

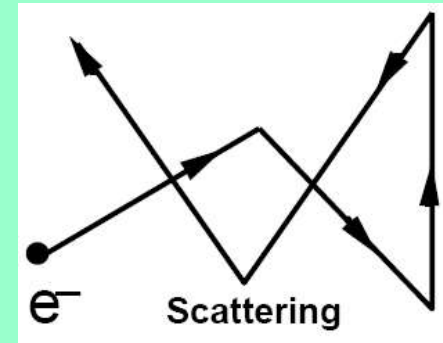
Trasporto dei portatori

➤ all'equilibrio termico gli elettroni in banda di conduzione (le lacune in banda di valenza) si muovono per agitazione termica

➤ energia termica = $\frac{3}{2}kT$ (k costante di Boltzmann)

$$\frac{1}{2}m_n v_{th}^2 = \frac{3}{2}kT \quad v_{th} = \text{velocità termica} \approx 10^7 \text{ cm/sec a } 300K$$

➤ in equilibrio termico il moto è casuale e la corrente totale è nulla



➤ gli eventi di diffusione (scattering) hanno diversa origine

Meccanismi di scattering

- scattering da fononi: gli atomi vibrano intorno alle posizioni reticolari. In meccanica quantistica le vibrazioni sono quantizzate (fononi). Il trasferimento di energia dagli elettroni al reticolo è chiamato scattering fononico.
- scattering da impurezze ionizzate (importante ad elevate concentrazioni di drogaggio)
- scattering da impurezze neutre (trascurabile)
- scattering elettrone-elettrone e elettrone-lacuna (importante ad elevate concentrazioni di portatori)
- scattering da difetti cristallini (importanti in materiali policristallini)
- scattering di superficie (importante in dispositivi tipo MOS, molto sottili).

Libero cammino medio

- distanza media tra le collisioni = libero cammino medio l_m

$$l_m \approx \text{da } 10\text{nm} \text{ a } 1\mu\text{m in Si}$$

$$v_{th} = \text{velocità termica} \approx 10^7 \text{ cm/sec a } 300\text{K}$$

$$\tau_c \approx \frac{10^{-5} \text{ cm}}{10^7 \text{ cm/sec}} \approx 1 \text{ psec}$$

- La maggior parte dei processi di ricombinazione e trasporto avvengono su tempi liberi medi (o liberi cammini medi) molto più lunghi di 1 psec permette di trattare le situazioni di non-equilibrio come perturbazioni dell'equilibrio termico

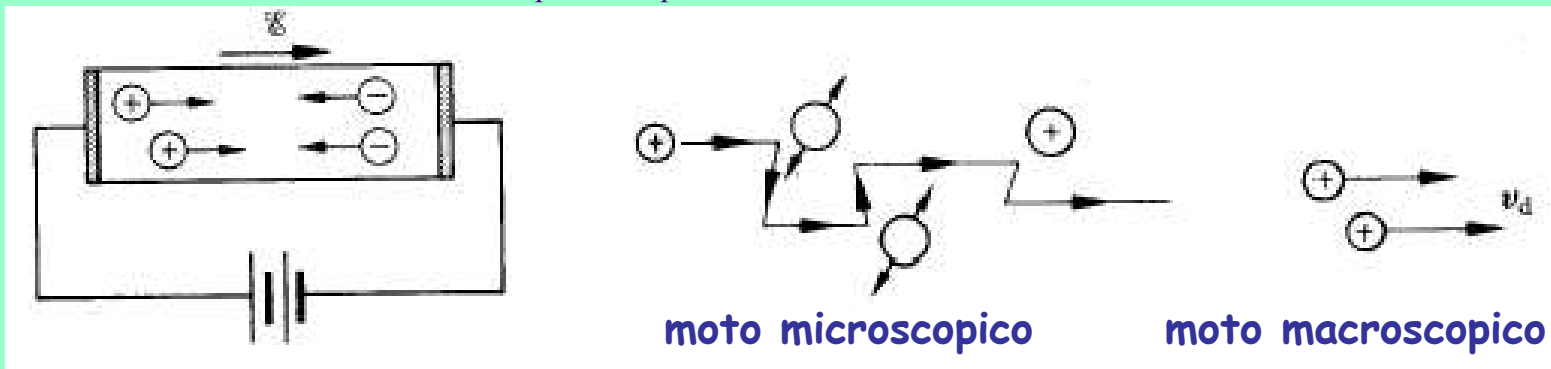
Moto di trascinamento

- applicando un campo elettrico \mathcal{E} , una forza $-q\mathcal{E}$ agirà sull'elettrone ($+q\mathcal{E}$ sulla lacuna) nell'intervallo di tempo che intercorre tra due urti
- eguagliando l'impulso (forza \times tempo), acquisito dall'elettrone tra due urti, alla sua quantità di moto

$$-q\mathcal{E}\tau_c = m_n v_n \Rightarrow v_n = -\left(\frac{q\tau_c}{m_n}\right) \text{ da cui } v_n = -\mu_n \mathcal{E}$$

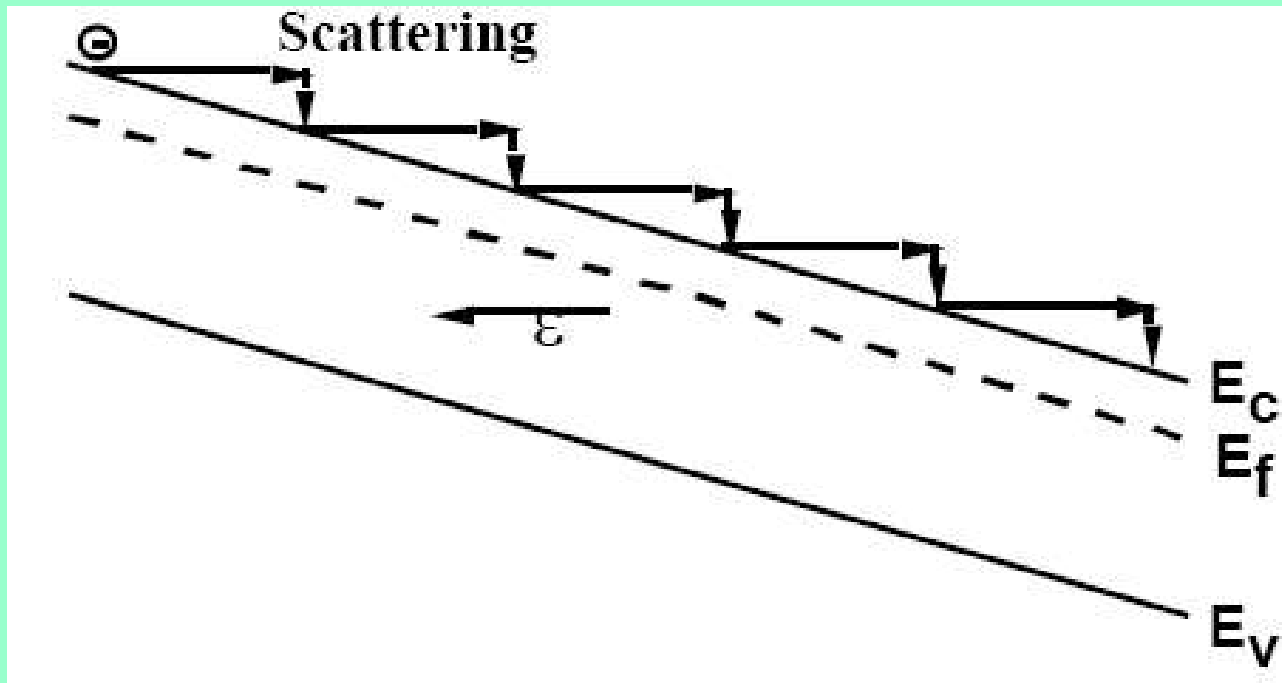
$$\mu_n = \frac{q\tau_c}{m_n} \text{ mobilità dell'elettrone } \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{Vgsec}}\right)$$

$$\text{analogamente } v_p = \mu_p \mathcal{E}$$



Moto di trascinamento

- la mobilità è legata direttamente al tempo libero medio tra collisioni τ_c , che è determinato dai vari meccanismi di scattering
- il moto degli elettroni, in media, avviene lungo una direzione opposta ad E (moto di trascinamento "drift")



Mobilità

- La relazione lineare tra μ ed \mathcal{E} , vale solo per campi relativamente deboli
- Per campi elevati $v_d \sim v_{th}$ e v_d "satura" al valore

v_{sat} = *velocità limitata dallo scattering*

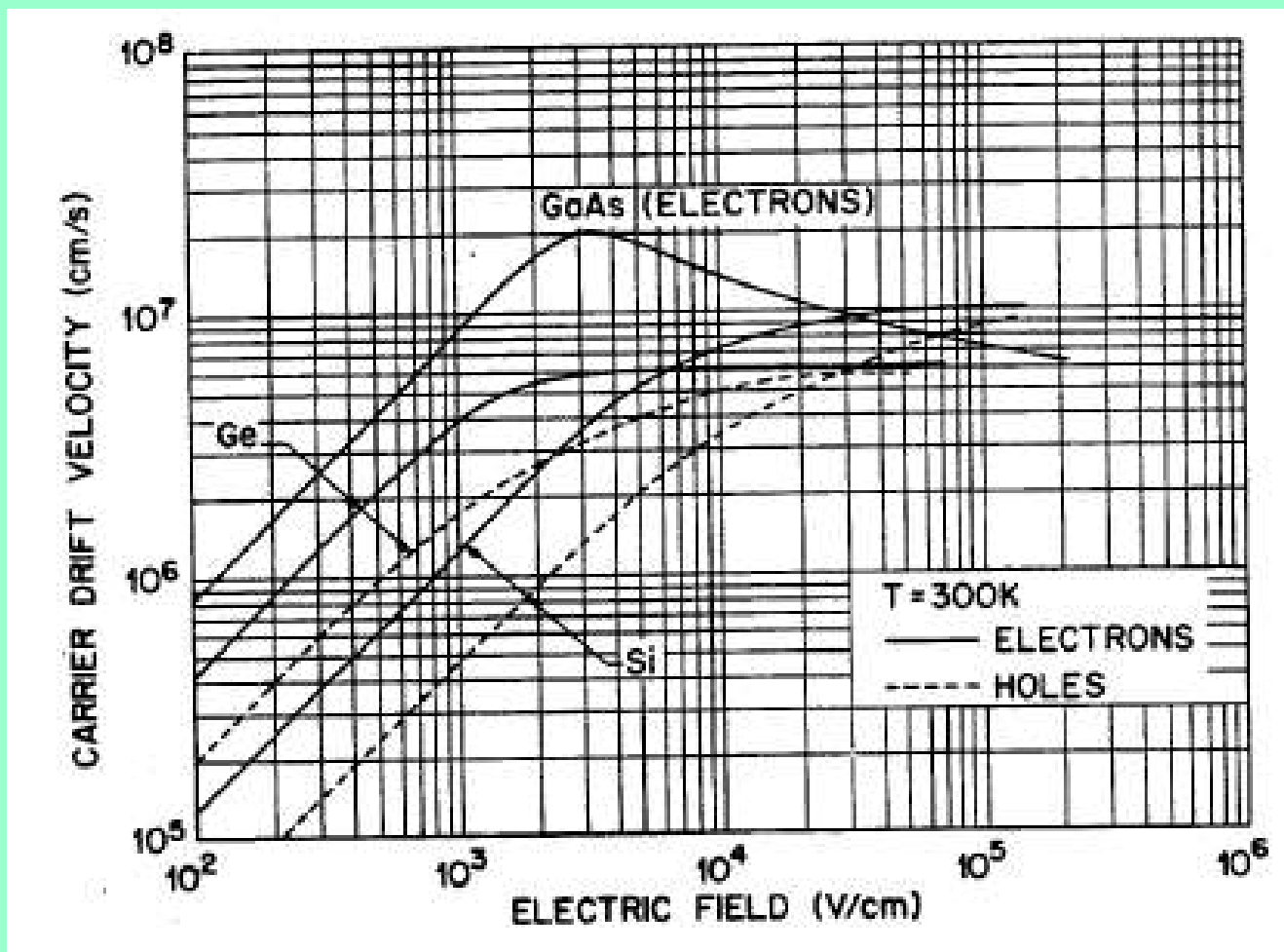
$\approx 10^7$ *cm/sec per elettroni in Si*

$\approx 6 \times 10^6$ *cm/sec per lacune in Si*

Il campo critico a cui avviene la saturazione vale

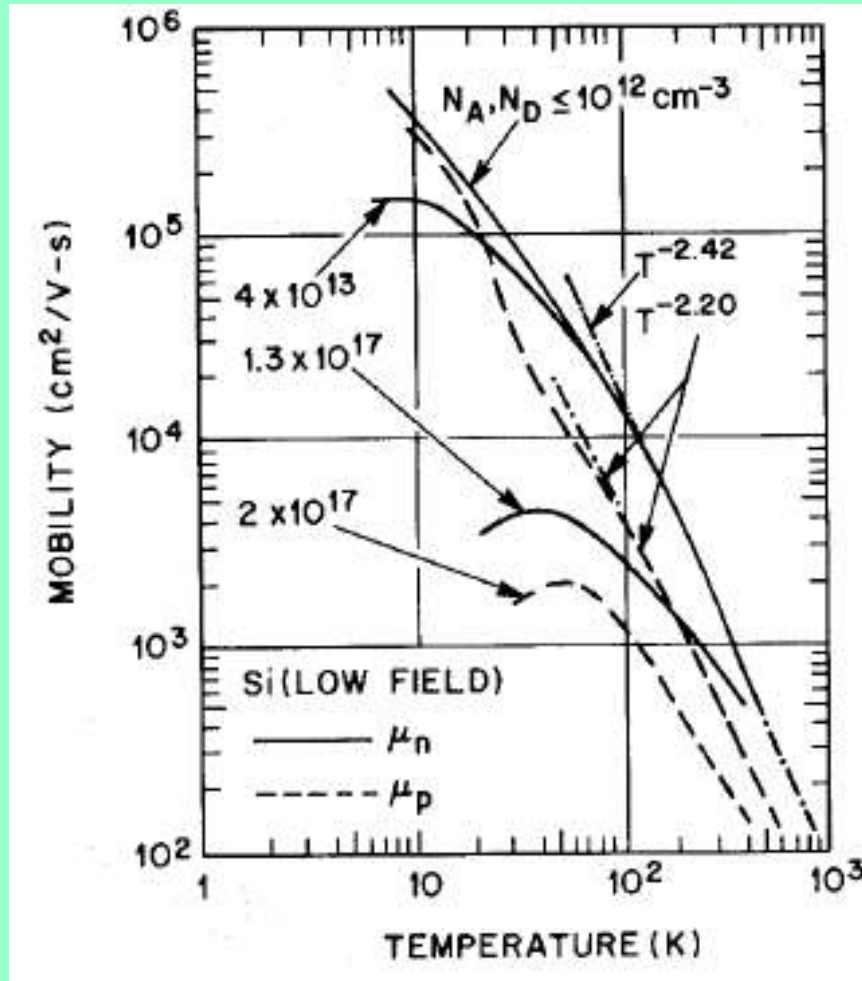
$$\mathcal{E}_c = 2 \times 10^4 \text{ V/cm} = 2 \text{ V}/\mu\text{m}$$

Velocità di saturazione



➤ questo fatto diventa importante con la progressiva diminuzione di dimensioni dei dispositivi !

Velocità di saturazione



- μ dipende anche da altri fattori come temperatura e drogaggio (scattering)

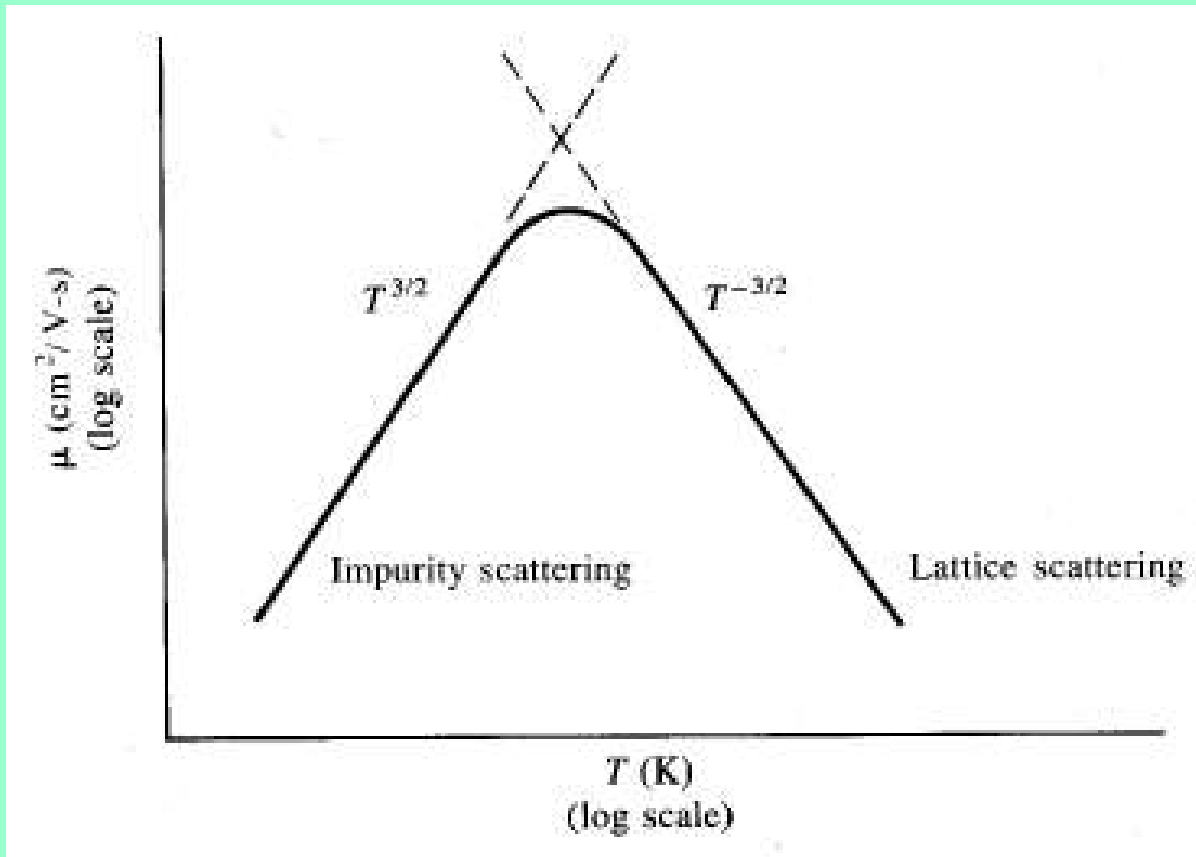
Trasporto dei portatori

- la probabilità di scattering in un intervallo dt vale $dt = dt/\tau_c$
- se i meccanismi di scattering agiscono indipendentemente

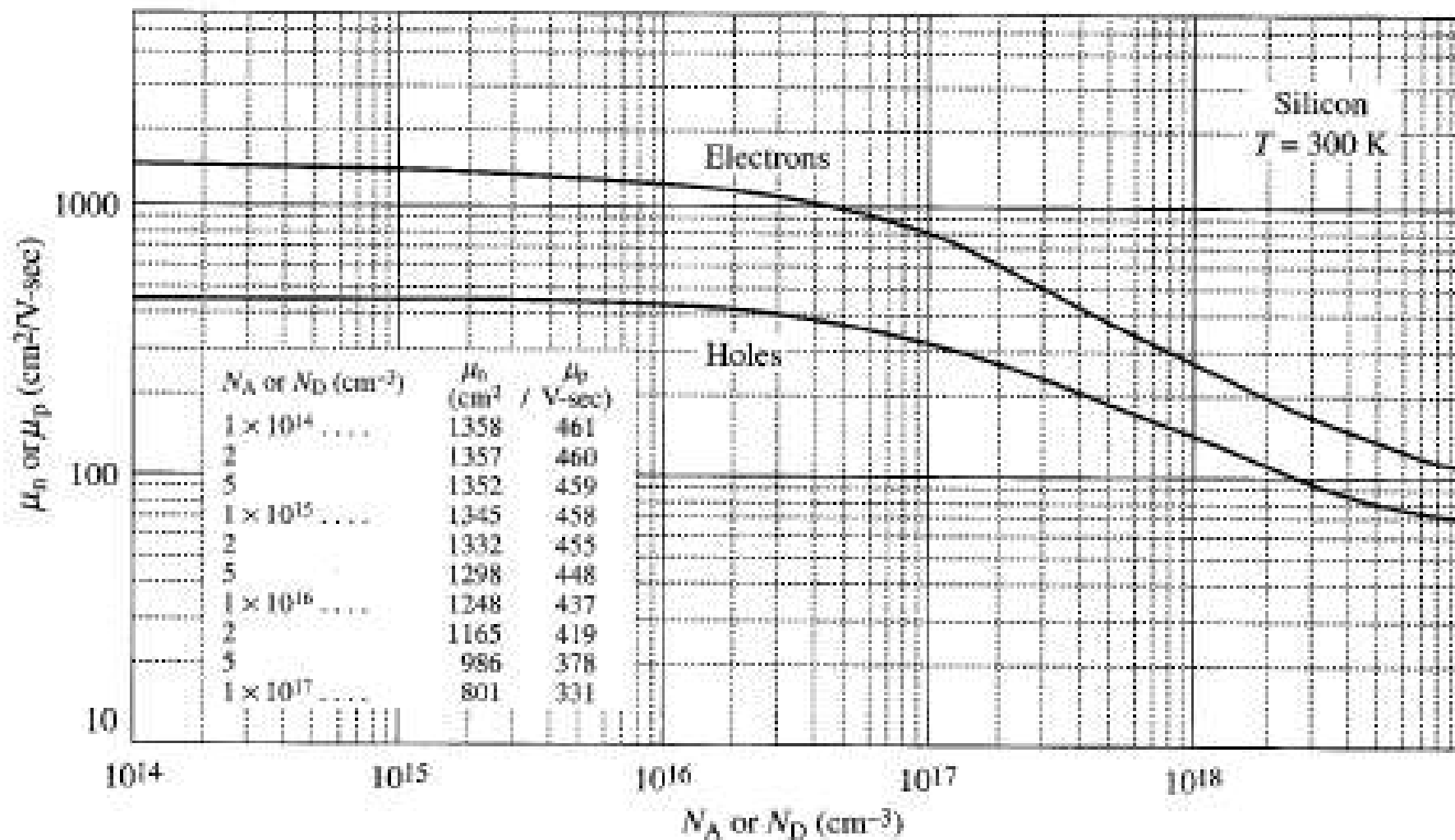
$$dt = \sum_i dt/\tau_i, \text{ poichè } \mu \propto \tau \text{ si ha } \frac{1}{\mu} = \sum_i \frac{1}{\mu_i}$$

- due meccanismi di scattering:
- impurezze $\mu \propto T^{3/2}$

- fononi $\mu \propto T^{-3/2}$

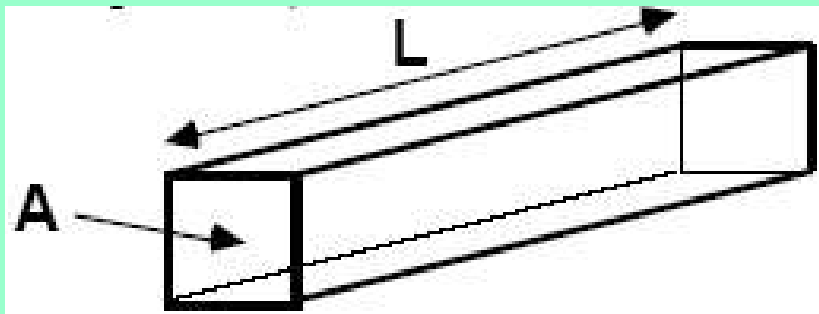


Effetto del drogaggio su μ



Corrente elettrica

- sotto l'azione del campo elettrico si ha un flusso di corrente



$$I_n = A \sum_i -qv_i = -qAnv_{dn} = qAn\mu_n \mathcal{E}$$

analogamente $I_p = qApv_{dp} = qAp\mu_p \mathcal{E}$

$$I/A = J = (I_n + I_p)/A = q(n\mu_n + p\mu_p) \mathcal{E}$$

$$R = \rho \frac{L}{A} = \frac{V}{I} \quad \text{poichè} \quad \mathcal{E} = V/L$$

$$\rho = \frac{V/L}{I/A} = \frac{1}{q(n\mu_n + p\mu_p)} = \frac{1}{\sigma}$$

ρ = resistività (ohm·cm)

σ = conducibilità (ohm⁻¹·cm⁻¹)

Resistività del silicio

