

Studiul caracteristicii curent tensiune a unei diode

Scopul lucrării: constă în a studia dependența curent-tensiune a joncțiunii p-n a unei diode semiconductoare și de a determina curentul invers maxim care poate trece prin dioda studiată.

Comportamentul unei diode semiconductoare într-un circuit este dată de relația dintre curent și tensiune. Această relație este determinată de transportul sarcinii electrice prin regiunea de sarcină spațială (golită de purtători) care se află în joncțiunea p-n.

1. Considerații teoretice

Punând în contact un material 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. La zona de contact apare un strat sărăcit în purtători mobili și încărcat electric, fiindcă atomii donori, respectiv acceptori, ionizați rămân necompensați de sarcinile mobile. Procesul are loc până când nivelele Fermi ale celor 2 straturi se egalează datorită încărcării electrostatice - echilibru termodinamic. Se formează o barieră de potențial electric cu valoarea dată de relația:

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

unde: k - const. 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 - diferența de potențial de contact (de difuzie);

$F_{n(p)}$ - energia Fermi în stratul n (p);

$\Delta E = E_c - E_v$ - lărgimea zonei interzise;

$N_{d(a)}$ - concentrația atomilor donori (acceptori) în stratul n (p)

= concentrația electronilor (golurilor) în stratul n (p);

$N_{c(v)}$ - densitatea de stări în banda de conducție (valență).

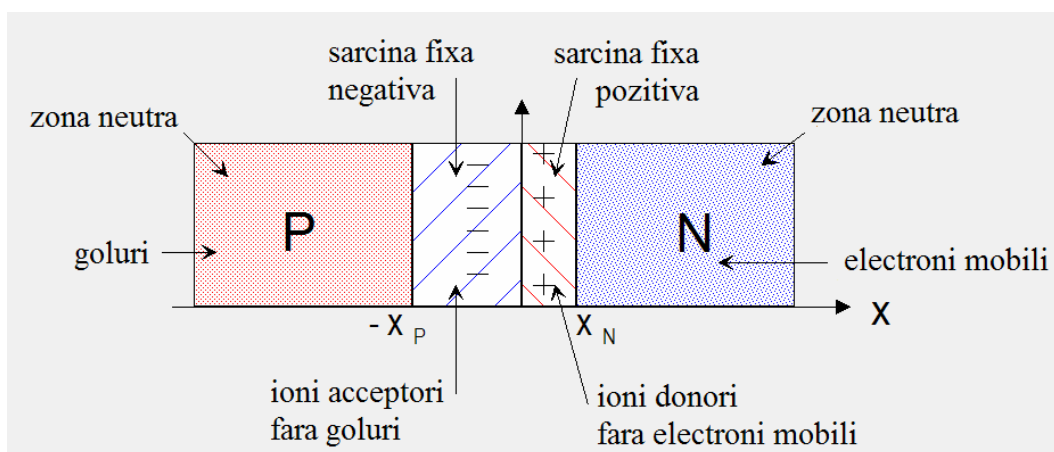


Fig. 1. Lângă joncțiunea PN se formează un strat de baraj golit de sarcinile electrice mobile (electroni și goluri).

Stratul de baraj este sărăcit de purtători liberi și împiedică circulația purtătorilor de sarcină majoritari prin diodă. O tensiune directă din exterior va micșora grosimea stratului de

baraj, modificând mult, cu factorul $e^{qU/(kT)}$, concentrația purtătorilor minoritari ce difuzează la marginea stratului de baraj, modificarea purtătorilor majoritari fiind nesemnificativă:

$$p_n'(x_n) = p_n \cdot e^{qU/(k \cdot T)} \quad \text{și} \quad n_p'(-x_p) = n_p \cdot e^{qU/(k \cdot T)} \quad (2)$$

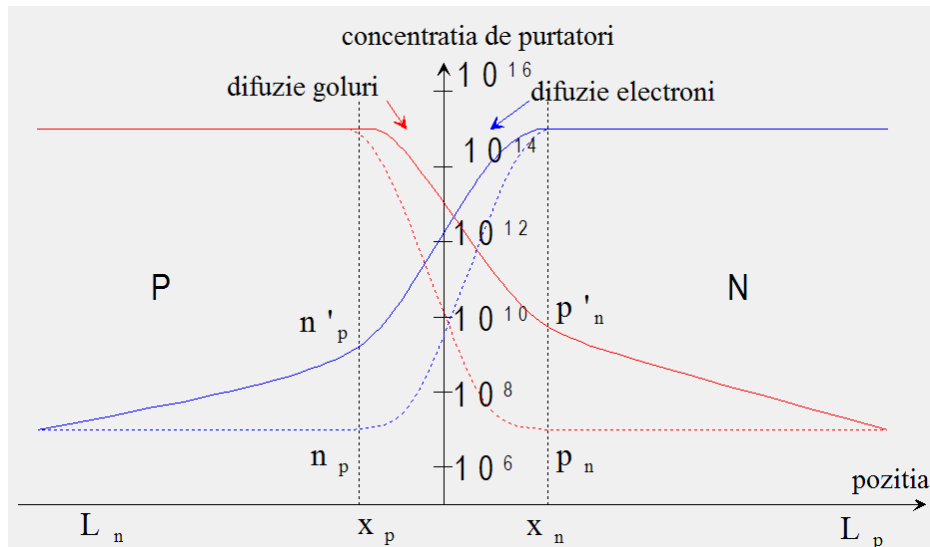


Fig. 2. Concentrația de purtători cu (linii continue) și fără (linii întrerupte) tensiune directă aplicată. Tensiunea directă *injectează* electroni în zona P și goluri în zona N.

Curentul prin joncțiune e direct proporțional cu variația numărului de purtători minoritari la marginea stratului de baraj:

$$\Delta p_n(x_n) = p_n'(x_n) - p_n = p_n \cdot [e^{qU/(kT)} - 1] \quad (3)$$

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

iar formula **caracteristicii curent-tensiune a joncțiunii p-n** (diodei semiconductoare) va fi:

$$I = I_0 \cdot (e^{qU/(m \cdot k \cdot T)} - 1) \quad (5)$$

unde: $I_0 = S \cdot q \cdot (p_n \cdot D_p / L_p + n_p \cdot D_n / L_n)$ - **curentul invers**;

D_p, D_n - coeficienții de difuzie (goluri, electroni);

L_p, L_n - lungimea de difuzie (goluri, electroni);

S - suprafața joncțiunii.

U - diferența de potențial aplicată din exterior,

$U > 0$ **tensiuni directe**, "+" pe stratul p și "-" pe stratul n,

$U < 0$ **tensiuni inverse**, "-" pe stratul p, "+" pe stratul n.

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

$$I = I_0 \cdot e^{qU/(m \cdot k \cdot T)} \quad (6)$$

Mărimea "m" are valori între 1 și 2, fiind 1 când predomină curentul de difuzie în joncțiune și 2 când predomină curentul de recombinare.

2. Aplicații

Diodele de semnal (curenți slabi) sunt folosite la procesarea de informații (semnale electrice) în circuite, acestea sunt folosite doar pentru a lăsa să treacă curenți de valori mici de până la 100mA. Diodele de semnal, cum ar fi 1N4148, sunt confecționate din siliciu și au o cădere directă de tensiune de 0,7V. Diodele din germaniu, de ex. OA90, au o cădere de tensiune de 0,2V și din această cauză sunt folosite la circuitele radio, ca și detectoare ce extrag semnalul audio din unda de semnal radio.

Diodele redresoare sunt diode semiconductoare făcute special pentru a fi folosite în circuitele redresoare care convertesc curentul alternativ în curent continuu. Acestea sunt realizate ca și componente discrete sau ca circuite integrate cum ar fi rețele de diode sau punți redresoare. De obicei acestea sunt realizate din siliciu și sunt caracterizate de o suprafață a joncțiunii pn destul de mare.

Dioda cu contact punctiform – este folosită pentru frecvențe înalte. Aceasta poate fi folosită ca detector, schimbător de frecvență, sau ca diodă de comutație.

Diodele tunel, diode GUNN – se utilizează în circuite de foarte înaltă frecvență, oscilatoare și amplificatoare de microunde.

Fotodiodele, celulele fotovoltaice sunt folosite pentru conversia radiației luminoase în energie electrică – de la senzori optici la panouri solare.

Diodele varicap – se utilizează în circuitele de acord în domeniul radio -TV.

Diodele fotoemisive (LED-uri) – conversia energiei electrice în radiație vizibilă sau invizibilă (IR sau UV).

3. Metodica experimentală

3.1. Montajul experimental

Cu ajutorul sursei regrabile de tensiune se modifică curentul prin diodă. Rezistența R_1 limitează curentul prin circuit, iar rezistența R este utilizată pentru măsurarea curentului prin circuit.

Se pot folosi diode cu siliciu care au tensiunea de deschidere de circa 0,6V (U_D - tensiunea peste care curentul prin dispozitiv crește mult, un util parametru practic în aplicații), sau diode luminescente ($U_D \approx 1,8-2$ V, când emit lumină roșie, >3 V când emit lumină albastră).

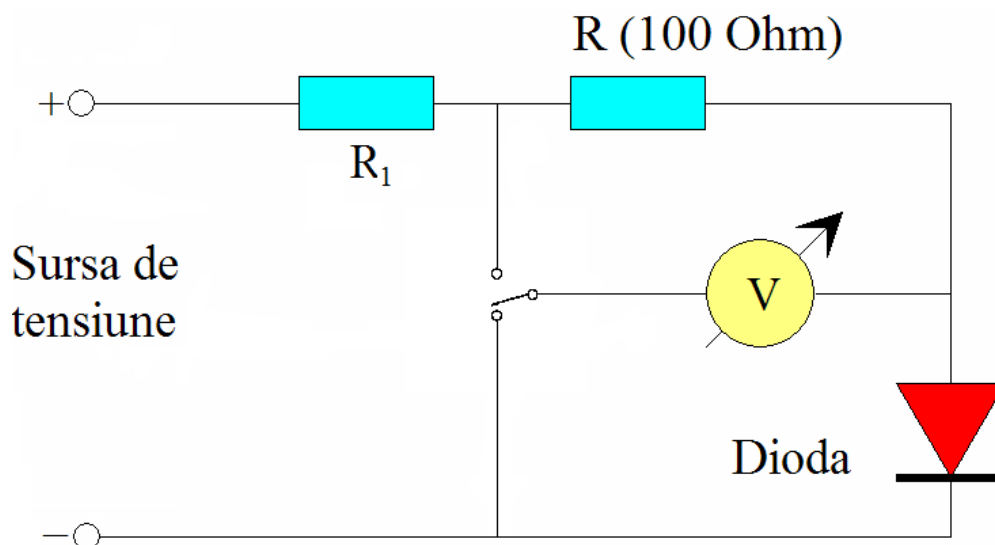


Fig. 3. Montaj folosit pentru ridicarea caracteristicii I-U.

3.2. Modul de lucru

1. Se fixează curentul prin diodă. Se recomandă valorile din tabelul 1.
2. Se citește căderea de tensiune pe diodă, iar valorile obținute se trec în tabelul 1.

3.3. Prelucrarea datelor experimentale

1. Se reprezintă grafic "I" în funcție de "U". Intersecția porțiunii liniare a graficului de la curenți mari cu axa tensiunii determină tensiunea de deschidere a diodei U_D , care se trece în tabelul 1.
2. Logaritmând relația (6) se obține:

$$\ln I = \ln I_0 + q \cdot U / (m \cdot k \cdot T) \quad (7)$$

3. Se reprezintă grafic " $\ln I$ " în funcție de "U".
4. Din panta dreptei obținute se poate determina coeficientul "m":

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta \ln I / \Delta U = q / (m \cdot k \cdot T) \Rightarrow m = q / (k \cdot T \cdot \operatorname{tg} \alpha) \quad (8)$$

Acest coeficient caracterizează tipul de curent prin diodă.

5. Pentru o pereche "I,U" din tabel se calculează curentul invers maxim prin diodă I_0 din relația (6):

$$I_0 = I \cdot e^{-qU/(mkT)} = I \cdot e^{-U \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (9)$$

Datele obținute se trec în tabelul 1.

Tabelul 1

Nr.	I (mA)	U (V)	$\ln I$	U_D (V)	m	I_0 (nA)
1	0,1					
2	0,2					
3	0,5					
4	1					
5	2					
6	5					
7	10					
8	20					