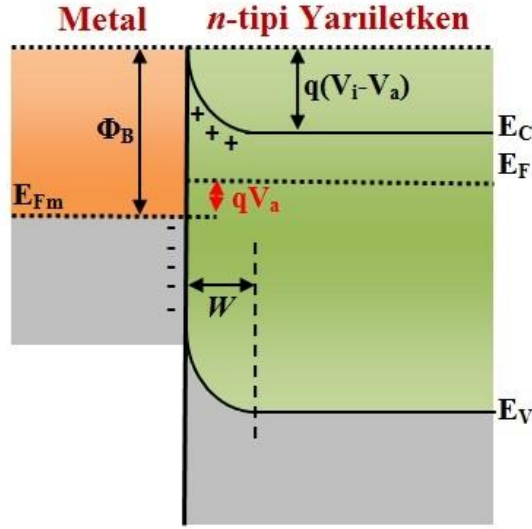
Şekil 2.1b'de görüldüğü gibi termal denge durumunda yarıiletkenin bütün enerji seviyeleri(valans bandı, iletkenlik bandı, vakum seviyesi) $\Phi_m - \Phi_s$ kadar aşağı inmesine rağmen yarıiletkenin yasak enerji aralığı değişmemiştir. Dipol tabakasından dolayı kontakta meydana gelen potansiyel engelin yüksekliği, yarıiletkende $\Phi_m - \Phi_s$, metalde ise $qV_i = \Phi_m - \chi_s$ kadardır. Kontak potansiyel farkı V_i bükülme miktarını verir. Yarıiletkenden metale geçmek isteyen elektronların potansiyel engelini aşmaları gerekir fakat metal tarafından görülen engel Φ_B farklıdır ve

$\Phi_B = \Phi_m - \chi_s$ şeklinde gösterilir.

$\Phi_s = \chi_s + \Phi_n$ olduğu için

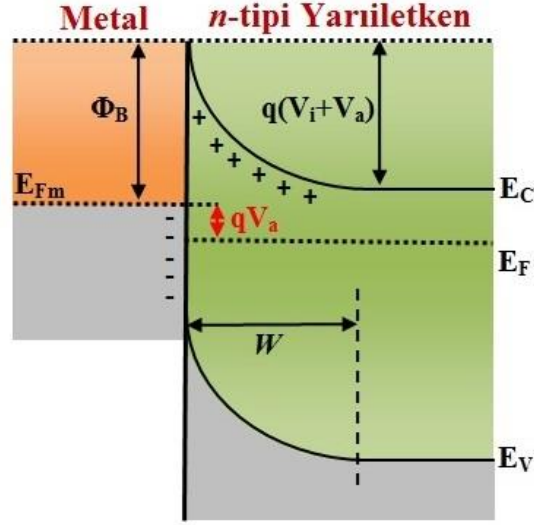
$\Phi_B = qV_i + \Phi_n$ eşitliği elde edilir. Buradaki $\Phi_n = (E_C - E_F)$ iletkenlik bandı ile Fermi seviyesinin farkıdır.

Şekil 2.1(b)'de $\Phi_m > \Phi_s$ için kontağın termal denge durumundaki enerji-band diyagramı görülmektedir. Denge durumunda yarıiletkenden metale elektronlar geçmiş ve dışardan harici bir etki olmadığı için net akım sıfır olmuştur. W_0 , dengedeki deplasyon bölgesi genişliğini ifade etmektedir. Dışardan bir gerilim uygulandığında ise gerilimin nerdeyse tamamı bu deplasyon bölgesine düşmektedir.



Şekil 2.2. $\Phi_m > \Phi_s$ için metal/*n*-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın düz beslem altındaki enerji-band diyagramı

Kontağa dış gerilim uygulanırsa denge şartları değişecektir. Şekil 2.3'deki gibi yarıiletken düz beslem ($-V_a$) uygulanırsa *n*-tipi olduğu için elektronca zengin olan yarıiletkendeki elektron sayısı daha da artacağından band aralığı değişmeden bütün seviyeler yükselecektir. Bu yüzden dengede olmayan deplasyon genişliği W , dengedeki W_0 'a göre azalacaktır. Bandlardaki bükülmeye V_i 'den $V_i - V_a$ 'ya düşecektir. Böylece denge durumuna göre yarıiletken tarafındaki engel düşerken, metal tarafındaki değişmeyecektir. Çünkü metal tarafında potansiyelde de herhangi bir değişiklik olmayacaktır.



Şekil 2.3. $\Phi_m > \Phi_s$ için metal/*n*-tipi yarıiletken doğrultucu kontağın ters beslem altındaki enerji-band diyagramı

Kontağa Şekil 2.4'teki gibi yarıiletkene ters beslem (+V) uygulanırsa potansiyel V_i 'den $V_i + V_a$ 'ya yükselecektir. Bu durumda dengede olmayan deplasyon genişliği W , dengedeki W_0 'a göre artacaktır. Yarıiletken tarafındaki elektronlar için engel yüksekliği artarken, metal tarafındaki engel yine değişmeyecektir.

Denge durumuna göre düz beslem durumunda daha fazla akıma müsaade ederken, ters beslem durumunda ise daha az akıma izin veren kontaklara **doğrultucu kontak** adı verilir. Dengede Fermi seviyesi tek olmasına rağmen, gerilim uygulandıktan sonra iki taraftaki Fermi seviyeleri farklı olmaktadır. Sonuç olarak bir metal/*n*-tipi yarıiletken kontakta metalin iş fonksiyonu (Φ_m) yarıiletkenin iş fonksiyonundan (Φ_s) büyükse doğrultucu kontak oluşur.

2.2. Metal-Yarıiletken Kontakların *I-V*(Akım-Voltaj) Karakteristikleri

2.2.1. Termiyonikemisyon teorisi

Metal-yarıiletken kontaklarda akım çoğunluk taşıyıcıları tarafından iletilir (Ziel 1968). Bunun için düz beslem altında potansiyel engeli üzerinden geçiş tünelleme,

rekombinasyon ve elektronların difüzyonu gibi iletim mekanizmaları ile oluşmaktadır (Orak 2013).

Mobilitesi yüksek olan Si gibi yarıiletkenler için bu iletim TE teorisi ile açıklanabilir. Yük taşıyıcılarının termal enerjilerinden dolayı potansiyel engelini aşabilmeleri TE olarak bilinir. I - V karakteristiği TE teorisine uyan kontaklar için akım;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

olarak verilir (Rhoderick and Williams 1988). Buradaki I_0 , doyma akımı;

$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \quad (2.2)$$

olarak verilir. Buradaki A diyot alanı, A^* Richardson sabiti (n-Si için $112 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$ 'dir), T mutlak sıcaklık, e elektronun yükü, ϕ_b sıfır gerilimde engel yüksekliği, k Boltzmann sabitidir.

(2.1) denklemi ideal durumlar için geçerli olduğu için gerilimin değiştiği durumlarda bu haliyle kullanılması mümkün değildir. Metal-yarıiletken arasında meydana gelen oksit tabakasından veya ideal duruma engel olan farklı nedenlerden dolayı bu denklem doğru sonuçlar vermeyebilir (Singh 1985; Kaminskiet al. 1998). Bu yüzden denklem;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

şeklinde düzeltilir. Buradaki n idealite faktörüdür. İdealite faktörü normalde 1 değerine eşit birimsiz bir parametredir ve sıcaklık gibi dış etkenlere bağlı olarak kontağın ideal durumdan sapmasını ifade eder. $eV \gg nkT$ olması durumunda denklem;

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{nkT} \right) \right] \quad (2.4)$$

şeklinde yazılabilir. Logaritma alındıktan sonra V 'ye göre türev alınırsa idealite faktörü;

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (2.5)$$

olarak bulunur. (2.2)'de logaritma alındıktan sonra $e\Phi_b$ ifadesi yalnız bırakılırsa;

$$e\Phi_b = kT \ln \left(\frac{AA^* T^2}{I_0} \right) \quad (2.6)$$

Φ_b engel yüksekliği ifadesi bulunur.(Rhoderick 1982; Erman and Kundakçı 2017).

Kontakta meydana gelen net akım yoğunluğu (J) ifadesi;

$$J = J_{sT} \left[\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

Şeklinde olup, buradaki (J_{sT}) ters doyma akım yoğunluğudur ve imaj kuvvetinden dolayı düşen engel yüksekliği $\phi_b = \phi_{b0} - \Delta\phi$ olarak verildiği için

$$J_{sT} = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_b}{kT}\right) \exp\left(\frac{e\Delta\phi}{kT}\right) \quad (2.8)$$

şeklinde yazılır.

2.2.2. Cheung fonksiyonları

Kontakların düz beslem kısmındaki I - V karakteristikleri kullanılarak elde edilen temel parametrelerinin hesaplanmasında TE teorisinden farklı olarak yeni bir model sunulmuştur (Cheung and Cheung 1986). Buna göre kontakta geçen toplam akım;

$$I = AJ = \left[AA^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_b}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.9)$$

Burada J , akım yoğunluğudur. Daha önce ifade ettiğimiz ideal durumdan sapmaları açıklayabilmek için (n) idealite faktörü akım denklemine aşağıdaki gibi eklenebilir:

$$I = AJ = \left[AA^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_b}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.10)$$

seri dirençten kaynaklanan $V=IR_s$ kadarlık gerilim düşmesi yerine yazılırsa akım denklemi;

$$I = AJ = \left[AA^* T^2 \exp\left(\frac{-e\Phi_b}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.11)$$

şekline dönüşür ve gerilim denklemi;

$$V = \left(\frac{nkT}{e} \right) \ln \left(\frac{I}{AA^*T^2} \right) + n\Phi_b + IR_s \quad (2.12)$$

olarak elde edilir. (2.12) ifadesinin $\ln I$ 'ya göre türevi alınır;

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (2.13)$$

ifadesi elde edilir. (2.13) ifadesinde, $dV/d(\ln I)$ 'nın I 'ya göre grafiği çizilirse bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğiminden seri direnç, R_s (nötral bölge direnci) elde edilir. Aynı zamanda doğrunun dikey eksenini kestiği nokta idealite faktörü, n 'i verir. Engel yüksekliği, Φ_b 'yi hesaplamak için;

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{e} \right) \ln \left(\frac{I}{AA^*T^2} \right) \quad (2.14)$$

ifadesi tanımlandıktan sonra (2.12) ve (2.13) eşitlikleri yerine yazılırsa;

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

denklemini elde edilir. (2.15) denkleminde $H(I)$ - I grafiği çizilirse bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğiminden seri direnç R_s , doğrunun dikey eksenini kestiği noktadan da engel yüksekliği $e\Phi_b$ değeri elde edilir (Karataş and Turut 2006; Kumar *et al.* 2013).

2.2.3. Norde fonksiyonları

Seri direnç ve engel yüksekliğinin hesaplanması için Norde fonksiyonunda türetilmiştir (Norde 1979). Bu fonksiyona göre idealite faktörü değerinin 1 olduğu durumda

kontakta meydana gelen seri direnç ve engel yüksekliği $F(V)$ fonksiyonuyla tanımlanmıştır. Bu fonksiyon;

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

şeklinde ifade edilir Fonksiyondaki $I(V)$ ifadesi I - V grafiğinden bulunan akım değerini, γ ifadesi ise idealite faktöründen büyük bir tam sayıdır. F 'nin V 'ye karşı grafiği çizildikten sonra $F(V)$ 'nin en küçük değeri bulunur. Bu değer kullanılarak (2.17) denklemi yardımıyla engel yüksekliği bulunur.

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

Buradaki $F(V_0)$, $F(V)$ 'nin en küçük değerini; (V_0) ise $F(V_0)$ 'a karşılık gelen en küçük gerilim değerini verir. (2.18) fonksiyonuyla da seri direnç bulunur (Güllü *et al.* 2010; Aydoğan and Turut 2011; Yang *et al.* 2010; Zang *et al.* 2012; Özmen and Yağlıoğlu 2014)

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_o} \quad (2.18)$$

2.3. C-V(Kapasite – Gerilim) Karakteristikleri

Heteroeklemlerde kullandığımız nanoküplerin elektriksel özelliklere yaptığı katkıyı daha iyi görebilmek için I - V grafiklerinden elde edilen parametrelerin yanında C - V ölçümlerinin de yapılması önemli bilgiler verebilir. Heteroeklem yapı bir kondansatör gibi davrandığı için C - V ölçümleri heteroarayüzey ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. Ters beslem halinde kapasite-voltaj değişiminden engel yüksekliği, taşıyıcı yoğunluğu,

difüzyon potansiyeli ve Fermi enerji seviyesi gibi parametreleri hesaplanabilir. Bu heteroyapılar için kapasite ifadesi (2.19)'deki gibidir.

$$C = A \left(\frac{\epsilon_s \epsilon_0 e N_d}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(V_d - \frac{kT}{e} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.19)$$

ϵ_s , Si yarıiletkeninin dielektrik sabiti ($\epsilon_s=11,8$ F/cm), ϵ_0 , boşluğun dielektrik sabiti ($\epsilon_0=8,85 \times 10^{-14}$ F/cm), V_d , difüzyon potansiyeli, N_d , n -Si için iyonize olmuş donöryoğunluğu ve T , Kelvin cinsinden sıcaklıktır.

(2.19) eşitliğinden (2.20) eşitliğini elde edilebilir.

$$C^{-2} = \frac{2(V_d + V)}{\epsilon_s \epsilon_0 e A^2 N_d} \quad (2.20)$$

$1/C^2 - V$ grafiğine lineer fit çizilirse, fitin yatay eksenini kestiği nokta difüzyon potansiyelini verir ($V_d=V$ olur).

(2.20) denkleminin gerilime göre türevi alınınca;

$$\frac{d(C^{-2})}{dV} = \frac{2}{\epsilon_s \epsilon_0 e A^2 N_d} \quad (2.21)$$

ifadesi bulunur. (2.21) eşitliğinden;

$$N_d = \frac{2}{\epsilon_s \epsilon_0 e A^2 \frac{d(C^{-2})}{dV}} \quad (2.22)$$

ifadesi bulunur. Termal denge durumunda n -tipi yarıiletkenin iyonize olmuş donöryoğunluğunu veren eşitlik;

$$n_0 = N_c \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (2.23)$$

şeklindedir. (2.23) eşitliğindeki N_c , iletkenlik bandında termal denge durumundaki hal yoğunluğudur. n -tipi Si yarıiletkeni için $N_c=2,8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 'tür. n -tipi yarıiletkenlerde asal taşıyıcı yoğunluğu (n_i) ile N_d arasındaki ilişki $N_d \gg n_i$ şeklinde olduğu için n_0 yaklaşık olarak N_d değerine eşit olur ($n_0 \cong N_d$) (Neamen 1992). Böylece (2.23) eşitliği,

$$N_d = N_c \exp\left(\frac{E_f - E_c}{kT}\right) \quad (2.24)$$

olarak ifade edilir. (2.24) eşitliğindeki logaritmik işlemler yapıldıktan sonra iletkenlik bandındaki referans seviye sıfır alınırsa ($E_c=0$),

$$E_f = kT \ln\left(\frac{N_d}{N_c}\right) \quad (2.25)$$

ifadesi elde edilir. Buradaki E_f , Fermi enerji seviyesini ifade eder. C-V grafikleri kullanılarak ideal ve ideal olmayan heteroeklemler için engel yüksekliği ifadeleri sırasıyla;

$$\Phi_b = E_f + V_d \quad (2.26)$$

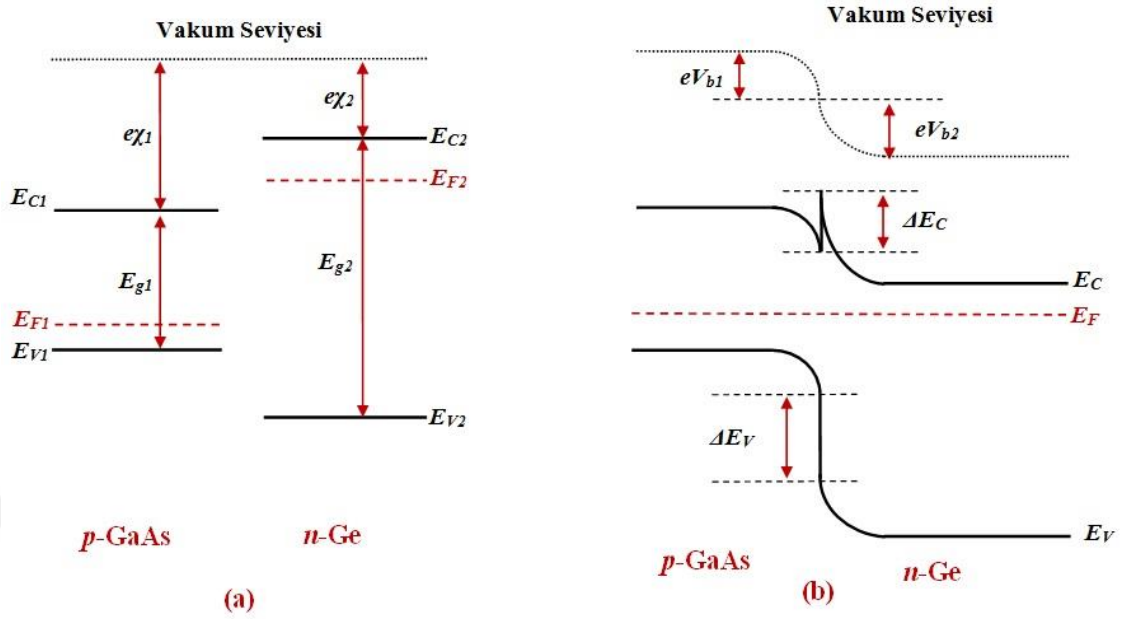
$$\Phi_b = \frac{V_d}{n} + E_f \quad (2.27)$$

eşitlikleriyle verilir. Burada bulunan engel yüksekliklerine düzeltilmiş engel yüksekliği denir. Eşitlikteki n , I - V grafiğinden bulunan idealite faktörüdür (Neamen 1992; Sağlam *et al.* 2008; Güzeldir *et al.* 2010; Demirezen *et al.* 2012; Zeyrek *et al.* 2013).

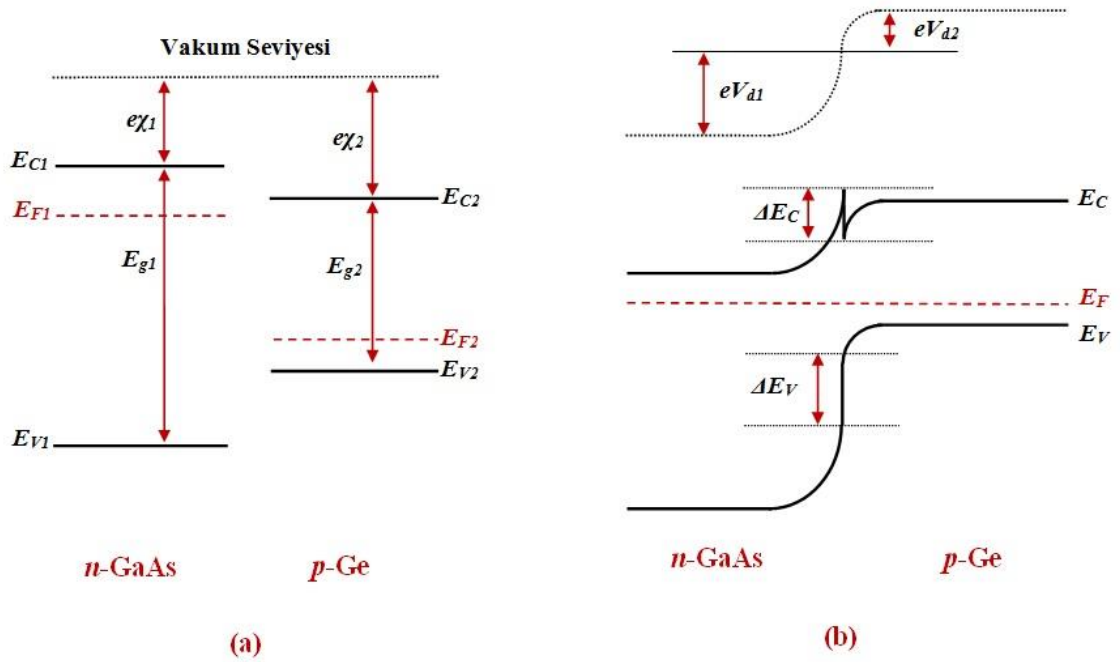
2.4. Heteroeklemler

Eklem uygulaması, yasak enerji aralıkları farklı yarıiletken elementleri veya yarıiletken bileşikleri arasında meydana gelirse oluşan eklem heteroeklem denir. Heteroeklemler yasak enerji band yapılarına göre isimlendirilirler ve yasak enerji aralığı küçük olan önce yazılır. Heteroyapılar da eklem iki tarafı da farklı yarıiletkenlerden oluşur ve p - n , n - p , p - p , n - n şeklinde olabilir. Aynı tip yarıiletkenlerden (n - n ya da p - p gibi) oluşuyorsa izotip heteroeklemler (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7), eğer farklı tip yarıiletkenlerden (n - p ya da p - n gibi) oluşuyorsa anizotip heteroeklemler (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5), olarak adlandırılırlar (Sharma and Purohit 1974).

Şekil 2.4(a) ve Şekil 2.5(a)'de gösterilen iki yarıiletkenin enerji-band diyagramları incelenirse yasak enerji aralıkları, iş fonksiyonları, Fermi enerji seviyeleri gibi elektriksel değerlerinin farklı olduğu görülür. İki malzemenin iş fonksiyonları arasındaki fark denge durumları için Şekil 2.4(b)'de $eV_{b1} + eV_{b2}$ olurken Şekil 2.5(b)'de $eV_{d1} + eV_{d2}$ olduğu görülmektedir. İletkenlik bandları arasındaki fark ΔE_c band seviyelerinin birleşmesiyle meydana gelen pikler arasındaki uzaklıkla gösterilir. Valans bandları arasındaki fark ΔE_v ise band seviyelerinin birleşmesiyle meydana gelen bükülmeler arasındaki uzaklıkla gösterilir (Milnes and Feucht 1972).

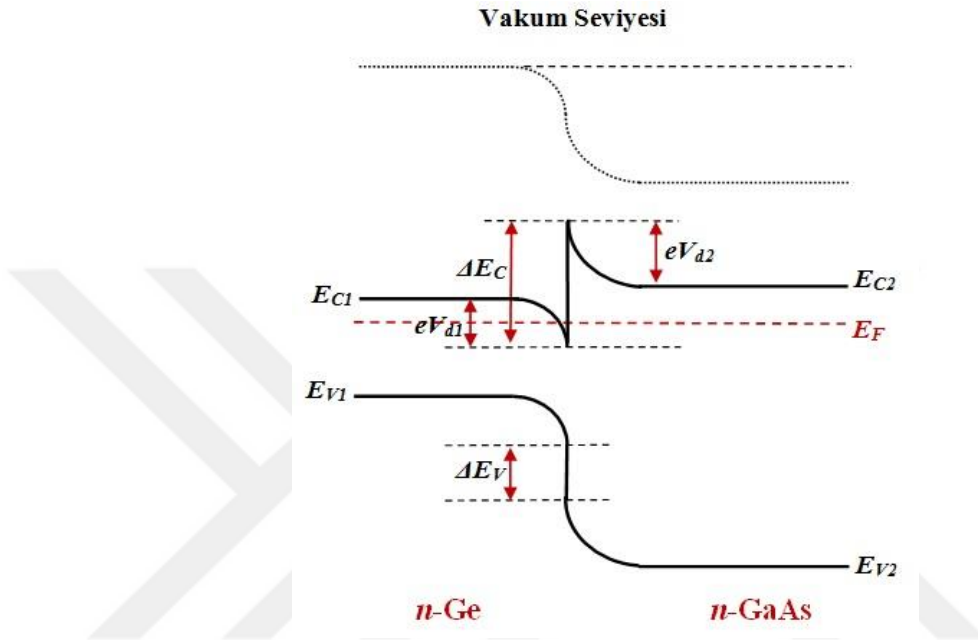


Şekil 2.4. p -GaAs ve n -Ge yarıiletkenlerinden oluşturulan p - n heteroekleminin a) kontakstan önceki b) kontakstan sonraki enerji band diyagramı

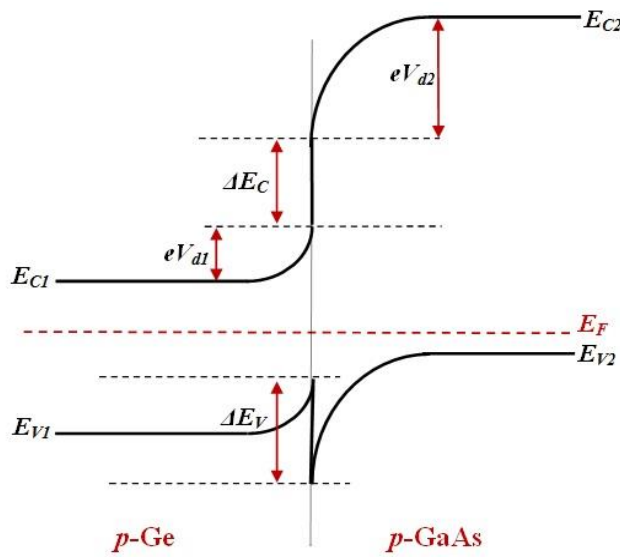


Şekil 2.5. n -GaAs ve p -Ge yarıiletkenlerinin oluşturduğu n - p heteroekleminin a) kontakstan önceki b) kontakstan sonraki enerji band diyagramları

Farklı yarıiletkenlerle yapılan izotip heteroeklemlerde bulunmaktadır. Şekil 2.6'da n-Ge/n-GaAs heteroekleminin ve Şekil 2.7'da p-Ge/p-GaAs heteroekleminin enerji band diyagramları görülmektedir (Aydoğan 2015).



Şekil 2.6. Termal denge durumundaki n-Ge/n-GaAs yarıiletkenlerinin oluşturduğu n-n heteroekleminin enerji band diyagramı



Şekil 2.7. Termal denge durumundaki p-Ge/p-GaAs yarıiletkenlerinin oluşturduğu p-p heteroekleminin enerji band diyagramı

Heteroyapılar, yarıiletken tabanlı olan diyot, transistör ve birçok optoelektronik aygıt için farklı seçenekler sunarlar. Heteroyapıların en önemli avantajları enerji engelleri kontrol edilebildiği için taşıyıcı iletimlerinin kontrol edilebilmesi ve ışığı hapsedebilme kabiliyetlerinin iyi olmasıdır.

Yarıiletkenlerden birinin katkılı diğeri katkısız olması durumunda katkısız olanda taşıyıcı mobiliteleri daha fazla olmaktadır. Bir taraf katkılı ve geniş yasak enerji aralığına sahipken diğere tarafın katkısız ve dar enerji aralığına sahip olduğu yapılara alan etkili transistör (FET) denir. Elektronik teknolojisinde hızlı transistör yapımına örnek olarak modülasyon katkılı alan etkili transistörler (MODFET), (Hughes and Tasker 1989; Wu *et al.* 1997; Gangyani *et al.* 2007) yüksek elektron mobiliteli transistör (HEMT), (Mimura *et al.* 1980; Drummond *et al.* 1986; Russo *et al.* 2012) heteroeklem çift kutuplu transistör (HBT) (Chen *et al.* 1989; Geynet *et al.* 2009) gösterilebilir. Heteroeklemler bunların dışında optoelektronikte de önemli rol oynamaktadırlar. Lazer diyotlarda, heteroeklem diyotlarda, güneş pillerinde, fotodetektörlerde ve LED teknolojisinde heteroeklemler kullanılmaktadır (Kressel 1980; Alferow 2001; Chang *et al.* 2009).

Elektronlar tarafından oluşturulan akımın holler tarafından oluşturulan akıma oranını (I_n/I_p) artırmak için donöryoğunluğunu artırmak yeterlidir. Ancak bipolar transistör teknolojisinde (I_n/I_p) oranının büyük olmasının yanında akseptör yoğunluğun da (I_p) büyük olması gereklidir. Bu sorun $p-n$ heteroyapısı ile çözülebilir. Heteroeklem oluşmadan önce ve oluşuktan sonra meydana gelen enerji-band diyagramını (Şekil 2.4) incelersek, kontakta bir kuyu bölgesinin oluştuğunu görürüz. Bu kuyu tabakasında elektronlar kolaylıkla tuzaklanabildikleri için transistörler de uygulama alanı bulurlar.

Homoeklemler ile heteroeklemler arasındaki en önemli fark engel yüksekliğidir. Homoeklemlerde elektronlarla hollerin gördüğü engel yükseklikleri aynı olurken, heteroeklemlerde birbirinden farklıdır. Heteroeklemlerin optik ve elektrik özellikleri güneş pilleri ve LED'lerde yüksek verim alınmasını sağlar. Farklı band aralığına sahip iki yarıiletken ($p-n$) kullanıldığı zaman, istenmeyen foton soğurması azalır ve LED'deki

ışık kaybı önemli ölçüde azalmış olur. Güneş pillerinde biri dar, diğeri geniş enerji aralığına sahip iki yarıiletken kullanıldığında ışığın heteroeklem dışındaki istenmeyen bölgelerde soğrulması önlenmiş olur (Mitchell *et al.* 1977;Korte *et al.* 2009; Çaldıran *et al.* 2017).

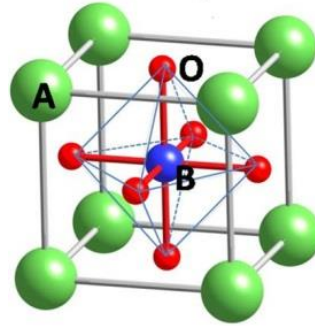
p-n heteroeklemlerde holler için bir engel artışı olmazken elektronlar için engel artmaktadır. Şekil 2.4'deki *p-GaAs/n-Ge* kademeli heteroyapısında çıkıntı şeklindeki sivri kısım deplasyon bölgesi içinde kalmalıdır. Deplasyon bölgesi dışına çıkarsa holler için engel düşer ve heteroeklemden beklediğimiz faydayı göremeyiz. Hem ani heteroeklemlerde hem de kademeli heteroeklemlerde holler için engel aynı olmalıdır.

Heteroeklemin arayüzeyinde meydana gelen elektrostatik alandaki süreksizliğin nedeni iki taraftaki dielektrik sabitlerinin farklı olmasıdır.

p-n heteroeklemlerdeki akım-voltaj ilişkisini açıklayabilmek için difüzyon, emisyon, yeniden birleşme ve tünelleme modelleri önerilmiştir (Donnelly andMilnes 1966).

2.5. SrTiO₃ Nanoküplerin Yapısal ve Elektriksel Özellikleri

ABO₃formülüyle gösterilen ve basit kübik yapıya sahip olan perovskitler ferroelektrik malzemelerdeki temel perovskit yapıyı oluşturmaktadırlar. A ve B atomları +2 ve +4 değerlikli iyonlardır. Yüzey merkezli kübik yapının (FCC) köşelerinde A atomu, yüzey merkezlerinde O atomu, örgü merkezinde de B atomu bulunmaktadır (Davidson and Lofgren 1991; Erdinç 2006).

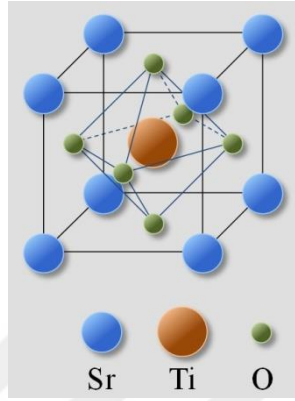


Şekil 2.8. ABO_3 formundaki perovskit yapıların yüzey merkezli kübik yapısı

Doğal olarak keşfedilen ilk perovskit minerali olan $CaTiO_3$ 1930’larda bulunmuştur. Daha sonra Perovski tarafından isimlendirilmiş ve ABC_3 formülüne sahip olan bütün yapılar perovskit olarak anılmaya başlanmıştır (Davidson and Lofgren 1991). Formüldeki C anyonun yerine oksijen konulduğunda perovskit oksit yapılar meydana gelir (Itoh and Hinatsu1998). Perovskitler, mikroelektronik, süperkapasitörler, katalizörler, sensörler, süperiletkenler, bellek cihazları, heteroeklem fotokatalizler ve fotovoltaikler gibi geniş bir uygulama yelpazesi olan metal oksit sınıflarından birini oluştururlar (Chandler *et al.* 1993; Janousch *et al.* 2007; Wang *et al.* 2014; Kornblum *et al.* 2017).

$SrTiO_3$ kristali ABO_3 kimyasal formülü ile gösterilen kübik perovskit yapıya sahiptir. Kübik yapıdaki $SrTiO_3$ kristalinde, Sr^{+2} iyonları küpün köşelerinde, O^{-2} iyonların küpün yüzey merkezlerinde, Ti^{+4} iyonları küpün hacim merkezindedir (Koumoto *et al.* 2010; Öteleş 2011; Suthirakun 2013). Perovskit tipi oksitler arasında bulunan $SrTiO_3$, yüksek depolama kapasitesi, iyi yalıtım özellikleri kimyasal kararlılığı ve görünür bölgede mükemmel optik şeffaflığı sayesinde mikroelektronikteki en cazip malzemelerden biridir (Joshi and Lee 2005; Yang *et al.* 2010). Bunlardan başka, yüksek dielektrik sabit (Nam *et al.* 1991) izolatöre sahip bir yarıiletkenidir. Bu da bilinen yarıiletkenlerin yanında yeni aygıtların üretimi için dikkat çeken bir oksit malzeme olmasını sağlar (Kolodiazhnyi andPetric 2005). Ayrıca $SrTiO_3$ karma bir iyonik bağ yapısına sahip

olduğu için model elektronik yapılardan biridir (Ramirez 1997). Elektronik yapısı metalden yalıtkana kadar geniş bir aralığı kapsamaktadır (Suzuki *et al.* 1996).



Şekil 2.9. SrTiO₃ kristalinin kübik yapısı

SrTiO₃ kristali, oda sıcaklığında kübik yapıya sahipken (Şekil 2.19), sıcaklık azaltıldığında 105 K'in altındaki sıcaklıklarda tetragonal yapıya dönüşür ve ferroelektrik özellik göstermeye başlar (Lines and Glass, 1977; Cowley 1996).

$$\text{Tetragonal}(I 4 / mcm) \leftarrow 105K \rightarrow \text{Kübik}(pm3m)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada aygıt elde etmek için taban malzeme olarak inorganik yarıiletken madde olan (100) doğrultulu ve 1-10Ω-cm öz dirence sahip bir yüzeyi parlatılmış *n*-Si, doğrultucu kısmında ise metal ile yarıiletken arasında ayrı ayrı SrTiO₃ ile Au ve Ni ile desteklenmiş SrTiO₃(SrTiO₃-Au ve SrTiO₃-Ni) konulmuştur. Bu bölümde, referans Ni/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al ile birlikte metal ile desteklenmiş Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al yapımı için gerekli olan fabrikasyon süreci yer almaktadır. Ayrıca elde edilen numunenin akım-voltaj (*I*-*V*) ve kapasite-voltaj (*C*-*V*) ölçümlerinde kullanılan cihazlar ve teknikler bu bölümde yer almaktadır.

Bu çalışmada kullanılan *n*-Si, 400 μm kalınlıktadır. Kullanılan kristaller tabaka şeklinde olup, numunelerin yüzeylerinde herhangi bir pürüz gözlenmemiştir. Üretilen aygıtların yüksek performans gösterebilmesi için kristal yüzeylerinin temizlenerek kirlilerden arındırılması gerekmektedir. Bu yüzden numuneler kimyasal temizleme işlemine tabi tutulmuşlardır.

3.1. Kristalin Kimyasal Olarak Temizlemesi

Kimyasal temizlemede sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

- 1) Asetonda ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 2) Metanolde ultrasonik olarak 10 dakika yıkandı.
- 3) Deiyonize su ile yeteri kadar yıkandı.
- 4) RCA1 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{NH}_3$; 6:1:1) çözeltisinde 60°C 'de 10 dakika bekletildi.
- 5) Seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF}$; 10:1) çözeltisi ile 30 saniye yıkandı.
- 6) RCA2 ($\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}$; 6:1:1) çözeltisinde 60°C 'de 10 dakika kaynatıldı.
- 7) Deiyonize su ile yeteri kadar yıkandı.
- 8) Seyreltik HF ($\text{H}_2\text{O}:\text{HF}$; 10:1) çözeltisi ile 30 saniye yıkandı.
- 9) 20 dakika akan deiyonize su içerisine bekletildi.
- 10) El ile temas edilmemesine dikkat edilerek iyice kurutuldu.

Aygıtların üretimi sırasında kirlilikler aygıt parametrelerini olumsuz etkileyeceğinden dolayı sadece kristalin değil aynı zamanda ortam şartlarının ve kullanılacak malzemelerinde temiz olması gerekmektedir. Buharlaştırılacak Al metali seyreltik HF ile ultrasonik olarak yıkandı. Omik kontağın fırında tavlanması işleminde kullanılacak quartz pota asetonla ve metanol ile yaklaşık 5'er dakika ultrasonik olarak yıkandı. Buharlaştırmada kullandığımız ısıtıcı %10'luk HCl ile ultrasonik olarak yıkandı ve deiyonize su ile iyice durulandıktan sonra kurutuldu.

3.2.Omik Kontak

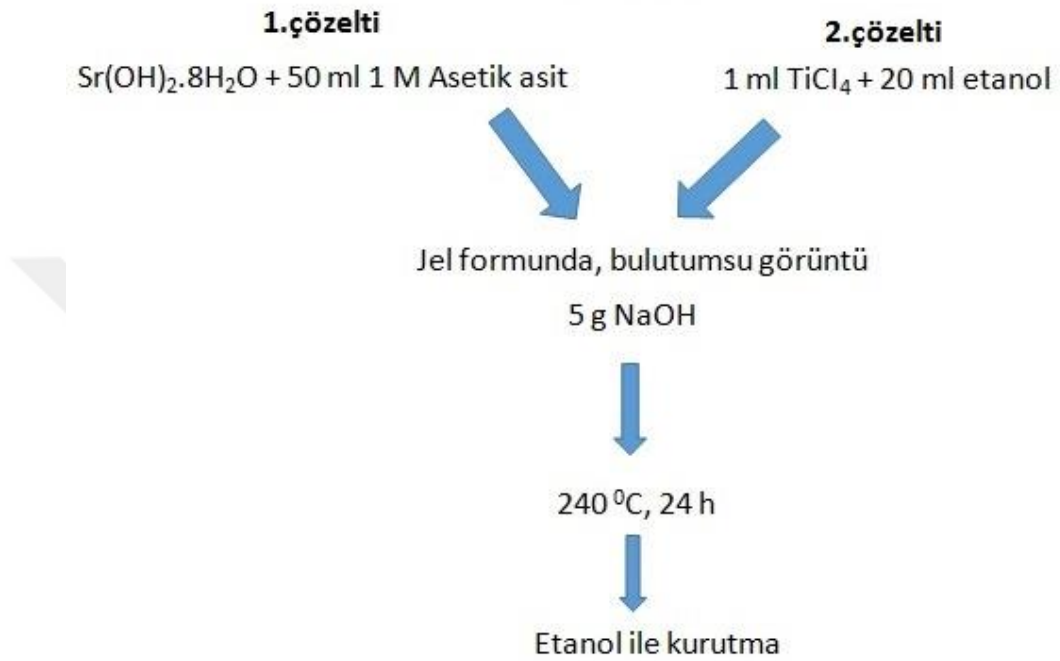
Vakum cihazı ve çalışmada kullanılacak yardımcı ekipmanların temizliği yapıldıktan sonra buharlaştırma işleminde kullanılacak ısıtıcı vakum pompasındaki yerine yerleştirildi ve haznesine buharlaştırılacak Al metali bırakıldı. Buharlaştırma işlemi yapılmadan önce, metal oksitlenme türü kirliliklerden arındırmak için vakum ortamda eritildi. Omik kontak yapmak üzere numunelerin mat tarafı (omik kontak yapılacak yüzey) aşağıdaki ısıtıcıya bakacak şekilde vakum sistemindeki tutucuya uygun yükseklikte yerleştirildi ve buharlaşan metalin bu yüzeyi kirletmesini engellemek için kristalin üst yüzeyi üzerine lamel konuldu. Buharlaştırılacak metalin (Al), yarıiletken malzeme (*n*-Si) ile etkileşimi açısından numunenin bırakılacağı yükseklik iyi ayarlanmalıdır. Omik kontaklarda numune ile buharlaştırılacak metal arasındaki uzaklık Schottky kontaklara göre daha az olmalıdır. Böylece buharlaşacak metalin yarıiletken yüzeyine atomik boyutta daha yoğun kaplanması sağlanabilir. Önceden çalıştırılarak işlem yapılmaya hazır hale getirilen vakum sisteminin içindeki basınç yaklaşık olarak 10^{-5} torr değerine düşünce, kimyasal temizliği yapılmış ve ısıtıcı üzerine yerleştirilmiş olan Al metali yüksek akımda buharlaştırıldı. Kısa bir süre sonra vakum cihazına hava verilip, sistem dengeye ulaştıktan sonra numuneler vakum cihazından çıkartıldı ve kimyasal olarak temizlenmiş quartz pota içine yerleştirildi. Önceden O₂ ile yakılarak numune tavlama işlemi için hazır hale getirilen fırına yerleştirilip N₂ ortamında (*n*-Si kullandığımız için) numune 450°C’de 10 dakika tavlandı. Bu işlemden sonra quartz pota tavlanan numuneler ile beraber fırının girişine çekilerek soğuması için biraz bekletildi. Böylece *n*-Si/Al omik kontak elde edildi.

3.3.Organik Nanoküplerin Nanoküplerin Sentezi, Metal Partiküllerle Desteklenmesi ve Kaplanması

3.3.1. SrTiO₃ Nanoküplerin Sentezi

80 ml stronsiyum hidroksit oktahidrat çözeltisi hazırlanarak, 1 ml TiCl₄ 20 ml etanolde çözülerek karıştırıldı. 5 g NaOH çözeltisi hazırlanarak, bu karışım 1. Çözeltiye eklendi.

Çok kuvvetli bir şekilde homojen çözelti oluşana kadar karıştırıldı. 125 ml lik hidrotermal teflon reaktörde 240 °C’de 36 saat reaksiyona tabi tutuldu ve elde edilen katı madde 80 °C’de etüvde kurutuldu.



Şekil 3.1. Sol-Gel yöntemiyle SrTiO₃ nanoküplerinin elde edilmesi

Sol-Gel yöntemine ilgi, optik, elektriksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle günümüzde birçok alanda artmaktadır. Sol-jel yönteminde homojen çözelti oluşturabilmek için saf maddeler kullanılır. Çözeltilerden yeterince eklenerek elde edilen karışım jel kıvamına gelmesi sağlandıktan sonra ısıtma ve kurutma işlemlerinin sonunda istenilen malzeme elde edilir. Bu yöntemle elde edilen malzemeler elektriksel özelliklerine göre yalıtkan, iletken, yarıiletken ya da dielektrik malzemelerde kullanılabilir (Polat 2009; Keskenler 2012).

3.3.2. Altın Nanaopartikül Sentezi

200 mg HAuCl₄ metal tuzu 10 ml oleyilamin ve 10 ml tetralin içerisinde çözüldü ve oda sıcaklığında karıştırıldı. Reaksiyon sistemi buz banyosuna alınarak sıcaklık 0-3 °C’ye

ayarlandı. Bu sıcaklıkta 2 mmol BTB çözeltisi sisteme enjekte edilerek altın tuzunun indirgenmesi gerçekleştirildi. 2 saat boyunca karıştırılarak reaksiyon devam ettirildi. Sonra tekrar oda sıcaklığına getirilerek, aseton ve etanol ile 9000 rpm de sırasıyla 10 dk. santrifüj yapılarak Au Nanoparçacıklar elde edildi.

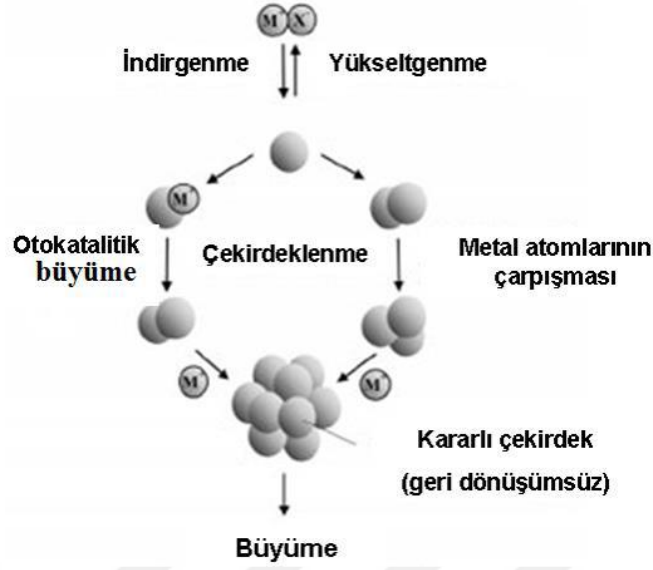
3.3.3. Nikel Nanoparçacık Sentezi

İnert atmosfer altında 257 mg $\text{Ni}(\text{acac})_2$ tuzu 15 ml oleyilamin ve 0.32 ml oleyik asit ile çözünür. 110°C 'de 1 saat karıştırıldı. Daha sonra çözelti 90°C 'ye soğutularak, 264 mg BTB nin 2ml oleyilaminde çözülerek hazırlanan çözeltisi, sisteme enjekte edildi. 90°C 'de 1 saat daha reaksiyon devam ettirildi. Daha sonra oda sıcaklığına soğutularak etanol ile santrifüj yapılarak Ni nanoparçacıkları elde edildi.

3.3.4. Au ve Ni Nanoparçacıkların SrTiO_3 Nanoküplerine Desteklenmesi

Hekzan içerisindeki altın veya nikel nanoparçacıklardan 20 mg alındı. 100 mg SrTiO_3 nanoküpleri etanol içersinde çözüldü ve nanoparçacıklar bu çözeltiye eklenerek 2 saat sonikasyon yapıldı. Elde edilen karışım tutunamayan nanoparçacıkların ayrılması için santrifüj edildi ve döner buharlaştırıcıda çözücüsü uçuruldu. SrTiO_3 -Au ve SrTiO_3 -Ni nanokompozitleri elde edildi.

Geçiş metal nanoparçacık sentez yöntemlerinden yüksek sıcaklıkta kimyasal indirgeme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin avantajları büyümenin kontrol edilebilmesi ve kompozisyon kontrolünün sağlanabilmesi olarak sıralanabilir. Kimyasal indirgenme sonucu oluşan nanoküpler termodinamik olarak kararsız olduğu için farklı kararlaştırıcılar kullanılarak nanoküplerin kararlı olması sağlanır (Bönnemann and Nagabhushana 2008; Sevim 2018). Şekil 3.2'de nanoküplerin metal tuzlarının kimyasal indirgeme yöntemiyle oluşum mekanizması gösterilmiştir.



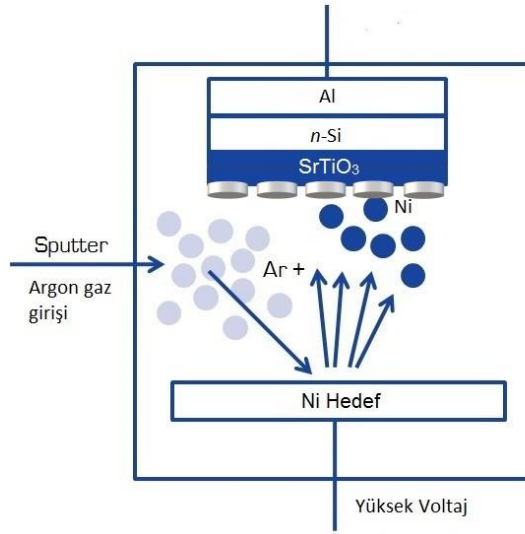
Şekil 3.2. Nanoparçacıkların metal tuzundan başlanarak kimyasal indirgenme yöntemiyle sentezinin şematik gösterimi

Omik kontak işlemi tamamlanan *n*-Si yarıiletken kristalinin üzerine SrTiO_3 , SrTiO_3 -Au ve SrTiO_3 -Ni çözeltileri, spin coating tekniğiyle 1000 rpm de mümkün olduğu kadar homojen olacak şekilde 60 saniyede kaplandı.

n-Si kristalin parlak yüzeylerine SrTiO_3 , SrTiO_3 -Au ve SrTiO_3 -Ni tabakaları büyütülerek elde edilen aygıtlar ısıtıcı tabla (hot plate) cihazının üzerinde 100°C sıcaklığında 5 dakika tavlandı.

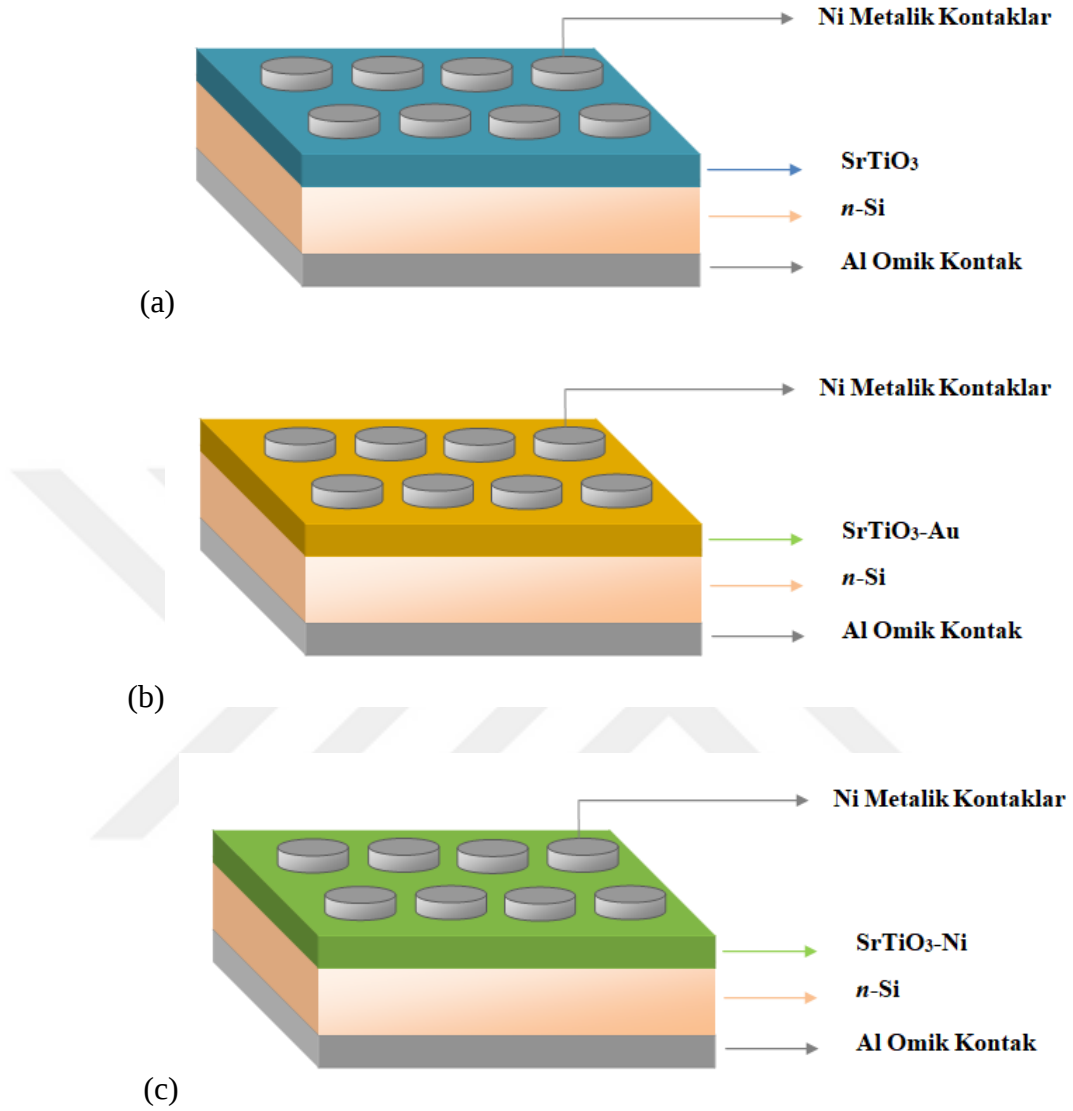
3.4. Metalizasyon: Sputtering (Saçtırma) Yöntemi ile Kaplama

Bu yöntemde yüksek vakum ortamında yüksek elektrik gerilimi uygulanarak katı metal hedeften Ni atomları kopartılmaktadır.



Şekil 3.3. Sputtering saçtırma yöntemi ile SrTiO₃/n-Si/Al yapının üzerine Ni nokta kontaklarının kaplanması

Yüksek vakum ortamında ($\approx 10^{-5}$ torr), katot olarak Ni metali, anot olarak ise iletken bir malzeme olan tungsten kullanıldı. Metal atomlarının oksitlenmemesi için vakum ortamında oksijen ve azot gibi gazlar bulunmamalıdır. Ortamda bulunan az sayıdaki argon asal gaz molekülleri çoğunlukla iyonlaşırlar. Bu vakum ortamında asal gazların kullanılma nedeni bunların metal atomlarını oksitleyecek etkilerinin olmamasıdır. Şekil 3.8'deki gibi ortamda gerilim uygulanarak pozitif yüklü argon iyonlarının büyük bir hızla katoda doğru hareket etmesi sağlanarak, Ni atomları kopartılır. Yüzeyden koparılan ve henüz iyonlaşmamış olan Ni atomları rastgele doğrultularda hareket ederek karşılaştıkları yüzeyleri kaplarlar. Metal kaplamak istediğiniz SrTiO₃ kaplı yüzey vakumlu kabın içinde uygun biçimde yerleştirilerek, Ni kaplama işlemi bitirilir. Aynı işlem SrTiO₃-Au ve SrTiO₃-Ni kaplı yüzeyler için de tekrarlanarak Şekil 3.8'deki heteroeklem kontaklar elde edilir.



Şekil 3.4. (a) Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al heteroekleminin kesit görüntüsü **(b)** Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin kesit görüntüsü **(c)** Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminin kesit görüntüsü

3.5. Deney ve Ölçüm Sistemi

Fabrikasyonunu yaptığımız aygıtların oda sıcaklıklarında “KEITHLEY 2400 Source Meter” cihazı ile akım-voltaj I - V (akım-voltaj) ölçümleri alındı. “HEWLETT PACKART 4192A, (50 Hz - 13 MHz) LF IMPEDENCE ANALYZER” cihazı ile C - V (kapasite-voltaj) ölçümleri alındı.



Şekil 3.5. I - V (akım-voltaj) ve C - V (kapasite-voltaj) ölçüm sistemleri



Şekil 3.6. LakeShore 340 sıcaklık kontrol ünitesi ve kriostat

Metal kaplama işlemleri için VAKSİS Sputtering Cihazı ve VAKSİS Termal Buharlaştırma Cihazı kullanıldı. İnce film kaplamaları için spin coater cihazı kullanıldı.



Şekil 3.7. VAKSİS Sputtering cihazı



Şekil 3.8. VAKSİS termal buharlaştırma cihazı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Giriş

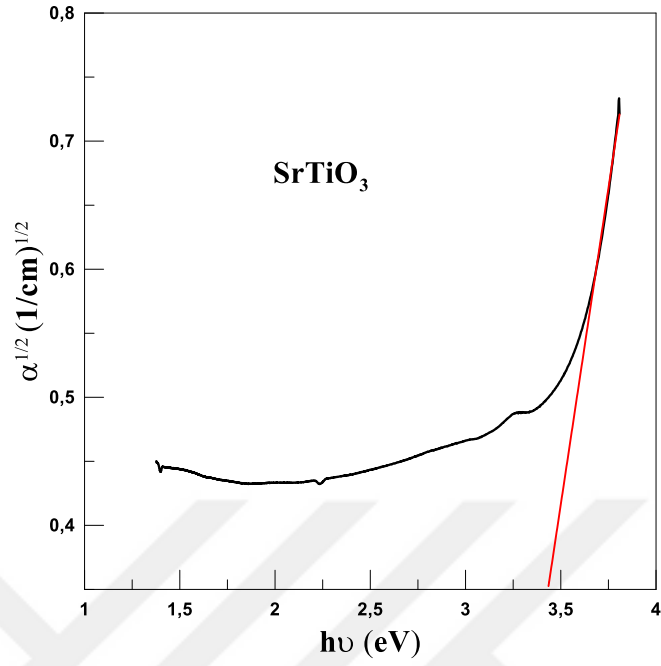
Bu bölümde Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroeklemlerinin, laboratuvar sıcaklığı ve periyodik olarak değişen sıcaklıklarda alınmış olan I - V (Akım – Voltaj) ve C - V (Kapasite – Voltaj) ölçümleri kullanılarak hesaplanmış elektriksel parametreler ve bunlara ait tablo ve grafikler bulunmaktadır.

4.2. SrTiO₃, SrTiO₃-Ni ve SrTiO₃-Au İnce Filmlerinin Enerji Aralıklarının Belirlenmesi

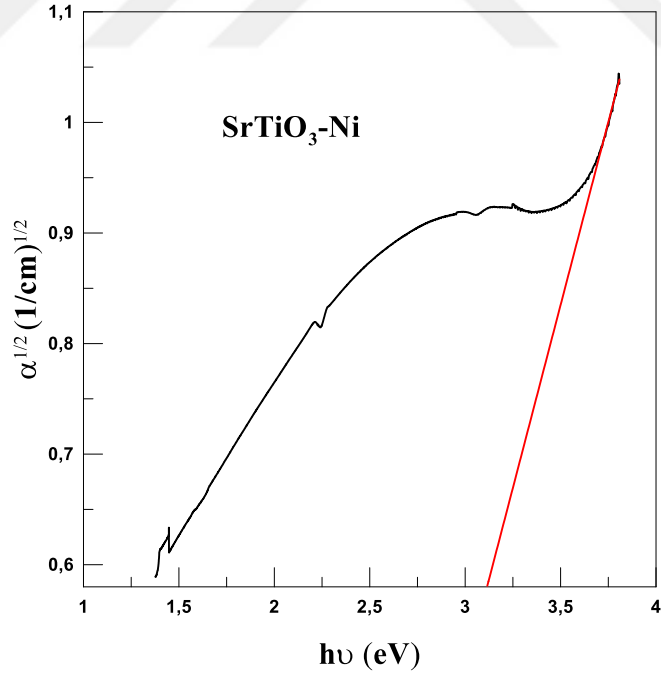
SrTiO₃, SrTiO₃-Ni ve SrTiO₃-Au filmlerinin optik band aralığını ölçmek için kullandığımız Tauc grafikleri sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir. Enerji aralıkları grafiklerde çizilen fitlerin asal eksenini kestiği noktalardan bulunur.

$$(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g) \quad (4.1)$$

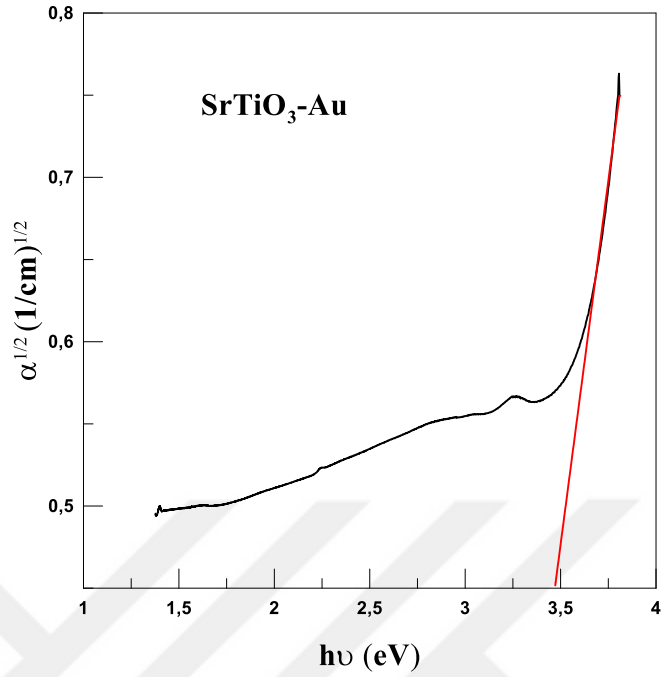
(4.1) deki Tauc eşitliğinde h Planck sabiti, ν frekans, α soğurma katsayısı, E_g band aralığı, A ve n sabit sayılardır. n 'in değeri direkt geçişlerde $1/2$, indirekt geçişlerde 2 'dir. Direkt yasak enerji aralığını bulmak için $\alpha^{1/2}$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı değişim grafikleri kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalara göre SrTiO₃'ün indirekt enerji aralığı ile direkt enerji aralığı 3,20 ile 3,75 eV arasındadır (Bentham and Elsasser 2001; Gracia *et al.* 2010; Lee *et al.* 2013). Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te çizilen grafiklerde bulunan indirekt band aralığı direkt ve indirekt yasak enerji aralıkları yakın olduğu için 3-3,50 eV arasında bulunmuştur.



Şekil 4.1. SrTiO₃ince filmi için oda sıcaklığında $(\alpha)^{1/2}$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı değişim grafikleri



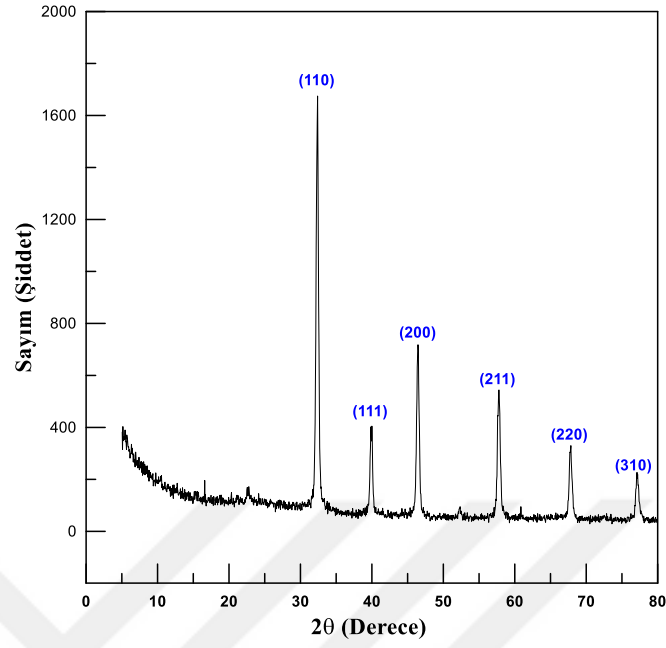
Şekil 4.2. SrTiO₃-Niince filmi için oda sıcaklığında $(\alpha)^{1/2}$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı değişim grafikleri



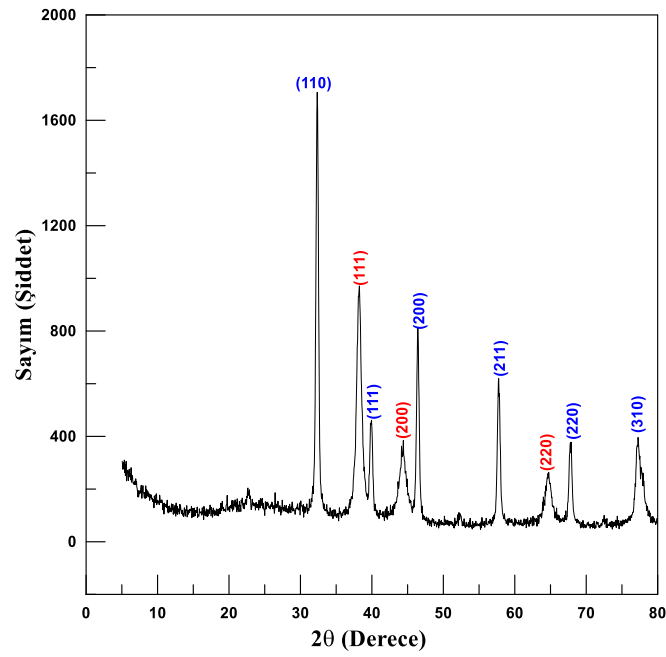
Şekil 4.3. $\text{SrTiO}_3\text{-Au}$ ince filmi için oda sıcaklığında $(\alpha)^{1/2}$ 'nin $h\nu$ 'ye karşı değişim grafikleri

4.3. XRD Desenleri

Şekil 4.4'te sentezlenmiş SrTiO_3 nanoküplerinin, Şekil 4.5'te Au ile desteklenmiş $\text{SrTiO}_3\text{-Au}$ nanoküplerinin XRD görüntüleri bulunmaktadır. Perovskit fazına karşılık gelen tüm tepe noktaları, kafes sabiti $a = 3.90 \text{ Å}$ olan kübik uzay grubu $\text{Pm}\bar{3}2$ 'ye endekslenebilir. XRD şablonlarında bölünme olmaması tetragonal yapının bozulmadığının kanıtıdır (Taşyürek *et al.* 2018; Hu *et al.* 2019). Sentezlenen SrTiO_3 nanoküpleri (110), (111), (200), (211), (220) ve (310) kırınım piklerine sahip olarak yüzey merkezli kübik yapı göstermişlerdir (Xing *et al.* 2016). Au nanoparçacıklarla desteklenerek sentezlenen $\text{SrTiO}_3\text{-Au}$ nanoküplerin kırınım pikleri (111), (200) ve (220) olarak görülmektedir (Genget *et al.* 2017). $\text{SrTiO}_3\text{-Ni}$ nanoküplerin kırınım pikleri XRD desenlerinde görülmediği için ICP-MS analizi yapılmış ve numunedeki Ni atomlarının oranı %11,72 olduğu tesbit edilmiştir.



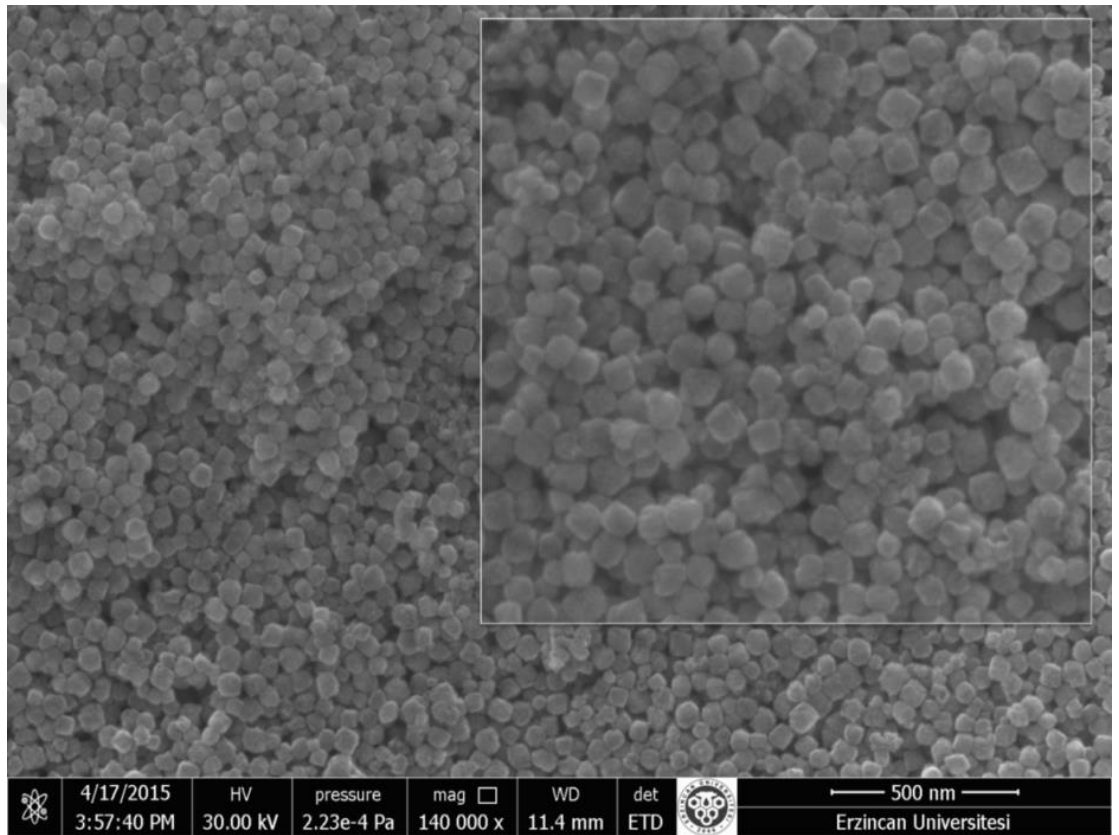
Şekil 4.4. SrTiO_3 'ın XRD deseni



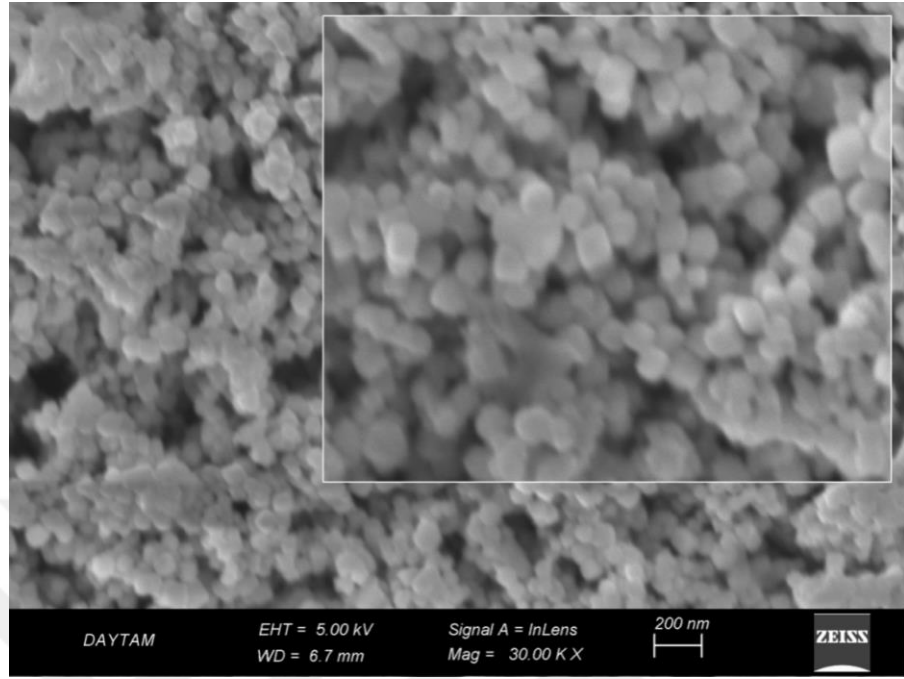
Şekil 4.5. $\text{SrTiO}_3\text{-Au}$ 'ın XRD deseni

4.4. SEM Görüntüleri

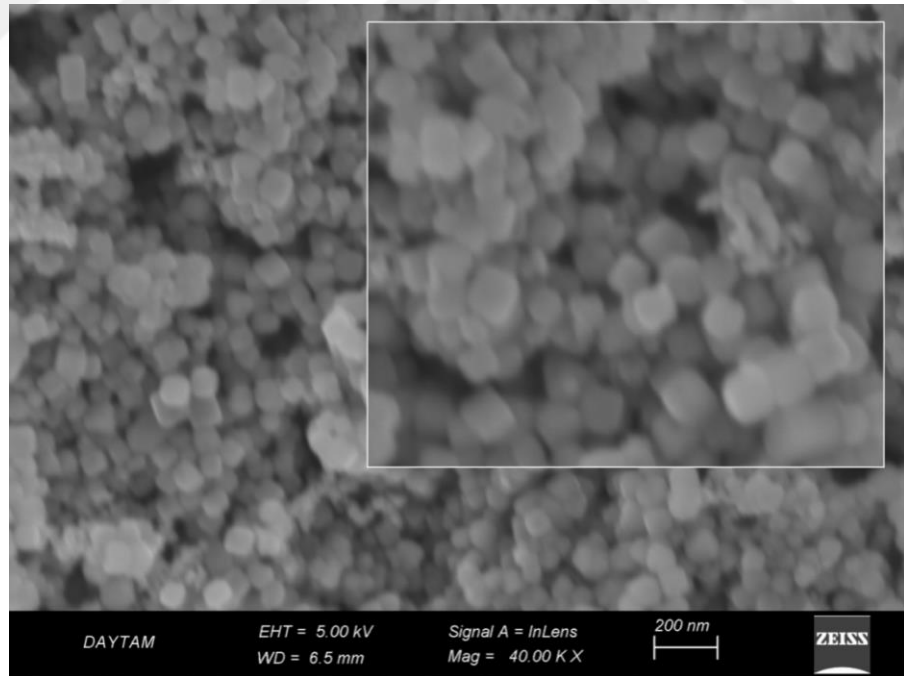
Şekil 4.6’da cam yüzeyine ince film olarak kaplanmış SrTiO_3 nanoküplerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de ise sırasıyla Ni ve Au ile desteklenmiş SrTiO_3 nanoküplerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Perovskit SrTiO_3 ’ün kübik yapısı şekillerde açıkça görülmektedir.



Şekil 4.6. SrTiO_3 ’ın SEM görüntüsü



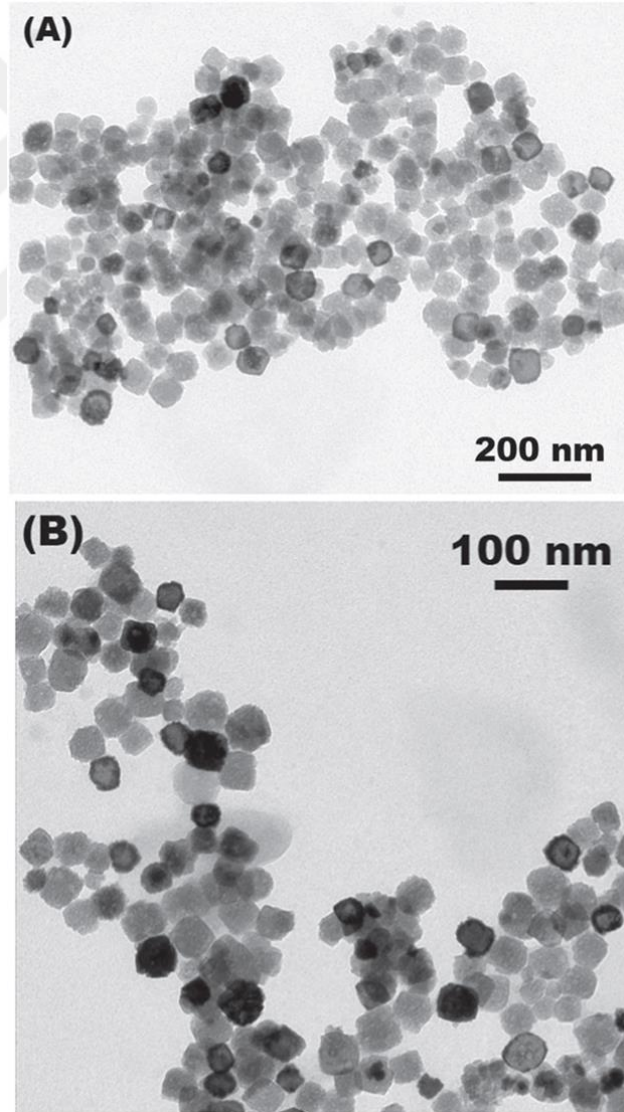
Şekil 4.7. $\text{SrTiO}_3\text{-Ni}$ 'in SEM görüntüsü



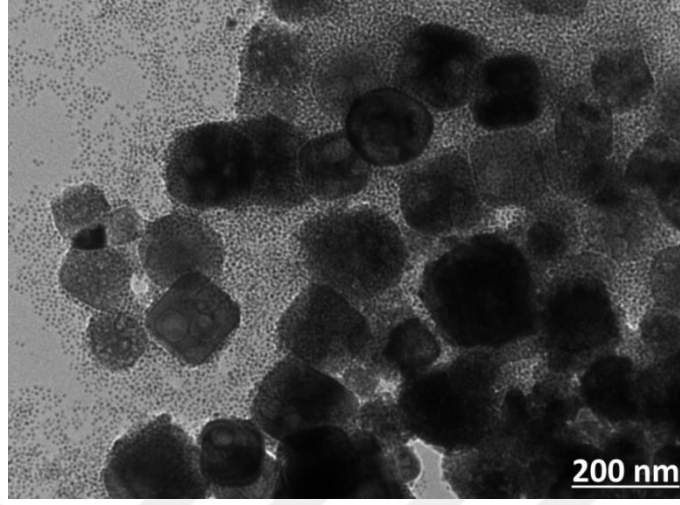
Şekil 4.8. $\text{SrTiO}_3\text{-Au}$ 'ın SEM görüntüsü

4.5. TEM Görüntüleri

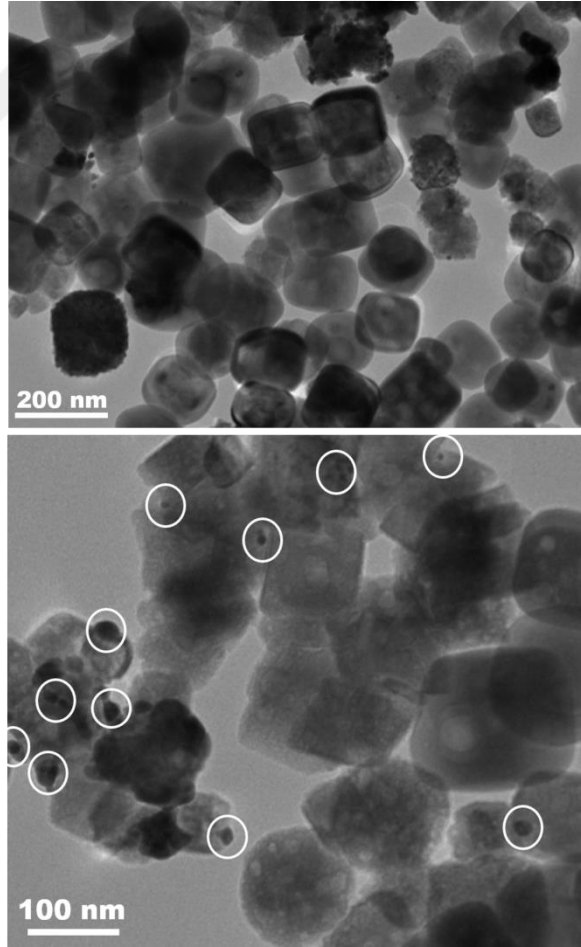
Şekil 4.9’da SrTiO_3 nanoküplerinin TEM görüntülerinden nanoküp boyutları 50-100 nm olarak tespit edildi. Şekil 4.10’da Ni nanoparçacıklarla desteklenmiş SrTiO_3 -Ni nanoküplerinin TEM görüntülerinde Ni nanoparçacık büyüklüğü 2-3 nm boyutlarında tespit edildi. Şekil 4.11’de Au nanoparçacıklarla desteklenmiş SrTiO_3 -Au nanoküplerinin TEM görüntülerinde Au nanoparçacık büyüklüğü 10 nm boyutlarında tespit edildi.



Şekil 4.9. SrTiO_3 ’ün TEM görüntüsü



Şekil 4.10. SrTiO₃-Ni'in TEM görüntüsü



Şekil 4.11. SrTiO₃-Au'ın TEM görüntüsü

4.6. Heteroeklemlerin I - V (Akım-Voltaj) Ölçümleri ve Cheung Fonksiyonlarının Kullanımı

Fabrikasyonu tamamlanan heteroeklemlerinden birinin I - V ölçümleri hem oda sıcaklığında hem de 80-400 K sıcaklık aralığında sıcaklığa bağlı olarak yapıldı. Sıcaklık ünitesi yardımıyla Ni/SrTiO₃/ n -Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/ n -Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı değerleri 80 K ile 400 K arasında ölçülürken, Ni/SrTiO₃-Au/ n -Si/Al heteroekleminin değerleri ise 60 K ile 400 K arasında ölçüldü. I - V grafiklerindeki lineer bölgeden heteroeklemlerin idealite faktörü değerleri ve engel yüksekliği değerleri, lineer olmayan bölgeden de seri direnç değerleri hesaplandı.

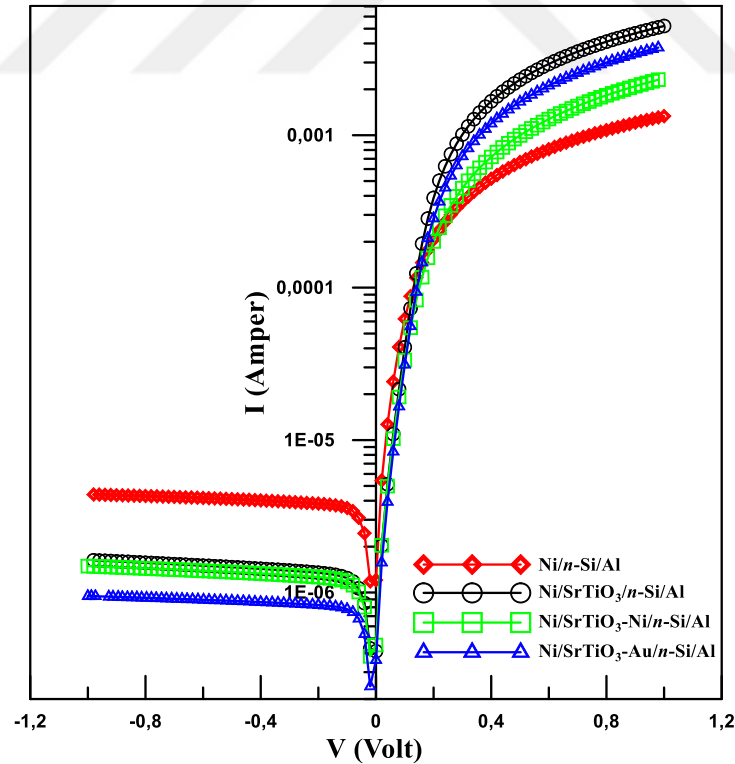
TE teorisinde düz beslem akımı (2.1)'de verilmişti. Gerekli düzenlemeler ve işlemler yapıldıktan sonra idealite faktörü için (2.5) ifadesi bulunmuştu. “ n ” sembolü ile gösterilen idealite faktörü önemli elektriksel parametrelerden biridir ve birimi yoktur. İdeal heteroyapı için $n=1$ olmalıdır (Sze 1981; Umadevi and Prithivikumaran 2016). Ancak uygulamada seri direnç ve arayüzey oksit tabakaları gibi etkilerden dolayı idealite faktörü 1'den büyük değerler alır (Ajimsha *et al.* 2007; Deniz *et al.* 2013). Ayrıca engel yüksekliğinin homojen olmaması da idealite faktörünün yüksek çıkmasının nedenleri arasında gösterilebilir (Yakuphanoglu *et al.* 2010). Aynı zamanda daha yüksek idealite faktörü bir organik ara tabakanın veya belirli bir arayüzey yapısının neden olduğu arayüzey dipolleri ve ara yüzeyde oluşan fabrikasyon kaynaklı kusurlar gibi ikincil mekanizmaların varlığından kaynaklanabilir (Gupta *et al.* 2009). Bunların dışında kontak ara yüzeyindeki tabakalar arasındaki rekombinasyon akımı ve ara yüzeydeki potansiyel değerinin düşmesi de idealite faktörünün yükselmesine neden olabilir (Reddy 2014).

Schottky diyotlarda idealite faktörü yüksek çıkması durumunda TE teorisi yetersiz kalır ve bu durum engel yüksekliğinin gerilime bağlı olduğu düşüncesini ortaya çıkarır. Ayrıca bu durum jenerasyon-rekombinasyon akımları, engel yüksekliğinin imaj kuvveti ile düşmesi, tünelleme ve arayüzey halleri gibi etkilerle açıklanmıştır (Sze 1981; Tung 2001; Güllü *et al.* 2012; Çiçek *et al.* 2017).

Heteroeklemlerin I - V ölçümlerinden elde ettiğimiz akımın logaritmik değerinin, gerilimekarşı grafiği çizildikten sonra, düz beslemdeki lineer bölgeye fit yapıldı. Eğim hesaplamasından $dV/d(\ln I)$ ifadesi bulundu. Bulduğumuz değerle birlikte T (80-400 K arasında) değerleri idealite faktörünü hesaplamak için (4.3) ifadesinde yerine yazıldı.

I - V grafiğinden elde edilen fitin dikey eksenini kestiği noktadan doyma akımı I_0 bulunur. I_0 (2.2)'de verilmişti. Buradaki hesaplamalar yapıldıktan sonra (2.6)'daki $e\Phi_b$ ifadesi bulunmuştu.

Referans Ni/n -Si/Al ile aynı şartlarda hazırlanan $Ni/SrTiO_3/n$ -Si/Al, $Ni/SrTiO_3$ -Au/ n -Si/Al ve $Ni/SrTiO_3$ -Ni/ n -Si/Al heteroeklemlerin oda sıcaklığındaki I - V grafikleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Bu grafiklere ait TE kullanılarak hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Oda sıcaklığında ölçülen referans Ni/n -Si/Al ile $Ni/SrTiO_3/n$ -Si/Al, $Ni/SrTiO_3$ -Au/ n -Si/Al ve $Ni/SrTiO_3$ -Ni/ n -Si/Al heteroeklemlerin I - V grafikleri

Çizelge 4.1. Oda sıcaklığında referans Ni/*n*-Si/Al ile Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroeklemlerin *I-V* grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler

Sıcaklık (300 K)	<i>(I-V)</i>	
	<i>n</i>	Φ (eV)
Ni/ <i>n</i> -Si/Al (Referans)	1,55	0,61
Ni/SrTiO ₃ / <i>n</i> -Si/Al	1,34	0,63
Ni/SrTiO ₃ -Ni/ <i>n</i> -Si/Al	1,19	0,64
Ni/SrTiO ₃ -Au/ <i>n</i> -Si/Al	1,12	0,65

Çizelge 4.1’de geleneksel metotla hesaplanan temel parametreler bulunmaktadır. Şekil 4.12’de ise oda sıcaklığında elde edilen heteroeklemlerin *I-V* grafiklerinin kıyaslanması görülmektedir. Au ve Ni nanoparçacıklarla desteklenmiş veya desteklenmemiş heteroeklemlerin temel parametrelerindeki iyileşme açıkça görülmektedir. Referans Ni/*n*-Si/Al için idealite faktörü 1,55 engel yüksekliği 0,61 eV olarak hesaplandı. Metal ile desteklenmeden SrTiO₃ ile oluşturulan Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al heteroeklemi için idealite faktörü 1,34 iken engel yüksekliği 0,63 eV olarak bulundu. Ni ile desteklenmiş SrTiO₃ ile hazırlanan Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminin idealite faktörü 1,19, engel yüksekliği 0,64 eV olarak ölçüldü. Au ile desteklenmiş SrTiO₃ ile hazırlanan Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin idealite faktörü 1,12, engel yüksekliği 0,65 eV olarak hesaplandı.

Yapılan hesaplamalardan görüldüğü gibi SrTiO₃ arayüzeyinin oluşturulması ile temel parametrelerin iyileşmesine neden olduğu, ideale yaklaştığı ayrıca Ni ve Au metalleri ile desteklenen SrTiO₃ daha da fazla iyileşme sağlamaktadır. Nanoküpler idealite faktörünü düşürerek 1’e yaklaştırırken, engel yüksekliğinin de artmasını sağlamışlardır. Perovskit tipi oksit özellik gösteren SrTiO₃, epitaksiyal büyütme için en önemli materyallerden biridir (Zhao *et al.* 2010) ve yüksek derecede karalı yapıya sahip olduğu için birçok alanda kullanılmaktadır (Kawakami *et al.* 2015). Perovskit tipi oksit materyaller teknolojik aygıtlar için en çok gelecek vaat eden materyallerdendir (Shi *et al.* 2017). SrTiO₃ nanoküplerinin serbest elektronları arasındaki etkileşimin az olmasına ve örgü atomlarına bağlı olarak (Wunderlich *et al.* 2009) elektriksel parametrelere olumlu katkı yapmaktadır. Bununla birlikte metal destekli SrTiO₃ elektronik cihazlardaki iletme

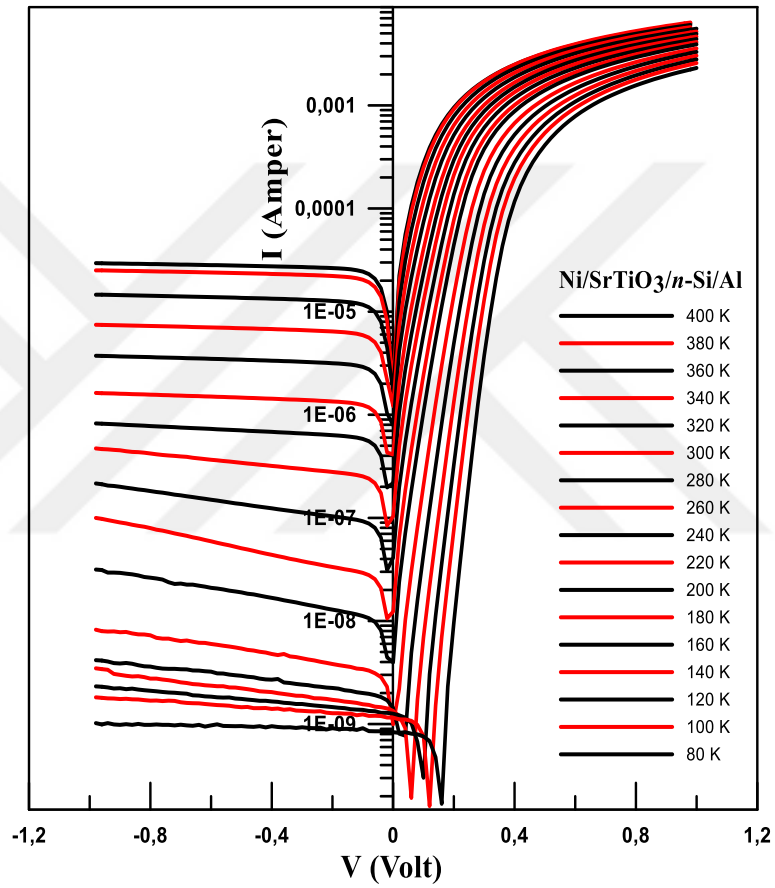
olumlu katkılarından dolayı daha fazla ilgi çekmektedir (Rana *et al.* 2012). N-tipi özellik gösteren SrTiO_3 oksit yarıiletken malzeme Au ile desteklendiği zaman Schottky engel yüksekliği ve ara yüzeydeki iletme olumlu katkı sağlamıştır (Kraya and Kraya 2012).

Çizelge 4.1'deki değerlerden de görüldüğü gibi SrTiO_3 perovskit oksit materyal heteroeklemin elektriksel parametrelerine olumlu etki yapmıştır. Perovskit yapıların bazılarında delokalize enerji-bant durumları, bazılarında lokalize elektronlar ve bazılarında ise bu iki davranış arasında geçişler görülür (Erkişi 2015). Perovskit oksitler bilim ve teknolojinin gelişmesine katkı sağlayabilecek büyük potansiyele sahip oldukları için heteroyapı uygulamalarında kullanılmaktadırlar (Aydemir 2009; Kim *et al.* 2016).

Şekil 4.13'de $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin 80-400 K arasında, Şekil 4.14'de $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin 80-400 K arasında, Şekil 4.15'de $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin 60-400 K arasındaki sıcaklığa bağlı I - V grafikleri görülmektedir. Her üç şekildende görüldüğü gibi I - V ölçümleri sıcaklık değişimlerine sistematik tepki verdiği gibi her aygıtın tüm sıcaklık değerlerinde ters beslem karakteristikleri hemen hemen uygulama geriliminden bağımsızdır. Heteroeklemlerdeki I - V grafikleri düz beslem bölgesinde düşük değerler için lineerdir ($\log I$ - V). Düz beslem gerilimi artırıldıkça grafik lineerlikten uzaklaşır. Bunun nedeni arayüzeydeki yalıtkan tabaka, seri direnç etkileri ve arayüzey halleridir. Özellikle grafiğin lineer olmayan kavisli bölgesinde seri direnç önemli iken arayüzeydeki yalıtkan tabaka ve arayüzey halleri her iki bölgede de önemlidir. Arayüzey hal yoğunluğu ve seri direnç düşük olursa grafiğin düz bölgesinin daha uzun olmasını sağlar. Lineer bölgenin artması idealite faktörünün ve engel yüksekliğinin istenilen değerlere daha yakın olmasını sağlar (Horváth 1996; Karataş *et al.* 2005).

Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de bu heteroeklemlerin 20'şer K sıcaklık aralıklarıyla geleneksel metod kullanılarak elde edilen idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği (Φ) değerleri verilmiştir. Sıcaklığa bağlı ölçümlerden $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$

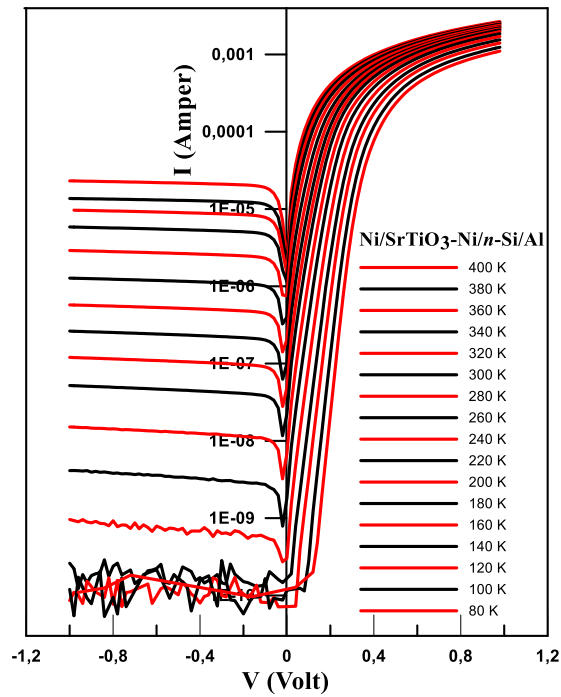
heteroekleminin idealite faktörü 1,14 ile 1,94 arasında; engel yüksekliği ise 0,29 ile 0,79 eV (sırasıyla 400-80 K) arasındadır. Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminin idealite faktörü 1,02 ile 2,37 arasında; engel yüksekliği 0,27 ile 0,80 eV (sırasıyla 400-80 K) arasında değişmektedir. Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin idealite faktörü 1,00 ile 2,59 arasında; engel yüksekliği 0,21 ile 0,79 (sırasıyla 400-80 K) arasındadır.



Şekil 4.13. Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı *I*-*V* grafikleri

Çizelge 4.2. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı *I-V* grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler

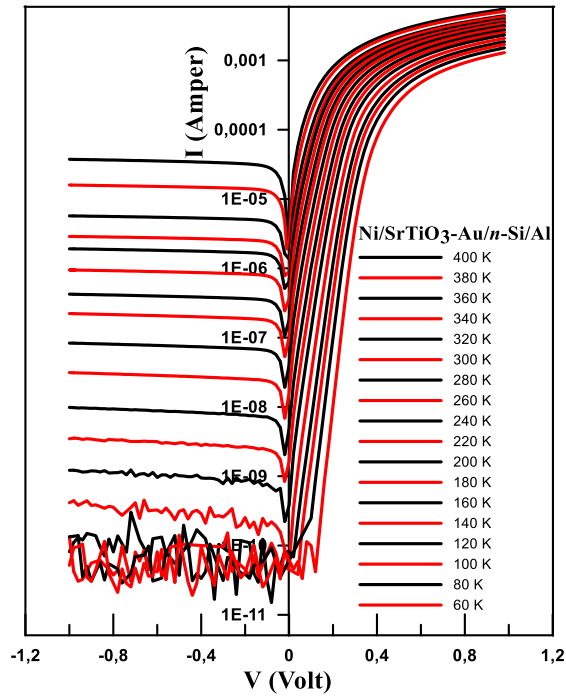
Sıcaklık (K)	(I-V)	
	n İdealite Faktörü	Φ (eV) Engel Yüksekliği
80	1,94	0,29
100	1,85	0,33
120	1,75	0,37
140	1,73	0,40
160	1,68	0,43
180	1,63	0,46
200	1,57	0,48
220	1,55	0,51
240	1,50	0,54
260	1,46	0,57
280	1,40	0,60
300	1,34	0,63
320	1,30	0,66
340	1,25	0,69
360	1,19	0,71
380	1,16	0,75
400	1,14	0,78



Şekil 4.14. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı *I-V* grafikleri

Çizelge 4.3. Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı *I*-*V* grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler

Sıcaklık (K)	<i>(I-V)</i>	
	n İdealite Faktörü	Φ (eV) Engel Yüksekliği
80	2,37	0,27
100	1,74	0,33
120	1,60	0,36
140	1,52	0,40
160	1,44	0,43
180	1,41	0,46
200	1,35	0,49
220	1,32	0,52
240	1,29	0,55
260	1,27	0,58
280	1,20	0,61
300	1,19	0,64
320	1,14	0,67
340	1,10	0,70
360	1,09	0,74
380	1,01	0,77
400	1,02	0,80



Şekil 4.15. Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı *I*-*V* grafikleri

Çizelge 4.4. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı *I-V* grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler

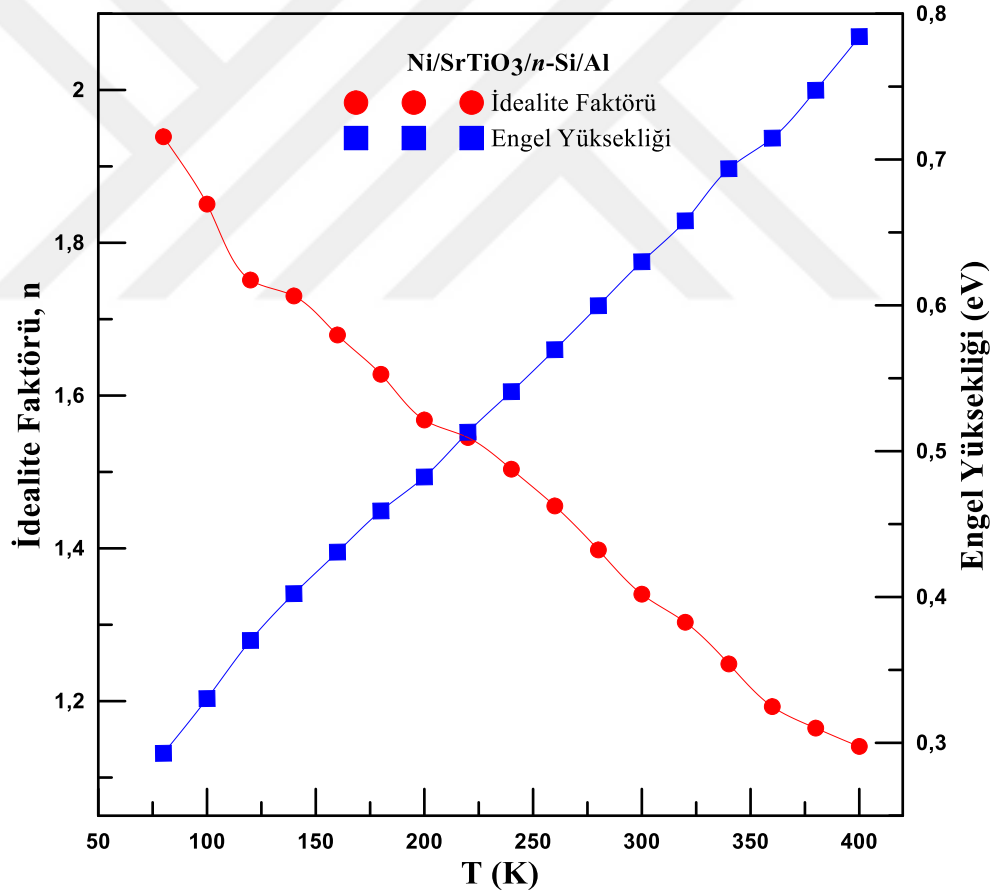
Sıcaklık (K)	<i>(I-V)</i>	
	n İdealite Faktörü	Φ (eV) Engel Yüksekliği
60	2,59	0,21
80	2,07	0,26
100	1,86	0,31
120	1,62	0,35
140	1,46	0,39
160	1,38	0,43
180	1,29	0,46
200	1,25	0,50
220	1,23	0,53
240	1,19	0,56
260	1,18	0,59
280	1,14	0,62
300	1,12	0,65
320	1,10	0,68
340	1,06	0,71
360	1,06	0,74
380	1,03	0,76
400	1,00	0,79

Heteroeklemlere ait grafiklerden elde edilen çizelgeler incelendiğinde sıcaklık arttıkça idealite faktörünün azaldığı, engel yüksekliğinin ise arttığı görülmektedir. Bu durum Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de açıkça gösterilmiştir. İdealite faktörünün 1’den büyük çıktığı durumlar TE teorisinden sapmaların olduğuna işaret etmektedir. Yük hareketi arayüzey bölgesinde sıcaklığa bağlı olduğu için sıcaklık düştükçe engel yüksekliği de düşer. Böylece yük akışında meydana gelen artıştan dolayı idealite faktörü de artar (Sullivan *et al.* 1991; Tung 1992). SrTiO₃ nanoküpler ara yüzeyde istenilen homojenlikte dağılmadığı için engel yüksekliğinin de homojen olmadığı ve idealite faktörünün yüksek çıktığı varsayılmaktadır (Zhu *et al.* 2000; Ejderha *et al.* 2011; Çaldıran 2013; Linand Lin 2014; Deniz 2015)

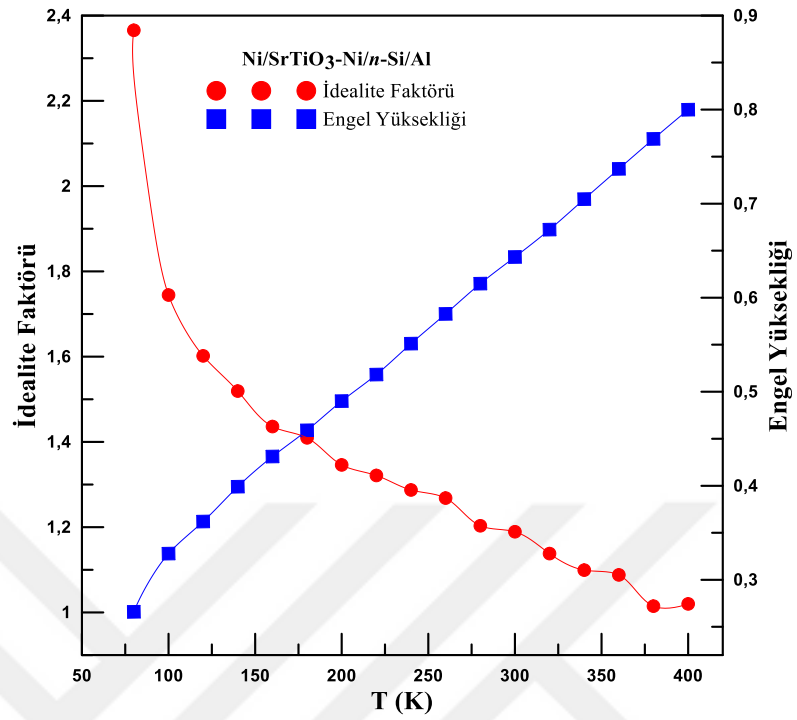
Tung’a (1992) göre idealite faktörü ve engel yüksekliğindeki sapmaların nedeni, arayüzeydeki homojen olmayan yapısal bozukluklara ve katkılanmadan kaynaklanan

yüzey kusurlarına atfedilebilir. Sıcaklığın artması elektronların enerjisini artıracaktır. Dolayısıyla engel yüksekliği de sıcaklığa ve düz beslem gerilimine bağlı olarak artacaktır (Karataş and Turut 2006; Göksu *et al.* 2010; Çaldıran *et al.* 2015)

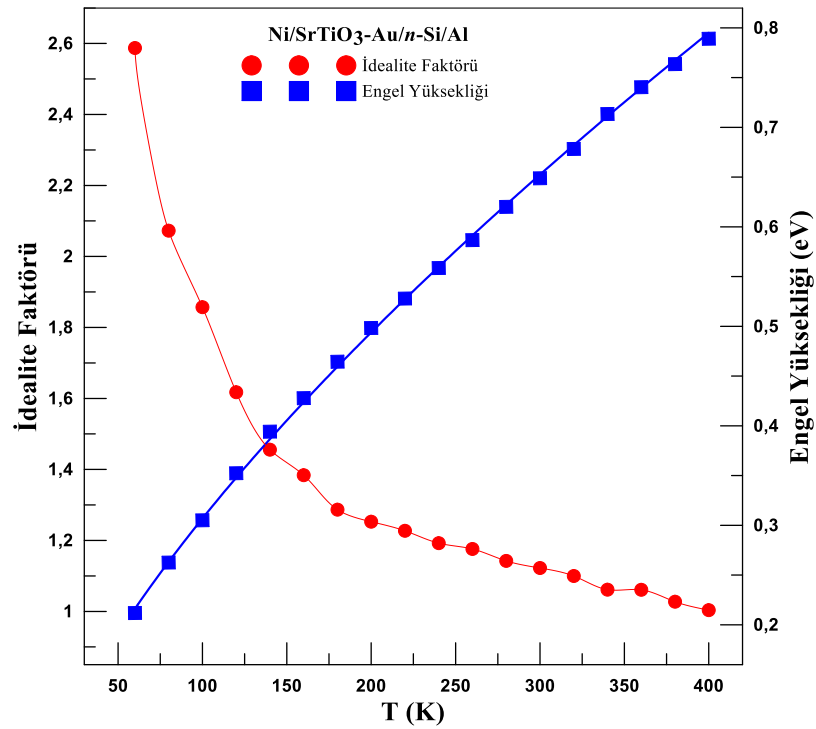
Kontaklardaki I - V parametrelerini incelemek için Werner and Guttler (1991) modeli ile Tung (1992) modelinden yararlanılmaktadır. Werner and Guttler modeline göre engel yüksekliği hem sıcaklık hem de gerilime bağlıdır. Bu yüzden Gaussian fonksiyonuna uygun davranmalıdır. Tung'a göre ise homojen olmayan bölgelerden dolayı farklı engel yüksekliklerinin oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.16. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı idealite faktörü ve engel yüksekliği grafiği

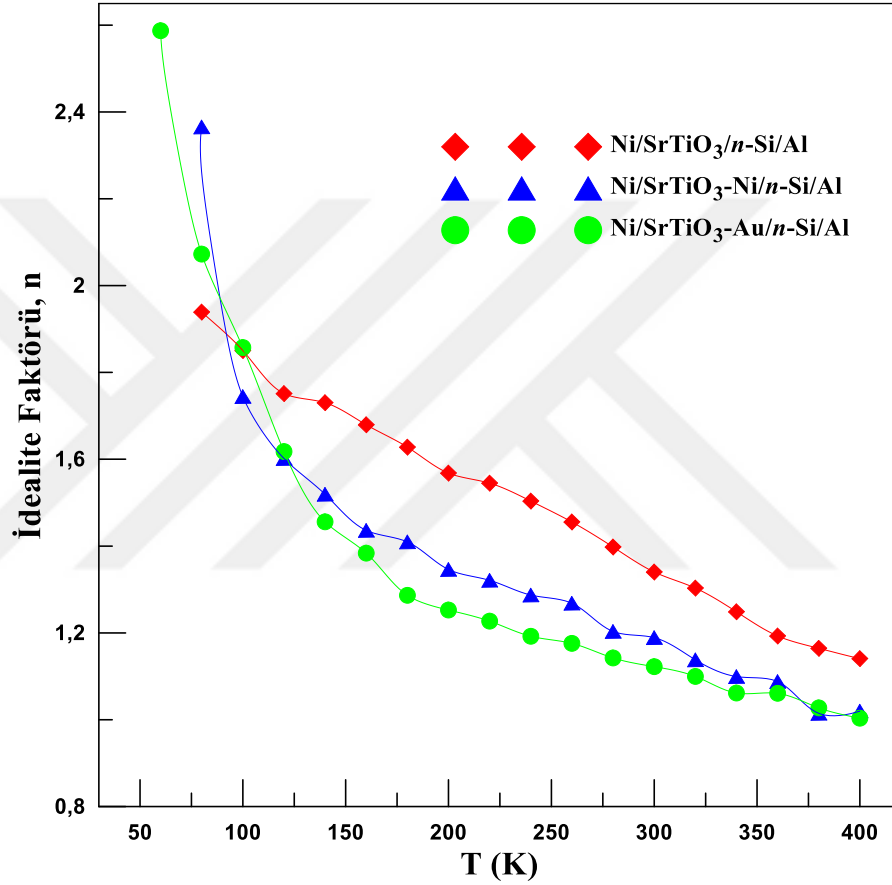


Şekil 4.17. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı idealite faktörü ve engel yüksekliği grafiği



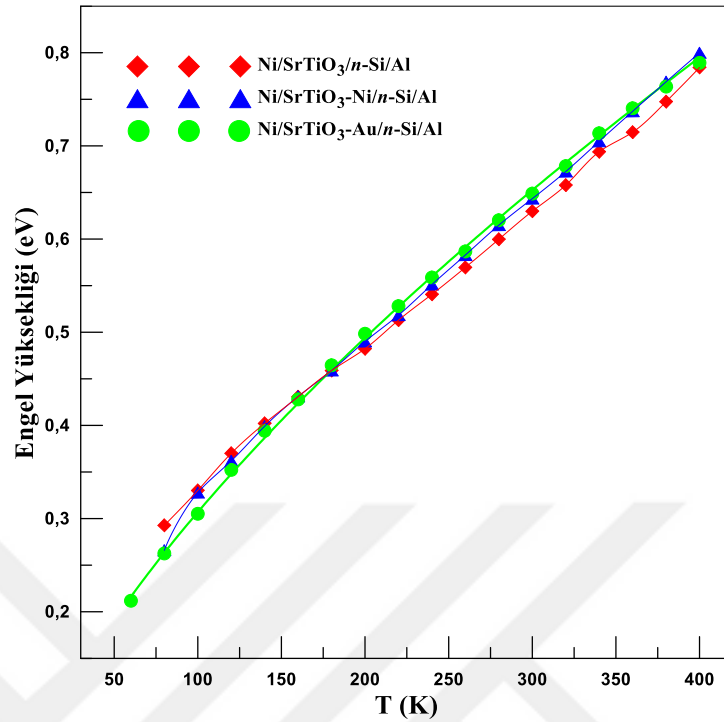
Şekil 4.18. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı idealite faktörü ve engel yüksekliği grafiği

Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı idealite faktörü grafikleri Şekil 4.19’da, sıcaklığa bağlı engel yüksekliği grafikleri Şekil 4.20’de birlikte gösterilmektedir. Grafiklerdende görüldüğü gibi üç aygıtında sıcaklığa bağlı parametreleri uyumludur.



Şekil 4.19. Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı idealite faktörü grafikleri

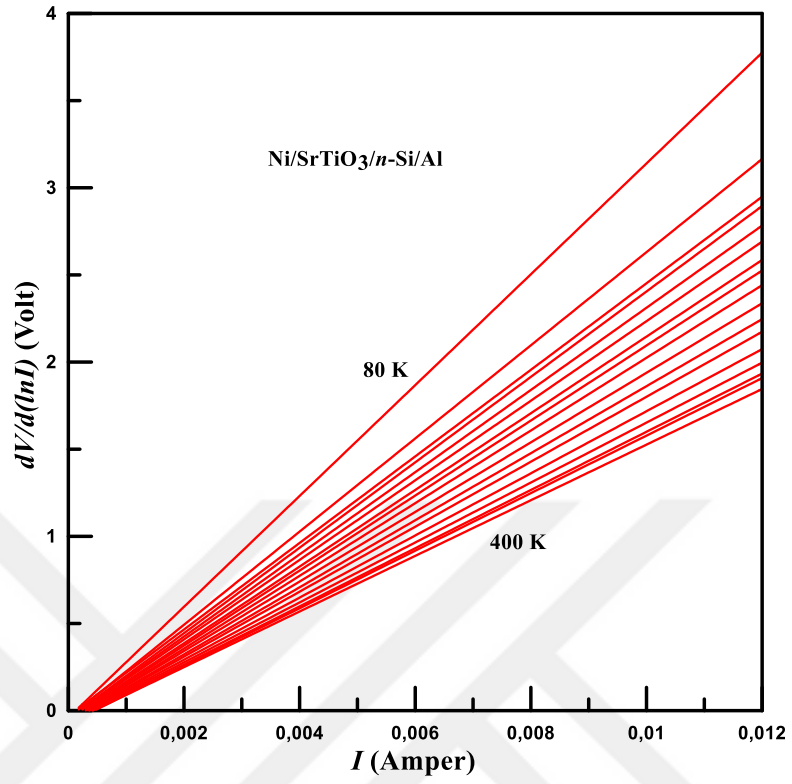
Kontakların düz beslem kısmındaki *I*-*V* karakteristikleri kullanılarak elde edilen temel parametrelerinin hesaplanmasında TE teorisinden farklı bir model sunulmuştur (Cheung and Cheung 1986).



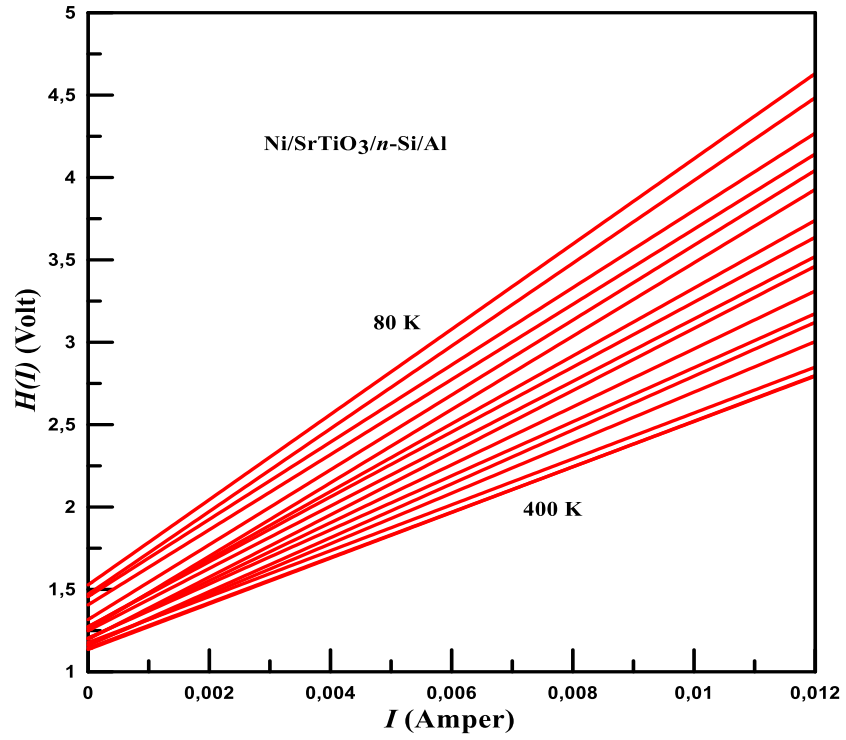
Şekil 4.20. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı engel yüksekliği grafikleri

Cheung fonksiyonlarını (2.13 ve 2.15) kullanarak Ni/SrTiO₃/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroeklemlerin 80 – 400 K aralığında, Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin ise 60 – 400 K aralığında idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri hesaplandı. Cheung fonksiyonlarından elde edilen $dV/d(\ln I)$ - I grafiğinin eğiminden seri direnç; ortaya çıkan doğrunun $I=0$ 'da dikey ekseni kestiği noktadan ise idealite faktörü bulunur. (2.15) nolu denklemden bulunan $H(I)$ - I grafiğinin eğiminden seri direnç; $I=0$ 'da dikey ekseni kestiği noktadan ise engel yüksekliği bulunur (Cheung and Cheung 1986).

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı Cheung fonksiyonlarından elde edilen grafikleri Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de, bu grafiklerden elde edilen idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri de Çizelge 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.21. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $dV/d(\ln I)$ – I grafikleri



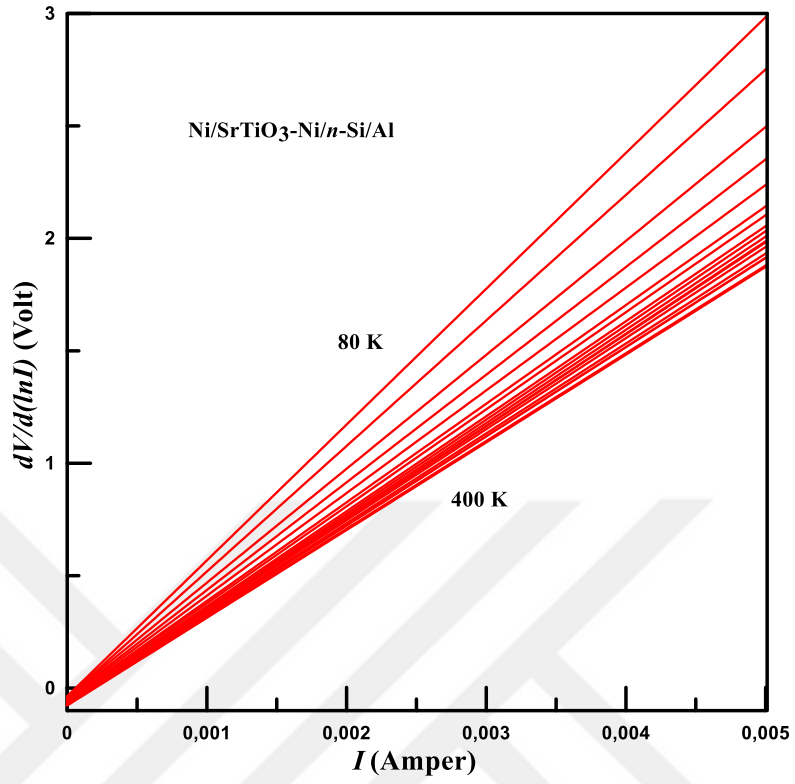
Şekil 4.22. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $H(I)$ – I grafikleri

Çizelge 4.5. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı I - V grafiklerinden geleneksel metot ve Cheung fonksiyonlarından elde edilen temel parametreleri

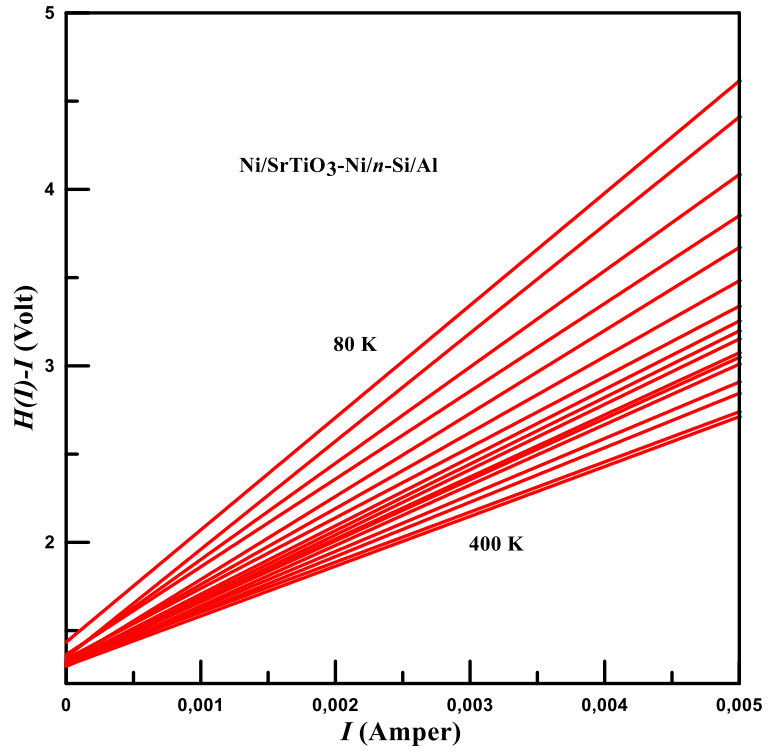
Sıcaklık (K)	I - V		$dV/d(\ln I)$ - I		$H(I)$ - I	
	n	Φ_b (eV)	n	R_s (Ω)	Φ_b (eV)	R_s (Ω)
80	1,94	0,29	5,80	318	0,26	259
100	1,85	0,33	4,75	267	0,31	251
120	1,75	0,37	4,15	248	0,35	234
140	1,73	0,40	3,73	245	0,38	228
160	1,68	0,43	3,33	236	0,39	227
180	1,63	0,46	3,09	228	0,40	223
200	1,57	0,48	3,07	220	0,41	206
220	1,55	0,51	3,00	215	0,42	197
240	1,50	0,54	2,90	209	0,43	189
260	1,46	0,57	2,54	200	0,47	189
280	1,40	0,60	2,53	192	0,48	176
300	1,34	0,63	2,43	186	0,49	164
320	1,30	0,66	2,32	178	0,50	163
340	1,25	0,69	2,28	172	0,51	153
360	1,19	0,71	2,25	167	0,52	139
380	1,16	0,75	2,11	160	0,54	139
400	1,14	0,78	2,09	165	0,55	138

Çizelge 4.5'te Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin 80 – 400 K aralığında elde edilen elektriksel parametreleri görülmektedir. $dV/d(\ln I)$ - I grafiğinden elde edilen idealite faktörü 2,09 ile 5,80 (400-80 K) arasında değişirken, seri direnç değerleri 165 Ω ile 318 Ω (400-80 K) arasında sıcaklıkla ters orantılı olarak artmıştır. $H(I)$ - I grafiğinden elde edilen engel yüksekliği 0,26 eV ile 0,55 eV (400-80 K) arasında sıcaklıkla doğru orantılı değişirken, seri direnç değeri 138 Ω ile 259 Ω (400-80 K) arasında sıcaklıkla ters orantılı olarak artmıştır.

Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı Cheung fonksiyonlarından elde edilen grafikleri Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'da, bu grafiklerden elde edilen idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri de Çizelge 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.23. $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si}/\text{Al}$ heteroekleminin sıcaklığa bağlı $dV/d(\ln I)$ - I grafikleri



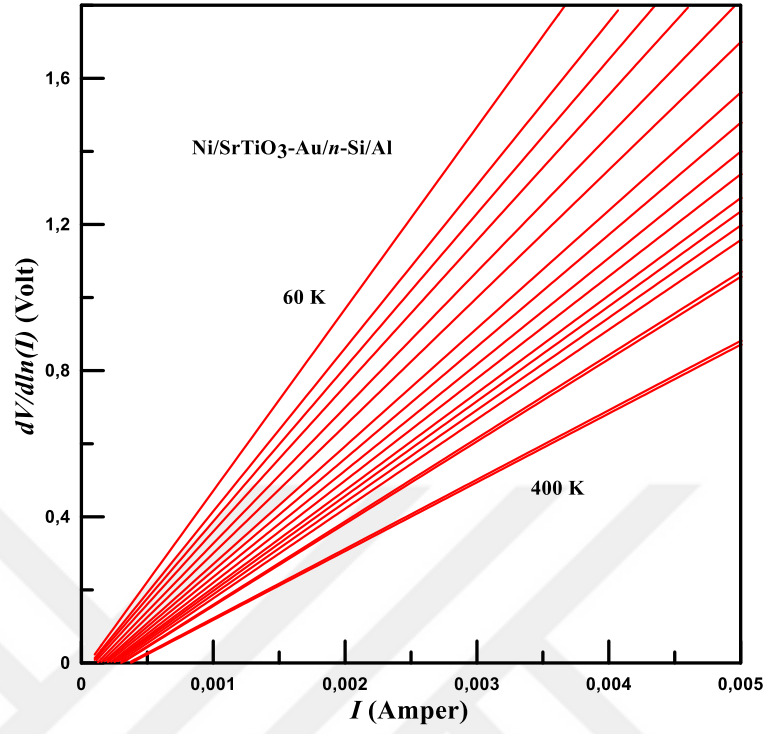
Şekil 4.24. $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si}/\text{Al}$ heteroekleminin sıcaklığa bağlı $H(I)$ - I grafikleri

Çizelge 4.6. Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı *I*-*V* grafiklerinden geleneksel metod ve Cheung fonksiyonlarından elde edilen temel parametreler

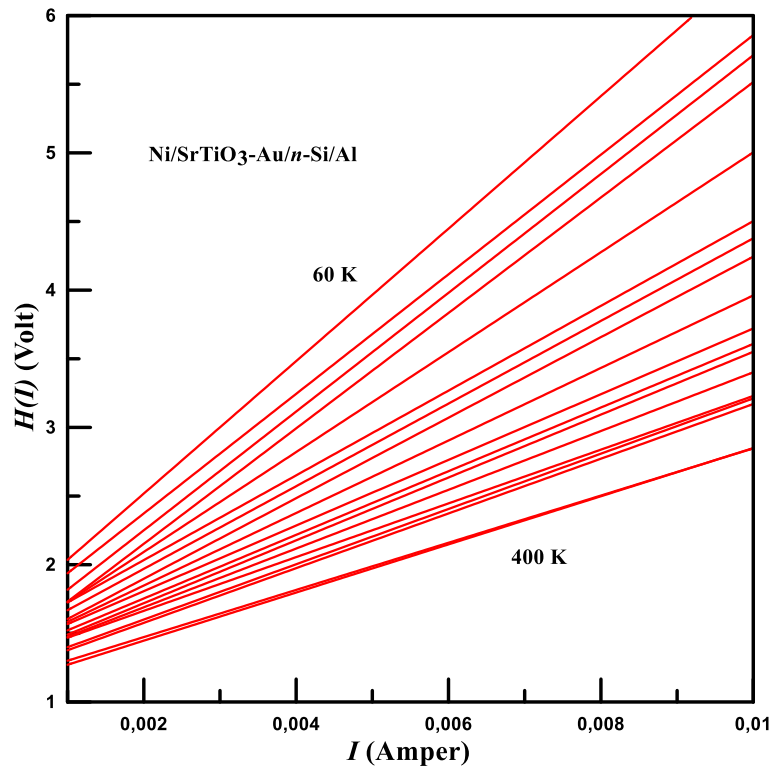
Sıcaklık (K)	<i>I</i> - <i>V</i>		<i>dV/d(lnI)</i> - <i>I</i>		<i>H(I)</i> - <i>I</i>	
	<i>n</i>	Φ_b (eV)	<i>N</i>	<i>R_s</i> (Ω)	Φ_b (eV)	<i>R_s</i> (Ω)
80	2,37	0,27	5,07	604	0,28	636
100	1,74	0,33	4,52	558	0,30	613
120	1,60	0,36	3,57	507	0,38	545
140	1,52	0,40	3,48	479	0,39	497
160	1,44	0,43	3,26	457	0,40	470
180	1,41	0,46	3,22	439	0,41	430
200	1,35	0,49	3,13	432	0,42	400
220	1,32	0,52	3,06	423	0,43	387
240	1,29	0,55	3,00	419	0,44	377
260	1,27	0,58	2,85	414	0,46	370
280	1,20	0,61	2,77	411	0,47	352
300	1,19	0,64	2,36	409	0,56	347
320	1,14	0,67	2,28	405	0,57	342
340	1,10	0,70	2,25	400	0,58	320
360	1,09	0,74	2,22	397	0,59	308
380	1,01	0,77	2,20	395	0,60	284
400	1,02	0,80	2,14	390	0,61	282

Çizelge 4.6’da Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminin 80–400 K aralığında elde edilen elektriksel parametreleri görülmektedir. *dV/d(lnI)*-*I* grafiğinden elde edilen idealite faktörü 2,14 ile 5,07 (400-80 K) arasında olurken, seri direnç değerleri 390 Ω ile 604 Ω (400-80 K) arasında sıcaklıkla ters orantılı olarak artmıştır. *H(I)*-*I* grafiğinden elde edilen engel yüksekliği 0,28 eV ile 0,61 eV(400-80 K) arasında sıcaklıkla doğru orantılı değişirken, seri direnç değeri 282 Ω ile 636 Ω (400-80 K) arasında sıcaklıkla ters orantılı olarak artmıştır.

Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı Cheung fonksiyonlarından elde edilen grafikleri Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da, bu grafiklerden elde edilen idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri de Çizelge 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.25. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $dV/d(\ln I)$ - I grafikleri



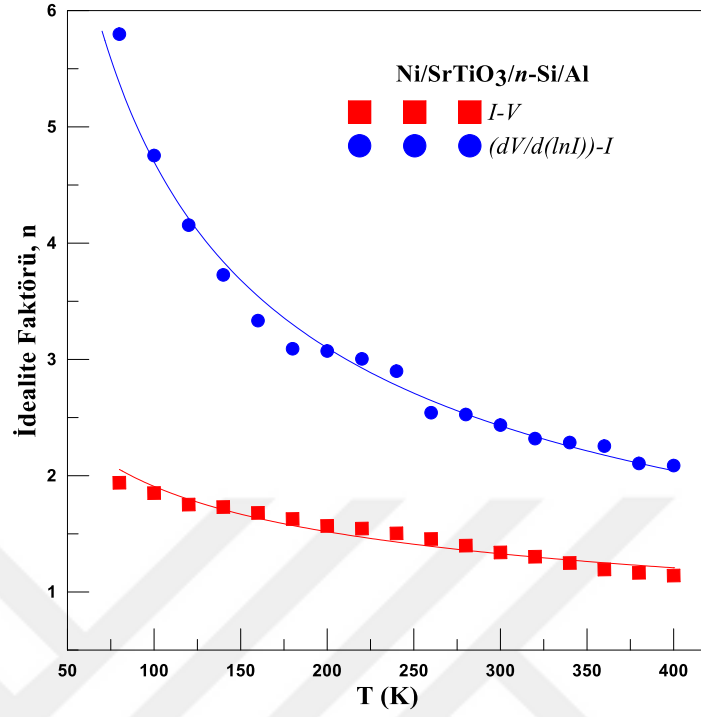
Şekil 4.26. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $H(I)$ - I grafikleri

Çizelge 4.7. Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı *I*-*V* grafiklerinden geleneksel metot ve Cheung fonksiyonlarından elde edilen temel parametreler

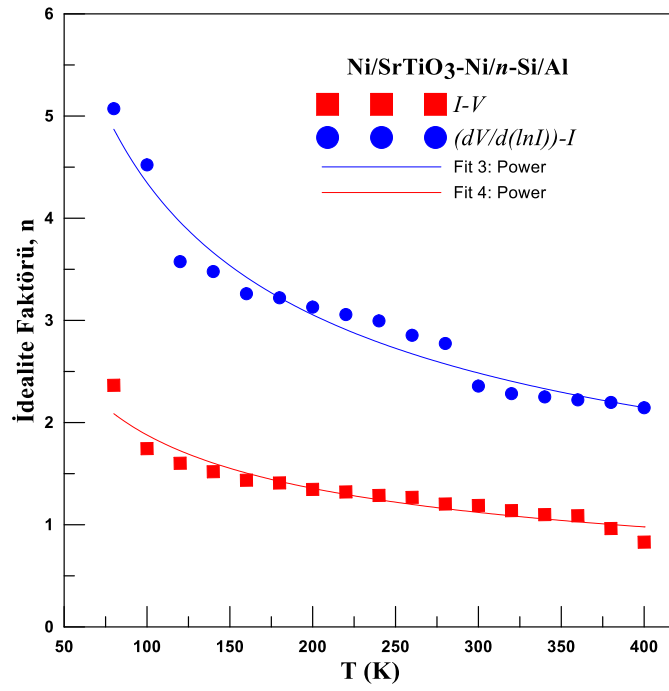
Sıcaklık (K)	<i>I</i> - <i>V</i>		<i>dV/d(lnI)</i> - <i>I</i>		<i>H(I)</i> - <i>I</i>	
	<i>n</i>	Φ_b (eV)	<i>N</i>	<i>R_s</i> (Ω)	Φ_b (eV)	<i>R_s</i> (Ω)
60	2,59	0,21	5,02	498	0,31	483
80	2,07	0,26	4,49	447	0,33	436
100	1,86	0,31	3,94	421	0,35	433
120	1,62	0,35	3,67	398	0,36	420
140	1,46	0,39	3,64	372	0,37	364
160	1,38	0,43	3,61	350	0,39	309
180	1,29	0,46	3,35	323	0,41	301
200	1,25	0,50	3,07	306	0,43	293
220	1,23	0,53	2,90	291	0,45	247
240	1,19	0,56	2,85	279	0,46	239
260	1,18	0,59	2,68	267	0,48	232
280	1,14	0,62	2,57	260	0,49	229
300	1,12	0,65	2,50	256	0,50	214
320	1,10	0,68	2,47	245	0,51	196
340	1,06	0,71	2,32	228	0,52	201
360	1,06	0,74	2,22	225	0,53	199
380	1,03	0,76	2,11	190	0,54	172
400	1,00	0,79	2,03	188	0,54	175

Çizelge 4.7’de Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin 60 – 400 K aralığında elde edilen elektriksel parametreleri görülmektedir. *dV/d(lnI)*-*I* grafiğinden elde edilen idealite faktörü 2,03 ile 5,02 (400-60 K) arasında olurken, seri direnç değerleri 188 Ω ile 498 Ω (400-60 K) arasında sıcaklıkla ters orantılı olarak artmıştır. *H(I)*-*I* grafiğinden elde edilen engel yüksekliği 0,31 eV ile 0,54 eV (400-60 K) arasında sıcaklıkla doğru orantılı değişirken, seri direnç değeri 175 Ω ile 483 Ω (400-60 K) arasında sıcaklıkla ters orantılı olarak artmıştır.

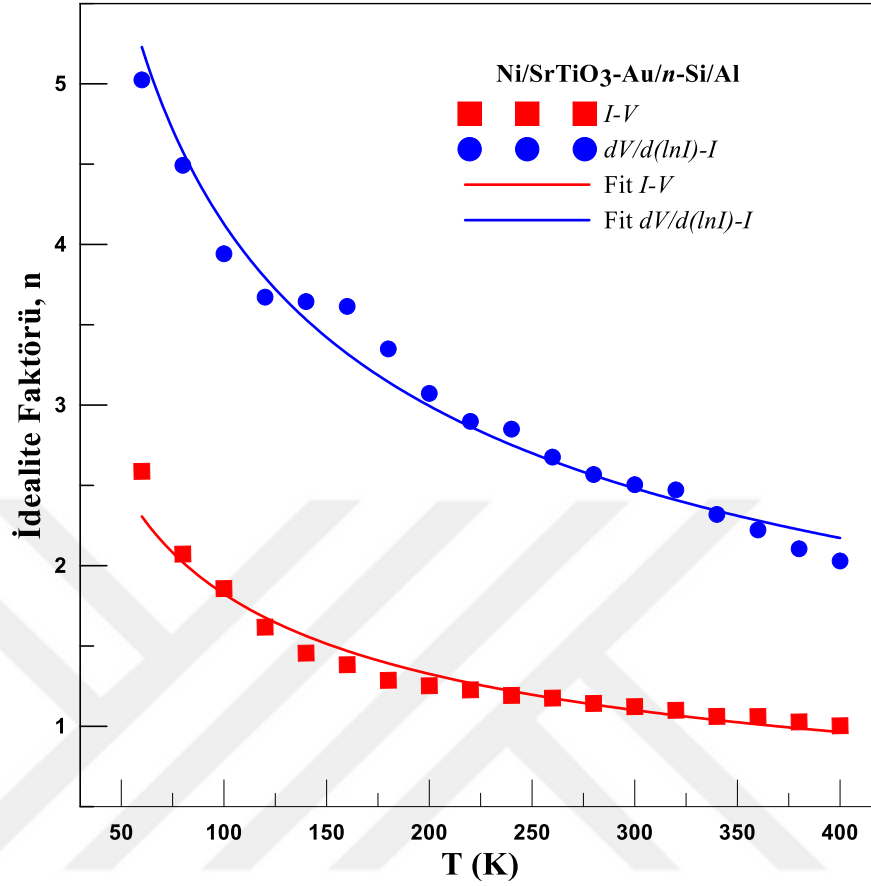
Geleneksel metotla hesaplanan sıcaklığa bağlı idealite faktörü ve engel yüksekliği değerlerindeki değişimler benzerlik göstermektedir. Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörleri ile geleneksel metotla hesaplanan idealite faktörleri arasındaki ilişki görülmektedir. Her üç grafikte de Cheung metoduyla hesaplanan değerler, geleneksel metotla hesaplanan değerlerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni seri direnç etkisi, arayüzey halleri ya da arayüzey tabakasındaki gerilim farkı olabilir (Turutet *al.* 1995; Kumar *et al.* 2009; Reddy *et al.* 2014). Buna ek olarak, hesaplamadaki farklılıklar gösterilebilir. Yani, TE *I*-*V* grafiğinin lineer bölgesindeki tüm verileri hesaba katarken, Cheung yaklaşımı sadece seri direnç etkisinin görüldüğü lineer olmayan bölgedeki verileri hesaba katar.



Şekil 4.27. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri



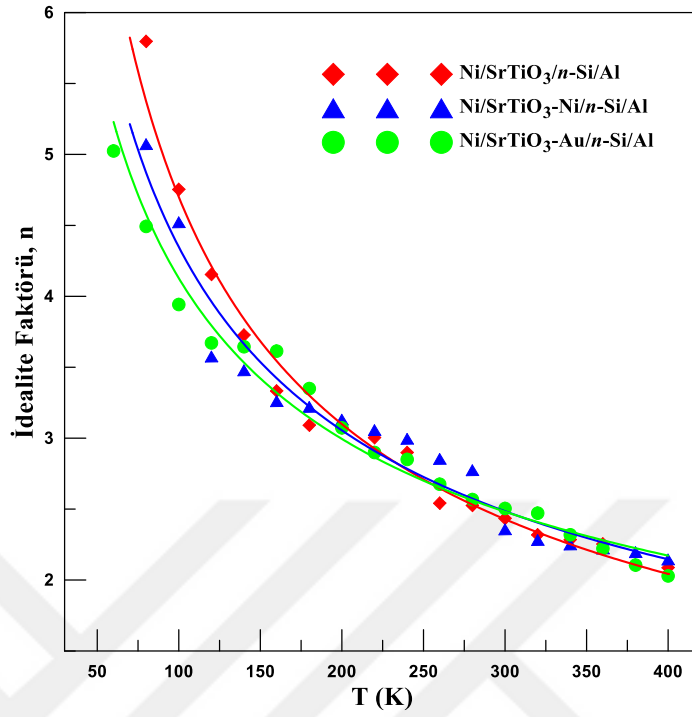
Şekil 4.28. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri



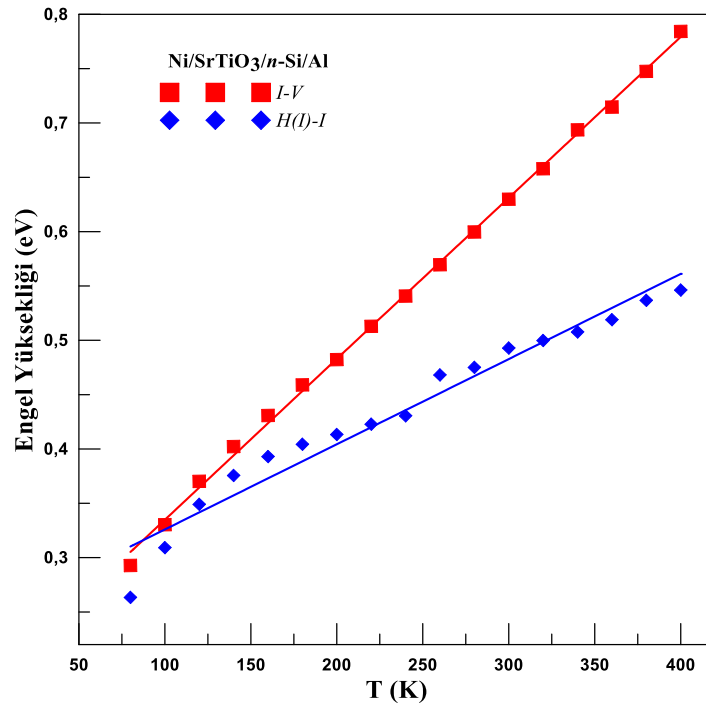
Şekil 4.29. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri Şekil 4.30’da görülmektedir.

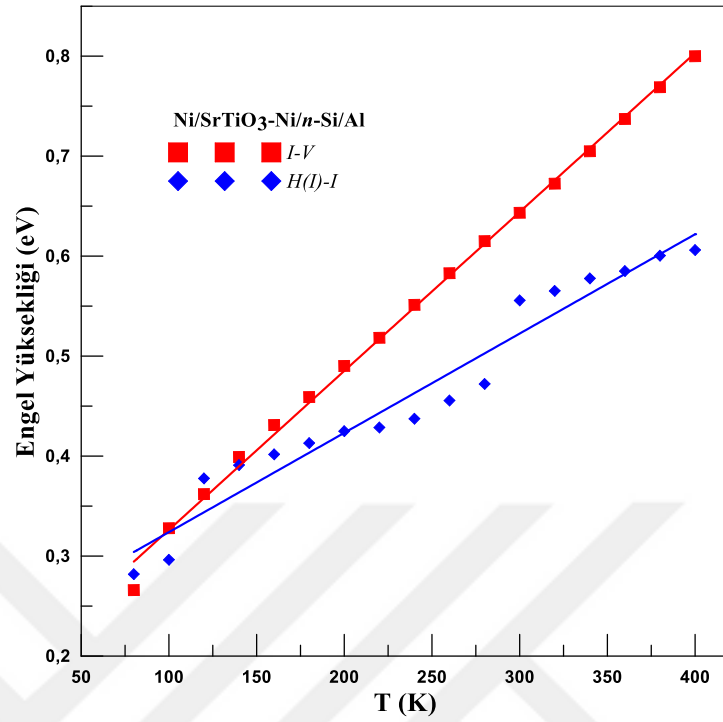
Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerleri ile geleneksel metotla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Her üç grafikte de Cheung metoduyla hesaplanan değerlerin sıcaklığa tepkisi geleneksel metotla hesaplanan değerler ile benzerlik göstermektedir. Düşük sıcaklıklarda engel yüksekliği değerlerindeki yaklaşıma heteroarayüzeyindeki boşluklara atfedilebilir (Ejderha *et al.* 2009; Master *et al.* 2013; Niranjan 2016).



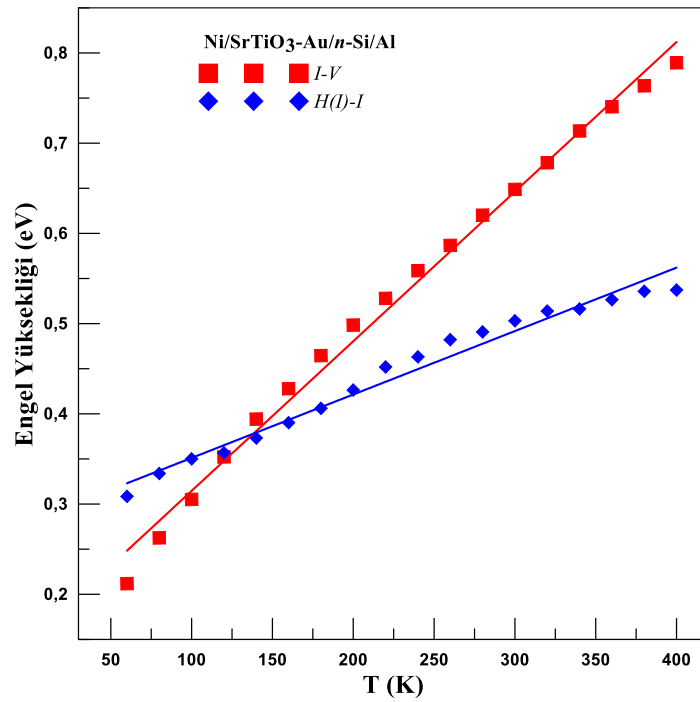
Şekil 4.30. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan idealite faktörü değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri



Şekil 4.31. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri

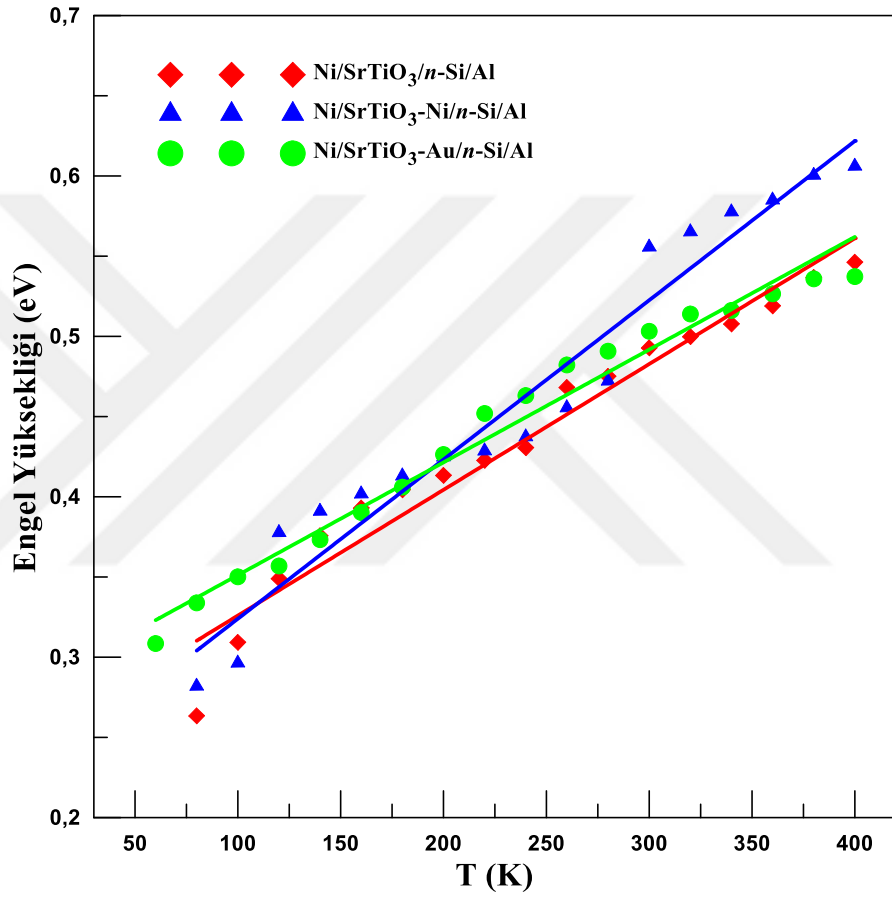


Şekil 4.32. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri



Şekil 4.33. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin geleneksel metot ve Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri

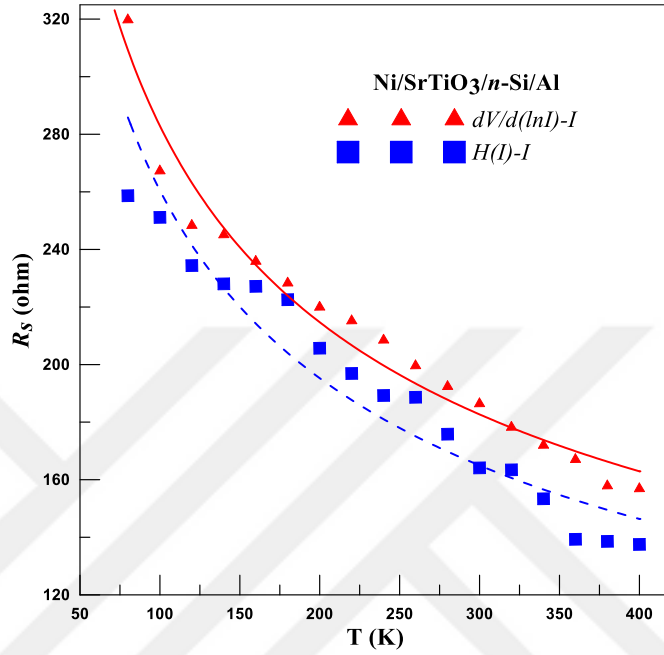
Şekil 4.34'te $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$, $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ ve $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri görülmektedir.



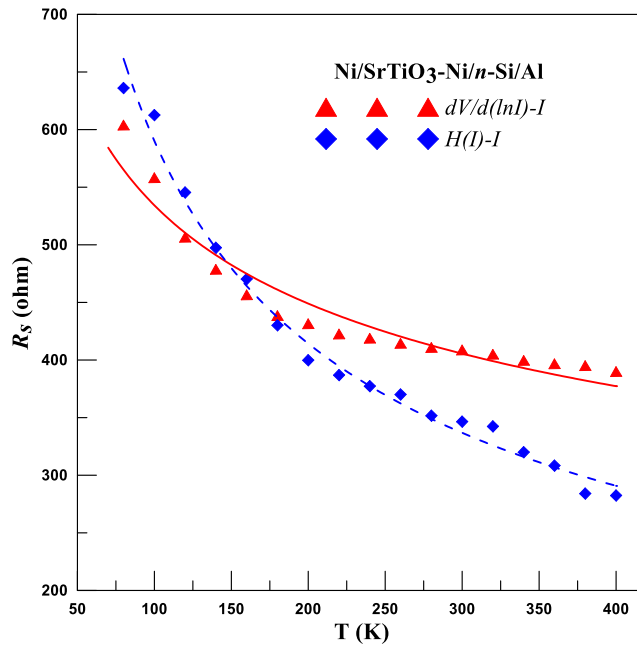
Şekil 4.34. $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$, $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ ve $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri

Şekil 4.35'te $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin Şekil 4.36'da $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin ve Şekil 4.37'de $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin seri direnç değerlerinin sıcaklığa bağlı grafikleri görülmektedir. Grafikler incelendiğinde $dV/d(\ln I)$ - I grafiklerinden elde edilen değerlerin $H(I)$ - I grafiğinden elde edilen değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir. Sıcaklık arttıkça aygıttan daha fazla akım geçtiği için seri direnç değeri yüksek sıcaklıklarda düşmektedir. Seri direnç değerinin sıcaklıkla ters orantılı

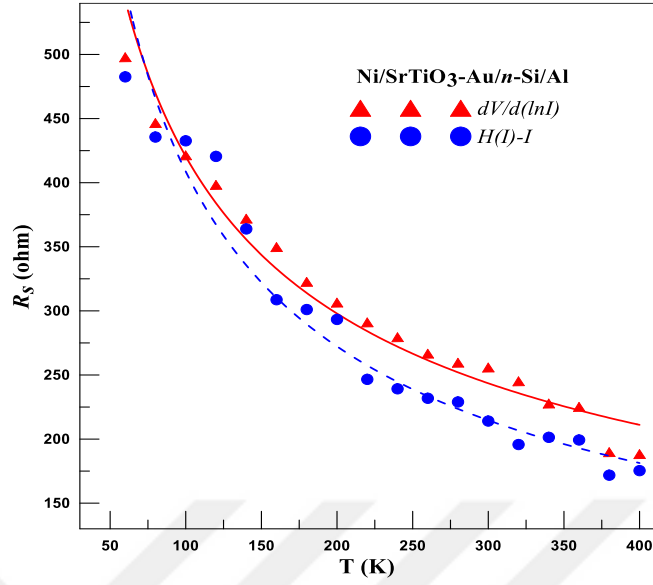
olması iyonizasyonla ve serbest taşıyıcı yoğunluğunun artmasıyla açıklanabilir (Soylu 2007; Doğan *et al.* 2009; Reddy and Reddy 2012; Deniz *et al.* 2014).



Şekil 4.35. $\text{Ni/SrTiO}_3/\text{n-Si/Al}$ heteroekleminin Cheung fonksiyonlarıyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri

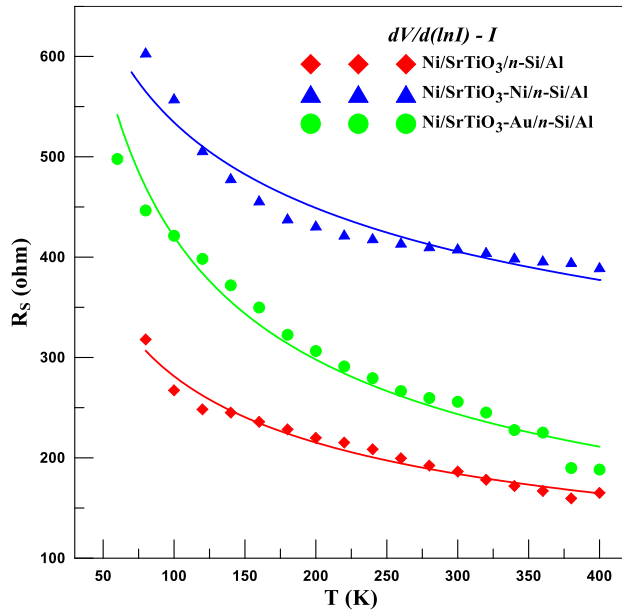


Şekil 4.36. $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni/n-Si/Al}$ heteroekleminin Cheung fonksiyonlarıyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri

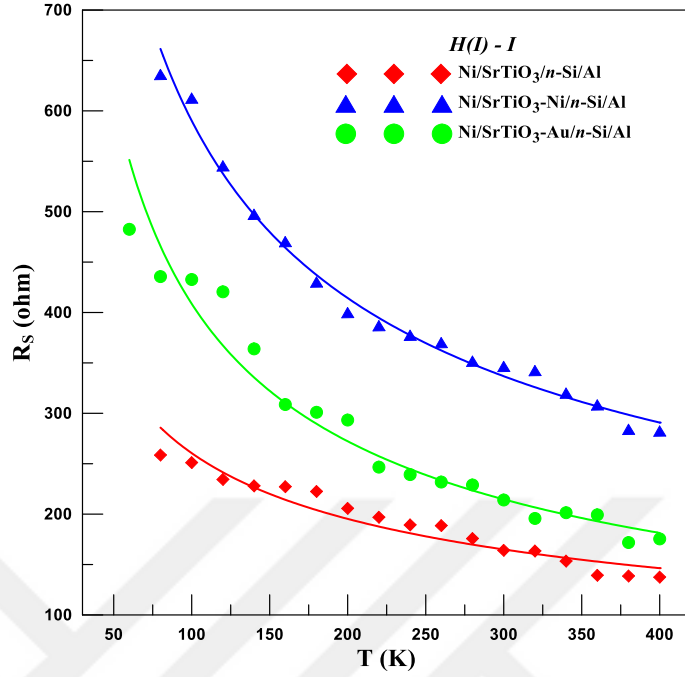


Şekil 4.37. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin Cheung fonksiyonlarıyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri

Sırasıyla 4.38’de ve Şekil 4.39’da Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin birinci ve ikinci Cheung denklemleriyle hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.38. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri



Şekil 4.39. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Cheung metoduyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri

Engel yüksekliği hesaplamalarında ortaya çıkan standart sapmayı ve $V=0$ 'daki ortalama engel yüksekliğini bulmak için kullanılan tekli Gauss denklemi;

$$\Phi_b = \Phi_{b1} - \frac{q\sigma_1^2}{2kT} \quad (4.1)$$

şeklindedir.

Bu denkleme göre engel yüksekliği Φ_b 'nin $1/T$ 'ye ya da $q/2kT$ 'ye karşı grafiğinin eğimi standart sapmayı (σ_i) ve düşey eksenini kesen nokta ise $V=0$ 'da Φ_b ortalama engel yüksekliğini verir. Standart sapma (σ_i) değeri dağılımın büyüklüğünü belirlerken aynı zamanda kontakta meydana gelen engel homojensizlikleri hakkında da bilgi vermektedir. Eğer σ_i ve Φ_b değerleri küçük ise homojensizlikleri fazla etkili değildir. Fakat bu değerler büyük çıkarsa istenmeyen sapmaların meydana gelmesine yol açarlar (Reddy *et al.* 2014; Rao *et al.* 2014).

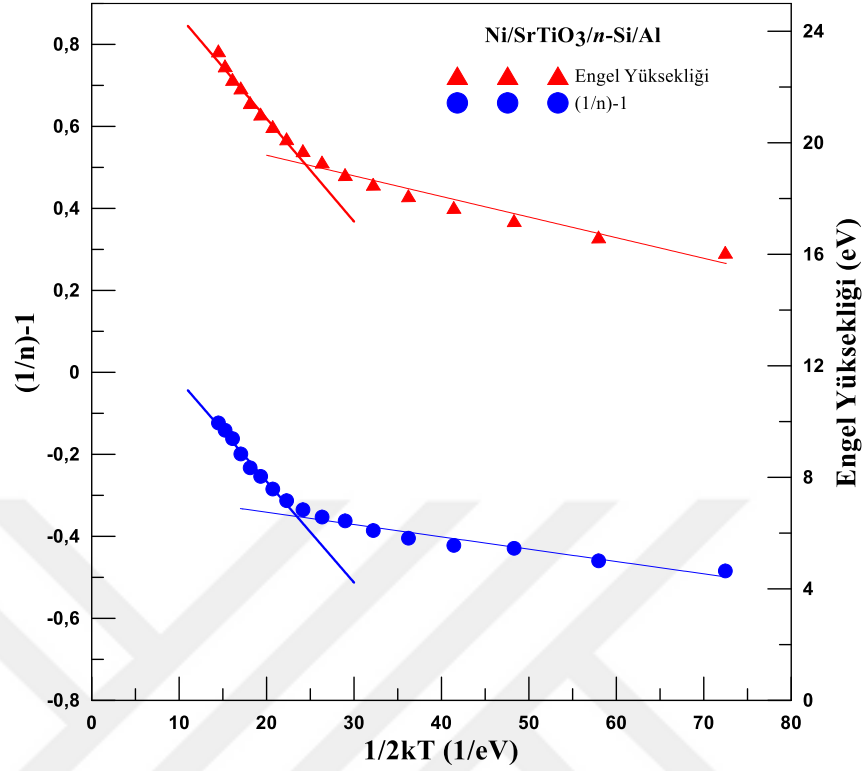
İdealite faktörünün voltaj katsayılarını ve Gauss dağılımlarını bulmak için tekli Gauss denklemi(Pakma 2008; Ejderha *et al.* 2010);

$$\left(\frac{1}{n_{ap}} - 1 \right) = -\rho_2 + \frac{e\rho_3}{2kT} \quad (4.2)$$

kullanılır. Bu denklem Werner ve Güttler eşitliği (Werner and Güttler 1991) kullanılarak elde edilir. Denklemdaki $(1/n)-1$ 'in $1/T$ 'ye ya da $q/2kT$ 'ye karşı olan değişiminden elde edilen eğim ρ_3 voltaj katsayısını, düşey eksen kestiği nokta ise ρ_2 voltaj katsayısını verir. Kontaktaki homojensizlikler fazla ise ρ_2 ve ρ_3 değerleri küçük çıkar.

(4.2) denklemindeki ρ_2 ifadesi idealite faktörünün $V=0$ 'daki matematiksel olarak tersini verirken, ρ_3 ifadesi de idealite faktörü dağılımının standart sapmasını verir. Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42 grafikleri sırasıyla Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroyapılarının engel yüksekliklerinin $1/2kT$ 'ye karşı çizilen grafikleridir. Şekiller incelendiğinde tek bir lineer çizginin olmadığı görülmektedir. Şekil 4.40'da 240 K sıcaklığında, Şekil 4.41'de 220 K sıcaklığında, Şekil 4.42'de ise 180 K sıcaklığında kesişen iki farklı lineer çizgi bulunmaktadır. Heteroeklem arayüzeyinde oluşan engelin çift Gauss dağılımına uygun davrandığı anlaşılmaktadır (Korkut *et al.* 2008; Soylu and Abay 2009; Gülnahar and Efeoğlu 2009; Yıldırım *et al.* 2010; Nawawi *et al.* 2013).

Standart sapma değeri engelin ne kadar homojen olduğunu gösterir. Standart sapmanın büyük çıkması engelin fazla homojen olmadığını gösterir. Daha önce de belirttiğimiz gibi idealite faktörü sıcaklık arttıkça azalır. Sıcaklık düştükçe idealite faktöründeki artış çok yakın değerlerle olmaktadır. Bu yüzden idealite faktörünün tersi de birbirine yakın değerlerle yavaş yavaş azalır. Bu yüzden engel yüksekliğine benzer şekilde idealite faktörünün tersinin $1/2kT$ 'ye karşı çizilen grafiği de ikili Gauss yasasına uyum gösterir (Çınar *et al.* 2014; Reddy *et al.* 2014).

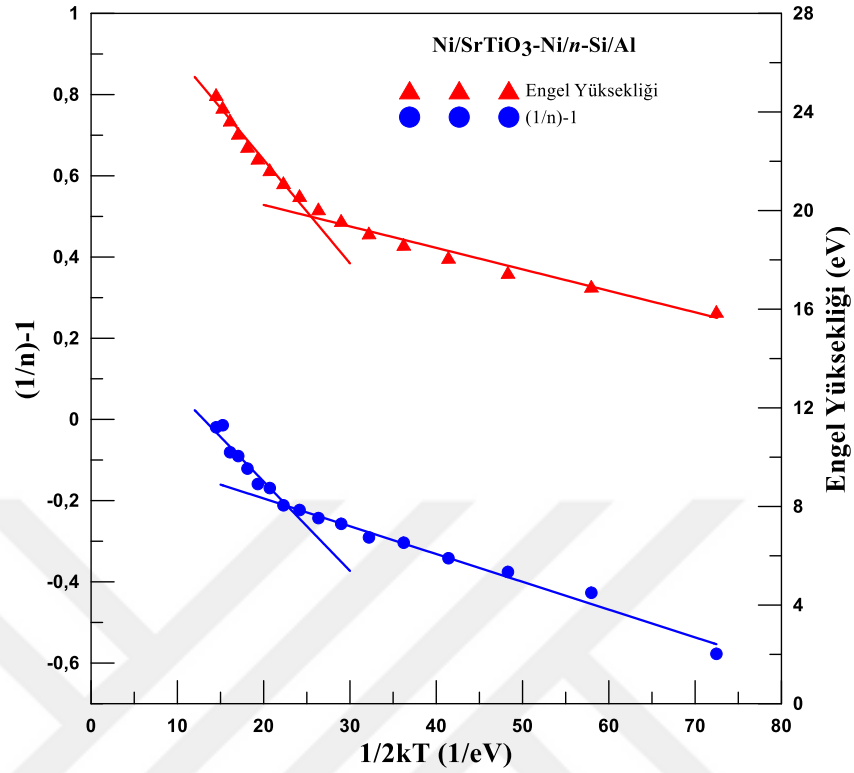


Şekil 4.40. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin [(1/n)-1] ve engel yüksekliğinin 1/2kT'ye karşı değişim grafikleri

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroeklemi için Şekil 4.40'daki gibi iki ayrı lineer fit yapılarak çizildiğinde 80 K ile 240 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,42 eV, standart sapması -0,005 V olurken; 240 K ile 400 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,65 eV, standart sapması 0,025 V olmaktadır.

Şekil 4.40'da hesaplanan standart sapma değerleri, ortalama engel yüksekliği ile karşılaştırıldığında büyük değerler olduğu görülüyor. Buna göre Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin ara yüzeyindeki homojensizlikler fazladır ve potansiyel değişimleri I-V grafiğinin düşük sıcaklıklardaki ölçümlerini etkilemektedir (Reddy *et al.*2013).

Şekil 4.40'da [(1/n)-1]'in 1/2kT'ye karşı grafiklerinden 80 K ile 240 K arasındaki voltaj katsayıları $\rho_2 = -0,003$, $\rho_3 = -0,281$ V; 240 K ile 400 K arasında $\rho_2 = -0,024$, $\rho_3 = -0,227$ V olarak hesaplanmıştır.

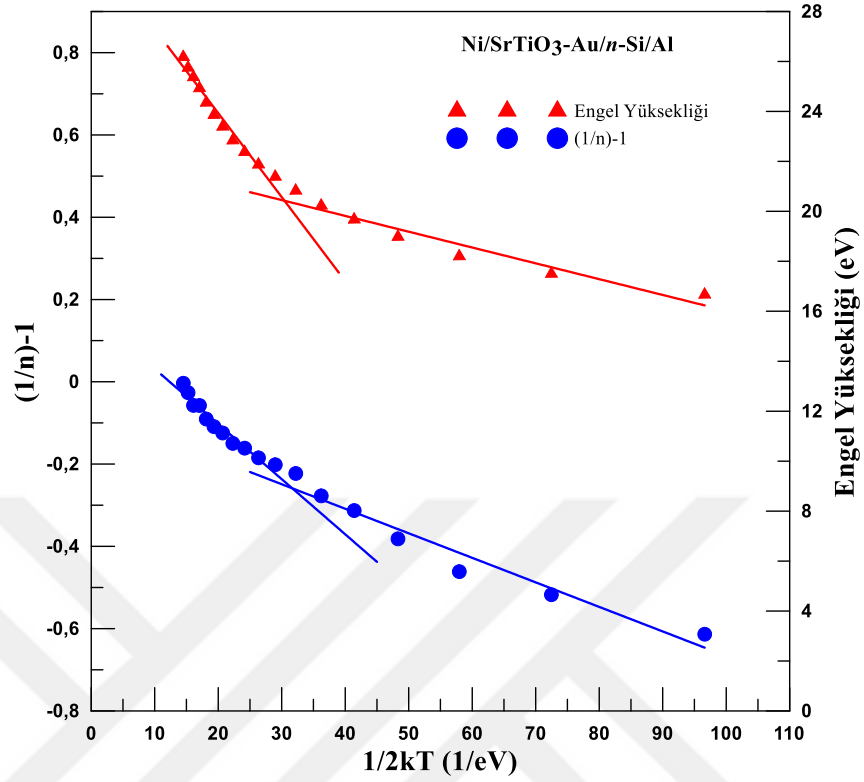


Şekil 4.41. Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminin [(1/*n*)-1] ve engel yüksekliğinin 1/2*kT*'ye karşı değişim grafikleri

Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroeklemi için Şekil 4.41'de ki gibi iki ayrı lineer fit yapılarak çizildiğinde 80 K ile 220 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,40 eV, standart sapması 0,0052 V olurken; 220 K ile 400 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,67 eV, standart sapması 0,025 V olmaktadır.

Şekil 4.41'da hesaplanan standart sapma değerlerinin de büyük olması Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminin ara yüzeyindeki homojensizliklerin fazla olduğunu gösterir.

Şekil 4.41'de [(1/*n*)-1]'in 1/2*kT*'ye karşı grafiklerinden 80 K ile 220 K arasındaki voltaj katsayıları $\rho_2 = -0,057$, $\rho_3 = -0,0068$ V; 220 K ile 400 K arasında $\rho_2 = 0,287$, $\rho_3 = -0,021$ V olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.42. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin $[(1/n)-1]$ ve engel yüksekliğinin $1/2kT$ 'ye karşı değişim grafikleri

Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemi için Şekil 4.42'deki gibi iki ayrı lineer fit yapılarak çizildiğinde 60 K ile 180 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,34 eV, standart sapması -0,0038 olurken; 180 K ile 400 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,65 eV, standart sapması 0,02 olmaktadır.

Şekil 4.42'de hesaplanan standart sapma değerlerinin de büyük olması Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin ara yüzeyindeki homojensizliklerin fazla olduğunu gösterir.

Şekil 4.42'de $[(1/n)-1]$ 'in $1/2kT$ 'ye karşı grafiklerinden 60 K ile 180 K arasındaki voltaj katsayıları $\rho_2 = -0,070$, $\rho_3 = -0,0059$ V; 180 K ile 400 K arasında $\rho_2 = 0,165$, $\rho_3 = -0,013$ V olarak hesaplanmıştır.

Kontak yapılarının özellikle düşük sıcaklıklarda elektriksel özelliklerde meydana gelen anormallikler arayüzeylerdeki homojensizlikler ile açıklanır. Engel yüksekliğindeki

homojensizlik etkisi araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur (Durmuş and Yıldırım 2014; Deniz *et al.* 2014; Lin and Lin 2014). Engel yüksekliğinin hesaplanmasındaki önemli parametrelerden biri olan Richardson sabitinin doğruluğu önemlidir. TE teorisine uyan kontağın idealite faktörü 1 ya da 1'e yakın değerlere sahip olmalıdır. Engelde oluşan homojensizlikler, sıcaklık azaldıkça engel yüksekliğinin düşmesine, idealite faktörü değerinin yükselmesine ve $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $(1/T)$ 'ye karşı grafiğinde ideal davranışının aksine lineer olmayan bir grafik çizilmesine neden olur. Grafikte meydana gelen sapmalar elektron hareketinin sadece düşük engellerde oluşmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü elektronlar sadece düşük engelleri aşabilecek enerjiye sahiptirler (Kumar *et al.* 2009; Korucu and Turut 2014).

Literatürdeki değiştirilmiş Richardson denklemi;

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{e\varphi_{ap}}{kT}\right) \quad (4.3)$$

ile verilir.

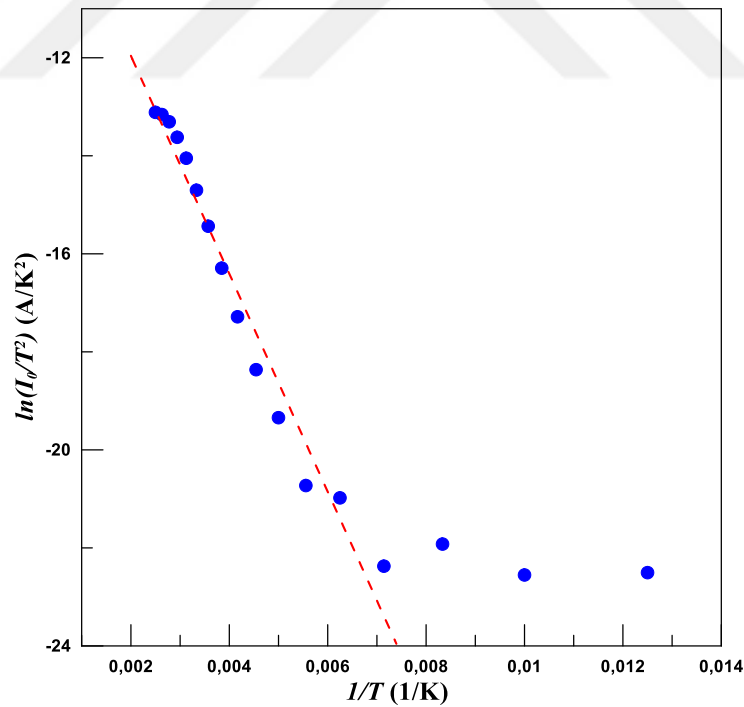
$$\varphi_{ap} = \bar{\varphi}_b - \frac{e\sigma_0^2}{2kT} \quad (4.4)$$

(4.3) ve (4.4) denklemlerinin birleştirilmesinden

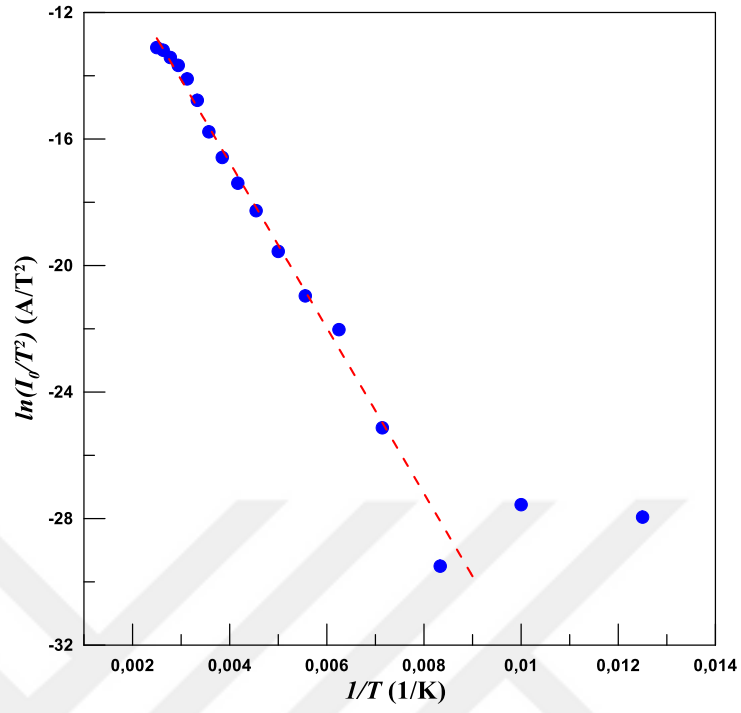
$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - \left(\frac{e^2\sigma_0^2}{2kT^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{e\bar{\varphi}_b}{kT} \quad (4.5)$$

denklemleri elde edilir.

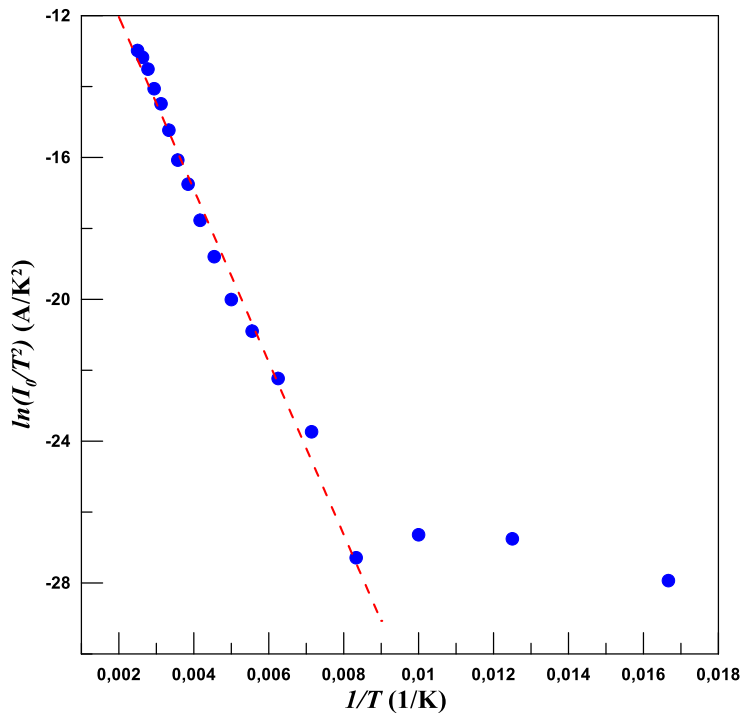
Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te sırasıyla Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $(1/T)$ 'ye karşı çizilen geliştirilmiş Richardson grafikleri görülmektedir. Grafiklerde çizilen fitlerin eğimi ve (4.5) denklemi kullanılarak Richardson sabiti değerleri Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroeklemi için $A^*=51 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroeklemi için $A^*=27 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$ ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemi için $A^*=16 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$ olarak hesaplandı. Aygıtlarımızdaki n-Si için teorik olarak hesaplanan $A^*=112 \text{ A/K}^2\text{cm}^2$ değeri, hesaplamalar sonucunda elde edilen değerlerden oldukça büyüktür. Bunun nedeni heteroeklemdeki homojensizlikler olabilir (Aydoğan 2003; Dökme and Altındal 2006; Omotoso *et al.* 2015). Bu durum metal-yarıiletken arayüzeydeki potansiyel dalgalanmalarının neden olduğu homojen olmayan engel yüksekliği ile açıklanabilir (Karataş *et al.* 2003; Durmuş and Yıldırım 2014; Doğan and Elagöz 2014).



Şekil 4.43. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $1/T$ 'ye karşı çizilen Richardson grafiği



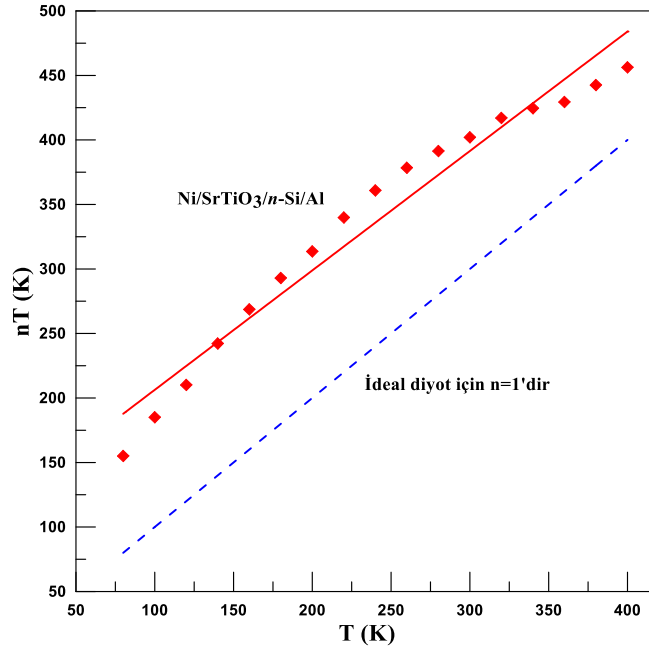
Şekil 4.44. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $1/T$ 'ye karşı çizilen Richardson grafiği



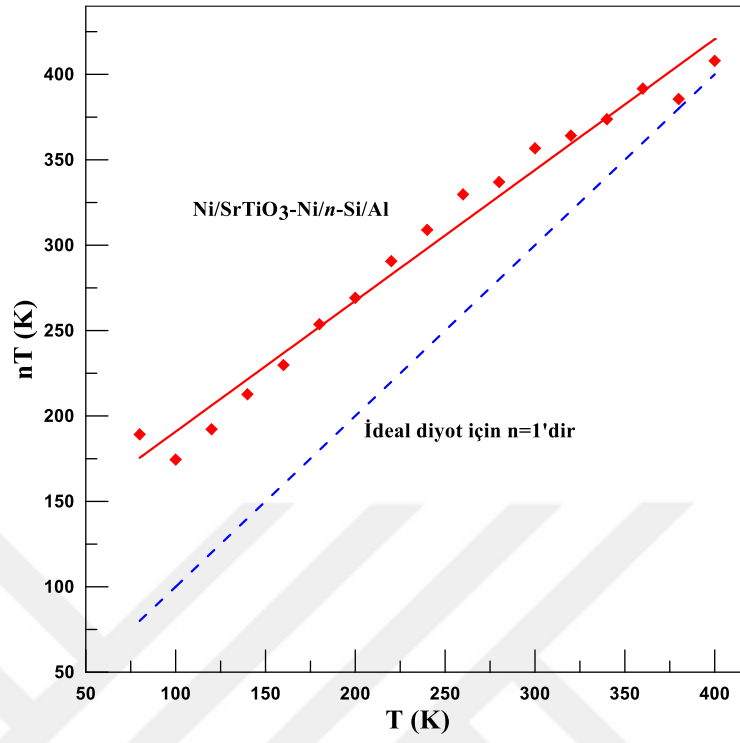
Şekil 4.45. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $1/T$ 'ye karşı çizilen Richardson grafiği

İdealite faktörünün yüksek çıkması TE teorisinden sapma olduğu anlamına gelir. Sıcaklık azaldıkça idealite faktörünün artmasına “ T_0 etkisi” denir. $nT/q = (T + T_0)/q$ ve T/q ifadelerinden alınan sonuçlar Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de görülmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi idealite faktörü sıcaklık arttıkça ideal değeri olan $n=1$ ’e yaklaşmaktadır. Bunu $n=1+(T_0/T)$ eşitliğiyle açıklayabiliriz. Buradaki T_0 sıcaklığa bağlı bir sabittir (Altuntaş *et al.* 2009; Doğan *et al.* 2009; Harrabi *et al.* 2010; Metin *et al.* 2014). İdealite faktörünün sıcaklıkla değişmesinin nedeni homojensizliklerden, taşıyıcı tünellemesinden ve engel azalmasından kaynaklanıyor olabileceği gibi arayüzey hal yoğunluğu da olabilir (Ahaitouf *et al.* 2012; Gülnahar 2014; Hamdaoui *et al.* 2014; Ouennoughi *et al.* 2015).

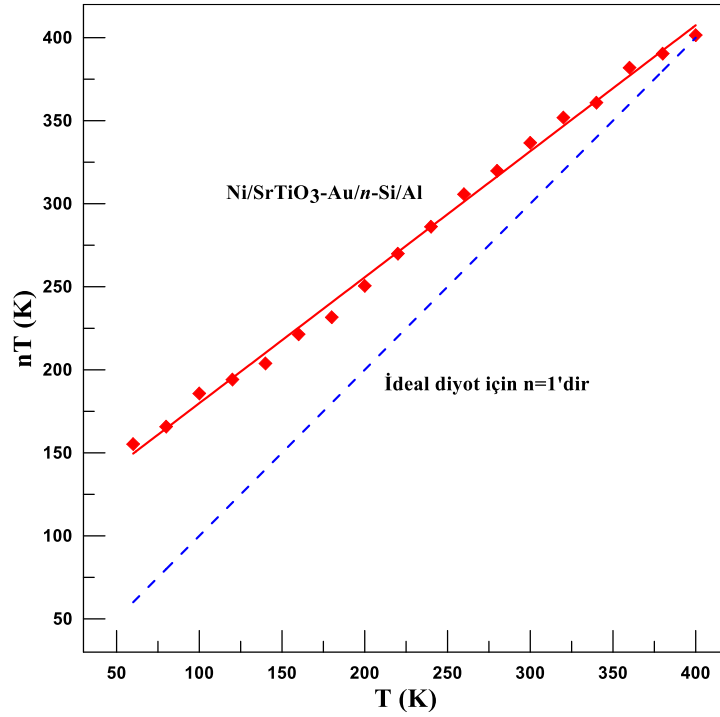
Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroeklemi için 113,7 K, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroeklemi için 114,2 K ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemi için 104 K değerlerinde lineerlikten uzaklaşmaktadır. Bunu sonucu olarak idealite faktörü artmaktadır. Sıcaklık düştüğü zaman engel yüksekliğinin düşmesinin nedeni akımın düşük engeller üzerinden akmasıdır. Böylece idealite faktörü T_0 etkisinden daha fazla artacaktır.



Şekil 4.46. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin T_0 anomalisini gösteren T 'nin bir fonksiyonu olarak nT grafiği



Şekil 4.47. $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin T_0 anomalisini gösteren T 'nin bir fonksiyonu olarak nT grafiği



Şekil 4.48. $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin T_0 anomalisini gösteren T 'nin bir fonksiyonu olarak nT grafiği

4.7. Heteroeklemlerin I - V (Akım-Voltaj) Ölçümlerinde Norde Fonksiyonlarının Kullanılması

Seri direnç ve engel yüksekliğinin hesaplanması için Norde fonksiyonu türetilmiştir (Norde 1979). Bu fonksiyona göre idealite faktörü değerinin 1 olduğu durumda kontakta meydana gelen seri direnç ve engel yüksekliği $F(V)$ fonksiyonuyla (4.6) tanımlanmıştır. Bu fonksiyon;

$$F(V) = \frac{V}{\gamma} - \left(\frac{kT}{2} \right) \ln \left(\frac{I(V)}{AA^*T^2} \right) \quad (4.6)$$

şeklinde dir. Fonksiyondaki $I(V)$ ifadesi I - V grafiğinden bulunan akım değerini belirtirken, γ ifadesi ise idealite faktöründen büyük bir tam sayıdır. F 'nin V 'ye karşı grafiği çizildikten sonra $F(V)$ 'nin en küçük değeri bulunur. Bu değer kullanılarak (4.7) denklemi yardımıyla engel yüksekliği bulunur.

$$\phi_b = F(V_0) + \frac{V_0}{\gamma} - \frac{kT}{q} \quad (4.7)$$

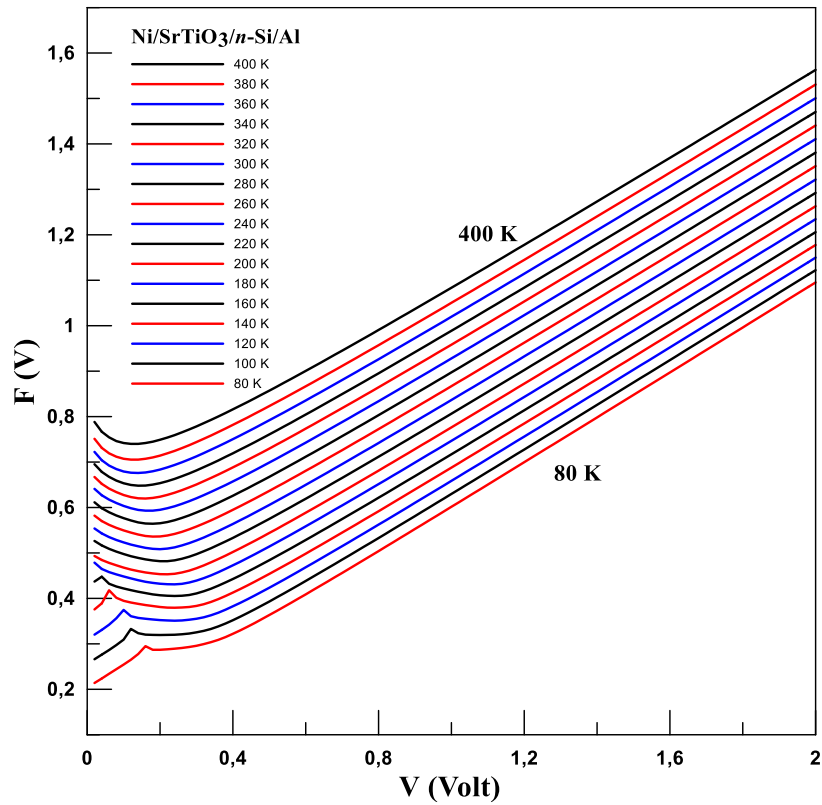
Buradaki $F(V_0)$, $F(V)$ 'nin en küçük değerini; (V_0) ise en küçük gerilim değerini verir. (4.8) fonksiyonuyla da seri direnç bulunur (Güllü *et al.* 2010; Aydoğan and Turut 2011; Yang *et al.* 2010; Zang *et al.* 2012; Özmen 2014).

$$R_s = \frac{kT(\gamma - n)}{qI_o} \quad (4.8)$$

Ni/SrTiO₃/ n -Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/ n -Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/ n -Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı $F(V)$ - V grafikleri Şekil 4.49, Şekil 4.50 ve Şekil 4.51'de görüldüğü gibi sıcaklıkla oldukça uyumlu değişmiştir. Bu heteroeklemlerin Norde fonksiyonlarıyla hesaplanan sıcaklığa bağlı engel yüksekliği ve seri direnç değerleri Çizelge 4.8, Çizelge

4.9 ve Çizelge 4.10’da görülmektedir. Çizelge 4.8’de Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin 80 K ile 400 K arasındaki engel yüksekliği 0,43 eV ile 0,78 eV arasında artarken, seri direnç ise 320 Ω ile 57 Ω arasında azalmaktadır. Çizelge 4.9’de Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin 80 K ile 400 K arasındaki engel yüksekliği 0,41 eV ile 0,79 eV arasında artarken, seri direnç ise 5403 Ω ile 176 Ω arasında azalmaktadır. Çizelge 4.10’de Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin 60 K ile 400 K arasındaki engel yüksekliği 0,37 eV ile 0,77 eV arasında artarken, seri direnç ise 4635 Ω ile 109 Ω arasında azalmaktadır.

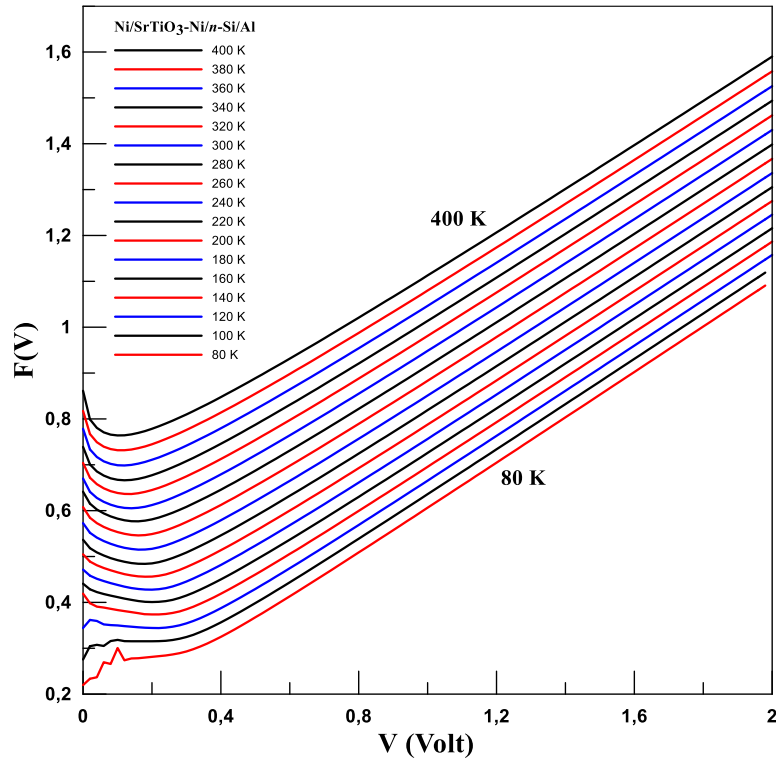
Yüksek seri direnç ve yüksek idealite faktörü etkisi gözönüne alındığında Norde fonksiyonları alternatif bir yöntem ortaya koymuştur. Norde metodu ile yapılan hesaplamalar, Cheung metodu ile yapılan hesaplamalar ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu durum muhtemelen ideal heteroeklemlerdeki parametre değerlerinden fazla uzaklaşmadığını göstermektedir (Prokopyev and Mesheryakov 2003).



Şekil 4.49. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $F(V)$ – V grafikleri

Çizelge 4.8. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminde Norde fonksiyonları kullanılarak elde edilen temel parametreler

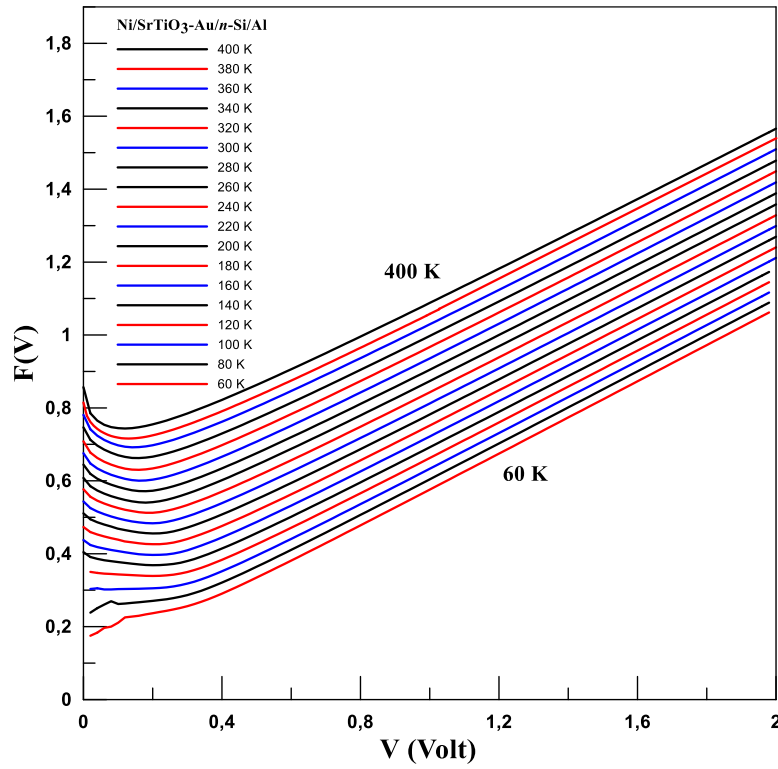
Sıcaklık (K)	Φ_b (eV)	R_s (Ω)
80	0,43	320
100	0,45	234
120	0,48	176
140	0,50	184
160	0,51	190
180	0,54	101
200	0,55	92
220	0,57	66
240	0,59	75
260	0,60	89
280	0,63	71
300	0,66	60
320	0,67	67
340	0,69	79
360	0,71	66
380	0,74	57
400	0,78	57



Şekil 4.50. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $F(V)$ - V grafikleri

Çizelge 4.9. Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminde Norde fonksiyonları kullanılarak elde edilen temel parametreler

Sıcaklık (K)	Φ_b (eV)	R_s (Ω)
80	0,41	5403
100	0,42	5571
120	0,44	2134
140	0,47	1034
160	0,50	503
180	0,51	473
200	0,54	297
220	0,55	312
240	0,58	241
260	0,60	292
280	0,63	238
300	0,65	253
320	0,68	214
340	0,70	247
360	0,73	211
380	0,76	202
400	0,79	176



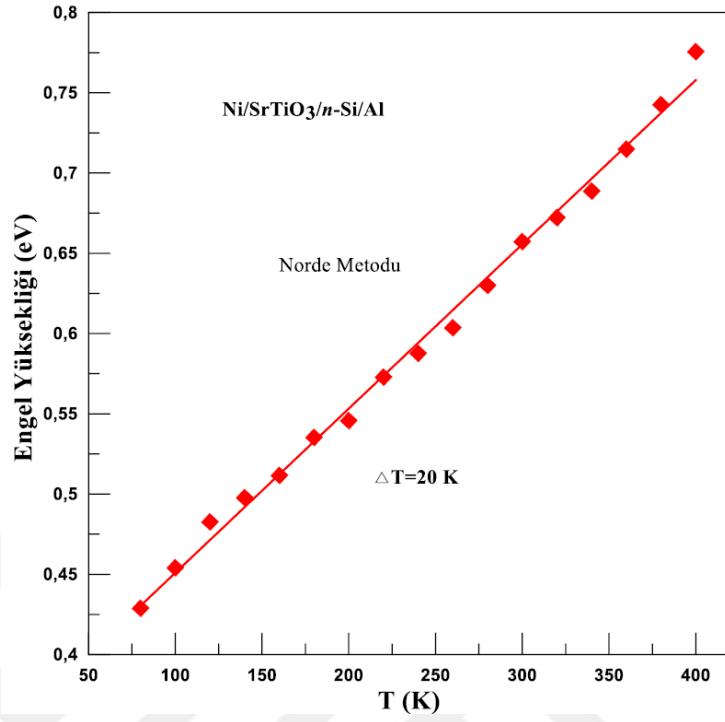
Şekil 4.51. Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı $F(V)$ - V grafikleri

Çizelge 4.10. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminde Norde fonksiyonları kullanılarak elde edilen temel parametreler

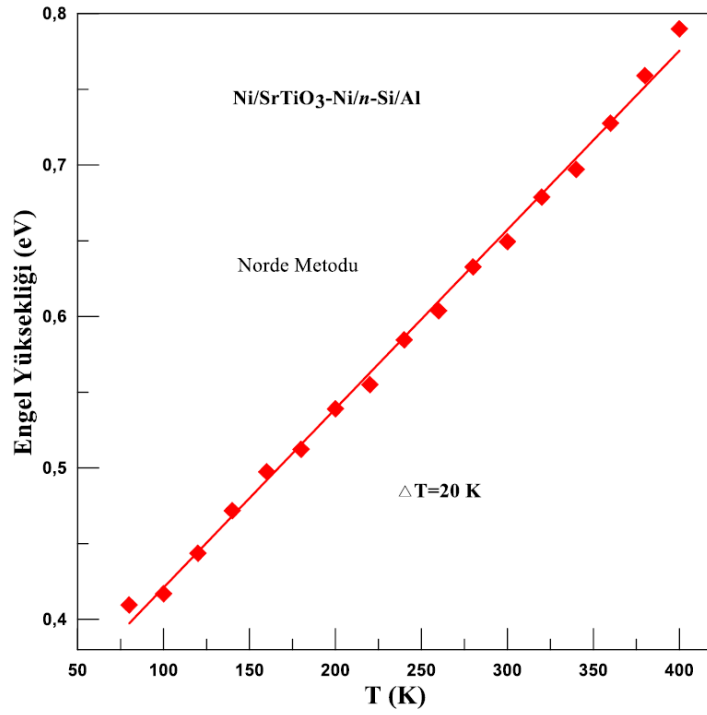
Sıcaklık (K)	Φ_b (eV)	R_s (Ω)
60	0,37	4635
80	0,40	2404
100	0,41	1039
120	0,44	1310
140	0,47	785
160	0,49	404
180	0,52	273
200	0,55	200
220	0,56	219
240	0,59	159
260	0,61	178
280	0,64	149
300	0,65	170
320	0,68	136
340	0,71	124
360	0,75	134
380	0,75	115
400	0,77	109

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Norde fonksiyonları yardımıyla hesaplanan engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlı grafikleri Şekil 4.52, Şekil 4.53 ve Şekil 4.54'te görülmektedir. Her üç şekilde de engel yüksekliği değerleri sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmaktadır. Taşıyıcılar düşük sıcaklıklarda da engelleri aşabilirler. Sıcaklık arttıkça engeli aşabilecek taşıyıcıların sayısı da artacaktır. Buna rağmen engel yüksekliğindeki artışa kontaktaki homojensizlikler neden olurken bu durum yük iletiminin paralel iletim modeli ile açıklanır (Karataş *et al.* 2013; Çaldıran *et al.* 2014; Kaçuş *et al.* 2014).

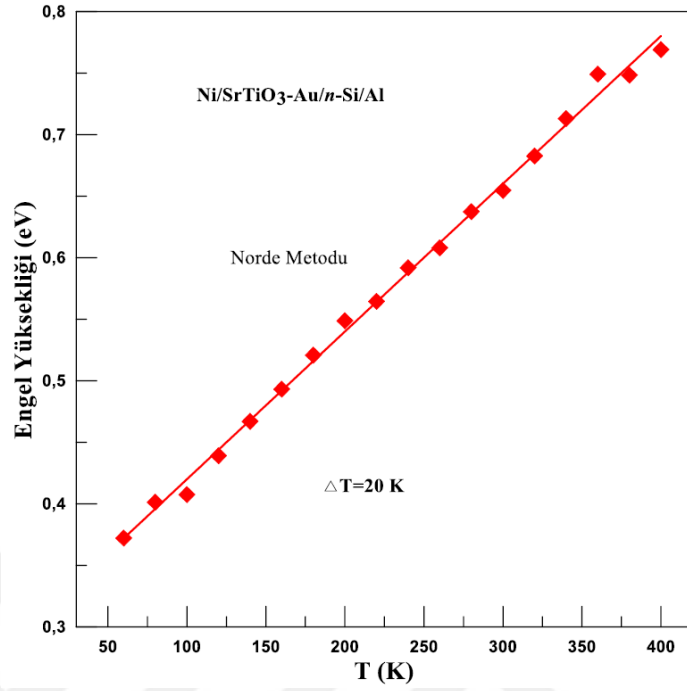
Şekil 4.55'te Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Norde fonksiyonundan elde edilmiş engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafikleri görülmektedir.



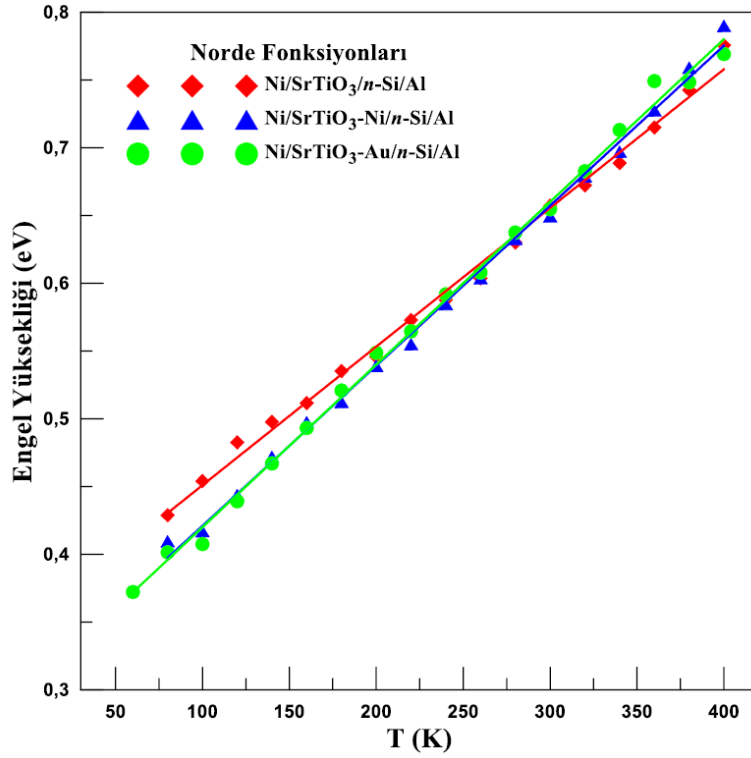
Şekil 4.52. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği



Şekil 4.53. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği



Şekil 4.54. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği

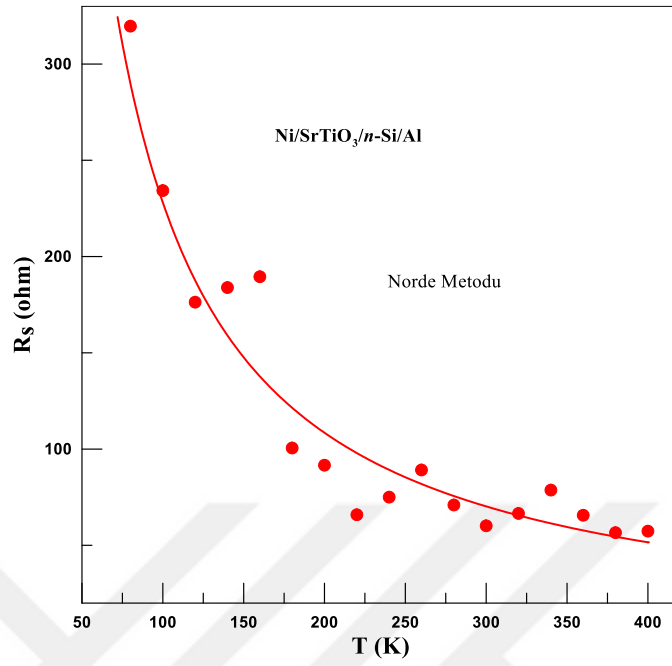


Şekil 4.55. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Norde fonksiyonundan elde edilmiş engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafikleri

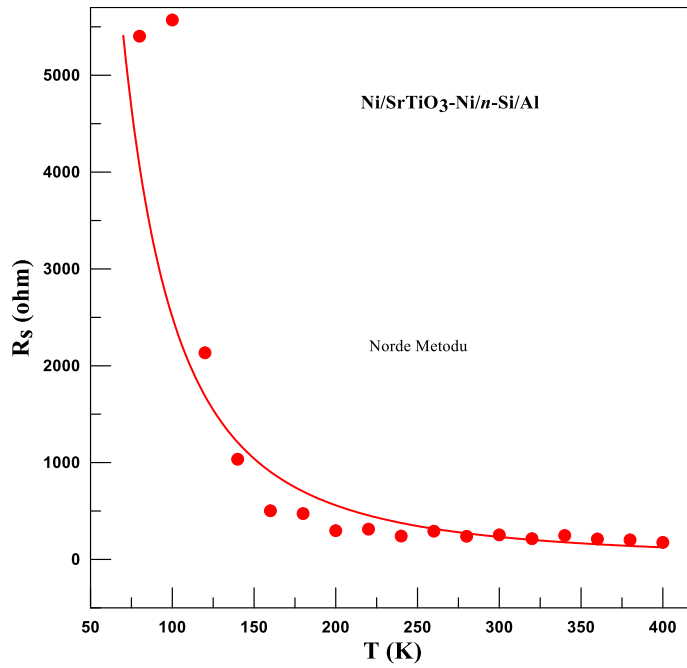
Şekil 4.55'te $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$, $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ ve $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroeklemlerinin Norde fonksiyonundan elde edilmiş engel yüksekliği değerlerinin sıcaklıkla değişim grafikleri görülmektedir.

Heteroeklemlerin elektriksel karakteristiklerini belirlemek için kullanılan parametrelerden biride seri dirençtir. Seri direnç arayüzeyde ideal olmayan I - V davranışına yol açar ve lineerlikten uzaklaşmaya sebep olur. I - V grafikleri düz beslem kısmında düşük voltajlarda lineer olurken; voltaj arttıkça seri direnç gibi etkilerden dolayı lineerlikten uzaklaşmaktadır. Ayrıca seri direnç sıcaklığa da bağlıdır. Düşük sıcaklıklarda seri direnç değerinin çok daha yüksek olması taşıyıcı yoğunluğunun azalmasına atfedilir (Güzeldir *et al.* 2012; Deniz *et al.* 2014; Çakıcı *et al.* 2015).

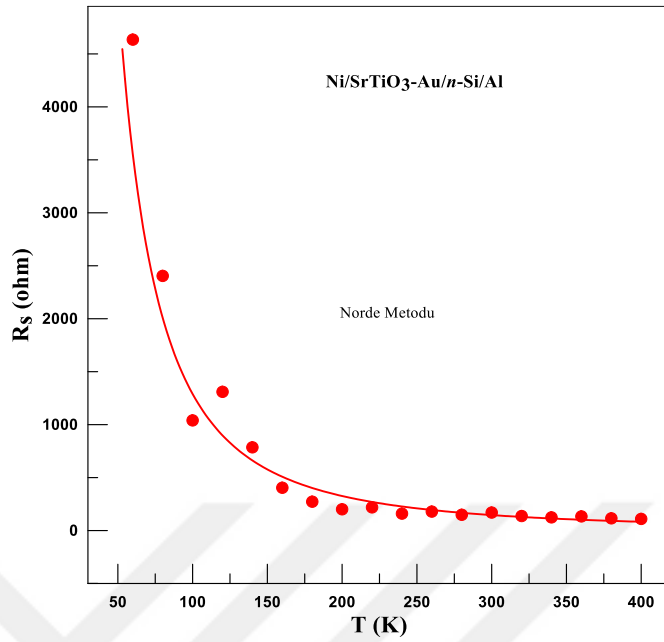
$\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$, $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ ve $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroeklemlerinin Norde fonksiyonları yardımıyla hesaplanan seri direnç değerlerinin sıcaklığa bağlı grafikleri Şekil 4.56, Şekil 4.57 ve Şekil 4.58'de görülmektedir. Her üç grafikte de sıcaklık arttıkça seri direnç değerleri azalmaktadır. Seri direnç değerinin sıcaklıkla ters orantılı olması idealite faktörünün etkileyen faktörlere bağlı olabilir ya da serbest taşıyıcı yoğunluğunun düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Deniz *et al.* 2013). Şekil 4.59'da görüldüğü gibi düşük sıcaklıklardaki seri direnç değerleri metal ile desteklenmiş SrTiO_3 nanoküp kullanılan heteroeklemlerde metal ile desteklenmemiş SrTiO_3 nanoküp kullanılan heteroeklemlere göre daha yüksek çıkmıştır.



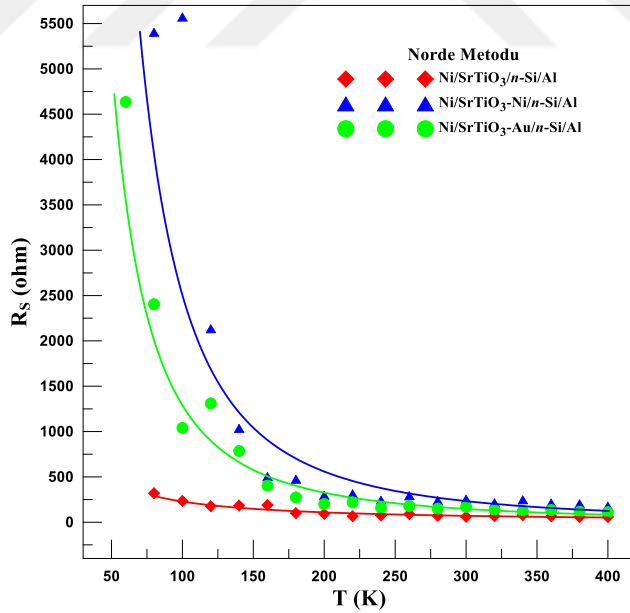
Şekil 4.56. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen seri direnç değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği



Şekil 4.57. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen seri direnç değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği



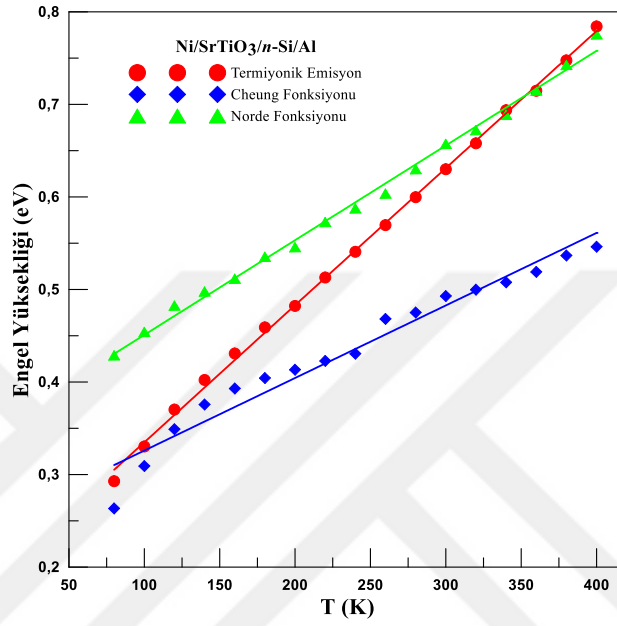
Şekil 4.58. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin Norde fonksiyonundan elde edilen seri direnç değerlerinin sıcaklıkla değişim grafiği



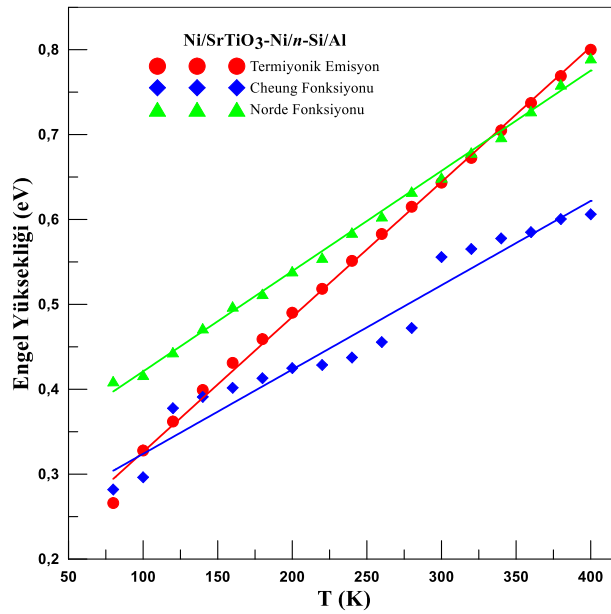
Şekil 4.59. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Norde fonksiyonundan elde edilen seri direnç değerlerinin sıcaklıkla değişim grafikleri

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin TE, Cheung fonksiyonu ve Norde fonksiyonu kullanılarak hesaplanan engel yüksekliği

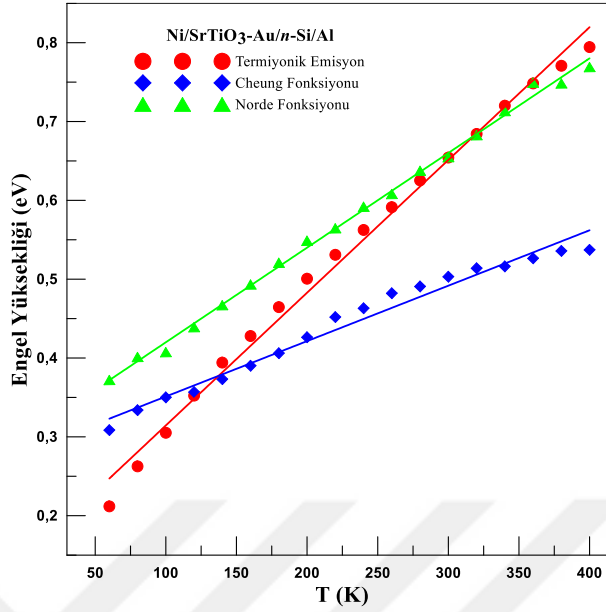
değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62’de görülmektedir. Her üç şekilde incelendiğinde farklı metodlarla hesaplanan değerlerin sıcaklığa tepkilerinin benzer oldukları görülmektedir.



Şekil 4.60. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin TE, Cheung ve Norde metodları kullanılarak elde edilen engel yüksekliklerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri



Şekil 4.61. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin TE, Cheung ve Norde metodları kullanılarak elde edilen engel yüksekliklerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri



Şekil 4.62. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin TE, Cheung ve Norde metotları kullanılarak elde edilen engel yüksekliklerinin sıcaklığa karşı değişim grafikleri

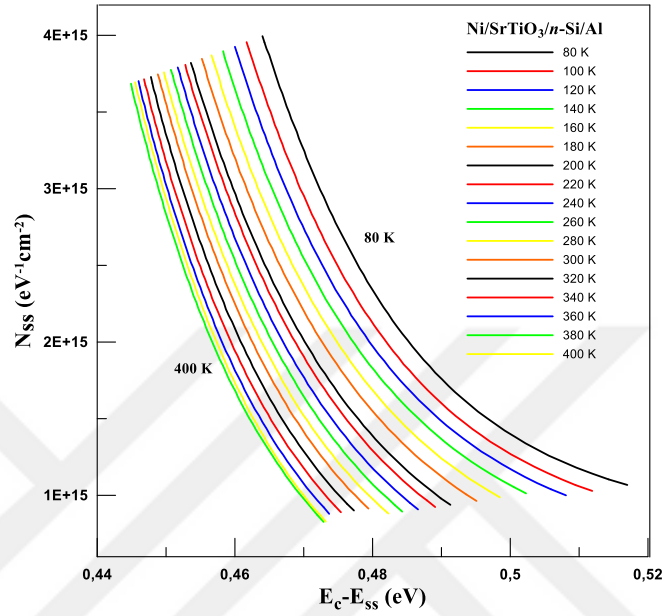
4.8. Arayüzey Hâl Yoğunluğu (N_{ss})

Heteroeklemlerimizin I-V hesaplamalarından elde ettiğimiz idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri yarıiletkenin arayüzey enerji hallerine de bağlıdır. Şekil 4.63, Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'te sırasıyla Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklıkla değişen arayüzey hal yoğunluğunun (N_{ss}) arayüzey hal enerjisine (E_c-E_{ss}) bağlı grafikleri görülmektedir. Yarıiletken *n*-tipi olduğu için arayüzey hal enerjisi E_c-E_{ss} olarak alındı.

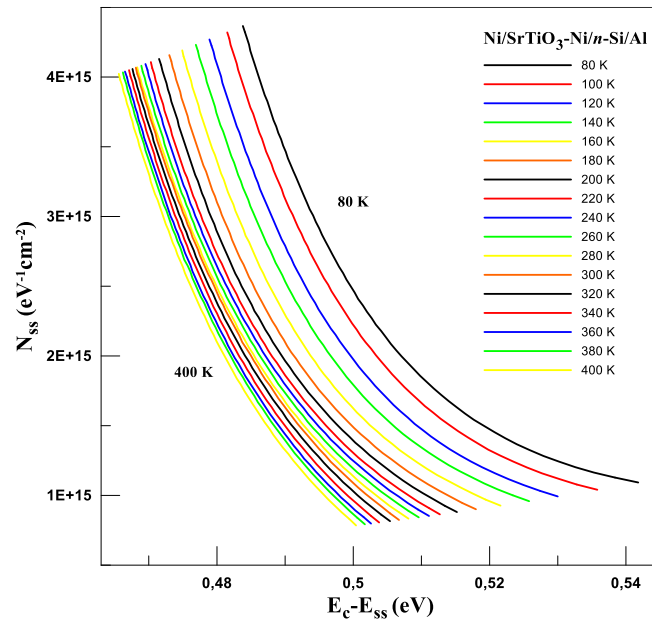
Görüldüğü gibi arayüzey hal yoğunluğu artan sıcaklıkla birlikte azalmaktadır. Bunun nedeni atomik olarak yeniden yapılanması ve metal-yarıiletken arayüzeyin yeniden düzenlenmesidir (Altındal *et al.* 2003; Dhimmir *et al.* 2016). Sıcaklık arttıkça arayüzey tuzakları yarıiletkenin iletkenlik bandından uzaklaşarak yüksek sıcaklıklarda E_c-E_{ss} 'nin daha geniş bir enerji aralığında lokalleşir (Durmuş and Yıldırım 2014).

Her üç şekilde de görüldüğü gibi arayüzey hal yoğunluğu iletkenlik bandının tabanına doğru eksponansiyel olarak artmaktadır. Buradaki artışın nedeni rekombinasyon

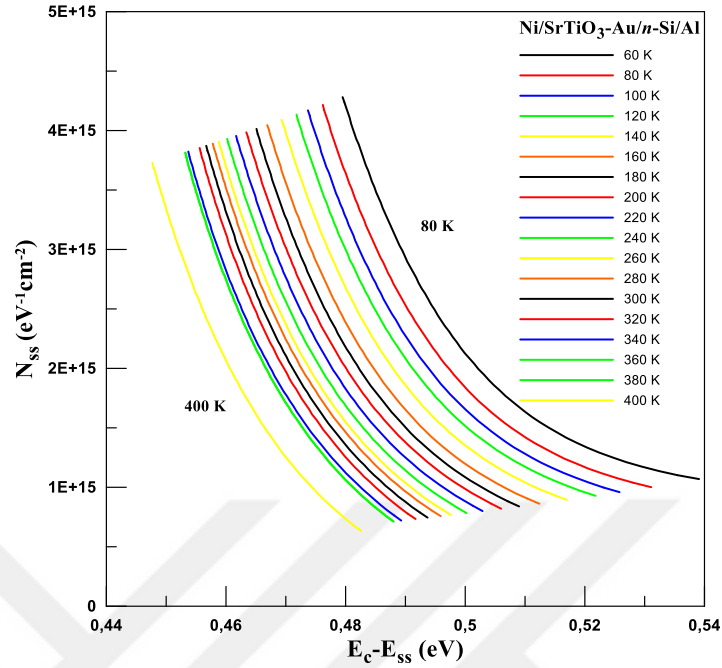
merkezindeki azalmalar olabileceği gibi yarıiletken ile arayüzey arasındaki bir arayüzey katmanında olabilir (Aydoğan *et al.* 2010).



Şekil 4.63. $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin sıcaklığa bağlı olarak arayüzey hal yoğunluğunun arayüzey hal enerjisine karşı değişim grafikleri



Şekil 4.64. $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ heteroekleminin sıcaklığa bağlı olarak arayüzey hal yoğunluğunun arayüzey hal enerjisine karşı değişim grafikleri

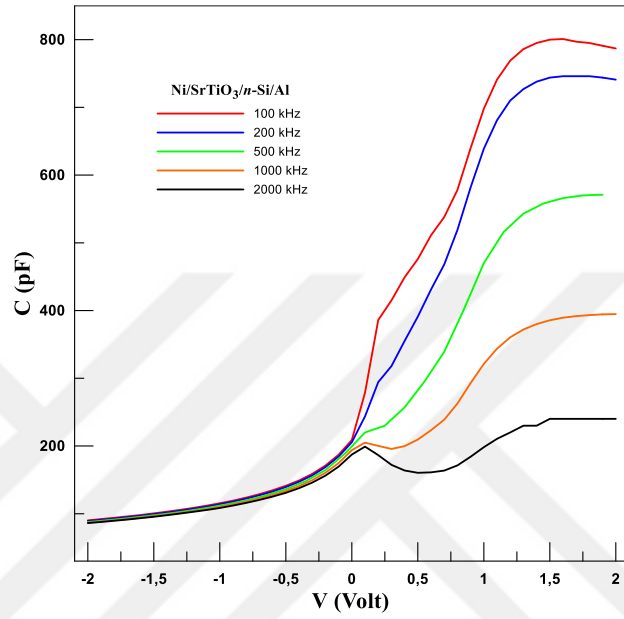


Şekil 4.65. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin sıcaklığa bağlı olarak arayüzey hal yoğunluğunun arayüzey hal enerjisine karşı değişim grafikleri

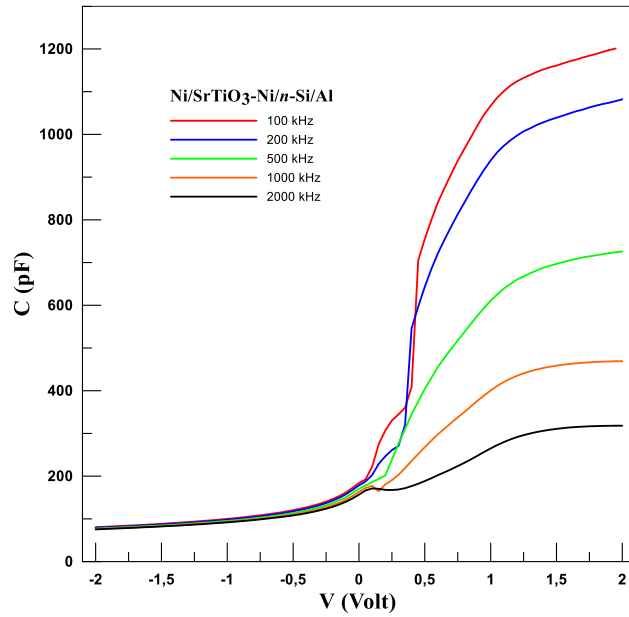
4.9. C-V (Kapasite-Voltaj) Ölçümleri ve Yapılan Hesaplamalar

Heteroeklemlerde kullandığımız nanoküplerinin elektriksel özelliklere yaptığı katkıyı daha iyi görebilmek için *I-V* grafiklerinden elde edilen parametrelerin yanında *C-V* ölçümlerinin de yapılması önemli bilgiler verebilir. Bu nedenle Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin -2 V ile +2 V aralığında önce oda sıcaklığında 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz 1000 ve kHz 2000 kHz frekans değerlerinde, sonra da sıcaklığa bağlı olarak 500 kHz frekans değerinde kapasite-voltaj ölçümleri yapıldı. Ölçümler için HP 4192A LF Impedance Analyzer cihazı kullanıldı. Heteroeklem yapı bir kondansatör gibi davrandığı için *C-V* ölçümleri heteroarayüzey ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. Ters beslem halinde kapasite-voltaj değişiminden engel yüksekliği, taşıyıcı yoğunluğu, difüzyon potansiyeli ve Fermi enerji seviyesi gibi parametreleri hesaplanabilir. Bu heteroyapılar için kapasite ifadesi (2.19)'daki gibidir.

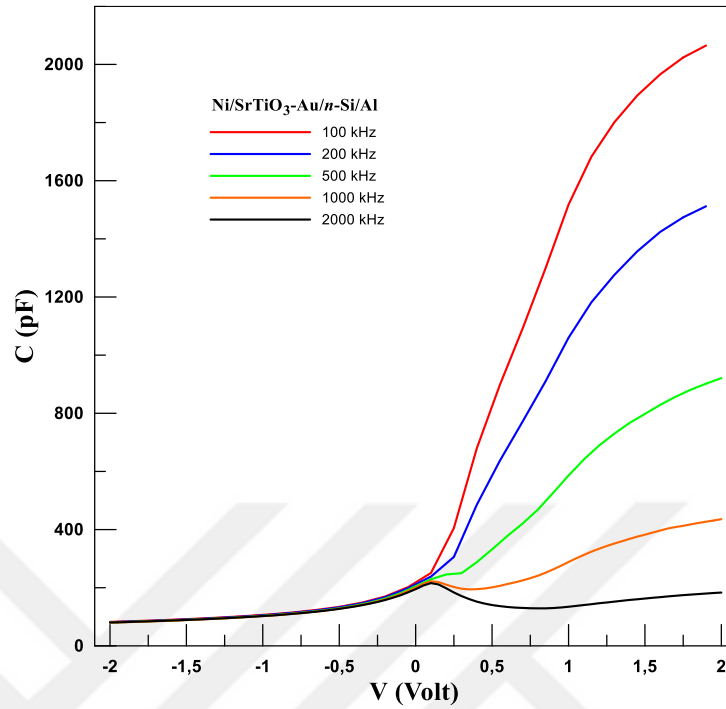
Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin oda sıcaklığında farklı frekanslar için düz ve ters gerilim durumlarındaki C-V grafikleri Şekil 4.66, Şekil 4.67 ve Şekil 4.68’de görülmektedir.



Şekil 4.66. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde düz ve ters beslem durumlarında C-V grafikleri



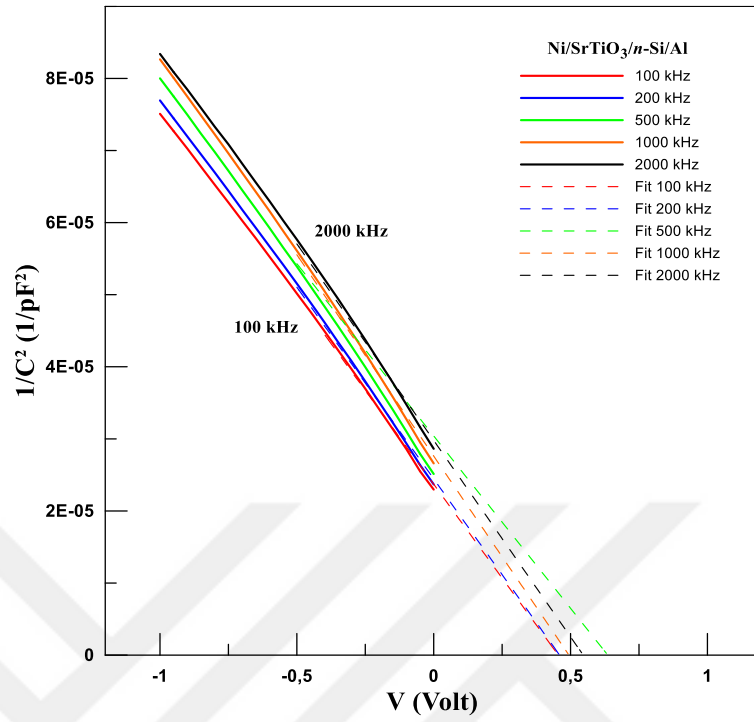
Şekil 4.67. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde düz ve ters beslem durumlarında C-V grafikleri



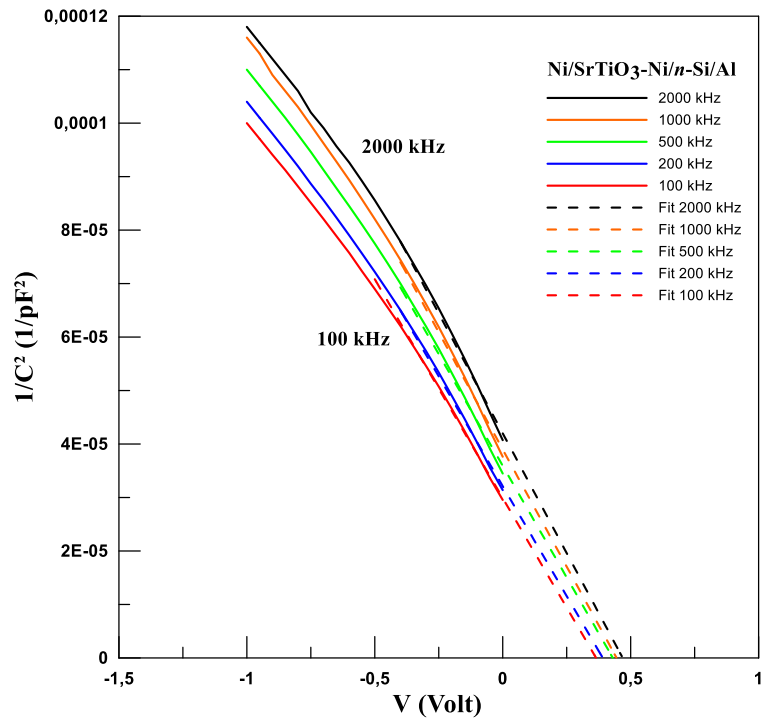
Şekil 4.68. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde düz ve ters beslem durumlarında C–V grafikleri

Şekil 4.69, Şekil 4.70 ve Şekil 4.71’de Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin oda sıcaklığında farklı frekanslarda ters beslem C-V grafiklerinden elde edilen $1/C^2$ -V grafikleri bulunmaktadır.

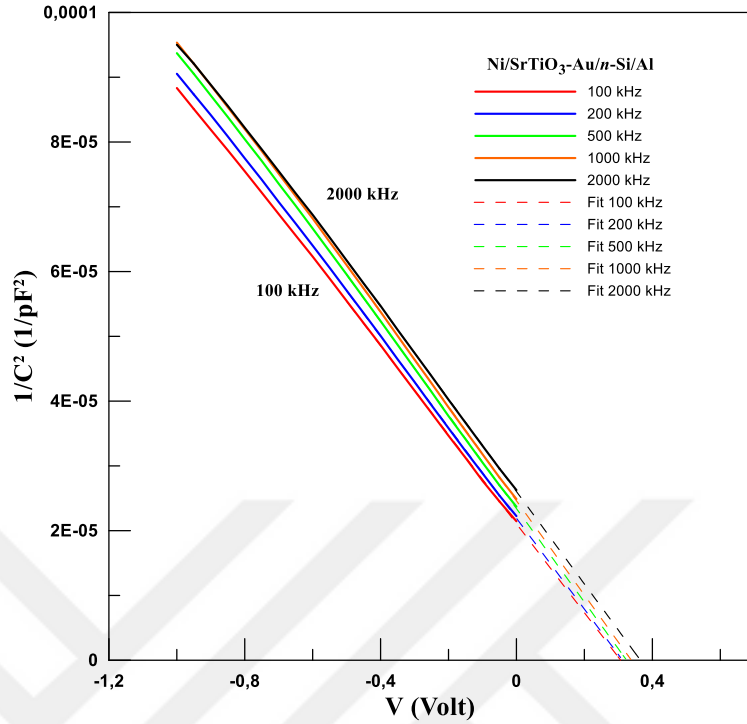
Düz beslem durumunda voltaj arttıkça kapasite değeri belirgin biçimde artarken ters beslem durumunda da negatif voltaj değeri arttıkça kapasite azalmaktadır. Ters beslemde deplasyon bölgesi genişler ve gerilim düştükçe N_d azaldığı için kapasitenin de artması beklenir. Donör yoğunluğunun kapasiteyle ters orantılı olduğu (2.20) denkleminde de görülmektedir. Şekil 4.66, Şekil 4.67 ve Şekil 4.68’deki grafiklerde frekans arttıkça kapasitenin düştüğü görülmektedir. Frekans düştükçe kapasitenin yükselmesinin nedeni arayüzey hallerinin alternatif akım sinyallerini düşük frekanslarda takip edebilmesidir. Frekans yükseldikçe kapasite sadece uzay yükü kapasitesi olarak ifade edilir (Janardhanam *et al.* 2009; Soylu and Abay 2009; Demircioğlu *et al.* 2011; Çaldıran *et al.* 2013; Çakıcı *et al.* 2015; Kaçuş *et al.* 2015; Tabata 2016).



Şekil 4.69. Oda sıcaklığında $\text{Ni/SrTiO}_3/\text{n-Si/Al}$ heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde ters beslem durumlarında $1/C^2-V$ grafikleri



Şekil 4.70. Oda sıcaklığında $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni/n-Si/Al}$ heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde ters beslem durumlarında $1/C^2-V$ grafikleri



Şekil 4.71. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerinde düz ve ters beslem durumlarında $1/C^2-V$ grafikleri

(2.20) denkleminde göre $1/C^2-V$ grafiğine fit çizilirse, fitin yatay eksenini kestiği nokta difüzyon potansiyelini verir ($V_d=V$ olur). Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin bu grafiklerden elde edilen difüzyon potansiyeli (V_d), donöryoğunluğu (N_d), Fermi enerji seviyeleri (E_f) ve engel yüksekliklerinin 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz, 1000 kHz ve 2000 kHz frekanslarındaki değerleri sırasıyla Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.11. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerindeki ($1/C^2-V$) değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri

Frekans (kHz)	$V_d(V)$	$N_d(cm^{-3}) \times 10^{15}$	$E_f(eV)$	$\Phi_b(eV)$
100	0,44	3,74	0,23	0,56
200	0,46	3,66	0,23	0,57
500	0,47	3,55	0,23	0,59
1000	0,49	3,48	0,23	0,60
2000	0,54	3,56	0,23	0,64

Çizelge 4.12. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerindeki ($1/C^2-V$) değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri

Frekans (kHz)	V_d (V)	N_d (cm ⁻³)x10 ¹⁵	E_f (eV)	Φ_b (eV)
100	0,36	2,37	0,24	0,55
200	0,39	2,37	0,24	0,57
500	0,43	2,33	0,24	0,60
1000	0,44	2,22	0,24	0,62
2000	0,47	2,17	0,24	0,64

Çizelge 4.13. Oda sıcaklığında Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemlerinin farklı frekans değerlerindeki ($1/C^2-V$) değişimlerinden elde edilen temel diyot parametreleri

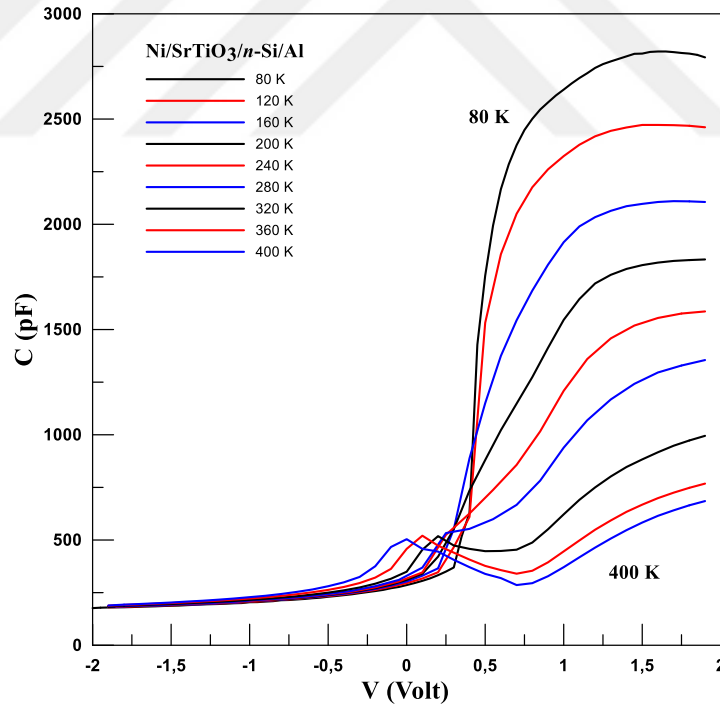
Frekans (kHz)	V_d (V)	N_d (cm ⁻³)x10 ¹⁵	E_f (eV)	Φ_b (eV)
100	0,31	2,87	0,24	0,52
200	0,31	2,77	0,24	0,52
500	0,32	2,69	0,24	0,53
1000	0,34	2,67	0,24	0,54
2000	0,36	2,72	0,24	0,56

Frekans arttıkça ortalama engel yüksekliğinin de arttığı Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te görülmektedir. Daha önce I - V grafiğinden hesaplanan engel yüksekliği değeri C - V grafiğinden hesaplanandan daha küçüktür. İki grafikten elde edilen sonuçların farklı olmasının nedenleri arasında heteroarayüzeydeki oksit tabakasının normal dağılmaması, heteroarayüzeyin kalınlığının her yerde aynı olmaması ve heteroarayüzeydeki yük dağılımındaki farklılıklar sayılabilir. Ayrıca arayüzey hallerine atfedilen bu durum aşırı kapasite olarak da adlandırılır (Singh 1985; Aydoğan *et al.* 2008; Demirezen *et al.* 2012; Zeyrek *et al.* 2013; Tecimer *et al.* 2014). Daha da önemlisi C -Völçümleri ile I - V tekniğinin farklı prensiplere dayanmasıdır. C - V ortalama engel yüksekliğini ölçerken I - V her ölçümde taşıyıcıların aştığı engeli ölçer.

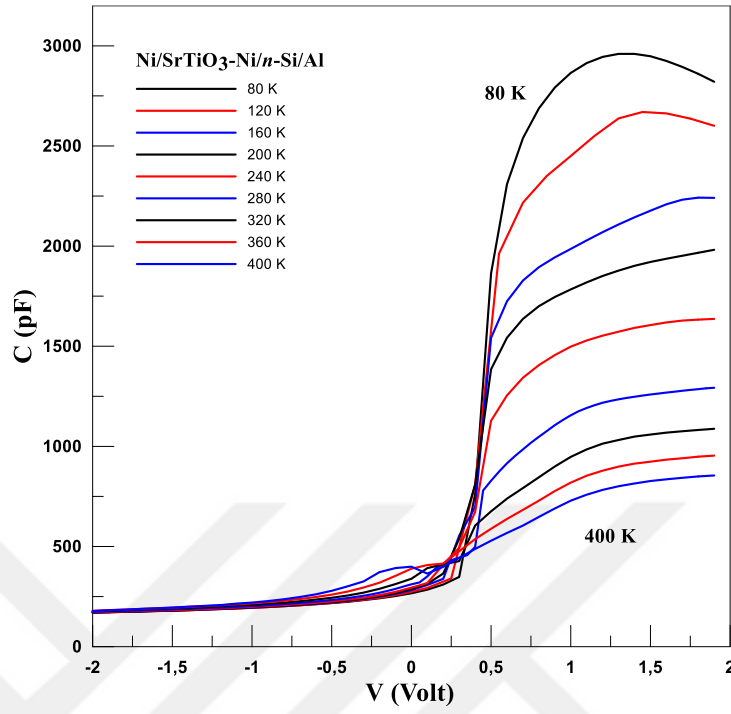
Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te görüldüğü gibi iyonize olmuş donöryoğunluğu da (N_d), frekansla doğru orantılı olarak artmıştır. Bu durum arayüzey yüklerinin kapasiteye etkisiyle izah edilebilir (Tataroğlu and Altındal 2006).

Şekil 4.72, Şekil 4.73 ve Şekil 4.74'te Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin 500 kHz frekansında sıcaklığa bağlı C-V grafiklerinin düz ve ters beslem durumları görülmektedir. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroeklemlerinin 40'ar K aralıklarla 80 K ile 400 K arasında C-V ölçümleri alınırken; Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin 40'ar K aralıklarla 80 K ile 360 K arasında C-V ölçümleri alınmıştır.

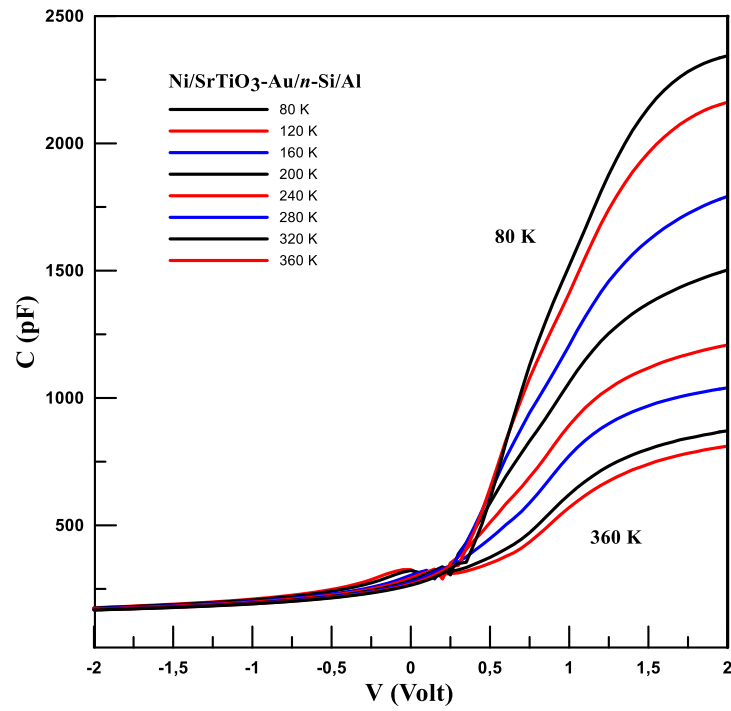
Her üç grafiğin de ters beslem durumlarında sıcaklık arttıkça kapasite değerleri artmıştır. Bu durum (4.21) denklemiyle uyumludur. Fakat düz beslem durumunda kapasitenin artan sıcaklıkla beraber azaldığı görülmektedir. Bu durum arayüzey uzay yükü oluşumu ve sıcaklığa bağlı seri direnç etkisinden kaynaklanabilir (Bülbül *et al.* 2006; Dökme *et al.* 2010).



Şekil 4.72. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı C-V grafikleri

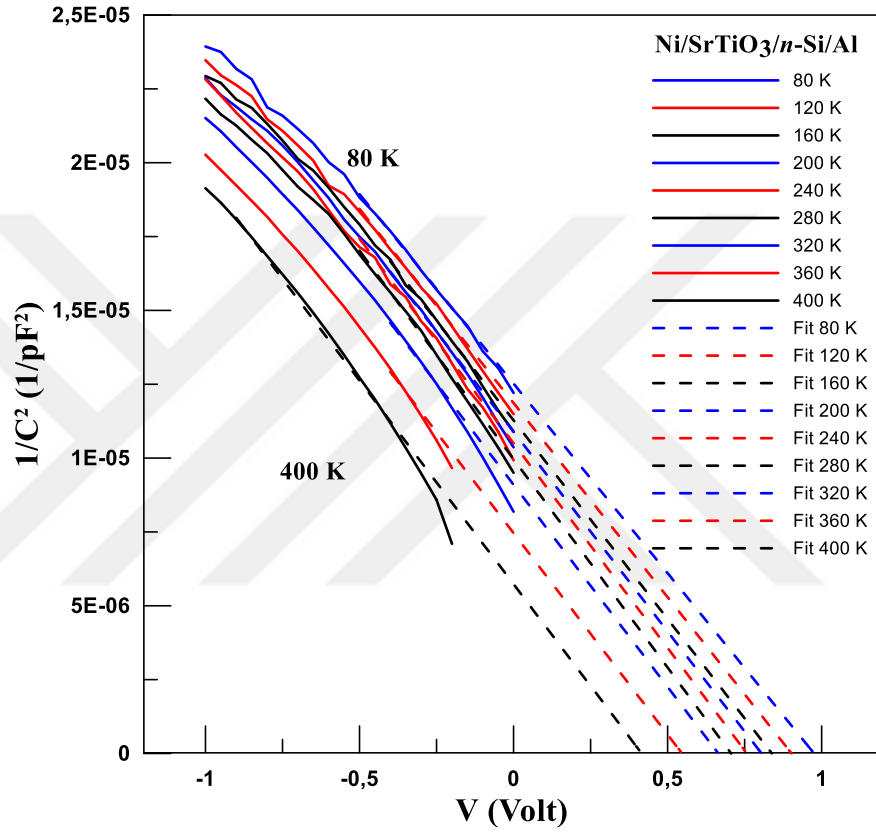


Şekil 4.73. $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni/n-Si/Al}$ heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı C-V grafikleri

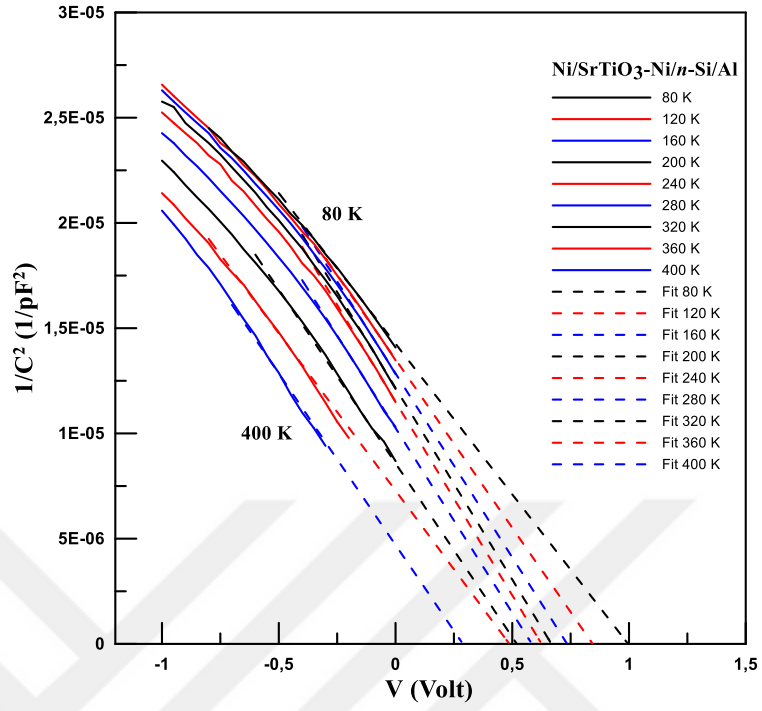


Şekil 4.74. $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au/n-Si/Al}$ heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı C-V grafikleri

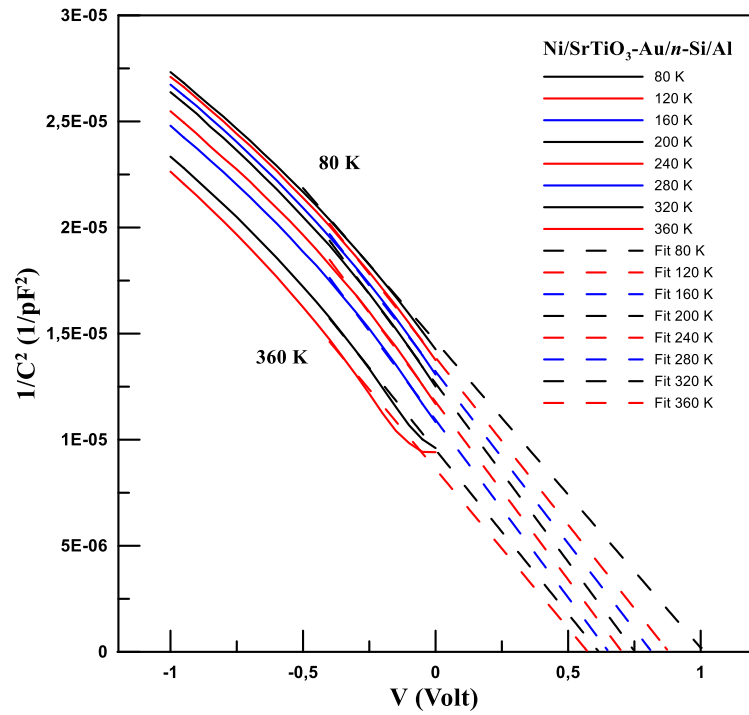
Şekil 4.75, Şekil 4.76 ve Şekil 4.77’de Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin ters beslem durumu için 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ -V grafikleri görülmektedir. Her üç grafik için de çizilen fitler beklendiği gibi artan sıcaklıkla azalmıştır ve tüm grafikler hemen hemen lineerdir.



Şekil 4.75. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ -V grafikleri



Şekil 4.76. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ -V grafikleri



Şekil 4.77. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ -V grafikleri

Çizelge 4.14. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ -V grafiklerinden elde edilen temel parametreler

Sıcaklık (K)	V_d (eV)	N_d (cm ⁻³)x10 ¹⁶	E_f (eV)	Φ_b (eV)
80	1,01	1,57	0,05	0,55
120	0,93	1,52	0,08	0,56
160	0,84	1,45	0,10	0,56
200	0,80	1,44	0,13	0,59
240	0,75	1,41	0,16	0,61
280	0,71	1,38	0,18	0,64
320	0,67	1,43	0,21	0,68
360	0,59	1,49	0,23	0,69
400	0,56	1,58	0,26	0,72

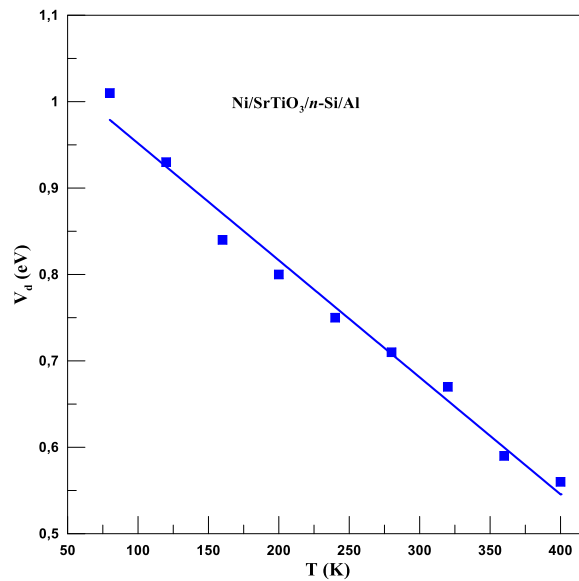
Çizelge 4.15. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ -V grafiklerinden elde edilen temel parametreler

Sıcaklık (K)	V_d (eV)	N_d (cm ⁻³)x10 ¹⁶	E_f (eV)	Φ_b (eV)
80	0,89	1,24	0,05	0,47
120	0,84	1,21	0,08	0,58
160	0,74	1,12	0,11	0,59
200	0,66	1,07	0,14	0,59
240	0,63	1,06	0,16	0,61
280	0,55	1,05	0,19	0,62
320	0,52	1,18	0,21	0,64
360	0,49	1,30	0,24	0,67
400	0,46	1,38	0,26	0,71

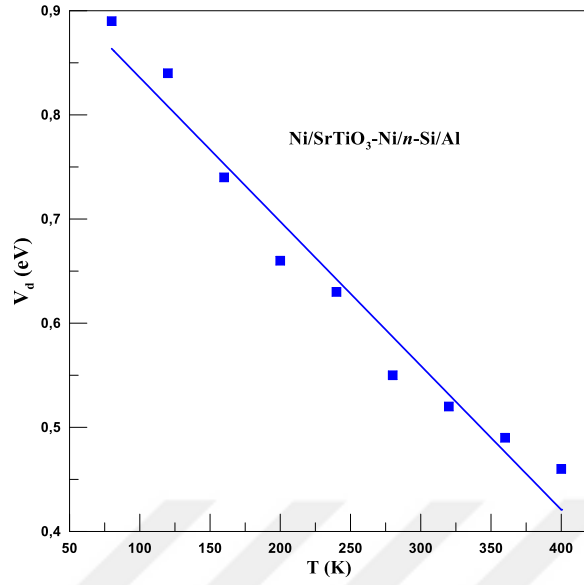
Çizelge 4.16. Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ - V grafiklerinden elde edilen temel parametreler

Sıcaklık (K)	V_d (eV)	N_d (cm ⁻³) $\times 10^{16}$	E_f (eV)	Φ_b (eV)
80	1,01	1,35	0,05	0,52
120	0,88	1,24	0,08	0,59
160	0,81	1,20	0,11	0,67
200	0,75	1,18	0,13	0,71
240	0,70	1,16	0,16	0,72
280	0,65	1,16	0,19	0,74
320	0,58	1,21	0,21	0,76
360	0,57	1,30	0,24	0,77

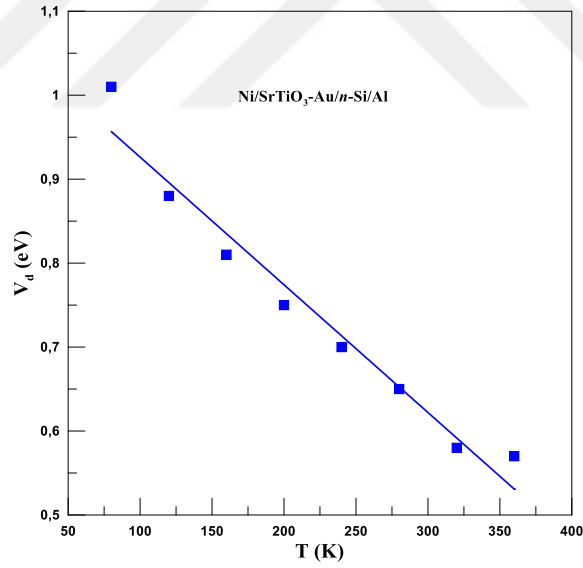
Sıcaklığa bağlı C - V ölçümlerinden ters beslem durumları için elde edilen $1/C^2$ - V grafiklerindeki değerler sıcaklık yükseldikçe artış göstermiştir. Şekil 4.78, Şekil 4.79 ve Şekil 4.80’da görüldüğü gibi Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemlerinde sıcaklık arttıkça V_d değerinin azalmasının nedeni rekombinasyon merkezi olarak görev yapan arayüzey hallerindeki tuzaklanma durumları ve tuzakların iyonizasyonunun olmamasına atfedilir (Çakıcı *et al.* 2015; Aydoğan *et al.* 2017).



Şekil 4.78. Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı difüzyon potansiyeli grafiği



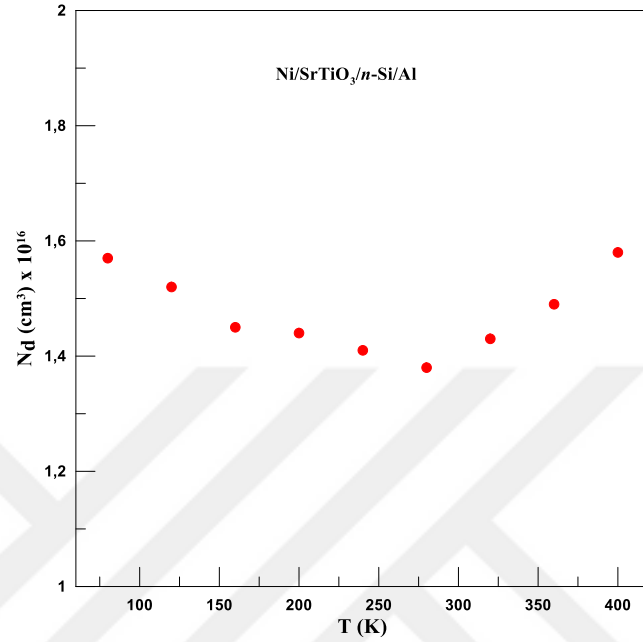
Şekil 4.79. Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı difüzyon potansiyeli grafiği



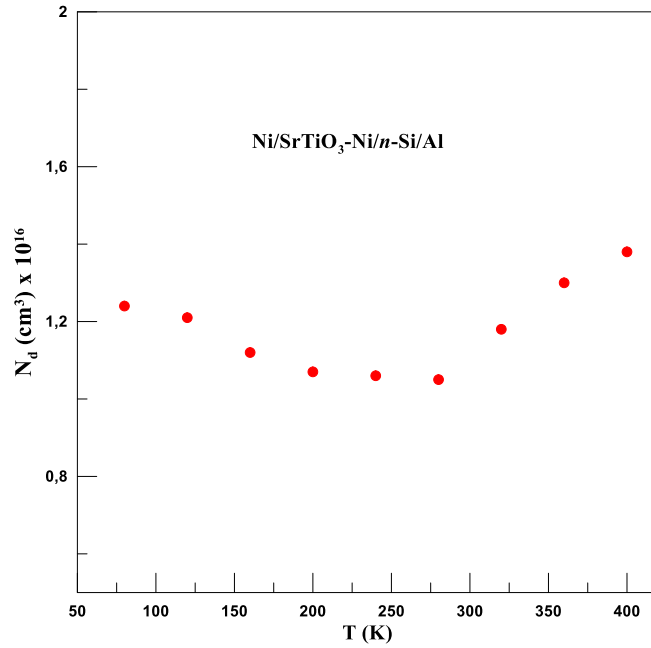
Şekil 4.80. Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı difüzyon potansiyeli grafiği

$1/C^2$ - V grafiklerinden elde edilen parametrelerin genellikle lineer davrandıkları görülmektedir. Şekil 4.81, Şekil 4.82 ve Şekil 4.83’de görüldüğü gibi Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemlerinin donör

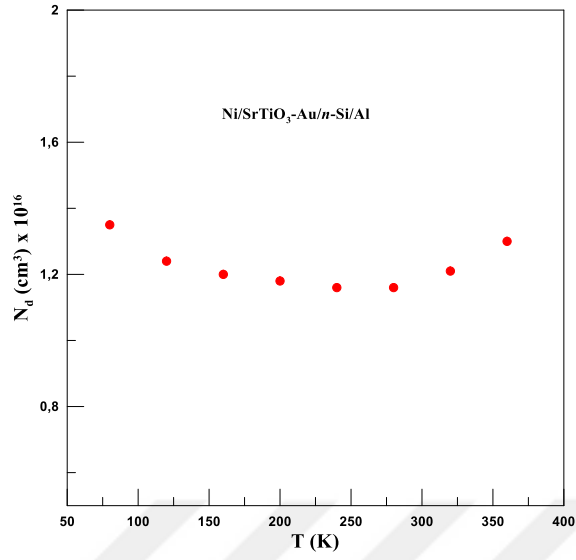
yoğunluğundaki lineer olmayan değişimlerin nedeni arayüzeydeki hal yoğunluğunun varlığı ile ortaya çıkan artık kapasite ile açıklanmaktadır (Turut *et al.* 1992).



Şekil 4.81. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı donör yoğunluğu grafiği

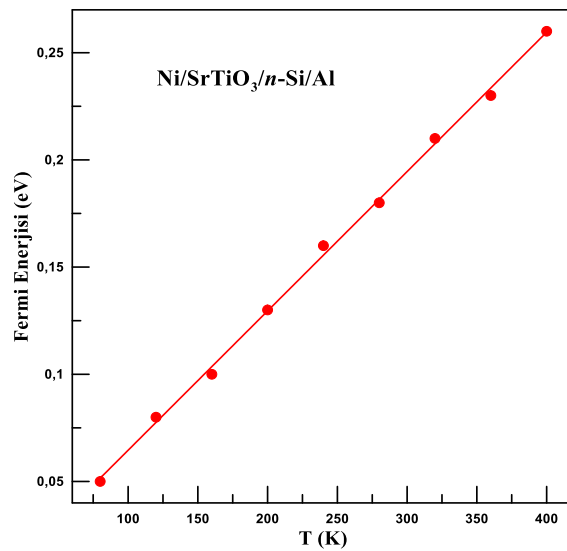


Şekil 4.82. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı donör yoğunluğu grafiği

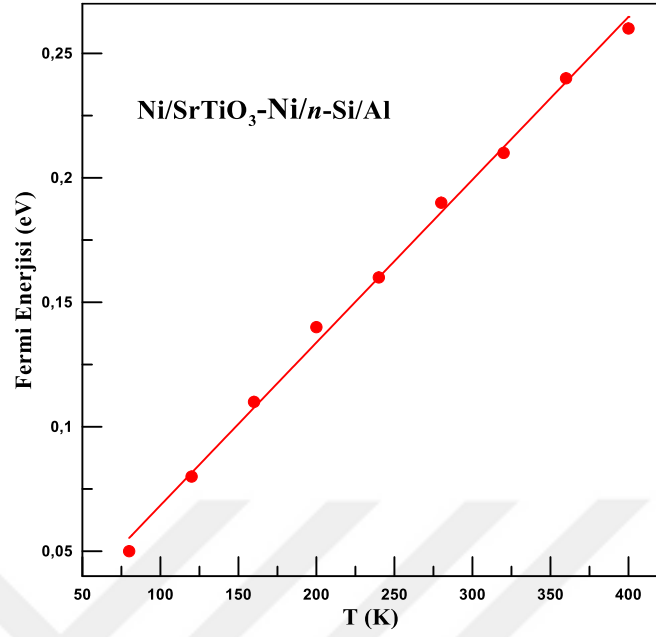


Şekil 4.83. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı donör yoğunluğu grafiği

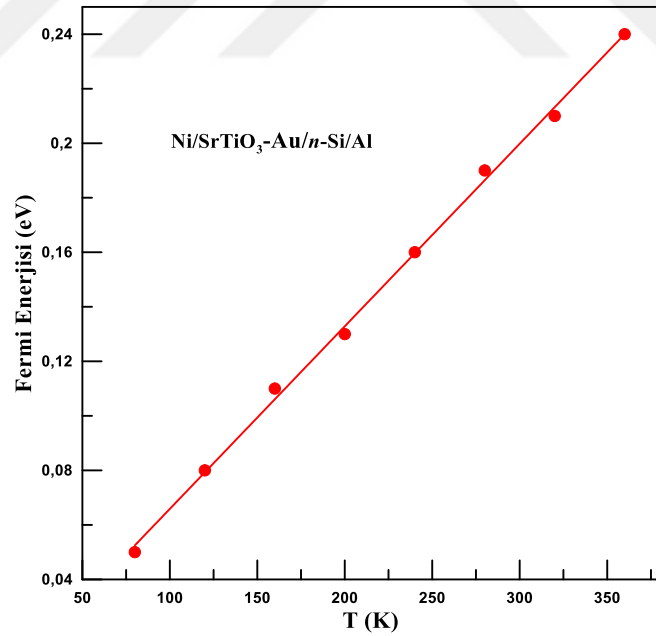
Şekil 4.84, Şekil 4.85 ve Şekil 4.86’da görüldüğü gibi Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Fermi enerji seviyesinin frekastan hemen hemen bağımsız olduğu ve artan sıcaklıkla yükseldiği görülmektedir. Sıcaklık arttıkça E_f değerlerinin de artması arayüzey hallerindeki tuzaklar ve arayüzeydeki homojensizlikler ile açıklanmaktadır (Aydoğan *et al.* 2005; Naik and Reddy 2010).



Şekil 4.84. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı fermi enerjisi grafiği



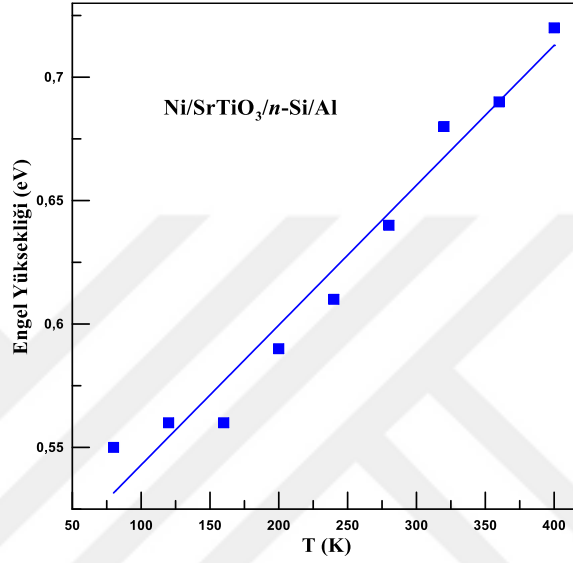
Şekil 4.85. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı fermi enerjisi grafiği



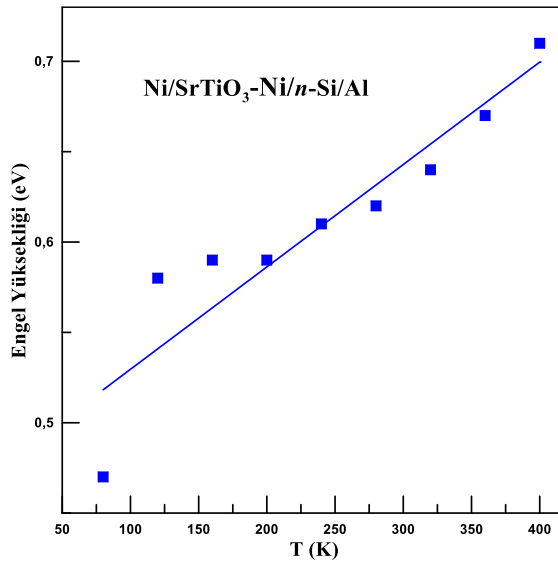
Şekil 4.86. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı fermi enerjisi grafiği

Şekil 4.87, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89’da Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinde engel yüksekliği değerlerinin artan sıcaklıkla

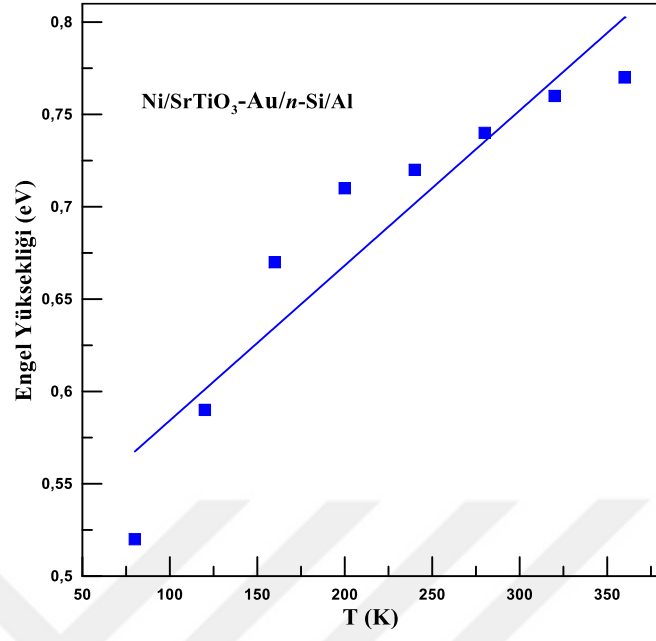
birlikte arttığı görülmektedir. Bunun yanında fermi enerjisi, donöryoğunluğu gibi elektriksel parametrelerdeki değişimler genel olarak literatürle uyumlu olarak hesaplanmıştır (Janardhanam *et al.* 2009; Lakshmi *et al.* 2012; Reddy and Reddy 2012; Bilkan *et al.* 2015).



Şekil 4.87. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı engel yükseklği grafiği



Şekil 4.88. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı engel yükseklği grafiği



Şekil 4.89. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı engel yüksekliği grafiği

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada perovskit oksit yapıdaki SrTiO_3 nanoküpler ve metal ile desteklenmiş SrTiO_3 -Ni ve SrTiO_3 -Au nanoküpler sentezlenerek bu nanoküplerin n -Si üzerine kaplanarak, $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$, $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ ve $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroeklemleri elde edilmiştir. Heteroeklemleri üretmek için taban malzeme olarak kullanılan n -Si yarıiletken kristalleri [100] doğrultusuna 400 μm kalınlığında olup 1-10 $\Omega\text{-cm}$ öz direncine sahiptirler. Elde edilen $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$, $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ ve $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı olarak I - V ve C - V ölçümleri alındı. Bu ölçümlerden bazı temel aygıt parametreleri hesaplanarak, SrTiO_3 , SrTiO_3 -Ni ve SrTiO_3 -Au nanoküplerin ve sıcaklığın temel aygıt parametreleri üzerindeki etkileri incelendi. Ayrıca SrTiO_3 , SrTiO_3 -Ni ve SrTiO_3 -Au nanoküplerinin XRD ölçümleri yapıldı, SEM ve TEM görüntüleri alındı.

5.1. Sıcaklığa Bağlı I - V Ölçümleri

n -Si için uygulanan kimyasal temizleme prosedürü 3. bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Kimyasal temizleme işlemi tamamlandıktan sonra omik kontak yapmak için n -Si'un mat yüzeyine Al buharlaştırıldı. Daha sonrasında parlak yüzeylerine önce SrTiO_3 , SrTiO_3 -Ni ve SrTiO_3 -Au malzemeleri ayrı ayrı n -Si kristalleri üzerine kaplandı sonra da bu malzemeler üzerine Ni kaplandı. Sonuç olarak $\text{Ni/SrTiO}_3/n\text{-Si/Al}$, $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Ni}/n\text{-Si/Al}$ ve $\text{Ni/SrTiO}_3\text{-Au}/n\text{-Si/Al}$ heteroeklemleri elde edildi.

SrTiO_3 ve SrTiO_3 -Au nanoküplerinin XRD ölçümleri sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekillerdeki kırınım pikleri literatürle uyumludur (Yu *et al.* 2017; Atkinson *et al.* 2019; Qin *et al.* 2019). SrTiO_3 , SrTiO_3 -Ni ve SrTiO_3 -Au nanoküplerinin oda sıcaklığında geçirgenlik spektrumu kullanılarak band aralığı hesaplandı. SrTiO_3 ince filmin band aralığını belirlemek için Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'deki grafikler kullanıldı. Literatürdeki çalışmalara göre SrTiO_3 'ün indirekt enerji aralığı 3,20 eV, direkt enerji aralığı 3,75 eV gibi yakın değerlerde (Bentham and

Elsasser 2001; Gracia *et al.* 2010; Lee *et al.* 2013) olduğu için çizilen grafiklerde bulunan indirekt band aralığı 3-3,50 eV arasında bulunmuştur.

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin 80 K ile 400 K arasında 20 K'lık adımlarla *I-V* ölçümleri alındı. Ayrıca farklı frekans değerlerinde (100 kHz, 200 kHz, 500 kHz, 1000 kHz ve 2000 kHz) oda sıcaklığında ve 500 kHz frekansta 80 K ile 400 K arasında 40 K'lık adımlarla *C-V* ölçümleri alındı.

Aynı şartlar altında hazırlanmış referans Ni/n-Si/Al heteroeklemi ile Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin oda sıcaklığındaki *I-V* karakteristikleri Şekil 4.12'de verilirken, bu kontaklar için TE modeli kullanılarak hesaplanan idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri Çizelge 4.1 verilmiştir. Oda sıcaklığındaki her bir aygıt için idealite faktörü değerleri sırasıyla 1,55, 1,34, 1,19 ve 1,12 bulunurken, engel yüksekliği değerleri sırasıyla 0,61 eV, 0,63 eV, 0,64 eV ve 0,65 eV olarak hesaplandı. Hesaplanan aygıt parametrelerinden SrTiO₃ malzemesinin heteroeklem karakteristiğinde iyileştirme yaptığı net bir şekilde görülmektedir. Bu durumu SrTiO₃'ün perovskit oksit yapıda olması ve oda sıcaklığında kübik yapısını koruyor olmasıyla açıklayabiliriz (Lines and Glass, 1977; Cowley 1996). Ayrıca geçiş metal oksitlerin arayüzeyde iyi doğrultma özelliği gösterdiğine inanılmaktadır (Mahato and Puigdollers 2018). Metal ile desteklenmiş olan SrTiO₃-Ni ve SrTiO₃-Au malzemeleri de daha fazla iyileştirme yapmıştır. Metal ile destekleme ise kübik yapıdaki oksijenler arasındaki mesafeyi düzenleyerek iyileştirme yapmaktadır (Park *et al.* 2008; Tong *et al.* 2016)

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin Şekil 4.13'te verilen 80-400 K arasında sıcaklığa bağlı *I-V* grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre idealite faktörü değeri 1,14 ile 1,94 (80-400 K) arasında değişirken, engel yüksekliği değeri 0,29 ile 0,78 eV (80-400 K) arasında değişmektedir. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin Şekil 4.14'de verilen 80-400 K arasında sıcaklığa bağlı *I-V* grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu çizelgeye göre idealite faktörü değeri 1,02 ile

2,37 (80-400 K) arasında değişirken, engel yüksekliği değeri 0,27 ile 0,80 eV (80-400 K) arasında değişmektedir. Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroekleminin Şekil 4.15’de verilen 80-360 K arasında sıcaklığa bağlı *I*-*V* grafiklerinden geleneksel metot ile elde edilen temel parametreler Çizelge 4.4’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre idealite faktörü değeri 1,00 ile 2,59 (80-360 K) arasında değişirken, engel yüksekliği değeri 0,21 ile 0,79 eV (80-360 K) arasında değişmektedir.

Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça idealite faktörü değeri azalırken, engel yüksekliği değeri artmaktadır. Buradaki sıcaklığa bağlı değişimler Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Saf TE teorisinden sapma olduğu için idealite faktörü $n > 1$ olabilmektedir. Heteroeklemden akım iletimi sıcaklığa bağlıdır, bu yüzden düşük sıcaklıklarda engel yüksekliği düştüğü için akım iletimi baskın olur ve idealite faktörü değeri de artar (Sullivan *et al.* 1991; Tung 1992). İdealite değerinin büyük çıkması SrTiO₃, SrTiO₃-Ni ve SrTiO₃-Au nanoküplerinin arayüzeyindeki ikincil mekanizmalara ve arayüzey kusurlarının oluşturabileceği engel yüksekliğinin yanal olarak homojen olmayan dağılımına atfedilir (Korucu and Turut 2013; Khurelbaatar *et al.* 2014; Ilican *et al.* 2018).

Cheung fonksiyonları Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemleri için kullanılarak sıcaklığa bağlı $dV/d(\ln I)$ -*I* grafikleri sırasıyla Şekil 4.21, Şekil 4.23 ve Şekil 4.25’te verilmiştir. $H(I)$ -*I* grafikleri ise sırasıyla Şekil 4.22, Şekil 4.24 ve Şekil 4.26’de verilmiştir. Geleneksel yöntem ve Cheung fonksiyonları kullanılarak sıcaklığa bağlı olarak hesaplanan idealite faktörü grafikleri, Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemleri için sırasıyla Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da verilirken, bu üç yapının değerlerinin birlikte görüldüğü grafik Şekil 4.30’da verilmiştir. Yine geleneksel yöntem ve Cheung fonksiyonları kullanılarak sıcaklığa bağlı hesaplanan engel yüksekliği grafikleri, Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemleri için sırasıyla Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de verilirken, bu üç yapının değerlerinin birlikte görüldüğü grafik Şekil 4.34’te verilmiştir. Cheung fonksiyonları kullanılarak sıcaklığa bağlı seri direnç grafikleri, Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al ve

Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemleri için Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da verilmiştir. Bu grafikler kullanılarak Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemleri için hesaplanan idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç değerleri sırasıyla Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Ni/SrTiO₃/*n*-Si/Al heteroeklemi için 80–400 K sıcaklık aralığında $dV/d(\ln I)$ - I grafiğinden hesaplanan idealite faktörü değerleri 5,80 ile 2,09 (80-400 K) arasında sıcaklık arttıkça azalmış, hesaplanan seri direnç değerleri de 318 Ω ile 165 Ω (80-400 K) arasında sıcaklık arttıkça azalmıştır. Bu heteroeklemin $H(I)$ - I grafiğinden elde edilen seri direnç değerleri de sıcaklık arttıkça 259 Ω ile 138 Ω (80-400 K) arasında uyumlu bir şekilde azalırken, engel yüksekliği değerleri 0,26 eV ile 0,55 eV (80-400 K) arasında sıcaklık arttıkça uyumlu bir şekilde artmıştır.

Ni/SrTiO₃-Ni/*n*-Si/Al heteroeklemi için 80–400 K sıcaklık aralığında $dV/d(\ln I)$ - I grafiğinden hesaplanan idealite faktörü değerleri 5,07 ile 2,14 (80-400 K) arasında sıcaklık arttıkça azalmış, hesaplanan seri direnç değerleri de 604 Ω ile 390 Ω (80-400 K) arasında sıcaklık arttıkça azalmıştır. Bu heteroeklemin $H(I)$ - I grafiğinden elde edilen seri direnç değerleri de sıcaklık arttıkça 636 Ω ile 282 Ω (80-400 K) arasında uyumlu bir şekilde azalırken, engel yüksekliği değerleri 0,28 eV ile 0,61 eV (80-400 K) arasında sıcaklık arttıkça uyumlu bir şekilde artmıştır.

Ni/SrTiO₃-Au/*n*-Si/Al heteroeklemi için 60–400 K sıcaklık aralığında $dV/d(\ln I)$ - I grafiğinden hesaplanan idealite faktörü değerleri 5,02 ile 2,03 (60-400 K) arasında sıcaklık arttıkça azalmış, hesaplanan seri direnç değerleri de 498 Ω ile 188 Ω (60-400 K) arasında sıcaklık arttıkça azalmıştır. Bu heteroeklemin $H(I)$ - I grafiğinden elde edilen seri direnç değerleri de sıcaklık arttıkça 483 Ω ile 175 Ω (60-400 K) arasında uyumlu bir şekilde azalırken, engel yüksekliği değerleri 0,31 eV ile 0,54 eV (60-400 K) arasında sıcaklık arttıkça uyumlu bir şekilde artmıştır.

Yukarıda bahsedilen grafik ve çizelgelerden de görüldüğü gibi Cheung fonksiyonları kullanılarak hesaplanan idealite faktörü değerleri geleneksel metotla hesaplanan değerlerden daha büyüktür. Bunun nedeni; seri direnç etkisi, arayüzey halleri ve arayüzey tabakasındaki gerilim düşmeleridir (Karataş and Turut 2006; Hamdaoui *et al.* 2014; Reddy 2014). Ayrıca $dV/d(\ln I)$ - I grafiklerinden ve $H(I)$ - I grafiklerinden elde edilen seri direnç değerlerinin de uyumlu olduğu görülmektedir. Sıcaklık arttıkça seri direnç değerlerinin azalmasının nedeni, yüksek sıcaklıklarda eklemenden daha fazla akım geçmesi ve iyonizasyon ile serbest taşıyıcı yoğunluğunun artmasının bir sonucu olarak yorumlanmasıyla açıklanabilir. (Baik *et al.* 2003; Dökme and Altındal 2006; Ejderha *et al.* 2011; Kaçuş 2014; Doğan and Elagöz 2014).

Ni/SrTiO₃/ n -Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/ n -Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/ n -Si/Al heteroeklemlerinin engel yüksekliği değerlerinin $1/2kT$ 'ye karşı olan değişimleri Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de görülmektedir. Bu grafiklerde bir tane lineer bölge yerine iki farklı lineer bölge olduğu görülmektedir. Bu durum heteroarayüzeyinde ikili Gauss dağılımının sonucu olan iki farklı engel yüksekliğinin varlığını göstermektedir (Bariset *et al.* 2013; Doğan and Elagöz 2014; Akkaya *et al.* 2014; Mayimele *et al.* 2016).

Ni/SrTiO₃/ n -Si/Al heteroeklemi için iki ayrı lineer fit uygulandığında 80 K ile 240 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,42 eV, standart sapması -0,005 V hesaplanırken; 240 K ile 400 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,65 eV, standart sapması 0,025 V hesaplanmıştır. Ni/SrTiO₃-Ni/ n -Si/Al heteroeklemi için iki ayrı lineer fit uygulandığında 80 K ile 220 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,40 eV, standart sapması 0,0052 V hesaplanırken; 220 K ile 400 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,67 eV, standart sapması 0,025 V olarak hesaplanmıştır. Ni/SrTiO₃-Au/ n -Si/Al heteroeklemi için iki ayrı lineer fit uygulandığında 60 K ile 180 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,34 eV, standart sapması -0,0038 hesaplanırken; 180 K ile 400 K arasında engel yüksekliğinin ortalama değeri 0,65 eV, standart sapması 0,02 hesaplanmıştır.

Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'deki grafikler aynı zamanda Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin idealite faktörü değerlerinin tersinin $1/2kT$ 'ye karşı olan değişimlerini de göstermektedir. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroeklemi için çizilen grafikten 80 K ile 240 K arasındaki voltaj katsayıları $\rho_2 = -0,003$, $\rho_3 = -0,281$ V; 240 K ile 400 K arasında $\rho_2 = -0,024$, $\rho_3 = -0,227$ V olarak hesaplanmıştır. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroeklemi için çizilen grafikten 80 K ile 220 K arasındaki voltaj katsayıları $\rho_2 = -0,057$ V, $\rho_3 = -0,0068$ V; 220 K ile 400 K arasında $\rho_2 = 0,287$, $\rho_3 = -0,021$ V olarak hesaplanmıştır. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemi için çizilen grafikten 60 K ile 180 K arasındaki voltaj katsayıları $\rho_2 = -0,070$ V, $\rho_3 = -0,0059$ V; 180 K ile 400 K arasında $\rho_2 = 0,165$, $\rho_3 = -0,013$ V olarak hesaplanmıştır.

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin $\ln(I_0/T^2)$ 'nin $(1/T)$ 'ye karşı çizilen geliştirilmiş Richardson grafikleri sırasıyla Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te görülmektedir. Grafikler kullanılarak hesaplanan Richardson sabiti değerleri Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemleri için sırasıyla $A^* = 51$ A/K²cm², $A^* = 27$ A/K²cm² ve $A^* = 16$ A/K²cm² olarak bulundu. Bu sonuçlar n-Si için teorik olarak hesaplanan 112 A/K²cm² değerinden çok küçüktür. Bunun nedeni kontaktaki homojensizlikler, farklı kalınlıktaki oksit tabakaların ara yüzeyde yüksek ve düşük engel alanları meydana getirmesi ve ara yüzeyde meydana gelen potansiyel dalgalanmalardan dolayı akımın daha düşük engel boyunca akacak olması olarak gösterilebilir (Durmuş and Yıldırım 2014; Mamor *et al.* 2014; Ouennoughi *et al.* 2015).

Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'de sırasıyla Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin nT 'nin T 'ye karşı grafikleri verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça idealite faktörü $n=1$ değerine yaklaşır. Teorik değerine yaklaşma durumu $n=1+(T_0/T)$ ilişkisiyle açıklanabilir. Bu durum engel yüksekliğindeki homojensizliklere, engeldeki taşıyıcıların tünellemesine, imaj kuvvetinin azalmasına ve arayüzey hal yoğunluğuna atfedilebilir (Mtangi *et al.* 2010; Hamdaoui *et al.* 2014; Karabulut *et al.* 2018).

Seri direnç ve engel yüksekliğini belirlemek için geleneksel yöntem ve Cheung fonksiyonlarından farklı olarak Norde metodu da kullanılmaktadır. Bu metotla Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin seri direnç ve engel yüksekliği değerleri sıcaklığa bağlı olarak hesaplandı. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı $F(V)$ - V grafikleri sırasıyla Şekil 4.49, Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de verilmiştir. Bu heteroeklemlerinin 80K ile 400 K arasında Norde fonksiyonları kullanılarak hesaplanan sıcaklığa bağlı engel yüksekliği ve seri direnç değerleri Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’da verilmiştir. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroekleminin 80K ile 400K arasında engel yüksekliği değerleri 0,43 eV ile 0,78 eV arasında değişirken, seri direnç değerleri ise 320 Ω ile 57 Ω arasında değişmektedir. Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroekleminin 80 K ile 400 K arasında engel yüksekliği değerleri 0,41 eV ile 0,79 eV arasında değişirken, seri direnç değerleri ise 5403 Ω ile 176 Ω arasında değişmektedir. Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroekleminin 60 K ile 400 K arasında engel yüksekliği değerleri 0,37 eV ile 0,77 eV arasında değişirken, seri direnç değerleri ise 4635 Ω ile 139 Ω arasında değişmektedir. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Norde fonksiyonlarından elde edilen engel yüksekliği değerlerinin sıcaklığa bağlı değişim grafikleri sırasıyla Şekil 4.52, Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’te verilirken üç grafiğin kıyaslaması Şekil 4.55’te verilmiştir. Bu grafiklerde sıcaklık ve engel yüksekliğinin uyumlu arttığı görülmektedir. Düşük sıcaklıklarda oluşan küçük engelleri yük taşıyıcıları aşabilir. Düşük engel yüksekliğinin yama şeklindeki homojensizlikten kaynaklı bölgelerden geçen akım yük geçişini sağlayacaktır. Sıcaklığın artması elektronların enerjisini artırarak daha yüksek engelleri aşmalarını sağlayacaktır. Sıcaklıkla birlikte uygulama voltajının artması engel yüksekliğinin artmasına neden olacaktır (Hamdaoui *et al.* 2014; Rao *et al.* 2015; Reddy *et al.* 2017).

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin Norde metodu kullanılarak hesaplanan sıcaklığa bağlı seri direnç grafikleri sırasıyla Şekil 4.56, Şekil 4.57 ve Şekil 4.58’de verilirken, üç grafiğin birlikte görüldüğü grafik Şekil 4.48’de verilmiştir. Bütün grafiklerde sıcaklık arttıkça seri direnç değerlerinin uyumlu bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bunun nedenin düşük sıcaklıklarda serbest

taşıyıcı yoğunluğunun eksikliği olduğu düşünülmektedir. (Missoum *et al.* 2015; Deniz *et al.* 2018).

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin TE, Cheung ve Norde metotları kullanılarak hesaplanan engel yüksekliği değerleri sırasıyla Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62’de verilmiştir. Bu grafiklerde üç metottan elde edilen sıcaklığa bağlı değerlerin birbirine yakın ve sıcaklıkla uyumlu şekilde değiştiği görülmektedir.

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin sıcaklığa bağlı arayüzey hal yoğunluğunun, arayüzey hal enerjisine karşı değişimleri sırasıyla Şekil 4.63, Şekil 4.64 ve Şekil 4.65’te verilmiştir. Arayüzeyin yeniden yapılanmasından dolayı sıcaklık arttıkça N_{ss} azalır. Grafiklerde arayüzey hal yoğunluğunun iletkenlik bandının altına doğru eksponansiyel olarak arttığı görülmektedir. Bu durum da arayüzey hal yoğunluğu valans bandının üstüne doğru eksponansiyel olarak arttığını göstermektedir. Buradaki artışların nedeni arayüzey tabakasına ve rekombinasyon merkezlerindeki azalmaya bağlanabilir (Durmuş and Yıldırım 2014; Deniz *et al.* 2016).

5.2. Oda Sıcaklığında ve Sıcaklığa Bağlı C-V Ölçümleri

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin oda sıcaklığında 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz, 1000 kHz ve 2000 kHz frekans değerlerinde C-V (kapasite-voltaj) ölçümleri -2 V ile +2 V aralığında yapıldı. Kontaklar bir kondansatör gibi davrandığı için C-V ölçümleri ara yüzey hakkında önemli bilgiler vermektedir. Heteroeklemler de kapasitenin ters beslem durumunda gerilime bağlı grafiği, engel yüksekliği, taşıyıcı yoğunluğu, difüzyon potansiyeli ve Fermi enerji seviyesi gibi önemli parametreleri bulmamızı sağlar.

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin oda sıcaklığında farklı frekans değerlerindeki düz ve ters beslem durumundaki C-V

grafikleri sırasıyla Şekil 4.66, Şekil 4.67 ve Şekil 4.68’de verilirken, $1/C^2$ - V grafikleri sırasıyla Şekil 4.69, Şekil 4.70 ve Şekil 4.71’te verilmiştir. Ters beslem durumunda negatif voltaj artırıldıkça kapasite azalırken, düz beslem durumunda voltaj arttıkça kapasitenin arttığı grafiklerde görülmektedir. Ters beslem durumunda deplasyon bölgesi genişler ve gerilimin artmasıyla taşıyıcı yoğunluğu arttığı için kapasite azalmaktadır. Düşük frekanslarda kapasitenin daha yüksek çıkmasının nedeni alternatif akım frekanslarını dengeli bir şekilde takip edebilen n -Si yarıiletken ile arayüzey hallerinden kaynaklanan aşırı kapasitedir. Yüksek frekanslara çıkıldıkça arayüzey halleri alternatif akım frekansını takip edemeyebilir ve kapasite değeri sadece uzay yükü kapasitesinden oluşur (Doğan *et al.* 2015; Orak *et al.* 2017; Yıldırım and Koçyigit 2018).

$1/C^2$ - V grafikleri kullanılarak oda sıcaklığında hesaplanan difüzyon potansiyeli (V_d) değerleri sırasıyla Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’te verilmiştir. Ni/SrTiO₃/ n -Si/Al heteroekleminin V_d değerleri 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz, 1000 kHz ve 2000 kHz frekansları için sırasıyla 0,44 V, 0,46 V, 0,47 V, 0,49 V ve 0,54 V olarak hesaplanmıştır. Ni/SrTiO₃-Ni/ n -Si/Al heteroekleminin V_d değerleri 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz, 1000 kHz ve 2000 kHz frekansları için sırasıyla 0,36 V, 0,39 V, 0,43 V, 0,44 V ve 0,47 V olarak hesaplanmıştır. Ni/SrTiO₃-Au/ n -Si/Al heteroekleminin V_d değerleri 100 kHz, 200 kHz, 500 kHz, 1000 kHz ve 2000 kHz frekansları için sırasıyla 0,31 V, 0,31 V, 0,32 V, 0,34 V ve 0,36 V olarak hesaplanmıştır.

$1/C^2$ - V grafikleri kullanılarak oda sıcaklığında Ni/SrTiO₃/ n -Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/ n -Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/ n -Si/Al heteroeklemleri için hesaplanan iyonize olmuş donöryoğunluğu (N_d) değerleri sırasıyla Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’te verilmiştir. Frekans artması yüksek alternatif akım sinyalini takip edemeyen yük taşıyıcılarını ve arayüzeydeki rekombine elektron ve holleri de etkilediği için N_d azalmıştır (Orak *et al.* 2017; Koçyigit *et al.* 2017).

Ni/SrTiO₃/ n -Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/ n -Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/ n -Si/Al heteroeklemleri için hesaplanan Fermi enerji seviyesi (E_f) değerleri sırasıyla Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13’te verilmiştir. Çizelgelerden de görüldüğü gibi frekansın artması Fermi

enerji seviyesini değiştirmemiştir. E_f değeri Ni/SrTiO₃/n-Si/Al heteroeklemi için 0,23 eV, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al heteroeklemi için 0,24 eV ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemi için 0,24 eV'dir.

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemleri iinoda sıcaklığında gerçekleştirilen ölçümlerden hesaplanan ortalama engel yüksekliliği değerleri sırasıyla izelge 4.11, izelge 4.12 ve izelge 4.13'te verilmiştir. Ortalama engel yüksekliliği değerleri artan frekansla artarken, I - V grafiğinden hesaplanan değerlerden daha büyük çıkmıştır. Bunun nedeni C - V ile I - V lm tekniklerindeki farklılıklar ve engel yksekliliğinin yapısıdır (Reddy *et al.* 2013; Jyothi *et al.* 2014).

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı C - V (kapasite-voltaj) lmleri -2 V ile +2 V aralığında alındı. şekil 4.72, şekil 4.73 ve şekil 4.74'te sırasıyla 40 K artışlarla sıcaklığa bağlı C - V grafikleri görülmektedir, grafiklerinden de görüldüğü gibi ters beslem durumunda sıcaklık arttıķķa kapasite artmıştır. Düz beslem durumunda ise sıcaklık arttıķķa kapasite dşmştir. Bu durum arayüzey uzay yükü oluşumu ve sıcaklığa bağlı seri direnç etkisine atfedilebilir (Bülbül *et al.* 2006; Dökme *et al.* 2010).

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ - V grafikleri sırasıyla şekil 4.75, şekil 4.76 ve şekil 4.77'da görülmektedir. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin $1/C^2$ - V grafikleri kullanılarak sıcaklığa bağlı hesaplanan difüzyon potansiyeli (V_d) değerleri sırasıyla izelge 4.14, izelge 4.15 ve izelge 4.16'da verilmiştir. Sıcaklık arttıķķa V_d değerinin azaldığı şekil 4.78, şekil 4.79 ve şekil 4.80'de görülmektedir. Bu durum rekombinasyon merkezi olarak görev yapan arayüzey hallerindeki tuzaklanma durumları ve tuzakların iyonizasyonunun olmamasıyla açıklanabilir (akıcı *et al.* 2015; Aydoğan *et al.* 2017)

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ - V grafiklerinden elde edilen iyonize

olmuş donöryoğunluğu (N_d) değerleri sırasıyla Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da verilmiştir. Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemleri için donör yoğunluğundaki lineer olmayan değişimleri Şekil 4.81, Şekil 4.82 ve Şekil 4.83'te görülmektedir. Bu durum arayüzeydeki hal yoğunluğunun varlığı ile ortaya çıkan artık kapasite ile açıklanmaktadır. (Turut *et al.* 1992).

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ -V grafiklerinden elde edilen Fermi enerji seviyesi (E_f) değerleri sırasıyla Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.84, Şekil 4.85 ve Şekil 4.86'da artan sıcaklıkla birlikte E_f değerlerinin de artması arayüzey hallerindeki tuzaklar ve arayüzeydeki homojensizliklere atfedilebilir (Aydoğan *et al.* 2005; Naik and Reddy 2010).

Ni/SrTiO₃/n-Si/Al, Ni/SrTiO₃-Ni/n-Si/Al ve Ni/SrTiO₃-Au/n-Si/Al heteroeklemlerinin 500 kHz frekans değerinde sıcaklığa bağlı $1/C^2$ -V grafiklerinden elde edilen ortalama engel yüksekliği değerleri sırasıyla Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da verilmiştir. Ortalama engel yüksekliği değerleri azalan sıcaklıkla düştüğü Şekil 4.87, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89'da görülmektedir. Bunun nedeni engelin homojensizliğine, yüksek kapasitansa ve arayüzeyin varlığına atfedilmektedir (Mahato *et al.* 2017; Kumar *et al.* 2018).

Sonuç olarak heteroeklemlerin fabrikasyonunda kullanılan perovskit oksit yapıdaki SrTiO₃ nanoküpleri elektriksel parametrelere olumlu etki etmiştir. Au ve Ni metal ile desteklenmiş SrTiO₃-Ni ve SrTiO₃-Au nanoküplerinin kullanılması daha fazla iyileşme sağlamıştır. Bu iyileşme idealite faktöründeki düşüş ve engel yüksekliğindeki artışla doğrulanmaktadır. Bütün ölçüm ve hesaplamalar dikkate alındığında SrTiO₃, SrTiO₃-Ni ve SrTiO₃-Au nanoküpler heteroeklemlerde avantaj sağlayan bir materyaldir. Bu yüzden SrTiO₃'ün elektronik aygıt uygulamalarında potansiyel bir aday malzeme olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Abdelmalik, T.G., 1991. Direct current conductivity and thermally stimulated current of β -nickel phthalocyanine films using gold and aluminium electrodes. *International Journal of Electronics*, 72(3), 409-418.
- Adams, M.J. and Nussbaum A. 1979. A proposal for a new approach to Heterojunction theory. *Solid-State Electronics*, 22, 783-791.
- Ahaitouf A., Srour H., Hamady, S.O.S., Fressengeas, N., Ougazzaden, A., Salvestrini, J.P., 2012. Interface state effects in GaN Schottky diodes. *Thin Solid Films*, 522, 345-351.
- Ajimsha, R.S., Vanaja, K.A., Jayaraj, M.K., Misra, P., Dixit, V.K., Kukreja, L.M., 2007. Transparent p-AgCoO₂/n-ZnO diode heterojunction fabricated by pulsed laser deposition. *Thin Solid Films*, 515, 7352-7356.
- Akkaya, A., Esmer, L., Karaaslan, T., Çetin, H., Ayyıldız, E., 2014. Electrical characterization of Ni/Al_{0.09}Ga_{0.91}N Schottky barrier diodes as a function of temperature. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 28, 127-134.
- Alferov, Z.I., 2001. The double heterostructure concept and its applications. in physics, electronics, and technology. *Reviews of Modern Physics*, 73(3), 767-782
- Alivov, Y.I., Kalinina, E.V., Cherenkov, A.E., Look, D.C., Ataev, B.M., Omaev, A.K., Chukichev, M.V., Bagnall, D.M., 2003. Fabrication and characterization of n-ZnO/p-AlGaIn heterojunction light-emitting diodes on 6H-SiC substrates. *Applied Physics Letters*, 83(23), 4719-4721.
- Altındal, Ş., Karadeniz, S., Tuğluoğlu, N., Tataroğlu, A., 2003. The role of interface states and series resistance on the I-V and C-V characteristics in Al/SnO₂/p-Si Schottky diodes. *Solid-State Electronics*, 47, 1847-1854.
- Altuntaş, H., Altındal, Ş., Shtrikman, H., Özçelik, S., 2009. A detailed study of current-voltage characteristics in Au/SiO₂/n-GaAs in wide temperature range. *Microelectronics Reliability*, 49, 904-911.
- Amoresi R.A.C., Teodoro V., Teixeira G.F., Li, M.S., Simões, A.Z., Perazolli, L.A., Longo, E., Zagheeta, M.A., 2018. *Journal of the European Ceramic Society*, 38, 1621-1631.
- Anderson, R.L., 1962. Experiments on Ge-GaAs Heterojunctions. *Solid-State Electronics*, 5, 341-351.
- Atkinson, I., Parvulescu, V., Pandele Cusu, J., Anghel, E.M., Voicescu, M., Culita, D., Somacescu, S., Munteanu, C., Šćepanović, M., Popovic, Z.V., Frutha, V., 2019. Influence of preparation method and nitrogen (N) doping on properties and photo-catalytic activity of mesoporous SrTiO₃. *Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry*, 368, 41-51.
- Aydemir, U., 2009. Au/SrTiO₃/n-Si (MFS) Schottky Diyotların Elektriksel Parametrelerinin I-V, C-V ve DLTS Metodu İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aydoğan, Ş., 2015. Katıhal Elektronik. Nobel Yayınevi, 175, Türkiye.
- Aydoğan, Ş., Sağlam, M., Turut A., 2005. Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of polypyrrole/p-InP structure. *Vacuum*, 77, 269-274

- Aydoğan, Ş., Sağlam, M., Turut A., 2008. Some electrical properties of polyaniline/p-Si/Al structure at 300 K and 77 K temperatures. *Microelectronic Engineering*, 85, 278-283.
- Aydoğan, Ş., İncekara, Ü., Deniz, A.R., Turut, A., 2010. Extraction of electronic parameters of Schottky diode based on an organic Indigotindisulfonate Sodium (IS). *Solid State Communications*, 150, 1592-1596.
- Aydoğan, Ş., İncekara, Ü., Turut, A., 2011. The effects of the Au/Aniline blue/p-Si/Al device. *Microelectronics Reliability*, 51, 2216-222.
- Aydoğan, Ş., Turut, A., 2011. Influence of 12 MeV electron irradiation on the electrical and photovoltaic properties of Schottky type solar cell based on Carmine. *Radiation Physics and Chemistry*, 80, 869-875.
- Aydoğan, Ş., Grilli, M.L., Yilmaz, M., Çaldıran, Z., Kaçuş, H., 2017. A facile growth of spray based ZnO films and device performance investigation for Schottky diodes: Determination of interface state density distribution. *Journal of Alloys and Compounds*, 708, 55-66.
- Baik, K.H., Irokawa, Y., Ren, F., Pearson, S.J., Park, S.S., Park, Y.J., 2003. Temperature dependence of forward current characteristics of GaN junction and Schottky rectifiers. *Solid-State Electronics*, 47, 1533–1538.
- Baris , B., Yuksel, O.F., Tugluoglu, N., Karadeniz, S., 2013. Double barrier heights in 5,6,11,12-tetraphenylnaphthacene (rubrene) based organic Schottky diode. *Synthetic Metals*, 180, 38– 42
- Bentham, K.V., Elsasser, C., French, R.H., 2001. Bulk electronic structure of SrTiO₃: Experiment and theory. *Journal of Applied Physics*, 90(12), 6156-6164.
- Bethe, H. A., 1942. Theory of the Boundary Layer of Crystal Rectifiers. MIT, *Radiat. Lab.Rep.*, 43, 12.
- Bhalla, A.S., Guo, R., Roy, R., 2000. The perovskite structure –a review of its role in ceramic science and technology. *Material Research Innovations*, 4, 3–26.
- Bilkan, Ç., Gümüş, A., Altındal, Ş., 2015. The source of negative capacitance and anomalous peak in the forward bias capacitance-voltage in Cr/p-si Schottky barrier diodes (SBDs). *Materials Science in Semiconductor Processing* 39, 484–491.
- Bönnemann, H. and. Nagabhushana K.S., 2008. *Metal Nanoclusters: Synthesis and Strategies for their Size Control*. Elsevier, 21-42.
- Braun, F., 1874. On the current conduction through metal sulphides. (in German) *Ann. Physics Chemistry*, 153, 556.
- Brillson, L. J., 1982. The structure and properties of metal-semiconductor interfaces. *Surface Science Reports* 2-2, 123-326.
- Brillson, L. J., 1993. *Contacts To Semiconductors*, Noyes Publications, New Jersey.
- Bülbül, M.M., Zeyrek, S., Altındal, Ş., Yüzer, H., 2006. On the profile of temperature dependent series resistance in Al/Si₃N₄/p-Si (MIS) Schottky diodes. *Microelectronic Engineering*, 83, 577-581.
- Chandler, C.D., Roger, C., Hampden-Smith M.J., 1993. Chemical Aspects of Solution Routes to Perovskite-Phase Mixed-Metal Oxides from Metal-Organic Precursors. *Chemical Reviews*, 93, 1205-1241.
- Chang, S.P., Chuang, R.W., Chang, S.J., Chiou, Y.Z., Lu, C.Y., 2009. MBE n-ZnO/MOCVD p-GaN heterojunction light-emitting diode. *Thin Solid Films*, 517, 5054-5056.

- Chen, Y-K., Nottenburg, R.N., Panish, M.B., Hamm, R.A., Humphrey, D.A., 1989. Subpicosecond Inp/Ingaas Heterostructure Bipolar Transistors. *Electron Device Letters*, 10, 267-269.
- Cheung, S.K. and Cheung, W.N., 1986. Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Applied Physic Letters*, 49, 85.
- Cowley, R.A., 1996. *The Phase Transition of Strontium Titanate*. Royal Society Publishing, 354, London.
- Çakıcı, T., Güzeldir, B., Sağlam, 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.
- Çaldıran, Z., 2013. Au/Antrakininon/p-Si/Al Schottky diodun temel karakteristik parametrelerinin sıcaklığa bağlı I-V (Akım-Voltaj) ve C-V (Kapasite-Voltaj) ölçümlerinden tayin edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Erzurum.
- Çaldıran, Z., Deniz, A.R., Şahin, Y., Metin, Ö., Meral, K., Aydoğan, Ş., 2013. The electrical characteristic of the Fe₃O₄/Si junctions. *Journal of Alloys and Compounds*, 552, 437-442.
- Çaldıran, Z., Deniz, A.R., Coşkun, F.M., Aydoğan, Ş., Yeşiltaş, A., Ekinçi, D., 2014. I-V-T (current-voltage-temperature) characteristics of the Au/Anthraquinone/p-Si/Al junction device. *Journal of Alloys and Compounds*, 584, 652-657.
- Çaldıran, Z., Aydoğan, Ş., Yesildag, A., Ekinçi, D., Kurudirek, S.V., Turut, A., 2015. Temperature-dependent current-voltage measurements of Au/C₉H₇N/p-Si: Characterization of a metal-organic-semiconductor device. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 34, 58-64.
- Çaldıran, Ç., Biber, M., Metin, Ö., Aydoğan, Ş., 2017. Improving the performance of the organic solar cell and the inorganic heterojunction devices using monodisperse Fe₃O₄ nanoparticles. *Optik*, 142, 134-143.
- Çınar, K., Çaldıran, Z., Coşkun, C., Aydoğan, Ş., 2014. Electrochemical growth of GaTe onto the p-type Si substrate and the characterization of the Sn/GaTe Schottky diode as a function of temperature. *Thin Solid Films*, 550, 40-45.
- Çiçek, O., Tecimer., H.U., Tan, S.O., Tecimer, H., Orak, İ., Altındal, Ş., 2017. Synthesis and characterization of pure and graphene (Gr)-doped organic/polymer nanocomposites to investigate the electrical and photoconductivity properties of Au/n-GaAs structures. *Composites Part B*, 113, 14-23.
- Davidson, M.W. and Lofgren, G.E., 1991. Photomicrography in the Geological Sciences. *Journal of Geological Education*, 39, 403-418.
- Davydov, B., 1939. On the contact resistance of semiconductors, *J. Phys. USSR*, 1, 167-174.
- Demircioğlu, Ö., Karatas, Ş., Yıldırım, N., Bakkaloglu, Ö.F., Turut, A., 2011. Temperature dependent current-voltage and capacitance-voltage characteristics of chromium Schottky contacts formed by electrodeposition technique on n-type Si. *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 6433-6439.
- Demirezen, S., Sönmez, Z., Aydemir, U., Altındal, Ş., 2012. Effect of series resistance and interface states on the I-V, C-V and G/ω-V characteristics in Au/Bi-doped

- polyvinyl alcohol (PVA)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature. *Current Applied Physics*, 12, 266-272.
- Deniz, A.R., Çaldıran, Z., Şahin, Y., Şinoforoğlu, M., Metin, Ö., Meral, K., Aydoğan, Ş., 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*, 44A, 3809-3814.
- Deniz, A.R., Çaldıran, Z., Metin, Ö., Can, H., Meral, K., Aydoğan, Ş., 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., 2015. Au/Fe₃O₄/p-Si/Al ve Au/Fe₃O₄/n-Si /Al Heteroyapıların Elektriksel Özelliklerinin Sıcaklığa Bağlı Olarak İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Erzurum.
- Deniz, A.R., Çaldıran, Z., Metin, Ö., Meral, K., Aydoğan, Ş., 2016. The investigation of the electrical properties of Fe₃O₄/n-Si heterojunctions in a wide temperature range. *Journal of Colloid and Interface Science*, 473, 172-181.
- Deniz, A.R., Çaldıran, Z., Biber, M., İncekara, U., Aydoğan, Ş., 2018. Investigation of electrical properties of Ni/Crystal Violet (C₂₅H₃₀ClN₃)/n-Si/Al diode as a function of temperature. *Journal of Alloys and Compounds*, 763, 622-628
- Dhimmar, J.M., Desai, H.N., Modi, B.P., 2016. The Effect of Interface States Density Distribution and Series Resistance on Electrical Behaviour of Schottky Diode. *Materials Today*, 3, 1658,1665.
- Doğan, H. and Elagöz, S., 2014. Temperature-dependent electrical transport properties of (Au/Ni)/n-GaN Schottky barrier diodes. *Physica E*, 63, 186-192.
- Doğan, H., Yıldırım, N., Orak, İ., Elagöz, S., Turut, A., 2015. Capacitance-conductance-frequency characteristics of Au/Ni/n-GaN/undoped GaN Structures. *Physica B*, 457, 48-53.
- Doğan, S., Duman, S., Gürbulak, B., Tüzemen, S., Morkoç, H., 2009. Temperature variation of current-voltage characteristics of Au/Ni/n-GaN Schottky diodes. *Physica E*, 41, 646-651.
- Donnelly, J.P. and Milnes, A.G., 1966. The Capacitance of p-n Heterojunctions Including the Effects of Interface States. *Transactions on Electron Devices*, 14(2), 63-68.
- Dökme, İ. and Altındal, Ş., 2006. On the intersecting behaviour of experimental forward bias current-voltage (I-V) characteristics of Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes at low temperatures. *Semiconductor Science and Technology*, 21, 1053-1058.
- Dökme, İ., Altındal, Ş., Tunç, T., Uslu, İ., 2010. Temperature dependent electrical and dielectric properties of Au/polyvinyl alcohol (Ni, Zn-doped)/n-Si Schottky diodes. *Microelectronics Reliability*, 50, 39-40.
- Drummond, T.J., Masselink, W.T., Morkoç, H., 1986. *Proceeding of IEEE*, 74(6), 773-822
- Durmuş, P. and Yıldırım, N., 2014. Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Au/n-Si (111) Schottky barrier diodes at low temperatures. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 27, 145-149.
- Ejderha, K., Yıldırım, N., Abay, B., Turut, A., 2009. Examination by interfacial layer and inhomogeneous barrier height model of temperature-dependent I-V

- characteristics in Co/p-InP contacts. *Journal of Alloys and Compounds*, 484, 870-876.
- Ejderha, K., Yıldırım, N., Turut, A., 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, 241-252.
- Ejderha, K., Zengin, A., Orak, İ., Tasyurek, L.B., Kilinc, T., Turut, A., 2011. Dependence of characteristics diode parameters on sample temperature in Ni/epitaxy n-Si contacts. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 14, 5-12.
- Erdinç, B., 2006. Perovskit Yapıdaki Bazı Kristallerde İzotop Yerleştirmenin Faz Geçiş Sıcaklığı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Erkişi, A., 2015. Bazı ABO₃ Tipi Perovskite Yapıdaki Oksit Kristallerin Yapısal, Mekanik, Elektronik Ve Manyetik Özelliklerinin Yoğunluk Fonksiyoneli Teorisi İle İncelenmesi. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Erman, E. And Kundakçı, M., 2017. Room temperature current-voltage (I-V) characteristics of Ag/InGaN/n-Si Schottky barrier diode. *Physica B*, 506, 105-108.
- Fleetwood, D.M., Miller, S.L., Reber, R.A., McWhorter, P.J., Winokur, P.S., Shaneyfelt, M.R., Schwank, J.R., 1992. New Insights Into Radiation-Induced Oxide-Trap Charge Through Thermally-Stimulated-Current Measurement and Analysis. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 39(6), 2192-2203.
- Galasso, F., 1969. *Structure and Properties of Inorganic Solids*. Pergman Press, Oxford, New York
- Gangvani, P., Pandey, S., Halder, S., Gupta, M., Gupta, R.S., 2007. A compact C-V model for 120nm AlGaN/GaN HEMT with modified field dependent mobility for high frequency applications. *Microelectronics Journal*, 38, 848-854.
- Geng, G., Chen, P., Guan, B., Liu, Y., Yang, C., Wang, N., Liu, M., 2017. Sheetlike gold nanostructures/graphene oxide composites via a one-pot green fabrication protocol and their interesting two-stage catalytic behaviors. *The Royal Society of Chemistry*, 7, 51838-51846.
- Gerling, L.G., Mahato, S., Voz, C., Alcubilla, R., Puigdollers, J., 2015. Characterization of Transition Metal Oxide/Silicon Heterojunctions for Solar Cell Applications. *Applied Science*, 5, 695-705.
- Geynet, B., Chevalier, P., Brossard, F., Vandelle, B., Schwartzmann, T., Buczko, M., Avenier, G., Dutartre, D., Dambrine, G., Danneville, F., Chantre, A., 2009. A selective epitaxy collector module for high-speed Si/SiGe:C HBTs. *Solid-State Electronics*, 53, 873-876.
- Göksu, T., Yıldırım, N., Korkut, H., Özdemir, A.F., Turut, A., Kökçe, A., 2010. Barrier height temperature coefficient in ideal Ti/n-GaAs Schottky contacts. *Microelectronic Engineering*, 87, 1781-1784.
- Gracia, L., Andrés, J., Longo, V.M., Varela, J.A., Longo, E., 2010. A theoretical study on the photoluminescence of SrTiO₃. *Chemical Physics Letters*, 493, 141-146
- Gu, X., Li, C., Yuan, S., Ma, M., Qiang, Y., Zhu, J., 2016. ZnO based heterojunctions and their application in environmental photocatalysis. *Nanotechnology*, 27, 1-21.
- Gupta, R.K., Ghosh, K., Kahol, P.K., 2009. Fabrication and characterization of NiO/ZnO p-n junctions by pulsed laser deposition. *Physica E*, 41, 617-620.

- Güllü, Ö., Asubay, S., Aydoğan, Ş., Turut, A., 2010. Electrical characterization of the Al/new fuchsin/n-Si organic-modified device. *Physica E*, 42, 1411-1416.
- Güllü, Ö., Aydoğan, Ş., Turut, A., 2012. Electronic parameters of high barrier Au/Rhodamine-101/n-Inp Schottky diode with organic interlayer. *Thin Solid Films*, 520, 1944-1948.
- Gülnahar, M. and Efeoğlu, H., 2009. Double barrier nature of Au/p-GaTe Schottky contact: Linearization of Richardson plot. *Solid-State Electronics*, 53, 972–978.
- Gülnahar, M., 2014. Temperature dependence of current-and capacitance-voltage characteristics of an Au/4H-SiC Schottky diode. *Superlattices and Microstructures*, 76, 394-412.
- Güzeldir, B., Sağlam, M., Ateş, A., 2010. Analysis of the electrical characteristics of Zn/ZnSe/n-Si/Au–Sb structure fabricated using SILAR method as a function of temperature. *Journal of Alloys and Compounds*, 506, 388-394.
- Güzeldir, B., Sağlam, M., Ateş, A., 2012. Some electrical and structural properties of Cd/CdS/n-Si/Au-Sb sandwich structure. *Superlattices and Microstructures*, 52, 416-419.
- Hamdaoui, N., Ajjel, R., Salem, B., Gendry, M., 2014. Distribution of barrier heights in metal/n-InAlAs Schottky diodes from current-voltage-temperature measurements. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 26, 431-437.
- Harrabi, Z., Jomni, S., Beji, L., Bouazizi, A., 2010. Distribution of barrier heights in Au/porous GaAs Schottky diodes from current–voltage–temperature measurements. *Physica B*, 405, 3745-3750.
- Horváth, Z.J., 1996. Comment On "Analysis Of I-V Measurements On CrSi₂-Si Schottky Structures In A Wide Temperature Range". *Solid-State Electronics*, 39, 176-178.
- Hu, F.X., Gao, J., Sun, J.R., Shen, B.G., 2003. Good rectifying characteristic in p –n junctions composed of La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_{3-δ}Nb– 0.7 wt%-doped SrTiO₃. *Applied Physics Letters*, 83(9), 1869-1871.
- Hu, C., Huang H-X., Lin, Y-F., Yoshida, M., Chen, T-H., 2019. Decoration of SrTiO₃ nanofibers by BiOI for photocatalytic methyl orange degradation under visible light irradiation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 96, 264–272
- Hughes, B., Tasker, P.J., 1989. Bias Dependence of the MODFET Intrinsic Model Elements Values at Microwave Frequencies. *Transactions On Electron Devices*, 36(10), 2267-2273.
- Ilcan, S., Gorgun, K., Aksoy, S., Caglar, Y., Caglar, M., 2018. Fabrication of p-Si/n-ZnO:Al heterojunction diode and determination of electrical parameters. *Journal of Molecular Structure*, 1156, 675-683.
- Itoh, M. and Hinatsu, Y., 1998. Crystal structures and magnetic properties of Ba_{1-y}Sr_yPrO₃ (0≤y≤1.0). *Journal of Alloys and Compounds*, 264, 119-124.
- Jackson, C.A., Moetakef, P., Allen, J., Stemmer, S., 2012. Capacitance-voltage analysis of high-carrier-density SrTiO₃/GdTiO₃ heterostructures. *Applied Physics Letters*, 100, 1-3.
- James, L.W., Antypas, G.A., Moon, R.L., Edgecumbe, J., Bell, R.L., 1973. Photoemission from cesium-oxide-activated InGaAsP. *Applied Physics Letters*, 22, 270-271.

- Janardhanam, V., Kumar, A.S., Reddy, V.R., Reddy, P.N., 2009. Study of current–voltage–temperature (I–V–T) and capacitance–voltage–temperature (C–V–T) characteristics of molybdenum Schottky contacts on n-InP (1 0 0). *Journal of Alloys and Compounds*, 485, 467-472.
- Janousch, M., Meijer, G.I., Staub, U., Delley, B., Karg, S.F., Andreasson, B.P., 2007. Role of Oxygen Vacancies in Cr-Doped SrTiO₃ for Resistance-Change Memory. *Advanced Materials*, 19, 2232-2235.
- Jyothi, I., Janardhanam, V., Hong, H., Choi, C-J., 2015. Current–voltage and capacitance–voltage characteristics of Al Schottky Contacts to strained Si-on-insulator in the wide temperature range. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 39, 90–399.
- Joshi, U.A. and Lee, J.S., 2005. Template-Free Hydrothermal Synthesis of Single-Crystalline Barium Titanate and Strontium Titanate Nanowires. *Small-Journal*, 12, 1172-1176.
- Kaçuş, H., Deniz, A.R., Çaldıran, Z., Aydoğan, Ş., Yeşiltaş, A., Ekin, D., 2014. The analysis of the current-voltage characteristics of the high barrier Au/Anthracene /n-Si MIS devices at low temperatures. *Materials Chemistry and Physics*, 143, 545-551.
- Kaçuş, H., 2014. Au/Antrasen/n-Si/Al Schottky Diyodun Temel Karakteristik Parametrelerinin Sıcaklığa Bağlı I-V (Akım-Voltaj) Ve C-V (Kapasite-Voltaj) Ölçümlerinden Tayin Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Erzurum.
- Kaçuş, H., Aydoğan, Ş., Ekin, D., Kurudirek, S.V., Turut, A., 2015. Optical absorption of the anthracene and temperature-dependent capacitance–Voltage characteristics of the Au/anthracene/n-Si heterojunction in metal–organic–semiconductor configuration. *Physica E*, 74, 505-509.
- Kaminski, A., Marchand, J.J. and Laugier, A. 1998. Non ideal dark I-V curves behavior of silicon solar cells. *Solid State Electron*, 51, 221-231.
- Kan, D., Terashima, T., Shimakawa, Y., Takano, T., 2005. Fabrication and I–V characteristics of p–n junctions composed of high-T_c superconductors and La-doped SrTiO₃. *Thin Solid Films*, 486, 71-74.
- Karabulut, A., Orak, İ., Canlı, S., Yıldırım, N., Turut, A., 2018. Temperature-dependent electrical characteristics of Alq₃/p-Si heterojunction. *Physica B: Condensed Matter*, 550, 68-74.
- Karataş, Ş., Altındal, Ş., Turut, A., Özmen, A., 2003. Temperature dependence of characteristic parameters of the H-terminated Sn/p-Si(1 0 0) Schottky contacts. *Applied Surface Science*, 217, 250-260.
- Karataş, Ş., Altındal, Ş., Çakar, M., 2005. Current transport in Zp/p-Si (100) Schottky barrier diodes at high temperatures. *Physica B*, 357, 386-397.
- Karataş, Ş. and Turut, A., 2006. The determination of electronic and interface state density distributions of Au/n-type GaAs Schottky barrier diodes. *Physica B*, 381, 199-203.
- Karataş, Ş., Yıldırım, N., Turut, A., 2013. Electrical properties and interface state energy distributions of Cr/n-Si Schottky barrier diode. *Superlattices and Microstructures*, 64, 483-494.

- Kawakami, S., Nakajima, N., Nakatake, M., Kawamura, N., Mizumaki, M., Maruyama H., 2015. Mechanism of intrinsic dipole moment induction in quantum paraelectric SrTiO₃. *Japanese Journal of Applied Physics*, 54, 1-6.
- Keskenler, E.F., 2012. Sol-Jel Yöntemiyle Büyütülen ZnO İnce Filmlerinin Optik, Yapısal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Erzurum.
- Khurelbaatar, Z., Kil, Y-H., Yun, H-J., Shim, K-H., Nam, J-T., Kim, K-S., Lee, S-K., Choi, C-J., 2014. Modification of Schottky barrier properties of Au/n-type Ge Schottky barrier diode using monolayer graphene interlayer. *Journal of Alloys and Compounds*, 614, 323-329.
- Kim, H.M., Kim, U., Park, C., Kwon, H., Char, K., 2016. Thermally stable pn-junctions based on a single transparent perovskite semiconductor BaSnO₃. *APL Materials*, 4, 1-8.
- Koçyigit, A., Orak, I., Karteri, I., Urus, S., 2017. The structural analysis of MWCNT-SiO₂ and electrical properties on device application. *Current Applied Physics*, 17, 1215-1222.
- Kolodiazhnyi, T. and Petric, A., 2005. The Applicability of Sr-deficient n-type SrTiO₃ for SOFC Anodes. *Journal of Electroceramics*, 15, 5-11.
- Korkut, H., Yıldırım, N., Turut, A., 2008. Temperature-dependent current-voltage characteristics of Cr/n-GaAs Schottky diodes. *Microelectronic Engineering*, 86, 111-116.
- Kornblum, L., Fenning, D.P., Faucher, J., Hwang, J., Boni, A., Han, M.G., Morales-Acosta, M.D., Zhu, Y., Altman, E.I., Lee, M.L., Ahn, C.H., Walker, F.J., Shao-Horn, Y., 2017. Solar hydrogen production using epitaxial SrTiO₃ on a GaAs photovoltaic. *The Royal Society of Chemistry*, 10, 377-382.
- Korte, L., Conrad, E., Angermann, H., Stangl, R., Schmidt, M., 2009. Advances in a-Si:H/c-Si heterojunction solar cell fabrication and characterization. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 93, 905-910.
- Korucu, D. and Turut, A., 2014. Temperature dependence of Schottky diode characteristics prepared with photolithography technique. *International Journal of Electronics*, (101)11, 1595-1606.
- Koumoto, K., Wang, Y., Zhang, R., Kosuga, A., Funahashi, R., 2010. Oxide Thermoelectric Materials: A Nanostructuring Approach. *Annual Review of Materials Research*, 40, 363-394.
- Kraya, R.A., and Kraya, L.Y., 2012. Controlling the Interface Dynamics at Au Nanoparticle-Oxide Interfaces. *Transactions On Nanotechnology*, 11(1), 12-15.
- Kressel, H. 1980. *Materials For Heterojunction Devices*, Annual Reviews, 287, USA.
- Kumar, A., Sharma, K.K., Chand, S., Kumar, A., 2018. Investigation of barrier inhomogeneities in I-V and C-V characteristics of Ni/n-TiO₂/p-Si/Al heterostructure in wide temperature range. *Superlattices and Microstructures*, 122, 304-315.
- Kumar, A., Vinayak, S., Singh, R., 2013. Micro-structural and temperature dependent electrical characterization of Ni/GaN Schottky barrier diodes. *Current Applied Physics*, 13(6), 1137-1142.
- Kumar, A.A., Janardhanam, V., Reddy, V.R., Reddy, P.N., 2009. Evaluation of Schottky barrier parameters of Pd/Pt Schottky contacts on n-InP (100) in wide temperature range. *Superlattices and Microstructures*, 45, 22-32.

- Lakshmi, B.P., Reddy, M.S.P., Kumar, A.A., Reddy, V.R., 2012. Electrical transport properties of Au/SiO₂/n-GaN MIS structure in a wide temperature range. *Current Applied Physics*, 12, 765-772.
- Lee, C-H., Podraza, N.J., Zhu, Y., Berger, R.F., Shen, S., Sestak, M., Collins, R.W., Kourkoutis, L.F., Mundy, J.A., Wang, H., Mao, Q., Xi, X., Brillson, L.J., Neaton, J.B., Muller, D.A., and Schlom, D.G., 2013. Effect of reduced dimensionality on the optical band gap of SrTiO₃. *Applied Physics Letters*, 102, 122901.
- Lin, Y-J. and Lin, J-H., 2014. Annealing effect on Schottky barrier inhomogeneity of graphene/n-type Si Schottky diodes. *Applied Surface Science*, 311, 224-229.
- Lines, M. E., and Glass, A. M., 1977. *Principles and Applications of Ferroelectrics and Related Materials*. Clarendon Press, Oxford.
- Linz, J. A., 1953. Some Electrical Properties of Strontium Titanate. *Phys. Rev.*, 91, 753.
- Mahato, S., and Puigdollers, J., 2018. Temperature dependent current-voltage characteristics of Au/n-Si Schottky barrier diodes and the effect of transition metal oxides as an interface layer. *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 530, 327-335.
- Mahato, S., Biswas, D., Gerling, L.G., Voz, C., Puigdollers, J., 2017. Analysis of temperature dependent current-voltage and capacitance-voltage characteristics of an Au/V₂O₅/n-Si Schottky diode. *AIP Advances* 7, 085313
- Mamor, M., Bouziane, K., Tirbiyine, A., Alhamrashdi, H., 2014. On the electrical characteristics of Au/n-type GaAs Schottky diode. *Superlattices and Microstructures*, 72, 344-351.
- Masatoshi, I., Fujimori, A., Tokura, Y., 1998. Metal-insulator transitions. *Reviews of Modern Physics*, Vol. 70, 1123.
- Master, R., Choudhary, R.J., Phase, D.M., 2013. Modifications in junction diode properties of ZnO/p-Si heterojunction by Fe₃O₄ intermediate layer. *Thin Solid Films*, 542, 76-80.
- Mayimele, M.A., Janse van Rensburg, J.P., Auret, F.D., Diale, M., 2016. Analysis of temperature-dependant current–Voltage characteristics and extraction of series resistance in Pd/ZnO Schottky barrier diodes. *Physica B*, 480, 58-62.
- Metin, Ö., Aydoğan, Ş., 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.
- Milnes, A.G., and Feucht, D.L., 1972. *Heterojunctions and Metal Semiconductor Junctions*, Academic Press, 94, USA.
- Mimura, T., Hiyamizu, S., Fuji, T., Nanbu, K., 1980. A New Field-Effect Transistor with Selectively Doped GaAs/n-Al_xGa_{1-x}As Heterojunctions. *Japanese Journal of Applied Physics*, 19(5), 225-227.
- Missoum, I., Benhaliliba, M., Chaker, A., Ocak, Y.S., Benouis, C.E., 2015. A novel device behavior of Ag/MgPc/n-GaAs/Au-Ge organic based Schottky diode. *Synthetic Metals*, 207, 42–45
- Mitchell, K.W., Fahrenbruch, A.L., Bube, R.H., 1977. Evaluation of the CdS/CdTe heterojunction solar cell. *Journal of Applied Physics*, 48, 4365-4371.
- Mitra, C., Raychaudhuri, P., Köbernik, G., Dörr, K., Müller, K.-H., Schultz, L., Pinto, R., 2001. p–n diode with hole- and electron-doped lanthanum manganites. *Applied Physics Letters*, 79, 2408-2410.

- Mott, N.F., 1938. Note on the contact between a metal and an insulator or semiconductor. *Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 34, 518.
- Mtangi, W., Janse van Rensburg, P.J., Diale, M., Auret, F.D., Nyamhere, C., Nel, J.M., Chawanda, A., 2010. Analysis of current-voltage measurements on Au/Ni/n-GaN Schottky contacts in a wide temperature range. *Materials Science and Engineering B*, 171, 1-4.
- Muraoka, Y., Yamauchi, T., Muramatsu, T., Yamaura, J., Hiroi, Z., 2004. Efficient photocarrier injection to transition metal oxides. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 272-276, 448-449.
- Naik, S.S. and Reddy, V.R., 2010. Analysis of current-voltage-temperature (I-V-T) and capacitance-voltage-temperature (C-V-T) characteristics of Ni/Au Schottky contacts on n-type InP. *Superlattices and Microstructures*, 48, 330-342.
- Nam, S. H., Cho, N. H. and Kim, H. G., 1991. Characterization of SrTiO₃ thin films prepared by RF magnetron sputtering. *Appl. Phys.* 25 727.
- Nawawi, A., Tseng, K.J., Rusli, Amaratunga, G.A.J., Umezawa, H., Shikata, S., 2013. Characterization of vertical Mo/diamond Schottky barrier diode from non-ideal I-V and C-V measurements based on MIS model. *Diamond & Related Materials*, 35, 1-6.
- Neamen, D. A., 1992. *Semiconductors Physics and Devices*, R. R. Donnelley & Sons Company, Sydney.
- Neamen D.A., 2003. *Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles* 3rd edn (New York: McGraw-Hill).
- Nicollian, E. H. and Brews, J. R., 1982. "MOS Physics and Technology",. John Wiley & Sons, New York, 40-175, 222-226, 423-439.
- Niranjan, M.K., 2016. Interface electronic structure and Schottky-barrier height in Si/NiSi(010) and Si/PtSi(010) heterostructures: A firstprinciples theoretical study. *Superlattices and Microstructures*, 100, 808-817.
- Norde, H., 1979. A modified forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance. *Journal of Applied Physics*, 7(50), 5052.
- Nuraje, N. and Su, K., 2013. Perovskite ferroelectric nanomaterials. *Nanoscale*, 5, 8752.
- Omotoso, E., Meyer, W.E., Auret, F.D., Paradzah, A.T., Diale, M., Coelho, S.M.M., Janse van Rensburg, P.J., 2015. The influence of high energy electron irradiation on the Schottky barrier height and the Richardson constant of Ni/4H-SiC Schottky diodes. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 39, 112-118.
- Orak, İ., 2013. Saçtırma Yöntemiyle Elde Edilen Co/N-GaP Schottky Diyotların Tavlama Ve Numune Sıcaklığına Bağlı Elektriksel Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Orak, İ., Kocyigit, A., Turut, A., 2017. The surface morphology properties and respond illumination impact of ZnO/n-Si photodiode by prepared atomic layer deposition technique. *Journal of Alloys and Compounds*, 691, 873-879.
- Ouennoughi, Z., Toumi, S., Weiss, R., 2015. Study of inhomogeneties using I-V-T characteristics of Mo/4H-SiC Schottky diode. *Physica B*, 456, 176-181.
- Öteleş, B., 2011. Bazı Kuazi Moleküler Yapıların (SrTiO₃ - SrZrO₃) Elektronik Band Yapısı ve Optik Özelliklerinin Temel Prensip Yöntemlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Özmen, Ö.T. and Yağlıoğlu, E., 2014. Electrical and interfacial properties of Au/P3HT:PCBM/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 26, 448-454.
- Özmen, Ö.T., 2014. Effects of PCBM concentration on the electrical properties of the Au/P3HT:PCBM/n-Si (MPS) Schottky barrier diodes. *Microelectronics Reliability*, 54, 2766-2774.
- Pakma, O., 2008. Metal/TiO₂/c-Si/Metal Yapılarında Yüzey Şartlarının Elektriksel Belirtenler Üzerindeki Etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Park, C., Seo, Y., Jung, J., Kim, D-W., 2008. Electrode-dependent electrical properties of metal/Nb-doped SrTiO₃ junctions. *Journal of Applied Physics* 103, 054106-1-4
- Park, N-H., Dang, F., Wan, C., Seo W-S., Koumoto, K., 2013. Self-originating two-stepsynthesis of core-shellstructured La-doped SrTiO₃ nanocubes. *JournalofAsianCeramicSocieties*, 1, 35–40.
- Patel, R., Milam, W., Cooley, G., Corsi, M., Erdeljac, J., Hutter, L., 1997. A 30V Complementary Bipolar Technology on SO1 for High Speed Precision Analog Circuits. *BCTM*, 2.3, 48-50.
- Pierce W. G., 1907. Crystal Rectifiers for Electric Currents and Electric Oscillations. Part I. Carborundum. *Phys. Rev. (Series I)*, 25, 31–60.
- Polat. E.G., 2009. Sol Jel Yöntemi İle Bakır ve Kalay Katkılı ZnO İnce Filmlerin Üretilmesi, Optik Ve Mikroyapısal Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Prokopyev, A.I. and Mesheryakov, S.A., 2003. Restrictions of forward I–V methods for determination of Schottky diode parameters. *Measurement*, 33, 135, 144.
- Qin, M., Gao, F., Cizek, J., Yang, S., Fan, X., Zhao, L., Xu, J., Dong, G., Reece, M., Yan, H., 2019. Point defect structure of La-doped SrTiO₃ ceramics with colossal Permittivity. *Acta Materialia*, 164, 76-89.
- Ramirez, A.P., 1997. Colossal magnetoresistance. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 9, 8171-8199.
- Rana, K.G., Khikhlovskiy, V., Banerjee, T., 2012. Electrical transport across Au/Nb:SrTiO₃ Schottky interface with different Nb doping. *Applied Physics Letters*, 100, 213502(1-3).
- Rao, L.D., Reddy, V.R., Janardhanam, V., Kang, M-S., Son, B-C., Choi, C-J., 2014. Electrical and structural properties of rapidly annealed rare-earth metal Er Schottky contacts on p-type InP. *Superlattices and Microstructures*, 65, 206-218.
- Rao, L.D., Latha, K.S., Reddy, V.R., Janardhanam, V., Kang, Choi, C-J., 2015. Effect of thermal annealing on the electrical and structural properties of Au/Y/p-type InP Schottky structure. *Vacuum*, 119, 276-283.
- Rath, A.K., Bernechea, M., Martinez, L., Arquer, F.P.G., Osmond, J., Konstantatos, G., 2012. Solution-processed inorganic bulk nano-heterojunctions and their application to solar cells. *Nature Photonics*, 6, 529-534.
- Reddy, V.R. and Reddy, N.N.K., 2012. Current transport mechanisms in Ru/Pd/n-GaN Schottky barrier diodes and deep level defect studies. *Superlattices and Microstructures*, 52, 484-499.

- Reddy, V.R., Umapati, A., Rao, L.D., 2013. Effect of annealing on the electronic parameters of Au/poly (ethylmethacrylate)/n-InP Schottky diode with organic interlayer. *Current Applied Physics*, 13, 1604-1610.
- Reddy, V.R., 2014. Electrical properties and conduction mechanism of an organic-modified Au/NiPc/n-InP Schottky barrier diode. *Applied Physics A*, 116, 1379-1387.
- Reddy, V.R., 2014. Electrical properties of Au/polyvinylidene fluoride/n-InP Schottky diode with polymer interlayer. *Thin Solid Films*, 556, 300-306.
- Reddy, V.R., Janardhanam, V., Leem, C-H., Choi, C-H., 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.
- Reddy, P.R.S., Janardhanam, V., Jyothi, I., Chang, H-S., Lee, S-N., Lee, M.S., Reddy, V.R., Choi, C-J., 2017. Microstructural and electrical properties of Al/n-type Si Schottky diodes with Au-CuPc nanocomposite films as Interlayer. *Superlattices and Microstructures*, 111, 506-517.
- Rhoderick, E.H., 1982. Metal-semiconductor contacts. *Solid-State and Electron Devices*, 129(1), 1-14.
- Rhoderick, E.H. and Williams, R.H., 1988. *Metal semiconductor contacts*. 2nd ed. Oxford University Press.
- Rohatgi, Davis, J.R., Hopkins, R.H., McMullin, P.G., 1983. A Study Of Grown-In Impurities In Silicon By Deep-Level Transient Spectroscopy. *Solid-State Electronics*, 26(11), 1039-1051.
- RussoS., d'Alessandro, V., Costagliola, M., Sasso, G., Rinaldi, N., 2012. Analysis of the thermal behavior of AlGaN/GaN HEMTs. *Materials Science and Engineering B*, 177, 1343-1351.
- Sağlam, M., Ates, A., Guzeldir, B., Yıldırım, M.A., Astam, A., 2008. Calculation from the current-voltage and capacitance-voltage measurements of characteristics parameters of Cd/CdS/n-Si/Au-Sb structure with CdS interface layer grown on n-Si substrate by SILAR method. *Microelectronic Engineering*, 85, 1831-1835.
- Schottky, W., 1938. The development of silicon crystal rectifiers for microwave radar receivers. *Z. Phys*, 113, 367-414.
- Seeger, K., 1991. *Semiconductor Physics* Springer-Verlag press USA 4th edition.
- Sevim Yılmaz, M., 2018. Şarj Edilebilir Lityum Bataryalar İçin Yüksek Performanslı Elektrot Malzemelerinin Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Shah, Z.H., Ge, Y., Ye, W., Lin, X-J., Zhang, S., Lu, R., 2017. Visible light activation of SrTiO₃ by loading Ag/AgX (X = Cl, Br) for highly efficient plasmon-enhanced photocatalysis. *Materials Chemistry and Physics*, 198, 73-82.
- Sharma, B.L., Purohit, R.K., Mukerjee, S.N., 1970. Detectivity Calculations For Photovoltaic Heterojunction Detectors. *Infrared Physics*, 10, 225-231.
- Sharma, B.L., and Purohit, R.K., 1974. *Semiconductors Heterojunctions*. Pergamon Press, Volume 5, 1-36.
- Sharma, B.L., 1984. Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications. *Condensed Matter Physics*, 113-148.
- Shi, J. and Guo, L., 2012. ABO₃-based photocatalysts for water splitting. *Progress in Natural Science: Materials International*, 22(6), 592-615.

- Shi, T., Li, G., Zhu, J., 2017. Compositional design strategy for high performance ferroelectric oxides with perovskite structure. *Ceramics International*, 43, 2910-2917.
- Shiwakoti, N., Bobby, A., Asokan, K., Antony, B., 2016. Temperature dependent dielectric studies of Ni/n-GaP Schottky diodes by capacitance and conductance measurements. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 42, 378-382.
- Singh, A., 1985. Characterization of interface states at Ni/nCdF₂ Schottky barrier type diodes and the effect of CdF₂ surface preparation. *Solid-State Electronics*, 28(3), 223-232.
- Soylu, M., 2007. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi Enstitüsü, Erzurum.
- Soylu, M. and Abay, B., 2009. Barrier characteristics of gold Schottky contacts on moderately doped n-InP based on temperature dependent I-V and C-V measurements. *Microelectronic Engineering*, 86, 88-95.
- Stolt, L. And Bohlin, K., 1985. Deep-level transient spectroscopy measurements using high Schottky barriers. *Solid-State Electronics*, 12, 1215-1221.
- Su, S., You, J.H., Lee, C., 2013. Electron Transport At Interface Of LaAlO₃ And SrTiO₃ Band Insulators. *Journal Of Applied Physics*, 113, 1-6.
- Sullivan, J.P., Tuna, R.T., Pinto, M.R., Graham, W.R., 1991. Electron transport of inhomogeneous Schottky barriers: A numerical study. *Journal Applied Physics*, 70(7), 403-740.
- Sun, J.R., Li, C.M., Wong, H.K., 2004. Strong magnetic-field effects in weak manganite-based heterojunction. *Applied Physics Letters*, 84(23), 4804-4806.
- Suthirakun, S., 2013. Rational Design of Perovskite Based Anode Materials for Solid Oxide Fuel Cells: A Computational Approach. University of South Carolina Scholar Commons, 24, USA.
- Suzuki, H., Bando, H., Ootuka, Y., Inoue, I.H., Yamamoto, T., Takahashi, K., Nishihara, Y., 1996. Superconductivity in Single-Crystalline Sr_{1-x}La_xTiO₃. *Journal of the Physical Society of Japan*, 65(6), 1529-1532.
- Sze S. M., 2002. *Semiconductor Devices: Physics and Technology Vol 4*, 2nd edn (New York: Wiley) p 124.
- Sze, S. M., 1981. *Physics of Semiconductor Devices*, Second Edition, John Wiley and Sons.
- Tabata, A., 2016. Temperature dependences of current density-voltage and capacitance-frequency characteristics of hydrogenated nanocrystalline cubic SiC/crystalline Si heterojunction diodes. *Thin Solid Films*, 619, 323-327.
- Takada, Y., 1980. Theory of Superconductivity in Polar Semiconductors and Its applications to N-Type Semiconductors SrTiO₃. *Journal of Japan Physical Society of Japan*, 49(4), 1267-1275.
- Tanaka, H., Zhang, J., Kawai, T., 2001. Giant Electric Field Modulation of Double Exchange Ferromagnetism at Room Temperature in the Perovskite Manganite/Titanate p-n Junction. *Physial Review Letters*, 88(2), 1-4.
- Taşyürek, L.B., Sevim, M., Çaldıran, Z., Aydoğan, Ş, and Metin, Ö., 2018. The synthesis of SrTiO₃ nanocubes and the analysis of nearly idealdiode application of Ni/SrTiO₃ nanocubes/n-Si heterojunctions. *Mater. Res. Express*, 5(015060), 1-11

- Tataroğlu, A. and Altındal, Ş., 2006. Characterization of current-voltage (I-V) and capacitance-voltage-frequency (C-V-f) features of Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes. *Microelectroning Engineering*, 85, 582-558.
- Tecimer, H., Uslu, H., Alahmed, Z.A., Yakuphanoglu, F., Altındal, Ş., 2014. On the frequency and voltage dependence of admittance characteristics of Al/PTCDA/P-Si (MPS) type Schottky barrier diodes (SBDs). *Composites: Part B*, 57, 25-30.
- Tiwari, A., Jin, C., Kumar, D., Narayan, J., 2003. Rectifying electrical characteristics of La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃/ZnO heterostructure. *Applied Physics Letters*, 83(9), 1773-1775.
- Tong, L., Zhang, D., Wang, H., Li, Q.J., Yu, Y., Li, Y.D., Huang, S.G., Guo, Y.M., Wang, C.C., 2016. High-temperature dielectric properties of (Al,Nb)-co-doped SrTiO₃ ceramics. *Materials Letters*, 180, 256-259.
- Tung, R.T., 1992. Electron transport at metal-semiconductor interfaces. *General Theory Physical Review B*, 45, 13509.
- Tung, R. T., 2001. Recent advances in Schottky barrier concepts. *Materials Science and Engineering R*, 35, 1-138.
- Turut, A., Yalcin, N., Sağlam, M., 1992. Parameter extraction from non-ideal C-V characteristics of a Schottky diode with and without interfacial layer. *Solid State Electronics*, 35, 835-841.
- Turut, A., Sağlam, M., Efeoğlu, H., Yalçın, N., Yıldırım, M., Abay, B., 1995. Interpreting the nonideal reverse bias C-V characteristics and importance of the dependence of Schottky barrier height on applied voltage. *Physica B*, 205, 41-50.
- Umadevi, P. and Prithivikumaran, N., 2016. Electrical parameters of metal doped n-CdO/p-Si heterojunction diodes. *Physica B*, 501, 123-128.
- Wang, C., Qiu, H., Inoue, T., Yao, Q., 2014. Band gap engineering of SrTiO₃ for water splitting under visible light irradiation. *Journal of Hydrogen Energy*, 39, 12507-12514.
- Watanabe, Y., 1999. Electrical transport through Pb,Zr,Ti.O₃ p-n and p-p heterostructures modulated by bound charges at a ferroelectric surface: Ferroelectric p-n diode. *Physical Review B*, 59(17), 257-265.
- Werner, J.H., and Gütter, H.H., 1991. Barrier inhomogeneties at Schottky contacts. *Journal Applied Physics*, 69(3), 1522-1532.
- Wu, Y.-F., Keller, S., Kozodoy, P., Keller, P., Parikh, P., Kapolnek, D., 1997. Bias Dependent Microwave Performance of AlGaIn/GaN MODFET's Up To 100 V. *Electron Device Letters*, 18(6), 290-292.
- Wunderlich, W., Ohta, H., Koumoto, K., 2009. Enhanced effective mass in doped SrTiO₃ and related perovskites. *Physica B*, 404, 2202-2212.
- Würfl, J., Janke, B., Nebauer, E., Thierbach, S., Wolter, P., 1996. High Temperature MESFET Based Integrated Circuits Operating up to 300°C. *International Electron Devices Meeting. Technical Digest*.
- Xing, G., Zhao, L., Sun, T., Su, Y., Wang, X., 2016. Hydrothermal derived nitrogen doped SrTiO₃ for efficient visible light driven photocatalytic reduction of chromium(VI). *Pringer Plus*, 5:1132, 1-13.
- Yakuphanoglu, F., Çağlar, Y., Çağlar, M., Ilcan, S., 2010. ZnO/p-Si heterojunction photodiode by sol-gel deposition of nanostructure n-ZnO film on p-Si substrate. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 13, 137-140. S

- Yang, K., Kim, D.H., Dho, J., 2010. Schottky barrier effect on the electrical properties $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ and $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Nb: SrTiO}_3$ heterostructures. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 44(35), 355301-355306.
- Yıldırım, M. and Kocyigit, A., 2018. Characterization of Al/In:ZnO/p-Si photodiodes for various In doped level to ZnO interfacial layers. *Journal of Alloys and Compounds*, 768, 1064-1075.
- Yıldırım, N., Turut, A., Turut, V., 2010. The theoretical and experimental study on double-Gaussian distribution in inhomogeneous barrier-height Schottky contacts. *Microelectronic Engineering*, 87, 2225-2229.
- Yu, K., Zhang, C., Chang, Y., Fenga, Y., Yanga, Z., Yang, T., Lou, L-L., Liub, S., 2017. Novel three-dimensionally ordered macroporous SrTiO_3 photocatalysts with remarkably enhanced hydrogen production performance. *Applied Catalysis B: Environmental*, 200, 514-520.
- Zang, X., Hai, F., Zhang, T., Jia, C., Sun, X., Ding, L., Zhang, W., 2012. Analysis of the electrical characteristics of the Ag/ZnO Schottky barrier diodes on F-doped SnO_2 glass substrates by pulsed laser deposition. *Microelectronic Engineering*, 93, 5-9.
- Zeyrek, S., Acaroğlu, E., Altındal, Ş., Birdoğan, S., Bülbül, M.M., 2013. The effect of series resistance and interface states on the frequency dependent CeV and G/w-V characteristics of Al/perylene/p-Si MPS type Schottky barrier diodes. *Current Applied Physics*, 13, 1225-1230.
- Zhang, J., Tanaka, H., Kawai, T., 2002. Rectifying characteristic in all-perovskite oxide film p-n junction with room temperature Ferromagnetism. *Applied Physics Letters*, 80(23), 4378-4380.
- Zhang, X., Zhai, J., Yu, X., Ding, L., Zhang, W., 2013. Fabrication and characterization of flexible Ag/ZnO Schottky diodes on polyimide substrates. *Thin Solid Films*, 548, 623-626.
- Zhao, K.L., Chen, D., Li, D.X., 2010. First principles study of interface structure and electronic property of Au/ $\text{SrTiO}_3(001)$. *Computational Materials Science*, 50, 98-104.
- Zhu, S., Meirhaeghe, R.L.V., Detaverniera, C., Cardona, F., Rub, G.-P., Qub, X.-P., Li, B.-Z., 2000. Barrier height inhomogeneities of epitaxial CoSi_2 Schottky contacts on n-Si (100) and (111). *Solid-State Electronics*, 44, 663-671.
- Ziel, A., 1968. *Solid-state physical electronics*. Prentice-Hall, Inc., 7: 136-144, New Jersey.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında İzmir/Ödemiş'te doğdu. İlköğretimini ve orta öğretimini Erzurum'da tamamladı. 2003 yılında Atatürk Üniversitesi Fizik Öğretmenliği bölümünden mezun oldu. 2003-2011 yılları arasında Erzurum'daki çeşitli özel kurumlarda öğretmenlik yaptı. 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı Katıhal Fiziği Bilim Dalında doktora öğrenimine başladı. 2011 yılında Öğretim Görevlisi olarak İnönü Üniversitesi Darende Bekir Ilıcak Meslek Yüksekokulu Optisyonluk Programında göreve başladı. 2018 yılında meslek yüksekokulunun taşınmasıyla birlikte halen Malatya Turgut Özal Üniversitesinde görevine devam etmektedir.

Makaleler

Taşıyürek Lütfi Bilal, Sevim Melike, Çaldıran Zakir, Aydoğan Şakir, Metin Önder (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), 15060, Doi: 10.1088/2053-1591/aaa745 (Yayın No: 4186682)

Ejderha Kadir, Zengin Aydın, Orak İkrar, **Taşıyürek Lütfi Bilal**, Kılınç Tuba, Turut Abdulmecit (2011). Dependence of characteristic diode parameters on sample temperature in Ni epitaxy n Si contacts. Materials Science in Semiconductor Processing, 14(1), 5-12., Doi: 10.1016/j.mssp.2010.12.010 (Yayın No: 815128)