STUDIUL FOTODIODEI

NOȚIUNI TEORETICE

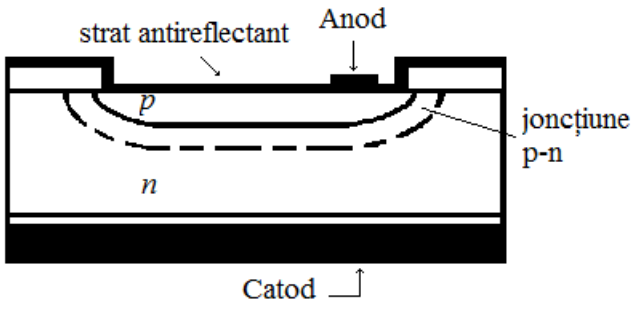
Dispozitivele optoelectronice reprezintă elemente care transformă energia radiaţiilor electromagnetice (luminoase sau a altor radiaţii din spectrul invizibil) în energie electrică sau invers în mod direct, fără intermediul altor forme de energie. Fenomenele fizice fundamentale care stau la baza funcţionării dispozitivelor optoelectronice sunt absorbţia radiaţiei electromagnetice în corpul solid şi recombinarea radiativă a purtătorilor de sarcină în semiconductor.

Dispozitivele optoelectronice se împart în două mari categorii:

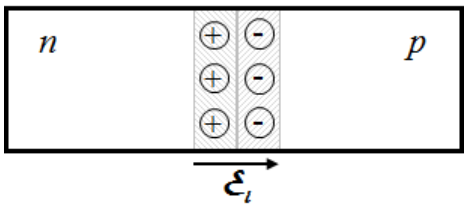
a) Dispozitive care transformă energia radiaţiei luminoase în semnale electrice (fotorezistența, fotodioda, fototranzistorul) - acestea au ca scop fie măsurarea fluxului luminos sau transmisia de informaţie, fie conversia energiei luminoase în energie electrică, cazul celulelor fotovoltaice.

b) Dispozitive care transformă energia electrică în energie luminoasă – cazul diodelor electroluminescente şi al laserilor cu joncţiuni semiconductoare.

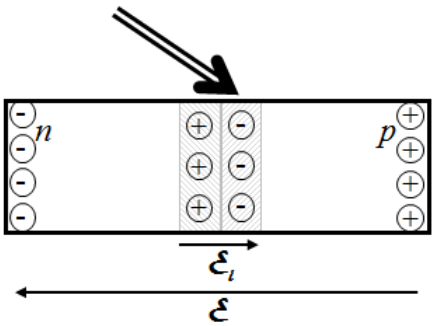
FOTODIODA este un dispozitiv semiconductor ce conţine două regiuni: una de tip *p* şi una de tip *n*, aflate în contact, zona de trecere numindu-se joncţiune p-n. Simbolul fotodiodei în schemele electronice și structura acesteia sunt prezentate în figura următoare.



În absența unui câmp extern mişcarea purtătorilor de sarcină liberi din regiunile *p* şi *n* are un caracter dezordonat, iar electronii difuzează spre regiunea *p* iar golurile spre regiunea *n*. La întîlnirea dintre electron şi gol are loc fenomenul de recombinare care determină o scădere a concentraţiei de electroni în zona *n* şi de goluri în zona *p*. Acest fenomen face ca regiunea *n* să devină electropozitivă comportându-se ca o veritabilă sursă electrică. În joncţiune apare astfel un câmp electric intern dirijat de la regiunea *n* spre regiunea *p*, care limitează migrarea purtătorilor.



Sub acțiunea unei radiații, în semiconductor sunt generate perechi electron-gol dacă energia fotonilor incidenți este mai mare decât lărgimea benzii interzise. Purtătorii de sarcină generați de lumină difuzează către joncțiunea p-n unde sunt separați sub acțiunea câmpului electric intern: golurile sunt dirijate spre regiunea *p*, iar electronii spre regiunea *n*. Astfel prin iluminare în regiunea *n* se acumulează electroni, rezultând o sarcină negativă suplimentară, iar în regiunea *p* apare o sarcină pozitivă. La bornele joncțiunii p-n apare o tensiune fotoelectromotoare care polarizează joncțiunea în sens direct.



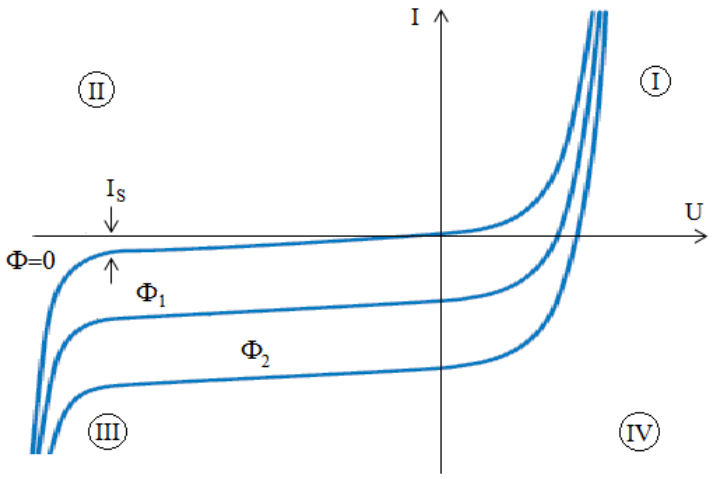
Dacă circuitul se închide printr-o rezistență de sarcină, atunci electronii în exces din regiunea *n* se vor deplasa prin circuitul exterior spre regiunea *p* dând naștere unui curent electric datorat iluminării joncțiunii p-n. Apariţia unei tensiuni electromotoare într-o joncţiune p-n când aceasta este iluminată poartă denumirea de *efectul fotovoltaic*. Prin acest efect se realizează conversia directă a energiei luminoase în energie electrică.

Neglijând fenomenele de recombinare-generare în stratul de baraj, ecuaţia caracteristică a joncţiunii p-n iluminate este:

$$I = I_{SC} + I_S\left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1\right)$$

unde: U -tensiunea la borne; I_{SC} -curentul de scurtcircuit (proporţional cu fluxul luminos); I_S -curentul invers de saturație.

În figura următoare sunt prezentate caracteristicile volt-amperice ale unei fotodiode la diferite valori ale iluminării.

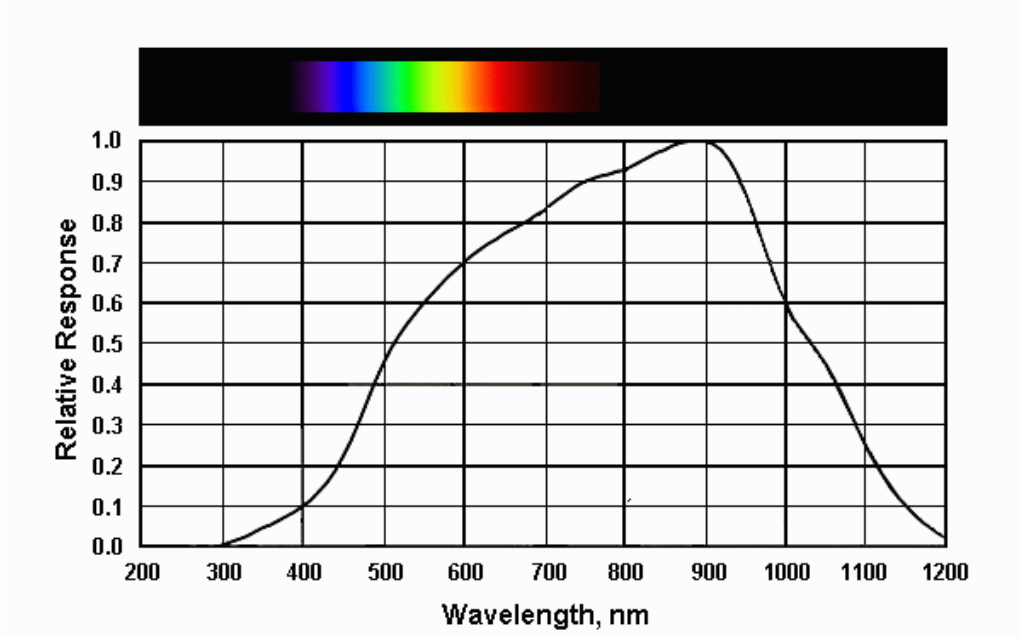


În cadranul al III-lea fotocurentul este proporțional cu fluxul luminos incident pe suprafața fotosensibilă, fiind cvasi-independent de valoarea tensiunii inverse până în apropierea tensiunii de străpungere (care poate fi de ordinul zecilor de volți). Fotodioda poate fi utilizată ca fotodetector atunci când funcționează în regim de polarizare inversă.

Parametrii principali ai unei fotodiode sunt:

1. Intensitatea curentului la întuneric I_S, este valoarea curentului invers în absenţa fluxului luminos şi la polarizarea inversă specificată (de ordinul 1÷50 nA la tensiuni de cca.30V)
2. Tensiunea maximă de lucru (indicată de producător)
3. Sensibilitatea integrală la iluminare a fotodiodei: K=dI/dΦ (mA/lm)

4. Sensibilitatea spectrală indică răspunsul fotodiodei la diferite lungimi de undă ale radiației incidente și se reprezintă sub forma unui grafic; în figura următoare este prezentată sensibilitatea spectrală relativă pentru o fotodiodă pe bază de Si



5. Timpul de creștere și de scădere, care reprezintă intervalul de timp în care curentul crește de la 10% la 90% și respectiv scade de la 90% la 10% din valoarea maximă la iluminarea fotodiodei în regim pulsat.

Caracteristicile fundamentale ale fotodiodei sunt:

1. Caracteristicile volt-amperice care exprimă dependența fotocurentului de tensiunea electrică aplicată când fluxul luminos se menține constant: $I = f(U)_{\phi}$
2. Caracteristicile de iluminare integrală care exprimă dependența dintre intensitatea fotocurentului și fluxul luminos incident când tensiunea aplicată este menținută constantă: $I = f(\phi)_U$
3. Caracteristicile spectrale ale sensibilității care exprimă dependența sensibilității fotodiodei de lungimea de undă a radiației incidente când tensiunea aplicată și fluxul luminos incident sunt menținute constante

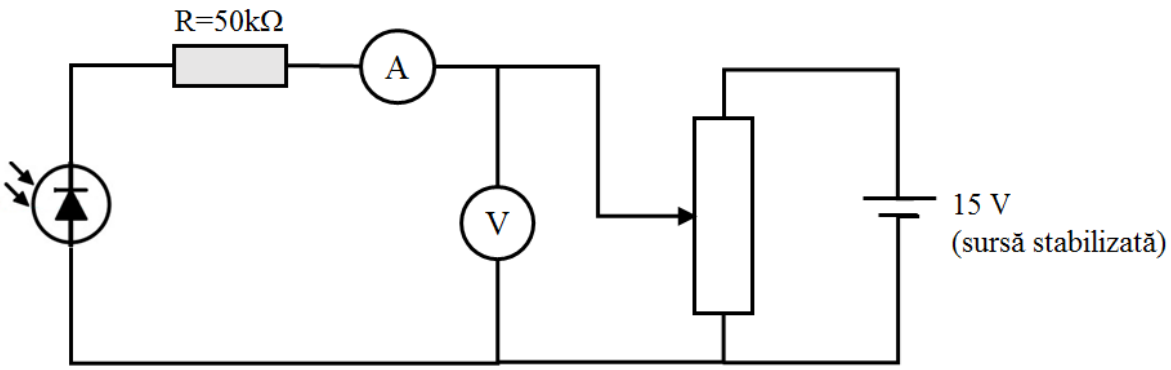
METODA EXPERIMENTALĂ

Pentru studiul caracteristicilor fotodiodei se vor efectua măsurători pentru funcționarea în regim de polarizare inversă, cât și pentru funcționarea în regim de generare.

Fotodioda studiată și sursa de lumină se găsesc în interiorul unui tub opac, înlăturându-se astfel influența luminii ambiante. Obținerea diferitelor valori ale fluxului luminos se face prin simpla apropiere sau îndepărtare a sursei de fotodiodă. Valorile fluxului pentru diferite distanțe alese se citesc din graficul atașat lucrării.

I. Regim de polarizare inversă

Se realizează montajul conform schemei următoare:



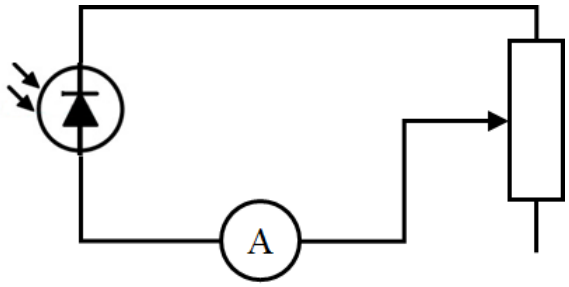
Se vor studia următoarele caracteristici ale fotorezistorului:

1. Caracteristicile volt-amperice $I = f(U)_{\phi}$: se crește treptat tensiunea aplicată fotodiodei de la 0 până la 10V și se citesc valorile curentului electric utilizând microampermetrul, când fotodioda este ținută la întuneric și pentru 5 valori diferite ale iluminării.
2. Caracteristica de iluminare $I_{\phi} = f(\phi)_U$: pentru o tensiune aplicată fixată de 1 V, se citesc valorile fotocurentului corespunzătoare valorilor crescânde ale fluxului luminos.

Pe baza graficelor $I = f(U)_{\phi}$ și $I = f(\phi)_U$ se vor calcula curentul invers de saturație la întuneric (I_S) și sensibilitatea integrală la iluminare a fotodiodei: $K = dI/d\Phi$.

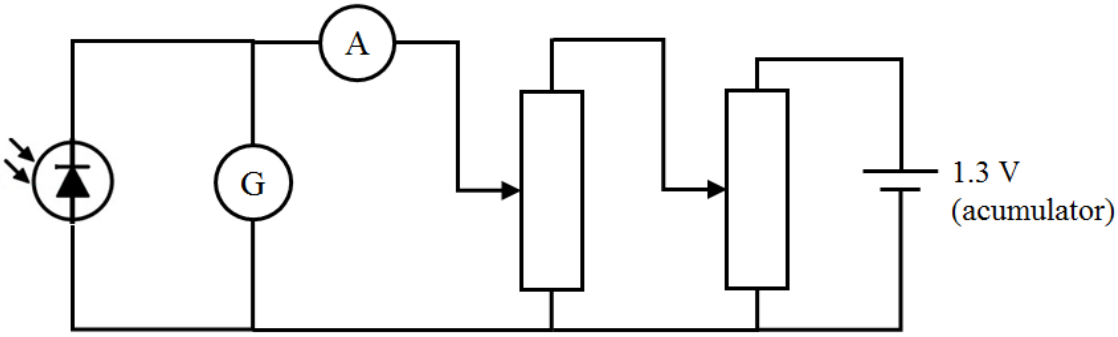
II. Regim de generare

A. Mers în sarcină



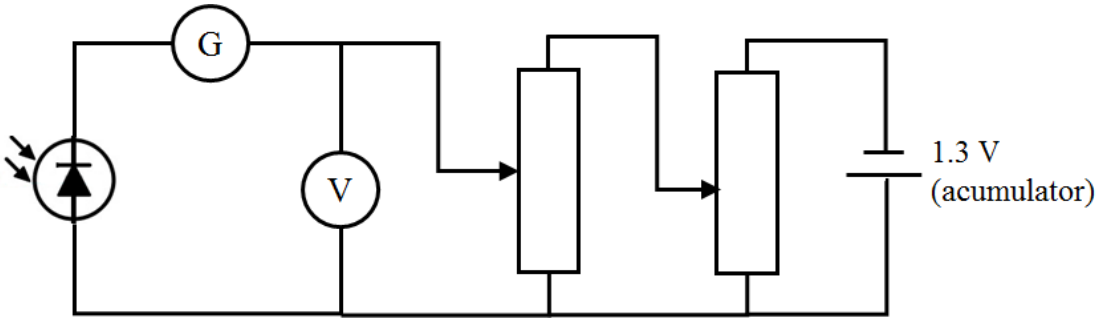
Pentru minim două iluminări diferite se citesc valorile curentului electric utilizând microampermetrul pentru minim 10 valori diferite ale rezistenței de sarcină și se reprezintă grafic $I = f(R)_{\phi}$.

B. Mers în scurtcircuit



Pentru minim șapte iluminări diferite se măsoară utilizând microampermetrul curentul de scurtcircuit când galvanometrul indică zero și se reprezintă grafic $I_{SC} = f(\phi)$.

C. Mers în gol



Pentru minim șapte iluminări diferite se măsoară utilizând milivoltmetrul t.f.e.m. când galvanometrul indică zero și se reprezintă grafic t.f.e.m. $= f(\phi)$.