CARACTERISTICA CURENT-TENSIUNE A DIODEI

1. Teoria lucrării

Punând în contact un semiconductor de tip **n** cu unul de tip **p**, electronii din stratul de tip **n** vor ***difuza*** către stratul de tip **p** unde se ***recombină*** cu golurile, iar golurile din stratul **p** vor difuza către stratul **n** unde se recombină cu electronii. Apare lângă zona de contact un strat sărăcit în purtători mobili şi încărcat electric din cauza atomilor donori, respectiv acceptori, ionizaţi rămaşi necompensaţi de sarcinile mobile. Acest proces are loc până când se egalează nivelele Fermi dintre cele două straturi datorită încărcării electrostatice (echilibru termodinamic). Se formează o barieră de potenţial electric cu valoarea dată de relaţia:

$$q \cdot V_b = F_n - F_p = E_c - E_v + k \cdot T \cdot \ln [N_a \cdot N_d / (N_c \cdot N_v)] \qquad (1)$$

unde: k - constanta Boltzmann ($1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K = $8{,}62 \cdot 10^{-5}$ eV/K);
q - sarcina elementară ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C);
V_b - diferenţa de potenţial de contact;
F_n - energia Fermi în stratul n;
F_p - energia Fermi în stratul p;
$\Delta E = E_c - E_v$ - lărgimea zonei interzise a semiconductorului;
N_d - concentraţia atomilor donori din stratul n =
= concentraţia electronilor liberi din stratul n;
N_a - concentraţia atomilor acceptori din stratul p =
= concentraţia golurilor din stratul p;
N_c - densitatea efectivă de stări în banda de conducţie;
N_v - densitatea efectivă de stări în banda de valenţă.

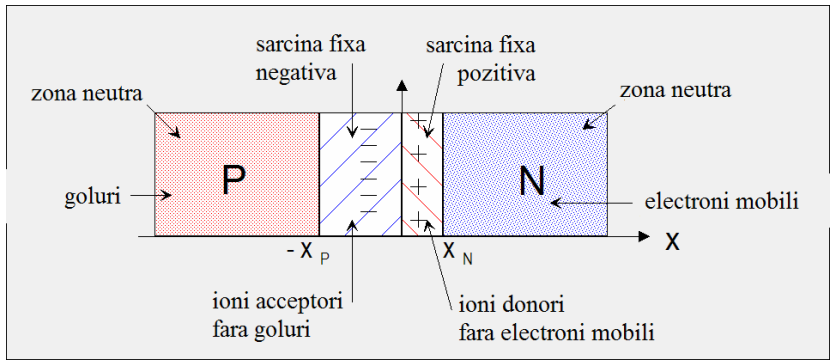

Figura 1. Lângă joncţiunea PN se formează un strat de baraj golit de sarcinile electrice mobile (electroni şi goluri).

Grosimea stratului de baraj, sărăcit în purtători liberi, care se formează în jurul zonei de contact este:

$$x_b(U) = [(2\varepsilon/q) \cdot (1/N_A + 1/N_D) \cdot (V_b - U)]^{1/2} \qquad (2)$$

unde: ε – permitivitatea electrică a semiconductorului;
U – diferenţa de potenţial aplicată din exterior,
U>0 ***tensiuni directe***, "+" pe stratul p şi "–" pe stratul n,
U<0 ***tensiuni inverse***, "–" pe stratul p şi "+" pe stratul n.

Stratul de baraj împiedică circulaţia purtătorilor de sarcină majoritari prin diodă. O tensiune directă aplicată diodei va micşora lărgimea stratului de baraj şi va modifica semnificativ concentraţia purtătorilor minoritari difuzaţi la marginea stratului de baraj cu factorul $e^{qU/(kT)}$, modificarea purtătorilor majoritari fiind nesemnificativă:

$$p_n'(x_n) = p_n \cdot e^{q \cdot U/(k \cdot T)} \qquad n_p'(-x_p) = n_p \cdot e^{q \cdot U/(k \cdot T)} \qquad (3)$$

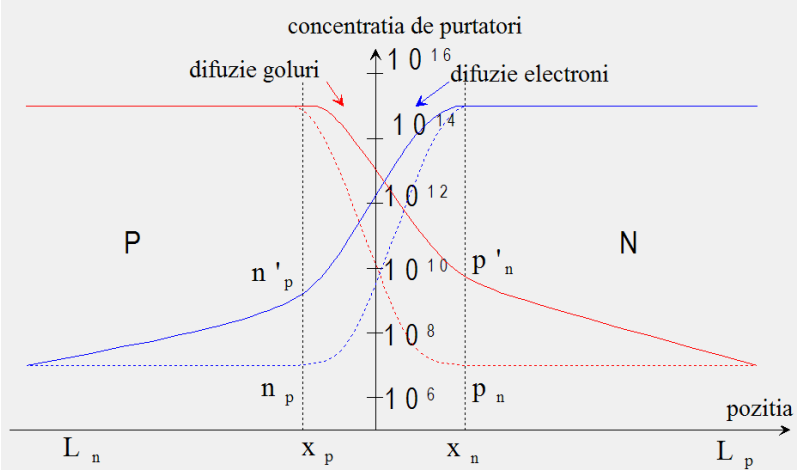

Figura 2. Tensiunea directă ***injectează*** electroni în zona P şi goluri în zona N.

Curentul prin joncţiune va fi direct proporţional cu variaţia numărului de purtători minoritari la marginea stratului de baraj:

$$\Delta p_n(x_n) = p_n'(x_n) - p_n = p_n \cdot [e^{qU/(kT)} - 1]$$

$$\Delta n_p(-x_p) = n_p'(-x_p) - n_p = n_p \cdot [e^{qU/(kT)} - 1] \qquad (4)$$

adică formula **caracteristicii curent–tensiune pentru o joncţiune p–n (diodă semiconductoare)**:

$$I = I_o \cdot (e^{q \cdot U/(k \cdot T)} - 1) \qquad (5)$$

unde: $I_o = S \cdot q \cdot (p_n \cdot D_p / L_p + n_p \cdot D_n / L_n)$ – ***curentul invers*** prin joncțiune;
D_p, D_n - coeficienții de difuzie pentru goluri, respectiv electroni;
L_p, L_n - lungimea de difuzie pentru goluri, respectiv electroni;
S – suprafața joncțiunii.

La tensiuni directe mai mari decât 0,1V (~$4 \cdot k \cdot T/q$) termenul exponențial din (5) este mult mai mare decât 1 şi **curentul direct** se poate *aproxima* cu relația:

$$I = I_o \cdot e^{q \cdot U / (m \cdot k \cdot T)} \qquad (6)$$

unde mărimea "m" are valori între 1 şi 2, fiind 1 când predomină curentul de difuzie şi 2 când predomină curentul de recombinare.

2. Dispozitivul experimental

O sursă stabilizată de tensiune (minim 10V) alimentează circuitul prezentat schematic în figura 3. Prin modificarea valorii rezistenței R_v, se stabileşte curentul prin *diodă* (simbol o săgeată cu bară la vârf, coada săgeții este zona P, anodul, iar vârful săgeții, bara, este zona N, catodul). Rezistența R_1 limitează curentul prin circuit, iar rezistența R este utilizată pentru măsurarea curentului prin circuit.

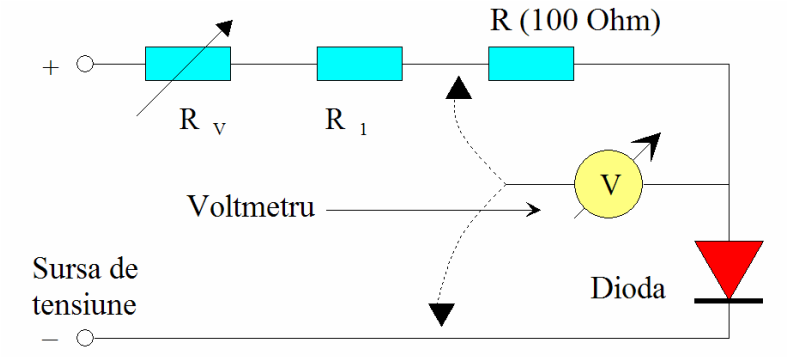

Figura 3. Montaj folosit pentru ridicarea caracteristicii I-U.

Se pot folosi diode cu siliciu (folosite pentru detecție, redresare sau ca celule fotoelectrice) care au tensiunea de deschidere de circa 0,6V (U_D tensiunea peste care curentul prin dispozitiv creşte mult, un parametru practic util în aplicații). Se pot folosi şi diode luminiscente a căror tensiune de deschidere este de circa 1,8-2 V, pentru diodele care emit lumină roşie, şi peste 3 V pentru diodele care emit lumină albastră.

Modul de lucru:

- Se realizează schema montajului experimental. Se fixează curentul prin diodă măsurând tensiunea pe rezistența R = 100 Ω. Valorile recomandate sunt 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20 (mA), iar tensiunile citite pe rezistență vor fi 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 mV.

- Se citeşte căderea de tensiune pe diodă pentru curentul fixat, mutând capătul mobil al sondei de la voltmetru. Se trec în tabel valorile I şi U.

3. Analiza rezultatelor

Se reprezintă grafic "I" în funcție de "U". Determinăm tensiunea de deschidere a diodei U_D intersectând porțiunea liniară a graficului de la curenți mari cu axa tensiunii.

Logaritmând relația (6) găsim:

$$\ln I = \ln I_o + q \cdot U/(m \cdot k \cdot T) \qquad (7)$$

Se reprezintă grafic "ln I" în funcție de "U". Află panta dreptei ce se formează, $tg\alpha = \Delta \ln I / \Delta U$, şi determină coeficientul "m" ce caracterizează tipul de curent prin diodă (calculează separat "q/(k·T)" care-i necesar şi pentru I_o):

$$m = [q / (k \cdot T)] \cdot (1/tg\alpha)] \qquad (8)$$

Utilizând relația (6) pentru un "I" şi un "U" din tabel se calculează curentul invers maxim prin diodă I_o (sau din intersecția dreptei cu axa lui "ln I" la U=0):

$$I_o = I \cdot e^{-qU/(mkT)}. = I \cdot \exp[-qU/(mkT)] = I \cdot \exp(-U \cdot tg\alpha)$$

Tabel cu rezultate experimentale

Nr. crt	I (mA)	U (V)	ln I	U_D (V)	m	I_o (nA)