

T.C
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**Au/ Si₃N₄/4H n-SiC (MY) YAPILARIN AKIM-İLETİM
MEKANİZMASI VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATİH YİĞİTEROL

ÇORUM 2019

**Au/ Si₃N₄/4H n-SiC (MYY) YAPILARIN AKIM-İLETİM
MEKANİZMASI VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ**

Fatih YİĞİTEROL

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. D. Esra YILDIZ**

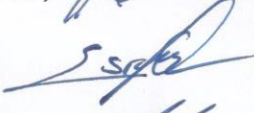
**AĞUSTOS 2019
ÇORUM**

Fatih YİĞİTEROL tarafından hazırlanan “Au/Si₃N₄/4H n-SiC (MY) YAPILARIN AKIM-İLETİM MEKANİZMASI VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ ” adlı tez çalışması 28/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hatice KANBUR ÇAVUŞ



Prof. Dr. Dilber Esra YILDIZ



Doç. Dr. Serhat Fevzi ÖZEREN



Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 24/11/2019... tarihli ve 2019/228... sayılı kararı ile Fatih YİĞİTEROL' un Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

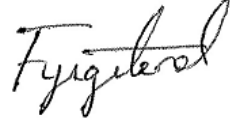


Doç. Dr. Cengiz BAYKASOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Fatih YİĞİTEROL



Au/ Si₃N₄/4H n-SiC (MYY) YAPILARIN AKIM İLETİM MEKANİZMASI VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ

Fatih YİĞİTEROL

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2019

ÖZET

Au/Si₃N₄/4H n-SiC metal-yalıtkan-yarıiletken (MYY) yapıların/Schottky diyotların akım-voltaj (I-V), kapasitans-voltaj (C-V), kondüktans-voltaj (G/w-V) karakteristikleri, 160-400 K sıcaklık aralığında ölçüldü. Termoyonik emisyon (TE) teorisine göre; I-V karakteristiklerinden elde edilen sıfır beslem engel yüksekliği (Φ_{B0}) ve idealite faktörünün (n) sıcaklığa bağlı olduğu gözlemlendi. Φ_{B0} 'nin artan sıcaklıkla artmasına karşın idealite faktörü (n)'nin ise azalmakta olduğu gözlemlendi. Bu davranış, 4H n-SiC/Si₃N₄ ara yüzeydeki Schottky engel homojensizliğine atfedildi. Bu engel homojensizliğinin bir Gaussian dağılım (GD) gösterdiğine delil elde etmek için $\Phi_{B0} - q/2kT$ grafiği çizildi ve bu grafikten ortalama engel yüksekliği $\bar{\Phi}_{B0} = 1.4$ eV, standart sapmanın ise $\sigma_o = 0.169$ V civarında olduğu gözlemlendi. Böylece modifiye edilen $[\ln(I_o/T^2) - q^2 \sigma_o^2 / 2k^2 T^2] - q/kT$ grafiğinden, $\bar{\Phi}_{B0}$ ve Richardson sabiti A^* değerleri sırasıyla, 1.53 eV ve $137.21 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$ olarak elde edildi. Bu değer 4H n-SiC için bilinen $146 \text{ A K}^{-2} \text{ cm}^{-2}$ teorik Richardson sabiti değerine oldukça yakındır. Sonuç olarak, Au/Si₃N₄/4H n-SiC diyotların doğru-beslem I-V karakteristiklerinin sıcaklığa bağlılığı, engel yüksekliklerinin TE mekanizması temelinde bir GD ile başarılı bir şekilde açıklanabileceği görüldü. Ayrıca Au/Si₃N₄/4H n-SiC Schottky diyotlarının C-V ve G/w-V karakteristikleri 160-400 K sıcaklık ve 10 -1000 kHz frekans aralığında incelendi.

Anahtar kelimeler: MYY yapılar, I-V ve C-V ölçümleri, akım-iletim mekanizması, engel homojensizliği, D_{it} ve R_s etkileri

**THE INVESTIGATION OF TEMPERATURE DEPENDENCE
CURRENT-CONDUCTION MECHANISM AND ELECTRICAL
CHARACTERISTICS OF Au/Si₃N₄/4H n-SiC (MIS) STRUCTURES**

Fatih YIGITEROL

HITIT UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

August 2019

ABSTRACT

The current-voltage (I-V), capacitance-voltage (C-V) and conductance-voltage (G/w-V) characteristics of Au/Si₃N₄/4H n-SiC metal-insulator-semiconductor (MIS) structure/ Schottky diodes were measured in the temperature range of 160-400 K. The calculated zero bias barrier height (Φ_{B0}) and the ideality factor (n) values according to thermionic emission (TE) theory show strong temperature dependence. While Φ_{B0} increases, n decreases with increasing temperature. Such behaviour is attributed to inhomogeneties of Schottky barrier by assuming a Gaussian distribution (GD) of barrier heights (BHs) at 4H n-SiC/Si₃N₄ interface. We attempted to draw a Φ_{B0} vs $q/2kT$ plot to obtain evidence of a Gaussian distribution of the BHs and the values of $\bar{\Phi}_{B0} = 1.4$ eV and $\sigma_o = 0.169$ V for the mean BH and standard deviation at zero bias, respectively, have been obtained from this plot. Thus, the modified $[\ln(I_o/T^2) - q^2 \sigma_o^2 / 2k^2 T^2]$ vs q/kT plot gives $\bar{\Phi}_{B0}$ and A^* as 1.53 eV and $137.21 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$, respectively. This value is very close to the theoretical value of $146 \text{ A K}^{-2} \text{ cm}^{-2}$ for n-type SiC. Hence, it has been concluded that the temperature dependence of the forward I-V characteristics of the Au/Si₃N₄/4H n-SiC structure can be successfully explained on the basis of TE mechanism with a GD of the BHs. The forward and reverse bias C-V and G/w-V characteristics of Au/Si₃N₄/4H n-SiC MIS Schottky diodes have been investigated a wide temperature and the frequency range of 160-400 K and 10-1000 kHz, respectively.

Key Words : MIS structures, I-V and C-V measurements, current-conduction mechanism, barrier inhomogeneity, D_{it} and R_s effects



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hitit Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü öğretim üyesi, danışmanım Prof. Dr. Dilber Esra YILDIZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Tüm eğitim hayatım sırasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme gönülden teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen Atılım Üniversitesi öğretim üyesi, Dr. Öğr. Üy. Hasan Hüseyin Güllü 'ye teşekkür ederim.



Bu tez çalışmasına, FEF 19004.15.010 Numaralı Lisansüstü Tez Projesi (Yüksek Lisans) kapsamında vermiş oldukları destekten dolayı, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN DİZİNİ	vii
ŞEKİLLERİN DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MY) Schottky Diyotların Fiziği	4
2.1.1. İdeal MY Schottky diyot	4
2.1.2. MY Schottky diyotlarda akım-iletim mekanizması.....	6
2.2. Schottky Diyotlarda Doğru Beslem I-V Karakteristikleri	11
2.3. Potansiyel Değişim Modeli.....	12
2.3.1. MY Schottky Diyotlarda $P(\Phi_B)$ Gaussian engel dağılımı	13
2.3.2. Etkin potansiyel engel yüksekliği	14
2.4. Ara yüzey Durum Yoğunluğu Teorisi.....	16
3. DENEYSEL YÖNTEM	21
3.1. Kristal Temizleme.....	21
3.2. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC Diyotların Yapımı	21
3.3. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri	24
4. DENEYSEL SONUÇLAR	26
4.1. Giriş	26
4.2. Sıcaklığa Bağlı Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri	26
4.3. Homojen Olmayan Engel Analizi	36
4.4. C-V ve G/w-V Karakteristikleri	41
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	49
ÖZGEÇMİŞ	57

ÇİZELGELERİN DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. 60-400 K sıcaklık aralığında Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun I-V karakteristiğinden belirlenen elektriksel özellikleri	30
Çizelge 4.2. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun 160-400 K sıcaklık aralığında seri direnci.....	35
Çizelge 4.3. Au/Si ₃ N ₄ / 4H n-SiC MYY diyotun 1000 kHz'de farklı sıcaklığındaki G/w-V ve C-V karakteristiklerinden belirlenen ara yüzey durumları	46
Çizelge 4.4. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun 300 K'de farklı frekanstaki G/w-V ve C-V karakteristiklerinden belirlenen ara yüzey durumları.....	48

ŞEKİLLERİN DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Metal-yalıtkan–yarıiletken (MYY)diyot.....	4
Şekil 2.2. İdeal MY Y diyotun $V=0$ da enerji-bant diyagramı.....	5
Şekil 2.3. İdeal MY Y diyotun $V \neq 0$ durumunda enerji-bant diyagramı.....	7
Şekil 2.4. Metal/yalıtkan/n-Si MY Y diyotun enerji bant diyagramı.....	9
Şekil 2.5. Metal/yalıtkan/p-Si MY Y diyotun enerji bant diyagramı.....	10
Şekil 2.6. Homojen olmayan MY diyotun bant diyagramı.....	13
Şekil 2.7. Ara yüzey tuzaklarının etkisini içeren eşdeğer devre	18
Şekil 2.8. MY Y diyotun eşdeğer devresi.....	18
Şekil 3.1. Omik kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske.....	22
Şekil 3.2. Si_3N_4 ince film tabakasının AFM görüntüsü.....	23
Şekil 3.3. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske.....	23
Şekil 3.4. $Si_3N_4/4H$ n-SiC MY Y diyotun şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.5. I-V ölçümleri için kullanılan düzenek.....	25
Şekil 3.6. C-V ölçümleri için kullanılan düzenek.....	25
Şekil 4.1. Au/ $Si_3N_4/4H$ n-SiC MY Y diyot için farklı sıcaklıklarda elde edilen I-V ve yarı-logaritmik $\ln(I)$ -V karakteristikleri	29
Şekil 4.2. Au/ $Si_3N_4/4H$ n-SiC MY Y diyot için farklı sıcaklıklarda $D_{it}(E_c-E_{ss})$	31
Şekil 4.3. Au/ $Si_3N_4/4H$ n-SiC MY Y diyotta idealite faktörü ve engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	32

Şekil 4.4. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun $dV/Ln(I)$ - I grafiği.....	34
Şekil 4.5. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun H (I)- I grafiği.....	34
Şekil 4.6. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun R _s - T Grafiği.....	35
Şekil 4.7. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun Φ_{Bo} - n grafiği.....	37
Şekil 4.8. Gaussian dağılımına göre Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun, Φ_{Bo} - $q/2kT$ grafiği.....	39
Şekil 4.9. Gaussian dağılımına göre Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun $(n^{-1}-1)$ - $q/2kT$ grafiği.....	40
Şekil 4.10. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun sıcaklığa bağlı $[Ln(I_0/T^2 - q^2\sigma_0/2k^2T^2)]$ - q/kT grafiği.....	40
Şekil 4.11. Au/Si ₃ N ₄ / 4H n-SiC MYY diyotun farklı sıcaklıktaki C-V karakteristikleri.....	42
Şekil 4.12. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun farklı sıcaklıktaki G/w-V karakteristikleri.....	43
Şekil 4.13. Au/Si ₃ N ₄ / 4H n-SiC MYY diyotun 300 K'de farklı frekanstaki C-V karakteristikleri.....	43
Şekil 4.14. Au/Si ₃ N ₄ /4H n-SiC MYY diyotun 300 K'de farklı frekanstaki G/w-V karakteristikleri	44
Şekil 4.15. 1 MHz'de Au/Si ₃ N ₄ / 4H n-SiC MYY diyotun C-V ve G/w-V ölçümlerinden elde edilen yüzey durumlarının sıcaklığa bağlı dağılımı.....	45
Şekil 4.16. 300 K'de Au/Si ₃ N ₄ / 4H n-SiC MYY diyotun C-V ve G/w-V ölçümlerinden edilen yüzey durumlarının frekansa bağlı dağılımı.....	47

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

\AA	Angstrom
A^*	Richardson sabiti
A^{**}	Etkin Richardson sabiti
C	Kapasitans
C_o	İlave kapasitans
D_n	Elektron difüzyon sabiti
D_p	Deşik difüzyon sabiti
D_s	Arayüzey durum yoğunluğu
E_g	Yarıiletken yasak enerji aralığı
E_c	İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_v	Değerlik (valans) bant kenarı enerjisi
E_f	Fermi enerjisi
$E(x)$	Schottky bölgesindeki elektrik alan
E_a	Aktivasyon enerjisi
ϵ_o	Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_i	Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
$F(V)$	Norde fonksiyonu
Hz	Frekans birimi (Hertz)
h	Planck sabiti
I	Akım

I_o	Doyum akımı
I_{gr}	Jenerasyon-rekombinasyon akımı
I_{Ro}	Jenerasyon-rekombinasyon akımı yoğunluğu
J_{SD}	Difüzyon teorisi için akımı yoğunluğu
J_{sm}	Yarıiletken den metale doğru doyum akımı
J_{ms}	Metalden yarıiletkene doğru doyum akımı
J_o	Doyum akım yoğunluğu
J_{Fn}	Doğru beslem altında metalden yarıiletkene geçen elektron akım
J_{Fp}	Doğru beslem altında metalden yarıiletkene geçen deşik akım yoğunluğu
K	Termodinamik sıcaklık (Kelvin)
k	Boltzman sabiti
L	Nötral bölgenin kalınlığı
m^*	Elektron etkin kütlesi
m_o	Serbest elektron kütlesi
M	Mega
N_D	Verici (donor) yoğunluğu
N_A	Alıcı (acceptor) yoğunluğu
N_c	İletkenlik bandının etkin taşıyıcı yoğunluğu
N_v	Değerlik bandının etkin taşıyıcı yoğunluğu
N_{ss}	Yüzey durumları yoğunluğu

N_{sb}	Yarıiletken ile dengede olan arayüzey durumlarının yoğunluğu
$n(x)$	Elektron yoğunluğu
$p(x)$	Deşik yoğunluğu
n	İdealite faktörü
n_0	İdealite faktörünün sıcaklık sabiti
n_i	Saf elektron yoğunluğu
Q_m	Metal üzerindeki yük
Q_{ox}	Oksit tabaka yükü
p_0	Tüketim tabakası kenarında deşiklerin denge konsantrasyonu
q	Elektrik yükü
R_s	Seri direnç
Si	Silisyum
T	Mutlak sıcaklık
T_0	İdealite faktörünün sıcaklıkla değişim katsayısı
V	Voltaj
V_d	Difüzyon potansiyeli
V_F	Doğru beslem
v_r	Yeniden birleşme (rekombinasyon) hızı
V_R	Ters beslem
V_y	Yalıtkan üzerine düşen gerilim
V_{yi}	Yalıtkan üzerine düşen gerilim
W_d	Tüketim tabakasının kalınlığı

v_x	Taşıyıcı hızı
Φ_o	Nötral seviye
Φ_B	Potansiyel engel yüksekliği
Φ_{Bo}	Sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği
Φ_s	Yarıiletkenin işfonksiyonu
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_{Bn}	n-tipi yarıiletken için potansiyel engel yüksekliği
Φ_{Bp}	p-tipi yarıiletken için potansiyel engel yüksekliği
Φ_e	Etkin potansiyel engel yüksekliği
Φ_n	n-tipi bir yarıiletkenin iletkenlik bandı ile Fermi seviyesi
δ	Yalıtkan tabaka kalınlığı
Ω	Ohm
ρ	Özdirenc
χ_s	Elektron yakınlığı
π	pi sayısı
μ	Mobilite
τ_o	Azınlık taşıyıcı ömrü
γ	Düzeltilmiş Norde yönteminde bir sabit
Ψ_s	Arayüzeydeki bant gerilimi
τ	Arayüzey tuzaklarının ömrü
Ψ_s	Yüzey potansiyeli

Kisaltmalar

AE	Alan emisyonu
MY	Metal/Yarı iletken/Yalıtkan
MY	Metal/Yarı iletken
TAE	Termiyonik alan emisyonu
TE	Termiyonik emisyon
I-V	Akım/Voltaj
C-V	Kapasitans/Voltaj

1. GİRİŞ

Uzun yıllardır yarıiletken kullanılarak elde edilen cihazlar, elektronik endüstrisinin temelini oluşturmaktadır. Her geçen yıl boyutları küçülen bu cihazların, elektriksel karakteristikleri, çalışma şartları ve performansının belirlenmesi son derece önemlidir. Bu nedenle metal-yalıtkan-yarıiletken (MYY) yapıların, elektriksel karakteristiklerinin sıcaklığa ve frekansa bağlı olarak incelenmesi, yapının engel homojenliği ve akım-iletim mekanizmasının belirlenmesine katkı sağlar. MYY yapıların performansını etkileyen parametrelerin başında metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan tabaka (ZnO , HfO_2 , SiO_2 , SnO_2 , Si_3N_4 vb.) ve kalınlığı, yasak enerji bandında ve yarıiletken ile yalıtkan arasında yer alan ara yüzey durumları (D_{it}), yapının seri direnci (R_s) ile M/Y ara yüzeyinde oluşan potansiyel engelinin homojenliği gelmektedir.

MYY diyotlarla ilgili temel bilgiler Metal/Yarıiletken (M/Y) diyotlara dayanmaktadır. M/Y ara yüzeyinde bir potansiyel engeli olduğu Schottky tarafından ortaya konulmuştur ve bu tip diyotlar Schottky diyotlar olarak adlandırılmıştır (Milnes ve Feucht, 1972; Crowell ve Sze, 1966). Schottky modelinde, yarıiletkendeki elektrik alan, tüketim bölgesinden olan uzaklıkla artarken potansiyel uzaklıkla azalır (Crowell ve Sze, 1966). Mott modelinde ise ara yüzey tabakadaki elektrik alan sabittir ve potansiyel uzaklıkla doğrusal olarak değişir. Ayrıca potansiyel engel, yarıiletken ve metalin iş fonksiyonları arasındaki farktan belirlenir (Crowell ve Sze, 1966). MY diyotlarda Difüzyon teorisi ile Termoyonik Emisyon (TE) teorisi, Crowell ve Sze tarafından Termoyonik Emisyon Difüzyon (TED) teorisi olarak birleştirmiştir (Crowell ve Sze, 1966; Milnes ve Feucht, 1972). İlerleyen süreçte MYY Shottky diyotlarda R_s , sıfır beslem engel yüksekliği (Φ_{B0}) ve idealite faktörü (n) gibi elektriksel özelliklerin belirlenmesinde yeni yöntemler bulunmuştur (Bohlin, 1968; Norde, 1979; Cheung ve Cheung, 1986). Norde fonksiyonu ($F(V)$) K.E. Bohlin tarafından geliştirilerek, MY diyotun n değerinin $1 < n < \gamma$ (γ keyfi bir sayı) olması durumunda, R_s ve Φ_B 'nin bulunmasını sağlamıştır (Bohlin, 1968; Norde, 1979). $F(V)$ fonksiyonun minimum noktasının

belirlenmesinde karşılaşılan sorunlar nedeniyle Cheung H(I)-I ve $dV/d\ln(I)$ -I fonksiyonlarını tanımlamış ve diyotun n , Φ_B ve R_s temel parametrelerinin belirlenebileceğini göstermiştir (Cheung ve Cheung, 1986). Metal ile yarıiletken arasına dielektrik/yalıtkan tabaka (ZnO , HfO_2 , SiO_2 , SnO_2 , Si_3N_4 vb.) oluşturulması, MY diyotu MYY diyota dönüştüreceği için C-V, G/ω -V ve I-V ölçümleri ideal durumdan uzaklaşır (Crowell ve Sze, 1966; Milnes ve Feucht, 1972). Dielektrik tabakanın varlığı, temel diyot parametrelerini (Φ_B , n ve R_s) ve yarıiletken enerji-bant aralığındaki ara yüzey durum yoğunluklarının dağılımını etkiler (Sing ve ark., 1990; Yıldız, 2018; Güllü ve ark., 2019). Ayrıca yarıiletkenin temizlenme şartları, kristal kusurları, termal ve oksidasyon işlemleri nedeniyle $Au/Si_3N_4/4H$ n-SiC yapılarda, $4H$ n-SiC/ Si_3N_4 ara yüzeyinde, istenmeyen ara yüzey durumları oluşur (Rhoderick, 1982; Tung, 1992). Ara yüzey durumları idealite faktörünü ve dolayısıyla diyot performansını etkiler (Card ve Rhoderick, 1971). Ara yüzey durum yoğunluğunu I-V ve C-V ölçümlerinden elde etmek için çeşitli teorik ve deneysel metot vardır (Sze 1981; Tseng ve Wu, 1987).

MYY diyotlarda TE teori kullanılarak elektriksel özellikler incelenir ve ideal diyot gibi n 'nin 1 'e yakın olması beklenir (Rhoderick ve Williams, 1988). Ancak MYY diyotların doğru beslem I-V karakteristikleri TE teorisine göre sıcaklığa bağlı olarak incelendiğinde, artan sıcaklıkla idealite faktörünün azaldığı ve engel yüksekliğinin arttığı gözlenmiştir (Card ve Rhoderick. 1971; Sze, 1981; Rhoderick, 1982; Nielsen, 1983; Tseng ve Whu, 1987; Tung, 1992; Güllü ve ark., 2019,2019). Aynı zamanda, bazı MYY diyotlar da n - Φ_B grafiklerinin doğrusal davranış gösterdiği belirlenmiştir (Tung, 1992; Yıldız, 2018). Son zamanlarda ise bu özellikteki MYY yapıların TE teorisine dayalı, Gaussian dağılım fonksiyonu kullanılarak akım-iletim mekanizmaları açıklanmıştır (Tung, 1992; Yıldız ve Ark., 2008; Güllü ve Ark., 2018; Yiğiterol ve Ark., 2018; Bayraklı Sürücü ve Ark., 2019;).

Bu çalışmada, $4H$ n-SiC yarıiletken kullanılarak üretilen, $Au/Si_3N_4/4H$ n-SiC MYY diyotların, temel elektriksel özelliklerini ve akım-iletim mekanizmasını belirlemek amacıyla, C-V, G/ω -V ve I-V karakteristikleri, 160-400 K sıcaklık ve 10 kHz-1000 kHz frekans aralığında incelendi. $Au/Si_3N_4/4H$ n-SiC MYY diyotun sıcaklığa bağlı I-V karakteristiklerinden, n , Φ_{B0} , D_{it} ve R_s gibi elektriksel özellikleri belirlendi.

Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotların seri direncinin sıcaklığa bağlı değişimi Cheung'in $H(I)-I$ ve $d\ln(I)/dV-I$ fonksiyonları yardımıyla bulundu. Ayrıca Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY Schottky diyotun hem sıcaklığa hem frekansa bağlı C ve G/ω profili sunularak D_{it} değerleri deneysel $C-V$, $G/\omega-V$ ve $I-V$ karakteristiklerinden belirlendi.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde MYY diyotların geçmişten günümüze gelişimi üzerinde duruldu. İkinci bölümde, bu yapıların akım-iletim mekanizmaları ve temel yapısal özellikleri anlatıldı. Üçüncü bölümde, Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotların oluşturulması ve ölçümü hakkında bilgi verildi. Dördüncü bölümde, deneysel veriler değerlendirilerek literatürle kıyaslandı. Beşinci bölümde ise Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotların sıcaklığa bağlı $C-V$, $G/\omega-V$ ve $I-V$ incelenmesi sonucunda elde edilen deneysel sonuçlar değerlendirildi ve yorum yapıldı.

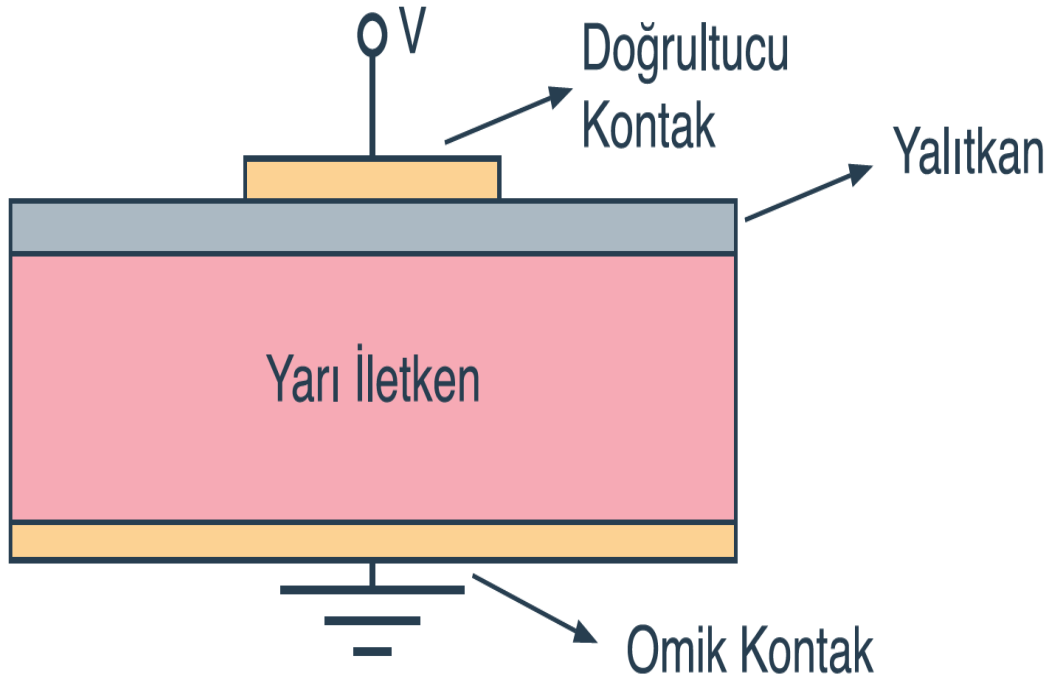
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MYY) Schottky Diyotların Fiziği

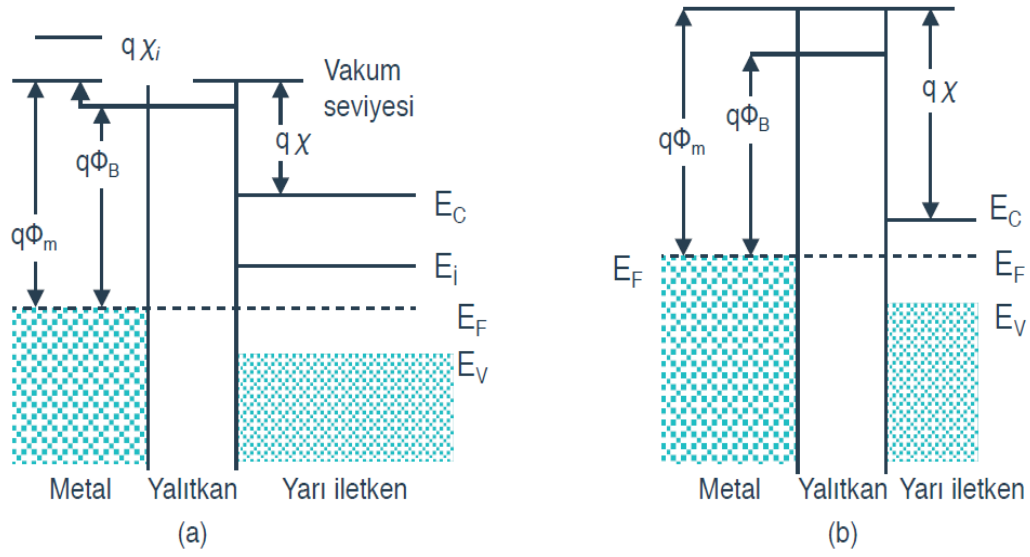
Yarıiletken ile metal arasında doğal veya yapay olarak oluşturulan dielektrik tabaka ile MYY diyotlar elde edilir (Card ve Rhoderick, 1971). Aradaki dielektrik tabaka, yarıiletkeni metalden ayırır ve ara yüzey durumları yarıiletken ile dengededir. MYY diyotta yalıtkan-yarıiletken ve metal-yalıtkan olmak üzere iki ara yüzey vardır.

2.1.1. İdeal MYY Schottky diyot

Şekil 2.1'de MYY diyot verilmiştir. Burada V metale uygulanan voltaj ve δ dielektrik/yalıtkan tabakanın kalınlığıdır. Metal pozitif ise doğru beslem, negatif ise ters beslem durumu meydana gelir.



Şekil 2.1. Metal-yalıtkan-yarıiletken (MYY) diyot (Sze, 1981)



Şekil 2.2. İdeal MYY diyotun $V=0$ da enerji-bant diyagramı

- p-tipi yarıiletken
- n- tipi yarıiletken (Sze, 1981)

Şekil 2.2’de ideal MYY diyotun, $V=0$ durumunda enerji-bant diyagramı verilmiştir. İdeal MYY diyot aşağıdaki gibi tanımlanır.

- d.c beslemde dielektrikten akım geçmez veya dielektrik malzemenin direnci sonsuzdur.
- Herhangi bir beslemde dielektrik malzemeye yakın metal yüzeyinde ve yarıiletkende birbirine eşit ve zıt yükler mevcuttur.
- Sıfır beslem voltajında, yarıiletkenin iş fonksiyonu ϕ_s ile metal iş fonksiyonu ϕ_m arasındaki fark (ϕ_{ms}) sıfırdır.

$$\phi_{MY} = \phi_m - (\chi + E_g/2q - \phi_B) = 0 \quad n - \text{tipi için} \quad (2.1)$$

$$\phi_{MY} = \phi_m - (\chi + E_g/2q + \phi_B) = 0 \quad p - \text{tipi için} \quad (2.2)$$

Burada E_g yasak enerji aralığı, ϕ_B ise engel yüksekliğidir ve χ yarıiletken elektron yakınlığıdır.

İdeal MYY diyot ters beslemde ise yarı iletken yüzeyinde üç durum oluşabilir.

MYY Schottky diyot p-tipi yarıiletkenle oluşturulmuşsa, Şekil 2.3a’da görüldüğü gibi metal kısma $V<0$ olan negatif voltaj uygulandığında yarıiletkendeki Fermi

seviyesi sabit kalır ve valans bandın tepesi yukarı doğru bükülür. Bu bant bükülmesi yarıiletken yakınında çoğunluk taşıyıcı olandeşiklerin yığılmasına sebep olduğu için yığılma (accumulation) olarak adlandırılır (Sze, 1981). Eğer Şekil 2.3b’de görüldüğü gibi $V > 0$ olan pozitif voltaj uygulanırsa çoğunluk taşıyıcılar tüketilir ve bu durum tüketim (deplation) olarak tanımlanır. Tüketim durumunda bantlar aşağı doğru bükülür (Sze, 1981). Şekil 2.3c’de görüldüğü gibi diyota yüksek pozitif voltaj uygulanırsa yüzeydeki elektronların sayısı (azınlık taşıyıcıların)deşiklerden fazla olur ve bu durumda E_i , E_F ’nin üstüne çıkar. Buna ise terslenim (inversion) olarak tanımlanır. n-tipi yarıiletken içinde yığılma, tüketim ve terslenim benzer şekilde tanımlanabilir (Sze, 1981).

2.1.2. MYY Schottky diyotlarda akım-iletim mekanizması

İdeal MYY Schottky diyotta dielektriğin iletkenliği yoktur ancak gerçekte MYY diyotlarda, yarıiletken-yalıtkan ara yüzeyinde yerleşmiş elektronik durumlar bulunur ve bu diyotu ideal durumlardan uzaklaştırır. Böylece MYY diyotlarda dielektrik üzerinden akım geçer (Sze, 1981). Elektrik alan ve sıcaklık yeterli büyüklükte uygulandığında dielektrik tabaka iletkenlik gösterir. Metal-yarıiletken yapılarda I- V ilişkisi,

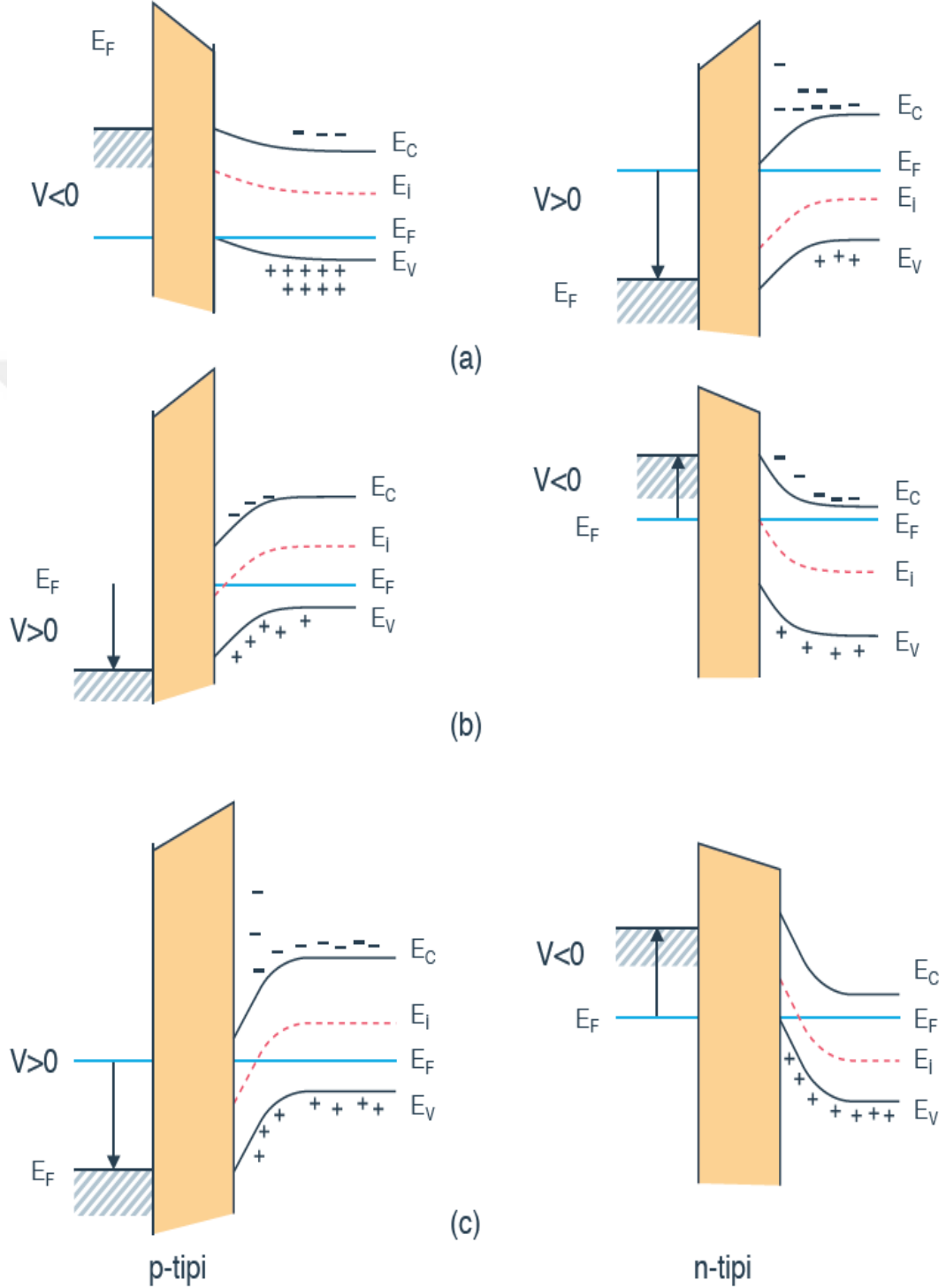
$$J_F = J_o \left[\exp\left(\frac{qV_F}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

ifadesiyle verilir. Bu eşitlikte,

$$J_o = A^{**} T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_B}{kT}\right) \quad (2.4)$$

ifadesiyle tanımlanır. Burada, A^{**} , etkin Richardson sabiti, J_o , doyma akım yoğunluğu, V_F uygulanan doğru beslem voltajıdır. Eş. (2.4)’deki Φ_{B0} ise Φ_{Bp} engel yüksekliğidir. MYY yapılarda dielektrik tabakanın etkisi Rhoderick, Card ve Fonash (Fonash, 1975) tarafından incelenmiştir. MYY diyota uygulanan doğru beslem

voltajının bir kısmı yalıtkan tabaka üzerine bir kısmı da yarıiletkenin tüketim tabakasına düşer.



Şekil 2.3. İdeal MYY diyotun $V \neq 0$ durumunda enerji-bant diyagramı

- akümülyasyon
- tüketim
- inverson (terslenim) durumları (Sze, 1981)

$$V_F = V_{yi} + V_y \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir. Burada V_y ise yalıtkan üzerine düşen kısmı ve V_{yi} uygulanan voltajın yarı iletken üzerine düşen kısmıdır. Akım yoğunluğu azınlık taşıyıcı etkileri ihmal edilerek V_F voltajı altında metal/yalıtkan/ n-Si MYY diyot için,

$$J_{Fn} = J_{sm}^{-e} - J_{ms}^{-e} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, J_{sm}^{-e} ise yarıiletkenden metale geçen elektronların oluşturduğu akım yoğunluğu, J_{ms}^{-e} metalden yarıiletkene geçen akım yoğunluğudur. Metal/yalıtkan/n-Si MYY diyotun doğru beslemde enerji bant diyagramı Şekil 2.4'de verilmiştir.

Bu durumda metal/yalıtkan/ p-Si için akım yoğunluğu ise,

$$J_{Fp} = J_{sm}^h - J_{ms}^h \quad (2.7)$$

şeklinde verilir. Burada, J_{ms}^h , metalden yarıiletkene, J_{sm}^h de yarıiletkenden metale geçen deşiklerin meydana getirdiği akım yoğunluklarıdır. Metal/yalıtkan/p-Si diyotun doğru beslemde enerji bant diyagramı Şekil 2.5'de verilmiştir.

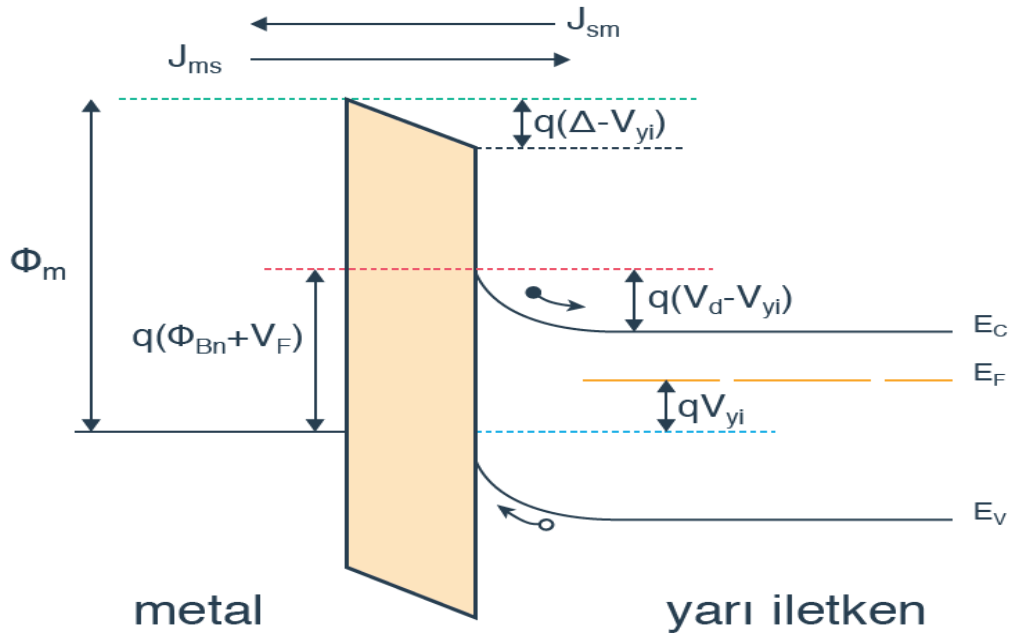
Metal/yalıtkan/p-tipi diyot için doğru beslemde akım yoğunluğu ifadesi,

$$J_{Fp} = J_{sm}^h - J_{ms}^h = A * T^2 \{ \exp [\beta (-\phi_{Bp} + V_y)] - \exp[\beta ((\phi_{Bp} - V_y))] \} \quad (2.8)$$

dir. Burada $\beta = q/kT$ dir. Bu ifade $\exp[-\beta (\phi_{Bp} + V_y)]$ parantezine alınır,

$$J_{Fp} = A * T^2 \exp [-\beta (-\phi_{Bp} + V_y)] [\exp \beta (V_F - 1)] \quad (2.9)$$

ifadesi elde edilir. Eğer yarıiletken ile metal arasında dielektrik tabaka yoksa ($V_y = 0$) Eş. (2.9) ile Eş. (2.3) aynı olur. Dielektrik tabakanın varlığı Eş. (2.9)'da görüleceği gibi, J_F 'nin V_F 'ye bağımlılığını düşürür. Böylece $\ln J_F - V_F$ grafiğinin eğimi, dielektrik tabakanın kalınlığı artınca q/kT 'den küçük olur.



Şekil 2.4. Metal/yalıtkan/n-Si MYY diyotun enerji bant diyagramı (Altındal, 1993; Yıldız, 2008).

Metal/yalıtkan/n-tipi diyot için doğru beslemde akım yoğunluğu,

$$J_{Fn} = J_{sm}^{-e} - J_{MY}^{-e} = A^*T^2 \{ \exp [\beta(-\phi_{Bn} + V_{yi})] - \exp[\beta(\phi_{Bn} + V_y)] \} \quad (2.10)$$

$$= A^*T^2 \exp [\beta(\phi_{Bn} + V_y)] \exp[\beta(V_F - 1)] \quad (2.11)$$

ifadesiyle tanımlanır. Sonuçta olarak, p veya n- tipi MYY diyotlar için akım yoğunluğu

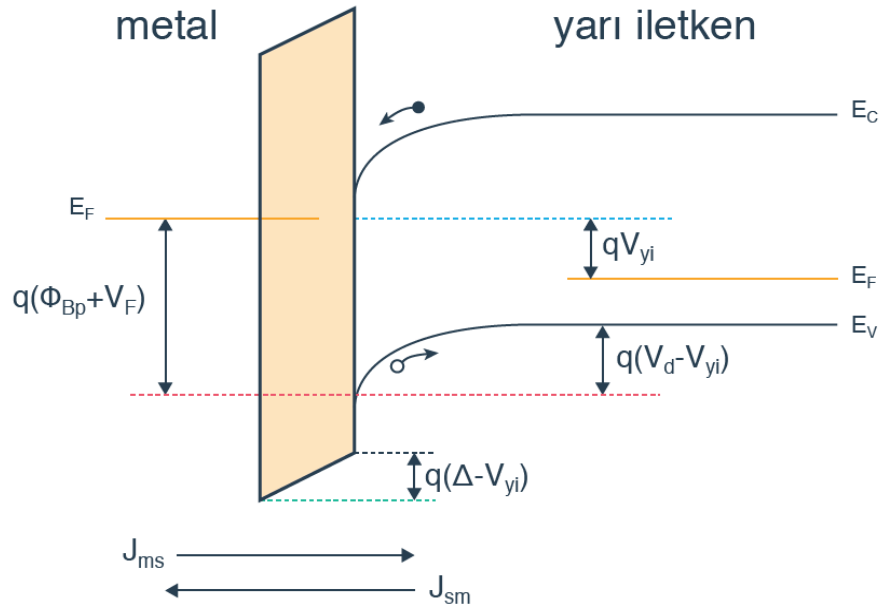
$V_F > 3kT/q$ için

$$J_{Fn} = J_{Fp} = J_o \exp\left(\frac{qV_F}{nkT}\right) \quad (2.12)$$

genel ifadesiyle tanımlanır. Eş.(2.12)'de J_o doyum akım yoğunluğu olup,

$$J_o = A^*T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_B}{kT}\right) \quad (2.13)$$

ile ifade edilir.



Şekil 2.5. Metal/yalıtkan/p-Si MYY diyotun enerji bant diyagramı
(Altındal, 1993; Yıldız, 2008)

Burada ϕ_B , p ve n-tipi MYY diyot için Schottky engel yüksekliğine karşılık gelir. $V_F > 3kT/q$ için Eş. (2.12) ve Eş. (2.13) ifadelerinin birbirine eşit olması için $V_F/n = V_F - V_y$ olması gerektiğinden, diyotun idealite faktörü $n = V_F / (V_F - V_y)$ olur. Bu V_F 'deki artış ve dielektrik tabaka kalınlığının n 'nü artırdığını gösterir (Padavoni, 1971). Bununla birlikte dielektrik tabaka kalınlığının düşmesi, n 'nün V_F ile değişimini azaltır. Ara yüzeydeki dielektrik tabaka yeterince kalın ise yani elektron tünelleme geçiş katsayısı 1 değilse $J_o(\text{dielektrik}) = T(\delta)J_o$ 'dır. Burada $J_o(\text{dielektrik})$, δ kalınlığında, $T(\delta)$ geçiş katsayılı dielektrik ara yüzey tabakasının varlığında MYY yapının ters doyum akımıdır. I-V karakteristikleri ise Eş. (2.13)'da J_o yerine $J_o(\text{dielektrik})$ yazılarak ϕ_c etkin engel yüksekliği bulunabilir.

$$T(\delta)J_o = A^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_c}{kT}\right) \quad (2.14)$$

ifadesinden ϕ_c ,

$$\phi_c = kT/q \left[\ln\left(A^* \frac{T^2}{J_o}\right) \right] - kT/q \left[\ln T(\delta) \right] = \phi_B - \frac{kT}{q} \left[\ln T(\delta) \right] \quad (2.15)$$

şeklinde elde edilir. Burada $T(\delta)$, 1'den küçük ise ϕ_c dielektrik tabakanın olmadığı haldeki ϕ_B değerinden daha yüksektir.

2.2. Schottky Diyotlarda Doğru Beslem I-V Karakteristikleri

TE teorisine göre MYY diyotlarda J-V,

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.16)$$

şeklinindedir. Burada V_D ise diyot üzerine düşen voltaj ($V - IR_s$) dir. Gerçekte MYY diyotların, J-V karakteristiklerinden elde edilen n değeri 1'den büyüktür (Willson, 1932). Bu durumda Eş. (2.16)'daki J-V ifadesi,

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.17)$$

şeklini alır. Böylece J-V ifadesi,

$$J = A_n^* T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right] \quad (2.18)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Burada $V_D = V - IR_s$ dir, V ise uygulanan dış voltajdır. Schottky diyotlarda R_s , n ve Φ_{Bn} gibi elektriksel özellikleri belirlemek için farklı metodlar mevcuttur. S. K. Cheung

$$V = R_s A J + n\Phi_{Bn} + \left(\frac{n}{\beta}\right) \ln\left(\frac{J}{A_n^* T^2}\right) \quad (2.19)$$

ifadesini tanımlandı (Norde, 1979). Burada A diyodun etkin alanı ve $\beta = q/kT$ dir. Eş. (2.19)'un J'ye göre diferansiyeli

$$\frac{dV}{d \ln J} = R_s A J + \left(\frac{n}{\beta}\right) \quad (2.20)$$

olur. $dV/d(\ln J)$ - J grafiği bir doğru verir. Bu doğrunun $dV/d(\ln J)$ eksenini kestiği noktadan n , eğiminden R_s belirlenir. Eđ. (2.19)'deki $(R_s A J + n\Phi_{Bn})$ ifadesi $H(J)$ ile tanımlanırsa,

$$H(J) = V - \left(\frac{n}{\beta}\right) \ln\left(\frac{J}{A_n^* T^2}\right) \quad (2.21)$$

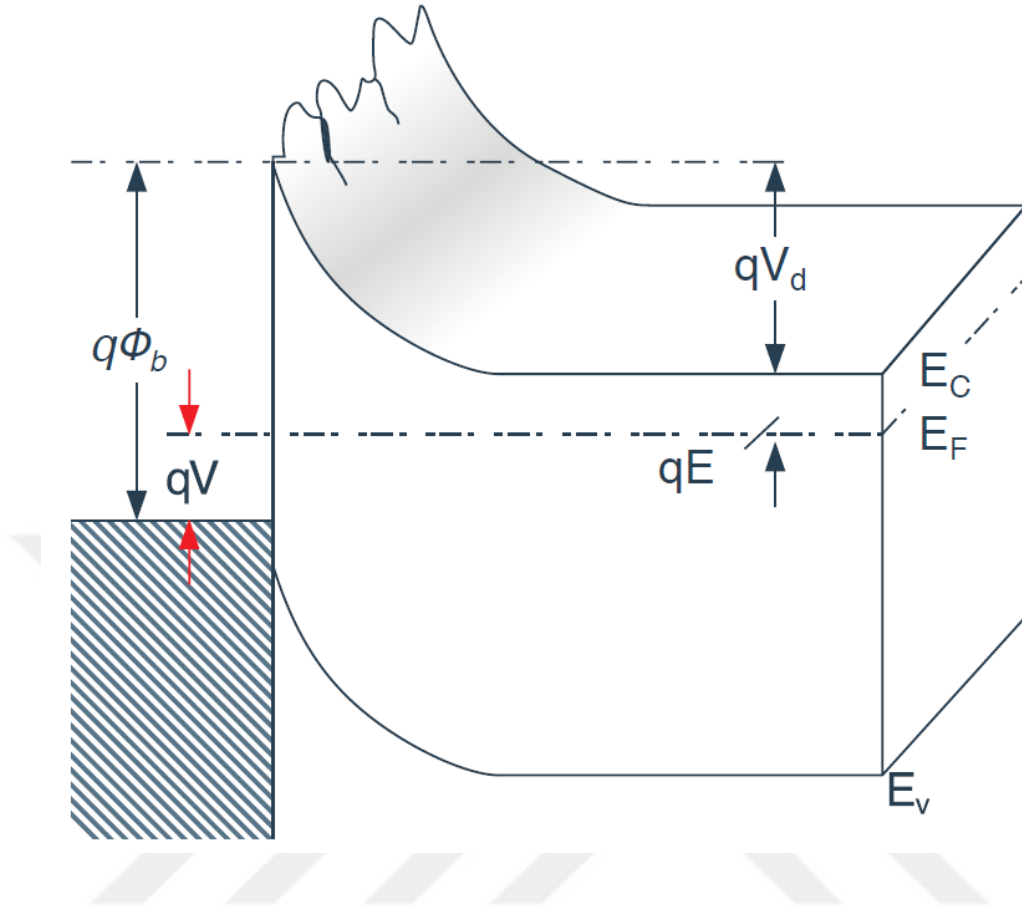
olur. Eđ. (2.21), Eđ. (2.19) ile birlikte değerlendirilirse

$$H(J) = R_s A J + n\phi_{Bn} \quad (2.22)$$

elde edilir. Eđ.(2.22)'den gorldđđ gibi $H(J)$ - J grafiği bir doğru verir. Bu doğrunun $H(J)$ eksenini kestiği noktadan Φ_{Bn} eğiminden R_s elde edilir. MYY Schottky diyotta llen kondüktans ve kapasitans değerleri yapının gerçek değerleri olmayıp seri direnç katkısımında içermektedir (Nicollian ve Brews, 1982). Bu nedenle MYY diyotlarda R_s analizinin yapılması nemlidir.

2.3. Potansiyel Değiğim Modeli

MYY diyotlarda Φ_B , I-V ve C-V lmlerinden farklı bulunur. Şekil 2.6'da gosterildiği gibi potansiyel engelin homojen olmaması $n>1$ olmasına neden olur (Jurgen ve ark., 1991). Potansiyel engeli homojen olmayan MYY Schottky diyotlar için potansiyel değiğim modeli ortaya koyulmuğtur (Arnold ve Hess, 1987; John ve Ark., 1990; Jrjen ve ark., 1991). rneğin, (Ohdomari ve Tu, 1980) I-V'den elde edilen engel yüksekliğinin C-V'den elde edilenlerden daha dğk olduğunu gosterdi ve homojen engel dağılımının yerine homojen olmayan engel dağılımını tanımladı. I-V için (Tuy ve Mojzes, 1990) tarafındanda benzer bir alığma gerekleğtirildi.



Şekil 2.6. Homojen olmayan MY diyotun bant diyagramı [36]

2.3.1. MYY Schottky Diyotlarda $P(\Phi_B)$ Gaussian engel dağılımı

Potansiyel değişim modeli, yüksek katkılı yarı iletkenlerde ortaya çıkan V_d ve Φ_B değişimleri ile ilgilenir ve M/Y ara yüzeyinde bir engel dağılımının olduğunu kabul eder (Thomson ve Card, 1983; Werner, 1985). Bu analitik modelin farklı yönleri, Thomson ve Card tarafından, Si yarıiletkeninde iletkenlik, dc akım ve gürültünün potansiyel değişimlere etkisini incelemek amacıyla çalışıldı (Thomson ve Card, 1983). (Mahan, 1984) ise sınırlarda verici atomların değişimleri nedeniyle ortaya çıkan I-V ve C-V'dan belirlenen potansiyel engeller arasındaki farklılıkları inceledi. I-V ve C-V'dan belirlenen engel farkı ve sıcaklığa bağlı idealite faktörlerinin neden $n > 1$ olduğu, potansiyel değişim modeliyle MY ve MYY Schottky diyotlar için tanımlandı. MY Schottky diyotun, \bar{V}_d ortalama değerinde ve σ_s standart sapmasına sahip $P(V_d)$ Gaussian dağılımı ;

$$P(V_d) = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\bar{V}_d - V_d)^2}{2\sigma_s^2}} \quad (2.23)$$

ile ifade edilir. Burada uygulanan voltaj U , katının Fermi enerji seviyesi ξ ve difüzyon potansiyeli V_d olmak üzere Schottky engeli

$$\Phi_B = V_d + \xi + U \quad (2.24)$$

ifadesi ile tanımlanır. M/Y ara yüzeydeki V_d ve Φ_B , $\bar{\Phi}_B$ ortalama Schottky engeli etrafındaki $P(\phi_B)$ engel dağılımına bağlıdır.

$$P(\Phi_B) = \frac{1}{\sigma_s \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\bar{\Phi} - \Phi_B)^2}{2\sigma_s^2}} \quad (2.25)$$

$P(\phi_B)$ engel dağılımı normalize edilirse,

$$\int_{-\infty}^{\infty} P(V_d) dV_d = \int_{-\infty}^{\infty} P(\Phi_B) d\Phi_B = 1 \quad (2.26)$$

elde edilir.

2.3.2. Etkin potansiyel engel yüksekliği

dc akım ölçümlerinin ve etkili kapasitans engellerin uzaysal dağılımları arasındaki farklılıklar sonucunda kapasitans; $C = \frac{1}{i\omega} \frac{dE}{dt}$ ifadesiyle tanımlanır. İfadeden görüldüğü gibi C , M/Y ara yüzeyindeki elektrik alana bağlıdır. Ayrıca M/Y ara yüzeyinde yüzey yük bölgesinin dışında kısa dalga boylu potansiyel değişimler oluşur. Sonuçta, kapasitans \bar{V}_d ve $\bar{\Phi}$ değerlerine bağlıdır. Aynı zamanda ara yüzeydeki engel dağılımı dc akımına exponansiyel olarak bağlıdır. Engellerdeki uzaysal değişim ise akımın minimum engellerden geçerek oluşmasına neden olur. Bu yüzden C-V'dan belirlenen Φ_B değeri, I-V'dan belirlenen değerden yüksek olur.

Net akım yoğunluğu homojen olmayan MY diyotlarda $J = J_{sm} - J_{ms}$ ise

J_{sm} yarıiletken den metale akım yoğunluğu ve J_{ms} metalden yarıiletkene akım yoğunluğu olmak üzere

$$J_{sm} = A^* T^2 e^{-q\xi/kT - qV_d/kT} \quad (2.27)$$

ve

$$J_{ms} = A^* T^2 e^{-q\Phi_B/kT} \quad (2.28)$$

ile tanımlanır. Bütün potansiyeller üzerinde J_{sm} 'yi integre edersek $P(V_d)$ 'nin fonksiyonu olarak

$$J_{sm} = A^* T^2 e^{-q\xi/kT} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-qV_d/kT} P(V_d) dV_d \quad (2.29)$$

elde edilir. J_{sm} için etkin bant bükülmesi V_d^j ise,

$$V_d^j = \bar{V}_d - \frac{\sigma_s^2}{2kT/q} \quad (2.30)$$

şeklinde tanımlanır. J_{sm} bilindiği gibi,

$$J_{sm} = A^* T^2 e^{-q\xi/kT} e^{-qV_d^j/kT} \quad (2.31)$$

elde edilir ve benzer şekilde J_{ms} için Eş. (2.28)'nin integrasyonu alınırsa,

$$\Phi_B^j = \bar{\Phi}_B - \frac{\sigma_s^2}{2kT/q} \quad (2.32)$$

elde edilir. Böylece Eş. (2.24), Eş. (2.27), Eş. (2.28) ve Eş. (2.32) ifadelerinden akım yoğunluğu,

$$J = A^*T^2 e^{-q \Phi_B^j(U,T) / kT} (e^{qU/kT} - 1) \quad (2.33)$$

şeklinde elde edilir. Burada Φ_B^j etkin engel yüksekliğidir. Bu eşitlik aynı zamanda Φ_B^j 'nin daima $\bar{\Phi}$ 'den daha büyük olduğunu gösterir.

2.4. Ara yüzey Durum Yoğunluğu Teorisi

MYY Schottky diyotta oksit yüklerinin varlığı ve ara yüzey tuzaklar C-V, G-V ve I-V karakteristiklerini etkileyecektir. Aynı zamanda yarıiletkendeki yapısal bozukluklar, temizleme ile giderilemeyen kristal yüzeyindeki düzensizlikler ve yabancı bir atom yasak enerji aralığında çok sayıda ara yüzey durumları olarak adlandırılan enerji seviyelerinin oluşmasına neden olur (Grove, 1967; Sze, 1981) Ara yüzey durumları yavaş ve hızlı ara yüzey durumları olmak üzere ikiye ayrılır.

Yavaş ara yüzey durumları, yüksek elektrik alan ve yeterli sıcaklıkta yalıtkan içerisinde göç etmeye yatkın hareketli iyonlar ile hareketsiz yükler ihtiva eden bozukluklar nedeniyle oluşur ve yalıtkanın metal tarafındaki yüzeyinde bulunur. Yavaş ara yüzey durumları, termal oksidasyonla azaltılabilir. Hızlı ara yüzey durumları, yalıtkan ile yarıiletken ara yüzeyi yakınında yer alır ve yasak enerji bölgesinin ortasına yakın enerjilere sahiptir. Tuzaklanmış ara yüzey yükleri, yarı iletken-yalıtkan ara yüzeyinde, yarıiletkenin yasak enerji bant aralığındaki enerji durumlarına sahip ve kısa bir sürede yarı iletkendeki valans veya iletkenlik bandı ile ani yük alış verişi yapabilecek şekildedir. Bu nedenle bu yüzey durumlarına yüzey rekombinasyon (yeniden birleştirme) merkezleri de denir.

Ara yüzey tuzaklar için dağılım fonksiyonu verici ara yüzey tuzaklar için,

$$f_{SD}(E_t) = \frac{1}{1 + g \exp\left(\frac{E_F - E_t}{kT}\right)} \quad (2.34)$$

ve alıcı arayüzey tuzaklar için ise,

$$f_{SA}(E_t) = \frac{1}{1 + \frac{1}{g} \exp\left(\frac{E_t - E_F}{kT}\right)} \quad (2.35)$$

ifadeleriyle tanımlanır. Burada g termal durum dejenerasyonu olup değeri verici tuzakları için 2, alıcı tuzaklar için 4 alınır, E_F Fermi enerji seviyesi ve E_t ara yüzey tuzak seviyesi enerjisidir (Sze, 1981; Altındal, 1983; Yıldız, 2008).

Voltaj uygulandığında ara yüzey tuzak seviyeleri iletkenlik veya valans bantları ile Fermi seviyesi dengelene kadar aşağı veya yukarı hareket eder. Bu durum MYY Schottky diyotların I-V ve C-V karakteristiklerinde değişikliğe neden olur. Şekil 2.7'de ara yüzey tuzaklarının etkisini kapsayan eşdeğer devre gösterilmiştir. Burada C_D ve C_i sırası ile yarıiletken tükenim tabaka ve dielektrik tabakasının kapasitansdır. $C_S R_S$ çarpanı ara yüzey tuzaklarının ömrü (τ) olarak tanımlanmıştır. Şekil 2.7a'daki eş değer devre, Şekil 2.7b'deki gibi frekansa bağlı kapasitans (C_P) ve ona paralel bağlı frekansa bağlı iletkenlik (G_P) kullanılarak çizilen eşdeğer devre ile gösterilebilir. Bu durumda admittans (Y),

$$Y = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = j\omega C_D + \frac{1}{R_S + \frac{1}{j\omega C_S}} = G_P + j\omega C_P \quad (2.36)$$

şeklindedir. G_P ve C_P ,

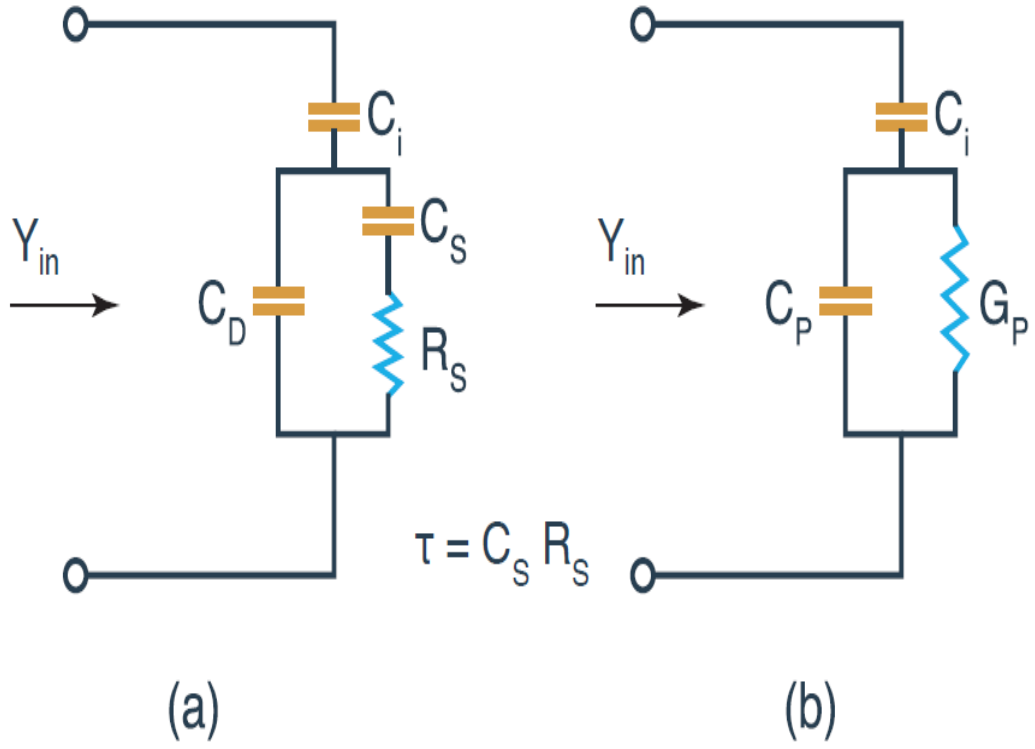
$$G_P = \frac{1}{R_P} = \frac{C_S \omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.37a)$$

$$C_P = C_D + \frac{C_S}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.37b)$$

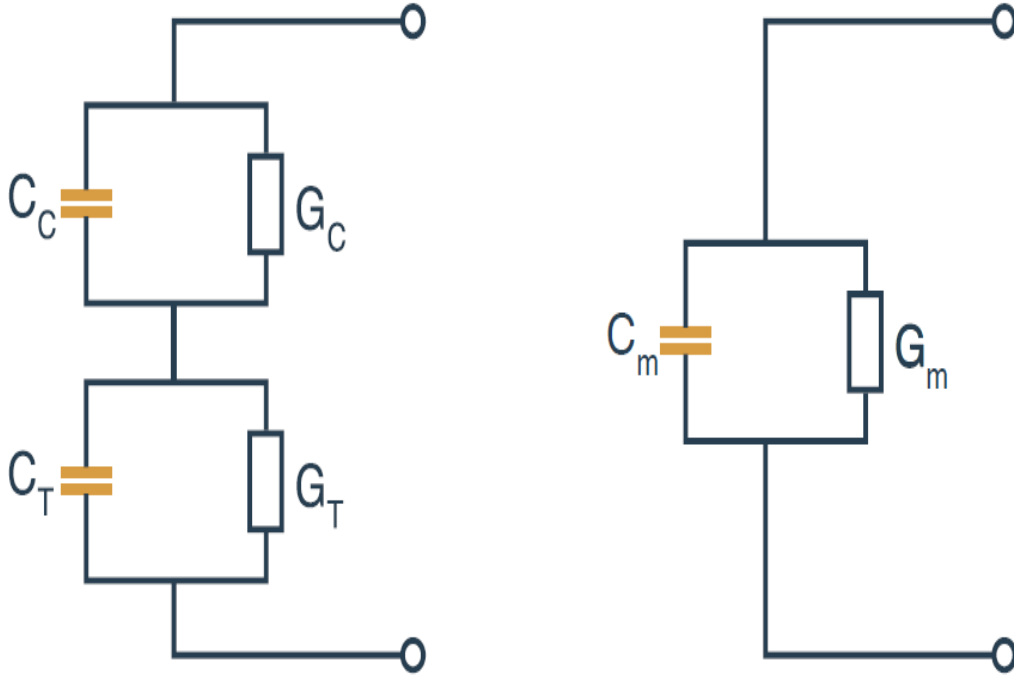
eşitlikleri ile verilir. Toplam empedans (Z) ise,

$$Z = \frac{1}{j\omega C_i} + \frac{1}{G_P + j\omega C_P} = -j\left(\frac{1}{\omega C_i} + \frac{\omega C_P}{G_P^2 + \omega^2 C_P^2}\right) + \frac{G_P}{G_P^2 + \omega^2 C_P^2} \quad (2.38)$$

ve buradan toplam admittans (Y_{top}),



Şekil 2.7. Ara yüzey tuzaklarının etkisini içeren eşdeğer devre (Sze, 1981; Altındal, 1983; Yıldız, 2008).



Şekil 2.8. MYY diyotun eşdeğer devresi (Sze, 1981; Altındal, 1983; Yıldız, 2008).

$$Y_{top} = \left(\frac{G_p^2 + \omega^2 C_p^2}{G_p} \right) + j\omega \left(\frac{(G_p^2 + \omega^2 C_p^2) C_i}{G_p^2 + \omega^2 C_p^2 + \omega C_p} \right) = G_{in} + j\omega C_{in} \quad (2.39)$$

ile tanımlanır (Sze, 1981; Ulrich ve Kuchar, 1989). Ölçülen iletkenlik (G_m) ve kapasitans (C_m) yüksek seri dirençte gerçek değerleri vermez (Haddara ve El-Sayed, 1988). Şekil 2.8'de bu durumun eşdeğer devresi gösterilmiştir.

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C_c + G_c} \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega C_T + G_T} \quad Z = \frac{1}{j\omega C_m + G_m} \quad (2.40)$$

ifadeleriyle tanımlanır.

Şimdi C_c ve G_c analitik çözümü yapılabilir.

$Z = Z_1 + Z_2$ 'den $Z_1 = Z - Z_2$ 'dir. Buna göre,

$$\frac{1}{Z_1} = j\omega C_c + G_c = \left(\frac{1}{j\omega C_m + G_m} - \frac{1}{j\omega C_T + G_T} \right)^{-1} \quad (2.41)$$

$$\frac{1}{Z_1} = \frac{(G_m G_T - \omega^2 C_m C_T) + j\omega(G_T C_m - C_T G_m)}{(G_T - G_m) + j(C_T - C_m)}$$

eşitliklerinin paydası eşleneği ile çarpılır. C_T değeri ihmal edilirse ve $G_T = 1/R_s$ alınrsa düzeltilmiş iletkenlik (G_c),

$$G_c = \frac{(G_m - G_m^2 R_s) - \omega^2 C_m^2 R_s}{(1 - G_m R_s)^2 + \omega^2 C_m^2 R_s^2} \quad (2.42)$$

bulunur. Burada seri direnç R_s , Şekil 2.8b'deki devrenin empedansının(Z) reel kısmı olup yüksek frekansta ve kuvvetli yığılımdaki C_m ve G_m değerlerinden belirlenir (Nicollian ve Brews, 1982).

$$Z = \frac{1}{j\omega C_m + G_m} = \frac{G_m - j\omega C_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} = \frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} - \frac{j\omega C_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.43)$$

den,

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.44)$$

bulunur. Eş. (2.43)'in düzenlenmiş şeklinin imajiner kısmı yani düzeltilmiş kapasitans (C_c),

$$C_c = \frac{C_m}{(1 - G_m R_s)^2 + \omega^2 C_m^2 R_s^2} \quad (2.45)$$

elde edilir. Eş. (2.44) ve Eş. (2.45) yeniden düzenlenirse (Nicollian ve Brews, 1982),

$$C_c = \frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2) C_m}{a^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.46a)$$

$$G_c = \frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2) a}{a^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.46b)$$

bulunur. Burada,

$$a = G_m - (G_m^2 + \omega^2 C_m^2) R_s \quad (2.47)$$

olup C_m ve G_m ölçülen kapasitans ve iletkenliktir. $R_s = 0$ durumunda $C_c = C_m$ ve $G_c = G_m$ olur.

3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1. Kristal Temizleme

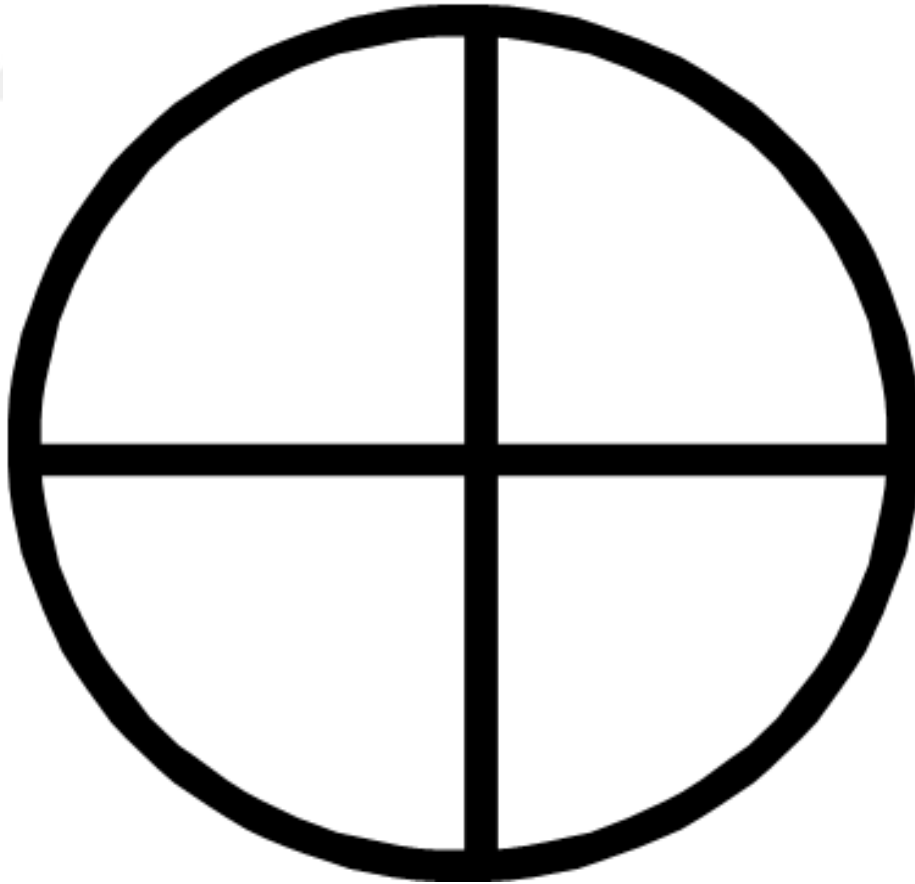
Au/Si₃N₄/4H n-SiC Schottky diyotların oluşturulması için (0001) 4H-SiC yönelimine sahip, 500 nm kalınlıklı, $3.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ donör konsantrasyonlu fabrikasyon olarak parlatılmış 4H n-SiC yarıiletken kullanıldı. Elmas kesici yardımıyla yaklaşık 2" çaplı 4H n-SiC yarıiletken altı eşit parçaya bölündü. Yarıiletkenin yüzeyinin kimyasal ve mekanik olarak temizlenmesi diyot performansı için son derece önemli olduğu için öncelikle 4H n-SiC yarıiletken kimyasal olarak temizlendi. 4H n-SiC yaprağın kimyasal temizleme aşamaları aşağıda sırasıyla verildi.

1. Ultrasonik banyo içinde gerçekleştirilen tüm temizlik aşamalarında ~18 MΩ.cm özdirençli deiyonize su kullanıldı. Temizleme sırasında kullanılan cımbız, beherler v.b. araçlar önce bir etüv içinde yaklaşık 80 °C'de ısıtılarak sterilize edildi. Daha sonra hidrojen peroksit (H₂O₂) ve aseton ile yaklaşık 10 dk. yıkanmasının ardından da deiyonize su ile 10 dk. durulandı.
2. Ultrasonik banyo içerisinde 4H n-SiC yarıiletken aseton, triklor-etilen ve metanol kullanılarak 10 dk. temizlendi ve ardından deiyonize suda 10 dk. yıkandı.
3. Ultrasonik banyo içerisinde eşit miktarda hidrojen peroksit (H₂O₂) ve sülfirik asit (H₂SO₄) çözeltilerinden oluşan karışımda 10 dk. temizlendi ve deiyonize su içerisinde 10 dk. yıkandı.
4. Ultrasonik banyo içerisinde sırasıyla 6:1:35 HNO₃+HF+ H₂O ve %20 HF karışımında 10 dk. temizlendi ve ardından deiyonize suda 10 dk. yıkandı.
5. Son olarak 4H n-SiC yapraklar 10 dk. deiyonize suda iyice durulandı. Kimyasal olarak temizlenmiş 4H n-SiC yüzeyde oksitlenme olasılığını önlemek için kuru azot (N₂) kurutuldu ve sonrasında hemen vakum ortamına alındı.

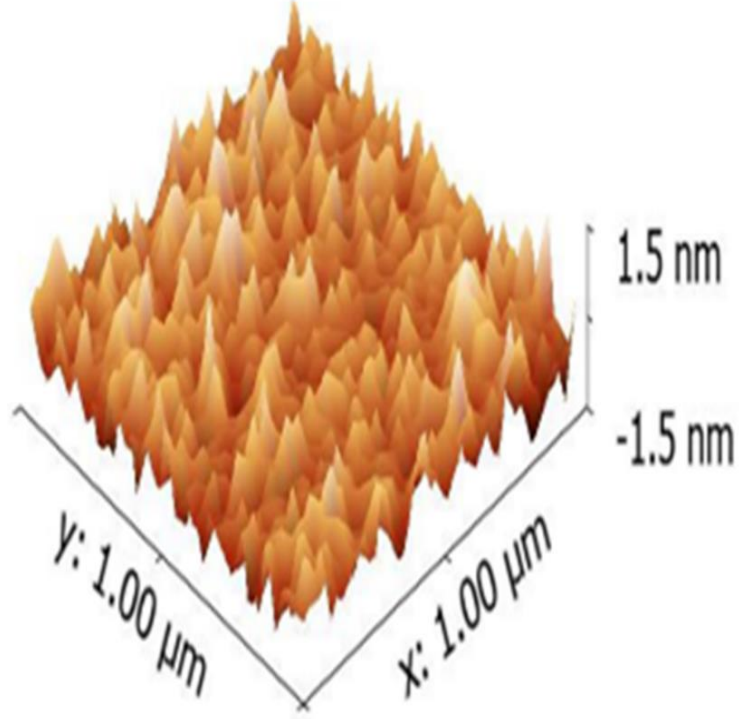
3.2. Au/Si₃N₄/4H n-SiC Diyotların Yapımı

Au/Si₃N₄/4H n-SiC diyotların yapımında arka ve ön kontaktları almak için altın (Au) tabaka, buharlaştırma yöntemiyle yağ-vakum pompa sisteminde aşağıdaki adımlarla üretildi:

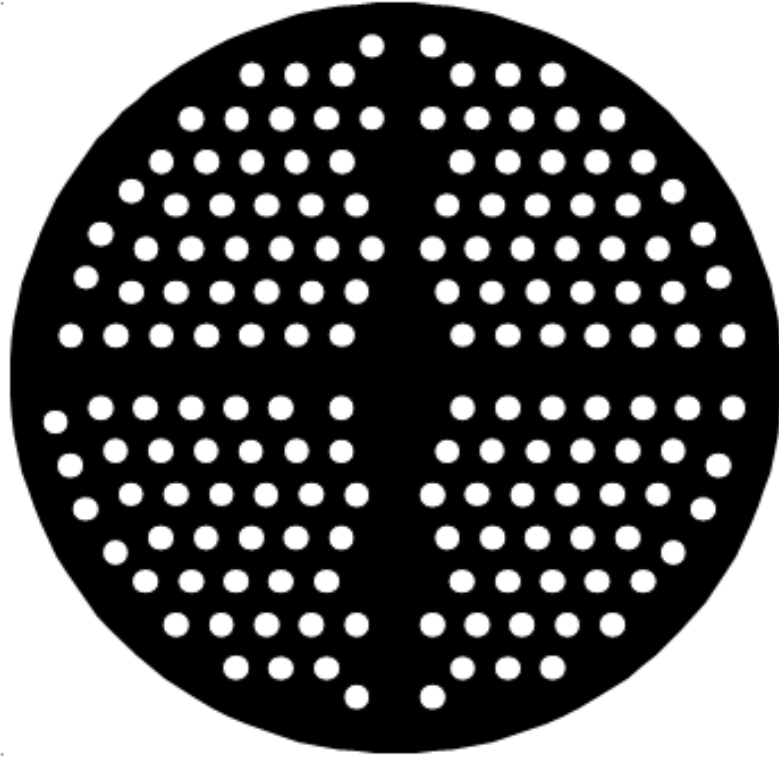
1. Öncelikle, temizlenen yarı iletkenin mat(arka) yüzeyine, omik kontağı oluşturmak için Şekil 3.1’de gösterilen bakır maske yerleştirildi. $\approx 1 \times 10^{-7}$ Torr basınç ve 500 °C sıcaklık altında saf Au (~ 99.999) 4H n-SiC yarıiletkenin arka yüzeyine ~ 2000 Å kalınlığında buharlaştırıldı. Ardından 450 °C’de 1 saat tavlandı ve altının yarı iletkenin içine çöktürülmesiyle omik kontak oluşturuldu.
2. Omik kontakтан sonra 4H n-SiC yarı iletkenin ön yüzeyine metal-organik-kimyasal evaporasyon sistemi (MOCVD) kullanılarak Si_3N_4 ince film tabakası oluşturuldu. Bu tabakanın kalınlığı, numune hazırlandıktan sonra yüksek bir frekanstaki (1MHz) C-V ölçümlerinden ve elipsometri ölçümlerinden 5 nm olarak hesaplandı. Ayrıca ince filmin AFM yardımıyla yüzey morfoloji incelendi. Şekil 3.2’de Si_3N_4 ince film tabakasının AFM görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.2’den de görüldüğü gibi Si_3N_4 ince film tabakası oldukça homojendir ve RMS değeri 0.288’dir.



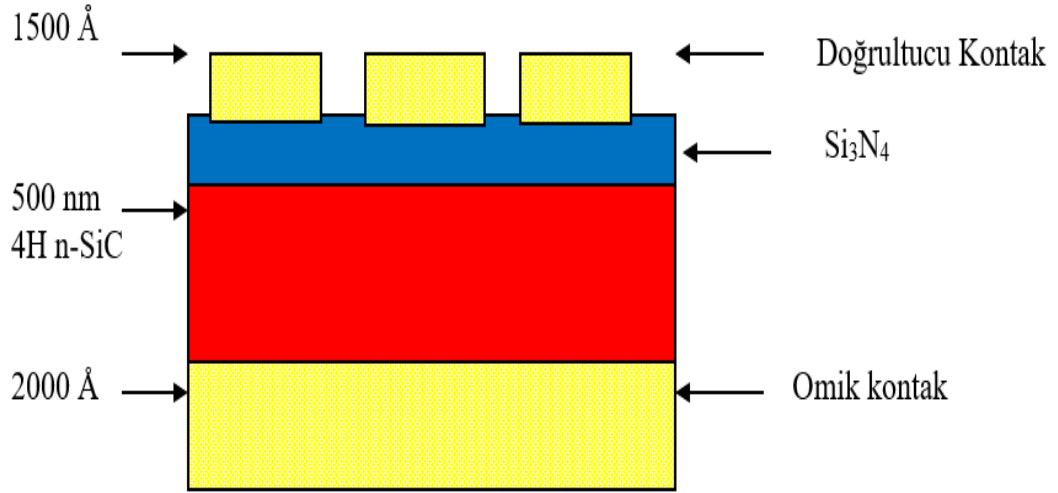
Şekil 3.1. Omik kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske



Şekil 3.2. Si_3N_4 ince film tabakasının AFM görüntüsü



Şekil 3.3. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske

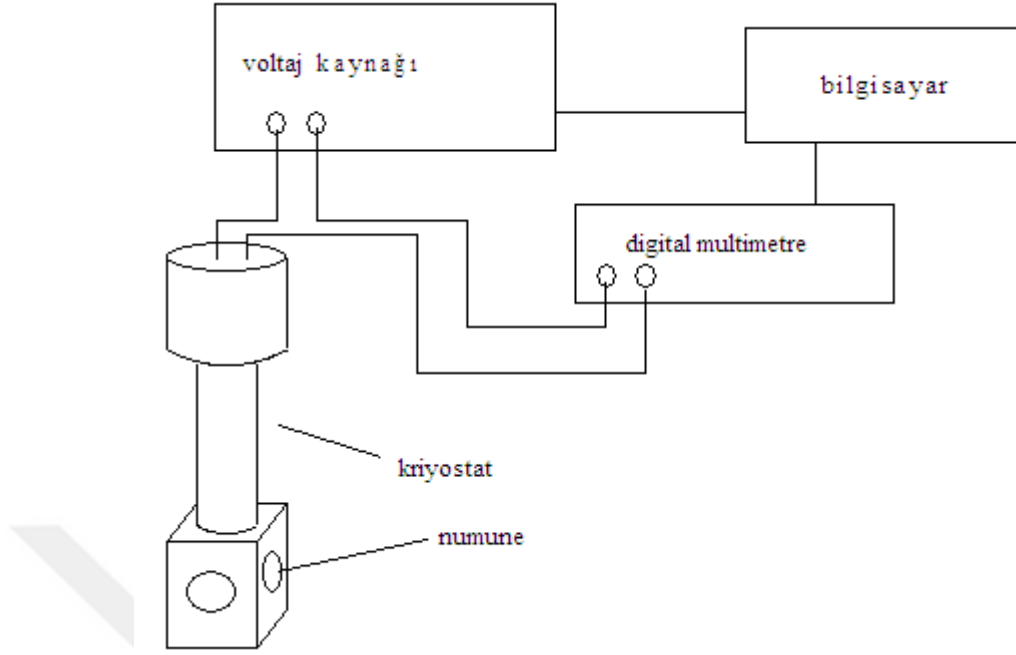


Şekil 3.4. $\text{Si}_3\text{N}_4/4\text{H n-SiC}$ MYY diyotun şematik gösterimi

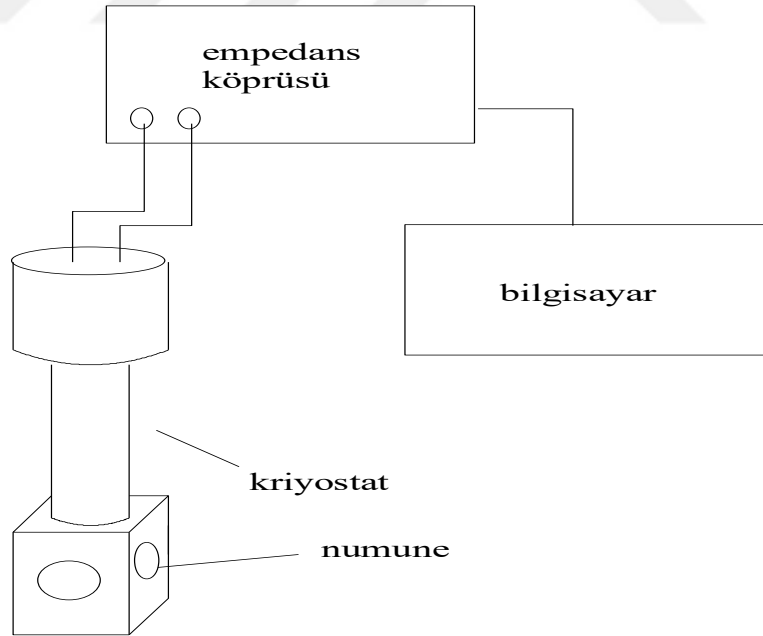
3. Elde edilen $\text{Si}_3\text{N}_4/4\text{H n-SiC}/\text{Au}$ (omik kontak) yapınının üzerine, elektriksel ölçümleri alabilmek için Şekil 3. 3'deki maske yardımıyla 1mm çapında ve $\sim 1500 \text{ \AA}$ kalınlığında Au, $500 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $\approx 1 \times 10^{-7}$ Torr basınç altında vakum sisteminde oluşturuldu. Doğrultucu kontakın da oluşturulmasıyla Au/ $\text{Si}_3\text{N}_4/4\text{H n-SiC}$ MYY Schottky diyotlar elde edildi. Hazırlanan Au/ $\text{Si}_3\text{N}_4/4\text{H n-SiC}$ MYY yapıların bir şematik gösterimi Şekil 3.4' te verilmiştir.

3.3. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri

Au/ $\text{Si}_3\text{N}_4/4\text{H n-SiC}$ MYY Schottky diyotların I-V ölçümlerinde Keithley 2401 akım-voltaj kaynağı kullanıldı. C-V ve G/ω -V ölçümleri ise Hewlett Packard 4192A LF model empedans analizmetre kullanılarak 1 kHz-1 MHz frekans aralığında yapıldı. Au/ $\text{Si}_3\text{N}_4/4\text{H n-SiC}$ Schottky diyotların sıcaklığa bağlı I-V ve C-V ölçümleri 160 - 400 K sıcaklık aralığında Model SC helium kompresör ile tamamlanan CTI-Cryogenics Model 22 soğutma sistemi ile Lakeshore DRC-91C sıcaklık kontrol sistemi kullanılarak yapıldı. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'de Au/ $\text{Si}_3\text{N}_4/4\text{H n-SiC}$ Schottky diyotların I-V ve C-V ölçümlerinin yapıldığı düzenekler sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 3.5. I-V ölçümleri için kullanılan düzenek



Şekil 3.6. C-V ölçümleri için kullanılan düzenek

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Giriş

Bu çalışmada 4H-SiC yarıiletken üzerine üretilen çok sayıda Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY Schottky diyotun (SDs) elektriksel karakteristikleri C-V, G/ω-V ve I-V ölçüm metotları kullanılarak 10-1000 kHz frekans ve 160-400 K sıcaklık aralığında incelendi. Aynı koşullarda hazırlanan diyotlar benzer davranışlar göstereceği için bu çalışmada seçilen bir Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyot ile ilgili sonuçlar verilerek mevcut literatürle kıyaslamalı olarak yorumlandı. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun farklı sıcaklıklardaki deneysel I-V karakteristiklerinden, sıfır beslem engel yüksekliği (Φ_{B0}), seri direnç (R_s), idealite faktörü (n) ve etkin ara yüzey durumları (D_{it}) gibi temel diyot parametreleri hesaplandı. Au/Si₃N₄/4H n-SiC SDs diyotların R_s değerleri, I-V karakteristiklerinden yararlanılarak H(I)-I ve $d\ln(I)/dV-I$ Cheung fonksiyonları yardımıyla sıcaklığa bağlı olarak elde edildi. Ayrıca D_{it} , deneysel C-V ve G/w-V ölçümlerinden yararlanılarak frekansın ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Hill-Colleman metodu kullanılarak elde edildi (Hill ve Coleman, 1980). Deneysel olarak elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotların akım-iletim mekanizmasının, TE teorisine dayalı Gaussian dağılımı ile başarıyla açıklanabildiği görüldü.

4.2. Sıcaklığa Bağlı Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri

Doğal ya da yapay yolla oluşturulan metal ile yarı iletken arasındaki dielektrik/yalıtkan tabaka, MY yapıyı MYY yapıya dönüştürür. Yeterli kalınlıkta seçilen dielektrik tabaka 30 \AA veya daha büyük olursa ara yüzey durumları yarıiletkenle dengede olur. MYY diyotlar dielektrik tabaka kalınlığı (δ), R_s ve D_{it} sebebiyle ideal durumdan uzaklaşır. MYY diyotlarda, termiyonik alan emisyonu (TAE) teorisi, termiyonik emisyon-difüzyon teorisi (TED), çok katlı tünelleme teorisi, TE teorisi, alan emisyonu (AE) teorisi, difüzyon teorisi, T_0 etkili iletim teorisi, yaratılma-yeniden birleşme teorisi ve azınlık taşıyıcı enjeksiyonu teorisi gibi farklı akım-iletim mekanizmaları tek başına veya birkaçı birlikte etkili olabilir.

Akım-iletim mekanizmalarının hangilerinin etkili olduğunu açıklamak oldukça zordur (Kar ve Ark., 1980, 1982). Geniş bir sıcaklık aralığında gerçekleştirilecek I-V ölçümleri bize baskın akım-iletim mekanizmaları ve engel oluşumu ile ilgili bilgi verir. Baskın akım iletim mekanizması, yarı iletken ile metal arasına oluşturulan dielektrik yüzeyin özelliğine, yüzey hazırlama işlemlerine, yarı iletkenin safsızlık yoğunluğuna, yarı iletken/yalıtkan ara yüzeyinde oluşan ara yüzey durumlarının yoğunluğuna, oluşan engelin biçimine, diyot üzerine uygulanan voltaja ve sıcaklık gibi farklı etmenler bağlıdır (Sing ve ark, 1990; Kanbur ve ark, 2005).

$V \geq 3kT/q$ sınırında, ideal MY Schottky diyotta, , azınlık taşıyıcı etkileri ihmal edilerek TE teorisine göre oluşturulan I-V,

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

ile tanımlanır. Burada T Kelvin cinsinden sıcaklık, I_0 doyum akımı ve k Boltzmann sabiti olup

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(\frac{-q}{kT}\Phi_{B0}\right) \quad (4.2)$$

ile ifade edilir. Burada A^* etkin Richardson sabiti, A diyot alanı, Φ_{B0} ise sıfır-beslem potansiyel engel yüksekliğidir. $\ln(I)$ -V grafiği voltaj birkaç kT/q değerinden büyükse bir doğru olur. Deneysel verilerde, doğrunun eğiminin q/kT olması beklenir ancak daha küçük değerler bulunmuş ve bu teoriden sapma durumu, n 'nin $\exp(V_D/nkT)$ ifadesiyle Eş.(4.1)'de kullanılmasıyla düzeltilmiştir. Engel yüksekliğinin tüketim bölgesindeki elektrik alana ve uygulanan voltaja bağlı olması Schottky diyotlarda bu düzeltmeye ihtiyaç oluşturmuştur (Nicollian ve Bews, 1982; Rhoderick ve Williams, 1988; Kanbur ve Ark, 2005). Böylece Eş. (4.1),

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.3)$$

olur. Burada n , idealite faktörüdür.

MYY diyotlarda seri direnç ve dielektrik ara yüzey ideal durumdan sapmalar ortaya çıkarır. Böylece diyot üzerine uygulanan voltaj; seri direnç, dielektrik ara yüzey ve diyot tarafından paylaşılır. R_s etkisiyle diyot üzerine düşen voltaj, $V_D = (V - IR_s)$ olur ve MYD diyotlarda I-V,

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4.4)$$

ile tanımlanır. Burada IR_s , terimi seri direnç üzerine düşen voltajdır.

Şekil 4.1’de 160-400 K sıcaklık aralığında, Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYD diyotun, I-V ve yarı-logaritmik Ln(I)-V karakteristikleri verildi. Ln(I)-V grafiğinin ideal durumda doğrusal olması beklenir. Fakat yarı-logaritmik Ln(I)-V grafiği ideal durumdan uzaklaşır ve n değeri 1’den büyük elde edilir. Bu ise metal-yarı iletken arasında oluşan dielektrik ara yüzey, yarı iletken-yalıtkan arasındaki ara yüzey durumları ve R_s ’e atfedilebilir (Crowell ve Sze, 1966; Card ve Rhoderick, 1971; Sze, 1981; Rhoderick ve Williams, 1988; Kanbur ve ark., 2005).

Eş. (4.3)’ün her iki taraftan Ln’i alınırsa,

$$\ln(I) = \ln I_0 + \frac{q}{nkT} (V_D) \quad (4.5)$$

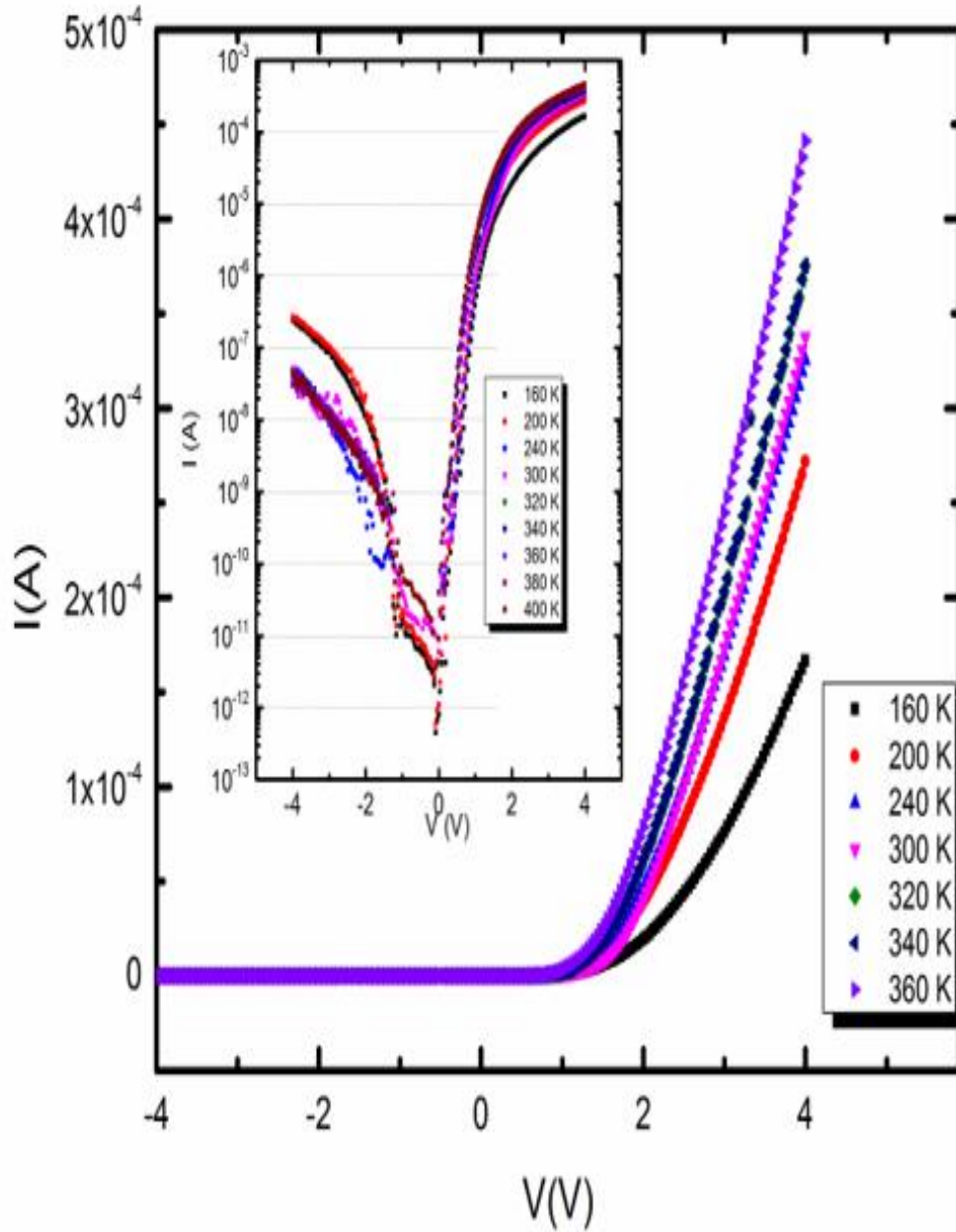
bir doğru oluşur. Bu doğrunun Ln(I) eksenini kestiği noktadan I_0 , eğiminden n belirlenir. Yarı-logaritmik Ln(I)-V karakteristikleri Şekil 4.1’de görüldüğü gibi orta voltaj bölgesinde her bir sıcaklık için doğrusalken daha ileri voltaj bölgesinde seri direnç etkisiyle doğrusallıktan sapmaktadır. Ln(I)-V karakteristiklerindeki lineer bölgelerin eğiminden,

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d \ln(I)} \right) \quad (4.6a)$$

ifadesiyle her bir sıcaklık için n ve Ln(I) eksenini kestiği noktalardan ise I_0 hesaplandı. Her bir sıcaklık için sıfır beslem engel yüksekliği ($\phi_{B_0}(I-V)$) ise,

$$\varphi_{Bo}(I - V) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_o}\right) \quad (4.6b)$$

ifadesinden belirlendi. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyot için Φ_{Bo} ve n değerleri sırasıyla 160 K için; 0.37 eV ve 6.94, 400 K için ise 0.98 eV ve 2.5 bulundu. Ayrıca elde edilen sıcaklığa bağlı Φ_{Bo} ve n değerleri Çizelge 4.1'de verildi.



Şekil 4.1. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyot için farklı sıcaklıklarda elde edilen I-V ve yarı-logaritmik $\ln(I)$ -V karakteristikleri

Çizelge 4.1. 160-400 K sıcaklık aralığında Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun I-V karakteristiğinden belirlenen elektriksel özellikleri

T (K)	n	Φ_{B_0} (eV)	D_{it} (eV ⁻¹ cm ⁻¹)
160	6.94	0.37	3.934x10 ¹³
200	5.26	0.56	2.811x10 ¹³
240	4.23	0.68	2.117x10 ¹³
300	3.24	0.84	1.454x10 ¹³
320	2.98	0.87	1.279x10 ¹³
340	2.68	0.93	1.073x10 ¹³
360	2.64	0.94	8.562x10 ¹²
380	2.54	0.97	8.026x10 ¹²
400	2.50	0.98	5.950x10 ¹²

Çizelge 4.1'den görüldüğü gibi Φ_{B_0} ve n değerleri sıcaklığa oldukça bağlıdır. n değerleri artan sıcaklıkla azalırken Φ_{B_0} değerleri artan sıcaklıkla artmaktadır. n'nin artan sıcaklıkla, 6.94-2.5 aralığında değişen değerleri, akım-iletim mekanizmasında TE'den sapma olduğunun bir göstergesidir.

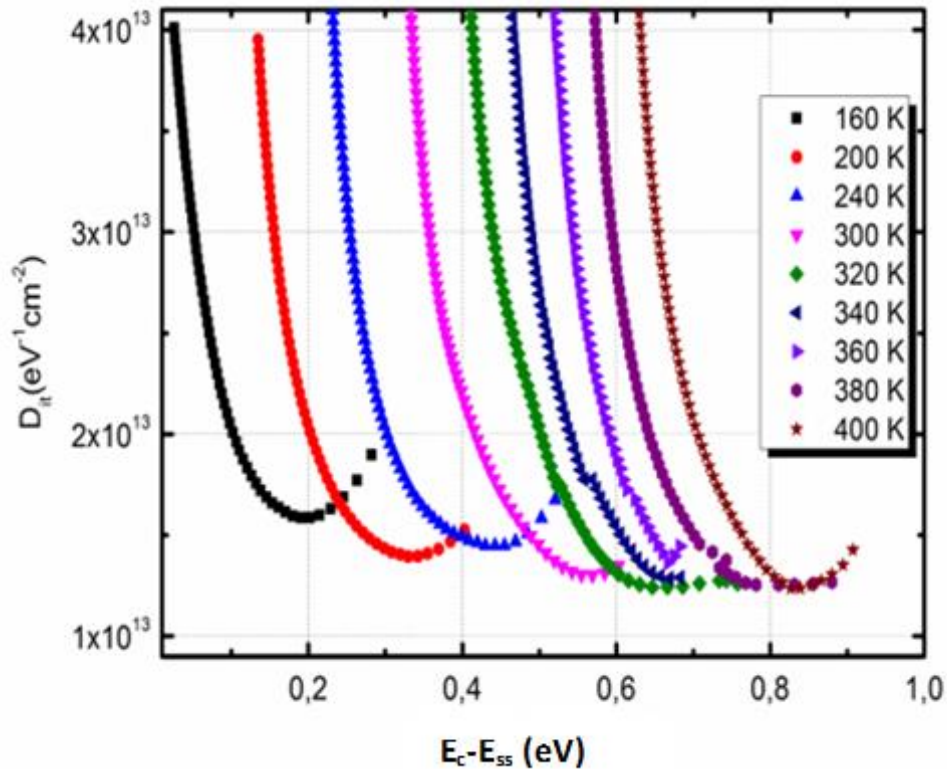
Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotlar için hesaplanan D_{it} ,

$$n(V) = \frac{q(V-IR_s)}{kT \ln(I/I_0)} \quad (4.7a)$$

olmak üzere,

$$D_{it}(V) = \frac{1}{q} \left[\frac{\varepsilon_i}{\delta} (n(V) - 1) - \frac{\varepsilon_s}{W_D} \right] \quad (4.7b)$$

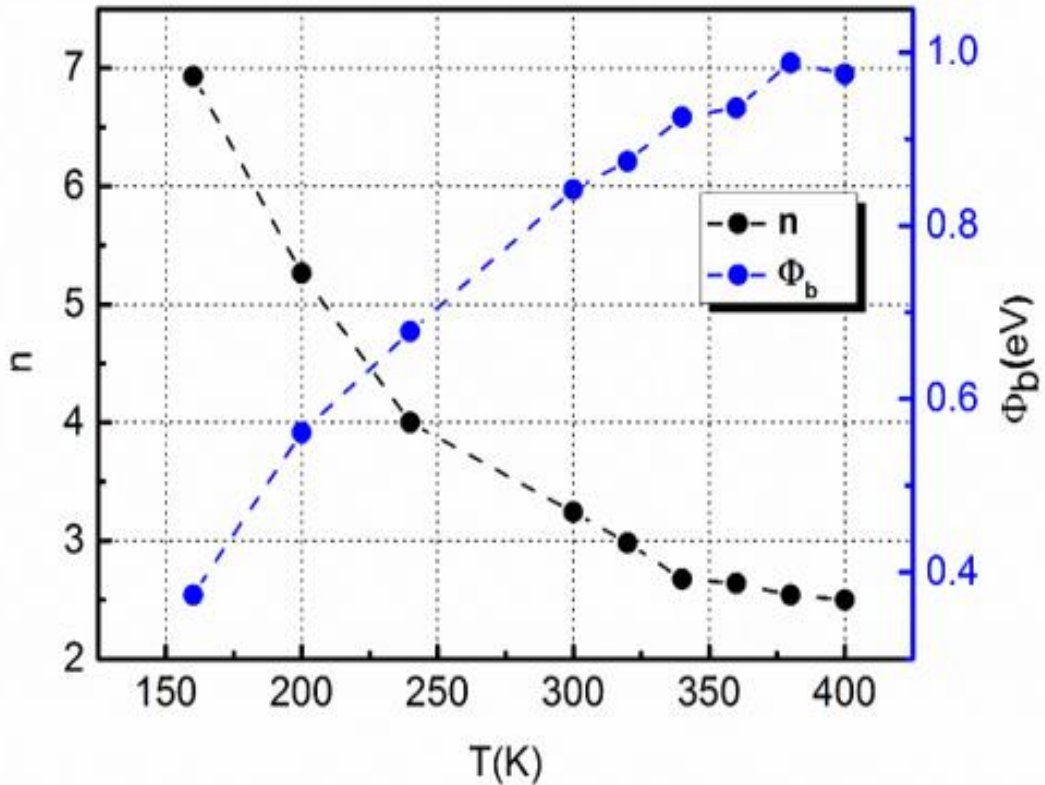
ifadesiyle tanımlanır (Card ve Rhoderick, 1971). Burada W_D uzay yük bölgesinin genişliği, ε_i ve ε_s sırasıyla dielektrik ve yarıiletken tabakanın elektriksel geçirgenliği, δ dielektrik/yalıtkan tabakanın kalınlığıdır. Her bir sıcaklık için ara yüzey durum yoğunluğu değerleri Şekil 4.2 ve Çizelge 4.1’de verildi. Bu değerler Eş. (4.7b)’den $\delta=5$ nm, $\varepsilon_s=9.6\varepsilon_0$, $\varepsilon_i=7.6\varepsilon_0$, $w_D=1 \times 10^{-5}$ cm değerleri kullanılarak belirlendi.



Şekil 4.2. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyot için farklı sıcaklıklarda $D_{it}-(E_c-E_{ss})$ eğrileri

Şekil 4.2’de Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyot için farklı sıcaklıklarda $D_{it}-(E_c-E_{ss})$ eğrileri verildi. Şekilde görüldüğü gibi D_{it} değerleri Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY SBDs

için artan sıcaklıkla azalma eğilimindedir. Benzer duruma literatürdeki çalışmalarda da rastlanmıştır. Bu durum sıcaklık etkisiyle Schottky barrier diyotlardaki moleküllerin yeniden yapılanması ve düzenlenmesine atfedilmiştir (Altındal ve Ark., 2008; Bengi ve Bülbül, 20013; Parlaktürk ve Ark., 2008). Bunun yanında bir diğer neden artan sıcaklıkla yük taşıyıcılarının termal enerjisindeki artıştır (Tunç ve Ark., 2011; Ejderha ve Ark., 2012; Kumar ve Ark., 2013). Bu çalışmada da D_{it} değerlerinin sıcaklığa bağlı yük taşıyıcılarının yeterli miktarda yüksek enerjiye sahip olmaları ve buna bağlı olarak da düşük enerji seviyeli tuzaklardan etkilenmeleri açıklanabilir. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotu için I-V karakteristiklerinden D_{it} , 160 ve 400 K için sırasıyla $3.935 \times 10^{13} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ve $0.595 \times 10^{13} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ bulundu. Aynı zamanda D_{it} değeri artan sıcaklıkla azalmaktadır ve bu durum sıcaklığın etkisiyle yarı iletken-metal ara yüzeyindeki termal yeniden düzenlenme ve yeniden yapılanmadan meydana gelmektedir (Sze, 1981; Rhoderick, 1982).



Şekil 4.3. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotta idealite faktörü ve engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlı değişimi

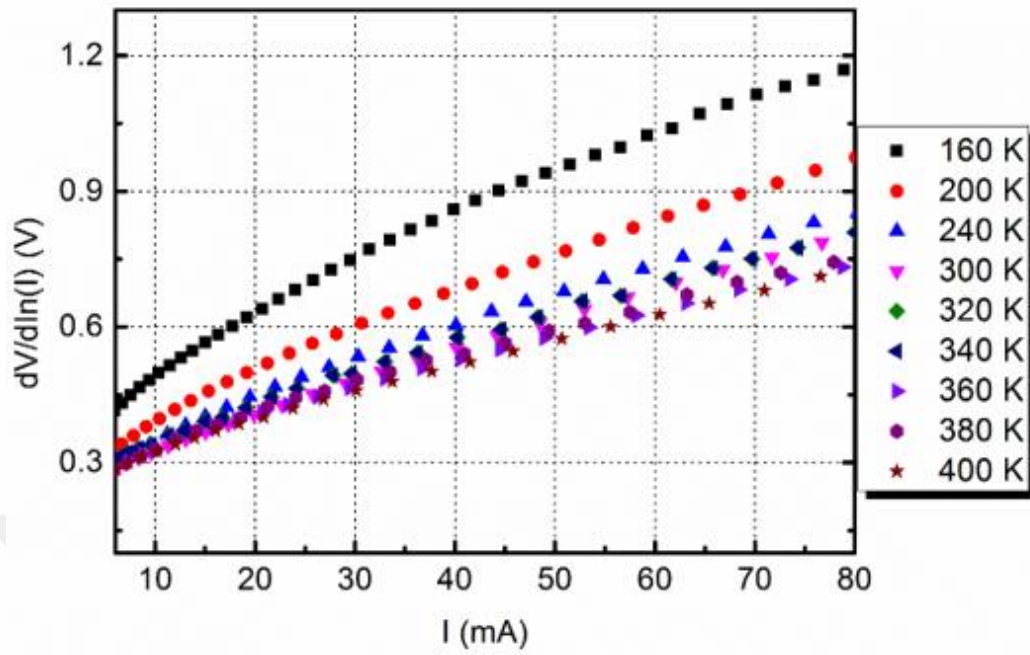
Şekil 4.3 ve Çizelge 4.1'den görüldüğü gibi engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişim katsayısı pozitifdir yani Φ_{B0} değeri artan sıcaklıkla artarken n değeri azalır. Artan sıcaklıkla yarı iletkenin yasak enerji aralığı ve engel yüksekliğinin azalması beklenir ve deneysel sonuçlar literatüre aykırıdır. Ayrıca her bir sıcaklık için n 'nin, 1'den çok büyük olması TE teorisinden ve ideal diyottan uzaklaşıldığının göstergesidir. Bu durum engel homojensizliğine ve ($n>1$) metal/yalıtkan ara yüzeyindeki yalıtkan tabaka ile yarı iletken/yalıtkan ara yüzeyinde lokalize olmuş ara yüzey durumlarının varlığına atfedilebilir (Kar ve ark., 1982; Rhoderick ve Williams, 1988)

Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun seri direnci, $H(I)-I$ ve $d(V)/d(\ln I)-I$ Cheung fonksiyonları yardımıyla I-V karakteristiklerinden bulunabilir (Norde, 1979; Werner, 1988; Yiğiterol ve ark., 2018; Güllü ve ark., 2019). Böylece $H(I)-I$ ve $d(V)/d(\ln I)-I$ grafiklerini kullanarak Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyot için R_s değerini hesaplamak mümkündür. Şekil 4.4'de Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun $dV/d\ln(I) -I$ grafiği, Şekil 4.5'de ise $H(I)-I$ grafiği gösterilmiştir.

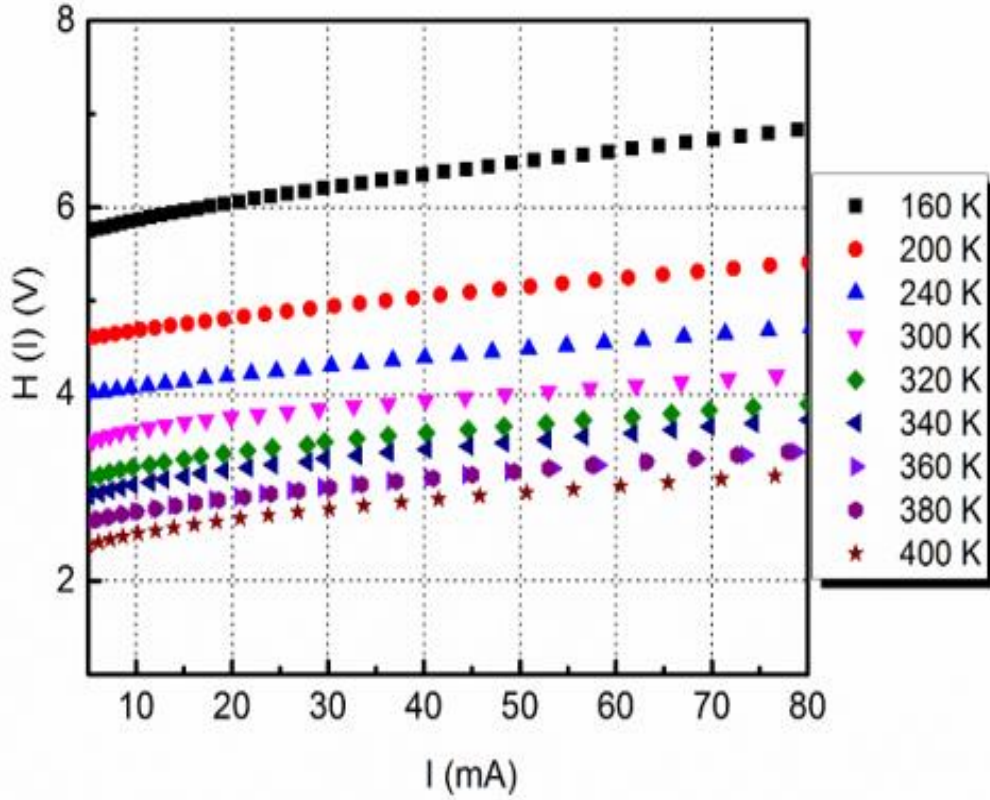
$$\frac{dV}{d(\ln I)} = n \frac{kT}{q} + R_s I \quad (4.8)$$

$$H(I) = V - n \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I}{A A^* T^2} \right) = n \Phi_B + R_s I \quad (4.9)$$

eşitliklerinden görüleceği gibi $dV/d\ln(I)-I$ grafiğinin $dV/d\ln(I)$ eksenini kestiği noktadan n , eğiminden ise R_s bulunur. Eş. (4.8)'den hesaplanan n değerleri Eş.(4.9) de kullanılarak $H(I)-I$ grafiği çizilirse Şekil 4.5'de görüldüğü gibi $H(I)-I$ grafiğinin doğrusal olduğu anlaşılır. Bu doğrusal bölgenin eğiminden R_s her bir sıcaklık için belirlenir. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotunun Eş.(4.8) ve Eş.(4.9) kullanılarak belirlenen sıcaklığa bağlı R_s değerleri Çizelge 4.2'de ve Şekil 4.6'da sunulmuştur. Şekil 4.6 ve Çizelge 4.2'den de görüleceği gibi R_s artan sıcaklıkla azalmaktadır ve her iki fonksiyonla elde edilen R_s değerleri birbiriyle uyumludur.



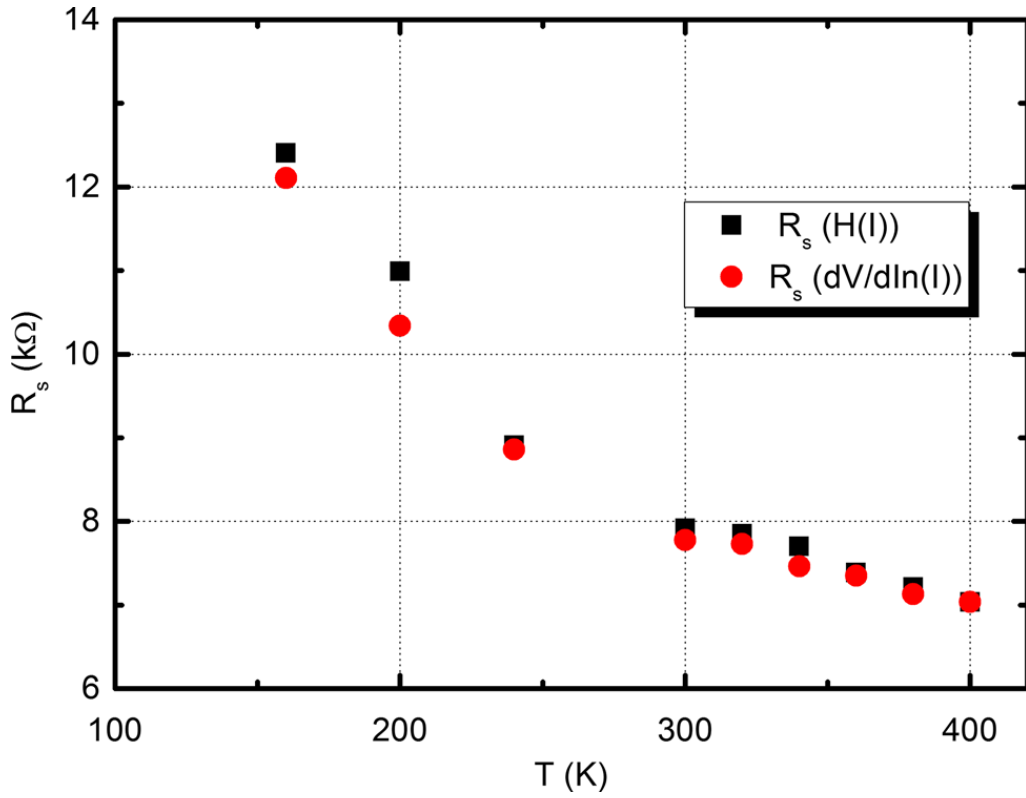
Şekil 4.4. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun $dV/Ln(I)$ - I grafiği



Şekil 4.5. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun $H(I)$ - I grafiği

Çizelge 4.2. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun 160-400 K sıcaklık aralığında seri direnci

T (K)	R _s (H(I)) (kΩ)	Rs(dV/dln(I)) (kΩ)
160	12.405	12.105
200	10.990	10.343
240	8.907	8.859
300	7.916	7.777
320	7.851	7.731
340	7.700	7.461
360	7.384	7.348
380	7.211	7.131
400	7.035	7.035



Şekil 4.6. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun R_s- T grafiği

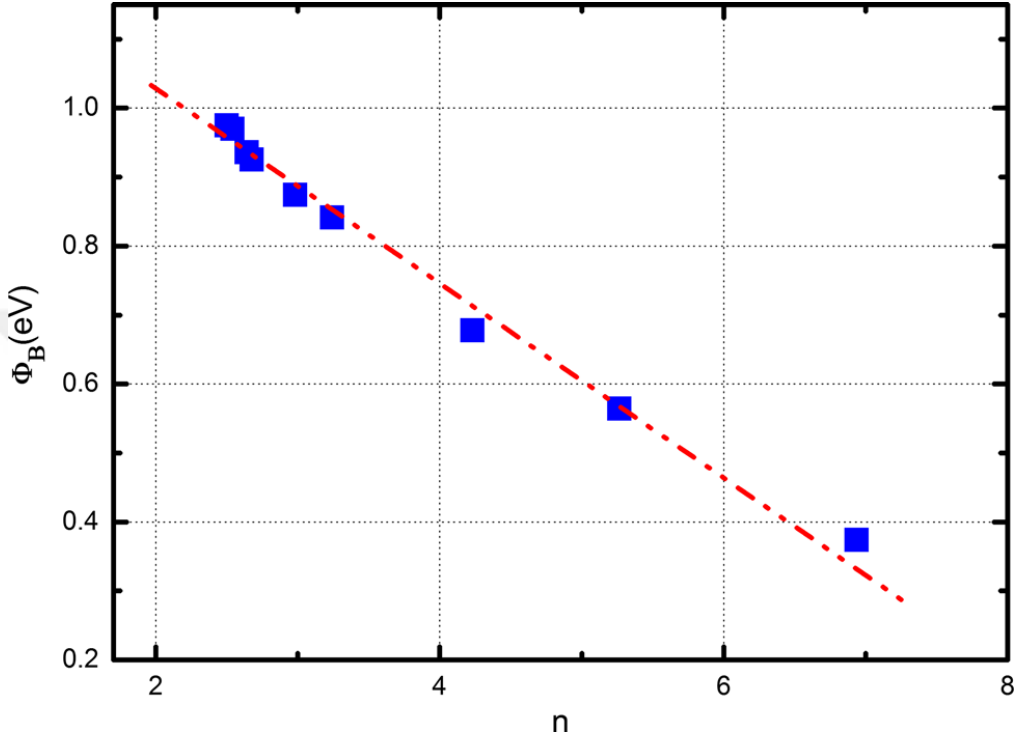
4.3. Homojen Olmayan Engel Analizi

MYY diyotun temel elektriksel özelliklerini belirlemek için TE teorisi kullanılır (Bhuiyan ve Ark., 1988; Güllü ve ark., 2018,2019). Çeşitli araştırmalarda düşük sıcaklıklarda beklenmeyen farklı sonuçlarla karşılaşmıştır (Akal ve ark., 1988; Chand ve Kumar, 1996; Lee ve ark., 2000). Çoğunlukla artan sıcaklıkla n 'nin azaldığı ve $\Phi_{B0}(I-V)$ 'nin ise artmakta olduğu belirlenir. Bu $(\ln(I_0/T^2)-1/T)$ ve $(\ln(I_0/T^2)-1/nT)$ aktivasyon enerjisi grafiklerinde doğrusal bölgelerin daralması veya oluşmamasına neden olur. Bunun sonucunda ise Richardson sabitinin $(\ln(I_0/T^2)-1/T)$ veya $(\ln(I_0/T^2)-1/nT)$ grafiklerinden bulunan değeri, 4H n-SiC yarı iletkenlerde deşikler için bilinen $146 \text{ A/cm}^2\text{K}^{-2}$ teorik değerinden çok daha küçüktür elde edilir. $\ln(I_0/T^2)-1/T$ veya $(\ln(I_0/T^2)-1/nT)$ grafiklerindeki bu davranış engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlılığıyla açıklanmıştır (Ashok ve ark., 1979; Terlemezoğlu ve ark., 2018). Richardson grafiklerindeki bu anormal durum yüksek engel alanları ihtiva eden ara yüzey, homojen olmayan engel yükseklikleri ve potansiyel değişimlerden oluşur (Werner ve Güttler, 1991; Zhu ve ark., 2000; Maeda, 2001). Bir başka deyişle, MYD diyotta oluşan akım, potansiyel dağılımı daha düşük engellerin varlığından oluşur (Chand ve Kumar, 1997; Hudait ve Krupanidhi, 2001; Chand, 2002). A^* deneysel değeri, sıcaklığa bağlı I-V karakteristiklerinden belirlendiğinde, engelin homojensizliği nedeniyle teorik değerden çok küçük elde edilir (Horvath, 1996). Bu ise engel yüksekliğinin bir Gaussian dağılımına sahip olmasıyla açıklanır (Horvath, 1996; Zhu ve ark., 1999) Aynı zamanda (Tung, 1992) tarafından açıklanan ve Şekil 4.7'de görülen $\Phi_{B0}-n$ grafiğininde lineer olması engel homojensizliğine/düzensizliğine delil teşkil etmektedir (Tung, 1992; Yıldız ve Altındal, 2008; Yiğiterol ve ark., 2018).

Gaussian dağılım ifadesi aşağıdaki gibi verilir (Lee ve ark., 2000; Altındal ve ark., 2007; Yıldız ve Altındal, 2008; Terlemezoğlu ve ark., 2018).

$$P(\Phi_B) = \frac{1}{\sigma_0\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\Phi_B - \bar{\Phi}_B)^2}{2\sigma_0^2}\right] \quad (4.10)$$

Burada σ_0 standart sapma, $1/\sigma_0\sqrt{2\pi}$ ise Gaussian engel yüksekliği dağılımının normalizasyon sabiti ve $\bar{\Phi}_{B_0}$ ortalama engel yüksekliğidir. Engel homojensizliğe sahip MYY diyot için toplam akım



Şekil 4.7. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun Φ_{B_0} - n grafiği

$$I(V) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\Phi_B, V) P(\Phi_B) d\Phi \quad (4.11)$$

ile tanımlanır. Burada $I(\Phi_B, V)$; engel yüksekliği olasılığıyla normalize edilmiş dağılım fonksiyonu ($P(\Phi_B)$) ve TED teorisine dayalı engel yüksekliği için, beslem voltajına (V) karşılık gelen akım değeridir. $-\infty$ ile $+\infty$ aralığında Eş. (4.11)'un integrali alınırsa Schottky engeli üzerindeki akım Eş.(4.1)'e benzer olarak aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I(V) = AA^*T^2 \exp\left[-\frac{q}{kT}\left(\bar{\Phi} - \frac{q\sigma_0^2}{2kT}\right)\right] \exp\left(\frac{qV}{n_{ap}kT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right)\right] \quad (4.12)$$

Burada I_o , Eş. (4.2)'ye benzer olarak

$$I_o = AA^*T^2 \exp \left(-\frac{q\Phi_{ap}}{kT} \right) \quad (4.13)$$

ile ifade edilir. Burada Φ_{ap} görünen engel yüksekliği ve n_{ap} görünen idealite faktörüdür.

$$\Phi_{ap} = \bar{\Phi}_{B0}(T = 0) - \frac{q\sigma_o^2}{2kT} \quad (4.14)$$

$$\left(\frac{1}{n_{ap}} - 1 \right) = \rho_2 - \frac{q\rho_3}{2kT} \quad (4.15)$$

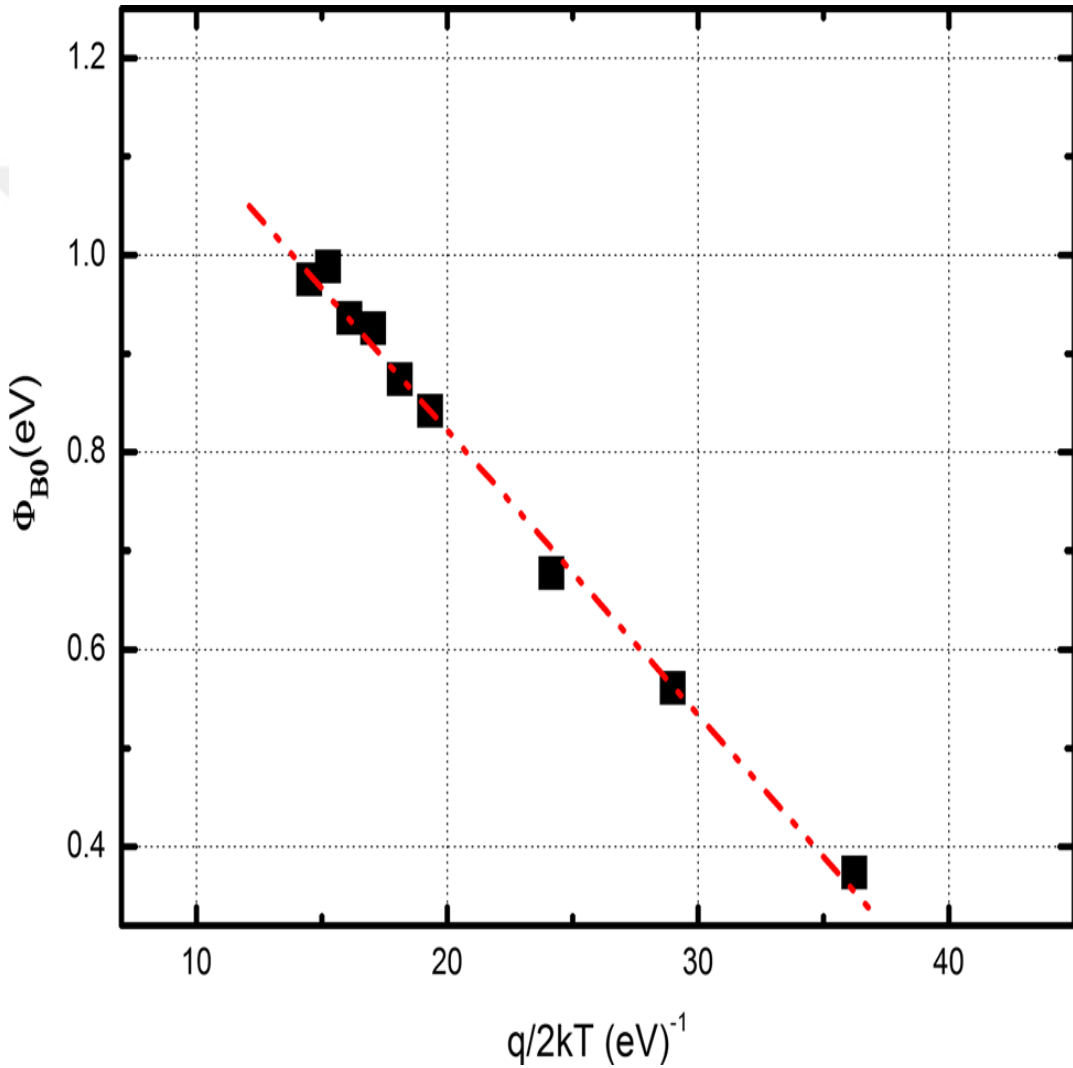
ile tanımlanır ve aşağıdaki gibi yazılabilir (Güllü ve Yıldız, 2019; Güllü ve ark., 2018; Terlemezoğlu ve ark., 2018).

Gaussian parametreleri, $\bar{\Phi}_B = \bar{\Phi}_{B0} + \rho_2 V$ ve $\sigma_o = \sigma_{so} + \rho_3 V$ ifadelerinden görüldüğü gibi voltaja bağlıdır. Burada ρ_2 ve ρ_3 sıcaklığa bağlı voltaj sabitleridir (Zhu ve ark., 2000; Yıldız ve Altındal, 2008).

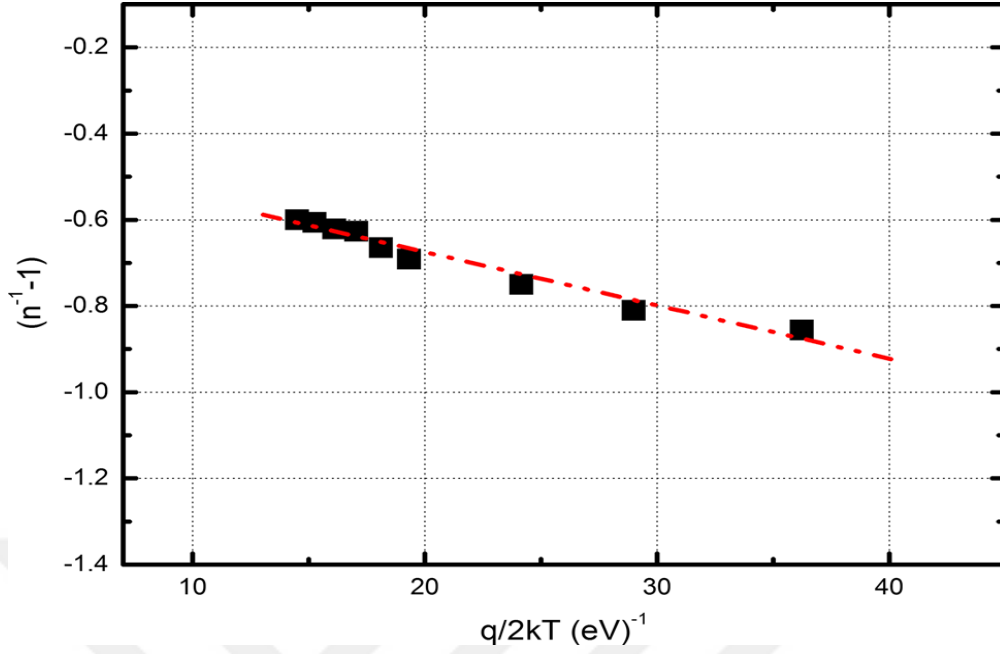
Eş. (4.2) veya Eş. (4.13) ve Eş. (4.6)'dan elde edilen deneysel veriler fit edilerek, sırasıyla $n_{ap}=n$ ve $\Phi_{ap}=\Phi_{B0}$ değerleri bulunur. Bu değerler Eş. (4.14) ve Eş. (4.15) ile uyumlu ise Şekil 4.8'de görüldüğü gibi $\Phi_{ap}-q/2kT$ grafiği bir doğru verir. Bu doğrunun Φ_{ap} eksenini kestiği noktadan ortalama engel yüksekliği 1.40 eV ve eğiminden ise standart sapma 0.169 V değeri elde edilir. σ_o değeri diyotun performansını belirleyen bir parametredir ve bu değer küçüldükçe homojen engele yaklaşılr. Elde ettiğimiz deneysel sonuçlardan σ_o 'nın 0.169 V değerinin $\bar{\Phi}_{B0}$ 'ın 1.40 eV değeriyle kıyasladığımızda çokta küçük olmadığı görülür. Bunun nedeni ara yüzeyde homojen olmayan durumların varlığıdır.

Diğer Gaussian parametreleri olan ρ_2 ve ρ_3 ' ün belirlenmesi için Şekil 4.9'daki $(n^{-1}-1)-q/2kT$ grafiğinden yararlanır. $(n^{-1}-1)-q/2kT$ grafiği görüldüğü gibi doğrusaldır ve bu doğrunun eğimi ρ_3 ve düşey eksen kesme noktası ρ_2 verir. Bu şekilde

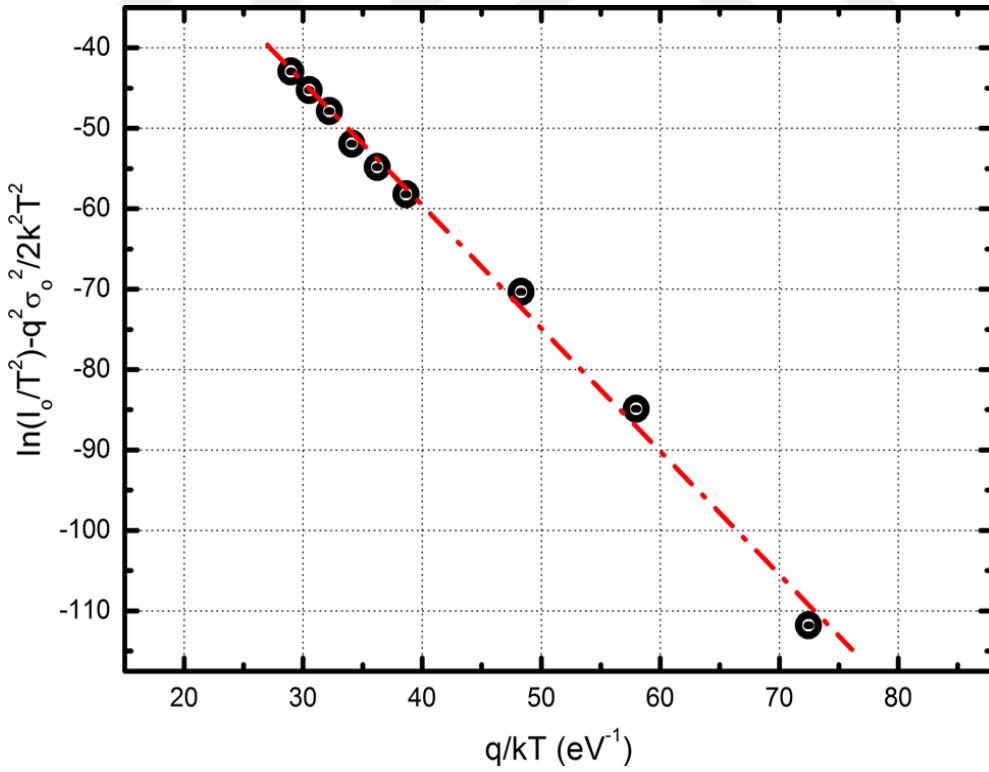
hesaplanarak Şekil 4.9'daki grafikten $\rho_2 = 0.013$ ve $\rho_3 = 0.423$ bulundu. Schottky engel yüksekliğinin Gaussian dağılımına sahip olması $(n^{-1}-1) \cdot q/2kT$ grafiğinin doğrusal olmasına neden olur. Aynı zamanda düşük sıcaklık I-V karakteristikleri ve özellikle $\ln(I_0/T^2)-1/T$ ve $\ln(I_0/T^2)-1/nT$ grafikleri doğrusal olmayan davranış sergiler (Sullivan ve ark., 1991; Zhu ve ark., 2000).



Şekil 4.8. Gaussian dağılımına göre Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun, Φ_{B0} - $q/2kT$ grafiği



Şekil 4.9. Gaussian dağılımına göre Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun $(n^{-1})-q/2kT$ grafiği



Şekil 4.10. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun sıcaklığa bağlı $[\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_0/2k^2T^2]-q/kT$ grafiği

Eş. (4.13) ve Eş. (4.14) birleştirilerek Richardson grafiği modifiye edilirse,

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) - \left(\frac{q^2\sigma_0^2}{2k^2T^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{q\bar{\Phi}_{B0}}{kT} \quad (4.16)$$

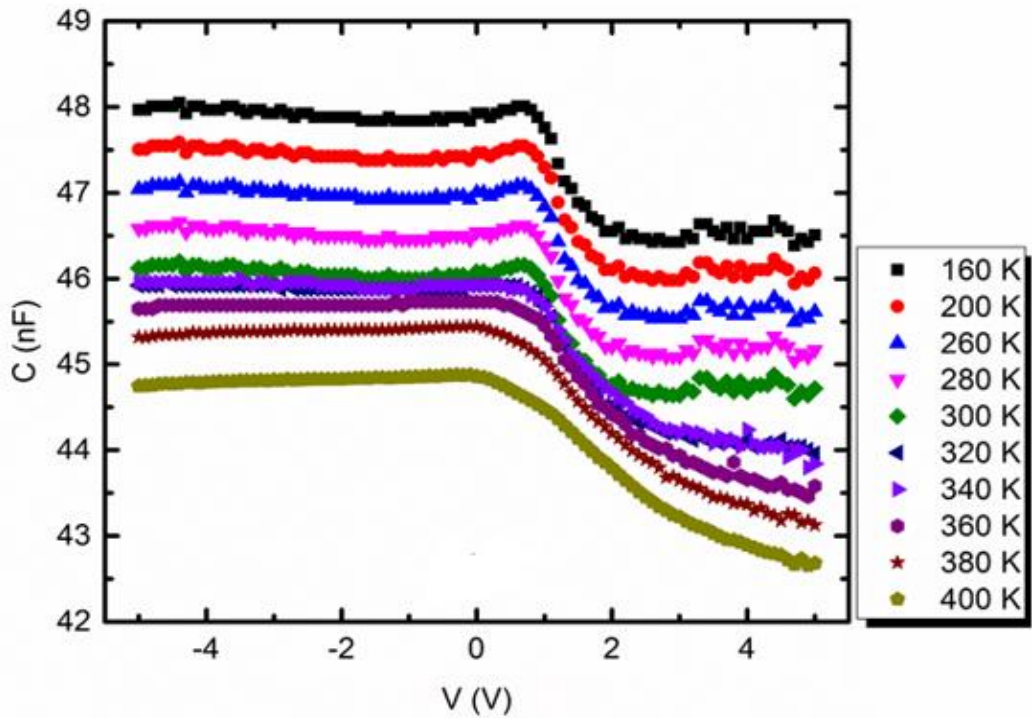
elde edilir. Şekil 4.10'dan görüldüğü gibi $[\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_0^2/2k^2T^2] - q/kT$ grafiğinden bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğiminden $\bar{\Phi}_{B0}$ ve $[\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_0^2/2k^2T^2]$ eksenini kestiği noktadan ise A^* etkin Richardson sabiti belirlenir. $[\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_0^2/2k^2T^2] - q/kT$ grafiğinden, $\bar{\Phi}_{B0}$ ve A^* değerleri sırasıyla 1.53 eV and $137.21 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$ olarak hesaplandı. Görüldüğü gibi $[\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_0^2/2k^2T^2] - q/kT$ grafiğinden elde edilen $\bar{\Phi}_{B0}=1.53 \text{ eV}$ değeri, $\Phi_{ap} - q/2kT$ grafiğinden elde edilen $\bar{\Phi}_{B0}=1.4 \text{ eV}$ değerine oldukça yakındır. Ayrıca deneysel olarak 4H n-SiC için bulunan $137.21 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$ Richardson Sabiti değeri teorik $146 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$ değeri ile uyumlu elde edilmiştir (Yiğiterol ve ark., 2018). Bu her iki uyumlu sonuçta Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY Schotky diyotların akım-iletim mekanizmasının, TE teorisine dayalı Gaussian dağılımı ile başarılı şekilde açıklanabildiğini gösterir.

4.4. C-V ve G/w-V Karakteristikleri

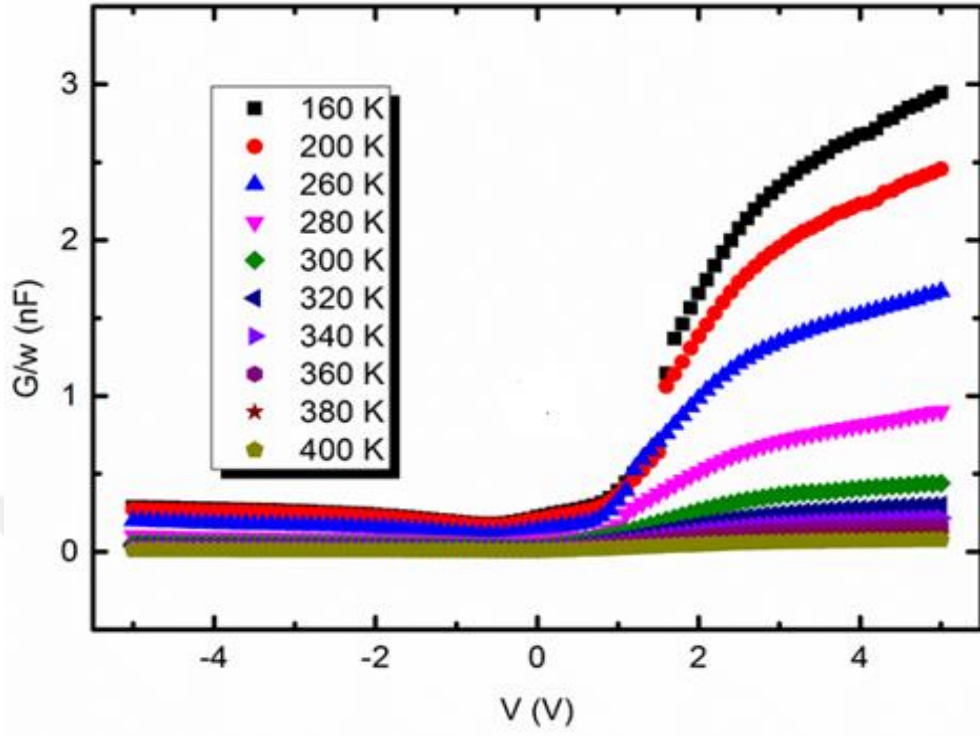
MYY yapıların kapasitans ve iletkenlik ölçümlerinin dar bir sıcaklık aralığında yapılması veya tek bir voltajda sunulması bize akım-iletim mekanizması, metal/yarı iletken ara yüzeyindeki potansiyel engelin yapılanması ya da ara yüzey yükleri hakkında detaylı bilgi vermez. Bu nedenle geniş bir sıcaklık ve voltaj, geniş bir frekans aralığında MYY yapıların çalışılması yapıların iletim mekanizması, temel elektriksel parametrelerin sıcaklığa ve frekansa bağlı aralığında incelenmesine imkân sağlar. 160-400 K sıcaklık aralığında Au/Si₃N₄/ 4H n-SiC MYY Schotky diyotunun 1000 kHz'de ölçülen G/w-V ve C-V karakteristikleri sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.11'de verildi. C-V ve G/w-V ölçümleri, düşük frekanslarda meydana gelebilecek ara yüzey durumların etkisini kaldırmak için yüksek frekansta (1000 kHz) gerçekleştirildi. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'den görüldüğü gibi C ve G/w değerleri artan sıcaklıkla azalmaktadır. Her sıcaklık için kapasitans değeri pik vermektedir ve bu sıcaklığa göre pik değerleri ve konumları değişmektedir. Oluşan bu pikin moleküler

yapılanma, ara yüzey durum yoğunluğu, katkı atomları sayısı, seri direnç ve yalıtkan tabaka kalınlığı gibi parametrelere bağlı olduğu diğer araştırmacılar tarafından açıklanmıştır (Nicollian ve Brews, 1982; Altındal ve ark., 2008). C-V karakteristiklerinin sıcaklığa bağlı değişimi tüketim tabakası kapasitansının seri birleşimine ve sıcaklığa bağımlı ara yüzey tuzaklarının kapasitansa verdiği katkıya atfedilmektedir (Shinn ve ark., 1998).

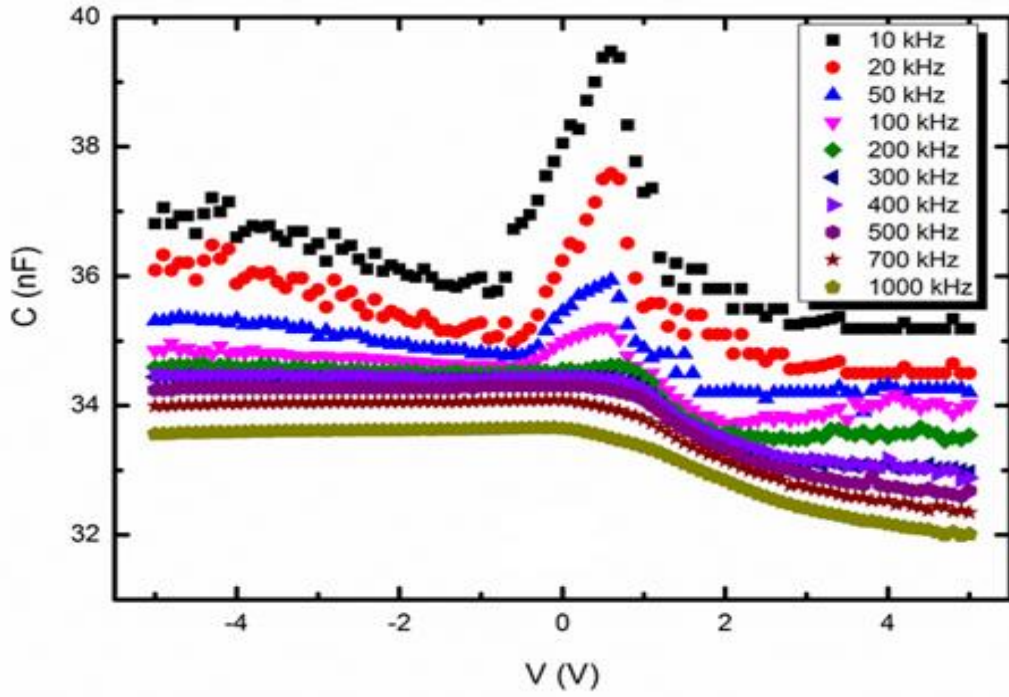
Au/Si₃N₄/ 4H n-SiC MYY Schottky diyotunun 10-1000 kHz frekans aralığında ölçülen C-V ve G/w-V karakteristikleri sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verildi. Şekil 4.13'de görüldüğü gibi, her bir frekans değeri için C bir pik vermektedir ve C değerleri artan frekansla beraber simetrik olarak azalır. Artan frekansla beraber pik pozisyonu değişirken maksimum pik 10 kHz'de görülmektedir. Ayrıca artan frekansla C ve G/w değerlerinin azaldığı Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'den görülmektedir. MYY diyotta C-V karakteristiklerinde piklerin oluşması ile artan frekansla C ve G/w değerlerinin azalması başka araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir ve ara yüzey durumlarının sıcaklığa veya frekansa bağlı olarak yeniden yapılanması ve düzenlenmesiyle açıklanmıştır (Bayraklı Sürücü ve ark., 2019; Güllü ve ark., 2019).



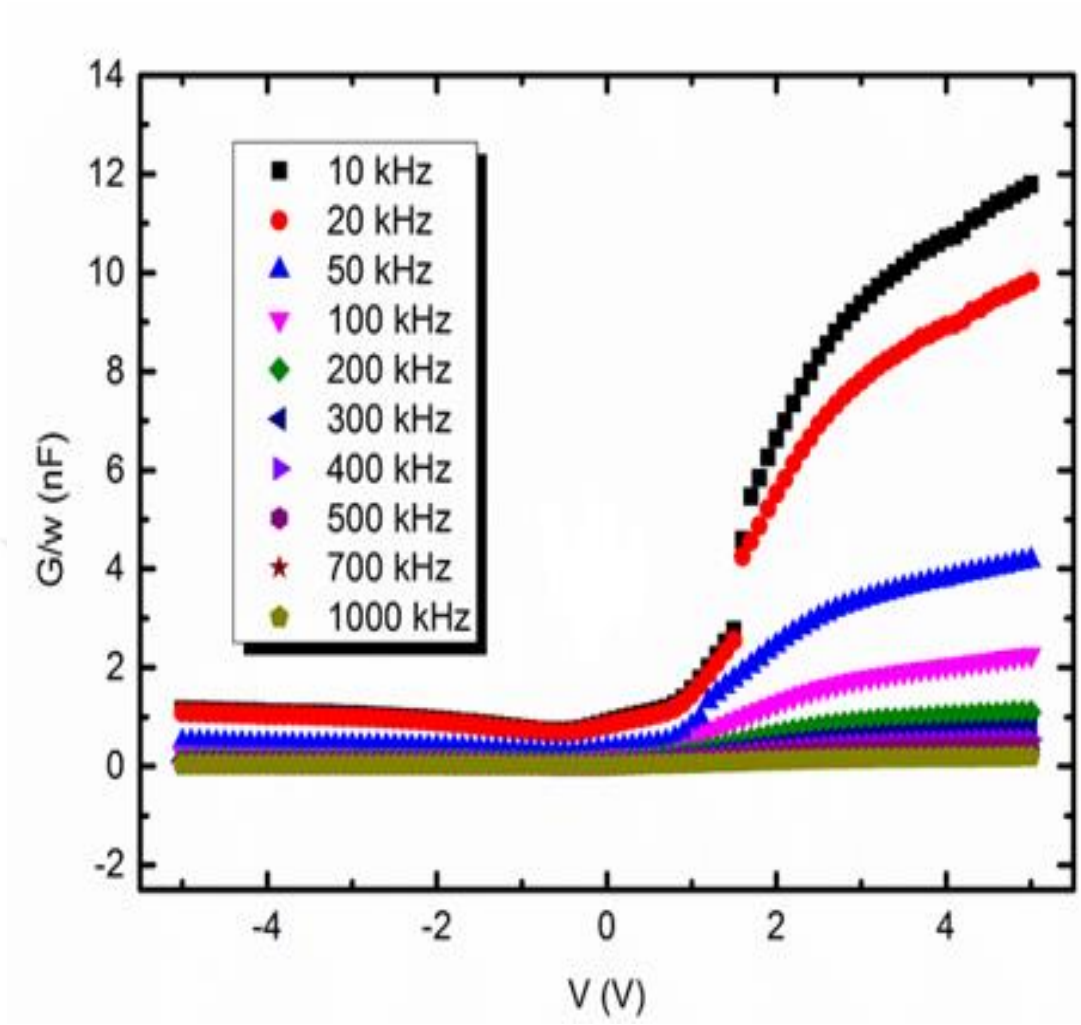
Şekil 4.11. Au/Si₃N₄/ 4H n-SiC MYY diyotun farklı sıcaklıktaki C-V karakteristikleri



Şekil 4.12. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun farklı sıcaklıktaki G/w-V karakteristikleri



Şekil 4.13. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun 300 K'de farklı frekanstaki C-V karakteristikleri



Şekil 4.14. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun 300 K’de farklı frekanstaki G/w-V karakteristikleri

Gerçek MYY yapılarında; ideal MYY yapılarıdaki durumdan farklı birçok ara yüzey durumları ve oksit yüklerinin varlığı MYY yapıların karakteristiklerinin idealden farklı olmasını sağlar. Bir yapı büyütülürken oluşan örgü kusurları ve safsızlıklar izinli olmayan yasak enerji aralığında birçok enerji seviyesinin oluşmasına neden olur. Yasak enerji aralığındaki bu izinli seviyelere ara yüzey durumları adı verilir (Sze, 1981; Nicollian ve Brews, 1982).

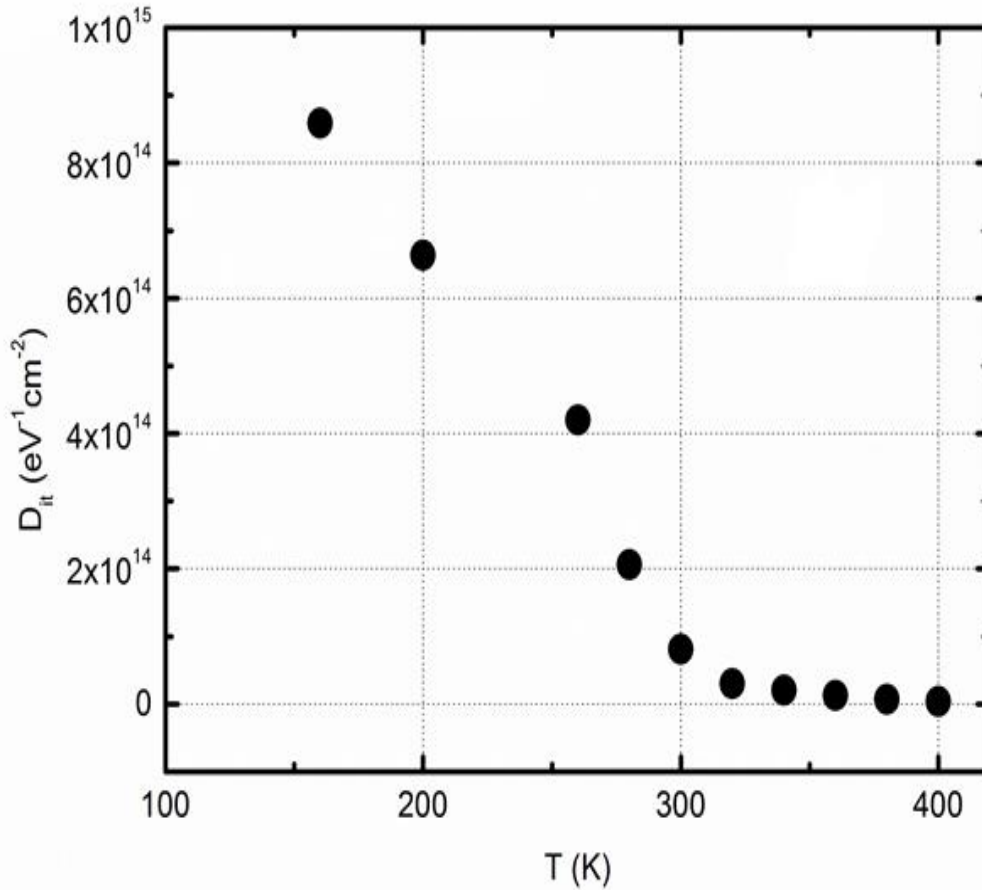
4H n-SiC/Si₃N₄ ara yüzeyindeki ara yüzey durum yoğunluğunun belirlenmesi Au/Si₃N₄/ 4H n-SiC MYY Schottky diyotları için son derece önemlidir. Bu nedenle ara yüzey durumlarını belirlemek için farklı metotlar geliştirilmiştir (Terlemezoğlu ve ark., 2018; Yiğiterol ve ark., 2018). Yüzey durumlarının hesaplanmasında en çok tercih edilen Hill-Coleman metodudur . Hill-Coleman metodu (Yiğiterol ve ark.,

2018; Hill ve Coleman, 1980) ara yüzey durumlarının tespit edilmesi için güvenilir ve hızlı bir metottur. Bu nedenle pek çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır.

Ara yüzey durumları metoduna göre aşağıdaki eşitlikle verilir (Hill ve Coleman, 1980).

$$D_{it} = \frac{2}{qA} \frac{(G_m/w)_{max}}{((G_m/w)_{max} C_{ox})^2 + (1 - C_m/C_{ox})^2} \quad (4.17)$$

Burada A diyot alanı, w açılal frekans, C_{ox} ise yalıtkan tabakanın kapasitansı ve (G_m/w_{max}) ölçülen kapasitansın pik değerine karşılık gelen iletkenliktir.



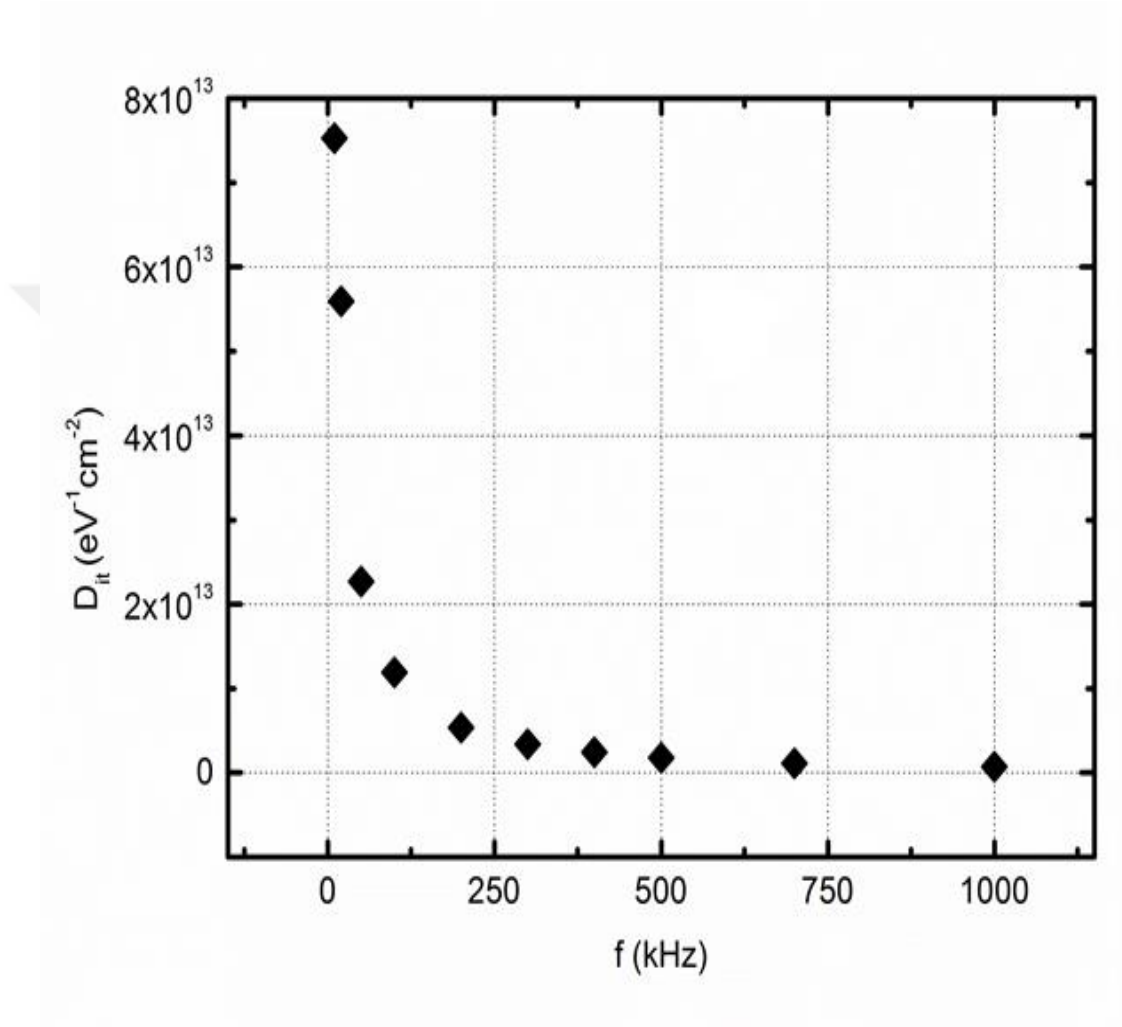
Şekil 4.15. 1 MHz’de Au/Si₃N₄/ 4H n-SiC MYY diyotun C-V ve G/w-V ölçümlerinden elde edilen yüzey durumlarının sıcaklığa bağlı dağılımı

Çizelge 4.3. Au/Si₃N₄/ 4H n-SiC MYY diyotun 1000 kHz’de farklı sıcaklığındaki G/w-V ve C-V karakteristiklerinden belirlenen ara yüzey durumları

T	G/w(maks)	C	D _{it}
(K)	(F)	(F)	(eV ⁻¹ cm ⁻²)
160	2.95x10 ⁻⁹	4.52x10 ⁻⁸	8.59 x10 ¹⁴
200	2.46x10 ⁻⁹	4.51x10 ⁻⁸	6.64 x10 ¹⁴
240	1.67x10 ⁻⁹	4.50x10 ⁻⁸	4.20 x10 ¹⁴
300	9.01x10 ⁻¹⁰	4.49x10 ⁻⁸	2.06x10 ¹⁴
320	4.39x10 ⁻¹⁰	4.47x10 ⁻⁸	8.09x10 ¹³
340	3.01x10 ⁻¹⁰	4.40x10 ⁻⁸	3.05x10 ¹³
360	2.18x10 ⁻¹⁰	4.38x10 ⁻⁸	2.04 x10 ¹³
380	1.64x10 ⁻¹⁰	4.36x10 ⁻⁸	1.30 x10 ¹³
400	1.10 x10 ⁻¹⁰	4.31x10 ⁻⁸	6.87x10 ¹²

Eş. 4.17 kullanılarak (Hill ve Coleman, 1980) metoduyla Si₃N₄/4H n-SiC ara yüzeyindeki, ara yüzey durumları (D_{it}) 160-400 K sıcaklık ve 10-1000 kHz frekans aralığındaki G/w-V ve C-V karakteristiklerinden elde edildi. Sıcaklık ve frekansa bağlı belirlenen D_{it} değerleri Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de verildi. Aynı zamanda Şekil 4.15’de D_{it}’nin sıcaklığa bağlı değişimi ve Şekil 4.16’ da ise D_{it}’nin frekansa bağlı değişimi gösterildi. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’dan görüldüğü gibi artan sıcaklık

ve frekansla D_{it} değeri azalmaktadır. Şekil 4.15’de görüldüğü gibi 340 K’nin altında D_{it} ’nin artan sıcaklıkla azalma hızı büyükken 340 K’in üstünde kısmen sabittir. Bu durum sıcaklık etkisiyle yalıtkan-yarı iletken ara yüzeyinin yeniden yapılanmasından kaynaklanır.



Şekil 4.16. 300 K’de Au/Si₃N₄/ 4H n-SiC MYY diyotun C-V ve G/w-V ölçümlerinden edilen yüzey durumlarının frekansa bağlı dağılımı

Çizelge 4.4 ve Şekil 4.16’dan görüldüğü gibi yeterince yüksek frekanslarda ara yüzey durumları yüksek frekansı takip edemez ve ara yüzey yoğunluğu düşük olur. Uygulan uyarma frekansı azaldıkça ara yüzey durumlarının çok büyük bir çoğunluğu bu frekansı takip edebileceğinden ara yüzey yoğunluğu yükselir.

Çizelge 4.4. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun 300 K’de farklı frekanstaki G/w-V ve C-V karakteristiklerinden belirlenen ara yüzey durumları

T	G/w (mak.)	C	D _{it}
10 kHz	1.1786x10 ⁻⁸	3.52x10 ⁻⁸	7.525x10 ¹³
20 kHz	9.823x10 ⁻⁹	3.45x10 ⁻⁸	5.592x10 ¹³
50 kHz	4.179x10 ⁻⁹	3.42x10 ⁻⁸	2.268x10 ¹³
100 kHz	2.253x10 ⁻⁹	3.40x10 ⁻⁸	1.188x10 ¹³
200 kHz	1,098x10 ⁻⁹	3.35x10 ⁻⁸	5.384x10 ¹³
300 kHz	7.518 x10 ⁻¹⁰	3.29x10 ⁻⁸	3.392x10 ¹²
400 kHz	5.448x10 ⁻¹⁰	3.28x10 ⁻⁸	2.426x10 ¹²
500 kHz	4.098x10 ⁻¹⁰	3.27x10 ⁻⁸	1.776x10 ¹²
700 kHz	2.792x10 ⁻¹⁰	3.235x10 ⁻⁸	1.154x10 ¹²
1000 kHz	1.929x10 ⁻¹⁰	3.201x10 ⁻⁸	7.624x10 ¹²

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

MYY yapıların akım-iletim mekanizmaları ve elektriksel özellikleri, bu yapıların geniş bir frekans ve sıcaklık aralığında incelenmesiyle elde edilir. MYY Schottky diyotlarla ilgili literatürde birçok deneysel çalışma mevcuttur ancak yarıiletken-metal arayüzeyinde farklı dielektrik tabaka kullanımı, dielektrik tabaka kalınlığı, ara yüzey durumları ve seri direnç $G/w-V$, $C-V$ ve $I-V$ karakteristikleri etkiler. Bu nedenle de dielektrik tabakanın homojensizliği, ara yüzey durumları, MYY yapıların akım-iletim mekanizmaları ve yarıiletken ile metal arasındaki potansiyel engelin oluşumu üzerine çalışmalar hala sürmektedir. Bu tez çalışmasında da, hazırlanan $Au/Si_3N_4/4H$ n-SiC MYY Schottky diyotun $G/w-V$, $C-V$ ve $I-V$ karakteristikleri, 160–400 K sıcaklık ve 10-1000 kHz frekans aralığında incelenerek yapının akım-iletim mekanizması ve elektriksel özellikleri belirlendi.

$Au/Si_3N_4/4H$ n-SiC MYY diyotun, yarı-logaritmik $\ln(I)-V$ karakteristikleri (Şekil 4.1), her bir sıcaklıkta doğrusal bölgelere sahiptir. Ancak R_s etkisiyle yüksek voltaj bölgesinde doğrusallık bozulur ve bükülme görülür. $Au/Si_3N_4/4H$ n-SiC MYY diyotun seri direnci $dV/d\ln(I)-I$ ve $H(I)-I$ Cheung fonksiyonlarında belirlendi ve artan sıcaklıkla R_s değerlerinin azaldığı görüldü. $Au/Si_3N_4/4H$ n-SiC MYY diyotun $I-V$ karakteristiğinden, n , R_s , Φ_{B0} ve D_{it} gibi temel elektriksel parametreler belirlendiğinde n 'nin azaldığı ve Φ_{B0} 'ın ise artan sıcaklıkla artmakta olduğu bulundu. Tüm sıcaklıklarda n 'nin 1'den büyük çıkması metal/yarıiletken arasındaki dielektrik Si_3N_4 tabaka ve $4H$ n-SiC/ Si_3N_4 ara yüzeyin de lokalize olmuş ara yüzey durumlarına atfedildi. Düşük sıcaklıklardaki yüksek n değeri, düşük sıcaklıklarda yeterli termal enerjiye sahip olamayan taşıyıcıların, M/Y ara yüzeyindeki düşük potansiyel engelleri üzerinden geçerek akımı artırmasından kaynaklandı.

Sıcaklık ve frekans etkisiyle ara yüzey durumlarındaki değişim metal – yarıiletken ara yüzeyindeki termal yeniden düzenlenme ve yapılanmadan meydana gelmektedir. D_{it} 'nin artan sıcaklıkla azalması, $G/w-V$, $C-V$ ve $I-V$ karakteristiklerinin ara yüzey durumları tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Aynı zamanda n değerinin artan sıcaklıkla azalması Schottky engel homojensizliği yani ara yüzeydeki engel

yüksekliğinin homojensizliği nedeniyle engel yüksekliğinin Gaussian dağılım göstermesinden oluşur. Özellikle Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun düşük sıcaklıklarda idealite faktörünün artması ve engel yüksekliğinin azalması MYY yapının akım-iletim mekanizmasının, TE teorisine dayalı Gaussian dağılımı ile açıklanmasını sağlar.

Çizilen $\Phi_{B_0} - n$ ve $\Phi_{B_0} - q/2kT$ grafiğinin (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8) doğrusal olması engel yüksekliği değişiminin bir Gaussian dağılıma sahip olmasına delil teşkil etmektedir. $\Phi_{B_0} - q/2kT$ grafiğinden σ_0 ve $\bar{\Phi}_{B_0}$ değerleri sırasıyla 0.169 V ve 1.40 eV olarak elde edildi. σ_0 değeri ne kadar küçük olursa diyotta oluşan engel yüksekliği o kadar çok homojenliğe yaklaşılır. Böylece en iyi performansa ve engel homojenliğine sahip doğrultucu diyot elde edilebilir. Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyot için elde edilen σ_0 'nın 0,169 V değeri, $\bar{\Phi}_{B_0}$ 'ın 1.40 eV değerine kıyasla küçük değildir ve bu arayüzeyde homojen olmayan bir durumu varlığını desteklemektedir. Richardson grafiklerinin modifiye edilmesiyle oluşturulan $[\ln(I_0/T^2) - q^2\sigma_0^2/2kT^2] - q/kT$ grafiği (Şekil 4.10), yine bir doğru verdi ve bu doğrudan yararlanılarak $\bar{\Phi}_{B_0}$ ve A^* değerleri sırasıyla 1.53 eV ve 137,21 A/cm²K² olarak elde edildi. Elde edilen 137.21 A/cm²K² Richardson sabiti değeri, 4H n-tipi SiC için bilinen teorik 146 A/cm²K² değeriyle oldukça uyumludur. Ayrıca burada elde edilen 1.53 eV ortalama engel yüksekliği değeri $\Phi_{B_0} - q/2kT$ grafiğinden elde edilen 1.40 eV değerine oldukça yakındır. Bu sonuçlar, Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY Schottky diyotunda akım-iletim mekanizmasının engel homojensizliğinin Gaussian dağılımı ile başarılı bir şekilde açıklanabileceğini göstermiştir.

Au/Si₃N₄/4H n-SiC MYY diyotun sıcaklığa bağlı C-V ve G/ω-V ölçümleri 10-1000 kHz frekans ve 160-400 K sıcaklık aralığında gerçekleştirildi. Frekansa ve sıcaklığa bağlı G/w-V ve C-V karakteristiklerinden faydalanarak Hill-Coleman metodundan Dit değerleri belirlendi. Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'dan görüleceği gibi D_{it} artan sıcaklıkla (Şekil 4.15) ve frekansla azalmaktadır (Şekil 4.16). D_{it}'nin sıcaklıkla ve frekansla değişimi, yarıiletken-yalıtkan ara yüzeyinin sıcaklık veya frekans etkisiyle yeniden yapılanması ve düzenlenmesinden oluşmaktadır. Sonuç olarak, sıcaklığa bağlı G/ω-V, C-V ve I-V ölçüm metotlarından

belirlenen temel elektriksel özelliklerin idealden uzak olması; $\text{Si}_3\text{N}_4/4\text{H n-SiC}$ ara yüzeyin de lokalize olmuş ara yüzey durumlarının yoğunluğu, yarı iletken ile metal arasındaki Si_3N_4 tabaka, MYY yapının seri direnci ve yarı iletken/metal ara yüzeyindeki engel homojensizliklerinden kaynaklanmaktadır.

Bu tez çalışmasında $\text{Au/Si}_3\text{N}_4/4\text{H n-SiC}$ MYY diyotların sıcaklığa ve frekansa bağlı davranışı incelendi. Buradan alınan sonuçlar, üretilen bu yapının MYY kapasitör gibi elektronik devre elemanı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Willson, A.H., 1932. A note of the theory of rectification. *Proc. R. Soc. London, Ser. A.*, 136, 487-498.
- Crowell, C.R., Sze, S.M., 1966. Current Transport in Metal-Semiconductor Barriers. *Solid State Electron.*, 9, 1035-1040.
- Grove, A.S., 1967. Physics and Technology of Semiconductor Devices. *John Wiley & Sons*, New York, 91-106, 334-357.
- Card, H.C., Rhoderick, E.H., 1971. Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *J. Phys.D: Appl. Phys.*, 4, 1589-1601.
- Padavoni, F.A., 1971. The Voltage-Current Characteristic of Metal Semiconductor Contacts, in Semiconductors and Semimetals. *Academic Press*, New York, 75-146.
- Milnes, A.G., Feucht D.L., 1972. Heterojunction and Metal-Semiconductor Junctions. *Academic Press*, New York and London, 156-200.
- Fonash, S. J., 1975. The role of the interfacial layer in Metal-Semiconductor Solar Cells. *J. Appl. Phys.*, 46, 1286-1289.
- Ashok, S., Borreg, J.M., Gutmann, R.J., 1979. Modelization and characterization of Au/InSb/InP Schottky systems as a functions of temperature. *Solid State Electronics*, 22, 621-625.
- Norde, H., 1979. A modified forward I-V plot for schottky diodes with high series resistance. *J. Appl. Phys.*, 50, 5052-5056.
- Hill W.A., Coleman C.C., 1980. A single-frequency approximation for interface-state density determination. *Solid-State Electronics*, 23(9), 987-993.
- Ohdomari, I., Tu, K.N., 1980. Parallel Silicide Contacts. *J. Appl. Phys.*, 51, 3735.
- Kar, S., Ashok, S. and Fonash, S., 1980. Evidencedence of Tunnel-Asisted Transport in Nondegenerate MOS and Semiconductor-Oxide-Semiconductor Diodes at Room Temperature. *J. Appl. Phys.*, 51, 3417-3421.
- Sze, S.M., 1981. Physics of Semiconductor Devices 2nd ed.. *Willey*, New York, 245-300.
- Kar, S., Panchal, K.M., Brattacharya, S. and Varma, S., 1982. On The Mechanism of Carrier Transport In Metal -Thin – Oxide – Semiconductor Diodes On Polycrystalline Silicon. *IEEE Trans. On Electron. Devices*, 29, 1839-1845.

- Nicollian, E.H. and Brews, J.R., 1982. MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) Physics and Technology. *John Wiley and Sons*, New York, 288-304.
- Rhoderick, E.H., 1982. Metal-Semiconductor Contacts. *IEE PROC.*, 29(1), 1-14.
- Thomson, D.J., Card, H.C., 1983. Effect of interface-potential non uniformities on carrier transport across silicon grain boundaries. *J. Appl. Phys.*, 54(4), 1976.
- Nielsen, O.M., J., 1983. Influence of semiconductor barrier tunnelling on the current voltage characteristics of tunnel metal-oxide-semiconductor diodes. *J. Appl. Phys.*, 54(10), 5880-5886.
- Mahan, G.D., 1984. Fluctuations in Schottky barrier heights. *J. Appl. Phys.*, 55, 980-986.
- Werner, J.H., 1985. In Polycrystalline Semiconductor-Physical Properties and Applications. *Springer*, Berlin, 76-81.
- Cheung, S.K., Cheung, N.W., 1986. Extraction of schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Appl. Phys. Lett.*, 49(2), 85-91.
- Bohlin, K.E., 1986. Generalized Norde plot including determination of the ideality factor. *J. Appl. Phys.*, 60(3), 1223-1227.
- Arnold, D., Hess., K., 1987. Barrier height fluctuations in very small devices due to the discreteness of the dopants. *J. Appl. Phys.*, 61(11), 5178.
- Tseng H.H., Wu C.Y., 1987. A simple interfacial layer model for the nonideal I-V and C-V characteristics of the Schottky barrier diode. *Solid State Electron.*, 30, 383-390.
- Werner, J.H., 1988. Schottky Barrier and pn-Junction I/V Plots-Small Signal Evaluation. *Appl. Phys. A*, 47, 291-300.
- Haddara, S.H. and El-Sayed, M., 1988. Conductance technique in MOSFETs: study of interface trap properties in the depletion and weak inversion regimes. *Solid-State Electronics*, 31(8), 1289-1298.
- Rhoderick, E.H. and Williams R.H., 1988. Metal-Semiconductor Contacts 2nd ed.. *Oxford University Press*, Oxford, 257-264.
- Bhuiyan, A.S., Martinez, A., Esteve, D., 1988. A New Richardson plot for non-ideal Schottky diodes.. *Thin Solid Films*, 161, 93-100.
- Ulrich, B. and Kuchar, F., 1989. Capacitance-voltage measurements on a p-type InSb metal/insulator/semiconductor structure with Si₃N₄ as the insulator. *Thin Solid Films*, 168(2), 157-168.
- Tuy, T.O., Mojzes, I., 1990. Theoretical explanation of the control of the Schottky barrier height using an ultrathin interface metal layer . *Appl. Phys. Lett.*, 56, 1652.

- Sing, A., Reinhard, K.C., Anderson, W.A., 1990. Temperature dependence of the electrical characteristics of Yb/p-InP tunnel metal-Insulator-Semiconductor Junctions. *J. Appl. Phys.*, 68(7), 3475-3479.
- John, A., Nixon, J., Davies, H., 1990. Potential fluctuations in heterostructure devices. *Phys. Rev. B.*, 41, 7929.
- Jürgen H., Werner and Herbert H. Güttler., 1991. Barrier inhomogeneities at Schottky contacts. *J. Appl. Phys.*, 69(3), 1522-1533.
- Werner, J.H., Güttler, H.H., 1991. Barrier inhomogeneous at Schottky contacts. *J. Appl. Phys.*, 69(3), 1522-1533.
- Sullivan, J.P., Tung, R.T., Pinto, M.R., Graham, W.R., 1991. Electron transport of inhomogeneous Schottky barriers: A numerical study. *J. Appl. Phys.*, 70, 7403-7407.
- Werner, J.H., Güttler, H.H., 1991. Transport properties of homogeneous Schottky contacts. *Physica Scripta. T.*, 39, 258-264.
- Tung, R.T., 1992. Electron transport at metal-semiconductor interfaces: General theory. *Phys. Rev. B.*, 45, 13509.
- Altındal, Ş., 1993. Al-SiO_x pSi aygıtların ve güneş pillerinin elektriksel karakteristikleri. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 52-74.
- Chand, S., Kumar, J., 1996. Evidence for the double distribution of barrier heights in Pd₂Si/n-Si Schottky diodes from I-V-T measurements. *Semicond. Sci. Technol.*, 11(1), 1203-1208.
- J. Horvath, Zs., 1996. Analysis of I-V measurements on CrSi₂-Si schottky structures in a wide temperature. *Solid-State Electron.*, 39, 176-180.
- Chand, S., Kumar, J., 1997. "Simulation and analysis of the I-V characteristics of a Schottky diode containing barrier inhomogeneities", *Semicond. Sci. Technol.*, 12: 899-906.
- Akal, B., Benemara, Z., Boudissa, A., Bouiadjra, N.B., Armani, M., Bideux, L. And Gruzza, B., 1988. Modelization and characterization of Au/InSb/InP Schottky systems as a functions of temperature. *Mater. Sci.and Eng. B*, 55, 162-168.
- Shinn, H., Deguire, M.R., Heuer, A.H., 1998. Electrical properties of TiO₂ thin films formed on self-assembled organic monolayers on silicon. *J. Appl. Phys.*, 83, 3311.
- Zhu, S., Van Meirhaeghe, R.L., Detavernier, C., Cardon, F., Ru, G.P., Qu, X.P., Cardon, Li, B.Z., 1999. A Beem study of the temperature dependence of the barrier height distribution in PtSi/n-Si Schottky diodes. *Solid-State Comm.*, 112, 611-616.

- Zhu, S., Qu, X.P., Van Meirhaeghe, R.L., Detavernier, C., Cardon, F., Ru, G.P., Cardon, Li, B.Z., 2000. Electrical characteristics of CoSi/n-Si (100) Schottky barrier contacts formed by solid state reaction. *Solid-State Electron.*, 44, 1807-1818.
- Lee, B.H., Kang, L., Nieh, R., Qi, W.J., Lee, J.C., 2000. Thermal stability and electrical characteristics of ultrathin hafnium oxide gate dielectric reoxidized with rapid thermal annealing. *Appl. Phys. Lett.*, 77, 1926-1931.
- Zhu, S., Van Meirhaeghe, R.L., Detavernier, C., Cardon, F., Ru, G.P., Qu, X.P., Li, B.Z., 2000. Barrier height inhomogeneities of epitaxial CoSi₂ Schottky contacts on n-Si (100) and (111). *Solid-State Electron.*, 44, 663-669.
- Hudait, M.K., Krupanidhi, S.B., 2001 Doping dependence of the barrier height and ideality factor of Au/n-GaAs Schottky diodes at low temperatures. *Physica B.*, 307, 125-137.
- Maeda, K., 2001. Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Si Schottky barriers. *Surf. Sci.*, 493, 644-652.
- Chand, S., 2002. An accurate approach for analysing an inhomogeneous Schottky diode with a Gaussian distribution of barrier heights. *Semicond. Sci. Technol.*, 17, L36.
- Kanbur, H., Altındal, Ş., Tataroğlu, A., 2005. The effect of interface states, excess capacitance and series resistance in the Al/SiO₂/p-Si Schottky diodes. *Applied Surface Science*, 252(5), 1732-1738.
- Altındal, Ş., Kambur, H., Yıldız, D.E, Parlak, M., 2007. Current conduction mechanism in Al/p-Si Schottky barrier diodes with native insulator layer at low temperatures. *Applied Surface Science*, 253, 5056-5061.
- Yıldız, D.E., 2008. Al/SiO₂/p-Si (MY) yapılarının akım iletim mekanizması ve elektiriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Yıldız, D.E., Altındal, Ş., Kanbur, H., 2008. Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Al/SiO₂/p-Si Schottky diodes. *Journal of Applied Physics*, 103, 124502-1-7.
- Yıldız, D.E., Altındal, Ş., 2008. Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Al/SiO₂/p-Si Schottky diodes. *J. Appl. Phys.*, 103(12), 124502.
- Parlaktürk, F., Altındal, Ş., Tataroğlu, A., Parlak, M., Agasiev, A.A., 2008. On the profile of frequency dependent series resistance and surface states in Au/Bi₄Ti₃O₁₂/SiO₂/n-Si (MFIS) structures. *Microelectronic Engineering*, 85(1), 81-88.
- Altındal, Ş., Parlaktürk, F., Tataroğlu, A., Parlak, M., Sarmasov, S.N., Agasiev, A.A., 2008. The temperature profile and bias dependent series resistance of Au/Bi₄Ti₃O₁₂/SiO₂/n-Si (MFIS) structures. *Vacuum*, 82(11), 1246-2510.

- Tunç, T., Altındal, Ş., Dökme, İ., Uslu, H., 2011. Anomalous peak in the forward bias C-V plot and temperature-dependent behavior of Au/PVA (Ni, Zn-doped) /n-Si (111) structures. *Journal of Electronics Materials*, 40(2), 157-164.
- Ejderha, K., Yıldırım, N., Türüt, A., Abay, B., 2012. Influence of interface states on the temperature dependence and current-voltage characteristics of Ni/p-InP Schottky Diodes. *Superlattices and Microstructures*, 47(2), 241-252.
- Bengi, S., Bülbül, M.M., 2013. Electrical and dielectric properties of Al/HfO₂/p-Si MOS Devices at High Temperatures. *Current Applied Physics*, 13(8), 1819-1825.
- Kumar, A.A., Rao, L.D. Reddy, V.R., Choi C.J., 2013. Analysis of electrical characteristics of Er/p-InP Schottky diode at high temperature range. *Current Applied Physics*, 13(6), 975-980
- Güllü, H.H., Terlemezoglu, M., Bayraklı, Ö., Yıldız, D.E., Parlak, M., 2018. Investigation of Carrier Transport Mechanisms in the Cu-Zn-Se based Heterostructure Grown by Sputtering Technique. *Canadian Journal of Physics*, 96, 816-825.
- Güllü, H.H., Yıldız, D.E., 2018. Analysis of forward and reverse biased current-voltage characteristics of Al/Al₂O₃/n-Si Schottky diode with atomic layer deposited Al₂O₃ thin film interlayer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02300-1>.
- Terlemezoglu, M., Bayraklı, Ö., Güllü, H.H., Colakoglu, T., Yıldız, D.E., Parlak, M., 2018. Analysis of current conduction mechanism in CZTSSe/n-Si structure. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(18), 5264-5274.
- Yıldız, D.E., 2018. Electrical properties of Au-Cu/ZnO/p-Si diode fabricated by atomic layer deposition. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(20), 17802-17808.
- Yigiterol, F., Güllü, H.H., Bayraklı, Ö., Yıldız, D.E., 2018. Temperature-Dependent Electrical Characteristics of Au/Si₃N₄/4H n-SiC MIS Diode. *Journal of Electronic Materials*, 47 (5), 2979-2987.
- Yiğiterol, F., Güllü, H.H., Yıldız, D.E., 2018 Influence of Si₃N₄ layer on the electrical properties of Au/n-4H SiC diodes. *Bulletin of Materials Science*, 41 (66), 66-9.
- Güllü, H.H., Terlemezoglu, M., Bayraklı Sürücü, Ö., Yıldız, D.E., Parlak, M., 2018. Investigation of Carrier Transport Mechanisms in the Cu-Zn-Se based Heterostructure Grown by Sputtering Technique. *Canadian Journal of Physics*, 96, 816-825.
- Bayraklı Sürücü, Ö., Güllü, H.H., Terlemezoglu, M., Yıldız, D.E., Parlak, M., 2019. Determination of current transport characteristics in Au-Cu/CuO/n-Si Schottky diodes. *Physica: B Condensed Matter*, 520, 246-253.

Güllü, H.H., Bayraklı Sürücü, Ö., Yıldız, D.E., Parlak, M., 2019. Temperature dependence of electrical properties in In/Cu₂ZnSnTe₄/Si/Ag diodes. *Bulletin of Materials Science*, 42(2), 45.

Güllü, H.H., Bayraklı Sürücü, Ö., Terlemezoglu, M., Yıldız, D.E., Parlak, M., 2019. Frequency effect on electrical and dielectric characteristics In/Cu₂ZnSnTe₄/Si/Ag diode structure. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(10), 9814-9821.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Yiğiterol, Fatih
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.11.1984 Bolu
 Telefon : 0 (554) 829 32 37
 e-mail : fyigiterol@gmail.com

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Hitit Üniversitesi /Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Fizik Bölümü	2018
Lisans	Hitit Üniversitesi/ Fizik Bölümü	2014

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-	Fen Bilimleri Koleji	Fizik Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. **Yigiterol, F.**, Güllü H.H., Bayraklı, Ö., Yıldız D.E., 2018. Temperature-Dependent Electrical Characteristics of Au/Si₃N₄/4H n-SiC MIS Diode. *Journal of Electronic Materials*, 47(5), 2979-2987.

2. **Yiğiterol, F.**, Güllü, H.H., Yıldız, D.E., 2018 “Influence of Si₃N₄ layer on the electrical properties of Au/n-4H SiC diodes”, *Bulletin of Materials Science*, 41(66), 66-9.

Katılan Uluslararası/Ulusal Kongreler

1. Yıldız D.E., **Yiğiterol F.**, H.H. Güllü, Temperature dependency of diode parameters of Au rectifying contacts to Si₃N₄ insulator layer on 4H n-SiC semiconductor. *International Conference on Condensed Matter and Materials Science* 11-15 Ekim 2017 Adana, Türkiye.
2. Yıldız D.E., **Yiğiterol F.**, Electrical characteristics of Au /n- 4H- SiC MS and Au/ Si₃N₄/ n -4H- SiC MIS type Schottky Barrier Diodes (SBDs): A Comparative Study. *International Physics Conference at the Anatolian Peak (IPCAP 2016)*, 25-27 Şubat 2016 Erzurum, Türkiye.
3. **Yiğiterol, F.**, Yıldız, D. E., Au/ n-tipi 4H-SiC ve Au/Si₃N₄/n-tipi 4H-SiC Schottky Diyotların Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. *21. Yoğun Madde Fiziği Kongresi (YMF21)*, Gazi Üniversitesi, 28 Aralık 2015 Ankara, Türkiye.

Hobiler

Futbol, Kitap okumak