

Capitolul II. NOȚIUNI DE FIZICA SEMICONDUCTOARELOR

- 2.1. Materiale în microelectronică
- 2.2. Purtători de sarcină în semiconductori
- 2.3. Concentrația purtătorilor de sarcină în semiconductoare
- 2.4. Curenți în semiconductoare
- 2.5. Semiconductoare în regim de neechilibru
- 2.6. Sistemul ecuațiilor de bază al fizicii semiconductoarelor

2.1. Materiale în microelectronică

- (1) *Materiale izolatoare*: $\rho > 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ și $E_G > 7\text{eV}$.

Exemple: ...

- (2) *Materialele semiconductoare*: $10^{-1} < \rho < 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$, $0.3\text{eV} < E_G < 7\text{eV}$.

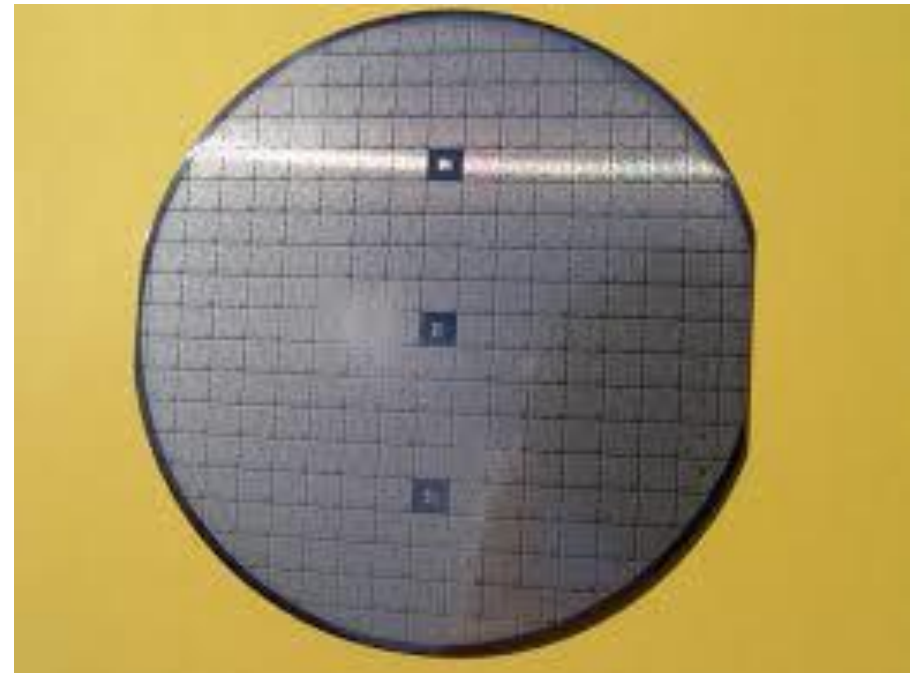
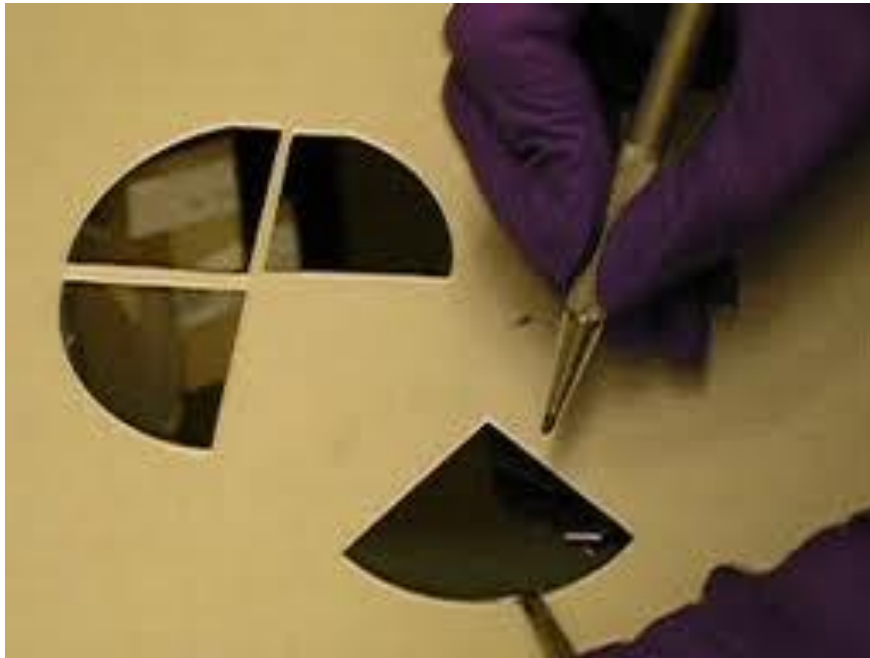
Exemple:....

Pt. Si $\rho_{\text{Si-pur}} = 240\text{k}\Omega\text{cm}$, $E_{G-\text{Si}} = 1.11\text{eV}$.

- (3) *Materiale conductoare (de ord. I)*: $\rho < 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ($\rho_{\text{Ag}} = 16\text{n}\Omega\text{cm}$) iar $E_{G-\text{met}} = 0\text{eV}$.

Exemple:

2.1. Materiale în microelectronică



2.1. Materiale în microelectronică



2.1. Dependenta ρ -T

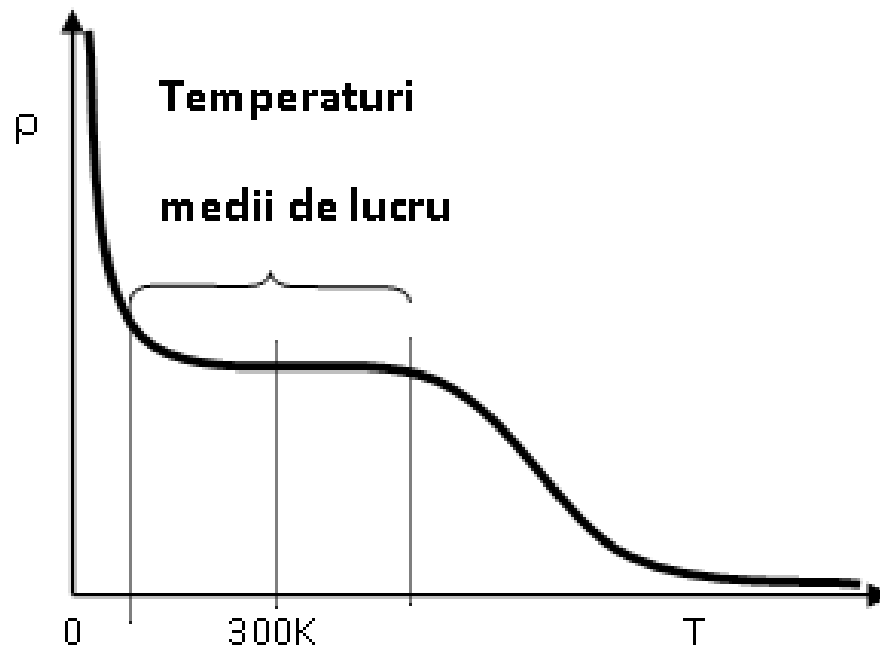
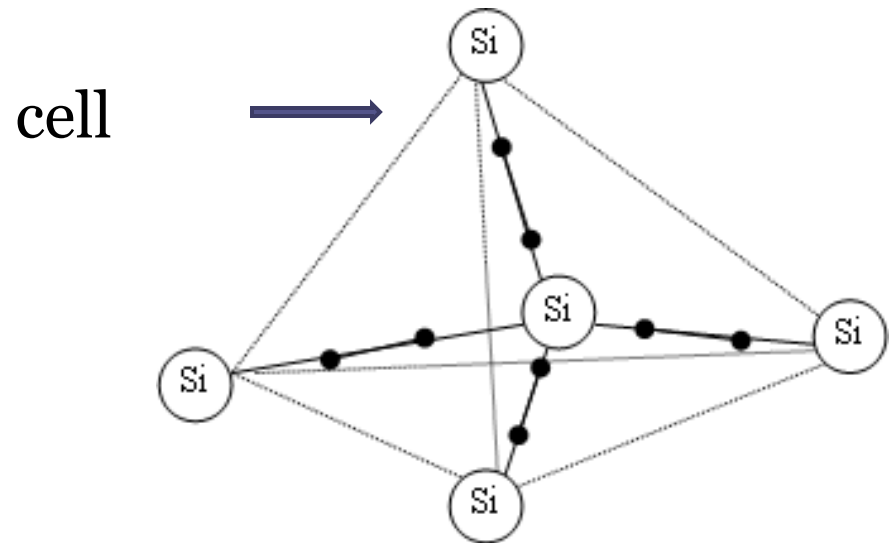


Fig. 2.1. Dependența, ρ -T.

2.2. Purtători de sarcină în semiconductori

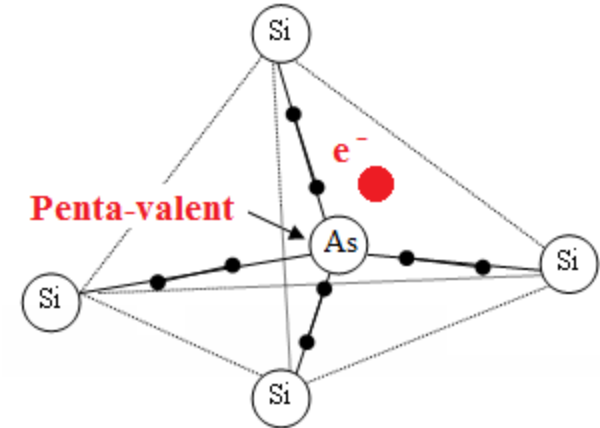
2.2.1. Celula elementara de Si-pur

- Si, Ge și C = 4 e-
- La T → 0K
- La T ~ 300K

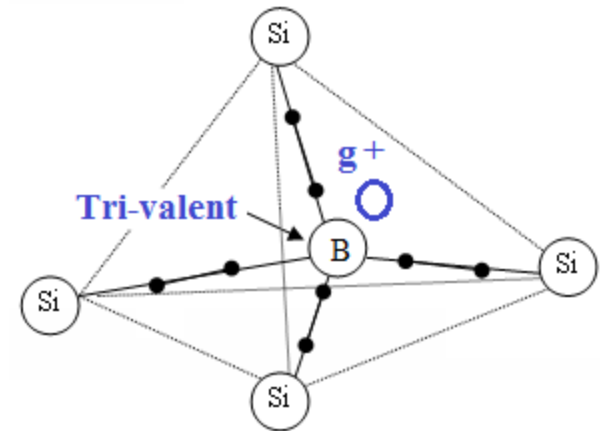


2.2.1. Celule elementare

- A) Sc. n, N_D .



- B) Sc. p, N_A .



- Ce inseamna $N_D=10^{16} \text{ cm}^{-3}$? $N_{Si} \sim 10^{22} \text{ cm}^{-3}$.

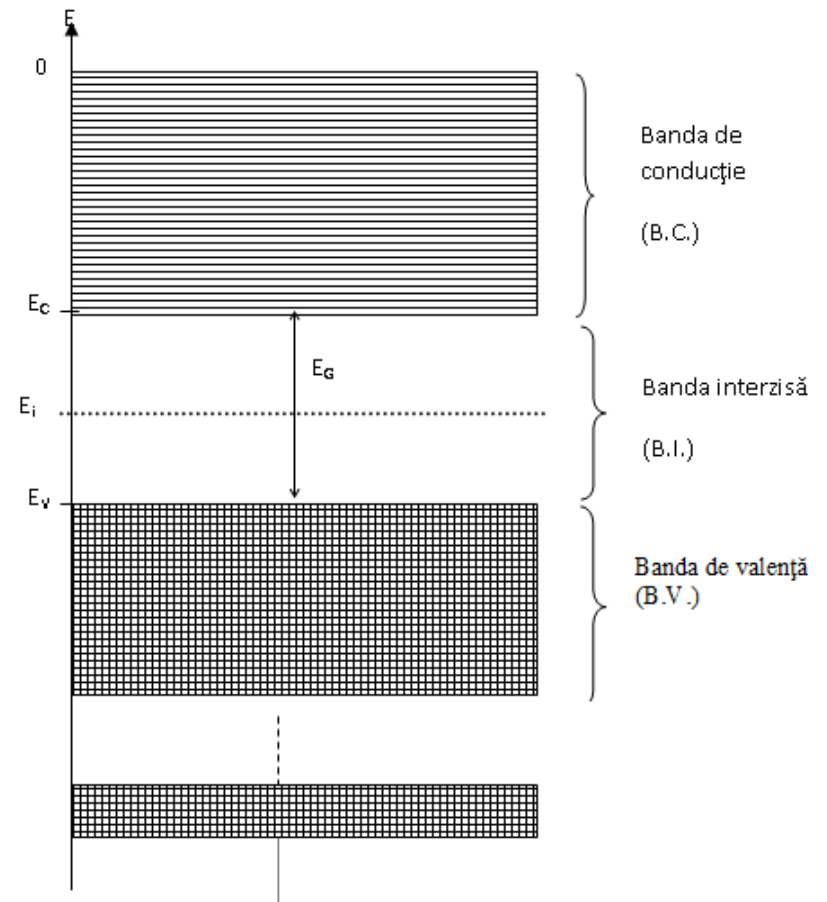
2.2.2. Structura de benzi energetice

- Relația Heisenberg:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$$

BC \leftarrow E_g \rightarrow BV, fig.2.2

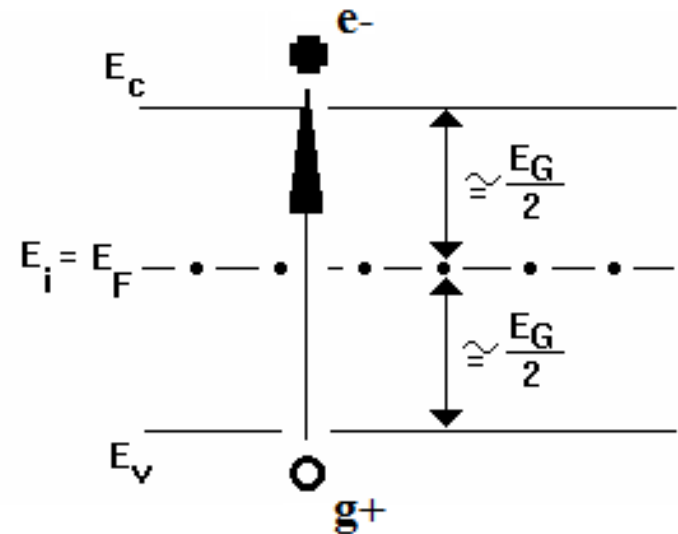
Benzi profunde



2.2.2. Benzi energetice ale semic. intrinsec

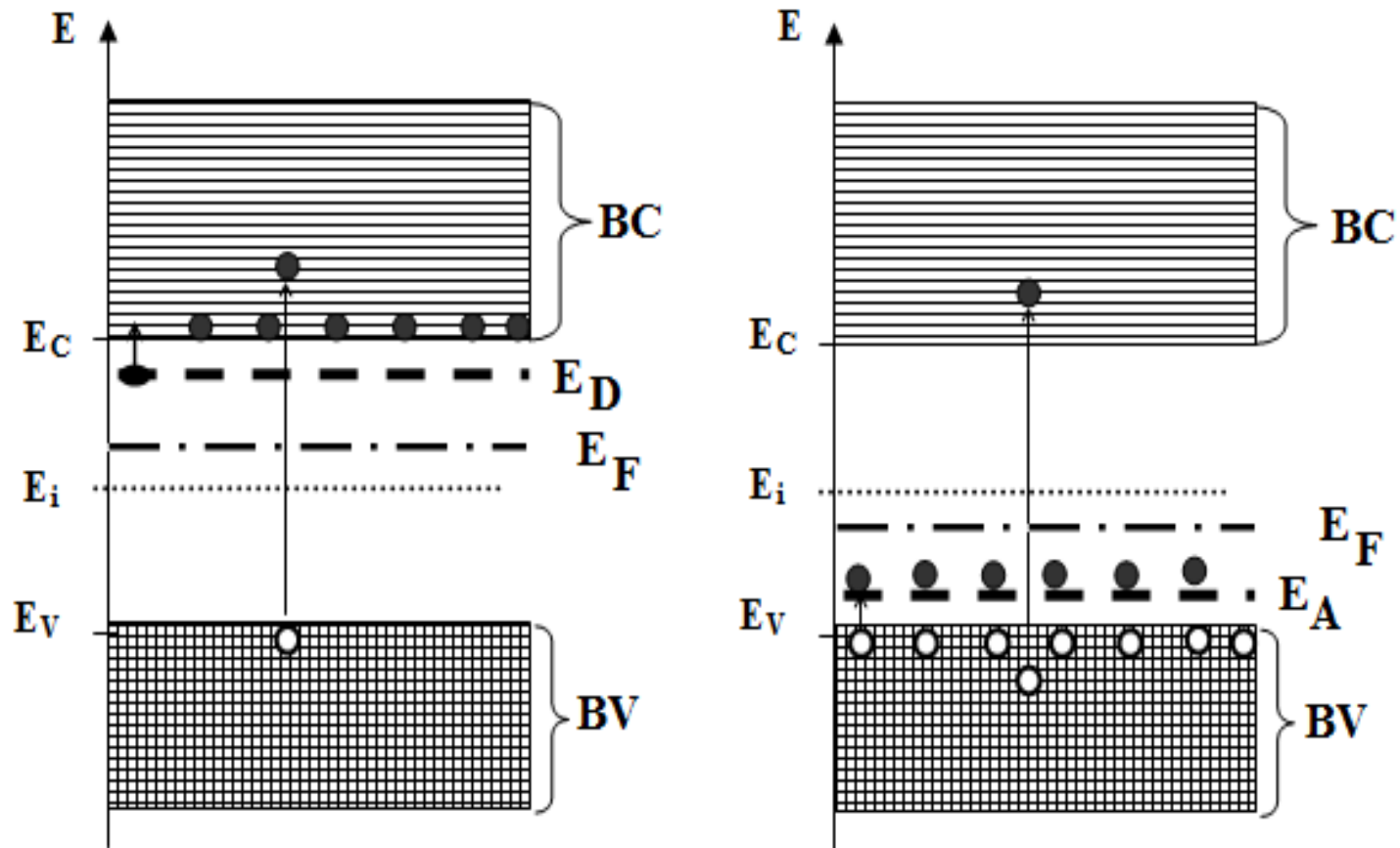
Sc. pur sau fără impurități

- La $T=0\text{K}$...
- La $T>0\text{K}$ →



2.2.2. Semiconductor extrinsec

Diagrama energetica.



2.3. Concentrația purtătorilor de sarcină în semiconductoare

- *Funcția de distribuție Fermi-Dirac:*

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

- *Devine la **dopari** $< 10^{18} \text{cm}^{-3}$ (sc nedegenerate) distribuția Boltzman:*

$$f(E) \cong \exp\left(-\frac{E - E_F}{kT}\right)$$

2.3. Concentrația purtătorilor de sarcină

- concentrația de e / g:
- In **sc. intrinsec** $n_0 = p_0 = n_i$:

$$n_i^2 = n_0 p_0 = N_V N_C \cdot \exp\left(-\frac{E_C - E_V}{kT}\right)$$

- La sc extrinsec:

$$n_0 = n_i \cdot \exp\left(\frac{E_F - E_i}{kT}\right)$$

2.3. Problema ionizării impurităților

- N_D^* , N_A^* , $N_D^* = N_D \times$ Probabilitatea de ionizare:

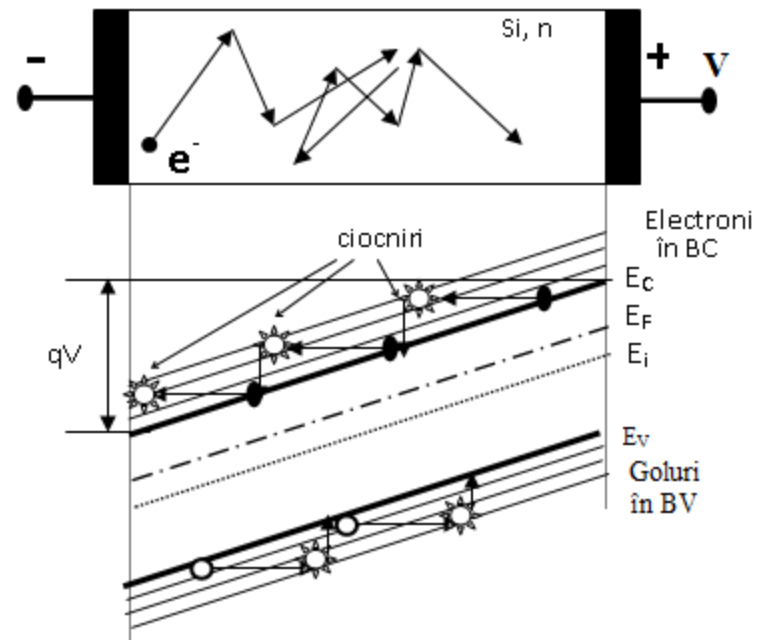
$$N_D^* = N_D [1 - f(E_D)] = N_D \left[1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{g_D} \exp\left(\frac{E_D - E_F}{kT}\right)} \right] \quad N_A^* = N_A f(E_A) = \frac{N_A}{1 + g_A \exp\left(\frac{E_A - E_F}{kT}\right)}$$

- g_D și g_A - factorii de degenerare pentru nivelele donoare și acceptoare.
- Acum N_D^* și $N_A^* < N_D$ și N_A intervin în ec.
- **Tema:** calculați n_0 , p_0 de N_D^* și N_A^* .
- Când se pot aproxima: $N_D^* = N_D$?

2.4. Curenți în semiconductoare

2.4.1. Curenți de câmp (drift)

- Cauza: grad $V \neq 0$.



2.4.1. Curenți de câmp

- Forța electrică , viteza medie :

$$\vec{F}_n = -q \vec{E} = m_n \vec{a}_n \quad \vec{v}_n = \frac{\vec{a}_n t_c}{2} \quad \vec{v}_n = -\frac{qt_c}{2m_n} \cdot \vec{E} = -\mu_n \cdot \vec{E}$$

Definitii, discutii v - E , μ_n , μ_p în cm^2/Vs .

$$j = \frac{I}{A} = qNv \quad \vec{j}_n = qn\mu_n \vec{E}$$

$$\vec{j} = \vec{j}_n + \vec{j}_p = q(p\mu_p + n\mu_n) \vec{E} = \sigma \vec{E}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

2.4.2. Curenți de difuzie

- Cauza: grad $n, p \neq 0$.

- L. Fick:
$$\vec{F}_p = -D_p \cdot \nabla p$$

- Si
$$\vec{j}_p = q \vec{F}_p$$

$$\begin{cases} \vec{j}_n = q D_n \nabla n \\ \vec{j}_p = -q D_p \nabla p \end{cases}$$

2.4.3. Ecuații de transport

Co-există ambele cauze:

$$\vec{j}_n = \vec{j}_{ndrift} + \vec{j}_{ndif} = qn\mu_n \vec{E} + qD_n \nabla n$$

Curentul de transport total va fi:

$$\vec{j} = \vec{j}_n + \vec{j}_p$$

2.4.3. Ecuații de transport

- R. Einstein:

$$D_{n,p} = \frac{kT}{q} \mu_{n,p}$$

- Unde $kT/q = v_{th} \sim 25mV$.

Tema:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{j}_n = n\mu_n \cdot \frac{d E_F}{dx} \\ \dot{j}_p = p\mu_p \cdot \frac{d E_F}{dx} \end{array} \right.$$

2.4.4. Definirea echilibrului termic

- *Echilibru termic* are loc când fluxurile de e-, g, și T – nule $\rightarrow j_n = 0$ și $j_p = 0 \rightarrow E_F = \text{constant}$.
- Un sc. se află la **echilibru termic** dacă:
 - **NU** se aplica semnal electric,
 - **NU** se aplică câmp magnetic,
 - **NU** se iluminează sau supune radiațiilor,
 - **NU** se încălzește.

2.5. Semiconductoare în regim de neechilibru

- Cauze de ne-echilibru:
 - *generare termică*, (interacțiunii *fonon-electron*) cu **ratele absolute**: g_n, g_p .
 - Recombinarea este procesul invers, **rata**: r_n, r_p .
 - Generarea purtătorilor sub acțiunea **L**uminii (interacțiune *foton-electron*), $\text{rata} = G_L$.

2.5. Semiconductoare în regim de neechilibru

- Rata (viteza) **netă** de recombinare:

$$R_n = r_n - g_n$$

$$R_p = r_p - g_p$$

- Modelul **ratei nete de recombinare cu timpi de viață ai purtătorilor în exces**:

$$R_n = \frac{n - n_0}{\tau_n}$$

$$R_p = \frac{p - p_0}{\tau_p}$$

- Dezavantaj: τ_n și τ_p var. cu n și p .
- Avantaj: simplitatea.

2.5. Semiconductoare în regim de neechilibru

- **Modelul Shockley-Read-Hall (SRH)**

Sc de tip **Si** suferă procese de g-r indirecte, cu 1 nivel intermediar, E_t iar conc. centrilor de recombinare de en. E_t , este n_t .

$$R_n = R_p \stackrel{\text{not}}{=} U = \frac{pn - n_i^2}{\tau_{p0}(n + n_t) + \tau_{n0}(p + p_t)}$$

2.6. Sistemul ecuațiilor de bază al fizicii semiconductoarelor

- *Ecuațiile de transport*

$$\vec{j}_n = \vec{j}_{ndrift} + \vec{j}_{ndif} = qn\mu_n \vec{E} + qD_n \nabla n$$

$$\vec{j}_p = \vec{j}_{pdrift} + \vec{j}_{pdif} = qn\mu_p \vec{E} - qD_p \nabla p$$

2.6. Sistemul ecuațiilor de bază al fizicii semiconductoarelor

- *Ecuația Poisson in semiconductoare:*

$$\Delta V = -\frac{\rho_v}{\epsilon}$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\frac{q}{\epsilon} (p - n + N_D^* - N_A^*)$$

2.6. Sistemul ecuațiilor de bază al fizicii semiconductoarelor

- Ecuațiile de continuitate.

- L. conservarii sarcinii: $-\frac{\partial \rho}{\partial t} = \text{div } \vec{j}$

- Pentru e / g :
$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{1}{-q} \cdot \text{div } \vec{j}_n$$
$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{1}{+q} \cdot \text{div } \vec{j}_p$$

2.6. Sistemul ecuațiilor de bază

- Var in timp = gen – rec + transp
- Prin superpoziția celor trei cauze rezulta:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G_L - R_n + \frac{1}{q} \cdot \nabla \cdot \vec{j}_n$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = G_L - R_p - \frac{1}{q} \cdot \nabla \cdot \vec{j}_p$$

- Cum/Cand se utilizeaza ?