

STUDIUL DIFUZIEI PURTĂTORILOR DE SARCINI ÎN SEMICONDUCTORI. DETERMINAREA CONSTANTEI LUI BOLTZMANN.

1. Scopul lucrării

În lucrarea de față se urmărește curentul de difuzie din colectorul unui tranzistor și se determină experimental valoarea constantei lui Boltzmann k_B .

2. Teoria lucrării

Dacă într-un semiconductor concentrația purtătorilor de sarcină variază de la un punct la altul adică există un *gradient de concentrație* atunci ia naștere un *curent de difuzie*. Datorită mișcării de agitație termică, purtătorii de sarcină se deplasează din zonele cu concentrație n mare spre cele cu concentrație mai mică, numărul de purtători N care trec în unitatea de timp printr-o arie S , normală la viteza lor de deplasare, fiind dat de *legea lui Fick*:

$$\frac{dN}{dt} = -D \frac{dn}{dx} S \quad (1)$$

în care D se numește *coeficient de difuzie* și el depinde de natura particulelor difuzante și de temperatură, iar dn/dx este *gradientul concentrației*, presupusă că variază numai în lungul axei Ox. Înmulțind relația (1) cu sarcina electrică a unui purtător e se obține *curentul electric datorat difuziei*:

$$i_D = -De \frac{dn}{dx} S \quad (2)$$

Pentru un gradient de concentrație constant, într-un mediu cu o temperatură dată se stabilește un curent constant, datorat *difuziei staționare*.

Curentul de difuzie din colectorul unui transistor nnp este studiat în cadrul lucrării. Tranzistorul fiind un dispozitiv alcătuit din trei domenii semiconductoare cu conducție alternantă pnp sau nnp , domeniile sale formează două diode alăturate: pn și np sau np și pn . O diodă se polarizează direct iar cealaltă invers. Regiunea comună celor două diode se numește *bază* (B), iar cele marginale se numesc *emitor* (E), respectiv *colector*, (C) (figura1).

Printr-o joncțiune p-n, la polarizare direct, va trece un curent electric dat de *ecuația diodei* :

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eU}{k_B T}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

care, în majoritatea condițiilor experimentale, pentru U suficient de mare, poate fi aproximată cu relația:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eU}{k_B T}\right) \quad (4)$$

în care U este tensiunea aplicată joncțiunii, I_0 reprezintă intensitatea curentului de saturație ce depinde de temperatură, T este temperatura joncțiunii, e este sarcina elementară, iar k_B este *constanta lui Boltzmann*.

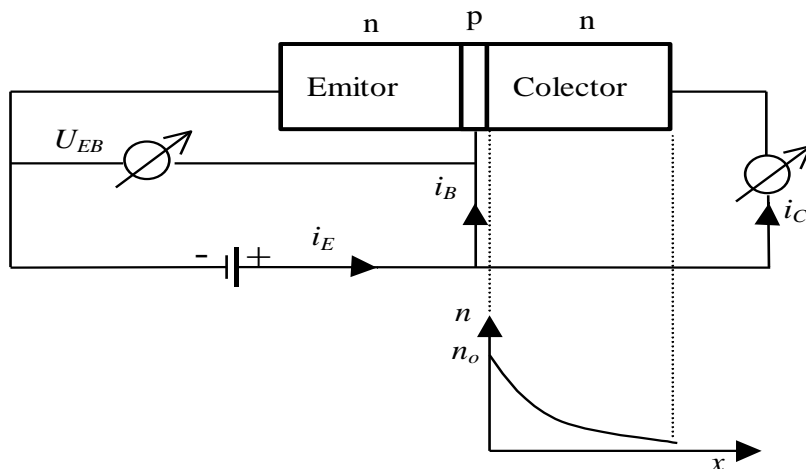


Fig 1. Tranzistorul npn.

În urma polarizării directe a joncțiunii emitor-bază a tranzistorului, prezentat schematic în figura 1, cu ajutorul sursei de t.e.m., electronii din emitor sunt injectați în bază, dând naștere unui curent în conformitate cu relația (4). Deoarece baza este suficient de subțire, cea mai mare parte a acestor electroni ajung la limita bază-colector determinând o creștere a concentrației electronilor în această parte a colectorului. Ca urmare a apariției gradientului de concentrație a electronilor, în colector ia naștere un curent de difuzie. Între curenții din emitor, bază și colector se poate scrie relația (legea întâia a lui Kirchhoff):

$$I_E = I_B + I_C \quad (5)$$

dar, deoarece $I_B \cong 0$, curentul de colector este aproximativ egal cu cel de emitor:

$$I_C = I_0 \exp\left(\frac{eU_{EB}}{k_B T}\right) \quad (6)$$

unde U_{EB} este tensiunea aplicată joncțiunii emitor-bază și care, prin injectia de electroni din emitor în bază și de aici în colector, menține caracterul staționar al fenomenului de difuzie, fenomen care altfel s-ar stinge în urma omogenizării concentrației prin mișcarea de agitație termică.

Prin logaritmarea relației (6) se obține dependența:

$$\ln I_C = \ln I_0 + \frac{e}{k_B T} U_{EB} \quad (7)$$

Într-un sistem de coordonate $(\ln I_C, U_{EB})$ această dependență este reprezentată printr-o dreaptă având panta $e/k_B T$.

3. Dispozitivul experimental

Schema dispozitivului experimental cuprinde: o sursă de curent continuu, un tranzistor de tip BC 171 A, un microampermetru, un voltmetru, un potențiomtru și un rezistor de protecție, așa cum este prezentat în figura 2.

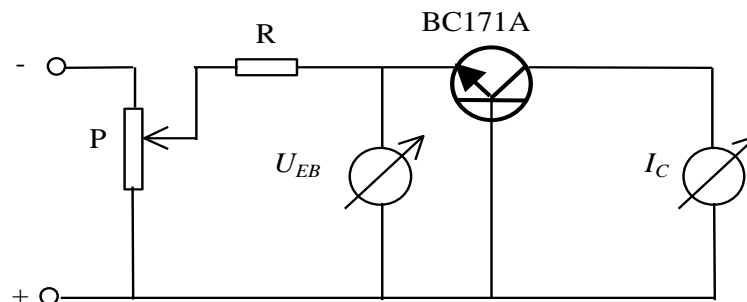


Fig. 2 Schema circuitului electric.

4. Modul de lucru

1. Se identifică elementele montajului experimental conform figurii 2.
2. Pentru cercetarea dependenței $I_C = I_C(U_{EB})$, se modifică tensiunea U_{EB} cu ajutorul potențiometrului P și se citește curentul de colector corespunzător.
3. Rezultatele măsurătorilor se trec în tabelul 1.
4. Se calculează $\ln I_C$ și se completează în tabelul 1.

Nr. Crt.	U_{EB} (V)	I_C (mA)	$\ln I_C$
1.			
2.			
10.			

5. Prelucrarea datelor experimentale

1. Se reprezintă graficul $\ln I_C = f(U_{EB})$, obținându-se o linie dreaptă, așa cum prevede relația (7).
2. Pentru determinarea constantei lui Boltzmann, pe dreapta din graficul obținut se aleg, arbitrar, două puncte ale căror coordonate folosesc la determinarea pantei dreptei:

$$\frac{e}{k_B T} = \frac{\Delta(\ln I_C)}{\Delta(U_{EB})} \quad (8)$$

3. Se obține:

$$k_B = \frac{e}{T} \frac{\Delta(U_{EB})}{\Delta(\ln I_C)} \quad . \quad (9)$$

unde T reprezintă temperatura tranzistorului, aproximativ egală cu cea a camerei: $T = 295 \text{ K}$, iar $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

4. Se compară valoarea lui k_B obținută din această experiență cu cea cunoscută $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

6. Întrebări

1. Ce se înțelege prin fenomenul de difuzie?
2. Ce lege descrie fenomenul de difuzie?
3. În ce condiții se obține difuzia staționară?
4. Care este semnificația mărimilor fizice care apar în ecuația diodei?
5. Care este valoarea estimativă a tensiunii aplicate pe joncțiune pentru ca, la temperatură ambiantă, în ecuația diodei să poată fi neglijată unitatea față de exponențială?
6. Precizați cine sunt purtătorii de sarcină majoritari (inclusiv semnul lor) în emitorul, baza și colectorul unui tranzistor npn.
7. Care este cauză apariției curentului din colector?
8. Cum se exprimă curentul din colector?
9. Explicați de ce se reprezintă dependența experimentală în coordonate $(\ln I_C, U_{EB})$.
10. Cum se determină constanta lui Boltzmann în această experiență?
11. Deduceți unitatea sa de măsură în SI pentru k_B .

7. Bibliografie:

1. N. Pop, A. Pacurar, *Fizică generală în aplicații practice*, Editura Politehnica (2016).
2. Luminosu I., *Fizică – teme experimentale* - Editura Politehnica (2009).
3. I. Damian, D. Popov, *Teme experimentale*, Editura Politehnica (2003).
4. C. Marcu, I. Mihalca, D. Mihailovici, I. Damian, R. Baea, M. Cristea, *Lucrări de laborator Fizică* (1981).