

**Au/PVA/n-Si MIS YAPILARIN AKIM-VOLTAJ (I-V) ÖLÇÜMLERİNİN
SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ**

Reyhan ÖZAYDIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2009
ANKARA**

Reyhhan ÖZAYDIN tarafından hazırlanan Au/PVA/n-Si MIS YAPILARIN AKIM-VOLTAJ (I-V) ÖLÇÜMLERİNİN SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. M. Mahir BÜLBÜL
Tez Danışmanı, FİZİK

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

Prof. Dr. Bora ALKAN
Fizik, Ankara Üniversitesi

Doç. Dr. M. Mahir BÜLBÜL
Fizik , Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Şemsettin ALTINDAL
Fizik , Gazi Üniversitesi

Tarih: 02/02/2009

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

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Reyhan ÖZAYDIN

**Au/PVA/n-Si MIS YAPILARIN AKIM-VOLTAJ (I-V) ÖLÇÜMLERİNİN
SICAKLIĞA BAĞLI İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Reyhan ÖZAYDIN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2009**

ÖZET

Bu çalışmada, metal-yalıtkan-yarıiletken Au/PVA/n-Si MIS yapının Schottky diyotu üretildi ve bu diyotun 80-400K sıcaklık aralığında farklı sıcaklıklar için akım-voltaj (I-V) ölçümleri alındı. Bu ölçümlerden yararlanarak diyodun idealite faktörü (n), sıfır beslem engel yüksekliği (FB_0), arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}), arayüzey durum yoğunluğu enerjisi (E_{ss}) ve doyum akımı değerleri hesaplandı. I-V ölçümleri -5V ile +5V gerilim aralığında 20 mV adımla yapıldı. Cheung fonksiyonları yardımıyla seri direnç (R_s) hesaplandı. Diyotun idealite faktörü (n) ve seri direnç (R_s) sıcaklığa önemli ölçüde bağlı olup, artan sıcaklıkla azalmaktadır. Engel yüksekliğinin de artan sıcaklıkla arttığı belirlendi.

Bilim Kodu : 202.1.147

Anahtar Kelimeler:Schottky diyot, idealite faktörü, arayüzey durum yoğunluğu, seri direnç

Sayfa Adedi :54

Tez Yöneticisi :Doç.Dr. M. Mahir BÜLBÜL

**INVESTIGATION OF CURRENT-VOLTAGE (I-V) MEASUREMENTS OF
THE Au/PVA/n-Si MIS STRUCTURE ON TEMPERATURE**

(M.Sc. Thesis)

Reyhan ÖZAYDIN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

February 2009

ABSTRACT

In this study, the Au/ PVA/ n-Si metal-insulator semiconductor MIS Schottky diode was produced and the I-V measurements of this diode were taken at the temperature range of 80-400K for different temperatures. Using these measures, the ideality factor (n), zero-bias barrier height (Φ_{B0}), interface state density (N_{ss}), interface state energy (E_{ss}) and saturation current (I_0) of the diode were calculated. The I-V measurement was done with 20 mV steps between -5V and +5V. By the Cheung function, series resistance (R_s) was calculated. It was found that, particularly, the ideality factor (n) and series resistance (R_s) of the diode depend on the temperature, and it decreases with increasing temperature. It was determined that the barrier height increases when the temperature increases.

Science Code : 202.1.147

**Key Words :Schottky diode, ideality factor, interface state density,
series resistance**

Page Number:54

Adviser :Assoc. Prof. Dr. M. Mahir BÜLBÜL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca sürekli yardımcı olan ve doğru araştırma yolunda beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. M. Mahir BÜLBÜL'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Doç. Dr. Şemsettin ALTINDAL ve Yard. Doç. Dr. Tuncay TUNÇ'a, deneysel numunenin temininde yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer Doç. Dr. İlbilge DÖKME' hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans çalışmamda, manevi desteklerini hiç esirgemeyen çok sevdiğim annem, babam ve eşime de çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
2.YARIİLETKENLER.....	4
2.1.Yarıiletken Tipleri.....	5
2.1.1.Doğal yarıiletken.....	5
2.1.2.Katkılı yarıiletken.....	5
a)P-Tipi yarıiletken.....	5
b)N-Tipi yarıiletken.....	6
2.2.Bant Yapısı.....	6
2.2.1.Katıların bant yapısı.....	6
2.2.2.Yarıiletkenlerin bant yapısı.....	7
3.MIS(Metal-Insulor-Semiconductor) YAPILAR.....	8
3.1.İdeal MIS Yapısı.....	9
3.2.Metal-Yarıiletken kontaklar.....	9
3.2.1.Doğrultucu kontaklar.....	10
3.2.2.Omik kontaklar.....	11

Sayfa

3.2.3.Doğrultucu ve omik kontaklara pozitif ve negatif gerilim uygulanması durumunda bant yapılarındaki değişim.....	12
4.SCHOTTKY DİYOTLAR.....	15
4.1.Metal-Yarıiletken Schottky Diyotları.....	15
4.2.Schottky-Mott Modeli.....	18
4.3.Schottky Diyotlarda Akım İletim Mekanizmaları.....	18
4.3.1.Termiyonik emisyon teorisi.....	18
4.3.2.Difüzyon teorisi.....	22
4.3.3.Termiyonik emisyon-difüzyon teorisi.....	23
5.POLİMERLER.....	25
5.1.Polimerlerin Üretim Şekilleri.....	26
5.2.Poli(vinil alkol) (PVA).....	26
6.DENEYSEL YÖNTEM.....	28
6.1.MIS Yapının Hazırlanması ve Kontaktların Alınması.....	28
6.1.1.Elektrospinnig tekniği.....	28
6.1.2. Au/PVA(Co,Zn)/n-Si MIS yapının hazırlanması ve kontaktların alınması.....	29
6.2.Deney Düzenegi.....	31
6.3.Deneysel Sonuçlar.....	32
6.4.Schottky Diyotlarda Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri.....	33
7.SONUÇ ve TARTIŞMA.....	47
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ÇİZELGELER

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.1. Diyotun değişik sıcaklıklardaki akım-voltaj karakteristiğinden elde edilen; kesme noktası, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği, idealite faktörü, voltaja bağlı idealite faktörü.....	38
Çizelge 6.2. Diyotun değişik sıcaklıklardaki akım-voltaj karakteristiğinden elde edilen; etkin engel yüksekliği, $E_c - E_{ss}$, arayüzey durum yoğunluğu.....	40
Çizelge 6.3. Diyotun sıcaklığa bağlı seri direnç grafiği.....	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil.2.1.Katıların Bant Diyagramı: (a)iletken, (b)yarıiletken, (c)yalıtkan	6
Şekil 2.2.Yarıiletkenlerin Bant Diyagramı (a)P-tipi yarıiletken (b)N-tipi Yarıiletken	7
Şekil 3.1. MIS (Metal-Insulator-Semiconductor) yapının şematik gösterimi	8
Şekil 3.2. $V=0$ ' da metal/P-tipi ve metal/N-tipi doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı (a)P-tipi yarıiletken (b)N-tipi yarıiletken.....	9
Şekil 3.3.N-tipi yarıiletkende doğrultucu kontak (Termal denge durumunda, $V=0$)..	11
Şekil.3.4.N-tipi yarıiletken omik kontak (Termal denge durumunda, $V=0$)	12
Şekil.3.5. $V>0$ da N-tipi yarıiletken omik kontağın enerji bant diyagramı.....	13
Şekil 3.6. $V<0$ da N-tipi yarıiletken omik kontağın enerji bant diyagramı.....	14
Şekil 4.1. N-tipi Schottky diyotun enerji bant diyagramı	15
Şekil 4.2. Metal yüzey ve boşluk arasındaki enerji band diyagramı	17
Şekil 5.1.Poli(vinil alkol)'ün kimyasal yapısı	26
Şekil 6.1. Elektrospenning yöntemi ve mekanizması.....	28
Şekil.6.2. Omik kontak oluşturmak için kullanılan maske.....	30
Şekil.6.3. Doğrultucu kontak oluşturmak için kullanılan bakır maske.....	31
Şekil 6.4. Akım-gerilim ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 6.5. Au/PVA(Co,Zn)/n-Si Schottky diyotun farklı sıcaklıklardaki akım-gerilim karakteristiği.....	37
Şekil 6.6. Diyot doyum akımının sıcaklığa bağlı değişimi	41
Şekil 6.7. Diyotun engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlı değişimi	42
Şekil 6.8. İdealite faktörünün sıcaklığa bağlı değişimi	43

Şekil	Sayfa
Şekil 6.9. Schottky diyotun Cheung fonksiyonları yardımıyla çizilen $dV/d(\ln I)$ -I grafiği	44
Şekil 6.10. Schottky diyotun Cheung fonksiyonları yardımıyla çizilen $H(I)$ -I grafiği	44
Şekil 6.11. Diyotun seri direncinin sıcaklığa bağlı değişimi	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
A	Kontak alanı
A[*]	Richardson sabiti
d_{ox}	Yalıtkan tabaka kalınlığı
D_n	Elektron difüzyon sabiti
e	Elektron yükü
eV	Elektronvolt
E_C	İletkenlik bandı enerji seviyesi
EF	Fermi enerjisi
E_{FS}	Kontaktan önceki yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi,
E_{FM}	Kontaktan önceki metalin Fermi enerji seviyesi
E_g	Yasak enerji aralığı
E_v	Valans bandı maksimum enerji seviyesi
eV_d	Yarıiletken tarafındaki boşluklar için yüzey engeli
h	Planck sabiti
J	Akım yoğunluğunun büyüklüğü
J_{ms}	Yarıiletkenden metale doğru doyum akım yoğunluğu
J_n	Toplam net akım yoğunluğu
J_{SD}	Difüzyon teorisinde doyma akım yoğunluğu
J_{ST}	Doyum akım yoğunluğu

Simgeler	Açıklama
J_0	Termiyonik emisyon-difüzyon teorisine göre doyma akım yoğunluğu
k	Boltzman sabiti
m^*	Etkin kütle
n	Diyotun İdealite faktörü
N_a	Alıcı atomları durum yoğunluğu
N_C	İletkenlik bandı durum yoğunluğu
N_C	Donor atomları durum yoğunluğu
N_{ss}	Arayüzey Durum Yoğunluğu
R_s	Seri direnç
v	Elektronun hızının büyüklüğü
V_{bi}	Hacimsel potansiyel
v_x	Taşıyıcı hızı
T	Mutlak sıcaklık
$U(x)$	Potansiyel enerji
χ	Elektron yakınlığı
$\Delta\phi$	Engel yüksekliğinin minimumu
X_m	Schottky engelinin minimum yerleşimi
χ_s	Yarıiletkenin elektron yakınlığı
μ	Elektron mobilitesi
W_D	Uzay yük bölgesinin genişliği
δ	Oksit tabaka kalınlığı
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti

Simgeler	Açıklama
ϵ_0	Serbest uzayın dielektrik sabiti
ϕ_m	Metalin iş fonksiyonu
ϕ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
ϕB_n	Engel yüksekliği

Kısaltmalar	Açıklama
MS	Metal-Yarıiletken
MIS	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MOS	Metal-Oksit-Yarıiletken
I-V	Akım-Voltaj
PVA	Polivinil Alkol
PVAc	Polivinil asetat

GİRİŞ

Katılar elektrik iletim kabiliyetine göre iletken, yalıtkan ve yarıiletken olmak üzere üç grupta incelenirler. Bir katının enerji bant yapısı, onun bu üç gruptan hangi gruba gireceğini belirler.

Yalıtkanların elektriği iyi iletmediği yaygın bir inanıştır. Gerçekte yalıtkanlarda elektronların serbestçe hareket edebileceği yüksek enerji seviyeleri vardır ama elektronları bu enerji seviyelerine göndermek için çok yüksek voltajlar gerekir. Metallerde ise elektron sayısından fazla boş enerji seviyesi vardır. Bundan dolayı elektronlar işgal edilecek yeni seviye bulmaları için çok küçük enerjiye ihtiyaç duyarlar. Bu özellikleri metallerin iyi bir iletken olmalarını sağlar. Yarıiletkenlerin iletkenlik özelliği metallerle yalıtkanlar arasındadır.

Yarıiletkenlerin iletkenliği; genellikle sıcaklığa, aydınlanma şiddetine, elektrik alana, manyetik alana ve safsızlık atomlarının yoğunluğu gibi parametrelere bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Yarıiletkenlerin elektronikte kullanılması, katıhal fiziğinin 20. yüzyıl teknolojisine getirdiği belki de en büyük katkıdır [1].

Yarıiletkenler günümüzde pek çok teknolojik alette kullanılmaktadır. Doğada bol miktarda bulunması ve yüzeyinde doğal yolla SiO_2 yalıtkan tabakanın elde edilmesi gibi nedenlerle yarıiletken olarak genellikle Silisyum tercih edilmektedir.

Metal, yarıiletken ve yalıtkan maddelerin iletkenlik özelliklerinin incelenmesi, bu malzemelere uygun kontakların yapılması ile mümkündür [2]. Kontak, genel anlamda iki maddenin en az dirençle (idealde sıfır) birbirine temas etmesi şeklinde düşünülür. Temas eden yüzeylerin temiz, pürüzsüz ve parlak olması ile ideal bir kontak elde edilir [3–6].

Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapılar, metal ile yarıiletken tabakaların arasına yalıtkan bir tabakanın oluşturulmasıyla meydana gelir. Bu yalıtkan tabaka yarıiletken

ile metal tabakaları birbirinde izole eder. Metal-yarıiletken kontakların elektriksel özelliklerinden yeterince faydalanmak, uygun kontaklar hazırlanarak uygun elektronik devrelerde kullanmak için karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekir. Üretilen bir devre elemanının istenilen devre yapısına ait bütün özelliklerinin bilinmesi ve doğabilecek olumsuzlukların giderilmesine bağlıdır. Bu nedenle yarıiletken teknolojisinde, temel elektronik yapı elemanlarının fiziksel ve elektronik özelliklerini araştırmak önem taşımaktadır [7]. Metal-yarıiletken aygıtlar elektronikte önemli ölçüde rol oynamaktadır [8].

Schottky diyotlarda arayüzey tabakası kontak parametrelerini önemli ölçüde etkilemektedir. Değişik amaçlar için kullanılmak üzere arayüzey tabakası olarak, farklı maddeler kullanılarak üretilen Schottky diyotları üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Schottky kontaklar elektronik sanayinde birçok alanda kullanılmaktadır. Bu kontakların uygulamalarından bazıları; switching (hızlı anahtar uygulamaları), MESFET (Schotkky engel tabakalı alan etkili transistörler), MOSFET (Metal-Oksit-Yarıiletken alan etkili transistörler), varaktörler (kapasiteleri uygulanan gerilime göre değişen kondansatörler), mikrodalga karıştırıcı dedektörleridir. Genellikle arayüzey tabakası olarak polimer olmayan organik maddeler ve polimer maddeler kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada PVA arayüzeyli MIS yapının 80-400 K aralığında çeşitli sıcaklıklarda akım-voltaj (I-V) ölçümleri alındı ve bu değerlerden faydalanılarak yapının temel parametreleri olan; engel yüksekliği (Φ_B), idealite faktörü n, arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}), seri direnci (R_s) ve diğer parametreleri sıcaklığa bağlı belirlendi. Çalışmada arayüzey olarak polimer maddenin tercih edilmesindeki sebep; polimer malzemenin yüzeyi pasivize edebilmesi, sızıntı akımını en aza indirebilir olması, kontrol edilebilir akım-iletim mekanizması gerçekleştirmesi, doğrultucu özelliği iyi olması, düşük üretim maliyetli ve ayrıca kolaylıkla malzeme üzerine ince tabaka oluşturulabilir olmasıdır.

Bu tez çalışması 7 bölümden oluşmaktadır. Tezde, Bölüm 2’de yarıiletkenler, bölüm 3’de MIS yapılar, bölüm 4’de Schottky Diyotlar, bölüm 5’de polimerler hakkında teorik bilgiler verildi. Bölüm 6’ da MIS yapının oluşturulması ve I-V ölçümlerinde elde edilen deneysel sonuçlar, grafikler ve çizelgeler verildi. Bölüm 7’de ise deneysel sonuçlar tartışıldı.

2. YARIİLETKENLER

Yarı iletken maddeler; mutlak sıcaklıkta ($T = 0^0 K$) yalıtkan özellik gösteren ancak ısı, ışık, manyetik etki ve ya elektriksel gerilim gibi dış etkiler uygulandığında bir miktar değerlik elektronlarını serbest hale geçirerek iletken özelliği kazanan maddelerdir. Uygulanan bu dış etki veya etkiler ortadan kaldırıldığında ise yalıtkan duruma geri dönerler. Bu özellik elektronik alanında yoğun olarak kullanılmalarını sağlamıştır.

Yarıiletkenlerde yasak bant aralığı 1 eV civarındadır. Metallerde yasak enerji aralığı yoktur; iletkenlik bandı ile valans bandı kısmen üst üste binmiştir. Yalıtkanlar da ise bu aralık 9 eV civarındadır. Yarı iletkenlerde yasak enerji aralığı küçük olduğu için dış etkiyle iletim özelliği kazanabilirler. Yarı iletkenlerin valans yörüngelerinde 4 elektron bulunmaktadır.

Metallerde iletkenlik sıcaklık arttıkça artarken, buna zıt olarak yarı iletken maddenin direnci sıcaklıkla düşer. Bir yarıiletkenin en önemli ve ayırt edici özelliği, iletkenliğinin sıcaklığa bağlı olmasıdır [9].

Ge, Si gibi aynı atomdan oluşan yarıiletkenler elementel yarıiletkenlerdir. Bu atomlar kovalent bağlarla birbirine bağlanmışlardır. Kovalent bağda her bir atom bir elektronu en yakın bir komşuyla paylaşarak kuvvetli bir bağ oluşturur. Bileşik yarıiletkenler iki veya daha çok elementten meydana gelirler. Bunlara örnek GaAs ve InP verilebilir. Bu iletkenler III-V grubu yarıiletkenler grubundandır. Elektronik elemanlarda en yaygın olarak kullanılan yarıiletkenler Germanyum ve Silisyumdur. Germanyum ve silisyumun oda sıcaklığında ($T=300 K$) yasak bölge genişlikleri sırasıyla 0,76 ve 1,12 eV dur.

2.1. Yarıiletken Tipleri

2.1.1. Doğal yarıiletken

Doğal yarıiletkenler aslında saf (pür) yarı iletkenlerdir. Mutlak sıfır sıcaklığında doğal bir yarıiletkende yük taşıyıcıları yoktur. Termal uyarılma sonucu yarıiletkendeki değerlik bandındaki elektronlar iletkenlik bandına geçer ve arkalarında deşikler oluştururlar. Bu tip bir iletme katkısız iletkenlik denir. Katkısız iletkenlikte iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu ile değerlik bandındaki deşik yoğunluğu birbirine eşittir.

2.1.2. Katkılı yarıiletken

Katkısız bir yarıiletken safsızlık atomlarıyla katkılılandırıldığında, malzemenin mevcut elektronik durumları değişir ve yarıiletkenin özelliğinde önemli değişiklikler oluşur. Bu özellikler safsızlıklara bağlı olduğundan, malzeme katkılı (extrinsic) yarıiletken olarak adlandırılır. Safsızlık atomlarıyla meydana gelen iletkenliğe de katkılı iletkenlik denir [10]. Katkılama işlemi ile değerlik bandı enerji seviyesi yukarıya veya iletkenlik bandı enerji seviyesi aşağıya çekilir.

a) P-Tipi yarıiletken

Fermi enerji seviyesinin valans bandına yaklaştırıldığı yarıiletkenlere P-tipi yarı iletken denir. P-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk taşıyıcıları boşluklardır. IV. grup elemente III. grup elementin katkılanmasıyla P-tipi katkılı yarıiletken elde edilir. Burada deşik hareketi söz konusudur, bu artı yüklü iyonların hareketi gibi düşünülebilir. P-tipi yarıiletkenler valans bandından elektron aldıkları için bu tipteki yarıiletkenlere alıcı denilmektedir [11].

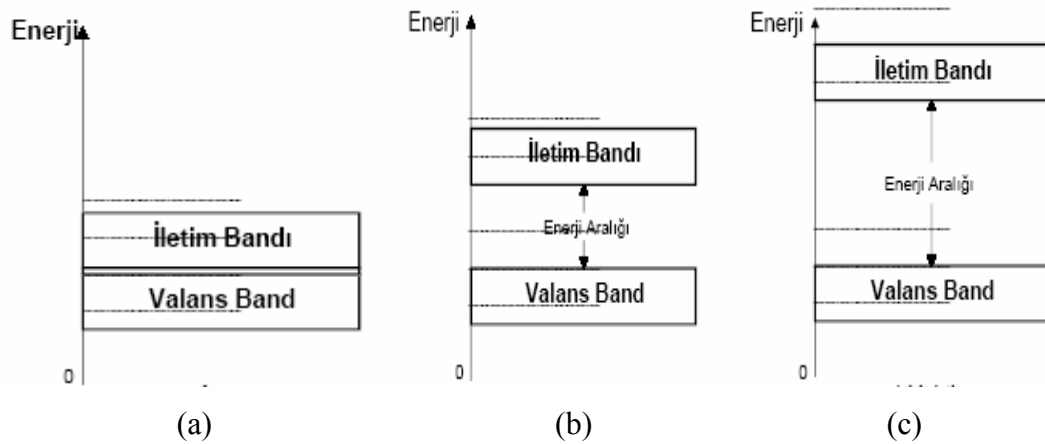
b) N-tipi yarıiletken

Fermi enerji seviyesinin iletim bandına yaklaştırıldığı yarıiletkenlere N-tipi yarıiletken denir. N-tipi yarı iletkende çoğunluk taşıyıcıları elektronlardır. IV. grup elemente V. grup elementin katkılanmasıyla N-tipi katkılı yarıiletken elde edilir.

2.2. Bant Yapısı

2.2.1. Katıların bant yapısı

Bir katının iletken, yalıtkan veya yarıiletken gruptan hangisinde olduğunu bu katının bant yapısı belirtir. Katılardaki elektronlar atomların dalga özelliğinden dolayı bazı enerji seviyelerinde bulunamazlar. Elektronların bulunabildiği izinli enerji seviyeleri vardır. Metallerde; mutlak sıcaklıkta elektronlarca işgal edilmiş en yüksek seviyeye valans bandı yada değerlik bandı denir. Valans bandındaki elektronların ilettime katkıları yoktur. Valans bandı üstündeki ilk boş seviye iletkenlik bandı olarak adlandırılır. Şekil 2.1 de katıların bant diyagramı gösterilmektedir.



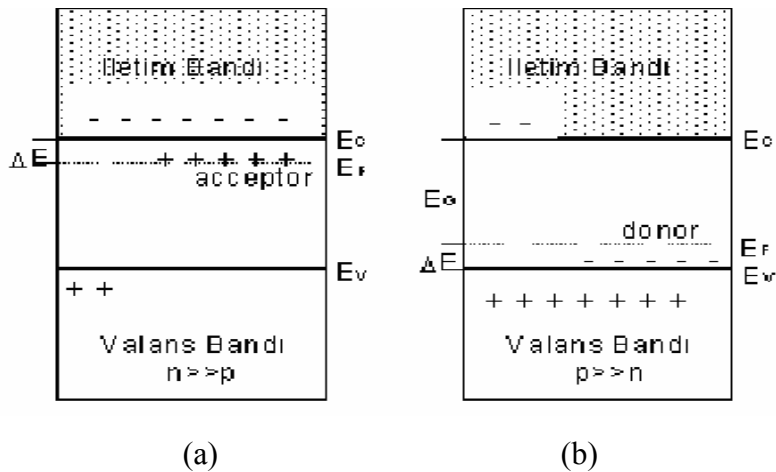
Şekil 2.1. Katıların bant diyagramı: (a)iletken, (b)yarıiletken, (c)yalıtkan

2.2.2. Yarıiletkenlerin bant yapısı

Valans ve iletkenlik bantlarının aynı doğrultuda olup olmayışına göre yarıiletkenler direkt ve indirekt bant aralıklı yarıiletkenler olarak ikiye ayrılırlar. Valans bandının maksimumu ile iletkenlik bandının minimumu aynı doğrultuda olan yarıiletkenler direkt bant yarıiletkenler, valans bandı maksimumu ile iletkenlik bandı minimumu farklı doğrultuda olan yarıiletkenler indirekt bant yarıiletkenlerdir.

P-tipi katkılamada katkı yapılan atomların son yörüngesine üç adet elektron olduğundan, yabancı atomun girdiği yerde bir elektron eksikliği meydana gelecektir. Buna “boşluk” veya “delik” adı verilir. Sıcaklık veya uyarılma gibi nedenlerle bu boşluklar serbest elektronlar ile doldurulur. Böylece, yapı içerisinde bir tür boşluk hareketi, başka bir ifade ile pozitif yük hareketi oluşacaktır. P-tipi yarıiletkenin elde edilmesinde kullanılan üç değerlik elektronlu atoma “alıcı (acceptor) iyon” adı verilir.

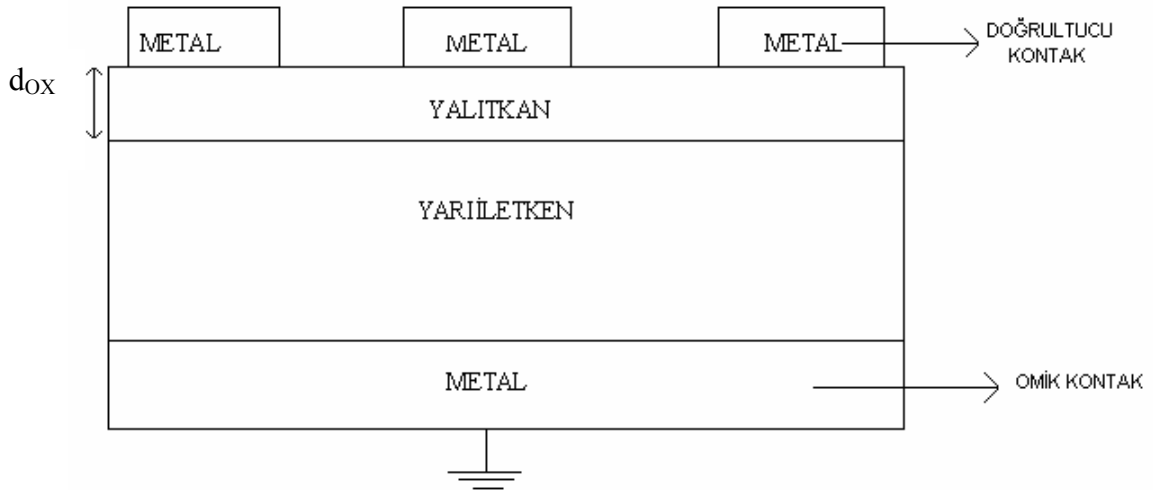
N-tipi katkılamada V. grup elementinde beşinci elektron bağ kuramadığı için, yapı içerisinde serbest elektron olarak boşta kalmaktadır. Bu tip serbest elektronlar, yapı içerisinde hareket ederek yapıya elektrik akımını iletme özelliğini kazandırmaktadır. Yapıya serbest elektron veren atoma “donör” adı verilir. Şekil 2.2’de P ve N-tipi yarıiletkenlerin bant diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Yarıiletkenlerin bant diyagramı (a)P-tipi yarıiletken, (b)N-tipi yarıiletken

3. MIS (Metal-Insulator-Semiconductor) YAPILAR

Metal ile yarıiletken arasında doğal yolla ya da deneysel olarak oluşturulan yalıtkan bir oksit tabakası, metali yarıiletkenden izole eder ve yapıyı metal-yalıtkan-yarıiletken yapıya dönüştürür [12–13]. Bu yapı yalıtkan filmlerin ve yarıiletken yüzeylerin elektriksel özelliklerini incelemede oldukça yaygın olarak kullanılır [14]. Metal-yalıtkan-yarıiletken oluşturmada yarıiletken olarak genelde silisyum (Si), germanyum (Ge) ve galyum arsenide (GaAs), yalıtkan olarak da genelde silisyum dioksit (SiO_2) seçilir. Özellikle SiO_2 seçilmesinin sebebi; silisyum üzerine kolay büyümesi ve ideal örgü sürekliliğine yakın bir eklem oluşturmasıdır. Dolayısıyla SiO_2 birçok yüzey etkilerini azaltarak eklem karakteristiklerinin daha iyi kontrol edilmesini sağlar [15]. Bir MIS yapının şeması şekil 3.1 de gösterildiği gibidir.

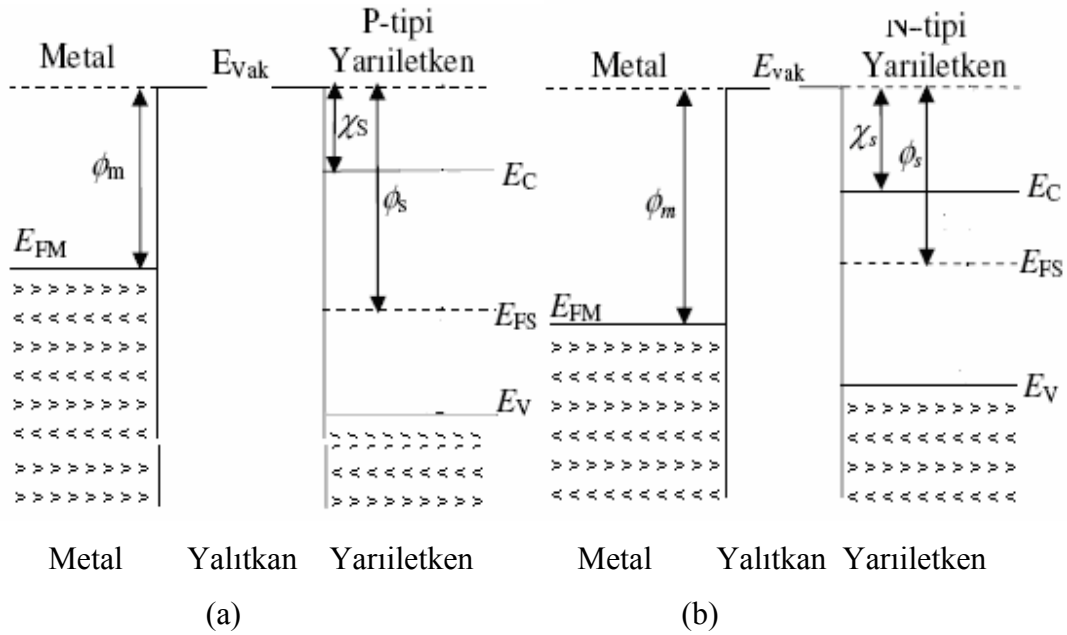


Şekil 3.1. MIS (Metal-Insulator-Semiconductor) yapının şematik gösterimi

3.1. İdeal MIS Yapısı

Metal ve yarıiletken tabakalar arasındaki yalıtkan, bant aralığı çok büyük olduğundan ideal bir dielektriktir. İdeal MIS yapıda yalıtkan içinde ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde tuzaklar, sabit ve hareketli iyonlar bulunmaz. Aynı zamanda yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde arayüzey durumları ve arayüzey yükleri de bulunmaz [16].

Şekil 3.2.' de $V=0$ ' da metal/P-tipi ve metal/N-tipi doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı gösterilmektedir. Burada; ϕ_m metalin iş fonksiyonu, ϕ_s yarıiletkenin iş fonksiyonu, χ_s yarıiletkenin elektron yakınlığı, E_C iletkenlik bandı enerji seviyesi, E_V valans bandı enerji seviyesi, E_{FS} kontakta önceki yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi, E_{FM} kontakta önceki metalin Fermi enerji seviyesidir.



Şekil 3.2. $V=0$ ' da metal/P-tipi ve metal/N-tipi doğrultucu kontağın enerji-bant diyagramı (a) P-tipi yarıiletken (b) N-tipi yarıiletken

3.2. Metal-Yarıiletken Kontaklar

Yalıtkan ve yarıiletken kristallerin iletkenlik özelliklerinin araştırılabilmesi uygun kontakların kristale uygulanmasıyla sağlanır. Kontak, genel anlamda iki maddenin en

az, idealde sıfır dirençle temas etmesi olarak düşünülür. İdeal kontak genel anlamda kontak yüzeylerin temiz ve pürüzsüz olmasına bağlıdır [3–6]. Kontak haline getirilen maddeler arasında, Fermi seviyeleri eşit oluncaya kadar bir yük alışverişi olur. Metal-yarıiletken kontaklar, metalin ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarına (ϕ_m , ϕ_s) bağlı olarak; taşıyıcı hareketinin bir yönde diğerine göre çok büyük olduğu doğrultucu kontak ve taşıyıcıların her iki yönde de aynı kolaylıkla geçebildiği omik kontak olmak üzere ikiye ayrılır [17].

3.2.1. Doğrultucu kontaklar

Doğrultucu kontaklar P ve N-tipi doğrultucu kontaklar olmak üzere ikiye ayrılır. Metal-yarıiletken kontaklarda; ϕ_m metalin iş fonksiyonu, ϕ_s yarıiletkenin iş fonksiyonu olmak üzere P-tipi metal-yarıiletken kontaklarda $\phi_m < \phi_s$ durumunda doğrultucu kontak oluşur. N-tipi metal-yarıiletken kontaklarda ise $\phi_m > \phi_s$ durumunda doğrultucu kontak oluşur.

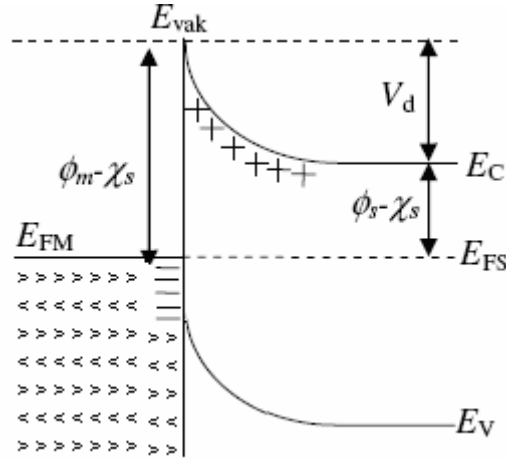
N-tipi yarıiletken doğrultucu kontak oluşturmak için metal ile yarıiletken temas ettirildiğinde yarıiletkenin iletkenlik bandındaki taşıyıcı elektronları metaldeki elektronlardan daha yüksek enerjiye sahip oldukları için metal içine doğru hareket ederler. Bu durum metal ile yarıiletkenin fermi seviyeleri eşitleninceye kadar devam eder. Buna bağlı olarak; yarıiletkenden metale akan elektronlar arkalarında pozitif yüklü donör iyonları bırakırlar. Böylece yarıiletkendeki serbest elektron konsantrasyonu azalır ve yarıiletkenden metale doğru elektrik alan oluşur. Yarıiletkendeki enerji seviyeleri $\phi_m - \phi_s$ kadar aşağı kaydığından dolayı yarıiletkenin valans bandı ve iletkenlik bandı aşağı doğru bükülür. Bu durumda arayüzeyde bir potansiyel engeli oluşur. Metal tarafındaki engel yüksekliği;

$$(\phi_m - \phi_s) + (\phi_s - \chi_s) = (\phi_m - \chi_s) \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilirken; yarıiletken tarafındaki boşluklar için yüzey engeli;

$$eV_d = (\phi_m - \phi_s) \quad (3.2)$$

şeklindedir. Burada χ_s iletkenlik bandının en üstündeki elektronun vakum seviyesine çıkabilmesi için gereken enerji miktarıdır ve elektron yakınlığı olarak bilinir. Şekil 3.3'de N-tipi doğrultucu kontak şekli gösterilmektedir.



Şekil 3.3. N-tipi yarıiletkende doğrultucu kontak (Termal denge durumunda, $V=0$)

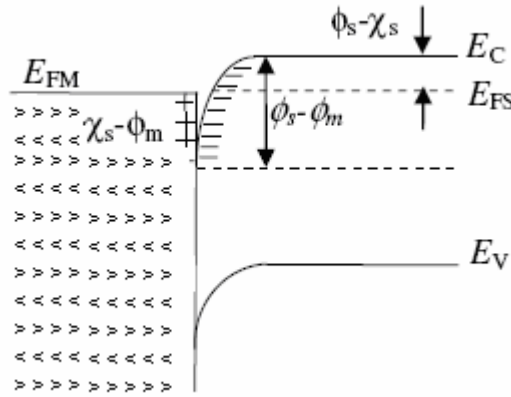
Pek çok durumda metal-yarıiletken kontakta engelin yüksekliği termal enerji kT/q 'dan çok büyüktür ve yarıiletkenin uzay yükü bölgesi hareketli yüklerden yoksun, yüksek dirençli yarıiletken bir tüketim bölgesi olmaya başlar. Bu sabit uzay yükleri için elektrik alanın büyüklüğü, uzay yük tabakası kenarından olan uzaklıkla lineer olarak artar, bunun sonucu olarak engel paraboliktir (Schottky engeli). Mott, yarıiletkende yüklerin bulunmadığı ince bir tabaka kabul eder. Bu ince bölgede elektrik alanın büyüklüğü sabittir ve potansiyel, bölge boyunca lineer olarak artar (Mott engeli). Mott engeli, yüksek katkılanmış ya da özgül bir yarıiletken konulduğu zaman kullanılır [18].

3.2.2. Omik kontaklar

Metal-yarıiletken kontaklarda; p-tipi yarıiletkende $\phi_m > \phi_s$, N-tipi yarıiletkende $\phi_m < \phi_s$ durumunda omik kontak oluşur.

$\phi_m < \phi_s$ olduğu N-tipi metal-yarıiletken göz önüne alalım. Yarıiletkende fermi seviyesi metalin fermi seviyesine göre daha aşağıda olduğu için metal elektronları yarıiletken tarafına doğru hareket ederler. Arkalarında iyonize olmuş pozitif yük bırakırlar. Metalden yarıiletken tarafına akan elektronlar yarıiletkenin yüzeyinde debye mesafesi kadar bir kalınlıkta sınırlanmış yüzey yükleri oluşturur. Burada doğrultucu kontakta olduğu gibi yarıiletkenden metale ya da metalden yarıiletkene doğru elektronların hareketi için bir potansiyel engeli yoktur.

Omik kontak yapımında arayüzey oluşumundan dolayı bazı güçlüklerle karşılaşılır. Kontak yapımında yarıiletken yüzeyine kaplanan metal ve yarıiletkenin alaşım haline getirilmesi için belli bir sıcaklıkta tavlanması gerekir. Böylece yarıiletken yüzeyde elektron bakımından zengin bir tabaka oluşur. Benzer mekanizmalar metal-p tipi yarıiletken kontaklarda da görülür [19]. Şekil 3,4'de termal dengede N-tipi yarıiletken omik kontak gösterilmektedir.



Şekil 3.4. N-tipi yarıiletken omik kontak (Termal denge durumunda, $V=0$)

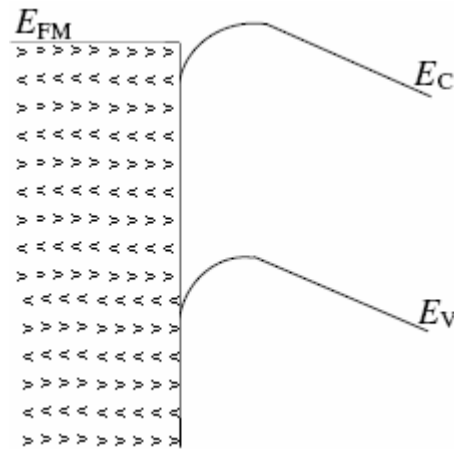
3.2.3. Doğrultucu ve omik kontaklara pozitif (V) ve negatif (-V) gerilim uygulanması durumunda bant yapılarındaki değişim

Metal-yarıiletken yapıya dışarıdan uygulanan gerilim V , metal plakaya uygulanır ve yönü de ona göre belirlenir. Yani metal plakaya omik kontakta göre pozitif bir gerilim uygulanırsa metal-yarıiletken yapıya uygulanan gerilim pozitif, metal plakaya omik

kontakta göre negatif bir gerilim uygulanırsa metal-yarıiletken yapıya uygulanan gerilim negatif olarak tanımlanır [20].

P-tipi bir yarıiletkene, metale göre pozitif bir V gerilimi uygulandığında, deşikler için engel yüksekliği (eV) değeri kadar düşer. Yarıiletkenden metale daha fazla deşik akar ve metalden yarıiletkene doğru olan boşluk akımı termal denge durumundaki değerini aşar. Buna karşın yarıiletkenden metale doğru olan boşluk akım değeri aynı kalır. Böylece yarıiletkenden metale doğru net akım oluşmuştur [21]. Bu durum p-tipi doğrultucu kontak durumudur.

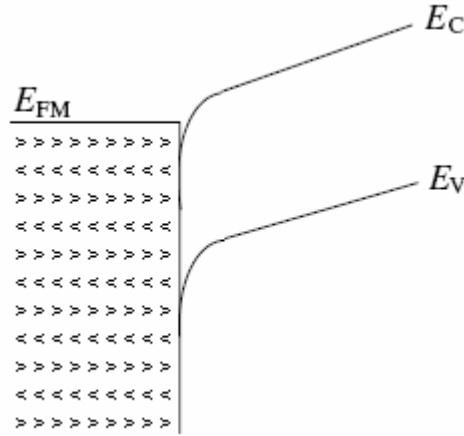
Kontak haline getirilmiş ve dengedeki metal-yarıiletken omik kontakta metalden yarıiletkene ve yarıiletkenden metale kolayca yük akışı olur. Omik kontakta bir V gerilimi uygulanırsa, oluşan potansiyel doğrultucu kontakta olduğu gibi sadece Schottky bölgesinde değil, bütün yarıiletken boyunca dağılacaktır. Omik kontak elde edebilmek için N-tipi yarıiletkenin yüzeyine buharlaştırılan metal, yarıiletkenle alaşım haline getirilir. Daha sonra, yarıiletkenin yüzeyinde bir n^+ tabakası oluşturmak için belirli bir sıcaklıkta tavlama yapılır. Tavlamaya metalin difüze olduğu tabaka, yarıiletken gövdeye göre elektron bakımından daha zengindir [10]. Şekil 3.5.'de Pozitif beslemde N-tipi yarıiletken omik kontakın enerji bant diyagramı gösterilmektedir.



Şekil.3.5. $V > 0$ da N-tipi yarıiletken omik kontakın enerji bant diyagramı

P-tipi bir yarıiletken şeklinde bir $-V$ gerilim uygulandığında metalden yarıiletkene doğru olan boşluk akımı artacak, buna ters olarak yarıiletkenden metale doğru boşluk akımı azalacaktır.

N-tipi bir yarıiletkene $-V$ potansiyeli uygulandığında metalden yarıiletkene geçen deşik akımı azalacak, yarıiletkenden metale geçen deşik akımı artacaktır. Şekil 3.6.'da ters beslemde N-tipi bir yarıiletken omik kontakın enerji bant diyagramı gösterilmektedir.

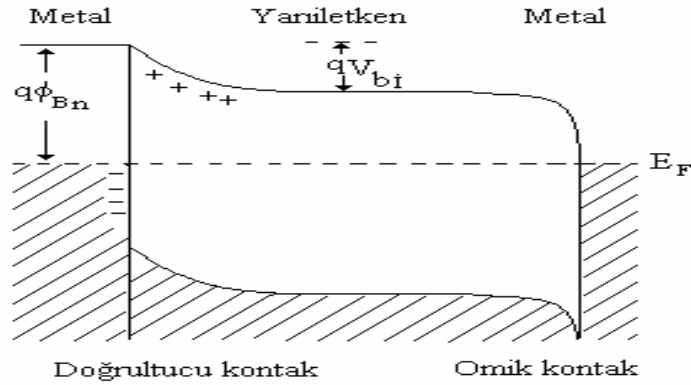


Şekil 3.6. $V < 0$ da N-tipi yarıiletken omik kontakın enerji bant diyagramı

4. SCHOTTKY DİYOTLAR

Bölüm 1.01 4.1. Metal - Yarıiletken Schottky Diyotları

N-tipi bir yarıiletken malzemenin bir yüzeyine elektron bakımından zengin omik kontak diğer yüzeyine doğrultucu kontak yapılmasıyla metal N-tipi yarıiletken Schottky diyotu elde edilmiş olur. Metal/yarıiletken/metal diyotların termal denge durumunda enerji bant diyagramı şekil 4.1’de gösterilmektedir [10].



Şekil 4.1. N-tipi Schottky diyotun enerji bant diyagramı [10]

Elektronik sanayinin temelini oluşturan yarıiletken materyaller ve bunların bir değişik versiyonu olan Schottky diyodlar gün geçtikçe daha bir önemli hale gelmektedirler. Hemen her elektronik cihaz da kullanılan bu materyallerin değişik ortam ve şartlar altındaki elektriksel davranışlarının önceden bilinmesi, amaçlara uygun olarak bu elektriksel davranışların değiştirilebilmesi büyük önem arz eder [22].

Bu diyotun omik kontak tarafı negatif voltajla beslendiğinde sistem doğru önbesleme durumundadır. Diyotun omik tarafı pozitif bir voltajla beslendiğinde ise diyot ters önbeslemedir.

Metal-yarıiletken ve yalıtkan maddelerin iletkenlik özelliklerinin incelenmesi, bu malzemelere uygun kontakların yapılması ile mümkündür [2].

Metal boşluk sisteminde Fermi seviyesinden boşluk düzeyine bir elektron geçirmek için gerekli minimum enerji iş fonksiyonu olarak tanımlanır. Bu enerji Fermi düzeyi ve boşluk düzeyi arasındaki enerji farkıdır. İş fonksiyonu $q\phi_m$ ile tanımlanır [10, 3,23,24].

Metalden x -uzaklığındaki bir elektron metal yüzeyi üzerinde pozitif bir yük oluşturur. Elektron ve oluşturduğu bu pozitif yük arasındaki çekme kuvveti, $-x$ noktasına yerleşmiş eşit pozitif yük ve elektron arasındaki var olan kuvvete eşittir. Bu pozitif yük görüntü yük gibi davranır ve aralarındaki çekici kuvvet de hayali kuvvet olarak adlandırılır. Bu kuvvet;

$$F = -q^2/4\pi\epsilon_0(2x)^2 = -q^2/16\pi\epsilon_0x^2 \quad (4.1)$$

ile verilir. Burada ϵ_0 serbest uzayın dielektrik sabitidir. Sonsuzdan x noktasına bir elektronu getirmek için yapılan iş;

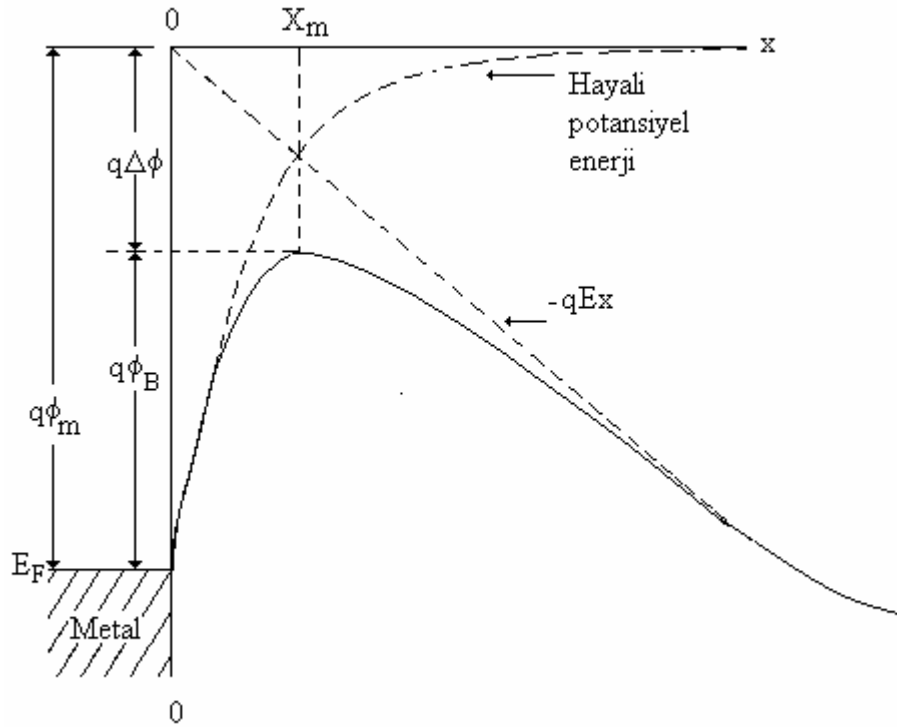
$$\int_{+\infty}^x Fdx = q^2/16\pi\epsilon_0x \quad (4.2)$$

ile verilir [2,10,17,20,21]. Sisteme bir E dış elektrik alan uygulandığında potansiyel enerji;

$$U(x) = q^2/16\pi\epsilon_0x + qxE \quad (4.3)$$

şeklinde olacaktır.

Schottky engelinin minimumu $\Delta\phi$ ve minimum yerleşimi X_m ;



Şekil 4. 2. Metal yüzey ve boşluk arasındaki enerji band diyagramı [10, 5, 23].

$$d[U(x)]/dx = 0 \quad (4.4)$$

eşitliği kullanılarak,

$$X_m = \sqrt{(q/16\pi\epsilon_0 E)} \quad (4.5)$$

ve

$$\Delta\phi = \sqrt{(qE/4\pi\epsilon_0)} = 2EX_m \quad (4.6)$$

olarak bulunur.

Schottky engelinin minimumunun uygulanan gerilimle artması veya azalması Schottky olayı olarak adlandırılır [10, 5, 23].

Schottky engel yapısının oluşmasında iki durum göz önüne alınır. Bunlar Schottky-Mott teorisi ve Bardeen teorisi dir.

4.2. Schottky-Mott Modeli

Metal ile yarıiletken arasındaki potansiyel engelinin şekli tükenim bölgesindeki yük dağılımına bağlıdır. Eğer iletkenlik bandı tabanı gövdedeki ilk pozisyondan $3kT/q$ kadar yükselirse elektron yoğunluğu bir merteye düşer ve bu düzlem ile metal-yarıiletken arayüzeyi arasındaki uzay yükü tamamıyla kompanse edilmemiş donörlerden kaynaklanır. Elektron yoğunluğunun konsantrasyonundan bir mertebeden daha az olmadığı (deplasyon yaklaşımı) geçiş bölgesinde bantların bükülmesini ihmal edersek, engelin şekli tümüyle donörlerin uzaysal dağılımı ile belirlenecektir [25].

4.3. Schottky Diyotlarda Akım İletim Mekanizmaları

Metal-yarıiletken kontağa dış bir elektrik alan uygulandığı zaman akımın hangi akım iletim mekanizmasıyla ifade edileceği önemlidir. Sıcaklık, arayüzey durumları, seri direnç ve metal ile yarıiletken tabaka arasındaki yalıtkan tabaka gibi akım iletimini etkileyen faktörler dikkate alınarak Schottky diyotlarda hangi iletim mekanizmalarının hangi gerilim ve hangi sıcaklık aralığında baskın olduğunu anlamak ve sonuçların doğru ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi açısından son derece önemlidir. Bu mekanizmaların başlıcaları [18,23,26].

- a) termiyonik emisyon teorisi
- b) difüzyon teorisi
- c) termiyonik emisyon-difüzyon teorisi

4.3.1. Termiyonik emisyon teorisi

Termiyonik emisyon, sıcak bir yüzeyden elektron veya boşluk salınması olarak bilinir [27]. Metal-yarıiletken Schottky diyotlarda termiyonik emisyon teorisi, taşıyıcıların (elektron ve boşluklar) ısısal enerjileri nedeniyle, potansiyel engelini

aşarak metalden yarıiletken veya yarıiletkenden metale geçmeleri esasına dayanır. Bu olay, metal/N-tipi yarıiletken yapılarda elektronlar, metal/P-tipi yapılarda ise boşluklar tarafından, yani her iki yapıda da çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır [17,5].

Termiyonik emisyon teorisinde engel yüksekliği kT den çok büyük kabul edilir ($q\phi_{Bn} \gg kT$). Tükenim bölgesinde elektronların çarpışmaları ihmal edilir [5].

Beethe'nin MS kontaklarda akımın çoğunluk taşıyıcıları tarafından iletildiğini kabul ederek kurduğu termiyonik emisyon varsayımları şunlardır:

- (a) Potansiyel engel yüksekliği kT/q enerjisinden çok büyüktür
- (b) Schottky bölgesinde taşıyıcı çarpışmaları yoktur yani taşıyıcıların ortalama serbest yolları Schottky tabakasının kalınlığından daha büyüktür
- (c) Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilmektedir ve akım engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır.[28] Bu varsayımlardan yola çıkarak; engel yüksekliği $q\phi_B \gg kT$ olmak koşulu ile yarıiletkenden metale akan elektronlar için akım yoğunluğu ifadesi;

J_{ms} olsun. Kontak yüzeyi x eksenine dik olarak kabul edildiğinde, taşıyıcı hızları v_x ile $v_x + d_x$ aralığında olan yüzey birimi başına elektron yoğunluğu;

$$d_n = N_D \left[m_n^* / 2kT \right]^{1/2} \exp \left[- m_n^* V_x^2 / 2kT \right] dV_x \quad (4.7)$$

4.7. denkleminde N_D donör yoğunluğu, m_n^* elektron etkisi, k Boltzman sabiti ve T mutlak sıcaklıktır. Yarıiletkenden metale doğru akım yoğunluğu ifadesi;

$$J_{ms} = e \int v_x dn \quad (4.8)$$

olarak ifade edilir. Denklem Eş. 4.7 ifadesini Eş. 4.8 yerine yazarsak;

$$J_{ms} = e N_D \left(m_n^* / 2kT \right)^{1/2} \int_{V_{ox}}^{\infty} V_x \exp \left(- m_n^* V_x^2 / 2kT \right) dV_x \quad (4.9)$$

$$= e N_D \left(kT / 2 m_n^* \right)^{1/2} \exp \left(- m_n^* V_x^2 / 2kT \right) dV_x \quad (4.10)$$

şeklinde ifade edilir. Enerjinin korunumundan

$$\frac{1}{2} m_n^* V_x^2 \geq eV_d \quad (4.11)$$

göz önüne alarak, akım yoğunluğu

$$= eN_D \left(\frac{kT}{2m_n^*} \right)^{1/2} \exp(-eV_d / kT) \quad (4.12)$$

Denklem Eş. 4.11'de bir elektronun eV_d engelini aşabilmesi için gereken limit hız

$$V_{OX} (2eV_d / m_n^*)^{1/2} \quad (4.13)$$

şeklinde tanımlanabilir. İletkenlik bandı tabanı enerjisinin sıfır seviyesi olarak alınır, yarıiletkendeki donör yoğunluğu

$$N_D = N_C \exp(-E_F / kT) = 2(2m_n^* kT / h^2)^{3/2} \exp(-E_F / kT) \quad (4.14)$$

ifadesi ile verilir. Bu ifadeyi akım yoğunluğunda yerine yazarsak;

$$J_{ms} = \left(4\pi m_n^* k^2 T^2 / h^3 \right) \exp\left(\frac{-eV_d + E_F}{kT} \right) \quad (4.15)$$

olarak bulunur.

Metal tarafındaki potansiyel engelinin yüksekliği;

$$e\phi_{Bn} = eV_d + E_F \quad (4.16)$$

kadar olacağından bu ifade denklem Eş. 4.16'da yerine yazılırsa

$$J_{ms} = \left(4\pi m_n^* k^2 T^2 / h^3\right) \exp\left(\frac{-e\phi_{Bn}}{kT}\right) \quad (4.17)$$

olarak bulunur. Denklemden sabit terime

$$A^* = \left(4\pi m_n^* k^2 / h^3\right) \quad (4.18)$$

Richardson sabiti denir. Buradan akım yoğunluğu

$$J_{ms} = A^* T^2 \exp\left(\frac{-e\phi_{Bn}}{kT}\right) \exp\left(\frac{eV}{kT}\right) \quad (4.19)$$

şeklinde ifade edilir. Metal yarıiletkenine doğru olan doyma akım yoğunluğu J_e yarıiletkenden metale doğru olan sıfır beslem doyma akım yoğunluğuna eşittir. Buradan toplam net akım yoğunluğu;

$$J_n = A^* T^2 \exp(-e\phi_{Bn} / kT) [\exp(eV / kT) - 1] \quad (4.20)$$

olarak yazılabilir. J_{ST} doyma akım yoğunluğu olarak seçilerek;

$$J_n = J_{ST} [\exp(eV / kT) - 1] \quad (4.21)$$

yazılabilir. Burada J_{ST} doyma akım yoğunluğu;

$$J_{ST} = A^* T^2 \exp(-e\phi_{Bn} / kT) \quad (4.22)$$

şeklinde ifade edilir.

4.3.2. Difüzyon teorisi

Schottky diyotlarda akım iletim mekanizması olan difüzyon teorisi aşağıdaki varsayımlara dayanır;

1. Potansiyel engel yüksekliği kT den büyüktür.
2. Tükenim bölgesindeki elektron çarpışmaları ihmal edilmiştir,
3. Tükenim bölgesinde taşıyıcı konsantrasyonları akımdan etkilenmez. Yani termal denge değerlerine sahiptir,
4. Yarıiletken taşıyıcı konsantrasyonu dejenere değildir.

Bu varsayımlardan yola çıkarak metal/n-tipi yarıiletken Schottky kontaklarda tükenim bölgesindeki akım yoğunluğu: D_n elektron difüzyon sabiti, $n(x)$ elektron yoğunluğu, $E(x)$ Schottky bölgesindeki elektrik alan, μ elektron mobilitesi olmak üzere;

$$J(x) = J_n = q[n(x)\mu E(x) + D_n \partial n / \partial x] \quad (4.23)$$

şekilde ifade edilir. Bu ifadeyi düzenlersek, difüzyon teorisine göre akım ifadesi

$$J_n = J_{SD} [\exp(eV / kT) - 1] \quad (4.24)$$

olarak elde edilir. J_{SD} doyum akım yoğunludur. Difüzyon teorisinde J_{SD} doyma akım yoğunluğu gerilime, termiyonik emisyon teorisinde ise

$$A^* T^2 \exp(-e\phi_{Bn} / kT) \quad (3.25)$$

doyma akım yoğunluğu sıcaklığa bağlıdır [5, 10, 24].

4.3.3. Termiyonik emisyon-difüzyon teorisi

Difüzyon teorisi ve termiyonik emisyon teorisinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş bir modeldir. Schottky engeli tarafından elektronların kuantum mekaniksel yansımalarının elektron enerjisi dağılımına katkısı olduğu kabul edilmiştir [10]. Termiyonik emisyon-difüzyon teorisi metal-yarıiletken arayüzey kenarında tanımlanmış olan V_R rekombinasyon (birleşme) hızı üzerine kurulmuş bir teoridir. Bu teoriye göre elektronlar metal-yarıiletken arayüzeyinde optik fononlarla etkileşimsiz potansiyel engel üzerinden salınma olasılığı ve ortalama iletim katsayısı değeri göz önüne alınarak A^* Richardson sabiti A^{**} olarak değişir. A^{**} etkin Richardson sabitidir.

$$A^{**} = A^* \exp\left[\frac{\beta}{kT}\right] \quad (4.26)$$

olarak verilir. Denklem Eş. 4.2' de β engel yüksekliğinin sıcaklıkla değişim katsayısıdır.

T sıcaklık, ϕ_{B_0} sıfır beslemde engel yüksekliği ve J_0 doyma akım yoğunluğu olmak üzere akım yoğunluğu

$$J_0 = A^{**} T^2 \exp(-q\phi_{B_0} / kT) \quad (4.27)$$

şeklinde ifade edilir. Şayet MS yapı değil de MIS veya MOS yapı varsa Richardson sabiti A_{etkin} olarak alınır.

$$A_{etk} = A^{**} \exp\left[-\frac{4\pi\delta}{h(2m^* \chi)^{1/2}}\right]^{1/2} \quad (4.29)$$

olarak verilir. Burada δ , MIS yapıdaki tabaka kalınlığı, $m^* = m_0$ etkin kütle, h Planck sabiti, χ yarıiletken elektron yakınlığıdır.

Saf termiyonik emisyon-difüzyon teorisine göre ideal bir Schottky diyotta n idealite faktörü 1 olarak alınır. İdealite faktörü 1'den uzaklaştıkça, engel yüksekliğinin voltaja bağlılığı artmaktadır.

Bu durumda akım yoğunluğu;

$$J = J_0 \exp(qV / kT) \quad (4.30)$$

olur.

N_{ss} yarıiletken ile dengede arayüzey durumları ve δ oksit tabaka kalınlığı cinsinden idealite faktörü ifadesi;

$$n = 1 + \delta / \epsilon_i [\epsilon_s / W + qN_{ss}] \quad (4.31)$$

şeklinde olur.

5. POLİMERLER

Polimerler; çok sayıda molekülün kimyasal bağlarla düzenli bir şekilde bağlanarak oluşturdukları yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Poli Latince bir sözcük olup çok sayıda anlamına gelir. Polimerler monomer denilen birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır.

Polimerler, sertliğine, yüksek sıcaklığa ve darbeye dayanıklılığına, yüksek dielektrikliğine, korozyona karşı dayanıklılığına göre geniş kullanım sahalarına sahiptir.

Polimerler genel olarak doğal ve sentetik polimerler olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılabilirler. Doğal polimerler doğada var olan polimerlerdir. Doğal kauçuk, pamuk, ipek, yün, amyant birer doğal polimerdir.

Sentetik polimerler ise kendi içinde alt başlıklara ayrılır:

- a) Homopolimerler,
- b) Kopolimerler,
- c) Graft polimerler,
- d) Çapraz bağlı polimerler.

Bir polimer tek bir monomer biriminin tekrarlanmasından oluşuyorsa buna homopolimer denir. Buna basit bir örnek olarak Polistren verilebilir. Polistren birçok stren monomerinin bir araya gelmesi ile oluşmuştur.

Eğer polimer molekülü iki farklı monomerin birleşmesinden oluşuyorsa buna kopolimer denir. Kopolimerler üçe ayrılır. Bunlar; ardışık kopolimer, blok kopolimer ve düzensiz kopolimerdir.

Polimerlerde kristalleşme nadirdir, çünkü molekülleri düzenleyecek Van der Waals bağları zayıftır. Pratikte rastlanan kristalleşmenin en düzgünü dahi tam değildir ve genelde kristalleşme yoktur. Polimer büyümesinde, karşılıklı bağlanma denen ve çok

rastlanan bir şekilde molekül zincirleri birbirine bağlanır. Karşılıklı bağlanma komşu zincirler arasındaki hareketi büyük ölçüde önleyerek mekanik özellikleri değiştirir.

Genellikle polimerler yalıtkan malzemelerdir veya çok düşük elektriksel iletkenliğe sahiptirler. Buna karşın azda olsa iletken polimerler vardır. Bu çeşit polimerler, yapılarında uzun konjuge çift bağlı zincirler bulunması nedeniyle iletkenlik özelliğine sahiptirler.

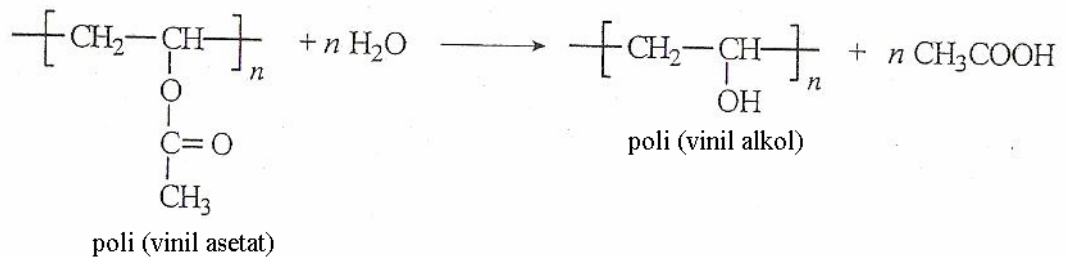
5.1. Polimerlerin Üretim Şekilleri

Endüstride en çok kullanılan dört polimerleşme şekli vardır. Bunlar kütle (blok), çözelti, süspansiyon ve emülsiyon polimerleşmesidir.

5.2. Poli(vinil alkol) (PVA)

Poli(vinil alkol) (PVA), vinil asetatın, polivinil asetata (PVAc) polimerleşmesi ve sonra da PVAc nin hidrolizi sonucunda üretilir.

Molekül ağırlığı dağılımı PVA'nın karakterize olma, adezyon, mekanik dayanım ve yayınlılığını etkileyen önemli bir karakteristik özelliğidir [29]. PVA'nın kimyasal yapısı şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Poli(vinil alkol)'ün kimyasal yapısı

PVA, hafif kokulu, beyaz granüller halindedir. Özgöl ağırlığı $1,19-1,31 \text{ gr} / \text{dm}^3$ arasındadır. Suda çok az çözünebilir. Sulu çözeltisi nötral veya hafif asidik karakterdedir. Erime noktası 200°C ' dir. Camsı geçiş sıcaklığı 85°C dir. Mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Hidrofilik oluşu, kimyasal kararlılığı ve mükemmel film olabilme özelliğinden dolayı membran olarak kullanılabilir [30].

PVA'nın temel uygulama alanları; kağıt, tekstil tutkallama, bağlayıcı, seramik, kozmetik, oksijen dirençli filmler, yapıştırıcılar, gıda ambalajı, buharlaştırma ve tuz arıtım membranları olarak kullanılmıştır [31]. Alkole karşı su geçimliliğinin yüksek olması alkol-su azeotropunu kırmak için kullanılmasını sağlamıştır [32]. PVA membranlar Nafyon membranlardan daha iyi metanol bariyeridir. Fakat PVA membranlar Nafyon'la karşılaştırıldıklarında zayıf proton iletkenler çünkü karboksilik ve sülfonik asit gibi kendilerine ait, negatif yüklü iyonları bulunmamaktadır [33].

6. DENEYSEL YÖNTEM

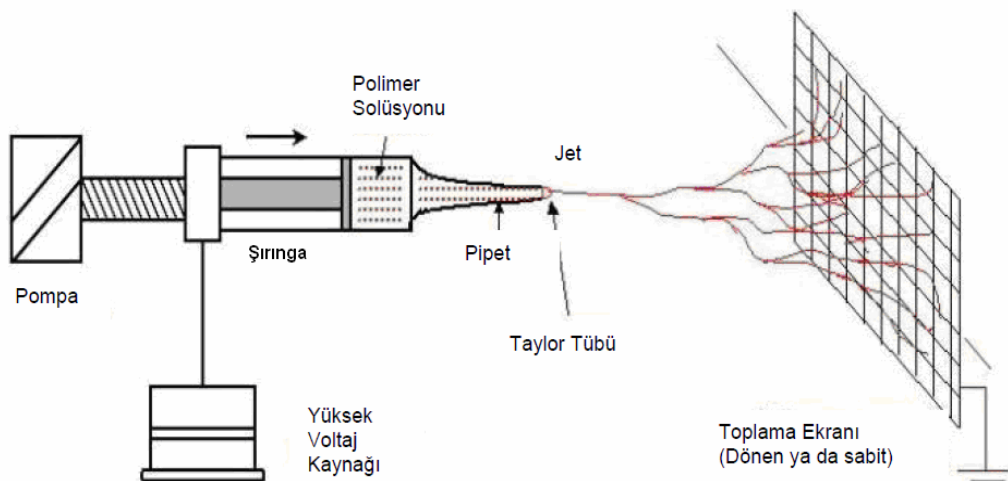
Bu bölümde deneysel numunenin hazırlanışı, kontakların alınışı, deney düzenekleri, deneyin yapılışı, alınan ölçüm değerleri anlatılacaktır.

6.1. MIS Yapının Hazırlanması ve Kontakların Alınması

Bu bölümde elektrospinning yöntemiyle PVA/Co,Zn ince filmin hazırlanışı, Si tabaka üzerine kaplanması ve kontakların alınışı anlatılacaktır.

6.1.1. Elektrospinning tekniği

Elektrik enerjisinden yararlanarak polimer ince film üretme tekniğine elektrospinning yöntemi denir. Elektrospinning kurulumu 4 temel kısımdan meydana gelir. 1-yüksek gerilim güç kaynağı, 2-şırınga pompası, 3-elektrikli iletken toplayıcı, 4-Spinneret. Şırınga pompası, polimerik çözeltinin sabit ve ayarlanabilir bir besleme oranını elde etmek için önemli parçalardan biridir [34,35]. Şekil 6.1'de elektrospinning yöntemi ve mekanizması verilmiştir.



Şekil 6.1. Elektrospinning yöntemi ve mekanizması

Bu teknikte, polimer uygun bir çözücünde çözülür veya ısı ile eritilir, bir ucu kapalı ve daralan öbür ucunda küçük bir delik bulunan cam bir pipetin içine yerleştirilir. Daha sonra polimer çözeltisi/eriyiği ve pipetin açık ucunun yakınındaki bir toplayıcı levhaya 50 kV'a kadar gerilim uygulanır. Toplayıcı levhada oluşan ağimsı yüzeyde çapları 30 nm'den 1 mikronun üzerindeki değerlere kadar değişen lifler bulunmasına rağmen, bu işlem çapı 50 nm boyutunda nanoliflerin üretimine imkan verir [36].

Elektrospinning (elektro-üretim:electrospinning) yöntemi, yüksek elektrostatik alana maruz bırakılan polimer çözeltisinin benzer yükler ile yüklenerek ayrışma ve incelmeye gösterip, çok ince fibril yapılar oluşturması şeklinde özetlenebilir. Bu yöntemi en basit şekliyle anlatacak olursak;

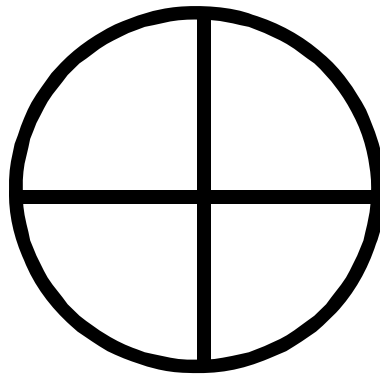
1. Bir polimer çözeltisi şırınga içine konur ve bu şırıngadan belirli bir mesafe uzağa da toplayıcı-metal bir plaka yerleştirilir.
2. Yüksek gerilim sağlayacak güç kaynağının artı ucu şırınganın metal olan ucuna bağlanırken, toplayıcı plaka da topraklanır.
3. Böylece şırınga ve toplayıcı plaka arasında yüksek bir elektrik alan elde edilmiş olur.
4. Güç kaynağı tarafından sağlanan gerilim arttırıldıkça, yeterince yüksek bir değere ulaşan elektrik alan kuvvetleri çözelti üzerindeki viskoelastik ve yüzey gerilimi kuvvetlerini yener ve polimer molekülleri bir jet halinde şırıngadan toplayıcıya doğru taşınır
5. Sonuç olarak toplayıcı plaka üzerinde nano boyutta çaplara sahip lifler oluşur.

6.1.2. Au/PVA(Co,Zn)/n-Si MIS yapının hazırlanması ve kontakların

Alınması

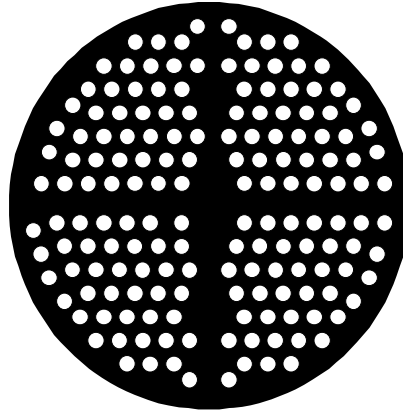
- I. Alttaş olarak kullanılacak olan (111) doğrultusunda büyütülmüş n-Si tabaka üzerinde doğal yolla oluşmuş SiO_2 oksit tabakanın temizlenmesi için 1% saflıktaki hidroflorik asit (HF) ile yıkandı. Sonra deiyonize su ile ultrasonik olarak temizlendi.

- II. 50 °C 'de 2 saat 0,5 g Co asetat, 0,25 g Zn asetat, molekül ağırlığı 72 olan 1 g PVA ve 9 ml deiyonize su kuvvetlice karıştırıldıktan sonra PVA/Co,Zn karışımı elde edildi.
- III. Peristaltik şırınga pompası kullanarak, öncü çözelti sabit akış hızı 0,02 ml/s' de 0,9 mm iç çaplı metal iğne (10ml) ile dağıtıldı.
- IV. İğne, yüksek gerilim güç kaynağına bağlandı ve bir mengine de dikey yerleştirildi.
- V. Bir parça düz alüminyum yaprak, nanofiber parçacıklarını toplamak için iğnenin 15 cm altına yerleştirildi. Si altaş, alüminyum yaprak üzerine yerleştirildi.
- VI. 20 kV yüksek voltajın üzerinde bir voltaj uygulayarak akışkan jel uçtan dışarı atıldı. Çözücü buharlaştı ve yüklü fiber, Si altaş üzerine çöktürüldü.
- VII. Omik kontak oluşturmak için kimyasal olarak temizlenen alüminyum 20kV luk yüksek voltaj kullanılarak buharlaştırıldı ve Si tabakanın mat yüzeyine kaplandı.
- VIII. Vakum sistemi ile elde edilen 2×10^{-6} Torr basınç altında üzerinden akım geçirilen tungsten flaman yardımı ile saf alüminyum (~ 99.99%) buharlaştırılarak Si yaprağın arka yüzeyine ~ 2500 Å Al tabaka oluşturuldu. Böylece omik kontak oluşturuldu. Omik kontakların oluşturulmasında Şekil 6.2' ye benzer bir maske kullanıldı. Buharlaştırma ile elde edilen arka kontak, Si yaprağın üzerine çöktürülmesi ile omik kontak elde edilmiş oldu.



Şekil 6.2. Omik kontak oluşturmak için kullanılan maske

- IX. Elektrospinning yöntemi kullanılarak PVA(Co,Zn) yalıtkan tabaka Si yaprağın ön yüzüne oluşturuldu.
- X. 1mm çaplı delikler açılmış olan Şekil. 6.3.' e benzer bir bakır maske PVA yapı üzerine parlak yüzey aşağı gelecek şekilde yerleştirildi. Kimyasal olarak temizlenen altın(Au) flaman üzerine konuldu ve $\approx 10^{-6}$ Torr vakumda buharlaştırılarak, kristalin parlak yüzeyi küçük dairecikler (1mm çaplı) şeklinde ≈ 2500 Å kalınlığında altın ile kaplandı. Böylece doğrultucu kontaklar elde edildi.



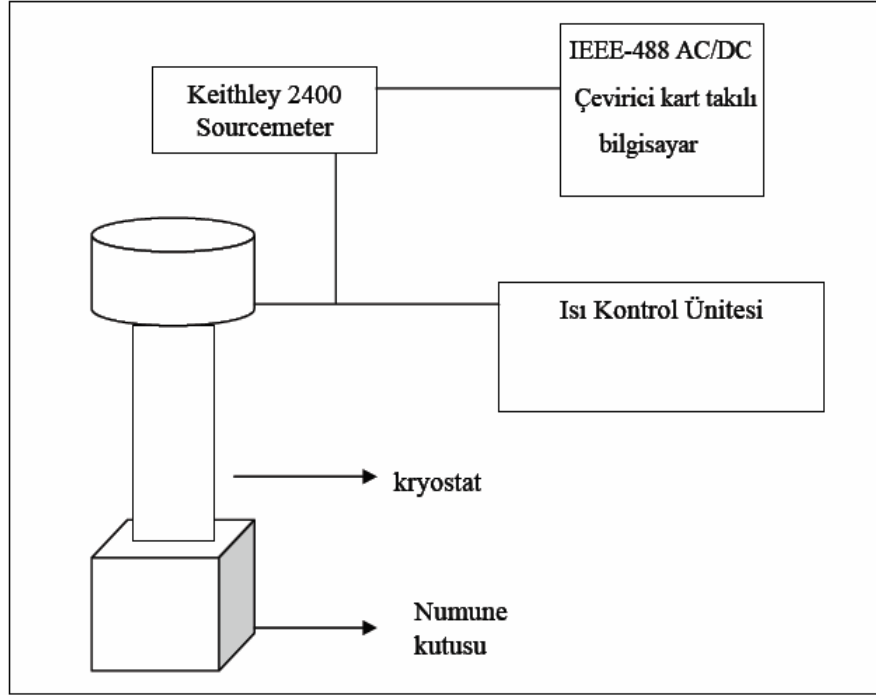
Şekil.6.3. Doğrultucu kontak oluşturmak için kullanılan bakır maske

- XI. Doğrultucu kontakın da oluşturulmasıyla Au/PVA(Co,Zn)/n-Si şeklinde MIS yapı elde edilmiş oldu. Soğuması için bir süre bekletilen kristal vakum ortamından çıkartılarak her bir dairecik (diyot) ortada kalacak şekilde, elmas kesici yardımıyla eşit dört parçaya bölündü.
- XII. Au/PVA(Co,Zn)/n-Si yapının üzerindeki Au plakanın ortasından kontak alınarak deney düzeneğine yerleştirildi.

6.2. Deney Düzeneği

Schottky diyotun elektriksel karakteristiklerinin ölçülmesi, Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Katihal Laboratuvarında gerçekleştirildi. Akım-voltaj ölçümlerinin alınmasında Keithley programlanabilir sabit akım kaynağı, Keithley 2400 kaynakmetre kullanıldı. Sıcaklıklar ısı kontrol sistemiyle ayarlandı. Ölçümler

Hawlett Packard bilgisayarına takılan bir IEEE-488 AC/DC çevirici kart yardımıyla kumanda edilerek gerçekleştirildi. Akım-voltaj ölçümleri 80-400 K arasında farklı sıcaklıklarda gerçekleştirildi. Bunun için Janes vpf-475 kreostat kullanıldı. Ölçümler 10^{-3} Torr basınç altında gerçekleştirildi Ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi şekil 6.4'de gösterilmektedir.



Şekil 6.4. Akım-gerilim ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi

6.3. Deneysel Sonuçlar

Hazırlanan Au/PVA(Co,Zn)/n-Si yapının akım-voltaj (I-V) ölçümlerinden ters doyum akımı (I_0), idealite faktörü (n), potansiyel engel yüksekliği ($\phi_b(I-V)$), seri direnç (R_s), arayüzey yoğunluğu (N_{ss}) gibi temel parametreler sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelendi. Ölçümler 80 K ile 400 K arasında 11 farklı sıcaklıkta ve her sıcaklık için 505 ölçüm değeri alınarak oluşturuldu. I-V karakteristikleri belirlenebilmesi için, diyotlara -5V ile +5V aralığında 20 mV adımlarla gerilim uygulanarak diyottan geçen akım değerleri okundu. Deneyde Richardson sabiti N

tipi Si için $R = 112 A/cm^2 K^2$, $W_D = 8,38.10^{-5}$, ε_i arayüzey yalıtkan tabakanın elektrik geçirgenliği ($\varepsilon_i = 3,8\varepsilon_0$), oksit tabaka kalınlığı $\delta = 59 \text{ \AA}$ olarak alındı.

6.4. Schottky Diyotlarda Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri

Bu bölümde diyotun, akım-gerilimi (I-V) karakteristiğinin bazı fiziksel parametrelerinin sıcaklığa bağlı grafikleri verildi.

Metal ve yarıiletken arasında doğal ya da yapay olarak oluşturulmuş arayüzey tabakası metal-yarıiletken (MS) yapıyı metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapıya dönüştürebilir. Oksit tabakasının kalınlığı arttıkça arayüzey durumları yarıiletkenle dengede olmaya başlayacağından bu yapıların I-V karakteristiğine ilişkin yapısal parametreler, arayüzey ve arayüzey durumları büyük ölçüde etkilenir [37,38].

Termiyonik emisyon için akım gerilim ifadesi,

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (6.1)$$

idi. Bu durum ideal Schottky diyotları için geçerlidir. Arayüzey tabakalı durumda uygulanan gerilimin tümü deplasyon bölgesi boyunca düşmeyeceğinden, burada bir n idealite faktörü tanımlamalıyız. Schottky diyotlarda engel yüksekliğinin tüketim bölgesinde oluşan elektrik alana ve dolayısıyla uygulanan voltaja bağlı olması bu düzeltmeyi gerektirmektedir [39–40]. Bu faktör diyotun ideal oluşunun bir ölçüsüdür. Böylece karakteristik akım,

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (6.2)$$

şekline dönüşür. Eğer akım iletimi termiyonik emisyon modeline uygunsu $\ln I$ 'nin V 'ye göre grafiğinin bir doğru olması beklenir. Eğer grafik doğrusal değilse, idealite

faktörü büyüktür ve diyot ideallikten uzaktır. İdealite faktörü, bir diyotun saf termiyonik emisyon teorisine göre uyumunun bir ölçüsüdür ve ideal bir diyot için $n=1$ olmalıdır. Ancak, nötral bölge seri direncinden farklı olarak, metal ile yarıiletken arasında arayüzey tabakasının varlığı, yarıiletken yüzey yük yoğunluğunun ya da arayüzey hallerinin uygulanan gerilimle değişimi gibi çok çeşitli sebeplerle idealite faktörü aygulamada 1'den büyük olur [5,41,42]. $n>1$ çıkması saf termiyonik emisyon teorisinden sapma olduğunun bir göstergesidir. Metal-yarıiletken ara yüzeyde akım iletimi sıcaklığa bağlı olduğundan dolayı, düşük sıcaklıklarda elektronlar daha düşük bir engel ile karşılaştıklarından akım iletimi baskın olur ve idealite faktörü değeri artar [43].

Uygulanan gerilimin yüksek değerlerinde, akım gerilim karakteristiğinde bükülmeye sebep olur. Bu seri dirençtir ve R_s ile gösterilir. Seri direncin de hesaba katılmasıyla karakteristik akım,

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (6.3)$$

halini alır. I_0 doyma akımı, yarılogaritmik akım gerilim grafiğinin lineer kısmının $V=0$ noktasına doğru ekstrapolasyonu ile elde edilir.

Ayrıca seri direnç, engel yüksekliği ve idealite faktörü gibi kontak parametrelerinin bulunabilmesi için birçok yöntem ortaya konmuştur. Bunlardan en bilineni Cheung tarafından türetilen Cheung fonksiyonlarıdır [44].

İdeal Schottky diyotlarda uygulanan gerilim yüksek olmadıkça akım iletimi TE modele uyar. Azınlık taşıyıcılarının etkilerini ihmal ederek $V>3kT/q$ için akım;

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV_D}{kT}\right) \quad (6.4)$$

ve I_0 Saturasyon akımı ise

$$I_0 = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_B}{kT}\right) \quad (6.5)$$

olarak belirlenir. Burada q elektronun yükü, V uygulanan voltaj, A etkin diyot alanı, k Boltzman sabiti, T ortam sıcaklığı, A^* Richardson sabiti ve n-Si için değeri $112 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$ dir. Φ_B engel yüksekliği ve n ise idealite faktörüdür. I-V grafiklerinin lineer kısmının y ekseninin kesim noktalarından I_0 değeri elde edilerek engel yükseklikleri Φ_{B0}

$$q\Phi_{B0} = kT \ln\left(\frac{AA^*T^2}{I_0}\right) \quad (6.6)$$

olur. Denklem Eş. 6.6' yı Eş. 6.5 denkleminde yerine yazarsak daha sonrada bu ifadeyi Eş.6.5'de yerine yazarsak akım ifadesi;

$$I = AR_n^*T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_{B0}}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{nkT}\right) \right] \quad (6.7)$$

şeklini alır. Denklem Eş. 6.7'in logaritması alınırsa;

$$\ln I = \ln(AR_n^*T^2) + \left(-\frac{e\Phi_{B0}}{kT}\right) + \left(\frac{e(V - IR_s)}{nkT}\right) \quad (6.8)$$

olur. Denklem Eş. 6.8'ifadesinden V çekilirse,

$$V = \left(\frac{nkT}{e}\right) \ln\left(\frac{I_n}{AR_n^*T^2}\right) + n\Phi_{B0} + IR_s \quad (6.9)$$

olarak bulunur. Denklem Eş. 6.9 ifadesi ($\ln I$)' ya göre türetilirse;

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_s \quad (6.10)$$

elde edilir. Eş. 6.10 denkleminde $dV/d(\ln I)$ teriminin I 'ya karşı grafiği bir doğru verir. Bu doğrunun eğimi seri direnci (R_s) ve $I = 0$ için düşey ekseni kestiği noktanın değerinin kT/e 'ye oranı ise idealite faktörünü (n) verecektir. Eş. 6.9 denklemindeki son iki terim

$$H(I) = n\Phi_{B0} + IR_s \quad (6.11)$$

şeklinde gösterilirse, Eş. 6.9 denklemi yeniden düzenlenerek

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{e} \right) \ln \left(\frac{I_n}{AR_n^* T^2} \right) \quad (6.12)$$

elde edilir. Eş. 6.11 denkleminde $H(I) - I$ grafiği bir doğru verir. Bu doğrunun eğimi nötral bölge direnci (R_s) ve $I = 0$ için düşey ekseni kestiği nokta ise $e\Phi_{B0}$ değerini verecektir.

Düz beslem I-V karakterlerini kullanarak Schottky diyot parametrelerinin hesaplanması için ileri sürülen Eş. 6.10 ve Eş. 6.1 denklemleri Cheung fonksiyonları olarak bilinir [27].

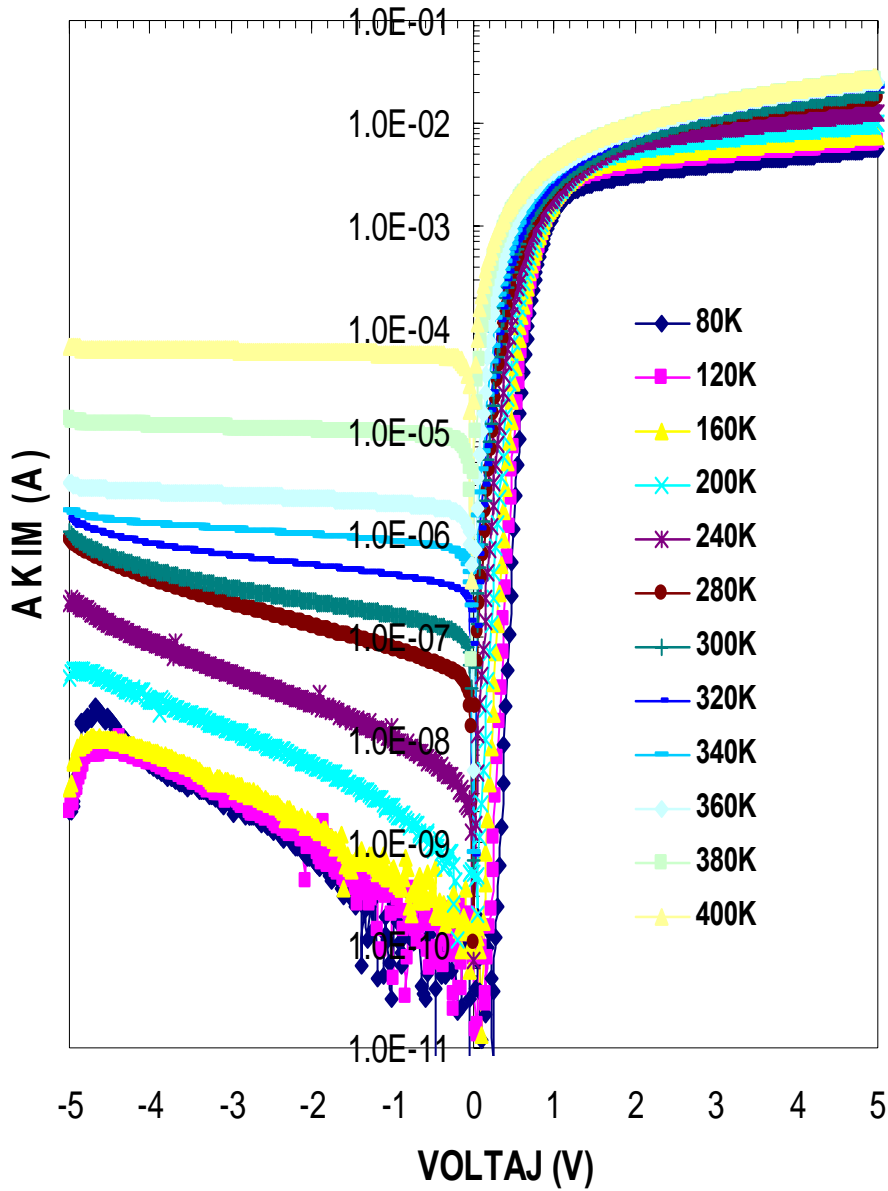
Ayrıca denklem Eş. 6.6' da $V > 3kT/q$ için 1 ihmal ve R_s göz ardı edilirse, idealite faktörü yine bu grafiğin lineer kısmının eğiminden bulunur. Yani,

$$n = \frac{q}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (6.13)$$

denklemleri ile idealite faktörü bulunur.

I-V karakteristikiğinin idealden sapmasına sebep olan arayüzey tabakasının kalınlığı arttıkça idealite faktörünün değeri de artmaktadır [45].

Şekil 6.5.'de farklı sıcaklıklar için akım-gerilim değışimi verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi 400K 'de en yüksek akım değeri ulaşılmıştır. Artan sıcaklıkla akım değeri de artmaktadır.



Şekil 6.5. Au/PVA(Co,Zn)/n-Si Schottky diyotun farklı sıcaklıklardaki akım-gerilim karakteristiğı

Au/PVA(Co,Zn)/n-Si MIS Schottky diyotun 80K-400K arası sıcaklık ölçümleri için kesme noktası, LnI-V eğrisinden elde edilen doyma akımı I_0 , potansiyel engel yüksekliği $\Phi_{B0}(I-V)$, eğim, idealite faktörü n, gerilime bağlı idealite faktörü n(V), değerleri çizelge 6.1’de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde idealite faktörünün 1’den büyük olduğu görülmekte, artan sıcaklıkla idealite faktörü azalmaktadır.

Çizelge 6.1. Diyotun değişik sıcaklıklardaki akım-voltaj karakteristiğinden elde edilen; kesme noktası, doyum akımı, potansiyel engel yüksekliği, idealite faktörü, voltaja bağlı idealite faktörü

T (K)	$Ln(I_0)$	I_0 (A)	$\phi_{B0}(I-V)(eV)$	Eğim	n	n(V)
80	-35.626	$3.369 \cdot 10^{-16}$	0.311	45.170	3.208	3.25
120	-30.074	$8.687 \cdot 10^{-14}$	0.418	37.052	2.607	2.58
160	-25.568	$7.862 \cdot 10^{-12}$	0.504	31.614	2.292	2.56
200	-21.829	$3.309 \cdot 10^{-10}$	0.573	26.062	2.224	3.71
240	-18.836	$6.597 \cdot 10^{-9}$	0.633	22.473	2.149	3.19
280	-16.750	$5.313 \cdot 10^{-8}$	0.696	21.204	1.952	2.37
300	-15.867	$1.284 \cdot 10^{-7}$	0.726	19.982	1.934	2.35
320	-14.866	$3.495 \cdot 10^{-7}$	0.750	19.029	1.903	1.92
340	-14.045	$7.947 \cdot 10^{-7}$	0.777	18.676	1.825	1.83
360	-13.095	$2.054 \cdot 10^{-6}$	0.797	18.022	1.787	1.79
380	-11.649	$8.724 \cdot 10^{-6}$	0.797	21.427	1.423	1.53
400	-10.336	$3.243 \cdot 10^{-5}$	0.797	20.647	1.403	1.63

İdealite faktörü n’nin arayüzey durumlarının yoğunluğu ile ilişkisi aşağıdaki gibi verilebilir [21].

$$n = 1 + (q\delta N_{ss}) / \epsilon_i \quad (6.14)$$

Burada, δ yalıtkan tabakanın kalınlığı, ε_i arayüzey yalıtkan tabakanın elektrik geçirgenliği ($\varepsilon_i = 3,8\varepsilon_0$) ve ε_0 boş uzayın elektrik geçirgenlik katsayısıdır.

Ayrıca etkin engel yüksekliği Φ_e aşağıdaki gibi elde edilebilir [17,3,45,47].

$$\Phi_e = \Phi_{B0} + \beta(V - IR_s) = \Phi_{B0} + \left(1 - \frac{1}{n(V)}\right)(V - IR_s) \quad (6.15)$$

Engel yüksekliğinin uygulanan potansiyele bağımlılığı göz önüne alınarak, burada β , voltaj katsayısı olarak adlandırılan ve her iki yüzey durumlarının engel yüksekliğine katkısını içeren bir katsayıdır.

Arayüzey durum yoğunluğunun (N_{ss}) dağılım porofili doğru beslem I-V ölçümlerinden enerjinin ($E_c - E_{ss}$) bir fonksiyonu olarak, engel yüksekliğinin (Φ_e), gerilime bağlı olduğu dikkate alınarak elde edildi. İdealite faktörünün birden büyük olması, yalıtkan arayüzey tabakasının bir sonucu olduğundan idealite faktörü arayüzey parametrelerine de bağlı olmalıdır. Yarıiletken ile dengede olan arayüzey durumları için idealite faktörünü oksit tabaka kalınlığı (δ) ve arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) niceliklerine bağlayan ifade,

$$n(V) = 1 + \frac{\delta}{\varepsilon_i} \left[\frac{\varepsilon_s}{W_D} + qN_{ss}(V) \right] \quad (6.16)$$

şeklindedir [48].

Bu ifade de W_D , uzay yük bölgesinin genişliğidir. Oksit tabaka kalınlığı $\delta = 59 \text{ \AA}$ alındı. Burada n-tipi silisyum için $\varepsilon_s = 11,8\varepsilon_0$ ve $\varepsilon_i = 3,8\varepsilon_0$ ve ε_0 boş uzayın dielektrik sabitidir [49,50]. Gerilime bağlı durum yoğunluğu ise

$$N_{ss} = \frac{1}{q} \left[\frac{\epsilon_i}{\delta} (n(V)-1) - \frac{\epsilon_s}{W_D} \right] \quad (6.17)$$

şeklinde ifade edilir [51,52].

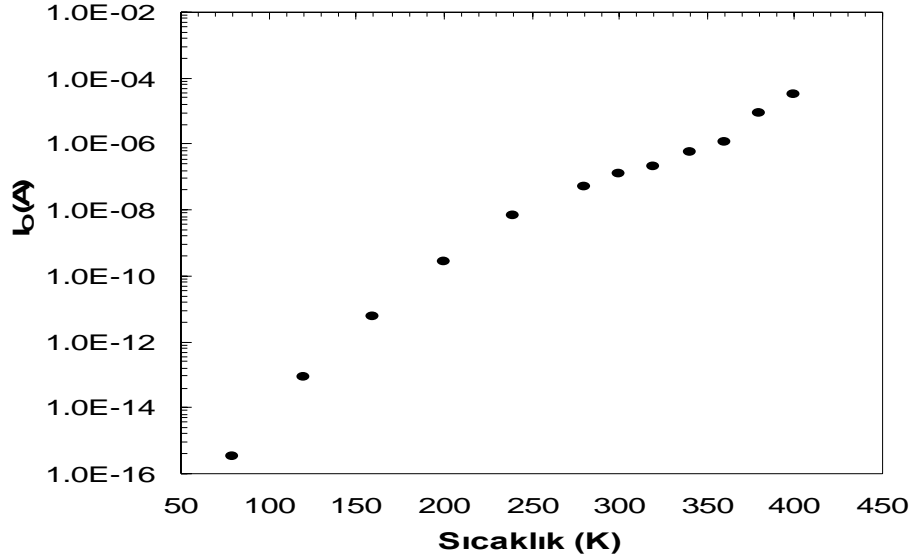
Çizelge 6.2’de diyotun değişik sıcaklıklarda etkin engel yüksekliği, $E_c - E_{ss}$, ve arayüzey durum yoğunluğu N_{ss} gibi parametreleri verilmiştir. Bu çizelgede de görüldüğü gibi yasak enerji aralığına dağılmış yarıiletkenle dengede olan arayüzey durumları $\approx 10^{12} eV^{-1} cm^{-2}$ mertebesindedir. Bu değerler literatürle uyum içerisindedir. Arayüzey durumları numunenin elektriksel parametrelerini önemli ölçüde etkilemektedir.

Çizelge 6.2. Diyotun değişik sıcaklıklardaki akım-voltaj karakteristiğinden elde edilen etkin engel yüksekliği, $E_c - E_{ss}$, arayüzey durum yoğunluğu

T (K)	ϕ_{BE} (eV)	Ec-Ess(eV)	$N_{ss} (eV^{-1}.cm^{-2})$
80	0.491	0.232	$7.81*10^{12}$
120	0.516	0.357	$5.47*10^{12}$
160	0.588	0.449	$5.39*10^{12}$
200	0.631	0.551	$9.41*10^{12}$
240	0.687	0.608	$7.58*10^{12}$
280	0.741	0.662	$4.71*10^{12}$
300	0.772	0.692	$4.64*10^{12}$
320	0.827	0.668	$3.14*10^{12}$
340	0.858	0.679	$2.82*10^{12}$
360	0.875	0.697	$2.68*10^{12}$
380	0.811	0.771	$1.77*10^{12}$
400	0.805	0.786	$2.13*10^{12}$

Şekil 6.6’da I_0 doyum akımının sıcaklığa bağlı değişimi verilmektedir. Grafikten doyum akımının artan sıcaklıkla arttığı görülmektedir. Özellikle 320 K’ den yüksek

sıcaklıklarda hızlı bir artış göstermektedir. Bu durum yüksek sıcaklıklarda arayüzey durumlarının daha etkin oluşundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.6. Diyot doyum akımının sıcaklığa bağlı değişimi

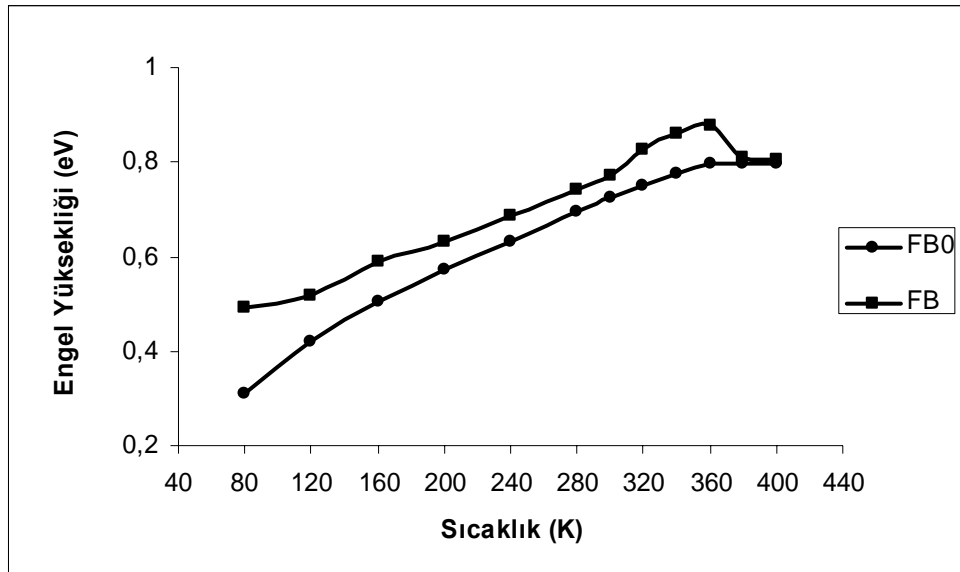
Schottky diyot için incelediğimiz diğer bir elektriksel parametre de Φ_B potansiyel engel yüksekliğidir. Potansiyel engel yüksekliği eklemeyi elektriksel davranışını belirlediği için çok önemli bir parametredir. Pek çok ölçümlerin sonuçları, potansiyel engel yüksekliğinin yüzey hazırlama ve temizleme metotlarına bağlı olduğunu göstermektedir [18]. Şekil 6.7'de de görüldüğü gibi sıfır beslem potansiyel engel yüksekliği artan sıcaklıkla artış göstermektedir. Oda sıcaklığında engel yüksekliği 0.772 eV olarak bulunmuştur. Bu durum farklı araştırmacılar tarafından elde edilen değerlerle uyumludur [25].

Engel yüksekliğinde meydana gelebilecek herhangi bir uzaysal değişim, akımın tercihli olarak minimum engelden geçmesine neden olacaktır. Bu nedenle Schottky diyotlarda, I - V karakteristiklerinden elde edilen engel yüksekliklerinin bir miktar yüksek çıkması normaldir.

Arayüzey tabakası parametrelerinin etkileri altındaki bir Schottky diyota gerilim uygulandığında, çoğunluk taşıyıcıları için Fermi seviyeleri yarıiletken tarafında

yükselir. Bu nedenle, elektronların bazıları arayüzey durumları tarafından engellenirken, çoğunluğu bir termiyonik elektron akımı oluşturarak metalin içine doğru geçerler. Yük yakalama işlemi etkin engel yüksekliğinde, dolayısıyla diyot akımında bir kaymayla sonuçlanır [53-56]. Diğer bir deyişle, arayüzey durumlarının yerleşimi arayüzey tabakası boyunca bir potansiyel düşmesini oluşturan uzay yüklerine sebep olarak, diyotun akım-gerilim karakteristiğinin idealden sapmasına yol açar [25,57-61].

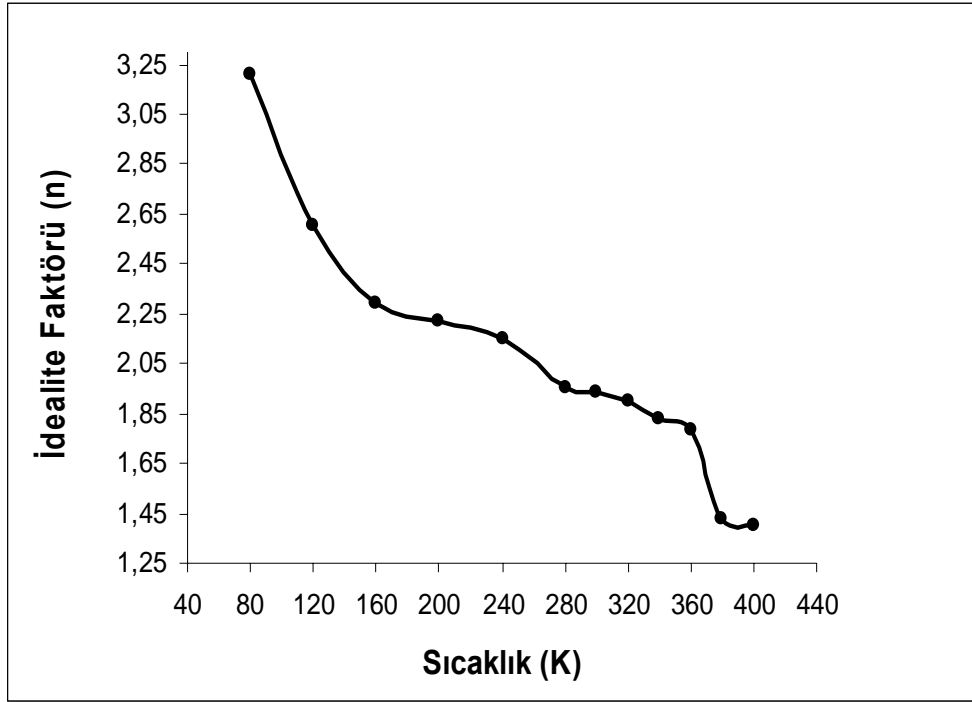
Geliştirilen bazı modellere göre, ara yüzey de oluşan kusurlar, genellikle metal-yarıiletken kontağın hazırlanması esnasında ortaya çıkan kusurlardır ve bu kusurlar kullanılan metal ne olursa olsun değişmemektedir. Diyot yapımı sırasında ortaya çıkan bu kusurların konsantrasyonu kontak oluşturma tekniğine bağlı olarak değişebilir.



Şekil 6.7. Diyotun engel yüksekliğinin sıcaklığa bağlı değişimi

İdealite faktörünün yüksek sıcaklıktaki değerleri düşük sıcaklıktaki değerlerine göre daha düşüktür. Yani diyot yüksek sıcaklıklarda ideale daha yakındır. İdealite faktörünün beklenenden daha yüksek çıkması, Si yasak enerji aralığında lokalize olan yüksek miktardaki arayüzey durumları ile ilgilidir [18]. Çizelge 6.1’de idealite

faktörünün sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Şekil 6.8’de idealite faktörünün sıcaklığa bağlı grafiği gösterilmektedir.

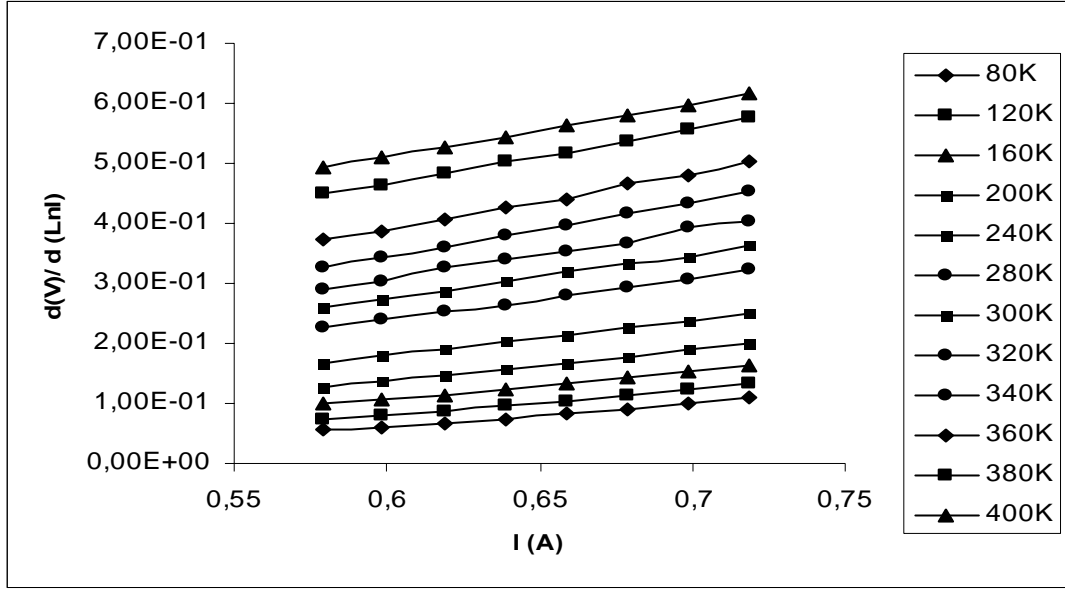


Şekil 6.8. İdealite faktörünün sıcaklığa bağlı değişimi

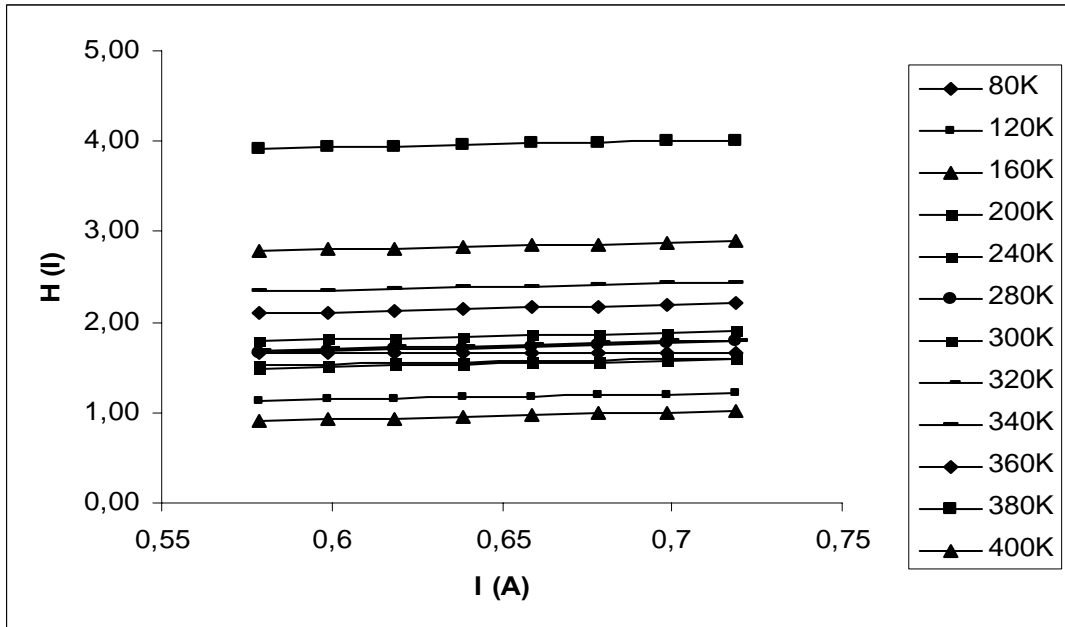
Bu çalışmada Au/PVA(Co,Zn)/n-Si MIS Schottky diyotun akım-gerilim karakteristiklerinden seri direnç değerlerinin hesaplanması için Cheung Modeli kullanıldı. Ayrıca her farklı sıcaklık değerleri için $\ln(I)$ -V grafiklerinin $eV > 3kT$ olan aşağı içbükey bölgesinde her bir veriden geçen teğetin eğiminden $dV/d(\ln I)$ değerleri hesaplanarak $dV/d(\ln I)$ -I grafikleri çizildi. Bu grafikler lineer doğrular şeklinde olup, $I=0$ için doğrunun düşey eksenini kestiği noktanın değeri kT/e' ye bölünerek hesaplanan n idealite faktörü değerleri ve doğrunun eğiminden R_s değerleri çizildi. Şekil 6.9.’da $dV/d(\ln I)$ -I grafiği verilmiştir.

Cheung fonksiyonları parametre ihmaline dayalı olduklarından dolayı bu denklem kullanılarak hesaplanan n değerleri genellikle akım-gerilim eğrisinin lineer

kısından hesaplanan n değerlerinden daha büyük çıkmakta ve diğer diğer araştırmalarda bu durumu desteklemektedirler [62].



Şekil 6.9. Schottky diyotun Cheung fonksiyonları yardımıyla çizilen $dV/d(\ln I)$ - I grafiği



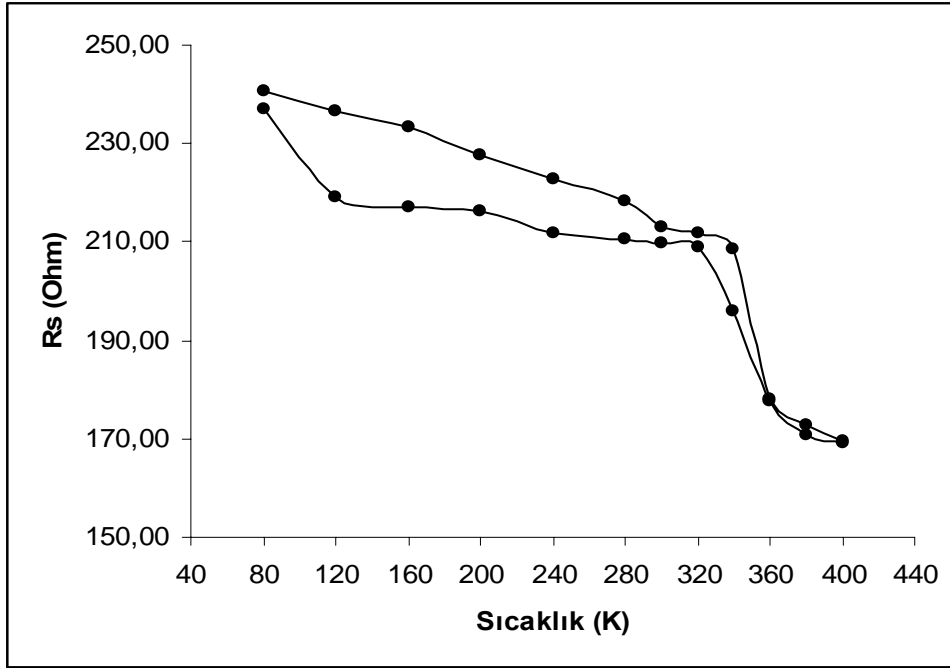
Şekil 6.10. Schottky diyotun Cheung fonksiyonları yardımıyla çizilen $H(I)$ - I grafiği

R_s seri dirençlerinin bulunması için Cheung fonksiyonları kullanılmıştır. Ölçülen akım-gerilim değerleri ve n idealite faktörü değerleri denklem (6.12)'de yerine yazılarak $H(I)$ değerleri elde edildi. Bu değerleri kullanarak farklı sıcaklıklar için şekil 6.10'deki $H(I)$ - I grafiği çizildi.

R_s seri direnç değerleri sıcaklık arttıkça azalmıştır. Bu davranış beklenen bir durumdur. R_s seri direncin sıcaklığa bağlı değerleri çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Diyotun sıcaklığa bağlı seri direnç değerleri

Sıcaklık (K)	$R_s (\Omega)$	
	$d(V)/d(LnI)$	$H(I)$
80	237.17	240.68
120	219.05	236.62
160	217.05	233.28
200	216.2	227.51
240	211.76	222.73
280	210.66	218.38
300	209.94	213.06
320	209.13	211.98
340	195.78	208.36
360	177.77	178.02
380	170.8	172.92
400	169.11	169.69



Şekil 6.11. Diyotun seri direncinin sıcaklığa bağlı değişimi

Sıcaklığın düşmesiyle seri direnç (R_s) değerlerinin artması, düşük sıcaklıklarda serbest taşıyıcı yoğunluğunun azalması veya diyotun idealite faktörü değerinin artmasından kaynaklanabilir [63].

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada PVA arayüzeyli Schottky diyotun imalinde; (111) doğrultusunda büyütülmüş 4,45 Ωcm öz dirence sahip, fosfor katkılı n-Si kullanıldı. Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapının (80K-400K) sıcaklık aralığında farklı sıcaklıklarda I-V ölçümleri alındı. Bu ölçümlerden yararlanarak MIS yapının sıcaklığa bağlı parametreleri belirlendi.

I-V ölçümlerinden elde edilen idealite faktörü (n), doyum akımı (I_0), potansiyel engel yüksekliği $\Phi_{B0}(I-V)$ çizelge 6.2'de verilmiştir. Ayrıca diyotun elektriksel parametreleri termiyonik emisyon teorisiyle belirlendi. Bu değerlerden yararlanarak; doyum akımının, engel yüksekliğinin ve idealite faktörünün, sıcaklığa bağlı grafikleri çizildi. İdealite faktörü 1'den büyük çıkmış ve artan sıcaklıkla diyotun idealite faktöründe azalma görülmüştür. Bu durum saf termiyonik emisyon teorisinden sapma olduğunun bir göstergesidir.

Doğru beslem lnI-V karakteristiğinin yüksek gerilim değerlerinde akımda gözlenen yavaş artışına, kontak tellerinin veya polimer ve yarıiletkenin gövde direncinin baskın olması neden olur.

Potansiyel engel yüksekliği sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sıcaklık artışıyla potansiyel engel yüksekliği değerinin arttığı görüldü. Bu durumun tünelleme, üretilme-yeniden birleşme ve alan emisyonu akımlarından kaynaklandığı düşünüldü.

Engel yüksekliğinde meydana gelebilecek herhangi bir uzaysal değişim, akımın tercihli olarak minimum engelden geçmesine neden olacaktır. Bu nedenle Schottky diyotlarda, I-V karakteristiklerinden elde edilen engel yüksekliklerinin bir miktar yüksek çıkması normaldir.

Hazırlanan Schottky yapı için yapılan ölçümler ve hesaplamalar arayüzey durumlarının etkisinin küçümsenmeyecek kadar büyük olduğunu göstermektedir. Yarıiletken aygıtlarda sıklıkla karşılaşılan metal-yarıiletken arasında doğal olarak oluşan ince bir oksit tabakası vardır. Bu oksit tabakanın varlığı, sadece oksit-yarıiletken kombinasyonuna bağlı olarak arayüzey durumlarını üretir. Yasak enerji aralığına dağılmış yarıiletkenle dengede olan arayüzey durumları $\approx 10^{12} eV^{-1}cm^2$ mertebesinde dir. Bu değerler literatürle uyum içerisindedir. Arayüzey durumları numunenin elektriksel parametrelerini önemli ölçüde etkilemektedir.

Cheung fonksiyonları yardımıyla akım-voltaj (I-V) karakteristiklerinden Schottky diyotun $dV/d(\ln I)$ -I ve $H(I)$ -I grafikleri çizildi. $dV/d(\ln I)$ -I grafiğinden yararlanarak seri direnç değerleri hesaplandı ve sıcaklığa bağlı olarak çizelge 6.3'de ve şekil 6.8'de verildi. Artan sıcaklıkla seri direnç değerlerinde (R_s) azalma görüldü. Artan sıcaklıkla seri direnç (R_s) değerlerinin azalması yüksek sıcaklıklarda serbest taşıyıcı yoğunluğunun artması ve diyotun idealite faktörünün düşmesinden kaynaklandığı sonucuna varıldı.

Au/PVA/n-Si (MIS) yapıda arayüzey olarak polimer malzeme; kolay üretilmesi, akım-iletiminin sıcaklıkla rahatlıkla kontrol edilebilmesi, mekanik dayanıklılığı, hem metalik hem de yarıiletken davranışa sahip oluşu, kararlılığı ve ucuzluğu gibi faktörlerden dolayı metal yarıiletken kontak oluşturmada tercih edildi.

Bu tez çalışmasında, Au/PVA/n-Si (MIS) 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 ölçümleri üzerine etkisi azımsanamayacak kadar büyüktür. Bu tür diyotlar oluşturulurken, kullanım alanına göre özelliklerinin belirlenmesi bu yapıların elektronik ve teknolojiye kullanımını açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. Tatarođlu B., 'MIS yapıların frekans ve radyasyona bağlı temel elektriksel parametreleri', Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (2006).
2. Buget U. ve Wright G.T., 'Space-charge limited current in silicon.' *Solid State Elect.*, 10:199-207 (1967).
3. Card, H.C. ve Rhoderick, E.H., 'Studies of Tunnel MOS diyotes I.Interface Effects in Silicon Schottky diyotes.', *J.Phys.D:Appl.Phys.*,4:1589-1601 (1971).
4. Chattopadhyay P., Daw A. N., 'On the transport mechanics in a Metal-Insulator-Semiconductor (MIS) diyode.'*Solid State Elect.*, 29:555-560 (1986).
5. Rhoderick, E.H. ve Williams, R.H., 'Metal-Semiconductor Contacts', *Clarendon Pres.* Oxford, 256 (1988).
6. Horvath, Z.J., Adam, M.,Ducsö, C.S., Van Tuyen, V., Barsony, I., Gombi, E., Mosca, R. ve Makaro, Z., 'Electrical Characterization of Al/n-Si.'*Solid State Electron*, 42:221-228 (1988).
7. Dađdelen F., Aydoğdu A., 'Ni/n-Tipi yarıiletken kompleks/Ag Schottky diyotların elektronik özelliklerinin belirlenmesi.' *Science and Eng.*, 18(3),291-295 (2006).
8. Türüt A., Köleli F., 'Semiconductive polymer-based Schottky diyode,' *J. Appl. Phys.*, 72(2),818-819 (1992).
9. Durlu T., 'Kathal Fiziđine Giriş' , 2nd ed., *Ankara Üniversitesi Yayınları*, 2-4 (1992).
10. Dađdelen, F., 'Metal-Kompleks yarıiletken schottky diyotların elektronik özelliklerinin belirlenmesi.' , Doktora Tezi, *Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 3-31 (2004).
11. Baykal, S., 'Yeni tip gama dedektörleri ve iz süzme tekniği', *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 22-23 (2007).
12. Sing, A., Reinhard. K. C., Anderson, W. A., 'Tempeture dependence of the electrical characteristics of Yb/p-InP tunnel metal-insulator-smiconductor junctions'*J.Appl.Phys.*, 68(7):3475-3479 (1990).
13. Goetzberger, A., Klausmann, E. and Schulz, M. J., 'Interface states on semiconductor/insulator surfaces', *CRC Critical Reviews in Solid State Sciences*, (1):226-233 (1976).

14. Terman, L. M., 'An investigation of surface states at a silicon-silicon dioxide interface employing metal-oxide-silicon diodes', *Solid-State Electronics*, 5(5):259-285 (1992).
15. Sato K.ve Yasamura Y., 'Study of forward I-V plot for Schottky diodes with highseries resistance', *J.Apply.Phys.*,58(9):3655-3657 (1985).
16. Yücedağ, İ., 'Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) yapılarında elektrik özelliklerinin sıcaklık ve frekansa bağlı incelenmesi' Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 7-9 (2007).
17. Ziel, A. V., 'Solid State Physical.Electron 2nd Ed.' *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 245-250 (1968).
18. Dökme, İ., 'Al/p-Si ve Au/n-Si Schottky diyotlarda I-V ve C-V karakteristiklerinin geniş bir sıcaklık aralığında analizi' Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 4-14, 54-65 (2002).
19. Aydoğdu, Y., 'III-V Grubu Bileşiklerin Elektrik/Elektronik Özelliklerine Dislokasyonların Elastik Zorlanma Enerjisinin Etkisinin İncelenmesi' Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 8-35 (1994).
20. Depas, Z., 'Oxide Semiconductors', *Pergammon*, New York, 300 (1973).
21. Kural, .M.H., '(Al-TiW+PtSi)/n-Si schottky diyotların elektriksel özelliklerinin frekans ve aydınlanma şiddetine bağlı incelenmesi' Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 19-22 (2007).
22. Uçar, N.,Çakmak S., Özdemir F., Şahin O., 'Schottky Barrier Height Dependence on the Metal Work Function for p-type Si Schottky Diodes' *Naturforch A*:17 (2003).
23. Mead, C. A., 'Metal-Semiconductor Surface Barriers', *Sol. St. Electronics*, 9, 1023-1033 (1966).
24. Sharma, B. L., 'Metal- Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications', *Plenum Pres.*, New York and London, 49-50 (1984).
25. Kızıldağ, B., 'Metal-yarıiletken schottky diyot yapılarında arayüzey hal yoğunluğunun incelenmesi' Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya 10-16 (2006).
26. Sze S.M., 'Physics of semiconductor devices',(Second Edition) *Willey*, New York, 850 (1981).
27. Bethe H.A., 'Theory of the Boundry Layer of Crystal Rectifiers.' *Mass Inst. Technol. Radiat Lab. Rep.*, 43 (1942).

28. Ray W.P., ‘Mabrook M.F. and Nabok AV., ‘Transport mechanism in porous silicon’, *J. Appl. Phys.*, 84:3232-3235 (1998).
29. Hassan, M. C., Peppas, A.N., ‘Structure and Applications of Poly(vinly alcohol) Hydrogels Produced by Conventional Crosslinking or by Freezing/Thawing Methods’, *Polymer Science and Engineering Laboratories*, IN 47907-1283, USA 12-15 (1999).
30. Gözütok, B., ‘Poli(vinil alkol) (PVA) bazlı membranların yakıt hücrelerine uygulanabilirliğinin incelenmesi’ Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 63-65 (2007).
31. Finch, C. A., ‘Poly(vinyl alcohol) 2nd Edition’, *Wiley*, New York, 566-570 (1992).
32. Rhim, J. W., Yeom, C. K., Kim, S. W., ‘Modification of Poly(vinyl alcohol) Membranes Using Sulfosuccinic Acid and Its Application to Pervaporation Separation of Water-Alcohol mxtures’, *Journal of Applied Polymer Science*, 68:1717-1723 (1998).
33. Pivovar, B. S., Wang, Y., Cussler, E. L., ‘Pervaporation membranaes in Direct Methanol Fuel Cells’, *Journal of Membrane Science*, 154:155-162 (1999).
34. Uslu, B. Başer, A. Yaylı, M.L. Aksu, “Preparation and Characterization of PVA/Zinc Acetate/ Boron Composite Fibers”, *e-Polymers*, no.145 (2007).
35. I. Uslu, H. Daştan, A. Altaş, A. Yayli, O. Atakol, M. L. Aksu, “ Preparation and Characterization of PVA/Boron Polymer Produced by an Electrospinning Technique”, *e-Polymers*, no.133 (2007).
36. Balcı, H., “Akıllı (fonksiyonel) tekstiller, seçilmiş kumaşlarda antibakteriyel apre ve performans özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana,35-36 (2006).
37. Özdemir, S., and Altındal, Ş., ‘Temperature dependent electrical characteristics of Al-SiO_x-pSi solar cells’ *Solar Energy and Solar Cells*, 32: 115-127 (1994).
38. Akkal B., Benamara Z., Boudisa A., Bachir Bouiadjra N., Armani M., Bideux L., Gruzza B., ‘*Materials Science and Engineering* B55:162-168 (1998).
39. Saxena A. N., ‘Forward Current-Voltage Characteristics of Schottky Barrier on n-Type Silicon’, *Surface Science*, 13:151-171 (1969).
40. Nicollian E. H. and Brews J.R., ‘*MOS(Metal-Oxide-Semiconductor) Physics and Tecnology*’ *John Willey and Sons*, New York, 286-288 (1982).

41. Çetinkara, H.A., Türüt, A., Zengin, D. M. ve Erel Ş., ‘The energy distribution of the interface state density of Pb/p-Si Schottky contacts exposed to clean room air.’ *Appl. Sur. Sci.*, 207:190-199 (2003).
42. Werner J.H., ‘Schottky Barrier and pn-Junction I/V Plots-Small Signal Evaluation’, *Appl. A* 47:291-300 (1988).
43. Sullivan, J. P., Tung, R. T., Pinto. M. R. Graham. W. R., ‘Electron transport of inhomogeneous Schottky barriers’ *A Numerical Study. J. Appl. Phys.* 70:7403-7407 (1991).
44. Cheung S. K., Cheung N. W., ‘Extraction of Schottky diode parameters from forward current- voltage characteristics’ *Appl. Phys. Lett.*, 49(2), 85-87(1986).
45. Özdemir, A.F., Kökçe, A. ve Türüt, A., ‘The effects of the time-dependent and exposure time to air on Au/n-GaAs Schottky barrier diodes.’ *Appl. Sur. Sci.*, 191:188-195 (2002).
46. Haddara, H. S., and El-Sayed, M., ‘Conductance technique in MOSFETs: Study of interface trap properties in the depletion and weak inversion regimes’ *Solid State Electron.* 31(8): 1289 (1988).
47. Strikha V.I., ‘Kontaktne yavleniya v poluprovodnikakh’, *Naukova Dumka*, Kiyev, 224 (1982).
48. Demir Ş., ‘RF Püskürtme metodu ile hazırlanan SiO_2 arayüzeyli Metal-Yarıiletken kontaklarda parametrelerin belirlenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).
49. Vasudev P.K., Mattes B.L., ‘Excess capacitance and non-ideal Schottky Barrier on GaAs’, *Solid State Electron.*, 19:557-559 (1976).
50. Altındal Ş., Dökme İ., Bülbül M.M., Yalçın N., and 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).
51. Szatkowski P. And Steranski K., ‘Simple Interfacial-Layer Model for the nonideal characteristics of the Schottky Barrier Diodes’, *Solid States Electron.*, 35:1013-1015 (1992).
52. Bardeen J., Brattain W.H., ‘Nature of the forward current in germanium point contacts’, *Phys. Rev.*, 74:231-232 (1948).

53. Singh, A., 'Characterization of Interface States at Ni/nCdF₂ Schottky Barrier Type Diodes and the effect of CdF₂ surface preparation.' *Solid State Elect.*, 28:223-232 (1985).
54. Sağlam M., Ayyıldız E., Gümüş A., Efeoğlu H. ve Tüzemen S., 'Series resistance calculation for the Metal-Insulator-Semiconductor Schottky Barrier Diodes' *Appl. Phys. A*, 62:269-273 (1996).
55. Batı B., Nuhoglu Ç., Sağlam M., Ayyıldız E. ve Türüt A., 'On the forward bias excess capacitance at intimate and MIS Schottky barrier diodes with perfect or imperfect ohmic back contact.' *Physica Scripta*, 61:209-212 (2000).
56. Hudait M. K ve Krupanidhi S. B., 'Interface states density distribution in Au/n-GaAs Schottky diodes on n-Ge and n-GeAs substrates.' *Mat. Sci.Eng. B.*, 87:141-147 (2001).
57. Hanselaer P. L., Laflere W. H., Van Meirhaeghe R. L. ve Cordan F., 'Current, voltage characteristic of Ti/p-Si Metal-Oxide-Semiconductors diodes.' *J. Appl. Phys.*, 63:976-978 (1984).
58. Graf D., Brauer-Mayer S. ve Schnegg A., 'Influence of HF – H₂O₂ treatment on Si(100) and Si(111) surfaces.' *J. Appl. Phys.*, 74:1679-1683 (1993)
59. Van Meirhaeghe R. L., Laflere W. H. ve Cordan F., 'Influence of defect passivation by hydrogen on the Schottky barrier height of GaAs and InP contacts' *J. Appl. Phys.*, 76:403-406 (1994).
60. Detavernier C., Van Meirhaeghe R. L., Donaton R., Maex K. ve Cordan F. 'Ballistic electron emission microscopy study of barrier height in homogeneities introduced in Au/n-Si Schottky contacts by a HF pretreatment.' *J. Appl. Phys.*, 84:3226-3231 (1998).
61. Ayyıldız E., Temirci C., Batı B., Türüt A., 'Resistance on calculation of the interface state density distribution in Schottky diodes.' *Int. J. Elect.*, 88 (6): 625-633 (2001).
62. Varlıbaş B., 'Metal/n-Si/Au-Sb Schottky diode yapılarında I-V Karakteristiklerinin incelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya 22-27 (2006).
63. Chand, S., Kumar. J., 'Current transport in Pd₂ Si/n-Si(100) Schottky barrier diodes at low temperatures.' *Appl. Phys. A.*, 63:171-178 (1996).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZAYDIN, Reyhan
Uyruğu : T.C
Medeni hali : Evli
Doğum tarihi ve yeri : 10.01.1983 Afyonkarahisar
Telefon : 0(505) 854 87 94
e-mail : reyhan_ozkara@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/Fizik Bölümü	
Lisans	İstanbul Üniversitesi/ Fizik Bölümü	2005
Lise	Bolvadin Anadolu Lisesi	2001

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap okuma, bilgisayar