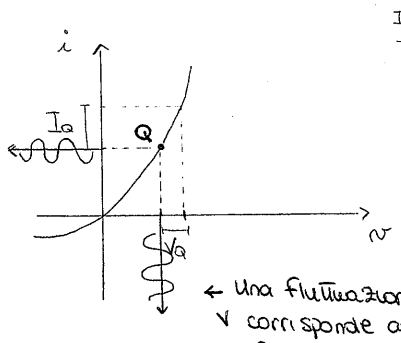
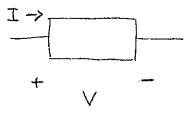
• LINEARIZZAZIONE •

I circuiti su cui lavoriamo sono NON LINEARI e spesso vi saranno dissipazioni di potenza.





← Una fluttuazione di V corrisponde ad una fluttuazione di I, in quanto la corrente è una funzione della tensione: $I = f(V)$

- Vogliamo far funzionare il dispositivo in Q, detto PUNTO DI LAVORO o DI RIPOSO, poiché è la zona in cui ho condizione di lavoro migliore.
- Prenderemo un segnale piccolo che mi farà variare la tensione e di conseguenza cambierà anche la corrente.

[" COMMUTAZIONE TENSIONE → → COMMUTAZIONE CORRENTE "]

1) Studiamo il nostro circuito: troviamo il punto Q (di riposo/lavoro), in seguito ad una fluttuazione in ingresso e di conseguenza anche in uscita.
→ Troverò una connessione non lineare tra queste fluttuazioni, ma posso LINEARIZZARLA.

2) Lavoro attorno al punto di RIPOSO Q (x_0, y_0) ed approssimo la funzione con lo sviluppo di Taylor:

$I = f(V) \sim y = F(x)$

TAYLOR:

$$y = f(x) \cong \sum_{m=0}^{+\infty} \frac{1}{m!} \frac{d^m F(x)}{dx^m}\Big|_{x=x_0} (x - x_0)^m$$

→ ci fermiamo al 1° ordine, così è lineare.

$$y \cong \underbrace{f(x_0)}_{y_0} + \frac{df(x)}{dx}\Big|_{x=x_0} (x - x_0)$$

$$\Rightarrow \underbrace{y - y_0}_{\text{VARIAZIONE DELL'ORDINATA}} \cong \frac{df(x)}{dx}\Big|_{x=x_0} \underbrace{(x - x_0)}_{\text{VARIAZIONE DELL'ASCISSA}}$$

(attorno a Q)

Nello specifico:

$$I = f(V) \cong \sum_{m=0}^{+\infty} \frac{1}{m!} \frac{d^m f(V)}{dV^m}\Big|_{V=V_Q} (V - V_Q)$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

3) Abbiamo linearizzato la funzione attorno al p.to di riposo: ad una variazione in ingresso di V_Q corrisponde una variazione in uscita di I_Q.

$$\Delta i \approx \frac{df(x)}{dx}\Big|_{x=x_0} \Delta v$$

$$\left[\frac{\Delta i}{\Delta v} \approx \underbrace{G_d}_{\text{RESISTENZA DIFFERENZIALE O CONDUTTANZA}} = \frac{dI}{dv}\Big|_{I=I_Q} = \frac{1}{R_d}\right] \rightsquigarrow \text{LE VARIAZIONI SONO PROPORZIONALI}$$

Riassumendo:
1) Analizzo il circuito in corrente continua ($f = 0$)
2) Trovo PUNTO DI LAVORO
3) Trovo PARAMETRI DIFFERENZIALI
4) Linearizzo il circuito con il componente approssimato

⇒ Trovo un CIRCUITO EQUIVALENTE per le VARIAZIONI

Nel nostro caso:

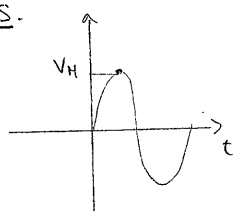


[ci interessa la Δout in corrispondenza di una ΔIN]

• CONVENZIONI - NOMENCLATURA •

①
- i, v minuscolo → quantità variabili nel tempo.
- I, V MAIUSCOLO → valori di picco che non dipendono dal tempo, o valori medi, valori costanti

ES.



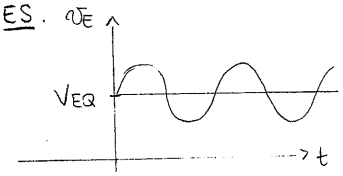
$v(t) = V_H \sin(\omega t)$
- $v(t)$ → VARIABILE NEL TEMPO
- V_H → VALORE PRECISO DI PICCO

② PEDICI:

V_E pedice MAIUSCOLO → quantità totali o valori medi

v_e pedice minuscolo → quantità variabile

ES. v_E



$v_E(t) = V_{EQ} + V_{em} \sin(\omega t)$
- V_{EQ} → valore MEDIO: quantità costante
- $v_E(t)$: v: dipende dal t; E: mi riferisco alla quantità complessiva
- V_{em}: V: valore di picco della sinusoide; em: si riferisce alla variazione rispetto al valore medio

- $v_E(t) = V_{EQ} + v_e$
  - $v_E(t)$ → quantità dipendente dal tempo ma complessiva
  - v_e → quantità dipendente dal tempo ma solo di variazione.
- $v_A - v_B = v_{AB}$
- I versi positivi delle correnti sono entranti nei dispositivi.

• VALORE EFFICACE •

$$P = v \cdot i = R \cdot i \cdot i = R \cdot i^2 = \frac{v^2}{R}$$

$$E = \int_0^T p(t)\,dt = R \int_0^T i^2\,dt = T \cdot R \cdot \frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt$$

→ VALORE QUADRATICO MEDIO

$$E = TR\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt \rightarrow I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt}$$

: VALORE EFFICACE = RADICE DEL VALORE QUADRATICO MEDIO

allora $E = TR\,I_{eff}^2$, cioè il valore di energia nel circuito con corrente alternata è uguale a quello con la I_{eff} che però è continua.

ES. Se $i(t) = I_M \sin(\omega t)$ →

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2\,dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I_M^2 \cdot \sin^2(\omega t)\,dt} = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$$

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

$T = \frac{2\pi}{\omega}$

- I_M è il valore massimo

Quindi nel caso di una forma sinusoidale il valore efficace si trova come:

$$\frac{\text{VALORE MAX}}{\sqrt{2}}$$

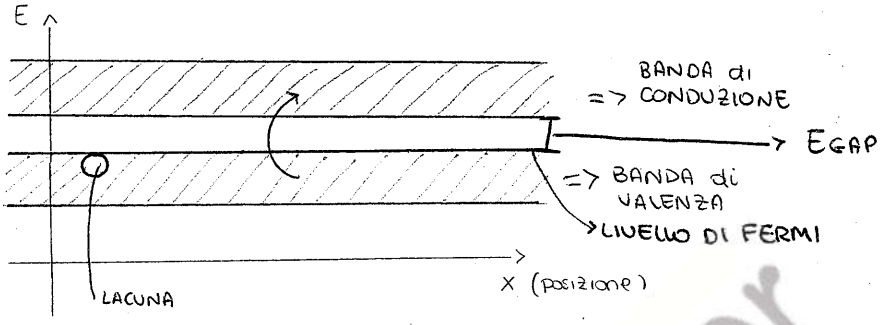
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

• CONDUTTORI, SEMICONDUTTORI e ISOLANTI •

RESISTIVITÀ MATERIALE
- $\rho < 10^{-2}\ \Omega \cdot cm$: CONDUTTORI
- $10^{-2}\ \Omega cm < \rho < 10^{5}\ \Omega cm$: SEMICONDUTTORI
- $\rho > 10^{5}\ \Omega cm$: ISOLANTI

• Consideriamo un materiale cristallino, i cui atomi sono posizionati in luoghi ben precisi del cristallo. In presenza di un POTENZIALE REGOLARE, si ha la formazione di BANDE ENERGETICHE.



Certi livelli di energia sono permessi: studiando le materiale a livello atomico conosciamo gli elettroni, sia quelli nel livello più basso, sia quelli nel livello più alto.
Gli elettroni "interni" non contribuiscono alla conduzione, mentre quelli più esterni sì.

(1) Applicando una ΔV gli elettroni si muovono all'interno della banda andando nei vari livelli energetici della banda stessa → dando vita a correnti : **CONDUTTORI**

(2) Quando non vi sono "posti liberi" in cui andare, e formiamo molta E per vincere il GAP, oppure non riesce a scorrere la corrente: SE IL GAP È ALTO NON CONDUCE → **ISOLANTE**

(3) Quando il GAP è piccolo si parla di **SEMICONDUTTORI**. ["è facile far saltare gli elettroni"]

QUINDI:
- Se l'elettrone è in mezzo alla banda e basta poca ΔV per farlo salire fino alla fine della banda → CONDUTTORE
- Se l'elettrone è al limite della banda, dipende da Egap
  - GRANDE → ISOLANTE
  - PICCOLO → SEMICONDUTTORE

• Se l'elettrone si sposta lascia una LACUNA, un vuoto che viene trattato come una carica positiva
[h] → "HOLES"

• "MASSA EFFICACE": dipende dalla banda
- B. CONDUZIONE: massa positiva
- B. VALENZA: massa negativa.

ES. e^- e^- ○ (VUOTO) e^- e^- —Applico una ΔV→ $-$ e^- e^- ○ (VUOTO) e^- e^- $+$

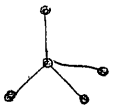
questo elettrone è attratto dal ⊕ e si sposta, coprendo il buco

⇒ $-$ e^- ○ (VUOTO) e^- e^- e^- $+$ e così via, la lacuna si è spostata verso sinistra.

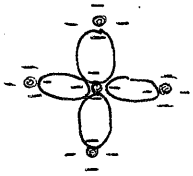
MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

Il semiconduttore più impiegato nei circuiti è il **SILICIO.** (Si)
[è al 4^ gruppo]

3D:



2D:



- Sul livello più esterno ci sono 4 elettroni di valenza; tra 2 elettroni di 2 atomi di silicio vi sono legami covalenti.
  L> Dal p.to di vista chimico quindi ogni atomo risulta unito da legami covalenti ad altri 4 atomi, i quali assumono nello spazio le posizioni dei vertici di un tetraedro regolare.
  A T ambiente ogni elettrone possiede energia sufficiente a liberarsi dal legame covalente: quando ciò accade nel cristallo si individuano 2 cariche elettriche libere di tipo: l'ELETTRONE e la LACUNA.

- L'Energia può essere sufficiente a compere il legame covalente —> quindi un elettrone può spostarsi in BC lasciando una LACUNA, mentre la lacuna si muoverà in BV
  —> si ha la **COPPIA ELETTRONE-LACUNA.**
  Può anche avvenire il contrario: l'elettrone da BC scende e arriva in BV ed occupa una lacuna che scompare —> **RICOMBINAZIONE ELETTRONE-LACUNA**

- All'equilibrio la velocità alla quale la coppia elettrone-lacuna si forma è uguale a quella della RICOMBINAZIONE.

- A REGIME vale: $\boxed{np = n_i^2}$ **LEGGE DI AZIONE DI MASSA**

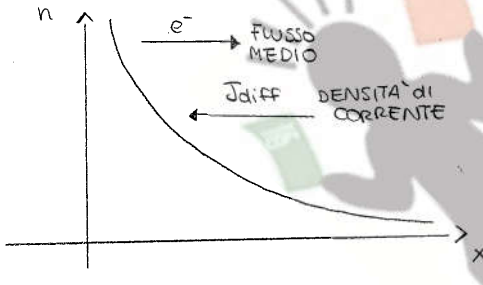
$$n \cdot p = n_i^2 = A_0 T^3 e^{-\frac{E_g}{kT}}$$

in cui:
n = concentrazione volumetrica degli elettroni.
p = concentrazione volumetrica delle lacune
n_i^2 = costante che dipende dal materiale e dalla temperatura

"SEMICONDUTTORI":
SILICIO (Si), GERMANIO (Ge) → SEMPLICI
ARSENURIO di GALLIO (GaAs) → COMPOSTI (da elementi anche diversi)

- Nella BV ci sono le lacune che si spostano, avrò cariche positive che si spostano: si formerà corrente.

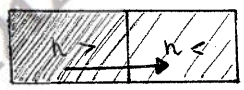
(1) CORRENTE di DIFFUSIONE



(1) ELETTRONI:

Se la temperatura è sopra i -273K il movimento degli e^- è caotico e perciò la densità degli elettroni non è uniforme ma dipende dalla posizione.

Normalmente il flusso degli elettroni è:



Gli elettroni si sposteranno da dove n> a dove n<
—> FLUSSO MEDIO da Sx a Dx.

$I = \frac{dQ}{dt}$ —> $J = \frac{I}{A}$: normalizzo la corrente su una superficie ed ottengo la **DENSITÀ DI CORRENTE**

A: Area sezione del materiale che considero

$$\Rightarrow \boxed{J_{diff_n} = qD_n \frac{dn}{dx}}$$

$\frac{dn}{dx}$: derivata della conc. volum. degli e^- rispetto alla posizione

DENSITÀ DI CORRENTE DI DIFFUSIONE

q: MODULO CARICA e^-
D_n: costante di DIFFUSIONE

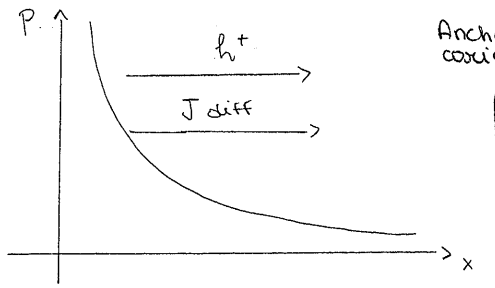
Nel nostro caso e^- →, ma ← J, cioè si ha J<0:

$qD_n > 0$; $\frac{dn}{dx} < 0$ => funzione decrescente.

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell 388 9837745

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

② LACUNE:



Anche le lacune si spostano per diffusione, ma stavolta sono cariche ⊕ => $J_{diff} > 0$

$$J_{diff_h} = -q D_h \frac{dp}{dx}$$

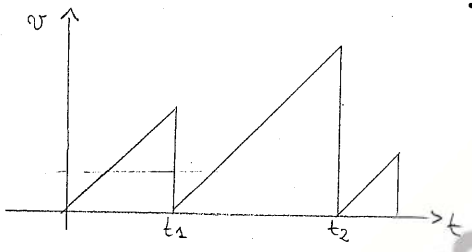
costante di diffusione per h^+

$\frac{dp}{dx} < 0 \Rightarrow J_{diff_h} > 0$

- Quindi le cariche elettriche si spostano e la densità di corrente è proporzionale alla derivata della concentrazione.

(2) CORRENTE di DERIVA o DRIFT → VELOCITÀ MEDIA ASSUNTA DA UNA A CAUSA DI UN CAMPO DI FORZE.

Se applico un campo elettrico questo fa spostare le cariche e crea una corrente di DRIFT. Applicare un campo elettrico costante vuol dire applicare una forza costante: $\vec{F} = Q\vec{E}$ => $\vec{E} = cost$ allora $\vec{F} = cost$ → Quindi la carica accelererà aumentando linearmente, ma all'interno del nostro materiale vi saranno delle irregolarità che faranno variare la v degli elettroni

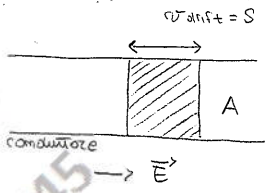


• MODELLO DI DRUDE e la $v \to 0$

Mediamente si avrà una velocità di DRIFT che è una velocità media:

$$v_{DRIFT} = \mu E$$

MOBILITÀ (N_n per elettroni e N_p per lacune)



Calcolo la carica che passa in 1 us nella A:

Vol = $v_{drift} \cdot A$

carica $\rho = pq$ => DENSITÀ CARICA (p: concentrazione delle lacune; q: carica della lacuna)

I = Vol · p carica

$I = (v_{drift} \cdot A)(p \cdot q) = (\mu E \cdot A)(pq)$

so che $J = \frac{I}{A}$

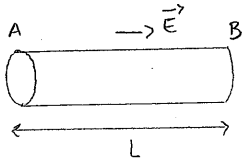
- $J_{DRIFT_p} = (\mu_p E)(pq)$ (velocità di deriva; p carica)
- $J_{DRIFT_e} = (\mu_e E)(nq)$

$$\Rightarrow \left[J_{DRIFT} = J_{DRIFT_p} + J_{DRIFT_e} = q(p\mu_p + n\mu_e)E = \sigma E \right]$$

SIGMA σ CONDUCIBILITÀ: $\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\text{RESISTIVITÀ}}$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745

OSS: $J = \sigma E$ è la rappresentazione della legge di OHM:



$J = \sigma E$ $\quad LJ = \sigma E L = \sigma \Delta V$ $\quad$ (*) $\oint_L E\,dl = \Delta V$

$\Delta V = V_A - V_B$

$JA \cdot L = \sigma A \cdot \Delta V$ (JA = I) $\Rightarrow \Delta V = \frac{IL}{\sigma A} = I\left(\frac{\rho L}{A}\right)R$