

**Er/p-Si SCHOTTKY YAPILARINDA
ENGEL YÜKSEKLİĞİ VE GAUSS DAĞILIMI'NIN
SICAKLIĞA BAĞLILIĞI**

**Yunus BABACAN
Y.Lisans Tezi**

**Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU
2011
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Y.LİSANS TEZİ

**Er/p-Si SCHOTTKY YAPILARINDA ENGEL YÜKSEKLİĞİ VE
GAUSS DAĞILIMI'NIN SICAKLIĞA BAĞLILIĞI**

Yunus BABACAN

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2011**

Her hakkı saklıdır.



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

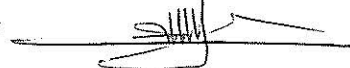
Er/p-Si SCHOTTKY YAPILARINDA ENGEL YÜKSEKLİĞİ VE GAUSS
DAĞILIMI'NIN SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU danışmanlığında, Yunus BABACAN tarafından hazırlanan bu çalışma 10/08/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oyçokluğu (...~~) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Abdülmecit TÜRÜT

İmza : 

Üye : Hasan EFEOĞLU

İmza : 

Üye : Tevhit KARACALI

İmza : 

(imza)

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. Ömer AKBULUT

Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Y.Lisans Tezi

Er/p-Si SCHOTTKY YAPILARINDA ENGEL YÜKSEKLİĞİ VE GAUSS DAĞILIMI'NIN SICAKLIĞA BAĞLILIĞI

Yunus BABACAN

Atatürk Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU

Er/p-Si Schottky yapısı Erbiyumun sputter tabakalı metalizasyonu ile gerçekleştirildi. Erbiyum silisyum ara yüzeyindeki homojensizlik ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak incelenmiş olup engel yüksekliğindeki dağılımın sıcaklıkla değişimi de ilk kez bu çalışmada rapor edilmiştir. İki boyutta yapılan haritalama ölçümleri ile paralel fabrikasyonu yapılan diyotlarda gözlenen homojensizlik açıkça gösterilmiş olup erbiyumun yüksek kimyasal aktivitesinden dolayı optimum ısı işlem sıcaklığı 2.5 dk. süre için 300°C olarak bulundu.

2011, 77 sayfa

Anahtar Kelimeler: Schottky, erbiyum, silicide, homojensizlik, I-V, I-V haritalama, çoklu gauss dağılımı.

ABSTRACT

MS Thesis

TEMPERATURE DEPENDENCE OF GAUSSIAN DISTRIBUTION OF BARRIER HEIGHTS AT Er/p-Si SCHOTTKY STRUCTURES

Yunus BABACAN

Atatürk University
Faculty of Engineering
Department of Electric and Electronic Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU

Er/p-Si Schottky structure has been made with Erbium using sputter based metallization. The inhomogeneity of Erbium Silicon junction surface has been investigated depending on temperature and the dispersion of barrier height depending on temperature change has also been reported for the first time in this study.

The inhomogeneity of parallel processed diodes with the two dimensional mapping performed and the fabrication has been shown obviously and through the high chemical activity of erbium the optimum annealing temperature for 2.5 minutes was determined as 300°C.

2011, 77 pages

Keywords: Schottky, erbium, silicide, inhomogeneity, I-V, I-V mapping, multiple gaussian distribution.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu alıŐma Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir. ÇalıŐmalarımnda ilgisini ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof.Dr. Hasan EFEOĞLU'na en içten duygularımıla teşekkür ederim.

Yine çalıŐmalarım boyunca her türlü bilgisinden faydalandığım Sayın Yrd.Doç. Dr. Tevhit KARACALI, Sayın Yrd.Doç.Dr.Murat GÜLNAHAR ve Sayın Yrd.Doç.Dr.Betül GÜZELDİR ile Sayın ArŐ.Gör.Demet TATAR ve Sayın ArŐ.Gör.Kenan ÇİÇEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak her türlü desteklerinden dolayı aileme minettar olduğumu ve onları çok sevdiğimi bir görev olarak belirtmek isterim.

Yunus BABACAN

Ağustos, 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ivii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tarihsel Gelişim	1
1.2. Erbiyum Silicide.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Metal-Yarıiletken Kontaklar	5
2.2.1.Metal n-tipi yarıiletken kontaklar	6
2.2.1.a Metal n-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar	7
2.2.1.b Metal n-tipi yarıiletken omik kontaklar	9
2.2.2.Metal p-tipi yarıiletken kontaklar	11
2.2.2.a Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu kontak	12
2.2.2.b Metal p-tipi yarıiletken omik kontak	13
2.3. Schottky Diyot	14
2.4. Akım İletim Mekanizmaları.....	15
2.4.1. Termiyonik emisyon mekanizması	16
2.4.2. Termiyonik alan emisyon mekanizması	16
2.5. Metal-Yarıiletken Eklemlerde Akım Geçiş Mekanizmaları	17
2.6. Schottky Eklemler Üzerine Modeller.....	18
2.6.1 Termiyonik emisyon teorisi (TE).....	18
2.6.2 Difüzyon teorisi.....	19
2.6.3. Termiyonik emisyon-difüzyon Teorisi (TED).....	20
2.7. T_0 Etkisi	21
2.8. Seri Direnç (R_s) Etkisi	21
2.9. Cheung Fonksiyonları	23

2.10. Ara Yüzey Bölgesi	24
2.11. Homojen Olmayan Engel.....	25
2.11.1. Paralel iletim modeli	26
2.11.2 Pinch-off Modeli	27
2.12. Schottky Engelin Gaussian Dağılımı	28
2.13 İnce Film Büyütme Teknikleri.....	30
2.13.1 Termal buharlaştırma	30
2.13.2 Sputter	31
2.13.3 Sol-Jel	32
2.13.4 CVD (Chemical Vapor Deposition).....	32
2.14. Karakterizasyon Teknikleri	33
2.14.1. Yapısal karakterizasyon teknikleri	33
2.14.1.a X-Ray (X-Ray Diffraction (XRD))	34
2.14.1.b Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	34
2.14.1.c Geçirmeli elektron mikroskobu (TEM).....	35
2.14.1.d Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)	36
2.14.2 Optik karakterizasyon teknikleri	37
2.14.2.a Fotoluminesans tekniği (PL)	37
2.14.2.b Katodoluminesans tekniği (CL)	38
2.14.2.c Elipsometri	38
2.14.3 Elektriksel karakterizasyon teknikleri	39
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	41
3.1. Sputter İçin Silisyum Temizleme İşlemi	41
3.2. Sputter Sistemi	42
3.3. Isıl İşlem Fırını.....	43
3.4. Akım Gerilim Ölçüm Sistemi	44
3.5. X-Ray Difraksiyonu (XRD).....	45
3.6. Elektron Taramalı Mikroskop (SEM).....	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	47
4.1. Giriş.....	47
4.2. XRD Ölçümleri ve Yapı Analizi	47
4.3. Akım-Gerilim (<i>I-V</i>) Ölçümleri	53

4.3.1. Temel I-V ölçümleri.....	53
4.3.2. Isıl İşlem Yapılmamış Numunede Sıcaklığa Bağlı Gauss Dağılımı	57
4.3.3. Tavlama Sıcaklığına Bağlı Gauss Dağılımı.	59
4.3.4. 300°C’de tavlama ve sıcaklığa bağlı gauss dağılımı.....	62
4.3.5. Numunelerin iki boyutta haritalaması	64
4.3.6. Er/p-Si yapısı için Richardson Sabiti	71
5. SONUÇ.....	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Diyotun etkin alanı
A^*	Richardson sabiti
e	Elektronun yükü
$^{\circ}C$	Santigrad derece
E_f	Fermi enerjisi seviyesi
E_{fm}	Metalin Fermi enerjisi seviyesi
E_{fs}	Yarıiletkenin Fermi enerjisi seviyesi
Φ_B	Ortalama engel yüksekliği
E	Elektrik alan
I	Akım
C	Kapasite
I_0	Doyum akımı
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ_s	Yarıiletkenin elektron ilgisi
E_g	Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
k	Boltzmann sabiti
m	Serbest elektronun kütlesi
m^*	Elektronun etkin kütlesi
n	İdealite faktörü
σ_s	Standart sapma
E_C	İletkenlik bandının minimumunun enerjisi
E_v	Valans bandının maksimumunun enerjisi
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ϵ_0	Boşluğun dielektrik sabiti
nm	Nanometre
N_D	Donor konsantrasyonu
h	Planck Sabiti
τ	Zaman sabiti
T	Sıcaklık

w	Uzay yükü bölgesinin genişliği
R_s	Seri direnç

Kısaltmalar

C-f	Kapasite-Frekans
C-V	Kapasite-Gerilim
EDX	Energy-Dispersive X-ray (Enerji Dağılımlı X-ışını)
FE	Alan Emisyonu
FWHM	Yarı Yükseklik Genişliği
I-V	Akım-Gerilim
SEM	Taramalı Elektron Mikroskop (Scanning Electron Microscope)
TE	Termiyonik Emisyon
TFE	Termiyonik Alan Emisyonu
XRD	X-ray Diffraction

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Erbiyum silicide kristal yapısı	4
Şekil 2.1. Bir metalle n-tipi yarıiletkenin kontak yapılmadan önceki hali	6
Şekil 2.2. Metal n-tipi yarıiletken kontakta sonraki denge durumu enerji-bant diyagramı	8
Şekil 2.3. Omik kontak için enerji bant diyagramları	10
Şekil 2.4. Bir metalle p-tipi yarıiletkenin kontak yapılmadan önceki hali	11
Şekil 2.5. Bir metal ile p-tipi yarıiletkenin kontakta sonraki denge durumu	12
Şekil 2.6. Bir metalle p-tipi yarıiletkenin kontakta enerji bantları	13
Şekil 2.7. Schottky etkisinden dolayı bariyer yüksekliğindeki değişim.	14
Şekil 2.8. İletim mekanizmaları	15
Şekil 2.9. Metal-Yarıiletken Eklemlerdeki Akım Geçiş Mekanizmaları.....	17
Şekil 2.10. Schottky diyot eşdeğer devresi	22
Şekil 2.11. Akım-gerilim grafiğinde seri direncin teorik etkisi	22
Şekil 2.12. Ara yüzey bölgesi potansiyel enerji değişim grafiği	24
Şekil 2.13. Bariyer yüksekliğinin görünümü	25
Şekil 2.14. Paralel iletim modelinde bariyerin üç boyutlu görünümü	26
Şekil 2.15. Geleneksel buharlaştırma sisteminin görünümü.....	31
Şekil 2.16. Sputter sisteminin görünümü	32
Şekil 2.17. CVD sisteminin görünümü	33
Şekil 2.18. XRD sisteminde X ışınlarının bir kristal örgüden saçılması	34
Şekil 2.19. Taramalı elektron mikroskopunun şematik görünümü.....	35
Şekil 2.20. Geçirmeli elektron mikroskopunun şematik görünümü	36
Şekil 2.21. Atomik kuvvet mikroskopunun şematik görünümü	37
Şekil 2.22. Fotoluminesans sisteminin şematik görünümü.....	38
Şekil 2.23. Elipsometri sisteminin şematik görünümü	39
Şekil 3.1. Üretilen 10x10 matris formatındaki Er/p-Si Schottky diyotlar	42
Şekil 3.2. Termal buharlaştırma ve sputter cihazı.....	42
Şekil 3.3. Isıl işlem fırını	44
Şekil 3.4. Akım-Gerilim ölçüm sistemi	44
Şekil 3.5. XRD ölçüm sistemi	45
Şekil 3.6. SEM cihazı	46
Şekil 4.1. H ₂ SO ₄ :H ₂ O ₂ (1:1) karışımı ile dağlama önce ve sonrası numune	47
Şekil 4.2. Er/Si yapısı, büyütüldüğü gibi	48
Şekil 4.3. 200°C'de yapılan ısıl işlem sonrası Er/Si yapısı ve metalik film dağlandıktan sonraki XRD ölçümleri.	48
Şekil 4.4. 300°C'de yapılan ısıl işlem sonrası Er/Si yapısı ve metalik film dağlandıktan sonraki XRD ölçümleri.....	49
Şekil 4.5. 400°C'de yapılan ısıl işlem sonrası Er/Si yapısı ve metalik film dağlandıktan sonraki XRD ölçümleri.....	49
Şekil 4.6. 500°C'de yapılan ısıl işlem sonrası Er/Si yapısı ve metalik film dağlandıktan sonraki XRD ölçümleri.....	50
Şekil 4.7. Referans numunenin dağlama yapılmamış EDX analizi	50

Şekil 4.8. 300 °C’de tavllanmış ve dağlama yapılmış numunenin EDX analizi	51
Şekil 4.9. 500 °C’de tavllanmış ve dağlama yapılmış numunenin EDX analizi	51
Şekil 4.10. 300 °C’de tavllanmış ve dağlama yapılmamış numunenin topografik SEM görüntüsü	52
Şekil 4.11. 300 °C’de tavllanmış numunenin kesitten görüntüsü ve sağda kesitten yakın plan görüntüsü	52
Şekil 4.12. 500 °C’de tavllanmış numunenin 30K büyütme sağda 240K büyütme ile yakın plan görüntüsü	53
Şekil 4.13. Tavlama yapılmadan ve 300 derecede tavlama yapıldıktan sonra 300K’de Akım-Gerilim grafiği	54
Şekil 4.14. 300°C’de tavllanmış numunenin engel yüksekliğinin değişimi	56
Şekil 4.15. Tavlama yapılmamış numuneye ait 200K, 250K ve 300K’de haritalama ölçümlerinden oluşturulan Gauss dağılımları ve fit eğrileri	58
Şekil 4.16. 200, 250 ve 275 °C’de tavllanmış numunenin 300K’de haritalama Sonrası Gauss dağılımı.....	60
Şekil 4.17. 300, 325 ve 350 °C’de tavllanmış numunenin 300K’de haritalama sonrası Gauss dağılımı.....	61
Şekil 4.18. 300°C ’de tavlama sonrası 200, 250 ve 300 K’de haritalama ve Gauss dağılımları.	63
Şekil 4.19. Tavlama yapılmayan numunede engel yüksekliğinin 200K’de iki boyutlu dağılımı	65
Şekil 4.20. Tavlama yapılmayan numunede engel yüksekliğinin 250K’de iki boyutlu dağılımı	65
Şekil 4.21. Tavlama yapılmayan numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı	66
Şekil 4.22. 300 °C de ısıtım işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 200K’de iki boyutlu dağılımı	67
Şekil 4.23. 300 °C de ısıtım işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 250K’de iki boyutlu dağılımı	67
Şekil 4.24. 300 °C de ısıtım işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı	68
Şekil 4.25. 200 °C de ısıtım işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı	68
Şekil 4.26. 250 °C de ısıtım işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı	69
Şekil 4.27. 275 °C de ısıtım işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı	69
Şekil 4.28. 300 °C de ısıtım işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı	70
Şekil 4.29. 325 °C de ısıtım işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı	70

Şekil 4.30. 350 °C de ısıl işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K'de iki boyutlu dağılımı	71
Şekil 4.31. Tavlama yapılmadan önce Richardson grafiği	72
Şekil 4.32. 300 °C'de tavlanan diyetun Richardson grafiği	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. 300°C de tavllanmış numune için engel yüksekliği ve standart sapma ...	56
Çizelge 4.2. Ölçüm sıcaklığına göre gauss dağılımının maksimumu ve FWHM.....	59
Çizelge 4.3. Tavlama sıcaklığına göre gauss dağılımının maksimumu ve FWHM ...	62
Çizelge 4.4. 300°C 'de tavlama sonrası ölçüm sıcaklığına bağlı gauss dağılımının maksimumu ve FWHM.....	64
Çizelge 4.5. Er/p-Si yapısı için bulunan Richardson sabitleri ve Engel yükseklikleri	73

1.GİRİŞ

1.1 Tarihsel Gelişim

Yüzyıllık gemişı ile yarıiletkenler üzerinde yapılan araştırmalar ile elektronik alanında günümüze kadar büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Temel bilimlerin desteği ile ileri düzeyde yapılan araştırmalar sonucu teknolojidaki gelişmeler ile, yarıiletkenler düşük maliyetle daha verimli retilenmektedir.

Metal-Yarıiletken Schottky diyotların doğrultma özelliği ile ilgili ilk ciddi çalışma 1874 yılında Braun ile başlamıştır. Pickard 1906 yılında silisyum tabanlı nokta kontak dedektörün patentini almıştır. Sonraki yılda Pierce birbirinden farklı yarıiletkenler üzerine farklı metallere kaplayarak oluşturduğu yapıların özelliğini açıklamıştır (Rhoderick 1988).

Schottky ve çalışma arkadaşları 1931 yılında kontakta bir akım aktığında kontakta bir potansiyel engelin oluştuğu fikrini rapor etmişlerdir.1938 yılında bağımsız olarak Schottky ve Mott elektronların potansiyel engel üzerinden sürüklenme ve difüzyon şeklinde geçişini ngren model öngörmüşlerdir.

Mott (1938) modelinde potansiyel engelin, metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarının farkından dolayı olduğunu açıklar. Elektrik alanın sabit, elektrostatik potansiyelin lineer olarak değişebilmesi için engel bölgesinin kirliliklerden arınmış olması gerektiğini ifade eder. Bu fikrin aksine Schottky (1939) Poisson denklemlerine göre; Elektrik alanın lineer, elektrostatik potansiyelin ikinci dereceden artması için engel bölgesinin sabit yoğunluklu serbest yükler bulundurması gerektiğini bildirmiştir. Yine engel yüksekliğini belirleyen uzay yükleri hakkında benzer fikirler Davydov (1939,1941) tarafından ortaya atılmıştır.

İkinci dünya savaşı sırasında metal-yarıiletken kontakların anlaşılmasında önemli ilerlemeler olmuştur. Bu ilerlemeler yarıiletken fiziğinin gelişmesinde önemli katkı sağlamıştır. Metal-yarıiletkenler üzerine yapılan araştırmalar 1960'lara gelindiğinde hız kazanmıştır.

Schottky'nin imaj kuvvetinden dolayı engel yüksekliğinin azalacağını Sze ve arkadaşları ancak 1964 yılında doğrulayabilmişlerdir. Crowell ve Sze Schottky'nin difüzyon ve Bethe'nin termiyonik emisyon teorisini birleştirerek termiyonik emisyon difüzyon teorisini geliştirmişlerdir (Crowell *et al.* 1966).

Padovani ve Sumner 1965'te azalan sıcaklıkla idealite faktörünün arttığını, bariyer yüksekliğinin ise azaldığını bulmuştur. (Padovani and Sumner 1965) Bu anormalliğe “ T_0 etkisi ” veya “ T_0 anormalliği ”denir. Tung ve arkadaşları teorik olarak (Tung 1991,1992), Schmitsdorf ve arkadaşları ise deneysel olarak (Schmitsdorf *et al.*1997) bariyer yüksekliği ile idealite faktörü arasında lineer bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir.

Yarım yüzyılı aşkın bir süredir metal-yarıiletken kontaklar çalışılırken yaklaşık son 15 yıldır engel yüksekliğinin homojensizliği yoğun bir araştırma konusu olmuştur. 1990'lı yıllardan itibaren Tung ve arkadaşları Schottky diyotların ideal olmayan davranışlarını engelin nanometre ölçeğinde homojensizliğe bağlamışlardır (Tung 1991,1992).

İlk zamanlarda Schottky diyotta akım iletim mekanizması paralel iletim modeli açıklanmaya çalışılmıştır. (Ohdomari and Tu 1980) Bu model farklı engel yüksekliklerine sahip küçük bölgesel alanların birbirini etkilemediğini kabul eder (Ohdomari *et al.* 1980) ve engel yüksekliğinin gaussian dağılım gösterdiğini varsayarak Schottky diyotlarda gözlemlenen anormalliklere ait olmayan birçok elektriksel karakteristik başarılı bir şekilde açıklanmıştır (Song *et al.* 1986; Werner and Guttler 1991; Zhu *et al.* 2000).

Son zamanlarda farklı engel yüksekliklerine sahip küçük lokal bölgelerin birbiri ile etkileşimini dikkate alan pinch-off modeli Tung tarafından geliştirilerek (Tung 1992)

Schottky diyotların elektriksel karakteristikleri başarılı bir şekilde açıklanmıştır (Zhu *et al.* 2000).

1.2 Erbiyum Silicide

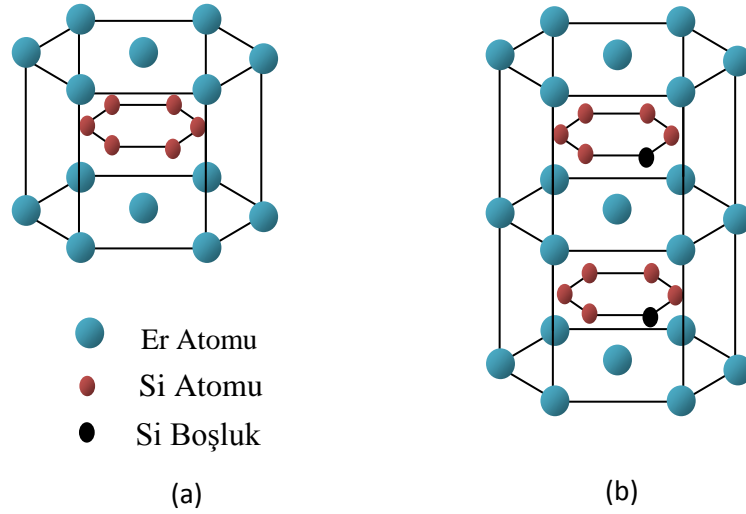
Yapılmak istenen aygıtlarda aranan özelliklerin birçoğuna sahip olması açısından nadir toprak elementleri teknolojik açıdan ilgi çekmeye başlamıştır. Ancak önemli avantajlarının yanında nadir toprak elementlerinin kullanımında iki temel problem vardır. Bunlardan ilki çekirdekleşme problemidir. Buna örnek olarak eklemde çukurlar ve homojen olmayan ara yüzey verilebilir. Buda eklem kalitesini düşürür. (Baglin *et al.* 1980). İkincisi de bileşiğin mikro boyuttaki yapısından kaynaklanır. Bu yapısal farklılıkların muhtemelen yapıda oluşan koni biçimindeki boşluklardan kaynaklandığı bildirilmektedir (Kaatz *et al.* 1993). Bu elementlerden olan Erbiyum metalinin silisyum ile oluşturduğu erbiyum silicide özellikleri açısından önemli bir yere sahiptir.

Erbium Silicide düşük dirence sahip olması (Nishisaka *et al.* 1998) n-tipi silisyum üzerine $ErSi_2/Si$ Schottky diyotunda düşük engel yüksekliği (Tu *et al.* 1981) , infrared dedektör olarak kullanılması (Pahun *et al.* 1992), silisyumun (111) ve (001) yönelimleri üzerine kaliteli büyütme yapılabilmesi (Travlos *et al.* 1997),yaklaşık olarak 350 °C'de oluşum sıcaklığı (Thompson *et al.* 1981) gibi avantajları sahiptir. Örgü uyumsuzluğunun az olması Er:Si'i cazip kılan nedenler arasındadır. Bu özellikler Er:Si'i hem omik kontaklarda hem de doğrultucu kontaklarda uygun malzeme olmasını sağlamıştır.

$ErSi_2$ gerçek aygıt uygulamalarında dezavantajları ise oda sıcaklığında bile oksijene son derece duyarlı olması (Kennou *et al.* 1996) ara yüzeyde 'pinholes'(Tsai *et al.* 2004) ve 'pits' oluşmasıdır. (Thompson *et al.*1981, Wu *et al.* 1983, Knapp *et al.* 1986, Travlos *et al.*1997) Wu ve arkadaşları 'pits' oluşumunun sızıntı akımını artırdığını bildirmiştir (Wu *et al.* 1983).

(100) ve (111) yönelimli silisyum üzerine nadir toprak elementlerinden RE:Si tabanlı ilk Schottky yapısı Baglin ve arkadaşları (Baglin *et al.* 1980) ile Thompson ve arkadaşları (Thompson *et al.* 1981) yapmışlardır. Daha sonraları Tu ve arkadaşları (Tu *et al.* 1981) ile Norde ve arkadaşları (Norde *et al.* 1981) p-tipi silisyum üzerine schottky diyotun engel yüksekliğinin ($\sim 0,7$ eV) n-tipi üzerine ise ($\sim 0,4$ eV) olduğu rapor edilmiştir. Erbiyum ince filmi üzerine Knapp ve arkadaşları (Knapp *et al.* 1986) başlatılan araştırmaları müteakip, bu yapılarda engel yüksekliğinin 0,28eV olduğu rapor edilmiştir. (Davitaya *et al.* 1990).

Yapı olarak Er:Si 6 erbiyum 12 silisyum atomu ($ErSi_2$), veya 6 erbiyum 10 silisyum atomu ($ErSi_{1,7}$) içerir. Yani erbiyum ve silisyum atomları dışında boşluklarda vardır.



Şekil 1.1 Erbiyum silicide kristal yapısı

*a) $ErSi_2$ b) $ErSi_{1,7}$

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Giriş

p-n ve metal-yarıiletken eklemleri elektronik devre uygulamalarında geniş bir kullanıma sahiptirler. Günümüzdeki teknolojik rekabet, cihazlar daha küçük boyutta, hızı ve kararlılığı yüksek buna karşın, güç tüketimi çok düşük aygıtların yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu nedenle yarıiletken teknolojisi beklenen özellikleri yüksek oranda sağlanabilmesi için bu alandaki çalışmalar araştırmacıların ilgi odağındadır.

AC -DC dönüşümünde hiç şüphesiz akla diyotlar gelir. Yüksek frekanslara çıkıldıkça bu frekansa uyum sağlayabilecek aygıt üretme gereksinimi ortaya çıkar. Schottky diyotlar p-n eklemlerine göre akımı çoğunluk taşıyıcıları ile sağlandığı için hız gerektiren uygulamalarda avantajlı durumdadır.

Schottky diyotların yüksek frekans anahtarlamaındaki performansı onları tümleşik devre tasarımında vazgeçilmez kılar.

2.2 Metal-Yarıiletken Kontaklar

Katkı türüne göre kullanılan yarıiletken n-tipi ya da p-tipi olabilir. Yarıiletken ile metal uygun şartlarda atomik seviyede kontak haline getirildiğinde iki tür kontak olabilir. Bunlardan birincisi doğrultucu (Schottky), ikincisi ise omik kontak. Kontakın doğrultucu ya da omik olması kullanılan malzemelerin iş fonksiyonlarına bağlıdır.

Metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan büyükse n-tipi bir yarıiletkende doğrultucu kontak, p-tipi yarıiletkende ise omik kontak oluşur. Diğer bir durum olan

metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonunkinden düşükse n-tipi bir yarıiletken için omik kontak p-tipi yarıiletken için doğrultucu kontak oluşur.

Doğrultucu Kontak

$$\phi_m < \phi_s \quad (\text{p-tipi yarıiletken})$$

$$\phi_m > \phi_s \quad (\text{n-tipi yarıiletken})$$

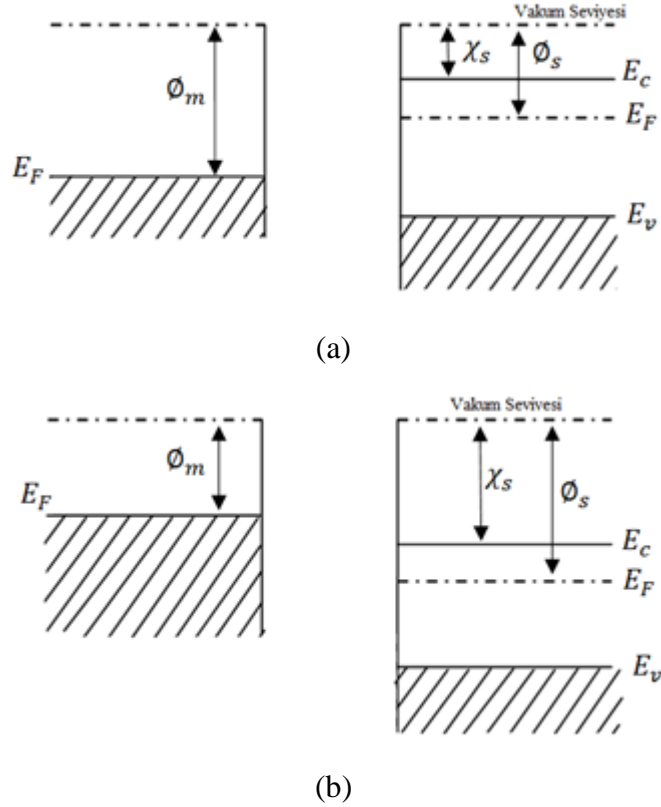
Omik Kontak

$$\phi_m > \phi_s \quad (\text{p-tipi yarıiletken})$$

$$\phi_m < \phi_s \quad (\text{n-tipi yarıiletken})$$

2.2.1 Metal n-tipi yarıiletken kontaklar

Metal ile n-tipi yarıiletken arasında yapılan kontakta omik ya da doğrultucu kontak oluşur. Kontak oluşturulmadan önceki durumda enerji bant diyagramı Şekil 2.1.a'da gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Bir metalle n-tipi yarıiletkenin kontak yapılmadan önceki hali

*a) $\phi_m > \phi_s$ b) $\phi_m < \phi_s$

2.2.1.a Metal n-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar

Metal ile n-tipi yarıiletkeni kontak haline getirildiğinde eğer yarıiletkenin iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan küçükse doğrultucu kontak meydana gelir. Denge de olan bir sistemde yalnız bir tane Fermi seviyesi olduğu unutulmamalıdır. Fermi seviyesi yüksek olandan düşük olana doğru Fermi seviyeleri dengeye ulaşınca kadar elektron akışı meydana gelecektir.

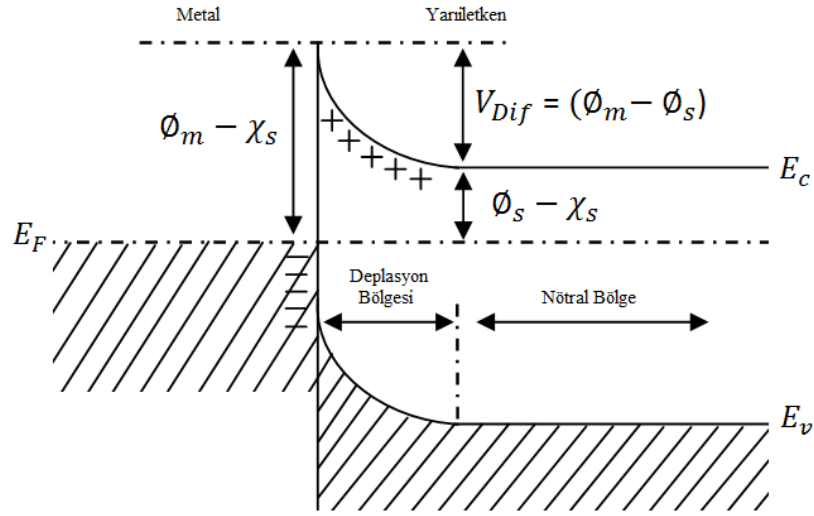
Burada Fermi seviyelerinin dengede olması demek yarıiletkenin Fermi seviyesinin metalin Fermi seviyesine inmesi anlamına gelmektedir. Aslında metalin Fermi seviyesi çok az da olsa yükselir fakat bu ihmal edilecek kadar küçük olduğu için sabit kabul edilir. Düşme miktarı ise metalin iş fonksiyonu ile yarıiletkenin iş fonksiyonu farkı kadardır.

$$V_{Dif} = \phi_m - \phi_s \quad (2.1)$$

Burada V_{Dif} difüzyon potansiyeli, ϕ_m metalin iş fonksiyonu, ϕ_s yarıiletkenin iş fonksiyonu, χ_s elektron ilgisi ve ϕ_B metal tarafındaki bariyer yüksekliğidir.

Metal tarafında meydana gelen engel yüksekliği ise Şekil 2.2'de görüldüğü üzere metalin iş fonksiyonu ile elektron ilgisinin farkı kadar olacaktır.

$$\phi_B = \phi_m - \chi_s \quad (2.2)$$



Şekil 2.2 Metal n-tipi yarıiletken kontakta sonraki denge durumu için enerji-bant diyagramı

Görüldüğü gibi Fermi seviyesi yüksek olan yarıiletkenden Fermi seviyesi düşük olan yarıiletkene doğru sistem dengeye gelene kadar elektron akışı olmuştur. Elektron akışı ile birlikte yarıiletken tarafındaki iletkenlik bandı ile valans bandı Fermi seviyesinin düşme miktarı kadar aşağı doğru inmiştir. Yarıiletken tarafından metal tarafa doğru akan elektronlar geride iyonize olmuş donör atomlarını bırakırlar. Burada bu atomlar lokalize olduğu için bu yükler uzay yükü olarak tanımlanır.

Elektron akışı ile birlikte yarıiletken tarafında elektronca fakir bir bölge oluşur. Bu bölgeye terk edilmiş ya da deplasyon bölgesi denir. Bu bölge katkı miktarı arttıkça ya da düz belsemde (yani metale artı, yarıiletkene eksi uygulandığı durum) daralır, katkı miktarı azaldıkça ya da ters belsemde (yani metale eksi, yarıiletkene artı uygulandığı durum) ise genişler.

Düz beslemde yani metal kısma pozitif yarıiletken kısma negatif gerilim uygulandığında yarıiletken kısımdaki enerji bantları yukarı doğru yükselecek ve akımın artıdan eksiye, elektronların ise eksiden artıya doğru hareket ettikleri düşünülürse elektronlar yarıiletkenden metale doğru geçebileceklerdir.

Ters beslem durumunda ise metale eksi yarıiletkene artı gerilim uygulandığında yarıiletken kısımdaki enerji bantları aşağı doğru inecek ve eklemden akım geçmeyecek, eklem kesime gidecektir. Denge durumunda birbirine eşit ve zıt yönde I_0 akımı akacaktır. Akımın genel ifadesi;

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_B}{kT}\right) \quad (2.3)$$

gibi olur. Ters beslemde geçen akımın genel ifadesi de aşağıdaki gibidir.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_B}{kT}\right) \quad (2.4)$$

Düz beslemde ise uygulanan gerilim üstel çarpım olarak eklendiğinde;

$$I_f = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_B - V_a}{kT}\right) \quad (2.5)$$

Geçen net akım ifadesi her iki yönde akan akımların farkı olduğuna göre;

$$I = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_B}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{V_a}{kT}\right) - 1\right] \quad (2.6)$$

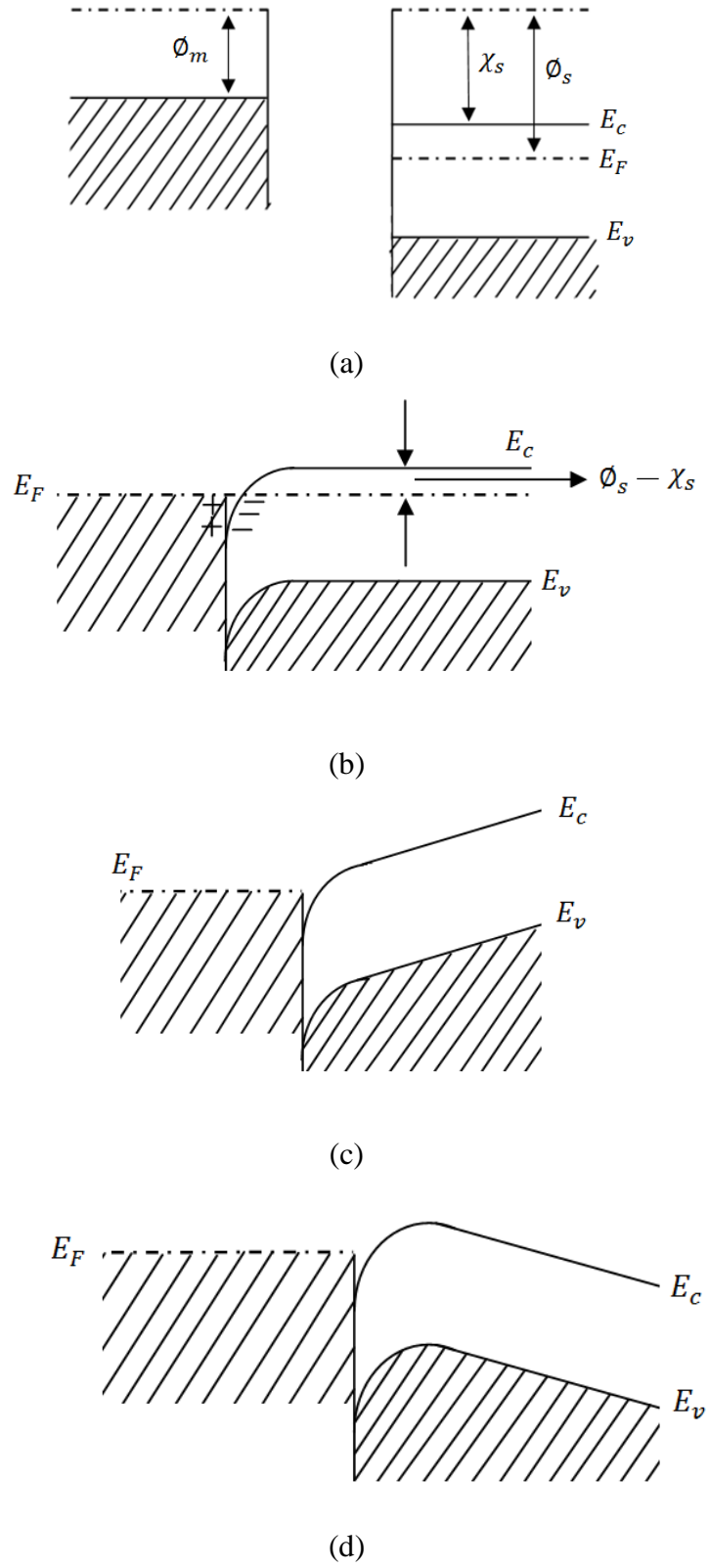
İfadeyi düzenlendiğinde;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_a}{kT}\right) - 1\right] \quad (2.7)$$

son şeklini alır.

2.2.1.b Metal n-tipi yarıiletken omik kontaklar

Metal ile yarıiletken kontak haline getirildiğinde eğer metalin Fermi seviyesi yarıiletkenin Fermi seviyesinden daha yukarıda ise omik kontak oluşur. Şekil 2.3.a,b'de kontak yapıldığında Fermi seviyesi yüksek olan metalden düşük olan yarıiletkene doğru elektron akışı olur ve Fermi seviyeleri eşitlenir. Böylece yarıiletken kısımdaki iletkenlik ve valans bandı yükselir. Elektronlar gerek metalden yarıiletkene doğru, gerekse de yarıiletkenden metale doğru rahat bir şekilde geçerler. Böylece doğrultma işlemi olmaz sadece küçük bir gerilim düşmesi gerçekleşir.



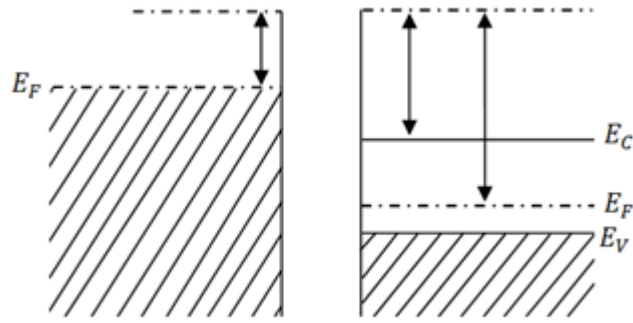
Şekil 2.3 Omik kontak için enerji bant diyagramları

*a) kontakdan önce b) kontakdan sonraki denge hali c) düz beslem d) ters beslem.

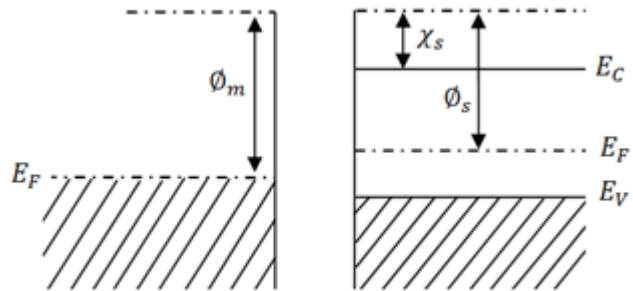
Metal kısma pozitif yarıiletken kısma negatif potansiyel uygulandığında Şekil 2.3.c'deki gibi bantlar yükselecek, tam tersi polaritede ise Şekil 2.3.d'deki gibi bantlar düşecektir. Ancak bu iki durumda da doğrultma işlemi olmayacak kontak omik özellik gösterecektir.

2.2.2 Metal p-tipi yarıiletken kontaklar

Metal ile p-tipi yarıiletken arasında yapılan kontakta duruma göre n tipi yarıiletken kontaklarda olduğu gibi ya doğrultucu ya da omik kontak oluşur. Kontak oluşturulmadan önceki durumda enerji bantları Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



(a)



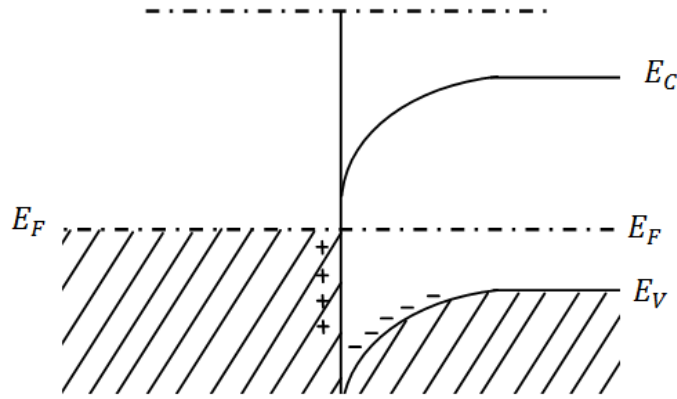
(b)

Şekil 2.4 Bir metalle p-tipi yarıiletkenin kontak yapılmadan önceki hali

*a) $\phi_m < \chi_s$ b) $\phi_m > \chi_s$

2.2.2.a Metal p-tipi yarıiletken doğrultucu kontak

Eğer metalin Fermi seviyesi p-tipi yarıiletkenin Fermi seviyesine göre yüksek ise kontak haline getirildiğinde doğrultucu kontak oluşur. Kontakten sonra yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesine eşit olana kadar metalden yarıiletkene doğru elektron akışı olacak ve yarıiletken tarafındaki bantlar yükselecektir.



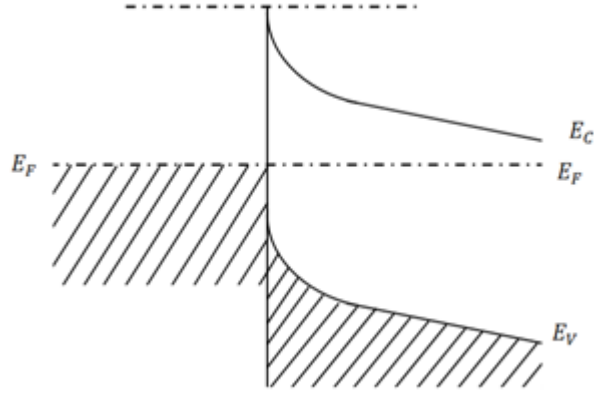
Şekil 2.5 Bir metal ile p-tipi yarıiletkenin kontakten sonraki denge durumu

Metalden yarıiletkene elektronlar geçtiğinde yarıiletkenin ara yüzey bölgesine yakın kısımlarda elektronlar birikecek ve bu elektronlar görüntü yük etkisinden dolayı metal tarafında pozitif yükleri meydana getirecektir. Metal tarafa negatif yarıiletken tarafa pozitif bir gerilim uygulandığında bantlar aşağı doğru bükülecektir. Metale uyguladığımız negatif gerilim ile elektronlar yarıiletken tarafına rahat bir şekilde geçerler. Düz beslem yani iletim durumu meydana gelir.

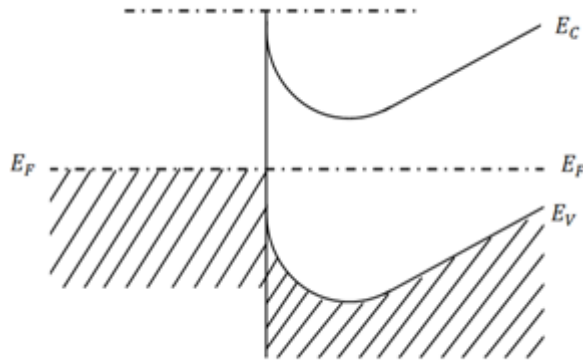
Ters beslemde ise metale pozitif yarıiletkene negatif gerilim uygulandığında enerji bantları yükselecek ancak elektronlar yarıiletkenden metale geçemeyeceği için iletim olmayacaktır.

2.2.2.b Metal p-tipi yarıiletken omik kontak

Metalin iş fonksiyonu yarıiletkenin iş fonksiyonundan fazla ise oluşturulan kontak omik olur.



(a)



(b)

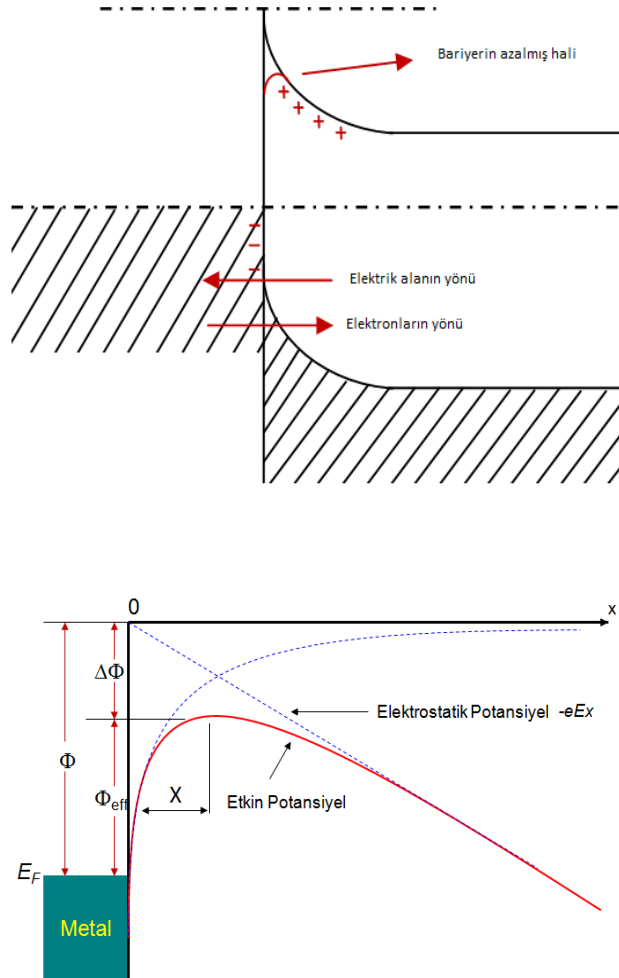
Şekil 2.6 Bir metalle p-tipi yarıiletkenin kantağın enerji bantları

*a) düz beslem b) ters beslem durumu

Şekil 2.6.a'da metale negatif yarıiletkene pozitif gerilim uygulandığında bantlar aşağıya doğru bükülecektir. Ve metalden yarıiletkene elektronlar rahat bir şekilde geçebileceklerdir. Şekil 2.6.b'de ise metale pozitif yarıiletkene negatif bir gerilim uygulandığı vakit bantlar yukarı doğru bükülecekler, elektronlar yarıiletkenden metale doğru yine kolaylıkla geçebileceklerdir. Böylelikle her iki yönde de elektron akışı meydana gelecek ve omik kontak oluşacaktır.

2.3 Schottky Etkisi

Metal ile yarıiletken arasında kontak yapıldığında elektron akışı sonucu meydana gelen bir elektrik alan oluşması ve bu elektrik alanın meydana getirdiği etkidir. Metal ile n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağı ele alındığında yarıiletkenden metale doğru bir elektron akışı olur ve bu elektronlar geride pozitif yüklü uzaysal iyonlar bırakırlar. Elektrik alanın pozitif taraftan negatif tarafa doğru olduğu ve elektronların elektrik alana zıt yönde hareket etmek isteyecekleri prensibi ile metal tarafa geçen elektronların bir kısmı geri yarı iletken tarafına geçerler. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi Schottky etkisinden dolayı engel yüksekliği biraz azalmış olacaktır.



Şekil 2.7 Schottky etkisinden dolayı bariyer yüksekliğindeki değişme

Bariyer yüksekliğindeki düşme miktarı

$$\Delta\phi = \sqrt{\frac{eE}{4\pi\epsilon_0}} \quad (2.8)$$

Meydana gelen görüntü kuvveti,

$$F = -\frac{-q^2}{4\pi\epsilon_0(2x)^2} \quad (2.9)$$

Ve elektrik alan ifadesi,

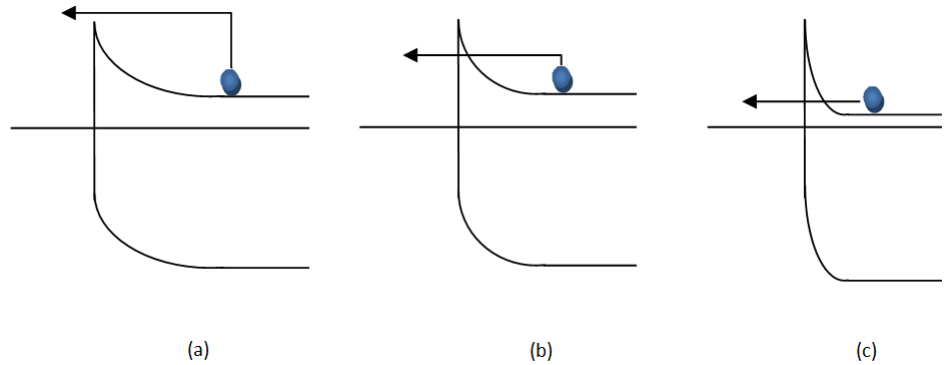
$$E(x) = \int_{\infty}^x F dx = -\frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 x} \quad (2.10)$$

şeklinde verilebilir. Termal dengede Şekil 2.7'de görülen azalma miktarı düz beslem durumunda daha az, ters beslem durumunda ise daha fazla olacaktır (Rideout 1978). Bu da bariyer yüksekliğinin uygulanan gerilime bağlı olduğunu gösterir.

2.4.Akım İletim Mekanizmaları

Temel olarak 3 tane iletim mekanizması vardır.

- Termiyonik emisyon
- Termiyonik alan emisyonu
- Alan emisyonu



Şekil 2.8 İletim mekanizmaları

*a) Termiyonik emisyon b) Termiyonik alan emisyonu c) Alan Emisyonu

Eğer elektron potansiyel engel üzerinden geçerse termiyonik emisyon, potansiyel engelin üzerine yakın bir yerden tünelleme ile geçerse termiyonik alan emisyonu, doğrudan tünelleme ile karşı tarafa geçerse alan emisyonu olur. Katkı miktarı arttıkça tünelleme olayının olma durumu artacaktır. Doğrultucu kontakta termiyonik emisyon dışındakiler diyotun ideallikten uzaklaşmasına nedendir.

2.4.1 Termiyonik emisyon mekanizması

Termiyonik emisyon mekanizmasına göre düz beslemde geçen akım ifadesi;

$$I_{forward} = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_{B,n} - eV_a}{k_B T}\right) \quad (2.11)$$

Ters beslemde geçen akım ifadesi aynı zamanda doyum akımına eşittir;

$$I_{reverse} = I_{sat} = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_{B,n}}{k_B T}\right) \quad (2.12)$$

Geçen net akım her ikisinin farkı olacağına göre;

$$I(V_a) = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_{B,n}}{k_B T}\right) \left[\exp\left(\frac{eV_a}{k_B T}\right) - 1\right] \quad (2.13)$$

$$I(V_a) = I_{sat} \left[\exp\left(\frac{eV_a}{k_B T}\right) - 1\right] \quad (2.14)$$

2.4.2 Termiyonik alan emisyon mekanizması

Termiyonik alan emisyonuna göre geçen toplam akım ifadesi;

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{eV_a}{E_0}\right) - 1\right] \quad (2.15)$$

E_0 karakteristik tünelleme enerjisi olmak üzere;

$$E_0 = E_{00} \coth \left(\frac{E_{00}}{k_B T} \right) \quad (2.16)$$

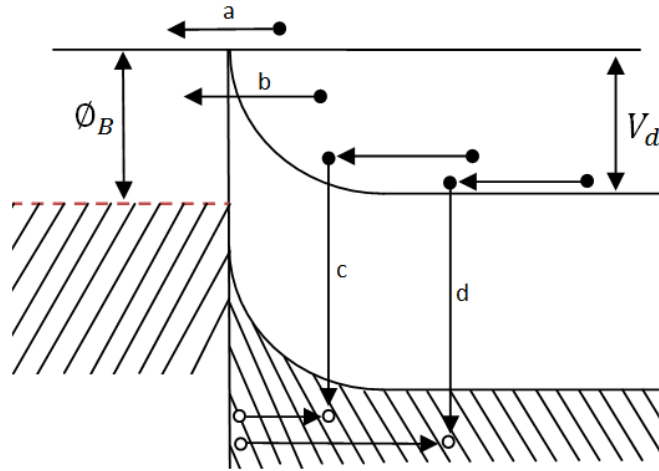
E_{00} yarıiletkenin özelliğinin bir parametresi olmak üzere;

$$E_{00} = \frac{e\hbar}{2} \sqrt{\left(\frac{N_D}{\epsilon_S m^*} \right)} \quad (2.17)$$

şeklindedir.

2.5 Metal-Yarıiletken Eklemlerde Akım Geçiş Mekanizmaları

İletim mekanizmaları Schottky bariyerin akım iletim özelliklerini belirlemede önemli rol oynar. Temel olarak 4 tane akım iletim mekanizması vardır. (Rhoderick and Williams 1988)



Şekil 2.9 Metal-Yarıiletken Eklemlerdeki Akım Geçiş Mekanizmaları

- (a) Elektronun potansiyel engel üzerinden termiyonik emisyon ile geçmesi;
- (b) Potansiyel engelin içinden kuantum mekaniksel olarak tünelleme;
- (c) Uzay yükü bölgesinde rekombinasyon mekanizması;
- (d) Nötral bölgede rekombinasyon mekanizması.

İdeal durumda (a) olması istenen mekanizmadır. (b),(c) ve (d) ise diyotun ideal durumdan uzaklaşmasına nedendir (Rhoderick and Williams 1988).

2.6. Schottky Eklemler Üzerine Modeller

2.6.1 Termiyonik emisyon teorisi (TE)

Bethe tarafından ortaya atılan bu teoriye göre metal-yarıiletken kontaklarda yeterli termal enerjiyi kazanan elektronlar potansiyel engelin üzerinden karşı tarafa geçebilirler. Bu yaklaşım aşağıdaki kabullenimler üzerine kurulmuştur.

- ✓ Potansiyel engelin yüksekliği kT/q enerjisinden çok daha büyüktür.
- ✓ Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmamaktadır.
- ✓ Görüntü yük etkisi (Schottky etkisi) ihmal edilmemektedir.

Termiyonik emisyon teorisine göre yarıiletkenden metale geçen akım yoğunluğu ifadesi;

$$J_{S \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (2.18)$$

Burada Richardson sabiti tanımını ile;

$$A^* = \frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \quad (2.19)$$

yukarıdaki ifade düzenlenirse;

$$J_{s \rightarrow m} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \quad (2.20)$$

şeklinde olur.

Termal dengede ($V=0$) metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu;

$$J_{m \rightarrow s} = -A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.21)$$

Geçen toplam net akım ifadesi her iki ifadenin farkı olacağına göre;

$$J_{net} = \left[A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right) \right] \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.22)$$

olur.

2.6.2 Difüzyon Teorisi

Schottky tarafından ortaya atılmıştır. Temel kabullenimleri;

- ✓ Potansiyel engelin yüksekliği kT/q enerjisinden çok daha büyüktür.
- ✓ Deplasyon bölgesindeki çarpışmalar dikkate alınır.
- ✓ $x = 0$ ve $x = W_D$ (uzay yükü bölgesinde) taşıyıcı konsantrasyonu akımdan etkilenmez.
- ✓ Yarıiletkenin katkı konsantrasyonu dejenere değildir.

Metal/n-tipi yarıiletken için akım yoğunluğu;

$$J_x = J_n = q \left(n\mu_n \varepsilon + D_n \frac{dn}{dx} \right) \quad (2.23)$$

Difüzyon teorisine göre akım yoğunluğu ifadesi

$$J=J_{SD} \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.24)$$

J_{SD} doyum akımı olmak üzere;

$$J_{SD} = \frac{q^2 D_n N_c}{kT} \sqrt{\frac{2qN_D(\varphi_{bi}-V)}{\epsilon_s}} \exp \left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT} \right) \quad (2.25)$$

şeklindedir. İfade geniş bir biçimde yazılacak olursa;

$$J = \left(\frac{q^2 D_n N_c}{kT} \right) \sqrt{\frac{2qN_D(\varphi_{bi}-V)}{\epsilon_s}} \exp \left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT} \right) \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.26)$$

olur.

2.6.3 Termiyonik emisyon-difüzyon teorisi (TED)

Crowell ve Sze 1966 yılında termiyonik emisyon teorisi ile difüzyon teorisini sentezleyerek termiyonik emisyon-difüzyon teorisini geliştirmişlerdir. Akım yoğunluğu gerilim ilişkisi genel olarak verildiğinde;

$$J=J_0 \left[\exp \left(\frac{qV_D}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.27)$$

Doyum akımı;

$$J_0 = A^{**} T^2 \left[\exp \left(\frac{q\phi_{B0}}{kT} \right) \right] \quad (2.28)$$

İdeallikten sapmanın bir ifadesi olarak n idealite faktörü kullanılırsa;

$$J=J_0 \exp \left(\frac{qV_D}{kT} \right) \quad (2.29)$$

İdealite faktörü verilirse;

$$n = \left(\frac{q}{kT} \right) \left[\frac{dV}{d(\ln I)} \right] \quad (2.30)$$

olur.

2.7 T_0 Etkisi

İdealite faktörü yapılan diyotun ideallik derecesini belirleyen boyutsuz bir kavramdır. İdealde 1'e eşit olması gerekir ve 1'den büyük oldukça yapılan diyotun performansı düşer. Sıcaklıkla değişmemesi gerekirken Schottky etkisinden ve ara yüzey hallerinden dolayı sıcaklığa bağlılık sergiler (Padovani and Sumner 1965). Normal olmayan bu duruma T_0 etkisi ya da T_0 anormalliği denir ve sıcaklığa bağlı değildir.

$$n = 1 + \left(\frac{T_0}{T} \right) \quad (2.31)$$

akım ifadesini yazarsak;

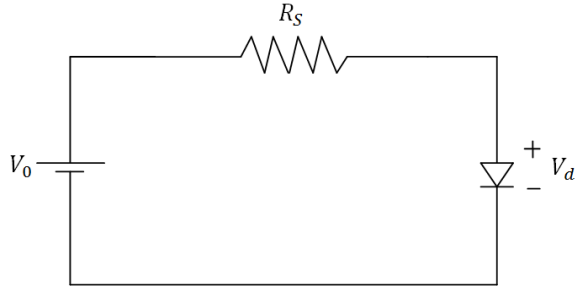
$$I = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_B}{k[T+T_0]}\right) \left[\exp\left(\frac{V_a}{k[T+T_0]}\right) - 1 \right] \quad (2.32)$$

olur.

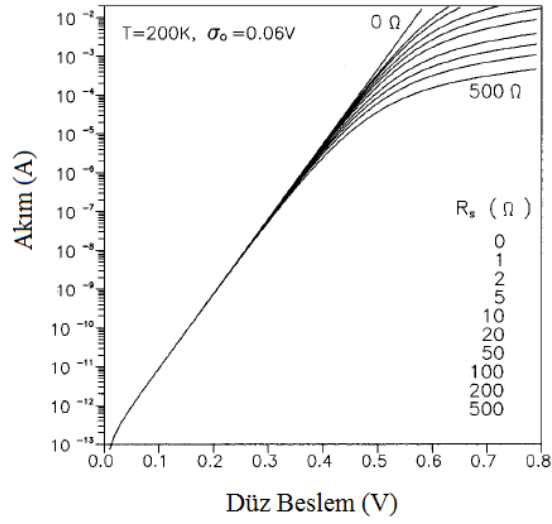
2.8 Seri Direnç (R_s) Etkisi

Yapılan schottky diyotta yarıiletkenin direnci, kontağın direnci ve metalin direnci olmak üzere 3 farklı direnç vardır. Bu dirençlerin toplamı ile verilen seri direnç üzerinde gerilim düşümü yüksek gerilimlerde etkili olmaya başlar.

Devre eşdeğeri verildiğinde;



Şekil 2.10 Schottky diyot eşdeğer devresi



Şekil 2.11 Akım-gerilim grafiğinde seri direncin teorik etkisi (Chand and Kumar 1997)

Seri direncin hesaplanmasında birçok metod ortaya konulmuştur. Bunların başlıcaları:

- Norde Metodu (1979) ,
- Lien, So, Nicolet Metodu (1984),
- Cibils, Buitrago Metodu (1985),
- Bohlin Metodu (1986),
- Cheung and Cheung Metodu (1986),
- Lee, Fung, Beling, Au Metodu (1992)

Bu çalışmada kullanacağımız en yaygın metod Cheung metodudur.

2.9 Cheung Fonksiyonları

Cheung 1986 yılında Schottky parametrelerini hesaplamada yeni bir model sunmuştur. Bu modele göre düz beslem durumunda akım ifadesi;

$$I = AA^*T^2 \left[\exp \left(- \frac{e\phi_B}{kT} \right) \right] \left[\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.33)$$

Yukarıdaki denkleme idealite faktörü kavramını da eklediğimizde yeni ifade;

$$I = AA^*T^2 \left[\exp \left(- \frac{e\phi_B}{kT} \right) \right] \left[\exp \left(\frac{eV}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (2.34)$$

olur. Dikkat edilirse n paydada olduğu için 1'den büyük olduğunda diyot ideallikten sapmalar gösterecektir. O halde ideal durumda n=1 olmalıdır. Uygulanan gerilimde birde diyot üzerinde gerilim düşümü meydana gelecektir. Bunu da denkleminizde ifade edersek;

$$I = AA^*T^2 \left[\exp \left(- \frac{e\phi_B}{kT} \right) \right] \left[\exp \left(\frac{e(V-IR_S)}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (2.35)$$

Buradan gerilim ifadesini akıma bağlı yazıldığında;

$$V = \left(\frac{nkT}{e} \right) \left(\ln \frac{I}{AA^*T^2} \right) + n\phi_B + IR_S \quad (2.36)$$

Yukarıdaki bu ifadenin ln(I)'ya göre türevini alırsak;

$$\frac{dV}{d[\ln(I)]} = \frac{nkT}{e} + IR_S \quad (2.37)$$

olur. Burada $\frac{dV}{d[\ln(I)]}$ ifadesi bir grafiğin eğiminin matematiksel ifadesidir. Bu ifadenin grafiği çizildiğinde grafiğin eğimi seri direnci, düşey eksenini kestiği nokta ise idealite faktörünü verir.

Engel yüksekliği bulunacak olursa;

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{e} \right) \ln \left(\frac{I}{AA^*T^2} \right) \quad (2.38)$$

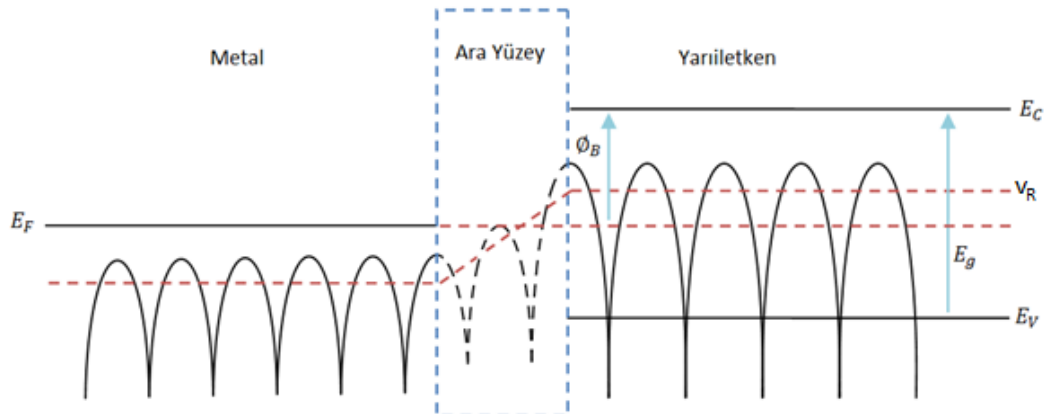
(2.36) ve (2.37) ifadelerini birbirinin yerine koyarsak;

$$H(I) = n\Phi_B + IR_s \quad (2.39)$$

Fonksiyonunu elde ederiz. Bu ifadeye göre H(I)-I grafiği çizildiğinde birinci dereceden bir denklem olduğu için bir doğru çıkar ve bu doğrunun eğimi seri direnci, H(I) eksenini kestiği nokta ise bariyer yüksekliğini verir.

2.10 Ara Yüzey Bölgesi

Kontak yapılmadan önce metalin ve yarıiletkenin kendilerine ait potansiyel enerjileri vardır. Kontak yapıldığında ise ara yüzeyde hem metale hem de yarıiletkene ait olmayan bir enerji seviyesi oluşur. Şekil 2.12’de kontak haline getirildiğindeki ara yüzeydeki enerji değişimi görülmektedir.

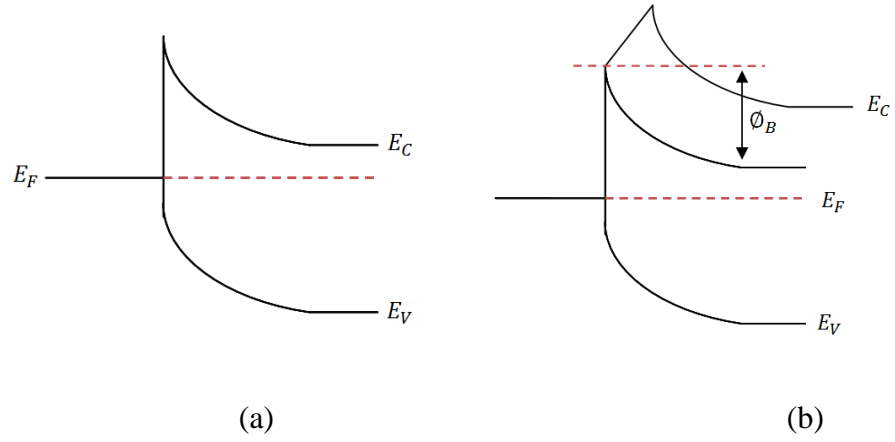


Şekil 2.12 Ara yüzey bölgesi potansiyel enerji değişim grafiği

Şekil 2.12 'den de görüldüğü gibi ara yüzeyde homojen bir yapının olduğu, bileşiklerin olmadığı yani atomik boyutta düzenli bir sonlamanın olduğu farz edildiğinde metal-yarıiletken kontağın potansiyel değişimi kesinlik arz etmez (Tung 2001).

2.11 Homojen Olmayan Engel

Metal Yarıiletken doğrultucu kontaklarında eklemde ortaya çıkan potansiyel engel Şekil 2.13 b'deki gibi tek düze olmayıp Şekil 2.13.c'deki gibi değişken karakterde olması potansiyel engelin homojensizliği olarak bilinir. Akım-Gerilim (I-V) ölçümünden bulunan bariyer yüksekliği ile Kapasite-Gerilim (C-V) ölçümünden bulunan bariyer yüksekliği arasındaki fark homojensizliğin göstergesidir (Tung 1984; Guttler and Werner 1990).



(c)

Şekil 2.13 Bariyer yüksekliğinin görünümü

*a) iki boyutlu b) üç boyutlu homojen c) üç boyutlu inhomojen durum

Engel yüksekliğinin homojen olmayan bir yapı sergilemesine neden olan durumlar şöyle sıralanabilir:

- Uzay yükü bölgesinde tekrardan oluşum mekanizmaları, (Wittmer 1991)
- Uzay yükü bölgesinde tekrardan birleşim mekanizmaları,
- Görüntü-Yük etkisi, (Crowell and Sze 1965; Rhoderick and Williams 1988)
- Yüksek katkılı yarıiletkenlerde tünelleme, (Padovani and Stratton 1966 ; Rhoderick and Williams 1988)
- Ara yüzey tabakasının kalınlığı, (Rhoderick and Williams 1988)
- Seri direnç (Kang *et al.* 1995).

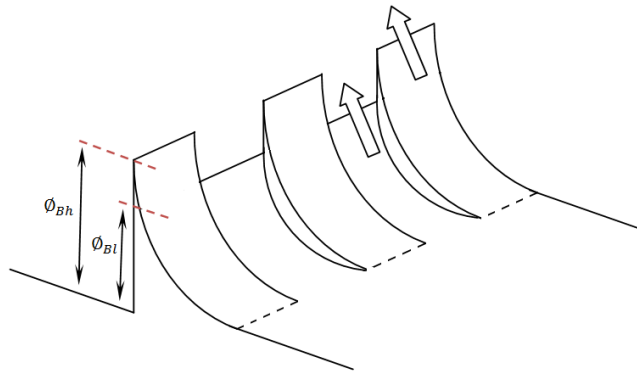
İnhomojen diyotta akım iletim mekanizmasını tanımlamak için 2 farklı modeli vardır.

Bunlar:

- Paralel iletim modeli
- Pinch off modeli

2.11. 1 Paralel iletim modeli

Ohdomari ve Tu tarafından ortaya konulan modeldir.



Şekil 2.14 Paralel iletim modelinde bariyerin üç boyutlu görünümü

Potansiyel engel yüksekliğindeki dalgalanmaların birbiri ile etkileşimini dikkate almaz ve buda hatanın oluşmasına neden olur. Akım bariyerin yüksek kısmı ile düşük olan kısmından geçen akımların toplamıdır.

$$I=I_h + I_l \quad (2.40)$$

Homojen olan bir diyotta akım ifadesi;

$$I(V)=AA^*T^2 \exp\left(-\frac{\phi_B}{k_B T}\right) \left[\exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right) - 1 \right] \quad (2.41)$$

Şeklinde. Burada A diyot alanının homojen değil de homojen olmayan bir yapı sergilediği düşünülürse, her bir alandan geçen akım miktarlarını toplamak gerekir.

$$A \exp\left(-\frac{\phi_B}{k_B T}\right) \quad (2.42)$$

ifadesi yerine,

$$\sum_i A_i \exp\left(-\frac{\phi_i}{k_B T}\right) \quad (2.43)$$

ifadesi konulduğunda homojen olmayan bir diyottaki akım ifadesi;

$$I(V)=\sum_i A_i \exp\left(-\frac{\phi_i}{k_B T}\right) A^* T^2 \left[\exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right) - 1 \right] \quad (2.44)$$

şeklinde olur.

2.11.2 Pinch-off Modeli

Eklem boyunca birbirine komşu ancak farklı engel yüksekliğine sahip lokal potansiyel engellerin birbiri ile etkileşimini dikkate alan modeldir. Paralel iletim modelindeki

eksikliği gidermek için pinch-off modeli ortaya konulmuştur. Homojensizlik fazla bariyer yüksekliğinin düşük olduğu kısımlar az ise bu model uygulanabilir bir modeldir (Yu-Long *et al.* 2002). Modelde etkileşim dikkate alınarak paralel iletim modelindeki denklem düzeltilerek sunulmuştur.

$$I(V) = \sum_i A_{i,eff} \exp\left(-\frac{\phi_{i,eff}}{k_B T}\right) A^* T^2 \left[\exp\left(\frac{eV}{k_B T}\right) - 1 \right] \quad (2.45)$$

Burada ϕ_i pinch-off olmayan etkin bariyer yüksekliği iken, $\phi_{i,eff}$ pinch-off olan bariyer yüksekliğidir. Yine A_i pinch-off olmadığı varsayılan ve dalgalı olan bariyer yüksekliğindeki bir tane alanı, $A_{i,eff}$ ise pinch-off olan bariyer yüksekliğindeki bir tane alanı ifade eder.

Pinch-off modelindeki akım-gerilim denkleminde $\phi_{i,eff}$ ve $A_{i,eff}$ ifadelerinin paralel iletim modelindeki ϕ_i ve A_i ifadelerinden en önemli farkları ϕ_i ve A_i ifadelerinin uygulanan gerilimden, sıcaklıktan, katkı seviyesinden ve geometriden bağımsız olmalarıdır. Hâlbuki $\phi_{i,eff}$ ve $A_{i,eff}$ bu parametrelere bağımlılık sergiler. Bu bağımlılık diyotun I-V karakteristiğini etkiler ve bu da idealite faktörünün 1'den büyük olmasına neden olabilir (Tung 2001).

Burada dikkat edilmesi gereken husus pinch-off modeli inhomojensizlik fazla olduğunda ve düşük bariyer yüksekliklerinin çok az olduğu durumlarda uygulanabilir bir modeldir.

2.12 Schottky Engelin Gaussian Dağılımı

Engel yüksekliğinin dağılımı ile ilgili birkaç dağılım fonksiyonu ile ifade edilmeye çalışılmıştır. Bunların en önemlisi Gauss dağılımı (Song *et al.* 1986; Werner and Guttler 1991; Chand and Kumar 1997; Zhu *et al.* 2000; Chin *et al.* 1990) olmak üzere log-normal dağılım (Horvath 1992) ve sabit dağılımdır (Osvold 1992). Schottky diyotun engel yüksekliğinin Gauss dağılımı ile ifade edilmesinin önemli nedeni bariyer

yüksekliğinin sıcaklığa bağlılığını gösterebilmede oldukça başarılı olmasıdır (Maeda 2000). İnhomojen engelden geçen toplam akım miktarı iki yaklaşıma göre ifade edilir. Birinci yaklaşım (Song *et al.* 1986; Werner and Güttler 1991):

$$I(V) = \int i(V, \phi) \rho(\phi) d\phi \quad (2.46)$$

$$I(V, \phi) = A_d A^{**} T^2 \exp(-\beta \phi_{ap}) [\exp\{\beta(V - IR_s)\} - 1] \quad (2.47)$$

$$\phi_{ap} = \bar{\phi} - \frac{\beta \sigma^2}{2} \quad (2.48)$$

$$\beta = \frac{q}{kT} \quad (2.49)$$

$$\rho(\phi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\phi - \bar{\phi})^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.50)$$

2.50 ifadesi gauss dağılımını gösterir. Burada σ 'nın sıcaklığa bağlılığı çok az olduğundan ihmal edilebilir yani bağımsız olduğu söylenebilir (Hudait *et al.* 2001). Chand tarafından ortaya konulan ikinci yaklaşım engel yüksekliğinin simetrik bir özellik gösterdiği düşünülerek birinci yaklaşımın biraz düzenlenmiş halidir (Chand 2002). $\bar{\phi}$ ortalama engel yüksekliği olmak üzere;

$$I(V) = \int_0^{2\bar{\phi}} i(V, \phi) \rho(\phi) d\phi \quad (2.51)$$

$$I(V) = I_s \left[\exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) - 1 \right] \left(\frac{\text{erf}(f_1) - \text{erf}(f_2)}{2} \right) \quad (2.52)$$

Önceki modellerde akım ifadesi;

$$I(V) = I_s' \left[\exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.53)$$

Şeklindedir ancak düzenlendiğinde I_s' akımı;

$$I_s' = I_s \left[\frac{\text{erf}(f_1) - \text{erf}(f_2)}{2} \right] \quad (2.54)$$

f_1 ve f_2 hata fonksiyonları olmak üzere;

$$f_1 = \left(\frac{\sigma^2 q}{kT} + \bar{\phi} \right) \frac{1}{\sigma\sqrt{2}} \quad (2.55)$$

$$f_2 = \left(\frac{\sigma^2 q}{kT} - \bar{\phi} \right) \frac{1}{\sigma\sqrt{2}} \quad (2.56)$$

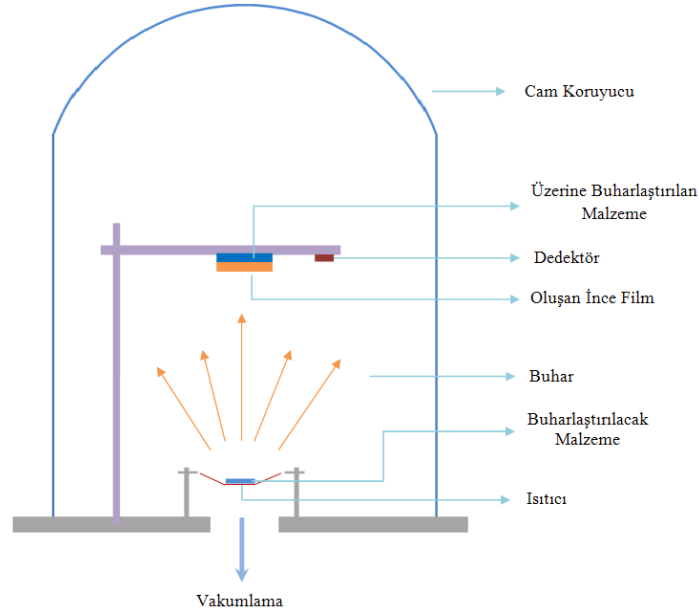
şeklinde ifade edilebilir.

2.13 İnce Film Büyütme Teknikleri

Büyütme teknikleri genel olarak fiziksel büyütme (PVD) ve kimyasal büyütme (CVD) olarak 2'ye ayrılır. Fiziksel büyütme işlemi yoğunlaştırma ile olurken kimyasal büyütme işlemi kimyasal reaksiyonlarla olur. Yani PVD ekzotermik, CVD ise endotermiktir. Birçok büyütme tekniği olsa da yaygın olanlardan bahsedilecektir.

2.13.1 Termal buharlaştırma

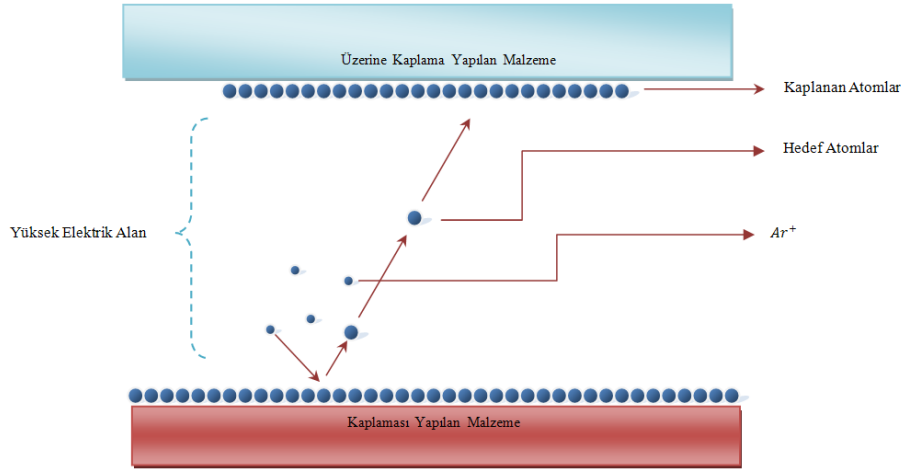
Temel olarak basit bir çalışma ilkesi vardır. Vakum ortamında ısıtılan maddenin buharlaştırılarak kaplanması istenen malzemeye kaplanması ile olur. Diğer fiziksel büyütme tekniklerine göre kaplama oranı oldukça yüksektir.



Şekil 2.15 Geleneksel buharlaştırma sisteminin görünümü

2.13.2 Sputter

Vakumlanmış ortamda gaz iyonları (genelde Argon gazı) yüksek gerilimde hızlandırılarak plazma haline getirilir. Yüksek enerjili iyonlar istenilen malzemeye çarpılarak sökülen atomlar ile kaplama yapılır. Dezavantajı kaplama hızı düşüktür ve oluşturulan filmde homojensizlikler olabilir. Dezavantajı kaplama hızı düşüktür. Elementler veya bileşikler ince filmler halinde istenilen altlık üzerinde oluşturulabilir. Alaşım, element, karışım ya da bileşikler istenilen yüzeye kopyalanabilir (Seshan 2002).



Şekil 2.16 Sputter sisteminin görünümü

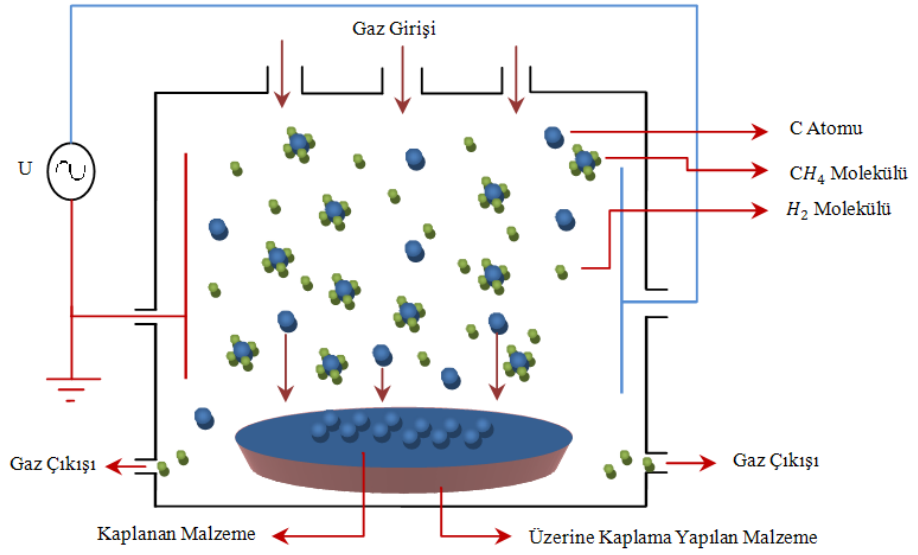
2.13.3 Sol-Jel

İnorganik bileşikler, önce belirli oranlarda su ve asitle birleştirilerek bir çözelti meydana getirilir. Ve bu çözelti belli sıcaklıkta karıştırılır ve içerisinde birbirini izleyen bir dizi kimyasal reaksiyonların ve taneciklerin sahip olduğu yüzey yüklerinin elektrokimyasal etkileşimleri ile bir ağ (jelleşme) meydana gelir. Bu ağ giderek büyüyüp komple bir yapı (jel) meydana getirir. Buradaki sol kavramı sıvı içinde gözle görülmeyecek kadar küçük katı taneciklerin kararlı bir çözeltisidir. Cam, seramik, metal ve plastik atıkların kaplanarak yapılan bir tekniktir. Laboratuarda geniş olarak kullanılmaktadır. İnce film kaplamada oldukça geniş kullanım alanı vardır. Maliyeti yüksektir ve işlem süresi uzundur.

2.13.4 CVD (Chemical Vapor Deposition)

Kaplama teknolojisinde ve ince film tek kristal oluşturmada yaygın olarak kullanılır. Günümüz teknolojisinde film kaplama gerekliliği yanında yüksek saflıkta ve homojen filmlere ihtiyaç duyulmaktadır. PVD tekniğine göre daha ayrıntılı, net ve karmaşık yapılar oluşturulabilir. Bir diğer avantajı birçok çeşit madde kaplama özelliğinin olması ve bunların da aynı anda büyütülebilmesidir.. Yine PVD tekniğine göre avantajı vakum

ortamı gerektirmemesidir. Ayrıca CVD tekniği hızlı biriktirme oranına sahiptir. Dezavantajları zarar verici reaksiyonlar meydana gelebilir.(CO, HF, H_2) Birçok çeşit CVD metodları vardır. Bunlar Atmosferik Basınç Kimyasal Buhar Biriktirme (APCVD) , Düşük Basıncılı Kimyasal Buhar Biriktirme (LPCVD) ,Metal-Organik Kimyasal Buhar Biriktirme (MOCVD), Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme (PACVD), Lazer Kimyasal Buhar Biriktirme (LCVD), Fotokimyasal Buhar Biriktirme (PCVD) (Pierson 1999).



Şekil 2.17 CVD sisteminin görünümü

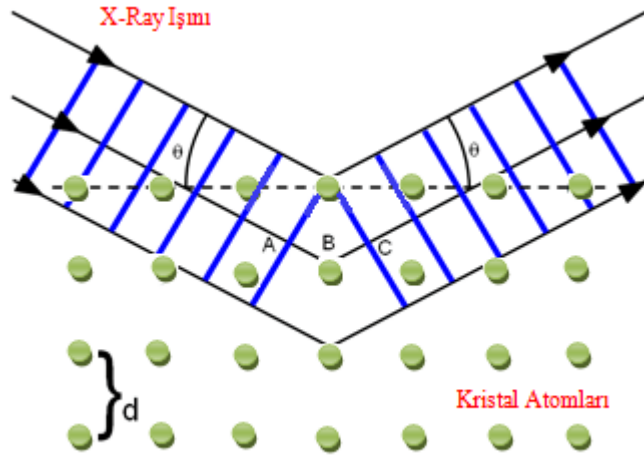
2.14 Karakterizasyon Teknikleri

Karakterizasyon tekniklerini yapısal, optik ve elektriksel olarak üç gruba ayırılabilir.

2.14.1 Yapısal karakterizasyon teknikleri

2.14.1.a X-Ray (X-Ray Diffraction (XRD))

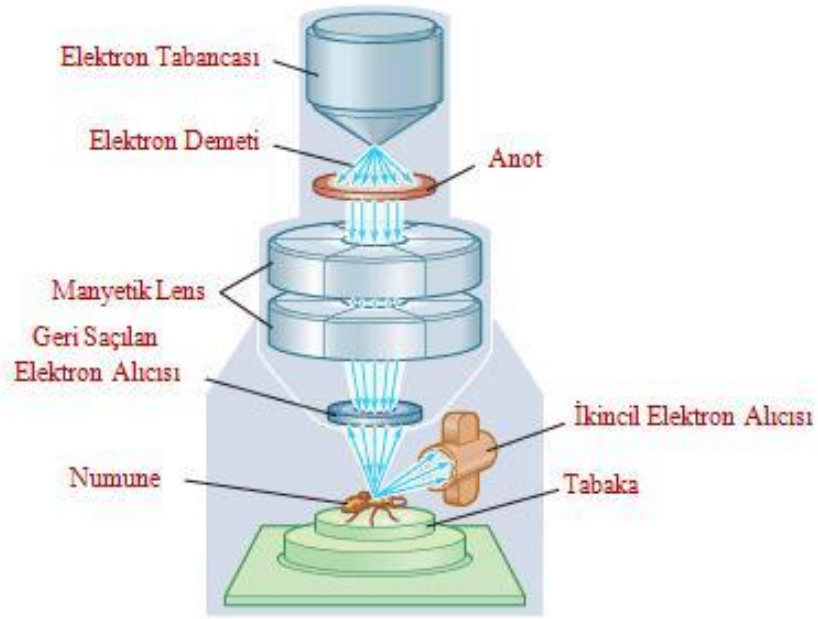
X-Ray ışınları dalga boyu örgü sabitleri mertebesinde kadar olduğunda ve atomların oluşturduğu düzlemlerden yansıdığına ortaya çıkan girişimler ile kristal örgü parametreleri hakkında bilgi edinilebilmektedir. Ölçüm tekniği gönderilen ışınların atomların oluşturduğu düzlemlerden yansması prensibine dayanır. Çok geniş bir kullanım alanı vardır. Numunedeki kristalografik yapı, kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler belirlenebilir (Cullity 1978).



Şekil 2.18 XRD sisteminde X ışınlarının bir kristal örgüden saçılması.

2.14.1.b Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Gerek tıp alanında gerekse malzeme biliminde çok yaygın olarak kullanılan yüksek çözünürlüğe sahip bir mikroskoptur. Yüksek enerjili elektronlar numuneye odaklanarak gönderilir. Burada gönderilen elektronlar atomlarla etkileşerek geri yansır ve yansıyan elektronlar bir dedektör vasıtası ile algılanır.

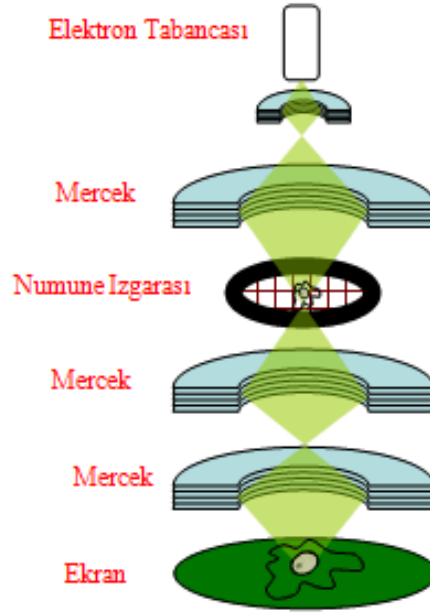


Şekil 2.19 Taramalı elektron mikroskobunun şematik görünümü

*<http://www.britannica.com/EBchecked/media/110970/Scanning-electron-microscope>

2.14.1.c Geçirmeli elektron mikroskobu (TEM)

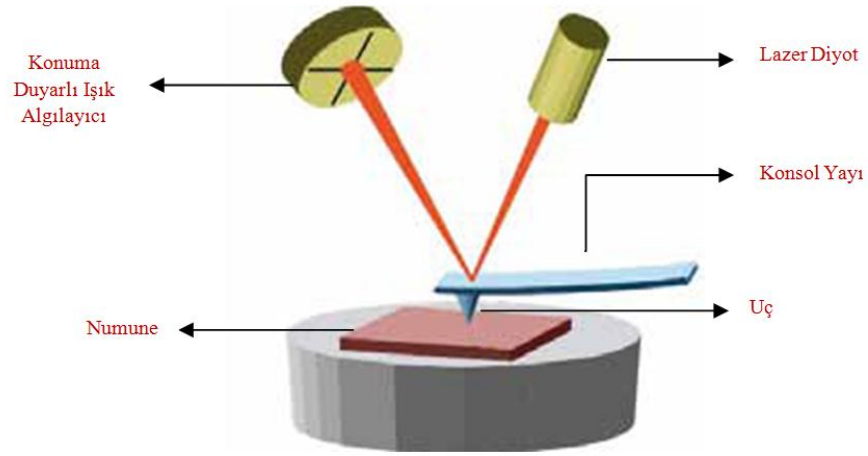
Gerek SEM gerekse de TEM her ikisi de numuneyi incelerken yüksek çözünürlülük elde etmek için fotonlar yerine dalga boyları daha düşük olduğu için elektronları kullanır. SEM tekniğinde olduğu gibi elektronların numunelere gönderilip saçılan elektronların alınması yerine elektronların numuneye gönderilip numuneden geçen elektronlardan oluşturulan görüntü kullanılır. Bu teknik kullanılarak yapısal kusurlar, tanecik sınırlarının yapıları, faz tanımlaması, kristalografik yönelim, ara yüzey kalitesi gibi bilgilerin elde edilmesinde önemlidir ancak kullanımı karmaşık bir tekniktir (Williams 2009).



Şekil 2.20 Geçirmeli elektron mikroskobunun şematik görünümü
 *<http://qwikstep.eu/search/what-is-transmission-electron-microscope.html>

2.14.1.d Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

İlk olarak Binnig, Quate ve Gerber tarafından 1986 yılında icat edilmiştir (Binnig *et al.* 1986). Son derece küçük atomik kuvvetlerin etkileşimi prensibine dayanır (Martin 1987). Prob ile yüzeydeki atomların etkileşmesi mantığı ile ölçüm yapar. İnce olan bir uç yüzeyi tararken bu uca gönderilen lazerden yansıyan ışık dedektöre düşürülür. Bu şekilde yüzeyin morfolojisi hakkında bilgi edinilmesini sağlar.

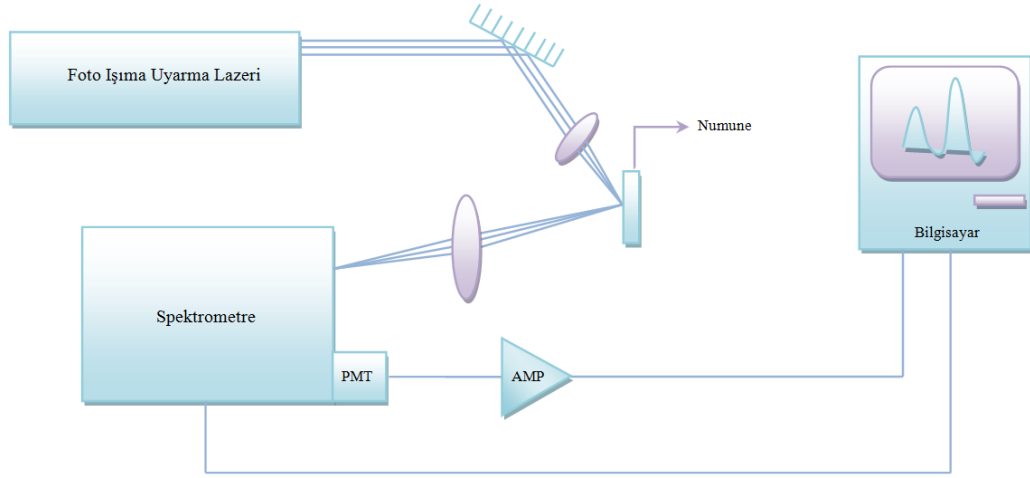


Şekil 2.21 Atomik kuvvet mikroskobunun şematik görünümü
 *<http://www3.physik.uni-greifswald.de/method/afm/eafm.htm>

2.14.2 Optik karakterizasyon teknikleri

2.14.2.a Fotolüminesans tekniği (PL)

Fotonlarla uyarılan elektronlar daha sonra minimum temel duruma ulaşmak isterler. Uyarılan bu elektronlar kararlı olmak için daha düşük bir enerji seviyesine geçerken ortaya çıkan enerji farkını karakteristik ışımaya olarak ortama verirler. İşte bu yayılan ışığın enerjisinin veya dalga boyunun fonksiyonu olarak incelenmesi metoduna fotolüminesans denir. Bu teknikle yapılan spektroskopik ölçümlerden bant aralığı, numunedeki safsızlık durumu, rekombinasyon mekanizmaları ve maddenin kalitesi bulunabilir (Schroder 2006).



Şekil 2.22 Fotoluminesans sisteminin şematik görünümü

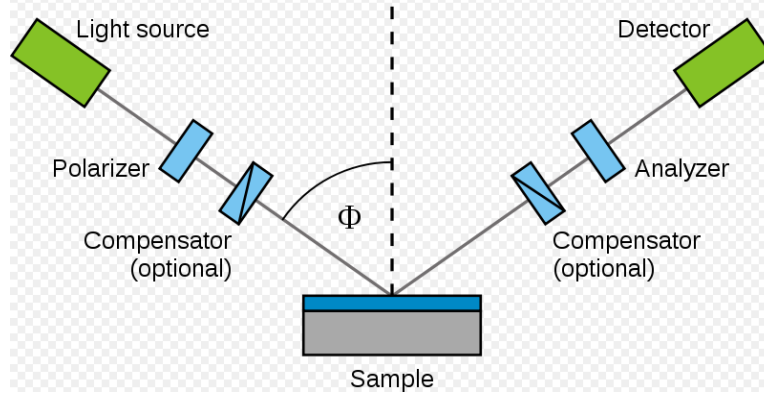
2.14.2.b Katodoluminesans tekniği (CL)

Yüksek enerjili elektronlarla uyarılmış numunenin yaydığı karakteristik ışımayı inceleyerek yapılan ve kontak gerektirmeyen bir tekniktir. Elektron demeti ile taranan numuneden yayılan ışığın toplanıp görüntülenmesini sağlar. Genelde III-V elementleri için kullanılır. CL'nin verimi daha fazla akım demeti göndererek artırılabilir ancak bu kez de numunenin ısınmasına yol açar. Başlıca uygulamaları kusurları belirlemede kullanılmasıdır. SEM gibi diğer mikroskoplarla birlikte kullanılarak daha karmaşık analizlerin yapılmasında sıkça kullanılır (Schroder 2006).

2.14.2.c Elipsometri

Işığın polarizasyonunun değişimi prensibine göre ölçüm yapan bir tekniktir. İlk olarak Drude tarafından 1887 yılında bulundu. Yüz yıldan fazla geçmişe sahip olmasına rağmen bilgisayarların gelişmesi ile geniş bir şekilde kullanılmaya başlandı. İnce filmin kalınlığının belirlenmesi, hem ince filmin hem de altlık olarak kullanılan malzemenin optik katsayılarının, katkı yoğunluğunun bulunmasında ve yüzeyin düzgünlüğünün belirlenmesinde kullanılır. Numuneye zarar vermemesi, herhangi bir ortamda ölçüm yapılabilmesi, geniş ölçüm aralığına sahip olması, katı ve sıvı yüzeylerde

uygulanabilmesi ve çok katmanlı yapılarında incelenebilmesi gibi avantajlara sahiptir (Schroder 2006).



Şekil 2.23 Elipsometri sisteminin şematik görünümü

*http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ellipsometry_setup.svg

2.14.3 Elektriksel karakterizasyon teknikleri

Numuneyi incelemede en önemli tekniklerden biride yapılan numunenin elektriksel olarak karakterize edilmesi olacaktır. Elektriksel karakterizasyon çeşitleri aşağıda sıralanmıştır.

- Akım-Gerilim (I-V),
- Kapasite-Gerilim (C-V),
- Akım-Sıcaklık (I-T),
- Özdirenç,
- Hal Olayı,
- DLTS gibi çok sayıda ölçüm tekniği bulunur.

Bu teknikler vasıtasıyla doğrultucu eklemlerde engel yüksekliği, seri direnci, idealite faktörü bulunabilir. Aynı şekilde numunedeki kirlilikler, sızıntı akımı, katkı yoğunluğu, mobilite, derin seviyeler de bulunur. Akım-Gerilim'den elde edilen engel yüksekliği ile Kapasite-Gerilim'den elde edilen engel yükseklikleri farklı çıkar. Bunun da potansiyel engelin eklemden iki boyutta dağılımında ortaya çıkan homojensizlikten kaynaklandığı düşünülmektedir. Yani bu iki ölçümle potansiyel engelin homojensizliği tespit

edilebilir. Yine bu ölçümlerin bir sonucu olarak Engel Yüksekliği-İdealite Faktörü, Engel Yüksekliği-Sıcaklık, İdealite Faktörü-Sıcaklık, Katkı Konsantrasyonu-Sıcaklık gibi ilişkiler yapılan aygıtların performansını iyileştirmede etkin olarak kullanılmaktadır.

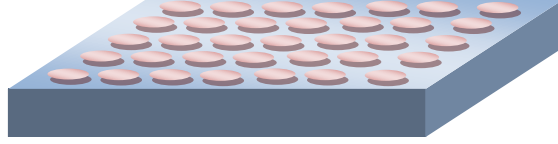
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Sputter İçin Silisyum Temizleme İşlemi

Silisyum yüzeyini organik ve metalik kirliliklerden arındıran ve Silisyum yarıiletken teknolojisinde standart kullanım haline gelen temizleme yöntemi, Kern ve Puotinen (1970) tarafından RCA laboratuvarında 1960'lı yılların sonlarında gerçekleştirilmiştir. Temizlik işlemi RCA1 ile RCA2 olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada (RCA1) ile organik kirler temizlenirken, ikinci aşamada (RCA2) ağır metalleri temizler. Silisyum için işlem basamakları sırasıyla şöyle olmaktadır;

- Asetonda 10 dakika ultrasonik yıkama
- Metanolde 10 dakika ultrasonik yıkama
- Deiyonize su ile iyice yıkama
- RCA1 ($H_2O:H_2O_2:NH_3$; 6:1:1) içinde $60^\circ C$ sıcaklıkta 10 dakika bekletme
- Deiyonize su ile iyice durulama
- Seyreltik HF ($H_2O:HF$; 10:1) içinde 30 saniye bekletme
- Deiyonize su ile iyice durulama
- RCA2 ($H_2O: H_2O_2:HCl$; 6:1:1) içinde $60^\circ C$ sıcaklıkta 10 dakika bekletme
- Deiyonize su ile durulama
- Seyreltik HF ($H_2O:HF$; 10:1) içinde 30 saniye bekletme
- 15- 20 dakika akan deiyonize su içerisinde durulama
- Azot gazı (N_2) ile kurutma

Bu çalışmada kullanılan deiyonize suyun direnci 17 Mohm üzerinde olup. Durulama işlemleri sürekli deiyonize su akışı altında gerçekleştirilmiştir. Sputter cihazı sayesinde p/Si üzerine 0,5 mm yarıçapında 10x10 matris formatında Erbiyum büyütülmüştür.



Şekil 3.1 Üretilen 10x10 matris formatındaki Er/p-Si Schottky diyotlar

3.2 Sputter Sistemi

Kullandığımız sistemde 550 lt kapasiteli turbo moleküler pompa sayesinde yaklaşık 10^{-8} Torr basınç düzeyinde vakum sağlanabilmektedir. Sputter yapılırken RF sinyal kullanılmıştır ve atomların hedef malzemede büyütülmesi için negatif DC gerilim uygulanmıştır. Cam fanusun içerisinde sputter tekniği dışında fiziksel buharlaştırma da yapılabilmektedir. Bunun için içerisinde dört farklı ısıtıcı bulunmaktadır.



Şekil 3.2 Termal buharlaştırma ve sputter cihazı

*Atatürk üniversitesi Nanoteknoloji Laboratuarı

Bu çalışmada Er ince filmi oluşturma için sputter sisteminde kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

Başlangıç vakum seviyesi	: 5×10^{-7} Torr
Ar akış miktarı	: 10 ccm (6N)
Ar gaz altı basıncı	: 1.8×10^{-3} Torr
RF	: 23 MHz
RF darbe süresi	: 10 ms
RF darbe frekansı	: 5 Hz
DC hedef	: -100 V
DC numune	: -40V
Depozisyon Süresi	: 10 dk.

3.3 Isıl İşlem Fırını

Bir malzemeyi ısıtıp yavaş yavaş soğutmak malzemenin atomlarının yeniden düzenlenmesini sağlar. Bu amaçla yapılan ince filmlerin altlık ile daha düzgün bir yapı oluşturmasını sağlamak için tavlama fırınları aracılığıyla malzemeye ısıl işlem uygulanır. Kullandığımız tavlama fırını 1100°C de 10^{-7} Torr vakum ortamında ısıl işlem yapılabilme özelliğine de sahiptir. İstenilen tavlama sıcaklığına set edilen fırında, numune fırın önünde bulunan numune taşıyıcı bekletme kısmında iken vakum kaplama sistemi üzerinden vakuma alınmaktadır. 10^{-7} Torr vakum seviyesine ulaştıktan sonra manyetik kuplaj ile numune vakum altında sıcak bölgeye sürülür. 2.5dk bekleme süresi sonunda tekrardan dışarı alınan numune vakum altında soğumaya bırakılır. Oda sıcaklığında vakumu kırılarak numune fırından dışarı alınır.



Şekil 3.2 Isıl işlem fırını
*Atatürk Üniversitesi Nano Teknoloji Laboratuvarı

3.4 Akım Gerilim Ölçüm Sistemi

Vakum ortamında 77K'ya kadar inebilen ve Şekil 3.4'te verilen sistemdeki kryostat içerisinde sıcaklığa bağlı ve sabit sıcaklıkta iki boyutta (matris formatında) diyot gruplarının aynı şartlarda I-V ölçümlerini yapabileme kabiliyetine sahiptir.



Şekil 3.4 Akım-Gerilim ölçüm sistemi
*Atatürk Üniversitesi Nano Teknoloji Laboratuvarı

3.5 X-Ray Difraksiyonu (XRD)

Ölçüm sistemlerinden istenen en önemli özelliklerinden biri de numuneye zarar vermeden ölçüm yapılabilmesidir. Burada XRD bu özelliği karşılamaktadır. Elektron yoğunluğu, filmin kalınlığı, atomik yapı ve kusurlar belirlenebilir.



Şekil 3.5 XRD ölçüm sistemi

*Atatürk Üniversitesi Yüzey Teknolojileri ve Biyomekanik Laboratuvarı

3.6 Elektron Taramalı Mikroskop (SEM)

Yapılan aygıtların nano boyutlarda nasıl bir yapı sergilediğini görebilmek için kullanılan mikroskop çeşitlerinden birisidir. Kullandığımız cihaz ise yaklaşık olarak birkaç nanometre boyutunda kadar görüntü sağlayabilme özelliğine sahiptir. Görüntü almasının yanında EDX analizi de yapılabilmektedir.

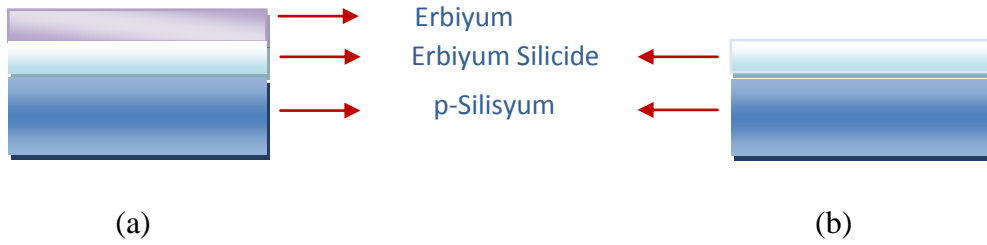


Şekil 3.6 SEM cihazı
* ODTÜ Merkez Laboratuvarı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1 Giriş

Kullanılan p-tipi silisyum altlığın parlak olmayan (mat) yüzeyine fiziksel buharlaştırma tekniği ile Al buharlaştırılarak omik kontak yapıldı. Yapılan kontakten sonra tavlama fırınında tavlanaarak iyi bir omik kontak olması sağlandı. Silisyumun parlak kısmına ise Sputter tekniği ile doğrultucu kontak yapıldı ve sonra tavlama yapıldı. Silisyum ile üzerine büyütülen erbiyumun ara yüzeyde nasıl bir yapı oluşturduğunu görmek için XRD sistemi ile ölçüm yapıldı. Burada hangi açıda pikler oluştuğu ve bunların neye ait olduğu literatür bilgisi ile karşılaştırıldı. Önce silisyum üzerine yapılan büyütmeden hemen sonra referans numune olarak ölçüm yapıldı. Daha sonra ise $H_2SO_4:H_2O_2$ (1:1) oranında karışım yapılarak ince film kimyasal olarak Si yüzeyinden aşındırılarak ısıt işlem sonrası Er:Si yapısının oluşumu araştırıldı.

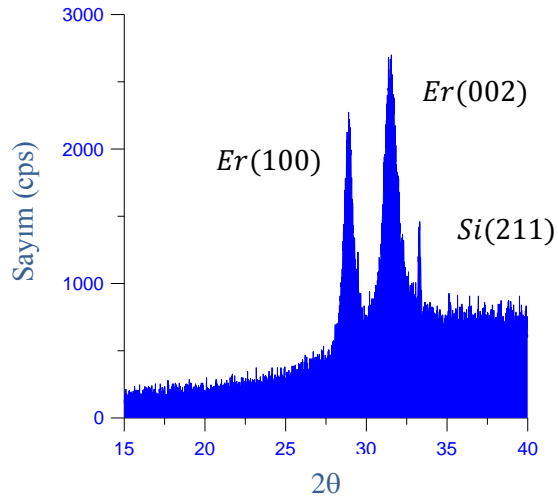


Şekil 4.1 $H_2SO_4:H_2O_2$ (1:1) karışımı ile dağlama (etch) yapılmadan a) önce ve b) sonra numune

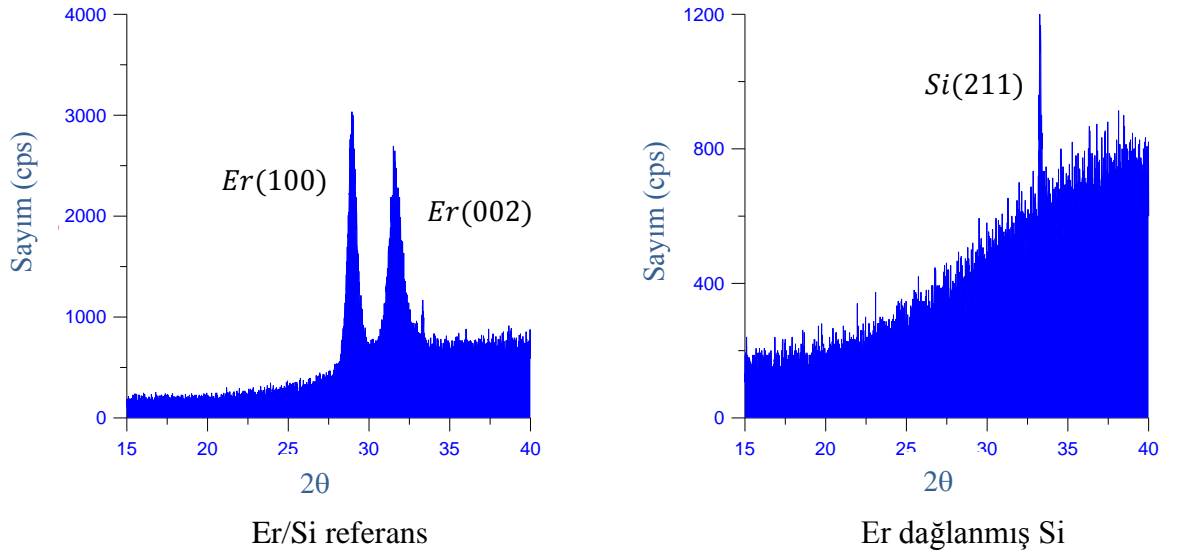
4.2 XRD Ölçümleri ve Yapı Analizi

Si altlıklar üzerinde sputter ile yapılan Er metalizasyonu ve ısıt işlem sonrası Er kristalizasyonu ve Si içinde Er:Si oluşumu XRD ve EDX ölçümleri ile analiz edildi. Şekil 4.2’de verilen XRD ölçümünde metalik Er filmde Er’e ait (100) ve (002) düzlemlerinden kaynaklanan pikler gözlenirken taban Si’den kaynaklanan (211) yansıması da tüm numunelerde kullanılan tarama aralığında gözlemlendi. Şekil 4.3-5’de görüldüğü üzere $400^\circ C$ ’e kadar yapılan ısıt işlem ile taban malzeme Si’ye Er difüzyonu

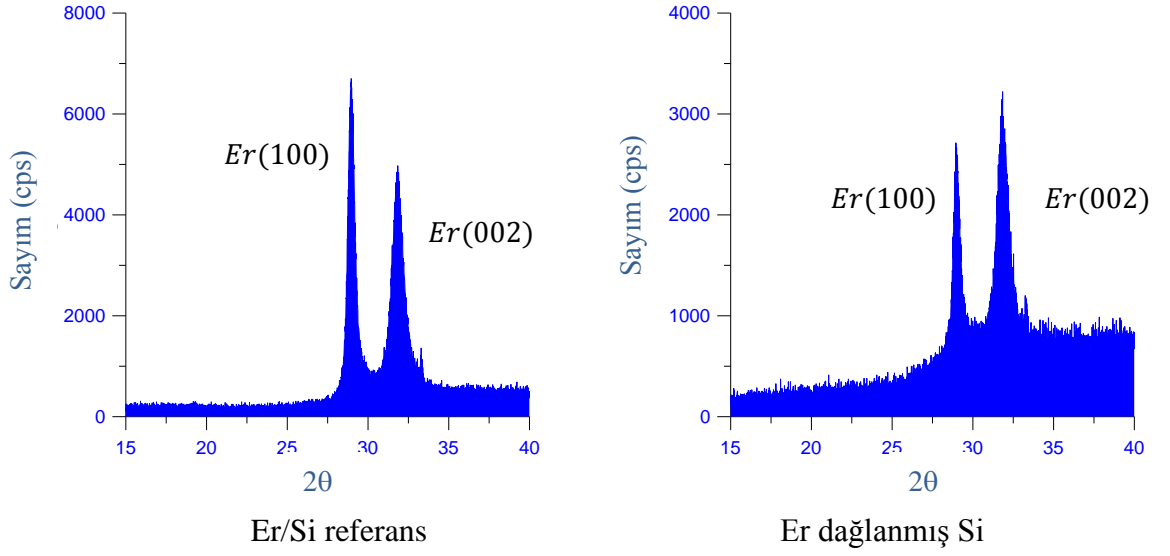
sonrası silicide oluşumu gözlenmezken Şekil 4.6'da 500°C deki ısıl işlem sonrası ErSi₂ fazına ait (100) yansıması gözlemlendi. Bu durumda 500°C sıcaklıktaki ısıl işlem Er'in Si içine difüzyonunun başladığı sıcaklıktır.



Şekil 4.2 Er/Si yapısı, büyütüldüğü gibi

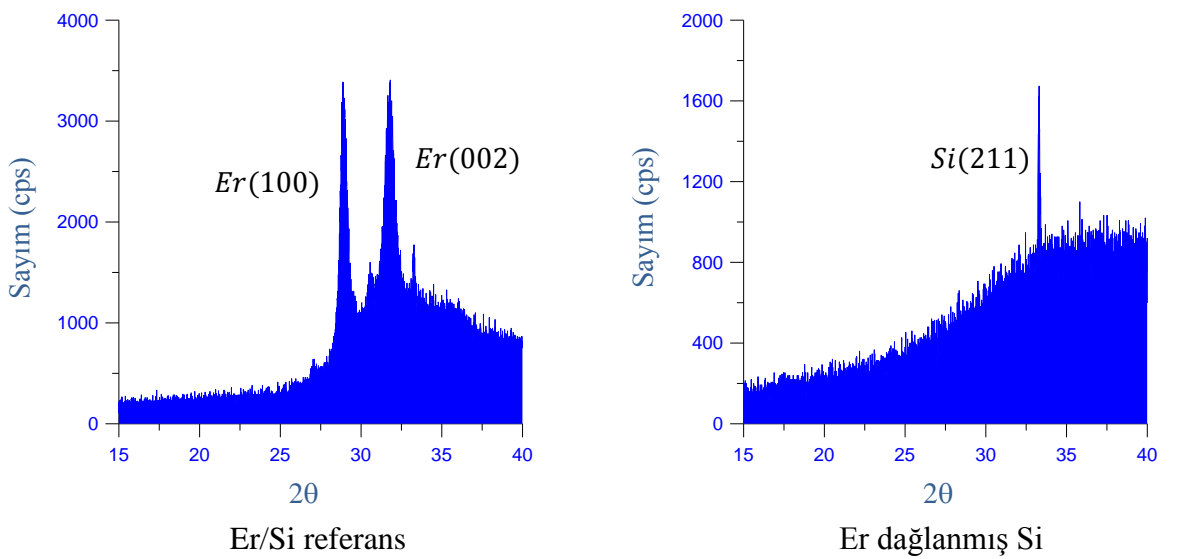


Şekil 4.3 200°C'de yapılan ısıl işlem sonrası Er/Si yapısı ve metalik film dağıldıktan sonraki XRD ölçümleri.

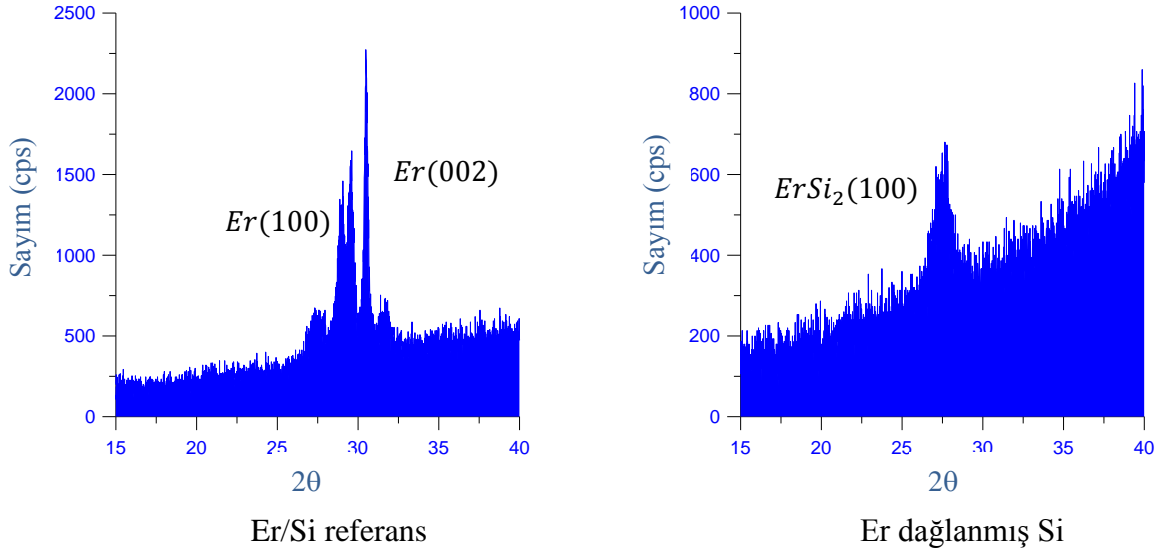


şekil 4.4 300°C’de yapılan ısıl işlem sonrası Er/Si yapısı ve metalik film dağlandıktan sonraki XRD ölçümleri.

şekil 4.4’te 300°C sonrası Er’e ait (100) ve (002) yansıma şiddetinde artma ve taban seviyedeki azalma Er kristalleşmesinde iyileşme olduğunu göstermektedir. Bu durumun sonucu olarak fabrikasyonu yapılan Schottky diyotlara da yansıdı. Bu durum tartışmanın I-V ölçümlerinin değerlendirildiği bölümde tartışılacaktır.

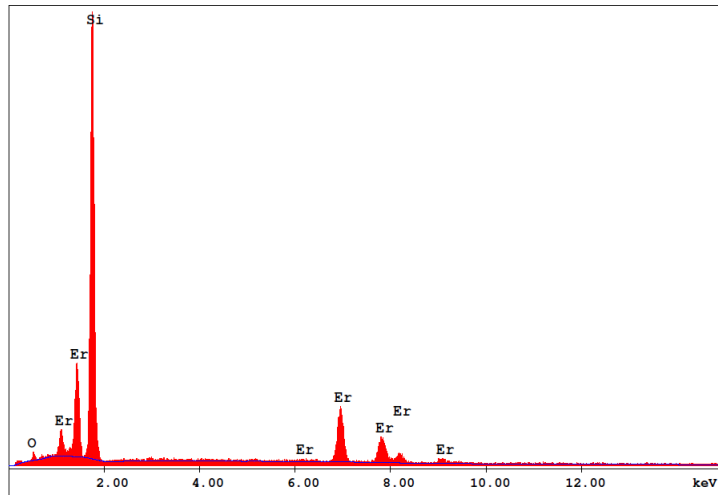


şekil 4.5 400°C’de yapılan ısıl işlem sonrası Er/Si yapısı ve metalik film dağlandıktan sonraki XRD ölçümleri.

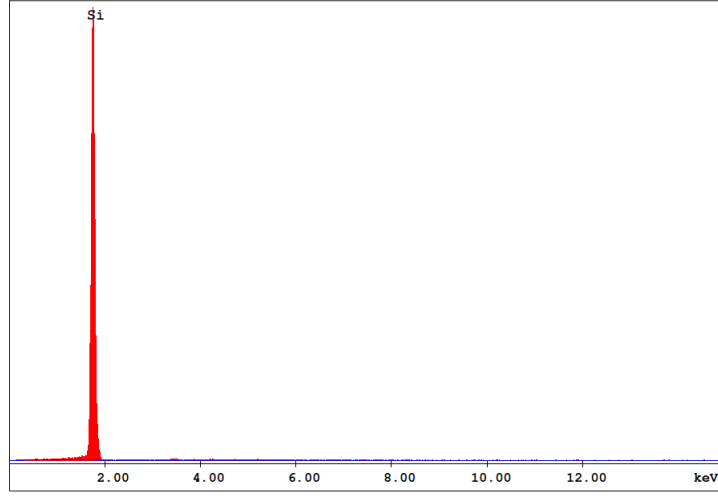


Şekil 4.6 500°C’de yapılan ısıtım sonrası Er/Si yapısı ve metalik film dağıldıktan sonraki XRD ölçümleri.

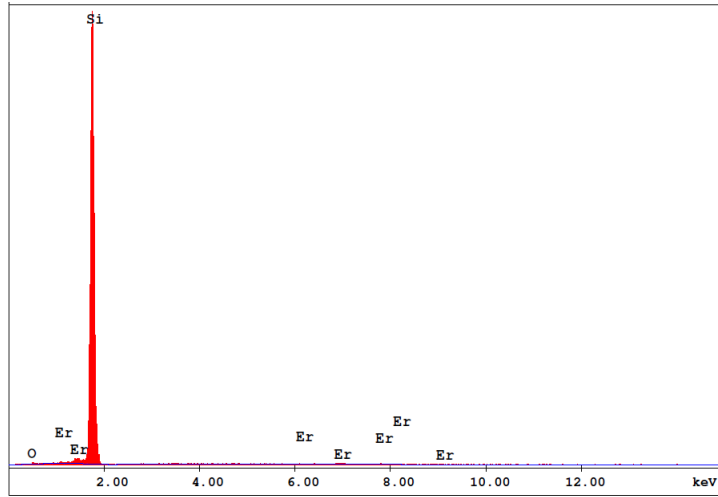
XRD ölçümlerinin yapıldığı numunelerde gerçekleştirilen EDX analizinde ise 300°C de yapılan ısıtım sonrası Er, Si üzerinde metalik formda kaldığı Şekil 4.7 ve 8’den anlaşılmaktadır. Şekil 4.9’da 500°C’e ait tavlınmış numuneye ait EDX analizi Si’de Er’in bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 4.7 Referans numunenin dağılama yapılmamış EDX analizi

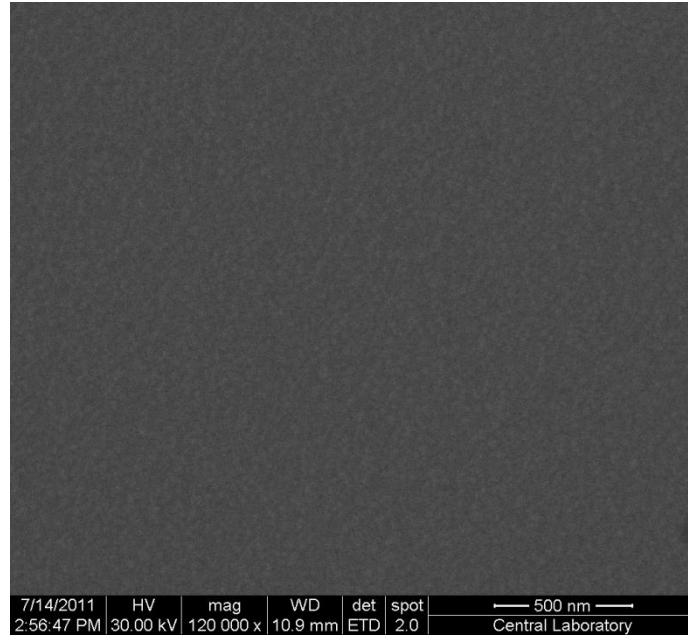


Şekil 4.8 300°C’de tavlanmış ve dağlama yapılmış numunenin EDX analizi.

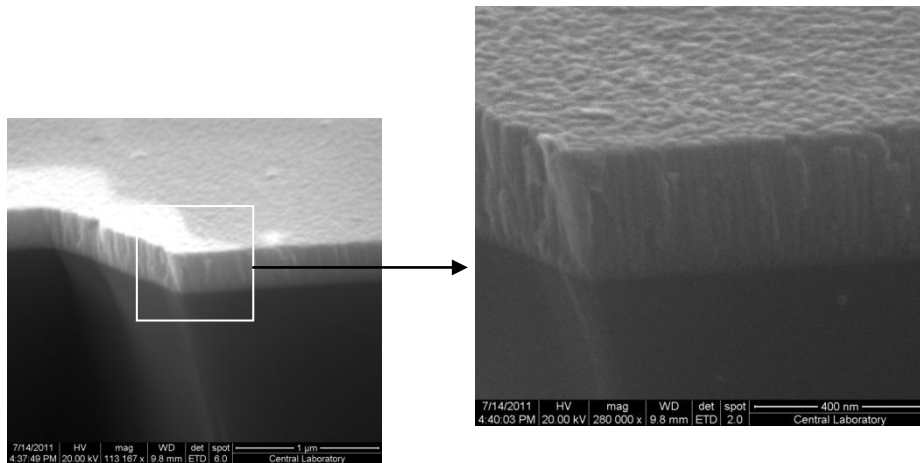


Şekil 4.9 500°C’de tavlanmış ve dağlama yapılmış numunenin EDX analizi.

En iyi kristalleşmenin olduğu numunenin yüzeyden topografik görüntüsü Şekil 4.10’da verilmiştir. Bu numuneye ait kesitten SEM görüntüsünde sputter ile yığılan Er filmi Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.8’deki EDX analizi Si’ye Er’in difüzyonunun olmadığını gösterirken Şekil 4.11’den erbiyum silisyum ara yüzeyinin düzgün bir formda kaldığı gözükmektedir.



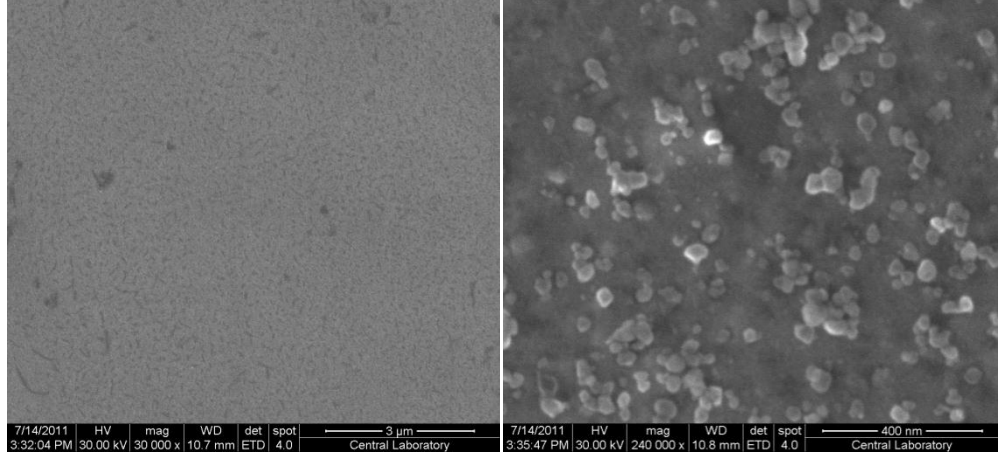
Şekil 4.10 300°C’de tavllanmış ve dağlama yapılmamış numunenin topografik SEM görüntüsü



Şekil 4.11 300°C’de tavllanmış numunenin kesitten görüntüsü ve sağda kesitten yakın plan görüntüsü.

10^{-7} vakum seviyesinde ısıl işlem yapılmasına rağmen artan ısıl işlemi ile Er metalik görüntüsünü renklenme ile kaybetti. 500°C’de ısıl işlem yapılmış numunenin EDX analizinde yapıda oksijen olduğu görüldü. Kimyasal aktivitesi çok yüksek olan Er’in sağlanan vakum seviyesinde dahi oksijen ile reaksiyona girerek ErO_2 olduğu sonucuna

göstermektedir. Ayrıca Şekil 4.12’de verilen ayrıntılı görüntüde yapılan etch sonrası kristal yüzeyinde kalan yığıntılar ara yüzeyin metalurjik olarak homojen olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.12 500°C’de tavllanmış numunenin 30K büyütme sağda 240K büyütme ile yakın plan görüntüsü.

4.3 Akım-Gerilim (*I-V*) Ölçümleri

4.3.1 Temel *I-V* ölçümleri

Diyotların tavlama yapılmadan önce ve 300°C sıcaklıkta tavlama yapıldıktan sonra 10’ar Kelvin adımlarla 300 ile 80 Kelvin arasında alınan *I-V* ölçümleri Şekil 4.13’de verilmiştir.

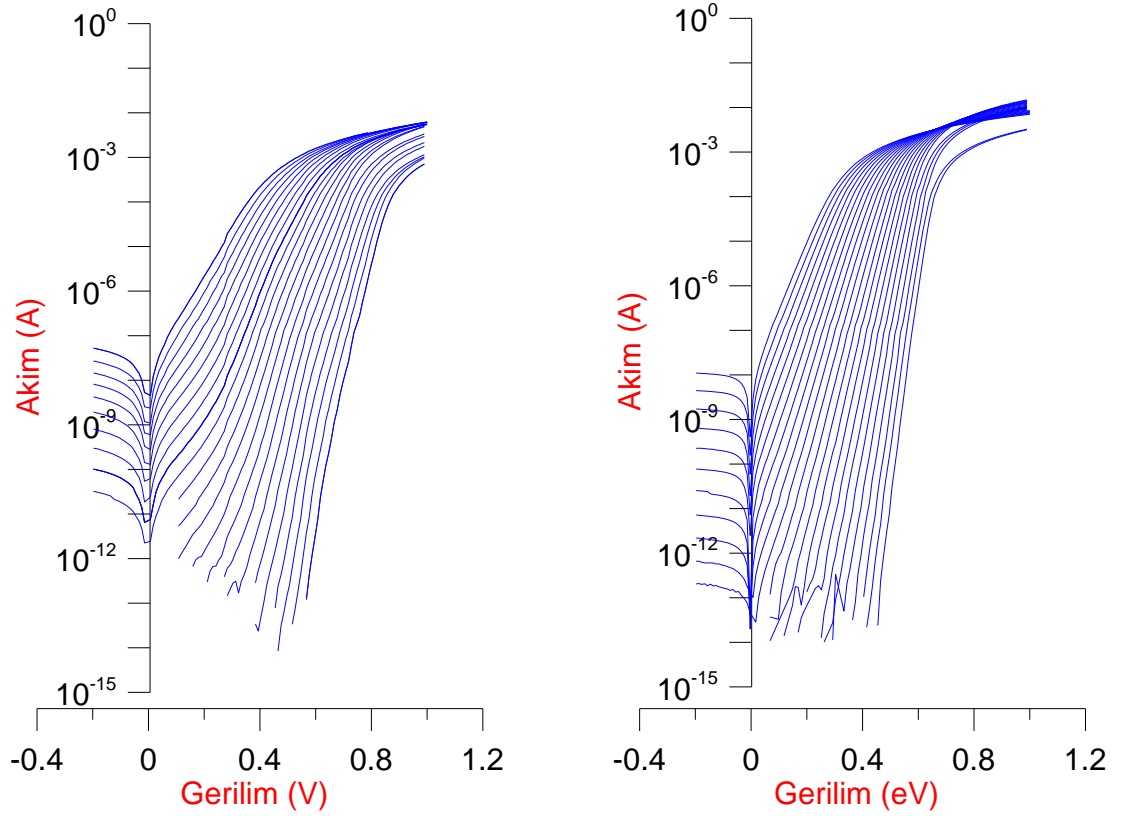
Fabrikasyonu yapılan bu yapılardan geçen akım sadece termiyonik emisyon olması halinde aşağıdaki ifadeler ile tanımlanır.

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

$$I_0=A^{**}T^2 \left[\exp \left(\frac{q\phi_{B0}}{kT} \right) \right] \quad (4.2)$$

Buradaki I_0 akım ifadesi $\ln I$ -V grafiğinde düşey ekseni kesen noktadır ve I-V ölçümünün yapıldığı sıcaklıktaki engel yüksekliğini hesaplamada kullanılır. Aynı sıcaklıkta termal emisyonun göstergesi olan n idealite faktörü ise aşağıdaki ifadenin I-V ölçümlerine uygulanması ile bulunur.

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



Şekil 4.13 Tavlama yapılmadan ve 300°C’de tavlama yapıldıktan sonra 80-300K aralığında 10’ar Kelvin adımlarla Akım-Gerilim grafiği

200-500°C’de 2,5 dk. süre ile yapılan ısıl işlemler sonrası $\ln(I)$ -V grafiğinde lineer bölgede en iyi iyileşme 300°C de yapılan ısıl işlem sonrası gözlemlendi.

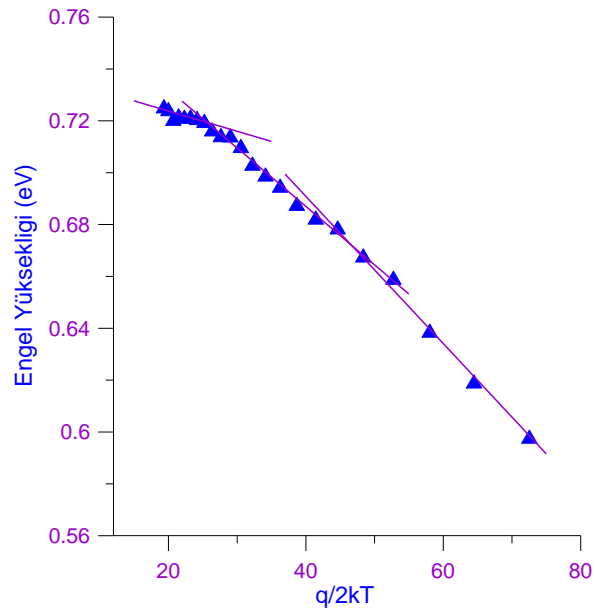
Tek bir Gauss dağılımına ait engel yüksekliği ile sıcaklık arasındaki ilişki Werner and Güttler'in ifadesi ile aşağıdaki gibi verilir.

$$\phi_b = \bar{\phi}_{bi} - \frac{q\sigma_1^2}{2kT} \quad (4.4)$$

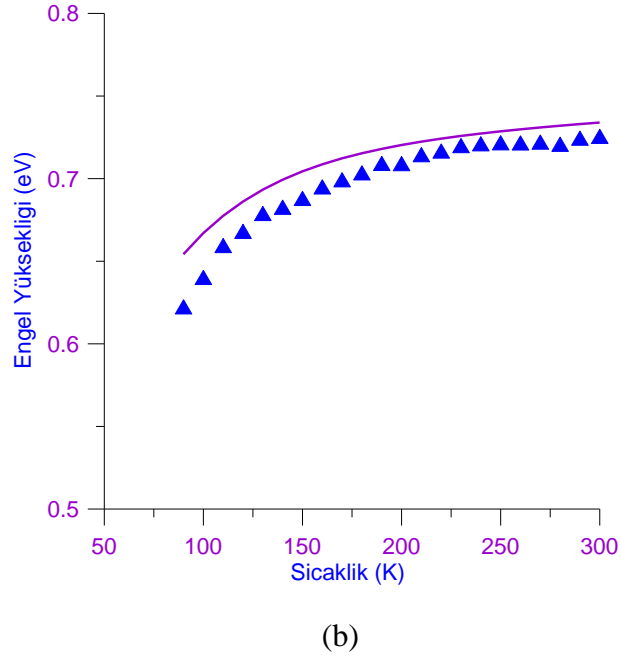
Burada ikili veya daha fazla Gauss dağılımı için genelleştirilmiş engel yüksekliği ifadesi aşağıdaki seri ifadesi ile verilir.

$$\phi_b = -\frac{kT}{q} \ln \sum_{i=1}^n A_i \exp\left(-\frac{q\bar{\phi}_{bi}}{kT} + \frac{q^2\sigma_i^2}{2k^2T^2}\right) \quad (4.5)$$

Engel yüksekliğinin yüksekliğinin q/kT ' ye göre grafiğinden $\bar{\phi}_{bi}$ ve σ_i değerleri kolayca hesaplanabilir. Bu çizimler Şekil 4.14'te de görüldüğü üzere fabrikasyonu yapılan Schottky diyotta çoklu Gauss dağılımı olup olmadığını doğrudan göstermektedir. Buradan elde edilen Gauss parametreleri ile modifiye edilmiş Richardson grafiği çizilebilmekte ve buradan kullanılan malzemeye ait Richardson sabiti hesaplanabilmektedir.



(a)



Şekil 4.14 300°C’de tavlanmış numunenin engel yüksekliğinin değışimi
 *a) Engel yüksekliğinin $q/2kT$ ’ye göre b) Engel yüksekliğinin sıcaklıkla değışimi

Çizelge 4.1. 300°C’de tavlanmış numune için engel yüksekliği ve standart sapma

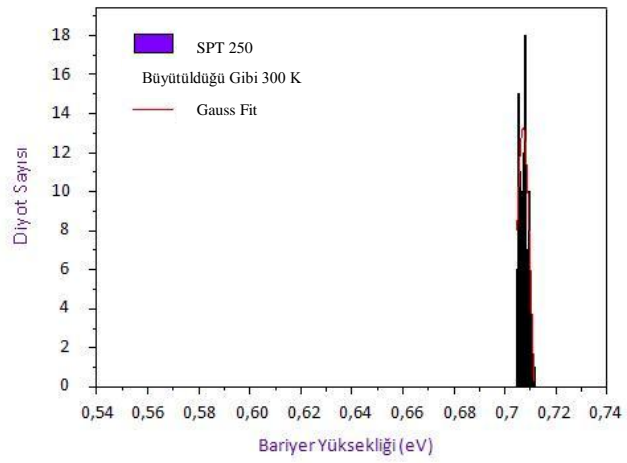
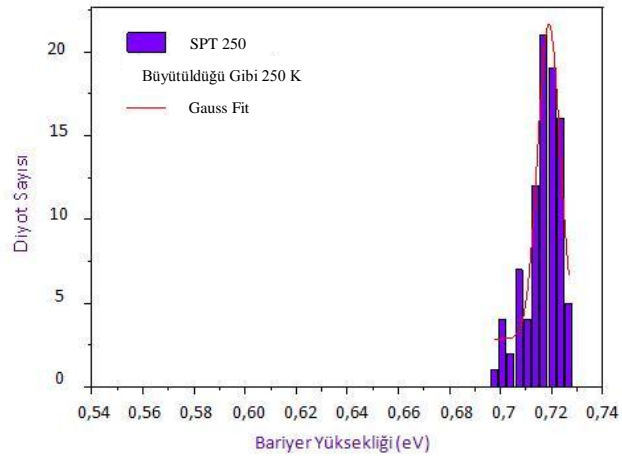
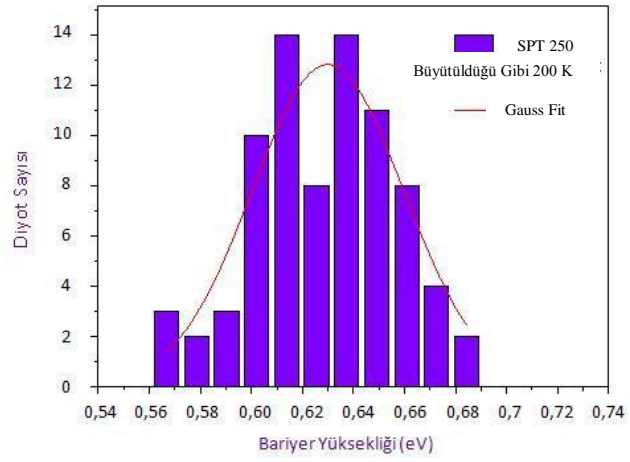
	$\sigma_1 = 18,10 \text{ meV}$	$\bar{\Phi}_{b1} = 739 \text{ meV}$
300°C’de 2,5 dk	$\sigma_2 = 52,20 \text{ meV}$	$\bar{\Phi}_{b2} = 777 \text{ meV}$
Tavlanmış numune	$\sigma_3 = 65,80 \text{ meV}$	$\bar{\Phi}_{b3} = 804 \text{ meV}$

Yukarıdaki tabloda Şekil 4.14’de grafikleri verilen numuneye ait hesaplanmış Gauss parametreleri verilmektedir.

Bu çalışmanın ana teması çoklu diyot grubuna ait I-V ölçümlerinde Gauss dağılımına bakmak ve sıcaklıkla değışimini ortaya koymaktır. 250 ve 200K yapılan Gauss dağılımları ölçümü literatürde ilk kez bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak ısıl işlem yapılmamış olan numuneye ait Gauss dağılımları sıcaklığa bağlı olarak Şekil 4.15’te verilmiştir.

4.3.2 Isıl İşlem Yapılmamış Numunede Sıcaklığa Bağlı Gauss Dağılımı

Bu örneklemede azalan numune sıcaklığı ile dağılımın pik pozisyonunun düşük enerjiye kayması ve dağılımın yayvanlaşması beklenen bir durumdur. Şekil 4.15'de 300K'de yapılan sıcaklıkta termal enerjiden dolayı ana akım bileşeni dağılım sayısı az olan yüksek engelli diyot alanlarından geçerken düşük engelli diyotlar pinch olmuştur. Aşağıda verilen tabloda 707 meV'teki engel yüksekliğinin değişim aralığı 7.68 meV iken numune sıcaklığı düşürüldükçe engel yüksekliği 250 ve 200K'de sırası ile 718 ve 630 meV olmuştur. 69.97 meV enerji ile dağılım aralığının gerçekleştiği 200K de ana akımın artık düşük engel yüksekliğine sahip Schottky patchları üzerinden sağlandığını göstermektedir.



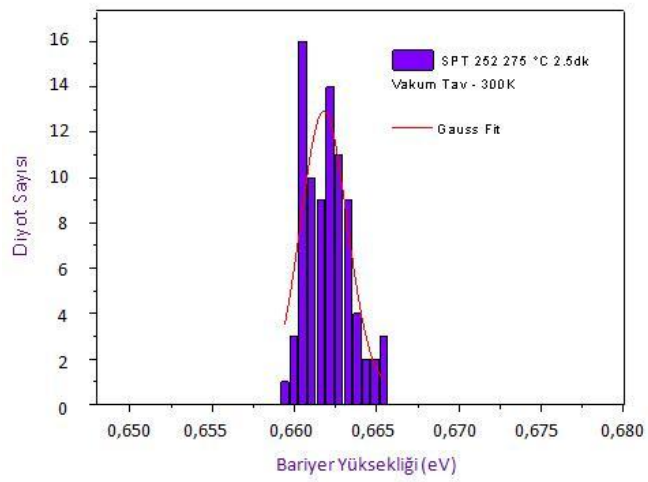
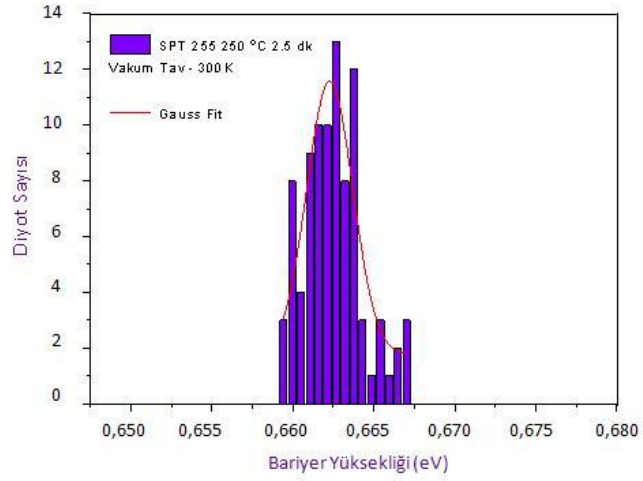
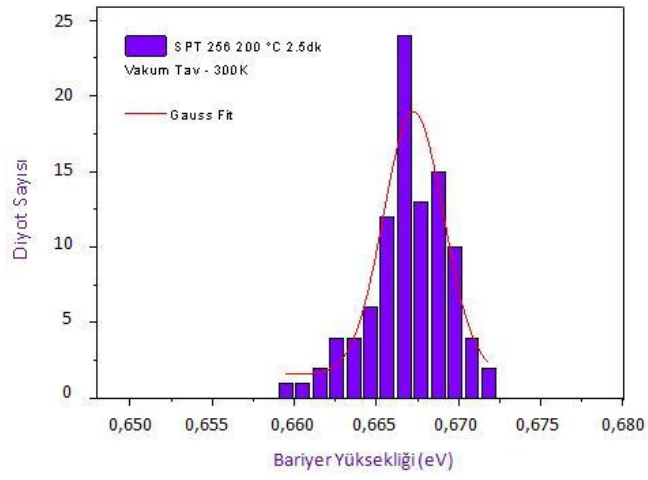
Şekil 4.15 Tavlama yapılmamış numuneye ait 200K, 250K ve 300K’de haritalama ölçümlerinden oluşturulan Gauss dağılımları ve fit eğrileri.

Çizelge 4.2. Ölçüm sıcaklığına göre gauss dağılımının maksimumu ve FWHM

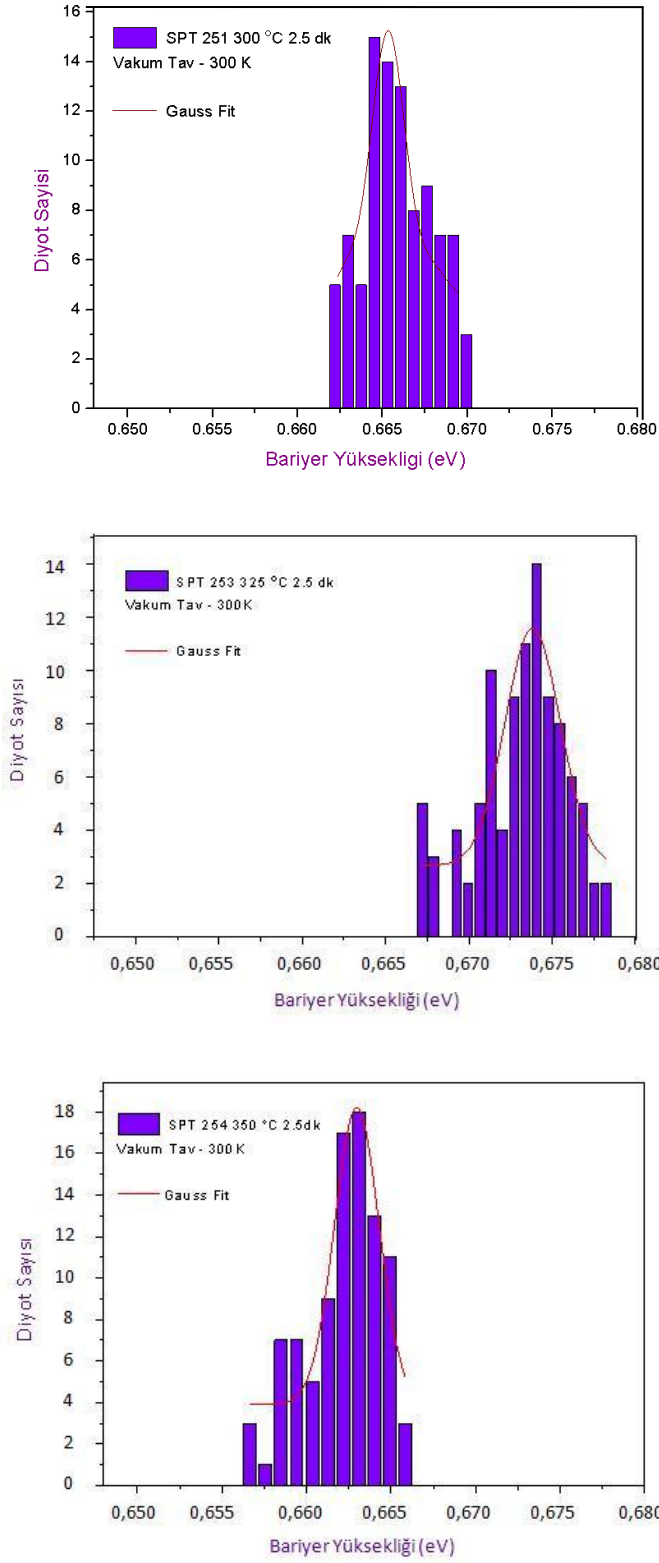
Ölçüm Sıcaklığı (K)	Gauss Dağılımının Maksimumu (meV)	Yarı Yükseklik Genişliği (FWHM) meV
200K	630,01	69,97
250K	718,94	10,29
300K	707,09	7,68

4.3.3 Tavlama Sıcaklığına Bağlı Gauss Dağılımı

Isıl işleme tabi tutulmamış numuneye ait I-V ölçümlerine bakıldığında engel dağılımının 7,68 meV bant aralığında olduğu görülmektedir. Homojenliği artırmak ve silicide yapıların sağladığı kararlılıktan faydalanmak üzere metalizasyonu yapılmış her bir numune diliminden sırası ile 200, 250, 275, 300, 325, 350 ve 400°C'de vakum altında 2,5 dk. süreli ısıl işlem yapılarak her bir numune üzerinden çoklu diyottan I-V ölçümü yapıldı. Yapılan ölçümlere ait engel yüksekliği dağılımları Şekil 4.16 ve 17'de verilmiştir.



Şekil 4.16 200, 250 ve 275°C’de tavllanmış numunenin 300K’de haritalama sonrası Gauss dağılımı.



Şekil 4.17 300, 325 ve 350°C’de tavlanmış numunenin 300K’de haritalama sonrası Gauss dağılımı.

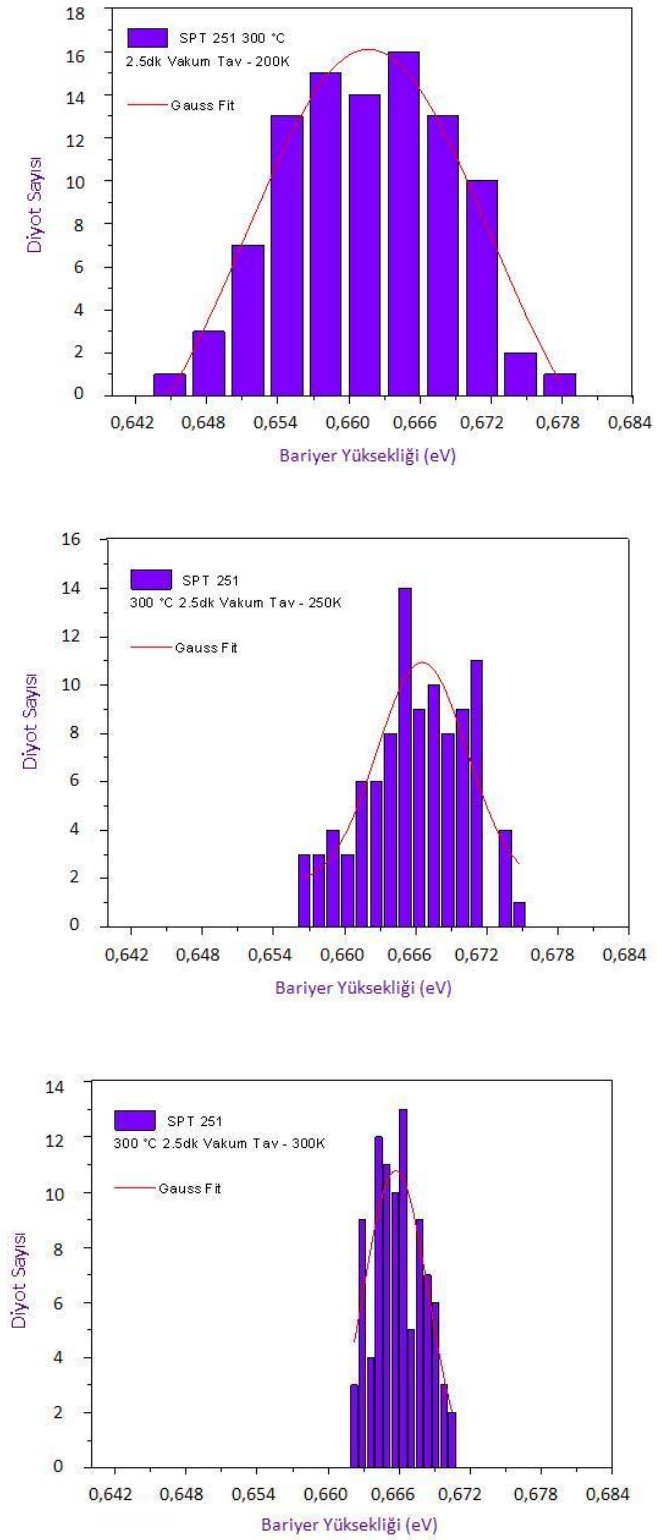
Şekil 4.16 ve 4.17'deki verilere ait tablo özeti aşağıda çıkarılmıştır. Isıl işlem yapılmamış numunede engel yüksekliği oda sıcaklığında 707 meV mertebesinde ve yüksek dağılım aralığına sahipken ısıtma işlemi ile engel yüksekliğinin 0,66 eV civarında sabitlendiği ancak dağılımın tavlama sıcaklığına bağlılık sergilediği gözlemlendi. Aşağıdaki tabloda bu dağılım 2,2 meV ile 300°C tavlama sıcaklığında gözlemlendi.

Çizelge 4.3. Tavlama sıcaklığına göre gauss dağılımının maksimumu ve FWHM

Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Gauss Dağılımının Maksimumu (meV)	Yarı Yükseklik Genişliği (FWHM) meV
200	667,25	4,3
250	662,27	3,4
275	661,79	3,3
300	665,34	2,2
325	673,83	3,9
350	662,97	3,1

4.3.4 300°C'de tavlama ve sıcaklığa bağlı gauss dağılımı

Yapılan diğer bir numune 300°C 'de 2,5 dakika tavlama yapılarak 200K, 250K ve 300K de ölçüldü.



Şekil 4.18 300 °C 'de tavlama sonrası 200, 250 ve 300K'de haritalama ve Gauss dağılımları.

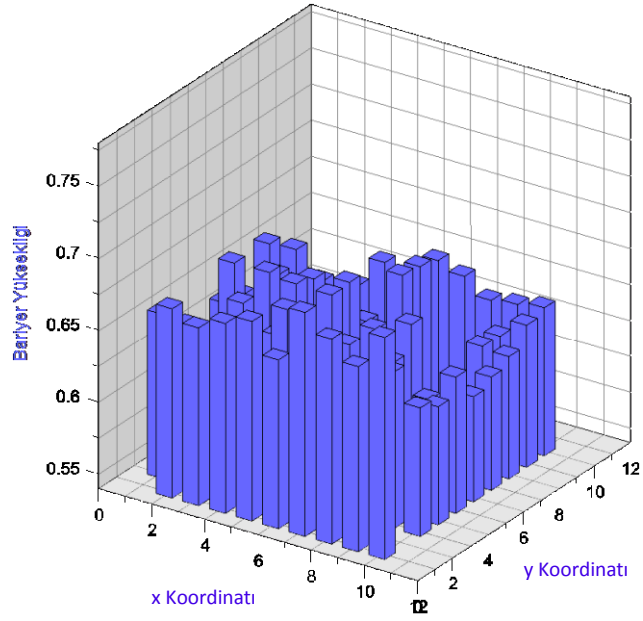
300°C’de ısıtılmış numunenin engel yüksekliğinin oda sıcaklığında 666 meV olan engel yüksekliği 200K’de 660 meV olmuştur. Ancak dağılımdaki artış daha öncede bahsedildiği gibi engel yüksekliği dağılımında homojensizlik olduğu gerçeğini ispatlamaktadır.

Çizelge 4.4. 300°C ’de tavlama sonrası ölçüm sıcaklığına bağlı gauss dağılımının maksimumu ve FWHM

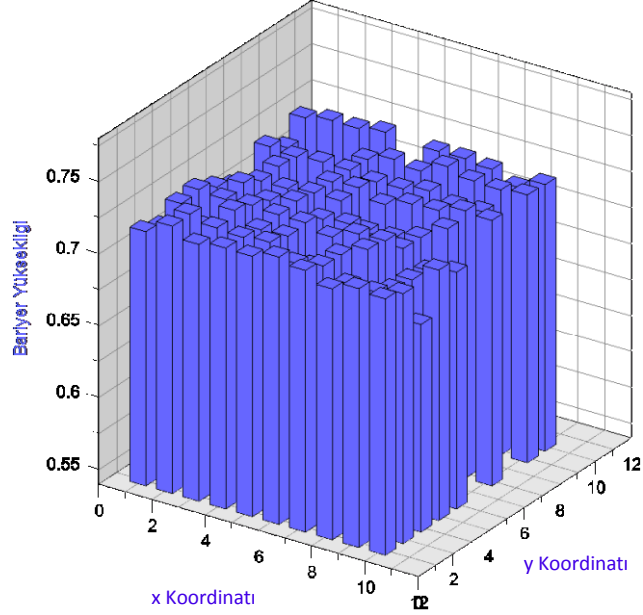
Ölçüm Sıcaklığı (K)	Gauss Dağılımının Maksimumu (meV)	Yarı Yükseklik Genişliği (FWHM) meV
200K	659,92	18,11
250K	665,87	9,16
300K	665,70	6,56

4.3.5 Numunelerin iki boyutta haritalaması

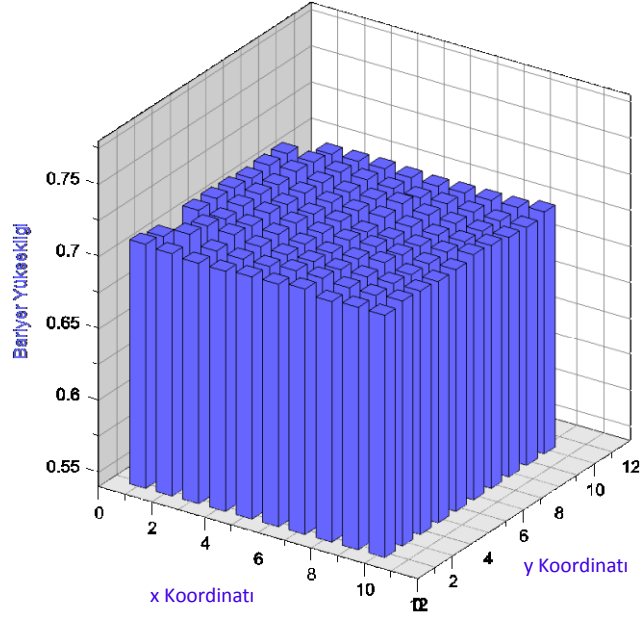
Tavlama yapılmadan haritalama yapıldığında engel yüksekliği dağılımının homojen olmadığı 250 ve 200K’de yapılan ölçümler ile de teyit edilmiştir. Bu durum düşük sıcaklıkta termiyonik emisyonun azalması engel yüksekliği düşük olan noktalardan yük geçişinin artmasının akım iletim mekanizmasını belirlemesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda oda sıcaklığında akım iletimi oranı daha yüksek olan yüksek potansiyel engellerden geçişle sağlanacaktır.



Şekil 4.19 Tavlama yapılmayan numunede engel yüksekliğinin 200K’de iki boyutlu dağılımı.

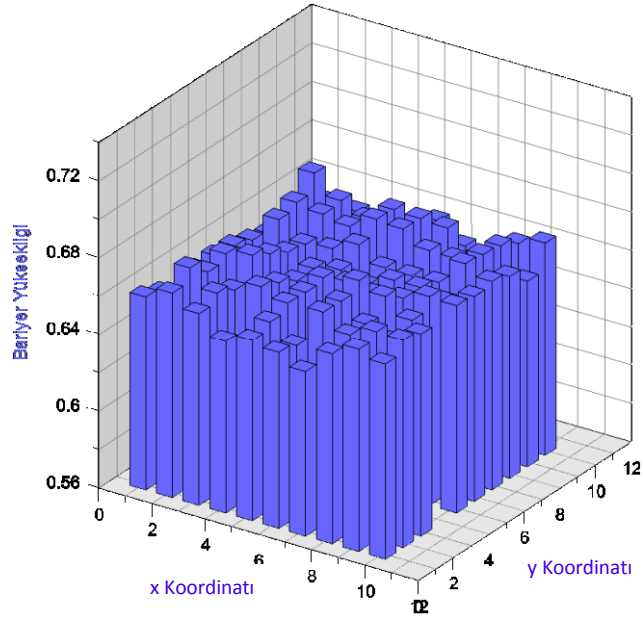


Şekil 4.20 Tavlama yapılmayan numunede engel yüksekliğinin 250K’de iki boyutlu dağılımı.

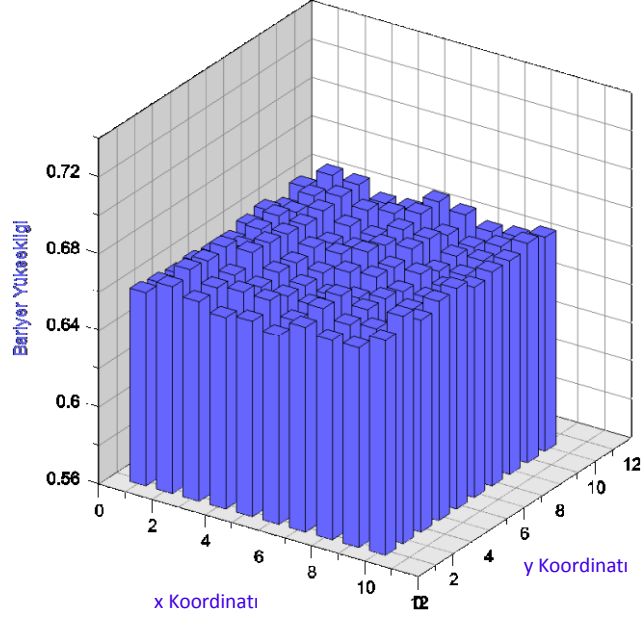


Şekil 4.21 Tavlama yapılmayan numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı.

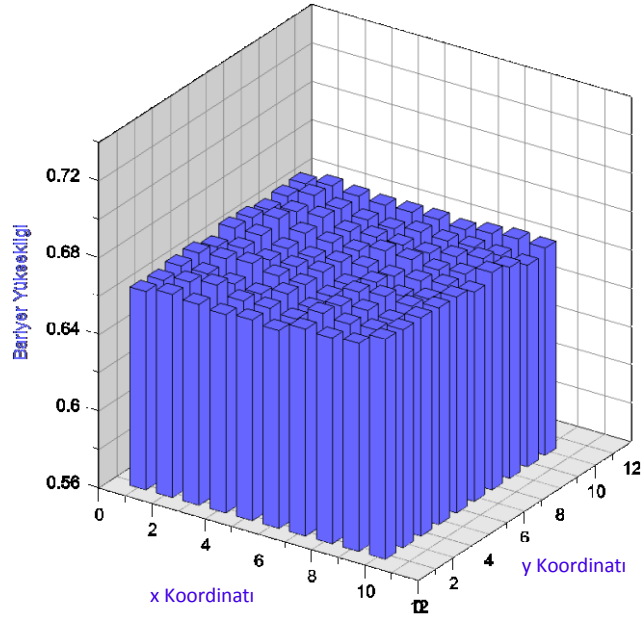
Isıl işlem sıcaklığına bağlı ölçüm sonuçlarında dağılımda ve ideallığe yakınlaşmada en iyi gelişmenin 300°C de tavlama yapılan numunede gözlemlendiğinden bu numune üzerinde Gauss dağılımının sıcaklığa bağılılığı araştırıldı. Yukarıda dağılımlara ait sayısal parametreler verilirken aşağıda paralel fabrikasyonu yapılan numunelerin iki boyutta I-V ölçümlerden elde edilen engel yüksekliklerinin ölçüm koordinatına göre değişimleri verilmiştir. Daha sonra 300 °C de tavllanmış numunenin sıcaklığa bağlı haritalaması Şekil 4.22-23-24’te verilmiştir.



Şekil 4.22 300°C de ısıl işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 200K’de iki boyutlu dağılımı

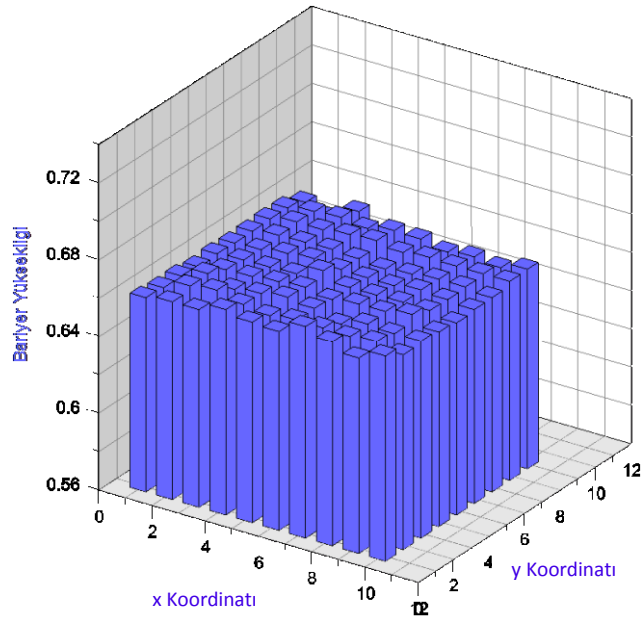


Şekil 4.23 300°C de ısıl işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 250K’de iki boyutlu dağılımı

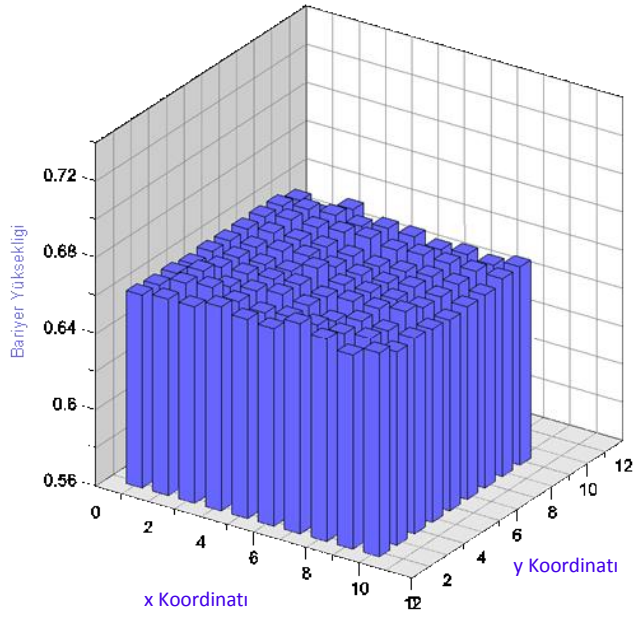


Şekil 4.24 300°C de ısıl işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı

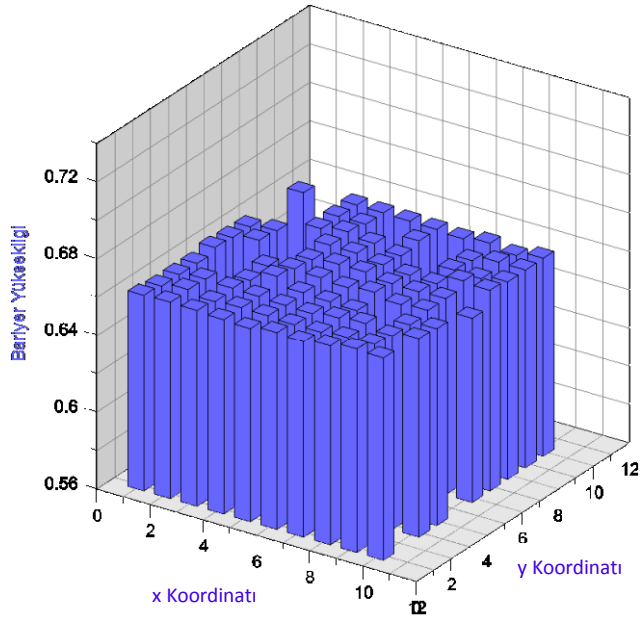
Isıl işlemin engel yüksekliği dağılımındaki etkisi açıkça ortaya konulduktan sonra genel dağılımı göstermek üzere 200, 250, 275, 300, 325 ve 350°C de tavlanan numuneler ait 300K de iki boyutlu haritalama ölçümleri Şekil 4.25-30’da verilmiştir.



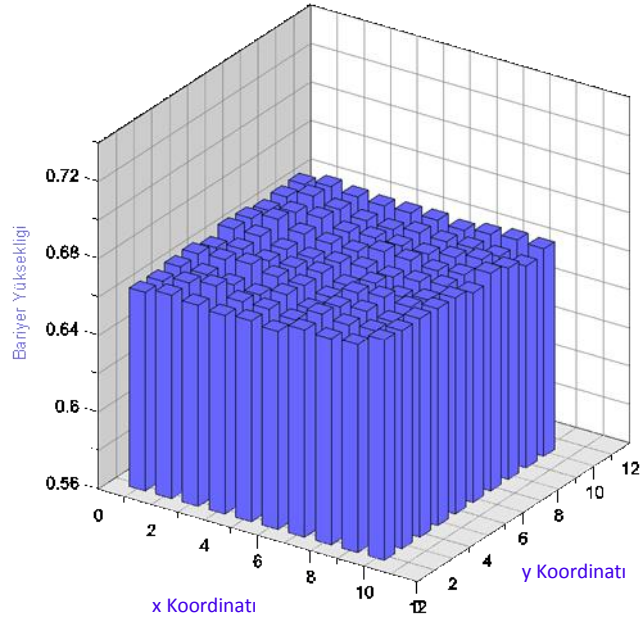
Şekil 4.25 200°C de ısıl işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı



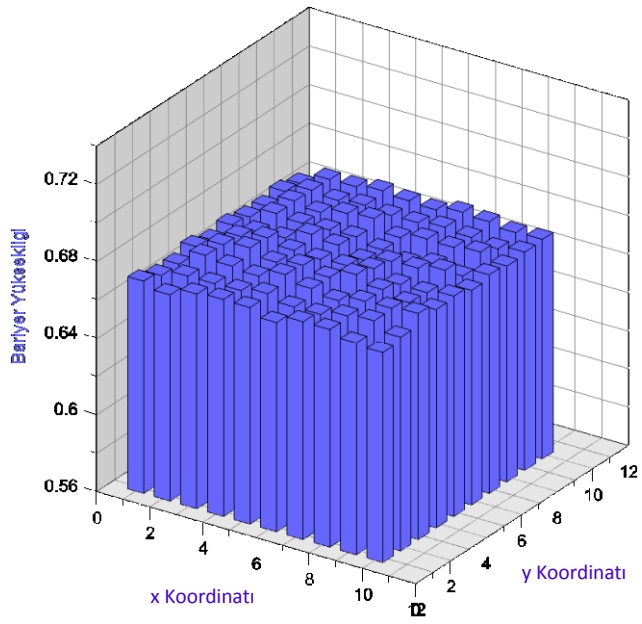
Şekil 4.26 250°C de ısıl işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı



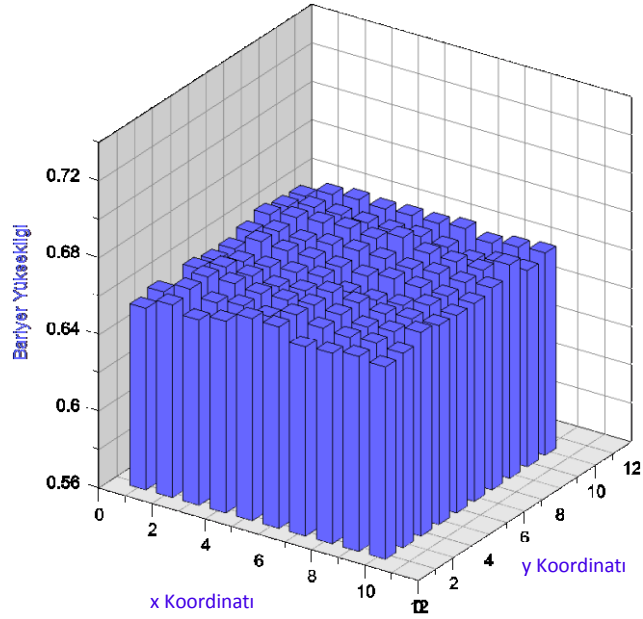
Şekil 4.27 275°C de ısıl işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı



Şekil 4.28 300°C de ısıl işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı



Şekil 4.29 325°C de ısıl işlem yapılmış numunede engel yüksekliğinin 300K’de iki boyutlu dağılımı

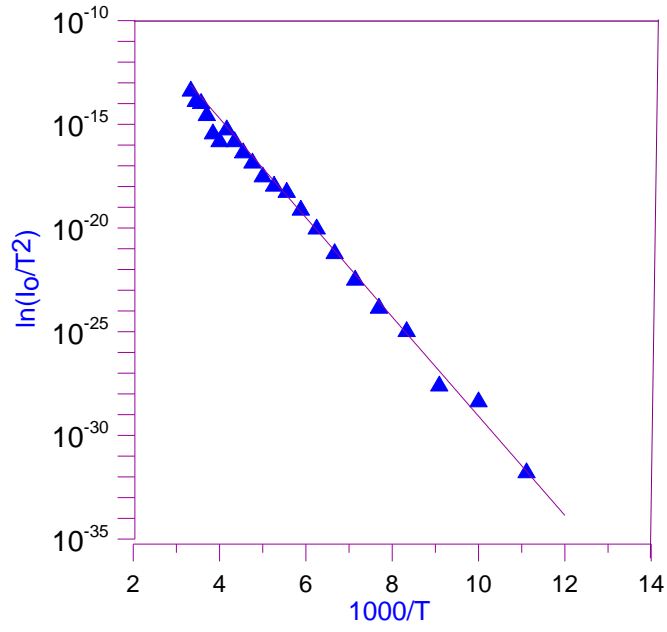


Şekil 4.30 350 °C de tavlama yapıldıktan sonra numunenin 300K’de 3 boyutlu haritalaması

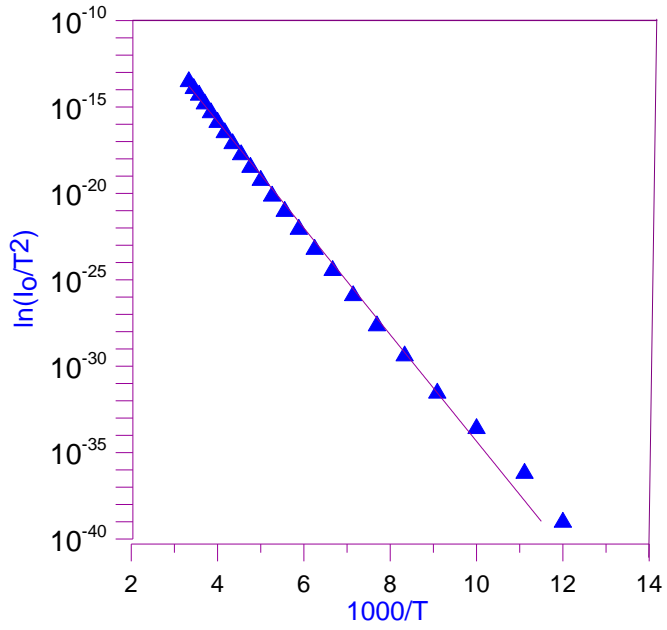
4.3.6 Er/p-Si yapısı için Richardson Sabiti

Yapılan ölçümlerden elde edilen veriler ile oluşturulan $\ln(I_0/T^2) - 1/T$ ilişkisinden aşağıdaki denkleme göre Richardson sabiti ve enegel yüksekliği aşağıda tablo halinde verilmiştir.

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \quad (4.6)$$



Şekil 4.31 Tavlama yapılmadan önce Richardson grafiği



Şekil 4.32 300°C'de tavlanan diyotun Richardson grafiği

Çizelge 4.5. Er/p-Si yapısı için bulunan Richardson sabitleri ve Engel Yükseklikleri

Numune Tavlama Sıcaklığı (°C)	Etkin Richardson Sabiti ($Acm^{-2}K^{-2}$)	Engel Yüksekliği (eV)
Büyütüldüğü Gibi	3,14	1,022
200	14,07	0,672
250	12,52	0,678
300	15,50	0,693
350	18,13	0,602

Richardson sabiti termiyonik emisyon durumu için metal-yarıiletken kontaklarda I-V ilişkisini karakterize eden bir sabittir. Optik fonon saçılması ve mekanik yansımalar ihmal edildiğinde serbest elektron için değeri $120 A/cm^2/K^2$. Deneysel ölçümlerde elde edilen etkin Richardson sabiti akım iletim mekanizmasını belirleyen yükün etkin kütlesine bağlı olup hesaplamada akımın geçtiği etkin akım alanının net olarak bilinmesi gerekir. Bu çalışmada 0,5 mm çaplı gölge maske ile oluşturulan diyotlarda gölge maske kalınlığı 100 μ m kalınlıkta olması itibari ile metalizasyonda gölgelemeden dolayı diyot alanının fiziksel alanındaki belirsizlik en az seviyede tutulmuştur. Ancak büyütüldüğü gibi numunede Richardson sabitinin deneysel verilerden farklı çıkması etkin yüzey alanının görünen alandan farklı olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Isıl işlem ile öncelikle etkin ara yüzey alanının görünen alan değerine yaklaşması ile Richardson sabitinde iyileşme olduğu gözlenmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada sputter tekniği ile Er'in p-Si üzerinde metalizasyonu ile paralel fabrikasyonu yapılmış minimum 10x10 dizilimine sahip diyot gruplarının ısıtma işlem sıcaklığına bağlı olarak engel yüksekliğinin homojensizliği incelenmiştir.

Isıtma işlem yapılmamış numunede engel yüksekliğinde gözlenen dağılım ara yüzeyde metal / yarıiletken kontağının iyi oluşmadığını ifade ederken 300°C'de 2,5 dakikalık ısıtma işlem sonrası Er silicide oluşum tespit edilememesine rağmen en homojen dağılım elde edildi. 500°C'deki tavlama sonrası erbiyum ile silisyumun etkileşmesi sonucu erbiyum silicide oluştuğu görüldü. Ancak erbiyumun kimyasal aktivitesinin yüksek oluşundan dolayı yüksek tavlama sıcaklığında renk değişimi gözlenirken EDX analizi bu numunelerde oksijenle tepkimenin olduğunu göstermektedir. Buda yapılan diyotların seri direncinin artmasını açıklamaktadır.

En uygun proses parametrelerini bulmada yüksek sıcaklık kararlılığı ile yapılan I-V haritalaması bu çalışmada kullanılırken sıcaklığa bağlı I-V haritalaması literatür araştırmasında ulaşılan kaynaklara göre ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilmiştir.

300, 250 ve 200K de yapılan haritalama ölçümlerinde azalan sıcaklıkla pik pozisyonundaki kayma literatürden bilinen bir karakterdir. Engel yüksekliği dağılımdaki artış ise metal/yarıiletken ara yüzeyinin bir karakteri olup detaylı olarak çalışılması gerekmektedir.

Kimyasal aktivitesi yüksek olan Er elementinin kolayca oksitlenebilirliği, özellikle ısıtma işlemlerde oksidasyon problemi oluşturduğu gibi silicide oluşumunun beklendiği yüksek sıcaklıklarda (500°C de gözlemlendiği gibi) yığıntıların oluşması Er/Si için yüksek sıcaklık gerektiren fabrikasyon açısından da sınırlama getirmektedir. Yığıntı oluşumunun önlemek üzere koruyucu metalizasyon ile Metal/Er/Si yapılarının aygıt fabrikasyonunda kullanılması sonucuna varıldı.

KAYNAKÇA

- Baglin, J.E.,Heurle F.M.D.Petersson C.S.,1980. The formation of silicides from thin-films of some rare-earth-metals.Applied Pysics Letters,7(36), 594-596.
- Binnig, G.,Quate F.,Gerber C.,1986. Atomic Force Microscope,Physical Review Letters,56,930-933.
- Chand S. and Kumar, J., 1997. Electron transport and barrier inhomogeneities in palladium silicide Schottky diodes. Applied Physics A, 65, 497-503.
- Chin, V. W. L., Green, M. A. and Storey, John W. V., 1990. Evidence for multiple barrier heights in p-type PtSi Schottky-barrier diodes from I-V-T and photoresponse measurements. Solid State Electronics, 33, 299-308.
- Crowell, C. R. and Sze, S. M., 1966. Current transport in metal-semiconductor barriers. Solid State Electronics, 9, 1035-1048.
- Cullity B.D., 1978. Elements Of X-ray diffraction, Second Edition, Addison-Wesley Publishing, Sydney.
- Davitaya ,F.A.,Badoz P.A.,Campidelli Y.,Chroboczek J.A.,Duboz J.Y.,Perio A.Pierre J.,1990. Growth,Characterization and Electrical-Properties of Epitaxial Erbium Silicide.Thin Solid Films,184,283-293.
- Güttler, H. H. and Werner, J. H., 1990. Influence of barrier inhomogeneities on noise at Schottky contacts. Applied Physics Letters, 56 (12), 1113-1115.
- Horvath, Z. J., Rakovics, V., Szentpali, B., Püspöki, S., Zdansky, K., 2003. InP Schottky junctions for zero bias detector diodes. Vacuum, 71, 113-116.
- Hudait, M. K., Venkateswarlu, P., Krupanidhi, S. B., 2001. Electrical transport characteristics of Au/n-GaAs Schottky diodes on n-Ge at low temperatures. Solid State Electronics, 45, 133-141.
- Kaatz F.H.,Graham W.R.,Vanderspiegel J.,1993. Modification of the microstructure in epitaxial erbium silicide.Applied Pysics Letters,15(62), 1748-1750.
- Kang, W. P., Davidson, J. L., Gurbuz, Y. and Kerns, D. V., 1995. Temperature dependence and effect of series resistance on the electrical characteristics of a polycrystalline diamond metal-insulator-semiconductor diode. J. Appl. Phys., 78 (2), 1101-1107.
- Knapp J.A.,1986. Epitaxial-Growth of rare-earth silicides on (111) Si.Applied Pysics Letters,7(48),466-468.
- Maeda, K., 2005. Nonideality of Au/Si and Au/GaAs Schottky barriers due to process - induced defects. Applied Surface Science, 252, 5659-5675.
- Martin, Y., Williams, C. C. ,Wickramasinghe, H. K.,1987. Molecular resolution images of amino acid crystals with the atomic force microscope ,Applied Physics Letters. 50,1455-1457.
- Nishisaka M., Asano T.,1998. Reduction of the floating body effect in SOI MOSFETs by using Schottky source/drain contacts. Japanese Journal Of Applied Physics Part-1 Regular Papers Short Notes&Review Papers,37,1295-1299.
- Norde H.,Desousapires J.,Dheurle F.,Pesavento F.,Petersson S.,Tove P.A.,1981.The Schottky-Barrier height of the contacts between some rare-earth-metals (and silicides)and p-type silicon.Applied Pysics Letters,11(38), 865-867.
- Ohdomari, I. and Tu, K. N., 1980. Parallel silicide contacts. Journal of Applied Physics, 51 (7), 3735-3739.

- Osvald, J., 1992. On barrier height inhomogeneities at polycrystalline metal - semiconductor contacts. *Solid State Electronics*, **35**, 1629-1632.
- Padovani, F. A. and Sumner, G.G.,1965. Experimental study of Gold - Gallium Arsenide Schottky Barriers. *Journal of Applied Physics*, **36**, 3744-3747.
- Padovani, F. A. and Stratton, R., 1966. Field and thermoionic-field emission in Schottky barriers. *Solid State Electronics*, **9**, 695-707.
- Pahun L.,Campidelli Y.,Davitaya F.A.,Badoz P.A.,1992. Infrared Response of Pt/Si/ErSi_{1.7} Heterostructure-Tunable Internal Photoemission Sensor. *Applied Physics Letters*,**10**(60), 1166-1168.
- Pierson H.O.,1999.*Handbook of chemical vapor deposition*, Second Edition, Noyes Publications, New York.
- Rideout V.L.,1978.*Metal-Semiconductor Rectifiers*. *Thin Solid Films*,**48**,261-291.
- Rhoderick, E. H. and Williams, R. H., 1988. *Metal-Semiconductor Contacts*, Second Edition, Clarendon Press, Oxford.
- SSchmitsdorf R.F., Kampen T.U., Monch W.,1997. *Journal of Vacuum Science & Technology B*,**15**(4), 1221-1226.
- Schroder, D.K.,2006.*Semiconductor material and device characterization*, Third Edition, Wiley Press, USA.
- Seshan K.,2002.*Handbook of Thin-Film Deposition Processesand Techniques*, Second Edition, Noyes Publications, New York
- Song, Y. P., Meirhaeghe, R. L. Van, Laflere, W. H. and Cardon, F., 1986. On the difference in apparent barrier height as obtained from capacitance-voltage and current-voltage-temperature measurements on Al/p-InP Schottky barriers. *Solid State Electronics*, **29**, 633-638.
- Sullivan J.P.,Tung R.T.,Pinto M.R.,Graham W.R.,1991. Electron-Transport Of Inhomogeneous Schottky Barriers-A Numerical Study. *Journal of Applied Physics*,**70**(12), 7403-7424.
- Thompson R.D.,Tsaur B.Y.,Tu K.N.,1981. Contact Reaction Between Si and Rare-Earth-Metals. *Applied Physics Letters*,**7**(38), 535-537.
- Travlos A, Salamouras N, Flouda E.,1997. Epitaxial erbium silicide films on (100) silicon: growth, structure and electrical properties. *Applied Surface Science*,**3-4**(120), 355-364.
- Tu K.N.,Thompson R.D.,Tsaur B.Y.,1981.Low Schottky-Barrier Of Rare-Earth Silicide On n-Si. *Applied Physics Letters*, **8**(38), 626-628
- Tung, R. T., 1992. Electron transport at metal-semiconductor interfaces: General theory. *Physical Review B*, **45**, 13 509-13 522
- Tung, R. T., 2001. Recent advances in Schottky barrier concepts. *Materials Science and Engineering*, **35**, 1-138.
- Tung, R. T., 2001.Schottky-Barrier Formation at Single-Crystal Metal-Semiconductor Interfaces. *Physical Review Letters*,**6**(52),461-464.
- Werner, J. H. and Güttler, H. H., 1991. Barrier inhomogeneities at Schottky contacts. *Journal of Applied Physics*, **69** (3), 1522-1533.
- Williams, D. B. and Carter, C. B., 2009. *Transmission Electron Microscopy*, Second Edition, Springer Press, USA
- Wittmer, M., 1991. Conduction mechanism in PtSi/Si Schottky diodes. *Physical Review B*, **43**, 4385-4395.

- Wu C.S.,Lau S.S.,Kuech T.F.,Liu B,X.,1983. Surface-morphology and electronic-properties of ErSi₂.Thin Solid Films,1-2(104),175-182 .
- Yu-Long, J., Guo-Ping, R., Fang, L., Xin-Ping, Q., Bing-Zong, L., Wei, L., Ai-Zhen, L., 2002. Schottky barrier height inhomogeneity of Ti/n-GaAs contact studied by the I-V-T technique. Chin. Phys. Lett., 19, 553-556.
- Zhu, S., Meirhaeghe, R. L. Van, Detavernier, C., Cardon, F., Ru, Guo-Ping, Qu, Xin-Ping, Li, Bing-Zong, 2000. Barrier height inhomogeneities of epitaxial CoSi₂ Schottky contacts on n-Si (100) and (111). Solid State Electronics, 44, 663-671.

ÖZGEÇMİŞ

Yunus BABACAN 1986 yılında Erzincan'da doğdu. İlköğretimini önce İstasyon Mahallesi ilkokulunda sonra 23 Nisan İlköğretim Okulunda tamamladı. Daha sonra liseyi Erzincan Anadolu Lisesinde bitirip birinci sınıfı Mustafa Kemal Üniversitesi Elektrik&Elektronik Mühendisliği'nde, kalan eğitimini de Atatürk Üniversitesi Elektrik&Elektronik Mühendisliği'nde tamamladı. Mezuniyetinin hemen ardından Yüksek lisans eğitimine başladı.2010 yılında Erzincan Üniversitesi Elektrik&Elektronik Mühendisliği Elektronik Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak göreve başladı ve halen bu görevi sürdürmektedir.