

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

LABORATORUL DE TERMODINAMICĂ ȘI FIZICĂ STATISTICĂ

BN 119

**DETERMINAREA CONSTANTEI BOLTZMANN
PRIN MĂSURAREA CURENTULUI DE DIFUZIE
ÎNTR-UN TRANZISTOR**

2005

DETERMINAREA CONSTANTEI BOLTZMANN PRIN MĂSURAREA CURENTULUI DE DIFUZIE ÎNTR-UN TRANZISTOR

1. Scopul lucrării

Scopul acestei lucrări este determinarea mărimii constantei Boltzmann. Pentru determinare, se folosește dependența de anumiți parametri (determinați la rindul lor de constanta Boltzmann) a caracteristicii curent-tensiune din circuitul de colector al unui tranzistor.

2. Teoria lucrării

Pentru a înțelege funcționarea unui tranzistor, vom examina inițial joncțiunea p-n. O joncțiune semiconductoră p-n este un ansamblu format din alipirea unui semiconductor de tip p cu unul de tip n¹ (vezi figura 1):

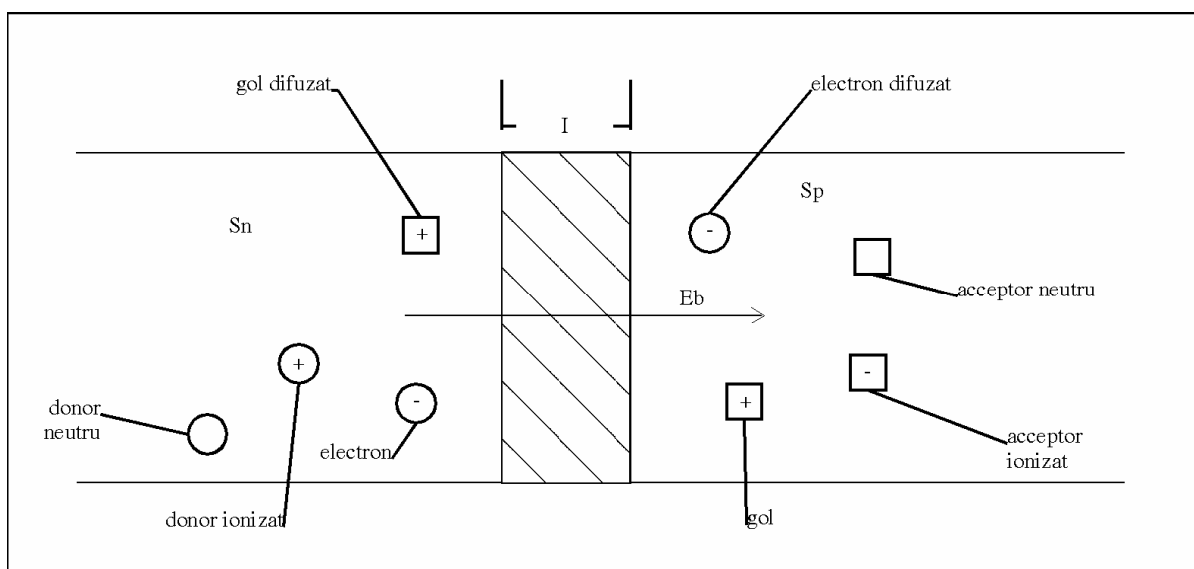


Fig. 1

Între cele două regiuni n și p, există o diferență între concentrațiile de electroni respectiv de goluri; corespunzător acestui gradient de concentrații va apărea tendința de difuzie a electronilor către regiunea p, respectiv a golurilor către regiunea n (vezi figura 1). Simultan cu acest proces, au loc fenomene de recombinare, adică de anihilare a perechilor electron-gol, în urma cărora sarcina spațială se modifică prin ionizare. Ca urmare, la contactul celor două regiuni semiconductoră, apare pe o lungime $l \approx 10^{-4}$ cm, un **câmp electric de baraj** care împiedică difuzia ulterioară de purtători. Zona de lungime l se numește **strat (sau zonă) de baraj**. Electronii difuzați din n către p, vor fi minoritari în noua regiune față de goluri; corespunzător, în regiunea p, golurile vor reprezenta purtătorii majoritari iar electronii, purtătorii minoritari. Invers, în regiunea n, electronii vor fi purtători majoritari iar golurile, purtători minoritari.

O joncțiune poate fi polarizată în sens direct (polul pozitiv al sursei este aplicat pe regiunea p iar cel negativ pe regiunea n) sau în sens invers dacă polaritatea sursei este

¹ Semiconductorii de tip n sau p reprezintă semiconductori dopați cu impurități în mod controlat. În semiconductorii de tip n, impuritățile sunt donoare iar conducția este mediata de electroni; în cei de tip p, impuritățile sunt acceptoare iar conducția este mediata de goluri.

schimbată (vezi figura 2). În primul caz apare un câmp electric exterior opus câmpului E_b , ușurând difuzia electronilor și menținând astfel un curent semnificativ prin zona joncțiunii; corespunzător, câmpul electric total va scădea ușurând deplasarea purtătorilor. Similar, la polarizarea inversă câmpul electric total (de același sens cu cel de baraj) va crește, împiedicând deplasarea purtătorilor.

Se poate arăta că în anumite condiții îndeplinite la majoritatea semiconductoarelor, intensitatea curentului prin joncțiune va crește exponențial cu tensiunea directă aplicată. La polarizarea inversă curentul va scădea în primă fază exponențial, atingând o valoare de saturație extrem de redusă.

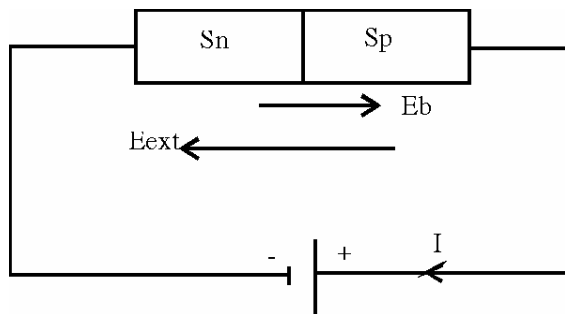


Fig. 2

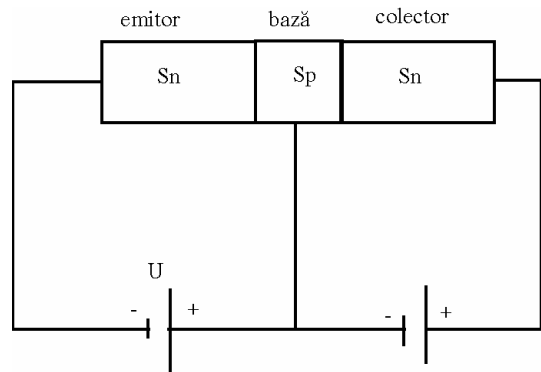


Fig. 3

Prin montarea a două joncțiuni semiconductoare în opoziție, se obține un **tranzistor** (figura 3). Dacă cele trei regiuni semiconductoare sunt succesiv de tip n-p-n, tranzistorul este de tip npn (secvența p-n-p generează un tranzistor de tip pnp). Cele trei regiuni se numesc corespunzător **emitor, bază, colector**. Prima joncțiune (realizată la contactul bază-emitor) este polarizată în sens direct și se numește **joncțiune bază-emitor**. A doua joncțiune (la contactul bază-colector) este polarizată invers și se numește **joncțiune bază-colector**.

În urma polarizării directe a emitorului, în circuit apare un curent proporțional cu tensiunea U aplicată. Purtătorii generați vor trece prin bază, din emitor în colector (fără pierderi substanțiale, deoarece baza este foarte subțire și deci recombinarea în ea este neglijabilă). Electronii injectați din emitor, vor genera deci în colector un curent de difuzie dat de:

$$I = I_0 \cdot e^{\frac{e_0 \cdot U}{k \cdot T}} \quad (1)$$

unde $e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C este sarcina electronului, I_0 valoarea curentului de saturație la polarizare inversă, T temperatura absolută (în Kelvin) iar k este constanta Boltzmann. Logaritmând relația de mai sus, obținem:

$$\ln I = \ln I_0 + \frac{e_0 \cdot U}{k \cdot T} \quad (2)$$

Se observă că dependența dintre $\ln I$ și U este o dreaptă de pantă $m = \frac{e_0}{k \cdot T}$. Rezultă că determinând panta m , putem calcula imediat constanta Boltzmann pe baza relației:

$$k = \frac{e_0}{m \cdot T} \quad (3)$$

3. Descrierea instalației experimentale

Dispozitivul experimental cuprinde un tranzistor de tip npn (model BC171) introdus într-un cuptor electric (figura 4). Cuptorul este alimentat de la sursa de tensiune continuă S1 prin intermediul potențiometrului P1.

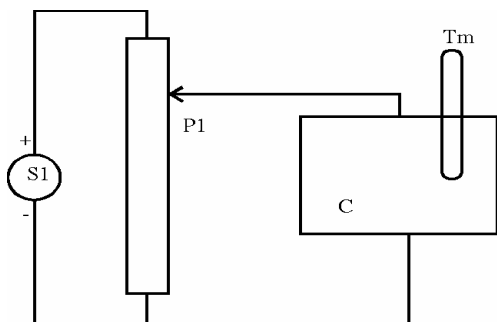


Fig. 4

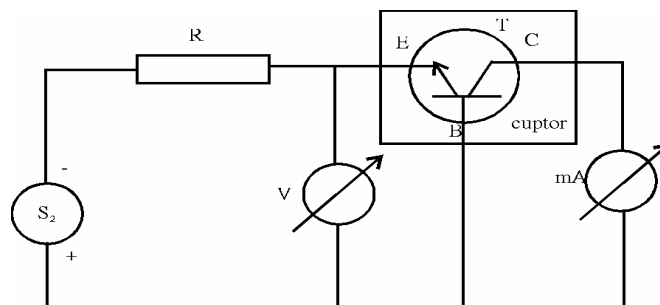


Fig. 5

Temperatura este înregistrată de un termometru Tm, introdus în cuptorul C.

Sursa de curent continuu S₂, polarizează direct joncțiunea emitor-bază a tranzistorului T prin intermediul rezistenței R = 1,1 kΩ (figura 5). Tensiunea U dintre emitor și bază, este măsurată de un voltmetru V de curent continuu (UNIMET) iar curentul de colector este măsurat de un miliampermetru mA de curent continuu (MAVO-35).

4. Modul de lucru

a) Pentru început se fac determinări la temperatura camerei (sursa S₁ deconectată). Cu potențiometrul P₁ fixat la minim, se alimentează sursa S₂ de la rețeaua de 220 V c.a. Pornirea sursei se face prin rotirea comutatorului notat cu “U_p”.

b) Se fixează domeniile de măsurare ale voltmetrului (scala de 1 V c.c.) și ale miliampermetrului (scala 5mA c.c.). Se citește temperatura camerei T₀ la termometrul Tm.

c) Se variază tensiunea U cu ajutorul potențiometrului sursei (notat cu “U”), în trepte de câte 0,02 V, începând cu tensiunea de deschidere a joncțiunii (aproximativ 0,30 V), până la 0,40 V. (Citirea tensiunii U se va face pe voltmetrul UNIMET și nu pe voltmetrul sursei S₂).

d) Simultan cu valorile tensiunii se citesc valorile corespunzătoare ale curentului de colector; datele obținute se trec în tabelul de mai jos:

$t_0 = 25^\circ\text{C}$ (temperatura camerei); $T_{\max} = 70^\circ\text{C}$

U (V)		I (A)	ln I
S ₁ inițiem	S ₂ citim		
0,30			
0,32			
0,34			
0,36			
0,38			
0,40			

e) Se pune în funcțiune redresorul S1 și se fixează potențiometrul P1 pe o poziție oarecare. Se așteaptă stabilizarea temperaturii un interval de câteva minute. Se repetă determinările de la punctele c) și d) pentru încă două valori diferite ale temperaturii T₁ și T₂, citite la termometrul Tm.

5. Indicații pentru prelucrarea datelor experimentale

- a) Se trasează printre puncte, dreptele $\ln I = f(U)$; dreptele vor fi trasate cu simboluri diferite, pentru cele trei temperaturi T_0 , T_1 și T_2 , pe același grafic.
- b) Se calculează pantele celor trei drepte.
- c) Din relația (3) se determină valorile constantei Boltzmann pentru cele trei temperaturi; se face media valorilor obținute.

6. Intrebari

- 1) Indicati influenta cresterii temperaturii asupra curentilor de difuzie dintr-o jonctiune p-n, in absenta unei polarizari exterioare.
- 2) Indicati motivul pentru care curentul de difuzie din zona jonctiunii baza-emitor a unui tranzistor poate fi masurat in circuitul colectorului.
- 3) Indicati influenta temperaturii exterioare asupra curentului de difuzie din zona jonctiunii baza-emitor, masurat in circuitul colectorului.
- 4) Indicati influenta tensiunii baza-emitor asupra curentului de difuzie din zona jonctiunii baza-emitor, masurat in circuitul colectorului.