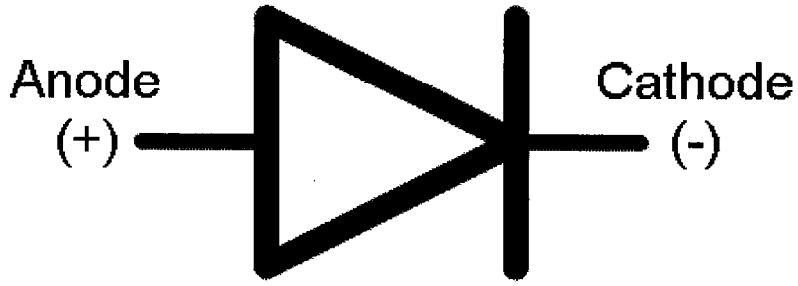
Riassunti dettagliati

DISPOSITIVI

(prof. Pennelli)



- Introduzione
- Diodi
- Transistori BJT
- Condensatori MOS
- Transistori MOS
- Contatti metallo-silicio
- Transistori JFET

Edoardo Caciorgna

(email: edo.ca1999@gmail.com)

master COPY

master COPY

Valido nei metalli ⇒ Alluminio 3° gruppo = 13 elettroni { 10 = per se, 2 per legami, 1 libero

Modello di Drude (elettroni liberi ~ particelle di gas)

↳ se $\mathcal{E}_{ext} = 0$ posso schematizzare la energia cinetica media degli elettroni

$$\frac{1}{2} m_0 \langle v \rangle^2 = \frac{3}{2} kT \quad \text{con } k = \text{cost. di Boltzmann} = 1{,}3806 \times 10^{-23}\ J/K$$

e $T = [K]$ kelvin

considero il modulo della velocità { $\langle \vec{v} \rangle = 0$ ← Definizione probabilistica ; $\langle |\vec{v}| \rangle = \sqrt{\frac{3KT}{m_0}}$

gli atomi si muovono in moto Browniano ← Def. Moto disordinato di particelle microscopiche

URTI con altri atomi

TERMALIZZAZIONE ← urto cancella memoria urti precedenti

↳ $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |v_i| = \sqrt{\frac{3KT}{m_0}}$ e $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \vec{v}_i = 0$ { ∀ elettr. libero con $v_x = |v_x|$; ∃ un $v_y = -|v_x|$

se applico un $\vec{\mathcal{E}} \neq 0$ ogni elettrone tra un urto e il successivo è soggetto ad una forza di:

$\vec{F} = -q\vec{\mathcal{E}}$ con $q = e = 1{,}602 \times 10^{-19}\ C$

$\vec{v}_i(t) = \vec{v}_i - \left[\frac{q\vec{\mathcal{E}}}{m_0}\right] t$ ↳ accelerazione dovuta a $\vec{\mathcal{E}}$

velocità termica $|\vec{v}_i| = \sqrt{\frac{3KT}{m_0}}$

$$\langle \vec{v}_i(t) \rangle = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \left(\vec{v}_i - \frac{q\vec{\mathcal{E}}}{m_0} t_i\right) = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \vec{v}_i\right)^{=0} - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{q\vec{\mathcal{E}}}{m_0} t_i = -\frac{q\vec{\mathcal{E}}}{m_0} \cdot \langle t \rangle$$

t_i = tempo tra un urto e il successivo ; $\langle t \rangle = \tau$ tempo medio urti

Come calcolo la corrente $\vec{J}$ dovuta a $\vec{\mathcal{E}}$ ← Considerando $\frac{q\tau}{m_0} = \mu_n$ ← mobilità elettroni

$$\langle \vec{v}(t) \rangle = -\mu_n \vec{\mathcal{E}}$$

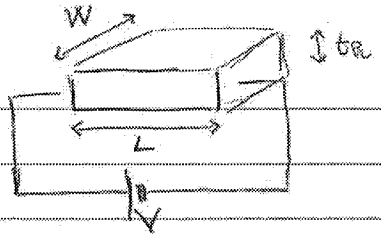
① Considero superficie generica ② cilindro con { $A_b = 1$; $h = \langle \vec{v} \rangle \cdot 1$ secondo $= -\mu_n \vec{\mathcal{E}}$

contiene un totale di $n_{elettroni\ Alluminio}$ { concentrazione elettroni ≡ concentrazione atomi Al ; 1 el. libero ∀ atomo di Al }

$$\vec{J} = \frac{dQ}{dt} = \frac{-q \cdot n_{el.\ lib.} \cdot \Delta e \cdot (-\mu_n \vec{\mathcal{E}})}{1} = q n \mu_n \vec{\mathcal{E}}$$

$\vec{J}$ = densità di corrente ; $\sigma_n = q n \mu_n$ = conducibilità elettrica

Per la corrente considero un blocchetto di alluminio



$$\mathcal{E} = \frac{V}{L} \longrightarrow \mathcal{J} = \sigma_n \frac{V}{L} = \sigma_n \mathcal{E}$$

$$I = \underbrace{W t_{Al}}_{\text{superficie}} \mathcal{J} = \sigma_n \frac{V}{L} W t_{Al} = \frac{V}{R} \quad \text{con} \quad R = \frac{1}{\sigma_n} \cdot \frac{L}{W t_{Al}}$$

legge di Ohm

misurando $\begin{cases} \cdot L, W, t_{Al} \\ \cdot \text{tensione applicata} \\ \cdot \text{corrente ottenuta} \end{cases}$ → ottengo $\rho_n = 1/\sigma_n$ resistività materiale (Al $\rho_{Al} = 28{,}2\ n\Omega \cdot m$)

$$\sigma_n = q \mu_n n \quad \text{con } n = 6{,}022 \times 10^{28}\ m^{-3}$$

Tempo medio tra urti

$$\tau = \frac{m_0 \mu_n}{q} = 2{,}1 \times 10^{-4}\ s \longleftarrow \mu_n = \frac{\sigma_n}{q n} = 0{,}003676\ m^2/Vs$$

Fisica dello Stato Solido

↳ principio di indeterminazione di Heisenberg $\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ con $h = 6{,}626 \times 10^{-34}\ J \cdot s$, $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}$

Comportamento probabilistico → Schroedinger

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U(\vec{r}) \psi(\vec{r}) = E \psi(\vec{r})$$

↳ elettroni $U(\vec{r}) = -qV(\vec{r})$

caso monodim.

CASO GENERALE $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x)$

↳ $|\psi(x)|^2$ ← densità di probab. di trovare

il modulo quadro è la densità di probabilità di trovare un elettrone nel punto x

considero $U(x) = 0$

$p(a \leq x \leq b) = \int_a^b |\psi(x)|^2 dx$ probabilità di trovare un elettrone tra i punti a e b

elettrone libero $(U(x) = 0)$ $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = E\psi(x) = \frac{1}{2} m v^2 \psi(x)$

↳ solo energia cinetica

* eq. differenziale secondo ordine omogenea $au'' + bu' + cu = 0$ → risolvo in $\mathbb{C}$ $az^2 + bz + c = 0$ → radici caratteristiche z_1, z_2 ② se $z_1 \neq z_2 \in \mathbb{R}$ $c_1 e^{z_1 t} + c_2 e^{z_2 t}$ ○

Risolvendo $-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = \frac{1}{2}mv^2\psi(x)$ [eq. differenziale secondo ordine] *

↓

$\psi(x) = Ae^{\alpha_1 x} + Be^{\alpha_2 x}$

↳ ricavo α_1, α_2 da equazione caratteristica

$-\frac{\hbar^2}{2m}\alpha^2 = \frac{1}{2}mv^2 \rightsquigarrow \alpha^2 = -E\cdot\frac{2m}{\hbar^2} \rightsquigarrow \alpha_1, \alpha_2 = \pm i\sqrt{E\frac{2m}{\hbar^2}}$

↓

$\psi(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}$ con $k = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} = \left[\frac{m^{-1}}{\text{metro}}\right]$

↓ trasformaz. trigonom.

$\psi(x) = C\sin(kx + \Theta)$ onda viaggiante

con k : vettore d'onda $= \frac{2\pi}{\lambda}$

↓

$E_{\substack{\text{classica}\\ \text{elettr. libero}}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$ ma $E = \frac{\hbar^2k^2}{2m}$

↓ ne risulterà che

$p = \hbar k$ con $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

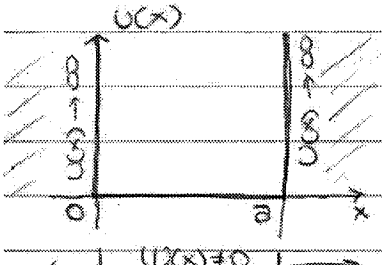
$\lambda = \frac{\hbar 2\pi}{p} = \frac{h}{p}$

es calcolo λ elettrone a 1 eV

$E = \frac{\hbar^2k^2}{2m} = \frac{h^2}{\lambda^2\cdot 2m}$ → $\lambda = \sqrt{\frac{h^2}{2mE}}$ ($\sim$ nm)

↓ Ovviamente più mi avvicino a dimensioni comparabili a quelle dell'onda devo considerare effetti ondulatori

Considero buca di potenziale



$\begin{cases} \psi(x) = 0 \quad \forall x \notin (0,a) \\ -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = E\psi(x) \quad \text{se } x \in (0,a) \end{cases}$

↓ risolvo $\psi(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx} \quad \forall x \in (0,a)$

$\begin{cases} \cdot\ \psi(0) = 0 = A + B \rightsquigarrow A = -B \leftarrow \text{condizioni al contorno} \\ \psi(x) = A(e^{ikx} - e^{-ikx}) = C\sin(kx) \\ \cdot\ \psi(a) = 0 = C\sin(ka) \rightsquigarrow ka = n\pi \end{cases}$

"eq. d'onda ha soluzione solo per valori discreti"

QUANTIZZAZIONE ENERGIA

$E = \frac{\hbar^2k^2}{2m} = \frac{\hbar^2\pi^2}{2ma^2}n^2$

AUTOVALORI

⇓

$\psi(x) = C\sin\left(\frac{n\pi}{a}x\right)$

master COPY