

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Ga As KRİSTALLERİNDE
FOTO İLETKENLİĞİN İNCELENMESİ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Ömer Çakıroğlu

Anabilim Dalı : Fizik

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Ülker Dölay

İstanbul 1986

ÖZET

Bu çalışmanın amacı yarı-iletken kristal numunelerin hazırlanması ve değişik sıcaklıklarda foto-iletkenlik yöntemi ile özelliklerinin incelenmesidir.

Yarı-iletken teknolojisinde standart olarak kullanılan (kristallerin kesilmesi, mekanik parlatılması, kimyasal aşındırılması ve uygun kontakların konulması) yöntemlerle foto-iletkenlik ölçülerine uygun olan şekillerde çeşitli numuneler hazırlandı.

Bu numunelerden düşük resistiviteli ($300\text{ K de} \sim 2\ \Omega\text{cm}$) n-tipi GaAs:O kristalinin direncinin sıcaklıkla değişimi ($120\text{K}-300\text{K}$) incelenerek aktivasyon enerjisi 0.22 eV olarak bulunmuştur.

GaAs entegre devre yapımında baz malzemesi (substrate) olarak kullanılan yüksek resistiviteli ($300\text{K de} \sim 10^7\ \Omega\text{cm}$) yarı-yalıtkan GaAs'ün 83K ile 300K arasında, karanlıkta ve fon aydınlanması durumunda, kesikli uyarma (a.c.) ile foto-iletkenlik spektrumları incelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

SUMMARY

The purpose of this work is to prepare semiconductor samples and to investigate their characteristics at different temperatures using photoconductivity

The standart technological methods such as cutting, mechanical, polishing, chemical etching and making ohmic contacts to the semiconductor samples suitable for photoconductivity measurements has been applied.

From these samples n-type GaAs doped with oxygen which has a low resistivity ($\sim 2 \Omega \text{ cm}$ at 300K) was chosen to measure the change of resistance with temperature (120K-300K) for investigating the activation energy which was found to be 0.22 eV.

Semi-insulating GaAs samples with high resistivity ($\sim 10^7 \Omega \text{ cm}$ at 300K) suitable as a substrate material in manufacturing integrated circuits was also used to measure photoconductivity spectrum at temperatures ranging from 83K to 300K in dark and in background illumination with a.c. chopped light and results were discussed.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmam boyunca her türlü yardımı sağlayan ve destek olan Yard. Doç. Dr. Ülker DALAY ve Doç. Dr. Çetin ARIKAN'a derin ifadelerimle teşekkür ederim. Bunun yanında, tez konusunu tespit ettiği ve numuneleri İngiltere'den temin ettiği için Doç. Çetin ARIKAN'a ayrıca sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda bana gerekli zamanı sağlayan Fen Bilimler Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Asuman ILGAZ'a, gösterdikleri den dolayı M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Cemil AR'a Enstitü Müdür Yardımcısı Doç. Dr. Nermin UYSAL'a çalışmamda bana destek olan hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel Teknik Araştırma Kurumu)'ta çalışmam esnasında beni değerli fikirleriyle aydınlatan Sayın Prof. Dr. Sait AKPINAR'a, Dr. Selçik VAROL'a gerekli ilgiyi gösteren Fizik Bölümü Başkanı Prof. Dr. Yavuz NUTKU'ya, ve diğer çalışmalarıma teknisyen Orhan KARABULUT'a ve bölüm elemanlarına, BODE'ye ve diğer arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, İ.Ü Fen Fakültesi Fizik Bölümünden Dr. Berkay ÇETİN'e de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II İLETKENLER YARI-İLETKENLER, YALITKANLAR	3
BÖLÜM III YARI-İLETKEN KRİSTALLERİN BAND YAPILARI	5
3.1. GİRİŞ	5
3.2. ETKİN KÜTLE	6
3.3. YARI-İLETKEN KRİSTALLERİN ELEKTRONİK ÖZELLİKLERİ	6
3.4. BANDLAR ARASI OPTİK GEÇİŞLER	8
BÖLÜM IV ASAL VE KATKILI YARI-İLETKENLER	12
4.1. ASAL YARI-İLETKENLER	12
4.2. ASAL YARI-İLETKENLERDE TAŞIYICI KONSANTRASYONLARI	12
4.3. KATKIL YARI-İLETKENLER	13
4.4. KATKILI YARI-İLETKENLERDE FERMİ SEVİYESİ	20
BÖLÜM V YARI-İLETKENLERDE FOTO-İLETKENLİK	21
5.1. GİRİŞ	21
5.2. FOTO-İLETKENLİK	23
5.3. FAZLALIK TAŞIYICILARIN GENERASYONU VE REKOMBİNASYONU	26
5.4. FOTO-İLETKENLİĞİN KİNETİĞİ	29
5.5. FOTO-DUYARLILIK KAZANCI	32
BÖLÜM VI DENEY TEKNİKLERİ	32
6.1. GİRİŞ	32
6.2. NUMUNE HAZIRLANMASI	32
6.1.1 GİRİŞ	32
6.2.1. GaAs :O	33
6.2.2. YARI-YALITKAN GaAs	34
6.2.3. NUMUNEYE KONTAK YAPILMASI	34
6.2.4. NUMUNENİN SOĞUTUCUYA YERLEŞTİRİLMESİ	37
6.2.5. NUMUNENİN TESTİ	37

6.3. PİRO ELEKTRİK DEDEKTÖR	37
6.4. ALETLERİN TANITIMI	39
6.4.1 SOĞUTUCU (CRYASTAT) SİSTEMİ	39
6.4.2. MONOKROMATÖR	41
6.4.3 FAZ DUYARLI DEDEKTÖR	43
BÖLÜM VII DENEYSEL ÖLÇÜMLER	45
7.1. AKTİVASYON ENERJİSİNİN ÖLÇÜMÜ	45
7.2. FOTO-İLETKENLİK ÖLÇÜMLERİ	49
7.2.1. GİRİŞ	49
7.2.2. HOMOJEN OLMIYAN MALZEMELER ÜZERİNDE ÖLÇÜMLER	49
7.2.3. HOMOJEN MALZEMELER ÜZERİNDE ÖLÇÜMLER	49
7.3, IŞIĞIN UYARMA ŞİDDETİNE BAĞLI OLARAK FOTO-İLETKENLİK ÖLÇÜMLERİ	50
7.3.1 SÜREKLİ UYARMA (D.C.)	50
7.3.2 KESİKLİ UYARMA (A.C.)	52
7.3.2.1 GİRİŞ	52
7.3.2.2 SABİT VOLTAJ REJİMİ	53
7.3.2.3 SABİT AKIM REJİMİ	53
7.3.2.4 A.C. SIFIR AKIMI	53
7.3.3 DARBELİ UYARMA	55
BÖLÜM VIII SONUÇLAR VE SONUÇLARIN TARTIŞILMASI	59
REFERANSLAR	75
EKLER	77

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yarı-iletkenler günümüzün süper teknolojisi elektronik ve bilgisayarların baz malzemesini teşkil etmek ve özellikle opti-elektronik tertiplerde (devices) (Lazerler ışık saçan diyotlar ve solar hücreler)'de çok önemlidir.

Amorf yarı-iletkenlerin ucuz ve kolay elde edilebilmesine karşılık kristallerin maliyetinin pahalı olması kırılğan olması en önemlisi mükemmel kristal elde edilememesi kristallerle çalışmayı güçleştirmektedir.

Yarı-iletkenlerden Ge ve Si bütün ayrıntıları ile incelenmiştir. GaAs ile ilgili çalışmalar son 30 yılda başlamış ve birçok yönleri halâ bilinmemektedir.

Yarı-yalıtkanlarda GaAs çok hızlı entegre devrelerde baz malzemesi (Substrate) olarak kullanılmaktadır. Hewlett-Packard firması laboratuvarlarında GaAs ile ilgili devrelerin geliştirilmesi dizaynını ve üretimini yapmıştır (Willardson and Beer 1984).

Bu genel bilgilerden sonra çalışmadaki bölümlerin ana hatların verilmesi faydalı görülmüştür.

İlk bölümdeki genellemeden sonra ikinci bölümde iletkenler, yarı-iletkenler ve yalıtkanlar kısaca tanıtılmış ve mukayese edilmiştir. Üçüncü bölümde ise özet olarak yarı-iletken kristallere ve band yapılarına değinilmiştir. Dördüncü bölümde yarı-iletkenler sınıflandırılmış ve kullandığımız numuneler katkılı olduğundan, yarı-iletkenlerde katkının önemi üzerinde durulmuştur.

Beşin bölümde ise yarı-iletkenlerde foto-iletkenlik olaylarından bahsedilmiş ve foto-iletkenlik için teorik kavramlar verilmiştir.

II., III., IV., V. bölümlerinde yarı-iletkenler hakkındaki bazı bilgilerden sonra sırasıyla deneyde kullanılan numunelerin hazırlanması numune cinslerinin karakteristikleri ve aletler tanıtılmıştır.

Yedinci bölümde ise düşük resistiviteli numune ile aktivasyon enerjisi, yüksek resistiviteli numune ile foto-iletkenlik ölçmemizin nedenleri üzerinde durulmuş ve genel foto-iletkenlik ölçümleri hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Son bölümde deneylerin sonuçları verilmiş ve bu sonuçlar yorumlanarak bulgular referanslarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlardan sıcaklığa göre malzemelerin karakteristiği, yarı-yalıtkan numune içindeki "katkı" referanslara dayanarak tahmin edilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM II

İLETKENLER, YARI-İLETKENLER, YALITKANLAR

Cisimler elektrik akımını geçirme özelliklerine göre iletken, yarı-iletken ve yalıtkan olmak üzere üçe ayrılırlar. Kabaca özgül dirençleri sırasıyla, $\rho=10^2 - 10^6 \Omega \text{ cm}$, $\rho=10^2 - 10^9 \Omega \text{ cm}$, $\rho=10^9 - 10^{22} \Omega \text{ cm}$ değerleri arasında sınırlanırlar.

Yarı-iletkenin iletkenliğine etki eden faktörler, kristal yapılarındaki bozukluklar yapıya giren yabancı atomlar, basınç ve sıcaklık değişimidir. Örneğin sıcaklık artışı metallerin direncini arttırdığı halde yarı-iletkenin direncini düşürür. Bu metal-lerle yarı-iletkenleri ayıran önemli bir özelliktir.

Teknolojide en çok kullanılan yarı-iletkenler Si, Ge ve periyodik sistemin III-V grup elementlerinden üretilen (GaAs, InSb. gibi) bileşiklerdir.

Si ve Ge üzerinde geniş kapsamlı çalışmalar yapılmasına rağmen, GaAs'in bir çok davranışları halâ bilinmemektedir. Bu nedenle son yıllarda yoğun araştırma ve çalışmalar GaAs üzerinde odaklanmıştır. GaAs'ın Si ve Ge'a göre üstünlükleri içinde direkt geçişli olması mobilitesinin Ge ve Si'ne göre çok yüksek olması (Ek-1), bant aralığının daha geniş olması sayılabilir.

İlk foto-iletkenlik ölçümü selenyumla yapılmış ve 1940'li

yıllarda yarı-iletkenlerin keşfi ile foto-iletkenlik ölçüleri hızlı bir şekilde gelişmiştir. 1950 yıllarında GaAs üzerinde ilk araştırmaları başlamıştır.

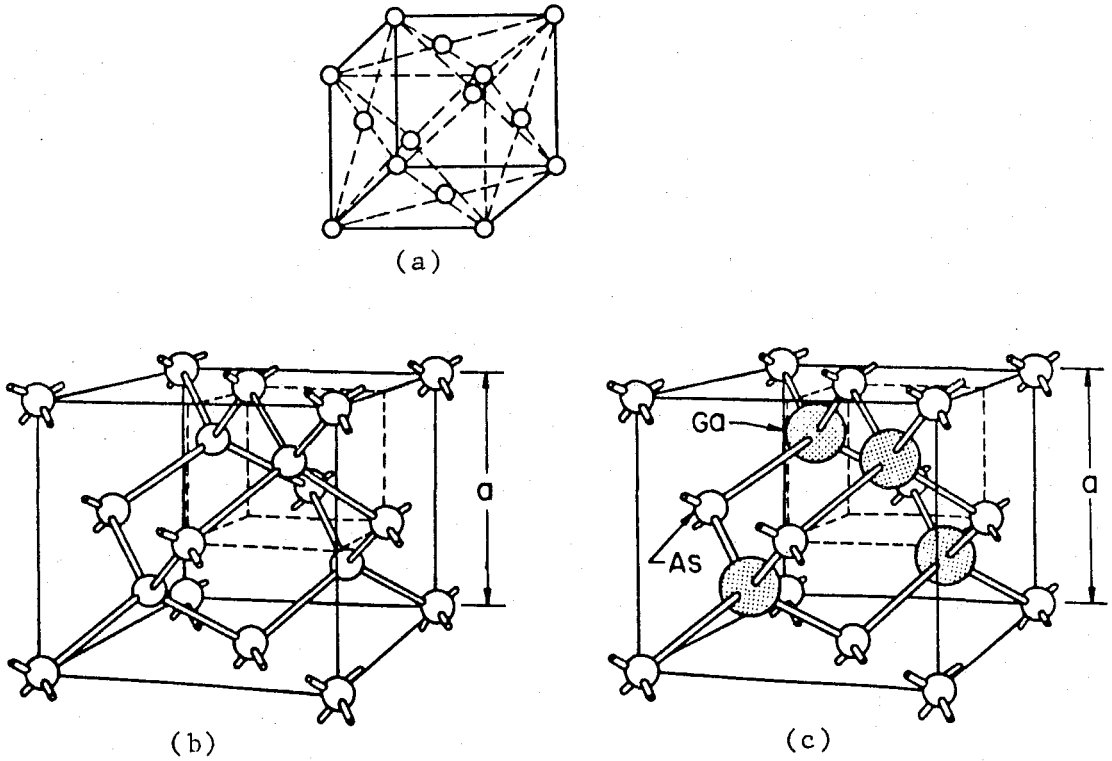
BÖLÜM III

YARI-İLETKEN KRİSTALLERİN BAND YAPILARI

3.1 GİRİŞ

Önemli yarı-iletkenlerden Ge ve Si elmas, GaAs ise çinko blend yapısındadır.

Elmas yapısı ymk olup (şekil 3.1 .b) her bir atom kendisine en yakın dört komşu atomla bağlıdır. Çinko blend ymk yapıda, ortada bir Ga atomu ve onun çevresinde eşit uzaklıkta dört tane As atomu vardır (şekil 3.1 C).



Şekil 3.1 (a) Yüzey merkezi kübik (ymk), (b) Elmas yapısı (C, Ge, Si), (c) Çinko Sülfür yapısı (GaAs, Gap).

Kristallerin^{elektronik} ve optik özelliklerini incelemek için iki boyutlu (enerji-K dalga vektörü arasında) band şeması çizilir. Ge, Si ve GaAs band yapıları şekil 3.2'de görülmektedir.

3.2 ETKİN KÜTLE

Etkin kütle yarı-iletkenlerde önemli bir parametredir.

$$1/m_{ij}^* = (1/\hbar^2) (\partial^2 E(\vec{k}) / \partial k_i \partial k_j) \quad (2.1)$$

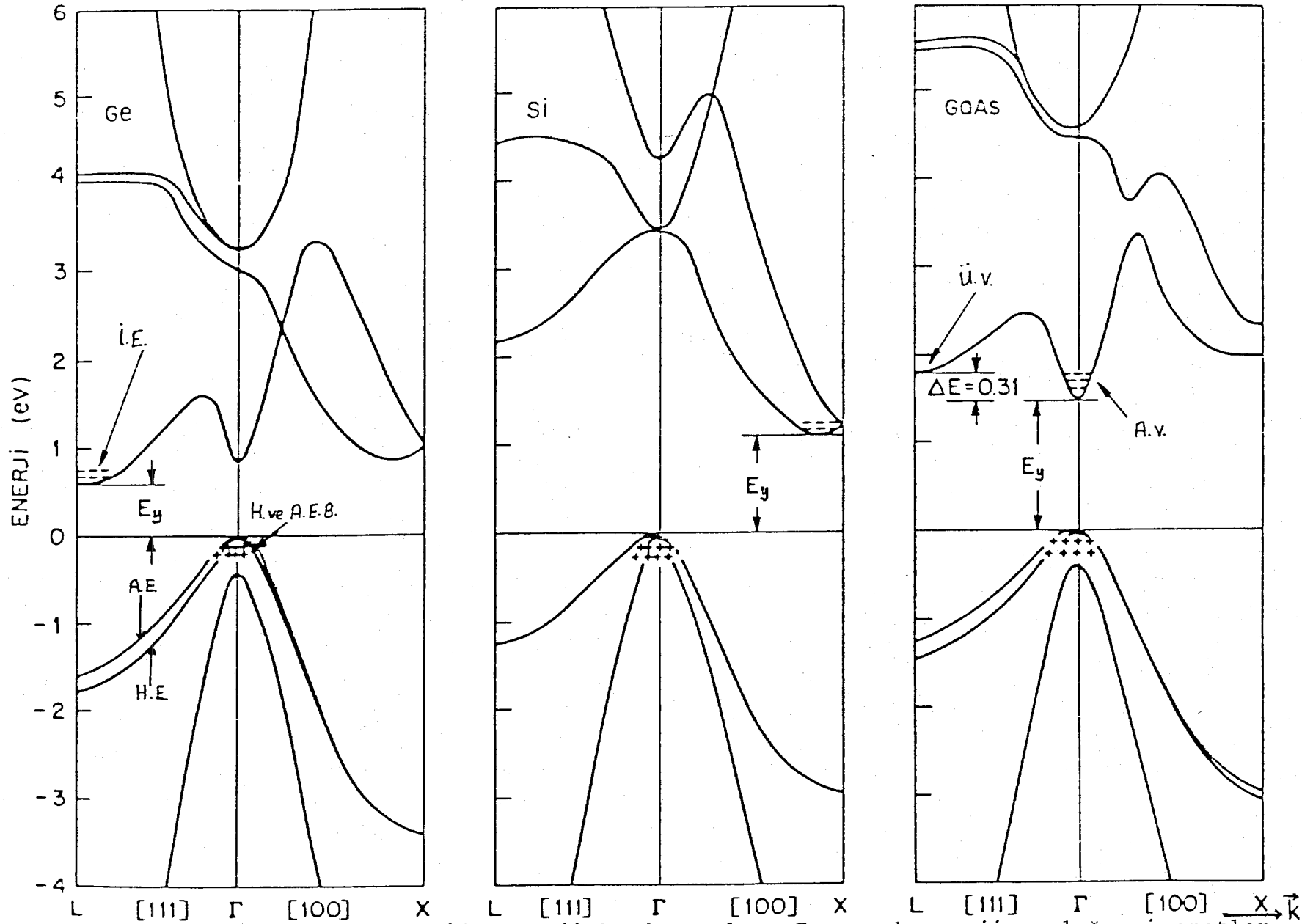
(2.1)'deki etkin kütle bağıntısının şekil 3.2 üzerinde yorumu;

$\partial E(\vec{k}) / \partial k_i \partial k_j$ küçülürse $1/m_{ij}^*$ büyür, band genişler ve ağır elektron boşlukları meydana gelir. $\partial E(\vec{k}) / \partial k_i \partial k_j$ büyürse $1/m_{ij}^*$ küçülür, band daralır ve hafif elektron boşlukları oluşur. Şekil 3.2'den görüldüğü gibi valans bandının en üst çizgisi ağır elektron boşluklarını ikinci çizgi ise hafif elektron boşluklarını ifade eder.

3.3 YARI-İLETKEN KRİSTALLERİN ELEKTRONİK ÖZELLİKLERİ

Banddan-banda elektron geçişlerine göre yarı-iletkenler direk ve indirek geçişli olmak üzere ikiye ayrılır.

Bir yarı-iletken'de valans bandın maximumu (en yüksek enerjili nokta) ile iletkenlik bandının minimum (en düşük enerjili nokta) aynı \vec{k} ($\vec{k}=0$) dalga vektörü doğrultusunda bulunursa "direk geçişli" (GaAs, GaP, CdS gibi) yarı-iletkenler, eğer ekstremumlar



Şekil 3.2. Ge, Si ve GaAs'in Enerji band yapıları E :yasak enerji aralığı, +işaretler balans bandındaki elektron boşlukları, -işaretler iletkenlik bandındaki elektronları gösterir, A.E. ağır elektronlar, H.E. Hafif elektronlar, Ü.V. üst vadi, A.V. alt vadi.

farklı \vec{k} ($\vec{k} \neq 0$) doğrultusunda olursa "indirek geçişli" (Si, Ge, gibi) yarı-iletkenler denir. Valans bandının en yüksek enerjili seviyesi ile iletkenlik bandının en düşük enerjili seviyesi arasındaki boşluğa "band aralığı" veya "yasak enerji aralığı" denir. E_y ile gösterilen yasak enerji aralığı yarı-iletkenlerde önemli bir parametre olup genel olarak alttaki ifadeden hesaplanır.

$$E_y = E_i - E_v$$

E_y Sıcaklığa bağımlı olarak değişir. Yasak band aralığının sıcaklıkla değişimi (Sze 1981)'e göre $E_y(T)$ aşağıdaki bağıntı ile verilir.

$$E_y(T) = E_y(0) - \alpha T^2 / (T + \beta)$$

$E_y(0)$: OK'de yasak enerji aralığı

T : Kelvin cinsinden sıcaklık

α ve β : Sabitlerdir.

Materiyel	Band	OK	300K	$\alpha \cdot 10^{-4}$	β
GaAs	direk	1.519	1.42	5.405	204
Si	indirek	1.17	1.14	4.73	636
Ge	indirek	0.74	0.69	4.774	235

3.4 BANDLAR ARASI OPTİK GEÇİŞ

Direk optik geçişte valans bandından iletkenlik bandına bir elektron çıkabilmesi için elektronun yasak band aralığına eşit

veya ondan büyük enerji absorblaması gerekir ve bu geçişi yapabilmesi için \vec{k} sabit kalmalı.

Fotonun momentumu

$$P_{\text{foton}} = h\nu r/c \quad (3.4)$$

$$\nu = \text{ışığın frekansı}$$

$v = c/r$: kırma indisi r olan kristal içindeki yayılma hızı.

Optik geçiş için $\Delta \vec{k}$

$$\hbar \Delta \vec{k} = \vec{P}_{\text{foton}} \quad (3.5)$$

Foton momentumu $\Delta \vec{k}$ 'nin, zon sınırındaki dalga sayısına oranı (k_{max})

$$\Delta \vec{k}/k_{\text{max}} = (2\pi \nu r/c) / (\pi/a) = 2ar\nu/c$$

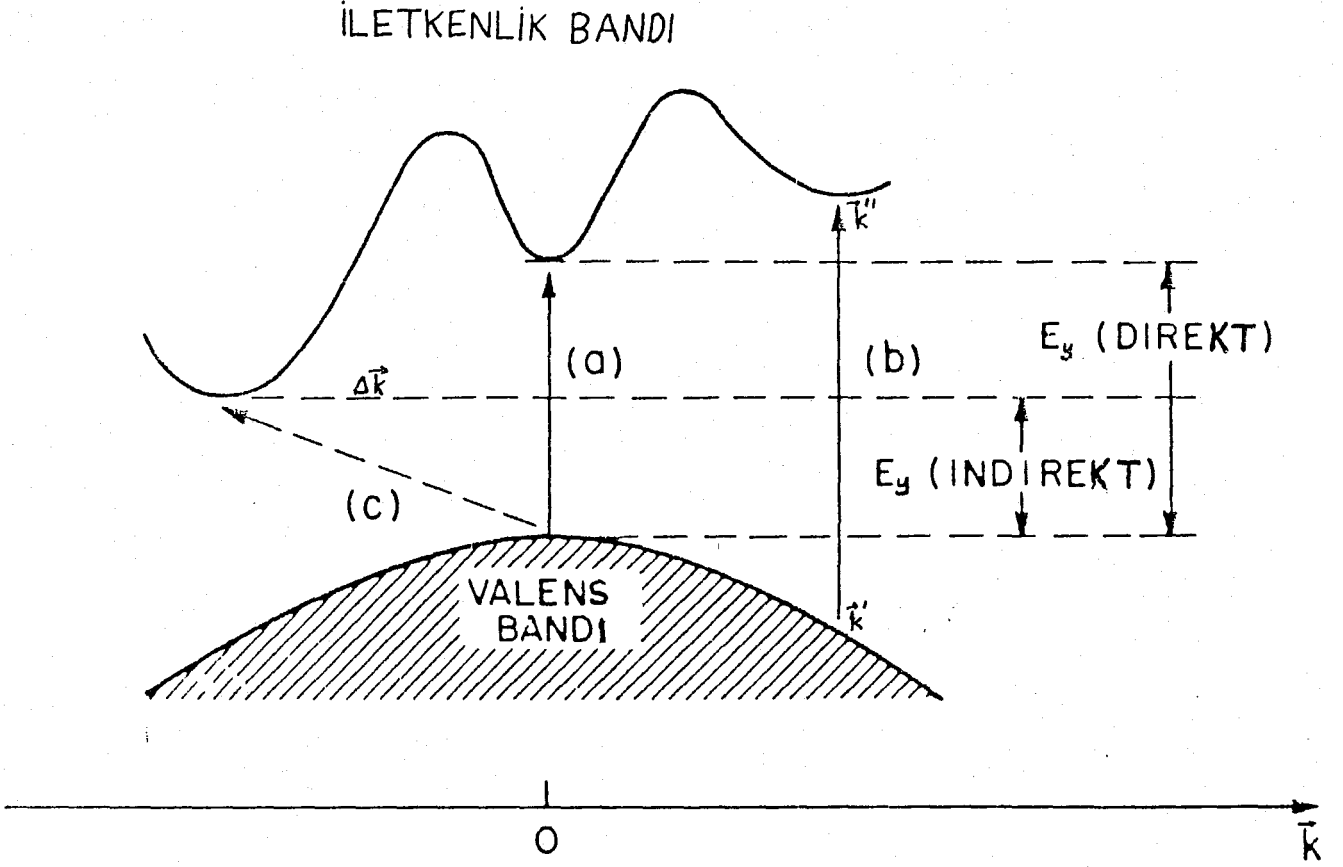
ifadenin sağ tarafını h ile çarpıp bölsek;

$$\Delta \vec{k}/k_{\text{max}} = 2arh\nu/hc = 2ar E_y/hc \quad (3.6)$$

ifadesi elde edilir.

İndirek optiksel geçişlerde fotonların absorpsiyonu yanında ilaveten fononların absorpsiyonu, yada emisyonu işin içine girer (şekil 3.3).

Bu şartlar altında dalga vektörü ve enerji korunumu;



Şekil 3.3 Optiksel geçişler. (a) ve (b) direkt geçişler, (c) indirekt geçiş. İndirekt geçişte fononlarda katkıda bulunmaktadır.

$$E_{\text{foton}} \pm E_{\text{fonon}} = E_y \text{ (indirek)} \quad (3.7)$$

$$\Delta\vec{k} = \vec{k}_{\text{fonon}} \quad (3.8)$$

ifadeleri ile belirlenir.

Direkt geçişte sadece foton söz konusu, indirekt geçişte hem foton hem de fononlar söz konusudur.

Direk asal geçişli bir yarı-iletkenin valans bandı ve iletkenlik bandı arasındaki direk geçişte bandların extramumları ve minimumları $\vec{k}=0$ 'dadır. Enerji ve momentumu korunan her geçiş direk geçiştir.

Bandı nondejenere, kütleyi efektif kütle ve valans bandının üst kenarını $\vec{k}=0$ 'da kabul edersek (şekil 3.3) valans bandında \vec{k}' dalga vektörü ile enerji arasındaki bağıntı

$$E_v(\vec{k}') = -E_g - \frac{\hbar^2 \vec{k}'^2}{2m_b^*} \quad (3.9)$$

ve iletkenlik bandında enerji ile \vec{k}'' dalga vektörü arasındaki bağıntı

$$E_i(\vec{k}'') = \frac{\hbar^2 \vec{k}''^2}{2m_e^*} \quad (3.10)$$

İletkenlik bandının en alt kenarını sıfır enerji seviyesi kabul edersek, valans bandındaki \vec{k}' dalga vektörü ile iletkenlik bandındaki \vec{k}'' dalga vektöründeki enerji korunumu

$$E_{\text{foton}} = \hbar\omega = E_i(\vec{k}'') - E_v(\vec{k}') \quad (3.11)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Sonuçta iletkenlik bandında $\hbar\vec{k}'' / m_e^*$ enerjisinde bir elektron ve valans bandında $\hbar\vec{k}' / m_{eb}^*$ enerjisinde bir elektron boşluğu optiksel absorpsiyonu yaratır. Diğer bir ifade ile $(\vec{k}' - \vec{k}'')$ enerji farkına eşit enerjide bir $\hbar\omega$ fotonu absorblandığı takdirde bir elektron \vec{k}' 'den \vec{k}'' 'ne çıkar (Bube 1974).

BÖLÜM IV ASAL VE KATKILI YARI-İLETKENLER

4.1 ASAL YARI-İLETKENLER

Kimya bakımından saf, band yapısı bakımından yarı-iletken olan maddelere "asal yarı-iletken" denir.

Asal bir yarı-iletkenin direcinin logaritması, sıcaklığın tersi ile şekil 4.1'deki gibi değişmektedir.

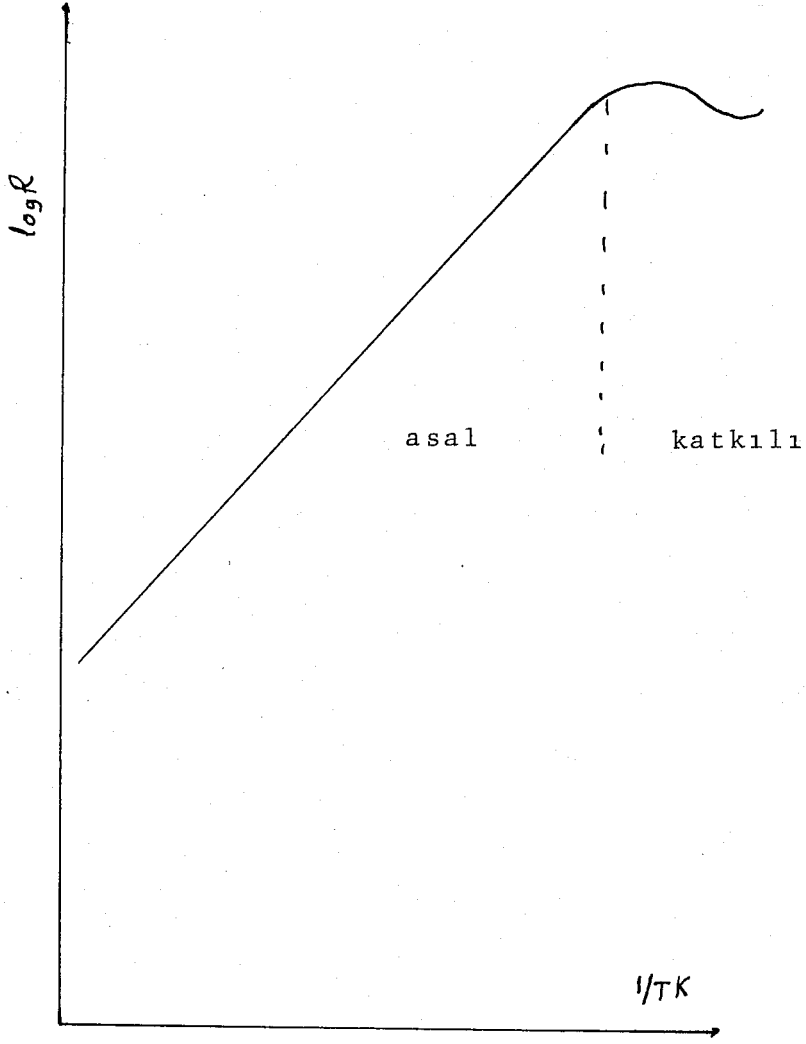
Yapılan deneyler de saf yarı-iletkene ait ölçüler bir doğru üzerinde kalmakta, katkılı yarı-iletkenlere ait olanlar düşük sıcaklıklarda doğrudan ayrılarak bir büküm oluşturmaktadır. Doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisi ve $E_y/2kT$ bu ikinci kısımdan da E_y yasak enerji aralığı bulunur.

4.2 ASAL YARI-İLETKENLERDE TAŞIYICI KONSANTRASYONU

Asal yarı-iletkenlerde taşıyıcı konsantrasyonu, sıcaklığa (T), yasak enerji aralığına (E_y), elektronun etkin kütleğine (m_e^*) ve fermi enerjisine (E_F) bağlıdır.

Konsantrasyon için

$$n = \int_{E_i}^{E_{üst}} N(E) f(E) dE \quad (4.2)$$



Şekil 4.1 Asal bir yarı-iletkenin direncinin logaritması, sıcaklığın tersi ile değişimi görülmektedir.

bağıntısı yazılabilir. Burada $N(E)$ seviye yoğunluğu

$$N(E) = \left(\sqrt{2} m_e^*{}^{3/2} / \pi^2 \hbar^3 \right) (E - E_i)^{1/2} \quad (4.3)$$

ve fermi dağılım fonksiyonu

$$f(E) = \left(1 + \exp \left[(E - E_F) / kT \right] \right)^{-1} \quad (4.4)$$

bağıntısı ile verilir. Bu veriler (4.2)'ye yerleştirilip entegre edilirse elektron konsantrasyonu

$$n = 2 \left(m_e^* kT / 2 \pi \hbar^2 \right)^{3/2} \exp \left[(E_F - E_i) / kT \right] \quad (4.5)$$

bağıntısı elde edilir. Bu ifadede,

$$N_i = 2 \left(m_e^* kT / 2 \pi \hbar^2 \right)^{3/2} \quad (4.6)$$

iletkenlik bandının etkin effect seviye yoğunluğu olarak tanımlanır ve (4.5) ifadesi yeniden düzenlenirse,

$$n = N_i \exp \left[(E_F - E_i) / kT \right] \quad (4.7)$$

şeklinde basitleştirilebilir.

Elektron yoğunluklarının dejenere durumları şekil 4.4'de non-dejenere durumlar ise şekil 4.2 3 'de görülmektedir.

Benzer olarak valans bandının tepesindeki elektron boşluklarının konsantrasyonu,

$$P = \int_{-alt}^E N(E) [1 - f(E)] dE \quad (4.8)$$

entegre edilirse,

$$P = 2 \left(m_b^* kT / 2\pi \hbar^2 \right)^{3/2} \exp \left[(E_v - E_F) / kT \right] \quad (4.9)$$

bağıntısı bulunur. Bu bağıntıda,

$$N_v = 2 \left(m_b^* kT / 2\pi \hbar^2 \right)^{3/2} \quad (4.10)$$

ifadesi valans bandındaki etkin (effect) seviye yoğunluğudur. Buna göre (4.9) ifadesi,

$$P = N_v \exp \left[(E_v - E_F) / kT \right] \quad (4.11)$$

şekline indirgenebilir.

Asal malzemelerde elektron ve boşluk konsantrasyonları birbirine eşit olduğundan

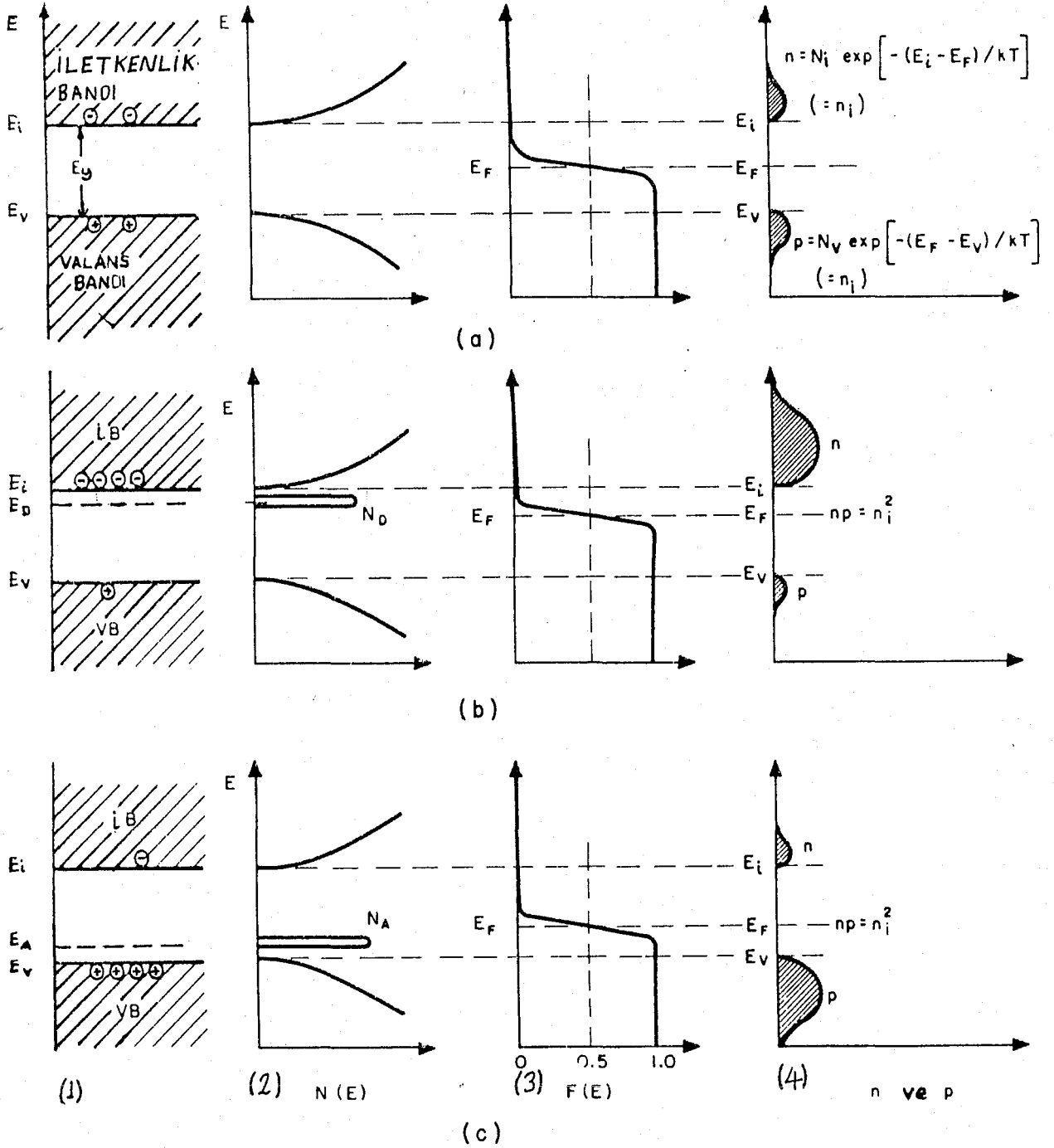
$$n = p = n_i \quad (4.12)$$

eşitliği yazılabilir. n_i asal taşıyıcı yoğunluğu (4.6) ve (4.12) çarpımından

$$n \cdot p = n_i^2 = N_i N_v \exp \left[-(E_i - E_v) / kT \right] = N_i N_v \exp(-E_y / kT)$$

$$n_i = (N_i N_v)^{1/2} \exp(-E_y / 2kT) \quad (4.13)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 4.2. Termal dengede (a) asal (b) n-tipi (c) p-tipi yarı-iletkenlerin (1) şematik band yapıları, (2) durum yoğunlukları, (3) Fermi-Dirac dağılımları ve (4) taşıyıcı konsantrasyonlarıdır.

4.3 KATKILI YARI-İLETKENLER

Bünyesinde yabancı atom bulunan yarı-iletkenlere "katkılı yarı-iletkenler" denir. Bir yarı-iletkeni katkılama işlemine "doping" denir.

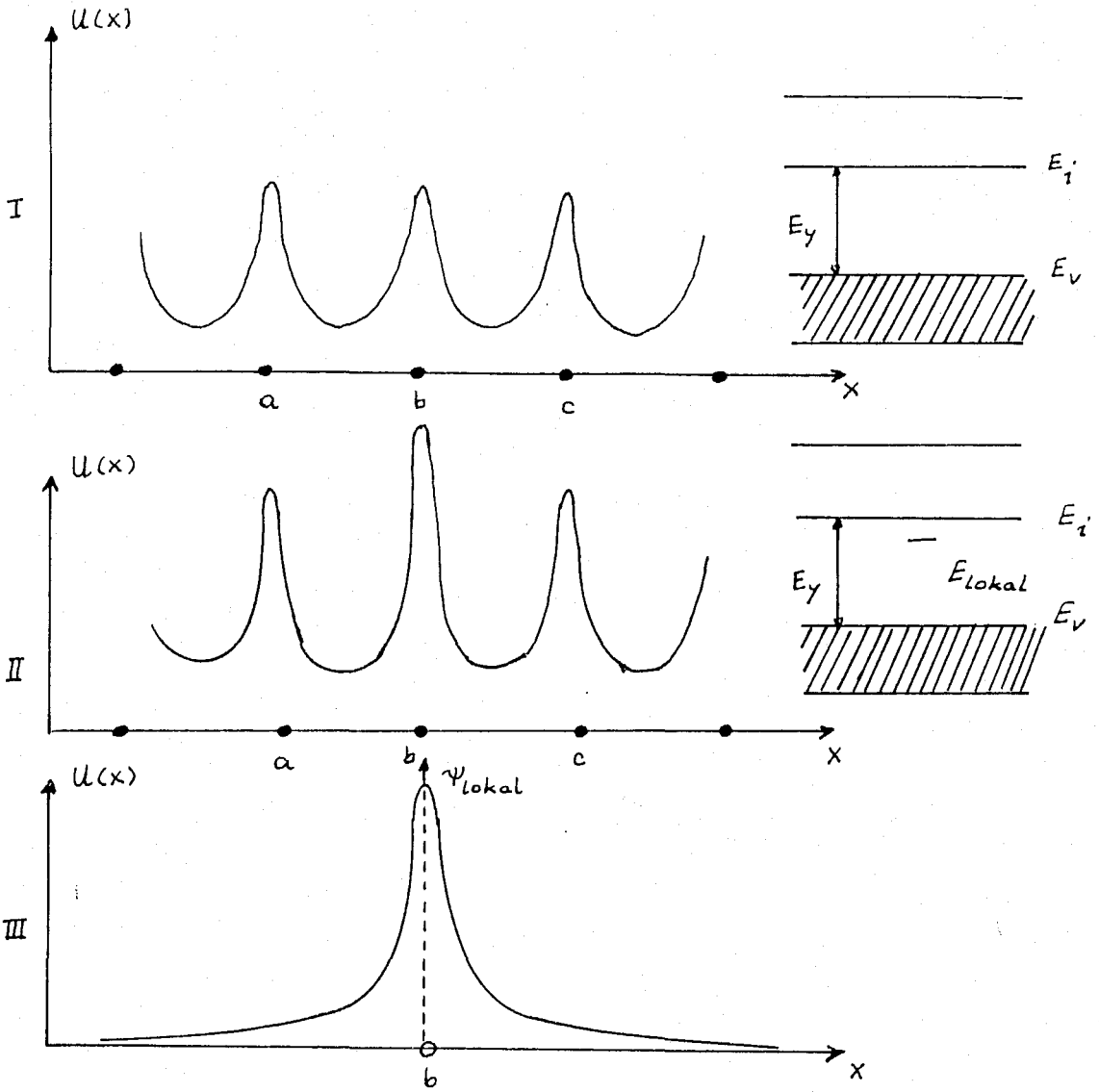
Katkılandırma ile kristal şebekesine giren yabancı atomlar şebekede kristallerin periyodunda değişiklikler yapar. Bu değişiklikler lokal enerji seviyesinin doğmasına neden olur. Şekil 4.3 bu olayı bir şema ile açıklamaktadır.

Aynı cins katkı maddesi arttıkça yarı-iletkenin iletkenliği artar. Katkılandırma işleminde şebekeye giren yabancı atom, şebekeye elektron verirse "donor", şebekeden elektron alırsa "akseptör" adını alır.

Katkılı bir yarı-iletken de, örneğin n-tipi bir yarı-iletken soğutuldukça donor seviyelerinden iletkenlik bandına, geçen elektronların sayısı azalacağından dolayısı ile direnci artacaktır. P-tipi bir yarı-iletken için de boşluklar söylenebilir.

Bunun nedeni düşük sıcaklıklarda termal uyarma enerjisinin elektron ve/veya boşlukları serbest hale getirmeğe yeterli olmayışıdır.

Oda sıcaklığında termal uyarma ile serbest hale gelebilen katkı seviyeleri genellikle band kenarlarına yakın seviyeler olduklarından bunlara sığ (shallow level energy) enerji seviyeleri

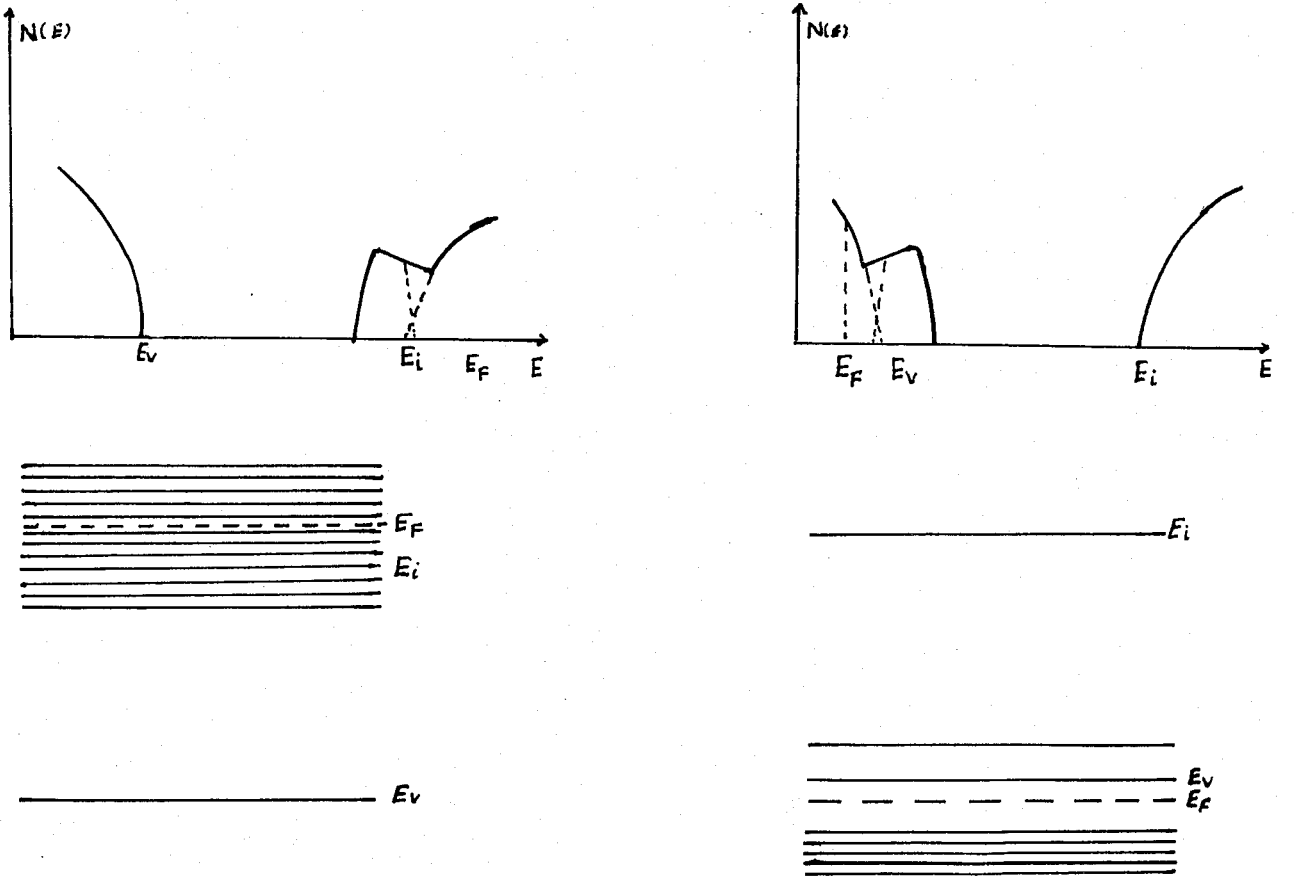


Şekil 4.3. 1) İdeal bir yarı-iletken kristalin şematik olarak periyodik potansiyeli ve bant şeması, II) b noktasında yabancı atom bulunan kristalde potansiyel ve bant şeması yabancı atom bir E_{lokal} seviyesine sebep olmuştur. III) Yabancı atomun bulunduğu b noktasında lokal dalga fonksiyonu ve exponansiyel azalması görülmektedir (Akpınar S. 1979).

denir.

Yasak enerji aralığında band kenarlarından daha uzak bölgelere, yasak enerji aralığının ortalarına yakın yerlerde bulunan seviyelere derin (deep level energy) enerji seviyeleri denir.

Sığ seviyeler teorik olarak Hidrojen modeli ile açıklanmasına rağmen derin seviyeler için kesin bir modelden bahsedemeyiz.



Şekil 4.4. Şekilde görüldüğü gibi dejenere durumlar için Fermi seviyesi (a) n-tipi yarı-iletkenlerde (b) p-tipi yarı-iletkenlerde valans bandı içindedir.

4.4 KATKILI YARI-İLETKENLERDE FERMİ SEVİYESİ

Saf bir yarı-iletkende fermi seviyesi yasak bandın ortasında, katkılı yarı-iletkende ise, katkı tipine göre iletkenlik bandına veya valans bandına doğru kayacaktır. Eğer katkı donör tipi ise fermi seviyesi iletkenlik bandına, akseptör tipi ise valans bandına yakındır. Bu durum şekil 4.2, 1 ve 2'de görülmektedir.

Katkı konsantrasyonları donörler için N_D ve akseptörler için N_A olan bir yarı-iletken T sıcaklığında iyonlaşan konsantrasyonları da N_D^+ ve N_A^- ise, nötr durumda negatif yüklerin sayısı pozitif yüklerin sayısına eşittir.

$$n + N_A^- = p + N_D^+ \quad (4.14)$$

Bir donör atomunun iyonize olması, donör seviyesinde ki bir elektronun iletkenlik bandına geçmesidir.

Bir donör seviyesinin iletkenlik bandından derinliği E_D ise iyonize olmuş donör konsantrasyonu ;

$$N_D^+ = N_D [1 - (1 + \exp[(E_D - E_F)/k_B T])^{-1}] \quad (4.15)$$

ifadesinden bulunabilir.

Benzer olarak akseptör konsantrasyonu

$$N_A^- = N_A [1 + \exp((E_A - E_F)/k_B T)]^{-1} \quad (4.16)$$

şeklinde ifade edilir.

BÖLÜM V

YARI-İLETKENLERDE FOTO-İLETKENLİK

5.1 GİRİŞ

Termal dengedeki bir yarı-iletken üzerine ışık düşürüldüğünde fotonların enerjilerinin hemen hemen tamamı elektronlar tarafından absorplanır. Bu dış uyarma sonucu yarı-iletkenin konsantrasyonundaki artışa "fazlalık" taşıyıcılar denir ve bu fazlalık taşıyıcılar yarı-iletkenin iletkenliğini artırır.

5.2 FOTO-İLETKENLİK

Işıqla uyarılma sonucu kristalin elektrik iletkenliğindeki değişme "foto-iletkenlik" denir.

Yarı-iletkenin karanlıktaki iletkenliği;

$$\sigma_0 = n_0 e \mu_n + p_0 e \mu_p \quad (5.1)$$

aydınlıktaki iletkenliği

$$\sigma = e(n \mu_n + p \mu_p) \quad (5.2)$$

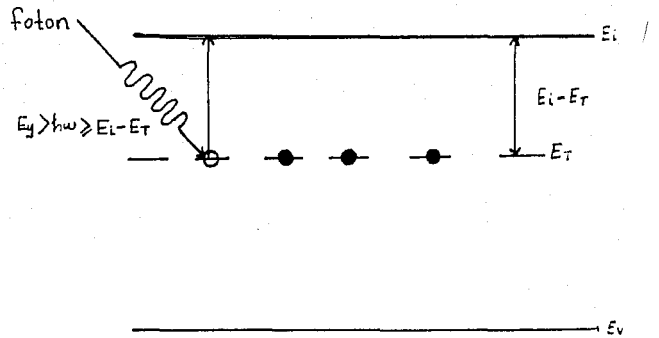
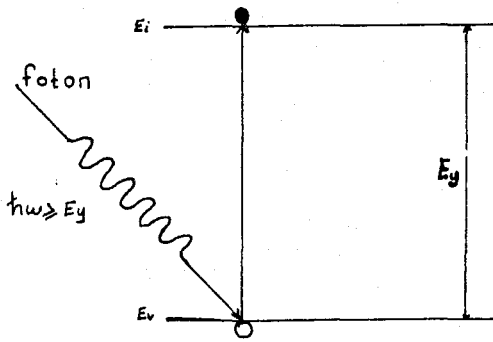
ve $n = n_0 + \Delta n$; $p = p_0 + \Delta p$ değerleri (5.2)'de yerine konup (5.2) ve (5.1) farkı $\Delta \sigma$ iletkenliği verir.

$$\Delta \sigma = e(\mu_n \Delta n + \mu_p \Delta p) \quad (5.3)$$

e : elektronun yükü

μ_n, μ_p : elektron ve elektron boşluklarının mobilitesi
 $\Delta n, \Delta p$: foton absorpsiyonu sonucu oluşan fazlalık elektron ve elektron boşluk yoğunlukları.

Kristale gelen foton enerjisi yarı-iletkenin yasak enerji aralığından büyük veya eşitse valans bandından bir elektron iletkenlik bandına geçer. İletkenlik bandındaki fazla elektron ve valans bandındaki fazlalık boşluk müşterek kristalin iletkenliğine katkıda bulunurlar. Buna "asal foto-iletkenlik" denir (şekil 5.1).



Şekil 5.1 (a) asal foto-iletkenlik

(b) katkılı foto-iletkenlik.

Foton enerjisi yasak bölge enerjisinden küçük olması halinde, (şek. 5.1 (b))'de görüldüğü gibi iletkenlik bandından ($E_i - E_T$) kadar derinlikte bir tuzak seviyesinde bulunan elektron gerekli foton enerjisini aldığı anda iletkenlik bandına geçiş yapabilir. İletkenlik bandında oluşan fazla elektronlar iletkenliğe katkıda bulunurlar. Buna "katkılı foto-iletkenlik" denir ve

$$\Delta \sigma = e \mu_n \Delta n$$

(5.4)

bağıntısı ile verilir. (5.4) ifadesi elektron boşlukları için de geçerlidir. Fazlalık elektron boşluklarının iletkenliğe katkıda bulunduğu katkılı foto-iletkenlik eşitliği ise

$$\Delta\sigma = e_p \mu_p \rho \quad (5.5)$$

şeklinde verilir. (Arıkan, Machado 1985)

5.3 FAZLALIK TAŞIYICILARIN GENERASYONU VE REKOMBİNASYONU

Birim zamanda birim hacimde çoğalmış olan elektron sayısına üreme (generasyon) oranı denir. Boşluklar içinde benzer tarif verilir. Birim hacimde üretilmiş olan elektron kuantum verimi ($\eta=1$) bir ise birim hacimde absorbe edilmiş foton sayısına eşittir:

$$g = dn/dt = -\eta d\phi/dt \quad (5.6)$$

ϕ : foton yoğunluğu

η : kuantum verimi (efficiency)

Kristal üzerine düşürülen ışık, absorbe edilen ortamda eksponiyel olarak azalır.

$$I(x) : I(o) \exp(-\alpha x) \quad (5.7)$$

$I(o)$: gelen ışık huzmesinin şiddeti

α : absorpsiyon katsayısı

x : ışığın numune içinde ilerlediği mesafe

$I(x)$: foton sayısı (foton/cm s)

$$I = \phi V \quad (5.8)$$

V : ışık hızı

Kristal üzerine dik olarak gelen ışığın kristal içinde ilerledikleri doğrultuda, birim mesafede foton akışının azalma oranına absorpsiyon katsayısı denir. Ortamın kırılma indisi n_r ise absorpsiyon oranı absorpsiyon katsayısı ve foton akısı cinsinden,

$$d\Phi/dt = -(\eta_r/V)dI/dt = dI/dx = -\alpha I \quad (5-9)$$

bağıntısı ile verilebilirler. (5.9), (5.6)'da yerine konursa;

$$g = \eta \alpha I \quad (5.10)$$

şeklinde basitleştirilebilir.

α absorpsiyon katsayısını foto-iyonizasyon tesir kesiti şeklinde ifade etmek daha kullanışlıdır.

$$\alpha = \sigma^* n_i \quad (5.11)$$

σ^* : absorpsiyon tesir kesiti

n_i : katkı merkezlerindeki elektron yoğunluğu

Eşitlik (5.10)'da yerine konursa

$$g = \eta \sigma^* n_i I = \sigma_0 n_i I \quad (5.12)$$

σ_0 : foto-iyonizasyon tesir kesiti

Yarı-iletkenlerin foto-iletkenliğinde $\eta=1$ alınabilir.

Elektron emisyon oranı e_0 , geçiş başına üreme oranı olarak tarif edilir.

$$e_o = g / (n_i N_i) = \sigma_o I / N_i \quad (5.13)$$

N_i : iletkenlik bandındaki durum yoğunluğu.

Bir yarı-iletken üzerine ışık düşürüldüğünü ve $t=0$ anında uyarılmağa başlandığını farz edelim. Uyarma sonucu sadece elektron üretilirse fazlalık elektron (5.10) ifadesine göre zamanla lineer olarak artacak ve herhangi bir t anında

$$\Delta n = gt$$

değerini alır.

Fazlalık taşıyıcı yoğunluğu uymadan bir zaman sonra doyarak sabit bir değere ulaşır. Fazlalık taşıyıcıların doyuma ulaştığı bu sabit değere "denge durumu (teady state) foto-iletkenliği" adı verilir. Foto-iletkenliğin denge durumuna geldiği zaman generasyon ve rekombinasyon olayları birbirine eşittir. Birim hacim başına yakalanma ise alttaki bağıntı ile verilir.

$$C = C_n n p_i \quad (5.15)$$

C_n : yakalanma oranı

n : serbest elektron yoğunluğu

P_i : katkı merkezlerindeki boşluklarının yoğunluğu

Yakalanma katsayısı, C_c yakalanma tesir kesitin de ifade etmek daha kullanışlıdır. Bu

$$C_n = \sigma_c V_{Th} \quad (5.16)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada serbest elektronun termal hızı

$$V_{Th} = [(3k_B T)/(m_e^*)]^{1/2} \quad (5.17)$$

ifadesi ile verilir.

5.4 FOTO-İLETKENLİK KİNETİĞİ

Generasyon ve rekombinasyonun yer aldığı yapıda foto-iletkenlik mekanizması hakkında bilgi edinebilmek için şekil 5.2 deki basit modeli göz önüne alalım. İletkenlik bandından E_T kadar aşağıda yer alan ve yoğunluğu N_T olan bir tuzak seviyesinde değişim oranı aşağıdaki denkleme verilir.

$$dn/dt = e_n n_T N_i - C_n n P_T \quad (5.18)$$

N_i : iletkenlik bandındaki seviye yoğunluğu

n_T : E_T seviyesindeki elektron yoğunluğu

C_n : yakalanma oranı

n : iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu

P_T : E_T seviyedeki elektron boşluğu

e_n : toplam generasyon oranı

Tuzak korunumu

$$N_T = n_T P_T \quad (5.19)$$

ifadesi ile verilir.

e_n : toplam generasyon oranınının açık ifadesi alttaki gibidir.

$$e_n = e_n^o + e_n^{th} \quad (5.20)$$

e_n^o : optik

e_n^{th} : termal generasyon oranı

Generasyon oranı g ile e_n^o arasında

$$g_n = e_n^o n_T N_i \quad (5.21)$$

bağıntısı vardır. Yakalanma oranı ise (5.16) eşitliği ile verilmiştir.

Partikül korunumuna göre sistemdeki toplam elektron sayısı N iletkenlik bandındaki elektronlarla tuzaklardaki elektronlarını toplamıdır.

$$N = n + N_T \quad (5.22)$$

(5.22) ifadesine elektron korunumu denir. (5.19) ve (5.22)'deki n_T ve P_T değerleri (5.18) eşitliğinde yerine konursa :

$$n^2 + n [N_T - N + e_n N_i / C_n] - (e_n / C_n) N N_i = 0 \quad (5.23)$$

bağıntısı elde edilir.

$$n = (1/2) [+I(B^2 D)^2 - B] \quad (5.24)$$

$$B = N_T - N \quad (e_n / c_n) N_i \quad D = 4 (e_n / C_n) N N_i$$

(5.23) ifadesi benzer olarak optik uyarmanın olmadığı termo dinamik denge durumu için,

$$n_o^2 + [N_T - N + e_n^{th} N_i / C_n] n_o - e_n^{th} N N_i / C_n = 0 \quad (5.25)$$

Sistemin fotonlarla hafifçe uyarıldığını farz edelim.

$\Delta e_n^{th} = \Delta e_n^o$ emisyon oranında küçük bir artış sebebi serbest taşıyıcı-

ların konsantrasyonunda $\Delta n = n - n_0$ kadar bir yükseliş gösterir.

Optik uyarma sonucu oluşan fazlalık taşıyıcıların konsantrasyonunu veren kuadritik denklem

$$\Delta n^2 + [N_T - N + 2n_0 + (e_n / C_n) N_i] \Delta n - (e_n^0 / C_n) (N - n_0) N_i = 0 \quad (5.26)$$

Tuzak seviyeleri yaklaşık olarak dolu ve termodinamik dengeden uzaklaşma fazla değilse $n_T \approx N_T$ yaklaşımı yapılabilir. Bu durumda $(e_n / C_n) N_i \ll n_0$ olacağından (5.26) denklemi alttaki şekli alır.

$$\Delta n^2 + [N_T - N + 2n_0] \Delta n - (e_n^0 / C_n) N N_i = 0 \quad (5.27)$$

Şayet $\Delta n \ll [N_T - N + 2n_0]$ ise düşük ışık şiddetinde olacağından Δn^2 ihmal edilebilir.

$$\Delta n \approx (N N_i / [C_n (N_T - N + 2n_0)]) e_n^0 \quad (5.28)$$

Fazlalık taşıyıcılar direk olarak ışık şiddeti ile orantılıdır.

$$\Delta n \propto I \quad (5.29)$$

Buna "monomoleküler rejim" denir.

Yüksek ışık şiddetinde $[\Delta n \gg N_T - N + 2n_0]$ olacağından (5.26) denkleminin ikinci terimi ihmal edilir ve aşağıdaki ifade bulunur.

$$\Delta n \approx (N N_i / C_n)^{1/2} (e_n^0)^{1/2} ; \Delta n \propto I^{1/2} \quad (5.30)$$

Fazlalık taşıyıcıların ışık şiddetin kare kökü ile orantılı olduğu bu duruma "bimoleküler rejim" denir. Eşitlik (5.28)'de

$1/[C_n(N_T - N + 2n_o)]$ fazlalık taşıyıcıların "denge durumu yaşama zamanı" dır ve ile gösterilir. (5.28) denklemini bu değişiklikle ifade edilirse;

$$\Delta n \approx NN_i e_n \tau \quad (5.31)$$

şeklinde basitleştirilir.

Yaşama zamanı foto-iletkenlik olaylarda önemli bir parametredir. Fakat genel şekilde ifade edilmesi güçtür. Çünkü yarı-iletkenlerde bir çok seviyeler foto-iletkenlik olaylarına katılır. Seviyelerin yük durumları ve yarı-iletkenlerin band yapısı bu olaylarda önemli rol oynar. Sonuç olarak foto-iletkenliğin genel bağıntısı alttaki ifade ile belirlenir.

$$\Delta n = g \langle \bar{\tau} \rangle \quad (5.32)$$

Δn : foto-iletkenlik sonucu oluşan elektron sayısı

g : generasyon (üreme) oranı

$\langle \bar{\tau} \rangle$: ortalama yaşama zamanı

(Arıkan 1985, Machado 1985)

5.5 FOTO DUYARLILIK KAZANCI

Foto-iletkenlik kazancı : absorbe edilmiş foton başına elektrodlar arasından geçen yük taşıyıcıların sayısıdır.

$$K = \Delta i / e\Phi \quad (5.33)$$

K : foto-iletkenin kazancı

$\Delta i / e$: saniyede geçen elektron sayısı

Φ : oluşan elektron-elektron boşluğu çiftinin saniye başına absorbe edilmiş fotonların toplam sayısı.

Φ : $\eta\Phi$ yazılırsa (5.33) eşitliği

$$K = \Delta i / e\eta\Phi \quad (5.34)$$

şeklini alır.

η : kuvantum verimi (absorplanan foton başına elektron-elektron boşluk çiftinin sayısına "kuvantum verimi" denir.)

Φ : saniye başına absorbe edilmiş fotonların toplam sayısı.

η : bir saniyede absorbe edilmiş fotonların toplam sayısına yani dedektörün hacmine eşittir.

Kazanç mikroskopik açıdan ifade edilirse elektrodlar arasında taşıyıcıların yaşama ömrünün geçiş zamanına oranıdır.

$$K = \tau_n / t_n \quad (5.35)$$

t_n : geçiş zamanı

$$t_n = \ell / v = \ell / (\mu V / \ell) = \ell^2 / \mu V \quad (5.36)$$

ℓ : elektrodlar arasındaki uzaklık

v : elektronların hızı

V : uygulanan voltaj

$$K = \tau_n \mu V / \ell \quad (5.37)$$

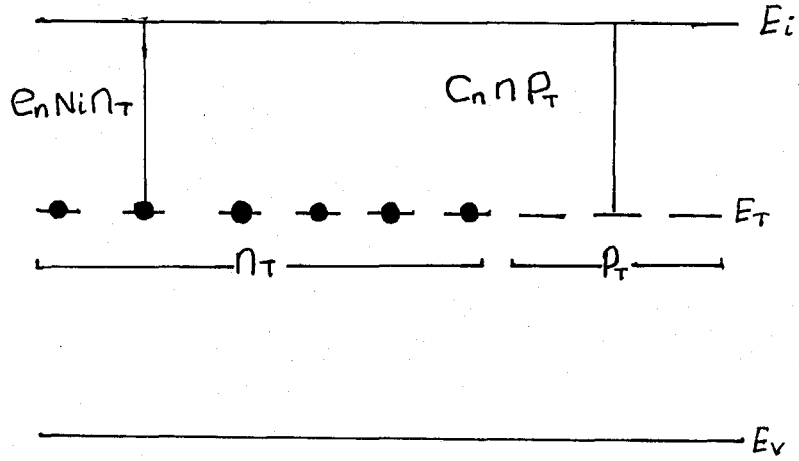
Boşlukların da iletkenliğe katkısı hesaba katılırsa

kazanç

$$K = V/\ell^2 (\tau_n \mu_n + \tau_p \mu_p) \quad (5.38)$$

bağıntısı ile ifade edilir.

Sonuç olarak kazanç $(\tau\mu)$ malzeme sabitini, (ℓ^2) fiziksel yapının ve (V) çalıştırma voltajının özelliklerinin bir fonksiyonudur. (Akpınar 1979, Bube 1974).



Şekil 5.2. Foto-iletkenlik mekanizması.

BÖLÜM VI DENEY TEKNİKLERİ

6.1 GİRİŞ

6.2 NUMUNE HAZIRLANMASI

6.1.1 GİRİŞ

GaAs ; Si' ma göre daha pahalı 70% daha kırılğan ve kontak yapmak güç olduğu için önce çeşitli Si numuneleri üzerinde ön çalışmalar yapılmıştır.

Bir Si parçası Cambridge Instrument MS 6226 parlatma cihazında Al O 'le aşındırılarak yüzeyi pürüzsüz ve numune kalınlığı 0.5-0.7 mm oluncaya kadar inceltildi. 1.2 ve 2mm genişlik ve 8-12mm uzunlukta South Bay Technology Model 650 kesme makinası kullanılarak kesildi. Kesilen numuneler kimyasal işleme tutulduktan (Arıkan 1973) (etchant) sonra Edward Model 6ED UHV. ECC 304 vakum buharlaştırma cihazı kullanılarak 0.2-0.3 mikron kalınlığında Al kaplandı. Numune kontaklarına gümüş yapıştırıcı (Silver luck) ile 15-20 μ kalınlığında tellerle uç çıkarılarak, numune ölçü yapılı hale getirildi.

6.2.1. GaAs : O (OKSİJEN KATKILANMIŞ GaAs)

Parça Monsanto chemical Co.'dan temin edilmiş ve (W.V

Machado) tarafından numune olarak hazırlanmıştır. Kristal <100> yönünde büyütülmüş ve çekilmiştir. Oda sıcaklığında numunenin resistivitesi $(2-2.5)\Omega \text{ cm}$, mobilitesi $(5400-6100)\text{cm} / \text{V}.\text{sec}$, katkı yoğunluğu 10 cm^{-3} ve n-tipidir. (Machodo 1985 özel görüşme)

GaAs: O'nin etchantı, HF: arıtılmış su: $\text{HNO}_3 + \text{Br}$; 1: 2: 2, oranında hazırlanan karışımda 2 dakika tutulur.

6.2.2. YARI-YALITKAN GaAs

Boyutları $0.85'' \times 1.30''$ ($21.5 \times 32.0\text{mm}$) olan parçadan numuneler kesilmiştir. Şekil 6.1. a ve b'deki kesilen numuneler aşağıdaki işleme tabii tutulmuştur.

1. Üçlü banyo

a. Triklorüretilen

b. Aseton

c. İzopropil alkol

2. Kuru (N_2) üflenir.

3. 200°C de 20 dakika fırınlanır.

4. Kimyasal işlem için; $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} : 1:8:1$ hazırlanır.

$\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4$ karışım oksitlenmeye (H_2O_2) karşı 20°C 'ye kadar soğutulur.

Kimyasal işleme tabii tutma yaklaşık olarak $6-7 \mu\text{m}/$ dakikadır.

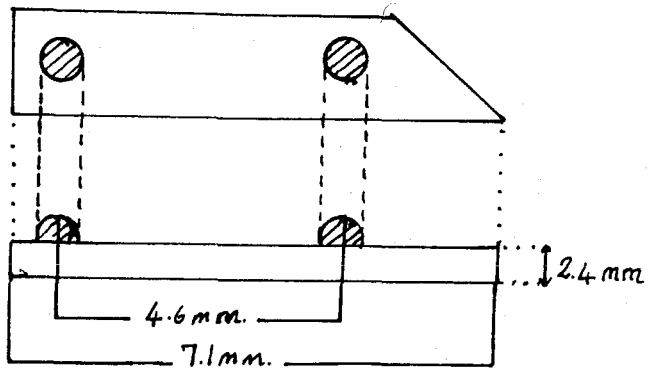
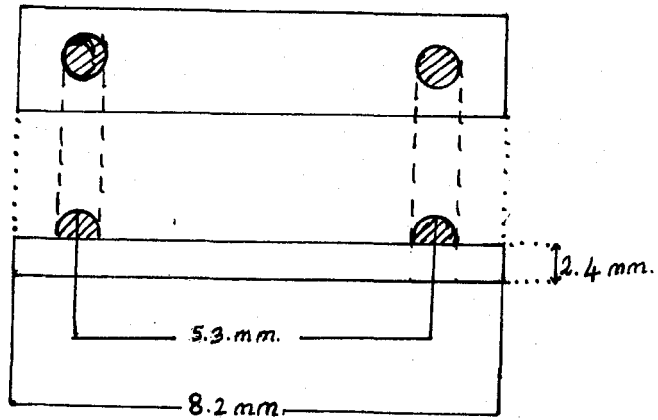
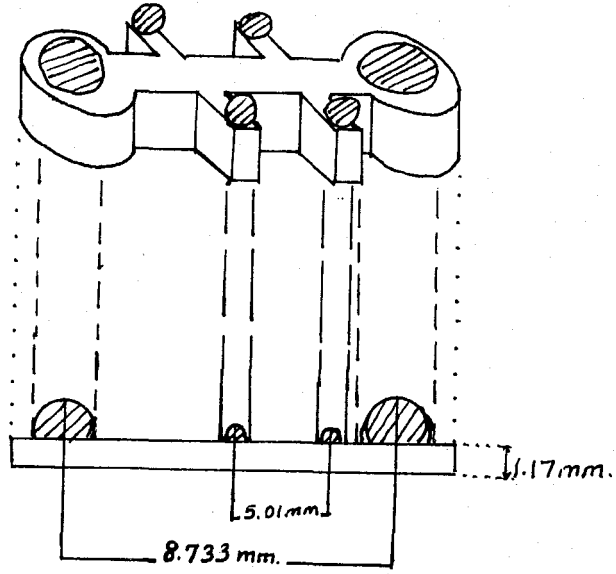
(Arıkan 1986 özel görüşme.)

6.2.3 NUMUNENEY KONTAK YAPILMASI

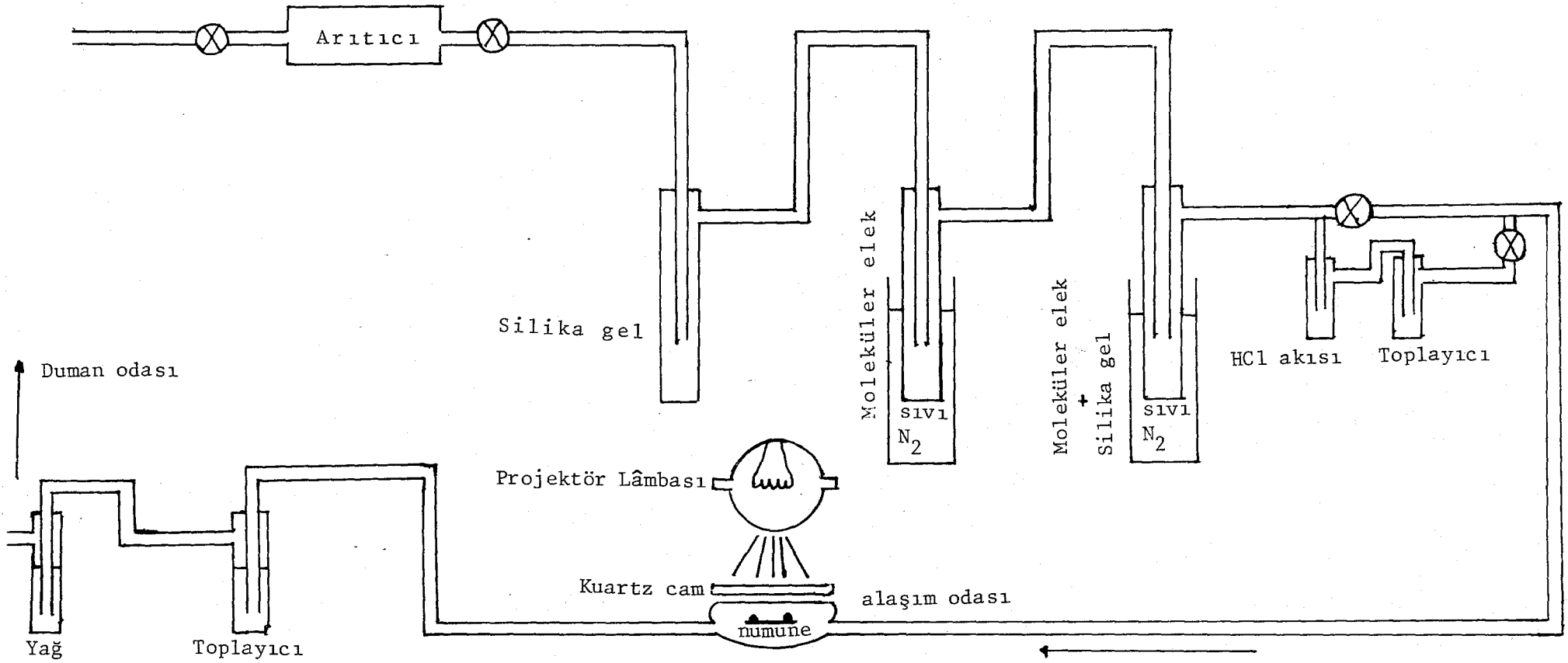
GaAs üzerine yapılan omik kontaklar genellikle asal bir gaz ortamında yapılır. Şekil 6.2'de kontak yapımında kullanılan sistem görülmektedir. Düzenek gaz ve soğuk buhar engellerinden ibarettir. 93% N₂ ve 7% H₂ gaz karışımı, alaşım odasını temizlemek için kullanılır. Bu karışım sırasıyla deoksidizer, silika gel, moleküler elek ve moleküler elek silika gel tüplerinden geçer. Silika gel havadaki su buharını; moleküler elekler oksijeni ve diğer maddelerin geçmesini engeller. İkinci ve üçüncü tüpdeki sıvı nitrojen karışımı, odaya girmeden kurutmayı sağlar. Alaşım odasından gelen gaz karışımı, bir yağ odasından geçirilerek duman odasına girer. Üçüncü tüp ve karışım odası arasındaki kolun paralelinde bulunan tüpteki HCl asidi karışım metali için bir eritken gibi davranır. Kontaklar kapalı ve numune çevresindeki atmosfer kontrol edilir. Numune uçlarına bırakılan indiyum 12V, 100W'lık projektör lambası ile ısıtılarak, kontakların homojen şekilde difuze edilmesi sağlanır. İndiyumun numune içine nasıl difuzelendiği şekil 6.2'de görülmektedir. 15 µ kalınlığında tellerin uçları sıcak hayyaile İndiyum kaplanarak kontaklar ısıtılıp içine batırılmıştır. Böylece numune kontaklarından uç alınmış ve ölçüye hazır duruma getirilmiştir. (Kothari 1977)

6.2.4 NUMUNENİN (SOĞUTUCUYA) YERLEŞTİRİLMESİ

Numune ~ 12mm kare şeklinde seramik numune tutucu üzerine GE 7031 varnish sürülerek numunenin tutturulması sağlandıktan sonra soğutucuya seramik yine varnishle tuturuldu. Varnish'in don-



Şekil 6.1. Numune şekilleri.



Şekil 6.2. Kontak yapımında kullanılan sistemin şematik görünüşü.

ma süresi aşağı yukarı 7-8 saattir. İkinci numune (soğutucuyu) yerleştirirken varnish yerine yüksek vakum grasi kullanıldığında sıcaklığın yaklaşık olarak 50K daha aşağıya düştüğü görüldü.

6.2.5 NUMUNE TESTİ

Sogutucuya yerleştirilen numune, ölçülere başlamadan önce kontakların ohmik olup olmadığı kontrol edildi. Oda sıcaklığında ve düşük sıcaklıkta $I=f(V)$ grafiğinin lineer olması kontakların ohmik olduğunu gösterdi (Dalay 1986).

6.3 PİROELEKTRİK DEDEKTÖRLER

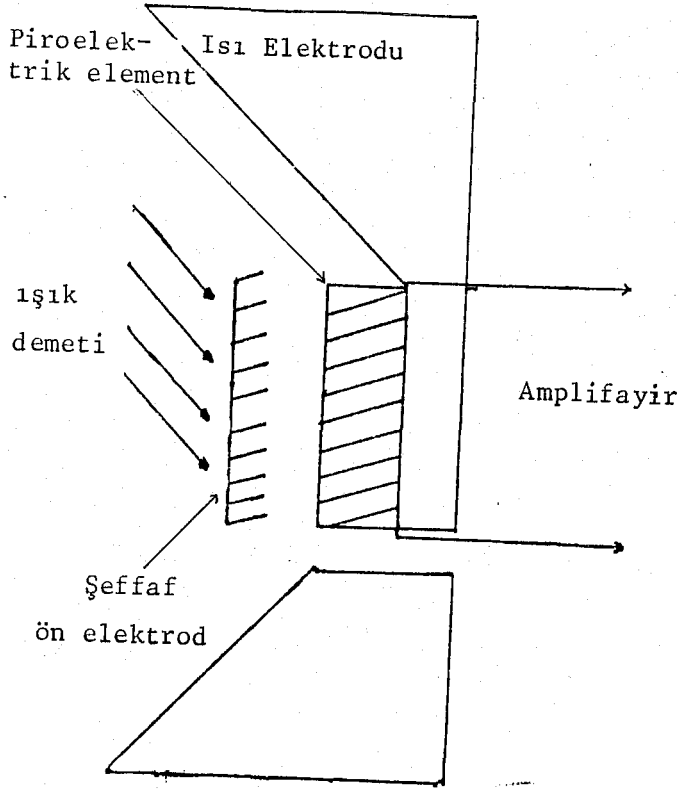
Bir kristalin sıcaklık değişimi sonucu elektriklenmesine piroelektrik olayı denir.

Öndeki elektrod radyasyonu absorbe ederek ısıya dönüştürdüğünden kristalin sıcaklığı artar. Sıcaklık değişimi kristalin hacmini değiştirir ve dolayısı ile kristalin elektrik polarizasyonunu değiştirir.

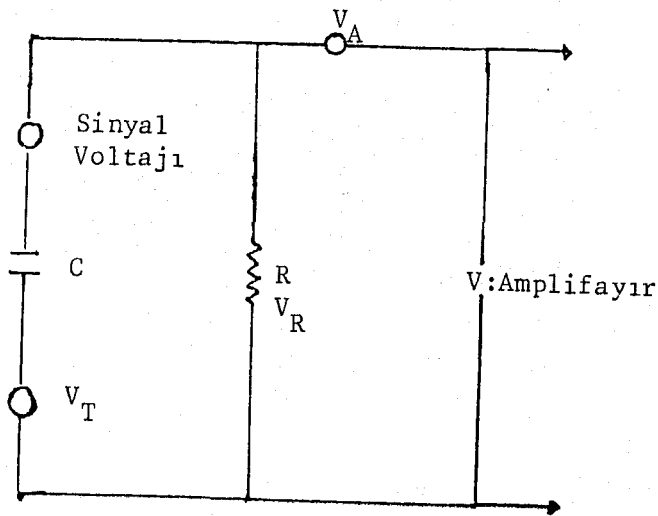
Piroelektrik dedektörün elemanları piro-elektrik elementleri (triglycine sülfate, barium titanate ve lithium niobate), ön-amplifayır ve elektrodlardır.

Piro dedektörler, hava akımına, akustik titreşimlere ve ses dalgalarına karşı çok duyarlı olduğundan izole edilmiştir. Dedektörde sıcaklık (V_T), amplifiyar (V_A), ve direnç (V_R) gürültü-

sü vardır (Kimmit 1970).



(a)



(b)

Şekil 6.3(a) Piroelektrik dedektörün şematik diyagramı

(b) Piroelektrik değerin eşdeğer devresi.

6.4 ALETLERİN TANITIMI

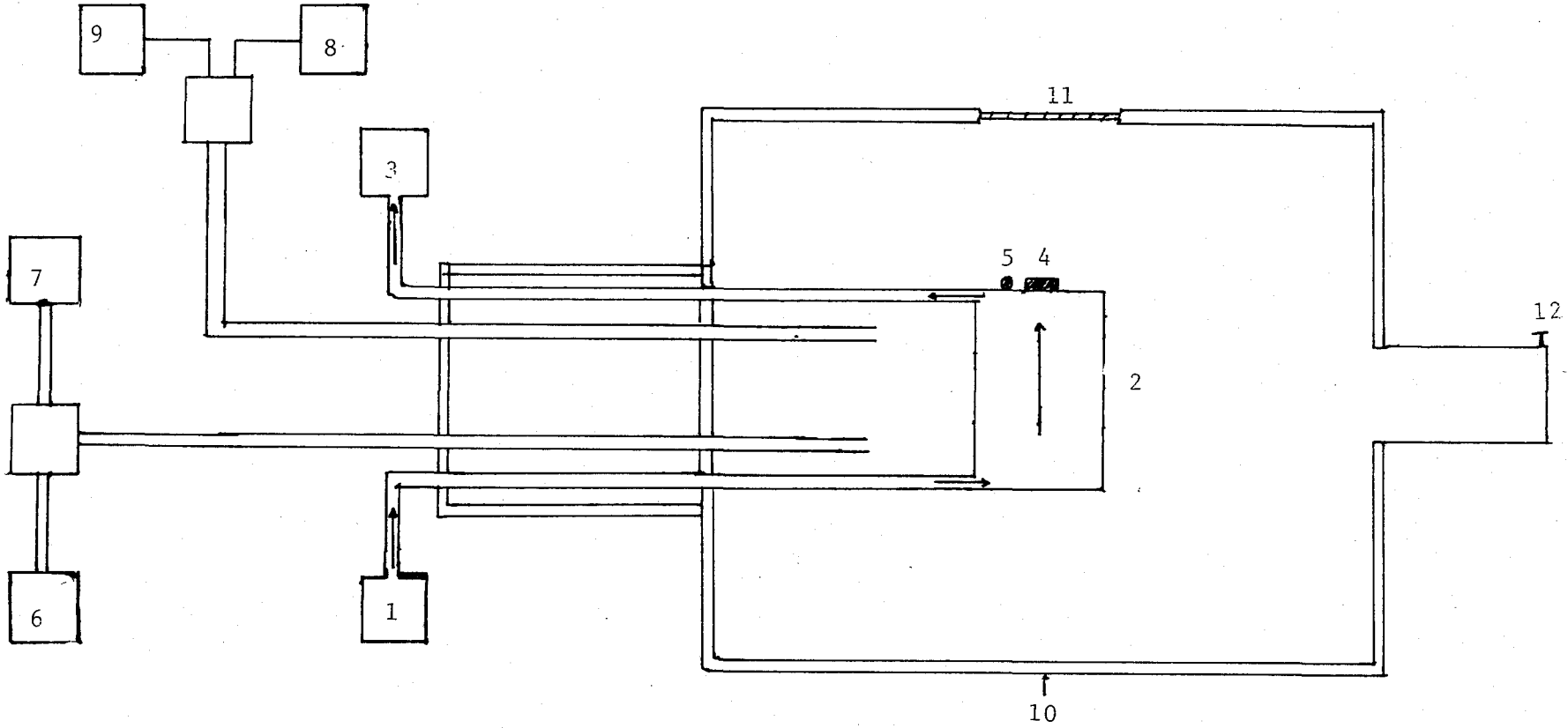
6.4.1 SOĞUTUCU (CRYOSTAT) SİSTEMİ

Sıcaklık kontrolünü sağlamak için kullanılan şekil 6.4 deki bir düzenektir.

Düşük sıcaklıklarda foto-iletkenlik ölçümü için kullanılmış olan cryostat, Doç. Dr. Çetin Arıkan tarafından dizayn edilmiş olup, TÜBİTAK atelyesinde yapılmıştır.

Bakır blok üzerine seramik ve onun üstüne numune, numunenin hemen yanına termokapilin ucu GE varnish ile tutturulmuşlardır. Bakır blok nitrojen dolaşımını sağlayacak olan iki kılcal boru ucunda, vakum ortama yerleştirilmiştir. Böylece blok üzerindeki numune dış ortamdan arındırılmış olur.

Kabta bulunan 77K'deki sıvı nitrojen, bakır blok içerisinde sörkile edilerek emme turombu ile emilir. Sıvı nitrojen bu esnada bakır bloğu soğutacağından numuneyi de soğutmuş olur. Isıtılması gerektiği durumlar göz önüne alınarak blok çevresine ısıtıcı sarılmıştır.



Şekil 6.4. Soğutucu (Crystat) dizaynı, 1 sıvı nitrojen, 2 bakır blok 3.vakum tankı, 4 Numune 5 Termokapıl ucu, 6 referans sıcaklığı, 7 Termokapıl, 8 Numune uçları, 9 Isıtıcı uçları, 10 Koruyucu, 11 Pencere, 12 Atmosfer valfı.

6.4.2 MONOKROMATÖR

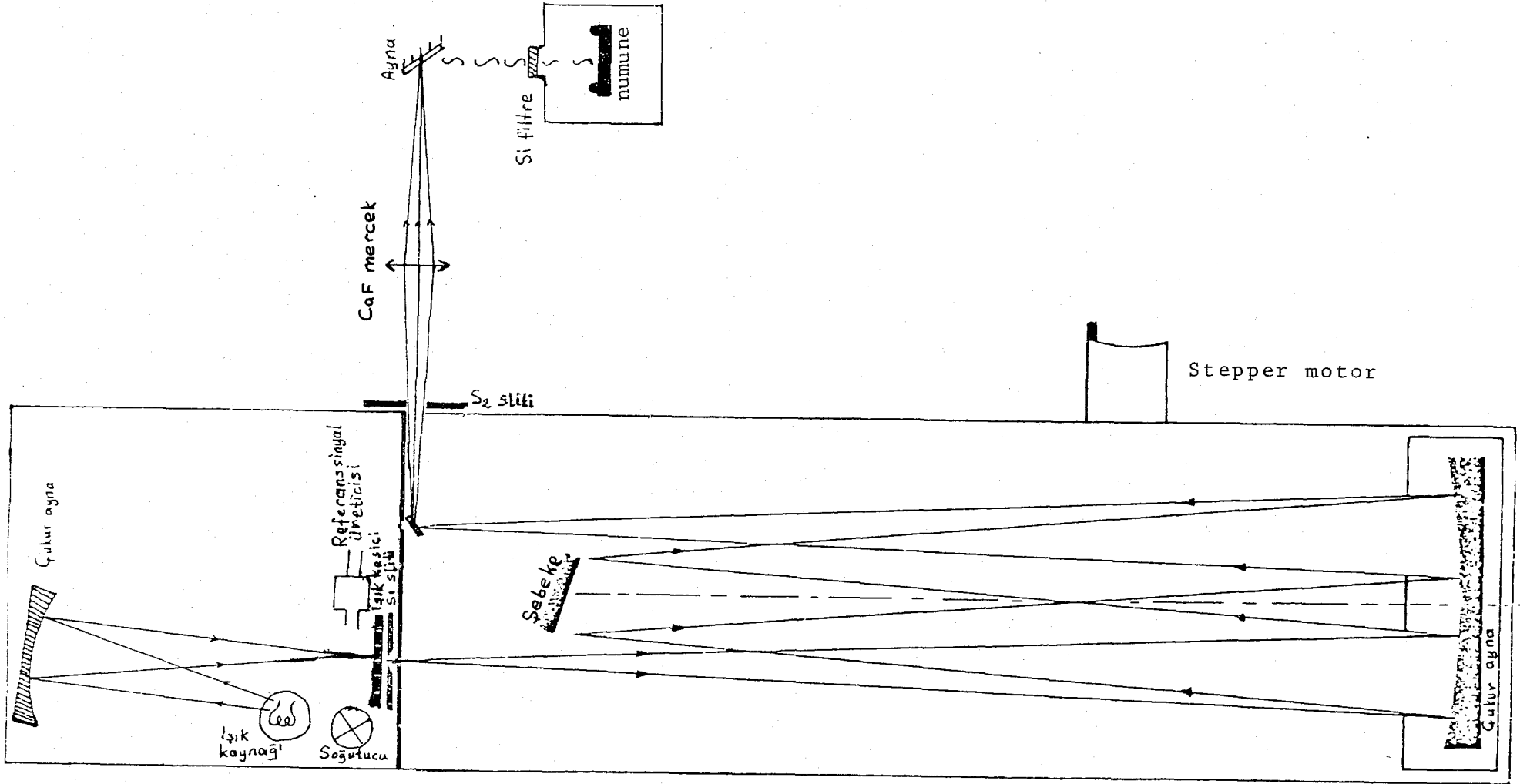
Tek dalga boylu ışık elde etmek için Jarrel-Ash monospec 50(model 82-049) kullanılmıştır. Monokromatör basic software göre dizayın edilmiş ve bilgisayar kumandalıdır. Işığın dalga boyu bilgisayardan ayarlanır. Bilgisayardan verilen dalga boyuna göre stepper motor küçük pəslarla hareket ettirilir. Bu esnada disk çok küçük açılarla döner. Bilgisayar olarak 82-046 model. Apple II kullanıldı.

Stepper motorun hızı, bilgisayardan verilen dalga boyuna göre durdurulabilir, adım adım hareket ettirilebilir veya hızlı bir şekilde süpürme yaptırılabilir.

Quartz zarflı tungsten flemanlı halojen lambadan çıkan ışık aynada yansıyarak kesikli halde S_1 silitinden aynaya ve oradan difraksiyon şebekesine (Grating) gelir. Difraksiyon şebekesinin açısı değiştirilerek ışık S_2 silitininden çıkacak şekilde ayarlanır. S_2 silitin'den çıkan ışık bir CaF₂ mercekler odaklanarak 45°'lik ayna ile soğutucu penceresinden numune üzerine düşürülür. Giriş ve çıkış slitleri 0-200 μ 'na ayarlanabilir ve ölçülerde slitler 1 mm'de tutulmuştur.

Deneyde 12V, 50V'lık halojenür lamba kullanılmıştır. Lambanın ısınmasını önlemek için yakınına soğutucu konmuştur.

Kesikli ışık elde etmek için Lamba ile sisiliti arasına belirli frekansla dönen bir ışık kesici konarak kesikli ışık elde edilmiştir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Monokromatörün optik dizaynı ve deneyin optik kısmı.

6.4.3 FAZ DUYARLI DEDEKTÖR (F.D.D)

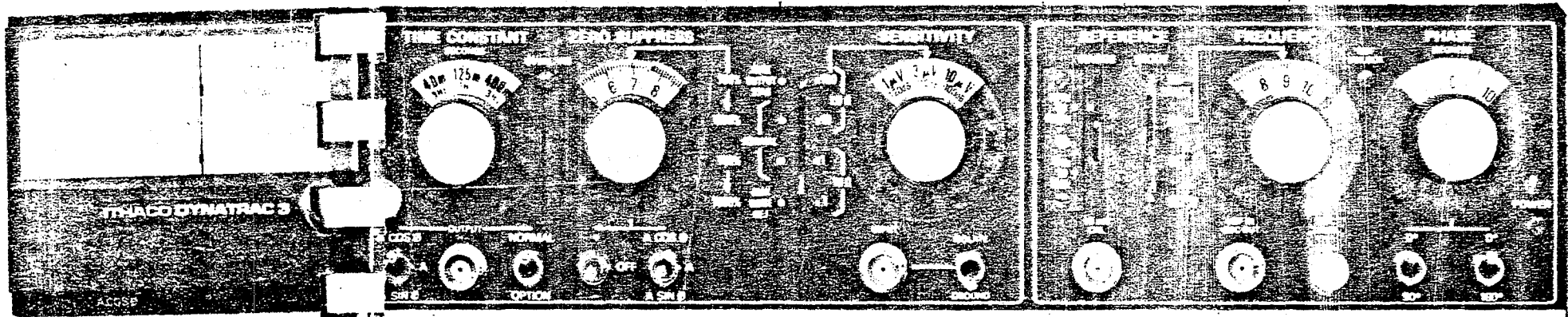
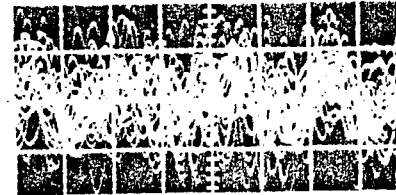
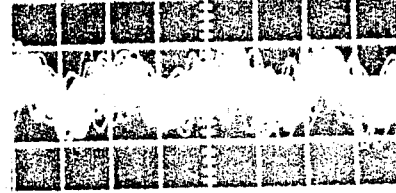
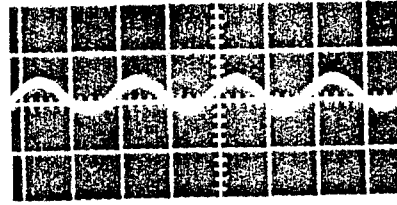
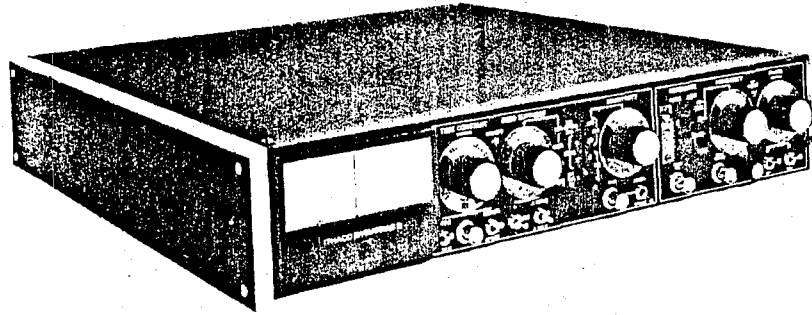
Faz duyarlı dedektör olarak Ithaco model 393 Lock-in analyzer kullanılmıştır.

Alet; amplitüt, frekans, pikovolt-volt arasında sinyal seviyelerinde dar band gürültüsünü, 0.1 H - 200 KHz. arası frekans, 0.001Hz-100Hz arası band genişliğini interferense seviyeleri altında 100 dB sinyalleri ölçebilir.

Prensip olarak ışık kaynağı kesicisinin referans sinyalini, numunenin çıkış sinyali ile mukayese eder. Sistem referans ve numune arasındaki fazı da mukayese eder.

a.c. sinyalini ölçmek istediğimizden alet çok küçük sinyalleri ölçebilme özelliğine sahiptir.

a.c. foto-iletkenlik sinyalinin genişliği ile orantılı olan lock-in amp faktörün d.c çıkışı Hewlett packard model 7044 X-T recorder'a kaydedildi.



Şekil 6.6. **DYNATRAC® 3 LOCK-IN ANALYZER** (Baz duyarlı dedektör)

Lock-in Analyzer

BÖLÜM VII DENEYSEL ÖLÇÜMLER

7.1 AKTİVASYON ENERJİSİNİN ÖLÇÜMÜ

Aktivasyon enerjisine ölçmek için iki çeşit numune üzerinde deneme yaptık.

1- Resistivitesi düşük GaAs :0, numunenin karanlıkta oda sıcaklığın direnci 140Ω .

2- Resistivitesi yüksek yarı-yalıtkan GaAs, karanlıkta oda sıcaklığında direnci $2.10^7 \Omega$.

GaAs :0 numunesini kryostat'a yerleştirip, kryostat'ın içi, High vacuum HSL 2A ile 2.5×10^{-3} mbar basınçta vakuma alındı. Numune sıvı nitrojenle 120K'ne kadar soğutuldu. Bu sıcaklıkta GaAs : 0 numunesinin direnci $1.2 \times 10^8 \Omega$; 83K'de ise $10^{11} \Omega$ olarak ölçülmüştür. Nitrojen sıcaklığında, GaAs :0 numunesi iletkenlikten yalıtkanlığa yaklaşmaktadır.

Şekil 7.1'deki devre yardımı ile numuneden geçen voltaj Keithley 616 DEM, akım Keithley 480 picoamper metre ve numunedeki sıcaklık değişimide Keithley 173A multimetre ile mv olarak okunmuştur. Mv'lar eşelden Kelvin'e çevrilmiştir. (Kirev 1978)

Düşük sıcaklıktan oda sıcaklığına doğru ısıtılarak sıcaklık değişmesi ile birlikte akım ve voltaj değişimine bağlı ola-

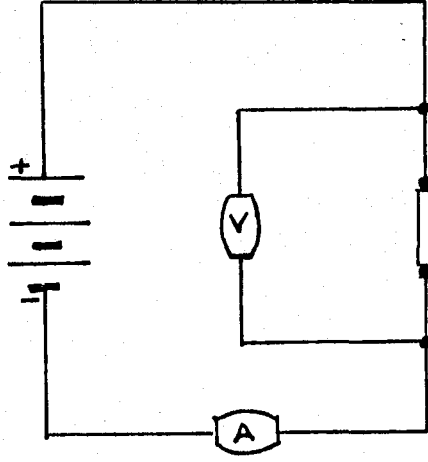
rak numune direnci de deęiőeceęi açıktır. $\log R=f(1000/T)$ grafiği çizilerek doğru denkleminin sabitleri Amstrat CP 464 ile hesaplanmıőtır. Şekil 7.2'deki doğrunun eğiminden aktivasyon enerjisi 0.22eV. bulunmuştur.

Aynı deney aynı Őartlarda yarı-yalıtkan GaAs numunesi ile yapıldığında dűőuk sıcaklıklarda nano-amper mertebesinin de dahi akım istikrarlı olarak lulememiődir. 83K'de numunenin direnci $4.8 \times 10^{11} \Omega$ bulunmuőtur.

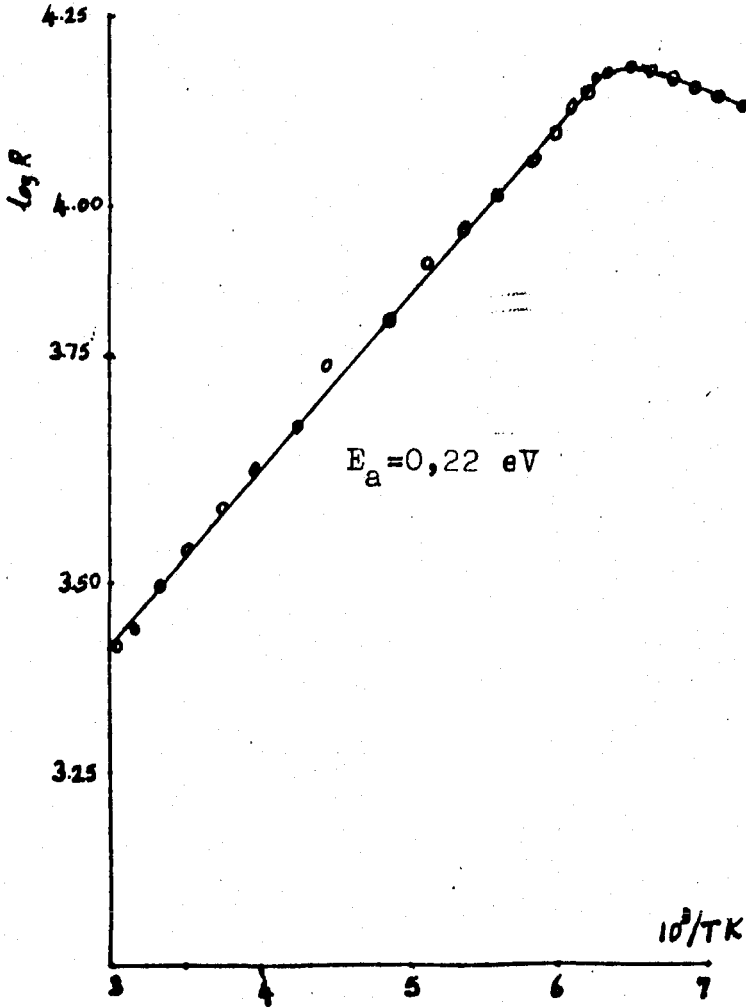
$$\rho = 1/\sigma = (1/R)(\ell/S) \quad (7.1)$$

bağıntısından oda ve dűőuk sıcaklıktaki ve değeri aőaęıdaki Őekilde bulunmuőtur.

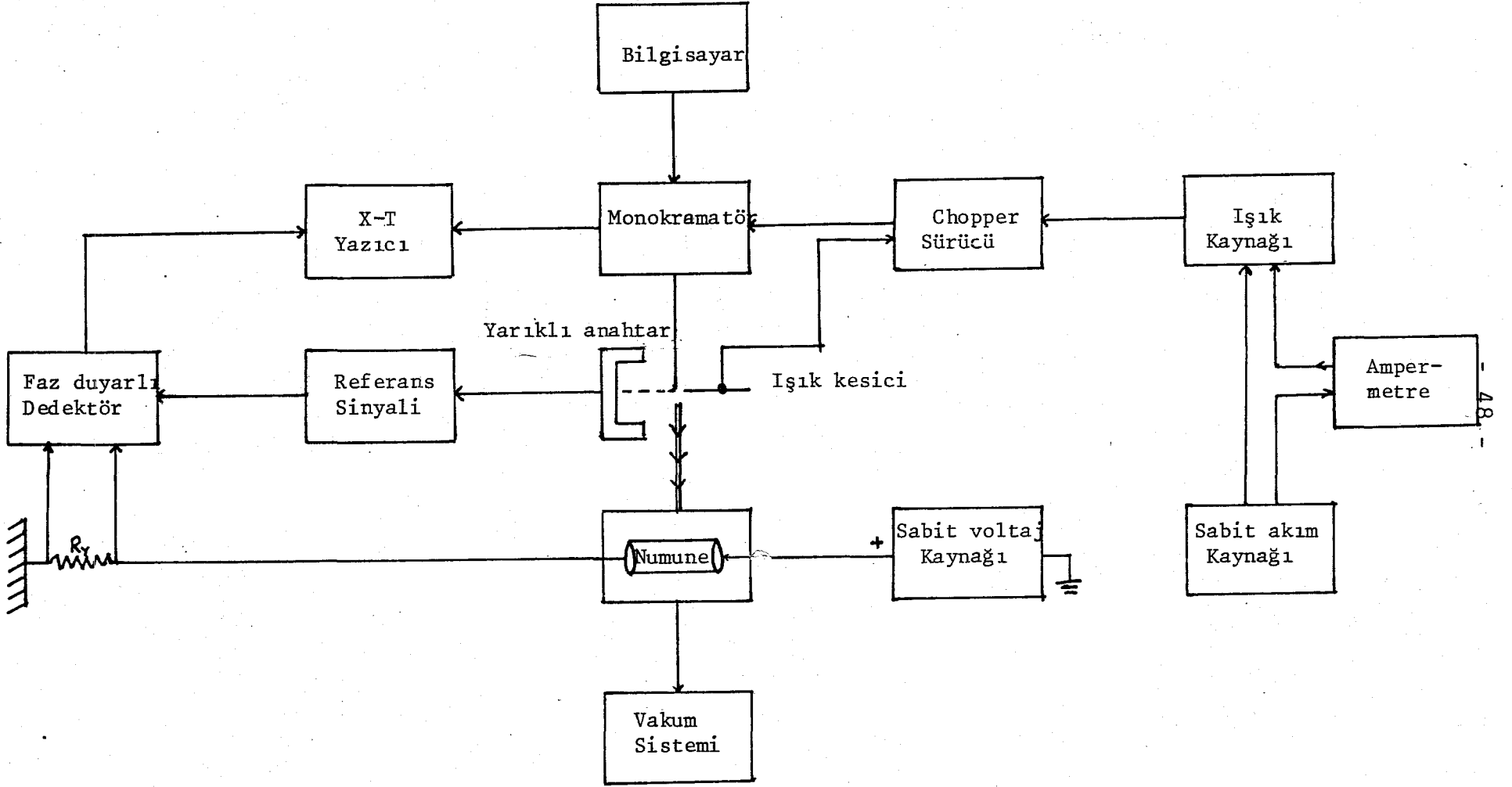
GaAs :0		300K	128K
R		140 Ω	10455 Ω
ρ		1.65 Ω cm	123.13 Ω cm
σ		0.60(Ω cm) ⁻¹	8.12x10 ³ (Ω cm) ⁻¹
yarı-yalıtkan GaAs			
R		2.10 ⁹ Ω	5x10 ¹¹ Ω
ρ		3.67x10 ⁷ Ω cm	9.2x10 ⁸ Ω cm
σ		2.12x10 ⁻⁸ (Ω cm) ⁻¹	1x10 ⁻⁹ (Ω cm) ⁻¹



Şekil 7.1 Numuneden geçen akımı ölçmek için gerekli devre



Şekil 7.2 $\text{Log } R = f(1/T)$ eğrisi. Doğrunun eğimi aktivasyon enerjisini vermektedir.



Şekil 7.3 Foto-iletkenlik ölçümü deney düzeneği blok diyagramı.

7.2 FOTO-İLETKENLİK ÖLÇÜMLERİ

7.2.1 GİRİŞ

Yarı-iletkenlerde foto-iletkenlik ölçümleri malzeme özelliklerine göre iki grupta toplanır.

7.2.2 HOMOGEN OLMAYAN MALZEMELER ÜZERİNDE ÖLÇÜMLER

P-n kavşakları ve Schottkey engelleri. Bunlar üzerinde yapılan ölçümler, genellikle uzay yüklü bölgelerin ışıkla uyarılarak incelenmesi esasına dayanır. Örnek : optik derin seviye spektroskopisi, derin seviye spektroskopisi, foto-kapasitans spektroskopisi.

7.2.3 HOMOGEN MALZEMELER ÜZERİNDE YAPILAN ÖLÇÜMLER

Homogen bir yarı-iletkende akım taşıyıcılarının konsantrasyonunda farklılık yaratmak mümkündür. Işıkla aydınlatılan yerde yaratılan akım taşıyıcıları konsantrasyonu, kristalin karanlık bölgelerine nazaran daha büyüktür. Akım taşıyıcıları yoğun bölgelerden az yoğun bölgelere difüzlenir. Böylece belirli şekilde hazırlanan ve omik kontaklara sahip malzemelere "homojen malzemeler" denir. Deneylerde kullandığımız numuneler homojendir.

GaAs :0 numunusenin aktivasyon enerjisini kolaylıkla ölçebilmemize rağmen, foto-iletkenlik ölçümleri için 120K'den daha düşük sıcaklıklara inilmesi gerekmektedir. Buna karşılık aktivasyon enerjisi ölçülmekte güçlük çekilen yarı-yalıtkan GaAs'le oda

sıcaklığında bile kolaylıkla foto-iletkenlik ölçülebilmektedir. Bu nedenle foto-iletkenlik ölçülerimizi yarı-yalıtkan GaAs ile yapmayı tercih ettik

7.3 IŞIĞIN UYURMA ŞİDDETİNE BAĞLI OLARAK FOTO-İLETKENLİK ÖLÇÜLERİ

7.3.1 SÜREKLİ UYARMA (D.C.)

7.3.2 KESİKLİ UYARMA (A.C.)

7.3.2.1 GİRİŞ

7.3.2.2 SABİT VOLTAJ REJİMİ

7.3.2.3 SABİT AKIM REJİMİ

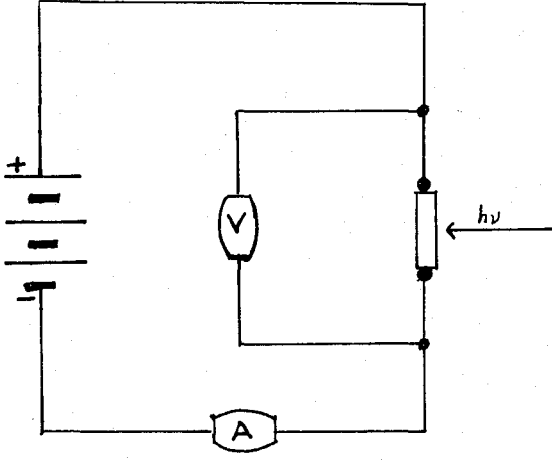
7.3.2.4 (A.C.) SIFIR AKIMI

7.3.3 DARBELİ UYARMA

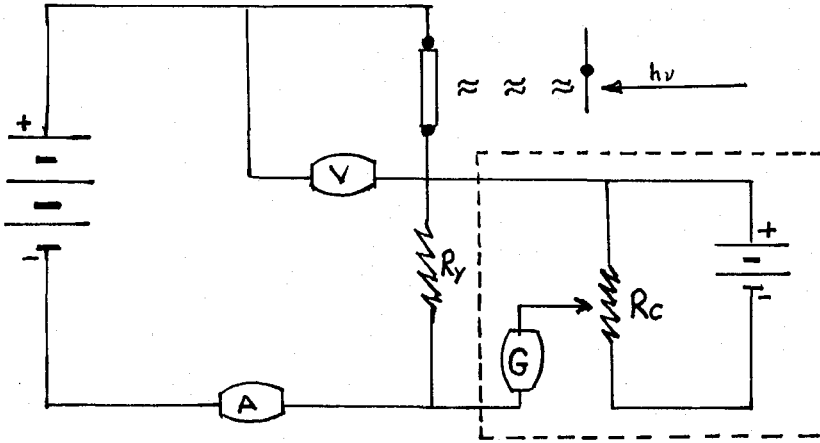
7.3.1 SÜREKLİ UYARMA

Sabit şiddet ve spektrol dağılımla kristal üzerine düşürülen ışık, denge durumuna gelinceye kadar beklenir. Denge sağlandığında foto-iletkenlik ölçülür. Yavaş tuzaklanma olaylarının, gelen radyasyonla dengelenmesine kadar beklenir. Bu olay bazen dakikalar hatta saatler alabilir. Bu ölçüm sistemine 'd.c foto-iletkenlik' ölçümü denir ve şekil 7.4'deki basit devre kullanılarak ölçüm yapılabilir.

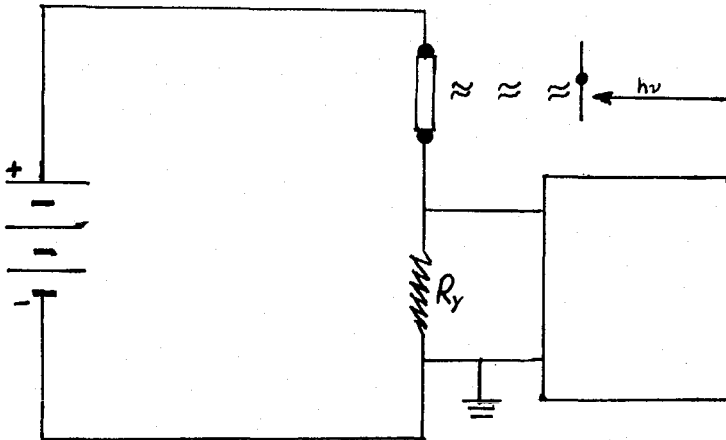
Numune üzerine gönderilen ışık I_K karanlık akımı I değerine yükseltirse foto-iletkenlik alttaki gibi ifade edilir.



Şekil 7.4. Foto-iletkenlik ölçümü için devre



Şekil 7.5. $\sigma_0 \gg \sigma$ olması durumunda foto-iletkenlik için kompanse devre.



Şekil 7.6. a.c. Foto-iletkenlik ölçümü için kesikli uyarma devresi

$$\Delta\sigma_{st} = (I - I_K) \ell / V.S \quad (7.2)$$

V : uygulanan voltaj

ℓ : numune uzunluğu

S : yüzeyin tesir kesiti

Eğer karanlıktaki iletkenlik σ_k ise; $\Delta\sigma_{st} \gg \sigma_k$ halinde bu yöntem iyi sonuç vermektedir. $\Delta\sigma_{st} \ll \sigma_k$ durumunda ise karanlık iletkenliğin, düşük resistiveli malzemeler için, şekil 7.4'deki gibi basit bir devre ile bastırılması gerekir.

7.3.2 KESİKLİ UYARMA

7.3.2.1 GİRİŞ

Bu halde ışık numune üzerine belirli bir frekansta, belirli süre ile gönderilir. Karanlık iletkenliğin yüksek olması önemli değildir. Küçük foto-iletkenlik ölçüleri bile kolaylıkla yapılabilirdiği gibi, foto-iletkenliğin frekansa bağımlılığından tuzaklama ve generasyon zaman sabitleri hakkında bilgi edinebilir. "a.c foto-iletkenlik ölçümü" olarak adlandırılması bu metod için gerekli ölçüm devresi şekil 7.5'de verilmiştir.

Küçük foto-iletkenlerin kolaylıkla ölçülmesi, tuzaklanma olaylarının dengelenmesinin uzun sürmemesi, karanlık iletkenliğin yüksek olmasının önemli olmayışı nedeniyle, foto-iletkenlik ölçülerimizi bu metodla yaptık.

Numune üzerine düşen kesikli ışık üç yolla incelenir.

7.3.2.2 SABİT VOLTAJ REJİMİ

7-3.2.3 SABİT AKIM REJİMİ

7.3.2.4 A.C. SIFIR AKIM

7.3.2.2 SABİT VOLTAJ REJİMİ

Numune üzerine uygulanan voltaj sabit ve numune direnciyle ters orantılı olarak uygulanır. Yük direnci numune direncinden ($R_Y \ll R_N$) çok küçüktür.

7.3.2.4 SABİT AKIM REJİMİ

Numuneye, numune direnciye orantılı olarak akım uygulanır. Yük direnci numune direncinden ($R_Y \gg R_N$) çok büyüktür.

7.3.2.4 A.C SIFIR AKIM

Sabit akım rejiminde karanlık akımın sıfır olmasına rağmen foto-akım kesikli ışığın frekansı ile değişir. d.c. ve a.c. bileşeninden başka pratikte sıfır olmıyan üçüncü bileşene a.c. foto-akım bileşeni denir. Sabit foto-akım ölçüm sırasında değişmez ise a.c. foto-akım d.c. sinyallerine cevap vermeyen sadece belirli frekanstaki a.c. sinyallerine hassas bir araç ile ölçülebilir. Bu tip hassas dedektörlere "faz duyarlı dedektör" denir.

Kesikli uyarda foto-iletkenlik ölçümü şekil 7.6 'deki devreye uygun olarak akım

$$I = V_0 / (R_Y + R_N) = V_Y / R_Y \quad (7.3)$$

$$V_Y = [R_Y / (R_Y + R_N)] V_O \quad (7.4)$$

V_O Kaynak voltajı

V_L Yük direnci üzerindeki voltaj

Sabit voltaj rejiminde $R_N \gg R_Y$ olduğundan R_Y ihmal edildiğinden alttaki bağıntı elde edilir.

$$V_Y \approx R_Y V_O / R_N \quad (7.5)$$

Düşük şiddetle kesikli ışık uyarmaları durumunda yük direncinin uçları arasındaki voltaj değişimi ise

$$\Delta V_Y = -(R_Y / R_N) V_O \Delta R_N \quad (7.6)$$

şeklinde ifade edilir ve R_N alttaki şekilde ifade edilir.

$$R_N = \ell / \sigma S \quad (7.7)$$

S: Numunenin yüzey tesir kesiti

ℓ : Numune uzunluğu

Foto-iletkenliğin relatif değişimi, numune direncinin relatif değişimine eşittir.

$$\Delta V_Y / V_Y = -(\Delta R_N / R_N) = -(\sigma / \Delta \sigma) \quad (7.8)$$

(7.6) eşitliğinde ΔR_N ve R_N değeri yerine konup, $\Delta \sigma$ 'ya göre çözümlürse;

$$\Delta\sigma = [\ell / (SR_Y V_o)] \Delta V_Y \quad (7.9)$$

Bu ifade düşük şiddetli uyarılarda, foto-iletkenliğin $R_Y(\Delta V_Y)$ voltaj değişiminin lineer bir fonksiyonu olduğunu gösterir.

7.3.3. DARBELİ UYARMA

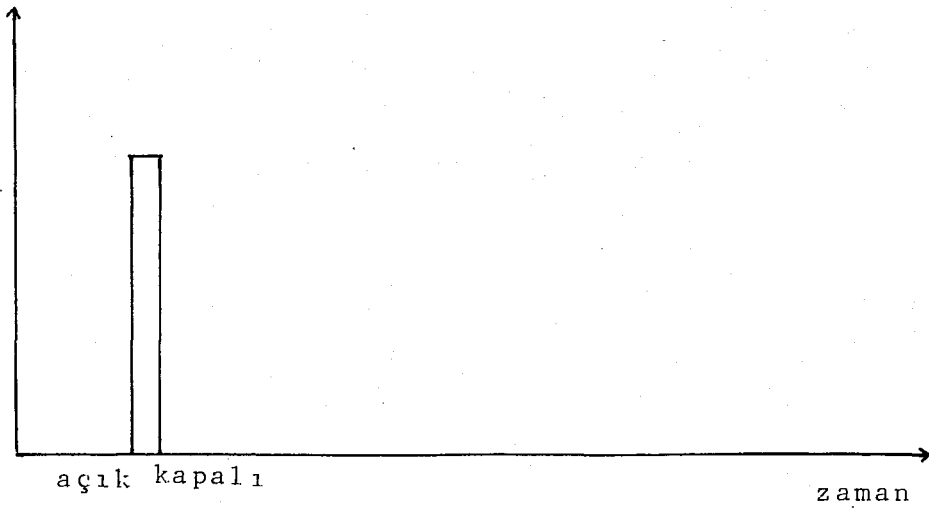
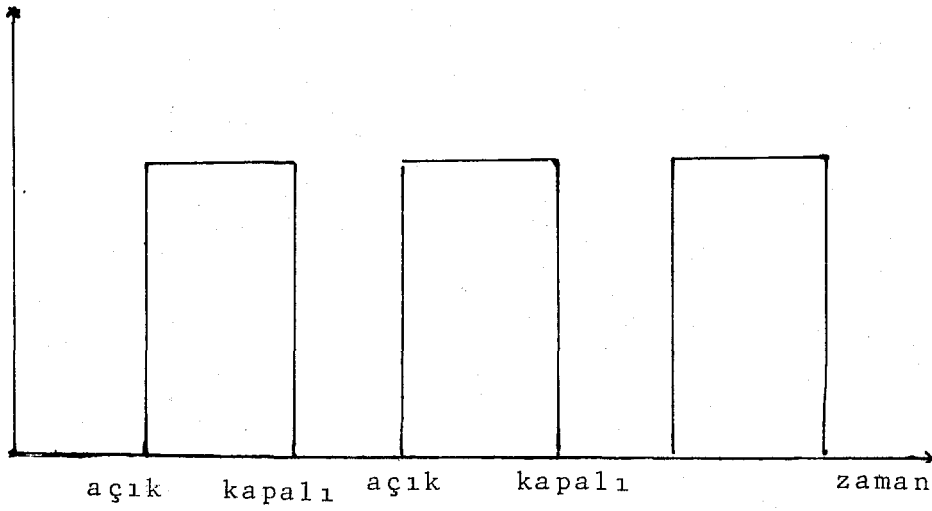
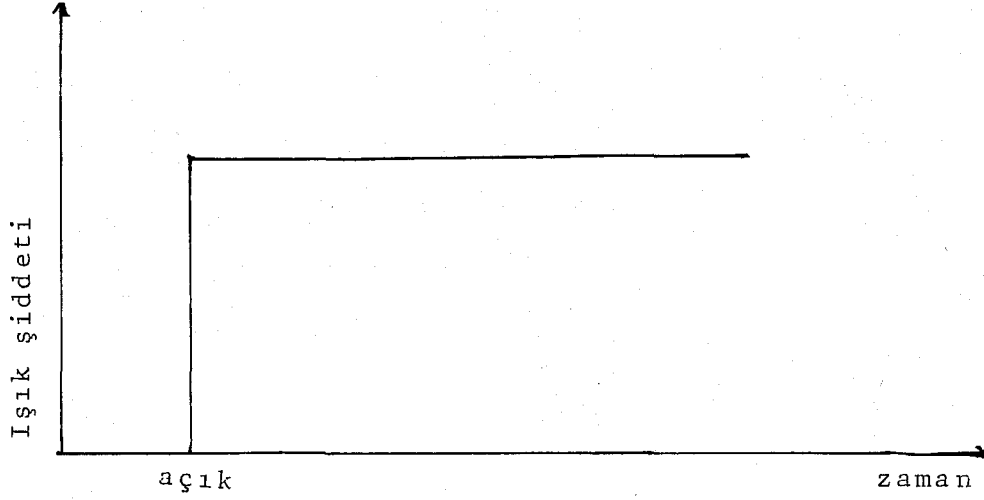
Bu metodda en önemli nokta darbenin hızının sistemdeki en hızlı tuzaklama olayından daha hızlı olmasıdır. Bu durumda darbe içindeki foto-iletkenlik tuzaklanma olaylarından bağımsız olur. Foto-iletkenliğin düşüşü ise doğrudan tuzaklanma zaman sabitini verir. Bu kısalıktaki darbeler, darbeli laserler vasıtasıyla elde edilir. Böylece foto-iletkenliğin (peak) değeri, darbe içindeki foton sayısı I_V , foto-iyonizasyon tesir kesiti ve foto-iyonize olabilen merkezlerin yoğunluğu n_T ile doğrudan orantılı olup, fotonların sayısı bir joulemetre yardımı ile bulunabilir. Şayet mobilite bilinirse, foto-iletkenliğin kinetiği için model karışıklığına yer vermeden $\sigma_V n_T$ çarpımı bulunabilir. Darbeli lazerden alınacak enerji, tuzak seviyesini tamamen boşaltabilecek kadar şiddetli ise, foto-iletkenliğin doymasından n_T tuzak yoğunluğu ölçülebilmesini sağlar.

Uyarma şekline göre sınıflandırılan ölçüm yöntemlerinin herbiri kendi arasında uyarma şiddetine göre "yüksek sinyal" veya "alçak sinyal" değişimleri olarak sınıflandırılabilir.

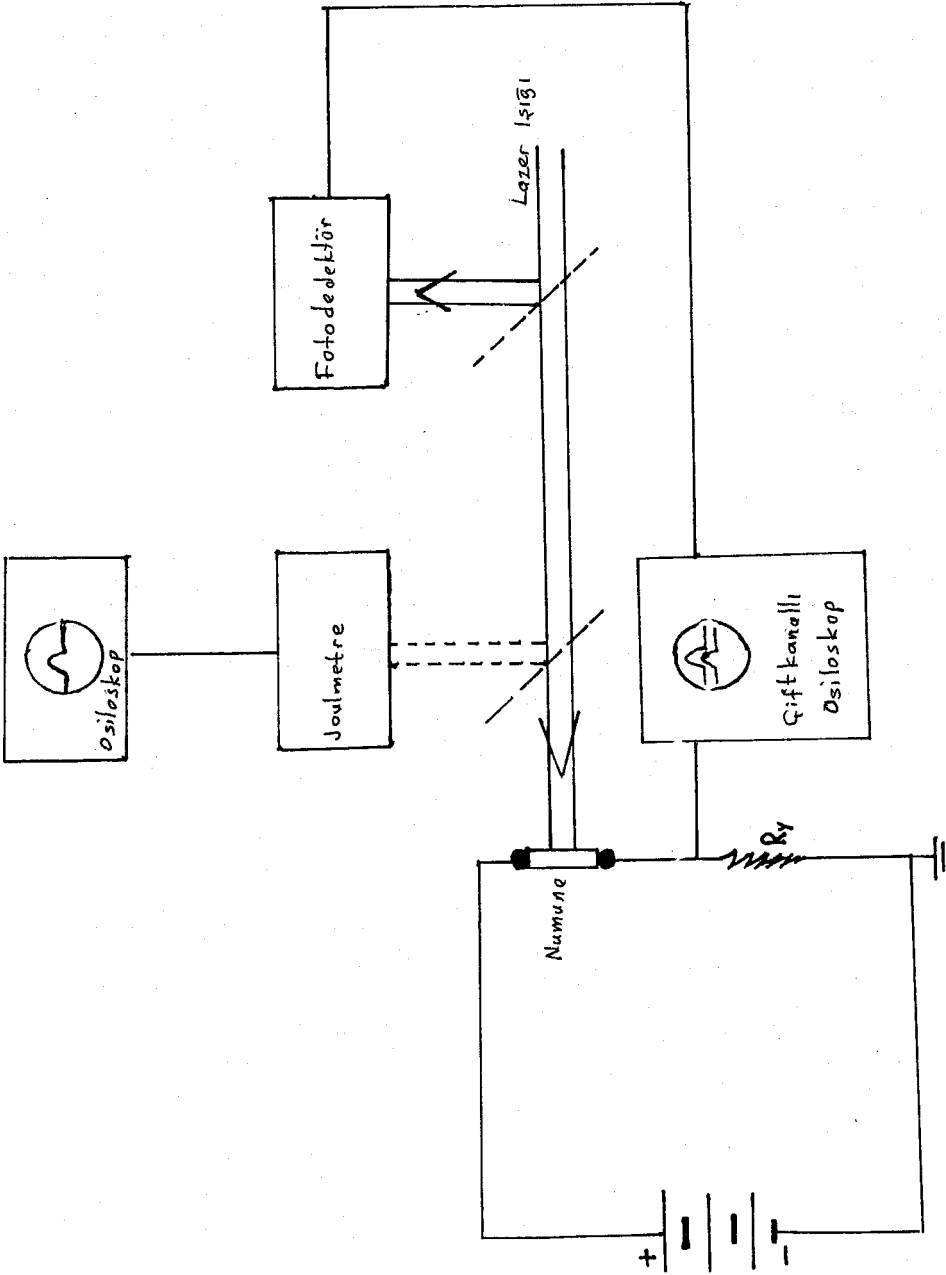
Alçak sinyal değişimlerinde bir seviyenin sayısı ter-

mal denge durumundan çok fazla değişmez. Bu nedenle bu sonuçların anlaşılması ve açıklanması çok daha kolaydır. Öz direnci düşük olan malzemelerde bu durum kolayca elde edilebilir. Yüksek özdi- rençli malzemelerde sinyal rejimini elde etmek oldukça zordur. I- şık şiddetinin düşürülmesi foto-iletkenlik sinyalinin dedeksiyo- nunu zorlaştırır. Eğer sistemde birden fazla seviye varsa uyarma şiddeti ve dolayısı ile sinyal yüksek olmalıdır. Bu gibi hallerde düşük sinyal koşulu "ikinci kararlı uyarma" yardımı ile oluşturu- lan "kararlı durum" yardımı ile sağlanabilir. Bunun amacı sinyal büyüklüğünü kontrol etmektir. Genellikle geniş bir band genişli- ğinde ışık tarafından sağlanan ikinci kararlı uyarma ile oluşan iletkenliğe fonon (background) iletkenliği adı verilir. Bu bölüm- de her bir yöntem, σ_K yerine σ_{BL} konduğunda fonon iletkenliği için de geçerlidir.

Bu yöntemlerden faydalanarak foto-iletkenliğin spektral bağıllığı, ışık şiddetine bağıllığı ve bunların sıcaklıkla değişimi- minden malzeme karakteristikleri hakkında bilgi edinilebilir. (A- rıkan, Hatch, Ridley 1980, Arıkan 1985, Machada 1985)



Şekil 7.8. Foto-iletkenlikte (a) Sürekli uyarma, (b) Periyodik olarak kesikli uyarma, (c) Darbeli uyarma



Şekil 7.7. Darbeli uyarma ile foto-iletkenlik ölçüm devresi.

BÖLÜM VIII SONUÇLAR VE SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Bu çalışmanın amacı GaAs'ın foto-iletkenliğini ölçerek enerji seviyelerini tesbit etmek ve kristal içindeki katkıyı tayin etmektir.

Düşük resistiviteli n-tipi oksijen katkılanmış GaAs (GaAs:O)'nin deneyin ortasında tahrip olması neticesinde, bu numunenin sadece aktivasyon enerjisi ölçülmüştür.

Yüksek resistiviteli GaAs numunesinin tipi ve katkı maddesi bilinmemektedir. Bunlar Hall olayı ile tesbit edilebilir. Bu nedenle sadece foto-iletkenlik sonuçlarından yaklaşımlar yapmakla yetineceğiz.

GaAs:O numunesinin karanlıkta oda sıcaklığındaki direnci 140Ω , 83K de $10^8 \Omega$ civarındadır. Bu da yalıtkanlığa yaklaşımaktadır. 120K ve 300K arasındaki sıcaklıkta bu numunenin aktivasyon enerjisi yaklaşık olarak 0.22 eV bulunmuştur (Arıkan, Hatch, Ridley 1980).

Foto-iletkenlik ölçüleri yüksek resistiviteli (300K'de $10^7 \Omega \text{ cm}$) yarı-yalıtkan GaAs üzerinde yapılmıştır.

Monokromatörün difraksiyon ağı üzerinde farklı merte-

belerdeki yansımalarını belirli bir dalga boyu bölgesi için kullanmak ve diğer mertebelerdeki yansımaları yok etmek için geniş bantlı interferans filtreleri kullanılır. Bunlara "meretebe ayırıcı (order sorting)" filtre adı verilir.

Buna bağlı olarak biz 2μ ile 1μ arasında geçirgen olan 5mm kalınlığında yansıma yapmayan (antirefleksiyon) Si filtre kullandık. Kalınlığı 3 mm olan ve 695 nm dalga boylu ışığı geçiren kırmızı, kalınlığı 1mm olan Ge ve Si filtreler kullanıldığında çıkan ışık piroelektrik dedektör ıkışları mukayese bakımından Şekil 8.1'de verilmiştir.

Deneyler, karanlıkta ve fon aydınlanmasında (background illumination) oda sıcaklığında ve dūřuk sıcaklıklarda 0.62 eV ile 1.24 eV arasında yapılmış ve foto-iletkenliğin orantılı (arbitrary) olarak eğrileri çizilmiştir.

Siyah cismin radyasyon kanununa göre, ışık kaynağından çıkan fotonların sayısı dalga boyunun bir fonksiyonudur.

Dalga boylu λ ve $\lambda + d\lambda$ arasındaki fotonların sayısı ve enerji arasında

$$E = C_1 \frac{d\lambda}{\lambda^5} [\exp(hc/\lambda kT) - 1] \quad (8.1)$$

bağıntısı yazılabilir.

Foton sayısı ise

$$I = C_2 \frac{d\lambda}{\lambda^4} [\exp(hc/\lambda kT) - 1] \quad (8.2)$$

ifadesinden bulunabilir.

C_1 ve C_2 : Sabitler

h : Planck sabiti

c : Işık hızı

Piro elektrik dedektörün çıkış voltajının ışık şiddeti ile orantılı olduğunu (foton enerjisinden bağımsız) farz edersek; piro elektrik dedektör için alttaki eşitliği yazabiliriz.

$$V_D = C_3 d \lambda / \lambda^5 [\exp(hc/\lambda kT) - 1] \quad (8.3)$$

V_D : Piroelektrik dedektör çıkış voltajı

C_3 : Sabit

(8.3) eşitliğini tekrar düzenlersek,

$$V_D \lambda = C_3 d \lambda / \lambda^4 \exp(hc/\lambda kT) - 1 \quad (8.4)$$

durumuna gelir. Bağlantının sağ tarafı (8.2) ifadesinin sağ tarafı ile aynıdır. Bu yüzden (8.4) tekrar düzenlenirse,

$$V_D \lambda = C_3 d \lambda / \lambda^4 [\exp(hc/\lambda kT) - 1]$$

$$V_D \lambda = C_4 I \quad (8.5)$$

C_4 : Sabit

Bu sebepten,

$$I \propto \lambda V_D \quad (8.6)$$

olduğu görülür.

Buradan foto duyarlılığı; foton başına foto-iletkenlik olarak tarif edersek, bunu matematiksel olarak

$$F.D = \Delta\sigma / I = \Delta\sigma / \lambda V_D \quad (8-7)$$

bağıntısı ile ifade edebiliriz.

F.D: Foto duyarlılık

Foto duyarlılığı hesaplayıp, enerji arasında grafik çizmek için foto-iletkenlik ve piroelektrik dedektör çıkışları Yıldız Üniversitesinde MONROE 850 bilgisayarında hesapladı. (Ek-2)

Şekil 8.2'de oda sıcaklığında I. numunenin karanlıkta, II. numunenin karanlıkta ve fon aydınlanması (background illumination) durumundaki foto-iletkenlik spektrumları görülmektedir. Şekil 8.3'deki 142K'de I. numunenin 83K'de II. numunenin karanlıktaki foto-iletkenlik spektrumları görülmektedir. Fon aydınlanması durumunda 142K ve 83K'da sırasıyla I.veII. numunenin grafikleri şekil 8.4'de verilmektedir. Şekil 8.5 ve 8.6'da sırasıyla I. ve II. numune için oda sıcaklığında ve düşük sıcaklıkta ölçümlerin foto-iletkenlik spektrumlarınının değişimini göstermektedir.

Oda sıcaklığında şekil 8.2'den de görüldüğü gibi karanlıkta ve fon aydınlanması durumunda 0.7 eV'den itibaren foto-iletkenliğin keskin bir şekilde artmağa başladığı ve yaklaşık olarak 0.9 eV'de maxsimuma ulaştığını görüyoruz. Bu şekilden 0.8 eV civa-

rında her bir eğri için enerji seviyesinin varlığından bahsedebiliriz. 1.1 eV'den itibaren karanlıkta foto-iletkenliğin tekrar artmağa başladığı halde fon aydınlanması durumunda da hafif bir azalmadan sonra tekrar artmağa başlamıştır.

Her iki numune içinde 1.15 eV civarında ikinci bir enerji seviyesinin olduğunu söyleyebiliriz.

Deney sonuçlarınının 300K'de fon aydınlanması ve karanlık ölçüler arasında pek farklılık göstermediği grafik 8.2'den görülmektedir.

Bu sonuçlar (Lin, Omelianovski and Bube 1976) ve (Ridley, Arıkan, Biskop, Hassan and Machado 1982) ile karşılaştırıldığında aynı bulgular görülmektedir.

Düşük sıcaklıklarda foto-iletkenlik spektrumu şekil 8.3'de her iki numune içinde görülmektedir. 0.84 eV'den itibaren foto-iletkenlik keskin olarak yükselmekte ve 0.94 eV civarında maksimuma ulaşmaktadır. Oda sıcaklığında 0.8 eV civarında pek belirgin olmayan enerji seviyesi burada 0.89 eV olarak daha kesin bir sonuç vermektedir. Aynı şekilde 1 eV civarında foto-iletkenlikte düşüş görülmektedir. Foto-iletkenliğin bu şekilde azalmasına "foto-iletkenliğin sönümlenmesi" denir.

Dikkat edilirse her iki numunenin foto-iletkenlik artışları aynı yerden başlamasına rağmen, 83K'deki II. numunenin foto-iletkenliği 142K'deki I. numuneninkine nazaran daha çok art-

mış ve minimumların yeri değişmiştir. Bunun, (Lin, Omelianoviski and Bube 1976; Jimenez, Gonzalez ve Santacruz (1984)'a göre sıcaklık farkından kaynaklandığını düşünebiliriz. 0.9 eV civarında oluşan maksimumlarda (Stocker 1977) ve (Lin and Bube 1976) göre Cr olduğunu söyleyebiliriz.

142K'de bulunan I. numune ve 83K'da bulunan II. numune fon aydınlığında, karanlıkta sırasıyla aynı sıcaklık ve numunede deney sonuçlarının gösterdiği farklılıklar şekil 8.3'de görülmektedir. Şekil 8.3'deki ilk geniş maksimumlar yok olmuş, buna karşılık 1.2 eV civarındaki maksimumlar daha belirgin hale gelmiştir. 0.78 eV den başlayan foto-iletkenlik şekil 8.3'deki kadar keskin artmamıştır. Foto-iletkenlik artışı şekil 8.3'deki gibi 0.94 eV'ye kadar müşterek yükselmektedir. 0.86 eV civarında II. numune için bir enerji seviyesi olduğundan bahsedilirken I. numunede bunu kestirmek çok daha güçtür. 0.9 eV ile 1.06 eV arasında II. numunenin eğrisinde hafif iniş ve çıkışlar gözlenmektedir.

Şekil 8.5'de I. numunenin 296K ve 142K'deki foto-iletkenlik spektrumlarında görüldüğü gibi, 296K'de 0.7 eV'den ve 142K'da 0.84 eV'den başlamaktadır. 142K'da daha keskin artmakta maksimumlar ve minimumlar daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

Şekil 8.6'da II. numunenin 300K'da ve 83K'da foto-iletkenlik spektrumları görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi 83K'de foto-iletkenlik artışları ve sönümleri 300K'ne göre ani ve keskin olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar bu kristallerde GaAs'in yasak bölgenin ortalarına düşen yerlerde olan (taşıyıcı cins ve seviye tipi bilinmemekle beraber) derin enerji seviyeleri mevcuttur.

Absorbsiyon ölçülerinde görülen 0.03 eV ile 0.07 eV arasında üç sığ enerji seviyesinin bu derin seviyelerle kompanse edilerek malzemenin yarı-yalıtkan özellikler göstermesine neden olduğu söylenebilir (Look 1977).

—•— Ge filtre d: 1mm

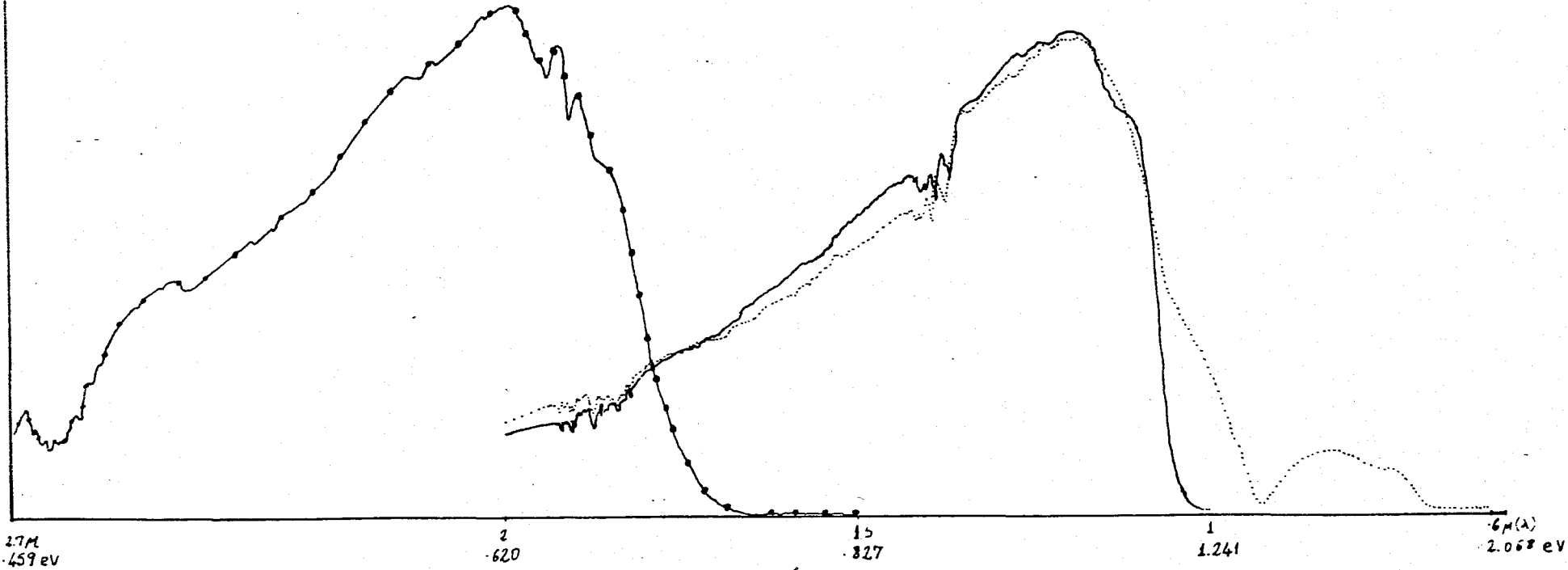
..... 695nm dalga boyu kırmızı filtre d: 3mm

— Si filtre d: 5mm

0.5 v/cm
50 s/cm

0.25 v/cm
50 s/cm

0.25 v/cm
50 s/cm



1.459 eV

2.620

15.827

1.241

2.068 eV

Şekil 8.1. Ge, Si ve Kırmızı fitrenin piro elektrik dedektör çıkışları

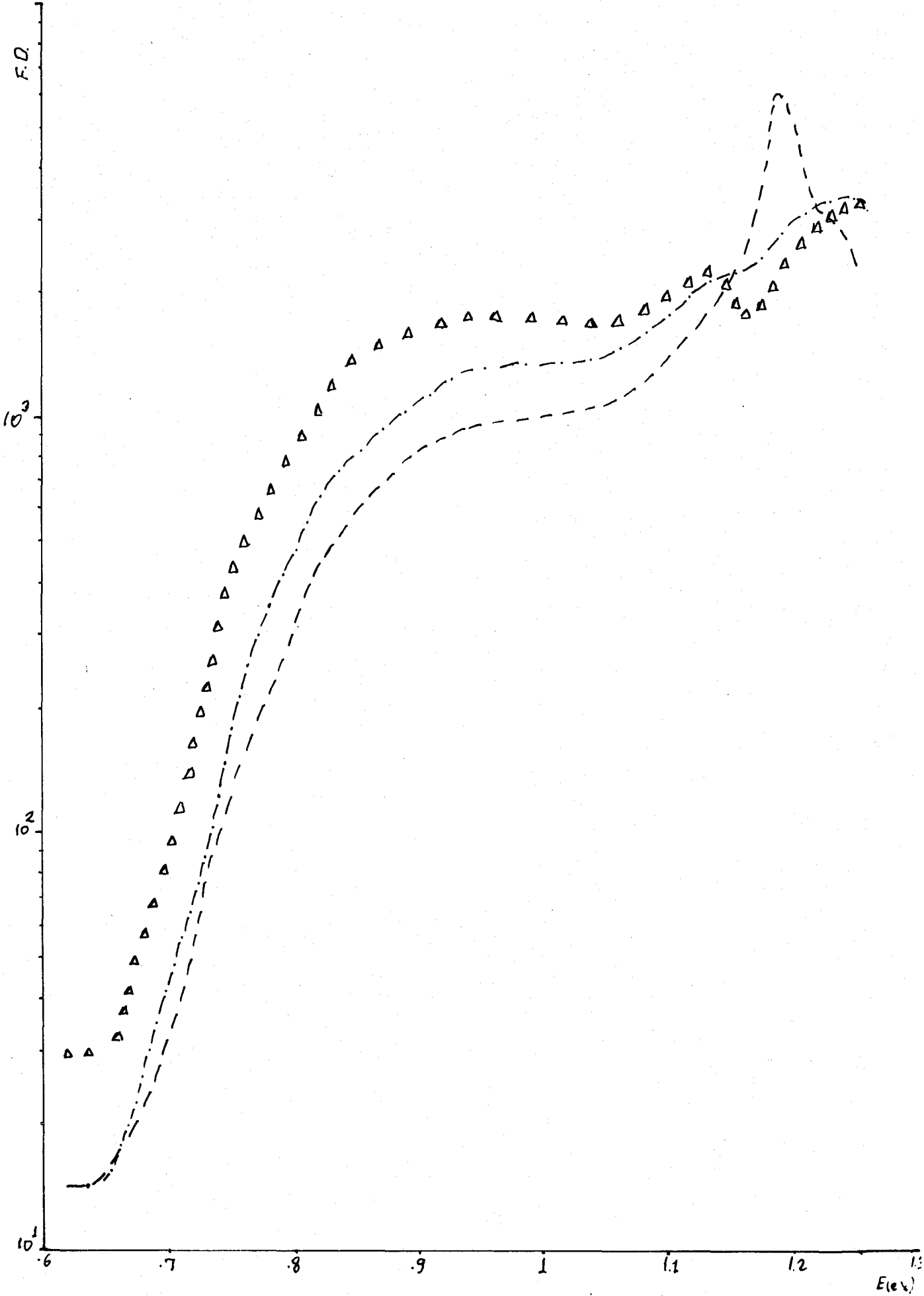
T=300K

--- NUMUNE I. KARANLIK

-.- NUMUNE II. KARANLIK

Δ Δ NUMUNE II. FON AYDINLANMASI

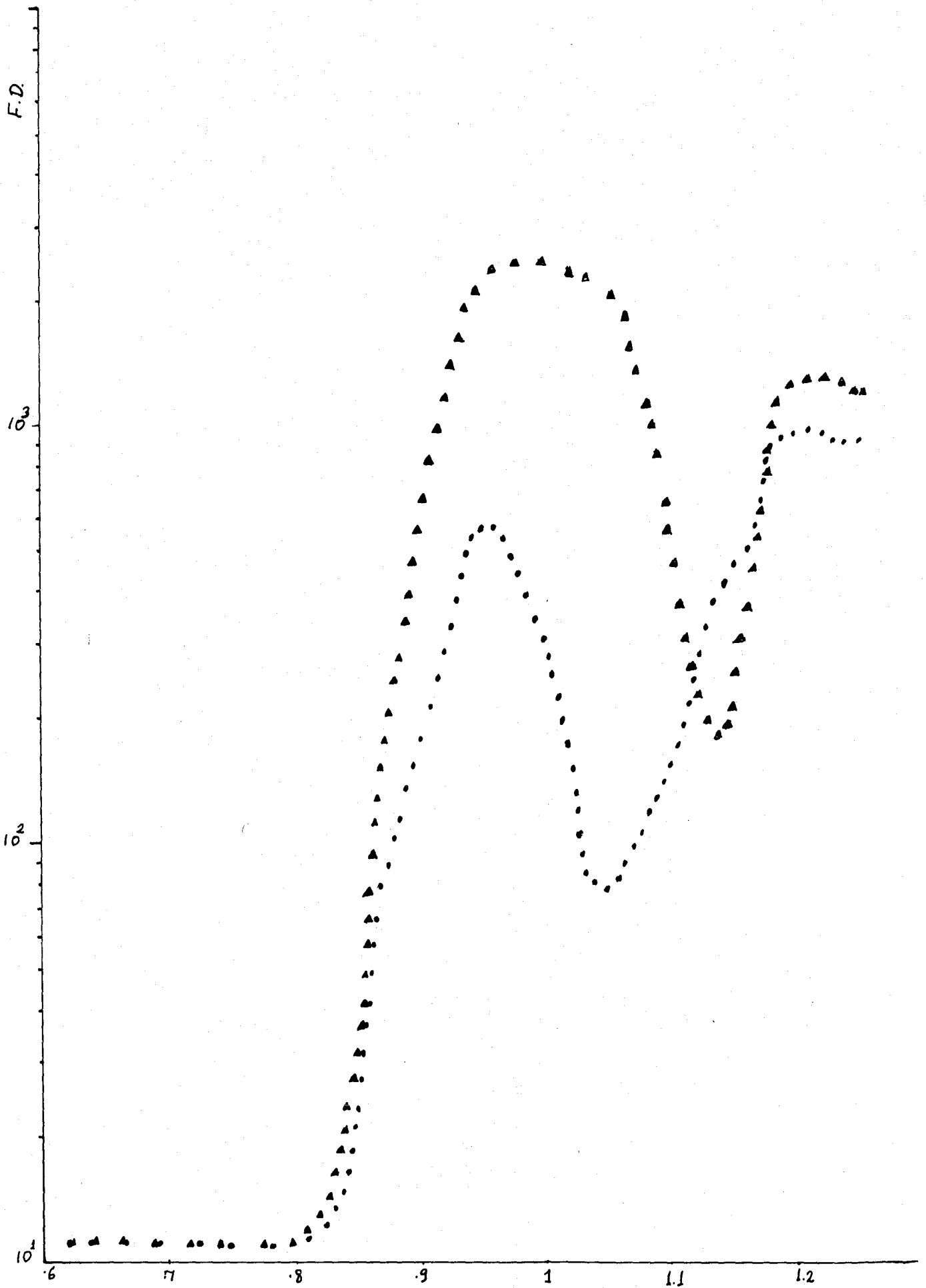
- 67 -



Şekil 2.

•• NÜMUNE I KARANLIK T=140K
▲▲ NÜMUNE II KARANLIK T=83K

- 68 -

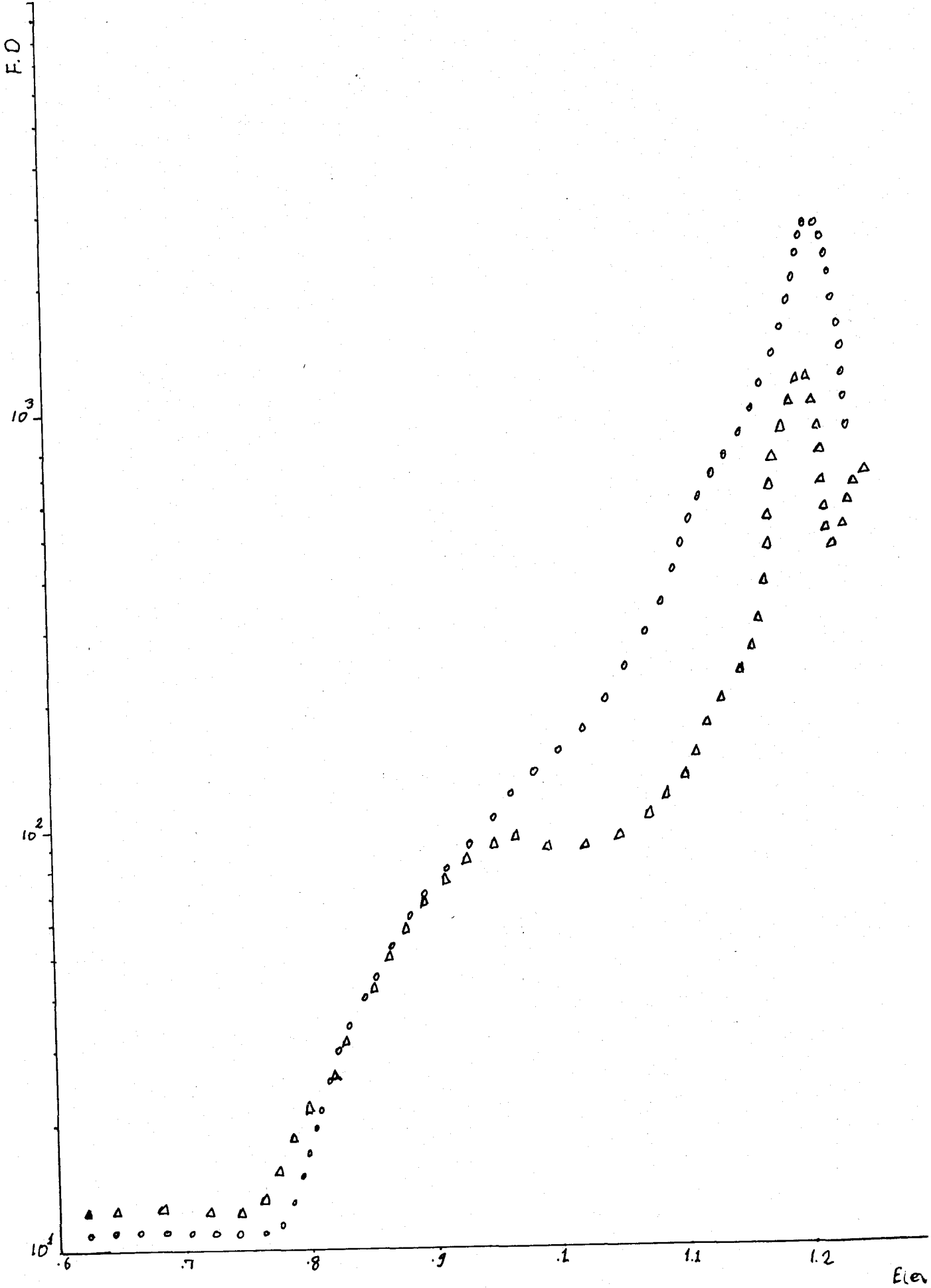


Sekil 3.

E(eV)

o o NUMUNE I FON AYDINLANMASI T=140K
Δ Δ NUMUNE II FON AYDINLANMASI T=83K

- 69 -



Şekil 4.

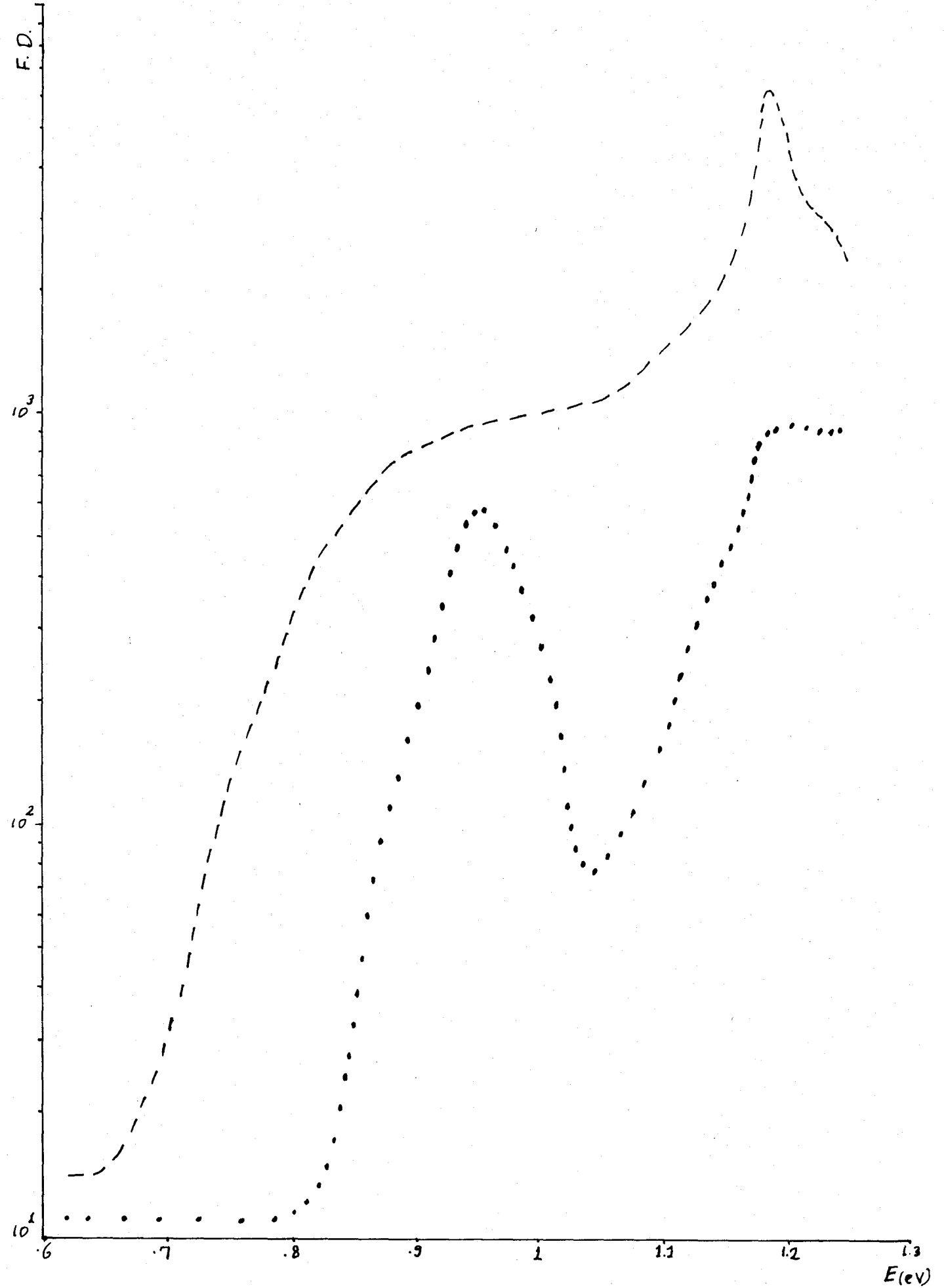
NUMUNE I

--- T=296 K

••• T=142 K

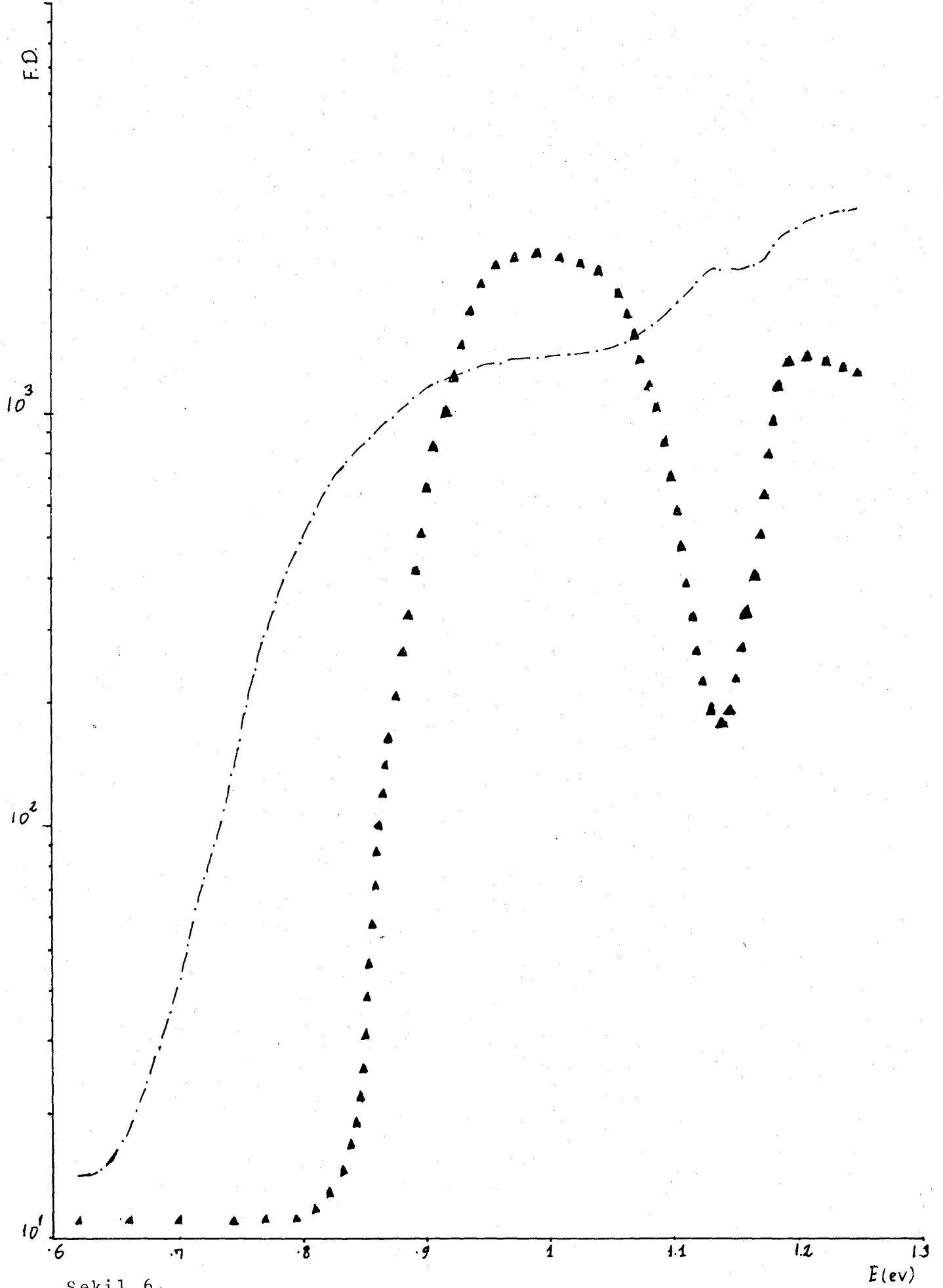
KARANLIK

- 70 -



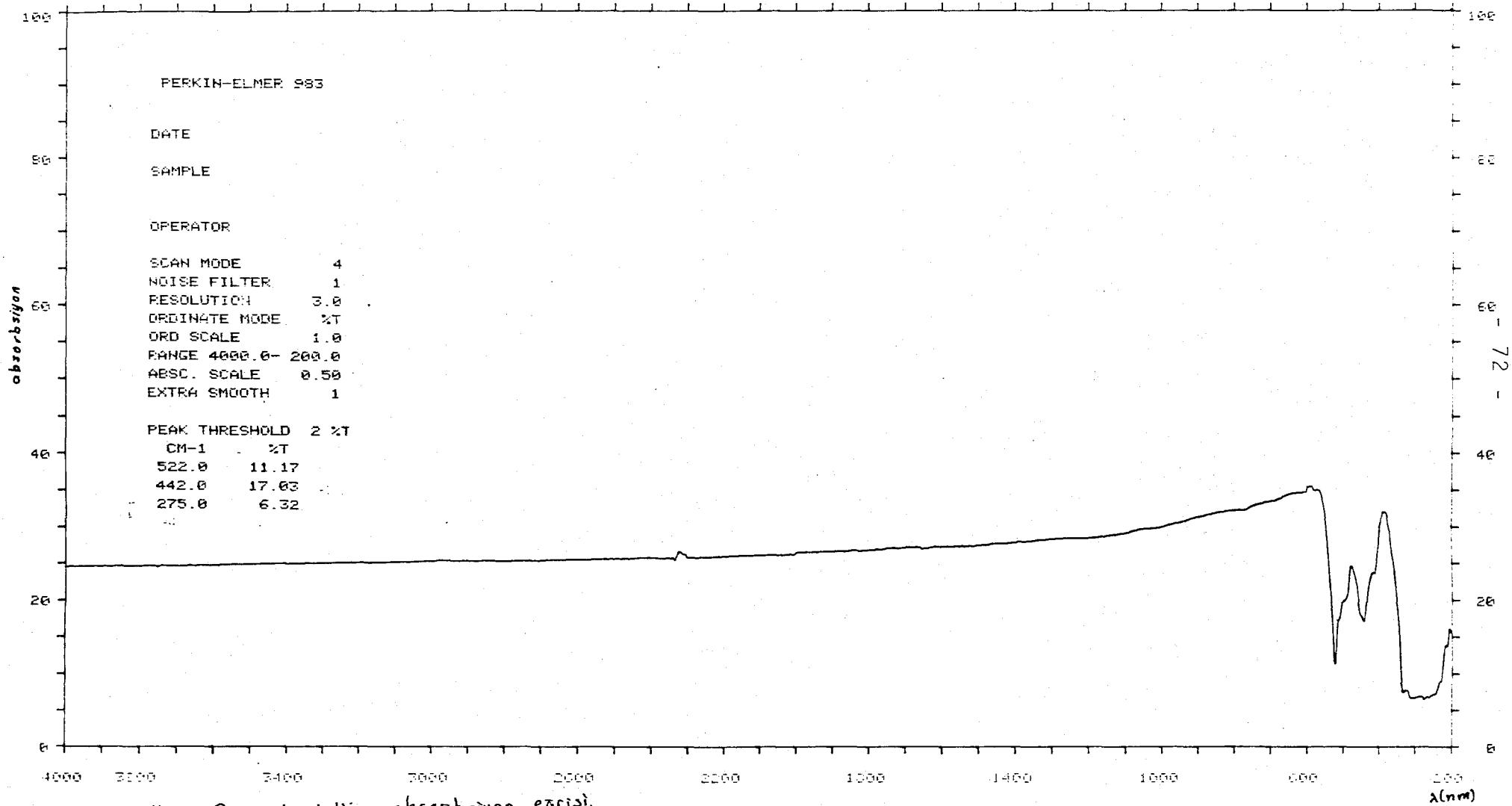
Şekil 5.

NUMUNE II
- - - T = 300K KARANLIK
▲ ▲ T = 83K KARANLIK



Şekil 6.

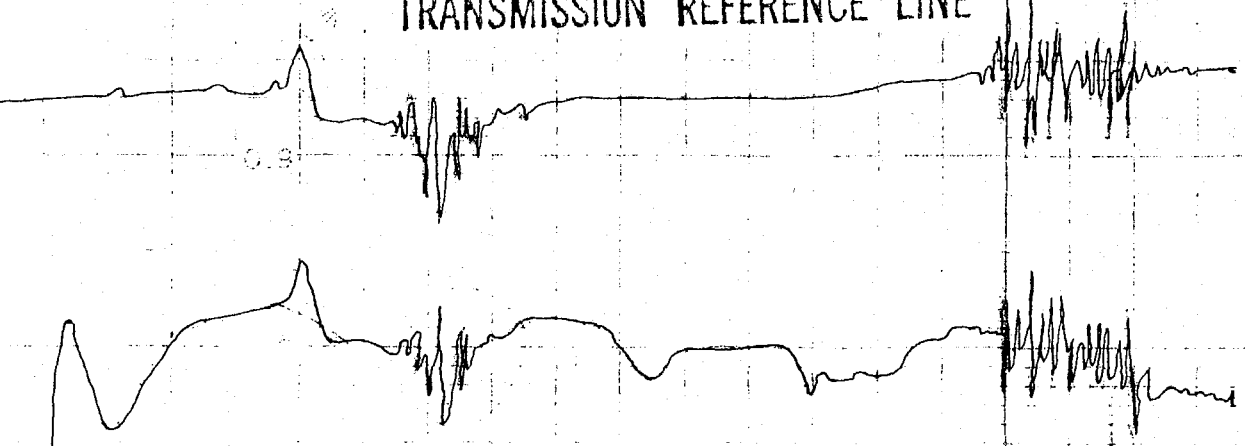
E (ev)



Yarı-yalıtkan GaAs kristalinin absorpsiyon eğrisi.

1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2.0

TRANSMISSION REFERENCE LINE



ORIEL
 CORPORATION
 15 MARKET ST. STAMFORD, CONN. USA 06902

Filter No 5990 #4

Date 10-14-85

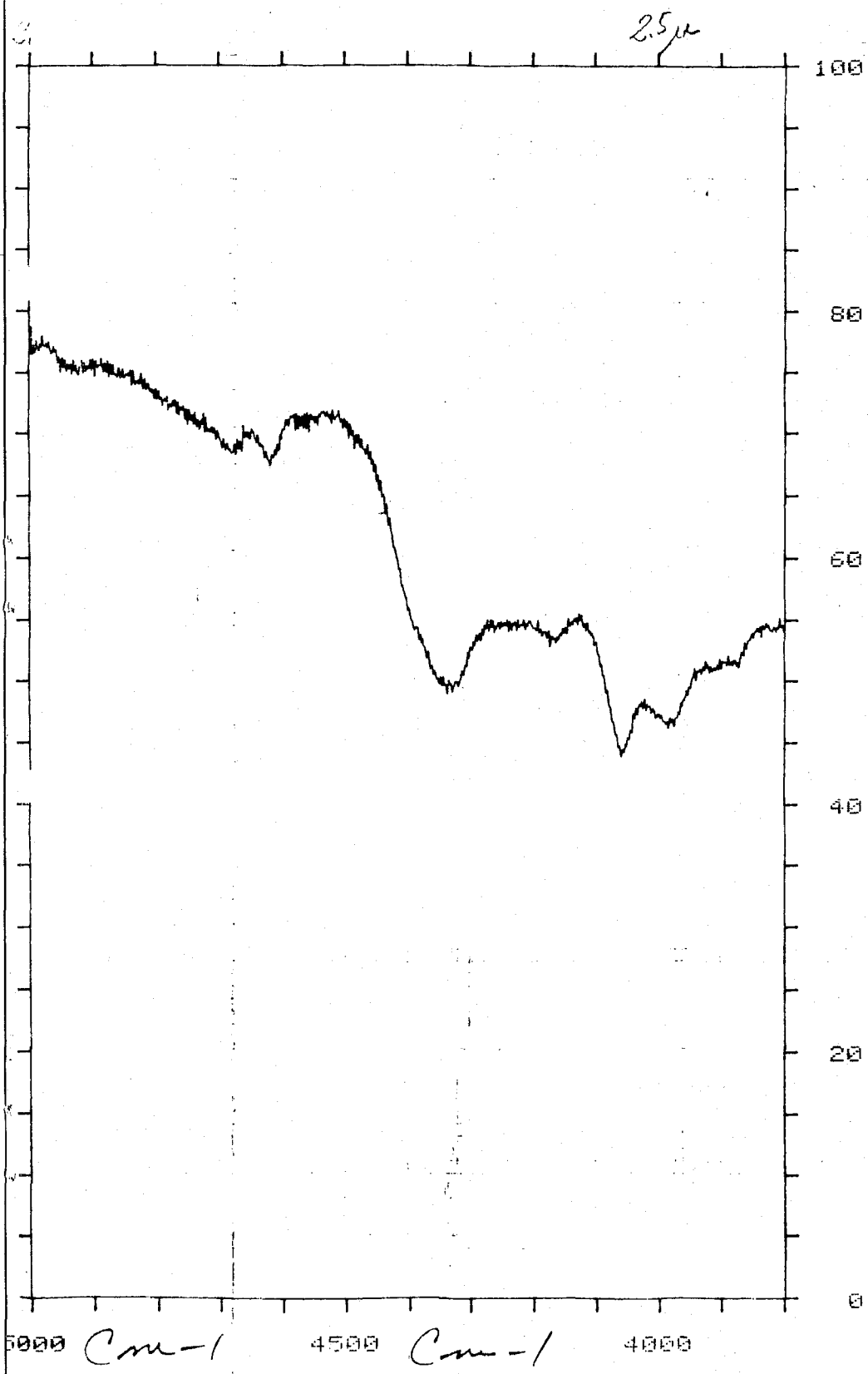
Calibration —

Full Scale 100% Ambient Temp 23°C

Instrument Q44 14

Si filtrenin spektrumu d: 5mm.

0.2



PERKIN-ELMER 993

DATE 10-14-85

SAMPLE LP 1.08 μ
#4

OPERATOR Bm

SCAN MODE 4

NOISE FILTER 1

RESOLUTION 3.0

ORDINATE MODE %T

RANGE 5000.0-3800

Si filterinin spektrumu

REFERANSLAR

- Akpınar S. "Yarı-iletkenler Fiz." İst. Ün. Fen Fak. 1979
- Arıkan M.Ç. "Master Tezi" İst. Ün. Fen Fak. 1973
- Arıkan M.Ç. "TÜBİTAK-HÜ" Katıhal Fiz. Yüksek Lisans Yaz Okulu
Gebze 1985
- Arıkan M.Ç., Hatch C.B and Ridley "Photoconductivity in n-type
GaAs :O associated with the deep level at 0-4 eV"
J. Phys. C : Solid St. Phys, 13 (1980) 635-50.
Printed in Great Britain.
- Arıkan M.Ç. "Özel Görüşme 1986"
- Blackmore J.S. "Solid St. Phys." W.B. Saunders Company 1969
- Blackmore J.S. "Semiconductor Statics" Pergamon Press 1969
- Bube R.H. "Electronics Properties of Crystalline Solids" An
Introduction to Fundamentals, Academic Press
New York 1974.
- Dalay Ü. ve "Excess Capacitance of ZnO-Au Varactor", Appliad
Akpınar S. Phys. A. 16 Haziran 1986'da basıma kabul edildi.
- Gray Dwight E. "American Institute of Phys. Hand book" Second
Edition M.C. Graw Hill NY, 1963
- Jimenez J. Gonzalez M.A. ve Santacruz L.F. "Thermal Quenching of
the 1-1.35 eV extrinsic Photoconductivity in
Semi-insulating GaAs(Cr, O)" Solid St. Communication
Vol. 47, No.9, PP 917-920-1984
- Kireev P.S. "Semiconductor Phys" Translated from Russian by
Mark Sarakhvalov mir Publisher Sec. Ed. 1978.
- Kittel Charles "Introduction to Solid Stade Phys." Fifty Edt.
Will 1976.
- Kothari S. Ph.D. Thesis Essex University UK 1977

- Kimmit M.F. "Far-Infrared Technques" Pion Limited London 1970
- Lin Alice L, Omelianovski Eric and Bube R.H. "Photoelectronic Properties of High-resistivity GaAs :O" Journal of Applied Phys. Vol. 47. No. 5 1976
- Lin Alice L and Bube Richard "Photoelectronic Properties of High-resistivity GaAs :Cr " Journal of Applied Phys. Vol. 47, No. 5 May. 1976
- Look D.C and Farmer J.W. "Automated High resistivity Hall-Effect and Photoelectronic Apparatus" J.Phys. E:Sci. Instrum Vol. 14, 1981 Printed in Great Britain
- Look D.C "The Electrical Characterization of Semi-Insulating GaAs" Metals Vol. 19, P. 76, May. 22. 1981
- Machado W.V. "Ph.D. Thesis" Essex University 1985
- Ridley B.K. Arıkan M.Ç. Bishop P.J., Hassan M.F. and Machado W.V. "Photo-Hall Effect and Photoconductivity in n-type Epitaxial GaAs :Cr" J.Phys. C: Solid St. Phys., 15 (1982) 6865-6879 Printed in Great Britain
- Stocker H.J. "A.Study of Deep Impurity Levels in GaAs due to Cr and O by a.c. Photoconductivity^a" Journal of Applied Phys. Vol. 48. No, 11 November 1977
- Sze. S.M. "Physics of semiconductor Devices" Second Editon John Wiley and Sons Inc. 1981
- Willardson R.K and Beer Albert C "Semiconductors and Semimetals" Vol. 20. Acadanic Pres Inc. 1984

EK - 1

300K'da Ge, Si ve GaAs'ın Karakteristikleri (Propertes)

KARAKTERİSTİKLER	Ge	Si	GaAs
Atom/cm ³	4.42 × 10 ²²	5.0 × 10 ²²	4.42 × 10 ²²
Atom Ağırlığı	72.60	28.09	144.63
V/cm başına elektron dağılımı	~10 ⁵	~3 × 10 ⁵	~4 × 10 ⁵
Kristal yapısı	Diamond	Diamond	Zincblende
Yoğunluğu (g/cm ³)	5.3267	2.328	5.32
Bandlar arası geçişler	İndirek	İndirek	Direk
Geçirgenlik sabiti	16.0	11.9	13.1
İletkenlik bandındaki etkin durum yoğunluğu N _i (cm ⁻³)	1.04 × 10 ¹⁹	2.8 × 10 ¹⁹	4.7 × 10 ¹⁷
Valans bandındaki etkin durum yoğunluğu N _v (cm ⁻³)	6.0 × 10 ¹⁸	1.04 × 10 ¹⁹	7.0 × 10 ¹⁸
Etkin kütle m [*] /m _o			
Elektronlar	m _i [*] = 1.64 m _i [*] = 0.082	m _i [*] = 0.98 m _i [*] = 0.19	0.067
Elektron boşlukları	m _{ih} [*] = 0.044	m _{ih} [*] = 0.16	m _{ih} [*] = 0.082
Elektron ilişkisi	m _{hh} [*] = 0.28	m _{hh} [*] = 0.49	m _{ih} [*] = 0.45
(affinity) X(V)	4.0	4.05	4.07
Enerji aralığı (eV)	0.66	1.12	1.424
0 K'da enerji aralığı	0,74	1.17	1.52
Asal taşıyıcıların konsantrasyonu (cm ⁻³)	2.4 × 10 ¹³	1.45 × 10 ¹⁰	1.79 × 10 ⁶
Asal Debye uzunluğu (μm)	0.68	24	2250
Asal resistivity (Ω-cm)	47	2.3 × 10 ⁵	10 ⁸
Şebeke sabiti (Å)	5.64613	5.43095	5.6533

Karakteristikler	Ge	Si	GaAs
Linear Termal Genişleme Katsayısı $\Delta L/L\Delta T(^{\circ}C)$	5.8×10^{-6}	2.6×10^{-6}	6.86×10^{-6}
Erime Noktası ($^{\circ}C$)	937	1415	1238
Azınlık Taşıyıcıların yaşama ömrü (s)	10^{-3}	2.5×10^{-3}	$\sim 10^{-8}$
Mobilite (drift) ($cm^2/V-s$)	3900 1900	1500 450	8500 400
Optik fonon enerjisi (eV)	0.037	0.063	0.035
Fononların serbest yol uzunluğu (Å)	105	76 (electron) 55 (hole)	58
Spesifik (öz) ısı ($J/g-^{\circ}C$)	0.31	0.7	0.35
Isı iletkenliği ($W/cm-^{\circ}C$)	0.6	1.5	0.46
Termal difizyonu (cm^2/s)	0.36	0.9	0.24
Buhar basıncı (Pa)	1 at $1330^{\circ}C$ 10^{-6} at $760^{\circ}C$	1 at $1650^{\circ}C$ 10^{-6} at $900^{\circ}C$	100 at $1050^{\circ}C$ 1 at $900^{\circ}C$

