

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YMnO₃ ve YCoO₃ FERROELEKTRİK MALZEME
ESASLI Si TABANLI FOTODİYOTLARIN
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ**

Denizhan ÖZMEN

Doktora Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU

AĞUSTOS 2015

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YMnO₃ ve YCoO₃ FERROELEKTRİK MALZEME ESASLI Si TABANLI
FOTODİYOTLARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

DOKTORA TEZİ

Denizhan ÖZMEN

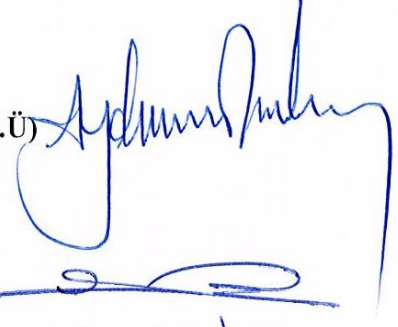
(991114202)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 5 Ağustos 2015

Tezin Savunulduğu Tarih: 26 Ağustos 2015

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU (F.Ü.)



Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Raşit ZENGİN (F.Ü.)



Yrd. Doç.Dr. Fethi DAĞDELEN (F.Ü.)



Prof.Dr. Şükrü KARATAŞ (K. S. Ü.)



Doç.Dr. Enver AYDIN (D.Ü.)



AĞUSTOS 2015

ÖNSÖZ

Bu doktora tezimde, emeği geçen ve destekleyen danışmanım Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU'na, teşekkür ederim. Ayrıca Nanoteknoloji Laboratuvarı'nda çalışan Mesut YALÇIN, Ayşegöl DERE, Bilal ARİF, Mürüvet KALAY, Mustafa İLHAN, Cihat AYDIN, Handan AYDIN, Doç.Dr. Mehmet ÇAVAŞ, Ufuk ÇİFTÇİOĞLU'na ve Nanoteknoloji Laboratuvar'ındaki tüm araştırmacılara teşekkür ederim.

Aynı zamanda FÜBAP çalışanlarına da, tezimi FF.12.01 nolu doktora projesi ile desteklediğinden dolayı teşekkür ederim.

Eşime ve çocuklarıma da gösterdikleri sabırdan ve özveriden ötürü teşekkür ederim.

Elazığ – 2015

Denizhan ÖZMEN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ	XI
SEMBOLLER LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR	5
2.1. Yarıiletkenler ve pn Eklemleri	5
2.2. Metal-Yarıiletken Kontak Türleri	9
2.2.1. n-tipi Yarıiletken/Metal Doğrultucu Kontak	11
2.2.2. p-tipi Yarıiletken/Metal Doğrultucu Kontak	13
2.2.3. n-tipi Yarıiletken/Metal Omik Kontak	15
2.2.4. p-tipi Yarıiletken/Metal Omik Kontak	16
2.3. Metal-Yarıiletken Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları.....	16
2.3.1. Termoyonik Emisyon	18
2.3.2. Difüzyon Teorisi.....	21
2.3.3. Termoyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED).....	23
2.3.4. Engel Boyunca Tünelleme	23
2.4. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) Schottky Diyotlar	24
3. FOTODİYOTLAR	30
3.1. Metal-Yarıiletken Fotodiyotlar.....	30
3.2. p-i-n Eklem Fotodiyotlar	32
3.3. Schottky Fotodiyot	32
3.4. Heteroeklem Fotodiyot.....	33
3.5. Fotodiyotların Akım-Voltaj Karakteristiği.....	33
3.6. Fotodiyotların Kapasite-Voltaj Karakteristiği.....	35
3.7. Fotovoltaik Parametreler	35
3.7.1. Kuantum Verimliliği ve Fotoduyarlılık.....	35
3.7.2. Seri Direnç.....	36

3.7.3.	Şönt Direnci.....	36
3.7.4.	Açık-Devre Voltajı.....	37
3.7.5.	Kısa-Devre Akımı	37
3.7.6.	Spektral Cevap	37
3.7.7.	Doldurma Faktörü	38
3.7.8.	Arayüzey Durumları.....	39
3.8.	Ferroelektrik	40
4.	MATERYAL ve METOT	42
4.1.	Malzeme Üretim Aşamaları	42
4.2.	Malzemelerin Karakterizasyonu.....	42
4.2.1.	$Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ Malzemelerin SEM Ölçümleri	43
4.2.2.	$Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ Malzemelerin SEM Ölçümleri	47
4.2.3.	$Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ Malzemelerin FTIR Ölçümleri.....	51
4.2.4.	$Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ Malzemelerin FTIR Ölçümleri.....	53
4.2.5.	$Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ Malzemelerin Xrd Analizleri	55
4.3.	$Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ Malzemelerinin Ferroelektrik Histerezisleri	61
4.4.	Diyotların Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri.....	62
4.4.1.	Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au ve Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au Diyotlarının Akım-voltaj (I-V) Karakteristikleri.....	63
4.5.	Diyotların Kapasite-İletkenlik Voltaj Karakteristikleri.....	65
4.5.1.	Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au ve Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au Diyotlarının Kapasite-İletkenlik Voltaj Karakteristikleri	67
4.5.2.	Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au ve Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au Diyotlarının Seri Direnç Ölçüm Karakteristikleri.....	88
4.6.	Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au ve Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au Diyotlarının Fotovoltaik ve Fotoiletkenlik Ölçümleri.....	92
4.6.1.	Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au ve Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au Diyotlarının I-V, I-t ve I_{ph} -P Ölçüm Karakteristikleri	92
5.	SONUÇ ve TARTIŞMA	111
6.	KAYNAKLAR	115
7.	ÖZGEÇMİŞ	120

ÖZET

Y_{1-x}MnO₃ ve Y_{1-x}CoO₃ FERROELEKTRİK MALZEME ESASLI Si TABANLI FOTODİYOTLARIN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bu tez çalışmasında Y_{1-x}Sr_xCoO₃ ve Y_{1-x}Sr_xMnO₃ malzemeleri sol-jel metodu kullanılarak hazırlandı. Hazırlanan malzemelerin yapısal özellikleri için, SEM (taramalı elektron mikroskopisi), FTIR spektroskopisi ve XRD analizleri yapıldı.

Diyotların elektriksel ve fotoduyarlılık özellikleri I-V, I-t ve C-G-V ölçümleri alınarak incelendi. Hazırlanan diyotların fotodiyot özelliği sergilediği belirlendi. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au fotodiyotları Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au fotodiyotlarından daha iyi fotoduyarlılık özellik gösterdi. Yapılan ölçümler Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarının optoelektronik uygulamalarda fotodiyot olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotodiyot, ferroelektrik, sol-jel

SUMMARY

ELECTRICAL PROPERTIES OF $\text{Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ AND $\text{Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ FERROELECTRIC MATERIAL BASED Si PHOTODIODE

In this thesis, $\text{Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ and $\text{Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ samples were prepared by sol-gel method. The structural properties of $\text{Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ and $\text{Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ samples were analyzed using FTIR spectroscopy, Scanning Electron Microscopy and X-ray diffraction techniques.

Electrical and photoresponse properties of the diodes were investigated by I-V, I-t and C-G-V measurements. The prepared diodes exhibited a photodiode behaviour. The photoresponse properties of $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ are better than that of $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ diodes. The obtained results indicate that $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ and $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ diodes can be as well as a photodiode in optoelectronic applications.

Keywords: Photodiode, ferroelectric, sol-gel

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Metal, yarıiletken ve yalıtkanın bant yapıları	5
Şekil 2.2. n tipi ve p tipi yarıiletkenler	6
Şekil 2.3. (a) p ve n tipi yarıiletkenlerin bant yapısı. (b) p-n eklem bant yapısı	6
Şekil 2.4. (a) Doğru polarlamalı pn eklemi, (b) ters polarlamalı pn eklemi	7
Şekil 2.5. (a) Homoeklemin yapısı ve Fermi enerjileri (b) Heteroeklemin yapısı ve Fermi enerjileri	7
Şekil 2.6. p-n eklem bant yapısının akım-gerilim karakteristiği	8
Şekil 2.7. n-tipi, p-tipi ve metalin enerji bant diyagramları	10
Şekil 2.8. n-tipi metal yarıiletken doğrultucu kontak bant diyagramı	11
Şekil 2.9. p-tipi metal yarıiletken doğrultucu kontak bant diyagramı	14
Şekil 2.10. (a) nötr halde metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramları (b) termal ... dengede n-tipi yarıiletken/metal omik kontak bant diyagramı, (c) $V > 0$ (düz besleme) durumundaki enerji bant diyagramı (d) $V < 0$ (ters besleme) durumundaki enerji bant diyagramı	15
Şekil 2.11. (a) nötr halde metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramları (b) termal dengede p-tipi yarıiletken/metal omik kontak bant diyagramı, (c) $V > 0$ (düz besleme) durumundaki enerji bant diyagramı, (d) $V < 0$ (ters besleme) durumundaki enerji bant diyagramı	16
Şekil 2.12. Düz beslemede metal/n-tipi yarıiletken oluşum mekanizmaları	17
Şekil 2.13. Termiyonik emisyon teoremine göre yük geçişleri	19
Şekil 2.14. Yüksek katkı metal/n tipi yarıiletken eklem bant diyagramı	24
Şekil 2.15. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) Schottky Diyot	25
Şekil 2.16. İdeal bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) Schottky diyotun $V = 0$ durumunda enerji-bant diyagramı	25
Şekil 2.17. $V \neq 0$ durumunda İdeal bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) Schottky diyotun enerji-bant diyagramı	27
Şekil 2.18. İdeal MIS diyodun (a) biriktirme (b) tükenim (c) terslenim durumlarının eşdeğer devreleri	27
Şekil 3.1. Fotonlarla uyatarak (a) bantlar arası geçiş (b) safsızlık seviyesi ile iletim bantları arasındaki fotouyarma	30
Şekil 3.2. Aydınlatılan bir metal-yarıiletken eklem şematik diyagramı	31
Şekil 3.3. Sıfır beslemede Schottky fotodiyotta oluşum fotoakımı	32

Şekil.3.4. Bir Schottky fotodiyotun yapısı	33
Şekil 3.5. Fotodiyotun aydınlık ve karanlık durumlardaki akım-gerilim karakteristiği.....	34
Şekil 3.6. a. Seri ve şönt dirençleri kapsayan foto diyotun eşdeğer devresi. b. Bir foto diyodun tipik aydınlatma ve karanlık I-V karakteristikleri c. Isık şiddetinin fonksiyonu olarak V_{oc} ve J_{sc} 'leri	38
Şekil 3.7. qV_{oc} 'nin fonksiyonu olarak V_m / V_{oc} , I_m / I_{sc} ve FF'in değişimi	39
Şekil.3.8. $YMnO_3$ 'ün C-V eğrisi	40
Şekil 3.9. $YMnO_3$ 'ün C/C_{ox} ve N_{ss} -E eğrileri.....	41
Şekil 4.1. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au malzemesinin $x=0$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu	43
Şekil 4.2. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au malzemesinin $x=0.01$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu	44
Şekil 4.3. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au malzemesinin $x=0.05$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu	45
Şekil 4.4. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au malzemesinin $x=0.15$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu	46
Şekil 4.5. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au malzemesinin $x=0$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu	47
Şekil 4.6. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au malzemesinin $x=0.01$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu	48
Şekil 4.7. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au malzemesinin $x=0.05$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu	49
Şekil 4.8. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au malzemesinin $x=0.15$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu	50
Şekil 4.9. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au malzemesinin $x=0$ için FTIR spektrumu.....	51
Şekil 4.10. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au malzemesinin $x=0.01$ için FTIR spektrumu.....	51
Şekil 4.11. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au malzemesinin $x=0.05$ için FTIR spektrumu.....	52
Şekil 4.12. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au malzemesinin $x=0.15$ için FTIR spektrumu.....	52
Şekil 4.13. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au malzemesinin $x=0$ için FTIR spektrumu.....	53
Şekil 4.14. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au malzemesinin $x=0.01$ için FTIR spektrumu.	53
Şekil 4.15. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au malzemesinin $x=0.05$ için FTIR spektrumu.....	54
Şekil 4.16. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au malzemesinin $x=0.15$ için FTIR spektrumu.....	54
Şekil 4.17. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0$ malzemesinin XRD analizi	56
Şekil 4.18. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0.01$ malzemesinin XRD analizi	56

Şekil 4.19. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0.05$ malzemesinin XRD analizi	57
Şekil 4.20. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0.15$ malzemesinin XRD analizi	57
Şekil 4.21. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0$ malzemesinin XRD analizi	58
Şekil 4.22. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0.01$ malzemesinin XRD analizi	59
Şekil 4.23. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0.05$ malzemesinin XRD analizi	59
Şekil 4.24. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0.15$ malzemesinin XRD analizi	60
Şekil 4.25. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin histerezisi	61
Şekil 4.26. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin histerezisi	62
Şekil 4.27. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotlarının $x=0$, $x=0.01$, $x=0.05$ ve $x=0.15$ için I-V grafiği.....	64
Şekil 4.28. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotlarının $x=0$, $x=0.01$, $x=0.05$ ve $x=0.15$ için I-V grafiği	65
Şekil 4.29. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.....	67
Şekil 4.30. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.....	67
Şekil 4.31. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.....	68
Şekil 4.32. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.....	68
Şekil 4.33. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.....	69
Şekil 4.34. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.....	69
Şekil 4.35. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.	70
Şekil 4.36. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.....	70
Şekil 4.37. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği	71
Şekil 4.38. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği	71
Şekil 4.39. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği	72
Şekil 4.40. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği	72
Şekil 4.41. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği	73
Şekil 4.42. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği	73
Şekil 4.43. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği	74
Şekil 4.44. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği.	74
Şekil 4.45. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği	75
Şekil 4.46. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği	75
Şekil 4.47. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği	76
Şekil 4.48. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği	76
Şekil 4.49. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği	77
Şekil 4.50. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği	77

Şekil 4.51. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği	78
Şekil 4.52. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği	78
Şekil 4.53. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği	79
Şekil 4.54. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği	80
Şekil 4.55. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği	80
Şekil 4.56. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği	81
Şekil 4.57. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği	81
Şekil 4.58. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği	82
Şekil 4.59. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği	82
Şekil 4.60. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği	83
Şekil 4.61. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun D_{it} grafiği	84
Şekil 4.62. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun D_{it} grafiği	84
Şekil 4.63. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun D_{it} grafiği	85
Şekil 4.64. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun D_{it} grafiği	85
Şekil 4.65. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun D_{it} grafiği	86
Şekil 4.66. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun D_{it} grafiği	86
Şekil 4.67. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun D_{it} grafiği	87
Şekil 4.68. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun D_{it} grafiği	87
Şekil 4.69. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.....	88
Şekil 4.70. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.....	88
Şekil 4.71. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.....	89
Şekil 4.72. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.....	89
Şekil 4.73. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.....	90
Şekil 4.74. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.....	90
Şekil 4.75. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.....	91
Şekil 4.76. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.....	91
Şekil 4.77. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I-V grafiği	93
Şekil 4.78. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I-V grafiği	93
Şekil 4.79. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I-V grafiği	94
Şekil 4.80. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I-V grafiği	94
Şekil 4.81. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-V grafiği	95
Şekil 4.82. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-V grafiği	95
Şekil 4.83. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-V grafiği	96
Şekil 4.84. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-V grafiği	96

Şekil 4.85. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I_{ph} -P grafiği	98
Şekil 4.86. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I_{ph} -P grafiği	98
Şekil 4.87. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I_{ph} -P grafiği	99
Şekil 4.88. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I_{ph} -P grafiği	99
Şekil 4.89. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I_{ph} -P grafiği	100
Şekil 4.90. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I_{ph} -P grafiği	100
Şekil 4.91. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I_{ph} -P grafiği	101
Şekil 4.92. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I_{ph} -P grafiği	101
Şekil 4.93. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.....	102
Şekil 4.94. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.....	103
Şekil 4.95. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.....	104
Şekil 4.96. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.....	105
Şekil 4.97. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.....	106
Şekil 4.98. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.....	107
Şekil 4.99. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.....	108
Şekil 4.100. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.....	109

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1.	Omik ve doğrultucu oluşturabilmek için kullanılan yarıiletken tipi ve iş fonksiyonlarının durumu	11
Tablo 4.1.	Şekil 4.1. de görülen Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au malzemesinin x=0 için EDX spektrum sonuçları	43
Tablo 4.2.	Şekil 4.2. de görülen Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au malzemesinin x=0.01 için EDX spektrum sonuçları	44
Tablo 4.3.	Şekil 4.3. de görülen Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au malzemesinin x=0.05 için EDX spektrum sonuçları	45
Tablo 4.4.	Şekil 4.4. de görülen Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au malzemesinin x=0.15 için EDX spektrum sonuçları	46
Tablo 4.5.	Şekil 4.5’de görülen Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ Au malzemesinin x=0 için EDX spektrum sonuçları	47
Tablo 4.6.	Şekil 4.6’da görülen Al/p-Si/ Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ /Au malzemesinin x=0.01 için EDX spektrum sonuçları	48
Tablo 4.7.	Şekil 4.7’de görülen . Al/p-Si/ Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ /Au malzemesinin x=0.05 için EDX spektrum sonuçları	49
Tablo 4.8.	Şekil 4.8’de görülen Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ /Au malzemesinin x=0.15 için EDX spektrum sonuçları	50
Tablo 4.9.	Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ x=0 malzemesinin kristal özellikleri	56
Tablo 4.10.	Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ x=0.01 malzemesinin kristal özellikleri.	56
Tablo 4.11.	Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ x=0.05 malzemesinin kristal özellikleri	57
Tablo 4.12.	Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ x=0.15 malzemesinin kristal özellikleri	57
Tablo 4.13.	Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ x=0 malzemesinin kristal özellikleri	58
Tablo 4.14.	Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ x=0.01 malzemesinin kristal özellikleri	59
Tablo 4.15.	Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ x=0.05 malzemesinin kristal özellikleri	60
Tablo 4.16.	Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ x=0.15 malzemesinin kristal özellikleri	60
Tablo 4.17.	Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ ve Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ malzemelerinin P _r değerleri.....	62
Tablo 4.18.	Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au diyotlarının I-V karakteristiğinden hesaplanan elektronik parametreleri	64
Tablo 4.19.	Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ /Au diyotlarının I-V karakteristiğinden hesaplanan elektronik parametreleri	65

Tablo 4.20. Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au diyotlarının C ⁻² -V karakteristiğinden hesaplanan elektronik parametreleri	79
Tablo 4.21. Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au diyotlarının C ⁻² -V karakteristiğinden hesaplanan elektronik parametreleri	79
Tablo 4.22. Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au diyotlarının B ve m değerleri	97
Tablo 4.23. Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ /Au diyotlarının B ve m değerleri	97
Tablo 4.24. Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au diyotlarının S _{ph} ve R değerleri.....	110
Tablo 4.25. Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ /Au diyotlarının S _{ph} ve R değerleri.....	110

SİMGELER LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış simgelerin bazıları aşağıda verilmiştir.

<u>Simge</u>		<u>Birim</u>
V_D	: Difüzyon voltajı	(V)
N_C	: İletkenlik bandındaki etkin taşıyıcı yoğunluğu	(cm^{-3})
N_D	: Verici yoğunluğu	(cm^{-3})
N_a	: Taşıyıcı yoğunluğu	(cm^{-3})
ϵ	: Dielektrik sabiti	Farad/m
A	: Kontak alanı	cm^2
A^*	: Richardson sabiti	($\text{A}/\text{cm}^2 \text{ K}^2$)
χ	: Yarıiletkenin elektron ilgisi	(eV)
δ	: Metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan tabakanın kalınlığı	(Å)
m^*	: Etkin kütle	(kg)
I	: Akım	(A)
V	: Voltaj	(volt)
T	: Mutlak sıcaklık	(K)
I_0	: Sızıntı akımı	(A)
R_s	: Seri direnç	(Ω)
n	: İdealite faktörü	
k	: Boltzman sabiti	J/K
q	: Yük	(C)
Φ_B	: Bariyer yüksekliği	(eV)
V_{bi}	: Engel potansiyeli	(volt)
D_{it}	: Arayüzey durum yoğunluğu	($\text{eV}^{-1}\text{cm}^{-2}$)
I_{ph}	: Fotoakım	(A)
S_{ph}	: Fotoiletkenlik hassasiyeti	($\text{m}/\Omega\text{W}$)
R	: Fotoduyarlılık	(A/W)
E_g	: Yasak enerji aralığı	(eV)
E_v	: Valans bandı seviyesi	(eV)
E_c	: İletim bandı seviyesi	(eV)
E_{vak}	: Vakum seviyesi	(eV)
E_F	: Fermi enerji seviyesi	(eV)

I_k	: Karanlık akım	(A)
ρ	: Uzay yük yoğunluğu	(C/m ³)
Φ_m	: Metalin iş fonksiyonu	(eV)
Φ_s	: Yarıiletkenin iş fonksiyonu	(eV)
e	: Elektron yükü	(C)
J	: Akım yoğunluğu	(A/m ²)
C	: Kapasitans	(F)
μ	: Mobilite	(cm ² /V.s)
G	: İletkenlik	(S)
I_F	: Düz beslem akımı	(A)
I_R	: Ters beslem akımı	(A)
MS	: Metal-yarıiletken yapı	
MIS	: Metal-yalıtkan-yarıiletken yapı	
MOS	: Metal-oksit-yarıiletken yapı	
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrokopisi	
SEM	: Taramalı elektron mikroskopisi	

.

1.GİRİŞ

Metal-yarıiletken omik ve doğrultucu kontaklar elektronik endüstrisinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Schottky diyot olarak da bilinen metal-yarıiletken doğrultucu kontaklar birçok yarıiletken aygıt uygulamalarında yer almaktadır. Schottky diyotlarının engel akımının sıcaklık bağımlılığının p-n diyotuna göre zayıf olması ve tükenim bölgesinde yeniden birleşme (rekombinasyon) merkezlerinin yok denecek kadar az bulunması bazı uygulamalarda bu diyot tipinin p-n diyotuna göre tercih edilir olmasına yol açmıştır. Metal-yarıiletken doğrultucu kontaklar, farklı aygıt ve devre uygulamalarının yanı sıra yarıiletken materyallerin karakterizasyonunda kullanılan önemli araçlardan biridir. Yarıiletkenlerin gövde ve yüzey parametrelerini belirlemede kullanıldıkları için fiziksel özellikleri ve üretimleri birçok araştırmacı tarafından yoğun bir şekilde çalışılmaktadır [1]. Metal-yarıiletken (MS) Schottky diyotların temel fiziksel özellikleri ve akım-iletim (I-V) mekanizmaları literatürde geniş bir şekilde incelenmiştir [2-4].

Metal–yarıiletken (MS) kontakların doğrultucu özellikleri F. Braun tarafından keşfedilmiş sonraki yıllarda daha kapsamlı çalışmalar Schottky tarafından yapılmıştır. Metal-yalıtkan-yarıiletken yapılar elektronik teknolojisinde birçok aygıtın yapılmasında önemli rol oynamıştır. Bir Schottky diyotun güvenilirliği ve performansını, metal ile yarıiletken arayüzey kalitesi etkiler. Bir MIS yapı için yarıiletkenin arayüzey çalışmaları önemlidir. Yarıiletken kullanılarak yapılan aygıtların kararlılığı ve güvenilirliği, aygıtların yapımında önemli yer tutan MIS diyotların arayüzey fiziğinin anlaşılması ile yakından ilgilidir. Özel bir fabrikasyon durumu olmadıkça bir Schottky bariyer diyotta metal ile yarıiletken arasında doğal bir oksit tabaka meydana gelir. Bu yalıtkan tabaka MS diyotları MIS diyotlara çevirerek diyotun karakteristiğini önemli ölçüde etkiler ve MIS yapının elektriksel özelliklerini değiştirir. MS ve MIS yapıların performansını etkileyen birçok etken vardır. Bu etkenlerin başında metal-yarıiletken arayüzeyinde yalıtkan oksit tabakanın kalınlığı ve homojensizliği, yarıiletken-yalıtkan arasında bulunan arayüzey durumları, yapının seri direnci ve sıcaklığı gelmektedir. Bu faktörler yapının ideal durumdan sapmasına neden olduğu için hesaplamalarda bu etkenlerin dikkate alınması, sonuçların güvenilirliğini ve doğruluğunu artıracaktır. Metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan oksit tabaka doğal yollarla oluşabileceği gibi deneysel ortamda yapay olarak da oluşturulabilir. Arayüzeydeki yalıtkan tabakanın

varlığı Schottky kontakların elektriksel ve optik özelliklerini önemli ölçüde değiştirir. Bu nedenle son yıllarda metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapılarla ilgili çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Metal olarak genellikle altın (Au), alüminyum (Al) gibi yüksek iletkenlik ve saflıktaki metaller kullanılırken yalıtkan olarak SiO_2 , TiO_2 , SnO_2 ve Si_3N_4 gibi organik veya inorganik materyaller kullanılır [5].

3d geçiş metal oksitleri metal- yalıtkan geçişi yapabilirler [6]. Schottky'nin geliştirdiği modelde yarıiletkende oluşan elektrik alan, Poisson denklemi ile uyumlu bir biçimde tükenim bölgesinden olan uzaklıkla lineer olarak artar, potansiyel ise ikinci dereceden azalır. Bu düşünceden oluşan model Schottky engeli olarak bilinir. Aynı tarihlerde Mott'da teorik bir model tasarladı. Mott, yarıiletkenin metal ile birleşiminde yüklü safsızlıklardan yoksun ince bir engele sahip olduğunu kabul etti. Bu tabakada elektrik alan sabit kalacak fakat potansiyel lineer olarak değişecektir. Mott'a göre potansiyel engeli, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklanır. Engelin şeklinin belirlenmesinde uzay yükünün rolü hakkındaki benzer çalışmalar Davyday tarafından da gerçekleştirilmiştir [7].

Metal ile yarıiletken arasında yalıtkan tabakanın diyotun karakteristiğine etkisini ilk olarak Crowley ve Sze tarafından bulunarak incelendi [8].

Metal oksit yarıiletken (MOS) yapılarda metal ile yarıiletken arasında doğal veya çeşitli yöntemlerle oksidasyon edilmesi ile oluşur. Metal ile yarıiletken arasına oluşturulan yalıtkan tabaka hem metal ve yarıiletkeni birbirinden izole eder hem de yük geçişlerini düzenler [9].

Bir fotodiyot, temel olarak ışığa duyarlı bir yarıiletken diyottur. Diyodun yapısı ya bir p-n eklemi ya da bir metal-yarıiletken kontağıyla oluşturulur [10]. Bir fotodiyot, anot ve katot olmak üzere iki elektriksel kontak ile bir yarıiletkenden oluşur. Fotodiyotlar, ışık şiddetini elektriksel işarete en etkili şekilde çevirmektedirler. Çevirme işleminin etkinliği fotodiyotun karakteristiğine bağlıdır [11].

Fotodiyotlar, ters yönde kutuplandıkları zaman üzerlerine düşen ışıkla orantılı olarak ters akımları değişir. Bilindiği gibi diyotlar ters yönde kutuplandıklarında μA veya nA seviyesinde ters akımlar oluşur. Dolayısıyla fotodiyotlar, üzerlerine düşen ışık miktarı arttıkça ters akımların artması prensibine dayanarak yapılmışlardır [12].

Ferroelektrik malzemeler, bir elektrik alan uygulanmadığında da dipol yapıya sahip moleküllerdir. Belli bir sıcaklık aralığında (Cüre sıcaklığı) bu özelliği gösterirler ve dielektrik sabitleri çok yüksektir. Bu yüzden elektronik devrelerde yüksek kapasiteyi, küçük boyutlarda

ferroelektrik malzeme ile yapmak mümkündür. YMnO_3 ve YCoO_3 bileşiklerinin ferroelektrik özellikleri önceki çalışmalarda incelemiştir [48,49]. Malzemeler perovskit yapıdadır, perovskit yapı ABO_3 genel formülüne benzer yapıda oksitlerin ve ya oksit olmayan yapılardır. Diğer oksit sınıflarına göre perovskit bileşikler çok farklı çeşitte elementin farklı oranı ile üretilir. Bunun nedeni perovskit yapının distorsiyonu ile farklı büyüklükte katyonların yapıya girebilmesi ve farklı yapı kristallerinin oluşmasıdır.

Yttriyum periyodik tabloda Y ile gösterilen atom numarası 39, kütle numarası 88 ve 90 olan 3. grup geçiş elementidir. Yttriyum ile hazırlanan birçok bileşik ve ya alaşım süper iletken özellik göstermektedir. Yttriyum elementinin süper iletken parametrelerini normal şartlarda göstermemesine rağmen yüksek basınç altında hazırlanan bileşiklerinin ince filmleri ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$, $\text{YFe}_{11-x}\text{Co}_x\text{Ti}$, $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$, $\text{Y}_{0.9}\text{Ca}_{0.1}\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$, $\text{Y}_1\text{Ba}_1\text{Cu}_1\text{O}_5$, Y_2O_3 , $\text{Y}_4\text{Ba}_3\text{O}_9$ vb.) bu özellikleri göstermektedir [13].

Radyoaktif olmayan stronyum ve radyoaktif izotopları aynı fiziksel özelliklere sahiptir. Stronyum kurşun benzeri yumuşak bir metaldir. Stronyumdan, tıbbi ve tarımsal çalışmalarda yararlanılmaktadır. Stronyumdan radyoaktif bozunmadan dolayı açığa çıkan ısınn taşınabilir güç kaynaklarında elektrik üretimi için kullanma çalışmaları da sürmektedir [14].

Stronyum katkılı ferroelektrik heteroyapılar ilginç özellikleri ve elektronik cihazlarda uygulamaları ile büyük ilgi çekmiştir. BST (baryum-stronyum-titanyum) istenilen miktarda ayarlanabilmeleri, cihazların dielektrik kaybını optimize etmek amacıyla son yıllarda araştırılmıştır. Çok katlı yapının üniform yapı ile karşılaştırıldığında daha yüksek geçirgenlik, düşük dielektrik kaybı, geniş ayarlanabilirlik ve daha iyi piezoelektrik yapıya sahip oldukları belirlenmiş olup, belirtilen özelliklerin Ba/Sr oranı ile değişim gösterdiği görülmüştür [15].

Metal- yarıiletken yapıların, metal-oksit-yarıiletken yapıya dönüşmesi diyot yapımında önemli hale gelmiştir. Yapılan incelemelerde malzemelerin özellikleri C-V, I-V, G-V grafiklerinden belirlenmiştir. MOS yapılar oksit tabakalarının dielektrik özelliğinden dolayı yükü biriktirerek bir kapasitör oluşturur. Bu nedenle MOS malzemelerin bütün elektriksel özellikleri incelenmeye çalışılmıştır.

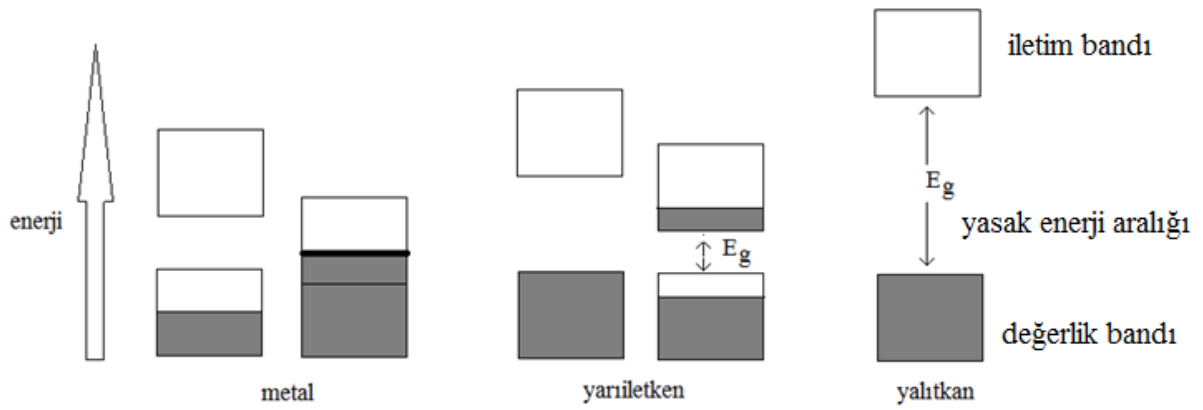
Bu çalışmada, YMnO_3 ve YCoO_3 metal oksit yarıiletkenleri sol-gel metodu ile üretilerek, Sr ile katkı yapılmıştır. Üretilen malzemelerin yapısal özellikleri incelendikten sonra, $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ ve $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ diyotları hazırlandı. Hazırlanan diyotların elektriksel ve fotoduyarlılık özellikleri I-V, I-t, R_s -V, C-V ve D_{it} -f ölçümleri

incelendi. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar karşılaştırılarak, bu diyotların optoelektronik uygulamalara uygunluğu araştırıldı.

2. METAL-YARIİLETKEN KONTAKLAR

2.1. Yarıiletkenler ve pn Eklemleri

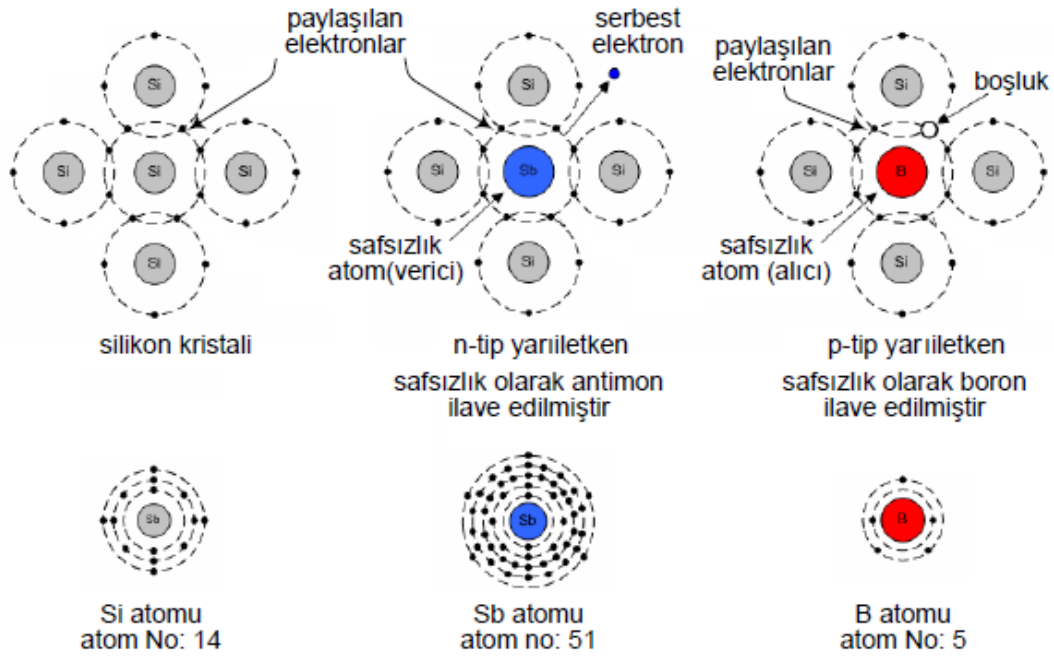
Yarıiletken malzemeler kullanım alanları bakımından çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Bir yarıiletken den iletken veya yalıtkan özellik gösteren malzemeler üretilebilir. Farklı katkılarla iletimi hol veya elektronlarla sağlayabiliriz. Elektronik malzemeleri, metal, yarıiletken ve yalıtkan olarak gruplandırabiliriz. Bunların elektriksel özellikleri bant şekil 2.1’deki gibi yapılarına göre açıklanabilir [57].



Şekil 2.1. Metal, yarıiletken ve yalıtkanın bant yapıları [57].

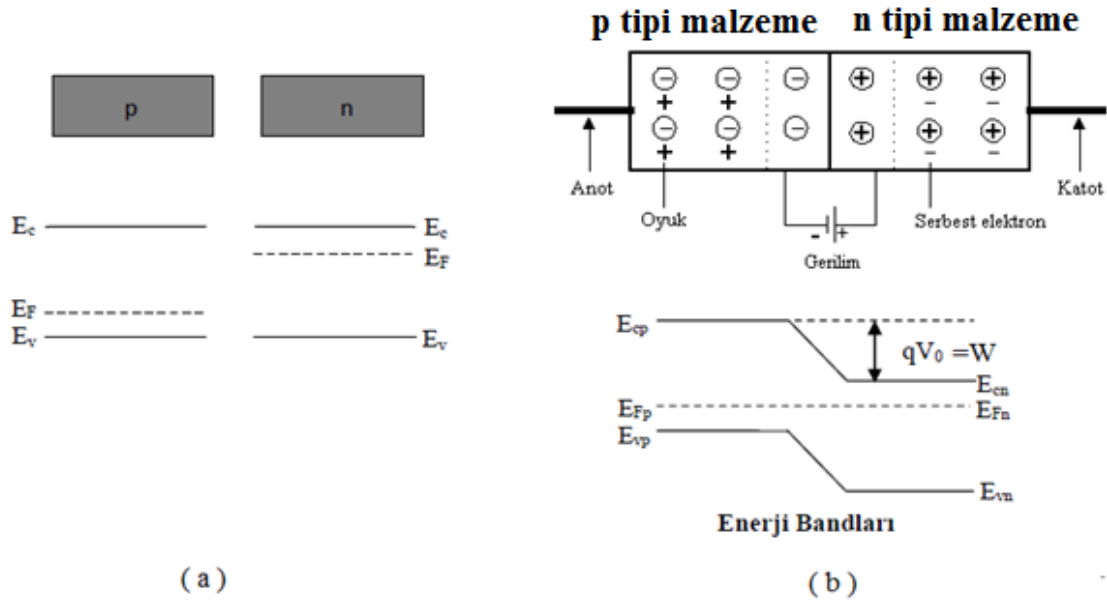
Metallerin öz direnci $10^{-10}\Omega\cdot m$ ile $10^{-2}\Omega\cdot m$, yarıiletkenlerin öz direnci $10^{-2}\Omega\cdot m$ ile $10^9\Omega\cdot m$, yalıtkanların öz direnci ise $10^{10}\Omega\cdot m$ ile $10^{22}\Omega\cdot m$ mertebelerindedir [57]. Bantların doluluk oranları da direnç üzerinde etkilidir. Yalıtkanların değerlik bandı tamamen dolu iletim bandı ise tamamen boş olduğundan herhangi bir elektrik alan uygulanırsa elektronlar hareket edemez.

IV. grup elementi olan silisyuma V. grup elementi katkılanırsa n-tipi, III. grup elementi katkılanırsa p-tipi yarıiletken oluşur (şekil 2.2). n-tipi yarıiletkendeki çoğunluk taşıyıcıları elektronlar ve azınlık taşıyıcıları boşluklar, p-tipi yarıiletkende ise çoğunluk taşıyıcıları boşluklar ve azınlık taşıyıcıları elektronlardır. Elektronlar, elektrik alan ile ters yönde hareket ederken, boşluklar elektrik alan doğrultusunda hareket ederler. İletim bandının minimum ve değerlik bandının maksimum dalga vektörü aynı ise yarıiletken direk bant geçişine, iletim bandının minimum ve değerlik bandının maksimum dalga vektörü farklı ise yarıiletken indirek bant geçişine sahip olur. Optoelektronik uygulamalar için direk bant geçişli yarıiletkenler daha elverişlidir.



Şekil 2.2. n tipi ve p tipi yarıiletkenler [56].

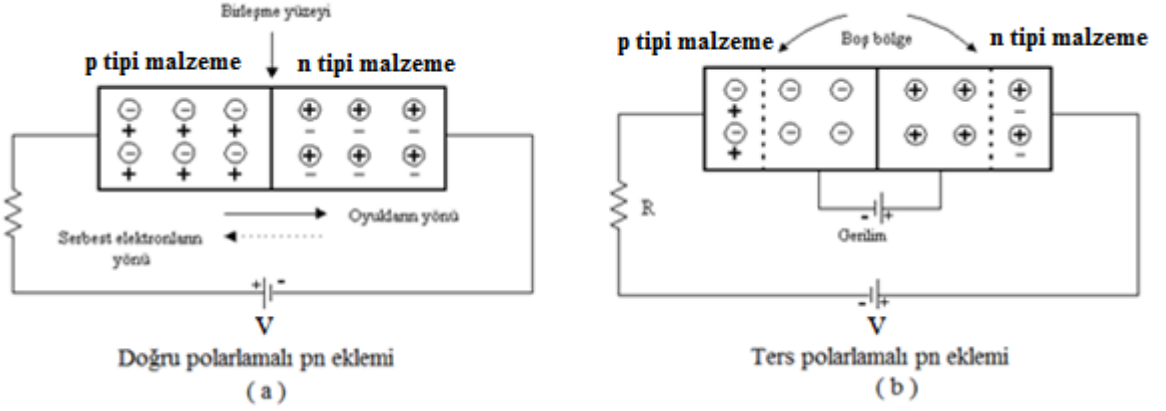
p-n eklemleri, farklı iletim mekanizmalarına sahip olan p tipi ve n tipi yarıiletkenlerin birleştirilmesi ile oluşan yapılardır (şekil 2.3).



Şekil 2.3. (a) p ve n tipi yarıiletkenlerin bant yapısı. (b) p-n eklemine bant yapısı [16].

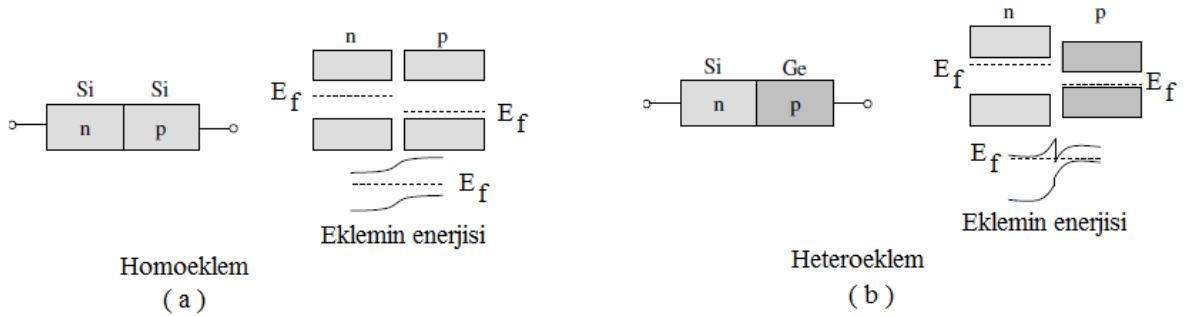
n tipinde elektronların, p tipinde ise hollerin akımı baskındır. Taşıyıcı konsantrasyonları, oluşan eklemden dolayı değişim gösterir ve difüzyon akımları meydana

gelir. Akımdan geriye kalan yükler elektrik alan oluşturur. Oluşan bu elektrik alan kullanılan yarıiletkenin cinsine, yapılan katkı oranına bağlı olarak değişim gösterir. Bu tip eklemler doğru ve ya ters polarlanabilir (şekil 2.4).



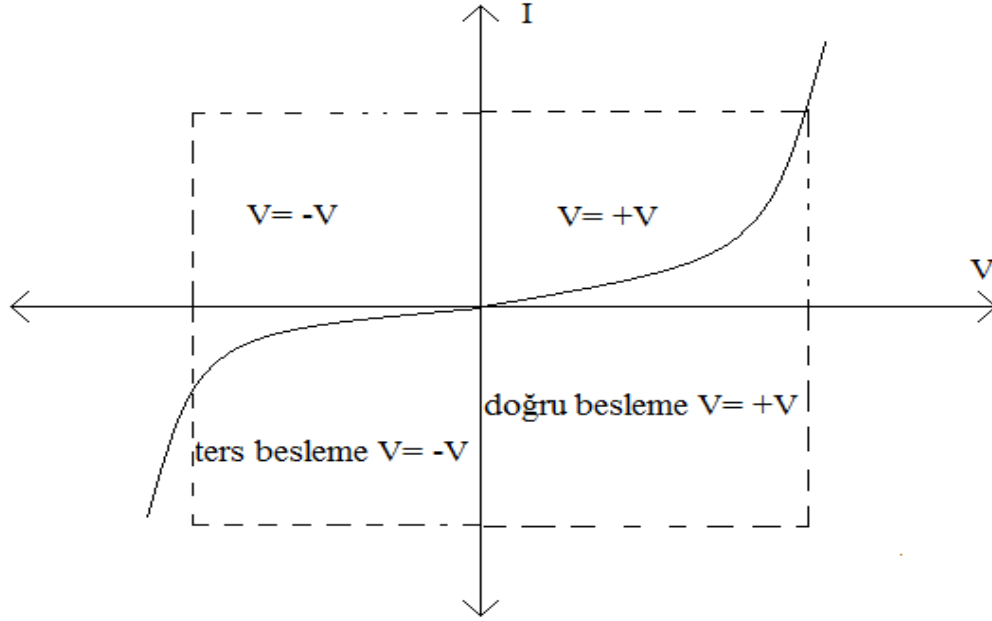
Şekil 2.4. (a) Doğru polarlamalı pn eklemi, (b) ters polarlamalı pn eklemi [16].

p-n eklemler aynı tür yarıiletkenden oluşturulmuş ise (örneğin Si:Si) homoeklem, farklı tür eklemlerden oluşmuşsa (örneğin Si:Ge) heteroeklem adını alır (Şekil 2.5). Heteroeklemlerin üretimi zordur. Ancak bu eklemler verimli optoelektronik devre elemanları üretmek için uygun yapılardır.



Şekil 2.5. (a) Homoeklemin yapısı ve Fermi enerjileri (b) Heteroeklemin yapısı ve Fermi enerjileri [16].

Bir p-n ekleminde oluşan yapısal elektrik alan yani tükenim bölgesinin genişliği ve uygulanan elektrik alan, ekleminden geçen akımın büyüklüğüne bağlıdır, p-n ekleminin uçları arasına uygulanan pozitif gerilim (doğru besleme) ile eklem üzerinden geçen akım üstel olarak artar. Negatif gerilim (ters besleme) altında ise akım önce küçük bir değer alır (karanlık akım), bu akım gerilime bağlı değildir. İletim bölgesinde p'den n'ye geçen holler ve n'den p'e geçen elektronların toplamı doğru akımı oluşturur. Daha sonra gerilimle beraber üstel olarak artar. Kesim bölgesinde ise belli bir gerilim değeri aşıldığı zaman iletme geçerek akımı arttırır. Şekil 2.6'da diyotun düz besleme ile ters beslemede I-V karakteristiği verilmiştir.



Şekil 2.6. p-n eklemının akım-gerilim karakteristiğı [18].

$$I(V) = I_k \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

I_k , karanlık akım, V gerilim, k Boltzman sabiti, T ise Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Bir p-n eklemine doğru besleme uygulanırsa uygulanan gerilimden kaynaklanan elektrik alan, yapısal alan ile zıt yönde olduğu için eklem bölgesindeki elektrik alan azalır (tükenim bölgesi daralır). Bu durumda yüklerin potansiyel engelini aşarak karşı tarafa geçmeleri ve devrede dolanan akım üstel olarak artar. Bir p-n eklemine ters besleme uygulanırsa p-n eklem uçları arasına uygulanan gerilimden kaynaklanan elektrik alan, yapısal alan ile aynı yönde olduğu için eklem bölgesindeki elektrik alan daha da büyür (tükenim bölgesi genişler). Bu durumda yüklerin karşı tarafa geçmeleri daha da zorlaşır. Ancak tükenim bölgesinde oluşan elektron ve deşik çiftlerinden kaynaklanan yapısal alandan dolayı yeniden birleşmeden n ve p tarafına geçerek karanlık akımı (I_k) oluşturur.

Herhangi bir p-n ekleminden diyot üretilirse, diyotun kapasitans-voltaj (C-V) karakteristiğinin incelenmesi gerekir. Elektrostatik potansiyel, ϕ ile yük yoğunluğu arasındaki ilişki Poisson denklemi ile belirlenir;

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_s} \quad (2.2)$$

burada ρ , yük yoğunluğudur ve ϵ_s yarıiletkenin dielektrik sabitidir. Tükenim bölgesi hareketli taşıyıcı yüklerin olmadığı ve komşu nötr bölgelerde hiçbir yük içermediği varsayımıdır. Buna istinaden elektrik alan bu bölgede meydana gelir ve aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_s} = \frac{dE(x)}{dx} \quad (2.3)$$

bu durumda tükenim bölgesi bir kondansatör halini alarak kapasite meydana getirir. Tükenim bölgesinin genişliği aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$W = \left[\frac{2\epsilon_s V_{bi}}{e} \left(\frac{N_d + N_a}{N_d N_a} \right) \right]^{1/2} \quad (2.4)$$

buna eklem kapasitansı veya tükenim bölge kapasitansı denir. Uygulanan voltaja karşı yükteki değişim aşağıdaki gibi ifade edilir [18];

$$C = \left| \frac{dQ}{dV} \right| \quad (2.5)$$

C^{-2} -V grafiği, C_{adj} -V grafikleri, p-n eklem diyotta meydana gelen bu kapasitansdan dolayı diyot karakteristiklerini belirleme açısından önemli yer tutar.

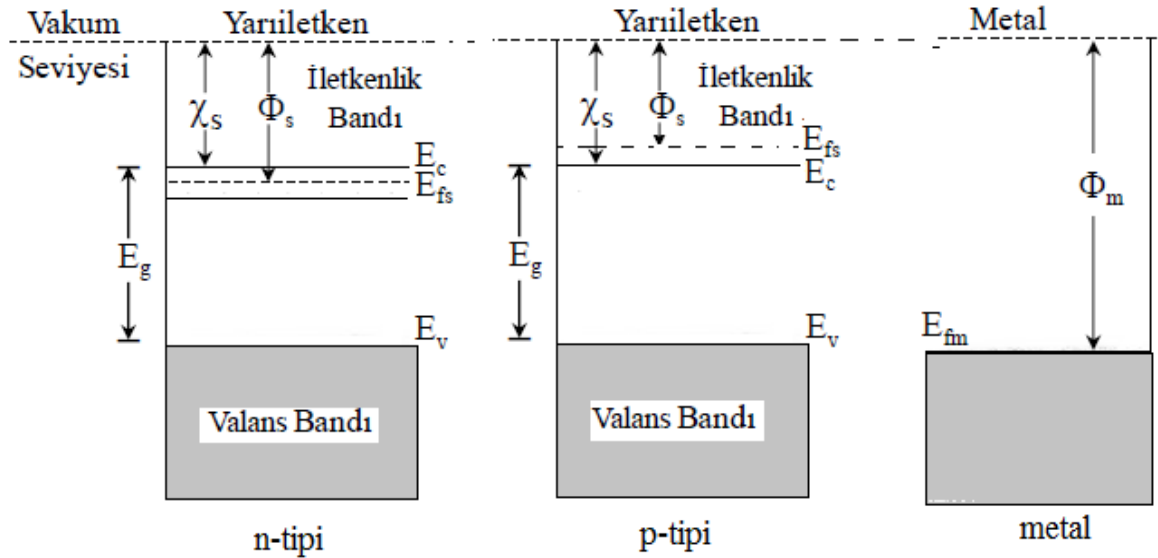
2.2. Metal-Yarıiletken Kontak Türleri

Metal-yarıiletken kontaklar, doğrultucu ve omik kontaklardan oluşur. Kontak oluşturulduğunda kontak yapılan maddelerin Fermi enerji seviyeleri eşitlenene kadar aralarında yük dağılımı gerçekleşir. Kontakların oluşma nedeni birleşim bölgelerinde ve arayüzey bölgelerinde oluşan potansiyel engel yüksekliğidir. Kontakların hangi tip olduğunu potansiyel engellerin yüksekliği, Fermi enerji seviyeleri (E_f), yarıiletkenin elektron yatkınlığı (χ_s) ve metalin iş fonksiyonu (Φ_m) ile yarıiletkenin iş fonksiyonu (Φ_s) arasındaki fark belirler. Burada adı geçen iş fonksiyonları; Φ_m , elektronları Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli en küçük enerji, Φ_s ise yarıiletkendeki elektronları Fermi enerji seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli olan enerji anlamındadır. χ_s iletkenlik bandı ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkıdır. Yarıiletkenlerin iş fonksiyonları yarıiletkenin yapıldığı maddeye ve katkı miktarına göre değişim gösterir. Vakum seviyesi,

metalin dışında bulunan ve kinetik enerjisi olmayan elektronun seviyesidir. Fermi enerjisi, mutlak sıfır sıcaklığındaki bir katıda, elektronlar tarafından taban durumundan itibaren işgal edilen en yüksekteki dolu seviyenin enerjisine denir. Fermi enerji seviyesi mutlak sıfırda (0K) dolu düzeyi boş düzeyden ayıran enerji seviyesidir. Fermi dağılım fonksiyonu sabittir ve aşağıdaki gibi ifade edilir [7,17,19].

$$f(E) = \frac{1}{\exp \frac{-(E_f - E)}{kT} + 1} \quad (2.6)$$

Fermi enerji seviyesi n tipi yarıiletkende donör düzeyinin hemen altında p tipinde ise akseptör seviyesinin hemen üstündedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. n-tipi, p-tipi ve metalin enerji bant diyagramları [17-19].

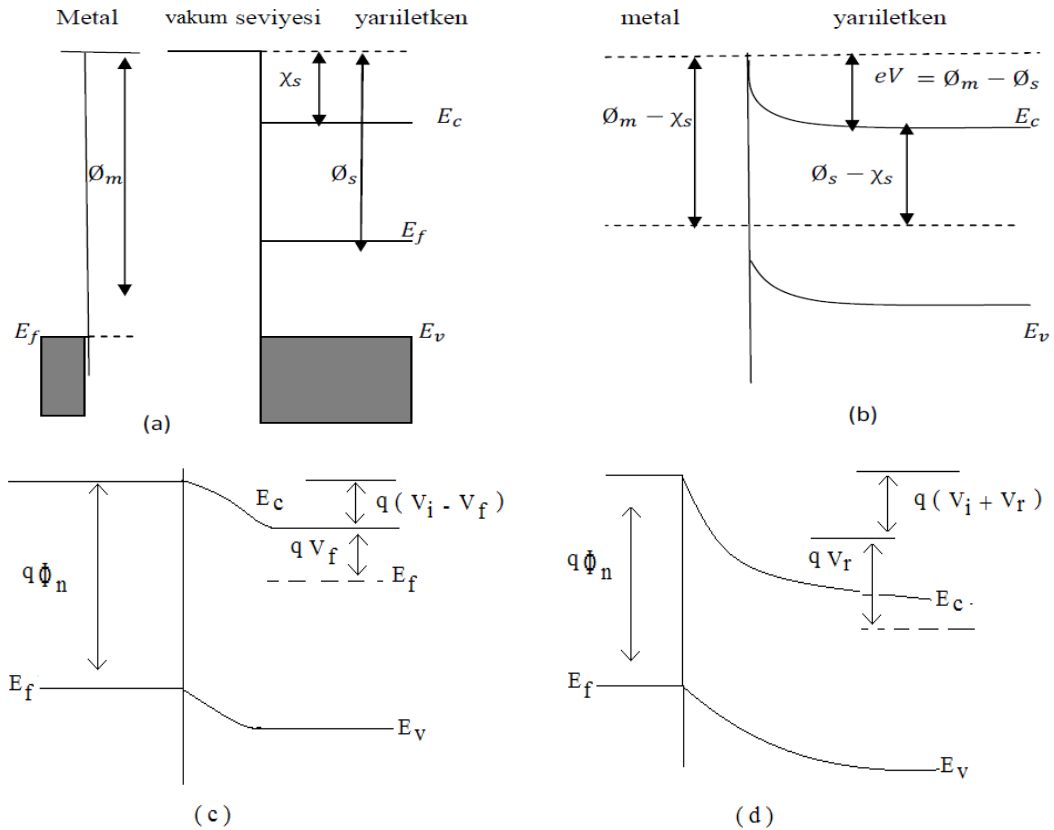
Doğrultucu kontaklarda yükler bir doğrultuda hareket edebilirken diğer doğrultuda hareket edememekte ve ya zor hareket edebilmektedir. Omik kontaklarda yükler her iki doğrultuda hareket edebilir. İş fonksiyonlarına göre kontak tipleri Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Omik ve doğrultucu oluşturabilmek için kullanılan yarıiletken tipi ve iş fonksiyonlarının durumu.

İş fonksiyonu	Yarıiletken tipi	Kontak çeşidi
$\Phi_m > \Phi_s$	p-tipi	omik
$\Phi_m < \Phi_s$	n-tipi	omik
$\Phi_m < \Phi_s$	p-tipi	doğrultucu
$\Phi_m > \Phi_s$	n-tipi	doğrultucu

2.2.1. . n-tipi Yarıiletken/Metal Doğrultucu Kontakt

İş fonksiyonları $\Phi_m > \Phi_s$ olduğu durumda n-tipi yarıiletken kullanılırsa doğrultucu kontak meydana gelir. Kontakt oluşturulmadan önce metal ile yarıiletken arasında Fermi enerji seviyesi farkı $\Phi_m - \Phi_s$ kadardır. Kontaktan sonra meydana gelen yük alışverişinde yarıiletkenden metale elektron geçişi olur. Fermi enerji seviyesi eşitlenene kadar yük geçişi devam eder. n-tipi metal yarıiletken doğrultucu kontağın enerji bant diyagramı şekil 2.8’de verilmiştir [17-19].



Şekil 2.8. n-tipi metal yarıiletken doğrultucu kontağın enerji bant diyagramı; (a) kontakt oluşmadan önce metalin ve yarıiletkenin enerji band diyagramı, (b) kontakt oluşuktan sonra meydana gelen enerji bant diyagramı, (c) $V > 0$ (düz besleme) durumundaki enerji bant diyagramı, (d) $V < 0$ (ters besleme) durumundaki enerji bant diyagramı [17-19].

Metal ile yarıiletken arasındaki iş fonksiyonları farkı $\Phi_m - \Phi_s$, qV_i ile belirtilir. V_i kontakta oluşan potansiyel farkı q ise yükü belirtir, qV_i ise yarıiletken ile metal arasındaki bant bükülme miktarıdır. Elektronlar bu enerjiye sahip olmadıkları takdirde metale geçemezler. Kontak oluştuktan sonra bir potansiyel engel yüksekliği (bariyer yüksekliği) meydana gelir. Metalden belirlenen engel yüksekliği ile yarıiletkenden belirlenen engel yüksekliğinde farklılık vardır.

$$\Phi_s = (\Phi_m - \chi_s) \quad (2.7)$$

olarak belirlenir, Φ_s ise aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\Phi_s = \chi_s - \Phi_n \quad (2.8)$$

burada Φ_n değeri $E_c - E_f$ değeri kadardır. Φ_m değeri ise;

$$\Phi_m = qV_i + \Phi_s \quad (2.9)$$

olarak ifade edildiğinden

$$\Phi_B = qV_i + \Phi_n \quad (2.10)$$

şeklinde iken, yarıiletkenden tarafındaki bariyer yüksekliği,

$$eV_d = \Phi_m - \Phi_s \quad (2.11)$$

şeklinde belirlenir [17-19].

Bu potansiyel fark, kontak yüzeyinde oluşan elektrik dipollerinden meydana gelir. Bu da uzaysal yük dağılımı şeklinde olur ve elektrik alanın değişiminden parabolik engel oluşur, bu parabolik engele, Schottky engeli denir. Bariyer yüksekliği, iyonların yoğunluğuna ve arayüzey tabakasının kalınlığına göre değişim gösterir. Tüketim bölgesinde elektron sayısı az olduğu için enerji seviyelerindeki fark yukarı doğru bir bükülmeye neden olur.

Kontağı termal olarak uyarırsak kontakta bir termal gerilim oluşur. Sıcaklık diyot karakteristiği açısından önemli bir etkindir. Diyotun çalıştığı ortamın ve ya diyota verilen ısı

oda sıcaklığında farklı olduğu takdirde ise diyotun geriliminde ve sızıntı akımında değişimlere ayrıca yarıiletkenlerin direncinin azalmasına neden olur, gerilim ifadesi aşağıdaki gibidir;

$$V_t = k \frac{T}{q} \quad (2.12)$$

termal gerilimden dolayı karşılıklı olarak eşit miktarda I_0 sızıntı akımı meydana gelir ve aşağıdaki gibi ifade edilir,

$$I = I_0 \left(\exp^{\frac{eV}{kT}} - 1 \right) \quad (2.13)$$

burada e , elektronun yüküdür. Diyot akımı çok büyük değerlere ulaşmadığı sürece akım ile gerilim arasında yukarıda verilen ifade geçerliliğini korur. Akım yüksek değerlere çıktığı takdirde eklem bölgesi ve bağlantı yerleri arasında kalan bölgelerin direncinin etkisiyle uygulamada farklı sonuçlar ortaya çıkar.

Metalin engel yüksekliği uygulanan voltaja bağlı değildir. Kontakta $-V$ gerilimi uygulanırsa, yarıiletkeniden metale geçen elektronların iletkenlik bandı eV kadar artacağından bariyer yüksekliği de eV kadar azalır ve pozitif bir akım I_0 meydana gelir. Yarıiletkene $+V$ gerilimi uygulanırsa bu sefer de iletkenlik bandı eV kadar azalır bu da yarıiletkenin bariyer yüksekliğini eV kadar arttırmasına neden olacağından oluşan akım $-I_0$ değerine gelir [17-19].

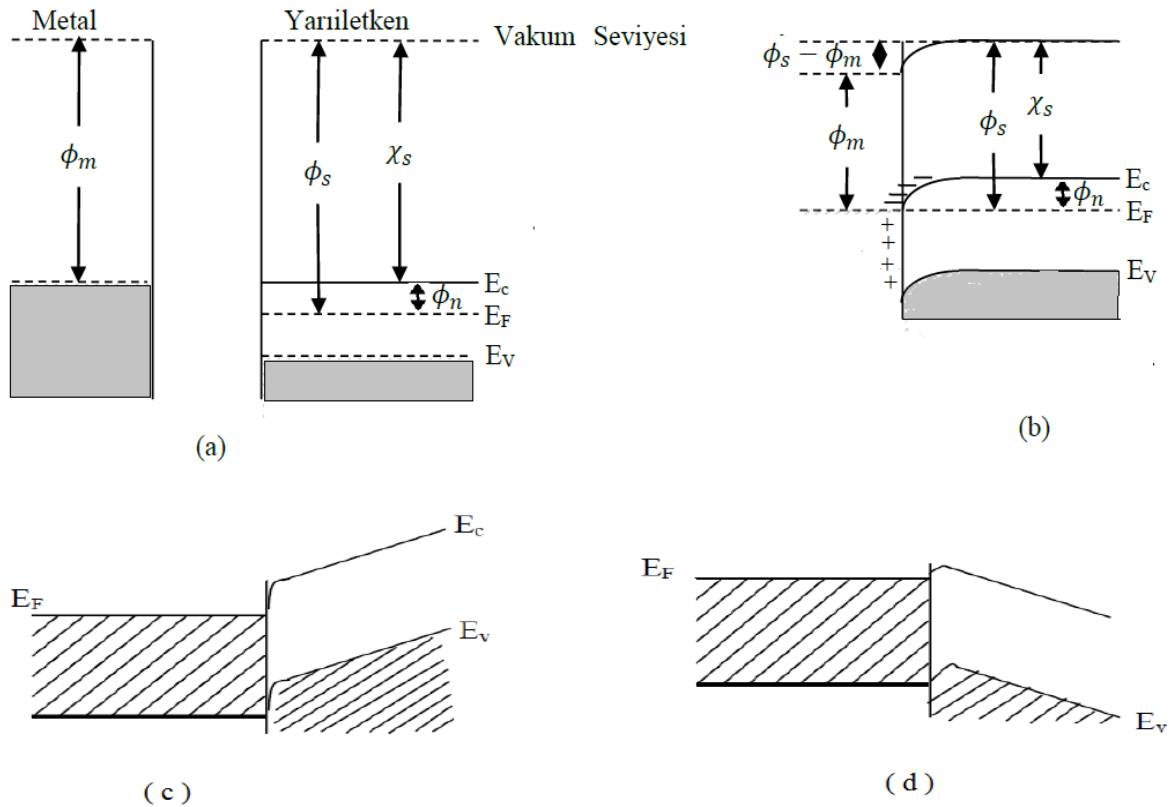
2.2.2. p-tipi Yarıiletken/Metal Doğrultucu Kontak

İş fonksiyonları $\Phi_s > \Phi_m$ olduğu durumda p-tipi yarıiletken kullanılırsa doğrultucu kontak meydana gelir. Bu tip kontaklarda yarıiletkenin Fermi seviyesi metalden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıda bulunmaktadır. Metalden yarıiletkene elektron geçişi meydana gelir. Dolayısıyla yarıiletkende negatif yük tabakası meydana gelir (Şekil 2.9).

Bu tip kontaklarda elektronlar azınlık taşıyıcısı durumundadır. Elektronlar metalden yarıiletkene geçip hollerle birleşerek uzay yük tabakasının genişliğini arttırır. Kontakın yarıiletken kısmında uzay yük bölgesi akseptör atomlarının yoğunluğu ile orantılı şekilde W_0 genişliğinde bir tükenim tabakası meydana gelir. p-tipi yarıiletken/metal doğrultucu kontaklarda çoğunluk yük taşıyıcıları hollerdir, hollerin bariyer yüksekliği Φ_p ise aşağıdaki ifadelerle bulunur;

2.2.3. n-tipi Yarıiletken/Metal Omik Kontak

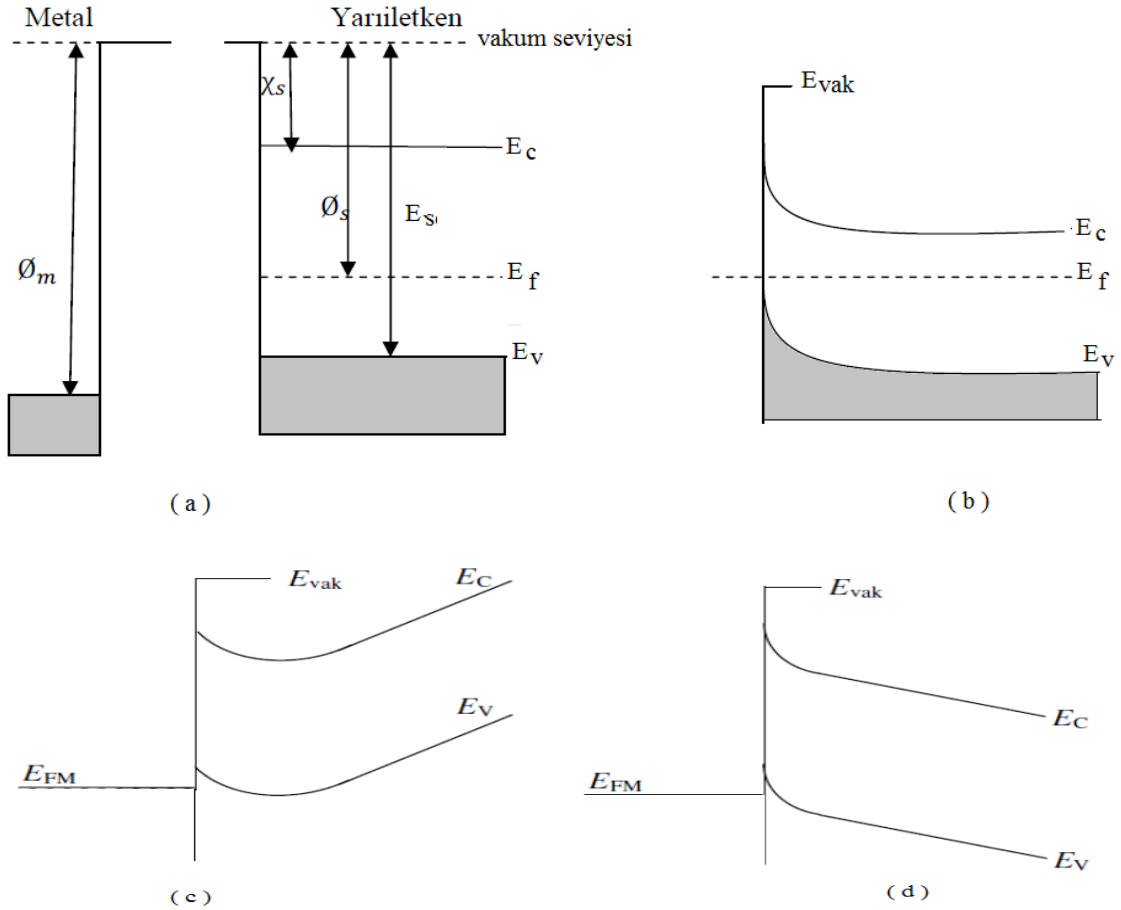
İş fonksiyonları $\Phi_s > \Phi_m$ olduğu durumda n-tipi yarıiletken kullanılırsa omik kontak meydana gelir. Bu tip kontaklarda yarıiletkenin Fermi seviyesi metalden $\Phi_s - \Phi_m$ kadar aşağıda bulunmaktadır. n-tipi yarıiletken/metal omik kontak, termal dengeye geldiğinde yarıiletkenin Fermi enerjisi $\Phi_s - \Phi_m$ kadar artar. Yarıiletkende meydana gelen negatif yük yığılması yüzey yükleri oluşturur. Metaldeki elektronların konsantrasyonu fazla olduğu için kontağın metal tarafında bulunan pozitif yükler $0,5 \text{ A}^0$ 'luk bir arayüzeyde yüzey yükleri meydana getirir [20]. Doğrultucu kontağın tersine bu sefer metalden yarıiletkene doğru negatif yük geçişi meydana gelir (Şekil 2.10). Metale +V gerilimi uygulandığında elektronlar rahat geçiş yaparlar. Yarıiletkene aynı gerilimi uygularsak engel yüksekliğinin çok azalmasından elektronlar yine metalden yarıiletkene doğru rahat geçerler. Bu durumda omik kontağı doğrultucu kontakdan ayıran özellik olan elektronların her iki yönde de hareket etmesi sağlanmış olur [17-19].



Şekil 2.10. (a) nötr halde metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramları, (b) termal dengede n-tipi yarıiletken/metal omik kontağın enerji bant diyagramı, (c) $V > 0$ (düz besleme) durumundaki enerji bant diyagramı, (d) $V < 0$ (ters besleme) durumundaki enerji bant diyagramı [17,18].

2.2.4. p-tipi Yarıiletken/Metal Omik Kontakt

İş fonksiyonları $\Phi_m > \Phi_s$ olduğu durumda p-tipi yarıiletken kullanılırsa omik kontakt meydana gelir. Yarıiletkenden metale doğru elektronlar geçer bu durumda yarıiletkende pozitif yük, metalde ise negatif yüzey yükü oluşur (Şekil 2.11). Bu geçiş Fermi enerjileri eşitlenene kadar devam eder. Her iki beslemede de geçiş meydana gelir.

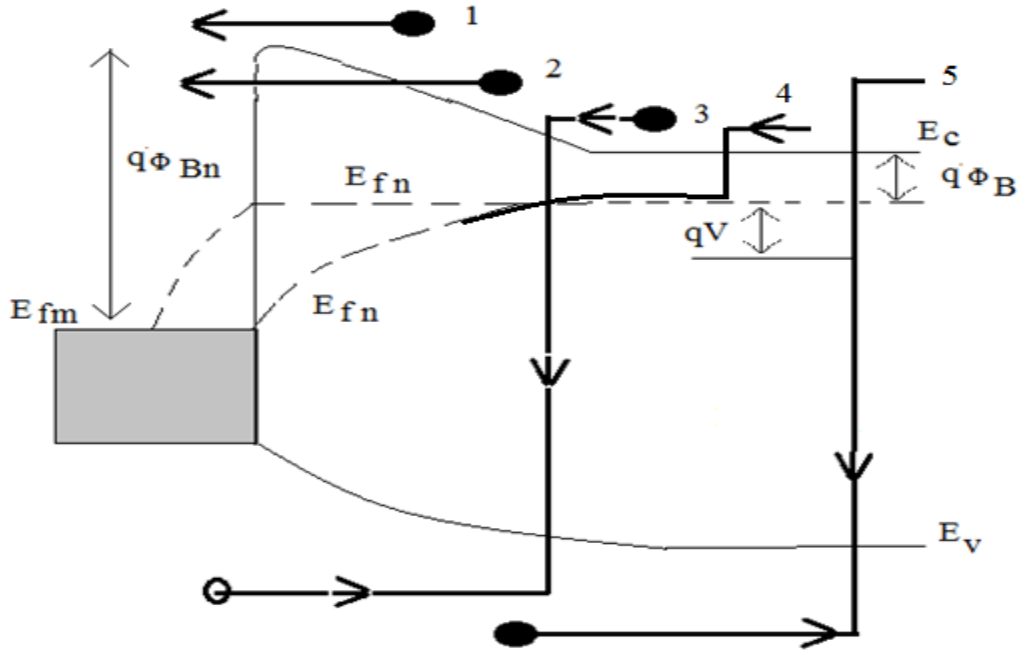


Şekil 2.11. (a) nötr halde metal ve yarıiletkenin enerji bant diyagramları, (b) termal dengede p-tipi yarıiletken/metal omik kontaktağın enerji bant diyagramı, (c) $V>0$ (düz besleme) durumundaki enerji bant diyagramı, (d) $V<0$ (ters besleme) durumundaki enerji bant diyagramı [17-19].

2.3 Metal-Yarıiletken Kontaklarda Akım İletim Mekanizmaları

Metal-yarıiletken kontaktağ dış bir gerilim uygulanırsa; iki kontak arasında oluşan oksit tabaka, seri direnç, uygulanan gerilimin yönü, sıcaklık, yarıiletkenin tipi ve arayüzey durumları kontaktağın elektriksel özelliklerine etki eder. Oluşan akım iletim mekanizmaları aşağıdaki gibi sıralanır [3,17]. Şekil 2.12’de akım iletim mekanizmaları gösterilmektedir.

- A. Termioyonik Emisyon Teorisi (TE)
- B. Difüzyon Teorisi
- C. Termioyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED)
- D. Kuantum Mekaniksel Tünelleme (Termioyonik Alan Emisyonu (TFE), Alan Emisyonu (FE), Çok Katlı Tünelleme)
- E. Boşluk Enjeksiyonu



Şekil 2.12. Düz beslemde metal/n-tipi yarıiletkende oluşan ısısal iletim mekanizmaları. (1) potansiyel engelin tepesini aşarak üzerinden yarıiletkenden, metale doğru olan elektronların iletimidir (Termioyonik Emisyon) bu durum Schottky diyotlar için uygundur, (2) elektronların kuantum-mekaniksel tünelleme, (3) uzay yük bölgesinde yeniden birleşimdir, yüksek katkılı yarıiletkenler ile çoğu omik kontaklar için uygundur, (4) doğal bölgede metalden yarıiletkene elektron difüzyonu (enjeksiyonu), (5) doğal bölgede metalden yarıiletkene hol difüzyonu (enjeksiyonu) [17].

Eklemin kapasitansı aşağıdaki gibi belirlenebilir;

$$C' = eN_d \frac{dx_n}{dV_R} = \left[\frac{e\epsilon_s N_d}{2(V_{bi} + V_R)} \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

C' , birim alan başına düşen kapasitanstır, denklemin her iki tarafının karesi alınırsa ifade;

$$\left(\frac{1}{C'} \right)^2 = \frac{2(V_{bi} + V_R)}{e\epsilon_s N_d} \quad (2.18)$$

yukarıdaki ifadelerden ilk olarak potansiyel bariyer yüksekliği V_{bi} ve grafiğin eğimi yarıiletken katkısını verir.

2.3.1. Termoiyonik Emisyon

Moleküllerin hız dağılım fonksiyonu ilk kez J. C. Maxwell tarafından bulunmuştur, moleküllerin hız dağılım fonksiyonu $F(v)$;

$$F(v) = Av^2 e^{-\frac{1/2mv^2}{k_B T}} \quad (2.19)$$

T ; Kelvin cinsinden sıcaklık, v ; gaz moleküllerinin hızı, k_B ; Boltzman sabitidir.

Metal içindeki serbest elektronların metalin ısıtılması ile metal yüzeyini terk etmesine termoiyonik emisyon denir. Termoiyonik emisyonu göre elektronların metali terk edebilmesi için, elektronlara en az metalin iş fonksiyonu (Φ_m) kadar enerji verilmesi gerekir. Birim zamanda metali terk eden elektronların sayısı sıcaklık ile artar. Φ_m 'dan daha büyük enerji verilirse elektronlar belli kinetik enerjiye sahip olur. Elektronların bu kinetik enerjileri;

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.20)$$

şeklinde ifade edip (2.19) ifadesini kullanarak elektron enerji yoğunluğunu $f(E)$, enerji cinsinden aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

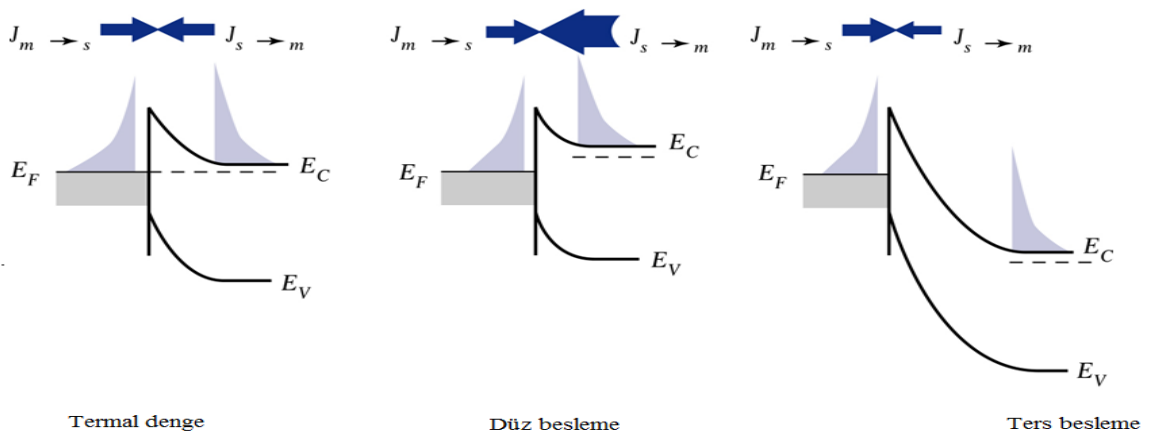
$$f(E) = A e^{-\frac{E}{k_B T}} \sqrt{E} \quad (2.21)$$

Termoiyonik emisyon metal-yarıiletken (MS) kontaklarda, yeterli ısı enerjisine sahip olan çoğunluk yük taşıyıcılarının potansiyel engeli aşarak metalden yarıiletken ve ya yarıiletkenden metale geçmesi olarak açıklanır, sıcak bir yüzeyden elektron ya da boşluk salınması termoiyonik emisyon olarak adlandırılır. Bu olay metal/n-tipi yarıiletken

kontaklarda elektronlar, metal/p-tipi yarıiletken kontaklarda holler tarafından sağlanır [9,11,12]. Termoionik emisyon teorisinin varsayımları aşağıda verilmiştir [9].

- A. Potansiyel engel yüksekliği, kT / q enerjisinden çok büyüktür.
- B. Shottky bölgesinde taşıyıcılar çarpışmaz, bu durumda taşıyıcıların ortalama serbest yolları Shottky bölgesinden büyüktür.
- C. Görüntü (hayali) kuvvetlerin etkisi ihmal edilir.

Kontağın metal tarafı uygulanan gerilimden etkilenmez, termal enerjilerinden dolayı engeli geçen elektronların meydana getirdiği akıma termoionik akım denir. Akım sadece engelin büyüklüğüne bağlı olup engelin şekline bağlı değildir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Termoionik emisyon teoremine göre yük geçişleri [17].

MS yapılar temelde p-n eklemlere benzerlik gösterir. Ancak akım iletim mekanizmalarında farklılıklar vardır. MS yapılarda metal tarafından belirlenen bir bariyer yüksekliği vardır, p-n eklemlerde belli bir bariyer yüksekliği yoktur. p-n eklemde sıfır kinetik enerjili elektronların akımı başlatabilmesi için bariyer aşağı kayabilir, MS yapılarda yüklerin bariyeri aşması gerekmektedir. Yarıiletkendен metale geçen akım yoğunluğu;

$$J_{sm} = \int_{E_F+q\Phi_B}^{\infty} qv_x d_n \quad (2.22)$$

(2.22) ifadesinde $E_F+q\Phi_B$ termoionik emisyonun oluşabilmesi için gerekli olan en az enerjiyi ifade eder, v_x ise taşıyıcı hızıdır. Denklem (2.22)'deki küçük bir enerji aralığında oluşan elektron yoğunluğu d_n ;

$$d_n = n(E)f(E)d(E) = \left[4\pi(2m^*)^{\frac{3}{2}}h^3 \right] (E - E_C)^{\frac{1}{2}} \exp \left[-\frac{(E-E_C+qV_n)}{kT} \right] dE \quad (2.23)$$

yukarıdaki ifadede $n(E)$ bantlardaki durum yoğunluğu, m^* taşıyıcının etkin kütlesi, $f(E)$ Fermi-Dirac dağılım fonksiyonudur. İfadeleri $E_k - E_F = (E_k - E_C) + (E_C - E_F)$, $E_C - E_F = q(\Phi_{Bn} - V_{bi})$ $E_k - E_C = m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/2$, $m^*v_{min}^2/2 = q(V_{bi} - V)$ şeklinde biraz daha açarsak, iletim bandındaki elektronların tüm enerjisi kinetik enerji olduğundan;

$$E - E_c = \frac{1}{2} m^* v^2 \quad (2.24)$$

ifadesi kullanılırsa

d_n ifadesi aşağıdaki şekle dönüşür;

$$d_n = 2 \left(\frac{m^*}{h} \right)^3 \exp \left(-\frac{qV_n}{kT} \right) \exp \left(-\frac{m^*V^2}{2kT} \right) (4\pi v^2 dv) \quad (2.25)$$

yukarıdaki ifadelerde $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$ ve $4\pi v^2 dv = dv_x dv_y dv_z$ dönüşümleri yapılırsa,

$$J_{sm} = \left(\frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp \left(-\frac{qV}{kT} \right) \exp \left(-\frac{m^* V_{0x}^2}{2kT} \right) \quad (2.26)$$

ve

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp \left(-\frac{q\phi_B}{kT} \right) \exp \left(\frac{qV}{kT} \right) \quad (2.27)$$

denge durumunda ($V=0$) ifade

$$J_{sm} = A^* T^2 \exp \left(-\frac{q\phi_B}{kT} \right) \quad (2.28)$$

halini alır. Buna, J_0 doyum akım yoğunluğu buna sızıntı akımı da denir A^* ise Richardson sabitidir ($A/cm^2/K^2$)

$$A^* = \frac{4\pi m^* q k^2}{h^3} \quad (2.29)$$

dolayısıyla oluşacak toplam akım yoğunluğu;

$$J_n = \left[A^* T^2 \exp \left(-\frac{q\Phi_B}{kT} \right) \right] \exp \left(\frac{qV}{kT} - 1 \right) \quad (2.30)$$

aynı ifadeyi

$$J_n = J_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} - 1 \right) \right] \quad (2.31)$$

olarak düzenleyebiliriz [7,17].

2.3.2. Difüzyon Teorisi

Aralarındaki yük yoğunluğu farkından dolayı, yük yoğunluğunun çok olduğu bölgeden az olduğu bölgeye doğru olan yük geçişlerine difüzyon denir. Schottky tarafından verilen difüzyon teorisinde aşağıdaki varsayımlara dayanır [2,17].

- A. Potansiyel engelin yüksekliği kT/q enerjisinden büyüktür.
- B. Tüketim bölgesindeki elektronların çarpışma etkisi ihmal edilmiştir.
- C. $x=0$ ve $x=W_D$ 'deki taşıyıcı konsantrasyonları akımdan etkilenmez (ısıl denge değerlerine sahiptirler).
- D. Yarıiletkendeki safsızlık konsantrasyonu ($n_i < 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) dejenere değildir (katkı atomları yoğunluğu değişmez).

yukarıdaki kabullere dayanarak tüketim bölgesindeki akım, bölgesel alan ve yoğunluk farkına bağlı olduğu için akım yoğunluğu denklemi kullanılır. Bu denklemler metal/n- tipi yarıiletken Schottky kontaklar için;

$$J_x = J_n = q \left[n(x) \mu E(x) + D_n \frac{\partial n}{\partial x} \right] = q D_n \left[\left(-\frac{qn_x}{kT} \right) \left(\frac{\partial V_x}{\partial(x)} \right) + \frac{\partial n}{\partial x} \right] \quad (2.32)$$

Yukarıdaki ifadede, μ elektronun mobilitesi, $n(x)$ elektron yoğunluğu, D_n elektron difüzyon sabiti ve $E(x)$ Schottky bölgesindeki elektrik alandır. Bu durumda difüzyon kuramına göre akım yoğunluğu ifadesi,

$$J_n = J_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} - 1 \right) \right] \quad (2.33)$$

şeklinde olup, J_0 doyum akım yoğunluğudur;

$$J_0 = \left(\frac{q^2 N_c D_n}{kT} \right) \left[\frac{2q(V_D - V)N_D}{\epsilon_s} \right]^{1/2} \exp \left(-\frac{q\phi_B}{kT} \right) \quad (2.34)$$

olarak ifade edilebilir. Burada, V_D difüzyon voltajı, N_C iletkenlik bandındaki etkin taşıyıcı yoğunluğu, N_D verici yoğunluğu, ϵ_s ise yarıiletkenin dielektrik geçirgenliğidir. Difüzyon ve termioyonik emisyon teorisinden elde edilen akım yoğunluğu ifadeleri birbirine benzerdir fakat doyma akım yoğunlukları, difüzyon teorisinden elde edilen doyma akım yoğunluğu voltaja bağımlıdır ve termioyonik emisyon teorisinden elde edilen doyma akım yoğunluğuna göre sıcaklığa daha az duyarlıdır [3,17].

2.3.3. Termioyonik Emisyon-Difüzyon Teorisi (TED)

Bu model difüzyon ve termioyonik emisyon teorisinin Crowell ve Sze tarafından birleştirilmiş halidir. Bu modelde metal ile yarıiletken arasına uygulanan bir voltaj uygulandığında yarıiletkenden metale doğru bir elektron akışı oluşur. Akış sırasında taşıyıcıların bir kısmı optik fonon geri saçılmalarına bir kısmı da kuantum mekanik yansımalarla uğrayarak akımın değerini azaltır. Dolayısıyla yeniden birleşme (rekombinasyon) hızı azalır. TED yeniden birleşme (rekombinasyon) hızı üzerine kurulmuştur. Termioyonik emisyon teorisinde kullanılan Richardson sabiti (A^*), (A^{**}) olarak değiştirilmiştir [2,8]. Akım yoğunluğunun gerilimle değişimi (J-V) aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$J = J_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] \quad (2.35)$$

(A^{**}) Richardson sabiti kullanılarak;

$$A^{**} = A^* \exp \left(\frac{\beta}{kT} \right) \quad (2.36)$$

β , bariyer yüksekliğinin sıcaklığa bağlı değişim katsayısıdır, J_0 ifadesi;

$$J_0 = A^{**} T^2 \exp \left(-\frac{q\phi_{B0}}{kT} \right) \quad (2.37)$$

A^{**} etkin Richardson sabitidir;

$$A_{etkin} = A^{**} \left[\frac{-4\pi\delta}{h(2m^*\chi)^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.38)$$

χ yarıiletkenin elektron ilgisi, δ metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan tabakanın kalınlığı, m^* ise etkin küttledir.

Diyotlarda idealite faktörü (n) diyotun karakteristiğini belirler, ideal diyotlarda $1.2 > n > 1$ aralığındadır. Ancak metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) ve metal-oksit-yarıiletken (MOS) yapılarıdaki tabaka diyotu arayüzey durumlarından dolayı ideallikten uzaklaştırır [8].

$$n = \left(\frac{q}{kT} \right) \left[\frac{d(\ln I)}{dV} \right]^{-1} \quad (2.39)$$

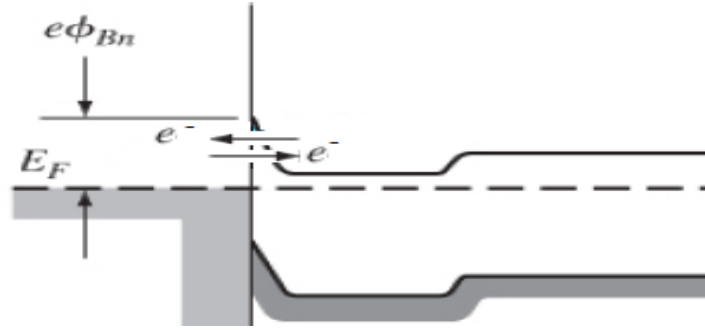
idealite faktörü (n) kullanılarak akım yoğunluğu ifadesi;

$$J = J_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) \right] \quad (2.40)$$

şeklini alır [7,17].

2.3.4. Engel Boyunca Tünelleme

Düşük sıcaklık ve yüksek katkı oranlarında enerjileri bariyer yüksekliğini geçmeye yetmeyen elektronlar, kuantum mekaniksel tünelleme ile engelin içinden karşıya geçebilmektedir. Elektronların karşısına çıkan engel genişliğinin azalması ile orantılı olarak artar. Uzak yük genişliği, metal-yarıiletkenlerde yapılan katkının karekökü ile ters orantılıdır. Yüksek katkılı yarıiletkenlerde tükenim bölgesi amstrong boyutlarındadır bundan dolayı tünelleme baskın bir akım iletim mekanizması haline gelebilir. Eğer sıcaklık arttırılırsa, elektronlar daha yüksek enerjilere uyarılmış olacaklarından, tünelleme olasılığı artar (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Yüksek katkılı metal/n tipi yarıiletken eklemnin enerji-bant diyagramı [2].

$$J = J_0 \exp\left(-\frac{e\phi_{Bn}}{E_{00}}\right) \quad (2.41)$$

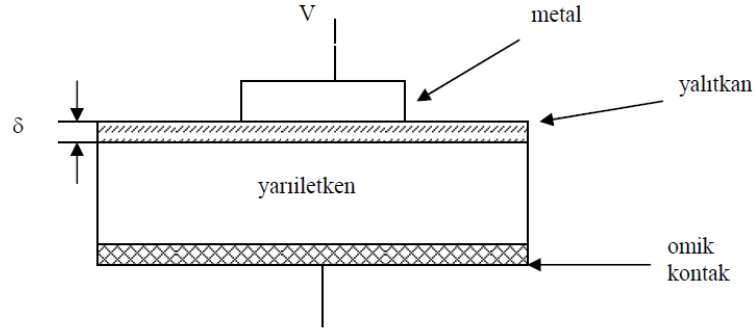
burada,

$$E_{00} = \frac{eh}{4\pi} \sqrt{\frac{N_d}{m^* \epsilon_S}} \quad (2.42)$$

E_{00} enerji boyutunda kıyas parametresidir h Planck sabiti, N_D ise birim hacimdeki verici katkı atomlarının sayısıdır [21,22].

2.4 Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) Schottky Diyotlar

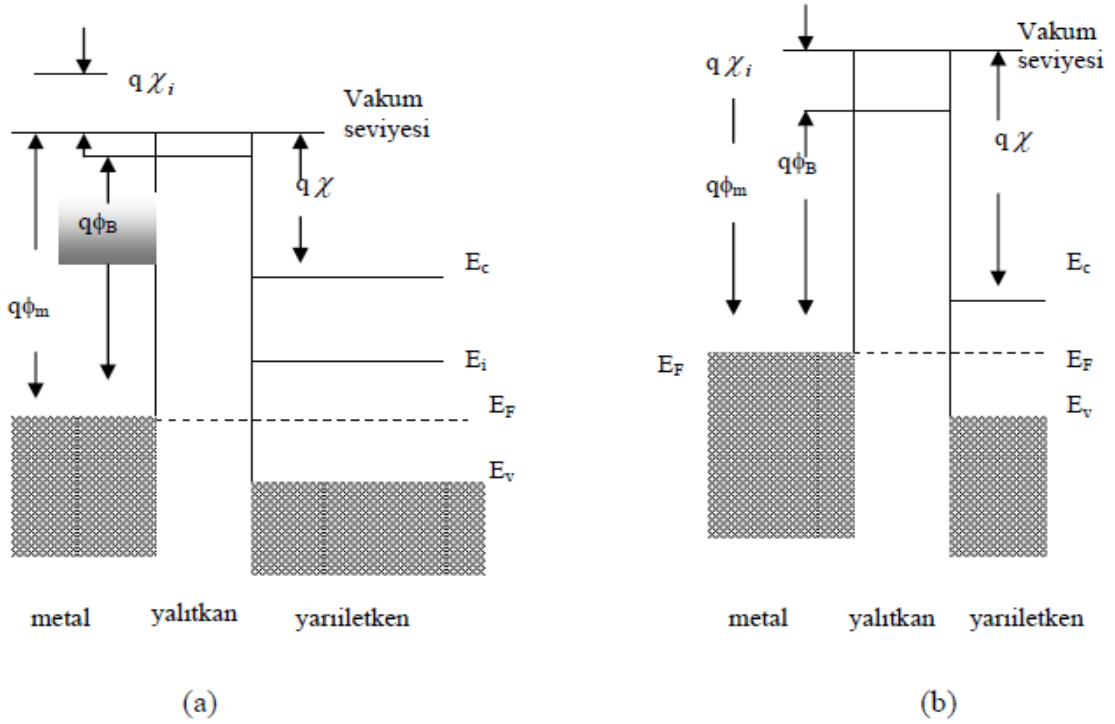
Metal ile yarıiletken arasında oluşturulan eklemnin arasında ya kendiliğinden ya da istemli olarak bir yalıtkan tabaka ekleyebiliriz. Bu durumda metal-yarıiletken (MS) yapı metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapıya dönüşür. Diyotta arayüzey durumları meydana gelir. Bu tip diyotlarda metal-yalıtkan ve yarıiletken-yalıtkan arasında arayüzeyler oluşarak diyotun karakteristiğini etkiler. Bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapı Şekil 2.15’de verilmiştir. İdeal bir durumda yükler yarıiletkende ve yalıtkana yakın olan metal yüzeyinde bulunur. DC gerilim altında yalıtkan içinden hiçbir akım geçmez [3,23].



Şekil 2.15. Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MIS) Schottky Diyot [3].

Şekil 2.15’de δ yalıtkan tabakanın kalınlığı, V metale uygulanan voltajdır.

İdeal bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) Schottky diyotun enerji-bant diyagramı şekil 2.16’da gösterilmektedir [3];



Şekil 2.16. İdeal bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) Schottky diyotun $V=0$ durumunda enerji-bant diyagramı (a) p-tipi yarıiletken (b) n-tipi yarıiletken [17,24].

$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi - \frac{E_g}{2q} - \phi_B \right) = 0 \quad \text{n- tipi için} \quad (2.43)$$

$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi - \frac{E_g}{2q} + \phi_B \right) = 0 \quad \text{p- tipi için} \quad (2.44)$$

İdeal bir Schottky diyotta sıfır beslemde metalin iş fonksiyonu Φ_m ile yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s arasındaki fark sıfırdır. Metal ile yarıiletken arasında meydana gelen oksit veya yalıtkan tabaka dielektrik olduğundan bant aralığı büyüktür. Oksitin içinde ve oksit ile yarıiletken arayüzeyinde sabit tuzaklar bulunur, iyonlar ve arayüzey durumları ile arayüzey yükleri bulunmaz. Herhangi bir beslemede yarıiletkende ve metalin yalıtkana yakın tarafında mevcut yük eşit miktarda ve zıt işaretli olarak bulunabilirler.

Metal kısım omik kontağa göre pozitif olduğunda doğru beslem, metal kısım omik kontağa göre negatif olduğunda ise ters beslem meydana gelir p-tipi yarıiletkenle oluşturulan MIS Schottky diyotta, metal kısma negatif bir voltaj ($V < 0$) uygulandığında valans bandın tepesi yukarı doğru bükülür. Yarıiletkendeki Fermi seviyesi sabit kalır. Taşıyıcı yoğunluğu üstel olarak enerji farkı ($E_F - E_v$)'ye bağlı kaldığından, bu bant bükülmesi yarıiletken yakınında çoğunluk taşıyıcı olandeşiklerin birikmesine neden olur, buna biriktirme denir. Aynı diyota düşük bir pozitif voltaj ($V > 0$) uygulanırsa bu sefer bantlar aşağı doğru bükülür ve çoğunluk taşıyıcılar tüketilir, bu duruma ise tüketim denir. Eğer MIS Schottky diyota daha büyük bir pozitif voltaj uygulanırsa, bantlar daha fazla aşağı doğru bükülür ve E_i , E_F 'nin üstüne çıkar. Bu durumda yüzeydeki elektronların sayısı (azınlık taşıyıcıları) hollerden fazladır buna ise terslenim denir. Benzer sonuçlar n-tipi içinde elde edilebilir [3,17]. p-tipi MIS diyotlarda biriktirme, tüketim ve terslenim için enerji bant diyagramları Şekil 2. 17'de gösterilmektedir. Arayüzeylerde oluşan D_{it} arayüzeyde meydana gelen tuzak yoğunluğu;

$$E_g - e\phi_{B0} - e\phi_{Bn} = \frac{1}{eD_{it}\delta} [2e\epsilon_s N_d (\phi_{Bn} - \phi_n)]^{\frac{1}{2}} - \frac{\epsilon_i}{eD_{it}} [\phi_m - (\chi + \phi_{Bn})] \quad (2.45)$$

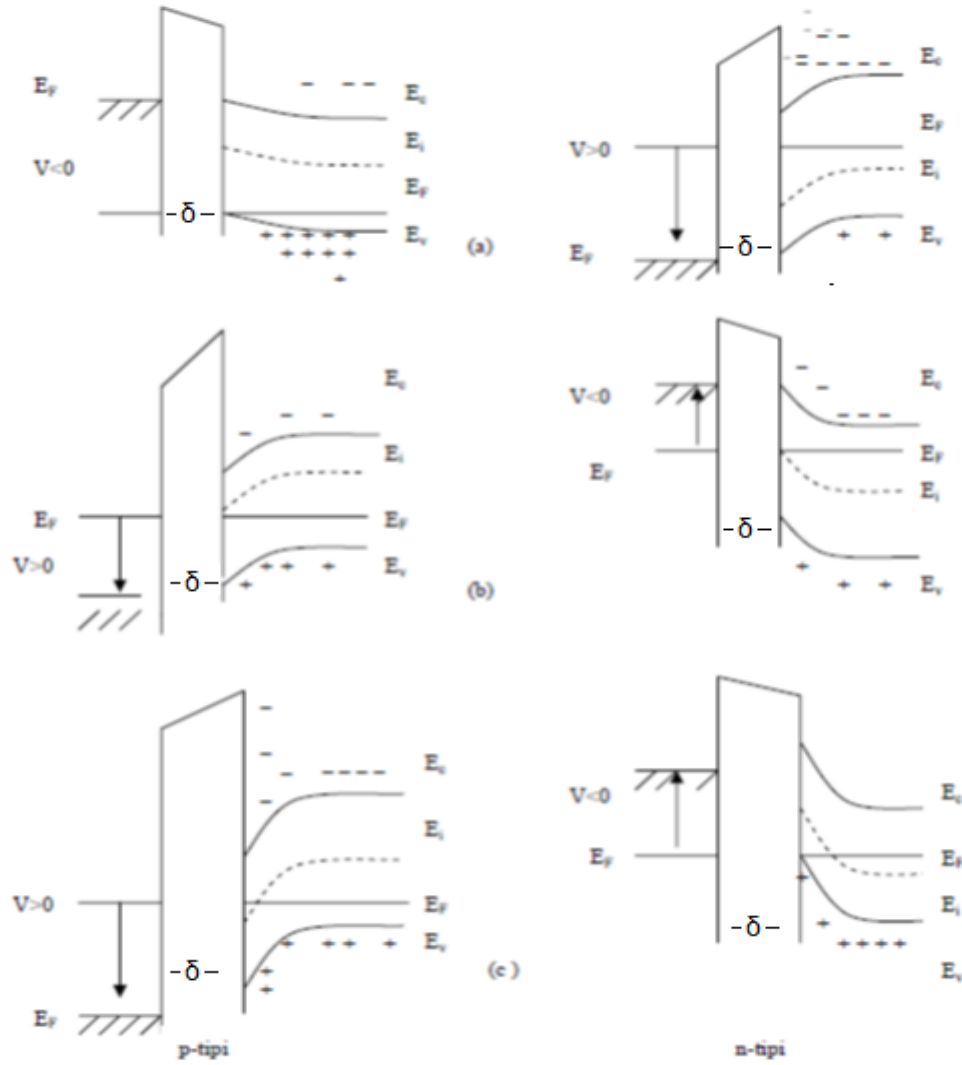
burada ϵ_i yalıtkan tabakanın dielektrik sabitidir. $D_{it} \delta \rightarrow \infty$ durumunda;

$$\phi_{Bn} = \frac{1}{e} (E_g - e\phi_{B0}) \quad (2.46)$$

eğer ifadede $D_{it} \delta \rightarrow 0$ olursa,

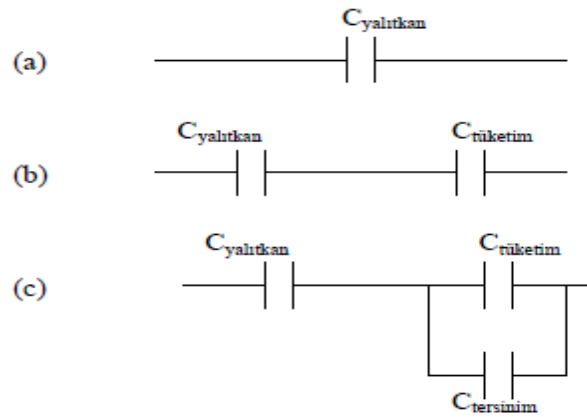
$$\phi_{Bn} = (\phi_m - \chi) \quad (2.47)$$

şeklinde ideal halini alır.



Şekil 2.17. $V \neq 0$ durumunda ideal bir metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) Schottky diyotun enerji-bant diyagramı. (a) biriktirme (b) tükenim (c) terslenim [3,17].

İdeal bir MIS diyotta üç yük sistemi için devre şeması Şekil 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18. İdeal MIS diyodun (a) biriktirme (b) tükenim (c) terslenim durumlarının eşdeğer devreleri [3,17].

Omik kontakta oluşan ve R_s ($\Omega\text{-cm}^2$) (2.48) ifadesi gibi olur. Akım yoğunluğu ile voltajın sıfıra giderken karşılıklı olarak alınan türevi ile gösterilir. R_s değerinin mümkün olduğunca küçük olması istenir. Akım yoğunluğu-voltaj ilişkisi ise;

$$R_s = \left(\frac{\delta J}{\delta V} \right)^{-1} \Big|_{V=0} \quad (2.48)$$

ile ifade edilir. Bu tip eklemde termoyonik emisyon etkilidir, bu durumda R_s aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R_s = \frac{\left(\frac{kT}{e} \right) \exp\left(\frac{e\phi_{Bn}}{kT} \right)}{A^* T^2} \quad (2.49)$$

bariyer yüksekliğinin azalmasına bağlı olarak R_s değeri de hızla azalır. Katkı konsantrasyonu 10^{19} cm^3 'den büyükse ise tünelleme modeli etkin hale gelir bu durumda (2.48) ve (2.49) ifadeleri aşağıdaki hale dönüşür,

$$R_s \propto \exp\left(\frac{2\sqrt{\epsilon_s m_n^*}}{h/2\pi} \cdot \frac{\phi_{Bn}}{\sqrt{N_d}} \right) \quad (2.50)$$

halini alır [25].

Düşük konsantrasyonlarda R_s değeri bariyer yüksekliğine bağlıdır, N_d katkı konsantrasyonuna bağlı olmaz. İyi bir omik kontak için düşük bariyer yüksekliği ve yüzeyde katkı konsantrasyonuna ihtiyaç vardır. Bazı malzemelerde düşük bariyer yüksekliği elde edilemezse mümkün olduğunca fazla katkı konsantrasyonu olmalıdır [2]. MIS veya MOS yapılarda ters beslemede kapasite;

$$C = A \left(\frac{qN_a\epsilon_s}{2} \right)^{1/2} \left(\phi_b - V_p + V_R - \frac{kT}{q} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.51)$$

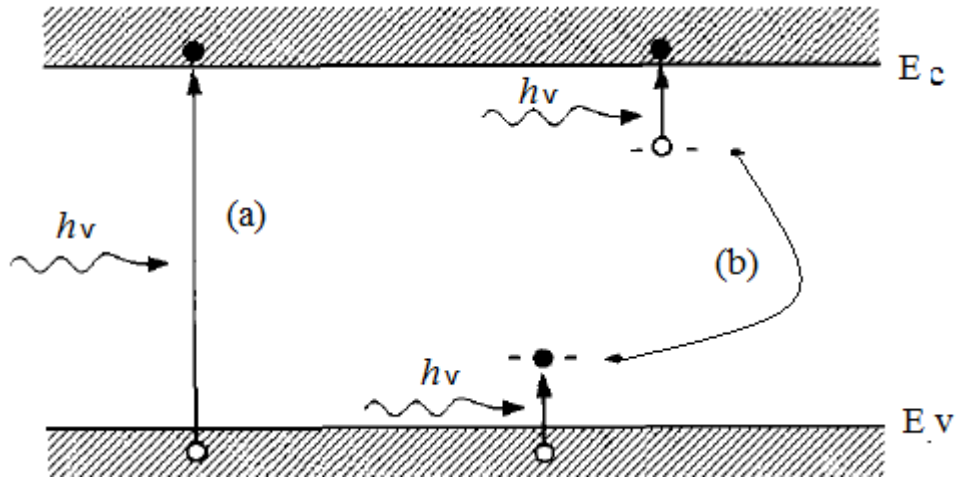
ifadesi ile bulunur. V_p Fermi seviyesi ile yarıiletkenin değerlik bandı arasındaki fark, V_R ise ters besleme gerilimidir. Aynı metal-yarıiletken diyotlarda oldu gibi C ifadesinin $1/C^2$ için çözüm yapılır;

$$C^{-2} = \left(\frac{2}{A^2 q N_a \varepsilon_s} \right) \left(\phi_b - V_p + V_R - \frac{kT}{q} \right) \quad (2.52)$$

ifadesi ile bulunur.

3. FOTODİYOTLAR

Fotoiletkenlik bir maddenin morötesi ışık, gamma ışınları veya görünür ışık gibi elektromanyetik ışınlamaları soğurarak elektrik iletkenliğinin değişmesine verilen isimdir. Bir yarı iletkenin fotoiletken olması için serbest elektronlar ve delikler içermesi gerekir. Işık yarı iletken tarafından soğurulduğunda delikler ve serbest elektronların dağılımı değişir ve elektrik iletkenliğini artırır. Bir fotoiletken, yarıiletkenlerin ince film veya kalın şekilde kontaklarla karşılıklı olarak yapıştırılarak oluşturulur. Şekil 3.1'deki gibi fotoiletkenin üzerine ışık düştüğünde yükler bantlar arası geçiş yaparak veya yasak enerji aralığının üstüne geçerek iletkenliğin artmasına neden olur [17].



Şekil 3.1. Fotonlarla uyararak (a) bantlar arası geçiş (b) safsızlık seviyesi ile iletim bandı arasındaki fotouyarma [17].

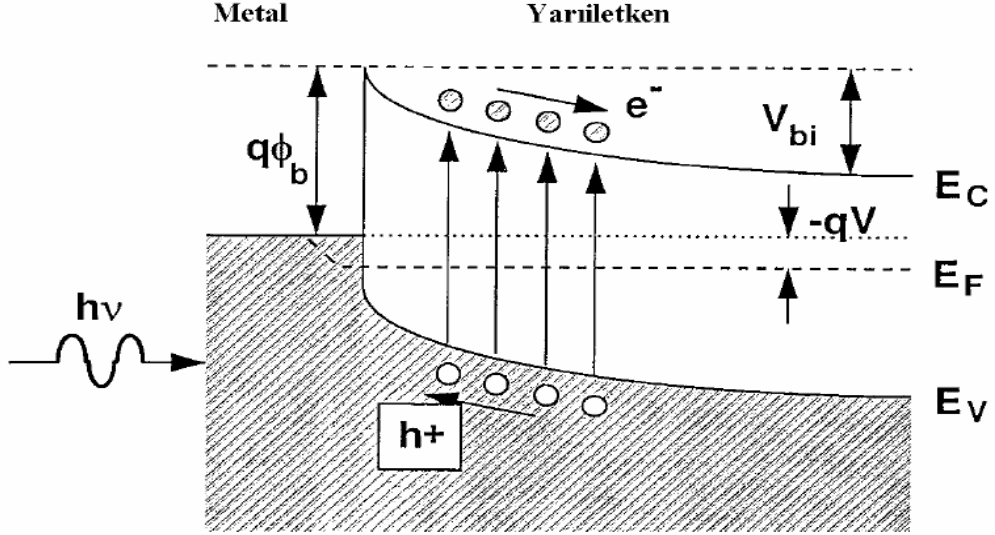
3.1. Metal-Yarıiletken Fotodiyotlar

Bir fotodiyot, tükenim bölgesinde serbest yük taşıyıcılarına ve yüksek bir elektrik alanına sahiptir. Tükenim bölgesinde oluşan foto taşıyıcılar, yüksek alanın varlığından dolayı malzemenin uç kısmında toplanır. Metal-yarıiletken (Schottky) eklemesinin tipik enerji-bant diyagramı şekil 3.2' de gösterilmiştir. Diyotta üç farklı çalışma modu bulunur;

1. $E_g > h\nu > q\Phi_B$ ve $V < V_B$ için burada V_B engel aşma (çığ bozulma) voltajıdır ve metal içinde foto uyarımlı elektronlar engel potansiyelini aşabilir ve yarıiletken içinde toplanırlar. Bu işlem, metal yarıiletken diyotlarda engel yüksekliğini belirlemede ve metal filmde sıcak-elektron geçişinde kullanılır.

2. $h\nu > E_g$ ve $V < V_B$ için ışık, yarıiletkende boşluk-elektron çiftini üretir ve diyotun genel karakteristiği p-i-n foto diyotuna benzer şekilde olur.

3. $h\nu > E_g$ ve $V > V_B$ için diyot, foto diyot olarak çıkış bozulma bölgesinde çalışabilir [17,26,27].



Şekil 3.2. Aydınlatılan bir metal-yarıiletken eklemesinin şematik diyagramı [17,26,27].

Ekleme ışık geldiği zaman, enerjisi yasak enerji aralığından büyük olan fotonlar soğrulur. Oluşan elektronlar katoda, boşluklar ise anoda olmak üzere ters yönde yayılarak diyotun farklı taraflarında toplanıp fotoakım meydana getirirler. Bu akım;

- 1) Yarıiletkende fotonların soğrulması ve taşıyıcıların oluşumu,
- 2) Yerel elektrik alanı altında taşıyıcıların sürüklenmesi,
- 3) Malzeme kontaklarında taşıyıcıların toplanması olarak özetlenir [2,26,27].

fotodiyotun üzerine düşen fotonların yarıiletken malzemenin içinde ilerlemesi, ışığın dalga boyuna bağlıdır [17]. Dalga boyu büyük olan ışınlar yüzeyde emilirken, dalga boyu küçük ışınlar ise yarıiletkenin derinliklerine kadar ilerler [26]. Fotodiyotlar, diyotun yapısına ve kontakların tipine göre;

- a. p-n eklem diyotlar
- b. Schottky diyotlar
- c. p-i-n diyotlar
- d. heteroeklem diyotlar olarak dört gruba ayrılır [2,27].

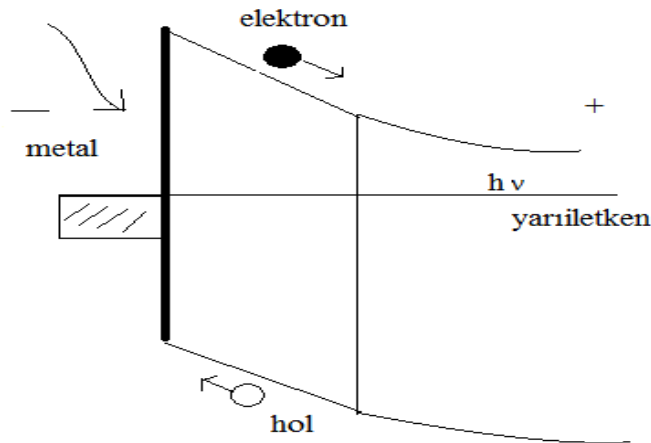
3.2. p-i-n Eklem Fotodiyotlar

p-i-n fotodiyotlar p-n eklem diyotların özel bir şeklidir. Fotodedektörlerde yaygın olarak kullanılır. p-i-n yapıların sahip olduğu tükenim kalınlığı, frekans cevabı ve kuantum verimliliği gibi özellikleri nedeniyle fotodiyotlarda çoğunlukla tercih edilir. Işık soğrulduğunda yarıiletkende elektron ve boşluk çiftleri meydana gelir. p-i-n fotodiyotlar, p-n eklem diyotların p ve n bölgeleri arasındaki arındırılmış bölge uzunluğu içine asal bir yarıiletken katıldığında p-i-n fotodiyot olarak adlandırılır [28].

Çiftler tükenim bölgesi veya difüzyon uzunluğu içinde oluşan elektrik alandan dolayı ayrılırlar, taşıyıcılar tükenim bölgesinde hareket ederek bir dış devre akımı meydana getirirler [17]. Fotodiyot ve güneş pillerinde verimi artırmak için p-i-n eklemeler kullanılabilir.

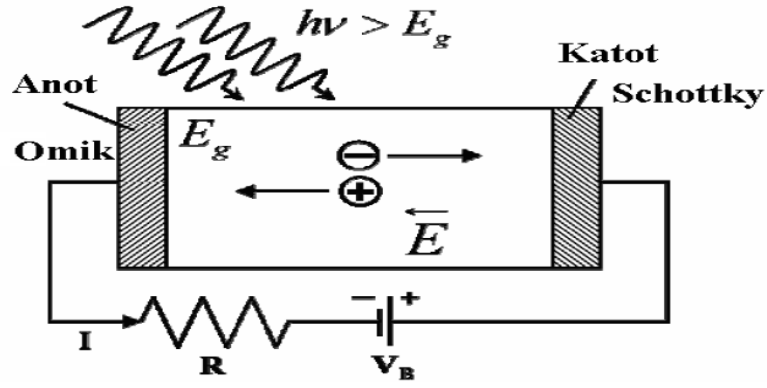
3.3 Schottky Fotodiyot

Schottky fotodiyotlarda, yarıiletkenin üst yüzeyinde iki ve ya daha fazla kontak oluşturulabilir. Dışardan voltaj uygulandığında iki elektrot arasında geçiş sağlanabilir Şekil (3.3). Optik güç kaybı en aza indirilerek yüksek hıza ulaşabilir [29].



Şekil 3.3. Sıfır beslemde Schottky fotodiyotta oluşan fotoakım [29].

Schottky fotodiyotları, çoğunluk taşıyıcı malzemeleri olarak bilinir. Bu özellik, yüksek hız deteksiyonunun ihtiyaç duyulduğu uygulamalar için Schottky fotodiyotlarına olan ilgiyi artırır. Tek kutuplu Schottky ve MSM (metal-yarıiletken-metal) fotodiyotları katkılama ile kolayca geliştirilebilir [26]. Şekil 3.4’de bir Schottky fotodiyotun yapısı gösterilmiştir.



Şekil.3.4. Schottky fotodiyotun yapısı [26].

3.4. Heteroeklem Fotodiyot

Bir fotodiyot yasak enerji aralıkları farklı iki yarıiletkenin birleşimi ile heteroeklem haline getirilebilir. Heteroeklem yapıların önemli avantajlarından biri kuantum veriminin eklem mesafesine bağlı olmamasıdır çünkü oluşan geniş bant aralığı optik gücün iletimi için kullanılabilir [17]. Karanlık akımın küçük olması da diğer avantajlarından biridir [17,26].

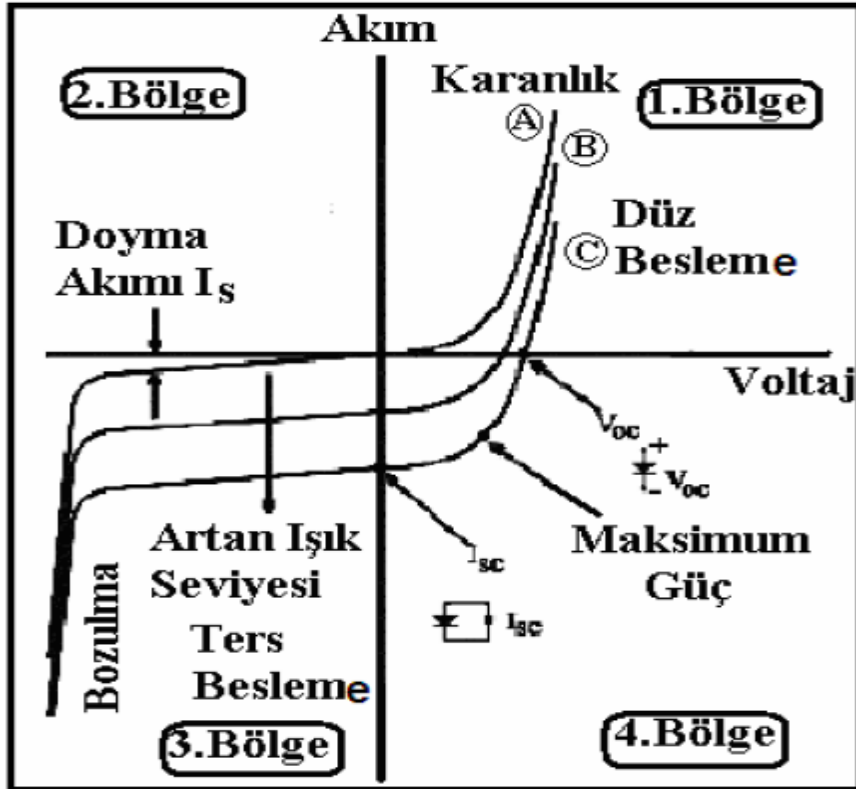
Heteroeklemler bir materyalden diğerine geçiş uzunluklarına bağlı olarak ani ve kademeli olmak üzere ikiye ayrılabilir. Ani heteroeklemde bu geçiş birkaç atomik uzaklıkta ($\leq 1\mu m$) gerçekleşir iken, kademeli heteroeklemde bu geçiş birkaç difüzyon uzunluğunun üzerinde gerçekleşir. Heteroeklemler her iki tarafındaki iletkenlik türüne göre de ikiye ayrılabilir. İki yarıiletken benzer tip iletkenlik içeriyorsa izotip, farklı tip iletkenlik içeriyorsa anizotip heteroeklem olarak adlandırılır. Heteroeklemler yasak enerji bant aralıklarının büyüklüklerine göre p-n veya n-p olarak adlandırılırlar. Yasak enerji bant aralığı küçük olan malzemenin tipi önce, büyük olan malzemenin tipi ise sonra söylenir. Yasak enerji aralığı küçük olan yarıiletken p-tipi, büyük olan yarıiletken n-tipi ise bu iki yarıiletken bir araya geldiğinde oluşan eklem p-n eklem; yasak enerji aralığı küçük olan yarıiletken n-tipi büyük olan yarıiletken p-tipi ise bu iki yarıiletken bir araya geldiğinde oluşan eklem ise n-p heteroeklem denir [30].

3.5. Fotodiyotların Akım-Voltaj Karakteristiği

Foto diyotlar üç ana karakteristiğe sahiptir bunlar; akım-voltaj karakteristiği, kuantum verimi karakteristiği ve bant genişliği (çalışma hızı) karakteristiği özellikleridir. Bir fotodiyotun performansı bu üç karakterizasyon ile ölçülür. Düşük karanlık akımı ve yüksek bozulma voltajı, diyot eklem niteliğinin iki göstergesidir. Düşük karanlık akımı, daha yüksek

duyarlılık anlamına gelir ve fotodiyota ışık uygulanmaksızın ters polarma altında diyot içinde akan akımdır [26,27,31].

Bir Schottky fotodiyotunun doğru akımı analiz edilerek ters besleme doyma akımı, engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç gibi diyot parametreleri belirlenebilir. I_0 ve Φ_b $V=0$ 'da doğru besleme akımı fit edilerek bulunabilir. İdealite faktörü (n) doğru polarma I-V eğrisinin (dV/dI) eğimi ile belirlenir [26,31-34]. Şekil 3.5'de bir fotodiyotun akım-gerilim karakteristiği verilmiştir.



Şekil 3.5. Fotodiyotun aydınlık ve karanlık durumlardaki akım-gerilim karakteristiği [26,31-34,35].

Birinci bölgede, akım ve voltaj değerleri pozitifdir. Bu bölgede fotodiyot doğru polarlanmıştır ve bu bölge fotodiyot uygulamaları için uygun değildir, çünkü bu bölgede çalıştırılan fotodiyot normal bir diyot gibi davranmaktadır. İkinci bölgede fotodiyotun cevabı yoktur. Üçüncü bölgede sadece çok küçük bir I_s akımı akar [26,27,31,36,37]. Fotodiyotun aktif alanı üzerine gelen ışığın şiddeti artırıldığında bu bölgedeki eğriler bütünüyle, negatif akım yönünde aşağıya doğru değişecektir. $V=0$ ekseninde bu eğrilerin akım eksenini kestiği nokta kısa devre akımı I_{sc} 'yi verir. Sıfır akım noktalarında eğrilerin voltaj eksenini kestiği noktalar ise açık devre voltajı V_{oc} 'yi verir [26]. Çok yüksek ters polarma voltajlarında akım

hızlıca artar ve diyotun bozulması söz konusu olabilir, bu ters bozulma bölgesidir. Bu nedenle üçüncü bölge, ters polarma voltajının uygulandığı bölge olup ışığı algılamak için uygun olan bölgedir [37]. Dördüncü bölge ise foto diyotun fotovoltajik bölgesidir.

3.6. Fotodiyotların Kapasite-Voltaj Karakteristiği

Fotodiyotların kapasitans ve voltaj arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile bulunur;

$$\frac{1}{C^2} = \left[\frac{2}{\epsilon_0 \epsilon_s q N d A^2} \right] \left[V_{bi} - V - \frac{kT}{q} \right] \quad (3.1)$$

V_{bi} difüzyon voltajıdır [31].

3.7. Fotovoltajik Parametreler

Fotodiyotların veya güneş pillerinin yük karakteristikleri çeşitli parametrelerin analizi ile yapılır. Bu parametreler; spektral kuantum verimi (η), açık-devre voltajı (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), doldurma faktörü (FF), maksimum güç noktasındaki voltaj (V_m), maksimum güç noktasındaki akım (I_m), maksimum çıkış gücü (P_m), seri direnç (R_s) ve şönt direnç (R_{sh})'tir [26,27,31,38].

3.7.1. Kuantum Verimliliği ve Fotoduyarlılık

Kuantum verimi (η) aygıtın terminallerinden birinden elektron toplama hızının, aygıtın foton soğurma hızına oranıdır [28].

$$\eta = \frac{r_e}{r_p} = \frac{n_e}{n_p} = \frac{I_p/e}{P_0/h\nu} = 1 - e^{-\alpha d} \quad (3.2)$$

burada r_p gelen fotonların hızı (birim zamanda soğrulan fotonlar), r_e terminallerde elektron toplama hızı (birim zamanda toplanan elektronlar), n_e Δt zaman aralığında toplanan elektronların sayısı, n_p ise aynı Δt zaman aralığında detektöre ulaşan foton sayısıdır.

Yüksek soğurma katsayısına sahip yarıiletken kullanıldığında ideal kuantum verimine çok daha küçük soğurma tabakası kalınlıklarında ulaşılır. Daha uzun dalga boyları kullanılırsa

bu dalga boylarında soğurma katsayısı küçük olacağından dedektör p ve n bölgeleri arasına kalın bir katkısız yarıiletkenin büyütülmesiyle daha geniş asal bölgeye sahip olacak şekilde tasarlanabilir [28].

Dedektör yanıtı (R) ise; dedektör üzerine düşen optik güç başına üretilen akım olarak tanımlanır;

$$R = \frac{I_p}{P_0} \quad (3.3)$$

burada I_p çıkış fotoakımı, P_0 ise optik güçtür. Dedektör yanıtı ve kuantum verimi birbirinden bağımsız olmayıp birbirleri cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir [28].

$$R = \frac{I_p}{P_0} = \frac{e\eta}{h\nu} = \frac{e\eta\lambda}{hc} = \frac{e}{h\nu} (1 - e^{-\alpha d}) \quad (3.4)$$

3.7.2. Seri Direnç

Fotovoltaik durumdaki fotodiyotun doğrusallığını tanımlayabilmek için kullanılır, aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$R_s = \frac{(W_0 - W_d)\rho}{A_j} + R_c \quad (3.5)$$

burada W_0 altlık kalınlığı, W_d tükenim bölgesi genişliği, A_j eklem yayıldığı alan, ρ altlığın öz direnci ve R_c ise kontak direncidir [26,27,31].

3.7.3. Şönt Direnci

Şönt direnci (R_{sh}) fotodiyota besleme voltajı uygulanmadığı durumlardaki gürültü akımını tanımlamak için kullanılır. Şönt direnci deneysel olarak, fotodiyota ± 10 mV uygulanarak ve fotodiyodun etkin direnci hesaplanarak elde edilir. Bir fotodiyot, ne kadar yüksek bir şönt direncine sahip olursa, o derece ideal bir fotodiyot olmuş olur.

3.7.4. Açık-Devre Voltajı

Aydınlatma altındaki diyotun akım-voltaj karakteristiğinde eğrinin voltaj eksenini kestiği değere açık-devre voltajı (V_{oc}) denir ve akımın sıfır olduğu durumda belirlenir [26,27,31,38].

$$V_{oc} = \left(\frac{nkT}{q} \right) \ln \left[\frac{I_{sc}}{I_s} + 1 \right] \quad (3.6)$$

3.7.5. Kısa-Devre Akımı

Kısa devre akımı (I_{sc}) çıkış akımı olup uygulanan voltaj ile ideal durumda (R_s ve R_{sh} dirençlerinin etkileri yok olduğu zaman) aydınlatma altında oluşmaya başlar. Bu akım gelen foton sayısı ve aydınlanma şiddeti ile orantılıdır [26,27,31].

3.7.6. Spektral Cevap

Spektral cevap, belirli dalga boylarında yüzeye gelen fotonların sayısı ile bağlantılı olup her bir dalga boyundaki toplam fotoakım, bir malzemenin spektral cevabını belirler [26,27]. Bir iç spektral cevap $SR(\lambda)$ numuneye gelen fotonların sayısı ile ilgili kısa-devre şartları altında oluşan elektron-boşluk çiftinin sayısıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$SR(\lambda) = \frac{J_p(\lambda)}{qF(\lambda)[1-R(\lambda)]} + \frac{J_n(\lambda)}{qF(\lambda)[1-R(\lambda)]} + \frac{J_{dr}(\lambda)}{F(\lambda)[1-R(\lambda)]} \quad (3.7)$$

Dış spektral cevap $SR(\lambda)_{ext}$ ise, bir numunenin yüzeyinden daha düşük refleksiyon ile azalabilen bir iç tepki cevabı olup, aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$SR(\lambda)_{ext} = SR(\lambda)[1 - R(\lambda)] \quad (3.8)$$

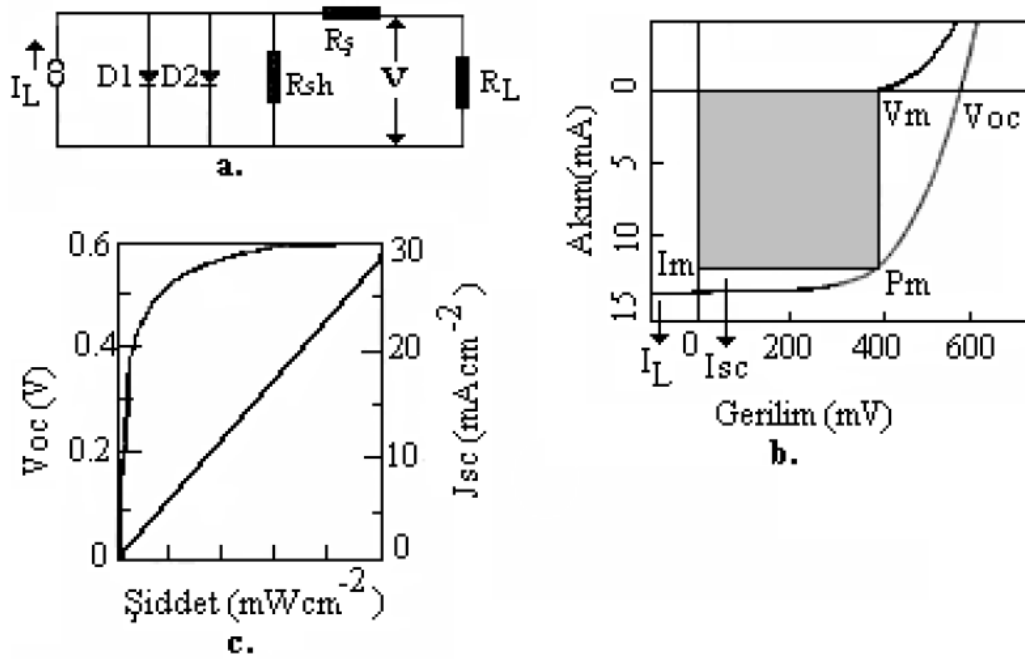
burada, $J_p(\lambda)$ boşluk difüzyon akım yoğunluğu, $J_n(\lambda)$ elektron difüzyon akım yoğunluğu, J_{dr} sürüklenme akım yoğunluğudur [26,27,31,38-41].

3.7.7. Doldurma Faktörü

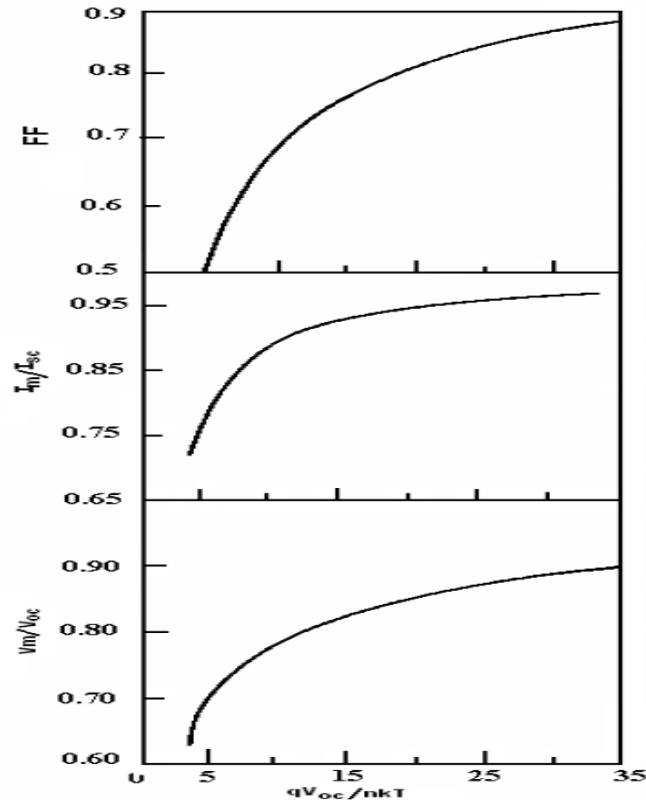
Yüksek bant aralıklı malzemelerin ve bu malzemelerin daha yüksek açık-devre voltajlarından dolayı yüksek doldurma faktörleri oluştururlar, doldurma faktörü (FF) aşağıdaki gibi ifade edilir [27,31];

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3.9)$$

Şekil 3.6 ve 3.7’de doldurma faktörü (FF) , seri direnç ve şönt dirençlerin grafikleri verilmiştir.



Şekil 3.6. a. Seri ve şönt dirençleri kapsayan foto diyotun eşdeğer devresi.
b. Bir foto diyotun tipik aydınlatma ve karanlık I-V karakteristikleri
c. Işık şiddetinin fonksiyonu olarak V_{oc} ve J_{sc} 'leri [26,27].



Şekil 3.7. qV_{oc} 'nin fonksiyonu olarak V_m / V_{oc} , I_m / I_{sc} ve FF 'in değişimi [26,27].

3.7.8. Arayüzey Durumları

Arayüzey durumları yarıiletkenle yükleri değişebilen arayüzeydeki yasak bant aralığı içinde girilebilir enerji seviyeleridir. Arayüzey durumları alıcı veya verici şeklinde olabilir. Alıcı, enerji seviyeleri dolu ise negatif, boş ise yüksüzdür. Verici, enerji seviyeleri dolu ise yüksüz, boş ise pozitifdir. Bir gerilim uygulandığı zaman, arayüzey tuzak seviyeleri, Fermi seviyesinin gerisinde sabit kalırken valans ve iletkenlik bantları ile aşağı yukarı hareket ederler. Arayüzey tuzaklarındaki yükün değişimi, arayüzey tuzakları iletkenlik bandı ve valans bandı ile yük alışverişi yapmasıyla oluşur [31,42]. Arayüzey durum yoğunlukları Hill-Coleman denklemi kullanılarak bulunur;

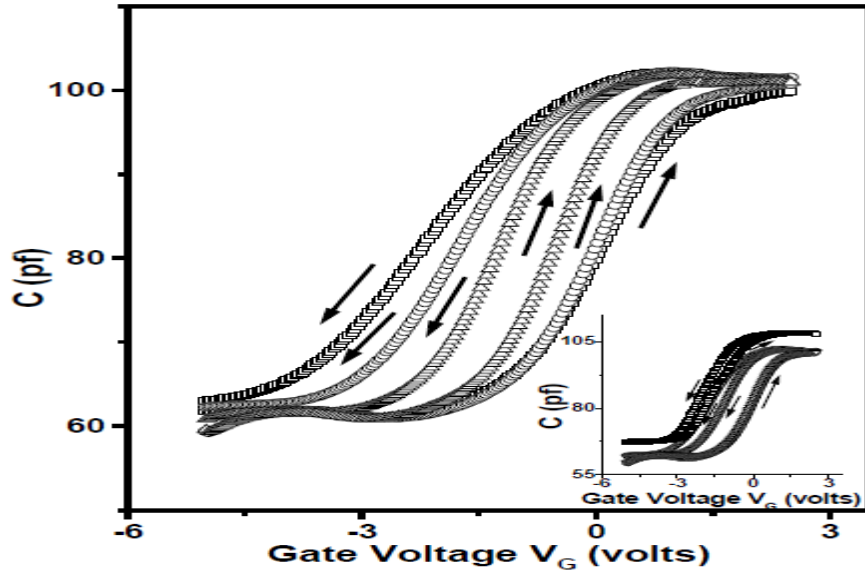
$$D_{it} = \frac{2}{qA} \frac{\left(\frac{G_c}{w}\right)_{max}}{\left[\left(\left(\frac{G_m}{w}\right)_{max} C_{ox}\right)^2 + \frac{1-C_m}{C_{ox}}\right]^2} \quad (3.10)$$

burada, C_m ölçülen kapasite, C_{ox} yalıtkan tabakanın kapasitesi, A diyotun kontak alanı, w ise açılmal hızıdır [31,43].

3.8. Ferroelektrik

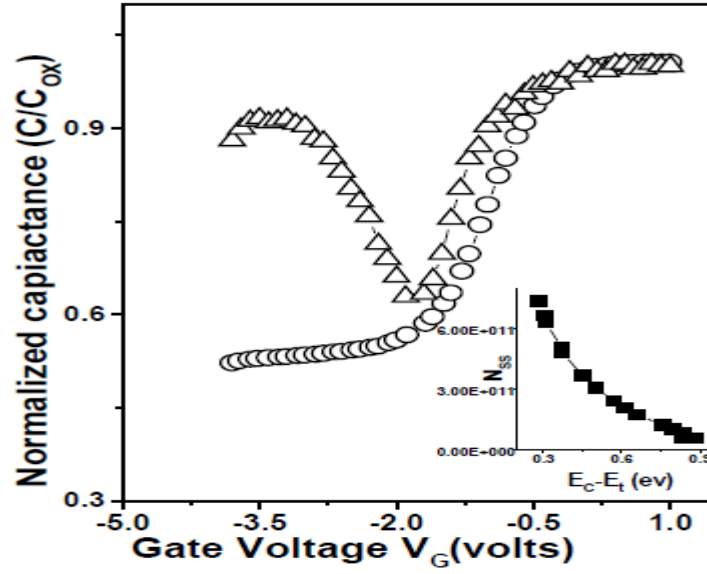
YMnO₃ ince filmleri n-tipi Si üzerine metal-ferroelektrik-yarıiletken (MFS) şeklinde üretilmiştir. C-V karakteristikleri sıcaklık değişimi ile polarizasyonları değişme göstermiştir. Sıcaklığın artmasıyla arayüzey durumlarında azalma görülmüştür. YMnO₃'ün arayüzey durumları ve enerji aralıkları çıkarılmıştır. Birikim bölgesinde sızıntı akımı ölçülmüştür bu da bir iletim mekanizması olduğunu gösterir. Mangani doğrudan Si yüzeylere entegre edip MOSFET uygulamalarında kullanılır. YMnO₃'ün ferroelektrik özellikleri çalışılmıştır. Ferroelektrik filmler Si yüzeye entegre edildiğinde, Si ile kontak yüzeyinde yüklerin polarizasyonu ile yüzey iletkenliği meydana gelmiştir. Ferroelektriğin normal histerezis davranışı uygulanan elektrik alanın değerine ve yönüne bağlıdır [48].

Ito ve Tsuchiya, yarıiletken entegre edilen ince filmlerin ferroelektrik davranışlarını incelemiştir [50]. Silikon filmlerin yapısı ferroelektrik maddelerle polarize olmasını sağlar. Bu yaklaşımla YMnO₃ filmlerinde ferroelektrik özellikleri incelenerek, C-V eğrileri çizilerek polarizasyon davranışları incelenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil.3.8. YMnO₃'ün C-V eğrisi [48].

Curie sıcaklığına geldiğinde polarizasyon yük yoğunluğu azalır. Bu davranış YMnO₃ filmlerinin ferroelektrik davranış gösterdiği anlamına gelir. YMnO₃'ün 1 kHz'de ve daha yüksek frekanslarda ters bölgede minimum kapasitansla C-V eğrileri çizilmiştir. A.C. sinyalin, terslenim tabakasında yük değişimi nedeni ile n-tipi silisyumun tükenim tabakasında azınlık taşıyıcıların yeniden birleşimi ile indüklenir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. YMnO₃'ün C/C_{ox} ve N_{ss}-E eğrileri [48].

MOS kapasitörlerde, arayüzey durumları ve oksit yükler termal dengede nasıl bir performans sergilediğini belirler. İnce filmlerin tavlama sıcaklığı da RR değerlerini etkiler.

Perovskit oksitlerin genel formülü ABO₃ şeklinde olup son yıllarda gaz sensörleri ve süper iletkenlik gibi birçok alanda araştırma konusu olmuştur. Bu oksitlere stronyum katkı yaparak LaCoO₃'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine çalışılmıştır. YCoO₃ ortorombik yapı göstermiştir. Nadir toprak metallerle oksit hazırlanırken kimyasal yapısı seramik hazırlamada da avantaj sağlar [49].

Hazırlama yollarından biri çözünme esasıyla uygun ortamda nitratlarla çözerek stokimetresi ve homojenliği kontrol edilerek hazırlamaktır. YCoO₃ hazırlanırken Y(NO₃).6H₂O ve Co(NO₃).6H₂O kullanılarak yüksek kristal yapı elde edilmiştir. Bunu yaparken 0.1 M sitrik asit ve 0.1 M üre olmak üzere iki farklı sıvı çözelti kullanılmıştır. 900 °C'de 24 saat tavlendiğinde nano parçacıklar oluşmuştur [49].

4. MATERYAL ve METOT

4.1. Malzemelerin Üretim Aşamaları ve Karakterizasyonu

$Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ 0,02 oranında malzemeleri; $x=0$, $x=0.01$, $x=0.05$, $x=0.15$ olacak şekilde 20 ml saf su ile hazırlanarak ultrasonik olarak 5 dakika karıştırıldı. Cam beherde $90^{\circ}C$ 'de su buharlaşana kadar 12 saat bekletildi. Elde edilen tozlar $300^{\circ}C$ 'de 2 saat kalsine edildi. Bu tozlarla SEM, FTIR ve XRD yapı analizleri alındı.

Y, Sr, Co, Mn ve sitrik asit ($C_6H_8O_7$) yukarıda belirtilen oranlarda alınarak sol-jel çözeltileri diyot hazırlanmak için üretildi. Sol-jeli hazırlamak için 10 ml saf suda yukarıda belirtilen oranlarda ultrasonik karıştırıcıda oda sıcaklığında 5 dk karıştırıldıktan sonra $60^{\circ}C$ sıcaklıkta manyetik karıştırıcıda 1 saat daha karıştırarak sol-jel özelliği kazanması sağlandı.

Diyot hazırlayabilmek için p-Si tipi üzerine aliminyum buharlaşmak için öncelikle p-Si malzemenin üzerinde olabilecek ağır metal ve organik kirliliklerin temizleme işlemi yapıldı. Kimyasal temizlik RCA yöntemi ile yapıldı. Bu yöntemde p-Si malzemenin temizleneceği cam beherler deiyonize su ile temizlendi. p-Si filmi, ultrasonik banyoda deiyonize su kullanılarak 5 dk yıkandıktan sonra, 30 ml etil alkolde yıkandı ardından deiyonize suda tekrar 5 dk yıkandı. Son aşamada (1:10 ml) oranında $HF:H_2O$ çözücü içerisinde 30 sn bekletildi deiyonize suda son kez 5 dk yıkandıktan sonra azot gazı ile kurulandı.

RCA yöntemi ile hazırlanan p-Si malzemeye omik kontak oluşturabilmek için VAKSİS PVD-HANDY/2S-TE buharlaştırma sistemi ile 3×10^5 torr basınçla üzerine 100 nm kalınlığında aliminyum kaplandı. Kaplama için %99.99 saflıkta aliminyum kullanıldı. Aliminyum kaplanmış p-Si, fırına azot gazı verilerek $570^{\circ}C$ 'de 5 dakika bekletildi.

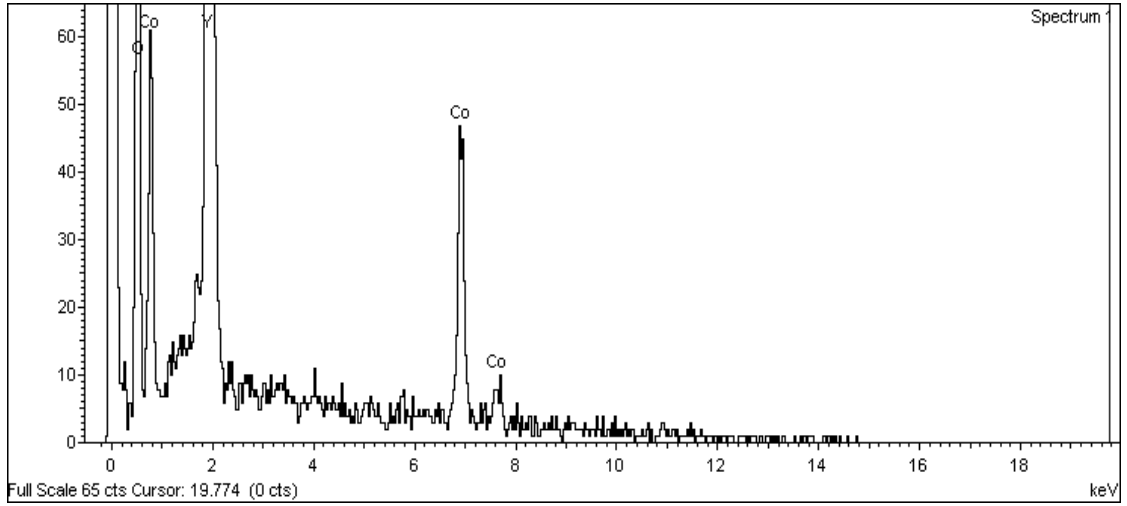
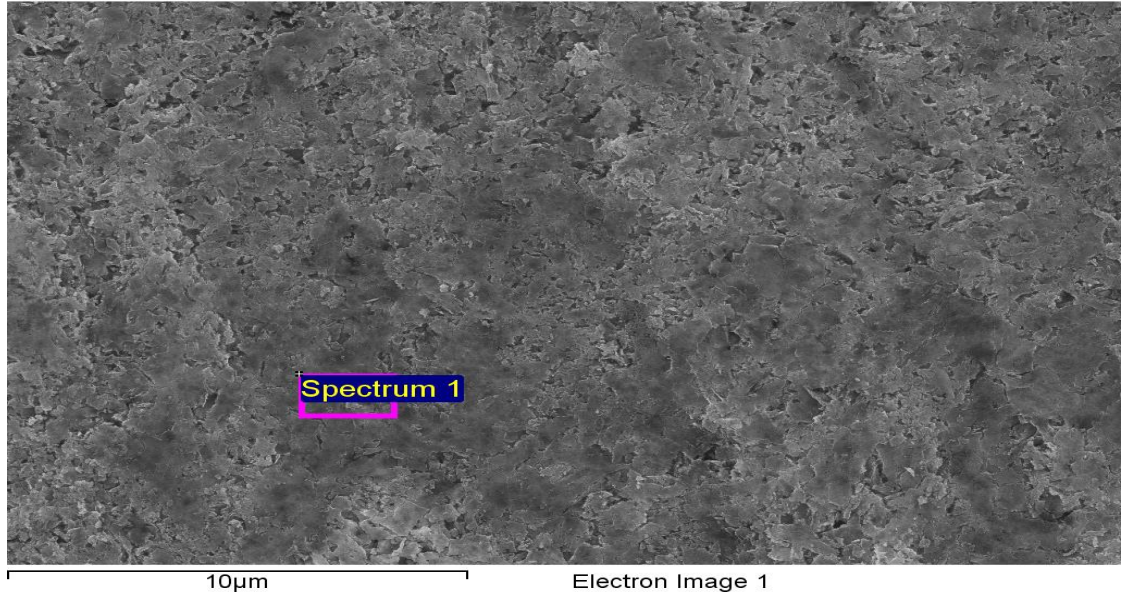
Sol-jeller spin-coater ile omik kontak oluşturulmuş p-Si üzerine kaplanarak hot-plate üzerinde $50^{\circ}C$ 'de 5 dakika kurutulduktan sonra fırında $300^{\circ}C$ 'de 2 saat bekletildi.

Malzemeler soğuduktan sonra Denton Vacuum Desk-V sistemi ile üstüne altın kontak yapılarak $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO_3/Au$ ve $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO_3/Au$ diyotların üretimi tamamlandı.

4.2. Malzemelerin Karakterizasyonu

$Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemelerinin SEM, FTIR ve XRD analizleri yapılarak elde edilen veriler aşağıda verilmiştir Şekil 4.1-Şekil 4.24'de verilmiştir.

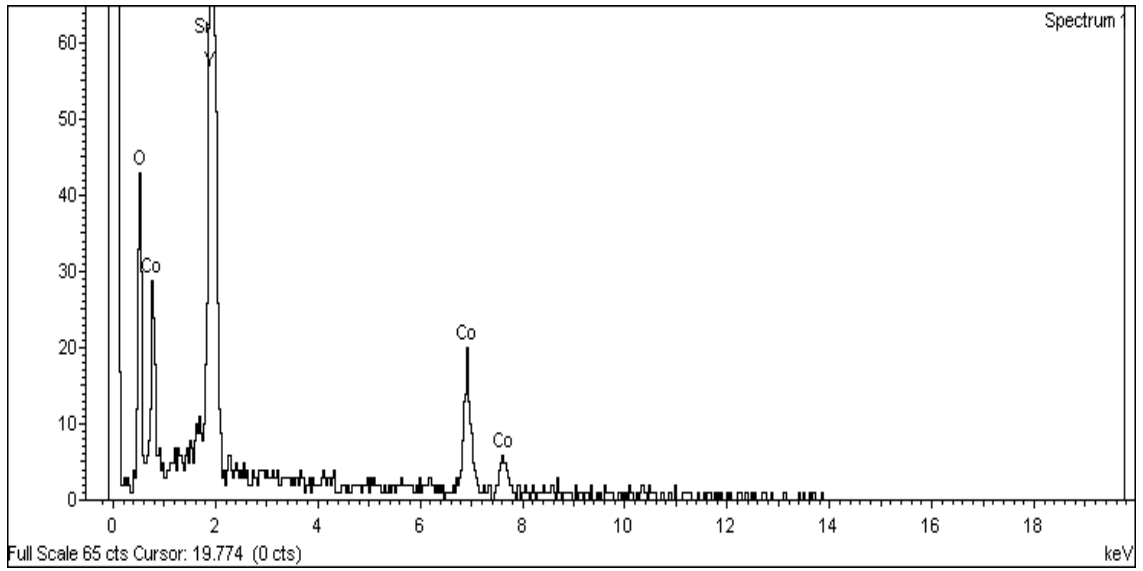
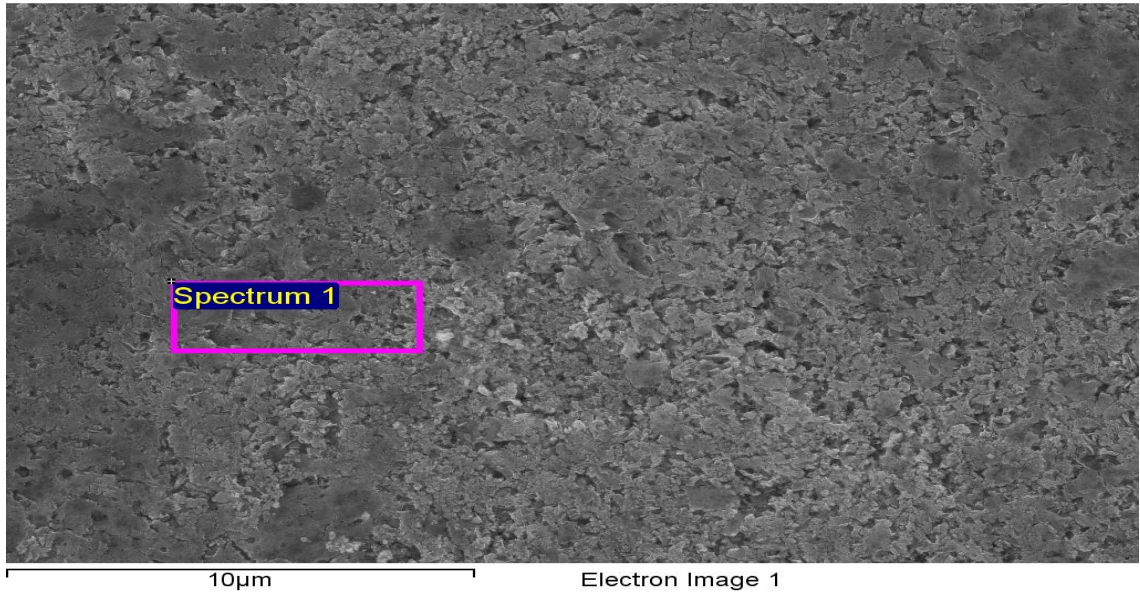
4.2.1. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ Malzemelerinin SEM Ölçümleri



Şekil 4.1. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu.

Tablo 4.1. Şekil 4.1. de görülen $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0$ için EDX spektrum sonuçları.

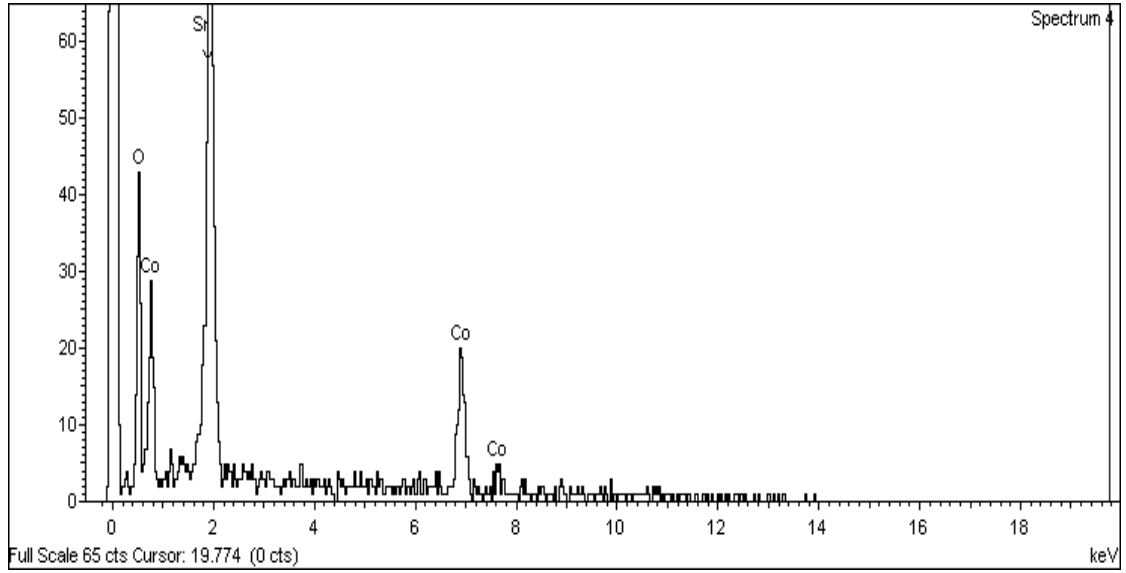
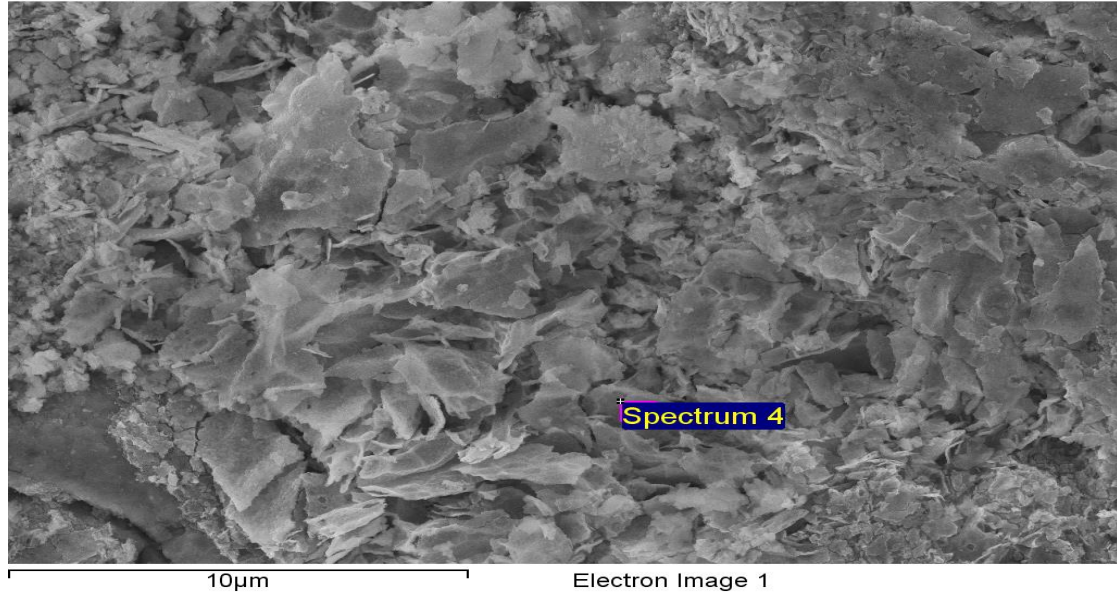
Element	Ağırlıkça oran (%)	Atomik oran(%)
O	30.11	66.86
Co	25.65	15.56
Y	44.25	17.68
Toplam	100	100



Şekil 4.2. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0.01$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu.

Tablo 4.2. Şekil 4.2. de görülen $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0.01$ için EDX spektrum sonuçları.

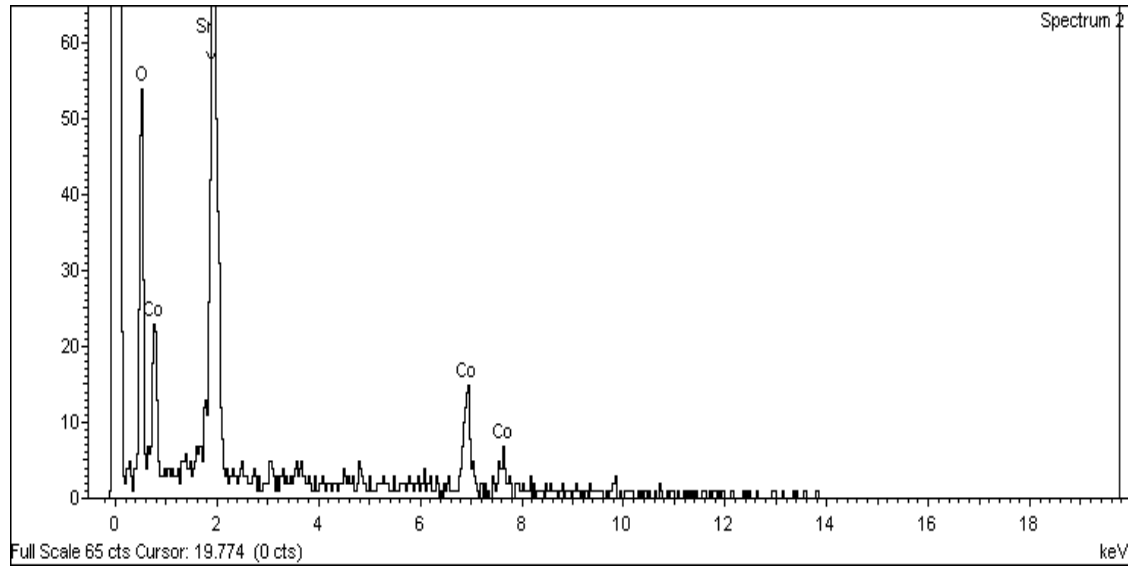
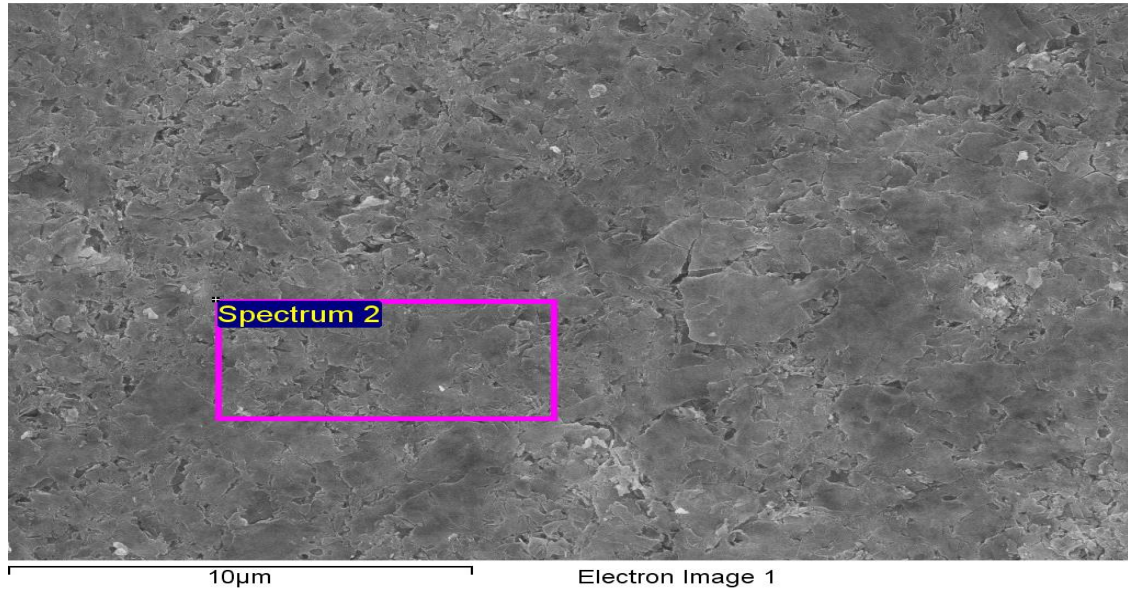
Element	Ağırlıkça oran (%)	Atomik oran(%)
O	25.53	61.99
Co	24.64	16.24
Sr	0.49	0.22
Y	49.34	21.55
Toplam	100	100



Şekil 4.3. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0.05$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu.

Tablo 4.3. Şekil 4.3. de görülen $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0.05$ için EDX spektrum sonuçları

Element	Ağırlıkça oran (%)	Atomik oran(%)
O	26.31	62.55
Co	27.13	17.51
Sr	3.96	1.72
Y	42.59	18.22
Toplam	100	100

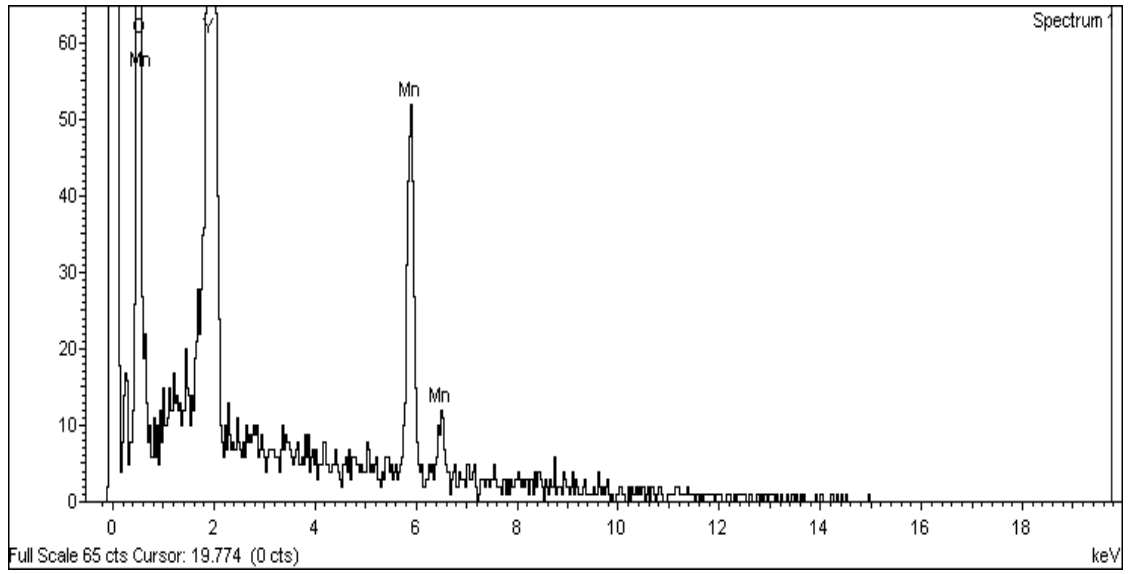
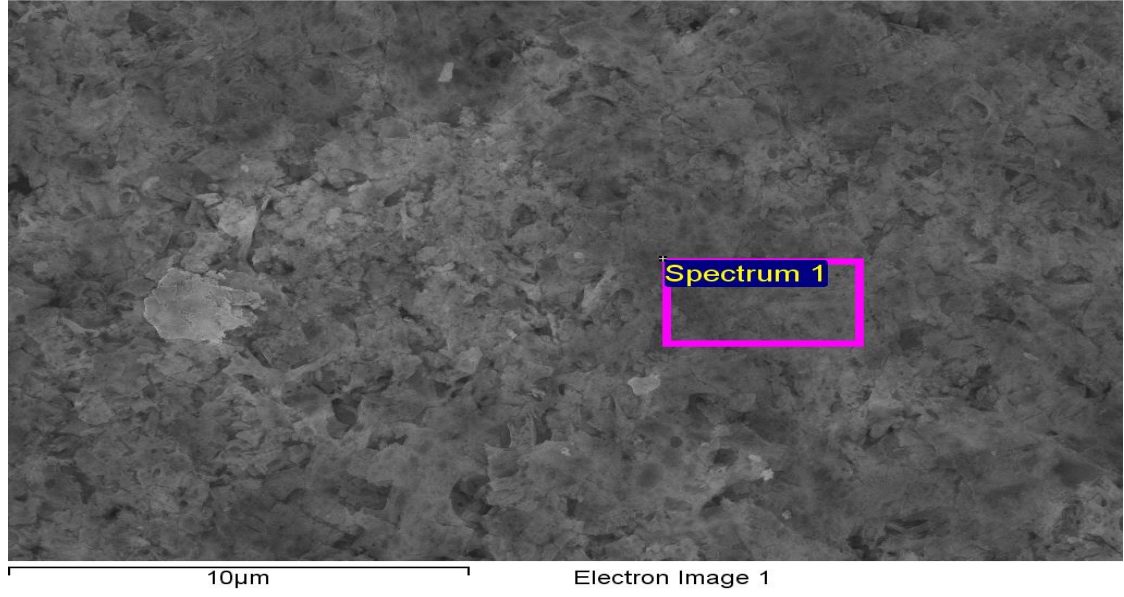


Şekil 4.4. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0.15$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu.

Tablo 4.4. Şekil 4.4. de görülen $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0.15$ için EDX spektrum sonuçları.

Element	Ağırlıkça oran (%)	Atomik oran(%)
O	35.75	72.16
Co	24.37	13.36
Sr	0.17	0.06
Y	39.71	14.43
Toplam	100	100

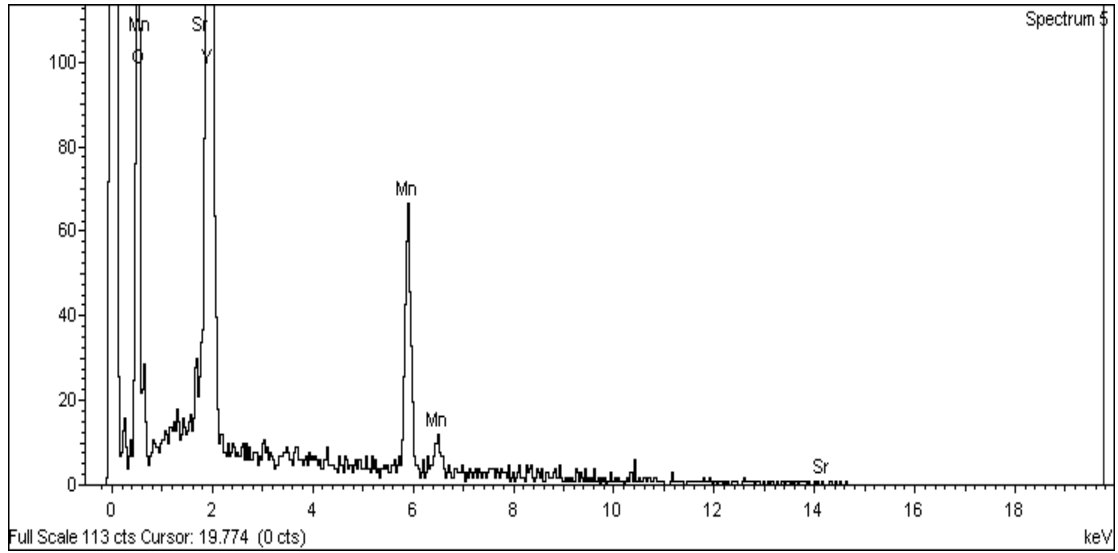
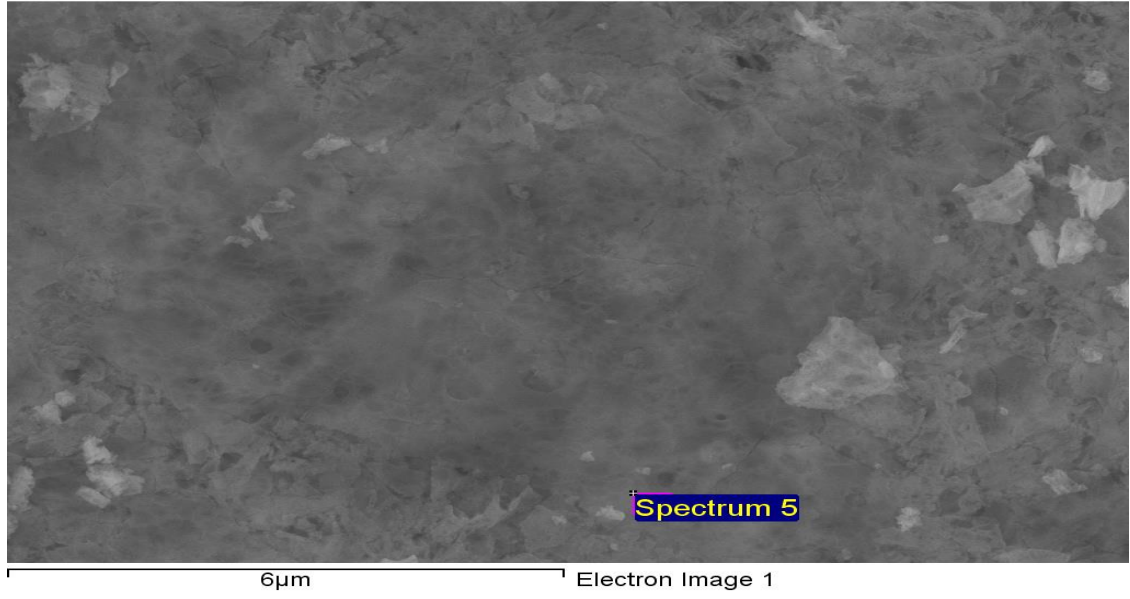
4.2.2. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ Malzemelerinin SEM Ölçümleri



Şekil 4.5. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu.

Tablo 4.5. Şekil 4.5’de görülen $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ Au malzemesinin $x=0$ için EDX spektrum sonuçları.

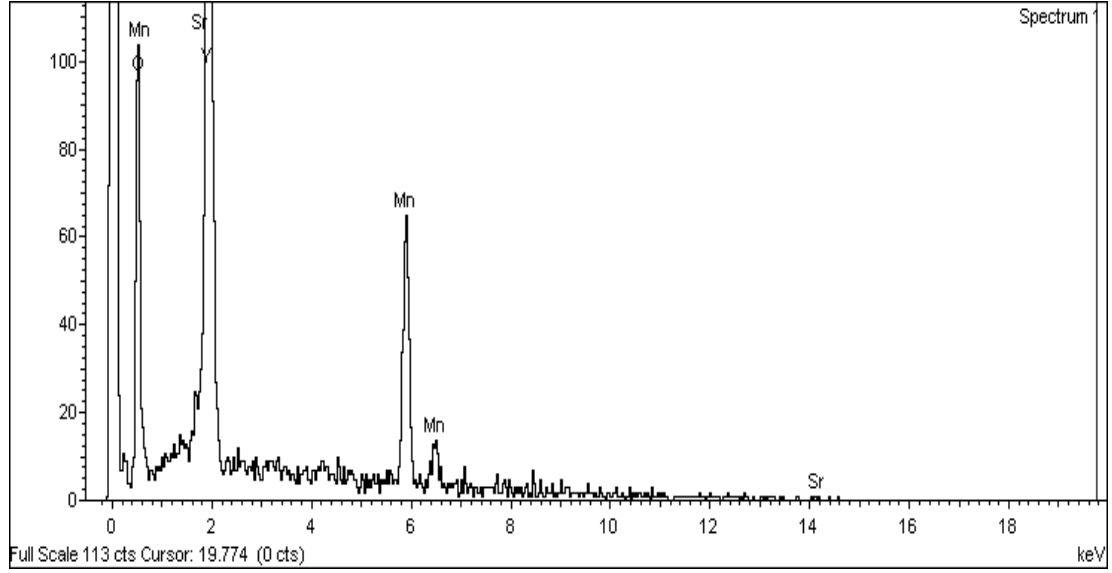
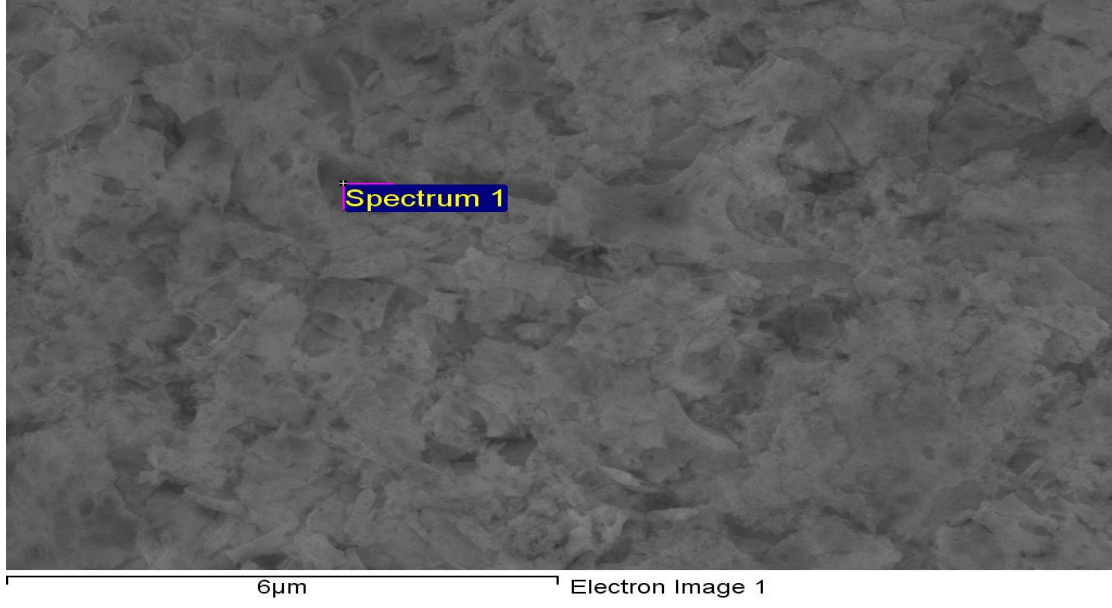
Element	Ağırlıkça oran (%)	Atomik oran(%)
O	36.70	73.00
Mn	19.59	11.35
Y	43.72	15.65
Toplam	100	100



Şekil 4.6. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0.01$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu.

Tablo 4.6. Şekil 4.6’da görülen $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0.01$ için EDX spektrum sonuçları.

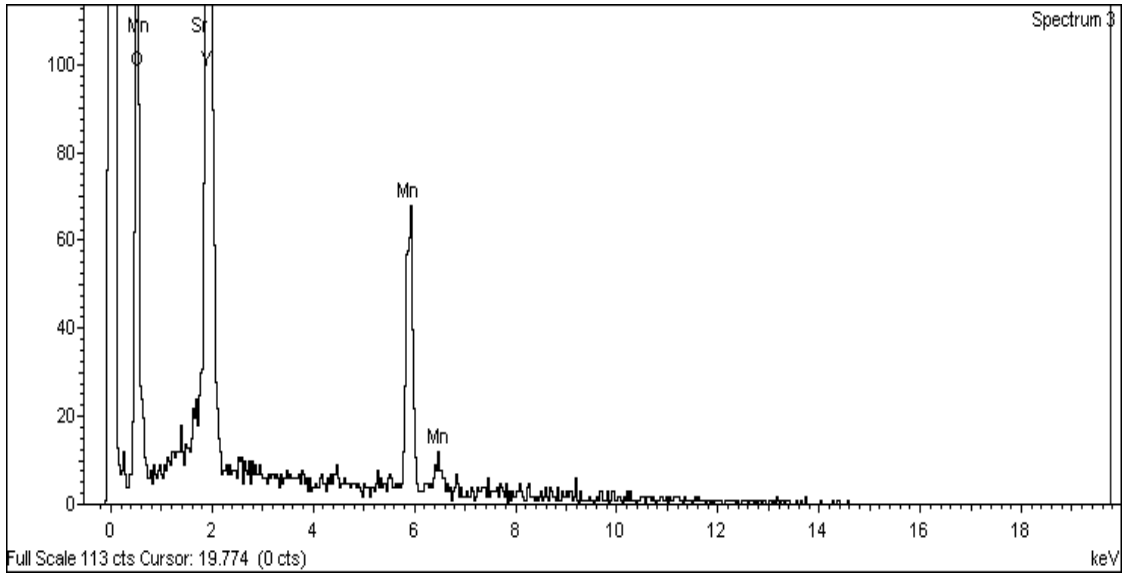
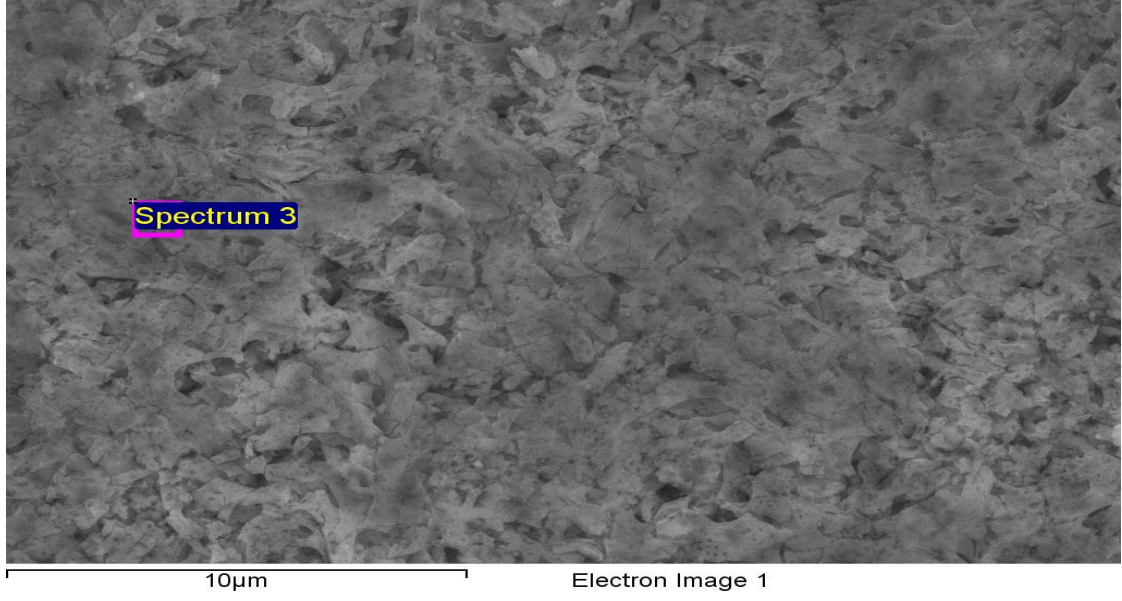
Element	Ağırlıkça oran (%)	Atomik oran(%)
O	35.35	71.65
Mn	21.18	12.50
Sr	0.42	0.16
Y	43.05	15.70
Toplam	100	100



Şekil 4.7. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0.05$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu.

Tablo 4.7. Şekil 4.7’de görülen $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0.05$ için EDX spektrum sonuçları.

Element	Ağırlıkça oran (%)	Atomik oran(%)
O	27.63	63.42
Mn	26.18	17.50
Sr	0.82	0.34
Y	45.37	18.74
Toplam	100	100

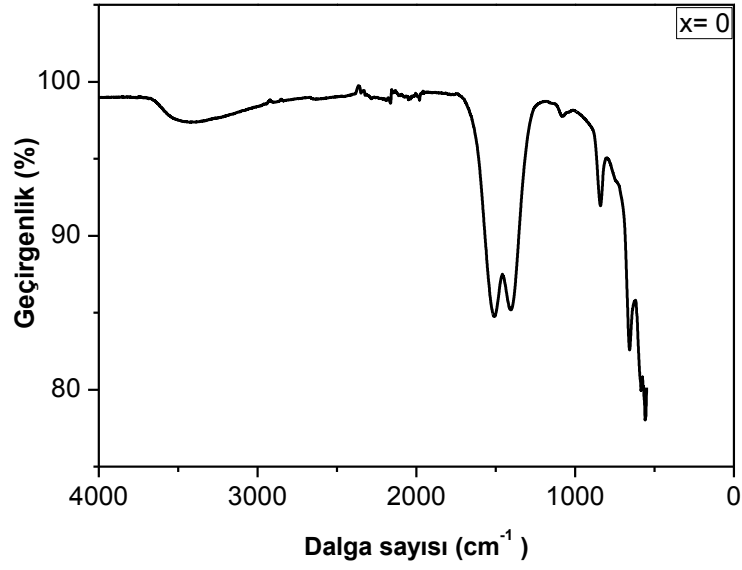


Şekil 4.8. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0.15$ için 5000X büyütme oranındaki EDX spektrumu.

Tablo 4.8. Şekil 4.8’de görülen, $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0.15$ için EDX spektrum sonuçları.

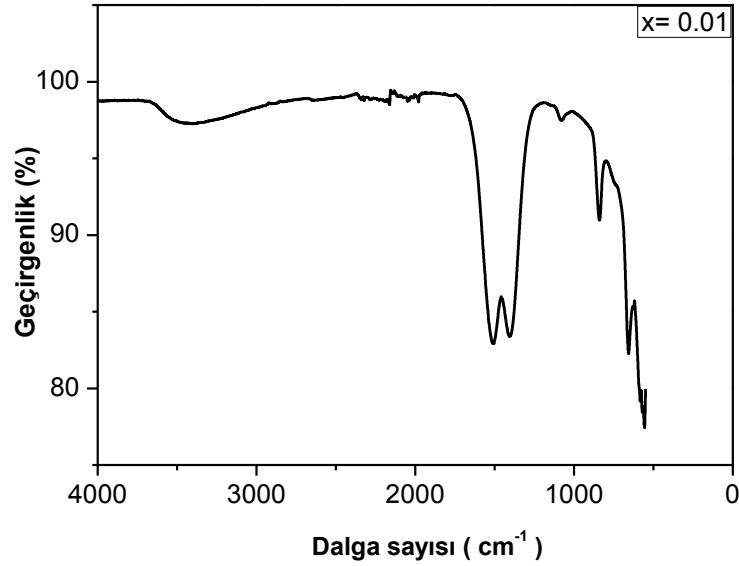
Element	Ağırlıkça oran (%)	Atomik oran(%)
O	32.99	69.06
Mn	24.42	14.89
Sr	0.48	0.18
Y	42.11	15.87
Toplam	100	100

4.2.3. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ Malzemelerinin FTIR Ölçümleri



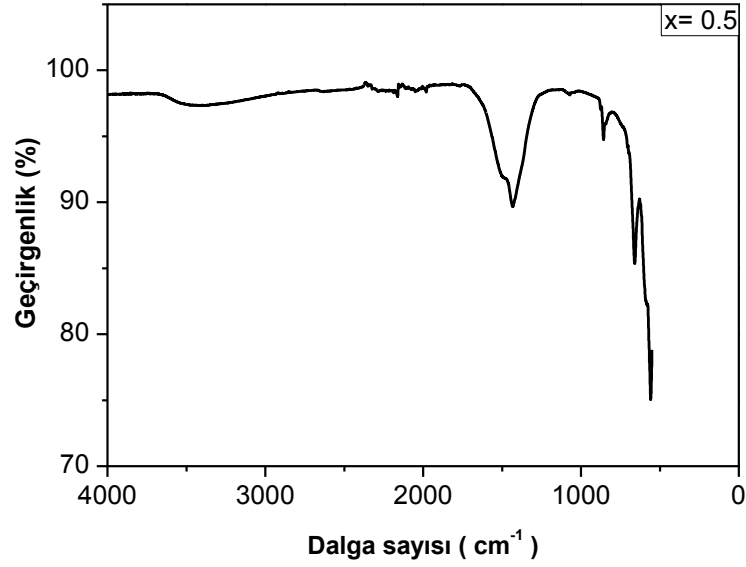
Şekil 4.9. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0$ için FTIR spektrumu.

Şekil 4.9’da $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin FTIR spektrumunda görüldüğü gibi bu malzemede 843 cm^{-1} (C-H), 1398 cm^{-1} (C-O) ve 1514 cm^{-1} ’de (C-C) pikleri görülmüştür.



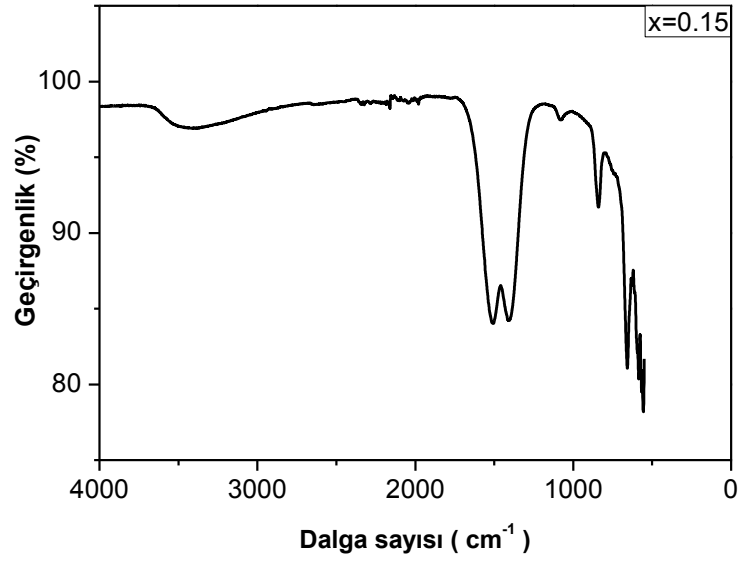
Şekil 4.10. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0.01$ için FTIR spektrumu.

Şekil 4.10’da $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin FTIR spektrumunda görüldüğü gibi bu malzemede 649 cm^{-1} (C-H), 830 cm^{-1} (C-H), 1411 cm^{-1} (C-O) ve 1514 cm^{-1} ’de (C-C) pikleri görülmüştür.



Şekil 4.11. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0.05$ için FTIR spektrumu.

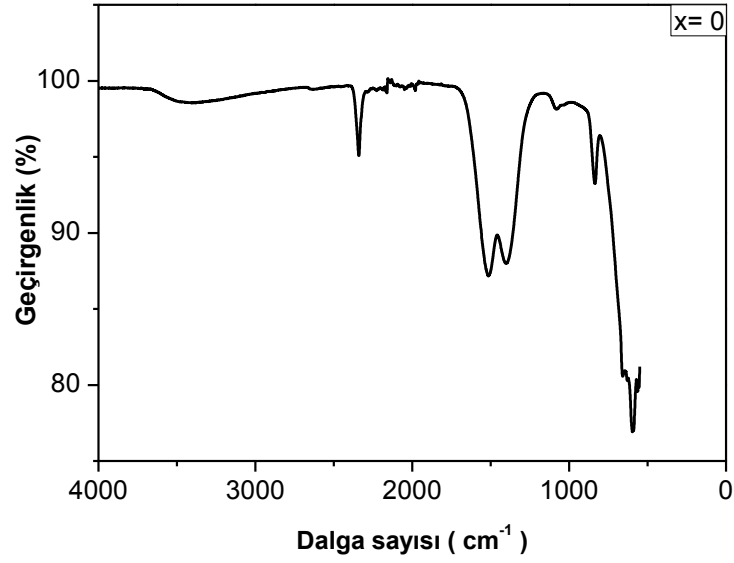
Şekil 4.11’de $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin FTIR spektrumunda görüldüğü gibi bu malzemede 662 cm^{-1} (C-H), 856 cm^{-1} (C-H) ve 1437 cm^{-1} (C-O) pikleri görülmüştür.



Şekil 4.12. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $x=0.15$ için FTIR spektrumu.

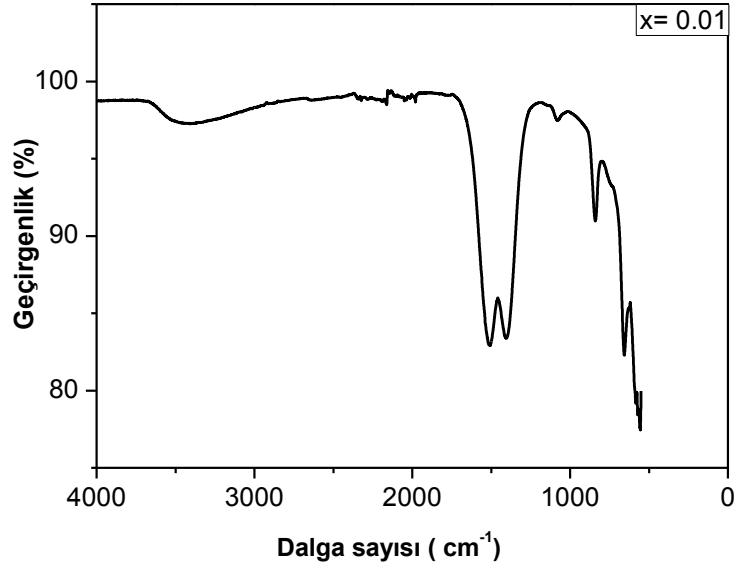
Şekil 4.12’de $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin FTIR spektrumunda görüldüğü gibi bu malzemede 649 cm^{-1} (C-H), 830 cm^{-1} (C-H), 1411 cm^{-1} (C-O) ve 1514 cm^{-1} ’de (C-C) pikleri görülmüştür.

4.2.4. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ Malzemelerinin FTIR Ölçümleri



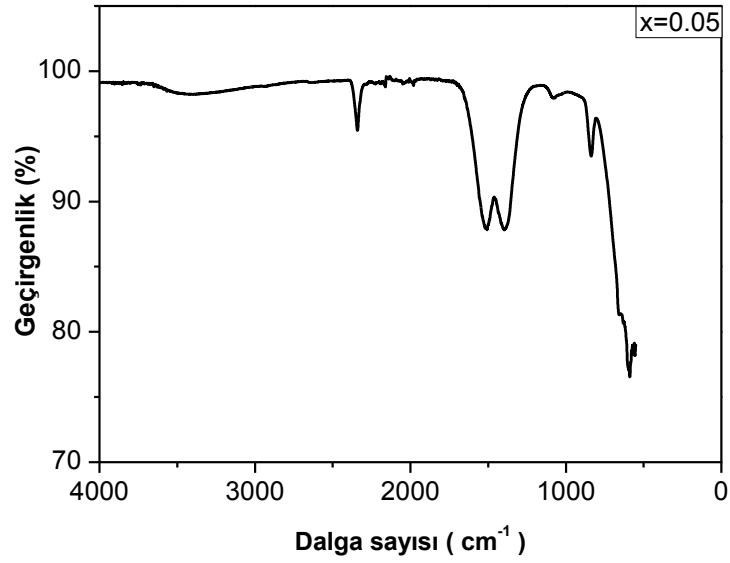
Şekil 4.13. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0$ için FTIR spektrumu.

Şekil 4.13’de $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin FTIR spektrumunda görüldüğü gibi bu malzemede 843 cm^{-1} (C-H), 1398 cm^{-1} (C-O), 1514 cm^{-1} ve 2341 cm^{-1} ’de (C-C) pikleri görülmüştür.



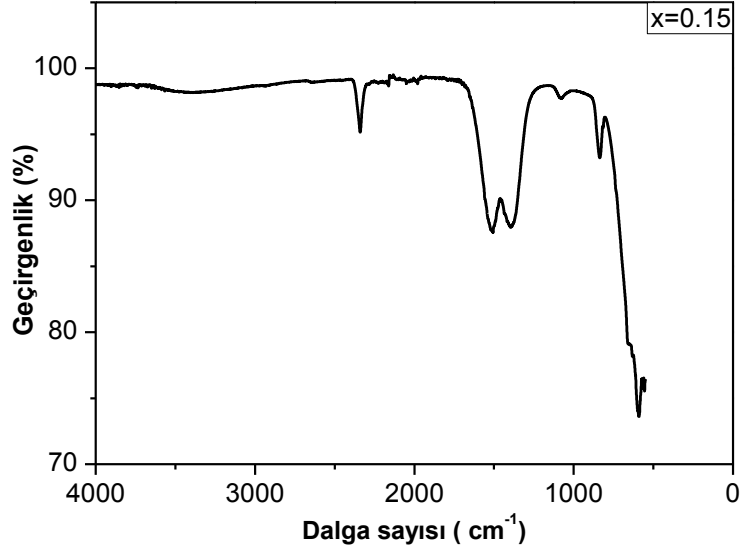
Şekil 4.14. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0.01$ için FTIR spektrumu.

Şekil 4.14’de $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin FTIR spektrumunda görüldüğü gibi bu malzemede 649 cm^{-1} (C-H), 843 cm^{-1} (C-H), 1398 cm^{-1} (C-O) ve 1514 cm^{-1} ’de (C-C) pikleri görülmüştür.



Şekil 4.15. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0.05$ için FTIR spektrumu.

Şekil 4.15’de $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin FTIR spektrumunda görüldüğü gibi bu malzemede 843 cm^{-1} (C-H), 1398 cm^{-1} (C-O), 1514 cm^{-1} ve 2341 cm^{-1} ’de (C-C) pikleri görülmüştür.



Şekil 4.16. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $x=0.15$ için FTIR spektrumu.

Şekil 4.16’da $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin FTIR spektrumunda görüldüğü gibi bu malzemede 830 cm^{-1} (C-H), 1385 cm^{-1} (C-O), 1514 cm^{-1} ’de ve 2341 cm^{-1} ’de (C-C) pikleri görülmüştür.

4.2.5. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ Malzemelerinin Xrd Analizleri

X-ışını kırınımı $0,02^\circ$ tarama hızında $\lambda=1,5405 \text{ \AA}$ dalga boylu $CuK\alpha$ ışını kullanılarak $20^\circ \leq 2\theta \leq 100^\circ$ sınır değerlerinde tarama yapılmıştır. Birim hücrede düzlemler arası mesafe, Bragg kırınım şartı olarak bilinen

$$\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta_{hkl} \quad (4.1)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada, λ gönderilen ışının dalga boyu, d_{hkl} (hkl) Miller indislerindeki komşu düzlemler arası mesafe ve θ_{hkl} ise yansıma açısıdır. Hegzagonal yapıdaki $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ 'e ait örgü sabitleri olan a ve c değerleri yardımıyla h,k,l indisleri (4.2) ifadesinde gösterildiği gibi hesaplanır.

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

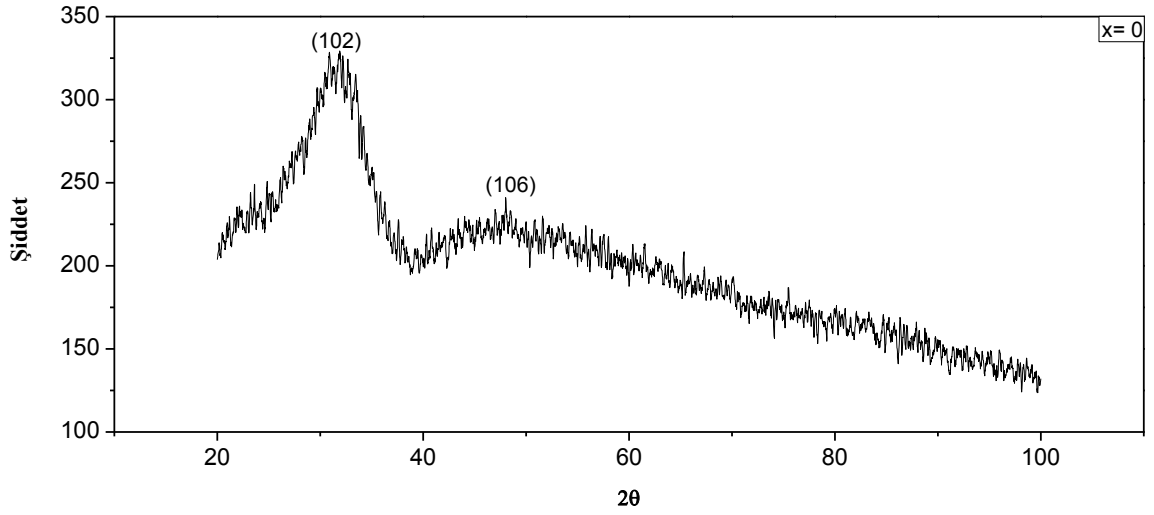
Tablo 4.9-4.12'de numunelere ait düzlemler arası mesafeler (d), kırınım açıları (2θ) ve düzlemlere ait Miller indisleri verilmiştir. Hesaplanan örgü sabiti değerleri kırınım desenlerindeki piklere ait kristal düzlemleri hesaplanıp şekiller üzerinde belirtilmiştir. Hesaplanan düzlemlerin, hekzagonal yapıdaki $YMnO_3$ 'e ait referans değerlerle (JCPDS 081-1945) uyum içerisinde olduğu görülmüştür [51,52]. Birim hücrede düzlemler arası mesafe, Bragg kırınım şartı olarak bilinen (4.3) ifadesi ile hesaplanabilir.

$$\lambda = 2d_{hkl}\sin\theta_{hkl} \quad (4.3)$$

burada λ gönderilen ışının dalgaboyu, d_{hkl} (hkl) Miller indislerindeki komşu düzlemler arası mesafe ve θ_{hkl} yansıma açısıdır. Hegzagonal yapıdaki $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ 'e ait örgü sabitleri olan a ve c değerleri yardımıyla h,k,l indisleri,

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (4.4)$$

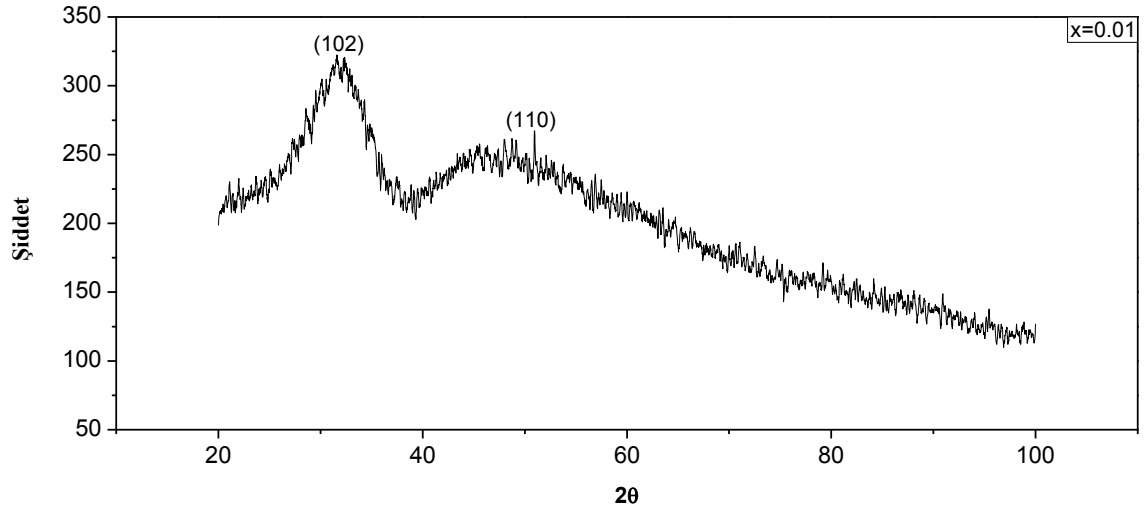
(4.4) ifadesi ile hesaplanmıştır [51]. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ için XRD analizleri Şekil 4.17-4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0$ malzemesinin XRD analizi.

Tablo 4.9. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0$ malzemesinin kristal özellikleri.

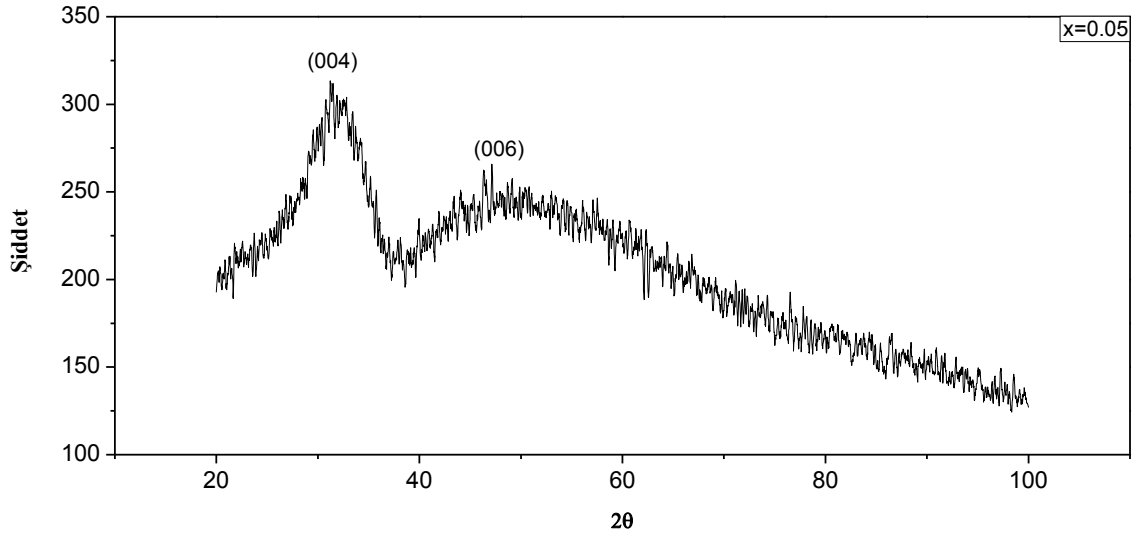
2θ (derece)	Pik Şiddeti (Sayım)	Kristal Yapısı	h	k	l	d (Å)
31.8	327	Hegzagonal	1	0	2	2.74
48.07	235	Hegzagonal	0	0	6	1.89



Şekil 4.18. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0.01$ malzemesinin XRD analizi.

Tablo 4.10. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0.01$ malzemesinin kristal özellikleri.

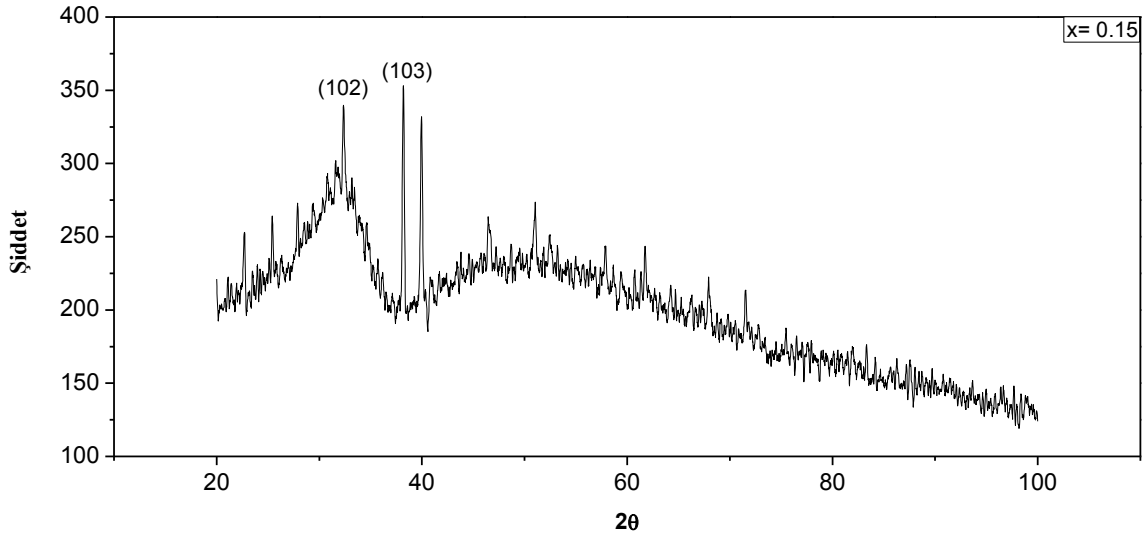
2θ (derece)	Pik Şiddeti (Sayım)	Kristal Yapısı	h	k	l	d (Å)
32.38	320	Hegzagonal	1	0	2	2.74
50.09	261	Hegzagonal	1	1	0	1.80



Şekil 4.19. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0.05$ malzemesinin XRD analizi.

Tablo 4.11. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0.05$ malzemesinin kristal özellikleri.

2θ (derece)	Pik Şiddeti (Sayım)	Kristal Yapısı	h	k	l	d (Å)
31.6	312	Hegzagonal	0	0	4	2.84
50.09	261	Hegzagonal	0	0	6	1.89



Şekil 4.20. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0.15$ malzemesinin XRD analizi.

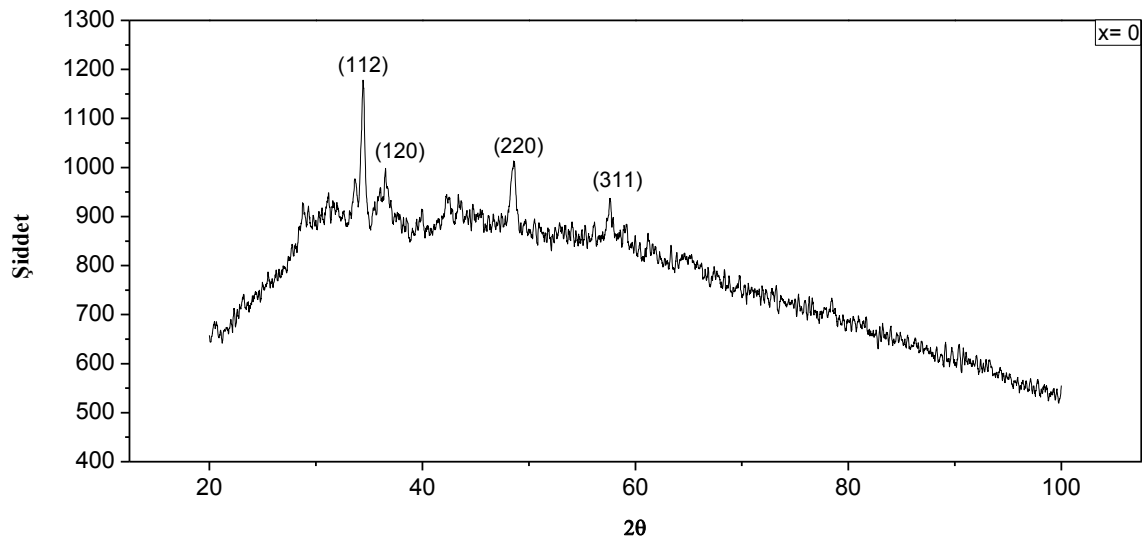
Tablo 4.12. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ $x=0.15$ malzemesinin kristal özellikleri.

2θ (derece)	Pik Şiddeti (Sayım)	Kristal Yapısı	h	k	l	d (Å)
32.38	335	Hegzagonal	1	0	2	2.71
38.12	346	Hegzagonal	1	0	3	2.41

$Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ için XRD analizleri şekil 4.21-4.24’de gösterilmiştir. Hesaplanan düzlemlerin, ortorombik yapıdaki $YCoO_3$ ’e ait referans değerlerle (JCPDS 088-0425) uyum içerisinde olduğu görülmüştür [53]. Ortorombik yapıdaki $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ ’e ait örgü sabitleri olan a ve c değerleri yardımıyla h,k,l indisleri,

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (4.5)$$

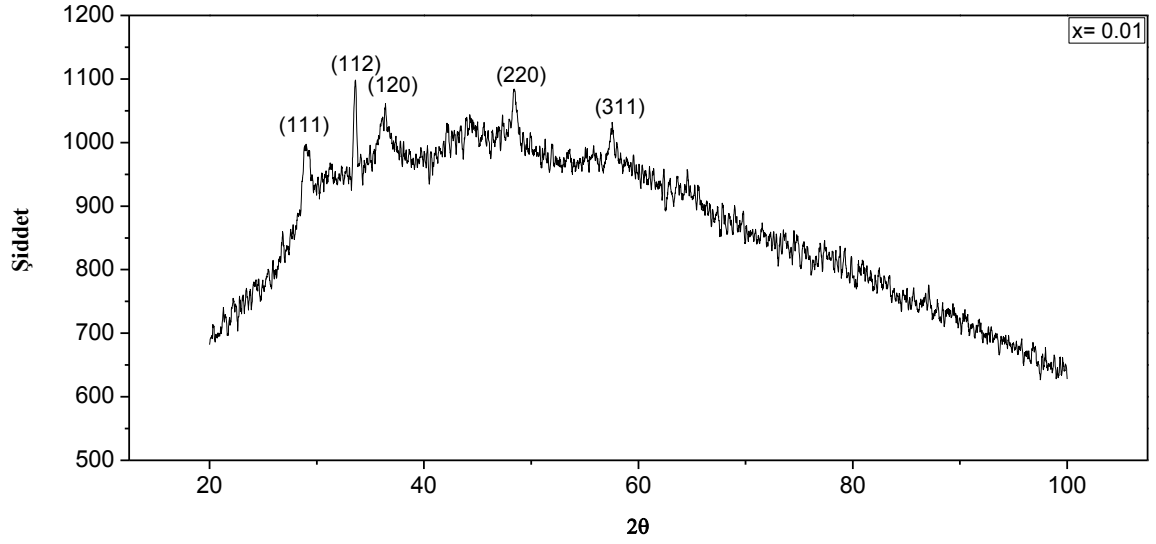
ile hesaplanmıştır. Tablo.4.13-4.16’ da numunelere ait düzlemler arası mesafeler (d), kırınım açıları (2θ) ve düzlemlere ait Miller indisleri verilmiştir.



Şekil 4.21. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ x=0 malzemesinin XRD analizi.

Tablo 4.13. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ x=0 malzemesinin kristal özellikleri.

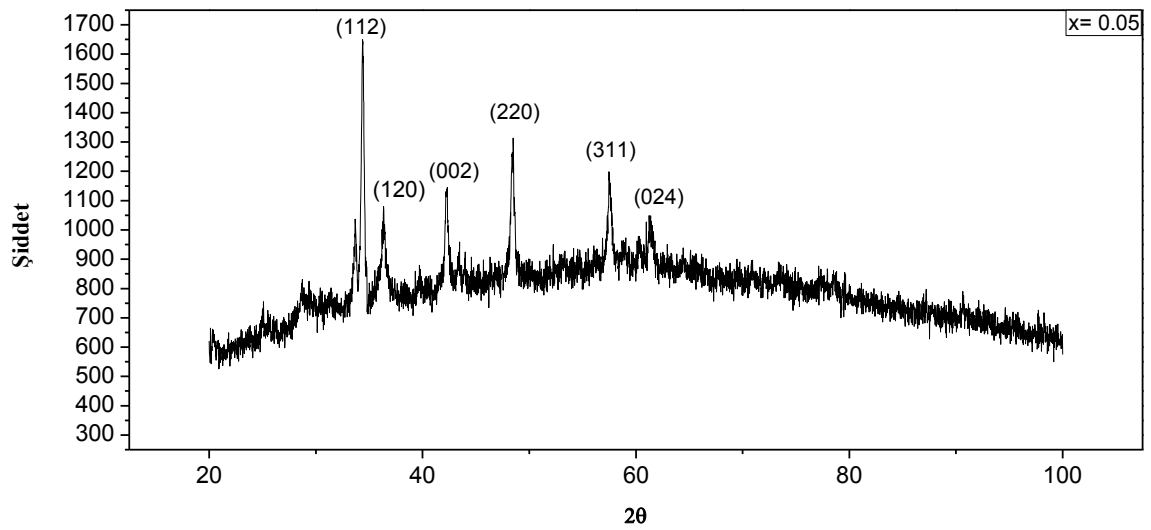
2θ (derece)	Pik Şiddeti (Sayım)	Kristal Yapısı	h	k	l	d (Å)
34.5	1160	Ortorombik	1	1	2	2.61
36.5	987	Ortorombik	1	2	0	2.39
48.6	990	Ortorombik	2	2	0	1.86
57.6	917	Ortorombik	3	1	1	1.59



Şekil 4.22. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0.01$ malzemesinin XRD analizi.

Tablo 4.14. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0.01$ malzemesinin kristal özellikleri.

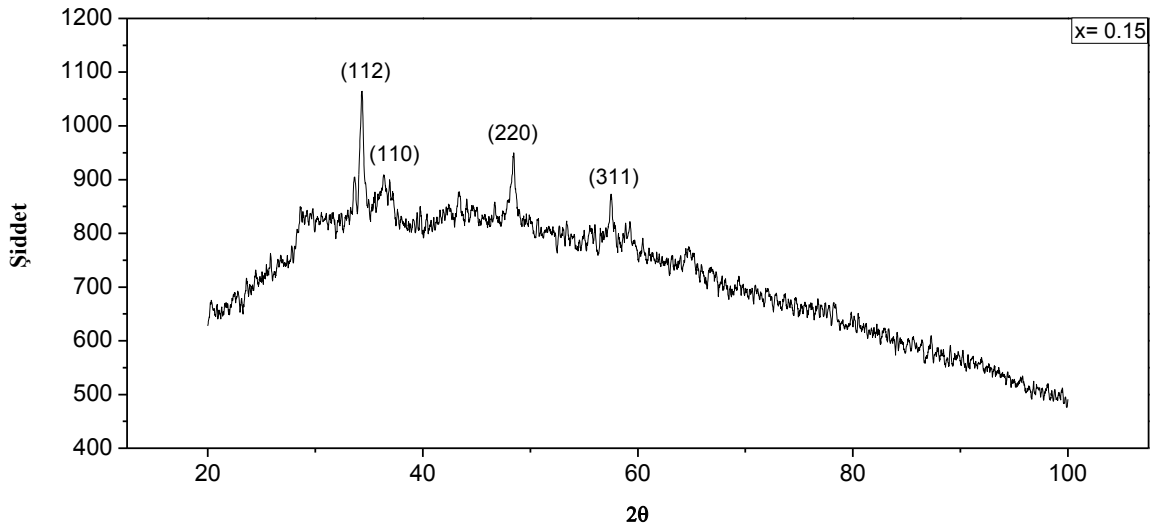
2θ (derece)	Pik Şiddeti (Sayım)	Kristal Yapısı	h	k	l	d (Å)
29.5	986	Ortorombik	1	1	1	3.31
33.96	1084	Ortorombik	1	1	2	2.61
36.5	1042	Ortorombik	1	2	0	2.39
48.41	1072	Ortorombik	2	2	0	1.86
57.6	1018	Ortorombik	3	1	1	1.59



Şekil 4.23. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0.05$ malzemesinin XRD analizi.

Tablo 4.15. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0.05$ malzemesinin kristal özellikleri.

2 θ (derece)	Pik Şiddeti (Sayım)	Kristal Yapısı	h	k	l	d (Å)
34.25	1623	Ortorombik	1	1	2	2.61
36.24	1034	Ortorombik	1	2	0	2.39
42.2	1113	Ortorombik	0	0	2	2.17
48.41	1297	Ortorombik	2	2	0	1.86
57.34	1115	Ortorombik	3	1	1	1.59
61.3	1018	Ortorombik	0	2	4	1.51

**Şekil 4.24.** $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0.15$ malzemesinin XRD analizi.**Tablo 4.16.** $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ $x=0.15$ malzemesinin kristal özellikleri.

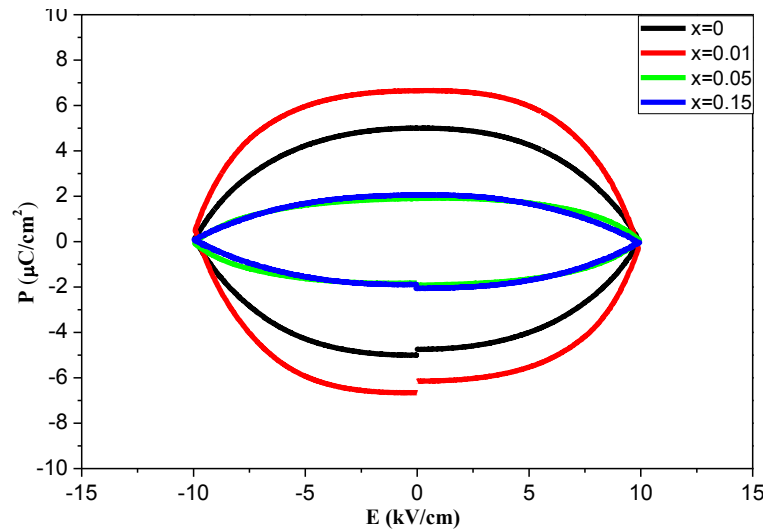
2 θ (derece)	Pik Şiddeti (Sayım)	Kristal Yapısı	h	k	l	d (Å)
34.25	1053	Ortorombik	1	1	2	2.61
35.2	896	Ortorombik	2	0	0	2.56
48.41	941	Ortorombik	2	2	0	1.86
57.34	863	Ortorombik	3	1	1	2.39

4.3. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ Malzemelerinin Ferroelektrik Histerezisleri

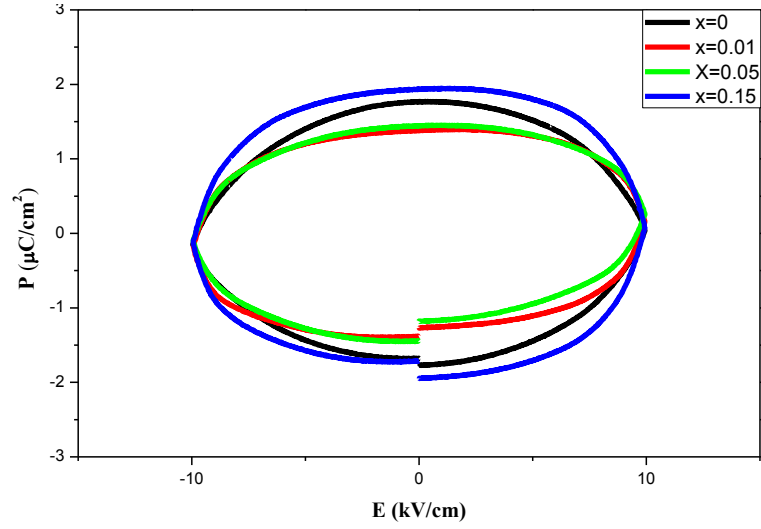
Çoğu piroelektrik kristal belli sıcaklık aralığında kendiliğinden bir kutuplanma, ($\vec{P}_s$) gösterir ve oluşan bu $\vec{P}_s$ 'nin yönü dış bir elektrik alan ile ters çevrilebilir. Bu tip kristallere ferroelektrik kristaller denir. Fiziksel açıdan ferroelektrik kristaller bir ve ya daha çok ferroelektrik fazları sergileyebilir [54].

Bu çalışmada hegzagonal yitrium manganit ($YMnO_3$) bileşiğinin, manyetik, dielektrik, elektriksel özellikleri, ferroelektrik davranışı ve lineer olmayan optik davranışları incelenmiştir. $YMnO_3$ 'ün özellikle metal-ferroelektrik-yarıiletken alan etkili transistör için uygun bir bileşik olduğu önerilmektedir [55].

Ferroelektrik malzemelerin histerezis eğrileri $\vec{P}$ (kutuplanma) ile $\vec{E}$ (elektrik alan) arasında çizilir. Elektrik alanın büyüklüğü arttırıldığında negatif bölgeler (alanın yönüne zıt kutuplanmaya sahip bölgeler) ters olarak pozitif yönde tetiklenerek kutuplanmada bir artış meydana getirir. Alan azalırsa kutuplanma azalır, bazı bölgeler alan sıfır olduğunda kalıcı kutuplanma $\vec{P}_r$ sergiler. Kutuplanmayı sıfıra indirmek için gerekli olan alanın büyüklüğüne zorlayıcı elektrik alan $\vec{E}_c$ denir. Alan ters yöne çevrildiğinde devre tamamlanarak histerezis eğrisi oluşur [54].



Şekil 4.25. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin histerezisi.



Şekil 4.26. $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin histerezisi.

$Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemelerinin her ikisinde de kutuplanmayı sıfır yapan $\vec{E}_c$ değerleri ± 9.6 kV/cm ile ± 9.8 kV/cm arasında oluşmuştur.

Elektrik alanın sıfır olduğu noktalarda kutuplanma sıfır olmamaktadır. Elektrik alan her iki yönde de sıfıra gittiğinde kalıcı kutuplanmanın aldığı değerler kendi içinde hemen hemen aynı çıkmıştır. $\vec{P}_r$ ' nin aldığı değerler Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17. $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemelerinin $\vec{P}_r$ değerleri.

Katkı oranı	$Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemesinin $\vec{P}_r$ değerleri ($\mu C/cm^2$)	$Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemesinin $\vec{P}_r$ değerleri ($\mu C/cm^2$)
x=0	4.9	1.78
x=0.01	6.7	1.35
x=0.05	1.92	1.40
x=0.15	2.21	1.94

4.4. Diyotların Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri

Hazırlanan Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au ve Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotlarının elektriksel karakterizasyonu için, akım-voltaj (I-V) ölçümleri karanlıkta, 10mw/cm², 30mw/cm², 60mw/cm², 80mw/cm² ve 100mw/cm² olmak üzere farklı aydınlanma şiddetleri

altında yapıldı. Akım-voltaj karakteristiklerinin belirlenmesi için I-V ölçümleri KEITHLEY 4200 SCS yarıiletken karakterizasyon cihazı ile yapıldı. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotları ±4 V voltaj uygulanarak elektriksel ölçümler yapıldı.

4.4.1. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au Diyotlarının Akım-Voltaj (I-V) Karakteristikleri

Hazırlanan diyotların I-V karakteristikleri termiyonik emisyon teorisi ile incelendi. Diyotların I-V karakteristikleri malzemelerde birçok elektriksel özelliğin incelemesinde önemli yer tutmaktadır. Diyotların elektriksel parametrelerini hesaplamak için I-V karakteristikleri lnI-V şeklinde çizilip hesaplanmıştır.

Şekil 4.27 ve 4.28’de görüldüğü gibi, hazırlanan diyotlarda doğrultma özelliği görülmektedir, diyotun doğru besleme akımı, ters besleme akımından çok büyüktür.

Şekil 4.27-4.28’de ters ve düz besleme akımları x değerine bağlı olarak değişmektedir. Kobalt ile hazırlanan diyotlarda en yüksek doğrultma oranı x=0 değeri için bulunmuştur. Mangan ile hazırlanan diyotlarda en yüksek doğrultma oranı x=0.15 değeri için bulunmuştur. Hazırlanan diyotlar için termiyonik emisyon teorisi;

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (4.6)$$

ile ifade edilir. (4.6) ifadesinde, I₀ doyma akımı, k Boltzman sabiti, T sıcaklık, V uygulanan gerilim, q elektron yükü, R_s seri dirençtir [33], ε_B bariyer yüksekliği ise;

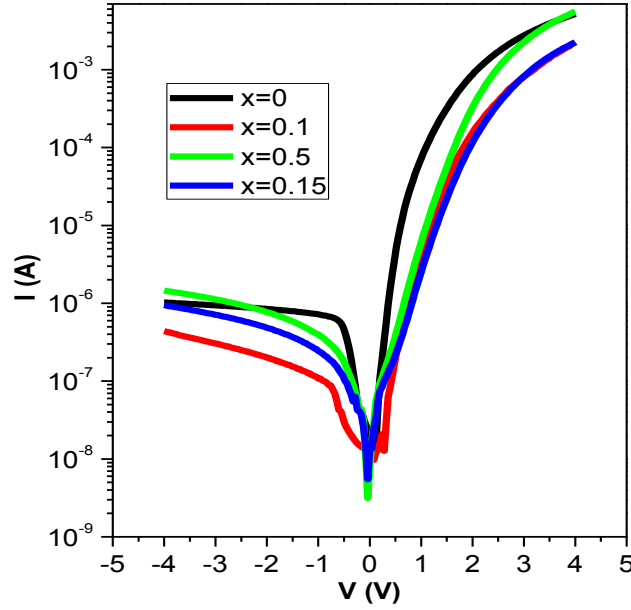
$$\Phi_B = \frac{kT}{q} \left(\frac{AA^*T^2}{I_0} \right) \quad (4.7)$$

eşitliğinden bulunur. İdealite faktörü n ise;

$$n = \frac{q}{kT} \left(\frac{dV}{d \ln I} \right) \quad (4.8)$$

eşitliğinden hesaplanabilir [19]. RR doğrultma oranı; doğru besleme akımı I_f ile ters besleme akımı olan I_r akımlarının oranından (I_f / I_r) bulunur.

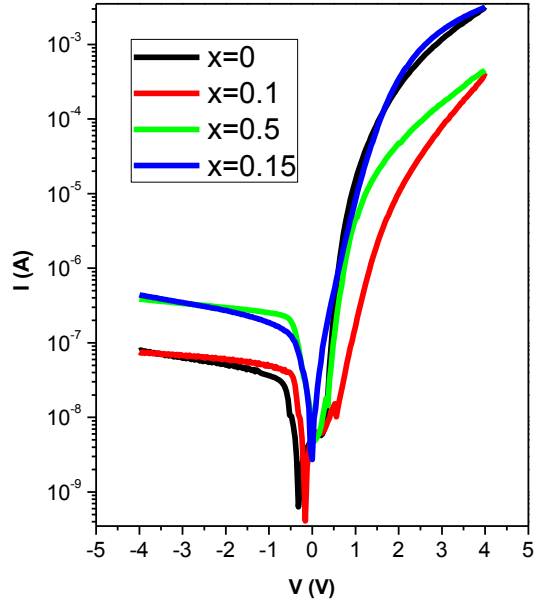
Diyotların idealite faktörü, engel yüksekliği ve doğrultma oranı değerleri Tablo 4.18 ve Tablo 4.19’da verilmiştir. Tablo 4.18’de görüldüğü gibi n değerleri x katkı değerine göre değişmektedir. Kobalt ile hazırlanan malzemelerde en küçük n değeri $x=0$ için, en büyük n değeri ise $x=0.15$ için bulunmuştur. Tablo 4.19’da görüldüğü gibi n değerleri mangan için de x katkı değerine göre değişmektedir. Mangan ile hazırlanan malzemelerde en küçük n değeri $x=0.5$ için, en büyük n değeri ise $x=0.15$ için bulunmuştur. İdealite faktöründeki bu artış seri direnç ve arayüzey durumlarından kaynaklanmaktadır [45,46].



Şekil 4.27. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarının $x=0$, $x=0.01$, $x=0.05$ ve $x=0.15$ için I-V grafiği.

Tablo 4.18. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarının I-V karakteristiğinden hesaplanan elektronik parametreleri.

Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au	İdealite faktörü n	Bariyer yüksekliği Φ_B (eV)	Doğrultma oranı RR
$x=0$	2.8175	0.542	5.15×10^3
$x=0.01$	4.1401	0.577	4.94×10^3
$x=0.05$	6.7695	0.513	3.96×10^3
$x=0.15$	7.6558	0.521	2.45×10^3



Şekil 4.28. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarının x=0, x=0.01, x=0.05 ve x=0.15 için I-V grafiği.

Tablo 4.19. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarının I-V karakteristiğinden hesaplanan elektronik parametreleri.

Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au	İdealite faktörü n	Bariyer yüksekliği Φ _B (eV)	Doğrultma oranı RR
x=0	2.0885	0.687	3.84x10 ³
x=0.01	5.6810	0.628	5.05x10 ³
x=0.05	3.3357	0.622	1.17x10 ³
x=0.15	5.9222	0.516	7.29x10 ³

4.5. Diyotların Kapasite-İletkenlik-Voltaj Karakteristikleri

Diyotların kapasiteleri negatif voltaj uygulandığında değişmekte iken pozitif voltaj bölgesinde kapasiteleri değişmemektedir. Diyotlar lineer olmayan I-V karakteristiği sergiledikleri için diyotların C-V karakteristikleri, seri direnç etkisini hesaba katarak yeniden çizildi.

$$C_{adj} = \frac{(G_m^2 + (\omega C_m)^2) C_m}{\alpha^2 + (\omega C_m)^2} \quad (4.9)$$

ve

$$G_{adj} = \frac{(G_m^2 + (\omega C_m)^2) \alpha}{\alpha^2 + (\omega C_m)^2} \quad (4.10)$$

yukarıdaki ifadelerde G_m ve C_m ölçülen iletkenlik ve kapasite değerleri, ω açısal frekans, α ise G_m , C_m ve R_s 'ye bağlı bir parametredir [27,33]. C_{adj} grafiklerde oluşan pik değerleri diyotların ara yüzey durum yoğunluğuna sahip olduğunu göstermektedir.

Heteroeklem diyotların C-V karakteristikleri için tükenim tabakasının kapasitansının meydana gelme sebebi hazırlanan $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ malzemelerinin yük yoğunluğunun üzerine kaplandığı p-Si malzemeden düşük olmasındandır. Diyotların kapasitesinin voltaja bağlılığı,

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi} + V_t - \frac{kT}{q})}{\epsilon_s \epsilon_0 A^2 N_a q} \quad (4.11)$$

(4.11) ifadesi ile verilir. İfadede V_{bi} difüzyon potansiyeli, V_t ters besleme voltajı, A diyotun kontak alanı, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ F/m boşluğun dielektrik sabiti, $\epsilon_s = 11,8$ (p-Si için) dielektrik sabiti, N_a akseptör taşıyıcı yoğunluğu, q ise elektronun yüküdür [31].

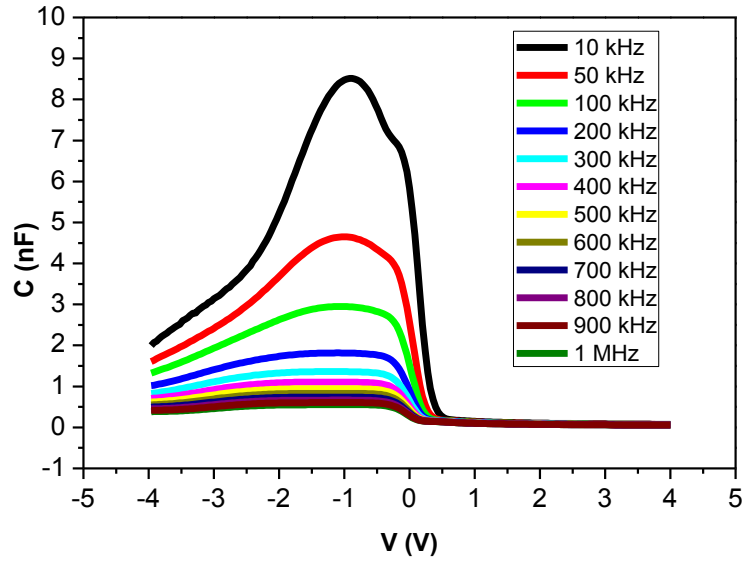
Al/p-Si/CoO₃/Au diyotlarının 1 Mhz'de ki C^{-2} -V grafiğinden yararlanarak difüzyon potansiyeli (V_{bi}) ve akseptör taşıyıcı yoğunluğu (N_a) değerleri hesaplandı. Ayrıca C-V eğrilerinden hesaplanan bariyer yüksekliği (4.12) ifadesinde gibi belirtilir,

$$\Phi_B = V_{bi} + \frac{kT}{q} \ln(N_v/N_a) \quad (4.12)$$

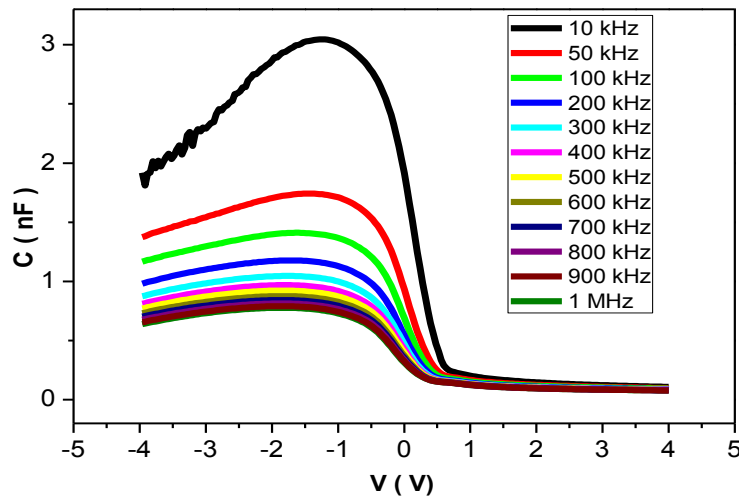
Φ_B bariyer yüksekliği, p tipi silisyum için $N_v = 1,82 \times 10^{19}$ valans bandı taşıyıcı konsantrasyonu [5,31,33], sıcaklık $T = 298K$ olarak alındı.

4.5.1. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au Diyotlarının Kapasite-İletkenlik Voltaj Karakteristikleri

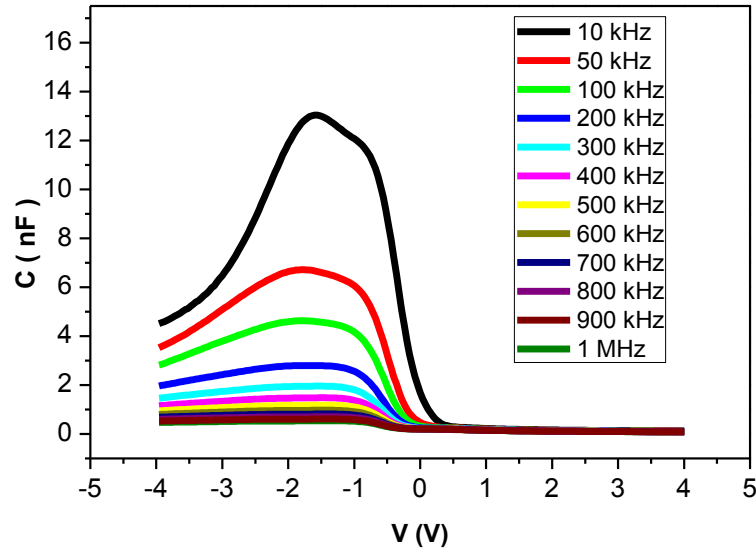
Şekil 4.29 ile Şekil 4.36 arasında Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarının farklı frekanslarda alınan C-V eğrileri verilmiştir. Eğrilerden görüldüğü gibi kapasite, frekans değeri ile azalmaktadır ve yüksek frekanslarda en küçük değeri göstermektedir. C-V’de eğrilerden frekansla olan değişim arayüzey yüklerinin uygulanan elektrik alanın frekansını takip ettiğini gösterir ve yüksek frekansta ise kapasite minimum değeri arayüzey durumlarının bu frekansı takip etmediğini gösterir. Böylece yükler diyotların kapasitansına ekstra bir katkı sağlamazlar. Bundan dolayı 1 MHz’de alınan C-V değerleri diyotların elektriksel parametrelerini hesaplamak için kullanıldı.



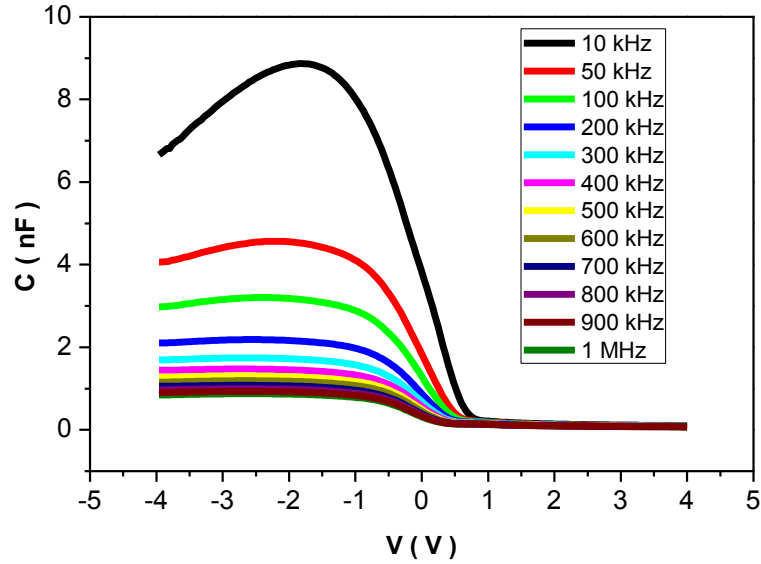
Şekil 4.29. x=0 için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun C-V grafiği.



Şekil 4.30. x=0.01 için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun C-V grafiği.

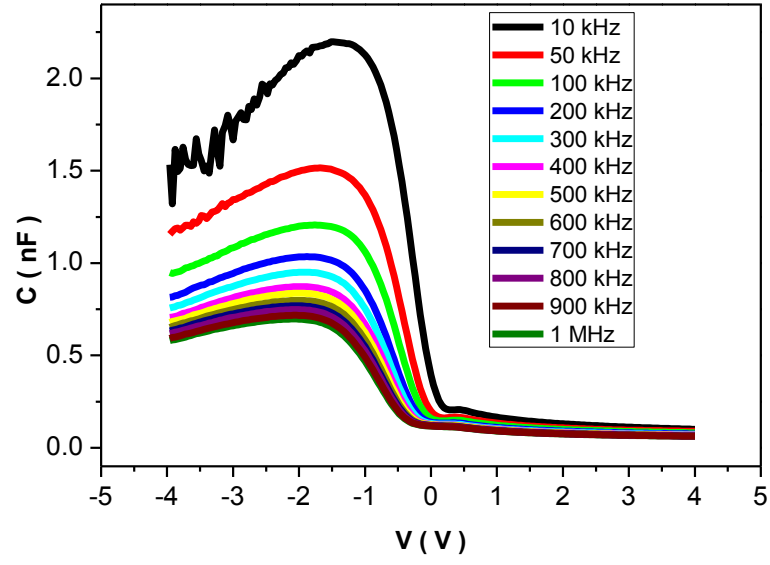


Şekil 4.31. $x=0.05$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun C-V grafiği.

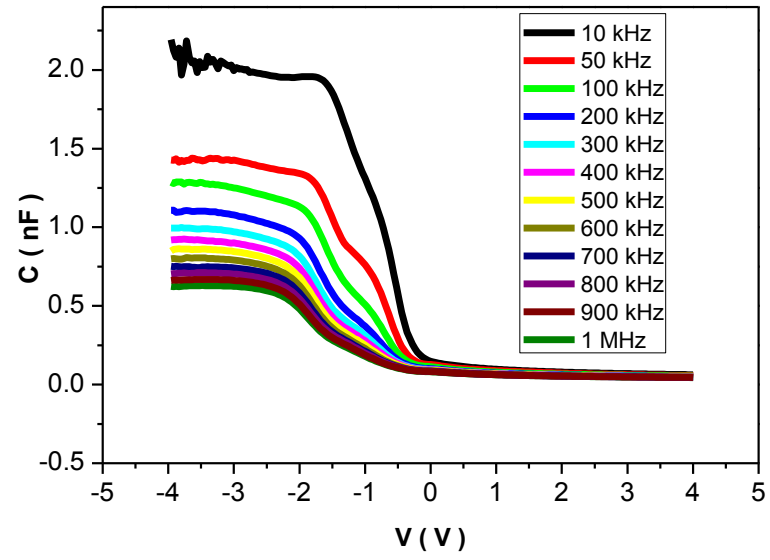


Şekil 4.32. $x=0.15$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun C-V grafiği.

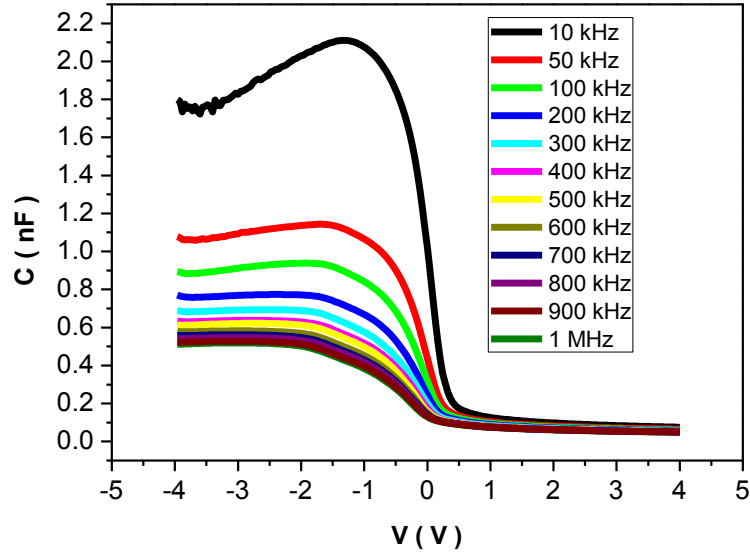
Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarının en küçük pik değerleri 1 MHz'de elde edilmiştir. $x=0$ 'da 0.54 nF, $x=0.01$ 'de 0.74 nF, $x=0.05$ 'de 0.49 nF, $x=0.15$ 'de 0.77 nF olarak belirlenmiştir. C-V grafiklerinden görüleceği üzere frekansın artmasıyla birlikte yukarıda belirtilen durumlardan ötürü kapasitansın da buna bağlı olarak azaldığı gözlenmektedir.



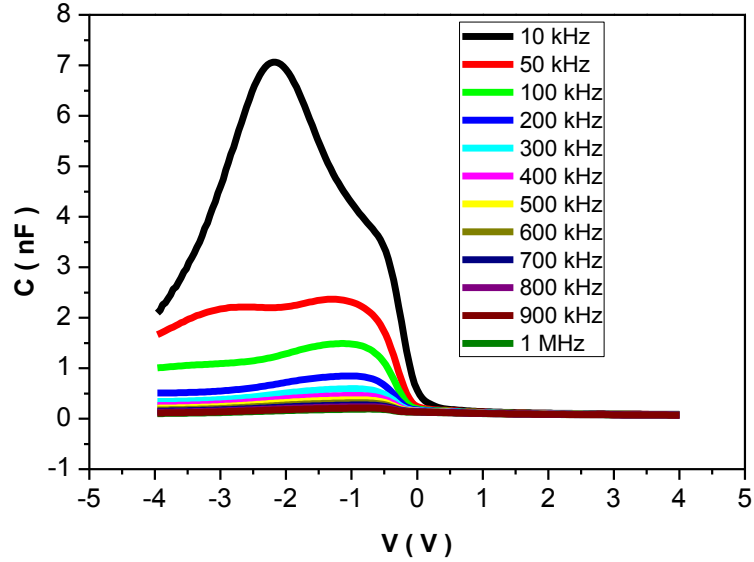
Şekil 4.33. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.



Şekil 4.34. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C-V grafiği.



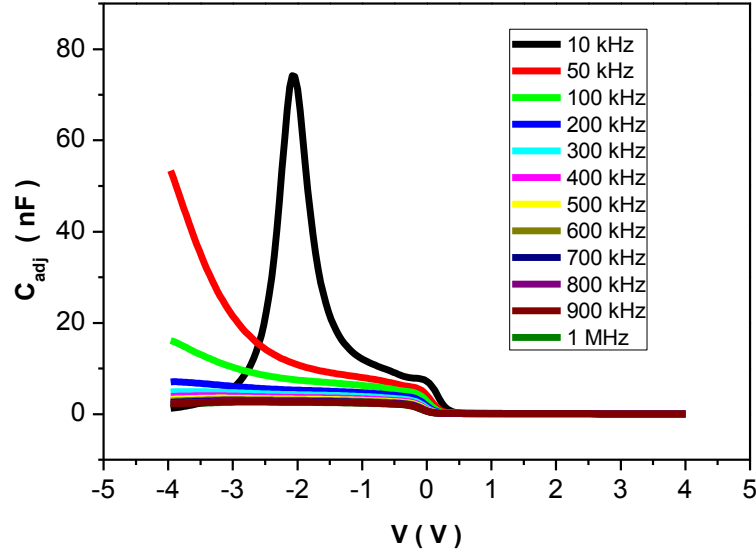
Şekil 4.35. $x=0.05$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ diyotunun C-V grafiği.



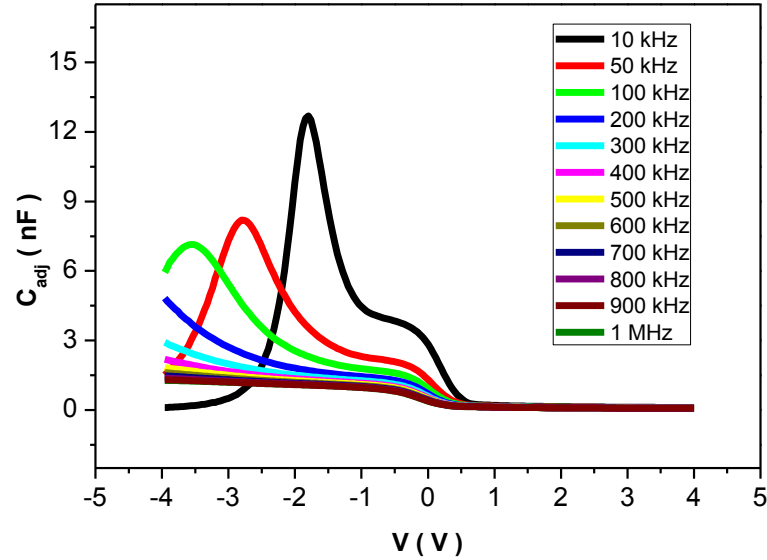
Şekil 4.36. $x=0.15$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ diyotunun C-V grafiği.

$\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ diyotlarının en küçük pik değerleri 1 MHz'de elde edilmiştir. $x=0$ 'da 0.68 nF, $x=0.01$ 'de 0.58 nF, $x=0.05$ 'de 0.48 nF, $x=0.15$ 'de 0.12 nF olarak belirlenmiştir. Ayrıca C-V grafiklerinde frekansın artmasıyla beraber kapasitansın da buna bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Diyotun yapısında ve üretim aşamasında meydana gelen seri direnç ve ara yüzey durum yoğunluğu grafikte belirtilen durumun meydana gelmesine neden olmaktadır.

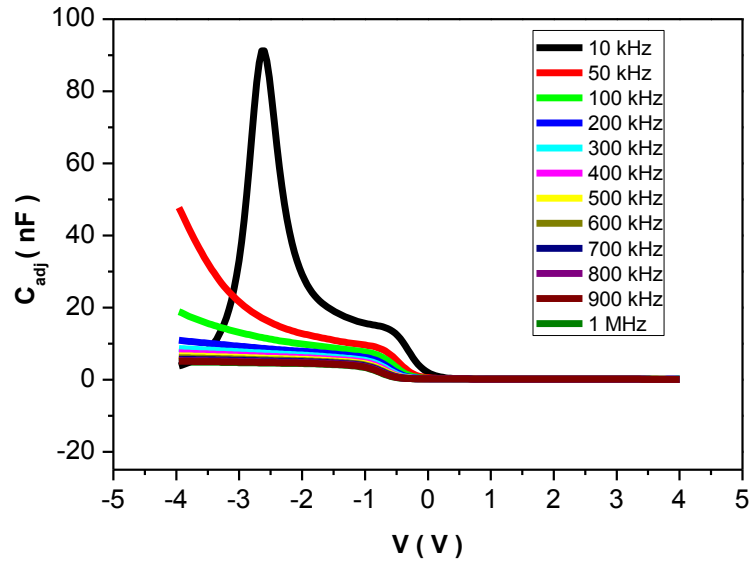
Diyotların C_{adj} -V grafikleri Şekil 4.37–Şekil 4.44 arasında verilmiştir. Diyotların C_{adj} -V eğrilerinden görüleceği üzere pik şiddeti ve pozisyonu frekansa bağlı olarak değişmektedir. Bu pik, diyotlardaki arayüzeye karşılık gelmektedir. Katkı miktarına bağlı olarak da pik şiddeti artmakta ve ya azalmaktadır. Bu da diyotlarda arayüzey durum yoğunluğunun Y, Co ve Mn ile hazırlanan diyotlarda Sr katkısı ile değiştiğini göstermektedir.



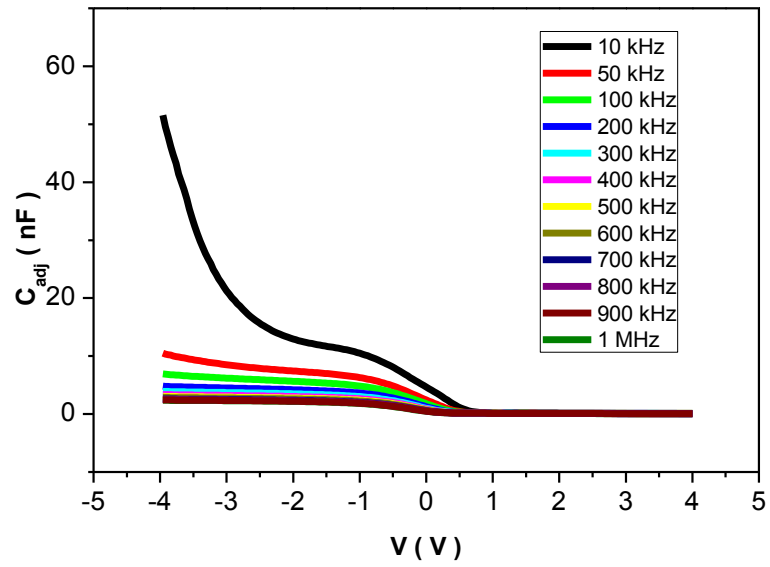
Şekil 4.37. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği.



Şekil 4.38. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği.

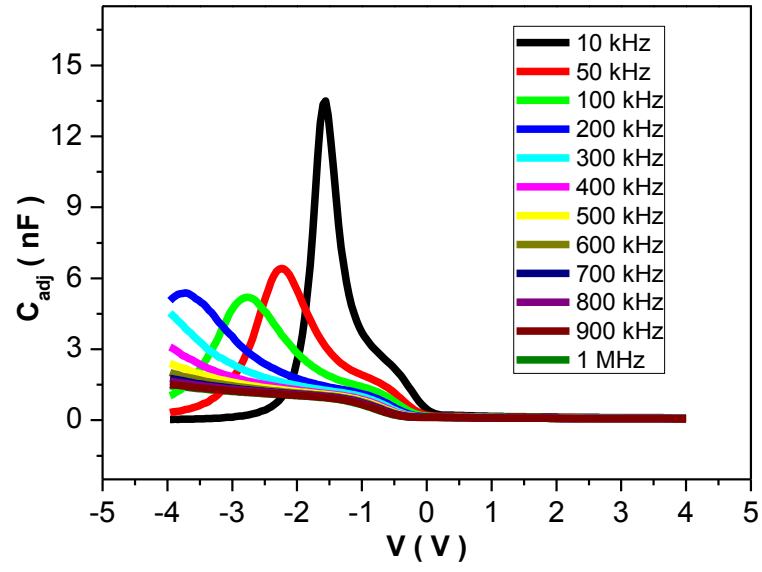


Şekil 4.39. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği.

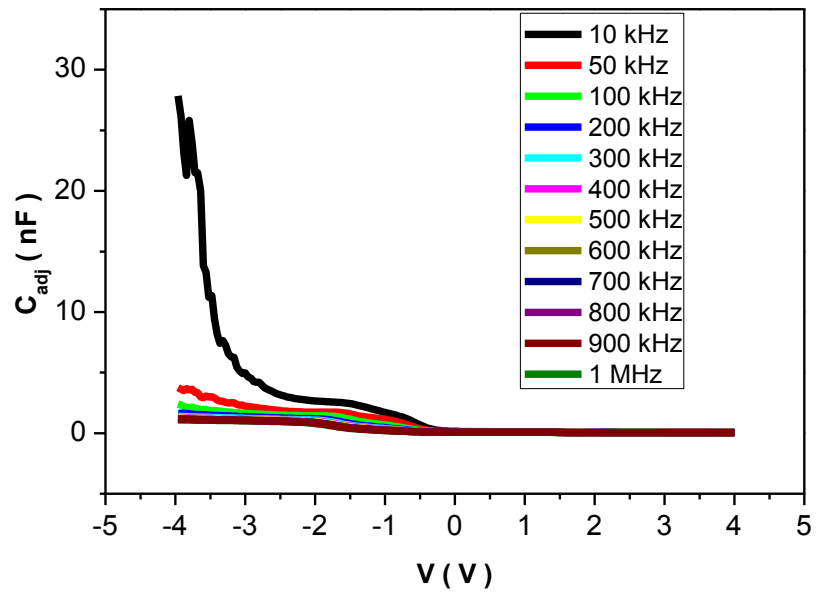


Şekil 4.40. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği.

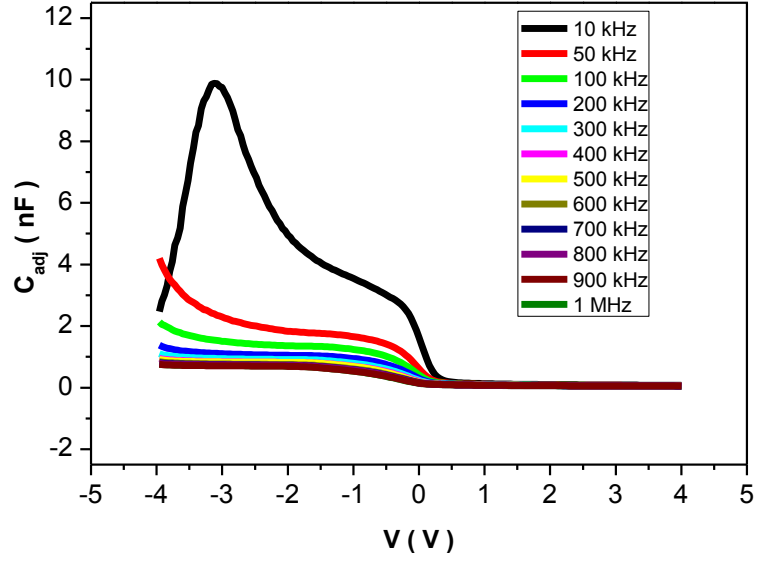
C_{adj} -V grafiklerinden 100 kHz'deki kapasite değişimleri; $x=0$ 'da 2 nF, $x=0.01$ 'de 7.5 nF, $x=0.05$ 'de 2 nF, $x=0.15$ 'de 6.68 nF olarak belirlenmiştir.



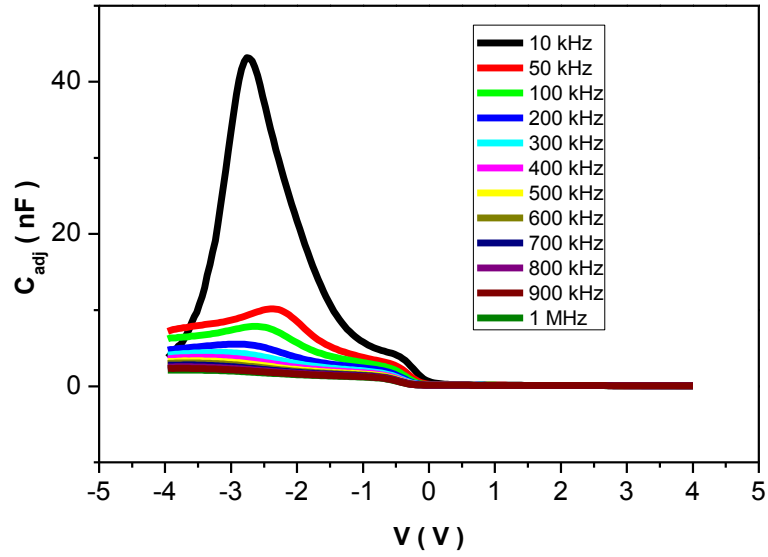
Şekil 4.41. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği.



Şekil 4.42. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C_{adj} -V grafiği.



Şekil 4.43. $x=0.05$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun C_{adj} -V grafiği.

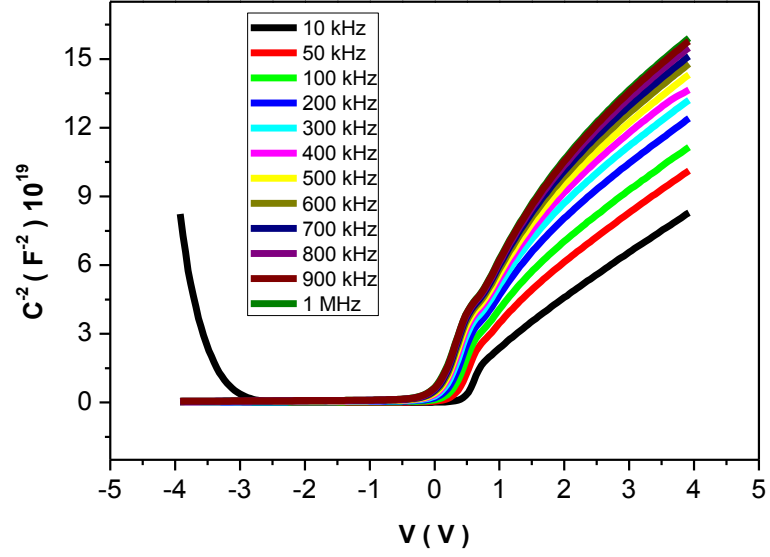


Şekil 4.44. $x=0.15$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun C_{adj} -V grafiği.

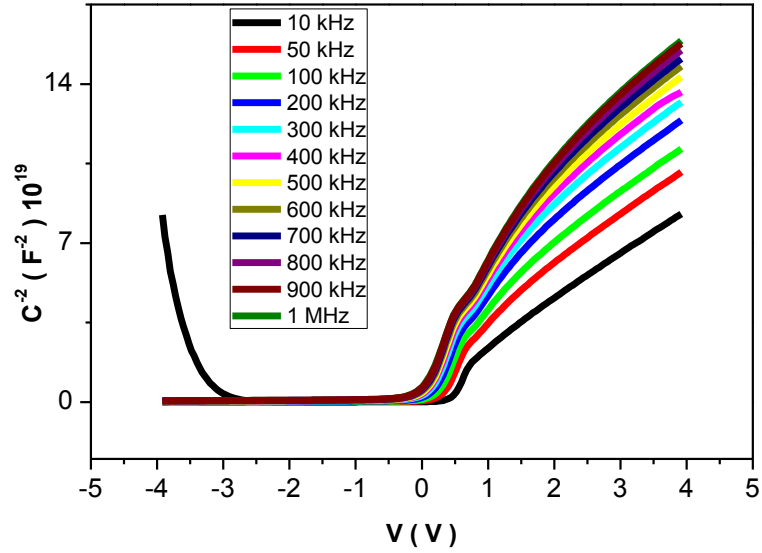
C_{adj} -V grafiklerinden 100 kHz'deki kapasite değişimleri; $x=0$ 'da 5.2 nF, $x=0.01$ 'de 2.2 nF, $x=0.05$ 'de 1.9 nF, $x=0.15$ 'de 6.4 nF olarak belirlenmiştir.

Diyotların elektronik parametrelerini C-V eğrilerinden diyot parametrelerini hesaplamak için diyotların, C^{-2} -V eğrileri çizildi ve Şekil 4.45 ile Şekil 4.52 arasında verildi. Şekillerden görüleceği gibi C^{-2} -V eğrileri belirli voltaj bölgelerinde lineer davranış göstermektedir. Bu lineer davranıştan diyotlar için taşıyıcı konsantrasyonu ve engel

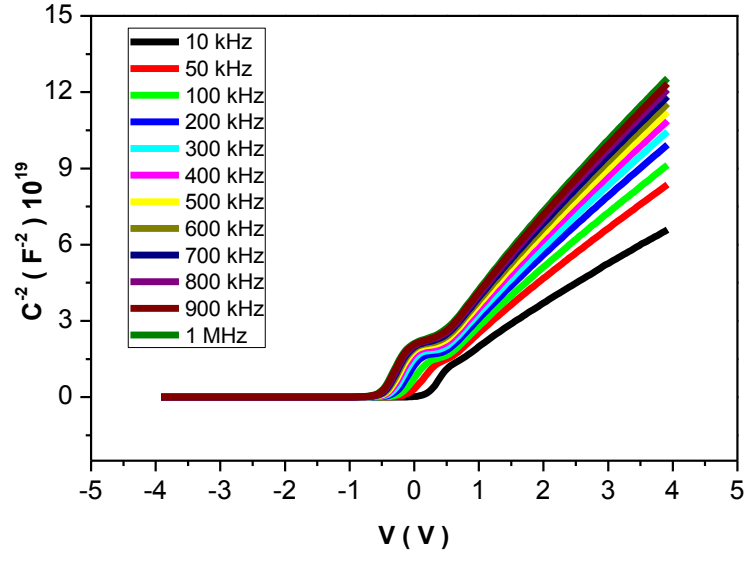
yüksekliği değerleri hesaplandı ve Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’de gösterildi. Tablolarda görüleceği gibi Φ_B değerleri katkı oranına göre değişmektedir. Kobalt ile hazırlanan diyotlarda Φ_B değerleri $x=0.05$ için en büyük, $x=0.15$ için en küçüktür. Mangan ile hazırlanan diyotlarda Φ_B değerleri $x=0$ ’da en büyük, $x=0.05$ ’de ise en küçüktür.



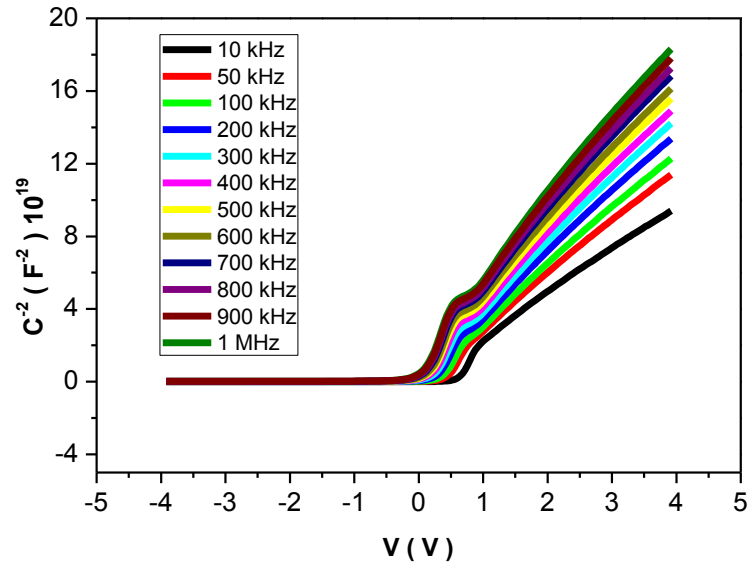
Şekil 4.45. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C^2 -V grafiği.



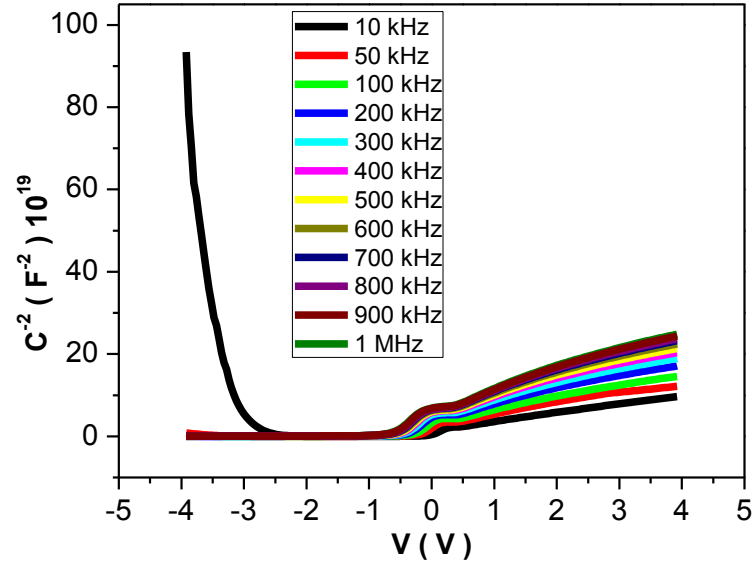
Şekil 4.46. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C^2 -V grafiği.



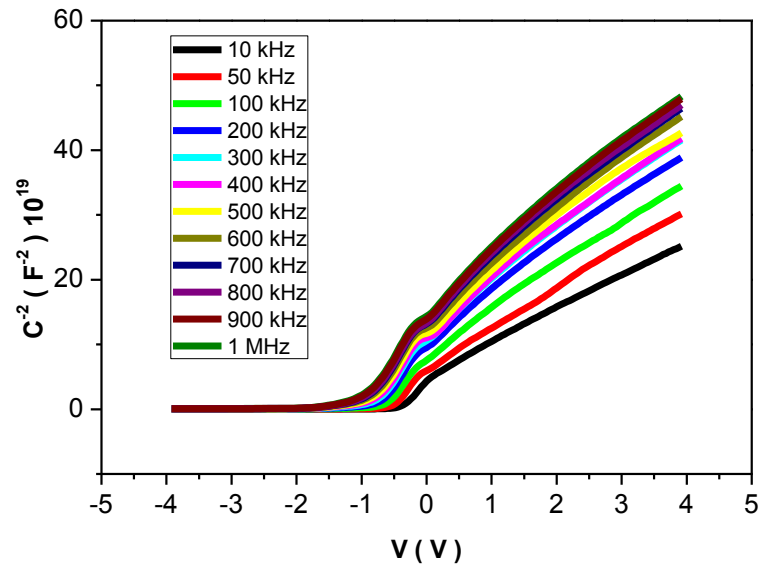
Şekil 4.47. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C^2 -V grafiği.



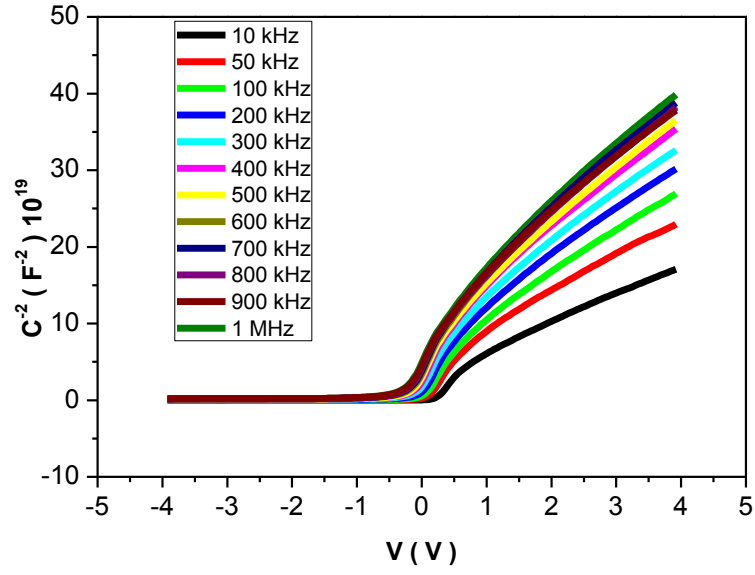
Şekil 4.48. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun C^2 -V grafiği.



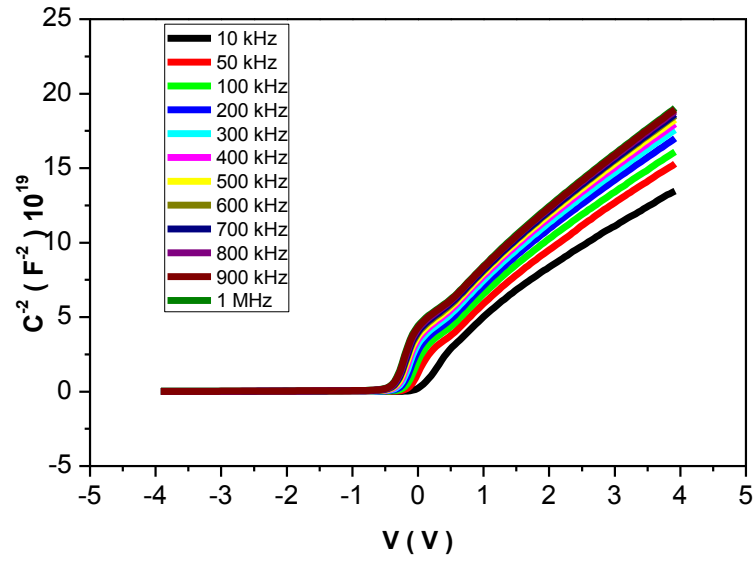
Şekil 4.49. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği.



Şekil 4.50. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği.



Şekil 4.51. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği.



Şekil 4.52. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun C^{-2} -V grafiği.

C^{-2} -V grafiklerinde bir pik verdikten sonra frekans arttıkça C^{-2} değerinin lineer olarak arttığı gözlenmiştir. C^{-2} -V grafiklerinden yararlanarak diyotların difüzyon voltajı (V_{bi}), bariyer yüksekliği (Φ_B) ve akseptör taşıyıcı yoğunluğu (N_a) değerleri hesaplanıp Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’de gösterilmiştir.

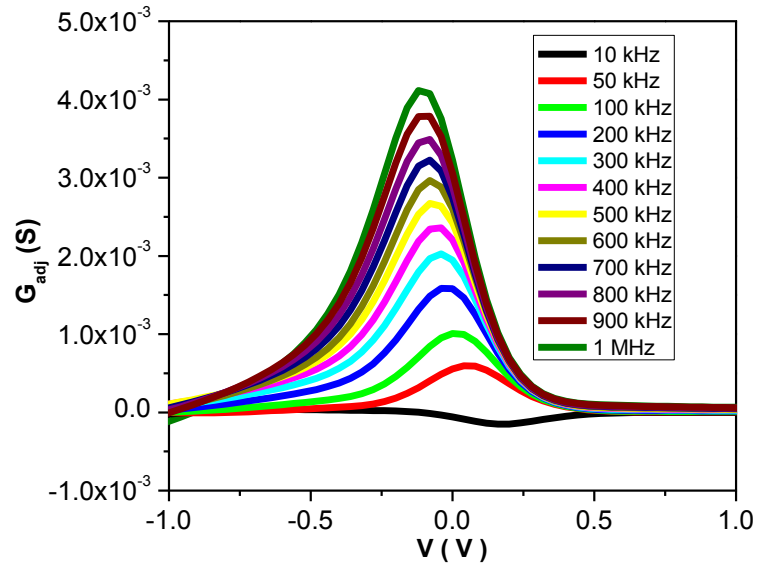
Tablo 4.20. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarının C⁻²-V karakteristiğinden hesaplanan elektronik parametreleri.

Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x CoO ₃ /Au	V _{bi} (V)	Φ _B (eV)	N _a (cm ⁻³)
x=0	0.298	0.597	1.64x10 ¹⁴
x=0.01	0.249	0.539	2.42x10 ¹⁴
x=0.05	0.465	0.741	4.14x10 ¹⁴
x=0.15	0.138	0.428	2.44x10 ¹⁴

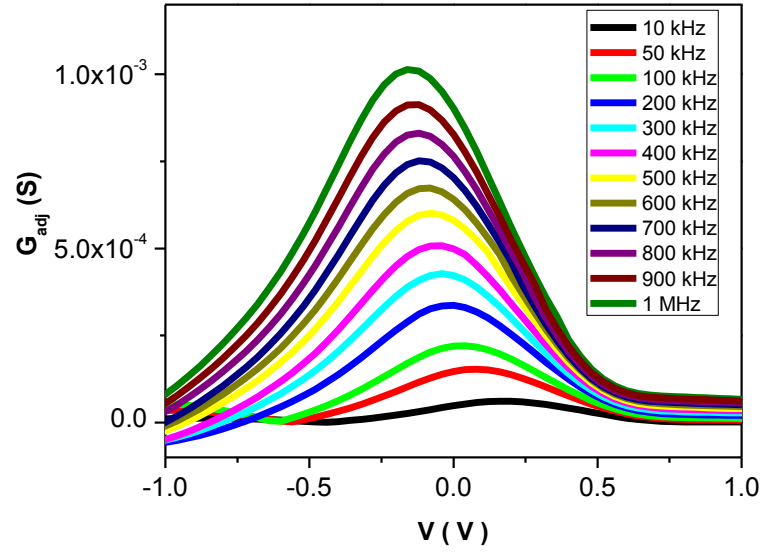
Tablo 4.21. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarının C⁻²-V karakteristiğinden hesaplanan elektronik parametreleri.

Al/p-Si/Y _{1-x} Sr _x MnO ₃ /Au	V _{bi} (V)	Φ _B (eV)	N _a (cm ⁻³)
x=0	0.785	0.672	1.87x10 ¹⁴
x=0.01	0.700	0.440	8.23x10 ¹³
x=0.05	0.691	0.515	1.20x10 ¹⁴
x=0.15	0.903	0.439	2.75x10 ¹⁴

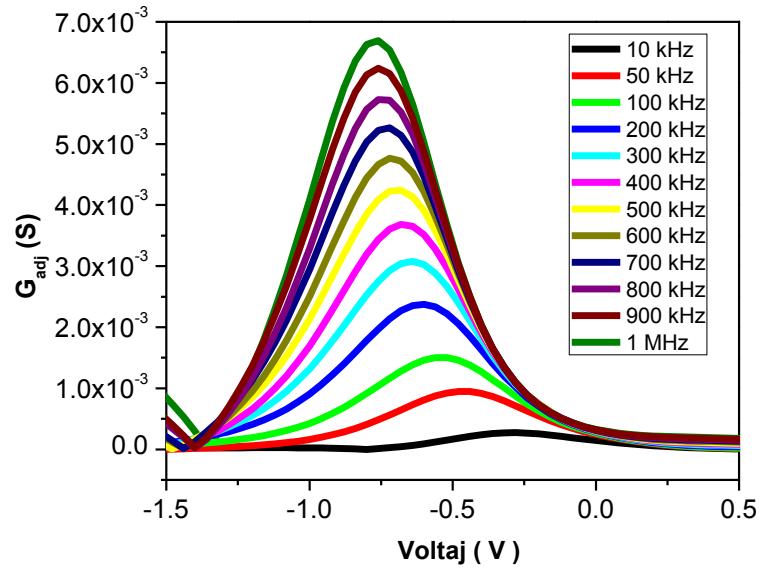
Diyotların arayüzey durum yoğunluğunu hesaplamak için, diyotların G_{adj}-V grafikleri çizilerek Şekil 4.53 ile şekil 4.60 arasında gösterildi. G_{adj}-V grafikleri bir pik göstermektedir ve pikin şiddeti frekansla artmaktadır. Bu artış arayüzey yüklerinin uygulanan elektrik alanın frekansını, takip ettiğini gösterir yani arayüzey durum yoğunluğu frekansla azalmaktadır.



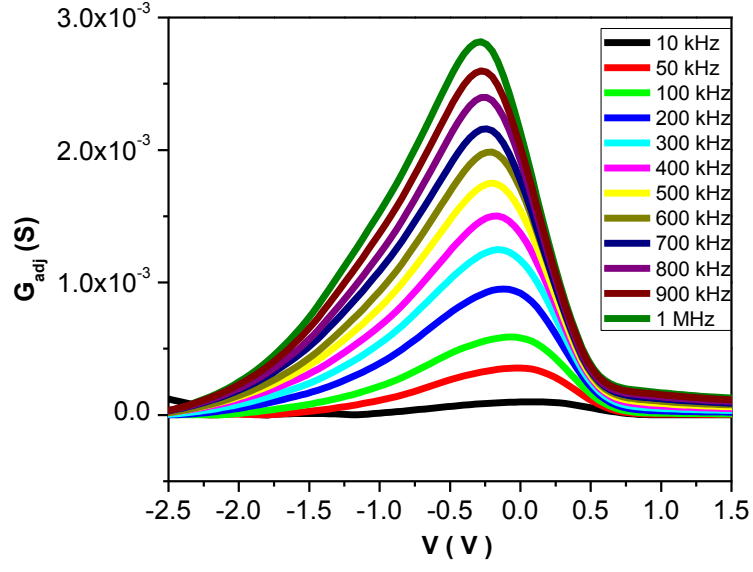
Şekil 4.53. x=0 için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun G_{adj}-V grafiği.



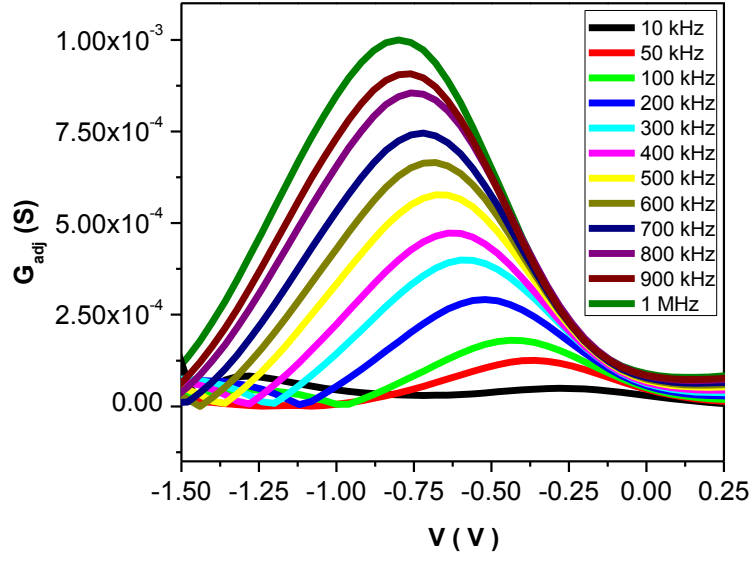
Şekil 4.54. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği.



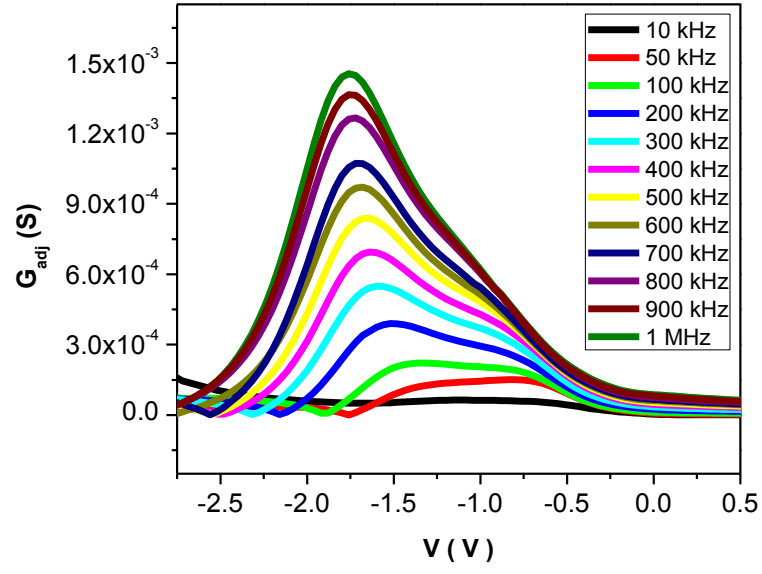
Şekil 4.55. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği.



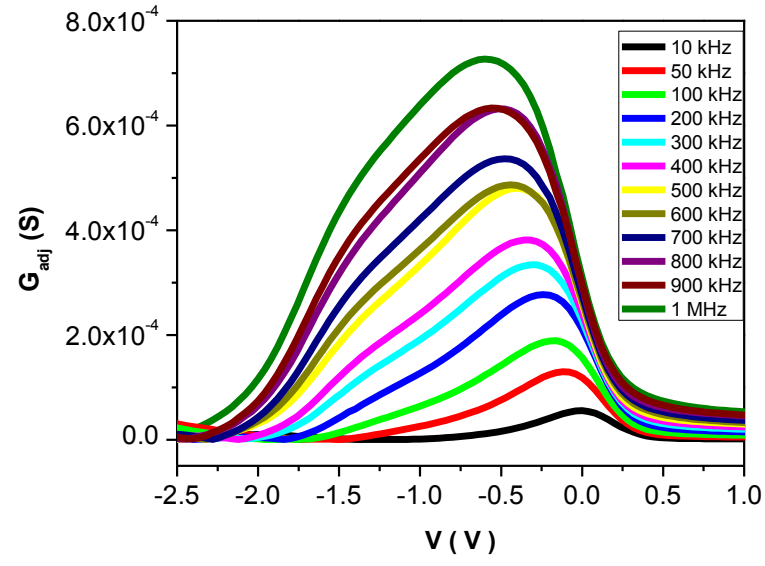
Şekil 4.56. $x=0.15$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ diyotunun G_{adj} - V grafiği.



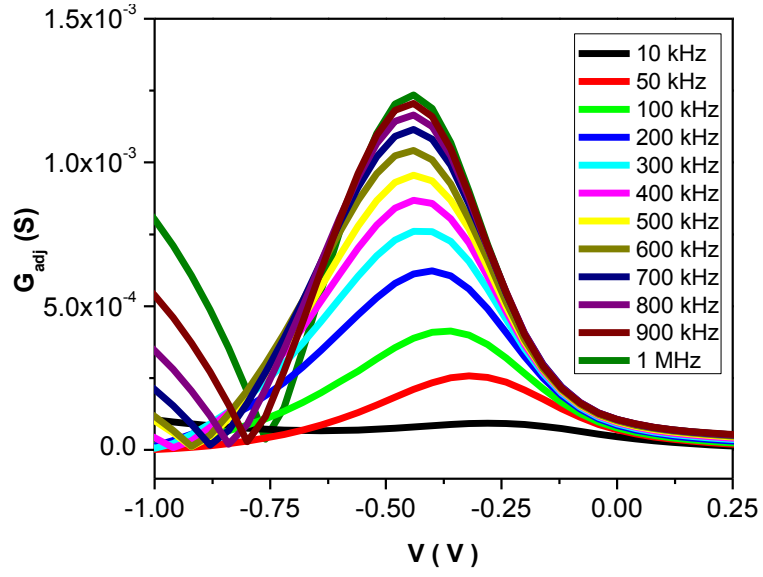
Şekil 4.57. $x=0$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ diyotunun G_{adj} - V grafiği.



Şekil 4.58. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği.



Şekil 4.59. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun G_{adj} -V grafiği.

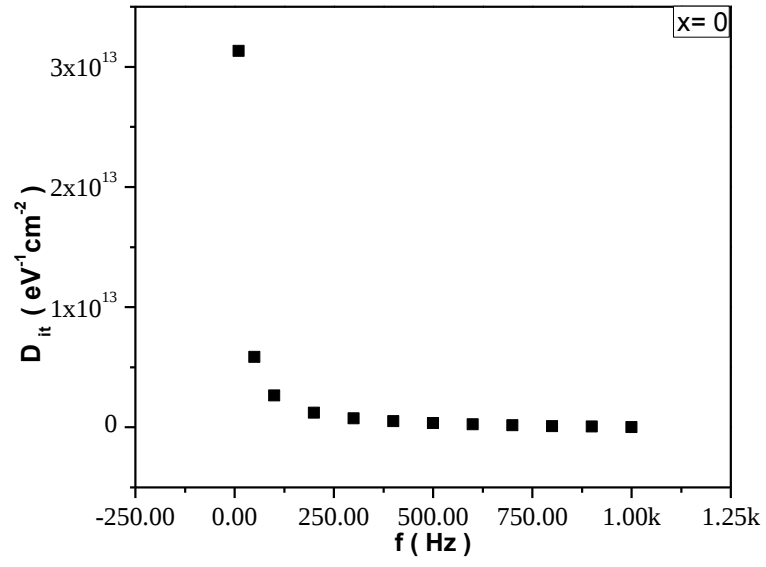


Şekil 4.60. $x=0.15$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun G_{adj} -V grafiği.

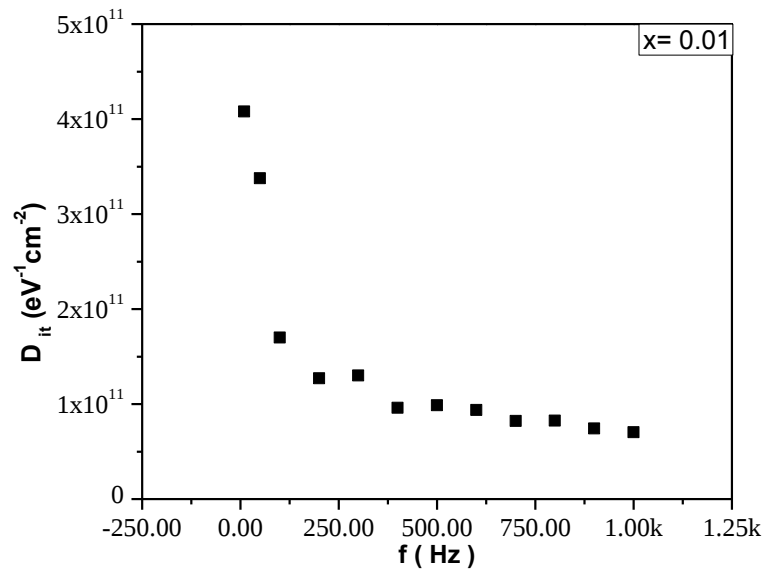
Frekans artışının iletkenliğe katkı sağladığı görülmekte olup negatif bölgede oluşan pik ve pikin değerleri diyotların ara yüzey durum yoğunluğundan kaynaklanmaktadır.

Arayüzey durum yoğunluğu (4.13) ifadesi ile hesaplanarak D_{it} değerleri bulundu ve D_{it} -f eğrileri çizildi. Çizilen D_{it} -f eğrileri Şekil 4.61 ile Şekil 4.68 arasında gösterildi. D_{it} değerlerinin katkı miktarına bağlı olarak değiştiği gözlemlendi.

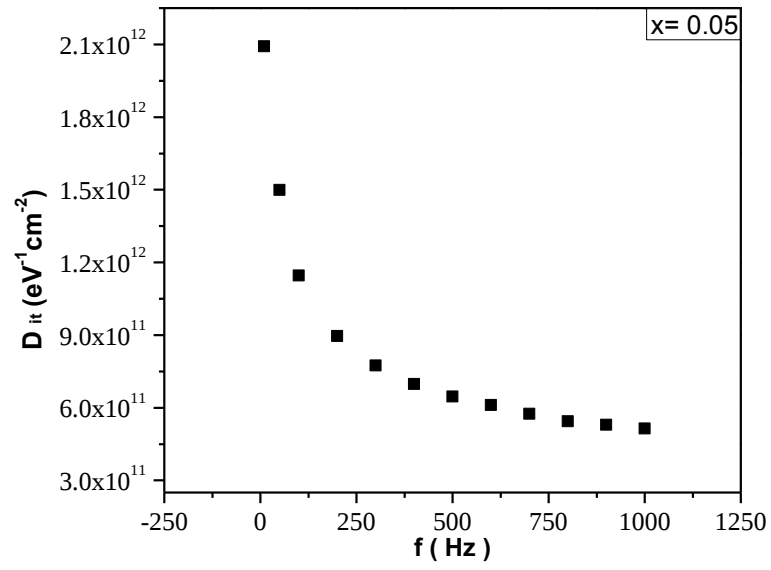
$$D_{it} = \frac{2 \left(\frac{G_{adj}}{w} \right)_{max}}{qA[(G_{max}/wC_{0x})^2 + (1 - C_m/C_{0x})^2]} \quad (4.13)$$



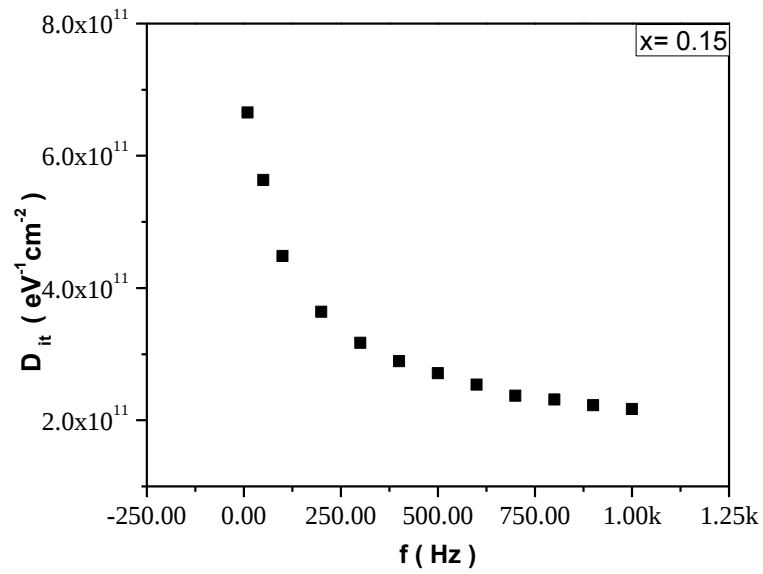
Şekil 4.61. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun D_{it} -f grafiği.



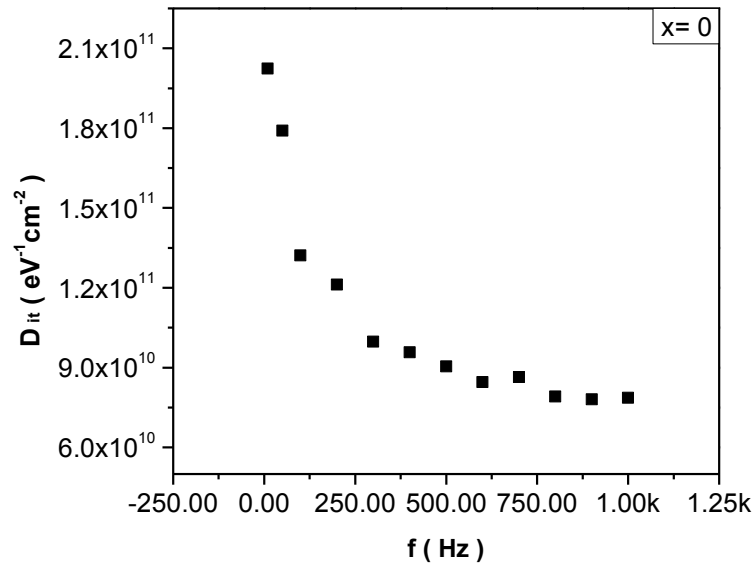
Şekil 4.62. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun D_{it} -f grafiği.



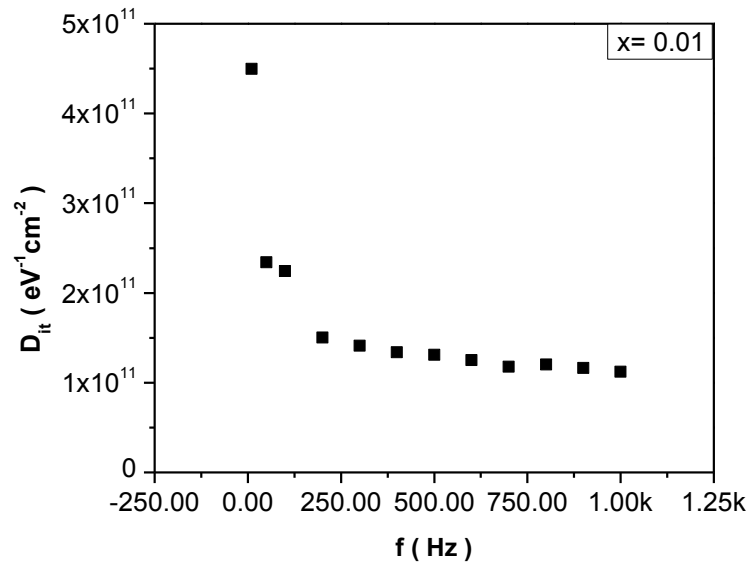
Şekil 4.63. $x=0.05$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun D_{it}-f grafiği.



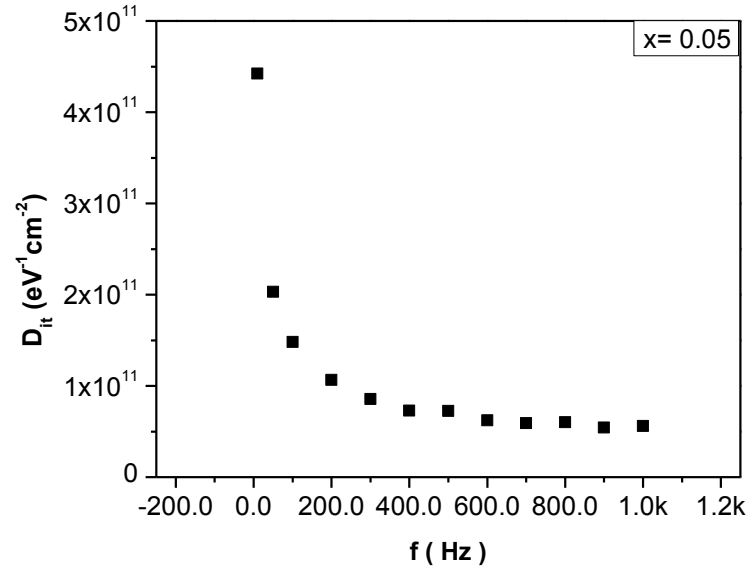
Şekil 4.64. $x=0.15$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun D_{it}-f grafiği.



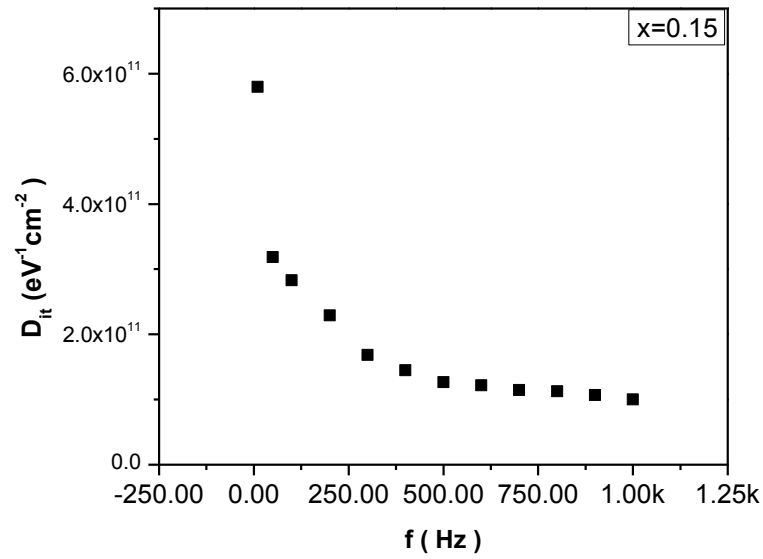
Şekil 4.65. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun D_{it} -f grafiği.



Şekil 4.66. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun D_{it} -f grafiği.



Şekil 4.67. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun D_{it} -f grafiği.

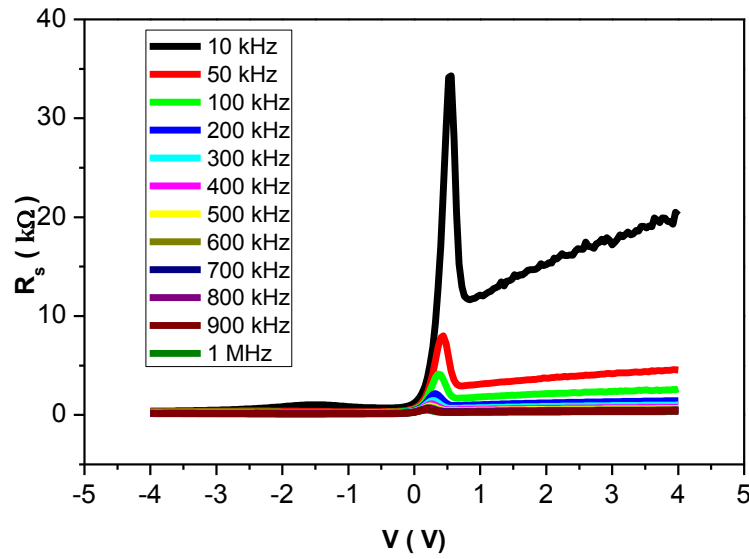


Şekil 4.68. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun D_{it} -f grafiği.

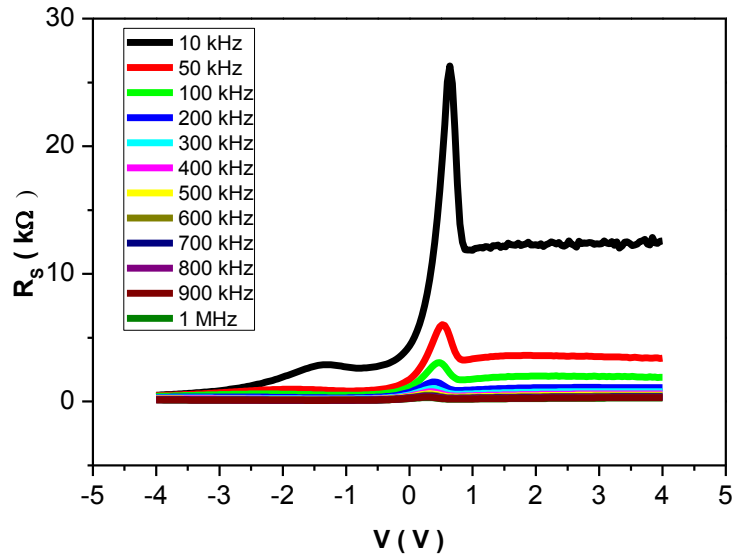
Bütün diyotlarda D_{it} -f grafiklerinden D_{it} değerlerinin frekans artmasına bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

4.5.2. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au Diyotlarının Seri Direnç Ölçüm Karakteristikleri

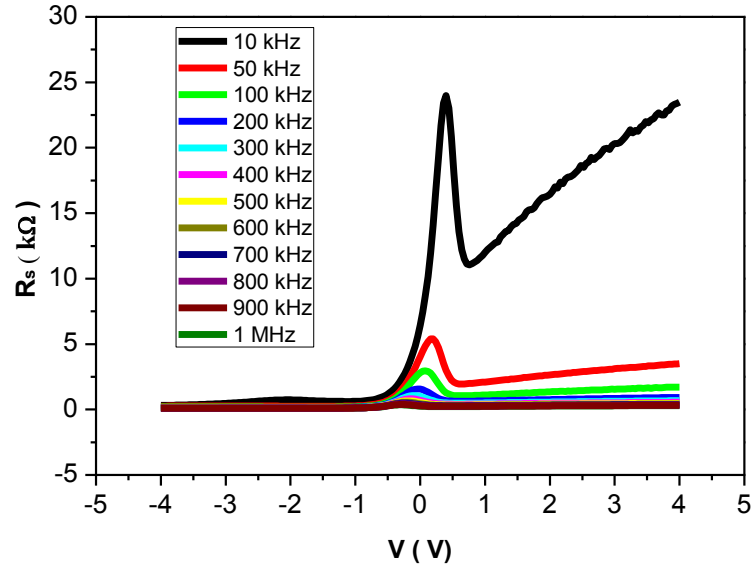
Diyotların seri direncinin uygulanan voltaja göre değişimini görmek için diyotların R_s-V grafikleri çizilerek Şekil 4.69 ile Şekil 4.76 arasında verildi. Şekillerden görüleceği gibi R_s-V eğrileri bir pik sergilemekte ve pik şiddeti frekansla azalmaktadır. Bu da arayüzey yüklerinin uygulanan frekansı takip ettiğini gösterir. Hazırlanan diyotların R_s değerleri kΩ mertebesinde olup bu değerler diyotların I-V karakteristiğini etkiler.



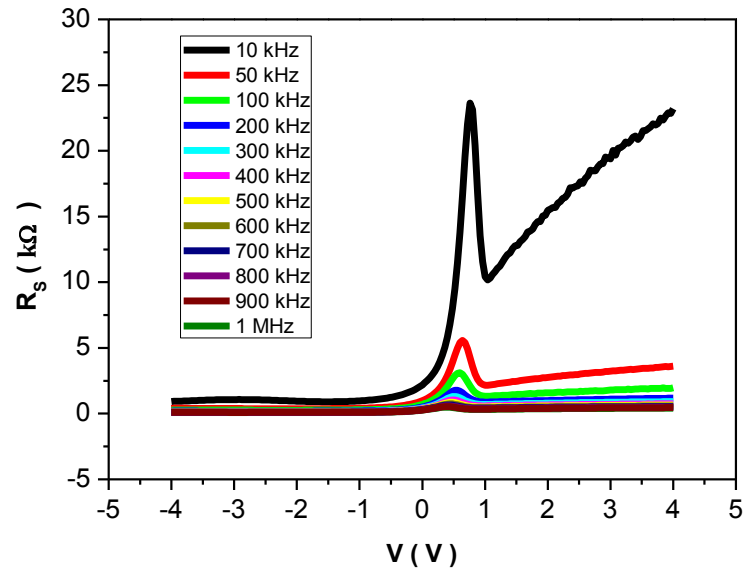
Şekil 4.69. x=0 için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun R_s-V grafiği.



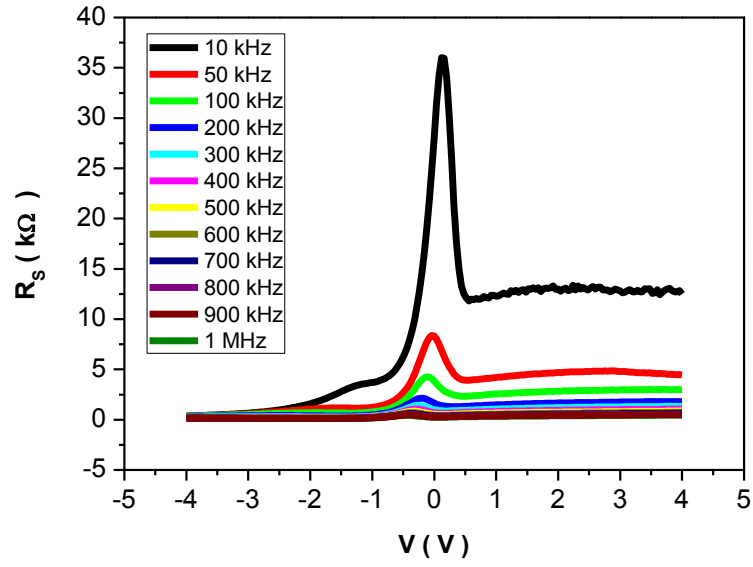
Şekil 4.70. x=0.01 için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun R_s-V grafiği.



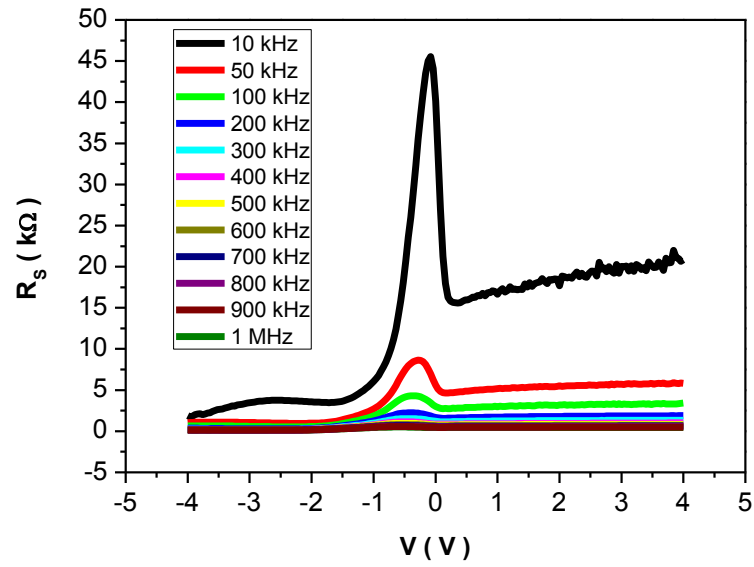
Şekil 4.71. $x=0.05$ için $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO_3/Au$ diyotunun R_s - V grafiği.



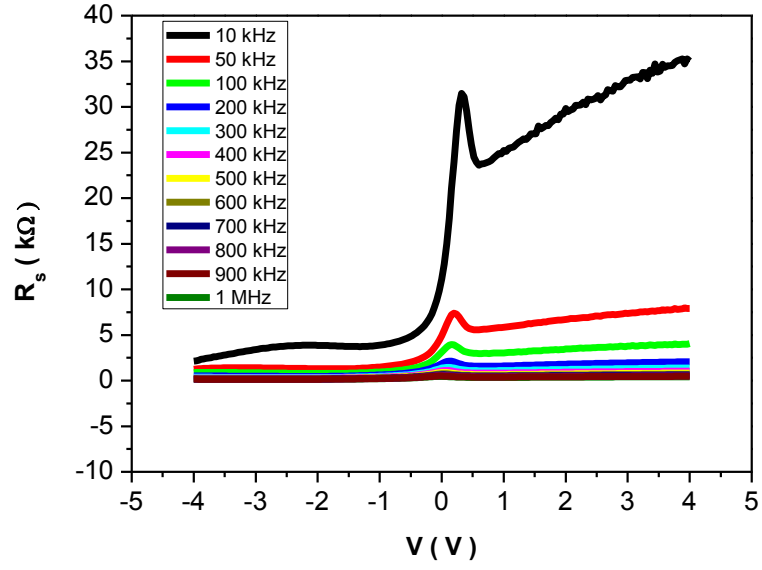
Şekil 4.72. $x=0.15$ için $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO_3/Au$ diyotunun R_s - V grafiği.



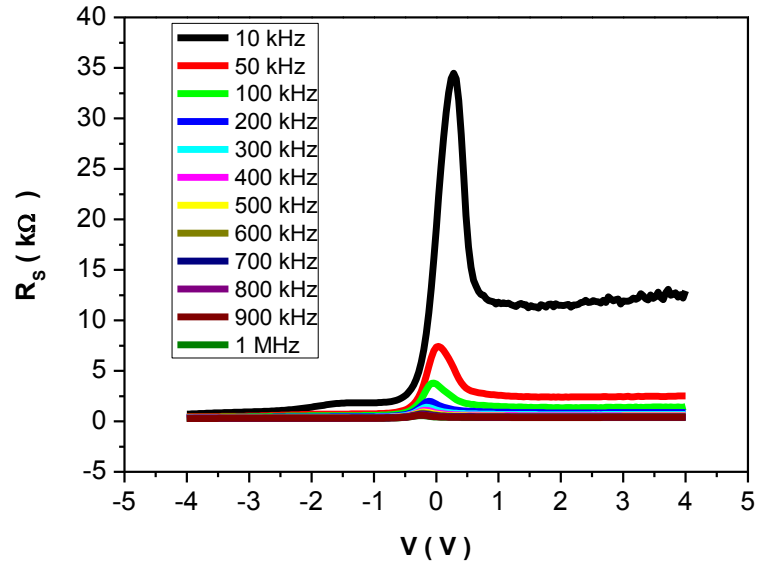
Şekil 4.73. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.



Şekil 4.74. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.



Şekil 4.75. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.



Şekil 4.76. $x=0.15$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun R_s -V grafiği.

Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au ve Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotlarının R_s -V grafiklerinin hepsinde frekans arttıkça R_s değerlerinde azalma olduğu görülmüştür.

4.6. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au Diyotlarının Fotovoltaik ve Fotoiletkenlik Ölçümleri

Hazırlanan diyotlarda oluşan akımlar; karanlıkta, 10 mW/cm², 30 mW/cm², 60 mW/cm², 80 mW/cm² ve 100 mW/cm² ışık şiddetlerinde belirlendi. Diyotların ışık şiddetinin artışına bağlı olarak ters besleme akımının arttığı gözlemlendi. Diyotların fotoakım mekanizmasını bulmak için diyotların I_{ph} değerleri aşağıdaki ifade ile bulundu.

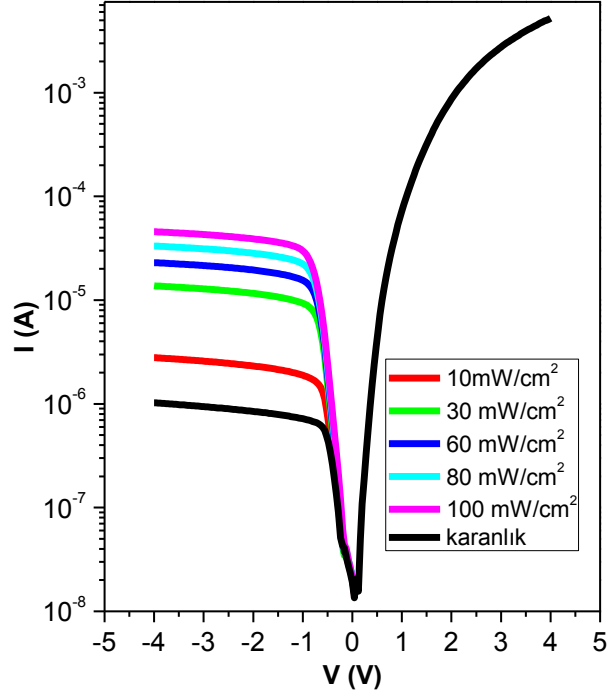
$$I_{ph} = BP^m \quad (4.14)$$

I_{ph} fotoakım, P gelen ışığın şiddeti, B ve m ise birer sabittir. Ölçülen m değerleri engel dağılımlarının sürekli olarak var olduğunu göstermektedir.

I-V grafiklerinde, ışığı açma ve kapama anında meydana gelen akım değişikliği oranı ($I_{açma}/I_{kapama}$) belirlenmiştir.

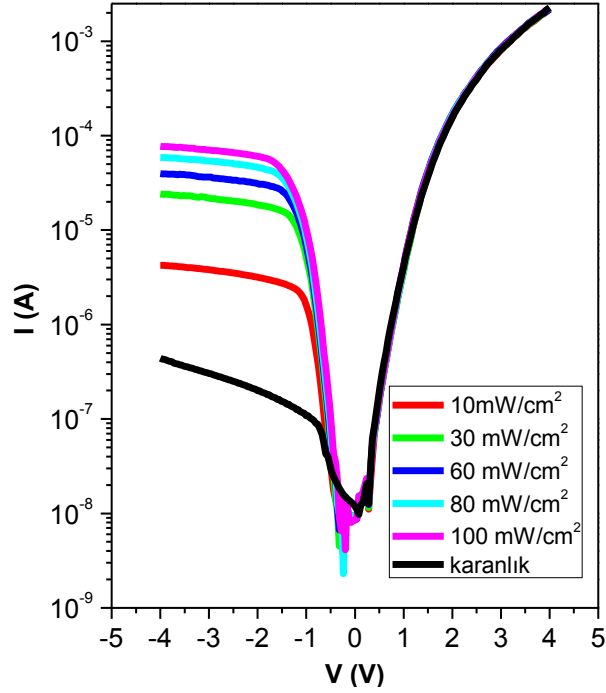
4.6.1. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au Diyotlarının I-V, I-t ve I_{ph} -P Ölçüm Karakteristikleri

Diyotların fotoiletkenlik özellikleri farklı aydınlanma şiddetleri altında incelendi ve elde edilen I-V ölçümleri Şekil 4.77 ve Şekil 4.84 arasında verildi. Şekillerden görüldüğü üzere diyotların ters besleme akımı aydınlanma şiddeti ile artmaktadır. Bu durum diyotların fotoiletken özelliğe sahip olduğunu gösterir. Diyotların $I_{açma}/I_{kapama}$ değerleri hesaplanarak Tablo 4.22 ve Tablo 4.23’de gösterildi. Kobalt ile hazırlanan diyotlarda $I_{açma} / I_{kapama}$ oranı $x=0.01$ ’de en büyük, $x=0$ ’da ise en küçüktür. Mangan ile hazırlanan diyotlarda $I_{açma} / I_{kapama}$ oranı $x=0$ ’da en büyük, $x=0.5$ ’de ise en küçüktür.



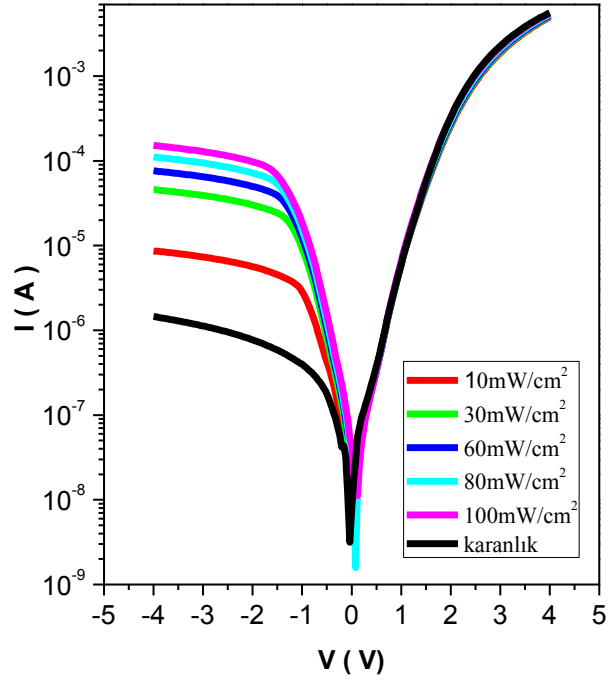
Şekil 4.77. $x=0$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun I-V grafiği.

Diyotun karanlıktaki akım değeri 9.9×10^{-7} A iken 100 mW/cm^2 ışık altında ölçülen akım değeri 4.6×10^{-5} A'dır. $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}} = 46.46$ dır.



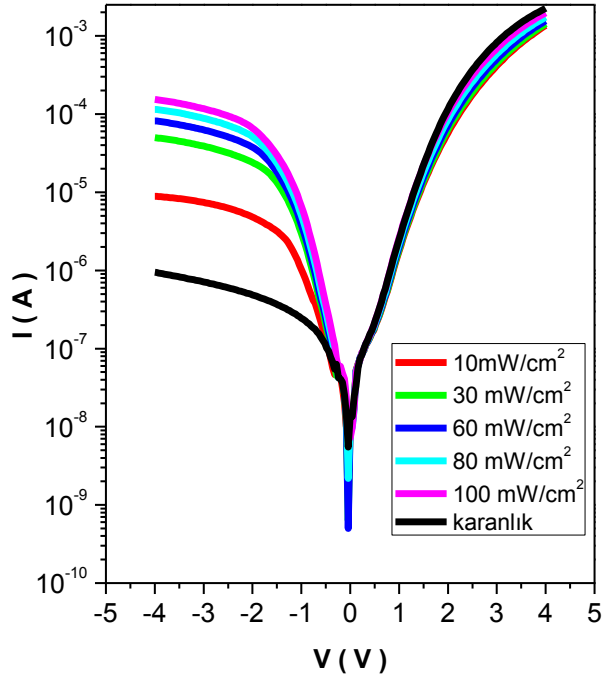
Şekil 4.78. $x=0.01$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun I-V grafiği.

Diyotun karanlıktaki akım değeri 4.2×10^{-7} A iken 100 mW/cm^2 ışık altında ölçülen akım değeri 7.8×10^{-5} A'dır. $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}} = 185.71$ dir.



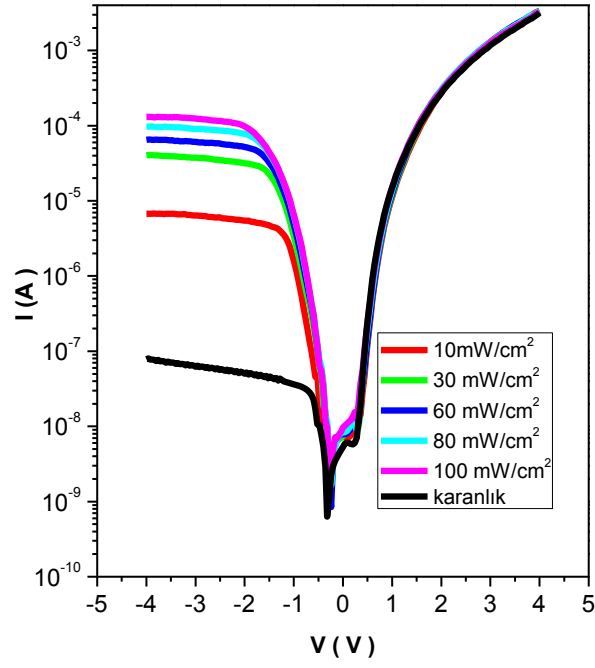
Şekil 4.79. $x=0.05$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ diyotunun I-V grafiği.

Diyotun karanlıktaki akım değeri 1.5×10^{-6} A iken 100 mW/cm^2 ışık altında ölçülen akım değeri 1.5×10^{-4} A'dır. $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}} = 100$ dür.



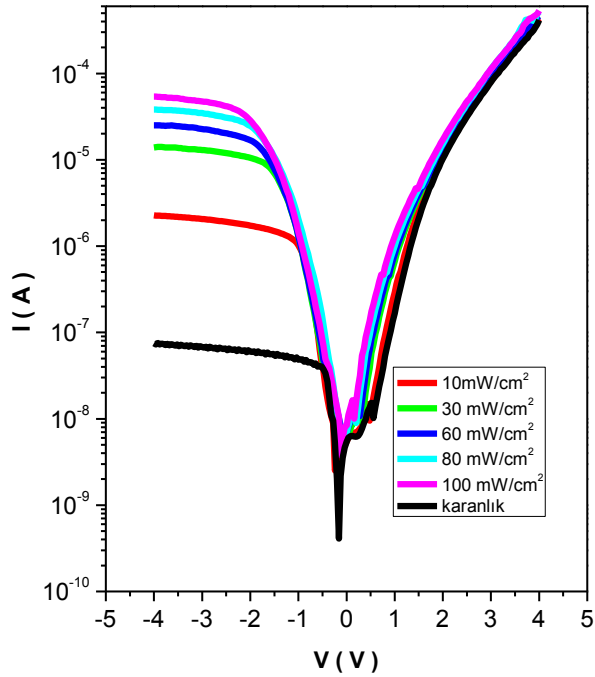
Şekil 4.80. $x=0.15$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ diyotunun I-V grafiği.

Diyotun karanlıktaki akım değeri 9.3×10^{-7} A iken 100 mW/cm^2 ışık altında ölçülen akım değeri 1.6×10^{-4} A'dır. $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}} = 172.04$ dür.



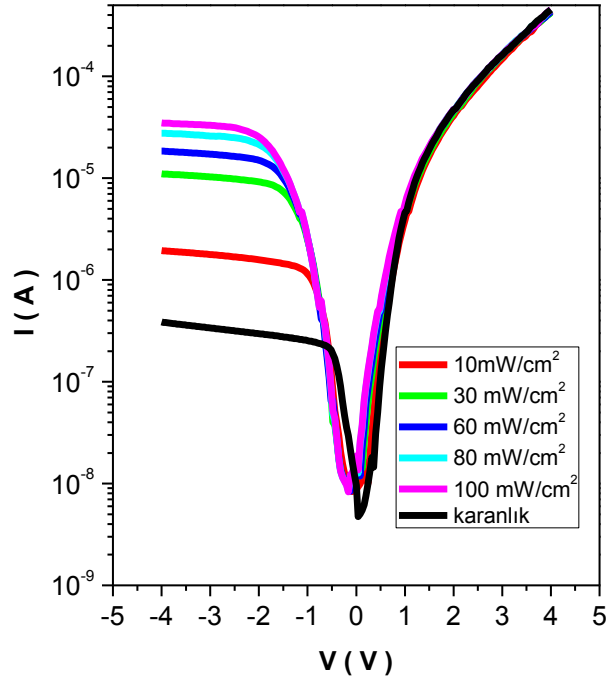
Şekil 4.81. $x=0$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun I-V grafiği.

Diyotun karanlıktaki akım değeri 7.6×10^{-8} A iken 100 mW/cm^2 ışık altında ölçülen akım değeri 1.3×10^{-4} A'dir. $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}} = 1710.52$ dir.



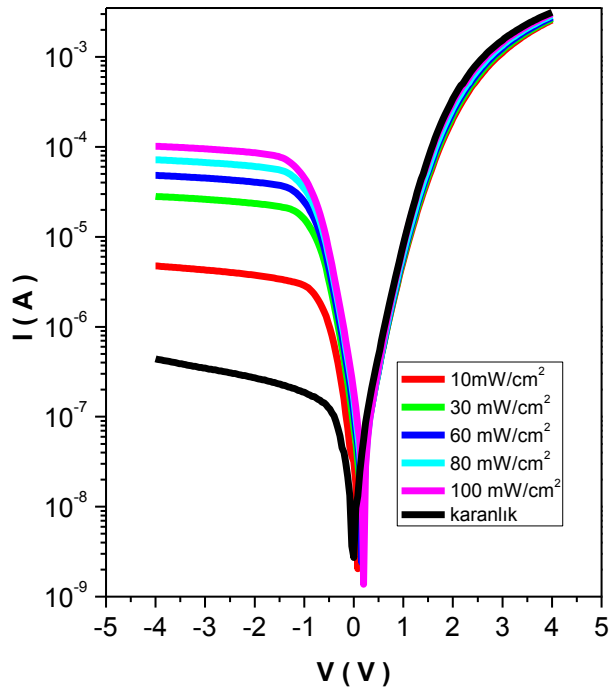
Şekil 4.82. $x=0.01$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun I-V grafiği.

Diyotun karanlıktaki akım değeri 7.5×10^{-8} A iken 100 mW/cm^2 ışık altında ölçülen akım değeri 5.4×10^{-5} A'dir. $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}} = 720$ dir.



Şekil 4.83. $x=0.05$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ diyotunun I-V grafiği.

Diyotun karanlıktaki akım değeri 3.8×10^{-7} A iken 100 mW/cm^2 ışık altında ölçülen akım değeri 3.4×10^{-5} A'dır. $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}} = 89.47$ dir.



Şekil 4.84. $x=0.15$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ diyotunun I-V grafiği.

Diyotun karanlıktaki akım değeri 4.3×10^{-7} A iken 100 mW/cm^2 ışık altında ölçülen akım değeri 1.1×10^{-4} A'dır. $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}} = 255.81$ dir.

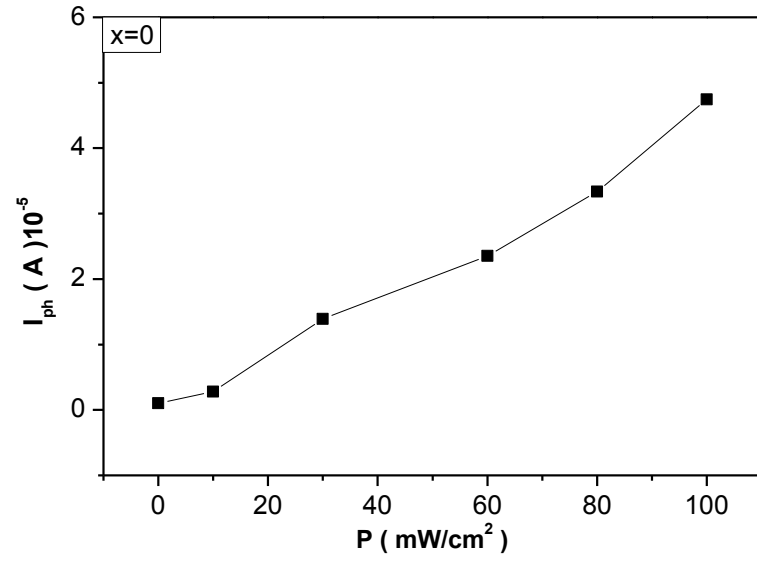
Hazırlanan Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarının benzer şekilde olduğu, ışık şiddetinin artışına bağlı olarak da ters besleme akımının arttığı gözlenmiştir.

Tablo 4.22. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarının B ve m değerleri.

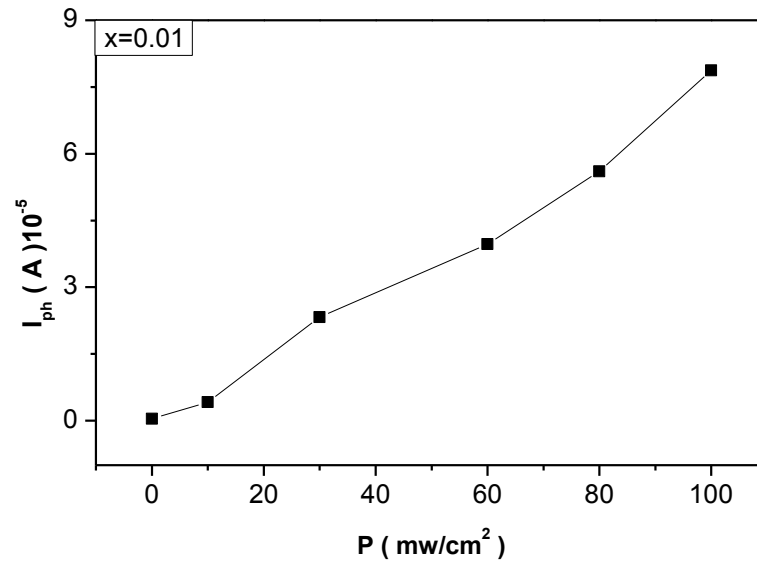
Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au	B	m	I_{açma}/I_{kapama}
x=0	1.9x10 ⁻⁷	1.85	46.46
x=0.01	2.7x10 ⁻⁷	1.22	185.71
x=0.05	6.1x10 ⁻⁷	1.89	100
x=0.15	5.9x10 ⁻⁷	1.21	172.04

Tablo 4.23. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarının B ve m değerleri.

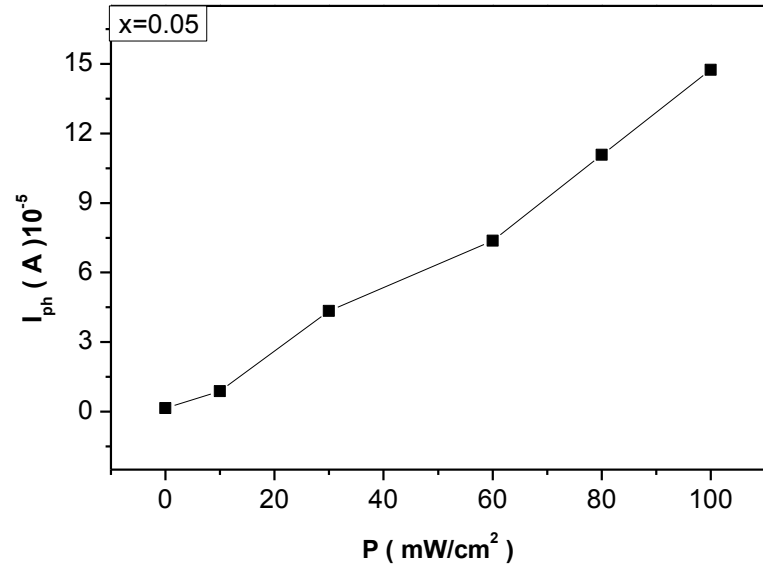
Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au	B	m	I_{açma}/I_{kapama}
x=0	4.5x10 ⁻⁷	1,23	1710.25
x=0.01	1.19x10 ⁻⁷	1,33	720
x=0.05	1.25x10 ⁻⁷	1,23	89.47
x=0.15	2.55x10 ⁻⁷	1,30	255.81



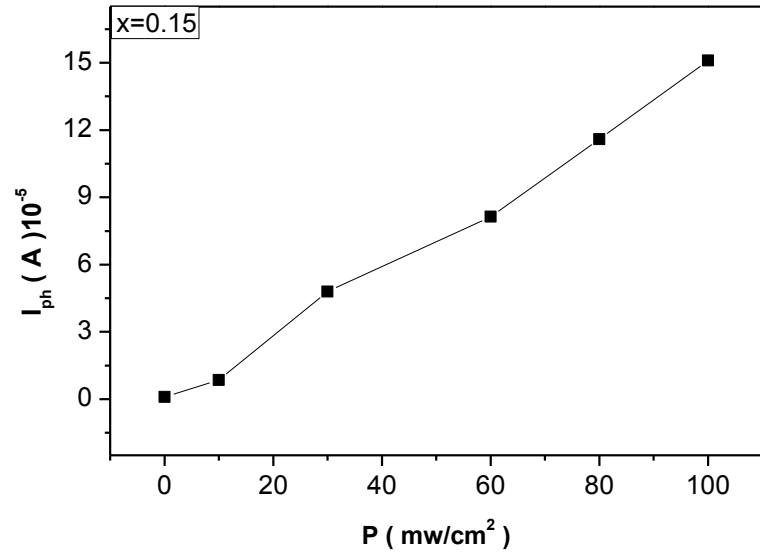
Şekil 4.85. $x=0$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I_{ph} - P grafiği.



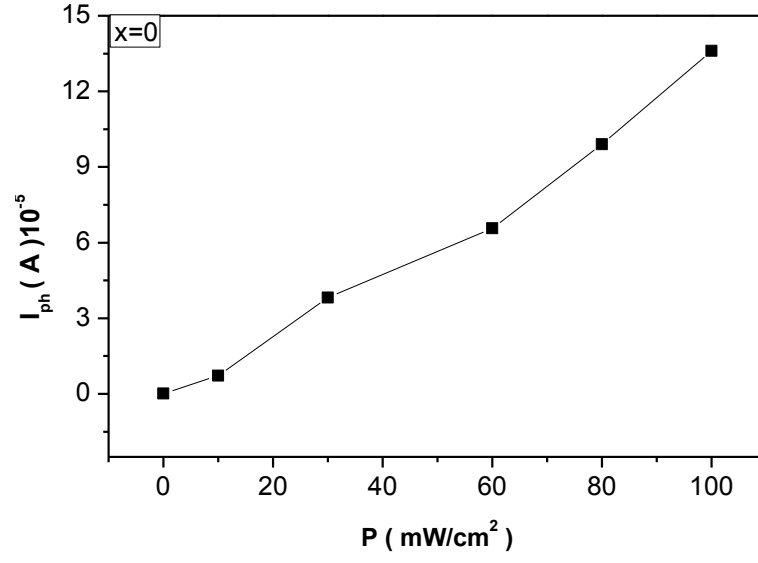
Şekil 4.86. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotunun I_{ph} - P grafiği.



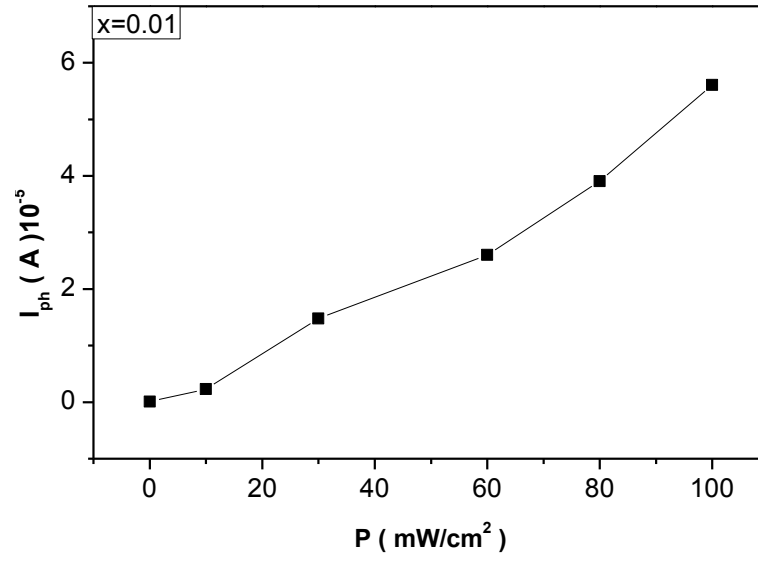
Şekil 4.87. $x=0.05$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun I_{ph} -P grafiği.



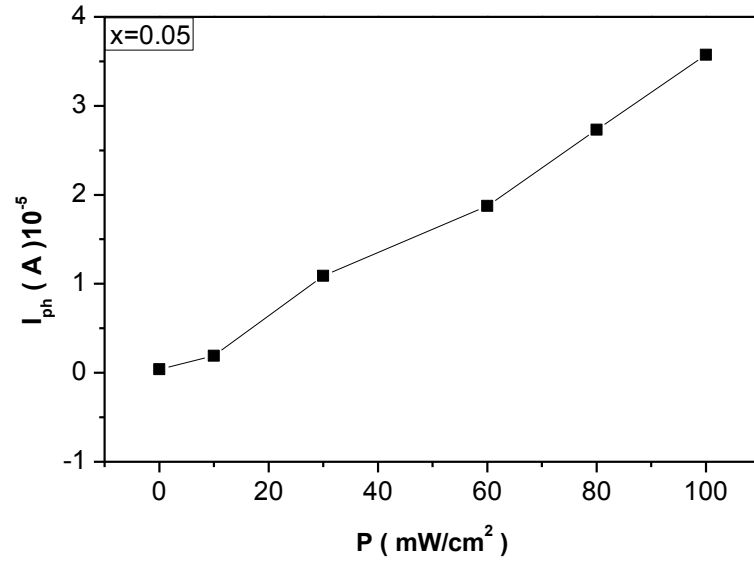
Şekil 4.88. $x=0.15$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun I_{ph} -P grafiği.



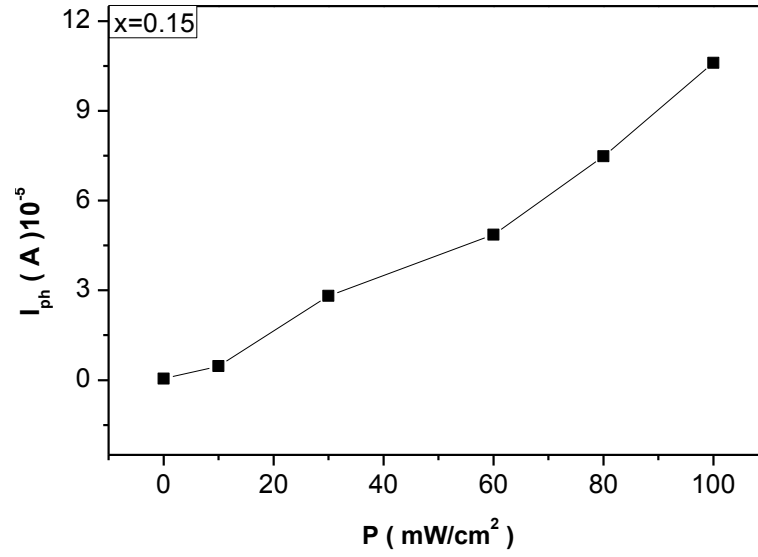
Şekil 4.89. $x=0$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun I_{ph} -P grafiği.



Şekil 4.90. $x=0.01$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun I_{ph} -P grafiği.



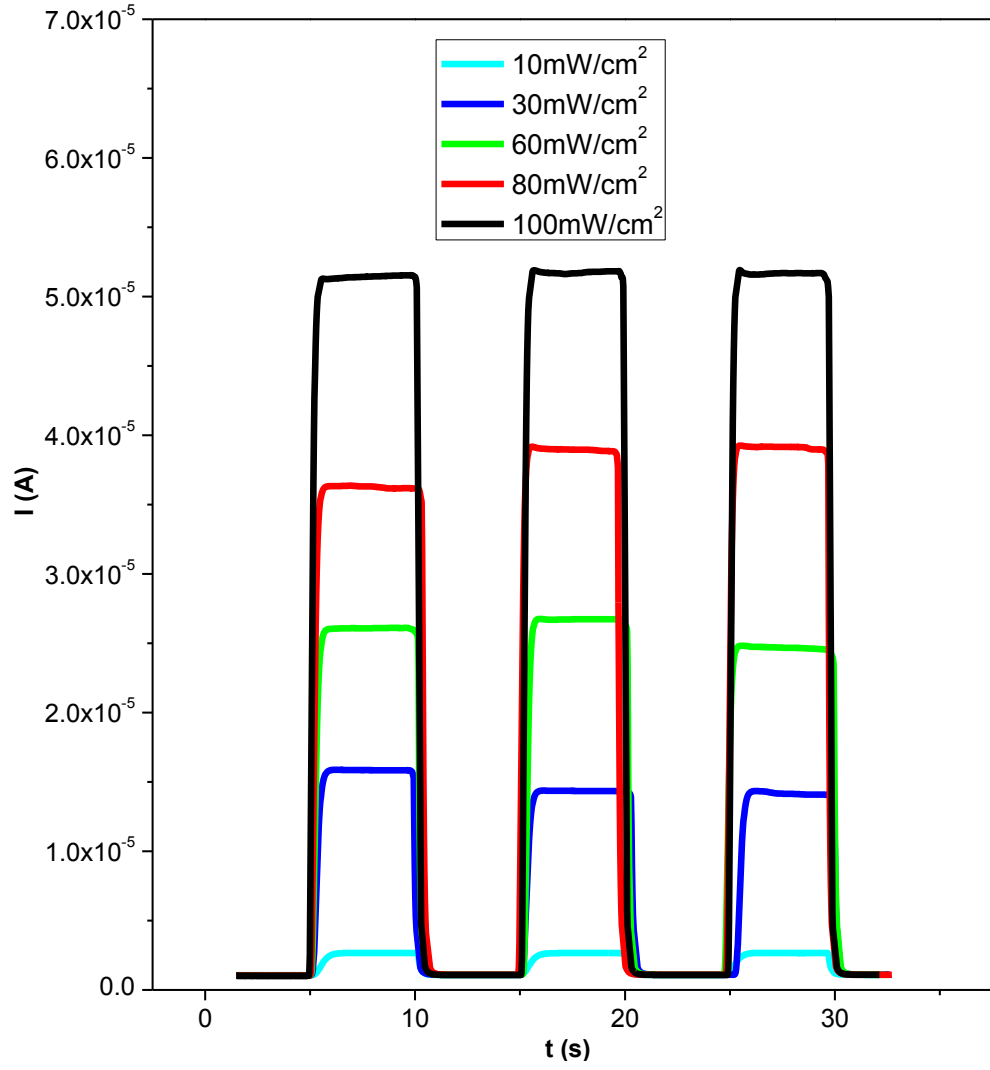
Şekil 4.91. $x=0.05$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun I_{ph} -P grafiği.



Şekil 4.92. $x=0.15$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun I_{ph} -P grafiği.

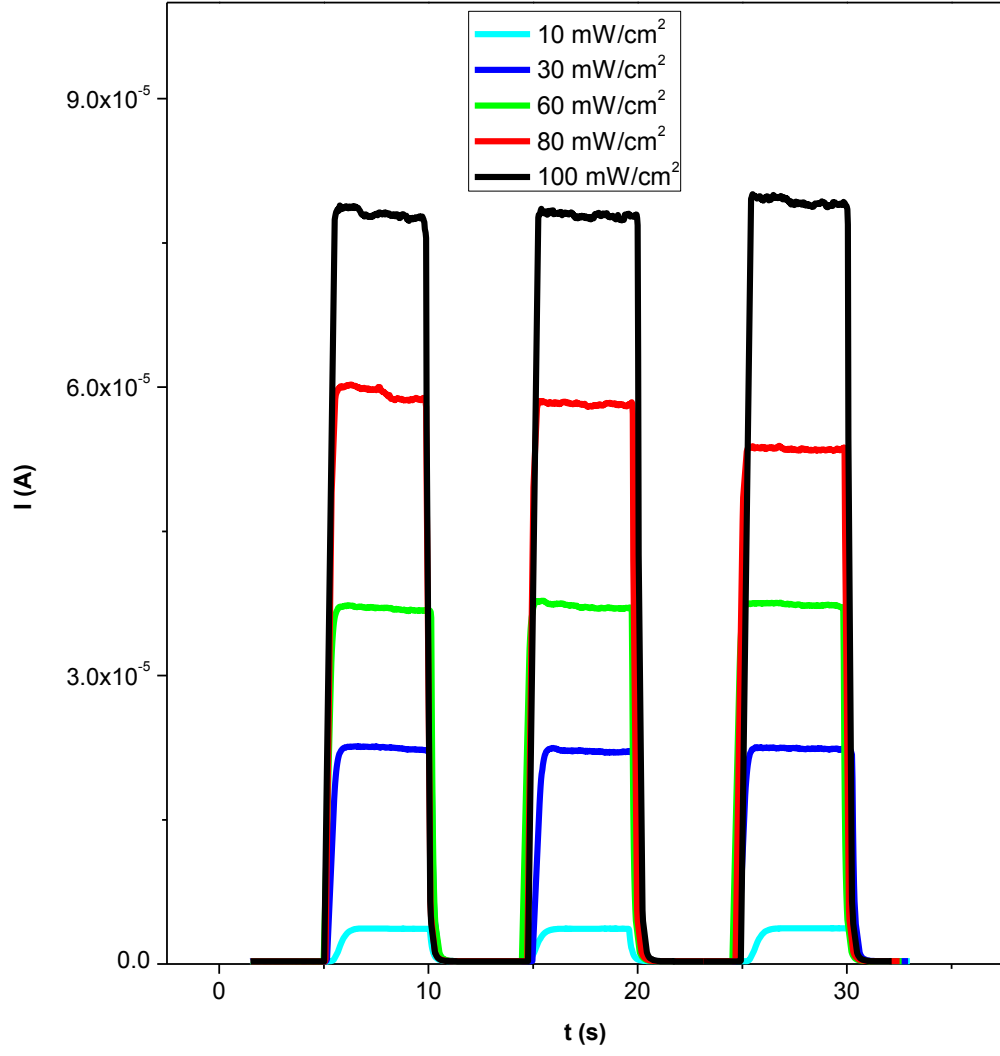
Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarının I_{ph} -P grafiklerinde, diyota uygulanan ışık şiddetinin artması ile fotoakımın da bütün diyotlarda arttığı görülmektedir.

Diyotlarda fotoakımın zamanla değişimi farklı aydınlatmalarla ölçüldü. Elde edilen değerlerle diyotların I-t grafikleri çizilerek Şekil 4.93 ile Şekil 4.100 arasında verildi. Bütün diyotlarda, akımın ışık şiddetine bağlı olarak arttığı görüldü.



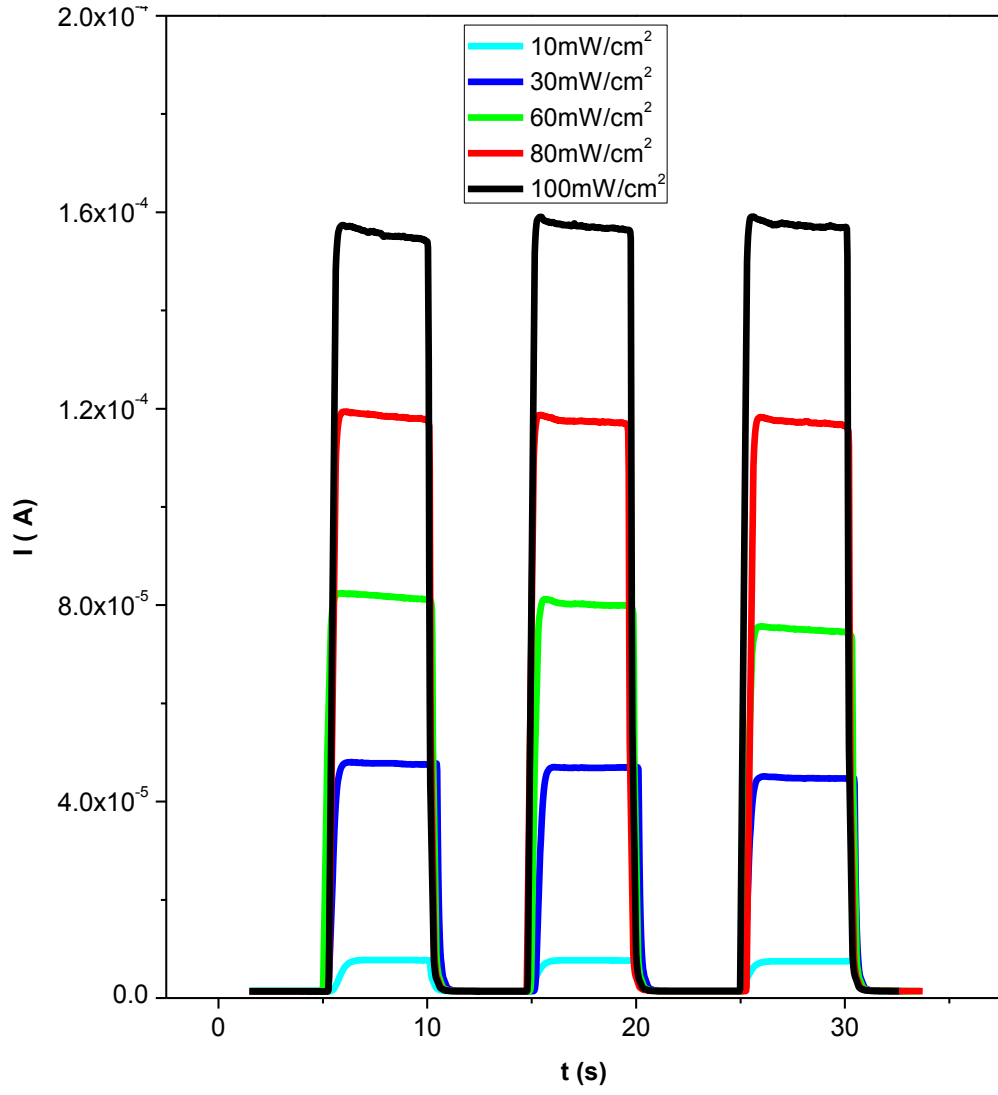
Şekil 4.93. $x=0$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun I_{ph}-t grafiği.

Diyotun 100 mW/cm² aydınlatma şiddeti altındaki I_{açma}/I_{kapama} oranı 33.6 olarak bulundu.



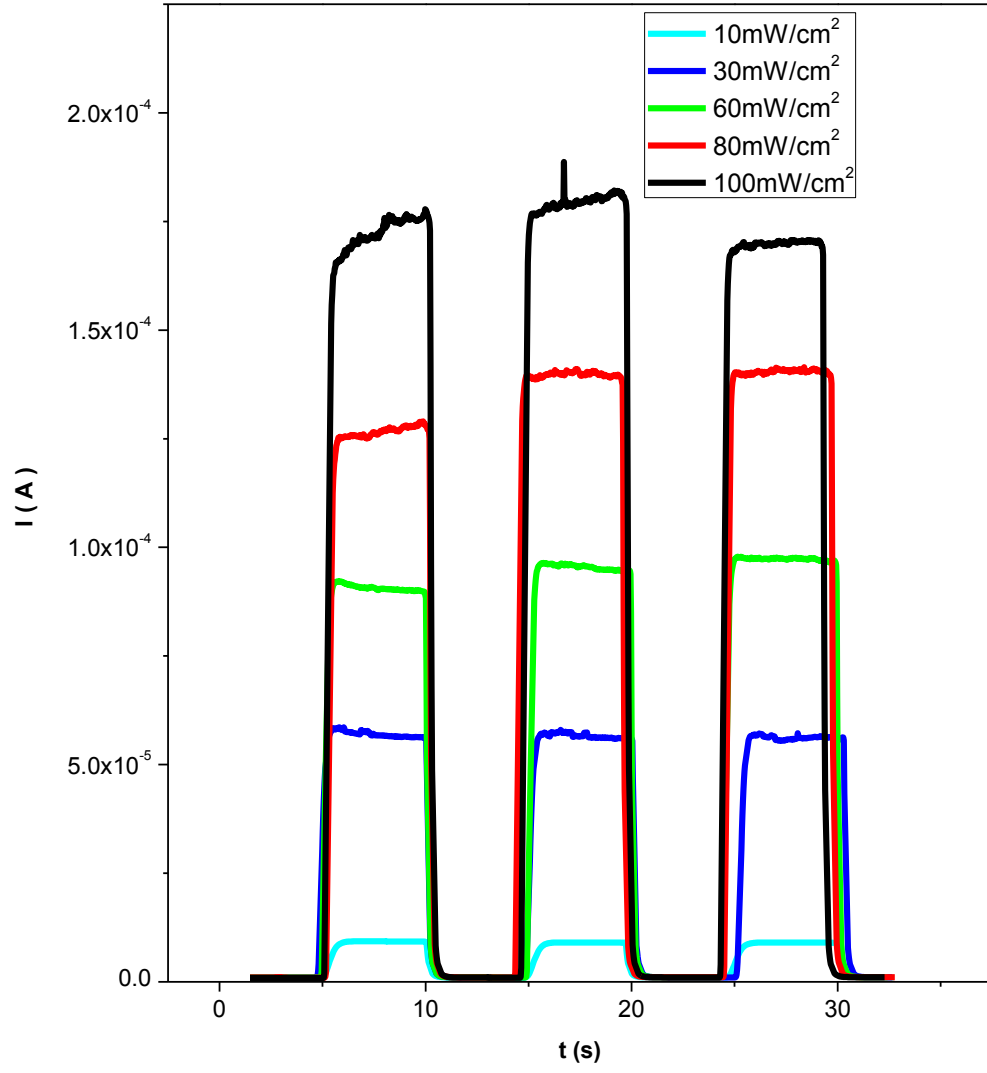
Şekil 4.94. $x=0.01$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotunun I_{ph} -t grafiği.

Diyotun 100 mW/cm² aydınlatma şiddeti altındaki $I_{açma}/I_{kapama}$ oranı 237.19 olarak bulundu.



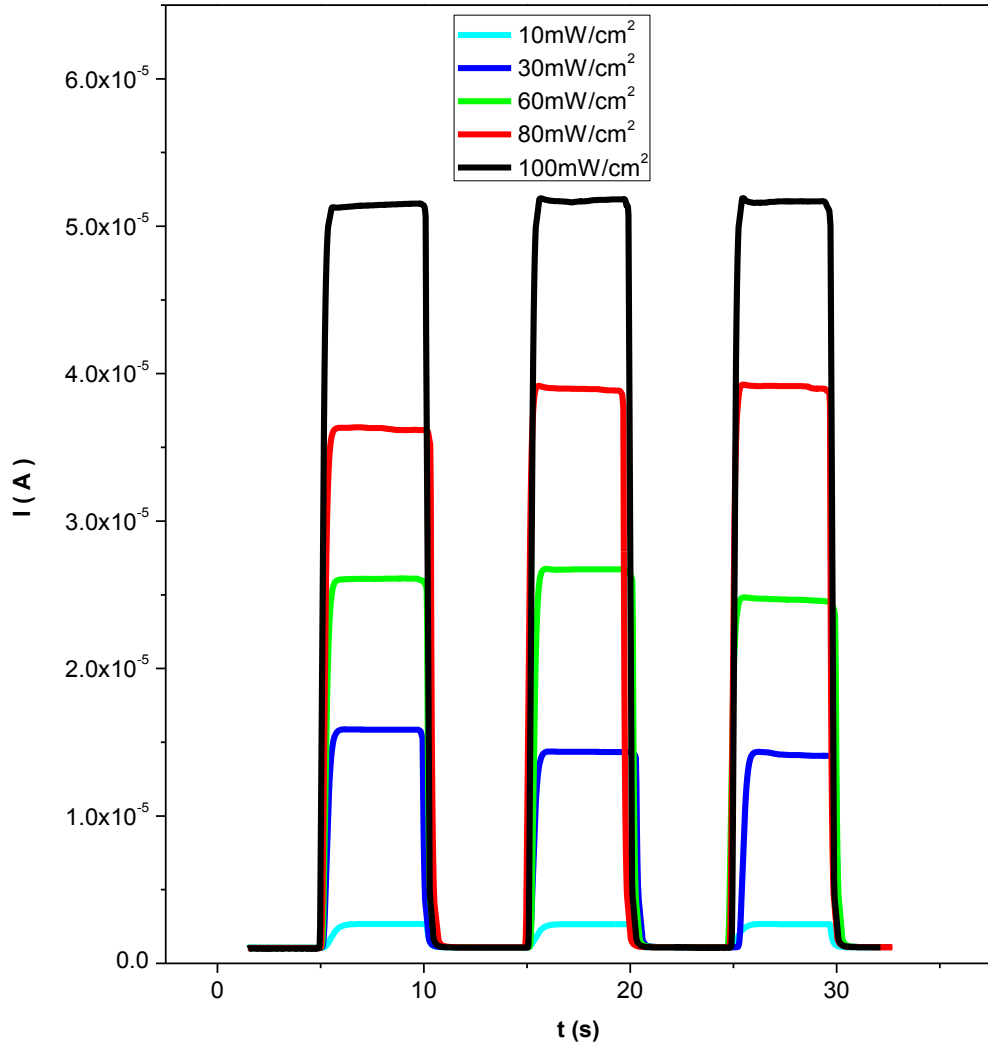
Şekil 4.95. $x=0.05$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ diyotunun I-t grafiği.

Diyotun 100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti altındaki $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}}$ oranı 113.86 olarak bulundu.



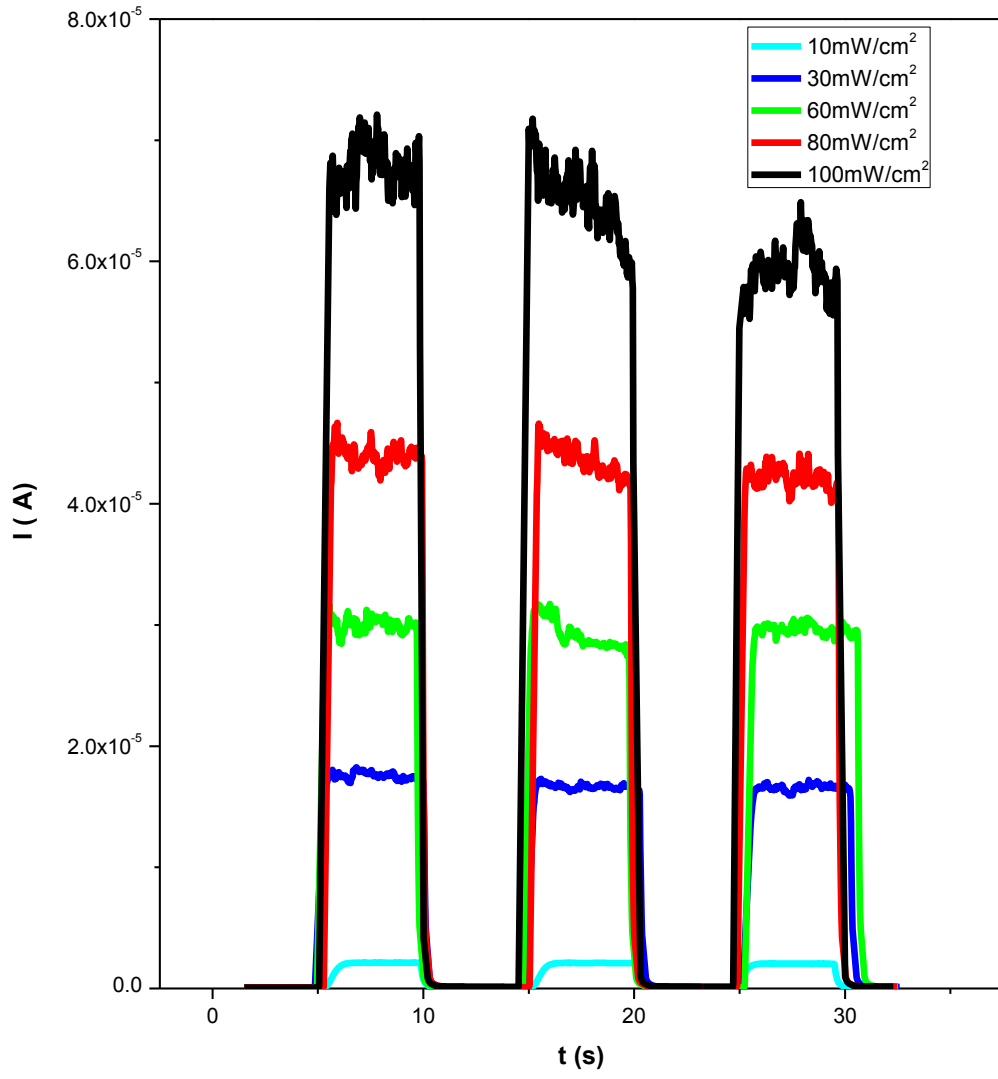
Şekil 4.96. $x=0.15$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ diyotunun I-t grafiği.

Diyotun 100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti altındaki $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}}$ oranı 184.67 olarak bulundu.



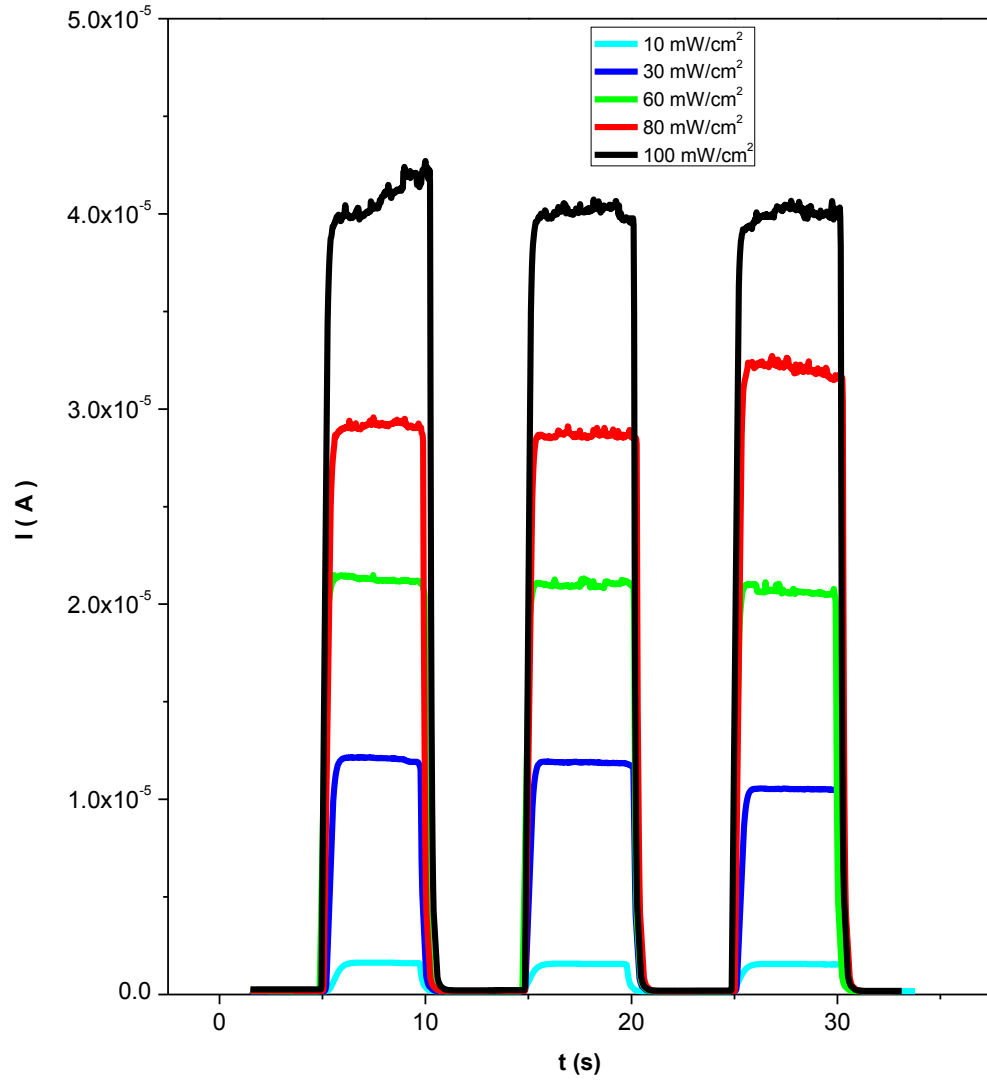
Şekil 4.97. $x=0$ için Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotunun I-t grafiği.

Diyotun 100 mW/cm² aydınlatma şiddeti altındaki $I_{açma}/I_{kapama}$ oranı 33.29 olarak bulundu.



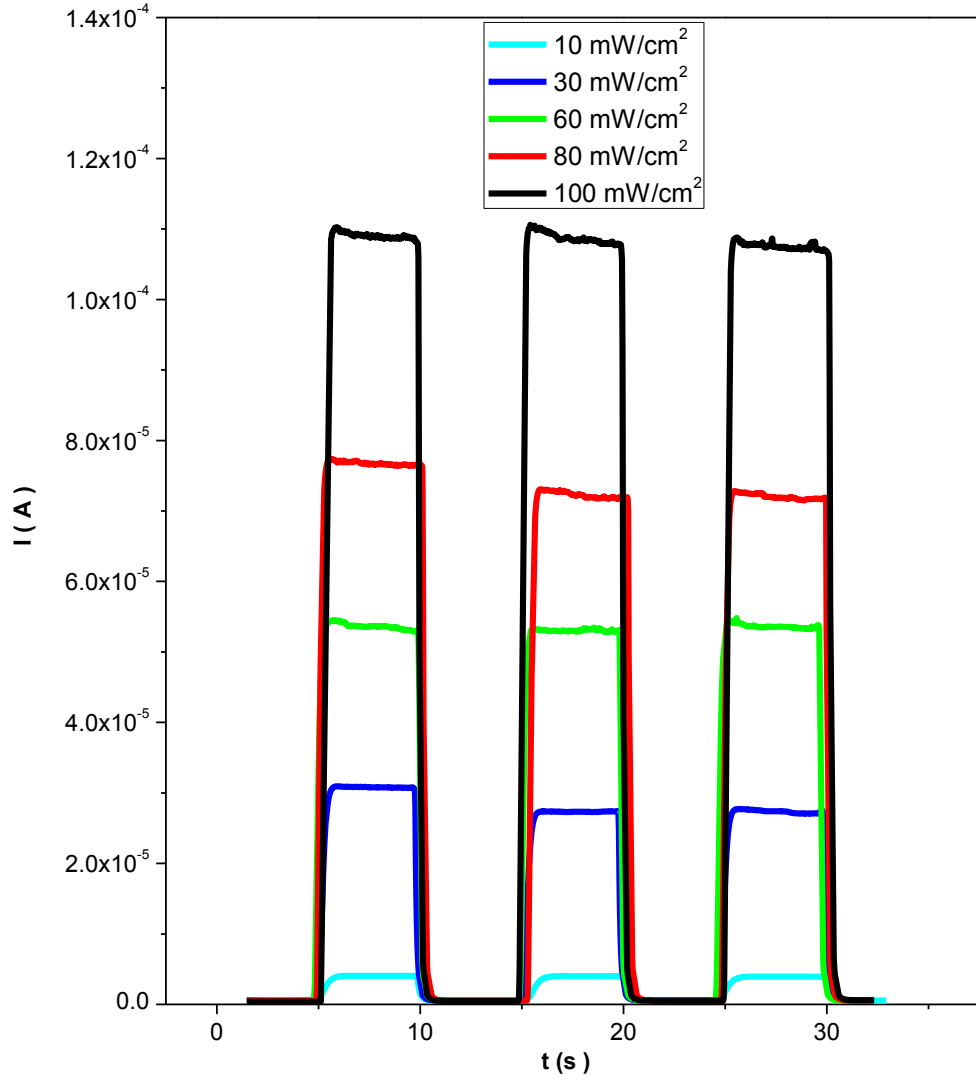
Şekil 4.98. $x=0.01$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.

Diyotun 100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti altındaki $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}}$ oranı 503.78 olarak bulundu.



Şekil 4.99. $x=0.05$ için Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun I-t grafiği.

Diyotun 100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti altındaki $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}}$ oranı 140.56 olarak bulundu.



Şekil 4.100. $x=0.15$ için $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ diyotunun I-t grafiği.

Diyotun 100 mW/cm^2 aydınlatma şiddeti altındaki $I_{\text{açma}}/I_{\text{kapama}}$ oranı 230.88 olarak bulundu.

$\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3/\text{Au}$ ve $\text{Al/p-Si/Y}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3/\text{Au}$ diyotlarının I-t grafiklerinde; ışık açıldığında akımda ani bir artış meydana geldiği ve sabit bir değere ulaştığı, ışığın kapatıldığında ise yine ilk değerine geri döndüğü görülmektedir.

Diyotların S_{ph} fotoiletkenlik hassasiyeti ve R fotoduyarlık değerleri aşağıdaki (4.15) ve (4.16) ifadeleri ile hesaplandı.

$$S_{ph} = \frac{\left(\frac{I_{ph}}{V}\right)d}{PA} \quad (4.15)$$

ve

$$R = \frac{I_{ph}}{PA} \quad (4.16)$$

Tablo 4.24 Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarının S_{ph} ve R değerleri.

Fotodiyot Al/p-Si/CoO₃/Au	S_{ph} (m/ΩW)	R (A/W)	I_{açma}/I_{kapama} oranı
x=0	8x10 ⁻⁸	1.6x10 ⁻⁵	33.6
x=0.01	1.25x10 ⁻⁷	2.5x10 ⁻⁵	237.19
x=0.05	2.45x10 ⁻⁷	4.9x10 ⁻⁵	113.86
x=0.15	2.65x10 ⁻⁷	5.3x10 ⁻⁵	184.67

Katkı oranı arttıkça diyotların S_{ph} fotoiletkenlik hassasiyeti ve R fotoduyarlık değerlerinde artış gözlenmektedir.

Tablo 4.25. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarının S_{ph} ve R değerleri.

Fotodiyot Al/p-Si/MnO₃/Au	S_{ph} (m/ΩW)	R (A/W)	I_{açma}/I_{kapama} oranı
x=0	8.15x10 ⁻⁸	1.63x10 ⁻⁵	33.29
x=0.01	1.05x10 ⁻⁷	2.1x10 ⁻⁵	503.78
x=0.05	6.5x10 ⁻⁸	1.3x10 ⁻⁵	140.56
x=0.15	1.7x10 ⁻⁷	3.4x10 ⁻⁵	230.88

Katkı oranı arttıkça diyotların S_{ph}, fotoiletkenlik hassasiyeti ve R fotoduyarlık değerlerinde artış gözlenmektedir. Ancak x=0.05 malzemesinde bu durum gözlenememiştir.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada sol-jel ile hazırlanan $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ ve $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ malzemelerinin yapısal özellikleri ile bu malzemelerle hazırlanan $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO_3/Au$ ve $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO_3/Au$ diyotlarının karakteristikleri araştırıldı. Malzemelerin her biri $x=0$, $x=0.01$, $x=0.05$ ve $x=0.15$ olmak üzere dört farklı oranda üretildi. Malzemelerin FTIR, SEM, XRD ile yapı analizleri belirlendi ve elektriksel ölçümleri alınarak incelendi.

Schottky diyotların akım-iletim mekanizmasını açıklayabilmek için diyotların birçok parametresinin incelenmesi gerekir. Diyotlarda meydana gelen arayüzey durum yoğunluğu, seri direnç etkisi, metal ile yarıiletken arasında oluşan ve ya oluşturulan yalıtkan tabakanın cinsi, yalıtkan tabakanın kalınlığı ve homojenliği gibi etkenlerin incelenmesi akım-iletim mekanizmasını anlayabilmek için önemlidir. Ayrıca bu etkenlerin diyota uygulanan voltaj, frekans ve aydınlatmadan dolayı farklılık göstermesi akım-iletim mekanizmalarının anlaşılmasının önündeki en büyük zorlukların başında gelmektedir. Üretilen malzemelerin, akım-iletim mekanizmalarının anlayabilmek için $I-V$, $C-V$, $C^{-2}-V$, $C_{adj}-V$, $I-t$, $D_{it}-f$, R_s-V , $I_{ph}-P$, grafikleri çizilerek; idealite faktörü (n), bariyer yüksekliği (Φ_B), doğrultma oranı (RR), difüzyon potansiyeli (V_{bi}), akseptör taşıyıcı yoğunluğu N_a , arayüzey tuzak yoğunluğu (D_{it}), seri direnç (R_s), fotoiletkenlik hassasiyet (S_{ph}) ve fotoduyarlık (R) değerleri bulunarak incelendi.

Malzemelerin tamamının ilk piklerinde karbon ile hidrojen arasında (C-H) eğilmeleri meydana gelmiştir oluşan bağlar FTIR'ın oluşturduğu elektrik alandan neticesinde gergin durumdadır ve bu gerilmeden dolayı hepsinin dipol momentlerinde değişimler meydana gelmiştir. $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO_3/Au$ diyotlarında $x=0.01$, $x=0.05$ ve $x=0.15$ oranında hazırlanan diyotlarda ve $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO_3/Au$ diyotunda ise $x=0.01$ oranında hazırlanan diyotta oluşan C-H bağlarındaki dipol moment değişimi, $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO_3/Au$ diyotunun $x=0$, $x=0.05$ ve $x=0.15$ diyotu ve $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO_3/Au$ diyotunun $x=0$ oranında hazırlanan diyotlarınkine daha fazladır. 1389 cm^{-1} ile 1411 cm^{-1} arasındaki pikler karbon ile oksijen arasında bağlar meydana geldiğini göstermektedir. Bu bağlarda da gerilme meydana gelmiş ve dolayısıyla dipol momentlerinde değişim olmuştur. Ayrıca karbon ile oksijen arasında bu bağlarda ki gerilmeler asimetriktir. $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO_3/Au$ diyotunda $x=0.01$ oranında hazırlanan diyot ile $Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO_3/Au$ diyotunda $x=0.01$ ve $x=0.05$ 1514 cm^{-1} pikleri karbonlar arasında meydana gelen gergin alken benzeri yapıları işaret etmektedir.

Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotlarının $x=0$, $x=0.05$ ve $x=0.15$ oranında hazırlananların 2341 cm^{-1} de verdiği pikler yine karbonlar arasında oluşan asimetrik gergin alkin türü bağ oluşumunu göstermektedir. Karbonlar arasında oluşan bağlarda da moleküllerin dipol momentleri artmıştır [44,45].

Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au ve Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotları ferroelektrik histerezis oluşturmuştur. Kobaltın manyetik özelliğinden dolayı $\vec{P}$ (kutuplanma) değerleri mangandan daha büyük çıkmıştır. İdealite faktörü (n) Co malzemelerde 2.81 ile 7.65 arasında, Mn malzemelerde 2.08 ve 5.92 arasında hesaplandı. Katkı oranının artması idealite faktörünün artışına neden olmaktadır. Ayrıca arayüzey durum yoğunluğu ve seri direncin artışı da buna neden olmaktadır. İdeallik faktörünün 1'den büyük olması metal ile yarıiletken arasında meydana gelen arayüzey durum yoğunluğunun olduğunu gösterir [8]. Diyotların bariyer yüksekliği I-V grafiğinden hesaplandığında katkı miktarı arttıkça azaldığı görülmüştür. Arayüzeyde oluşan kapasitans ve voltajın etkisi gözönüne alınarak hesaplanan bariyer yüksekliğinde değerlerin azaldığı görülmüştür.

Fotodiyotlarda fotoakım, 1) organik yarıiletken/metal ara yüzeyine gelen fotonların ayrışmasıyla, 2) aktif tabaka içindeki serbest yük taşıyıcıların taşınması ve 3) serbest yük taşıyıcıların elektroda transferinden oluşur. Düşük fotoakım değerleri, gelen düşük ışık şiddetlerinden kaynaklanır [26]. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotlarının m değeri Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotlarına göre nispeten büyük çıkmıştır. Bu da kobalt ile hazırlanan diyotların mangan ile hazırlanan diyotlara göre, uygulanan elektrik alanın daha fazla katkı yaptığı anlamına gelmektedir. Kobalt ve manganla hazırlanan diyotların tümünde m değerleri 3'ten küçüktür bu da arayüzeyde oluşan tuzak seviyelerinin üstel dağılım göstermediği anlamına gelmektedir. Çünkü m değerlerinin 3'ten büyük çıkması tuzak seviyelerinin üstel olarak arttığını göstermektedir [27,46,47].

Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xCoO_3$ /Au diyotlarının doğrultma oranları 5.5×10^3 ile 2.45×10^3 arasında değişim göstermektedir. Katkı oranının artması ile kobalt ile hazırlanmış diyotların doğrultma oranlarında azalma meydana gelmiştir. Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotlarında doğrultma oranları 3.34×10^3 ile 7.29×10^3 arasında değişmekte olup mangan oranı arttıkça doğrultma oranı da artmıştır. Ancak $x=0.05$ ile hazırlanan Al/p-Si/ $Y_{1-x}Sr_xMnO_3$ /Au diyotunun doğrultma oranı düşük çıkmıştır. Doğrultma oranları bütün diyotlarda ($RR > 1000$) olduğundan [7] iyi bir doğrultucu özelliğe sahip olduğunu gösterir.

Fotodiyotların I-V grafikleri incelendiği zaman ters besleme akımının diyot üzerine düşürülen ışık şiddeti ile arttığı gözlenmektedir. Bu özellik, ferroelektrik özellik gösteren malzeme ile ürettiğimiz Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au yapıdaki bütün diyotların farklı katkı oranlarında da fotoiletken olduğunu gösterir.

R_s değerlerinin artması, ölçülmeye çalışılan elektronik parametrelerde değişime neden olur. İyi bir elektronik parametre elde etmek için R_s'nin mümkün olduğunca küçük değerlerde olması gerekir. Ancak bütün diyotlarda olduğu gibi hazırlanan Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarında da p-Si tabakanın kendi direnci, üzerine kaplanan aliminyumun direnci, diyot oluşturmak üzere kullanılan Y_{1-x}Sr_xCoO₃ ve Y_{1-x}Sr_xMnO₃ malzemelerin oluşturduğu direnç, son olarak da iyi bir iletken olmasına rağmen yapılan altın kontakın direnci diyotta seri bir direnç oluşumuna neden olmaktadır. Bu seri direnci diyotlara farklı frekans uygulayarak değiştirebiliriz. R_s-V grafiklerinden, diyotlara uygulanan frekansın artması ile R_s değerlerinin de azaldığı görülmektedir. Ayrıca D_{it} değerleri ile R_s değerleri arasında bir paralellik olduğu gözlenmiştir.

Bütün diyotlar fotoiletken özellik gösterdiğinden oluşan I_{ph} fotoakımı, diyotlara uygulanan gücün artmasıyla iyi bir artış sergilemiştir. Fotoakımın giderek artması diyotların kuantum veriminin de arttığını gösterir. Bu açıdan Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarının kuantum verimi Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarından daha fazla olduğu anlamına gelir. Bu durum diyotların fotoduyarlık (R) parametresini de etkiler. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au diyotlarının fotoduyarlılığı artan katkı oranı ile 1.6x10⁻⁵'den 5.3x10⁻⁵'ye yükselmiş, Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarında ise x=0.05 oranının da hazırlanan diyot hariç 1.63x10⁻⁵'den 3.4x10⁻⁵'ye yükselmiştir. Bütün diyotların fotoiletkenlik hassasiyeti, fotoduyarlık parametresine benzer bir davranış sergilemiştir.

Diyotların I-t grafiklerinden farklı aydınlatmalarda oluşan akımın, ani artış gösterip sonra sabit bir değere ulaştığı gözlenmiştir. Diyotların akımı karanlıkta, 10 mW/cm², 30 mW/cm², 60 mW/cm², 80 mW/cm² ve 100 mW/cm²'lik aydınlatmalarda ölçülerek I_{açma}/I_{kapama} oranları belirlenmiştir. Diyotların hepsinde de en büyük artış 100 mW/cm²'lik aydınlatmada olmuştur. Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xCoO₃/Au ve Al/p-Si/Y_{1-x}Sr_xMnO₃/Au diyotlarında en büyük I_{açma}/I_{kapama} oranı x=0.01 diyotunda sırasıyla 237.19 ve 503.78 olarak ölçüldü.

Bütün diyotların ters beslemede kapasitelerinin değiştiği, düz beslemede ise herhangi değişimin olmadığı C-V grafiklerinden görülmüştür. Bu durumun diyotta oluşan arayüzey durum yoğunluğundan ve seri dirençten ötürü olduğu literatürden bilinmektedir. Bu etkiyi

azaltmak ve daha düzenli hale getirmek için diyotların C_{adj} -V ve C^{-2} -V grafikleri çizildi. Bu grafiklerden de diyotların arayüzey durum yoğunluğuna ve seri dirence sahip olduğu belirlendi. Diyotların iletkenlik değişimini belirleyebilmek için G_{adj} -V grafikleri çizildi. Diyotlara uygulanan frekansın artması ile iletkenliğin arttığı gözlemlendi. Ancak G_{adj} -V grafikleri negatif bölgede bir pik verdi ve pik değerlerinin frekansla orantılı olduğu görüldü. Arayüzey durum yoğunluğunu belirleyebilmek amacıyla diyotların D_{it} değerlerinin frekansla değişimi incelendi. Diyotların arayüzey durum yoğunluğunun frekansla azaldığı belirlendi. D_{it} değerlerinin diyotların $I_{açma}/I_{kapama}$ oranlarını büyüklüğü ile orantılı olarak etkilediği görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- [1] **Akdemir,D,A.**, 2013. Metal/III-V yarıiletken *n*-GaAs metal doğrultucu kontakların numune sıcaklığına bağlı diyot karakteristiklerinin bazı metotlarla irdelenmesi, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- [2] **Sze, S. M., and Kwok K. Ng**, 2007. “Metal-Semiconductor Contacts”, *Physics of semiconductor Devices*, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 245-300.
- [3] **Rhoderick, E. H. and Williams, R. H.**, (1988). “Surfaces, Interfaces, and Schottky Barriers”, *Metal-Semiconductor Contacts* 2nd ed., Clarendon Press, Oxford.
- [4] **Sato, K. and Yasamura, Y.**, 1985. “Study of forward I-V plot for Schottky diodes with high series resistance”, *J. Appl. Phys.*, 58(9): 3655.
- [5] **F.Yakuphanoglu.**, 2007. Electronic and interface state density properties of Cu/n-Si MIS type diode., *Physics B*,394,23-26.
- [6] **S.Das,A.Poddar,B.Roy.**, 2003. Study of the metal-insulator transition in $Y_{1-x}A_xTiO_3$,*Journal of Alloys and Compounds.*,358,17-22.
- [7] **Kanbur,H.**, 2008. Yalıtkan tabakalı Al/p-Si Schottky diyotlarda elektriksel karakteristiklerin sıcaklığa bağlı incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [8] **Crowell, C.R., Sze, S.M.**, 1966. “Current Transport in Metal-Semiconductor Barriers”, *Solid State Electron.*, 9, 1035.
- [9] **Sel,M.**, 2012. Au/TiO2/n-Si/Au Schottky engelinin diyot parametrelerinin sıcaklığa ve frekansa bağlı incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [10] **Donati, S.**, 1999. *Photodetectors: devices, circuits and applications*, Prentice Hall.
- [11] **Uzun, A.**, 2002. Mikroişlemciler Arası Optik Yolla Haberleşme, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- [12] **Bhattacharya, P.**, 1997. *Semiconductor Optoelectronic Devices*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

- [13] **M. Z. Balbağ**, 2001. Yitriyum İçeren Süperiletken Bileşiklerin Fiziksel Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [14] ‘**Table Isotopes decay data**’ Lund University. Retrieved 2014 10-13.
- [15] **S.Das,A.Poddar,B.Roy.**, 2003. Study of the metal-insulator transition in $Y_{1-x}A_xTiO_3$, *Journal of Alloys and Compounds*,358,17-22.
- [16] **Brennan, K.F.** , (1999). *The Physics of Semiconductors with applications to Optoelectronic Devices*, Cambridge University Press.
- [17] **Sze, S.M.**, 1981.*Physics of Semiconductor Devices 2nd ed.*, Willey, New York.
- [18] **Al, E.A.**, 2010. Fotovoltaik pillerin yapısı ve akım iletim mekanizması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [19] **Yıldız,D.E.**, 2008. Al/ SiO₂/p-Si (MYY) yapıların akım-iletim mekanizması ve elektriksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı incelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [20] **Sing, A.**, (1985). “Charecterization of Interface State at Ni/nCdF₂ Schottky Barrier Type Diodes and Effect of CdF₂ Surface Preparation”, *J. Appl. Phys.*, 28(3),223-232.
- [21] **Padavoni, F.A., Stratton, P.** 1966. Field and Thermionic-Field Emission in Schottky Barriers. *Solid-State Electronics*, 9, 695-707.
- [22] **Crowell, C.R., Rideout, V.L.**, 1969. Normalized Thermionic-Field Emission in Metal-Semiconductor Barriers. *Solid-State Electronics*, 12, 89-105.
- [23] **Nicollian, E. H. and Brews, J. R.**, 1982. *Metal Oxide Semiconductor (MOS) Physics and Technology*, John Wiley, New York.
- [24] **Sharma, B.L.**, 1984. “*Physics of Schottky Barrier Junctions*”, Metal-Semiconductor Contacts Schottky Barrier Junctions and Their applications, Plenum Press, New York and London.
- [25] **Ng, K.K., Card, H.C.**, 1980. “ Image force effect on the short wavelenght (UV) photoresponse of silicon Schottky barriers”, *J.Appl. Phys.*, 51: 2153-2158.
- [26] **Gündüz,B.**, 2007. Organik yarıiletken fotodiyotların hazırlanması ve optoelektronik özelliklerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [27] **Çavaş,M.**, 2011. Nano yapıli metal oksit yarıiletkenler kullanılarak foto diyotların üretilmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

- [28] **Erol,A., Balkan, N.**, 2015. *Yarıiletkenler ve Optoelektronik Uygulamaları*, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık.
- [29] www.ee.sc.edu/personal/faculty/photodiodes.pdf.
- [30] **Özyurt Kuş,F.**, 2010. Bakır oksit/çinko oksit heteroeklem yapıların elektriksel ve Optiksel özelliklerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [31] **Dere,A.**, 2014. Grafen esaslı fotodedektörlerin üretilmesi ve elektriksel özelliklerinin karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [32] **Sze, S.M., Gibbons, G.**, 1966. Avalanche breakdown voltages of abrupt and linearly graded p-n junctions in Ge, Si, GaAs and GaP, *Appl. Phys. Lett.* 8, 111.
- [33] **Yakuphanoglu, F., Farooq Aslam, W.** 2011. Organic-inorganic photosensor controlled by frequency based on nanostructure 1,4-diaminoanthraquinone and psilicon, *Synthetic metals*, 161, 324-329.
- [34] **Roberts, R., Fox, J.J., Martin, A.M.**, 1932. Photo-Conductivity of diamonds, *Nature*, 129, 579.
- [35] **Johnson, Mark.**, 2003. Photodetection and Measurement. Blacklick, OH, USA: *McGraw-Hill Professiona Publishing*, p. 14, 15.
- [36] **Bıyıklı, N.**, 2004. High-Performance Al_xGa_{1-x} N-Based UV Photodetectors for Visible/Solar-Blind Applications, *Doktora Tezi*, Bilkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [37] **Johnson, Mark.**, 2003. Photodetection and Measurement. Blacklick, OH, USA: *Mc Graw-Hill Professiona Publishing*, p. 14, 15.
- [38] **Durak, M.**, 2002. Silikon Foto diyotların Optik Karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- [39] **Geacintov, N.E., Pope, M. and Kallmann, H.**, 1966. Photogeneration of charge carriers in tetracene, *J. Chem. Phys.*, 45, 2639-49.
- [40] **Verstimakha, YA. I., Kurik, M.V., Lopatrin, Yu, M. and Tsikora, L.N.**, 1973. hotoconductivity of pentanene crystals, *Soviet Phys., Solid State*, 15, 666.
- [41] **Meier, H.**, 1974. Organic Semiconductors-Dark and photoconduvtivity of organic Solids, *Verlag-Chemie*, Germany.

- [42] **Aydın, S.B.K.**, 2013. Al/TiO₂/p-Si/Schottky diyotların akım-voltaj (I-V) ve kapasitans-voltaj (C-V) karakteristikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Bozok Üniversitesi, Yozgat.
- [43] **Karataş,S., Yakuphanoglu,F., Amanullah,F.M.**, 2012. Capacitance-voltage and conductance-voltage characteristics of Ag/n-CdO/p-Si MIS structure prepared by sol-gel method, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*,73,46-51.
- [44] <http://faculty.ksu.edu.sa/Alomar/Documents/IR.ppt>
- [45] [http://pharmahub.org/resources/347/download/Mid-Infrared Spectroscopy-art_II.ppt#15](http://pharmahub.org/resources/347/download/Mid-Infrared_Spectroscopy-art_II.ppt#15)
- [46] **Gulino, A., Tabbi, G.**, 2005. CdO thin films: a study of their electronic structure by electron spin resonance spectroscopy, *Applied Surface Science*, 245, 322– 327.
- [47] **Fan, D.H.**, 2009. Catalyst-free growth and crystal structures of CdO nanowires and nanotubes, *Journal of Crystal Growth*, 311, 2300–2304.
- [48] **Parashar,S., Raju,A., Rao,C.**, 2003. Electrical properties of ferroelectric YMnO₃ films deposited on n-type Si (111) substrates, *Journal of Physics D:Applied Physics*,36,17,2134.
- [49] **Buassi-Monroy, O.S., Luhrs,C.C., Cha´vez-Cha´vez,A., Michel,C.R.**,2003. Synthesis of crystalline YCoO₃ perovskite via sol–gel method, *Materials Letters*, 58 ,716– 718.
- [50] **Ito,K., Tsuchiya,H.**, 1977. Memory modes of ferroelectric field effect transistors,*Solid-State Electronics*,20,529-537.
- [51] **Avcı,M.**, 2014. Nanomalzeme Esaslı Kolesterol Biyosensörlerin Üretilmesi ve karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [52] **Patete,M.J., Han,J.,Tiano,A.L.,Lio,H.,Han,M., Simonson,J.W.,Li,Y.,Santulli, A.C., Aronson,M.C., Frenkel,I.A., Zhu,Y.,Wong,S.S.**, 2014. Observation of ferroelectricity and structure-dependent magnetic behavior in novel one-dimensional motifs of pure, crystalline yttrium manganese oxides, *The Journal of Physical Chemistry C*, 118,21695-21705.
- [53] **Buassi-Monrey,O.S., Luhrs,C.C.,Chavez-Chavez,A.,Michel,C.R.**,2004. Synthesis of crystalline YCoO₃ perovskite via sol–gel method, *Materials Letters*,58,716-718.

- [54] **Erdinç,B.**, 2006. Perovskit yapıdaki bazı kristallerde izotop yerleştirmenin faz geçiş sıcaklığı üzerine etkilerinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [55] **Zhang,R.,Chan,C.,Duan,M.,Niu,L.,Jin,K.**,2014. Piezoelectric, ferroelectric properties of multiferroic YMnO₃ epitaxial film studied by piezoresponse force microscopy, *Journal of Crystal Growth*, 390,56-60.
- [56] **Beşergil, B.**, , 2015. *Enstrümental Analiz*, Gazi Kitabevi.
- [57] http://www.acikders.org.tr/pluginfile.php/1073/mod_resource/content/1/Bolum-12.pdf.

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılı Elazığ doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 1996 yılında Fırat Üniversitesi Fizik Bölümü'nden mezun oldu. 1999 yılında yüksek lisansını tamamladı. Halen Milli Eğitim Bakanlığı'nda Fizik Öğretmeni olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.