

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI  
CATEDRA DE FIZICĂ**

**LABORATORUL DE OPTICĂ  
BN - 122 B**

**TERMISTORUL**

**STUDIUL VARIAȚIEI CU TEMPERATURA A REZISTENȚEI  
ELECTRICE A MATERIALELOR SEMICONDUCTOARE**

**1997**

# TERMISTORUL

## STUDIUL VARIAȚIEI CU TEMPERATURA A REZISTENȚEI ELECTRICE A MATERIALELOR SEMICONDUCTOARE

### 1. Scopul lucrării

Verificarea legii dependenței rezistenței electrice cu temperatura la materialele semiconductoare.

### 2. Teoria lucrării

Pentru materialele semiconductoare pure (sau slab dopate) numite termistoare, la temperaturi inferioare câtorva sute de grade Celsius, energia Fermi se află în banda interzisă, departe atât de banda de valență cât și de banda de conducție.

La  $T \neq 0$ , agitația termică va popula banda de conducție cu o concentrație de electroni liberi notată cu  $n$ , în timp ce în banda de valență vor apărea golurile, în concentrație  $p$ .

Dacă semiconductorul este nedopat,  $p = n$ .

Din teoria benzilor de energie în materialele semiconductoare rezultă expresiile celor două concentrații de sarcini electrice:

$$n = 2(2\pi m_e kT)^{3/2} \cdot h^{-3} \cdot \exp[-(E_c - E_F) / kT] \quad (1)$$

$$p = 2(2\pi m_g kT)^{3/2} \cdot h^{-3} \cdot \exp[-(E_F - E_v) / kT] \quad (2)$$

unde  $m_e$  este masa efectivă a electronilor;  $m_g$  este masa efectivă a golurilor;  $k$  este constanta Boltzman;  $T$  este temperatura semiconductorului;  $h$  este constanta Planck;  $E_c$  este energia corespunzătoare minimului benzii de conducție;  $E_v$  este energia corespunzătoare plafonului benzii de valență,  $E_F$  este energia nivelului Fermi aflat, în cazul semiconductorilor intrinseci, la jumătatea "distanței" dintre  $E_c$  și  $E_v$ .

Făcând produsul expresiilor (1) și (2) rezultă:

$$n \cdot p = A \exp[-(E_c - E_v) / kT] \quad (3)$$

Ținând seama că:

$$n = p = n_i \quad (4)$$

se deduce concentrația purtătorilor în semiconductorii intrinseci  $n_i$ :

$$n_i = B \exp[-(E_c - E_v) / 2kT] \quad (5)$$

Conductibilitatea electrică a unui semiconductor este:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = e(n\mu_n + p\mu_p) \quad (6)$$

Mobilitățile  $\mu_n$ ,  $\mu_p$  fiind practic independente de temperatură rezultă:

$$\begin{aligned} \sigma &\propto \exp[-(E_c - E_v) / 2kT] \\ \rho &\propto \exp(+\Delta E / 2kT) \end{aligned} \quad (7)$$

unde  $\Delta E = E_c - E_v$  și poartă numele de lărgimea benzii (zonei) interzise.

Rezistența unei probe semiconductoare va fi:

$$R = C \exp(+\Delta E / 2kT) \quad (8)$$

și dependența ei de temperatură e reprezentată în fig. 1.

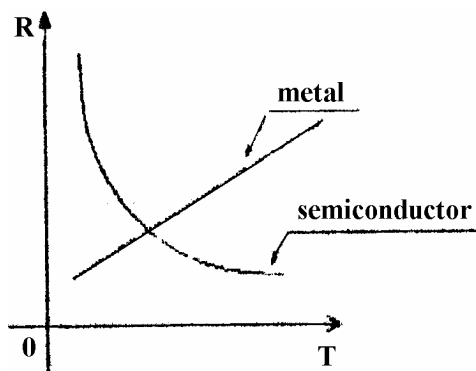


Fig. 1

Logaritmând expresia (8) se obține:

$$\ln R = C + \frac{\Delta E}{2kT} \quad (9)$$

**3. Dispozitivul experimental** este prezentat în figura 2 și cuprinde un cuptor electric (1) pentru încălzirea termistorului, un ohmetru (2), care servește la măsurarea rezistenței termistorului și un transformator (3) pentru alimentarea ohmetrului. Cuptorul are inerție termică mare astfel încât, deși nu este alimentat printr-un reostat ci direct de la rețea, creșterea temperaturii este foarte lentă. Acest fapt înlătură necesitatea unui termostat, permițându-ne să presupunem că fiecare măsurare de rezistență se face într-un regim staționar. Pe capacul cuptorului sunt fixate termometrul (4) pentru indicarea temperaturii și termistorul (5) cu cele 2 borne care sunt legate prin conductori izolați la ohmetru.

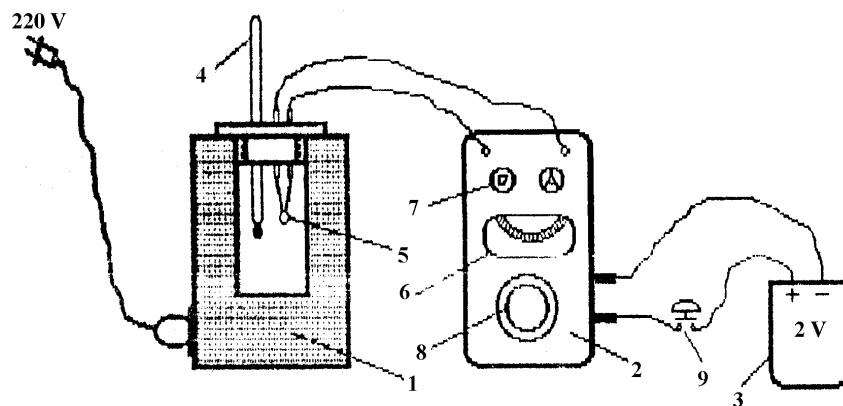


Fig. 2

Ohmetrul este construit după schema punții Wheastone. El cuprinde ungalvanometru (6) ca instrument de zero, un comutator (7) (rotativ sau cu fișă) care schimbă intervalele de valori indicând de fiecare dată factorul multiplicator, și o rezistență variabilă (8) cu cursor gradat și prevăzut cu indicator. Un întrerupător (9) intercalat în circuitul acumulatorului permite ca alimentarea ohmetrului să se facă doar în timpul citirilor. La unele ohmetre întrerupătorul intră în construcția lor sub forma unui buton .

#### 4. Modul de lucru

Se verifică legăturile de la termistor la ohmetru și la transformator. Sub îndrumarea cadrului didactic se face prima măsurare a rezistenței termistorului. Cursorul rezistenței variabile se pune pe poziția minimă iar comutatorul factorului multiplicator pe poziția maximă. Se apasă scurt pe buton (întrerupător) și se observă sensul deviației acului galvanometrului. Se trece la factorul multiplicator inferior observând din nou sensul deviației acului. Operațiunea se repetă până când sensul deviației acului se schimbă. Din acest moment se apasă permanent pe buton și rotind cursorul, se aduce acul galvanometrului la zero, după care se ridică degetul de pe buton. Rezistența termistorului este egală cu valoarea indicată la cursor înmulțită cu factorul multiplicator. În acest moment se citește și temperatura. Valorile se trec într-un tabel de forma:

t [°C]	R [Ω]	T [K]	1/T [K <sup>-1</sup> ]	ln R

Se pornește încălzirea cuptorului punându-l la priza de 380 V curent alternativ. Pe măsură ce temperatura crește se fac noi măsurători ale rezistenței, nemaifiind necesare încercările cu diferiți factori multiplicatori. Temperatura se citește imediat după aducerea acului la zero. Intervalul de temperatură dintre două citiri se alege astfel încât de la temperatura inițială (care eventual este mai mare decât temperatura camerei) și până la temperatura finală (care nu trebuie să depășească 100°C) să se facă un număr de aproximativ 10 citiri. Este preferabil ca intervalele de temperatură dintre citirile succesive să fie egale,

însă rezultatele experienței nu vor fi viciate dacă din neatenție a fost depășită vreuna dintre temperaturile propuse. Important este ca citirea temperaturii să se facă practic concomitent cu determinarea rezistenței. La terminarea măsurărilor se scoate cuptorul din priză.

### 5. Prelucrarea rezultatelor experimentale

Folosind datele din tabel se trasează un grafic cu axele " $\frac{1}{T}$ " respectiv " $\ln R$ ". Printre punctele experimentale se trasează dreapta de interpolare. Se deduce panta  $m$  a acestei drepte.

Conform relației (9)  $m \equiv \frac{\Delta E}{2k}$ .

Se va calcula  $\Delta E$  exprimată în electroni volți. ( $k = 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ eV / K}$ )

### 6. Întrebări

1. Ce este un termistor?
2. De ce un termistor este mult mai sensibil la variația temperaturii decât un metal?
3. Care este starea de umplere a nivelelor din banda de conducție, respectiv valență, la un semiconductor la  $T = 0 \text{ K}$  și  $T \neq 0 \text{ K}$ ?