

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

[3-((PİREN-1-YL METİLEN)AMİNO)METİL BENZOAT] ARAYÜZEY TABAKALI SCHOTTKY
DİYOTLARIN HAZIRLANMASI VE ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN FREKANSA
BAĞLI KAPASİTE-KONDÜKTANS-VOLTAJ (C-G-V) ÖLÇÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI :Görkem Can İNCE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Serkan EYMUR

:

OCAK 2024
GİRESUN

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

[3-((PİREN-1-YL METİLEN)AMİNO)METİL BENZOAT] ARAYÜZEY TABAKALI SCHOTTKY
DİYOTLARIN HAZIRLANMASI VE ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN FREKANSA
BAĞLI KAPASİTE-KONDÜKTANS-VOLTAJ (C-G-V) ÖLÇÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Görkem Can İNCE

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Bu tez 18/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Haluk KORALAY
Jüri Başkanı

Prof. Dr.
Nihat TUĞLUOĞLU
Üye

Prof. Dr.
Serkan EYMUR
Üye

Prof. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Görkem Can İNCE

.././20

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim sürem boyunca akademik desteklerini benden esirgemeyen, tüm olanakları sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Serkan EYMUR'a ve değerli hocam Prof. Dr. Nihat TUĞLUOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen ve her zaman yanımda olduklarını bana hissettiren aileme de sonsuz sevgilerimi sunar, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VI
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Malzemelerin Enerji Bant Yapısı.....	3
2.2. Metal Yalıtkan Yarıiletken (MIS) Yapılar.....	5
2.3. İdeal MIS Yapısı.....	7
2.3.1. Terslenim bölgesi.....	10
2.3.2. Tüketim bölgesi.....	10
2.3.3. Yığılma bölgesi.....	11
2.4. Gerçek MIS Yapıları.....	12
2.4.1. Hareketli iyonlar.....	13
2.4.2. İyonlaşmış tuzaklar.....	13
2.4.3. Sabit oksit ve arayüzey yükleri.....	14
2.4.4 Arayüzey durumları.....	14
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. PMAMB Organik Malzemenin Sentezi.....	18
3.2. Kristal Temizleme İşlemi.....	18

3.3. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky Diyotun Hazırlanması.....	19
3.4 Kapasite-Voltaj (C-V) ve İletkenlik-Voltaj (G-V) Ölçüm Sistemi.....	21
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI	22
4.1. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky Diyodunun Frekansa Bağlı Kapasite- Kondüktans-Voltaj Karakteristikleri	22
4.2. Al/PMAMB/p-Si/Al tipi Schottky Diyotunun Farklı Voltajlarda Kapasite- Kondüktans-Frekans Karakteristikleri.....	24
4.3. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky Diyotunun Farklı Frekanslara Bağlı Cc-V ve Gc-V değişim karakteristikleri.....	26
4.4. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky Diyotunun Farklı Voltajlara Bağlı Cc-f ve Gc-f değişim karakteristikleri.....	29
4.5. Kapasite-Gerilim Ölçümlerinden Schottky Diyot Parametrelerinin Bulunması.....	31
BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	44

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C	: Kapasitans
C_{ox}	: Oksit tabakanın kapasitansı
C_{sc}	: Uzay yükü kapasitansı
d	: Oksit tabaka kalınlığı
E_v	: Valans bandı enerji seviyesi
E_c	: İletkenlik bandı enerjisi
E_F	: Fermi enerji seviyesi
E_i	: Saf Fermi enerji seviyesi
E_g	: Yarıiletken yasak enerji aralığı
K	: Kelvin sıcaklık birimi
k	: Boltzmann sabiti
N_D	: Donör yoğunluğu
N_{ss}	: Arayüzey durum yoğunluğu
Q_{sc}	: Uzay yükü bölgesindeki toplam yük
Q_M	: Metal yüzeydeki toplam yük
q	: Elektrik yükü
R_s	: Seri Direnç
V	: Volt
V_{yx}	: Yalıtkan tabakaya düşen gerilim
Φ_B	: Bariyer yüksekliği
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu
χ	: Elektron yakınlığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir yarıiletken valans bandından iletim bandına elektron uyarılmasının ve deşik oluşmasının şematik gösterimi.....	4
Şekil 2.2. (a) saf, (b) p-tipi ve (c) n-tipi yarıiletkene ait enerji bant yapısını tasvir eden şematik gösterim.....	5
Şekil 2.3. MIS yapıya ait şematik gösterimi	6
Şekil 2.4. (a) p-tipi için, (b) n-tipi için 0 bias voltajı altında ideal MIS yapısının bant diyagramının şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.5. İdeal MIS yapısının eşdeğer şemasının şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.6 (a) p-tipi, (b) n-tipi yarıiletken için terslenim mekanizmasının şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.7. (a) p-tipi, (b) n-tipi yarıiletken için tüketim mekanizmasının şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.8. (a) p-tipi, (b) n-tipi yarıiletken için yığılma mekanizmasının şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.9. İdeal MIS yapısı için elektronik devre şeması.....	12
Şekil 2.10. Gerçek MIS yapısı içinde durumların ve yüklerin şematik gösterimi...	13
Şekil 2.11. Gerçek bir MIS yapısına ait kapasitans voltaj (C-V) ve iletkenlik voltaj (G-V) grafiklerinin gösterimi.....	15
Şekil 3. PMAMB organik bileşiğinin sentezi.....	18
Şekil 3.1 Termal buharlaştırma cihazı.....	20
Şekil 3.2. Döndürme ile kaplama (spin coating) cihazı.....	20
Şekil 3.3. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyotun 3 boyutlu yapısı.....	20
Şekil 3.4. Empedans Analizör Cihazı.....	21
Şekil 4.1.a. Farklı frekanslarda çizilmiş C-V grafiği.....	23
Şekil 4.1.b. Farklı frekanslarda çizilmiş G-V grafiği.....	23
Şekil 4.2.a. Farklı voltajlarda çizilmiş C-f grafiği.....	25

Şekil 4.2.b. Farklı voltajlarda çizilmiş G - f grafiği.....	26
Şekil 4.3. Farklı frekanslarda çizilmiş R_s - V grafiği.....	27
Şekil 4.4.a. Farklı Frekanslarda çizilmiş C_c - V grafiği.....	28
Şekil 4.4.b. Farklı frekanslarda çizilmiş G_m - V grafiği.....	28
Şekil 4.5. Farklı voltajlarda çizilmiş R_s - f grafiği.....	29
Şekil 4.6.a. Farklı voltajlarda çizilmiş C_c - f grafiği.....	30
Şekil 4.6.b. Farklı voltajlarda çizilmiş G_c - f grafiği.....	31
Şekil 4.7. C^{-2} - V grafikleri.....	33



TABLolar LİSTESİ

- Tablo 4.1. Al/PMAMB/p-Si/Al diyotundan alınan ölçümlerin C-V 33
grafiklerinden elde edilen diyot parametreleri.....
- Tablo 4.2. Al/PMAMB/p-Si/Al diyotundan alınan ölçümlerin C-V 33
grafiklerinden elde edilen diyot parametrelerin devamı.....



[3-(PİREN-1-YL METİLEN)AMİNO)METİL BENZOAT] ARAYÜZEY TABAKALI SCHOTTKY DİYOTLARIN HAZIRLANMASI VE ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLERİNİN FREKANSA BAĞLI KAPASİTE-KONDÜKTANS-VOLTAJ (C-G-V) ÖLÇÜMLERİYLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, 525 μm kalınlığında, 1-20 $\Omega\text{-cm}$ öz direncinde, [100] doğrultusunda büyütülmüş, 2 inç çapında, bor katkılı p-tipi Si kristali kullanıldı. Döndürme ile kaplama yöntemi ile p-Si üzerinde PMAMB organik malzemesi büyütüldü. Omik ve doğrultucu kontak oluşturmak için termal buharlaştırma sistemi kullanılarak alüminyum metali biriktirildi. Elektriksel parametreleri incelenmek için oda sıcaklığında ve -4V +2V voltaj değerleri aralığında ve 30 kHz-1 MHz frekans aralığında kapasite-voltaj (C-V) ve kondüktans-voltaj (G-V) ölçümleri alındı. Kapasite-voltaj ölçümlerinden MOS yapılarında görülen tersinme, tüketme ve biriktirme bölgeleri gözlemlenmiştir. Frekansa bağlı seri direnç ve arayüzey durum yoğunluğu değerleri belirlendi. Ayrıca, C^{-2} -V eğrilerinden difüzyon potansiyeli (V_D), alıcı katkı atomlarının yoğunluğu (N_a), Fermi enerji seviyesi (E_F) ve bariyer yüksekliği (Φ_B) parametreleri hesaplandı. Frekansın artmasıyla Φ_B değerlerinin arttığı gözlemlendi.

Anahtar kelimeler: PMAMB organik malzeme, Schottky diyot, Kapasite-voltaj, İletkenlik-voltaj, Seri direnç, Arayüzey durum yoğunluğu.

**PREPARATION OF [3-(PYRENE-1-YL METHYLENE) AMINO] METHYL BENZOATE]
INTERFACIAL LAYERED SCHOTTKY DIODES AND DETERMINATION OF THEIR ELECTRICAL
CHARACTERISTICS BY FREQUENCY DEPENDENT CAPACITANCE-CONDUCTANCE-VOLTAGE
(C-G-V) MEASUREMENTS**

In this thesis study, a boron-doped p-type Si crystal, 525 μm thick, 1-20 $\Omega\text{-cm}$ resistivity, grown in the [100] direction, 2 inches in diameter, was used. PMAMB organic material was grown on p-Si by spin coating method. Aluminum metal was deposited using a thermal evaporation system to create ohmic and rectifying contact. To examine the electrical parameters, capacity-voltage (C-V) and conductance-voltage (G-V) measurements were taken at room temperature, in the -4V +2V voltage range and in the 30 kHz-1 MHz frequency range. From the capacity-voltage measurements, inversion, depletion and accumulation regions seen in MIS structures were observed. In addition, diffusion potential (V_D), density of acceptor dopant atoms (N_a), Fermi energy level (E_F) and barrier height (Φ_B) parameters were calculated from C²-V curves. It was observed that Φ_B values increased with increasing frequency

Keywords: PMAMB organic material, Schottky diode, Capacitance-voltage, Conductance-voltage, Series resistance, Interface state density.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Schottky diyotlar, bir metal ile bir yarıiletkenin sıfır dirençle kontak haline getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Bu diyotlar düşük seri dirence, hızlı anahtarlama ve minimum seviyede ileri yönde gerilim özelliğine sahiptirler. Schottky diyotları üzerine yapılan çalışmalar, 1874 yılında metal teller ve çeşitli metal sülfürler arasındaki iletkenliğin asimetrik doğası üzerine yayınlanan ilk makaleden bu yana hala ilgi çekmektedir [1,2]. Elektronik endüstrisindeki çeşitli uygulamaları, birçok araştırmacıyı metal-yarıiletken arayüzlerini anlamaya, geliştirmeye ve kontrol etmeye teşvik etti. Schottky diyotlar elektronik, optoelektronik cihazların ve entegre devrelerin temel bileşeni olup alan etkili transistörler, güç algılama, RF elektroniği, sensörler, güneş pilleri, frekans-gerilim değişimli kondansatörler ve hızlı anahtarlama uygulamaları gibi birçok yarıiletken tabanlı aygıtın üretiminde kullanılırlar [3,4].

Schottky diyotların güvenilirliği ve çalışma performansı genellikle seri dirence (R_s), biriktirilen arayüzey tabakasına, arayüzey tabakası ile yarıiletken arasındaki arayüzey durumlarının yoğunluğuna (N_{ss}) ve metal ile yarıiletken arasındaki engel yüksekliğinin (Φ_B) oluşumuna bağlıdır [5-8]. Arayüzey tabakanın yarıiletken/metal arayüzeyinde oluşturulması ve bu oluşturulan tabakanın homojenliği, safsızlıkların ve tuzaklardaki yüklerin azalmasına neden olur [9-11]. Arayüzey tabakanın varlığı, metal/yarıiletken (MS) kontakını bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) veya metal/oksit tabaka/yarıiletken (MOS) yapısına dönüştürür ve kontakın engel, akım-gerilim (I-V), kapasite-gerilim (C-V) ve kondüktans-gerilim (G-V) özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Birçok yarıiletken cihazda, bu arayüzey tabaka özelliğini düzenleme yeteneği hassas bir öneme sahiptir. Ayrıca, MIS diyotlarının arayüzey yapısı, uygun fonksiyonel organik bileşikler ve polimerler kullanılarak kolayca değiştirilebilir [12-20].

Schottky diyotların elektriksel davranışını etkileyen parametrelerin başında seri direnç (R_s) ve arayüz durum yoğunluğu (N_{ss}) gelir [21-24]. Bu diyotların elektriksel

parametrelerini ideal durumdan ideal olmayan duruma değiştiren en önemli parametre seri dirençtir [25-27]. MIS ve MOS tipi Schottky yapıların elektriksel parametrelerini belirlemek için kapasite-gerilim (C-V) ve kondüktans-gerilim (G-V) ölçümlerinden yararlanır. Chattopadhyay ve Raychaudhuri [28,29], C-V eğrilerindeki pik konum ve şiddetinin özellikle arayüzey durumlarının yoğunluğuna (N_{ss}), seri direnç (R_s) değerine, katkılanan verici veya alıcı atomların konsantrasyonu (N_D veya N_A) ve yalıtkan/organik tabakanın kalınlığı gibi farklı parametrelere bağlı olduğunu gösterdiler. Son yıllarda, MS, MOS, MIS tipi Schottky diyotların C-V ve G-V özellikleri R_s , N_{ss} ve yalıtkan/organik tabaka etkileri göz önüne alınarak araştırılmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda R_s ve N_{ss} parametrelerinin aygıtın kapasite (C) ve (G) kondüktans özelliklerini belirgin bir şekilde etkilemektedir.

Bu tez çalışmasında 1-20 Ω -cm öz dirence , (100) yüzey yönelime, 525 μ m kalınlıklı, bor katkılı ve bir tarafı mat diğer tarafı parlak p tipi silisyum (p-Si) yarıiletken kristali kullanılmıştır. Kristalin parlak tarafına döndürme ile kaplama (spin coating) tekniği kullanarak [3-((piren-1-yl metilen)amino)metil benzoat] (PMAMB) organik tabakası biriktirilmiştir. P tipi silisyum kristali mat yüzeyine vakumda termal buharlaştırma yöntemiyle yaklaşık 200 nm alüminyum (Al) metali kaplanarak omik kontak oluşturulmuştur. Doğrultucu kontak is yine vakum ortamında termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak yaklaşık 200 nm alüminyum (Al) metali PMAMB organik tabaka üzerine kaplanmıştır. Sonuçta, Al/PMAMB/p-Si/Al MOS tipi Schottky diyotu üretilmiştir. -4V, +2V gerilim ve 30kHz, 1MHz frekans aralığında kapasite-voltaj ölçümleri alınmıştır. Bu şartlar altında alınan ölçüm sonuçlar ile termoiyonik emisyon teorisi, Norde ve Cheung metodları kullanılarak idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_b), ve seri direnç (R_s) gibi elektriksel parametreler hesaplanmıştır.

Üretilen Schottky diyot yapısının -4 Volt ve +2 Volt voltaj aralığında ve 30 kHz-1 MHz frekans aralığında kapasite-voltaj (C-V) ve kondüktans-voltaj (G-V) ölçümleri oda sıcaklığında ve karanlıkta ortamda alınmıştır. Bu ölçümlerden frekansa bağlı arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) ve seri direnç (R_s) değerleri belirlenmiştir. Frekansa bağlı $1/C^2 - V$ eğrilerinden de frekansa bağlı akseptör katkı atomlarının yoğunluğu (N_A), difüzyon potansiyeli (V_D), Fermi enerji seviyesi (E_F) ve metal ile yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel yüksekliği (Φ_B) hesaplanmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, üretilmiş olan aygıtı daha yakından inceleyebilmek için gerekli olan teorik bilgiler sunulmuştur. Bu bilgiler ışığında bazı tanımlamalar aşağıda verilmektedir.

2.1. Malzemelerin Enerji Bant Yapısı

Malzemelerin enerji bant yapılarına göre elektriksel iletimleri hakkında yorum yapılabilir. Bant yapılarına göre malzemeler; yalıtkan, iletken, yarıiletken gibi sınıflara ayrılırlar. Malzemelerin sınıflandırılabilmesinde yardımcı olacak değerlik (valans) ve iletim bandının tanımlanması gerekir.

Valans Bandı: $T=0K$ 'de elektronlarla tamamen dolu olan en yüksek enerji seviyeli banttır.

İletim bandı: $T=0K$ 'de tamamen boş veya elektronlarla kısmen dolu en düşük enerji seviyeli banttır.

Bir malzeme içerisinde elektriksel iletimin olabilmesi için malzemeye ait serbest yük taşıyıcılarına ihtiyaç vardır. Herhangi bir katı için serbest yük taşıyıcıları iletim bandında var olan elektronlar ve valans bandında var olan deşik (hole)'ler ile tasvir edilir [30].

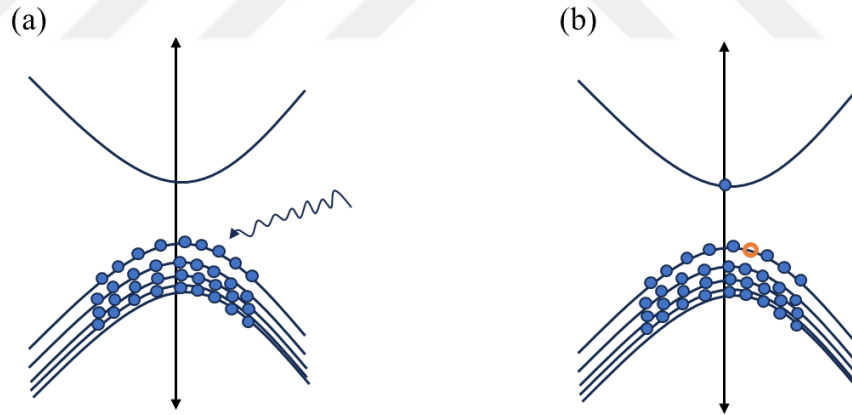
İletim bandı ile valans bandı çakışık olan katılarda elektronlar rahatça iletim bandına geçebildikleri için elektriksel iletimi rahatlıkla sağlayabilirler. Bu tür katılar metal olarak isimlendirilir. Metallerde bulunan ortalama serbest taşıyıcı yük sayısı yaklaşık olarak 10^{23} 'dür [31].

İletim bandı ile valans bandı arasında yaklaşık 7 eV'dan küçük bir yasak enerji bant aralığı olan katılarda ise valans bandında bulunan elektronlar dışarıdan uyarılma ile

iletim bandına geçebilirler bu tür katılar yarıiletken olarak isimlendirilir. Yarıiletkenlerde bulunan ortalama serbest taşıyıcı yük yaklaşık olarak 10^{13} 'dır [32].

İletim bandı ile valans bandı arasında bulunan yasak enerji bandı 7 eV'un üzerinde olan katılar ise yalıtkan olarak sınıflandırılır. Bu tür katılarda dışarıdan bir uyarılma ile valans bandından iletim bandına bir elektron uyarılmaz. Bu sebepten dolayı iletim bandında serbest elektronlar olmadığı için bu tür malzemeler elektriği iletmezler.

Bir yarıiletkende valans bandından iletim bandına elektron uyarılmasının ve deşik oluşmasının şematik gösterimi şekil 2.1'de verilmiştir. Şekil 2.1 (a)'da valans bantta bulunan bir elektron dışarıdan bir uyarılma (foton veya fonon) ile uyarılır. Uyarılan elektron enerji kazanarak iletim bandına geçiş yapar (Şekil 2.1 (b)). İletim bandına geçiş yapan elektronun yerinde bir boşluk oluşur bu boşluk deşik (hole) olarak isimlendirilir. Valans bandında bulunan deşik yanında bulunan elektronlara göre pozitif bir parçacıkmiş gibi davranarak elektriksel ilettime katkıda bulunur. Bu sebepten dolayı yarıiletkenlerde elektronlar ve deşikler olmak üzere iki tür serbest taşıyıcı bulunmaktadır [33].



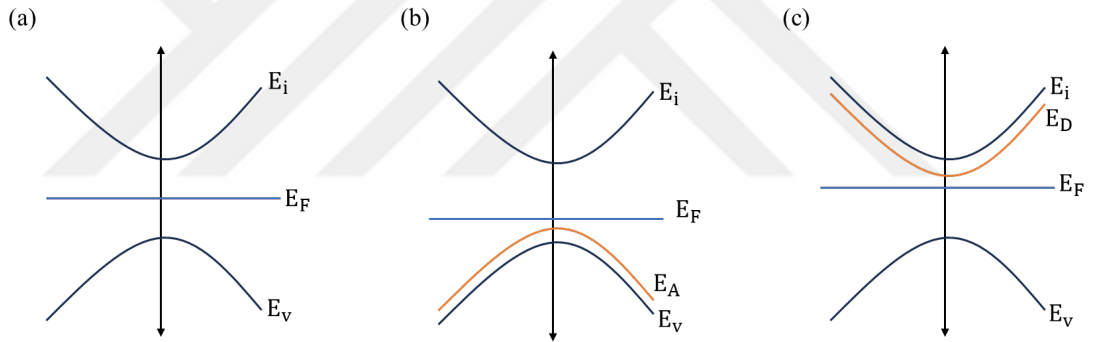
Şekil 2.1. Bir yarıiletkende valans bandından iletim bandına elektron uyarılmasının ve deşik oluşmasının şematik gösterimi.

Yarıiletkenler elektron ve deşik sayılarını yoğunluklarına göre üç sınıfa ayrılırlar. Bunlar katkısız (saf), p-tipi ve n-tipi yarıiletkenlerdir.

Katkısız yarıiletkenlerde elektron ve hole sayıları birbirine eşittir ve Fermi seviyesi iletim bandı ile valans bandının tam ortasında tanımlanır (Şekil 2.2(a)).

N-tipi yarıiletkenler ise saf bir yarıiletkene çeşitli katkılar ile oluşturulur. Katkılar, iletim bandının altında donör seviyesi olarak isimlendirilen izinli bir bant oluşmasını sağlar. P-tipi bir yarıiletken iletim bandına hem donör seviyesinden hem de valans bandında elektron geçişi olur. Bu sayede elektron sayısı diğer sayısından fazla olur ve baskın olan serbest taşıyıcı yükler elektronlar olur. Bu tür yarıiletkenlerde Fermi seviyesi iletim bandına doğru kayar (Şekil 2.2 (b)).

P-tipi yarıiletkenlerde, n-tipine benzer olarak saf yarıiletkenlerin katkılanması ile valans bandının üzerinde bir akseptör seviyesi oluşması sağlanır. Bu tip yapılarda ise valans bandında bulunan elektronlar ilk olarak akseptör seviyesini doldurur daha sonra iletim bandına geçiş yaparlar. Bu uyarılmalar sonucunda valans bandında bulunan hole sayıları iletim bandında bulunan elektron sayılarından daha fazla olur ve baskın olan serbest taşıyıcı yükler elektronlar olur. Fermi seviyesi valans bandına doğru kayar (Şekil 2.2 (c)) [34].



Şekil 2.2. (a) saf, (b) p-tipi ve (c) n-tipi yarıiletkene ait enerji bant yapısını tasvir eden şematik gösterim.

2.2. Metal Yalıtkan Yarıiletken (MIS) Yapılar

Metal yalıtkan ve yarıiletkenden oluşan tabakalı Schottky diyorlar MIS yapılar olarak isimlendirilir. MIS yapıları metal oksit yarıiletken (MOS) yapılardan ayıran en temel özellik metal ve yarıiletken arasında bulunan yapının kalınlığıdır. MIS yapılarda bu yapının kalınlığı 100 nm'nin altındadır. Şekil 2.3'te tipik bir MIS yapısına ait diyagram verilmiştir. MIS yapısının oluşabilmesi için doğrultucu (Schottky) ve omik kontaklara ihtiyaç vardır. Omik kontaklarda yükler hem düz hem ters beslem bölgesinde rahatlıkla akabilir. Doğrultucu kontaklarda ise yük düz beslem bölgesinde akarken ters beslem

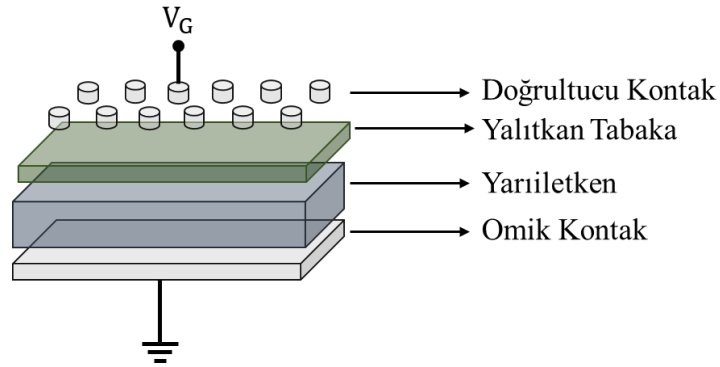
bölgesinde rahatlıkla akamaz. Doğrultucu ve omik kontaklar kullanılan metalin iş fonksiyonu (Φ_m) ve yarıiletkenin iş fonksiyonuna (Φ_s) göre belirlenmektedir. N-tipi bir yarıiletken için doğrultucu kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ olurken, omik kontaklarda $\Phi_s > \Phi_m$ olmalıdır. P-tipi yarıiletkende ise n-tipinin tam tersi olarak doğrultucu kontaklarda $\Phi_s > \Phi_m$, omik kontaklarda $\Phi_m > \Phi_s$ olmalıdır [30].

Metale ait iş fonksiyonu, metali içerisinde bulunan bir elektronu Fermi seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan minimum enerjidir.

Yarıiletkene ait iş fonksiyonu, vakum seviyesi ile Fermi seviyesi arasındaki enerji farkı olarak tanımlanır.

Yarıiletkene ait Fermi seviyesi yukarıda bahsedilmişti, metale ait Fermi seviyesi ise $T=0K$ 'de elektronların diziliminin sonucunda en yüksek enerjili seviye olarak tanımlanır. Bir elektronun yüzeyden koparılıp serbest hale gelebildiğini minimum enerji düzeyi vakum seviyesi olarak tanımlanır.

İletimin yön tayini ise metal plakaya uygulanan V_G voltajı ile belirlenir. Eğer omik kantağa göre metale pozitif voltaj uygulanırsa MIS yapısına pozitif voltaj uygulanmış olur. Tam tersi olarak omik kantağa göre negatif voltaj uygulanması durumunda MIS yapısına negatif voltaj uygulanmış olur [35].



Şekil 2.3. MIS yapıya ait şematik gösterim.

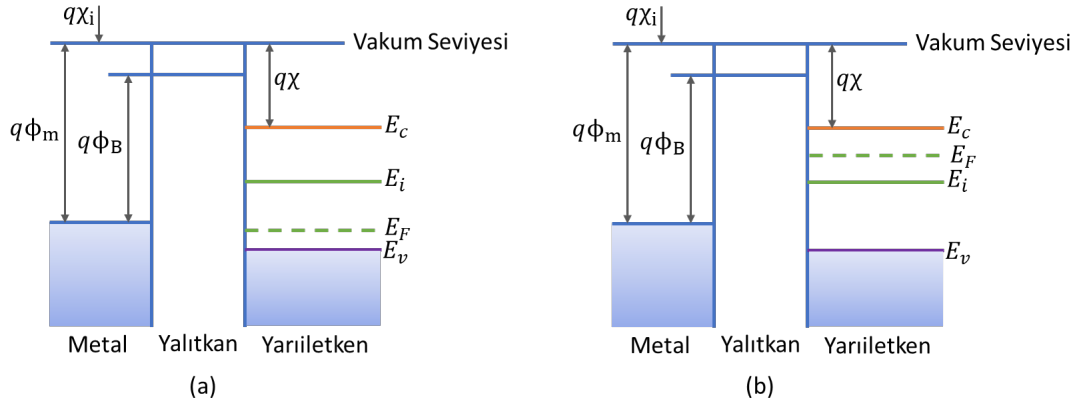
2.3. İdeal MIS Yapısı

MIS yapısının ideal olabilmesi için birtakım özellikleri içerisinde bulundurması gerektirmektedir. İlk olarak; yalıtkan katman içerisinde ve yalıtkan katmanın ara yüzeyinde hareketli iyonlar ara yüzey durumları iyonize tuzaklar ve sabit yüzey yükleri gibi durumlar bulunmaz. Bu durumların bulunmaması durumunda yalıtkan tabaka kaliteli bir elektriksel yalıtım sağlar. İkinci olarak, metalin iş fonksiyonu ile yarıiletkenin iş fonksiyonu arasındaki fark metale voltaj verilmeden önce sıfır olmalıdır. N-tipi yarıiletken için denklem (2.1) sağlanmalıdır.

$$\Phi_{m \rightarrow s} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \Psi_B \right) = 0 \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de verilen Φ_m metale ait iş fonksiyonu, χ yarıiletkenin elektron yakınlığı, E_g yasak enerji bant aralığı, q ilgili yükün elektriksel yükü ve Ψ_B saf Fermi seviyesi ile Fermi seviyesi arasındaki farktır. Üçüncüsü ise Metale doğru akım uygulandığında yalıtkan tabakanın direnci sonsuza gider. Son olarak, arasında yalıtkan tabaka bulunan metal ve yarıiletkenlerin yükleri herhangi bir voltaj uygulandığında birbirine eşit ve zıt uzaklıktadırlar [36].

İdeal bir MIS yapısına ait enerji bant diyagramının şematik gösterimi şekil 2.4 (a) ve (b)’de verilmiştir. Şekil 2.4 (a) p-tipi bir yarıiletkene, şekil 2.4 (b) n-tipi bir yarıiletkene aittir. Şekilde verilen Φ_m metale ait iş fonksiyonu Φ_s yarıiletkene ait iş fonksiyonu, Φ_B engel yüksekliği, χ yarıiletkenin elektron yakınlığı, χ_i yalıtkanın elektrona yakınlığı, E_v valans bandın enerji seviyesi ve son olarak E_i saf Fermi seviyesi, E_F Fermi seviyesidir [37].



Şekil 2.4. (a) p-tipi için, (b) n-tipi için 0 bias voltajı altında ideal MIS yapısının bant diyagramının şematik gösterimi.

Metal içerisinde yarıiletkene oranla daha fazla yük olduğu için ideal MIS yapısına dış bir voltaj uygulama durumunda yarıiletken tabakada yük kaymaları meydana gelir ve bu durum uygulanan voltaja göre değişiklik göstermektedir. Uygulanan voltaj sonucunda uzay yükleri oluşur ve bunlarda arayüzeyde bulunan bantların bükülmelerine sebep olur. Ağıta uygulanan voltaj denklem (2.2)'de verilmektedir.

$$V_G = V_{ox} + \Psi_s \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de verilen V_G metale uygulanan voltaj, V_{ox} oksit tabak üzerinde oluşan gerilim ve Ψ_s arayüzey voltajı olarak tanımlanır. Toplam yük ise denklem (2.3) ile verilmektedir.

$$Q_M + Q_{SC} = 0 \quad (2.3)$$

Q_{SC} uzay yükü olarak tanımlanan bölgede biriken toplam yük iken, Q_M metal yüzeyindeki toplam yüküdür. Temel fizik derslerinden bilindiği gibi MIS yapılarında bulunan metal ve yarıiletken arasında bulunan yalıtkan tabakada yük birikimi oluşmaktadır ve bu da kapasitenin meydana gelmesini sağlar. Bahsi geçen kapasite MIS kapasitesi olarak isimlendirilir. Bu kapasitenin yapısını arada bulunan katman belirler. Kapasite aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir.

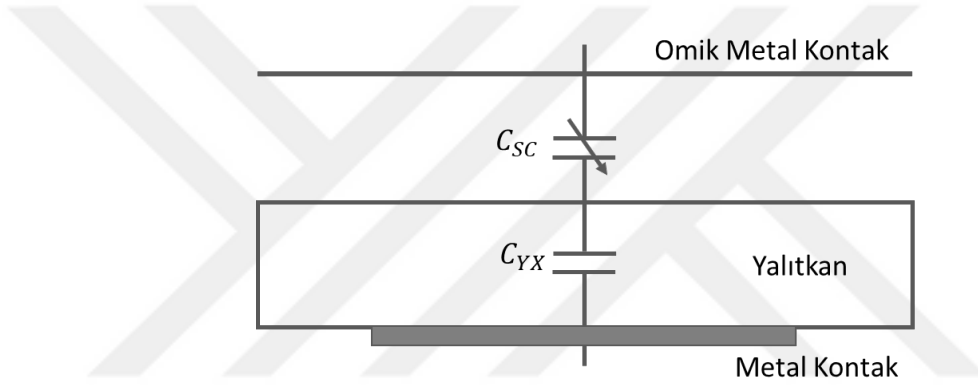
$$C_{YX} = \frac{dQ_M}{d\Psi_{SC}} A_{YX} \quad (2.4)$$

$$C_{SC} = \frac{dQ_{SC}}{d\Psi_{SC}} A_{YX} \quad (2.5)$$

C_{YX} yalıtkan tabakanın kapasitesi, C_{SC} uzay yükünün kapasitesi ve A_{YX} yalıtkan tabakanın yüzey alanı olarak tanımlanır. Yalıtkan tabakaya ait kapasite denklem (2.6)'daki gibi verilir.

$$C_{YX} = \frac{\epsilon_{YX}}{d_{YX}} A_{YX} \quad (2.6)$$

ϵ_{YX} yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti, d_{YX} yalıtkan tabakaya ait kalınlık olarak tanımlanır. Burada tüm ifadelerin sabit değer olduğunu vurgulamakta fayda vardır. Bu bilginin ışığında MIS yapılarının kapasitesi uygulanan voltaj sonucunda uzay yüklerinin değişimi ile değişikliğe uğrayabilir. İdeal bir MIS yapının eşdeğer şeması şekil 2.5'te verilmektedir.



Şekil 2.5. İdeal MIS yapısının eşdeğer şemasının şematik gösterimi.

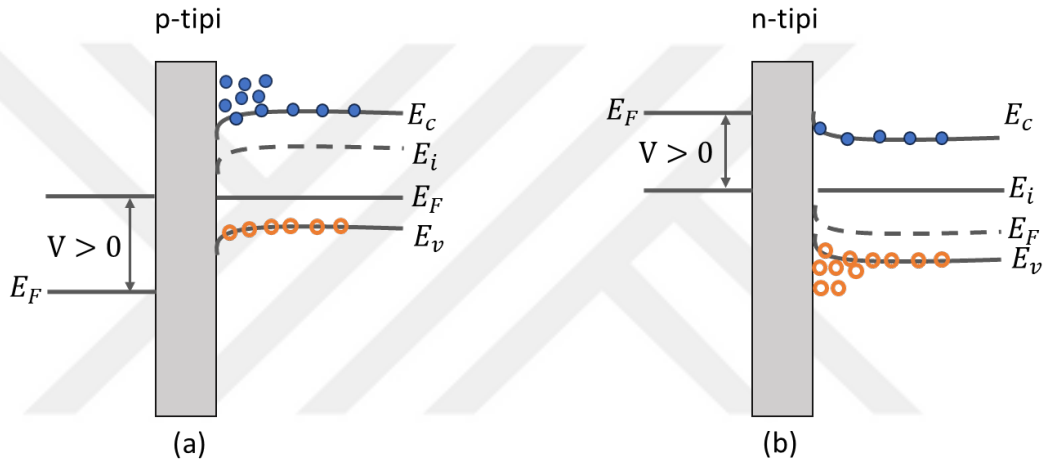
Şekil 2.5'te de görüldüğü gibi yalıtkan tabakanın kapasitesi ve uzay yükü kapasitesi seri olarak bağlıdır ve devre şemasından yola çıkarak bir MIS yapısının eşdeğer direnci denklem (2.7)'de verilmiştir.

$$C = \left(\frac{1}{C_{SC}} + \frac{1}{C_{YX}} \right)^{-1} \quad (2.7)$$

Bir MIS yapısında terslenim, tüketim ve yığılma bölgesi olmak üzere 3 bölge bulunmaktadır. Bu bölgeler aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır [38].

2.3.1. Terslenim bölgesi

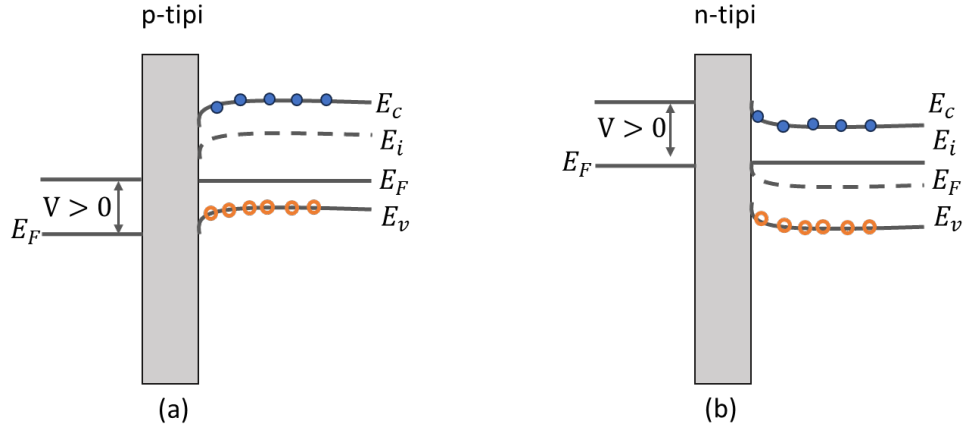
MIS yapıya yüksek bir pozitif voltaj uygulanması sonucunda şekil 2. 6 (a) ve (b) deki gibi bir bant bükülmesi meydana gelir. p-tipi yarıiletkenlerde saf Fermi seviyesi Fermi seviyesinin alt kısmına kayarken, n-tipi yarıiletkenlerde saf Fermi seviyesi Fermi seviyesinin üst kısmına kayar. Bunun sonucunda her iki tip yarıiletkende azınlık olan taşıyıcı yük yoğunlukları artış göstererek, p-tipi n-tipi gibi n-tipi p-tipi gibi özellik gösterir. Bahsedilen olay terslenim bölgesinde meydana gelir ve olay terslenim olarak isimlendirilir.



Şekil 2.6. (a) p-tipi, (b) n-tipi yarıiletken için terslenim mekanizmasının şematik gösterimi.

2.3.2. Tüketim bölgesi

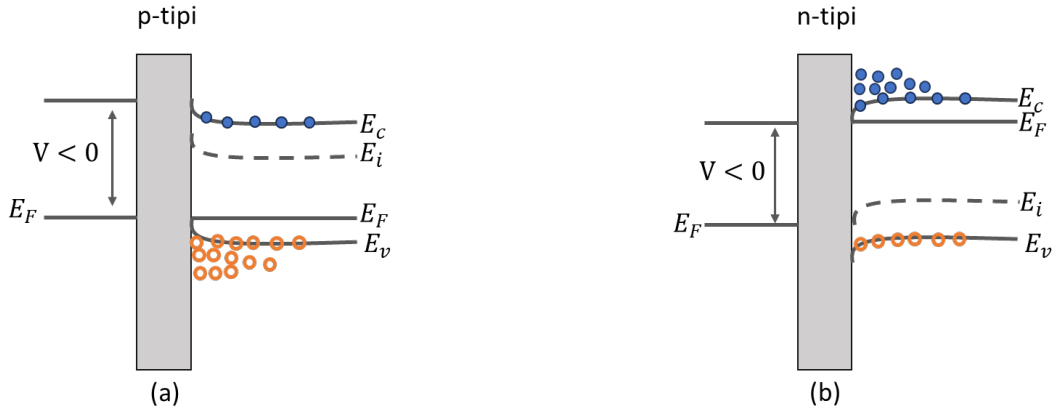
MIS yapıya düşük bir pozitif voltaj uygulanması durumunda ise yalıtkan yüzey içerisinde oluşan elektrik alan yarıiletkenin arayüzeyinde bulunan baskın taşıyıcı yükleri (elektron veya deşikler) yüzeyden uzaklaştırır. Böylelikle yarıiletkenin içinde bulunan baskın olan yük yoğunluğu yüzeyindeki baskın yük yoğunluğundan büyük olur. Bu durumun sonucunda, aşağıya doğru bantlar bükülerek; n-tipi için iletim bandının yarıiletkene yakın bölgesinde elektronlar ve p-tipi için valans bandının yarıiletkene yakın bölgesinde deşikler toplanırlar. Her iki tip (n tipi ve p-tipi) için sırasıyla deşiklerin ve elektronların azaldığı bölgeye tüketim bölgesi ve olaya tüketim olayı denir. Tüketim bölgesinin şematik gösterimi şekil 2.7 (a) ve (b)'de verilmiştir.



Şekil 2.7. (a) p-tipi, (b) n-tipi yarıiletken için tüketim mekanizmasının şematik gösterimi.

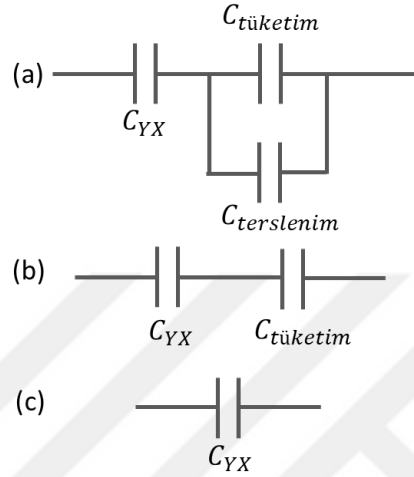
2.3.3. Yığılma bölgesi

MIS yapıya negatif bir gerilim uygulandığı zaman, terlenme bölgesinin tam tersi olarak yarıiletkenin baskın yük taşıyıcılarını yarıiletkenin arayüzüne doğru çekecektir. Bu durum bant bükülmesine sebep olarak ve çoğunluk yük taşıyıcılarının bu bölgede yığılması sebep olacaktır. Arayüzeyde biriken yükler yüzey yüküdür ve $C_{SC} \rightarrow \infty$ ve $C \rightarrow C_{YX}$ olur. Bu olayın şematik gösterimi ise şekil 2.8 (a) ve (b)'de verilmektedir.



Şekil 2.8. (a) p-tipi, (b) n-tipi yarıiletken için yığılma mekanizmasının şematik gösterimi.

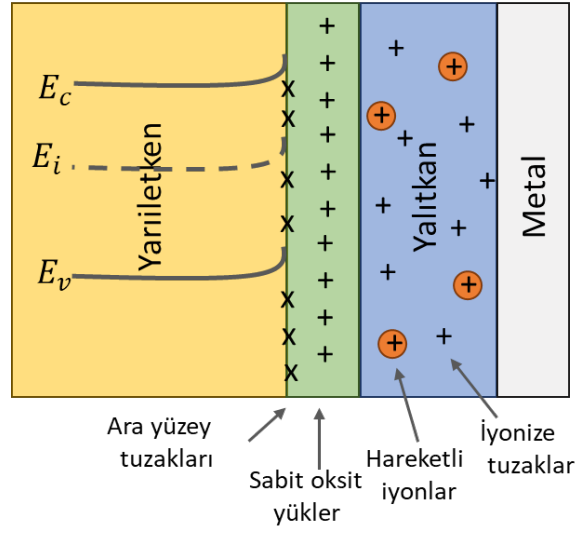
İdeal bir durum için DC gerilim altında yalıtkan tabakadan yük geçmez ve yükler yarıiletkenin içinde ve metal plaka yüzeyinde bulunmaktadır. Bu yüzden ideal bir MIS yapısında yukarıda da bahsedildiği gibi; terslenim, tüketim ve yığılma olarak üç bölge bulunur. Bu bölgelerin ideal MIS yapısı için elektronik devre şeması şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. İdeal MIS yapısı için elektronik devre şeması.

2.4. Gerçek MIS Yapısı

İdeal bir yalıtkanın içerisinde ve yarıiletkenle birleştiği arayüzeyde hiçbir uzay yükü ve hareketli yükün olmaması beklenir. Gerçek yapılarda ise safsızlıklardan eşleşmemiş bağlardan kaynaklı olarak arayüzey durumları oluşarak bu durum tamamen gerçekleşemez ve yalıtkan ile yarıiletken arayüzeyi elektriksel olarak nötr olamaz. Tuzaklanmış yükler, sabit oksit yükler, hareketli iyonik yük ve arayüzeyde tuzaklanmış yükleri oluşur ve bu durumlar yapının ideal MIS özelliğinden sapmasına sebep olur. Bahsi geçen dört yük bir MIS yapısı içerisinde şekil 2.10'daki gibi tasvir edilebilir [39].



Şekil 2.10. Gerçek MIS yapısı içinde durumların ve yüklerin şematik gösterimi.

2.4.1. Hareketli iyonlar

H_3O , H^+ , K^+ , Li^+ ve Na^+ genellikle mobil iyonlardır. Yarıiletken alttaşların parlatılması esnasında çıplak elle temas edilmesi, kuvarz tutucular, yalıtkan tabakanın büyütülme işlemi esnasında kullanılan aygıtın yeterince temiz olamamsından dolayı yalıtkan tabakadaki bahsi geçen mobil iyonlar safsızlık olarak yerleşebilir. Bu safsızlıklar C-V eğrilerinde kaymaya sebep olur ve MIS yapısının kararlılığını bozarlar [40].

2.4.2. İyonlaşmış tuzaklar

Bu tür tuzaklar kimyasal yapı veya radyasyon gibi zarar verici ışınların yapıyı bozması ile ortaya çıkan durumlardır. Bu tür tuzaklar genellikle elektron yakalarlar ve yüksüz hale geçerler. Voltajı negatif değerden pozitif değere artmasında kapasite değeri ile voltajı pozitif değerlerden negatif değerlere azaltan kapasitans değerleri arasındaki fark kapasite voltaj (C-V) eğrilerinde histerisis eğrisi gözlemlenmesine sebep olur. Bu eğride bahsedilen iki yön içinde kayma miktarı yalıtkan tabaka içerisinde bulunan tuzak sayıları hakkında bilgi vermektedir [41].

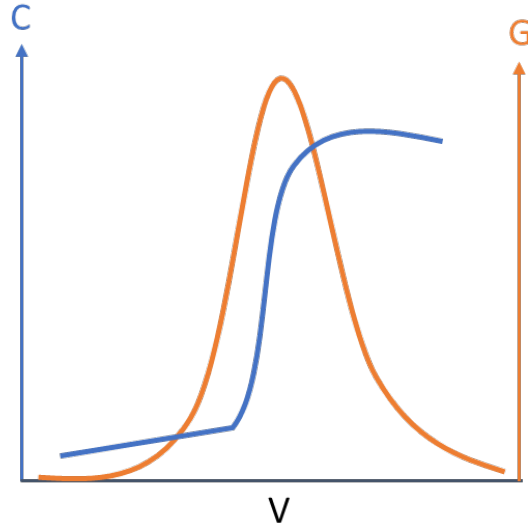
2.4.3. Sabit oksit ve arayüzey yükleri

Sabit oksit yükleri yarıiletken ve yalıtkan arasında lokalize ve sabittirler. Oksidasyon, kullanılan alt taşın yönelimine ve tavlama işlemine bağlıdır ve oksit yükleri genellikle pozitifdir. Bahsi geçen oksit yoğunluğu yalıtkan tabakanın kalınlığından ve kirlilik yoğunluğundan etkilenmemektedir. Sabit oksit ve arayüzey yüklerin C-V eğrilerinde kaymaları meydana getirmektedir [42].

2.4.4. Arayüzey durumları

Yalıtkan-yarıiletken ve yarıiletkende yasak enerji bant aralıkları içerisinde izinli enerji seviyeleri arayüzey durumları olarak isimlendirilir. Bu arayüzey durumları ya donör ya da akseptör tipindedir. Donör veya akseptör durumları elektron alarak veya vererek sırasıyla negatif veya pozitif yüklü olabilirler. Dış bir elektrik alan uygulanması sonucunda ise Fermi seviyesi sabit kalır fakat valans ve iletim bandı ile bu bahsedilen enerji seviyeleri kayar. İzinli seviyelerin iletkenlik ve valans bandı ile yaptığı yük alışverişlerinden, arayüzey durumlarının değişmesinden dolayı MIS yapısının kapasitansına katkıda bulunur ve ideal MIS'a ait C-V eğrisinde kaymalar oluşur [43].

Bir MIS yapısını analiz edebilmek için bazı ölçümler alınarak, bu ölçümler yardımı ile seri direnç, düzeltilmiş kapasitans, düzeltilmiş iletkenlik ve arayüzey durum yoğunlukları hesaplanabilir. Gerçek bir MIS yapısına ait kapasitans voltaj (C-V) ve iletkenlik voltaj (G-V) grafikleri kabaca şekil 2.11 verilmektedir [44].



Şekil 2.11. Gerçek bir MIS yapısına ait kapasitans voltaj (C-V) ve iletkenlik voltaj (G-V) grafiklerinin gösterimi.

Gerçek ölçümler ise şekil 2.11'den farklı olacaktır. Bunun en büyük sebebi ise seri direnç etkisidir. Genellikle seri direnç kullanılan kristalin içerisinde bulunan safsızlıklardan meydana gelmektedir. Seri direnç denklem (2.8)'de verilmiştir [45–47].

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + (\omega C_m)^2} \quad (2.8)$$

G_m ölçülmüş iletkenlik değeri, C_m ölçülmüş kapasitans değeri, ω ise açısal frekans olarak tanımlanır ve $\omega = 2\pi f$ bağıntısı ile verilir. Seri direnç etkisi genellikle yığılma bölgesinde daha etkilidir.

Seri direnci çıkarılması ile düzeltilmiş kapasitans ve iletkenlik değerleri elde edilir. Bu değerler ise aşağıda verilen denklemler sayesinde hesaplanır.

$$C_c = \frac{[G_m^2 + (\omega C_m)^2]C_m}{a^2 + (\omega C_m)^2} \quad (2.9)$$

$$G_c = \frac{[G_m^2 + (\omega C_m)^2]a}{a^2 + (\omega C_m)^2} \quad (2.10)$$

$$a = G_m^2 - [G_m^2 + (\omega C_m)^2]R_s \quad (2.11)$$

Arayüzey durumları (N_{ss}) düzeltilmiş kapasitans ve iletkenlik eğrileri yardımıyla hesaplanabilir. Düzeltilmiş iletkenlikte gözlemlenen pik ile düzeltilmiş kapasitansda gözlemlenen tüketim bölgesi aynı voltaj bölgesine karşılık gelmektedir. Ayrıca bu pikler arayüzey durumlarına bir kanıttır. Hill-Coleman tekniği arayüzey durumlarını bulmak için en efektif tekniktir. Arayüzey durumları denklem (2.12) yardımı ile hesaplanır [44].

$$N_{ss} = \frac{2(G_{c,max}/\omega)}{qA} \left[\left(\frac{G_{c,max}}{\omega} \right)^2 + \left(1 - \frac{C_c}{C_m} \right)^2 \right]^{-1} \quad (2.12)$$

Düzeltilmiş kapasitans yardımı ile ters beslem bölgesinde difüzyon potansiyeli (V_D), akseptör taşıyıcı yoğunluğu (N_A), Fermi enerjisi (E_F) ve engel yüksekliği (Φ_B) hesaplanabilir. $1/C_c^2 - V$ eğrilerinin, gerilim eksenini kestiği noktalarda kesme gerilimi (V_0) eğimlerinden ise donör yoğunluğu (N_D) vermektedir. Difüzyon potansiyeli denklem (2.13)'te verilmektedir.

$$V_D = V_0 + \frac{kT}{q} \quad (2.13)$$

V_0 kesme potansiyeli, k Boltzmann sabiti ve değeri $8,62 \times 10^{-5}$ eV.K⁻¹, q taşıyıcı yükü olarak verilir. Ara yüzey durumları söz konusu olduğunda ise denklem (2.13) aşağıdaki gibi tekrardan düzenlenir.

$$V_D = \frac{V_0}{1 + \alpha} + \frac{kT}{q} \quad (2.14)$$

$\alpha = qN_{ss}\delta/\epsilon_i$ şeklinde tanımlanır. $\epsilon_i = 3,8$ (F/cm) değerine sahiptir ve yalıtkan arayüzey tabakasıdır. Akseptör yoğunluğu ise denklem (2.15)'te verilmektedir.

$$N_A = \frac{2}{A^2 \epsilon_s \epsilon_0 q} \frac{dV}{d(C^{-2})} \quad (2.15)$$

ϵ_0 boşluğun elektriksel geçirgenliği ve değeri, $8,62 \times 10^{-14}$ olarak verilir. Schottky diyotunun Fermi enerjisi ise denklem (2.16)'ta verilmiştir.

$$E_F = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_c}{N_d} \right) \quad (2.16)$$

N_c , iletkenlik bandında bulunan etkin durumların yoğunluğu olup $m_e^* = 0,0067 m_0$ elektronun etkin kütlesidir. Schottky engel diyotun engel yüksekliği (Φ_B) ise $C - V$ ölçümlerinden aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir.

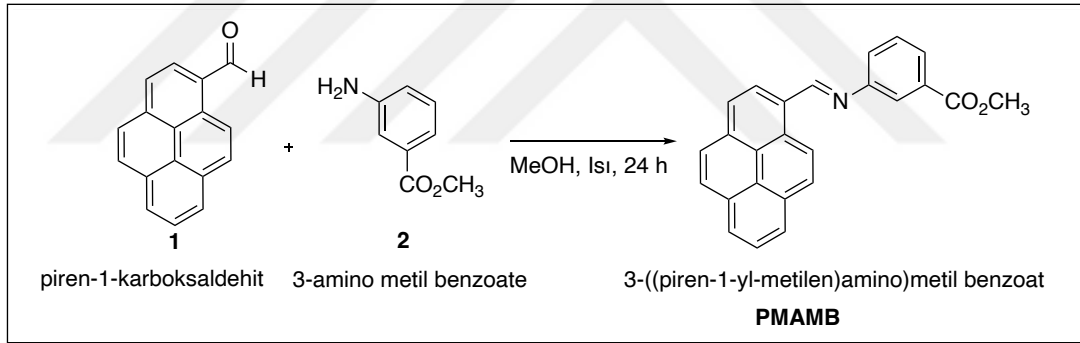
$$\Phi_{B(C-V)} = V_d + E_F = \Delta\Phi_B \quad (2.17)$$



BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. PMAMB Organik Malzemenin Sentezi

Şekil 3.1.' de açık molekül yapısı verilen PMAMB organik bileşiği literatüre uygun şekilde sentezlenmiştir. **1** numaralı bileşik (1.0 eşdeğer mmmol) ve **2** numaralı bileşik (1.1 eşdeğer mmmol) minimum miktardaki metanol içinde çözülmüş ve 24 saat boyunca ısıtılmıştır. Bu sürenin sonunda oluşan katı kısım süzülerek ayrılmış ve metanol içinden kristallendirilmiştir.



Şekil 3. PMAMB organik bileşiğinin sentezi

3.2. Kristal Temizleme İşlemi

p-Si kristalin üzerinde olası istenmeyen kirlilikleri ve oksit tabakasını uzaklaştırmak için kimyasal temizleme işlemi uygulanmıştır. Silisyumun temizleme işlemi;

- Trikloretilen, metanol ve asetonunda ayrı ayrı 5'er dakika ultrasonik olarak yıkanmıştır.
- Her yıkama arası 5 dakika 18 MΩ deiyonize su ile temizlenmiştir.
- Daha sonra, HF:H₂O (1:10) solüsyonunda 5 dakika temizlenmiştir.
- 3 lt 18 MΩ deiyonize su ile yıkanıp, kuru azot ile kurutulmuştur.

3.3. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky Diyotun Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan p-Si yarıiletkenin yüzeyinin bir tarafı mat diğer tarafı parlatılmıştır. Yarıiletkenin mat tarafına ilk olarak termal buharlaştırma cihazı (Şekil 3.1) kullanılarak 5×10^{-5} Torr basınçta, 200 nm kalınlığında ve %99,999 saflıkta alüminyum (Al) metali biriktirilmiştir. Yarıiletken, azot ortamında 570 °C'lik fırında 5 dakika bekletilmiştir. Nihayetinde yarıiletkenin mat yüzeyinde omik kontak oluşturulmuştur. Omik kontak hazırlandıktan sonra, döndürme ile kaplama (spin coating) yöntemi ile p-Si kristalinin parlak yüzeyinde PMAMB organik arayüzey tabakası büyütülmüştür. Üretilen PMAMB organik malzemenin 10 mg'lık miktarı 10ml kloroformda çözdürülmüş ve çözünmenin tam gerçekleşebilmesi içinde 10 dakika manyetik karıştırıcıda bekletilmiştir. Bu şekilde PMAMB solüsyonu hazırlanmıştır. p-Si kristalinin parlak yüzeyi yukarı bakacak şekilde spin kaplama cihazına (Şekil 3.2) yerleştirilmiş ve kristal vakuma alınmıştır. Solüsyon kristal üzerine damlatıldı ve döndürme cihazı başlangıçta 500 rpm'de 30 sn daha sonra 2000 rpm'de 60 sn çalışmaya ayarlandı. Toplamda 1ml organik malzeme kullanıldı. Bu aşamaya kadar PMAMB/p-Si/Al yapısı oluşturulmuş oldu.

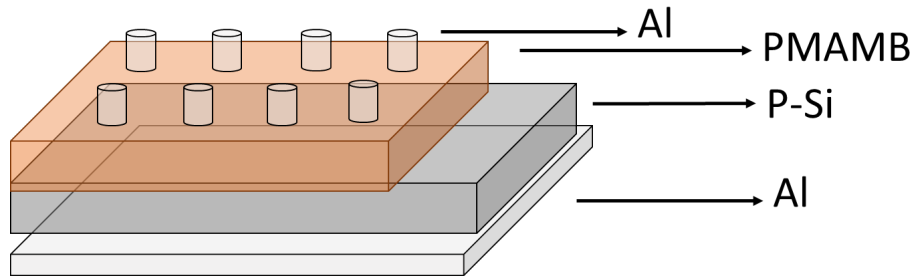
PMAMB organik malzemenin döndürme ile kaplama metodu ile biriktirilmesinin ardından, PMAMB biriktirilmiş yüzeyin üzerine termal buharlaştırma cihazı yardımıyla 5×10^{-5} Torr basınçta 2 mm yarıçaplı metal maske kullanarak 200 nm kalınlığında alüminyum (Al) metali biriktirilmiş ve bu şekilde doğrultucu kontaklar oluşturulmuştur. Sonuçta Al/ PMAMB /p-Si/Al Schottky diyot üretilmiş oldu. Üretilen diyotun 3 boyutlu yapısı Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Termal buharlaştırma cihazı



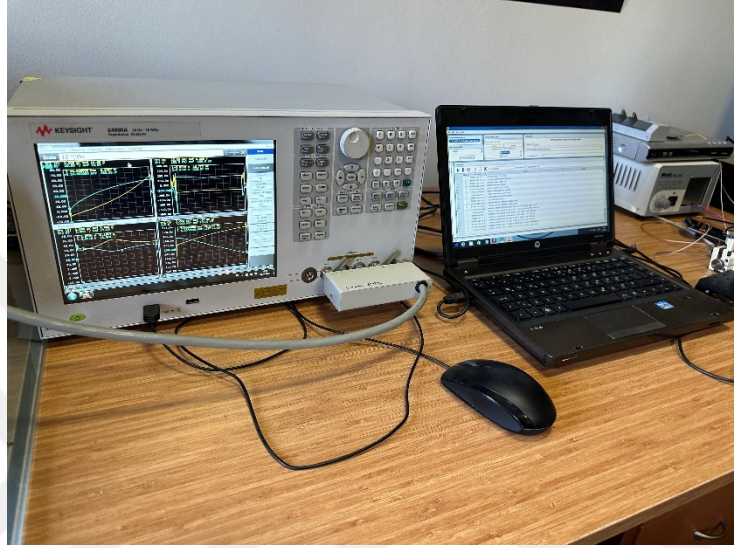
Şekil 3.2. Döndürme ile kaplama (spin coating) cihazı



Şekil 3.3. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyotun 3 boyutlu yapısı

3.4. Kapasite-Voltaj (C-V) ve İletkenlik-Voltaj (G-V) Ölçüm Sistemi

Üretilen Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyotunun kapasite-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G-V) karakteristikleri -4 V ile +2 V ve 30 kHz – 1MHz aralığında Keysight E4990A Empedans Analizör cihazı (Şekil 3.4) yardımıyla kararlıkta alınmıştır.



Şekil 3.4. Empedans Analizör Cihazı

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

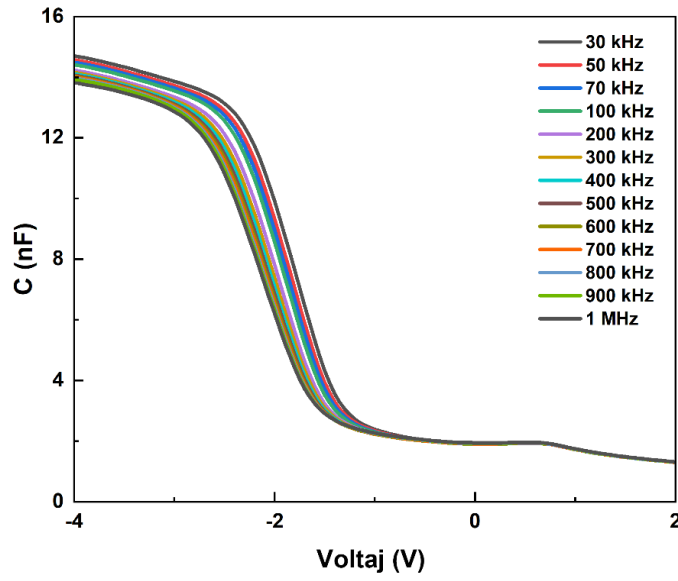
Üretilen PMAMB arayüzey tabakalı Al/PMAMB/p-Si/Al tipi Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasite-kondüktans-voltaj (C-G-V) karakteristiklerinin 30 kHz-1MHz frekans ve -4V,+2V gerilim aralığında ölçümü yapıldı. MIS yapının seri direnç, gerçek kapasite, gerçek kondüktans ve arayüzey durumlarının değerleri 30kHz-1MHz frekans aralığında hesapları yapılarak incelendi.

4.1. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky Diyodunun Frekansa Bağlı Kapasite-Kondüktans-Voltaj Karakteristikleri

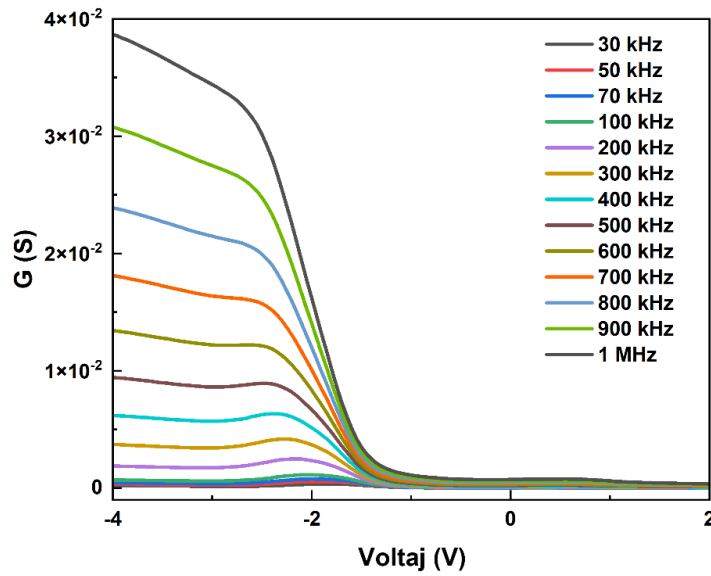
PMAMB arayüzey tabakalı Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyotuna ait kapasite-gerilim (C-V) ve kondüktans-gerilim (G-V) ölçümleri frekansa (30 kHz-1 MHz) ve gerilime (-4V,+2V) bağlı olarak oda sıcaklığında elde edildi. Ölçümler, üretilen diyot DC gerilimi altındayken, 100 mV bir AC uyarma sinyali uygulanacak şekilde gerçekleştirildi. Schottky diyot yapısının frekansa bağlı C-V eğrileri Şekil 4.1.a'da verildi. C-V ve G-V ölçümleri geniş bir frekans aralığında hazırlanan aygıtın dielektrik ve elektriksel özellikleri hakkında bize daha önemli ve geniş bilgiler verir. Son zamanlarda, MIS yapılarla ilgili literatürde oldukça deneysel çalışma bulunmaktadır [46-51]. Fakat bu yapılarda arayüzey durumları yalıtkan arayüzey tabakası, radyasyon ve seri direnç etkisinin temel elektriksel parametreler üzerindeki etkileri henüz tam olarak açıklığa kavuşturulmamıştır.

Şekil 4.1.a 'yı incelediğimizde -1V,+2V aralığında ters çevirim bölgesi, -1V,-3V aralığında tüketme bölgesi ve -3V,-4V aralığında biriktirme bölgesi görülmektedir. Grafiğin tükenim ve biriktirme bölgelerinde frekansın artmasıyla birlikte kapasitenin düştüğü görülmektedir. Ayrıca tüm frekans değerleri için uygulanan gerilim arttıkça kapasitenin azaldığı görülmektedir. Bu durum üretilen diyotun literatürdeki metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) tipi yapılarla uygunluk göstermektedir. Kapasite değeri

30kHz frekans için -3V gerilimde 13,9 nF iken 1MHz frekans için -3V gerilimde 12,9 nF olmuştur. Ayrıca 30kHz için -4V gerilim düzeyinde kapasite 14,7 nF iken +2V gerilim düzeyinde 1,31 nF çıkmıştır. Yüksek frekanslardaki daha düşük kapasitans değerlerinin gözlenmesi, Si ile dengede olan arayüzey durumlarına (N_{ss}) atfedilebilir [52-58]. Çünkü yüksek frekans C-V eğrisi $T=1/\omega = 1/2\pi f$ periyoduna sahip olacak ve bu süre çok küçük olduğu için arayüzey durumlarındaki taşıyıcılar a.c sinyalini takip edemeyeceklerdir.



Şekil 4.1.a. Farklı frekanslarda çizilmiş C-V grafiği



Şekil 4.1.b. Farklı frekanslarda çizilmiş G-V grafiği

Şekil 4.1.b de Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyotunun değişen frekanslardaki kondüktans-voltaj (G-V) eğrilerini göstermektedir. 30kHz-1MHz aralığındaki frekanslarda kondüktans ölçümlerine bakıldığında kondüktans değerlerinin eğrilerinde artan frekansla birlikte artış eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Örneğin -3V gerilim düzeyi için 30 kHz frekans düzeyinde kondüktans $1,51 \times 10^{-4}$ S iken 1MHz frekans düzeyinde $3,44 \times 10^{-2}$ S seviyesine yükselmiştir.

Kapasite ve kondüktansın gerilime bağlı değerlerinin her ikisinde de tükenim bölgesinde bir artış olduğu görülmektedir. Bu görünüm arayüzey durumlarının yalıtkan-yarıiletken arayüzeyindeki özel bir dağılım durumuna işaretir. Kapasitansa, yüksek frekanslarda olduğu gibi arayüzey durumlarından dolayı bir katkı gelmez ve eğriler ideal duruma yaklaşırlar. Bu durum, arayüzey durumlarının yüksek frekanslarda a.c. sinyali takip edememesi olarak belirtilir [59,60].

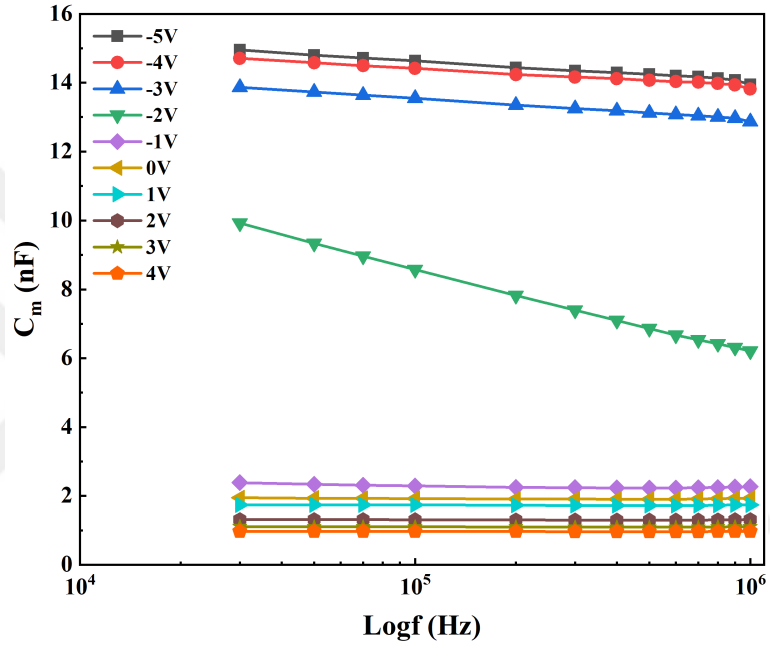
4.2. Al/PMAMB/p-Si/Al tipi Schottky Diyotunun Farklı Voltajlarda Kapasite - Kondüktans-Frekans Karakteristikleri

Hazırlanan Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyotunun C-f ve G-f ölçümleri -5V ile +4V aralığında ve 30 kHz – 1 MHz frekans aralığında yapılmıştır. Şekil 4.2.a da ve Şekil 4.2 b de ölçümleri alınan Schottky diyotun C-f ve G-f grafiğini göstermektedir.

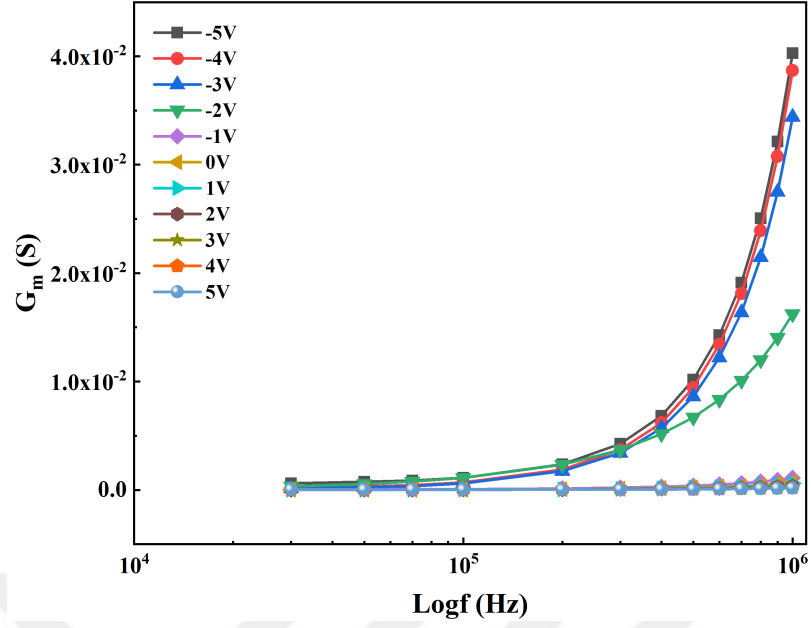
Şekil 4.2.a bize -5V ve +4V aralığında tüm gerilimlerde C-f eğrilerini sunmaktadır. Eğrileri incelediğimizde uygulanan gerilim arttıkça kapasite değerinin azaldığı görülmektedir. Örneğin; 30kHz frekans için -5V gerilim altında kapasite değeri $1,50 \times 10^{-8}$ F iken +5V gerilim altında kapasite değeri $8,79 \times 10^{-10}$ F 'a düşmüştür. Ayrıca frekans değerleri arttıkça kapasitans değerlerinde bir azalma görülmektedir. Bu durum üretilen diyotun MIS tipi bir davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin; -4V sabit gerilim altında 30kHz frekans için kapasite değeri $1,47 \times 10^{-8}$ F iken 1MHz frekans için kapasite değeri $1,38 \times 10^{-8}$ F a düşmüştür.

Şekil 4.2.b de bize -5V ve +5V aralığında tüm gerilimlerde G-f eğrilerini sunmaktadır. Grafiğe göre frekans ve kondüktansın doğru orantılı olarak arttığı gözlenmektedir. Örneğin; -3V sabit gerilim altında 30kHz frekans için kapasite değeri $1,51 \times 10^{-4}$ S iken

1MHz frekans için kapasite değeri $3,44 \times 10^{-2}$ S'a yükselmiştir. Ayrıca her bir frekans değerinde uygulanan gerilim değerleri arttıkça kondüktans değerlerinde yüksek seviyelerde bir azalma meydana geldiği ortaya çıkmıştır. Örneğin; 100kHz sabit frekans değerinde -5V gerilim altın kondüktans değeri $1,12 \times 10^{-3}$ S iken +5V gerilim altında kondüktans değeri $2,46 \times 10^{-5}$ S seviyesine düşmüştür. Bu durum kapasite ve kondüktans karakteristiklerinin frekans sabitine oldukça bağımlı bir halde olduğunu bize sunmaktadır.



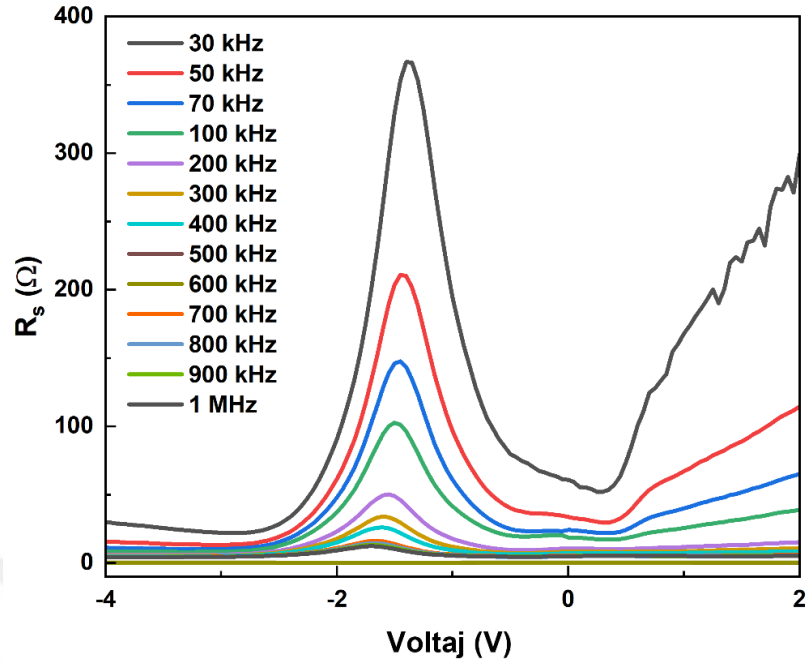
Şekil 4.2.a. Farklı voltajlarda çizilmiş C-f grafiği



Şekil 4.2.b. Farklı voltajlarda çizilmiş G-f grafiği

4.3. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky Diyotunun Farklı Frekanslara Bağlı C_c -V ve G_c -V değişim karakteristikleri

Şekil 4.3.'te farklı frekans değerlerinde seri direncin (R_s) voltaja göre grafiği verilmektedir. Seri direnç değerleri bölüm 2'de verilen denklem (2.8) ile hesaplanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi seri dirence ait pikler frekansın artmasıyla beraber azalmıştır. Seri direncin hem voltaja hem de frekansa bağımlılık göstermesi, arayüzey yalıtkan katmanı ve arayüzey durum yoğunluğunun dağılımına atfedilmektedir [61]. 30 kHz seri direncin maksimum değeri 367 Ω iken 1 MHz' bu değer 12 Ω olarak bulunmuştur. Seri direncin pik yaptığı voltaj bölgesi ise frekans arttıkça sağa doğru kaymaktadır. 30 kHz için pikin bulunduğu voltaj değeri -1,4 V iken 1 MHz için bu değer -1,7 V'tur.



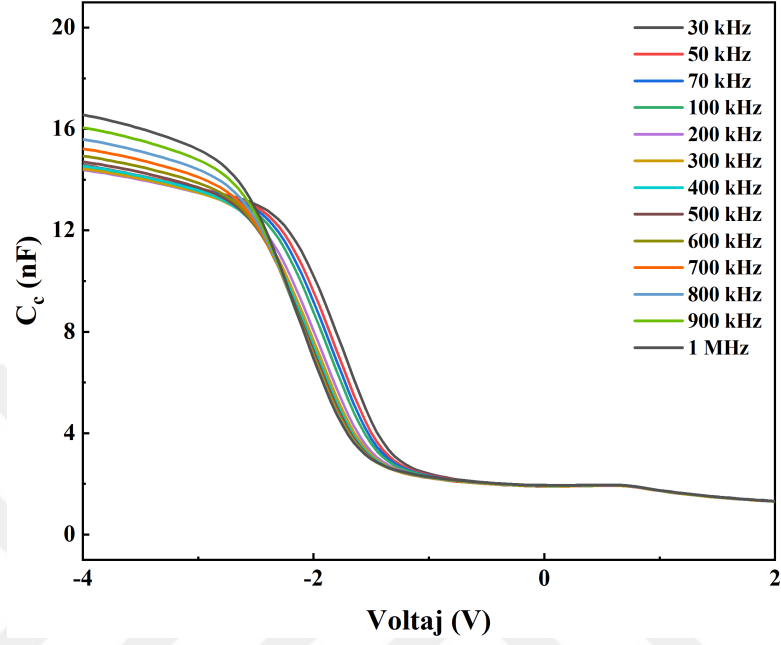
Şekil 4.3. Farklı frekanslarda çizilmiş R_s -V grafiği

Şekil 4.4.a'da verilen düzeltilmiş kapasitans ve şekil 4.4.b'de verilen düzeltilmiş iletkenlik değerleri denklem (2.9) ve (2.10) yardımı ile bulunur.

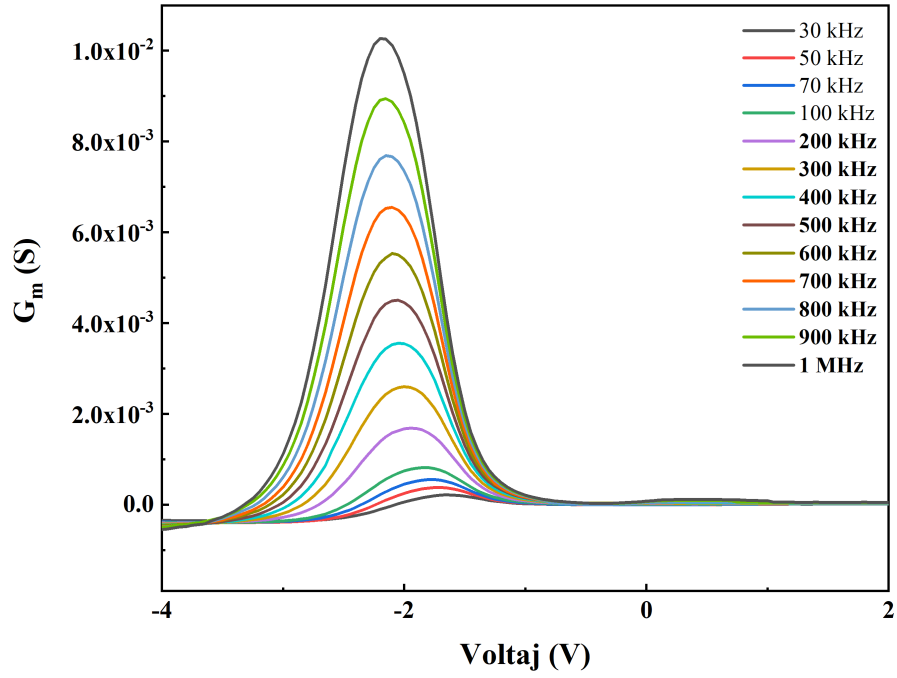
Şekil 4.4.a'da düzeltilmiş kapasite değerini (C_c) daha önce hesaplanan kapasite (C) ile karşılaştırmak gerekirse 30kHz sabit frekans için ve -4V gerilim altında şekil 4.1.a da hesaplanan kapasite değeri $1,47 \times 10^{-8}$ F iken şekil 4.4.a da hesaplanan C_c değeri $1,46 \times 10^{-8}$ F çıkmıştır. 1MHz sabit frekans için -1V gerilim altında ise şekil 4.1.a da hesaplanan C değeri $2,27 \times 10^{-9}$ F iken C_c değeri $2,28 \times 10^{-8}$ F çıkmıştır. Şekil 4.1.a ve 4.4.a karşılaştırıldığında seri dirençten arındırılmış C_c değerinin C değerinden çok bir farkı olmadığı görülmektedir.

Şekil 4.4.b de düzeltilmiş kondüktans değerini (G_c) daha önce hesaplanan kondüktans (G) ile karşılaştırmak gerekirse 500 kHz sabit frekans için -4V gerilim altında Şekil 4.1.b de hesaplanan G değeri $9,43 \times 10^{-3}$ S iken şekil 4.4.b de hesaplanan G_c değeri $1,69 \times 10^{-3}$ S çıkmıştır. 1 MHz frekans için -1 V sabit gerilim altında G değeri $1,10 \times 10^{-3}$ S iken, Şekil 4.4.b de hesaplanan G_c değeri $2,19 \times 10^{-4}$ S çıkmıştır. Şekil 4.1.b ve 4.4.b karşılaştırıldığında seri dirençten arındırılan kondüktans değerinde bir azalma olduğu görülebilir. Ayrıca Şekil 4.4.b'de düzeltilmiş kondüktans eğrilerinin pik verdiği

görülmektedir ve bu pik yalıtkan/yarıiletken arayüzeyindeki yük taşıyıcılarının dağılımından dolayı oluşmaktadır [61].



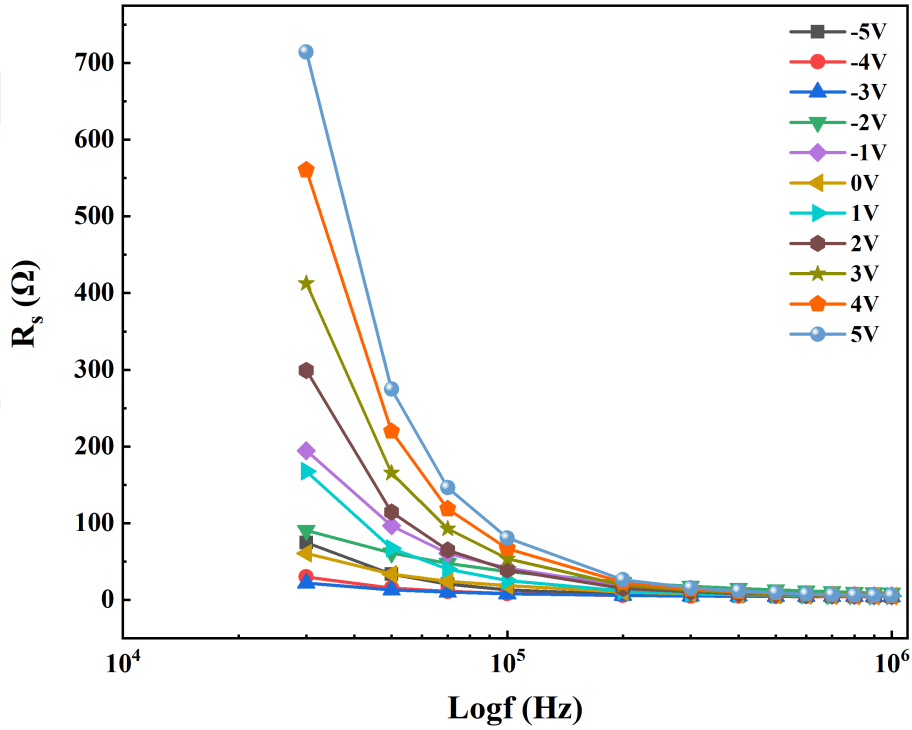
Şekil 4.4.a. Farklı frekanslarda çizilmiş C_c -V grafiği



Şekil 4.4.b. Farklı frekanslarda çizilmiş G_m -V grafiği

4.4. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky Diyotunun Farklı Voltajlara Bağlı Cc-f ve Gc-f değişim karakteristikleri

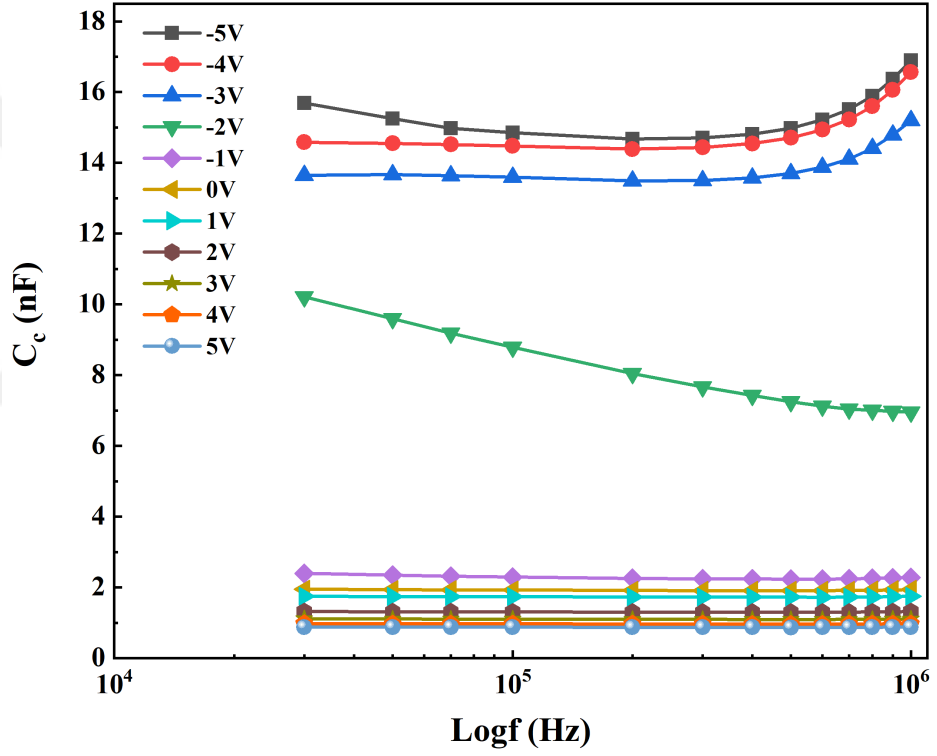
Şekil 4.5 R_s -F grafiğini incelediğimizde seri direnç etkisinin artan frekansla birlikte azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.3'te de buna benzer bir davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bias voltajının artmasıyla beraber düşük frekans bölgesinde seri direnç etkisi artarken, yüksek frekans bölgesinde çok fazla değişim gözlemlenmemiştir.



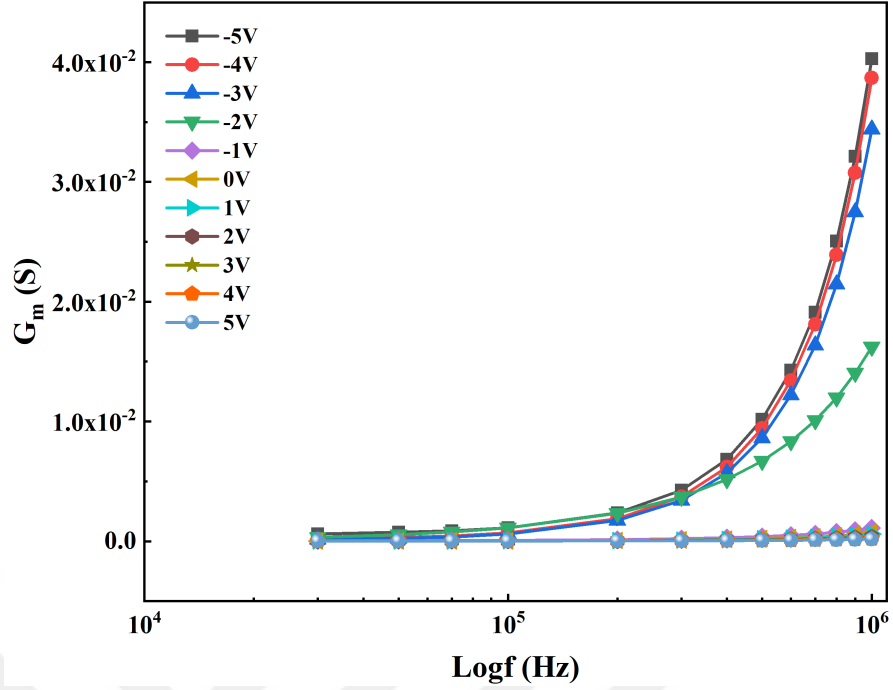
Şekil 4.5. Farklı voltajlarda çizilmiş R_s -f grafiği

Şekil 4.6.a ve 4.6.b incelendiğinde 30kHz-1MHz aralığında hesabını yapılan seri direnç değerlerinin kapasitans (C_m) ve kondüktans (G_m) değerlerine büyük oranda etki ettiği görülmüştür. Bu sebepten ötürü sonuçların daha sağlıklı neticeler de olması amacıyla diyotun seri direnç etkisinden tamamen arındırılmış gerçek kapasitans (C_c) ve gerçek kondüktans (G_c) değerlerinin sağlanması gerekmektedir. Bundan dolayı denklem (2.9) ve (2.10) kullanarak seri direnç etkisinden arındırılmış olarak

hesaplanan C_c ve G_c değerleri hesaplanmıştır. C_c ve G_c değerlerinin farklı gerilimlerde frekansa bağlı olan değişimleri Şekil 4.4.a da ve 4.4.b de verilmiştir. Artan frekansla beraber d¼zeltiymiř kapasitans değerleri -2V dışında ilk olarak azaldığı daha sonra tekrardan artığı g¼zlemlenmiřtir. D¼zeltiymiř iletkenlik değerleri ise artan frekansla beraber artığı g¼zlemlenmiřtir. Bu davranışın sebebi, aray¼zey durumlarından ve aray¼zey durumlarında bulunan y¼klerin gevşeme s¼resinden kaynaklanıyor olabilir [62]. Artan voltajla beraber d¼zeltiymiř kapasitans ve d¼zeltiymiř iletkenlik değerlerinin azaldığı g¼zlemlenmiřtir.



Şekil 4.6.a. Farklı voltajlarda çizilmiş C_c -f grafiği



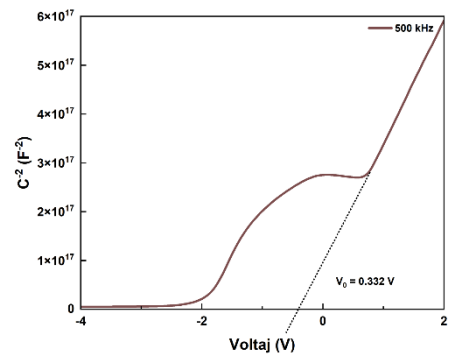
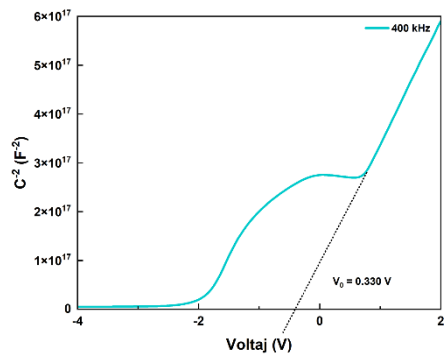
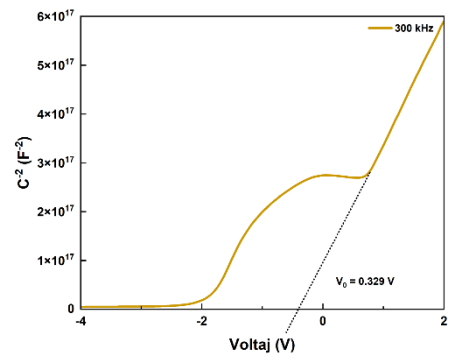
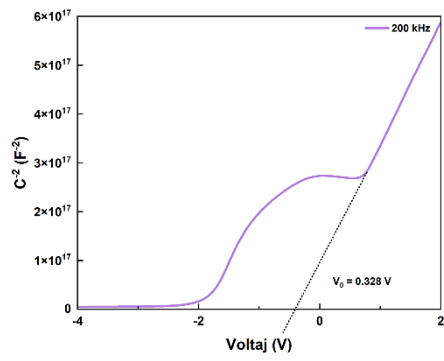
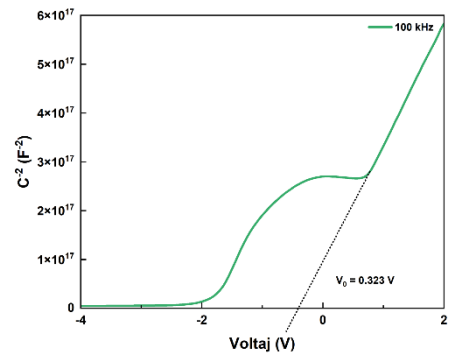
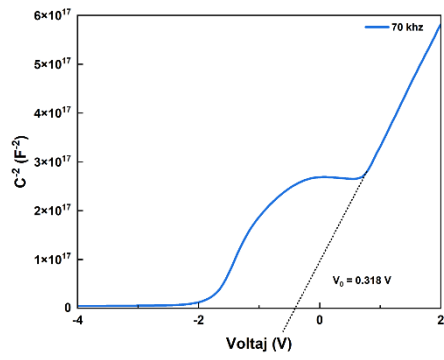
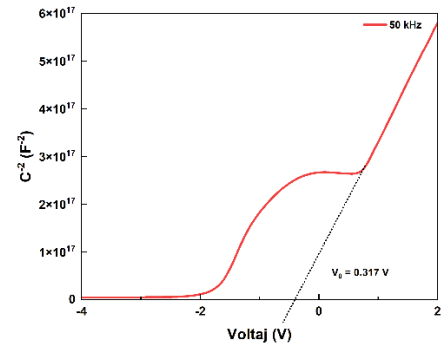
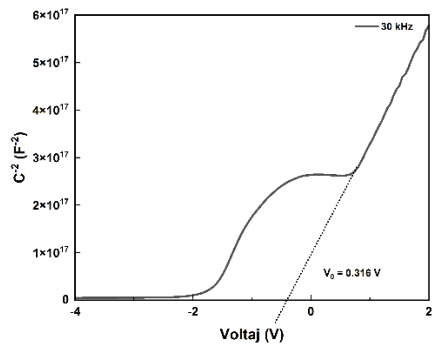
Şekil 4.6.b. Farklı voltajlarda çizilmiş G_c -f grafiği

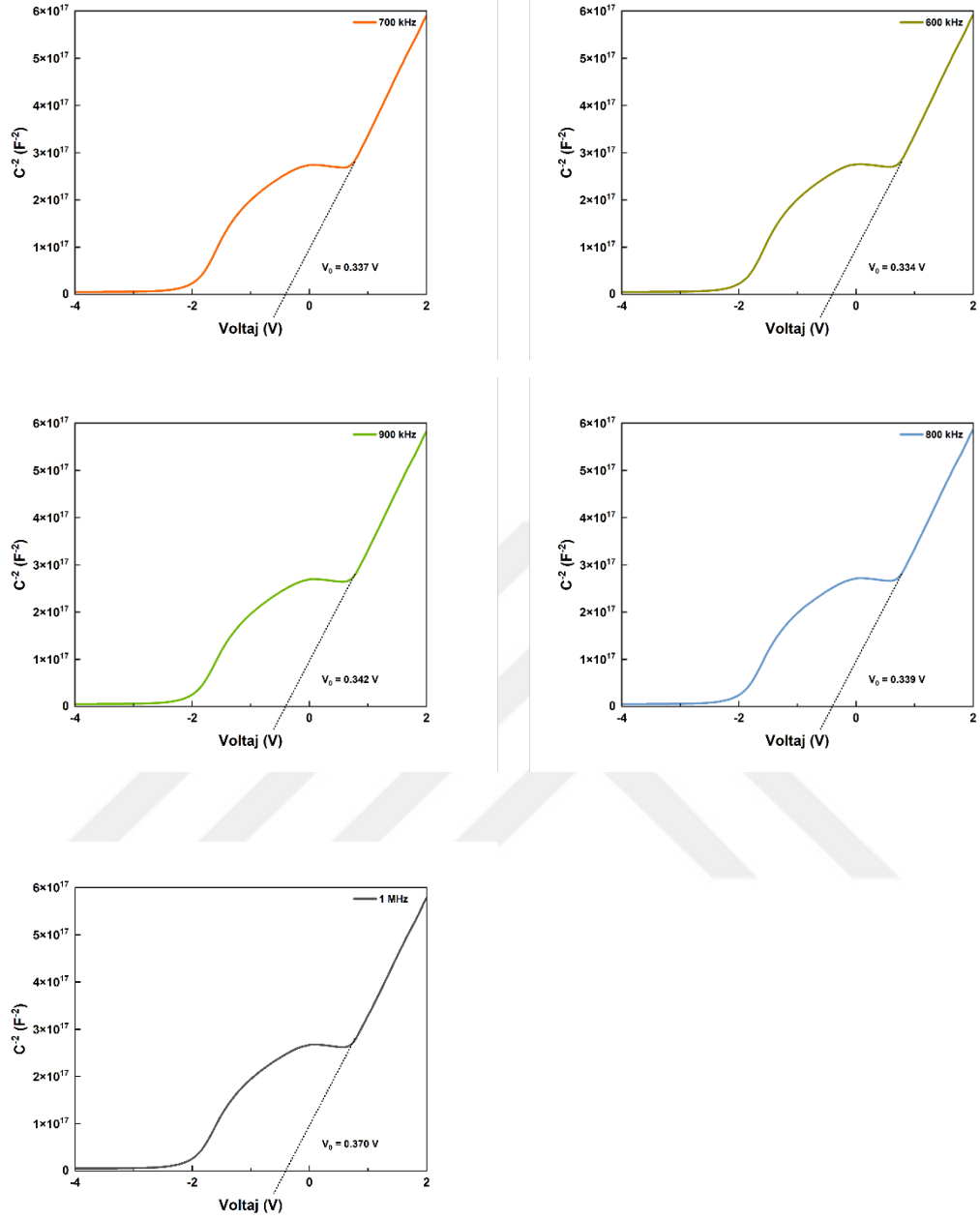
4.5. Kapasite - Gerilim Ölçümlerinden Schottky Diyot Parametrelerinin Bulunması

Schottky diyotların çok önemli özelliklerinden birisi de kapasite-gerilim karakteristikleridir. Ara yüzey durumlarının, Schottky diyotların kapasite-gerilim karakteristikleri ve devre elamanlarının elektriksel özellikleri üzerine çok etkisi olduğu söylenebilir.

Bölüm 2’de anlatıldığı gibi Hill-Colemann tekniği ile arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) bulunabilir. Kullanılan bu teknik en efektif teknikler arasındadır ve bu N_{ss} değerleri denklem (2.12) yardımıyla hesaplanabilir. Kesme gerilim ve difüzyon yoğunluğu ise $1/C^2$ denklemi yardımıyla hesaplanabilir. Ayrıntılı hesaplamalar ve denklemler bölüm 2’de verilmiştir. Tüm frekans değerlerine ait $1/C^2$ grafikleri şekil 4.7’de verilmektedir. Grafiğin kesim noktası kesme voltajını verirken, eğim yardımı ile difüzyon yoğunluğu hesaplanır.

Akseptör yoğunluğu, Fermi seviyesi ve engel yüksekliği ise (2.15), (2.16) ve (2.17) denklemleri yardımıyla hesaplanır.





Şekil 4.7. C^{-2} -V grafikleri.

Tablo 4.1. ve tablo 4.2.'de bu değerler verilmiştir. Her iki tabloya göre, verilen denklemlerden yapılan hesaplara bakıldığında frekans arttıkça Fermi enerjisinin sabit kalıp diğer parametrelerin arttığı görülmektedir. 30 kHz için V_0 0,316 V, V_d 0,342 V, E_F 0,181 eV, N_D $2,554 \times 10^{16}$, Φ_B 0,523 eV ve N_{SS} $1,12 \times 10^{12}$ $eV^{-1}.cm^{-2}$ şeklindedir. 1 MHz için ise V_0 0,370 V, V_d 0,396 V, E_F 0,180 eV, N_D $2,650 \times 10^{16}$, Φ_B 0,576 eV ve N_{SS} $2,78 \times 10^{12}$ $eV^{-1}.cm^{-2}$ şeklindedir.

Tablo 4.1. Al/PMAMB/p-Si/Al diyotundan alınan ölçümlerin C-V grafiklerinden elde edilen diyot parametreleri.

F (kHz)	V_0 (V)	V_d (V)	E_F (eV)
30	0,316	0,342	0,181
50	0,317	0,343	0,181
70	0,318	0,344	0,181
100	0,323	0,349	0,181
200	0,328	0,358	0,181
300	0,329	0,354	0,181
400	0,330	0,356	0,181
500	0,331	0,357	0,181
600	0,333	0,359	0,181
700	0,337	0,363	0,181
800	0,338	0,364	0,181
900	0,342	0,368	0,181
1000	0,370	0,396	0,180

Tablo 4.2. Al/PMAMB/p-Si/Al diyotundan alınan ölçümlerin C-V grafiklerinden elde edilen diyot parametrelerin devamı.

F (kHz)	N_A ($\times 10^{16}$) (cm ⁻³)	Φ_B (eV)	N_{ss} ($\times 10^{12}$) (eV ⁻¹ cm ⁻²)
30	2,554	0,523	1,12
50	2,536	0,524	1,17
70	2,53	0,526	1,41
100	2,531	0,531	1,51
200	2,517	0,535	1,70
300	2,510	0,536	1,82
400	2,512	0,537	2,00
500	2,511	0,539	1,95
600	2,511	0,541	2,21
700	2,523	0,544	2,21
800	2,544	0,546	2,59
900	2,580	0,549	2,68
1000	2,650	0,576	2,78

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, organik arayüzey tabaka olarak PMAMB sentezlenmiş ve karakterize edilmiştir. Bor (B) katkılı p-Si yarıiletken kristali üzerinde döndürme ile kaplama yöntemi ile PMAMB tabakası biriktirilerek Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyotu üretilmiştir. Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj (C-V) ve kondüktans-voltaj (G-V) karakteristikleri -4V+2V voltaj aralığında ve 30 kHz – 1 MHz frekans aralığında oda sıcaklığında ölçülmüştür. Ölçümler üzerindeki seri direnç (R_s) etkisi araştırılmış ve Nicollian ve Brews metoduna göre R_s değerleri frekansa bağlı belirlenmiştir. Seri direnç değerleri frekans artışı ile azaldığı tespit edilmiştir. Seri direncin pik voltajlarında 30 kHz'de 367 Ω 'dan 1 MHz'de 12 Ω 'a düşmüştür.

Hesaplanan frekansa bağlı $G_c - V$ karakteristiklerinde tüketme bölgesinde pikler gözlemlenmiştir. Bu piklerin varlığı arayüzey durumları yoğunluğunun (N_{ss}) varlığını göstermektedir. Hill-Colemann tek frekans tekniği ile 30 kHz – 1MHz aralığında frekansa bağlı arayüzey durumları yoğunluğu (N_{ss}) değerleri belirlenmiştir. Bu değerler $1,12 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ile $2,78 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ arasında değişmektedir. Arayüzey durumları yoğunluğu değerleri literatürde yaklaşık $10^{12} - 10^{14} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ mertebesinde olup Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyottan elde edilen sonuçlar ile uyumludur.

Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky diyot yapısının ters beslem kapasite gerilim eğrilerinden hesaplanan değişik frekans değerlerinde $1/C_c^2 - V$ grafiğinden yararlanarak oda sıcaklığında difüzyon potansiyeli (V_D), akseptör taşıyıcı yoğunluğu (N_A), Fermi enerjisi (E_F) ve engel yüksekliği (Φ_B) gibi elektriksel parametreleri hesaplandı. Engel yüksekliği değerleri 30 kHz için 0.523 eV'dan 1 MHz için 0.576 eV'a artmıştır.

Üretilen Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-frekans ($C - f$) ve kondüktans-frekans ($G - f$) ölçümleri sonucunda voltaj artışı ile kapasite ve kondüktans

değerlerinin azaldığı, frekans artışı ile birlikte ise kapasite değerlerinin azaldığı ve kondüktans değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu olayın sebebinin alçak frekanslarda arayüzey durumları yoğunluğunun uygulanan AC sinyali takip edebilmesi ve yüksek frekanslarda ise takip edememesi olarak açıklanmıştır. Frekansa bağlı seri direnç (R_s) değerlerinin frekansın artmasıyla azaldığı hesaplanmış, gerçek kapasite ve kondüktans değerlerinin ise seri dirençten etkilendiği ölçüm sonuçları karşılaştırılarak tespit edilmiştir.

Tüm bu sonuçlar bu tez çalışmasında üretilen Al/PMAMB/p-Si/Al Schottky tipi diyotun bir MOS tipi davranış gösterdiği ve enerji depolama kapasitesine sahip bir aygıt olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu tez için sentezlenen PMAMB organik malzemenin optoelektronik ve elektronik gibi cihaz uygulamalarında arayüzey tabakası olarak kullanılabileceği önerilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Y. Anand, Microwave Schottky barrier diodes, in Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications, ed. By B.L. Sharma Springer, Boston, 1984.
- [2] K.F. Braun & Pogg. Ann. Phys. Chem. 153, 556, 1874.
- [3] F. Nasim & A.S. Bhatti, Int. J. Electron. 100, 1228 2013.
- [4] S. Sassen, B. Witzigmann, C. Wolk & H. Brugger, IEEE Trans. Electron Devices 47, 24 2000.
- [5] Rhoderick EH & Williams RH Metal semiconductor contacts, 2nd edn. Clarendon Press, Oxford, 1988.
- [6] Nicollian EH & Brews JR MOS physics and technology. Wiley, New York, 1982.
- [7] Afandiyeva IM, Dokme I, Altindal S, Bulbul MM & Tataroglu A, Microelectronic Engineering 85:247, 2008.
- [8] Osvald J & Burian E, Solid State Electron 42(2):191, 1998.
- [9] Cova P & Singh A, J Appl Phys 82(10):5217, 1997.
- [10] N.M. Khusayfan, Electrical and photoresponse properties of Al/graphene oxide doped NiO nanocomposite/p-Si/Al photodiodes, J. Alloys Compd. 666, 501–506, 2016.

- [11] N. Kumar, A. Kumari, M. Samarth, R. Kumar & T.K. Dey, Analytical Studies of Metal Insulator Semiconductor Schottky Barrier Diodes, *Mat.Sci.Res.India* 11 (2) 121–127, 2014.
- [12] T. Tunc, S. Altindal, I. Uslu, I. Dokme & H. Uslu, Temperature dependent current–voltage(I–V) characteristics of Au/n-Si (111) Schottky barrier diodes with PVA(Ni,Zn-doped) interfacial layer, *Materials Science in Semiconductor Processing* 14, 139–145, 2011.
- [13] A. Gencer Imer, A. Korkut & W.A. Farooq, Interface controlling study of silicon based Schottky diode by organic layer, *J Mater Sci: Mater Electron* 30 19239–19246, 2019.
- [14] S. Karadeniz, B. Baris, O.F. Yüksel, & N. Tugluoglu, Analysis of electrical properties of Al/p-Si Schottky contacts with and without rubrene layer, *Synthetic Metals* 168, 16–22, 2013.
- [15] A. Karabulut, F. Lafzi, S. Bayindir, O. Sevgili, & I. Orak, The synthesis, current transformer mechanism and structural properties of novel rhodanine-based Al/Bis (Rh)-Ph/p-Si and Al/Bis (Rh)-TPE/p-Si heterojunctions, *J. Mol. Struct.* 1231, 129699, 2021.
- [16] F.S. Kaya, T. Oznuluer Ozer, G. Turgut, A. Bayrakceken Yurtcan & S. Duman, Electrical investigation of Al/PEDOT/C/p-Si structure, *Results in Physics* 13, 102316, 2019.
- [17] S.B. Ocak, A.B. Selçuk, G. Aras, & E. Orhan, Electrical analysis of Al/ZnO/p-Si, Al/ PMMA/p-Si and Al/PMMA/ZnO/p-Si structures: comparison study, *Materials Science in Semiconductor Processing* 38 249–256,
- [18] A. Ugur, A.G. Imer, & Y.S. Ocak, Electrical and photoelectrical characterization of an organic-inorganic heterojunction based on quinoline yellow dye, *Materials Science in Semiconductor Processing* 39 569–574, 2015.

- [19] A. Kocyigit, M. Yılmaz, Ü. Incekara, Y. Sahin & S. Aydogan, The light detection performance of the congo red dye in a Schottky type photodiode, *Chemical Physics Letters* 800, 139673, 2022.
- [20] O.F. Yüksel, N. Tugluoglu, H. Şafak & M. Kuş, The modification of Schottky barrier height of Au/p-Si Schottky devices by perylene-diimide, *J. Appl. Phys.* 113, 044507, 2013.
- [21] Altındal Yerişkin, S., The Investigation of Effects of (Fe₂O₄-PVP) Organic Interlayer, Surface States, and Series Resistance on the Electrical Characteristics and Sources of Them, *Journal of Materials Science Materials in Electronics* 30 17032-17039, 2019.
- [22] Bilkan, C., Altındal, S. & Azizian-Kalandaragh, Y., Investigation of frequency and voltage dependence surface states and series resistance profiles using admittance measurements in Al/p-Si with Co₃O₄-PVA interlayer structures, *Physica B* 515, 28–33, 2017.
- [23] Demir, G., Metal-Yalıtkan/Polimer-Yarıiletken (MPY) Yapıların Hazırlanması, Elektriksel ve Dielektrik Özelliklerinin Frekans ve Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 107s, Düzce, 2019.
- [24] Demirezen, S., Sönmez, Z., Aydemir, U., & Altındal, Ş., Effect of series resistance and interface states on the I–V, C–V and G/ω–V characteristics in Au/Bidoped polyvinyl alcohol (PVA)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature, *Current Applied Physics*, 12 (1), 266-272, 2012.
- [25] Nicollian EH & Goetzberger A. The Si-SiO₂ interface-electrical properties as determined by the metal–insulator-silicon conductance technique. *Bell Syst Tech J* 46:1055-1133, 1967.

- [26] Sharma, M. & Tripathi, S. K., Analysis of interface states and series resistance for Al/PVA:n-CdS nanocomposite metal–semiconductor and metal–insulator–semiconductor diode structures, *Appl. Phys. A*, 113 491, 2013.
- [27] Tecimer, H., Uslu, H., ALahmed, Z. A., Yakuphanoglu, F. & Altındal, Ş., On the frequency and voltage dependence of admittance characteristics of Al/PTCDA/P-Si (MPS) type Schottky barrier diodes (SBDs), *Composites Part B*, 57 25, 2014.
- [28] Chattopadhyay, P. & Raychaudhuri, B., Frequency dependence of forward capacitance-voltage characteristics of Schottky barrier diodes, *Solid-State. Electron.* 36:605-610, 1993.
- [29] Chattopadhyay, P. & Raychaudhuri, New technique for the determination of series resistance of Schottky barrier diodes, *Solid-State Electron.*, 35:1023-1024 1992.
- [30] M. Akkuş, Production of TiO₂ Thin Film Using Spray Pyrolyse Method and Its Application in Metal/TiO₂//Si MIS Structures, Institute of graduate studies of Batman University, 2023.
- [31] R. A. Serway & J. W. Jewett, *Physics 6 Basım*, 2004.
- [32] CHARLES KITTEL, *Introduction to Solid State Physics* (John Willey & Sons, Inc., London, 2005.
- [33] W. Callister & D. Rethwisch, *Materials Science and Engineering an Introduction*, Eighth Willey, 2009.
- [34] V. K. Jain, *Physics of Semiconductor Devices*, Springer, 2014.
- [35] R. Hasan & H. Ameen, *Organik (Metil Moru) Arayüzey Tabakanın Sn/p-Si/Al Schottky Diyotlarının Elektriksel Karakteristikleri Üzerine Etkileri*, Van, 2016.

- [36] Ç. Bilkan, Polimer Arayüzey Tabakalı ve Tabakasız Schottky Engel Diyotların Elektriksel Karakteristiklerinin Karşılaştırılması, Ankara, 2016.
- [37] H. Kanbur, Doğal Yalıtkan Tabakalı Al/p-Si Schottky Diyotlarda Elektriksel Karakteristiklerin Frekansa Bağlı İncelenmesi, Ankara, 2005.
- [38] E. B. Dağlı, Al/Al₂O₃/n-Si/Al Schottky Diyotların Üretimi ve Karakterizasyonu, Graduate school of natural and applied sciences, 2023.
- [39] P. Özdağ, Capacitance-Voltage Spectroscopy in Metal-Tantalum Pentoxide (Ta₂O₅) Silicon MOS Capacitors, Graduate school of engineering and science, 2005.
- [40] H. E. Lapa, Ç. Ş. Güçlü, D. A. Aldemir, & A. F. Özdemir, Appl Phys A Mater Sci Process 126, 2020.
- [41] V. Kumar, N. Kaminski, A. S. Maan, & J. Akhtar, Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science 213, 193, 2016.
- [42] N. Tuğluoğlu, Ö. F. Yüksel, S. Karadeniz, & H. Şafak, Mater Sci Semicond Process 16, 786, 2013.
- [43] A. F. Özdemir, D. E. Akcan, H. E. Lapa, A. G. Yavuz, & S. Duman, in Acta Phys Pol A, Polska Akademia Nauk, syf. 450–454, 2015.
- [44] S. Cavdar, Y. Demirozmez, N. Turan, H. Koralay, & N. Tuğluoğlu, Journal of Materials Science: Materials in Electronics 33, 22932, 2022.
- [45] I. Taşcıoğlu, Tüzün Özmen, H. M. Şağban, E. Yağlıoğlu, & Altındal, J Electron Mater 46, 2379 (2017).
- [45] A. Ziane, M. Amrani, A. Rabehi, A. Douara, M. Mostefaoui, A. Necaibia, N. Sahouane, R. Dabou, & A. Bouraiou, Semiconductors 55, 51, 2021.

- [46] D. Korucu & S. Duman, Silicon 11, 1055, 2019.
- [47] A. Tataroğlu, Ş. Altındal & M.M. Bülbül, Temperature and frequency dependent electrical and dielectric properties of Al/SiO₂/p-Si (MOS) structure, Microelectronic Engineering, 81: 140-149, 2005.
- [48] Chattopadhyay P. & Raychaudhuri B., New technique for the determination of series resistance of Schottky barrier diodes Solid-State Electronics, 35(7): 1023-1024, 1992.
- [49] Şahin B., Çetin H. & Ayyıldız E., The effect of series resistance on capacitance–voltage characteristics of Schottky barrier diodes, Solid-State Communications, 135(8): 490-495, 2005.
- [49] Tataroğlu B., Altındal Ş. & Tataroğlu A., The C–V–f and G/ω–V–f characteristics of Al/SiO₂/p-Si (MIS) structures, Microelectronic Engineering, 83(10): 2021-2026, 2006.
- [50] Sze, S.M., Physics of Semiconductor Devices 2nd ed., John Willey & Sons, New York, 245-300, 362-390, 1981.
- [51] Jarzebski, Z. M., Physical properties of SnO₂ materials: 1. Preparation and defect structure, J. Electrochem. Soc., 123(7): 199-205, 1976.
- [52] Nicollian, E. H. & Brews, J. R., MOS Physics and Technology, John Wiley & Sons, New York, 40-175, 222-226, 288, 423-439, 1982.
- [53] Schroder, D. K., Semiconductor Material and Device Characterization 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 337-379, 1998.
- [54] Kar, S. & Dahlke, W. E., Interface states in MOS structures with 20-40 Å thick SiO₂ films on nondegenerate Si, Solid-State Electronics, 15: 221- 237, 1972.

[55] Kar S., & Narasimhan R. L., Characteristics of the Si-SiO₂ interface states in thin (70-230 Å) oxide structures, J. Appl. Phys., 61(12): 5353-5359, 1987.

[56] Schulz M., Klausmann E., & Transient capacitance measurements of interface states on the intentionally contaminated Si-SiO₂ interface interface Applied Physics A: Materials Science & Processing, 18(2): 169-175, 1979.

[57] Depas, M., Van Meirhaeghe, R. L., Lafere, W. H. & Cardon, F., Electrical characteristics of Al/SiO₂/n-Si tunnel diodes with an oxide layer grown by rapid thermal oxidation, Solid-State Electronics, 37(3): 433-441, 1994.

[58] Konofaos, N., McClean, I. P. & Thomas, C. B., Characterisation of the interface states between amorphous diamond-like carbon films and (100) silicon, Phys. Stat. Sol. (a), 161: 111-123, 1997.

[59] Berglund, & C. N., Surface states at steam-grown silicon-silicon dioxide interfaces, IEEE Trans. Nucl. Sci., Ed-13(10): 701-705, 1966.

[60] Nicollian, E. H. & Goetzberger, A., The Si-SiO₂ interface electrical properties as determined by the MIS conductance technique, Bell Syst. Tech. J., 46: 1055- 1133, 1967.

[61] M.M. Bülbül, S. Zeyrek, Frequency dependent capacitance and conductance-voltage characteristics of Al/Si₃N₄/p-Si(1 0 0) MIS diodes, Microelectron Eng. 83, 2522–2526, 2006.

[62] S. Cavdar, Y. Demiroglu, N. Turan, H. Koralay, N. Tuğluoğlu, Analysis of voltage and frequency-dependent series resistance and interface states of Al/ZnCo₂O₄: Gelatin/n-Si diode, Journal of Materials Science: Materials in Electronics. 33, 22932–22940, 2022.

ÖZGEÇMİŞ

Görkem Can İNCE, İlk, orta ve lise eğitimini Ordu'da tamamladı. 2013 yılında başladığı Giresun Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nü 2018 yılında bitirdi. 2019 yılında Emniyet Genel Müdürlüğü'nde Polis Memuru olarak göreve başladı. 2020 yılında Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Polis Memuru olarak görev yapmaktadır.