DISPOSITIVI ELETTRONICI (2016-2017)

1) PRINCIPI BASE

Dal punto di vista della capacità di condurre elettricità i solidi possono essere divisi in tre grandi categorie:

- CONDUTTORI: $10 \leq \rho \leq 30\ m\Omega \cdot m$ (Alluminio)
- SEMICONDUTTORI: $1 \leq \rho \leq 100\ \Omega \cdot m$ (Silicio, Arseniuro di gallio)
- ISOLANTI: (Ossido di silicio) $\rho \geq 10^9\ \Omega m$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Il nome "SEMICONDUTTORI" è azzeccato, perché sono una via di mezzo per le altre due categorie, vengono usati per realizzare i dispositivi elettronici e per i circuiti integrati (CHIP: pezzi di silicio monoblocco in cui sono realizzati i dispositivi)

Un modello (molto semplicistico che rappresenta la buona conducibilità dei metalli assume che gli atomi si leghino tra loro in modo da formare un reticolo cristallino ordinato, nel fare questo ciascun atomo mette in comune con tutti gli altri i propri elettroni di valenza.

La CORRENTE ELETTRICA I nei solidi è la carica che passa da una sezione per unità di tempo (essenzialmente è portata dagli elettroni liberi di muoversi nel solido e per questo detti PORTATORI DI CARICA o PORTATORI LIBERI).

Un solido potrà condurre tanto più corrente quanti più elettroni liberi ci sono, otteniamo così il primo parametro per determinare la conducibilità di un solido.

Indichiamo questo parametro con "n", che è dunque la concentrazione di elettroni liberi di muoversi.

$$[n] = m^{-3}$$

- *Esempio*: Alluminio → Assumiamo che ogni atomo metta a disposizione un elettrone libero di muoversi nel solido, avremo che

$$n = N_{atomi} \quad \text{(numero di atomi per unità di volume)}$$

La concentrazione si può calcolare in questo modo:

$\rho_{Al} = 2{,}7\ g/cm^3 \qquad P_{A_{Al}} = 27\ g/mole \qquad N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23}\ \frac{molecole}{mole}$

$1\ cm^3$ di Al contiene $\frac{2{,}7}{27} = 0{,}1$ moli $\rightarrow n = N_a = N_A \cdot 0{,}1 = 6{,}022 \cdot 10^{22}$ atomi di Al

La concentrazione di portatori liberi distingue i conduttori (n elevato) dagli isolanti (n piccolo) e dai semiconduttori. Per quest'ultimi il calcolo del valore di n è molto delicato e verrà illustrato più avanti, in particolare n, nei semiconduttori più comuni si controlla mediante i processi di drogaggio.

MODELLO DI DRUDE

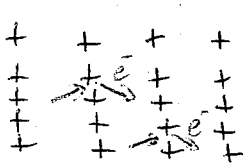
Prima di vedere il secondo parametro che determina la conducibilità (la mobilità μ_n) dobbiamo determinare un modo per derivare come e quanto velocemente si muovono i portatori di carica (la corrente misura quanto velocemente può muoversi la carica per effetto di un campo elettrico).

Dai corsi di fisica sappiamo che la relazione tra corrente e campo elettrico è:

$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$$

Se quindi applico un $\vec{E}$ ad una lastra di alluminio, ci sarà un transitorio e dopo scorrerà una corrente costante. Il problema è che se questa relazione fosse vera la corrente aumenterebbe all'infinito sotto l'azione del campo elettrico (cosa falsa).

Il modello di Drude si basa su un reticolo di ioni che ha perso un elettrone e degli elettroni liberi che si muovono in tale reticolo subendo continuamente urti



Il movimento degli elettroni è un movimento caotico con una traiettoria completamente casuale. Gli elettroni si muovono a causa della temperatura (vedi gas ecco modo di agitazione delle molecole)

Drude schematizza gli elettroni liberi di muoversi come un gas di particelle, la cui velocità media è determinata dalla temperatura del solido.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Analogamente alle molecole di un gas perfetto:

$$\frac{1}{2} m \langle v \rangle^2 = \frac{3}{2} kT \rightarrow \langle v \rangle = \sqrt{\frac{3k_b T}{m}}$$

Abbiamo così ottenuto il valor medio del modulo di v, ovvero la media degli elettroni in un cm^3:

$$\langle v \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |\vec{v}_i| = \sqrt{\frac{3k_b T}{m}}$$

L'energia cinetica media dell'elettrone dipende dalla temperatura, gli ioni non stanno fermi ma oscillano intorno alla loro posizione di equilibrio a causa della temperatura

Se $\vec{E}=0$ quindi l'energia totale del sistema dipende dalla temperatura.

Se adesso calcolo

$$\langle \vec{v}_e \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \vec{v}_i = \emptyset$$

le velocità degli elettroni hanno direzione e verso casuali; se un elettrone ha velocità termica $\vec{v}_i$, per la legge dei grandi numeri ne esisterà sicuramente un altro con velocità $-\vec{v}_i$

→ La media delle velocità termiche è $\emptyset$

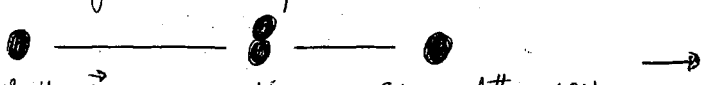
Complessivamente avremo che il gas di elettroni rimane fermo, rispetto a condizioni normali, senza applicare un campo elettrico, la corrente prodotta per qualsiasi sezione del filo è $\emptyset$.

In realtà gli elettroni non mantengono la loro velocità indefinitamente, perché subiscono costantemente degli urti tra loro e, soprattutto, con gli ioni fissi del reticolo. Possono anche reagire con le impurezze (sempre presenti) e con i difetti del reticolo.

SENZA CAMPO ELETTRICO ogni i-esimo elettrone mantiene la sua velocità $\vec{v}_i$ per un tempo t_i (casuale), dopodiché subisce un urto e modifica la sua velocità.

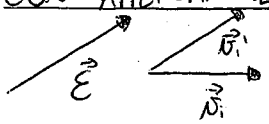
L'energia dell'urto viene redistribuita tra elettroni e ioni e la temperatura resta quindi invariata ($\vec{E}=\emptyset$).

Quindi schematizzo gli urti in questo modo:



→ L'URTO ANNULLA LA MEMORIA DELL'ELETTRONE

CON APPLICATO IL CAMPO ELETTRICO le cose cambiano:



l'elettrone devia la sua traiettoria sotto l'azione di $\vec{\mathcal{E}}$

Tra un urto e l'altro ogni elettrone è soggetto ad una forza

$$\vec{F}_\varepsilon = -q \cdot \vec{\mathcal{E}}$$

Dopo l'urto un generico elettrone esce con una velocità $\vec{v}_i$, dipendente dalla sola temperatura, tuttavia $\vec{v}_i$ non è più costante nel tempo che intercorre tra i due urti, infatti:

$$\vec{v}_i(t) = \vec{v}_{i_0} - \frac{q}{m_0}\vec{\mathcal{E}} \cdot t_i$$

Da questa relazione andiamo a calcolare la velocità media in un cm^3

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\vec{v}_{i_0} - \frac{q}{m_0}\vec{\mathcal{E}} \cdot t_i\right) = 0 - \frac{1}{n}\frac{q}{m_0}\vec{\mathcal{E}}\sum_{i=1}^{n} t_i$$

Definiamo $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i = \tau$ (TEMPO DI RILASSAMENTO) → E' il tempo medio tra gli urti.

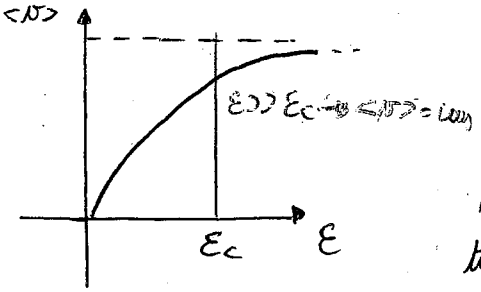
→ $\langle \vec{v} \rangle = -\frac{q}{m_0}\vec{\mathcal{E}}\,\tau = -\frac{q\tau}{m_0}\vec{\mathcal{E}}$ → Definiamo il secondo parametro che determina la conducibilità: la MOBILITA' ELETTRICA μ_n

→ $\mu_n = \frac{q\tau}{m_0}$

Allora riscriviamo la relazione

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

Non è vero che gli elettroni sotto l'effetto di un campo elettrico accelerano sempre, essendo continuamente urtati l'elettrone perde continuamente memoria dell'accelerazione subita → L'accelerazione c'è solo tra un urto ed il successivo, la velocità è quindi costante (non è ovviamente perché la risultante delle forze è nulla).

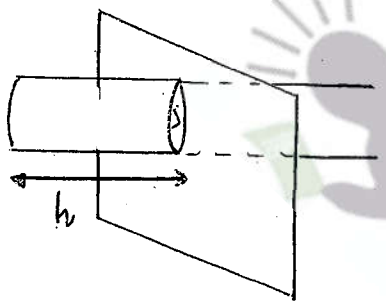


Gli elettroni che si muovono in un metallo subiscono urti e questo fa sì che il loro comportamento sia viscoso. L'assunzione che la velocità subito dopo l'urto sia quella dovuta alla temperatura è vera per $\vec{E}$ non troppo intensi.

Tutto quello che abbiamo detto si basa sull'ipotesi che la $\Delta\vec{v}$ dovuta al campo sia piccola rispetto a quella dovuta alla temperatura (vero nel 90% dei dispositivi che andremo). L'energia che l'elettrone acquisisce dall'azione del campo $\vec{E}$ viene messa a comune con tutto il sistema dopo l'urto, quindi aumenterà l'energia media formando così energia termica.

La VELOCITÀ DI TRASCINAMENTO è la velocità che acquistano gli elettroni sotto l'effetto di un campo elettrico.

Calcoliamo ora la DENSITÀ DI CORRENTE J in un conduttore in cui è applicato un campo elettrico $\vec{E}$.



Prendiamo un cilindro con base S unitaria posta sulla sezione e altezza h pari a

$$h = \langle \vec{v} \rangle \cdot 1_s$$

Tutte le cariche mobili che si trovano all'interno di questo cilindro hanno velocità media pari a:

$$\langle \vec{v} \rangle = -\mu_n \vec{E}$$

E attraversano S in un secondo. Avremo dunque:

$$J = \text{carica} \cdot \frac{\text{n° elettroni cilindro}}{\text{secondo}}$$

$$J = -q \cdot n \cdot S \cdot h \cdot \frac{1}{\Delta} = -qnS\mu_n \cdot \Delta v \cdot \frac{1}{\Delta} \quad (S=1)$$

$$\vec{J} = -qn\vec{v} = q\mu_n n \vec{E} \rightarrow \text{Definiamo la CONDUCIBILITÀ come:}$$

$$\rightarrow \vec{J} = \sigma_n \vec{E} \qquad \sigma_n = q\mu_n n \ (\text{LEGGE DI OHM IN FORMA MICROSCOPICA})$$