



**GaAs/AlGaAs YAPILARIN GENİŞ AKIM BANDINDAKİ ELEKTRİKSEL
KARAKTERLERİNİN İNCELENMESİ**

Canan BEKTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2018

Canan BEKTAŞ tarafından hazırlanan “GaAs/AlGaAs YAPILARIN GENİŞ AKIM BANDINDAKİ ELEKTRİKSEL KARAKTERLERİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Fizik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Beyza SARIKAVAK LİŞESİVDİN

Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Doç. Dr. Perihan DURMUŞ

Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Elif AŞIKUZUN

Metalurji Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kastamonu Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 09/10/2018

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

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.

Canan BEKTAŞ

09/10/2018

GaAs/AlGaAs YAPILARIN GENİŞ AKIM BANDINDAKİ ELEKTRİKSEL
KARAKTERLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Canan BEKTAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2018

ÖZET

GaAs/AlGaAs yapılarının elektriksel karakteristik özellikleri kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/w-V) ölçümleri kabul ölçüm tekniği kullanılarak 7 kHz-700 kHz frekans aralığında yapılarak incelendi. C ve G / w değerleri, frekansın güçlü bir işlevi bulundu. C-V grafikleri, inversiyon ve birikim bölgelerine karşılık gelen iki pik gösterir. İlk pik , metal / yarı iletken arayüzünde lokalize edilmiş yüzey durumlarının / arayüz durumlarının (Nss) özel yoğunluk dağılımına atfedildi. Anormal pik olarak adlandırılan ikinci tepe noktası ve büyüklüğü artan frekanslarla azalır ve seri direnç (Rs), Nss ve yüzeysel tabaka yerli ya da biriktirilmiş olarak atfedilebilir. Bu nedenle, Nss'in voltaj bağımlı profili düşük-yüksek frekanslı kapasite (CLF-CHF) tekniği kullanılarak elde edildi. Nss-V grafiği, sırasıyla yaklaşık -10 V ve 0 V'de iki ayrı tepe noktası gösterir. Nss değeri ayrıca her frekans için Hill-Coleman tekniği kullanılarak elde edildi ve NSS değeri artan frekansla azaldı. Deney sonuçları, hem Nss hem de Rs değerlerinin, GaAs / AlGaAs yapılarındaki kabul ölçümleri üzerinde önemli ölçüde etkilediğini doğrulamıştır.

Bilim kodu : 20206
Anahtar kelimeler : GaAs/AlGaAs yapılar, elektiriksel yapıları
Sayfa numarası : 43
Danışman : Doç. Dr. Beyza SARIKAVAK LİŞESİVDİM

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF GaAs/AlGaAs STRUCTURES IN THE WIDE
FREQUENCY RANGES

(M. Sc. Thesis)

Canan BEKTAŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2018

ABSTRACT

GaAs/AlGaAs structures' electrical *characteristics have been investigated* in the frequency range of 7 kHz-700 kHz by using admittance measurements technique which is including various capacitance-voltage (C-V) and conductance-voltage (G/w-V) measurements. The C and G/w values are found a strong function of frequency. The C-V plots show two peaks which are corresponding to the inversion and accumulation regions. The first peak was attributed to the particular density distribution of surface states/interface states (N_{ss}) localized at metal/semiconductor interface. Second peak which is called anomalous peak and its magnitude decreases with increasing frequencies and it can be attributed to the series resistance (R_s), N_{ss}, and interfacial layer native or deposited. Therefore, the voltage dependent profile of N_{ss} was obtained using the low-high frequency capacitance (CLF-CHF) technique. N_{ss}-V plot shows two distinctive peaks at about -10 V and 0 V, respectively. The N_{ss} value was also obtained using Hill-Coleman technique for each frequency and the value of N_{ss} decreases with increasing frequency. The experimental results confirmed that both the values of N_{ss} and R_s considerably affect a the admittance considerably effect on the admittance measurements in the GaAs/AlGaAs structures.

Science Code : 20206
Key Words : GaAs/AlGaAs Structures; electrical Characteristics
Page Number : 43
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Beyza SARIKAVAK LİŞESİVDİM

TEŞEKKÜR

Bana alıŐmalarım boyunca büyük bir sabırla katkı sağlayan ve derin bilgi birikimlerinden faydalandığım Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü ğretim yesi saygıdeğer hocam, Doç. Dr. Beyza Sarıkavak Lişesivdin 'e teŐekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalıŐmalarıma madden ve manen bana destek olan eŐime, oğlum İlber ve kızım Ceylin'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. METAL-YALITKAN-YARIİLETKEN YAPILAR.....	3
2.1. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) ve (MOS) Yapısı.....	3
2.1.1. İdeal MIS ve MOS yapısı	3
2.1.2. Gerçek MIS ve MOS yapısı.....	11
2.1.3. MIS yapılarında ideal durumdan sapmalar	12
2.1.4. Arayüzey durumları	13
2.1.5. Sabit oksit ve arayüzey yükleri.....	15
2.1.6. Hareketli (mobil) iyonlar	18
2.1.7. İyonlaşmış tuzaklar	20
3. DENEYSEL YÖNTEM.....	25
3.1. Kristal Temizleme	25
3.2. Deneysel Ölçüm Sistemi	25
4. DENEYSEL SONUÇLAR	27
4.1. Giriş.....	27
4.2. Kapasite-Voltaj (C-V) ve İletkenlik-Voltaj (G/w-V) Karakteristikleri.....	27
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bir MIS (Metal – yalıtkan – yarıiletken) yapının şematik gösterimi.....	3
Şekil 2.2. İdeal bir MIS yapı için $V=0$ 'da enerji-bant diyagramı. (a) p-tipi yarıiletken için (b) n-tipi yarıiletken için.....	4
Şekil 2.3. Bir Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapının enerji bant diyagramı(n-tipi yarıiletken için).....	6
Şekil 2.4. Bir Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapının eşdeğer devresi.....	7
Şekil 2.5. $V \neq 0$ durumunda ideal MIS yapının enerji-bant şeması. (a) Yığılım (b) Tükenim (c) Tersinim.....	9
Şekil 2.6. İdeal bir MIS yapının elektronik şeması. (a) Yığılım (b) Tükenim (c) Tersinim.....	11
Şekil 2.7. İdeal olmayan MIS/MOS yapısında arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması.....	12
Şekil 2.8. İdeal olmayan MIS yapısında yüklerin sınıflandırılması ve arayüzey durumları.....	13
Şekil 2.9. MOS yapısının eşdeğer devresi. (a) Bir enerji seviyesi için (b) Birbirinden farklı enerji seviyeleri için.....	14
Şekil 2.10. Pozitif veya negatif sabit oksit yüklerine göre voltaj eksenini boyunca C-V eğrisinin değişimi: (a) p-tipi (b) n-tipi yarıiletken için.....	16
Şekil 2.11. (a) Yük olmadığında düz bant gerilim kayması (a eğrisi), yük enjekte edildiğinde (b eğrisi), hareketli yük durumunda (c eğrisi) (b) Enjekte olmuş yüke göre C-V eğrisi (c) Hareketli yüke göre C-V eğrisi.....	18
Şekil 2.12. Arayüzey tuzaklarının etkisini içeren eşdeğer devre.....	21
Şekil 2.13. MIS yapının eşdeğer devresi.....	23
Şekil 4.1. Oda sıcaklığında GaAs/AlGaAs yapısının (a) düşük frekans, (b) yüksek frekans C-V eğrileri.....	28
Şekil 4.2. Oda sıcaklığında GaAs/AlGaAs yapısının (a) düşük frekans, (b) yüksek frekans $G/w -V$ eğrileri.....	29
Şekil 4.3. Oda sıcaklığında GaAs/AlGaAs yapısının farklı voltajlarda seri direncin frekansa bağlılığı.....	30
Şekil 4.4. Çeşitli frekanslarda GaAs/AlGaAs yapısının $C^{-2}-V$ grafiği.....	32

Şekil**Sayfa**

Şekil 4.5. Oda sıcaklığında GaAs/AlGaAs yapısının farklı frekanslarda seri direncin voltaja bağlılığı	33
---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Simgeler

Açıklamalar

$+Q_f$	Pozitif sabit oksit yükleri
Å	Angstrom
A	Diyotun alanı
A^*	Richardson sabiti
A^{**}	Etkin Richardson sabiti
ac	Alternatif Akım
A_{ox}	MIS doğrultucu kontağın alanı
Au	Altın
C	MIS yapının kapasitansı
C_c	Düzeltilmiş kapasitans
C_{ma}	Ölçülen kapasitans
C_{ox}	Yalıtkan tabakanın kapasitansı
C_{ss}	Arayüzey kapasitansı
Cu	Bakır
$C-V$	Kapasitans-voltaj
dc	Doğru Akım
d_{ox}	Yalıtkan tabakanın kalınlığı
E	Enerji
E_c	İletkenlik bandı enerji seviyesi
E_F	Fermi enerji seviyesi
E_g	Yasak enerji aralığının
E_i	Saf enerji seviyesi elektronların yükü
E_V	Valans (değerlik) bandı enerji seviyesi
Fe	Demir
$G/w-V$	İletkenlik-voltaj
G_c	Düzeltilmiş iletkenlik
G_{ma}	Ölçülen iletkenlik

Simgeler**Açıklamalar**

Hz	Frekans birimi (hertz)
I₀	Ters doyum akımı
I-V	Akım-voltaj
k	Boltzmann sabiti
m₀	Elektron kütlesi
m_e[*]	Elektronun etkin kütlesi
MIS	Metal-Yalıtkan-Yarıiletken
MOS	Metal-Oksit-Yarıiletken
M-S	Metal-Yarıiletken
N	Azot
n	İdealite faktörü
N_c	İletkenlik bandındaki etin durum yoğunluğu
N_D	Katkılanan verici atomları
N_{ss}	Arayüzey durumları veya arayüzey tuzakları
φ_b	Potansiyel engel
φ_m	Metalin iş fonksiyonu
φ_n	E _c ile E _F arasındaki enerji farkı
φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
-Q_f	Negatif sabit oksit yükleri
Q_n	Terslenim bölgesinde birim yüzeydeki
Q_{sc}	Uzay yükü
Q_{sc}	Uzay yükü
R_s	Seri direnci
SiC	Silisyum karbür
T	Kelvin cinsinden sıcaklık
TE	Termiyonik emisyon teorisi
V_d	Diyot üzerine düşen gerilim
V_G	Metal plakaya uygulanan gerilim
V_{ox}	Yalıtkan üzerine düşen gerilim
w	Açısal frekans
ε₀	Uzayın geçirgenliği
ε_{ox}	Yalıtkan tabakasının dielektrik sabiti

Simgeler Ψ_B Ψ_s Ω χ_s **Açıklamalar**EF ile E_i arasındaki enerji farkı

Arayüzeydeki bant gerilimi

Ohm

Elektron yakınlığı



1. GİRİŞ

Schottky diyotlar yani metal -yarıiletken kontaklar hakkında ilk bulgular,1874 yılında Braun'un [1] yarıiletkenler kristaller üzerine bakır (Cu) ve demir (Fe) gibi metal kontaktların doğrultucu doğasını keşfetmesiyle başlar [2].

Wilson [3] ,1931 yılında ilk kez ,katıların bant teorisine dayanan yarıiletkenlerin teorisini formülize edip, bu teoriyi metal-yarıiletken (M-S) kontaklara uyguladı. 1938 yılında M/S arayüzeyinde bir potansiyel engeli oluştuğunu ilk defa Schottky ortaya koydu ve bundan dolayı bu kontaklara bu bilim adamına atfen "Schottky diyotları" denilmeye başlandı [4]. 1938 yılında ise Schottky [5] ve Mott [6] birbirinden bağımsız olarak potansiyel engel (Φ_b) oluşumunun, metal ve yarıiletken iş fonksiyonları arasındaki farkın (Φ_m ve Φ_s) sonucu olduğunu belirttiler.

Bu çalışmalar yapılırken, katıların bazılarının elektriği hiç iletmediği, bazılarının az iletmediği ve bazılarının ise iyi iletmediği gözlemlendi ve bunlar sırasıyla iletken, yalıtkan (dielektrik), yarı iletken ve iletken olarak gruplandırıldı.

Genel olarak iletkenlik, iletim bandındaki (E_c) elektron ve valans bandındaki (E_v) deşik yoğunluğu ile bu iki bant arasındaki yasak enerji aralığının (E_g) genişliğine göre tanımlanabilir.

Silisyum, germanyum ve galyum arsenik gibi kristaller yarıiletkenlere örnek verilebilir. Yarıiletken olarak silisyum ve germanyum önemli ölçüde kullanılmış ancak silisyumun doğada çok miktarda bulunması ve kristal yüzeyinde silisyum dioksit (SiO_2) gibi tabii yalıtkan tabakanın elde edilebilmesinden dolayı zaman içinde silisyum kullanımı hakim olmuştur. Silisyum dioksit kullanılarak Schottky diyotlar, kapasitörler, alan etkili transistörler, ve entegre devrelerin yapılması mümkün olmuştur [7].

Yarı iletkenin kristal yapısında bulunan yabancı bir atom veya bozunma, metalyarıiletken arasında ve yasak enerji bölgesinde çok sayıda izinli enerji seviyesinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu izinli enerji seviyelerinin teorik olarak $10^{13} eV^{-1} \cdot cm^{-2}$ civarında olması beklenirken deneysel sonuçlar bunların $10^{12} eV^{-1} \cdot cm^{-2}$ ile $10^{14} eV^{-1} \cdot cm^{-2}$ civarında olduğunu göstermiştir [8]. Ayrıca metal-yarıiletken (MS) veya metal-yalıtkan-yarıiletken

(MIS) gibi yapıların hazırlanması sırasında yarıiletken yüzeyi ne kadar temizlenirse temizlensin giderilemeyen ve yarıiletken kristal örgünün son bulunduğu kristal yüzeyindeki bozukluklar sonucunda da yasak enerji bölgesinde birim alan başına çok sayıda enerji seviyesi meydana gelir.

Schockley ve Taam tarafından öne sürülen bu seviyelerin tümüne arayüzey durumları veya arayüzey tuzakları (Nss) adı verilir. Arayüzey durumlarının yoğunluğunu elde etmek için çok sayıda deneysel ve teorik metot vardır ve bu metotların kendi aralarında bazı avantaj ve dezavantajları vardır [9,10]. MOS yapıların temel elektriksel karakteristیکlerinin genelde frekansa veya sıcaklığa bağlı kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/w-V) ölçümlerinden belirlenir [13,14].

MIS tipi Schottky diyotların temel elektriksel değişkeleri genelde frekansa veya sıcaklığa bağlı kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/w-V) ölçümlerinden belirlenir [13,14]. Bu ölçümlerden elde edilen verilere dayanarak yapıların özelliklerini etkileyen faktörler bulunmaya çalışılır. Bu faktörlerin başında M/S arayüzeyinde büyütülen yalıtkan tabakanın kalınlığı ve homojenliği, yarıiletken/yalıtkan arayüzeyinde yerleşmiş arayüzey durumları, yapının seri direnci ve sıcaklığı gelmektedir. Bütün bu faktörler yarıiletken aygıtın ideal durumdan sapmasına neden olur. Bu yüzden hesaplamalarda bu faktörlerin dikkate alınması, sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaya yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada hazırlanan AlGaAs /GaAs yapılarının elektriksel karakteristیکleri C-V ve G/w-V deneysel ölçüm metotları kullanılarak belirlendi. Ayrıca frekansa bağlı C-V ve G/w-V ölçümleri, seri direnç ve arayüzey durumlarının etkisi dikkate alınarak incelendi.

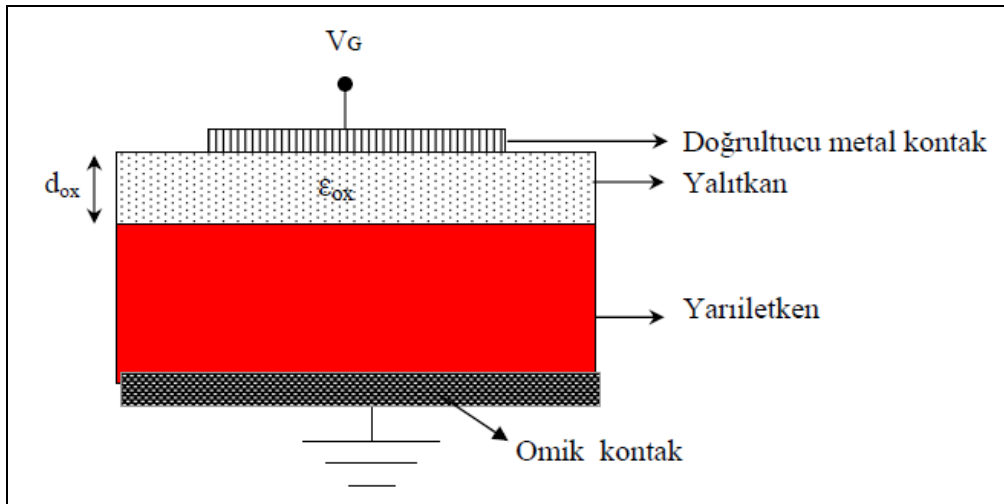
Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, Schottky diyotların tarihsel gelişimi ve önemi üzerinde duruldu. İkinci bölümde, Schottky diyotların teorisi ve çalışma prensibi üzerinde duruldu. Üçüncü bölümde, (MS) yapıların hazırlanması ile ilgili işlemler ve kullanılan deneysel ölçüm sistemleri hakkında bilgi verildi. Dördüncü bölümde, deneysel ölçümler sonucunda elde edilen grafik ve çizelgeler mevcut literatür ile kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Beşinci bölümde ise varılan sonuçlarla ilgili yorumlar ve tartışmalar yapılmıştır.

2. METAL-YALITKAN-YARIİLETKEN YAPILAR

Burada, önce Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) ve Metal-oksit-yarıiletken (MOS) yapıların teorisi anlatılacak. Daha sonraki bölümde dielektrik tabakanın temel fiziksel özellikleri ayrıntıları ile anlatılacaktır. Metal ile yarıiletken arasında doğal yolla veya termal oksidasyon yolu ile büyütülen bu arayüz tabakalarını örnek olarak SiO_2 , SnO_2 , ZrO_2 , HfO_2 ve organik tabakalar verilebilir.

2.1. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) ve (MOS) Yapısı

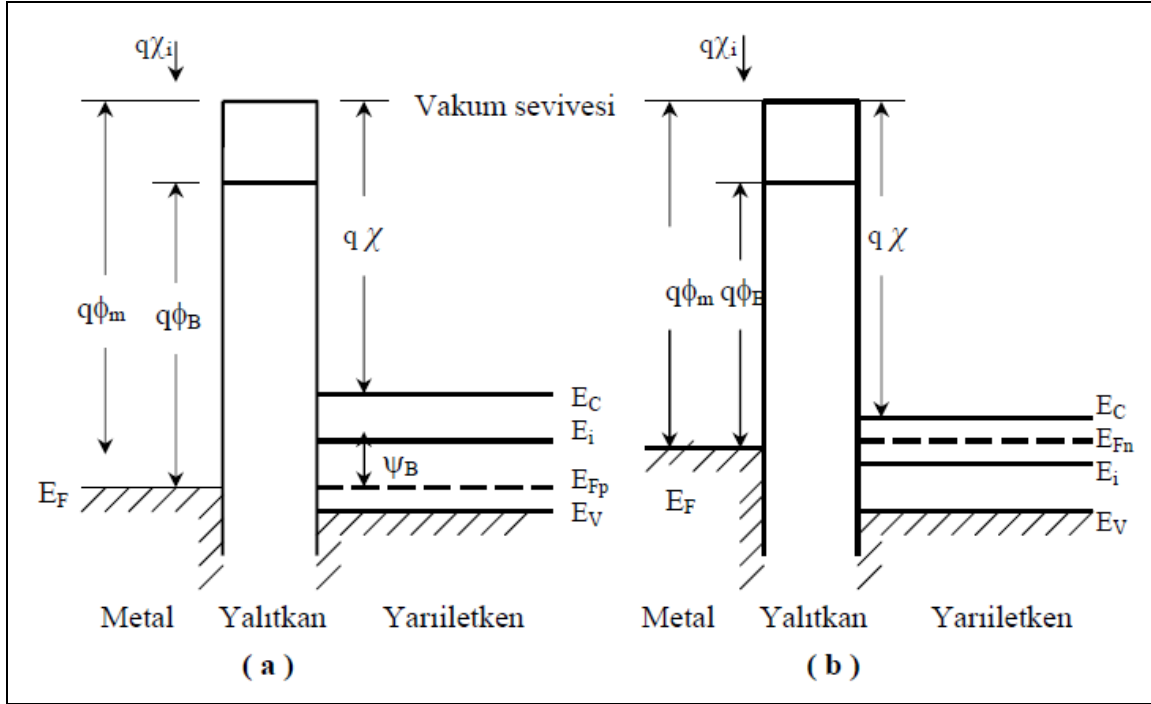
Şekil 2.1 de MIS ve MOS yapının şematik gösterimi bulunmaktadır. MIS ve MOS yapılar levhalardan birinin yarıiletken, diğer levhanın da metal olması sebebiyle paralel plakalı kondansatöre benzer[18]. Şekil 2.1 de V_G metal plakaya uygulanan gerilim, d_{ox} yalıtkan kalınlığı ϵ_{ox} yalıtkanın dielektrik katsayısıdır. Metal plakaya omik kontakta göre negatif bir gerilim uygulandığında V_G gerilimi negatif, pozitif bir gerilim uygulandığında pozitifdir. Yalıtkan – yarıiletken ve yarıiletken arayüzeyin özellikleri bu yapının özelliklerini belirler [19, 25]



Şekil 2.1. Bir MIS (Metal – yalıtkan – yarıiletken) yapının şematik gösterimi

2.1.1. İdeal MIS ve MOS yapısı

Gerilim uygulanmadığında ideal bir MIS yapının enerji-bant diyagramları p-tipi ve n-tipi yarıiletkenler için Şekil 2.2 de gösterilmiştir[20,21].



Şekil 2.2. İdeal bir MIS yapı için $V=0$ 'da enerji-bant diyagramı (a) p-tipi yarıiletken için (b) n-tipi yarıiletken için

Şekil 2.2. de yer alan tüm terimlerin anlamı şu şekildedir:

ϕ_m : Metalin iş fonksiyonu

ϕ_B : Metal ve yalıtkan arasındaki potansiyel engeli

χ : Yarıiletkenin elektron yakınlığı

χ_i : Yalıtkanın elektron yakınlığı

E_v : Valans (değerlik) bandı enerji seviyesi

E_C : İletkenlik bandı enerji seviyesi

E_i : Saf Fermi enerji seviyesi $((E_C - E_v)/2)$

E_F : Fermi enerji seviyesi

ψ_B : Fermi ile saf Fermi enerji seviyesi arasındaki fark [20].

Şekil 2.2 de *Fermi enerjisi*, iletkenlerde mutlak sıfır sıcaklığında ($T=0$ K), elektronlar tarafından taban durumundan itibaren işgal edilen en yüksekteki dolu seviyenin enerjisine denir. Fermi enerji seviyesi, yarıiletkenlerde valans ve iletkenlik bandındaki taşıyıcı sayısına bağlı olarak yasak enerji bölgesindeki seviyedir. Vakum enerjisi, bir elektronun yüzeyden koparılıp serbest kalması için gerekli olan minimum enerji miktarı veya metalin dışındaki kinetik enerjisi sıfır olan elektronun enerji seviyesi olarak tanımlanır. Bir elektronu serbest hale getirmek veya Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine

çıkartmak için gerekli olan minimum enerjiye metalin iş fonksiyonu (ϕ_m) dir. Vakum seviyesi ve Fermi enerji seviyesi arasındaki farka yarı iletkenin iş fonksiyonu (ϕ_s) denir. Bu enerji seviyesi sıcaklığa ve yarı iletkene katılan katkı atomlarının yoğunluğuna bağlı olduğundan değişen bir niceliktir. Yarı iletkenin iletkenlik bandı kenarı ile vakum seviye arasındaki bir elektronun enerji farkı da elektronun yakınlığı (χ)dır ve değişken bir parametredir.

İdeal MIS yapılar şu özellikleri ile dikkat çekerler;

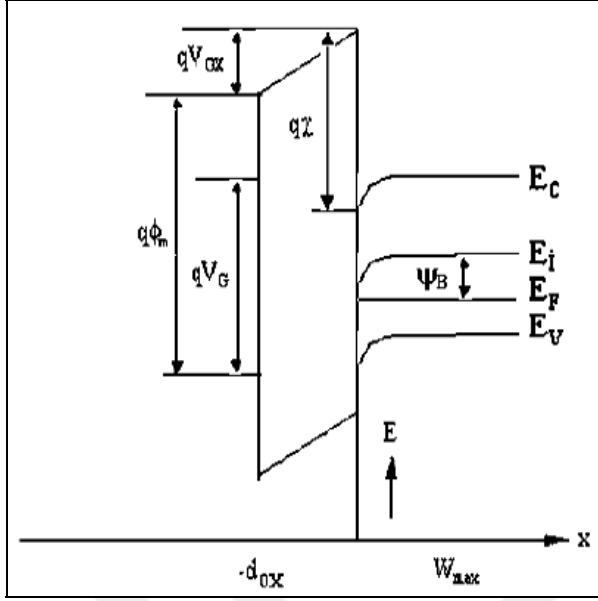
- Sıfır beslem durumunda metal ile yarıiletken arasındaki iş fonksiyonu farkı sıfırdır ($\phi_{ms} = \phi_m - \phi_s = 0$) ve n-tipi ile p-tipi yarı iletken için bu formüller şu şekilde gösterilir.

$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_B \right) = 0 \text{ (n-tipi)} \quad (2.1)$$

$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_B \right) = 0 \text{ (p-tipi)} \quad (2.2)$$

Eg: Yarıiletkenin yasak enerji aralığı

- Metal ve yarıiletken tabakalar arasındaki yalıtkan tabaka vardır, yalıtkan içinde ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde sabit ve hareketli iyonlar ve tuzaklar bulunmaz. Bunun yanında yalıtkan yarıiletken arayüzeyinde arayüzey durumları ve arayüzey yükleri de bulunmamaktadır.
- Yalıtkan bant aralığı o kadar büyüktür ki yalıtkanın iletkenlik bandındaki yük taşıyıcı yoğunluğu ihmal edilebilecek kadar küçüktür.
- D.C. gerilim altında yalıtkanın öz direnci sonsuzdur.
- Herhangi bir D.C. gerilim altında yarıiletkendeki yükler ile yalıtkan tabakaya bitişik olan metal yüzeydeki yükler eşit ama zıt yönlüdürler.



Şekil 2.3. Bir Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapının enerji bant diyagramı(n-tipi yarıiletken için)

Yarıiletkende yük kaymaları, doğrultucu metal kontağa bir gerilim uygulandığında ideal MIS yapıda gözlemlenir. Metaldekine göre daha az, yarıiletkende serbest hareketli yük yoğunluğu vardır ve aynı zamanda da uygulanan gerilime de bağlıdır. Yarıiletken arayüzeyinde oluşan uzay yükleri (Q_{sc}) bantların dökülmesine neden olur. Potansiyelin büyüklüğü; arayüzey bölgesindeki uzay yük yoğunluğu ile belirlenir. Yarıiletkende katkılama türüne göre yükler azınlık ve çoğunluk taşıyıcılar olur. Yük uygulanan gerilime bağlı olarak ya arayüzey bölgesinde ya da uzay yükü bölgesinde birikmelere sebep olur.

$$V_G = V_{OX} + V_s \quad (2.3)$$

Uygulanan V_G geriliminin tamamı tek bir yüzeye düşmez, bir kısmı yalıtkan arayüzey tabakaya bir kısmı da yarıiletken yüzeye düştüğünden yukarıdaki (2.3) eşitliği yazılabilir. Burada V_s arayüzey bant gerilimi, V_{OX} yalıtkan arayüzey tabakadaki gerilimdir. Kondansatördeki yüke benzetmek için, toplam yük şu şekilde ifade edilebilir.

$$Q_m = Q_n + q N_A W = Q_s \text{ ve } Q_m + Q_{SC} = 0 \quad (2.4)$$

Burada Q_n tersinim bölgedeki birim alana düşen elektron yoğunluğunun oluşturduğu toplam yük, W genişliğindeki uzay yükü ile uzay yükü bölgesinde birim alana düşen

iyonize olan alıcı katkı atom sayısı $q N_A W$ dır. Yarıiletken yüzeydeki toplam yük Q_s , metaldeki toplam yük Q_m , uzay yükü bölgesinde biriken toplam yük Q_{sc} dir.

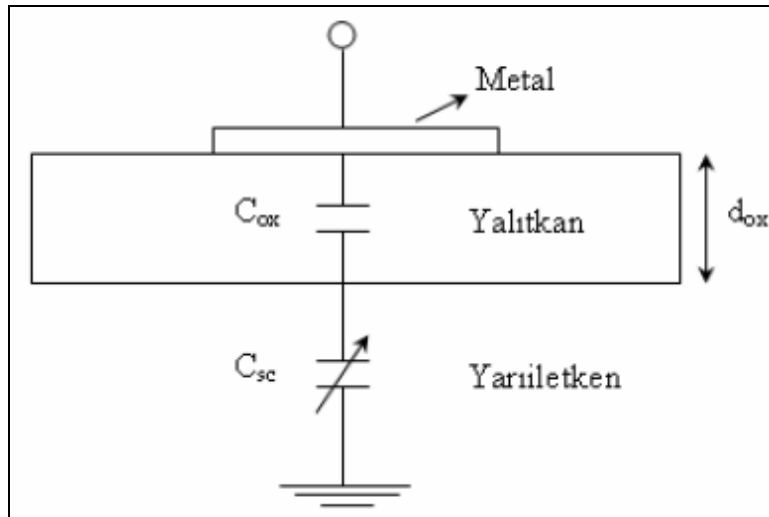
Yarıiletken ve metal arasında yalıtkan bir tabaka olmasından dolayı bu aralıkta bir kapasitans oluşur. Şekil 2.4’de MIS kapasitansına karşılık gelen devre çizilmiştir. MIS yapının kapasitansı (C), yalıtkan tabakanın kapasitansı (C_{ox}) ve uzay yükü kapasitansı (C_{sc}) uygulanan gerilim de çok küçük diferansiyel değişmelerde şöyle ifade edilir:

$$C = \frac{dQ_m}{dV_G} A_{ox} \quad (2.5a)$$

$$C_{ox} = \frac{dQ_m}{dV_G} A_{ox} \quad (2.5b)$$

$$C_{sc} = \frac{dQ_{sc}}{dV_G} A_{ox} \quad (2.5c)$$

A_{ox} : Yarıiletken – metal arasındaki yalıtkan tabakanın alanı.



Şekil 2.4. Bir Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapının eşdeğer devresi

Yalıtkan oksit kapasitansı C_{ox} ile yüzey yük kapasitansı C_{sc} 'nin seri bağlanmasının eşdeğer kapasitansı MIS yapının eşdeğer kapasitansını verir.

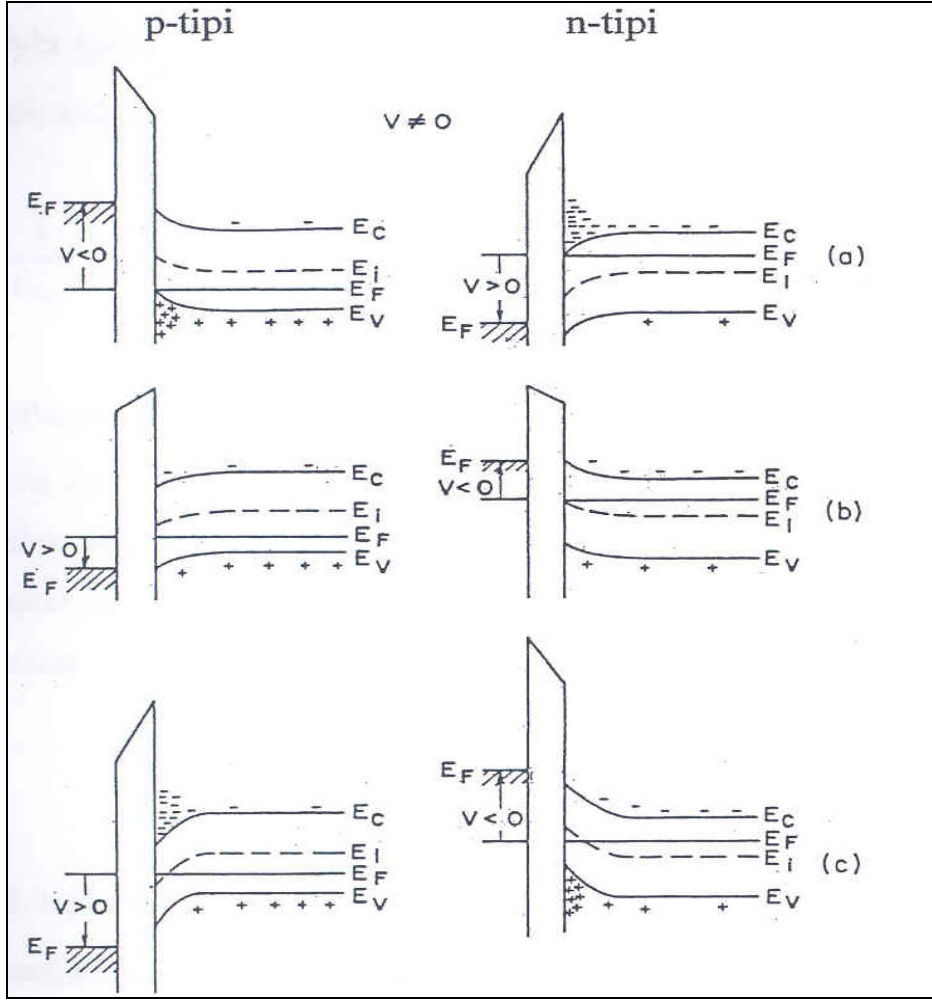
MIS yapıdaki kapasitans değişimi, C_{ox} 'in değeri uygulanan gerilim ile değişmez. Kapasitansdaki değişim sadece Q_{sc} uzay yükü kapasitansının değişimine bağlıdır.

Şekil 2.5’de p-tipi yarıiletken için uygulanan gerilim ile MIS kapasitansında meydana gelen durumlar tanımlanır.

Yığılım: Metal plakaya negatif bir gerilim uygulandığında, bu gerilimden meydana gelen elektrik alan deşikleri yarıiletken arayüze çekecektir (Şekil 2.5)

Deşikler, bant bükülmesinden dolayı yarıiletken yüzeyin etrafında birikmeye başlar. Valans bandı Ferme seviyesinde yaklaşır, bundan dolayı da iletkenlik bandında yukarı doğru bükülme gözlenir. Bu olaya çoğunluk yük taşıyıcı olan deşiklerin arayüzeyde yığılmalarından dolayı (yığılım) denir. $C \rightarrow C_{ox}$ olur, çünkü arayüzeyde biriken yük yüzey yüküdür.

Tükenim: Metal plakaya az miktarda pozitif gerilim uygulandığında, bu gerilimden meydana gelen elektrik alan deşiklerin yarıiletken arayüzeyden uzaklaştırır. Elektronlar, iletkenlik bandının yarıiletken yüzeyine yakın yerde birikmeye başlar. Yarıiletken yüzeyinde, deşiklerin azaldığı ve W genişliği uygulanan gerilim ile değişen bir bölge oluşur. Deşik yoğunluğunun azaldığı bu olaya tükenim, bu bölgeye de tükenim bölgesi denir (Şekil 2.5)



Şekil 2.5. $V \neq 0$ durumunda ideal MIS yapının enerji-bant şeması (a) Yığılım (b) Tükenim (c) Tersinim

Uzay yükü yoğunluğu tükenim durumunda şu şekilde verilir.

$$Q_{sc} = qW N_a^- = Q_a \quad (2.8)$$

Burada N_a^- iyonlaşmış alıcı yoğunluğu ve Q_a birim yüzeydeki alıcı yüküdür.

Aşağıdaki eşitlik ile tükenim bölgesi kalınlığı verilir.

$$W_D = \epsilon_s A_{ox} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_{ox}} \right) \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabitidir. Yalıtkan kapasitansı ve uzay yükü kapasitansı bu bölgede MIS kapasitansını belirler. Yüksek frekansta gerilim çok hızlı

olarak değiştirilirse, tersinim yükü daha uzun uzadıya bir sürede birikir. Bu durumda C-V eğrisi C_{min} 'un altına düşer. Bu duruma derin tükenim adı verilir.

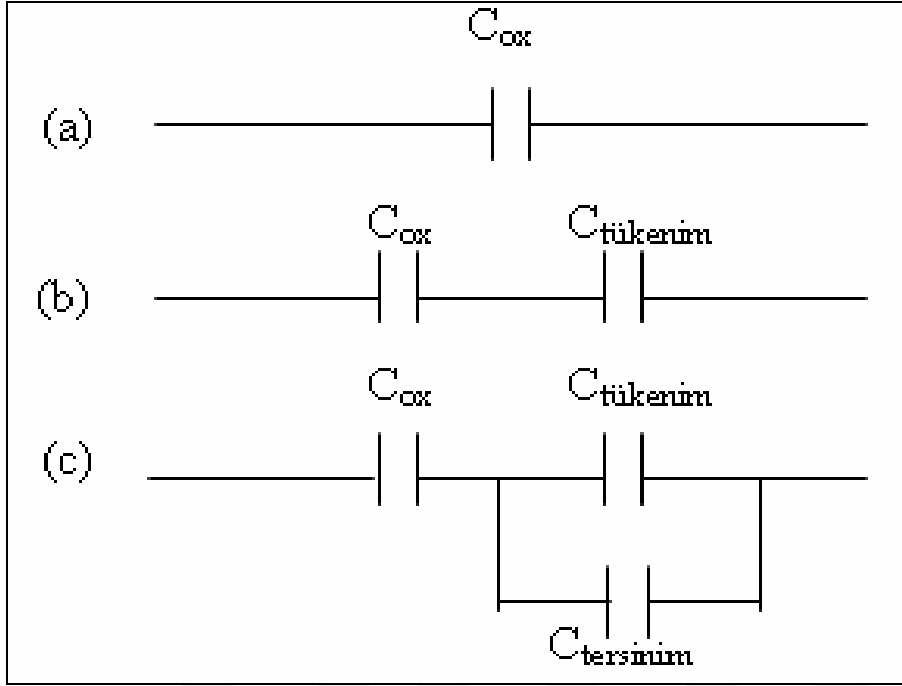
Tersinim: Metale çok büyük pozitif gerilim uygulandığında bantların aşağı büküldüğü gözlenir. Saf durumdaki enerji seviyesi E_i Ferme enerji seviyesinin altına geçer. Yarıiletken yüzeydeki elektronlar artarak, elektron yoğunluğu deşik yoğunluğundan fazla olur. Bu durumda aslında p-tipi yarı iletken yüzey n-tipi gibi davranmaya başlar. Buda yarıiletken yüzeyin tersinimi olarak ifade edilir. Böyle bir durumda meydana gelen uzay yükü Q_{sc} , birim yüzeydeki alıcı yükü Q_a , tersinim bölgenin birim yüzeydeki elektronların yükü Q_n olmak üzere şu ifade yazılır.

$$Q_{sc} = Q_n + Q_a \quad (2.10)$$

Bu durumda MIS kapasitansını, elektron yoğunluğunun uygulanan gerilimin a.c. sinyalini takip edebilme yeteneği belirler. Elektron yoğunluğu a.c. sinyalini küçük frekanslarda takip edebilir ve buna bağlı olarak kapasitans artan gerilimle yalıtkan kapasitansının değerine ulaşır. Ara frekanslarda daha yavaş takip edebilir, dolayısıyla frekansın değerine bağlı olarak ara frekans eğrileri görülür. Yüksek frekanslarda ise takip edemez. Sabit yük uzay yükü gibi etki eder ve kapasitans C_{min} 'de kalır. Yüksek frekansta eğer gerilim ani olarak değiştirilirse, azınlık taşıyıcıların yeniden birleşme (rekombinasyon) hızına bağlı olarak tersinim yükü daha geç birikir. Bu da eğrinin C_{min} 'un altında değerler almasına sebep olur.

İdeal durumda yükler yalıtkana yakın olan metal yüzeyde ve yarıiletkende bulunurlar. D.C. gerilim uygulandığında yalıtkan içerisinden akım geçemez.

İdeal bir MIS yapıda yığılım, tükenim ve tersinim adını alan üç yük sistemi için devre şekil 2.6'da verilmiştir.

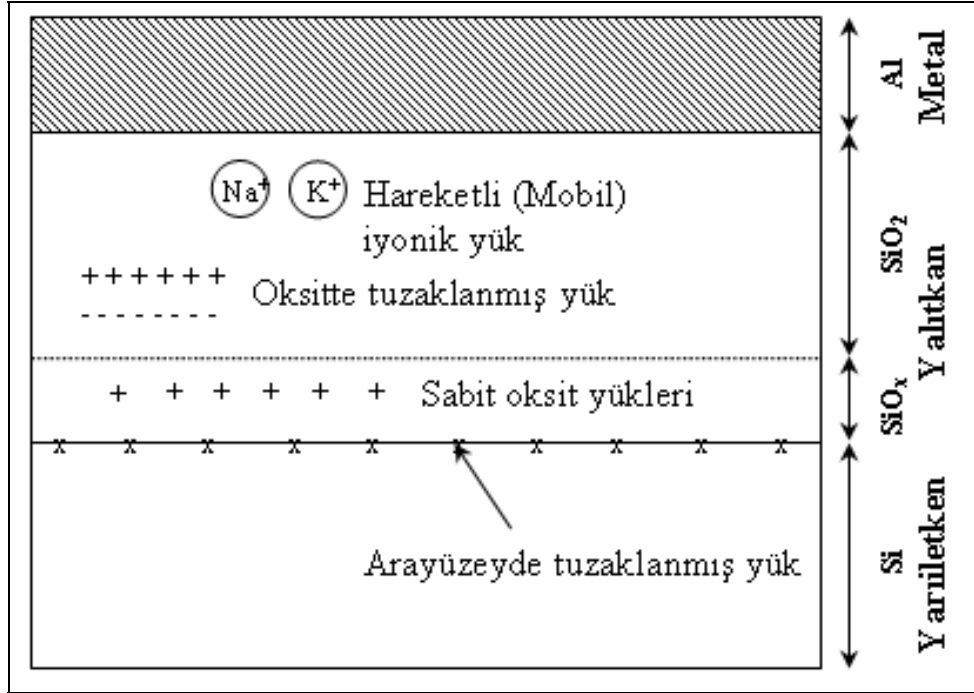


Şekil 2.6. İdeal bir MIS yapının elektronik şeması (a) Yığılım (b) Tükenim (c) Tersinim

2.1.2. Gerçek MIS ve MOS yapısı

İdeal bir yalıtkanın yarıiletken ile birleşim yüzeyi arasında ve yalıtkanın kendi içinde hiçbir hareketli ve boşluk yük bulunmaz. MIS ve MOS yapıların ideal özelliklerden sapmasına neden olan durumlar söz konusudur. Bunlar safsızlıklardan veya doymamış bağlardan kaynaklanan yalıtkan – yarıiletken arayüzeydeki, arayüzey durumları olan oksidasyon sırasında yönleme göre açığa çıkan tuzaklar, hareketli iyonlar, sabit oksit ve tuzaklanmış yükler ve arayüzey yüklerinin bulunması, MIS ve MOS yapının özelliklerini farklılaştırarak bu yapıların ideal özelliklerinden sapmalarına neden olur.

Şekil 2.7’de gerçek MIS ve MOS yapıdaki durumların ve yüklerin sınıflandırılması gösterilmiştir.



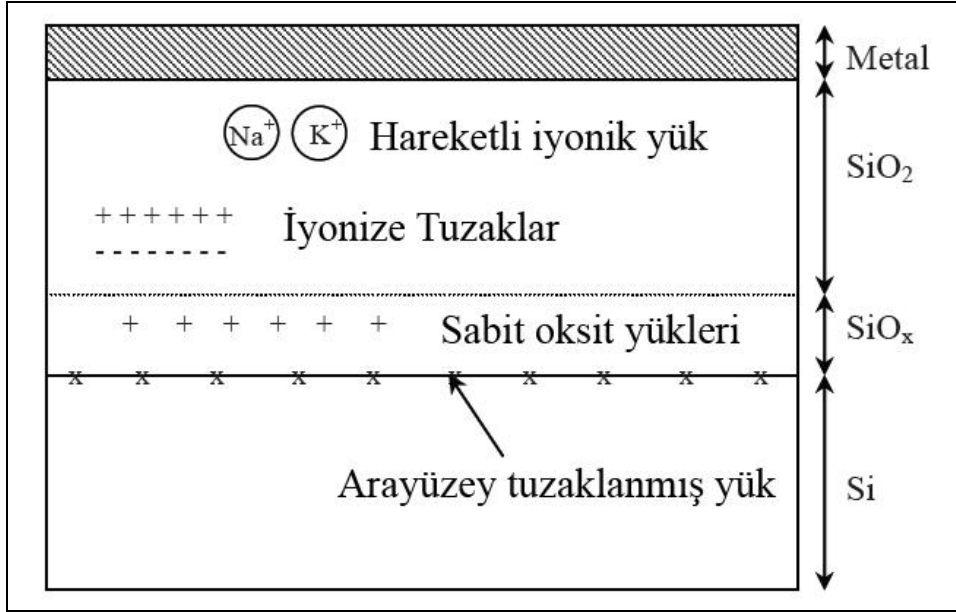
Şekil 2.7. İdeal olmayan MIS/MOS yapısında arayüzey durumları ve yüklerin sınıflandırılması

Bunlar şöyledir:

- Radyasyona maruz kalan numunenin oluşturduğu tuzaklar.
- Yalıtkan içinde bulunan hareketli iyonlar.
- Yalıtkan – yarıiletken arayüzeyinde yasak bant aralığı içinde enerji seviyesi gibi tanımlanan arayüzey durumları.
- Yarıiletkenin yüzeyine ya da çevresine yerleşen ve uygulanan elektrik alanda hareketsiz kalan sabit yüzey yükleridir.

2.1.3. MIS yapılarında ideal durumdan sapmalar

İdeal bir yalıtkanın içinde ve yarıiletkenle birleşim yüzeyinde boşluk yükü ve hareketli yük olmaz. Oysa gerçekte yarıiletken ve arayüzeyde elektriksel olarak nötrlük gözlenmez. Safsızlıktan veya doymamış bağlardan kaynaklı yarıiletken – yalıtkan arayüzeyinde tuzaklanmış yükler, hareketli iyonlar, tuzaklar, arayüzey ve sabit oksit yükleri ortaya çıkar. Bu yapılar MIS yapının ideallikten sapmasına neden olur [24]. Yüklerin sınıflandırılması ve bu durum Şekil 2.6'da gösterilmiştir [9].



Şekil 2.8. İdeal olmayan MIS yapısında yüklerin sınıflandırılması ve arayüzey durumları

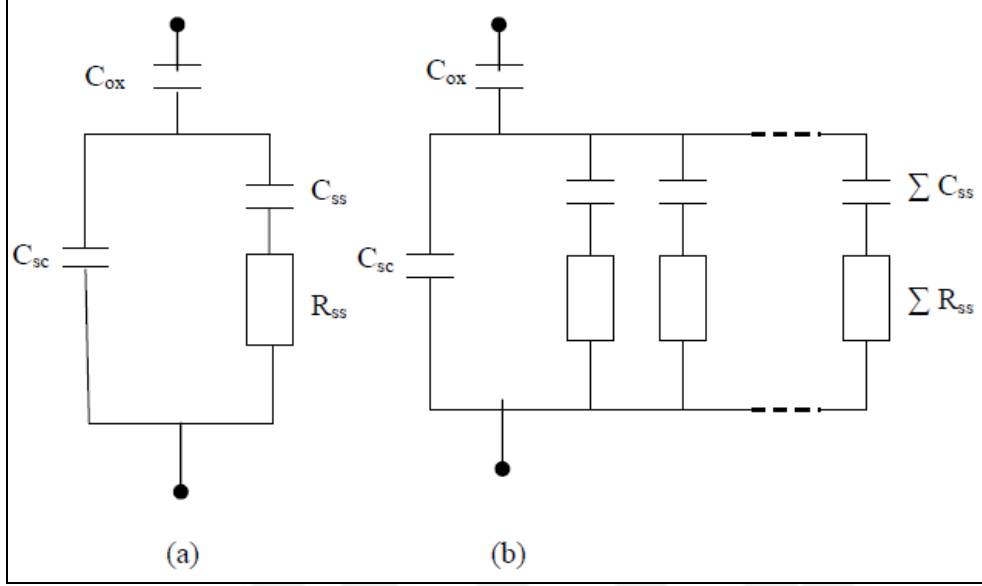
Bunlar sıra ile yazılacak olursa:

- Yarıiletken – yalıtkan arayüzeylerinde yasak bant aralığında enerji seviyesi olarak belirtilen arayüzey durumlar.
- Yarıiletken yüzey yada yakın kısımlarına yerleşmiş olan ve elektrik alan uygulandığında hareket etmeyen sabit yüzey yükler.
- Yalıtındaki hareket halindeki iyonlar.
- Örneğin x – ışınının etkisinde oluşturduğu iyonize tuzaklar.

2.1.4. Arayüzey durumları

Kısa zaman aralığında yarıiletken ile yükleri değişebilen yalıtkan – yarıiletken arayüzeyinde yasak bant aralığı içinde gerilebilir enerji seviyelerine arayüzey durumları denir. Arayüzey durumu iki tiptedir, alıcı veya vericidir. Alıcı arayüzey tuzağı boş ise nötr ve elektron alırsa da negatif yüklü hali alır. Verici arayüzey tuzağı dolu ise nötr ve elektron verirse pozitif yüklü hale gelir. Gerilim uygulandığında, arayüzey tuzak seviyeleri, balans ve iletkenlik bantları ile aşağı yukarı hareket ederken, Ferme seviyesi geride sabit kalır. Arayüzey tuzakları balans bandı ve iletkenlik bandı ile yük alışverişi yaptığında arayüzey tuzaklarının yükü değişir. Buradaki yük değişimi MIS ve MOS kapasitansına katkıda bulunduğu için ideal MIS ve MOS eğrisi değişir. Yalıtkan kalınlığı ve yarıiletkendeki katkı yoğunluğu, arayüzey durumlarında bulunan Q_{ss} yük yoğunluğunu etkilemez. Temel

eş değer devre şekil 2.8’de çizilmiştir. Bu şekilde bir devre olmasının nedeni arayüzey durumları uzay yükü kapasitansına seri direnç ve paralel kapasitans etkisi yapmasıdır.



Şekil 2.9. MOS yapısının eşdeğer devresi (a) Bir enerji seviyesi için (b) Birbirinden farklı enerji seviyeleri için

Kapasite : Bir arayüzey duruma, arayüzeyde izin verilen başka bir durumun eklenmesiyle meydana gelir. Bu yüzden durum başına temel yükün bir kapasitesi eklenir. Bu kapasite uygulanan gerilimin keskin bir pikidir. Fermi seviyesi arayüzey durum seviyesini aştığı için pik gerilim için görülür.

Arayüzey potansiyeli : Kapasite ve iletim a.c. etkisindedir. Bu a.c. etkisine ek olarak arayüzey durumları d.c. etkisine sebep olur. Arayüzey elektrik alanı, arayüzey durumlarında depo edilen yükler tarafından değiştirilir. İdeal durumdakinden daha fazla gerilim uygulayarak arayüzey potansiyeli değiştirilebilir. Stretch out (kapasite – gerilim zorunlu genişlemesi.) olan etki gözlenir.

İletim: Arayüzey durumları tarafından taşıyıcıların yayınlanması ve yakalanması sonsuz hızda olmadığından zaman gecikmesi ile birleştirilir. RC devresi ile arayüzey durumun özdeşleştirilmesi zaman gecikmesinden dolayıdır. $\tau = 1/(R_{ss}C_{ss})$ bağıntısı ile verilen dolun boşalım zamanı zaman kaymasıdır. C_{ss} arayüzey kapasitansı, arayüzey direnci ise R_{ss} 'dir. [30,31]

$$C_{ss} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial \Psi_s} A_{ox} \quad (2.11)$$

C-V eğrisini ideal C-V eğrisine göre kaymasına arayüzey durumları sebep olur. Durum yoğunluğu

$$N_{ss} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial E} \quad (2.12)$$

ile verilir. Durum yoğunluğu, birim enerji başına düşen birim arayüzey durum yükü olarak ifade edilir. E enerjisi $E = q\Psi_s$ dir. $dE = dq\Psi_s$ şeklinde her iki tarafın diferansiyeli alınıp 2.12 düzenlenirse durum yoğunluğu

$$N_{ss} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial E} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial \Psi_s} \frac{\partial \Psi_s}{\partial E} = \frac{1}{q} \frac{\partial Q_{ss}}{\partial \Psi_s} \quad (2.13)$$

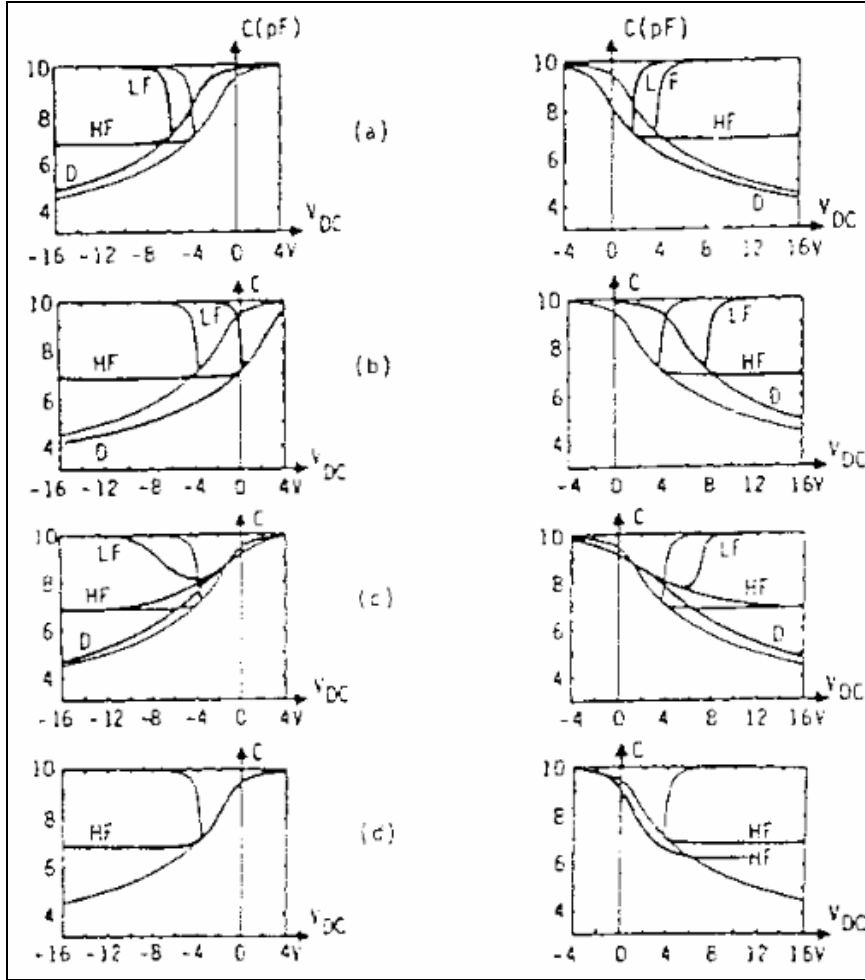
şeklinde yazılır [18].

Arayüzey durumunun bir deşik ve elektron tarafından işgal edilme olasılığı, Fermi enerji seviyesi ile belirlenir.

Arayüzey durumun enerji seviyesi, yüzey potansiyeli değiştikçe onun ile hareket eder. Bir elektron tarafından arayüzey durumunun işgal edilme olasılığının değişimi, Fermi seviyesinin bağıl değişiminden kaynaklanır. Daha fazla arayüzey durumunun Fermi seviyesinin altına inmesinin nedeni, altlar aşağı doğru eğildiğinde yüzey potansiyelinin artmasıdır. Yarıiletken kapasitansında ek bir katkı meydana gelmesinin nedeni yüzey potansiyelindeki değişiklik ile ilgisi olan tuzaklanmış arayüzey yükteki değişimdir.

2.1.5. Sabit oksit ve arayüzey yükleri

Ψ_s 'in geniş değişimlerine rağmen sabit oksit yükleri değişmezler sabittirler. Elektriksel ölçümlerde, yalıtkan – yarıiletken arayüzeyinde tabaka halinde lokalize olmuş sabit oksit yükleri görülebilir. Oksit kalınlığı ve silisyumdaki kirlilik, sabit oksit yükünün yoğunluğu (Q_{fc})'yi etkilemez. Arayüzeyi negatif veya pozitif sabit oksit yükleri bulunduğu yüksek frekans C – V eğrilerinin gerilim eksenindeki değişimi şekil 2.9'da çizilmiştir.



Şekil 2.10. Pozitif veya negatif sabit oksit yüklerine göre voltaj eksenini boyunca C-V eğrisinin değişimi: (a) p-tipi (b) n-tipi yarıiletken için

P – tipi ve n – tipi yarıiletkenlerinde, ideal C – V eğrisine göre, pozitif sabit oksit yükleri (Q_f) uygulama geriliminin negatif değerlerine doğru C – V eğrisinin kaymasına, negatif oksit yükleri (-Q_f) C – V eğrisinin pozitif uygulama gerilimine doğru kaymasına sebep olur.

Gerilim eksenini boyunca C_v eğrisinin paralel kayması, MIS kapasitansı eğrisinde sabit yükün etkisinden kaynaklanır. Bu kayma miktarı ΔV ;

$$\Delta V = \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} = \frac{\Delta Q_{ox}}{C_{ox}} \quad (2.14)$$

ile ifade edilir.

Arayüzeyi durum yük yoğunluğu ΔQ_{ss} , yalıtkan içindeki pozitif yük yoğunluğu ΔQ_{ox} , ΔQ_{eff} yani yalıtkan – yarıiletken arayüzeyinde oluşan yük yoğunluğu, ideal C – V eğrisi ile arayüzey ve sabit oksit yüklerinin sebep olduğu C – V eğrisi arasındaki kaymadan faydalanarak bulunur. Bu ifadeler şu şekilde verilir.

$$\Delta V_{ox} = \frac{\Delta V_{MG} C_{ox}}{q} \quad (cm^{-2}) \quad (2.15)$$

$$\Delta V_{eff} = \frac{\Delta V_{FB} C_{ox}}{q} \quad (cm^{-2}) \quad (2.16)$$

$$\Delta Q_{ss} = \Delta Q_{eff} - \Delta Q_{ox} \quad (cm^{-2}) \quad (2.17)$$

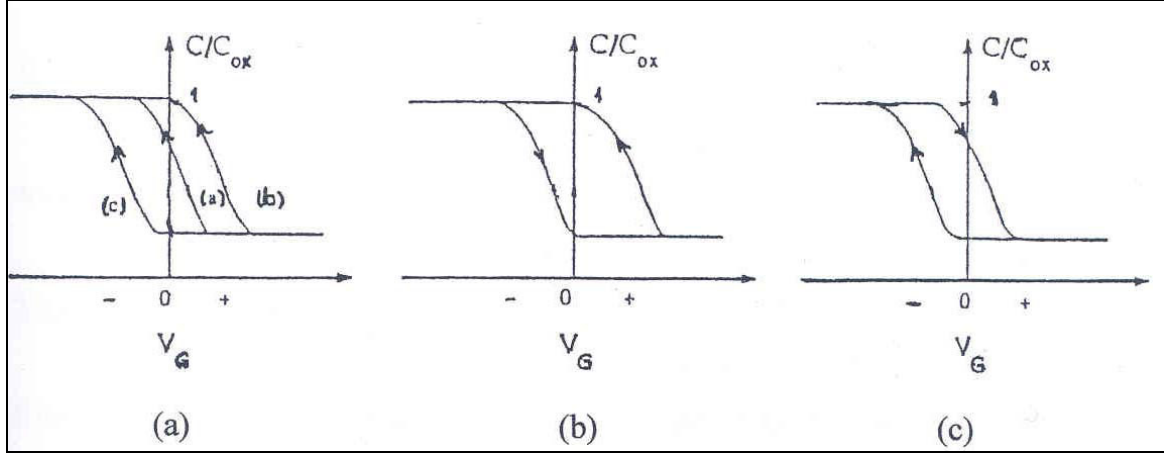
Bu bağıntıdaki, ΔV_{MG} gerçek ve ideal C – V eğrilerinin bant ortasındaki gerilim kaymasını ve düz bant gerilim kayması ΔV_{FB} 'ye, yalıtkan içindeki hareketli yükler veya yalıtkan içine enjekte olmuş yükler neden olabilir. P – tipi yarıiletken ile yapılmış MIS kapasitör göz önüne alındığında, şekil 2.10a'da a eğrisi orta uygulama gerilimi ile oluşmuştur. Sonrasında büyük bir pozitif gerilim uygulandığında iki etki olabilir.

- i) Elektronlar yalıtkana girebilir.
- ii) Yalıtkanında bulunan hareketli olan pozitif yüklü iyonlar yalıtkan-yarıiletken arayüzeyine doğru sürüklenebilir.

Oksit içine enjekte olan negatif yük birinci işlem için, b eğrisinde gösterilen pozitif bant gerilim kaymasına sebep olur. c eğrisinde ikinci işlem için yalıtkan – yarıiletken arayüzeyinde pozitif yük negatif bant kaymasına neden olmuştur.

Şekil 2.10b'de görülen pozitif V_G gerilimi ile yalıtkan içine elektron sızar ve $+V_G \rightarrow -V_G$ değişimi sola doğru ok işareti ile gösterilir. Ters beslemde ($-V_G \rightarrow +V_G$) okun yönü sola doğru gösterilir. Eğer hareketli yük nedeniyle C-V eğrileri kaymışsa, Şekil 2.10c eğrisi elde edilir.

Hareketli iyonlar, büyük pozitif uygulama gerilimleri için yalıtkan – yarıiletken arayüzeyine sürüklenir. Hareketli yük, büyük negatif uygulama gerilimleri için metal yalıtkan arayüzeyine çekilir ve C – V eğrisinde değişime neden olmazlar.



Şekil 2.11. (a) Yük olmadığına düz bant gerilim kayması (a eğrisi), yük enjekte edildiğinde (b eğrisi), hareketli yük durumunda (c eğrisi) (b) Enjekte olmuş yüke göre C-V eğrisi (c) Hareketli yüke göre C-V eğrisi

2.1.6. Hareketli (mobil) iyonlar

Hareketli (Mobil) iyonik yük yalıtkan yükünün bir başka türüdür. Potasyum ve sodyum gibi iyonize olmuş. Alkali metal atomları bu yüke sebep olur. yarıiletken – yalıtkan arayüzeyinde veya metal - yalıtkan arayüzeyinde hareketli yükler lokalize olmuştur. Belsem sıcaklığı ile hareketli iyonik yük, hareketsiz oksit yükten ayırt edilebilir. Hareketli iyonik yükler düşük sıcaklıklarda hareketli olduğundan sürüklenebilirler. Belsem sıcaklığında, hareketli iyonik yükün yarıiletken – yalıtkan ve metal – yalıtkan arayüzeyi arasında gidip gelmesi sonucunda iyonik akım gözlenebilir. H^+ ve H_3O^+ oda sıcaklığında N^+ , K^+ , Li^{++} da $100\ ^\circ C$ 'de hareketli iyonlardır. Mekanik parlatma esnasında çıplak elle temas, oksitleme gazlarında bulunan safsızlıklar, kullanılan kimyasallar, kuartz tutucuların kirli olması gibi nedenlerden dolayı hareketli iyonlar oksit içinde yer alabilir. Hareketli yükler, uygulanan elektrik alan etkisinde hareket ettiklerinden dolayı MIS yapının kararlılığı bozulur. C – V eğrisindeki düz bant kaymasından faydalanarak hareketli yükler şöyle hesaplanır.

$$Q_m = - \Delta Q_{FB} C_{ox} \quad (2.18)$$

Oksitte Tuzaklanmış Yük

Buradaki tuzaklar, radyasyondan ve kimyasal yapı bozukluklarından kaynaklanır ve yalıtkan oksit içinde bulunurlar. İyonlaştırıcı radyasyon ile elektron – deşik çiftleri yalıtkan tabakada oluşmuşsa sonradan bu elektron ve deşiklerin bir miktarı yalıtıkanda

tuzaklanabilirler. Yüksek enerjili parçacık yada fotonlar ile bombardımanda veya deşik ve elektronlar yalıtkan tabakaya enjekte yapıldığında oksitte tuzaklanabilirler. 550 °C ‘den yüksek sıcaklıklarda tavlama ile yapının üretimi esnasında oluşan deşik ve elektron tuzakları yok edilebilir. Çoğunlukla yalıtkan – yarıiletken yüzeyde tuzaklanmış yük, okside doğru dağılma gösterdiğinden yalıtkan – yarıiletken yüzeyine yerleşmezler.

$$Q_{ot} = - \Delta Q_{V_{fb}} Q_{ox} \quad (2.19)$$

İfadesi ile yalıtkan oksitte tuzaklanmış yük (Q_{ot}) verilir. Gerilim değerini pozitiften negatife doğru artırdığımızda ölçülen kapasitans değerleri ile gerilim değerini negatiften pozitifte doğru artırdığımızda ölçülen kapasitans değerleri arasında farklılıklar gözlenir. Bu farklılıktan dolayı kapasitans – voltaj eğrisinde histeresiz etkisi gözlenir. Kapasitans voltaj eğrisini iyonlaşmış tuzakların etkisi gözlenir. Oksit içindeki tuzakları boşaltmak için, MIS yapıya silisyum yüzeyinde deşik yığılmasını oluşturan negatif gerilimin uzunca bir süre uygulanması gerekir. Deşikler tarafından tuzaklarda bulunan elektronların yakalanması ile boşalma olur. Metal elektrota uygulanan pozitif gerilim ile Fermi düzeyi iletim bandına yaklaşır. Yalıtkan tuzakları dolar. Ama uygulanan gerilimde azalma olursa tekrar balans bandına kayan Fermi düzeyi ve deşikler tarafından tuzakların elektronları tekrar yakalanır ve tuzaklar tekrar boşalmış olur. Bu dolun – boşalın esnasında tuzaklardaki elektron sayıları arasındaki fark, C – V eğrisinde kaymaya sebep olan histeresiz yüküdür. Yalıtkan içindeki tuzakların miktarı kapasitans – voltaj eğrisinin iki yöndeki ölçülen değerlerindeki kayma miktarları ile bulunur.

ΔV_{HISFB} düz banttaki kayma miktarı olmak üzere, histeresiz yük yoğunluğu şu şekilde bulunur.

$$\Delta Q_{HIS} = \frac{\Delta V_{HISFB} C_{ox}}{q} \quad (cm^{-2}) \quad (2.20)$$

Hareketli yüklerin bulunabileceği iki arayüzey vardır. Bunlar yarıiletken-yalıtkan arayüzey veya metal-yalıtkan arayüzeydir.

Na^+ , Li^+ , H_3O^+ , H^+ , K^+ iyonları hareketli iyonlardır. [27].bu iyonlar hareketli olduklarından nispeten düşük sıcaklıklarda oksit içerisinde sürüklenebilir. Beslem sıcaklığı ile hareketsiz

oksit yük, hareketli iyonik yükten ayırt edilebilirler. Hareketli iyonlar bazı nedenlerden dolayı oksit içinde yerleşebilirler. Bu nedenler şunlardır.

- Oksitleme fırını,
- Kuartz tutucuların kirlenmiş olması,
- Kullanılan kimyasalların bu iyonları içinde barındırması,
- Çıplak el ile mekanik parlatma esnasında temas edilmesi,
- Oksitlenme gazlarının safsızlığı.

Yükler uygulanan elektrik alanda hareket halinde olduklarından MIS yapının kararlılığı bozulur.

2.1.7. İyonlaşmış tuzaklar

İdeal MIS karakteristikleri, arayüzey tuzaklar ve yalıtkan yüklerin varlığından etkilenecektir. Yasak enerji bölgesinde birim alan başına çok sayıda enerji seviyesini meydana getiren durumlar söz konusudur. MIS yapılışı sırasında silisyum yüzeyinde temizlenmeye karşı getirilemeyen kristal yüzeydeki düzensizlikler, yarıiletkenin kristal yapısındaki bozunma veya bulunan yabancı bir atom enerji seviyelerinin meydana gelmesine yol açar. Bu enerji seviyelerine yüzey durumlar denir. Yüzey durumları yoğunluğu için deneysel sonuçlar, yüzey atomlarının yoğunluğu $10^{11} - 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ mertebesinde iken, tahminler 10^{15} cm^{-2} civarında olduğunu belirtir. Yüzey durumları ikiye ayrılır, birincisi yavaş yüzey durumlarıdır. Bunlar MIS kapasitansını etkilemez. Termal oksidasyon ile çoğunlukla giderilebilir.

Bunlar yalıtkan yapısındaki hareketsiz yükler ihtiva eden bozukluklar ile yeterli sıcaklıklarda ve özellikle yüksek elektrik alan altında yalıtkan içerisinde göç etmeye yatkın, hareketli iyonlar tarafından meydana getirilir.

Yavaş yüzey durumları yalıtkanın metal tarafındaki yüzeyinde bulunurlar. İkincisi hızlı yüzey durumları, yasak enerji bölgesinin ortasına yakın enerjiye sahip olup yarıiletken arayüzeyi ile yalıtkanın yakınında bulunurlar. Yüzey potansiyelinin değişmesi ile aşağı yukarı hareket edeceğinden valans veya iletkenlik bandı ile anlık yük alış verişi yapar. Yasak enerji bölgesi dışındaki enerjiye sahip olup, arayüzeyde bulunan yüzey durumlarına

sahip yüzey durumları denir. Sabit yüzey durumlarının sahip olduğu yüke de oksit yükü yada sabit yüzey yükü adı verilir.

Kullanılan terimlerin açık ifadesini şu şekilde sıralayabiliriz:

E_t , arayüzey tuzak seviyesi enerjisi

E_F , fermi enerji seviyesi

g , termal durum dejenerasyonu

g , alıcı tuzaklar için 4, verici tuzaklar için 2 olup, arayüzey tuzaklar için dağılım fonksiyonu alıcı arayüzey tuzaklar için

$$f_{SD}(E_t) = \frac{1}{1 + \frac{1}{g} \exp\left(\frac{E_F - E_t}{kT}\right)} \quad (2.21)$$

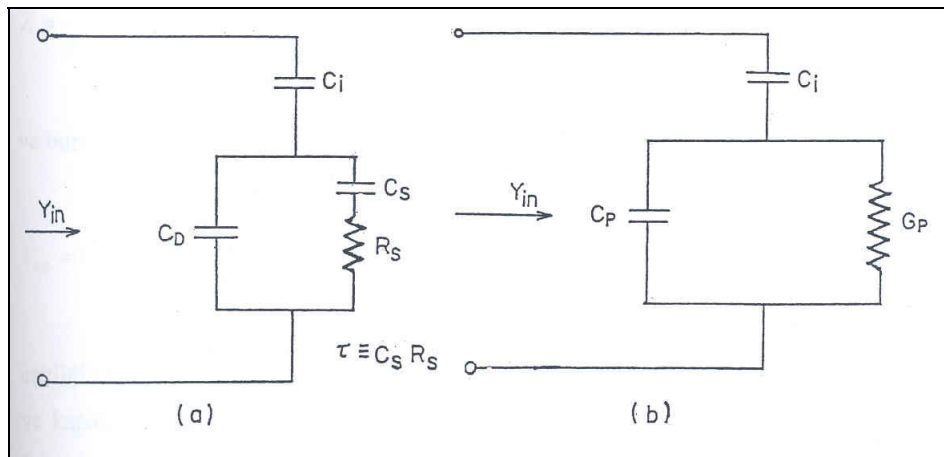
Ve verici tuzaklar için ise

$$f_{SD}(E_t) = \frac{1}{1 + g \exp\left(\frac{E_F - E_t}{kT}\right)} \quad (2.22)$$

Şeklindedir.

Bir belsem altında arayüzey tuzak seviyeleri aşağı ya da yukarı hareket eder. Bu durum Fermi seviyesi ile iletkenlik veya valans bantları sabitleşene kadar devam eder. Bu durum MIS ideal eğrisinde ve kapasitesinde değişmeye neden olur.

Şekil 2.11'de arayüzey tuzaklarının etkisini kapsayan eşdeğer devre verilmiştir.



Şekil 2.12. Arayüzey tuzaklarının etkisini içeren eşdeğer devre

Bu eşdeğer devrede C_D yarıiletken tüketim tabaka kapasitansı, C_i yalıtkan oksit tabakasının kapasitansıdır. Arayüzey tuzaklarının davranışını belirleyen arayüzey tuzaklarının ömrü $\tau = C_s \cdot R_s$ olarak tanımlanmıştır. Şekil 2.11b, şekil 2.11a'da paralel bağlı kolun, frekans bağımlı kapasitans C_p ve ana paralel bağlı frekans bağımlı iletkenlik G_p şeklinde yazılabileceğini gösterir.

İletkenlik G_p

$$G_p = \frac{1}{R_p} = \frac{G_s w^2 \tau}{1 + w^2 \tau^2} \quad (2.23a)$$

Kapasitans C_p

$$C_p = C_D + \frac{C_s}{1 + w^2 \tau^2} \quad (2.23b)$$

Eşitlikleri verildiğinde paralel koldaki admittans

$$Y = \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} = jw C_D + \frac{1}{R_s + \frac{1}{jw C_s}} = G_p + jw C_p \quad (2.24)$$

şeklinde yazılır.

Z toplam empedans ise

$$Z = \frac{1}{jw C_L} + \frac{1}{G_p / jw C_p} = -j \left(\frac{1}{w C_L} + \frac{w C_p}{G_p^2 + w^2 C_p^2} \right) + \frac{G_p}{G_p^2 + w^2 C_p^2} \quad (2.25)$$

ve buradan toplam admittans Y_{top} için,

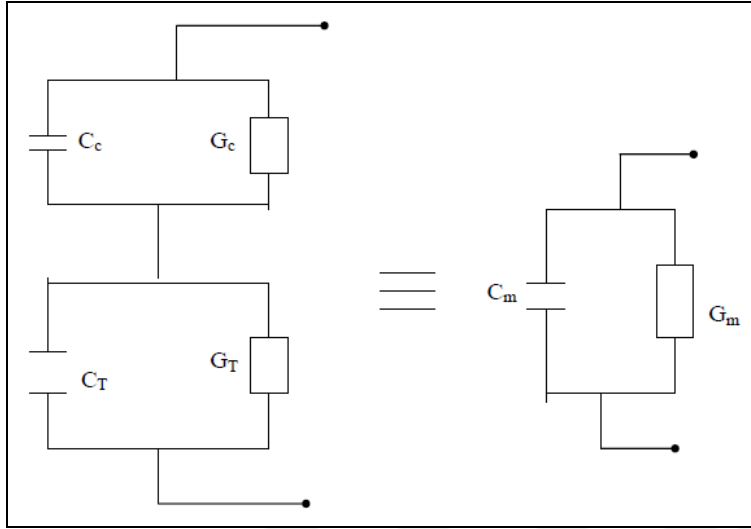
$$Y_{top} = \left(\frac{G_p^2 + w^2 C_p^2}{G_p} \right) + jw \left(\frac{(G_p^2 + w^2 C_p^2) C_L}{G_p^2 + w^2 C_p^2 + w C_p} \right) = G_m + jw C_m \quad (2.26)$$

eşitliği elde edilir.

Ölçülen iletkenlik G_m ve kapasitans C_m , eğer seri direnç var ve büyükse gerçek değerler değildir. Şekil 2.12'de bu durumun eşdeğer devresi verilmiştir.

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C_c + G_c} \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega C_T + G_T} \quad Z = \frac{1}{j\omega C_m + G_m} \quad (2.27)$$

şeklindedir.



Şekil 2.13. MIS yapının eşdeğer devresi

Şimdi C_c ve G_c için analitik çözüm yapılırsa

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

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

$$\frac{1}{Z_1} = \left(\frac{(G_m G_T - \omega^2 C_m C_T) + j\omega (G_T C_m - G_T G_m)}{(G_T + G_m) + j(C_T - C_m)} \right) \quad (2.28)$$

Denkleminin paydası eşleniği ile çarpılır. $G_T = 1/R_s$ yazılır ve C_T değeri ihmal edilirse düzeltilmiş iletkenlik için,

$$G_c = \frac{(G_m - G_m^2 R_s) - \omega^2 C_m^2 R_s}{(1 - G_m R_s)^2 + \omega^2 C_m^2 R_s^2} \quad (2.29)$$

R_s direnç, şekil 2.12b’de verilen devrenin empedansı Z ’nin reel kısmıdır. Yüksek frekansta ve kuvvetli yığılımdaki G_m ve C_m değerlerinden bulunabilir.

$$Z = \frac{1}{j\omega C_m + G_m} = \frac{G_m - j\omega C_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} = \frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} - \frac{j\omega C_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.30)$$

den,

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.31)$$

Elde edilir. “Eş. 2.28”’in düzenlenmiş şeklinin imajiner kısmı yani düzeltilmiş kapasitans,

$$C_c = \frac{C_m}{(1 - G_m R_s)^2 + \omega^2 C_m^2 R_s^2} \quad (2.32)$$

Şeklindedir. “Eş.2.29” ve “Eş.2.32” denklemlerini yeniden düzenlenirse [31]

$$C_c = \frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2) C_m}{\alpha^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.33a)$$

$$G_c = \frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2) \omega}{\alpha^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.33b)$$

elde edilir. Burada,

$$\alpha = G_m - (G_m^2 + \omega^2 C_m^2) R_s \quad (2.34)$$

olup, G_m ve C_m iletkenlik ve ölçülen kapasitansdır. $R_s = 0$ durumunda $C_c = C_m$ ve $G_c = G_m$ olur.

3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1. Kristal Temizleme

İyi temizlenmiş yarıiletken pek çok sayıdaki yüzey kusurunu engellemiş olur. Bu nedenle Schottky diyotunun ideale yakın olması için yarıiletken yüzey çok iyi temizlenmelidir.

Ultrasonik banyoda yapılan kimyasal temizleme işlemi, kristal üzerindeki ağır metal ve organik kirleri temizler ve yüzeydeki pürüzleri ortadan kaldırdığı için tercih edilmiştir.

Numunenin veriminin yüksek olabilmesi için yüzeyin max. dereceden temizlenmiş olması gerekir. Numunenin temizlenmesi için kimyasal temizleme işlemi yapılmıştır. Kimyasal temizleme işlemi şu şekildedir.

Temizleme işlemi için deiyonize su kullanıldı. Tüm kimyasal temizleme işlemleri ultrasonik banyo içinde gerçekleştirildi. Öncelikle kristalleri tutmak için kullanılan aletler fırında ısıtılarak sterilize edildi. Daha sonra hidrojen peroksit (H_2O_2), aseton ve ardından da deiyonize su ile tekrar yıkandı. Ölçümlerini aldığımız numuneler önce deiyonize su içerisinde ultrasonik olarak yaklaşık 5 dakika süre ile yıkandı. Numunelerin yüzeyinde oksitlenme olasılığını önlemek için numuneler kuru azot (N_2) ile kurutulduktan sonra hemen vakum ortamına alındı.

3.2. Deneysel Ölçüm Sistemi

Deneyselerimizi yaptığımız elektriksel karakteristikler için tüm ölçümlerin tamamı Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi laboratuvarında gerçekleştirildi. Kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/w-V) ölçümlerinde ise Hawlett Packard 4192A LF Empedaes Analiz metre (5 Hz-13 MHz) kullanıldı. Tüm bu ölçümler Hawlett Packard bilgisayarına takılan bir IEEE-488 ac/dc çevirici kart yardımıyla kumanda edilerek, gerçekleştirildi.



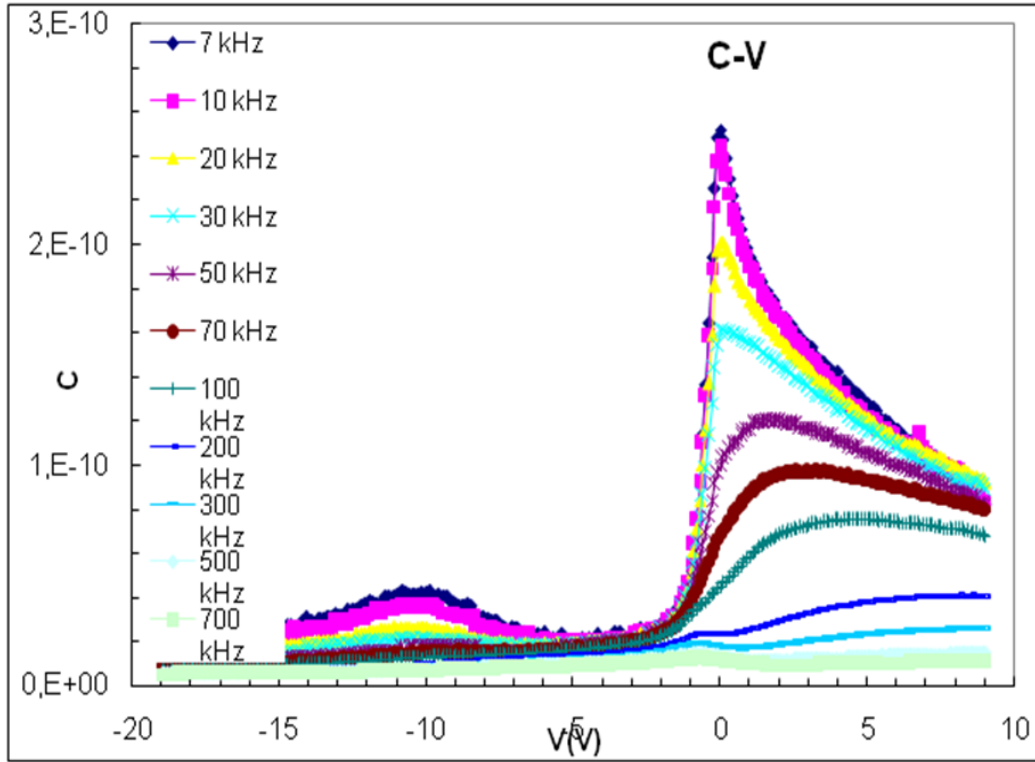
4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Giriş

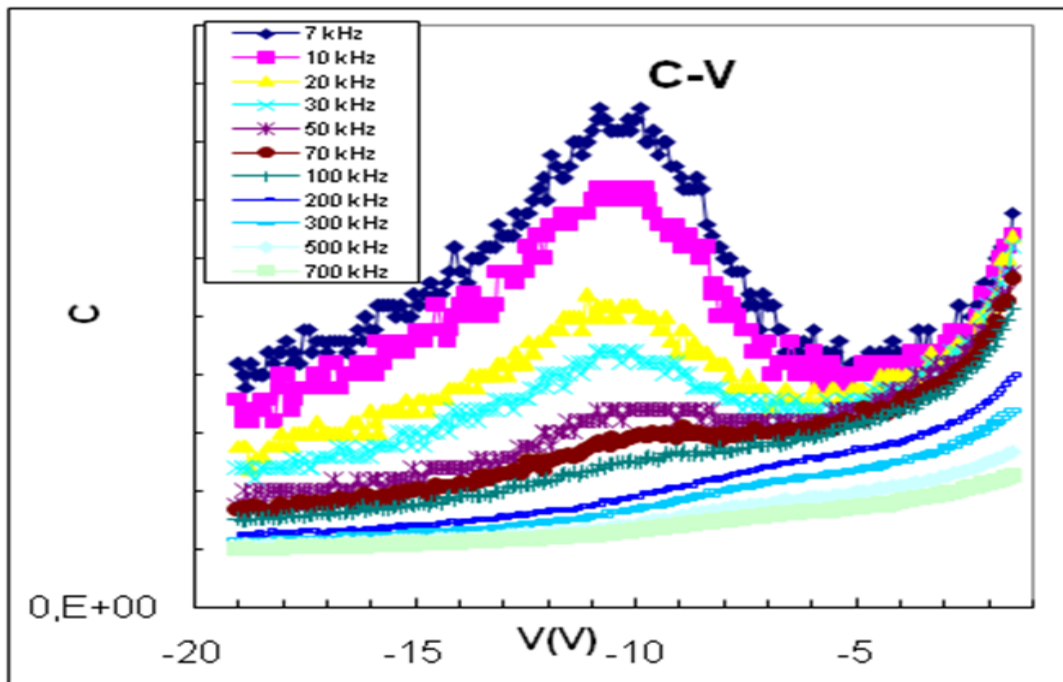
Hazırlanan GaAs/AlGaAs yapıların bazı temel elektriksel karakteristikleri kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/w-V) ölçümleri yapılarak incelendi. C-V ve G/w-V ölçümleri oda sıcaklığında Hawlett Packard 4192A LF Empedaes Analiz metresi kullanılarak hem ters ön gerilim hem de doğru gerilim altında -20 V' dan +10 V' a kadar 5 V aralıklarla ve 7 kHz – 0,7 MHz frekans aralığında gözlemlenmiştir. C-V ve G/w-V ölçümlerinden yapının, (ND) katkılanan verici atomların yoğunluğu, (EF) Fermi enerji seviyesi, (Fb(C-V)), metal ile yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel yüksekliği, (Rs) yapının seri direnci (Rs) ve arayüzey durumlarının (Nss) yoğunluğu elde edildi.

4.2. Kapasite-Voltaj (C-V) ve İletkenlik-Voltaj (G/w-V) Karakteristikleri

GaAs/AlGaAs yapıların C-V ve G/w-V ölçümleri oda sıcaklığında Hawlett Packard 4192A LF Empedaes Analiz metresi kullanılarak hem doğru hem de ters ön gerilim altında -20 V ile +10 V aralığında 5 V aralıklarla ve 7 kHz – 0,7 MHz frekans aralığında gerçekleştirildi. Ölçülen C-V ve G/w-V eğrileri sırasıyla Şekil 4.4 ve 4.5'de verildi. Şekil 4.4'den de görüldüğü gibi, C-V eğrileri terslenim-tükenim yığılma bölgelerine sahiptir. Yani tipik bir MS veya MIS karakteristiği sergilemektedirler. C' nin değeri artan voltajla artıyor ve tükenim bölgesinde düşük frekanslarda ($f \leq 700$ kHz) ~ 1 V' da GaAs/AlGaAs yapısının arayüzey durumlarının yoğunluk dağılımından dolayı pik vermektedir.

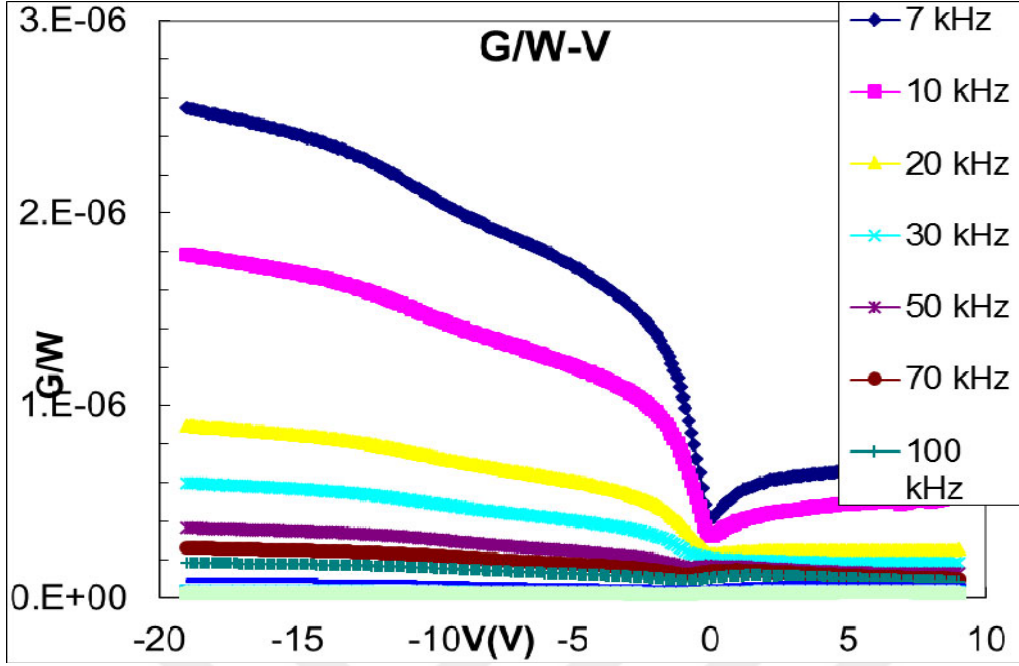


(a)

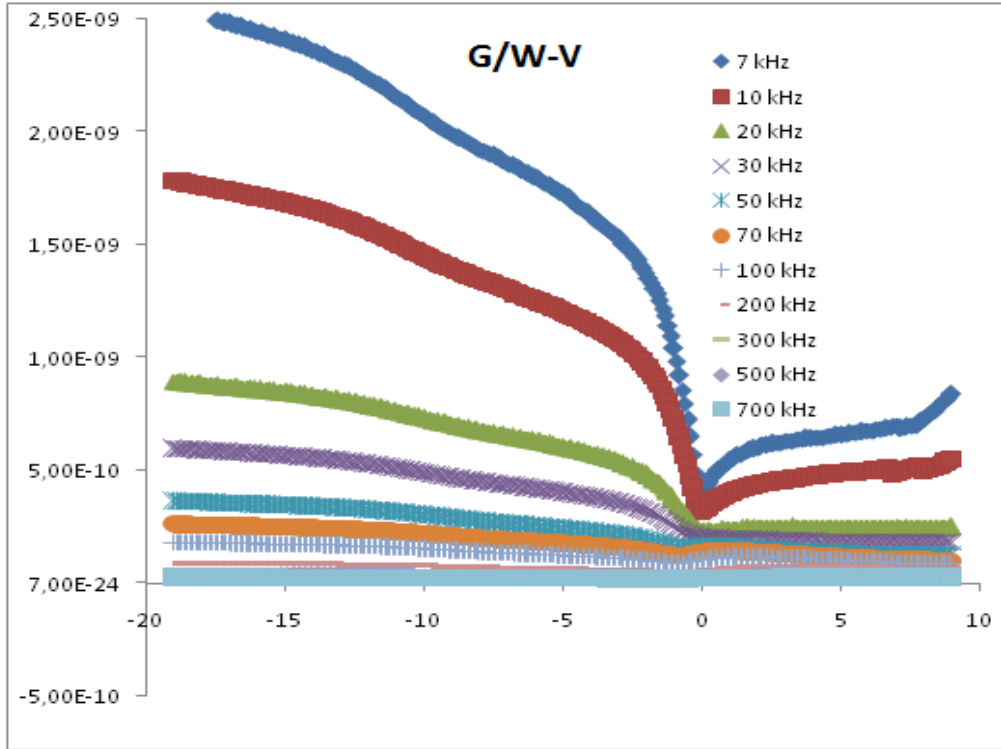


(b)

Şekil 4.1. Oda sıcaklığında GaAs/AlGaAs yapısının (a) düşük frekans, (b) yüksek frekans C-V eğrileri



(a)

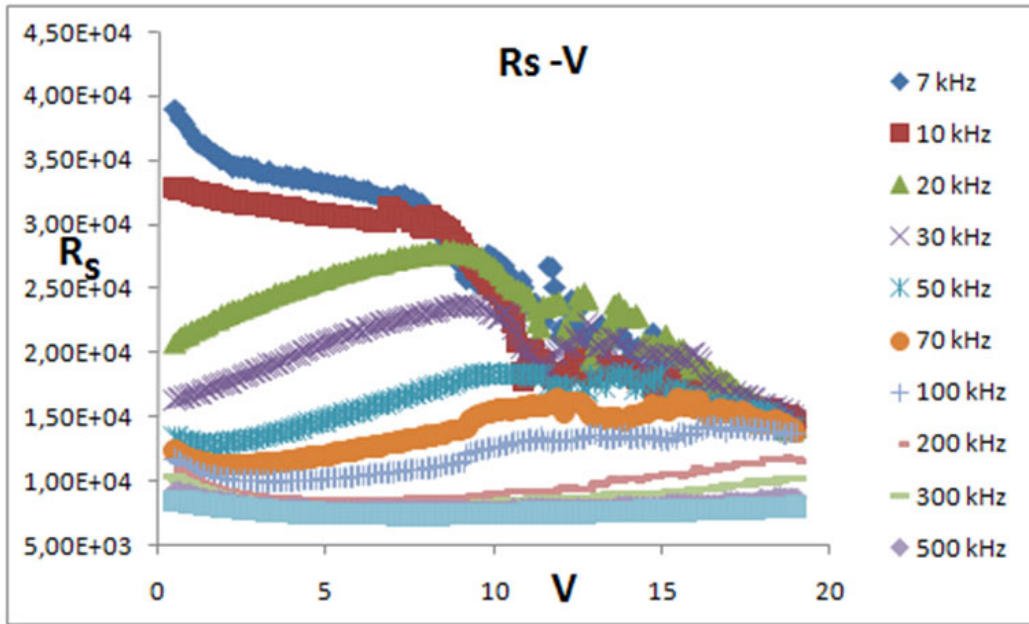


(b)

Şekil 4.2. Oda sıcaklığında GaAs/AlGaAs yapısının (a) düşük frekans, (b) yüksek frekans $G/w -V$ eğrileri

C-V ve G/w-V ölçümleri düşük frekanslarda ($f < 20$ kHz) alınırsa arayüzey durumları (Nss) uygulanan dış ac sinyali takip edemez ve dolayısıyla hem C hem de G/w değerlerine ya çok küçük ya da hiç bir katkı getirmez [17,18]. Bu nedenden dolayı düşük frekanslarda C ve G/w değerleri idealliğe yaklaşır. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi gözlenen yarılmalar ve piklerin nedeni arayüzey durumlarının özel dağılımına ithaf edilir[18,27]. Ayrıca G/w ve C değerlerinin frekansa bağlılığı dikkat çekmekte olup bu özellikle de tüketim ve yığılma bölgesinde frekansın etkisinin daha yoğun olduğu görülmektedir. Yeterince küçük negatif voltajlarda (terslenim bölgesi) C ve G/w değerlerinde önemli bir değişim olmadığı gözlenip bu bölgede voltajın C ve G/w değerlerine etkisi hemen hemen yoktur.

Gerilimin, kapasitans ve iletkenlik değerleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı voltajlarda hesaplanan C ve G/w daha önceki çalışmalarda belirlenmiştir. Daha önceki çalışmalarda da görüldüğü gibi C ve G/w değerleri artan frekansla azalmaktadır. C ve G/w değerlerindeki değişimler düşük frekanslarda yüzey durumlarının katkısından dolayı oldukça yüksektir. Voltajın yüksek frekanslardaki G/w değerleri üzerinde hemen hemen hiçbir etkisinin olmadığı görülür.



Şekil 4.3. Oda sıcaklığında GaAs/AlGaAs yapısının farklı voltajlarda seri direncin frekansa bağlılığı

Daha önceki çalışmalardan da görüldüğü gibi direncin değeri özellikle yığılma bölgesinde ölçülen kapasitans (C_m) ve iletkenlik (G_m/w) değerlerini etkilemektedir. Bu nedenle, hesaplamalarda doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek için yüksek frekanslarda kapasitans ölçümleri için direncin etkisini ortadan kaldırmak veya azaltmak için düzeltilmiş kapasitans (C_c) ve iletkenlik (G_c/w) değerlerinin hesaplaması için kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir [18].

$$C_c = \frac{|G_m^2 + (wC_m)^2| C_m}{a^2 + (wC_m)^2}$$

$$G_c = \frac{|G_m^2 + (wC_m)^2| a}{a^2 + (wC_m)^2}$$

$$a = G_m - (G_m^2 + w^2 C_m^2) R_s \quad (4.1.)$$

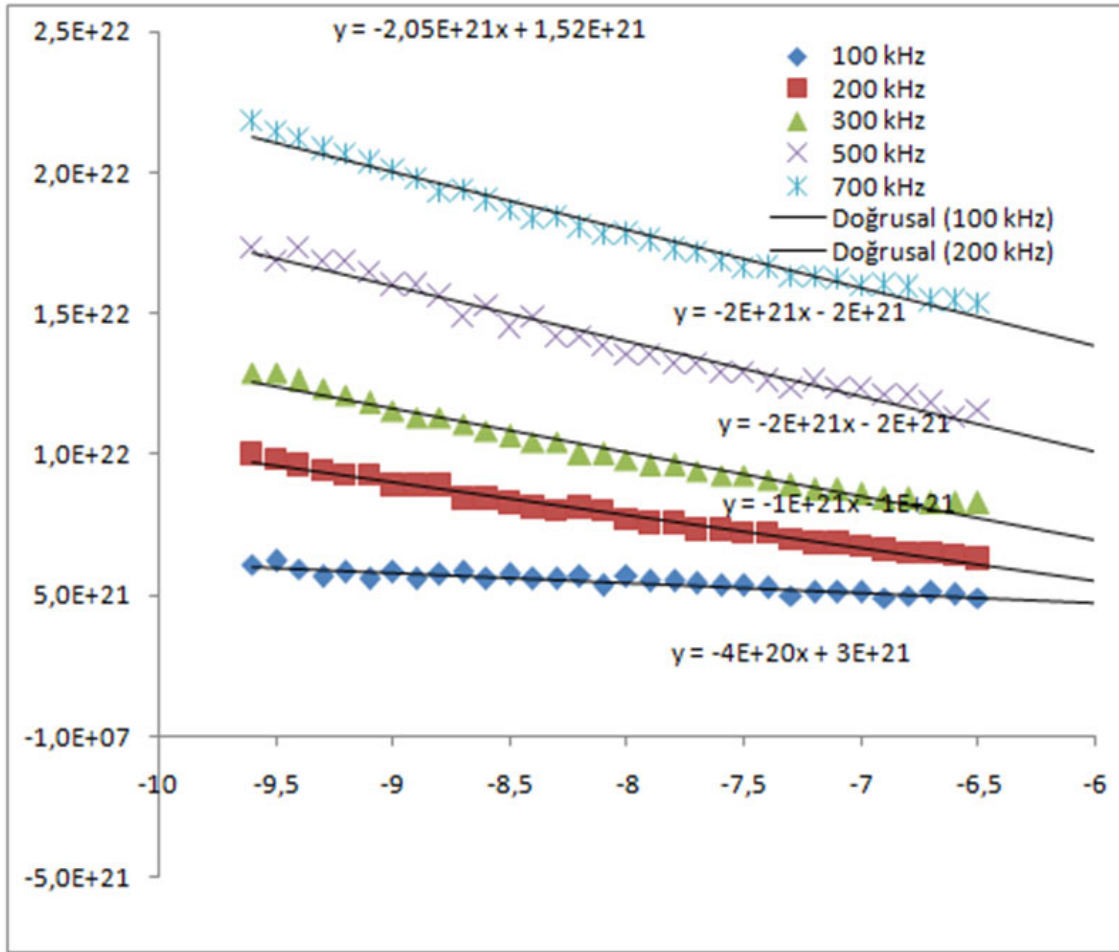
$R_s = 0$ durumunda $C_m = C_c$ ve $G_m = G_c$ olur.

Kapasitans (C_m), (G_m/w) iletkenlik, (C_c) düzeltilmiş kapasitans, iletkenlik (G_c/w) eğrileri karşılaştırıldığında da (C_c) değeri yığılma bölgesinde artar, (G_c/w) nin ise pik yaptığı tespit edilmiştir.

(C_c) ve (G_c/w) nin göstermiş olduğu bu değişimler R_s değerinin çok önemli bir faktör olduğu ve hesaplamalarda dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

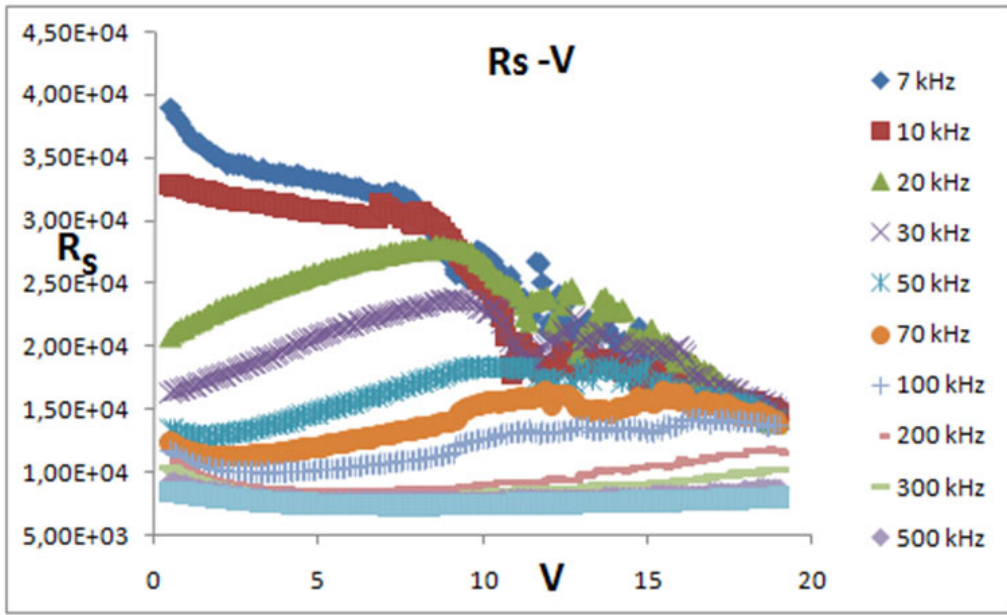
(R_s) değerinin frekansa bağıllığını araştırmak için farklı voltaj değerlerinde hesaplanan seri direncin frekansa bağıllığı daha önceki çalışmalardan elde edilmiştir.

Şekilden elde edilen sonuçlara göre yüksek frekanslarda seri direnç voltajdan bağımsızdır.



Şekil 4.4. Çeşitli frekanslarda GaAs/AlGaAs yapısının C^{-2} -V grafiği

Şekil 4.4 de çeşitli frekanslarda GaAs/AlGaAs yapıları için deneysel C^{-2} -V grafiği verilmiştir. Eğrinin ters beslemede lineer bir davranış sergilediği gözlenmiştir. N_{ss} ' nin tükenim ve terslenim bölgelerinde düşük frekanslarda baskın olduğu görülmüş olup, R_s ' nin yığılma bölgesinde yüksek frekanslarda etkili olduğu gözlenmiştir. Her bir frekans için FB değeri C^{-2} -V eğrisinin voltaj eksenini kestiği nokta (V_0) değerleri hesaplandı. Şekil 4.5. Oda sıcaklığında GaAs/AlGaAs yapısının farklı voltajlarda seri direncin frekansa bağlılığı



Şekil 4.5. Oda sıcaklığında GaAs/AlGaAs yapısının farklı frekanslarda seri direncin voltaja bağlılığı

$$FB(C - V) = V_0 + E_F + \frac{kT}{q} - \Delta\phi \quad (4.2.)$$

denklemden $\Delta\phi$ imaj kuvveti engel düşmesidir [7,9,18] ve Eş. 4.3' deki gibi verilir,

$$\Delta\phi = \left(\frac{qE_m}{4\pi\epsilon_s\epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.3.)$$

Burada E_m elektrik alanıdır ve aşağıdaki gibi verilir.

$$E_m = \left(\frac{2qN_D V_0}{\epsilon_s \epsilon_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.4.)$$

E_F ise Fermi enerji seviyesidir ve

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_c}{N_D} \right) \quad (4.5.)$$

şeklinde verilir. Burada N_D katkılanan verici atomların, N_c ise GaAs/AlGaAs için iletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğudur ve

$$N_c = 4,82 \times 10^{15} T^{\frac{3}{2}} \left(\frac{m_e^*}{m_0} \right)^{3/2} v_e \left(\frac{m_e^*}{m_0} \right) = 0.55 \quad (4.6.)$$

şeklinde dir. Burada m_e^* elektronun etkin kütlesi m_0 ise elektronun kütlesidir.

Katkılanan verici atomları (N_D)'nin değeri C^{-2} -V grafiğinin lineer bölgelerinin eğiminden elde edilir.

$$N_D = \frac{2}{q \epsilon_s A^2} \left[- \frac{1}{d(1/C^2)/dV} \right] = \frac{2}{q \epsilon_s A^2 \tan(\theta)} \quad (4.7.)$$

burada ϵ_s GaAs/AlGaAs için yarıiletken geçirgenliğidir ve değeri $9,66\epsilon_0$ 'dır. ϵ_0 ise uzayın geçirgenliğidir ve değeri $8,85 \times 10^{-14}$ F/cm' dir. Oda sıcaklığında her bir frekans için hesaplanan N_D , kesme gerilimi (V_0), E_F ve F_B (C -V) değerleri C^{-2} -V eğrisi kullanılarak hesaplanmıştır ve verilmiştir. Şekil 4.7 da görüldüğü gibi grafik neredeyse tam paraleldir, bu yüzden N_D ve E_F 'nin değerinde çok büyük değişiklikler olmaz.

Arayüzey durumları (N_{ss}) yoğunluğunu elde etmede birçok metod vardır. [9,18,36] (N_{ss}) değerleri deneysel olarak ölçülen kapasitans-voltaj (C -V) eğrisi kullanılarak elde edilir.

$$qAN_{ss} = \left[\frac{1}{C_{LF}} - \frac{1}{C_{ox}} \right]^{-1} - \left[\frac{1}{C_{HF}} - \frac{1}{C_{ox}} \right]^{-1} \quad (4.8.)$$

Burada A diyotun alanı, C_{LF} düşük frekansta her bir voltaja karşı gelen kapasitans değeri, C_{HF} yüksek frekansta her bir voltaja karşı gelen kapasitans değeri, C_{ox} yalıtkan tabakanın kalınlığı ve q ise elektron yüküdür.

Literatüre göre $f \geq 500$ kHz için arayüzey durumları ac sinyalinin takip edemediğinden dolayı C ve G/w değerine katkı getirmez, $f \leq 100$ Hz'de ise arayüzey durumlarının tümü ac

sinyalini takip edebilir ve C ve G/w değerine katkı getirebilir [38-43]. Bu nedenle düşük frekans 0,7 kHz yüksek frekans 700 kHz (=1 MHz) seçildi.

Çünkü arayüzey durumlarının yoğunluğu uygulanan gerilime bağlı olarak değişmektedir. Bu arayüzey durumların mevcut olduğu bölgelerde, büyüklükleri ve yoğunlukları mertebesinde $C-V$ veya $G/w-V$ eğrileri bir pikten geçer [43].





5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, hazırlanan GaAs/AlGaAs yapının temel elektriksel karakteristikleri oda sıcaklığında kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/w-V) deneysel ölçüm metotları kullanılarak tespit edildi. Bu yapının C-V ve G/w-V ölçümleri (7-700 kHz) frekans aralığında oda sıcaklığında yapıldı. Burada hedef hazırlanan bu yapıların potansiyel engel yüksekliği (FB) arayüzey durumları (N_{ss}) ve yapının seri direnci (R_s) gibi temel elektriksel karakteristiklerinin hesaplamak ve bunların GaAs/AlGaAs yapıları üzerine etkisini incelemektir. N_D , V_o , E_F ve FB (C-V) gibi yapının ana karakteristiklerinin her bir frekans için ters beslem de C^{-2} -V grafiğinin verileri kullanılarak hesaplandı. N_D ve E_F değerinin frekanstan bağımsız olduğu bulunurken FB (C-V) ve V_o değerinde ise azda olsa frekans değişimi ile küçük değişimlerin olduğu gözlemlendi.

GaAs/AlGaAs yapısının oda sıcaklığında, frekansa bağlı C ve G/w eğrileri hem düşük hem de yüksek frekansta çizildi ve sırasıyla Şekil 4.4 ve 4.5’de verildi. Şekillerden de görüldüğü gibi gözlenen piklerin ve yarılmaların nedeni arayüzey durumlarının özel dağılımından kaynaklandığı belirlendi. Ayrıca C ve G/w değerlerinin frekansa bağlı olduğu görülmüştür. Özellikle de tükenim ve yığılma bölgesinde frekansın etkisi oldukça fazladır. Yeterince küçük negatif voltajlarda (terslenim bölgesi) C ve G/w değerlerinde önemli bir değişim olmazken bu bölgede voltajın C ve G/w değerlerine etkisi hemen hemen hiç yok denecek kadar azdır. C’nin değeri artan voltajla artıyor ve tükenim bölgesinde düşük frekanslarda ($f \leq 30$ kHz) ~ 1 V’ da GaAs/AlGaAs yapısının arayüzey durumlarının yoğunluk dağılımından dolayı pik verdiği gözlenmektedir. C-V ve G/w-V ölçümleri yüksek frekanslarda ($f > 500$ kHz) alınırsa arayüzey durumları (N_{ss}) uygulanan dış ac sinyalinin takip edemez ve dolayısıyla hem C hem de G/w değerlerine bir katkı getirmez [8,17,18]. Gerilimin kapasitans ve iletkenlik değerleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı voltajlarda hesaplanan C ve G/w değerlerinin frekansa bağlı değerleri hesaplanırken ve Şekil 4.6’ da verildi. Grafiklerden de elde edilen sonuçlarla C ve G/w değerleri artan frekansla azalıyor.

Şekil 4.7’de GaAs/AlGaAs yapısı için oda sıcaklığında Eş. 4.3 [18,27] kullanılarak hesaplanan direnç eğrisi hem düşük hemde yüksek frekansa bağlı olarak verildi.

Özellikle düşük frekanslarda piklerin şiddetinin çok büyük olduğu açıkça görülmektedir. Düşük frekanslarda arayüzey durumlarının katkısından dolayı seri direnç gerçek değerinden yüksek çıkmaktadır. Ayrıca şekilden de görüldüğü gibi uygulanan voltaj ve artan frekansla direncin değeri de azalmıştır. Şekil 4.8'de ise seri direncin frekansa bağlılığı gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yüksek frekanslarda seri direnç voltajdan bağımsızdır. Ayrıca, gerçek kapasitans ve iletkenlik değerlerini elde etmek için ölçülen C_m -V ve G_m/w -V eğrileri seri direnç için düzeltildi[18]. Seri direncin etkisi için düzeltilmiş kapasitansın (C_c) değerleri voltaja bağlı artarken , düzeltilmiş iletkenlik (G_c/w) değerleri ise azalmaktadır.

Arayüzey durumları (N_{ss}) yoğunluğunu elde etmek için düşük (0,7 kHz)-yüksek 700 kHz frekans (CLF -CHF) metodudur kullanıldı [37]. Literatüre göre $f \geq 500$ kHz için arayüzey durumları ac sinyali takip edemez ve $f \leq 100$ Hz'de ise arayüzey durumlarının tümü ac sinyali takip edebilir [38-43]. Bu nedenle düşük frekans 0,7 kHz yüksek frekans 700 kHz seçildi. Arayüzey durumlarının yoğunluğu uygulanan gerilime bağlı olarak değiştiği yapılan ölçümlerde görülmüştür..

Bu çalışmada hazırlanan GaAs/AlGaAs yapısı için elde edilen tüm deneysel ölçümler ve hesaplamalar göstermiştir ki bu ve benzeri kontak yapısına sahip aygıtlar için arayüzey durumlarının, seri direnç ve diyotun C-V ve G/w-V ölçümleri üzerinde ki etkisi azımsanamayacak kadar büyüktür. Bu nedenle yapının elektriksel karakteristiklerinin analizinde bu parametrelerin mutlaka dikkate alınması sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği açısından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- Aydemir, U. (2009). *Au/SrTiO₃/n-Si (MFS) Schottky Diyotların Elektriksel Parametrelerinin I-V, C-V Ve DLTS Metodu İle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 8-53.
- Aydın, M. E., Yıldırım N., and Türüt, A. (2007). Temperature-dependent behavior of Ni/ H-nSiC Schottky contacts. *Journal of Applied Physics* 102(1), 3701-3705.
- Berger, L. I. (1997). *Semiconductor materials*. New York: CRC Press, 15-152.
- Berglund, C. N. (1966). Surface states at steam-grown silicon-silicon dioxide interfaces. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 13(10), 701-705.
- Braun, F. (1875). Ueber die Stromleitung durch Schwefelmetalle. *Annalen der Physik*, 229(12), 556-563.
- Card, H.C., and Rhoderick, E.H. (1971). Studies of tunnel MOS diodes I. Interface effects in silicon Schottky diodes. *Journal of Applied Physics*, 1589-1601.
- Castagne, R., and Vapaille, A. (1971). Description of the SiO₂ Si interface properties by means of very low frequency MOS capacitance measurements. *Surface Science*, 28(1), 157-193.
- Cooke, M. J. (1990). *Semiconductor devices*. New York: Prentice Hall, 29 -308.
- Cowley, A. M., and Sze, S. M. (1965). Surface states and barrier height of metal-semiconductor systems. *Journal of Applied Physics*, 36(10), 3212-3220.
- Deuling, H., Klausmann, E., and Goetzberger, A. (1972). Interface state Si-SiO₂ interface. *Solid-State Electron*, 15(5), 559-571.
- Fonash, S. J. (1975). The role of the interfacial layer in metal-semiconductor solar cells. *Journal of Applied Physics*, 6, 1286-1289.
- Ghandhi, S. K. (1983). *VLSI fabrication principles*. New York: John Wiley&Sons, 01- 05.
- Goetzberger, A., Klausmann, E., and Schulz, M. J. (1976). Interface states on semiconductor/insulator surfaces. *CRC Critical Reviews in Solid State Sciences*, 6(1), 226-233.
- Gökçen, M. (2005). *MOS Yapılarda Kapasitans-Voltaj (C-V) ve İletkenlik-Voltaj (G/w-V) Karakteristiklerinin Frekans ve Radyasyona Bağlı İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13-15.
- Guo-Ping, R., Rong, Y., Yu-Long, J., and Gang, R. (2010). Thermal activation of current in an inhomogeneous Schottky diode with a Gaussian distribution of barrier height. *Chinese Physics B*, 19(9), 097304.
- Hahn B. R., and Yoon D. Y. (1989). Electrical and interfacial properties of metal-polyamide-silicon structure. *Journal Of Applied Physics*, 65(7), 2766-2771.

- Hofstein, S.R., and Warfield, G. (1965). Physical limitations on the frequency response of a semiconductor surface inversion layer. *Solid-State Electronics*, 8(3), 321- 3 1,
- Hung, K. K., and Cheng, Y. C. (1987). Characterization of the Si-SiO₂ interface traps in p-metal-oxide-semiconductor structures with thin oxides by conductance technique. *Journal of Applied Physics*, 62(10), 20 – 211.
- Jarzebski, Z. M. (1976). Physical properties of SnO₂ materials: 1. Preparation and defect structure. *Journal of The Electrochemical Society*, 123(7), 199-205.
- Kar, S., and Narasimhan, R. L. (1987). Characteristics of the Si-SiO₂ interface states in thin (70–230 Å) oxide structures. *Journal of Applied Physics*, 61(12), 5353-5359.
- Kar, S., and Varma, S. (1985). Determination of silicon-silicon dioxide interface state properties from admittance measurements under illumination. *Journal of Applied Physics*, 58(11), 256- 266.
- Kelberlau, U., and Kassing, R. (1979). Theory of nonequilibrium properties of MIS capacitors including charge exchange of interface states with both bands. *Solid- State Electronics*, 22(1), 37- 5.
- Maudes, J. S., and Rodriguez, T. (1980). Sprayed SnO₂ films: Growth mechanism and film structure characterization. *Thin Solid Films*, 69(2), 183-189.
- Mott, N. F. (1938, October). Note on the contact between a metal and an insulator or semiconductor. In *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 34(4), 568-572.
- Mui, D., Striteon, S., and Markoç, H. (1991). On the barrier lowering and ideality factor of ideal Al/GaAs Schottky diodes. *Solid State Electron*, 3, 1077-1082.
- Neamen, D. A. (1997). *Semiconductor Physics and Devices* 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 20- 50, 517-523.
- Nicollian, E. H., and Goetzberger, A. (1967). The Si-SiO₂ interface electrical properties as determined by the MIS conductance technique. *Bell System Technical Journal*, 6, 1055- 1133.
- Nicollian, E. H., Goetzberger, A., and Lopez, A. D. (1969). Expedient method of obtaining interface state properties from MIS conductance measurements. *Solid-State Electronics*, 12(12), 937-9.
- Nicollian, E.H., and Brews, J.R. (1982). *Experimental evidence for interface trap properties*. MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) physics and technology. New York: John Willeyand Sons, 1-175.
- Özdemir, S., and Altındal, Ş. (1993). Temperature dependent electrical Characteristics of Al-SiO_x-p-Si solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 32, 115- 127,
- Rhoderick, E. H., and Williams, R.H. (1988). *Metal-semiconductor contacts* 2nd ed., Oxford: Oxford University Press, 257.

- Schottky, W. (1939). Zur halbleitertheorie der sperrschicht-und spitzengleichrichter. *Zeitschrift für Physik*, 113(5-6), 367-414.
- Schroder, D. K. (1998). *Semiconductor material and device characterization* 2nd ed., New York: John Wiley&Sons, 337-379.
- Sharma, B. L. (Ed.). (2013). *Metal-semiconductor Schottky barrier junctions and their applications*. New York: Springer Science & Business Media, 12-56.
- Sing, A., Reinhard, K. C., and Anderson, W. A. (1990). Temperature dependence of the electrical characteristics of Yb/p-InP tunnel metal-Insulator-Semiconductor Junctions. *Journal of Applied Physics*, 68(7), 375-379,
- Singh, A. (1985). Characterization of interface states at Ni/nCdF₂ Schottky barrier type diodes and the effect of CdF₂ surface preparation. *Solid-State Electronics*, 28(3), 223-232.
- Song, Y.P., Van Meirhaeghe, R.L., Laflère, W.H., and Cardon, F. (1986). On the difference in apparent barrier height as obtained from capacitance-voltage and current- voltage-temperature measurements on Al/p-InP Schottky barriers. *Solid State Electron*, 29, 633-638.
- Sze, S. M. (1981). *Physics of semiconductor devices* 2nd ed. New York: John Willey&Sons, 2-390.
- Taşçıoğlu, İ. (2008). *Al/SiO₂/p-Si (MIS) Yapılarda Temel Fiziksel Parametrelerin Frekans ve Radyasyona Bağlı İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-35.
- Tataroğlu, A., Altındal, Ş., Karadeniz, S., and Tuğluoğlu, N. (2003). Au/SnO₂/n-Si (MOS) structures response to radiation and frequency. *Microelectronics Journal*, 3(10), 3-10.
- Tataroğlu, B. (2006). *MIS Yapıların Frekans ve Radyasyona Bağlı Temel Elektriksel Parametreleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 53-5.
- Wilson, A. H. (1931). The theory of electronic semi-conductors. *Proceedings of the Royal Society of London*, 133(822), 458-491.
- Yücedağ, İ. (2007). *Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) Yapılarda Elektrik ve Dielektrik Özelliklerinin Sıcaklık ve Frekansa Bağlı İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-10.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BEKTAŞ, Canan
 Uyuğu : T.C.
 Doğru Tarihi ve Yeri : 23.04.1977- Erzincan
 Medeni Hali : Evli
 Telefon : 0553 639 37 28
 e-mail : cananbektas@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Fizik Bölümü	Devam ediyor
Lisans	Ankara Üniversitesi Fizik Bölümü	2000
Lise	Kocatepe Mimar Kemal Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-2018	Milli Eğitim Bakanlığı (Özel)	Kurucu Müdür
2015-2017	Milli Eğitim Bakanlığı (Özel)	Yönetici
2013-2015	Milli Eğitim Bakanlığı (Özel)	Öğretmen
2008-2011	Milli Eğitim Bakanlığı (Özel)	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Yüzme, Dans



GAZİ GELECEKTİR..