

Curs 13

Dinamica electronului in cristal

- Electronul in cristal este caracterizat prin energia $\varepsilon = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$ si impulsul $\vec{p} = \hbar \vec{k}$, ambele functii de vectorul de unda \vec{k} ;
- Electronii sunt intr-o dinamica continua, sub actiunea fortei $\vec{F} = \dot{\vec{p}} = \hbar \dot{\vec{k}}$, cu viteza de grup $\vec{v} = \frac{1}{\hbar} \nabla_{\vec{k}} \varepsilon$; aceasta reprezinta viteza de propagare a undei care descrie electronul, in volumul cristalului.
- In absenta unui camp electric extern, viteza electronului poate fi orientata cu aceeasi probabilitate pe orice directie de propagare din cristal, astfel incat viteza medie a ansamblului tuturor electronilor este zero.
- In prezenta unui camp electric aplicat din exterior, asupra electronului cu sarcina electrica q, actioneaza forta de tip Coulomb, $\vec{F}_E = q\vec{E}$; actiunea acesteia consta in modificarea (cresterea) impulsului electronului prin modificarea vitezei acestuia:

$$\vec{F}_E = \dot{\vec{p}} = \hbar \frac{d\vec{k}}{dt}$$

✓ castigul de energie a electronului, intr-un timp elementar δt , este

$$\delta\varepsilon = \vec{F} \cdot \vec{v}_g \cdot \delta t = \vec{F} \cdot \left(\frac{1}{\hbar} \nabla_{\vec{k}} \varepsilon(k) \right) \cdot \delta t$$

✓ iar diferenciala $\delta\varepsilon$ se poate scrie $\delta\varepsilon = \frac{\partial\varepsilon}{\partial\vec{k}} \delta\vec{k}$, astfel incat

$$\frac{\delta\vec{k}}{\delta t} = \frac{\vec{F}}{\hbar}$$

- Forta \vec{F}_E imprima electronului o viteza colineara acesteia, numita **viteza de drift** \vec{v}_d ; astfel, viteza medie a fiecarui electron si pe ansamblul tuturor electronilor va fi nenula si orientata pe directia campului. In evaluarea mediei, trebuie sa se tina cont de restrictionarea dinamicii de ciocnirile pe care fiecare electron le sufera, atat cu ceilalti electroni, cat si cu ionii cristalului.

- Dinamica imprimata de camp conduce la un curent electric, orientat pe directia campului. Daca n este concentratia de electroni, cu unitatea de masura [electroni/m³], atunci densitatea de curent electric este j_e , cu unitatea de masura [A/m²],

$$j_e = nq\langle v_{eE} \rangle$$

Unde $\langle v_{eE} \rangle$ reprezinta viteza de drift medie pe directia campului.

- ✓ Dinamica electronului in camp este caracterizata prin marimea numita **mobilitate**, μ , **definita ca viteza de drift medie pe unitatea de intensitate a campului electric aplicat**, cu unitatea de masura [m²/Vs]; astfel, pentru electroni, mobilitatea se defineste:

$$\mu_{eE} = \frac{\langle v_{eE} \rangle}{E}$$

- ✓ densitatea de curent pe directia campului, se poate scrie

$$j_e = nq\mu_{eE}E$$

- ✓ pe de alta parte, tinand cont de legea lui Ohm,

$$j = \sigma E$$

- ✓ se poate identifica expresia conductivitatii electrice pentru electroni, σ_n ,

$$\sigma_n = nq\mu_{eE}$$

Cu unitatea de masura [$\Omega^{-1}m^{-1}$].

- In cazul cristalului semiconductor, care are si purtatori goluri, cu concentratia p , prin acelasi rationament se obtin marimile caracteristice dinamicii golurilor. Astfel, se obtin:
 - ✓ densitatea de curent de goluri

$$j_g = pq\mu_{gE}E$$

- ✓ mobilitatea golurilor

$$\mu_{gE} = \frac{\langle v_{gE} \rangle}{E}$$

✓ conductivitatea electrica pentru goluri

$$\sigma_p = pq\mu_{gE}$$

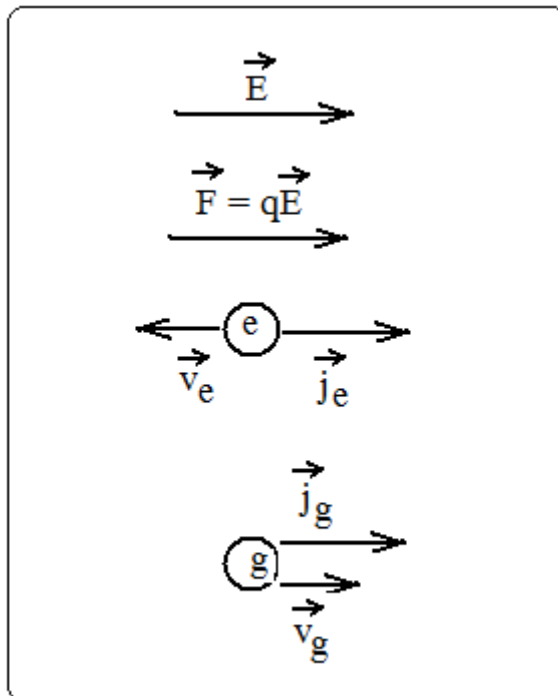
- Experimental se masoara curentul total,

$$j = j_e + j_g = nq\mu_{eE}E + pq\mu_{gE}E$$

$$j = q(n\mu_{eE} + p\mu_{gE})E$$

✓ din care se poate determina conductivitatea semiconductorului

$$\sigma = q(n\mu_{eE} + p\mu_{gE})$$



Dinamica electronilor si golurilor in camp electric. Vitezele electronului si golului au sensuri opuse, dar au sarcini egale si de semn opus, astfel incat curentii generati au acelasi sens, acela al curentului electric aplicat.

- Mobilitatea purtatorilor este o caracteristica de material care se poate determina din studiul proprietatilor corelate cu structura de benzi a energiei si este puternic dependenta de concentratia de impuritati si de temperatura. In cazul semiconductorilor, mobilitatea electronilor este mai mare decat cea a golurilor. Mobilitatea purtatorilor depinde de mecanismele de imprastiere ale acestora, adica de acele interactii ale

acestora cu particule de acelasi tip sau cu alte particule sau quasiparticule din cristal, dependente de concentratia de impuritati si de temperatura, si care sunt specifice proprietatii de conductor, semiconductor sau izolator a cristalului.