

T.C.
Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

**A_{s_2} S_{e_3} HALKOJENÜR CAMININ DC
İLETKENLİĞİNE Bİ KATKISININ
ETKİSİ**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Zeynep Balcıoğlu

**Danışman
Yard. Doç. Dr. İsa Eşme**

İstanbul - 1985

Ö Z E T

Bu çalışmada % 99,999 saflıkta toz haldeki As-Se-Bi elementlerinden hazırlanan, hacimli As_2Se_3 ve $As_2Se_3Bi_{0,15}$ halkojenür camlarının dc iletkenlikleri incelenmiştir. 50-150°C sıcaklık aralığında, iletkenliğin sıcaklıkla değişiminden, her iki camın iletkenliğinin:

$$\sigma = C e^{-E/kT}$$

Mott bağıntısına uyduğu bulunmuştur. Yarıiletken % 15 oranında Bi katkısının iletkenliği arttırdığı, iletkenlik aktivasyon enerjisini ise azalttığı gözlenmiştir.

S U M M A R Y

In this study, We examined the dc conductivity of bulky As_2Se_3 and $\text{As}_2\text{Se}_3\text{Bi}_{0,15}$ chalcogenide glasses, which were prepared of As-Se-Bi elements in the form of powder with a purity of % 99,999. In the 50-150°C temperature interval, it's found that the relationship between the conductivities changing with temperature of both glasses corresponded to the Mott relation which is as follows:

$$\sigma = C e^{-E/kT}$$

A Bi addition of 15 % to the semiconductor was found to cause an increase in the conductivity yet a decrease in the activation energy.

TEŞEKKÜR

Bu lisans üstü tezinin konusunu ortaya koyan ve bu tezi hazırlama süresince her türlü yardımı esirgemiyerek büyük destek olan değerli hocam Yard. Doç. Dr. İsa Eşme'ye teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Çalışmalarına gösterdikleri yakın ilgiden dolayı M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Başkanı Sayın Prof. Dr. Cemil Şenvar'a Fen Bilimleri Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Asuman Ilgaz'a ve bana yardımcı olan diğer hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım boyunca yaptığım deneysel çalışmalara destekleri ve labaratuvar malzeme olanaklarınının sağlanmasındaki yardımları nedeniyle, İ.Ü. Fen Fakültesi Fizik Bölümünden, Doç. Dr. Ülkü Cantürk'e, Doç. Dr. Taner Bulat'a ve Dr. Berkay Görgez ile T.Ü.B.İ.T.A.K (Türkiye Bilimsel Teknik Araştırma Kurumu). Matallurji Bölümü çalışanlarına ve T.Ü.B.İ.T.A.K Malzeme Araştırma Bölümünden Sayın Tamer Büyükoğuz ve Mehmet Berk'e ayrıca teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
BÖLÜM 1- GİRİŞ	1
BÖLÜM 2- YARIİLETKENLER	4
2.1. Yarıiletkenlerin Yapısı	4
2.2. Yarıiletkenlerin Band Yapısı	4
2.3. Yarıiletkenlerde İletim Mekanizması	9
2.4. Katkılı Yarıiletkenler	12
BÖLÜM 3- AMORF YARIİLETKENLER	15
3.1. Amorf Yarıiletkenler ve Sınıflandırılması	15
3.2. Amorf Yarıiletkenlerin Hazırlanması	18
3.3. Amorf Yarıiletkenlerin Band Yapısı	20
3.4. Amorf Yarıiletkenlerde D.C İletkenliği	25
BÖLÜM 4- DENEYSEL ÇALIŞMA	29
4.1. As_2Se_3 Materyalinin Seçimi ve Özellikleri	29
4.2. Camların Hazırlanması	30
4.3. Hacimli Örneklerin Yapılması ve Elektrod Kaplama	34
4.4. Deney Düzeneği	36
BÖLÜM 5- SONUÇLAR VE TARTIŞMA	40
KAYNAKLAR	54
EKLER	56

BÖLÜM 1

G İ R İ Ş

Kristal haldeki yarıiletkenlerin iletim mekanizması bugün doyurucu bir çözüme kavuşmasına rağmen, aynı şeyi amorf yarıiletkenler için söylemek mümkün değildir.

Amorf yarıiletkenler, ancak 1960'lı yıllardan beri araştırmacıların çalışma dalı olabilmıştır. Bu yıllardan başlayarak araştırmacılar hem deneysel hem kuramsal olarak bu dalda çok sayıda çalışma yapmışlardır. Konu bugün de güncelliğini sürdürmektedir.

Bu yoğun çalışmaların ürünü olarak amorf yarıiletkenler teknolojiye bir çok uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Elektrofotorafi, optiksel kütüphane bellekleri bu uygulama alanlarının, en akla gelenleridir. Şimdi gündemde bu materyallerin güneş pili yapımında kullanılması bulunmaktadır.

Son birkaç yılda bu alanda da önemli gelişmeler olmuş; hesap makinaları ve transistörlü radyo gibi alçak güç isteyen alanlarda amorf yarıiletkenlerden yapılan güneş pilleri kullanılmaya başlanmıştır. Fakat henüz bu konu araştırma düzeyindedir.

Bilindiği gibi bir malzemenin kolay ve ucuz elde edilebilmesi, onun teknolojiye kullanılması yönünden büyük avantaj sağlar. Saf kristallerin elde edilmesindeki zor ve pahalı yöntemlere karşılık amorf lar daha kolay ve ucuz elde edilebilmektedir.

Gerek ekonomik avantajları gerekse, şimdiden bir çok teknolojik uygulama alanı bulmaları nedeniyle amorf yarıiletkenler, katıhal fiziği dalındaki araştırmacılar için ilgi çekici bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir.

Amorf yarıiletkenlerin fiziksel özelliklerinin anlaşılması konusunda şimdiye kadar önemli adımlar atılmıştır. Fakat henüz bu materyallerin çeşitli fiziksel özelliklerini, tüm araştırmacıları ikna edecek şekilde açıklayan kesin kuramlar bulunamamıştır. Örneğin de iletkenliği ve ac iletkenliği gibi en temel fiziksel özelliklerinin bile henüz her araştırmacının üzerinde anlaştığı kuramlarla açıklanabildiği söylenemez. Öte yandan, amorf yarıiletkenlerin fiziksel özelliklerinin tam ve kesin olarak bilinmesi, amorf yarıiletkenlerin kullanılma alanlarını yaygınlaştıracığı muhakkaktır.

Amorf yarıiletkenlerin, kristal yarıiletkenlerden en önemli farklarından biri; ikinci de, katkının etkili olmasına karşılık birinci de katkının çok etkili olmadığıdır. Başka bir deyişle kristal yarıiletkenlerde katkı, yarıiletkenin yasak enerji aralığında yeni enerji düzeyleri oluşturmakta ve bu düzeylerle yarıiletkenin iletkenliği kontrol altına alınabilmek-

tedir. Amorf yarıiletkenlerde ise katkı, yarıiletkenin iletkenliğe aynı oranda etkili olmamaktadır. Katkının rölünün ne olduğu ise halen araştırma konusudur. Bu noktadan hareket edilerek, araştırmamızda bir amorf yarıiletken olan As_2Se_3 ve buna % 15'i katılarak elde edilen $As_2Se_3 Bi_{0,15}$ camlarının $50^{\circ}C$ $150^{\circ}C$ 'lik sıcaklık aralığında dc iletkenliğinin değişimi incelenmiş ve Bi katkısının bu özelliğe etkisi araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

YARIİLETKENLER

2.1 Yarıiletkenlerin Yapısı.

Yarıiletken kristaller öz dirençleri oda sıcaklığında $(10^{-2} - 10^9) \Omega \text{ cm}$ arasında değişen katılardır. Yalıtkanların öz dirençleri ise, $(10^{14} - 10^{22}) \Omega \text{ cm}$ olarak bilinmektedir.⁽¹⁾ Yarıiletkenler bu özellikleriyle yalıtkanlar ve iletkenler arasında yer alırlar. Yarıiletkenlerin elektriksel öz dirençleri büyük ölçüde sıcaklığı bağlıdır. Mutlak sıfır sıcaklığında yalıtkan olan yarıiletken madde sıcaklık yükseldikçe iletken hale gelir.

Yarıiletken maddeler silikon, Germanyum ve değerlik bandı çift elektronlu olan bileşimlerdir. Bunlara örnek olarak periyodik cetvelin III-V, II-IV, IV ve IV grup elementlerinin bileşimlerini verebiliriz. En çok bilinenleri GaAs, GaSb, InSb, PbS ve CdS'dir.

2.2 Yarıiletkenlerin Band Yapısı.

Yarıiletken maddeler iletken ve yalıtkan kristaller gibi kristal yapıya sahip olan katılardır. Kristal yapı uzayda atomların periyodik bir biçimde dizilmesinden meydana gelir.

Dolayısıyla elektronların kristal içindeki davranışları incelenirken periyodik potansiyel kuyularının da etkisi dikkate alınarak,

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U(\vec{r}) \right] \Psi(\vec{r}) = E\Psi(\vec{r}) \quad (2.1)$$

şeklindeki Schrödinger denkleminin çözümlerinde periyodik sınır koşulları kullanılmalıdır. Burada $\Psi(\vec{r})$ örgünün periyodu ile modüle edilen düzlem dalgayı, m elektronun kütlesini, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ planck sabitini, $U(\vec{r})$ fonksiyonu ise: üç boyutta $T = m_1 a + m_2 b + m_3 c$ öteleme işlemini göstermek üzere, $U(\vec{r}) = U(\vec{r} - \vec{T})$ şeklinde periyodik potansiyel fonksiyonlarını ifade etmektedir (2.1) denkleminin çözümü,

$$\Psi(\vec{r}) = U(\vec{r}) e^{i\vec{k} \cdot \vec{r}} \quad (2.2)$$

şeklinde Bloch fonksiyonu ile ifade edilmektedir.

(2.2) denklemiyle ifade edilen elektronlar süreklilik koşullarının sınırlarda sağlanması şartından dolayı, ancak belirli enerjilerde bulunabileceklerdir. Kristal çok sayıda atomun yan yana dizildiği periyodik yapı olduğuna göre, Kristaldeki atomların elektronları kuantum mekaniği kuralları ve Pauli Prensipleri'ne göre bu enerji seviyelerine yerleşecekler, bundan sonra gelen enerji seviyeleri ise boş kalacaktır. Mutlak

sıfır sıcaklığında boş ve dolu seviyeleri ayıran seviyeye Fermi Seviyesi, bu seviyenin enerjisine de Fermi Enerjisi (E_F) denir. Bir kristalde enerjileri E ile $E+dE$ arasında ve spini verilen bir doğrultuda olan elektronlar için birim hacimdeki seviyelerin sayısına durum yoğunluğu (D_E) denir. Birim hacimdeki elektron sayısı N olmak üzere, durum yoğunluğu,

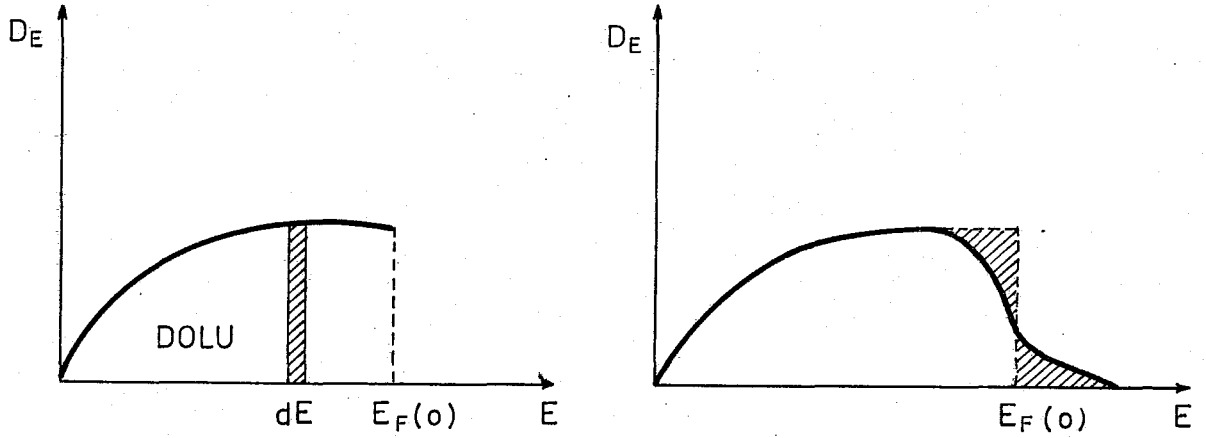
$$D_E = \frac{dN}{dE} \propto E^{1/2} \quad (2.3)$$

şeklinde, enerjinin karekökü ile orantılıdır. ⁽²⁾ Şekil (2.1)'de gösterildiği gibi, fermi enerjisinin tanımına göre, mutlak sıfır sıcaklığında $E_F(0)$ 'nin altındaki tüm durumlar dolu, üzerindeki ise boştur. Sıcaklık arttığında enerjileri $E_F(0)$ 'ye kT kadar yakın olan elektronlardan bir kısmı, boş olan üst düzeye geçebilir. Böylece bir T sıcaklığında durum yoğunluğunun enerjiye göre değişimi şekil (2.1)b'deki gibi olur.

Mutlak sıfır sıcaklığında elektron bulunduran en yüksek enerji düzeyine "değerlik bandı", bundan sonra gelen enerji bandına "iletim bandı" denir.

Bir kristaldeki enerji bandlarının üstüste binmesi veya binmemesi maddenin elektronik özelliklerini belirler. Bandların üstüste binmediği durumlarda, bandlar arasındaki aralıklar kristaldeki elektronların sahip olamayacakları enerjileri göstermektedir. Değerlik bandı ile iletim bandı arasındaki bu enerji aralığına bu nedenle Yasak Enerji Aralığı denir.

Yalıtkan kristallerde değerlik ve iletim bandı arasındaki yasak enerji aralığı $\sim 2-3$ ev basamağında olup, elektronlar bu aralığı ısı uyartma ile aşamazlar. Yarıiletkenlerde, yasak enerji aralığı elektronların ısı uyartma ile aşabileceği basamaktadır.



(a)

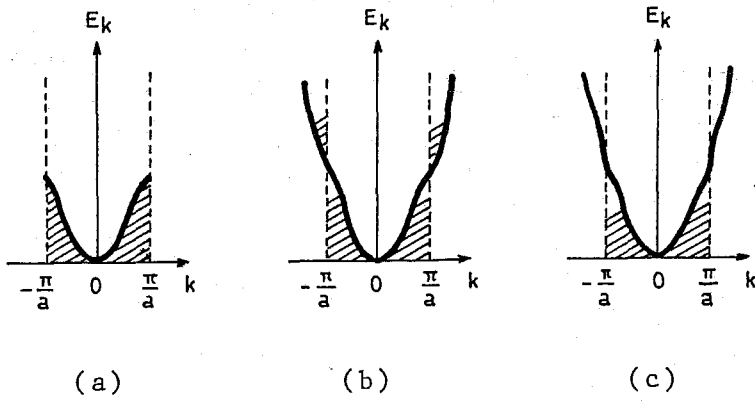
(b)

Şekil (2.1) Durum yoğunluğunun enerjiye göre değişimi a) 0°C b) T K

Yalıtkan ve yarıiletkenlerden farklı olarak, iletkenlerde değerlik ve iletim bandı üst üste bindiğinden bunlarda yasak enerji aralığı yoktur. Şekil (2.2)'de elektrik alan uygulandığında sırasıyla, yalıtkan, yarıiletken ve iletkenlerin k uzayındaki band yapıları şematik olarak gösterilmiştir.

Çizelge (2.1) Bazı Yalıtkan ve Yarıiletkenlerin Oda Sıcaklığındaki Yasak Enerjileri.

Kristal	E_g (eV) (300K)
Si	0,17
Ge	0,67
InSb	0,18
InAs	0,35
SnTe	0,18
InP	1,35
ZnO	3,20
ZnS	3,60
Elmas	5,40



Şekil (2.2) a,b,c, Yalıtkan, Yarıiletken ve iletkenlerin k uzayındaki band yapıları; (3)

2.3 Katkısız Yarıiletkenlerde İletim Mekanizması.

İçinde hiçbir yabancı atom bulunmayan yarıiletkenlere, Katkısız Yarıiletkenler denir. Katkısız yarıiletken maddelerde mutlak sıfır sıcaklığından itibaren sıcaklık artarken kovalent bağ kırılır ve değerlik bandındaki birkaç elektron geriye boşluklar bırakarak iletim bandına geçebilir. Bu elektronlar serbest eletron gibi davranır ve değerlik bandındaki boşluklarla birlikte iletkenliğe katkıda bulunurlar.

Yasak enerji aralığını aşabilecek kadar yeterli enerjiye sahip elektronların birim hacimdeki sayısı, k Boltzman sabitini, T sıcaklığı, E_g ise yasak enerji aralığını göstermek üzere,

$$N \propto e^{-E_g/kT}$$

şeklinde Boltzman fonksiyonu ile orantılıdır. (4)

Katkısız yarıiletkenlerde iletkenliğin hem elektronlardan hem de boşluklardan meydana geldiği gözönünde bulundularak, iletkenliği göstermek üzere,

$$\sigma = (n \mu_n + P \mu_p) \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada n ve p sırasıyla serbest elektron ve boşluk konsantrasyonu, μ_n ve μ_p ise, elektron ve boşluk

mobilitelerini göstermektedir.

Yarıiletkenlerde serbest elektron ve boşluk yoğunlukları sırasıyla;

$$n = 2 \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\frac{E_C - E_F}{kT}} \quad (2.2)$$

$$p = 2 \left(\frac{2\pi m_h^* kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\frac{(E_F - E_V)}{kT}} \quad (2.3)$$

şeklinde verilmiştir. ⁽¹⁾ Burada, m_e^* iletim bandı alt kenarındaki elektronların etkin kütlesi, m_p^* değerlik bandı üst kenarındaki boşlukların etkin kütlesidir.

Katkısız bir yarıiletkende boşluk ve elektron yoğunluklarının eşit olduğu dikkate alınarak, np çarpımı n_i^2 olarak adlandırılabilir; (2.2) ve (2.3) denklemlerinden,

$$np = n_i^2 = 4 \left(\frac{2\pi kT}{h^2} \right)^3 (m_e^* m_p^*)^{3/2} e^{-E_g/kT} \quad (2.4)$$

ve

$$n_i = 2 \left(\frac{2\pi kT}{h^2} \right)^{3/2} (m_e^* m_p^*)^{3/4} e^{-E_g/4kT} \quad (2.5)$$

bulunur. Bu değer, (2.1)'de yerine yazılarak,

$$\sigma = 2 \left(\frac{2\pi kT}{h^2} \right)^{3/2} (\mu_e + \mu_p) q (m_e^* m_p^*)^{3/4} e^{-E_g/2kT} \quad (2.6)$$

elde edilir. Burada m_e^* ve m_p^* kütleleri aslında sabit olmayıp, enerjiye bağlıdır. Ancak etkin kütle tanımından dolayı band sınırında bu kütlelerin sabit kabul edilmesinden ileri gelen hata önemsenmeyecek basamaktadır. Dolayısıyla,

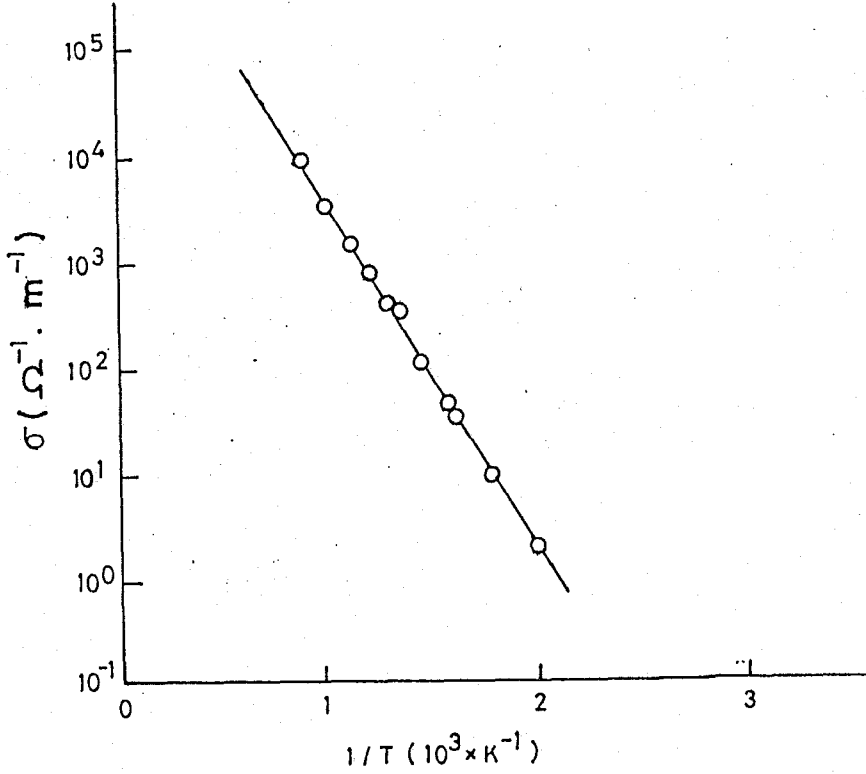
$$A_0 = 2 \left(\frac{2\pi kT}{h^2} \right)^{3/2} (m_e^* m_p^*)^{3/4} (\mu_e + \mu_p) q$$

olmak üzere, (2.6)

$$\sigma = A_0 e^{-E_g/2kT} \quad (2.7)$$

bulunur. Bu bağıntı, katkısız yarıiletkenlerde elektriksel iletkenliğin; sıcaklıkla üstel olarak arttığını, yasak enerji aralığı ile üstel olarak azaldığını gösterir.

Deneysel olarak yasak enerji aralığını bulmak için en çok kullanılan yöntemlerden biri, iletkenliğin logaritmasının $1/T$ 'nin fonksiyonu olarak grafiğin çizilmesidir. Grafiğin eğiminden $E_g/2k$ oranı, dolayısıyla yasak enerji aralığı bulunabilir. Şekil (2.3)'de Si elementi için bu yöntemle eğrinin bulunuşu gösterilmiştir.

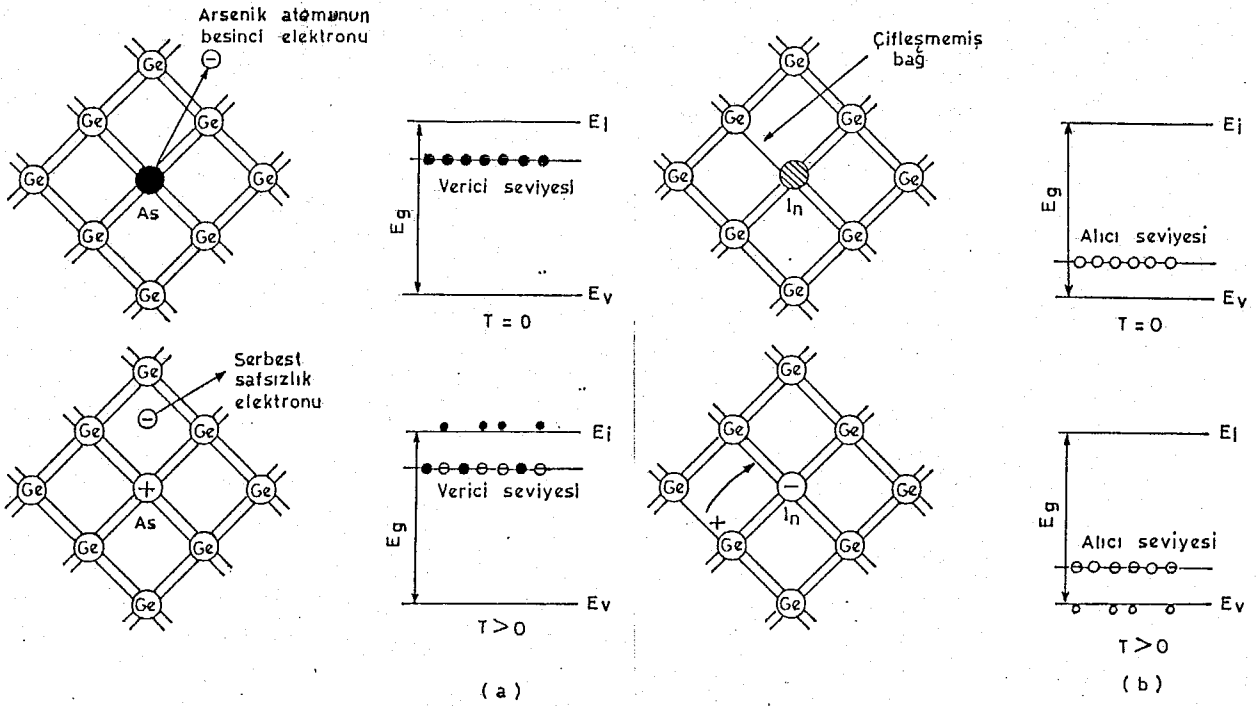


Şekil (2.3) Si elementinin iletkenliğinin logaritması ile $1/T$ ' nin değişimi. (4)

2.4 Katkılı Yarıiletkenler.

Si, Ge gibi element halindeki saf yarıiletkenlerin değerlik bandında dörder elektron bulunur. Atomlar bu elektronları ortaklaşa kullanarak, kovalent bağlar oluşur. Saf haldeki bu yarıiletkenlere beş değerlik elektronlu (P,As,Sb) veya üç değerlik elektronlu (B,Al,In) yabancı atomlar katıldığında yarıiletkenin yasak enerji aralığında, katkının beş veya üç değerlikli oluşuna göre yeni enerji düzeyleri oluşur. Bu katkılı

yarıiletkenlerden katkısı beş değerlikli olanlara n tipi, üç değerlikli olanlara P tipi yarıiletken denir. Yarıiletkenlerdeki katkılara da sırasıyla donör (verici), akseptör (alıcı) denir. Şekil (2.4)'de n tipi ve P tipi Germenyumun oluşumu ve band yapısı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil (2.4) Katkılı Yarıiletkenlerin Oluşumu ve Band Yapısı⁽⁵⁾ a)n tipi b)p tipi.

Katkılı yarıiletkenlerde iletkenliğin sıcaklığa bağımlılığı asal yarıiletkenlerin durumundan farklıdır. (Şekil 2.5) Alçak sıcaklıklardan itibaren katkı atomları iyonize olur ve bu iyonizasyon yarıiletkenlere göre değişen bir T_0 kritik sıcaklığında doyuma ulaşır. Örneğin n tipi Si ve Ge'de tüm do-

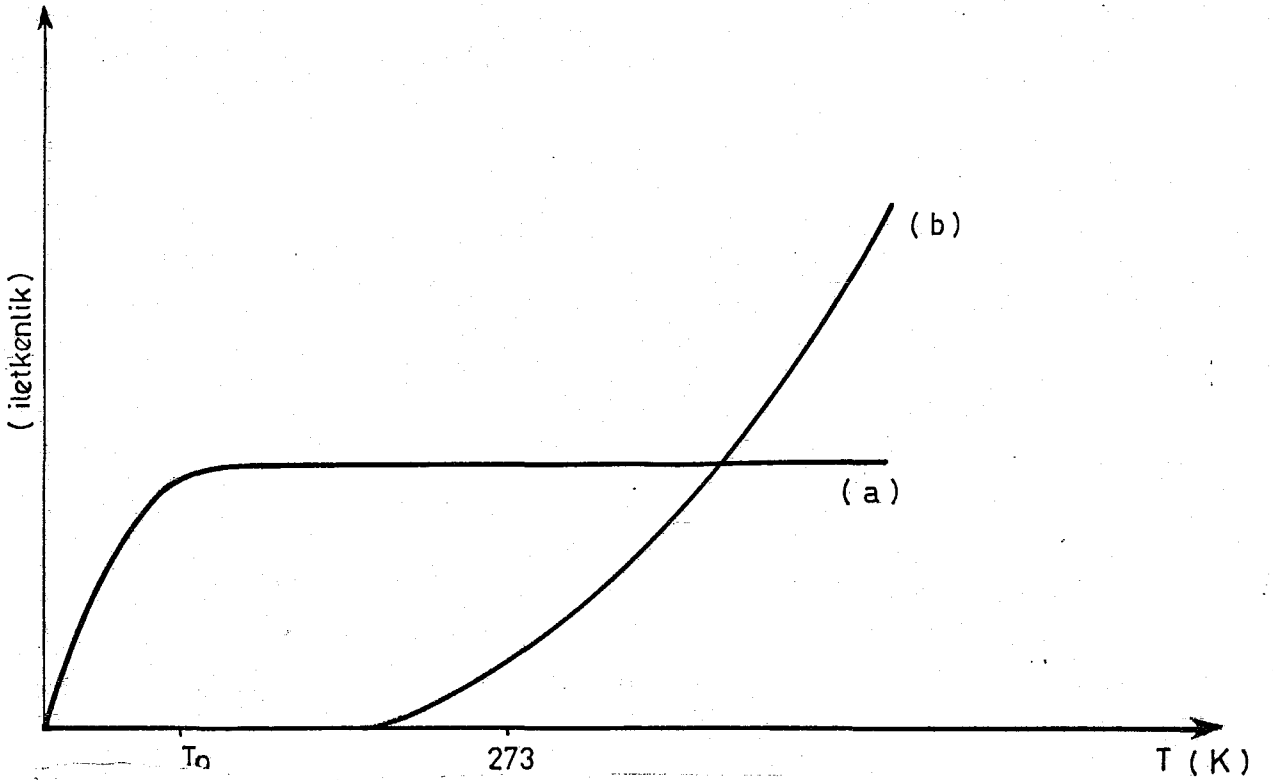
donarlar iyonize olmuş durumdadır. Dolayısıyla artık iletkenlik sıcaklıkla değişmez. Katkılı yarıiletkenlerde iletkenlik; çok alçak sıcaklıklarda sıcaklıkla daha sonra ise katkı yoğunluğu ile kontrol edilebilir.

Tüm katkı atomlarının iyonize olduğu bir sıcaklıkta n ve p tipi yarıiletkenlerin iletkenliği sırasıyla,

$$\sigma_n = N_d q \mu_n$$

$$\sigma_p = N_a P \mu_p$$

bağıntılarıyla verilir. (1) Burada N_d "donor", N_a "akseptör" yoğunluklarını gösterir.



Şekil (2.5) (a) Katkılı (b) Katkısız Yarıiletkenlerde İletkenliğin Sıcaklık Değişimi. (6)

BÖLÜM 3

AMORF YARIİLETKENLER

3.1 Amorf Yarıiletkenler ve Sınıflandırılması.

Kristaller, yapıtaşları arasında uzun mesafe düzeni olan katılardır. Yapıtaşları arasında uzun mesafe düzenin yerine kısa mesafe düzeninin yer aldığı yarıiletkenlere "Amorf Yarıiletkenler" denir.

Yarıiletkenlerden amorfllara dönüştürülen maddeler periyodik tablonun III, IV, I ve VI grup elementlerini içerir.⁽⁷⁾ Bu elementler camsı bileşimlerinde atomlar arası bağ kuvvetlerine ve bunun sonucu olarak oldukça kuvvetli yerel dizilere sahiptir. X ışınları difraksiyon ölçümleri; amorf maddedeki en yakın komşu düzeninin, kristal durumlara çok benzediğini ortaya çıkarmıştır.

Kısa mesafe düzeninin herhangi bir kristalde olduğu gibi amorf durumla da aynı olması kristalin bazı temel özelliklerinin aynen korunduğunu gösterir.

Amorf yarıiletkenler kimyasal bağ yapılarına göre; kovalent, iyonik ve dielektrik filimler olmak üzere üç genel

grupta sınıflandırılır. Katı maddelerin elektronik özellikleri öncelikle en yakın komşular arasındaki kimyasal bağların karakteriyle açıklandığı için benzer bir sınıflandırma, kristal yapı katılar için de yapılabilir.

Kovalent amorf yarıiletkenler de aralarında üç gruba ayrılırlar:

(A) Periyodik cetvelin III. ve IV. grup bileşimleriyle, Si ve Ge elementleri gibi tetrahedral (dörtlü bağ) düzenindeki katıları içine alır. Bunlar ince filim yöntemiyle amorf olarak hazırlanan dörtlü bağlı amorf filimlerdir.

(B) Dörtlü bağlı camlar.

(C) Halkojenür camları olarak bilinen ve Se, Te, S halkojenür elementlerinden bir veya birçoğunu içeren ve bu elementlere belirli bir oranda As, Ge, Si, Tl, Pb, P, Sb ve Bi elementlerinden bir veya birden fazlasının katılmasıyla elde edilen katılardır.

Halkojenür camlarının başlıca bileşimleri, As_2S_3 , As_2Se_3 , Sb_2S_3 , Sb_2Se_3 gibi V-VI bileşenleriyle, Ge-Te, Ge-Se, GeS gibi IV-VI alaşım sistemlerini içerir. (8)

$As_2Se_3-As_2Te_3$, $As_2Se_3-As_2Te_3-Tl_2Se$ gibi sistemler üçlü karışık sistemleri olarak bilinir. Halkojenür camlarının sınıflandırılması bileşenlerinin stoimetrik oranlarından ayrılmaya izin veren serbestliklerinden dolayı daha güçtür. Örneğin, $As_{30}Te_{48}Si_{12}Ge_{10}$ gibi keyfi oranlı çok bileşenli camlar üze-

Çizelge (3.1): Amorf Yarıiletkenlerin Sınıflandırılması. (10)

1. Kovalent Amorf Katılar.

(A) Dörtlü bağlı filimler.

Si, Ge, SiC, InSb, GaAs, GaSb,

(B) Dörtlü bağlı camlar.

$CdGe_xAs_2$, $CdP_{1-x}P_2$, $ZnSi_xP_2$, $CdSn_xAs_2$

(C) Halkojenür yarıiletkenler.

(i) Elementler ve bileşimleri;

Se, S, Te, As_2Se_3 , As_2S_3 ,

(ii) Üçlü karışık sistemleri;

Ge-Sb-Se	Si-Ge-As-Te
Ge-As-Se	As_2Se_3 - As_2Te
As-Se-Te	Tl_2Se - As_2Te_3

(D) Diğerleri.

B, As, $(Cu_{1-x}Au_x)Te_2$

2. İyonik Yarıiletkenler (oksid camlar).

V_2O_5 - P_2O_5	MnO - Al_2O_3 - SiO_2
V_2O_5 - P_2O_5 - BaO	CaO - Al_2O_3 - SiO_2
V_2O_5 - GeO_2 - BaO	FeO - Al_2O_3 - SiO_2
V_2O_5 - PbO - F_2O_3	TiO_2 - B_2O_3 - BaO
.....

3. Dielektrik Filimler.

SiO_x , Al_2O_3 , ZrO_2 , TaO_3 , Si_3N_4 , B_N

rinde elektriksel anahtarlanma olayı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. (9)

3.2 Amorf Yarıiletkenlerin Hazırlanması.

Amorf yarıiletkenlerin hazırlanmasında uygulanan birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerin seçimi ve uygulanması amorf yarıiletken materyalin fiziksel özelliklerini geniş ölçüde etkiler.

İnce filim olarak çalışılan amorf örneklerin hazırlanmasında genellikle buharlaştırma yöntemi uygulanır. Hacimli örneklerin yapılmasında ise, eritilmiş maddenin hızla soğutulması işlemi uygulanır. Bu işlemde sıvılaştırılmış materyal T_m erime sıcaklığından itibaren hızla soğutulularak bir T_g cam geçiş sıcaklığında yeniden kristalleşmeden cam şeklini alır.

Şekil (2.1)'den görüldüğü gibi T_m erime sıcaklığı ile T_g cam geçiş sıcaklığı arasında, madde hem kristal hem de cam formunda olabilmektedir. Kristalleşme sırasında viskozite, entropi ve iç enerji süresiz olarak; cam haline geçildiğinde ise bu özellikler sürekli olarak değişmektedir. Soğuma hızının büyük olması, hacmin büyük olmasına ve camlaşma olasılığının artmasına neden olur. Başka bir deyişle, oldukça yavaş bir soğuma hızı maddenin kristal halini korumasına neden olabileceğinden camlaşmanın sağlanabilmesi için, kullanılan maddenin özelliklerine bağlı olarak belirli deney şartlarının gözönünde bulundurulması gereklidir. Genellikle, 1 gramdan daha büyük kütleli ve $1^\circ\text{C}/\text{dak}$ 'dan daha büyük soğuma hızına sahip olan maddeler cam şeklini alabilmektedir. (12)

limleri önlemesi ve bu gerilimlerin neden olduğu mikro boşlukların, dolayısıyla mikro boşlukların iç yüzeylerinde olması beklenen kopuk bağların olmadığı ideal camsı duruma yaklaştırmaya izin vermesi nedeniyle soğutma hızının olabildiğince küçük olması istenir.

Kristalleşme kinetiği çok küçük olan As_2S_3 mükemmel bir cam olarak kabul edilir. Büyük miktarda As_2S_3 kütlesinin oldukça yavaş soğutulmasıyla cam elde etmek mümkündür.⁽⁹⁾ Gerçekten de ergitilmiş As_2S_3 'ün kristalleşmesi oldukça güçtür. Kristalleşme olasılığı yükseldikçe sıvı daha hızlı soğutulmalıdır.

3.3 Amorf Yarıiletkenlerin Band Yapısı.

Kristal yapısı olmayan amorf katılarda band yapısını açıklamak için kaçınılmaz olarak sorulan en önemli soru, örgüde periyodikliğin bozulması, kopuk bağlar, mikro boşluklar gibi yapı kusurlarının band yapısında oynadığı rolün ne olduğudur.

Amorf maddelerde uzun mesafe düzeninin olmaması elektronun yapı içinde hareket edeceği potansiyel kuyularındaki periyodikliğin ortadan kalkmasına ve potansiyel dalgalanmalarına neden olur.

Anderson, kuyu derinliğindeki düzensizliği V_0/B oranıyla belirlemiştir. Burada V_0 kuyu derinliğindeki periyodiklikten sapma miktarını, B ise, komşu atomların dalga fonksiyonlarının üst üste binmesini ölçen bir büyüklüğü ifade etmektedir.⁽¹³⁾

Anderson ve Mott kuramlarına göre, amorfllardaki düzensiz yapı bandın altında ve üstünde kuyruklar şeklinde yerleşik (lokalize) durumların yer almasına neden olur.⁽⁹⁾ Kristal olmayan katılarda ve sıvılardaki durum yoğunluklarının şeklinin kristal yapısından tek farkı yasak enerji aralığındaki bazı yerleşik durumların varlığıdır. Bu durumda, yasak enerji aralığından söz edilemez. Bunun yerine, yerleşik durumların bulunduğu bir aralıktan söz edilebilir. Bu aralığa, Mobite Aralığı denilmektedir. Mott buna ek olarak yaygın ve yerleşik durumların enerjileri arasında kesin bir sınır olabileceğini belirtmiştir. Yerleşik durumları yaygın durumlardan ayıran enerji mobite kenarı olarak adlandırılır.⁽¹⁴⁾

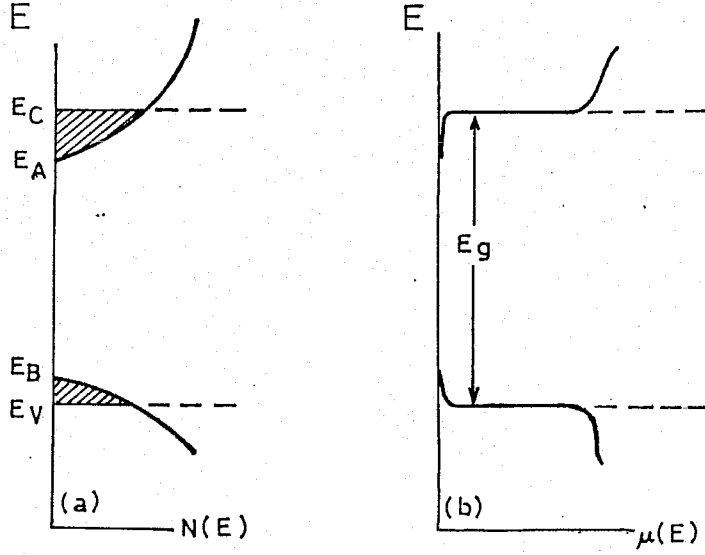
Şekil (3.2)'de E_C ve E_V sırasıyla, iletim ve değerlik bandlarını bunlara ilişkin band kuyruklarından ayıran kritik enerji düzeylerini, E_A ve E_B ise, band kuyruk uçlarını göstermektedir.

Amorf yarıiletkenlerin band yapısını açıklayan birçok modelin hepsinde yerleşik durumlar, band kuyrukları, mobilite aralığı kavramları kullanılmıştır.

CFO adıyla bilinen Cahen, Fritzsehe ve Ovshinky modelinde kuyruk durumları aralık boyunca yayılmıştır. (Şekil 3.3)

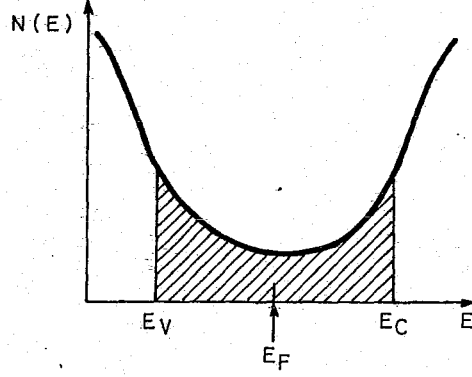
Bu model fermi enerjisinin mobilite aralığının ortasında üst üste binecek şekilde sabitleştiğini öngörür. Yerleşik durumdaki kademeli azalış iletim ve değerlik bandı kenarların-

daki keskinliğin ortadan kalkmasına neden olur.



Şekil (3.2) Kopuk Bağlar, Mikro Boşluklar ve Safsızlıklar gibi Kusurların Olmadığı İdeal Bir Yariiletkenin Band Yapısını ve Mobilite Aralığını Göstermektedir.

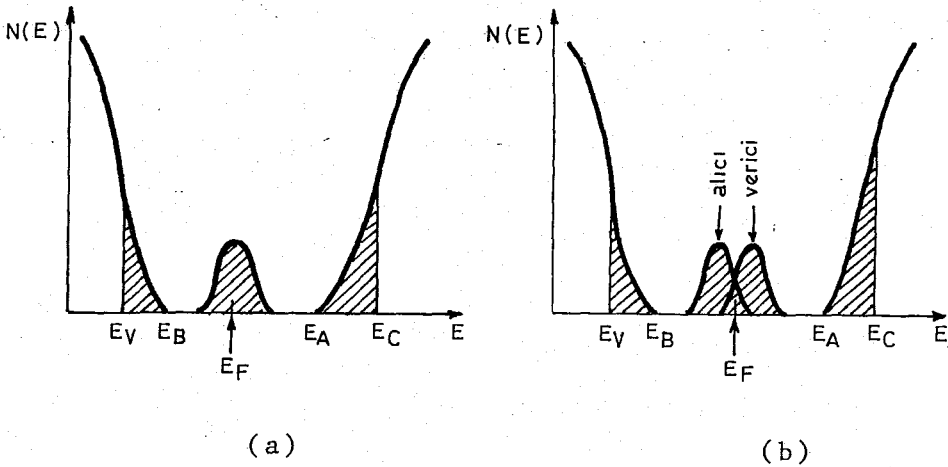
CFO Modeli halkojenür camları için düşünülmüş, daha sonraları a.si'deki fotoiletkenlik ve kuyu probleminin çözümünde benzer bir model kullanılmıştır.⁽⁷⁾ Ancak halkojenür camlarında düzensizliğin çok fazla oluşu, değerlik ve iletim bandı kenarlarında (band tail) ve aralığın ortalarında yerleşik durumlara neden olur. Gözlemler, halkojenür camlarındaki kuyruk durumlarının dar bir bölgede olduğunu göstermiştir ki, bu durum CFO modeline itirazlara neden olmaktadır.⁽⁷⁾



Şekil (3.3)

CFO Band Modeli. (7)

CFO modelinden farklı bir model olan, Mott Davis modeline göre, kuyruk durumları üst üste binmezler. Bu modelde kuyrukların neden olduğu yerleşik durumlar fermi enerjisi üzerinde bir tepe oluşturur. Şekil (3.4 a)

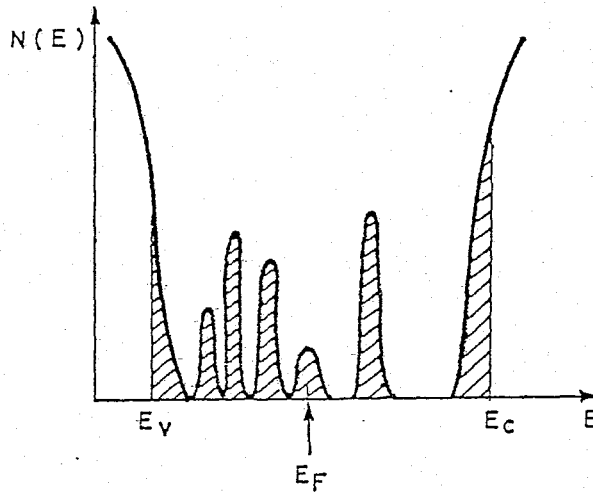


Şekil 3.4 (a) Mott-Davis (b) Marshall-Owen Band Modelleri.

Marshall-Owen band modelinde ise, yerleşik durumlar fermi enerjisini ortalayacak şekilde yer almıştır. Bunlardan biri alıcı (akseptör)- diğeri verici (donor)' lere karşılıktır. (Şekil 3.4 b)

As_2Se_3 amorf yarıiletkeni için yapılan fotoiletkenlik ölçülerinde mobilite aralığındaki yerleşik durumların kesikli bir değer aldığı gözlenmiştir. (7)

Camsı As_2Se_3 için gözlemlerden elde edilen sonuç şekil (3.5)'te gösterilmiştir.



Şekil (3.5) As_2Se_3 Maddesinin Band Yapısı.

3.4 Amorf Yarıiletkenlerde D.C İletkenliği.

Bölüm 2.3'te açıklandığı gibi Davis-Mott band modeline

göre amorf yarıiletkenlerde iletim ve değerlik bandları uçlarında ve band aralığının ortasında yerleşik durumlar vardır. Bu da iletkenliği farklı sıcaklık bölgelerinde üç farklı şekilde mümkün kılar. Bunlar;

1) Yüksek sıcaklıkta elektronların iletim bandına, boşlukların ise, değerlik bandına uyartılmalarıyla kazanılan banddan banda yaygın durum iletkenliği,

2) Düşük sıcaklıklarda mobilite aralığındaki yerleşik enerji düzeyleri arasında fonon yardımcı hoplama iletkenliği,

3) Daha düşük sıcaklıklarda fermi enerjisi civarındaki taşıyıcıların yerleşik enerji düzeyleri arasında en yakın komşuya olan hoplama iletkenlikleridir.

Aşağıda bu farklı iletim olayları sırasıyla, konumuz çerçevesi içinde incelenecektir.

1) Yaygın Durum İletkenliği

Herhangi bir yarıiletkende iletkenlik, $N(E)$ durum yoğunluğunu, $f(E)$ fermidirac dağılımını, $\mu(E)$ mobiteyi göstermek üzere,

$$\sigma = e \int [N(E) \mu(E) f(E) (1-f(E))] dE \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. $E \ll E_c$ olduğunda, fermidirac dağılım fonksiyonu yerine Boltzman istatistiği kullanılabilir. O halde, (3.1) denklemi,

$$\sigma = e \int N(E) \mu(E) e^{-\frac{E - E_F}{kT}} dE \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. E_c üzerine uyartılan elektronların iletkenliğini gözönüne alırsak, (3.2)'den,

$$\sigma = e N(E_c) kT \mu_c e^{-\frac{(E_c - E_F)}{kT}} \quad (3.3)$$

elde edilir. Burada μ_c ortalama mobilitedir. ⁽¹⁰⁾

Denklem (3.3) de,

$$\sigma_0 = e N(E_c) kT \mu_c$$

olmak üzere,

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{E_c - E_F}{kT}} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir. Amorf yarıiletkenlerin bir çoğunda σ_0 ; $(100-600) \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ arasında değer alır. Optik absorpsiyon ölçümlerinden amorf yarıiletkenlerde sıcaklık artışı ile band aralığının küçüldüğü gözlenmiştir. ⁽¹⁴⁾ O halde $E_c - E_F$ enerji farkı sıcaklığa lineer olarak,

$$E_c - E_F = E(0) - \gamma T \quad (3.5)$$

şeklinde bağlıdır. Burada $E(0)$, $T=0$ K'deki enerjiyi göstermektedir. γ ise sıcaklık katsayısı olarak adlandırılır. Halkojenür camlarında sıcaklık katsayısı genellikle $\sim (5.10^{-4} - 8.10^{-4}) \text{ eV/K}$

arasında değişir. ⁽¹⁴⁾ Denklem (3.4) ve (3.5)'ten

$$\sigma = \sigma_0 e^{\gamma/K} e^{-E(0)/kT} \quad (3.6)$$

ifadesi elde edilir.

$$C = e N(E_c) kT \mu_c e^{\gamma/k} \quad (3.7)$$

katsayısının tanımlanmasıyla, iletkenlik bağıntısı

$$\sigma = C e^{-E(0)/kT} \quad (3.8)$$

olur. (3.8) denkleminde $\ln \sigma = f(1/T)$ grafiğinin eğiminden $E(0)/kT$ elde edilebilir.

2) Sıcaklığın belli bir değerin altına düşmesiyle band iletimi etkinliğini yitirir ve kuyruk durumu uçlarındaki E_A ve E_B enerjili taşıyıcıların yerleşik durumlara hoplama iletkenliği etkili olur. İletimin elektronlarla yapıldığını varsayalım. Elektronların daha yüksek enerjili duruma geçmesi tünelleme ile, daha alçak enerjili duruma geçmesi ise, fonon yayınlanması ile olur. Elektronların geçiş yaptığı iki enerji farkı arasındaki, hoplama aktivasyon enerjisi ∇W ile ifade edilmektedir. Bu durumda iletkenlik,

$$\sigma = \sigma_1 e^{-\left(\frac{E_A - E_F + W_1}{kT}\right)} \quad (3.9)$$

şeklinde yazılır. ⁽⁷⁾

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 As_2Se_3 Materyalinin Seçimi ve Özellikleri.

Çalışma konusunun seçiminde amorf yarıiletkenlerde katkının iletkenliğe etkisinin güncelliği gözönünde bulundurulmuştur.

Deney materyali olarak diğer araştırmacılar tarafından da çalışılan amorf As_2Se_3 hacimli halojenür camı seçilmiş ve bu materyale % 15 oranında Bi elementini katarak $As_2Se_3Bi_{0,15}$ katlı yarıiletkeni ile çalışılması düşünülmüştür. Bu seçim laboratuvar olanaklarımızla ilgilidir.

As_2Se_3 oda sıcaklığında hemen hemen yalıtkandır. Dolayısıyla bu materyalin iletkenliği oda sıcaklığından başlayarak geniş bir sıcaklık aralığında ölçülebilir. Buna Bi katkısının seçimi ergime noktasının (Çizelge 4.1) birbirlerine yakın oluşu ve fırınlama işleminde laboratuvar olanaklarımız uyması açısından elverişlidir.

Çizelge (4.1) Deneyde Kullanılan Maddelerin Ergime Noktaları.

Madde	Ergime Noktası
As	817,00 (36 atm)
Se	222,22 (1 atm)
Bi	2,17,00(1 atm)

4.2 Camların Hazırlanması.

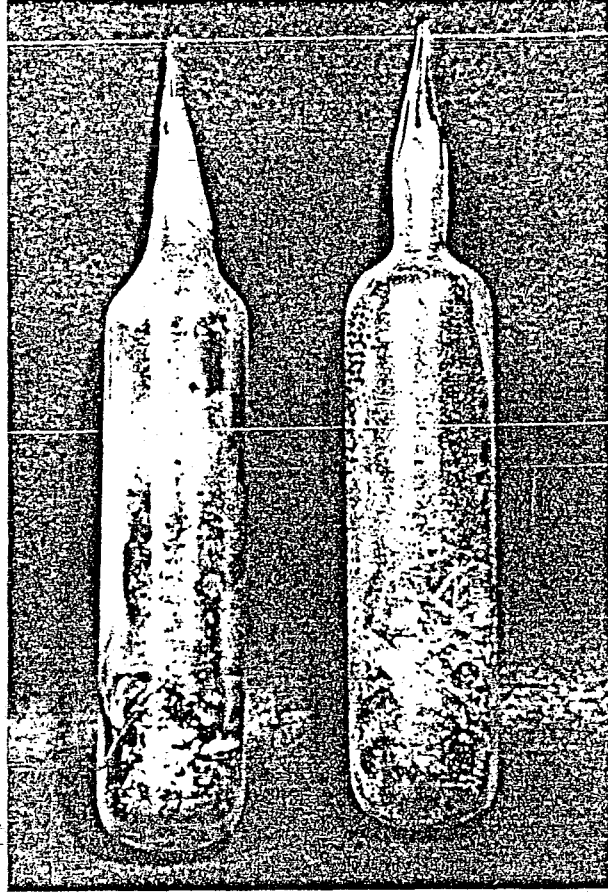
As_2Se_3 ve $As_2Se_3Bi_{0,15}$ camlarını hazırlamak için %99,9999 saflıkta toz halde temin edilen elementler, digital bir terazide $\sim 1,0 \cdot 10^{-4}$ duyarlıkla tartıldı. Kullanılan miktarlar Çizelge (4.2)'deki gibidir.

Çizelge (4.2): Camların Yapısında Bulunan Madde Miktarları

Kullanılan Element	As_2Se_3 (g)	$As_2Se_3Bi_{0,15}$ (g)
As	3,6563	2,8620
Se	5,7802	4,5246
Bi	—	0,5987

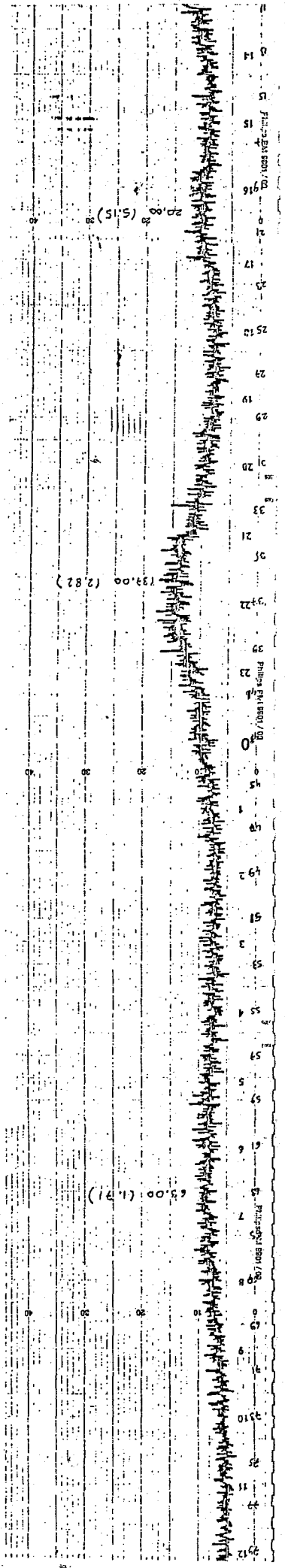
Camları oluşturacak bu karışımlar daha önce sıcak alevde hazırlanan pyrex tüplere yerleştirildi. Tüplerin havası $\sim 0,1$ Torr'luk mekanik pompa ile çekilirken, ortası alevde kapatıldı. Uçları hava geçirmeyecek şekilde kapatılan bu tüpler, $\sim 600^\circ C$ 'de kararlı kalabilen bir fırında 15 saat boyunca tutuldu. Yapısal homojenliğin sağlanması için, tüpler her yarım saatte bir çalkalandı. Fırınlama işleminden sonra, içinde sıvı halde malzemenin bulunduğu tüpler oda sıcaklığında soğumaya

bırakılarak, materyalin camlaşması sağlandı. Şekil (4.1)'de bu yöntemle hazırlanan materyalleri gösterilmektedir.



Şekil (4.1) Pyrex Tüpler İçinde Hazırlanan Amorf Maddeler.

Deney şartlarının kontrolü ve hazırlanan materyallerin amorf olup olmadığının anlaşılması için her iki materyalden alınan ham örnekler toz haline getirilerek bunların X ışını, toz kırınım desenleri alınmıştır. Şekil 4.2(a) ve 4,2(b)'de sırasıyla As_2Se_3 ve $As_2Se_3Bi_{0,15}$ camlarına ait deneyler görülmektedir. Her iki desen, şekilden görüldüğü gibi, tipik amorf yapı desenleridir.



Şekil 4.2 (b) $As_2Se_3 Bi_{0,15}$ Materyalinin X Işını toz kırınım deseni.

4.3 Hacimli Örneklerin Hazırlanması.

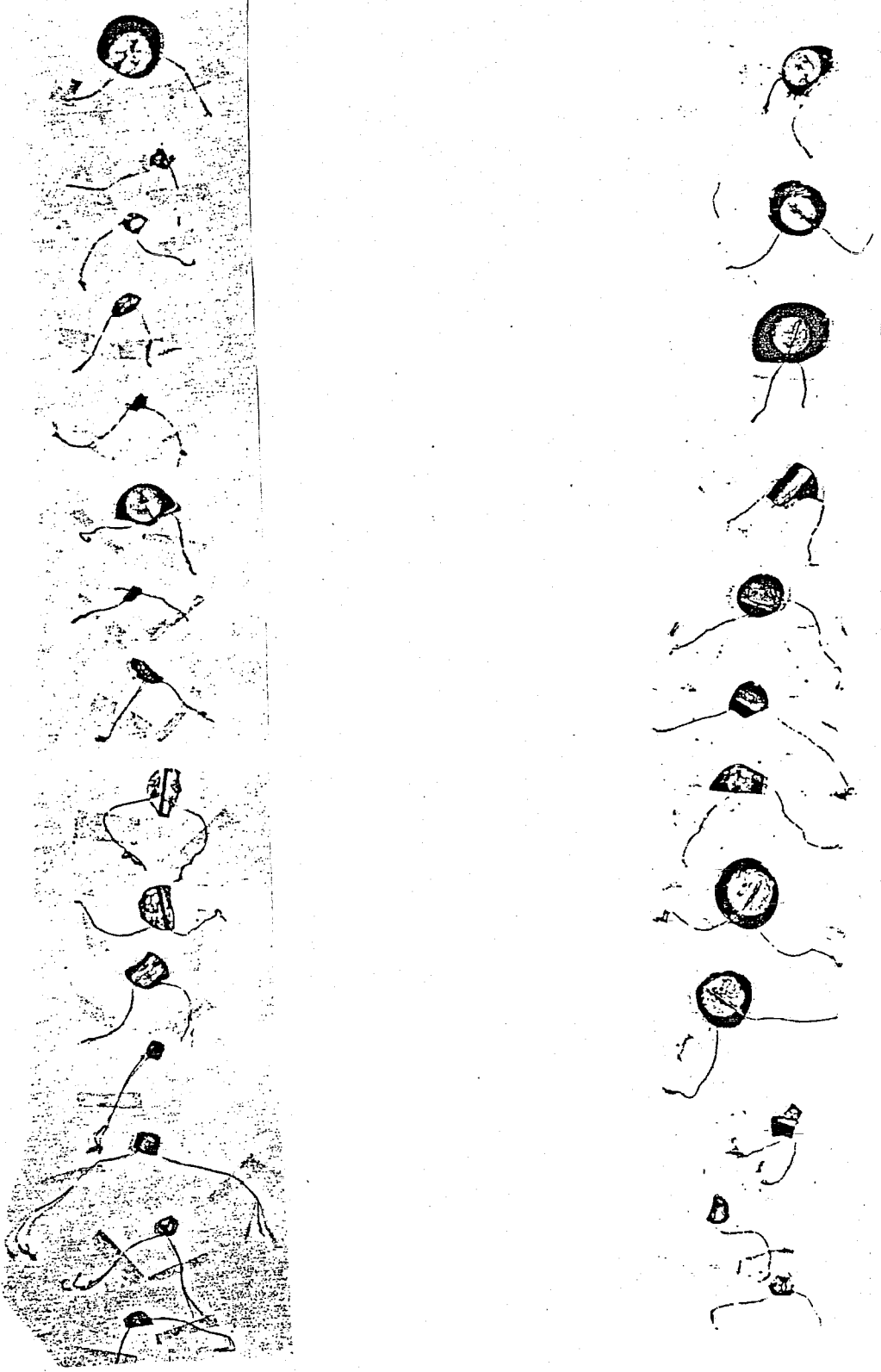
Örneklerin iletkenlik ölçümlerinde kullanılabilmesi için, hacimce küçük ve olabildiği kadar ince olmaları gerekmektedir. Ayrıca örnek hazırlama işlemi, malzemenin camsı yapısını bozmamalıdır. Bu nedenle örnek hazırlanmasında üç ayrı yöntem kullanılmıştır.

(i) Camlar küçük parçalara bölünerek uygun şekilli olanları ham örnek olarak kullanıldı.

(ii) Ham örnekler zımpara ile inceltilecek ~ 1 mm kalınlığında paralel yüzlü düzgün örnekler yapıldı.

(iii) Ham örneklerin bir kısmı, ısıya dayanıklı iki cam arasında alevde yumuşatılarak sıkıştırılmak suretiyle hem daha ince ($\sim 0,5$ mm) hem de daha düz düzeyli örnekler elde edildi. Malzemenin çok kırılğan oluşu örnek hazırlamada en büyük engel olmuştur.

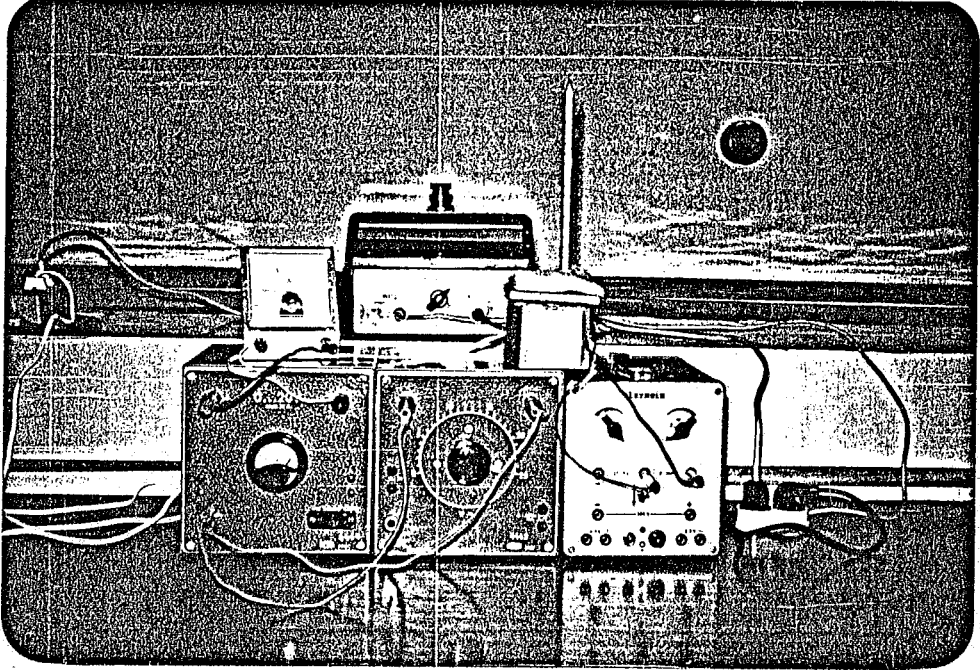
Hazırlanan örneklere, bir maske aracılığı ile vakum ünitesinde Al elektrod kaplandı. Gümüşlü yapıştırıcı (silver-luck) ile elektrodalara bakır teller yapıştırıldı. Böylece diğer araştırmacıların ⁽¹⁴⁾ kullandığı sandoviç elektrod yapılı örnekler elde edildi. Hazırlanan örneklerin bir kısmı şekil (4.3)'de görülmektedir.



Şekil (4.3) Elektrod Kaplanmış Hacimli Halkojenür Camları.

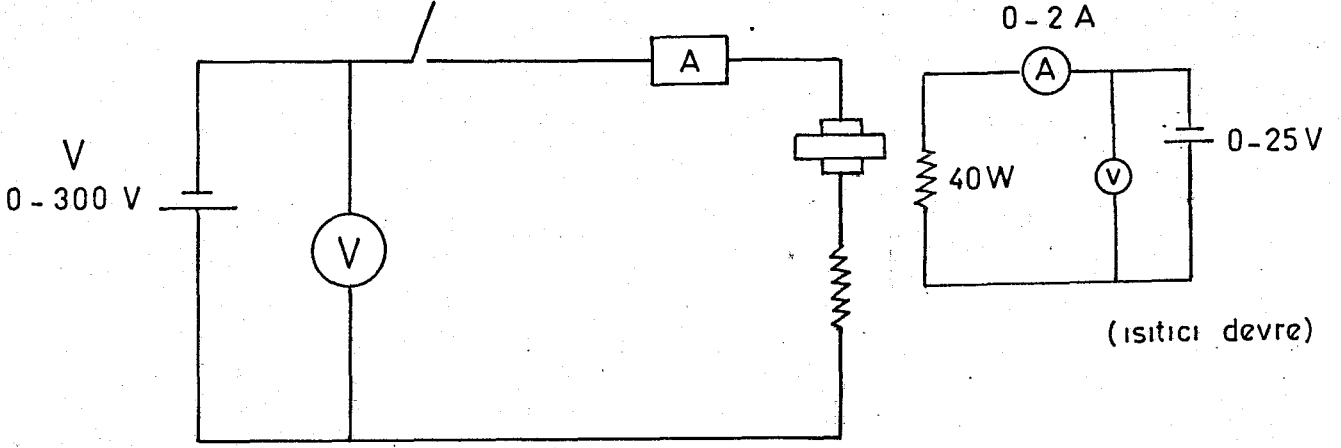
4.4 Deney Düzenegi:

Örneklerin iletkenliğini ve iletkenliğin sıcaklıkla değişimini ölçmek için şekil (4.4)'deki düzenek kullanılmıştır. Bu düzenegin karşılığı olan devre, şekil (4.5)'de görülmektedir. Düzenek, biri örnekten geçen akımın kontrol edildiği, diğeri örneğin bulunduğu ortamı kontrollü olarak ısıtan ısıtıcı devre olmak üzere iki devreden oluşur.



Şekil (4.4) Deney Düzenegi.

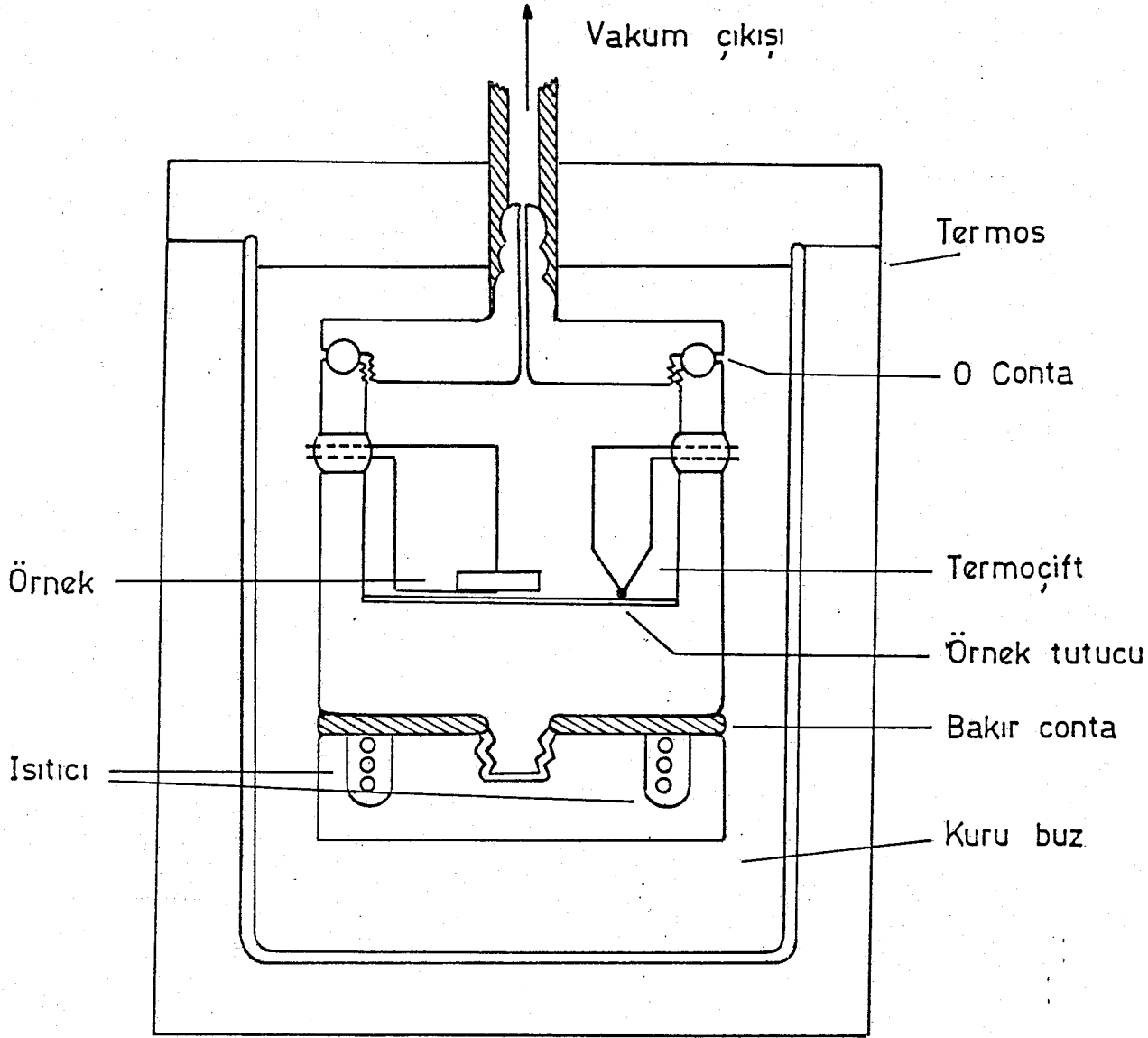
Devredeki ampermetre $2,0 \cdot 10^{-8}$ Ampere kadar akımları ölçebilen aynalı bir galvanometredir. Örneği istenilen sıcaklıkta tutmaya yarayan kriyostat şekil (4.6)'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil (4.5) Deneyde Kullanılan Düzenegın Şematik Gösterimi.

Şekilden görüldüğü gibi 40 wattlık bir direnç telinden oluşan ısıtıcı, metal (pirinç) bir parçadan yapılan kriyostat tabanına yerleştirilmiştir. Sıcaklık $0,2^{\circ}\text{C}$ 'ye duyarlı bir sıvalı termometre ile ölçülmüştür.

Düzenekle oda sıcaklığından başlayarak ~ 450 k'ye kadarlık bir sıcaklık aralığında iletkenlik ölçülebilmektedir. Bunun için önce sistem, iletkenliğin ölçülebileceği sıcaklığa getirilir. Örneğe uygun bir V_i gerilimi uygulayarak örnekten geçen I_i akımı ölçülür. Şekil (4.5)'teki devreden görüldüğü gibi, V_i ve I_i 'nin ölçülmesiyle bu sıcaklıktaki iletkenlik;



Şekil (4.6) Deneyde Kullanılan Kriyostat.

$$G_i = \frac{1}{R_i} = \frac{I_i}{V_i - R_0 I_i} \quad (4.1)$$

olur. Burada R_0 örneğe seri bağlı koruyucu direnci göstermektedir. Sıcaklık $\sim 5-10^\circ\text{C}$ 'lik adımlarla arttırılarak her sıcaklık basamağı için G_1, G_2, G_3, \dots iletkenlikleri ölçülür. Bu ölçü periyodu ile çalışılan sıcaklık aralığı boyunca örneğin iletkenliği bulunmuş olur. Kalınlığı (d) ve elektrod alanı (A) olarak bilinen örneklerin öziletkenliği,

$$\sigma_i = G_i \frac{d}{A} \quad (4.2)$$

bağıntısı ile dolaylı olarak ölçülmüş olur.

Devreden geçen akımın ölçülebilmesi sırasında, örneğin gerçek sıcaklığının ölçülmesi ve bu sıcaklığın değişmemesi, başka bir deyişle kararlı kalması sağlanmalıdır. Bu durum ısıtıcıya uygulanan gerilimle sağlanabilmektedir. Bunun kontrolü de örnekten geçen akım gözlenerek yapılabilir. Akımın azalması, örneğin direncinin artması demek olduğundan örneğin sıcaklığının azaldığını, akımın artması sıcaklığın arttığını, akımın sabit kalması ise örneğin kararlı bir sıcaklıkta bulunduğunu gösterir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

As_2Se_3 ve $As_2Se_3Bi_{0,15}$ camlarından yapılan örneklerle ait dc iletkenliğinin sıcaklığın tersi ile değişimini gösteren grafikler, sırasıyla şekil 5-1,2,3,4 ve şekil 5-5,6,7,8'de gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi, çalışılan sıcaklık aralığı boyunca; $\sigma-1/T$ (ya da $G-1/T$) grafikleri yarı-logaritmik grafik kağıdında lineer çıkmaktadır. Bu sonuç bize, her iki materyalin dc iletkenliğinin,

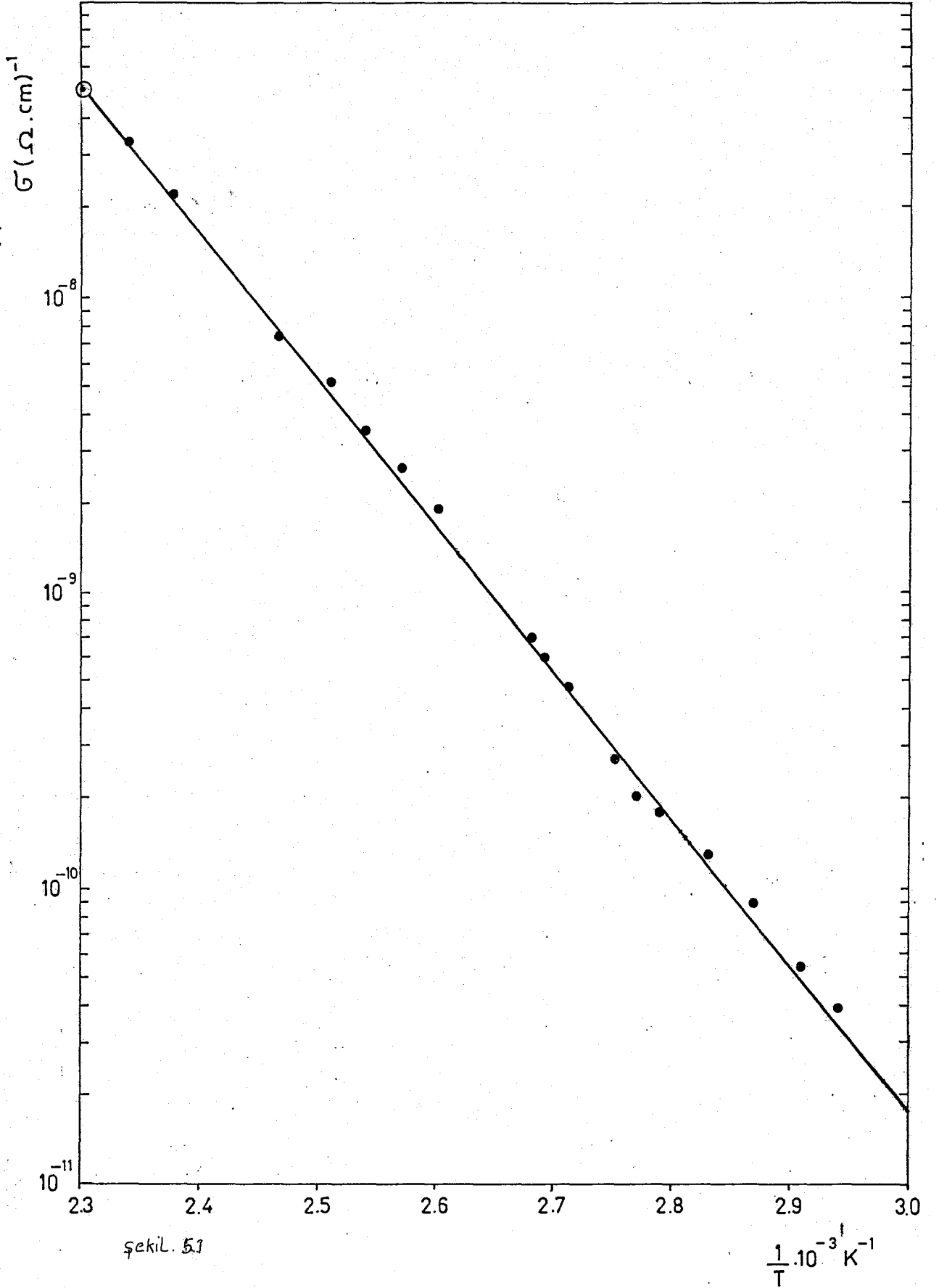
$$\sigma = C e^{-E/kT} \quad (5.1)$$

şeklindeki Mott bağıntısına uyduğunu göstermektedir. (Kesim 3.4) Örneklerle ait E ve C denklem sabitleri bir cep bilgisayarı (Sharp PC-1211) yardımıyla en küçük kareler yöntemi kullanılarak (programi Ek 1'de) hesaplanmıştır. Bu yöntemle bulunan E (iletkenlik aktivasyon enerjisi) ve C (iletkenlik katsayısı) değerleri çizelge 5.1'de sunulmuştur. Özellikle $As_2Se_3Bi_{0,15}$ camında, ham örneklerin ve şekilli örneklerin verilerinin karşılaştırılmasından; alevde yumuşatılarak şekil verme işleminin bu örneklerin iletkenliğini çok etkilediği görülmüştür. Bu nedenle, $As_2Se_3Bi_{0,15}$ camında şekilli örnek yerine ham örnekler kullanıl-

Çizelge 5.1

Materyal	Örnek No	Elektrot Alanı (cm ²)x10 ⁻¹	Kalınlığı (cm) x10 ⁻¹	E(ev)	C(Ω ⁻¹ cm ⁻¹) x10 ²	σ (Ω ⁻¹ cm ⁻¹) x10 ⁻¹¹ (60°C)
As ₂ Se ₃	1.1	3,85	1,04	0,95	6,43	1,87
	1.2	4,42	1,42	0,91	9,45	2,40
	1.3	1,00	0,90	0,89	5,28	1,90
	1.4	2,50	1,45	0,91	9,45	2,40
As ₂ Se ₃ Bi _{0,15}	2.1	3,85	0,98	0,83	3,27	9,50
	2.2	1,20	0,90	0,78	9,69	9,99
	2.3	2,00	0,96	0,72	1,28	15,0
	2.4	4,80	0,99	0,79	2,40	28,0

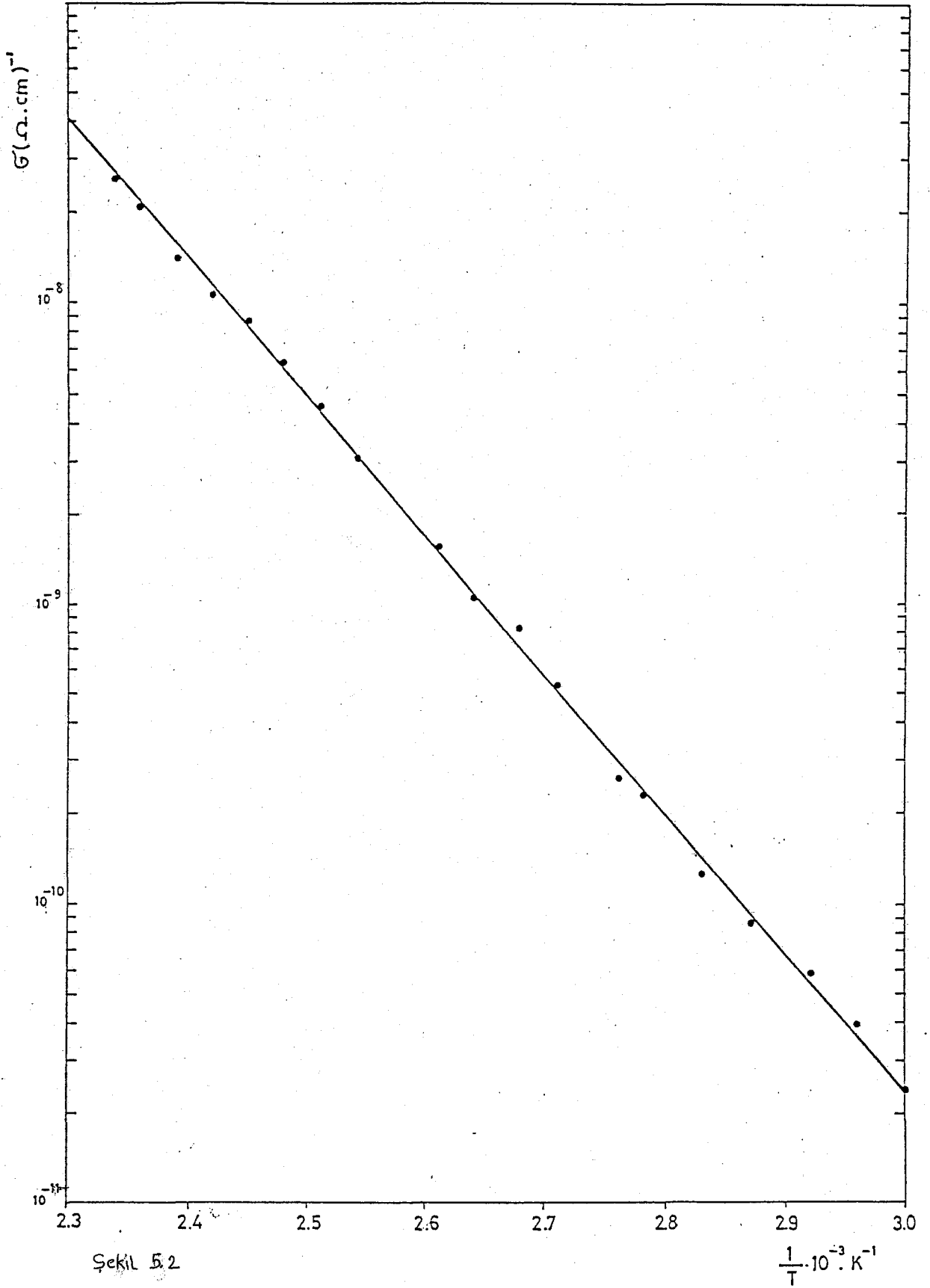
ÖRNEK NO:1.1



şekil. 5.7

 $\frac{1}{T} \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

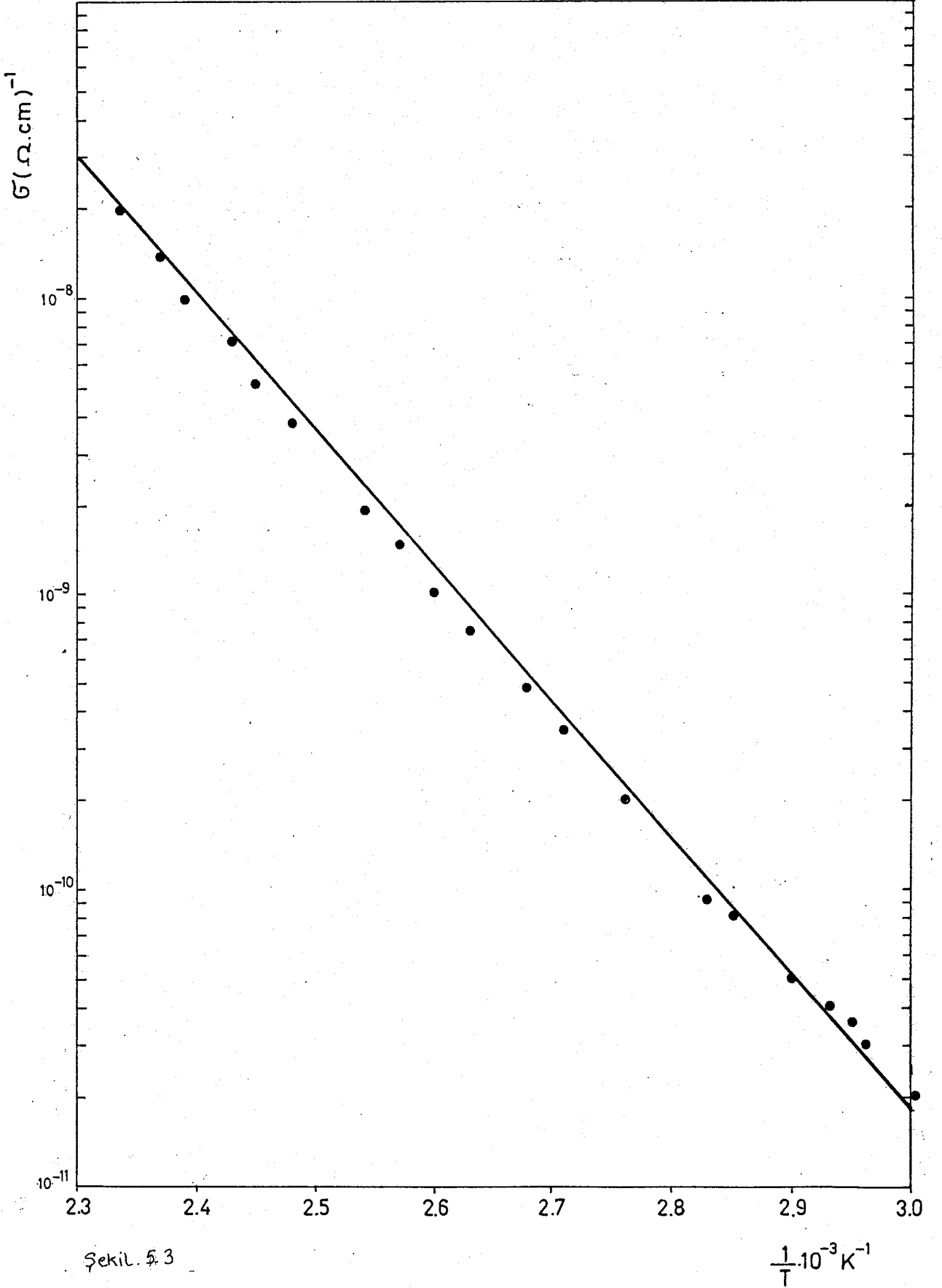
ÖRNEK NO: 1.2.



Şekil 5.2

 $\frac{1}{T} \cdot 10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$

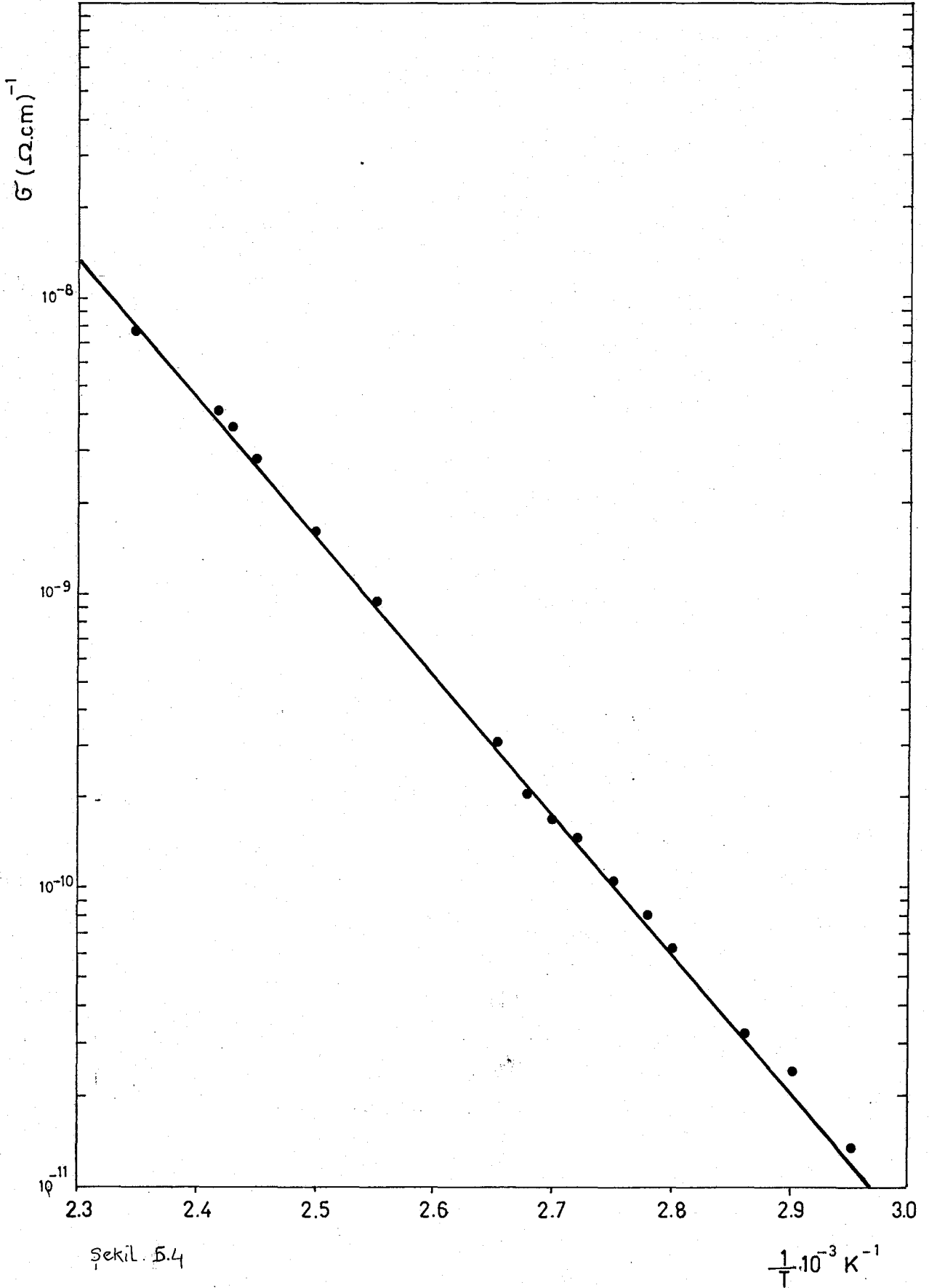
ÖRNEK NO : 1.3



Şekil. 3

 $\frac{1}{T} \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$

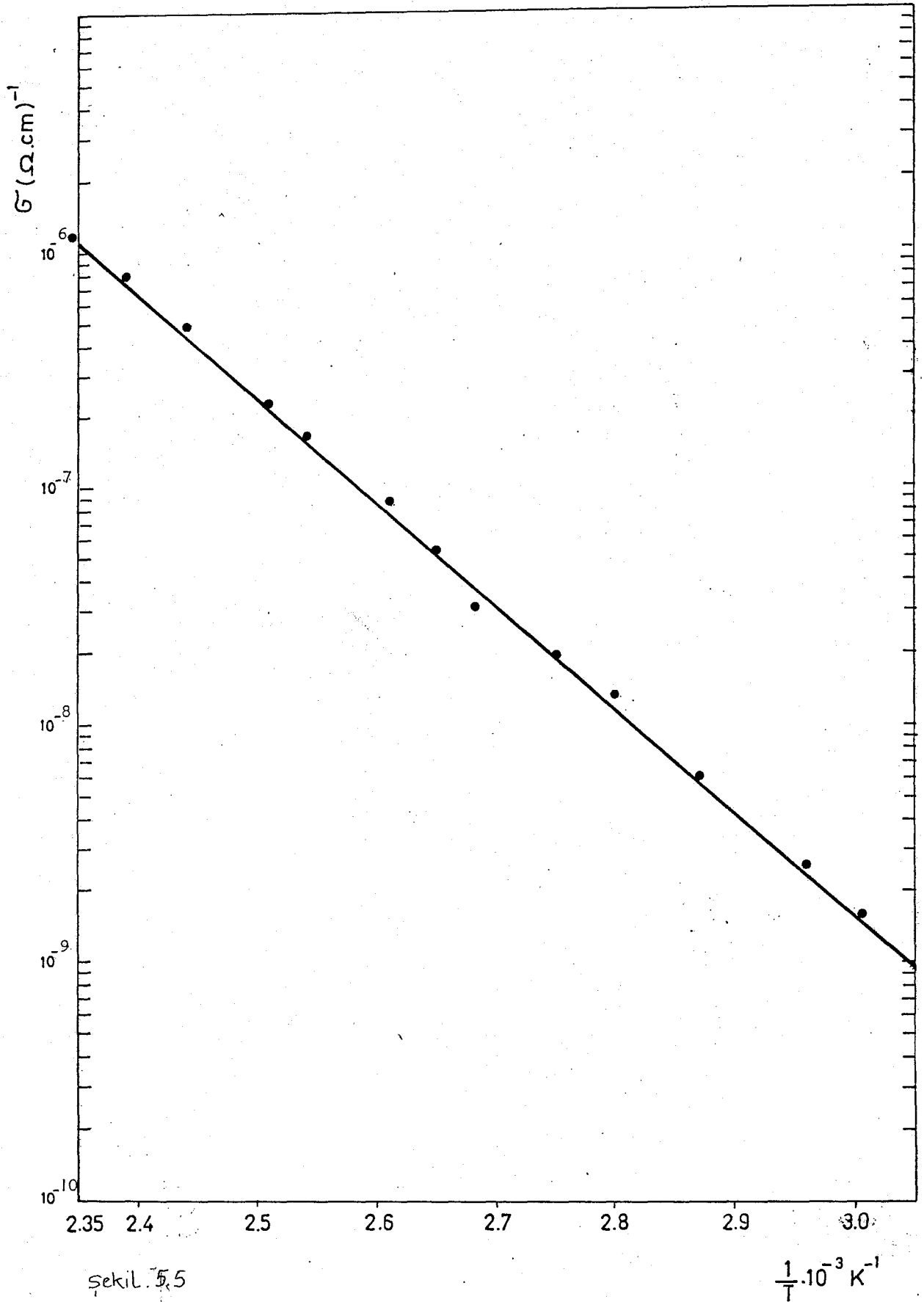
ÖRNEK NO : 1.4



Şekil. 5.4

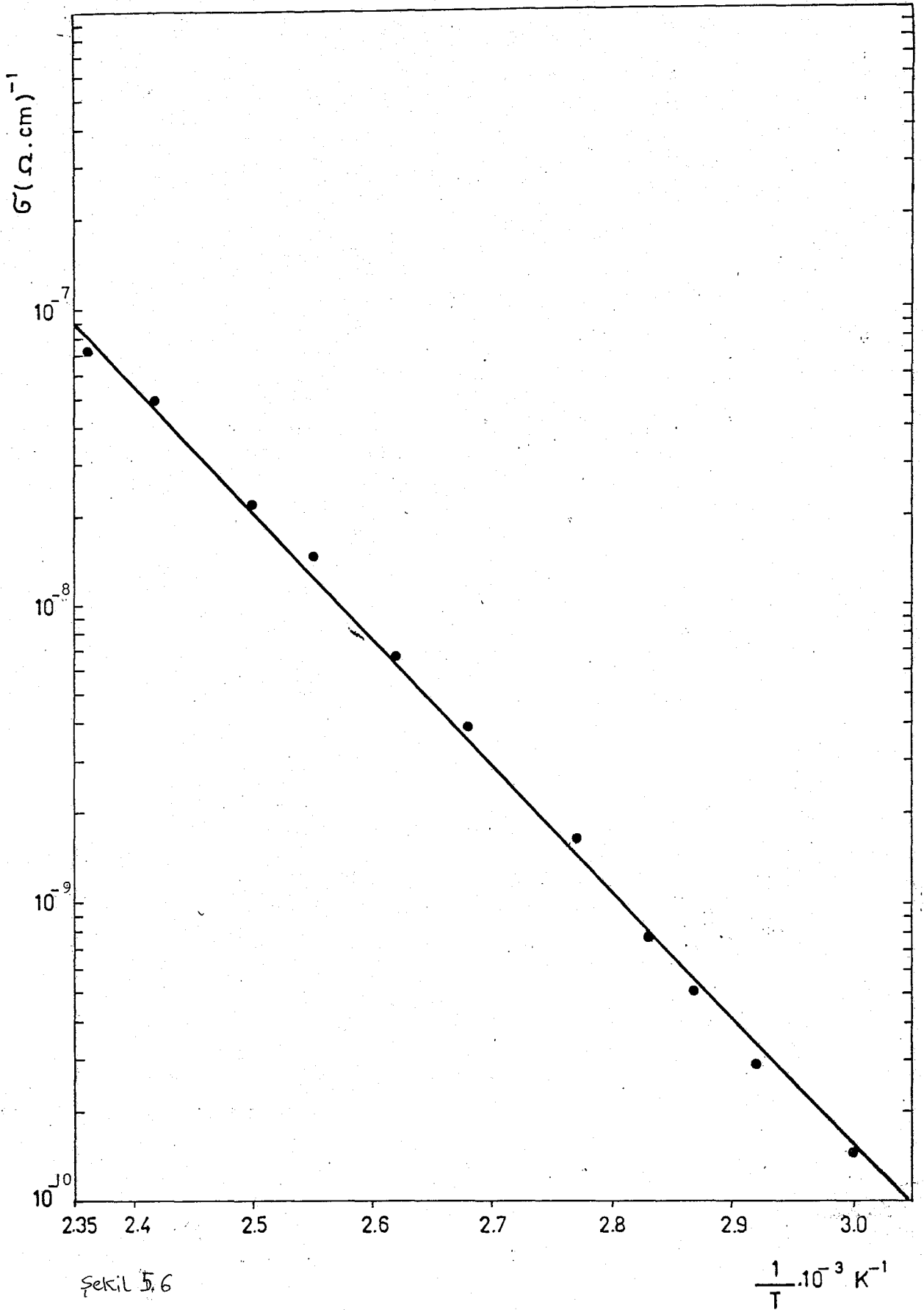
 $\frac{1}{T} \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

ÖRNEK NO: 2.1



Şekil 5.5

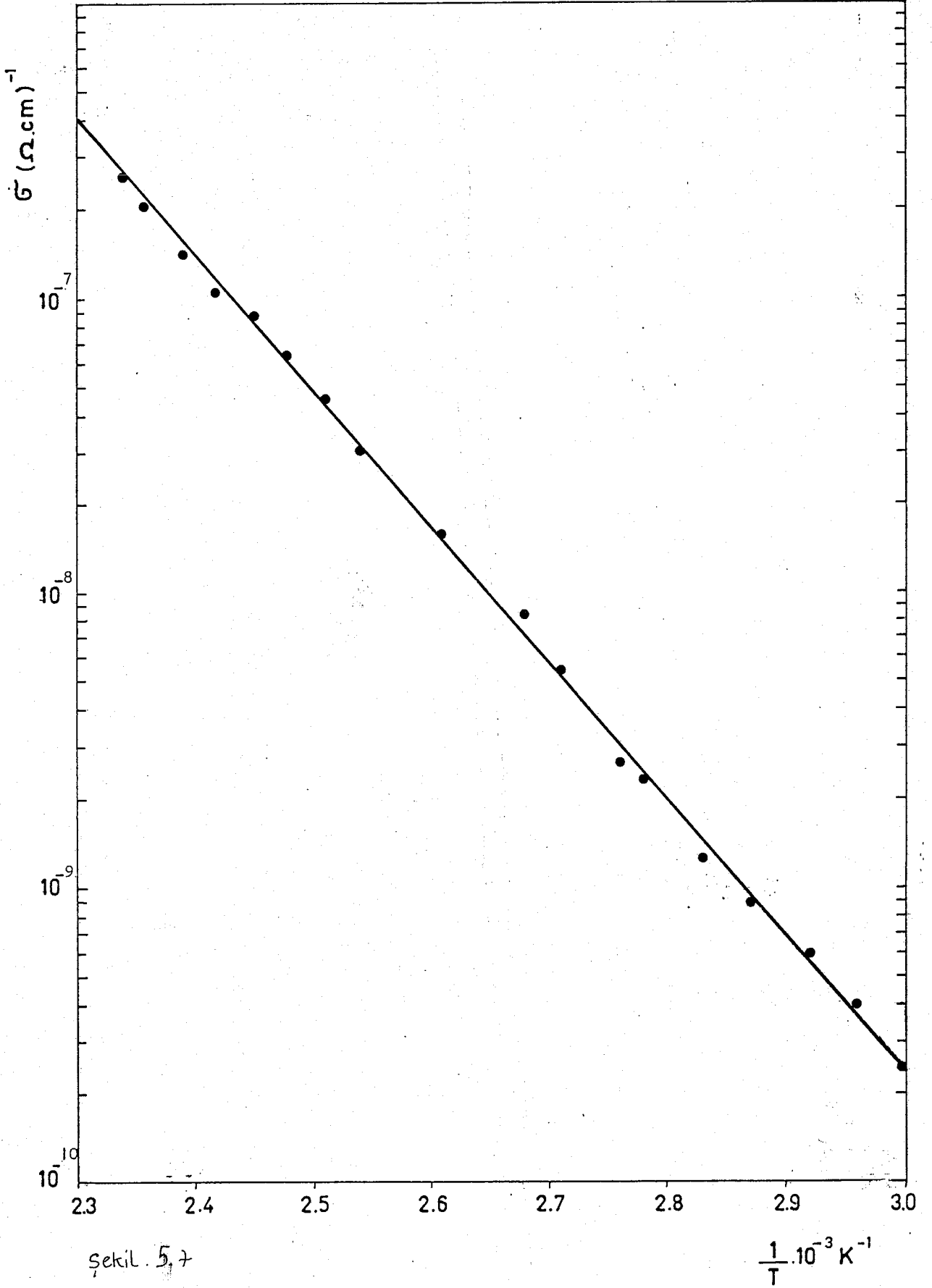
ÖRNEK NO : 2.2



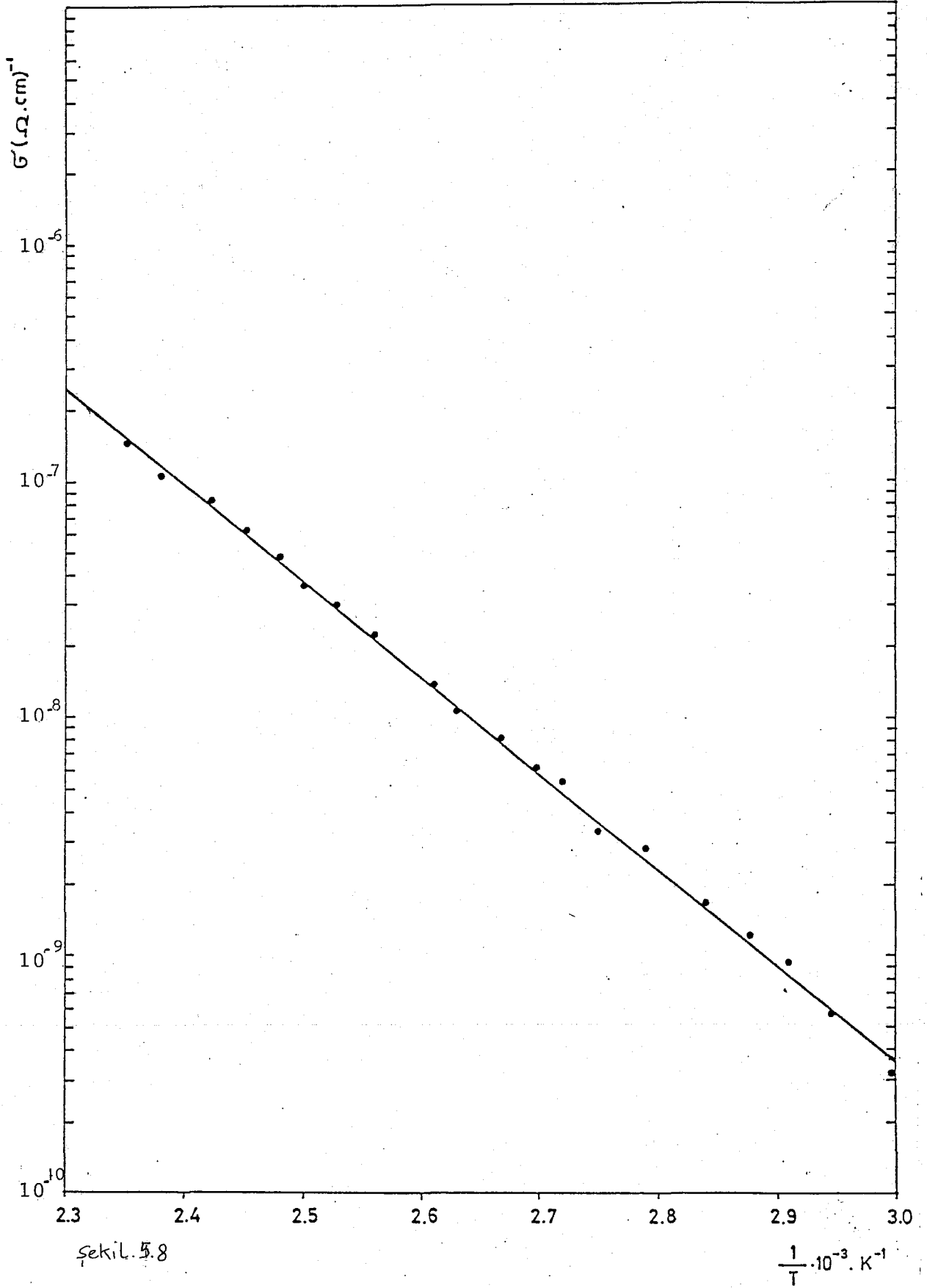
Şekil 5.6

 $\frac{1}{T} \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

ÖRNEK NO: 2.3



ÖRNEK NO: 2.4



şekil. 5.8

 $\frac{1}{T} \cdot 10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$

mıştır. Ham örneklerde elektrot alanı ve kalınlık ölçülemediğinden öziletkenlik (σ) yerine iletkenlik (G) ölçülebilmiş, dolayısıyla E ve C sabitlerinden yalnız birincisi elde edilebilmiştir.

Çizelge 5.1'den görüldüğü gibi aynı camdan yapılan örneklerin, E iletkenlik aktivasyon enerjileri arasında oldukça iyi bir uyum vardır. C katsayıları ise $\sim 10^2 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ mertebesinde bulunmaktadır. E'ye göre C'nin daha geniş dağılım göstermesi, bu sabitin, örneklerin hazırlanma şartlarına çok bağımlı olması ile ilgilidir. Ayrıca; örnek kalınlığı ve elektrod alanı ölçümündeki hata; E'yi etkilememekte fakat C'yi etkilemektedir.

E iletkenlik aktivasyon enerjisi yarıiletken materyalin B mobilite aralığının yarısına eşit kabul edildiğinden, ((Kesim 3.3) bu sabitin bilinmesi ile, materyal için çok önemli bir sabit olan B mobilite aralığı bulunmuş olur. Bu yüzden çalışma, bu sabitin üzerinde yoğunlaştırılmıştır. E sabitinin değerinin, örneğin geometrisine bağlı olmayışı bize ham örneklerle çalışma imkanı vermiştir.

Çizelge 5.1'deki E ve σ değerleri kullanılarak bulunan ortalama değerler, çizelge 5.2'de verilmiştir. Aynı çizelgeye, As_2Se_3 için diğer araştırmacıların bulguları da ilave edilmiştir.

Şekil 5.1-8 ve Çizelge 5.2 birlikte değerlendirildiğinde şu sonuçlar elde edilebilir.

Çizelge 5.2 Deney Sonuçlarına ait Ortalama Değerler.

Materyal	E(ev)	B(ev)	C ($\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$) $\times 10^2$	σ ($\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$) $\times 10^{-11}$ (60°C)
As ₂ Se ₃	0,91	1,83	6,26	1,79
As ₂ Se ₃ Bi _{0,15}	0,78	1,64	4,16	15,6
As ₂ Se ₃ (+)	0,92	1,84	—	—

(+) Getov, Simidcehiva (1967).

i. As₂Se₃ camına 0,15 oranında Bi katılması, bu materyalin yarıiletken davranışını bozmamaktadır.

ii. Çalışmada kullanılan her iki camın, 50-150°C aralığındaki dc iletkenliğinin 5.1 denklemine uyması, bunların birer tipik halkojenür camı olduğunu ve belirtilen sıcaklık aralığındaki iletimin, mobilite kenarındaki yaygın durumlara uyartılan taşıyıcılara (elektron ve boşluk) sağlandığını göstermektedir.

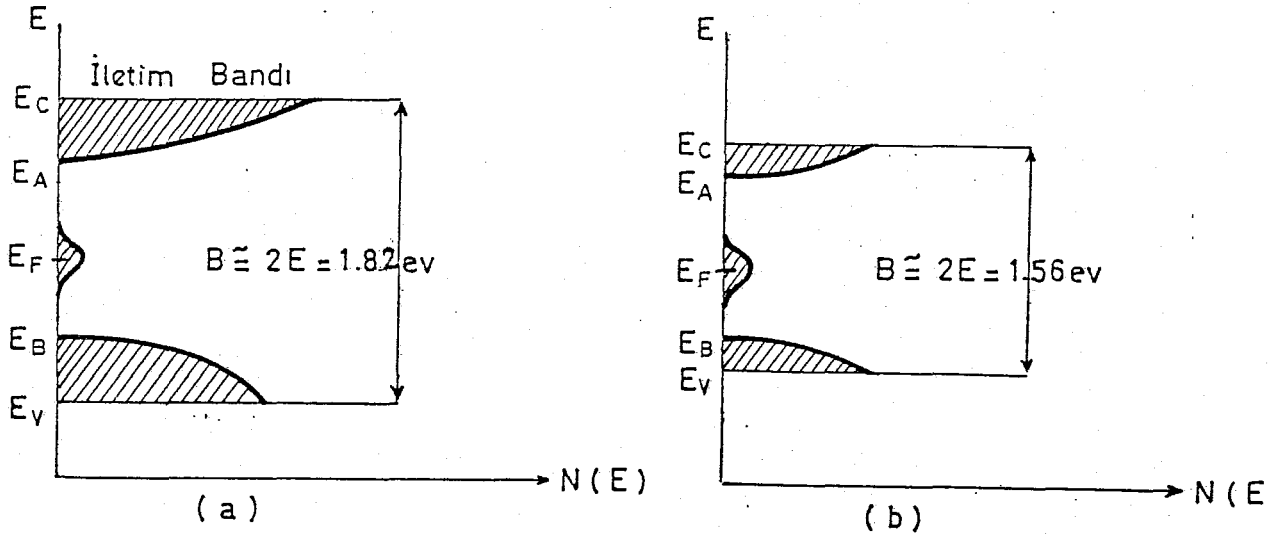
iii. Denklem 5.1'deki C öziletkenlik sabitinin $\sim 10^2 - 10^3 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ civarında olması, Mott-Davis'e göre⁽¹⁷⁾ iletimin; mobilite aralığı dışındaki yaygın durumlara uyartılan taşıyıcılarla sağlandığını gösterir. Buna göre bulduğumuz C değerleri de yukarıdaki görünümünü desteklemektedir.

Çizelge 5.3 Bazı Halkojenürlere Katkının Etkisi

Materyal	Katkı ve Oranı	Aktivasyon ve Enerjisindeki (ev) azalma
As_2Se_3	Bi % 15	0,13
$As_2Se_3(+)$	Ag % 1	0,24
$As_2Se_3(++)$	Sb % 10	0,17

(+) Getov, Simidchieva ve ark. (1967) (16)
 (++) F.G. Wakim, Y. Sawan, M.El Gabaly, M. El Rayes and R. Prosed. (1977) (17)

iv. As_2Se_3 camına Bi katkısı, materyalin mobilite aralığında katkı düzeyi oluşturmamakla birlikte, E iletkenlik aktivasyon enerjisinde 0,13 ev kadar bir azalmaya, bunun sonucu olarak iletkenlikte bir artışa neden olmaktadır. Bu sonuç, literatürden alınan birkaç çalışma ile bir arada çizelge 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.9 As_2Se_3 Camının Band Yapısı. a) Katkısız, b) 0,15 Bi Katkılı.

Deneysel verilerimizi değerlendirerek çıkardığımız yukarıdaki sonuçlara göre, bu çalışmada kullanılan iki cam için, bir band modeli önerebiliriz.

As_2Se_3 camının, Bi katmadan önce ve kattıktan sonraki band modeli, Şekil 5.2'deki gibi olmalıdır. Şekil 5.2(a)'dan görüldüğü gibi, düzensizlikten ileri gelen yerleşik kuyruk durumları bulunmaktadır. Mobilite aralığı ($\sim 2E$) 1,82 ev kadardır. Materyale 0,15 oranında Bi katılması ile, mobilite aralığında enerji düzeyleri oluşmamakta fakat $(E_C - E_A)$ ve $(E_B - E_V)$ yerleşik kuyruk durumları 0,13 ev daralarak Bi katkılı camın mobilite aralığı 1,56 ev olmaktadır.

Çalışmamızın konusu dışında olduğu için, mobilite aralığındaki yerleşik durumlar ve fermi enerjisinin yeri band modeli üzerinde gösterilmemiştir. Ac iletkenliği, termogü fotoiletkenlik ve daha alçak sıcaklıklarda yapılacak dc iletkenliği ölçüleri ile mobilite aralığındaki yerleşik durumlarınının tam bir haritası çıkarılabilir.

KAYNAKLAR

- 1- Kittel, C., 1976, Introduction to Solid State Physics (John Wiley Sons, Inc.)
- 2- Akpınar, S., 1973, Katıhal Fiziğine Giriş (İ.Ü.F.F Denel Fizik Kürsüsü Ders Notları).
- 3- Stiddard, 1975, The Elemenary Language of Physics (UNV. Collage London).
- 4- Wilkes, P., 1973, Solid State Theory in Matellurgy (University of Manchester).
- 5- Epınfanov, G.I., 1979, Solid State Physics (P.S.C.) Moskow Institutc Mir Publishers.
- 6- Scroggie, m., 1966, Fundamentals of Semiconductors (Printed in U.S.A).
- 7- Nagels, P., 1979, Amorphous Semiconductors Ed. By. M.H. Brodsky 36 pp 1/3-157 (Springer-Verlag Heidelberg Newyork)
- 8- Fisher, G, B., 1976, Noto Science Comitte Physics of Structually Disorderder. pp 703-733.
- 9- Mott, N, Fand Davis E.A 1979,. Electronic Processes in Non. Crystalline Materials, (Clarendon Press, Oxford).
- 10- Fritzsche, H., 1974,. Amorphous Liqud Semiconductors Ed. By. J. Toue, (Brown Unv. Rhode Islond U.S.A).
- 11- Anderson, PW,. 1978,. La Matie're Mal Cnndense'e Ill. Condensen Matter Session XXXI, pp 162-259. Ed. Balion, R at aV., North Holland Publishing Compony Amsterdam-Newyork-Oxford 1979.
- 12- Bagley, B, C,. 1974,. Amphours Liqud Semiconductors Ed. By Touc (Brown Unv. Rhode Islond U.S.A).
- 13- Öktü, Ö,. 1981 Çağdaş Fiziğe Giriş 12 pp 27-37

- 14- Eşme, İ., 1983 Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi Fizik Bölümü.
- 15- Kolomites, B, T, (1974),. Proceeding of the 5th Intern. Conf. on Ampphous and Liqüd Semiconducters.
- 16- Mott N F., Davis E.A 1971 Electronic Processes in Non Crystalline Metarials (Clearenden, Press, Owfod,)
- 17- Prooceding of the 7th. Intern Conf. on Amorphous and Liquid Semiconducters, Edinburg 1977.

