



**ZnCo₂O₄ NANO PARÇACIK KATKISININ JELATİN MOS YAPILARIN
KAPASİTİF ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ülviye Yeşim DEMİRÖLMEZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2022

ETİK BEYAN

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

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

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

Ülviye Yeşim DEMİRÖLMEZ

27/01/2022

ZnCo₂O₄ NANO PARÇACIK KATKISININ JELATİN MOS YAPILARIN KAPASİTİF ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ülviye Yeşim DEMİRÖLMEZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Bu çalışmada ZnCo₂O₄ nano parçacıkları sol jel yöntemi kullanılarak üretildi. ZnCo₂O₄ yapısı X ışını kırınım cihazı, taramalı elektron mikroskobu ile yapısal ve morfolojik karakterizasyonu yapıldı. Katkısız ve ZnCo₂O₄ ağırlıkça %1 ve %5 oranında jelatine katkı yapılarak, 100 düzleminde yönlenmiş n tipi Si kristal üzerinde döndürmeli kaplama yöntemi kullanarak katkısız ve katkılı MOS yapı Schottky diyotlar oda sıcaklığında üretildi. Üretilen MOS yapıların 1 kHz-1,5 MHz frekans aralığında, 0-2 V arası 0,2 V aralıklarla kapasite ($C-f$) ve iletkenlik ($G-f$) ölçümleri oda sıcaklığında alındı. Ayrıca diyotlar (-5V) – (+5V) aralığında, 30 kHz-1 MHz frekans arası 20 kHz-200 kHz aralıklarla kapasite ($C-V$) ve iletkenlik ($G-V$) ölçümleri alındı. Bu değerler kullanılarak seri direnç (R_s) değerleri ve düzeltilmiş kapasite, düzeltilmiş iletkenlik değerleri voltaja ve frekansa bağlı olarak hesaplandı. Elde edilen sonuçlara göre katkı oranı arttıkça kapasite ve iletkenlik değerlerinin arttığı bulundu. R_s değerlerinin genel olarak artan frekans ile azaldığı görüldü.

Bilim Kodu : 20226
Anahtar Kelimeler : Nano parçacık, ZnCo₂O₄, Jelatin, MOS yapı
Sayfa Adedi : 83
Danışman : Prof. Dr. Şükrü ÇAVDAR
İkinci Danışman : Prof. Dr. Lütü ARDA

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ZnCo_2O_4 NANO PARTICLE ADDITIVE ON
THE CAPACITIVE PROPERTIES OF GELATIN MOS STRUCTURE

(M. Sc. Thesis)

Ülviye Yeşim DEMİRÖLMEZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2022

ABSTRACT

ZnCo_2O_4 nanoparticles were synthesized using the sol gel method. Structural characterization of the ZnCo_2O_4 nanoparticles was performed using X-ray diffractometer (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). ZnCo_2O_4 was doped with pure, 1% and 5% by weight gelatin and the films were coated on the n type silicon crystal using spin coating method. Capacitance (C-f) and conductance (G-f) values of Al/Gelatin- ZnCo_2O_4 /n-Si/Al Schottky diodes were measured in the 1 kHz-1.5 MHz frequency range, with 0.2V steps in the 0-2V range, at room temperature. In addition, capacitance (C-V) and conductance (G-V) measurements were performed at room temperature, in the (-5V) – (+5V) range, with 20 kHz-200 kHz steps in the 30 kHz-1 MHz frequency range. By using these values, the series resistance (R_s) values were calculated. The corrected capacitance and corrected conductance values were determined depending on the voltage and frequency. According to the obtained results, it was found that the capacitance and conductance values increased as the doped ratio increased. It was observed that R_s values decreased with increasing frequency depending on the frequency.

Science Code : 20226

Key Words : Nano particle, ZnCo_2O_4 , Gelatin, MOS structure

Page Number : 83

Supervisor : Prof. Dr. Şükrü ÇAVDAR

Co-Supervisor : Prof. Dr. Lütfi ARDA

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca deneyimleri ile beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen, danışman hocam Prof. Dr. Şükrü ÇAVDAR'a ve ikinci danışmanım Prof. Dr. Lütfi ARDA'ya teşekkür ederim.

Değerli yorum ve önerileri ile çalışmalarına katkıları bulunan hocalarım, Prof. Dr. Nihat TUĞLUOĞLU, Prof. Dr. Haluk KORALAY, Öğr. Gör. Dr. Neslihan TURAN ve Prof. Dr. Selim ACAR'a, deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen laboratuvar arkadaşlarım Buket TURAN, Ayten ARSLAN, Arş. Gör. Pınar ORUÇ, Yusuf ÖZNAL ve Selçuk İZMİRLİ'ye ve Bahçeşehir Üniversitesi Fotonik Laboratuvarı ekibine teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde çok büyük emeği olan, her zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım annem İnci ÖRGE'ye, sevgili ablalarım İpek ÖZKAN ve Pınar GÜNEŞ'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 05/2020-20 nolu proje ile Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER	5
2.1. Nanoteknoloji ve Nanoyapılar	5
2.1.1. Sol jel üretim yöntemi.....	7
2.1.2. Döndürmeli kaplama yöntemi ile ince film üretimi.....	8
2.2. Metal – Oksit – Yarıiletken Yapılar.....	10
2.2.1. İdeal MOS yapısı	14
2.2.2. Gerçek MOS yapısı.....	19
2.2.3. MOS yapılarda arayüzey durumları	20
2.3. Çinko Kobalt Oksit	25
2.4. Jelatin	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Analiz Yöntemleri.....	29
3.1.1. X-Işını kırınım tekniği	29
3.1.2. Taramalı elektron mikroskobu	29
3.1.3. Elektriksel karakterizasyon.....	30

	Sayfa
3.2. Malzemelerin Üretim Süreci	31
3.2.1. ZnCo ₂ O ₄ nano parçacıkların üretimi	31
3.2.2. Jelatin çözeltisinin hazırlanması	33
3.2.3. N-tipi silisyum kristallerin hazırlanması	33
3.2.4. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların hazırlanması	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	35
4.1. ZnCo ₂ O ₄ Nano parçacıklarının XRD Analizleri	35
4.2. ZnCo ₂ O ₄ Nano Parçacıklarının SEM Analizleri	38
4.3. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu	38
4.3.1. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı frekanslarda kapasitans-voltaj karakteristikleri	39
4.3.2. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların farklı frekanslarda iletkenlik-voltaj karakteristikleri	42
4.3.3. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı voltajlarda kapasitans-frekans karakteristikleri	46
4.3.4. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı voltajlarda iletkenlik- frekans karakteristikleri	49
4.3.5. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı frekanslarda seri direnc-voltaj karakteristikleri	52
4.3.6. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı voltajlarda seri direnc-frekans karakteristikleri	55
4.3.7. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının voltaja bağlı grafiklerden elde edilen seri direnc-frekans karakteristikleri	59
4.3.8. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı frekanslarda düzeltilmiş kapasitans-voltaj karakteristikleri	63
4.3.9. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı frekanslarda düzeltilmiş iletkenlik-voltaj karakteristikleri	66
4.3.10. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının farklı frekanslarda arayüzey durumlarının hesaplanması	69
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	77

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ	83
----------------	----

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının XRD analizleri.....	37
Çizelge 4.2. JZ-0 diyotu için Hill- Coleman tekniğinden elde edilen frekansa bağlı elektriksel parametreler.	70
Çizelge 4.3. JZ-1 diyotu için Hill- Coleman tekniğinden elde edilen frekansa bağlı elektriksel parametreler.	70
Çizelge 4.4. JZ-5 diyotu için Hill- Coleman tekniğinden elde edilen frekansa bağlı elektriksel parametreler.	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Nanoyapıların Üretim Yöntemleri.....	6
Şekil 2.2. Sol jel yöntemi üretim basamakları.	7
Şekil 2.3. İnce film üretim teknikleri ve gruplandırılması.....	9
Şekil 2.4. Döndürmeli kaplama tekniği ile ince film üretimi	9
Şekil 2.5. Metal-okсит-yarıiletken yapının geometrik gösterimi	10
Şekil 2.6. Metal-yarıiletken kontakların iş fonksiyonlarına bağlılığı	11
Şekil 2.7. Metal-yarıiletken n-tipi Schottky kontaklar için kontakdan önce band diyagramı.....	12
Şekil 2.8. Metal-yarıiletken n-tipi Schottky kontaklar için kontakdan sonra band diyagramı.....	12
Şekil 2.9. Metal-yarıiletken n-tipi omik kontaklar için kontakdan önce band diyagramı.....	13
Şekil 2.10. Metal-yarıiletken n-tipi omik kontaklar için kontakdan sonra band diyagramları yer almaktadır.	14
Şekil 2.11. n-tipi ideal MOS yapısının band diyagramı.....	15
Şekil 2.12. MOS kapasitansının şematik gösterimi	16
Şekil 2.13. n-tipi MOS yapısının yığılım band diyagramı.....	17
Şekil 2.14. n-tipi MOS yapısının tükenim band diyagramı	18
Şekil 2.15. n-tipi MOS yapısının tersinim band diyagramı	19
Şekil 2.16. Gerçek MOS yapısı ve yapıda bulunan yükler	19
Şekil 2.17. Arayüzey tuzak etkisinin eş değer devresi.....	22
Şekil 2.18. Arayüzey tuzak etkisinin düzeltilmiş değerlere atfedilen eş değer devresi ..	23
Şekil 3.1. Al/Jelatin-ZnCo ₂ O ₄ /n-Si/Al Schottky diyotlarının hazırlık aşaması	31
Şekil 3.2. ZnCo ₂ O ₄ nano parçacıklar sol jel üretim yöntemi kullanılarak sentezlenme aşamaları.....	32
Şekil 4.1. ZnCo ₂ O ₄ nano parçacıklarının XRD deseni	36
Şekil 4.2. (a) 50k büyütmedeki, (b) 200k büyütmedeki ZnCo ₂ O ₄ nano parçacıklarının SEM görüntüleri	38

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Jz-0 Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj grafiği.	40
Şekil 4.4. JZ-1 Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj grafiği.	40
Şekil 4.5. JZ-5 Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj grafiği.	41
Şekil 4.6. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1MHz'deki kapasitans-voltaj grafiği.	41
Şekil 4.7. JZ-0 Schottky diyotunun frekansa bağlı iletkenlik-voltaj grafiği.	44
Şekil 4.8. JZ-1 Schottky diyotunun frekansa bağlı iletkenlik-voltaj grafiği.	44
Şekil 4.9. JZ-5 Schottky diyotunun frekansa bağlı iletkenlik-voltaj grafiği.	45
Şekil 4.10. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının 1MHz'deki iletkenlik-voltaj grafiği.	45
Şekil 4.11. JZ-0 Schottky diyotunun voltaja bağlı kapasitans-frekans grafiği.	47
Şekil 4.12. JZ-1 Schottky diyotunun voltaja bağlı kapasitans-frekans grafiği.	47
Şekil 4.13. JZ-5 Schottky diyotunun voltaja bağlı kapasitans-frekans grafiği.	48
Şekil 4.14. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 0V da kapasitans-frekans grafiği.	48
Şekil 4.15. JZ-0 Schottky diyotunun voltaja bağlı İletkenlik-frekans grafiği.	50
Şekil 4.16. JZ-1 Schottky diyotunun voltaja bağlı İletkenlik-frekans grafiği.	50
Şekil 4.17. JZ-5 Schottky diyotunun voltaja bağlı İletkenlik-frekans grafiği.	51
Şekil 4.18. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının 0V da iletkenlik-frekans grafiği.	51
Şekil 4.19. JZ-0 Schottky diyotunun frekansa bağlı seri direnç-voltaj grafiği.	53
Şekil 4.20. JZ-1 Schottky diyotunun frekansa bağlı seri direnç-voltaj grafiği.	54
Şekil 4.21. JZ-5 Schottky diyotunun frekansa bağlı seri direnç-voltaj grafiği.	54
Şekil 4.22. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1 MHz'deki seri direnç-voltaj grafiği.	55
Şekil 4. 23. JZ-0 Schottky diyotunun $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan direnç-frekans grafiği.	57
Şekil 4. 24. JZ-1 Schottky diyotunun $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan direnç-frekans grafiği.	57
Şekil 4. 25. JZ-5 Schottky diyotunun $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan direnç-frekans grafiği.	58

Şekil	Sayfa
Şekil 4.26. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 0 V'daki $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.	58
Şekil 4.27. JZ-0 Schottky diyotunun $C-G-V$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.	60
Şekil 4.28. JZ-1 Schottky diyotunun $C-G-V$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.	60
Şekil 4.29. JZ-5 Schottky diyotunun $C-G-V$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.	61
Şekil 4.30. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotunun $C-G-V$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.	61
Şekil 4.31. JZ-0 Schottky diyotunun düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği.	64
Şekil 4.32. JZ-1 Schottky diyotunun düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği.	64
Şekil 4.33. JZ-5 Schottky diyotunun düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği.	65
Şekil 4.34. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotunun kapasitans ve iletkenlik değerlerinden hesaplanan düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği.	65
Şekil 4.35. JZ-0 Schottky düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği.	67
Şekil 4.36. JZ-1 Schottky diyotunun düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği.	67
Şekil 4.37. JZ-5 Schottky diyotunun düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği.	68
Şekil 4.38. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1MHz'deki düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği.	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Rigaku MiniFlex II marka XRD analiz cihazı	29
Resim 3.2. SEM (Hitachi SU5000) marka SEM cihazı.....	30
Resim 3.3. Keysight E4990A Empedans analizör cihazı	30
Resim 3.4. (a) Yağ banyosu sistemi, (b) buharlaştıktan sonra $ZnCo_2O_4$, (c) agat havanda dövüldükten sonra $ZnCo_2O$ nano parçacıkların resmi.....	33

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A_{ox}	Oksit tabakanın alanı
C	Kapasitans
C_c	Düzeltilmiş kapasitans
C_m	Ölçülen kapasitans
C_{ox}	Oksit kapasitansı
C_p	Paralel kapasitans
C_s	Oksit tükenim kapasitansı
C_{sc}	Uzay yükü kapasitansı
C_{ss}	Arayüzey durum kapasitansı
d_{ox}	Oksit tabakanın kalınlığı
E_c	İletkenlik Bandı
E_f	Fermi enerjisi
E_g	Yasak enerji aralığı
E_i	İletim Bandı
E_v	Değerlik Bandı
G	İletkenlik
G_c	Düzeltilmiş İletkenlik
G_m	Ölçülen iletkenlik
G_p	Paralel iletkenlik
N_{ss}	Arayüzey durum yoğunluğu
Q_{sc}	Uzay yükü
Y	Admittans
Z	Empedans
ϵ_{ox}	Oksit tabakanın dielektrik sabiti
Φ_m	Metal iş fonksiyonu
Φ_s	Yarıiletken iş fonksiyonu
τ	Arayüzey tuzakların ömrü

Kısaltmalar**Açıklamalar****AFM**

Atomik kuvvet mikroskobu

CVD

Kimyasal buhar biriktirme

MIS

Metal-Yalıtkan-Yarıiletken

MOS

Metal-Oksit-Yarıiletken

MS

Metal-Yarıiletken

PVD

Fiziksel buhar biriktirme

SEM

Taramalı elektron mikroskobu

STM

Taramalı tünelleme mikroskobu

XRD

X-Işını difraksiyonu

1. GİRİŞ

Nanoteknolojinin son zamanlarda popüler bir terim haline gelmesi ile birlikte çok küçük boyutlarda çalışılan bu alan için birçok araştırmanın önü açılmıştır. Günümüzde metrenin milyarda biri boyutlarında malzemenin üretilebilmesi ile birlikte, bu boyutlardaki yapıların işlevsel olarak tasarlanması teknoloji adına çok büyük gelişme olarak tanımlanabilir. (Erkoç, 2007; Hulla ve diğerleri, 2015; Pul, 2019; Sanders, 2018; Suryanarayana, 2001)

Nanoteknoloji alanında en çok çalışılan konulardan biri yarıiletkenler ve yarıiletken ince filmlerin endüstrideki uygulamalarıdır. Günümüzde özellikle elektronik endüstrisinin temelini çok küçük boyutlardaki elektronik ve optoelektronik cihazlar oluşturmaktadır. Bu cihazların performansı ve güvenilirliği açısından elektriksel özelliklerinin ve parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle günümüzde birçok araştırma metal-yarıiletken (MS) yapıların birçok parametrede incelendiğini göstermektedir. MS yapılar, metal ve yarıiletkenin belirli bir sıcaklık ve basınç şartları ile kontak oluşturulmasıdır. MS yapılar incelendiğinde, metal ve yarıiletken teması yani kontak oluşturulması halinde, aralarında oluşan elektron transferi metal-yarıiletken arayüzeyinde potansiyel bir bariyer oluşumuna sebep olur. Bu bariyer hem iletim hem de kapasitans davranışlarını kontrol eder (Aydoğan, 2015; Sze ve Lee, 2012).

MS sistemler üzerine yapılan ilk çalışmalar Braun'un 1874 yılında nokta kontağın toplam direncine uygulanan voltajın polaritesi ve yüzeyin koşullarına bağımlılığı çalışmaları üzerine başlamıştır. Bu çalışmalar 1900'lü yıllarda pratiğe dökülerek uygulamalarda yerini aldı. Wilson 30'lu yılların başında katının bant teorisine dayanan "elektronik yarı-iletkenler teorisi" çalışmasıyla yarıiletkenlerin taşıyıcı teorisini MS kontaklara uygulayarak bu konudaki çalışmaları genişletmiştir. Bu çalışmalardan yola çıkarak 1938 yılında Mott, Mott bariyeri olarak bilinen MS kontaklar için daha uygun bir model geliştirmiştir. Schottky ve arkadaşları, Mott'un teorisini geliştirerek, MS kontaklarda diyot karakteristiklerini incelemek adına Schottky bariyer modelini geliştirmiştir (Rhoderick ve Williams, 1988; Sharma, 1984).

MS yapıların arayüzey tabakalarında yapay ya da doğal olarak oksidasyon oluşumu, metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) ve metal-oksit-yalıtkan (MOS) yapıların elde edilmesini sağlamaktadır. MS yapılarda oluşan bu tabakanın kalınlığı 100Å'dan büyük ise MOS yapı,

100Å'dan küçük ise MIS yapı olarak adlandırılmaktadır. Bu yapılar, yarıiletkenin tipine (n-tipi ve p-tipi) veya metalin özelliklerine göre, metal ve yarıiletken arasındaki potansiyel engel oluşumunu etkilemektedir.

MS yapılar da oksit yani yarıiletken-metal arasında bulunun tabaka elektriksel karakteristikler için oldukça önemlidir. Bu tabaka arayüzey olarak adlandırılmaktadır. Bu yapılar da yapay olarak oluşturulacak arayüzey tabakasının diyot yapısında birçok parametrenin etkilenmesini sağlayacağı gibi aynı zamanda arayüzey malzemesinin kalınlığı ve konsantrasyonunda oluşacak değişiklikler ise yapının dielektrik, kapasite gibi elektriksel davranışları etkileyecektir. Yapay olarak oluşturulan arayüzey tabakası farklı yöntemlerde üretilebilir. İncefilm şeklinde oluşturulan arayüzey tabakası kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve sol jel gibi çeşitli yöntemlerle üretilmektedir. (Papadopoulos, 2014; Sharma, 1984). İnorganik ve organik bileşikler bu yöntemler kullanılarak arayüzey tabakası olarak üretilmektedir. Arayüzey tabakası olarak pentasen (Kacus ve diğerleri, 2020), koronen (Akın ve diğerleri, 2020), bitiyofen (BP2T) (Wang ve diğerleri, 2006) gibi organik yapılar ve TiO_2 (Wei ve diğerleri, 2013), ZnO (Wood ve diğerleri, 2021) ve SiO_2 (Kwa ve diğerleri, 2003) gibi inorganik yapılar kullanılmaktadır. Ayrıca hetero yapı olarak birçok organik-inorganik bileşen, katkılı ya da katmanlı şekilde arayüzey tabakası olarak çalışılmaktadır (Saha ve diğerleri, 2019; Kaplan ve diğerleri, 2021)

Arayüzey tabakası olarak kullanılan jelatin, organik doğal bir proteindir. Jelatinin yapısındaki amino asitlerin enerji bant aralığı değerlerinin 5-8 eV aralığında bulunması jelatinin yalıtkan bir arayüzey tabakası olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada jelatinin arayüzey tabakası olarak tercih edilmesinin sebebi kolay erişilebilirliği, üretim kolaylığı, düşük maliyetli olması ve yalıtkan organik polimer olmasıdır (İbrahim ve diğerleri, 2011; Ramos ve diğerleri). Arayüzey tabakası olarak seçilen jelatine $ZnCo_2O_4$ nano parçacık katkısı yapılmıştır. $ZnCo_2O_4$ çeşitli morfolojik yapılar da, kolay yöntemlerle sentezlenebilen metal oksit yapısıdır. Yapılan çalışmalara göre $ZnCo_2O_4$ iyi bir fotokataliz, süper kapasitör, gaz sensörü ve doğrultucu diyot davranışı gösteren fotovoltaiik uygulamalarda kullanılan oldukça başarılı bir malzemedir. Jelatine katkılanan yapının $ZnCo_2O_4$ seçilmesinin sebebi oluşturulan MOS yapıda arayüzey tabakasının elektriksel davranışlarına etkilerini incelemek için kolay üretimi, elektriksel özellikleri ve sık kullanımı açısından arayüzey tabakasının elektriksel davranışlarındaki etkiyi incelemek için en ideal

yapılardan biri olmasıdır (H. Chen ve diğerleri, 2020; Guo ve diğerleri, 2014; Kaneti ve diğerleri, 2019; Turan, 2021).

Bu tez çalışmasında arayüzey tabakası olarak kullanılan jelatine sol jel yöntemi ile üretilen ZnCo_2O_4 nano parçacık katkısının etkileri incelenmiştir. Katkısız ve katkılı olarak üretilen Al/Jelatin- ZnCo_2O_4 /n-Si/Al Schottky diyotların voltaja ve frekansa bağlı kapasitans ve iletkenlik ölçümlerinden faydalanılarak seri direnç, düzeltilmiş kapasitans, düzeltilmiş iletkenlik ve arayüzey durumları gibi parametreler hesaplanmıştır. Bu ölçüm ve hesaplar ile, üretilen diyotlara ZnCo_2O_4 nano parçacık katkısının elektriksel parametrelerdeki etkileri araştırılmıştır. Sol jel yöntemi ile üretilen Al/Jelatin- ZnCo_2O_4 /n-Si/Al Schottky diyotları saf jelatin diyot, %1 ZnCo_2O_4 katkılı jelatin diyot ve %5 ZnCo_2O_4 katkılı jelatin diyot sırası ile JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 olacak şekilde isimlendirilmiştir.

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm bu çalışmanın içeriği ve amacı hakkında bilgi içermektedir. İkinci bölüm nanoteknoloji, nanoyapılar ve MOS yapılar hakkında teorik bilgileri içermektedir. Üçüncü bölümde sol jel yöntemi ile üretilen ZnCo_2O_4 nanoyapının sentezi, JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının üretimi ve ölçüm sistemi hakkında bilgi vermektedir. Dördüncü bölümde ölçüm değerleri ve hesaplanan parametrelerin grafikleri ve grafiklerin yorumları yer almaktadır. Beşinci bölümde ise deneysel sonuçlar özetlenerek elde edilen sonuçların verileri üzerine tartışılmaktadır.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Nanoteknoloji ve Nanoyapılar

En az bir boyutu 100 nm nin altında olan maddeler nano parçacık olarak tanımlanırken 1D, 2D ve 3D boyutlarının nano ölçekte incelenmesi ise nanoyapılar olarak tanımlanmaktadır. Nanoteknoloji sadece metrenin milyarda biri boyutlarında malzemeler üretmek değil aynı zamanda üretilen bu yapıların işlevsel olarak tasarlanabilmesini sağlayan bir teknoloji olarak düşünülmektedir. Nanoteknolojinin diğer teknolojilerden farklı olmasının ve ön plana çıkmasının en büyük sebebi ise moleküler ve atomik boyuttaki hassasiyettir (Baykara, 2016).

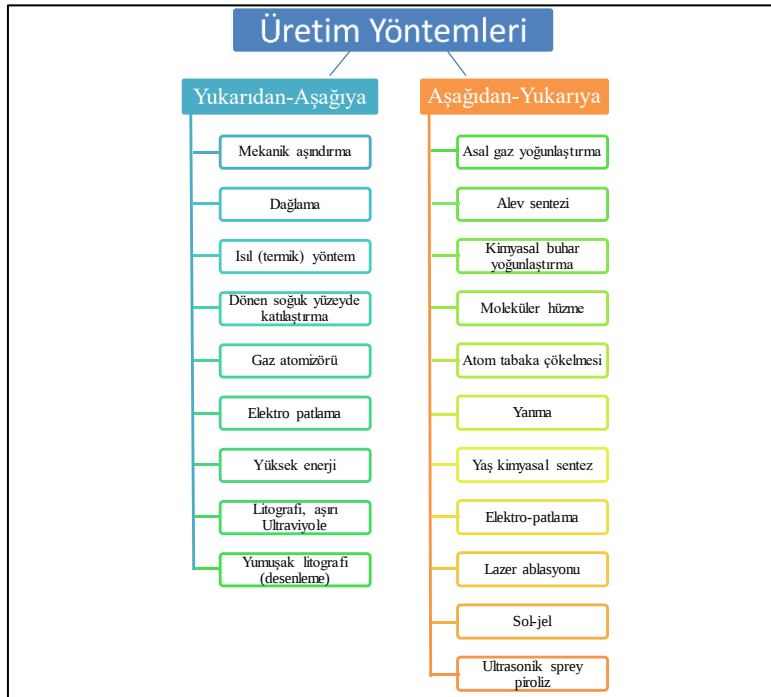
Amerikan Fizik Derneğinin 1959 yılında Caltech'teki toplantısında Fizik Nobel ödüllü Richard Feynman'ın "Aşağıda daha çok yer var" adlı konuşması ile maddeyi atom seviyesinde kontrol etmenin önemini vurgulayarak modern nanoteknolojinin ilk adımını atmıştır (Hulla ve diğerleri, 2015). R. Feynman'ın konuşmasından yaklaşık 15 sene sonra "Nanoteknoloji" terimi ilk kez Norio Taniguchi tarafından 1940-1970 yılları arasında yaptığı çalışmalar sonucu 1974 yılında "Nanoteknolojinin temel konsepti üzerine" makalesinde kullanılmıştır (Sanders, 2018).

Nanoteknoloji alanında 80'li ve 90'lı yıllarda yapılan birçok araştırma ve keşifle beraber R. Feynman'ın ön gördüğü fikirler gerçekleşmeye başlamıştır. Nanoteknoloji ve nanobilimin gelişimi, özellikle 1981 yılında G. K. Binning ve H. Rohrer'in atomik kuvvet mikroskopunun (AFM) öncüsü olarak bilinen taramalı tünelleme mikroskopunun (STM) icadı, 1985'te R. Curl Jr., H. Kroto, R. Smalley'in günümüzde en iyi bilinen fulleren türlerinden biri olan Karbon-60'nın keşfi ve 1986 yılında G. K. Binning, C. F. Quate C. Gerber'in AFM'yi icat etmesi ile devam etmiştir (Erkoç, 2007). Iijima'nın 1991 yılındaki makalesinde "iğne benzeri" olarak adlandırdığı grafen katmanlarından oluşan çok duvarlı karbon nanotüplerin keşfi ile nanoteknoloji alanında büyük bir adım atılmasını sağlamıştır (İşcan, 2009; Pul, 2019).

Yapılan çalışmalar ve ortaya atılan fikirler, E. Drexler tarafından 1986 yılında "Motorların yaratılışı: Nanoteknolojinin Yaklaşan Çağı" kitabı ile geliştirilmiş, 2000'li yıllarda da devam eden çalışmalar ile birlikte malzeme ve imalat, bilgisayar teknolojisi, havacılık ve uzay,

sağlık, gıda ve biyoteknoloji alanlarında büyük ilerleme kaydedilmiştir (Suryanarayana, 2001).

Nanoyapılar fiziksel, kimyasal veya mekanik süreçler içeren yukarıdan-aşağıya ve aşağıdan-yukarıya olmak üzere iki yaklaşım ile üretilir. Yukarıdan-aşağıya yaklaşım yapılan işlemler sonucu mikron seviyesi gibi daha büyük parçacıklardan nano parçacıkların oluşumu sürecidir. Aşağıdan-yukarıya yaklaşımda ise atom veya molekül boyutundan itibaren büyütülerek nano parçacıkların oluşumu sürecidir (Puers ve diğerleri, 2017). Bu yaklaşımlardan mekanik aşındırma (Suryanarayana, 2001), öğütme (Föll ve diğerleri, 2002), litografi (Venugopal ve Kim, 2013), asal gaz yoğunlaştırma (Turker, 2004), ultrasonik sprey piroliz (Li ve diğerleri, 2004) ve sol jel (Hench ve West, 1990) gibi yöntemler sıkça kullanılmaktadır. Şekil 2.1.'de kullanılan üretim yöntemlerinden bazıları verilmiştir (Ates ve Bahceci, 2015).



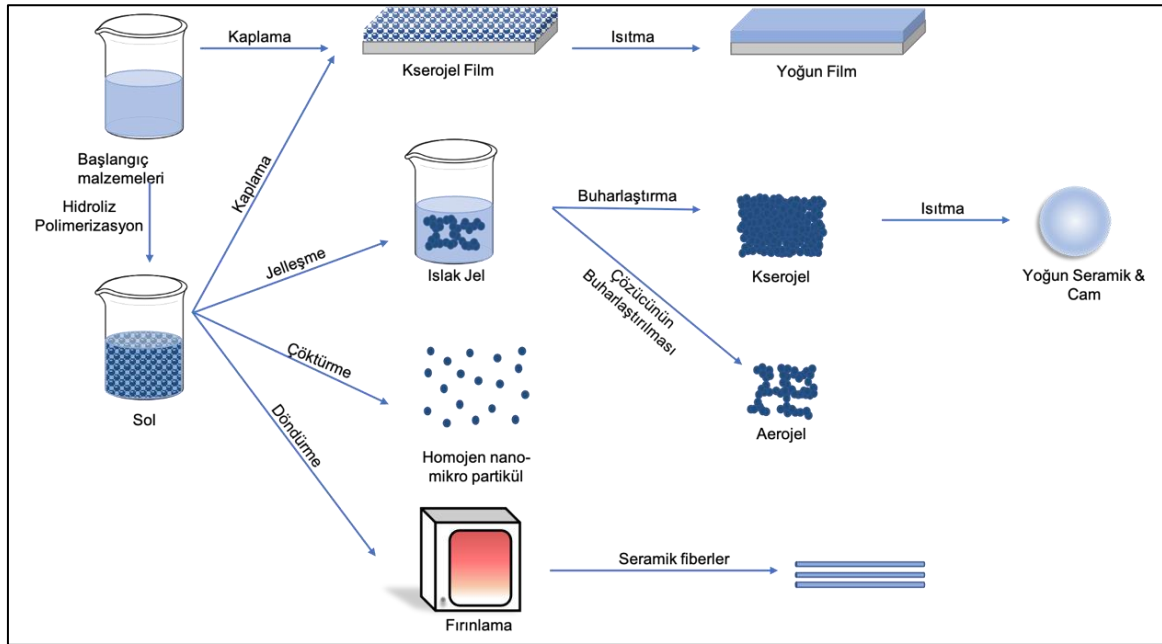
Şekil 2.1. Nanoyapıların üretim yöntemleri.

Bu tez çalışmasında sol jel üretim yöntemi kullanılmıştır. Sol jel üretim yöntemi ile hem nanoyapılar hem de ince filmler üretilmektedir. Sol jel üretim yöntemi çeşitli şekil ve boyutlarda nano parçacık ve ince film üretimi sağlar. Ayrıca diğer üretim yöntemlerine göre daha düşük maliyette ve kolay üretimi açısından tercih edilen bir yöntemdir.

2.1.1. Sol jel üretim yöntemi

Sol jel üretim yöntemi, inorganik polimerizasyon işlemi ile gözenekli jellerin cam ve seramik gibi malzemelerin üretiminde nano mikro parçacıkların, liflerin şekillendirilmesini sağlayan bir kimyasal üretim yöntemidir (Sumio, 2005). 1-100 nm çapındaki katı parçacıklardan oluşan kollodial yapılar sıvı içerisinde dağılımı ile sol dediğimiz yapıları oluşturmaktadır. Nano boyutlarda gözeneklerin, uzunluk olarak mikro boyuttan büyük olan polimerik bir zincir gibi birbirlerine bağlanması ile oluşturduğu sert ağ ise jel dediğimiz yapıyı oluşturmaktadır.

Hazırlanan ilk sollar 1800'lü yılların ortasında Faraday tarafından altının sentezlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Ebelmen ise 1846'da alümina, zirkonya ve tungsten oksitler gibi aerogellerin ve silika jellerin sentezlenmesini sağlamıştır. 1900'lü yılların sonlarında Tohge ve arkadaşları tarafından ilk borat jel sentezlenmiştir (Faraday, 1857; Tohge ve diğerleri, 1984). Artan çalışmalarla birlikte birçok teknik geliştirilmiş jellerin ağ yapısı, oluşumu ve jelleşme kinetiğinin temelleri atılmıştır. Jeller ve kolloidlere artan ilgi ve yeni sol jel prosesleri ile günümüzde yüksek saflıkta nano parçacıklar, nükleer yakıtlar, elektronik cihazlarda kullanılan malzemeler sol jel yöntemi ile üretilebilmektedir (Hench ve West, 1990). Sol jel yöntemi ile üretim süreci Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Sol jel yöntemi üretim basamakları.

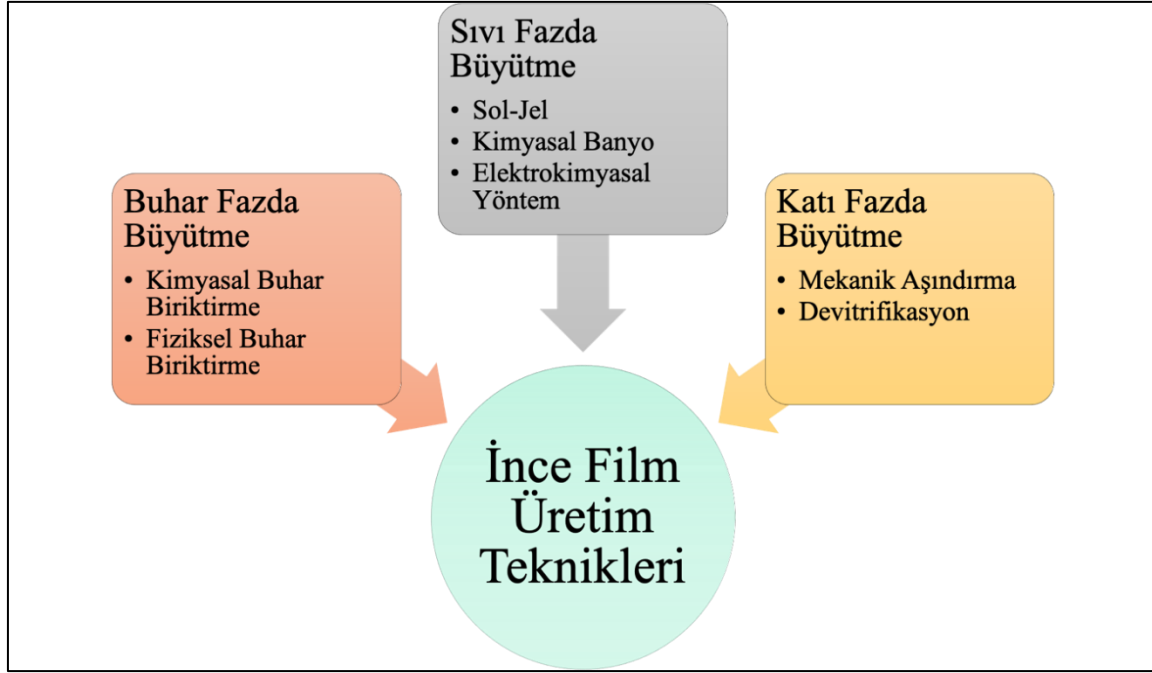
Bu yöntem kullanılarak mikro veya nano yapılı toz örnekler veya kaplama teknikleri kullanılarak ince film üretmek mümkündür. Üretim sürecinde sol oluşturmak amacıyla başlangıç malzemeleri hidroliz ve polimerizasyon işleminden geçirilir ve oluşan sol, jel hale gelebilmesi için bir dizi reaksiyondan geçer. Bu jelleşme sürecinde ıslak jel elde edilir. Daha sonra çözücünün ortamdan uzaklaştırılması ve kurutulması sonucunda jel yapı oluşur. Kurutma işleminden sonra yapı ısıtılarak tabi tutularak yoğun seramik yapı elde edilir. Sol jel üretim yöntemi nano parçacık üretimi dışında aynı zamanda iyi bir ince film üretim yöntemidir. Homojen olarak hazırlanan jel yapı püskürtme, daldırma veya döndürme teknikleri ile ince film olarak kaplanabilir (Brinker ve Scherer, 1990).

2.1.2. Döndürmeli kaplama yöntemi ile ince film üretimi

İnce film üretimi 1940'lı yıllardan günümüze kadar geliştirilerek nano ve mikro boyutlarda düzenli ince bir tabakanın oluşturulmasıdır. Özellikle son yirmi yılda önemli gelişim sağlanan ince film üretiminde nano ve mikro yapılar, yüzey ve arayüzey fiziğinin daha iyi anlaşılmasını mümkün kılmıştır. İnce film teknolojisi güneş pili, gaz ve ışığa duyarlı sensörler gibi birçok optoelektronik uygulamalarda ayrıca ısıya dayanıklı malzemeler, raf ömrü arttırılmak istenen malzemeler ve giyim gibi endüstriyel alanlarda da sıkça kullanılmaktadır (Seshan, 2002).

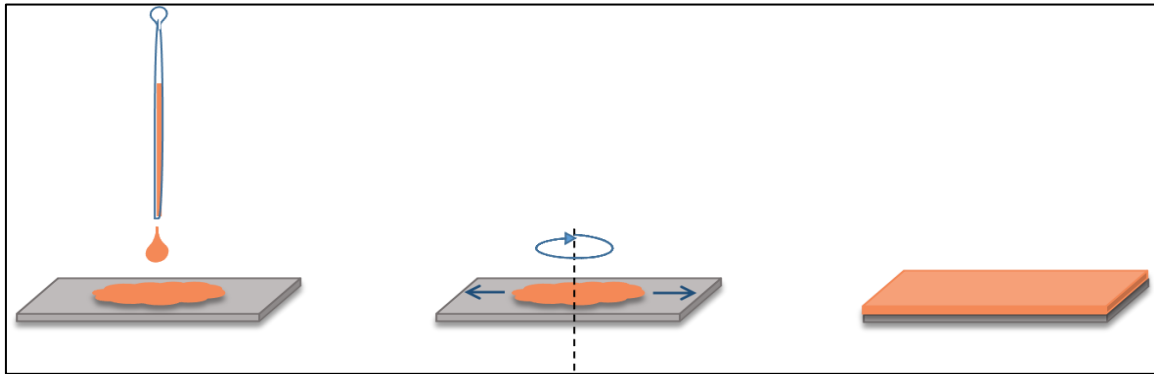
İnce film üretim teknikleri buhar, sıvı ve katı olmak üzere fiziksel olarak üç ana grupta incelenmektedir. Şekil 2.3' te ince film üretim teknikleri ve alt grupları verilmiştir.

Buhar fazda büyütme teknikleri iki ayrı grupta incelenmektedir. CVD ve PVD kendi içerisinde de alt gruplara ayrılmaktadır. Sıvı fazda büyütme teknikleri üç ayrı grupta incelenmektedir. Sol jel, Kimyasal banyo ve elektrokimyasal yöntem kendi içlerinde alt gruplar yer alırken katı fazda büyütme teknikleri ise mekanik aşındırma ve kristalleşme olarak iki grupta incelenmektedir. (Seshan, 2002; Sönmezoğlu ve diğerleri, 2012).



Şekil 2.3. İnce film üretim teknikleri ve gruplandırılması.

Şekil 2.4’te sol jel ile ince film kaplama yöntemlerinden biri olan döndürmeli kaplama yöntemi verilmiştir. Bu yöntemde temizlenen alttaşı merkez noktasına sol jel yöntemi ile üretilen akışkan malzeme aktarılır. Yüksek hızda döndürülen alttaş üzerindeki akışkan malzeme merkezci kuvvetin etkisi ile birlikte yüzeye eşit dağılır. Oluşturulan filmin kalınlığı üretilen malzemenin viskozitesi, yüzey gerilimi döndürme işlemi sırasında döndürme hızı, döndürme süresi gibi parametrelere bağlıdır. Döndürmeli kaplama yöntemi kaplanan malzemenin yüzeye homojen dağılması, maliyeti ve kolaylığı açısından çok avantajlı bir yöntemdir (Tyona, 2013).

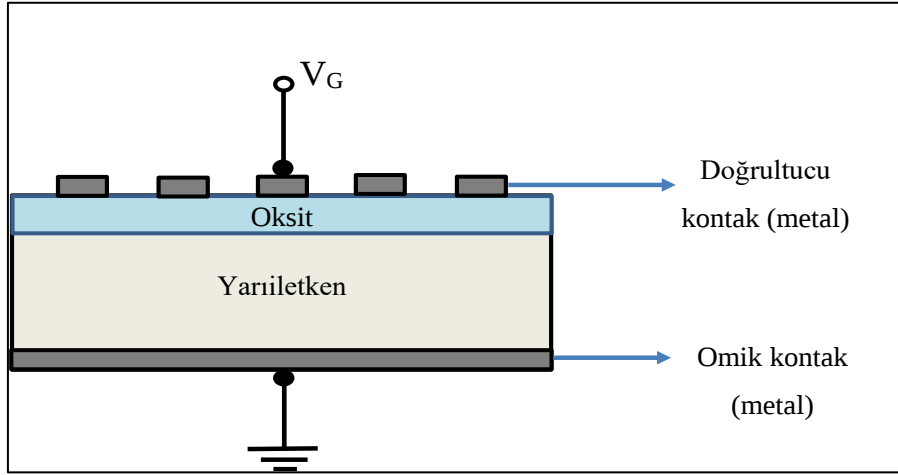


Şekil 2.4. Döndürmeli kaplama tekniği ile ince film üretimi

2.2. Metal – Oksit – Yarıiletken Yapılar

MS yapıların yüzeyleri arasında arayüzey tabakasının oluşturulması ile metal-oksit-yarıiletken elde edilir. Bu tabakanın kalınlığı yapının MIS ($\sim 10\text{-}40 \text{ \AA}$) ya da MOS ($100\text{\AA} <$) olarak adlandırılmasını sağlar. Ayrıca bu oksit tabaka yalıtkan özelliğe sahip olmasından kaynaklı olarak kondansatöre benzeyen yapılardır.

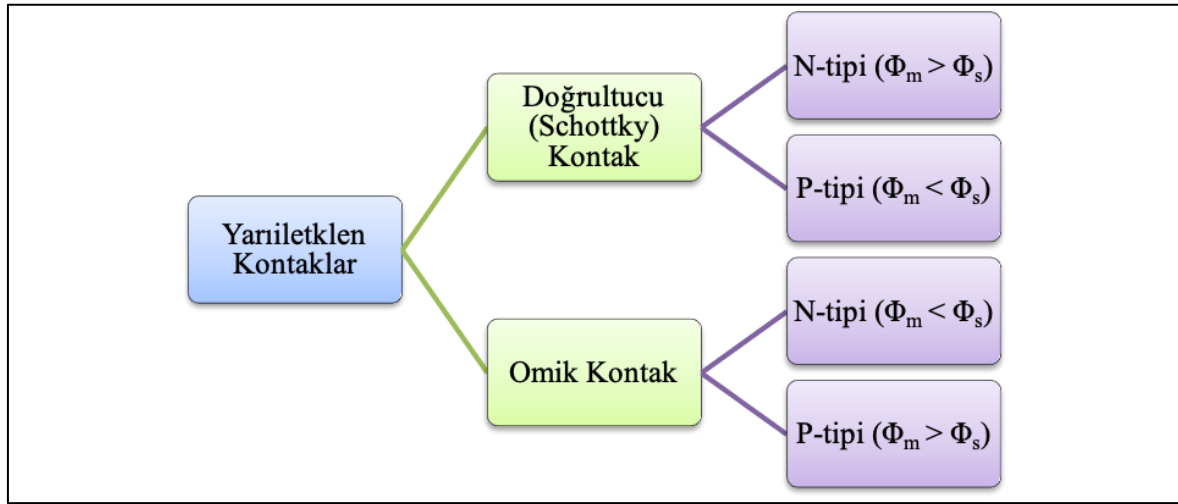
Şekil 2.5’ te MOS yapının geometrik gösterimi yer almaktadır. Burada V_G ; yapıya uygulanan gerilim olup, omik kontakta göre pozitif beslendiğinde pozitif, negatif beslendiğinde ise negatiftir. MOS yapısının özelliklerini, arada bulunan tabakanın özellikleri belirlemektedir (Aydoğan, 2015; Rhoderick ve Williams, 1988).



Şekil 2.5. Metal-oksit-yarıiletken yapının geometrik gösterimi

Schottky diyot, metal ile yarıiletkenin arasında doğrultucu bir kontak oluşturulması ile üretilen diyot tipidir. MS yapı oluşturulduğunda metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasında oluşan farktan dolayı MS arayüzeyindeki yükler ayrılarak bir engel yüksekliği oluşturur. Schottky diyotlarda engel yüksekliğinin oluşabileceği Schottky tarafından açıklanırken bu durumun iş fonksiyonlarının arasındaki farktan kaynaklı olduğu ise Mott tarafından açıklanmıştır. Schottky diyotların en önemli özelliği akımı tek yönde geçirip diğer yönde geçirmemesidir. Metal-yarıiletken kontaklarda; metal iş fonksiyonu (Φ_m) bir elektronu fermi seviyesinden (E_F), vakum seviyesine çıkarabilmek için gereken enerjidir. Yarıiletken iş fonksiyonu (Φ_s) ise; bir elektronu serbest hale getirebilmek yani yüzeyden koparıp vakum seviyesine ulaştırmak için gereken minimum enerji ile fermi enerjisi arasındaki farktır (Aydoğan, 2015).

Metal-yarıiletken yapılarda omik ve Schottky (doğrultucu) kontak olmak üzere iki çeşit kontak tipi vardır. Bu kontakların omik ya da doğrultucu olması metalin (alüminyum, altın, gümüş vb.) ve yarıiletkenin (germanyum, silisyum, selenyum vb.) iş fonksiyonu tarafından belirlenir. Metal-yarıiletken kontaklarda n tipi için; metal iş fonksiyonu yarıiletken iş fonksiyonundan büyük ise “doğrultucu kontak” ($\Phi_m > \Phi_s$), eğer metal iş fonksiyonu yarıiletken iş fonksiyonundan küçük ise “omik kontak” ($\Phi_m < \Phi_s$). Metal-yarıiletken kontaklarda p tipi için durum tam tersidir. $\Phi_m > \Phi_s$ olduğunda “omik kontak”, $\Phi_m < \Phi_s$ olduğunda ise “doğrultucu kontak”tır. Şekil 2.6’ da Metal-yarıiletken kontakların iş fonksiyonuna bağlılığı verilmiştir.

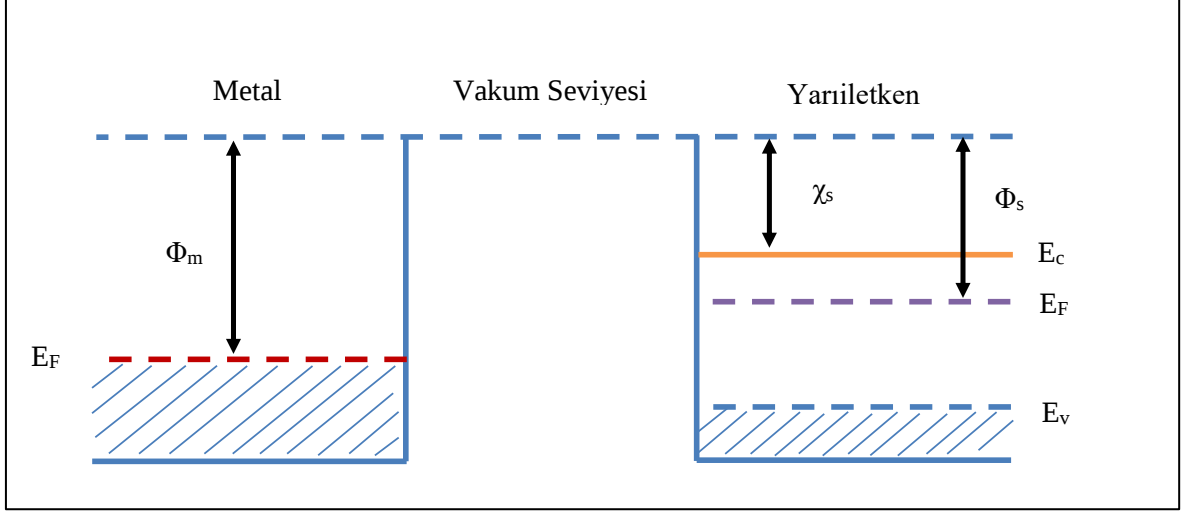


Şekil 2.6. Metal-yarıiletken kontakların iş fonksiyonlarına bağlılığı

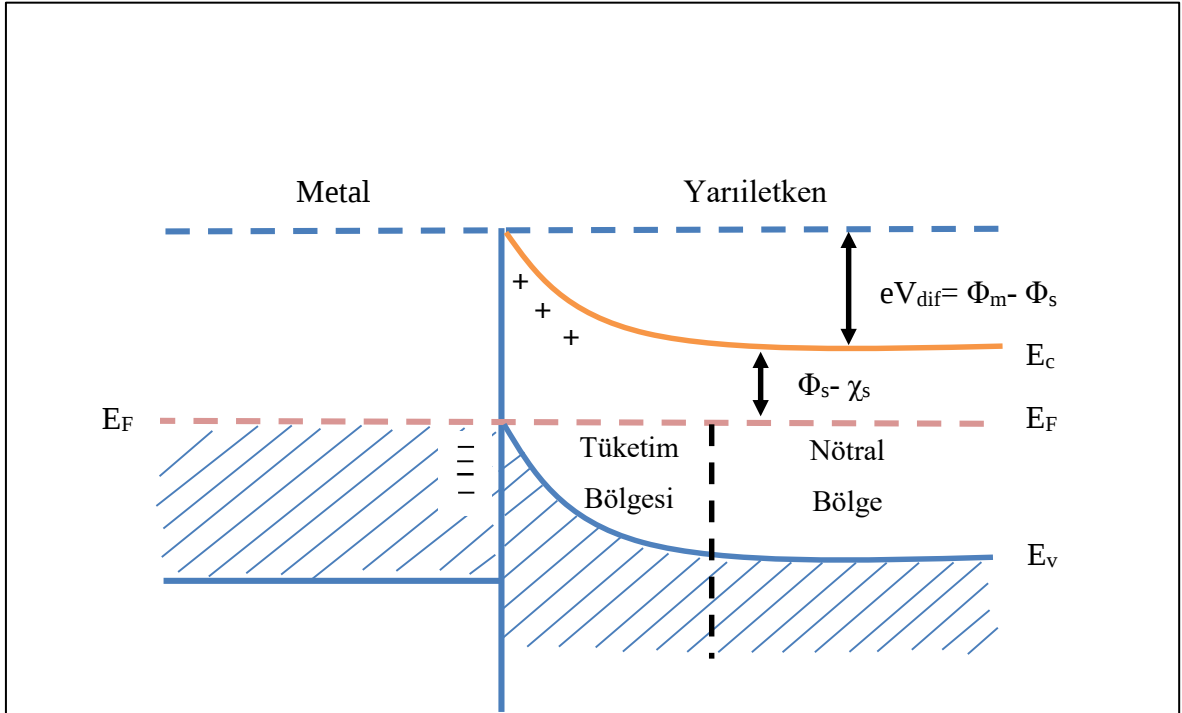
Elektron ilgisi (χ); iletkenlik bandının en üstünde yer alan bir elektronun vakum seviyesine çıkabilmek için gereken enerji olarak tanımlanmaktadır (Aydoğan, 2015; Schroder, 2006).

Şekil 2.7’de metal-yarıiletken n-tipi Schottky kontaklar için kontakdan önce bant diyagramları yer almaktadır. Metal-yarıiletken n-tipi Schottky kontaklarda kontak yapılmadan önce yarıiletken fermi seviyesi ve metal fermi seviyesi arasında $\Phi_m - \Phi_s$ kadarlık fark vardır. Şekil 2.8’de metal-yarıiletken n-tipi Schottky kontaklar için kontakdan sonra bant diyagramları yer almaktadır. Kontakdan sonra yarıiletkenin fermi seviyesi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar düşerek metal ve yarıiletken arasındaki fermi seviyeleri eşitlenir. Fermi seviyeleri eşitlenirken yarıiletken yüzeyden metale doğru elektron geçişi oluşur. Bu elektron geçişi sırasında yarıiletken yüzey tarafında donörler (verici iyonlar) bırakır ve bu durum içerisinde bir potansiyel engel oluşur. Bu engel yarıiletken kısmında $\Phi_m - \Phi_s$ kadar olurken metal kısmı

$\Phi_s - \chi_s$ kadardır. Engel metal ve yarıiletken yapının arasında bir tabaka gibi yer aldığı için engel tabakası olarak adlandırılabilir. Elektronlar, yarıiletkenin iletkenlik bandından (E_c) metal kısma geçerken bu engel tabakası ile karşılaşılır. Bu tabakanın kalınlığı ise difüzyon potansiyeli (V_{dif}) ve donörlerin konsantrasyonuna bağlıdır.



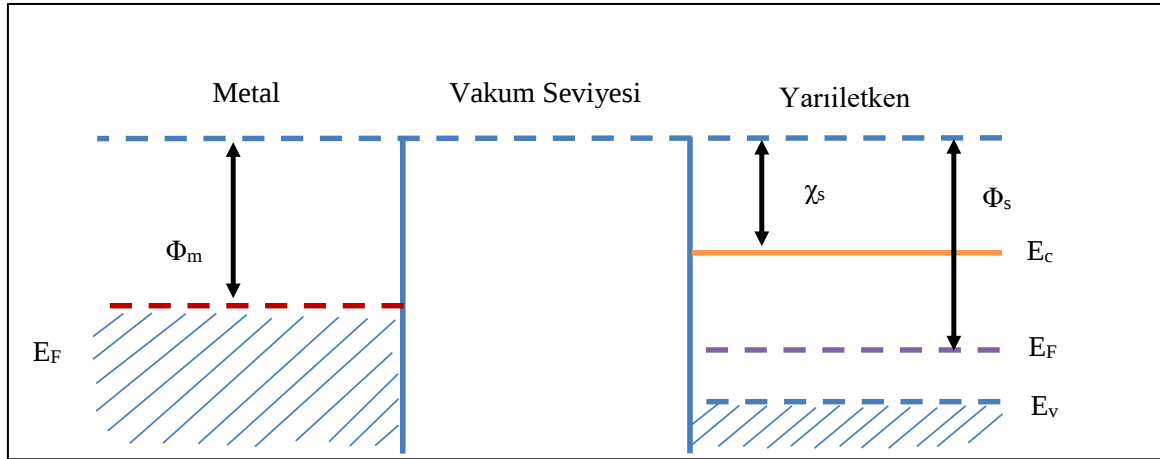
Şekil 2.7. Metal-yarıiletken n-tipi Schottky kontaklar için kontak öncesi bant diyagramı



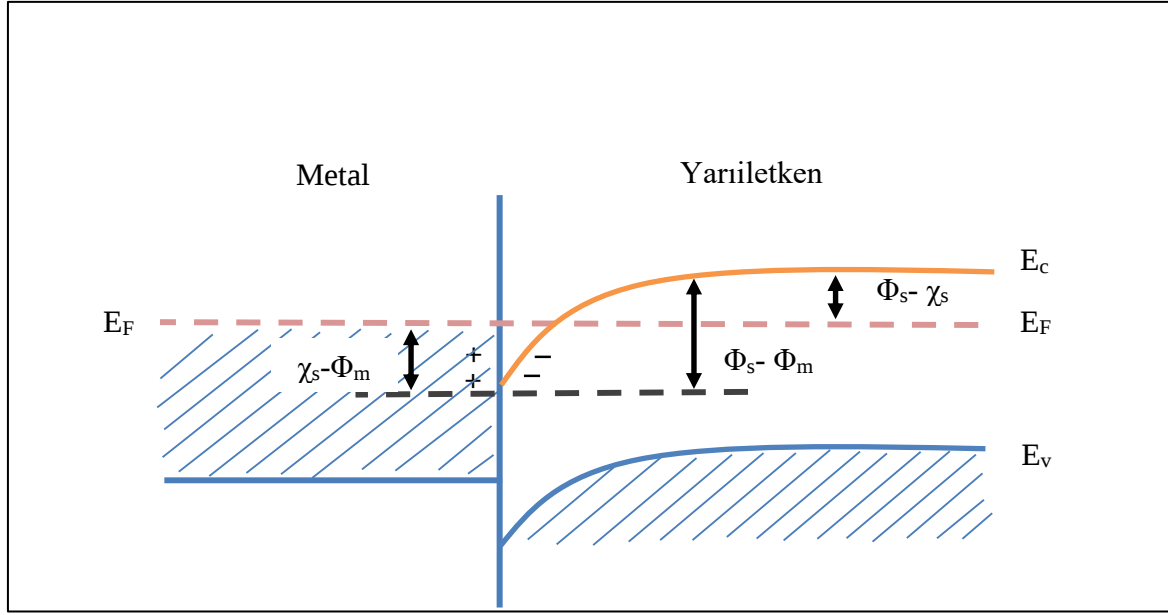
Şekil 2.8. Metal-yarıiletken n-tipi Schottky kontaklar için kontak sonrası bant diyagramı

Şekil 2.9'da metal-yarıiletken n-tipi omik kontaklar için kontak öncesi bant diyagramları yer almaktadır. Metal-yarıiletken n-tipi Schottky kontaklarda kontak yapılmadan önce

yarıiletken fermi seviyesi ve metal fermi seviyesi arasında $\Phi_s - \Phi_m$ kadarlık fark vardır. Şekil 2.10'da metal-yarıiletken n-tipi omik kontaklar için kontakta sonra bant diyagramları yer almaktadır. Kontakta sonra elektronlar metal kısımdan yarıiletken kısma doğru geçiş yaparlar ve yarıiletkenin fermi seviyesi $\Phi_m - \Phi_s$ kadar düşerek metal ve yarıiletken arasındaki fermi seviyesi eşitlenir. Bu geçiş sırasında metal kısımda pozitif yük bırakırken yarıiletken kısımda ise negatif yüke neden olurlar. Omik kontakta yarıiletken kısma negatif ve metal kısma pozitif bir gerilim uygulandığında metale doğru geçen elektronlar için herhangi bir engel oluşmaz ve elektronlar kolayca hareket ederler. Yarıiletken kısma pozitif, metal kısma negatif gerilim uygulandığında ise elektronlar yarıiletken tarafına geçebildikleri için omik kontaklara aynı zamanda enjeksiyon kontakta denilir (Aydoğan, 2015; Sharma, 1984).



Şekil 2.9. Metal-yarıiletken n-tipi omik kontaklar için kontakta önce bant diyagramı.



Şekil 2.10. Metal-yarıiletken n-tipi omik kontaklar için kontakta sonra bant diyagramları yer almaktadır.

2.2.1. İdeal MOS yapısı

İdeal MOS yapısı aşağıda yer alan beş özellikle ifade edilebilir (Papadopoulos, 2014).

- ◇ Kontakların omik ya da doğrultucu olmasını sağlayan metal (Φ_m) ve yarıiletken (Φ_s) iş fonksiyonları birbirine eşittir yani termal denge koşullarında aralarındaki fark sıfırdır. Eşitlik 2.1' de n-tipi yarıiletkenler, Eşitlik 2.2' de ise p-tipi yarıiletkenler için iş fonksiyonlarının aralarındaki fark gösterilmiştir.

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

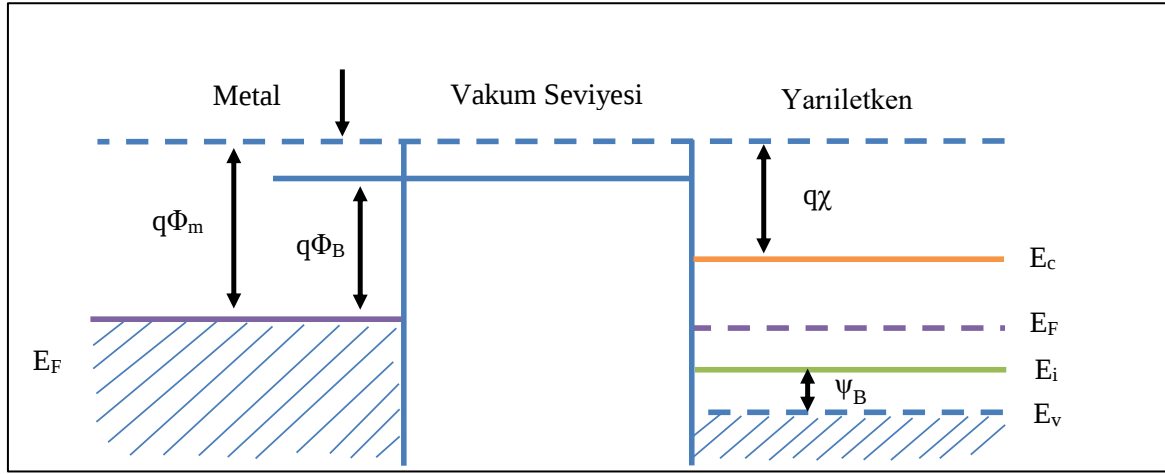
$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} + \psi_B \right) = 0 \quad (\text{p-tipi}) \quad (2.2)$$

Burada χ elektron ilgisi, Φ_m metal iş fonksiyonu, Φ_s yarıiletken iş fonksiyonu, E_g yasak enerji aralığı, ψ_B fermi (E_f) ve saf fermi enerji seviyesi (E_i) arasındaki fark.

- ◇ Beslem şartı fark etmeksizin, MOS yapısında bulunan yükler, yarıiletken- metal kısımda eşit ve zıt yönlü iken oksit ile bitişiktir.

- ◊ Oksit tabakanın bant genişliği çok büyük olduğundan dolayı oksidin iletim bandında yer alan yük taşıyıcı yoğunluğu neredeyse yok denilecek kadar küçüktür ve ihmal edilebilir.
- ◊ İdeal bir MOS yapıda tuzaklar, sabit ve hareketli yükler, iyi bir yalıtkan olması sebebiyle oksit yapının içerisinde veya arayüzeyinde bulunmaz.
- ◊ Oksit yapının öz direnci sonsuz olup DC gerilimde okside doğru herhangi yük geçişi olmaz.

Şekil 2.11’de n-tipi ideal MOS yapısının bant diyagramı verilmiştir. Burada Φ_B bulk potansiyeli, ψ_B fermi ve saf fermi enerji seviyesi arasındaki farktır.



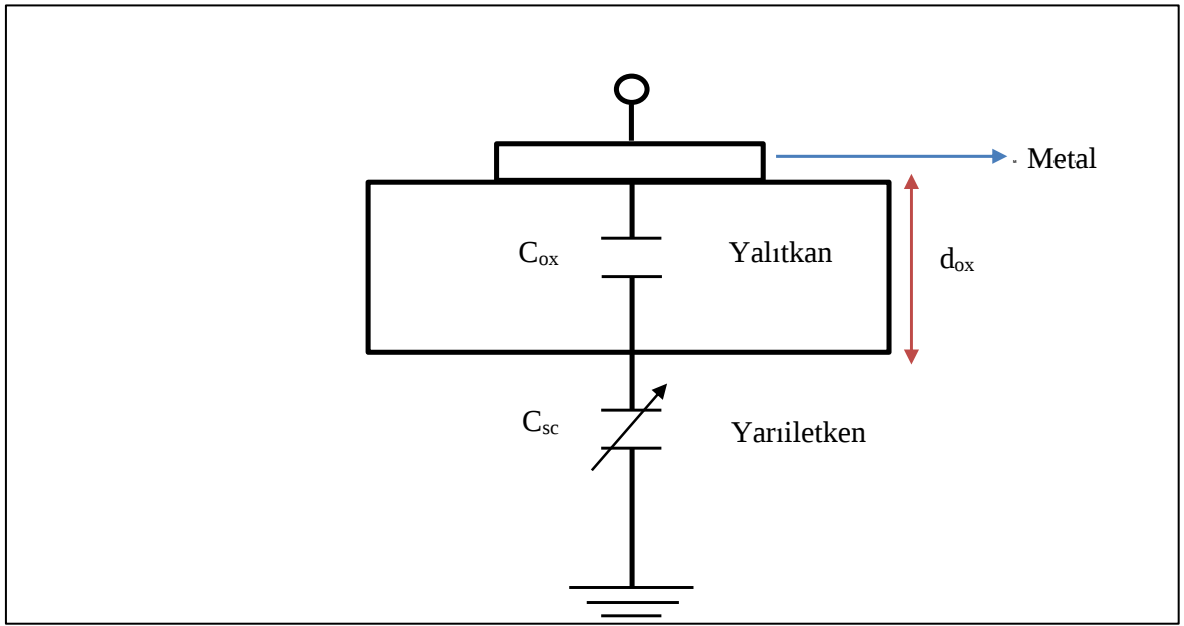
Şekil 2.11. n-tipi ideal MOS yapısının bant diyagramı

İdeal bir MOS yapıda metal kısma gerilim uygulanırsa yarıiletkende yük kaymaları oluştuğu görülür. Metal ve yarıiletkende bulunan hareketli serbest yük yoğunlukları kıyaslandığında yarıiletkende bu yük yoğunluğu metale göre daha azdır ve uygulanan gerilime bağlıdır. Uzak yükü Q_{SC} 'nin oluşumu, yarıiletkenin arayüzeyinde bantların bükülmesinden kaynaklanır ve bu uzak yükü termal denge durumunda potansiyelin büyüklüğüne bağlıdır. Yarıiletkende yükler katkılama göre değişir. Bu yükler çoğunluk ve azınlık taşıyıcılarıdır. Yarıiletken bölgede metal bölgeye göre serbest yükler bulunur. Bu yükler gerilime bağlı olarak arayüzey yükü veya arayüzey bölgelerinde yığılmalar meydana getirir. Metal ve yarıiletken arasındaki iş fonksiyonu farkı ihmal edilirse uygulanan gerilim (V_G) yarıiletken ve oksit üzerine düşer. Eşitlik 2.3'te gösterildiği gibi bu ifade oksit üzerine düşen gerilim ile arayüzeydeki bant geriliminin toplamına eşittir.

$$V_G = V_{ox} + \psi_s \quad (2.3)$$

Burada V_{ox} oksit üzerine düşen gerilim, ψ_s arayüzdeki bant gerilimidir.

Metal ve yarıiletken tabaka, paralel iki iletken tabaka ve aralarındaki oksit kısım ile birlikte bir kapasitör oluşturur. Bu kapasitörün levhalar arasında oluşturduğu kapasitans MOS kapasitansı olarak adlandırılırken oksit ve yarıiletken-oksit arayüzleri bu kondansatörün özelliklerini belirler. Oluşan kapasitans levhalar arasında yer alan yalıtkan kısmın dielektrik sabitine bağlıdır. Şekil 2.12’de MOS kapasitansının eş değer devresi gösterilmiştir. (Sze ve Lee, 2012)



Şekil 2.12. MOS kapasitansının şematik gösterimi

Şekil 2.12 de görüldüğü gibi MOS kapasitansı; oksit kapasitansı (C_{ox}) ve uzay yükü kapasitansının (C_{sc}) eşdeğer kapasitesidir. Devrenin çözümü (2.4) eşitliği ile verilir.

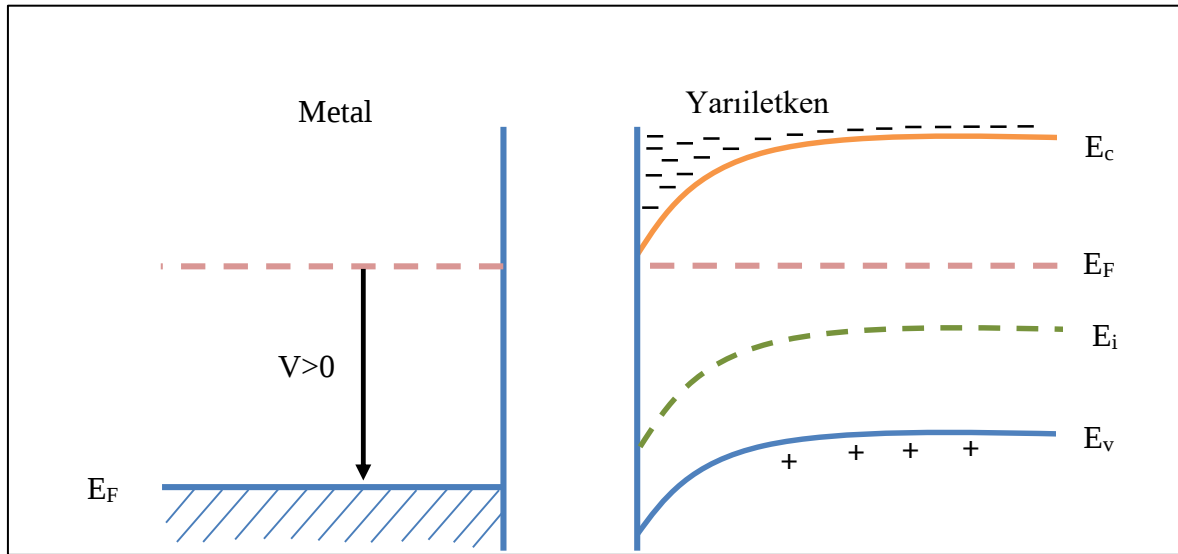
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{sc}} + \frac{1}{C_{ox}} \quad (2.4)$$

Oksit kapasitansı (C_{ox}) ise Eşitlik (2.5)’te verilmiştir;

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} A_{ox} \quad (2.5)$$

Burada ϵ_{ox} oksit tabakanın dielektrik sabiti, d_{ox} oksit tabakanın kalınlığı ve A_{ox} oksit tabakanın alanıdır. Oksit kapasitansı uygulanan gerilimden bağımsızdır. MOS yapısındaki kapasitans sadece uzay yükü kapasitansı ile belirlenir. MOS kapasitansında meydana gelen durumlar uygulanan gerilime bağlı olarak tükenim, yığılım ve tersinim durumları ile açıklanabilir.

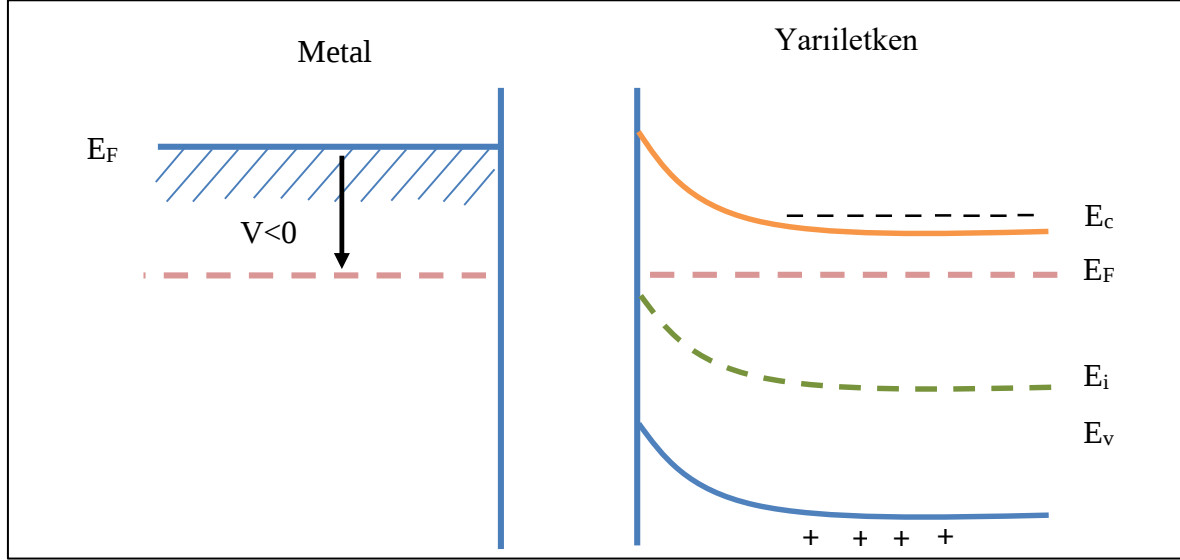
İdeal bir n-tipi MOS yapısında metale pozitif bir gerilim uygulanırsa; ($V>0$) gerilimden kaynaklı bir elektrik alan oluşur. Bu elektrik alan elektronları yarıiletkenin yüzeyine doğru çeker ve yarıiletkenin değerlik elektronları aşağı bükülerek fermi enerjisine yaklaşır. Denge durumunda olan ideal bir MOS yapıda yük akışı olmaz. Bu yüzden yarıiletkende fermi seviyesi sabit kalır. Bant bükülmesinden dolayı yarıiletken yüzeyine doğru elektronların yığılmasına sebep olur. Değerlik bandının (E_v) fermi seviyesine yaklaşılarak iletim bandının (E_i) aşağı büküldüğü bu duruma yığılım adı verilmektedir. Şekil 2.13' de n tipi MOS yapısının yığılım bant diyagramı yer almaktadır.



Şekil 2.13. n-tipi MOS yapısının yığılım bant diyagramı

İdeal bir n-tipi MOS yapısında metale çok az negatif gerilim uygulanırsa; ($V<0$) yarıiletkenin yüzeyinde bulunan elektronları yüzeyden uzaklaşmasını sağlayan oksit içinde bir elektrik alan oluşturur. Yüzeyden uzaklaşan elektronlar iç kısımlara doğru ilerlediği için elektron yoğunluğu yarıiletken yüzeyde azalır ve bantlar yukarı doğru bükülürler. Bantların yukarı doğru bükülmesi ile birlikte değeri E_v olan bant, Fermi seviyesine yaklaşarak iletim bandının (E_i) yukarı büküldüğü bu duruma tükenim adı verilmektedir. Şekil 2.14' de n tipi MOS yapısının tükenim bant diyagramı yer almaktadır.

azaldığı bölgeye tükenim bölgesi ve bu olaya ise tükenim olayı denilmektedir. Şekil 2.14'te n-tipi MOS yapısının tükenim bant diyagramı yer almaktadır.



Şekil 2.14. n-tipi MOS yapısının tükenim bant diyagramı

Tükenim bölgesinde elektronların azaldığı bölgenin genişliği W Eşitlik 2.6 ile ifade edilir.

$$W = \epsilon_s A_{ox} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_{ox}} \right) \quad (2.6)$$

Burada ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabiti ve A_{ox} oksit tabakasının kalınlığı olup C_{ox} ise oksit tabakanın kapasitesidir.

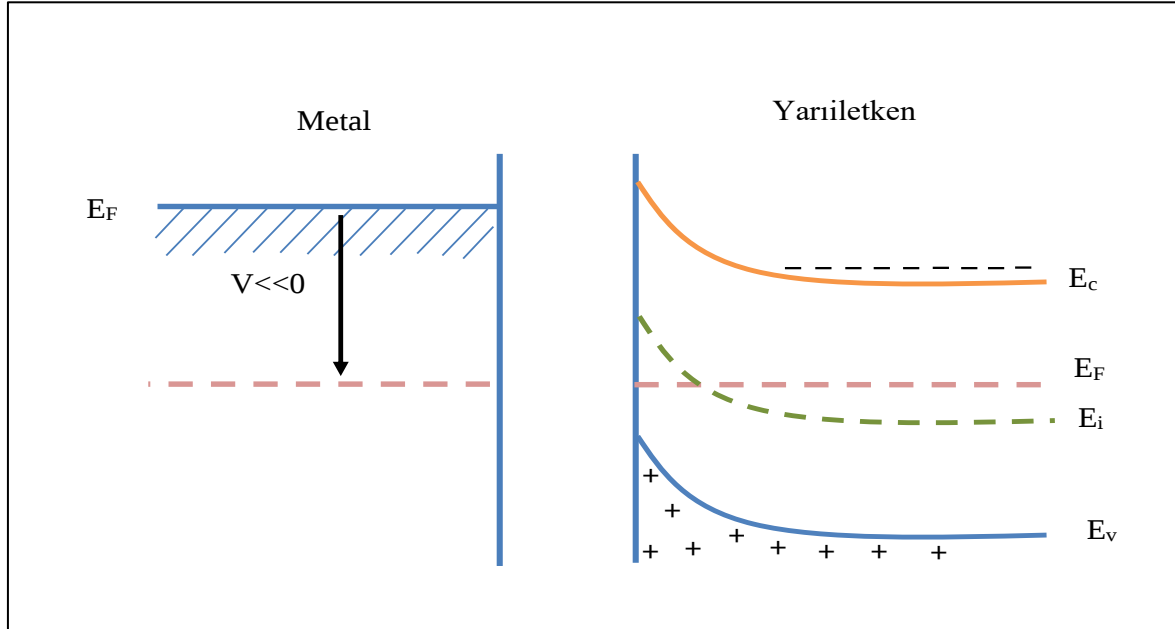
Oluşan uzay yükü (Q_{SC}) tükenim durumunda Eşitlik 2.7 ile ifade edilir.

$$Q_{SC} = q N_D^+ W = Q_D \quad (2.7)$$

Burada N_D^+ iyonlaşmış donör yoğunluğu, Q_D ise birim yüzeydeki donör yüküdür.

İdeal bir n-tipi MOS yapısında metale çok fazla negatif gerilim uygulanırsa; ($V \ll 0$) tükenim olayı ele alındığında bantlar çok daha fazla yukarı doğru bükülürler. Bu durumda öz durumdaki enerji seviyesi (E_i) çok daha yukarı çıkarak fermi enerji seviyesinin üzerinde yer alır. Yarıiletkendeki boşluklar artarak elektronların yoğunluğundan daha fazla olur ve değerlik bandının yarı iletken kısmında yer alırlar. Bu olay n-tipi yarıiletkenin p-tipi gibi

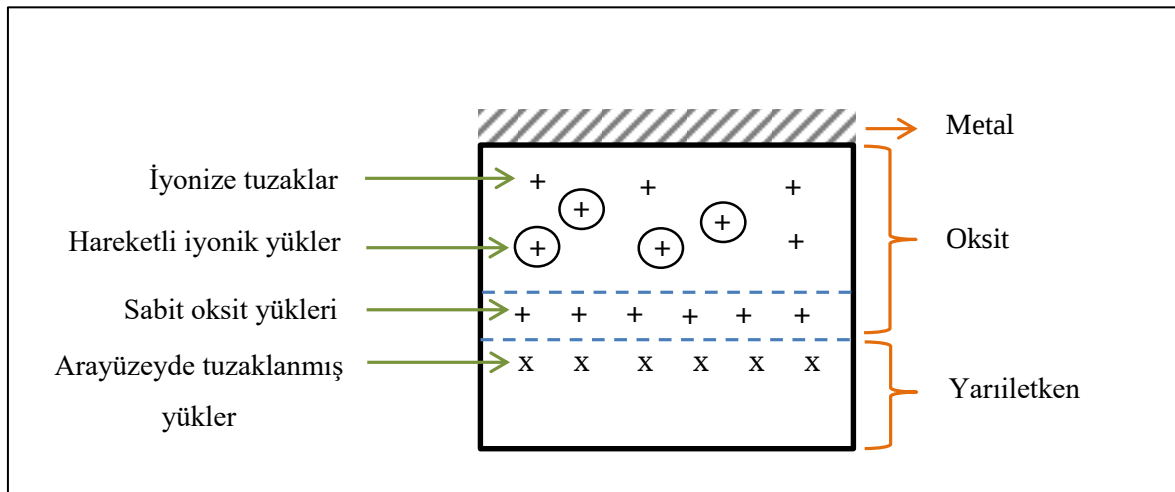
davrandığı tersinim olayı olarak adlandırılır. Şekil 2.15’de n-tipi MOS yapısının tersinim bant diyagramı yer almaktadır (Papadopoulos, 2014; Tsividis, 1999).



Şekil 2.15. n-tipi MOS yapısının tersinim bant diyagramı

2.2.2. Gerçek MOS yapısı

İdeal bir MOS yapıda tuzaklar, sabit ve hareketli yükler oksit yapının iyi bir yalıtkan olması sebebi ile içerisinde veya arayüzeyinde bulunmazken gerçek MOS yapısında sabit ve hareketli yükler, iyonlaşmış tuzaklar ve arayüzey durumları yer almaktadır. Şekil 2.16’da gerçek bir MOS yapı görseli yer almaktadır.



Şekil 2.16. Gerçek MOS yapısı ve yapıda bulunan yükler

Sabit oksit yükleri; oksit tabakada lokalize halde bulunan yüklerdir. Bu yükler yarıiletkenin tavlama şartları, oksidasyon ve silisyumun yönelimine bağlı oluşan yüklerdir. Ayrıca yapının yüksek frekans kapasitans-voltaj (C-V) eğrisinin değişime neden olurlar. Pozitif yükler, ideal bir C-V eğrisine göre eğrinin uygulanan voltajın negatif değerlere doğru kaymasına ve negatif yükler ise, voltajın pozitif değerlere doğru kaymasına neden olmaktadır.

Hareketli iyonik yükler; iyonize olmuş alkali metal atomlarının (sodyum, potasyum..) sebep olduğu metal-oksit ya da yarıiletken-oksit arayüzeyinde lokalize olan oksit yükleridir. Li^+ , Na^+ , K^+ , H^+ iyonlarından oluşan bu yükler elektrik alan altında hareket ederek yapının C-V eğrisinde kaymalara sebep olurlar.

Oksitte tuzaklanmış yükler; oksit içinde yer alarak kimyasal yapı bozuklukları ve radyasyondan dolayı oluşurlar. Bu yükler oksit ve yarıiletken arayüzeyi arasında yük alışverişi yaparak oksit ve oksit-yarıiletken arayüzeyinde ilave bir yük oluşumuna sebep olmaktadır. Diğer yükler gibi C-V eğrisine etki ederek ölçülen kapasitans değerlerindeki değişimden dolayı C-V eğrisinde histeris etkisi görünmesine sebep olur (Büyükbaş, 2015; Sze ve Lee, 2012).

2.2.3. MOS yapılarda arayüzey durumları

Bir metal ile yarıiletken arasında yüzey durumlarının varlığını ilk Bardeen önermiş olsa da Schockley tarafından yarıiletken ince filmler üzerinde deneysel olarak gösterilmiştir (Bardeen,1947). Arayüzey durumları; MOS yapı hazırlanırken yarıiletken yüzey temizlenmesine rağmen giderilemeyen düzensizlikler sebebiyle yasak enerji bandında çok sayıda enerji seviyesinin oluşması durumudur. Kısaca oksit, oksit-yarıiletken arayüzeyinde bulunan lokal enerji seviyeleri olarak tanımlanır. Ayrıca arayüzey durumları, MOS yapıda tuzaklar ve oksit yüklerin varlığı sebebiyle ideal MOS yapının özelliklerinden uzaklaşılmasına sebep olur.

Arayüzey durumlarının elektriksel olarak kapasite, iletim ve arayüzey potansiyeline etkileri vardır. Devrede arayüzey kapasitansı (C_{ss}) Eşitlik 2.8 ile verilmektedir.

$$C_{ss} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial \Psi_{ss}} A_{ox} \quad (2.8)$$

Burada Q_{ss} arayüzey durumlarındaki yük yoğunluğu, Ψ_{ss} arayüzey durum potansiyeli ve A_{ox} ise oksit tabakasının kalınlığıdır. Arayüzey durumları ideal bir MOS yapının C - V eğrisine göre gerçek yapının C - V eğrisinde kaymalar oluşturur. Aynı zamanda arayüzey durumlarının yoğunluğu 2.9 eşitliğinde de görüldüğü gibi birim enerji başına denk gelen arayüzey yükü şeklinde de tanımlanır.

$$E=q\Psi_s \quad dE=qd\Psi_s \quad (2.9)$$

$$N_{ss} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial E} = \frac{\partial Q_{ss}}{\partial \Psi_s} \frac{\partial \Psi_s}{\partial E} = \frac{1}{q} \frac{\partial Q_{ss}}{\partial \Psi_s} \quad (2.10)$$

2.10 eşitliği ile ifade edilir. Nicollian ve Goetzberger'e göre arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss})

2.11 formülü ile belirlenir.

$$C_{ss} = 2 \left(\frac{G_p}{\omega} \right)_{\max} = qN_{ss} \quad (2.11)$$

Burada G_p frekansa bağımlı paralel iletkenliktir. Hill ve Coleman'a göre arayüzey durumlarının yoğunluğu ise 2.12 eşitliği şeklinde ifade edilmiştir.

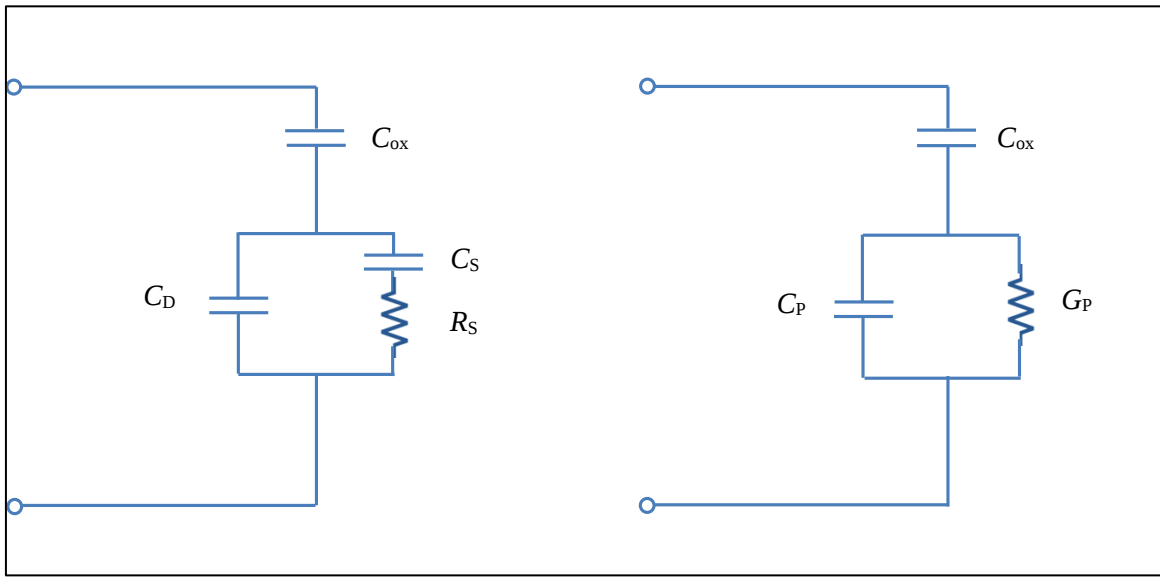
$$N_{ss} = \frac{2}{qA} \frac{(G_{m,\max}/\omega)}{(G_{m,\max}/\omega C_{ox})^2 + (1 - C_m/C_{ox})^2} \quad (2.12)$$

Burada A kontak alanı, $G_{m,\max}$ ölçülen iletkenlik değeri, C_m ölçülen kapasitans, C_{ox} ise oksit kapasitansdır.

Yüzey durumlarının yoğunluğu teorik olarak 10^{15} cm^{-2} civarındayken deneysel sonuçlar 10^{11} cm^{-2} - 10^{12} cm^{-2} mertebesinde olduğunu göstermektedir. Yüzey durumları yavaş ve hızlı olarak iki çeşittir. Yavaş yüzey durumları, oksitin metale doğru olan bölgesinde yer alırken yapıdaki hareketsiz yüklerden dolayı meydana gelen bozukluklar ve yüksek elektrik alanda oksit içerisine yer değiştirmeye yatkın hareketli iyonlardan kaynaklanabilir. Bu durum termal oksidasyon işlemi ile giderilebilir. Bu tür yüzey durumları MOS kapasitesini etkilememektedir. Hızlı yüzey durumları ise; oksitin yarıiletkenine doğru olan bölgesinde yer alır. Fermi enerji seviyesine göre bant bükülmesinden dolayı aşağı ve yukarı hareket ederek

değerlik ve iletkenlik bandıyla ani yük alışverişinde bulunmaktadır. Bu durum sabit oksit yüklerinden kaynaklanır.

Tuzaklanmış arayüzey yükleri, oksit-yarıiletken arayüzeyinde silisyumun iletkenlik ve değerlik bandı arasında ani yük alışverişi yaparlar. Bu yük alışverişinden dolayı tuzak seviyesi, fermi seviyesi sabit olana kadar aşağı ve yukarı hareket ederek MOS kapasitesinin değişmesine neden olur. Şekil 2.17’de arayüzey tuzak etkisini belirten eş değer devre verilmiştir.



Şekil 2.17. Arayüzey tuzak etkisinin eş değer devresi

Burada C_{ox} oksit kapasitansıdır, C_S ise oksit tükenim kapasitansıdır. C_P ve G_P sırasıyla frekans bağımlı kapasitans ve iletkenlik (kondüktans) olarak adlandırılır. Devrenin admittansı (Y) Eşitlik 2.13 ile ifade edilir.

$$Y = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = j\omega C_D + \frac{1}{R_S + \frac{1}{j\omega C_S}} = G_P + j\omega C_P \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilir. İletkenlik (G_P) ve kapasitans (C_P) eşitlikleri Eşitlik 2.14 ve 2.15’te gösterilmiştir.

$$G_P = \frac{1}{R_P} = \frac{C_S \omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.14)$$

$$C_P = C_D = \frac{C_S}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2.15)$$

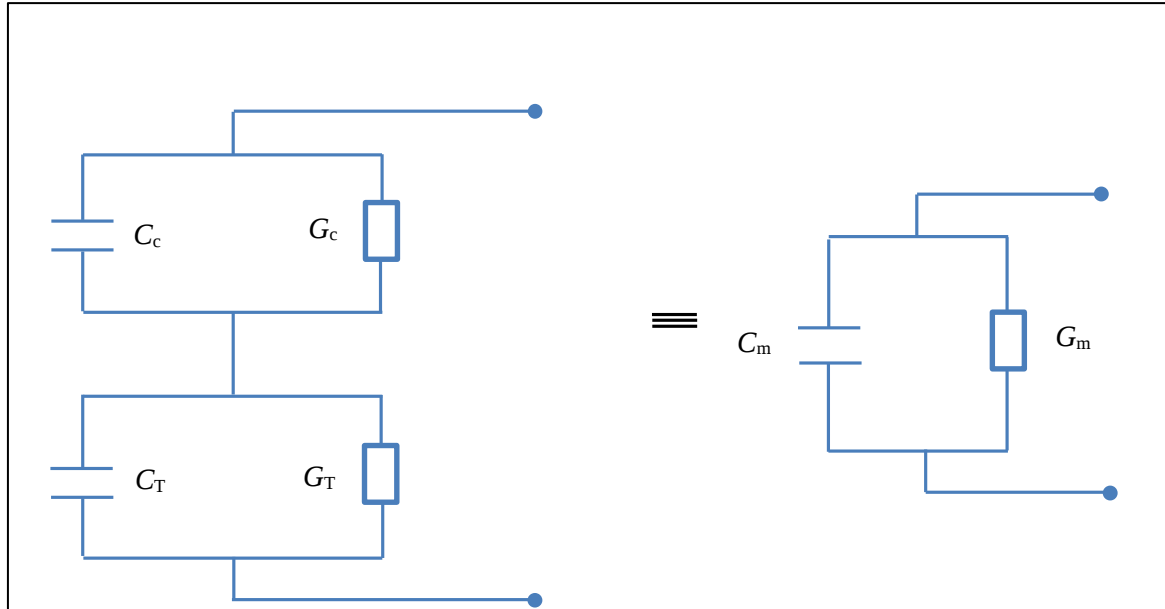
Burada Arayüzey tuzakların ömrü (τ) $C_S \times R_S$ çarpanıdır ve arayüzey tuzaklarının davranışı olarak tanımlanır. Toplam empedans (Z) Eşitlik 2.16'da verilmiştir.

$$Z = \frac{1}{j\omega C_{ox}} + \frac{1}{G_P + j\omega C_P} = -j \left(\frac{1}{\omega C_{ox}} + \frac{\omega C_P}{G_P^2 + \omega^2 C_P^2} \right) + \frac{G_P}{G_P^2 + \omega^2 C_P^2} \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilir. Toplam admittans (Y_{top}) 2.17 de eşitliği ile ifade edilir.

$$Y_{top} = \left(\frac{G_P + \omega^2 C_P^2}{G_P} \right) + j\omega \left(\frac{(G_P^2 + \omega^2 C_P^2) C_{ox}}{G_P^2 + \omega^2 C_P^2 + \omega C_P} \right) = G_{in} + j\omega C_{in} \quad (2.17)$$

Seri direncin varlığı durumunda ölçülen değerler gerçek değerler değildir. Bu durumda ölçülen iletkenlik (G_m) ve ölçülen kapasitans (C_m) değerleri gerçek değerler olmayacaktır. Bu durumda eşdeğer devre Şekil 2.18 şeklinde olacaktır.



Şekil 2.18. Arayüzey tuzak etkisinin düzeltilmiş değerlere atfedilen eş değer devresi

Devrenin empedans eşitliklerini yazacak olursak;

$$Z_1 = \frac{1}{j\omega C_c + G_c} \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega C_T + G_T} \quad Z = \frac{1}{j\omega C_m + G_m} \quad (2.18)$$

Nicollian & Brews metoduna göre seri dirençten arınmış şekilde kapasitans ve iletkenliğin analitik çözümümü yapılabilir. $Z=Z_1+Z_2$, $Z_1=Z-Z_2$ olduğundan çözüm Eşitlik 2.19 ve 2.20 eşitlikleriyle devam eder.

$$\frac{1}{Z_1}=j\omega C_c+G_c=\left(\frac{1}{j\omega C_m+G_m}-\frac{1}{j\omega C_T+G_T}\right)^{-1} \quad (2.19)$$

$$\frac{1}{Z_1}=\frac{(G_m G_T - \omega^2 C_m C_T)+j\omega(G_T C_m - C_T G_m)}{(G_T - G_m)+j(C_T - C_m)} \quad (2.20)$$

Düzeltilmiş iletkenlik (G_c) için 2.20 eşitliğinin paydası eşleniğiyle çarpılarak G_T yerine $1/R_s$ yazarak C_T 'yi ihmal edersek Eşitlik 2.21 şekline dönüşecektir.

$$G_c=\frac{(G_m - G_m^2 R_s) - \omega^2 C_m^2 R_s}{(1 - G_m R_s)^2 + \omega^2 C_m^2 R_s^2} \quad (2.21)$$

Elde edilir. Seri direnç (R_s) empedasın gerçek kısmıdır ve yığılım bölgesindeki ölçülen kapasitans (C_m) ve iletkenlik (G_m)'den hesaplanır.

$$Z=\frac{1}{j\omega C_m+G_m}=\frac{G_m - j\omega C_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2}=\frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} - \frac{j\omega C_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.22)$$

$$R_s=\frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.23)$$

Düzeltilmiş kapasitans (C_c) empedasın imajiner kısmı olup Eşitlik 2.24 gibi hesaplanmıştır;

$$C_c=\frac{C_m}{(1 - G_m R_s)^2 + \omega^2 C_m^2 R_s^2} \quad (2.24)$$

Düzeltilmiş kapasitans (C_c) ve iletkenlik (G_c) yeniden düzenlenirse;

$$C_c=\frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2) C_m}{a^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.25)$$

$$G_c = \frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2)a}{a^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (2.26)$$

şeklinde olur. a 2.27 eşitliği ile ifade edilir.

$$a = G_m - (G_m^2 + \omega^2 C_m^2)R_s \quad (2.27)$$

Ölçülen kapasitans (C_m) ve iletkenlik (G_m), seri direnç sıfıra eşit olduğu durumda ($R_s=0$) ölçülen iletkenlik ve düzeltilmiş iletkenlik birbirine eşit olur ($G_c=G_m$) (Akın ve diğerleri, 2020; Black, 2016; Nicollian ve Goetzberger, 1967; Nicollian ve Brews, 1982; Taleb ve diğerleri, 2013).

2.3. Çinko Kobalt Oksit

Çinko kobalt oksit ($ZnCo_2O_4$), nano parçacık, nano çubuk, nano tel, nano rose ve nano tabaka gibi çeşitli morfolojik yapılarda hidrotermal, solvotermal, sol jel v.b yöntemlerle sentezlenebilen metal oksit yapıdır (Turan, 2021).

Yapılan çalışmalara göre $ZnCo_2O_4$, çinko ve kobalt iyonlarının yüksek redoks reaksiyonu sebebi ile enerji dönüşümü için iyi bir elektrokatalizör olduğu yani fotokataliz çalışmalarında etkili performans gösterdiği kanıtlanmıştır (Sreekanth, Ramaraghavulu, Prabhakar Vattikuti, Shim ve Yoo, 2019). Yapılan başka fotokataliz çalışmasında ise $ZnCo_2O_4$ 'in yaklaşık 1,77 eV'luk bant aralığına sahip olduğu bulunmuştur (Guo ve diğerleri, 2014).

H. Chen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, $ZnCo_2O_4$ 'in enerji depolama cihazı olan lityum-iyon piller gibi yüksek performanslı süper kapasitör özelliğine sahip olduğunu göstermişlerdir. Özellikle süper kapasitör olarak uzun çevrim kararlılığı, hızlı şarj kabiliyeti ve yüksek güç yoğunluğu özelliğine sahip olmasının yanı sıra birçok enerji depolama cihazına oranla çevre dostudur. Ayrıca bu alanda yapılan çalışmalarda $ZnCo_2O_4$ 'in yaklaşık 2604 F g⁻¹ civarına çıkabilen yüksek kapasitansa sahip olduğu görülmüştür (Chen ve diğerleri, 2020).

Z. Chen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, güçlü bir ferromanyetizma ve oda sıcaklığını önemli ölçüde aşan yüksek Curie sıcaklığına (T_c) sahip olan $ZnCo_2O_4$ 'ün manyetik

özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak ZnCo_2O_4 doğrultucu diyot davranışı göstererek fotovoltaik uygulamalarda kullanılabilirliği görülmüştür (Chen ve diğerleri, 2014).

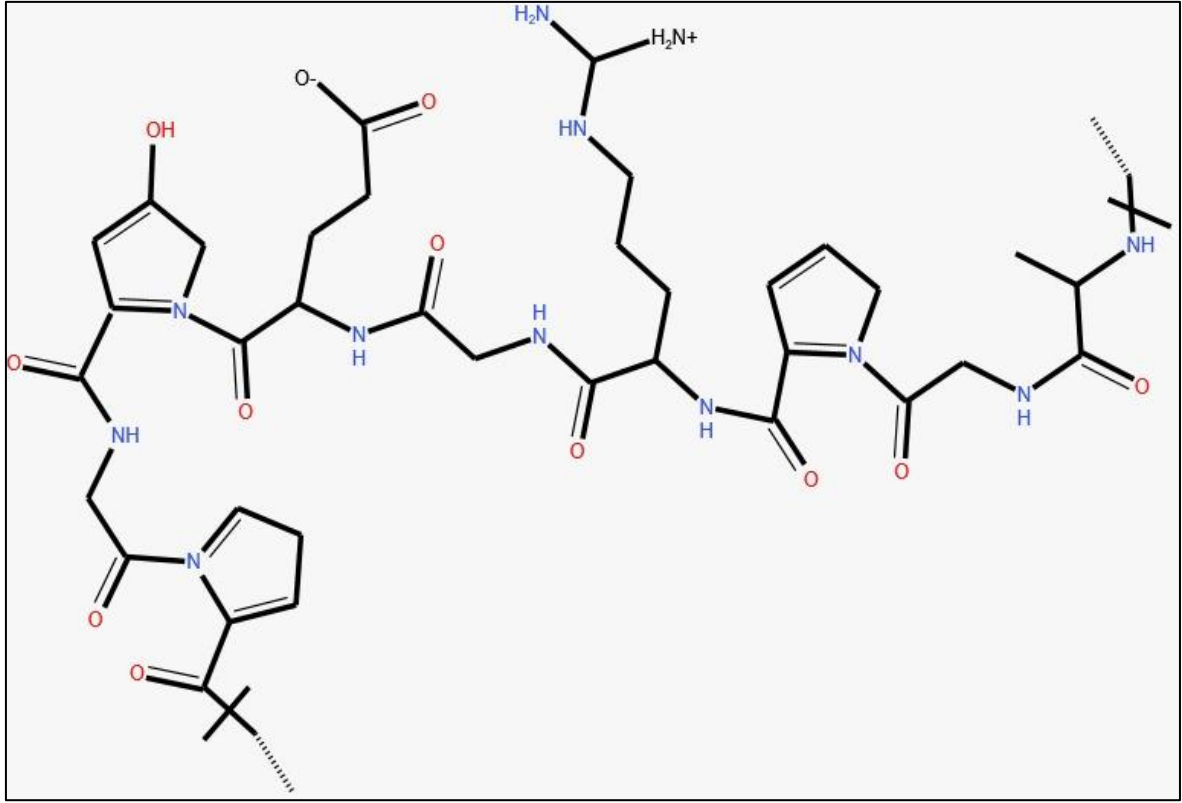
Gaz algılama çalışmaları yapılan üç boyutlu mezo gözenekli ZnCo_2O_4 geniş yüzeyi ve düzgün gözenekliliği sayesinde karbon monoksit algılama performansı göstermiştir (Kaneti ve diğerleri, 2019). Ayrıca çöktürme yöntemi ile üretilen nanoyapılı (26-30 nm) ZnCo_2O_4 LPG algılama performansı ile birlikte yapının gaz sensör uygulamalarında oldukça başarılı olduğunu göstermiştir (Vijayanand ve diğerleri, 2011).

Bu tez çalışmasında MOS yapıda arayüzey tabakası olarak kullanılan jelatine sol jel yöntemi kullanılarak üretilen ZnCo_2O_4 , nano parçacıkları katkılanarak kapasitif ve iletkenlik üzerine etkileri incelenmiştir.

2.4. Jelatin

Doğal bir protein olan jelatin, bağ dokusu, kıkırdak ve deride bulunan kolajenden işlenerek üretilir. Jelatin, kolajenden hidroliz yoluyla asidik (A tip) ve bazik (B tip) olarak iki tür üretilmektedir. Jelatinin kaynağına bağlı olarak özellikleri değişebilir. Bu özellikler erime noktası, viskozite, jel kuvveti, amino asit bileşimi ve suda çözünürlüğüdür. Jelatinin kimyasal yapısı Şekil 2.9’da verilmiştir.

Son zamanlarda organik polimer olarak kullanılan jelatin, yapısındaki amino asitlerin enerji bant aralığı değerlerinin 5-8 eV aralığında yer alması sebebiyle yalıtkan özellik göstermektedir. Ayrıca jelatin alan etkili transistörde (FET), yeni nesil esnek fotovoltaik hücrelerde ve ışık yayan cihazlarda sıkça kullanılmaktadır. Birçok çalışma, Jelatin’in mükemmel dielektrik özellikler gösterdiğini doğrulamıştır. Jelatin ayrıca yüksek performanslı organik ince film transistörlerde (OTFT) bir dielektrik katman malzemesi olarak kullanımının yanı sıra OTFT tabanlı gaz sensörlerinde, bağıl nem (RH) sensör uygulamalarında, OTFT’lerde dielektrik geçitte kullanılmaktadır. Katı hal elektrokromik cihazlarda elektrolit yapılarında ve kalıcı bellek uygulamaları için dirençli anahtarlama mekanizmaları gibi birçok uygulamada da kullanılmaktadır. (Avellaneda ve diğerleri, 2007; Chang ve Wang, 2014; He ve diğerleri, 2016; Ibrahim ve diğerleri, 2011; İnal ve diğerleri, 2017; Mao ve diğerleri, 2013; Tan ve diğerleri, 2005; Wang ve diğerleri, 2018; Zhuang ve diğerleri, 2018).



Şekil 2.9. Jelatinin kimyasal yapısı.

Jelatinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, bulunabilirliği ve kolay işlenmesi gıda, kozmetik ve ilaç endüstrisi alanlarında kullanılmasının yanı sıra fotoğraf filmlerinin kaplanması kadar birçok uygulamada kullanım olanağı sağlamaktadır. Özellikle gözenekli yapısı sebebiyle doku mühendisliğinde yani biyoteknoloji ve biyotıpta oldukça ilgi görmektedir (Ehrmann, 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Analiz Yöntemleri

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyetlerinin yapısal analizleri X-ışını kırınımı (XRD) ve morfolojik analizi taramalı elektron mikroskobu ile belirlenmiştir. Ayrıca JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyetlerinin elektriksel karakterizasyonu empedans analizörü ile belirlenmiştir.

3.1.1. X-ışını kırınım tekniği

Bu tez çalışmasında X-ışını kırınımı $2\theta=10^\circ-85^\circ$ ölçüm aralığında, 0,02 adımda Cu-K α radyasyon kaynağı ile ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$) Rigaku MiniFlex II marka XRD analiz cihazı kullanılarak numunenin kristal yapısı incelendi. Bu tez çalışmasında üretilen ZnCo₂O₄ nano parçacıklarının XRD ölçümleri Ankara Üniversitesi Fizik Bölümün'de Resim 3.1'de gösterilen Rigaku MiniFlex II marka XRD analiz cihazı ile belirlenmiştir.



Resim 3.1. Rigaku MiniFlex II marka XRD analiz cihazı

3.1.2. Taramalı elektron mikroskobu

Numunenin yüzey morfolojisi Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde Resim 3.2'de gösterilen (Hitachi SU5000) marka SEM

cihazı ile tanımlanmıştır. ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının SEM görüntüleri 50k-200k büyütme yapılarak nano parçacıkların boyutları ve şekilleri incelendi.



Resim 3.2. Hitachi SU5000 marka SEM cihazı

3.1.3. Elektriksel karakterizasyon

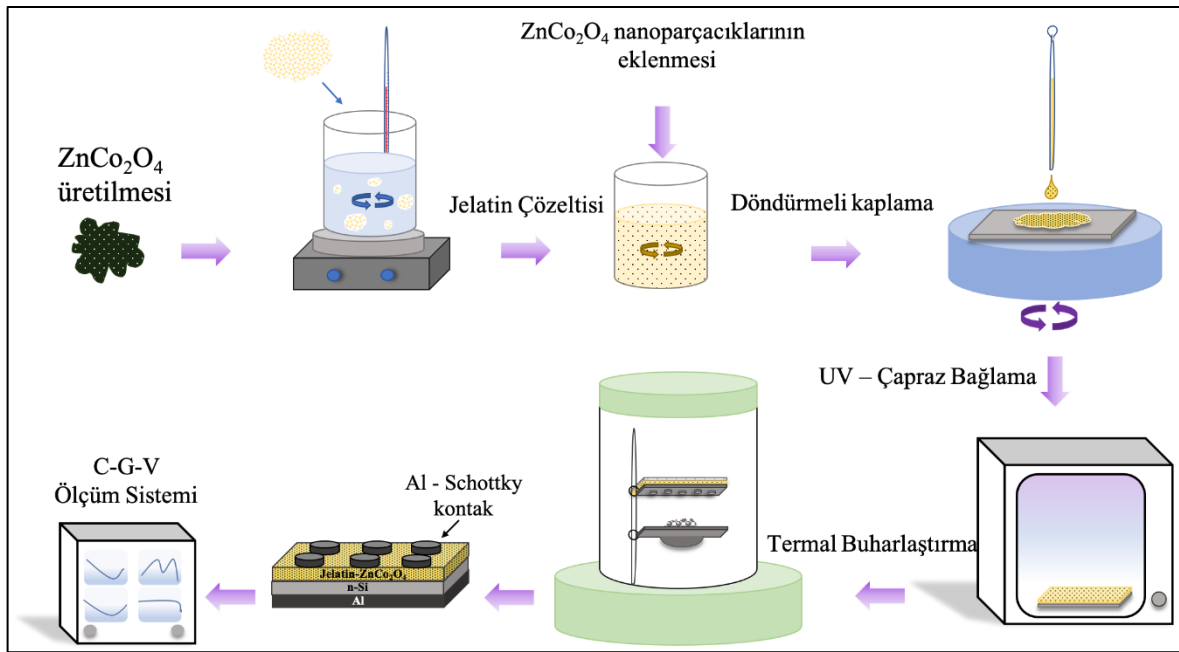
Üretilen JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların kapasitans ve iletkenlik ölçümleri Keysight E4990A Empedans Analizörü ile analiz edildi. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının parametreleri, 1 kHz-1,5 MHz frekans aralığında, 0-2 V arası 0,2 V aralıklarla alınan kapasite ($C-f$) ve iletkenlik ($G-f$) ölçümleri kullanılarak hesaplandı. Ayrıca diyotların, kapasite ($C-V$) ve iletkenlik ($G-V$) ölçümleri ise -5V-+5V aralığında, 30 kHz-1 MHz frekans arası 20 kHz-200 kHz aralıklarla ölçüldü.



Resim 3.3. Keysight E4990A Empedans analizör cihazı

3.2. Malzemelerin Üretim Süreci

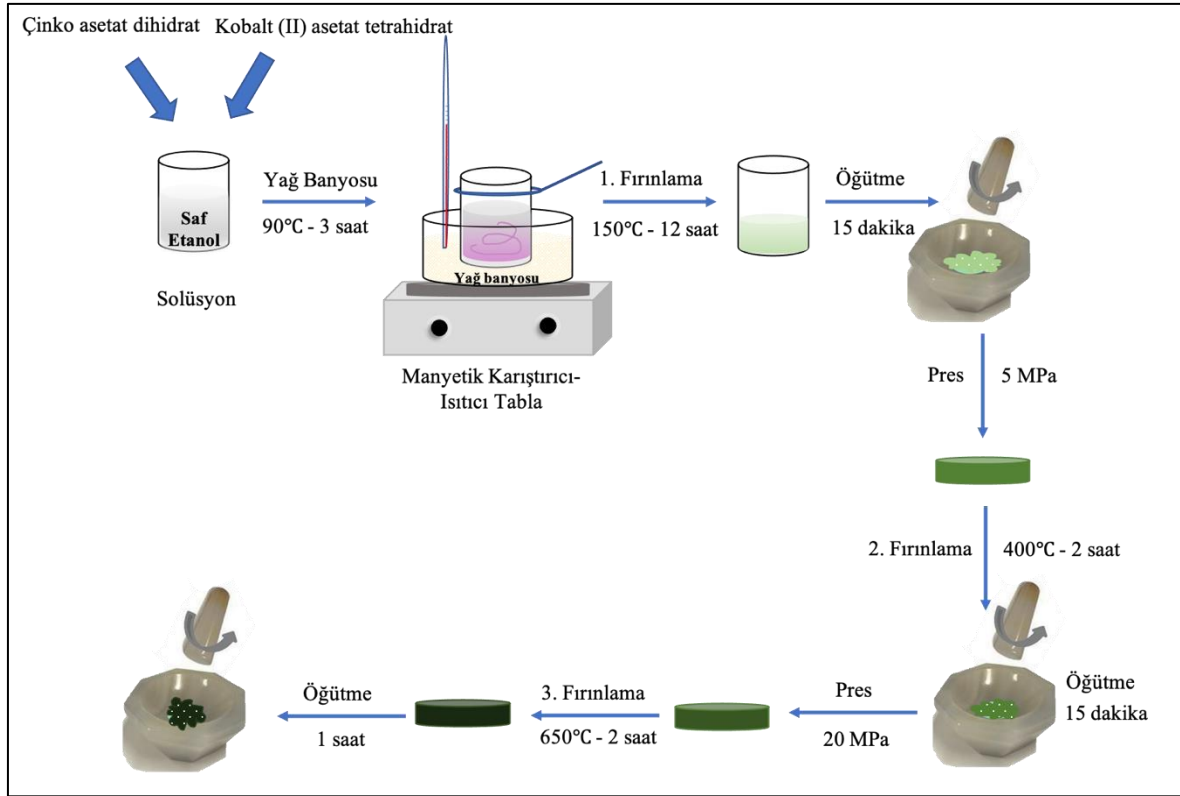
JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların hazırlanma aşamaları Şekil 3.1’de verilmiştir. İlk olarak ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının üretimi gerçekleştirildi. Jelatin çözeltisi hazırlandıktan sonra ZnCo_2O_4 nano parçacıkları belirli oranlarda jelatin çözeltisine katıldı. N-tipi silisyum kristallerinin hazırlanması basamaklarının ardından kaplamalar yapıldı. Kaplanan kristallere UV ışık altında çapraz bağlama yapıldıktan sonra termal buharlaştırma ile doğrultucu kontaktları oluşturulup ölçümler gerçekleştirildi.



Şekil 3.1. Al/Jelatin-ZnCo₂O₄/n-Si/Al Schottky diyotlarının hazırlık aşaması

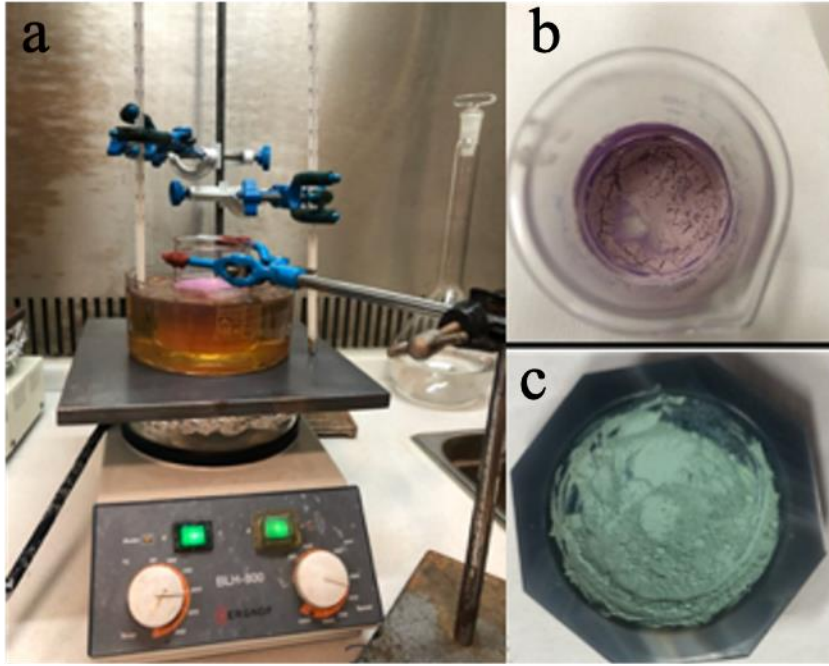
3.2.1. ZnCo₂O₄ nano parçacıkların üretimi

ZnCo₂O₄ nano parçacıklar sol jel üretim yöntemi kullanılarak sentezlendi. ZnCo₂O₄ nano parçacıkların üretimi için Sigma Aldrich firmasından tedarik edilen çinko asetat dehidrat ($\text{Zn}(\text{CHCOO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (%99 saflıkta), kobalt asetat tetrahidrat ($\text{C}_4\text{HCoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (%99 saflıkta) ve çözücü olarak Merck firmasından tedarik edilen saf etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) (%99,8 saflıkta) kullanıldı. ZnCo₂O₄ nano parçacıklar sol jel üretim yöntemi kullanılarak sentezlenme aşamaları Şekil 3.2’de verilmiştir. ZnCo₂O₄ nano parçacıklar sol jel üretim yöntemi ile sentezlenme aşamalarından bazıları Resim 3.4’te gösterildi.



Şekil 3.2. ZnCo_2O_4 nano parçacıklar sol jel üretim yöntemi kullanılarak sentezlenme aşamaları

Saf etanol içerisine çinko asetat dehidrat ve kobalt asetat tetrahidrat eklenerek çözelti oluşturuldu. Homojen ısı dağılımı amacı ile Resim 3.4 (a)'da görülen yağ banyosu sistemi oluşturuldu. Çözelti, yağ banyosu sistemi içerisinde 90°C'de 3 saat manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak saf etanol buharlaştırıldı (Resim 3.4.(b)). Buharlaştırma işleminden sonra ZnCo_2O_4 nano parçacıkların üretimi üç fırınlama basamağı ile gerçekleştirildi. İlk fırınlama basamağında elde edilen karışım 150 °C'de 12 saat kül fırında bekletildi. Fırından çıkarılan malzeme 15 dakika agat havanda öğütüldü (Resim 3.4 (c)). Öğütülen tozlar pres makinesi ile 5 MPa'lık bir basınç ile tablet hale getirildi. Tablet hale getirilen malzeme ikinci fırınlama basamağına tabi tutularak 400 °C'de 2 saat kül fırında bekletildi. Fırından çıkarılan tabletler 15 dakika agat havanda öğütülerek 20 MPa'lık bir basınç ile tekrar tablet hale getirildi. Tabletler son fırınlama basamağı olan üçüncü fırınlama basamağında ise 650 °C'de 2 saat kül fırında bekletildi. Fırından çıkarılan tabletler 1 saat boyunca agat havanda öğütülerek toz hale getirildi.



Resim 3.4. (a) yağ banyosu sistemi, (b) buharlaştıktan sonra ZnCo_2O_4 , (c) agat havanda dövüldükten sonra ZnCo_2O nano parçacıkların resmi

3.2.2. Jelatin çözeltisinin hazırlanması

Jelatin çözeltisi için sığır jelatini (200 bloom) kullanıldı. Jelatin çözeltisinde çözücü olarak ($18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ öz dirençli) deiyonize su kullanıldı. Çözelti, jelatin yoğunluğu ağırlıkça %6 olacak şekilde deiyonize su içerisinde 60°C 'de 20 dakika manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Oluşan çözelti berrak sarı renkte ve jel halindedir.

3.2.3. N-tipi silisyum kristallerin hazırlanması

Shottky diyotlar için alttaş olarak n-tipi Silisyum kristaller kullanıldı. N-tipi silisyum kristaller $2 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$ boyutlarında elmas kesici ile kesildi. Kesilen kristallerin temizliği; her bir basamak 5 dakika olacak şekilde kloroform, deiyonize su, aseton, deiyonize su, etil alkol ve tekrar deiyonize su içerisinde ultrasonik banyoda yapıldı. Bir sonraki aşamada silisyum kristaller hidroflorik asit ve deiyonize su (1:10) çözeltisi içerisinde batırıldı. Bu çözelti silisyum kristaller içerisindeyken deiyonize su ile seyreltilerek arındırıldı. Arındırılan kristaller deiyonize su ile yıkanarak hava ortamında kurutuldu. Alttaşların temizleme işleminden sonra Silisyum kristallerin alt yüzeyi, yüksek vakum termal buharlaştırma sistemi kullanılarak yaklaşık 10^{-5} Torr vakum altında %99 saflıkta alüminyum ile kaplandı.

Düşük dirençli omik kontak oluşturmak için silisyum kristaller 450 °C'de 8 dakika bekletilerek Al silisyum içerisine çöktürüldü.

3.2.4. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların hazırlanması

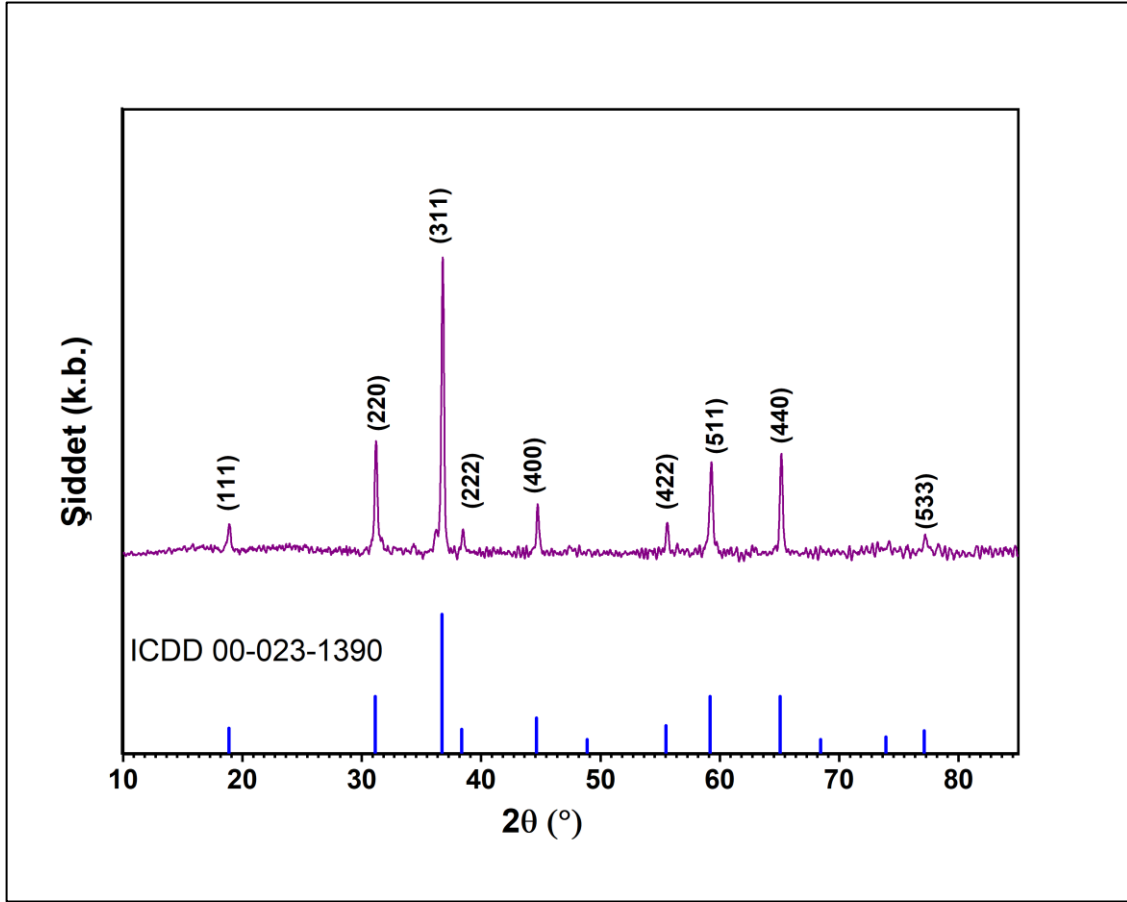
Katkısız, ZnCo_2O_4 tozları ağırlıkça %1 ve %5 katkılı olacak şekilde üç farklı jelatin çözeltisi hazırlandı. N-tipi silisyum kristaller, hazırlanan üç farklı çözelti ile döndürmeli kaplama metodu kullanılarak 3000 rpm hızında 30 saniye süre ile 5'er kat kaplandı. Kaplanan silisyum kristaller ultraviyole ışık altında 20 saat çapraz bağlama işlemine tabi tutuldu. Doğrultucu kontak oluşturulması amacı ile jelatin- ZnCo_2O_4 kaplanan yüzey, yüksek vakum termal buharlaştırma sistemi kullanılarak %99 saflıkta alüminyum ile 2-3 mm çapında maske kullanılarak kaplandı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının XRD, SEM analizleri ile yapısal ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Sol jel yöntemi ile üretilen JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyot parametreleri 1 kHz-1,5 MHz frekans aralığında, 0-2 V arası 0,2 V aralıklarla alınan kapasite ve iletkenlik ölçümlerinin sonuçları frekansa bağlı olarak belirlenmiştir. Ayrıca üretilen diyotların voltaja bağlı kapasite ve iletkenlik ölçüm sonuçları ise (-5V)-(+5V) aralığında, 30 kHz-1 MHz frekans arası 20 kHz-200 kHz aralıklarla alınan ölçümlerle belirlenmiştir.

4.1. ZnCo_2O_4 Nano parçacıklarının XRD Analizleri

Sol jel yöntemi ile üretilen ZnCo_2O_4 yapısının X-ışını kırınım deseni $2\theta=10^\circ-90^\circ$ arasında, 0,02 adımda Cu-K α radyasyon kaynağı ile ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$) yapısal özellikleri belirlenmiştir. Şekil 4.1’de ZnCo_2O_4 yapısının XRD kırınım deseni verildi. Şekil 4.1 incelendiğinde ZnCo_2O_4 dışında herhangi bir yapıya ait pik gözlenmemiş olup XRD karakteristik pikleri incelendiğinde standart veri tabanına göre ICDD 00-023-1390 kartı ile uyumlu olduğu görüldü (Morán-Lázaro ve diğerleri, 2017). (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511), (440) ve (533) düzlemlerinde kırınım gözlemlendi. En şiddetli pik olan (311) piki kullanılarak ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının örgü parametreleri belirlenmiş ve kristal boyutu (D) Debye Scherrer ve Williamson-Hall metodu kullanılarak elde edildi (Turan, 2021).



Şekil 4.1. ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının XRD deseni

XRD deseni incelendiğinde yapının wurtzite kübik yapı olduğu belirlendi.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1 ile verilen d düzlemler arası mesafe olup, h, k, l miller indisleridir. Örgü parametreleri Eşitlik 4.1'den faydalanarak hesaplandı ve $a=b=c=8,095 \text{ Å}$ olarak bulundu.

$$D_D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (4.2)$$

$$\beta \cos\theta = \frac{K\lambda}{D_W} + 4\sin\theta \quad (4.3)$$

Yukarıdaki eşitliklerde K şekil faktörü sabitidir ve değeri 0,9'dur, λ X-ışınının dalga boyu, β yarıpik genişliği, θ kırılma açısıdır. ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının kristal boyutları Eşitlik

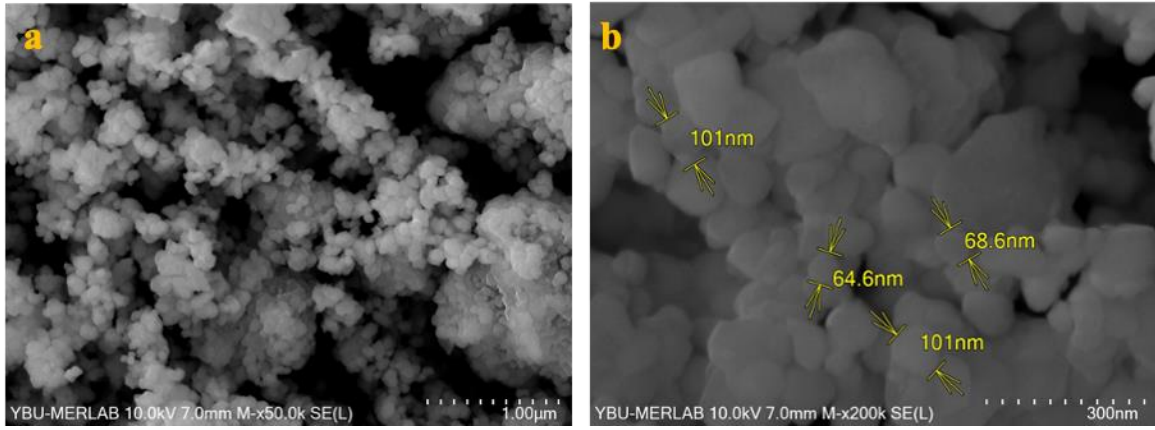
4.2'den faydalanarak Debye-Scherrer metodu (D_D), Eşitlik 4.3'ten faydalanarak Williamson-Hall (D_W) metodu ile hesaplandı (Rai ve diğerleri, 2016). Hesaplamalar yapılırken literatüre uygun olarak en şiddetli pik seçilmiş (311) ve o pike ait değerler kullanıldı. Hesaplanan örgü parametreleri, Debye-Scherrer ve Williamson-Hall metotları ile belirlenen kristal boyutları (D_D - D_W) Çizelge 1'de verildi. En şiddetli pik olan (311) pikinin kırılma açısı $18,3^\circ$ olarak belirlenmiştir. ZnCo_2O_4 yapısının XRD analizi incelendiğinde, wurtzite kübik yapı olan ZnCo_2O_4 'ün örgü parametreleri $a=b=c=8,095 \text{ \AA}$ olarak elde edilmiştir. ZnCo_2O_4 yapısının kristal boyutları Debye-Scherrer metodu (D_D) ile 34,5 nm, Williamson-Hall (D_W) metodu ile 45,5 nm olarak hesaplandı. Williamson-Hall metodu ile elde edilen kristal boyutu değerleri Debye-Scherrer metodu ile elde edilen kristal boyutu değerlerinden genellikle daha büyüktür. Bu durum Williamson-Hall metodunun Debye-Scherrer metoduna göre pik genişlemesini kapsadığı için daha büyük değer almasına atfedilir (Turan, 2021). Sharma ve arkadaşlarının Lityum iyon pil çalışmaları için ürettikleri ZnCo_2O_4 yapısının XRD analizi incelendiğinde örgü parametreleri $a=b=c=8,120 \text{ \AA}$ olarak bulunmuştur (Sharma ve diğerleri, 2007). Vijayanand ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada LPG dedektörü olarak üretilen ZnCo_2O_4 nanoyapısının XRD analizi incelendiğinde örgü parametreleri $a=b=c=8,086 \text{ \AA}$ olarak bulundu. Ayrıca bu çalışmada Debye-Scherrer metodu ile elde edilen kristal boyutu yaklaşık 26 nm olarak hesaplamıştır (Vijayanand ve diğerleri, 2011). Kathalingam ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise süper kapasitör uygulaması için nano tabaka olarak üretilen ZnCo_2O_4 yapısının XRD analizi incelendiğinde Debye-Scherrer metodu ile elde edilen kristal boyutunu 31 nm olarak hesaplamıştır (Kathalingam ve diğerleri, 2020). Sol jel yöntemi ile üretilen ZnCo_2O_4 yapısının XRD analiz sonuçları literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının XRD analizleri

Örgü Parametreleri $a=b=c \text{ (\AA)}$	ICDD 00-023-1390 Örgü Parametreleri $a=b=c \text{ (\AA)}$	Kırılma açısı $\theta \text{ (}^\circ\text{)}$	Yarı pik genişliği $\beta \text{ (}^\circ\text{)}$	Kristal Boyutu $D_D \text{ (nm)}$	Kristal Boyutu $D_W \text{ (nm)}$
8,095	8,094	18,300	0,243	34,500	45,500

4.2. ZnCo₂O₄ Nano Parçacıklarının SEM Analizleri

Sol jel yöntemi ile üretilen ZnCo₂O₄ nano parçacıklarının SEM analizi ile morfolojik özellikleri belirlendi. Şekil 4.2 (a) da 50k büyütme yapılarak ZnCo₂O₄ nano parçacıklarının SEM görüntüleri yer almaktadır. Şekil 4.2 (b) de ise 200k büyütme yapılarak ZnCo₂O₄ nano parçacıklarının SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.2 (a) ve (b) incelendiğinde ZnCo₂O₄ nano parçacıklarının düzensiz olarak dağılmış taneli yapılar olduğu görüldü. ZnCo₂O₄ nano parçacıklarının SEM görüntüleri XRD analizleri ile uyum içerisinde olup parçacıkların boyutunun nanometre seviyesinde olduğu gözlemlendi. Yapıların 100 nm den küçük olması ZnCo₂O₄ parçacıklarının nano yapıları olduğunu göstermektedir (Lobo ve diğerleri, 2019).



Şekil 4.2. (a) 50k büyütmedeki, (b) 200k büyütmedeki ZnCo₂O₄ nano parçacıklarının SEM görüntüleri

4.3. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky Diyotların Elektriksel Karakterizasyonu

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların parametreleri 1 kHz-1,5 MHz frekans aralığında, 0-2 V arası 0,2 V aralıklarla kapasitans-frekans ve iletkenlik-frekans ölçümleri ile (-5)-(+5V) aralığında, 30kHz-1MHz frekans aralığında kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj ölçümleri alınmıştır.

Üretilen üç diyotun $C-V$ ve $G-V$ ölçümlerinden Eşitlik (2.23)'den yararlanarak seri direnç (R_s) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerden voltaja ve frekansa bağlı seri direnç-voltaj (R_s-V) ve seri direnç-frekans ($R_s-\log f$) grafikleri çizilmiştir. Ayrıca bu ölçümler kullanılarak düzeltilmiş kapasitans (C_c) ve düzeltilmiş iletkenlik (G_c) hesaplanmış ve voltaja bağlı grafikleri ($C_c-V, G_c/\omega -V$) çizilmiştir.

4.3.1. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı frekanslarda kapasitans-voltaj karakteristikleri

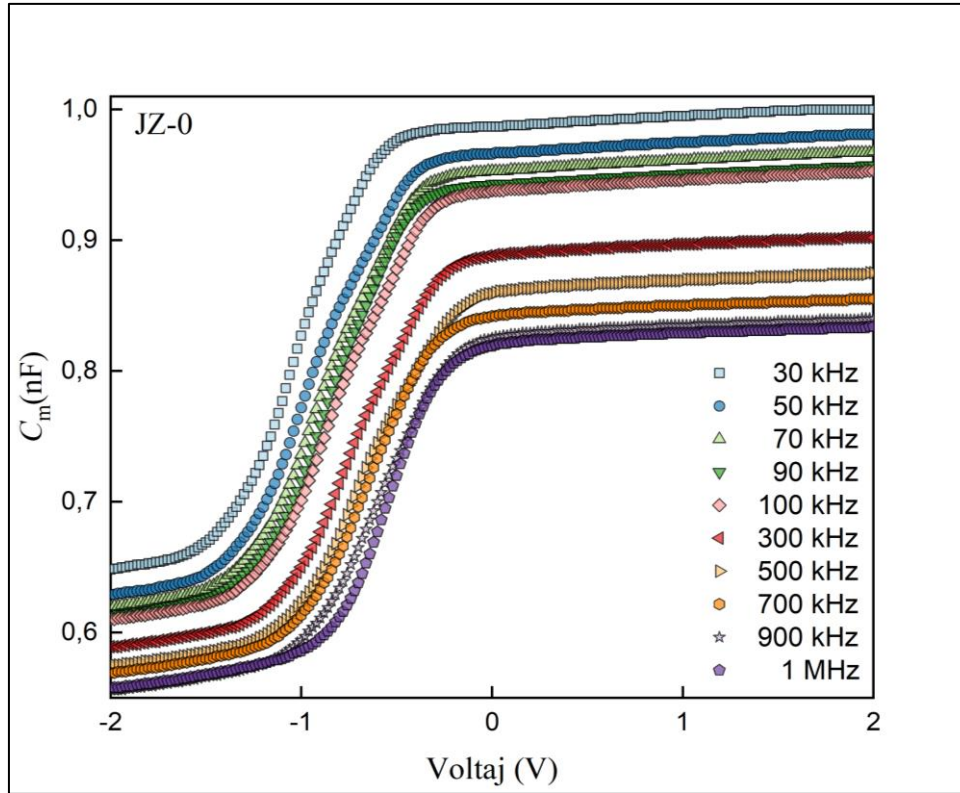
JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların diyot parametreleri, 30 kHz-1 MHz frekans arası 20 kHz-200 kHz aralıklarla alınan C-V ölçüm sonuçları kullanılarak belirlendi.

Şekil 4.3' te JZ-0 Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj grafiği verilmiştir. Her üç diyotun C-V karakteristiğine bakıldığında tipik n tipi MOS Schottky yapısının C-V karakteristiği gözlemlenmektedir.

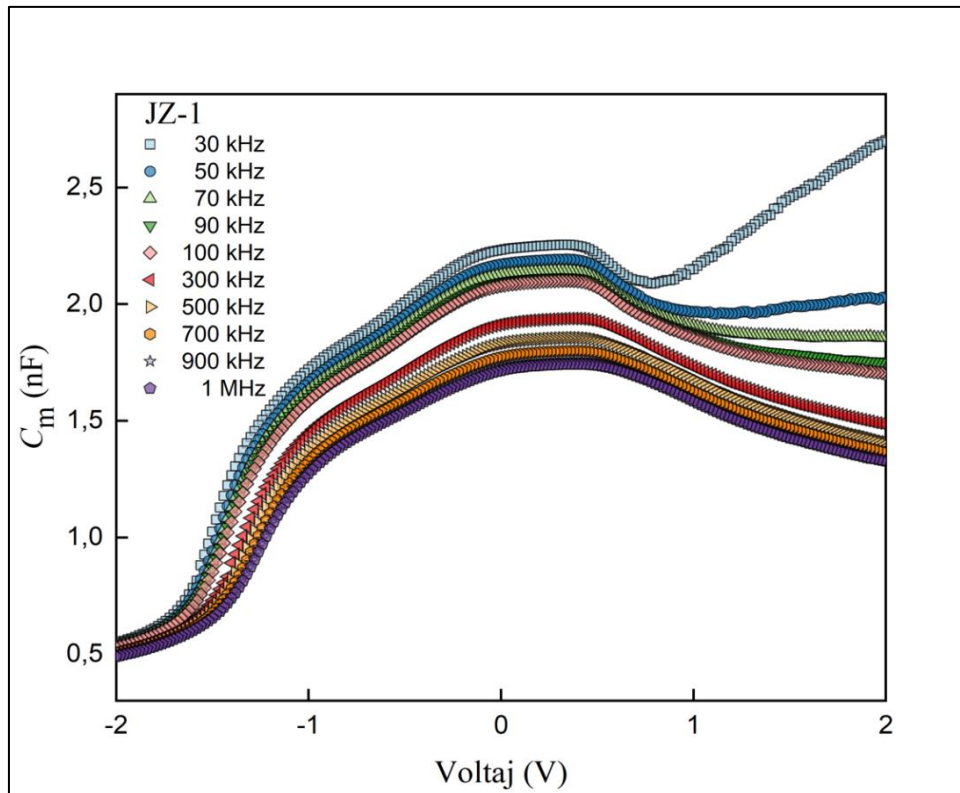
Şekil 4.4' te JZ-1 Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj grafiği verilmiştir. JZ-1 diyotunun C-V grafiği incelendiğinde, yığılım bölgesi pozitif voltaj bölgesinde 0V'tan büyük olup frekansa bağlı olarak değişmektedir. JZ-1 diyotunun tükenim bölgesi yaklaşık -1,5 ile 0V aralığında ve ters çevirim bölgesi ise -1,5V'tan küçüktür. Diyotun 0V da kapasitans değerleri frekansa göre karşılaştırıldığında, 30 kHz'de kapasitans değeri 2,2 nF ve 1MHz'de ise bu değer 1,7 nF olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum JZ-1 diyotunda artan frekans değerleri ile tüm voltaj değerlerinde kapasitansın azaldığını göstermektedir.

Şekil 4.5' te JZ-5 Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj grafiği verilmiştir. JZ-5 diyotunun yığılım bölgesi pozitif voltaj bölgesinde yaklaşık olarak -1V'tan büyük olup frekansa bağlı olarak değişirken tükenim bölgesi -1V ile -2V aralığında ve ters çevirim bölgesi ise -2V'tan küçüktür. JZ-5 diyotu JZ-0 ve JZ-1 diyotlarında da görüldüğü üzere tüm voltaj değerleri için artan frekans ile kapasitansın azaldığı görülmektedir. JZ-5 diyotunun 0V da kapasitans değerleri frekansa göre karşılaştırıldığında ise 30 kHz'de kapasitans 2,53 nF değeri alırken 1MHz'de 1,82 nF'ta düşmektedir.

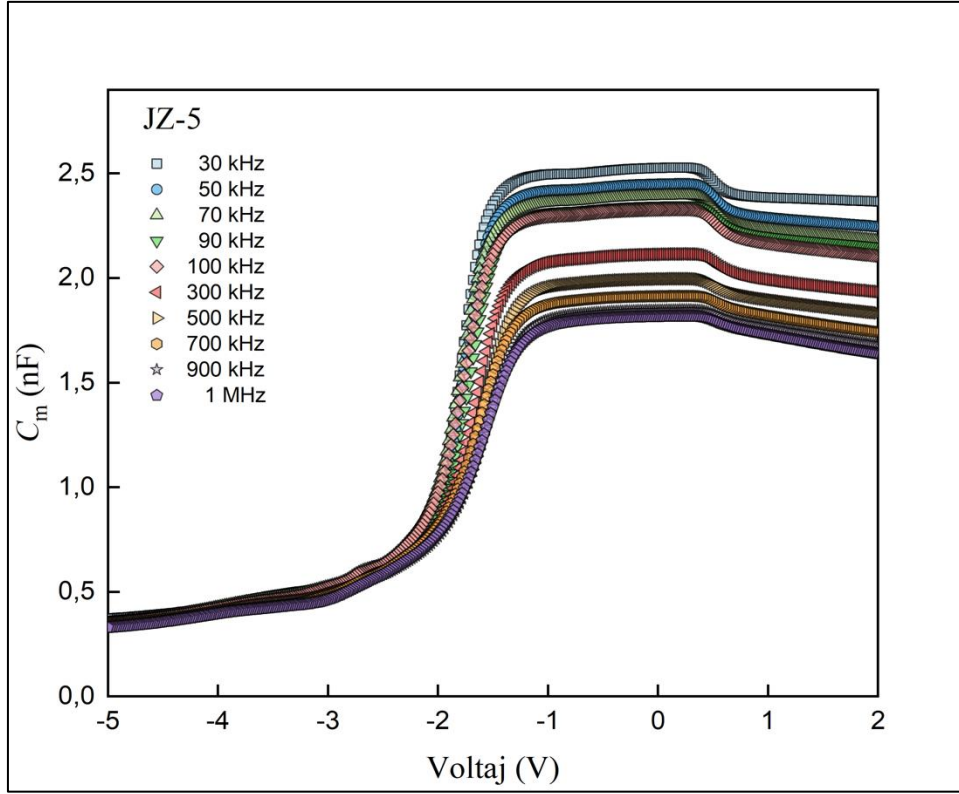
JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının C-V grafiklerinde MOS tipi Schottky diyot davranışını gösteren birikim, tükenim, ters çevirim olarak adlandırılan üç bölgeye sahip oldukları görülmektedir. JZ-0 diyotunun yığılım bölgesi negatif voltaj bölgesinde yaklaşık olarak -0,5V'tan büyük olup frekansa bağlı olarak değişmektedir. Tükenim bölgesi -1,5V ile -0,5V aralığında, ters çevirim bölgesi ise -1,5V'tan küçüktür. JZ-0 diyotunda tüm voltaj değerlerinde artan frekans ile kapasitans azalmaktadır. JZ-0 diyotunun 0V 'ta kapasitans değerleri frekansa göre karşılaştırılmıştır. 30 kHz'de kapasitans 0,98 nF değeri alırken 1MHz'de 0,8 nF'ta düştüğü görülmektedir.



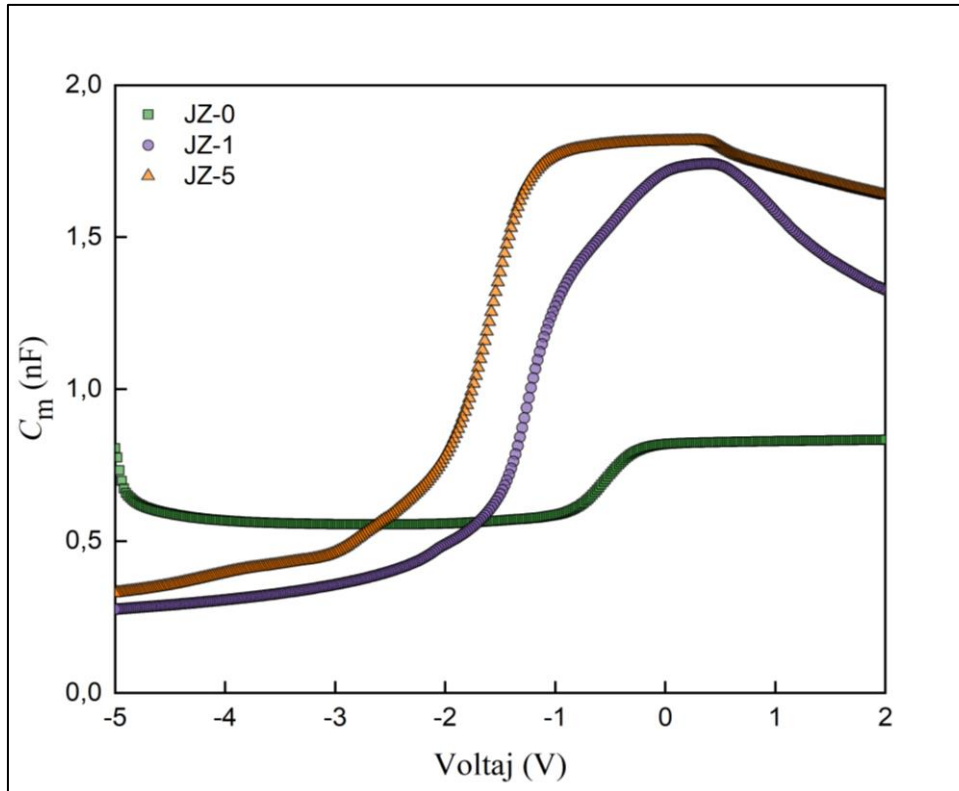
Şekil 4.3. Jz-0 Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj grafiği.



Şekil 4.4. JZ-1 Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj grafiği.



Şekil 4.5. JZ-5 Schottky diyotunun frekansa bağlı kapasitans-voltaj grafiği.



Şekil 4.6. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1MHz'deki kapasitans-voltaj grafiği.

Şekil 4.6' da JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1MHz'deki kapasitans-voltaj grafiği verilmiştir. Her üç diyotun 1MHz'deki ölçümleri incelendiğinde tüketim ve yığılma bölgeleri için artan katkı oranı ile kapasitans değerlerinin arttığı görülmektedir. Her üç diyot için 0V'da JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının kapasitans değeri sırası ile 0,8 nF, 1,7 nF ve 1,82 nF'tır.

Kapasitans değerleri, oksit tabakasının oluşumu, kalınlığı, seri direnç ve arayüzey durumları gibi birçok parametreye bağlıdır (Karadeniz ve diğerleri, 2007). Tüketim ve birikim bölgelerinde oluşan değişimler arayüzey durumları, seri direnç ve oksit tabakasından kaynaklıdır. Arayüzey durumları özellikle tüketim ve tersinim bölgelerini etkilerken, seri direnç birikim bölgesindeki etkilere atfedilebilir (Sezgin, 2011). JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotları için artan frekans değerleri ile kapasitans değerlerinin azaldığı gözlemlenmektedir. Düşük frekanslarda kapasite değeri yüksek frekans değerlerine göre daha fazladır. Bu arayüzey durumlarının yarıiletken ile dengede olmasına atfedilebilir. Yani düşük frekanslarda arayüzey yükleri AC sinyali takip ederek kapasitansa büyük ölçüde katkıda bulunur (Ataseven, 2011). JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotları için 900 kHz üstü frekanslarda değişimler gözlemlenmemesinin sebebi arayüzey yüklerinin yüksek frekanslarda AC sinyali takip edememesinden kaynaklı olabilir. Frekans değerleri arttıkça arayüzey kapasitansının diyot kapasitansına katkısı azalmaktadır (Demirezen ve diğerleri, 2012). Çünkü yüksek frekanslarda taşıyıcının ömrü (τ), $C-V$ eğrilerinde sahip olduğu taşıyıcı ömründen yani $1/\omega$ 'den büyüktür. Bu durum arayüzey yüklerinin yüksek frekanslarda AC sinyali takip edememesi olarak belirtilirken yüksek frekanslarda eğrilerin daha ideal bir duruma yaklaşması olarak da söylenebilir (Tataroğlu ve diğerleri, 2003). JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının 1 MHz'deki kapasitans değerleri incelendiğinde katkı oranı arttıkça kapasitans değerlerinin artması $ZnCo_2O_4$ katkısının diyot kapasitansını arttırdığı söylenebilir.

4.3.2. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların farklı frekanslarda iletkenlik-voltaj karakteristikleri

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların $G-V$ ölçümlerinin sonuçları kullanılarak diyotların iletkenlik karakteristikleri belirlenmiştir

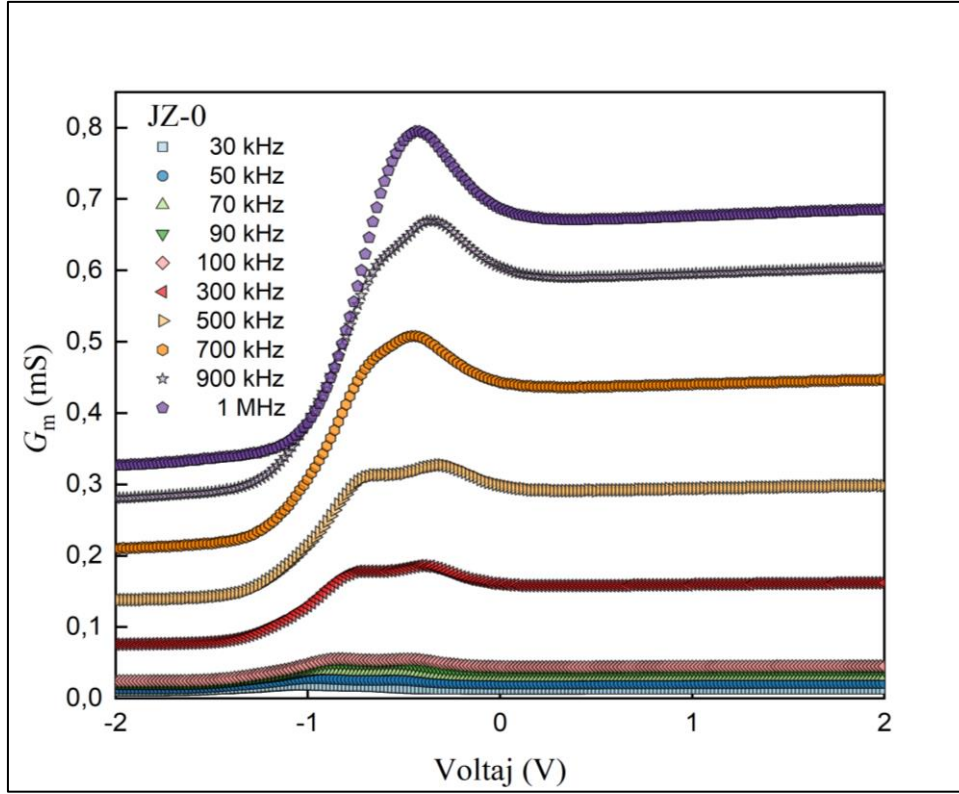
Şekil 4.7' te JZ-0 Schottky diyotunun frekansa bağlı iletkenlik-voltaj grafiği verilmiştir. JZ-0 diyotlarının ve JZ-1 diyotlarının ters çevirim bölgelerine denk gelen iletkenlik değerleri tüm frekans değerleri için neredeyse -1,5V'a kadar, JZ-5 diyotu için -2V a kadar herhangi

değişim gözlenmemektedir. JZ-0 diyotunun tükenim bölgesinde yer alan iletkenlik eğrileri düşük frekanslarda iki pik oluştururken yüksek frekanslarda, özellikle 1 MHz'de tek bir pike sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca JZ-0 için artan frekans değerleri ile iletkenlik değerlerinin arttığı görülmektedir. JZ-0 diyotunun 0 V'da iletkenlik değerleri frekansa göre karşılaştırılmıştır. 30 kHz'de iletkenlik 0,01 mS değeri alırken 1MHz'de 0,68 mS'e yükseldiği görülmektedir.

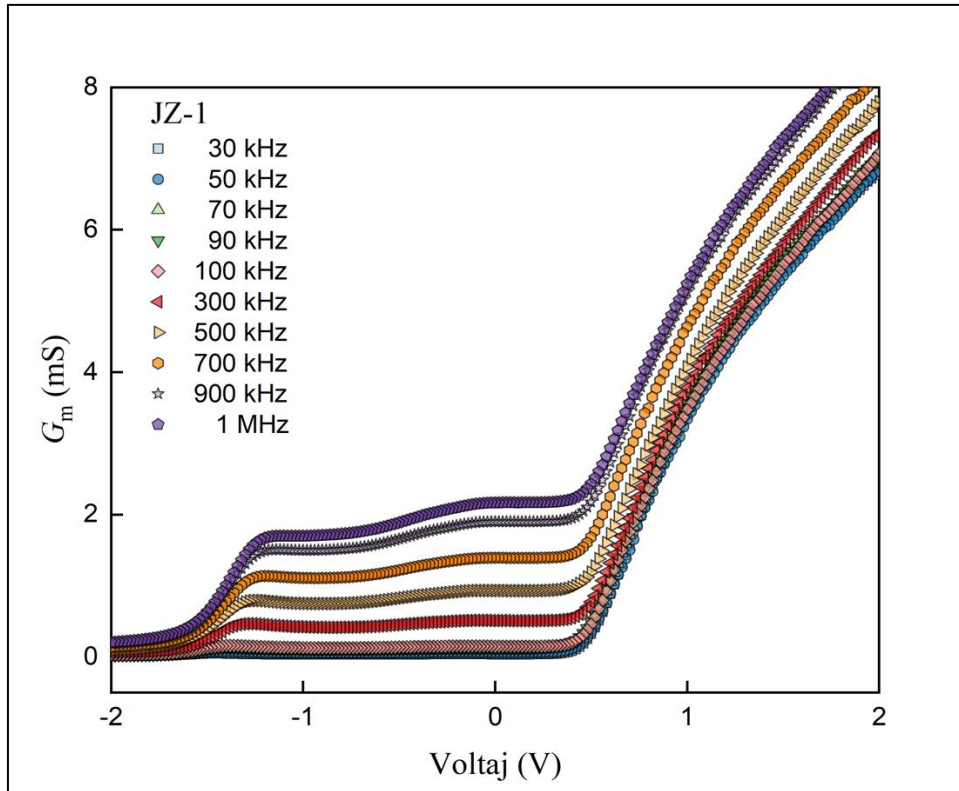
Şekil 4.8' te JZ-1 Schottky diyotunun frekansa bağlı iletkenlik-voltaj grafiği verilmiştir. JZ-1 ve JZ-5 diyotlarında tükenim bölgesinde yer alan iletkenlik değerlerinde artış olduğu görülmektedir. JZ-1 diyotu için artan frekans değerleri ile iletkenlik değerlerinin arttığı gözlemlenmektedir. JZ-1 diyotunun 0V da iletkenlik değerleri frekansa göre karşılaştırıldığında, 30 kHz'de iletkenlik 0,04 mS değeri alırken 1MHz'de 2,17 mS'e değeri almaktadır.

Şekil 4.9'da JZ-5 Schottky diyotlarının frekansa bağlı iletkenlik-voltaj grafiği verilmiştir. JZ-5 diyotu için artan frekans değerleri ile iletkenlik değerleri artmıştır. JZ-5 diyotunun 0V da iletkenlik değerleri frekansa göre karşılaştırıldığında, 30 kHz'de iletkenlik değeri 0,05 mS ve 1MHz'de ise 2,90 mS'e artmaktadır.

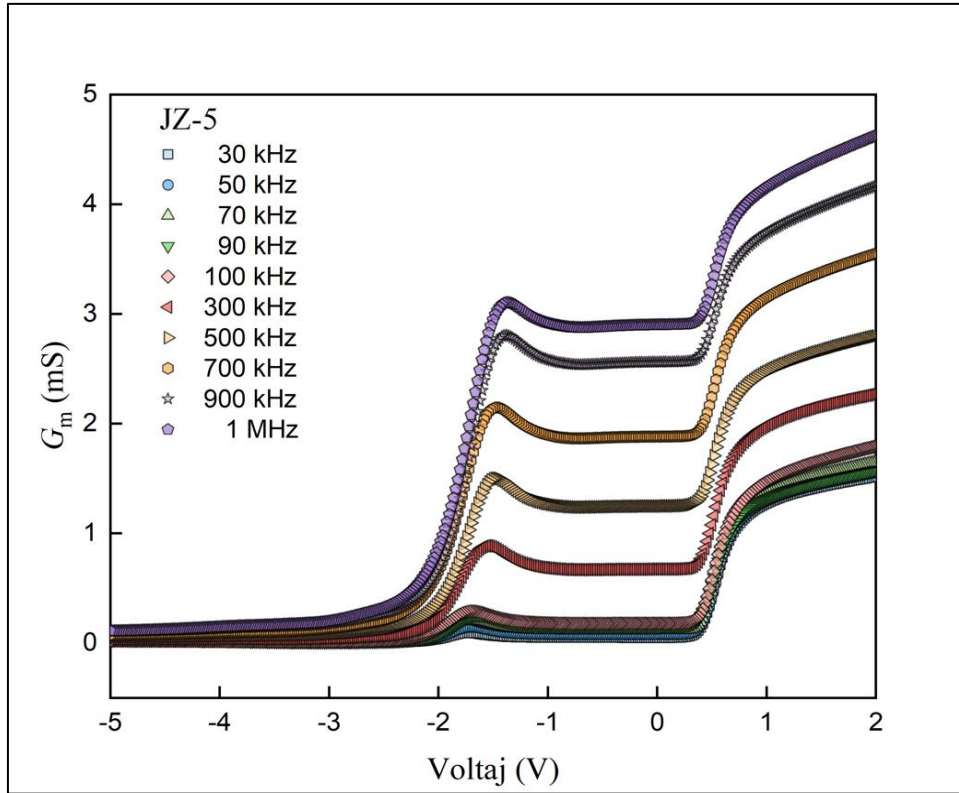
Şekil 4.10' da JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1MHz'deki iletkenlik-voltaj grafiği verilmiştir. Her üç diyotun 1MHz'deki ölçümleri incelendiğinde tüketim ve yığılım bölgeleri için artan katkı oranı ile iletkenlik değeri artmaktadır. 0V da JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotunun iletkenlik değeri sırası ile 0,86 mS, 2,17 mS ve 2,90 mS'dir.



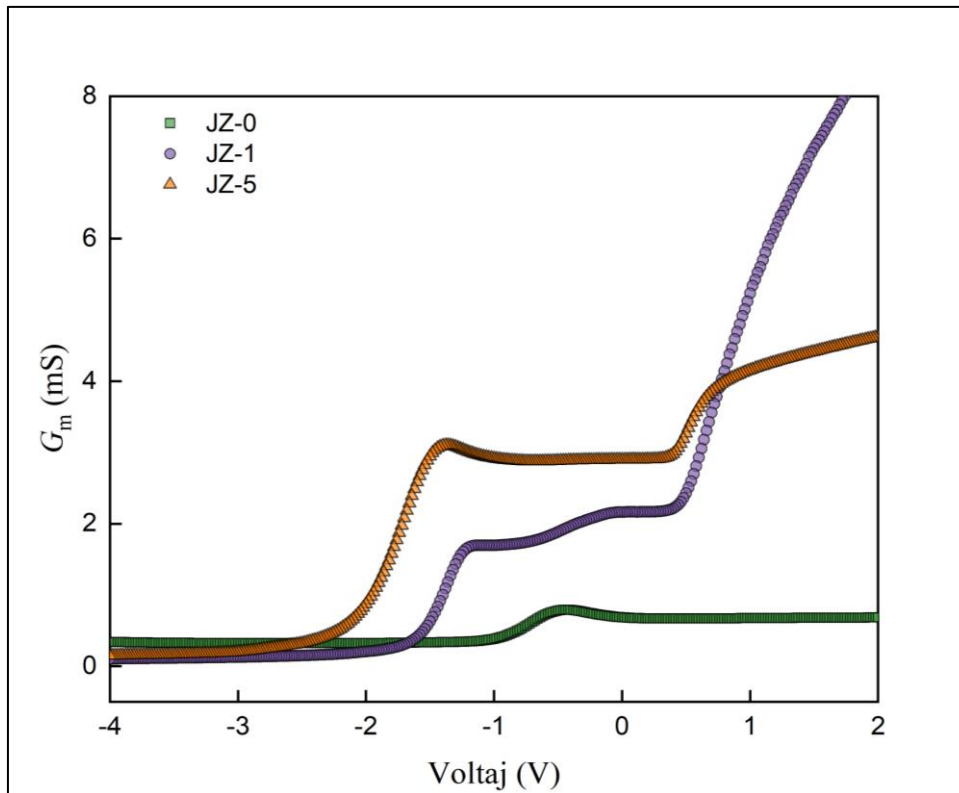
Şekil 4.7. JZ-0 Schottky diyotunun frekansa bağlı iletkenlik-voltaj grafiği.



Şekil 4.8. JZ-1 Schottky diyotunun frekansa bağlı iletkenlik-voltaj grafiği.



Şekil 4.9. JZ-5 Schottky diyotunun frekansa bağlı iletkenlik-voltaj grafiği.



Şekil 4.10. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının 1MHz'deki iletkenlik-voltaj grafiği.

Bir MOS diyotuna gerilim uygulandığında yarıiletken iletkenlik bandı ile arayüzey durumlarının arasında bir etkileşim meydana gelebilir. Bu etkileşim iletkenlik kaybını ölçmek için kullanılır. Artan frekans doğrultusunda iletkenlikteki değişim arayüzey durumları ve burada bulunan yüklerin gevşeme süresine atfedilebilir (Lok ve diğerleri, 2020).

4.3.3. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı voltajlarda kapasitans-frekans karakteristikleri

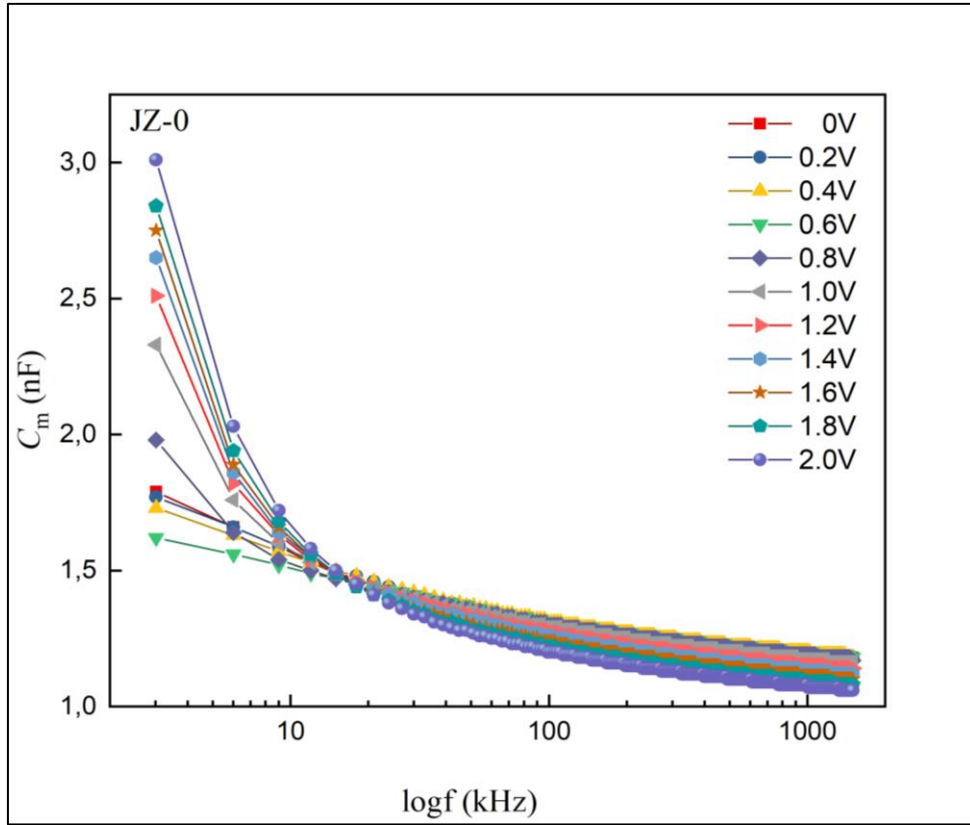
JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların diyot parametreleri $C-f$ ölçümlerinin sonuçları ile diyotların kapasitans karakteristikleri belirlendi.

Şekil 4.11 de JZ-0 Schottky diyotunun voltaja bağlı Kapasitans-frekans grafiği verilmiştir. JZ-0 $C-f$ karakteristiğine bakıldığında tüm voltaj değerlerinde frekans değeri arttıkça kapasitans değeri azaldığı görülmektedir.

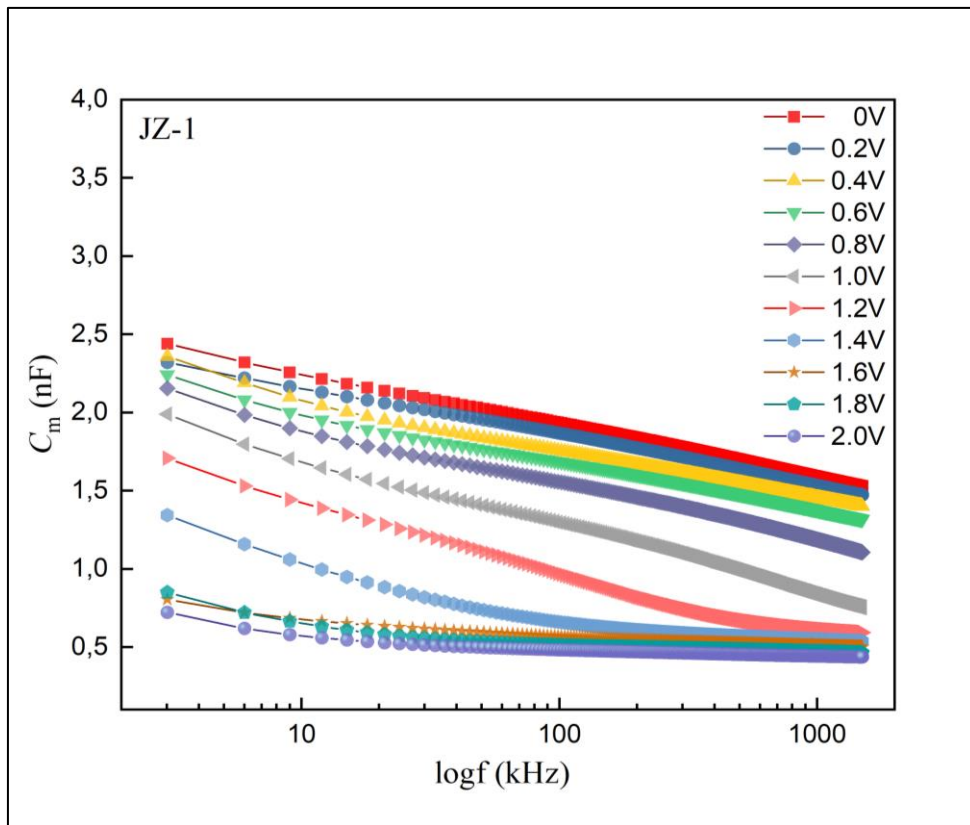
Şekil 4.12 de JZ-1 Schottky diyotunun voltaja bağlı Kapasitans-frekans grafiği verilmiştir. JZ-1 diyotunda voltaj değeri arttıkça kapasitans değeri azalmaktadır. 100 kHz’de 0V’da 1,90 nF değeri alırken 2V da 0,48 nF değeri almaktadır.

Şekil 4.13 de JZ-5 Schottky diyotlarının voltaja bağlı Kapasitans-frekans grafiği verilmiştir. JZ-5 diyotu için JZ-1 diyotunda da görüldüğü gibi voltaj değerindeki artış ile birlikte kapasitans değerinin azaldığı görülmektedir. 100 kHz’de 0V’da 2,30 nF değeri alırken 2V da 0,67 nF değeri almaktadır. Her üç diyotun $C-f$ karakteristikleri incelendiğinde frekans değerinde meydana gelen artış, tüm voltaj değerlerindeki kapasitans değerlerinde azalma göstermektedir. Bu durum, JZ-0 diyotu için 0V da 100 kHz’de 1,30 nF iken 1 MHz’de 1,18 nF ve JZ-1 diyotu için 0V da 100 kHz’de 1,90 nF iken 1 MHz’de 1,53 nF değerlerini almıştır. Ayrıca JZ-5 diyotu için 0V da 100 kHz’de 2,30 nF iken 1 MHz’de 1,63 nF’a düştüğü görülmektedir.

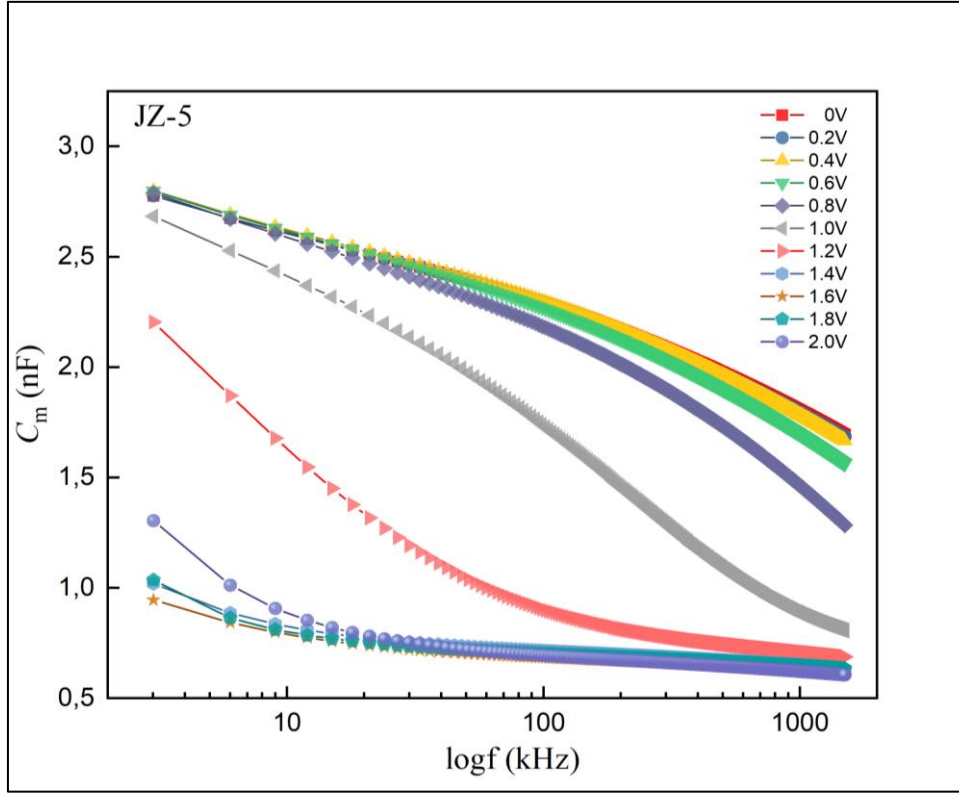
Şekil 4.14’ da JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 0 V’daki kapasitans-frekans grafiği verilmiştir. Her üç diyotun 0 V’daki ölçümleri incelendiğinde tüm frekans değerleri için artan katkı oranı ile kapasitans değeri artmaktadır. 1MHz’de JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotunun kapasitans değeri sırası ile 1,18 nF, 1,53 nF ve 1,63 nF’dır.



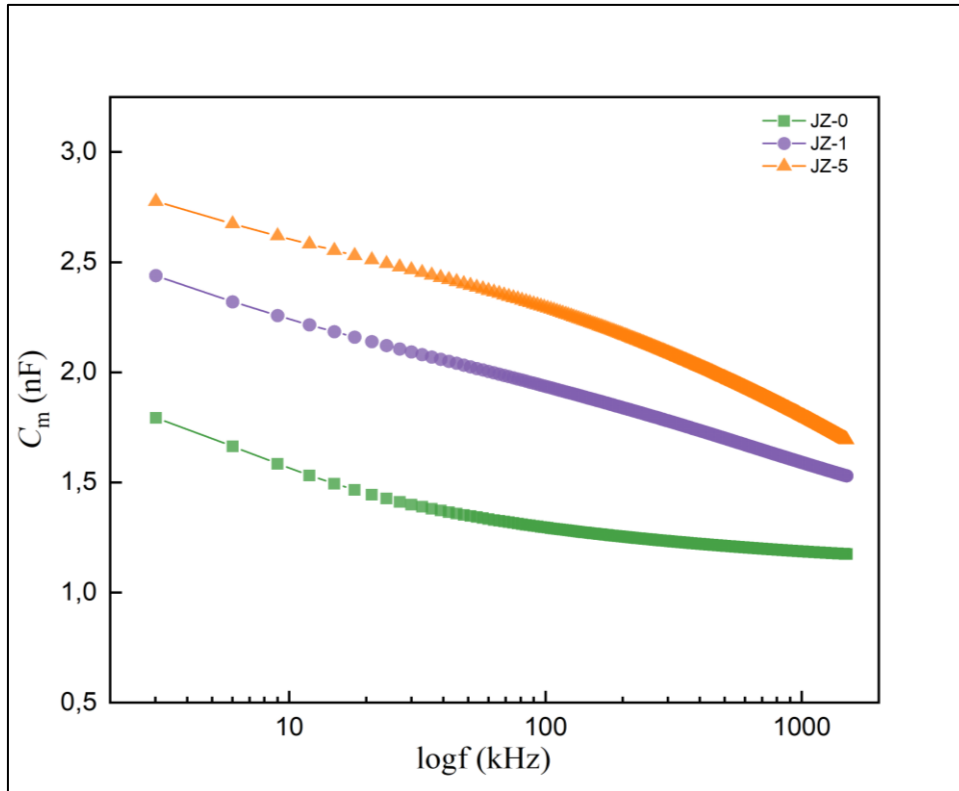
Şekil 4.11. JZ-0 Schottky diyotunun voltaja bağlı kapasitans-frekans grafiği.



Şekil 4.12. JZ-1 Schottky diyotunun voltaja bağlı kapasitans-frekans grafiği.



Şekil 4.13. JZ-5 Schottky diyotunun voltaja bağlı kapasitans-frekans grafiği.



Şekil 4.14. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 0V da kapasitans-frekans grafiği.

Tüm voltaj değerlerinde frekans değeri arttıkça kapasitans değerlerindeki azalma arayüzey durumları, taşıyıcı ömrü ve diyotun seri dirençten etkilenmesinden kaynaklı olabilir. Düşük frekanslarda arayüzey durumları uygulanan AC sinyali takip etmek için taşıyıcı ömrü yeterliyken yüksek frekanslarda taşıyıcı ömrünün yetersiz kalması kapasitansın düşüşüne sebep olabilir (Duman ve diğerleri, 2011). $C-f$ eğrisinde değerlerin artan frekans ile azalması sadece arayüzey durumlarından ve taşıyıcı ömründen kaynaklı olmayabilir. Aynı zamanda cihazın yüksek seri dirence sahip olması da bu değerlerde sürekli bir azalış gösterebilir (Karataş ve diğerleri, 2012).

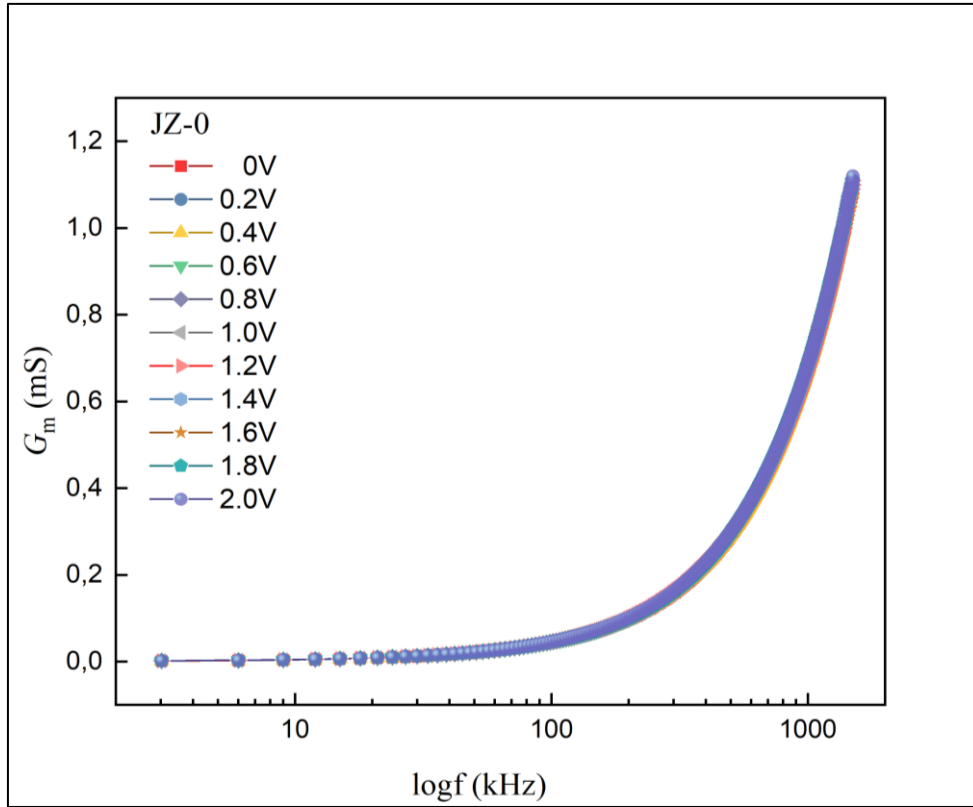
4.3.4. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı voltajlarda iletkenlik- frekans karakteristikleri

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının $G-f$ ölçümlerinin sonuçları ile diyotların iletkenlik karakteristikleri belirlenmiştir.

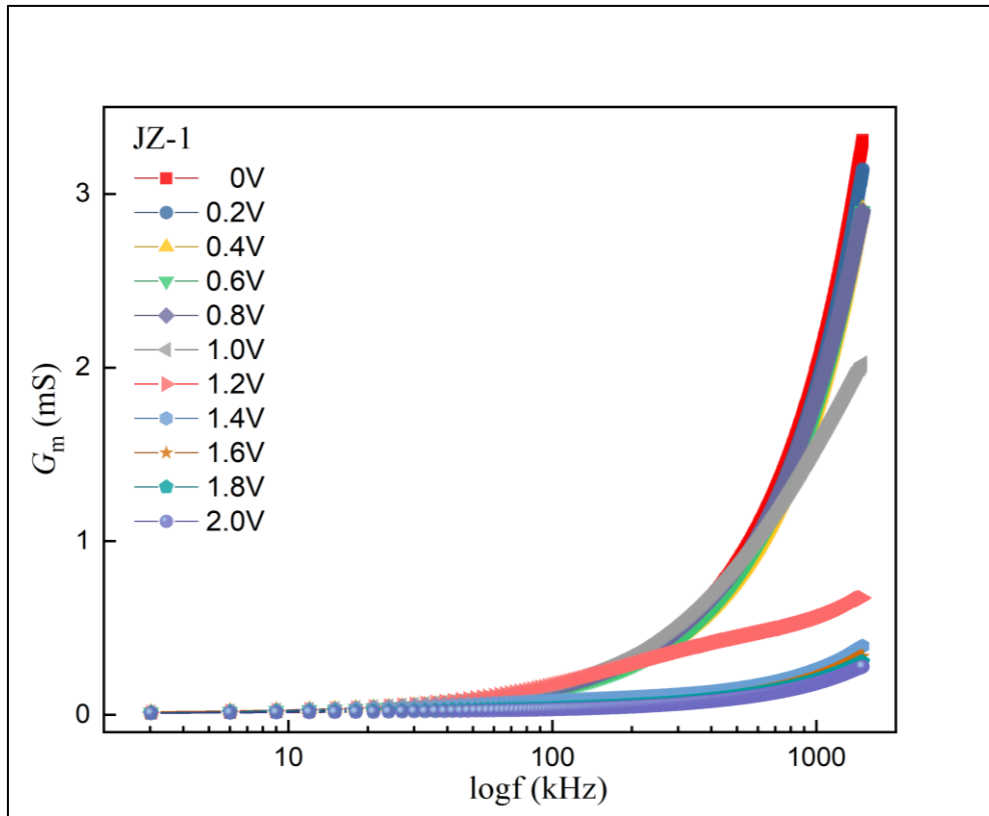
Şekil 4.15’de JZ-0 Schottky diyotunun voltaja bağlı iletkenlik-frekans grafiği verilmiştir. JZ-0 için düşük frekanslarda (100 kHz’e kadar) iletkenlikte herhangi bir değişim gözlemlenmezken yüksek frekanslarda frekans arttıkça iletkenlik artmaktadır.

Şekil 4.16’da JZ-1 Schottky diyotunun voltaja bağlı iletkenlik-frekans grafiği verilmiştir. JZ-1 diyotunda voltaj değeri arttıkça iletkenlik değerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum 100 kHz’de 0V’da 0,14 mS değeri alırken 2V da 0,03 mS’e düştüğünü göstermektedir.

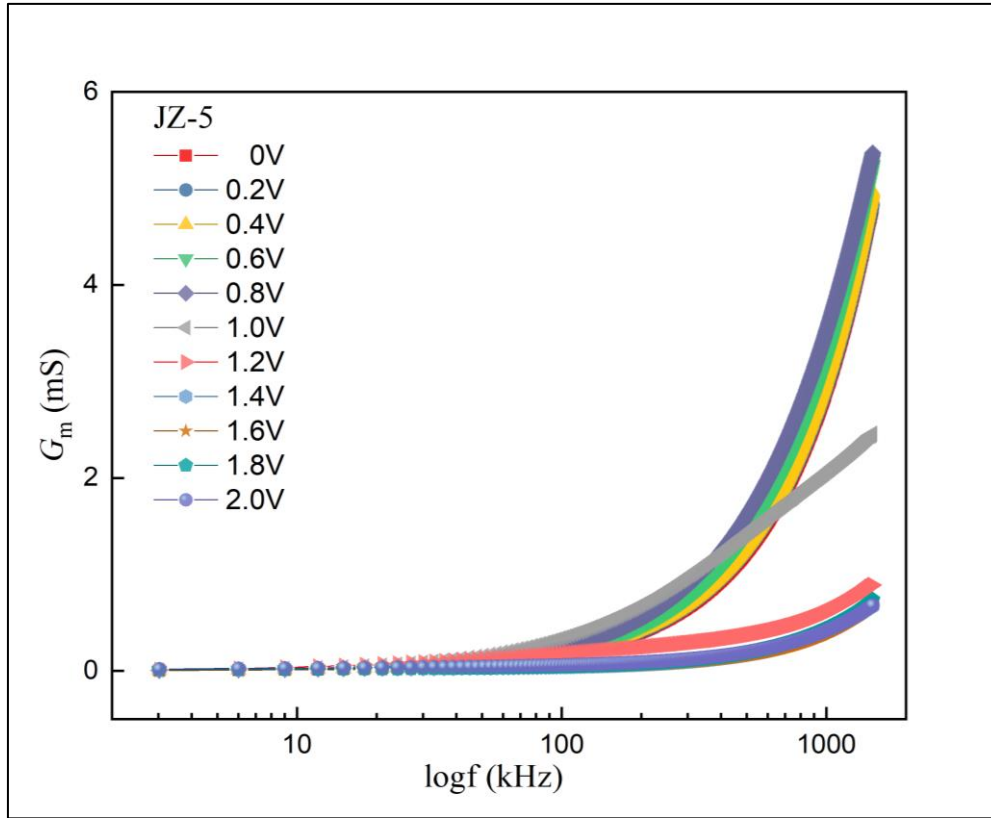
Şekil 4.17’de JZ-5 Schottky diyotunun voltaja bağlı iletkenlik-frekans grafiği verilmiştir. JZ-5 diyotu için JZ-1 diyotunda da görüldüğü gibi voltaj değerinin artması ile birlikte iletkenlik değerlerinde azalma meydana gelmektedir. JZ-5 diyotu için 100 kHz’de 0V’da 0,17 mS değeri alırken 2V da 0,06 mS’e düştüğü görülmektedir. Her üç diyot için yaklaşık 100 KHz’den daha yüksek frekans bölgelerine doğru ilerledikçe artan frekans değeri ile iletkenliğin arttığı görülmektedir. Bu durum, JZ-0 diyotu için 0V da 100 kHz’de iletkenlik değeri 0,04 mS iken 1MHz’de 0,68 mS’e değeri aldığı ve JZ-1 diyotu için 0V da 100 kHz’de iletkenlik değeri 0,14 mS değeri alırken 1MHz’de 2,20 mS’e yükseldiği görülmektedir. Ayrıca JZ-5 diyotu için 0V da 100 kHz’de iletkenlik değeri 0,17 mS iken 1MHz’de 2,90 mS’e yükselmektedir.



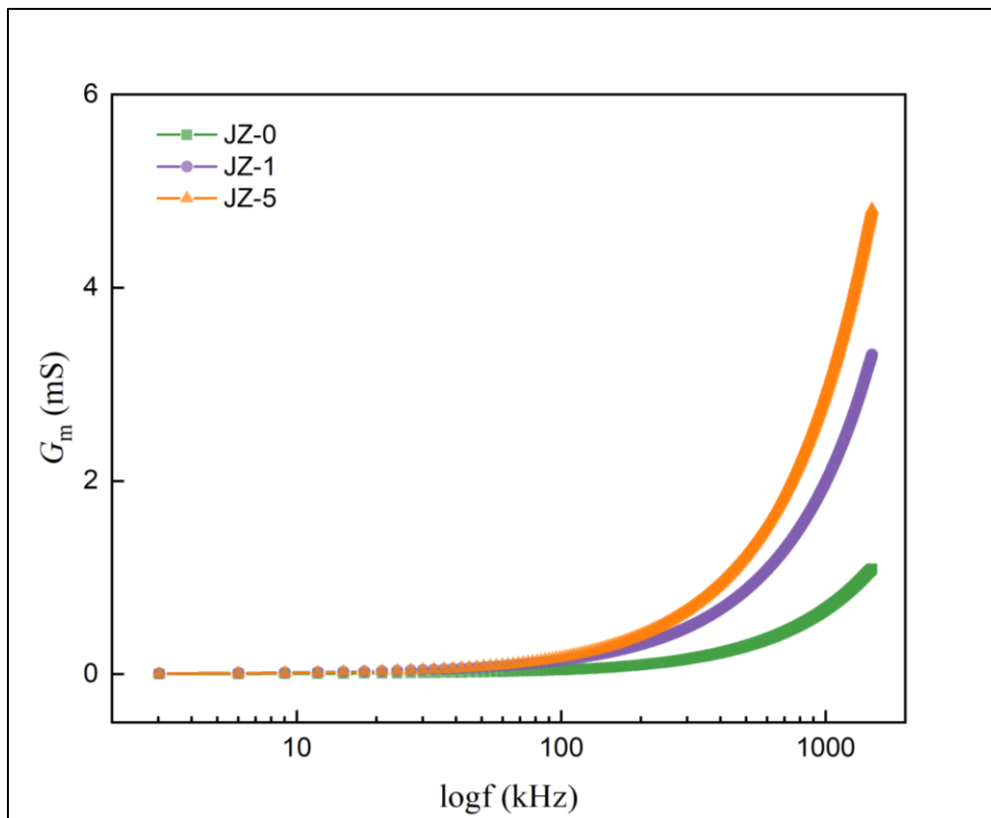
Şekil 4.15. JZ-0 Schottky diyotunun voltaja bağlı İletkenlik-frekans grafiği.



Şekil 4.16. JZ-1 Schottky diyotunun voltaja bağlı İletkenlik-frekans grafiği.



Şekil 4.17. JZ-5 Schottky diyotunun voltaja bağlı İletkenlik-frekans grafiği.



Şekil 4.18. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının 0V da iletkenlik-frekans grafiği.

Şekil 4.18' de JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 0 V'daki iletkenlik-frekans grafiği verilmiştir. Her üç diyotun 1MHz'deki ölçümleri incelendiğinde 100 kHz'e kadar herhangi bir değişim gözlemlenmemektedir. Ayrıca 100 kHz'den itibaren tüm frekans değerleri için artan katkı oranı ile iletkenlik değeri artmaktadır. 1MHz'de JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotunun iletkenlik değerleri sırası ile 0,62 mS, 2,20 mS ve 2,90 mS şeklindedir.

G - f karakteristiklerine bakıldığında tüm voltaj değerleri için düşük frekans bölgelerinde (1-100 kHz) iletkenlik sabit ve DC akıma, artan frekansla (100-1000kHz) iletkenliğin hızla yükselmesi AC iletkenliğe karşılık gelen iki bölge bulunmaktadır. İkinci bölge fermi seviyesinde bulunan boş ve dolu durumlar arasında hapsolmuş taşıyıcıların karakteristiğinden kaynaklı olabileceğine atfedilir (Tuğluoğlu ve diğerleri, 2007).

4.3.5. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı frekanslarda seri direnç-voltaj karakteristikleri

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının diyot parametreleri 30 kHz-1 MHz frekans arası 20 kHz-200 kHz aralıklarla alınan C - V ve ile G - V ölçümlerinden elde edilen kapasitans ve iletkenlik değerleri kullanılarak Nicollian-Brews tekniği ile seri direnç değerleri (4.5) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$R_s = \frac{G_{m,acc}}{G_{m,acc}^2 + (\omega C_{m,acc})^2} \quad (4.5)$$

Burada $G_{m,acc}$ ve $C_{m,acc}$ birikim bölgesindeki kapasitans ve iletkenlik değerleridir.

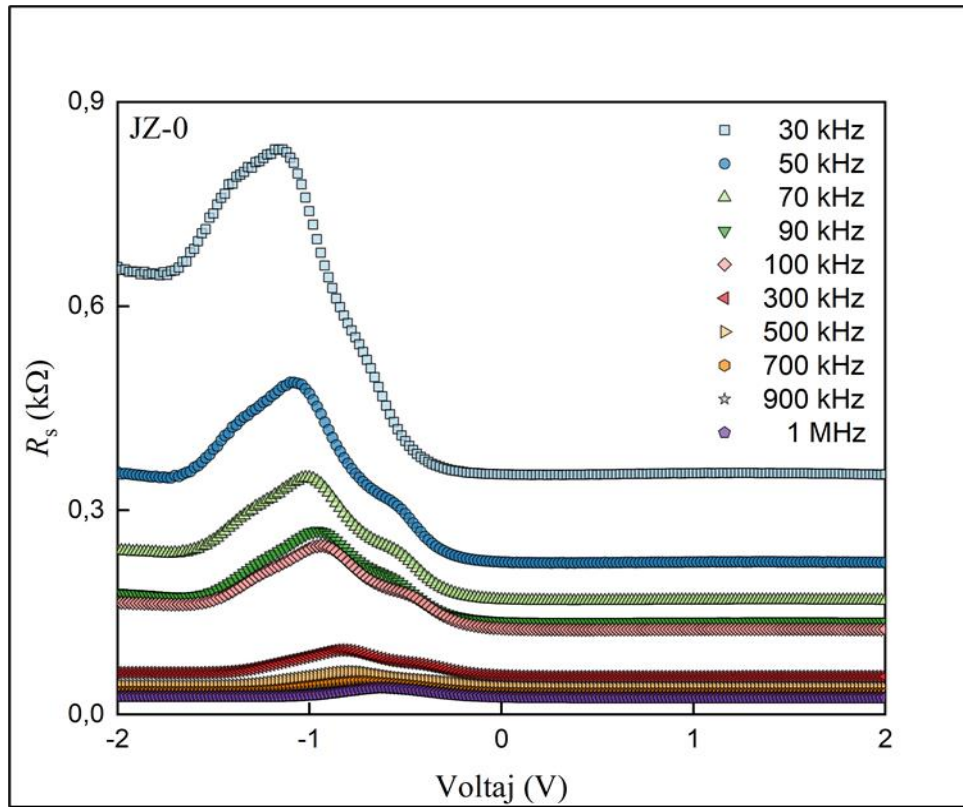
Şekil 4.19 da JZ-0 Schottky diyotunun frekansa bağlı seri direnç-voltaj grafiği verilmiştir. 4.5 eşitliğinden hesaplanan seri direnç eğrileri incelendiğinde JZ-0 için tükenim bölgesine denk gelen bir pik oluşturduğu görülmektedir.

Şekil 4.20 de JZ-1 Schottky diyotunun frekansa bağlı seri direnç-voltaj grafiği verilmiştir. Hesaplanan seri direnç eğrileri incelendiğinde JZ-1 ve JZ-5 diyotu için JZ-0 diyotunda da görüldü gibi tükenim bölgelerinde yer alan pikler gözlemlenmiştir.

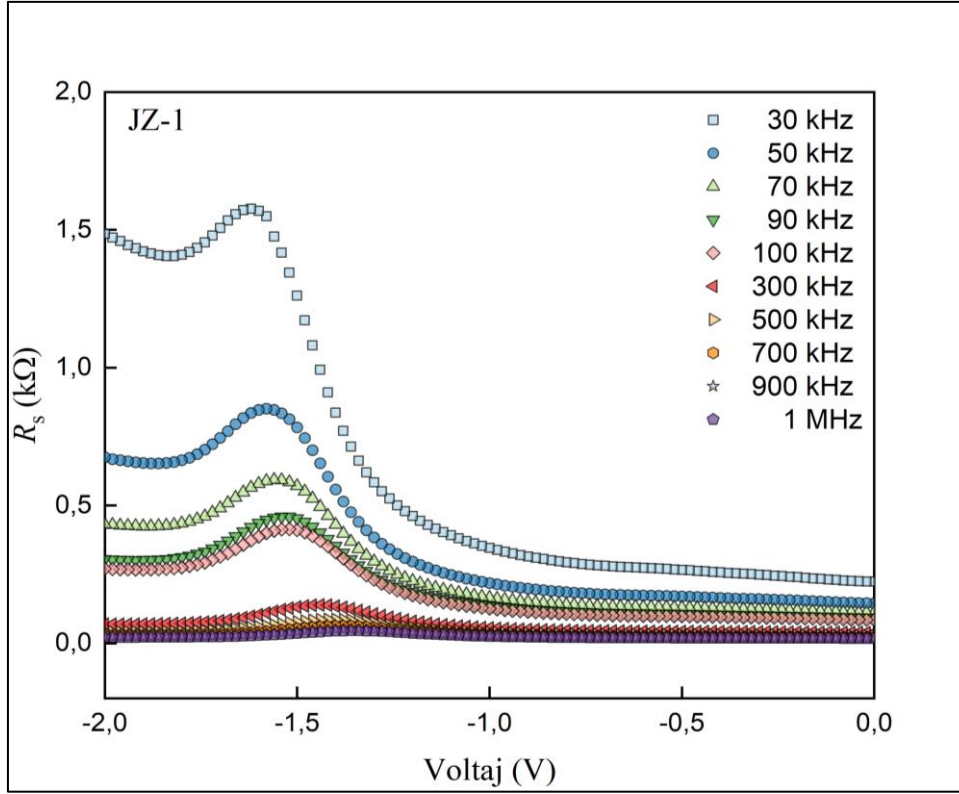
Şekil 4.21 de JZ-5 Schottky diyotunun frekansa bağlı seri direnç-voltaj grafiği verilmiştir. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarında tüm voltaj değerleri için piklerin yoğunluğu ve seri direnç

değeri artan frekans ile azalmaktadır. JZ-0 diyotu için 0V da 30 kHz' de seri direnç değeri 352,6 Ω iken 1 MHz' de 25,4 Ω 'dur. JZ-1 diyotu için 0V da 30 kHz' de seri direnç değeri 223,8 Ω iken 1 MHz' de seri direnç değeri 17,9 Ω değeri alırken JZ-5 diyotu için 0V da 30 kHz' de seri direnç değeri 207,9 Ω iken 1 MHz' de seri direnç değeri 20,9 Ω 'a düşmüştür.

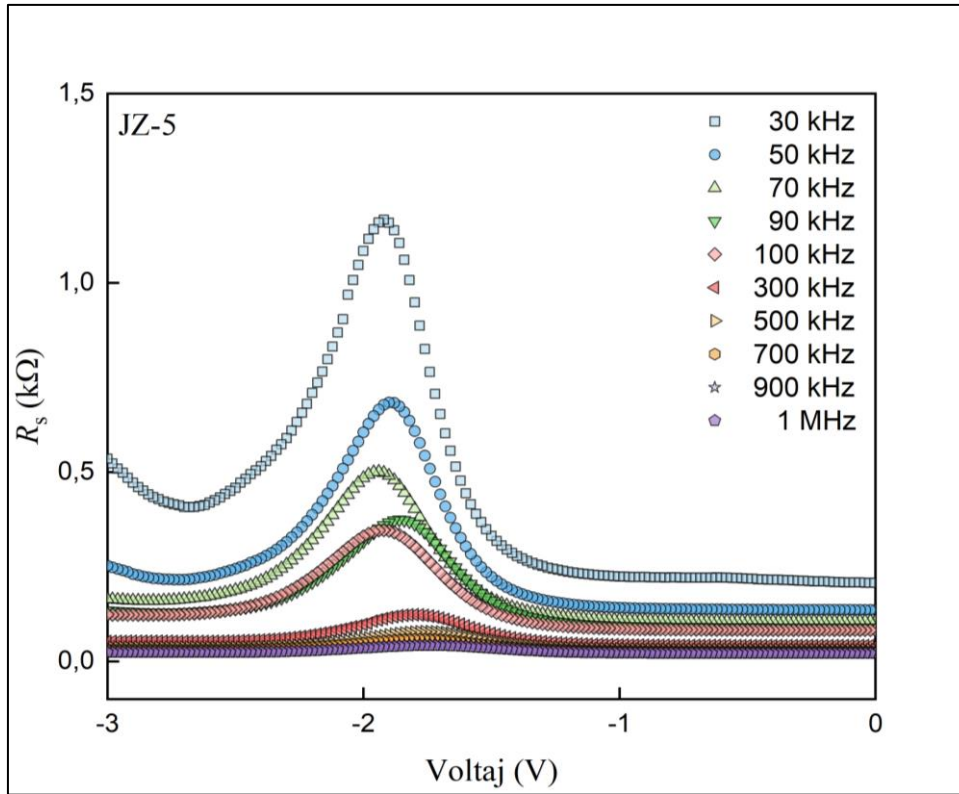
Şekil 4.22' de JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1 MHz 'de seri direnç-voltaj grafiği verilmiştir. Her üç diyotun 1MHz'deki ölçümleri incelendiğinde JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının seri direnç değerleri sırası ile 25,4 Ω , 17,9 Ω ve 20,9 Ω 'dur. Tükenim bölgelerinde yer alan piklerin tepe noktaları artan katkı oranı ile negatif voltajlara doğru kaymaktadır.



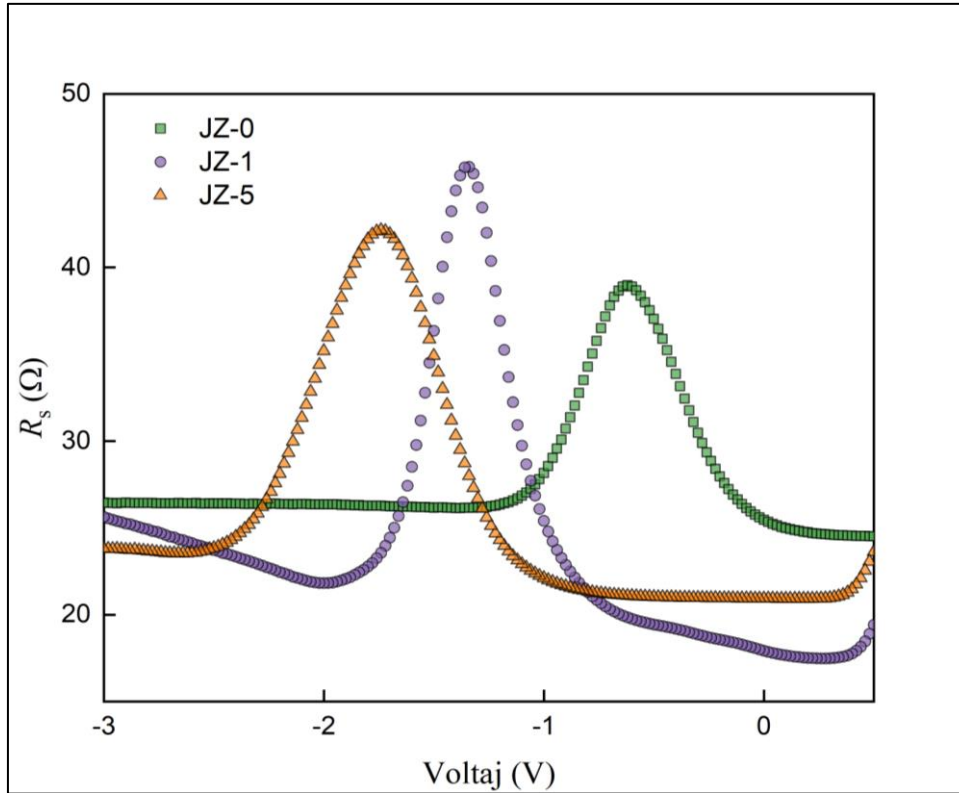
Şekil 4.19. JZ-0 Schottky diyotunun frekansa bağlı seri direnç-voltaj grafiği.



Şekil 4.20. JZ-1 Schottky diyotunun frekansa bağlı seri direnç-voltaj grafiği.



Şekil 4.21. JZ-5 Schottky diyotunun frekansa bağlı seri direnç-voltaj grafiği.



Şekil 4.22. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1 MHZ'deki seri direnç-voltaj grafiği.

Her üç diyotun seri direnç eğrileri incelendiğinde seri direnç değerlerinin artan frekans ile azaldığı görülmektedir. Seri direncin bu davranışı, arayüzey durumlarını oluşturan sabit, hareketli oksit yükleri ve oksitte tuzaklanmış yüklerin varlığına atfedilebilir (Elgazzar ve diğerleri, 2016). Tepe noktaları ise artan frekans ile pozitif gerilim yönünde kaymaktadır. Bu durum elektrik alan altında yüzey yüklerinin yeniden yapılanmasından kaynaklı olabilir (Büyükbaş Ulaşan, 2018).

4.3.6. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı voltajlarda seri direnç-frekans karakteristikleri

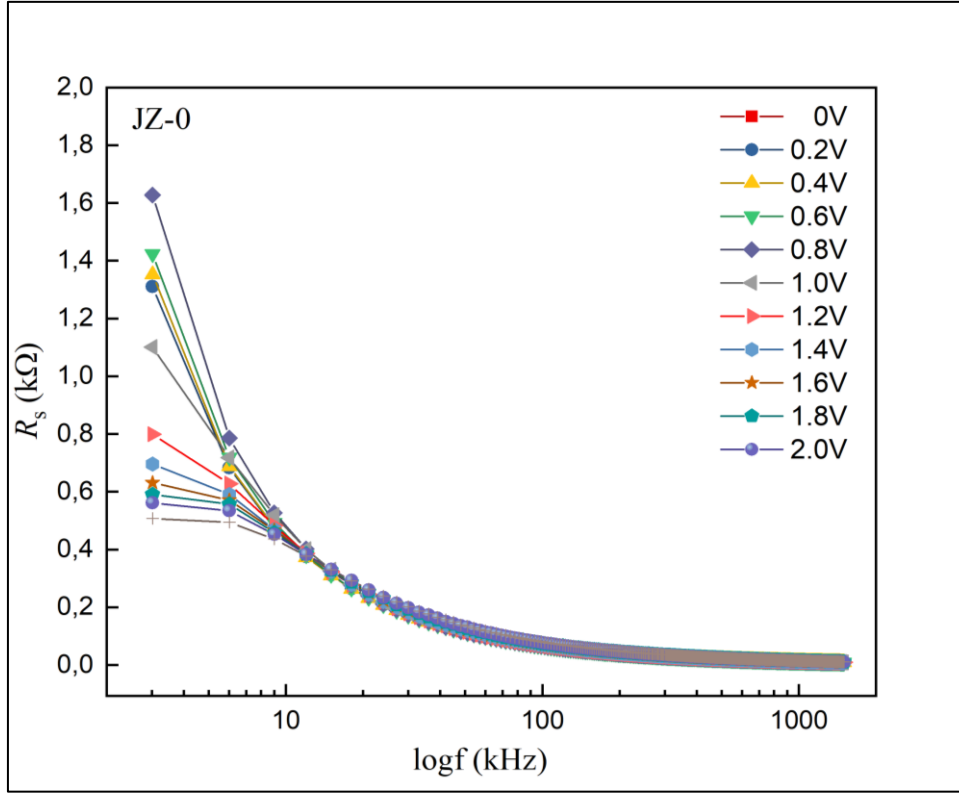
Sol jel yöntemi ile üretilen JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının diyot parametreleri $C-f$ ve $G-f$ ölçümlerinden elde edilen kapasitans ve İletkenlik değerleri kullanılarak seri direnç değerleri (4.5) eşitliği ile hesaplanmıştır.

Şekil 4.23 de JZ-0 Schottky diyotunun $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği verilmiştir. JZ-0 diyotu için seri direnç frekans eğrileri incelendiğinde voltaj değeri arttıkça düşük frekans bölgelerinde (yaklaşık 10 kHz'e kadar) seri direnç değerlerinde azalma görülürken yüksek frekans bölgelerinde herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir.

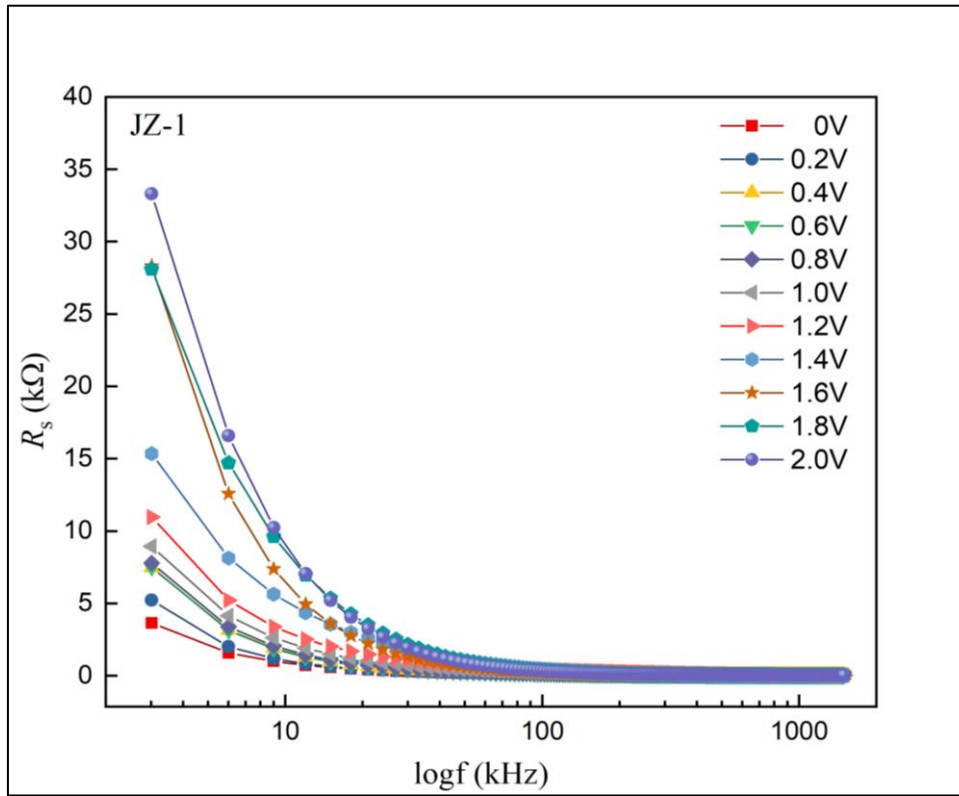
Şekil 4.24 de JZ-1 Schottky diyotunun $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği verilmiştir. JZ-1 diyotu için seri direnç frekans eğrileri incelendiğinde voltaj değeri arttıkça düşük frekans bölgelerinde JZ-0 diyotuna göre daha yüksek frekans bölgelerine kadar (yaklaşık 50 kHz'e kadar) seri direnç değerlerinde azalma görülmüştür. Ayrıca 50 kHz ve üzerindeki frekans değerlerinde seri direnç etkisinde herhangi bir değişim oluşmamıştır.

Şekil 4.25 de JZ-5 Schottky diyotunun $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği verilmiştir. JZ-5 diyotu için seri direnç frekans eğrileri incelendiğinde gözlemlenen değişim JZ-1 diyotunda gözlemlenen değişim ile hemen hemen aynıdır. Ayrıca JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotları için tüm voltaj değerlerinde seri direnç değeri frekans arttıkça azalmaktadır. JZ-0 diyotu 0V da 100 kHz de seri direnç değeri 65,2 Ω iken 1 MHz'de seri direnç değeri 11,8 Ω değeri alırken JZ-1 diyotu için 0V da 100 kHz de seri direnç değeri 94,9 Ω ve 1 MHz'de seri direnç değeri 19,9 Ω değerindedir. JZ-5 diyotunda ise 0V da 100 kHz de seri direnç değeri 113,2 Ω 'dan 1 MHz'de seri direnç değeri 26,6 Ω 'a düşmüştür.

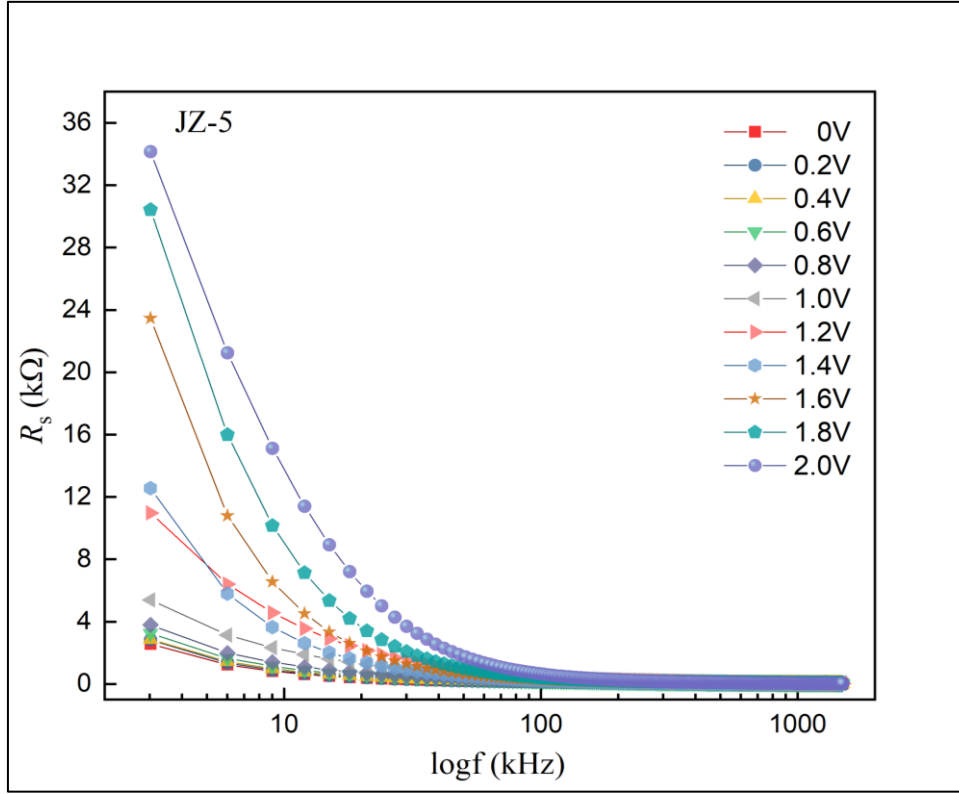
Şekil 4.26' da JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 0 V'daki $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği verilmiştir. Her üç diyotun 0V da seri direnç-frekans eğrisi incelendiğinde düşük frekans bölgelerinde katkı oranı arttıkça direnç değeri artmaktadır. Yüksek frekans bölgelerinde ise sabit kalmaktadır. 100 kHz'de JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının iletkenlik değeri sırası ile 65,2 Ω , 94,9 Ω ve 113,2 Ω 'dır.



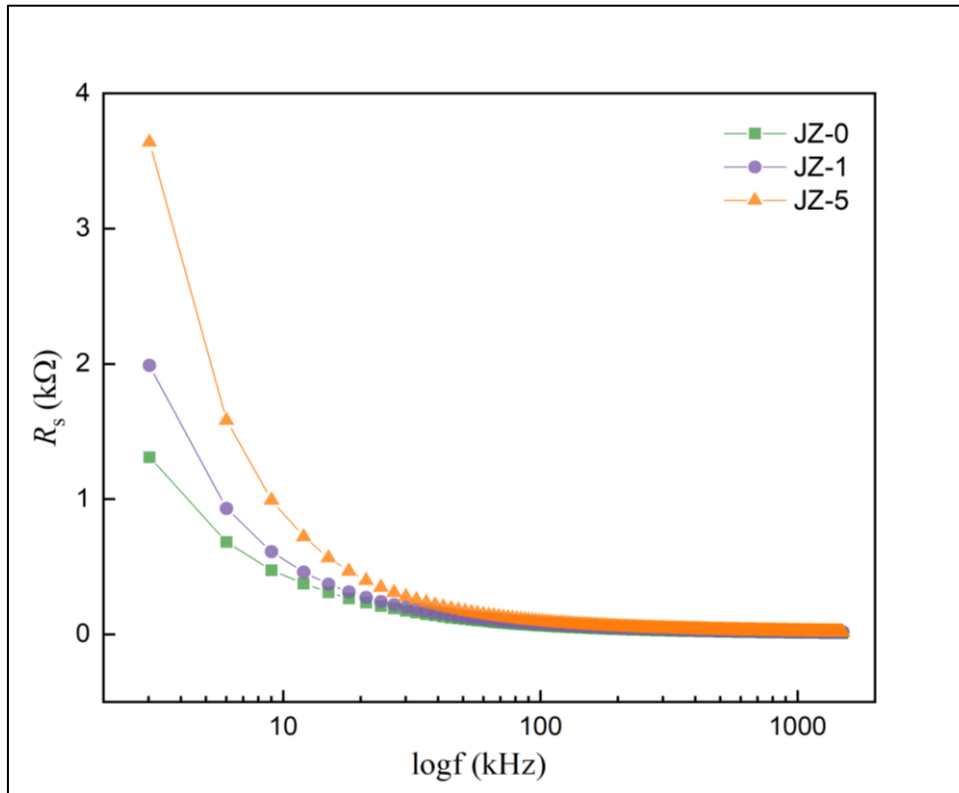
Şekil 4. 23. JZ-0 Schottky diyotunun $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan direnç-frekans grafiği.



Şekil 4. 24. JZ-1 Schottky diyotunun $C-f$ ve $G-f$ değerlerinden hesaplanan direnç-frekans grafiği.



Şekil 4. 25. JZ-5 Schottky diyotunun C - f ve G - f değerlerinden hesaplanan direnç-frekans grafiği.



Şekil 4.26. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 0 V'daki C - f ve G - f değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.

Her üç diyotun seri direnç eğrileri incelendiğinde değişim gösteren ve göstermeyen iki bölge görülmektedir. Seri direnç değeri düşük frekans bölgelerinde tüm voltaj değerleri için frekans arttıkça azalırken yüksek frekans bölgelerinde frekans değeri tüm voltaj değerleri için değişmez. Bu durum seri direnç değerlerinin yüksek frekanslarda voltajdan bağımsız olduğu anlamına gelmektedir ve arayüzey durumlarının yüksek frekanslarda AC sinyalinin takip edememesine atfedilebilir (Kılıçık ve diğerleri, 2021).

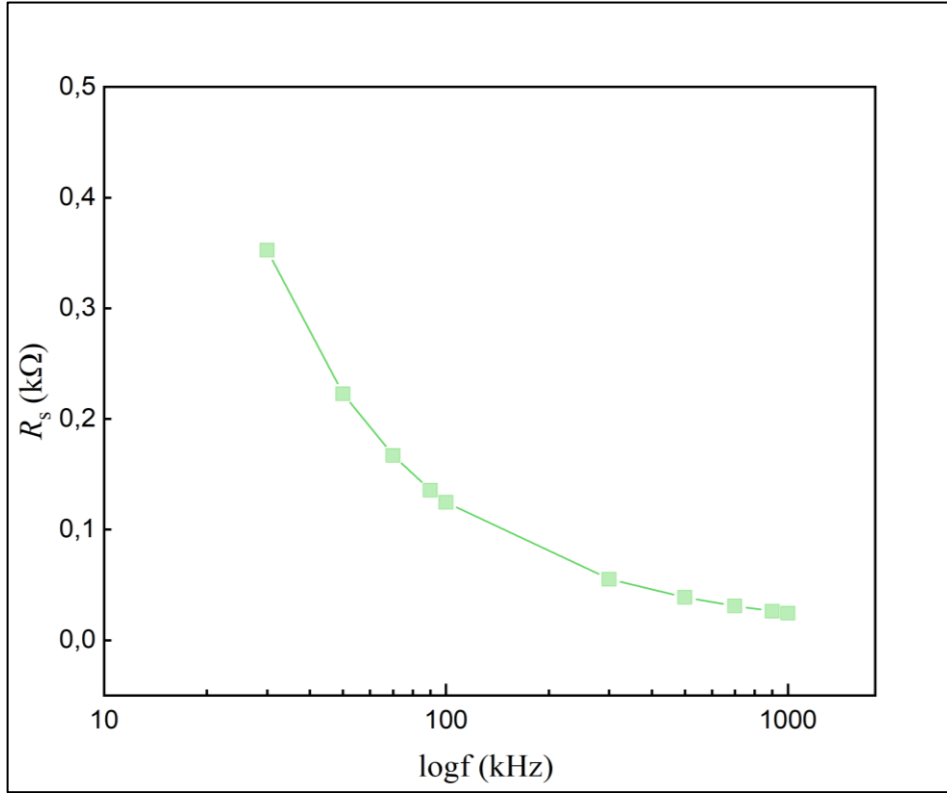
4.3.7. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının voltaja bağlı grafiklerden elde edilen seri direnç-frekans karakteristikleri

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının diyot parametreleri $C-V$ ve $G-V$ ölçümlerinden elde edilen kapasitans ve iletkenlik değerleri kullanılarak seri direnç değerleri Eşitlik (4.5) ile hesaplandı.

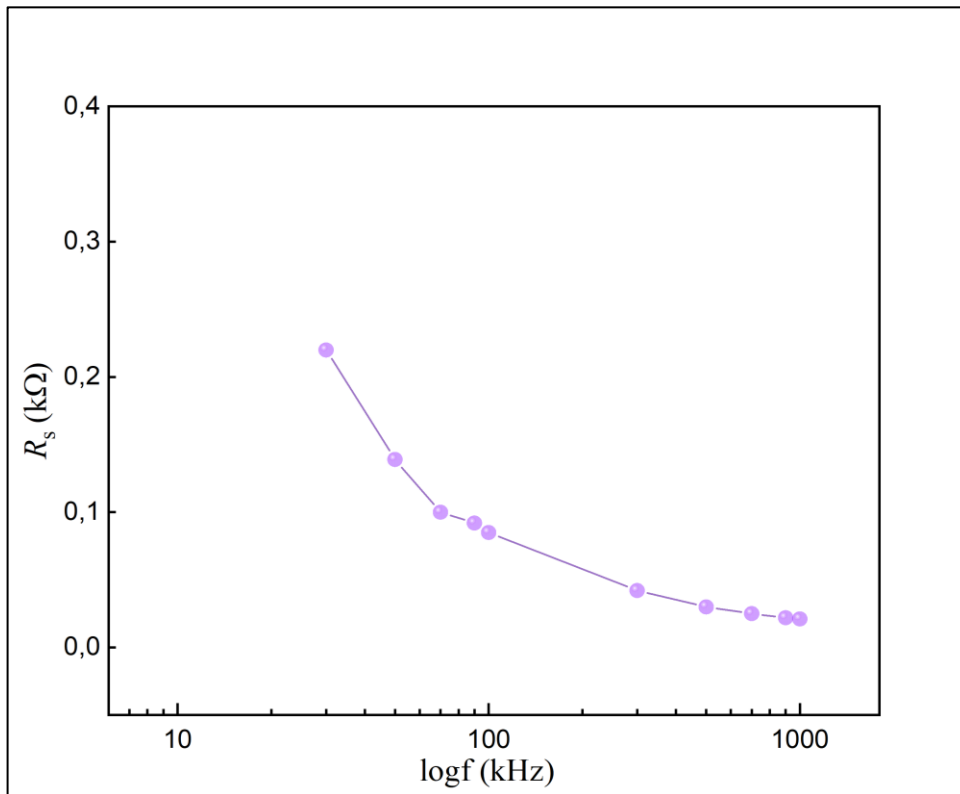
Şekil 4.27’de JZ-0 diyotunun kapasitans $C-V$ ve $G-V$ değerlerinden hesaplanan direnç-frekans grafiği verildi. Her üç diyotun seri direnç-frekans eğrisi, $C-V$ eğrisinin birikim bölgesinde yer alan lineer kısımdan faydalanarak belirli voltaj değerlerindeki seri direnç değerleri ile çizildi.

Şekil 4.28’de JZ-1 diyotunun kapasitans $C-V$ ve $G-V$ değerlerinden hesaplanan direnç-frekans grafiği verildi. JZ-0 ve JZ-1 diyotu için seri direnç-frekans grafikleri incelendiğinde seri direnç değerleri artan frekans değerleri ile azalmaktadır.

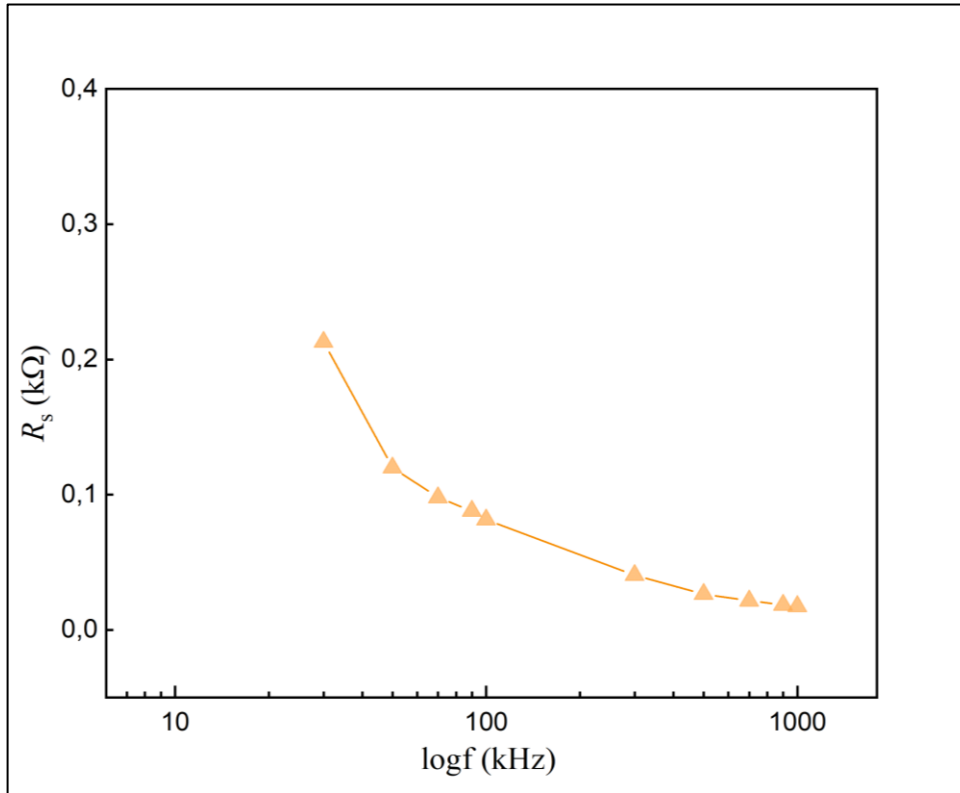
Şekil 4.29’da JZ-5 diyotunun kapasitans $C-V$ ve $G-V$ değerlerinden hesaplanan direnç-frekans grafiği verildi. JZ-0 ve JZ-1 diyotlarında görüldüğü gibi JZ-5 diyotu için seri direnç değerlerinin artan frekans ile azaldığı gözlemlendi. JZ-0 diyotu için 30 kHz frekansta seri direnç değeri 353Ω iken 1 MHz frekans için ise $24,5 \Omega$ değerini alırken JZ-1 diyotu için 30 kHz frekansta seri direnç değeri 220Ω iken 1 MHz frekans için ise 21Ω değerindedir. Ayrıca JZ-5 diyotu için 30 kHz frekansta seri direnç değeri 213Ω iken 1 MHz frekans için ise $17,6 \Omega$ değerine düştüğü görüldü.



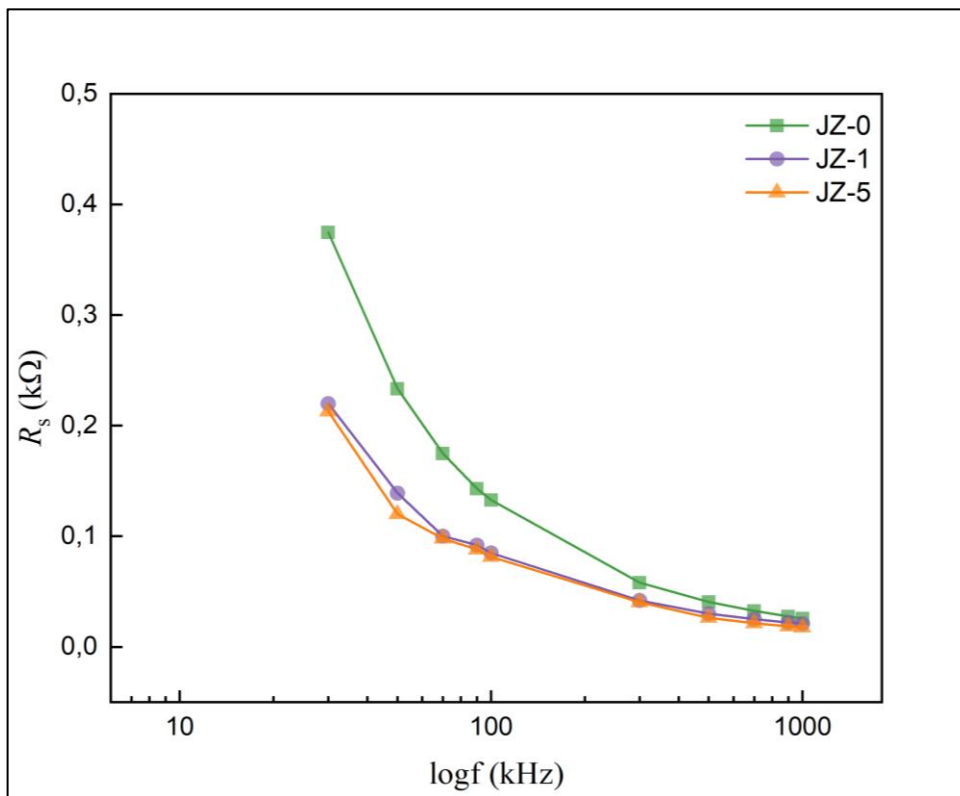
Şekil 4.27. JZ-0 Schottky diyotunun C - G - V değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.



Şekil 4.28. JZ-1 Schottky diyotunun C - G - V değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.



Şekil 4.29. JZ-5 Schottky diyotunun C-G-V değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.



Şekil 4.30. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotunun C-G-V değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiği.

Şekil 4.30'da JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının tüm katkı oranları için $C-V$ ve $G-V$ değerlerinden hesaplanan seri direnç-frekans grafiğinin verildi. Seri direnç-frekans eğrisi incelendiğinde tüm katkı oranlarında 50 kHz'den 500 kHz'e kadar ciddi bir azalma gözlemlendi. Tüm frekans değerleri için katkı oranı arttıkça seri direnç değeri azalmaktadır. 1 MHz'de JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının seri direnç değerleri sırası ile 24,5 Ω , 21 Ω ve 17,5 Ω 'dur.

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının seri direnç eğrileri incelendiğinde, düşük frekanslarda R_s değerlerinin yüksek değerlere sahip olması yarıiletken ile oksit tabaka arasındaki arayüzey durumları ve kusurların oluşumuna atfedilebilir (Büyükbaş Uluşan, 2018).

4.3.8. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı frekanslarda düzeltilmiş kapasitans-voltaj karakteristikleri

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının diyot parametreleri C - V ve G - V ölçümlerinden elde edilen kapasitans ve İletkenlik değerleri kullanılarak düzeltilmiş kapasitans (C_c) ve iletkenlik (G_c) değerleri hesaplanmıştır. Tüm frekanslarda seri direnç değerleri diyotun kapasitansını değiştirecek kadar büyük bir etkiye sahip olabilir. Ölçülen kapasitans (C_m) ve iletkenlik (G_m) değerlerinden seri direnç etkisi çıkarıldığında elde edilen düzeltilmiş kapasitans ve iletkenlik değerleri (4.6) ve (4.7) Eşitlikleri ile elde edilmektedir.

$$C_c = \frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2) C_m}{a^2 + (\omega C_m)^2} \quad (4.6)$$

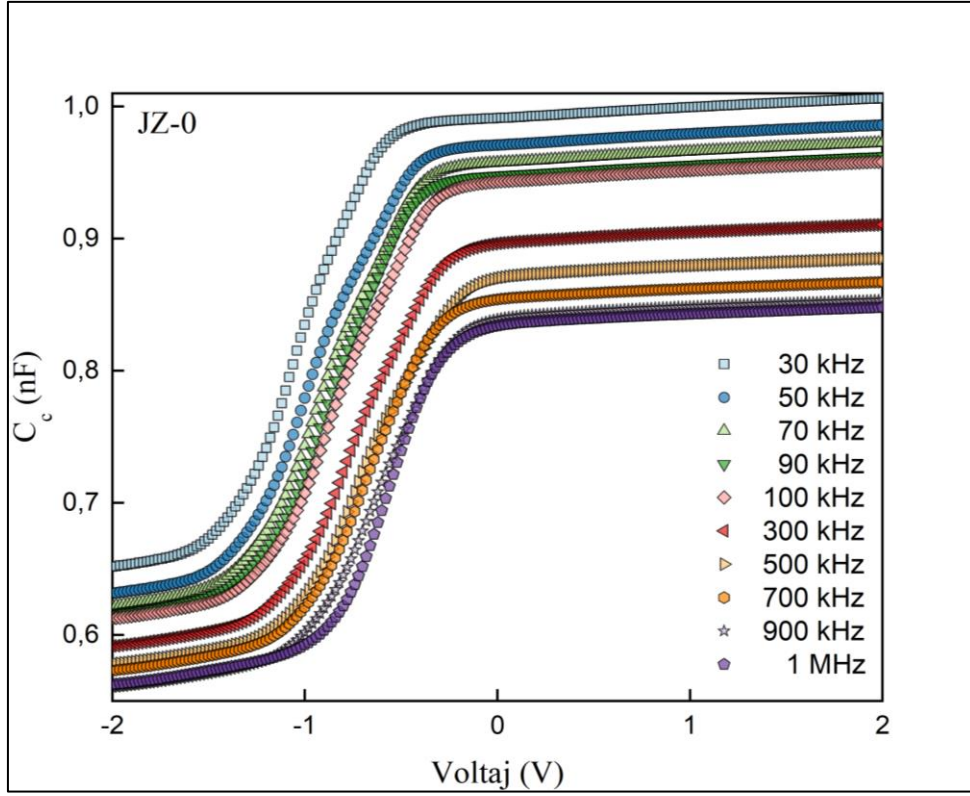
$$G_c = \frac{(G_m^2 + \omega^2 C_m^2) a}{a^2 + (\omega C_m)^2} \quad (4.7)$$

$$a = G_m - (G_m^2 + \omega^2 C_m^2) R_s \quad (4.8)$$

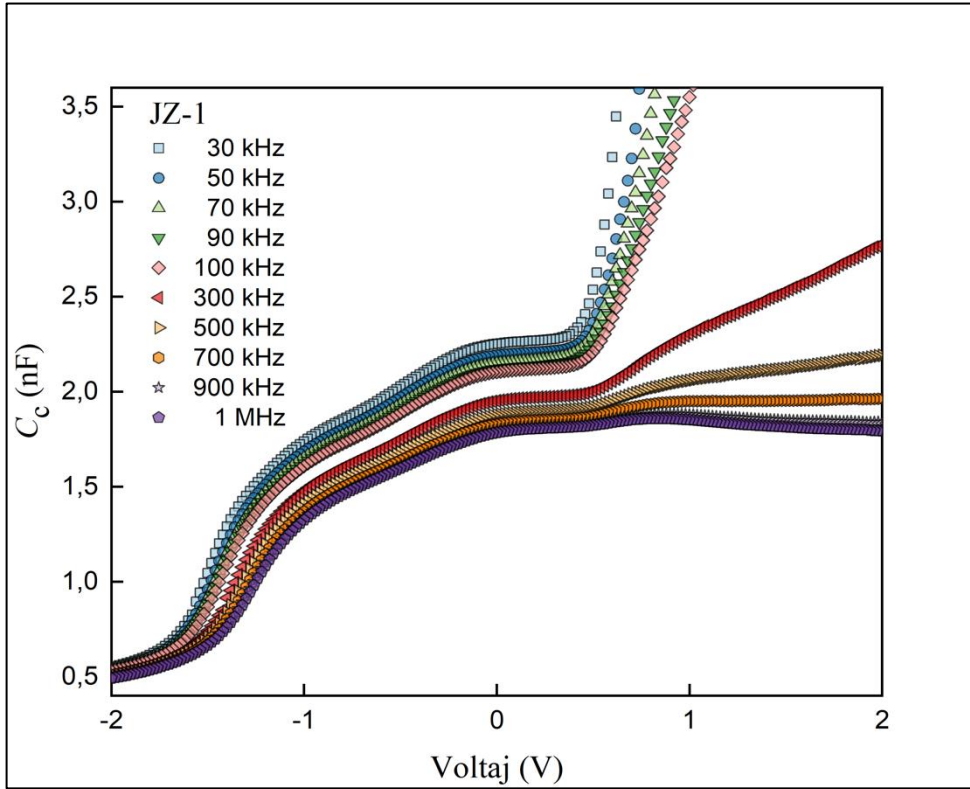
JZ-0 Schottky diyotunun eşitliklerden elde edilen düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği şekil 4.31’de verilmiştir. Düzeltilmiş kapasitans eğrilerinde her üç diyot için n-tipi MOS schottky yapısının C - V karakteristiği olan birikim, tükenim ve ters çevirim bölgeleri görülmektedir.

Şekil 4.32’de JZ-1 Schottky diyotunun düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği verilmiştir. JZ-0 ve JZ-1 diyotları için düzeltilmiş kapasitans eğrileri incelendiğinde tükenim ve birikim bölgelerinde artan frekans ile düzeltilmiş kapasitans değeri azalmaktadır.

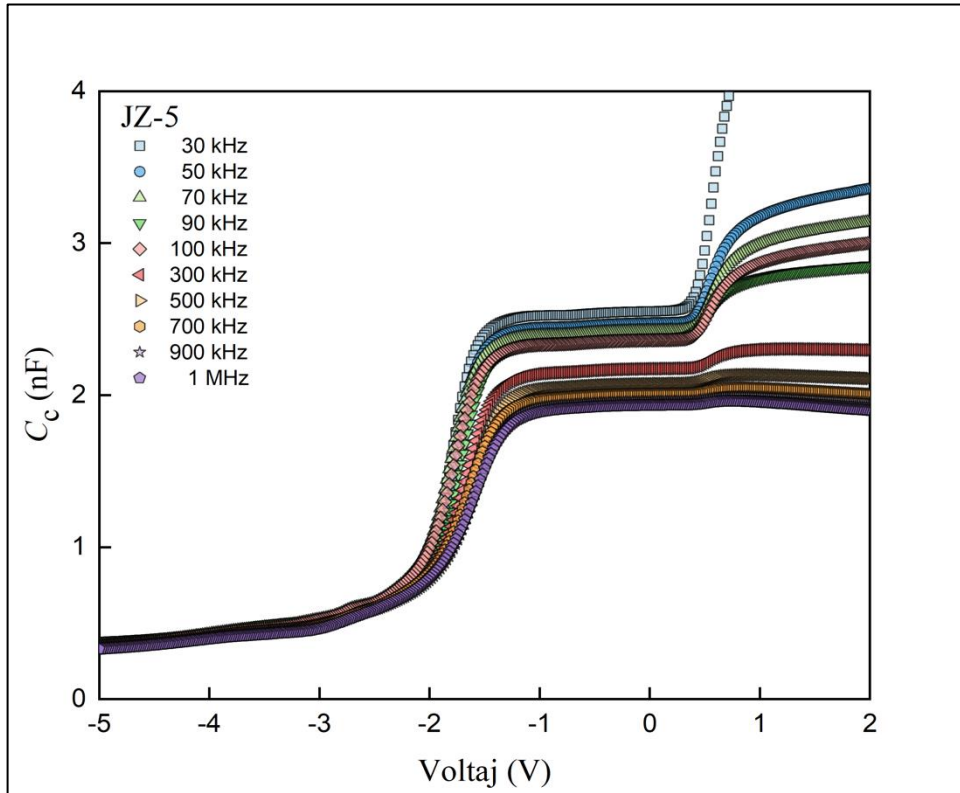
Şekil 4.33’de JZ-5 Schottky diyotunun düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği verilmiştir. JZ-0 ve JZ-1 diyotlarında da görüldüğü gibi JZ-5 diyotunda da düzeltilmiş kapasitans eğrilerinde tükenim ve birikim bölgeleri için artan frekans değeri ile düzeltilmiş kapasitans değerinde azalmıştır. Bu durumda üç diyotun 0V da düzeltilmiş kapasitans değerleri frekansa göre karşılaştırıldığında, JZ-0 diyotu için 30 kHz’de kapasitans değeri 0,99 nF iken 1MHz’de 0,83 nF değeri alırken JZ-1 diyotunun 30 kHz’de kapasitans değeri 2,25 nF iken 1MHz’de 1,78 nF değeri aldığı görülmüştür. Ayrıca JZ-5 diyotu için 30 kHz’de kapasitans değeri 2,55 nF iken 1MHz’de 1,93 nF’ta düştüğü görülmektedir.



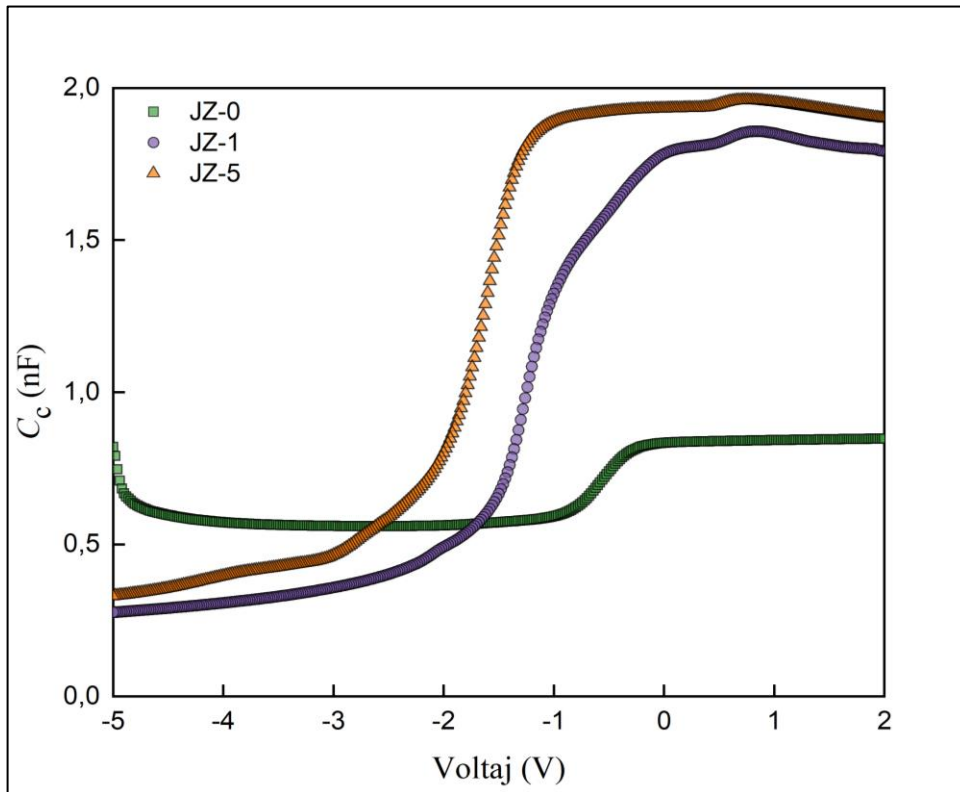
Şekil 4.31. JZ-0 Schottky diyotunun düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği.



Şekil 4.32. JZ-1 Schottky diyotunun düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği.



Şekil 4.33. JZ-5 Schottky diyotunun düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği.



Şekil 4.34. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotunun kapasitans ve iletkenlik değerlerinden hesaplanan düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği.

Şekil 4.34' de JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1MHz'deki düzeltilmiş kapasitans-voltaj grafiği verilmiştir. Her üç diyotun 1MHz'deki ölçümleri incelendiğinde tüketim ve yığılım bölgeleri için artan katkı oranı ile düzeltilmiş kapasitans değerleri artmaktadır. 0V da JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotunun kapasitans değeri sırası ile 0,83 nF, 1,78 nF ve 1,93 nF'tır.

Düzeltilmiş kapasitans değerleri seri direnç etkisinin ortadan kaldırılması sonucu elde edilen kapasitans değerleri olup bu kapasite değerleri MOS yapısı davranışı ile benzerdir. Ölçülen kapasitans değerleri ve düzeltilmiş kapasitans değerleri kıyaslandığında düzeltilmiş kapasitans değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum seri direncin etkisi ortadan kaldırıldığında yük taşıyıcıları daha rahat hareket edebileceğine atfedilir (Kılçık ve diğerleri, 2021).

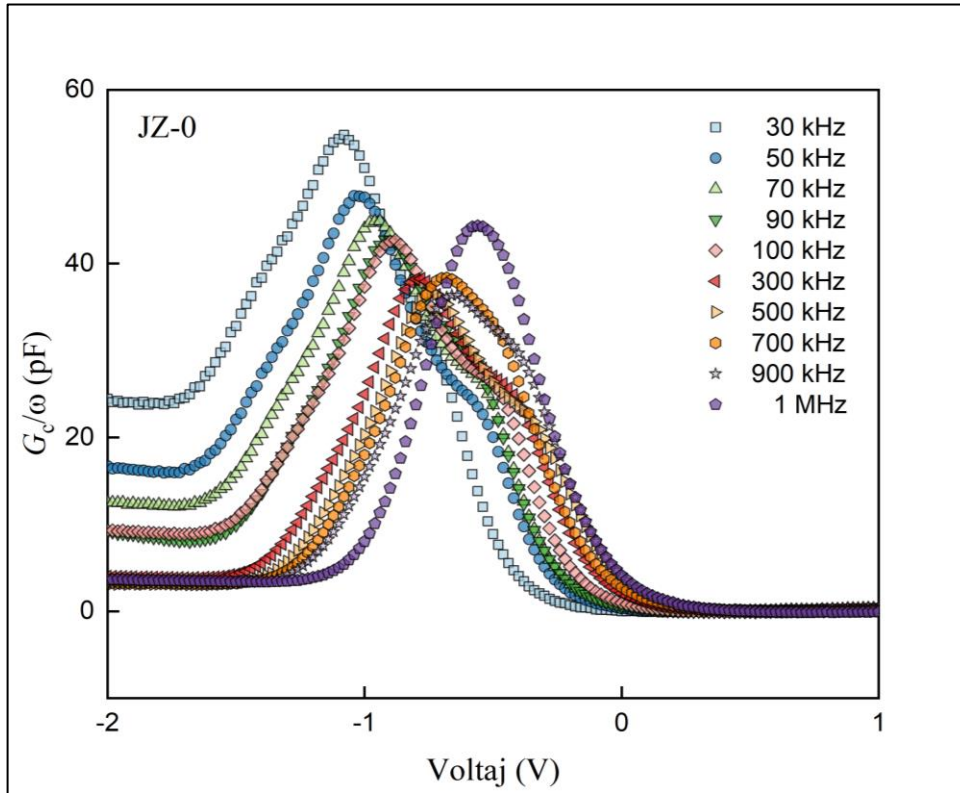
4.3.9. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının farklı frekanslarda düzeltilmiş iletkenlik-voltaj karakteristikleri

Sol jel yöntemi ile üretilen JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının diyot parametreleri 30 kHz-1 MHz frekans arası 20 kHz-200 kHz aralıklarla alınan kapasitans ve iletkenlik ölçümlerinden elde edilen kapasitans ve iletkenlik değerleri kullanılarak düzeltilmiş iletkenlik değerleri Eşitlik (4.7) ile hesaplanmıştır.

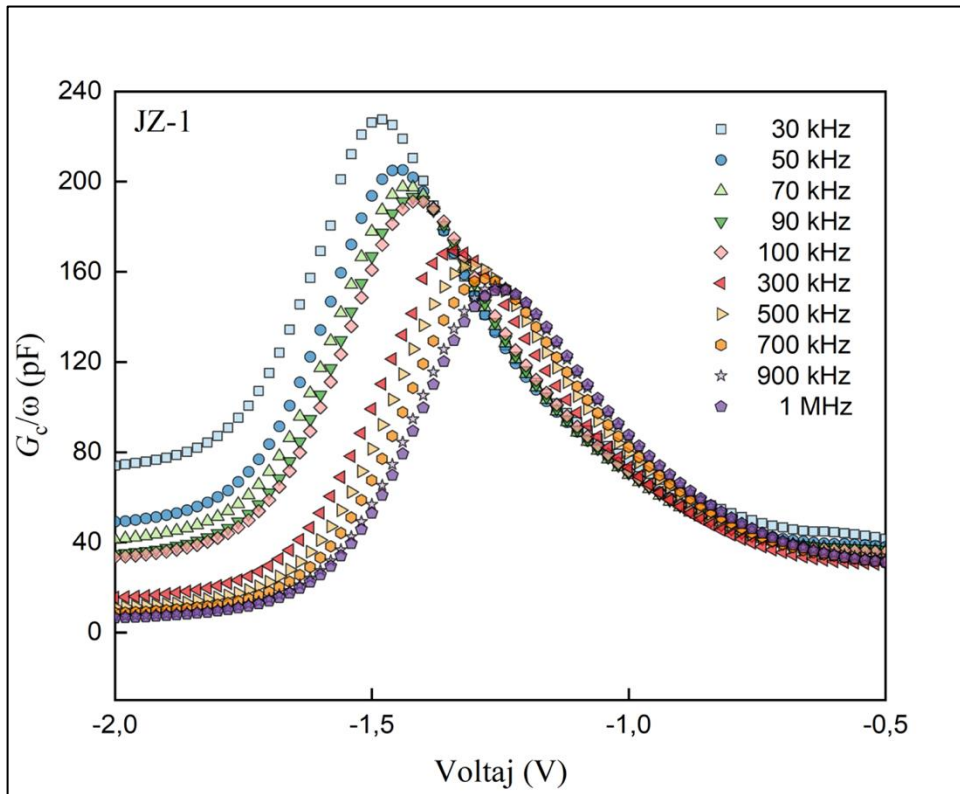
Şekil 4.35' te JZ-0 Schottky diyotunun düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği verilmiştir. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının tüketim bölgesine denk gelen bir pike sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.36' te JZ-1 Schottky diyotunun düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği verilmiştir. Her üç diyotta benzer şekilde ters beslem bölgesindeki pik yoğunluğu artan frekansla azalırken tepe noktaları artan frekansla sıfır voltaja doğru kaydığı görülmektedir.

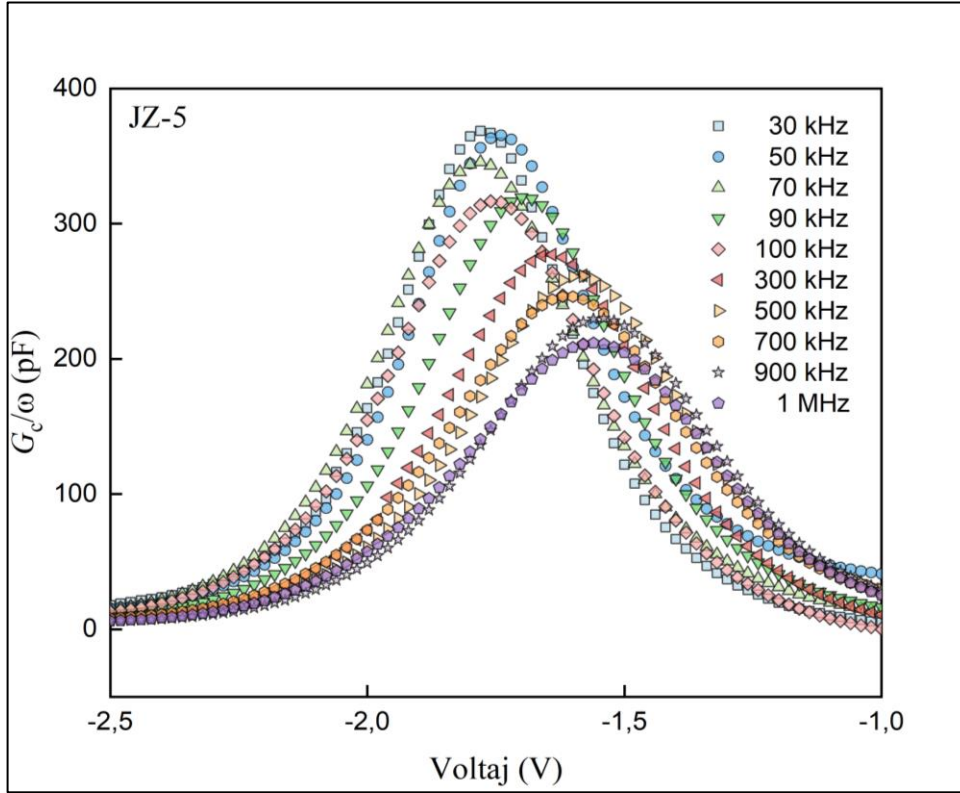
Şekil 4.37' te JZ-5 Schottky diyotunun düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği verilmiştir. Her üç diyotun düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafikleri incelendiğinde neredeyse hepsi için artan frekans değeri ile pik şiddetlerinin azaldığı görülmektedir.



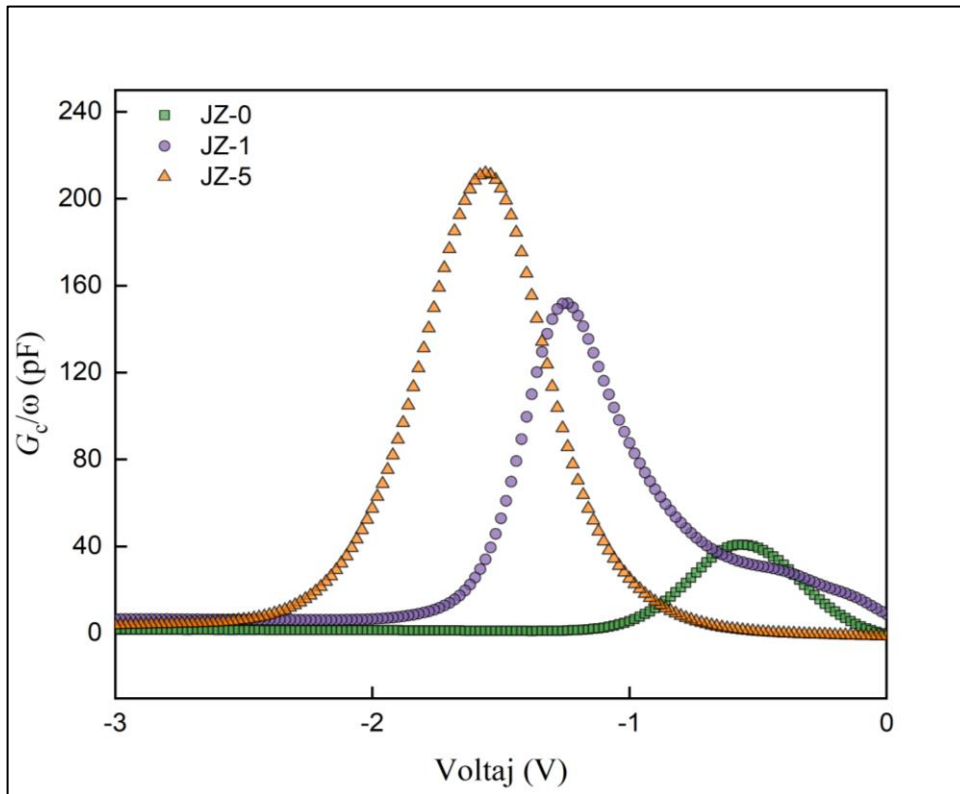
Şekil 4.35. JZ-0 Schottky düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği.



Şekil 4.36. JZ-1 Schottky diyotunun düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği.



Şekil 4.37. JZ-5 Schottky diyotunun düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği.



Şekil 4.38. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1MHz'deki düzeltilmiş iletkenlik-voltaj grafiği.

Şekil 4.38’de JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının 1MHz’deki düzeltilmiş iletkenlik - voltaj grafiği verilmiştir. Her üç diyotun düzeltilmiş iletkenlik eğrisi incelendiğinde tükenim bölgesine denk gelen bir pike sahip olduğu görülmektedir. Bu piklerin yoğunluğu katkı oranı arttıkça artmaktadır. Ayrıca piklerin tepe noktaları artan katkı oranı ile negatif voltajlara doğru kayar.

Seri direncin düzeltilmesinden sonra düzeltilmiş iletkenlik eğrisinin ters beslem bölgesinde görülen bu pikler, arayüz tuzaklarına bağlı olduğu düşünülebilir. Pik yoğunluğu artan frekansla azalırken tepe noktaları artan frekansla sıfır voltaja doğru kayar. Bu kayma yarıiletken-metal arayüzünde bulunan arayüzey yüklerinin akımından kaynaklandığına atfedilmektedir (Selçuk ve diğerleri, 2007; Tuğluoğlu ve diğerleri, 2013).

4.3.10. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının farklı frekanslarda arayüzey durumlarının hesaplanması

Düzeltilmiş kapasitans ve iletkenlik değerleri kullanılarak arayüzey durum yoğunluğu değerleri Hill-Coleman tekniği kullanılarak (4.9) eşitliği ile hesaplanmıştır. ($N_{ss}=D_{it}$)

$$D_{it} = \frac{2}{qA} \frac{(G_{c,max}/\omega)}{(G_{c,max}/\omega C_{ox})^2 + (1 - C_c/C_{ox})^2} \quad (4.9)$$

4.9 eşitliği kullanılarak hesaplanan arayüzey durumları JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotları için çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4’te verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde her üç diyot için arayüzey yoğunluğu artan frekanslarla neredeyse üstel olarak azaldığı görülmektedir.

Schottky diyotunun Hill-Coleman tekniğinden elde edilen frekansa bağlı elektriksel parametreleri çizelgelerinden elde edilen değerler her üç diyot için incelendiğinde seri direnç, düzeltilmiş iletkenlik ve kapasitans değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.2. JZ-0 diyotu için Hill- Coleman tekniğinden elde edilen frekansa bağlı elektriksel parametreler.

f (kHz)	V (V)	$G_c/\omega \times 10^{-11}$ (F)	$C_c \times 10^{-10}$ (F)	R_s at V (Ω)	$D_{it} \times 10^{11}$ ($eV^{-1}cm^{-2}$)
30	-1,08	5,22	7,96	810	15,2
50	-1,04	4,59	7,61	485	7,74
70	-0,96	4,14	7,61	343	7,50
90	-0,92	4,03	7,57	267	6,80
100	-0,88	4,10	7,57	243	6,79
300	-0,80	3,54	7,24	93	3,50
500	-0,74	3,38	7,09	62	2,72
700	-0,70	3,51	7,10	48	2,86
900	-0,66	3,26	6,94	39	2,21
1000	-0,56	3,29	7,13	38	3,38

Çizelge 4.3. JZ-1 diyotu için Hill- Coleman tekniğinden elde edilen frekansa bağlı elektriksel parametreler.

f (kHz)	V (V)	$G_c/\omega \times 10^{-10}$ (F)	$C_c \times 10^{-9}$ (F)	R_s at V (Ω)	$D_{it} \times 10^{11}$ ($eV^{-1}cm^{-2}$)
30	-1,48	2,28	1,10	1170	3,63
50	-1,44	2,05	1,11	653	3,48
70	-1,44	1,98	1,06	496	2,87
90	-1,42	1,93	1,07	378	2,90
100	-1,42	1,91	1,04	352	2,67
300	-1,34	1,69	1,04	119	2,36
500	-1,30	1,63	1,03	74	2,22
700	-1,28	1,57	1,01	55	2,04
900	-1,26	1,54	1,00	45	1,95
1000	-1,24	1,52	1,02	40	2,04

Çizelge 4.4. JZ-5 diyotu için Hill- Coleman tekniğinden elde edilen frekansa bağlı elektriksel parametreler.

f (kHz)	V (V)	$G_c/\omega \times 10^{-10}$ (F)	$C_c \times 10^{-9}$ (F)	R_s at V (Ω)	$D_{it} \times 10^{11}$ ($eV^{-1}cm^{-2}$)
30	-1,78	3,69	1,67	887	10,5
50	-1,74	3,65	1,69	509	10,9
70	-1,78	3,46	1,65	381	10,4
90	-1,70	3,19	1,61	297	9,70
100	-1,76	3,01	1,60	276	9,54
300	-1,64	2,77	1,54	102	7,69
500	-1,58	2,61	1,50	65	6,62
700	-1,60	2,46	1,47	50	5,69
900	-1,54	2,30	1,43	41	4,84
1000	-1,56	2,12	1,40	37	4,19

Katkılamaya bağlı olarak 1 MHz’de ki arayüzey durumları incelendiğinde, $ZnCo_2O_4$ katkısının arayüzey durumlarında saf jelatin diyotuna göre azaldığı görülmektedir. Ayrıca tüm diyotlar için artan frekans değerleri ile azaldığı görülmektedir. Arayüzey durumlarının frekansla oluşan bu davranışı tuzaklardaki yüklerin daha düşük frekanslarda AC sinyalinin izleme yeteneğinden kaynaklı olmasına atfedilebilir (Erbilen Tanrıku ve diğerleri, 2018). Literatür ile benzer sonuçlar yer almaktadır (Alptekin ve Altındal, 2020; Ersoz ve diğerleri, 2016).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, gaz sensör, fotokatalist ve süper kapasitör özelliklerine sahip ZnCo_2O_4 nano parçacıkları üretilip, yalıtkan organik jelatin yapısına katkılanarak MOS yapısında Al/Jelatin- ZnCo_2O_4 /n-si/Al schottky diyotları üretilmiştir. C-V ve G-V ölçümleri ile ZnCo_2O_4 katkısı jelatin ile oluşturulmuş MOS yapısının kapasitif özelliklerine etkisi incelendi.

Bu amaçla önce ZnCo_2O_4 nano parçacıklar sol jel tekniği ile üretildi. Üretilen ZnCo_2O_4 'in XRD, SEM ile yapısal ve morfolojik özellikleri incelenmiş ölçüm sonuçlarına göre üretilen tozların nanoyapılı olduğu ve ölçüm sonuçlarının literatürle uyumlu olduğu görüldü.

Al/Jelatin- ZnCo_2O_4 /n-Si/Al Schottky diyotları sol gel ve döndürmeli kaplama yöntemleri kullanılarak hazırlandı. Üretilen JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotların farklı frekanslarda kapasitans ve iletkenlik karakteristikleri, seri direnç, düzeltilmiş kapasitans ve düzeltilmiş iletkenlik değerleri incelenmiştir. Ayrıca bu diyotların farklı voltajlarda kapasitans ve iletkenlik karakteristikleri ve bu karakteristiklerden hesaplanan seri direnç değerleri ile birlikte üretilen tüm diyotların (JZ-0, JZ-1 ve JZ-5) katkı oranlarının diyot parametrelerine etkisi incelenmiştir.

Sol jel yöntemi ile üretilen ZnCo_2O_4 nano parçacıkların XRD spektrumu incelendiğinde ZnCo_2O_4 nano parçacıkları dışında herhangi bir yapı gözlenmemiştir. XRD karakteristik pikleri incelendiğinde ICDD 00-023-1390 kartı ile uyumlu olduğu görülmüştür. ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının kristal boyutu (D) Debye Scherrer ve Williamson-Hall metodu kullanılarak sırasıyla 34,5 nm ve 45,5 nm olarak hesaplanmıştır. Williamson-Hall metodu ile elde edilen kristal boyutu değerleri Debye-Scherrer metodu ile elde edilen kristal boyutu değerlerinden büyük olmasının nedeni Williamson-Hall metodunun Debye-Scherrer metoduna göre pik genişlemesini kapsadığı için daha büyük değer alması ile açıklanmıştır.

Sol jel yöntemi ile üretilen ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının SEM analizi ile morfolojik özellikleri belirlenmiştir. ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının SEM görüntüleri 50k ve 200k büyütmede incelendiğinde ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının düzensiz olarak dağılmış taneli yapılar şeklinde olduğu görülmüştür. ZnCo_2O_4 nano parçacıklarının SEM görüntüleri

XRD analizleri ile uyum içerisinde olup 100 nm den küçük ve ZnCo_2O_4 parçacıklarının nano yapılı olduğunu göstermiştir.

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının frekansa bağlı kapasitans-voltaj karakteristikleri incelendiğinde üç diyotun da tipik n-tipi MOS Schottky yapısının C-V karakteristiği gözlemlenmiştir. Bu üç diyotun tüm voltajlarda artan frekansla kapasitans değerlerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca 900 kHz ve üstündeki değerlerde değişim görülmemeye başlanmıştır. Bu davranışın nedeni düşük frekanslarda arayüzey yükleri AC sinyali takip ederek kapasitansa büyük ölçüde katkıda bulunurken 900 kHz üstü frekanslarda değişimler gözlemlenmemesinin sebebi arayüzey yüklerinin yüksek frekanslarda AC sinyali takip edememesinden kaynaklıdır. Bu durum frekans değerleri arttıkça arayüzey kapasitansının diyot kapasitansına katkısının azalması olarak açıklanmıştır. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının 1 MHz'deki kapasitans değerleri incelendiğinde ZnCo_2O_4 katkı oranı arttıkça diyot kapasitansını arttırdığı şeklinde açıklanmıştır.

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının frekansa bağlı iletkenlik-voltaj karakteristikleri incelendiğinde üç diyotun artan frekansla iletkenlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. İletkenlikteki bu tür davranışlar, artan frekans arayüzey durumları ve burada bulunan yüklerin gevşeme süresi ile açıklanmıştır. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının 1 MHz'deki kapasitans değerleri incelendiğinde katkı oranı arttıkça tüketim ve yığılma bölgeleri için iletkenlik değerlerinin artması ZnCo_2O_4 katkısının diyot iletkenliği arttırdığını göstermiştir.

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının voltaja bağlı kapasitans-frekans karakteristikleri incelendiğinde her üç diyot için tüm voltaj değerlerinde frekans değerleri arttıkça kapasitans değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu davranış arayüzey durumları, taşıyıcı ömrü ve diyotun seri dirençten etkilenmesinden kaynaklı olurken düşük frekanslarda arayüzey durumları uygulanan AC sinyali takip etmek için taşıyıcı ömrü yeterli olması ve yüksek frekanslarda taşıyıcı ömrünün yetersiz kalmasının ise kapasitansın düşüşüne sebep olacağı şeklinde açıklanmıştır. Ayrıca JZ-1 ve JZ-5 diyotlarında voltaj değeri arttıkça kapasitans değerinin azaldığı görülmüştür. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının 1 MHz'deki kapasitans değerleri incelendiğinde katkı oranı arttıkça kapasitans değerlerinin artması ZnCo_2O_4 katkısının diyot kapasitansını arttırdığı şeklinde açıklanmıştır.

JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının voltaja bağıli iletkenlik-frekans karakteristikleri incelendiğinde her üç diyot içinde düşük frekanslarda iletkenlikte herhangi bir değişim gözlemlenmezken yüksek frekanslarda frekans arttıkça iletkenliğin arttığı görülmüştür. Bu davranış düşük frekans bölgelerinde iletkenlik sabit ve DC akıma, artan frekansla iletkenliğin hızla yükselmesi AC iletkenliğe olarak iki bölgeye karşılık geldiğı ve ikinci bölgenin fermi seviyesinde bulunan boş ve dolu durumlar arasında hapsolmuş taşıyıcıların karakteristiğinden kaynaklı olabileceğı şeklinde açıklanmıştır. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının 1 MHz'deki iletkenlik değerlerinde düşük frekanslar için herhangi bir değişim gözlemlenmezken yüksek frekanslarda katkı oranı arttıkça iletkenlik değerlerinin artması ZnCo_2O_4 katkısının diyot iletkenliğini arttırdığı şeklinde açıklanabilir.

C-V ve G-V değerlerinden hesaplanan seri direnç karakteristiğı incelendiğinde her üç diyotun da tükenim bölgelerine denk gelen bir pik oluşturduğu gözlemlenmiştir. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarında seri direnç değerleri ve piklerin yoğunluğu tüm voltaj değerlerinde artan frekans ile azaldığı görülmüştür. Seri direncin bu davranışı, arayüzey durumlarını oluşturan sabit, hareketli oksit yükleri ve oksitte tuzaklanmış yüklerin varlığı sebebi ile açıklanmıştır. Tüm diyotlarda tepe noktaları ise artan frekans ile pozitif gerilim yönünde kaymaktadır. Bu durum elektrik alan altında yüzey yüklerinin yeniden yapılanmasından kaynaklı olabileceğı ile açıklanmıştır. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 diyotlarının tükenim bölgelerinde yer alan piklerin tepe noktaları artan katkı oranı ile negatif voltajlara doğru kaymaktadır.

C-f ve G-f değerlerinden hesaplanan seri direnç karakteristiğı incelendiğinde voltaj değeri arttıkça düşük frekans bölgelerinde seri direnç değerlerinde azalma görülürken yüksek frekans bölgelerinde herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. Bu durum seri direnç değerlerinin daha yüksek frekanslarda voltajdan bağımsız olduğı anlamına gelmekte ve arayüzey durumlarının yüksek frekanslarda AC sinyali takip edememesi olarak açıklanmıştır. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 için katkı oranı arttıkça seri direnç etkisinin arttığı görülmüştür. Bu davranış frekansa bağıli ölçümlerde ZnCo_2O_4 katkısının seri direnç etkisini arttırdığı olarak açıklanabilir.

C-V eğrisinin birikim bölgesinde yer alan lineer kısımdan faydalanarak belirli voltaj değerlerindeki kapasitans ve iletkenlik değerlerinden hesaplanan seri direnç değerleri incelendiğinde artan frekans ile azaldığı görülmüştür. Bu durum düşük frekanslarda R_s değerlerinin yüksek değerlere sahip olması, yarıiletken ile oksit tabaka arasındaki arayüzey

durumları ve kusurların oluşumu ile açıklanmıştır. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 için katkı oranı arttıkça seri direnç etkisinin azaldığı görülmüştür.

C-V ve G-V değerlerinden seri direnç etkisi ortadan kaldırılarak hesaplanan düzeltilmiş kapasitans grafikleri incelendiğinde üç diyotunda tipik n tipi MOS Schottky yapısının C-V karakteristiği gözlemlenmiştir. Bu üç diyotun tüm voltaj değerlerinde artan frekansla kapasitans değerlerinin arttığı görülmüştür. Seri direncin etkisi ortadan kaldırıldığında yük taşıyıcıları daha rahat hareket edebilmesi ile açıklanmıştır. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 için katkı oranı arttıkça tüketim ve yığılma bölgeleri için artan katkı oranı ile düzeltilmiş kapasitans değerleri arttığı görülmüştür. Ayrıca ölçülen kapasitans ve düzeltilmiş kapasitans değerleri kıyaslandığında düzeltilmiş kapasitans değerlerinin artması seri direnç değerlerinin ortadan kaldırılması sonucunda yük taşıyıcılarının daha rahat hareket edebileceğine atfedilmiştir. Yine aynı değerlerden hesaplanan düzeltilmiş iletkenlik karakteristikleri incelendiğinde tüm diyotlar için tüketim bölgesine denk gelen bir pike sahip olduğu görülmüştür. Ters beslem bölgesindeki bu piklerin yoğunluğu artan frekansla azalırken tepe noktaları artan frekansla sıfır voltaja doğru kaydığı görülmüştür. Seri direncin düzeltilmesinden sonra düzeltilmiş iletkenlik eğrisinin ters beslem bölgesinde görülen bu pikler, arayüz tuzaklarından kaynaklanırken piklerin artan frekansla sıfır voltaja doğru kayması yarıiletken-metal arayüzünde bulunan arayüzey yüklerinin akımından kaynaklı olması ile açıklanmıştır. JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 için katkı oranı arttıkça piklerin yoğunluğu artarken piklerin tepe noktaları negatif voltajlara doğru kaymaktadır.

Düzeltilmiş kapasitans ve iletkenlik değerlerinden hesaplanan arayüzey durumlarının değerleri incelendiğinde saf jelatine ZnCo_2O_4 nano parçacık katkısı sonucunda katkılama ile arayüzey durumlarının azaldığı görülmektedir. Tüm diyotlar için arayüzey yoğunluğu artan frekanslarla neredeyse üstel olarak azaldığı görülmektedir. Arayüzey durumlarının bu davranışı tuzaklardaki yüklerin daha düşük frekanslarda AC sinyali izleme yeteneğinden kaynaklı olmasına atfedilir.

Tüm sonuçlar incelendiğinde bu tez çalışmasında ZnCo_2O_4 nano parçacık katkısının JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarındaki etkisi artan katkı oranı ile kapasitif özelliğin artması sonucunda enerji depolama özelliğini artıran bir kapasitör davranışı görülmektedir. Bu durum JZ-0, JZ-1 ve JZ-5 Schottky diyotlarının MOS tipi bir aygıt olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Akın, Ü., Yüksel, F., Taşcı, E. and Tuğluoğlu, N. (2020). Fabrication of a New Hybrid Coronene/n-Si Structure by Using Spin Coating Technique and its Photoresponse and Admittance Spectroscopy Studies. *Silicon*, 12(6), 1399–1405.
- Alptekin, S. and Altındal, Ş. (2020). Electrical characteristics of Au/PVP/n-Si structures using admittance measurements between 1 and 500 kHz. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(16), 13337–13343.
- Ataseven, T. (2011). *Au/Si₃N₄/n-Si (mıs) yapıların dielektrik özelliklerinin incelenmesi*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ates, H. and Bahceci, E. (2015). Nano Malzemeler için Üretim Yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 492–494.
- Avellaneda, C. O., Vieira, D. F., Al-Kahlout, A., Leite, E. R., Pawlicka, A. and Aegerter, M. A. (2007). Solid-state electrochromic devices with Nb₂O₅:Mo thin film and gelatin-based electrolyte. *Electrochimica Acta*, 53(4), 1648–1654.
- Aydoğan, Ş. (2015). *Katıhal Elektroniği* (İkinci Baskı). İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık, 105-121
- Bardeen, J. (1947). Surface States and Rectification at a Metal Semi-Conductor Contact. *Physical Review*, 71(10), 717–727.
- Baykara, T. (2016). *Nanoteknolojiler Dünyasına Doğru* (Birinci Baskı). İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık, 1-7
- Birkan Selçuk, A., Tuğluoğlu, N., Karadeniz, S. and Bilge Ocak, S. (2007). Analysis of frequency-dependent series resistance and interface states of In/SiO₂/p-Si (MIS) structures. *Physica B: Condensed Matter*, 400(1–2), 149–154.
- Black, L. E. (2016). *New Perspectives on Surface Passivation: Understanding the Si-Al₂O₃ Interface*, Switzerland: Springer International Publishing, 181-204
- Brinker, C. J. and Scherer, G. W. (1990). *Sol-Gel Science*, Boston: Elsevier. 20
- Büyükbaş, A. (2015). *AuGe/SiO₂/p-Si/AuGe (mos) kapasitörün elektrik ve dielektrik özelliklerinin incelenmesi*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Büyükbaş Uluşan, A. (2018). *Au/(Cu₂O-CuO-PVA)/n-Si metal-polimer-yarıiletken yapının elektriksel parametreleri üzerine sıcaklık ve frekans etkisi*. Yayımlanmış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chang, Y. C. and Wang, Y. H. (2014). Resistive switching behavior in gelatin thin films for nonvolatile memory application. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(8), 5413–5421.

- Chen, H., Du, X., Sun, J., Mao, H., Wu, R. ve Xu, C. (2020). Simple preparation of ZnCo₂O₄ porous quasi-cubes for high performance asymmetric supercapacitors. *Applied Surface Science*, 515(March), 146008.
- Chen, Z., Wen, X. L., Niu, L. W., Duan, M., Zhang, Y. J., Dong, X. L., Chen, C. L. (2014). Transport and magnetic properties of ZnCo₂O₄/Si heterostructures grown by radio frequency magnetron sputtering. *Thin Solid Films*, 573, 90–94.
- Demirezen, S., Sönmez, Z., Aydemir, U. ve Altındal, S. (2012). Effect of series resistance and interface states on the I-V, C-V and G/ω-V characteristics in Au/Bi-doped polyvinyl alcohol (PVA)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature. *Current Applied Physics*, 12(1), 266–272.
- Duman, S., Gürbulak, B., Doğan, S. ve Türüt, A. (2011). Capacitance and conductance–frequency characteristics of Au–Sb/p-GaSe:Gd Schottky barrier diode. *Vacuum*, 85(8), 798–801.
- Ehrmann, A. (2021). Non-Toxic Crosslinking of Electrospun Gelatin Nanofibers for Tissue Engineering and Biomedicine—A Review. *Polymers*, 13(12), 1973.
- Elgazzar, E., Tataroğlu, A., Al-Ghamdi, A. A., Al-Turki, Y., Farooq, W. A., El-Tantawy, F. ve Yakuphanoglu, F. (2016). Thermal sensors based on delafossite film/p-silicon diode for low-temperature measurements. *Applied Physics A*, 122(6), 617.
- Erbilen Tanrikulu, E., Altındal, Ş. ve Azizian-Kalandaragh, Y. (2018). Preparation of (CuS–PVA) interlayer and the investigation their structural, morphological and optical properties and frequency dependent electrical characteristics of Au/(CuS–PVA)/n-Si (MPS) structures. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(14), 11801–11811.
- Erkoç, S. (2007). *Nanobilim ve nanoteknoloji* (Birinci Baskı), Ankara: Odtü Geliştirme Vakfı Yayıncılık.14-19
- Ersoz, G., Yucedag, I., Azizian-Kalandaragh, Y., Orak, I. ve Altındal, S. (2016). Investigation of Electrical Characteristics in Al/CdS-PVA/p-Si (MPS) Structures Using Impedance Spectroscopy Method. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 63(7), 2948–2955.
- Faraday, M. (1857). The Bakerian Lecture: Experimental relations of gold (and other metals) to light. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 147(2), 145–181.
- Föll, H., Christophersen, M., Carstensen, J. ve Hasse, G. (2002). Formation and application of porous silicon. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 39(4), 93–141.
- Guo, H., Chen, J., Weng, W., Wang, Q. ve Li, S. (2014). Facile template-free one-pot fabrication of ZnCo₂O₄ microspheres with enhanced photocatalytic activities under visible-light illumination. *Chemical Engineering Journal*, 239, 192–199.
- He, Y., Sun, J., Qian, C., Kong, L. an, Jiang, J., Yang, J., Gao, Y. (2016). Solution-processed natural gelatin was used as a gate dielectric for the fabrication of oxide field-effect transistors. *Organic Electronics*, 38, 357–361.

- Hench, L. L. and West, J. K. (1990). The Sol-Gel Process. *Chemical Reviews*, 90(1), 33–72.
- Hulla, J., Sahu, S. and Hayes, A. (2015). Nanotechnology. *Human & Experimental Toxicology*, 34(12), 1318–1321.
- Ibrahim, M., Mahmoud, A. A., Osman, O., Abd El-Aal, M. and Eid, M. (2011). Molecular spectroscopic analyses of gelatin. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 81(1), 724–729.
- İnal, M., Işıklan, N. v Yiğitoğlu, M. (2017). Preparation and characterization of pH-sensitive alginate-g-poly(N-vinyl-2-pyrrolidone)/gelatin blend beads. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 52, 128–137.
- İşcan, O. (2009). *Katodun Atomik Yapısının Nano Karbon Üretimi Üzerine Etkileri*. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaneti, Y. V., Wulan Septiani, N. L., Saptiama, I., Jiang, X., Yuliarto, B., Shiddiky, M. J. A., Yamauchi, Y. (2019). Self-sacrificial templated synthesis of a three-dimensional hierarchical macroporous honeycomb-like ZnO/ZnCo₂O₄ hybrid for carbon monoxide sensing. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(7), 3415–3425.
- Kacus, H., Yilmaz, M., Kocyigit, A., Incekara, U. and Aydogan, S. (2020). Optoelectronic properties of Co/pentacene/Si MIS heterojunction photodiode. *Physica B: Condensed Matter*, 597, 412408.
- Kaplan, N., Taşcı, E., Emrulloğlu, M., Gökce, H., Tuğluoğlu, N. and Eymur, S. (2021). Analysis of illumination dependent electrical characteristics of α -styryl substituted BODIPY dye-based hybrid heterojunction. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(12), 16738–16747.
- Karadeniz, S., Selçuk, A. B., Tuğluoğlu, N. and Ocak, S. B. (2007). On the interface trap density and series resistance of tin oxide film prepared on n-type Si (111) substrate: Frequency dependent effects before and after ⁶⁰Co γ -ray irradiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 259(2), 889–894.
- Karataş, S., Yakuphanoglu, F. and Amanullah, F. M. (2012). Capacitancevoltage and conductancevoltage characteristics of Ag/n-CdO/p-Si MIS structure prepared by solgel method. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 73(1), 46–51.
- Kathalingam, A., Ramesh, S., Yadav, H. M., Choi, J.-H., Kim, H. S. and Kim, H.-S. (2020). Nanosheet-like ZnCo₂O₄@nitrogen doped graphene oxide/polyaniline composite for supercapacitor application: Effect of polyaniline incorporation. *Journal of Alloys and Compounds*, 830, 154734.
- Kılçık, A., Berk, N., Seymen, H. and Karataş, Ş. (2021). Study on preparation of graphene oxide thin film layers: the electrical and dielectric characteristics of Au/GO/n-type Si junction structures. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(6), 7913–7925.

- Kwa, K. S. K., Chattopadhyay, S., Jankovic, N. D., Olsen, S. H., Driscoll, L. S. and O'Neill, A. G. (2003). A model for capacitance reconstruction from measured lossy MOS capacitance voltage characteristics. *Semiconductor Science and Technology*, 18(2), 82–87.
- Li, C., Hsieh, J. H., Hung, M., Huang, B. Q., Song, Y. L., Denayer, J. and L. Filipovic. (2004). Ultrasonic spray pyrolysis for nanoparticles synthesis. *Journal of Materials Science*, 9, 3647–3657.
- Lobo, L. S. and Ruban Kumar, A. (2019). Structural and electrical properties of ZnCo₂O₄ spinel synthesized by sol-gel combustion method. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 505, 301–309
- Lok, R., Budak, E. and Yilmaz, E. (2020). Structural characterization and electrical properties of Nd₂O₃ by sol-gel method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(4), 3111–3118.
- Mao, L. K., Hwang, J. C., Chang, T. H., Hsieh, C. Y., Tsai, L. S., Chueh, Y. L., Liu, T. J. (2013). Pentacene organic thin-film transistors with solution-based gelatin dielectric. *Organic Electronics*, 14(4), 1170–1176.
- Morán-Lázaro, J. P., López-Urías, F., Muñoz-Sandoval, E., Blanco-Alonso, O., Sanchez-Tizapa, M., Carreon-Alvarez, A., Rodríguez-Betancourt, V. M. (2017). Synthesis Characterization of Nanostructured ZnCo₂O₄ with High Sensitivity to CO Gas. *Nanostructured Materials - Fabrication to Applications*. InTech. 154-166
- Nicollian, E. H. and A.Goetzberger. (1967). The Si-SiO₂ Interface - Electrical Properties. *the Bell System Technical Journal*, 46, 1055–1133.
- Nicollian, E. H. and Brews, J. R. (1982). *MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology*. New York: John Wiley.1055-1133
- Papadopoulos, C. (2014). *Solid-State Electronic Devices*. New York: Springer, 122-137
- Puers, R., Baldi, L., Voorde, M. Van De, Nooten, S. E. Van and Voorde, V. De. (2017). *Nanoelectronics:Materials,Devices,Applications* (1st. Edition). Switzerland: Wiley.75-77
- Pul, M. (2019). Karbon Nanotüp (CNT) Ve Nano Grafen (G) Takviyeli Al 2024 Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretilerek Aşınma Ve İşlenebilme Özelliklerinin İncelenmesi. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, 370–382.
- Rai, R., Triloki, T. and Singh, B. K. (2016). X-ray diffraction line profile analysis of KBr thin films. *Applied Physics A*, 122(8), 774.
- Ramos, M., Valdés, A., Beltrán, A. and Garrigós, M. (2016). Gelatin-Based Films and Coatings for Food Packaging Applications. *Coatings*, 6(4), 41.
- Rhoderick, E. H. Williams, R. H. (1988). *Metal-Semiconductor Contacts*. New York: Oxford.11-37
- Saha, S., Chaudhary, N., Mittal, H., Gupta, G. and Khanuja, M. (2019). Inorganic–organic

- nanohybrid of MoS₂-PANI for advanced photocatalytic application. *International Nano Letters*, 9(2), 127–139.
- Sanders, W. C. (2018). *Basic Principles of Nanotechnology*. New York: CRC Press.148-162
- Schroder, D. K. (2006). *Material And Device Semiconductor Material And Device*. U.S.A: A John Wiley & Sons, Inc.127-131
- Seshan, K. (2002). *Handbook of Thin Film Deposition Techniques Principles, Methods, Equipment and Applications, (Second Editon)*. New York: CRC Press. 11-39
- Sezgin, Ş. (2011). *Au/Si₃N₄/n-Si (mis) yapıların kapasitans-voltaj (c-v) ve iletkenlik-voltaj (G/ω-V) karakteristiklerinin incelenmesi*. Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sharma, B. L. (Ed.). (1984). *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications*. Boston, MA: Springer US.1-17
- Sharma, Y., Sharma, N., Subba Rao, G. V. and Chowdari, B. V. R. (2007). Nanophase ZnCo₂O₄ as a High Performance Anode Material for Li-Ion Batteries. *Advanced Functional Materials*, 17(15), 2855–2861.
- Sönmezoğlu, S., Koç, M., Akin, S., Üniversitesi, K. M., Özdağ, K., Fakültesi, F. ve Bölümü, F. (2012). İnce film üretim teknikleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5), 389–401.
- Sreekanth, T. V. M., Ramaraghavulu, R., Prabhakar Vattikuti, S. V., Shim, J. and Yoo, K. (2019). Microwave synthesis: ZnCo₂O₄ NPs as an efficient electrocatalyst in the methanol oxidation reaction. *Materials Letters*, 253, 450–453.
- Sumio, S. (2005). *Handbook of sol-gel science and technology: processing, characterization, and applications*. Osaka: Kluwer Academic Publishers,3-149.
- Suryanarayana, C. (2001). Mechanical Alloying and Milling. *Materials and Manufacturing Processes*, 22(6), 3–29.
- Sze, S. M. and Lee, M.-K. (2012). *Physics of Semiconductor Devices: Third Edition*. U.S.A:Wiley 160-174
- Taleb, M., Teyssède, G., Roy, S. and Laurent, C. (2013). Modeling of charge injection and extraction in a metal/polymer interface through an exponential distribution of surface states. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 20(1), 311–320.
- Tan, K. M., Tay, C. M., Tjin, S. C., Chan, C. C. and Rahardjo, H. (2005). High relative humidity measurements using gelatin coated long-period grating sensors. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 110(2), 335–341.
- Tataroğlu, A., Altındal, Ş., Karadeniz, S. and Tuğluoğlu, N. (2003). Au/SnO₂/n-Si (MOS) structures response to radiation and frequency. *Microelectronics Journal*, 34(11), 1043–1049.
- Tohge, N., Moore, G. S. and Mackenzie, J. D. (1984). Structural developments during the

- gel to glass transition. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 63(1–2), 95–103.
- Tsividis, Y. (1999). *Operation and Modeling of The MOS Transistor, (Second Edition)*. New York: oxford.56-87
- Tuğluoğlu, N., Yakuphanoglu, F. and Karadeniz, S. (2007). Determination of the interface state density of the In/p-Si Schottky diode by conductance and capacitance-frequency characteristics. *Physica B: Condensed Matter*, 393(1–2), 56–60.
- Tuğluoğlu, N., Yüksel, Ö. F., Karadeniz, S. and Şafak, H. (2013). Frequency dependent interface state properties of a Schottky device based on perylene-monoimide deposited on n-type silicon by spin coating technique. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 16(3), 786–791.
- Turan, N. (2021). Dielectric behavior and AC conductivity mechanism of ZnCo₂O₄ ceramic nanoparticles as a function of frequency and temperature. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(20), 25084–25093.
- Turker, M. (2004). Effect of production parameters on the structure and morphology of Ag nanopowders produced by inert gas condensation. *Materials Science and Engineering A*, 367(1–2), 74–81.
- Tyona, M. D. (2013). A theoretical study on spin coating technique. *Advances in materials Research*, 2(4), 195–208.
- Venugopal, G. and Kim, S.-J. (2013). Nanolithography. *Advances in Micro/Nano Electromechanical Systems and Fabrication Technologies*, (August 2013), 187–205.
- Vijayanand, S., Joy, P. A., Potdar, H. S., Patil, D. and Patil, P. (2011). Nanostructured spinel ZnCo₂O₄ for the detection of LPG. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 152(1), 121
- Wang, H., Wang, J., Yan, X., Shi, J., Tian, H., Geng, Y. and Yan, D. (2006). Ambipolar organic field-effect transistors with air stability, high mobility, and balanced transport. *Applied Physics Letters*, 88(13)
- Wang, W., Xiao, J., Chen, X., Luo, M., Liu, H. and Shao, P. (2018). Fabrication and characterization of multilayered kafirin/gelatin film with one-way water barrier property. *Food Hydrocolloids*, 81, 159–168.
- Wei, D., Hossain, T., Garces, N. Y., Nepal, N., Meyer, H. M., Kirkham, M. J., Edgar, J. H. (2013). Influence of Atomic Layer Deposition Temperatures on TiO₂/n-Si MOS Capacitor. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 2(5), N110–N114.
- Wood, G. S., Jeronimo, K., Che Mahzan, M. A. Bin, Cheung, R. and Mastropaolo, E. (2021). Zinc oxide nanowires-based flexible pressure sensor. *Micro & Nano Letters*, 16(8), 432–435.
- Zhuang, X., Zhang, D., Wang, X., Yu, X. and Yu, J. (2018). Biocompatible and degradable gelatin dielectric based low-operating voltage organic transistors for ultra-high sensitivity NH₃ detection. *Applied Physics Letters*. 113(26),263301



GAZİ GELECEKTİR..