T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL-ORGANİK-YARIİLETKEN YAPILARIN ARAYÜZEY ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ARDEN ERKOL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
FİZİK PROGRAMI

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ÇİĞDEM ORUÇ

İSTANBUL, 2016

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL-ORGANİK-YARIİLETKEN YAPILARIN ARAYÜZEY ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Arden ERKOL tarafından hazırlanan tez çalışması 28.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Çiğdem Oruç

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Çiğdem Oruç

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Serco Serkis Yeşilkaya

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa Alevli

Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tezin yazımında beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Çiğdem Oruç'a ve Prof. Dr. Ahmet Altındal'a sonsuz teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarımda karşılaştığım aksaklıkların kolayca üstesinden gelmemi sağlayan ve bilgileriyle aydınlatan Yrd. Doç. Dr. Nursel Can ve Yrd. Doç. Dr. Birsel Can Ömür'e çok teşekkür ederim.Fizik eğitimimde bu seviyeye gelmemi sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü akademisyenlerine çok teşekkür ederim. Beni yetiştirip büyüterek bu seviyeye gelmemi sağlayan, sevgilerini ve desteklerini esirgemeyen aileme, karamsarlığa düştüğümde beni cesaretlendirip motive eden arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Nisan, 2016

Arden ERKOL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 5
1.3 Hipotez 5

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER 7

2.1 MIS, MOS Yapıları 7
2.1.1 İdeal MIS Yapı 8
2.1.2 Gerçek MIS Yapı 12
2.2 Arayüzey Özellikleri 13
2.3 Yük İletim Mekanizması 15
2.3.1 Schottky(termoiyonik) Emisyonu 15
2.3.2 Poole-Frenkel Emisyonu 17
2.3.3 Hopping İletimi 18
2.4 Ftalosiyanin 20

BÖLÜM 3

YÖNTEM VE YAPILANLAR 22

3.1 Silisyumun Temizlenmesi 22
3.2 Arka Kontağın Yapılması 23
3.3 Yalıtkan Tabakanın Kaplanması 23

3.4 Termal Buhar Biriktirme Yöntemi 24
3.5 D.C. Ölçümler 25
3.6 A.C. Ölçümler 26

BÖLÜM 4

DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLARI 27

4.1 D.C. Ölçümler 27
4.1.1 Gümüş Kontaklı MIS Yapıların Akım-Gerilim Karakteristikleri 27
4.1.2 Altın Kontaklı MIS Yapıların Akım-Gerilim Karakteristikleri 32
4.2 A.C. Ölçümler 36
4.2.1 Gümüş Kontaklı MIS Yapıların ac davranışı 36
4.2.2 Altın Kontaklı MIS Yapıların ac davranışı 40
4.2.3 Sıcaklığın MIS Yapıların ac davranışlarındaki etkisi 43
4.2.4 Frekansa ve Sıcaklığa Bağlı Kapasitans-Gerilim Karakteristikleri 48
4.2.5 Farklı MIS Yapılarının Sabit Sıcaklıkta İletkenlikleri 51

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 55

KAYNAKLAR 58

ÖZGEÇMİŞ 61

SİMGE LİSTESİ

Si	Silisyum
Co	Kobalt
Fe	Demir
Zn	Çinko
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_{ms}	Metal ve yarıiletken arasındaki iş fonksiyonu farkı
Φ_B	Metal ve yalıtkan arasındaki potansiyel engeli
χ	Yarıiletkenin elektron yakınlığı
χ_i	Yalıtkanın elektron yakınlığı
E_v	Valans bandı enerji seviyesi
E_C	İletkenlik bandı enerji seviyesi
E_i	Saf Fermi enerji seviyesi
E_F	Fermi enerji seviyesi
Ψ_B	Fermi seviyesi ile özden Fermi enerji seviyesi arasındaki fark
Q_{sc}	Uzay yükü
C_{sc}	Uzay yükü kapasitansı
C_{ox}	Yalıtkan tabakanın kapasitansı
d_{ox}	Yalıtkan tabakanın kalınlığı
D_{it}	Arayüzey durum yoğunluğu
C_M	Ölçülen kapasitans
G_M	Ölçülen İletkenlik
C_{HF}	Yüksek frekans kapasitansı
C_{LF}	Düşük frekans kapasitansı
C_S	Yarıiletken kapasitansı
C_{it}	Arayüzey tuzağı kapasitansı
C_T	Tuzak kapasitansı
R_S	Seri direnç
C_{MA}	Yüksek birikimde kapasitans
G_{MA}	Yüksek birikimde iletkenlik
G_P	Paralel iletkenlik
ω	Açısal frekans
q	Birim yük
A	Kontak alanı
J	Akım yoğunluğu
σ_{ac}	Alternatif gerilim iletkenliği

A^*	Etkin Richardson sabiti
m_0	Serbest elektron kütlesi
m^*	Dielektrik içerisindeki etkin elektron kütlesi
T	Mutlak sıcaklık
q	Elektron yükü
$q\Phi_B$	Schottky bariyer yüksekliği
k	Boltzmann sabiti
h	Planck sabiti
ε_0	Vakumdaki dielektrik sabit
ε_r	Optik dielektrik sabiti
N_d	Donör merkezi yoğunluğu
N_t	Tuzak merkezi yoğunluğu

KISALTMA LİSTESİ

CoPc	Kobalt Ftalosiyanin
FePc	Demir Ftalosiyanin
FET	Alan etkili transistör
HPc	Metalsiz Ftalosiyanin
MIS	Metal-yalıtkan-yarıiletken
MOS	Metal-oksit-yarıiletken
MS	Metal-yarıiletken
n-Si	n-tipi silisyum
OFET	Organik alan etkili transistör
OLED	Organik ışık saçan diyot
Pc	Ftalosiyanin
p-Si	p-tipi silisyum
PTCDA	Perilen tetrakarboksilik dianhidrit
SBD	Schottky bariyer diyodu
TVD	Termal buhar biriktirme
ZnPc	Çinko Ftalosiyanin

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.2 MIS yapının eşdeğer kapasitesi 9
Şekil 2 3 MIS yapının (a) eşdeğer şematik (b) ölçülen devresi [9] 11
Şekil 2.4 Gerçek MIS yapı 13
Şekil 2.5 Schottky(termoiyonik) emisyonunun enerji bant diyagramının MIS yapı için şematik gösterimi [26] 15
Şekil 2.6 Poole-Frenkel emisyonunun enerji bant diyagramının MIS yapı için şematik gösterimi [26] 17
Şekil 2.7 Hopping iletiminin enerji bant diyagramının MIS yapı için şematik gösterimi [26] 19
Şekil 2.8 (a) Metalsiz ve (b) metal ftalosiyaninlerin molekül yapıları [34] ....20Şekil 3.1 Yalıtkan olarak kullanılan ftalosiyanin bileşiğin moleküler yapısı 23
Şekil 3.2 Termal buhar biriktirme cihazının şeması 24
Şekil 3.3 D.C. ölçümlerinin yapıldığı ölçüm sistemi 25
Şekil 4.1 Ag/HPc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda ölçülen I-V karakteristikleri 28
Şekil 4.2 Ftalosiyanin'in moleküler yapısının MIS yapıların 89 °C'de ölçülen I-V karakteristiklerine etkisi 29
Şekil 4.3 Ag/ZnPc/p-Si yapılarının uygulanan gerilimin pozitif değerleri için ölçülen I-V karakteristikleri 30
Şekil 4.4 Düşük gerilim bölgesinde gözlemlenen ln (I) -V karakteristikleri 31
Şekil 4.5 Yüksek gerilim bölgesinde gözlemlenen ln (I/V) –V1/2 karakteristikleri 32
Şekil 4.6 Au/HPc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda ölçülen I-V karakteristikleri 33
Şekil 4.7 Au/Pc/Si Yapıların 89°C'de ölçülen I-V karakteristikleri 34
Şekil 4.8 Metal elektrot türünün Metal/HPc/n-Si yapıların I-V karakteristiklerine etkisi 35
Şekil 4.9 Ag/Pc/Si yapılarının 89°C'de X-R grafiği 36
Şekil 4.10 Ag/Pc/Si yapılarının 89°C'de R-f grafikleri 37
Şekil 4.11 Ag/Pc/Si yapılarının 89°C'de empedansın sanal kısmının frekansa bağlılığı 38
Şekil 4.12 Ftalosiyanin bileşiğninin moleküler yapısının Ag/Pc/n-Si yapıların iletkenliklerine etkisi 39
Şekil 4.13 Au/Pc/Si yapılarının 89°C'de X-R grafikleri 40
Şekil 4.14 Au/Pc/Si tabakalarından oluşan yapının 89°C'deki R-f grafikleri 41
Şekil 4.15 Au/Pc/Si yapılarının 89°C'de X-f grafiği 42
Şekil 4.16 Au/Pc/Si yapılarının 89°C'de σ_{ac} - f grafikleri 43
Şekil 4.17 Ag/FePc/n-Si yapısının sıcaklığa bağlı X-R grafiği 44
Şekil 4.18 Ag/FePc/n-Si yapısının sıcaklığa bağlı σ_{ac} - f grafikleri 45

Şekil 4.19 Au/FePc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda ölçülen X-R karakteristikleri 46
Şekil 4.20 Au/FePc/n-Si yapısının gösterilen sıcaklıklarda iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi 47
Şekil 4.21 Ag/Pc/Si yapısının C-V karakteristiği 48
Şekil 4.22 Au/Pc/Si yapısının C-V karakteristiği 49
Şekil 4.23 Ag/FePc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda C-V karakteristiği 50
Şekil 4.24 Au/FePc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda C-V karakteristiği 51
Şekil 4.25 Ag/Pc/Si Yapısının G/ω-f grafiği 52
Şekil 4.26 Au/Pc/Si Yapısının G/ω-f grafiği 53
Şekil 4.27 Gümüş ve altın kontaklı MIS yapıların G/ω-f grafiği 54

ÖZET

METAL-ORGANİK-YARIİLETKEN YAPILARIN ARAYÜZEY ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Arden ERKOL

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç.Dr. Çiğdem Oruç

Günümüzde yarıiletken teknolojisinde cihazların boyutlarında küçülme ve performans iyileştirmeleri beklenmektedir. Genelde bir MIS yapının performansı oksit tabakasının performansı ile tanımlanır. Dielektrik tabakanın inceltilmesi yeni nesil MIS temelli cihazların gelişmesindeki en büyük sorundur. Çünkü oksit (SiO_2) tabaka kalınlığının azalması, cihaz performansının düşmesine sebep olan kaçak akımları arttırmaktadır. International Technology Roadmap for Semiconductors'a göre (ITRS), 100nm altı cihazlarda eşdeğer oksit tabaka kalınlığının 3nm civarnda olması gerekmektedir. MIS teknolojisinde nm mertebesinde cihaz üretme eğilimi, silisyum oksitin yüksek dielektrik sabitine sahip bir malzeme ile değiştirilmesini gerektirir. Bu sebepten Silisyum altlık üzerinde geliştirilecek yüksek dielektrik malzeme alternatiflerinin bulunması her geçen gün önem kazanmaktadır. Özellikle yalıtkanın, yüksek kırılma dayanımı, çalışma gerilimde düşük akım kaçağı, düşük oksit tuzak yükü ve yüksek ısıl kararlılık gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bundan dolayı, yalıtkan materyalin seçimi ve karakterizasyonu teknolojik uygulamalarda hayati önem taşımaktadır. Sonuç olarak birçok çalışmanın da gösterdiği gibi silisyum dioksit yerine $SrTiO_3$, ZrO_2, TiO_2, Ta_2O_5, $ZrTiO_4$, ve $Zr(Sn,Ti)O_4$ gibi yüksek dielektrik sabitine sahip malzemeler üzerine yoğunlaşılmıştır.

Son zamanlarda organik malzemeler alternatif malzeme olarak dikkat çekmektedir. Organik malzemelerin elektronik cihazlarda kullanımı önemli ölçüde performansın düşük fiyatlara elde edilmesi açısından gelecek vaat etmektedir. Literatürdeki çalışmalar organik moleküllerin geleneksel MIS yapıların elektriksel karakteristikleri

kontrol edebildiklerini göstermiştir. Bu gelişmeler inorganik tabakaların organiklerle değiştirilmesinde bir fırsat doğurmuştur.

Ftalosiyanin molekülleri kimyasal kararlılıkları, moleküler yapılarında modifikasyonları ve benzersiz elektriksel özelliklerinden dolayı, organik ışık saçan diyot (OLED), gaz sensörü ve MIS yapıda yalıtkan tabaka gibi çeşitli elektronik uygulama için aday malzemelerden biri olarak düşünülmektedir. Yapılan birkaç deneysel çalışma ftalosisyanin molekülünün yalıtkan malzeme olarak kullanımının etkisini göstermek için yapılmıştır. Bununla birlikte Si/Pc/Metal cihazların sıcaklığa, kalınlığa ve frekansa bağlı karakteristikleri hala tam olarak bilinmemektedir. Bu sebepten iletkenliğin, MIS yapının dielektrik ve arayüzey özelliklerinin detaylıca araştırılması, organik tabakaya sahip cihazların belirli bir uygulama için uygunluğunu belirleyen gerçek parametrelerin ortaya koyulması açısından gereklidir.

Bu çalışmada tercih edilen malzemelerden kaynaklanan farklı yük arayüzey durumları, inorganik malzemelere alternatif, verimli, organik malzemenin belirlenmesi için FePc(Demir Ftalosiyanin), ZnPc(Çinko Ftalosiyanin), CoPc(Kobalt Ftalosiyanin) ve HPc(Ftalosiyanin) ile yalıtkan tabakaların oluşturulması ile sağlandı. Metal tabaka olarak ise yüksek saflıkta altın(Ag) ve gümüş(Au) kullanıldı. Üretilen cihazlarda altlık malzemesi olarak n-tipi silisyum seçildi. Yalıtkan tabaka, sprey kaplama yöntemi ile elde edildi. Metal tabaka ise termal buhar biriktirme (Thermal Vapor Deposition, TVD) yöntemiyle üretildi. Üretilen cihazların vakum altınada, -1V ve +1V arasında akım-gerilim(I-V), -5V ve +5V arağında kapasitans-gerilim(C-V) karakteristiği 20, 44, 67, 89, 111, 132, 152 ve 171°C sıcaklıklarındaincelendi. Yine bu sıcaklıklar için empedansı, iletkenlik ve sığa ölçümleri vakum altında yapıldı.

Anahtar Kelimeler: n-Si, MIS yapı, organik, yalıtkan, ftalosiyanin, elektriksel, akım-gerilim, kapasitans-gerilim, karakterizasyon

ABSTRACT

INVESTIGATION OF INTERFACE PROPERTIES OF METAL-ORGANIC SEMICONDUCTOR STRUCTURES

Arden ERKOL

Department of Physics

MSc. Thesis

Adviser:Asst. Çiğdem ORUÇ

Present semiconductor technology demands continuous shrinkage of the device dimensions and improvement of its performance. Generally, the performance of the MIS device is known by the performance of an oxide layer. The continuous down-scaling of gate dielectric thickness is the most difficult issue in the development of the next generation of MIS based devices. Because as the thickness of the oxide (SiO_2) layer reduces the leakage current increases, which lowers the device performance. In fact, the decrease of SiO_2gate thickness has reached a level where electrons can directly tunnel through the barrier material. According to the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS), the scaling trend for gate dielectrics is such that for sub-100 nm generation device, an equivalent gate oxide thickness of less than 3.0 nm will be required. Hence, downscaling of device dimensions in the MOS technology below nm demands replacement of the silicon dioxide by high permittivity oxides. Therefore, the growth of alternative high dielectric materials on Si substrates attracts more and more attention due to the scientific interest beside the urgent need for gate dielectrics replacements. In particular, the insulator should satisfy requirements such as a high breakdown strength, a low leakage current at operating voltage, a low oxide trap charge, and a high thermal stability on Si. Therefore, the choice of the insulator material and their characterizations is crucial in technological applications. Consequently, many studies have concentrated on higher dielectric constant materials

such as $SrTiO_3$, ZrO_2, TiO_2, Ta_2O_5,$ZrTiO_4$, and $Zr(Sn,Ti)O_4$in order to replace the classical silicon dioxide.

Recently, organic materials became an attractive as an alternate to the inorganic counterparts.The use of organic material in electronic device seems to be promising for achieving significant device performance at low cost.The studies made in literature have shown that organic molecules can control the electrical characteristics of conventional metal–insulator-semiconductor structures. This has opened a new opportunity of replacing conventional inorganic layers by the organic ones.

Phthalocyanine molecules have been considered as one of the candidates for various electronic applications such as organic light emitting diodes (OLED), gas sensors and insulator layer in MIS structure because of their chemical stability, various possible synthetic modifications, and unique electrical properties. A few experimental studies have been performed to display the effect of a phthalocyanine molecule as an insulator layer in device application. However, the temperature, thickness and frequency dependent characteristics of Si/Pc/Metal device structure are still unknown. For that reason, detailed investigation of the conduction, dielectric and interface properties of the MIS structures is required to extract true parameters, which are the deciding factors about the suitability of the material for a particular device applications, in the presence of an organic layer.

In this study the interface states of the MIS structures were established via FePc (Iron Phthalocyanine), Zinc Phthalocyanine(ZnPc), CoPc(Cobalt Phthalocyanine) and Pc(Phthalocyanine) as insulator matter to determine the productive alternative organic matters in the place of widely studied inorganic matters. As semiconductor n-type silicon was chosen. High purity gold (Au) and silver (Ag) was chosen for metal layers. Insulator layer was coated via spray coating method. Metal layers was coated via thermal vapor deposition (TVD) method. The devices' current-voltage, capacitance-voltage characteristics were analyzed between -1V +1V and -5V +5V, at20, 44, 67, 89, 111, 132, 152 and 171°C temperatures in vacuum. With the same states impedance, conductivity and capacitance tests was made.

Keywords: n-Si, MIS structure, organic, insulator, phthalocyanine, electrical, current-voltage, capacitance-voltage, characterization

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Metal-yalıtkan-yarıiletken yapılar (MIS, MOS) yarıiletken ve metal tabakası arasında doğal veya yapay yollarla dielektrik tabaka oluşturulması ile üretilir. Üretilen bu yapılar günümüz dünyasında, insan hayatını doğrudan etkileyen elektronik sanayii için vazgeçilmezdir. Bilgisayarlar, cep telefonları, televizyonlar, fotoğraf makineleri, tıbbi cihazlar gibi birçok elektronik cihaz bu parçalardan oluşan devre elemanları ile çalışır. Bu alanlarda kullanılan malzemeler genellikle inorganik malzemelerdir. İnorganik tabanlı aygıtların hem üretim maliyetleri çok yüksektir hem de doğaya zarar verir. İnorganik maddelerin bu problemlerinden dolayı bilim insanları son yıllarda, maliyeti düşük ve çevre dostu olan organik malzemelere yoğunlaşmış durumdadır. Cihazlarda hem yalıtkan tabaka olarak kullanılabilmelerinin yanında yarıiletken özelliğine sahip organik bileşiklerin sentezi ve kullanım alanları arttıkça, organik malzemeler inorganik malzemelere iyi birer alternatif olmuşlardır.

Yarıiletken altlık üzerine seçilen metalin kimyasal veya fiziksel yöntemlerle kaplanması ile elde edilen metal-yarıiletklen (MS) doğrultucu kontaklar diğer isimleriyle Schottky kontakları, elektronik ve optoelektronik alanlarında sıklıkla kullanılmaktalardır. MS kontaklar güneş pili, alan etkili transistörler (FET), lazer diyotlar, fotodiyotlar, devrelerin anahtarlama hızını artırma, mikro dalga devre elemanları ve daha birçok uygulamaya sahip olup enerji, iletişim, aydınlatma gibi birçok sanayide yaygın olarak kullanılmaktalardır.

Metal-yarıiletken kontaklar ile ilgili ilk çalışmalar Braun tarafından 1874 yılında yapılmıştır. Çalışmalarında metal-yarıiletken kontakları dedektör olarak kullanmış ve

doğrultucu kontaktaki toplam direncin uygulanan gerilime bağlı olduğunu rapor edilmiştir [1].

Schottky ve Mott 1938 yılında arayüzeydeki potansiyel engeli hakkında teoriler üretmişlerdir. Mott'a göre yarıiletken ve metalin iş fonksiyonları arasındaki fark potansiyel engeli oluşturmaktadır. Elektrik alanın sabit olduğunu ve arayüzeydeki potansiyel engelinin doğrusal olarak değiştiğini kabul etmiştir. Schottky'nin teorisi ise arayüzeyde safsızlıkık atomları olduğu ve elektrik alanın doğrusal olarak arttığı şeklindedir. Schottky'e göre arayüzeydeki potansiyel metale kadar Poisson denklemi ile uyumlu biçimde artmakta, Mott'a göre ise metale olan uzaklıkla doğrusal olarak değişmektedir [2,3].

Metal-yarıiletken (MS) kontakların elektriksel karakteristikleri bu malzemelerin arasında yer alan arayüzey malzemesinin özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu kontakların arayüzey durumları, engel yüksekliği, idealite faktörü gibi parametreleri doğrudan etkilediğinden yapının performansını da doğrudan etkilemektedir [4,5].

Forrest ve Antohe ara yüzey malzemesi olarak organik bileşik (Perylenetetracarboxylic dianhydride, PTCDA) yarıiletken olarak ise p-Si kullanarak organik Schottky kontaklar üretmişlerdir [6,7]. Elde edilen Schottky diyotların ara yüzey durumları engel yüksekliği, idealite faktörü gibi birçok özelliğinin metal ile yarıiletken arasındaki arayüzey malzemesine bağlı olarak değiştiğini aygıtın performansını ve verimini etkilediğini öne sürmüşlerdir.

F. Yakuphanoğlu vd. yaptıkları çalışmada Al/p-Si/CoPc/Au yapısı için engel yüksekliğini 0,90 eV ve idealite faktörünü 1,33 olarak bulmuşlardır. CoPc organik tabakasının Al/p-Si Schottky diyodunun elektriksel parametrelerini geliştirdiğini ortaya koymuşlardır [8].

Kim vd. (2008), aktif tabaka olarak Poly(4-vinyl phenol) (PVP)'ün kullanıldığı organik hafıza elemanlarında fulleren konsantrasyonunun C-V karakteristiklerindeki düz band voltaj kaymasına etkisini incelemişlerdir. Çalışmada yarıileken olarak Bor katkılı (100) yönelimli p-tip Si tek kristalleri kullanılmıştır. Araştırıcılar çalışmalarında üç farklı oranda fulleren içeren PVP kullanarak üç farklı MIS yapı üretmişlerdir. Bu amaçla, 16 mg PVP 1 mL isopropanol içerisinde çözülmüş sonrada, toluene içerisinde çözülerek ultrasonic banyodan geçirilen fulleren çözeltisinden PVP çözeltisine ağırlıkça % 0.5, % 5

ve % 10 olmak üzere üç farklı oranda fulleren çözeltisi karıştırılmıştır. PVP + fulleren çözeltisi 4 saat kadar karıştırıldıktan sonra spin kaplama yöntemiyle p-Si'ların yüzeyine kaplanmıştır. Daha sonrada, PVP+Fulleren filmlerin yüzeyine ısıl buharlaştırma yöntemiyle Al kaplanmak suretiyle Al/PVP+Fulleren/p-Si tabakalarından oluşan MIS yapılar üretilmiştir. Üretilen yapılarda gerçekleştirilen C-V ölçümlerinde yapının MIS yapı gibi davrandığı ve yapının oda sıcaklığındaki C-V eğrisinde düz band voltajında büyük oranda kayma olduğunu rapor etmişlerdir. Yine aynı çalışmada araştırıcılar, artan fulleren konsantrasyonu ile düz band voltajındaki kaymanın da arttığını gözlemlemişlerdir. Düz band voltajındaki kayma fulleren molekülünün yük depolama özelliğine yoromlanmıştır. Sonuç olarak araştırıcılar, PVP+fulleren'den oluşan organik tabakanın gelecek nesil nonvolatile hafıza elemanları için oldukça büyük bir potansiyele sahip olduğu sonucuna varmışlardır [9].

Albertin vd., Al/TiO_2/p-Si tabakalarından oluşan MIS yapılar üretmişlerdir. Üretilen yapılarda etkin dielektrik sabitini, etkin oksit kalınlığını, kaçak akım yoğunluğunu ve arayüzey kalitesini belirlemek amacıyla kapasite-voltaj (C-V) ve akım-gerilim (I-V) ölçümleri yapmışlardır. Araştırıcılar, yalıtkan tabaka olarak seçtikleri TiO_2 ince filmleri farklı oksijen kısmi basınçlarında (%30, %35 ve %40) reaktif püskürtme tekniğiyle kaplamışlar ve 550, 750 ve 1000 °C olmak üzere farlı sıcaklıklarda ısıl işleme tutmuşlardır. p-tip, (100) yönelimli ve direnci 1–10 Ω cm aralığında olan Si tek kristallerinin kullanıldığı çalışmada araştırıcılar, % 35 ve %40 oksijen ortamında hazırlanan TiO_2 filmlerin anatase fazda kristalize olurken %30 oksijen ortamında hazırlanan filmlerin Ti_2O_3+anatase fazda kristalize olduğunu gözlemlemişlerdir. C-V ve I-V ölçümlerinden üretilen TiO_2 ince filmlerin dielektrik sabitlerinin 40 ile 170 arasında değiştiği kaçak akımında, geçit geriliminin –1 volt değeri için 1 nA/cm^2 mertebesinde olduğu rapor edilmiştir. Aynı çalışmada araştırıcılar, ısıl işlemle TiO_2 tabakası ile Si arasında ince bir SiO_2 tabakasının oluştuğu ve oluşan bu SiO_2 tabakasının kaçak akımlarını azaltırken eşdeğer dielektrik sabitini ise düşürdüğünü gözlemlemişlerdir [10].

Mei vd., Si tabanlı MOS yapılarda yaygın olarak kullanılan SiO_2 tabakasının yerini alacak yüksek dielektrik sabitine sahip malzeme geliştirmek ve potansiyelini belirlemek amacıyla n-tip (100) yönelimli Si tek kristalleri yüzeyine RF magnetron püskürtme yöntemiyle büyüttükleri Gd_2O_3 katkılanmış HfO_2 ince filmlerin elektriksel özelliklerini

incelemişlerdir. Çalışmada, katkılanmış filmlerdeki Gd konsantrasyonu HfO_2 püskürtme gücü 120 Watt'da sabit tutulup Gd_2O_3 püskürtme gücü değiştirlmek suretiyle kontrol edilmiştir. Gd_2O_3 püskürtme gücü 20 Watt ile 120 watt arasında değiştirlmiştir. Gd_2O_3 katkılanmış filmlerin özellikleri katkılanmamış (sadece HfO_2 bulunan yapı) film bulunan yapının özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Araştırıcılar, farklı oranlarda Gd_2O_3 katkılanmış HfO_2 vekatkılanmamış HfO_2 filmleri bu şekilde hazırladıktan sonra filmlerin yüzeyine ısıl buharlaştırma yöntemiyle Pt kaplamak suretiyle MIS yapıları oluşturmuşlardır. Üretilen MIS yapıların elektriksel karakterizasyonları C-V ve I-V ölçümleri yapılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda araştırıcılar, Gd püskürtme gücünün 60 Watt'da tutulmak suretiyle üretilen Gd_2O_3 katkılanmış HfO_2 filmlerin kullanıldığı yapının en iyi elektriksel özelliği gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Bu yapıda, maksimum kapasite, en düşük kaçak akım yoğunluğu ($9.35x10^{-7}$ A/cm^2), en ince etkin oksit kalınlığı ve en küçük sabit oksit yük yoğunluğu değerleri ($3.59×109$ cm^{-2}) gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu sonuçlar, Gd'un düşük elektronegatifliğine ve büyük atomik yarıçapına bağlanmıştır. Sonuç olarak araştırıcılar, Gd_2O_3 katkılanmış HfO_2 ince filmlerin gelecek nesil MIS yapılarda yalıtkan tabaka olarak oldukça büyük bir potansiyele sahip olduğunu rapor etmişlerdir [11].

A. Altındal vd. Au/Pc/p-Si/Al yapısında arayüzey tuzaklarının varlığından dolayı kapasitans-gerilim ve iletkenlik-gerilim karakteristiklerinde frekansa bağlılık gözlemlemişlerdir [12].

M. Canlıca vd. 2012 yılında yaptıkları çalışmada Ag/Pc/p-Si Schottky bariyer diyodu (SBD) yapısının I-V karakteristiğinde idealden ±1,5V sapma, yapının %75'lik oranla doğrultucu karakter sergilediğini gözlemlemişlerdir. Sonuçlara göre, SB diyodunun bariyer yüksekliğinin ince ftalosiyanin arayüzey tabakalarıyla ayarlanabileceğini ifade etmişlerdir [13].

M. Gedikpınar vd. 2013 yılında yayınladıkları makalede Al/p-Si/C_{70}/Au MIS yapısında yüksek idealite faktörünü bariyer yüksekliğindeki ayrışıklıklar ile açıklamışlardır. Ayrıca yapının arayüzey durumlarını incelemiş, durum yoğunluğu dağılımının sıcaklığa bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır [14].

İ. Yücedağ vd. 2015 yılında yaptıkları çalışmada yalıtkan malzeme olarak polipirol kullandıkları Au/PPy/n-Si Schottky bariyer diyodu (SBD) yapısında dielektrik sabiti ε' ve dielektrik kayıp ε'', kayıp tanjantı $tan\delta$, elektrik modülünün reel ve imajiner kısımları M' *ve* M'' ve A.C. iletkenliği σ_{ac}değerlerinin ölçümlerini 10-500kHz aralığında gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma sonucunda ε', ε'' ve $tan\delta$ değerlerinin frekans arttıkça azaldığını, M', M'' ve σ_{ac} değerlerinin ise frekans ile orantılı olarak arttığını gözlemlemişerdir. Ayrıca ε' ve M' değerlerinin artan gerilim ile azaldığını ε'', M', $tan\delta$ ve σ_{ac} değerlerinin ise gerilim ile birlikte arttığını gözlemlemişlerdir. Bu değerlerdeki değişimin yük polarizasyonu ve PPy/n-Si arayüzeyinde konumlanan durum yoğunluğu dağılımından kaynaklandığını ortaya koymuşlardır [15].

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde elektronik sanayii için vazgeçilmez olan inorganik malzemerin doğadan elde edilmesi sürecinde verdikleri zarar, yüksek maliyetleri ve alanda çokça çalışılmalar sebebiyle organik malzemeler üzerine yapılan araştırmalar son dönemde yaygınlaşmıştır. Yarıiletken yüzeyinin ince organik tabakalar ile kaplanmasıyla bariyer yüksekliğinin kontrol edilebildiği çalışmalar literatürde yer almaktadır. Bu Yüksek Lisans tezinde, organik malzemelerin moleküler yapıları ile metal elektrot türünün MIS yapının elektriksel davranışlarına etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Henüz üzerinde yapılan çalışmaların sınırlı olduğu ve gelecek vaat eden malzemeler olmaları nedeniyle çalışmada, organik malzeme olarak toplam dört farklı yapıda ftalositynin bileşikleri kullanılmıştır. Üretilen bu yapılar akım-gerilim, kapasite-gerilim, frekansa bağlı empedans, kapasite ve iletkenlik ölçümleri yapılmak suretiyle analiz edilmiştir.

1.3 Hipotez

Yalıtkan tabakanın kalınlığının ultra ince olması durumunda MIS yapılarda arayüzey durumlarının karakterizasyonu, türünün belirlenmesi ve bu durumların oluşmasının fiziksel mekanizmalarının aydınlatılması hala en önemli problemlerden birisidir. Arayüzey durumlarının belirlenmesinde birisi yük pompalama diğeride küçük sinyal iletkenliği veya küçük sinyal kapasite olmak üzere kullanılan iki yöntem vardır (Schroder, 2006) [16]. Yük pompalama yönteminde, MIS yapıyı yığılım durumundan

tersinim durumuna gerilimleyecek şekilde bir sinyal katarı uygulanır. Böylece arayüzey durumlarının doldurulup-boşalması sağlanmış olur. Bu şekilde oluşturulan yeniden birleşme akımı arayüzey durumlarının bir ölçüsünü verir. Ancak özellikle yüksek dielektrik sabitine sahip yalıtkanlar durumunda, dielektrik içerisindeki derin tuzak seviyeleri ölçülen yeniden birleşme akımında bir azalmaya neden olur ayrıca, bu yöntemle elde edilen verilerin analizi oldukça zordur (Wu vd., 2007) [17]. Bu yöntemde geometrik faktörler ve kaçak akımlarının da göz önünde bulundurulması gerekir (Masson vd. 1999) [18]. Dolayısyla, yük pompalama yöntemi arayüzey durumlarının belirlenmesi için çok uygun bir yöntem değildir. Küçük sinyal iletkenlik veya küçük sinyal kapasite yönteminde, arayüzey durumlarının tükenim durumuda gerilimlenmiş MIS yapının küçük genlikli AC bir sinyalin frekansına bağlı cevabının ölçülmesi esasına dayanır. En iyi bilinen ve en yaygın kullanılan metot ilekenlik metodudur. İletkenlik metodda arayüzey durumlarının yoğunluğu, geçit geriliminin sabit bir değeri için frekansa bağlı iletkenlik veya sabit bir frekans değeri için geçit gerilimine bağlı iletkenlik ölçümlerinden elde edilir (Nicollian ve Brews, 2003) [19]. Bu yöntemde özellikle yalıtkan tabakanın ultra ince olması durumunda, iki farklı durum olabilir. Birincisi ölçülen iletkenlik karakteristiğinde bir pik değeri gözlemlenmeyebilir. İkinciside arayüzey durumları ile ilişkisi olmayan parazitik etkilerden dolayı iletkenlik ölçümlerindeki maksimumlar kaybolabilir veya bozulabilir. Bu parazitik etkilerin nedeni Si'un direnci, kullanılan kabloların direnci ve indüktansı ile yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinin kalitesinden kaynaklanabilir.

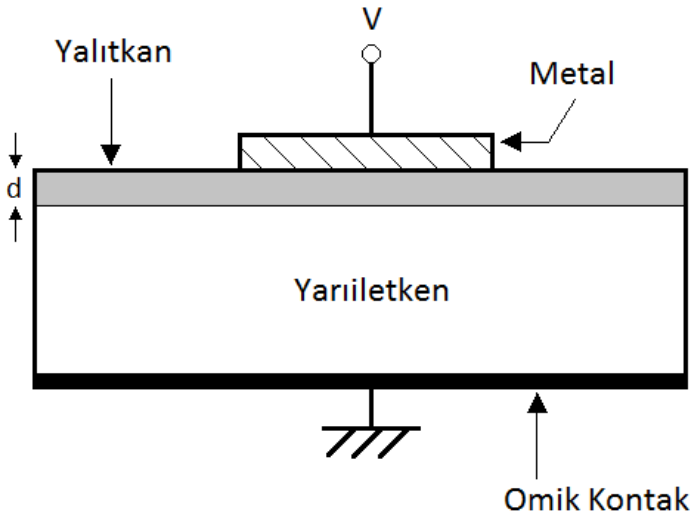
Dielektrik malzeme olarak farklı moleküler yapılardaki ftalosiyanin bileşikleri kullanılma suretiyle MIS yapılarda yük iletim mekanizmalarının kontrol edilebileceği bu çalışmanın hipotezini oluşturmaktadır. Bir diğer hipotezimiz de, aygıt performansının metal elektrodun türü ile iyileştirilebileceği üzerinedir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 MIS, MOS Yapıları

Yalıtkan bir ince tabakanın metal-yarıiletken kontak yapısını ayırdığı metal-yalıtkan-yarıiletken yapı MIS yapı olarak bilinir (Şekil 2.1). Bir kondansatörün özelliğini metaller arasındaki dielektrik ortamın belirlediği gibi MIS yapının özelliğinide aradaki yalıtkan tabaka ve yalıtkan-yarıiletken arayüzeyi belirlemektedir. Yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde yarıiletkenin serbest kalan bağlarının tam dolması ve yalıtkanın ideal bir yalıtkan olması aranılan niteliklerdendir. Yalıtkan tabakadaki hareketli iyonlar, tuzaklar, sabit ve hareketli yüklerin bulunması yapının ideal MIS yapıdan sapmasına neden olmaktadır. Aşağıdaki ksımlarda İdeal MIS yapı ayrıntılı olarak açıklanmıştır.



Şekil 2.1 MIS Yapının Şematik Gösterimi

2.1.1 İdeal MIS Yapı

Şekil 2.2'de yer alan MIS yapıda uçlar arası uygulanan potansiyel fark V, yalıtkan kalınlığı ise d olsun. Omik kontak varlığında metale pozitif potansiyel verildiğinde potansiyel pozitif, negatif potansiyel verildiğinde ise V negatiftir.

İdeal MIS yapının özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

1.İdeal MIS yapıda sıfır beslem durumunda metalin iş fonksiyonu ve yarıiletkenin iş fonsiyonu arasındaki fark sıfırdır. Metal ve yarıiletken arasındaki iş fonksiyonu farkı sıfırdır şeklinde de ifade edilebilir ($\Phi_{ms} = \Phi_m - \Phi_s = 0$).

$$\phi_{\mathrm{ms}} = \phi_{\mathrm{m}} - \left(\chi_{\mathrm{s}} + \frac{E_{\mathrm{g}}}{2q} - \Psi_{\mathrm{B}}\right) \qquad \text{n-tipi için} \qquad (2.1)$$

$$\phi_{\mathrm{ms}} = \phi_{\mathrm{m}} - \left(\chi_{\mathrm{s}} + \frac{E_{\mathrm{g}}}{2q} + \Psi_{\mathrm{B}}\right) \qquad \text{p-tipi için} \qquad (2.2)$$

Burada, Φ_m Metalin iş fonksiyonu, Φ_{ms} Metal ve yarıiletkenin iş fonsiyonları arasındaki farkı, χ_s Yarıiletkenin elektron alınganlığı Ψ_B Fermi seviyesi ile özden Fermi enerji seviyesi arasındaki farktır.

2.Metal ile yarıiletken tabakaların arasında bulunan yalıtkan tabakanın bant genişliği çok büyüktür, yani ideal bir dielektrik malzemedir. Yalıtkanın içinde, yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde yük tuzakları, sabit ve hareketli iyonlar bulunmaz. Yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinde arayüzey durumları ve yükleri bulunmaz.

3. Yalıtkanın bant genişiği çok fazladır, bu yüzden yalıtkanın iletkenlik bandındaki yük taşıyıcı yoğunluğu ihmal edilir.

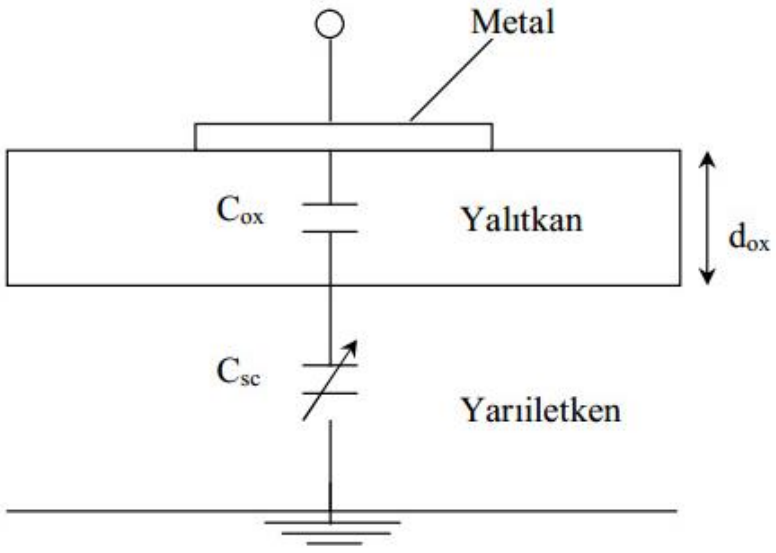
4. Yalıtkanın özdirenci sonsuz olduğundan, DC beslemde yalıtkana doğru yük geçişi yoktur.

5. DC beslemde yarıiletkenden yük geçmez fakat metal ve yarıiletken bölgelerinde yükler toplanır. Karşılıklı toplanan zıt yükler yalıtkan tabakadan geçen elektrik alan oluşturur.

İdeal MIS yapıya gerilim uygulandığında yarıiletkende yük kaymaları meydana gelir. Metal ile kıyaslandığında daha az olan serbest hareketli yük yoğunluğunun miktarı

uygulanan gerilim ile orantılıdır. Yarıiletkenin ara bölgesinde bant bükülmelerine sebep olan Q_{sc} uzay yükü oluşur.Termal denge durumunda ara yüzeyde bulunan uzay yükü, potansiyelin büyüklüğü ile belirlenir. Yarıiletkende yükler katkılama türüne göre çoğunluk ve azınlık taşıyıcılar olup, yarıiletkende metallerdekine göre serbest olmayan yükler bulunduğu için uygulanan gerilime bağlı olarak yük, ya uzay yükü bölgesini ya da ara yüzey bölgesindeki yığılmaları oluşturur. Uygulanan V_G geriliminin bir kısmı yarıiletken üzerine bir kısmı da yalıtkan tabaka üzerine düşer. Yarıiletkende ise yükler yarıiletkenin katkılama türüne göre çoğunluk veya azınlık taşıyıcılar olup, metallerdeki duruma göre daha fazla hareketsiz yükler bulunduğundan, yükler ya Q_{sc} uzay yükü bölgesinde ya da arayüzey bölgesinde birikirler. Gerilimin bir kısmı da yalıtkan tabaka üzerine düşer.

Gerilim altında metal ve yarıiletken tabaka arasındaki yalıtkan tabakanın varlığı, yarıiletken ve metal arasında, paralel iletken levhalarda olduğu gibi bir kapasitans oluşturur. Bu kapasitansa MIS kapasitansıdır. Bu kapasitörün özelliklerini metal ve yarıiletken tabakalar arasındaki yalıtkanın dielektrik özellikleri ve yalıtkan–yarıiletken arayüzey özellikleri belirler. Kapasitans,yalıtkan-yarıiletken arayüzeyinin dielektrik sabitine de bağlıdır. Bir MIS yapısının kapasitansının eşdeğer devresi Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 MIS yapının eşdeğer kapasitesi

Gerilimdeki diferansiyel değişimler ile MIS yapının kapasitansı C, yalıtkantabakanın kapasitansı C_{OX} ve uzay yükü kapasitansı C_{SC} olarak tanımlanabilir. Bunların eşdeğer kapasitansı, MIS yapının kapasitansını verir.

Arayüzey durumları, kısa bir zaman için yarıiletken ile yükleri değişebilen yarıiletken-yalıtkan arayüzeyinde yasak bant aralığı içindeki girilebilir enerji seviyeleri olarak tanımlanır. Bir arayüzey alıcı veya verici özellikte olabilir. Verici bir arayüzey tuzağı doluyken nötr bir elektron verdiğinde ise pozitif yüklenir. Alıcı arayüzey tuzağı ise boşken nötr bir elektron aldığında negatif yüklenir. Yapıya bir potansiyel uygulandığında arayüzey tuzaklarındaki yükler, iletkenlik ve valans bantları ile yük alışverişi yapar. Bu alışveriş sistemi ideal MIS, MOS eğrisinden saptırır.

Üretilen yapıların arayüzey özellikleri kapasitans-voltaj(C_M - V_G) ve iletkenlik-voltaj (G_M - V_G) ölçümleriyle incelenir.Arayüzey durum yoğunluğunun (D_{it}) bulunması için yüksek ve düşük frekanslarda C_M - V_G eğrileri karşılaştırılır. Yüksek frekanslarda frekans arayüzey tuzaklarının cevap veremeyeceği kadar yüksektir. Bu durumda kapasitans

$$C_{HF} = \left(\frac{1}{C_{OX}} + \frac{1}{C_S}\right)^{-1} \tag{2.3}$$

şeklinde verilir. Burada C_{HF} kapasitansın yüksek frekanslardaki ölçülen değeri, C_{OX} oksit tabakanın yüksek birikimde ölçülen kapasitansını, C_S ise yarıiletken kapasitansını ifade eder. Buradan C_S aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$C_S = \frac{C_{OX}C_{HF}}{(C_{OX} + C_{HF})} \tag{2.4}$$

Düşük frekanslarda arayüzey tuzakları AC kapı voltajının değişimine bir tepki verir ve C_M-V_G eğrilerinde gözlenen C_{it} ile ifade edilen ek bir kapasitans değeri gözlenmlenir. Arayüzey tuzaklarından dolayı oluşan bu kapasitans ile düşük frekans kapasitansı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir [16].

$$C_{LF} = \left(\frac{1}{C_{OX}} + \frac{1}{C_S + C_{it}}\right)^{-1} \tag{2.5}$$

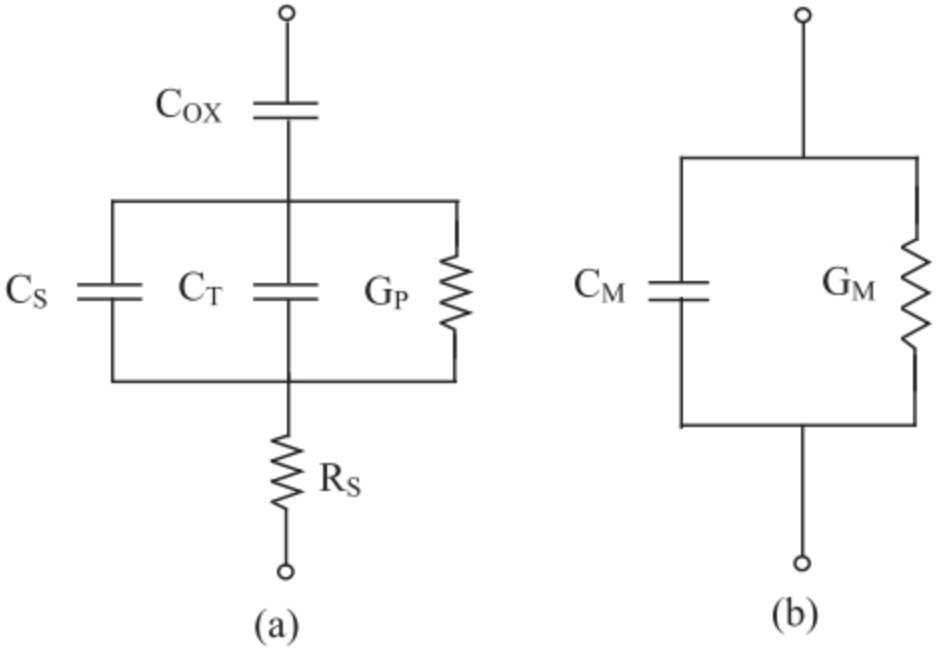
Arayüzey tuzaklarının kapasitansı, bu denkleme daha önce ifade edilen yarıiletken kapasitansının eklenmesiyle bulunabilir.

$$C_{it} = \frac{C_{OX}C_{LF}}{(C_{OX} - C_{HF})} - \frac{C_{OX}C_{HF}}{(C_{OX} - C_{HF})} \tag{2.6}$$

MIS kapasitörlerde arayüzey durum yoğunluğu D_{it} ve C_{it} arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntıda ifade edilmiştir [20].

$$C_{it} = qD_{it} \tag{2.7}$$

Arayüzey özelliklerinin ortaya çıkarılabilmesi için sabit ve değişken frekanslarda kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj grafikleri incelenir. Arayüzey durum yoğunluğuna tüm katkıların ortaya konması için iletkenlik metodu da uygulanmalıdır. Bu metod temel olarak frekansa bağlı olarak boşalma öngerilim voltajı altına eşdeğer paralel iletkenliğin (G_P) incelenmesidir. İletkenlik metodu, sadece yük taşıyıcılarının çoğunluğu arayüzey tuzaklarıyla etkileşime girdiğinde MIS yüzeyinin boşalma durumunda olduğunu ve ölçülen paralel iletkenlik ile eşdeğer devre yardımıyla doğru bir D_{it} değeri bulunabileceğini söylemektedir. Arayüzeyleri boşalma durumundaki MIS kapasitör için eşdeğer devre Şekil 2.3 'de verilmiştir.



Şekil 2 3 MIS yapının (a) eşdeğer şematik (b) ölçülen devresi [9]

Burada C_{OX} oksit tabaka kapasitansı, C_S yarıiletken kapasitansı, C_T tuzak kapasitansı ve $R_S$seri direnci temsil etmektedir. Genelde bu devre arayüzey durum yoğunluğunu belirlemede yeterlidir fakat analizden önce ölçülen iletkenlik G_M ve kapasitans C_M değerlerinin, MIS yapının öngerilimle yüklenmesinden elde edilen admittansı ile seri direnç $R_S$için aşağıdaki ifade ile doğrulanması gerekmektedir [20].

$$R_S = \frac{G_{MA}}{(G_{MA}^2 + \omega^2 C_{MA}^2)} \tag{2.8}$$

G_{MA} ve C_{MA} yüksek birikimde ölçülen iletkenlik ve kapasitans değerleridir. İfade seri direnç için düzenlendikten sonra paralel iletkenlik aşağıdaki gibidir [20].

$$\frac{G_P}{\omega} = \frac{\omega C_{OX}^2 G_M}{G_M^2 + \omega^2 (C_{OX} - C_M)^2} \tag{2.9}$$

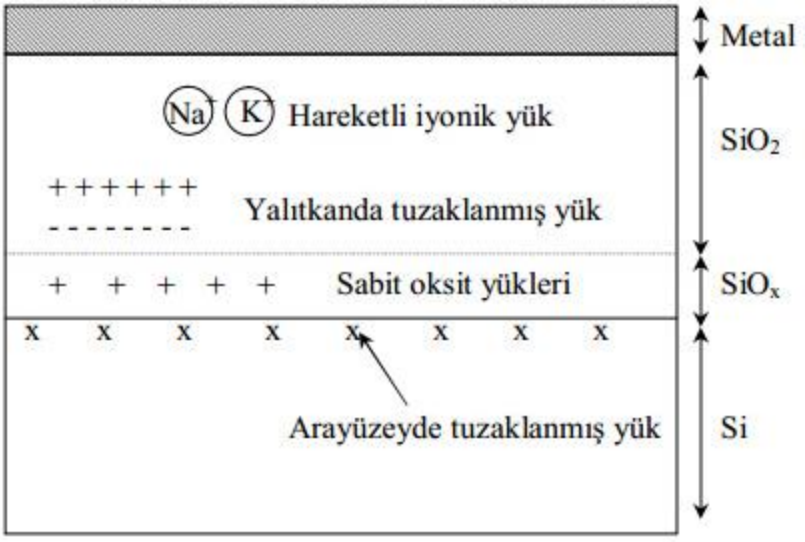
Burada ω açısal frekans, C_{OX} kapı oksidi kapasitansı, G_M ölçülen iletkenlik ve C_M ölçülen kapasitansı ifade etmektedir. Arayüzey tuzak yoğunluğu D_{it}, G_P/ω değerinin pikleri ile orantılıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir [20].

$$D_{it} = 2.5 \frac{\left(\frac{G_p}{\omega}\right)_{max}}{qA} \tag{2.10}$$

Burada q birim yük, A kontak alanıdır.

2.1.2 Gerçek MIS Yapı

Gerçek bir MIS yapıda arayüzey durumları, iyonlaşmış tuzaklar, hareketli iyonlar, yarıiletken yüzeyinde ve yüzeye yakın bölgelerde yerleşmiş, elektrik alan etkisi altında hareket etmeyen sabit yüzey yükleri ve arayüzey yükleri bulunur. Şekil 2.4 'te gerçek MIS yapıda bulunan yüklerin sınıflandırılması gösterilmiştir. Bu arayüzey yükleri ve durumları yapının ideal MIS yapısından sapmasına neden olur [21].



Şekil 2.4Gerçek MIS yapı

2.2 Arayüzey Özellikleri

Schottky - Mott teorisine göre Schottky diyotlarının engel yükseklikleri yarıiletkenin ve metalin iş fonksiyonlarının farkına eşittir ($\Phi_{ms} = \Phi_m - \Phi_s$). Fakat deneysel bulgulara göre engel yüksekliğinin metalin iş fonksiyonundan bağımsız olduğu gösterilmiştir. N-tipi bir yarıiletken malzemeyle doğrultucu kontak oluşturan bir metalin p-tipi yarıiletken için ohmik kontak oluşturması beklenirken doğrultucu kontak da oluşturabileceği görülmüştür. Bu durum yarıiletken üzerindeki yüzey durumları ile açıklanmıştır. Bu yüzey halleri yarıiletkenin içinin metalden perdeler ve difüzyon potansiyelinin ve dolayısıyla engel yüksekliğinin gerçek değerinden farklı olmasına sebep olurlar. Bardeen modeli [22] de, metal ile yarıiletken arasında bir yalıtkan tabakanın varlığını da kabul eder (Card ve Rhoderick [23]).

Arayüzey durumları, gözlenen Schottky engel yüksekliklerinin bulgular ile arasındaki farktan dolayı hesaba katılır. Bu arayüzey durumlarını dört ayrı durum ile açıklanabilir.

1. Metal ile kontaktan önce yarıiletken ve vakum seviyeleri ara yüzeyinde bulunan asal yüzey halleri. Bu yüzey halleri genellikle yarıiletken kristalin periyodik yapısınınyüzeyde kesilmesinden dolayı ortaya çıkan kusurlardan dolayı oluşurlar (Crowell ve Sze [24]).

2. Metal ile kontaktan sonra ortaya çıkan ve asal olmayan (extrinsic) yüzey halleri. Bu durum yarıiletkenin ve metalin yüzeyinde yığılmış olan yabancı atomların oluşturduğu kirlilikten dolayı oluşan yüzey halleridir.

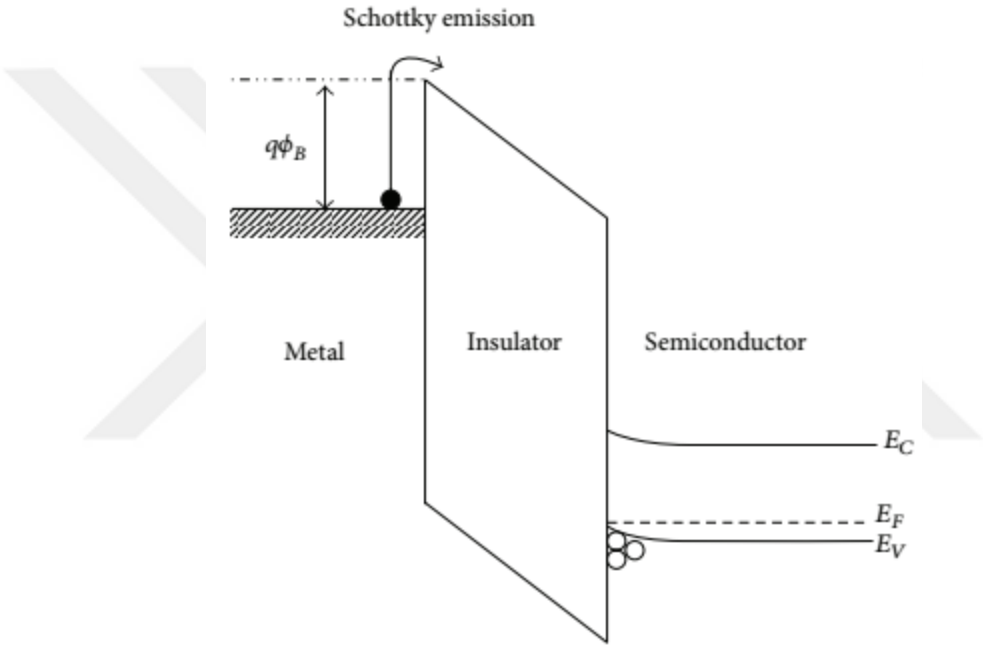
3. Hem yalıtkanın yüzeyinde hem de yarıiletkenin gövdesinde bulunan kusurlar (defect) ve kirliliklerden ortaya çıkan asal olmayan yüzey halleri, bu haller metal buharlaştırıldığında yarıiletkenin ince bir tabakasıyla birlikte metalden ayrılırlar. Bu durumda, bu hallerin dengede olduğu söylenir.

4. Ara yüzeyde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlarından dolayı meydana gelen ara yüzey halleri veya metalle uyarılan yüzey halleri. Metal atomlarından bazıları temiz yarıiletken yüzeyine buharlaştırıldıklarında metal ile yarıiletken arsında kuvvetli bir kimyasal reaksiyon meydana gelir. Bu reaksiyonların sonucunda ara yüzeyde, ara yüzey tabakası olarak kabul edilen yeni bir bileşik ve dolayısıyla yeni ara yüzey halleri ortaya çıkmış olur. Metalle uyarılan veya metalle sebep olunan haller (metal-inducedgap states-MIGS), metalden yarıiletkene yük transferiyle ortaya çıkan hallerdir. Bir metal bir yarıiletken ile kontak haline getirildiğinde, MIGS'ler yarıiletkenin yüzeyindeki asal yüzey hallerinin yerine geçebilirler.

2.3 Yük İletim Mekanizması

2.3.1 Schottky(termoiyonik) Emisyonu

Schottky veya termoiyonik emisyon, termal aktivasyon ile yeterli enerjiyi elde etmesiyle elektronun metal-dielektrik arayüzündeki enerji bariyerini aştığı ve dielektrik malzemeye girdiği iletim şeklidir. Şekil 2.5metal elektrodun yalıtkan ve yarıiletkene kıyasla negatif yük altında olduğu durumda MIS yapının enerji bant diyagramını göstermektedir.



Şekil 2.5 Schottky(termoiyonik) emisyonunun enerji bant diyagramının MIS yapı için şematik gösterimi [26]

Metal-dielektrik arayüzeyindeki enerji bariyerinin yüksekliği görüntü kuvveti ile düşürülebilir. Görüntü kuvvetinden bariyer yüksekliğini düşüren etkisi Schottky etkisi olarak tanımlanır. Bu şekilde metalden dielektrik malzemeye doğru elektron emisyonu şeklindeki iletim tipi Schottky veya termoiyonik emisyon olarak adlandırılır. Dielektrik filmlerde, özellikle yüksek sıcaklıklarda, termoiyonik emisyon en sık rastlanan iletim tipidir. Schottky emisyonu

$$J = A^{*}T^{2}\exp\left[\frac{-q\left(\phi_B - \sqrt{qE/4\pi\varepsilon_r\varepsilon_0}\right)}{kT}\right] \quad (2.11)$$

$$A^{*} = \frac{4\pi q k^2 m^{*}}{h^3} = \frac{120 m^{*}}{m_0} \quad (2.12)$$

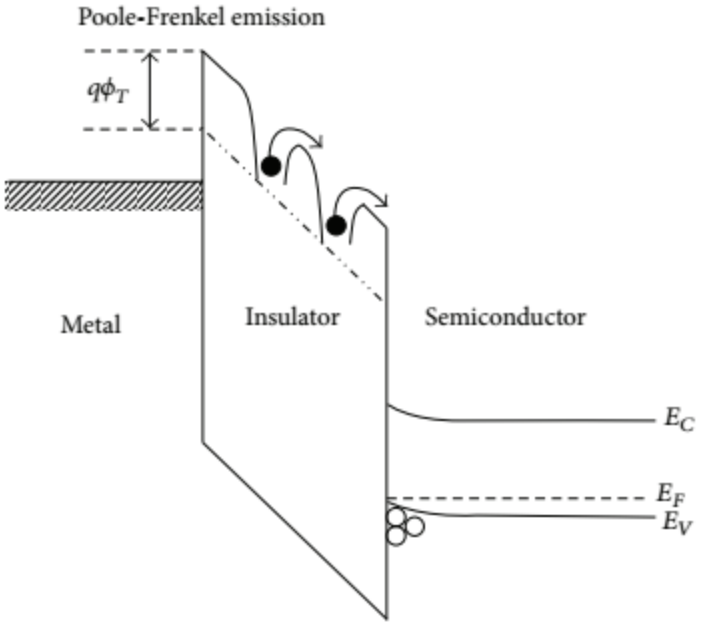
şeklinde ifade edilir. Burada J akım yoğunluğu, A^* etkin Richardson sabiti, m_0 serbest elektron kütlesi, m^* dielektrik içerisindeki etkin elektron kütlesi, T mutlak sıcaklık, q elektron yükü, $q\Phi_B$Schottky bariyer yüksekliği (ör., Kaydırılmış iletim bandı), E dielektrik içerisinden geçen elektrik alan, k Boltzmann sabiti, h Planck sabiti, $\varepsilon_0$vakumdaki dielektrik sabit, $\varepsilon_r$optik dielektrik sabitidir (ör., Dinamik dielektrik sabiti). Dielektrik ve optik sabitler göz önüne alındığında, dinamik dielektrik sabiti optik kırılma indisinin karesine yakın bir değerde olmalıdır (ör., $\varepsilon_r=n^2$) [27]. Öte yandan dielektrik sabitinin genel olarak frekansın fonksiyonu olduğu da söylenebilir. Emisyon sürecinde eğer elektronun metal dielektrik arayüzeyinden bariyerin maksimum noktasına geçiş süresi, dielektriğin gevşeme süresinde daha azsa, dielektrik polarize olmak için yeterli zamana sahip olmaz. Sonuç olarak ya yüksek frekansta dielektrik sabiti ya da optik dielektrik sabiti seçilmelidir [28].

Schottky grafiği, arayüzeydeki bariyer yüksekliğini belirlemede en popüler yöntemdir. Standart bir Schottky emisyonu durumunda$E^{1/2}$ 'ye karşılık $log(J/T^2)$ grafiği lineer olmalıdır. Bariyer yüksekliği ise grafikteki kesişim noktası vasıtası ile elde edilir.

Simmons elektronik olarak boş yolun uzunluğu dielektrik film kalınlığından kısa ise standart Schottky emisyon eşitliğinin değiştirilmesi gerektiğini belirtmiştir [29]. Uyarılmış elektronlar yalıtkan tabakadan geçtiğinde termal elektronlar, silisyum ve yalıtkan arasındaki termal kararsızlıkların ve oksijen boşluklarının oluşturduğu, arayüzey durumları ve tuzaklar tarafından etkilenirler. Film kalınlığı da ayrıca Schottky emisyonunun davranışını etkileyen bir faktördür.

2.3.2 Poole-Frenkel Emisyonu

Poole-Frenkel(P-F) emisyonu bir Bulk-sınırlı iletim mekanizmasıdır ve iletim, dielektrik malzemenin elektriksel karakteristiği ile ilintilidir. Bu iletim tipinin en önemli parametresi dielektrik filmdeki tuzak enerji seviyeleridir. P-F emisyonu, Schottky emisyonuna çok benzer bir mekanizmaya sahiptir. Termal uyarılma ile elektronların tuzaklardan, dielektriğin iletim bandına salınabildiği bir yapıdır. Bu sebepten P-F emisyonu bazen içsel Schottky emisyonu olarak da adlandırılır. Yalıtkanın içine doğru uygulanacak elektrik alan, tuzaktaki bir elektronun Coulomb potansiyel enerjisini düşürebilir. Potansiyel enerjideki bu düşme elektronun termal olarak uyarılmasıyla tuzaktan kurtulup, yalıtkanın iletim bandına geçmesini sağlayabilir. P-F emisyonunun şematik gösterimi Şekil 2.6 'da verilmiştir.



Şekil 2.6 Poole-Frenkel emisyonunun enerji bant diyagramının MIS yapı için şematik gösterimi [26]

Elektron ve tuzak arasında Coulombik etkileşim potansiyeli için, P-F emisyonunda akım yoğunluğu

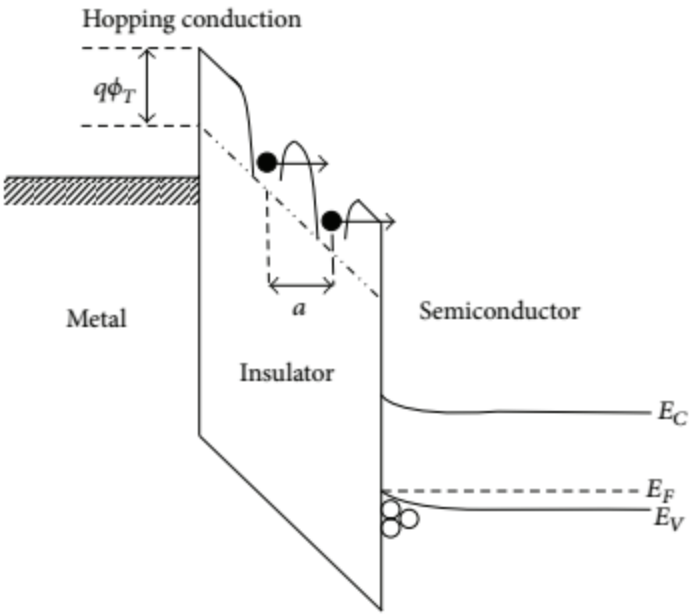
$$J = q\mu N_C E \exp\left[\frac{-q\left(\phi_T - \sqrt{qE/\pi\varepsilon_i\varepsilon_0}\right)}{kT}\right] \tag{2.13}$$

şeklindedir. Burada μelektronun sürüklenme hareketliliği, N_C iletim bandındaki durum yoğunluğu, $q\phi_T$ (=Φ_T) tuzak enerji seviyesi ve diğerleri ise daha önce tanımlandığı gibidir. P-F emisyonu elektrik alan altında termal aktivasyon ile gerçekleştiğine göre, bu iletim genel olarak yüksek sıcaklık ve yüksek elektrik alan değerlerinde gözlemlenmektedir. P-F grafiği, dielektrik filmlerin tuzak enerji düzeylerini belirlemede en popüler yöntemlerdendir. *ln(J/E)* 'nin $E^{1/2}$ 'ye grafiği lineer olmalıdır. Grafiğin kesişim noktasından tuzağın engel yüksekliği belirlenir.

Angle ve Talley, P-F emisyonunda serbest elektronların donör merkezlerden yayıldığını belirtmişlerdir [30]. Eğer yalıtkan filmde tuzak durumları ve akseptör durumları gibi başka kusur durumları varsa donör merkezinden yayılan serbest elektron sayısı azalacaktır. Tuzaklama merkezlerinin varlığı elektrik alan ve akım yoğunluğu ilişkisini etkileyebilir. Bu sebeplerden dolayı P-F emisyonu tuzak merkezlerinin (N_t) ve donör merkezlerinin (N_d) yoğunluğuna bağlıdır. $N_t<N_d$olduğu durumda iletim mekanizması normal P-F emisyonu olarak, $N_t\cong N_d$olduğunda gelişmiş P-F emisyonu veya aykırı P-F etkisi olarak adlandırılır [30]. Bazı durumlarda P-F grafiğinin eğiminin yarısı Schottky grafiğinin eğimine eşit olur. Schottky emisyonu ve gelişmiş P-F emisyonunun iletim karakteristiklerinin belirlenmesinde farklı elektrot materyelleri büyük rol oynar.

2.3.3 Hopping İletimi

Hopping iletimi tuzaklanmış elektronların dielektrik filmde bir tuzaktan diğerine atlaması şeklindeki tünelleme etkisi ile gerçekleşir. Hopping iletimi de P-F emisyonu gibi bir Bulk-sınırlı iletim modelidir. Şekil 2.7Hopping iletiminin şematik enerji bant diyagramını göstermektedir.



Şekil 2.7 Hopping iletiminin enerji bant diyagramının MIS yapı için şematik gösterimi [26]

Hopping iletiminin ifadesi [28],[31],[32]

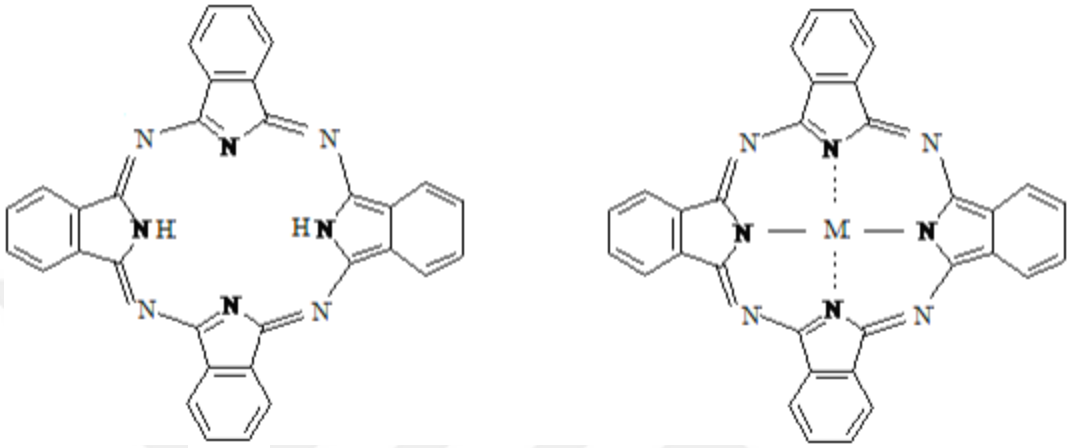
$$J = qanv \exp\left[\frac{qaE}{kT} - \frac{E_a}{kT}\right] \tag{2.14}$$

*a*ortalama atlama uzaklığı(ör., tuzak bölgeleri arasındaki ortalama uzaklık), *n*yalıtkanın iletim bandındaki elektron yoğunluğu, *v*tuzak bölgelerindeki elektronların termal titreşim frekansı ve E_a ise aktivasyon enerjisidir, yani tuzak seviyesinden yalıtkanın iletim bandına (E_C) kadar olan yüksekliktir, diğer terimler ise daha önce bahsedildiği gibidir.

P-F emisyonu termoiyonik etkiye, Hopping iletimi ise tünelleme etkisine karşılık gelmektedir. P-F emisyonunda yük taşıyıcıları termoiyonik mekanizma ile tuzak bariyerini aşarlar, ancak Hopping iletiminde taşıyıcı enerji seviyeleri iki tuzak bölgesi arasındaki potansiyel bariyerinin maksimum enerji seviyesinden daha azdır. Bu durumda yük taşıyıcıları tünelleme mekanizmasıyla iletimi gerçekleştirirler.

2.4 Ftalosiyanin

Ftalosiyanin (phthalocyanine, Pc) bileşiği 20. Yüzyılın başlarında Reginald P. Linstead tarafından tesadüfen yan ürün olarak keşfedilmiş ve isimlendirilmiştir. Ftalosiyanin kelimesi kaya yağı anlamına gelen "nafta" vekoyu mavi anlamına gelen "siyanin" sözcüklerinden türemiştir. Bu bileşikler hakkında ilk makaleler yine Linstead ve çalışma



(a) (b)

Şekil 2.8 (a) Metalsiz ve (b) metal ftalosiyaninlerin molekül yapıları [34]

arkadaşları tarafından literatüre kazandırılmıştır [33]. Ftalosiyanin kompleksleri, 18π-elektronuna sahip organik bileşiklerin merkezinde farklı metal merkezleri bulundurabilen makromoleküllerdir.

Elektrooptik özellikler göstermeleri nedeniyle, genellikle mavi ve yeşil renkler barındırmakta ve boyar madde olarak sıklıkla kullanılmaktalardır. Ayrıca polimer teknolojisinde, suların sertliğini iyileştirmede, ilaç sanayiinde, tarımda, tıpta biyolojik olayların açıklanmasında, antioksidan, dezenfektan ve stabilizör maddelerin sentezinde, katalizör, roket yakıtı hazırlanması, fotodinamik terapi, lineer olmayan optik ve sınırlayıcı (non-lineer optik and limiting) malzeme üretimi, fotovoltaik sensörler, elektrokatalitik ve fotovoltaik malzemeler, elektrokromik göstergeler, bilgi depolama ve gaz sensörleri gibi çok ileri teknoloji uygulamalarda kullanım alanı bulunmaktadır. Ftalosiyaninin yüksek teknolojide kullanım alanının bu kadar geniş olmasının sebebi 18π elektronlu sistemleri ile yakından alakalıdır. Ftalosiyaninin halka yapısı etrafına sübstitüentlerin ilave edilmesiyle bu bileşiklerin fiziksel özellikleri çok farklı şekillerde modifiye edilebilmektedir. Ayrıca merkezde konumlanan metal iyonuna

bağlı olarak çok farklı özellikler kazanmaktalardır [34]. Son yıllarda ftalosiyanin sentezinde geliştirlen yeni yöntemler sayesinde daha kolay, daha ekonomik ve daha kısa zamanda daha verimli reaksiyonlar gerçekleştirilmektedir [35].

Ftalosiyaninin bu denli farklı özellikler gösterebilme potansiyeli ve çok geniş kullanım alanı bilim insanları tarafından yeni alternatif malzeme arayışı konusunda kendisini ilgi odağı haline getirmektedir.

BÖLÜM 3

YÖNTEM VE YAPILANLAR

Bu bölüm, dielektrik olarak organik bileşiklerin kullanıldığı MIS yapıların üretim aşamaları ile üretilen MIS yapıların karakterizasyonunda kullanılan düzeneklerin tanıtılmasına ayrılmıştır. Tez kapsamında, üretilen aygıtlarda yalıtkan tabaka olarak dört farklı ftalosiyanin bileğişi kullanılmıştır. Metal olarak Ag ve Au olmak üzere iki farklı metal kullanılmıştır.

3.1 Silisyumun Temizlenmesi

MIS yapı üretimi için yarıiletken malzeme olarak Sb (Antimon) katkılı n-tipi silisyum tercih edilmiştir. Seçilen silisyum tabaka (1,1,1) yönelimine ve 0,006~0,015Ωcm özdirence sahiptir.

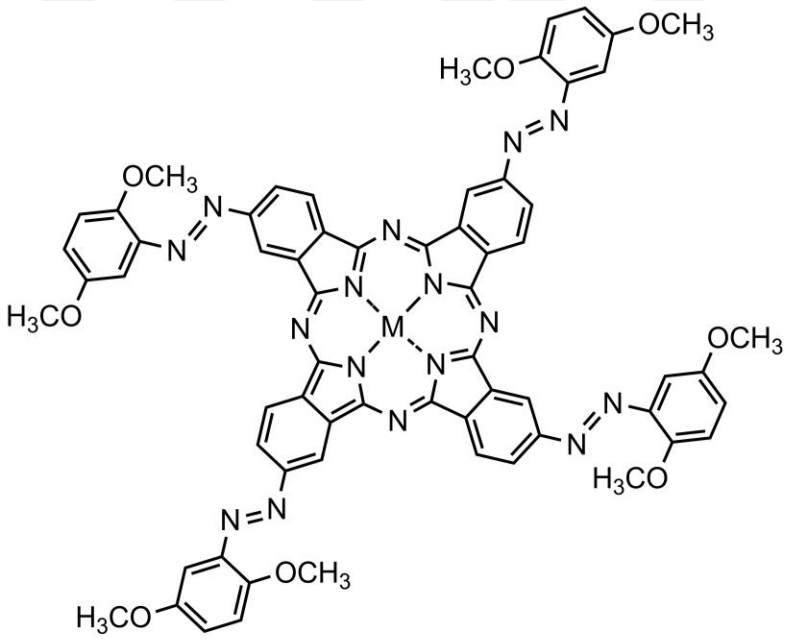
Temizlik için sıklıkla kullanılan RCA-1 (Radio Corporation of America) veya diğer adıyla SC-1 (Standard Clean) temizlik prosesi uygulandı. Bu süreçte 5 birim deiyonize (DI) H_2O, 1 birim 0,27M NH_4OH (Amonyum Hidroksit) çözeltisi ve 1 birim 0,3M H_2O_2 (Hidrojen Peroksit) çözeltisi kullanılmaktadır. Bir beher glas içerisine 5 birim deiyonize su ve 1 birim 0,27M'lık Amonyum Hidroksit çözeltisi eklendi ve 70°C'ye kadar ısıtıldı. Beher glas ısı kaynağından uzaklaştırıldı ve 1 birim 0,3M H_2O_2 çözeltisi eklendi. Balonların da oluşmasını gözlemledikten birkaç dakika sonra daha önce istenilen boyutlarda kesilen silisyum parçalar solüsyona batırıldı ve 15 dakika beklendi. Bu süreçten sonra silisyum parçalar deiyonize su ile dolu bir kaba aktarıldı ve suyun birkaç kez değiştirilmesi ile iyice durulandı. Daha sonra silisyum parçalar azot gazı yardımı ile kurutuldu.

3.2 Arka Kontağın Yapılması

Silisyum tabakanın arka yüzeyine yerleştirilecek kontağın elektriksel analizler üzerindeki etkisinin minimum olması için çok düşük özdirence sahip bir malzeme ile yapılması gerkemektedir. Bu sebepten, deneyde arka yüzeyde kontak oluşturmak için saf indiyum metali kullanılmıştır. İndiyumun erime noktası156,6°C olduğundan, ısıtma levhası kullanılarak arka yüzeye ince bir indiyum tabaka yayıp yine ince bir tel yardımı ile kontak almak kolay ve etkili bir yöntemdir.

3.3 Yalıtkan Tabakanın Kaplanması

Çalışmada kullanılan yalıtkan tabakanın moleküler yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Ftalosiyanin bileşikleri Marmara Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya bölümü öğretim üyelerince sentezlenmiştir. Ftalosiyanin bileşikleri merkezinde (M yerine) metalsiz, demir (FePc), çinko (ZnPc) ve kobalt (CoPc) olmak üzere dört farklı yapıda sentezlenmiştir.



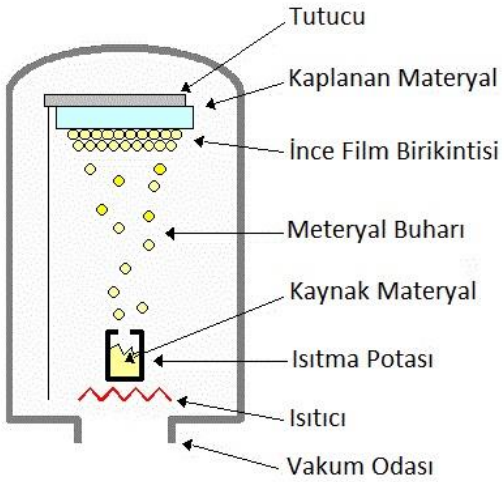
Şekil 3.1 Yalıtkan olarak kullanılan ftalosiyanin bileşiğin moleküler yapısı

Ftalosiyanin bileşiklerinin Si'lar yüzeyinde ince filmlerinin oluşturulmasında sprey kaplama yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla ilk önce bileşiklerin, uygun çözücülerde çözmek suretiyle $3{,}3x10^{-3}$ Molarlık çözeltileri hazırlanmıştır. Daha sonra, bu çözeltiler spray düzeneği yardımıyla yüzeyi temizlenmiş Si'lar yüzeyine püskürtülmüştür. Ftalosiyanin çözeltilerinin püskürtülmesinde azot gazı kullanılmıştır.

3.4 Termal Buhar Biriktirme Yöntemi

Evrensel olarak TVD (Thermal Vapor Deposition) olarak adlandırılan bu fiziksel kaplama yöntemi basitçe, vakum pompası yardımıyla havası boşaltılan bir fanus içerisine yerleştirilmiş ısıtma potası ve kaplanacak materyali sabitlemeye yarayan bir tutucu sisteminden meydana gelmektedir.

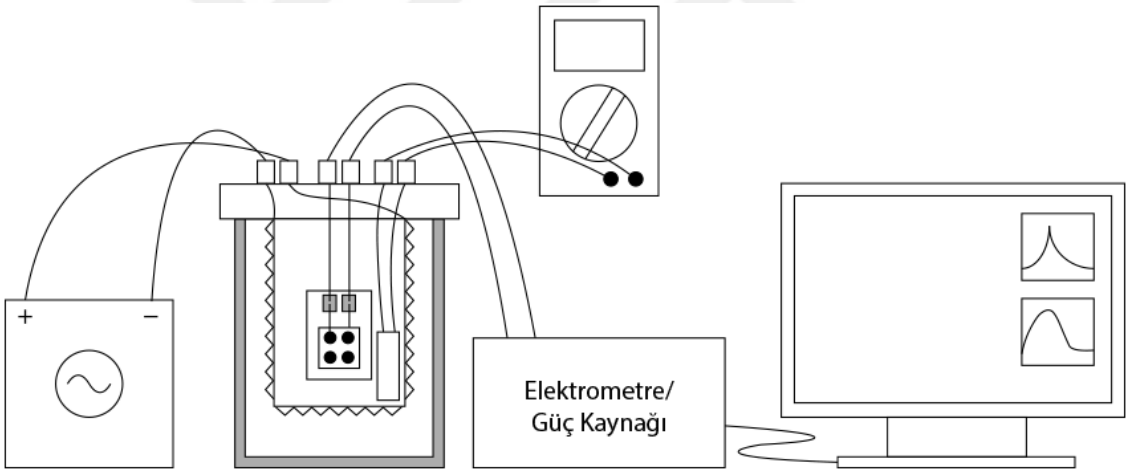
Sistem temel olarak ısıtma potası içerisinde buharlaştırılan ve fanus içerisinde gaz halinde serbestçe dolaşan metal atomlarının kaplanacak materyal üzerinde birikerek ince film oluşturması prensibine dayalıdır. Sistemde, kaplanan metalin kalınlık kontrolü yapabilmek için yüzeylere birim zamanda çarpan atom miktarını sayan bir sayaç da eklenebilmektedir.



Şekil 3.2 Termal buhar biriktirme cihazının şeması

3.5 D.C. Ölçümler

Sprey yöntemiyle n-Si altlıklar üzerine farklı ftalosiyanin bileşiklerinin kaplanmasıyla elde edilen örnekler üzerine altın ve gümüş metaller termal buhar biriktirme yöntemiyle kaplandı. I-V karakteristiği ölçülmek üzere örnekler, vakum odasında bir mekanik pompa yardımıyla vakuma alındı. Bu vakum odasında örneklerin ısıtılabilmesi için bir direnç, içerideki sıcaklığın okunmasını sağlayan bir metal plaka ve örneklere elektriksel bağlantıların yapıldığı kablolar yer almaktadır. Örneklerin, ~ 10^{-3} mbar basınçta, multimetre kontrolünde, AC güç kaynağı yardımıyla ısıtılarak 20 °C, 44 °C, 67 °C, 89 °C, 111 °C, 132 °C, 152 °C ve 171 °C sıcaklıklarında -1 +1 Volt aralığında 0,05V genişliğinde adımlarla gerilim uygulanarak akım-gerilim ölçümleri yapıldı. Bu ölçüm Keithley 617 marka ve modeldeki elektrometre cihazı, bilgisayara bağlı olarak Labview programından yürütüldü. Ölçümler Şekil 3.3 'te gösterilen deney düzenekleri sistemi ile yapıldı.



Şekil 3.3 D.C. ölçümlerinin yapıldığı ölçüm sistemi

3.6 A.C. Ölçümler

Üretilen örneklerin ac özellikleri, dc ölçümlerde kullanılana benzer bir düzenek ile ölçülmüştür. MIS yapıların ac özelliklerinin ölçülmesinde HP 4291 A model empedans analizörü kullanılmıştır. Ac ölçümlerde MIS yapılara, genliği 250 mV olan ve frekansı değiştirilebilen bir sinüs dalgası uygulanmıştır. Ac ölçümler, uygulanan ac gerilimin 5 Hz ile 13 MHz frekans aralığındaki değerlerinde ölçülmüştür. Ac ölçümler, frekansa bağlı empedans, kapasite ve iletkenlik ölçümleri yapılmak suretiyle gerçekleştirlmiştir. Ölçümler, 20 °C, 44 °C, 67 °C, 89 °C, 111 °C, 132 °C, 152 °C ve 171 °C olmak üzere sekiz farklı sıcaklıkta ve $\sim 10^{-3}$ mbar basınç altında gerçekleştirilmiştir. C-V ölçümleri -5 +5 Volt aralığında gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 4

DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLARI

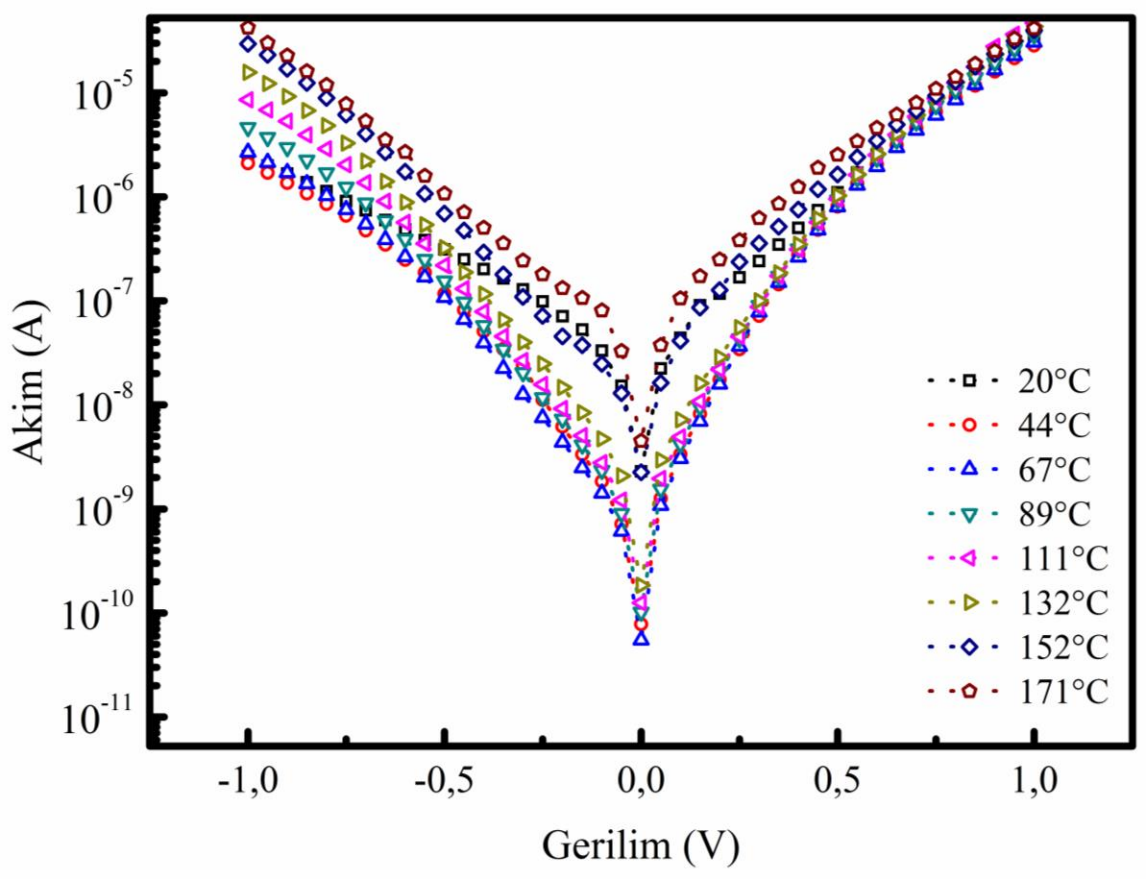
Bu bölümde yalıtkan tabaka olarak farklı merkezi metal atomlarına sahip ftalosiyanin ince filmlerin kullanıldığı MIS yapıların ölçülen dc ve ac elektriksel özelliklerinden elde edilen bulgular sunulmuştur.

4.1 D.C. Ölçümler

Dc ölçümler, Ag/Pc/Si ve Au/Pc/Si tabakalarından oluşan yapılarda -1 volt ile +1 volt aralığındaki gerilim değerleinde akım-gerilim (I-V) karakteristikleri ölçülmek suretiyle gerçekleştirlmiştir. Dc ölçümler, sıcaklığa bağlı olarak vakum ortamında ve karanlıkta gerçekleştirilmiştir.

4.1.1 Gümüş Kontaklı MIS Yapıların Akım-Gerilim Karakteristikleri

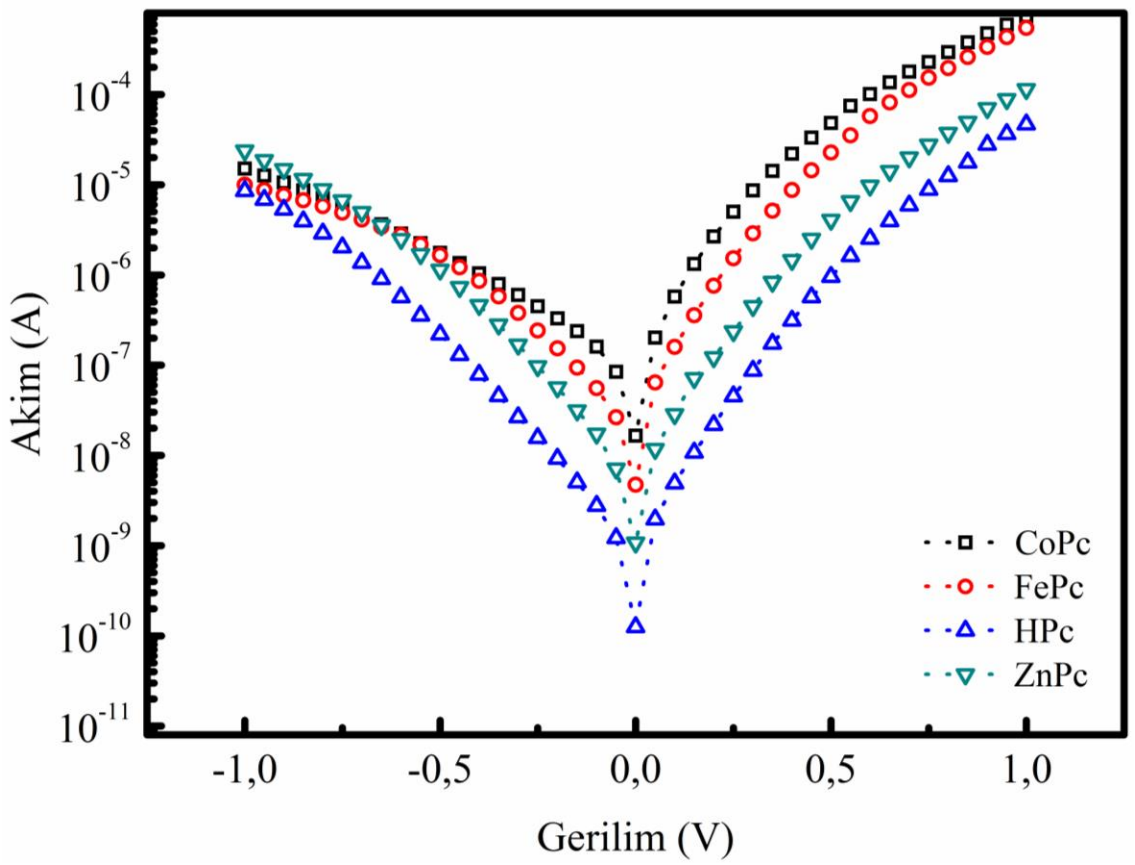
Şekil 4.1 Ag/HPc/n-Si tabakalarından oluşan yapının farklı sıcaklıklarda ölçülen akım gerilim karakteristiklerini göstermektedir. Sekiz farklı sıcaklıkta gerçekleştirlen ölçümlerde yapının I-V karakteristiklerinin doğrultucu karakterinde olduğu ve doğrultma oranının artan sıcaklıkla azaldığı gözlemlenmiştir. Ölçümler sonucunda doğrultuculuğun artan sıcaklıkla düzenli olarak azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre 20, 44, 67, 89, 111, 132, 152 ve 171 °C sıcaklıklarına karşılık gelen doğrultma oranları sırasıyla 14, 13, 11, 7, 5, 2, 1ve 0,987 olarak belirlenmiştir. Ölçülen I-V grafiklerinin eğimlerinden hesaplanan idealite faktörünün daima 1'den büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1 Ag/HPc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda ölçülen I-V karakteristikleri

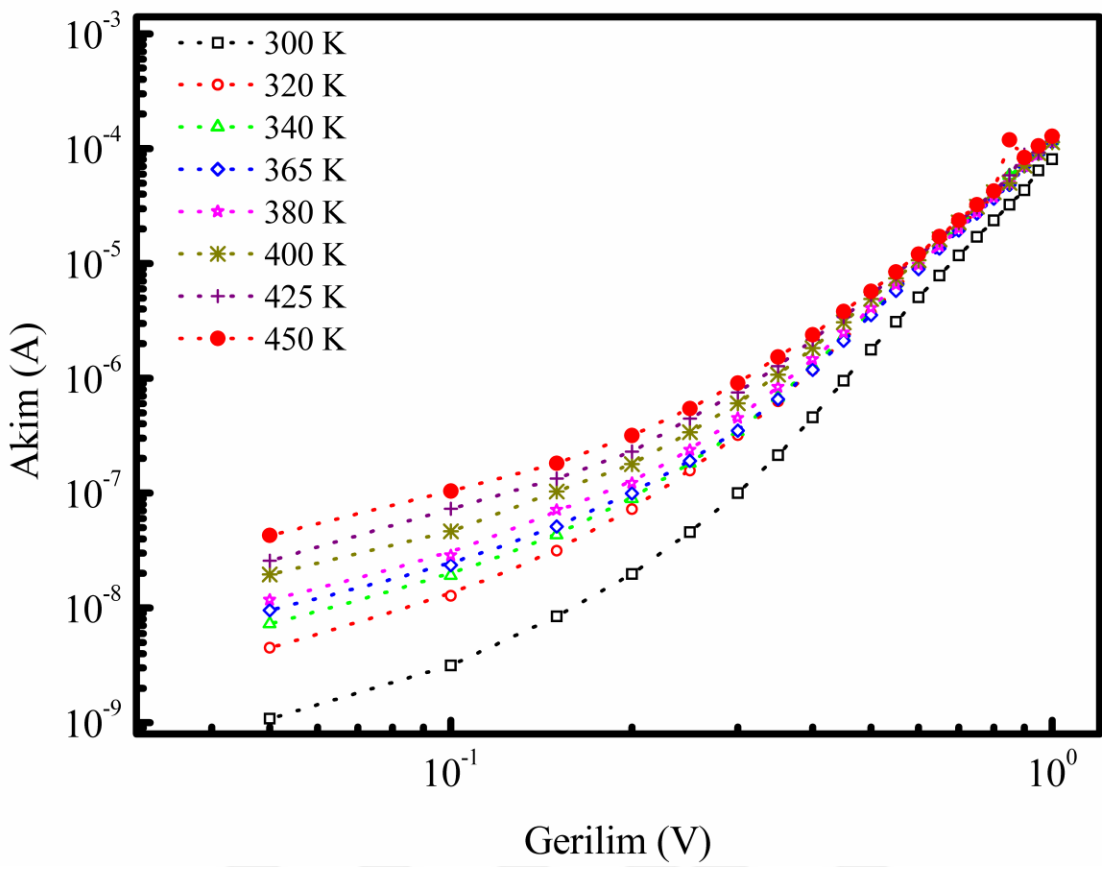
Şekil 4.2 yalıtkan olarak kullanılan tabakanın MIS yapıların 89°C'de ölçülen I-V karakteristiklerine etkisini göstermektedir. Şekil 4.2 nin dikkatli incelenmesinden görülecektir ki kullanılan tüm ftalosiyaninler için yapının I-V karakteristikleri doğrultucu karakterindedir. Yine Şekil 4.2'den görülebileceği gibi yalıtkan tabakanın ölçülen I-V karakteristikleri üzerinde dikkate değer bir etkisi vardır. Uygulanan gerilimin hemen her değeri için en büyük akım CoPc nin kullanıldığı yapıda gözlemlenirken en düşük akım değeri metalsiz ftalosiyanin'in kullanıldığı yapıda ölçülmüştür. Diğer sıcaklıklarda ölçülen I-V karakteristiklerinin benzer olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.2'de gösterilen karakteristiklerden doğrultma oranlarının CoPc, FePc, HPc ve ZnPc için sırasıyla 49, 54, 5 ve 4 olduğu görülmüştür.

Ag/CoPc/n-Si, Ag/FePc/n-Si, Ag/HPc/n-Si, Ag/ZnPc/n-Si yapılarının 89 °C sıcaklıkta akım gerilim karakteristikleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Bu ölçümlerde doğrultuculuk oranları sırasıyla 49,023, 54,73, 5,485 ve 4,778 şeklindedir.



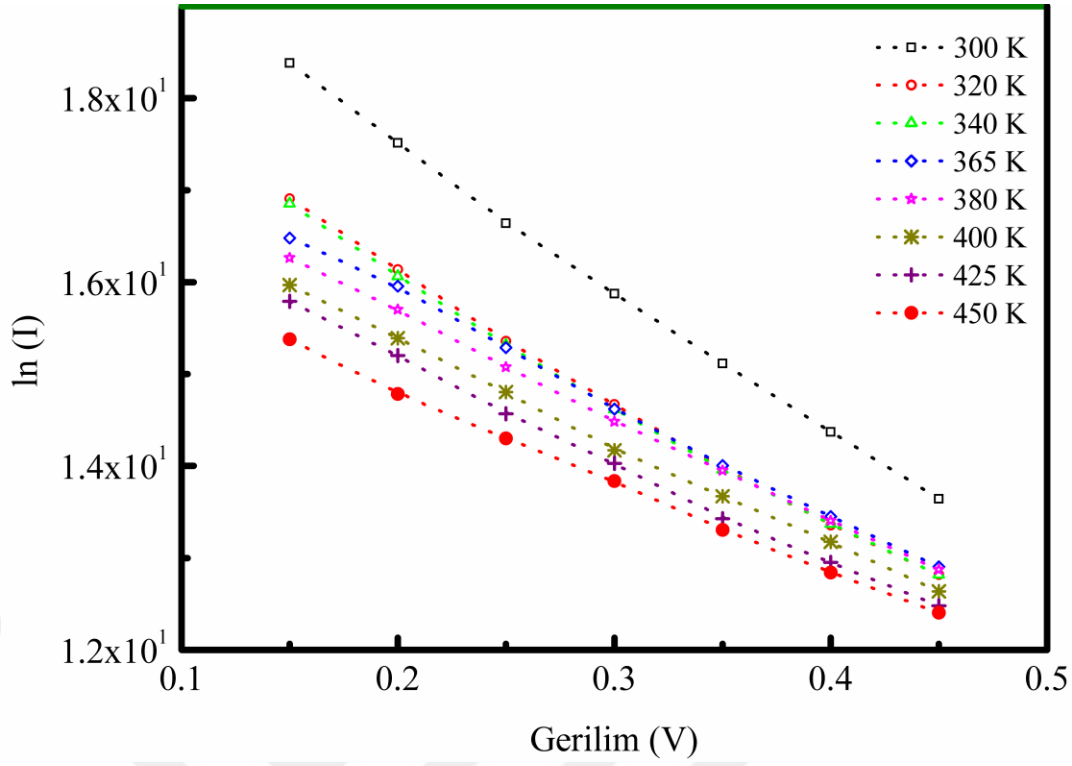
Şekil 4.2 Ftalosiyanin'in moleküler yapısının MIS yapıların 89 °C'de ölçülen I-V karakteristiklerine etkisi

Ag/ZnPc/p-Si yapılarının oda sıcaklığı ile 450 K aralığındaki 8 farklı sıcaklıkta ölçülen akım-gerilim (I-V) karakteristiklerinden yapıların, doğrultma oranı sıcaklığa bağlı olarak 5 ile 9 arasında değişen, doğrultucu davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Üretilen yapılarda yük iletim mekanizmalarının aydınlatılması amacıyla ölçülen veriler uygulanan gerilimin pozitif ve negatif değerleri için ayrı-ayrı analiz edilmiştir. Şekil 4. 3'te uygulanan gerilimin pozitif değerleri için yapının I-V karakteristikleri gösterilmiştir. Şekil 4.3'ten de açıkca görülebileceği gibi, yapının I-V karakteristikleri birisi düşük gerilimlerde diğeride yüksek gerilimlerde olmak üzere iki farklı doğrusal bölgeden oluşmaktadır. Uygulanan gerilimin düşük değerleri için eğimi yaklaşık olarak birim olan bir doğrusal bölge gözlemlenirken gerilimin, yüksek değerleri için akımın gerilime bağlılığının $I \propto V^n$ $(n > 2)$ şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3 Ag/ZnPc/p-Si yapılarının uygulanan gerilimin pozitif değerleri için ölçülen I-V karakteristikleri

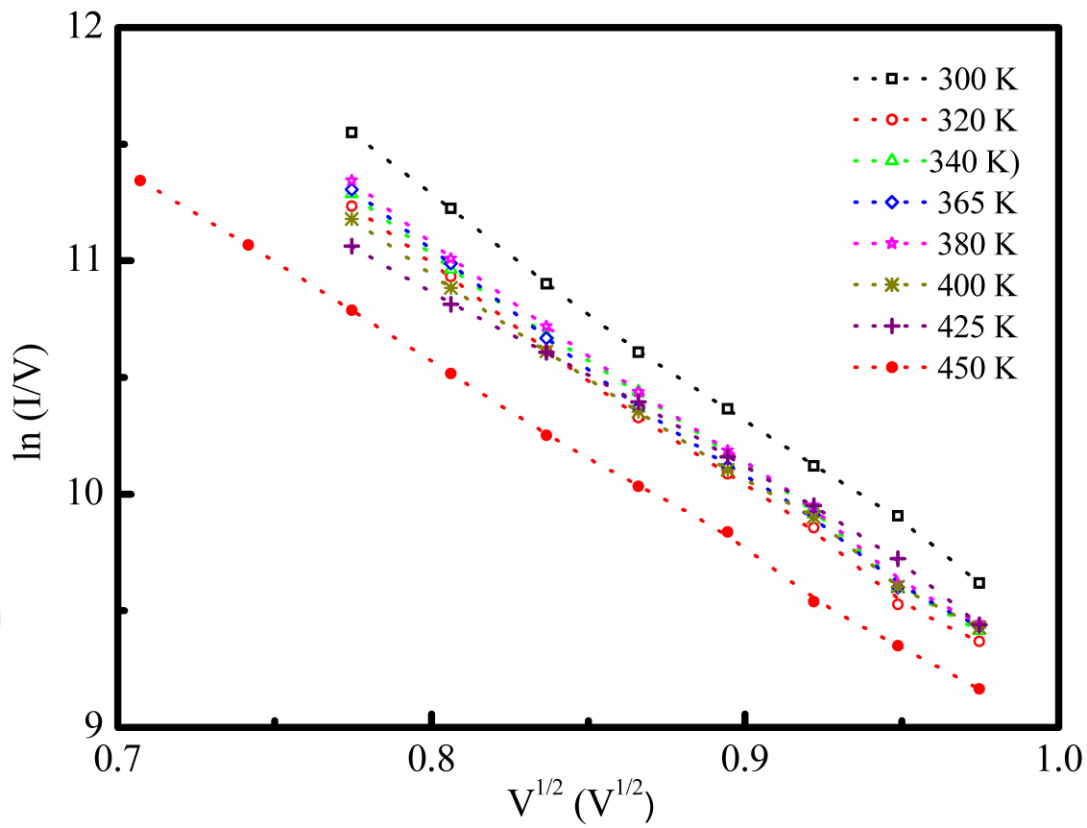
Şekil 4.4 'te düşük gerilim bölgesinde ölçülen akım değerlerinin hoplama modeline uygunluğundan elde edilen sonuçları göstermektedir. Bu model Ln (I) - V grafiğinin sabit eğimli bir doğru olması gerektiğini söyler. Şekil 4.4 'ten görülebileceği gibi tüm sıcaklıklardaki ln (I) – V grafikleri korelasyon katsayısı 0.99'dan büyük olan doğrular şeklindedir. Buda, uygulanan gerilimin düşük değerleri (0-0.45 V aralığında) için yük iletiminin hoplama mekanizması sayesinde gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 4.4 Düşük gerilim bölgesinde gözlemlenen ln (I) -V karakteristikleri

Uygulanan gerilimin yüksek değerleri için hoplama modelinin uygun bir model olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, gerilimin yüksek değerlerinde gözlemlenen davranış bulk limited modeline göre analiz edilmiştir. Bu modele göre $V^{1/2}$ – ln (I/V) grafiği bir doğru olmalıdır. Şekil 4.5 uygulanan gerilimin yüksek değerleri için $V^{1/2}$ – ln (I/V) değişimlerini göstermektedir. Şekil 5, uygulanan gerilimin yüksek değerlerinde yük iletiminin bulk limited modelinin öngörülerine uygun olarak gerçekleştiğini göstermektedir.

Üretilen diyotların iletmeme durumunda gerilimlenmeleri halinde, iletme durumundakine benzer olarak, I-V grafiklerinin farklı eğimlere sahip iki bölgeden oluştuğu görülmüştür. İletmeme durumunda ölçülen akımların uygulanan gerilime bağlılığının analizinde benzer olarak, yüksek gerilimlerde bulk limited düşük gerilimlerde ise hoplama mekanizması sayesinde gerçekleştiği görülmüştür.

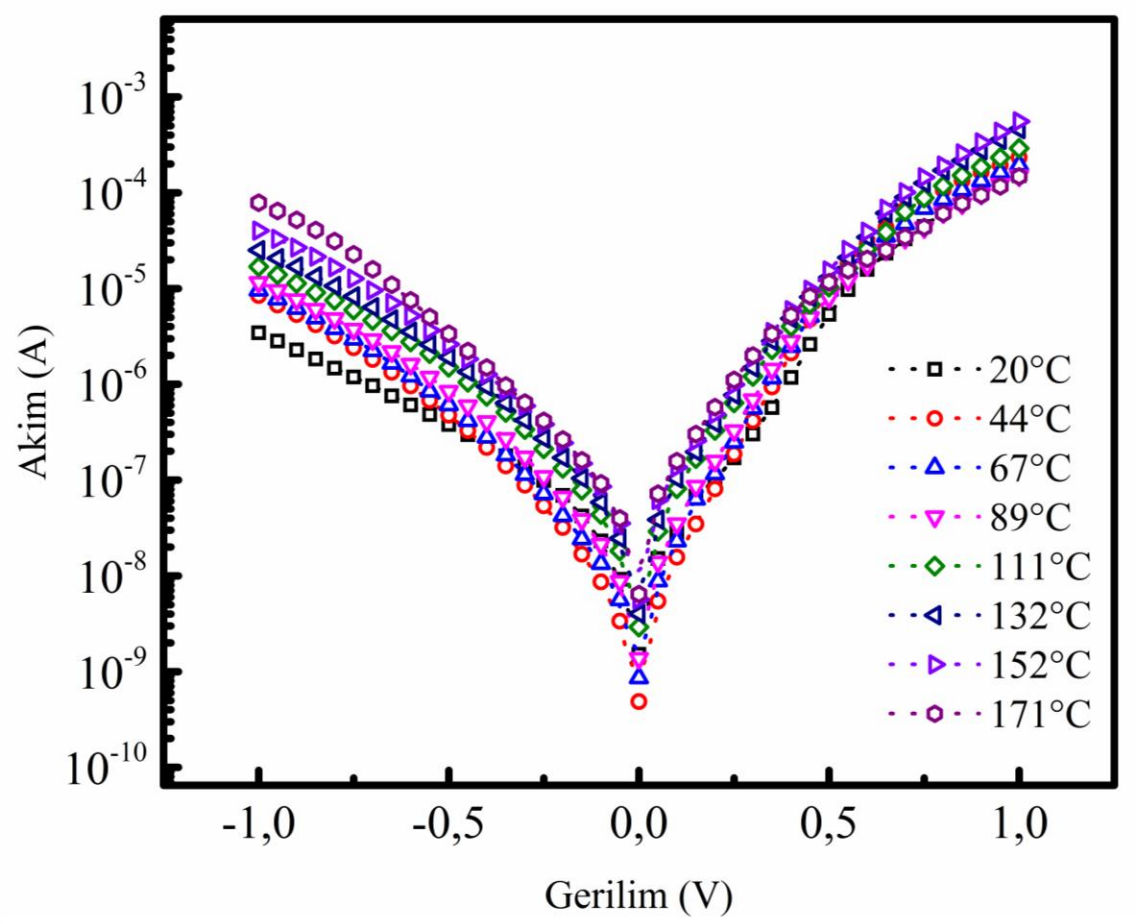


Şekil 4.5 Yüksek gerilim bölgesinde gözlemlenen ln (I/V) –V1/2 karakteristikleri

4.1.2 Altın Kontaklı MIS Yapıların Akım-Gerilim Karakteristikleri

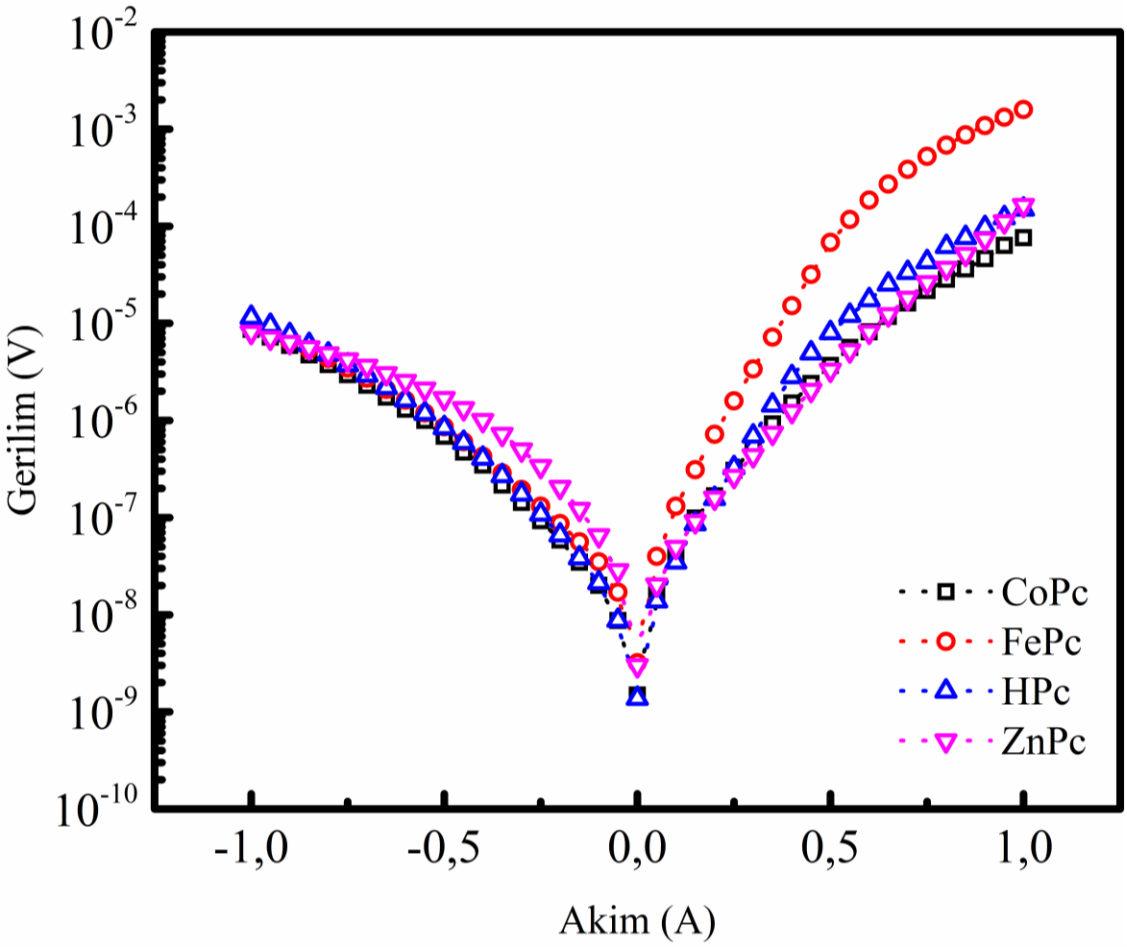
Metal elektrodun türünün MIS yapıların elektriksel davranışlarına etkisini belirlemek amacıyla metal elektrot olarak hem Ag hemde Au kullanılmıştır. Şekil 4.6'daAu/HPc/Si tabakalarından oluşan MIS yapının farklı sıcaklıklarda ölçülen I-V karakteristikleri gösterilmiştir. Şekil 4.6'dan da görülebileceği gibi metal olarak Au'nun kullanıldığı yapılar da doğrultucu karakterindedir. Uygulanan gerilimin pozitif değerleri için ölçülen I-V karakteristiklerinin eğimlerinden hesaplanan idealite faktörünün metal elektrot olarak Au'nun kullanıldığı yapılarda da daima 1'den büyük olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan metal elektrodun türünün yapıların davranışı üzerinde önemli sayılabilecek bir etkiye sahip olmamasına rağmen ölçülen akım değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Örneğin, oda sıcaklığında gerçekleştirilen ölçümlerde gerilimin 1 volt değeri için Ag/HPc/Si yapısında ölçülen akım 3.58×10^{-5} Amper iken aynı koşullarda Au/HPc/Si yapısında ölçülen akımın 1.50×10^{-4} Amper olduğu görülmüştür. Au/HPc/Si yapısında da doğrultma oranının sıcaklığa oldukça bağlı olduğu ancak sıcaklığa bağlılığın düzenli olmadığı görülmüştür. 20, 44, 67, 89, 111, 132, 152 ve 171 °C

sıcaklıklarındaki doğrultma oranları sırasıyla 43, 27,20, 13, 17, 18, 13 ve 2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6 Au/HPc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda ölçülen I-V karakteristikleri

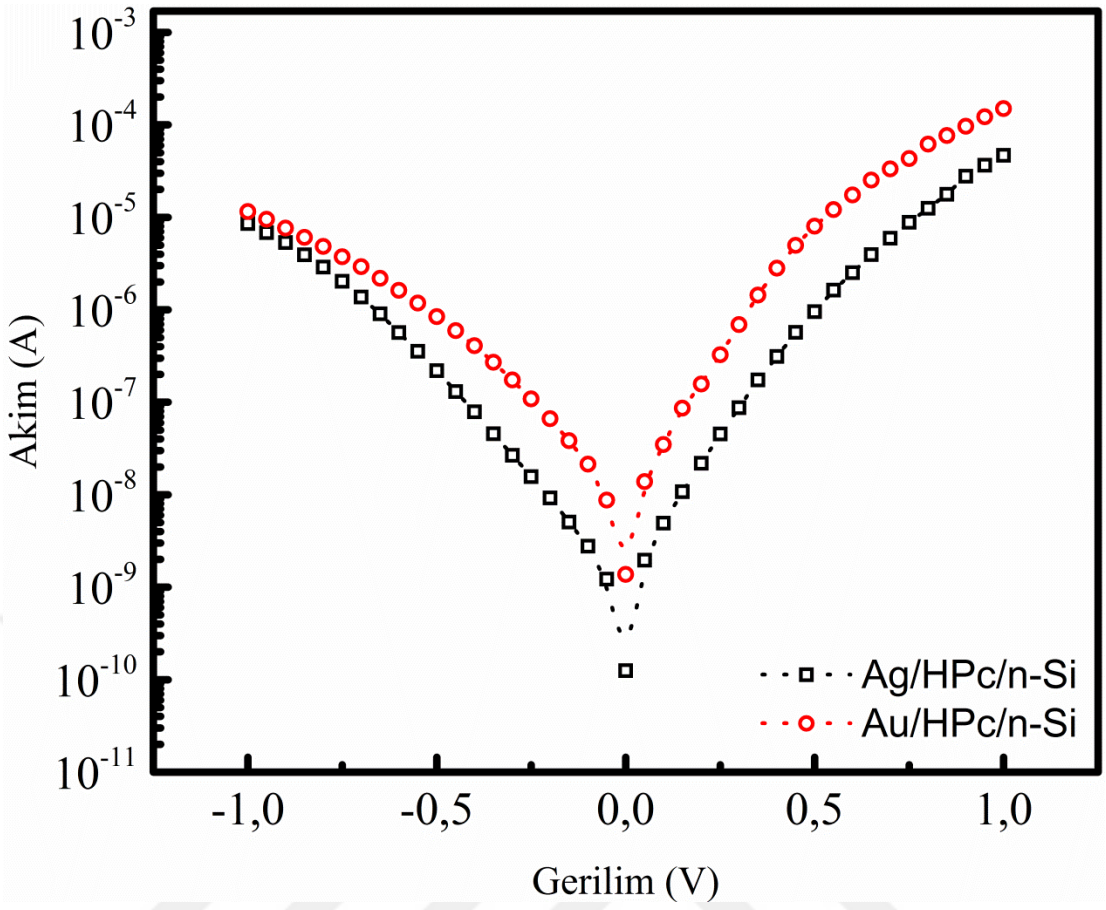
Metal elektrot olarak Au'nun yalıtkan tabaka olarak da dört farklı ftalosiyanin'in kullanıldığı yapıların 89°C'de ölçülen I-V karakteristikleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Metal elektrot olarak Au'nun kullanıldığı MIS yapılarda, Ag'nin kullanıldığı yapıların tersine, gerilimin her değeri için en küçük akım CoPc'nin kullanıldığı yapıda gözlemlenirken en büyük akım değeri (özellikle gerilimin pozitif değerleri için) FePc'nin kullanıldığı yapıda gözlemlenmiştir. Şekil 4.7'de gösterilen I-V karakteristiklerinden hesaplanan doğrultma oranları Au/CoPc/n-Si, Ag/FePc/n-Si, Au/HPc/n-Si, Ag/ZnPc/n-Si yapılar için sırasıylaının 49, 55, 5 ve 5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Au/Pc/Si Yapıların 89°C'de ölçülen I-V karakteristikleri

Kullanılan metal elektrodun türünün MIS yapıların dc elektriksel davranışına etkisinidaha açık bir şekilde göstermesi bakımından yalıtkan olarak HPc'nin kullanıldığı Ag/HPc/n-Si ve Au/Pc/n-Si yapılarının 89°C'de ölçülen I-V karakteristikleri Şekil 4.8'de karşılaştırılmıştır. Şekil 4.8'den görülebileceği gibi uygulanan gerilimin tüm değerlerinde metal olarak Au'nun kullanıldığı yapıdan geçen akım daima daha büyüktür. Ölçüm yapılan diğer sıcaklıklarda da benzer davranışlar gözlemlenmiştir.

Schottky diyotları karakterize etmekte kullanılan en önemli parametrelerden birisi olan idealite faktörünün elektrot olarak Ag'nin kullanıldığı yapılarda daima daha büyük olduğu (idealite faktörünün büyük olması yapının ideallikten daha fazla saptığı anlamına gelir) gözlemlenmiştir.



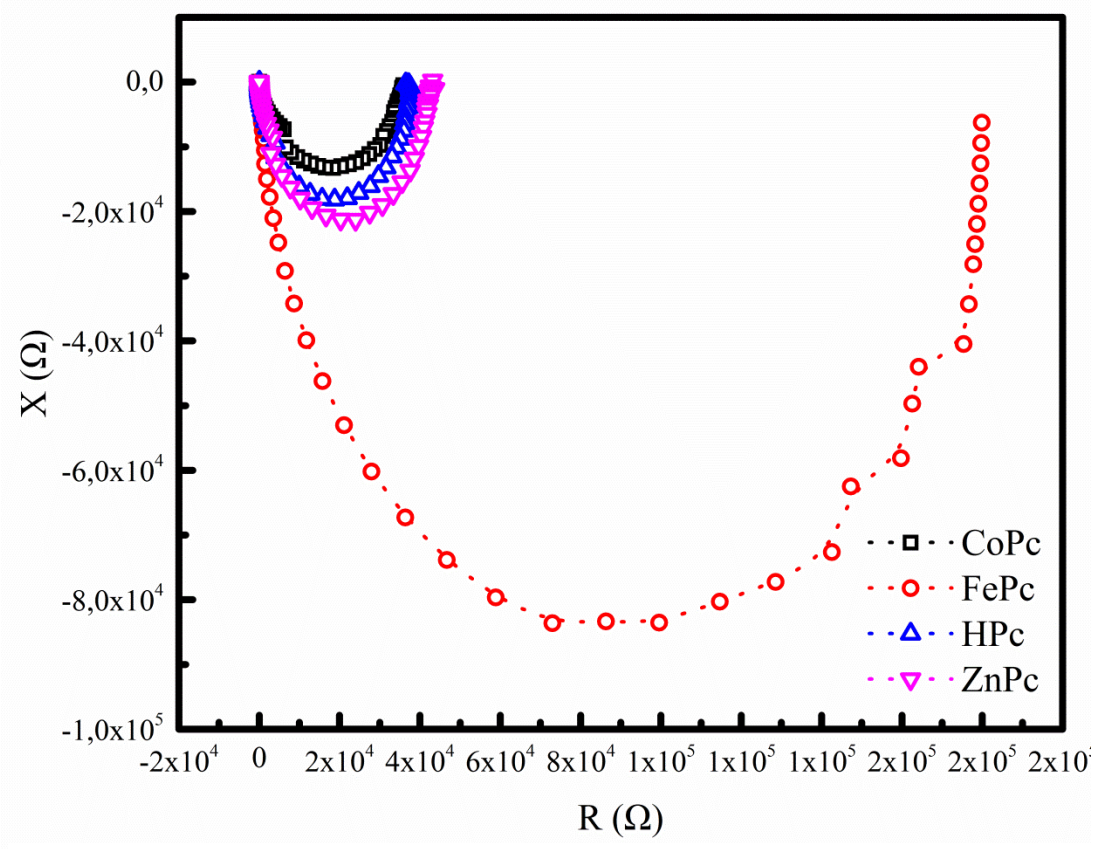
Şekil 4.8 Metal elektrot türünün Metal/HPc/n-Si yapıların I-V karakteristiklerine etkisi

4.2 A.C.Ölçümler

Bu bölümde, farklı yalıtkan malzemeleri ve kontak metalleri ile oluşturulan MIS yapıların frekansa bağlı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

4.2.1 Gümüş Kontaklı MIS Yapıların ac davranışı

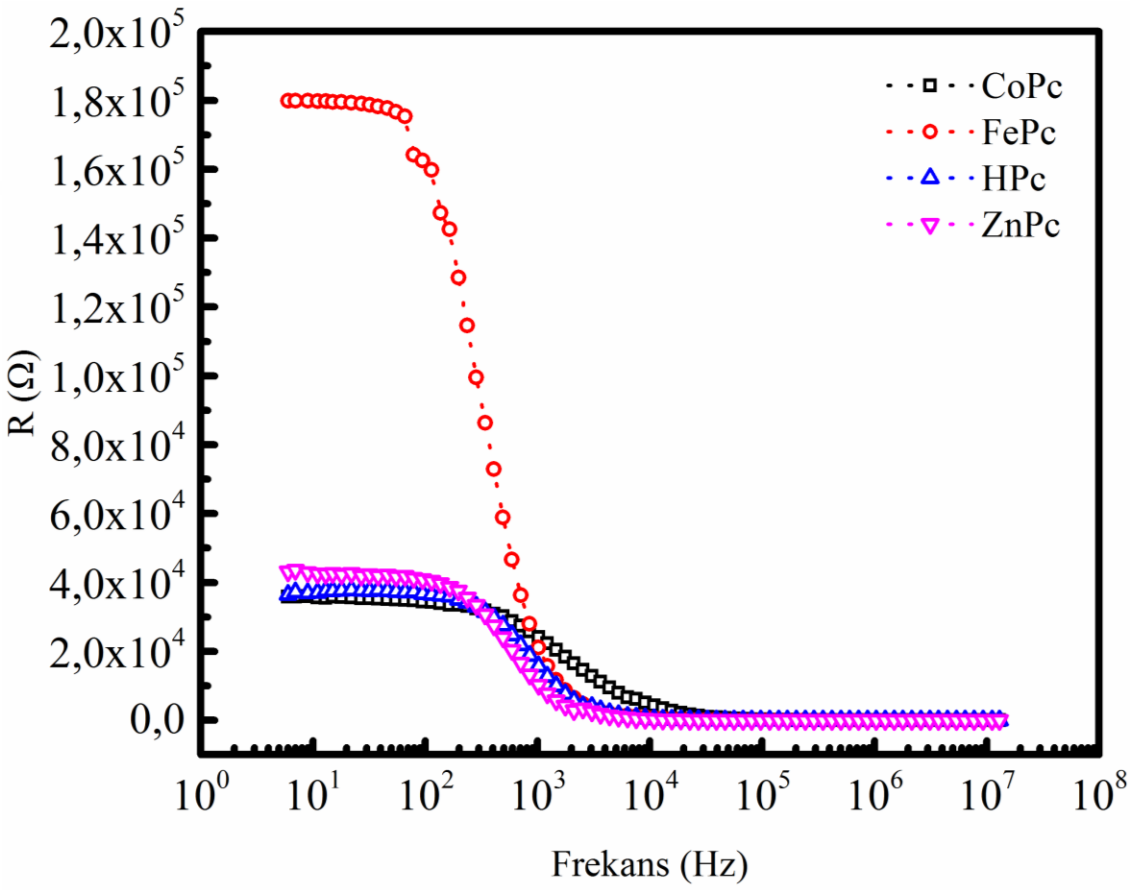
Farklı ftalosiyaninlerin kullanıldığı gümüş kontaklı MIS yapılarının 89 °C sıcaklıkta empedansın sanal kısmının gerçek kısmına karşı grafiği (X-R)Şekil 4.9 'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Ag/Pc/Si yapılarının 89°C'de X-R grafiği

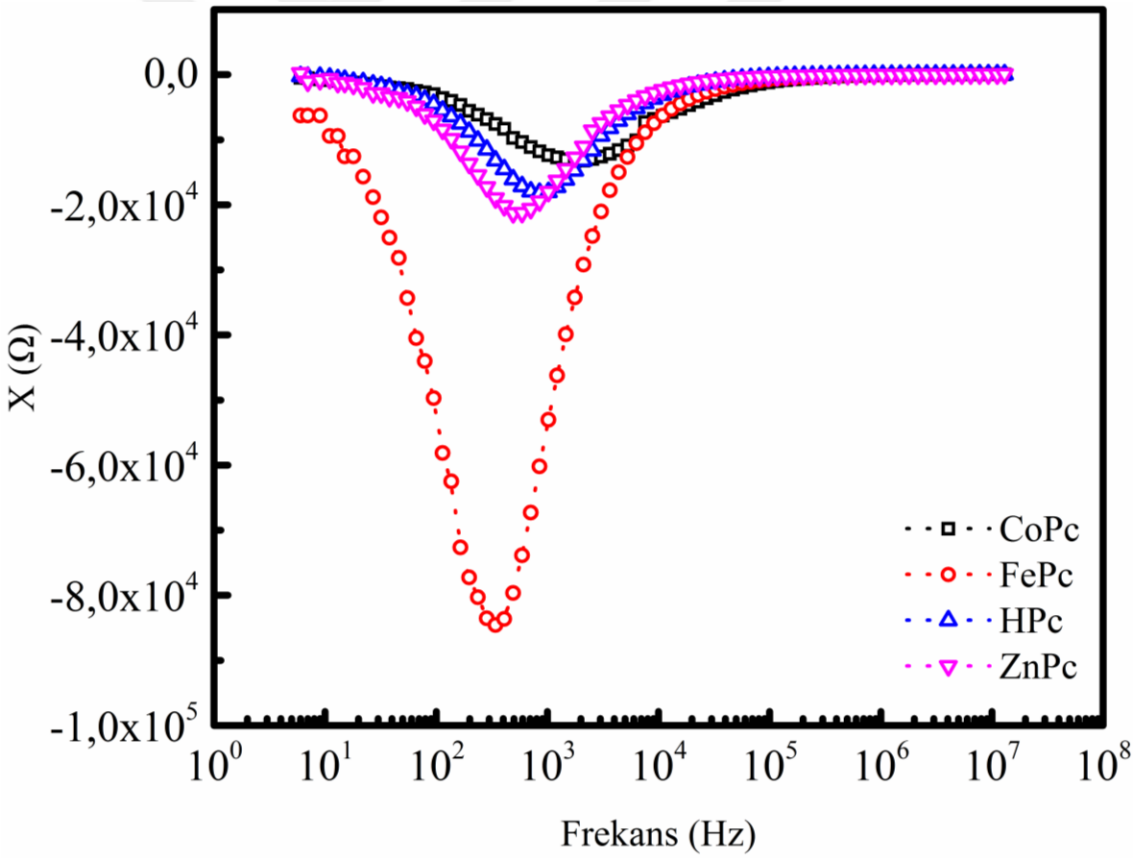
Şekil 4.9 'dan görülebileceği gibi, tüm ftalosiyaninler için bu grafiklerin farklı yarıçaplarda, merkezi gerçek eksenin (R ekseni) altında kalan yarım dairelerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Yine Şekil 4.9 'dan görüeceği gibi empedansın sanal kısmı artan frekansla başlangıçta bir miktar artmakta ve bir maksimuma ulaştıktan sonra tekrar düşmeye başlamaktadır. Empedansın sanal kısmının maksimum olduğu frekans değerinin kullanılan ftalosiyaninin moleküler yapısına bağlı olarak değişiklikler gösterdiği gözlemlenmiştir. Kompleks empedansın maksimum değerleri CoPc, FePc, HPc ve ZnPc için sırasıyla 13.3kΩ, 83.6 kΩ, 18.2 kΩ ve 21.3 kΩ olarak belirlenmiştir.

Yine aynı örnekler için empedansın gerçek kısmının uygulanan gerilimin frekans ile değişimi Şekil 4.10'da verilmiştir. Hemen tüm frekans değerleri için maksimum direnç FePc'de gözlemlenirken minimum direnç CoPc'de gözlemlenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, düşük frekanslarda neredeyse frekanstan bağımsız bir direnç gözlemlenirken artan frekansla, direncin hızlı bir şekilde azalmaya başladığı görülmüştür. Yüksek frekans bölgesinde yine tüm bileşikler için frekanstan bağımsız bir direnç davranışı gözlemlenmiştir.



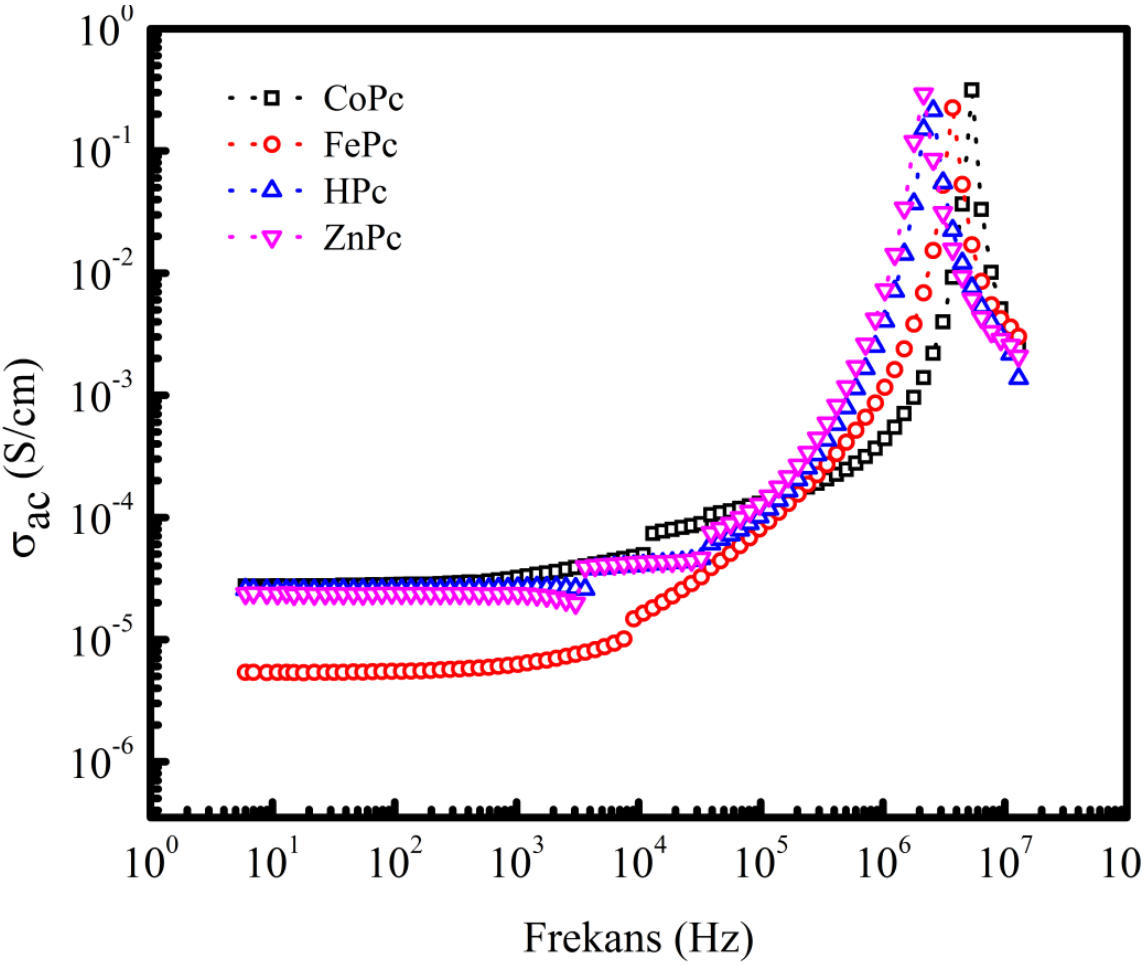
Şekil 4.10 Ag/Pc/Si yapılarının 89°C'de R-f grafikleri

Farklı dielektrikler ile üretilen Ag kontaklı MIS yapılarda empedansın sanal kısmının frekansa bağlılığının incelenmesinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.11 ’de verilmiştir. Empedansın sanal kısmı için de maksimum FePc’de gözlemlenirken minimum değer CoPc’de gözlemlenmiştir. Empedansın sanal kısmının frekansa bağlılığının incelenmesinde; düşük frekanslarda artan frekansla artan bir davranış gözlemlenirken yüksek frekanslarda, empedansın sanal kısmının frekanstan bağımsız hale geldiği görülmüştür. Empedansın sanal kısmında gözlemlenen maksimumların da kullanılan ftalosiyanin bileşiğinin moleküler yapısına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bu ölçümlerde, empedansın sanal kısmının büyüklüğü arttıkça maksimumun gözlemlendiği frekans değerinin düşük frekanslara doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Örneğin, FePc için maksimum değer 84.5 kΩ olup 342 Hz.’de gözlemlenirken CoPc için maksimum değer 13.3 kΩ olarak 1.8 kHz.’de gözlemlenmiştir.



Şekil 4.11 Ag/Pc/Si yapılarının 89°C’de empedansın sanal kısmının frekansa bağlılığı

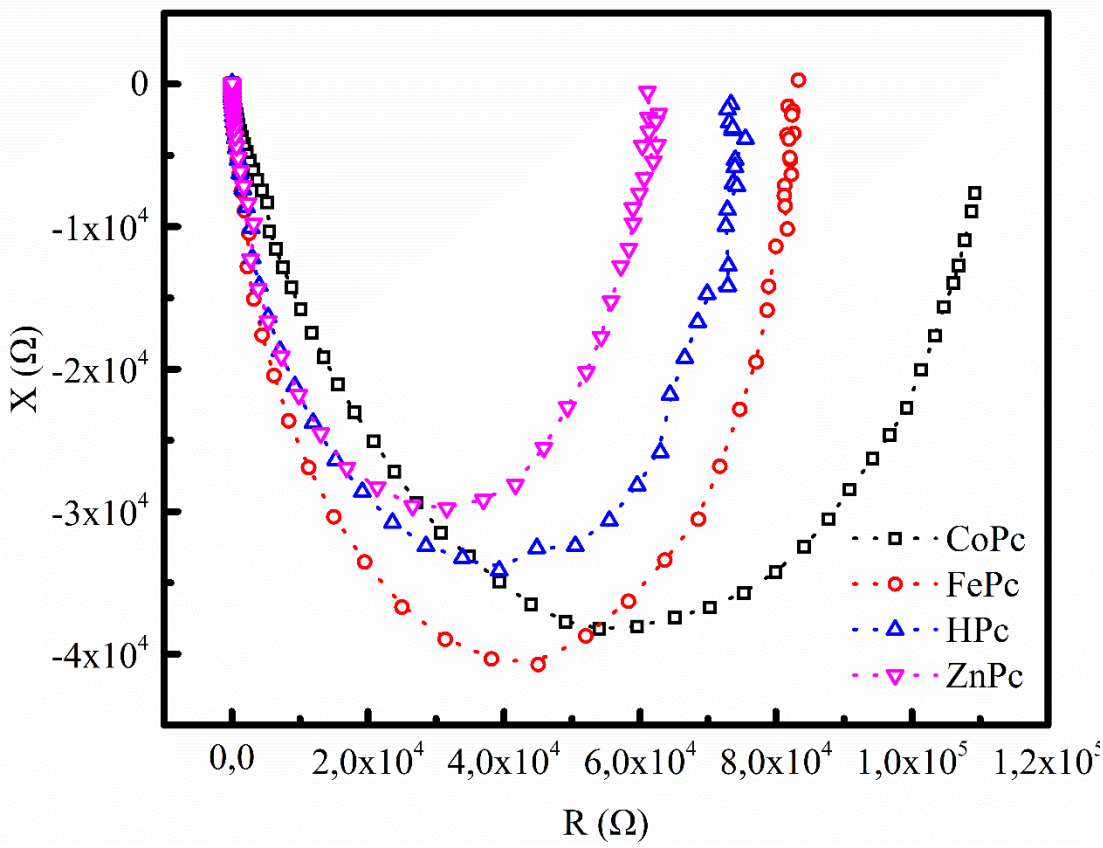
Hazırlanan MIS yapılarda alternatif iletkenliğin (ac iletkenlik, σ_{ac}) frekansa bağlılığının incelenmesinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.12'de gösterilmiştir. 89°C'de gerçekleştirlen ölçümlerde tüm örnekler için, düşük frekanslarda neredeyse frekanstan bağımsız bir iletkenlik gözlemlenirken artan frekansla iletkenliğin frekansla hızlı bir şekilde arttığı (ω^S şeklinde değiştiği) gözlemlenmiştir. Ölçülen iletkenlik değerlerinin belirli bir frekansta (Pc'nin moleküler yapısına bağlı olarak değişen) bir maksimuma ulaştıktan sonra düşmeye başladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12 Ftalosiyanin bileşiğninin moleküler yapısının Ag/Pc/n-Si yapıların iletkenliklerine etkisi

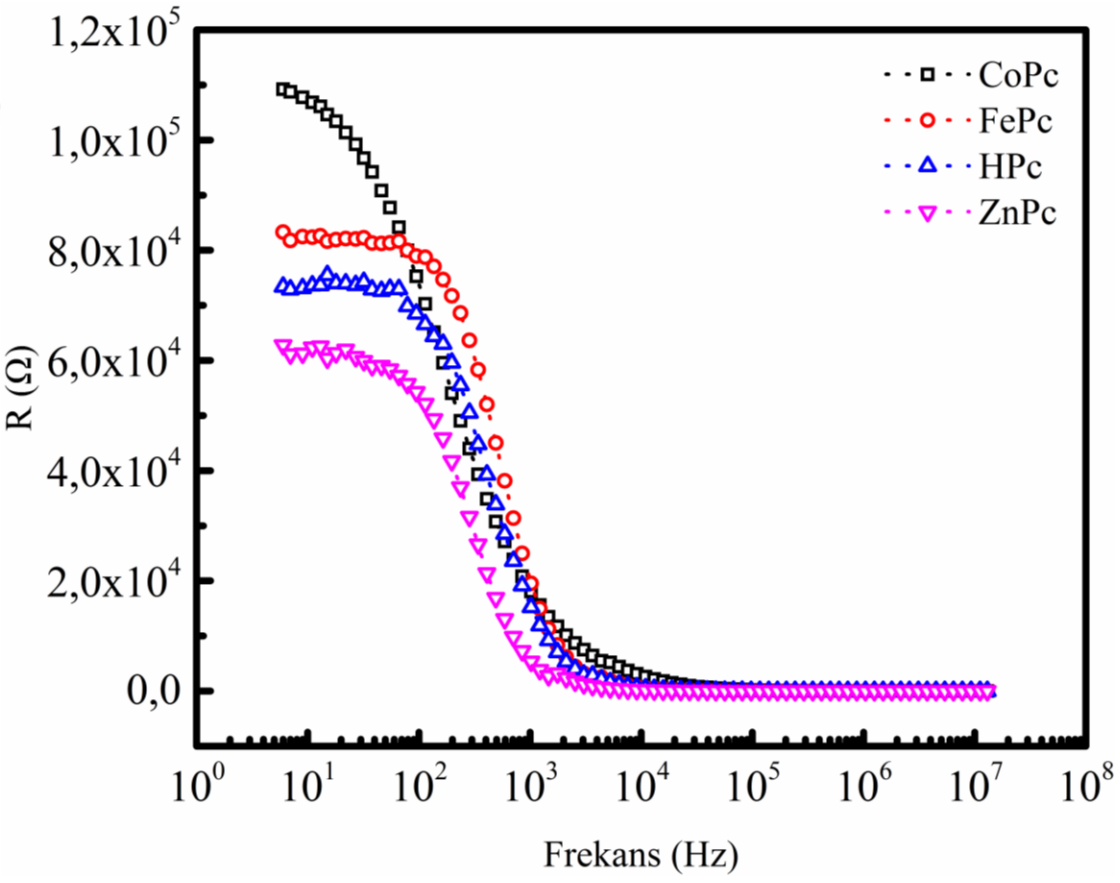
4.2.2 Altın Kontaklı MIS Yapıların ac davranışı

Karşılaştırma amacıyla, Au kontaklı MIS yapılarının 89 °C sıcaklıkta elde edilen X-R grafikleri Şekil 4.13'tegösterilmiştir.Metal elektrot olarak Au'nun kullanıldığı MIS yapılarda da X-R grafiklerinin farklı yarıçaplı yarım dairelerden oluştuğu görülmüştür. Elektrot olarak Au'nun kullanıldığı yapılarda en büyük yarıçaplı daire CoPc için gözlemlenirken en küçük yarıçaplı daire ZnPc'nin kullanıldığı yapıda gözlemlenmiştir. X-R grafiklerinin yarıçaplarının ftalosiyanin bileşiğinin moleküler yapısından Ölçümler sonucunda reaktans değerlerinin maksimum olduğu noktalar sırasıyla Ag/CoPc/n-Si örneği için R=54 kΩ olduğunda X= 38.2 kΩ, Ag/FePc/n-Si için R= 45 kΩ olduğunda X=40.7 kΩ, Ag/HPc/n-Si örneği için R= 39.3 kΩ olduğunda X= 34 kΩ, Ag/ZnPc/n-Si için ise R= 31.6 kΩ olduğunda X= 29.8 kΩ değerlerinde gözlemlenmiştir.



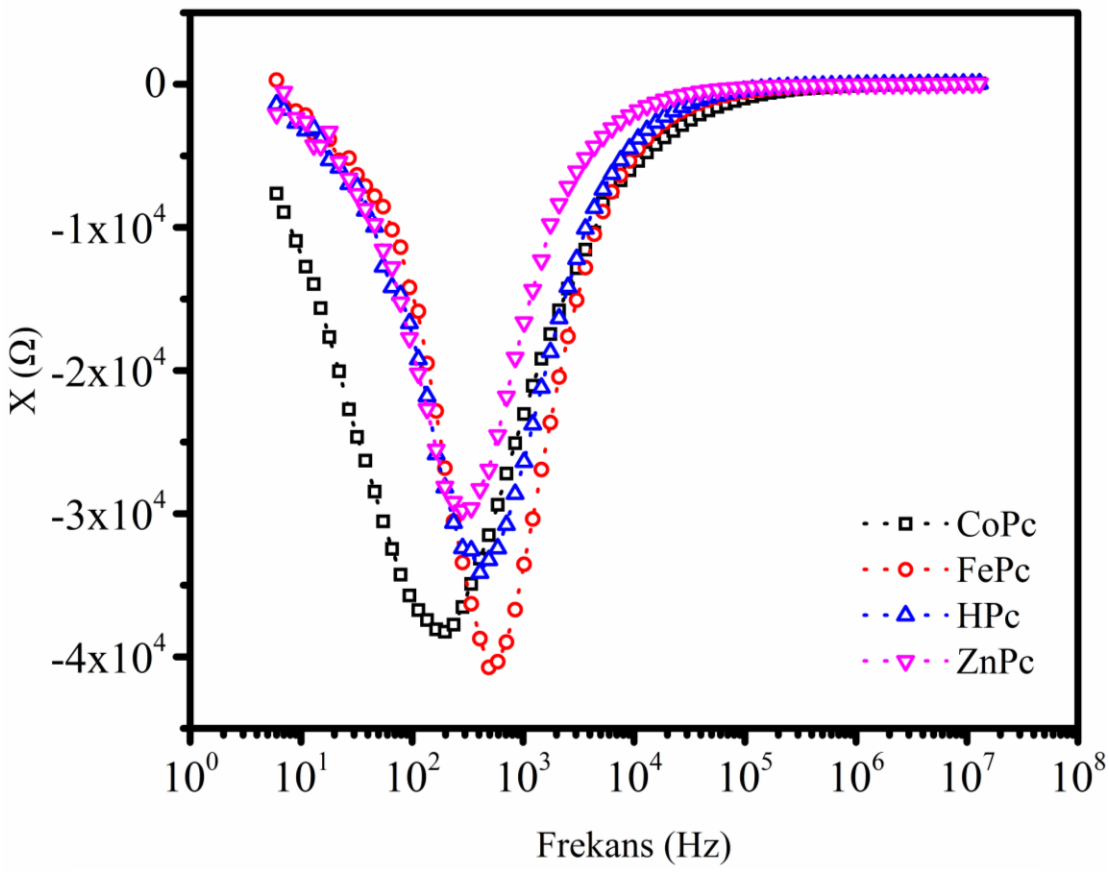
Şekil 4.13 Au/Pc/Si yapılarının 89°C'de X-R grafikleri

Şekil 4.14 elektrot malzemesi olarak Au'nun kullanıldığı MIS yapılarda empedansın gerçek kısmının frekansa bağlılığını göstermektedir. Ag'nin kullanıldığı yapılara benzer olarak düşük frekanslarda R neredeyse frekanstan bağımsız iken artan frekansla hızla azalmaktadır. Yüksek frekans değerleri için ise tüm bileşiklerde R değerinin sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Au'nun kullanıldığı yapılarda hemen tüm frekans değerleri için maksimum R değeri CoPc'de gözlemlenirken minimum R değeri ZnPc'de gözlemlenmiştir. Au'nun kullanıldığı yapılarda R değerlerinin, Ag'nin kullanıldığı yapılarla karşılaştırldığında, birbirine nispeten daha yakın oldukları görülmüştür.



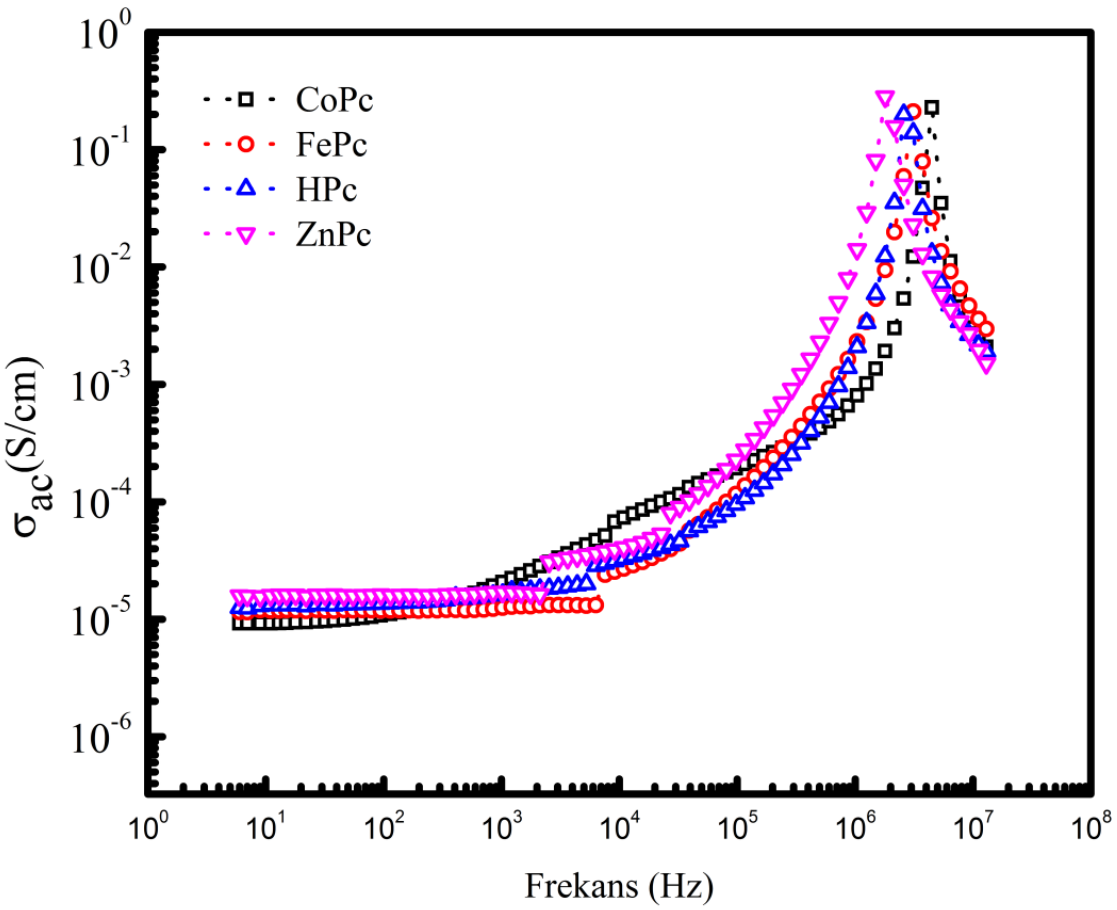
Şekil 4.14 Au/Pc/Si tabakalarından oluşan yapının 89°C'deki R-f grafikleri

Kullanılan dielektrik tabakasının moleküler yapısının Au/Pc/n-Si yapıların reaktansına etkisi Şekil 4.15 ’te gösterilmiştir. Yapıların X-f grafiklerinin Ag yapıların X-f grafiklerine benzediği görülmüştür. Düşük frekanslarda X değerleri artan frekans ile artarken belirli bir frekansta maksimuma ulaşmakta ve sonra düşerek yine belirli bir frekanstan sonra hemen hemen sabit kalmaktadır.



Şekil 4.15 Au/Pc/Si yapılarının 89°C’de X-f grafiği

Örneklerin iletkenliklerinin frekansa bağlı değişimi incelenmiş ve grafiği Şekil 4.16 ’da verilmiştir. Bu yapılarda da düşük frekanslarda neredeyse frekanstan bağımsız bir iletkenlik bölgesi, orta frekanslarda kuvvetle frekansa bağlı bir ieltkenlik bölgesi veyüksek frekanslarda artan frekansla azalan bir iletkenlik bölgesi olmak üzere üç farklı iletkenlik bölgesi gözlemlenmiştir.

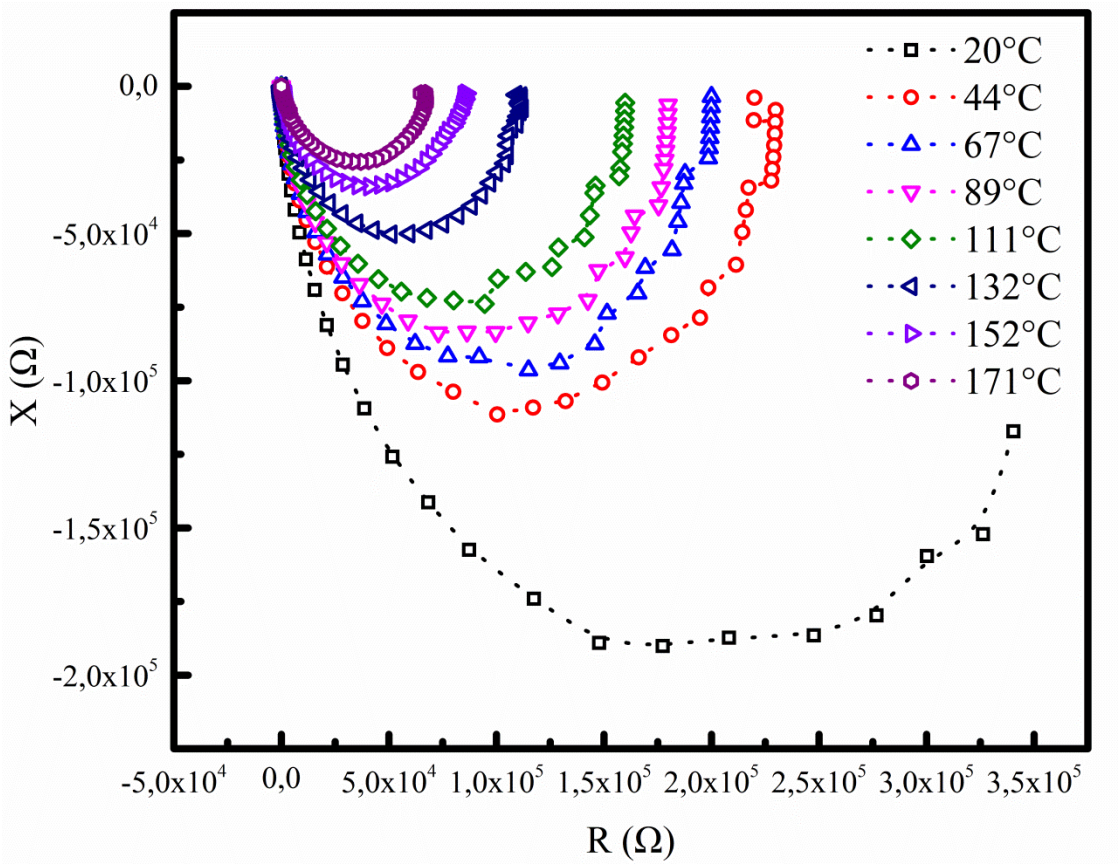


Şekil 4.16 Au/Pc/Si yapılarının 89°C'de σ_{ac} - f grafikleri

4.2.3 Sıcaklığın MIS Yapıların ac davranışlarındaki etkisi

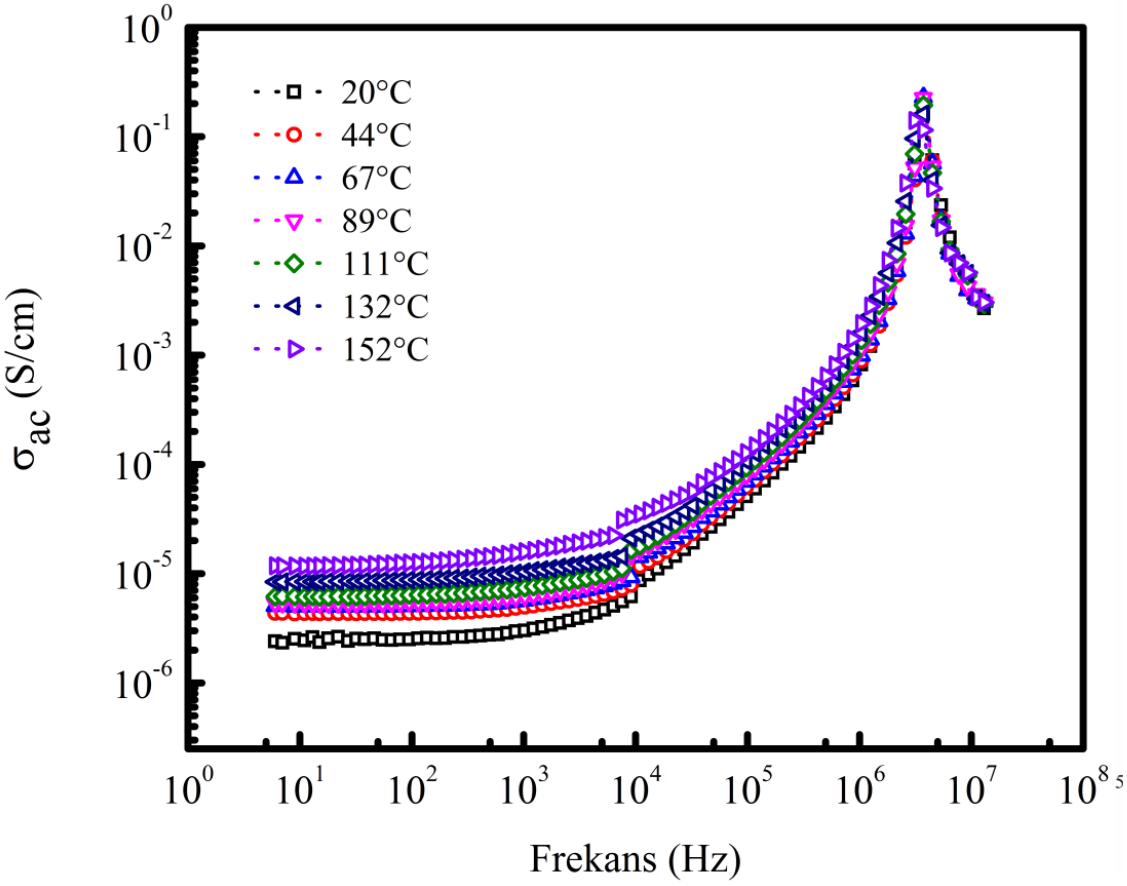
Sıcaklığın üretilen MIS yapıların X-R spektrumlarına etkisini göstermesi bakımından örnek olarak, Ag/FePc/n-Si MIS yapısının farklı sıcaklıklardaki ölçülen X-R karakteristikleri Şekil 4.17'degösterilmiştir.Şekilden de görülebileceği gibi artan sıcaklıkla hem R hemde X değerleri azalmakta dolayısıyla, gözlemlenen yarım dairelerin yarıçapıda küçülmektedir. Yine Şekil 4.17'den görülebileceği gibi, X-R spektrumlarının maksimumları artan sıcaklıkla düşük frekans bölgesine doğru kaymaktadır.

Ölçümler sonucunda reaktans değerlerinin maksimum olduğu noktalar 20, 44, 67, 89, 111, 132, 152 ve 171°C sıcaklıkları için sırasıyla, R= 177 kΩ ve X= 190 kΩ, R= 100 kΩ ve X= 111kΩ, R= 115 kΩ ve X= 96kΩ, R= 73 kΩ ve X= 84kΩ, R= 94,6 kΩ ve X= 74 kΩ, R= 51 kΩ ve X= 50 kΩ, R=41 kΩ ve X=34 kΩ, R= 37kΩ ve X=25,6kΩ noktalarında gözlemlenmiştir.



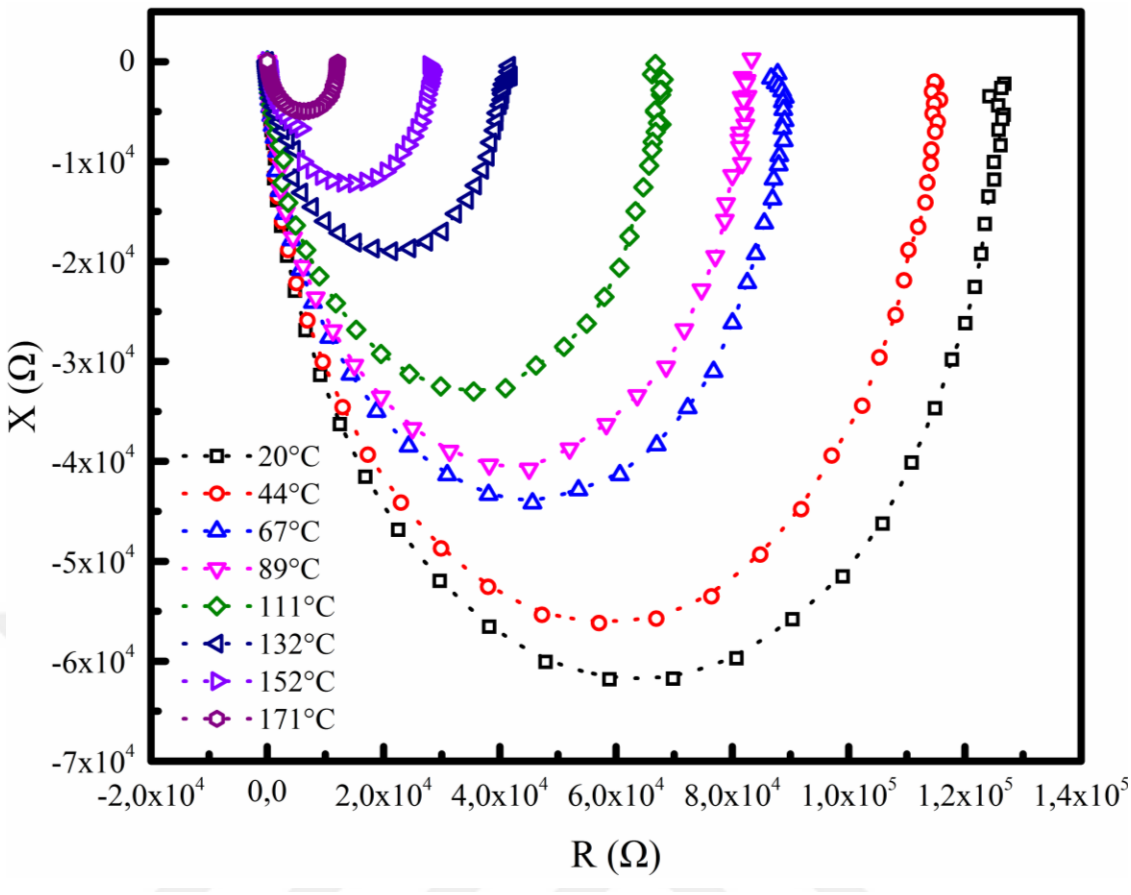
Şekil 4.17 Ag/FePc/n-Si yapısının sıcaklığa bağlı X-R grafiği

Ag/FePc/n-Si MIS yapısının farklı sıcaklıklardaki iletkenliğinin frekans ile değişimi Şekil 4.18'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi yapının ac iletkenliğinin özellikle düşük frekanslarda sıcaklığa oldukça bağlı olduğu yüksek frekanslarda ise sıcaklıkla çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Yüksek frekanslarda gözlemlenen iletkenlikteki düşme hemen tüm sıcaklıklarda görülmüştür.



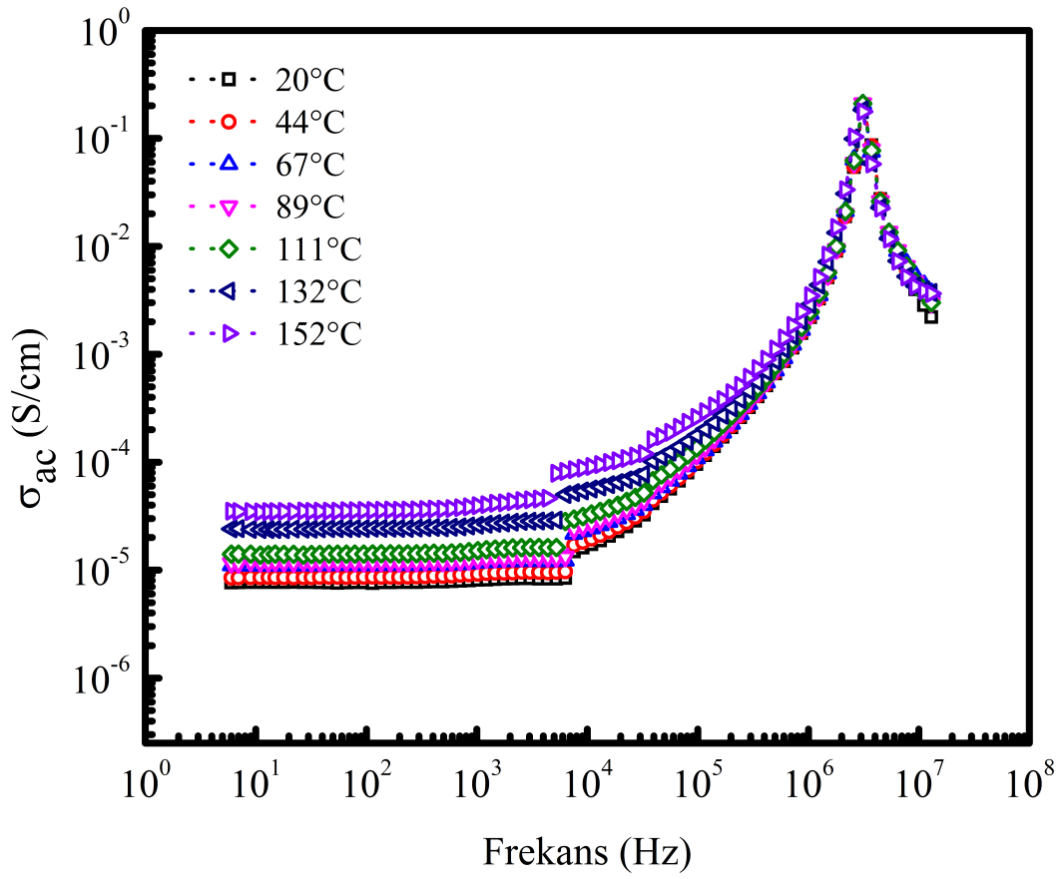
Şekil 4.18 Ag/FePc/n-Si yapısının sıcaklığa bağlı σ_{ac}-f grafikleri

Metal elektrot olarak Au'nun kullanıldığı yapıların X-R spektrumlarının da Ag'nin kullanıldığı yapıların spektrumuna benzedikleri görülmüştür. Karşılaştırma amacıyla, Au/FePc/n-Si MIS yapısının farklı sıcaklıklarda ölçülen X-R spektrumları Şekil 4.19'da verilmiştir. Ölçümler sonucunda reaktans değerlerinin maksimum olduğu noktalar 20, 44, 67, 89, 111, 132, 152 ve 171°C sıcaklıkları için sırasıyla, (R= 59 kΩ, X= 62 kΩ), (R= 57 kΩ, X= 56kΩ), (R= 45.7 kΩ , X= 44 kΩ), (R=45 kΩ, X= 40.1kΩ), (R= 35.5 kΩ , X= 33 kΩ), (R= 21.4 kΩ, X= 19 kΩ),(R= 15 kΩ , X= 12.2 kΩ) ve (R= 6.3kΩ, X= 5kΩ) olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.19 Au/FePc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda ölçülen X-R karakteristikleri

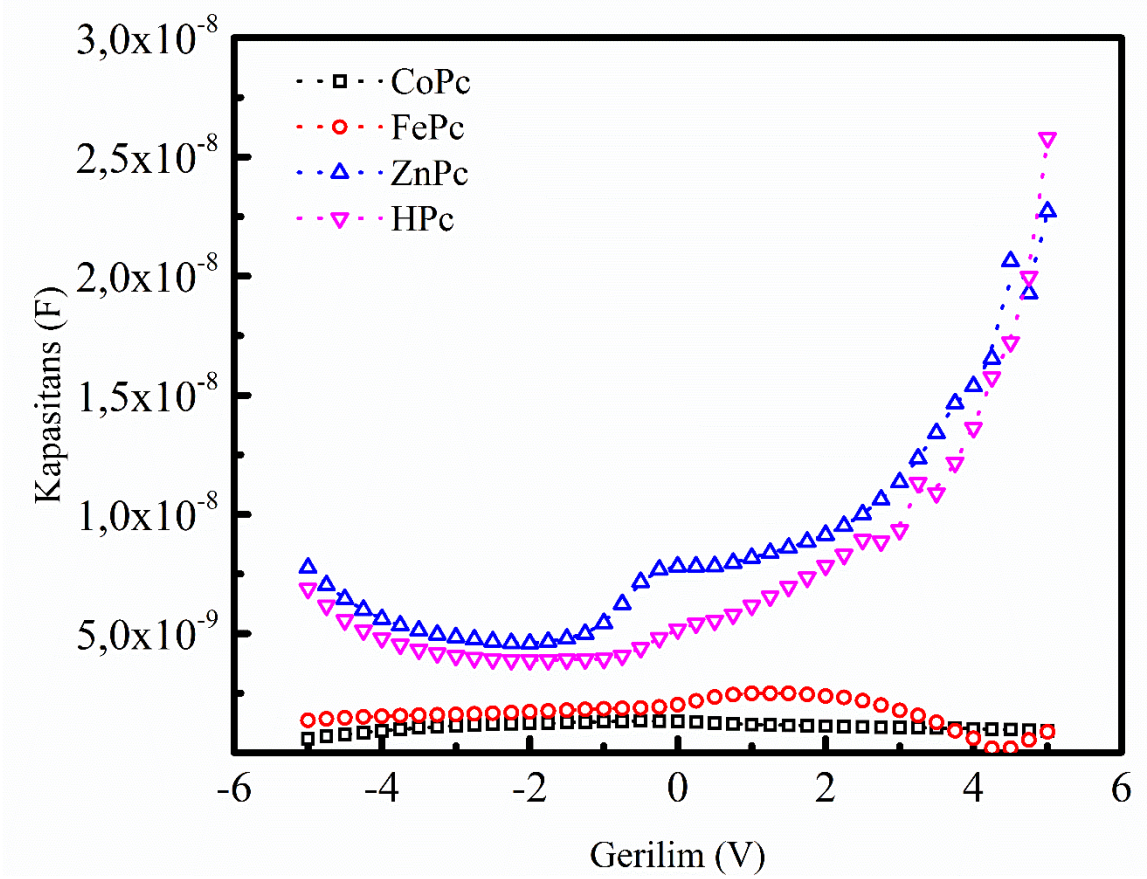
Ag/FePc/n-Si MIS yapısının farklı sıcaklıklardaki iletkenliklerinin frekansa bağlılığı Şekil 4.20'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü tüm iletkenlik piki değerleri f=3.1 MHz. olmak üzere aynı frekansında konumlanmışlardır. Bu iletkenlik piki değerleri sıcaklık sırasına göre 0.196, 0.203, 0.207, 0.211, 0.210, 0.184, 0.177S/cm şeklinde olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.20 Au/FePc/n-Si yapısının gösterilen sıcaklıklarda iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi

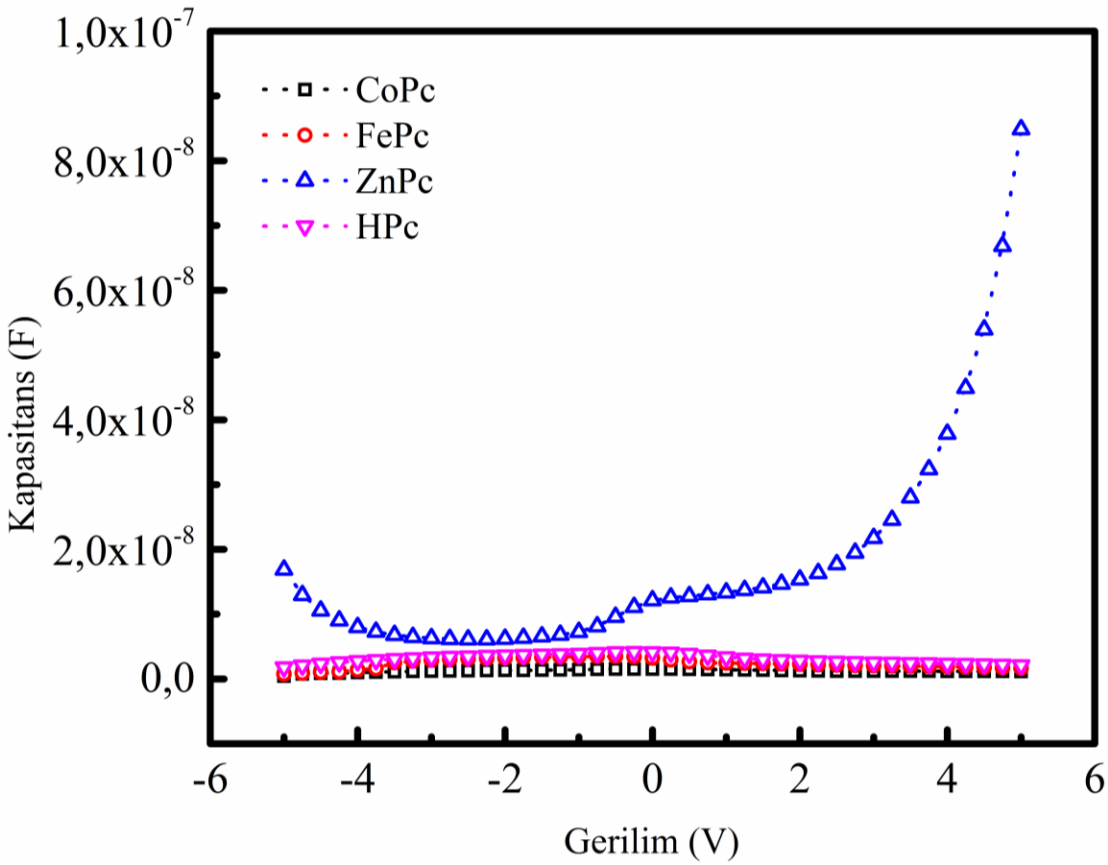
4.2.4 Frekansa ve Sıcaklığa Bağlı Kapasitans-Gerilim Karakteristikleri

Ag/Pc/Si yapısının 89 °C sıcaklık ve 1MHz frekansta C-V karakteristikleri incelemiş ve Şekil 4.21'de verilmiştir. Verilere göre ZnPc ve HPc içeren örnekler birbirlerine yakın ve diğer iki örnekten farklı karakteristikler sergilemektedirler.



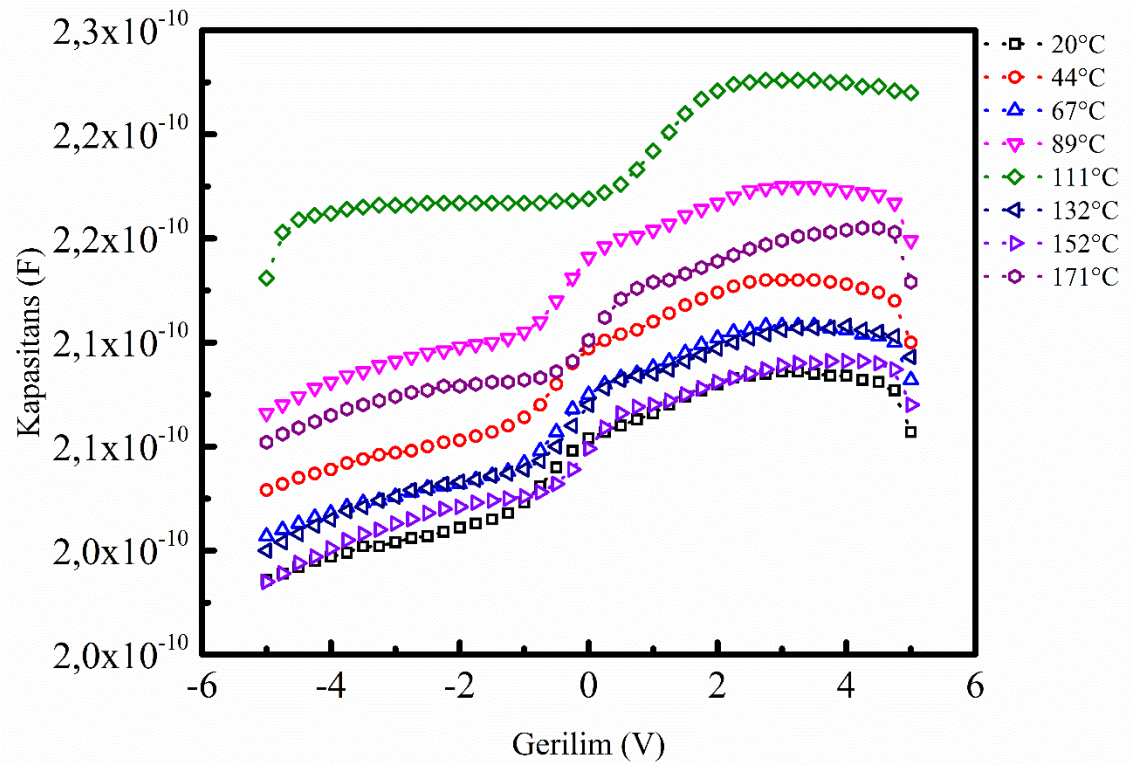
Şekil 4.21 Ag/Pc/Si yapısının C-V karakteristiği

Şekil 4.22, Au/Pc/Si yapısının yine aynı durumda C-V karakteristiğini vermektedir. Elde edilen verilere göre ZnPc arayüzeyli örnek diğer örneklerden oldukça farklı bir karakter göstermektedir.



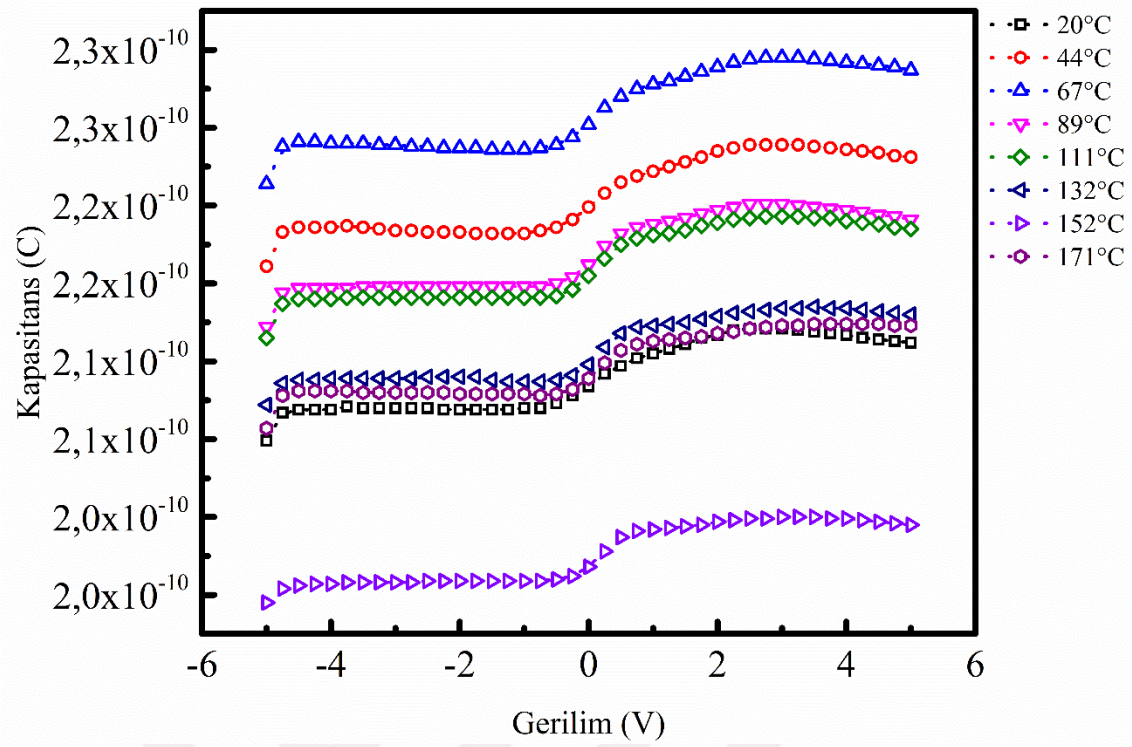
Şekil 4.22 Au/Pc/Si yapısının C-V karakteristiği

Ag/FePc/n-Si MIS yapısının 13 MHz frekansta kapasitans-gerilim grafiği Şekil 4.23'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda kapasitansın, gerilimin negatif ve pozitif olduğu bölgelerde iki ayrı lineer sayılabilecek karakteristik gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte farklı sıcaklıklar için kapasitans-gerilim karakteristikleri sıcaklık ile orantılı olarak değişen bir düzene sahip değildir.



Şekil 4.23 Ag/FePc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda C-V karakteristiği

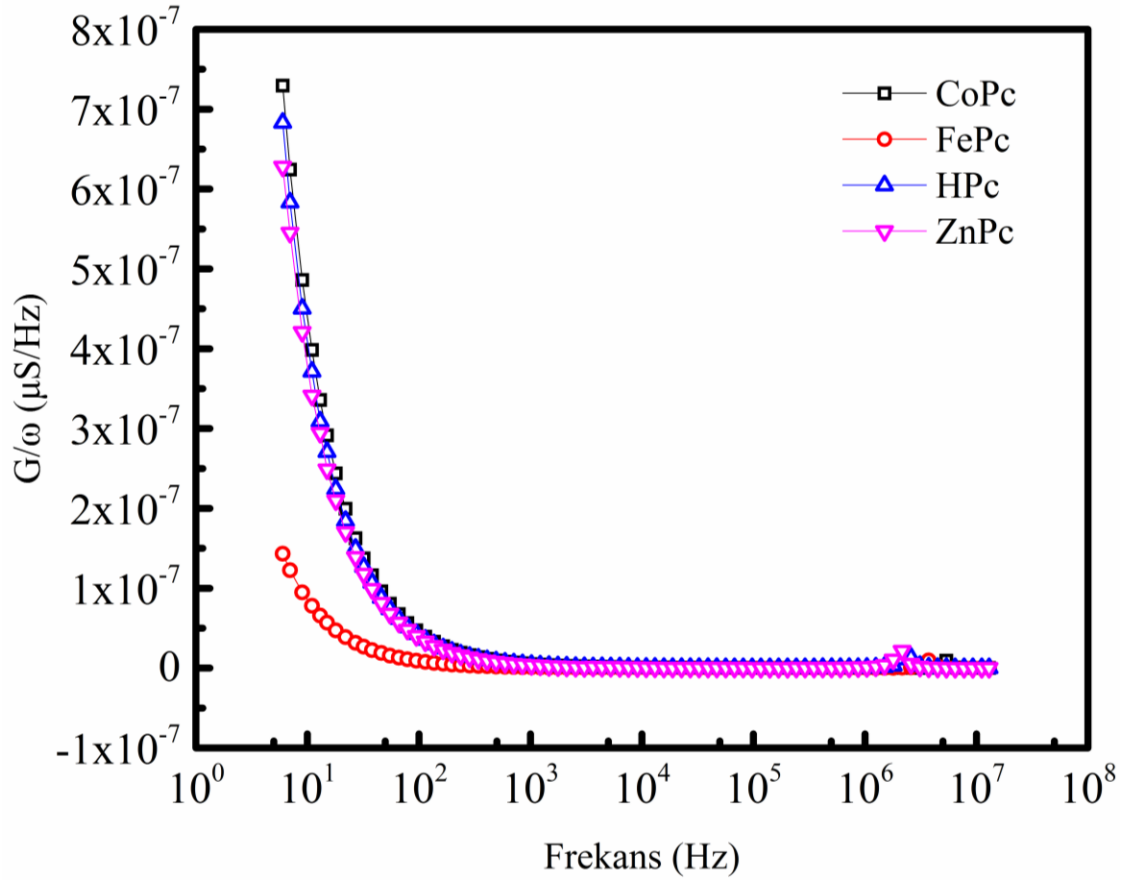
Au/FePc/n-Si MIS yapısının 13 MHz frekansta kapasitans-gerilim grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda kapasitans-gerilim karakteristikleri özdeş sayılabilecek şekilde birbirlerine benzemektelerdir. Kapasitansın, gerilimin negatif ve pozitif olduğu bölgelerde iki ayrı lineer sayılabilecek karakteristik gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte farklı sıcaklıklar için kapasitans-gerilim karakteristikleri sıcaklık ile orantılı olarak değişen bir düzene sahip değildir.



Şekil 4.24 Au/FePc/n-Si yapısının farklı sıcaklıklarda C-V karakteristiği

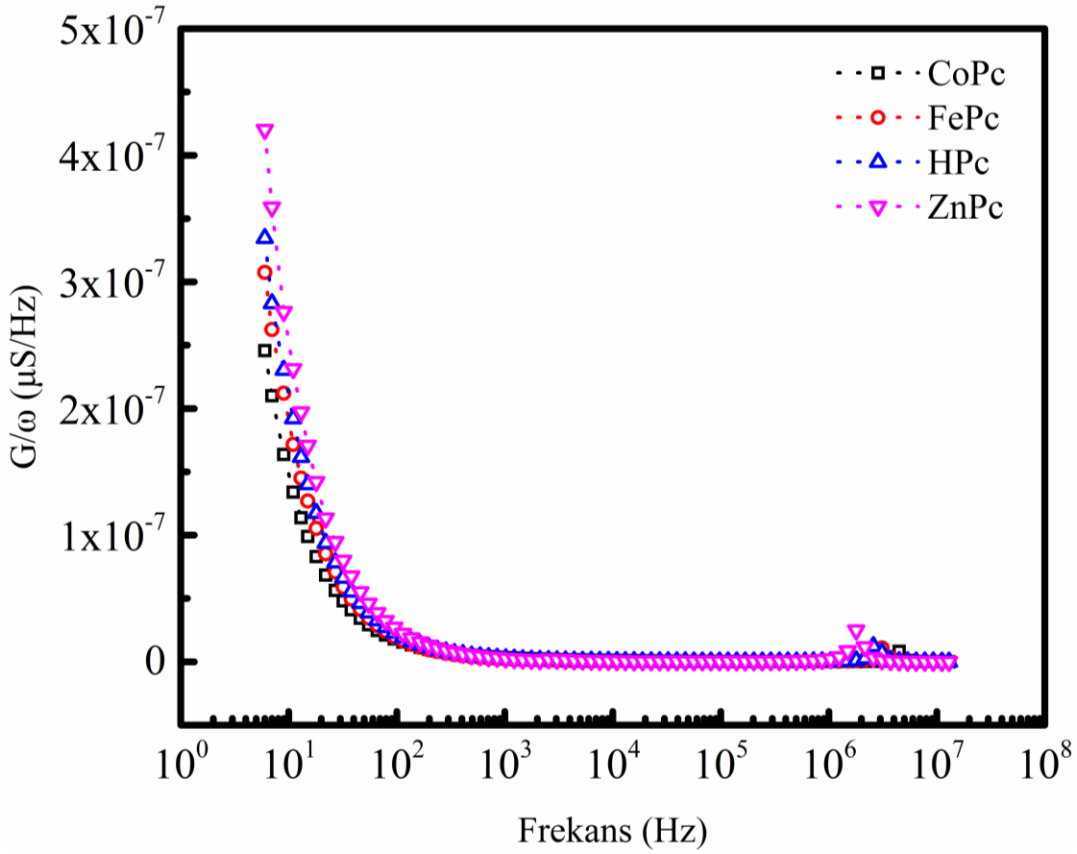
4.2.5 Farklı MIS Yapılarının Sabit Sıcaklıkta İletkenlikleri

Ag kontaklı, farklı arayüzey malzemeleriyle oluşturulan MIS yapıların iletkenlik-açısal frekans oranı değerlerinin ac frekansına göre değişimi Şekil 4.25'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre iletkenlik-açısal frekans oranı, düşük frekanslarda yüksekken frekansın artmasıyla logaritmik olarak azalmaktadır. Yüksek frekanslarda ise düşük frekanslardaki orana kıyasla çok küçük sayılabiliecek bir pik yapmaktadır. ZnPc, CoPc ve HPc dielektrik malzemesine sahip örnekler birbirlerine çok yakın özellikler gösterirken FePc yalıtkanlı örnekte G/ω oranı daha düşüktür.



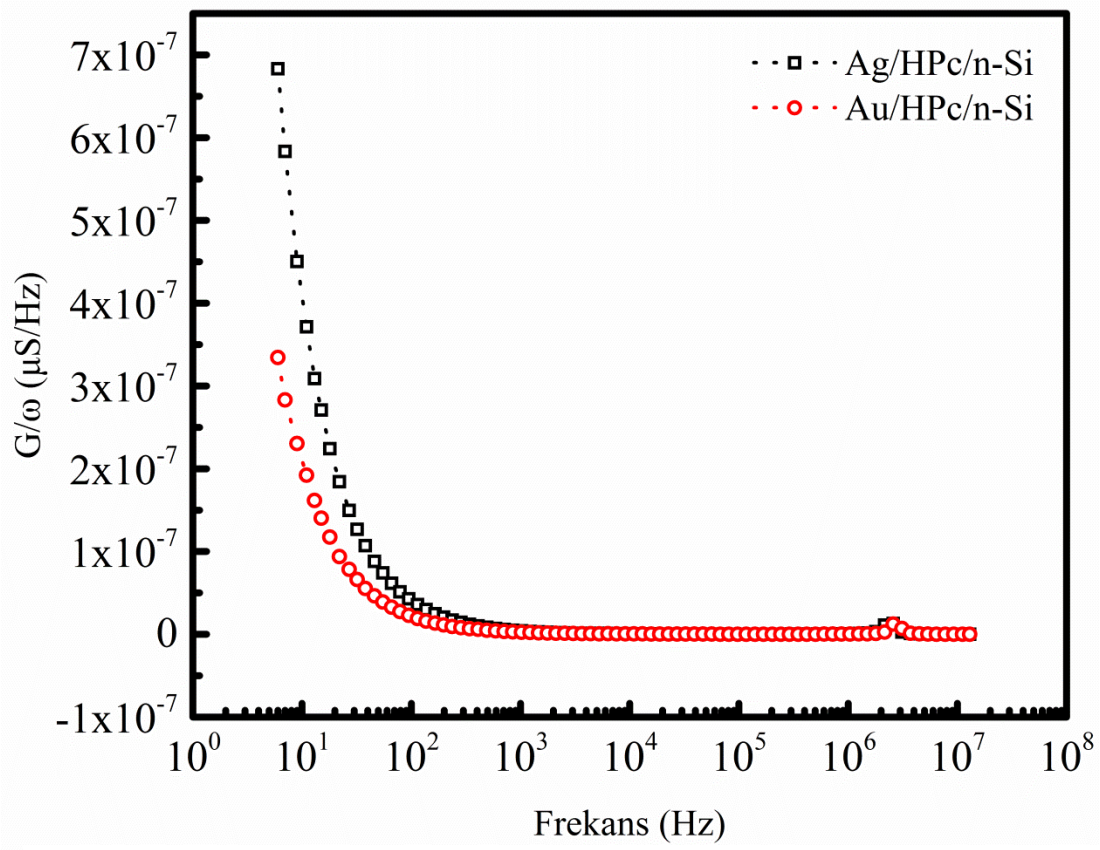
Şekil 4.25 Ag/Pc/Si Yapısının G/ω-fgrafiği

Au kontaklı, farklı arayüzey malzemeleriyle oluşturulan MIS yapıların iletkenlik-açısal frekans oranı değerlerinin ac frekansına göre değişimi Şekil 4.26'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre iletkenlik-açısal frekans oranı, düşük frekanslarda yüksekken frekansın artmasıyla logaritmik olarak azalmaktadır. Yüksek frekanslarda ise düşük frekanslardaki orana kıyasla çok küçük sayılabiliecek bir pik yapmaktadır. Örneklerin karakteristikleri ufak farklılıklara sahip olmakla birlikte genel olarak benzer özellik göstermektedir.



Şekil 4.26 Au/Pc/Si Yapısının G/ω-f grafiği

Şekil 4.27 iletkenlik-açısal frekans oranının AC gerilim frekansı ile değişimini göstermektedir. Her iki örnek de benzer şekilde 2.5MHz. frekansında G/ω değerinin maksimum olduğu bir karakter sergilemektedir. Ag kontaklı örnek için pik değeri 353mS/Hz, Au kontaklı örnek için ise 328mS/Hz'dir.



Şekil 4.27 Gümüş ve altın kontaklı MIS yapıların G/ω-f grafiği

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Metal elektrot olarak gerek Ag'nin gerekse Au'nun kullanıldığı MIS yapıların akım-gerilim karakteristiklerinin, doğrultma oranı kullanılan ftalosiyanin bileşiğinin molekül yapısına bağlı olarak değişen, doğrultucu karakterinde olduğu gözlemlenmiştir. Uygulanan gerilimin pozitif ve negatif değerleri için ölçülen I-V karakteristiklerinin birisi düşük gerilimlerde diğeride yüksek gerilimlerde olmak üzere iki farklı doğrusal bölgeden oluştuğu görülmüştür. Uygulanan gerilimin düşük değerleri için eğimi yaklaşık olarak birim olan bir doğrusal bölge gözlemlenirken gerilimin, yüksek değerleri için akımın gerilime bağlılığının $I \propto V^n$ şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen verilerin analizinden uygulanan gerilimin düşük değerleri (0-0.45 V aralığında) için yük iletiminin hoplama mekanizması sayesinde gerçekleştiğinin göstergesi olarak yorumlanmıştır. Uygulanan gerilimin yüksek değerleri için akımın gerilime bağlılığının $I \propto V^n$ şeklinde olması yapılarda yük iletiminin bulk limited modelinin öngörülerine uygun olarak gerçekleştiği şeklinde yorumlanmıştır.

Üretilen MIS yapılarını 5 Hz. ile 13 MHz. arasındaki frekans değerleri için ölçülen empedans spektrumlarının (Empedansın sanal kısmını gerçek kısmına karşı değişimi) merkezi gerçek esenin altında kalan yarım dairelerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Elde edilen empedans spektrumlarının kullanılan ftalosiyaninin molekül yapısına ve kullanılan metal elektrodun türüne oldukça bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Tüm yapılar için artan sıcaklıkla empedans spektrumunda gözlemlenen yarım dairelerin yarıçapının azaldığı görülmüştür. Elde edilen empedans spektrumunun paralel bağlanmış bir R_2 direnci ile C kapasitörüne seri bağlanmış başka bir R_1 direncinden oluşan elektriksel bir eşdeğer devre ile temsil edilebileceği şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca, gözlemlenen

empedans spektrumu yapıların elektriksel özelliklerine grain sınırlarından, arayüzey polarizasyonundan ve bulk malzeden katkılar geldiği şeklinde yorumlanmıştır. Artan sıcaklıkla yarım dairelerin yarıçaplarının küçülmesi ve merkezlerinin orijine doğru kayması Debye modeli ile açıklanamayacağı dolayısıyla, sadece tek bir durulma zamanı değil durulma zamanının dağılımı şeklinde yorumlanmıştır.

Ölçülen empedansın gerçek kısmının frekansa bağlılığının incelenmesinde spektrumun, düşük sıcaklıklarda frekanstan bağımsız bir bölge, orta frekans değerlerinde kuvvetle frekansa bağlı bir bölge ve yüksek frekanslarda yine frekanstan bağımsız bir bölge olmak üzere üç farklı bölgeden oluştuğu gözlemlenmiştir. Empedansın gerçek kısmının büyüklüğünün aynı zamanda kullanılan metal elektrodun türüne de oldukça bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Metal elektrot türüne bağlılık kullanılan metalin iş fonksiyonu ile ftalosiyanin molekülünün HOMO-LUMO seviyelerinin uyumluluğuna bağlanmıştır.

Kompleks empedansın sanal kısmının frekansa, sıcaklığa ve kullanılan metal türü ile ftalosiyanin molekülüne bağlılığının incelenmesinde ise; tüm sıcaklık, metal türü ve ftalosiyanin molekülü için sanal kısmın frekansla değişiminin belirli bir frekansta bir maksimuma sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sanal kısmın maksimum olduğu frekansın ftalosiyanin molekülüne bağlı olarak farklılıklar gösterdiği gözlemlenmiştir. Sanal kısmın maksimum olduğu frekans değereinin, genel olarak, artan sıcaklıkla yüksek frekans bölgesine doğru kaydığı görülmüştür. Maksimumun gözlemlendiği frekansın artan sıcaklıkla yüksek frekanslara doğru kayması aktif iletimin grain sınırları sayesinde gerçekleştiği şeklinde yorumlanmıştır. Empedansın sanal kısmında gözlemlenen maksimumun artan sıcaklıkla azalması, gözlemlenen maksimum ile ara yüzey malzemesinin bulk direncinin ilintili olmasına yorumlanmıştır. Bu ölçümlerde gözlemlenen bir diğer önemli husus da sanal kısmın pik'inin artan sıcaklıkla genişlemesidir. Pik'deki bu genişleme malzeme içerisinde sıcaklığa bağlı durulma mekanizmalarının varlığına yorumlanmıştır.

MIS yapılarda farklı sıcaklıklarda ve farklı sabit frekanslarda ölçülen kapasite-voltaj (C-V) karakteristiklerinde; elde edilen düşük frekans C-V eğrilerinin ideal MIS yapının düşük frekans C-V eğrisinden oldukça büyük sapmalar gösterdiği görülmüştür. Bu durum, arayüzey bölgesindeki hareketli yüklerin varlığına bağlanmıştır. Yüksek

frekanslarda gözlemlenen C-V karakteristikleinde yığılım ve tükenim durumları açık bir şekilde gözlenebilmiştir.

Üretilen yapılarda alternatif akım iletkenliğinin incelenmesinde; tüm yapılar için ölçülen ac iletkenliğin düşük frekanslar için neredeyse frekanstan bağımsız iken artan frekansla hızlı bir şekilde arttığı görülmüştür. Düşük frekanslarda gözlemlenen frekanstan bağımsız iletkenlik yapının dc iletkenliği olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Yüksek frekanslarda iletkenliğin frekansa bağlılığının ω^s şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Üretilen MIS yapılarda ac yük iletim mekanizmasının aydınlatılması amacıyla frekansın üssü olan s parametresi hesaplanmış ve tüm yapıların için s parametresinin artan sıcaklıkla azldığı görülmüştür. s parametresinin artan sıcaklıkla azalması yapılarda yük iletiminin tünellemeden daha ziyade hoplama mekanizması sayesinde gerçekleştiğinin göstergesi olarak yorumlanmıştır. Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirlen iletkenlik ölçümlerinde ac iletkenliğin özellikle düşük frekanslarda sıcaklığa daha kuvvetli bağlı olduğu gözlemlenirken yüksek frekanslarda sıcaklık bağımlılığının zayıfladığı görülmüştür.

Sonuç olarak, ftalosiyanin bileşiklerinin MIS yapılarda yalıtkan tabaka olarak oldukça büyük bir potansiyele sahip oldukları ve ftalosiyanin bileşiğinin moleküler yapısında yapılacak uygun modifikasyonlarla MIS yapıların arayüzey özelliklerinin kontrol edilebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Braun, K.F., (1874). "On the Current Conduction in Metal Sulphides", Annual Review of Physical Chemistry, 153: 556

[2] Mott, N.F., (1938). "Note on The Contact Between a Metal and An Insulator or Semiconductor", Proc. Cambridge Philos. Soc., 34(4): 568-572.

[3] Schottky, W., (1939). "Zur Halbleitertheorie der Sperrschicht- und Spitzengleichrichter", Zeitschrift. Für Physik, 113: 367-414.

[4] Rhoderick, E.H. ve Williams, R.H., (1988). Metal-Semiconductor Contacts, Second Edition, Clarendon Press, Oxford.

[5] Sze, S.M., (1981). Physics of Semiconductor Devices, Wiley, New York.

[6] Forrest, S.R., Kaplan, M.L., Schmidt, P.H., Feldmann, W.L. ve Yanowski, E.,(1982). "Organic-on-inorganic semiconductor contact barrier devices", Applied Physics Letter, 41(1): 90

[7] Antohe, S., Tomozeiu, N. ve Gogonea, S., (1991). "Properties of the Organic-on-Inorganic Semiconductor Barrier Contact Diodes In/PTCDI/p-Si and Ag/CuPc/p-Si", Physica Status Solidi a, 125(1): 397-408

[8] Yakuphanoğlu, F., Kandaz, M. ve Şenkal. B.F., (2008). "Current–voltage and capacitance–voltage characteristics of Al/p-type silicon/organic semiconductor based on phthalocyanine rectifier contact", Thin Solid Films, 516(23): 8793-8796

[9] Kim, H.J., Jung, J.H., Ham, J.H. ve Kim, T.W.,(2008). "Effect of Fullerene Concentration on Flat-Band Voltage Shift of Capacitance-Voltage Curve in Organic Memory Devices Fabricated Using Hybrid Poly(4-vinyl phenol) Active Layer Containing Fullerene", Japanese Journal of Applied Physics, 47(6): 5083–5085.

[10] Albertin, K.F. ve Pereyra, I. (2009). "Study of reactive sputtering titanium oxide for metal-oxide-semiconductor capacitors", Thin Solid Films, 517: 4548-4554.

[11] Mei, J., Lei, W., Yuhua, X. ve Jun, D.,(2010). "Electrical characteristics of MOS capacitor using amorphous Gd2O3-doped HfO2 insulator", Journal of Rare Earth, 28(3): 396.

[12] Altındal, A., Coşkun, M. ve Bekaroğlu Ö., (2012). "Dielectric, conduction and interface properties of Au/Pc/p-Si Schottky barrier diode", Synthetic Metals, 162: 477-482

[13] Canlıca, M., Coşkun, M., Altındal, A. ve Nyokong, T., (2012). "Schottky barrier diode parameters of Ag/MgPc/p-Si structure", J. Porphyrins Phthalocyanines 16: 855–860

[14] Gedikpınar, M., Çavaş, M., Zayed, A.A ve Yakuphanoğlu, F., (2013). "Electronic properties of Al/p-Si/C_{70}/Au MIS-type diode", Superlattices and Microstructures, 59: 123-132

[15] Yücedağ, İ. ve Ersöz, G., (2015). "Dielectric properties and electric modulus of Au/PPy/n-Si (MPS) type Schottky barrier diodes (SBDS) as a function of frequency and applied bias voltage", International Journal of Modern Physics B, 29(13): 1550075

[16] Schroder, D.K.,(2006). Semiconductor Material and Device Characterization, 3rd edition,IEEE Press, New Jersey.[

[17] Wu, W.-H., Tsui, B.-Y., Chen, M.-C., Hou, Y.-T., Jin, Y., Tao, H.-J., Chen, S.-C., Liang ve M.-S.,(2007). "Transient Charging and Discharging Behaviors of Border Traps in the Dual-Layer HfO2/SiO2 High- κ Gate Stack Observed by Using Low-Frequency Charge Pumping Method", IEEE Transactions on Electron Devices, 54(6): 1330-1337.

[18] Masson, P., Autran, J. ve Brini, J.,(1999). "On the tunneling component of charge pumping current in ultrathin gate oxide MOSFETs", IEEE Electron Device Letters, 20(2): 92-94.

[19] Nicollian, E.H. ve Brews, J.R.,(2003). MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology, Wiley Interscience, New York.

[20] Nicollian, E.H. ve Brews, J.R., (1982). Metal Oxide Semiconductor Physics and Technology, John Wiley & Sons, New York.

[21] Sze M.S. ve Kwog K.N., (2007). Physics of Semiconductor Devices, Third Edition, John Wiley & Sons Inc., New Jersey.

[22] Bardeen J., (1947). "Surface States and Rectification at a Metal Semi-Conductor Contact", Phys. Rev., 71: 717-727

[23] Card, H.C. ve Rhoderick, E.H., (1973). "The Effect on Interfacial Layer on Minorty Carrier Injection in Forward Biased Slicon Schottky Diodes" Solid-State Electron, 16(3): 365-374

[24] Crowell C.R. ve Sze S.M., (1966). "Current Transport in Metal-Semiconductor Barriers", Solid State Elect., 9: 1035-1048

[25] Chiu, F-.C., (2014). "A Review on Conduction Mechanisms in Dielectric Films", Advances in Materials Science and Engineering 2014: ID578168

[26] Chiu, F.C. ve Lai, C.M., (2010). "Optical and electrical characterizations of cerium oxide thin films," Journal of Physics D, 43(7): ID075104

[27] Lee, J.Y.M., Chiu, F.C. ve Juan, P.C., (2009). “The application of highdielectric-constant and ferroelectric thin filmsin integrated circuit technology” Handbook of Nanoceramics and Their Based Nanodevices, Vol. 4

[28] Simmons, J.G., (1965). “Richardson-Schottky effect in solids”, Physical Review Letters, 15(25): 967–968

[29] Angle, R.L. ve Talley, H.E., (1978). “Electrical and charge storage characteristics of the tantalum oxide-silicon dioxide device”, IEEE Transactions on Electron Devices, 25(11): 1277–1283

[30] Mott, N.F. ve Davis, E.A., (1979). Electronic Processes in Non-Crystalline Materials, Oxford University Press, Oxford.

[31] Chiu, F.-C, Lee, C.-Y. ve Pan, T.-M., (2009). “Current conduction mechanisms in Pr_2O_3/oxynitride laminated gate dielectrics,” Journal of Applied Physics, 105(7): ID 074103

[32] Linstead, R.P., (1933). Br. Assoc. Adv.Sci.Rep., 465

[33] Koç, İ., (2012). Değişik metal merkezli ftalosiyanin komplekslerinin redoks davranışlarının ve oksijen indirgenmesindeki katalitik aktivitelerinin elektroanalitik yöntemlerle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[34] Çelenk Kaya, E., (2010). Yeni Ftalosiyanin bileşiklerinin sentezi, karakterizasyonu ve fotodinamik terapi, ince film özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Arden ERKOL

Doğum Tarihi ve Yeri : 16.10.1990 İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ardenerkol@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y Lisans	Fizik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Fen-Matematik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Fen-Matematik	Özel Getronagan Ermeni Lisesi	2007

YAYINLARI

Bildiri

1. Oruç, Ç., Erkol, A., Altındal, A., “Organik Tabanlı Doğrultucu Diyotlarda İletim Mekanizmaları” Poster Bildiri, Adım Fizik Günleri V, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 21 - 23 Nisan 2016, ESKiŞEHiR