

**Ni/n-6H SiC SCHOTTKY DİYODUNDA BAZI
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİN SICAKLIKLA
DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

Aslıhan SEFAOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Doç. Dr. Seydi DOĞAN

2008

Her Hakkı Saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ni/n-6H SiC SCHOTTKY DİYODUNDA BAZI ELEKTRİKSEL
ÖZELLİKLERİN SICAKLIKLA DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ**

Aslıhan SEFAOĞLU

FİZİK ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2008**

Her Hakkı Saklıdır

Doç. Dr. Seydi DOĞAN danışmanlığında, Aslıhan SEFAOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma 30/07/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Abdulmecit TÜRÜT

İmza : 

Üye: Doç. Dr. Seydi DOĞAN

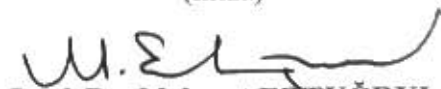
İmza : 

Üye: Doç. Dr. Neslihan EKİNCİ

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

(imza)


Prof. Dr. Mehmet ERTEĞRUL

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Ni/n-6H SiC SCHOTTKY DİYODUNDA BAZI ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİN SICAKLIKLA DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Aslıhan SEFAOĞLU

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Seydi DOĞAN

Bu çalışmada, geniş yasak enerjili bir yarıiletken olan Silikon Karpit (SiC)' in bazı elektriksel özellikleri, diyot fabrikasyonu yapılarak incelenmiştir. Fabrikasyonu yapılan (tavlanılmamış) ve tavlama yapılan Ni/ n-tipi 6H-SiC Schottky diyodun sıcaklığa bağlı I-V karakteristikleri 100-500 K aralığında incelenmiştir. Doğru belsem I-V karakteristikleri termoiyonik emisyon teorisi esas alınarak incelenmiştir. Tavlamanın ve sıcaklığın idealite faktörüne (n) ve Schottky engel yüksekliğine (Φ_b) etkileri detaylı bir şekilde tartışıldı. Artan sıcaklıkla n değerinin azaldığı ve Φ_b değerinin arttığı gösterildi. Tavlanmadan önceki diyot için engel yüksekliğinin ve idealite faktörünün değerlerinin 100-500 K sıcaklık aralığında sırası ile 0,65-1.25eV, 1.70-1.16 aralığında ve tavlamanın sonraki diyot için ise 0.74-1.70eV ve 1.84-1.19 aralığında değişim gösterdiği elde edildi. Diyotun I-V karakteristiği, 973 K'de 2 dk tavlama işlemi yapılan diyotta sızıntı akımının azalmasıyla ilişkili olarak Schottky engel yüksekliğinin attığını gösterdi.

2008, 44 Sayfa

Anahtar Kelimeler: I-V, Schottky diyot, Metal-yarıiletken kontaklar, Schottky engel yüksekliği, İdealite faktörü, Tavlama.

ABSTRACT

Master Of Science Thesis

INVESTIGATION of SOME ELECTRICAL PROPERTIES WITH TEMPERATURE for Ni/n-6H SiC SCHOTTKY DIODE

Ashhan SEFAOĞLU

Atatürk University
Graduated School of Naturel and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Seydi DOĞAN

In this study, some electrical properties of Silicon Carbide (SiC), being a wide band gap semiconductor, have been investigated by fabricating a diode. The temperature dependence of current-voltage (I - V) characteristics of as-fabricated and annealed Ni/n-type 6H-SiC Schottky diode has been investigated in the temperature range of 100–500 K. The forward I - V characteristics have been analysed on the basis of standard thermionic emission theory. The effects of annealing and temperature on the ideality factor (n) and Schottky barrier height (Φ_b), in detail, been discussed. It has been shown that the n decreases while the Φ_b increases with increasing temperature. The values of Φ_b and n are obtained between 0.65-1.25 eV and 1.70-1.16 for as-fabricated and 0.74-1.70 eV and 1.84-1.19 for annealed diode in the temperature range of 100-500 K, respectively. The I - V characteristics of the diode showed an increase in the Schottky barrier height, along with a reduction of the device leakage current by annealing the diode at 973 K for 2 min.

2008, 44 Pages

Keywords: I-V, Schottky diode, Metal-semiconductor contacts, Schottky barrier height, Ideality factor, Annealing.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde hazırlanmıştır. Çalışmalarım sırasında her türlü desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Seydi DOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Schottky kontak hesaplamalarındaki desteğinden dolayı Sayın Yrd. Doç. Dr. Songül DUMAN'a ve çok teşekkür ederim. Sistemlerin kullanılması ve gerekli ayarlamaların yapılmasında desteğini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Bekir GÜRBULAK'a teşekkür ederim. Bu çalışmanın gerçekleşmesine imkan sağlayan Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünün değerli öğretim üyelerine ve Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünün değerli yöneticilerine teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca aileme ve bugüne kadar bana emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Aslıhan SEFAOĞLU

Temmuz 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	8
2.1 Giriş.....	8
2.1 a.Metal-Yarıiletken Schottky Diyotlar.....	8
2.2.a. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar.....	10
2.2.b. Metal/n-tipi yarıiletken omik kontaklar.....	12
2.3. Metal (Omik)/n-tipi Yarıiletken/ Metal (Doğrultucu) Yapısı.....	13
2.4. Schottky Diyotlarda Termoyonik Emisyonla Akım İletimi.....	14
2.5. Potansiyel Değişim Modeli ve Homojen Olmayan Engel Yüksekliğinin Analizi.....	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM	19
3.1. Giriş.....	19
3.2. SiC Bant Yapısı ve Özellikleri.....	19
3.3 SiC Kullanım Alanlar.....	24
3.4. Numunelerin Temizlenmesi.....	24
3.5. Ni/n-tipi 6H-SiC Omik Kontakların Hazırlanması.....	25
3.6. I-V Karakteristiği Ölçümü.....	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	27
4.1 Giriş.....	27
4.2 Ni/n-6H SiC Schottky Diyotunda Akım –Gerilim (I-V) Ölçülerinden diyot Parametrelerinin Hesaplanması.....	27
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	38
KAYNAKLAR.....	41

ÖZGEÇMİŞ.....	45
---------------	----

SİMGELER DİZİNİ

A	Diyodun etkin alanı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrad derece
E	Elektron volt
E_f	Fermi enerji seviyesi
E_g	Yasak enerji aralığı
E_g	Yasak enerji aralığı
h	Planck sabiti
$\hbar$	Planck sabitinin 2π 'ye bölümü
J_0	Ters doyma akım yoğunluğu
$J_{s \rightarrow m}$	Yarıiletkeniden metale doğru akan akım yoğunluğu
$J_{m \rightarrow s}$	Metalden yarıiletkene doğru akan akım yoğunluğu
k	Boltzmann sabiti
K	Kelvin
I_0	Satürasyon akımı
m_e	Elektronun kütlesi
n	İdealite faktörü
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
$\overline{\Phi}_b$	Ortalama engel yüksekliği
σ_s	Standart sapma
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ_s	Yarıiletkenin elektron ilgisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Kontaktan önce metal ve n-tipi yarıiletkenine ait enerji-bant diyagramı.....	10
Şekil 2.2.	Kontaktan sonra termal denge durumunda oluşan enerji-bant diyagramı.....	11
Şekil 2.3.	a) Kontaktan önce b) Kontaktan sonra c) Düz beslem altında d) Ters beslem altında $\Phi_m < \Phi_s$ durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontağa ait enerji-bant diyagramı.....	12
Şekil 2.4.	n^+nM yarıiletken yapının termal dengede enerji-bant diyagramı.....	14
Şekil 2.5.	Homojen olmayan engel yüksekliğine sahip olan bir Schottky kontağın ikiboyutlu enerji-bant diyagramı	16
Şekil 3.1.	SiC üç politipinin bant yapılarının grafiksel olarak gösterimi (Ching, <i>et al.</i> 2006).....	21
Şekil 3.2.	Çeşitli yarı iletkenler için yasak enerji aralığı ve örgü sabitlerinin gösterimi (Doğan, <i>et al.</i> 2007).....	22
Şekil 3.3.	SiC'in, 3C, 2H, 4H ve 6H politiplerinin hegzagonal birim hücreleri AB (2H), ABC (3C), ABCB(4H), ABCACB (6H) ve örgü parametresinin gösterimi (Doğan, <i>et al.</i> 2007).....	23
Şekil 3.4.	SiC politiplerinin yasak enerji aralıkları ve hegzagonalite dereceleri (Doğan, <i>et al.</i> 2007).....	23
Şekil 3.5.	Omik kontak termal işlemi için fırın ve kontrol ünitesi şeması (Gürbulak 1998, Aydoğan 2004).....	26
Şekil 4.1.	Ni/n-tipi 6HSiC diyotuna ait tavlama öncesi sıcaklığa bağlı (I-V) karakteristikleri.....	29
Şekil 4.2.	Ni-n-tipi-6HSiC diyotuna ait tavlandıktan sonra sıcaklığa bağlı (I-V) karakteristikleri.....	30
Şekil 4.3.	Ni-n-tipi 6H SiC Schottky diyot için tavlama öncesi idealite faktörünün ve engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişimi.....	33
Şekil 4.4.	Ni-n tipi 6HSiC schottky diyot için tavlama sonrası idealite faktörünün ve engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişimi.....	34

Şekil 4.5.	Ni-SiC/Ni Schottky diyot için tavlamadan önce $nkT - kT$ değişimi.....	35
Şekil 4.6.	Ni-SiC/Ni Schottky diyot için tavlandıktan sonra $nkT - kT$ değişimi.....	35
Şekil 4.7.	Tavlanmadan önceki Ni-n tipi 6H SiC'in Schottky diyot için $\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - 1/nkT$ Richardson grafiği.....	36
Şekil 4.8.	Tavlanmadan sonraki Ni-n tipi 6H SiC'in Schottky diyot için $\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - 1/nkT$ Richardson grafiği.....	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	4H-SiC ve 6H-SiC 'in önemli parametreleri ile yarı iletken kuşaklarından birer örnek verilen diğer yarı iletkenlerin parametrelerinin karşılaştırılması.....	20
Çizelge 4.1.	Ni/n-tipi 6H-SiC diyotuna ait sıcaklığa bağlı lnI-V grafiklerinden elde edilen temel diyot parametreleri.....	33

1. GİRİŞ

Yarıiletkenlerin elektronikte kullanılması, katı hal fiziğinin 20. yüzyıl teknolojisine getirdiği en büyük katkılardan biridir. Bir yarıiletkenin elektriksel iletkenliği metaller ile yalıtkanlar yer almakta olup, bu iletkenlik sıcaklığın, magnetik alanın ve kirlilik konsantrasyonunun değiştirilmesi ya da ışık tarafından aydınlatılma ile 10^4 - 10^{-8} $(\Omega\text{-cm})^{-1}$ aralığında yaklaşık olarak 12 mertebe değiştirilebilir. İşte, yarıiletkenlerin iletkenliğinin yukarıdaki mekanizmalara hassas olması yarıiletkenleri elektronik uygulamalar için oldukça önemli kılmaktadır.

Silikon Karpit (SiC), eşsiz elektriksel ve optiksel özelliklere sahip olmasından dolayı son zamanlarda ilgi odağı olan bir yarıiletken haline gelmiştir. SiC ticari olarak mevcut bulunan yarıiletkenlere kıyasla;

- i. Geniş yasak enerjisine sahip olmasından dolayı, sızıntı akımının küçük ve azınlık taşıyıcı oluşumu oranı küçük olması;
- ii. Asal özelliğini oldukça yüksek sıcaklıklarda ($800\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerinde) göstermesinden dolayı, yüksek sıcaklıklı elektronik aygıtlar için daha çok tercih edilir olması;
- iii. Kırılma (Breakdown) elektrik alanının yüksek olmasından dolayı, Si' dan yaklaşık 10 kat daha fazla, anahtarlama ve yüksek gerilim uygulamalarında kullanılır olması;
- iv. İyi termal iletkenlik ve yüksek termal dengeye sahip olmasından dolayı, yüksek sıcaklık uygulamalarında ve oluşan termal ısının dağıtımında tercih edilir olması;
- v. Sadece doğal oksiti olan tek bileşik yarıiletken olmasından dolayı, MOSFET yapımında kullanılmasının mümkün kılınması;
- vi. Termal iletkenliğinin büyük olmasından dolayı, soğutma sistemlerinin oldukça küçük yapılabilir ve az masraflı olması

avantajlarından bazılarıdır (Weitzel *et al.* 1997; Rottner *et al.* 1999; Carter *et al.* 1999; Elasser *et al.* 2003 ; Järrendahl *et al.* 1998, Levinshstein *et al.* 2001).

Yüksek sıcaklıkta çalışan ve yüksek güce sahip aygıtların yapılması ve yarıiletkenin önemli parametrelerinin iyi bir şekilde incelenmesi için, spesifik kontak direncinin düşük olması gereklidir (Murakami 1990 ; Morkoç *et al.* 1994). SiC yarıiletkenine omik kontak için sıradan elementler kullanıldığında, düşük spesifik kontak direnci için tavlama sıcaklığının 1000°C ye kadar yükseltilmesi gerektiği, bu problemin üstesinden gelmek için titanyum kaynaklı, TiC ve TiW gibi, malzemelerin yüksek sıcaklıklarda kararlı oluşlarından ve düşük kontak dirençlerinden dolayı en iyi birer aday oldukları belirtilmiştir (Lee, Zetterling and Östling 2000; Lee *et al.* 2002). Lu *et al.* 2003, n-4H SiC üzerine Ni ve C katkılanmasıyla Ni/C/n-4H SiC omik kontağını elde etmiş olup; kontak özelliklerini, karbon filminin kalınlıklarını, tavlama sürelerini ve sıcaklıklarını incelemişlerdir. 700-800 °C arasında 2 dk tavlama yapıldıktan sonra kontak direncinin 10^{-6} - 10^{-7} Ωcm^{-2} olduğunu ve bu durumda katkılama konsantrasyonunun $1,6 \cdot 10^{18}$ - $1,10^{17}\text{cm}^{-3}$ arasında değiştiğini bulmuşlardır. 900-1000 °C’ de tavlama yapıldıktan sonra uygun doping konsantrasyonun $1,6 \cdot 10^{18}$ - $1,1 \cdot 10^{17}\text{cm}^{-3}$ kontak direncinin ise 10^{-5} Ωcm^{-2} olduğunu elde etmişlerdir.

P-tipi SiC malzemesine geniş yasak enerji aralığından kaynaklanan yüksek iş fonksiyonundan dolayı omik kontak elde etmek oldukça zor olmasına rağmen, literatürde bazı çalışmalar mevcuttur (Dimitriev *et al.* 1994b, Crofton Porter and Williams 1997a, Crofton *et al.* 1997b) Al ile yapılan omik kontaklarda Al’un oksitlenme özelliği ve düşük erime noktasına sahip olmasından dolayı Al kullanılarak üretilen p-tipi SiC cihazlarının yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmalarında bir sınırlamanın söz konusu olduğu belirtmiş olup Al’un kullanıldığı TiAl gibi kontaklarda en düşük spesifik kontak direncinin yaklaşık $1,5 \cdot 10^{-4}$ - $1,5 \cdot 10^{-6}$ Ωcm^{-2} olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Ni, Co gibi geçiş metalleri omik kontak için gerekli olan tavlama sıcaklığını azaltmayı önermişlerdir.

Shu rui Wang *et al.* (2002), tek kristal 6H-SiC tabakalarını moleküler beam epitaksi (MBE) tekniği ile büyütürerek, fabrikasyonu yapılan diyotların elektriksel karakterizasyonunu yapmışlardır. Bu diyotlar oda sıcaklığından 673K’ e kadar iyi doğrultucu olarak davranış sergiledikten sonra 800 V’da kırılma voltajı göstermiştir. Termal buharlaşma ile hazırlanan Ti/6H SiC Schottky diyotların oda sıcaklığından 473

K' e kadar iyi doğrultucu özellik gösterdiği, neon implantasyonu kullanılmasıyla kırılma voltajının 800V'a kadar çıkarılabildiği gözlenilmiştir. Shu rui Wang *et al.* (2002), Ti/6H SiC Schottky engel diyotunda farklı sıcaklıklarda Akım -Voltaj (I-V) ölçümlerini gerçekleştirerek idealite faktörünün (n) sıcaklıkla değişimini incelemişler; idealite faktörünün artan sıcaklıkla arttığını 297 K, 343 K ve 373 K sıcaklık değerlerinde idealite faktörünün sırasıyla 1.08, 1,2 ve 1,24 olduğu belirtmişlerdir. Ayrıca Schottky engel yüksekliğini farklı sıcaklıklar için hesaplamış ve artan sıcaklıkla azaldığını gözlemlemişlerdir. 297 K ve 473 K için Schottky engel yükseklikleri sırasıyla 0,89 eV ve 0,81 eV olarak hesaplamışlardır. Pirri *et al.* (2006), farklı sıcaklıklarda I-V ölçümleri olarak Richardson sabiti bulunmuş ve 77 K'de idealite faktörü ve engel yüksekliği, 1.13 ± 0.2 ve $1.11 \pm 0.2\text{eV}$ olarak bulmuşlardır.

Roccaforte *et al.* (2004), Ni/Ti/SiC' in elektriksel ve yapısal özelliklerinin sıcaklıkla değişimini araştırmışlardır. 6H-SiC taban malzemesi üzerine Ni ve Ti buharlaştırılarak numuneler hazırlanmış, 400-650 °C aralığında vakum ortamında tavlama yapılarak 450 °C üzerinde bir reaksiyon oluşturduğunu ve bu reaksiyon sonucunda Ni₃₁, Si₁₂ ve Ni₂ Si elde edilmiştir. Reaksiyon süresince tavlama sıcaklığı artırılarak Schottky engel yüksekliğinin artmasının aygıtın sızıntı akımının azalmasıyla ilişkili olduğu gözlemlenmiş, 600 °C de Ni-silicide/SiC bariyerlerinin inhomojenliği görülmüştür.

Pirri *et al.* (2005), Si üzerine büyütülen 4H-SiC epitaksiyel tabakalarını kullanarak hazırlanan kontakların elektriksel parametrelerinin sıcaklıkla ilişkili olduğunu göstermişler. La Via *et al.* (2003), Ni-silicide/SiC yapılarda 600 °C' den 950 °C tavlama ile Schottky kontakten omik kontağa geçişi, kontakın elektriksel özelliklerini ölçerek ve silicide/SiC ara yüzey mikro yapılarını analiz ederek incelemişlerdir. Elektriksel ölçümler Schottky engel yüksekliğinin 0,25eV- luk artışla 950 °C'de tavlamadan sonra Schottky kontakten omik kontağa geçiş olduğunu belirtmiştir.

M.Strel'chuk *et al.* (1997) 6H-SiC malzemesinin Si ve C yüzeyleri üzerine Mo, Ni, Al, Au gibi çeşitli metaller kullanılması sonucu oluşturulan diyotların I-V karakteristiklerini, Jo doyma akım yoğunluğunu, tavlama sıcaklığını ve kontakın oluşturulduğu ortamın basıncını incelenmişlerdir. Mo/SiC Schottky diyot için 300 K' de aynı epitaksiyel tabakanın farklı bölgelerindeki diyotlar için farklı I-V eğrileri elde

edilmiş olup, bu eğrilerden elde edilen $n=1,2$; $1,14$; $1,16$ ve $1,25$ idealite faktörleri değerleri için akım yoğunlukları $J_0=8.10^{-7}$ A/cm⁻²; $1,10^{-7}$ A/cm⁻²; $2,10^{-9}$ A/cm⁻² ve 10^{-9} A/cm⁻² şeklinde hesaplanmıştır. Ni/SiC Schottky diyot için idealite faktörlerinin $1,2-1,9$ arasında değiştiği ve I-V karakteristiklerinin exponansiyel davranış gösterdikleri bulunmasına rağmen, Al/SiC kontak için idealite faktörünü $1,16$ şeklinde sabit olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ideal diyotların I-V karakteristiklerindeki, farklılıkların engel yüksekliğindeki farklılıklardan kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir.

Roccaferte *et al.* (2003a), SiC malzemesi üzerine Schottky diyot metali olarak en çok kullanılan Ti (düşük engel yükseklikli ~ 0.8 eV) ve Ni (büyük engel yükseklikli ~ 1.25 eV) elementlerini sırasıyla kullanarak Ti/ Ni₂Si-SiC şeklinde ikili diyotlar hazırlamış olup, bu diyotların I-V karakteristiklerini sadece Ti kullanılarak hazırlanan diyotun I-V karakteristikleri ile karşılaştırılmıştır. Ti/ Ni₂Si-SiC diyodunda elde edilen sızıntı akımının Ti/SiC diyodunda elde edilene kıyasla yaklaşık 3 mertebe daha düşük olduğunu elde etmişlerdir. Böylece, düşük engel yükseklikli Ti ile düşük sızıntı akımlı ve yüksek engel yükseklikli Ni₂Si kullanımı sonucu oluşturulan Ti/ Ni₂Si-SiC diyodun tek metalli Ti/SiC diyoda kıyasla avantajlı olduğunu bildirmişlerdir. Ha *et al.* (2007) tarafından $388 \mu\text{m}$ kalınlığındaki yarıyalıtkan tabanın üzerine yapılan Au/ Ni/ 6H-SiC/ Ti/Au diyot dedektör yapısında I-V karakteristiği ölçülmüş ve Schottky engel yüksekliği termiyonik emisyon teorisi esas alınarak $0,86$ eV olarak bulunmuştur. Vassilevski, *et al.* (2006), tarafından 4H-SiC epitaksiyel waferler üzerine Ti ve Ni metallerinin buharlaştırılması ve 550°C ' deki vakumda tavlama sonucu yüksek sıcaklık SiC diyotları elde edilmiş, oda sıcaklığından 400 K ' e kadar olan sıcaklık aralığında 4H-SiC Schottky diyotların I-V karakteristiklerini incelemişlerdir. Bu diyotların değişmeyen engel yüksekliği ve idealite faktörü değerleri sergiledikleri belirtilmiştir.

Bourenane *et al.* (2007), SiC ve porous SiC üzerine Pt kullanarak Schottky diyot hazırlamış ve elektriksel karakteristiklerini hava ve vakum ortamında incelemiş ve ortama bağlı olarak engel yüksekliklerinin $0,78-0,95$ eV idealite faktörlerinin ise $1,1-1,5$ aralığında değiştiğini bulmuşlardır. Elektriksel parametrelerin yüzeye bağlılığını ve oda sıcaklığında Pt-porous-SiC numunesinde idealite faktörünün arttığını gözlemlemişlerdir. Oda sıcaklığında ve vakum ortamında, Pt/SiC'in elektriksel

sabitlerinin aynı kalmasına rağmen Pt/porous SiC’de ise tüm parametrelerde, idealite faktörü yaklaşık 1,17 ve engel yüksekliği ise 0,927 eV, azalma olduğu gözlemlenmiştir. Sochacki *et al.* (2005) tarafından Pt/4H-SiC schottky diyot fabrikasyonu yapılmış 300-480K arasında diyotların I-V karakteristiği incelenmiştir. Diyotların engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç gibi parametreleri Cheungs metodu kullanılarak hesaplanmış olup, I-V ölçümlerine dayalı olarak yüksek frekans, kapasitans-voltaj ölçümlerini ve yarıiletkenin yasak enerji aralığı içerisindeki dağılım durumlarını incelemişlerdir. Metal ile yarıiletken arasında ince bir ara yüzey tabakasının var olduğunu, bu tabakanın Schottky diyotun I-V karakteristiğini büyük ölçüde etkilediğini ve sıcaklığın 480 K’ e ulaştığı anda bu ara yüzeyin kalitesinin hızlı bir şekilde bozulduğunu bildirmişlerdir.

İnhomojen Schottky engel yüksekliğinin potansiyel ve engel akımına ait ilk analitik tanımını Tung (1992) tarafından yapılmış olup, Schottky engel yüksekliğinin yanal değişiminin, sadece paralel iletkenlik modeli analiz edilebileceği, değişik Schottky engel yüksekliğine sahip bölgelerin elektrik özellikleri bakımından birbirinden bağımsız olacağı ve toplam akımın bütün alanlardan akan akımların toplamına eşit olacağı bildirilmiştir. Gözlemlenen Schottky engel yüksekliğinin inhomojen davranış göstermesi, Schottky engelinin oluşum mekanizmasının metal-yarıiletken ara yüzeyindeki yerel parametrelere bağlı olduğunu söyler. Deneysel gözlemlenen Schottky engel yükseklikleri alçalıp-yükselen yerel parametrelerin sebep olduğu değişik Fermi seviyesinin durumlarına ait geniş bir alanın ortalamasıdır. Böyle bir ortalama Schottky engel yüksekliğinin fiziksel bir anlamı yoktur ve Schottky engel mekanizmasının çıkarılmasında bir temel olamaz (Tung, 1992). Roccaforte *et al.* (2003b), SiC üzerine nikel-silicide Schottky kontakın elektriksel karakterizasyonu sıcaklığa bağlı olarak araştırarak ideal davranışlar göstermesine rağmen ($n=1,05$) yüksek sıcaklık davranışının idealden saptığını bulmuşlardır. Bunun nedeninin engel yüksekliğindeki inhomojenlikten kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Benzer çalışmada L. Calcagno *et al.* (2005), 873 K ve 1223 K’ de tavlama sonucu oluşturulan silicide Schottky diyotun elektriksel özelliklerini 120K-700K sıcaklık aralığında incelemişler, düşük sıcaklıklarda diyotun elektriksel davranışlarının lineerlikten sapma gösterdiğini her iki tavlama sıcaklığında da engel yüksekliğinin 1.75 eV olduğu belirtilmesine rağmen, 1223 K’ de

tavlanılan numunede inhomojen bölgelerin ortalama olarak düşük engel yüksekliklerine sahip olduğu bulunmuştur. Yukarıdaki her iki çalışmada idealite faktörünün ve engel yüksekliğindeki inhomojenliğin varlığının sıcaklığa bağlı olduğunu bulunmuştur.

Biber (2002), homojen ve inhomojen Cu/n-GaAs Schottky engel diyotların I-V karakteristiklerini 80-300 K sıcaklık aralığında tespit etmiştir. İnhomojen Schottky engel diyotların sıfır beslem engel yüksekliklerine ait deneysel I-V değerlerinde lineer olmayan bir artış gözlerken, homojen Schottky engel diyotların sıfır beslem engel yüksekliklerine ait olanlarda lineer bir artış gözlemlemiştir. Bütün diyotlar için idealite faktörünün artan sıcaklıkla azaldığı tespit edilmiştir. 150 K' nin altında engel yüksekliği ve idealite faktöründe anlamlı bir değişim gözlenmesine rağmen, $\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right)$ nin $1/T$ 'ye göre grafiğinde inhomojen engel diyotlar için 180 K 'nin altında lineer olmayan bir değişim gözlemlemiştir. Ara yüzeydeki engel yüksekliklerinin Gauss dağılımına bağlı olarak bu özelliklerin engel inhomjenliğinden kaynaklandığını belirtmiştir. Hsu *et al.* (2001), GaN Schottky diyotlarındaki ters beslem sızıntı akımlarının engel yüksekliğinden etkilenmediğini bulmuşlardır. I-V ölçümlerini kullanarak ters beslem akımının küçük yalıtılmış bölgelerde oluştuğunu transmission (geçirmeli) elektron mikroskop (TEM) sonuçlarını inceleyince ters beslem sızıntı akımlarının dislokasyonlarda başladığı sonucuna varmışlardır.

Magafas *et al.* (2007), SiC:H ince filminin elektriksel özelliklerini tavlama sıcaklığının bir fonksiyonu olarak incelemişlerdir. 673 K'den küçük tavlama sıcaklıklarında H' nin aktivasyon enerjisi 0,64 eV olup, tavlama sıcaklığı 673 K'den 873 K'e çıkarıldığında 0,2eV artarak aktivasyon enerjisinin maksimum 0,85eV değerine ulaştığını gözlemlemiştir. Aktivasyon enerjisinin, tavlama sıcaklığının bir fonksiyonu olarak böyle bir davranış göstermesinin yapı içindeki strainlerin (baskıların) rahatlamasıyla ilişkili olduğunu ve sıcaklığın 873 K'e çıkarılması ile H'nin yayılımıyla mümkün olduğunu bulmuşlardır. Tavlama sıcaklığının daha fazla artırılmasıyla aktivasyon enerjisi değerinin 0,2eV a kadar düşeceğini ve H'nin yayılımından dolayı malzemesinin kalitesinin bozulacağını ileri sürmüşlerdir.

Tone *et al.* (2001), 4H-SiC eklem engel Schottky diyotlarında kırılma voltajını 1000V olarak ölçmüşler ve I-V karakteristiklerinin oda sıcaklığında ve 255 °C’de aynı numune üzerindeki Schottky engel diyotu ve p-i-n diyotlarla karşılaştırılmasını yapmışlardır. Eklem engel Schottky diyotların düşük sızıntı akımı vermesinin yanında 4 V değeri için oda sıcaklığı ve 255 °C’ de sırasıyla 630 ve 210 A-cm⁻² gibi yüksek akım yoğunluğu değeri gösterdiğini belirtmişlerdir. Ohtsuka *et al.* (2006), Ti/4H-SiC kontağının yakın ara yüzey bölgelerindeki Si-iyon radyasyonundan sonra ters beslem sızıntı akımının düşüşüyle, Schottky engel yüksekliğinin 1,05 eV’ dan 1,21 eV’ a kadar arttığını gözlemlemişlerdir. Schottky engel yüksekliğindeki değişimin mekanizmayla ve Schottky bariyerlerin fiziksel özellikleriyle ilişkili olduğunu, ara yüzey bölgelerinin yapısal ve elektriksel modifikasyonunun hem Ti hem de SiC’deki sızıntı akımının azalmasında ve engel yüksekliğinin artışında etkili olduğunu bulmuşlardır.

Aboelfotoh *et al.* (2003), n- ve p- tipi 6H-SiC’ in silisyum yüzeyine Ti, Ni, Cu, Au gibi metallerin kullanılmasıyla oluşturulan diyotların engel yüksekliğini 150-500 K sıcaklık aralığında ölçmüşlerdir. n-tipi 6H-SiC’ deki Schottky engel yüksekliğinin sıcaklıktan bağımsız olduğunu, p tipindeki engel yüksekliğinin artan sıcaklıkla değiştiğini ve nerdeyse direkt olmayan yasak enerji aralığı değerine yaklaştığını bulmuşlar ve bu Schottky engel yüksekliğinin değişim göstermesinde, kimyasal bağların önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada n-tipi 6H-SiC üzerine fabrikasyonu yapılan Ni/4H-SiC Schottky diyotun sıcaklığa bağlı I-V karakteristikleri tavlama öncesi ve sonrası incelenmiştir. Bu tezin birinci bölümünde giriş ve genel literatür taraması, ikinci bölümünde metal yarıiletken kontak teorisi, akım iletim olayı ile diyot karakteristiklerinin belirlenmesi verilmektedir. Üçüncü bölümde deneysel olarak incelenmek istenen numunelerin hazırlanması, SiC’in elektriksel ve optiksel özellikleri ile ilgili geniş teorik açıklamalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde alınan ölçüler ve araştırma bulguları yer almaktadır. Beşinci ve son bölümde ise deney ve ölçülerden elde edilen sonuçların tartışması verilmiştir.

2.KURAMSAL TEMELLER

2.1 Giriş

Metal-yarı iletken kontaklar bütün yarıiletken devre elemanlarında yer aldıkları için büyük bir öneme sahiptir. Ara yüzeyin karakteristiklerine bağlı olarak ya bir schottky engeli ya da bir omik kontak gibi davranırlar. Bu bölümde metal yarı iletkenlerin akım voltaj karakteristiklerinin türetilmesi yer alacaktır.

İki iletken, kontak haline getirildiğinde aralarındaki yük alışverişinden sonra yeni denge durumu meydana gelir ve her iki maddenin fermi seviyeleri eşitlenir. Bu kural sadece iki iletken arasındaki kontak durumunda değil, bir iletken ve bir yarıiletken (n tipi ya da p tipi) arasındaki kontak durumun da meydana gelir. Oluşan bu kontak elektronların her iki yönde serbestçe hareket edebilmeleri nedeni ile omik kontak olarak adlandırılır. Şayet kontağı oluşturan maddelerden biri metal diğeri yarı iletken ise oluşacak kontak omik ya da doğrultucu olabilir. Doğrultucu kontak durumunda elektronlar bir yönde kolayca hareket ederken ters yöndeki geçişleri, kontak bölgesinde oluşan potansiyel engeli nedeniyle zorlaşır. Bu durum her iki maddenin elektronik enerji –bant diyagramı ile yakından ilişkilidir.(Ziel, 1968)

2.1.a. Metal-Yarıiletken Schottky Diyotlar

Mikroelektronik aygıtların çoğunluğunun çalışma prensipleri metal/yarıiletken ve p-tipi yarıiletken/n-tipi yarıiletken (p-n eklemi) kontakların fiziksel karakteristiklerine bağlıdır. Metal/yarıiletken kontaklar bütün yarıiletken devre elemanlarında yer aldıkları için büyük bir öneme sahiptir. Kontak, kristal ile kristale uygulanacak olan kontak malzemenin en az dirençle atomik boyutta temas etmeleri olarak düşünülebilir. Kontakın ideal olması kontak malzemenin yüzeylerinin temiz ve pürüzsüz olmasıyla doğrudan ilişkilidir (Crowel and Sze 1965). Kontaklar ara yüzeyin karakteristiklerine bağlı olarak ya bir Schottky engeli ya da bir omik kontak gibi davranırlar. Schottky

diyotların karakteristik parametrelerinin anlaşılabilmesi, yalıtkan ve yarıiletken kristallerin iletkenlik özelliklerinin anlaşılabilmesinin bir yolu da kristale uygun kontakların yapılmasıdır. Bu tür doğrultucu eklemlerden diyotlar, transistörler, tünel diyotlar, Schottky diyotları yapılmaktadır.

Yarıiletken Schottky kontaklar lineer olmayan akım-gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Kontakların lineer olmayan özellikleri elektrik akımının doğrultulması, dönüşümü, amplifikasyonu veya elektrik sinyallerinin oluşturulması için kullanılabilir.

Kristalin içinden elektronları dışarıya (vakuma) atmak için, elektronlara belirli bir miktarda enerji transfer olmalıdır. Elektronu katı malzemenin içinden dışarıya atmak için gereken en az enerji iş fonksiyonu veya çıkış işi olarak adlandırılır. Kısaca; Fermi enerji seviyesindeki bir elektronu vakum seviyesine sıfır kinetik enerjiyle çıkarmak için gerekli enerjiye metalin veya yarıiletkenin iş fonksiyonu denir. Katılarda termodinamik çıkış işi elektronu Fermi seviyesinden vakuma atmak için gereken enerji ile belirlenmektedir. Yarıiletkenlerin büyük bir çoğunluğunun çıkış işi 1-6 eV arasında değişmektedir ve malzemenin kristal yapısına bağlıdır (Rhoderick and Williams 1988). Burada vakum seviyesi; metalin veya yarıiletkenin yüzeyidir. Elektronun hareketsiz olduğu yüzeydir. Yani; yüzeyde hareketsiz duran bir elektronun enerjisidir. Elektron yakınlığı ise; kimyasal olarak, bir atomun bir elektron alırken açığa çıkardığı enerji veya bir atomun bir elektron aldığı anda serbest kalan enerjisi olarak tanımlanır.

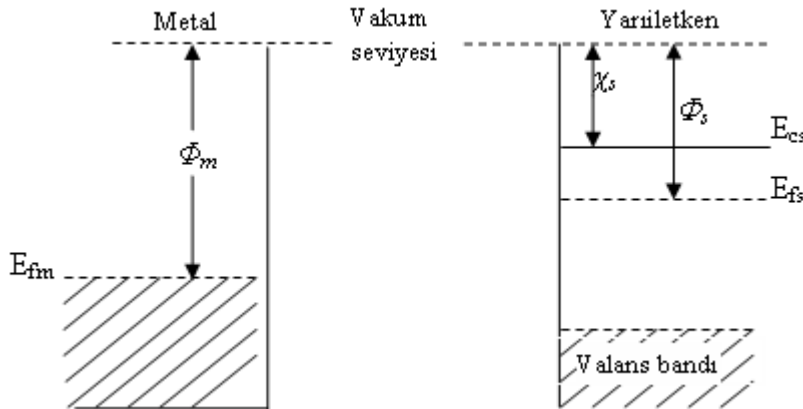
Metal/yarıiletken kontaklar, metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına (Φ_m ve Φ_s) bağlı olarak, omik ve doğrultucu kontak (Schottky kontak) olmak üzere iki kısımda incelenir. Doğrultucu kontak (Schottky kontak), akımın bir doğrultuda diğer doğrultudan çok daha kolay aktığı kontak türüdür. n-tipi yarıiletken/metal kontaklarında $\Phi_m > \Phi_s$ ise, doğrultucu kontak; eğer $\Phi_m < \Phi_s$ ise omik kontak oluşur. p-tipi yarıiletken/metal kontaklarında ise $\Phi_m < \Phi_s$ durumunda doğrultucu kontak ve $\Phi_m > \Phi_s$ durumunda da omik kontak oluşur.

2.2.a. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontaklar

Metalin iş fonksiyonu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s , yarıiletkenin elektron ilgisi χ_s ve $\Phi_m > \Phi_s$ olsun. Kontakta önceki durumda Şekil 2.1'de görüldüğü gibi yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $(\Phi_m - \Phi_s)$ kadar yukarıdadır. Kontakta sonra yarıiletken yüzeyden metale elektronlar geçerken geride iyonize olmuş donörler bırakılırlar. Yük mübadelesi tamamlandıktan sonra her iki tarafın Fermi seviyeleri eşitlenir. Yani yarıiletkenin enerji seviyesi Şekil 2.2'de görüldüğü gibi $(\Phi_m - \Phi_s)$ kadar alçalmıştır. Sonuç olarak, kontakta oluşan dipol tabakası nedeniyle arayüzeyde bir potansiyel engeli meydana gelir. Bu engelin yarıiletken tarafındaki yüksekliği $(\Phi_m - \Phi_s)$ ve metal tarafındaki yüksekliği ise $(\Phi_m - \chi_s)$ kadardır. Yarıiletken tarafındaki bu engel yüksekliği difüzyon potansiyeli cinsinden;

$$eV_{dif} = (\Phi_m - \Phi_s) \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir. V_{dif} niceliği difüzyon potansiyeli olarak bilinir ve metalin yüzeyine göre alınır. Potansiyel engeli kontakta elektrik dipol tabakası tarafından korunur (sürdürülür) ve uzay yükü tabakası olarak da adlandırılır. Bu tabakanın kalınlığı iyonize olmuş donörlerin konsantrasyonuna ve difüzyon potansiyelinin değerine bağlıdır.

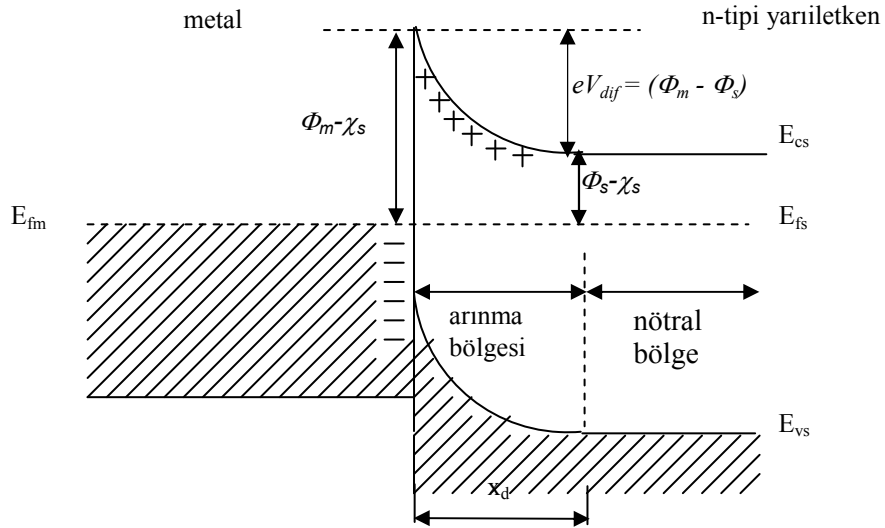


Şekil 2.1. Kontakta önce metal ve n-tipi yarıiletken için enerji-bant diyagramı

Kontaktan sonra termal denge durumunda oluşan enerji-bant diyagramı şekil 2.2'de verilmiştir. Termal uyarılmadan dolayı metalin bazı elektronları potansiyel engelini aşıp yarıiletken ve yarıiletkenin bazı elektronları potansiyel engelini aşıp metale geçmek için yeterli enerjiye sahip olacaklardır. Denge durumunda bu, eşit ve zıt I_0 akımlarına sebep olacaktır. Yarıiletkene $-V$ gerilimi uygulandığında oluşan net termoiyonik emisyon akımı

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

İle verilir. I net akımı pozitifdir. Buradan anlaşılacağı gibi, yarıiletkenin potansiyel engelinin yüksekliği uygulanan voltaja bağlı olarak değişir. Metal tarafındaki engel yüksekliği uygulanan voltajdan bağımsızdır. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontağında $V > 0$ ise kontak ters beslemededir. Eğer $V < 0$ ise kontak doğru beslemededir.

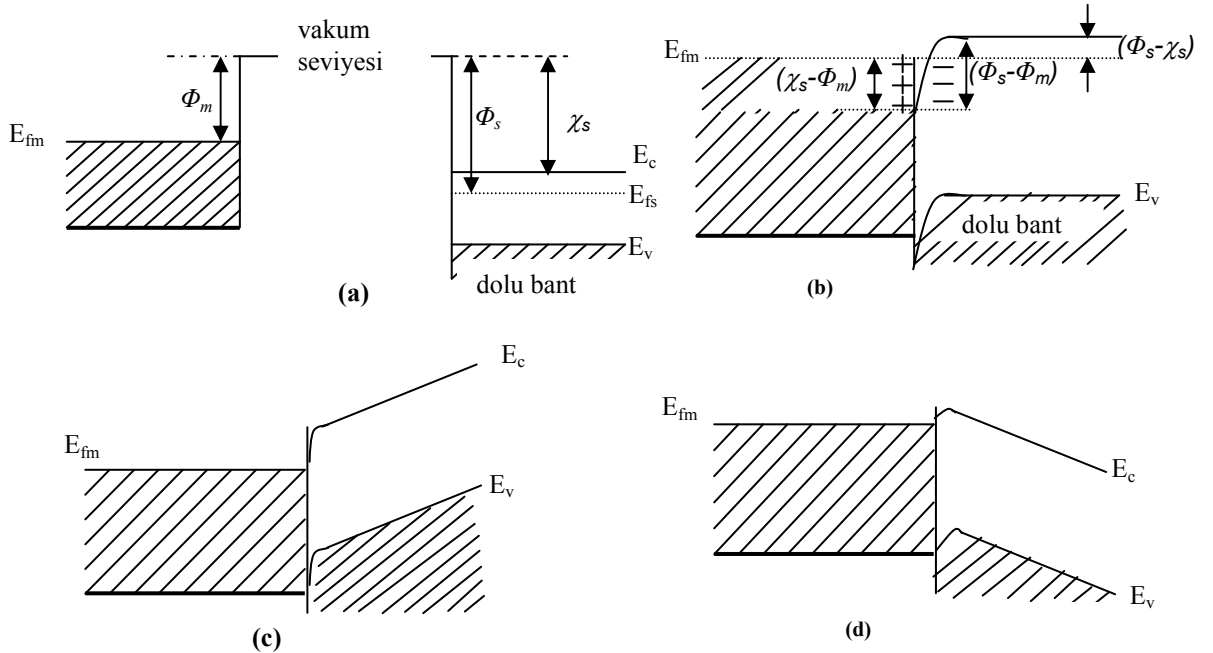


şekil 2.2. Kontaktan sonra termal denge durumunda oluşan enerji-bant diyagramı

2.2.b. Metal/n-tipi yarıiletken omik kontaklar

Metal/n-tipi yarıiletken kontak oluşumu için $\Phi_m < \Phi_s$ şartı sağlanırsa omik kontak oluşur. Bu kontaklar, uygulanan gerilimin polaritesinden bağımsız olarak her iki yönde de akım akışına minimum direnç gösteren metal/yarıiletken kontaklardır (Brillson 1983, Neamen 1992). Akım-gerilim karakteristikleri Ohm kanununa uyan bir davranış sergilerler. Kontak direncinin değeri ise omik kontakın kalitesini belirler.

$\Phi_m < \Phi_s$ durumunda, bir metalle n-tipi yarıiletken kontak halinde olsunlar. Kontakta önceki durumda yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $(\Phi_s - \Phi_m)$ kadar aşağıdadır. Metal ve yarıiletkenin kontakta önceki enerji-bant diyagramı Şekil 2.3a'da görülmektedir. Kontakta sonra termal denge durumunda, elektronlar metalden yarıiletkenine doğru geride pozitif boşluklar bırakarak geçerler. Yarıiletken yüzeyindeki bu elektronlar bir negatif yüzey yükü tabakası meydana getirirler. Yine metalden ayrılan elektronlar geride bir yüzey yükü tabakası (pozitif yük dağılımı) meydana getirirler ve



Şekil 2.3. a) Kontakta önce b) Kontakta sonra c) Düz beslem altında d) Ters beslem altında $\Phi_m < \Phi_s$ durumu için metal/n-tipi yarıiletken omik kontak için enerji-bant diyagramı

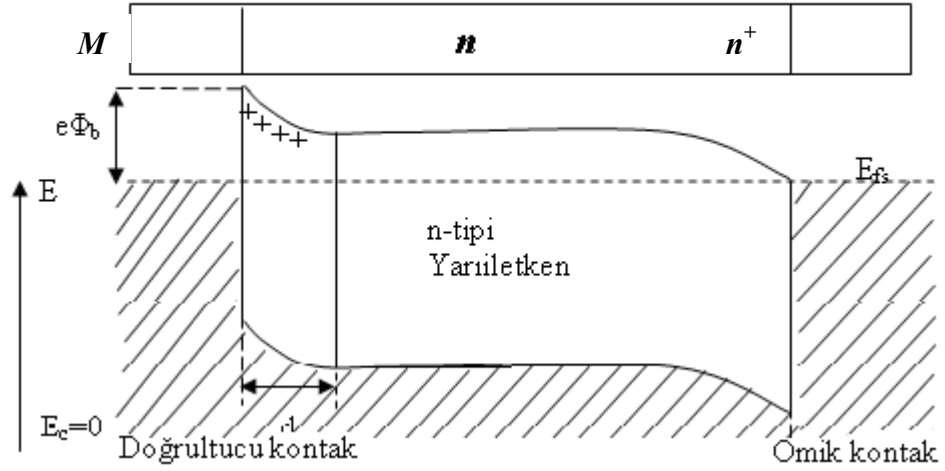
Böylece kontak bölgesinde bir dipol tabakası oluşur. Bu durum Şekil 2.3b'de görülmektedir. Yük mübadelesi bittikten sonra, yarıiletken gövdedeki Fermi seviyesi ($\Phi_s - \Phi_m$) kadar yükselir.

Şayet metal tarafına pozitif bir $+V$ gerilimi uygulanırsa bu durumda yarıiletkenden metale doğru akan elektronlar için engel yoktur ve elektronlar bu yönde kolayca hareket edebilirler (Şekil 2.3c). Şayet yarıiletken tarafına bir $+V$ gerilimi uygulanırsa, elektronların karşılaşılabilecekleri engel yüksekliği yine çok küçük olacaktır ve elektronlar kolayca metalden yarıiletkene doğru akacaklardır (Şekil 2.3d). Metale negatif bir $-V$ gerilimi uygulandığında, metalden yarıiletkenin iletkenlik bandına elektron geçişi olmasından dolayı bu kontaklara enjeksiyon kontaktları da denir (Ziel 1968).

Normalde omik kontak elde edebilmek için n -tipi yarıiletkenin yüzeyine buharlaştırılan metal, daha sonra yarıiletkenin yüzeyinde bir n^+ tabakası oluşturmak için belli bir sıcaklıkta tavlınır ve yarıiletkenle alaşım haline getirilir. Bu n^+ tabakası yarıiletken gövdeye göre elektron bakımından daha zengindir (Sze 1981).

2.3. Metal (Omik)/ n -tipi Yarıiletken/ Metal (Doğrultucu) Yapısı

Metal (Omik)/ n -tipi Yarıiletken/Metal (Doğrultucu) yapısı; n -tipi yarıiletkenin bir yüzeyinin aşırı katkılanması sonucu elektron bakımından çok zengin n^+n omik kontağı ve diğer yüzeyine uygulanan nM doğrultucu kontağından oluşmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. n^+nM yarıiletken yapının termal dengede enerji-bant diyagramı.

Bu yapıya ait enerji-bant diyagramı aşağıdaki şekilde verilmiştir. n^+ omik kontak tarafına negatif bir gerilim uygulandığında, yapı doğru beslenmiş olur. n^+nM yapısı diyot gibi davrandığı için, böyle bir yapı yarıiletken diyot olarak adlandırılır (Sağlam, *et al.* 1991).

2.4. Schottky Diyotlarda Termoiyonik Emisyonla Akım İletimi

Schottky kontaklarda bir potansiyel engeli üzerinden elektron taşınması işlemi termoiyonik emisyon teorisi ile açıklanmaktadır (Sıcak bir yüzeyden termal enerjileri nedeniyle taşıyıcıların salınması olayı termoiyonik emisyon olarak bilinir). Metal/yarıiletken Schottky diyotlarda emisyon teorisi taşıyıcıların termal enerjileri nedeniyle potansiyel engelini aşarak yarıiletkenden metale veya metalden yarıiletkene geçmesidir. Schottky diyotlarda akım çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır. İdeal metal/n-yarıiletken Schottky diyotlarda, doğru beslem durumunda, yarıiletkenden metale termoiyonik emisyon akım yoğunluğu

$$J_{s \rightarrow m} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left[\frac{-e\Phi_b}{kT} \right] \exp \left(\frac{eV}{kT} \right) \quad (2.3)$$

eşitliğiyle verilir. Bu durumda, metalden yarıiletken akım yoğunluğu, $J_{m \rightarrow s}$, uygulanan gerilimden bağımsızdır ve

$$J_{m \rightarrow s} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left[\frac{-e\Phi_b}{kT} \right] \quad (2.4)$$

ifadesine eşittir. Böylece, eklemdeki net akım yoğunluğu $J = J_{s \rightarrow m} - J_{m \rightarrow s}$ olur. Daha açık ifadeyle net akım yoğunluğu,

$$J = \left[A^* T^2 \exp \left(\frac{-e\Phi_b}{kT} \right) \right] \left[\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

olur. Burada A^* termoiyonik emisyon için Richardson sabiti olup,

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (2.6)$$

ile verilir. Elektronun yükü $e=1,6 \times 10^{-19}$ C, Boltzmann sabiti $k=8,625 \times 10^{-5}$ eV/K ve T (K) Kelvin cinsinden ortamın sıcaklığıdır. Genel bir durum için (2.5) ifadesi,

$$J = J_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

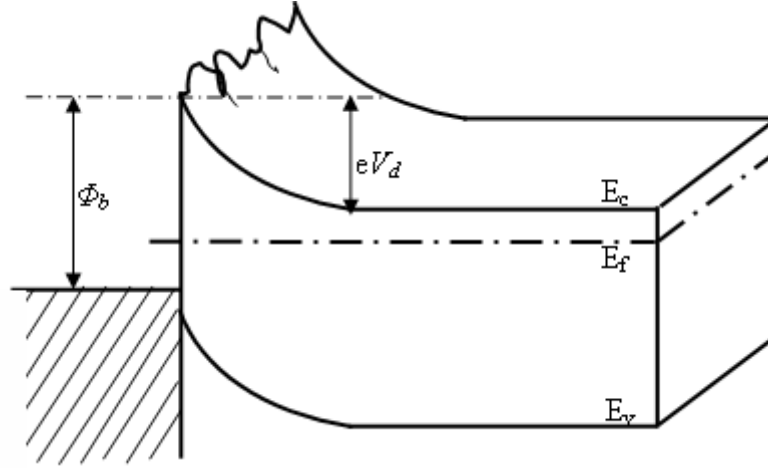
olarak yazılabilir. Burada J_0 ters-doyma akım yoğunluğu olarak bilinir ve

$$J_0 = A^* T^2 \exp \left(\frac{-e\Phi_b}{kT} \right) \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilir.

2.5. Potansiyel Değişim Modeli ve Homojen Olmayan Engel Yüksekliğinin Analizi

Bazı araştırmacılar tarafından bildirildiğine göre, Schottky kontaklarda (I - V) karakteristiklerinden elde edilen sıcaklığa bağlı engel yüksekliğinin değişimi ve idealite faktörünün birden büyük olması farklı şekillerde açıklanmaktadır (Dobrocka and Osvald 1994, Horváth 1996; Tung 2001). Metal/yarıiletken ara yüzeyinin düzgün olmaması (pürüzlü olması), Şekil 2.5'de gösterilen difüzyon potansiyeli (V_d) ve engel yüksekliğinin farklı uzaysal değişimlerine neden olarak homojen olmayan bir dağılıma neden olacaktır.



Şekil 2.5. Homojen olmayan engel yüksekliğine sahip olan bir Schottky kontakın iki boyutlu enerji-bant diyagramı

Metaldeki atomik yapı, dislokasyonlar ve tane sınırlarının yanı sıra metalin kalınlığının değişimi metal/yarıiletken ara yüzeyin pürüzlü olmasına neden olabilir. Ayrıca, ara yüzeyde farklı metalik fazların etkisi ile de lokal değişimler ortaya çıkabilir. Bunun yanı sıra yarıiletkendeki donör atomlarının rastgele dağıldığı düzenli bir örgüde, donör atomları arasındaki düzensiz mesafeler de bahsedilen potansiyel değişimlerin bir başka nedeni olabilir. Küçük boyutlu devre elemanlarındaki bu tür katkı atomlarının etkisi, potansiyel değişim modeli, homojen olmayan Schottky kontaklar için daha önce yapılan çalışmalardan farklıdır (Werner and Güttler 1991a). Bu konuda, daha önce yapılan

çalışmalarda, farklı engel yüksekliğine sahip olan homojen ve homojen olmayan Schottky diyotlar üzerinde farklı çalışmalar yapılmıştır.

Schottky diyotlardaki ideal durumdan sapmaları açıklayan modellerden birinin; "engelin inhomojenliği modeli" olduğu yukarıda belirtilmiştir. Bu durumdaki davranışlar Gauss dağılımı kullanılarak açıklanabilmektedir. Ortalama engel yüksekliği $\bar{\Phi}_b$ ve standart sapması σ_s olan bir Schottky diyot için Gauss dağılımı ifadesi,

$$P(\Phi_b) = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\Phi_b - \bar{\Phi}_b)^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (2.9)$$

burada $\frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}}$, Gauss engel yüksekliği dağılımının normalizasyon sabitidir. Düz beslemdeki toplam akım;

$$I(V) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\Phi_b, V) P(\Phi_b) d\Phi_b \quad (2.10)$$

ile verilir. Verilen aralıklarda integral alınacak olursa;

$$I(V) = A^* T^2 \exp\left[-\frac{e}{kT} \left(\bar{\Phi}_b - \frac{e\sigma_s^2}{2kT}\right)\right] \exp\left(\frac{eV}{n_{ap} kT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{eV}{kT}\right)\right] \quad (2.11)$$

ile verilir.

Ayrıca saturasyon akımı,

$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{ap}}{kT}\right) \quad (2.12)$$

ile verilir. Burada Φ_{ap} ve n_{ap} sırasıyla, sıfır gerilimdeki etkin engel yüksekliği ve idealite faktörüdür. İnhomojenlik modelinde ortalama engel yüksekliği ve deneysel idealite faktörleri, sırasıyla,

$$\Phi_{ap} = \bar{\Phi}_b - \frac{e\sigma_0^2}{2kT} \quad (2.13)$$

$$\left(\frac{1}{n_{ap}} - 1 \right) = -\rho_2 + \frac{e\rho_3}{2kT} \quad (2.14)$$

Eşitlikleri ile verilir (Werner and Güttler, 1991). σ_s 'nin sıcaklığa bağıllığı genellikle küçüktür ve bu yüzden ihmal edilebilir. Burada ρ_2 ve ρ_3 , sıcaklığa bağlı olabilen ve engel yüksekliği dağılımının voltaj değişimlerini tanımlayan nicelikler olup voltaj katsayıları olarak adlandırılırlar.

Ayrıca (2.12) ve (2.13) ifadeleri birleştirilerek,

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - \left(\frac{e^2\sigma_0^2}{2kT^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{e\bar{\Phi}_b}{kT} \quad (2.15)$$

elde edilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu bölümde Ni/n-tipi 6HSiC Schottky diyotlarının yapımında kullanılan SiC malzemesinin özellikleri, kullanım alanları, temizlenmesi numune hazırlanması, diyotların yapılışıyla ilgili bilgiler yer almaktadır. Hazırlanan diyotun I-V karakteristik parametrelerinin ölçümünde kullanılan aletler ve teknikler hakkında bilgi verilmektedir.

3.2. SiC Bant Yapısı ve Özellikleri

IV- IV yarıiletken ailesine ait olan SiC, indirekt yasak enerji aralığına sahip olup Si ve C'nun tek kimyasal bileşimidir. Si ve C atomlarının SiC kristali oluşumunda farklı düzenlenmelerinden dolayı (bağ uzunlukları, yerel atomik paketlenme düzeni, vb), 210 dan fazla farklı tipi (politipi) vardır. Her bir politip' in kendine özgü elektriksel ve optik özellikleri olmasına rağmen en çok kullanılanları 3C, 4H, 6H ve 15R-SiC dir.

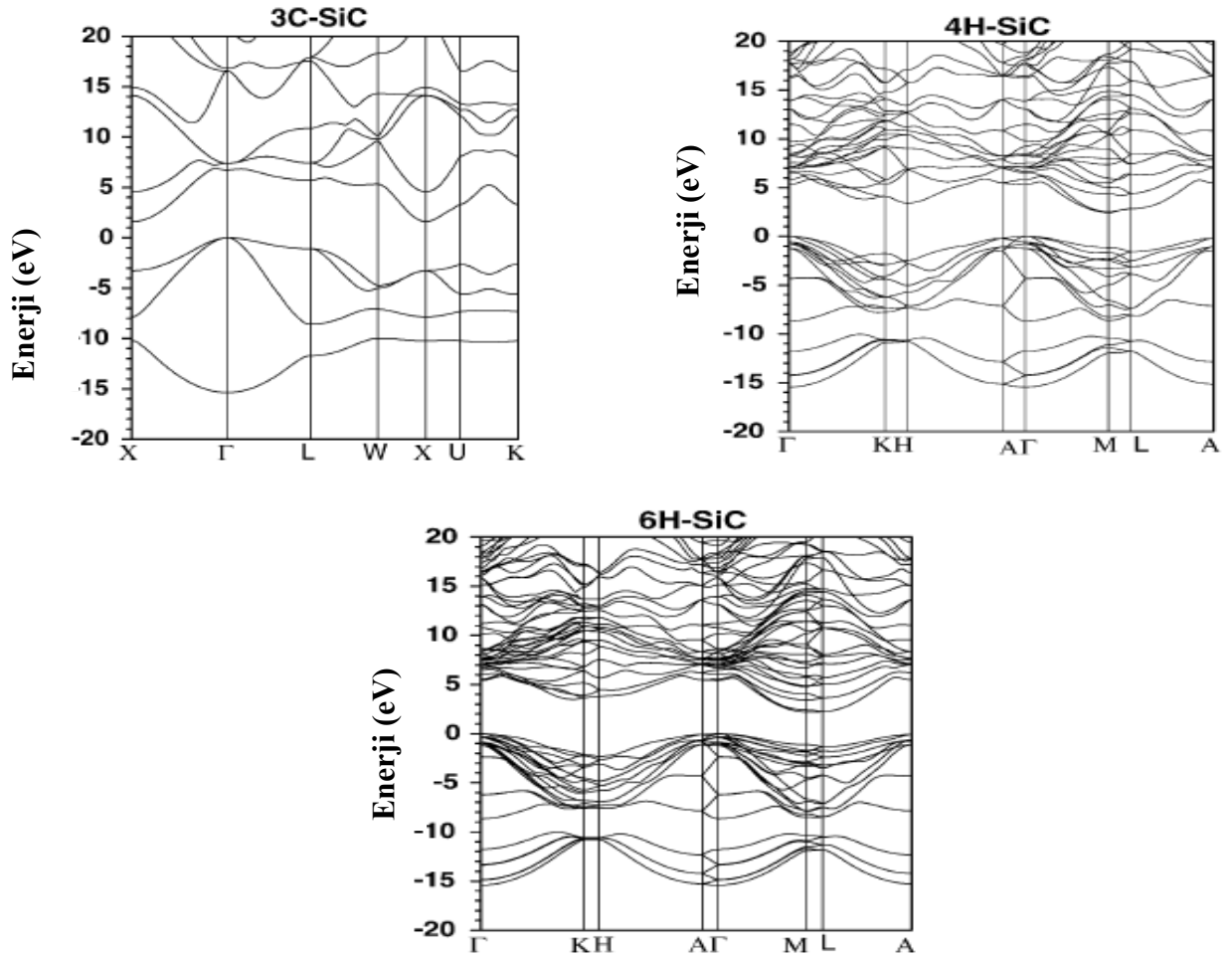
Tablo 3.1 'de çok kullanılan Si ve GaAs' ın yanı sıra GaN ve elmas gibi geniş bant gapli yarıiletkenlerle SiC in en çok kullanılan iki politipinin özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmektedir (Choyke *et al.* 1990; Chow *et al.* 1996; Pensl *et al.* 1990). 3C-SiC, Si altlık üzerine düşük sıcaklıklarda epitaksiyel bir şekilde büyütülebilir, fakat çok kaliteli bulk kristal büyütmek zordur. 4H-SiC diğerlerine göre daha fazla izotropik etkin kütlelerinden dolayı, daha fazla elektron mobilitesine sahiptir ve nerdeyse kristalografik yönelimden bağımsızdır (Schaffer *et al.* 1994). Ayrıca 4H-SiC, 6H-SiC ve 3C-SiC'e nazaran daha geniş yasak enerji aralığına sahip olmasının yanında, n-tipi ve p- tipi özellik nitrojen ve alüminyum elementleri katkılanarak kolaylıkla elde edilebilir ki, bu durum diğer geniş yasak enerji aralıklı yarıiletkenlere kıyasla (özellikle ZnO ve GaN 'da p-tipi elde etmek zordur) nadir görülen bir özelliktir (Kimoto 1995).

Çizelge 3.1. 4H-SiC ve 6H-SiC ‘in önemli parametreleri ile yarı iletken kuşaklarından birer örnek verilen diğer yarı iletkenlerin parametrelerinin karşılaştırılması

Özellikler	Si	GaAs	GaN	3C-SiC	4H-SiC	6H-SiC
Yasak enerji aralığı. (eV) (300K’ de)	1.1	1.4	3.4	2.3	3.2	3.0
Dielektrik sabiti	11.9	13.1	9	9.7	9.7	9,7
Erime noktası (K)	1690	1510	~250 0	~3100 at 35 atm	~3100 at 35 atm	3100 at35 atm
Fiziksel stabilitesi	İyi	Oldukça iyi	İyi	İyi	Süper	Süper
Termal iletkenliği (W/cm-K)	1.5	0.5	1.3	3-5	3-5	3-5
Electron mobilitesi (cm ² /V-s) (300K’ de)	1400	8500	900	800	900	400
hol mobilitesi (cm ² /V-s) (300K’ de)	600	400	250-350	320	120	90
Doyma Elektron hızı (cm/s)	1.0×10^7	2×10^7	2.7×10^7	2.5×10^7	2×10^7	$2. \times 10^7$
Kırılma (breakdown) bölgesi (V/cm)	0.3×10^6	0.4×10^6	5×10^6	1×10^6	3×10^6	$3,5 \times 10^6$

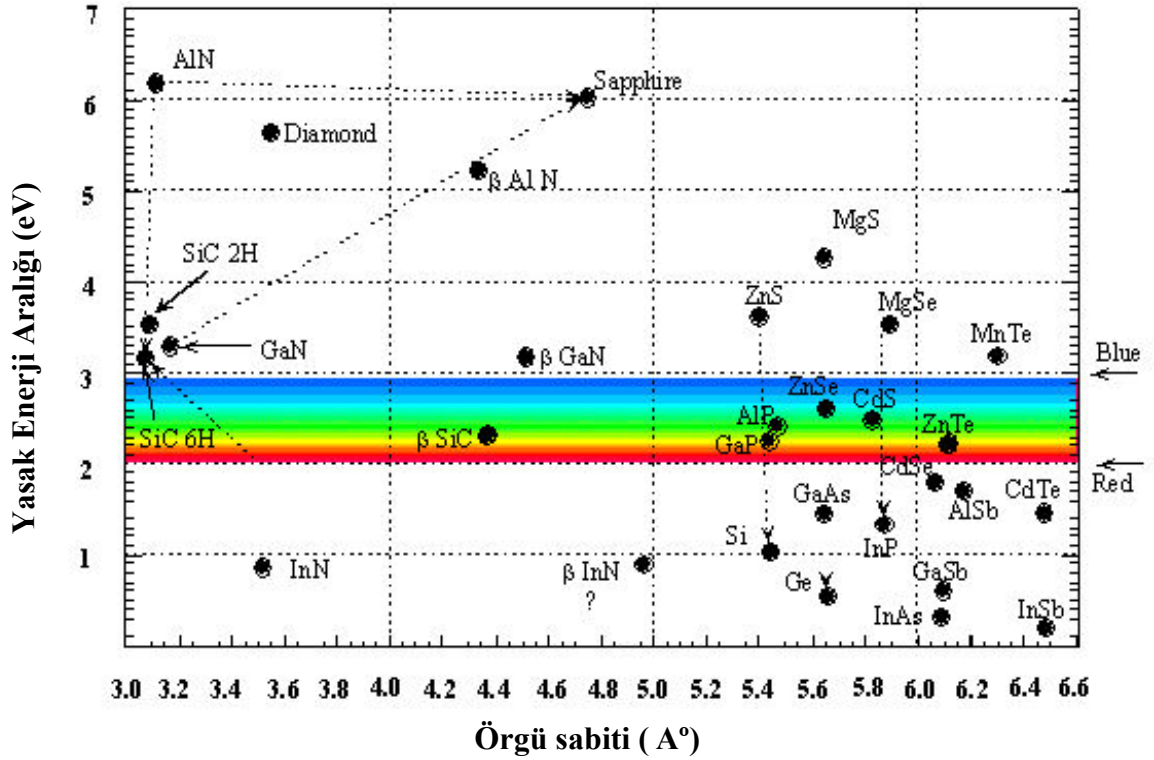
Şekil 3.1' de SiC en çok kullanılan üç poltipinin bant yapısı görülmektedir (Ching *et al.* 2006). Bant yapısı karmaşıklığı arttıkça kristalin kompleksliği de artmaktadır ve her üç politip direkt olmayan yasak enerji aralığına sahiptir. Valans bandının maksimumu her bir yapı için farklı noktalara karşılık gelmektedir. Örneğin 4H-SiC 'de valans bandının maksimumu M noktası iken 6H-SiC 'de M noktası olmayıp yavaşça L'ye doğru kaydığı belirtilmiştir (Cheng *et al.* 1990; Jiang *et al.* 2002; Persson *et al.* 1997) . SiC kullanılan polytype bağlı olarak düşük sıcaklıktaki yasak enerji aralıkları 3C-SiC için 2,303 eV

6H-SiC için 3,01 eV ve 4H-SiC için ise 3,285 eV olarak hesaplanmıştır (Righi *et al.* 2002).



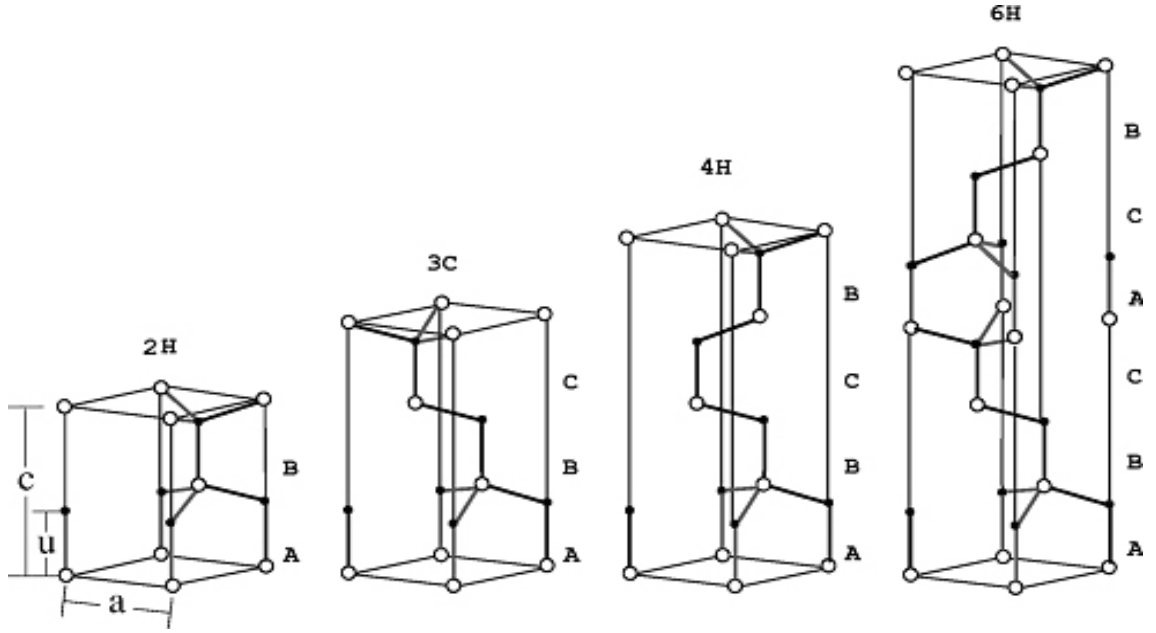
Şekil 3.1. SiC üç politipinin bant yapılarının grafiksel olarak gösterimi (Ching *et al.* 2006).

Şekil 3.2 ' de SiC' in bazı politiplerinin yasak enerji aralıkları ve latis parametreleri, nitritlerin hegzagonal wurtize (α) ve kübik (β) yapısı diğer yarıiletkenlerle birlikte verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi SiC, GaN ile mükemmel örgü (lattice) uyumundan (match) dolayı, III-V nitrat büyütülmesinde kullanılır. SiC ve GaN yalnızca geniş yasak enerji aralığı özellikleriyle bilinmeyip birde küçük örgü sabitleriyle de tanınırlar.

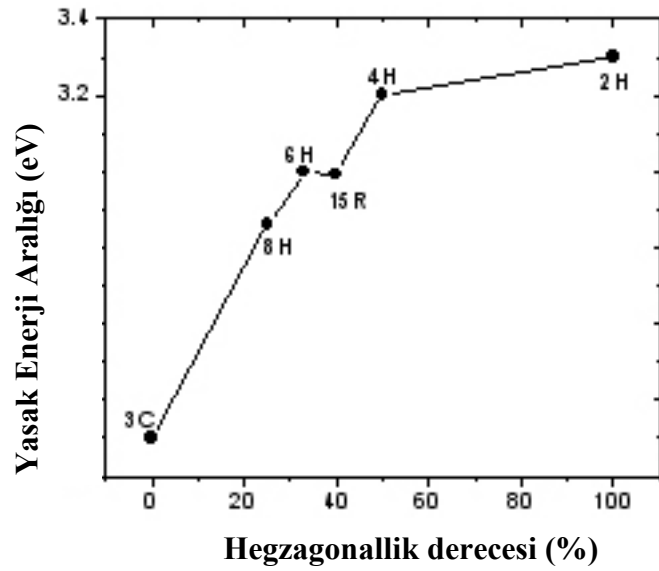


Şekil 3.2 Çeşitli yarı iletkenler için yasak enerji aralığı ve örgü sabitlerinin gösterimi (Doğan *et al.* 2007)

Şekil 3.3'de SiC politiplerinin hegzagonal birim hücreleri verilmiştir. Bir SiC yapısı eğer ABC... şeklinde devam ediyorsa çoğunlukla bu 3C-SiC (β -SiC) olarak kısaltılır. Buradaki 3 yapının periyodikliğini C ise kristalin kübik simetrisini gösterir. Eğer yapı AB...şeklinde devam ediyorsa, saf wurtize yapısı olarak bilinir ve 2H-SiC olarak kısaltılır. Yapı 4H-SiC için ABCB şeklinde olup, eşit kübik ve eşit hegzagonal yapıdan oluşmaktadır. Yani, hegzagonal (h) ve kübik (k) olmak üzere iki eşit olmayan site vardır. Yapı 6H-SiC için ABCACB... olup üçte ikisi kübiktir. Yani, üç tane eşit olmayan site vardır, biri hegzagonal (h), diğer ikisi de kübiktir (k1,k2) (Choyke *et al.* 1962).



Şekil 3.3. SiC'in, 3C, 2H, 4H ve 6H politiplerinin hegzağonal birim hücreleri. AB(2H), ABC(3C), ABCB(4H), ABCACB(6H) ve örgü parametresi c verilmiştir. (Doğan *et al.* 2007)



Şekil 3. 4 SiC politiplerinin yasak enerji aralıkları ve hegzağonallık dereceleri (Doğan *et al.* 2007).

3.3. SiC Kullanım Alanları

SiC'in sadece ve sadece doğal oksiti olan tek bileşik yarıiletken olması SiC'in MOSFET yapımında kullanılmasını sağlar. GaAs ve Si gibi yarıiletkenlere göre yüksek enerjili radyasyona daha dayanıklıdır. Bundan dolayı uzay uygulamalarında ve yüksek enerjili ortamlarda kullanılmasını sağlar. SiC kullanılarak, yüksek güçlerde, yüksek voltajlarda, yüksek frekanslarda ve yüksek sıcaklıklarda çalışan aygıtlar yapılmaktadır. SiC, ultraviyole fotodiyotlar, mavi ışık yayan diyotlar ve SiC'in geniş yasak enerji aralığına sahip olmasından dolayı, yaklaşık 300nm UV ışınlarını detekte eden dedektör diyotların yapımında kullanılmaktadır.

Codreanu *et al.* (2000), 3C-SiC, 6H-SiC ve 4H-SiC 'in MESFET performanslarını karşılaştırmışlar, 4H-SiC' in katkılama konsantrasyonu ve elektron mobilitesi 3C-SiC ve 6H-SiC yarı iletkenine kıyasla daha fazla olduğundan, bununda MESFET lerin yapımında için daha fazla mikrodalga özellik taşıdığı belirtilmiştir. SiC politiplerinin yüksek termal iletkenliğe ve stabiliteye sahip oldukları ve bu özelliklerinden dolayı, yüksek güç gerektiren aygıtların yapımında kullanılmasını sağladığı Tang *et al.* (1992) tarafından belirtilmiştir. SiC 'in kırılma bölgesinin oldukça fazla olduğu, bu özellikten dolayı SiC kaynaklı transistörlerde daha iyi performans, daha iyi lineerlik ve daha düşük yapım maliyeti sağladığı Morvan, *et al.* (2000) ve yüksek doğru akım yoğunluğuna ve yüksek elektronik mobiliteye sahip olduğu Masri (2002) tarafından açıklanmıştır

3.4. Numunelerin Temizlenmesi

Yapılan çalışmada, ticari olarak mevcut olan ve Cree firmasından satın alınan 380 µm kalınlığında n-6HSiC tabakalar (wafer) kullanılmıştır. Elde edilen waferlerin yüzeyinde kimyasal/mekanik parlatma esnasında çizikler olduğundan dolayı, bu çiziklerin uzaklaştırılması için H₂ tavlama işlemi Virginia Commonwealth Üniversitesinde yapılmıştır. Shottky diyot yapmak için ve alınan sonuçların güvenilir olması için öncelikle, kullanılacak numune yüzeyinin organik ve mekanik kirlere arındırılması

amacıyla buharlaştırma yapılmadan önce temizlenmesi gerekir. Temizleme ise aşağıda belirtilen sıralama adım adım takip edilerek yapıldı.

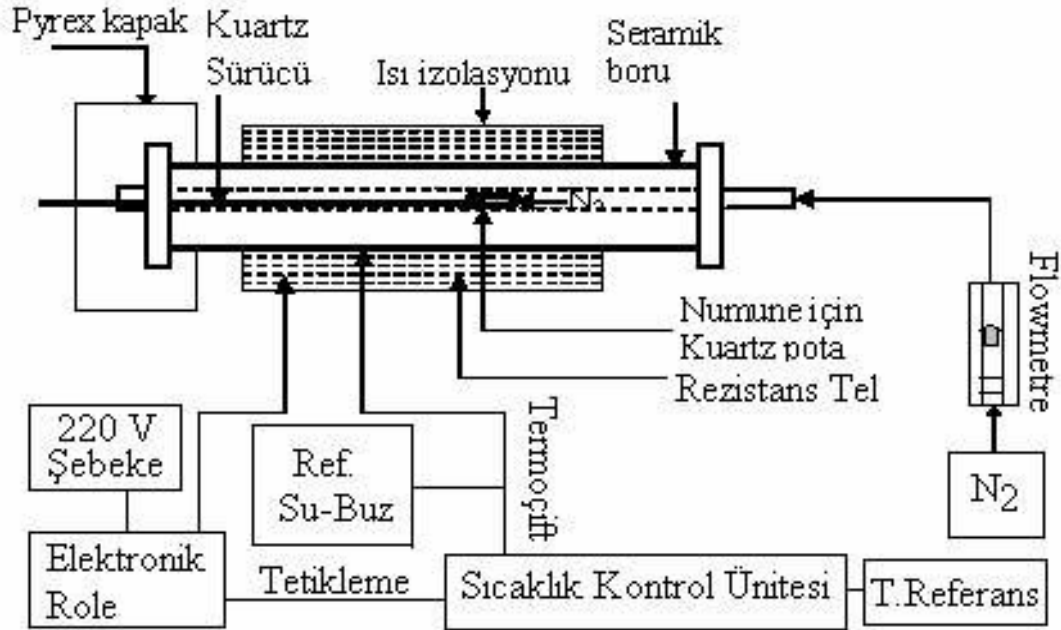
1. Aseton ile 5 dakika ultrasonik banyoda temizlendi.
2. Metanol ile 5 dakika ultrasonik banyoda temizlendi.
3. Deiyonize su ile 5 dakika ultrasonik banyoda yıkandı.
4. $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}(5:1:1)$ 6°C yıkandı.
5. Deiyonize suyla yıkandı.
6. 30 saniye %10 luk HF çözeltisine daldırıldı.
7. Deiyonize suyla yıkandı.
8. 4. adımdan 7. adıma kadar olan işlem sırası iki kez daha tekrarlandı.
9. Eritilmiş KOH çözeltisi içerisinde 10s dağladıktan sonra, yüzeyde KOH kalmayınca kadar deiyonize suyla yıkandı ve N_2 gazıyla kurutuldu.

3.5. Ni/n-tipi 6H-SiC Omik Kontaktların Hazırlanması

İlk aşamada kullanılan numunenin parlatılmamış yüzeyi olan C yüzeyine omik kontak yapılması işlemine geçilmiştir. Buharlaştırmada kullanılacak olan ısıtıcı %10'luk HCl ile etch edildikten sonra deiyonize su ile iyice yıkanmış ve daha sonra kurutularak kaplama ünitesindeki yerine yerleştirilmiştir. Oksitlenme türü kirliliklerden arındırılması için ısıtıcı yakılarak omik kontak yapımı için kullanılan Ni kimyasal olarak temizlendikten sonra ısıtıcı üzerine yerleştirilerek 10^{-5} Torr basınç altında eritilmiş ve daha sonra SiC numunesinin yüzeyine termal olarak buharlaştırılmıştır. Vakum ortamından alınan numune daha önceden sırası ile ultrasonik olarak, aseton, metanol ve deiyonize su ile 5'er dakika yıkanıp ve azot gazı ile kurulan kuartz pota içerisine yerleştirilerek tavlama fırınına konulmuş ve N_2 ortamında 900°C de 10 dakika tavlansmıştır. Tavlama işlemine ait fırın ve kontrol ünitesi şeması Şekil 3.5' de verilmiştir.

Omik kontakta olduğu gibi Schottky kontakta da önemli olan yüzeyin temizleme işlemidir. Omik kontak işleminden hemen sonra numune tekrar vakum ortamına alınmış ve ön yüzeyine 10^{-5} Torr basınç altında Ni buharlaştırılarak 1mm çapında numune

tutucular kullanılarak Schottky diyot yapılmaya çalışılmıştır. Elde edilen Ni/ 6H-SiC diyotları arasında en iyi karakteristiğe sahip olan diyot seçilerek 20K'lık adımlar ile I-V ölçümleri 100 K- 500 K arasında alınmış ve temel diyot parametreleri (idealite faktörü, engel yüksekliği gibi) hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Omik kontak termal işlemi için fırın ve kontrol ünitesi şeması (Gürbulak 1998, Aydoğan 2004)

3.6. I-V Karakteristiği Ölçümü

Sıcaklığa bağlı olarak I-V karakterizasyon işlemi için krysotata uygun numune tutucu yapılmıştır. Çalışılan Ni/n-tipi 6HSiC diyot numune tutucusuna yerleştirerek kapalı devre Leybold kryostat içerisine konulmuş ve uygun bağlantıları yapılarak “Keithley 487 Picometer /voltage Source “cihazı ile I-V karakteristiklerinin sıcaklığa bağlı ölçümleri 100 K’den başlanılarak, 20K’lık adımlarla 500K sıcaklığına kadar alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Giriş

Bu bölümde, yapılan deneysel çalışmalar ve alınan I-V ölçülerinin değerlendirilmesine ait bilgiler bulunmaktadır. Ayrıca metal /n-tipi SiC Schottky diyotların elektriksel karakterizasyonu için gerekli olan diyot parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler de bu bölümde anlatılmaktadır.

4.2. Ni/n-6H SiC Schottky Diyotunda Akım –Gerilim (I-V) Ölçülerinden Diyot Parametrelerinin Hesaplanması

Daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi; bahsedilen değişimlerin elde edilebilmesi için deney düzeneği kurulup, 100K sıcaklığına ulaşıp denge sağlandıktan sonra bu sıcaklık değerinden başlanarak 20K’lik adımlarla 100K’den 500K sıcaklık aralığında akım-voltaj (I-V) ölçüleri alınmıştır. I-V ölçülerinden hareketle diyotun doğru beslem tarafındaki değişiminden idealite faktörü ve engel yüksekliği değerleri hesaplanmıştır. İdealite faktörünü hesaplamak için kullanılan eşitlik;

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

ile verilmektedir. Bu ifadede $eV \gg nkT$ olması durumunda üstel terim yanında 1 ihmal edilebilir. Bu durumda ifadenin yeni hali;

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad (4.2)$$

şeklinde olup, (4.2) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınıp, sonra da V 'ye göre türevi alınırsa idealite faktörü için (4,3) eşitliği elde edilir.

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

$\ln I-V$ grafiği çizildiğinde, doğru beslem kısmındaki lineer bölgeye bir doğru fit edilerek bu doğrunun eğiminden $dV/(\ln I)$ değeri elde edilir. Bulunan bu değerle birlikte e , k ve T değerleri (4.3) ifadesinde yerine yazılarak her bir sıcaklığa karşılık gelen idealite faktörü değerleri hesaplanmıştır. Fit edilen doğrunun $V=0$ 'da düşey eksenini kestiği nokta I_0 doyma akım yoğunluğunu verir. (4.2) eşitliğindeki I_0 doyma akım yoğunluğu,

$$I_0 = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{ap}}{kT}\right) \quad (4.4)$$

eşitliği ile verilmektedir. (4.4) eşitliğinin her iki tarafının tabii logaritması alınıp Φ_{ap} 'ye göre çözümlerse, (4,5) ile verilen engel yüksekliği ifadesi elde edilir.

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

Bu ifadede A , diyotun etkin alanı ($A= (7,854.10^{-3} \text{ cm}^2)$ A^* , Richardson sabiti olup, n -tipi SiC için $156 \text{ Acm}^{-2}\text{K}^{-2}$ dir.

Standard sapma engel homojenliğinin bir ölçüsüdür. Engel yüksekliğinin Gaussian dağılımı aşağıdaki (4,6) eşitliği ile verilir (Song *et al.* 1986; Chand and Kumar 1997).

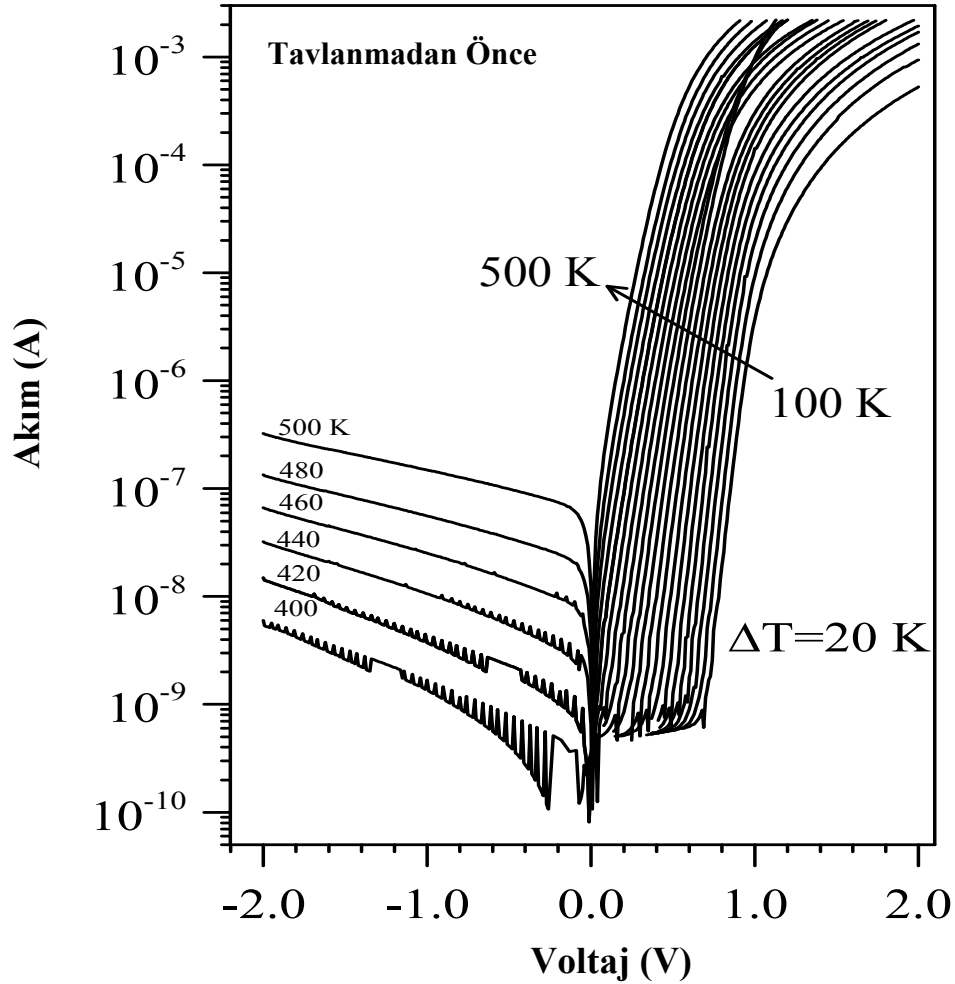
$$\Phi_{ap} = \bar{\Phi}_b - \frac{e\sigma_s^2}{2kT} \quad (4.6)$$

Burada Φ_{ap} , deneysel engel yüksekliğidir. σ_s 'nin sıcaklığa bağımlılığı genellikle küçüktür ve sıcaklıkla değişimi ihmal edilebilir. Modelde sıcaklıkla idealite faktöründe gözlemlenen değişim aşağıdaki eşitlikle verilir (Werner and Güttler 1991).

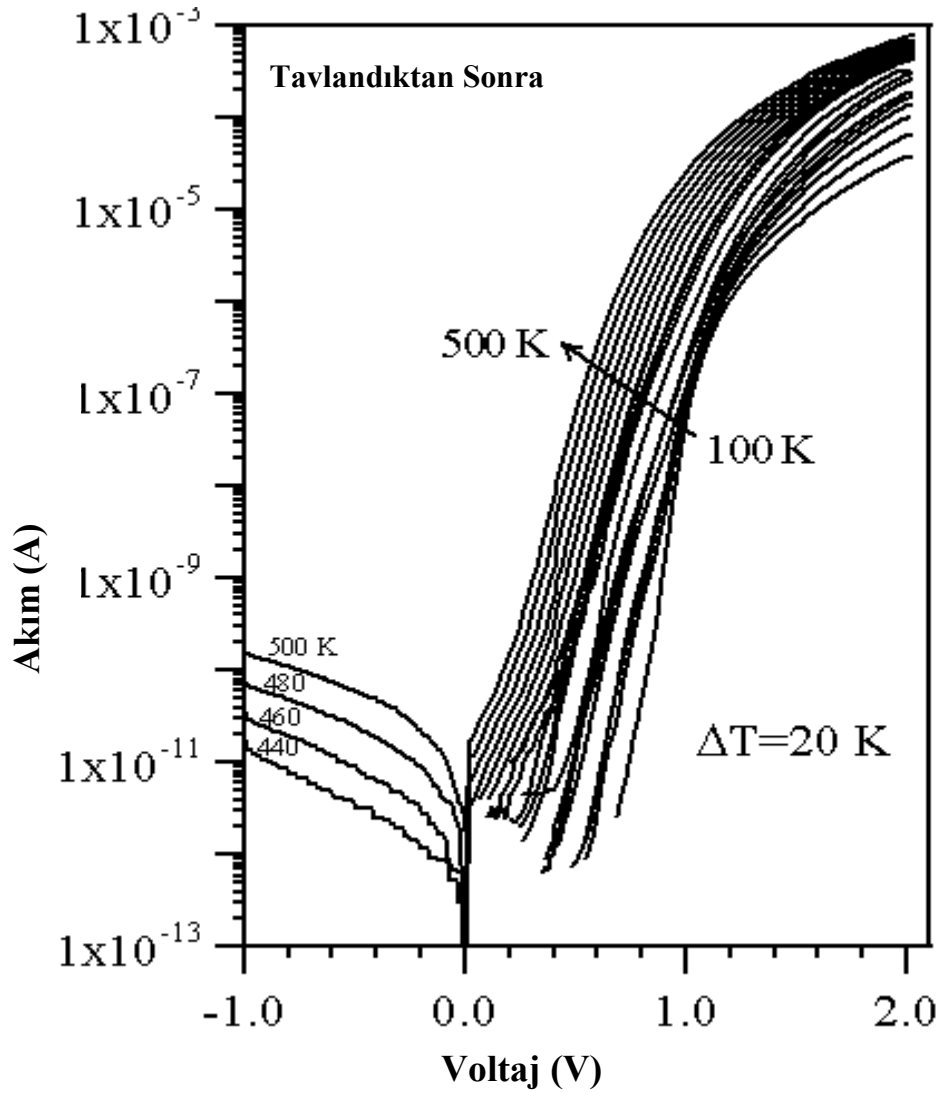
$$\left(\frac{1}{n_{ap}} - 1 \right) = -\rho_2 + \frac{e\rho_3}{2kT}, \quad (4.7)$$

Burada, n_{ap} deneysel olarak hesaplanmış idealite faktörü; ρ_2 ve ρ_3 ise engel yüksekliği dağılımının voltaj deformasyonunu tanımlar.

Sıcaklığa bağlı olarak Ni-n tipi 6H-SiC diyotunun 100-500 K sıcaklık aralığında annealingten önce ve sonra olmak üzere (I - V) grafikleri Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1. Ni/n-tipi 6HSiC diyotuna ait tavlanmadan önce sıcaklığa bağlı (I - V) karakteristikleri



Şekil 4. 2. Ni-n-tipi-6HSiC diyotuna ait tavlandıktan sonra sıcaklığa bağlı (I-V) karakteristikleri.

Şekil 4.2 'de 973 K' de 2dk ısıtıl işlem yapıldıktan sonra Ni-n-tipi 6H-SiC diyotunun I-V grafiği gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde ısıtıl işlem yapıldıktan sonra I-V karakteristiğinde değişiklikler olduğu sızıntı akımının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu da yüksek sıcaklıktaki tavlama işleminin Schottky diyotların ters beslem performanslarını düzelttiğini gösterir. Tavlama yapılan diyotta sızıntı akımı yaklaşık 10^{-12} A mertebesine azalmıştır. Bu azalma hem yüksek sıcaklıkta tavlama yapılan diyotlarda engel yüksekliğinin artışı hem de Ni_2Si durumu hakkında bilgi verir. Bu davranış SiC üzerine yapılan aygıtlar için Schottky engel yüksekliğinin elektriksel özelliğinin kontrolünde oldukça önemlidir.

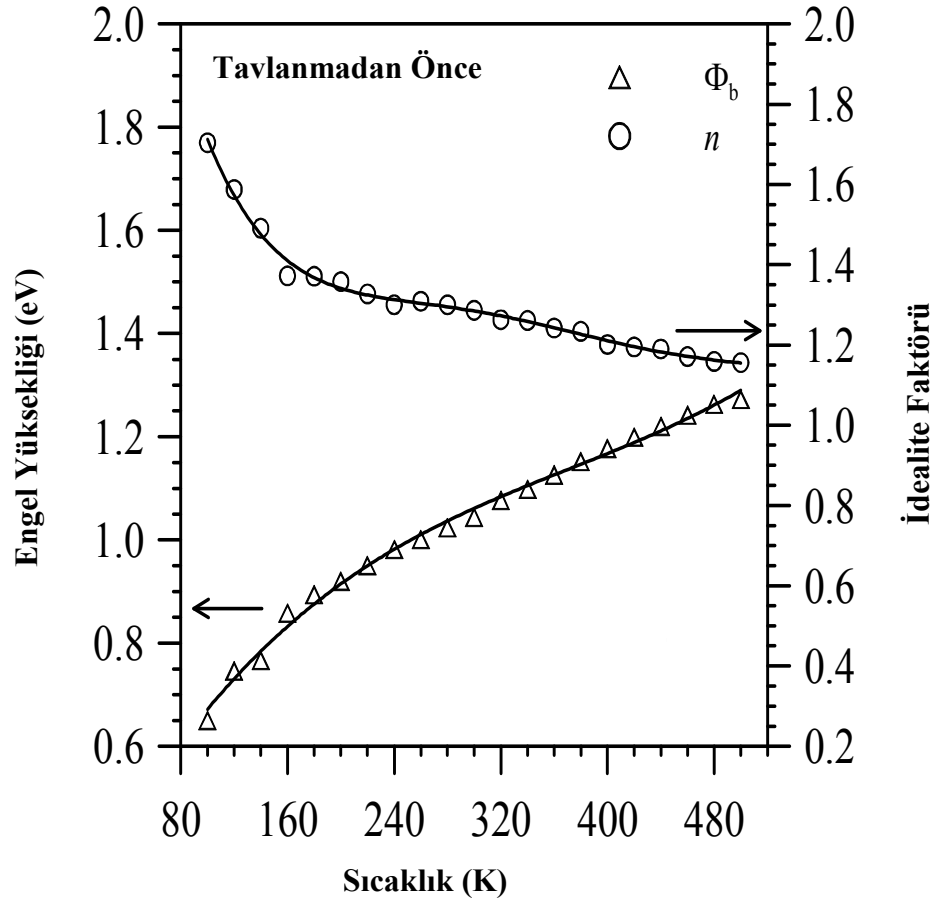
Deneysel olarak doyma akım yoğunluğu, $\ln I$ - V grafiğindeki eğrinin doğru kısmının düşey ekseni kestiği noktadan tespit edilmiştir. (I-V) eğrileri, azalan sıcaklık ile daha yüksek beslem tarafına kaymıştır.

Diyot için her bir sıcaklıkta idealite faktörü (n) ve engel yüksekliğinin (Φ_b) deneysel değerleri, (4.3) ve (4.5) denklemlerine göre, sırasıyla, düz beslem $\ln I$ - V grafiklerinin doğru kısmının eğim ve düşey ekseni kestiği noktanın değerlerinden tayin edilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen idealite faktörleri, engel yükseklikleri ve doyma akımı (I_0) değerleri gibi bazı parametreler Çizelge 4.1 'de verilmiştir. Çizelgelerden de görüldüğü gibi engel yükseklikleri tavlanmadan önce ve sonra olmak üzere 0.65 eV ile 1,7 eV arasında değer almaktadır (Sefaoğlu *et al.* 2008).

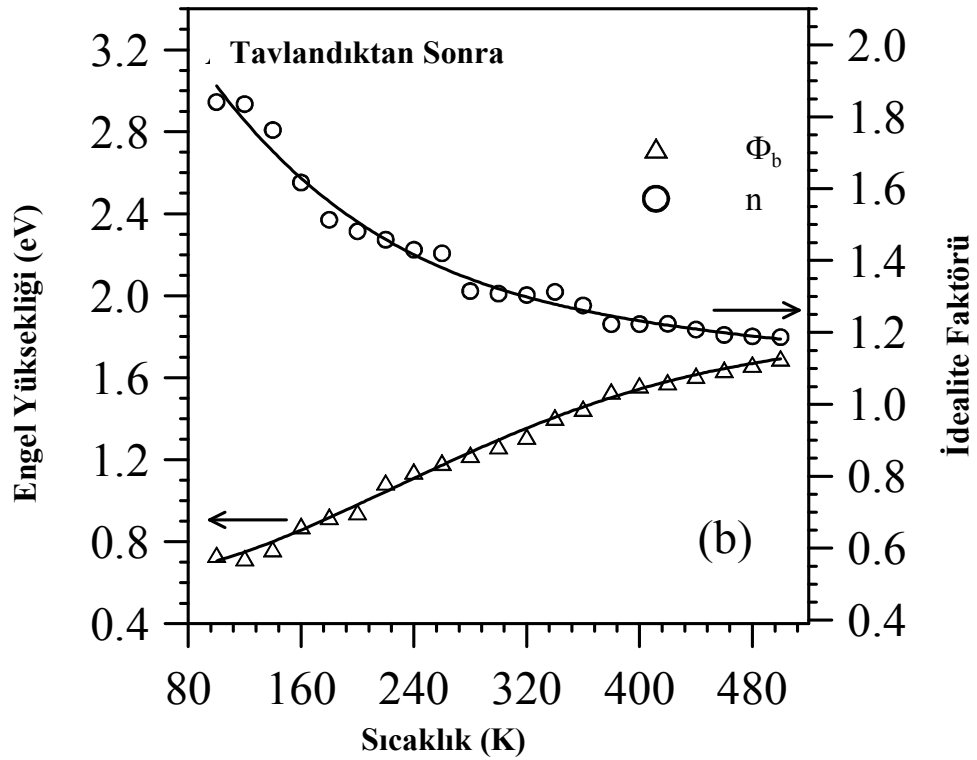
Çizelge 4.1. Ni/n-tipi 6H-SiC diyotuna ait $\ln I-V$ grafiklerinden elde edilen temel diyot parametreleri.

Tavlanmadan önce						Tavlandıktan Sonra				
T(K)	n	Ø _b	(n ⁻¹ -1)	1/(2kT) (eV) ⁻¹	I ₀ (A)	n	Ø _b	(n ⁻¹ -1)	1/(2kT) (eV) ⁻¹	I ₀ (A)
500	1.15	1.27	-0.13	11.59	4,70x10 ⁻⁸	1.15	1.27	-0.13	19.54	2,61x10 ⁻¹²
480	1.15	1.26	-0.13	12.07	1,57x10 ⁻⁸	1.15	1.26	-0.13	20.34	9,7x10 ⁻¹³
460	1.17	1.24	-0.14	12.60	6,62x10 ⁻⁹	1.17	1.24	-0.14	21.14	2,88x10 ⁻¹³
440	1.19	1.22	-0.15	13.17	2,58x10 ⁻⁹	1.19	1.22	-0.15	21.82	8,72x10 ⁻¹⁴
420	1.19	1.19	-0.16	13.80	9,04x10 ⁻¹⁰	1.19	1.19	-0.16	22.55	2,54x10 ⁻¹⁴
400	1.20	1.17	-0.16	14.49	2,98x10 ⁻¹⁰	1.20	1.17	-0.16	23.7	3,98x10 ⁻¹⁵
380	1.23	1.15	-0.18	15.25	9,57x10 ⁻¹¹	1.23	1.15	-0.18	24.95	8,42x10 ⁻¹⁶
360	1.24	1.12	-0.20	16.10	2,81x10 ⁻¹¹	1.24	1.12	-0.20	25.26	8,42x10 ⁻¹⁶
340	1.26	1.09	-0.22	17.05	7,70x10 ⁻¹²	1.26	1.09	-0.22	25.97	2,03x10 ⁻¹⁶
320	1.26	1.07	-0.20	18.11	1,43x10 ⁻¹²	1.26	1.07	-0.20	27.78	2,68x10 ⁻¹⁶
300	1.28	1.04	-0.22	19.32	3,27x10 ⁻¹³	1.28	1.04	-0.22	29.55	6,19x10 ⁻¹⁷
280	1.30	1.02	-0.23	20.70	3,75x10 ⁻¹⁴	1.30	1.02	-0.23	31.5	8,96x10 ⁻¹⁸
260	1.30	1.00	-0.23	22.29	3,45x10 ⁻¹⁵	1.30	1.00	-0.23	31.41	8,52x10 ⁻¹⁹
240	1.30	0.98	-0.23	24.15	1,80x10 ⁻¹⁶	1.30	0.98	-0.23	33.79	7,41x10 ⁻²⁰
220	1.32	0.95	-0.24	26.35	1,05x10 ⁻¹⁷	1.32	0.95	-0.24	40.14	6,79x10 ⁻²¹
200	1.35	0.91	-0.26	28.98	3,3x10 ⁻¹⁹	1.35	0.91	-0.26	39.14	8,05x10 ⁻²⁰
180	1.37	0.89	-0.27	32.20	3,89x10 ⁻²¹	1.37	0.89	-0.27	42.57	6,14x10 ⁻²²
160	1.37	0.85	-0.27	36.23	3,09x10 ⁻²³	1.37	0.85	-0.27	44.82	7,57x10 ⁻²⁴
140	1.49	0.76	-0.37	41.40	6,44x10 ⁻²⁴	1.49	0.76	-0.37	46.98	7,87x10 ⁻²⁴
120	1.58	0.74	-0.37	48.30	8,67x10 ⁻²⁸	1.58	0.74	-0.37	52.66	1,02x10 ⁻²⁶
100	1.70	0.65	-0.45	57.97	1,40x10 ⁻²⁹	1.70	0.65	-0.37	62.98	9,78x10 ⁻²⁸

Ni/n-SiC/Ni schottky diyodunun tavlama öncesi ve sonraki I-V ölçümlerinden hesaplanan engel yüksekliğinin ve idealite faktörünün sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.



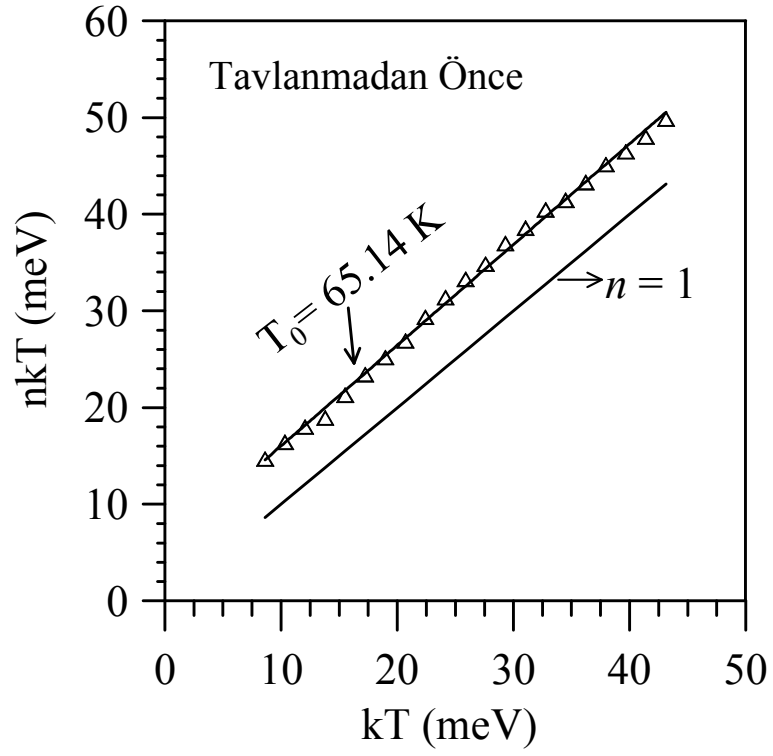
Şekil 4.3. Ni-n-tipi 6H SiC Schottky diyot için tavlama öncesi idealite faktörünün ve engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişimi.



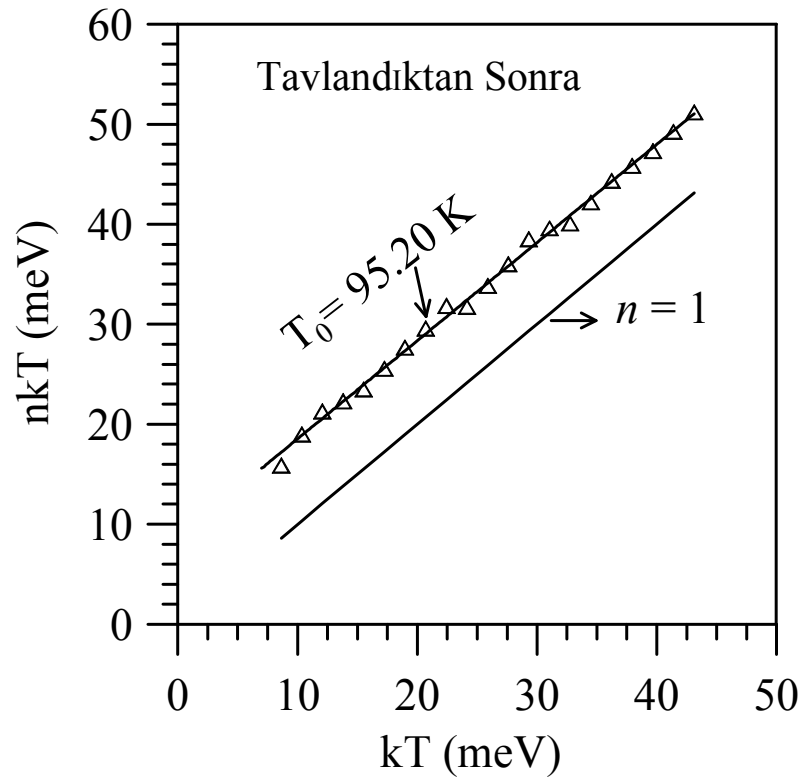
Şekil 4.4. Ni-n tipi 6H SiC schottky diyot için tavlandıktan sonra idealite faktörünün ve engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişimi.

Şekil 4.3. ve Şekil 4.4 deki grafiklere göre artan sıcaklıkla Φ_b engel yüksekliği değerleri artıyorken, idealite faktörü değerleri azalmaktadır. Tavlama öncesi diyot için alınan I-V ölçümlerinde sıcaklığın 100K' den 500K'e kadar artmasıyla idealite faktörünün 1,70'den 1,16'a azaldığı, engel yüksekliğinin ise artan sıcaklıkla 0,65 eV'dan 1,27 eV'a kadar arttığı, tavlama yapılan diyotlarda ise n idealite faktörünün 1,84 'den 1,19 'a azaldığı ve engel yüksekliğinin 0,74 eV'dan 1,70 eV' a kadar arttığı gözlenmiştir (Sefaoğlu *et al.* 2008).

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6, Ni-SiC/Ni Schottky diyot için tavlamadan önce ve sonra $nkT - kT$ değişimlerini göstermektedir. Her iki şekilde de $n=1$ olan ideal davranış durumları da çizilmiştir. Tavlama yapılan diyot için, sıcaklıktan bağımsız olan, eğimden elde edilen ve idealite faktörünün azalan sıcaklıkla artması etkisi olarak bilinen T_0 'ın değeri daha yüksek olup, buda n idealite faktörünün fabrikasyon yapılan diyotlarda daha fazla sıcaklığa bağlı olduğunu göstermektedir.

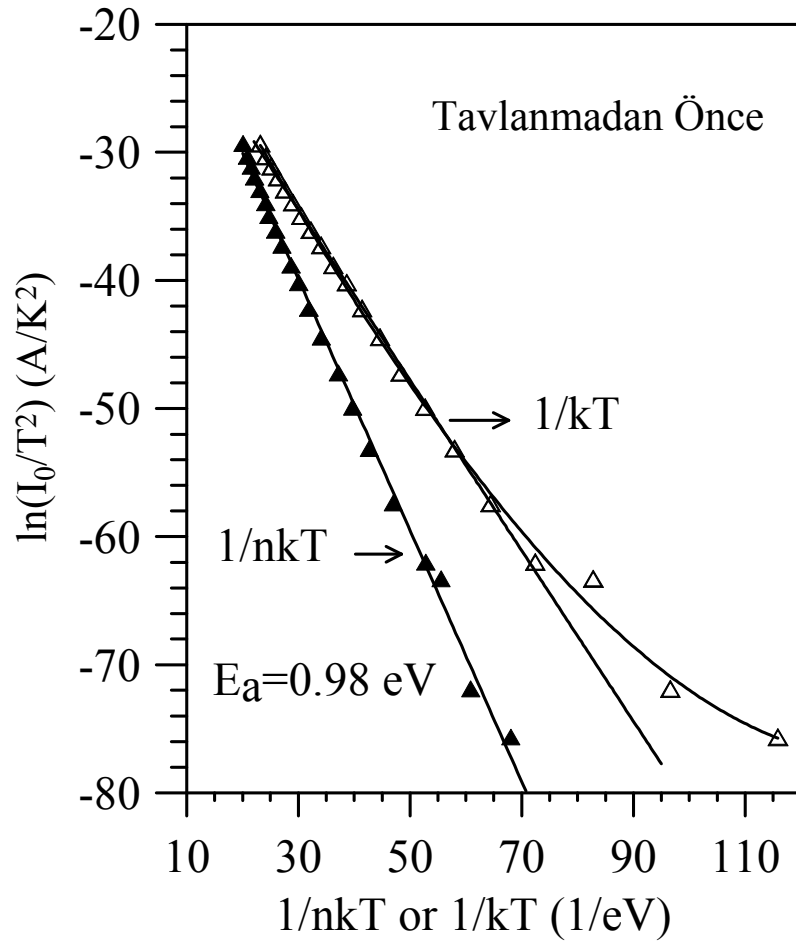


Şekil 4.5. Ni-SiC/Ni Schottky diyot için tavlamadan önce nkT - kT değişimi.

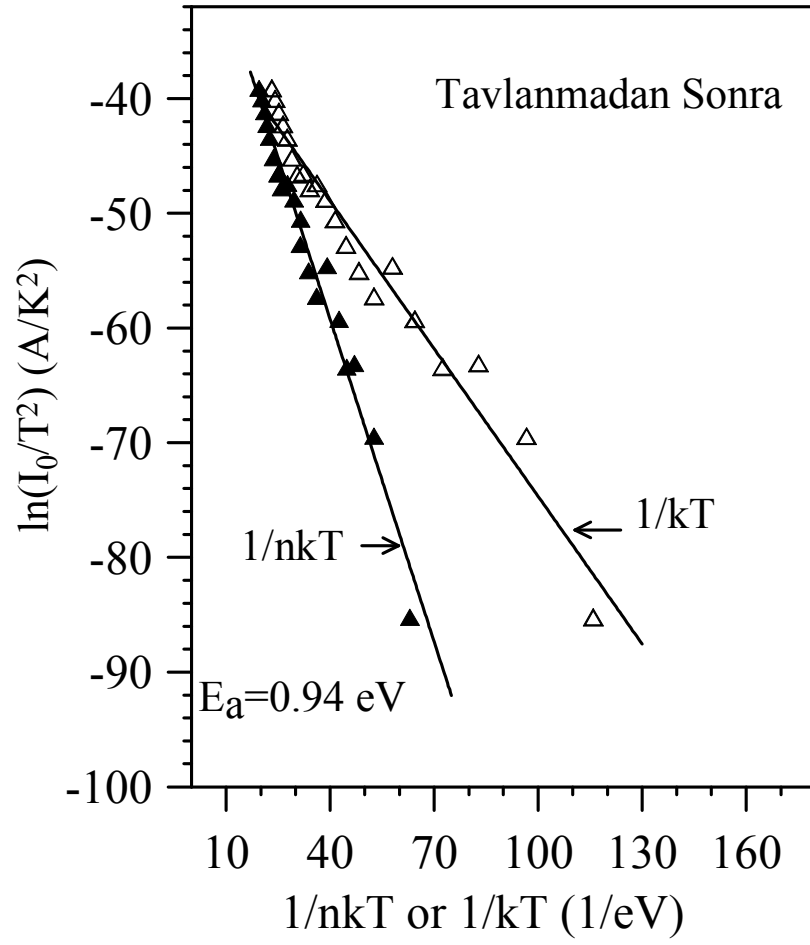


Şekil 4.6. Ni-SiC/Ni Schottky diyot için tavlandıktan sonra nkT - kT değişimi.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’ de (4.4) eşitliğine göre aktivasyon enerjisinin hesaplanması için çizilen sıcaklığa bağlı $\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - 1/nkT$ grafikleri sırasıyla tavlanmadan önce ve tavlandıktan sonraki diyot için verilmiştir. Doyma akım yoğunluğu olan I_0 değeri, $V=0$ daki akım değeri olarak tanımlanabilir. Engel yüksekliğinin değerlendirilmesi için doyma akım yoğunluğunun Richardson grafiği kullanılarak, bu grafiklerin lineer kısmın eğiminden tavlama yapılmadan önce aktivasyon enerjisi 0,94eV olup tavlama yapıldıktan sonra ise



Şekil 4.7. Tavlanmadan önceki Ni-n tipi 6H SiC’in Schottky diyot için $\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - 1/nkT$ Richardson grafiği.



Şekil 4.8. Tavlanmadan sonraki Ni-n tipi 6H SiC'in Schottky diyet için $\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right)$ - $1/nkT$ Richardson grafiği.

0,98eV' luk aktivasyon enerjisi elde edilmiştir. Tavlama yapılan diyet için n idealite faktörünün farklı olmasından dolayı eğimde azalma olup aktivasyon enerjisinde de azalma görülmektedir (Sefaoğlu *et al.* 2008).

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Metal-yarıiletken kontaklar hemen hemen bütün yarıiletken elektronik ve optoelektronik cihazların önemli bir kısmını teşkil ederler. Bu metal- yarı iletken kontakların en önemli özelliklerinden biri Schottky engel (bariyer) yüksekliğidir. Metal yarıiletken kontaklar ile ilgili araştırmalar, özellikle bunların akım iletim mekanizmaları ve engel oluşumu fiziğinin daha iyi anlaşılması bakımından önemlidir.

Schottky modeline göre, Schottky diyotların engel yükseklikleri metalin iş fonksiyonuna oldukça bağlıdır (Sze 1981). Schottky engel yüksekliğinin belirlenmesinde yüzey hallerinin etkisini ilk defa Bardeen (1947) belirtmiştir. Schottky kontaklarda ara yüzey hallerinin ilk belirlemeleri, metal iş fonksiyonunun bir fonksiyonu olarak değişik metallerle engel yüksekliğinin analiz edilmesiyle deneysel olarak Cowley ve Sze tarafından yapıldı (Cowley and Sze 1965).

Metal yarıiletken ara yüzeyi boyunca akım iletimi sıcaklığa bağlı bir işlem olduğundan düşük sıcaklıklarda elektronlar daha düşük engelleri aşabilirler ve bu yüzden akım daha düşük Schottky engel yükseklikli kısımlardan geçen akımlarla belirlenir. Bu durum büyük idealite faktörüne sebep olur. Sıcaklık arttığında daha fazla elektron yüksek Schottky engellerini aşmak için yeterli enerjiye sahip olur. Bunun sonucu olarak ta engel yüksekliği, sıcaklıkla ve beslem voltajıyla artarken idealite faktörü azalacaktır (Sullivan *et al.* 1991; Tung 1992).

Bu çalışmada, SiC'e uygun kontaklar yapılarak Ni/n-tipi 6H-SiC Schottky diyotların fabrikasyonu yapılarak, en iyi I-V karakteristiği gösteren diyotun karakteristik parametrelerini hesaplanıp, idealite faktörü ile engel yüksekliği arasındaki ilişki araştırılmıştır. Her bir diyot için çizilen I-V grafikleri fabrikasyon ve tavlama yapılan diyotlar için ayrı ayrı olarak Şekil 4.1 ve şekil 4.2 'de verilmiştir. Ni/n-tipi 6HSiC diyotlarına ait idealite faktörü değerleri hesaplanarak sıcaklıkla değişimleri tavlama öncesi ve sonraki durumlar için Şekil 4.3 ve Şekil 4.4. 'de verilerek, daha detaylı görülebilmeleri açısından bu değerler çizelge 4,1 'de verildi. Çizelge 4.1 'den görüldüğü gibi idealite faktörü tavlama yapılmadan önce 1.7 ile 1.16 arasında değerler alırken,

tavlama yapılan diyotlar için ise 1.84 ile 1.19 arasında değişmektedir. Bir diyotun idealite faktörü onun ideale ne kadar yakın olduğunu gösteren bir parametredir. İdealite faktörü 1 değerine yaklaştıkça ($n=1$), diyodun o derece ideallığa yaklaştığı ve idealite faktörü 1'den uzaklaştıkça diyotunda ideallikten uzaklaştığı şeklinde yorumlanabilir. Bu faktör $n=1.10$ değerinden küçük ise diyot yaklaşık olarak idealdir denilir. Bu durumda yüksek sıcaklıklara gidildikçe diyodun ideale yaklaştığı sonucu çıkarılabilir. Yine Çizelge 4.1'de görüleceği üzere, engel yüksekliği değerleri tavlamanmadan önce 0.65 eV ile 1.27 eV arasında, tavlandıktan sonra ise 0.74 eV ile 1.70 eV arasında değişmektedir. Şekil 4.3 ve şekil 4.4. 'den görüleceği gibi deneysel etkin engel yükseklikleri ile Schottky kontakların idealite faktörleri arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Yani, idealite faktörleri artarken engel yükseklikleri azalmaktadır. Bu durum Schottky diyotlarda engel yüksekliklerinin yanal inhomojenliklerine atfedilebilir. (Tung, 2001; Sullivan, *et al.* 1991; Kampen and Mönch 1995; Mönch, 1998; Schmitsdorf *et al.* 1997; Mönch 1999, Nuhoglu, *et al.* 2003).

Ni-SiC/Ni Schottky diyot için tavlamadan önce ve sonra nkT - kT değişimlerinden elde edilen T_0 'ın değerinin tavlama yapılan diyotta daha yüksek olup, buda n idealite faktörünün fabrikasyon yapılan diyotlarda daha fazla sıcaklığa bağlı olduğunu, $\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - 1/nkT$ grafiklerinin lineer kısmın eğiminden tavlama yapılmadan önce aktivasyon enerjisi 0,94 eV olup tavlama yapıldıktan sonra ise 0,98 eV 'luk aktivasyon enerjisi elde edildiği, tavlama yapılan diyot için n idealite faktörünün farklı olmasından dolayı eğimde azalma olup aktivasyon enerjisinde de azalma görüldüğü gözlenmiştir (Sefaoğlu *et al.* 2008).

Sonuç olarak tavlamadan önce ve 973 K'de 2 dk tavlama yapılan Ni/n- tipi 6H-SiC akım voltaj (I-V) karakteristikleri 100-500 K aralığında ölçülerek, Schottky engel diyotların I-V karakteristikleri termoiyonik emisyon teorisi esas alınarak hesaplanmıştır. Artan sıcaklıkla Φ_b artıyorken n idealite faktörü artan sıcaklıkla azalmıştır. n 'nin ve Φ_b 'nin sıcaklığa bağımlılığı inhomojenliğin varlığını göstermektedir. Hem doğru hemde ters beslem akımının 973K' de 2 dk tavlama yapılmasıyla engel yüksekliğinin

artmasına neden olduğu, elde edilen I-V ölçümlerine göre engel yüksekliğinin tavlamadan önce 0,65 eV ile 1,27 eV arasında, tavlamadan sonra ise 0.74 eV ile 1,70 eV arasında değiştiği, idealite faktörünün tavlamanmadan önce için 1,7 ile 1.16 tavlama yapılan diyotlar için ise 1,84 ile 1,19 arasında değiştiği elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aboelfotoh, M. O., 2003. Schottky-barrier behavior of metals on n- and p-type 6H-SiC Physical Review B 67, 075312.
- Aydoğan Ş., doktora tezi, 2004. A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- Biber, M., 2003. Low temperature current voltage characteristics of MIS Cu/n-GaAs Schottky diodes. Physica B, 325, 138.
- Bourenane, K., Keffous, A., Nezzal, G., 2007. Electrical properties of Schottky diode Pt/SiC and Pt/porous SiC performed on highly resistive p-type 6H-SiC. Vacuum, 81, 663.
- Brillson, L. J., 1983. Advances in understanding metal-semiconductor interfaces by surface science techniques. Journal of physics and chemistry of Solids, 44(8), 703.
- Calcagno, L., Ruggiero, A., 2005. Effects of annealing temperature on the degree of inhomogeneity of nickel-silicide/SiC Schottky barrier. J. Appl. Phys 98, 023713.
- Chand, S., and Kumar, J., 1997, Electron transport and barrier in homogeneities in palladium silicide Schottky diodes. Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process., 65(4-5), 497.
- Chand, S., and Kumar, J., 1995. Current-voltage characteristics and barrier parameters of Pd₂Si/P-Si(111) schottky diodes in a wide temperature-range Semicond. Sci. Technol., 10(12), 1680.
- Cheng, C., Heine, V., Needs, R.J., 1990 J. Phys. Condens. Matter 2, 5115.
- Ching, W.Y., Xu, Y.N., Rulis, P., Ouyang, L., 2006. The electronic properties of 3C, 4H, 2H, 15R and 21R polymorphs of SiC, Mater. Sci. and Eng. A 422, 147.
- Chow, T.P. and Ghezzi, M., 1996. Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 423, 9.
- Choyke, W. J. and Patrick L. 1962. Phys. Rev. 127, 1868.
- Choyke, W. J., Feng Z.C., and Powell, J. A., 1988. J. Appl. Phys. 64, 3163.
- Codreanu, C., Avram, M., Carbunescu, E., Iliescu, E., 2000. Comparison of 3C-SiC, 6H-SiC and 4H-SiC Mesfets performances. Materials Science in Semiconductor Processing, 137, 142.
- Crofton, J., Beyer, L., Williams, J.R., Luckowski, E. D., Mohny, S.E., and Deluca, J. M. 1997b. Solid State Electron., 41, 1725.
- Crofton, J., Porter, L. M., and Williams, J. R. 1997a. Phys. Stat. Sol. (B), 202, 581.
- Crowell, C. R., and Sze, S. M., 1965. Electron-optical-phonon scattering in the emitter and collector barriers of semiconductor structures. Solid state Electron. 8, 979.
- Dimitriev, V.A., Irvine, K., Spencer, M., and Kelner, K. 1994b. Appl. Phys. Lett., 64, 318.
- Dobrocka, E., and Osvald, J., 1994. Influence of barrier height distribution on the parameters of schottky diodes. Appl. Phys. Lett., 65(8), 575.
- Doğan, S., Teke, A., Morkoç, H., 2007. III-V Nitrides and Silicon Carbide as Optoelectronic Materials. Handbook of Photonics, Second Edition. 4.1-10
- Elasser, A., Kheraluwala, M. H., Ghezzi, M., Steigerward, R.L., Evers, N. A., Kretchmer, J., and Chow, T. P. 2003. Transac. Industry Appl., 39, 915.

- Gürbulak, B., Yıldırım, M., Abay, B., Tüzemen, S., Alieva, M. and Yoğurtçu, Y. K., 1998. Growth and optical properties of Ho doped n-type indium selenide. *Phys. Stat. Sol. A*, 168, 495-500.
- Ha, J. H., Kim, Y. K., Park, S. H., Kang, S. M., 2007. Fabrication and characteristics of bulk semi-insulating 6H-SiC semiconductor detector for an a radiation at room temperature. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 579, 141.
- Horwarth, Zs. J., 1996. Comment on analysis of I-V measurements on CrSi₂-Si Schottky structures in a wide temperature. *Solid State. Electron.*, 39, 176.
- Hsu, J. W. P., Manfra, M. J., Lang, D. V., Richter, S., Chu, S. N. G., Sergent, A. M., Kleiman, R. N., Pfeiffer L. N, and Molnar R. J., 2001. Inhomogeneous spatial distribution of reverse bias leakage in GaN Schottky diodes, *Appl. Phys. Lett.* 78, 1685.
- Järrendahl, K., and Davis, R. F., 1998. *Semiconductor and Semimetals* Academic Press; Vol 52
- Jiang, Z., X. Xu., Wu, X H., Zhang, F., Jin, Z., 2002 *Solid State Commun.* 123, 263.
- Kampen, T. U, Mönch, W., 1995. Lead contacts on Si(111):H-1*1 *Surface Science*, 331-33, 490.
- Kimoto T., dissertation, Kyoto University, Kyoto (1995)
- Lee, S. K., Zetterling, C.M., Östling, M., Palmquist, J. P., and Jansson, U., 2002 *Microelectron. Eng.*, 60, 261.
- Lee, S.K., Zetterling, C.M., Östling, M. 2000. *J. Appl. Phys.*, 87, 8039.
- Levinshtein, M.E., Rumyantsev, S.L., and Shur, M.S., 2001, *Properties of Advanced Semiconductor Materials: GaN, AlN, InN, BN, SiC, SiGe*. John Wiley & Sons
- Lu, W., Mitchel, W.C., Landis. G.R., T.R. Crenshaw T.R., Eugene Collins, W., 2003. Ohmic contact properties of Ni/C film on 4H-SiC *Solid-State Electronics* 47, 2001
- Magafas, L., Bandekas, D., Boglou, A.K., Anagnostopoloulos, A.N., 2007. Electrical properties of annealed a-SiC :H thin films. *Journal of Non- Crystalline Solids* 353, 1065.
- Masri, P., 2002. Silicon carbide and silicon carbide-based structures The physics of epitaxy. *Surface Science Reports* 48, 1–51.
- Moore, W.J., Lin-Chung, P.J., Freitas Jr, J.A., Altaiskii, Y.M., Zuev, V.L., Ivanova, L.M., 1993. *Phys. Rev.* 48, 12289.
- Morkoç, H., Strite, S., Gao, G. B., Lin, B. M., E., Sverdlov, B., and Burns, M.J. 1994 *Appl. Phys.*, 76, 1363.
- Moscatelli, F., Scorzoni, A., Poggi, A., Cardinalli, G. C., and Nipoti, R. 2003. *Semicond. Sci. Technol.*, 18, 554.
- Mönch, W., 1998. Valance-bant Offsets and Schottky barrier Heights of Latered Semiconductors Explained by Interface- induced Gap States. *Appl. Phys. Lett.*, 72, 1899
- Mönch, W., 1999. 125 years metal-semiconductor contacts: Where do we stand? *advances in Solid State Physics*, 39, 1.
- Murakami, M. 1990. *Mater. Sci. Rep.*, 5, 273.

- Nuhoğlu, Ç., Aydoğan Ş. And Türüt, A., 2003. The barrier height inhomogeneity in identically prepared Pb/p-type Si Schottky barrier diodes . *Semicond.Sci. Technol.*, 18, 1-5.
- Ohtsuka, K., Matsuno, Y., Kuroda, K., Sugimoto, H., Tarui, Y., Imaizumi, M., Takami, T., 2006. Leakage current in Ti/4H-SiC Schottky barrier diode. *Physica B* 376–377, 370.
- Osvald, J., and Horvarth , Z. J., 2004. Theoretical study of the temperature dependence of electrical characteristic of schottky diodes with an inverse near-surface layer. *Appl. Surf. Sci.*, 234(1-4), 349.
- Park, Y.S., 1998. *SiC Materials and Devices, Semiconductors and Semimetals*. 52, Academic Press, San Diego.
- Pensl, G., and Helbig, R., in *Festkörperprobleme*, 1990. edited by U. Rössler, Fried. View & Sohn, Braunschweig, 30, p.133,
- Persson C., and Lindefelt U., 1997 *J. Appl. Phys.* 87, 5496.
- Pirri, C., Ferrero, S., Scaltrito, L., Perrone, D., Guastella, S., Furno, M., Richier, G., Merlin, L., 2006. Intrinsic 4H-SiC parameters study by temperature behaviour analysis of Schottky diodes. *Microelectron. Eng.*, 83, 86.
- Rhoderick, E.H and Williams , R.H. ,1988. *Metal- Semiconductor Contacts*, 2nd ed. (Clerendon , Oxford), 1, 225.
- Righi, M. C., Pignedoli, C.A., Borghi, G., Di Felice, R., and Bertoni, C. M. 2002. *Phys. Rev.*, 66, 045320.
- Roccaforte F., La Via, F., Raineri, V., 2003b. Richardson 's constant in inhomogeneous silicon carbide Schottky contacts. *J. Apply. Phys.* volume 93, number 11
- Roccaforte, F., La Via, F., Baeri, A., Raineri, V., Calcagno, L., Mangano, F., 2004 Structural and electrical properties of Ni/Ti Schottky contacts on silicon carbide upon thermal annealing. *J. Appl. Phys.*, 96, 4313 .
- Roccaforte, F., La Via, F., Di Franco, S., Raineri, V., 2003a. Dual metal SiC Schottky rectifiers with low power dissipation. *Microelectronic Engineering* 70, 524-528
- Rottner, K., Frischholz, M., Myrteit, T., Mou, D., Nordgen, K., Henry, A., Hallin, C., Gustafsson, U and Schöner, A., 1999. *Mater. Sci. Technol.*, B, 61-62, 330.
- Rui Wang, S., Li Liu, Z., 2002. Studies of 6H-SiC devices . *Current Applied Physics*, 2, 393.
- Sağlam, M., 1991. Atatürk Üniversitesi , Fen bilimleri Enstitüsü ,Yüksek Lisans Tezi, (yayınlanmamış)
- Schaffer, W. J., Negley, G. H., Irvin, G., and Palmour, J.W., 1994 in *Diamond, SiC and Nitride Wide Bandgap Semiconductors*, edited by C. H. Carter, Jr., G. Gildenblat, S. Nakamura, and R. J. Nemanich, MRS Symposia Proceedings No.339, P.595, Materials Research Society, Pittsburgh.
- Schmidsdorf, R.F., Kampen, T.U., Mönch, W., 1995. Correlation between barrier height and interface structure of Ag/Si(111) schottky diodes. *Surface Science*, 324, 249-256.
- Sefaoğlu, A., Duman, S., Doğan, S., Gürbulak, B., Tüzemen, S., and Türüt, A., 2008. The effects of the temperature and annealing on current –voltage characteristics of Ni/n- type 6H-SiC Schottky diode. *Microelectronic Engineering*. 631-635.
- Sochacki, M., Kolendo, A., Szmidt, J., Werbowy, A., 2005. Properties of Pt/4H-SiC Schottky diodes with interfacial layer at elevated temperatures. *Solid-State Electronics*, 49 , 585.

- Song, Y. P., Van Meirhaeghe, R. L., Lafl'ere, W. H, and Cardon, F., 1986. On the current- voltage- temperature measurements on Al/InP Schottky barriers. Solid state difference in apparent barrier height as obtained from capacitance – voltage and electron. 29(6),633-638
- Strel'chuk, A. M., Rastegaeva M. G.,1997. Characterization Shottky barriers occurring at the metal-GH-SiC contact based on results of studies of current-voltage characteristics. Materials Science and Engineering B46 ,379.
- Sullivan, J. P., Tung, R. T., Pinto, M. R., Graham, W. R., 1991. Electron tansport of inhomogeneous Schottky barier: A numerical study. J.Appl. Phys. 70, 7403.
- Sze, S. M., 1981. Physics of Semiconductor Devices 2nd Edn. John Wiley and Sons. Inc., New York
- Tang, L., Mehregany,M., Matus, L.G., 1992. Appl. Phys. Lett. 60, 2992.
- Tonel, K., Zhao1, J.H., Weiner, M., Pan, M.,2001. 4H–SiC junction-barrier Schottky diodes with high forward current densities . Semicond. Sci. Technol. 16 ,594.
- Tung R.T., 2001. Recent advances in shottky bariyer concepts. Mater. Sci. Eng., 353, 1-138.
- Tung, R. T.,1992. electron tansport of in homogeneous Schottky barriers. J. Appl. Phys. Lett., 58, 2821-23
- Vassilevski, K.V., Nikitina, I.P., Wright,N.G., Horsfall, A.B., O'Neill, A.G., Johnson,C.M., 2006. Device processing and characterisation of high temperature silicon carbide Schottky diodes. Microelectron. Eng. 83, 150.
- Weitzel, C. S., Palmour, J.W., Carter, C. H., Moore, K., Carter, K. J. Proc. Int. Symp. Power Semiconductor Devices and ICs, p.25-32, 1997.
- Werner, J. H., and Gütter, H.H., 1991. Bariyer inhomogeneties at schottky contacts, J.Appl. Phys. Lett. 88(9),092102.
- Ziel, A. V., 1968. Solid State Physical Electrronics, Prentice-Hall, Inc, New Jersey, P.97-245.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Erzurum'da doğan Aslıhan Sefaoğlu, ilk ve orta öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2001 yılında Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nü kazandı ve 2005 yılında aynı bölümden derece ile mezun oldu. 2005 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim dalında Yüksek lisans Öğrenimine başladı.