

5. CONVERSIA ENERGIEI SOLARE ÎN ENERGIE ELECTRICĂ

5.1. EFECTUL FOTOVOLTAIC

Efectul de apariție a unei tensiuni electromotoare, sub acțiunea energiei solare, denumit *efect fotovoltaic*, a fost descoperit de fizicianul francez *Alexandre-Edmond Becquerel*, în anul 1839. Denumirea acestui efect provine din grecescul *phos*, care înseamnă lumină și din numele fizicianului *Allesandro Volta*, realizatorul primei baterii electrice din lume. Efectul fotovoltaic este datorat eliberării de sarcini electrice negative (electroni) și pozitive (goluri), într-un material solid, atunci când suprafața acestuia interacționează cu lumina. Datorită polarizării electrice a materialului respectiv, care se produce sub acțiunea luminii, apare o tensiune electromotoare, care poate genera curent electric într-un circuit închis. Dispozitivele care funcționează pe baza acestui fenomen, sunt denumite *celule fotovoltaice*, sau *celule electrice solare*. Pentru a permite furnizarea unei puteri electrice rezonabile, celulele fotovoltaice nu funcționează individual ci legate în serie într-un număr mai mare, alcătuind *panouri fotovoltaice*, sau *panouri electrice solare* (a nu se confunda cu panourile solare pentru producerea energiei termice, denumite și colectori solari sau panouri solare termice).

Celulele fotovoltaice pot fi realizate din mai multe materiale semiconductoare, dar peste 95% din celulele solare sunt realizate din siliciu (Si), care este al doilea element chimic cel mai răspândit în scoarța terestră, reprezentând cca. 25% din aceasta, deci este disponibil în cantități suficiente, fiind astfel și ieftin. În plus, procesele de prelucrare a acestui material nu sunt agresive pentru mediul ambiant.

În figura 5.1 este prezentată structura energetică a materialelor semiconductoare, deci și a siliciului.

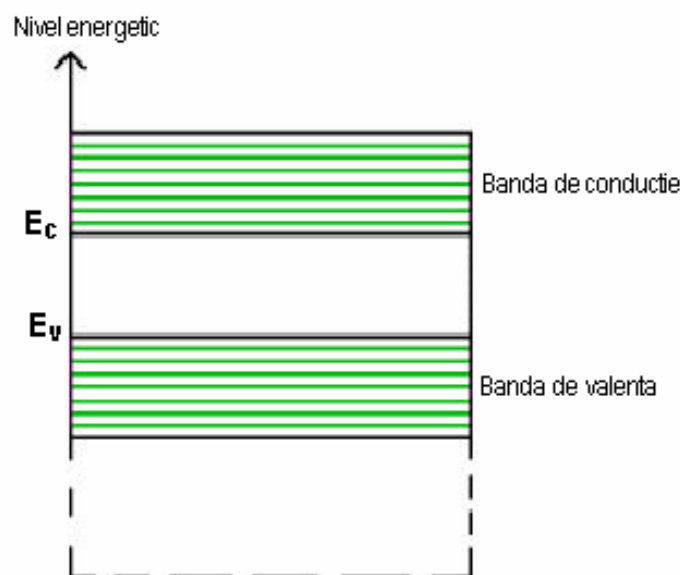


Fig. 5.1. Structura energetică a materialelor semiconductoare
www.bpsolar.fr

Analizarea acestei scheme energetice este utilă în vederea înțelegerii condițiilor în care semiconductorii pot deveni materiale conductoare de curent electric. În situații normale, electronii ocupă în jurul nucleelor atomilor materialului respectiv, diferite nivelele energetice denumite și straturi sau benzi energetice. Aceste nivele energetice accesibile pentru electroni, sunt separate de benzi energetice interzise, reprezentând adevărate "bariere energetice" pentru electroni. Nivelul

energetic cel mai ridicat dintre cele ocupate de electroni, este denumit și *bandă energetică de valență*, sau mai simplu *bandă de valență*. Următorul nivel energetic accesibil electronilor, dar neocupat de aceștia, este denumit *bandă energetică de conducție*, sau mai simplu *bandă de conducție*. Este evident că pentru materiale diferite, nivelele energetice ale benzii de valență și ale benzii de conducție sunt diferite. Diferența de potențial energetic ΔE , dintre banda de conducție și banda de valență, reprezentând și valoarea “barierei energetice” dintre cele două straturi, este diferența dintre nivelurile energetice E_c al benzii de conducție și E_v al benzii de valență $\Delta E = E_c - E_v$. În cazul siliciului monocristalin, valoarea acestei bariere energetice este $\Delta E \approx 1\text{eV}$, iar în cazul siliciului amorf poate să ajungă la $\Delta E \approx 1,7\text{eV}$. Aceste valori ale barierei energetice, reprezintă cuante de energie care trebuie să fie transmise electronilor de pe stratul de valență pentru ca aceștia să devină liberi, adică pentru a putea trece pe banda de conducție. Prin supunerea materialelor semiconductoare de tipul siliciului la radiația solară, fotonii, sau cuantele de lumină cum mai sunt numiți aceștia, sunt capabili să transmită electronilor de pe banda de valență, energia necesară pentru a depăși “bariera energetică” și a trece pe banda de conducție. Acest fenomen se produce în celulele fotovoltaice.

În vederea fabricării celulelor fotovoltaice, Si este impurificat (dopat) cu diferite elemente chimice, pentru obținerea unui surplus de sarcini electrice negative (electroni) sau pozitive (goluri). Se obțin astfel straturi de siliciu semiconductoare de *tip n*, respectiv de *tip p*, în funcție de tipul sarcinilor electrice care predomină. Prin alăturarea a două asemenea straturi de material semiconductor, caracterizate prin predominanța diferită a sarcinilor electrice, în zona de contact, se obține o așa numită *joncțiune de tip p-n* de tipul celei reprezentate schematic în figura 5.2.

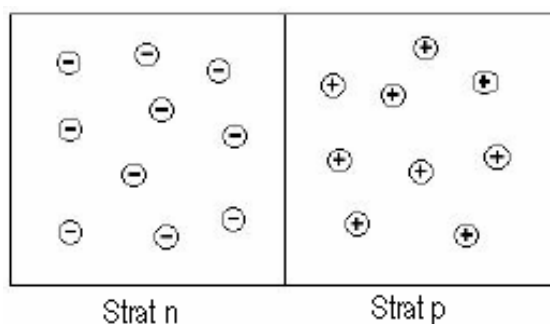


Fig. 5.2. Joncțiune p-n

Sub acțiunea diferenței de potențial electric, manifestată în zona de contact, electronii excedentari din stratul n, prezintă tendința de *migrație* în stratul p, deficitar în electroni. Analog, golurile excedentare din stratul p, prezintă tendința de a migra în stratul n, deficitar în sarcină electrică pozitivă. Această tendință de deplasare a sarcinilor electrice este reprezentată în figura 5.3.

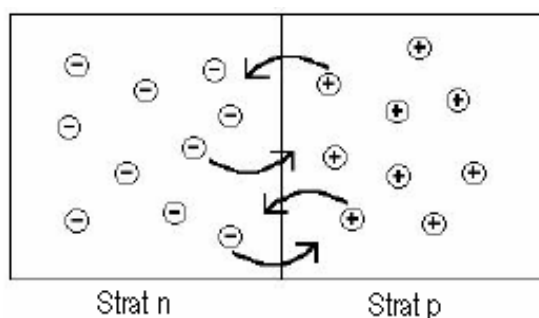


Fig. 5.3. Tendința de migrație a sarcinilor electrice între straturile joncțiunii p-n

Amploarea migrației sarcinilor electrice între cele două straturi ale joncțiunii p-n este limitată de nivelul energetic al purtătorilor celor două tipuri de sarcini electrice. Astfel, cu toate că nu se va realiza o reechilibrare la nivelul sarcinilor electrice în toată profunzimea celor două straturi, o zonă superficială din stratul p va fi ocupată de sarcini electrice negative (electroni), iar o zonă superficială

din stratul n, va fi ocupată de sarcini electrice pozitive (goluri). Ca efect, se va produce o redistribuire a sarcinilor electrice în zona joncțiunii p-n, de tipul celei reprezentate în figura 5.4.

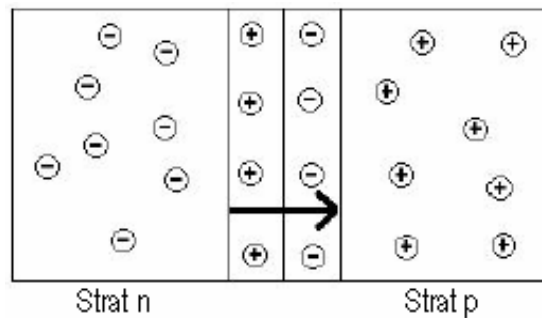


Fig. 5.4.. Apariția unei diferențe de potențial electric în zona joncțiunii p-n

Se observă că efectul acestei redistribuiri este reprezentat de *aparitia unei diferențe de potențial locale*, la nivelul joncțiunii. Această diferență internă de potențial reprezintă o barieră care împiedică o eventuală deplasare ulterioară a sarcinilor electrice negative din stratul n spre stratul p și a celor pozitive din stratul p spre stratul n. Sarcinile electrice libere din cele două straturi sunt respinse din zona joncțiunii spre suprafețele acestor straturi, opuse joncțiunii p-n.

Este cunoscut faptul că *lumina prezintă un caracter dual*, având atât *caracteristici de undă*, conform teoriei ondulatorii a luminii, cât și *caracteristici corpusculare*, conform teoriei corpusculare, sau fotonice a luminii. Din punctul de vedere al efectului fotovoltaic este mai util ca lumina să fie considerată ca având caracter corpuscular.

Dacă joncțiunea p-n este supusă radiației solare, fotonii având un nivel energetic suficient de ridicat (cu atât mai ridicat cu cât radiația solară prezintă o intensitate mai mare), sunt capabili să transfere suficientă energie electronilor aflați pe straturile de valență ale atomilor, pentru a trece pe straturile de conducție și să devină electroni liberi. Sub acțiunea diferenței interne de potențial, care se manifestă local la nivelul joncțiunii p-n, electronii liberi care se formează în stratul n, sunt respinși spre suprafața stratului n al joncțiunii, iar electronii liberi care se formează în stratul p, sunt atrași spre zona de joncțiune, pe care o vor traversa și odată ajunși în stratul n, sunt respinși spre suprafața acestui strat. Fiecare electron liber, în momentul trecerii sale pe stratul de conducție, lasă în urmă un gol (sarcină electrică pozitivă) în structura atomului pe care l-a părăsit, astfel că sub acțiunea radiației solare nu apar doar electroni liberi ci perechi de sarcini electrice negative (electroni) și pozitive (goluri). Sub acțiunea diferenței interne de potențial, care se manifestă local la nivelul joncțiunii p-n, golurile care se formează în stratul p sunt respinse spre periferia stratului p al joncțiunii, iar golurile care se formează în stratul n, sunt atrase spre zona de joncțiune, pe care o vor traversa și odată ajunși în stratul p, sunt respinși spre suprafața acestui strat.

În urma deplasării sarcinilor electrice în cele două straturi și în zona joncțiunii p-n, conform mecanismului prezentat, se produce o *polarizare electrică la nivelul suprafețelor exterioare* ale joncțiunii p-n, așa cum se observă în figura 5.5.

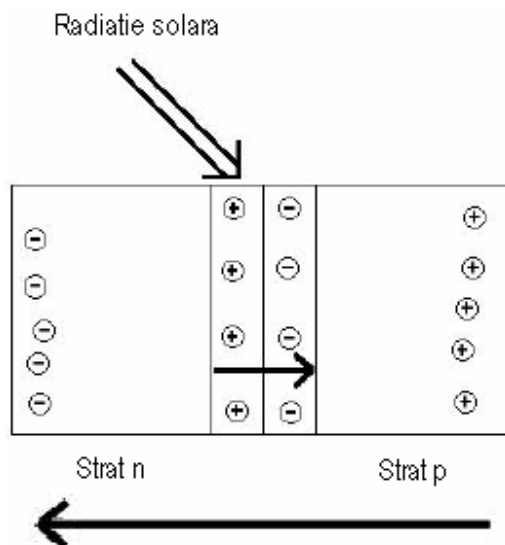


Fig. 5.5. Polarizarea suprafețelor exterioare ale joncțiunii p-n

Dacă suprafețele exterioare ale joncțiunii p-n sunt acoperite cu câte un strat metalic, reprezentând fiecare câte un electrod, între aceștia se va manifesta o *diferență de potențial*, care într-un circuit închis va produce manifestarea unui *curent electric*. Diferența de potențial și curentul electric se pot menține la un nivel constant atâta timp cât se manifestă radiația solară. Este evident că *variația intensității radiației solare* va produce și variații ale diferenței de potențial, dar mai ales ale intensității curentului electric așa cum se va arăta ulterior.

Joncțiunea p-n, împreună cu cei doi electrozi, alcătuiește o *celulă fotovoltaică* sau o *celulă electrică solară* având construcția de tipul celei reprezentate în figura 5.6.

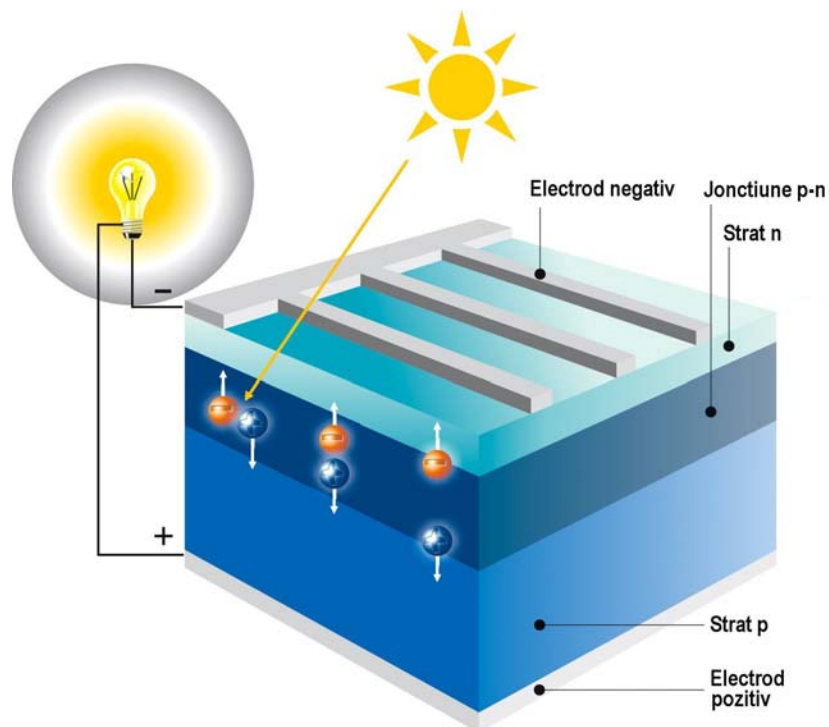


Fig. 5.6. Elementele constructive ale unei celule fotovoltaice

Grosimea totală a unei celule fotovoltaice este de cca. 0,3mm, iar grosimea stratului n, este de cca. 0,002mm. Uzual, deasupra electrodului negativ al celulei fotovoltaice, se amplasează un strat antireflexie, cu rolul de a împiedica reflexia radiației solare incidente pe suprafața celulei electrice solare, astfel încât o cantitate cât mai mare de energie să fie transferată electronilor de valență din cele două straturi semiconductoare. Celulele fotovoltaice au dimensiuni uzuale de 10x10cm și mai recent de 15x15cm.

Primele celule fotovoltaice, au fost utilizate în 1958, pe satelitul Vanguard I, prezentat în figura 5.7. Eficiența de conversie a energiei radiației solare în electricitate era de 10%, iar puterea totală a acelor celule fotovoltaice a fost de cca. 0,1W. Până în 2005, puterea totală instalată pe planetă a panourilor fotovoltaice, depășea 1.000.000.000W=1GW.



Fig. 5.7. Primele panouri solare, montate pe Vanguard I

Eficiența celulelor fotovoltaice depinde de doi factori:
Intensitatea radiației solare incidente pe suprafața celulei;
Eficiența procesului de conversie a energiei radiației solare în energie electrică.

În prezent, construcțiile de celule fotovoltaice au eficiențe în jurul valorii de 15%, ceea ce reprezintă o valoare destul de scăzută. Din acest motiv, panourile fotovoltaice sunt amplasate preponderent în zone caracterizate prin radiație solară intensă. Cu toate acestea, țări ca Germania sau Austria reprezintă exemple de utilizare pe scară largă a acestei tehnologii, cu toate că nu sunt favorizate din punct de vedere al intensității radiației solare.