4. DIODE

4.1. INTRODUCERE ÎN SEMICONDUCTOARE

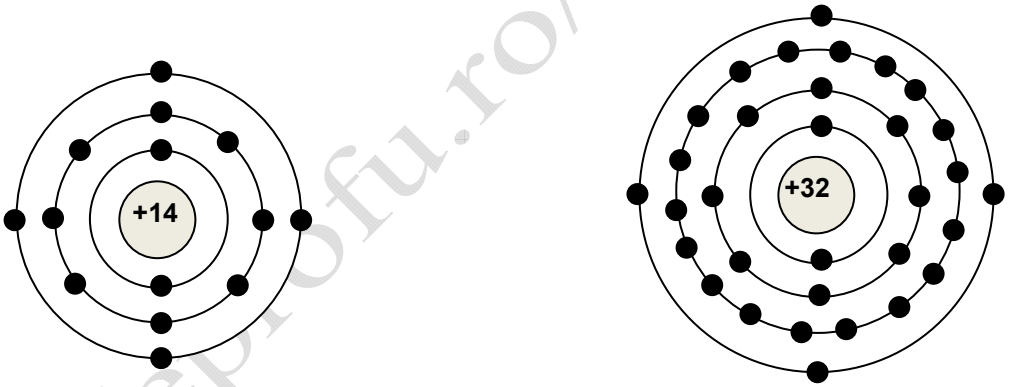
4.1.1 NOȚIUNI GENERALE

În funcție de rezistivitatea electrică, materialele electrotehnice pot fi încadrate în trei categorii:

- ***Materiale izolatoare*** - rezistivitatea electrică ρ = 10^{12} – 10^{23} $\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right]$
- ***Materiale semiconductoare*** - rezistivitatea electrică ρ = 10 – 10^{12} $\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right]$
- ***Materiale conductoare*** - rezistivitatea electrică ρ = 10^{-2} – 10 $\left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right]$

Materialele semiconductoare din punct de vedere al conducerii curentului electric au proprietăți intermediare între conductoare şi izolatoare. Cele mai răspândite materiale semiconductoare sunt ***germaniul, siliciul, carbonul.***

Materialele semiconductoare sunt alcătuite din atomi care prezintă patru electroni de valență caracteristici (figura 4.1.1)



a. Atom de siliciu b. Atom de germaniu

Figura 4.1.1 Diagramele atomilor de siliciu şi germaniu

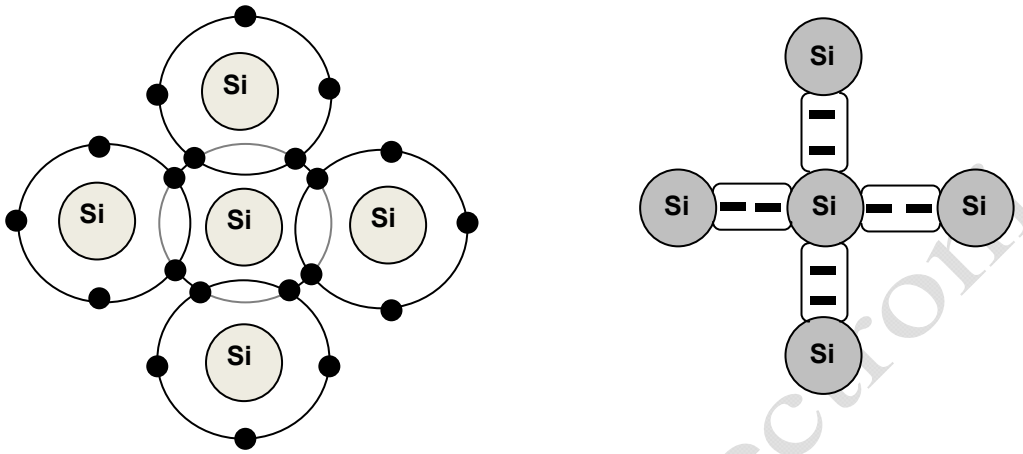
Electronii de valență ai atomului de siliciu (fig. 4.1.1 a) se află pe stratul trei iar cei ai germaniului (fig.4.1.1 b) se află pe stratul patru. Deoarece electronii de valență ai siliciului se află mai departe de nucleu, posedă energii mai mari decât cei ai siliciului care se află mai aproape de nucleu, deci le este necesar un surplus energetic mai mic pentru a se desprinde din atom. Această caracteristică face ca germaniul să devină instabil la temperaturi mari, de aceea siliciul este materialul semiconductor cel mai des utilizat la construcția dispozitivelor electronice active.

http://eprofu.ro/electronica

4.1.2 CONDUCȚIA ÎN SEMICONDUCTOARE

Pentru a forma o structură solidă, atomii unui semiconductor se combină prin legături covalente dintre electronii de valență, formând o ***structură cristalină***. Prin legăturile covalente fiecare din cei patru electroni de valență a unui atom de siliciu se pun în comun cu câte un electron de valență a unui atom de siliciu învecinat (figura 4.1.2).

Cristalul astfel format se numeşte ***intrinsec*** deoarece nu conține impurități.



a. Porțiune dintr-un cristal pur de SI b. Diagramă de legături

Figura 4.1.2 Legăturile covalente la siliciu

În jurul nucleului unui atom de material semiconductor se află trei benzi de energie:

- banda de valență – în care se află electronii de valență din semiconductor
- banda interzisă – reprezintă diferența energetică dintre banda de valență şi banda de conducție
- banda de conducție – în care se află electronii liberi din semiconductor

Un cristal de siliciu pur (intrinsec) la o anumită temperatură, permite unor electroni de valență din banda de valență să acumuleze suficientă energie pentru a străpunge banda interzisă şi a trece în banda de conducție. Aceşti electroni se numesc ***electroni liberi***. Când un electron trece din banda de valență în banda de conducție, locul său din banda de valență rămâne liber. Acest loc liber se numeşte ***gol***. În acest mod se creează perechile ***electron-gol***.

Dacă la capetele unui cristal de siliciu intrinsec se aplică o tensiune în interiorul cristalului circulă două categorii de curenți:

- **curentul de electroni** – care reprezintă deplasarea ordonată a electronilor liberi din banda de conducție spre polul pozitiv al sursei de alimentare;
- **curentul de goluri** – care reprezintă deplasarea ordonată a golurilor din banda de valență prin structura cristalină în sens opus curentului de electroni.

http://eprofu.ro/electronica

4.1.3 SEMICONDUCTOARE DE TIP *P* ŞI DE TIP *N*

Datorită numărului limitat de electroni liberi din banda de conducție şi de goluri din banda de valență, materialele semiconductoare în stare intrinsecă nu conduc curentul electric. Pentru a putea fi utilizate în diverse aplicații acestea trebuie prelucrate în scopul măririi conductivității electrice, prin introducerea controlată a unor impurități în materialul intrinsec care duce la creşterea numărului de purtători de curent. Acest procedeu se numeşte **dopare.**

Într-un cristal semiconductor **electronii liberi** reprezintă **sarcinile negative (N)** iar **golurile** reprezintă **sarcinile pozitive (P)**.

a. SEMICONDUCTOARE DE TIP *P*

Aceste semiconductoare au un ***număr mare de goluri***. Deoarece majoritatea purtătorilor de curent este constituită din goluri (sarcini pozitive) acestea poartă denumirea de semiconductoare de tip **P**.

Pentru a obține un semiconductor de tip **P** (fig.4.1.3), un cristal de siliciu pur se dopează cu *atomi de impurificare* ***trivalenți*** (cu trei electroni de valență) – aluminiu (Al), bor (B), galiu (Ga), indiu (In).

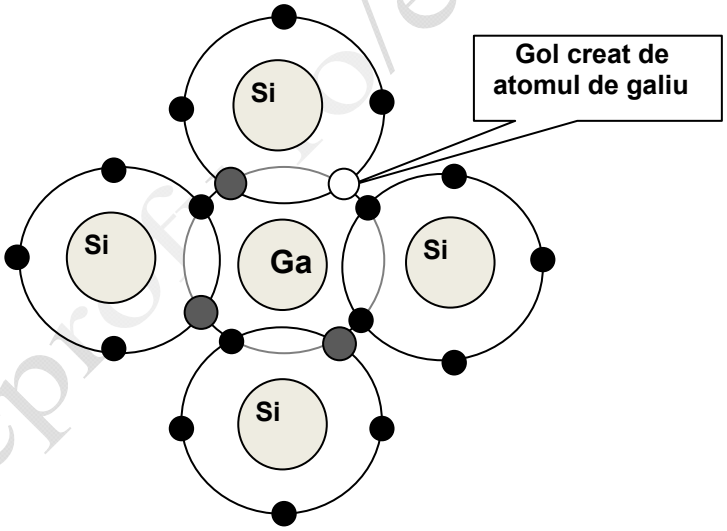


Figura 4.1.3 Semiconductor de siliciu de tip P impurificat cu galiu

Atomul de galiu are trei electroni de valență. Toți cei trei electroni de valență participă la legăturile covalente cu electronii de valență ai atomilor de siliciu. Deoarece un atom de siliciu are patru electroni de valență la fiecare atom de galiu din cristalul de siliciu apare câte un **gol**.

La semiconductorul de tip **P**, **golurile** sunt ***purtători majoritari*** iar **electronii** sunt ***purtători minoritari***.

http://eprofu.ro/electronica

b. SEMICONDUCTOARE DE TIP *N*

Aceste semiconductoare au un ***număr mare de electroni***. Deoarece majoritatea purtătorilor de curent este constituită din electroni (sarcini negative) acestea poartă denumirea de semiconductoare de tip **N**.

Pentru a obține un semiconductor de tip **N** (fig.4.1.4), un cristal de siliciu pur se dopează cu *atomi de impurificare* ***pentavalenți*** (cu cinci electroni de valență) – arseniu (As), fosfor (P), bismut (Bi), stibiu (Sb).

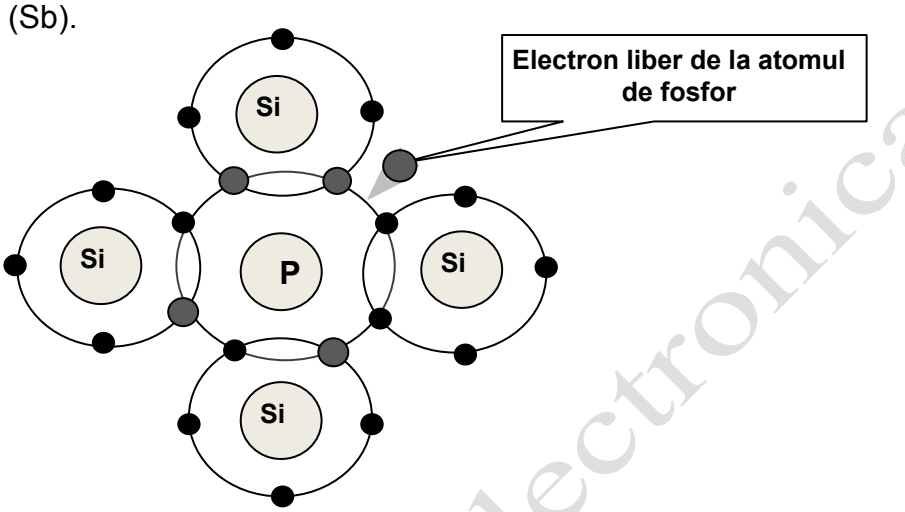


Figura 4.1.4 Semiconductor de siliciu de tip N impurificat cu fosfor

Atomul de fosfor are cinci electroni de valență. Patru dintre cei cinci electroni de valență participă la legăturile covalente cu electronii de valență ai atomilor de siliciu, iar al cincilea rămâne liber (deoarece un atom de siliciu are patru electroni de valență).

La fiecare atom de fosfor din cristalul de siliciu apare câte un **electron liber**.

La semiconductorul de tip **P**, **electronii** sunt ***purtători majoritari*** iar **golurile** sunt ***purtători minoritari***.

4.1.4 JONCȚIUNEA *PN*

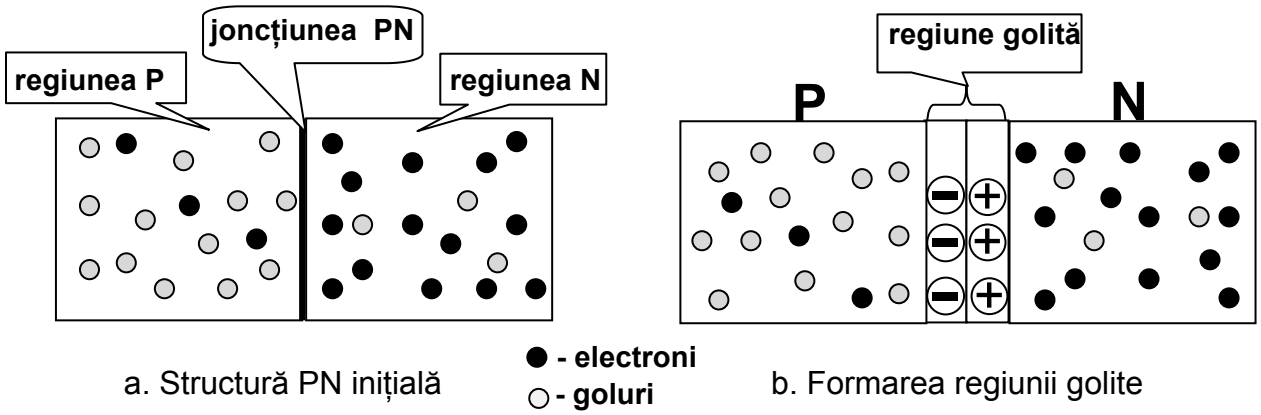
Joncțiunea PN stă la baza funcționării dispozitivelor electronice active.

Joncțiunea PN reprezintă zona de contact dintre două regiuni vecine, una de tip ***P*** şi una de tip ***N***, create într-un monocristal pur (fig.4.1.5 a).

Ca urmare a deplasării purtătorilor majoritari dintr-o regiune în alta, în imediata apropiere a joncțiunii se creează o ***regiune golită,*** negativă în regiunea **P** şi pozitivă în regiunea **N**, care se opune deplasării în continuare a purtătorilor de sarcină (fig.4.1.5 b).

În această regiune se formează un câmp electric care constituie o barieră pentru electronii liberi din regiunea de tip *N*, care trebuie să consume energie pentru a-l traversa.

http://eprofu.ro/electronica



a. Structură PN inițială b. Formarea regiunii golite

Figura 4.1.5 Structura semiconductorului în care s-a creat o joncțiune PN

Diferența de potențial al câmpului electric format în regiunea golită reprezintă cantitatea de energie necesară electronilor pentru a putea traversa câmpul electric şi se numeşte ***potențial de barieră*** **(V_P).**

Potențialul de barieră este de **0,7 V** pentru **siliciu (Si)** şi de **0,3 V** pentru **germaniu (Ge).**

Pentru ca electronii să poată străbate regiunea golită, trebuie să li se furnizeze energie din exterior, care se face prin polarizarea joncțiunii PN. Prin ***polarizare*** se înțelege aplicarea unei tensiuni continue la capetele celor două regiuni. În funcție de modul de conectare a bornelor sursei de alimentare la regiunile joncțiunii PN sunt două moduri de polarizare:

- **polarizare directă** (fig. 4.1.6 a)
- **polarizare inversă** (fig.4.1.6 b)

a. Polarizarea directă b. Polarizarea inversă

Figura 4.1.6 Polarizarea joncțiunii PN

La ***polarizarea directă*** borna **plus** a sursei de alimentare se conectează la regiunea **P** a joncțiunii PN iar borna **minus** a sursei se conectează la regiunea **N** a joncțiunii PN.

Dacă tensiunea de polarizare este mai mare decât potențialul de barieră (***tensiunea de prag***) prin joncțiune circulă curent, iar regiunea golită se îngustează.

La ***polarizarea inversă*** borna **plus** a sursei de alimentare se conectează la regiunea **N** a joncțiunii PN iar borna **minus** a sursei se conectează la regiunea **P** a joncțiunii PN.

În această situație prin joncțiunea PN **NU** circulă curent, iar lățimea regiunii golite creşte.

O joncțiune PN permite trecerea curentului prin ea dacă este polarizată direct cu o tensiune mai mare decât potențialul de barieră (tensiunea de prag).

http://eprofu.ro/electronica