

**GaP YARIİLETKENİNDE OPTİK VE ELEKTRİKSEL
KARAKTERİZASYON**

Mehmet DEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MART 2011
ANKARA**

Mehmet DEMİR tarafından hazırlanan “GaP YARIİLETKENİNDE OPTİK VE ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYON” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Selim ACAR

.....

Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı, G.Ü

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr: Raşit AHISKA

.....

Elektronik-Bilgisayar Anabilim Dalı, G.Ü

Doç. Dr. Selim ACAR

.....

Fizik Anabilim Dalı, G.Ü

Doç. Dr. H.Hilal KURT

.....

Fizik Anabilim Dalı, G.Ü

Tarih: 02/03/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini Onamıştır.

Prof. Dr. Bilal Toklu

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mehmet DEMİR

**GaP YARIİLETKENİNDE OPTİK VE ELEKTRİKSEL
KARAKTERİZASYON
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mehmet DEMİR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mart 2011

ÖZET

n-GaP yarıiletken üzerine buharlaştırma metodu ile büyütülen altın kontakların 125-375 K sıcaklık aralığında 25 K aralıklarla akım-voltaj (I-V) ölçümleri yapıldı. Deney sonuçları üretilen kontakın iyi bir diyot özelliğine sahip olduğunu gösterdi. Akım iletim mekanizmaları tüm sıcaklık aralığında Poole Frenkel (PF) ve Schottky tipi iletim mekanizmaları ele alınarak incelendi. Düşük sıcaklık bölgesinde PF tipi, yüksek sıcaklık bölgesinde ise Schottky tipi iletimin baskın olduğu görüldü. Yansıma ve geçirgenlik ölçümleri ile GaP yarıiletkeninin yasak enerji aralığı 2,21 eV olarak bulundu.

Bilim Kodu : 202.1.147
Anahtar Kelimeler :Schottky diyot, idealite faktörü, Yasak Enerji Aralığı, Poole Frenkel, Absorpsiyon
Sayfa Sayısı :45
Tez Yöneticisi : Doc. Dr. Selim ACAR

**OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERIZATION ON GaP
SEMICONDUCTOR**

(M.Sc. Thesis)

Mehmet DEMİR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

March 2011

ABSTRACT

In this study, the current-voltage (I-V) measurements of the gold contact that are produced by vaporizing over n-GaP semiconductor are made between 125-375 K degrees. The results of the experiment prove that the I-V diagram of the contact is very close to that of a perfect diode. The current transportation mechanism is investigated, in the entire temperature range, corresponding both Poole Frenkel (PF) and Schottky type mechanisms. It is observed that PF type transportation is dominant in low temperature areas while Schottky type transportation is dominant in high temperature areas. The forbidden energy gap is determined as 2,21 eV by reflectance and transmittance measurements.

Science Code : 202.1.147
**Key Words : Schottky diode, idealite factor, forbes energy range,
Poole Frenkel, Absorption**
Number of Pages :45
Advisor :Assoc. Prof. Dr. Selim ACAR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca sürekli yardımcı olan ve doğru araştırma yolunda beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. Selim ACAR çok teşekkür ederim. Numune desteği için Doç. Dr. Metin ÖZER'e ve Tamer GÜZEL'e, optik ölçümler için Yrd. Doç. Dr. Fethi DAĞDELEN'e teşekkür ederim. Ayrıca tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam ve arkadaşım Yrd. Doç. Dr. M. Kemal ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim. Yüksek lisans çalışmamda, manevi desteklerini hiç esirgemeyen eşim Azime DEMİR'e, Bu çalışmalarım arasında vakit ayıramadığım kızlarım Ahsen Zeynep ve Berra Azra'ya ve oğlum Ahmet Maksut'a bugünlere gelmemde katkısı olan annem, babam ve de kıymetli büyüklerime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	4
2.1. Elektriksel Analizler	4
2.1.1. İdeal metal – yarıiletken kontaklar	4
2.2.2 Poole – Frenkel ve Schottky İletim Mekanizması.....	7
2.2. Optiksel Analizler.....	12
2.2.1. Absorpsiyon ölçümleri (yarıiletken optik özellikleri)	12
3. DENEYSEL YÖNTEM.....	18
3.1. MIS Yapıların Oluşturulması	18
3.1.1. Kristal temizleme	18
3.1.2. Omik kantağın oluşturulması	19
3.1.3. Doğrultucu kantağın oluşturulması.....	21
4. DENEYSEL SONUÇLAR	24
4.1. Giriş	24
4.2. Poole Frenkel ve Schottky Tipi İletim Mekanizması.....	24
4.3 Optik Analizler	33

Sayfa

4.3.1 Yansıma ve Geçirgenlik Ölçümleri.....	33
4.3.2 XRD ölçümleri	36
EKLER.....	42
EK-1 Protokol.....	43
ÖZGEÇMİŞ	44

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2. 1.Metal/ n-tipi yarıiletken kontak için ($\Phi_m > \Phi_s$) elektron enerji band.....	5
Şekil 2. 2.Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) diyot	10
Şekil 2. 3.V=0 durumunda ideal bir MIS diyodun enerji-band diyagramı (a) p-tipi. 11	11
Şekil 2. 4.V \neq 0 durumunda ideal MIS diyodun enerji-band diyagramı.....	12
Şekil 2. 5.Gelen ışığın numuneden yansımaları ve soğrulması	15
Şekil 2. 6.Üst ve alt bantlardaki enerji durumları[12].....	15
Şekil 2. 7.Bir yarı iletken direkt ban yapısı.....	16
Şekil 2. 8.Bir yarıiletken indirek bant yapısı	17
Şekil 2. 9.GaP yarıiletkenin bant yapısı.....	17
Şekil 3. 1. Omik kontak maskesi.....	20
Şekil 3. 2. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulmada kullanılan buharlaştırma	20
Şekil 3. 3. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske.....	21
Şekil 3. 4. Au/n-GaP diyodun hazırlanışı	21
Şekil 3. 5. Akım-gerilim ölçümleri için kullanılan düzenek.....	22
Şekil 4. 1 log(I) nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(125-150 K).....	26
Şekil 4. 2 log(I) nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(175-200 K).....	26
Şekil 4. 3 log(I) nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(225- 250 K).....	26
Şekil 4. 4 log(I) nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(275-300 K).....	27
Şekil 4. 5 log(I) nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(325-350 K).....	27
Şekil 4. 6 log(I) nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(375 K).....	27
Şekil 4. 7 log(I/V) nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(125-150 K).....	28

Şekil	Sayfa
Şekil 4. 8 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(175-200K).....	28
Şekil 4. 9 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(225-250 K).....	28
Şekil 4. 10 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(275-300K).....	29
Şekil 4. 11 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(325-350K).....	29
Şekil 4. 12 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(375 K)	29
Şekil 4. 13 Y nin $1/T$ göre grafiğinden anlaşılacağı üzere mekanizmanın 275 K de. 30	
Şekil 4. 14 Z nin $1000/T$ göre grafiğinden görüldüğü gibi 270 K de mekanizma	31
Şekil 4. 15 X in $1000/T$ karşı grafiği doğrusaldır.	32
Şekil 4. 16' de görüldüğü gibi Z nin $1000/T$ karşı grafiği doğrusaldır.	32
Şekil 4. 17 Numunenin geçirgenlik (iletim)-Dalga Boyuna göre grafiği.....	33
Şekil 4. 18 Numunenin yansıma-Dalga Boyuna göre grafiği	34
Şekil 4. 19 $(\alpha hv)^{1/2}$ nin hv 'ye göre grafiği	35
Şekil 4. 20 GaP X ışını kırınım deseni	36

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu Çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda verilmiştir

Simgeler	Açıklama
A	Kontak alanı
A	Richardson sabiti
dox	Yalıtkan tabaka kalınlığı
Dn	Elektron difüzyon sabiti
E	Elektron yükü
eV	Elektronvolt
E_C	İletkenlik bandı enerji seviyesi
E_F	Fermi enerjisi
E_{FS}	Kontaktan önceki yarıiletkenin Fermi enerji seviyesi,
E_{FM}	Kontaktan önceki metalin Fermi enerji seviyesi
E_g	Yasak enerji aralığı
E_v	Valans bandı maksimum enerji seviyesi
eV_d	Yarıiletken tarafındaki boşluklar için yüzey engeli
h	Planck sabiti
J	Akım yoğunluğunun büyüklüğü
J_{ms}	Yarıiletkenden metale doğru doyum akım yoğunluğu

Simgeler	Açıklama
J_n	Toplam net akım yoğunluğu
J_{SD}	Difüzyon teorisinde doyma akım yoğunluğu
J_{ST}	Doyum akım yoğunluğu
J	Termiyonik emisyon-difüzyon teorisine göre doyma akım yoğunluğu
k	Boltzmann sabiti
m^*	Etkin kütle
n	Diyotun İdealite faktörü
N_a	Alıcı atomları durum yoğunluğu
N_C	İletkenlik bandı durum yoğunluğu
N_C	Donor atomları durum yoğunluğu
R_s	Seri direnç
T	Mutlak sıcaklık
χ	Elektron yakınlığı
X_m	Schottky engelinin minimum yerleşimi
δ	Oksit tabaka kalınlığı
ϵ_s	Yarıiletkenin dielektrik sabiti
ϵ_0	Serbest uzayın dielektrik sabiti
ϕ_m	Metalin iş fonksiyonu
ϕ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu

Simgeler \emptyset_{Bn} α **Kisaltmalar****MIS****MOS****MS****Açıklama**

Engel yüksekliği

Absorpsiyon katsayısı

Açıklama

Metal-Yalıtkan-Yarıiletken

Metal-Oksit-Yarıiletken

Metal-Yarıiletken

1. GİRİŞ

Transistor ve entegre gibi yarıiletken aygıtların üretiminde önemli rol oynadıkları için metal- yarıiletken kontaklar yüksek teknolojik öneme sahiptir. Metal-yarıiletken kontaklar gelişen teknoloji ile pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu malzemelerin bir takım fiziksel özelliklerinin belirlenmesi bu malzemelerin kullanım alanının genişlemesine sebep verecektir. Bu nedenle metal-yarıiletken kontakların doğasını daha iyi anlayabilmek ara yüzey tabakaların yapısını ve akım iletim mekanizmalarını anlayabilmek için uzun yıllardır üzerinde çok çalışılan bir konu olmuştur. Bu çalışmalar farklı şartlar altında farklı metaller kullanılarak yoğun bir şekilde devam etmektedir[1].

Metal–yarıiletken (MS) Schottky diyotlarda metal ile yarıiletken arasına doğal ya da yapay olarak oluşturulan arayüzey tabakasının, MS kontakların elektriksel özelliklerini ve fiziksel parametrelerini değiştirdiğinin görülmesiyle metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapılarla ilgili çalışmalar başladı. Elektronik sanayinde metal-yarıiletken kontaklardan elde edilen Schottky diyotlar, güneş pilleri, mikrodalga karıştırıcı dedektörleri, varaktörler(kapasiteleri uygulanan gerilimle değişen kondansatörler), hızlı anahtar (switching) uygulamaları gibi birçok alanda günümüzde kullanılmaktadır. Yüksek seviyede ışık veren renkli LED'lerde aktif katman olarak farklı materyaller kullanılır (GaAs, GaP, GaN, AlInGaP ve InGaN). Yüksek anahtarlama hızlarına ihtiyaç duyulan bilgisayarlar ve radyo frekans devrelerinde doğrultma amacı ile kullanılırlar.

Metal-yarıiletken kontaklarla ilgili Schottky (1931), kontakların doğrultma özelliğini kullanarak ciddi çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların ilki kontakta meydana gelen akım sonucunda kontak boyunca oluşan potansiyel düşmesidir. Wilson (1932),doğrultma işlemini kuantum mekaniksel tünelleme yoluyla açıklamaya çalışmış ancak tahmininde yanılmıştır. Schottky ve Mott (1938), elektronların gözlenen doğrultma yönünde potansiyel engeli üzerinden sürüklenme ve difüzyon yolu ile geçtiğini açıklamışlardır. Mott (1938), burada potansiyel bir engelin farkına varmış bunu da metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan olduğunu

öne sürmüştü[1][2]. Mott, yüklü (safsızlık) atomlarının olmadığı arayüzey bölgesinde elektrik alanın sabit olduğunu ve elektrostatik potansiyelin metale olan yaklaşımla aynı uzaklıkta lineer olarak değiştiğini kabul etmiştir. Crawell ve Sze, MS kontaklarda Schottky nin difüzyon teorisi ile Bethe'nin termiyonik teorisini birleştirmeyi başararak termiyonik difüzyon modelini ortaya atmıştır[2][3].

Geçerli akım iletim mekanizmalarını anlayabilmek için akım gerilim karakteristiklerinin sıcaklığa bağlı olarak analizlerinin yapılması gerekir zira sıcaklığa bağlı olarak bu iletim mekanizmaları değişebilmektedir. Literatürde oldukça fazla çalışma vardır ve bu çalışmalar birbirinden farklı mekanizmaları ileri sürmüşlerdir. Bu çalışmalar arasında; sınırlandırılmış uzaysal yükler (SCL) tipi iletim, Pool Frenkel (PF) tipi iletim, Termiyonik emisyon teorisi (TE) ve Gauss dağılımı modifiyesi ile Termiyonik emisyon teorisi en yaygın olarak kullanılan mekanizmalardır[4].

Son zamanlarda TE teorisi ve özellikle Gauss dağılımı modifiyesi ile TE teorisi ile ilgili çalışmalar dikkat çekmektedir. Bu çalışmalar literatürde oldukça ilgi ve kabul görmüştür. N. Balcı CdTe yarıiletken kullanarak yaptığı fotovoltaik aygıtın [19] ve B. Önal ise Au-GaP yapıların [11] akım voltaj karakteristiklerini sıcaklığa bağlı olarak TE teorisi ile başarılı bir şekilde incelemişlerdir. Ayrıca T. Güzel Au-GaP kontaklarının akım iletim mekanizmasını 80-375K sıcaklık aralığında Gauss dağılımı modifiyesi ile TE teorisini kullanarak analiz yapmıştır[7].

Bu tez çalışmasında, n tipi GaP kristali üzerine büyütülmüş altın ile oluşturulan Schottky kontakların 125- 375 K sıcaklık aralığında deneysel ölçümleri yapılmış ve elde edilen deneysel veriler PF tipi iletim ve Schottky tipi iletim mekanizmaları ele alınarak incelenmiştir. Ayrıca optik ölçümler yapılarak band yapısı ve yasak enerji aralığı belirlenmiştir.

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde metal yarıiletken kontakların genel gelişimi üzerinde duruldu. Çalışma hakkında genel bilgiler verildi. İkinci

bölümde ise çalışma ile ilgili teorik bilgiler verildi. Üçüncü bölümde diyotların hazırlanması ve deneysel düzeneğin hazırlanışı hakkında bilgiler verildi. Dördüncü bölümde I-V ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılarak gerekli analizler yapıldı ve diyot parametreleri belirlendi. $I-V-T$ grafiklerinden yararlanarak numunede baskın olan iletim mekanizmaları belirlendi. Yansıma ve geçirgenlik ölçümleri yaparak yasak enerji aralığı belirlendi. Beşinci bölümde ise çıkan sonuçların değerlendirilmesi yapıldı.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Elektriksel Analizler

2.1.1. İdeal metal – yarıiletken kontaklar

Bir metal ile yarıiletken temas ettirildiğinde metal-yarıiletken kontak oluşur. Yük geçişleri metal ile yarıiletken termal dengeye ulaşıncaya kadar devam eder. Termal dengeye gelmesi demek metal ile yarıiletkenin fermi seviyeleri eşit olması demektir. Böylece metal-yarıiletken arayüzeyinde yüklerin ayrılmasıyla yeni bir yük dağılımı sonucunda bir potansiyel engeli oluşur. Arayüzey bölgesi, yarıiletken tarafında oluşan ve hareketli yüklerin olmadığı yüksek dirençli bir bölgedir. Metal-yarıiletken (MS) kontaklarda, metal ile yarıiletken arayüzeyinde bir potansiyel engel oluştuğunu ilk olarak Schottky, eklemde oluşan bu potansiyelin metal ile yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki farktan kaynaklandığını ise Mott açıklamıştır. Schottky-Mott teorisine göre potansiyel engeli, metal ve yarıiletkenin iş fonksiyonları arasındaki fark sebebiyle oluşmaktadır [2].

Schottky ve Mott, elektronların gözlenen doğrultma yönünde potansiyel engeli üzerinden sürüklenme ve difüzyon yolu ile geçtiğini açıklamışlardır. Mott, yüklü (safsızlık) atomlarının olmadığı arayüzey bölgesinde elektrik alanın sabit olduğunu ve elektrostatik potansiyelin metale olan yaklaşımla aynı uzaklıkta lineer olarak değiştiğini kabul etmiştir. Schottky ise, metal yaklaşımındaki gibi Poisson denkleminin göre elektrik alanın lineer olarak artması ve elektrostatik potansiyelin quadratik olarak değişmesi için engel bölgesinin sabit olan yüklü kirliliklerin konsantrasyonunu içerdiğini varsaymıştır.

Metal ve yarıiletken iş fonksiyonları engelin doğrultucu veya omik kontak olmasını etkiler. Metalin iş fonksiyonunu Φ_m , yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s olmak üzere metal/n- tipi yarıiletken eklemlerde $\Phi_m > \Phi_s$ ise engel doğrultucu, $\Phi_m < \Phi_s$ ise engel omik olur. Metal/p-tipi yarıiletken eklemlerde ise $\Phi_m > \Phi_s$ için engel omik, $\Phi_m < \Phi_s$ ise engel doğrultucudur. $\Phi_m > \Phi_s$ olan n-tipi yarıiletken ile metal kontağın elektron

bölgesinde serbest elektron konsantrasyonu azaldığı için yarıiletkendeki Fermi enerji seviyesi yasak enerji aralığına doğru kaymaya başlar. Bu durumda iletkenlik band kenarı E_c ile Fermi seviyesi E_f arasındaki fark, azalan elektron konsantrasyonu ile artar ve termal dengede E_f tamamen serbest kaldığı için iletkenlik ve valans band kenarı Şekil 2.1.b deki gibi bükülür. Böylece metalde yarıiletkene geçen elektronlar serbest yolları Schottky tabakasının kalınlığından daha büyüktür (c) görüntü (hayli) kuvvetlerin etkisi ihmal edilmektedir ve akım engel yüksekliğine zayıfça bağlıdır.

Bu varsayımlar doğrultusunda yarıiletkenden metale doğru akı yoğunluğu J_{sm} , potansiyel engelini geçmeye yetecek kadar enerjiye sahip elektronların konsantrasyonu ve bunların hızı ile ifade edilir:

$$J_{sm} = \int_{E_f + q\phi_B}^{\infty} qv_x dn \quad (2.1)$$

Burada $E_f + q\phi_B$ metalden TE için gerekli minimum enerji, V_x ise iletim yönündeki taşıyıcı hızıdır. dn küçük bir enerji aralığında enerji yoğunluğudur. Bu ifadeden hareketle metal/n-tipi yarıiletken kontaklarda metalden yarıiletken geçen elektronlar için akım denklemi, J_{sm}

$$J_{sm} = \left(\frac{4\pi q m^* k^2}{h^3} \right) T^2 \exp\left[\frac{-q(\phi_B)}{kT} \right] \exp\left(\frac{qV}{kT} \right) \quad (2.2)$$

Şeklinde verilir. Burada m^* taşıyıcının etkin kütlesi, k Boltzmann sabiti, h 'da Planck sabitidir.

Buradan;

$$J_{sm} = A * T^2 \exp\left[\frac{-q\phi_B}{kT} \right] \exp\left(\frac{qV}{kT} \right) \quad (2.3)$$

İfadesi yazılır. Burada A^* , TE için Richardson sabitidir. Metalden yarıiletkene hareket eden elektronlar için engel yüksekliği aynı kaldığı için yarıiletkene akı yoğunluğu uygulanan gerilimden etkilenmez. Bu akım yoğunluğu dengede ($V=0$), yarıiletkenden metale geçen akım yoğunluğuna eşittir. Buna göre metalden yarıiletken doğru akan akım,

$$J_{sm} = -A^* T^2 \exp\left[\frac{-q\phi_B}{kT}\right] \quad (2.4)$$

Şeklinde ifade edilir. Toplam akım yoğunluğu Eş.2.4 ve yine Eş.2.5 denklemlerinin toplamı olup,

$$J_n = \left(A^* T^2 \exp\left[\frac{-q(\phi_B)}{kT}\right] \right) \left(\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right) \quad (2.5)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada $A^* T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_B}{kT}\right)$ terimi, doyum akım yoğunluğudur.

2.2.2 Poole – Frenkel ve Schottky iletim mekanizması

Baskın yük taşıyıcı mekanizmasını belirlemek için karanlık ortamda alınan I-V karakteristik özellikleri belirli sıcaklık aralıklarında incelenir. Muhtemel iletim mekanizmaları arasında, Poole-Frenkel ve Schottky tipi iletim mekanizmaları vardır. Poole-Frenkel iletim mekanizması ve Schottky tipi iletim mekanizmaları için, cihaz İletkenlik logaritmasının akım logaritmasının ön beslem voltajını kareköküne bağlı grafiği çizilir. Schottky bariyer potansiyel enerji veya tuzak bölge enerjileri[8];

$$E = E_0 - n \left(\frac{e^3 \eta}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r d^*} \right)^{\frac{1}{2}} V^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

Şeklinde yazılır. Burada ki E_0 , E nin sıfır aldığı değerdir. d^* numunenin kalınlığıdır. İletim tipine bağlı olarak n ve η dikkate alınmalıdır. Schottky iletim mekanizmasında değerler 1 alınırken Poole –Frenkel söz konusu olduğunda ise $n=2$ ve $\eta=1$ alınır. Burada ϵ_0 boşluğun elektrik geçirgenliği, ϵ_r ise malzemenin elektrik geçirgenliğidir. Akımın voltaja bağımlılığı aşağıdaki gibi ifade edilir[8].

$$I \propto e^{\left(\frac{-E}{kT}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.7)$$

$$I \propto e^{\left(\frac{-E}{kT}\right)^{\frac{1}{2}}} e^{\left(\frac{n}{kT}\right)} e^{\left(\frac{e^3 n}{4\pi\epsilon\epsilon_0 d}\right)^{\frac{1}{2}}} v^{\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

Poole – Frenkel iletim mekanizmasının formülü aşağıdaki gibi olur.

$$I = G_0 e^{\left(\frac{-E}{kT}\right)^{\frac{1}{2}}} e^{\left(\frac{n}{kT}\right)} e^{\left(\frac{e^3 n}{4\pi\epsilon\epsilon_0 d}\right)^{\frac{1}{2}}} v^{\frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

G_0 ise numuneni iletkenliğidir. Her iki tarafın logaritması alınır ve çıkan bazı sabit değerlere Y ve Z denir ise Eş. 2.11 deki gibi çıkar.

$$\text{Log}(I/V) = Y + ZV^{1/2} \quad (2.10)$$

$$Y = \log(G_0) - E_0/kT \quad (2.11)$$

Schottky tipi iletim mekanizması için denklem yeniden düzenlenirse;

$$I \propto e^{\left(\frac{-E}{kT}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.12)$$

$$Z = \frac{n}{kT} \left(\frac{e^3 \eta}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r d^*} \right)^{1/2} \quad (2.13)$$

$$I = AA * T^2 e^{(-E/kT)^{1/2}} e^{(n/kT)} e^{(ne^3/4\pi\epsilon_r\epsilon_0 d)^{1/2}} V^{1/2} \quad (2.14)$$

Denklem daha sade şekilde yazılırsa;

$$\text{Log}(I)=X+ZV^{1/2} \quad (2.15)$$

$$X=\text{log}(AA*T^2) - E_0/kT \quad (2.16)$$

Bu denklemlerden yola çıkılarak Poole–Frenkel ve Schottky tipi iletim mekanizmalarını ayırt etmek mümkündür. Schottky tipi iletim mekanizması baskın olduğu durumlarda $\text{Log}(I)$ nin $V^{1/2}$ göre grafiğinin doğrusal olması gerekir. Bu grafiğin eğimi Z yi verir kesim noktası ise X i verir. Eğer iletkenlikte Poole Frenkel iletim mekanizması baskın ise $\text{Log}(I/V)$ nin $V^{1/2}$ göre grafiği doğrusal olmalıdır. Eğimi yine Z yi verir. Kestiği nokta ise Y yi verir. Eğer yük taşıma mekanizması Poole -Frenkel tipinde ise Z' nin $1/T$ 'ye göre grafiği orijinden geçen bir çizgi vermelidir. Y nin $1/T$ göre grafiğinden eğimi E_0 ve kestiği nokta ise G_0 verecektir.

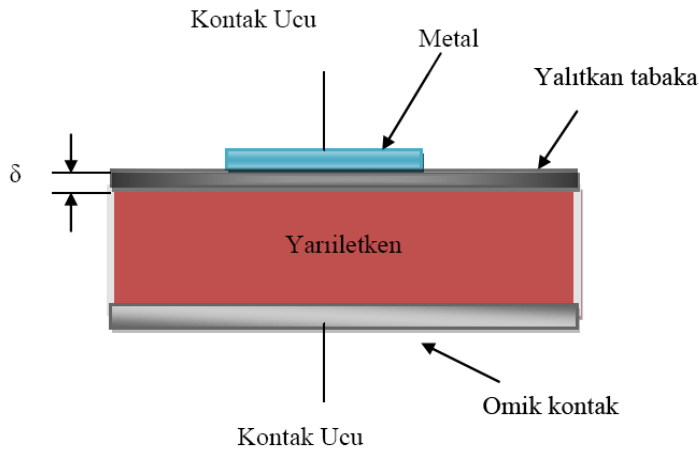
2.1.3. Metal-yarıiletken yapıların fiziği

Metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan oksit tabakası doğal yolla oluşabileceği gibi deneysel yöntemlerle de oluşturulabilir ve metal ile yarıiletken birbirinden ayırır. Doğal olarak oluşan oksit tabakası ile metal/yarıiletken yapı metal/yalıtkan/yarıiletken yapıya dönüşür[9]. MIS kontakların deneysel analizi yarıiletken yüzeyini anlamak için yararlıdır. Aradaki oksit tabakasının varlığı metali yarıiletken sistemden ayırır. Böylece yarıiletkendeki arayüzey durumlarının dolumu yarıiletkenin Fermi seviyesi ile belirlenir yani arayüzey durumları yarıiletken ile dengededir. Bir MIS yapıda metal-yalıtkan ve metal-yarıiletken arayüzeyi olmak üzere iki önemli arayüzey vardır[3]. MIS yapıdaki bir numunede metal-yalıtkan ve metal-yarıiletken arasında iki önemli ara yüzey vardır. Oksit tabakada ideal durumlarda tuzak yükler yoktur. DC gerilim uygulandığında ise yalıtkan tabakadan akım geçmez(yüksek gerilim ve sıcaklık varsa iletkenlik gösterebilir).Bu durumunda

sistemin yarıiletken tüketim tabakasındaki yükler ve ara yüzey yüklerinden ibarettir[10].

2.1.4. İdeal MIS diyot

Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) yapı Şekil 2.2 'de gösterilmiştir. Burada δ yalıtkan tabakanın kalınlığıdır. Metal kısım omik kantağa göre pozitif olduğunda doğru beslem, metal kısım omik kantağa göre negatif olduğunda ise ters beslem oluşur.İdeal MIS yapıların, $V=0$ durumunda enerji band diyagramı Şekil 2.3'da gösterilmiştir. İdeal bir MIS diyot şekli aşağıdaki gibi gösterilir.



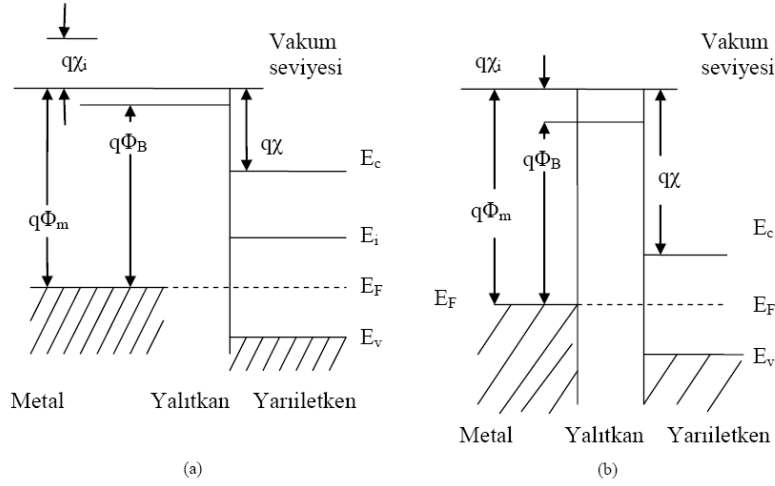
Şekil 2. 2.Metal-yalıtkan-yarıiletken (MIS) diyot

- Sıfır beslem voltajında, metal iş fonksiyonu Φ_m ile yarıiletkenin iş fonksiyonu Φ_s veya iş fonksiyonu farkı Φ_{ms} sıfırdır.

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - (\chi_s + E_g/2q - \Phi_b) = 0 \quad \text{n-tipi için} \quad (2.17)$$

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - (\chi_s + E_g/2q + \Phi_b) = 0 \quad \text{p-tipi için} \quad (2.18)$$

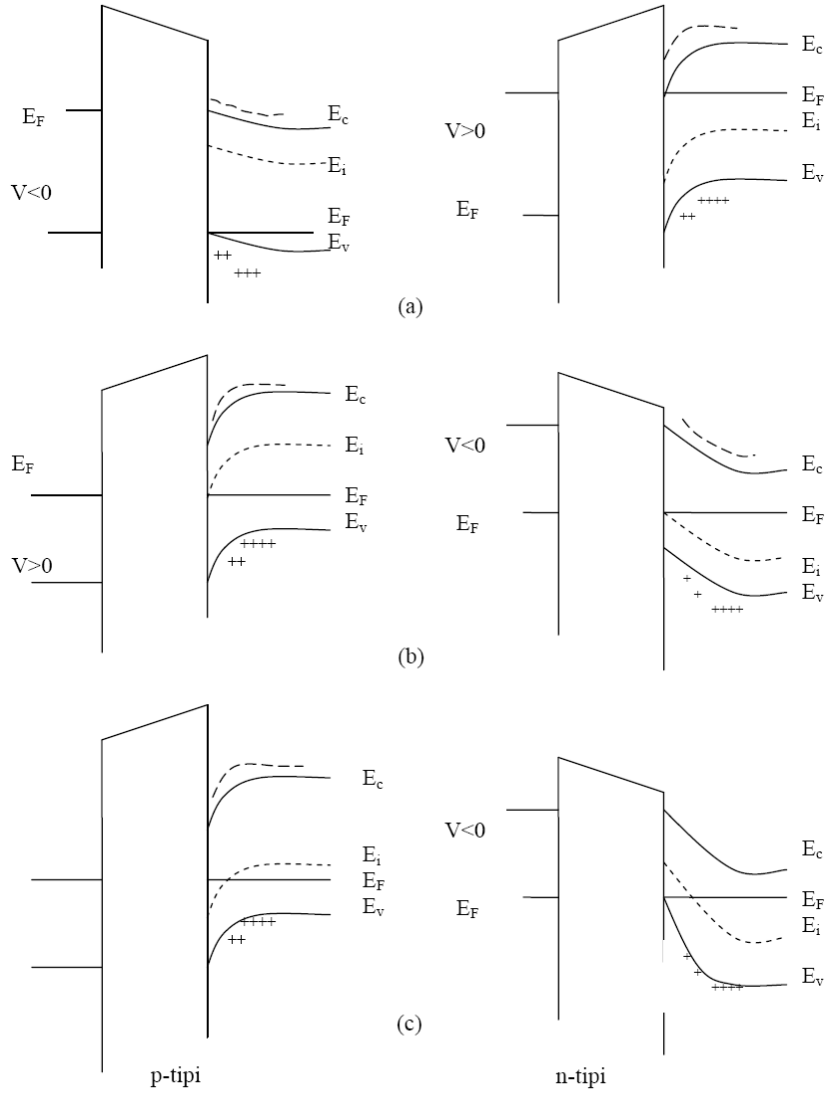
Burada χ_s yarıiletkenin elektron yakınlığı, E_g yasak enerji aralığı, Φ_b ise Fermi enerji seviyesi E_F ile saf Fermi seviyesi E_i arasındaki enerji farkıdır.



Şekil 2. 3.V=0 durumunda ideal bir MIS diyodun enerji-band diyagramı (a) p-tipi Yarıiletken (b) n-tipi yarıiletken

- Herhangi bir beslem altında yarıiletkende ve yalıtkana yakın metal yüzeyinde yükler mevcut olabilir fakat eşit ve zıt işaretlidir.
- D.C beslem altında yalıtkan içinden hiçbir akım geçmez veya yalıtkanın direnci sonsuzdur.

İdeal bir MIS diyota ters beslem uygulandığında, yarıiletken yüzeyinde temel olarak üç durum mevcut olabilir. p-tipi yarıiletkenli MIS yapılarda metale negatif voltaj ($V < 0$) uygulandığında (Şekil 2.4) valans bandın tepesi yukarı doğru bükülür. Ve Fermi seviyesine yükselir. Yarıiletkendeki Fermi seviyesi sabit kalır. Taşıyıcı yoğunluğu üstel olarak enerji farkı ($E_F - E_v$)'ye bağlı kaldığından, bu band bükülmesi yarıiletken yakınında çoğunluk taşıyıcı olan deşiklerin yığılmasına sebep olur. Bu yığılma (accumulation) durumudur. p-tipi yarıiletkenli MIS yapılarda küçük bir pozitif voltaj ($V > 0$) uygulandığında bandlar aşağı doğru bükülür ve çoğunluk taşıyıcılar tüketilir (Şekil 2.4b). Bu tüketim (deplation) bölgesidir. p-tipi yarıiletkenli MIS yapılara büyük bir pozitif voltaj uygulandığında ise, bandlar oldukça aşağı doğru bükülür öyle ki saf seviye E_i , yüzeyde Fermi seviyesi E_F 'nin üstüne çıkar.



Şekil 2. 4. $V \neq 0$ durumunda ideal MIS diyodun enerji-band diyagramı.

(a)akümülayon (b) tüketim (c) inversiyon (terslenim) durumları Bu durumda yüzeydeki elektronların sayısı (azınlık taşıyıcılar) deşiklerden fazladır. Bu terslenim (inversiyon) bölgesidir. Benzer sonuçlar n-tipi yarıiletken içinde elde edilebilir.

2.2. Optiksel Analizler

2.2.1. Absorpsiyon ölçümleri (yarıiletken optik özellikleri)

Yarıiletken malzeme üzerine ışık düşürüldüğünde bazı fiziksel olaylar meydana gelir. Buda atomdaki elektron foton etkileşimi sonucu soğurma(absorpsiyon)

geçirgenlik, yansıma ve kırılma gibi. Soğurmayı[13], şöyle tarif etmek mümkün; bir numunenin içerisindeki elektriksel yüklerin malzeme üzerine düşen elektromanyetik dalga ile etkileşmesi sonucunda ortaya çıkan enerji kaybıdır[11-12].

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (2.19)$$

Burada t malzemenin kalınlığı I_0 :gelen elektromanyetik dalganın şiddeti, I malzemedan geçen elektromanyetik dalganın şiddeti ve de α da soğurma katsayısı.

$$A = \log(I_0 / I) \quad (2.20)$$

$$\alpha = 2.03 A / t \quad (2.21)$$

Eş.leri kullanılarak istenen değer bulunur A ; ise soğurganlık olup α soğurma katsayısı malzemenin yoğunluğuna ve malzemenin yasak enerji aralığına bağlı olarak değişir[12:13].

Yarıiletken bant yapılarını belirlemek için yaygın metotlardan biriside optik absorpsiyondur.Absorpsiyon yarı iletken gelen elektromanyetik dalga madde ki elektrik yüklerinin etkileşmesi sonucu ortaya çıkan enerji kaybı olayıdır. Absorpsiyon işleminde enerji belli bir foton bir elektronu düşük enerji seviyesinde daha yüksek bir seviyesine uyarır. Bu yüzden bu spektrumdan mümkün tüm geçişler, yarıiletkenin yasak enerji aralığı ve bant tipi hakkında bilgi verir[14].

Yarıiletkenlerde görülen en önemli olay absorpsiyon olayıdır. Temel düzeydeki absorpsiyonda bir elektron malzemedan bir foton absorplayarak valans bandından iletim bandına geçer bu geçişte elektron bir deşik bırakır böylece elektron deşik çifti olmuş olur. Bunun için fotonun yasak enerji aralığına en az eşit veya daha fazla enerjisi olması gerekir ki olay gerçekleşebilsin. Bundan dolayı gelen fotonun dalga boyu λ ,

$$\lambda \leq \frac{hc}{E_g} \quad (2.22)$$

Olmalıdır. Eg yasak enerji aralığını temsil etmekte, h Planck sabiti, c ise ışık hızıdır. Yarıiletken için temel absorpsiyon spektrumu şekildeki gibidir. Belen ışığın dalga boyu $\lambda_g = \frac{hc}{E_g}$ dalga boyuna yakın dalga boylarından itibaren absorpsiyon sürekli olmaktadır artış görülmektedir. Yarıiletken malzeme λ_g dalga boyundan küçük dalga boylarında kuvvetli bir soğurucu, büyük dalga boylarında hemen geçirgenlik özellik gösterir. Bu iki bölgeyi ayıran sınıra ise temel absorpsiyon bölge sınırı denir[15].

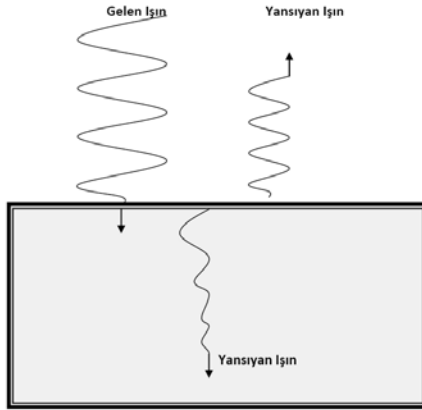
Yarıiletken numunenin optiksel ölçümlerinin bir sonucu da yasak enerji aralığının belirlenmesidir. Temel absorpsiyon ölçümlerinden $\alpha(h\nu)^2 \sim h\nu$ göre grafiğinin lineer kısmının x eksenin kestiği nokta Yasak enerji aralığını verir [17].

$$\alpha(h\nu) = A^* (h\nu - E_g)^n \quad (2.23)$$

Denklemini şeklinde bağlıdır. Burada A^* Richartsan sabiti olup bağıntısı

$$A^* = \frac{q^2 \left(2 \frac{m_h^* m_e^*}{m_h^* + m_e^*}\right)^{1/2}}{n_o c h^2 m_e^*} \quad (2.24)$$

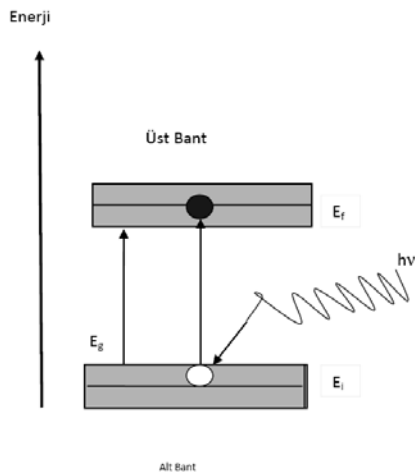
Burada m_e^* ve m_h^* , elektron ve holün etkin kütle değeridir.



Şekil 2. 5.Gelen ışığın numuneden yansıması ve soğrulması

2.2.2. Yarıiletkende bant geçişleri

Yarıiletkenler morötesi, görünür bölge ve kızılötesine yakın bölgelerde temel absorpsiyon sınırına sahiptirler. Soğurma sınırının sebebi numunenin bant yapıları arası optiksel geçişlerin mümkün olmasıdır. Bantlar arası soğurma, katı bir malzemenin optiksel uyarılması sonuç olur, bu olayın terside elektronun uyarılma durumuna foton salarak gelmesidir. Yarıiletkenin enerji bant diyagramı oldukça basitleştirilerek Şekil 2.6. de verilmiştir. Bantlar arası geçişler tüm katılarda görülen bir olaydır. Bantlar arasındaki salınım enerjileri de kuantum mekanişsel olarak hesaplanabilir.



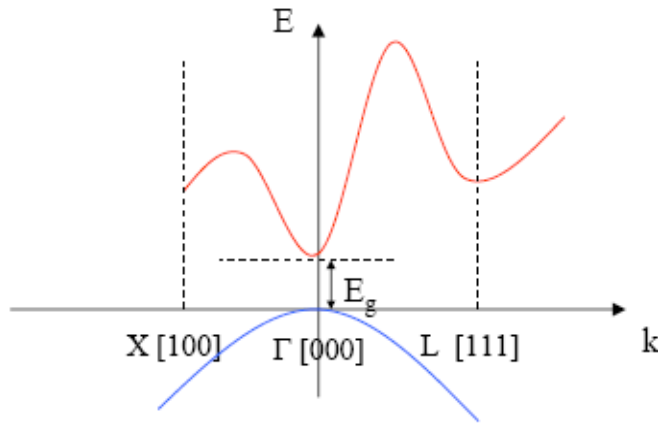
Şekil 2. 6.Üst ve alt bantlardaki enerji durumları[12]

Direkt Bant Geçişi

Direkt ve indirekt olmak üzere iki tür geçiş olayı vardır. Direkt bant geçişlerinde yarıiletkenin iletim bandının minimumu ile valans bandının maksimumu enerji-momentum uzayında aynı k değerinde ise Şekil 2.7 deki gibi direkt geçişler olmaktadır. Direkt bant geçişinde momentum enerji korunmaktadır. Direkt geçişlerde eksiton oluşumu veya elektron-hole etkileşimi dikkate alınmasa absorpsiyon katsayısı α , gelen fotonun enerjisine; gelen fotonun enerjisinin $h\nu$ ile E_g arasındaki ilişki;

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{1/n} \quad (2.25)$$

ile ifade için edilir. Burada A : optik sabitlerdir. n ise elektron geçişine bağlı olarak bir sabiti ifade eder. Direkt geçişler için $n=2$ değerini alır.[12]



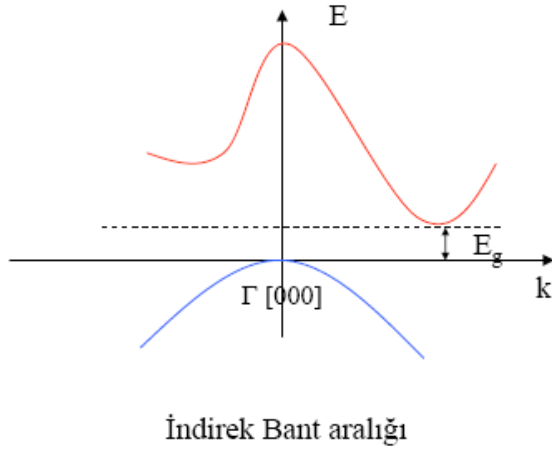
Direk Bant aralığı

Şekil 2. 7. Bir yarı iletken direkt bant yapısı

İndirek Bant Geçişi

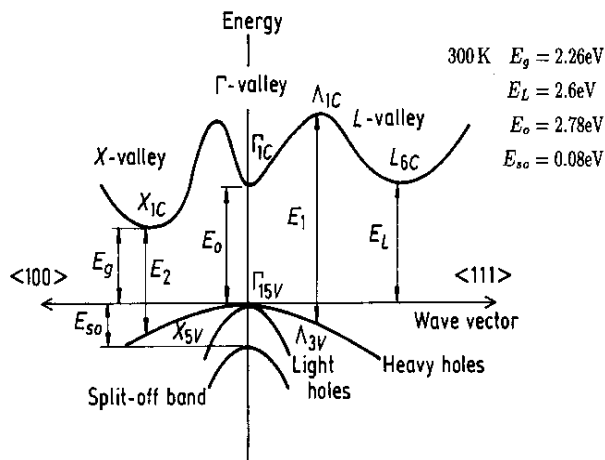
İndirekt bant geçişlerinde ise iletim bandının minimumu ile değerlik bandının maksimumu enerji momentum uzayında aynı k değerine sahip olmadığından elektron, değerlik bandının üst kısmından alt kısmına direkt geçiş yapamaz. Direkt

geçiş yapabilmesi için fotonun soğurulması ardında da bir fotonun salınması gerekir. Foton, elektronu iletim bandına geçirebilmesi için enerjisini E_g de eşit veya büyük olması gerekir. Fonon bu geçiş için momentumun korumak için gerekli momentumu sağlar. Bant yapısı da şekil 2.8 deki gibi olur.



Şekil 2. 8. Bir yarıiletken indirek bant yapısı

Bu tez çalışmasında incelenen GaP yarıiletkenin bant yapısı aşağıda verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi GaP yarıiletkeni indirek bant yapısına sahiptir ve yasak enerji aralığı 2,26 eV' tur [20].



Şekil 2. 9. GaP yarıiletkenin bant yapısı [20].

3. DENEYSEL YÖNTEM

3.1. MIS Yapıların Oluşturulması

3.1.1. Kristal temizleme

GaP yarıiletken kristal üzerine altın kontaklar daha önceden hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kontakların bir kısmı başka bir çalışmada kullanılmıştır [7] (bakınız Ek 1). Kullanılmayan diğer kontakların ise bu çalışmada deneysel ölçümleri yapılarak elde edilen veriler farklı metotlar ile analiz edilmiştir. Aşağıda hazırlanma şartları verilen Au/n-GaP Schottky diyot oluşturmak için (100) doğrultusunda büyütülmüş, 300 µm kalınlığındaki, kükürt (S) katkılı n-tipi galyum fosfat (GaP) kristali kullanılmıştır. Kristal yüzeyleri üzerindeki organik ve diğer ağır metal kirlerini temizlemek ve yüzeydeki pürüzleri ortadan kaldırmak için yarıiletken kristal kimyasal olarak ultrasonik banyoda farklı aşamalardan geçirilerek temizlenir. Numune ve deneysel araçların temizliği iyi diyot oluşturmada çok önemli unsurlar olduğu için tüm kimyasal temizlemelere dikkat edilmelidir. Temizleme işlemi aşağıdaki sıraya göre gerçekleştirilir[7]:

1. Temizleme işlemlerinde kullanılacak tüm beherler, tutucular, DIW (de iyonize su 18 MΩ) ile temizlenip yüksek sıcaklıktaki fırında kurutularak temizlenmeli.
2. Bakır maske numune tutucu cımbız ve buharlaştırılacak metaller (Au ve Ge) sırasıyla aşağıdaki temizleme işlemine tabi tutulmalı;

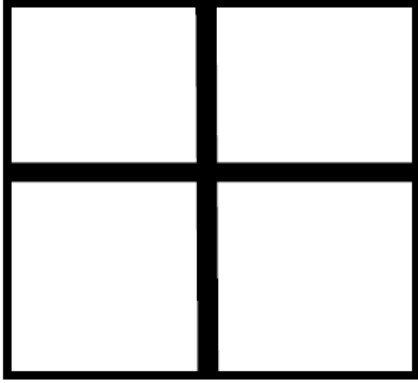
- Triklor Etilen ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- DIW ile durulandı.
- Aseton ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- DIW ile durulandı.
- Metanol ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- DIW ile durulandı.

3. n-GaP kristalin temizliği aşağıdaki gibi yapılmıştır;

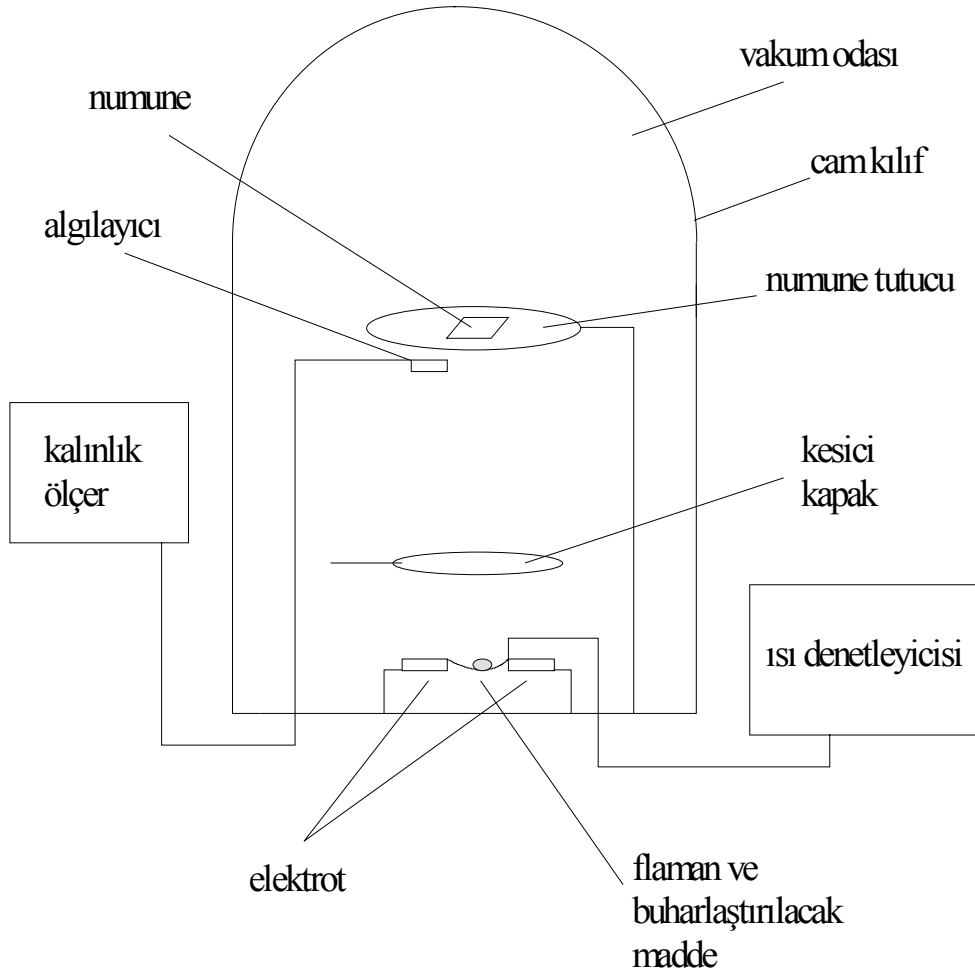
- Triklor Etilen ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- DIW ile durulandı.
- Aseton ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- DIW ile durulandı.
- Metanol ile ultrasonik banyoda 5 dakika yıkandı.
- DIW ile durulandı.
- Yüksek saflıkta N₂ gazı ile numune tutucu cımbız, maskeler ve metallere kurutuldu.

3.1.2. Omik kontakın oluşturulması

Au/n-GaP yapı hazırlanması için kullanılan dzenek şekil 3. 2'de şematik olarak gsterilmiştir. Flaman (tungsten) ve ince bir bakır levhadan hazırlanan maskeler kimyasal olarak ultrasonik banyoda iyice temizlendi. Temizleme işlemi, karbon-tetraklorür, triklor-etilen ve aseton içerisinde 5 dakikalık süreler ile yapıldı ve daha sonra de-iyonize su ile iyice durulandı. Omik kontakı oluşturmak için kimyasal olarak temizlenen yarıiletkenin mat yüzeyi aşağı gelecek şekilde maske üzerine yerleştirildi ve hemen vakumlama işlemine geçildi (10^{-6} Torr). Vakum $\approx 10^{-6}$ Torr'a ulaştığında, flamanların biri üzerinden akım geçirilerek (≈ 35 A) %99,9999'luk saflığa sahip kimyasal olarak temizlenmiş altın(%88) ve germanyum(%12) metal parçacıkları buharlaştırıldı. Yarıiletkenin mat olan yüzeyine 2000 Å altın ve germanyum kaplama işleminden sonra numune ters çevrilerek yine $\approx 10^{-6}$ Torr basınç altında 3 dakika 400 °C'de tutularak altın ve germanyumun n-GaP içerisine çöktürüldü ve omik kontak oluşması sağlandı[7].



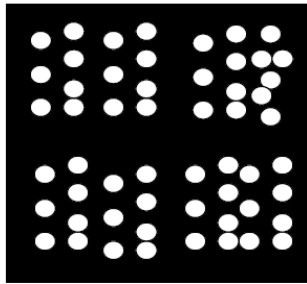
Şekil 3. 1. Omik kontak maskesi



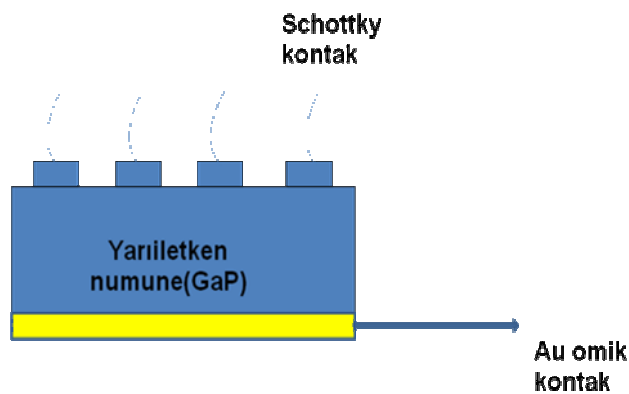
Şekil 3. 2. Omik ve doğrultucu kontak oluşturulmada kullanılan buharlaştırma sistemi [7]

3.1.3. Doğrultucu kontağın oluşturulması

Oksitlendirilmiş yüzeye, üzerine çok sayıda 1mm çaplı delikler açılmış olan bakır maske (Şekil 3. 3) yerleştirildi. Flaman üzerine konulan kimyasal olarak temizlenen altın (Au) metal parçası, yaklaşık 10^{-6} Torr vakumda buharlaştırılarak kristalin parlak yüzeyine küçük dairecikler (1,5 mm çaplı) şeklinde ve 2500 Å kalınlığında altın kaplanması sağlandı. Böylece doğrultucu kontağın da oluşturulmasıyla Au/n-GaP Schottky diyotlar elde edildi. Soğuması için bir süre bekletilen kristal vakum ortamından çıkartılarak elmas kesici yardımıyla parçalara bölündü. Diyotların hazırlanış şeması Şekil 3.3 ve 3.4' de verilmiştir.



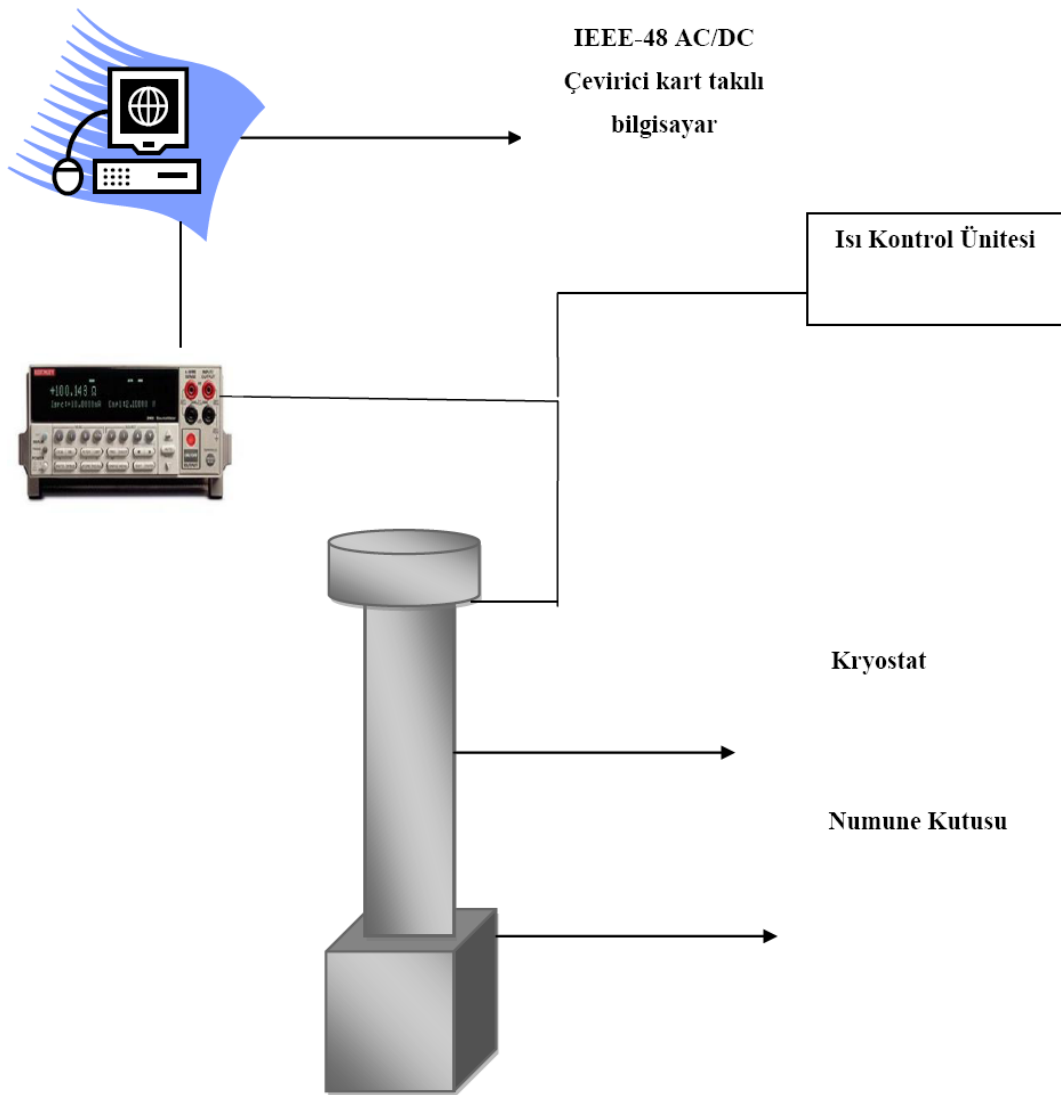
Şekil 3. 3. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan maske



Şekil 3. 4. Au/n-GaP diyodun hazırlanışı

3.2.1. Akım-Voltaj (I-V) ölçüm düzeneği

Fiziksel karakterlerin ölçülmesi, Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde yapıldı. Akım-Voltaj (I-V) ölçümleri için Bilgisayar kontrollü Keithley 2400 Sourcemeter kullanıldı. Akım-Gerilim (I-V) ölçümlerinin yapıldığı düzenek Şekil 3.5 de gösterilmiştir



Şekil 3. 5. Akım-gerilim ölçümleri için kullanılan düzenek.

3.2.2 Absorpsiyon ölçümleri

GaP yarıiletken numunesi için, X-RAY ölçümleri RO NTEC cihazı ile yapıldı. Optik geçirgenlik ve yansıma spektrumları ise $\lambda=200-1100$ nm dalga boylu polarize olmayan ışık kullanılarak Perkin-Elmer Lambda 45 UV+VIS spectrometer cihazı ile elde edilmiştir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. Giriş

Au/n-GaP yapılar için 125–375 K sıcaklık aralığında 25 K adımlarla I-V ölçümleri yapılmıştır. I-V ölçümlerinden yararlanılarak diyota ait, baskın iletim mekanizmasını belirlemek amacıyla I-V karakteristikleri Poole Frenkel ve Schottky metotlarına fit edilmiştir. Aktivasyon enerjisi hesaplanmıştır. Ayrıca absorpsiyon ölçümleri ile bant yapısı belirlenmiş ve yasak enerji aralığı hesaplanmıştır.

Bölüm 2’de anlatıldığı gibi literatürlerde farklı iletim mekanizmaları tanımlanmıştır. İncelenen numune için farklı sıcaklık bölgelerinde farklı iletim mekanizmaları baskın olabilir. Bu numunede Poole Frenkel ve Schotky iletim tipi mekanizmalarından söz edilebilir. İncelenen numunede hangi iletim mekanizmasının etkin olduğunu anlamak için elde edilen akım gerilim karakteristikleri Poole Frenkel ve Schottky tipi mekanizmalar ele alınarak araştırılmıştır.

4.2. Poole Frenkel ve Schottky Tipi İletim Mekanizması

Baskın iletim mekanizmasını belirlemek için diyotun akım gerilim karakteristikleri 125–375 K aralığında incelenmiştir. I-V-T verileri baskın iletim mekanizmasının ya Poole Frenkel yada Schottky tip olduğunu göstermiştir. I-V verileri Poole Frenkel ve Schottky tip iletim metotlarına fit edilmiştir.

Genellikle diyotların akım voltaj bağımlılığı aşağıdaki gibi ifade edilir [8]

$$I \propto \exp(-E_0 / kT) \exp(Z)V^{1/2} \quad (4.1)$$

Burada $Z = n/kT(e^3\eta/4\pi\epsilon_0\epsilon_r d)^{1/2}$, ile verilir.

Düzenleme yapıldığında, Eş. 4.1 PF tipi iletim için Eş. 4.2 şeklini Schottky tipi iletimi için ise Eş. 4.3 şeklini alır.

$$I \propto G_0 V \exp(-E_0 / kT) \exp(Z) V^{1/2} \quad (4.2)$$

$$I \propto AA * T^2 \exp(-E_0 / kT) \exp(Z) V^{1/2} \quad (4.3)$$

PF tipi iletim için G_0 numunenin iletkenliğidir ve Eş. 4.8 aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$\log(I/V) = Y + ZV^{1/2}, \quad (4.4)$$

Burada

$$Y = \log(G_0) - E_0 / kT \quad (4.5)$$

İle verilir.

Schottky tipi iletim için ise S diyot etkin alanı ve A^* Richardson sabitidir. Eş. 4.1 yeniden yazıldığında aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\log(I) = X + ZV^{1/2} \quad (4.6)$$

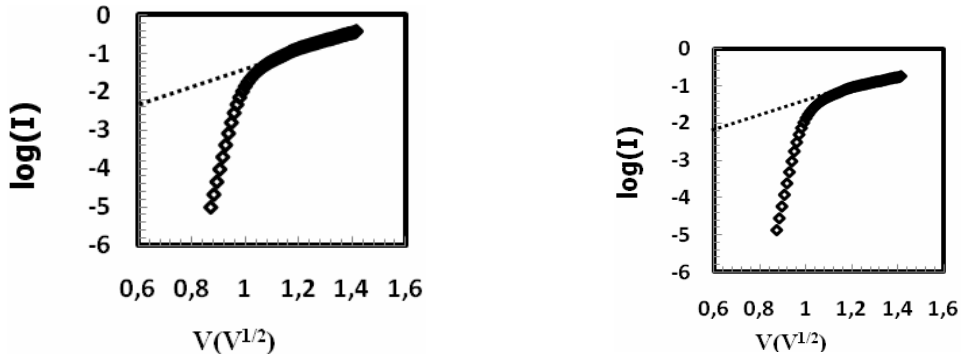
Burada

$$X = \log(SA * T^2) - E_0 / kT \quad (4.7)$$

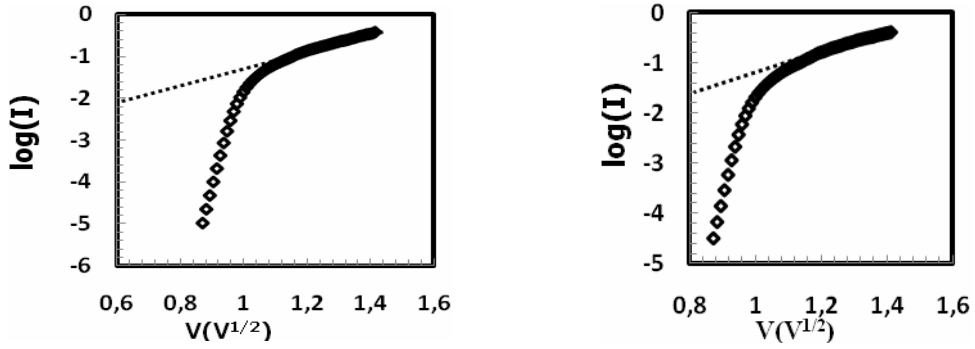
İle verilir.

$\log(I)$ nin $V^{1/2}$ karşı ve $\log(I/V)$ $V^{1/2}$ ye karşı grafikleri Şekil 4.1-20 arasındaki şekillerde verilmiştir. Şayet Schottky tip iletim mekanizması baskınsa $\log(I)$ karşı $V^{1/2}$ grafiği bir doğru vermelidir. Bu doğrunun eğimi Z parametresini y eksenini kestiği nokta ise X parametresini verir. Eğer Poole Frenkel mekanizması baskın ise $\log(I/V)$ ye karşı $V^{1/2}$ grafikleri bir doğru vermelidir. Bu doğrunun eğimi Z parametresini verirken kesim noktası da Y parametresini vermelidir. Bu nedenle her bir sıcaklık için $\log(I/V)$ 'ye karşı $V^{1/2}$ ve $\log(I)$ 'ya karşı $V^{1/2}$ grafikleri hazırlanmış,

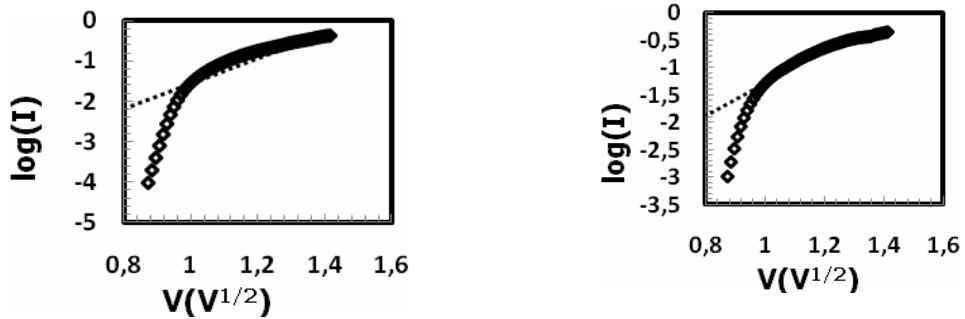
elde edilen bu doğruların eğimleri ve kesim noktalarından Z, X ile Z, Y parametreleri hesaplanmıştır [8].Schottky tipi iletim ile ilişkili olarak her bir sıcaklık için $\log(I)$ nin $V^{1/2}$ göre grafikleri aşağıda verilmiştir.



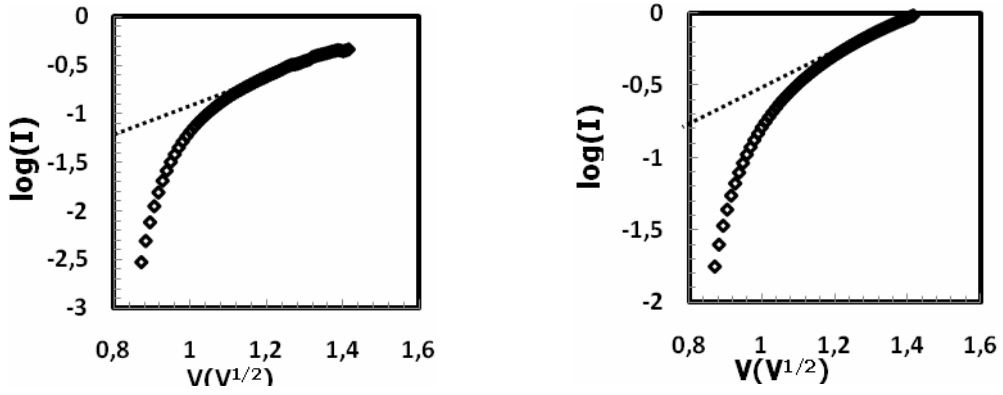
Şekil 4. 1 $\log(I)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(125-150 K)



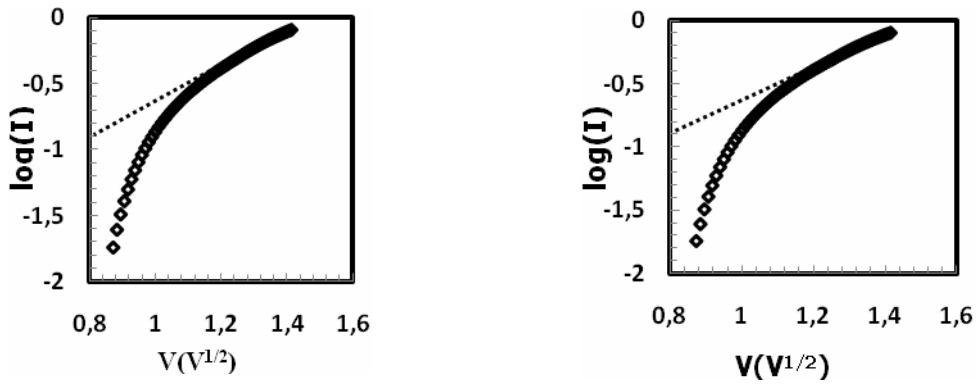
Şekil 4. 2 $\log(I)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(175-200 K)



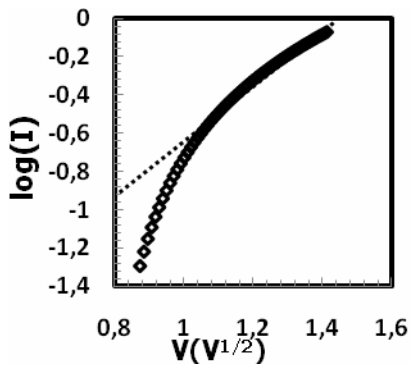
Şekil 4. 3 $\log(I)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(225- 250 K)



Şekil 4. 4 $\log(I)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(275-300 K)

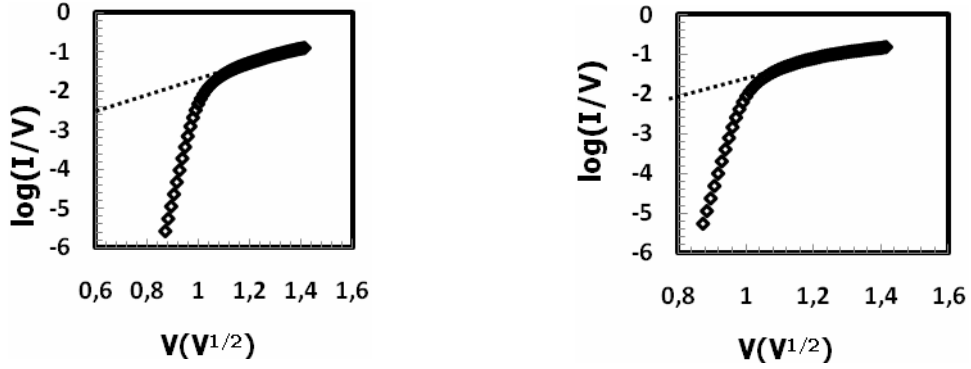


Şekil 4. 5 $\log(I)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(325-350 K)

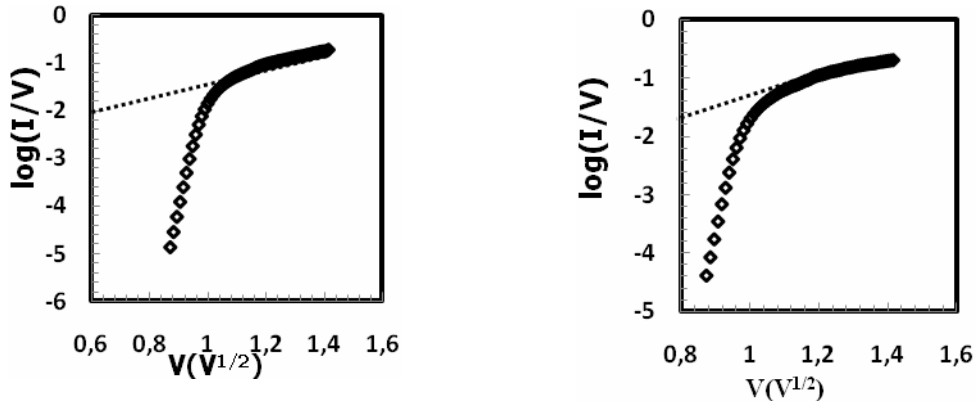


Şekil 4. 6 $\log(I)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(375 K)

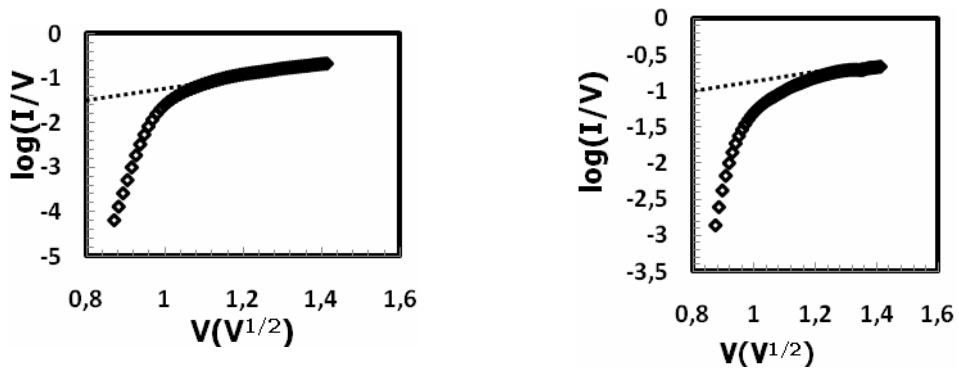
PF tipi iletimi ile ilişkili olarak her bir sıcaklık için $\log(I/V)$ nin $V^{1/2}$ göre grafikleri aşağıda verilmiştir.



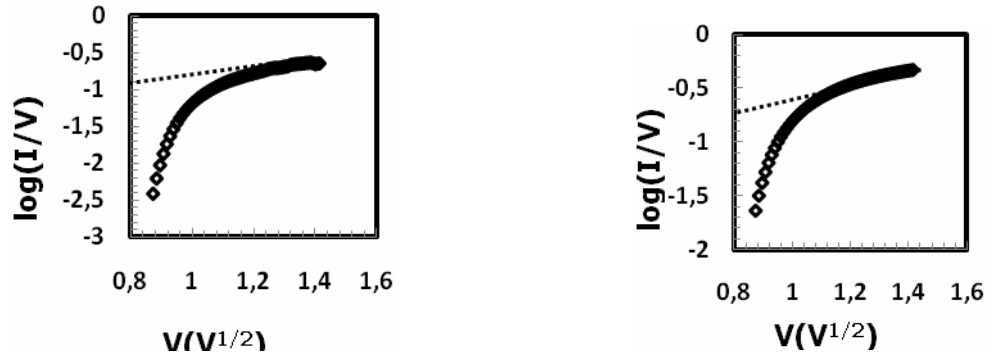
Şekil 4. 7 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(125-150 K)



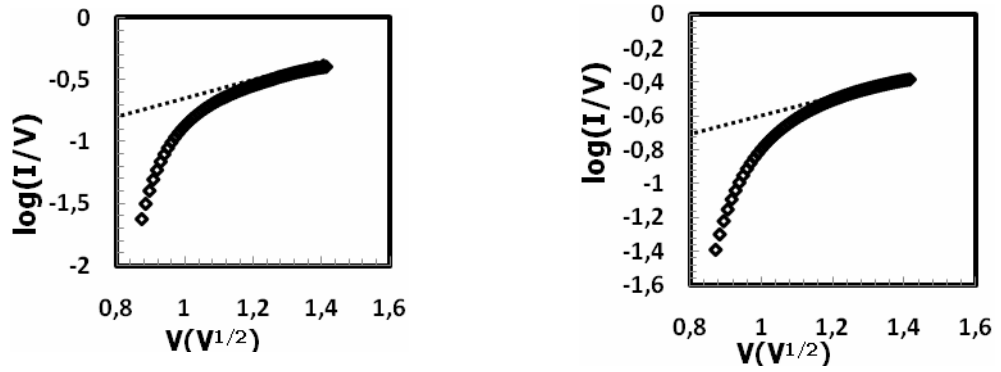
Şekil 4. 8 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(175-200K)



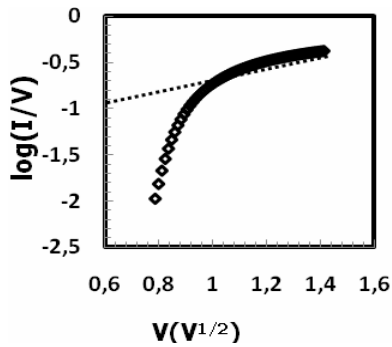
Şekil 4. 9 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği(225-250 K)



Şekil 4. 10 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği (275-300K)

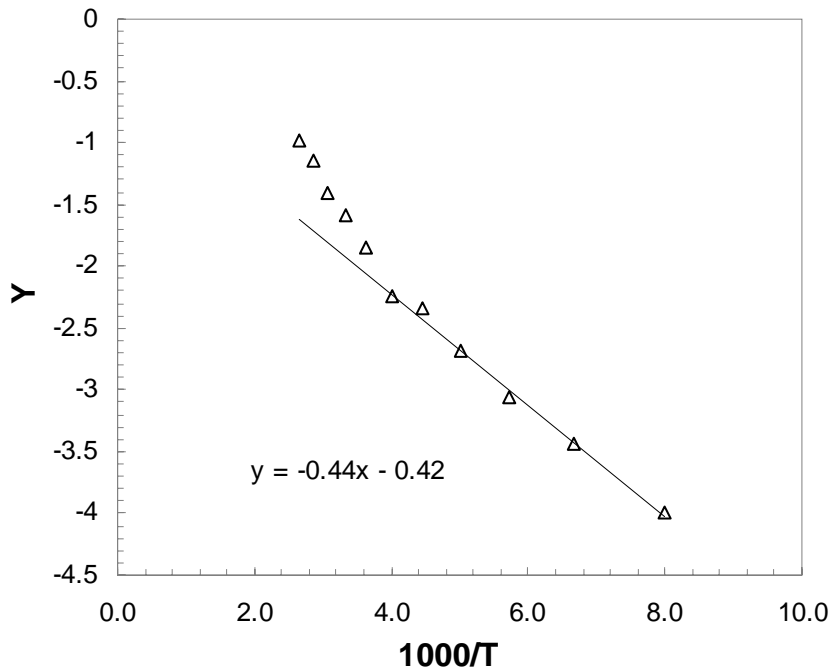


Şekil 4. 11 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği (325-350K)



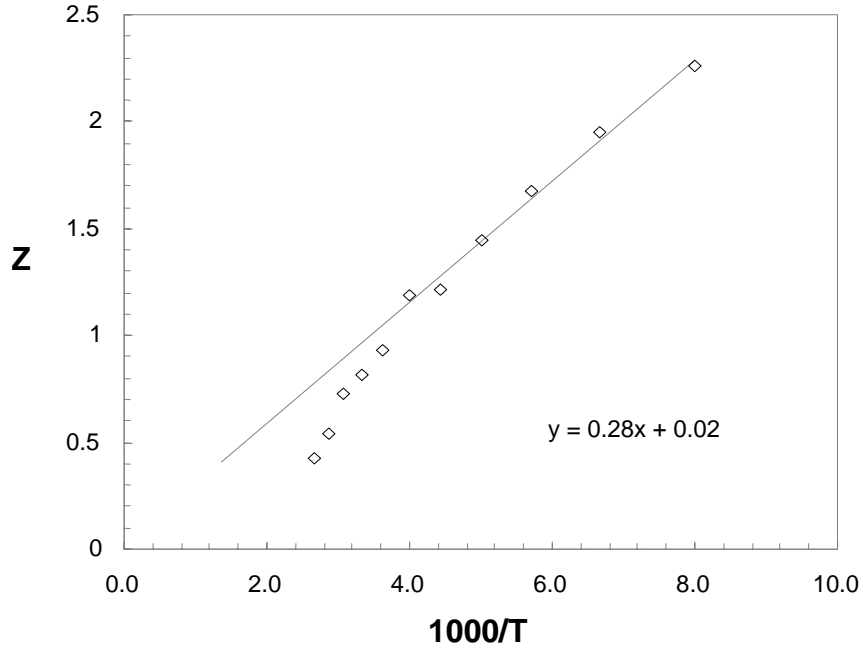
Şekil 4. 12 $\log(I/V)$ nin $V(V^{1/2})$ göre grafiği (375 K)

Şekillerden görüldüğü gibi her iki tip iletim durumunda da grafikler bir doğru vermiştir. Genellikle PF tipi iletim ile Schottky tipi iletimleri birbirinden ayırmak oldukça zordur. Teoriye göre, iletim mekanizması PF ise Z parametresine karşı $1/T$ grafiği bir doğru vermelidir ve bu doğru orijinden geçmelidir. Aynı zamanda Y parametresine karşı $1/T$ grafiği de bir doğru vermelidir. Şekil 4.13'da Y parametresine karşı $1/T$ grafiği verilmiştir.



Şekil 4. 13 Y nin $1/T$ göre grafiğinden anlaşılacağı üzere mekanizmanın 275 K de değiştiğini gösteren grafik

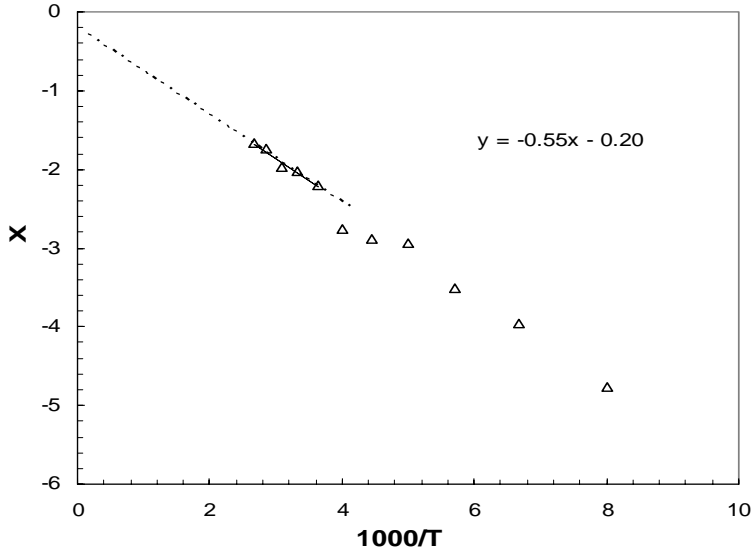
Grafikten görüldüğü gibi 275 K sıcaklık değerinin altında kalan bölgede grafik bir doğru vermiştir. Düşük sıcaklık bölgesindeki bu doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisi $E_0=38$ meV ve kesim noktasından düşük alan iletkenlik değeri $G_0=0.4$ S bulunmuştur. Şekil 4.14'de Z parametresine karşı $1/T$ grafiği verilmiştir.



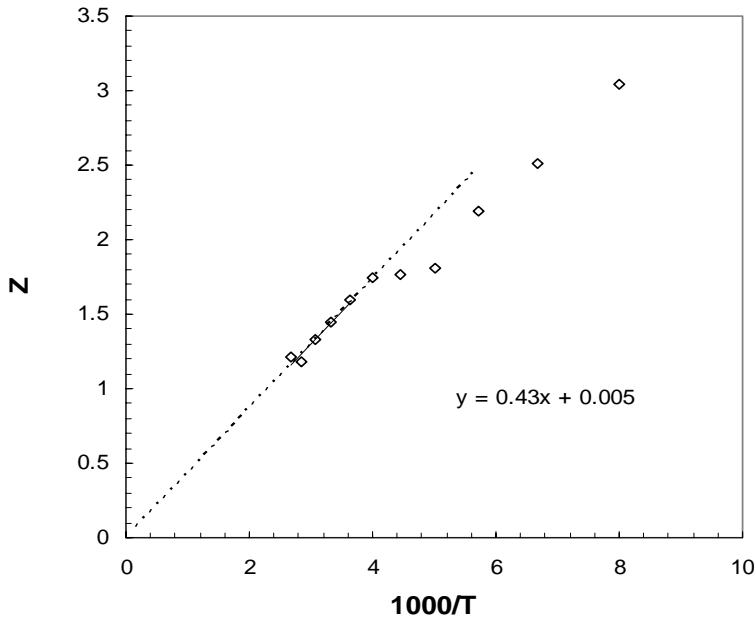
Şekil 4. 14 Z nin 1000/T göre grafiğinden görüldüğü gibi 270 K de mekanizma değişmiştir

Teoriye uygun olarak beklendiği gibi bu grafik orijinden geçen bir doğru vermiştir. Bu lineer bölgenin 275 K 'nin altında olduğuna dikkat edilmelidir. Her iki şekil birlikte değerlendirildiğinde 275 K altında kalan bölgede incelenen numune için Poole Frenkel iletim mekanizmasının baskın olduğu söylenebilir.

Benzer yolla, Schottky tipi iletimin varlığını incelemek için, hesaplanan X ve Z parametrelerinin 1/T'ye karşı grafikleri Şekil 4.15 ve 4.16'de verilmiştir. PF tipi ilettime benzer olarak her iki grafikte de lineer bölge oluşmuştur.



Şekil 4. 15 X in 1000/T karşı grafiği doğrusaldır.



Şekil 4. 16'de görüldüğü gibi Z nin 1000/T karşı grafiği doğrusaldır.

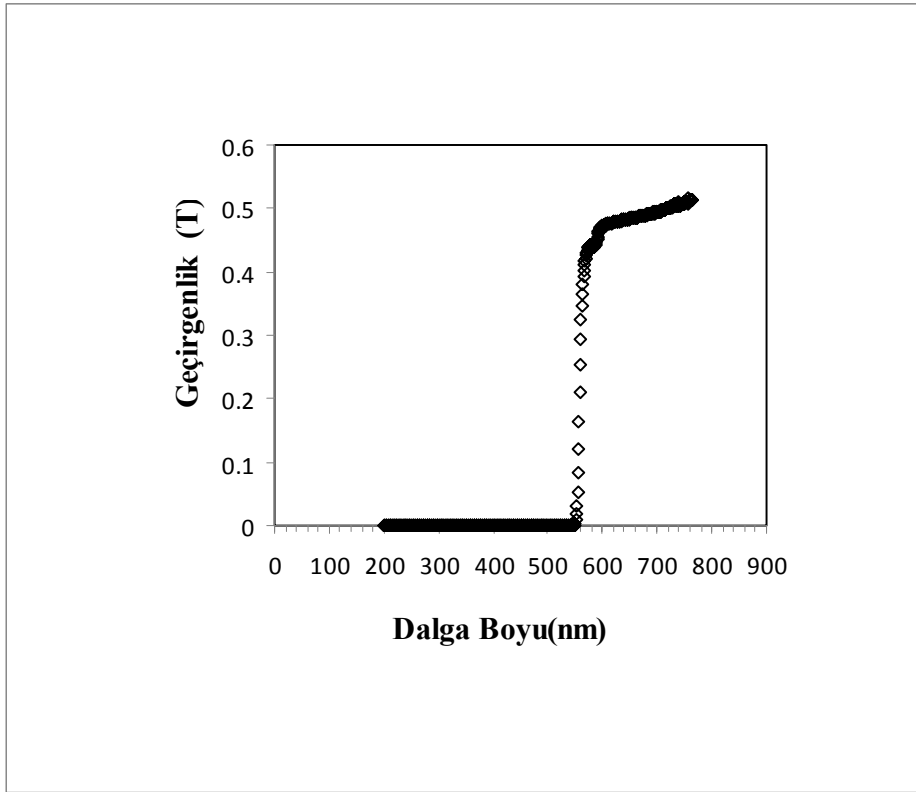
Grafiklerden açıkça görüldüğü gibi Z'ye karşı 1/T grafiği yüksek sıcaklık bölgesinde lineer bir bölge vermiştir ve bu doğru orijinden geçmektedir. Benzer şekilde Y ye karşı 1/T grafiğinde aynı sıcaklık bölgesinde bir doğru vermiştir. İncelenen numunede 275 K sıcaklığın üzerine Schottky tipi iletim mekanizması baskın olduğu söylenebilir. 275 K sıcaklığında iletim mekanizması değişmektedir. Düşük sıcaklık

bölgesinde PF tipi iletim baskın iken yüksek sıcaklık bölgesinde Schottky tipi iletimi baskındır.

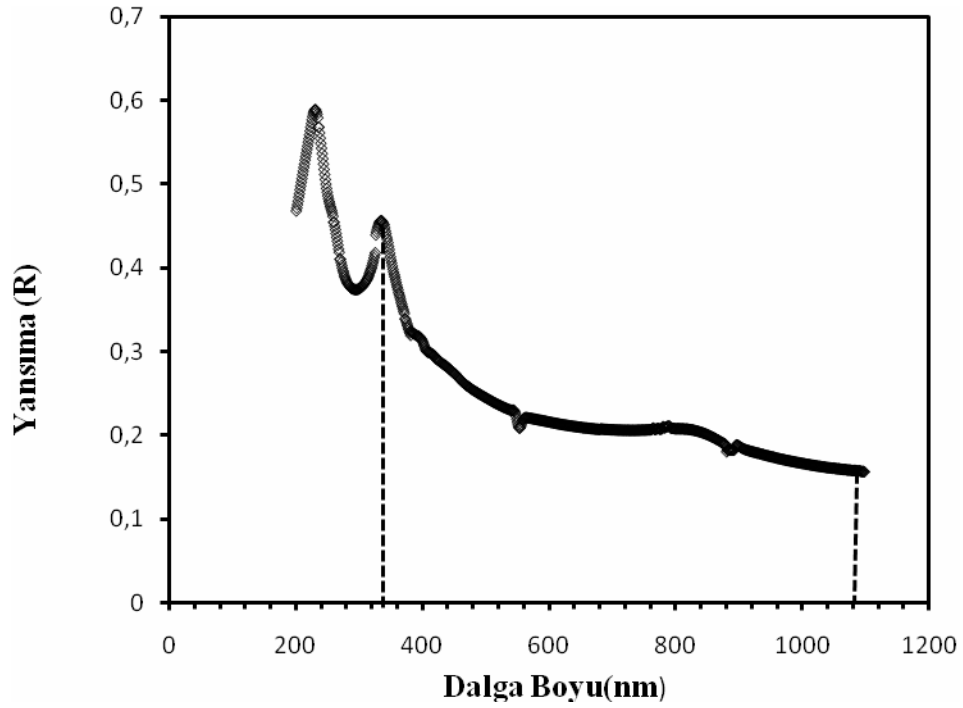
4.3 Optik Analizler

4.3.1 Yansıma ve geçirgenlik ölçümleri

GaP numunesine ait geçirgenlik (T) ve (R) spektrumları Şekil 4.17 ve 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4. 17 Numunenin geçirgenlik (iletim)-Dalga Boyuna göre grafiği

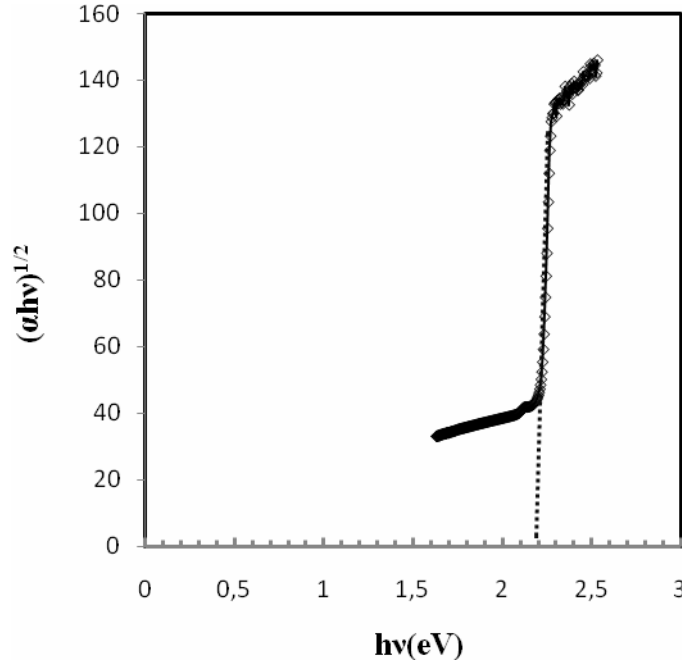


Şekil 4. 18 Numunenin yansıtma-Dalga Boyuna göre grafiği

Ölçülen T ve R değerleri aşağıda verilen bağıntıda kullanılarak absorpsiyon katsayısı hesaplandı (15)

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left[\frac{1-R}{T} \right] \quad (4.8)$$

Burada d numune kalınlığıdır. Hesaplanan absorpsiyon katsayısına karşı enerji grafiği aşağıda verilmiştir. Absorbans 900 nm den başlayarak 350 nm dalga boyuna doğru keskin bir artış göstermektedir. Numunemiz 900 nm den başlayarak ve daha büyük dalga boylarında hemen hemen geçirgen küçük dalga boylarında ise soğurucu bir davranış göstermektedir



Şekil 4. 19 $(\alpha hv)^{1/2}$ nin hv 'ye göre grafiği

Valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki geçişler direk veya indirek olabilir. Her iki durumda da izinli ve yasaklı durumlar söz konusudur. Geçiş ihtimaliyeti aşağıdaki bağıntı ile verilir.

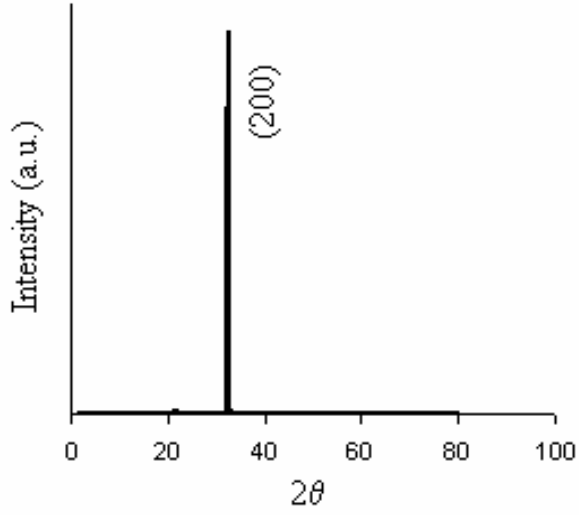
$$(\alpha hv)^n = A(hv - E_g), \quad (4.9)$$

Burada, E_g yasak enerji aralığı, $h\nu$ foton enerjisi ve A bir sabittir. n ise geçişi karakterize eder, alabileceği değerler $1/2$, $1/3$, $2/3$ ve 2 dir.. $(\alpha hv)^n$ 'in enerjiye karşı grafiği çizilir ve uygun n değerinde grafik düz çizgi verir. Yukarıda verilen grafikte teoriye uygun olarak bir lineer bölge oluşmuştur. Bu doğrunun enerji eksenini kestiği nokta incelenen numunenin yasak enerji aralığını verir. Grafikten görüldüğü gibi GaP numunesi için indirek band geçişli ve yasak enerji aralığı 2.22 eV olarak bulunmuştur. Literatürde GaP'ın yasak enerji aralığı 2.26 eV olarak verilmiştir (17). Bulunan bu değer literatürle oldukça uyum içerisindedir.

4.3.2 XRD ölçümleri

Şekil 4.20 de numunenin X ışını kırınım deseni şekildeki gibidir. pdf 032-397 örneği ile uygun GaP ince filmin X-ışını kırınım taraması. Taramanın 32.826° deki açısı (200)

yansımaya uygundur. GaP, $a=5,4506 \text{ \AA}$ örgü parametresine sahip kübik yapıdadır.



Şekil 4. 20 GaP X ışını kırınım deseni

5. SONUÇ

Au/n-GaP kontakların akım gerilim ölçümleri 125-375 K sıcaklık aralığında yapıldı. Diyota ait elektriksel ve optiksel parametreler 125-375 K sıcaklık aralığında incelendi. Diyotun I-V grafikleri incelendiğinde görüldüğü gibi üç farklı eğimli bölgeye sahiptir. Bunlar düşük beslem bölgesi($V < 0,1$), orta beslem bölgesi($\sim 0,3-0,6$ V) ve seri direncin etkin olduğu yüksek beslem($V > 0,6$ V) bölgesidir. Orta bölgede bir lineerlik vardır (0,3-0,6V) ve temel parametrelerin hesaplamalar bu bölgeden yararlanılarak yapılmıştır. Termiyonik Emisyon teorisinin geçerli olduğu aralık bu bölgedir. Daha büyük gerilim bölgelerinde ise gerek ara yüzey durumlarından gerekse seri dirençten dolayı bir bükülme vardır.

Au/n-GaP kontaklarında akım iletim mekanizmaları incelendi. Deneysel sonuçlar Numune için PF Schottky tipi iletim mekanizmalarının geçerli olabileceğini gösterdi. Bu amaçla akım gerilim karakteristikleri PF tipi ve Schottky tipi iletim mekanizmaları ele alınarak fitedildi. Teoriye uygun olarak her bir sıcaklık için $\log(I)$ nın $V^{1/2}$ karşı ve $\log(I/V)$ $V^{1/2}$ ye karşı grafikleri çizildi. Şayet Schottky tip iletim mekanizması baskınsa $\log(I)$ karşı $V^{1/2}$ grafiği bir doğru vermelidir. Bu doğrunun eğimi Z parametresini y eksenini kestiği nokta ise X parametresini verir. Eğer Poole Frenkel mekanizması baskın ise $\log(I/V)$ ye karşı $V^{1/2}$ grafikleri bir doğru vermelidir. Bu doğrunun eğimi Z parametresini verirken kesim noktası da Y parametresini vermelidir. Tüm grafiklerin bir doğru verdiği görüldü. Literatürde de PF tipi ile Schottky tipi iletimi birbirinden ayırt etmenin zor olduğu belirtilmiştir. Bu iki mekanizmayı ayırt etmenin yolu bulunan doğruların eğimlerinin ve kesim noktalarının sıcaklığa bağlı olarak incelenmesidir. Bu nedenle tüm sıcaklıklar için elde edilen doğruların eğimleri ve kesim noktalarından Z, X ile Z, Y parametreleri hesaplanmıştır. Özellikle Z parametresinin sıcaklığa bağlı olarak bir doğru vermesi ve bu doğrunun orjinden geçmesi beklenir. Bu durum o mekanizmanın geçerli olduğunun bir göstergesidir. Sıcaklığa bağlı Z parametreleri incelendiğinde düşük sıcaklıklarda PF iletim mekanizması için Z parametresini bir doğru verdiği ve bu doğrunun orjinden geçtiği görülmüştür. Yüksek sıcaklık bölgesinde ise Schottky tipi ile ilişkili olarak Z parametresinin bir doğru verdiği ve bu doğrunun orjinden geçtiği

görülmüştür. Bununla birlikte X ve Y parametreleri de bu durumu destekler şekilde sıcaklığa bağlı olarak doğrular vermişlerdir. Sonuç olarak incelenen numune için sıcaklığa bağlı olarak akım iletim mekanizmasının değiştiği düşük sıcaklık bölgesinde PF tipi iletimin, yüksek sıcaklık bölgesinde ise Schottky tipi iletimin geçerli olduğu söylenebilir.

Referans 7 ile verilen çalışmada, Au-GaP kontaklarının akım iletim mekanizmasını Gauss dağılımı modifiyesi ile TE teorisini kullanarak analizleri yapılmıştır. İdealite faktörünün azalan sıcaklıkla arttığını buna karşılık bariyer yüksekliğinin azalan sıcaklıkla azaldığı bulunmuştur. Bu durumu literatürde geniş kabul görmüş olan metal-yarıiletken arayüzeyinde meydana gelen bariyer yüksekliğinin homojen olmadığı ve bu homojensizliğin Gauss dağılımına uyduğu şeklinde açıklamıştır. Arayüzeyde farklı büyüklüklerde bariyerler oluşmaktadır. Böylece düşük sıcaklıklarda düşük enerjili elektronlar daha düşük seviyedeki bariyerlerden geçerek akım iletimine katkıda bulunurlar. Bu durum da idealite faktörünün artmasına sebep olur. Bununla birlikte bahsi geçen çalışmada idealite faktörü oda sıcaklığında 1,23 iken 375 K de 1,16 buna karşın 80 K' de 3,85 olarak bulunmuştur.

Bilindiği gibi idealite faktörü MS yapılar için oldukça önemli bir parametredir ve ideallığın bir ölçüsüdür. Saf TE teorisinin geçerliği olduğu durumlarda 1 olmalıdır. Literatür incelendiğinde araştırmacıların buldukları n değeri genellikle 1'den biraz büyük olmaktadır. İlgili çalışmada bulunan idealite faktörleri sıcaklığa bağlı olarak incelendiğinde ele alınan numune için yüksek sıcaklıklarda 1'e yakın olduğu ancak düşük sıcaklıklarda 1'den uzaklaştığı görülmüştür. Bu durum düşük sıcaklıklarda TE teorisinden sapmaların olabileceği ve başka iletim mekanizmalarının akım iletimine katkıda bulunabileceği ihtimalini ortaya çıkarmaktadır. Sonuç olarak, farklı metotlar kullanılarak analizlerin yapıldığı her iki çalışmanın sonuçlarının birbiriyle uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

300 K de optik absorpsiyon spektrumu değerlendirilerek absorbansın ışığın enerjisine karşılık gelen grafiği değerlendirilerek malzemenin indirekt bant yapısına sahip olduğu belirlendi. Yasak enerji aralığı ise 2,22 eV olarak hesaplandı. Elde edilen

sonuçların literatürlerde geçen değerlerle uyum içinde olduğu görüldü. Bant yapısının indirek bant yapısına sahip bir yarıiletken olduğu bulunmuştur. Soğurma 450 nm dalga boyundan başlayarak 900 nm dalga boyuna doğru keskin bir artış göstermiştir boyuna doğru keskin bir artış göstermiştir. Bu soğurma sınırının dışında 450 nm dalga boyundan daha büyük dalga boylarında numune hemen hemen geçirgen, 900 nm dalga boyundan küçük dalga boylarında ise kuvvetli bir soğurucu olarak davranış göstermiştir

KAYNAKLAR

1. Cowley,A.M.,Sze,S.M. "Surface State and Barrier Height of Metal Semiconductor System",*J.Appl.Phys.*,36:3212-3216 (1965).
2. Crowell,C.R.,Sze, S.M., " Current Transport in Metal-Semiconductors Barriers ",*Solid State Elektron* ,9: 1035 (1966)
3. Sze, S.M., " Metal-Semiconductor Contacts, Physics of Semiconductors Devices, 2nd ed.", *Wiley*, New York, 225 (1981).
4. Hüssain A., Akhter P., Bhatti AS., Bilal AA .Shah S. "Dominant conduction mechanism and the effects of device temperature on electrical characteristics Al/ZnPc/n-Si structures " *Vacuum* 84 :975-979,(2010).
5. Rhoderic, E.M.,Williams, R.H., "Current-Transport Mechanisms, Metal-Semiconductors Contacts, 2nd ed.", *Clerandon*, Oxford, 55 (1988)
6. Sharma, B.L.,"Metal Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications", *Plenum Press*, New York,London, 176 (1984).
7. Güzel, T. "Metal yarıiletken kontaklarda Schottky "Yüksek Lisans Tezi, *Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 1-46(2006).
8. Ray.W.P,Mabrook M.F.,Nabok.A.V."Transport mekanisims in Poraus silicon",*J.Appl. Phys.*, 51:3417-3421, (1980).
9. Mathew, X.,Enriquez, J. P. "Charge transport mechanism in a typical Au/CdTe Schottky diode "*Solar energy and Solar cell*, 63:355-365, (2000).
10. Card, H.C. , Rhoderick, E.H., "Studies of Tunnel MOS diodes I. Interface Effects in Silicon Schottky Diodes", *J: Phys. D: Appl.*, 4 (1971).
11. Önal, B."GaP Yarıiletkeni ile hazırlanan metal-yarıiletken kontakların elektriksel fiziksel özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,1-66 (2009).
12. Kılıç, T. "Zn_{1-x}Fe_xS ince filimlerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *KSÜ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, K.Maraş, 1 -46 (2001).
13. Omar M.A." Elementary Solid State Physics' ' *Principles and Applications*, *Addison-Wesley Publishing Company*, USA, 669 (1993).

14. Nadeem M.Y., Ahmed W. "Optical Properties of ZnS Thin Films", *Turk J. Phy.* 24:651- 659, (2000) .
15. Cullity B.D. "X Işınlarnın Difraksiyonu, (Çev. A. Sümer)", *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 664 (1996).
16. İlican, S., Çağlar, Y., "CdZnS ve ZNO yarıiletken filmlerinin yasak enerji aralıkları" *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1). Isparta (2005).
17. Subramanyam T.K., Naidu B.S, Uthanna S., "Effect of substrate temperature on the physical properties of DC reactive magnetron sputtered ZnO films", *Optical Materials*, 13:239–247, (1998).
18. Tunalıoğlu, S. Ş., "InGaP yarıiletkeninde mobilite analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1 -53, 13 (2008)
19. Balcı N, "Au/n-CdTe yapıların Elektriksel ve optiksel özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1 -66 (2008)
20. İnternet: The Ioffe Institute is one of Russia "GaP – Gallium Phosphide" <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/GaP/> (2011).

EKLER

EK-1 Protokol

EK 1

PROTOKOL

n-tipi GaP kristali üzerine Au buharlaştırılması ile oluşturulan çok sayıdaki metal-yarıiletken kontaklardan bir kısmının Tamer GÜZEL tarafından yapılan Yüksek Lisans tez çalışmasında [7] deneysel ölçümleri yapılmış ve analiz edilmiştir. Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında ise 7 numaralı referansta verilen çalışmada ölçümü yapılmamış olan diğer kontakların ölçümleri yapılarak farklı metotlarla analizleri yapılmıştır.

Au/n-GaP numunesinin daha önce kullanılmayan kontakları Tamer Güzel'in izni ile bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Deneysel veriler ve sonuçlar; bu tez çalışması ve birlikte yapılacak makale çalışmaları dışında kullanılamaz.

1.
14/02/2011
Tamer GÜZEL

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :DEMİR,Mehmet
Uyruğu :T.C.
Doğum tarihi ve yeri :21.09.1974 Konya/Kulu
Medeni hali :Evli(2kız,1erkek çocuk babası)
Telefon :0532 521 62 95
e-mail : m_demir78@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Fizik Bölümü	2011
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Fizik Bölümü	2000
Lise	Konya Gazi Lisesi	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000–2009	Sakarya Eğit. Tic.	Fizik öğretmeni
2009–2011	Oku Eğit. Tic	Fizik öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Ailem, Bilgisayar teknolojileri, Spor,Fizik Eğitimi