

**METAL-YALITKAN-YARIİLETKEN (Au/SiO₂/n-Si) YAPILARIN
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN I-V VE C-V ÖLÇÜM METOTLARI
İLE İNCELENMESİ**

Fadime ALITKAN(ZORLU)

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2009
ANKARA**

Fadime ALITKAN(ZORLU) tarafından hazırlanan Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (Au/SiO₂/n-Si) Yapıların Elektriksel Özelliklerinin I-V ve C-V Ölçüm Metotları ile İncelenmesi adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Semran SAĞLAM

.....

Tez Danışmanı, Fizik

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Şemsettin ALTINDAL

.....

FİZİK, GAZİ ÜNİVERSİTESİ

Doç. Dr. Semran SAĞLAM

.....

FİZİK, GAZİ ÜNİVERSİTESİ

Yrd. Doç. Dr. Nefise DİLEK

.....

FİZİK, AKSARAY ÜNİVERSİTESİ

Tarih: 24/ 06/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

.....

TEZ BİLDİRİMİ

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 bildiririm.

Fadime ALITKAN(ZORLU)

**METAL-YALITKAN-YARIİLETKEN(Au/SiO₂/n-Si) YAPILARIN
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN I-V VE C-V ÖLÇÜM METOTLARI
İLE İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Fadime ALITKAN(ZORLU)

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2009**

ÖZET

Bu çalışmada, yalıtkan arayüzey tabakalı metal-yarıiletken (MY) yapılarda yalıtkan tabakanın kalınlığın ve seri direncin elektiriksel karakteristliklere etkisi deneysel akım-voltaj (I-V), kapasitans-voltaj (C-V), iletkenlik-voltaj (G/ω -V) metotları ile araştırıldı. Bu ölçümlerden yararlanarak diyotların doyma akımı (I_0), idealite faktörü (n), potansiyel engel yüksekliği ($\Phi_B(I-V)$), arayüzey durumların yoğunluğu (N_{ss}), verici katkı atomlarının yoğunluğu (N_D), difüzyon potansiyeli (V_d), Fermi enerji seviyesi (E_F) ve yapıların seri dirençleri (R_s) elde edilerek literatürle karşılaştırıldı.

Deneysel sonuçlar, metal-yarıiletken (MY) arasındaki yalıtkan tabaka (SiO₂), kalınlığının ve seri direncin yapının elektiriksel karakteristlikleri üzerinde önemli bir rol oynadığını gösterdi.

Bilim Kodu : 202.1.147

Anahtar Kelimeler : Yalıtkan tabaka, seri direnç, Schottky diyotlar, I-V ve C-V ölçümleri

Sayfa Adedi : 55

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Semran Sağlam

**THE INVESTIGATION OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF
METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR (Au/SiO₂/n-Si) STRUCTURES
BY USING I-V AND C-V MEASUREMENTS METHODS
(M. Sc. Thesis)**

Fadime ALITKAN(ZORLU)

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Junu 2009**

ABSTRACT

In this study; the series resistance and the thickness of insulator layer effect on electrical characteristics have been investigated by using the experimental current-voltage (I-V), capacitance-voltage (C-V) and conductance-voltage (G/ω -V) measurement methods. Using these experimental measurements, the reverse saturation current (I_0), ideality factor (n), barrier height ($\Phi_B(I-V)$), the density of interface states (N_{ss}), the donor density (N_D), diffusion potential (V_D), Fermi energy level (E_F) and series resistance (R_s) of device were obtained and compared with literature.

Experimental results show that both the value of R_s and the thickness of insulator layer strongly affect the electrical characteristics.

Science code	: 202.1.147
Key Word	: Insulator layer, series resistance, Schottky diodes, I-V and C-V measurements, interface states.
Page Number	: 55
Adviser	: Doç. Dr. Semran Sağlam

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında yardımını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Semra SAĞLAM ve engin tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Doç. Dr. Şemsettin ALTINDAL' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme, eşime ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER	3
2.1. Metal-Yarıiletken Kontak Torisi	3
2.1.1. Metal-yarıiletken (MY) kontak türleri	3
2.1.2. İdeal metal-yarıiletken kontakta Schottky Mott teorisi	3
2.1.3. Schottky engel alçaltması	8
2.1.4. Metal- yarıiletken Schottky diyotlarında akım-iletim mekanizmaları	9
2.2. Schottky Diyotlarında Doğru Beslem I-V Karakteristikleri	15
2.3. Schottky Diyotlarında Kapasitans Voltaj (C-V) Karakteristliği	17
2.4. İdeal MYY Yapılar.....	29
3. DENEYSEL YÖNTEM	23
3.1. Silisyum Kristalinin Bazı Temel Özellikleri	23
3.2. MYY Yapıların Hazırlanması.	25
3.2.1. Kristal temizleme	25

Sayfa

3.2.2. Ohmik kontakın oluşturulması	27
3.2.3. Yalıtkan oksit tabakasının oluşturulması	28
3.2.3. Doğrultucu kontakın oluşturulması	30
3.3. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri.....	31
4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	33
4.1. Au/SiO ₂ / n-Si Yapıların Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri.....	33
4.2. Au/ SiO ₂ / n-Si Yapıların C-V ve G/ω-V Karakteristikleri.....	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	55

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İş fonksiyonlarına göre doğrultucu ve ohmik kontaklar.....	3
Çizelge 3.1. Silisyum yarıiletkeninin oda sıcaklığındaki (300 K) bazı özellikleri...	24
Çizelge 4.1. Seçilen Au/SiO ₂ / n-Si yapılarının, I_0 , n , Φ_B ve N_{ss} için I-V karakteristikleri kullanılarak hesaplanan temel diyot parametreleri.....	36
Çizelge 4.2. Seçilen Au/SiO ₂ / n-Si yapı D1 diyotu için, V , n , Φ_e , E_c-E_{ss} ve N_{ss}	41
Çizelge 4.3. Seçilen Au/SiO ₂ / n-Si yapı D2 diyotu için, V , n , Φ_e , E_c-E_{ss} ve N_{ss} deneysel diyot parametreleri.....	42
Çizelge 4.4. Seçilen Au/SiO ₂ / n-Si yapılarının, N_D , E_f , V_o , Φ_B (C-V) ve R_s için C-V karakteristiklerinden hesaplanan temel diyot parametreleri.....	49

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Metal/n-tipi yarıiletken kontak için ($\phi_m > \phi_s$) elektron enerji bant diyagramı a: Birbirinden ayrılmış nötral materyaller, b: Kontak oluşturulduktan sonra termal denge durumu.....	4
Şekil 2.2. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak için elektron enerji band diyagramı a: Termal denge durumu, b: Doğru beslem, c: Ters beslem.....	7
Şekil 2.3. Metal /Yarıiletken doğrultucu kontakta Schottky etkisinden kaynaklanan potansiyel engel alçalması.....	9
Şekil 2.4. Metal/Yarıiletken kontaklarda doğru beslem altında akımiletim mekanizmaları.....	11
Şekil 2.5. Metal/Yalıtkan/Yarıiletken (MYY)Yapısı.....	20
Şekil 2.6. Denge durumunda ideal bir MYY yapının enerji bant diyagramı a: n-tipi yarıiletken, b: p-tipiyarıiletken.....	21
Şekil 2.7. Farklı voltajlar altında ideal bir MYY yapının enerji band diyagramı a: Yığılma, b: Tüketim, c:Terslenim.....	22
Şekil 3.1. Ohmik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan metal buharlaştırma sistemi düzeneği.....	27
Şekil 3.2. Ohmik kontak oluşturulurken kullanılan bakırmiske.....	28
Şekil 3.3. Oksit büyütmede kullanılan fırın sistemi.....	29
Şekil 3.4. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske.....	30
Şekil 3.5. Au/SiO ₂ /n-Si (MYY) yapının şematik gösterimi.....	31
Şekil 4.1. Seçilen Au/SiO ₂ / n-Si yapılı D1 ve D2 diyotları için oda sıcaklığında 1000kHz frekansta I-V eğrileri.....	37
Şekil 4.2. D1 diyotu için Ln(I)-V eğrisinin lineer bölgesi....	38
Şekil 4.3. D2 diyotu için Ln(I)-V eğrisinin lineer bölgesi	38
Şekil 4.4. Seçilen Au/SiO ₂ /n-Si yapılı D1 ve D2 diyotları için idealite faktörü (n) gerilime (V) bağlı değişimi.	39

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Seçilen D1 ve D2 Schottky diyotları için I-V karakteristiklerinden elde edilen arayüzey durumlarının enerji dağılım profili.....	43
Şekil 4.6. Seçilen D ₁ ve D ₂ Schottky diyotları için C-V eğrileri.....	44
Şekil 4.7. Seçilen D ₁ ve D ₂ Schottky diyotları için G/ω-V eğrileri.....	45
Şekil 4.8. Seçilen D ₁ ve D ₂ Schottky diyotları için R _s -V eğrileri.....	46
Şekil 4.9. Seçilen D ₁ ve D ₂ Schottky diyotları için C ⁻² -V eğrilerinin lineer bölgesi.....	48

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj ölçümleri için kullanılan düzenekler a: Keithley 220 programlanabilir sabit akım kaynağı Keithley 614 elektro metre, b: Hawlett Packard 4192A LF Empedaes Analiz metre, c:Janes vpf-475 kriyostat, d: Lake Shore model 321 sıcaklık kontrol sistemi.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Φ_B	Schottky engel yüksekliği
n	İdealite faktörü
N_{ss}	Arayüzey durum yoğunluğu
R_s	Seri direnci
Φ_e	Etkin engel yüksekliği
Φ_{Bo}	Sıfır beslem engel yüksekliği
I_o	Ters beslem doyma akımı
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ_e	Elektron yakınlığı
E_C	İletkenlik band kenarı
E_F	Fermi seviyesi
V_i	Kontak potansiyel farkı
V_F	Kontaga uygulanan doğru beslem gerilimi
V_R	Kontaga uygulanan ters beslem gerilimi
ϕ_o	Nötral seviye
$\phi_o(s)$	Yüzey durumların katkısı
ϵ_o	Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_i	Yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti
δ	Yalıtkan tabaka kalınlığı
E_g	Yarıiletkenin yasak enerji aralığı
Q_{ox}	Oksit yükü
SiO_2	Silisyum dioksit
Si	Silisyum

Simgeler	Açıklama
E	Elektrik alan
PE	Potansiyel enerji
$\Delta\Phi$	Schottky engel düşmesi
J_0	Akım yoğunluğu
m_e^*	Elektronun etkin kütlesi
A^*	Richardson sabiti
A^{**}	Etkin Richardson sabiti
$N(E)$	Bandlardaki durumların yoğunluğu
$f(E)$	Fermi-Dirac dağılım fonksiyonu
W_D	Tükenim bölgesi kalınlığı
V	Uygulanan gerilim
V_D	Diyot üzerine düşen gerilim
q	Elektrik yükü
$\text{\AA}$	Angström
τ	Arayüzey tuzaklarının ömrü
$n(x)$	Elektron yoğunluğu
D_n	Elektron difüzyon sabiti
N_C	İletkenlik bandındaki etkin taşıyıcı yoğunluğ
V_d	Difüzyon gerilimi
N_D	Verici yoğunluğu
V_r	Termiyonik rekombinasyon hızı
E_{Fn}	Quasi Fermi seviyesi
n_i	Saf elektron yoğunluğu
χ_s	Elektron yakınlığıdır
D_p	Yarıiletken bölgedeki deşiklerin difüzyon sabiti
L	Nötral bölge kalınlığı
σ_s	Standart sapma
Au	Altın
χ	Etkin tünelleme faktörü

Kısaltmalar	Açıklama
SD	Schottky diyot
I-V	Akım-voltaj
C-V	Kapasitans- voltaj
G/ω-V	İletkenlik- voltaj
MY	Metal-Yarıiletken
MYY	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MOS	Metal-oksit-Yarıiletken
TE	Termiyonik Emisyon
ac	Alternatif akım
dc	Doğru akım

1. GİRİŞ

Metal-yarıiletken (MY) kontakların tarihçesi 18. yüzyılın sonlarına kadar uzanır ancak bu konu üzerindeki asıl çalışmalar, 1960 yıllarında yoğunluk kazanmıştır. Metal-yarıiletken arayüzeyinde bir potansiyel engeli oluştuğunu ilk defa Schottky ortaya koyduğu için bu kontaklara atfen Schottky diyotlar ya da Schottky kontaklar denilmektedir [1]. Metal ile yarıiletken arasında doğal ya da yapay olarak oluşturulan bir yalıtkan tabaka MY yapıyı metal-yalıtkan-yarıiletken (MYY) yapıya dönüştürür. Bu yalıtkan tabaka hem metal ile yarıiletkeni birbirinden izole eder hem de metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler. MYY arayüzeyinde oluşan potansiyel engelinin yüksekliği, seçilen metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonuna bağlıdır. Doğrultucu kontak elde etmek için n tipi yarıiletkenlerde metalin iş fonksiyonu (Φ_m) yarıiletkenin iş fonksiyonundan (Φ_s) büyük ve ohmik kontak için ise Φ_s değeri Φ_m değerinden büyük olmalıdır. P tipi yarıiletkenlerde ise durum bunun tam tersinedir. Bu yapıların hazırlanmasında, yarıiletkenin p-tipi veya n-tipi olmasına göre uygun iş fonksiyonu metaller seçilir [2,3]. Metal olarak genelde altın (Au), alüminyum (Al) gibi yüksek saflıktaki metaller kullanılırken yalıtkan olarak silisyum-dioksit (SiO_2), kalay dioksit (SnO_2) ve silisyum nitrat (Si_3N_4) gibi materyaller kullanılır. Bunlardan özellikle SiO_2 daha yaygın olarak kullanılmasının sebebi; silisyum üzerine daha kolay ve homojen büyümesi ve ideal örgü sürekliliğine yakın bir eklem oluşturmastır. Ayrıca SiO_2 birçok yüzey etkilerini azaltarak eklem karakteristiklerinin daha iyi kontrol edilmesini sağlar. Yarıiletken olarak ise genelde silisyum (Si), germanyum (Ge) kullanılır.

Bir yarıiletkenin kristal yapısında bulunan yabancı bir atom veya bir bozunma, metal-yarıiletken arasında ve yasak enerji bölgesinde çok sayıda istenmeyen enerji seviyelerinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu izinli enerji seviyelerinin mertebesi teorik olarak $10^{12} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$ civarında olması beklenirken deneysel sonuçlar bunların $10^{13} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$ ile $10^{14} \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$ civarında olduğunu göstermiştir. Ayrıca MY veya MYX gibi yapıların hazırlanışı sırasında yarıiletken yüzeyi ne kadar temizlense de giderilemeyen ve yarıiletken kristal örgünün son bulduğu kristal yüzeyindeki düzensizlikler sonucunda da yasak enerji bölgesinde birim alan başına çok sayıda

enerji seviyesi meydana gelir. Taam ve Schockley tarafından ileri sürülen bu seviyelerin tümüne arayüzey durumları veya arayüzey tuzakları adı verilir. Arayüzey durumlarının yoğunluğunu elde etmek için çok sayıda deneysel ve teorik metot vardır. Bu metotların kendi aralarında bazı avantaj ve dezavantajları vardır[3]. Ancak bunların en pratik ve en hızlı olanı doğru beslem akım-gerilim grafiği (I-V) metodudur. Bu metot, idealite faktörü ile potansiyel engel yüksekliğinin gerilime bağlı değiştiği ilkesinden hareketle her sıcaklık için gerilime bağlı sadece bir $\ln I-V$ eğrisini ihtiva eder [4]. Metal-yalıtkan/oksit-yarıiletken (MY) ya da (MOS) yapılarda MY arayüzeyinde ki yalıtkan tabakadan dolayı bu yapılar paralel levhalı bir kondansatörlere benzemektedir. Bu yapılar ilk kez J.L.Moll tarafından deneyleri de içeren çok sayıda makaleler yayınlanarak oluşturulmuştur [1-4]. Bu yapı, termal olarak oksitlenmiş yarıiletken silisyum kristali üzerinde bir alüminyum metal elektrottan oluşmuştur. Bu yapı ince yalıtkan filmlerin ve yarıiletken yüzeylerin elektriksel özelliklerini incelemeye oldukça yaygın olarak kullanılır.

MY tipi Schottky diyotların temel elektriksel parametreleri frekansa veya sıcaklığa bağlı akım-voltaj (I-V), kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj ($G/\omega-V$) ölçüm metotlarından belirlenir [1-23].

Bu yapıların performansını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin başında MY arayüzeyinde büyütülen yalıtkan/oksit tabakanın kalınlığı ve homojenliği, yarıiletken/yalıtkan arayüzeyinde lokalize (yerleşmiş) arayüzey durumları, yapının seri direnci ve numunenin sıcaklığı gelmektedir. Bütün bu faktörler yarıiletken aygıtın ideal durumdan sapmasına neden olur. Bu yüzden hesaplamalarda bu faktörlerin dikkate alınması, sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini artıracaktır [1-6,10-18].

Bu çalışmada Au/SiO₂/n-Si yapılı, farklı yalıtkan tabaka (SiO₂) kalınlıklı ($\delta_1 = 12 \text{ \AA}$, $\delta_2 = 22,5 \text{ \AA}$) iki diyot alınarak, elektriksel karakteristikleri 1000 kHz frekansta ve oda sıcaklığında (300 K) I-V, C-V ve $G/\omega-V$ deneysel ölçüm metotları ile belirlendi.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Metal-Yarıiletken Kontak Teorisi

2.1.1. Metal -yarıiletken (MY) kontak türleri

Bir metal ile yarıiletken kontak edildiklerinde, oluşan kontak türünün doğrultucu veya ohmik olduğunu seçilen metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları belirler. Eğer Φ_m metalin iş fonksiyonu, Φ_s de yarıiletkenin iş fonksiyonu olmak üzere, metal/n-tipi yarıiletken kontaklar için $\Phi_s < \Phi_m$ olması halinde doğrultucu kontak ve $\Phi_s > \Phi_m$ olması halinde ohmik kontak oluşur. Metal/p-tipi yarıiletken kontaklarda ise $\Phi_s < \Phi_m$ olması halinde ohmik kontak ve $\Phi_s > \Phi_m$ olması halinde de doğrultucu kontak oluşur [2,6,10-13]. Bu durumların ikisi de aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. İş fonksiyonlarına göre doğrultucu ve ohmik kontaklar

Kontak Türü	n -tipi	p-tipi
Doğrultucu kontak	$\Phi_s < \Phi_m$	$\Phi_s > \Phi_m$
Ohmik kontak	$\Phi_s > \Phi_m$	$\Phi_s < \Phi_m$

2.1.2. İdeal Metal-Yarıiletken (MY) kontaklarda Schottky Mott teorisi

Bir metal, bir yarıiletkenle ile kontak edildiğinde, metal-yarıiletken arayüzeyinde yüklerin ayrışmasından dolayı bir potansiyel engel yüksekliği oluşur. Metal ile yarıiletken arasındaki arayüzey tabakası hareketli yüklerden arınmış yüksek dirençli bir bölgedir. Schottky-Mott modeline göre potansiyel engel, iki maddenin iş fonksiyonları arasındaki fark sebebiyle oluşmaktadır. Şekil 2.1 de iş fonksiyonu Φ_m olan metal ile iş fonksiyonu Φ_s olan n-tipi bir yarıiletkenin, $\Phi_s < \Phi_m$ durumundaki (doğrultucu kontak) enerji-bant diyagramını gösterilmiştir. Vakum seviyesi olarak, metalin tam dışındaki sıfır kinetik enerjili bir elektronun enerji seviyesi referans alınmıştır. Metalin iş fonksiyonu, bir elektronu Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerji miktarıdır. Yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s de

Yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s değişen bir niceliktir. Çünkü yarıiletkenin Fermi seviyesi katkılanan alıcı/verici atomların miktarına bağlı olarak değişir. Şekil 2.1.a'da yarıiletken yüzey durumları içermediğinden yüzeyin bant yapısı yarıiletken gövde (bulk) bant yapısı ile aynıdır yani bantlarda bir bükülme yoktur. Şekil 2.1.b, metal ile yarıiletken kontak yapıldıktan sonra dengeye ulaşmış durumun enerji-bant diyagramını göstermektedir. Metal, yarıiletkenle kontak edildiğinde, metaldeki elektronlardan daha yüksek enerjiye sahip olan yarıiletkenin iletkenlik bandında bulunan veya uyarılmış elektronlar, yarıiletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesine eşit olana kadar, yarıiletkenden metale doğru akarlar. Bu geçiş neticesinde, yarıiletkenin sınırında serbest elektron konsantrasyonu azaldığı için yarıiletkendeki Fermi enerji seviyesi yasak enerji aralığının ortasına doğru kayacaktır. Yani iletkenlik band kenarı E_C ile Fermi seviyesi E_F arasındaki fark, azalan bu elektron konsantrasyonu ile artar ve termal dengede E_F tamamen sabit kaldığı için iletkenlik ve valans band kenarları Şekil 2.1.b'deki gibi yukarı doğru bükülürler. Yarıiletkenin vakum seviyesi ve yarıiletkenin elektron yakınlığı χ_s kontak ile değişmediğinden aynı şekilde yukarı doğru bükülür. Yarıiletkenden metale geçen iletkenlik bandı elektronları arkalarında pozitif yüklü verici (donor) iyonları bırakırlar. Böylece yarıiletkenin metale bakan ön yüzeyinde hareketli yükler bu geçiş nedeniyle azalırlar. Bunun sonucu olarak da arayüzeyin yarıiletken tarafında pozitif yükler oluşur aynı zamanda metal tarafında da yarıiletkenden metale geçen elektronlar ince bir negatif yük tabakası oluştururlar. Bu yük düzenlemeleri sonucunda, yarıiletkenden metale doğru doğal bir elektrik alan (ξ) oluşur.

Termal denge durumunda, engel yüksekliğini belirlemek için önemli bir nokta olan geçiş bölgesinde vakum seviyesinin sürekli olması sağlanmış olur ve band bükülme miktarı (qV_i), metal ile yarıiletken materyallerin iş fonksiyonları arasındaki farka eşittir. Bu fark $qV_i = (\Phi_m - \Phi_s)$ olarak ifade edilir. Burada qV_i yarıiletkenden metale gidecek olan elektronun sahip olması gereken enerji yani engel yüksekliğidir. Bununla birlikte metal tarafından gözüken engel yüksekliği, yarıiletken tarafından gözüken engel yüksekliğinden farklıdır.

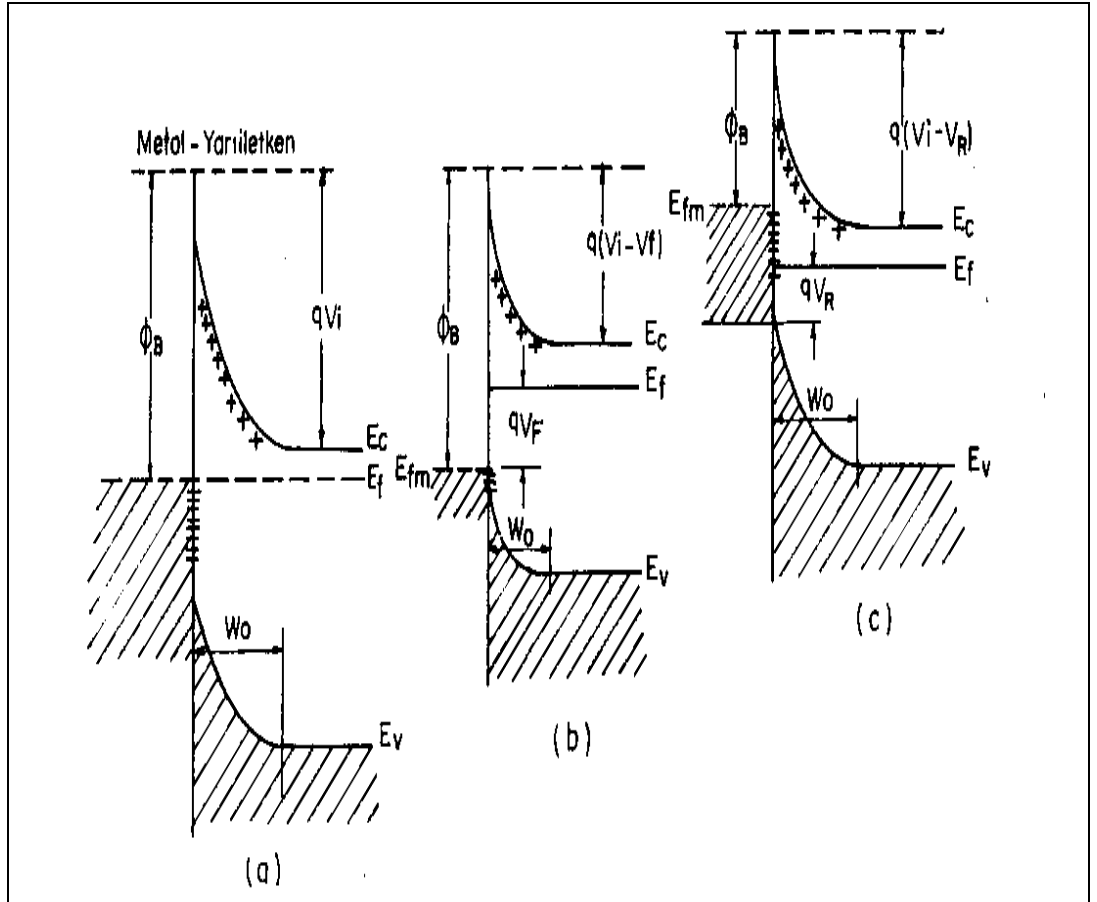
$$\Phi_B = (\Phi_m - \chi_s) \quad (2.1)$$

$\Phi_s = \chi_s + \Phi_n$ ve $\Phi_m = qV_i + \Phi_s$ olduğundan,

$$\Phi_B = (qV_i + \Phi_n) \quad (2.2)$$

elde edilir. Burada $\Phi_n = (E_c - E_F)$ dir ancak E_c referans olarak sıfır alınırsa $\Phi_n = E_F$ olur. Eş. 2.1, birbirlerinden bağımsız olarak Schottky ve Mott tarafından ifade edilmiştir. Şekil 2.1 de metal-yarıiletken kontak edildikten sonraki; termal dengede, doğru ve ters beslem enerji-band diyagramları sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 2.2.a, termal halinde, yarıiletkenden metale geçen elektronlar metalden yarıiletkene geçen elektronlar ile dengelenir ve net bir akım oluşmaz. Yarıiletkenin tüketim bölgesi çok az hareketli taşıyıcı içerdiği için, bu bölgenin direnci metalin ve yarıiletkenin nötral kısmının direnci ile kıyaslandığında çok yüksektir. Bu nedenle uygulanan dış gerilimin neredeyse tamamı bu bölgeye düşer. Yapıya uygulanacak doğru veya ters bir ön gerilim voltajı termal denge durumundaki enerji-band diyagramını değiştirecektir. Metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda, yarıiletken tarafı metale göre negatif olacak şekilde $V=V_F$ gerilim uygulandığında, tüketim bölgesinin genişliği azalır ve Şekil 2.2.b de gösterildiği gibi termal dengedeki potansiyel engel yüksekliği, qV_i 'den $q(V_i - V_F)$ 'ye iner. Bu durumda yarıiletkenden metale geçecek elektronlar azalmış bir engel ile karşılaşacaklar ve bunun sonucu olarak da yarıiletkenden metale doğru olan elektron akımı termal denge değerine göre artarken metalden yarıiletkene elektron akımı değişmez. Çünkü metalde herhangi bir gerilim düşmesi oluşmaz ve potansiyel engel yüksekliği Φ_B uygulanan gerilimden etkilenmez. Sonuç olarak yarıiletken taraf negatif metal pozitif olacak şekilde kontağa bir dış gerilim uygulandığı zaman, yarıiletkenden metale doğru olan net bir akım vardır. Bu durumda metal-yarıiletken kontak doğru ön gerilimlenmiş olur. Doğru beslem akımı, uygulanan V_F doğru beslem gerilimi ile üstel olarak artar. Kontakın ters beslem durumundaki enerji-band diyagramı ise Şekil 2.2.c de verilmiştir. Yarıiletken metale göre pozitif olacak şekilde $V=-V_R$ gerilimi uygulandığında ise tüketim bölgesindeki potansiyel engel yüksekliği qV_i 'den $q(V_i + V_R)$ 'ye yükselir. Bu nedenle yarıiletkenden metale doğru elektron akımı termal denge

durumuna göre azalır. Metalden yarıiletken elektron akımı ise pratik olarak termal dengedeki akımın aynısıdır. Yarıiletkenden metale doğru olan akım doğru beslemdeki ile kıyaslandığında daha küçüktür. Böylece bu tartışmalar altında bahsedilen kontak tek yönde akım ileten doğrultucu kontak olur. Şekil 2.2.b ve Şekil 2.2.c'de ki enerji-band diyagramları denge şartlarında değildir ve tek bir Fermi seviyesi yoktur. Elektronların gittiği bölgenin Fermi enerji seviyesi, elektronların geldiği bölgenin Fermi enerji seviyesinden daha yüksektir [2,3,5,7,8,11-13].



Şekil 2.2. Metal/n-tipi yarıiletken doğrultucu kontak için elektron enerji-band diyagramı a: Termal denge durumu, b: Doğru beslem, c: Ters beslem

2.1.3. Schottky engel alçaltması

Bir metal-vakum sisteminde, metalin yüzeyinden x kadar uzakta bulunan bir elektron göz önüne alınırsa metalin yüzeyinden x kadar arkada pozitif değerli bir hayali (görüntü) yük oluşur. Bu durumda Coulomb denkleminde göre elektronu metale doğru çeken kuvvet,

$$F = -\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)\left(\frac{q}{2x}\right)^2 \quad (2.3)$$

Şeklinde verilir. Burada ϵ_0 , boşluğun dielektrik geçirgenliği olup değeri 8.85×10^{-14} F/cm'dir. Bu Coulomb kuvveti, $+\infty$ ile x arasında integre edilirse,

$$\int_{\infty}^x F dx = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 x} \quad (2.4)$$

elde edilir. Metal-yarıiletken Schottky diyotları (kontaklar) için bu metalden vakuma doğru olan emisyon, metalden yarıiletkeneye doğru emisyon şeklinde dönüşebilir. O halde, metalden x kadar uzakta yarıiletken içinde bir elektron dikkate alınırsa, metal yüzeyinden x kadar arkada pozitif değerli bir görüntü yük oluşur. Schottky engelinin uygulanan elektrik alanı ve görüntü yük etkisiyle $q\Delta\Phi_B$ kadar azalmasına **Schottky engel alçaltması** denir. Yapıya bir dış elektrik alan (ξ) uygulandığında uzaklığın fonksiyonu olarak toplam potansiyel enerji,

$$U(x) = q^2/(16\pi\epsilon_0 x) + q\xi x \quad (2.5)$$

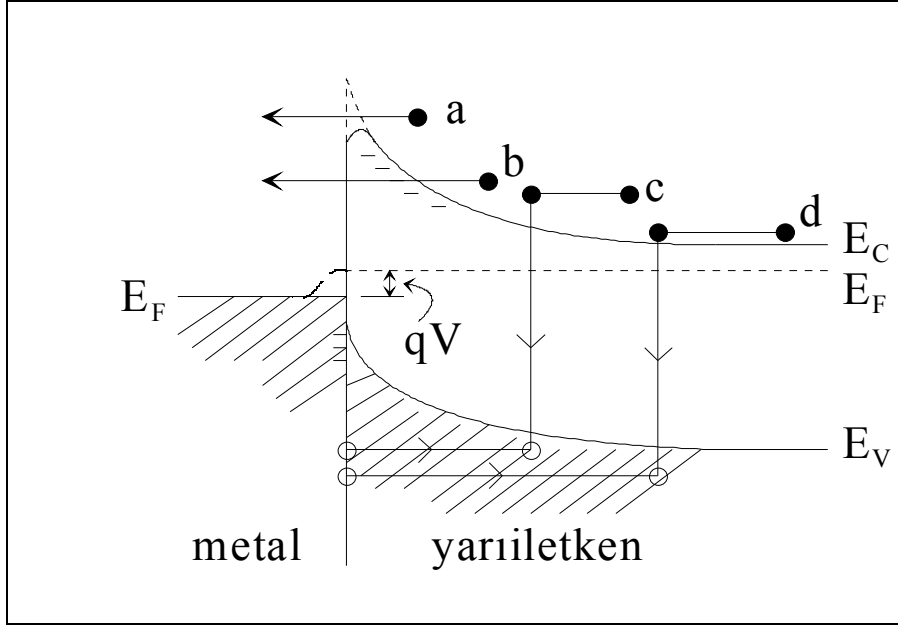
olur. Schottky engel düşmesi metal yüzeyinden x_m kadar uzakta potansiyel enerji değişiminin $dU(x)/dx=0$ olduğu noktada meydana gelir. Eş. 2.5'in x 'e göre türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde,

$$x_m = (q/(16\pi\epsilon_0 \xi))^{0.5} \quad (2.6)$$

akım, aşağıda verilen bazı akım-iletim mekanizmalarından biri veya birkaçının toplamı şeklinde olacaktır. Ancak hangi akım-iletim mekanizması veya mekanizmaların, hangi sıcaklık ve gerilim bölgesinde etkili olduğunu ancak geniş bir sıcaklık aralığında I-V ve C-V ölçümlerini gerçekleştirmekle mümkün olabilir. Bir MY veya MYY yapı için akım iletim mekanizmaları şunlardır:

- Termiyonik Emisyon Teorisi (TE)
- Difüzyon Teorisi
- Termiyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED)
- Termiyonik Alan Emisyonu (TAE)
- Alan Emisyonu (AE),
- Uzay yük bölgesinde rekombinasyon
- Deşik enjeksiyonu
- To etkili akım iletimi
- Çok katlı tünelleme

Şekil 2.4’de doğru beslem altında metal/n-tipi yarıiletkende dört temel akım-iletim mekanizmaları gösterilmiştir. Bunlardan birincisi a: potansiyel engelin tepesi üzerinden yarıiletken metalin içine elektronların iletimidir. Bu, ideal katkılanmış (Si, $N_D \leq 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) Schottky diyotları için ideal bir modeldir. İkincisi b: elektronların engel içinden direk kuantum-mekaniksel tünelleme. Bu yüksek katkılı yarıiletkenler ile çoğu ohmik kontaklar için uygundur. Üçüncüsü c: uzay yük bölgesinde yeniden birleşmedir. Dördüncüsü d: ise doğal bölgede deşik enjeksiyonudur [2,3,5,7,8,11-13,23]. Bu çalışmada, Schottky diyotlarda, temel akım-iletim mekanizmalarından biri olan termiyonik emisyon teorisini, hesaplamalarda kullandığımız için aşağıda bahsedilmiştir.



Şekil 2.4. Metal-Yarıiletken kontaklarda doğru beslem altında akım-iletim mekanizmaları

Termiyonik emisyon teorisi (TE)

Termiyonik emisyon teorisi; sıcak bir yüzeyden taşıyıcıların salınması anlamına gelmektedir. Schottky diyotlarda yeterli termal enerjiyi kazanan taşıyıcıların metal-yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel üzerinden yarıiletkenenden metale veya metalden yarıiletkenene geçmeleri Termiyonik emisyon teorisi (TE) olarak bilinir. Bu olayda çoğunluk taşıyıcı akım, metal/n-tipi yarıiletken yapılarda elektron, metal/p-tipi yarıiletken yapılarda deşikler tarafından sağlanır. Bethe'nin MY kontaklarda akımın çoğunluk taşıyıcılar tarafından iletildiğini kabul ederek kurduğu termiyonik emisyon teorisinin temel varsayımları şunlardır:

- Potansiyel engelinin yüksekliğinin değeri, termal (kT/q) enerjiden çok büyüktür.
- Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları olmamaktadır. Yani taşıyıcıların ortalama serbest yolları Schottky bölgesinin kalınlığından daha fazladır.
- Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilmekte ve engelin biçimi önemsiz olup, akım engel yüksekliğine çok bağlı değildir.

Yarıiletkeniden metale doğru olan akım yoğunluğu (J_{sm}), ancak eklemdeki potansiyel engelini geçmeye yetecek kadar enerjiye sahip elektronların konsantrasyonu ve bunların hızı ile ifade edilir.

$$J_m = \int_{E_f + q\phi_b}^{\infty} qv_x dn \quad (2.8)$$

Kontak yüzeyine dik doğrultuda elektronların x yönündeki hız bileşeni v_x ile gösterilirse, yarıiletken yapıda hızları v_x ile $v_x + \Delta v_x$ arasında olan elektronların yoğunluk ifadesi;

$$dn_x = N_D \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right)^{1/2} dv_x \quad (2.9)$$

eşitliği ile verilir. Burada N_D yarıiletkene katkılanan verici atomların yoğunluğu, m_n^* elektronun etkin kütlesi, k Boltzman sabiti ve T ise Kelvin cinsinden mutlak sıcaklıktır. Yarıiletkene bir dış gerilim uygulandığında elektronlar için yarıiletkeniden metale doğru olan akım yoğunluğu, hızları $\frac{1}{2} m_n^* v_x^2 \geq eV_D$ şartını sağlayan elektronların birim zamanda birim yüzeyden geçen sayısının e ile çarpımı;

$$\begin{aligned} J_{sm} &= \int_{v_{0x}}^{\infty} ev_x dn_x = \int_{v_{0x}}^{\infty} eN_D \left(\frac{m_n^*}{2\pi kT} \right)^{1/2} v_x \exp \left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) dv_x \\ &= eN_D \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{m_n^* v_x^2}{2kT} \right) = eN_D \left(\frac{kT}{2\pi m_n^*} \right)^{1/2} \exp \left(-\frac{eV_D}{kT} \right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

şeklinde olacaktır. Burada x-yönündeki hız, $v_x = \left(\frac{2eV_D}{m_n^*} \right)^{1/2}$ olup, taşıyıcının eV_D yüksekliğindeki potansiyel engelini aşması için gerekli olan minimum hızıdır. Eğer n-tipi yarıiletkenide iletkenlik bandının alt kenarı ve p-tipi yarıiletkenlerde ise valans bandının üst kenarı referans olarak sıfır seçilirse, iletim ve valans bandındaki

durumların yoğunluğu ifadesi sırasıyla;

$$N_C = \left(\frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \exp\left(-\frac{E_F}{kT}\right) \quad (2.11)$$

$$\text{ve} \quad N_V = \left(\frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2} \exp\left(\frac{E_F}{kT}\right) \quad (2.12)$$

eşitliği ile verilir. Bu ifade $e\Phi_{Bn} = E_s - \Phi_m$ yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa;

$$J_{sm} = \left(\frac{4\pi e m_n^* k^2 T^2}{h^3} \exp\left(-\frac{eV_D + E_F}{kT}\right) \right) \quad (2.13)$$

ifadesi elde edilir. Metal tarafında yarıiletkenin iletkenlik bandının kenarına göre görülen potansiyel engel yüksekliği;

$$e\Phi_{Bn} = eV_D + E_F \quad (2.14)$$

dir. Elektronlar için etkin Richardson sabiti A^* ,

$$A^* = \frac{4\pi e m_n^* k^2}{h^3} \quad (2.15)$$

eşitliği ile verilir. Yarıiletkenden metale olan akım yoğunluğu ifadesi için,

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.16)$$

eşitliği elde edilir. Metal n-tipi yarıiletken Schottky kontağı doğru beslemde iken engel yüksekliği azalacağından akım yoğunluğu değeri $\exp(eV/kT)$ çarpanıyla orantılı olarak artacaktır. Bu yüzden yarıiletkenden metale doğru akım yoğunluğu J_{sm}

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) \quad (2.17)$$

ifadesine dönüşür. Termal denge durumunda, yarıiletken metale ve metalden yarıiletkene doğru akım yoğunlukları eşittir ve toplam akım yoğunluğu ifadesi;

$$J_n = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.18)$$

olur. Burada, köşeli parantez önündeki tüm ifade sızıntı akımı olarak da adlandırılan doyma akım yoğunluğu ifadesidir. Yani doyma akım yoğunluğu ya da diğer adıyla ters doyum akım yoğunluğu ifadesi,

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (2.19)$$

ile verilir. Schottky etkisi (Şekil 2.3) uygulanan gerilim vedeşikler ile elektronlar arasındaki elektrostatik etkileşmeden dolayı engel yüksekliğinde $e(\Delta\Phi_{Bn})$ kadar bir alçalma olur. Bu engel alçalması ise,

$$e(\Delta\Phi_{Bn}) = \alpha_0 (V_D + V)^{1/4} \quad (2.20)$$

şeklinde yazılır. Akım yoğunluğu ifadesinde $e\Phi_{Bn}$ 'nin yerine $(\Phi_{Bn} - \Delta\Phi_{Bn})$ yazılırsa;

$$J_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\alpha_0 (V_D + V)^{1/4}\right) \quad (2.21)$$

eşitliği elde edilir. Görüldüğü gibi doyma akım yoğunluğu gerilime bağlıdır. Burada Φ_{Bn} sıfır beslemde ve Schottky etkisi olmadığı durumdaki engel yüksekliği ve α_0 sabiti ise;

$$\alpha_0 = \left\{ \frac{e^4 N_d}{8(\epsilon_s \epsilon_0)^3 \pi^2} \right\}^{1/4} \quad (2.22)$$

olup, buradaki ϵ_s ve ϵ_o sırasıyla yarıiletkenin ve boşluğun dielektrik sabitleridir[2,3,5,7,8,11-13,23].

2.2. Schottky Diyotlarda Doğru Beslem I-V Karakteristikleri

Yüksek mobiliteli yarıiletkenlerden yapılan iyi Schottky diyotlarında doğru beslem çok yüksek olmadıkça akım iletimi termiyonik emisyon teorisine uyar. Termiyonik emisyon teorisine göre Schottky diyotlarda doğru beslem akım yoğunluğu-gerilim (J-V) ilişkisi,

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) - 1 \right] \quad (2.23)$$

şeklindedir. Burada J birim alan başına akım yoğunluğu ve J_0 doyma akım yoğunluğu olup, V_D ise engel tabakası boyunca gerilim düşmesidir. Pratikte Schottky diyotların, doğru beslem akım-gerilim (I-V) karakteristikleri ideal durumdan bazı sapmalar gösterebilir. Yani saf termiyonik emisyon teorisinde boyutsuz olan idealite faktörü (n) birden büyük olabilir. Bu nedenle Eş.2.23’de ki akım yoğunluğu ifadesi,

$$J_0 = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{BO}}{kT}\right) \quad (2.24)$$

$$J = J_0 \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2.25)$$

Eş.2.25’deki şeklini alır. Burada $\exp(qV/nkT) \gg 1$ durumu göz önüne alınır ve diyota uygulanan V geriliminin bir kısmı diyota bağlı seri direnç üzerine düşeceğinden IR_s ilavesiyle,

$$J = A_n^* T^2 \exp\left(\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left[\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right] \quad (2.26)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Burada $V_D = V - IR_s$ dir, V ise uygulanan dış gerilimdir. Buna ilaveten son zamanlarda yüksek seri direnç ve idealite faktörüne sahip Schottky kontaklarında; seri direnç (R_s), idealite faktörü (n) ve engel yüksekliği ($q\Phi_{Bn}$) gibi temel diyot parametrelerini tayin etmek amacıyla yeni yöntemler geliştirilmiştir.

$$V = R_s AJ + n\Phi_{Bn} + \left(\frac{n}{\beta}\right) \ln\left(\frac{J}{A_n^* T^2}\right) \quad (2.27)$$

şeklinde yazılabileceği S.K. Cheung tarafından verildi. Burada $\beta = q/kT$, A diyotun etkin alanıdır. Bu son denklemin J 'ye göre diferansiyeli alınırsa

$$\frac{dV}{d \ln J} = R_s A + \left(\frac{n}{\beta}\right) \quad (2.28)$$

elde edilir. $dV/d(\ln J)$ 'nin J 'ye göre grafiği bir doğrudur. Doğrunun eğiminden R_s seri direnci, doğrunun $dV/d(\ln J)$ eksenini kestiği noktadan ise idealite faktörü (n) bulunabilir. Eş. 2.27'deki ($R_s AJ + n\Phi_{Bn}$) ifadesine $H(J)$ denilirse,

$$H(J) = V - \left(\frac{n}{\beta}\right) \ln\left(\frac{J}{A_n^* T^2}\right) \quad (2.29)$$

şeklinde yazılabilir. Eş. 2.22 ve Eş. 2.20 ile birlikte düşünülürse

$$H(J) = R_s AJ + n\Phi_{Bn} \quad (2.30)$$

olur. $H(J)$ 'nin J 'ye göre grafiği bir doğru olur. Bu doğrunun eğiminden R_s ve doğrunun $H(J)$ eksenini kestiği noktadan da $q\Phi_{Bn}$ engel yüksekliği bulunur. Metal-yarıiletken (MY) arasında bir yalıtkan tabaka varsa, MY yapı MYY yapıya dönüşür. Bir MYY yapıda seri direnç varsa ve yeterince büyük ise, ölçülen kapasitans (C) ve kondüktans (G) değerleri yapının gerçek değerleri olmayıp seri direnç katkısını da ihtiva etmektedir [2,3,5,7,8,11-13,23].

2.3. Schottky Diyotlarında Kapasitans-Voltaj (C-V) Karakteristiği

Metal yarıiletken doğrultucu kontaklarda yük taşıyıcılarının metal-yarıiletken arayüzeyindeki dağılımı sonucu yüksek dirençli bir tüketim tabakası oluşur. Tüketim tabakası genişliği (W_D) uygulanan dış gerilimle değişir. Bu tür bir MY kontak bir kondansatöre benzer ve ara bölgede bir kapasite oluşur. Bu ara bölgede sınır şartları kullanılarak ve Poisson denklemi çözülerek ara bölgede engel yüksekliği ve kapasite bulunabilir. Doğrultucu bir metal yarıiletken kontakta kolaylık açısından akımın bir doğrultuda geçtiği varsayılarak potansiyel dağılımı,

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = -\frac{q}{\epsilon_s} [N_D + p(x) - n(x)] \quad (2.31)$$

ile verilir. Burada N_D donör konsantrasyonu, $n(x)$ ve $p(x)$ yarıiletkendeki herhangi bir x noktasında sırasıyla elektron ve deşik konsantrasyonlarıdır. Tüm donörlerin iyonize olduğu kabul edilir. Uzay yük bölgesi kenarında yarıiletkenin nötr bulk bölgesinde potansiyel sıfır alınarak,

$$n(x) = n_o \exp[q\Phi(x) / kT] \quad (2.32)$$

$$p(x) = p_o \exp[-q\Phi(x) / kT] \quad (2.33)$$

bulunur. Burada n_o ve p_o yarıiletkenin nötral bölgesinde dengedeki elektron ve deşik konsantrasyonlarıdır. Buradan Poisson denkleminin sınırlardaki potansiyel dağılımı bulunur.

$$0 < x < W \quad \frac{d^2 \Phi(x)}{dx^2} = -\frac{q}{\epsilon_s} N_D \quad (2.34)$$

$$x > W \quad 0 \quad (2.35)$$

Burada $x=W$ ve $\frac{d\Phi}{dx} = 0$ 'da diğer bir sınır şartıdır ve bu şartlar altında tüketim bölgesindeki elektrik alan aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$E(x) = -\frac{d\Phi(x)}{dx} = E_m \left(1 - \frac{x}{W}\right) \quad (2.36)$$

Burada E_m $x=0$ da ki maksimum elektrik alandır ve

$$E_m = -\frac{qN_D}{\epsilon_s} W$$

$E(x) = \frac{qN_D}{\epsilon_s} (x - W)$ şeklinde ifade edilir. Bu sınır şartları altında,

$$\Phi(x) = -\frac{qN_D}{2\epsilon_s} W^2 \left(1 - \frac{x}{W}\right)^2 \quad (2.37)$$

metal/n-tipi yarıiletken kontağın potansiyeli elde edilir. Potansiyel, tüketim bölgesinden olan uzaklıkla parabolik olarak değişir ve maksimum bir değere ($\Phi(0)=V_D$) sahiptir.

$$V_D = (V_i - V) = -\frac{qN_D}{2\epsilon_s} W^2 \quad (2.38)$$

Burada V dışardan uygulanan voltajdır. Doğru beslem için $V=V_F$ ve ters beslem için $V=-V_R$ olur. Yukarıdaki eşitlikteki (-) işareti potansiyelin $x=W$ 'daki değerine uygun olarak $x=0$ 'da negatiftir. Yine yukarıdaki eşitlik kullanılarak tüketim tabakasının genişliği,

$$W_D = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_D} |V_i - V|} \quad (2.39)$$

elde edilir [3]. Tüketim tabakası yaklaşımında elektron ve deşik konsantrasyonları donör konsantrasyonu ile karşılaştırılarak ihmal edilmiştir.

Uygulanan ters gerilimin bir fonksiyonu olarak diyot kapasitansı ölçülebilir. Ters gerilim altındaki bir diyota birkaç milivolt büyüklüğünde küçük bir ac sinyal uygulandığında tüketim bölgesinin kapasitansı A diyot alanı olmak üzere aşağıdaki şekilde verilir.

$$C = A \left[\frac{\epsilon_s q N_D}{2(V_i + V_R - kT/q)} \right]^{1/2} \quad (2.40)$$

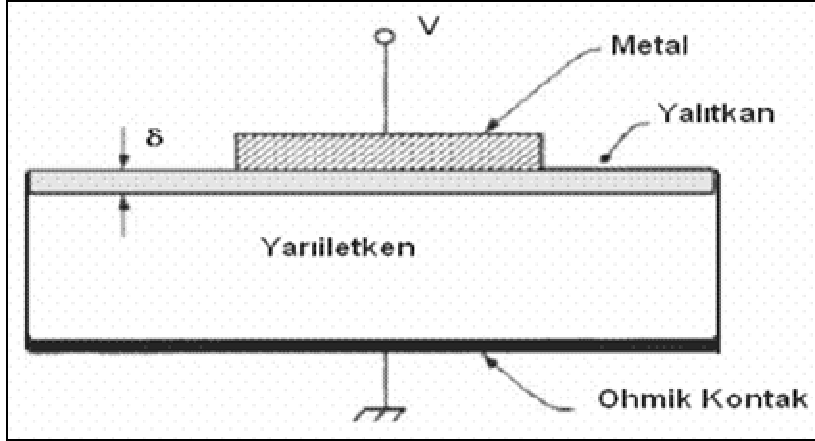
Bu eşitlikte diyotun bir yalıtkan tabakaya sahip olmadığı kabul edilir ve n-tipi yarıiletken düzgün bir katkı konsantrasyonuna sahiptir. Eş. 2.40'a göre $1/C^2 - V_R$ eğrisi lineerdir ve eğim $2/A^2 \epsilon_s q N_D$, kesme voltajı $V_o = (V_i - kT/q)$ olur. Bu eğimden katkı konsantrasyonu elde edilir. Çünkü $qV_i = (\Phi_B - \Phi_n)$ aşağıdaki gibidir.

$$\Phi_B = (qV_o + \Phi_n + kT) \quad (2.41)$$

Buradaki kT faktörü çoğunluk taşıyıcı konsantrasyonundan gelen katkıdır ve eşitlik imaj kuvvet alçalması içermez [2,3,5,7,8,11-13,23].

2.4. İdeal MYY Yapılar

MYY kontaklarda Şekil 2.5'de görüldüğü gibi metal-yarıiletken arasında δ kalınlıklı bir yalıtkan tabaka vardır. Bu yalıtkan tabaka kendiliğinden oluşabildiği gibi çeşitli yöntemlerle de oluşturulabilir. İdeal bir MYY kontağın voltaj uygulanmadan önceki enerji band diyagramı n-tipi ve p-tipi yarıiletkenler için Şekil 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.5 Metal/yalıtkan/yarıiletken (MYI) yapısı

Metal-yarıiletken arasındaki yalıtkan tabakanın genişliği büyük olduğu için ideal bir dielektrik gibi davranır. İdeal bir MYI kapasitör aşağıdaki gibi tanımlanır:

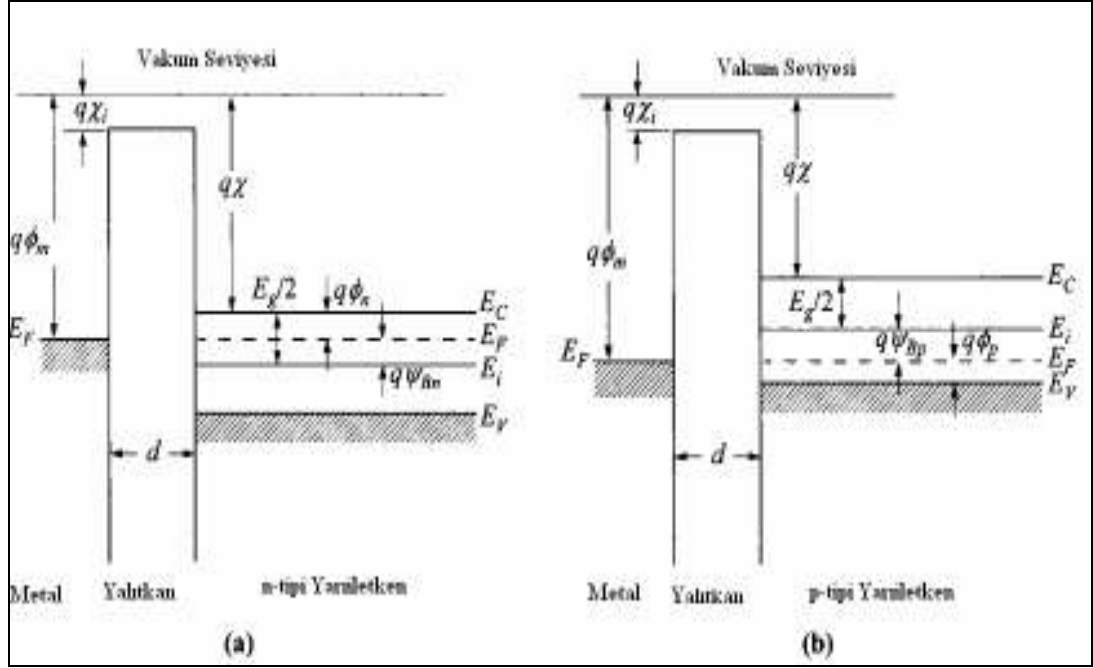
- Metal-yarıiletken arasındaki yalıtkan tabaka içerisinde ve yalıtkan/yarıiletken arayüzeyinde tuzaklar, sabit ve hareketli yükler bulunmaz. Yine yalıtkan/yarıiletken arayüzeyinde arayüzey durumları ve arayüzey yükleri bulunmaz.
- Yalnızca bir voltaj uygulandığında MYI kontakta yükler mevcuttur. Bu yükler yalıtkan ile bitişik metal yüzeyinde ve yarıiletken içerisinde bulunurlar. Metal yüzeyindeki ve yarıiletkendeki yükler eşit miktarda ama zıt işaretlidirler.
- Herhangi bir dc gerilim altında yalıtkan içerisinde yük iletimi olmaz ve yalıtkanın özdirenci sonsuzdur.

Böylece denge durumunda metalin iş fonksiyonu Φ_m ile yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s arasındaki farkın sıfır ($\Phi_{ms}=0$) olduğu kabul edilir ve bundan dolayı,

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \Psi_{Bn} \right) = 0 \quad (\text{n-tipi yarıiletken}) \quad (2.42)$$

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \Psi_{Bp} \right) = 0 \quad (\text{p-tipi yarıiletken}) \quad (2.43)$$

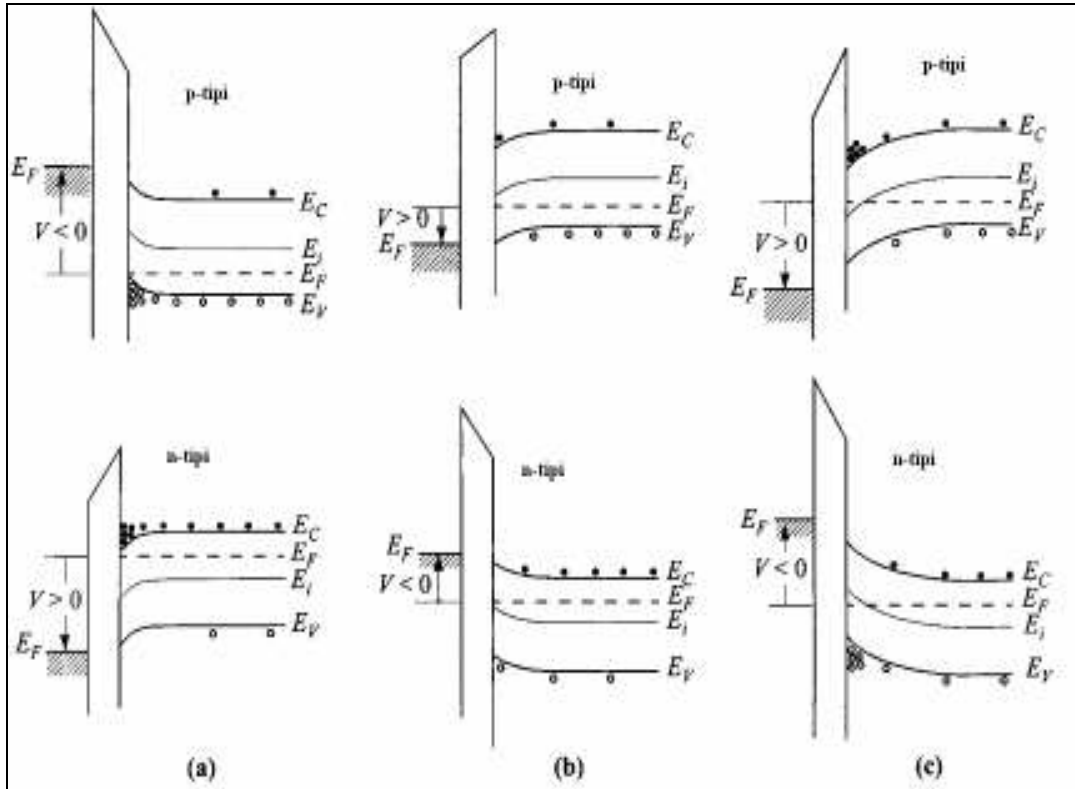
şeklinde ifade edilebilir. Burada Ψ_{Bn}, Ψ_{Bp} fermi potansiyelleridir. Yani burada sıfır beslem ve düz bant durumu mevcuttur.



Şekil 2.6. Denge durumunda ideal bir MYY yapının enerji bant diyagramı a: n-tipi yarıiletken, b: p-tipi yarıiletken

İdeal bir MYY kapasitör negatif veya pozitif voltajlarla beslendiğinde yarıiletken yüzeyinde temelde üç durum oluşabilir. Bu durumlar Şekil 2.7’de üst tarafta p-tipi yarıiletken için, alt kısımda n-tipi yarıiletken için verilmiştir. Metal kısma negatif bir voltaj ($V < 0$) uygulandığında valans band kenarı E_V yüzey yakınlarında yukarı doğru bükülür ve Fermi seviyesine daha yakın olur. İdeal bir MYY kapasitörde yapı içinde akım akışı olmaz böylece yarıiletken Fermi seviyesi sabit olur. Çünkü taşıyıcı yoğunluğu $E_F - E_V$ enerji farkına eksponansiyel olarak bağlıdır. Bu band bükülmesi çoğunluk taşıyıcıların (deşiklerin) yarıiletken yüzeyinde birikmesine sebep olur. Bu yığılma (accumulation) durumudur. Küçük bir pozitif voltaj ($V > 0$) uygulandığında bandlar aşağı doğru bükülür ve çoğunluk taşıyıcılar tükenir. Bu tüketim (depletion) durumudur. Daha büyük bir pozitif voltaj ($V \gg 0$) uygulandığında band bükülmesi daha da aşağıda olur böylece yüzeydeki enerji seviyesi E_i Fermi enerji seviyesinin aşağısında olur. Bu durumda yüzeydeki elektron sayısı (azınlık taşıyıcılar)deşiklerden daha fazladır. Böylece yüzeyde durum tersine dönmüş olur ve

bu terslenim (inversion) durumudur. Benzer durumlar n-tipi yarıiletken içinde açıklanabilir. n-tipi yarıiletken için voltajın polaritesi değiştirilmelidir [1-3,5,7,8,11-13].



Şekil 2.7. Farklı voltajlar altında ideal bir MYY yapının enerji band diyagramı a: Yığılma, b: Tüketim, c: Terslenim

3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1. Silisyum Kristalin Bazı Temel Özellikleri

Silisyum (Si) doğada bol miktarda mevcut olan silikat ve silisyum dioksit (kum) bileşikleri halinde bulunur. Saf bir Si kristalinin oda sıcaklığında (300 K) bazı temel fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Silisyum dioksitin (SiO_2) elektrik arkında redüklenmesi ile elde edilen silisyum saf olmaması nedeniyle, silanli (SiH_4) bir bileşiğe dönüştürülür. Sıvı olan bu bileşik, kademeli distilasyon yöntemi ile ayrılır ve silisyumu içeren kısım kendi başına veya hidrojen atmosferinde ısıtılarak saf silisyuma ulaşılır. Bu yöntemlerle kimyasal saflığa getirilen silisyum yarıiletkeni henüz elektronik aygıt yapımı için yeterli saflıkta değildir.

Bu nedenle fiziksel saflaştırma yöntemi kullanılır. Bölgesel eritme adı verilen yöntemde, bazı safsızlık maddelerinin sıvı haldeki yarıiletkende çok daha çabuk çözünmesi gerçeğinden yararlanılarak, yarıiletken istenmeyen safsızlık maddelerinden arındırılır. Bu yöntemle saflaştırılan yarıiletken henüz polikristal özelliğindedir. Bundan sonra yarıiletkenin tek kristal halinde büyütülmesi ve içine arzu edilen özdirenci sağlayacak safsızlık (katkı) maddelerinin katkılanması gerekir. Katkılanan safsızlığın cinsi, yarıiletkenin tipini belirler ve miktarı (n) ise iletkenlik veya özdirencini ($\rho = 1/\sigma = 1/\mu q n$) tayin eder. Katkılanan alıcı atomların (N_A) veya verici atomların (N_D) sayısı 10^{14} cm^{-3} ’ten küçükse yarıiletken “düşük katkılı”, 10^{15} - 10^{16} cm^{-3} civarında ise “orta katkılı” ve 10^{16} cm^{-3} ’ten büyükse “yüksek katkılı” yarıiletken denir. Düşük katkılı yarıiletkenlerde Fermi enerjisi yasak bandın arkasına doğru kayar ve artan sıcaklıkla bu kayma daha da artar [2,3,7,8].

Çizelge 3.1. Silisyum yarıiletkeninin oda sıcaklığındaki (300 K) bazı özellikleri

Özellikleri	
Atom/cm ³	5,0x10 ²²
Atom ağırlığı (kg/mol)	28,09
Kırılma alanı (V/cm)	3x10 ⁵
Kristal yapısı	Elmas
Yoğunluğu (g/cm ³)	2,328
Dielektrik sabiti	11,9
İletkenlik bandındaki durumların yoğunluğu N _c (cm ⁻³)	2,8x10 ¹⁹
Valans bandındaki durumların yoğunluğu N _v (cm ⁻³)	1,04x10 ¹⁹
Saf taşıyıcı yoğunluğu n _i (cm ⁻³)	1,45x10 ¹⁰
Saf öz direnci (Ω.cm)	2,3x10 ⁵
Örgü sabiti (Å)	5,43095
Elektronların etkin kütlesi, m [*] /m _o	m _l [*] =0,98, m _t [*] =0,19
Deşiklerin etkin kütlesi, m [*] /m _o	m _{lh} [*] =0,16, m _{hh} [*] =0,49
Elektron yakınlığı, χ (eV)	4,05
Yasak enerji aralığı (eV)	1,12
Hareketliliği(cm ⁻² /V.s)	1500 (elektron için) 450 (deşik için)
Erime sıcaklığı (°C)	1415
Azınlık taşıyıcı yaşam süresi (s)	2,5x10 ⁻³
Termal iletkenlik (W/cm-°C)	1,5

3.2. MYY Yapıların Hazırlanması

3.2.1. Kristal temizleme

İdeale yakın bir metal-yarıiletken (MY) ve metal-yalıtkan-yarıiletken (MYY) yapılar yada diğer adıyla Schottky diyotları yapabilmek için kullanılacak yarıiletken kristalin yüzeyi çok temiz olmalıdır. Çünkü iyi temizlenmiş bir yarıiletken birçok sayıda yüzey kusurunu ortadan kaldırır. Bu çalışmada kullanılan kristal fabrikasyon olarak parlatılmış olduğundan mekanik temizleme yapılmadı. Ancak kristal üzerindeki organik ve ağır metal kirlerini gidermek ve yüzeydeki pürüzleri ortadan kaldırmak için bir dizi kimyasal temizleme işlemi ultrasonik banyoda yapıldı. Bu çalışmada, MYY yapıları oluşturmak için, (100) yüzey yönelimli, 8 Ω .cm özdirençli, 280 μ m kalınlıklı, yaklaşık 5,08 cm çapında fosfor katkılı (n-tipi) Si tek kristal yapraklar kullanıldı. Kullanılan Si kristalleri, yurt dışından CrysTec firmasından fabrikasyon yöntemiyle bir yüzeyi parlatılmış olarak satın alınmıştır. n-tipi Si yapraklar bir elmas kesici yardımıyla dört eşit parçaya (çeyrek yaprak) bölündü. Bu çeyrek Si yapraklardan iki tanesi üzerine farklı yalıtkan arayüzey tabakasına (SiO_2) sahip MYY yapılar oluşturuldu. Metal ile yarıiletken arasına doğal ya da yapay olarak büyütülen bir yalıtkan tabaka, MYY yapının hem elektriksel hem de dielektrik özelliklerini oldukça etkilemektedir. Bu nedenle Si yaprakların üzerine homojen bir oksit tabakanın büyütülmesi en önemli fabrikasyon adımlarından biridir. Bundan dolayı üzerine oksit büyütülecek yüzey ve onun üzerine oluşturulacak yalıtkan tabaka son derece temiz ve homojen olmalıdır. Kimyasal temizleme için çeşitli metotlar kullanılabilir. Bu çalışmada silisyum tabakanın temizlenmesinde kullanılan kimyasal temizleme işlemi aşağıda verilmiştir.

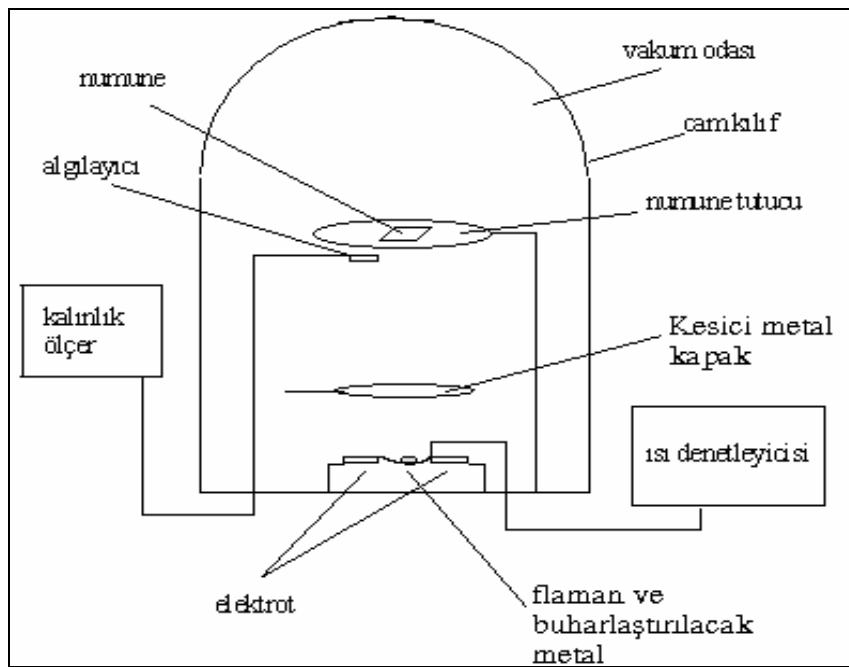
Temizleme işleminde, yüksek dirençli ($\sim 16\text{-}18\text{ M}\Omega$) deiyonize su kullanıldı. Ro&Up Water Purification System ile elde edilen bu deiyonize su, saf suyun Sybran sistemi içerisinde geçirilmesi ile elde edildi. Tüm kimyasal temizleme işlemleri, $\sim 60\text{ kHz}$ ses dalgaları ile titreştirilen ultrasonik banyo içinde gerçekleştirildi. Öncelikle kristalleri tutmak için kullanılan beherler, cımbız v.b araçlar önce yüksek saflıktaki aseton ile deiyonize su karışımında ultrasonik banyoda temizlenip deiyonize suda

iyice durulandıktan sonra bir etüv fırınında yaklaşık 80 °C de 30 dak. ısıtılarak sterilize edildi. Daha sonra yarıiletken kristallerin temizlenmesi için aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulandı:

1. Yarıiletken kristaller önce aseton su içerisinde ultrasonik banyoda yaklaşık 10 dakika kadar yıkandıktan sonra deiyonize su ile durulandı.
2. Kristaller, 20 ml trikloretilen (C_2HCl_3), 20 ml aseton ve 20 ml metil alkol (CH_3OH) karışımı içerisinde üç dakika ultrasonik olarak temizlendi.
3. Kristaller deiyonize suda 5 dakika yıkandı.
4. 30 ml sülfürik asit (H_2SO_4) ve 30 ml hidrojen peroksit (H_2O_2) karışımı içerisinde 5 dakika ultrasonik olarak temizlendi.
5. Deiyonize suda 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı.
6. 30 ml %38 saflıktaki hidroflorik asit (HF) ve 30 ml deiyonize su karışımı içerisinde 3 dakika ultrasonik olarak temizlendi.
7. 30 ml nitrik asit (HNO_3), 10 ml hidroflorik asit (HF) ve 50 ml hidrojen peroksit (H_2O_2) (3:1:5) karışımında 5 dakika ultrasonik olarak temizlendi.
8. Tekrar deiyonize suda 5 dakika ultrasonik olarak yıkandı.
9. 40 ml %38 saflıkta hidroflorik asit (HF) ve 50 ml deiyonize su karışımında 3 dakika ultrasonik olarak temizlendi.
10. Son olarak Si yapraklar deiyonize suda ultrasonik olarak 10 dakika durulandı.
11. Kristallerin yüzeyinin oksitlenmemesi için, kuru azot (N_2) ile kurulandı. Bu işlemten hemen sonra, ohmik ve doğrultucu kontakların oluşturulması için Si yapraklar hemen vakumda buharlaştırma sistemine yerleştirildiler.

3.2.2. Ohmik kontağın oluşturulması

MYV yapı hazırlanırken ohmik ve doğrultucu kontağın oluşturulması için yüksek vakumlu metal buharlaştırma sistemi kullanıldı. Sistemin içinde diyet yapımı gerçekleştirilen kısmı Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir.

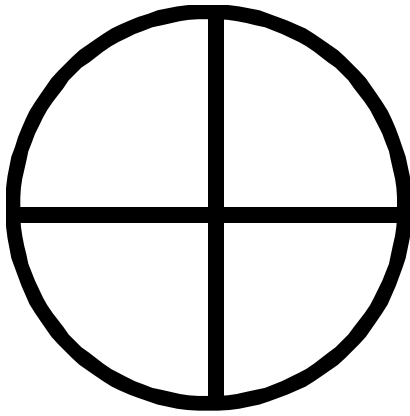


Şekil 3.1. Ohmik ve doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan metal buharlaştırma sistemi düzeneği

Bu kısımdaki parçalar, flaman (tungsten) ve ince bir bakır levhadan hazırlanan maskeler kimyasal olarak ultrasonik banyoda iyice temizlendi. Temizleme işlemi, karbonditetraklorür, trikloretilen ve aseton içerisinde 5 dakikalık süreler ile yapıldı ve daha sonra deiyonize su ile yıkandı. Fanus, NaOH çözeltisi ve deiyonize su kullanılarak temizlendi ve tüm parçalar yaklaşık 80 °C’de fırınlanarak kurutuldu. Ohmik kontağı oluşturmak için kimyasal olarak temizlenen yarıiletken mat yüzeyi aşağı gelecek şekilde maske üzerine yerleştirildi. Fanus hemen kapatılarak vakumlama işlemine geçildi (10^{-6} Torr).

Ohmik kontaklar için Şekil 3.2’deki gibi 50 mm çaplı ve ≈ 500 μm kalınlıklı bakır maske kullanıldı. Vakum $\approx 10^{-6}$ Torr’a ulaştığında, flamanların biri üzerinden akım

geçirilerek ($\approx 35A$) %99,999'luk saflığa sahip kimyasal olarak temizlenmiş alüminyum metal parçacıklarının buharlaşması sağlandı. Buharlaşmanın başlamasından bir süre sonra kesici kapak (metal perde) yan tarafa çekilerek, silisyumun mat yüzeyine altın (Au) kaplandı. Kapağın başlangıçta kristalin önünde durmasının nedeni, buharlaşabilecek yabancı maddelerin kristal üzerine yapışmasını önlemektir. Arka yüzeye kaplanan Au tabaka Şekil 3.3'te verilen sistemde yaklaşık $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de vakum ortamdan $\sim 2\text{lt/dak}$. Hızında N_2 gazı 60 dakika süreyle geçirildi. Yarıiletken içerisine çöktürülmesiyle ohmik kontak oluşturuldu.

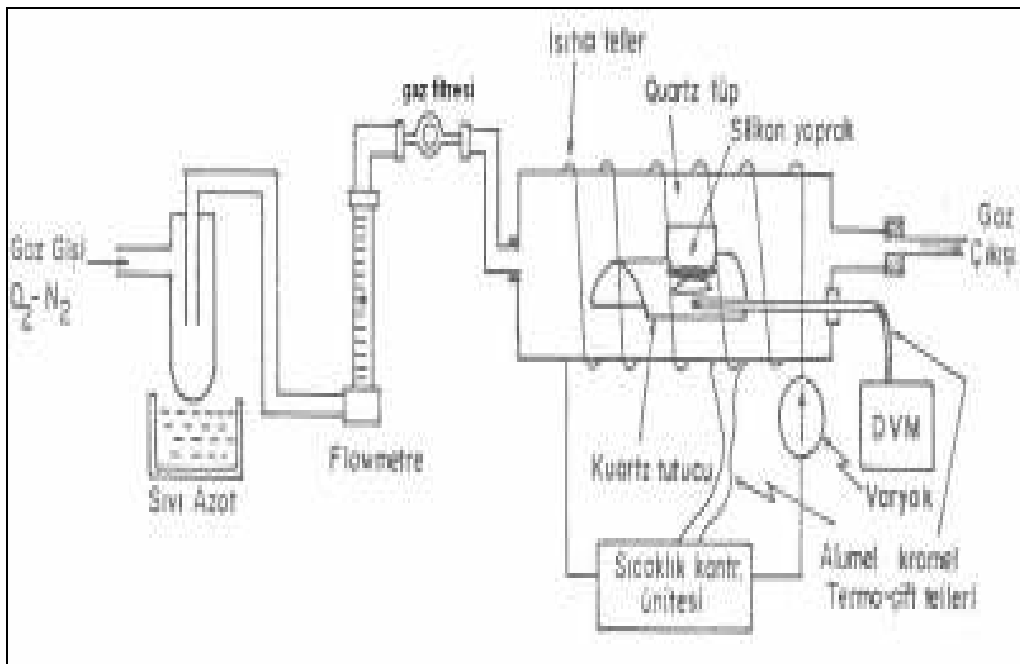


Şekil 3.2. Ohmik kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske

3.2.3. Yalıtkan oksit tabakasının oluşturulması

Yalıtkan oksit tabakası büyütmenin birçok yöntemi vardır. Fakat bunlardan en çok kullanılan silikon üzerine termal olarak kuru O_2 büyütülmesidir. $\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$ kimyasal reaksiyonu sonucu büyütülen d kalınlığındaki oksit tabakasının $0.45d$ kadar silikon yüzeyinden içeri, kalanı da dışarı doğru büyür [2]. Kimyasal olarak temizlenen Si yaprakları üzerine oksit (SiO_2) büyütmek için en çok kullanılan yöntemlerden biri olan, fırında oksit büyütme yöntemi kullanıldı. Bu yöntem için kullanılan sistem Şekil 3.3'de verilmiştir. Kuartz tüp, direnç telinden geçen akım vasıtasıyla ısıtıldı ve ortamın sıcaklığı, ELİMKO 6000 kontrol ünitesi ile kontrol edildi. Ayrıca kuartz tüpün içindeki numunelerin olduğu bölgeye yerleştirilen kromel-alümel termo-çifti ile sıcaklık kontrol edildi. Oksitleme için gerekli gaz akış

hızı bir flowmetre ile ölçüldü. Oksitleme işleminde kullanılan gazlar, nemin alınması için Şekil 3.3’de gösterildiği gibi, gazlar sıvı azot kabının üstünde tutturulmuş bir nem tutucudan (cam tüp) geçirildikten sonra oksidasyon fırınına gönderildi. Oksidasyon fırını farklı sürelerde farklı sıcaklıklara ayarlanarak ve numunenin bulunduğu ortamdan azot (N_2) gazı geçirilerek farklı kalınlıklardaki yalıtkan oksit tabakası (SiO_2) oluşturuldu.



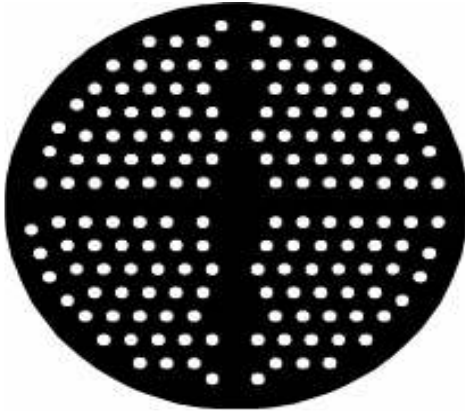
Şekil 3.3. Oksit büyütmede kullanılan fırın sistemi

Oluşturulan yalıtkan oksit tabakasının kalınlığı kapasitans-voltaj ölçümlerinde kuvvetli akümülayon bölgesinden ($C \approx C_{ox}$) hesaplandı.

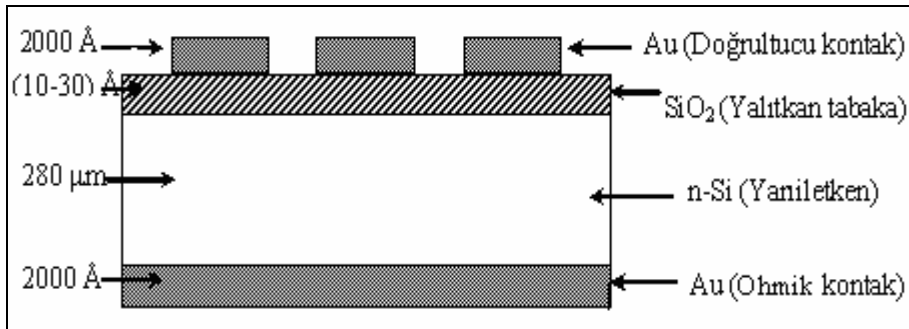
3.2.4. Doğrultucu kontağın oluşturulması

Üzeri SiO_2 kaplanmış yüzey, üzeri çok sayıda 1mm çaplı delikler açılmış olan bakır maske (Şekil 3.4) üzerine parlak yüzey aşağı gelecek şekilde yerleştirildi. Flaman üzerine konulan kimyasal olarak temizlenen altın (Au) metal parçası $\approx 10^{-6}$ Torr vakumda buharlaştırılarak, kristalin parlak yüzeyine küçük dairecikler (1mm çaplı) şeklinde ve ≈ 2000 Å kalınlığında alüminyum kaplanması sağlandı. Böylece doğrultucu kontağın da oluşturulmasıyla Au/ SiO_2 /n-Si şeklinde MYY yapılar elde edildi. Oluşturulan MYY yapılar ışık tutucular üzerine iletken gümüş pasta ile yapıştırıldı. Yalıtkan oksit tabakası üzerindeki üst elektrotlara, (doğrultucu kontaklara) gümüş kaplamalı ince teller kullanılarak gümüş pasta yardımıyla elektriksel kontaklar yapıldı.

Soğuması için bir süre bekletilen kristal vakum ortamından çıkartılarak her bir dairecik (diyet) ortada kalacak şekilde elmas kesici yardımıyla dört eşit parçaya bölündü. MYY yapının hazırlanış şeması Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske



Şekil 3.5. Au/SiO₂/n-Si (MY) yapının şematik gösterimi

3.3. Kullanılan Ölçüm Düzenekleri

Elektriksel karakteristikler için gerekli ölçümlerin tamamı Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Yarıiletken Laboratuvarında gerçekleştirildi. Akım-gerilim (I-V) ölçümlerinde Keithley 220 programlanabilir sabit akım kaynağı, Keithley 614 elektrometre (Resim 3.1.a) kullanıldı. Kapasitans-gerilim (C-V) ölçümlerinde ise Hawlett Packard 4192A LF Impedance Analiz metre (5 Hz – 13 MHz) (Resim 3.1.b) kullanıldı. Tüm bu ölçümler Hawlett Packard bilgisayarına takılan bir IEEE-488 ac/dc çevirici kart yardımıyla kumanda edilerek Janes vpf-475 kriyostat (Resim 3.1.c) içinde $\sim 10^{-3}$ Torr basınç altında gerçekleştirildi. Sıcaklık kontrolü ise bir Lake Shore model 321 sıcaklık kontrol sistemiyle (Resim 3.1.d) sağlandı.



(a)



(c)



(b)



(d)

Resim 3.1. Kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj ölçümleri için kullanılan düzenekler
 a: Keithley 220 programlanabilir sabit akım kaynağı Keithley 614 elektro
 metre, b: Hawlett Packard 4192A LF Empedaes Analiz metre, c: Janes
 vpf-475 kriyostat, d: Lake Shore model 321 sıcaklık kontrol sistemi

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Hazırlanan metal-yalıtkan-yarıiletken(MYY) (Au/SiO₂/n-Si) yapıların bazı temel elektriksel parametreleri deneysel olarak ölçülen akım-voltaj(I-V), kapasitans-voltaj(C-V) ve iletkenlik-voltaj(G/ω-V) ölçüm metotları kullanılarak incelendi. I-V, C-V ve G/ω-V ölçümleri doğru ve ters ön gerilim altında (-7V ile +7V) , 1000KHz frekansta ve oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Ölçülen bu değerler kullanılarak MYD diyotların akım-voltaj(I-V) grafikleri elde edildi. Bu ölçümlerden yararlanarak diyotların doyma akımı (I₀), idealite faktörü (n), potansiyel engel yüksekliği (Φ_B(I-V)) ve arayüzey durumların (N_{ss}) dağılım profili idealite faktörü ve etkin potansiyel engel yüksekliği kullanılarak elde edildi.

Kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω-V) ölçüm sonuçları kullanılarak kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik voltaj (G/ω-V) grafikleri çizilerek yapının seri direnç ve C⁻²-V eğrileri elde edildi. Bu eğrilerden faydalanarak kontak potansiyel farkı (V₀), difüzyon potansiyeli (V_D) ve verici katkı atomlarının yoğunluğu (N_D) elde edilerek literatürle karşılaştırıldı.

4.1. Au/SiO₂/ n-Si Yapıların Akım-Voltaj(I-V) Karakteristikleri

Metal-yarıiletken arasına doğal ya da yapay olarak oluşturulmuş yalıtkan tabaka metal-yarıiletken yapıyı metal-yalıtkan yarıiletken (MYD) yapısına dönüştürür. Yalıtkan tabakanın kalınlığından hem I-V hem de C-V ve G/w-V karakteristikleri ve dolayısıyla temel elektriksel parametreler, yalıtkan arayüzey tabakası, seri direnç ve arayüzey durumlarından büyük ölçüde etkilenirler. Ayrıca akım-iletim mekanizması yüzey hazırlama işlemleri, metal/yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel yüksekliği, sıcaklık ve gerilim gibi birçok parametreye de bağlı olabilir [1,7].

MYD tipi Schottky diyotlarında akım-voltaj ilişkisi $V \geq 3kT/q$ için termiyonik emisyon teorisine (TE) göre aşağıdaki şekilde verilir [1,2,5,8].

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) \quad (4.1)$$

Burada V_D diyot üzerine düşen gerilim, n idealite faktörü, k Boltzmann sabiti, T Kelvin cinsinden sıcaklık ve I_0 ise ters doyum akımı olup,

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

eşitliği ile verilir. Burada Φ_{Bo} sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği, A diyotun alanı ve A^{**} etkin Richardson sabiti olup değeri n -tipi Si için $120 \text{ A.cm}^{-2}\text{K}^{-2}$ dir. Buna göre Eş. 4.2, Eş. 4.1’de yerine yazılırsa,

$$I = AA^{**}T^2 \exp\left(\frac{-q\Phi_{Bo}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV_D}{nkT}\right) \right] \quad (4.3)$$

şekline dönüşür. Genelde idealite faktörünün 1 olması beklenir. Ancak pratikte idealite faktörünün, 1’den büyük olduğu ve hem sıcaklığa hem de uygulanan gerilime bağlı olduğu gözlenir. İdealite faktörünün 1’den büyük olmasının pek çok nedeni vardır. Bunlardan en çok karşılaşılan yalıtkan tabakanın kalınlığı, arayüzey durumları ve Φ_B ’nin homojensizliğidir. Eğer yapı bir seri dirence sahip ise Eş. 4.3 ifadesi,

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

şeklinde olacaktır. Burada IR_s terimi yapının seri direnci üzerine düşen voltajdır.

Genelde $\ln I$ ’nın V ’ye göre grafiğinin bir doğru olması beklenir. Ancak deneysel sonuçlar doğru ön gerilim $\ln I$ - V grafiğinin yüksek voltajlarda özellikle seri direnç ve arayüzey durumlarından dolayı lineerlikten saptığını göstermiştir. Grafiğin

doğrusallıktan sapması neticesinde idealite faktörü 1'den büyük olacaktır [1,2,5,7,8].

Eş. 4.19 ifadesinde her iki tarafın Ln'i alınırsa,

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

şeklinde bir doğru denklemi elde edilir.

Au/SiO₂/n-Si (MYY) yapıların oda sıcaklığındaki doğru ve ters ön gerilim altındaki yarı logaritmik akım-voltaj (I-V) karakteristiği verildi (Şekil 4.1). Yapıların idealite faktörü, Şekil 4.2 ve Şekil 4.2'de ki LnI-V eğrilerinin eğiminden bulunan değeri (D1 için tanΘ=11,63 ve D2 için tanΘ=12,91 ($\tan\Theta = \frac{q}{nkT} = \text{Ln}\left(\frac{I}{I_0}\right)/V_D$)) kullanarak,

$$n = \frac{q}{kT \tan\theta} \quad (4.6)$$

eşitliğinden hesaplandı. Ayrıca idealite faktörünün voltaja bağlı değişimi de Eş. 4.5'den yararlanılarak,

$$n_{(v)} = \frac{qV}{\text{Ln}\left(\frac{I}{I_0}\right)kT} \quad (4.7)$$

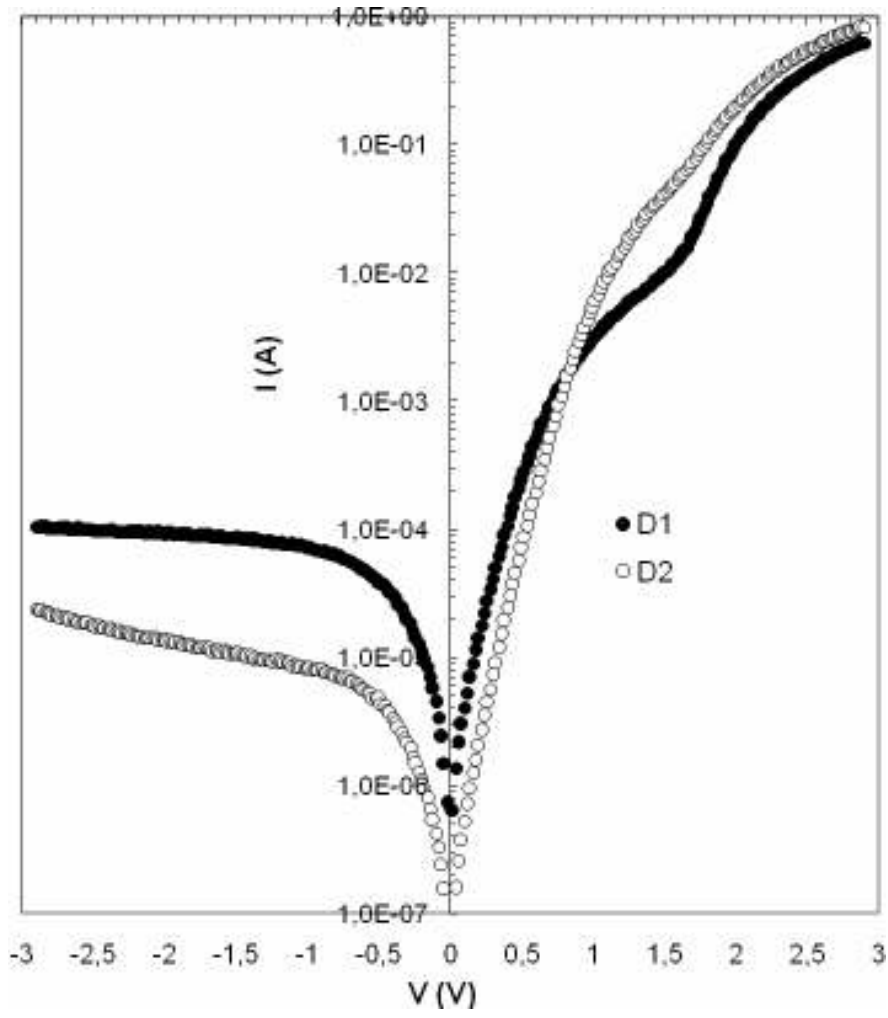
eşitliğinden elde edildi ve Şekil 4.4'de gösterildi [5,7,8]. I₀ doyma akımı değeri ise LnI-V grafiğinin lineer bölgesinin uzantısının LnI eksenini sıfır voltajda kestiği noktadan D1 diyotu için $1,32 \times 10^{-6}$ A (Şekil 4.2), D2 diyotu için $1,49 \times 10^{-7}$ A (Şekil 4.3) olarak hesaplandı. Bu I₀ ve diyotların alanı ($A=7.85 \times 10^{-3}$ cm²) değerleri kullanılarak potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) değerleri Eş. 4.7'den yararlanılarak,

$$\Phi_B(I-V) = \frac{kT}{q} \text{Ln}\left(\frac{AA \times T^2}{I_0}\right) \quad (4.8)$$

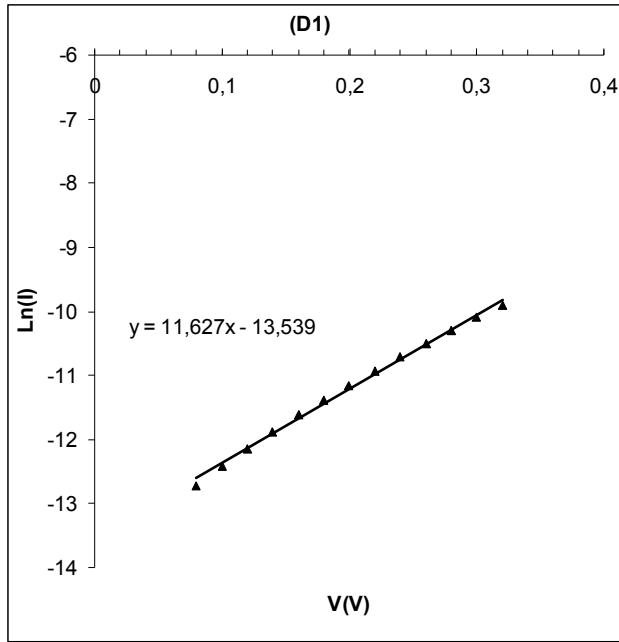
D1 ve D2 diyotları için hesaplandı. Hesaplanan I_0 , n , $\Phi_B(I-V)$, N_{ss} değerleri Çizelge 4.1 de gösterildi. Şekil 4.1 de görüldüğü gibi her iki diyot için $\ln I - V$ eğrileri orta gerilim bölgesinde ($0.1V < V < 0.6V$) lineer olup, yüksek gerilim bölgesinde ($V \geq 0.8V$) seri dirençten dolayı bükülmektedir. Ayrıca her iki diyotun da iyi bir doğrultma özelliği gösterdiği görülmektedir. Bu doğrultma oranı D2 diyotu için yaklaşık olarak 10^5 mertebesinde iken D1 diyotu için yaklaşık 10^4 mertebesinde. Yani D2 diyotu D1 den daha iyi bir doğrultma özelliğine sahiptir. Bunun yanı sıra Çizelge 4.1 de görüldüğü gibi D2 diyotu için elde edilen idealite faktörü ($n=2.99$), D1 diyotuna göre ($n=3.34$) daha küçüktür. Bu durum homojensizliğe, arayüzey durumlarının M/Y arayüzeyindeki özel bir dağılımına ve M/Y arasında oluşan potansiyel engel yüksekliğinin homojensizliğine atfedildi [2-23]. İdealite faktörünün 1 den büyük çıkması yalıtkan arayüzey tabakasının varlığına ve Metal/Yarıiletken arasına yerleşmiş arayüzey durumlarının özel bir dağılımına atfedilebilir [1-21]. Her iki diyot için ortalama arayüzey durumları (N_{ss}) yaklaşık $10^{13} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ mertebesinde bulundu.

Çizelge 4.1. Seçilen Au/SiO₂/ n-Si yapılarının, I_0 , n , $\Phi_B(I-V)$ ve N_{ss} için I-V karakteristikleri kullanılarak hesaplanan temel diyot parametreleri

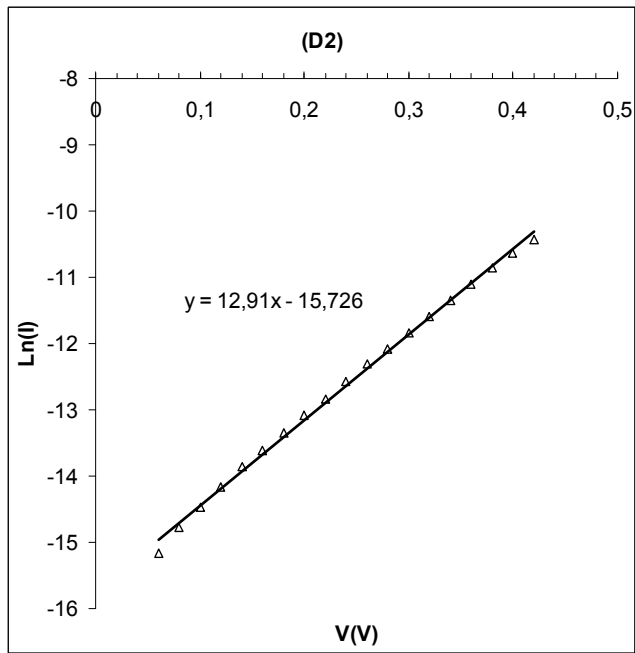
	I_0 (A)	n	$\Phi_B(I-V)$ (eV)	$\tan \alpha$	N_{ss} ($\text{eV}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$)
D1	$1,32 \times 10^{-6}$	3,34	0,657	11,63	$4,07 \times 10^{13}$
D2	$1,49 \times 10^{-7}$	2,99	0,700	12,91	$1,85 \times 10^{13}$



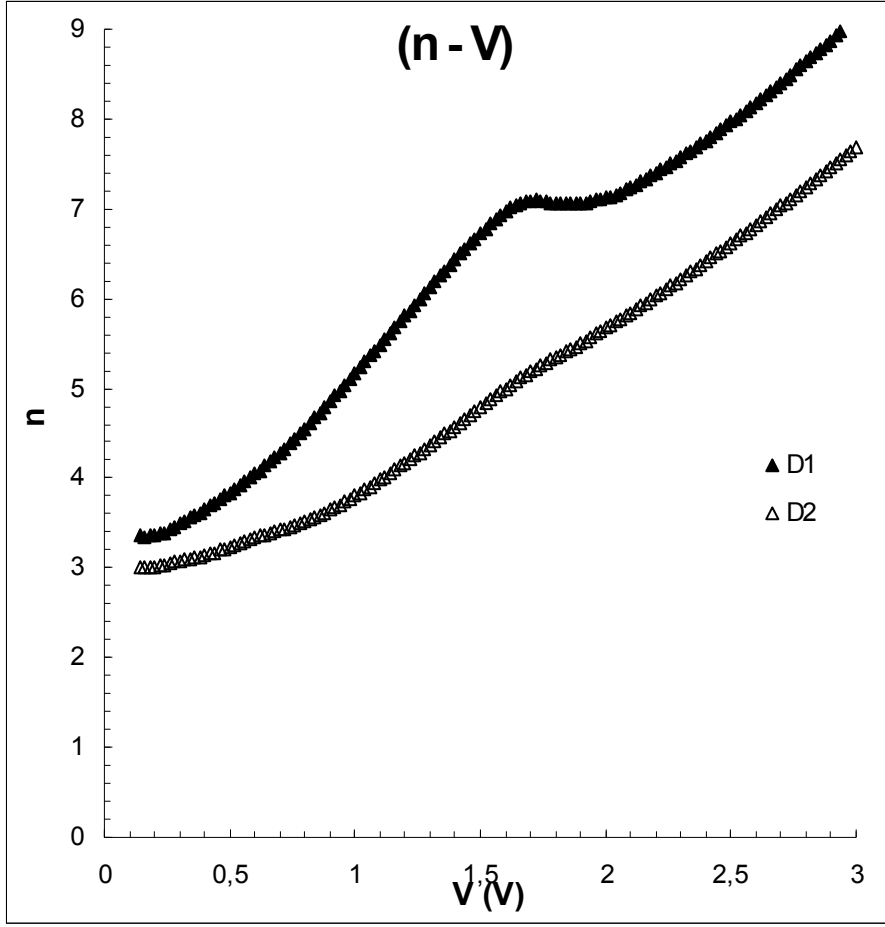
Şekil 4.1. Seçilen Au/SiO₂/ n-Si yapılı D1 ve D2 diyotları için oda sıcaklığında 1000kHz frekansta I-V eğrileri



Şekil 4.2 .D1 diyotu için $\ln(I)$ - V eğrisinin lineer bölgesi



Şekil 4.3. D2 diyotu için $\ln(I)$ - V eğrisinin lineer bölgesi



Şekil 4.4. Seçilen Au/SiO₂/n-Si yapıları için idealite faktörü (n) gerilime (V) bağlı değişimi

Ayrıca Şekil 4.4 de idealite faktörünün (n) gerilime (V) bağlı değişimini D1 ve D2 diyotları için gösterildi. Şekilden de görüldüğü gibi her iki diyot için, n_v değerleri artan voltajla artmaktadır.

İdealite faktörünün birden büyük olması yalıtkan arayüzey tabakasının bir sonucu olduğundan idealite faktörü arayüzey parametrelerine de bağlı olmalıdır. Metal n-tipi bir yarıiletken arayüzey durumlarının enerjisi (E_{ss}), valans bandının tepesine göre,

$$E_c - E_{ss} = q(\Phi_e - V) \quad (4.9)$$

eşitliği ile verilir [1-23]. Arayüzey durum yoğunluğunun (N_{ss}) dağılım profili doğru ön gerilim I-V ölçümlerinden enerjinin ($E_{ss} - E_v$) bir fonksiyonu olarak, etkin engel

yüksekliğinin (Φ_e) gerilime bağlı olduğu dikkate alınarak elde edildi. Yarıiletken ile dengede olan arayüzey durumları için idealite faktörünü oksit tabaka kalınlığı (δ) ve arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) niceliklerine bağlayan ifade,

$$n(V)=1+\frac{\delta}{\varepsilon_i}\left[\frac{\varepsilon_s}{W_D}+qN_{ss}(V)\right] \quad (4.10)$$

ile verilir. Burada δ yalıtkan arayüzey tabaka kalınlığı [3-22], W_D tüketim bölgesi tabakasının kalınlığı, ε_s ve ε_i sırasıyla yarıiletkenin ve yalıtkan tabakanın dielektrik sabitleridir. Yalıtkan tabaka (SiO_2) kalınlığı δ ve W_D yüksek frekanstaki ($f \geq 500\text{kHz}$)

deneysel C-V ölçümleri ile $C_{ox} = \varepsilon_i \varepsilon_0 A / \delta$ ve $W_D = \left[2 \varepsilon_s \varepsilon_0 \frac{V_0}{q N_D} \right]^{1/2}$ [3] eşitliklerinden

faydalananarak $\delta_1 = 12\text{\AA}$, $\delta_2 = 22,5\text{\AA}$, $W_{D_1} = 1,86 \times 10^{-5} \text{ cm}$, $W_{D_2} = 3,42 \times 10^{-5} \text{ cm}$ olarak bulundu. Burada n-tipi Si için $\varepsilon_s = 11,8\varepsilon_0$, $\varepsilon_i = 3,8\varepsilon_0$ ve ε_0 boşluğun dielektrik sabitleridir. A ise diyotun alanıdır ve değeri $A = 7,85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ dir. V_0 yüzey potansiyelidir. Eş. 4.10'da, köşeli parantez içerisindeki terim, yalıtkan tabaka kalınlığına ve arayüzey durumlarının büyüklüğüne bağlı olarak ideal durumdan uzaklaşır. Eş. 4.10'dan yararlanılarak enerjiye bağlı $N_{ss}(V)$ profilleri oda sıcaklığı için,

$$N_{ss}(V) = \frac{1}{q} \left[\frac{\varepsilon_i}{\delta} (n(V) - 1) - \frac{\varepsilon_s}{W_D} \right] \quad (4.11)$$

elde edilebilir. Eş. 4.9 ve Eş. 4.10'dan yararlanılarak arayüzey durumların enerjiye bağlı dağılım profili, Şekil 4.5'de verildi. Şekilden görüldüğü gibi arayüzey durumlarının yoğunluğu (N_{ss}) değerleri yasak enerji aralığından iletim bandının (E_c) alt kenarına doğru artmakta ve her iki numune için yaklaşık $10^{13} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ çukurunda olduğu görüldü. D1 için N_{ss} değeri D2 den yalnızca bir merteye daha büyüktür.

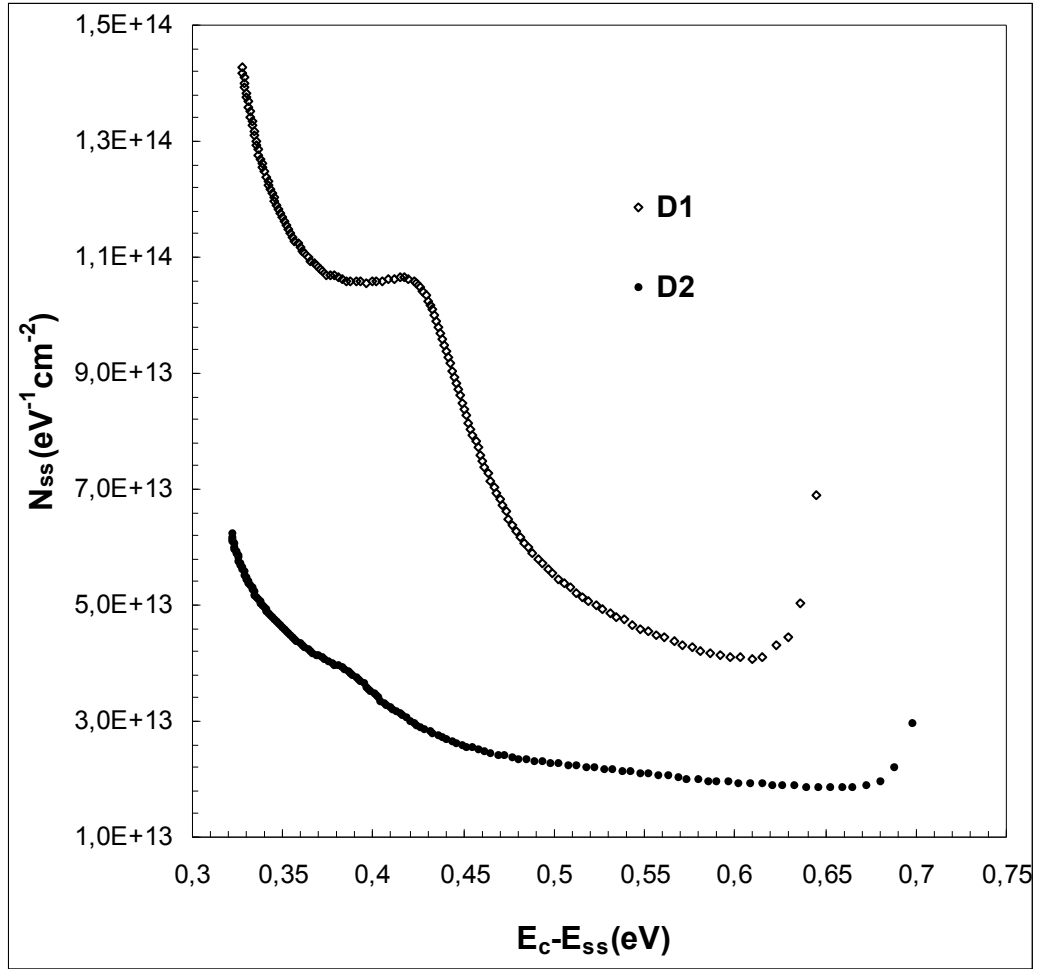
Au/SiO₂/n-Si yapısı için n , Φ_e , E_c - E_{ss} ve N_{ss} değerlerinin voltaja bağlı değişimi sırasıyla D1 diyotu için Çizelge 4.2 ve D2 diyotu için Çizelge 4.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Seçilen Au/SiO₂/ n-Si yapı D1 diyotu için, V, n, Φ_e , E_c-E_{ss} ve N_{ss} deneysel diyot parametreleri

V	n	Φ_e (eV)	E_c-E_{ss} (eV)	N_{ss} $10^{13} \times (eV^{-1}cm^{-2})$
0,06	4,97	0,700	0,645	6,91
0,12	3,47	0,742	0,622	4,29
0,14	3,37	0,755	0,615	4,11
0,18	3,34	0,783	0,603	4,09
0,24	3,40	0,826	0,586	4,16
0,30	3,49	0,871	0,571	4,32
0,36	3,59	0,917	0,557	4,49
0,42	3,69	0,963	0,543	4,67
0,48	3,80	1,011	0,531	4,87
0,54	3,92	1,059	0,519	5,08
0,60	4,04	1,109	0,509	5,30
0,66	4,18	1,159	0,499	5,54
0,72	4,33	1,211	0,491	5,80
0,78	4,49	1,263	0,483	6,09
0,84	4,67	1,317	0,477	6,39
0,90	4,85	1,371	0,471	6,71
0,96	5,04	1,426	0,466	7,04
1,02	5,23	1,482	0,462	7,37
1,08	5,42	1,538	0,458	7,71

Çizelge 4.3. Seçilen Au/SiO₂/ n-Si yapı D2 diyotu için V, n, Φ_e , E_c-E_{ss} ve N_{ss} deneysel diyot parametreleri

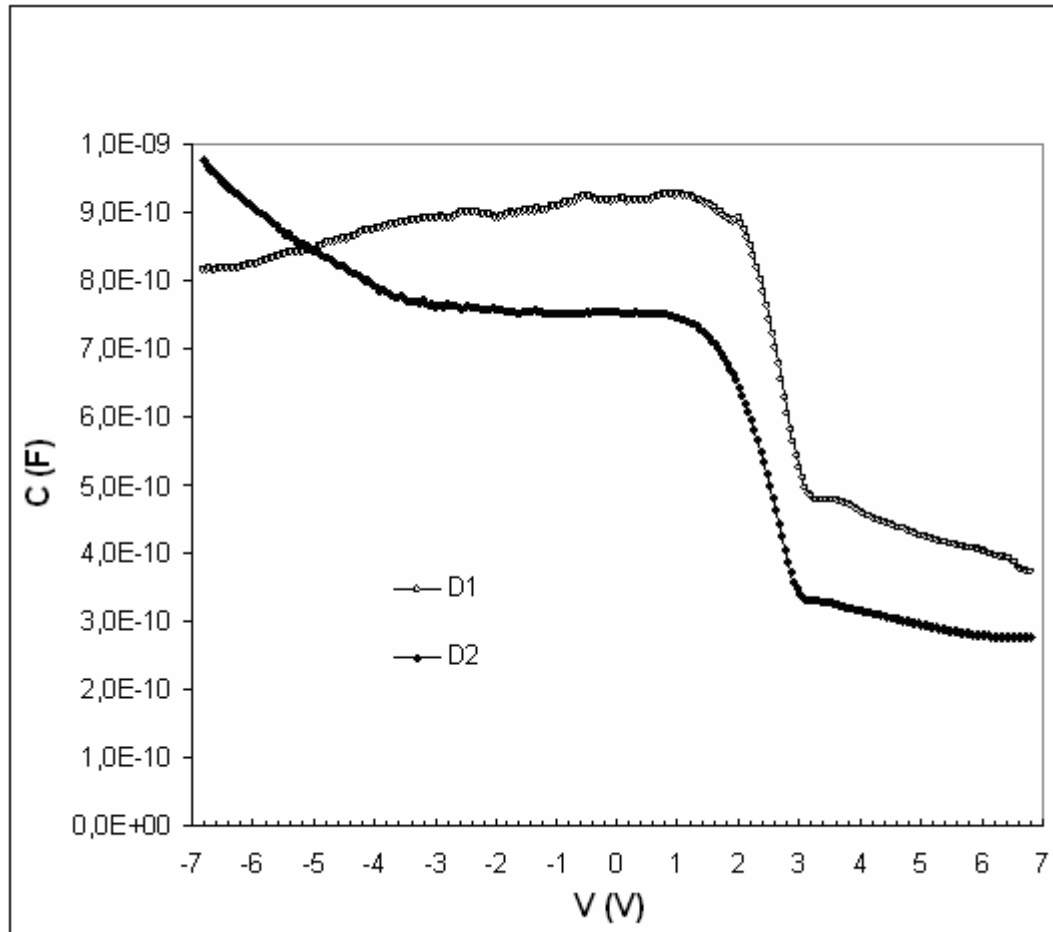
V (V)	n	Φ_e (eV)	E_c-E_{ss} (eV)	N_{ss} $10^{13} \times (eV^{-1}cm^{-2})$
0,06	4,21	0,76	0,70	2,98
0,12	3,04	0,79	0,68	1,89
0,14	2,99	0,80	0,66	1,85
0,18	3,02	0,83	0,65	1,84
0,24	3,03	0,87	0,63	1,88
0,30	3,08	0,91	0,61	1,92
0,36	3,11	0,96	0,60	1,95
0,42	3,16	1,00	0,58	2,00
0,48	3,22	1,04	0,56	2,05
0,54	3,28	1,09	0,55	2,11
0,60	3,34	1,13	0,53	2,17
0,66	3,39	1,18	0,52	2,22
0,72	3,44	1,22	0,50	2,26
0,78	3,50	1,27	0,49	2,32
0,84	3,57	1,32	0,48	2,38
0,90	3,65	1,36	0,47	2,45
0,96	3,74	1,41	0,45	2,54
1,02	3,84	1,47	0,45	2,63
1,08	3,94	1,52	0,44	2,73



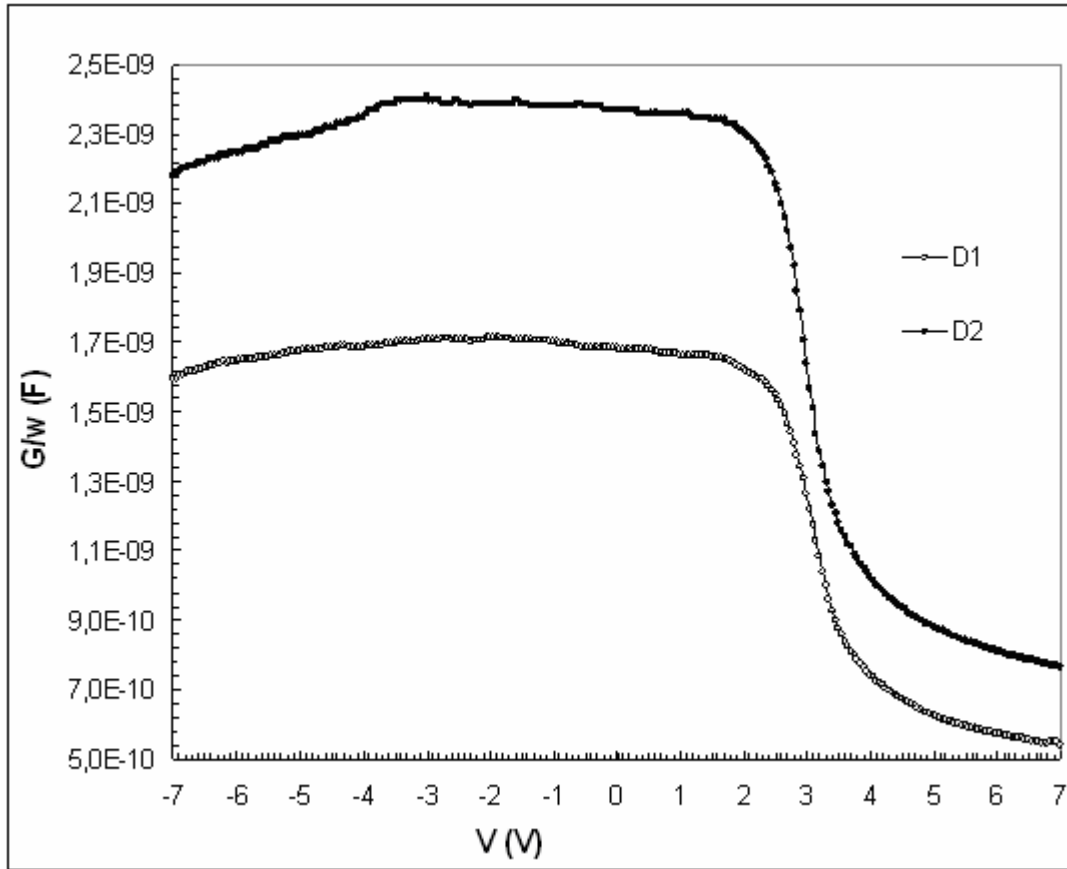
Şekil 4.5. Seçilen D1 ve D2 Schottky diyotları için I-V karakteristiklerinden elde edilen arayüzey durumlarının enerji dağılım profili

4.2 Au/ SiO₂/ n-Si Yapıların C-V ve G/ω-V Karakteristikleri

Alınan D₁ ve D₂ Schottky diyotları oda sıcaklığında 1000kHz’ de kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω-V) ölçümleri alınarak çizilen grafikler Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de gösterildi. Ölçümler yüksek frekansta (f=1000 kHz) alındığından arayüzey durumları a.c. sinyali takip edemez. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de görüldüğü hem kapasitans hem de iletkenlik tüketim bölgesinde (V>0) artan voltajla azalmaktadır. Bu durum arayüzey hallerinin a.c. sinyali takip etmesinin seri direnç ile ters orantılı olmasına atfedildi [5].



Şekil 4.6. Seçilen D1 ve D2 Schottky diyotları için C-V eğrileri



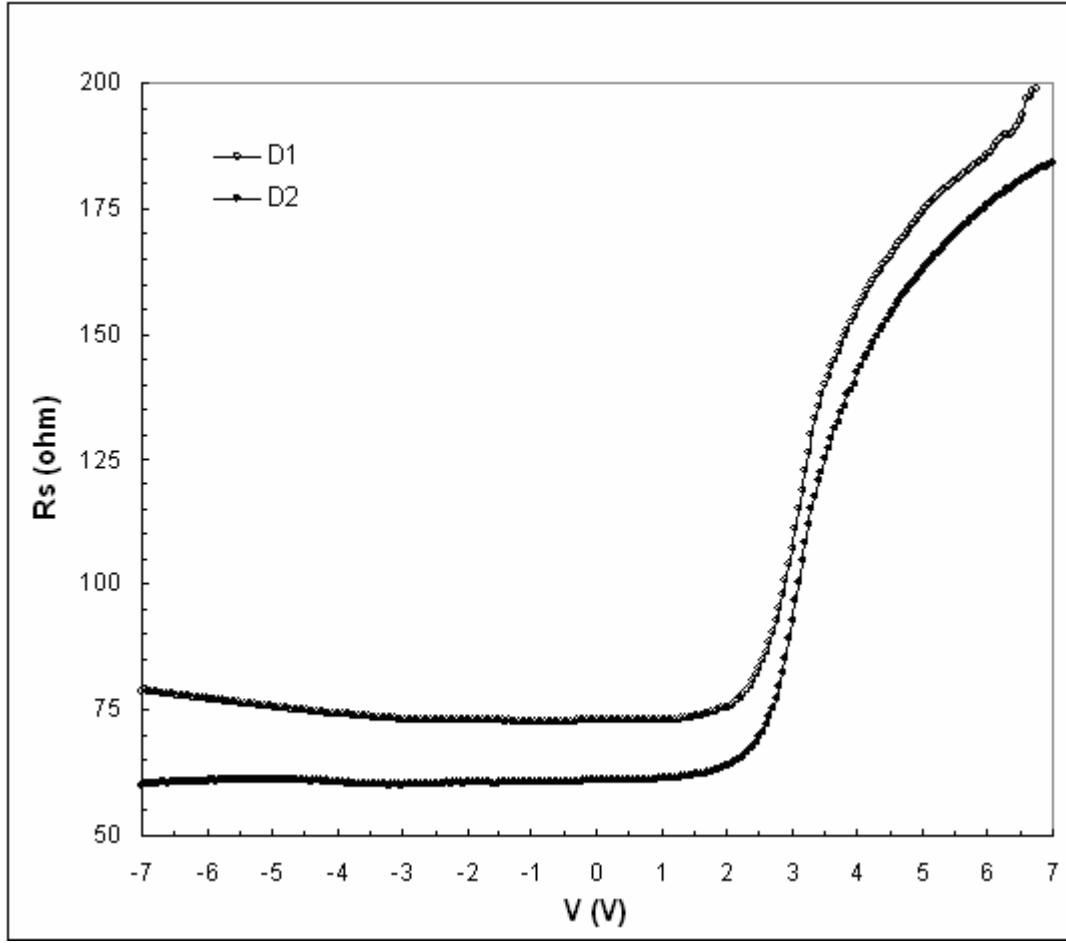
Şekil 4.7. Seçilen D1 ve D2 Schottky diyotları için G/ω -V eğrileri

Gerilim arttığında seri direnç etkisi daha etkili olmakta, bu yüzden kapasite ve iletkenlik azalmaktadır (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7) [5].

D1 ve D2 diyotları için R_s değerleri, 1000kHz’de güçlü yığılma bölgesinden admitans tekniği ile hesaplandı [1-14].

$$R_s = \frac{G_{ma}}{G_{ma}^2 + (\omega C_{ma})^2} \quad (4.12)$$

Burada C_{ma} ve G_{ma} güçlü akümülayon (yığılma) bölgesindeki kapasitans ve iletkenlik değerleridir. Seri direnç ve MYY tipi Schottky diyotların arayüzey durumları, kapasitans ve iletkenliğin voltaja bağımlılığının etkisindedir [1-8,10-15]. Bu yüzden Eş. 4.12 kullanılarak 1000kHz’ de seri direnç değerleri hesaplandı ve Şekil 4.8’de verildi.



Şekil 4.8. Seçilen D1 ve D2 Schottky diyotları için R_s -V eğrileri

Şekil 4.8 de görüldüğü gibi her iki diyot için R_s değerleri literatüre uygun olarak terslenim bölgesinden(+bölgeden), yığılma bölgesine(-bölgeye) doğru gidildikçe azalmaktadır [1-8,10-23]. Kuvvetli yığılma bölgesindeki direnç değeri yapının gerçek direncidir. Bu değer Şekil 4.8 de y eksenini kestiği noktadan D1 için $78,8\Omega$ ve D2 için $60,3\Omega$ olarak bulundu.

C^{-2} -V karakteristikleri aşağıdaki gibi tanımlanır [1,2,10-20].

$$C^{-2} = \frac{2}{q\epsilon_s A^2 N_D} (V_o + V) \quad (4.13)$$

Burada A diyotun alanıdır, ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabitidir. N_D verici katkı konsantrasyonudur. V ters beslem voltajıdır. C^{-2} -V eğrileri lineer bir bölge verir. V_o

değerleri lineer bölgenin eksenini kestiği noktadan hesaplandı (Şekil 4.9). D1 diyotu için $V_0 = 0,44V$ ve D2 için $V_0 = 0,73V$ bulundu. Bu değerlerden yararlanılarak da V_d difüzyon potansiyeli Eş. 4.14 den D1 için $V_d = 0,466eV$ D2 için $V_d = 0,756eV$ olarak hesaplandı.

$$V_d = V_0 + \frac{kT}{q} \quad (4.14)$$

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln(N_c / N_D) \quad (4.15)$$

Burada N_c , Si için iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğu ise,

$$N_c = 4,82 \times 10^{15} \times T^{\frac{3}{2}} \left(\frac{m^*}{m_0} \right)$$

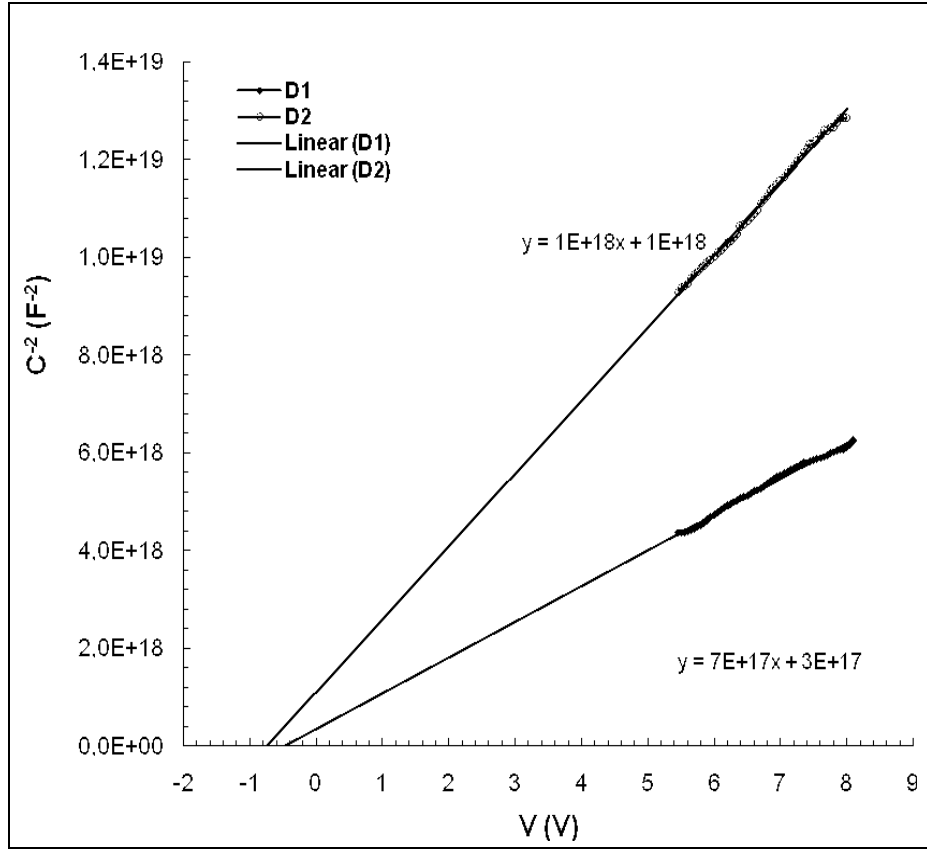
eşitliğinden $T=300\text{ K}$ ve $m^*=m_0$ alınarak iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğu $N_c=2,5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ olarak bulunur (m^* elektronun etkin kütlesi, m_0 ise elektronun kütlesidir). Verici katkı atomlarının yoğunluğu ise,

$$N_D = \frac{2}{q \epsilon_s A^2 \tan(\theta)} \quad (4.16)$$

eşitliğinden bulunur. Burada ki $\tan(\theta)$ ($C^{-2}-V$) grafiğinde ki lineer bölgenin eğimidir (Şekil 4.9). Eğimler yerine konularak D1 için $N_D = 2,77 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ve D2 için $N_D = 1,94 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olarak hesaplandı. Bulunan bu N_D değerleri Eş. 4.15 de yerine konularak D1 için $E_F=0,117\text{ eV}$ D2 için $E_F=0,126\text{ eV}$ olarak bulundu. Potansiyel engel yüksekliği $\Phi_B(C-V)$ Eş. 4.17 den D1 için $\Phi_B(C-V)=0,582\text{ eV}$ D2 için $\Phi_B(C-V)=0,882\text{ eV}$ hesaplandı.

$$\Phi_B(C-V) = V_d + E_F \quad (4.17)$$

Bulunan N_D , E_F , V_0 , $\Phi_B(C-V)$ ve R_s değerleri her iki diyot içinde Çizelge 4.4 de sırasıyla gösterildi.



Şekil 4.9. Seçilen D1 ve D2 Schottky diyotları için C^{-2} -V eğrilerinin lineer bölgesi

Çizelge 4.4. Seçilen Au/SiO₂/ n-Si yapılarının, N_D, E_F, V_o, Φ_B(C-V) ve R_s, için C-V karakteristiklerinden hesaplanan temel diyot parametreleri

	N _D (cm ⁻³)	E _F (eV)	V _o (eV)	Φ _B (C-V) (eV)	R _s (Ω)
D1	2,77×10 ¹⁷	0,117	0,44	0,582	78,8
D2	1,94×10 ¹⁷	0,126	0,73	0,882	60,3

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hazırlanan metal-yalıtkan-yarıiletken (MYY) (Au/SiO₂/n-Si) yapıların bazı temel elektriksel parametreleri deneysel olarak ölçülen akım-voltaj (I-V), kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω-V) ölçüm metotları kullanılarak incelendi. I-V, C-V ve G/ω-V ölçümleri doğru ve ters ön gerilim altında (-7V ile +7V), 1000KHz frekansta ve oda sıcaklığında gerçekleştirildi.

Ölçüm sonuçları kullanılarak yapıların I-V (Şekil 4.1), C-V (Şekil 4.6) ve G /ω-V (Şekil 4.7) grafikleri elde edildi ve sonuçlar karşılaştırıldı.

Her iki diyot içinde doyma akımı (I_o), idealite faktörü (n), potansiyel engel yüksekliği (Φ_B(I-V)) ve arayüzey durumların (N_{ss}) dağılım profili I-V eğrilerinden yararlanarak bulunan idealite faktörü ve etkin potansiyel engel yüksekliği kullanılarak elde edildi ve sırasıyla Çizelge 4.1 de gösterildi.

C-V ve G/ω-V grafiklerinden faydalanarak çizilen seri direnç-voltaj (R_s-V) ve C⁻²-V eğrileri (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9) kullanılarak yapıların verici katkı atomların yoğunluğu (N_D), Fermi enerji seviyesi (E_F), kontak potansiyel farkı (V₀), engel yüksekliği (Φ_B(C-V)), ve seri direnç (R_s) değerleri bulundu ve sırasıyla Çizelge 4.4 de gösterildi.

Şekil 4.1 de görüldüğü gibi her iki diyot için LnI –V eğrileri orta gerilim bölgesinde (0.1V<V<0,6V) lineer olup, yüksek gerilim bölgesinde (V ≥ 0,8 V) seri dirençten dolayı bükülmektedir. Bu lineer bölgeden faydalanılarak hazırlanan yapıların temel elektriksel parametrelerinden olan idealite faktörü (n), potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) ve doyum akımı (I_o) hesaplandı. Bu lineer bölgenin eğiminden hesaplanan idealite faktörü sırasıyla D1 için 3,34 ve D2 için 2,29 olarak bulundu. İdealite faktörlerinin 1 den büyük çıkması yapının seri direncine ve yarıiletken/yalıtkan arayüzeyinde lokalize olmuş arayüzey durumlarının (N_{ss}) özel bir dağılımına atfedildi [1,2,5-19]. Şekil 4.4 de görüldüğü gibi voltaja bağlı n_(V) değerleri her iki diyot içinde artan voltajla artmaktadır. Ayrıca her iki diyotun da iyi bir doğrultma

özelliği gösterdiği Şekil 4.1 de görülmektedir. Bu doğrultma oranı D2 diyotu için yaklaşık olarak 10^5 mertebesinde iken D1 diyotu için yaklaşık 10^4 mertebesinde. Benzer sonuçlara literatürde rastlanmaktadır [3,6].

Eş. 4.9 ve Eş. 4.10'dan yararlanılarak arayüzey durumlarının enerjiye bağlı dağılım profili çizilen Şekil 4.5'de görüldüğü gibi ara yüzey durumlarının yoğunluğu (N_{ss}) değerleri yasak enerji aralığından iletim bandının (E_c) alt kenarına doğru artmakta ve her iki numune için yaklaşık $10^{13} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ çukurunda olduğu görülmektedir. Aynı sonuçlara literatürde rastlanmaktadır [2,3,8]. D1 için N_{ss} değeri D2'ninkinden yalnızca bir mertebe daha büyüktür. Hazırlanan MYY yapılar da hesaplanan diğer bir fiziksel parametre elektriksel davranışını belirleyen Φ_B potansiyel engel yüksekliğidir. Oda sıcaklığında I-V ölçümlerinden hesaplanan Φ_B değerleri D1 için 0,657 eV ve D2 için 0,700 eV olarak bulunmuştur. Metal ile yarıiletken arasındaki oksit tabakası düşünüldüğünde bulunan Φ_B değerleri literatür ile MYY yapılar için hesaplanan Φ_B değerleri ile uyumludur [2-14]. Oksit tabaka kalınlığı (δ) yüksek frekansta ($f \geq 500 \text{ kHz}$) C-V eğrisinin yığılma bölgesinden D1 için $12 \text{ \AA}$ D2 için $22,5 \text{ \AA}$ olarak bulundu. Oksit tabaka kalınlığı büyük olan D2 diyotu için potansiyel engel yüksekliğini (Φ_B) daha büyük olduğu görülmektedir. Bu metal/yalıtkan arasındaki oksit tabaka kalınlığına ve homojensizliğe atfedildi. Bu homojensizlikler potansiyel engel yüksekliğini değiştiren örgü kusurlarından, potansiyel engel yüksekliğinin dalgalanmasına neden olan arayüzey etkilerinden ve yüzey kirliliğinden kaynaklanabilir [5].

Ölçümler yüksek frekansta ($f \geq 500 \text{ kHz}$) alındığından arayüzey durumları a.c. sinyalini takip edemez. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de görüldüğü gibi, hem kapasitans hem de iletkenlik, tüketim bölgesinde ($V > 0$) artan voltajla azalmaktadır. Bu durum arayüzey hallerinin a.c sinyalini takip etmesinin seri direnç ile ters orantılı olmasına atfedildi. Gerilim arttığında seri direnç etkisi daha etkili olmakta kapasite ve iletkenlik azalmaktadır (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7) [1,5,21-23].

D1 ve D2 diyotları için R_s değerleri, 1000 kHz 'de güçlü yığılma bölgesinden admitans tekniği ile Eş. 4.12 den hesaplandı ve Şekil 4.8 de potansiyele bağlı değişimi gösterildi. Şekilden de görüldüğü gibi her iki diyot için R_s değerleri

literatüre uygun olarak terslenim bölgesinden (+bölgeden), yığılma bölgesine (-bölgeye) doğru gidildikçe azalmaktadır. Kuvvetli yığılma bölgesindeki direnç değeri yapının gerçek direncidir [2-8,10-21].

Bu çalışmada hazırlanan Au/SiO₂/n-Si (MYY) yapılar için elde edilen tüm deneysel ölçümler ve hesaplamalar göstermiştir ki bu ve benzeri kontak yapısına sahip aygıtlar için arayüzey durumlarının, seri direnç ve yalıtkan tabakanın I-V, C-V ve G/ω-V ölçümleri üzerine etkisi azımsanamayacak kadar büyüktür. Bu nedenle yapının elektriksel karakteristiklerinin analizin de bu parametrelerin dikkate alınması sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği açısından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Crowell, C. R, Sze S. M., Surface States and Barrier Height of Metal-Semiconductor Systems”, *Journal of Applied Physics*, 36(10): 3212-3220 (1965).
2. Taşcıoğlu, İ., “Al/SiO₂/p-Si (MIS) Yapılarda Temel Fiziksel Parametrelerin Frekans ve Radyasyona Bağlı İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4-16,31-38,50-53 (2007).
3. Dökme, İ.,“ Al/p-Si ve Au/n-Si Schottky Diyotlarında I-V ve C-V Karakteristiklerinin Geniş Bir Sıcaklık Aralığında Analizi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-9, 55, 56 (2002).
4. Altındal, Ş., Dökme. İ., Bülbül. M.M., Yalçın. N., Serin.T., “ The role of the interface insulator layer and interface states on the current-transport mechanism of Schottky diodes in wide temperature range”, *Microelectronic Engineering*, 83: 499-505 (2006).
5. Atlas, A.,“Al/n-Si Schottky Diyotlarında Arayüzey Hallerinin I-V, C-V ve C-f Karakteristiklerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Yüzüncü Yıl Üniversitesi**, 5-12, 19, 21 (2006).
6. Dökme. İ.,“The effect of series resistance and oxide layer formed by thermal oxidation on some electrical parameters of Al/SiO₂/p-Si Schottky diodes”, *Physica B*, 388: 10-15 (2007).
7. Ertürk, E.,“ Metal/Si ve Metal/Si_{1-x}Ge_x/Si Schottky Bariyer Diyotlarının Elektrik Özelliklerin İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, 22-29,57-65 (2007).
8. Kanbur, H.,“ Yalıtkan Tabakalı Al/p-Si Schottky Diyotlarda Elektiriksel Karakteristiklerin Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi” Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 6-25,39-42 (2008).
9. Karataş. Ş., Türüt. A., Altındal. Ş., “Effects of ⁶⁰Co γ-ray irradiation on the electrical characteristics of Au/n-GaAs (MS) structures”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 555: 260-265 (2005).
10. Hudait. M.K., S.B. Krupanidhi., “Effects of thin oxide in metal- semiconductor and metal-insulator- semiconductor epi-GaAs Schottky diodes”, *Solid- State Electronics*, 44: 1089-1097 (2000).
11. Marıl, E.,“ (Al-TiW+PtSi) n-Si Schottky Diyotlarının Sıcaklığa Bağlı Temel Parametreleri”,Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 11-25 (2005).

12. Okutan, M., Yakuphanoglu, F., "Analysis of interface states and series resistance of Ag/ SiO₂/ n-Si MIS Schottky diode using current-voltage and impedance spectroscopy methods", *Microelectronic Engineering*, 85:646-653 (2008).
13. Yücedağ, İ., "Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) yapılarında elektrik ve dielektrik özelliklerinin sıcaklık ve frekansa bağlı incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5,6,91-95 (2007).
14. E.H. Nicollian, J.R. Brews, "MOS Physics and Technology", *John Wiley & Sons*, New York, 423-491 (1982).
15. Altındal, Ş., Kanbur, H., Yücedağ, İ., Tataroğlu, A., "On the interface state density and relaxation time profiles in Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes", *Microelectronic Eng.*, 85:1495-1501 (2008).
16. Tataroğlu, A., Altındal, Ş., Bülbül M. M. "Temperature and frequency dependent electrical and dielectric properties of Al/SiO₂/p-Si (MOS) structure", *Microelectronic Engineering*, 81:140-149 (2005).
17. Dökme,İ., Altındal, Ş., "The $C-V-f$ and $G/\omega-V-f$ characteristics of Au/SiO₂/n-Si capacitors" *Physica B: Condensed Matter*, 391: 59-64 (2007).
18. S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices, second ed.", *Wiley*, New York, 134-117 (1981).
19. E.H. Rhoderick, R.H. Williams, "Metal-Semiconductor Contacts, second ed.", *Clarendon Press*, Oxford, pp. 14-30 (1988).
20. Engin Arslan, Şemsettin Altındal, Süleyman Özçelik, and Ekmel Özbay "Dislocation-Governed Current-Transport Mechanism in Ni/Au-AlGaN/AlN/GaN Heterostructures", *Journal of Applied Physics*, 105: 023705 (2009).
21. M.M. Bülbül., S. Zeyrek., Ş. Altındal., H. Yüzer., "On the profile of temperature dependent series resistance in Al/Si₃N₄/p-Si (MIS) Schottky diodes", *Microelectronic Engineering*, 83(3): 577-581 (2006).
22. A. Tataroğlu, İ. Yücedağ, Ş. Altındal, "Dielectric properties and ac electrical conductivity studies on MIS Schottky diodes at high temperatures", *Microelectronic Engineering*, 85:1518-1523 (2008).
23. Altındal, Ş., "Al-SiO_x-pSi Aygıtların ve Güneş Pillerinin Elektriksel karakteristikleri", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 25-80 (1993).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ALITKAN(ZORLU), Fadime
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 12.09.19977-ANKARA
Medeni hali : Evli
e-mail : fadimezorlu@mynet.com

Eğitim

Derece

Lisans

Eğitim Birimi

Gazi Üniversitesi – Fizik

Mezuniyet tarihi

2005

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap okumak, müzik dinlemek, seyahat.

Teknik Beceri ve Yetenekler

İşletim Sistemleri Microsoft

Office Programları (Word, Excel, Powerpoint,...)