STUDIUL CELULELOR SOLARE

NOȚIUNI TEORETICE

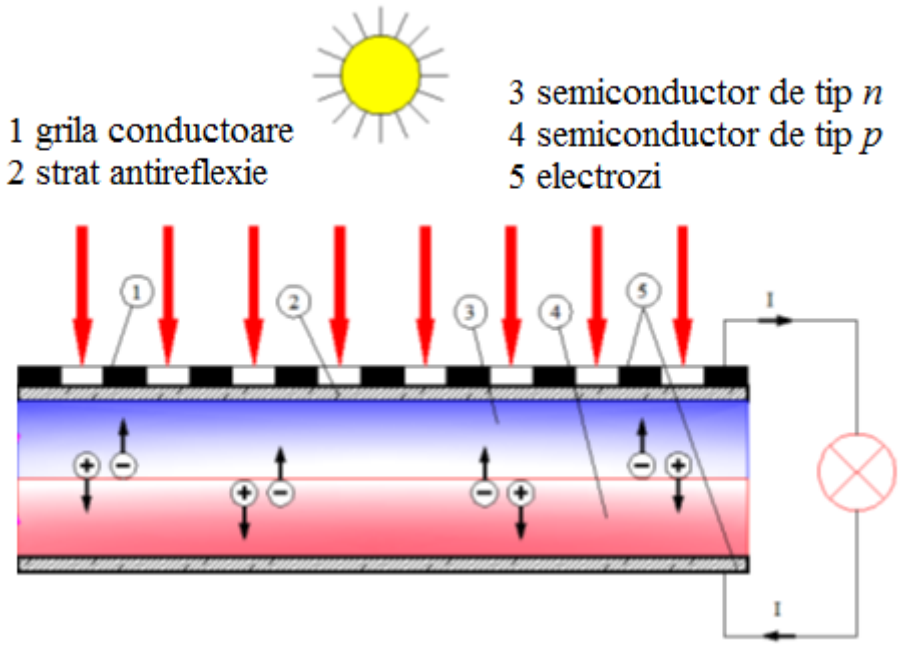
Dispozitivele optoelectronice reprezintă elemente care transformă energia radiaţiilor luminoase (sau a altor radiaţii din spectrul invizibil) în energie electrică sau invers. Transformarea energiei radiaţiei electromagnetice în energie electrică şi invers se face în mod direct, fără intermediul altor 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.

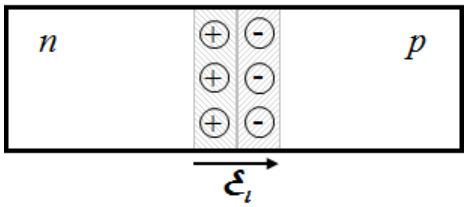
b) Dispozitive care transformă energia electrică în energie luminoasă – cazul diodelor electroluminescente şi al laserilor cu joncţiuni semiconductoare.

CELULA FOTOEVOLTAICĂ permite conversia directă a energiei luminoase în energie electrică. Principiul de funcționare se bazează pe efectul fotovoltaic: apariţia unei tensiuni electromotoare într-o joncţiune p-n când aceasta este iluminată. O celulă fotovoltaică constă din două sau mai multe straturi de material semiconductor, cel mai întâlnit fiind siliciul, doi electrozi, o grilă conducătoare şi un strat antireflexie. Straturile semiconductoare au o grosime cuprinsă între 0.001 și 0.2 mm și sunt dopate diferit astfel încât formează o joncțiune p-n.



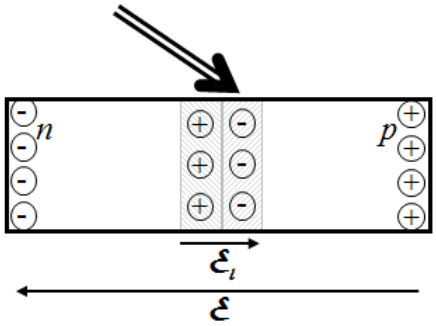
Structura şi principiul de funcţionare al unei celule fotovoltaice

În absența unui câmp extern mişcarea purtătorilor de sarcină liberi din regiunile *p* și *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.

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

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

unde: U -tensiunea la borne; I_L -curentul de generare independent de U și proporţional cu fluxul luminos (determinat de perechile electron-gol generate de iluminare); I_S - curentul invers de saturație.

Joncțiunea p-n poate fi folosită pentru a converti radiația solară în energie electrică. Parametrul principal ce definește calitatea unei celule solare este randamentul de conversie, definit ca raportul dintre puterea electrică maximă furnizată de celulă și puterea radiantă incidentă pe suprafața fotosensibilă:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{U_m I_m}{P_{in}}$$

Puterea electrică disponibilă la bornele unei celule solare variază în funcţie de: intensitatea radiaţiei solare, temperatura celulei, unghiul de incidenţă al razelor solare, caracteristicile constructive ale celulei şi condiţiile meteorologice (temperatură ambiantă, viteza vântului etc.)

Prima celulă fotovoltaică a fost construită de Charles Fritts care a acoperit seleniu semiconductor cu un film subțire de aur pentru a forma o joncțiune metal-semiconductor. Dispozitivul obținut avea o eficiență de 1%. Celulele fotovoltaice au devenit de uz practic ca surse de energie după ce Russel Ohl, în anul 1941, a dezvoltat tehnologia joncțiunilor p-n ce a permis atingerea unor eficiențe mai mari decât 5% prin anii 1950-1960. Astăzi celulele fotovoltaice dezvoltate în laboratoarele de cercetare ating eficiențe : 30 %, iar la nivel industrial se produc celule cu eficiențe în medie de 13-15%.

Celulele solare sunt clasificate în trei generații care indică ordinea în care acestea au fost dezvoltate.

I. Prima generație este constituită din dispozitive unijoncțiune pe bază de siliciu: monocristalin, policristalin sau în stare amorfă.
II. A doua generație o constituie celulele solare în strat subțire, cele mai de succes materiale fiind GaAs, CdTe, CuInGaSe=CIGS, CuZnSnS=CZTS, siliciu amorf, siliciu micromorfic depuse pe sticlă, ceramică sasu chiar plastic. În prezent cele mai comercializate celule solare sunt cele pe bază pe Si, ocupînd circa 80% din piață (~ 45% celule cu Si monocristalin, ~ 30 % celule cu Si policristalin).
III. Cea de a treia generație este bazată pe tehnologii noi, în plină dezvoltare și își propune creșterea performanțelor la costuri de producție cît mai mici. Din această generație fac parte *celulele solare* cu sensibilizatori pe bază de coloranți *DSC*, care exploatează transferul de electroni de la un colorant printr-un electrolit solid sub acțiunea radiației solare, *celulele fotovoltaice multijoncțiune*, proiectate să absoarbă spectrul solar de la IR la UV, *celule din polimeri*, care conțin în general filme subțiri (10 nm) din polifenilen-vinil şi fulerene de carbon, *celule* cu nanocristale *QD* (quantum dot).

Tip de celulă	Randament			Domenii de aplicabilitate
	Teoretic %	În laborator %	Real %	
m-Si	27	24.7	15-20	Module de mari dimensiuni pentru acoperişuri şi faţade, aparate de putere mică, aerospaţiale (sateliţi).
p-Si	27	22	13-16	Module de dimensiuni mari pentru acoperişuri şi faţade, generatoare de toate puterile.
a-Si film subțire	25	13 20.3	6-8 12-20	Aparate de putere mică (calculatoare), module de dimensiuni mari pentru acoperişuri şi faţade.
GaAs	29	27.5	18-20	Sisteme cu concentratoare, aerospaţiale.
CIGS	27.5	13	8-13	Aparate de putere mică (calculatoare), module de dimensiuni mari pentru acoperişuri şi faţade.
CdTe	28.5	16.5	10-15	Module de dimensiuni mari pentru integrarea în construcţii.
multijoncțiune	87	44.7	30	Sisteme cu concentratoare, aerospaţiale (cost ridicat \$50,000/m^2)
DSC	46	14	7-10	
QD	64	10	4-5	
polimeri		11.5	5-6	

Celulele fotovoltaice de construcţie modernă produc energie electrică de putere care nu depăşeşte 1.5 W – 2 W la tensiuni de 0.5 V – 0.6 V. Pentru a obţine tensiuni şi puteri necesare consumatorului, celulele solare se conectează în serie şi/sau în paralel. Cea mai mică instalaţie fotoelectrică formată din celule solare interconectate în serie şi/sau în paralel, încapsulate pentru a obţine o rezistenţă mecanică mai mare şi a proteja celulele de acţiunea mediului se numeşte modul fotovoltaic. Un număr de module fotovoltaice asamblate mecanic ca o unitate mai mare şi conectate electric poartă denumirea de panou sau câmp de module.

În cartea tehnică a produsului, producătorii de celule şi module solare indică PARAMETRII ridicaţi în condiţii standard:

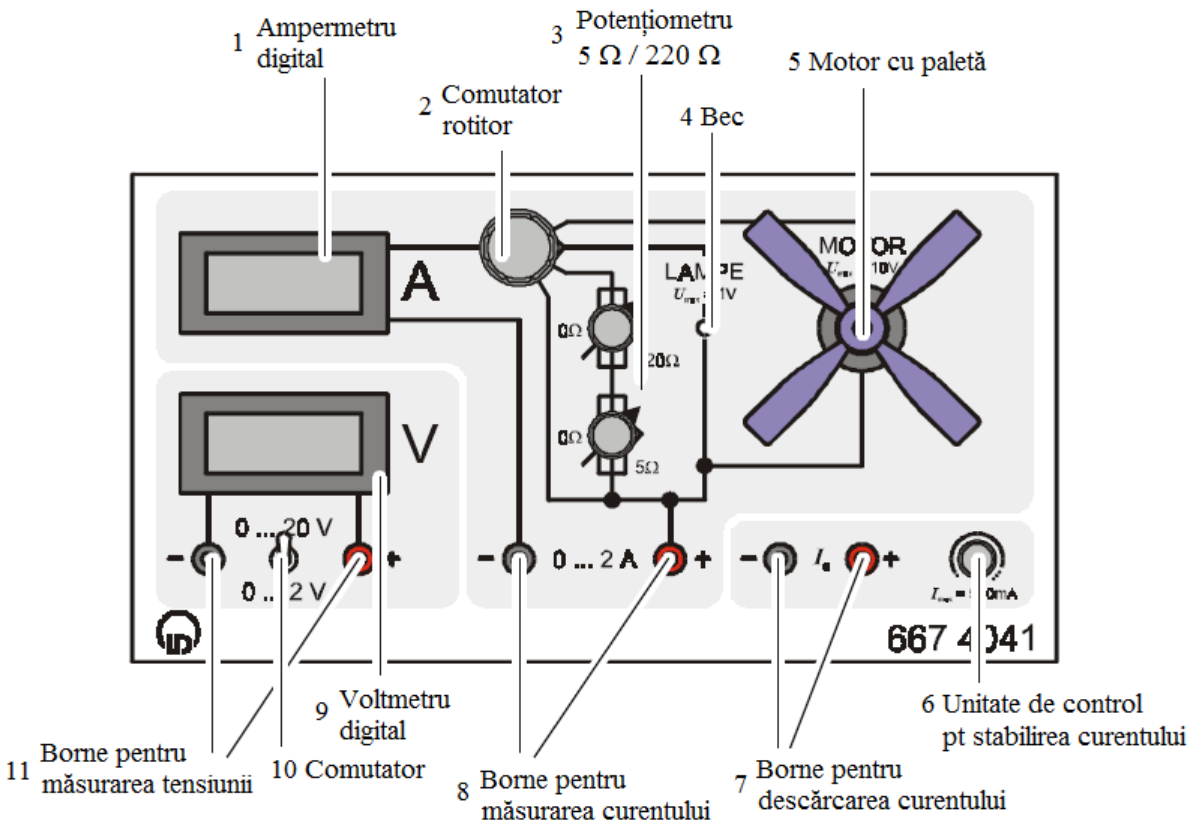
- radiaţia solară globală pe suprafaţa celulei, G=1000 W/m^2;
- temperatura celulei, T = 25°C;

● masa convenţională de aer (grosimea straturilor traversate de razele soarelui, constituția lor), AM=1.5 (Soarele la 48°, 833 W/m²).

În mod obligatoriu, în cartea tehnică se prezintă: curentul de scurtcircuit $Isc=I_L$, tensiunea de mers în gol U_0, puterea maximă sau critică $P_c=P_m$; tensiunea şi curentul în punctul critic, U_m şi I_m. Pe lângă aceşti parametri, pot fi indicaţi suplimentar: factorul de umplere FF (Fill Factor; de obicei FF > 0.7), randamentul celulei sau modulului, Temperatura Normală de Funcţionare a Celulei NOCT, coeficienţii de variaţie a tensiunii de mers în gol şi a curentului de scurtcircuit cu temperatura.

METODA EXPERIMENTALĂ

Utilizând o unitate de măsură Leybold Didactic (vezi schema de mai jos) se va studia un modul de celule solare AstroPower AP-1106/AP-1206 ale cărui caracteristici le găsiți în fișa tehnică atașată lucrării.



1. Se așează celula solară cu fața activă în sus
2. Se aprinde lampa și se așteaptă 2 min pentru a se atinge intensitatea luminoasă maximă.
3. Se măsoară U_0 conectând celula la bornele 11
4. Se măsoară curentul de scurtcircuit I_{SC} conectând celula la bornele 8, cu comutatorul 2 în poziție corespunzătoare
5. Se ridică o curbă caracteristică volt-amperică I(U) a celulei solare
    a. se trece comutatorul 2 în poziția ”potențiometru”, având grijă ca valoarea rezistenței să fie maximă (220 Ω)
    b. se realizează legătura cu voltmetrul (bornele 11)
    c. se citesc valorile inițiale ale U și I
    d. crescând intensitatea curentului în pași de 5 mA se citesc valorile tensiunilor corespunzătoare
    e. se reprezintă grafic I(U)
6. Se reprezintă grafic P(U)
7. Se determină Puterea critică sau maximă P_m.
8. Se determină factorul de umplere:

$$FF = \frac{P_m}{U_0 I_{SC}}$$

9. Utilizând un monocromator se efectuează măsurători pentru diferite lungimi de undă ale radiației incidente și se trag concluzii.

Responsabil laborator: Lect. Dr. Dudric Roxana