

DETERMINAREA ENERGIEI DE ACTIVARE A UNUI SEMICONDUCTOR

1. Scopul lucrării

Obiectivul acestei lucrări de laborator este de a observa dependența rezistenței electrice a unui semiconductor cunoscut (termistor) în funcție de temperatură și de a determina energia de activare a acestuia.

2. Considerații teoretice

Semiconductorii sunt acei conductori electrici care au valori ale conductibilității electrice, la temperatura camerei, cuprinse între 10^{-10} până la $10^2 (\Omega\text{cm})^{-1}$, valoare care este mai mică decât la metale, dar mai mare decât la izolatori. Aplicarea teoriei cuantice la mișcarea electronilor din rețeaua cristalină a arătat că principiul lui Pauli cunoscut pentru atomii izolați este valabil pentru întreg solidul. Această observație are ca și consecință faptul că energiile pe care le poate lua un electron într-un cristal sunt grupate în zone permise separate de zone interzise (vezi Fig. 1). Aceste zone poartă denumirea de benzi de energie. Modul de distribuție al electronilor pe nivelele energetice aflate în interiorul unei benzi permise este determinat de starea termică în care se află cristalul. Astfel, la temperatura de 0°K electronii vor fi repartizați pe nivelele cu energia cea mai joasă, iar benzile energetice vor fi umplute integral începând cu cele inferioare până la o anumită bandă care poate fi ocupată parțial sau total. Ultimul nivel energetic populat cu electroni la 0°K se numește nivel Fermi.

În reprezentarea energetică a unui solid cristalin de obicei se iau numai ultimele trei zone și anume: banda de valență (b.v.), care este ultima bandă permisă parțial sau complet ocupată, banda de conducție (b.c.), definită ca prima bandă complet liberă, iar banda interzisă (b.i.) reprezintă intervalul energetic care separă nivelul superior al benzii de valență de nivelul inferior al benzii de conducție. După gradul de ocupare a ultimei benzi permise și după lărgimea benzii interzise, solidele se împart în: conductori, semiconductori și dielectrici

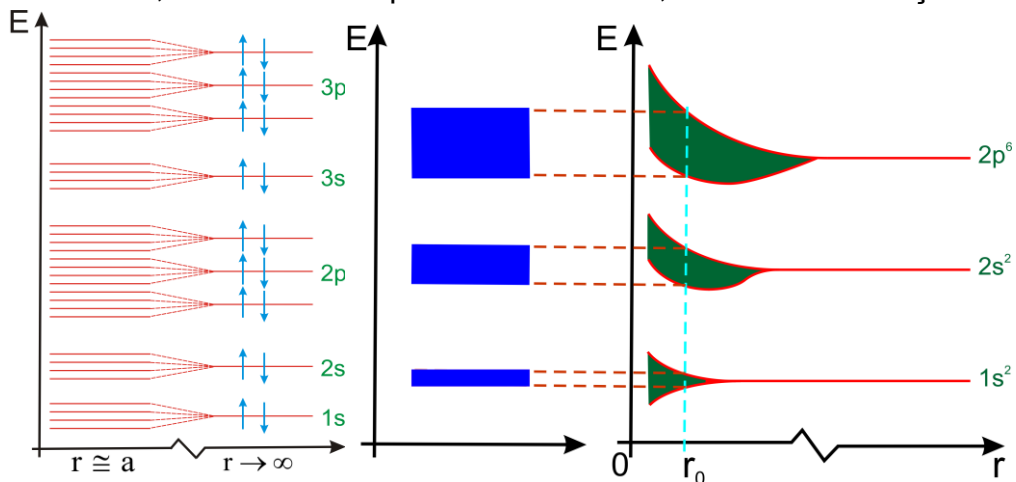


Figura 1.

(vezi Fig. 2). Lărgimea benzii interzise este determinată de tipul legăturilor chimice din cristal. Legătura ionică care se realizează în izolatori (de ex: NaCl) este mult mai puternică decât cea covalentă care se realizează în semiconductorii puri (de ex: Ge, Si), astfel că banda interzisă specifică unui izolator este mai mare decât cea a unui semiconductor.

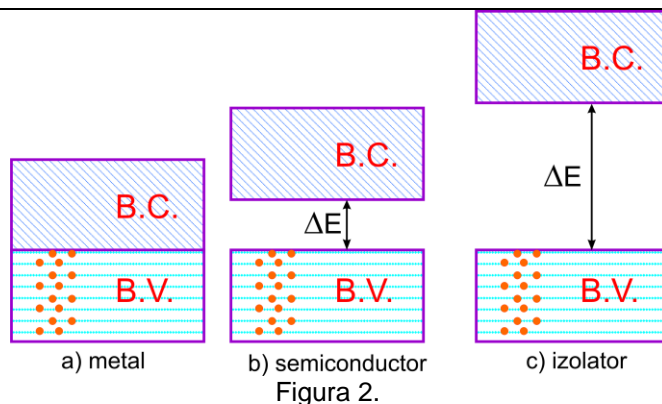


Figura 2.

Se definește energia de activare ΔE a unui semiconductor ca fiind cantitatea minimă de energie necesară pentru trecerea unui electron din banda de valență în banda de conducție. Ea este egală cu diferența dintre energia E_c corespunzătoare nivelului inferior al benzii de conducție și energia E_v corespunzătoare nivelului superior al benzii de valență,

$$\Delta E = E_c - E_v . \quad (1)$$

Semiconductorii sunt de două tipuri: intrinseci și extrinseci: i) semiconductorii intrinseci (fără impurități) nu posedă nivele energetice adiționale în interiorul benzii interzise. Această condiție o îndeplinesc numai cristalele foarte pure (Ge, Si); ii) semiconductorii extrinseci (cu impurități), posedă nivele adiționale admise între banda de valență și cea de conducție. Aceste nivele energetice sunt date de nivelele energetice ale impurităților sau altor tipuri de defecte aflate în cristal. Nivelele adiționale pot fi situate deasupra benzii de valență și se numesc nivele acceptoare sau în vecinătatea benzii de conducție și se numesc nivele donoare.

Mecanismul de conducție în semiconductorii puri se explică în felul următor: la creșterea temperaturii, energia termică a electronilor din zona de valență crește, iar o parte din electroni trec în zona de conducție. Electronii care traversează, prin salt cuantic, zona interzisă lasă în zona de valență un gol, și astfel se obține generarea termică a perechii electron-gol. Acest fel de perechi sunt purtători de curent situați în benzi energetice diferite. La aplicarea unei diferențe de potențial apare o mișcare dirijată a acestor purtători determinând o anumită conductibilitate electrică a semiconductorului. În felul acesta la creșterea temperaturii mai mulți electroni au energie (termică) suficientă pentru a trece din banda de valență în banda de conducție. Astfel, la creșterea temperaturii conductibilitatea electrică crește iar rezistența electrică scade. Acest efect face ca semiconductorii să se deosebească net de metale.

Pentru semiconductorii cu impurități care posedă nivele donoare sau acceptoare în interiorul zonei interzise, o energie de activare ΔE mult mai mică

Determinarea energiei de activare a unui semiconductor

va produce ionizarea impurităților și crearea de purtători de curent. S-a stabilit că rezistivitatea semiconductorilor scade cu temperatura după următoarea lege,

$$R = R_0 e^{\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (2)$$

unde R este rezistența la temperatura T ; R_0 este rezistența la o temperatură $T \rightarrow \infty$; k este constanta lui Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$ joule/K); T este temperatura măsurată în grade absolute; iar ΔE este energia de activare a semiconductorului studiat.

Pentru a calcula energia de activare, mărime caracteristică fiecărui semiconductor, se liniarizează relația (2). În acest scop se logaritizează în bază naturală relația (2),

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{\Delta E}{2kT}, \quad (3)$$

care în bază zecimală este,

$$\lg R = \lg R_0 + \frac{\Delta E}{2kT} \cdot 0.43, \quad (4)$$

rezultă astfel că dependența logaritmului rezistivității de inversul temperaturii este o dreaptă. Din panta drepte se poate calcula valoarea energiei de activare ΔE . Astfel,

$$\operatorname{tg} \alpha = 0.43 \cdot \frac{\Delta E}{2k} \quad (5)$$

și în final se obține:

$$\Delta E = 0.4 \cdot \frac{\Delta \lg R}{\Delta \left(\frac{10^3}{T} \right)} = 0.4 \cdot \frac{\lg R_2 - \lg R_1}{\frac{10^3}{T_2} - \frac{10^3}{T_1}} \quad [\text{eV}] \quad (6)$$

Factorul 0.4 din relația (6) apare prin considerarea mai multor transformări după cum urmează: în primul rând se consideră energia de activare în electroni-volți în loc de J, iar inversul temperaturii absolute este acum calculat ca $10^3/T$.

3. Aplicații

Datorită dependenței puternice de temperatură a conductibilității electrice, semiconductorii activați termic pot servi la realizarea unor dispozitive simple de măsurare cu mare precizie, a variațiilor de temperatură. *Termistorul* este un semiconductor a cărui rezistență termică depinde în mod controlat de temperatură. Prepararea termistorilor se face din amestecuri de oxizi metalici, după tehnologii speciale și sunt caracterizați de o serie de parametri ca: (i) rezistența nominală la 20°C, R_{20} , (ii) lărima zonei interzise în semiconductorul intrinsec, $B = \Delta E / 2K$, numită și constanta electronică de material, (iii) coeficientul

termic, $\alpha_T = -B/T^2$, (iv) temperatura maximă admisă T_{\max} , temperatura limită, precum și (v) domeniul de variație a temperaturii ($-150^\circ\text{C} \div 2000^\circ\text{C}$). Termistoarele au numeroase aplicații în măsurarea, reglarea și controlul temperaturii proceselor industriale.

Varistoarele sunt rezistențe neliniare, făcute din carbură de siliciu. Ele sunt utilizate la linii de înaltă tensiune. Mai multe varistoare legate în serie, constituie un descărcător, una din bornele acestuia fiind conectată la linia de înaltă tensiune, iar cealaltă la pământ. Dacă linia este atinsă de fulger, datorită supratensiunii foarte mari care apare, rezistența pe care o prezintă descărcătorul scade puternic și din această cauză, prin descărcător se scurge un curent important la pământ, protejând astfel linia.

Materialele semiconductoare stau la baza tuturor componentelor și circuitelor electronice sau integrate. În ultimele 2 decenii s-a dezvoltat extrem de mult știința materialelor și tehnologia în general. Apariția nanomaterialor a dus la miniaturizarea semiconducătorilor și a tuturor componentelor electronice. Ca atare, semiconducătorii, nu numai cei activați termic, dar și prin alte mijloace (radiații de diferite tipuri, etc) au putut fi integrați în tot ce înseamnă noua aparatură miniaturizată, inclusiv nanoroboți.

4. Metodica experimentală

4.1 Montajul experimental

Pentru măsurarea dependenței rezistenței electrice a unui semiconductor în funcție de temperatură se realizează montajul redat în figura 3, unde pentru încălzirea probei (termistor) se folosește un cuptor cu rezistență electrică. Alimentarea lui se face prin intermediul unui autotransformator (tensiunea

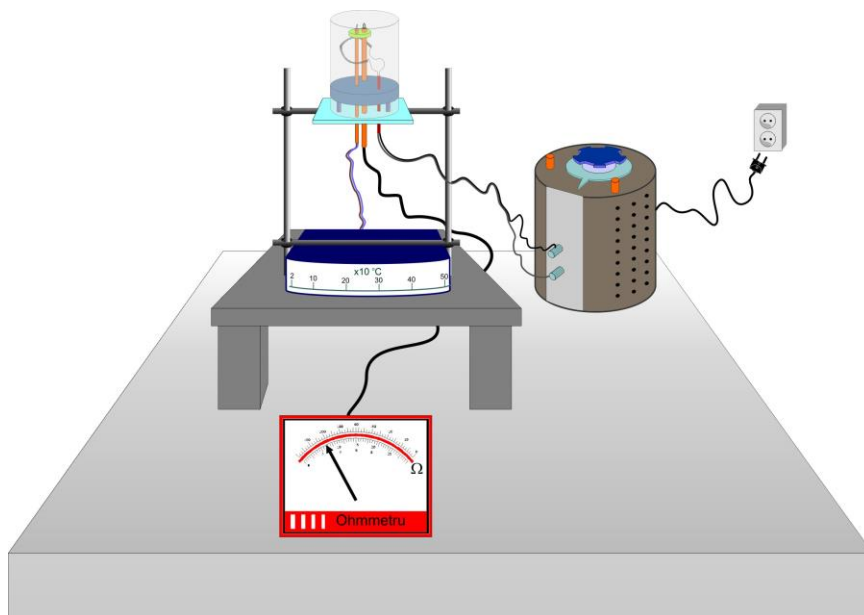


Figura 3.

Determinarea energiei de activare a unui semiconductor

maximă de lucru cca 60 V). Pentru asigurarea contactului ohmic a probei semiconductoare fețele pastilei sunt argintate. Un termocuplu din Cupru – Constantan conectat la un milivoltmetru se folosește pentru măsurarea temperaturii. Pentru măsurarea rezistenței electrice se folosește ohmmetru digital.

4.2 Modul de lucru

1. Se urmărește realizarea montajului electric redat în figura 3.
2. Fără a încălzi cuptorul, se măsoară rezistența semiconductorului la temperatura camerei.
3. Se încălzește cuptorul asigurând o creștere a temperaturii probei din 10°C în 10 °C până la temperatura de 100°C, concomitent măsurându-se rezistențele corespunzătoare ale semiconductorului.

4.3 Prelucrarea datelor experimentale

1. Se trasează graficul dependenței $\lg R = f\left(\frac{10^3}{T}\right)$
2. Din grafic se determină panta drepte, iar cu ajutorul relației (6) se calculează energia de activare corespunzătoare semiconductorului.
3. Rezultatele experimentale se trec în tabelul de mai jos:

Tabelul 1

t [°C]	T [K]	$\frac{10^3}{T}$ [K ⁻¹]	R [kΩ]	lg R -	ΔE [eV]	$\frac{\Delta(\Delta E)}{\Delta E}$ [%]
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						
90						
100						