Ingegneria Elettronica

Appunti di

DISPOSITIVI ELETTRONICI

(appunti del corso del Prof. G. Pennelli)

a cura di Simone H.

master COPY COPISTERIA

master COPY





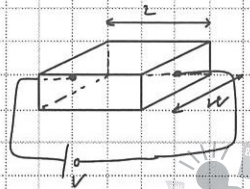


Simone H.
Appunti di Dispositivi Elettronici
© Simone H., 2019
Tutti i diritti riservati

6/03

Modelli → si cerca di esprimere in formule un certo fenomeno, non sono unici

es: (Resistore)

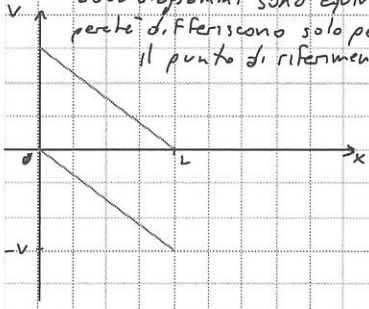


$V = RI$

$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{L}{W \cdot th}$ → legata alle dimensioni del materiale; ↓ legata alle proprietà del materiale

Resistività $[\rho] = \Omega \cdot m$ ‖ Legge Ohm MACROSCOPICA

Assumo che il materiale è uniforme ⇒ l'andamento del potenziale è lineare



I due diagrammi sono equivalenti perché differiscono solo per il punto di riferimento

Legge di Ohm microscopica → $J = \sigma \mathcal{E}$ $\sigma = \frac{1}{\rho}$

$\mathcal{E}$ cost ‖ $\mathcal{E}$ → campo elettrico ϵ → cost dielettrica

E → energia

densità di corrente → $J = \frac{I}{S} = \frac{I}{W \cdot th}$ $[J] = \frac{A}{m^2}$

$V = RI$ $V = \rho \frac{L}{W \cdot th} \cdot I$ $\frac{V}{L} = \frac{\rho I}{W \cdot th}$ $[\mathcal{E} = \rho J] \rightarrow J = \frac{1}{\rho} \mathcal{E}$

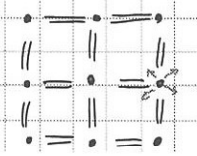
Modello conduzione solidi

- Perché conducono i solidi → per le cariche libere → cariche mobili negative
- La presenza di cariche elettriche qualifica il materiale dal punto di vista della conduzione elettrica

CONDUTTORI → $\rho_{Al} = 2,7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$ $\rho_{Ag} \simeq \frac{\rho_{Al}}{2} = 1,62 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$ ‖ Conducibilità termica → 2000 W/mK

ISOLANTI → $\rho_{quarzo} = 10^{16}\ \Omega \cdot m$ (SiO_2) (ossido di silicio) ‖ Conducibilità termica → 1 W/mK

- Diff tra conduttori e isolanti è un fattore > 20 unità di grandezza
- Un buon conduttore elettrico, in genere, è un buon conduttore termico (no, il contrario)
- Diamante è un ottimo conduttore termico ma un isolante quasi perfetto (per le vibrazioni reticolari)
- Gli atomi oscillano intorno ad una posiz. di equil. secondo la forma di un reticolo cristallino



‖ reticolo cristallino

- Le vibrazioni degli atomi dà alla temperatura

SEMICONDUTTORI

- Misto tra conduttori e isolanti
- ρ si può controllare introducendo delle impurezze (drogaggio)

$\rho_{Si} = 10^3\ \Omega\cdot m \rightarrow$ 0,01 ÷ 10 $\Omega\cdot m$
(non drogato) (drogato)

Metallo

$q \rightarrow$ carica elementare $= 1{,}602\cdot10^{-19}$
|carica elettrone| $\rightarrow e = -|q|$

- Perché conduce? per le cariche libere (elettroni)

[come si legano σ e ρ nel materiale]

$n \rightarrow [n] = \frac{1}{m^3}$ oppure $\frac{1}{cm^3}$ = concentrazione di elettroni liberi nel materiale che contribuiscono alla conduzione

Al 13 III gruppo
↳ 3 elettroni di valenza per formare legami → in realtà solo 1 contribuisce alla conduzione (ogni atomo mette in comune 3 elettroni (3 elettroni liberi) ma solo 1 contribuisce alla conduzione)

n = N° atomi per unità di volume $[cm^{-3}]$ oppure $[m^{-3}]$ $\left(\neq N°\text{atomi}\cdot 13\right)$
↳ n° atomi in un cm^3 di materiale

per Al → ρ (densità) $= 2{,}7\ g/cm^3 = 2700\ kg/m^3$

$PA(Al) = 27\ g/mole$ ‖ media di vari gli isotopi

$N_a = 6{,}022\cdot10^{23}\ \frac{n°\text{atomi}}{mole}$

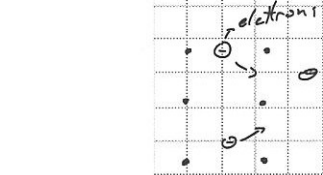
$$n = \frac{\rho_{dens}}{PA}\,N_a = 6{,}022\,10^{22}\ \frac{\text{atomi}}{cm^3} = 6{,}022\cdot10^{28}\ \frac{\text{atomi}}{m^3}$$

($\frac{\rho_{dens}}{PA}$: n° moli in $1\,cm^3$)

$cm^3 \xrightarrow{\times10^{-6}} m^3$, $m^3 \xrightarrow{\times10^{6}} cm^3$

quindi $[n \approx N_a]$ in un cm^3

Teoria di Drude → schematizza il comportamento degli n elettroni liberi in un solido si muovono liberamente nel solido e seguono una legge simile a quella dei gas perfetti



Energia cinetica media $\frac{1}{2}m_0\langle v\rangle^2 = \frac{3}{2}K\vec{T}^{cost\ di\ Boltzmann} = 8{,}618\cdot10^{-5}\ eV$ (T = 300 K) $\rightarrow \langle v\rangle = \sqrt{\frac{3KT}{m_0}}$

$KT \rightarrow 0{,}02585$ ‖ è un'energia

T° ambiente (di default)

$m_0 \rightarrow$ massa elettrone

$m/s\ \langle v\rangle = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|v_i| = \sqrt{\frac{3KT}{m_0}}$ ‖ media val assoluti

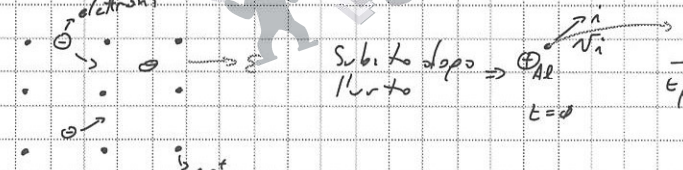
vettorialmente $\rightarrow \langle\vec{v}\rangle = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\vec{v}_i = 0$ $\left(\vec{v}_{el}\ \text{di}\ C\right)$ ‖ velocità termica media (vettoriale)

se da qualche parte ho un elettrone che si muove con velocità $\vec{v}_i$, per le leggi dei grandi numeri, da un'altra parte un altro elettrone con stessa $\vec{v}_i$ in modulo e direzione

ma verso opposto (questa è la situazione all'equilibrio)

-Cosa ha apportato Drude? - Gli elettroni subiscono continuamente degli urti o tra due elettroni o, ancora più frequente, quando passano vicino ad un atomo. La legge di Drude si basa sul come avvengono questi urti che sono continui → schematizza l'urto come completamente termalizzante (quando un elettrone subisce un urto alla velocità $\bar{v}_i$ (a T°C) causa uno scambio di energia e quindi un cambio di T°C e le velocità dopo gli urti variano casualmente anche se nell'ordine di $\langle v \rangle$ (quindi Drude assume il modello dell'urto termalizzante)

-ora applico un campo elettrico → gli elettroni hanno una velocità casuale



dal teo dell'impulso

$\bar{v}_i = \bar{v}_{i0} + \frac{\bar{F} \cdot t}{m_0}$ $\quad \bar{F} = -q\bar{\mathcal{E}}$ $\quad (q = |-e|)$ $\quad m_0 = 9{,}8 \cdot 10^{-31}\ kg$

$= \bar{v}_{i0} - \frac{q\mathcal{E}t}{m_0}$

ora calcolo la velocità media

$\langle \bar{v} \rangle = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |\bar{v}_i| = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{v}_{i0} - \frac{q\bar{\mathcal{E}}t_i}{m_0}\right) = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{q\bar{\mathcal{E}}t_i}{m_0} = \frac{q\bar{\mathcal{E}}}{m_0}\cdot\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i = \frac{q\bar{\mathcal{E}}}{m_0}\bar{\tau}$

(t_i: tempo trascorso per ogni urto; $\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{v}_{i0} - \frac{q\bar{\mathcal{E}}t_i}{m_0}\right)$: $= \emptyset$; $\bar{\tau}$: tempo medio tra gli urti (o del cammino libero medio) → costante nel tempo)

la velocità >> a causa di $\mathcal{E}$ fino all'urto successivo e dopo questo urto l'elettrone ne esce con una velocità che dipende solo da T°
(tutta l'energia accumulata la scambia con l'atomo ⇒ l'energia diventa calore)

cammino libero medio $\bar{l} = \langle v \rangle \bar{\tau} = \sqrt{\frac{3KT}{m_0}}\,\bar{\tau}$ ‖ distanza media percorsa da ogni elettrone tra un urto e il successivo

$\langle \bar{v} \rangle = \begin{cases} \emptyset & \bar{\mathcal{E}} = \emptyset \\ -\frac{q\bar{\tau}}{m_0}\bar{\mathcal{E}} & \bar{\mathcal{E}} \neq \emptyset \end{cases}$ ‖ visto prima

nota: $\mathcal{E}$ spinge gli elettroni nel verso opposto perché questi ultimi sono negativi

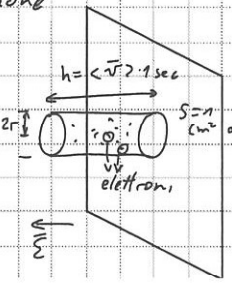
$\bar{\tau} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i$

μ_n → mobilità elettroni

$\Rightarrow \langle \bar{v} \rangle = -\mu_n \bar{\mathcal{E}}$ $\propto \bar{\mathcal{E}}$ con cost di proporzionalità μ_n

↳ assomiglia all'attrito viscoso ma si chiama velocità di Drift (velocità media $\propto \bar{F}$, l'accelerazione dopo l'urto se non ci fossero attriti >> ma in pratica questa accelerazione viene distrutta)

Prendo la sezione



$d_i = \frac{dq}{dt}\|_{i\ di\ drift}$

$dJ = \frac{dq}{dt \cdot dS}$

$\bar{J} = -q \cdot v \cdot m$ (cost: $5{,}02 \cdot 10^{22}$) $\quad \bar{J} = \sigma\bar{\mathcal{E}}$

$\bar{J} = -q\langle \bar{v} \rangle \cdot m = q\mu_n n\bar{\mathcal{E}}$ ($\frac{C}{1\,m^2}$) $\quad \sigma = q\mu_n n$

(i_{drift}) $\propto \mathcal{E}$ legata alle proprietà del materiale $\mu_n = \frac{q}{m_0}\tau \sim 10^{2}$ sia al n° di elettroni che alla mobilità