

## PRÀCTICA II

### 2. DEPENDÈNCIA DE LA RESISTIVITAT ELÈCTRICA RESPECTE DE LA TEMPERATURA

L'objectiu d'aquest experiment és estudiar l'efecte de la temperatura sobre la conducció elèctrica en els medis materials i interpretar els resultats sobre la base de models microscòpics dels mecanismes de conducció en cada cas.

#### 2.1. Fonament

La selecció i utilització de materials per a aplicacions elèctriques o electròniques demana el coneixement del seu comportament elèctric, en particular, de la conductivitat elèctrica  $\sigma$ , que podríem definir com la capacitat d'un material per conduir el corrent elèctric. Aquesta és la magnitud física coneguda que presenta el rang més extens d'ordres de magnitud. Així, a temperatura ambient, un aïllant com ara el quars presenta una conductivitat d' $1,3 \cdot 10^{-18} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ , mentre que, a temperatures baixes, els superconductors presenten conductivitats de l'ordre de  $10^{20} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ .

Perquè un medi material pugui conduir el corrent elèctric ha de contenir en l'interior càrregues elèctriques mòbils. En els metalls les càrregues mòbils són els electrons; en els semiconductors, els electrons i els forats; en les solucions electrolítiques, els ions, etc. Des del punt de vista microscòpic, la conductivitat d'un medi material òhmic es defineix com el factor de proporcionalitat entre la densitat de corrent,  $\vec{j}$ , i el camp elèctric aplicat,  $\vec{E}$ :

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

(la conductivitat no depèn de la densitat de corrent ni del camp elèctric). Per a un material en forma de paral·lelepípede de secció  $A$  i longitud  $d$  tenim:

$$\frac{I}{A} = \sigma \frac{V}{d}, \quad (2)$$

de manera que:

$$V = I \frac{1}{\sigma} \frac{d}{A}. \quad (3)$$

Si definim *resistència* com:

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{d}{A}, \quad (4)$$

trobem la coneguda expressió de la llei d'Ohm en forma macroscòpica:  $V = IR$ .

L'invers de la conductivitat rep el nom de *resistivitat*,  $\rho$ :

$$\rho = \frac{1}{\sigma}. \quad (5)$$

Experimentalment s'observa que la resistència i, per tant,  $\sigma$  i  $\rho$  depenen de la temperatura.

### 2.1.1. Metall

Per a rangs no gaire grans de temperatura la variació de la resistivitat és lineal:

$$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha(T - T_0)), \quad (6)$$

on  $\alpha$  és el coeficient lineal de temperatura de la resistivitat i  $T_0$  és una temperatura dins el rang considerat tal que  $\rho(T_0) = \rho_0$ . Vegeu que  $\alpha = (1/\rho_0) \cdot d\rho/dT$ . (Els valors de  $\alpha$  es calculen normalment prenent  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ .)

### 2.1.2. Aliatge metàl·lic

Els aliatges metàl·lics presenten en general un comportament metàl·lic amb resistivitats més elevades que les dels metalls purs constituents, però gairebé constants amb la temperatura. L'aliatge de NiCr (Ni 80 %, Cr 20 %) n'és un cas particular on el coeficient lineal de temperatura de la resistivitat és molt petit.

### 2.1.3. Semiconductor

La dependència de la conductivitat respecte de la temperatura per als semiconductors intrínsecs es pot expressar per:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(\frac{-E_g}{2k_B T}\right), \quad (7)$$

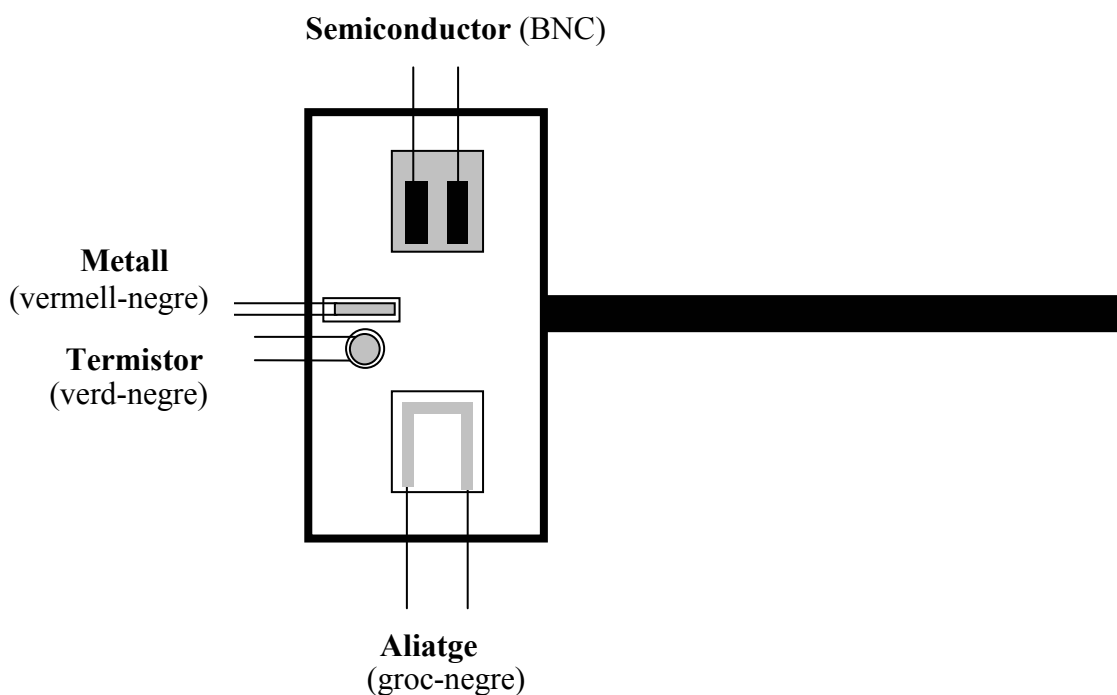
on  $E_g$  és l'energia de la banda prohibida a 0 K;  $k_B$ , la constant de Boltzmann;  $T$ , la temperatura absoluta, i  $\sigma_0$  és un factor que es pot considerar constant amb la temperatura.

### 2.1.4. Termistor

Els termistors són dispositius semiconductors (òxids metàl·lics policristal·lins) utilitzats en la mesura de temperatures, atès que són molt sensibles i de cost reduït. La dependència de la conductivitat respecte de la temperatura no és simple. Alguns d'aquests components presenten una dependència com la que presenten els semiconductors.

## 2.2. Material

- Multímetre digital TTI-1705 com a òhmmetre.
- Electròmetre Keithley 617 com a òhmmetre.
- Sistema de calefacció i mesura de temperatura.
- Suport calefactor amb quatre components (vegeu la figura 1):
  1. Fil metàl·lic imprès en suport ceràmic. Secció:  $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$ . Longitud: 9,452 cm.
  2. Fil bobinat de NiCr (80 % – 20 %). Diàmetre: 0,125 mm. Longitud: 43 cm.
  3. Semiconductor en capa fina. Distància entre contactes: 0,9 mm. Secció:  $6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2$ .
  4. Termistor en capa fina. Distància entre contactes: 1 mm. Secció:  $0,126 \text{ cm}^2$ .



**Figura 1.** Disposició dels medis materials per caracteritzar en el sistema calefactor.

## 2.3. Procediment experimental

### 2.3.1. Sistema calefactor

- Comproveu que l'interruptor frontal del sistema calefactor està en la posició *Off*.
- El programa del sistema de calefacció disposa de dos modes de treball: LOOP1 i LOOP2. Cal utilitzar el mode de treball LOOP1. Si el sistema es troba en el mode LOOP2 es passa al LOOP1 prement les tecles *Mode* i *>*. En el mode LOOP1 el sistema de calefacció mostra a la pantalla la temperatura del suport calefactor en graus Celsius amb un error del 3 %. Per canviar la temperatura de consigna s'utilitza la tecla *>* per augmentar-la i la tecla *<* per disminuir-la.

### 2.3.2. Mesura a temperatura ambient

- Comproveu que tant el multímetre com l'electròmetre funcionen com a òhmmetre.
- **Sense connectar el sistema calefactor** mesureu la resistència de cadascun dels components a temperatura ambient, amb l'excepció del semiconductor. Preneu com a valor de temperatura ambient el valor proporcionat pel termòmetre digital situat sobre la capsa del control electrònic del sistema calefactor.
- Situeu l'interruptor frontal del sistema calefactor en la posició *Off*. Connecteu el sistema calefactor i anoteu el valor de la temperatura ambient proporcionat pel termoparell del sistema calefactor.

### 2.3.3. Mesures en funció de la temperatura

- Situeu l'interruptor frontal del sistema calefactor en la posició *On* i consigneu la temperatura de 50 °C.
- Mesureu la resistència de cadascun dels components entre 50 °C i 210 °C a intervals de 20 °C (com que el control de temperatura és del tipus proporcional la temperatura que s'assolirà serà un 5 % més baixa que la consignada). Preneu les lectures de resistència quan la temperatura sigui suficientment estable. (Fixeu-vos en la variació de la resistència del metall, si no varia o bé oscil·la lleugerament podeu considerar que la temperatura és estable.) **COMPTE, NO US CREMEU!!!**
- *Correcció de les temperatures proporcionades pel sistema calefactor*: aquest sistema mesura la temperatura amb un termoparell que té com a temperatura de referència la temperatura ambient i que per defecte sempre és de 20 °C. En el cas que la temperatura ambient sigui diferent cal corregir el decalatge per a tots els punts.

**ATENCIÓ:** en acabar, programeu el sistema calefactor a 50 °C, situeu l'interruptor frontal del sistema calefactor en la posició *Off* i desconnecteu el sistema.

## 2.4. Elaboració de l'informe

1. Escriviu una introducció d'aproximadament mitja pàgina en què s'expliqui l'objectiu de la pràctica i es descrigui el mètode emprat.
2. Presenteu una taula amb els valors mesurats de les resistències juntament amb la resistivitat o conductivitat segons correspongui.
3. Presenteu les gràfiques  $\rho(T)$  per al metall i per a l'aliatge metàl·lic. Calculeu en cada cas el coeficient lineal de temperatura de la resistivitat mitjançant una regressió lineal (ajust per mínims quadrats). Sobre la base dels valors de resistivitat obtinguts per al metall digueu de quin material es podria tractar. Comproveu que la resistivitat de l'aliatge és superior a la dels metalls constituents.
4. Presenteu la gràfica  $\sigma(1000/T)$  per al semiconductor en escala semilogarítmica, és a dir, l'eix corresponent a la  $\sigma$  en escala logarítmica i l'eix corresponent a  $1000/T$  en escala lineal. Calculeu l'energia de la banda prohibida i el valor de  $\sigma_0$  mitjançant una regressió lineal. (**Atenció:** la temperatura s'ha d'expressar en kelvins.) Sobre la base dels valors calculats per a la conductivitat a 300 K i  $E_g$  doneu la vostra opinió sobre quin material semiconductor heu caracteritzat.

---

5. Presenteu la gràfica  $\sigma(1000/T)$  per al termistor en escala semilogarítmica. Calculeu l'energia de la banda prohibida i el valor de  $\sigma_0$  mitjançant una regressió lineal. Calculeu la sensibilitat tèrmica de la resistivitat a 293 K, definida per  $\alpha = (1/\rho_0) \cdot d\rho/dT$ , i compareu-la amb la del metall estudiat.

## 2.5. Qüestions

2.1. Justifiqueu des del punt de vista microscòpic els comportaments  $\rho(T)$  que mostren el metall, l'aliatge metàl·lic i el semiconductor.

2.2. Justifiqueu en el cas dels semiconductors si, en el rang de temperatures altes o bé en el de temperatures baixes, un mateix canvi en la temperatura,  $\Delta T$ , produeix una variació més gran de la resistència,  $\Delta R$ .

2.3. Indiqueu algunes aplicacions dels termistors.

2.4. Per què heu utilitzat un multímetre per mesurar la resistència del termistor i un electròmetre per mesurar la resistència del semiconductor?

