T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL/POLİARİLAT/CdS/ITO İNCE FİLM HİBRİT EKLEMLERİN YAPISAL, ELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

FURKAN KURUOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MERİH SERİN

İSTANBUL, 2012

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL/POLİARİLAT/CdS/ITO İNCE FİLM HİBRİT EKLEMLERİN YAPISAL, ELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Furkan KURUOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 28.06.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Merih SERİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Doç. Dr. Dolunay ŞAKAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Merih SERİN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Dolunay ŞAKAR

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Saffettin YILDIRIM

İstanbul Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Ercüment AKAT

Yeditepe Üniversitesi _____

Doç. Dr. Rıza DEMİRBİLEK

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2011-01-01-YULAP05 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tez süreci boyunca bilgi birikiminden yararlandığım, deneysel çalışmalarımda maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili hocam Doç. Dr. Merih SERİN' e ve çalışmalarım süresince bana yol gösteren hocam Doç. Dr. Dolunay ŞAKAR' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecinin başlangıcından itibaren deneysel verilerin değerlendirilmesinde ve tezin hazırlanmasında desteğini hiç eksik etmeyen, çalışma boyunca bilgi ve birikimlerinden yararlandığım sevgili hocam Öğr. Gör. Dr. Murat ÇALIŞKAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar boyunca laboratuvar imkanlarını açan ve fikirlerinden yararlandığım İstanbul Üniversitesi' nden Yrd. Doç. Dr. Saffettin Yıldırım'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen başta annem Meleke KURUOĞLU, babam Tayfur KURUOĞLU ve kardeşim Fulya KURUOĞLU olmak üzere tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, laboratuvar çalışma arkadaşım Muzaffer MOĞULKOÇ' a, tüm Katıhal Elektroniği ve Organik Elektronik laboratuvarı çalışanları ile desteklerinden dolayı diğer tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2012

Furkan KURUOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 3

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER 4

2.1 Giriş 4
2.2 Teorik Bilgiler 5
2.2.1 Yarıiletkenlerde Band Oluşumu ve İletkenlik 5
2.2.2 Metal – Yarıiletken (MS) Eklemler 8
2.2.3 Metal – Yalıtkan – Yarıiletken (MIS) Eklemler 11
2.2.3.1 İdeal MIS Yapısı 11
2.2.3.2 Gerçek MIS Yapısı 14
2.2.4 Omik Kontaklar 15
2.2.5 İletkenlik Mekanizmaları 18
2.2.5.1 Termiyonik Emisyon Teorisi 18
2.2.5.2 Schottky-Richardson Emisyonu 19
2.2.6 CdS' in Kristal Yapısı ve Parametreleri 20
2.2.7 PAr' ın Molekül Yapısı 23

BÖLÜM 3

ÜRETİM YÖNTEMLERİ 25

3.1 Elektron Demeti 25
3.2 Sprey Buharlaştırma 27
3.3 Spin Kaplama 29

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR 31

4.1 CdS Filmlerin Hazırlanması 31
4.1.1 CdS Filmlerin Sprey Buharlaşma Yöntemi ile Hazırlanması 31
4.2 X- ışını Kırınım Analizi 32
4.3 CdS/PAr Ekleminin Oluşturulması 33
4.4 CdS Filmlerin İletkenlik, Özdirenç ve Taşıyıcı Yoğunluğu Ölçümleri 34
4.5 Optik Ölçümler 38
4.6 I-V Karakteristiklerinin Ölçümü ve Parametrelerin Belirlenmesi 38
4.7 C-V Karakteristiklerinin Ölçümü ve Parametrelerin Belirlenmesi 41

BÖLÜM 5

BULGULAR 43

5.1 CdS Filmlerin Optik Özellikleri 43
5.2 PAr Filmlerin Optik Özellikleri 44
5.3 CdS Filmlerin Yapısal Özellikleri 45
5.4 PAr Filmlerin Yapısal Özellikleri 46
5.5 Elektriksel Özellikler 47
5.5.1 I-V Ölçümlerinden Elde Edilen Sonuçlar 47
5.5.2 C-V Ölçümlerinden Elde Edilen Sonuçlar 54
5.5.3 C-f Ölçümleri 59
5.5.4 Arayüzey Durum Yoğunluğu 59
5.5.5 Sensör Uygulamaları 64

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER 70

KAYNAKLAR 73

ÖZGEÇMİŞ 73

SİMGE LİSTESİ

I_n^-	Yarıiletkenden Metale Doğru Akım
μ	Mobilite
A^*	Richarson Sabiti
C	Kapasite
d	Film Kalınlığı
E_g	Yasak Enerji Aralığı
E_{ss}	Arayüzey Durumlarının Enerjisi
h	Planck Sabiti
k	Boltzman Sabiti
m^*	Etkin Kütle
n	Elektron Konsantrasyonu
$N(E)$	Durum Yoğunluğu
N_A	Donor Konsantrasyonu
N_{ss}	Arayüzey Durum Yoğunluğu
Q_{it}	Arayüzey Yük Yoğunluğu
Q_M	Metal Yüzey Yükü
Q_{sc}	Uzay Yükü
$q\chi$	Elektron Alınganlığı
T	Geçirgenlik, Sıcaklık
ν	Frekans
W	Arınma Bölgesinin Genişliği
α	Soğurma Katsayısı
β_{SR}	Schottky-Richarson Sabiti
ε_i	Yalıtkanın Dielektrik Sabiti
ε_s	Yarıiletkenin Dielektrik Sabiti
λ	Dalgaboyu
σ	Hacimsel İletkenlik
ϕ_m	Metal İş Fonksiyonu
ϕ_n	Fermi Seviyesi İle İletim Bandı Arasındaki Enerji Farkı
φ_s	Yüzey Potansiyeli
Ψ_{bi}	Kontak Potansiyeli

KISALTMA LİSTESİ

EPVD	Elektron Demeti ile Fiziksel Buhar Biriktirme
ITO	Indium Thin Oxide
MIS	Metal – Yalıtkan – Yarıiletken
MS	Metal Yarıiletken
SB	Sprey Buharlaştırma
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TE	Termiyonik emisyon
XRD	X-Ray Diffraction

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Diyodun akım-gerilim karakterstiği ile hesaplanan arayüzey durum yoğunluğunun enerjiye bağlı dağılım grafiği 1
Şekil 1.2 SiN/GaN-MIS diyotun I-V grafiği 2
Şekil 1.3 MIS diyotun 511 kHz' de farklı sıcaklıklardaki C-V karakteristikleri 3
Şekil 2.1 Enerji band diyagramı 6
Şekil 2.2 Yarıiletkende a) Jenerasyon ve b) Rekombinasyon 7
Şekil 2.3 Direkt ve dolaylı band yapısı 7
Şekil 2.4 Metal-yarıiletken kontağın enerji diyagramı (a) metal ve yarıiletkenin vakum seviyesine göre enerji seviyeleri, (b) metal-yarıiletken eklem oluşturulduktan sonra enerji seviyeleri, δ aralığı (c) azaldığında ve (d) sıfırlandığında. 9
Şekil 2.5 Metal n-tipi yarıiletken eklemin enerji band diyagramı (a) termal dengede, (b) ileri yönde (c) ters yönde gerilim uygulandığında 10
Şekil 2.6 MIS Yapısı 11
Şekil 2.7 MIS yapısının band diyagramı 12
Şekil 2.8 MIS yapısın değişik gerilim şartlarındaki band diyagramı (a) yığılım, (b) tükenim, (c) tersinim 13
Şekil 2.9 Arayüzey tuzaklarının etkisi ile MIS yapısını eşdeğer devresi 14
Şekil 2.10 MIS yapısında tuzaklanmalardan kaynaklı histerezis kayması 15
Şekil 2.11 Metal-n-tipi yarıiletken için, $\phi_m < \phi_s$ durumunda, a) temas öncesi band diyagramı, b) temas sonrası band diyagramı 16
Şekil 2.12 Yaklaşık omik kontakların akım gerilim karakteristikleri; a) küçük doğrultuya sahip omik kontak, b) direnci gerilime bağlı omik kontak 17
Şekil 2.13 Bariyer yüksekliğinin elektrik alan ile değişimi 20
Şekil 2.14 CdS bileşiğinin hekzagonal wurtzite kristal yapısı 21
Şekil 2.16 PAr' ın kimyasal yapısı 23
Şekil 2.17 PAr' ın iletkenlik-sıcaklık grafiği 23
Şekil 3.1 Elektron Demeti ile fiziksel buharlaştırma sistemi 25
Şekil 3.2 Fiziksel buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi 26
Şekil 3.3 Sprey Buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi 28
Şekil 3.4 Spinle kaplama yönteminin dört bölümü 29
Şekil 4.1 ITO/CdS/PAr yapısı 34
Şekil 4.2 Termal EMK yöntemi kullanılan yarıiletkenin band diyagramı 35
Şekil 4.3 Termal EMK yöntemiyle n tipi yarıiletkenin iletkenlik tipini ölçme devresi 35
Şekil 4.4 Van der Pauw yöntemi ile kontakların yerleşimi 36

Şekil 4.5 Van der Pauw yönteminde düzeltme fonksiyonunun R_1/R_2 oranına bağlı grafiği 36
Şekil 4.6 Dikdörtgen formlu örneğin ve kontaklarının gösterimi 37
Şekil 4.7 Akım gerilim ölçümleri için kullanılan deney seti 39
Şekil 4.8 Dielektrik spektroskopi sistemi 41
Şekil 5.1 CdS filmin optik geçirgenlik spektrumu 43
Şekil 5.2 Optik geçirgenlik sonucu elde edilen $(\alpha h\nu)^2$ değerinin enerjiye bağlı değişimi 44
Şekil 5.3 PAr filmlerin optik geçirgenlik spektroskopisi 44
Şekil 5.4 CdS filmin XRD analizi 45
Şekil 5.5 PAr filmin FTIR spektrumu 46
Şekil 5.6 PAr filmin x-ışını kırınım analizi 47
Şekil 5.7 Au/PAr/CdS MIS yapısının sıcaklığa bağlı J-V grafiği 48
Şekil 5.8 Cu/PAr/CdS MIS yapısının sıcaklığa bağlı J-V grafiği 48
Şekil 5.9 Au/CdS MS yapısının oda sıcaklığındaki J-V grafiği 49
Şekil 5.10 Cu/CdS MS yapısının oda sıcaklığındaki J-V grafiiği 50
Şekil 5.11 Au/PAr/CdS yapısının dV/dln(J) ve H(J)-J grafikleri 50
Şekil 5.12 Cu/PAr/CdS yapısının dV/dln(J) ve H(J)-J grafikleri 51
Şekil 5.13 Au/PAr/CdS MIS diyotun poizitif beslem bölgesinde ln(I) - V grafiği .. 53
Şekil 5.14 Cu/PAr/CdS MIS diyotun poizitif beslem bölgesinde ln(I) - V grafiği .. 53
Şekil 5.15 Au/PAr/CdS yapısının 3 MHz'de C-V grafiği 54
Şekil 5.16 Cu/PAr/CdS yapısının 3 MHz' de sıcaklığa bağlı C-V grafiği 55
Şekil 5.17 Cu/PAr/CdS MIS diyotun C-V karakteristiğinin frekans ile değişimi 56
Şekil 5.18 Cu/PAr/CdS diyotun C-V karakteristiğinden elde edilen $1/C^2$-V grafiği 57
Şekil 5.19 Au/PAr/CdS diyotun $1/C^2$-V grafiği 58
Şekil 5.20 PAr'ın C-f karakteristiği 59
Şekil 5.21 Au/PAr/CdS MIS diyotun 25 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi 60
Şekil 5.22 Au/PAr/CdS MIS diyotun 30 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi 60
Şekil 5.23 Au/PAr/CdS MIS diyotun 40 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi 61
Şekil 5.24 Au/PAr/CdS MIS diyotun 50 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi 61
Şekil 5.25 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 25 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi 62
Şekil 5.26 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 30 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi 62
Şekil 5.27 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 40 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi 63
Şekil 5.28 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 50 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi 63
Şekil 5.29 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 60 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi 64
Şekil 5.30 Cu/CdS eklemin atmosfer ve kloroform ortamındaki I-V grafiği 65
Şekil 5.31 PAr' ın kloroform ve atmosfer ortamındaki akım gerilim grafiği 65
Şekil 5.32 Atmosfer ve kloroform ortamlarında MIS diyodun I-V kararkteristikleri 66

Şekil 5.33 MIS diyotun $CHCl_3$ ve atmosfer ortamında direncinin gerilim ile değişimi 66
Şekil 5.34 MIS diyotun 1V gerilimde $CHCl_3$ gazını algılama grafiği 67
Şekil 5.35 Atmosfer ortamında arayüzey durum yoğunluğunun enerjiye bağlı dağılımı 68
Şekil 5.36 $CHCl_3$ ortamında arayüzey durum yoğunluğunun enerjiye bağlı dağılımı 69
Şekil 6.1 CdS filmin yan kesit SEM görüntüsü 70

ÇİZELGE LİSTESİ

		Sayfa
Çizelge 1	CdS'in özellikleri	22
Çizelge 2	PAr' ın özellikleri	24
Çizelge 3	Düzlemler arası uzaklık	46
Çizelge 4	Au/PAr/CdS yapısının parametreleri	51
Çizelge 5	Cu/PAr/CdS yapısının parametreleri	52
Çizelge 6	Sıcaklığa ve kontak metaline bağlı doyma akımları	54
Çizelge 7	Cu/PAr/CdS yapısının sıcaklığa bağlı iyonik yük değişimi	55
Çizelge 8	Cu/PAr/CdS diyot ile hesaplanan taşıyıcı yoğunluğu değerleri	57
Çizelge 9	Parametrelerin ortam şartlarına bağlı değişimi	68

ÖZET

METAL/POLİARİLAT/CdS/ITO İNCE FİLM HİBRİT EKLEMLERİN YAPISAL, ELEKTRİK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Furkan KURUOĞLU

Fizik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Merih SERİN
Eş Danışman: Doç. Dr. Dolunay ŞAKAR

Bu çalışmada, PAr/CdS eklemler ve değişik kontak metalleri ile oluşturulan MIS Schottky diyotların akım-gerilim (I-V) ve kapasitans-gerilim (C-V) karakteristikleri ±3V aralığında incelendi. Deneysel sonuçlar ile yapının doğrultucu özelliği ve C-V ölçümlerinde arayüzey durumları nedeniyle idealden sapmalar gözlemlendi. Elde edilen ölçümler ile yapının idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (ϕ_B), seri direnci (R_s), taşıyıcı yoğunluğu (N_A) ve arayüzey durumlarının sayısı (N_{ss}) belirlendi. Sıcaklık artışı ile birlikte n ve R_s değerlerinde düşüş, ϕ_B değerinde ise artış gözlemlenirken N_A ve N_{ss} değerlerinde incelenen sıcaklık aralığında belirgin bir değişim görülmedi. Diyotun gaz algılama özelliğinin incelenmesi için kloroform ortamında I-V ölçümleri ve sabit gerilim ile gaz ortamına bağlı ölçümler yapıldı. Bu ölçümler sonucunda kloroform etkisi ile diyotun direncinde artış meydana geldiği ve gaz akışının kesilmesiyle beraber

diyotun eksi karakteristiğine geri döndüğü görüldü. Bu nedenle diyotun sensör uygulamaları için uygun bir davranış gösterdiği anlaşıldı.

Anahtar Kelimeler: CdS, metal-yalıtkan-yarıiletken, MIS, Schottky eklem, diyot, arayüzey durum yoğunluğu, sensör

ABSTRACT

ELECTRICAL, OPTICAL AND STRUCTURAL INVESTIGATION OF METAL/POLYARYLATE/CdS/ITO HYBRID THIN FILM JUNCTIONS

Furkan KURUOĞLU

Department of Physics

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Merih SERİN

Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Dolunay ŞAKAR

In this study, current-voltage (I-V) and capacitance-voltage (C-V) characteristics of MIS Schottky diodes prepared with PAr/CdS junction and different contact metals have been investigated over voltage range of ±3V. With experimental results, rectifier feature of structure and because of the interfacial states deviations from ideal due to their conditions were observed. From the evaluation of the experimental measurements, ideality factor (n), barrier height (ϕ_B), series resistance (R_s), carrier density (N_A) and interfacial state density (N_{ss}) were calculated. When R_s and n values decrease with increasing temperature, the ϕ_B increases with increasing temperature and significant changes were not observed in the examined temperature range for N_{ss} and N_A. Examination of gas sensing property of diode, I-V measurements were done in chloroform atmosphere and constant voltage measurements were done at different gas atmosphere. With the effect of chloroform, the resistance of diode increases and with

discontinuation of gas flow, diode was reverted back to its initial. Therefore, it was understood that the diode was suitable for the sensor applications.

Key words: CdS, metal-insulator-semiconductor, MIS, Schottky junction, diode, interface state density, sensor

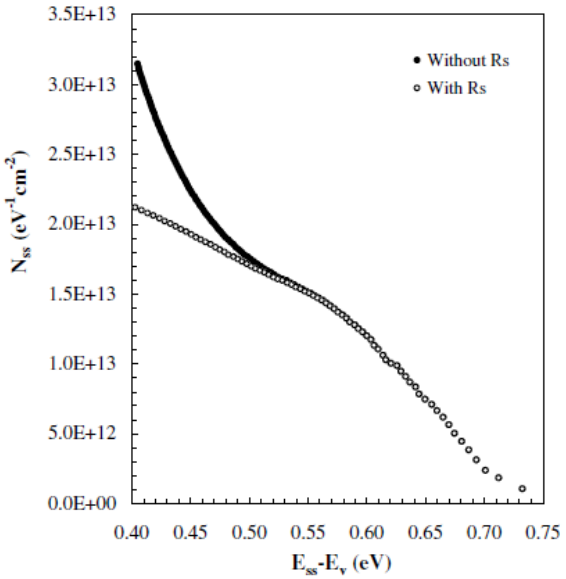
BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Schottky eklemlerin metal-yarıiletken kontaklarıyla oluşturulması ile birlikte Schottky diyotların elektriksel özelliklerini etkileyen önemli parametrelerden birinin metal-yarıiletken arayüzey kalitesi olduğu anlaşıldı [1], [2]. Metal-yarıiletken arayüzey etkilerinin incelenmesinde yalıtkan filmler kullanılarak metal-yalıtkan-yarıiletken eklemlerin incelenmesi güncel bir çalışma alanıdır.

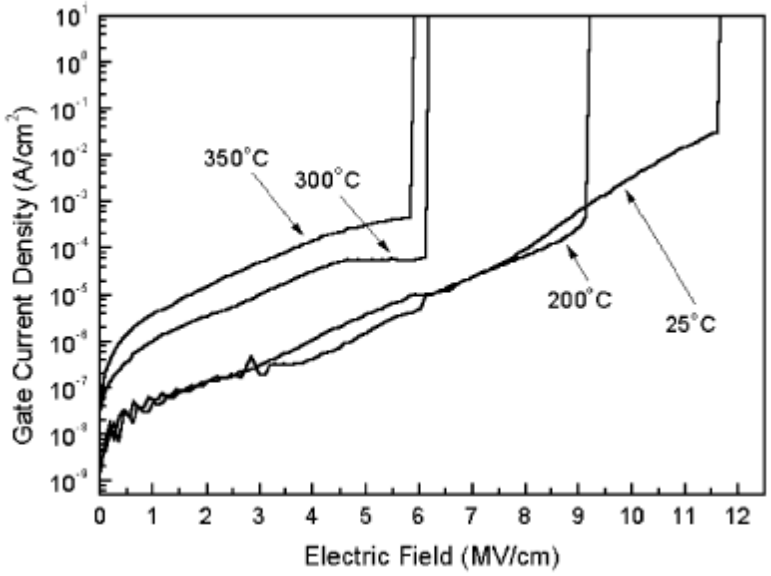
A. Tataroğlu ve Ş. Altındal Al/SiO_2/p-Si (MIS) Schottky diyodun arayüzey durumlarını ve SiO_2 tabakasının arayüzey durumlarının enerji dağılımına etkisini incelemek için yaptıkları çalışmada MIS diyotun oda sıcaklığındaki akım-gerilim karakteristiğinden faydalanmışlardır.



Şekil 1.1 Diyodun akım-gerilim karakterstiği ile hesaplanan arayüzey durum yoğunluğunun enerjiye bağlı dağılım grafiği

Diyodun akım-gerilim karakteristiklerini kullanarak elde ettikleri idealite faktörünün ideal değerden daha büyük olmasının metal yarıiletken arasındaki yalıtkan filmden dolayı olduğunu belirtmişlerdir. Cheung fonksiyonları yardımı ile yapının seri direnç değeri hesaplanmış ve bu değerin arayüzey durum yoğunluğunun dağılımında etkin rol oynadığı belirtilmiştir [3].

K.M. Chang, C.C. Cheng ve C.C. Lang yapmış oldukları çalışmada SiN/GaN MIS diyotun elektriksel özelliklerini bildirmişlerdir. Akım-gerilim ölçümleri sonucu MIS diyotun kırılma gerilimi oda sıcaklığında 11,6 MV/cm iken sıcaklığın 350 ˚C' ye gelmesi ile kırılma geriliminin 5,7 MV/cm' ye düştüğünü bildirmişlerdir.

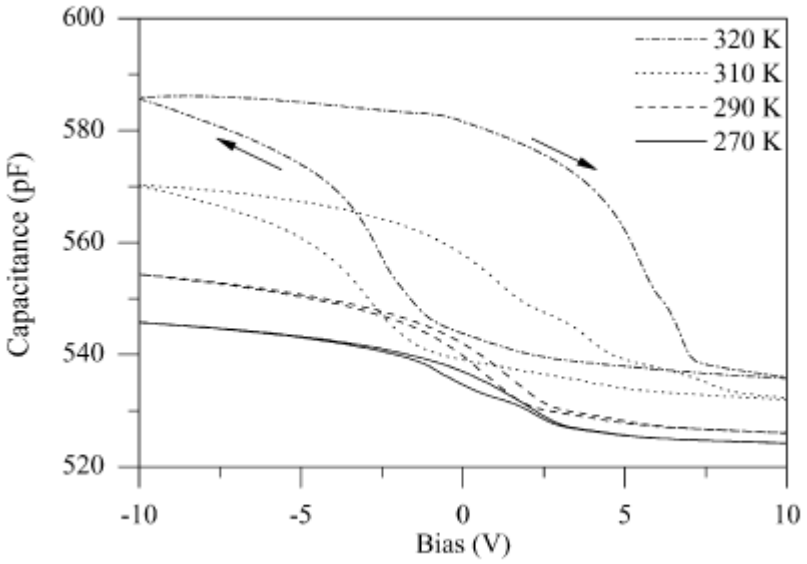


Şekil 1.2 SiN/GaN-MIS diyotun I-V grafiği

SiN/GaN-MIS diyotun arayüzey durum yoğunluğunun yarıiletkenin band aralığının ortalarında $4x10^{11}$ $eV^{-1}cm^{-2}$ olduğunu belirtmişlerdir. SiN' in düşük yük yoğunluğu ve düşük üretim sıcaklığı nedeni ile MISFET üretimi için uygun bir dielektrik malzeme olduğunu belirtmişlerdir [4].

S. Grecu, M. Bronner, A. Opitz ve W. Brütting polimerik yalıtkan ile hazırlamış oldukları MIS diyot ile yapmış oldukları kapasitans-gerilim ve akm gerilim ölçümleri ile katkı yoğunluğu, taşıyıcıların mobilitesi ve hareketli iyonların yoğunluğunu hesaplamışlardır. Kapasitans-gerilim ölçümlerinde meydana gelen histerezis eğrisinin

polimerik yalıtkan içerisinde bulunan hareketli iyonlar nedeniyle oluştuğunu belirtmişlerdir [5].



Şekil 1.3 MIS diyotun 511 kHz' de farklı sıcaklıklardaki C-V karakteristikleri

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada iletken ITO kaplı cam altlıklar kullanılarak sprey buharlaştırma yöntemi ile kaplanan CdS filmler üzerine polimer PAr (Poliarilat) yalıtkan tabakası kaplanarak elde edilen MIS diyotun karakteristik parametrelerinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak uygulama alanı tespit edilmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Sprey buharlaştırma yöntemi ile kaplanan CdS filmler üzerine polimer PAr (Poliarilat) yalıtkan tabakası kaplanarak elde edilen MIS diyotun karakteristik parametreleri sıcaklık ve ortam şartlarına bağlı olarak incelendi ve bu sayede diyotun sensor olarak kullanılmasını sağlayacak parametreler belirlendi. Ayrıca genel olarak oksit tabakalı diyotlar için kullanılan teorik hesaplamaların polimerik bir yalıtkan ile elde edilen diyot için de geçerli olduğu görüldü.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1 Giriş

Günümüz teknolojisinin önemli yapılarından biri olan Schottky eklemler, uygulama alanının yanı sıra araştırma alanında da büyük ilgi görmektedir. Metal-Yarıiletken (MS), Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) ve Metal-Oksit-Yarıiletken (MOS) diyotlar, Metal-Yarıiletken güneş gözeleri, radyasyon ve gaz sensörleri, organik ve inorganik malzemeler kullanılarak üretimi yapılabilen Schottky aygıtlardır. Ayrıca Metal-Oksit-Yarıiletken alan etkili transistörler (MOSFET) ve metal Schottky alan etkili transistörler (MESFET) de Schottky eklemlerinin uygulama ve araştırma alanlarına örnektir. Schottky eklemlerinin karakteristiklerinin büyük oranda bilinmesi, üretim tekniklerinin ve sürecin kolay olması, yüksek verimlilikle çalışması istenilen elektronik devre elemanlarının üretilmesi için uygun bir altyapı sağlamaktadır.

Metal-Yarıiletken kontaklarla ilgili çalışmalar 1874 yılında Braun' un metal ve PbS arasındaki iletimin doğasını açıklamasıyla başlar. 1906 yılında Pickard silisyum kullanarak ürettiği nokta kontak doğrultucunun patentini almıştır. 1907'de Pierce çeşitli yarıiletkenler üzerine kapladığı metallerle doğrultucu diyotların karakteristiği ile ilgili çalışmasını yayınladı. 1920'li yılların başında ise ilk bakır oksit doğrultucu plaka üretildi. Nokta kontaklar radyo dedektörlerinin ilk zamanlarında yaygın olarak kullanılsa da, aygıtlar ile ilgili gerçek anlamda ilk bilimsel çalışma, diğer bir deyişle Yarıiletken Fiziği' nin başlangıcı, II. Dünya Savaşı sırasında silisyum ve germanyum nokta kontak doğrultucuların mikrodalga dedektörü olarak kullanılmasıyla başlamıştır.

1960'lı ve 1970'li yıllarda yarıiletken teknolojisindeki çalışmalar, doğrultucu elementler, düşük direnç ve omik kontaklar alanında yoğunlaşmıştır [1].

Metal-yarıiletken kontakların teorik alt yapılarının oluşturulması teknolojik ilerlemelerinden daha sonra gerçekleşmiştir. 1931 yılında Alan Wilson enerji bandlarının dolu ve boş olması fikriyle katılar için band teorisini oluşturmuş ve bununla beraber yarıiletkenlerde iletimin katkı atomları ile olduğunu söylemiştir. 1938 yılında ise Walter Schottky ve Neville F. Mott birbirinden bağımsız olarak metal-yarıiletken eklemlerde potansiyel bariyeri modeli ile akım için difüzyon teorisini geliştirdiler. Bir yıl sonrasında da Schottky uzay yükü tanımını teoriye ekledi. 1942 yılında ise Hans Bethe, termoiyonik emisyon teorisinin metal-yarıiletken yapılara da uygulanabilir olduğunu ortaya koydu [6]. Crowell ve Sze, 1965 yılında, difüzyon ve termoiyonik emisyon teorilerini birleştirerek "Termoiyonik-emisyon-difüzyon" teorisini ileri sürdüler.

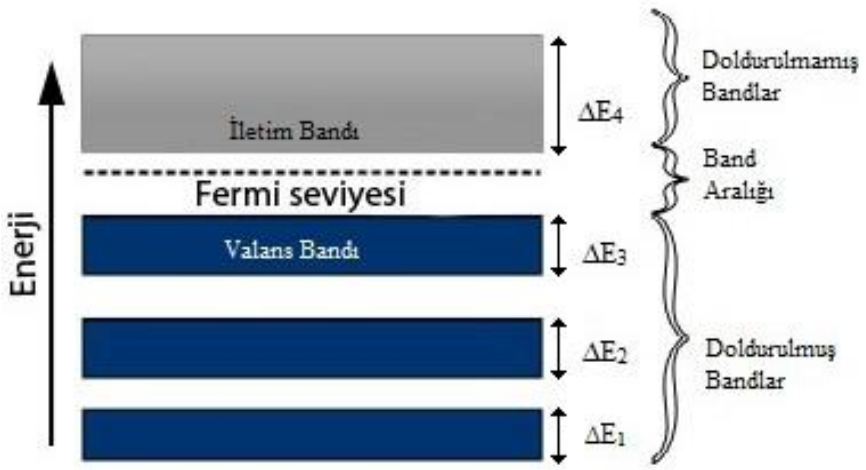
Schottky eklemlerde arayüzeyin diyot parametrelerine etkisinin anlaşılmasından sonra metal-yarıiletken eklemlere çeşitli amaçlar doğrultusunda değişik arayüzey tabakaları denenmeye başlandı. Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) eklemler ilk olarak, 1959'da Pfann ve Garrett tarafından, varaktör olarak önerildi. Bu yapının analizi ise Frankl ve Lindner tarafından tarif edildi [7]. İlk başarılı MIS diyot, 1960'da Ligenza ve Spitzer tarafından, Si üzerine SiO_2 in termal olarak büyütülmesi ile elde edildi. Günümüzde kullanım alanları giderek artmakta olan organik maddeler, MIS eklemlerde yalıtkan tabaka olarak kullanılmak için son derece uygun malzemelerdir.

2.2 Teorik Bilgiler

2.2.1 Yarıiletkenlerde Band Oluşumu ve İletkenlik

Katı cisimler elektrik özelliklerine göre üç gruba ayrılırlar: iletkenler, yarıiletkenler ve yalıtkanlar. Özdirenci (ρ) $10^{-4} - 10^{10}$ ohm·cm aralığında olan katı cisimler yarıiletken olarak adlandırılır. Yarıiletkenlerde kristal yapısındaki kusur atomlarının oranına göre, özden ve katkılı yarıiletkenler olarak kendi içerisinde de iki gruba ayrılır. Özden yarıiletkenlerde mutlak sıfırda serbest yük taşıyıcıları bulunmamaktadır. Yani, valans bandı elektronlarla tam olarak doldurulmuştur ve iletim bandında serbest elektron bulunmamaktadır. Isısal etki ile örgüde bazı bağlar koparak serbest elektron sayısı ve aynı miktarda delik konsantrasyonunu arttırmaktadır.

Katı cisimler birbirleriyle etkileşen çok sayıda atomdan oluşmaktadır. Bu nedenle kristal oluşturulduğunda çok sayıda atomları birbirine yaklaştırırken atomların ayrık enerji düzeyleri yerine enerji bandları meydana gelmektedir. Her enerji bandı uygun atomların enerji düzeyinden oluşmaktadır.



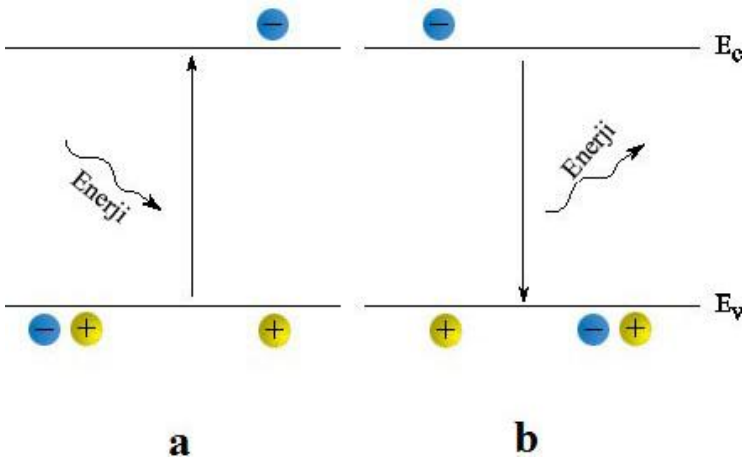
Şekil 2.4 Enerji band diyagramı

Enerji arttıkça, enerji bandlarının genişliği (ΔE) artmakta ve yasak enerji genişliği (E_g) azalmaktadır. En üst enerji bandı iletim bandı ve onun altındaki band valans bandı olarak adlandırılır. Mutlak sıfırda valans bandı elektronlarla tam dolmuştur, iletim bandı ise kısmen dolmuş veya tam boştur. Metallerin iletim bandı elektronlarla kısmen dolmuş, yalıtkanların ve yarıiletkenlerin ise mutlak sıfırda boştur. Burada Fermi seviyesi 0 K' de elektronlar ile doldurulmuş olan son enerji seviyesini gösterir.

Mutlak sıfırdan daha yüksek sıcaklıklarda, elektronun valans bandından iletim bandına geçişleri neticesinde elektron-delik çiftlerinin oluşması görülmektedir. Bunun tersi durumlarda ise elektronun iletim bandından valans bandındaki deliğe geçişi, elektron-delik çiftinin yeniden birleşmesine (rekombinasyon) neden olmaktadır. Denge durumunda elektron-delik çiftlerinin termik jenerasyon ve yeniden birleşme hızları birbirine eşittir.

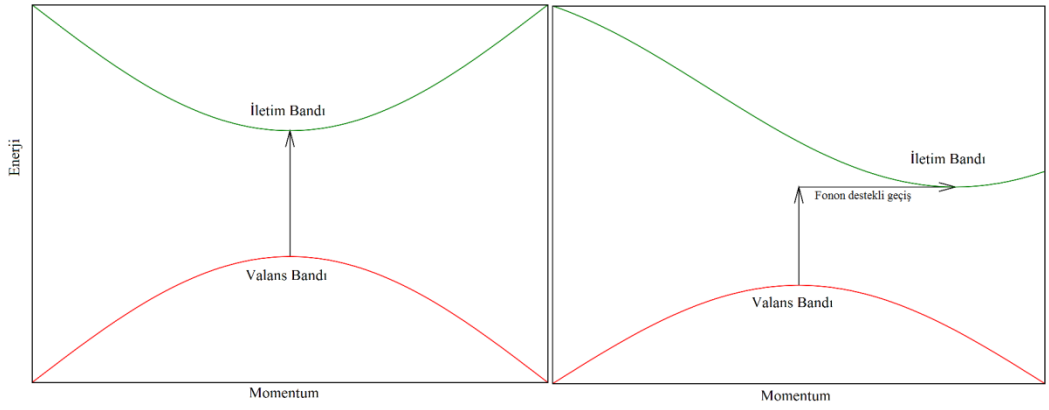
Yarıiletkenlerde elektron veren katkı atomu donör veya verici olarak adlandırılır. İletkenliği donör katkısıyla karakterize olunan yarıiletkene n-tipi yarıiletken denir. n-tipi yarıiletkenlerde çoğunluk yük taşıyıcıları elektronlar ve azınlık yük taşıyıcılar deliklerdir. Elektronları alan katkı atomları ise akseptör veya alıcı olarak adlandırılır.

İletkenliği akseptör tipli katkı ile belirlenen yarıiletken, p-tipi yarıiletken olarak tanımlanır. p-tipi yarıiletkende çoğunluk yük taşıyıcıları deliklerdir ve azınlık yük taşıyıcıları elektronlardır.



Şekil 2.5 Yarıiletkende a) Jenerasyon ve b) Rekombinasyon

Yarıiletkenler, valans bandından iletim bandına elektron geçiş durumlarına göre doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğrudan band yapılı yarıiletkenlerde, enerji - momentum uzayında valans bandının en üst noktası ile iletim bandının en alt değeri aynı momentum değerine sahiptir. Dolaylı band yapısında ise elektron ara bir seviyeye geçip momentum değerinin değişmesi sonucu iletim bandına geçer [8], [9].



Şekil 2.6 Direkt ve dolaylı band yapısı

Yariletkenlerde elektronlarda deliklerde iletime katkı sağlamaktadır. Bir özden yarıiletkenin hacimsel iletkenliği (σ) şu şekilde ifade edilir;

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h \qquad (2.1)$$

Burada n ve μ_e sırasıyla elektron konsantrasyonu ve mobilitesidir. Benzer şekilde p ve μ_h delik konsantrasyonu ve mobilitesidir. Yarıiletkendeki n ve p konsantrasyonu;

$$n = p = sabit * T^{3/2} e^{-E_g/2kT} \quad (2.2)$$

Denklem (2.1) ve (2.2) kullanılarak hacimsel iletkenlik;

$$\sigma = sabit * e(\mu_e + \mu_h) T^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-E_g/2kT} = \sigma_0 e^{-E_g/2kT} \quad (2.3)$$

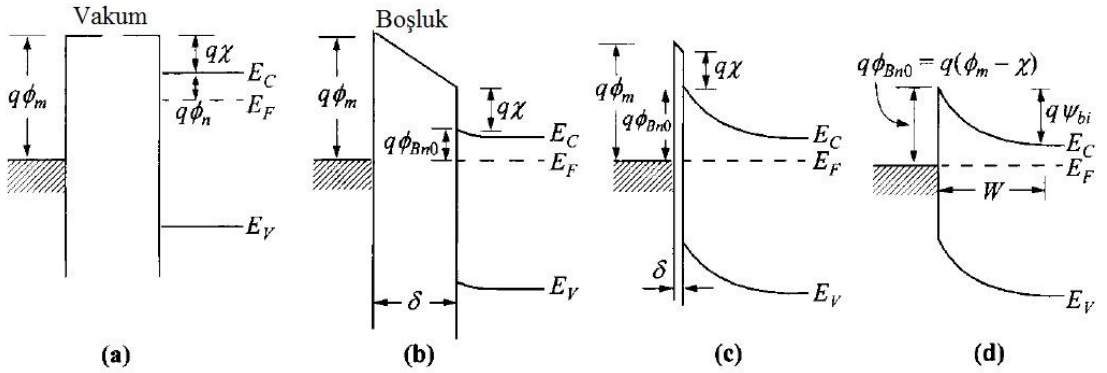
olarak bulunur. Yarıiletkenin E_g değeri, ln(σ)–1/T grafiğinin eğiminden hesaplanabilir. [10]

Yarıiletkenlerin çoğunluğunda iletkenlik, oda sıcaklığında, katkı atomlarının etkisiyle değişir. İletkenliği katkılarla belirlenen yarıiletkenlere katkılı yarıiletken denir. Donör veya akseptör katkı atomlarının eklenmesi yarıiletken malzemedeki elektron ve delik dağılımını değiştirmektedir [8], [11].

2.2.2 Metal – Yarıiletken (MS) Eklemler

Mikroelektronik aygıtların çoğunluğunun çalışma prensipleri metal-yarıiletken kontakların fiziksel karakteristiklerine bağlıdır. Bu tür kontakların sınır bölgesinde potansiyel engeller meydana gelir. Potansiyel engellerinin oluşması, metal-yarıiletken arası yük taşıyıcıların konsantrasyonlarının yeniden dağılmasına bağlıdır. Bu tür kontakların akım ve kapasite değerleri, dışarıdan uygulanan gerilimin değeri ve yönü ile değişmektedir. Yarıiletken kontakların lineer olmayan özellikleri, elektrik akımının doğrultulması, dönüşümü, büyütülmesi veya elektrik sinyallerinin üretimi için kullanılabilir [8].

Metal-*n*-tipi yarıiletken eklemde yarıiletkenin iş fonksiyonu $q(\phi_n+\chi)$ metalin iş fonksiyonundan $(q\phi_m)$ küçük ise yarıiletkenden metale Fermi seviyeleri eşit olana kadar elektron akışı olur. Burada $q\phi_n$ Fermi seviyesi ile iletim bandı arasındaki enerji farkı, $q\chi$ ise yarıiletkenin elektron alınganlığıdır. Yarıiletkenden metale geçen elektronlar arkalarında delikler bırakması sonucunda yarıiletkenin kontak bölgesi civarında pozitif yük bakımından zengin bir bölge oluşur. Bu oluşan bölge, arınma bölgesi (W) olarak adlandırılır.



Şekil 2.7 Metal-yarıiletken kontağın enerji diyagramı (a) metal ve yarıiletkenin vakum seviyesine göre enerji seviyeleri, (b) metal-yarıiletken eklem oluşturulduktan sonra enerji seviyeleri, δ aralığı (c) azaldığında ve (d) sıfırlandığında.

Yarıiletkenin enerji bandında arınma bölgesinde bir bükülme oluşarak bir eğim meydana gelir. Bu eğim, kontak potansiyeli (ψ_{bi}) olarak adlandırılır ve büyüklüğü,

$$q\psi_{bi} = q\big(\phi_m - (\chi + \phi_n)\big) \tag{2.4}$$

olarak ifade edilir.

Isısal dengedeki metal-n-tipi yarıiletken eklem arasındaki bariyer yüksekliği ($q\phi_{Bn0}$) değeri ise,

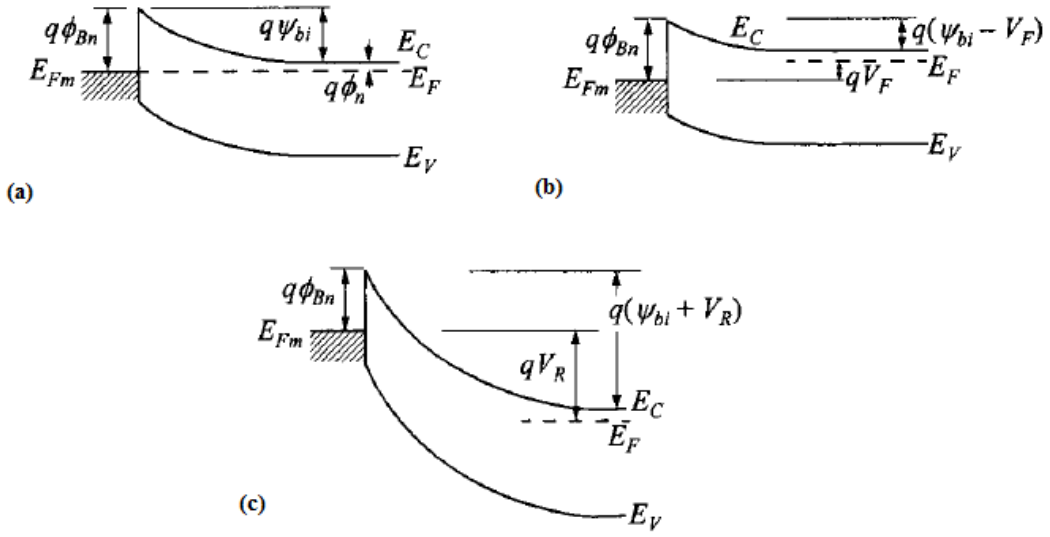
$$q\phi_{Bn0} = q(\phi_m - \chi) \tag{2.5}$$

ifadesi ile elde edilir.

Elektronların arınma bölgesinin (veya uzay yükü bölgesinin) kalınlığı,

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_S}{qN_A}(\psi_{bi} - V - kT/q)} \tag{2.6}$$

olarak ifade edilebilir. Burada ε_s yarıiletken malzemenin dielektrik sabiti, N_A taşıyıcı konsantrasyonu ve V ise dışarıdan uygulanan gerilimdir. Eklemin metal tarafındaki yüksek elektron yoğunluğu nedeniyle bu bölgede arınma bölgesi meydana gelmez [8], [12], [13].



Şekil 2.8 Metal n-tipi yarıiletken eklemin enerji band diyagramı (a) termal dengede, (b) ileri yönde (c) ters yönde gerilim uygulandığında

Metal ile n-tipi yarıiletken termal denge halinde iken yarıiletkenin iletim bandında bulunan elektronların bir kısmı kontak potansiyelini aşmak için gerekli enerjiye sahiptir. Bu elektronlar yarıiletken tarafından metale doğru bir I_n^- akımını meydana getirir. Aynı zamanda metal içerisindeki elektronların bir kısmı bariyeri aşarak yarıiletkene doğru I_n^+ akımını oluşturur. Termal denge halinde iken bu iki akım birbirine eşit değerdedir.

Eklem üzerine, n-tipi yarıiletken negatif kutup olacak şekilde, ileri yönde bir V_F gerilimi uygulandığında, arınma bölgesinin genişliği azalır ve kontak potansiyelinin yüksekliği qV_F kadar düşer. Bunun sonucunda yarıiletken üzerindeki elektronlar daha düşük bir bariyer yüksekliği ile karşılaştığından I_n^- değeri artar ve bununla beraber n-tipi yarıiletkenden metale doğru net bir akım oluşmuş olur. V_R büyüklüğünde bir ters gerilim uygulandığında arınma bölgesinin genişliği artar ve kontak potansiyelinin yüksekliği qV_R kadar büyür. Termal denge durumuna göre daha düşük bir I_n^- akımı meydana gelir. Metalden yarıiletkene doğru oluşan I_n^+ akımında bir değişim olmaz. Sonuç olarak n-tipi yarıiletkenden metale doğru oluşan net akım termal denge durumuna göre daha düşük bir değer alır [14], [15].

2.2.3 Metal – Yalıtkan – Yarıiletken (MIS) Eklemler

Yarıiletken aygıtların üretiminde ortaya çıkan dayanıklılık ve kararlılık problemlerinin çözümünde arayüzey durumlarının anlaşılması oldukça önemlidir. Yarıiletken yüzeylerin incelenmesinde Metal-Yalıtkan-Yarıiletken eklemler en kullanışlı aygıtlardır.

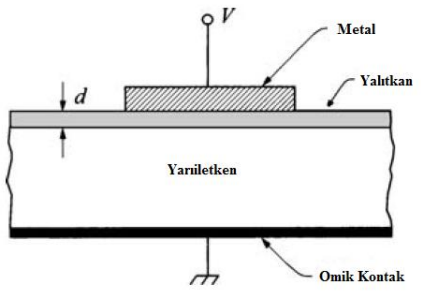
İlk MIS yapı gerilim kontrollü varistör olarak 1959 yılında Moll ve Pfann ile Garrett tarafından önerildi. Bu yapının karakteristiği Frankl ve Lindner tarafından incelendi. İlk başarılı MIS yapı ise, termal olarak oluşturulan SiO_2 ile, 1960 yılında Spitzer ve Ligenza tarafından elde edildi. Bu yapı ile ilgili daha sonraki çalışma, yüzey durumlarını incelemek amacıyla, 1962 yılında, Terman tarafından ve 1963 yılında, Lehovec ile Slobodskoy tarafından gerçekleştirildi [13], [16].

MIS yapı, metal ve yarıiletken tabakaları arasındaki yalıtkan filmin dielektrik özelliği sayesinde, paralel levhalı kondansatöre benzemektedir. Levhaların birbirinden farklı tipte olması sebebiyle asimetrik kondansatör olarak nitelendirilebilir [8].

MIS yapıların özellikleri MS yapılar ve paralel kondansatörde olduğu gibi arayüzey durumları tarafından belirlenmektedir. İdeal bir MIS diyotun arayüzeydeki doymamış bağların en az düzeyde olması istenir. Ancak malzemelerin safsızlığı, doymamış bağların bulunması, tuzaklar ve hareketli iyonların bulunması gibi etkenler yapının özelliklerini değiştirerek, ideal MIS yapısından daha farklı durumlar meydana getirmektedir.

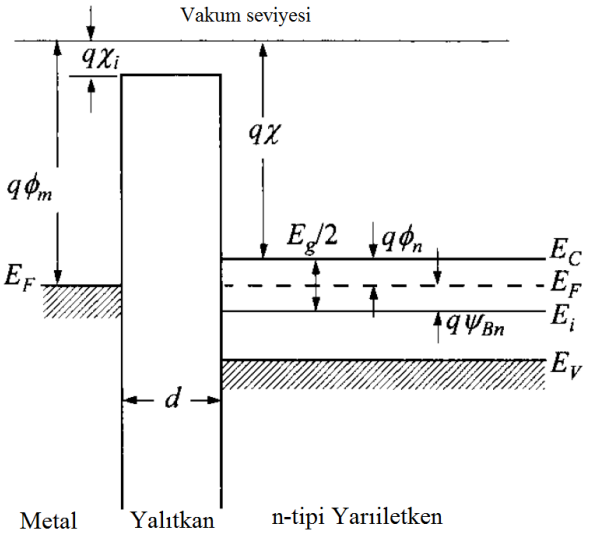
2.2.3.1 İdeal MIS Yapısı

MIS yapısı Şekil 2.6’ da gösterilmiştir. Burada d yalıtkan filmin kalınlığı, V ise uygulanan gerilimdir.



Şekil 2.9 MIS Yapısı

İdeal bir MIS yapısının gerilim uygulanmadığı durumdaki band diyagramı Şekil 2.7' de ki gibidir.



Şekil 2.10 MIS yapısının band diyagramı

İdeal bir MIS diyotun özellikleri;

a. Dışarıdan bir gerilim uygulanmadığında metal ve yarıiletken kısımların iş fonksiyonları birbirine eşittir [13], [17].

b. Yarıiletkende ve metal-yalıtkan yüzeyinde yük oluşumu ancak bir gerilim uygulanması durumunda gerçekleşir [13].

c. Yalıtkan tabakadaki serbest yük miktarı son derece küçüktür [18].

d. DC gerilim altında yalıtkan tabakadan yük geçişi olmaz. Yalıtkan filmin direnci sonsuz olarak kabul edilir [13], [18].

şeklinde ifade edilir.

MIS yapıya dışarıdan gerilim uygulandığında yarıiletkende yük kaymaları oluşur. Arayüzey bölgesinde oluşan Q_{sc} uzay yükleri bu bölgedeki yarıiletken bandlarının bükülmesine neden olur. Uygulanan gerilimin bir kısmı yalıtkan üzerine bir kısmı da yarıiletken üzerine düşer [11], [13].

$$V = V_i + \psi_S \tag{2.7}$$

Burada V_i yalıtkan üzerine düşen potansiyel ve ψ_i yüzey potansiyelidir.

MIS yapısının kondansatöre benzerliğinden dolayı toplam yük,

$$Q_M + Q_{sc} = 0 \tag{2.8}$$

şeklinde ifade edilir. Burada Q_M metal yüzeyindeki yükleri göstermektedir.

MIS yapısının kapasitesi, yalıtkan film ile yarıiletkenin arınma bölgesinin kapasitelerinin seri bağlanmasına eşittir.

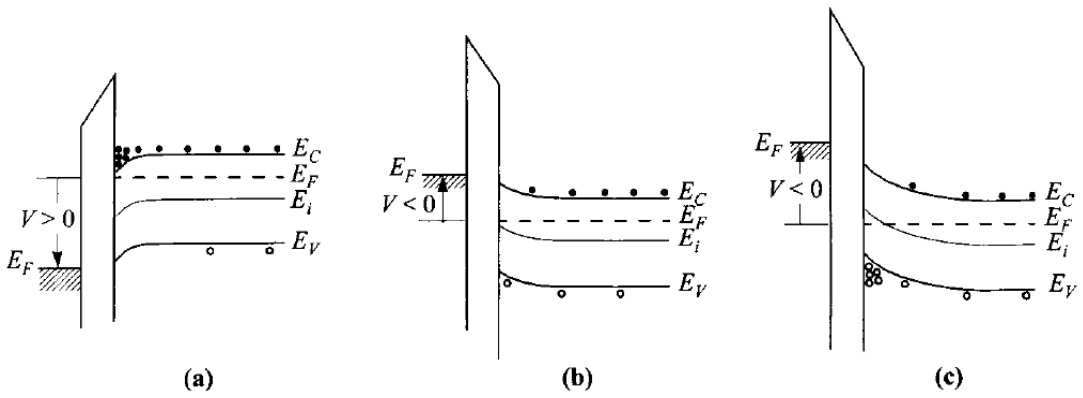
$$C_i = \frac{\varepsilon_i}{d} \tag{2.9}$$

$$C_D = \frac{\varepsilon_s}{W_D} \tag{2.10}$$

$$C = \frac{C_i C_D}{C_i + C_D} \tag{2.11}$$

Burada C_i yalıtkan filmin kapasitesi, C_D arınma bölgesinin kapasitesi, ε_i yalıtkan malzemenin dielektrik sabiti, ε_s yarıiletken malzemenin dielektrik sabiti ve d film kalınlığıdır. Yalıtkan filmin kapasitesi uygulanan gerilimle değişmediğinden, MIS yapının kapasitesinin gerilimle değişimi yalnızca arınma bölgesine bağlıdır [11], [13].

MIS yapı üzerine bir gerilim uygulandığında yarıiletken yüzeyinde üç farklı durum meydana gelir:



Şekil 2.11 MIS yapısın değişik gerilim şartlarındaki band diyagramı (a) yığılım, (b) tükenim, (c) tersinim

a) Metal tarafına pozitif bir gerilim uygulandığında (V > 0), iletim bandının (E_c) yalıtkan yüzeyi aşağıya doğru bükülerek Fermi seviyesine yaklaşır. İdeal MIS yapısında herhangi bir akım oluşmaz ve yarıiletkenin Fermi seviyesi sabit kalır. Taşıyıcı konsantrasyonu (E_c-E_F) enerji farkına üssel olarak bağlı

olduğundan, iletim bandındaki bu bükülme yarıiletken yüzeyinde çoğunluk taşıyıcıların yığılmasına neden olur. Bu durum yığılım (accumulation) olarak adlandırılır.

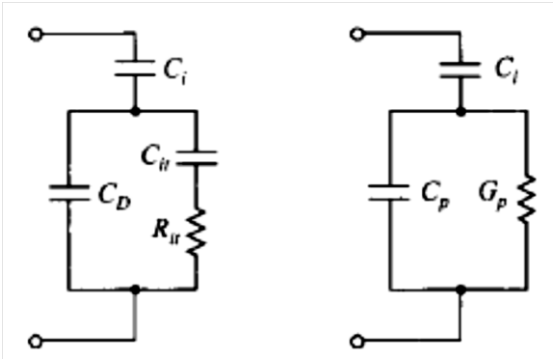
b) Metale V<0 olacak şekilde küçük bir gerilim uygulandığında enerji bandları yukarı doğru bükülür (Şekil 2.8.b) ve yüzey yakınlarındaki çoğunluk taşıyıcıları tükenmiş olur.

c) Eğer uygulanan negatif gerilim arttırılmaya devam edilirse, daha kuvvetli band bükülmeleri gerçekleşir ve öz enerji seviyesi Fermi seviyesini geçer (Şekil 2.8.c). Bu durumda tersinim (inversion) olayı gerçekleşir.

2.2.3.2 Gerçek MIS Yapısı

Gerçek MIS yapısında, ideal MIS yapısında bulunmayan arayüzey tuzakları, iyonlaşmış tuzaklar ve hareketli iyonlar gibi etkilerin bulunması, yapının özelliklerinde değişime sebep olur.

i) **Arayüzey Tuzakları:** Yüzeyi civarında yarıiletkenin periyodik yapısının bozulması, yasak band aralığı içerisinde yeni enerji seviyelerinin oluşmasına neden olur. Oluşan bu enerji seviyeleri "arayüzey durumları" ya da "arayüzey tuzakları" olarak adlandırılır. Arayüzey durumlarında bulunan yük yoğunluğu Q_{it}, yalıtkan kalınlığı ve yarıiletken katkı konsantrasyonundan etkilenmez [13], [17]. Arayüzey durumlarının yarattığı kapasite (C_{it}) ve direnç etkisi (R_{it}) ile MIS yapının C-V karakteristiği ideal MIS yapıya göre farklılık gösterir.



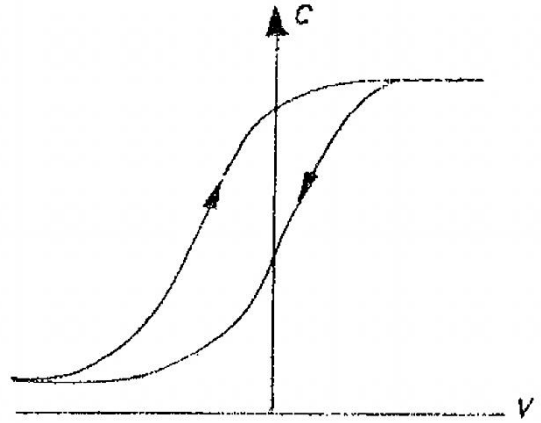
Şekil 2.12 Arayüzey tuzaklarının etkisi ile MIS yapısını eşdeğer devresi

$C_{it}R_{it}$ ifadesi arayüzey tuzaklarının ömrü (τ_{it}) olarak tanımlanır. τ_{it} 'nin frekansa bağlılığından faydalanarak, frekansın fonksiyonu olan bir C_p kapasitansı ve ona paralel G_p iletkenlik terimi ile arayüzey tuzaklarının etkisini içeren MIS yapısının eşdeğer devresini oluşturabiliriz [13].

ii) **Yalıtkan İçerisinde Tuzaklanmış Yükler:** Aygıt hazırlanması esnasında oluşan yapısal veya kimyasal bozukluklardan yükler yalıtkan tabaka içerisinde tuzaklanabilir. Elektronlar veya delikler metal ya da yarıiletken içerisinden yalıtkan tabakaya geçebilir. Yalıtkan içerisinde tuzaklanan bu yükler kapasitans gerilim eğrisinde idealden sapmalar meydana getirir.

Gerilim değerlerini pozitiften negatife doğru değiştirirken elde edilen kapasite değerleri ile negatiften pozitife doğru gerilim değerleri değiştirildiğinde elde edilen kapasite değerleri arasında bir fark meydana gelir.

Kapasitans gerilim eğrisinin iki yönde ölçülen değerlerindeki kayma miktarı oksit içerisindeki tuzaklanmış yüklerin miktarını verir [19].



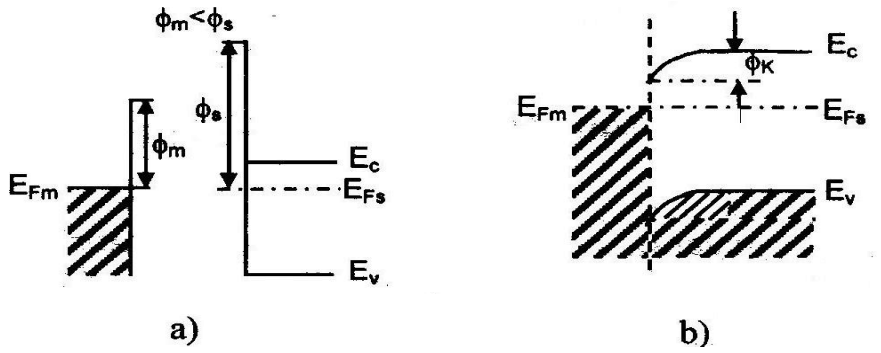
Şekil 2.13 MIS yapısında tuzaklanmalardan kaynaklı histerezis kayması

2.2.4 Omik Kontaklar

Metal-Yarıiletken eklemlerde doğrultucu etki göstermeyen kontaklar omik kontak olarak adlandırılır. Omik kontaklarda, kontak direnci yarıiletkenin direnci yanında

ihmal edilecek kadar küçük olmalı, akım uygulanan gerilimin yönüne göre değişmemeli, mekanik ve elektriksel olarak kararlı bir davranış göstermelidir. İyi bir omik kontağın özdirenci 10^{-5} ohm.cm' den küçük olmalıdır.

n-tipi yarıiletken malzeme için, metalin çıkış işi yarıiletkenin çıkış işinden küçük ise ($\phi_m<\phi_s$) metalden yarıiletkene doğru elektron akışı olur ve yarıiletkenin enerji bandları yüzey civarında aşağıya eğilir [8], [13].



Şekil 2.14 Metal-n-tipi yarıiletken için, $\phi_m<\phi_s$ durumunda, a) temas öncesi band diyagramı, b) temas sonrası band diyagramı

Yarıiletkenin enerji bandlarının bükülmesi sonucu yüzey civarında çoğunluk taşıyıcılarının konsantrasyonu daha büyük olur ve yüzey bölgesinin direnci iç bölgelere nazaran daha düşük bir seviyeye gelir. Bu oluşan yapı omik kontak (eklem) olarak adlandırılır.

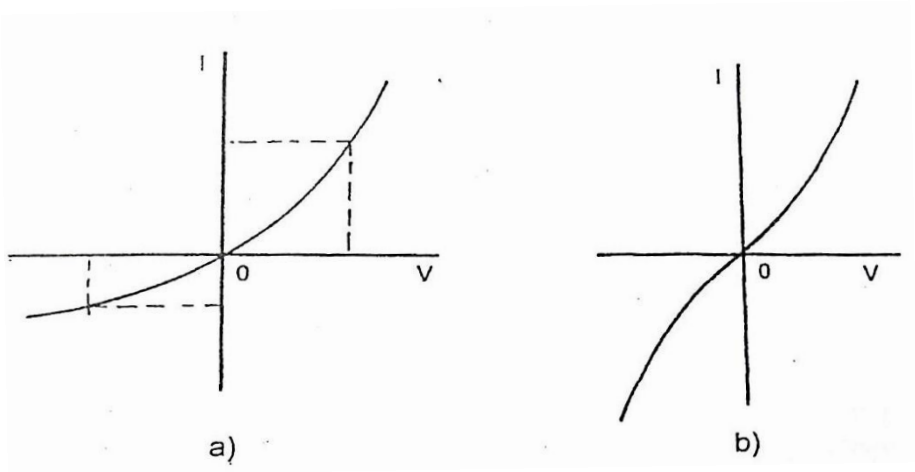
Metal-yarıiletken omik kontakların oluşturulması temel olarak üç ilkeye bağlanabilir.

i) Kullanılan yarıiletkenin n-tipi veya p-tipi olmasına bağlı olarak uygun çıkış işine sahip metal kullanılarak omik kontak elde edilebilir. Ancak, bu şartı sağlayan yeterli sayıda metal-yarıiletken kombinasyonu olmamasından dolayı düşük bariyer yüksekliğine sahip doğrultucu kontaklarda kullanılabilir.

ii) Omik kontakların büyük bir çoğunluğu metal kontağın yapılacağı yarıiletken yüzeyinde aşırı katkılanmış ince bir yüzey oluşturarak elde edilir.

Aşırı katkılama sonucu arınma bölgesinin son derece küçük olmasıyla düşük kontak direnci elde edilir.

iii) Yarıiletken yüzeyin yakınlarında kristal yapıda kusurlar oluşturarak yeniden birleşme odakları yaratılabilir. Bu odakların yoğunluğu yeteri kadar olduğunda, yeniden birleşme arınma bölgesinde etkin iletim mekanizması olacaktır. Bunun sonucunda kontak direncinde belirgin bir düşüş meydana gelir [1].



Şekil 2.15 Yaklaşık omik kontakların akım gerilim karakteristikleri; a) küçük doğrultuya sahip omik kontak, b) direnci gerilime bağlı omik kontak

Deneysel çalışmalarda tam lineer akım gerilim karakteristikli metal yarıiletken kontağı yapmak zordur. Kontağın akım gerilim karakteristiği lineer olmadığı takdirde, kontağın doğrultma derecesi, akımın doğru ve ters yöndeki değerlerinin eşit gerilimlerdeki oranıyla belirlenmektedir. Bu akımların oranı kontağın doğrultma katsayısı olarak tanımlanır. İdeal omik kontağın doğrultma katsayısı birdir.

Simetrik akım gerilim karakteristikli omik kontağın lineerlikten sapması lineer olmayan katsayı ile belirlenmektedir. Statik direncin diferansiyel dirence oranı sabit bir akım değerinde omik kontağın lineer olmayan katsayısı olarak tanımlanır. Lineer akım gerilim karakteristikli ideal omik kontağın lineer olmama katsayısı birdir [9].

2.2.5 İletkenlik Mekanizmaları

2.2.5.1 Termiyonik Emisyon Teorisi

Sıcaklık etkisi ile bir yüzeyden taşıyıcıların salınması *termiyonik emisyon (TE)* olarak adlandırılır. Bu olay, Schottky eklemlerde, çoğunluk yük taşıyıcılarının potansiyel engelini sıcaklık etkisi ile aşmaları olarak tanımlanır.

Termiyonik emisyon teorisi Bethe' in şu yaklaşımları üzerine kurulmuştur;

1) $q\Phi_{Bn}$ bariyer yüksekliği kT' den çok büyüktür,

2) Yük geçişinin gerçekleşitiği yüzeyler arasında termal denge kurulmuştur,

3) Net akım bu denge durumunu etkilemez.

Oluşan akım yalnızca bariyer yüksekliğine bağlıdır ve yarıiletkenden metale doğru oluşan akım yoğunluğu, bariyer engelini aşacak ve x doğrultusunda hareket edecek enerjideki elektronların yoğunluğu ile ifade edilir.

$$J_{s\to m} = \int_{E_{Fn}+q\phi_{Bn}}^{\infty} q v_x dn \tag{2.12}$$

Burada $E_{Fn}+q\phi_{Bn}$ termiyonik emisyon için gerekli olan minimum enerji, v_x taşıyıcının sürüklenme hızıdır. Artan bu enerji aralığındaki elektron yoğunluğu;

$$dn = N(E)F(E)dE$$

$$\approx \frac{4\pi(2m^*)}{h^3}\sqrt{E-E_C}\exp\left(-\frac{E-E_C+q\phi_n}{kT}\right)dE \tag{2.13}$$

olarak ifade edilir. Burada *N(E)* durum yoğunluğu, *F(E)* dağılım fonksiyonu, *h* Planck sabiti, m^* elektronun etkin kütlesi ve *k* Boltzman sabitidir.

İletim bandındaki elektronların bütün enerjilerinin kinetik enerji olduğu varsayımı ile (2.13) denklemi,

$$dn \approx 2\left(\frac{m^*}{h}\right)^3 exp\left(-\frac{q\phi_n}{kT}\right) exp\left(-\frac{m^* v^2}{2kT}\right)(4\pi v^2 dv) \tag{2.14}$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (2.14), denklem (2.12) içerisinde kullanılırsa yarıiletkenden metale doğru akım yoğunluğu;

$$J_{s\to m} = \left(\frac{4\pi q m^* k^2}{h^3}\right) T^2 exp\left(-\frac{q\phi_n}{kT}\right) exp\left(-\frac{m^* v_{0x}^2}{2kT}\right) \tag{2.15}$$

olur. Burada v_{0x}, taşıyıcının bariyeri aşması için gerekli olan minimum hızının x bileşenidir. v_{0x} hızına sahip taşıyıcının enerjisi $q(\psi_{bi}-V)$ olacağından ve $\phi_{Bn}=\phi_n+\psi_{bi}$ eşitliğinden faydalanarak denklem (2.15)' deki akım yoğunluğu ifadesi

$$J_{s\to m} = A^* T^2 exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right) exp\left(-\frac{qV}{kT}\right) \tag{2.16}$$

şeklinde yazılabilir. Burada A^* etkin Richardson sabitidir [13].

$$A^* = \frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \tag{2.17}$$

Metalden yarıiletkene geçen elektronların karşılaştığı bariyer yüksekliği uygulanan gerilimden etkilenmediğinden ve $V=0$ durumunda, metalden yarıiletkene olan akım yoğunluğu ile yarıiletkenden metale olan akım yoğunluğu birbirine eşit ve zıt yönlü olduğundan, metalden yarıiletkene akım yoğunluğu ifadesi;

$$J_{m\to s} = -A^* T^2 exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right) \tag{2.18}$$

olarak yazılır [13].

Toplam akım yoğunluğu denklem (2.16) ile (2.18)' in toplamı şeklindedir.

$$J_n = \left[A^* T^2 exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right)\right]\left[exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1\right]$$
$$= J_{TE}\left[exp\left(-\frac{qV}{kT}\right) - 1\right] \tag{2.19}$$

Burada J_{TE};

$$J_{TE} = A^* T^2 exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right) \tag{2.20}$$

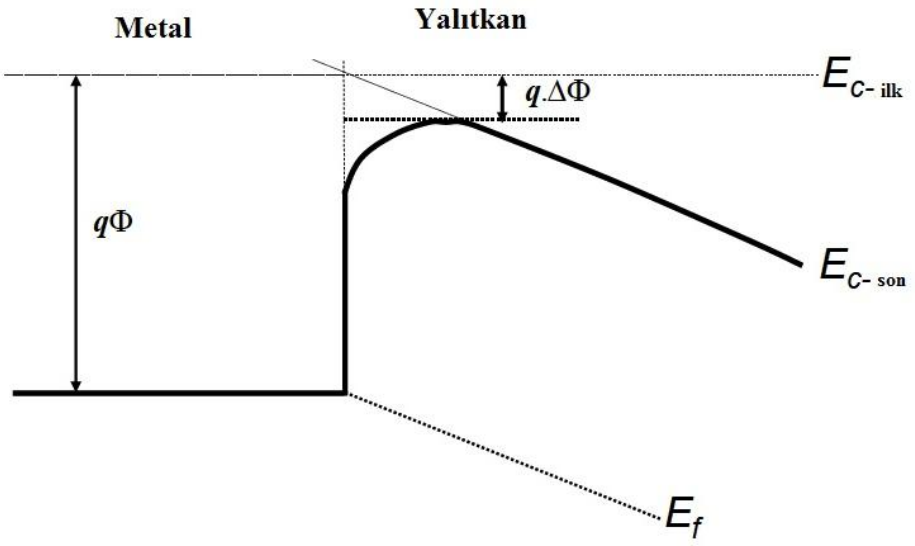
olarak yazılır.

2.2.5.2 Schottky-Richardson Emisyonu

Taşıyıcıların iletimi yalıtkan yüzeyindeki kontak potansiyeli ile sınırlandığında, yalıtkan üzerindeki yük akışı bariyer engeli termal enerji ile aşabilecek taşıyıcılara bağlıdır. Termiyonik emisyon ile oluşan akım yoğunluğunun sıcaklık ile ilişkisi;

$$J = A^* T^2 exp\left(-\frac{q\phi}{kT}\right) \tag{2.21}$$

Metal yüzeyindeki kutuplanma ile oluşan görüntü yükleri taşıyıcı yüklerin yayılımına katkıda bulunur, bu nedenle kontak potansiyeli uygulanan elektrik alanı ile değişir [20].



Şekil 2.16 Bariyer yüksekliğinin elektrik alan ile değişimi

Elektrik alanına bağlı olarak kontak potansiyeli yüksekliğindeki değişim;

$$\Delta q\phi = \beta_{SR} E^{1/2} \tag{2.22}$$

olarak belirlenir. Burada β_{SR} Schottky-Richardson katsayısıdır ve;

$$\beta_{SR} = \sqrt{\frac{q^3}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{ih}}} \tag{2.23}$$

şeklinde tanımlanır [21]. Sisteme dışarıdan elektrik alanı uygulanması ile birlikte etkin bariyer yüksekliği $q\phi$-$\beta_{SR}E^{1/2}$ olarak belirlenir. Schottky-Richardson etkisi ile akım yoğunluğunu belirleyebilmek için denklem (2.24)'deki bariyer yüksekliği etkin bariyer yüksekliği ile değiştirilmelidir.

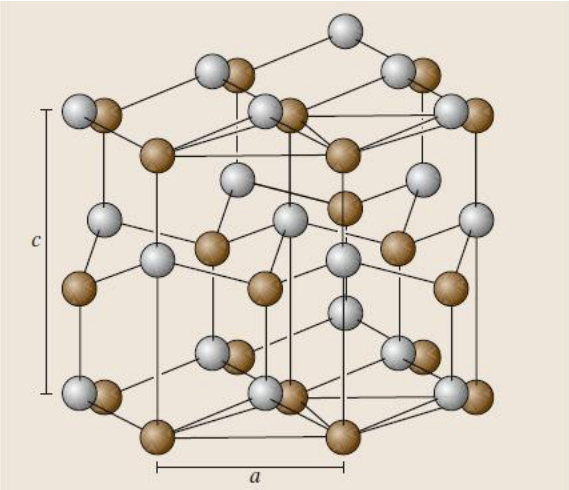
Denklem (2.24) etkin bariyer yüksekliği ile tekrar yazılırsa;

$$J_{SR} = A^* T^2 exp\left(-\frac{q\phi}{kT}\right) exp\left(\frac{\beta_{SR}E^{1/2}}{kT}\right) \tag{2.24}$$

olarak belirlenir [20].

2.2.6 CdS' in Kristal Yapısı ve Parametreleri

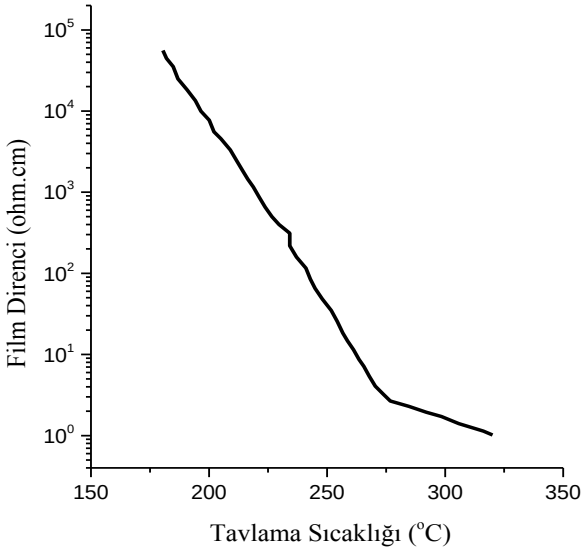
II-VI grubu yarıiletkenlerinden olan CdS bileşiği doğal olarak *n*-tipi olarak elde edilen bir malzemedir. CdS hem kübik hem de hekzagonal wurtzite yapıda kristalleşebilmektedir, ancak daha kararlı olduğu yapı hekzagonal wurtzite'dir. Şekil 2.14 CdS kristalinin hekzagonal yapısını göstermektedir.



Şekil 2.17 CdS bileşiğinin hekzagonal wurtzite kristal yapısı [25]

CdS filmler, In, Sn, Al, Cl veya Br ile kolaylıkla katkılanır ve tüm bu katkı maddeleri ile, yüzeysel donor safsızlıklarına sahip malzemeler oluşturulur. Film veya kristal büyütme sırasında aşırı Cd varlığı ile ek bir safsızlık katkısı yapılmasa bile, 0.1 ohm un altında özdirenç değerleri gözlenebilir. Eğer CdS filmin yüzeyinde ve tanecik sınırlarında oksijen soğuruluyorsa, CdS iletim bandından elektronların ayrılarak oksijenle kimyasal bağ oluşturması söz konusudur ve bu, yüzeyde ve tanecik sınırlarında bir tüketim tabakası meydana getirir. Bu soğurulan oksijen, vakum içerisinde çeşitli ısısal işlemler yardımı ile çıkarılır.

CdS filmlerin direnci ısısal işlemler ile önemli şekilde değiştirilebilir. Şekil 2.15 de tavlama sıcaklığına bağlı olarak direnç değişim grafiği verilmiştir [23].



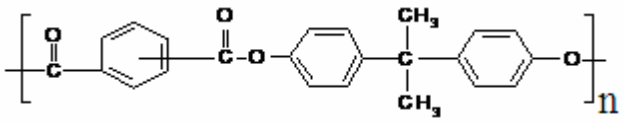
Şekil 2.18 CdS filmlerin direncinin tavlama sıcaklığına bağlılığı

Çizelge 1 CdS'in özellikleri [24; 25]

Kristal Yapısı	Wurtzite
Örgü Parametreleri (nm)	a=0,413 c=0,674
Yasak Enerji Aralığı (E_g) (T=300K)	2,42-2,5 eV
İletkenlik Tipi	n tipi
Erime Noktası (K)	1750
Yoğunluk (ρ) (300K)	4,82 g/cm^3
Molekül Ağırlığı	144,477 amu
Lineer Termal Genleşme Katsayısı	7,04 x 10^{-6} K^{-1}
Isı Sığası (300K)	55,20 J/mol·K
Termal İletkenlik (κ)	0,20 W/cm·K
Debye Sıcaklığı	219,32 K
Elektron Etkin Kütle Oranı (m_e^*/m_0)	0,25
Delik Etkin Kütle Oranı (m_h^*/m_0)	0,7
Elektron Hall Mobilitesi (μ_e)	340 cm^2/V·s
İş Fonksiyonu ($q\phi_s$)	4,7 eV
Elektron Alınganlığı (χ)	3,6 eV
Arayüzey Tuzak Yoğunluğu (D_{it})	1,6±1,1 x 10^3 eV·cm^2
Dielektrik Sabiti	8,28
Richardson Sabiti (A^*)	25

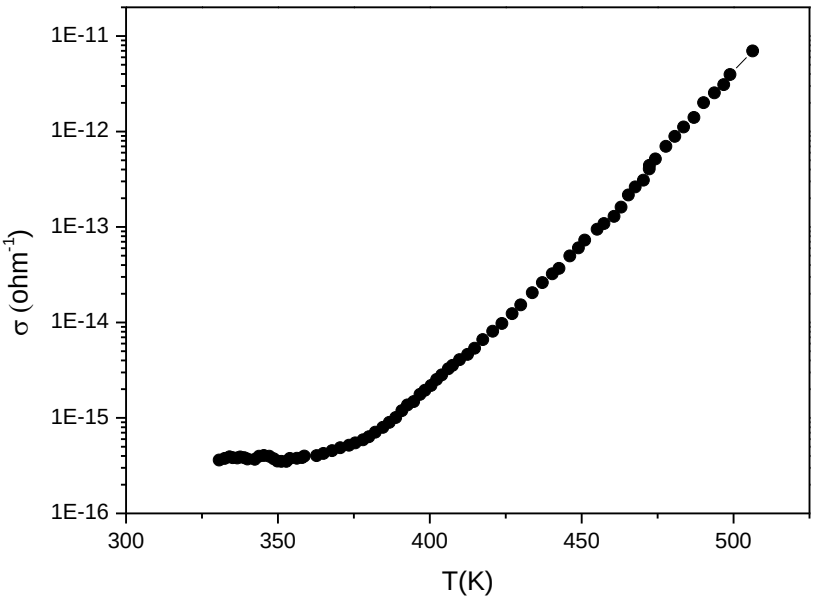
2.2.7 PAr' ın Molekül Yapısı

PAr (Poliarilat), günümüzde ticari olarak elde edilen ilk poliarilat bisfenol-A'nın tereftalik asit ve isoftalik asitin 50/50 karışımı ile oluşturduğu amorf aromatik kopoliesterdir (Ticari adı ARDEL™ D-100, Amoco Performance Product (Alpharetta, USA)). Yüksek T_g' ye (190 ^oC) sahip olan bu polimer organik çözücülere dayanıklılık göstermesinin yanında bazı organik çözücülerde de iyi çözünürlük göstermektedir. PAr'da bulunan bisfenol-A gibi difenoller polimerin mekanik özellikleri ve sertliğini arttırmaktadır.



Şekil 2.19 PAr' ın kimyasal yapısı

PAr'ın darbe dayanımı, orta darbe dayanımlı akrilonitril-butadien-stiren (ABS) kopolimerine yakındır, ışık geçirgenliği ve ısıya dayanımı mükemmeldir. Cam yüzeylerin sırlanması, elektrik bağlantı aksamı ve kaplama malzemesi olarak uygulama alanları bulunmaktadır [26], [27].



Şekil 2.20 PAr' ın iletkenlik-sıcaklık grafiği [26]

Çizelge 2 PAr' ın özellikleri

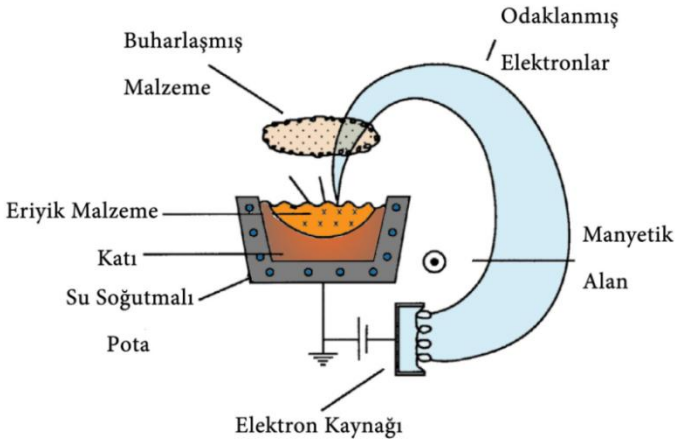
Yoğunluk	1,21 (g/cm^3)
Bükülme sıcaklığı	180 ^oC
Isıl genleşme	110 μm/(m^oC)
Görünür ışık geçirgenliği	%87
Kırılma indisi	1,61
Hacim direnci (log ohm.cm)	16
Dielektrik kuvveti	15,1 MV/m
Dielektrik sabiti (1 kHz)	3,13

BÖLÜM 3

ÜRETİM YÖNTEMLERİ

3.1 Elektron Demeti

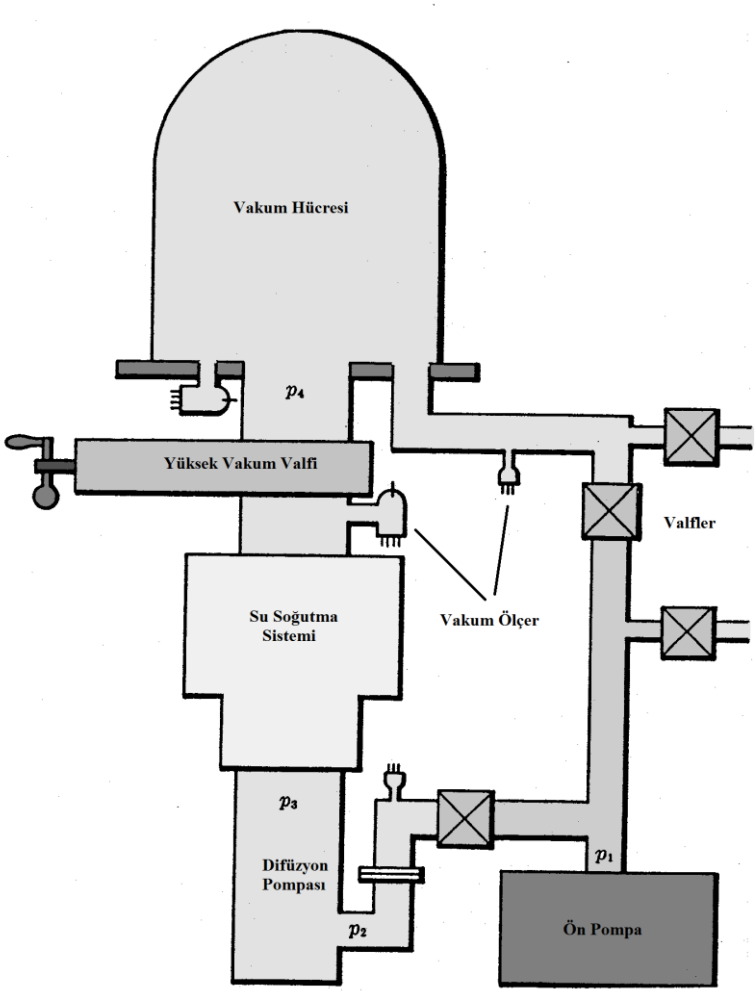
1940'lı yıllarda vakum pompası teknolojisindeki ilerlemeler sonucu mili Torr seviyelerinde vakum değerlerine ulaşıldı. Bu düşük vakum seviyesinden faydalanarak, uzun ortalama serbest yol mesafesine sahip elektronların kullanımıyla elementler ve alaşımların buharlaştırılması, yeni mühendislik malzemelerinin sentezlenmesi için elektron demetlerinin oluşturulması amaçlandı. Elektron demeti ile fiziksel buhar biriktirme (EBPVD) işlemi, anottaki hedef malzemenin, çok yüksek vakum altında, tungsten bir flaman ile elektron bombardımanına tutulması ile gerçekleştirilir. Bu yüksek enerjili elektronlar, hedef noktada bulunan pota içerisindeki malzemenin gaz faza geçmesini sağlar [28].



Şekil 3.21 Elektron Demeti ile fiziksel buharlaştırma sistemi

Tungsten filamanında film kaplanmasını önlemek için filaman, buharlaşmanın gerçekleştiği alan dışarısında yer almaktadır. Filaman yeterli sıcaklığa ulaştığında elektron yaymaya başlamaktadır. Kopan elektronlar, manyetik ve elektrik alanı yardımıyla yönü değiştirilerek ve hızlandırılarak, buharlaştırılacak malzemenin üzerine yönlendirilir. Bu yöntem ile sadece işlenmesi kolay alüminyum, çinko, altın, gümüş gibi elementler değil ayrıca niyobyum, titanyum, tantalyum gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler ve molibden, tungsten, karbon gibi düşük buhar basınçlı elementler de dahil olmak üzere geniş bir yelpazedeki malzemeler buharlaştırılabilir.

Elektron demetinin kontrolünün sağlanabilmesi için vakum hücresi içerisindeki basınç değerinin 10^{-4} – 10^{-5} Torr mertebesinde olması gerekmektedir.



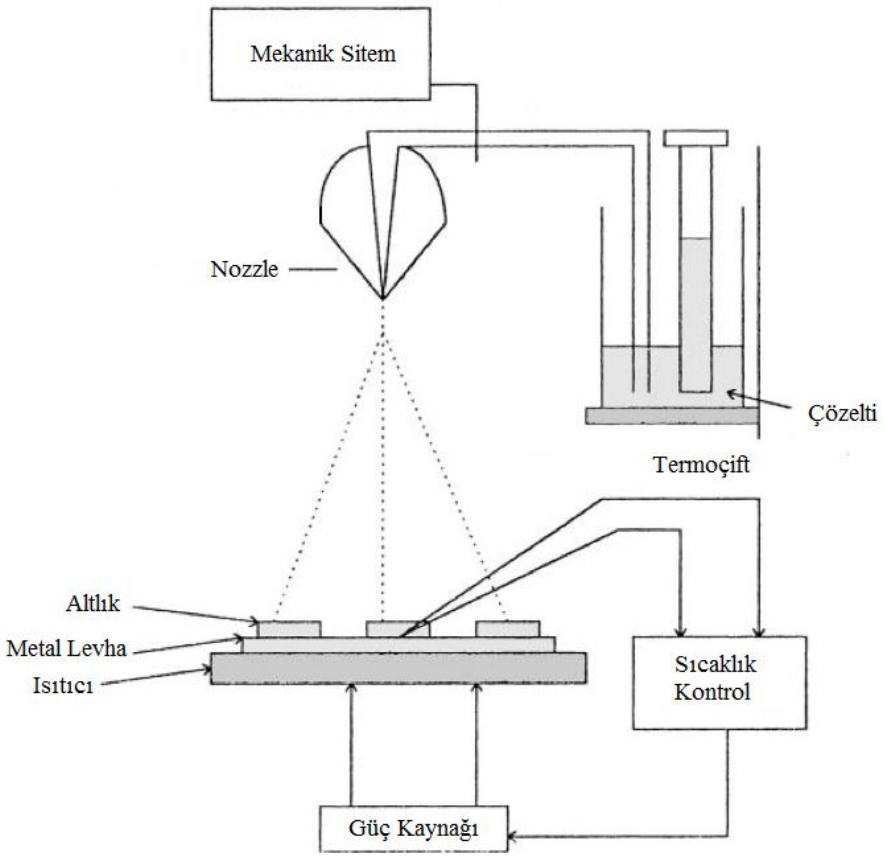
Şekil 3.22 Fiziksel buharlaştırma sisteminin şematik gösterimi

Buharlaştırma esnasında film kaplama hızı dakikada 1nm olacak kadar yavaş veya dakikada birkaç μm olacak şekilde yüksek değerlerde ayarlanabilir. EBPVD' nin malzeme kullanım verimliliği ve çeşitliliği yüksek olsa da diğer yöntemlere göre malzemenin yapısal ve morfolojik özelliklerinin kontrolü konusunda sınırlı imkanlar sunması, yöntemin dezavantajı olarak söylenebilir [29], [30].

3.2 Sprey Buharlaştırma

Sprey Buharlaştırma (SB) tekniği çeşitli malzemeler ile film üretiminde son yarım yüzyılın en önemli tekniklerinden biridir. Bu teknik ile üretilecek ince film için, uygun oranlarla hazırlanan çözelti sıcak altlıklar üzerine püskürtülerek istenilen filmin kimyasal çökertilmesi sağlanır. Chamberlin ve Skarman' ın Kadmiyum Sülfür (CdS) ile yaptığı çalışma [31] sonrasında SB ile ince film üretiminde fazlaca çalışma yapılmıştır. Sistemde kullanılan parçaların basitliğine rağmen metallerin, metal oksitlerin, spinel oksitlerin, kalkojen ve süperiletken malzemelerin ince film olarak geniş alanlara kaplanması için oldukça etkili bir kaplama yöntemidir. SB'nin bu basitliğine rağmen birçok avantajı mevcuttur:

- Sprey için hazırlanan çözeltinin içerisine eklenen kimyasallar ile kolaylıkla katkılı filmler hazırlanabilir.
- Kapalı buharlaştırma yöntemlerinin tersine, SB de yüksek kalitede altık veya pota ihtiyacı yoktur.
- Benzer şekilde yüksek vakum ortamlarına da ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu özelliği ile endüstriyel üretimler için büyük avantaj sağlamaktadır.
- İnce film kalınlığı ve kaplama hızı sprey parametrelerinin değiştirilmesi ile ayarlanabilir.
- Geniş uygulama sıcaklığı aralığı sayesinde (100-500^{o}C) dayanıksız malzemeler üzerine de uygulanabilir.
- Kaplama esnasında kimyasal çözelti değiştirilerek değişik film tabakaları oluşturulabilir.



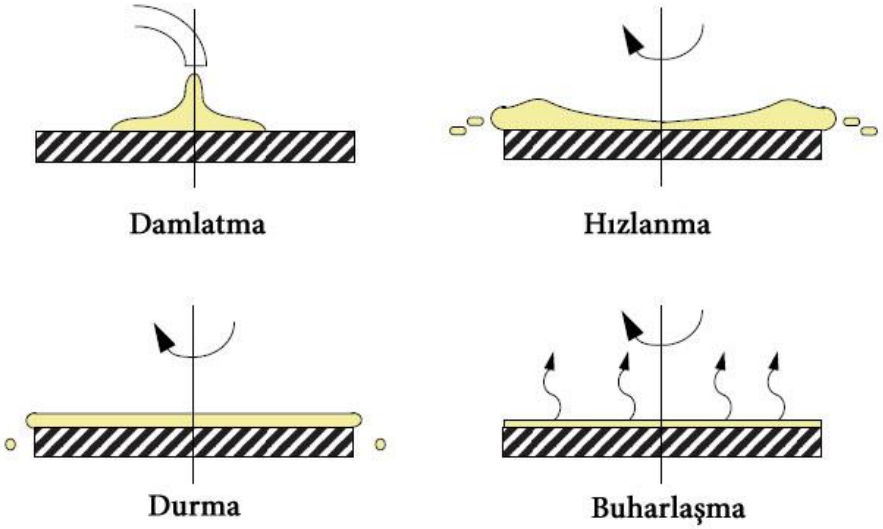
Şekil 3.23 Sprey Buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi

Şekil 3.3' de gösterildiği gibi sprey sistemi temel olarak, nozzle (konik hortum), çözelti haznesi, ısıtıcı ve sıcaklık kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Üretilen filmin özellikleri sprey hızı, altlık sıcaklığı, üretimin yapıldığı gaz ortamı, damlacık boyutu ve ayrıca kaplama sonrası soğutma hızına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Film kalınlığı ise nozzle ile sprey arasındaki mesafe, altlık sıcaklığı ve çözeltinin derişimine bağlıdır [32].

Sprey Buharlaştırma tekniğinde püskürtme başlığı ile altlık arasındaki mesafe 20-40 cm aralığındadır. Aradaki mesafenin daha kısa tutulması kalın filmlerin ve yüzeyde tortu tabakalarının oluşmasına sebep olur. Ancak yüksek sıcaklıklarda erken buharlaşmadan dolayı tabana ulaşan damlacık sayısı ve yüzeye tutunma azalacağından bu ara mesafenin azaltılması gerekmektedir. Önemli parametrelerden biri olan sprey hızının yüksek olması taban sıcaklığının dengesiz olmasını ve dolayısı ile film yüzeyinde tortu oluşumuna sebep olmaktadır.

3.3 Spin Kaplama

Spinle kaplama işlemi dört farklı bölüm olarak incelenebilir. Damlatma, hızlanma, durma aşamaları sırası ile gerçekleşirken bu süreçlerin hepsinde meydana gelen buharlaşma dördüncü bölümü oluşturmaktadır.



Şekil 3.24 Spinle kaplama yönteminin dört bölümü

Damlatma süreci sabit ya da düşük hızla dönen altlığın üzerine bol miktarda sıvı dağıtılmasını içerir. Kaplanmak istenen çözelti bir enjektör veya pipet ile altlığın merkezine ya da daha önceden belirlenmiş bir düzenle damlatılır. Bol miktarda sıvı kullanılması malzemenin erken kuruması sonucu kaplamada oluşacak düzensizliği önlemek için gereklidir.

Hızlanma sürecinde altlık istenilen son hıza kadar hızlandırılır. Merkezkaç kuvvetinin etkisi ile fazla sıvı altlık kenarlarına doğru uzaklaştırılarak dışarı atılır. Bu işlem sonucunda dışarı atılan sıvı altlık üzerinde oldukça düzgün bir tabaka bırakır.

Durma aşamasında altlık üzerindeki fazla sıvı atılmış olarak 2000-8000 rpm arası bir açısal hızla dönmektedir. Çözelti akışkanlığının yok olacağı vizkozite değerine kadar çözücünün uçması için döndürme işlemine devam edilir. Bu işlem genellikle hızlanma sürecinden sonra 10s'lik bir zamanda meydana gelir. Spin yöntemi ile çeşitli kalınlıklarda filmler elde edilebilir. Oluşturulacak filmin kalınlığı spin dönme hızının karekökü ile ters orantılıdır [33].

Spinle kaplama yönteminin en önemli avantajı film kalınlığının dönme hızı ya da çözelti vizkozitesi gibi kolaylıkla ayarlanabilen parametreler ile kontrol edilebiliyor olmasıdır. Bir diğer avantajı ise film kalınlığı azaltıldıkça daha düzgün hale gelmesi ve eğer kaplama esnasında düzenli hale ulaştıysa işlem süresince bu halini korumaya devam edecek olmasıdır. Diğer bazı kaplama yöntemlerinde ise, birbirine bağlı birkaç değişken ile bu işlemin yapılması kaplamanın kontrollü olmasını zorlaştırmaktadır.

Yöntemin dezavantajları altlık boyutu büyüdüğünde veya çözelti maliyetinin arttığı durumlarda daha önemli hale gelmektedir. Öncelikle altlık boyutu büyüdüğünde spinle kaplamanın verimi azalmaktadır. Büyük altlıkların istenilen hızlarda döndürülememesinden dolayı istenilen kalınlık kuruma süresinde elde edilememektedir. Bu yöntemin en büyük dezavantajı olarak malzeme kullanımındaki verimsizlik söylenebilir. Standart bir kaplama sürecinde kullanılan malzemenin sadece % 2-5 lik bir kısmı altlık üzerinde kalmaktadır. Ekonomik olarak üretimde kullanabilmek için malzeme verimliliğinin iyileştirilmesi birincil derecede önemlidir.

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 CdS Filmlerin Hazırlanması

CdS filmler Sprey Buharlaştırma (SB) yöntemi ile cam ve SnO_2 kaplı cam altlıklar üzerine hazırlanmıştır. Cam üzerine kaplı ITO filmlerin özdirenci $\rho=2x10^{-4}\ \Omega.cm$' dir. Kaplama için kullanılan cam altlıkların boyutu 10mm x 15mm olacak şekilde kesildi. Altlıklar kaplama öncesinde yüzey temizliği için belirli bir süreçten geçirildi.

Altlıklar öncelikle ultrasonik banyo içerisinde distile su ile 70˚C' de 15 dk bekletildi. Daha sonrasında altlıklar etanol içerisinde ağızı kapalı olacak şekilde 15 dk süreyle 70˚C'de yeniden ultrasonik banyo içerisinde bekletildi. Yüzey üzerinde kurutma esnasında oluşacak lekelerin en aza indirilmesi için altlıklar oda sıcaklığında 5 dk süre ile aseton içerisinde ultrasonik banyoda bırakıldı. Kurutma işlemi için altlıklar üzerindeki sıvı tamamen kaybolunca kadar sprey yardımıyla azot gazı püskürtüldü.

4.1.1 CdS Filmlerin Sprey Buharlaşma Yöntemi ile Hazırlanması

CdS filmlerin sprey buharlaştırma yöntemi için hazırlanan çözeltide Cd kaynağı olarak $CdCl_2$, S kaynağı olarak ise $(NH_2)_2CS$ (thiourea) kullanıldı. Çözeltinin hazırlanmasında 0,02 M $CdCl_2$ ve 0,02 M $(NH_2)_2CS$ distile su içerisinde çözüldü. Malzemelerin su içerisinde tam olarak çözünmesi için hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcı ile sıcaklık 55˚C' ye gelene kadar karıştırıldı. Hazırlanan çözelti içerisindeki kirlilik unsurlarının çökmesi için bir gün süre ile kapalı bir kap içerisinde oda sıcaklığında bekletildi. Sonrasında çözelti süzgeç kağıdı kullanılarak sprey işleminin yapılacağı ayrı bir kaba

aktarıldı. Böylelikle çözelti içerisindeki film ve sisteme zarar verebilecek parçacıklar en aza indirilmiş oldu.

Daha önceden temizlenmiş altlıklar ısıtıcı üzerine yerleştirilerek 400˚C' de 40 cm uzaklıktan püskürtülerek kaplama işlemi gerçekleştirildi. Çözelti sıcak altlıklar üzerine geldiğinde Cd ve S dışındaki tüm bileşenler buharlaşmakta ve altlık üzerinde yalnızca CdS film oluşmaktadır [34].

$CdCl_2$' den Cd' nin ayrılması aşağıdaki reaksiyon zinciriyle oluşmaktadır [34].

$$CdCl_2 \rightarrow CdCl + Cl$$

$$CdCl + CdCl \rightarrow Cd_2Cl_2$$

$$Cd_2Cl_2 \rightarrow CdCl_2 + Cd$$

$$CdCl_2 \rightarrow Cd + Cl_2$$

$(NH_2)_2CS$' den S elde edilmesi aşağıdaki reaksiyon zinciriyle oluşmaktadır [34].

$$(NH_2)_2CS \rightarrow NH_2CS + NH_2$$

$$NH_2CS + NH_2CS \rightarrow (NH_2)_2(CS)_2$$

$$(NH_2)_2(CS)_2 \rightarrow (NH_2)_2CS + C + S$$

4.2 X- ışını Kırınım Analizi

X-ışını kırınım desenlerinden faydalanılarak, bir malzemenin kristal yapısı, örgü parametreleri ve parçacık boyutu hakkında bilgi edinilebilir. Kristalik yapılı katılarda, X-ışınları kırınımının temeli Bragg yasası ile verilmektedir. Bragg yasasına göre, örgünün atomik tabakalardan yansıyan ve sonra karışan ışın şiddetinin güçlenme şartı şu şekilde verilir,

$$2dsin\theta = n\lambda \qquad (4.1)$$

Burada d düzlemler arası uzaklık, λ kristal üzerine düşen X-ışınının dalga boyu, θ Bragg açısı ve n yansıma derecesidir. Denklem (4.1) ile düzlemler arası uzaklık, yansıma açısı ve kullanılan X-ışınının dalga boyu bilindiğinde hesaplanabilir.

Hekzagonal yapıdaki bir kristalin örgü parametrelerinin hesaplanması için kullanılan bağıntı,

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3}\left(\frac{h^2+hk+k^2}{a^2}\right) + \frac{l^2}{c^2} \qquad (4.2)$$

şeklindedir. Burada α ve c örgü parametreleri ve h, k, l Miller indisleridir [9].

X-ışını kırınım desenlerinden faydalanılarak ve Debye-Scherrer formülü ($D = 0.94\lambda/\beta\cos\theta$) kullanılarak filmlerin parçacık boyutları hesaplandı. Burada D örneğin parçacık boyutunu, λ kullanılan x-ışını dalga boyunu, β x-ışını kırınım desenindeki pikin yarı maksimumdaki tam genişliğini ve θ açıyı göstermektedir.

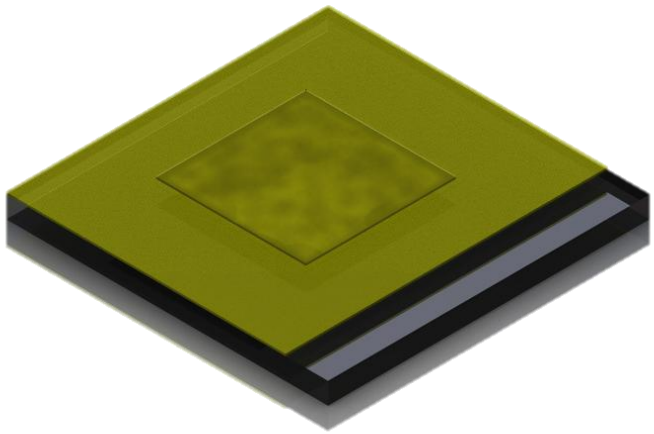
X-ışınları kırınımı analizi GBC-MMA difraktometre ile 25°-70° arasında gerçekleştirildi. Analiz için dalga boyu λ=1.543Å olan x-ışınları kullanıldı.

4.3 CdS/PAr Ekleminin Oluşturulması

Sprey buharlaştırma yöntemi ile ITO camlar üzerine kaplanan CdS filmlerin üzerine yalıtkan film olarak PAr (Poliarilat) kaplandı. PAr filmlerin kaplanmasından önce CdS filmlerin yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için 5μm' lik elmas pasta ile yüzeyi parlatıldı.

PAr filmlerin elde edilmesi için hacimce %0,4'lük PAr-$CHCl_3$ çözeltisi hazırlandı. Hazırlanan çözelti ile CdS yüzeyine kaplama için kullanılan spin kaplama yönteminin $CHCl_3$'ün hızlı buharlaşması nedeniyle homojen polimer filmlerin elde edilmesi için uygun bir yöntem olmadığı anlaşıldı.

Polimer filmlerin kaplanması için CdS üzerine sabit alanlı bariyerler oluşturularak, damlatma yöntemi ile filmler kaplandı.



Şekil 4.25 ITO/CdS/PAr yapısı

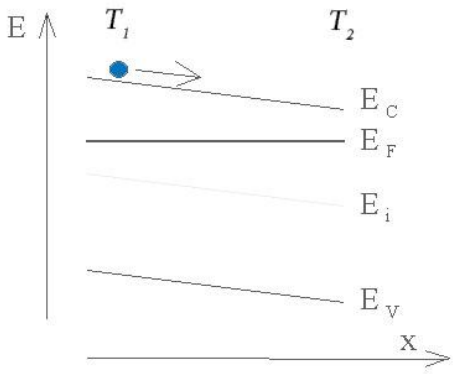
Bariyerlerin içerisine damlatılan çözelti miktarına bağlı olarak PAr' ın özkütlesi ile filmin kalınlık hesabı yapıldı.

PAr' ın kürlenme süresi sonrasında eklemler üzerlerine metal kontakların oluşturulması için maske içerisine yerleştirildi. Maskeler 1,5 mm yarıçaplı dairesel kontaklar oluşturacak şekilde hazırlandı. Eklem üzerine Au, Ag, Cu metalleri 100 nm kalınlığında yaklaşık olarak 2,5˚A/sn kaplama hızı ile elektron demeti kullanılarak kaplandı.

4.4 CdS Filmlerin İletkenlik, Özdirenç ve Taşıyıcı Yoğunluğu Ölçümleri

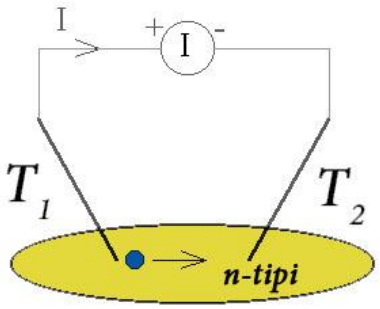
Yarıiletkenin iletkenlik tipi ölçümü için termoelektrik yöntemler (Hot-Probe) kullanıldı.

n-tipi malzeme için yarıiletken homojen olmayacak şekilde ısıtıldığında ($T_1>T_2$), elektron konsantrasyonu sıcak bölgede artmakta ve bu nedenle elektronlar soğuk bölgeye doğru hareket etmektedir. Bu nedenle, n-tipi yarıiletkende elektronların daha sıcak bölgeden soğuk bölgelere yayılması sonucunda, daha sıcak bölgede pozitif hacimsel yük, ve soğuk bölgede elektron konsantrasyonunun fazlalığından oluşmuş negatif yük meydana gelmektedir.



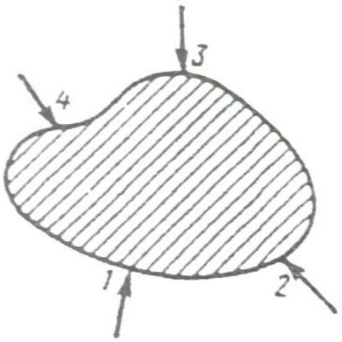
Şekil 4.26 Termal EMK yöntemi kullanılan yarıiletkenin band diyagramı

Böylelikle sıcaklık farkının oluşması nedeniyle noktalar arasında termal elektro-motor kuvveti meydana gelir. Eğer yarıiletkenin bu noktaları kapalı devre şekline getirilirse, devreden termoelektrik akımı geçer. N-tipi yarıiletken malzeme içi, ucun biri ısıtılmakta (T_1), ikinci ucun sıcaklığı (T_2) oda sıcaklığında tutulmaktadır. Elektronların daha soğuk uca doğru ilerlemesi ile sıcak ucun civarındaki yarıiletken bölgenin kutbu pozitif olur.



Şekil 4.27 Termal EMK yöntemiyle n tipi yarıiletkenin iletkenlik tipini ölçme devresi

CdS örneklerin özdirenç ölçümleri Van der Pauw yöntemi ile yapıldı. Bu yöntem belirli bir geometriye sahip olmayan düzlemsel örneklerin özdirenç ölçümleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ölçüm için CdS örneklerin üzerine dört farklı noktadan GaIn ile omik kontaklar alınır.

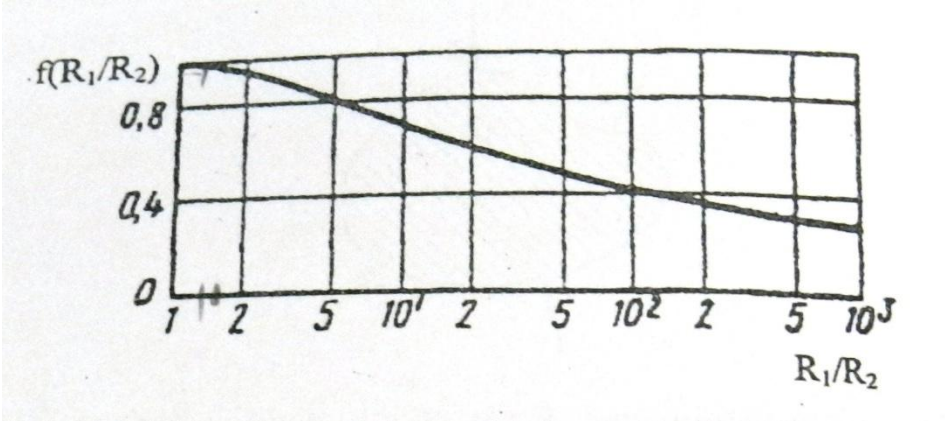


Şekil 4.28 Van der Pauw yöntemi ile kontakların yerleşimi

Örneğin 1 ve 4 numaralı kontakları arasından I_{14} akımı geçirilerek V_{23} potansiyeli 2 ve 3 numaralı kontaklar ile ölçülür. I_{14} ve V_{23} ile ohm yasasında R_1 direnci hesaplanır. Daha sonrasında 1 ve 2 numaralı kontaklar arasından akım geçirilerek 3 ve 4 numaralı kontaklar arasındaki potansiyel ölçülür ve benzer şekilde R_2 direnci hesaplanır. Elde edilen direnç değerleri ile aşağıdaki denklem (4.3) kullanılarak malzemenin özdirenci hesaplanır.

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln(2)} \frac{R_1+R_2}{2} f\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \tag{4.3}$$

Burada d malzeme kalınlığı, $f\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$ ise düzeltme fonksiyonudur. Düzeltme fonsiyonun değeri Şekil 4.5 yardımı ile bulunur.

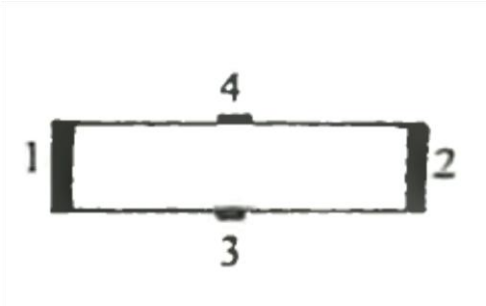


Şekil 4.29 Van der Pauw yönteminde düzeltme fonksiyonunun R_1/R_2 oranına bağlı grafiği

Yarıiletkenin taşıyıcı konsantrasyonunu bulmak için Hall sabitinin bulunması gerekmektedir. Hall sabitinin, Hall gerilimi ile bağıntısı şu şekilde yazılabilir [8], [9],

$$R_H = \frac{V_H b}{I \cdot B} \tag{4.4}$$

Burada B manyetik alan, b örneğin kalınlığı ve I devreden geçen akım değeridir. Böylece, Hall sabitini (veya yük taşıyıcılarının konsantrasyonunu) bulmak için, yarıiletken örnekten geçen akım, Hall gerilimini, manyetik indüksiyon ve örneğin kalınlığını ölçmek gerekir. Hall ölçümleri için dikdörtgen formlu örnekler kullanılmıştır.



Şekil 4.30 Dikdörtgen formlu örneğin ve kontaklarının gösterimi

Hall ölçümünde, 1 ve 2 kontaklardan akım geçirilir ve örneğin yan yüzeylerinde bulunan 3 ve 4 kontaklar arası Hall gerilimi ölçülür. Manyetik alan vektörü örneğin büyük alanlı yüzeyine diktir. Katkılı (donör veya akseptör) yarıiletkenler için, Hall sabiti (4.4) denklemi kullanılarak hesaplanır. Hall gerilimini hatasız ölçmek için, 3 ve 4 kontakları arasında oluşan parazit gerilimleri (yani Hall olayı ile ilgili olmayan gerilimleri) ortadan kaldırmak gerekir. Bu parazit gerilimler, farklı sebeplerden meydana gelebilir. 3 ve 4 kontakları örneğin birbirine tam karşı noktalarına yerleşmediği zaman (yani bu kontaklar eşit potansiyel düzeyde olmadıklarında), parazit gerilim oluşabilir. Parazit gerilimlerinin çoğunluğu elektrik akımının ve manyetik alanın yönüne bağlıdır ve bu nedenle akımın ve manyetik alanın yönlerini değiştirmekle, Hall gerilimine etki gösterebilen gerilimleri ortadan kaldırmak mümkündür. Parazit gerilimlerinin hesaba katmaması nedeniyle, Hall gerilimini iki akım yönü ve iki manyetik alan yönü ölçümlerinden (toplam dört ölçümden: V_H (+I,+H), V_H (-1,+H), V_H (+I.-H), V_H (-1,-H) bulunur. Sonuçta, 3 ve 4 kontakları arası hatasız Hall gerilim değeri,

$$V_H = \frac{1}{4}[V_H(+I,+H) + V_H(-I,+H) + V_H(+I,-H) + V_H(-I,-H)] \quad (4.5)$$

ile hesaplanır.. Bununla birlikte taşıyıcı konsantrasyonu hesabı n-tipi yarıiletken için

$$n = -\frac{1}{R_H e} \quad (4.6)$$

ile verilir [9].

CdS örneğin iletkenlik tipinin ölçülmesi için kullanılan termoelektrik yöntem ile yarıiletken n-tipi olarak belirlendi. Yapılan ölçümler sonucunda CdS filmlerin özdirenci $2{,}01 \times 10^{2}$ Ω.cm, taşıyıcı yoğunluğu ise Hall ölçümü ile $1{,}974 \times 10^{8}$ cm^{-3} olarak bulundu.

4.5 Optik Ölçümler

Örneklerin optik geçirgenlik ölçümleri için *Perkin Elmer Lambda 2S* UV-Vis spektrometresi kullanıldı. Ölçümlerde CdS için λ= 300-1100 nm aralığında, PAr örnekler için ise λ= 190-1100 nm aralığında optik incelemeler yapılmıştır. Oda sıcaklığında dalgaboyuna bağlı geçirgenlik ölçümleri (T-λ) ile filmlerin yasak band aralıkları hesaplandı.

Direkt band yapısına sahip yarıiletkenler için yasak band aralığı hesabı denklem (4.7)' deki gibidir.

$$\alpha^2(hv)^2 = B\left(hv - E_g\right) \tag{4.7}$$

Burada h Planck sabiti, v gelen ışığın frekansı, E_g yasak band aralığı ve α soğurma katsayısıdır. Soğurma katsayısının hesaplanması için $I=I_o \cdot e^{-\alpha \cdot d}$ eşitliğinden faydalanarak,

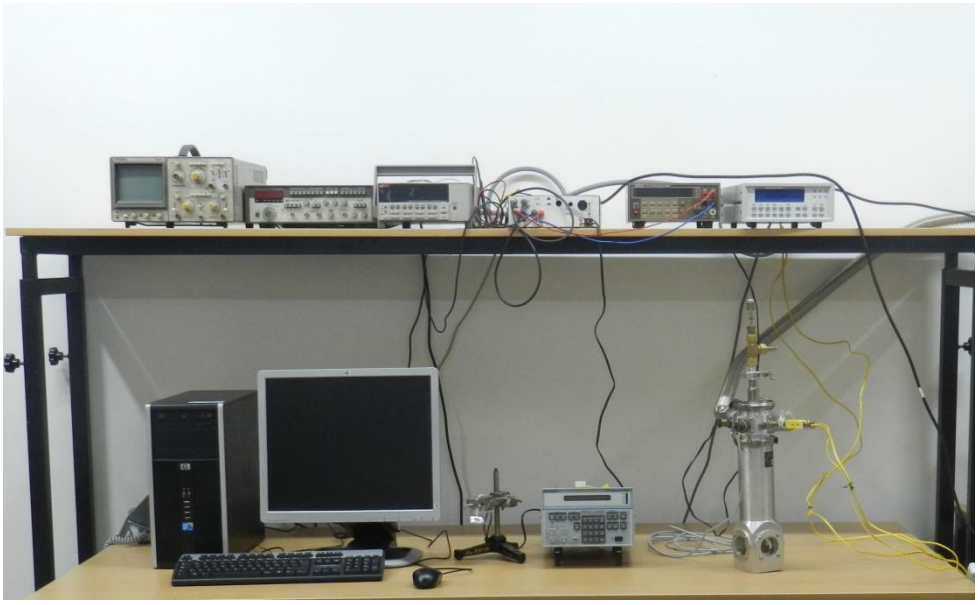
$$\alpha = ln(T)/d \tag{4.8}$$

grafiği ile hesaplandı. Burada T optik geçirgenlik ve d örneğin kalınlığıdır. $(\alpha hv)^2$-hv grafiğinin enerji eksenini kestiği nokta malzemenin yasak band aralığı değerinin vermektedir.

4.6 I-V Karakteristiklerinin Ölçümü ve Parametrelerin Belirlenmesi

Hazırlanan CdS/PAr MIS yapıların elektriksel ölçümleri karanlıkta ve oda sıcaklığı ile birlikte çeşitli sıcaklık şartlarında akım gerilim ölçümleri gerçekleştirildi. Ölçümlerde *1 fA* hassasiyetli ve $\pm 1000\ V$ DC çıkışa sahip *Keithley 6517A* elektrometre ile $1\mu V$ hassasiyete sahip *Keithley 199* multimetre kullanıldı. Sıcaklık kontrolü ise *Lakeshore 331* ile gerçekleştirildi.

Akım gerilim ölçümlerinden n idealite faktörü, ϕ_B bariyer yüksekliği, R_s seri direnci ve I_s doyma akımı hesaplandı. Hesaplamalarda Cheung tarafından 1986 yılında sunulan model kullanıldı.



Şekil 4.31 Akım gerilim ölçümleri için kullanılan deney seti

Eklem üzerinden geçen akım yoğunluğu,

$$J = A^{*}T^{2}exp(q\,(V - IR_s)/nkT).exp(-q\phi_B/kT) \quad (4.9)$$

olarak yazılır. Denklem gerilimin akım yoğunluğunun fonksiyonu cinsinden ifade edileceği bir şekilde yazılırsa,

$$V = \frac{n}{\beta}\, ln(J/A^{*}T^{2}) + JR_sA + n\phi_B \quad (4.10)$$

olur. Burada *A* etkin alan ve $\beta=q/kT$ olarak ele alınır. Denklem (4.10) gerilimin akım yoğunluğuna bağlı değişimini ifade edecek şekilde akım yoğunluğuna bağlı türevi alınır ise,

$$\frac{dV}{dln(J)} = \frac{n}{\beta} + R_sAJ \quad (4.11)$$

doğru denklemi elde edilir.

dV/dln(J) – *J* grafiği çizilerek elde edilen doğru eğimi ile R_s direnci ve *J=0* da doğrunun ekseni kestiği nokta ile *n* idealite faktörü hesaplanır [19].

ϕ_B bariyer yüksekliği *H(J)* fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlandı,

$$H(J) = V - \frac{n}{\beta}\ln\,(J/A^{*}T^{2}) \quad (4.12)$$

Denklem (4.12), denklem (4.10) içerisinde kullanılırsa *H(J)* fonksiyonunun akım yoğunluğu ve bariyer yüksekliği cinsinden ifadesi elde edilir.

$$H(J) = n\phi_B + R_s AJ \tag{4.13}$$

Denklem (4.11) bir doğru denklemi şeklindedir ve *H(J) – J* grafiği çizilerek elde edilen doğrusal grafiğin eğimi ile R_s, ve doğrunun *J=0* da ekseni kestiği nokta ile idealite faktörünün bilinmesi halinde bariyer yüksekliği hesaplanabilir [19], [35].

Arayüzey durumlarının yoğunluğunu hesaplamak için denklem (4.9) tekrardan akımın gerilimle değişimi şeklinde yazılırsa,

$$I = I_o exp(qV/nkT)\{1 - exp(-qV/kT)\} \tag{4.14}$$

elde edilir. Gerilim değerinin 3kT/q' dan küçük olduğu durumlar için denklem (4.14)

$$I = I_o exp(qV/nkT) \tag{4.15}$$

olarak yazılır. Buradan idealite faktörünün gerilimle değişimi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$n(V) = \frac{q}{kT}\frac{(V - IR_s)}{ln(I/I_o)} \tag{4.16}$$

İdealite faktörünün gerilimle değişimi kullanılarak, bariyer yüksekliğinin etkin değeri hesaplanır.

$$\phi_e = \phi_B + \left(1 - \frac{1}{n(V)}\right)(V - IR_s) \tag{4.17}$$

Yarıiletkenin iletkenlik bandı tabanı ile arayüzey durumlarının enerjileri (E_{ss}) arasındaki fark,

$$E_c - E_{ss} = q\left(\phi_e - (V - IR_s)\right) \tag{4.18}$$

olarak verilir. Arayüzey durum yoğunluğu ise aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanabilir.

$$N_{ss}(V) = \frac{1}{q}\left[\frac{\varepsilon_i}{d}(n(V) - 1) - \frac{\varepsilon_s}{W_D}\right] \tag{4.19}$$

N_{ss} - (E_c-E_{ss}) grafiği ile arayüzey durum yoğunluğunun profili çıkarılabilir [1].

4.7 C-V Karakteristiklerinin Ölçümü ve Parametrelerin Belirlenmesi

MIS yapılı Schottky diyot paralel plakalı kondansatör özelliği göstermektedir. Diyot kapasitesinin uygulanan gerilim ile değişmesinden dolayı varikap ya da varaktör olarak adlandırılırlar. C-V ve C-f ölçümleri Novocontrol Alpha-A dielektrik spektroskopi cihazı gerçekleştirildi.



Şekil 4.32 Dielektrik spektroskopi sistemi

Eklem üzerinde oluşan kapasite gerilime bağlı değişimi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir,

$$C = \sqrt{\frac{\varepsilon_s \varepsilon_0 q A N_A}{2(V_d+V)}} \tag{4.20}$$

Burada V_d diyot üzerindeki gerilim ve N_A taşıyıcı yoğunluğunu belirtmektedir. Denklem (4.20) yeniden düzenlenirse,

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_d+V)}{\varepsilon_s \varepsilon_0 q A N_A} \tag{4.21}$$

olarak yazılır. C^{-2}' nin gerilime bağlı değişimini incelemek için gerilime göre türevi alınırsa;

$$\frac{d(C^{-2})}{dV} = \frac{2}{\varepsilon_s \varepsilon_0 q A N_A} \tag{4.22}$$

şeklinde yazılır ve $C^{-2} - V$ grafiğinin lineer kısmının eğimi ile N_A taşıyıcı yoğunluğu hesaplanabilir. Taşıyıcı yoğunluğu bilinen bir eklemin arınma bölgesinin genişliği

$$W_D = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s\varepsilon_0}{qN_A}}\varphi_S \tag{4.23}$$

ifadesi yardımıyla hesaplanabilir. Burada φ_s yüzey potansiyelini ifade etmektedir [11], [13].

C-V ölçümlerinden elde edilen veriler ile MIS eklemde kullanılan metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonlarının farklı olması sonucu oluşan ϕ_{ms} ve bu fark nedeniyle meydana gelen band bükülmelerinin giderilmesi için gerekli gerilim değeri (Flat-Band gerilimi) V_{FB} bulunabilir.

Metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki fark,

$$\phi_{ms} = \phi_m - \phi_s = \phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2e} - \phi_{Fn}\right) \tag{4.24}$$

Eşitliği ile verilir. Burada ϕ_{Fn} n-tipi yarıiletkenin gerçek ve asal Fermi seviyeleri arasındaki farktır. Bu iki seviye arasındaki potansiyel farkı veren eşitlik,

$$\phi_{Fn} = \phi_F - \phi_{Fi} = \frac{kT}{e} ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right) \tag{4.25}$$

şeklindedir. Denklem (4.25) denklem (4.24) içerisinde kullanılır ise iş fonksiyonlarının farkı ve flat-band gerilimi ifadesi,

$$V_{FB} = \phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi - \frac{E_g}{2e} - \frac{kT}{e}\left(\frac{N_A}{n_i}\right)\right) \tag{4.26}$$

halini alır.

Flat-band geriliminin diğer bir ifadesi yardımı ile yalıtkan-yarıiletken arayüzeyindeki yük miktarı hesaplanabilir. Arayüzeyde bulunan bu iyonik yükler nedeniyle MIS eklemin C-V karakteristiğinde histerezis eğrisi gözlemlenir.

$$V_{FB} = \phi_{ms}\frac{Q_{ss}}{C_{ox}} \tag{4.27}$$

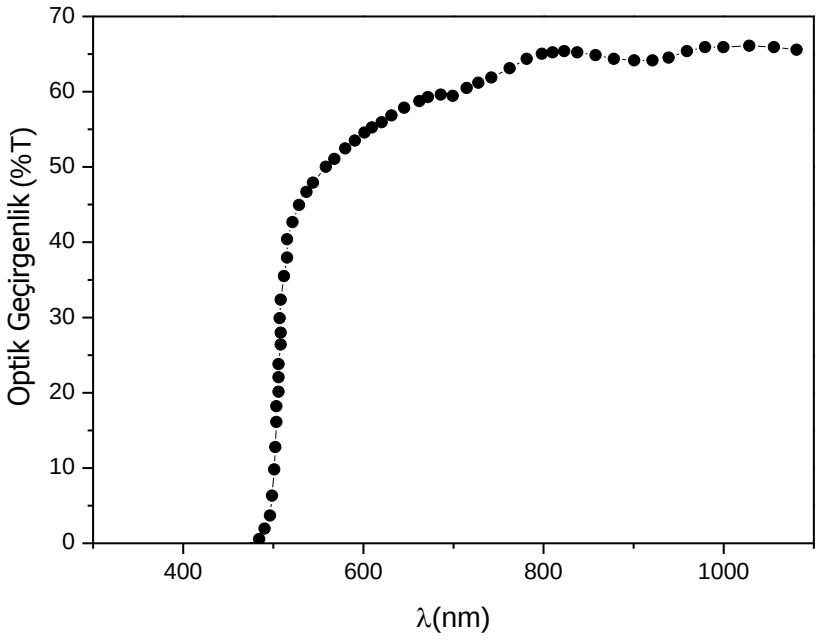
Burada C_{ox} yalıtkanın birim yüzey başına kapasitesi ve Q_{ss} ara bölgedeki yük miktarını vermektedir [11], [13], [5].

BÖLÜM 5

BULGULAR.

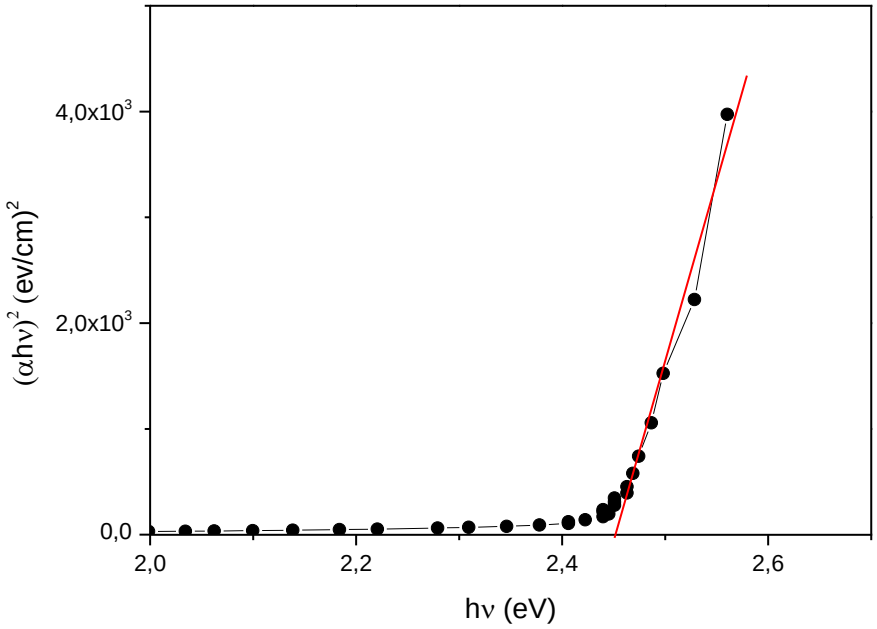
5.1 CdS Filmlerin Optik Özellikleri

Sprey buharlaştırma yöntemi ile hazırlanan CdS filmlerin optik geçirgenlik ölçümleri 300-1100 nm arasında gerçekleştirildi. Filmlerin dalga boyuna bağlı geçirgenlik grafiği Şekil 5.1' de gösterilmektedir.



Şekil 5.33 CdS filmin optik geçirgenlik spektrumu

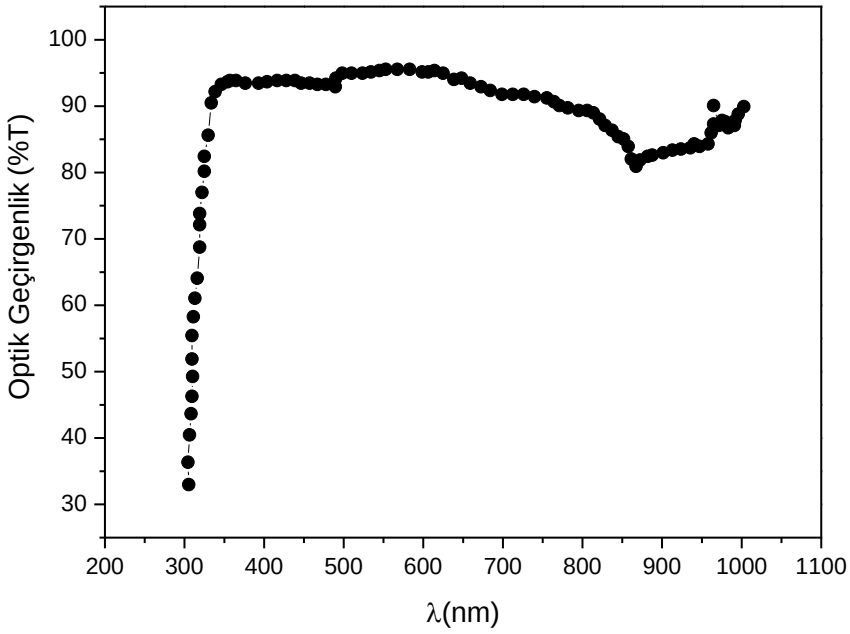
Direkt band geçişine sahip CdS filmin optik geçirgenliğinden hesaplanan soğurma katsayısının enerjiye bağlı grafiği Şekil 5.2' de verilmiştir.



Şekil 5.34 Optik geçirgenlik sonucu elde edilen $(\alpha h\nu)^2$ değerinin enerjiye bağlı değişimi

Şekil 5.2' de görüldüğü gibi grafiğin uzantısının enerji eksenini kestiği nokta ile CdS filmlerin yasak band aralığı 2,42 eV olarak hesaplandı.

5.2 PAr Filmlerin Optik Özellikleri

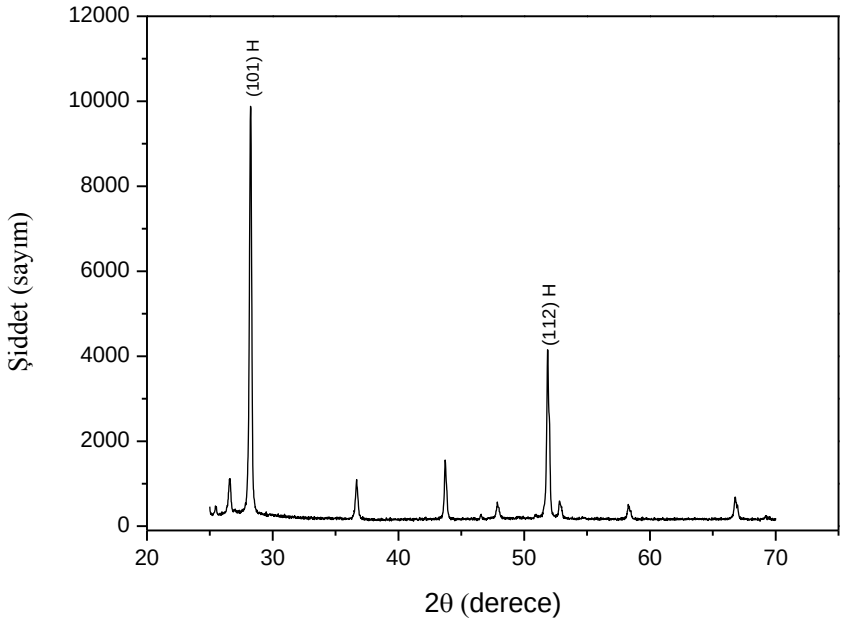


Şekil 5.35 PAr filmlerin optik geçirgenlik spektroskopisi

PAr filmlerin optik geçirgenlik ölçümleri 300 nm – 1100 nm aralığında gerçekleştirildi. Filmlerin dalga boyuna bağlı optik geçirgenlik grafiği Şekil 5.3'de verilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı dalga boyu aralığında malzemenin soğurma özelliği gözlemlenememiştir.

5.3 CdS Filmlerin Yapısal Özellikleri

CdS filmlerin kristal yapısının incelenmesi XRD analizi ile gerçekleştirildi. XRD ölçümleri sonucu elde edilen piklerin hekzagonal yapıya sahip CdS' e ait olduğu anlaşılmaktadır. Görülen piklerin (101) ile (102) düzlemlerine ait olduğu belirlendi [36], [37].



Şekil 5.36 CdS filmin XRD analizi

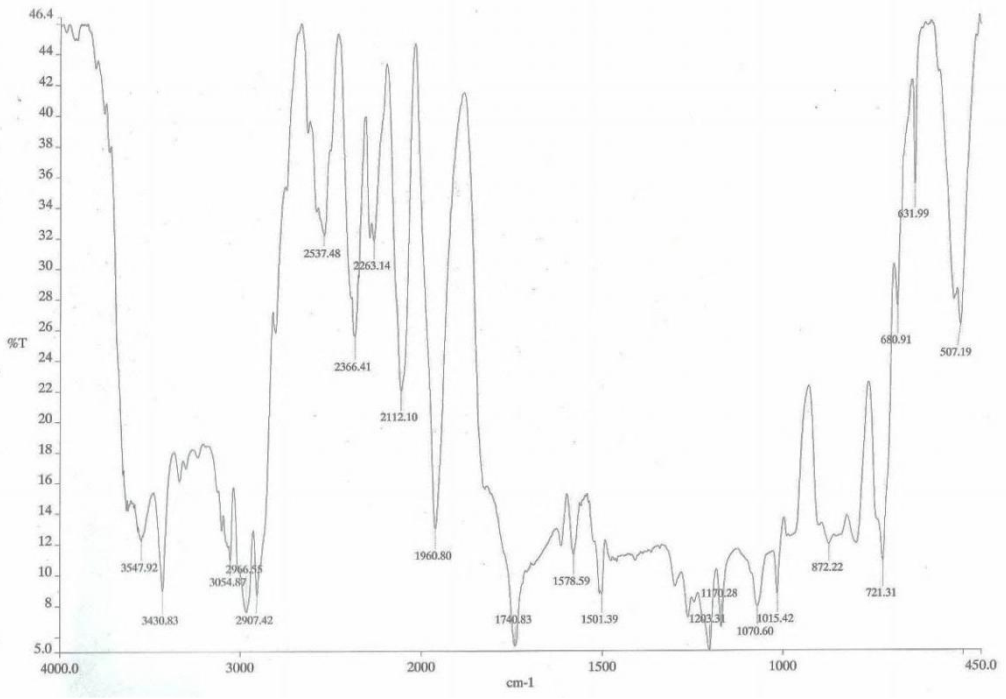
Şekil 5.4' de görülen pikler ve denklem (4.1) kullanılarak düzlemler arası uzaklık ve denklem (4.2) ile kristalin örgü parametreleri hesaplandı. Kristal düzlemine bağlı olarak düzlemler arası uzaklık değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3 Düzlemler arası uzaklık

		Düzlemler Arası Uzaklık – d (Å)	
2θ (Derece)	(hkl)	Gözlemlenen	Literatür
28,26	(101)	3,160	3,160
51,86	(112)	1,764	1,761

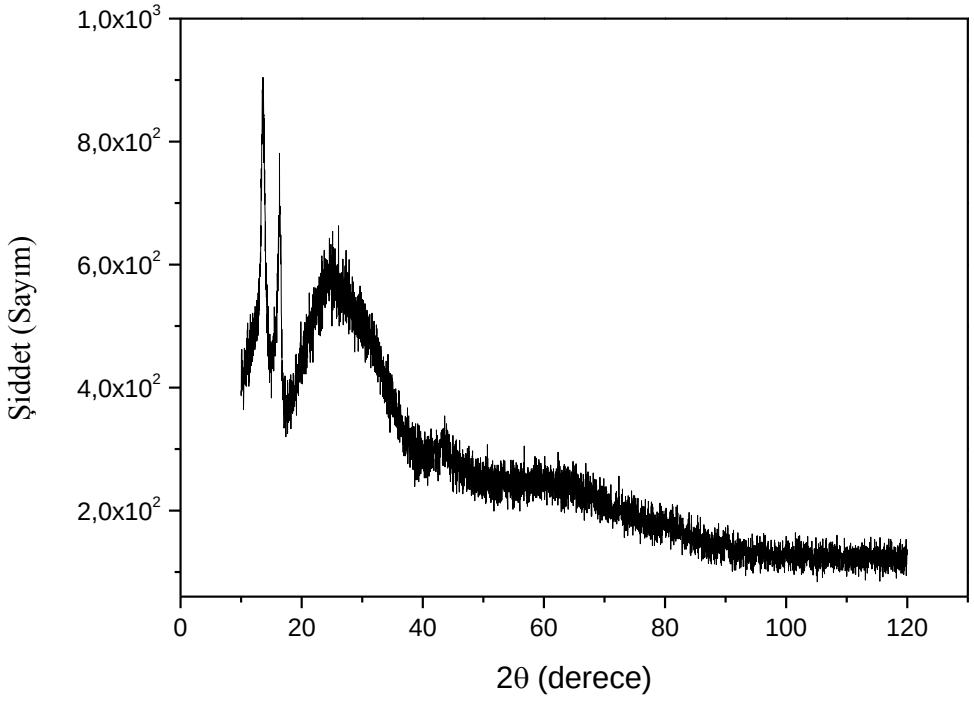
Kristale ait örgü parametreleri, a=4,102 Å ve c=6,919 Å olarak hesaplandı. Yapıya ait parçacık boyutları (101) düzlemi için 42,85 nm ve (112) düzlemi için 46,58 nm olarak hesaplandı.

5.4 PAr Filmlerin Yapısal Özellikleri



Şekil 5.37 PAr filmin FTIR spektrumu

FTIR spektrumundan 2537–1960 cm^{-1}, de aromatik halka titreşimleri, 1740 cm^{-1} de esterin karbonil piki (C=O), ve 1203 cm^{-1}'de esterin C-O piki titreşimleri görülmektedir.



Şekil 5.38 PAr filmin x-ışını kırınım analizi

Şekil 5.6’ da PAr filme ait x-ışını kırınım analizi verilmiştir. Ölçüm sonucu filmde kristalik yapı gözlenmiş fakat hangi düzlemlere ait olduğu hesaplanamamıştır.

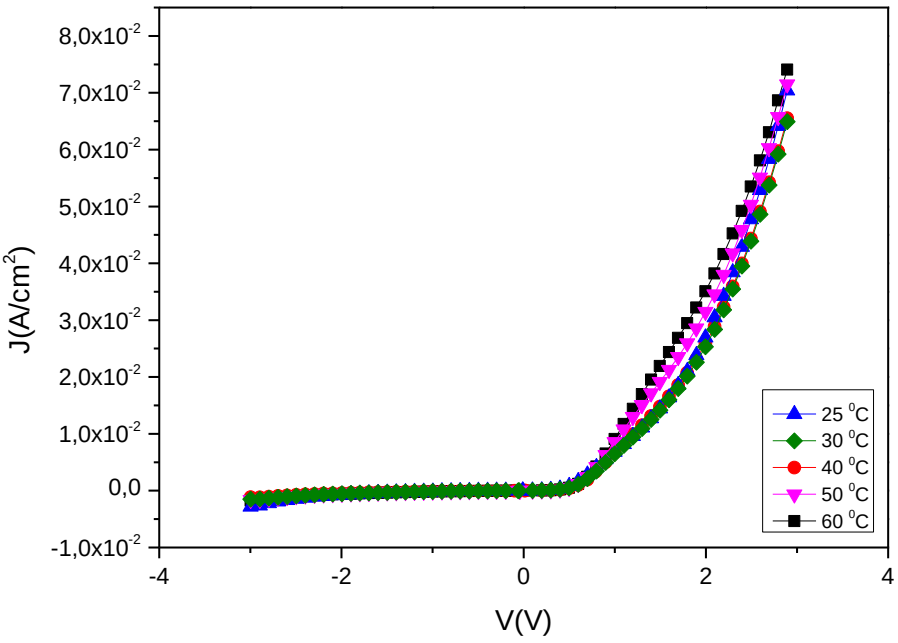
5.5 Elektriksel Özellikler

.CdS/PAr eklemlerin çeşitli metal kontaklar ile elektriksel ölçümleri yapıldı. Bu bölümde MS ve MIS yapılara ait I-V-T, C-V-T ve C-f ölçümlerine ait grafikler sunulmuştur.

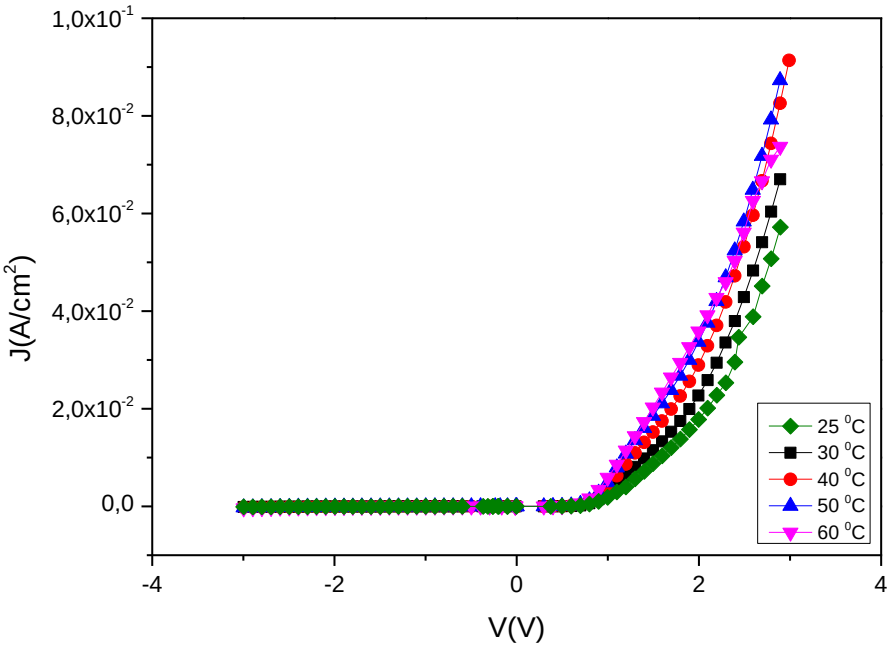
Tüm I-V ölçümleri hava ortamında karanlıkta gerçekleştirilmiştir. I-V-T karakteristikleri oda sıcaklığı ile 60˚C aralığında alınan ölçümler ile elde edildi. C-V ve C-f ölçümleri azot ortamında ve karanlıkta gerçekleştirildi. C-V-T karakteristikleri oda sıcaklığı ile 50˚C aralığında alınan ölçümler ile elde edildi.

5.5.1 I-V Ölçümlerinden Elde Edilen Sonuçlar

Hazırlanan CdS/PAr eklemin Au ve Cu kontak ile 25 ˚C ile 60 ˚C aralığında ki J-V grafikleri Şekil 5.7’ de ve Şekil 5.8’ de verilmiştir.



Şekil 5.39 Au/PAr/CdS MIS yapısının sıcaklığa bağlı J-V grafiği

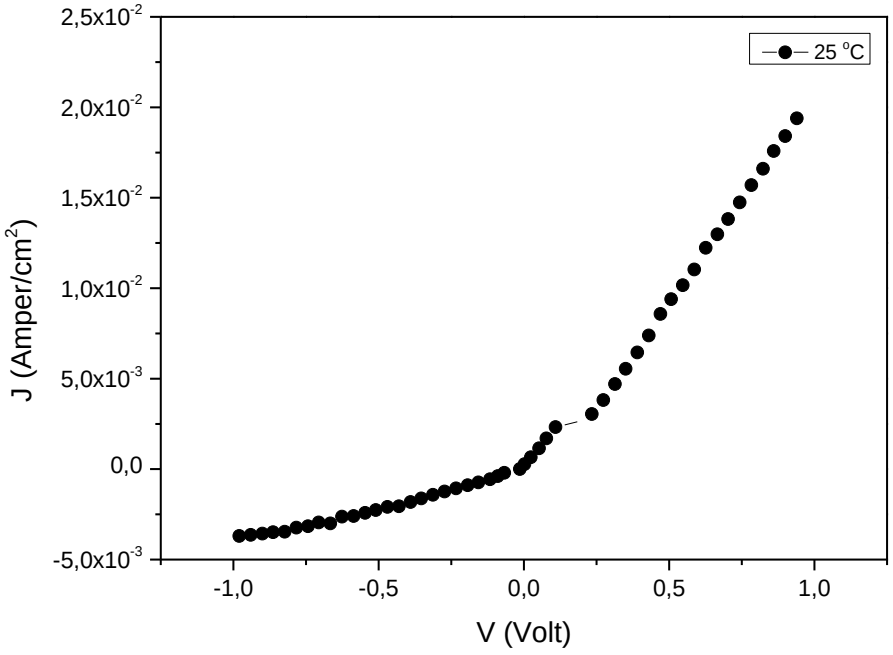


Şekil 5.40 Cu/PAr/CdS MIS yapısının sıcaklığa bağlı J-V grafiği

Şekil 5.7' de J-V grafikleri verilen Au/PAr/CdS MIS yapısının ölçümleri (-3V, +3V) arasında gerçekleştirildi. İleri beslem durumunda akım değerinde hızlı bir artış gözlemlenirken, ters beslemde akım engellenmiştir. Sıcaklık artışı ile beraber I-V

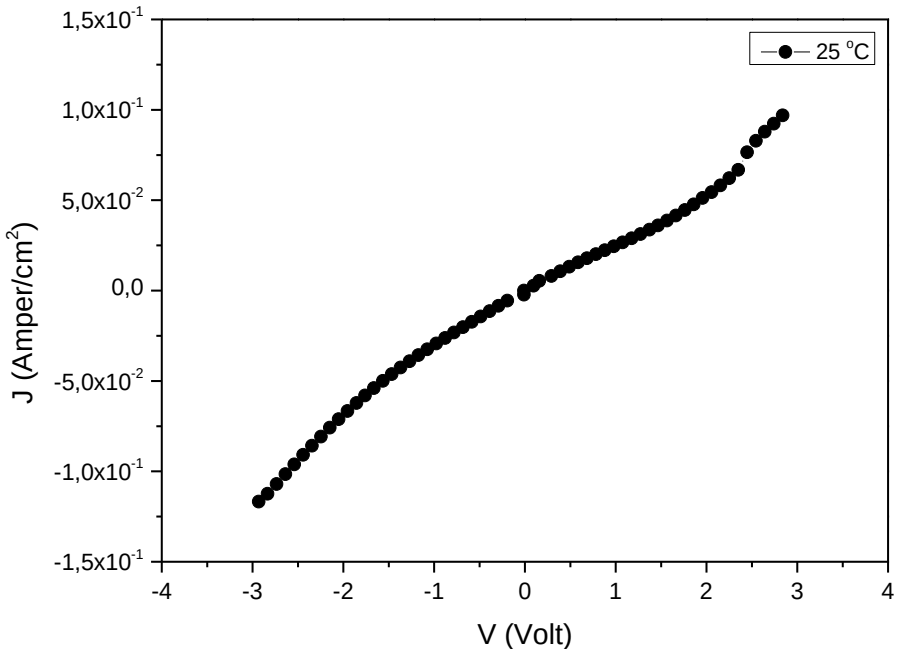
karakteristiklerinde düzenli bir değişim meydana gelmektedir ve sıcaklıkla beraber akım değerleri artmaktadır.

Şekil 5.8' de J-V grafikleri verilen Cu/PAr/CdS MIS yapısının ölçümleri (-3V, +3V) arasında gerçekleştirildi. İleri beslem durumunda akım değerinde hızlı bir artış gözlemlenirken, ters beslemde akım engellenmiştir. Sıcaklık artışı ile beraber I-V karakteristiklerinde düzenli bir değişim meydana gelmektedir ve sıcaklıkla beraber akım değerleri artmaktadır.

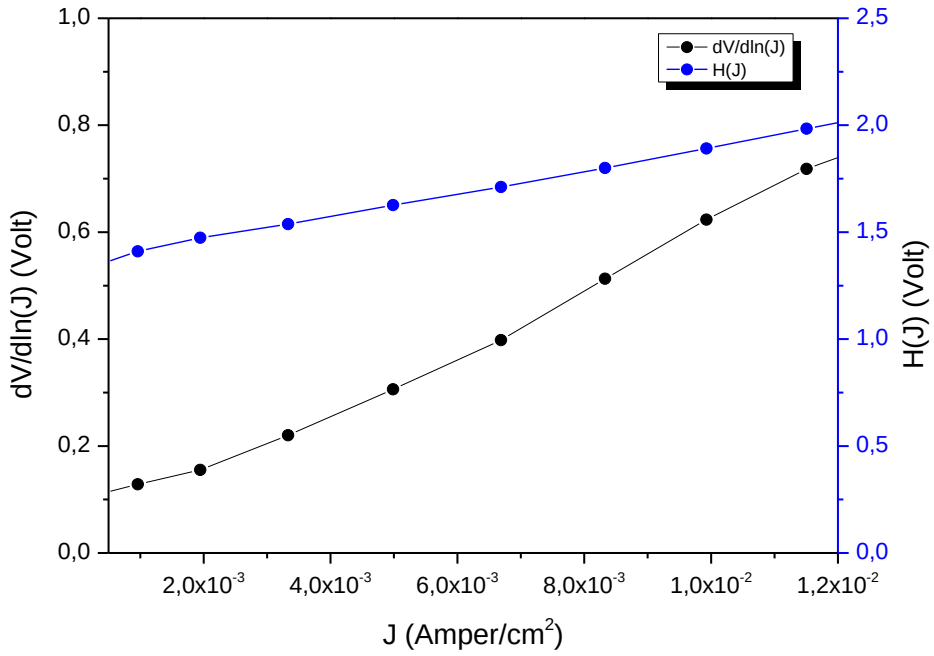


Şekil 5.41 Au/CdS MS yapısının oda sıcaklığındaki J-V grafiği

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10' da Au ve Cu ile hazırlanan MS yapıların J-V grafikleri verilmiştir. Metal ve yarıiletken tabakaların arasına kaplanan PAr film ile meydana gelen değişim grafiklerden görülebilmektedir. PAr' ın kullanılması ile diyotun doğrultucu etkisinde iyileşme gözlemlenmiştir. Au/CdS yapısı için $n= 1,00441$, $R_s= 267,262\ \Omega$ ve $\phi_B= 0,488\ eV$ olarak hesaplandı.

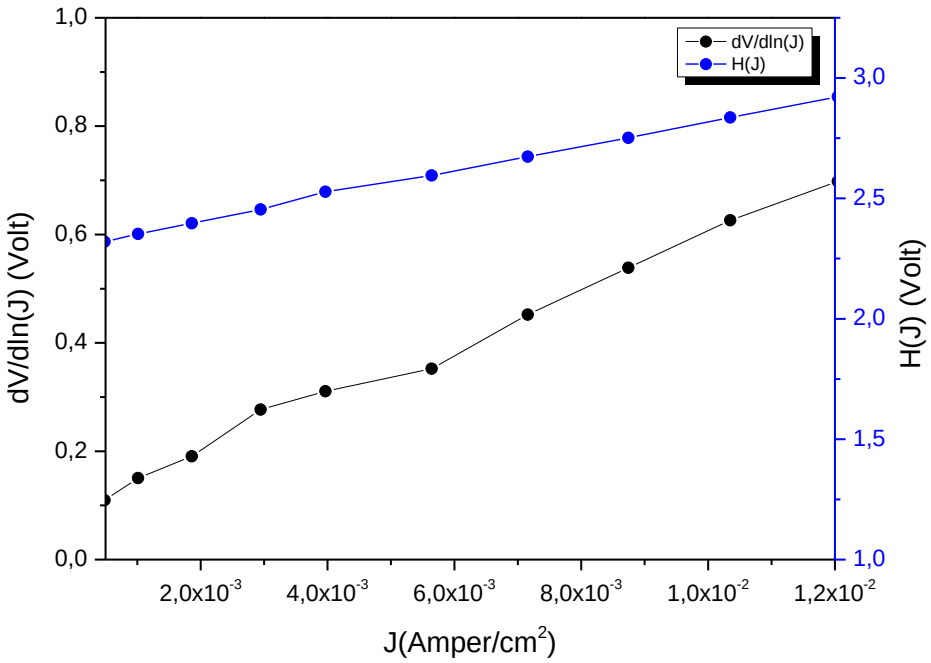


Şekil 5.42 Cu/CdS MS yapısının oda sıcaklığındaki J-V grafiiği



Şekil 5.43 Au/PAr/CdS yapısının dV/dln(J) ve H(J)-J grafikleri

Şekil 5.11' de verilen grafik denklem (4.11) ve denklem (4.13) kullanılarak 25 ˚C'deki örnek için elde edilmiştir. Benzer yöntem ile Cu kontak ile oluşturulan MIS yapının dV/dln(J) ve H(J)-J grafikleri Şekil 5.12' de gösterilmektedir.



Şekil 5.44 Cu/PAr/CdS yapısının dV/dln(J) ve H(J)-J grafikleri

Şekil (4-11) ve Şekil (4-12) ile hesaplanan n, ϕ_B ve R_s değerleri aşağıdaki Çizelge 4 ve Çizelge 5' de verilmiştir.

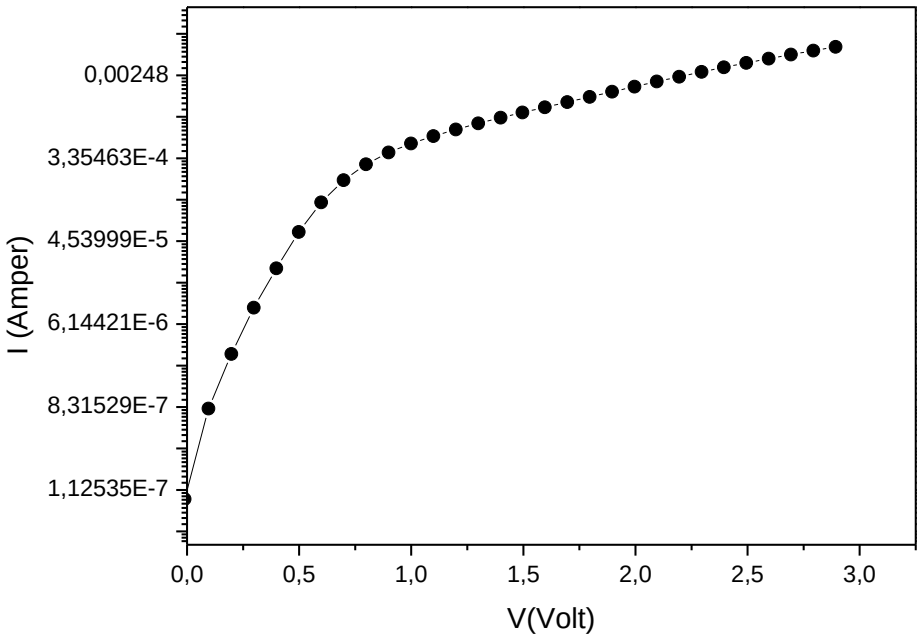
Çizelge 4 Au/PAr/CdS yapısının parametreleri

	dV/dln(J) - J		H(J) - J	
T (˚C)	n	R_s (Ω)	Φ_B (eV)	R_s (Ω)
25	2,253	907,413	0,618	896,073
30	1,981	856,625	0,687	782,286
40	1,660	818,439	0,816	778,818
50	1,442	635,027	0,773	610,683
60	1,340	535,615	0,833	501,832

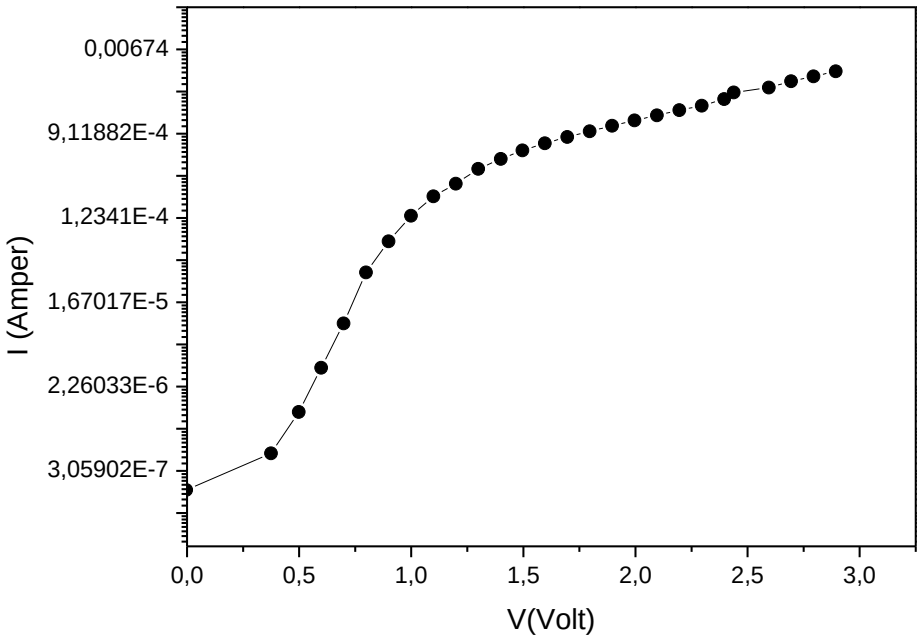
Çizelge 5 Cu/PAr/CdS yapısının parametreleri

	dV/dln(J) - J		H(J) - J	
T (˚C)	n	R_s (Ω)	Φ_B (eV)	R_s (Ω)
25	3,512	723,546	0,660	704,109
30	3,007	673,677	0,668	646,910
40	2,151	569,005	0,755	535,747
50	2,059	715,874	0,740	475,094
60	1,988	437,031	0,746	429,875

Çizelge 4 ve Çizelge 5’ den görüldüğü üzere sıcaklık arttıkça, MIS diyotun ideale yaklaştığı ve seri direncin azaldığı gözlemlendi. Bununla beraber bariyer yüksekliği sıcaklıkla beraber artış göstermiştir. Elde edilen sonuçlar Termiyonik emisyon teorisine uygunluk göstermiştir.



Şekil 5.45 Au/PAr/CdS MIS diyotun poizitif beslem bölgesinde ln(I) - V grafiği



Şekil 5.46 Cu/PAr/CdS MIS diyotun poizitif beslem bölgesinde ln(I) - V grafiği

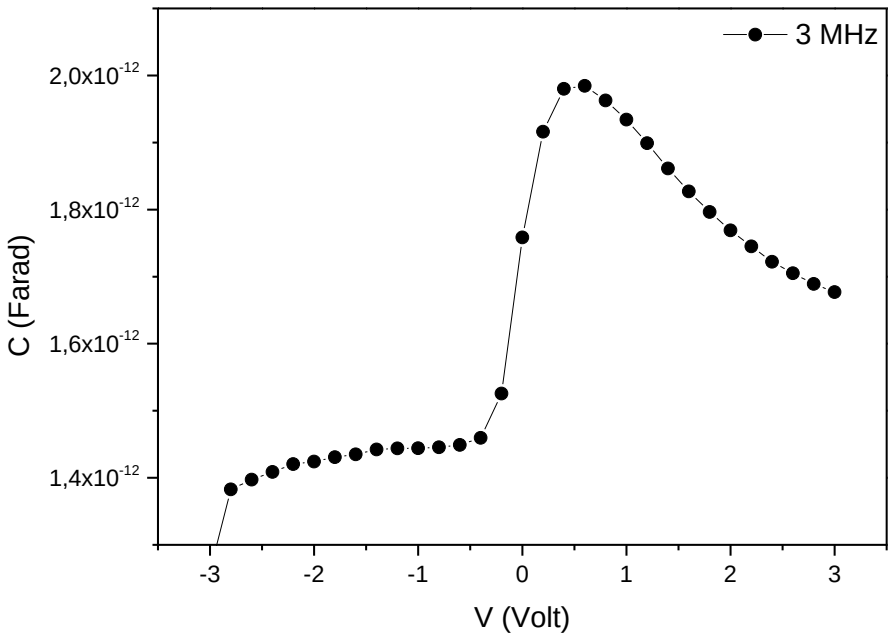
Şekil 5.13 ve Şekil 5.14 ile diyotların doyma akımları (I_o) grafiğin doğrusal kısmı ile belirlendi. I_o'ın sıcaklıkla değişimi Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6 Sıcaklığa ve kontak metaline bağlı doyma akımları

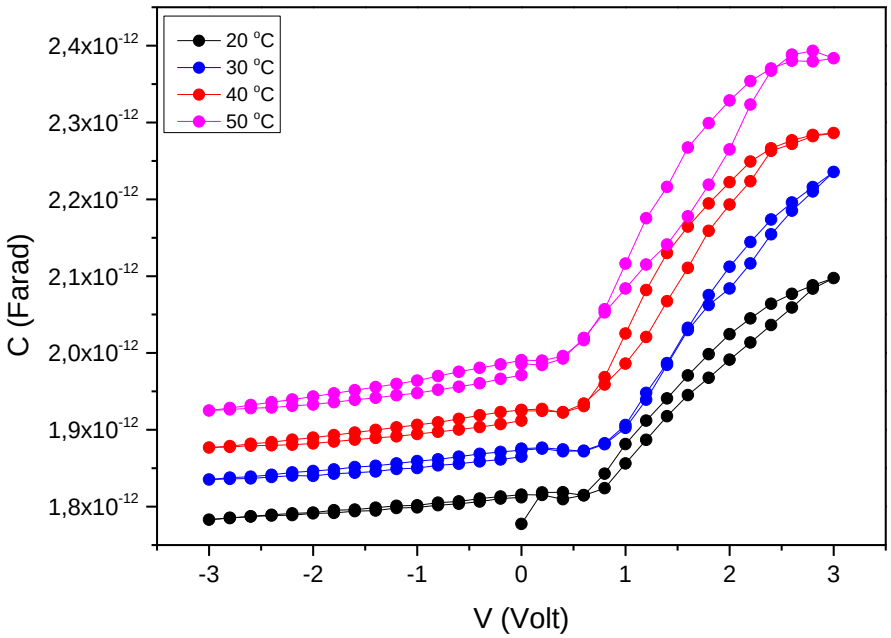
	I_o (Amper)	
T (˚C)	Au	Cu
25	1,8164E-7	9,8563E-9
30	1,3274E-7	1,5362E-8
40	1,9866E-7	2,6441E-8
50	1,9613E-7	4,4631E-8
60	2,9099E-7	3,8574E-8

5.5.2 C-V Ölçümlerinden Elde Edilen Sonuçlar

Au/PAr/CdS ve Cu/PAr/CdS diyotların -3V, +3V aralığında C-V ölçümleri gerçekleştirildi.



Şekil 5.47 Au/PAr/CdS yapısının 3 MHz'de C-V grafiği



Şekil 5.48 Cu/PAr/CdS yapısının 3 MHz' de sıcaklığa bağlı C-V grafiği

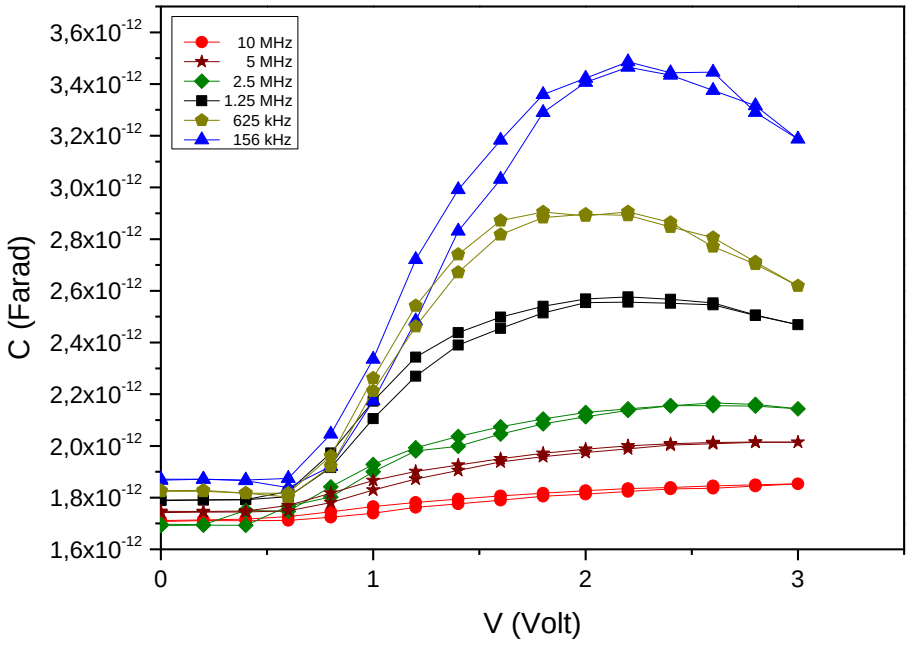
Cu/PAr/CdS eklemin sıcaklığa bağlı C-V ölçümleri ile flat-band geriliminin sıcaklığa bağlı değişimi belirlendi.

Çizelge 7 Cu/PAr/CdS yapısının sıcaklığa bağlı iyonik yük değişimi

T(˚C)	V_{FB} (V)	Q_{ss} (C/m^2)
20	1,07	$1,97 \times 10^{-5}$
30	1,06	$2,44 \times 10^{-6}$
40	1,04	$2,23 \times 10^{-5}$
50	1,03	$3,35 \times 10^{-5}$

Çizelge 7’ de görüldüğü gibi sıcaklığın artması ile birlikte iyonik yük miktarında artış meydana gelmektedir. Bu artışla birlikte yüklerin kapasiteye katkıda bulunması sonucu Şekil 5.16’ da ki gibi sıcaklık etkisi ile kapasitede paralel bir artış görülmektedir. Ayrıca yalıtkan içerisinde bulunan iyonik yükler nedeni ile C-V karakteristiğinde histerezis

eğrisi görülmektedir. Sıcaklık etkisi ile iyonik yük miktarının artması ile histerezis eğrisinin açıklığı da artmaktadır [5].



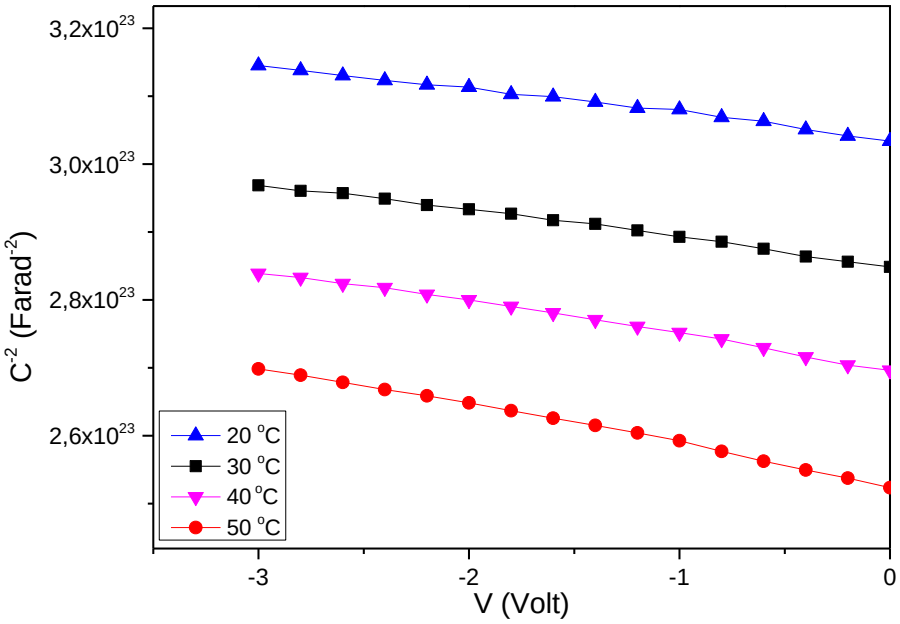
Şekil 5.49 Cu/PAr/CdS MIS diyotun C-V karakteristiğinin frekans ile değişimi

Şekil 5.17' de verilen grafikte Cu/PAr/CdS diyotun 156 kHz ile 10 MHz frekans aralığında C-V karakteristiği görülmektedir. Düşük frekanslardan yüksek frekans bölgesine gidildikçe kapasite değerinde oluşan piklerin genişliği ve şiddetinde azalma görülmektedir. Bunun sebebi düşük frekans değerlerinde ara yüzey yüklerinin ac sinyalini takip edebiliyor olmasıdır. Dolayısı ile kapasite davranışının frekansla beraber ara yüzey yüklerinin durumuna da bağlılığı anlaşılmıştır [38].

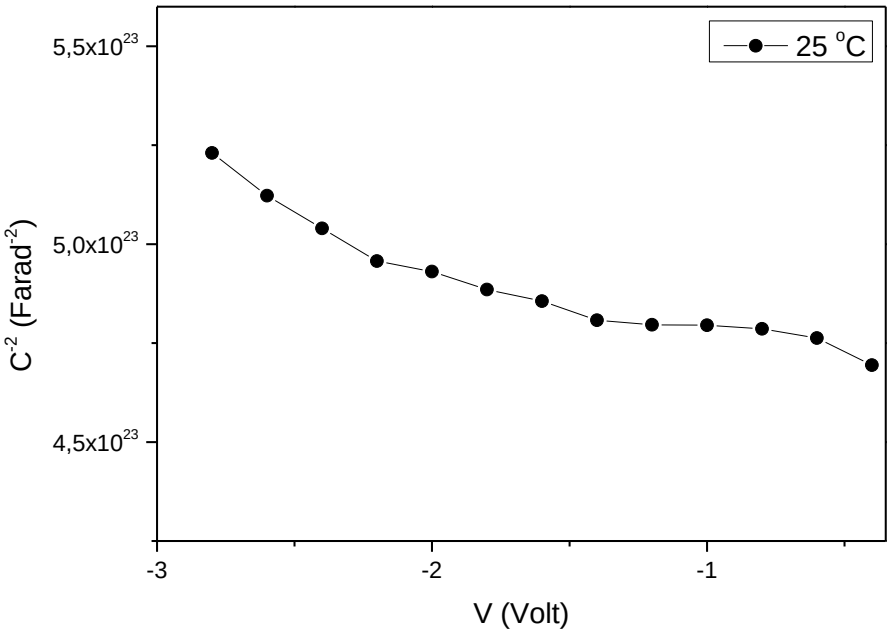
Cu/PAr/CdS ve Au/PAr/CdS diyotun $1/C^2$-V grafiği Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da verilmiştir. Cu/PAr/CdS diyotun C-V ölçümlerinden elde edilen taşıyıcı yoğunluğu değerleri Çizelge 8 'de verilmiştir.

Çizelge 8 Cu/PAr/CdS diyot ile hesaplanan taşıyıcı yoğunluğu değerleri

T (˚C)	N_d (cm^{-3}) x 10^{11}
20	9,36
30	8,34
40	6,95
50	5,79



Şekil 5.50 Cu/PAr/CdS diyotun C-V karakteristiğinden elde edilen $1/C^2$-V grafiği

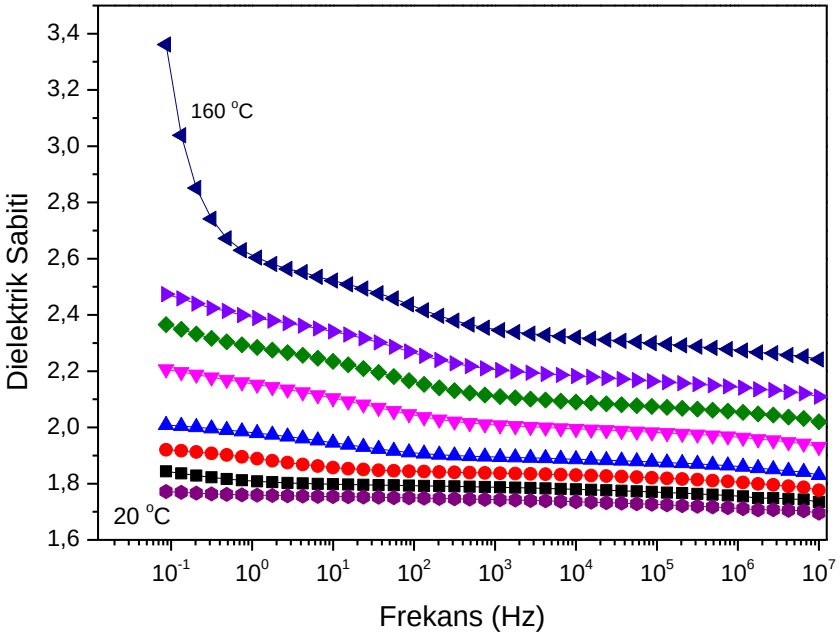


Şekil 5.51 Au/PAr/CdS diyotun $1/C^2$-V grafiği

Şekil 5.19 ile hesaplanan taşıyıcı yoğunluğu değeri ise, $N_A=1{,}79x10^{11}cm^{-3}$ olarak hesaplandı.

5.5.3 C-f Ölçümleri

MIS diyotta yalıtkan malzeme olarak kullanılan PAr'ın çeşitli sıcaklıklarda frekansa bağlı kapasite ölçümleri yapıldı. Bu ölçümlerden yararlanılarak malzemenin dielektrik sabitinin frekans ve sıcaklığa bağlı değişimi incelendi.

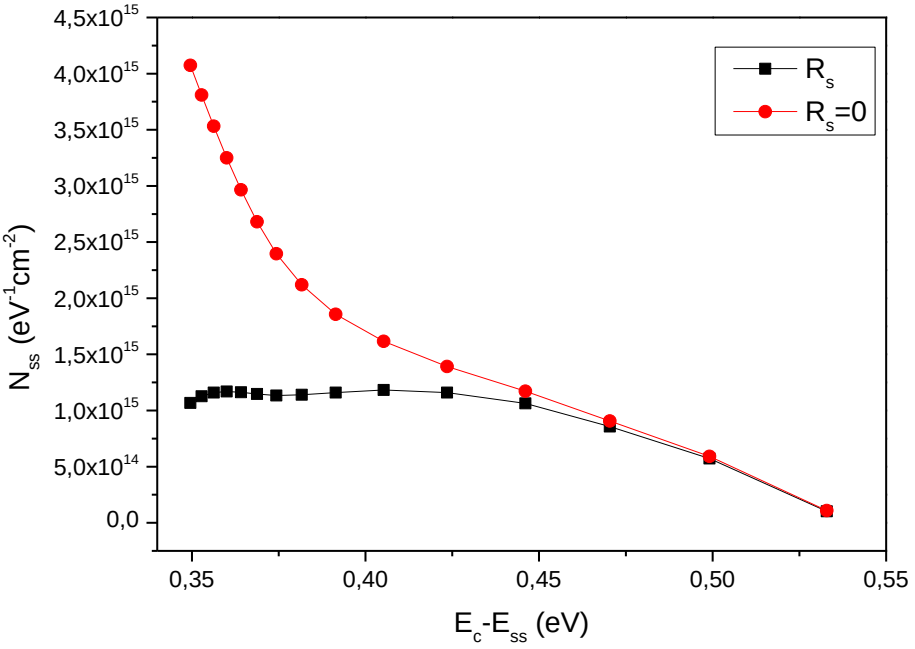


Şekil 5.52 PAr'ın C-f karakteristiği

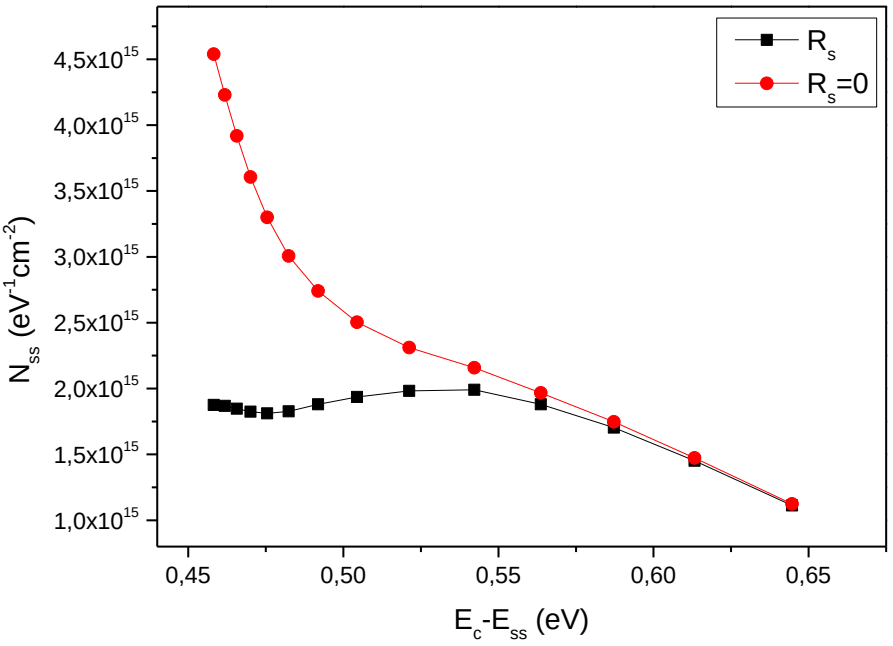
Şekil 5.20' de 20 ˚C ile 160 ˚C arasındaki C-f grafikleri verilmiştir. 20 ˚C' lik sıcaklık artışı ile alınan ölçümlerle dielektrik sabitinin sıcaklık ile düzenli olarak arttığı gözlemlendi. Düşük frekanslarda dielektrik sabiti frekansa bağlı olarak değişim gösterirken, yüksek frekans bölgesinde frekanstan bağımsızdır.

5.5.4 Arayüzey Durum Yoğunluğu

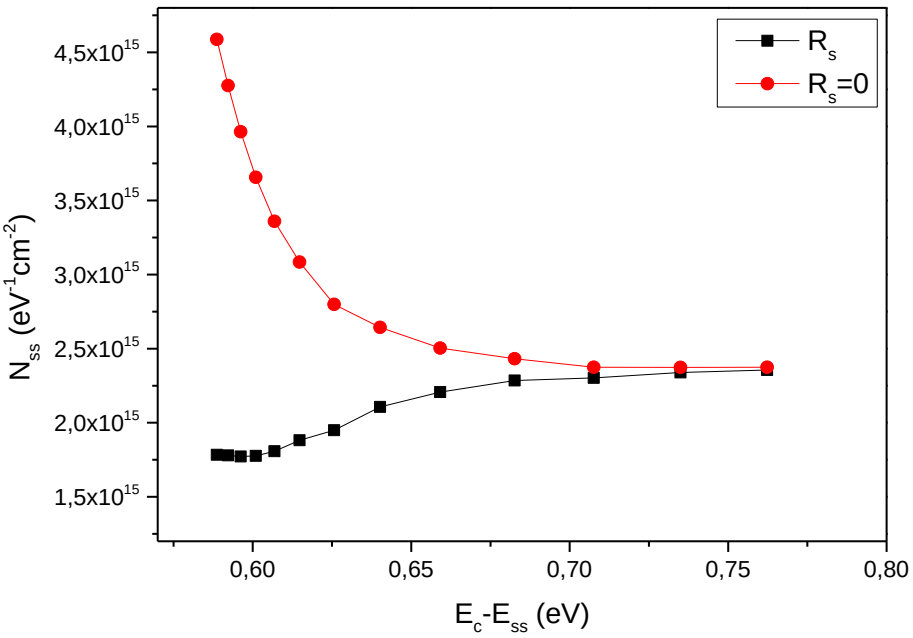
Arayüzey durumlarının I-V, C-V ve C-f karakteristiklerine etkisini belirlemek için MIS diyotun ileri yöndeki I-V karakteristiklerinden faydalanılarak arayüzey durum yoğunluğunun (N_{ss}) E_c-E_{ss}' in fonksiyonu olarak değişimi incelendi.



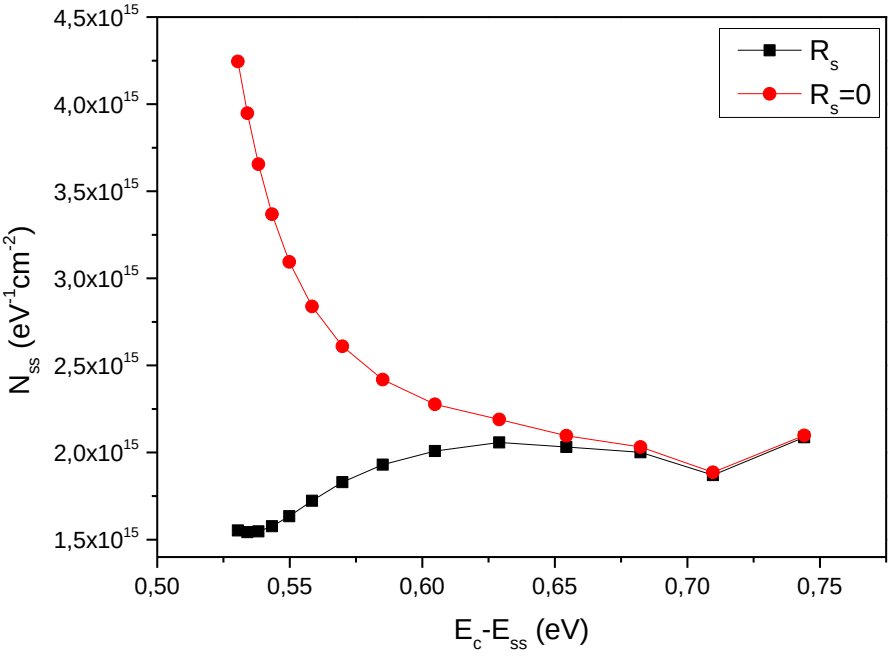
Şekil 5.53 Au/PAr/CdS MIS diyotun 25 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi



Şekil 5.54 Au/PAr/CdS MIS diyotun 30 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi

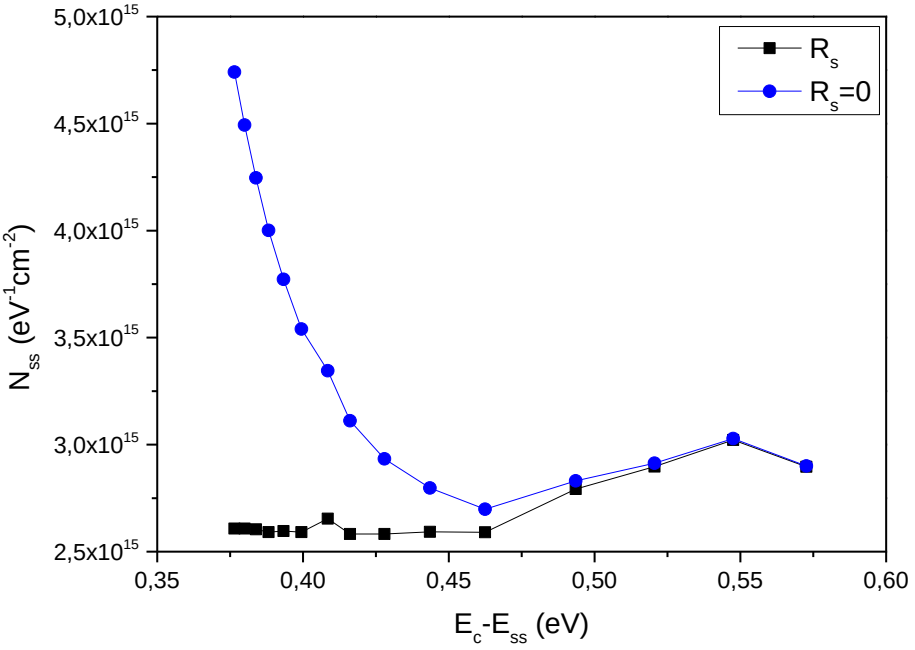


Şekil 5.55 Au/PAr/CdS MIS diyotun 40 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi

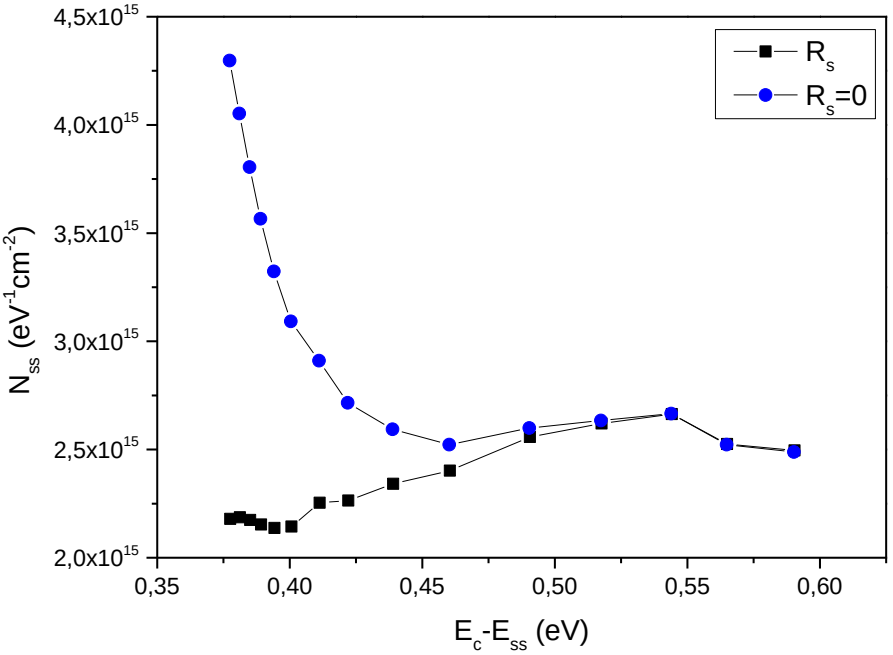


Şekil 5.56 Au/PAr/CdS MIS diyotun 50 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi

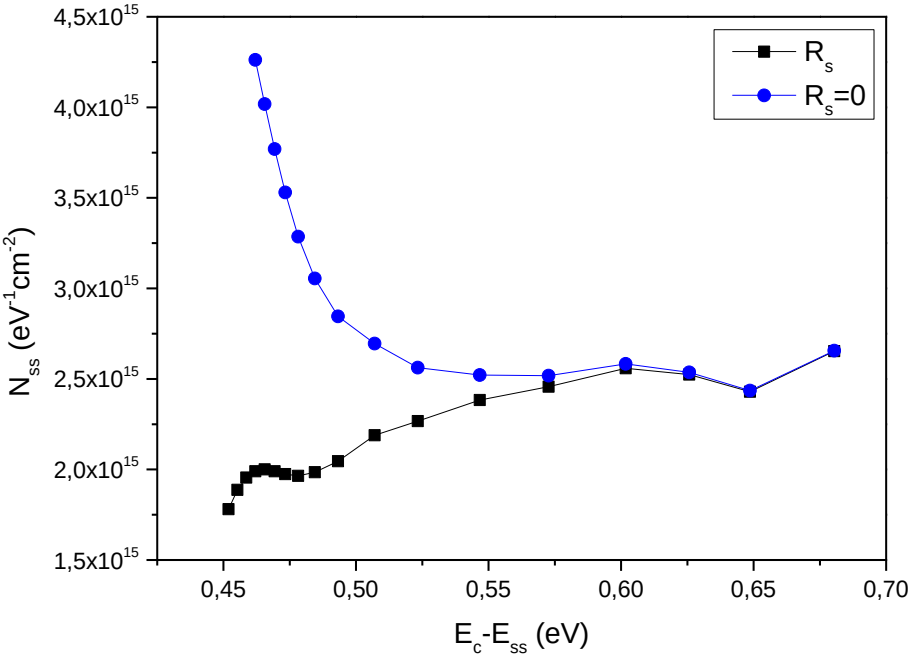
Şekil 5.21 - Şekil 5.24' de verilen grafikler Au/PAr/CdS yapısına ait arayüzey durumlarının her bir sıcaklıktaki davranışını göstermektedir. Yapıya ait en düşük durum yoğunluğu $N_{ss}=1{,}013x10^{14}\ eV^{-1}cm^{-2}$ olarak bulunmuştur. Sıcaklık artışı ile arayüzey yükleri yarıiletkenin iletim bandının daha alt seviyelerine doğru kaymaktadır.



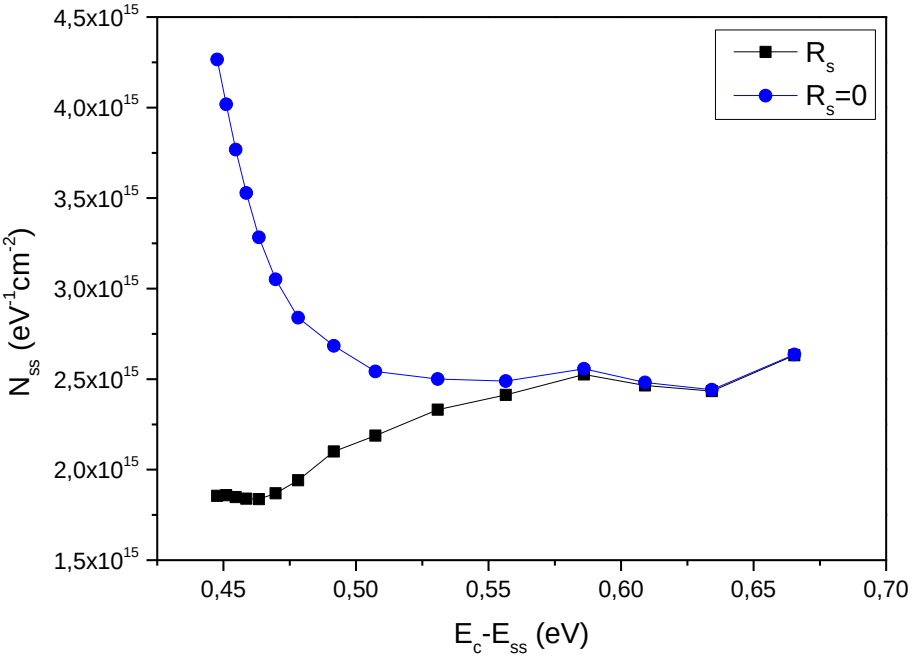
Şekil 5.57 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 25 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi



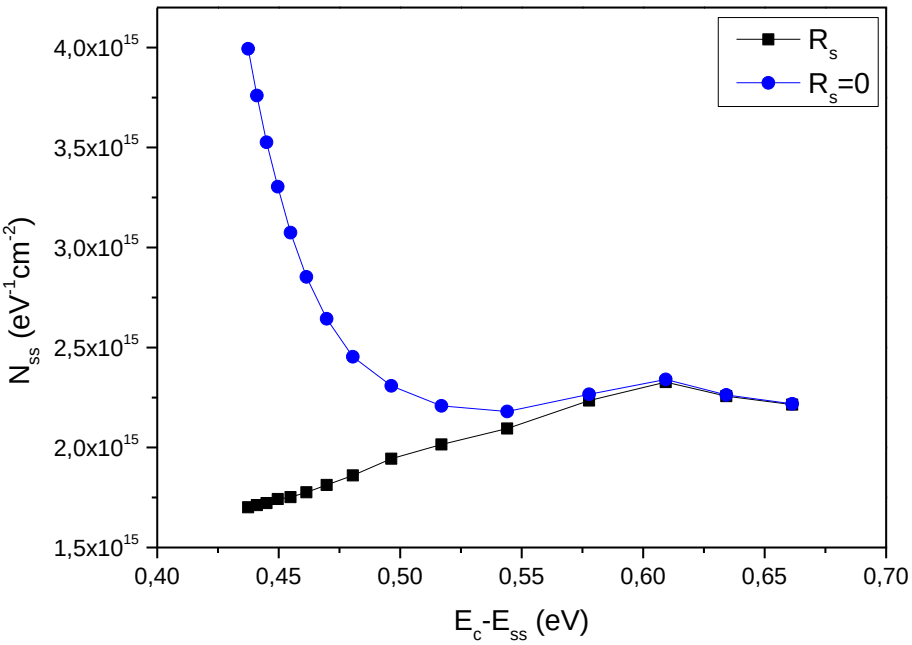
Şekil 5.58 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 30 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi



Şekil 5.59 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 40 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi



Şekil 5.60 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 50 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi



Şekil 5.61 Cu/PAr/CdS MIS diyotun 60 ˚C' de arayüzey durum yoğunluğunun enerji ile değişimi

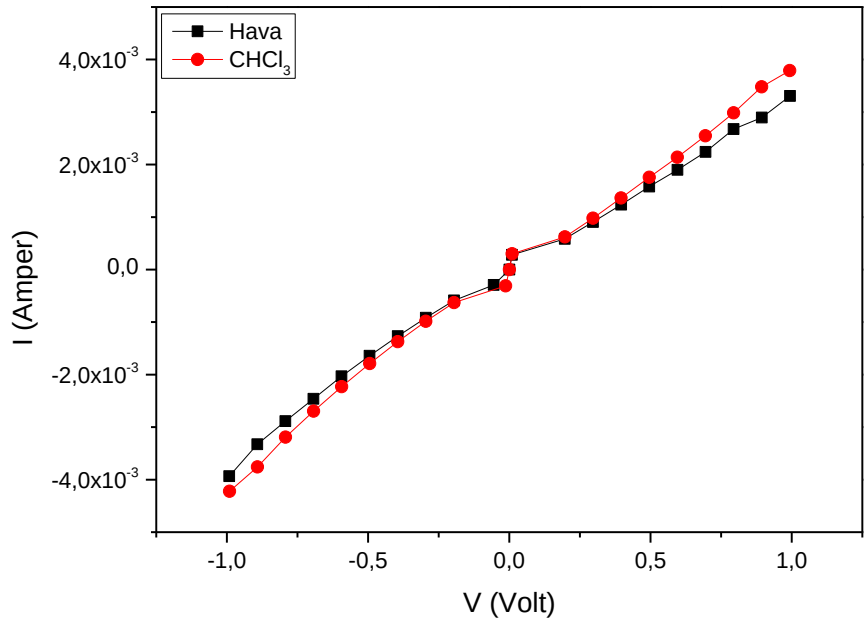
Şekil 5.25 - Şekil 5.29' da verilen grafikler Cu/PAr/CdS yapısına ait arayüzey durumlarının her bir sıcaklıktaki davranışını göstermektedir. Yapıya ait en düşük durum yoğunluğu $N_{ss}=2{,}21x10^{14}\ eV^{-1}cm^{-2}$ olarak bulunmuştur. Au kontaklı diyotun davranışına benzer bir şekilde sıcaklık artışı ile arayüzey yükleri yarıiletkenin iletim bandının daha alt seviyelerine doğru kaymaktadır.

Arayüzey durum yoğunluğu PAr/CdS yüzeylerinin teması ile oluşmaktadır ve değeri kontak metalinden bağımsız olması beklenmektedir. N_{ss} – E_c-E_{ss} grafiklerinden görüldüğü üzere arayüzey durumlarının yoğunluğunda kontak metaline bağlı olarak belirgin bir değişim görülmemektedir.

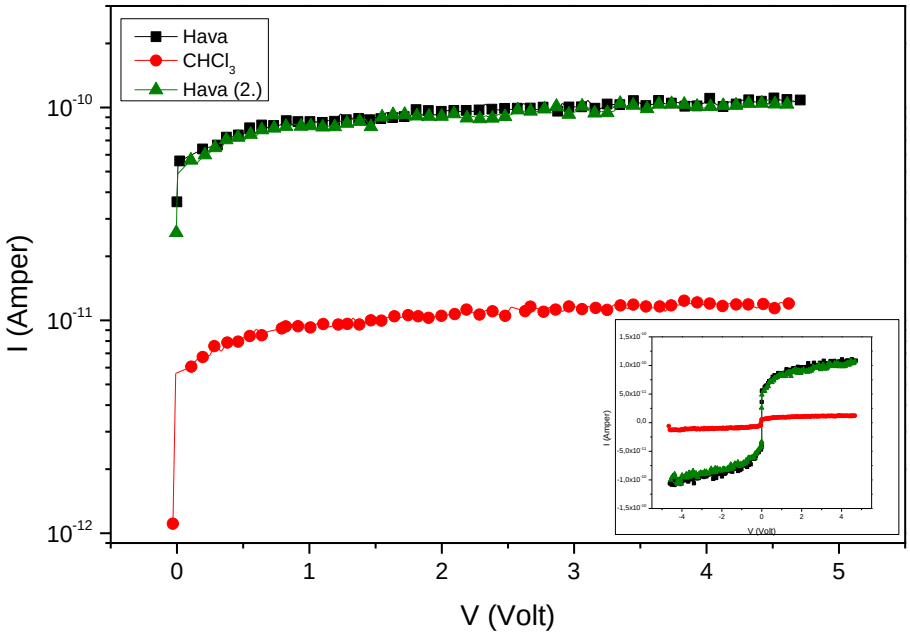
5.5.5 Sensör Uygulamaları

Cu/PAr/CdS MIS diyotun sabit gerilim ve sıcaklık şartları altında kloroform ($CHCl_3$) gazına bağlı gösterdiği değişim incelendi. Cu/CdS MS eklemin kloroforma bağlı olarak akım gerilim karakteristiğindeki değişim Şekil 5.30' da verilmiştir. Benzer şekilde PAr' ın kloroform ortamındaki akım gerilim karakteristiği Şekil 5.30' da verilmiştir. Şekil 5.31' de büyük grafik akım gerilim pozitif bölgesini göstermekte ve akım ekseni

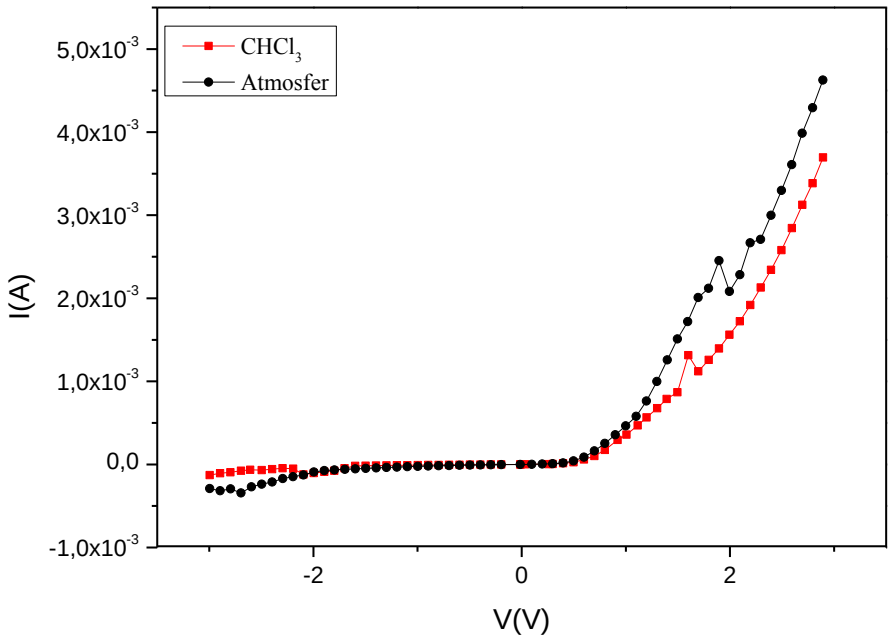
logaritmik ölçekte verilmiştir. İçteki grafik ile ölçüm için kullanılan yapının omik davranış gösterdiği söylenebilir.



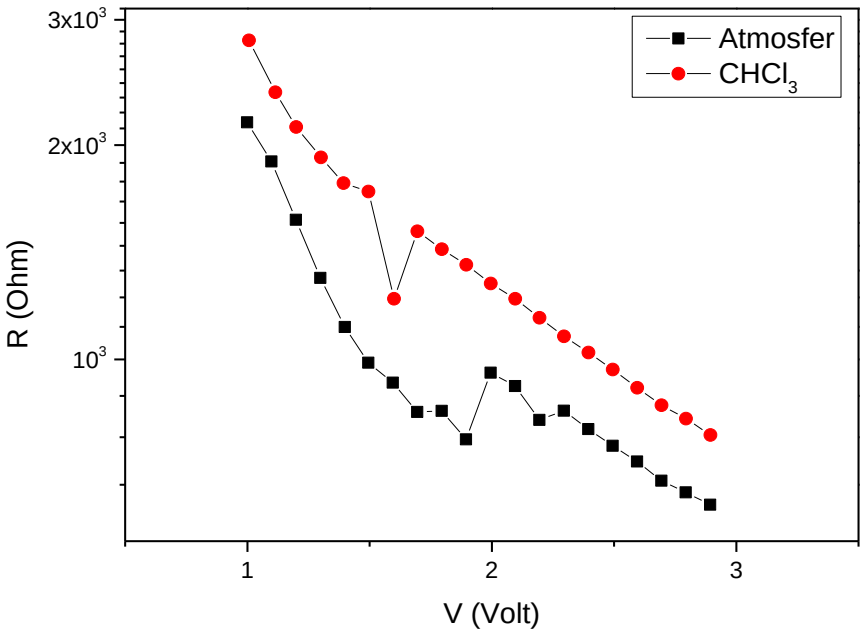
Şekil 5.62 Cu/CdS eklemin atmosfer ve kloroform ortamındaki I-V grafiği



Şekil 5.63 PAr' ın kloroform ve atmosfer ortamındaki akım gerilim grafiği



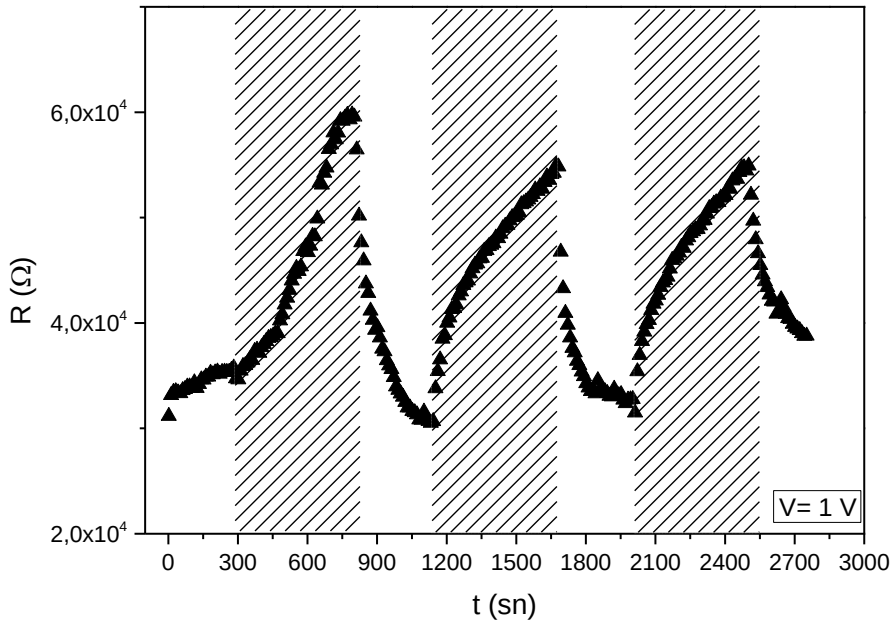
Şekil 5.64 Atmosfer ve kloroform ortamlarında MIS diyodun I-V kararkteristikleri



Şekil 5.65 MIS diyotun $CHCl_3$ ve atmosfer ortamında direncinin gerilim ile değişimi

Şekil 5.32’ de MIS yapının kloroform ve atmosfer ortamlarındaki I-V grafikleri verilmiştir. MIS diyotun I-V karakteristiğinin pozitif gerilim bölgesinden faydalanarak direncin gerilim ile değişim grafiği Şekil 5.33’ de gösterilmiştir. Şekil 5.30 ve 5.33 arasındaki I-V grafikleri ile MIS diyotun sensör özelliği göstermesinde etkin olan film tabakasının PAr olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 5.33’ de görüldüğü gibi kloroform ortamında diyotun direnci artmış ve direncin gerilim ile değişimi atmosfer ortamındaki değerlere benzer bir karakteristik göstermiştir. Sabit 1V’ luk gerilim altında diyot direncinin kloroform algılaması ile değişimi Şekil 5.34’ de verilmiştir.



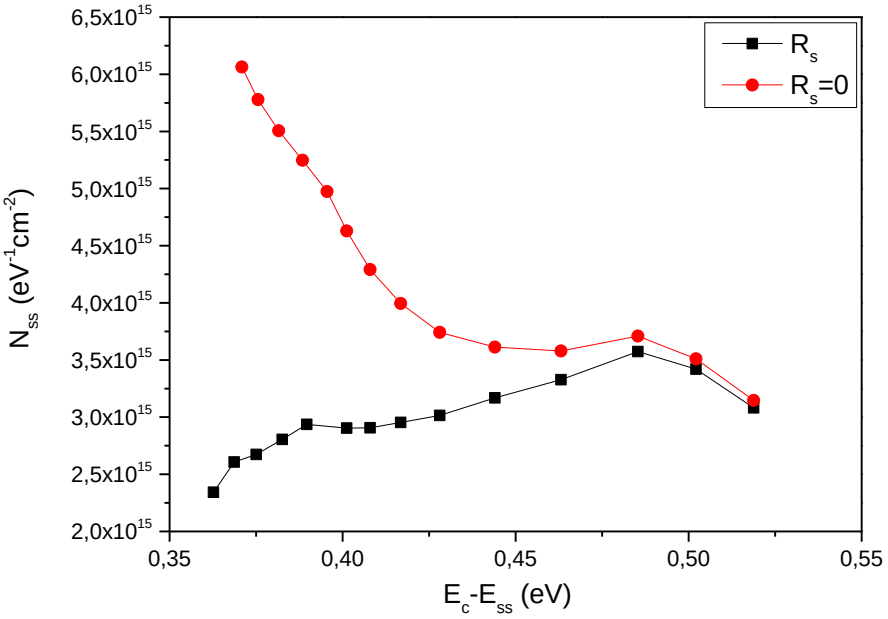
Şekil 5.66 MIS diyotun 1V gerilimde $CHCl_3$ gazını algılama grafiği

$CHCl_3$ etkisi ile MIS diyotun parametrelerindeki değişim Çizelge 9’ da gösterilmiştir. Ortamda kloroform bulunması ile birlikte diyodun seri direnç değerinde belirgin bir artış meydana gelmektedir. Ayrıca bariyer yüksekliğinin kloroforma bağlı olarak değişmediği görülmüştür.

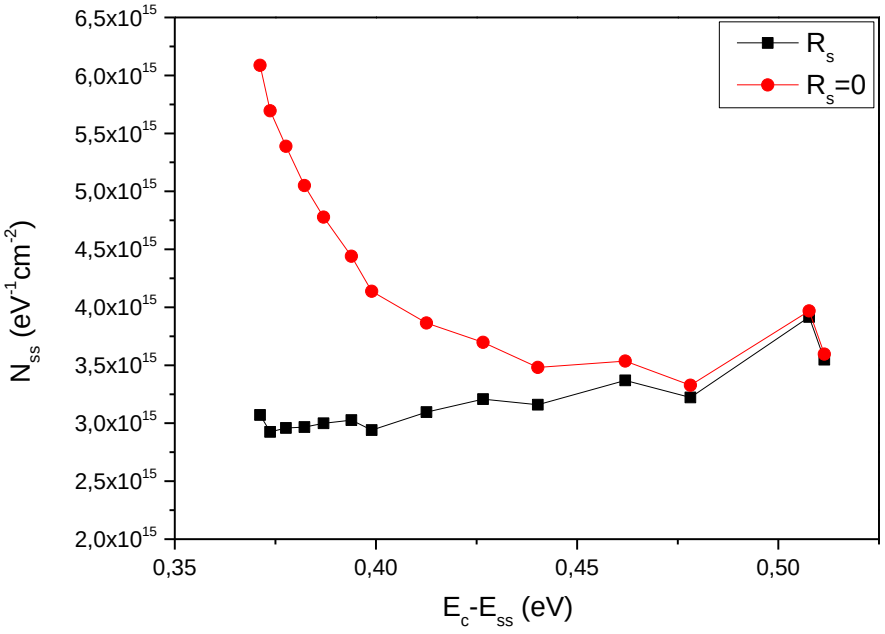
Çizelge 9 Parametrelerin ortam şartlarına bağlı değişimi

	dV/dln(J) -J		H(J)-J	
Ortam	n	R_s	Φ_B	R_s
Atmosfer	3,467	696,532	0,562	672,746
$CHCl_3$	3,869	818,268	0,562	743,821

Kloroform ortamına bağlı olarak arayüzey durumlarının değişimi Şekil 5.35 ve Şekil 5.36' da verilmiştir. Her iki durumda gözlenen davranış birbirleri ile tutarlı olmakla birlikte, kloroform etkisi ile arayüzey durumlarında belirgin bir farklılık meydana gelmemiştir.



Şekil 5.67 Atmosfer ortamında arayüzey durum yoğunluğunun enerjiye bağlı dağılımı



.

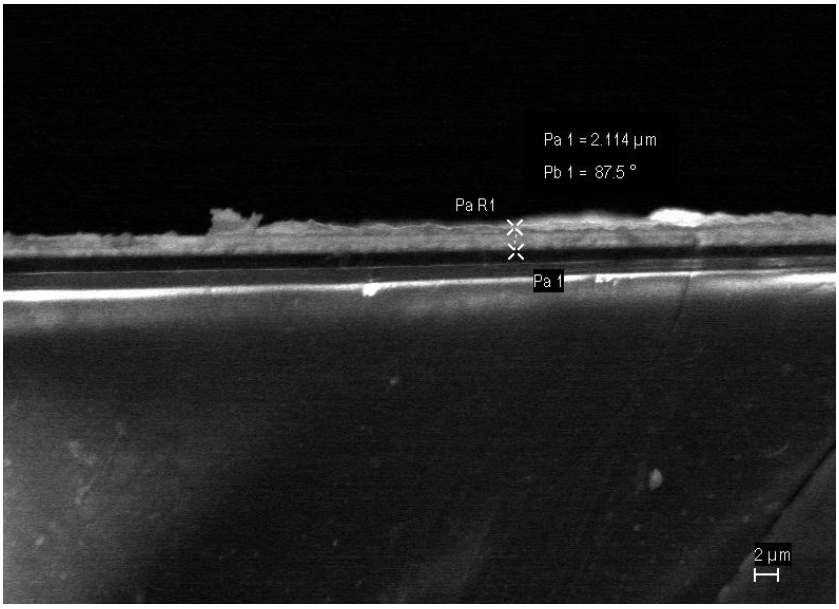
Şekil 5.68 $CHCl_3$ ortamında arayüzey durum yoğunluğunun enerjiye bağlı dağılımı

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada iletken ITO kaplı cam altlıklar kullanılarak sprey buharlaştırma yöntemi ile kaplanan CdS filmler üzerine polimer PAr (Poliarilat) yalıtkan tabakası kaplanarak elde edilen MIS diyotun karakteristik parametrelerinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak uygulama alanı tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Sprey buharlaştırma yöntemi ile üretilen CdS filmlerin optik geçirgenlik ölçümleri ile yasak band aralığı Eg=2,42 eV olarak hesaplandı. Bununla birlikte kaplanan filmlerin özdirenci Van der Pauw yöntemi ile $2{,}01 \times 10^{2}$ Ω.cm olarak belirlendi. Film kalınlığının belirlenmesi için yapılan SEM ölçümü sonucu CdS tabakanın kalınlığı 2,114 µm olarak bulundu. Hall ölçümleri ile taşıyıcı yoğunluğu $1{,}974 \times 10^{8}$ cm^{-3} olarak hesaplandı.



Şekil 6.69 CdS filmin yan kesit SEM görüntüsü

XRD analizi ile CdS filmlerin (101) ve (112) düzlemlerine sahip olduğu görüldü. Kristalin düzlemleri arası uzaklık sırası ile 3,160 Å ve 1,764 Å olarak hesaplandı. Örneklerin parçacık boyutları her iki düzlem için de hesaplandı ve sırası ile 42,85nm ve 46,58nm bulundu. Hekzagonal yapıya sahip kristalin örgü parametreleri a=4,102 Å ve c=6,919 Å olarak bulundu. CdS için x-ışını kırınım analizi ile benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir [36], [37], [39].

PAr filmlerin hazırlanması için hacimce %0,4'lük PAr-$CHCl_3$ çözeltisi hazırlandı. CdS film üzerine damlatma yöntemi ile kaplanarak 194 nm kalınlığında yalıtkan film tabakası elde edildi. Yapılan optik geçirgenlik ölçümleri sonucu dalga boyu 300-1100 nm arasında olan ışığın hemen hemen soğurulmadan geçirildiği görüldü.

CdS/PAr eklemi üzerine kontak metali olarak Au ve Cu elektron demeti yöntemi ile kaplandı. Kaplanan kontak metallerinin kalınlığı yaklaşık olarak 100 nm olacak şekilde dairesel kontaklar oluşturuldu.

Au/CdS eklem için oda sıcaklığında $n= 1,00441$, $R_s= 267,262\ \Omega$ ve $\phi_B= 0,488\ eV$ iken PAr yalıtkan tabakasının eklenmesi ile $n=2,253$, $R_s= 896\ \Omega$ ve $\phi_B=0,618\ eV$ olcak şekilde değişmiştir. Cu/PAr yapısında ise omik davranış gözlenmiş ve PAr film etkisi ile yapı doğrultucu özellik göstermiştir.

Sıcaklığa bağlı akım gerilim ölçümleri ile diyotların idealite faktörleri Au kontaklı diyot için oda sıcaklığında n=2,253 olarak bulundu. Sıcaklık artışı ile beraber idealite faktöründe küçülme gözlenerek n=1,34 seviyelerine gelmiştir. İdealite faktörü için benzer sonuçlar Cu kontak ile hazırlanan diyot için de gözlemlenmiştir. Cu kontak kullanılan diyot için oda sıcaklığında n=3,51 değerinden sıcaklık ile n=1,98 değerine kadar düşmüştür. İdealite faktörürünün 1' den büyük olması arayüzey durumlarına ve seri direncin etksine bağlanabilir [40], [41]. Sıcaklık artışı ile bariyer yükseklikleri artış göstermiştir. Au/PAr/CdS için 0,618 eV' tan 0,833 eV' a yükselmiştir. Cu/PAr/CdS için bariyer yüksekliği değerleri 0,66 eV' tan 0,766 eV'a yükselmiştir. Artan sıcaklık ile bariyer yüksekliği ve idealite faktöründe benzer davranışlar diğer araştırmacılar tarafından da gözlemlenmiştir [42], [43], [44], [45]. H(J)-J ve dV/dln(J)-J grafikleri ile elde edilen R_s seri direnç değerleri birbirleri ile tutarlı sonuçlar vermiştir. Sıcaklık artışı ile diyotların seri dirençleri düşmüştür.

Sıcaklıkla değişimi incelenen C-V ölçümleri ile taşıyıcı yoğunlukları hesaplandı. İncelemenin yapıldığı sıcaklık aralığı içerisinde taşıyıcı yoğunluğu değerlerinde belirgin

bir artış görülmedi. Sabit sıcaklıkta frekansa bağlı kapasite gerilim ölçümleri ile kapasite değerinin düşük frekanslardan yüksek frekanslara gidildiğinde azalma eğilimi gösterdiği gözlemlendi. Bunun nedeni olarak arayüzey yüklerinin ac sinyalini düşük frekanslarda izleyebilmesi gösterilmektedir. Benzer sonuçlar literatürde rapor edilmiştir [46].

C-V ölçümlerinde görülen histerezis eğrilerinin yalıtkan içerisindeki iyonik yükler ve arayüzey yüklerinden kaynaklandığı belirlendi [5]. Sıcaklık artışı ile birlikte yalıtkan içerisindeki serbest yük miktarı $1,97x10^{15}$ C/m^2' den 3,37 C/m^2' ye yükseldi. Bu yüklerinde kapasiteye katkı sağlaması ile yapının kapasite değeri sıcaklıkla birlikte paralel bir artış gösterdi.

Arayüzey durum yoğunluğu her iki kontak metali için $N_{ss} \approx 10^{14}$ cm^{-3} mertebesinde olduğu hesaplandı. Arayüzey durumlarının yarıiletken ile yalıtkan arasında kaynaklanan kusurlar nedeniyle meydana gelmesi ve kontak metalinden bağımsız olması, deney ile gözlemlenen durumu desteklemektedir. Hesaplanan değerler arayüzey durum yoğunluğu için oldukça büyük bir değerdir. Bunun sebebi olarak kullanılan yarıiletkenin yüzeyinde kusurların olması ve kendisinden çok daha farklı yapıda olan polimer ile temasta olması, ayrıca yarıiletkenden polimer yüzeye geçişin homojen olmaması gösterilebilir. Arayüzey durum yoğunluğu hesabında seri direnç etkisinin belirleyici bir faktör olduğu seri direncin dikkate alındığı ve seri direnç olmadan elde edilen sonuçların gösterildiği grafiklerden görülmüştür. Yarıiletkenin iletim bandının tabanından daha alt enerji değerlerine inildikçe bu iki değer birbirine yakınsamaktadır. Benzer sonuçlar literatürde bulunmaktadır [41], [47], [3].

MIS diyotun kloroform algılama özelliği sabit gerilim altında incelenmiş ve kloroforma maruz kalmasıyla birlikte diyotun direnci artmıştır. Bunun nedeni olarak PAr filmin kloroforma maruz kalması ile birlikte PAr moleküllerinin arasındaki mesafeyi arttırarak yük iletiminin daha düşük seviyelerde gerçekleşmesi gösterilebilir.

KAYNAKLAR

[1] Rhoderick, E.H. (1982), "Metal-semiconductor contacts", 129, Manchester : IEEE, , Solid- State and Electron Devices, 1

[2] Tung, R.T., (2000), "Chemical bonding and fermi level pinning at metal-semiconductor interfaces", Phys Rev Lett, 84

[3] Tataroğlu, A. ve Altındal, Ş., (2009), "The analysis of the series resistance and interface states of MIS Schottky diodes at high temperatures using I–V characteristics", Journal of Alloys and Compounds, 484

[4] Kow-Ming Chang, Chao-Chen Cheng ve Chia-Ching Lang, (2002), "Electrical properties of SiN/GaN MIS diodes formed by ECR-CVD", Solid-State Electronics, 46

[5] Grecu, S. et al, (2004), "Characterization of polymeric metal-insulator–semiconductor diodes", Synthetic Metals, 146

[6] Lidia Łukasiak ve Andrzej Jakubowski, (2010), "History of Semiconductors", Journal of Telecommunication and Information Technology, l: 3-5

[7] Schiek, B., Marquardt, J. ve Helmcke J., (1969), Physical Behaviour and Technical Applications of Metal-Insulator Semiconductor Varactors, London : IEEE, 520 - 523.

[8] Caferov, T. (2000), Yarıiletkenler, Katıhal Elektroniği, İstanbul : YTÜVAK

[9] Caferov, T., (1998), Yarıiletken Fiziği, İstanbul : Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, 975-461-132-7.

[10] Yacobi, B.G., (2003), Basic Properties of Semiconductors. New York : Kluwer Academic.

[11] Neamen, Donald A., (2003), The Extrinsic Semiconductor, Semiconductor Physics And Devices 3rd ed., The McGraw- Hill.

[12] Mishra, Umesh K. ve Singh, J., (2008), Semiconductor Device Physics and Design. Dordrecht, Springer,. 978-1-4020-6480-7.

[13] Sze, S.M. ve Ng, Kwok K., (2007), Physics of Semiconductor Devices. 3. New Jersey : John Wiley & Sons.

[14] McKelvey, John P., (1966), Solid State and Semiconductor Physics, New York : Harper&Row.

[15] Güzel, Tamer, (2006), Metal-Yarıiletken Kontaklarda Schottky Engelinin Sığa Özelliği, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik, Gazi Üniversitesi, Ankara

[16] Wang, S., (1989), Fundamentals of semiconductor theory and device physics. New York : Prentice Hall, 0133444090.

[17] Streetman, Ben G. ve Banerjee, S.K., (2009), Solid State Electronic Devices. Yeni Delhi : PHI Learning, 9788120330207.

[18] Nicollian, E. H. Ve Brews, J. R., (1982), MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology. New York : John Wiley & Sons, 0471085006.

[19] Schroder, Dieter K., (2006), Semiconductor Material and Device Characterization, New Jersey : John Wiley & Sons, 0471739065.

[20] Simmons, J. G., (1971), "Conduction in thin dielectric films", Journal of Physics D: Applied Physics, 4:l

[21] Simmons, J. G., (1967), "Poole-Frenkel Effect and Schottky Effect in Metal-Insulator-Metal Systems", Physical Review, 155

[22] Harrella, W.R. ve Frey, J., (1999), "Observation of Poole-Frenkel effect saturation in SiO2 and other insulating films", Thin Solid Films, 352

[23] Şafak, Haluk, (1989), İnce Film Cux/CdS Güneş Pilleri, Konya

[24] Mönch, Winfried., (2004), Electronic Properties of Semiconductor Interfaces. Berlin : Spirnger - Verlag Berlin Heidelberg,. 3-540-20215-3.

[25] Warlimont, M., (2005), Handbook of Condensed Matter and Materials Data. Berlin : Springer,. 3-540-44376-2.

[26] Şakar, Dolunay. (2007), Bisfenol A'nın Tereftalik Ve İzoftalik Asit Kopoliesteri İle Poli(2,6-Dimetil-1,4-Fenilen. YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul

[27] Westlake Plastics Company - Product Information. Westlake Plastics Company., http://www.westlakeplastics.com/pdf/PB%20ardel.pdf, 17 Şubat 2011

[28] Groves, James F., (1998), Directed Vapor Deposition, The Faculty of the School of Engineering and Applied Science, University of Virginia

[29] Martin, Peter M., (2011), Introduction to Surface Engineering and Functionally Engineered Materials, New Jersey : John Wiley & Sons, 978-0-470-63927-6.

[30] Mattox, Donald M., (2010), Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing, Second edition. Burlington, MA : Elsevier Inc., 978-0-81-552037-5.

[31] Chamberlin, R.R. ve Skarman, J.S., (1966), "Chemical Spray Deposition Process for Inorganic Films", Journal ofthe Electrochemical Society, 113:86-89

[32] Patil, Pramod S., (1999), "Versatility of chemical spray pyrolysis technique", Materials Chemistry and Physics, 59:185-188.

[33] Luurtsema, Gregory A., (1997), Spin Coating for Rectangular Substrates. Berkeley : University of California, Yüksek Lisans Tezi.

[34] Yeşilkaya, S. Serkis., (2004), CdS/CdTe Heteroeklemlerin Elektriksel ve Fotovoltaik Özellikleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul

[35] Cheung, S. K. ve Cheung, N. W., (1986), "Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics", Applied Physics Letters, 49

[36] Raji, P., Sanjeeviraja, C. ve Ramachandran, K., (2005), "Thermal and structural properties of spray pyrolysed CdS thin film", Bull. Mater. Sci, 28

[37] Narayanan, K. L. et al., (1997), "Chemical bath deposition o f CdS thin films and their partial conversion to CdO on annealing", Bull. Mater. Sci, 20

[38] Demirezen, S., et al., (2012), "Effect of series resistance and interface states on the I-V, C-V and G/w-V characteristics in Au/Bi-doped polyvinyl alcohol (PVA)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature", Current Applied Physics, 12

[39] Kawar, S. S. ve Pawar, B. H., (2009), "Synthesis and Characterization of CdS n-Type of Semiconductor Thin Films Having Nanometer Grain Size", Chalcogenide Letters, 6

[40] Zhu, Meiguang, et al., (2010), "Effect of interfacial layer and Series resistance on electrical characteristics for the PtSi/p-SiNWs Schottky diode", Physica E, 43

[41] Yıldız, D.E., et al., (2010), "The effects of surface states and series resistance on the performance of Au/SnO2/n-Si and Al/SnO2/p-Si Schottky barrier diodes", Materials Science in Semiconductor Processing, 13

[42] Wang, X.J. ve He, L., (1998), "Electrical Characteristics of High Performance Au/n-GaN Schottky Diodes", Journal of Electronic Materials, 27

[43] Sawadaa, T., et al., (2003), "Properties of GaN and AlGaN Schottky contacts revealed from I–V–T and C–V–T measurements", Applied Surface Science, 216

[44] Tataroğlu, A. ve Altındal, Ş., (2009), "The distribution of barrier heights in MIS type Schottky diodes from current–voltage–temperature (I–V–T) measurements", Journal of Alloys and Compounds, 479

[45] Kınacı, B., et al., (2012), "The temperaturedependentanalysisofAu/TiO2 (rutile)/n-Si (MIS) SBDs usingcurrent–voltage–temperature(I–V–T) characteristics", Materials Science in Semiconductor Processing.

[46] Sağlam, M., et al., (2008), "Calculation from the current–voltage and capacitance–voltage measurements of characteristics parameters of Cd/CdS/n-Si/Au–Sb structure with CdS interface layer grown on n-Si substrate by SILAR method", Microelectronic Engineering, 85

[47] Ebeoğlu, Mehmet Ali, (2008), "Current-voltage characteristics of Au/GaN/GaAs structure", Physica B, 403

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Furkan KURUOĞLU

Doğum Tarihi ve Yeri :18.12.1987 - İSTANBUL

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :furkankuruoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Fizik	Trakya Üniversitesi	2009
Lise	Fen-Matematik	Büyükşehir Hüseyin Yıldız Anadolu Lisesi	2005

YAYINLARI

Makale

1. *"Electrical and thermodynamical characterization of thermotropic liquid crystal"* F. Sesıgur, D. Sakar, O. Yasa-Sahın, F. Kuruoglu, F. Cakar, M. Mogulkoc, M. Calıskan, O. Cankurtaran, M. Serın, B. Bılgın-Eran, , Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications, Vol 5 ISS.5 2011, 586 – 590 (June 2011)

Bildiri

1. *"Electrical Properties Of Poly (Sulfonic Diphenyl Aniline) Andits Diblock Copolymer With Poly(Ethylene Oxide)"*

   M. Serin, Ö. Yazıcı, M. Çalışkan, F. Çakar, F. Kuruoğlu, F. Karaman, Solar-TR 29-30 Nisan ODTÜ-ANKARA/TÜRKİYE (2010)

2. *"Multiwalled Carbon Nanotube Doped Ardel / N-cds Mis Structure"*

   F. Kuruoglu, M. Mogulkoc, M. Caliskan, D. Sakar, M. Serin, Nano-TR 7 29 Haziran-1 Temmuz Sabancı Üniversitesi – İSTANBUL/TÜRKİYE (2011)

3. *"Mesogenik 5 Dodesiloksi-2(((4(S)(2Metilbutoksi)Fenil) İmino)Metil)Fenol ün Termodinamik Etkileşim Parametrelerinin Ters Gaz Kromatografisi İle Belirlenmesi"*,
   F. Sesigür, D. Sakar, O. Yasa-Sahin, F. Kuruoglu, F. Cakar, M. Mogulkoc, M. Calıskan, O. Cankurtaran, M. Serin, B. Bilgin-Eran, İstanbul Üniversitesi, Kimya Günleri, İSTANBUL/TÜRKİYE (2011)

4. *"Electrical Characterization of PSDA-1,-2 and PSDA-b-PEG"*
   O. Yazıcı, M. Calıskan, F. Kuruoğlu, F. Cakar, M. Mogulkoc, M. Serin, F. Karaman, 28. Uluslararası Fizik Kongresi, MUĞLA/TÜRKİYE (2011)

5. *"Electrical Properties Of Blends Of Poly(Ether Imide) And A Copolyester Of Bisphenol-A With Terephthalic And Isophthalic Acids"*
   F. Cakar, F. Kuruoglu, M. Serin, O. Cankurtaran, F. Karaman, 28. Uluslararası Fizik Kongresi, MUĞLA/TÜRKİYE (2011)

6. *"Electrical Characterization of Thermotropic Liquid Crystal"*
   F. Sesigür, D. Sakar, O. Yasa-Sahin, F. Kuruoglu, F. Cakar, M. Mogulkoc, M. Calıskan, O. Cankurtaran, M. Serin, B. Bilgin-Eran, 28. Uluslararası Fizik Kongresi, MUĞLA/TÜRKİYE (2011)

Proje

1. Metallomesogenlerin Sentezi, Mesomorfik Özelliklerinin ve Polimer Karışımlarının Çeşitli Yöntemlerle İncelenmesi, 2011-05-02

2. Metal/Organik-İnorganik/CdS/ITO ince film Hibrit Eklemlerin Yapısal, Elektrik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi, 2011-01-04