

1353

T.C.  
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOİLETKENLİK ÖLÇÜLERİ İÇİN UYGUN  
SİLİSYUM NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Aytekin ERDEM

Fizik Anabilim Dalı

Tekirdağ, 1987

T. C.  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon

## T E Ő E K K Ü R

Çalışmanın başlangıcında herşeyden önce moral eğitimi veren, değerli bilgilerinden ve deneyiminden yararlandığım Sayın Prof.Dr. Askeri BARAN'a; yardımları ile Katıhal Fiziği'ne yaklaşmamı sağlayan tez yöneticim Sayın Yard.Doç.Dr. Hasan AKBAŞ'a; bu çalışmaya ait tüm deneylerimi TÜBİTAK Temel Bilimler Araştırma Enstitüsü'nde gerçekleştirmemi sağlayan, her çeşit sorunların çözümünde güç harcayan Sayın Doç.Dr. M.Çetin ARIKAN'a, yazım konusunda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Sayın Öğr.Gör.Coşkun İLHAN'a; çözümlerin nitelikli olmasını sağlayan değerli öğrencim Mustafa İş'e teşekkürümü borç bilirim.

A.ERDEM

Ekim, 1987

## Ö N S Ö Z

Günümüzde hızla gelişen Elektronik Bilim Dalı; kullanılan araç-gereç ve cihazların sayısını çoğalttığı gibi, aynı zamanda mevcut cihazların daha ekonomik ve kaliteli yapılmasına zemin hazırlamaktadır.

Bu gelişmelerin paralelinde Katihal Gizliği'ndeki araştırmalar da gün geçtikçe artmaktadır. Elektronik elemanların üretimi ve geliştirilmesi, ancak elemanların yapıldığı yarı-iletken malzemelerin fiziksel özelliklerinin iyice bilinmesine bağlıdır.

Bu çalışmada fotoiletkenlik ölçüleri için Silisyumdan numuneler hazırlanmış ve ohmik Kontaktli olup olmadıkları araştırılmıştır.

A. ERDEM

Ekim, 1987

## Ö Z E T

Bu çalışmanın amacı fotoiletkenlik ölçüleri için yarı-iletken kristal numunelerin hazırlanması ve hazırlanan numunelerin I-V karakteristiklerinin incelenmesidir.

Kristaller yarı-iletken teknolojisinde kullanılan araç ve gereçlerle kesildiler. Mekanik yöntemlerle parlatıldılar. Kinyasal (etch) olarak aşındırıldılar. Hazırlanan numunelere uygun kontaktlar konuldu.

Numunelerin I-V karakteristikleri çizilerek kontaktların durumları incelendi.

## İÇİNDEKİLER

BÖLÜM I : İLETKEN, YALITKAN VE YARI-İLETKENLER	
1.1. İletken, yalıtkan ve yarı-iletken maddelerin tanıtılması	1
1.2. Enerji Band Modeli	2
1.3. İletkenin Band Yapısı ve Elektriksel Özelliği	5
1.4. Yalıtkanın Band Yapısı	6
1.5. Yarı-iletkenin Band Yapısı	6
1.6. Yarı-iletkenlerin Sınıflandırılması	9
1.7. Asal Yarı-iletkenlerde İletkenlik	10
1.8. Katkılı Yarı-iletkenler	13
BÖLÜM II: YARI-İLETKENLERİN OPTİK ÖZELLİKLERİ VE FOTOİLETKENLİK	
2.1. Yarı-iletkenlerin Optik Özellikleri	17
2.2. Fotoiletkenliğin Tanımı	18
2.3. Fotoiletkenliği Ölçme Yöntemleri	20
BÖLÜM III: KONTAKT (KAVŞAK) FİZİĞİ	
3.1. Çıkış İş Fonksiyonu	22
3.2. Metal-Metal Yaklaşması, Kontakt Potansiyeli	23
3.3. Metal -n-tipi Yarı-iletken Kontaktları	26
3.4. Metal -p-tipi Yarı-iletken Kontaktlar	27
3.5. Metal-Yarı-iletken Ohmik Kontaktlar	27
BÖLÜM IV : DENEYİN YAPILIŞI	
4.1. Deneylerde Kullanılan Alet ve Cihazların tanıtılması	29
4.2. Numunelerin Hazırlanması	33
4.3. Deneysel Sonuçlar	39
Referanslar	49
Ekler	51

## BÖLÜM I : İLETKEN- YALITKAN VE YARI-İLETKENLER

### 1.1. İletken, yalıtkan ve yarı-iletken maddelerin tanıtılması.

Cisimler elektriği iletme özelliklerine göre, iletkenler, yalıtkanlar ve yarı-iletkenler şeklinde üç gruba ayrılır. Elektrik akımını en iyi iletkenlere iletken, hemen hemen hiç iletmeyenlere yalıtkan cisim denir. Her iki gruba girmeyen cisimler kötü iletken, ya da kötü yalıtkan adını alır. Bakır gibi iyi bir iletkenin özdirenci  $1,72 \times 10^{-6}$  ohm cm'dir. İyi bir yalıtkanın, örneğin; kuarts veya elmasın oda sıcaklığındaki özdirenci  $10^{18}$  ohm cm'den büyük olur. İletim yetenekleri iyi iletken ile iyi yalıtkan arasında olan bazı cisimler de vardır. Örneğin, Silisyumun oda sıcaklığındaki özdirenci  $2,3 \times 10^5$  ohm cm, germanyumun ki ise 45 ohm cm'dir. Bu çeşit maddelere 'yarı-iletken' adı verilir.

Yarı-iletkenlerin özdirençleri ve dolayısıyla iletkenlikleri; yapılarına giren yabancı atomlara, kristal yapılarındaki bozukluklara ve sıcaklığa etkin olarak bağlıdır. Kristal kusurları veya yabancı maddeler metallerin elektrik iletkenliklerini küçültmesine rağmen, yarı-iletkenlerin iletkenliğini büyütür. Yüzey veya kontakt olaylarının etkisi engellendiğinde yarı-iletkenler de metaller gibi ohm kanununa uydukları için iletkenlik ( $\sigma$ ) veya özdirenç ( $\rho$ ) malzeme sabiti olarak kullanılabilir.

Yarı-iletkenlerin elektrik, termik ve optik özellikleri, elektronlarının davranışlarının fonksiyonudurlar.

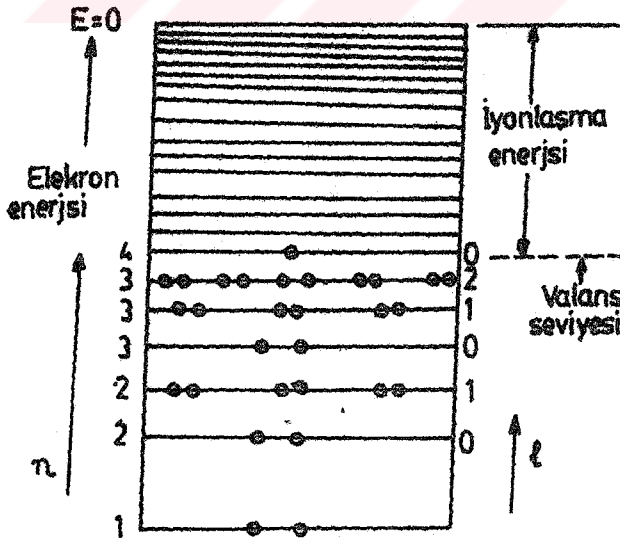
(AKPINAR Sait, 1979, Yarı-iletken Fiziği, 1-2)

## 1.2. Enerji Band Modeli

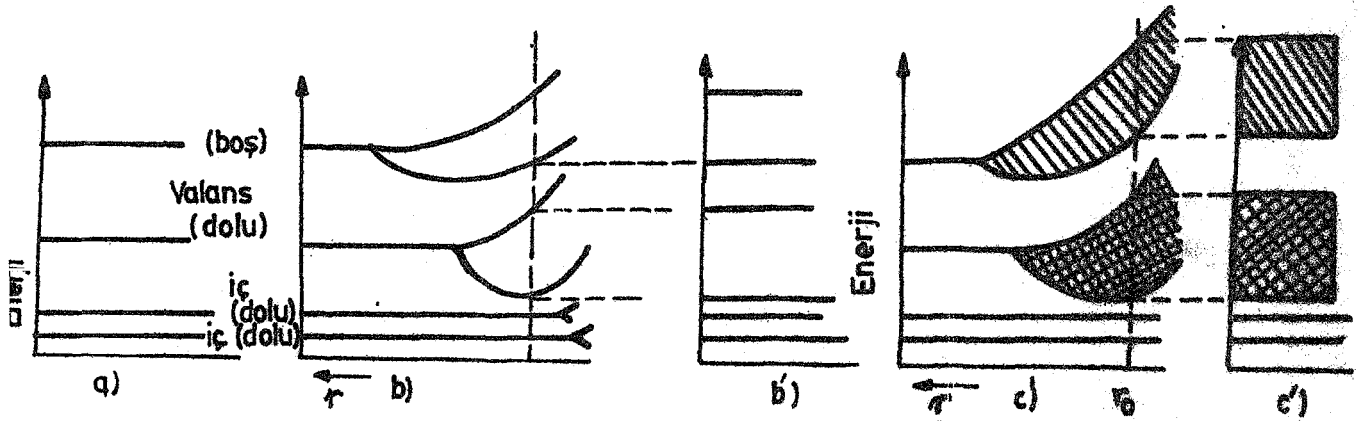
Serbest elektron modeli; iletkenlik, ısı iletkenliği, optik absorpsiyon, yansıtma, alternatif akım geçirme özelliği, termoelektrik olay, elektron emisyonu gibi maddenin özellikleri hakkında bilgiler verir.

Band modeli elektronun kristal içinde belirli enerji bandları (şeritleri) içinde enerji alabileceğini ifade eder. Bandlar arasında kristalin elektrik ve optik özelliklerini karakterize eden yasak enerji bandları vardır.

Her atomun kesikli bir enerji spektrumu vardır. Şekil 1.2 a'da bir atomun enerji seviyeleri görülmektedir. Atomun i elektronlarına ait seviyeler doludur. En kk enerji ile bağlı olan valans elektronlarına ait seviye tamamen dolu veya kısmen dolu olabilir.



Şekil 1.1. Elektron enerji seviyesi diyagramı ve iyonlaşma enerjisi



Şekil 12 Band yapısının oluşması a) Bir atomun kesik spektrumu b) Aynı cinsten iki atomun spektrumunun atomlararası uzaklığa bağlılığı c) Band yapısının r uzaklığına bağlılığı b) ve c) Denge durumunda enerji seviyeleri ve bandlar.

Katılarda birçok atomların yanyana gelmeleri sonucu oluşan enerji bandlarını anlamak için birbirlerinden eşit uzaklıkta bulunan altı hidrojen atomunu düşünelim. Bu atomlar birbirlerine yeterince yakın iseler, dalga fonksiyonları üst üste biner ve atomlar arasında bir etkileşme başlar.

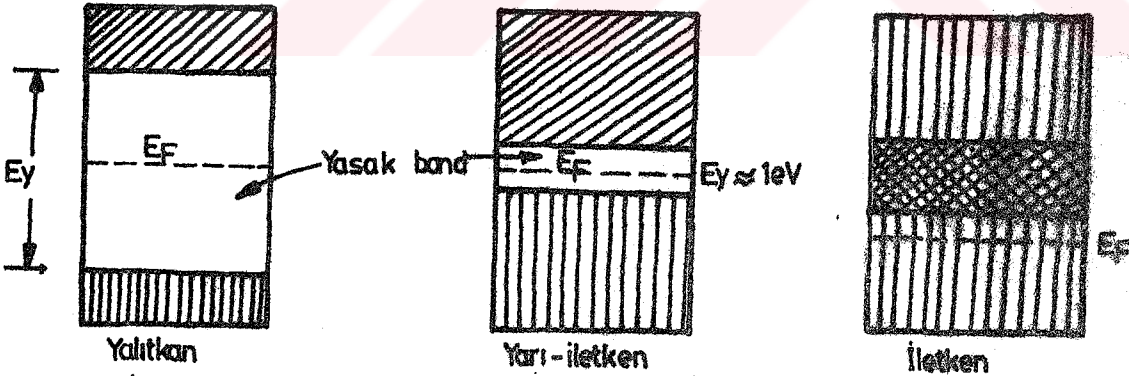
Yanyana gelen atomların sayısı arttıkça belli bir ( $r$ ) uzaklığı için band genişliği aynı kalmak şartı ile yarılan enerji seviyelerinin sayısı da artar. Örneğin mol başına yaklaşık olarak  $10^{23}$  atom içeren bir katıda ( $r$ ) uzaklığının bir iki angström değerleri için yarılan seviyeler arasındaki enerji farkı  $10^{-19}$  eV kadar olur. Yani yarılan seviyeler enerji bakımından birbirine o kadar yakındır ki sürekli bir band oluşturduğu kabul edilebilir.

Bazı atomlarda elektron yörüngelerinin tümü boş



veya bir kısmı doludur. Elektron hareketi veya iletkenlik boş bandlarda olasıdır. Yani iletkenlerde  $T=0^{\circ}K$  sıcaklığında boş ve dolu bandlara sırası ile "iletkenlik" ve "valans" bandları denir. Yasak enerji aralığının büyüklüğü, enerji bandlarının üst üste gelip gelmedikleri, dolu olup olmadıkları, Fermi seviyesinin buna göre konumu, kristalin örgü parametresi gibi etkenler katının metal, yarı-iletken ya da yalıtkan olması gibi fiziksel özelliklerini belirlerler.

Yarı-iletkenler mutlak sıfır sıcaklığında iyi yalıtkan olurlar. Yarı-iletkenlerin yalıtkanlardan tek farkları yasak enerji aralığının daha küçük olmasıdır. Elmasın yasak enerji aralığının genişliği 6 eV kadardır. Kabul edilen bir sınıflandırmaya göre yasak bandları  $\sim 1eV$  olan maddeler yarı-iletken sayılırlar.



Şekil 1.3. Yalıtkan, yarı-iletken ve iletken maddelerin enerji band modeli.

Kristallerde yasak bandın genişliği atomlararası uzaklığa bağlıdır. Sıcaklık artınca ısıl titreşimleri artar.

ve atom aralıklarında değişmeler olur. Bu nedenle yasak band genişliği  $E_y$  sıcaklığın artması ile bir miktar azalır.  $E_y$ 'nin sıcaklıkla değişimi deney yolu ile belirtilmiştir. Silisyum için  $T^{\circ}K$  de

$$E_y (T) = 1,21 - 3,6 \times 10^{-4} T \quad (1.1)$$

elektron voltur. (SANTUR Mustafa, 1974, Elektronik Devreleri Cilt I, 70-71)

### 1.3. İletkenin Band Yapısı ve Elektriksel Özelliği.

İki değerlikli metallerde valans elektronları bandı doludur. Bunların iletkenlikleri yalnız daha yüksek, boş enerji bandları ile valans bandının çakışması sonucu gerçekleşmektedir.

Bir metal kristalinde en dış elektronun enerjisi en büyüktür. Bu enerjiye Fermi enerjisi ( $E_F$ ) denir.  $T = 0^{\circ}K$  de Fermi enerjisinin  $N$  serbest elektron sayısı ile ilişkisini bulalım.

$$E_F(0) = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 N)^{2/3} \quad (1.2)$$

Burada  $E_F(0) \rightarrow T=0^{\circ}K$  de Fermi enerjisini

$\hbar \rightarrow$  Planck sabitini

$N \rightarrow$  Birim hacimdeki serbest elektron

sayısını gösterir. Metallerde Fermi enerjisi, mutlak sıfır sıcaklığında elektronların işgal ettikleri en yüksek enerji seviyesidir. (AKPINAR Sait, 1967, Katıhal Fizikine Giriş, 100-101)

#### 1.4. Yalıtkanın Band Yapısı.

Bir yalıtkan kristalde  $T = 0^\circ\text{K}$  de valans elektronları valans bandını tamamen doldurur. Diğer bandlar boş kalır. Çok büyük olmayan dış elektrik alanı etkisinde elektronlar, yasak enerji bölgesini atlayarak boş banda çıkamazlar. Yalıtkanlarda valans bandı ile bunu izleyen ilk boş band yani iletkenlik bandı arasında geniş bir yasak enerji bölgesi vardır.

Yalıtkanlarda Fermi seviyesinin yeri Fermi-Dirac fonksiyonu yardımı ile

$$E_F = \frac{1}{2} (E_i + E_v) + \frac{3}{4} kT \ln \frac{m_p^*}{m_e^*} \quad (1.3)$$

şeklinde olur. Burada

$E_i \rightarrow$  İletkenlik bandının alt sınırını,

$E_v \rightarrow$  Valans bandının üst sınırını,

$m_p^* \rightarrow$  Valans bandının üst sınırı çevresindeki boşlukların

$m_e^* \rightarrow$  Elektronların "etkin= efektif" kütlelerini göstermektedir.

(AKPINAR Sait, 1967, Katıhal Fizikine Giriş, 101)

#### 1.5. Yarı-İletkenin Band Yapısı

Silisyumda yasak bölge genişliği 1,1 eV'dir. Yalıtkan ile yarı-iletken arasındaki belirleyici farkı dolu enerji bandı ile boş band arasındaki yasak bölge

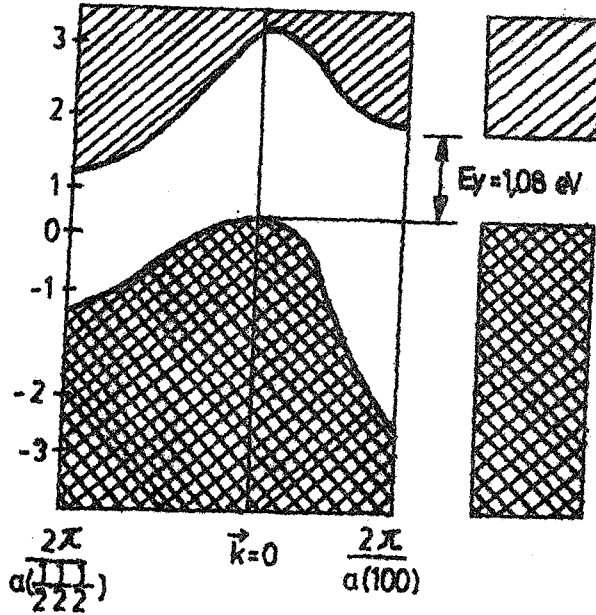
genişliğidir.

Enerji bandlarının alt ve üst kenarları doğrultusunun fonksiyonudur. Bütün doğrultulardan valans bandının üst kenarı ( $E_V$ ) en yüksek olan doğrultu ile iletkenlik bandının alt kenarı ( $E_i$ ) en alçak olan doğrultuya ait  $E_V$  ve  $E_i$  değerleri ile band şeması çizilebilir. Band aralığı ya da yasak enerji bölgesi bu durumda

$$E_y = E_i - E_V \quad ( 1.4 )$$

kadardır. Kristalin içindeki bir valans elektronu en az  $E_y$  enerjisine eşit bir enerjiyi aldığı anda iletkenlik bandına geçebilir.

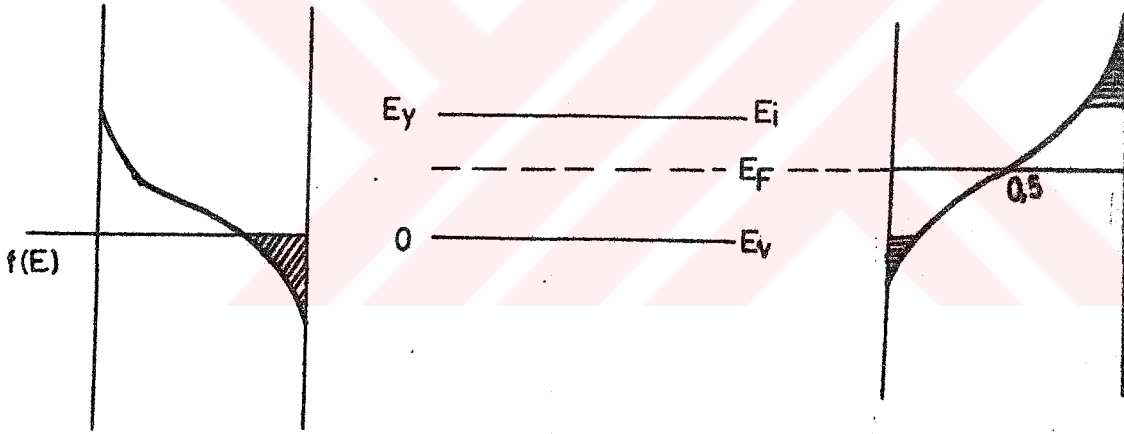
Şekil 1.4'de Silisyumun  $[100]$  doğrultusunda uzaklığın fonksiyonu olarak band şeması görülmektedir. Valans bandının en yüksek değeri  $\vec{k}$  (dalga sayısı vektörü)'nün sıfır değerinde olur.



[111] ekseni [100] ekseni

Şekil 1.4. Silisyumda band yapısı.

Bir yarı-iletken için Fermi seviyesi metallerdeki gibi, yani dolu bandın üst kenarı olarak tanımlanamaz. Çünkü mutlak sıfır sıcaklığının üstünde saf bir yarı-iletkenin elektronları aradaki boş bölgeyi atlayarak iletkenlik bandına geçebilirler.  $f(E)$  sürekli eğrisinin kuyruk kısmının iletkenlik bandına geçen elektronların sayısını gösterebilmesi için bu eğri iletkenlik bandına doğru paralel kaydırılmalıdır. Saf bir yarı-iletkende valans bandında açılan boşluklarla, iletkenlik bandına geçen elektronların sayısı eşittir. Bu durum Fermi seviyesinin yasak bölgenin orta noktasında olmasını gerektirir.

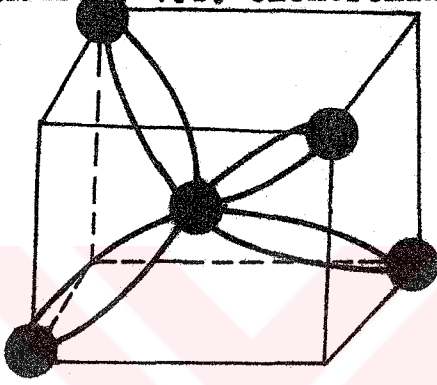


Şekil 1.5. Asıl yarı-iletkende Fermi Seviyesinin yeri. Solda  $E_f = E_v$  yanlıs. Sağda  $E_f$  yasak band ortasında,  $E_f \approx \frac{E_i + E_v}{2}$  doğrudur.

Fermi seviyesinin yeri, valans bandında açılan boşlukların sayısının Fermi-Dirac fonksiyonu yardımı ile bulunabilir. Nicel sonuç ( 1. 3 ) denklemi gibidir. Elektron ve boşlukların efektif kütleleri birbirine eşit olduğu

sürece Fermi enerjisi band aralığının ortasındadır. İkinci terim  $m_p^*/m_e^*$  'nin değeriyle yavaş değiştiği için pratikte Fermi enerjisi yaklaşık olarak yasak bölgenin ortasında yer alır.

Yarı-iletken maddeler arasında en çok kullanılanlar Silisyum ve Germanyumdur. Bu maddelerden transistör, diyod, termistör, triak, fotoselül, modülatör, ışık veren transistör v.b. elektronik elemanlar yapılır.



Şekil 16 Silisyumda tetrahedral bağlar

(AKPINAR Sait, 1967, Katıhal Fizikine Giriş, 102-103, AKPINAR Sait, 1979 Yarı İletkenler Fizik, 43-44)

#### 1.6. Yarı-İletkenlerin Sınıflandırılmaları

Yarı-iletkenler kendiliğinden yarı-iletken (ASAL YARI-İLETKEN) ve yabancı madde (dıştan gelme) yarı-iletkeni (KATKILI YARI-İLETKEN) olmak üzere iki ana sınıfa ayrılırlar. Kendiliğinden yarı-iletkenler saf maddelerdir. Bunlardaki taşıyıcılar elektronların valans bandından iletkenlik bandına termal uyarma ile meydana gelirler. Bu durumda her iletkenlik elektronu valans bandında bir boşluk bırakmış olduğundan, kendiliğinden yarı-iletkenlerdeki iletkenlik elektronlarının sayısı

daima boşlukların sayısına eşittir. Bir katkılı yarı-iletkende ise serbest yük taşıyıcıların çoğunluğu kristalin bazı örgü noktalarına yerleşmiş olan yabancı madde atomları tarafından sağlanır.

### 1.7. Asal Yarı-İletkenlerde İletkenlik

Birim hacminde  $n$  sayıda serbest elektron bulunan ve bu elektronlar aracılığı ile elektrik akımı ileten bir metalde akım yoğunluğu

$$\mathbf{J} = ne \mathbf{v}_d \quad (1.5)$$

olur. Burada

$e \rightarrow$  elektronun yükünü,

$\mathbf{v}_d \rightarrow$  elektrik alanı etkisi altında elektronların alan doğrultusunda kazandıkları sürüklenme hızını gösterir.

$$\sigma_e = n \cdot e \cdot \mu_e \quad (1.6.)$$

Burada  $n \rightarrow$  Elektron konsantrasyonunu,  $\mu_e \rightarrow$  Elektron mobilitelerini gösterir.

$$\mathbf{v}_d = \mu_e \mathbf{E} \quad (1.7.)$$

olur. Genel olarak bir yarı-iletkendeki elektrik iletkenlik, elektron ve boşlukların hareketlerinden oluşur.

$p$  boşlukların konsantrasyonunu,  $\mu_h$  mobilitelerini göstermek üzere yarı-iletkenin öziletkenliği

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_h = ne\mu_e + pe\mu_h \quad (1.8)$$

olur. Asal yarı-iletkenlerde ise  $n=p$  olduğundan iletkenlik

$$\sigma = ne(\mu_e + \mu_b) \quad (1.9)$$

şeklindedir. Yarı-iletkenlerdeki iletkenlik bandındaki elektron yoğunluğu

$$n = G_i(E) \cdot \exp[-(E_y - E_F)/kT] \quad (1.10)$$

ile verilir. Bu değer ... (1.8) ..... eşitliğine taşınırsa

$$\sigma = G_i \cdot e(\mu_e + \mu_b) \cdot \exp[(E_y - E_F)/kT] \quad (1.11)$$

Fermi enerjisi yasak enerji bölgesinin ortasında kabul edilerek, yani  $E_F = E_y/2$  alınarak

$$\sigma \approx \text{Sabit} \cdot \exp(-E_y/2kT) \quad (1.12)$$

şeklinde bir ifade elde edilir. Bu ifadede "sabit" ile gösterilen faktör gerçekte sıcaklığa  $T^{3/2}$  ile bağlıdır.

Fakat  $\sigma$  öziletkenliği daha çok eksponansiyel faktörüne bağlıdır.

(1.12) ifadesi yardımı ile yarı-iletkenlerin band aralıklarını denei yoldan belirlemek mümkündür. Öziletkenlik veya özdirencin sıcaklığa bağlılığının ölçülmesi yeterlidir. Bu ifadenin logaritması alındığında

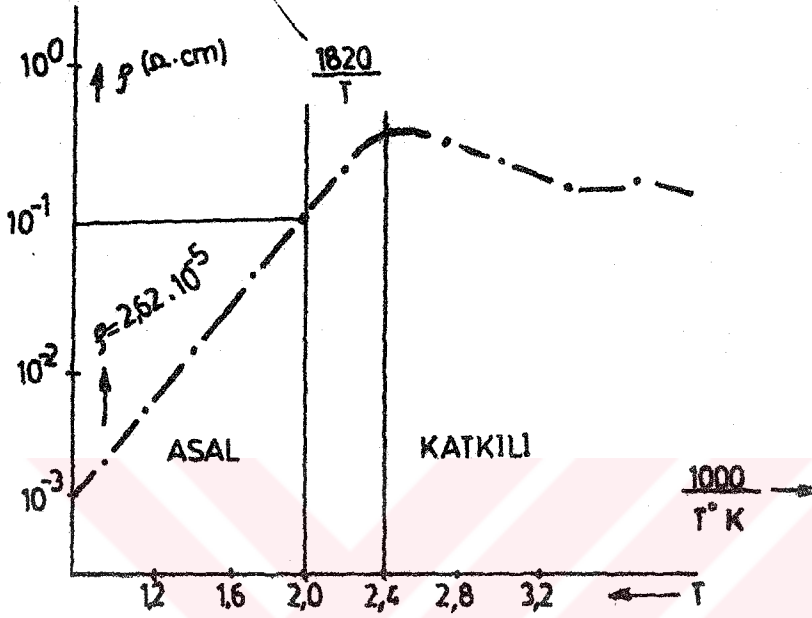
$$\ln \sigma = \text{Sabit} - \frac{E_y}{2kT} \quad (1.13)$$

veya  $\beta = \frac{1}{\sigma}$  şeklinde tanımlanan özdirenc yardımı ile



$$\ln \rho = \text{Sabit} + \frac{E_g}{2kT} \quad (1.14)$$

şeklini alır. Bu fonksiyonun grafiği çizildiğinde eğrinin eğiminden  $E_g/2k$  ve  $E_g$  bulunur.



Şekil 17. Az miktarda Ga ihtiva eden Germanyumun öz direnci.

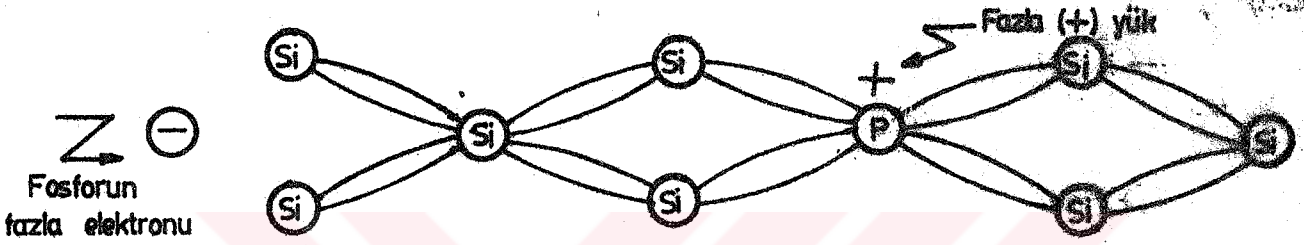
Silisyum için bazı fiziksel sabitler aşağıda verilmiştir.

Cetvel 1

Atom numarası	14
Atom ağırlığı	28,1
Örgü sabiti	5,43 Å
Yoğunluğu	2,33 Å
Erime noktası	1420 °C
Dielektrik sabiti	11,7
Band aralığı	1,4 eV

### 1.8. Katkılı Yarı İletkenler.

Bir asal yarı-iletkenin iletkenliğini, içine bazı yabancı atomlar katarak çok arttırmak mümkündür. Asal bir yarı-iletken kristalinin, örneğin bir Silisyum kristalinin atomlarından birinin çıkarılarak yerine beşinci grup elementlerinden bir Fosfor atomunun konduğunu varsayalım.



Şekil 1.8. Si kristali içinde bir fosfor "kir" atomu.

Fosforun valans elektron sayısı 5 olduğundan dördü, komşu 4 silisyum atomu ile kovalent bağlar kurar. Bir fazla elektron açıkta kalır. Aynı zamanda Fosfor atomunun Silisyuma göre bir fazla pozitif yükü de vardır. Bu nedenle artık elektron Coulomb çekim kuvveti ile bu yüke bağlıdır. Dışarıdan uygulanan elektrik alanının etkisi altında, fosforun ilk iyonizasyon enerjisi kadar enerji verilmelidir ki ( 10.55 eV ) elektron hareket edebilsin. Ancak kristal örgü içindeki fosfor atomunun enerji seviyeleri serbest fosfor atomunun seviyelerinden farklıdır.

Fosforun fazla elektronu pozitif artık yük ile birlikte hidrojen atomuna benzer. Bohr müdeline göre

bu durumda iyonizasyon enerjisi 13.6 eV olur. Oysa bu büyüklük Silisyum ortam içinde daha küçüktür. Çünkü;

a) Elektronla çekirdek arasındaki elektrostatik çekme kuvveti dielektrik sabiti ile ters orantılıdır.

b) İki yükün oluşturduğu atomun yarıçapı  $\epsilon$  ile doğru orantılıdır. Böyle olunca fazla elektronun bağlanma enerjisi

$$E = - \frac{2\pi^2 e^4 m_e^*}{\epsilon^2 k^2} \quad ( 1.15 )$$

şeklindedir. Burada

$k \rightarrow$  Boltzman sabitini,

$e \rightarrow$  elektronun yükünü,

$m_e^* \rightarrow$  serbest elektronun efektif kütlelerini,

$\epsilon \rightarrow$  dielektrik sabitini

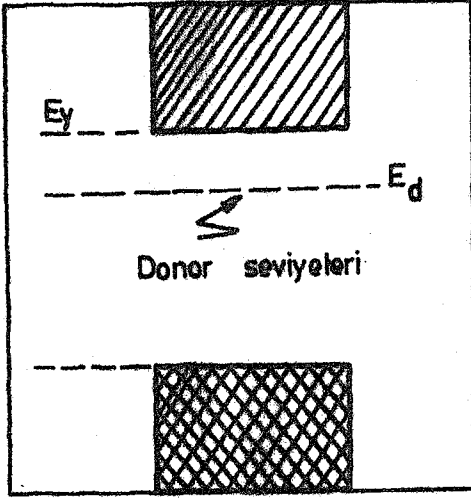
gösterir.

Silisyum örgüsüne giren (Cetvel 2) deki 5 değerli yabancı atomlar kolaylıkla iyonize olabilirler ve örgüye serbest elektronlar kazandırabilirler. Bu yabancı atomlara "elektron verici" = DONÖR adı verilir.

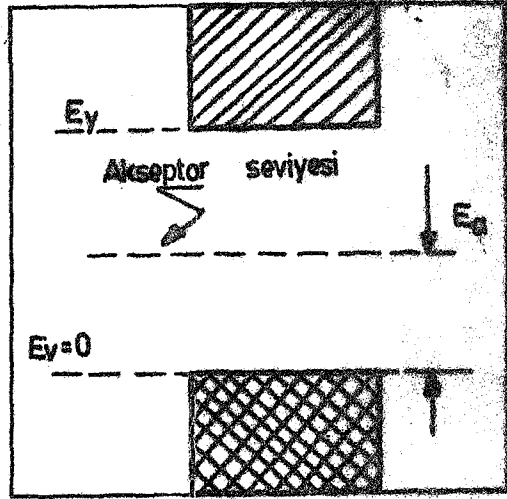
	P	As	Sb
Silisyum	0,045 eV	0,049 eV	0,039 eV

Cetvel 2. Si içinde 5 değerli donörlerin iyonizasyon enerjileri.

Bu durumda kristal fazladan elektron kazanacağından kristale de " n-tipi " katkılı yarı-iletken denir.



Şekil 1.9.



Şekil 1.10.

Silisyum kristaline yerleştirilen yabancı atom, eğer üç değerli ise (örneğin Bor, Alüminyum, Galyum, İndium gibi) yabancı atomun çevredeki dört silisyum atomu ile kovalent bağlar kurabilmesi için bir elektrona ihtiyacı vardır. Bu elektronu, gerekli iyonizasyon enerjisini harcayarak yabancı atom çevresindeki Si-Si bağından alabilir. Bu olay, kristalin valans bandı içinde bir boşluğu oluşturur. Boşluk pozitif bir akım taşıyıcı gibi davranarak kristale iletkenlik kazandırır. Bu nedenle 3 değerli yabancı atomlar bulunduran bir katkılı yarı-iletkene "P" tipi yarı-iletken, yabancı atoma da elektron aldığı için, alıcı (ACCEPTOR) adı verilir.

	B	Al	Ga	In
Si	0,045 eV	0,057	0,065	0,16

Cetvel 3. Si içinde 3 değerli akseptorlerin  $E_a$  iyonizasyon enerjileri.

### 1.9. Katkılı Yarı-iletkenlerde İletkenlik

p- tipi malzeme için

$$p \cong N_a, \quad n = \frac{n_i^2}{N_a} \quad ( 1.16 )$$

n- tipi malzeme için

$$n \cong N_d, \quad p = \frac{n_i^2}{N_d} \quad ( 1.17 )$$

yazılabilir. Burada

p → boşluk konsantrasyonunu

N<sub>a</sub> → Akseptor konsantrasyonunu

n<sub>i</sub> → Asal taşıyıcı yoğunluğunu

n → Elektron konsantrasyonunu

N<sub>d</sub> → Donor konsantrasyonunu

gösterir.

(AKPINAR Sait, 1979, Yarı-iletkenler Fiziği,  
101-102)



Optik absorpsiyon,  $\alpha$  katsayısının fonksiyonudur. Herhangi bir fotonun kristalin içinde nerede absorplanacağı bilinmediğinden  $\alpha$  katsayısı

$$\frac{dI}{dx} = -\alpha I \quad ( 2.1 )$$

diferensiyel denklemine göre tanımlanır. Kristale düşen ışığın bir kısmı geçer (absorplanır), bir kısmı da yansır.

( 3.1 ) denkleminin çözümü;

$$I = (I_0 - I_R) \cdot \exp(-\alpha x) \quad ( 2.2 )$$

şeklindedir. Burada,

$I_0 \rightarrow$  Kristale düşen ışık şiddetini,

$I_R \rightarrow$  Yansıyan ışık şiddetini,

$x \rightarrow$  Kristal kalınlığını gösterir.

( 3.2 ) eşitliğinin her iki tarafının logaritması alınarak,

$$\alpha = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0 - I_R}{I} \quad ( 2.3 )$$

bulunur.  $\alpha \left[ \frac{1}{\text{uzunluk}} \right]$  boyutundadır.

Eğer absorpsiyon katsayısı ışık dalga boyunun fonksiyonu olarak ölçülürse, yarı-iletkenliklerin içinde elektronların enerji seviyeleri belirlenir.

(AKPINAR Sait, 1979, Yarı-İletkenler Fiziği, 104-108)

## 2.2. Fotoiletkenliğin Tanımı.

Yarı-iletkenlerde serbest yük taşıyıcılar, elektron,

foton ve yüksek enerjili radyasyon gibi herhangi bir dış kaynak tarafından oluşturulabilir. Işığın yarı-iletkenler tarafından absorplanması serbest yük taşıyıcı konsantrasyonunu değiştirir. Işık dedektörleri, fototransistörler, ışık yayınlayan diyodlar veya güneş pilleri yarı-iletkenlerin ışıkla etkileşmelerinden yararlanarak yapılırlar.

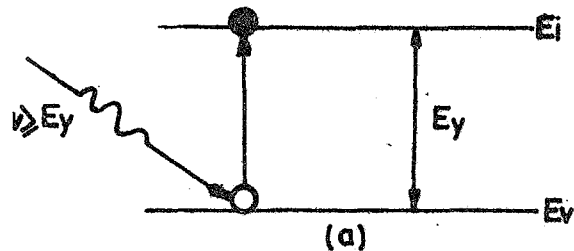
Aydınlatınca iletkenliğin artması olayına foto-iletkenlik denir. İletkenlikteki artma miktarı

$$\Delta\sigma = e (\mu_n \Delta n + \mu_p \Delta p) \quad ( 2.4 )$$

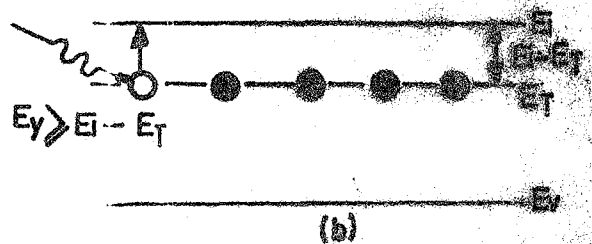
şeklindedir. Burada

$e \rightarrow$  elektronun yükünü,  
 $\mu_n \rightarrow$  elektronun mobilitasını,  
 $\mu_p \rightarrow$  boşluk mobilitasını,  
 $\Delta n \rightarrow$  fazlalık elektron yoğunluğunu,  
 $\Delta p$  boşluk yoğunluğunu  
gösterir.

Kristale gelen fotonun enerjisi yarı-iletkenin yasak bölge enerjisine eşit veya büyük olduğu durumda valans bandındaki bir elektron iletkenlik bandına geçer. Bu durumda, iletkenlik bandında fazlalık elektron, valans bandında fazlalık boşluk oluşur. Bu geçiş foto iletkenliğe "ASAL FOTO-İLETKENLİK" denir. (şekil 2.2.a)



Şekil 22 -a) Asal foto-iletkenlik



b) Katkılı foto-iletkenlik



Kristale gelen fotonun enerjisi yasak bölge enerjisinden küçük olursa yalnızca katkı maddesinin elektronu iletkenlik bandına geçebilir. Bu çeşit foto-iletkenliğe "KATKILI FOTO-İLETKENLİK" denir.

(ARIKAN Çetin, 1985, Yarı iletkenlerde Foto-iletkenlik, 1.2)

### 2.3. Fotoiletkenliği Ölçme Yöntemleri

Malzemenin özelliğine göre yarı-iletkenlerdeki foto-iletkenlik,

- 1) Homogen olmayan malzemeler üzerindeki
- 2) Homogen malzemeler üzerindeki ölçmeler olmak üzere iki şekilde ölçülür.

Uyarıcı ışığın uyarma süresinin fonksiyonu olarak fotoiletkenlik;

- 1) Sürekli uyarma, 2) Kesikli uyarma, 3) Darbeli uyarma olmak üzere üç şekilde incelenir. Yukarıdaki yöntemleri sırası ile özetleyelim;

1) Homogen olmayan malzemeler ait ölçüler:  
p-n eklemi ve Schottky engelleri üzerinde yapılan ölçmelerdir. Bu malzemelerdeki uzay yükü bölgeleri ışıkla uyarılır ve fotoiletkenlik ölçülür.

2) Homogen malzemeler üzerinde ölçmeler; Düzgün geometriye sahip, ohmik kontaktlı malzemeler üzerindeki ölçmelerdir.

Bu yöntemde homogen malzemenin iki ucuna birer metal elektrot takılır. Ohm yöntemi ile foto-akım ölçülür ve kristal boyutlarından iletkenlik belirlenir. Bu ölçmede akım taşıyıcıları metal-yarı-iletken ara yüzeyle-

rinde potansiyel engelleri ile karşılaşabilecekleri için ölçüler bozulabilir. Bunu gengellemek için ölçü devresinde bir akım kaynağı bulundurulur. Böylece akım kaynağının pozitif ucu ayrı ayrı iki elektroda bağlı olduğunda oluşan foto-akım şiddeti aynı büyüklükte tutulursa, bu elektrodlar Ohmik elektrot adını alır.

Eğer elektrrotlardan bir tanesi ohmik değilse, bu durumda ara yüzeylerde oluşan elektrik potansiyelleri foto-iletkenlik ölçülerini bozar.

(ARIKAN Çetin, 1985, Yarı-İletkenlerde Foto-İletkenlik)

### BÖLÜM III : KONTAKT (KAVŞAK) FİZİĞİ

Elektronların katı cismi terk etmeleri için elektromagnetik enerji absorpsiyonu, yüksek sıcaklıklar veya elektrik alanı gibi etkiler olmalıdır. Bu etkiler altında fotoelektrik, termiyonik veya alan emisyonu oluşur.

Katıhal elektronik elemanlarının çoğu, yarı-iletkenlerin yüzey veya içerilerinde yaratılan engellerden yararlanır. Başka grup elektronik elemanlar ise, engel tabakalarının olmaması oranında iyi çalışırlar. Termistörler, yarı-iletkenler, magnetorezistans cihazlar, akustoelektronik cihazlar bu gruptandır. Bir veya daha çok sayıda engel tabakalarının varlığını kullanan cihazlar da diyod, transistör, foto-transistör, diak, triak, fotovolttaik piller (güneş pilleri) ve entegre devrelerdir.)

#### 3.1. Çıkış İş Fonksiyonu.

Bir iletken parçasının dış yüzeyi, akım taşıyıcıları için en basit engel tabakasıdır. Şekil 3.1 b'de bir metal parçasının kenarlarına yakın, metal örgüsünü oluşturan pozitif iyonların  $V$  potansiyeli gösterilmiştir. Ortalama potansiyel  $V_0$  olarak kabul edilebilir. Kristalin içindeki bir serbest elektronun enerjisi  $U_0 = -eV_0$  değerindedir. Metalin dışında uzaktan metal yüzeyine yaklaştırılan bir elektronun enerjisi  $U=0$  dan itibaren  $U_0 = -eV_0$  değerine kadar değişebilir. Bu değişme yüzeyden örgü sabiti mertebesinde  $\delta$  kadar genişlikteki bölgede olur. Şekil 3.1 c'deki enerji diyagramı elektron için metalin  $V_0$  derinliğindeki bir potansiyel kuyusu oluşturduğunu gösterir. Elektronu

metalden dışarı çıkarılmak için harcanması gereken enerji miktarına çıkış işi denir ve

$$E_{\phi} = e\phi \quad ( 3.1 )$$

ile gösterilir. Burada;

$E_{\phi}$  → eV cinsinden çıkış işini,

$\phi$  → volt cinsinden potansiyel çukuru,

$e$  → elektronun yükünü

belirtir. Çıkış işi genelde Fermi seviyesi ile vakum seviyesi arasındaki enerji farkına eşit olarak tanımlanır.

$$E_{\phi} = E_0 - E_F \quad ( 3.2 )$$

$E_F$  altındaki bir enerji seviyesinden elektron alındığında daha yüksek seviyelerden bu seviyeye inen elektronlar, boşalan seviyeyi doldurur. Bu sırada serbest kalan enerji kristalin ısıtılmasına harcanır. Bu nedenle böyle çıkış işine termodinamik çıkış işi denir ve Fermi enerjisi sıcaklığa bağlı olduğu için, birçok metal ve bileşikler için,

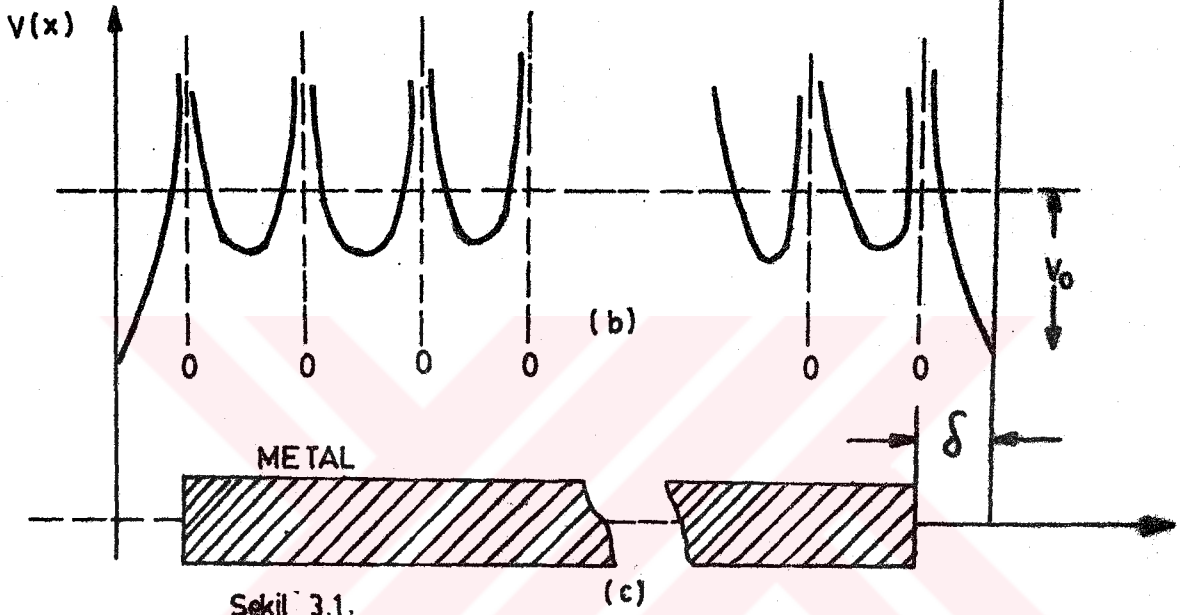
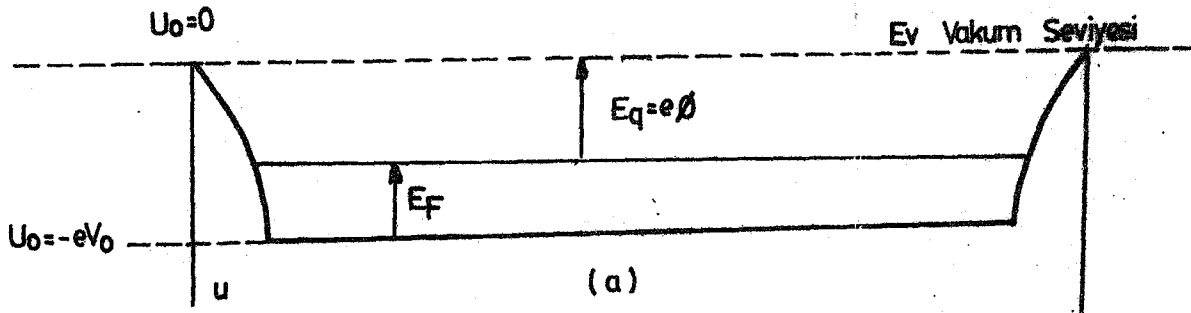
$$\phi = \phi_0 + \alpha T \quad ( 3.3 )$$

bağıntısı geçerlidir.  $\alpha$  sıcaklık katsayısı, çoğu bileşikler için pozitif ve  $(0.1 - 7) \times 10^{-4}$  mertebesinde.

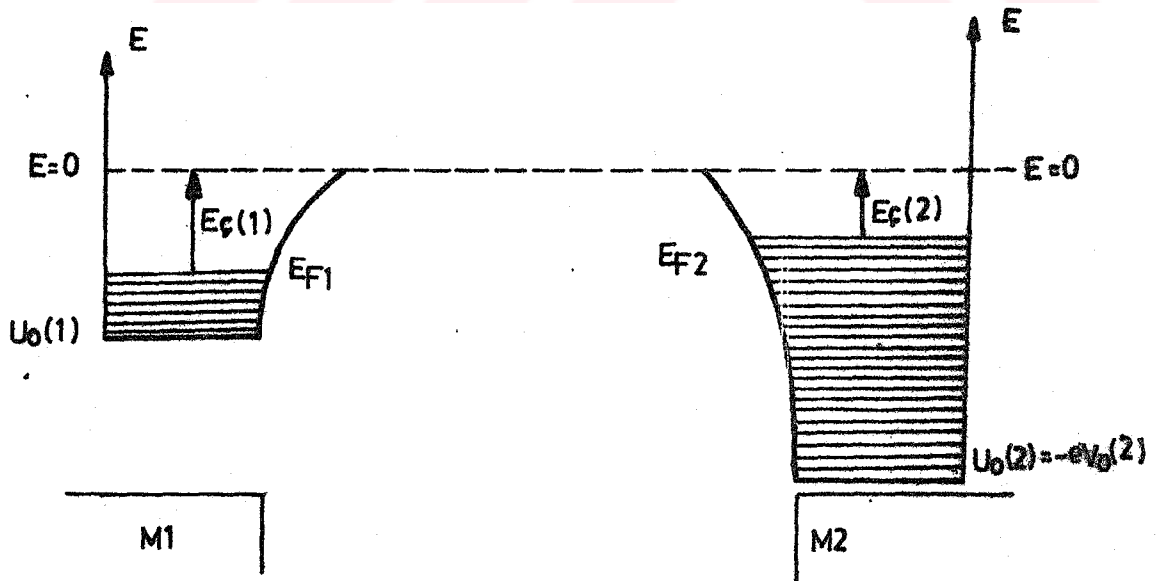
### 3.2. Metal-Metal Yaklaşması, Kontakt Potansiyeli

Bir metalde Fermi enerjisi, potansiyel çukuru derinliği ( $U_0 = -eV_0$ ) ve çıkış işi ( $E_{\phi}$ ) parametreleri ile karakterize edilebilir. Birbirlerine değdirilmeyen iki metal parçasının elektron enerji diyagramları şekil 3.2'de gösterilmiştir.

İki metal birbirlerine, örneğin termiyonik emisyon



Şekil 3.1.



Şekil 3.2. İki farklı metalde elektron enerji diyagramı.  $E=0$  vakum seviyesi her iki metal için eşittir.

yolu ile, kuvvetlice bir elektron alışverişi yapabilecekleri bir uzaklığa kadar yaklaştırılırsa Fermi seviyesi daha yüksek olan 2 numaralı metalden birincisine doğru bir elektron akımı başlar. Kısa bir süre sonra elektron akımı durur. Çünkü artık negatif olarak yüklenmiş olan 1 No.lu metal, daha çok elektronun kendi üzerine gelmesini engelleyen negatif bir potansiyel kazanmıştır. Birinci metalin Fermi seviyesi yükselmiş, ikinci metalinki alçalmıştır. Sonuçta, iki metal arasında bir potansiyel farkı, ya da engel doğmuştur. Bu potansiyel farkına Kontakt Potansiyeli ( $V_{\text{kontakt}}$ ) veya Volta potansiyeli denir. Değeri iki metalin çıkış işleri farkından

$$eV_{\text{kontakt}} = E_{\text{ç}}(1) - E_{\text{ç}}(2) = e\phi_1 - e\phi_2 \quad (3.2)$$

$$V_{\text{kontakt}} = \phi_1 - \phi_2 \quad (3.3)$$

olarak bulunur. Şekil 3.2.

$$E_{\text{kontakt}} = eV_{\text{kontakt}} = E_{F2} - E_{F1} \quad (3.4)$$

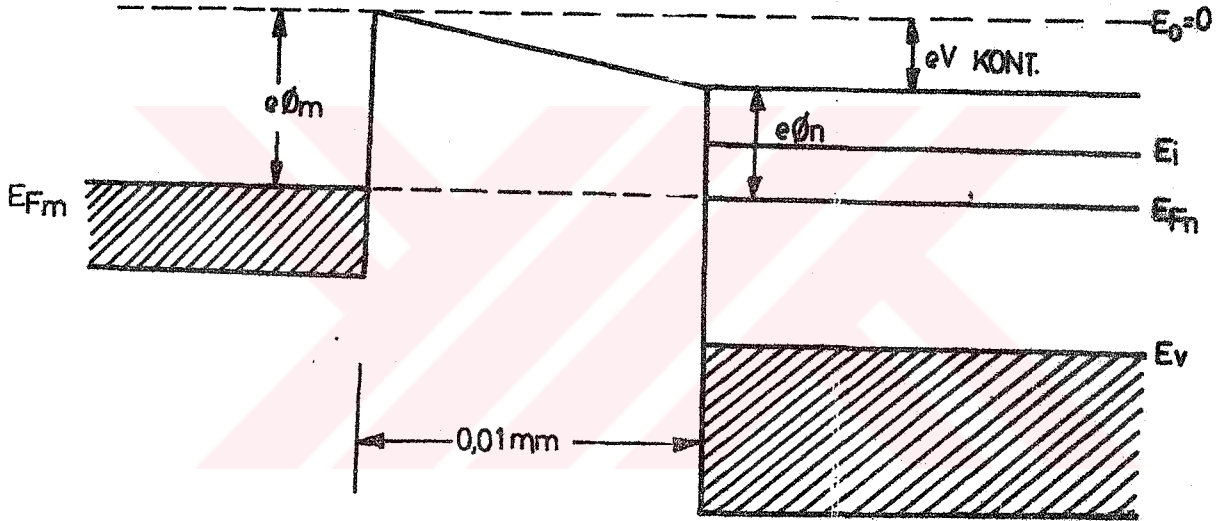
olduğunu gösterir.

Kontakt potansiyeli bir yüzey olayıdır. Bu nedenle ölçülecek yüzeylerin temiz olması gerekir. Temiz bir atmosfer ortamında hazırlanan bir metal yüzeyi oksijen, su, buharı gibi molekülleri kapar ve metal yüzeyinin yapısı bozulur. Güvenilir bir sonuç için metal yüzeyi vakumda ( $10^9 - 10^{10}$  torr) hazırlanır. Ölçme işlemi de birkaç dakikada bitirilir.

### 3.3. Metal -n- tipi Yarı-İletken Kontaktları, Kavşakları

Bir metal yüzeyi ile bir yarı-iletken yüzeyi vakum ortamında birbirlerine yaklaştırılınsın, n-tipi yarı-iletken ve  $1 \text{ cm}^3$ 'ünde  $N_d$  kadar iyonlaşmış donör atomu düşünelim.

İki yüzey arasındaki kontakt potansiyeli metale göre pozitif ( $\phi_{\text{metal}} > \phi_{\text{yarı-iletken}}$ ) veya negatif ( $\phi_m < \phi_n$ ) olabilir. Her iki durumda kontakt bölgesinin elektriksel özellikleri farklı olur.



Şekil 3.3. Aralarında 001 mm uzaklık bulunan, denge halindeki, metal-n tipi yarı-iletkende enerji band diyagramı.

$\phi_{\text{met.}} > \phi_n$  durumu.

Metalin çıkış ışının n-tipi yarı-iletkeninkinden büyük olduğu durumu inceleyelim. Aralarındaki  $d$  kalınlığı yavaş yavaş küçültülse elektron alışverişi sağlanabilir. Yarı-iletkenin  $E_F$  Fermi enerjisi metalin

kinden daha yüksek olduğundan elektronlar yarı-iletken-  
den metale doğru akacaklardır. Denge kurulduğunda  $E_{Fm} = E_{Fn}$   
olacak,  $V_{kont.} = \phi_m - \phi_n > 0$  kontakt potansiyeli oluşa-  
caktır. Metal ve n-tipi yarı-iletken birbirlerine yaklaştı-  
rılırsa C kapasitesi büyür. Yarı-iletkenden metale  
geçen elektronların sayısı  $V_k = \phi_m - \phi_n$  potansiyelini  
sabit tutabilmek için aynı oranda artar. Elektronları  
alınan katkı atomları (donor), örgü içindeki yerlerini  
pozitif yüklü iyonlar halinde koruyarak geniş bir uzay  
yükü bölgesi oluşturur.

$\phi_n > \phi_m$  durumu.

Bu durumda metalden yarı-iletkene büyük bir elekt-  
ron akımı olur. Elektron akımı sonucunda metal yüzeyi  
pozitif, yarı-iletkenin yüzeyi negatif yüklenir. Önceki  
durumdan farklı olarak yarı iletken içinde oluşan arınma  
bölgesi çok daha dar olur.

#### 3.4. Metal -p tipi Yarı-İletken Kontaktları

Metal -n tipi kavşaklardaki enerji diyagramlarına  
benzer çizimler yapılabilir. Akım taşıyıcılar pozitif  
yüklü olduklarından -n tipi yarı-iletken kavşakların ter-  
si özelliğe sahiptirler.

#### 3.5. Metal -Yarı İletken Ohmik Kontaktlar.

Bu tip kavşaklar uygulamada daha çok kullanılır.  
Tránsistör, diyod gibi yarı-iletkenler elektronik devreye  
bağlandıkları zaman volt-amper karakteristiklerinin  
lincer olması istenir. Ayrıca ohmik kavşağın yarı-iletken



içine azınlık taşıyıcıları salmaması (injeksiyon özelliği göstermemesi) gerektirir.

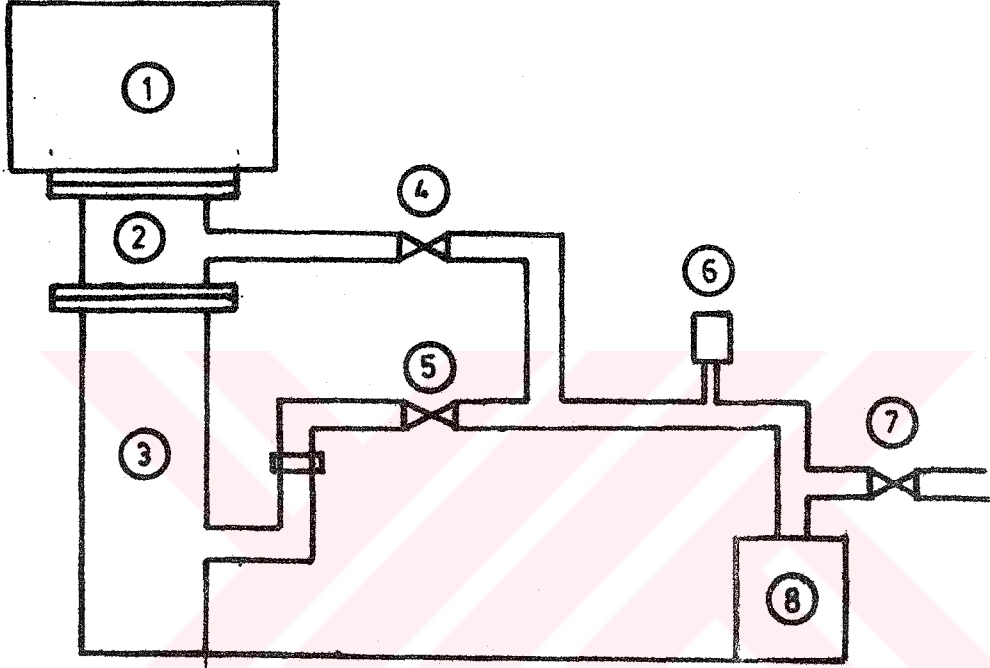
Ohmik kontaktın kaliteli olması için, metal kavşak metalinin yarı iletkeni katkılamağa kullanılan maddeyi içeren bir alaşımdan seçilmesidir.

Ohmik kontakt yapmanın ikinci bir medodu da yarıiletkenin yüzeyini zımparaladıktan sonra metalle kaplamaktır. Zımparalama ile yüzeydeki örgü yapısı bozulur, çok sayıda örgü kırığı oluşur. Bunun sonucunda da, kristalin yasak bandı etrafında çok sayıda lokal seviye ortaya çıkar, yüzeyin iletkenliği artarak kontakt direnci azalır. Metal kontakt bölgesinde oluşan azınlık taşıyıcıları da rekombinasyona (yeniden birleşme) uğrayarak injeksiyon engellenir.

## BÖLÜM IV : DENEYİN YAPILIŞI

### 4.1. Deneylerde Kullanılan Alet ve Cihazların Tanıtılması.

#### KAPLAMA CİHAZI



Şekil 4.1. Typical pumping system

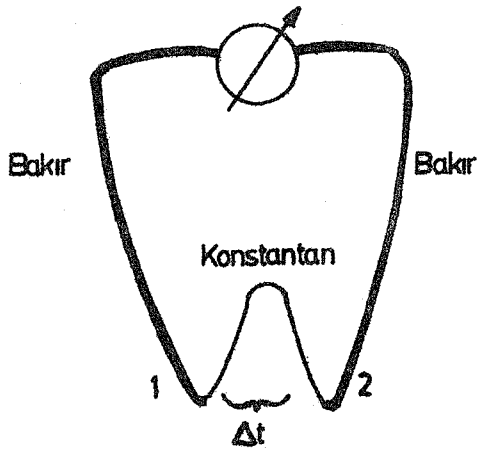
1. Vacuum System
2. High vacuum isolation baffle valve
3. Diffusion pump
4. Roughing valve
5. Backing valve
6. Backing pressure gauge head
7. Air admittance valve
8. Rotary backing pump.

Çalıştırma İşlemi :

1. Hava dengeleme vanası kapatılacak
2. Mekanik pompa açılacak
3. Backing vanası açılacak
4. Difüzyon pompasının ısıtıcısı açılacak (soğutma suyu veya hava soğutması açılacak)
5. 15 dakika beklenecek
6. Backing vanası kapanacak
7. Mekanik pompalama vanası açılacak
8. Çalışma vakum odasında yeteri kadar vakum aletten okunacak
9. Mekanik pompa vanası kapanacak
10. Backing vanası açılacak
11. Yüksek vakum vanası yavaş yavaş açılacak.

#### TERMOELEKTRİK ÇİFT

Deney: Bir konstantan telin iki ucuna bir bakır tel lehimleyip, duyarlı bir galvanometreye bağlayalım. Her iki lehim noktası aynı sıcaklıkta iken, galvanometreden bir akım geçmez; uçlar arasında bir EMK yoktur. Lehim noktalarından yalnızca birini ısıtalım. Galvanometrede bir



Şekil 4.2. Termoelektrik termometre (Thermocouple)

sapma görülür. Uçlar arasında bir EMK oluşmuştur. Burada iki değişik metal telin birbirine lehimli ucunun ısıtılması ile oluşan bu EMK'ne termoelektrik EMK veya tansiyon ve olaya termo-elektrik olay denir. Isıttığımız lehim noktasını şimdi soğuk (buzlu) suya daldıracak olursak, galvanometre zıt yönde sapar.

$$E_t = \varepsilon_{1,2} \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

geçerlidir. Burada

$\Delta T = T_1 - T_2$  lehim noktalarının sıcaklık farkını,

$\varepsilon_{1,2}$  = her iki metalin termoelektrik sabitlerinin farkını ( $\varepsilon_{1,2} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$ )

gösterir. Aşağıdaki tabloda bazı metallerin  $\varepsilon$  Seeback katsayıları da denilen termoelektrik sabitleri verilmiştir.

Metalin adı	$\varepsilon_1$	Metalin adı	$\varepsilon_1$
Selenyum	0,000850	Gümüş	0,000072
Antimuan	0,000100	Platin	0,000065
Demir	0,000083	Nikel	0,000051
Pirinç	0,000076	Konstantan	0,000030
Bakır	0,000072		

Çetvel 4.1 Bazı metallerin termoelektrik sabitleri

Tanıma göre, kapalı devredeki akım soğuk lehim noktasında 1 den 2'ye doğru geçiyorsa  $\alpha_{1,2}$  pozitifdir. Bakır konstantan termoelektrik çiftin  $1^\circ\text{C}$  için

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ volt} = 4 \text{ mikrovoltttur.}$$

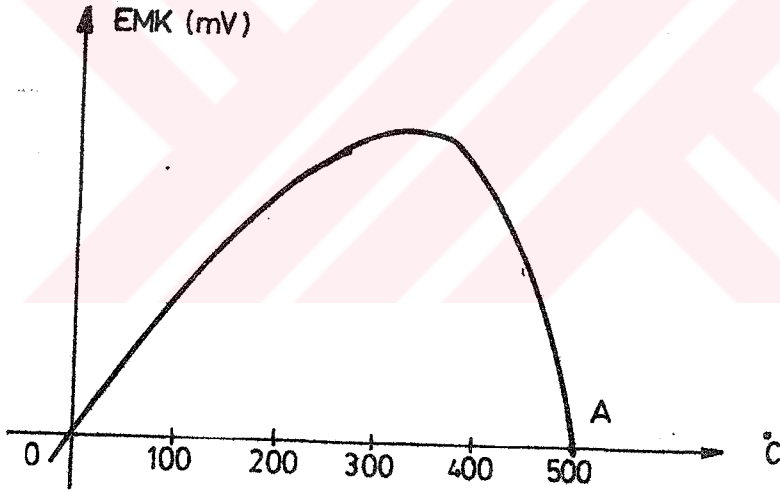
Termoelektrik EMK'in sıcaklıkla değişmesi, genellikle doğrusal olmayıp,

$$E_t = at + bt^2 \quad (4.2)$$

biçiminde bir bağıntı geçerlidir. a ve b değişik tellerin cinsine bağlıdır.

Deney: Demir-bakır termoelektrik çiftin EMK sıcaklık karakteristik eğrisini göstermek için bu çiftin bir hehim noktasını  $0^\circ\text{C}$  de tutup öteki ucu devamlı ısıtılın ve galvanometrenin sapmalarını inceleyelim.

Şekil 4.3. deki eğri elde edilir.



Şekil 4.3.

EMK önce bir maksimal değere kadar hemen hemen doğrusal olarak yükselir, maksimal değeri aştıktan sonra sapmalar azalır ve sıfırdan geçip yön değiştirir. Bu noktaya A inversiyon noktası denir. Bu termoelektrik çift ancak belirli bir sapmanın doğrusal (lineer) bulunduğu bölgede kullanılabilir. Termoelektrik çiftler, belirli

sıcaklıklarda ayarlanır ve elde edilen bir ayar eğrisi yardımı ile sıcaklık ölçülür. Termoçiftler, pek küçük yapılabildiklerinden, istenilen bir yere kolaylıkla yerleştirilebilir. Isı kapasitelerinin pek küçük olmaları nedeniyle sıcaklığı derhal gösterirler.

(ENER Cavit, 1979, Genel Fizik, (22-a) S.405-407)

#### 4.2. Numunelerin Hazırlanması

Kendisinden numunelerin kesileceği ana kristal parçası yarıçapları gittikçe küçülen Alüminyum Oksit (Aloxide) tozları (1; 0,3; 0,05 mikron çaplı) ile parlatma cihazında parlatılır. Parlatma işlemi kristal yüzeyinin ayna gibi çok parlak duruma gelmesine kadar sürdürülür.

Parlatılan kristal parçası MODEL 650 LOW SPEED DIAMOND WHEEL SAW cihazı ile istenen boyutlarda kesilerek numuneler oluşturulur. (Birinci kesme bıçağı 4 inç çaplı, 0,012 inç kalınlığında, elmas toz kalınlığı 320 mesh, yoğunluğu 100; ikinci kesme bıçağı 4 inç çaplı 0,015 inç kalınlığında 320 mesh, yoğunluğu 100) Kesme işlemi sırasında kristalin kırılma derecesine göre; kesme aletinin devir hızı cihazın üzerindeki kademele düğme ile ayarlanır. Kristalin kırılmaması ve zarar görmemesi için, kristalin takıldığı kol üzerindeki ağırlık ayarları ile kesme basıncı küçük tutularak kesme işlemi süresi uzatılır. Dikdörtgenel düzgün yüzeyli karbon parçası üzerine WAX (reçine) tutulur. Isıtılarak

tırıcı yüzey üzerine dağıtılır. Daha sonra kristal parçası yapıştırıcı üzerine bırakılır. Havva ısısı ile kristalin karbona yapışması sağlanır. Karbon-kristal ikilisi kesme aletinin bıçağı üzerine gelen kaldıracağı biçimindeki kalan ucuna sıkıştırılır.

Kesici bıçağı dairesel levha olup uç kısmının yüzeylerine değişik kalınlıklarda elmas tozları dopedilmiştir. Kesicinin WATER SOLUBLE COOLANT yağı 1/50 oranında seyreltiktir. Seyreltmede damıtık su kullanılır.

Bar (dikdörtgensel) ve yonca yaprağı biçiminde numuneler elde edilir. Kesilen numunelerin boyutları digital kalınlık ölçme cihazı ile hassas bir şekilde ölçülür.

Parlatılıp kesilen numuneler temiz bir cam kap içinde Aseton ve Alkol ile ayrı ayrı Ultrasonik Temizleme Cihazı'nda temizlenir. Böylece numune yüzeyindeki yağ, reçine ve diğer yabancı maddeler atılmış ve numuneler kimyasal aşındırma (Etch)'ya hazırlanmış olur.

#### SİLİSYUMUN ETCH İŞLEMİ :

Kullanılan kimyasal malzemeler:

- 1- KRAL SUYU : Bir hacim %65'lik  $\text{HNO}_3$  (ölçülü pipet ile 3 kere) Üç hacim %37'lik  $\text{HCl}$  (9 kere)
- 2- CP4A : İki hacim %65'lik  $\text{HNO}_3$  (6 kere)  
Bir hacim %99'luk  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (3 kere)  
Bir %40'luk  $\text{HF}$  (3 kere)

CP4A'nın Hazırlanışı : Önce polietilen kap ve teflon maşo alınır. ( $\text{HF}$  Silise tesir eden bir asit olduğundan karışım polietilen kap içinde hazırlanır. Karışım cam veya başka bir kaba konmaz.) Kabın içine bir birim (Pipetin 2 çizgi-

sinin 3 katı bir birimdir) HF alındı. Su ile bu miktarın bir biriminin kabın neresine kadar geldiği tesbit edildi. Pipet kullanılmadan HF doğrudan kabın içine dökülür. Çünkü pipet de camdan yapılmıştır. Sonra üzerine pipet ile 2 birim  $\text{HNO}_3$  ve bir birim Asetik Asit ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ilâve edildi.

KRAL SUYU'nun Hazırlanışı: Şişelerdeki kimyasal maddeleri bozmamak için  $\text{HNO}_3$  ve HCl önce küçük cam kaplara azar azar alındı. Sonra miktarları kadar pipet ile ölçülü olarak çekilip bir cam kap içinde karıştırıldılar.

CP4A hazırlandıktan sonra  $0^\circ\text{C}$ 'de (buz içinde) 15 dakika kaynatıldı.  $\text{CCl}_4$  kaynama sırasında çabuk buharlaştığından üzerine zaman zaman ilâveler yapıldı.

$\text{CCl}_4$ 'den çıkarılan numuneler Kral Suyu içine alındılar. Numuneler Kral Suyu içinde kırmızımsı olan Kral Suyu'nun renge açık sarıya dönüşüncüye kadar (yaklaşık 15-20 dakika) kaynatıldı. (Kaynatma işlemleri Çeker Ocaklı fırında yapıldı.

Sonra Kral Suyu'ndan alınan numuneler ağızkapatılabilen geniş ağızlı kaptaki CP4A içine alındılar. Polietilen kap 4 dakika titreştirilerek numunelerin her yüzünün eşit kimyasal aşındırması yapıldı. Aşınmayı durdurmak için süre sonunda üzerine damıtık su ilâvesi ile bir yandan da kaptan dışarı dökerek yoğunluk azaltma yolu ile bir süre yıkandı. CP4A karışımının tamamen temizlendiğinden emin olduktan sonra numuneler hava ile temas ettirilmeden sıvı (damıtık su) içinden çıkarıl-



maksızın başka bir cam kaba alınıp bekletildiler.

Numunelerin maskelenmesi için iki piring kevha alındı. Numunelere frezede oyuklar açılıp, üzerlerine kontakt noktaları işaretlenip delindi. (Kontakt delikleri için 0,6 mm. 0,8 mm. 1.0 mm. ve 1,2 mm çaplı matkap uçları kullanıldı.)

Numunelere Alüminyum Vakum Buharlaştırma Metodu ile kontaktlar aşağıdaki gibi yapıldı.

Deneme: Tungsten flaman ile cam üzerine kaplama yapıldı. Cihaz, çalıştırma tekniğine uygun olarak çalıştırıldı. Chamber 0,1 ile 0 Hg arasına gelince Chamber H.V: valfı açılarak Chamber ve difüzyon odası birlikte çalıştırıldı. Basınç yine aynı değere (0,1-0 Hg) girince Chamber'de sadece flaman varken, numune konmadan BOMBARD durumunda flaman akkor olana kadar (30-35 Amperde 50-60 V.) ısıtıldı. Sonra chamber içine cam ve flaman üzerine de Al koyarak (0-0,1 Hg) basıncına kadar boşaltıldı. I düğmesi pressure durumunda iken II düğmesi ile 30-35 Amper akım (55-65 voltta) verildi. Kaplama yapıldı.

#### SİLİSYUM SAMPLE'LARIN KAPLANMASI :

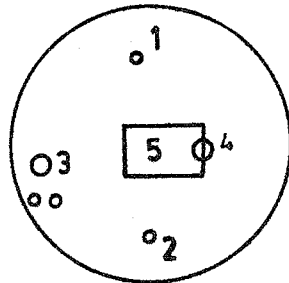
Daha önce etch edilerek saf su içinde beklemekte olan sample'lar hafif azot ( $N_2$ ) gazı ile kurutulularak maske üzerine kondu. Kaplama cihazı çalıştırılıp tungsten flamanı takılarak 50-60 voltta 30-35 Amper akım ile flaman akkor hale gelene kadar ısıtılarak temizlendi. Alkol, aseton ve ultrasonik temizlemeden geçirilmiş olan

maske ( $N_2$ ) azot gazı ile kurutulularak üzerine hazırlanmış numuneler kırılmayacak şekilde sıkıştırılarak yerleştirildi.

Bir parça saf alüminyum alınarak temizlenip (aseton ve mekanik temizleme) flamanın üzerine kondu. Maske de sample'larla birlikte chamber'a yerleştirildi. (Daha önce kaplama yapılmış Kaplama Cihazı fanusunun alüminyum ile kaplı iç yüzeyini temizlemek için bir cam kap içine  $NaOH$  (Kostik) kondu. Eriyemez duruma gelinceye kadar üzerine su ilâve edildi. El değdirilmeden  $NaOH + H_2O$  karışımı fanusun içine döküldü. Bu işlem defalarca tekrarlandı. Böylece fanusun iç yüzeyi alüminyumdan temizlendi.) Chamber basıncı  $0-0,1 \mu Hg$  değerine düştüğünde  $50-60 V.$  altında  $35-40$  Amper akım ile flaman ısıtılarak alüminyum buharlaştırılıp kaplama yapıldı.

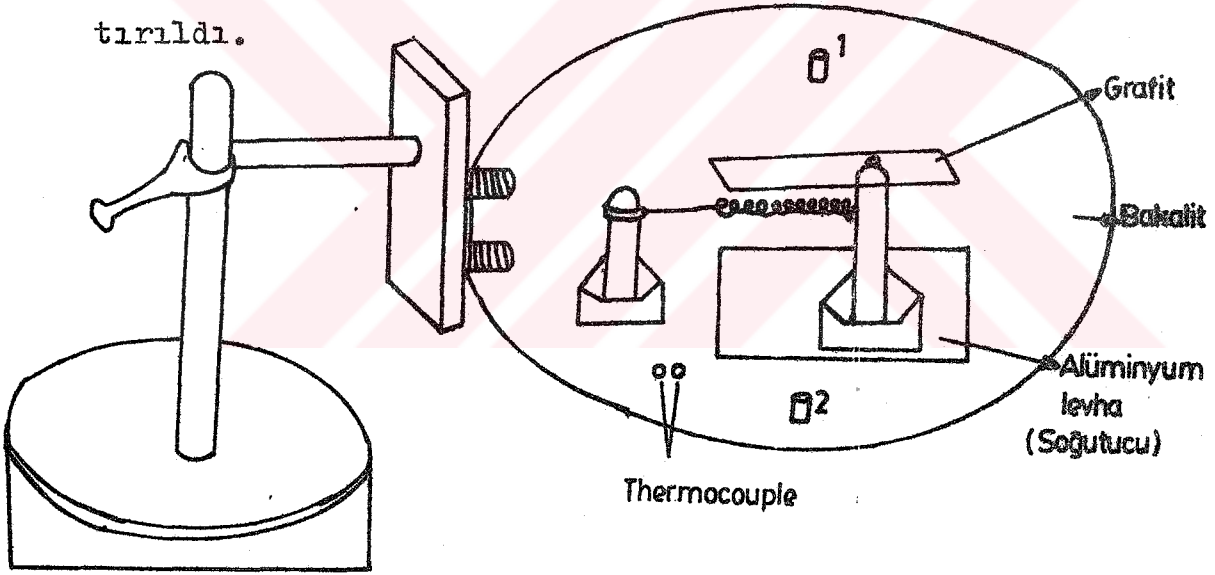
#### ALLOY İŞLEMİ :

Alüminyum kaplanan numunelerin ısıtılarak alüminyumun numuneye nüfus etmesi sağlanır. Yani kontakt noktalarındaki metal atomlarının difüzyon yolu ile kristalin derinliklerine nüfus ederek sağlam şekilde teması sağlanır. Bunun için aşağıdaki gibi bir düzenek hazırlandı.

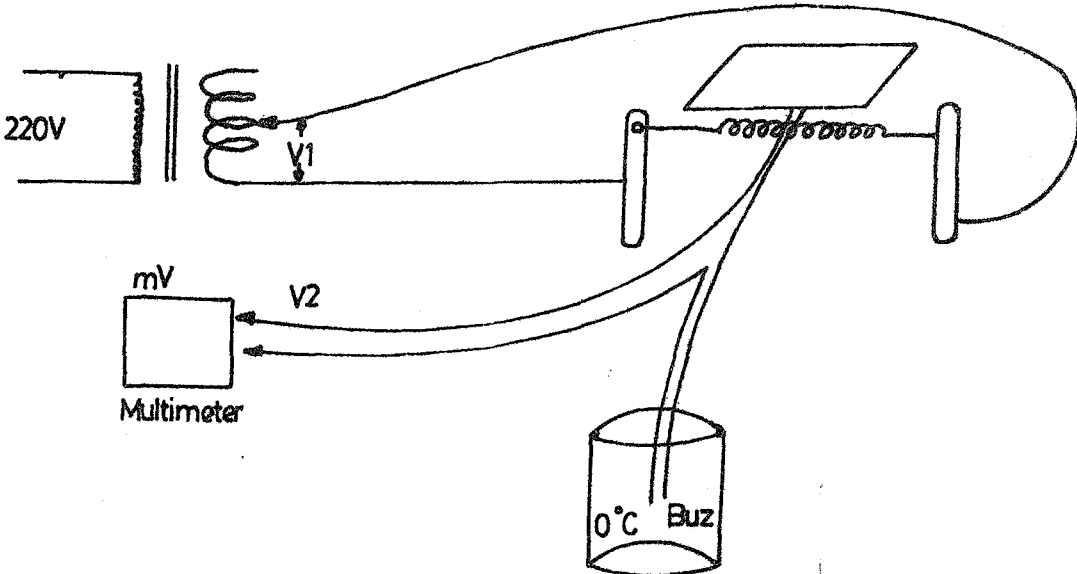


Şekil 4.4. Alloy düzenegi. 1 ve 2 nolu deliklerden gaz alış-verişi sağlanır. 3 ve 4 numunenin ve ısıtıcının üzerine konduğu vidalar, 5 ise soğutucudur.

Numuneler alevde yakılmış grafitin üzerine, kontaktlar yukarıya gelecek şekilde kondu. Termoelektrik çiftin hassas ucu, grafitin yanından ortasına kadar açılan ince deliğe yerleştirildi. Sistemin üzeri cam fanus ile kapatıldı. 1 ve 2 No.lu deliklerden ince borularla hafif azot gazı sirkülasyonu verildi. Bu sırada ısıtıcının uçlarına 0-15 volt arasında gittikçe artan ayarlı gerilim verilerek termoelektrik çiftin gerilimi mV olarak ölçüldü. Termoelektrik çiftin gerilim değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerleri karakteristik eğriden bulundu. (Cu-Cu, Ni-Cu termoelektrik çift karakteristiği) Karbon levhayı temizlemek için önce sistem birkaç dakika çalıştırıldı.



Şekil 4.5. Alloy işleminin düzeneği



Tablanın üzerindeki tungstenin rezistansı  $7 \Omega / m'$  dir. Termoelektrik çiftin referans sıcaklığı olarak buzun ergime sıcaklığı alındı. Numuneler bu şartlarda çok hafif azot gazı ( $N_2$ ) sirkülasyonu altında oda sıcaklığından  $540-550^\circ C$  sıcaklığına kadar 6 dakika ısıtıldı. Bu sürenin son iki dakikasında son sıcaklık sabit tutuldu. Sonra voltaj kesilerek azot gazı sirkülasyonu altında oda sıcaklığına soğuyana kadar bekletildi.

#### 4.3. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu arada alloy işlemi yapılmamış, kara kutu içindeki bir numunenin I-V karakteristiği için ölçüler alındı.

I (mA)	V (mV)
—	1,78
120	2,98
145	3,95
170	7,01

Çetvel 4.2. Alloy işlemi yapılmamış numuneden alınan ölçüler

V (Volt)	I (A) $\times 10^{-5}$
1,3	0,20
2,2	0,25
3,0	0,27
4,1	0,29
5,2	0,31
6,5	0,34
7,2	0,36
8,6	0,38
10,1	0,41
12,2	0,45
15,1	0,50
17,2	0,55
20,2	0,60
22,9	0,69
25,0	0,79

(a)

V (Volt)	I (A) $\times 10^{-5}$
1,8	0,03
3,1	0,05
5,3	0,08
8,2	0,11
10,2	0,18

(b)

Çetvel 4.3 Alloy işlemi yapılmış numuneden alınan ölçüler

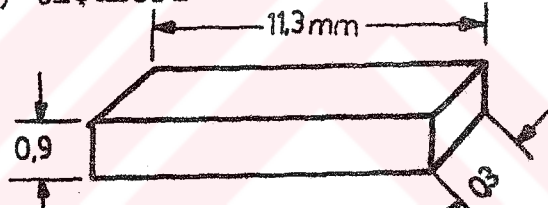
- Doğru yönde alınan ölçüler.
- Ters yönde alınan ölçüler.

Numuneyi ölçü aletine koyabilmek için kontakt noktalarından bağlantı uçları alındı. Ölçme sırasında numunenin zarar görmemesi için, üzerinde altın kontakt noktaları bulunan seramik plaka üzerine GE-VANISH adlı yapıştırıcı ile yapıştırıldı. (GE-VANISH'ın çözücüsü 1:1:1 oranında METANOL, ASETON ve TOLUEN'dir. Çözücü yapıştırıcının bulunduğu şişenin içine kondu. Yapıştırıcının çözülebilmemesi için şişe birkaç saat sallandı.) Bu yapıştırıcının özelliği kuruduktan sonra sürüldüğü yerde yabancı madde etkisi bırakmayıp yok olmasıdır.

Saç kalınlığındaki bakır tellerle gümüş pasta kullanılarak numunenin kontaktları seramik üzerindeki uçlara bağlandı.

#### Akım-Gerilim (I-V) Ölçüleri

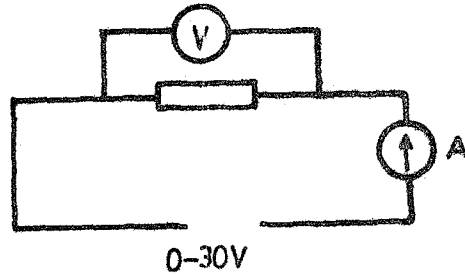
1) Numune boşta



Işıқта:  $R_{AB} = 385 \text{ K}$   
 $R_{BA} = 606 \text{ K}$

Karanlıkta:  $R_{AB} = 590 \text{ K}$   
 $R_{BA} = 530 \text{ K}$

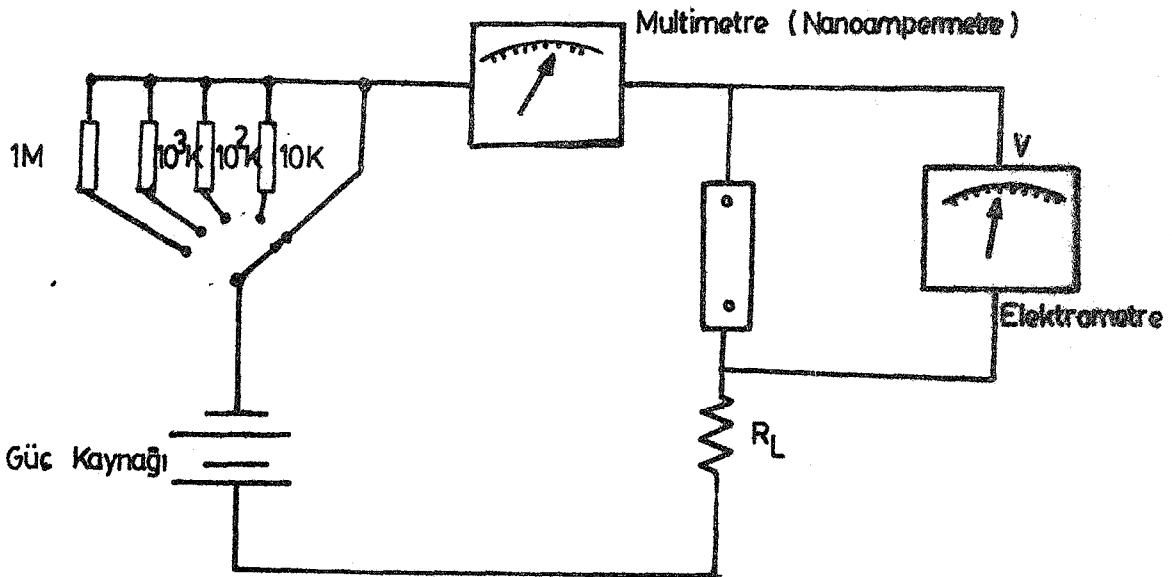
2) Numune karanlık kutu içinde



V (Volt)	I (mA)	V <sub>ort</sub> (Volt)	R (Kohm)
0,98-2,48	$1 \times 10^{-3}$	1,73	1,73
2,49-3,98	$2 \times 10^{-3}$	3,23	1,61
3,99-5,49	$3 \times 10^{-3}$	4,74	1,58
5,50-7,08	$4 \times 10^{-3}$	6,29	1,57
7,09-8,90	$5 \times 10^{-3}$	7,99	1,58
8,91-10,31	$6 \times 10^{-3}$	9,61	1,60
10,32-12,36	$7 \times 10^{-3}$	11,34	1,62
12,37-13,78	$8 \times 10^{-3}$	13,07	1,63
13,79-15,62	$9 \times 10^{-3}$	14,70	1,63
15,63-17,39	$10 \times 10^{-3}$	16,51	1,65
17,40-19,22	$11 \times 10^{-3}$	18,30	1,66

Çizelge 4.4 Karanlık kutu içindeki numuneye ait ölçüler

3) Elde edilen kontaktların ohmik olup olmadığını anlamak için I-V karakteristiklerini çizmek gerekir. Bu nedenle tüm bağlantıları ekranlı kablo ile yapılan aşağıdaki devre kullanıldı.



Şekil 4.7

V (Volt)	i (mA)	R (M $\Omega$ )	V (Volt)	i (mA)	R (M $\Omega$ )
0,01	0,05	0,2	12,63	8,32	1,516
0,20	0,32	0,626	13,03	8,55	1,525
0,60	0,65	0,923	13,71	8,94	1,533
1,29	1,23	1,048	14,20	9,23	1,538
2,16	1,82	1,186	14,73	9,54	1,594
2,52	2,07	1,217	15,23	9,84	1,547
2,94	2,35	1,251	15,71	10,11	1,553
3,33	2,62	1,270	16,07	10,32	1,557
3,80	2,92	1,300	16,89	10,78	1,566
4,03	3,09	1,304	17,44	11,09	1,572
4,43	3,35	1,322	17,71	11,27	1,571
4,61	3,48	1,324	18,38	11,65	1,577
4,98	3,70	1,345	18,75	11,87	1,579
5,02	3,75	1,338	18,90	11,99	1,581
5,52	4,05	1,362	19,10	12,07	1,582
6,04	4,38	1,378	19,42	12,25	1,585
6,71	4,80	1,397	19,86	12,50	1,588
7,05	5,00	1,410	19,92	12,55	1,587
7,90	5,51	1,433	20,90	13,10	1,595
8,51	5,89	1,444	21,30	13,34	1,596
9,05	6,21	1,457	21,90	13,68	1,600
9,69	6,60	1,468	22,30	13,92	1,602
10,26	6,94	1,478	22,70	14,14	1,605
10,70	7,20	1,486	23,00	14,32	1,606
11,42	7,62	1,498	24,20	15,02	1,611
11,95	7,93	1,506	25,30	15,60	1,621
12,22	8,08	1,512	26,10	16,12	1,619
			27,50	16,50	1,627

Çetvel 4.5. A-B doğrultusundaki ölçümler

(Bkz. Sayfa 45)

V (Volt)	$\dot{I}$ ( $\mu$ A)	R (M $\Omega$ )	V (volt)	$\dot{I}$ ( $\mu$ A)	R (M $\Omega$ )
0.25	0.58	0.431	16.74	17.74	0.943
0.80	1.48	0.540	17.32	18.30	0.946
1.45	2.35	0.617	17.60	18.56	0.948
2.10	3.20	0.656	18.36	19.27	0.952
2.90	4.18	0.703	18.94	19.79	0.957
3.50	4.80	0.729	19.10	19.94	0.957
3.80	5.14	0.739	19.61	20.40	0.961
4.40	5.78	0.761	19.80	20.59	0.961
5.00	6.42	0.778	20.18	20.94	0.963
5.75	7.20	0.798	20.96	21.62	0.969
6.09	7.55	0.806	21.40	22.13	0.967
7.80	9.29	0.839	22.00	22.69	0.969
8.60	10.08	0.853	22.70	23.32	0.973
10.30	11.70	0.880	23.20	23.75	0.976
11.38	12.73	0.895			
11.90	13.22	0.900			
12.30	13.60	0.904			
12.51	13.80	0.906			
12.90	14.18	0.909			
13.32	14.56	0.914			
14.02	15.23	0.920			
14.50	15.68	0.924			
14.92	16.06	0.929			
15.18	16.30	0.931			
15.71	16.81	0.934			
16.34	17.39	0.939			

Cetvel 4.6. B-A doğrultusundaki ölçümler.

(Bkz. Sayfa 45)



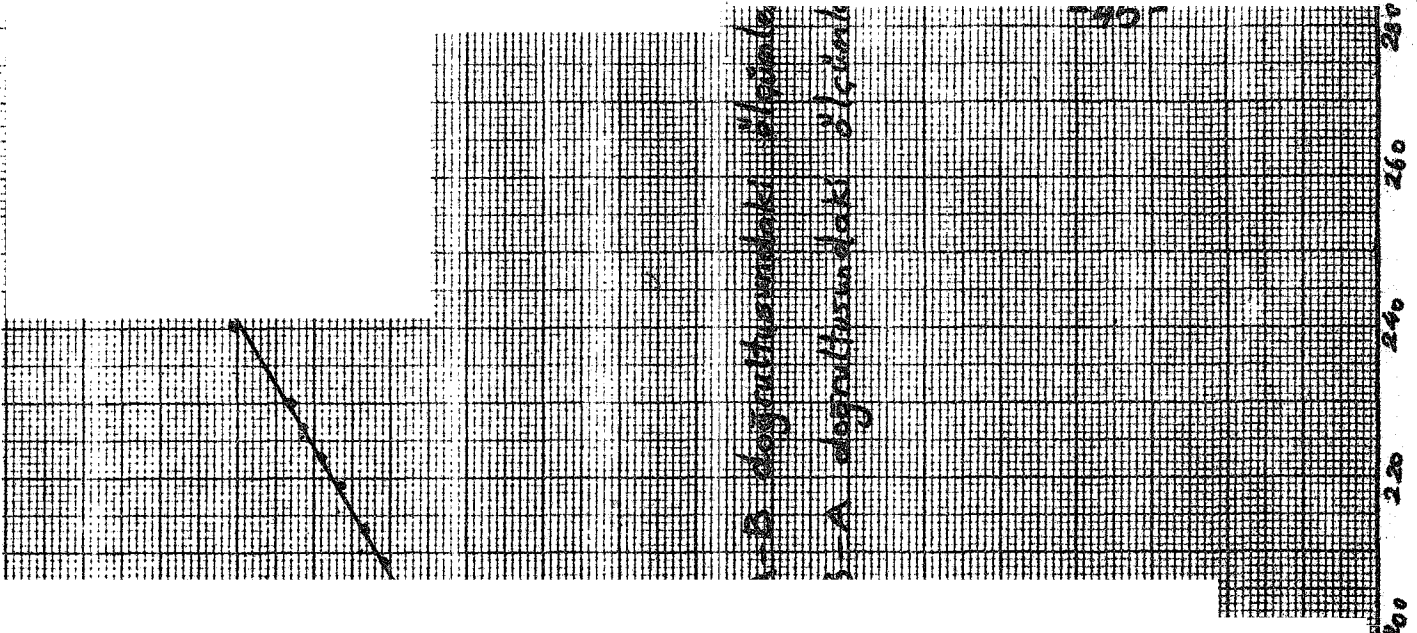
Numune bir karanlık kutu içine alındı. Önce doğru yönde, kısa aralıklarla güç kaynağının gerilimi değiştirilerek, sonra da ters yönde aynı işlem yapılarak akımlar okundu ve grafikleri çizildi. Kontaklar ohmik ise  $V = IR$  bağıntısından elde edilen R değerleri numunenin yönüne göre değişmeyen direncini verecektir.

Bu deneydeki numunenin direnci yaklaşık  $10^9$  ohm mertebesinde olduğundan ve devreden geçecek akım da nA veya  $\mu A$  mertebesinde yani çok küçük olduğundan deneyde kullanılacak ölçü aletlerinden elektrometrenin iç direnci  $10^{11}$  ohm' dan daha büyük olmalıdır. Güç kaynağı ve ölçü aletlerinin tümünün toprak uçlarına dikkat etmelidir. Eğer devre topraksız isteniyorsa güç kaynağı dahil tüm cihazların girişleri ve güç kaynağı çıkışları üç uçlu olmalıdır.

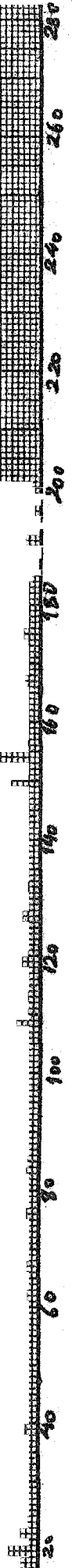
Devrede kullanılacak  $R_L$  yük direncinin uygun seçimi de çok önemlidir. Direnci  $10^9$  ohm'a yakın ancak ondan küçük olmalıdır.  $R_L$  ohm veya kilo ohm ve hatta mega-ohm mertebesinde seçilirse, bu değerler numunenin direncinden çok küçük olduğundan  $R_L$  üzerindeki gerilim düşümü, numune üzerindeki gerilim düşümünden çok küçük olacağı için R üzerindeki gerilimin değişimini ölçmek mümkün olmaz.

**YORUM:** i f(v) eğrisinin (sayfa 45) başlangıç kısmı doğrunun üstünde, daha sonraki kısımları ise altında kalmaktadır. Bu durumu Ohmik kontakt direncine içinden geçen akımın ısı etkisi neden olmaktadır.

100  
100  
100  
100  
100  
100  
100  
100  
100  
100



1-B dogruktusundaki ölçümde  
1-A dogruktusundaki ölçümde



Yan-iletken Si kristalinin absorbsiyon egrisi

PERKIN-ELMER 981

DATE

25/6/86

SAMPLE

(YITOL) SISIYUM

OPERATOR

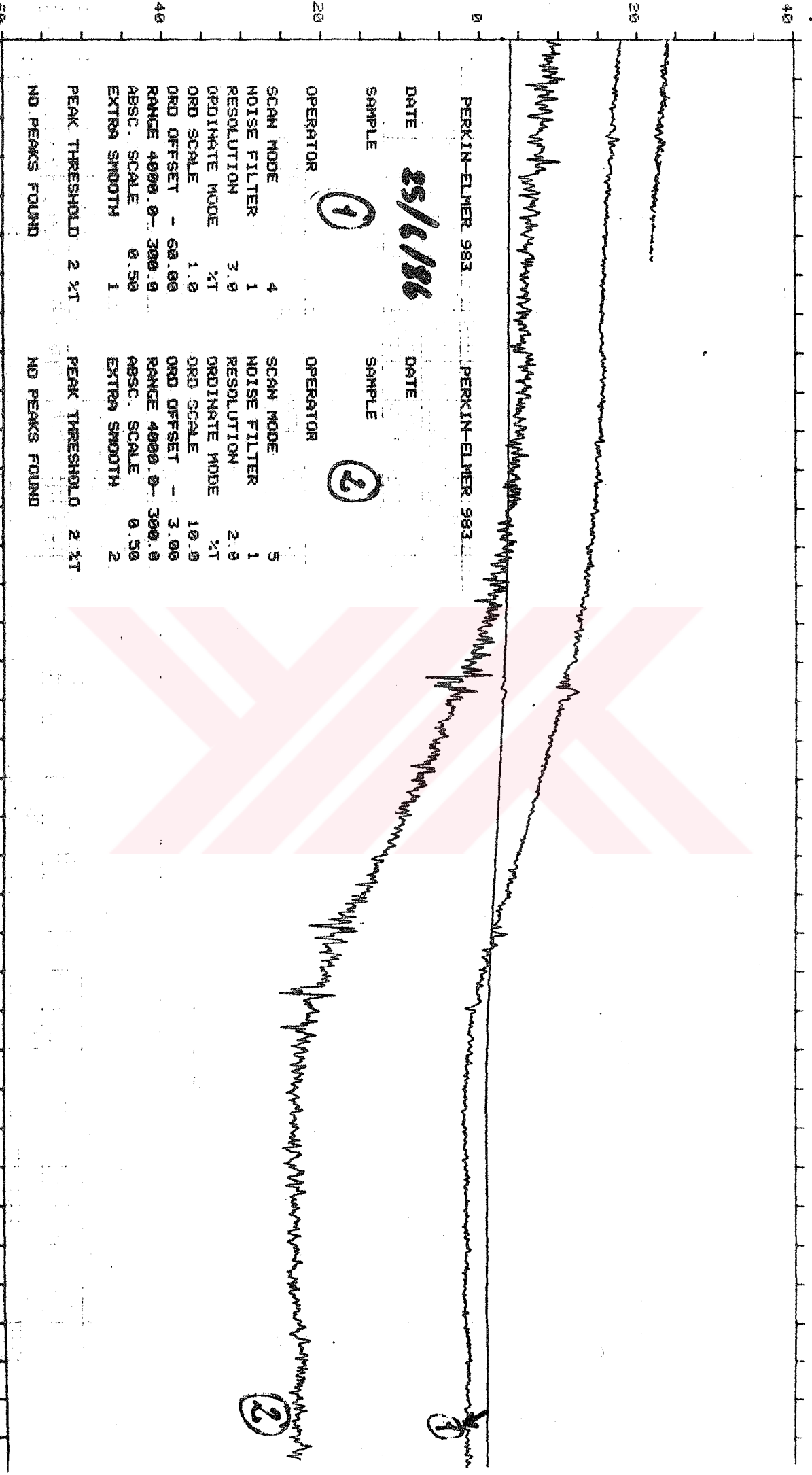
SCAN MODE 5  
 NOISE FILTER 1  
 RESOLUTION 2.0  
 ORDINATE MODE %T  
 ORD SCALE 10.0  
 ORD OFFSET 11.00  
 RANGE 4000.0-300.0  
 ABSC. SCALE 0.50  
 EXTRA SMOOTH 2

PEAK THRESHOLD 2 %T  
 CH-1 %T  
 1107.5 13.30  
 610.5 13.66

4000 3800 3400 3000 2500 2200 1800 1400 1000 500



*Malazone Bölümünde Büyütülen Siiriyum'un Infrared Light Spectrophotom Aletinde Gözlenen Foto İletkenlik Ölçüleri*



PERKIN-ELMER 983 PERKIN-ELMER 983

DATE 25/6/86

DATE

SAMPLE

SAMPLE

OPERATOR

OPERATOR

①

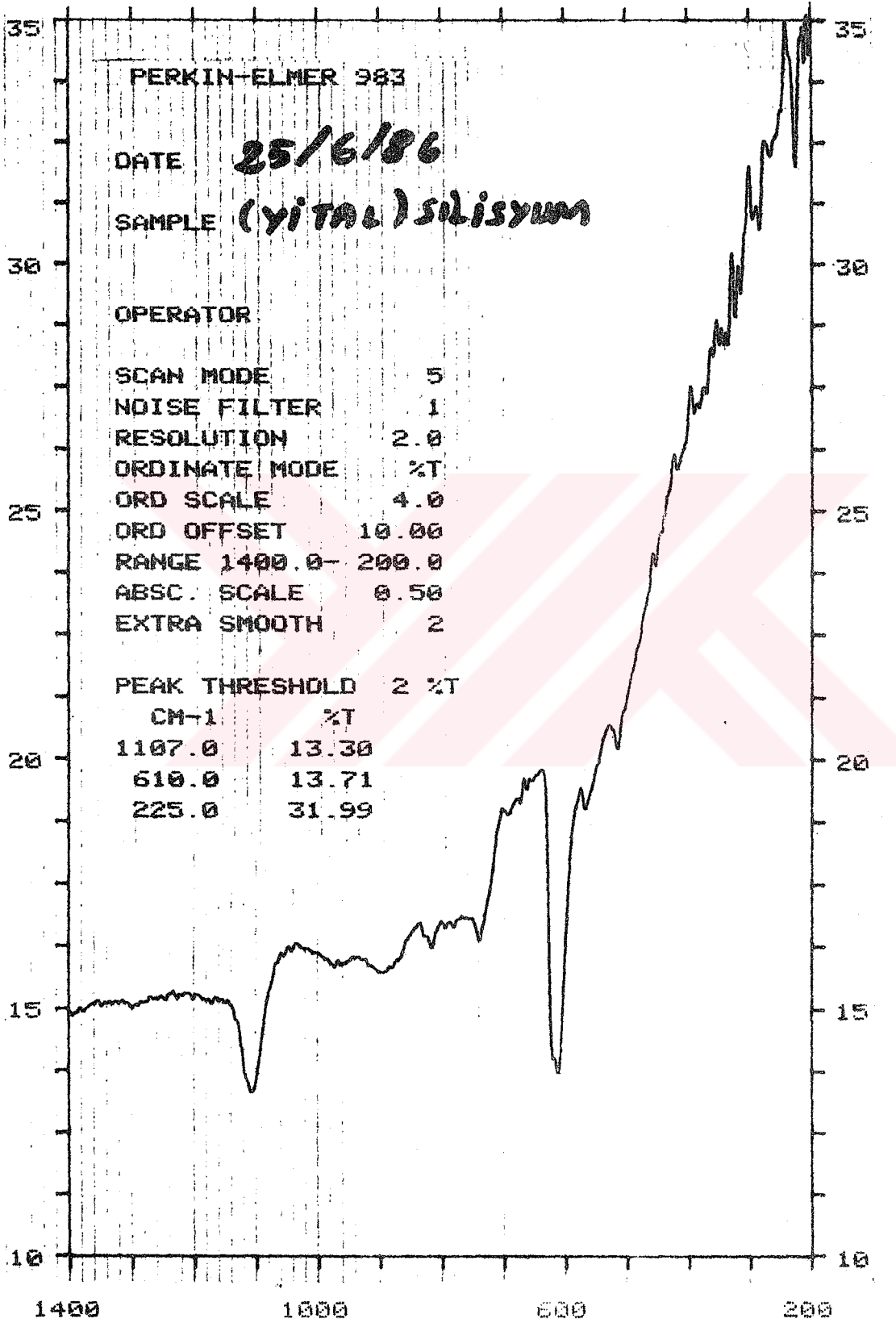
②

②

①

SCAN MODE	4	SCAN MODE	5
NOISE FILTER	1	NOISE FILTER	1
RESOLUTION	3.0	RESOLUTION	2.0
ORDINATE MODE	%T	ORDINATE MODE	%T
ORD SCALE	1.0	ORD SCALE	10.0
ORD OFFSET	- 60.00	ORD OFFSET	- 3.00
RANGE	4000.0 - 300.0	RANGE	4000.0 - 300.0
ABSC. SCALE	0.50	ABSC. SCALE	0.50
EXTRA SMOOTH	1	EXTRA SMOOTH	2
PEAK THRESHOLD	2 %T	PEAK THRESHOLD	2 %T
NO PEAKS FOUND		NO PEAKS FOUND	

4000 3800 3400 3000 2600 2200 1800 1400 1000 500



Yarı-iletken Si kristalinin absorpsiyon eğrisi

$\lambda$  (nm)

## REFERANSLAR

- Akpınar Sait, 1979, Yarı-İletkenler Fiziği
- Arıkan M.Çetin, 1985 TÜBİTAK-H.Ü Katıhal Fiziği  
Yüksek Lisans Yaz Okulu
- L.Holland ve Chapman L.Hall, 1956, Vacuum Deposition  
of Thin Films
- MC.Graw Hill, 1963, American Institute of Physics  
Handbook
- A.W.Farrar, 1980, Photolithography of Semiconductors
- Burford B.William III, Verner H.Gray, 1965  
Conductivity in Semiconductors
- T.S.Moss, 1980, Handbook on Semiconductors  
Volume 2, Chapter 7
- A.G.Milnes, 1973 Deep Impurities in Semiconductors
- Sarab K.Gandhi, 1983, Fabrication Principles Silicon  
and Gallium Arsenide
- Rees, G.J, 1980 Semi-Insulating III-IV Materials.
- Bube, R.H, 1960, Photoconductivity of Solids
- Argher, R.J.and Atalla, MM, 1963, Metal Contacts  
on Cleaved Silicon Surtaces.
- Flores, J.M, 1964, Simple Technique for Making  
on Electric Contact on Silicon
- Smith R.A, 1978, Semiconductors
- Chung, Tchong-II, 1962, Study of Aluminum  
Fusion in to Silicon
- H.Weiss, 1969, Structure and application of  
Galvanomagnetic Devices
- S.Chemet, G.Fournet, 1968 Solid State Electronics

Jerry Eimbinder, 1971, Semiconductor Memories

Booker Henry G, 1966, Semiconductor Devices

Willardson-Beer, 1971 Semiconductor and  
semimetals

Burford B.William, Verner H.Gray, 1965 (2-8)

Semiconductor Junctions and Devices Theory  
to Practice

Karaali Selma, 1982, Katihal Fizigine Giriş

Akpınar Sait, 1967, Katihal Fizigine Giriş

Kittel Chorles, 1976, Introduction to Solid State  
Physics

Santur Mustafa, 1974, Elektronik Devreleri Cilt I  
70-71

EK - 1

SİLİSYUMA AİT BAZI ÖZELLİKLER

FİZİKSEL ÖZELLİKLER	DEĞERİ	SICAKLIK
Atom Ağırlığı	28,09	
Yoğunluğu	2,32831 g/cm <sup>3</sup>	291
Renk		
Kristal	çelik-gri	
Film	ışık-yeşil	
Simetri	kübik, elmas	
Atomik hacim	12,057 cm <sup>3</sup> /gr atom	300
Kaynama noktası	2787 °C	
Buharlaştırma basıncı	10 <sup>-5</sup> mmHg.	1177 °C
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER		
Statik dielektrik sabiti	12.1	4.2
Elektriksel öz direnç	10 <sup>8</sup> ohm-cm (p tipi)	20
Mobilite		
Elektron	100.000 cm <sup>2</sup> /vs	20
Boşluk	80.000	
Enerji aralığı	3.04	0
	3.07	300
İş fonksiyonu	4.6	300
Seebeck katsayısı	-650	375
Absorpsiyon katsayısı	1	300
	2	300

(M. Neuberger, 1971, Group IV Semiconducting  
Material)



ULIST

```

100 REM LINEAR REGRESSION
102 REM TUGAM 29.8.1986
110 HOME
180 GET K$
182 IF K$ < > " " GOTO 180
200 REM INPUT DATA PAIRS
210 J = 0:K = 0:M = 0:R2 = 0
212 N = 1
230 HOME
240 PRINT "DATA PAIRS #";N
242 INPUT "X VALUE";X(N)
244 INPUT "Y VALUE";Y(N)
246 N = N + 1
250 PRINT "": PRINT "": PRINT ""

252 PRINT "PRESS # TO CALCULATE"

254 PRINT "COEFFICIENTS"
255 POINT
256 PRINT "PRESS THE SPACE BAR T
O ENTER"
258 PRINT "MORE DATA PAIRS."
260 GET #
262 IF K$ = "#" GOTO 300
264 IF K$ < > " " GOTO 260
268 GOTO 230
300 REM CALCULATE REGRESSION CO
EFFICIENTS
302 N = N - 1
310 FOR I = 0 TO N
312 J = J + X(I)
314 K = K + Y(I)
316 L = L + (X(I)) ^ 2
318 M = M + (Y(I)) ^ 2
320 R2 = R2 + X(I) * Y(I)
330 NEXT I
340 A = (N * R2 - K * J) / (N * L
- J ^ 2)
342 B = (K - A * J) / N
350 HOME
354 PRINT "Y=";A;"* X +";B
400 REM COMPUTE COEFFICIENT OF
DETERMINATION
410 J = A * (R2 - J * K / N)
412 M = M - K ^ 2 / N
414 K = M - J
416 R2 = J / M
420 PRINT
424 PRINT "COEFFICIENT OF DETERM
INATION = ";R2
430 PRINT
432 PRINT "DO YOU NEED TO PREDIC
T VALUES"
434 PRINT "OF Y FOR GIVEN VALUES
OF X"
440 PRINT
442 PRINT "PRESS Y OR N"
444 GET K$
446 IF K$ = "N" THEN END
448 IF K$ < > "Y" THEN 444
450 REM CALCULATE Y FROM VALUES
OF X
452 HOME
454 INPUT "X=";X

```

Y. C.  
Felsekögretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkezi