

Determinarea energiei de activare a unui semiconductor

I. Considerații teoretice

Semiconductorii sunt considerați ca niște conductori electrici cu valori ale conductibilității electrice cuprinse între 10^{-12} până la $10^6 (\Omega \cdot m)^{-1}$, valori mai mici decât la metale, dar mai mari decât la izolatori.

Prin aplicarea teoriei cuantice la mișcarea electronilor din rețeaua cristalină s-a stabilit că energiile pe care le poate lua un electron într-un cristal sunt grupate în zone (benzi) permise separate de zone (benzi) interzise (Fig. 1). Modul de distribuire al electronilor pe nivelele energetice aflate în interiorul unei benzi permise este determinat de starea termică în care se află cristalul.

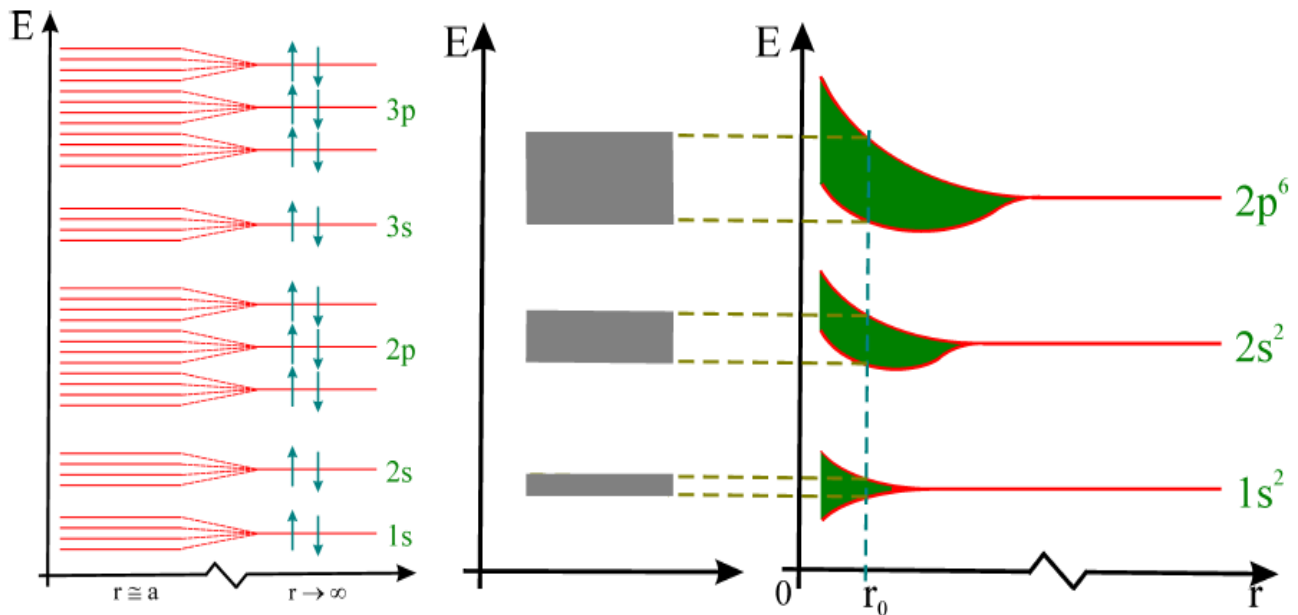


Fig. 1.

La temperatura de 0 K electronii vor fi repartizați pe nivelele de energie cele mai joase, astfel încât benzile 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 benzi 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 benzi de valență de nivelul inferior al benzi de conducție. Lărgimea benzi interzise este determinată de tipul legăturii chimice din cristal. Legătura ionică care se realizează în izolatori (ClNa) este mult mai puternică decât cea covalentă care se realizează în semiconductorii puri (Ge, Si), astfel că banda interzisă la un izolator este mai mare decât la un semiconductor.

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. ΔE este egală cu diferența dintre energia E_c corespunzătoare nivelului inferior al benzi de conducție și energia E_v corespunzătoare nivelului superior al benzi de valență:

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

În funcție de valoarea energiei de activare, de gradul de ocupare cu electroni a benzilor de energie, de rezistivitate și alte proprietăți corpurile solide se împart în: metale (Fig. 2a), semiconductori (Fig. 2b) și izolatori (Fig. 2c).

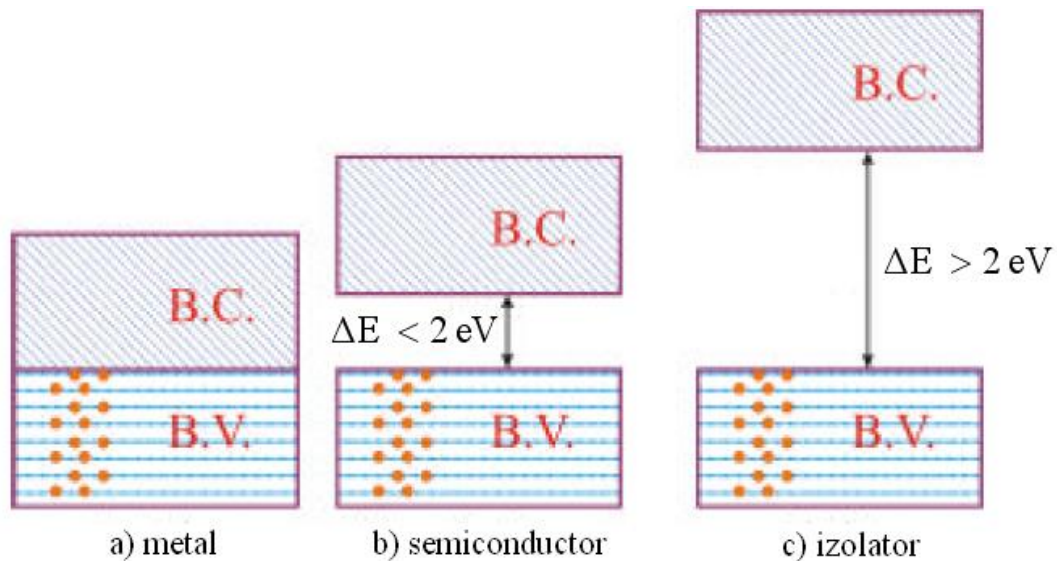


Fig. 2.

Semiconductorii sunt de doua tipuri: intrinseci și extrinseci.

a) Semiconductorii intrinseci (fără impurități) nu posedă nivele energetice adiționale în interiorul zonei interzise. Aceasta condiție o îndeplinesc numai cristalele foarte pure (Ge, Si).

b) Semiconductorii extrinseci (cu impurități), posedă nivele aditionale admise între zona de valență și cea de conducție, nivele determinate de anumite impurități sau defecte aflate în cristal. Nivelele adiționale pot fi situate deasupra zonei de valență și se numesc nivele acceptoare sau în vecinătatea zonei de conducție și se numesc nivele donoare.

Mecanismul de conducție în semiconductori 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. Se obține generarea termică a perechii electron-gol, aceștia sunt purtatori de curent situați în zone 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, conductibilitatea electrică crește iar rezistența electrică scade, dependența ce 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 va produce ionizarea impurităților și crearea de purtatori de curent. S-a stabilit ca rezistivitatea semiconductorilor scade cu temperatura după următoarea lege:

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{-\frac{\Delta E}{2k_B T}} \quad (2)$$

unde ρ este rezistivitatea la temperatura T , ρ_0 este rezistivitatea la o temperatură $T \rightarrow \infty$, k_B este constanta lui Boltzmann ($k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T este temperatura în grade absolute, ΔE este energia de activare. Deoarece $R = \rho l/S$, pentru un semiconductor cu l și S date rezistența unei probe semiconductoare va depinde de temperatură după relația:

$$R = R_0 \cdot e^{\frac{\Delta E}{2k_B T}} \quad (3)$$

Pentru a calcula energia de activare, marime caracteristică fiecarui semiconductor se logaritmează în baza naturală relația (3):

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{\Delta E}{2k_B T} \quad (4)$$

care în baza zecimală este:

$$\lg R = \lg R_0 + \frac{\Delta E}{2k_B T} \cdot 0,43 \quad (5)$$

Rezultă astfel că dependența logaritmului rezistenței semiconductorului în funcție de inversul temperaturii este o dreaptă. După trasarea graficului $\lg R = f\left(\frac{10^3}{T}\right)$ (Fig. 3), care va fi o dependență liniară, se calculează energia de activare cu relația:

$$\Delta E = 0,4 \cdot \frac{\lg R_2 - \lg R_1}{\frac{10^3}{T_2} - \frac{10^3}{T_1}} [\text{eV}] \quad (1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}) \quad (6)$$

sau $\Delta E = 0,4 \cdot \text{tg} \alpha$.

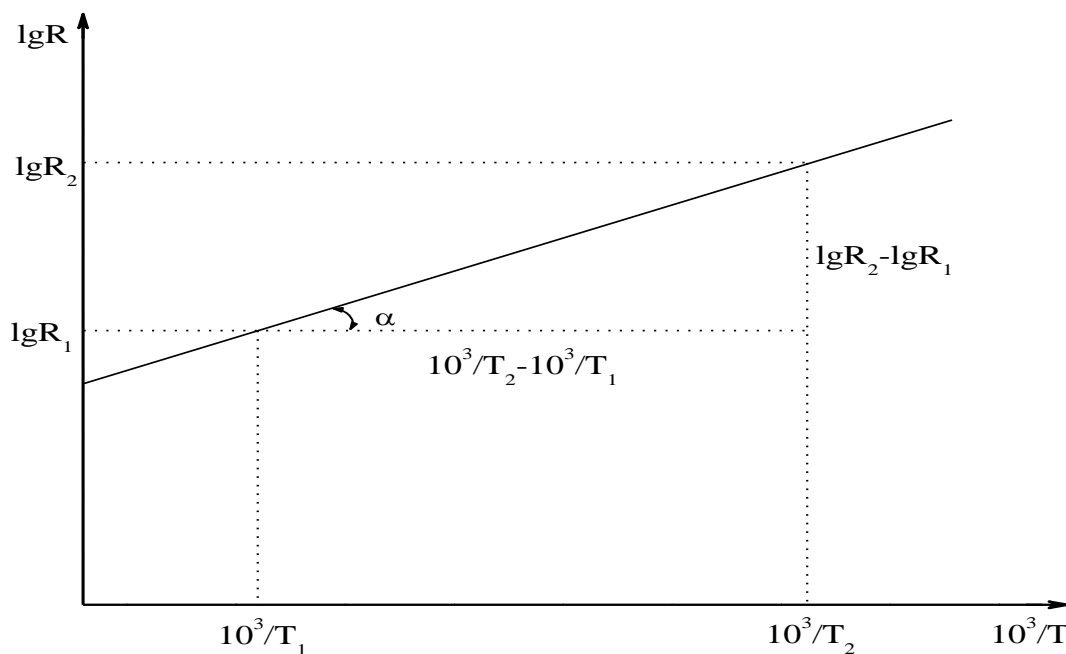


Fig. 3.

II. Metodica experimentală

II.1. Dispozitivul experimental

Semiconductorul folosit în această lucrare va fi un termistor. Termistorul este un element semiconductor de circuit care utilizează dependența rezistenței electrice a unui semiconductor intrinsec

de temperatura. Dispozitivul este realizat din materiale semiconductoare la care rezistivitatea scade repede cu temperatura, precum amestecuri de oxizi metalici (oxid de mangan, oxid de cupru, oxid de zinc, etc) care sunt măcinați și apoi presați împreună cu un liant organic, iar apoi sinterizați.

Semiconductorul (termistorul) se găsește într-un vas cu apa iar temperatura din interior se modifică cu ajutorul încălzitorului și se măsoară cu un termometru. Rezistența electrică a termistorului se măsoară cu un ohmetru (Fig. 4).

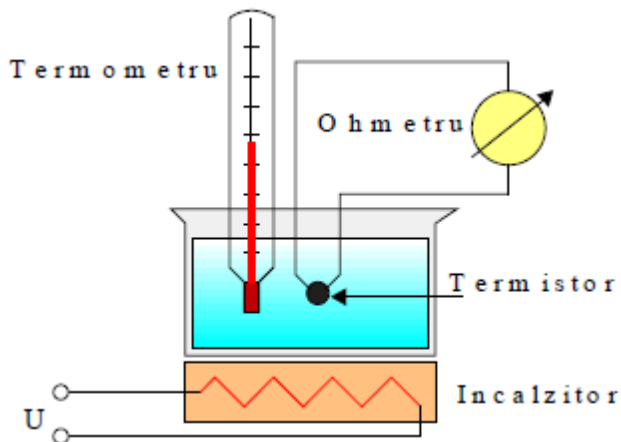


Fig. 4.

II.2. Modul de lucru

- i. se urmărește realizarea montajului electric redat în fig. 4.;
- ii. se măsoară rezistența semiconductorului din 5 în 5 °C (în intervalul de la 25 la 95 °C).

II.3. Prelucrarea datelor experimentale

- i. se trasează graficul dependenței $\lg R = f\left(\frac{10^3}{T}\right)$;
- ii. din grafic se determină panta dreptei, iar cu ajutorul relației (6) se calculează energia de activare corespunzătoare semiconductorului studiat.

Rezultatele experimentale se trec în tabelul 1.

Tabelul 1

t [°C]	T [K]	$\frac{10^3}{T}$ [K ⁻¹]	R [Ω]	lgR	ΔE [eV]