



**KURŞUNOKSİT KATKILI METAL-OKSİT-YARI İLETKEN YAPILARIN
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

İlhan CIBİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2017

İlhan CIBİR tarafından hazırlanan “KURŞUNOKSİT KATKILI METAL-OKSİT-YARI İLETKEN YAPILARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İleri Teknolojiler Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Sema BİLGE OCAK

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Prof. Dr. Serdar KARADENİZ

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Giresun Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Doç. Dr. Nurgül SEFEROĞLU

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 22/06/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İlhan CIBİR

...../...../.....

KURŞUNOKSİT KATKILI METAL-OKSİT-YARI İLETKEN YAPILARIN
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

İlhan CIBIR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2017

ÖZET

Bu çalışmada Al/PbO/p-Si (MOS) yapıların fabrikasyonu yapıldı. Al/PbO/p-Si yapıların akım-voltaj, kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj karakteristikleri oda sıcaklığında ve karanlık ortamda ölçüldü. Al/PbO/p-Si yapıların satürasyon akımı, ideallik faktörü, bariyer yüksekliği ve seri direnç gibi diyot parametreleri düz besleme akım-voltaj (I-V) karakteristiklerinden termoiyonik emisyon teorisi kullanılarak hesaplandı. Al/PbO/p-Si yapıların kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G-V) ölçümleri oda sıcaklığında 10kHz-1MHz frekans aralığında ölçüldü. Deneysel sonuçlar, C ve G değerlerinin frekans arttıkça azaldığını gösterdi. C ve G değerlerinde düşük frekanslarda görülen bu davranışın Si/PbO arayüzeyinde meydana gelen arayüzey durumlarından kaynaklandığı tespit edildi.

Bilim Kodu : 90543
Anahtar Kelimeler : Kurşun oksit, metal-oksit-yarı iletken yapı, doğrultucu kontak, n-tipi/p-tipi yarı iletken, elektriksel karakteristik, Schottky diyot
Sayfa Adedi : 44
Danışman : Doç. Dr. Sema BİLGE OCAK

INVESTIGATION OF ELECTRICITY PROPERTIES OF METAL-OXIDE-
SEMICONDUCTOR DOPED LEAD OXIDE

(M. Sc. Thesis)

İlhan CIBİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2017

ABSTRACT

In this study, Al/PbO/p-Si structures were fabricated. Their current-voltage (I-V), capacitance-voltage (C-V) and conductance-voltage (G-V) characteristics of these structures were measured at room temperature and in the dark. Ideality factor, series resistance, barrier height and flat band barrier height of Al/PbO/p-Si structures were calculated from the forward bias *I-V* characteristics by using thermionic emission theory. The C-V and G-V measurements of the Al/PbO/p-Si structures were measured in the frequency range of 10 kHz - 1 MHz at room temperature. Experimental results showed that both the values of C and G decreased as the frequency increased. Such behavior of C and G at low frequencies resulted from the existence of interface states at Si/PbO interface.

Science Code : 90543

Key Words : Lead oxide, metal-oxide-semiconductor structure, n-type/p-type semiconductor, electrical characteristic, Schottky diode

Page Number : 44

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Sema BİLGE OCAK

TEŞEKKÜR

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunmuş olduğum bu çalışma Sayın Doç. Dr. Sema BİLGE OCAK danışmanlığında yürütülmüştür. Çalışma sürem boyunca, çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın bütün aşamalarında bilgi ve deneyimlerini esirgemeyerek verdiği her türlü destek ve katkılarından dolayı kendilerine teşekkürü borç biliyorum. Numunelerin hazırlanmasında ve laboratuvar çalışmalarında tecrübelerini benimle paylaşan ve yol gösteren Prof. Dr. Birkan SELÇUK'a, teşekkür ederim.

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. KURAMSAL BİLGİLER.....	5
2.1. Metal/yarı İletken Yapılar	5
2.2. Metal/oksit/p-tipi Yarı İletken Yapılar.....	10
2.3. Elektriksel Karakteristik İncelemeler	13
3. MATERYAL VE FABRİKASYON.....	19
3.1. PbO Özellikleri.....	19
3.2. Al/PbO/p-Si Yapının Hazırlanması.....	22
3.3. Ölçüm Araçları.....	24
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	25
4.1. Akım–Voltaj Karakteristiği	25
4.2. Voltaj-İletkenlik ve Voltaj-Kapasitans Karakterist Analizi.....	29
5. SONUÇLAR	39

KAYNAKÇA.....	41
ÖZGEÇMİŞ	44

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. PbO Özellikleri.....	21
Çizelge 4.1. Cheng yöntemi kullanılarak elde edilen I_o , Φ_b ve n değerleri.....	27
Çizelge 4.2. Cheung metodu ile elde edilen R_s , n ve Φ_b değerleri.....	28
Çizelge 4.3. Al/PbO/p-Si yapının temel elektrik parametreleri ve R_s değerleri.....	34
Çizelge 4.4. Al/PbO/p-Si yapının C_i ve D_{it} değerleri.....	37

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Metal/p–tipi yarıiletken doğrultucu kontak öncesi ve sonrası	6
Şekil 2.2. Metal/p–tipi yarıiletken doğrultucu kontak ($V \neq 0$).....	7
Şekil 2.3. Metal/p-tipi yarıiletken omik kontak öncesi.....	7
Şekil 2.4. Metal/p-tipi yarıiletken omik kontak sonrası durumu.....	8
Şekil 2.5. Metal/p-tipi yarıiletken omik kontakta $V \neq 0$ durumu.....	8
Şekil 2.6. Metal/Oksit/Yarı iletken (MOS)Yapısı.....	9
Şekil 2.7. İdeal MOS diyonu eşdeğer devreleri.....	9
Şekil 2.8. Dengede ideal MOS yapının enerji-bant diyagramı p-tipi yarı iletken.....	10
Şekil 2.9. Dengede ideal MOS yapının enerji-bant diyagramı n-tipi yarı iletken.....	11
Şekil 2.10. $V_G \neq 0$ olduğu durumda ideal MOS yapıların enerji-bant diagramları.....	11
Şekil 3.1 Ortorombik kristal yapı.....	19
Şekil 3.2. Tetragonal kristal yapı.....	20
Şekil 3.3. PbO kristal yapı.....	20
Şekil 4.1. Diyotların düz besleme I-V grafiğı.....	25
Şekil 4.2. Diyotların yarı logaritmik düz besleme I-V grafiğı.....	26
Şekil 4.3. $\frac{dV}{d(\ln I)}$ -I grafiğı.....	28
Şekil 4.4. H(I)-I grafiğı.....	29
Şekil 4.5. Düşük frekanslarda C-V grafiğı.....	30
Şekil 4.6. Yüksek frekanslarda C-V grafiğı.....	30

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Düşük frekanslarda G-V grafiği.....	31
Şekil 4.8. Düşük frekanslarda G-V grafiği.....	31
Şekil 4.9. Al/PbO/p-Si yapının düşük frekanslarda gerilime bağlı C^{-2} -V grafiği.....	32
Şekil 4.10. Al/PbO/p-Si yapının yüksek frekanslarda gerilime bağlı C^{-2} -V grafiği...	32
Şekil 4.11. Al/PbO/p-Si yapının düşük frekanslar için R_s grafiği.....	36
Şekil 4.12. Al/PbO/p-Si yapının yüksek frekanslar için R_s grafiği.....	36

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Kurşunoksit (PbO).....	22
Resim 3.2. Beher Bandelin Sonorex marka ultrasonik banyo.....	23
Resim 3.3. Innovation Water Purification marka deiyonize su sistemi.....	23
Resim 3.4. “Edwards” marka buharlaştırma sistemi.....	23
Resim 3.5. Yokogawa Gs610 source ölçüm cihazı	24
Resim 3.6. Agilent 4294A empedans analizörü.....	24

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A	Kontak alanı
Al	Alüminyum
Å	Angström
C_i	Yalıtkan tabaka kapasitesi
c²	Alıcı yoğunluk sabiti
E_a	Aktivasyon enerjisi
ε₀	Boşluğun elektrik geçirgenliği
ε_s	Yarı iletkenin elektrik geçirgenliği
Hz	Frekans birimi
h	Planck sabiti
I	Akım
I₀	Doyma akımı
K	Termodinamik sıcaklık
k	Boltzmann sabiti
n_i	Gerçek taşıyıcı yoğunluğu
n	İdeallik faktörü
Q_m	Metaldeki yük
R_s	Seri direnci
Si	Silisyum
SiO₂	Silisyum dioksit
U	Taşıyıcı hızı
V_d	Difüzyon potansiyeli
V_n	İletkenlik-fermi seviye farkı
V_F	Düz besleme
V_R	Ters besleme
m_φ	Metalin iş fonksiyonu

Simgeler	Açıklamalar
δ	Yalıtkan tabaka kalınlığı
Ω	Ohm
σ	Elektriksel iletkenlik
σ_s	Standart sapma
χ_s	Elektron yakınlığı
W_d	Tüketme bölgesi genişliği

Kısaltmalar	Açıklamalar
AC	Alternatif akım
C-V	Kapasitans-voltaj
DC	Doğru akım
I-V	Akım-gerilim
MIS	Metal/Yalıtkan/Yarı iletken
MS	Metal/Yarı iletken
MOS	Metal/Oksit/Yarı iletken
TAE	Termoiyonik alan emisyonu

1. GİRİŞ

Metal ve yarıiletkenlerin elektriksel iletkenlik özelliklerinden yararlanmak için uygun kontaklar uygulayarak elektronik devrelerde kullanmak yolunda ciddi araştırmalar yapılmıştır [1-3]. Çağdaş elektronikte metal yarıiletken kontaklar önemli rol oynayan devre elemanlarıdır. Metallerle kontak yapılarak oluşturulan Schottky diyotlar, maliyetinin düşük olması ve kolay elde edilmesi gibi sebeplerden dolayı her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir. Bu nedenle elektronik ve fizik bilimi alanında yapılan çalışmalarda, teorik ve deneysel açıdan önemi gittikçe artmıştır.

Metal-yarı iletken kontaklar, günümüz teknolojisinde önemli bir yere sahiptir. Her elektronik cihaz da kullanılan bu yapıların değişen şartlar altındaki elektriksel davranışların düzenlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu yapıların uygulama alanı olarak; Güneş pilleri [1], metal-yarı iletken alan etkili transistörler [2-3], laser diyodlar [4], fotodiyotlar [5] yarı iletken dedektörler, radyo dedektörleri, radar dedektörleri, bipolar entegre devrelerin anahtarlama hızını artırma, OP-AMP (Operational Amplifier) gibi aktif devre elemanları ve mikrodalga devre elemanları gibi birçok alan sayılabilir. Metal-yarı iletken kontakların önemli uygulama alanlarından biri de bütün aktif yarı iletken devre elemanlarında kullanılan, doğrultucu ve omik kontaklardır. Doğrultma işlemi kısaca, alternatif akımı doğru akıma çevirme işlemidir. Günlük hayatta kullandığımız elektrikli cihazların büyük çoğunluğu doğru akımla çalıştığı için böyle bir işlem gereklidir.

İlk yarı iletken devre elemanlarından biri olan diyot 1900'li yılların başlarında kullanılmaya başlandı. Ancak, bu ilk yapım olan ince metal bir telin, yarı iletken yüzeyine temas ettirilmesi ile üretilen metal-yarı iletken diyotlar, mekanik olarak çok fazla güvenilir olmamışlardır. Bu diyotların yerini 1950'li yıllarda p-n eklem diyotlar almıştır. Günümüzde ise yarı iletken ve vakum teknolojisi, güvenilir metal-yarı iletken kontakları üretmek için kullanılmaktadır [6]. Metal-yarı iletken kontaklarla ilgili ciddi anlamda ilk çalışmalar, 1930 yılında Schottky tarafından yapılmış olmasından dolayı onun adına atfen metal-yarı iletken kontaklara Schottky engel diyotları denilmiştir.

Schottky diyodların avantajları; düşük sıcaklıkta üretilebilmeleri, hızlı anahtarlama, düşük düz ve büyük ters impedans ile entegre devrelerde kolayca oluşturulabilir olmalarıdır [7,8].

Schottky kontakların, daha düşük seri direnç ve sinyal/gürültü oranına ayrıca yüksek güç kapasitesine sahip olmaları daha gelişmiş olmasının sebepleridir.

Metal ile yarı iletken arasında doğal veya yapay olarak oluşturulan bir yalıtkan tabaka (MS) yapıyı metal-yalıtkan-yarı iletken (MIS) yapıya dönüştürür. Bu yalıtkan tabaka hem metal ile yarı iletkeni birbirinden izole eder hem de metal ile yarı iletken arasındaki yük geçişlerini düzenler. M/S ara yüzeyinde oluşan potansiyel engelinin yüksekliği, seçilen metal ile yarı iletkenin iş fonksiyonuna bağlıdır. Doğrultucu kontak elde etmek için n tipi yarı iletkenlerde metalin iş fonksiyonu (Φ_m) yarı iletkenin iş fonksiyonundan (Φ_s) büyük ve omik kontak için ise Φ_s değeri Φ_m değerinden büyük olmalıdır. P tipi yarı iletkenlerde ise durum bunun tam tersinedir. Bu yapıların hazırlamasında, yarı iletkenin p-tipi veya n-tipi olmasına göre uygun iş fonksiyonu metaller seçilir [9]. 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 kullanılmaktadır. Yarı iletken olarak ise genelde silisyum (Si), germanyum (Ge) kullanılır.

Bir yarı iletkenin kristal yapısında bulunan yabancı bir atom veya bir bozunma, metal-yarı iletken 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 MS veya MIS gibi yapıların hazırlanışı sırasında yarı iletken yüzeyi ne kadar temizlense de giderilemeyen ve yarı iletken kristal örgünün son bulunduğu kristal yüzeyindeki düzensizlikler sonucunda da yasak enerji bölgesinde birim alan başına çok sayıda enerji seviyesi meydana gelir. Bu seviyelerin tümüne ara yüzey durumları veya ara yüzey tuzakları adı verilir. Ara yüzey durumlarının yoğunluğunu elde etmek için çok sayıda deneysel ve teorik metot vardır. Bu metotların kendi aralarında avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır [10]. Ancak bunların en pratik ve en hızlı olanı doğru besleme akım- gerilim grafiği (I-V) metodudur. Bu metot, ideallik faktörü ile potansiyel engel yüksekliğinin gerilime bağlı değiştiği ilkesinden hareketle sadece her sıcaklık için gerilime bağlı sadece bir $\ln I$ -V eğrisi çizilebilir [11,12]. Metal-yalıtkan/oksit-yarı iletken MIS ya da MOS yapılarda M/S ara yüzeyindeki yalıtkan tabakadan dolayı bu yapılar paralel levhalı bir kondansatörlere benzemektedir.

MOS yapıların performansını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin başında M/S ara yüzeyinde büyütülen yalıtkan tabakanın kalınlığı ve homojenliği, yarı iletken/yalıtkan ara yüzeyinde lokalize olmuş ara yüzey durumları, yapının seri direnci ve sıcaklığı gelmektedir. Bütün bu faktörler yarı iletken yapılarının ideal durumdan sapmasına neden olur. Bu yüzden hesaplamalarda bu faktörlerin dikkate alınması, sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini artıracaktır.

Bu çalışmada ilk defa Al/PbO/p-Si (MOS) yapı tipi Schottky devre elemanlarının üretimi ve elektriksel karakterizasyonu incelendi. Al/PbO/p-Si yapıların saturasyon akımı, ideallik faktörü, bariyer yüksekliği ve seri direnç gibi diyot parametreleri düz besleme I-V karakteristiklerinden termoiyonik emisyon teorisi kullanılarak hesaplandı. Al/PbO/p-Si yapıların C-V ve G-V ölçümleri oda sıcaklığında 10kHz-1 MHz frekans aralığında ölçüldü. Deneysel sonuçlar, elektriksel özelliklerin frekansa oldukça bağlı olduğunu gösterdi. C-V ve G-V değerleri kullanılarak ideallik faktörü, ara yüzey durum yoğunlukları ve seri direnç değerleri hesaplandı.

Yüksek lisans tezi olarak hazırlamış olan bu çalışmanın birinci bölümü, konu ile ilgili genel bilgilendirme ve gelişimi belirtecek olan “Giriş” kısmından oluşmaktadır. İkinci bölüm, konu ile ilgili teorik bilgi ve ifadeleri içeren “Kuramsal Bilgiler” den oluşmaktadır. Üçüncü bölüm numune fabrikasyonunun nasıl gerçekleştirildiğinden oluşmaktadır. Dördüncü bölüm, hazırlanan numunenin akım-voltaj (I-V), kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G-V) karakteristiklerinin elde edilmesi ve bu karakteristiklerin değerlendirilmesi sonucu oluşturulmuş yapının değerlendirilmesi ve elde edilen parametre ve bilgilerin yorumlanmasını kapsayan “Araştırma Bulguları” kısmından oluşmaktadır. Son bölüm olan elde edilen verilerin genel değerlendirmesinin bulunduğu “Sonuç” bölümü ile tez çalışması sonlanmaktadır.

2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Metal / p-tipi yarı iletken yapılar

Bir metal ve yarı iletkenin birbiri üzerine bağlantı yapıldığında; oluşan ara-birleşim bölgesi, metal ve yarı iletkenin iş fonksiyonları açısından iki farklı elektriksel karakteristik durum meydana getirir. Genelde yüzey durumlarının olmadığı, metal\p-tipi yarı iletken kontaktaki metale ait iş fonksiyonu (Φ_m) yarı iletkene ait iş fonksiyonun (Φ_s)’dan küçük olduğu durumda ($\Phi_m < \Phi_s$) ara bölgede potansiyel engeli oluşur. Bu temas bölgesi doğrultucu kontak yani Schottky kontağı olarak adlandırılır. Engel yüksekliği bu doğrultucu kontak olan yapıya uygulanan gerilimin kutuplara ilişkin olarak akımın tek yönde geçmesine ve tersi yönünde geçmemesini sağlar. Bununla beraber metale ait iş fonksiyonu (Φ_m), yarı iletkene ait iş fonksiyonun (Φ_s)’dan büyük ise ($\Phi_m > \Phi_s$), bu durumda potansiyel engel yüksekliği meydana gelmez. Oluşturulan kontakdan iki yönde de akım geçer ve bu durumda temas/ara bölgesi omik kontak olarak adlandırılır. Metal\n-tipi yarı iletken kontaklarda ise tersi durum meydana gelir.

Bir metal ile bir yarıiletken, kontak haline getirildiğinde fermi seviyeleri aynı düzeye gelinceye kadar yük alışverişi sürer. Kontakta yük taşıyıcılar bir yönden diğer yöne kolay geçebiliyorsa doğrultucu kontak oluşur. Doğrultucu kontak olması durumunda $\Phi_s > \Phi_m$ şartı sağlanmış olur.

Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi kontak yapılmadan önce yarı iletkenin fermi seviyesi metalin fermi seviyesinden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıdadır. Kontak yapıldıktan sonra metal ve yarı iletkenin fermi seviyeleri aynı hizaya gelinceye kadar metalden yarı iletkene elektron akışı meydana gelir. Bu nedenle yarı iletken tarafındaki boşluklar, bu elektronlardan dolayı iyonize olurlar. Yarı iletkenin yüzey tabakasındaki negatif yüklü iyonize olmuş akseptörler d kalınlığındaki bir uzay yük tabakası içerisinde dağılırlar. Yarı iletken kısmındaki enerji seviyeleri ($\Phi_s - \Phi_m$) kadar yükseldiğinden, yarı iletken kısmındaki boşluklar için yüzey engeli

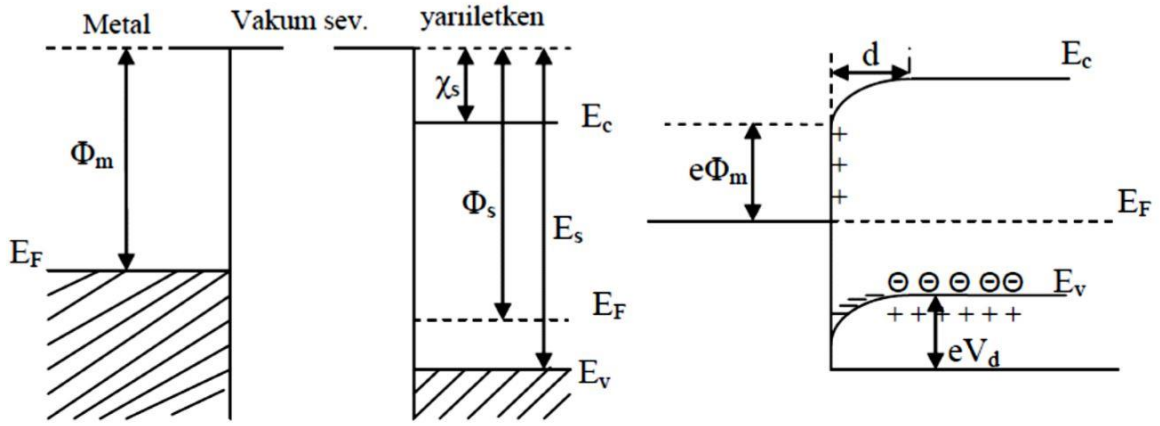
$$eV_{\text{dif}} = \Phi_s - \Phi_m \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır.

V_{dif} difüzyon potansiyelidir. Kontakın metal tarafındaki boşluklar için engel yüksekliği

$$e\Phi_b = E_s - \Phi_m \quad (2.2)$$

ifade edilir.



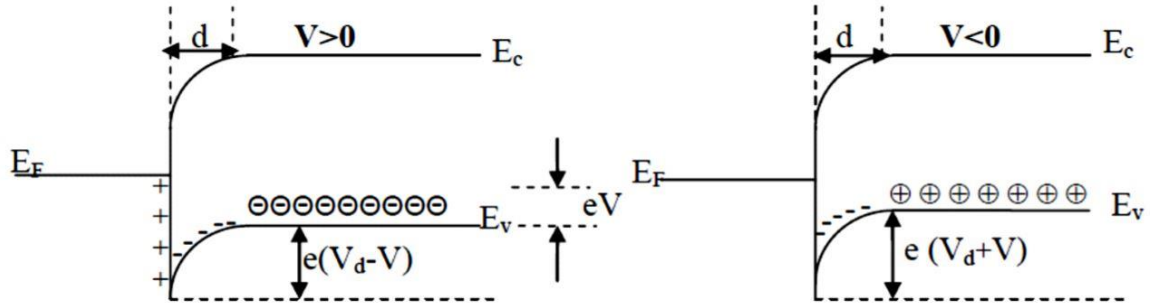
Şekil 2.1. Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontak öncesi ve sonrası

Yarı iletkendeki bazı boşluklar termal uyarımdan dolayı potansiyel engelini aşırp metal içine geçecek kadar enerji kazanırlar. Benzer şekilde metalin içinde termal olarak oluşan bazı boşluklarda yarı iletkenin içine potansiyel engelini aşırp geçecek kadar enerji kazanırlar. Böylece termal denge halinde kontakta, engelden geçen eşit ve zıt yönlü iki I_0 akımı oluşur. Şekil 2.2.'de $V \neq 0$ durumunda metal/p-tipi yarı iletken doğrultucu kontakının enerji-bant diyagramı gösterilmektedir. Fakat yarı iletkene bir V gerilimi uygulandığında, metalden yarı iletkene doğru akan boşluk akımı değişmez. Yarı iletkendeki enerji seviyelerinin tümü eV kadar düşeceğinden yarı iletkenden metale geçen boşluklar için engel yüksekliği eV kadar azalır. Yarı iletkenden metale doğru akan akım $\exp(\frac{kT}{eV})$ çarpanı kadar azalır. Yarıiletkenden metale doğru olan akım pozitif kabul edilirse bu durumda oluşan karakteristik akım ifadesi,

$$I = I_0 \left(\exp \frac{kT}{eV} - 1 \right) \quad (2.3)$$

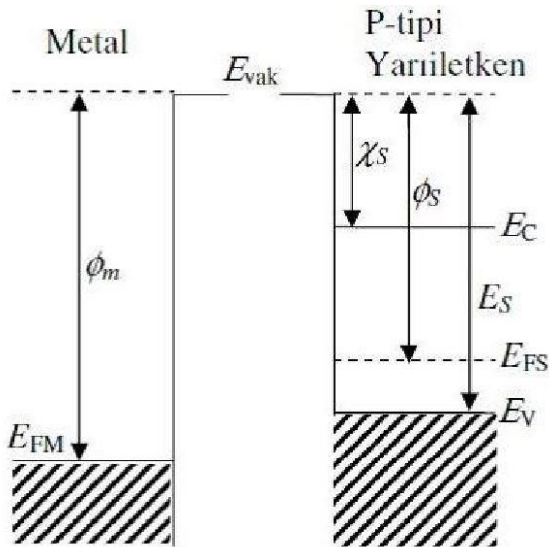
şeklindedir.

I_0 doyma akımıdır ve böylece doğrultucu kontak oluşur.



Şekil 2.2. Metal/p-tipi yarıiletken doğrultucu kontak ($V \neq 0$)

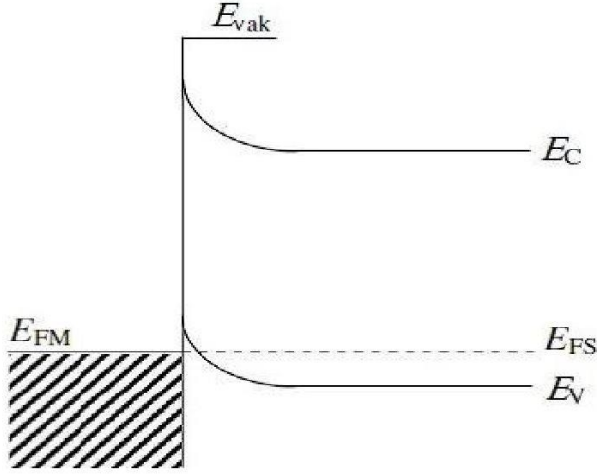
Omik kontak ise uygulanan gerilimin polaritesinden bağımsız olarak her iki yönde de akıma minimum direnç gösteren bir kontak türüdür. Metalin iş fonksiyonunun yarı iletkenin iş fonksiyonundan büyük olduğu ($\Phi_m > \Phi_s$) durumda gerçekleşir. Şekil 2.3.'de gösterildiği üzere kontak öncesi yarı iletkenin Fermi seviyesi metalin Fermi seviyesinden $\Phi_m - \Phi_s$ kadar yukarıdadır.



Şekil 2.3. Metal/p-tipi yarıiletken omik kontak öncesi

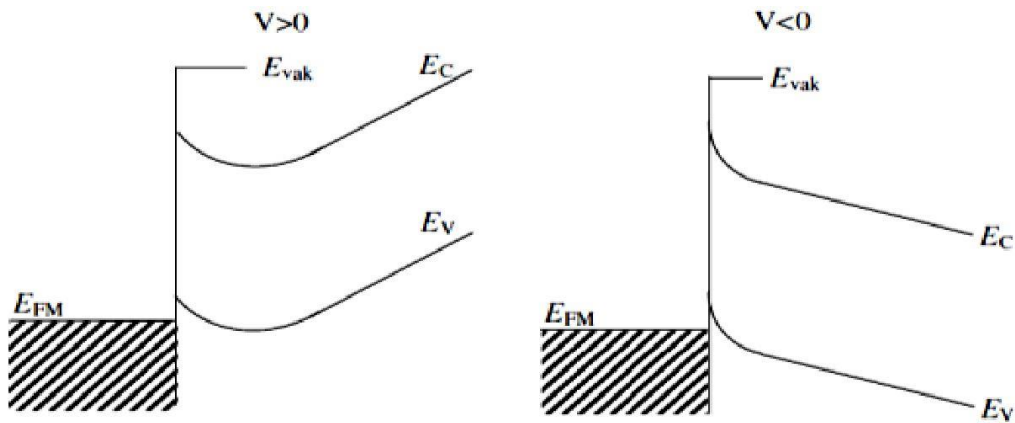
Kontak sonrasında yük alışverişi meydana gelir. Yarı iletkendeki elektronlar, geride bir pozitif yüzey yükü bırakarak metal tarafına akacaklar ve metal tarafında bir negatif yüzey yüküne neden olacaklardır. Bundan dolayı yarı iletkendeki Fermi seviyesi Şekil 2.4.'de

gösterildiği üzere $\Phi_m - \Phi_s$ kadar aşağı seviyeye iner.



Şekil 2.4. Metal/p-tipi yarıiletken omik kontak sonrası durumu

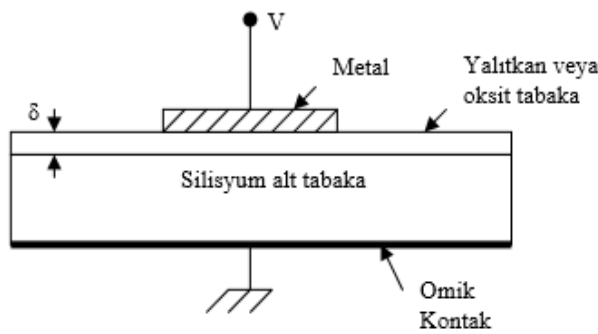
Boşluk konsantrasyonunun artması nedeniyle, yarı iletken yüzeyi daha fazla p-tipi olur. Buna ek olarak yapıya V gerilimi uygulandığında, bu potansiyel farkı tüm yarı iletken bölge boyunca dağılır. Elektronlar zorlukla karşılaşmadan engeli geçerler. Şekil 2.5’ de metal/p-tipi yarı iletken omik kontağın $V \neq 0$ durumunda enerji-bant diyagramı gösterilmektedir. Doğru besleme durumunda, elektronlar metalden yarı iletkene doğru hareket edebilir. Yarı iletken tarafındaki boşluklar da metale doğru akabilir. Metal tarafına geçen boşluklar, yüksek elektron konsantrasyonu nedeniyle hemen nötralize olurlar. Ters besleme durumunda, metalin iletkenlik bandında termal olarak oluşan boşluklar da kolay bir şekilde yarı iletken tarafına geçebilir. Bu şekilde hem metalden yarı iletkene hem de yarı iletken metale doğru akım geçirebilen kontaklar omik kontaklardır.



Şekil 2.5 Metal/p-tipi yarıiletken omik kontağın $V \neq 0$ durumu

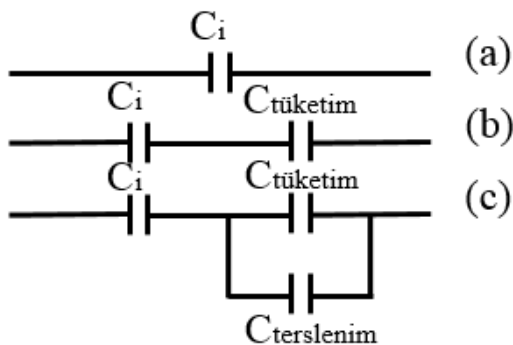
2.2. Metal/oksit/yarı iletken yapılar

Metal\yarı iletken arasında yalıtkan bir tabakanın oluşması/oluşturulması ile metal\oksit\yarı iletken MOS yapı olarak adlandırılan yapılar elde edilir. Bu yapılar yarı iletken yüzey durumlarını analiz etmek için çok uygundur. MOS yapılar yaygın olarak silisyum bir alt tabaka, bu alt tabaka üstüne oluşturulmuş bir arka omik kontak ve bir oksit\yalıtkan tabaka üzerinde yer alan bir metal kontak yapıdan meydana gelir.



Şekil 2.6 Metal/Oksit/Yarı iletken (MOS) Yapısı

MOS yapılarda iki farklı bölgede ara yüzey incelemesi yapılabilir. Bunlar metal\oksit ara yüzeyi ve oksit\yarı iletken ara yüzeyidir. İdeal durumda yükler yarı iletkende ve yalıtkan bölgeye yakın metal yüzeyinde bulunur. DC gerilim verildiğinde yalıtkan üzerinden akım geçişi olmaz. İdeal bir MOS diyotta Şekil 2.7’de görüldüğü üzere üç farklı eşdeğer devreden oluşur. Bu eşdeğer devreler yığılma (accumulation), tüketim (depletion) ve tersinim (inversion) olarak isimlendirilir. Gerçek durumda MOS diyotlarda, yarı iletken\oksit ara yüzeyinde ideal durumdan farklılıklarla karşılaşılır. Bazı durumlarda MOS diyotlarda oksit tabaka üzerinden de akım geçişi olur.



Şekil 2.7 İdeal MOS diyotun eş değer devreleri

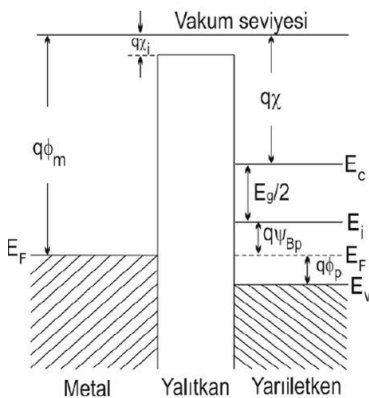
İdeal MOS yapısında, $V=0$ durumu söz konusu olduğunda enerji-bant diyagramı Şekil 2.8 ve Şekil 2.9.'da gösterildiği gibi olur. Aşağıdaki özellikleri taşıyan yapı ideal MOS olarak tanımlanmaktadır.

Denge durumunda metalin iş fonksiyonu (Φ_m) ile yarı iletkenin iş fonksiyonu (Φ_s) arasındaki fark sıfıra eşittir. ($\Phi_{ms}=0$) ve

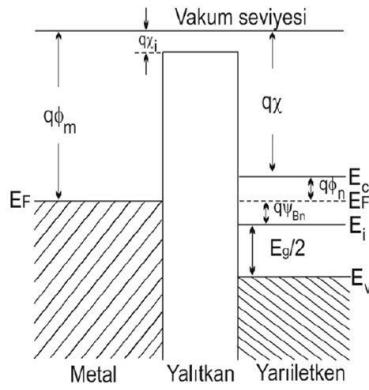
$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \Phi_B \right) = 0 \quad (n - \text{tipi}) \quad (2.4)$$

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \Phi_B \right) = 0 \quad (p - \text{tipi}) \quad (2.5)$$

şeklindedir. Bu ifade de yer alan Φ_B fermi seviyesi ile saf yarı iletken fermi enerji seviyesi arasındaki enerji farkını göstermektedir. Metal\yarı iletken tabakalar arasında bulunan oksit tabakanın bant genişliği büyük olması nedeniyle ideal dielektrik bir yapı gibi davranır. Yalıtkan içinde ve oksit\yarı iletken ara yüzeyinde tuzaklar ve sabit\hareketli yükler yoktur. Bununla beraber oksit\yarı iletken ara yüzeyinde, ara yüzey durumları ve ara yüzey yükleri de yoktur. Oksit tabakanın bant aralığı çok büyük olması nedeniyle oksit tabakanın iletkenlik bandındaki yük taşıyıcı yoğunluğu ihmal edilecek seviyede küçüktür. DC gerilim uygulandığında yalıtkan içinde yük aktarımı yoktur ve sonsuz bir öz direnç varmış gibi durum oluşturur.



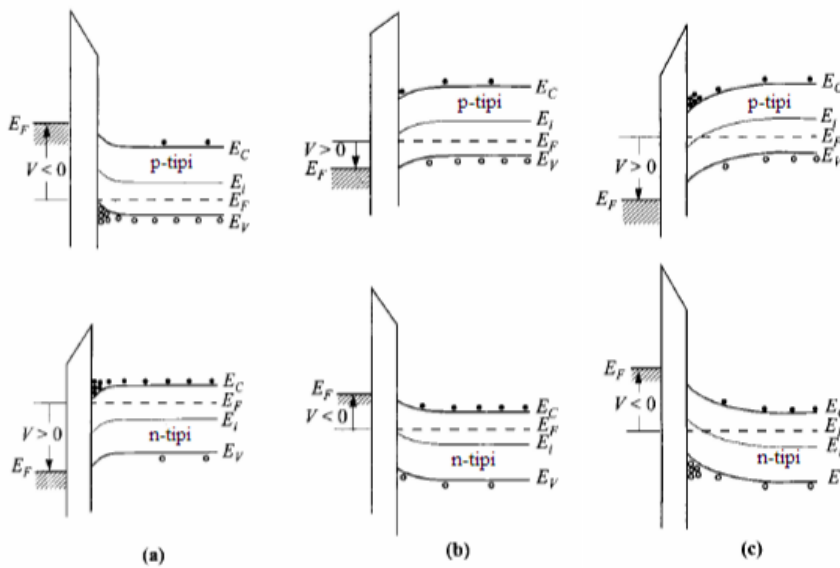
Şekil 2.8 Dengede ideal MOS yapının enerji-bant diyagramı p-tipi yarı iletken



Şekil 2.9 Dengede ideal MOS yapının enerji-bant diyagramı n-tipi yarı iletken

Yığılma (accumulation)

Metal\oksit tabaka\p-tipi yarı iletken (MOS) yapısının metal elektrotuna Şekil 2.10 da görüldüğü gibi negatif gerilim ($V < 0$) uygulandığında elektrik alan, yarı iletkene ait çoğunluk yük taşıyıcısı boşlukları, yarı iletken ara yüzeyine doğru hareket ettirir. İdeal bir diyot yük akışı olmadığı zaman fermi enerji düzeyi yarı iletkende sabit olarak kalır. Taşıyıcı yoğunluğu üstel şekilde enerji farkına ($E_F - E_V$) bağımlı olduğu için, bant bükülmesi yarı iletken yüzeyinin yakınında çoğunluk taşıyıcıların (boşlukların) birikmesine neden olur. Çoğunluk yük taşıyıcıların ara yüzeyde birikmeleri nedeniyle oluşan duruma "yığılma"(accumulation) adı verilmiştir.



Şekil 2.10. $V \neq 0$ olduğu durumda ideal MOS yapıların enerji-bant diyagramları

Tüketim (depletion)

Metal\oksit tabaka\p-tipi yarı iletken (MOS) yapının metal elektrotuna alçak pozitif gerilim ($V > 0$) uygulandığında yalıtkan içerisinde oluşacak olan elektrik alan yarı iletken ara yüzeyinde bulunan boşlukları yüzeyden uzağa doğru iter. Şekil 2.10' da görüldüğü gibi durumda yarı iletken yüzeyinde bulunan boşluk yoğunluğu, yarı iletkenin iç bölgelerinde bulunan boşluk yoğunluğuna göre küçük kalmaya başlar. Bantlar aşağı yönde bükülür ve iletkenlik bandının yarı iletken yüzeyine yakın yerlerinde, elektronlar birikmeye başlar. Yarı iletken yüzeyinde, maruz bırakılan gerilimin etkisiyle değişen genişlikteki bir alanda, boşlukların azaldığı bir bölge meydana gelir. Bu bölgeye tüketim bölgesi ve bu olaya "tüketim"(depletion) olayı denir.

Tersinim (inversion)

Metal\oksit tabaka\p-tipi yarı iletken (MOS) yapının metal elektrotuna Şekil 2.10.'da görüldüğü gibi büyük pozitif gerilim uygulandığında ($V \gg 0$) bantlar aşağı yönlü bükülür. Normal durumdaki enerji seviyesi (E_i), fermi enerji seviyesinin altına iner. Böyle durumda yarı iletken yüzeyinde bulunan (azınlık taşıyıcıları olan) elektronların miktarı artmaya başlar ve elektron miktar yoğunluğu boşluk miktar yoğunluğundan fazla olur. P-tipi yarı iletken yüzeyi n-tipi yarı iletkenmiş gibi tepki verir ve yarı iletken yüzeyinin tersinimi (inversion) şeklinde isimlendirilir. Elektron yoğunluğunun maruz bırakılan gerilimin ac sinyalinin takip edebilme yeteneğine bağlı olarak MOS kapasitesi belirlenir. Küçük frekanslarda takip edebilir ve bununla beraber gerilimin artmasıyla yalıtkan kapasitesi değerine doğru ulaşır. Ara frekanslarda daha yavaş ve yüksek frekanslarda hiç takip edemez. Sabit yük uzay yükü gibi etki eder ve kapasite C_{min} 'da kalır. Yüksek frekanslarda gerilimde ani değişim olursa, azınlık taşıyıcılarında tekrar birleşme hızına bağlı olarak tersinim yükü daha geç birikir ve eğrinin C_{min} 'un altındaki değerleri almasına neden olur.

Ara Yüzey İlişkisi

Bir metal\yalıtkan\yarı iletken yapısında ara yüzey tuzaklar ve oksit yüklerinin varlığı ölçülen ideal elektriksel ifadelerin değerlerini belirler. Yüzey durumları yavaş ve hızlı olmak üzere kategorize edilir. Yavaş yüzey durumları yalıtkanın metal tarafındaki yüzeyde oluşur ve oksit yapısındaki hareketsiz yükler aracılığıyla ısısal uyarılmış olan ve elektrik alan içinde

hareketli iyonlar tarafından oluşur. Yapının kapasitesinde herhangi bir etki oluşturmaz. Hızlı yüzey durumlarında, oksit tabaka\yarı iletken ara yüzey yakınında oluşur ve yarı iletkenin yasak enerji bölgesinin ortasına yakın bölgelerde enerjilere sahiptir.

2.3. Elektriksel Karakteristik İncelemeler

İdeallik Faktörü

İdeallik faktörü ara yüzey durumlarının yoğunluğuna (N_{ss}) ve oksit tabaka kalınlığına (δ) bağlı olarak,

$$n = 1 + \frac{\left(\frac{\delta}{\epsilon_i}\right) + \left(\frac{\epsilon_s}{W_d + qN_{sb}}\right)}{1 + \left(\frac{\delta}{\epsilon_i}\right)qN_{sa}} \quad (2.6)$$

formülü ile verilir. Burada ϵ_i , ϵ_s , N_{sa} , N_{sb} , W_d sırasıyla oksit tabakasının geçirgenliği, yarı iletkenin geçirgenliği, metal ile denge de olan ara yüzey durumlarının yoğunluğu, yarı iletken ile dengede olan durumlarının yoğunluğu ve tüketim bölgesinin genişliğidir. Bu bağıntı ara yüzey durumlarına göre üç farklı durum ile açıklanabilir; (i) ara yüzey durumları yoğunluğu küçük olması durumu;

$$n = 1 + \frac{\delta\epsilon_s}{W_d\epsilon_i} \quad (2.7)$$

şeklindedir. (ii) Tüm ara yüzey durumları metal ile dengede olduğu durum,

$$n = 1 + \frac{\delta\epsilon_s}{W_d(\epsilon_i + \delta qN_{sa})} \quad (2.8)$$

olur. (iii) Ara yüzey durumları yarı iletken ile dengede olması durumunda ise,

$$n = 1 + \left(\frac{\delta}{\epsilon_i}\right) \left(\frac{\epsilon_s}{W_d + qN_{sb}}\right) \quad (2.9)$$

ifade edilir. (i) ve (ii) durumlarında n ideallik faktörüne, ara yüzey durumlarının ve oksit tabakasının katkıları küçüktür. Örnek bir ideal Schottky diyotun davranışını gösterir. (iii) durumunda oksit tabakanın kalınlaşması ve ara yüzey durumlarının artması n ideallik faktörünü artırır. Bunlardan başka sıcaklığın yükselmesi ile de n faktörünün değeri azalır. Böyle bir durumun nedeni ise toplam MOS akımında olan difüzyon bileşeninin artışından kaynaklanır.

Akım-gerilim (I-V) belirtkenlerinden

Schottky diyotlarda düz besleme çok büyük olmadığı sürece, akım-iletim kuramı termiyonik emisyon (TE) kuramına göre yönelir. Kurama göre, akım-gerilim bağımlılığı,

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.10)$$

ile verilir. Burada $V \geq 3kT/q$ olduğu zaman ki doyma akımı ifadesi

$$I_0 = AA^{**}T^2 \exp \left[\frac{-q(\Phi_{b0} - \Delta\Phi_b)}{kT} \right] \quad (2.11)$$

olarak yazılır. Bu formüldeki $\Phi_{b0} - \Delta\Phi_b$ etkin engel yüksekliğidir. Φ_e şeklinde ifade edilir. A^{**} ve A ; engeli geçen elektronların kuantum mekanik yansımaları, metal yüzeyi ve engel tepesi arasındaki elektronların foton saçılması düşünülerek düzenlenmiş etkin Richardson sabiti ve kontak alanıdır. Üretilen diyotlar da I-V belirtkeni Eş. 2.10'daki ideal duruma göre önemli sapmalar gösterir. Bundan dolayı akımın ifadesi

$$I = I_0 \left(\frac{qV}{nkT} \right) \left[1 - \exp \left(- \frac{qV}{kT} \right) \right] \quad (2.12)$$

ile verilir. Bu ifadedeki n değeri gerilime ve sıcaklığa bağlı ve 1'den büyük değere sahip olan ideallik faktörüdür. İdeallik faktörünün 1'den büyük olmasının nedeni çoktur ve bu nedenlerden en biri Φ_{b0} ve $\Delta\Phi_b$ 'nin gerilime bağlı olmasıdır.

Eş. 2.12 de $V > 3kT/q$ için,

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilir.

Kapasitans-gerilim (C-V) belirtkenlerinden

Ters beslemede kapasitans formülü,

$$C = A \left(\frac{qN_a\epsilon_s}{2} \right)^{1/2} \left(\phi_b - V_p + V_R - \frac{kT}{q} \right)^{-1/2} \quad (2.14)$$

olur. Burada bulunan V_R ters besleme gerilimi, V_p fermi seviyesi ile yarı iletkenin değerlik bandı arasındaki oluşan farklılıktır. Eş. 2.14 ifadesinde C^{-2} ifadesi,

$$C^{-2} = \left(\frac{2}{A^2 q N_a \epsilon_s} \right) \left(\phi_b - V_p + V_R - \frac{kT}{q} \right) \quad (2.15)$$

bulunur. Ara yüzey tabakası yoksa (ϕ_b , V_R 'den bağımsız ise) $C^{-2} - V_R$ grafiği, doğrusal bir ifade verir. Bu doğrusallığın yatay eksenini kestiği nokta aracılığıyla ($\phi_b - V_p - kT/q$) terimi elde edilir. Engel yüksekliği,

$$\phi_b = V_0 + V_p + \frac{kT}{q} \quad (2.16)$$

formülü ile hesaplanır.

Seri Direnç ve Hesaplama Yöntemleri

Metal\yarı iletken ve metal\oksit\yarı iletken yapılar elektriksel belirtkenlerinin tespiti yapılırken ideal durumlardan sapmalar meydana gelir. Bu meydana gelen sapmaların en önemli nedenlerinden birisi seri direnç etkisidir. Bunlar birçok nedenden dolayı oluşabilir. Bunlar (i) doğrultucu kontakta ölçüm yapmak için alınmış iletken telden, (ii) silisyum kristaline temas ettirilmiş olan arka (omik) kontakta, (iii) gövde ile arka kontak arasında yerleşmiş kirli film tabakası/yabancı madde, (iv) doğrultucu kontakta altındaki silisyum

yüzeyinin yakınında bulunan tüketim tabakası ve arka kontağın arasındaki gövde direnci ve (v) doğrultucu kontağındaki silisyum içindeki düzgün şekilde olmayan katkı dağılımıdır. Oluşan bu etkiler çeşitli yöntemler kullanılarak azaltılabilir. En çok kullanılan yöntem arka kontağa ısısal işleme maruz bırakılarak metalin yarı iletken yüzeyine çöktürülmesidir. Seri direnç hesaplamasında farklı modern yöntemler kullanılır. Örneğin $n=1$ durumunda seri direnç ve engel yüksekliğini, tanımlanan orijinal bir $F(V)$ fonksiyonu aracılığıyla ifade edilir [9]. Bu yöntemde R_s ve Φ_b 'nin sıcaklıkla ilişkili olmadığı durumlarda uygulanması nedeniyle sadece bir sıcaklıktaki I-V eğrisine gereksinim vardır. Sato ve Yasamura, Norde tarafından sunulan yöntem, ideallik faktörünün 1'den büyük olduğu ($1 < n < 2$) durumlar için de n_s , R_s ve Φ_b değerlerinin hesaplanabileceğini göstermiştir. Bununla beraber Norde yöntemi kullanılarak R_s ve Φ_b 'nin sıcaklık ile değiştiği durumlarda da uygulanabilir. I-V belirtkenlerinden türetilen fonksiyonlar aracılığıyla seri direnci tespit etmek diğer yöntemlere göre daha kolaydır. Uygulanan gerilimin tamamı diyot üzerine düşmediğinden, ideal durumdan bir takım sapmalar oluşacaktır. Eş.2.13. de seri direnç etkisi de eklenerek akım formülü,

$$I = I_0 \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT}\right) \quad (2.17)$$

şeklinde ifade edilir. Burada IR_s maruz bırakılan gerilimin seri direnç üzerindeki kısmıdır. Eş.2.17.'deki ifadenin logaritması alınıp bir takım düzenlemeler yapıldığında,

$$V = \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{A A^* T^2}\right) + n\Phi_b + IR_s \quad (2.18)$$

elde edilir. Eş.2.18.'deki ifadenin $\ln I$ 'ya göre diferansiyeli alındığında,

$$\frac{d(V)}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{q} + IR_s \quad (2.19)$$

bulunur. Potansiyel engel yüksekliğini bulmak için,

$$H(I) = V - \left(\frac{nkT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{A A^* T^2}\right) \quad (2.20)$$

şeklinde bir $H(I)$ fonksiyonu tanımlanabilir. Eş.2.18. ve Eş. 2.19.'daki ifadelerden yararlanılarak,

$$H(I) = n\phi_b + IR_s \quad (2.21)$$

ifadesi elde edilir. Eş.2.21.'deki ifade de $H(I)$ -I'nın grafiği doğrusal bir sonuç verir. Bu doğrunun eğiminden seri direnç ve düşey eksenini kestiği noktadan da Eş.2.19.'daki ifade de bulunan ideallik faktörü değeri yerine yazıldığında engel potansiyeli hesaplanır.

Buna ek olarak seri direnç değeri C-V ölçümlerinden de hesaplanabilir. Bu yöntemde seri direnç, yığılmanın fazla olduğu bölgeden elde edilen kapasitans değeri ve iletkenlik ($1/R$) değerlerinden

$$R_s = \frac{G_{ma}}{G_{ma}^2 + (\omega C_{ma})^2} \quad (2.22)$$

şeklinde hesaplanır. Burada C_{ma} ve G_{ma} yığılmanın fazla olduğu bölgeden ölçülen kapasitans ve iletkenlik değerleridir.

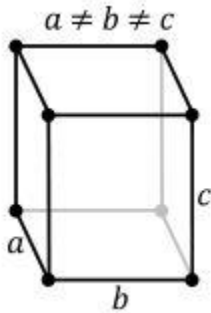
3. MATERYAL VE FABRİKASYON

3.1. PbO Özellikleri

Kurşun monoksit olarak adlandırılan kurşun oksit molekül formülü PbO olan inorganik bileşiktir. PbO iki polimorf da oluşabilir; tetragonal kristal veya ortorombik kristal yapıda.

Ortorombik Kristal Yapı

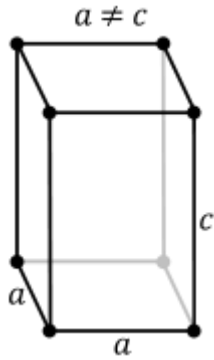
Kristalografide ortorombik kristal sistemi 7 kristal sisteminden biridir. Ortorombik kafesler, kübik bir kafesin dikdörtgen çiftlerinin ikisi boyunca iki farklı faktör ile gerilmesinden ve bunun sonucunda da uzunluklarının farklı olduğu dikdörtgen tabana ve yüksekliğe sahip dikdörtgen prizma meydana gelir. Her üç taban da 90° açılarda kesişir.



Şekil 3.1. Ortorombik Kristal Yapı

Tetragonal Kristal Yapı

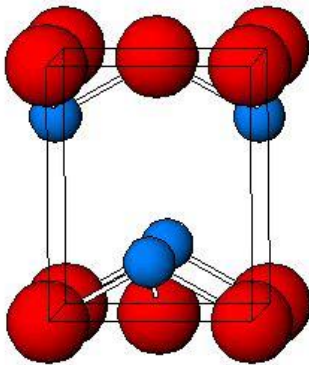
Kristalografide tetragonal kristal sistemi 7 kristal sisteminden biridir. Tetragonal kristal kafesleri, kafes vektörlerinden birinde kübik bir kafesin gerilmesi sonucu ortaya çıkar. Böylece küp, kare bir tabana ve yüksekliğe sahip dikdörtgen prizma şeklinde oluşur.



Şekil 3.2. Tetragonal Kristal Yapı

PbO Yapısı

X-ışını kristalografisi ile belirlendiği üzere , hem polimorfların , hem tetragonal hem de ortorombikler, piramidal dört koordinatlı Pb merkezini teşkil etmektedir. Dört köşeli formda dört Pb-O bağının uzunluğu aynıdır, ancak ortorombikte ikisi daha kısa ve iki uzunluktadır. Piramidal doğa, stereo-kimyasal olarak aktif yalnız çift elektron varlığını gösterir [20]. PbO tetragonal kafes yapısında oluştuğunda litarge denir; ve PbO ortorombik kafes yapısına sahip olduğunda buna massicot denir. PbO, kontrollü ısıtma ve soğutma ile Massicot'tan litarjiye veya tersine değiştirilebilir [21]. Tetragonal form genellikle kırmızı veya turuncu renklidir; ortorombik ise genellikle sarı veya turuncu renkte ancak yapının güvenilir bir göstergesi değildir [17-22].



Şekil 3.3. PbO Kristal Yapı

Çizelge3.1 PbO Özellikleri

ÖZELLİKLERİ	
Kimyasal formül	PbO
Molar kütle	223.20 g/mol
Görünüm	Sarı toz
Yoğunluk	9.53 g/cm ³
Erime noktası	888°C
Kaynama noktası	1477°C
Suda çözünürlük	0.017 g/L
Çözünürlük	Konsantre alkalilerde çözünür (HCl amonyum klorür) Seyreltik alkalilerde çözünmez.(alkol)

PbO Uygulama alanları

Kurşun camdaki kurşun türü normal olarak PbO'dur ve PbO cam yapımında yaygın olarak kullanılır. Cama bağlı olarak, PbO'nun cam içinde kullanımının faydaları;

- (1) camın kırılma indisini arttırması,
- (2) camın viskozitesini düşürmesi,
- (3) camın elektrik direncini arttırması,
- (4) camın X ışınlarını emme yeteneğini arttırması olarak sıralanabilir.

PbO'nun endüstriyel seramikler üzerine ilave edilmesi, malzemeleri daha manyetik ve elektriksel olarak etkisiz hale getirir ve genellikle bu amaçla kullanılır [23]. Tarihsel olarak PbO, seramik sırlarında ev seramikleri için yaygın olarak kullanılmıştır ve halen kullanılmaktadır. Ancak yaygın olarak kullanılmamaktadır. Daha az hakim olan diğer uygulamalar arasında, kauçuğun vulkanizasyonu ve belirli pigmentlerin ve boyaların üretimi bulunmaktadır. PbO, katot ışınlı tüp camında, X-ışını emisyonunu engellemek için, ancak boyun ve hunide kullanılır. Çünkü ön kaplamada kullanıldığında renk değişikliğine neden olabilir.

Kurşun tüketimi ve dolayısıyla PbO'nun işlenmesi, otomobil sayısı ile ilişkilidir, çünkü otomotiv kurşun asitli pillerin ana bileşeni olmaya devam etmektedir.

PbO için modern uygulamalar çoğunlukla kurşun bazlı endüstriyel cam ve endüstriyel bileşenler de dahil olmak üzere endüstriyel seramiklerdedir.



Resim 3.1 Kurşunoksit (PbO)

3.2. Al/PbO/p-Si yapının hazırlanması

Bu çalışmada Kristal üzerindeki organik ve ağır metal kirlerini temizlemek ve yüzeydeki pürüzleri ortadan kaldırmak için kimyasal temizleme işlemi ultrasonik banyoda yapıldı (Resim 3.2). Kimyasal temizleme prosedürleri uygulanarak 10 Ω .cm öz dirençli, 280 μ m (mikron) kalınlıklı p-tipi yarı iletken Si kristali wafer hazırlandı. Temizleme prosedürünün birinci adımı olarak wafer 50°C 'de 10 dakika boyunca aseton içerisinde batırıldı. Daha sonra deiyonize olmuş su ile yıkandı ve 2 dakika metanol içerisinde bırakıldı. 70°C 'de NOH_4 : H_2O : H_2O_2 çözeltisi eklenmiş deiyonize su içerisinde 15 dakika bekletilerek yıkandı. Wafer çözeltiden arındırılmak için tekrar deiyonize suya batırıldı. Yüzeyde bulunan serbest oksijeni temizlemek için % 2 HF solüsyonu içinde 2 dakika boyunca yıkandı. Wafer temizleme prosedürünün son adımı olarak son kez deiyonize su ile yıkanarak temizleme işlemi tamamlandı (Resim 3.3) Kimyasal temizleme işlemi sonrasında waferın arka yüzeyine omik kontak, 1.280 Å kalınlığında Al (% 99.999) vakum altında buharlaştırma (evaporasyon) yöntemi ile oluşturuldu. Daha sonra 10 dakika boyunca 500°C 'de vakum altında tavlandı ve omik kontak Si wafer arka yüzeyine oluşturulmuş oldu. Diğer aşama olan PbO nano tabakası, $2 \cdot 10^{-6}$ Torr basınçta 30 nm kalınlığında resim 3.4 deki buharlaştırma (evaporasyon) sistemi kullanılarak oluşturuldu ve sonrasında atmosferik koşullarda 500°C 'de 20 dakika boyunca tavlandı. Son aşama olarak oksit üstüne metal tabaka olarak 1.280 Å kalınlığında Al (% 99.999) oluşturularak numune hazırlanması işlemi sonlandırıldı. Numune üzerinde $2 \cdot 10^{-6}$ Torr basınç ve buharlaştırma (evaporasyon) yöntemi ile çapı 1.3 mm olan

dairesel bir yapı şekli verilerek deneylere ve ölçümlere hazır hale getirildi. I-V ölçümleri, C-V ölçümleri, Schottky diyot elektriksel özelliklerini belirlemek için oda sıcaklığında beklemeye alınmıştır.



Resim 3.2. Beher Bandelin Sonorex marka ultrasonik banyo



Resim 3.3. Innovation Water Purification marka deiyonize su sistemi



Resim 3.4. “Edwards” marka buharlaştırma sistemi

3.3 Ölçüm araçları

Elektriksel özelliklerin incelenmesi için gerekli ölçümler Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na (TAEK) bağlı olan Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM) Laboratuvarında bulunan ölçüm cihazlarıyla gerçekleştirildi.

Al/PbO/p-Si Schottky diyotun, oda sıcaklığında akım-gerilim ölçümleri için resim 3.5'de görülen Yokogawa Gs610 source ölçüm cihazı, kapasitans-gerilim ve iletkenlik gerilim ölçümleri için ise resim 3.6'de görülen HP Agilent 4294A Precision Impedance Analyzer cihazı kullanılmıştır.



Resim 3.5. Yokogawa Gs610 source ölçüm cihazı

Agilent 4294A Empedans Analizörünün frekans sınırları 40 Hz-110 MHz olması, hem yüksek frekanslarda hem de alçak frekanslarda ölçüm yapmaya olanak sağlamıştır.



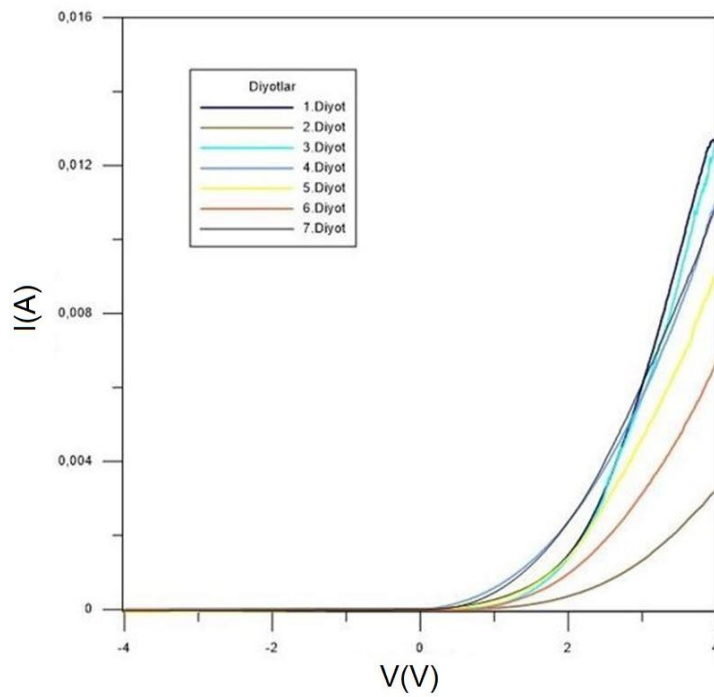
Resim 3.6. Agilent 4294A Empedans Analizörü

Ölçümlerdeki sayısal veriler IEEE-488 ac/dc çevirici kart (GPIB) yardımıyla alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Akım–voltaj karakteristiği

Oluşturulan 7 adet Al / PbO / p-Si yapıların elektriksel özellikleri standart termoiyonik emisyon teorisine göre analiz edilmiştir. Bu teori de birleşme ara yüzeyindeki akımı oluşturan taşıyıcılar dikkate alınır. Al/PbO/p-Si Schottky diyota ait sırasıyla düz ve ters besleme akım-gerilim (I-V) ve ln(I)-V karakteristikleri Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Diyotların düz besleme I-V grafiği

Termoiyonik emisyon teorisine göre, akım ve gerilim arasındaki bağıntı,

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

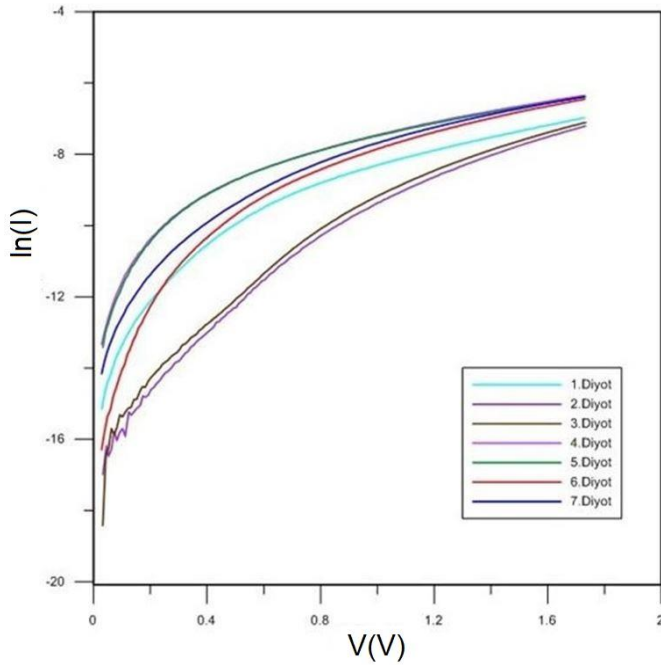
şeklinde dir. Bu denklemde, q elektron yükünü, V diyot gerilimini, k Boltzman sabitini ve T Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade etmektedir. I_0 çoğunluk taşıyıcıları için ters doyum akımıdır ve

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

ile ifade edilir. Bu formülde A^* , A , ϕ_b ve n sırasıyla Richardson sabiti, diyet alanı, Schottky engel yüksekliği ve ideallik faktörüdür. İdeallik faktörü ara yüzey durumlarına, uygulanan gerilime ve sıcaklığa bağlıdır ve değeri 1'den büyüktür. Elde edilen yapıların ideallik faktörleri, yarı logaritmik I-V eğrisinin eğiminden,

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

bulunur.



Şekil 4.2. Diyotlarının yarı logaritmik düz besleme I-V grafiği

Yarı logaritmik $\ln(I)$ -V eğrisinde yüksek akımlarda eğriliğin sebebi seri dirençtir. 0,1 -0,8 volt aralığında oksit tabakanın ve R_s 'in etkisinden dolayı doğrusallığa sahip olmuş ve lineerlikten bir miktar sapmıştır. Eş.4.2. ve 4.3. denklemler yardımıyla, ideallik faktörü ve bariyer yüksekliği deneysel değerler çizelge4.1'de olduğu gibi hesaplanmıştır. Yüksek bir n değerine sahip Al / PbO / p-Si (MOS) Schottky diyet, ara yüzey durumları ve kalın bir oksit ara yüzey tabaka nedeniyle ideallikten uzaktır. I-V karakteristiğinin yüksek eğimli değerlerini yarı iletken ile olan ara yüzey durumlarının dengesi belirlemiştir [27].

Çizelge 4.1. I-V ölçümlerinden elde edilen I_o , ϕ_b ve n değerleri

Diyot sayısı	$I_o \cdot 10^{-7}(\text{A})$	n	ϕ_b (eV)
1	1.23	2.37	0.684
2	1.15	2.11	0.686
3	1.03	2.45	0.689
4	1.19	3.13	0.666
5	1.80	2.89	0.674
6	1.31	3.20	0.683
7	1.23	2.69	0.684

Yarı logaritmik $\ln(I)$ -V eğrisinde yüksek akımlarda eğriliğin sebebi seri dirençtir. 0,1 -0,8 volt aralığında oksit tabakanın ve R_s 'in etkisinden dolayı doğrusallığa sahip olmuş ve lineerlikten bir miktar sapmıştır.

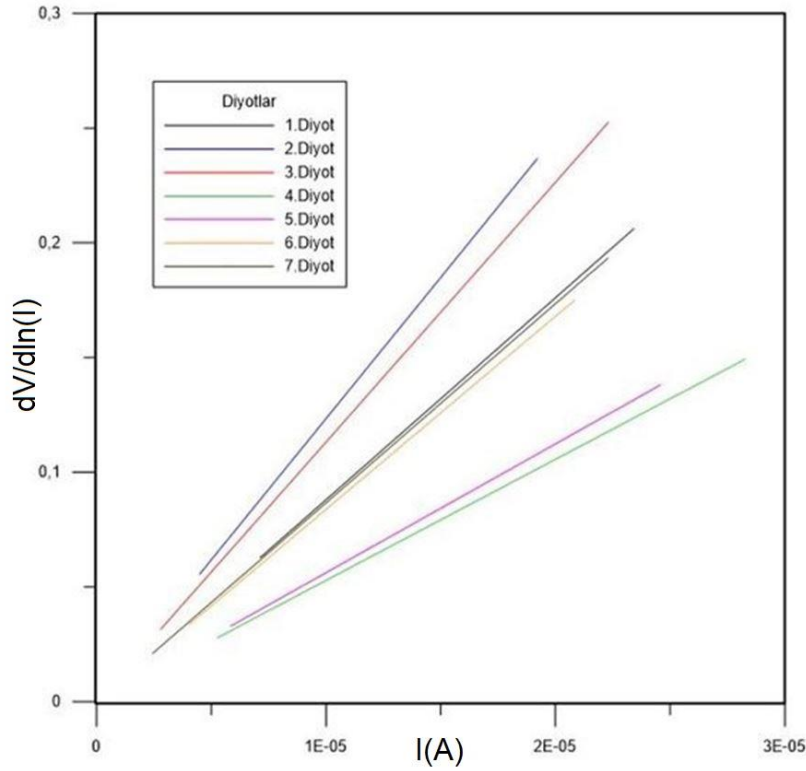
R_s seri direnç, MOS diyotların elektriksel özellikleri için önemli bir parametredir. Bu parametre I-V karakteristiğindeki ön gerilim tarafındaki eğimi aşağı doğru kavis yaptırmaktadır ve bu bölge için etkilidir. Fakat diğer iki parametre (n ve ϕ_b) lineer ve lineer olmayan I-V karakteristiğinde her iki bölge için önemlidir. R_s , n ve ϕ_b değerleri için Cheung tarafından geliştirilmiş yöntem kullanılarak elde edilmiştir [24-28]. Bu yöntemle göre , Cheng metodu.

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = n \frac{kT}{q} + IR_s \quad (4.4)$$

$$H(I) = V - \frac{n k T}{q} \ln \left(\frac{I}{A A^* T^2} \right) \quad (4.5)$$

$$H(I) = n \phi_b + IR_s \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edilir.



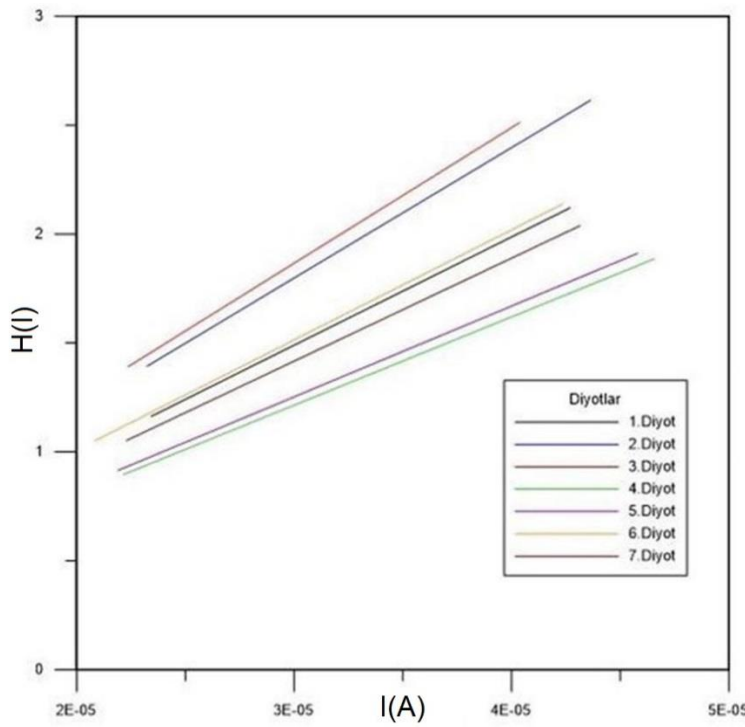
Şekil 4.3. $\frac{dV}{d(\ln I)}$ -I grafiği

Al / PbO / p-Si yapılar için $\frac{dV}{d(\ln I)}$ - I ve H(I)-I grafikleri sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 de gösterilmiştir. Pozitif beslemede I-V karakteristiğinde Eş. 4.4. göre veriler doğrusal şekilde aşağı yönlü eğrilik boyunca uzandığı görülmektedir.

Çizelge 4.2. Cheung metodu ile elde edilen R_s , n ve ϕ_b değerleri

Diyot sayısı	dv/dln(I)-I		H(I)-I	
	$R_s(k\Omega)$	n	ϕ_b (eV)	$R_s(k\Omega)$
1	2.12	1.74	0.71	3.38
2	3.20	2.95	0.71	1.73
3	2.05	1.26	0.74	1.56
4	1.18	1.34	0.64	1.43
5	1.25	1.61	0.67	1.41
6	1.47	1.18	0.72	2.06
7	1.18	1.09	0.68	2.12

İlk olarak Eş.4.4. göre $\frac{dV}{d(\ln I)}$ 'in $I(A)$ 'ye karşı grafiklerinden doğrunun eğimi R_s seri direncini, y ekseninin $x=0$ 'da kestiği noktadan ise n ideallik faktörü hesaplandı. $H(I)$ - I grafiklerinden ise doğrunun eğimi seri direnci ve düşey eksen kestiği noktadan da ise Eş. 4.4 'de bulduğumuz ideallik faktörü değerleri yerine yazılarak engel potansiyeli hesaplanabilir.

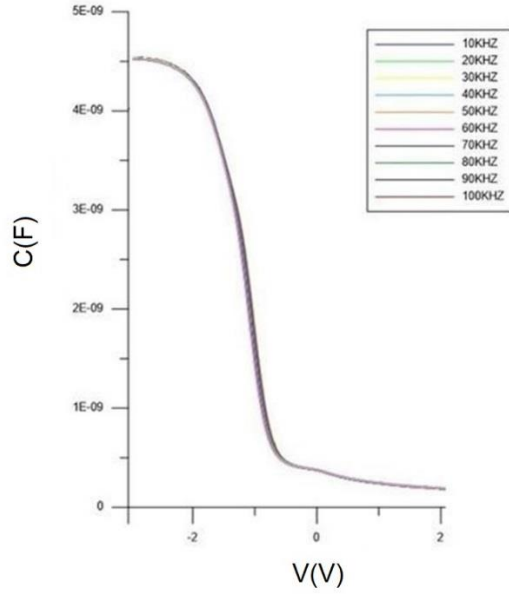


Şekil 4.4. $H(I)$ - I grafiği

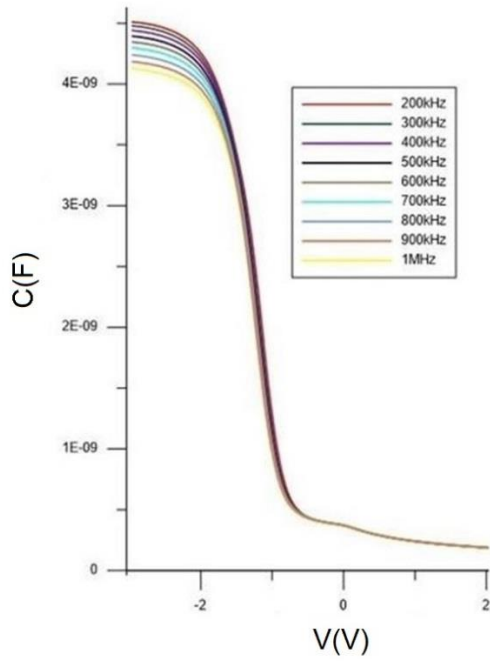
4.2. Voltaj- iletkenlik ve voltaj-kapasitans karakteristiğinin analizi

Diyotlar ters beslemede iken tersine difüzyon kapasitansı ve kapasitans-voltaj (C-V) değerlerinin hesaplanması Schottky diyotlarda en popüler elektriksel ölçüm tekniklerinden biridir. Şekil 4.5. ve Şekil 4.7. 'de oda sıcaklığında düşük frekanslarda oluşturulan Al/PbO/p-Si fabrikasyonu için C-V ve G-V ölçümleri ve Şekil 4.6. ve Şekil 4.8. da oda sıcaklığında yüksek frekanslarda oluşturulan Al/PbO/p-Si fabrikasyonu için C-V ve G-V ölçümleri görülmektedir. Şekillerde görüldüğü üzere hem C-V hem de G-V eğrileri birikim, tüketim ve tersinim olmak üzere üç bölgeye sahiptir. Kapasitans ve iletkenlik değerleri oksit tabakanın kalınlığına, seri dirence ve arayüz enerji dağılımına bağlıdır. C-V ve G-V

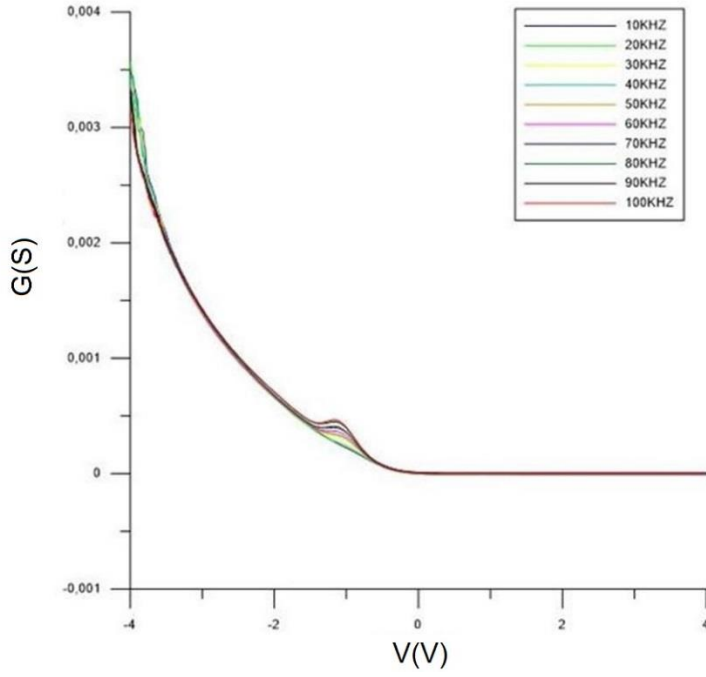
grafikleri yeterince yüksek frekanslarda ($f \geq 200\text{kHz}$) ara yüzey yoğunluğunun etkisi önemsiz hale gelebilir. Çünkü ara yüzey ile yarı iletken dengede kalır [29-32].



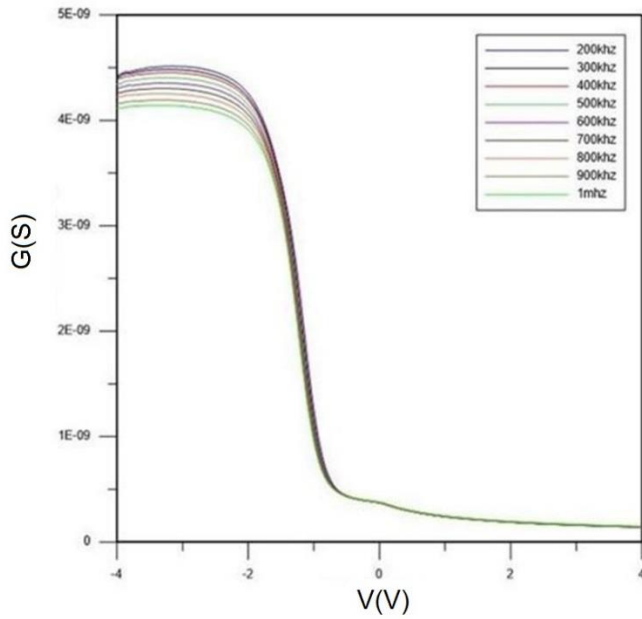
Şekil 4.5. Düşük frekanslarda C-V grafiği



Şekil 4.6. Yüksek frekanslarda C-V grafiği



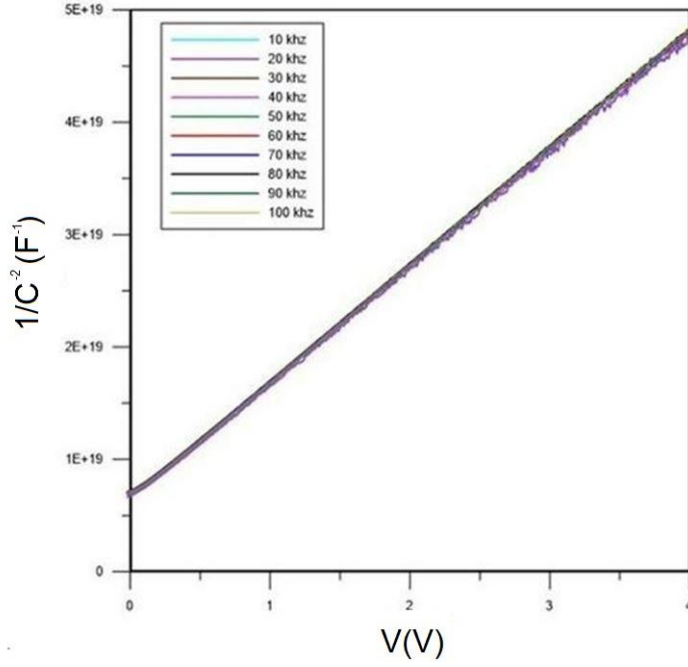
Şekil 4.7. Düşük frekanslarda G-V grafiği



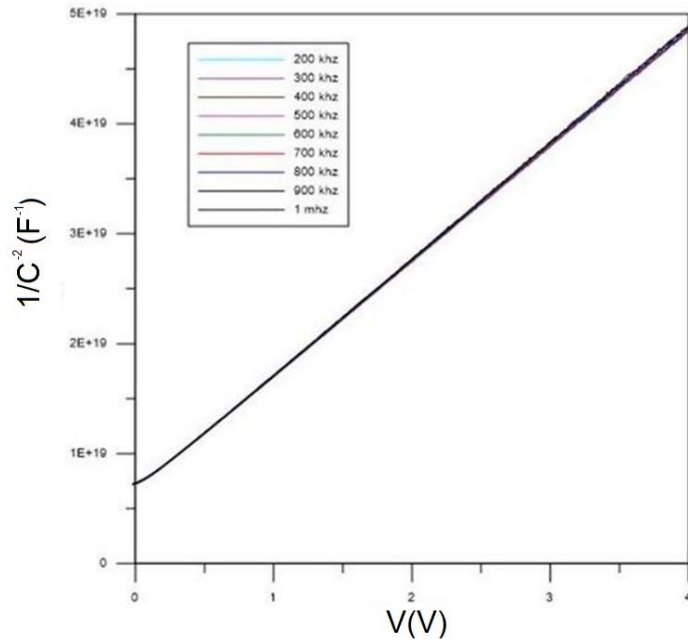
Şekil 4.8. Düşük frekanslarda G-V grafiği

Şekil 4.9'da C^{-2} -V grafiği, 10KHz-100KHz düşük frekans aralığında, Şekil 4.10 ise 200KHz-1MHz yüksek frekans aralığı için çizilmiştir. C^{-2} -V grafiklerinde görüldüğü gibi geniş bir voltaj aralığında bir doğru boyunca gitmektedir. Bu doğrunun eğimi doping konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir [29]. Bu Schottky-Mott standardına göre

p-tipi yarı iletken doping konsantrasyonu yoluyla tüketim bölgesi elde edilmesi durumudur [30].



Şekil 4.9. Al/PbO/p-Si yapının düşük frekanslarda gerilime bağlı C^{-2} -V Grafiği



Şekil 4.10. Al/PbO/p-Si yapının yüksek frekanslarda gerilime bağlı C^{-2} -V grafiği

Ara yüzey tabakalı Schottky engel diyotları için C^{-2} ve V arasındaki bağıntı

$$\frac{\partial(1/C^2)}{\partial V} = \frac{2}{A^2 \epsilon_s \epsilon_0 q N_A} \quad (4.7)$$

şeklindedir. Burada C tüketim bölgesi içindeki kapasitans, A devre alanı, V kontak(kapı) voltajı, N_A verici katkı atomlarının yoğunluğunu, ϵ_s yarı iletken geçirgenliği ($\epsilon_s = 11.8 \epsilon_0$ Si için), ϵ_0 vakum geçirgenliği ($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F / m)'dir. Bariyer yüksekliği ;

$$\phi_b(C - V) = V_{bi} + E_F - \Delta\phi_b \quad (4.8)$$

ile tanımlanır [31]. Düşürücü kuvvet

$$\Delta\phi_b = \left(\frac{qE_m}{4\pi\epsilon_s\epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (4.9)$$

ifade edilir [31]. E_m maksimum elektrik alan

$$E_m = \frac{2qV_{bi}N_A}{\epsilon_s\epsilon_0} \quad (4.10)$$

şeklindedir [32]. Fermi seviyesi E_F

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_v}{N_A} \right) \quad (4.11)$$

hesaplanır. Burada N_v iletim bandındaki etkin durumların yoğunluğu olup sıcaklığa bağlılığı,

$$N_v = 4.82 \times 10^{15} T^{3/2} \left(\frac{m_h^*}{m_0} \right)^{3/2} \quad (4.12)$$

ile ifade edilir. Eş.4.12 de $m_h^* = 0.16m_0$ hol kütlesi, m_0 elektron kütlesidir. Geçiş bölgesi (depletion) W_d genişliği ,

$$W_d = \sqrt{\frac{2\epsilon_s V_{bi}}{qN_A}} \quad (4.13)$$

bağıntısı ile bulunur. Al/PbO/p-Si yapı için N_A , ϕ_b , W_d , V_{bi} , E_F ve R_s değerleri çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Al/PbO/p-Si yapının temel elektrik parametreleri ve R_s değerleri

Frekans (kHz)	V_{bi} (V)	$N_A(\text{cm}^{-3}).$ 10^{16}	E_F (eV)	ϕ_b (eV)	$W_d(\text{cm}) \times 10^{-5}$	$R_s(\Omega)$
10	0.368	1,63	0.161	0.529	1716.14	1759.28
20	0.619	1.87	0.158	0.777	2077.57	2204.24
30	0.620	1.88	0.158	0.779	2077.45	1659.60
40	0.642	1.87	0.158	0.800	2117.44	1269.63
50	0.648	1.87	0.158	0.806	2130.05	1035.61
60	0.654	1.86	0.158	0.812	2140.78	882.47
70	0.654	1.86	0.158	0.812	2141.00	752.86
80	0.654	1.86	0.158	0.812	2141.53	644.38
90	0.654	1.86	0.158	0.812	2142.58	571.31
100	0.654	1.86	0.158	0.812	2142.84	508.69
200	0.652	1.86	0.158	0.811	2142.66	237.46
300	0.657	1.86	0.158	0.816	2151.41	160.84
400	0.656	1.85	0.158	0.814	2149.91	118.70
500	0.656	1.85	0.158	0.815	2152.00	94.95
600	0.655	1.85	0.158	0.813	2149.22	78.66
700	0.657	1.86	0.158	0.815	2151.02	67.63
800	0.647	1.84	0.158	0.805	2141.13	58.83
900	0.654	1.84	0.158	0.812	2155.64	53.63
1000	0.652	1.84	0.158	0.810	2151.83	48.48

Elde edilen değerlerde görüldüğü üzere, Al/PbO/p-Si diyot için $\phi_b(I-V)$ ve $\phi_b(C-V)$ arasındaki farklılık, doğal $I-V$ ve $C-V$ ölçümlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. $I-V$ ve $C-V$ ölçüm tekniklerinin farklı olması nedeniyle, bariyer yükseklikleri daima aynı değildir. Kapasitans (C) ve bariyer yükseklik ölçümü $C-V$ metodu ile ortalama tüm bölge üstündeki yük geçişinden daha az olan potansiyel dalgalanmalarına duyarsızdır. Ara yüzeydeki DC akım geçişi bariyer yüksekliği üzerindeki exponansiyel ve dolayısıyla ara yüzey dağılım hassasiyetine bağlıdır [31-33]. Buna ek olarak, engel yüksekliği değerlerinin arasında tutarsızlık yarı iletkendeki tuzak durumları ve ara yüzeyin varlığı ile açıklanabilir [34,35]. Sonuç olarak, çeşitli frekanslarda $C^{-2}-V$ karakteristiğinden elde edilen bariyer

yüksekliği oda koşullarında I - V karakteristiğinden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir.

Al/PbO/ p -Si yapısının elektriksel karakteristiklerine etki eden seri direnç (R_s) etkisini ortadan kaldırmak için admittans tekniği kullanılarak

$$R_s = \frac{G_{m,acc}}{G_{m,acc}^2 + \omega^2 C_{m,acc}^2} \quad (4.14)$$

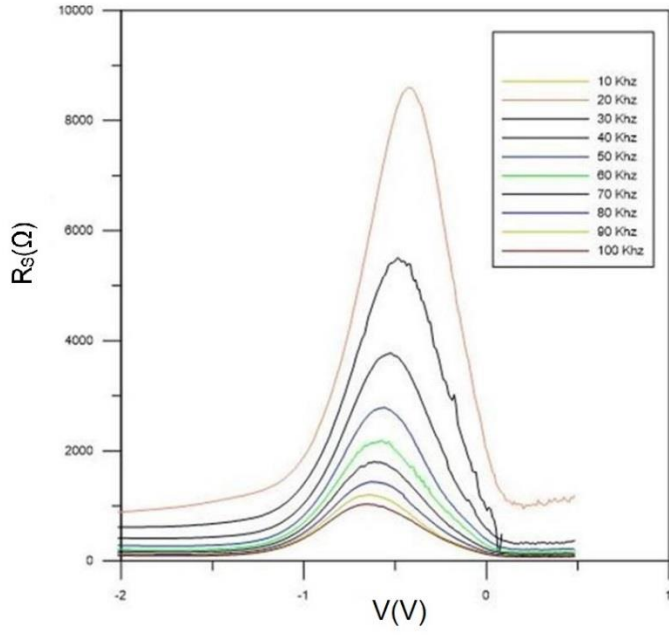
ifadesi yardımıyla seri direnç değerleri hesaplanmıştır [30-38]. Burada ω açısal frekansı, $C_{m,acc}$ ve $G_{m,acc}$ yığılma bölgesindeki ölçülmüş kapasitans ve iletkenlik değerleridir. Şekil 4.11. ve Şekil. 4.12.de farklı frekanslar için voltaja bağlı R_s - V eğrileri elde edildi. Seri direnç frekansa bağlı olarak bir pik vermekte ve yeterince yüksek frekanslarda ise bu pik kaybolmaktadır. R_s ' nin bu davranışı, frekans etkisinde Si/PbO ara yüzeyinde ve yasak enerji aralığında lokalize olmuş arayüzey durumlarının yeniden yapılanıp düzenlenmesine neden olabilir.

Bu çalışmada, ara yüzey durum yoğunluğu, frekansa bağlı ara yüzey durumlarının elektriksel karakteristiğini anlamak için en iyi yöntemlerden olan Hille-Coleman yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu metoda göre, D_{it}

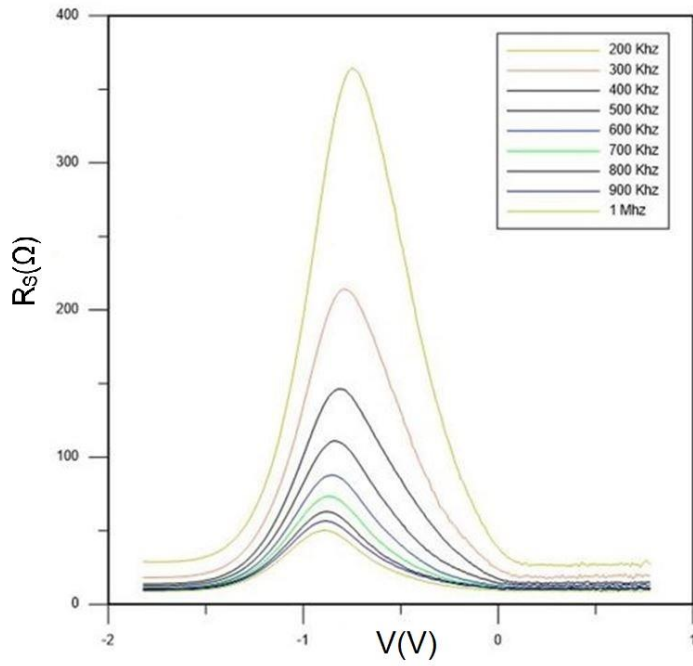
$$D_{it} = \frac{2}{qA} \left(\frac{(G_{c,max}/\omega)}{(G_{c,max}/\omega C_i)^2 + (1 - C_c/C_i)^2} \right) \quad (4.15)$$

ifadesi ile tanımlanır [30].

C_i biriktirme bölgesindeki oksit tabakası kapasitesi (geometrik kapasite), $G_{c,max}$ ve C , G - V ve C - V ölçümlerindeki maksimum iletkenlik ve kapasitans değerleridir. Bu metot kullanılarak hesaplanmış arayüzey durum yoğunlukları (D_{it}), Çizelge 4.4'de farklı frekanslarda bir diyot için değerler hesaplanmıştır. D_{it} ve R_s değerleri artan frekans ile azalmaktadır. Bu durum literatüre uygun beklenen bir davranıştır. Ayrıca arayüzey durum yoğunluklarının $eV^{-1}cm^{-2}$ başına 10^{13} - 10^{11} mertebesinde [13-15]. Bu nedenle hazırlanan yapıların bir yarı iletken devresi için oldukça uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 4.11. Al/PbO/p-Si yapının düşük frekanslar için Rs grafiği



Şekil 4.12. Al/PbO/p-Si yapının yüksek frekanslar için Rs grafiği

Birikim (accumulation) bölgesindeki C-V ve G-V grafikleri kullanılarak oksit tabaka kapasitesi

$$C_i = C_m \left[1 + \frac{G_m^2}{(\omega C_m)^2} \right] = \frac{\epsilon_i \epsilon_0 A}{d} \quad (4.16)$$

şeklinde hesaplanır [30].

Çizelge 4.4. Al/PbO/p-Si yapının C_i ve D_{it} değerleri

Frekans(kHz)	C_i	D_{it}
10	4.65 nF	5.98×10^{10}
20	4.65 nF	5.85×10^{10}
30	4.54 nF	5.42×10^{10}
40	4.50 nF	5.11×10^{10}
50	4.45 nF	4.91×10^{10}
60	4.41 nF	4.79×10^{10}
70	4.40 nF	4.74×10^{10}
80	4.39 nF	4.67×10^{10}
90	4.38 nF	4.60×10^{10}
100	4.36 nF	4.57×10^{10}
200	4.32 nF	4.39×10^{10}
300	4.30 nF	4.33×10^{10}
400	4.28 nF	4.31×10^{10}
500	4.28 nF	4.28×10^{10}
600	4.27 nF	4.26×10^{10}
700	4.26 nF	4.25×10^{10}
800	4.26 nF	4.24×10^{10}
900	4.25 nF	4.24×10^{10}
1000	4.24 nF	4.23×10^{10}

Al/PbO/p-Si diyot yapısı için Eş.4.16 kullanılarak oda sıcaklığında oksit tabaka kapasitesi ve ara yüzey durum yoğunluğu Çizelge 4.4.'de görüldüğü gibi farklı frekanslar için hesaplanmıştır.

PbO oksit tabakanın yarı iletken yüzeyi üzerindeki etkili bariyer yüksekliği ve p-Si ile PbO oksit tabakanın etkileşimdeki kimyasal durumlar ve oksit tabaka durumları yeni yüzey durumları verecektir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Al/PbO/p-Si MOS diyot yapısı buharlaştırma (evaporasyon) yöntemi kullanılarak oluşturuldu ve elektriksel özellikleri incelendi. P-si alt tabaka üzerine oluşturulan ince PbO film tabakalı yapı iyi bir doğrultucu özelliği göstermiştir. Diyot yapının I - V özellikleri standart termiyonik emisyon teorisi temeli esas alınarak analiz edilmiştir. Bariyer yüksekliği, devrenin ideallik faktörü ve seri direnci, I - V karakteristiği ve Cheung methodu ile hesaplanmıştır.

Al/PbO/p-Si metal oksit yarı iletken yapının 10kHz-1MHz frekans aralığında oda sıcaklığında frekansa bağlı kapasitans gerilim (C - V) ve iletkenlik gerilimi (G - V) değerleri incelenmiştir. Düz ve ters besleme durumlarında MOS yapının (C - V) ve (G - V) karakteristikleri hem kapasitans hemde iletkenlik olarak frekansa ve gerilime oldukça duyarlı olduğu görülmüştür. C ve G nin davranışı seri direnç ve oksit tabakanın özellikle yüzey durumlarının dağılımını göz önüne sermektedir. Seri direnç hem frekansa hem de gerilime bağlıdır ve bölgeden bölgeye değişir. Örnek numuneler hazırlanırken pratikte hiçbir zaman seri direnci sıfır yapmak mümkün değildir. Ayrıca, gerek doğal olarak gerekse yapay olarak oluşturulan yalıtkan tabaka her zaman homojen yapılamayabilir ve dolayısıyla yalıtkan tabaka kalınlığı bölgeden bölgeye farklılık gösterebilir. Bu homojensizlikleri kaldırmak, ara yüzey durum yoğunluklarını ve seri direnci azaltmak için yarıiletken kristallerin son derece temiz bir ortamda hazırlanması, kontakların yüksek vakum ortamında oluşturulması ve numunenin alanının küçük tutulması önem arz etmektedir. Schottky diyotlar aynı şartlarda hazırlanmış olsa bile hesaplanan her bir parametrenin diyottan diyota farklı değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni Schottky kontaklarda oluşan engelin homojen olmayışı ile açıklanabilir.

Yarıiletken ile dengede olan D_{it} , a.c. sinyali düşük frekanslarda daha kolaylıkla takip edebilir ve mevcut kapasitans değerine ilave bir katkı getirebilir. Bu sebeple yüksek frekanslarda R_s etkisi azalır. Ara yüzey durumlarının yoğunluğu, metal-yalıtkan-yarıiletken yapıların elektriksel karakteristiklerini önemli ölçüde etkilemektedir.

Bu çalışmada hazırlanan Al/PbO/p-Si yapılar için elde edilen tüm deneysel ölçümler ve hesaplamalar göstermiştir ki bu ve benzeri kontak yapısına sahip yapılar için arayüzey

durumlarının, seri direnç ve yalıtkan tabakanın I-V, C-V ve G-V ölçümleri üzerine etkisi azımsanamayacak kadar büyüktür. Bu nedenle yapının elektriksel karakteristiklerinin analizinde bu parametrelerin mutlaka dikkate alınması sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği açısından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Braun, K.F. (1874). On the current conduction in metal sulphides. *Physical Chemistry*, 153, 556.
2. Schottky, W. (1938). Raumladungsschwächung beim schrotoeffekt und funkeleffekt. *Physica*, 4, 175.
3. Bardeen, J. (1947). Surface state and rectification at a metal-semiconductor contact. *Physical Review*, 71,717-727.
4. Rhoderick, E.H. (1970). The physics of the Schottky barriers. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 3, 1153 1167.
5. Rideout, V.L. (1978). A review of the theory, technology and applications of metal semiconductor rectifiers. *Thin Solid Films*, 48(3), 261-291.
6. Cowley, A.M., Sze, S.M. (1965) Surface states and barrier height of metal semiconductor systems. *Journal of Physics*, 36, 3212-3220.
7. Barret, C., Vapaille, A. (1979). Interface states in a cleaved M-S junction. *Journal of Physics*, 50(6), 4217-4222.
8. Aboelfotoh, M.O., Tu, K.N. (1986). Schottky-barrier heights of Ti and TiSi₂ on n-type and p-type Si(100), *Physical Review B*, 34(4), 2311-2318
9. Sze, S. M. (1981). *Physics of Semiconductor Devices (Second edition)*. New York: John Wiley & Sons, 362-390.
10. Rhoderick, E. H., Williams, R. H. (1988). *Metal-Semiconductor Contacts (Second edition)*. Oxford:Clarendon Press.
11. Acar, S., Karadeniz, S., Tuğluoğlu, N., Selçuk, A. B., and Kasap, M. (2004). Gaussian distribution of inhomogeneous barrier height in Ag/p-Si (100) Schottky barrier diodes. *Applied Surface Science*, 233, 373-381.
12. Selçuk, A. B., Tuğluoğlu, N., Karadeniz, Ocak,S.B., (2007). Analysis of frequency dependent series resistance and interface states of In/SiO₂/p-Si (MIS) structures. *Physica B: Condensed Matter*, 400, 149-154
13. Selçuk, A. B., Tuğluoğlu, N., Karadeniz, Ocak, S. B., (2007). Effect of oxide thickness on the capacitance and conductance characteristics of MOS structures. *Physica B: Condensed Matter*, 400, 168-174.
14. Yüksel O. F., Ocak, S. B., and . Selçuk, A. B., (2008). High frequency characteristics of tin oxide thin films on Si. *Vacuum*, 82, 1183-1186.

15. Yüksel O. F., Ocak, S. B., and Selçuk, A. B., (2008). Investigation of diode parameters using I-V and C- V characteristics of In/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes. **Physica B: Condensed Matter**, 403, 2690-2697.
16. Selçuk, A. B., Ocak, S. B., Karadeniz , S. (2012). Gaussian Distribution on Electrical characteristics of Al/SiO₂/p-Si Structures. **American Journal of Materials Science**, 2(4), 125-130.
17. NN Greenwood, A. Earnshaw, *Elementlerin Kimyası*, 2. baskı, (1997).
18. Abdel-Rehim, AM (2006), Mısır galeninin termal ve XRD analizi, **Termal Analiz ve Kalorimetri Dergisi**, 86 (2), 393-401.
19. URL:<https://tr.wikipedia.org/wiki/Kurşun>.
20. Wells, AF (1984), *Yapısal İnorganik Kimya* (5. baskı), Oxford: Clarendon Press, ISBN 0-19-855370-6.
21. *The Chemistry of Metal Alkoxides* , bölüm 9.4. , Alkoksitler.
22. *İngiltere'de kurşun imalatı* , David John Rowe (1983).
23. Bölüm 9, *Kurşun Bileşikleri*, **Seramik ve Cam Malzemeleri: Yapı, Özellikler ve İşleme** , (2008).
24. L. Murawski, C.H. Chung, J.D. Mackenzie, *J. Non-Cryst. Solids* 32 (1979).
25. M. Sayer, A. Mansingh, in: M. Pollak (Ed.), **Non-Crystalline Semiconductors**, vol. III, CRC Press Incorporation, USA(1987).
26. P. Veluchamy, M. Sharon, M. Shimizu, H. Minoura, **Journal Electroanalytical Chemistry**, 365 (1994) 179.
27. E.H. Nicollian, A. Goetzberger, **Applied Physics Letter**, 7 (1965).
28. A.A. Dakhel, **Thin Solid Films**, 496 (2006).
29. N. Konofaos, **Microelectronic**, J. 35 (2004).
30. A.M. Cowley, S.M. Sze, **Journal Applied Physics**, 36 (1965).
31. Ö.F. Yüksel, A.B. Selçuk, S.B. Ocak, **Physica B**, 403 (2008).
32. A. Türüt, M. Sağlam, H. Efeoğlu, N. Yalçın, M. Yıldırım, B. Abay, **Physica B**, 205 (1995).
33. S.K. Cheung and N.W. Cheung, **Applied Physics Letter**. 49, (1986).
34. O. Güllü, S. Aydoğan, and A. Türüt, **Microelectronic Engineering**, 85, (2008).
35. J.H. Werner, H.H. Guttler, **Journal Applied Physics**, 69 (1991).

36. L.F. Wagner, R.W. Young, A. Sugerman: *IEEE Transactions EDL-4*, 320(1983).
37. E.H. Nicollian, A. Goetzberger, *Bell System Technology Journal*, 46 (1967).
38. Ö. Faruk Yüksel, S.B. Ocak, A.B. Selcuk, *Vacuum* 82 (2008).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CIBİR İlhan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 20.07.1988, Ankara
Medeni hali : Bekar
e-mail : ilhancibir@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	İleri Teknolojiler(Gazi Üniversitesi)	Halen
Lisans	Elektrik-Elektronik Müh.(Kırıkkale Üniv.)	2010
Lise	Fatih Sultan Mehmet Lisesi(Ank. – Süper)	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Üntes-Rhoss A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2010-2014	Tekno-Lift A.Ş.	Arıza-Bakım Sorumlusu
2009-2009	Hacettepe Üniversitesi Hastanesi	Stajyer
2008-2008	TAI-TUSAŞ Uzay Sanayi	Stajyer

Yabancı Dil

İngilizce



GAZİ GELECEKTİR..