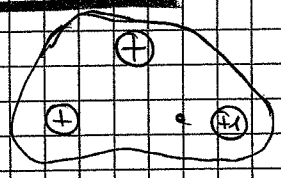
8-03-11

Prof Pennelli

Libro - Appunti di dispositivi e Tecnologie elettroniche
A Diligenti servizio universitario editoriale
- SZE Physics of semicontactor devices (E' in biblioteca)
- Muller Kamins Electronic devices for Integrated circuits
- STREETMAN State elettronic devices solid

RICHIAMI DI FISICA



Teorema di Gauss $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$ → il flusso del vettore D è uguale alla carica
$\vec{D}$ vettore di induzione elettrica

$$\int_S \varepsilon \vec{E} \cdot \vec{n}\, ds = Q$$

$\nabla \cdot \varepsilon \vec{E} = \rho(\vec{r})$ in forma differenziale

$$\int_S \varepsilon \vec{E} \cdot \vec{n}\, ds = \int_V \varepsilon \nabla \cdot \vec{E}\, dv$$

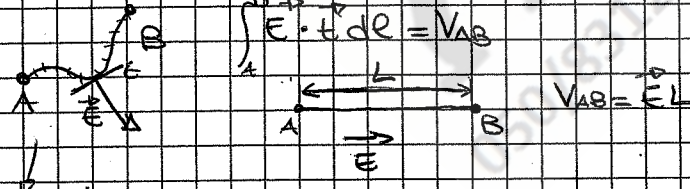
$$Q = \int_V \rho(\vec{r})\, dv$$

$$\int_V \nabla \cdot \vec{E}\, dv = \int_V \frac{\rho(\vec{r})}{\varepsilon} dv \qquad \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho(\vec{r})}{\varepsilon} \qquad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \frac{\rho}{\varepsilon}$$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\varepsilon}$$

POTENZIALE → non esiste in un punto → esistono le differenze di potenziale



$$\int_A^B \vec{E} \cdot \vec{t}\, dl = V_{AB}$$

$$V_{AB} = \vec{E} L$$

Qualsiasi percorso scegliamo V_{AB} era lo stesso poiché $\vec{E}$ è conservativo $\Rightarrow \vec{E} = -\nabla V \qquad E = -\frac{dv}{dx}$

MASSA → è il punto comune di riferimento

$$\frac{d}{dx}\left(-\frac{dV}{dx}\right) = \frac{\rho}{\varepsilon} \qquad \frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon}$$ EQUAZIONE di POISSON

$$\vec{E} = -\nabla V$$

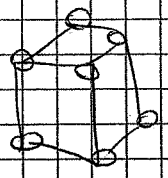
$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$$

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon}$$ in tre dimensioni

FASTCOPY
Tel. 050/556414

ELETTRONVOLT → energia che acquista una carica $q = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C sottoposta alla differenza di potenziale di 1 volt.

$$1eV = q \cdot 1V = 1.6 \cdot 10^{-19} J$$



CRISTALLOGRAFIA

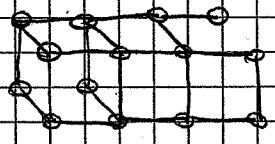
È la materia allo stato solido: - solidi cristallini = atomi in un reticolo ben organizzato

- solidi
- vetri
- materiali policristallini → i cristalli non sono uniformi ma sono a chiazze

Si usano per l'alluminio o quando si fanno le deposizioni

CIRCUITO INTEGRATO → chip di silicio dove sono realizzati dispositivi elettronici e varie interconnessioni

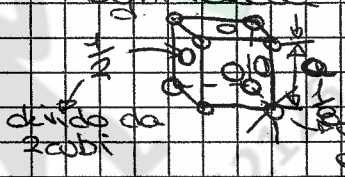
Sono in Al o Cu o polisilicio



reticolo cristallino cubico

struttura a corpo centrato (ccc) → ha un atomo all'interno del cubo

struttura a faccie centrate (fcc) → ha anche un atomo all'interno di ogni faccia



$\frac{1}{8} \cdot 8 + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4$ ← num° di atomi in una cella elementare

a = passo reticolare

↓

si determina sapendo la struttura del cristallo: si guarda il num° di atomi per unità di volume

CONCENTRAZIONE → n° atomi / cm^3 o m^3 ; cm^{-3} ; m^{-3}

$N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$ $\frac{\text{n° atomi}}{\text{mole}}$ numero di avogadro

Densità Al: $2.7\ g/cm^3 = 2.7\ t/m^3$

$PA(Al) = 26.98$ u.m.a

$1\ cm^3 \approx 0.1$ moli Al

$1\ cm^3 \approx 6.02 \cdot 10^{23} \cdot 0.1 \approx 6.02 \cdot 10^{22}$ $1/cm^3$ o $6.02 \cdot 10^{28}$ $1/m^3$

FASTCOPY
Tel. 050/556414

n.m° di celle elementari → è il n.m° di atomi in una unità di massa

$a = \sqrt[3]{\frac{4}{6.02 \cdot 10^{22}}} = 4.05 \cdot 10^{-8}\,cm$

$4.05 \cdot 10^{-10}\,m \rightarrow 4.05\,\text{Å}$

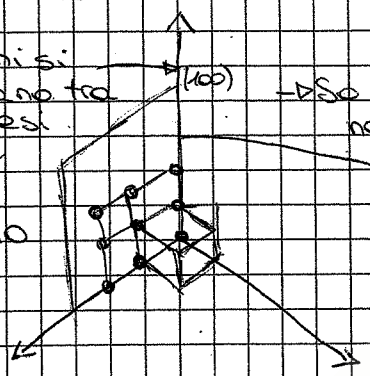
$0.405 \cdot 10^{-9}\,m = 0.405\,nm$

→ Ciascun atomo mette in comune un elettrone libero di muoversi nel reticolo

$n = 6 \cdot 10^{22}\,cm^{-3}$ n.m° elettroni liberi = n.m° di atomi

EQUAZIONE DELLA NEUTRALITÀ DI CARICA → $-qn + qN_{AE}^{+} = 0$

Indici di Milles → consentono di individuare i piani che formano il reticolo



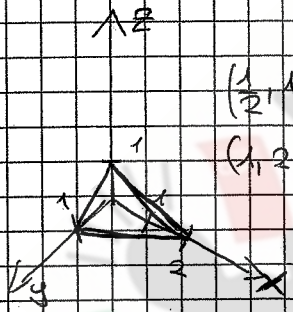
i piani si indicano tra parentesi tonde

i numeri sono 6 costanti reticolari dei punti di intersezione col piano.
O vol.dire intersezione all'∞

→ Se il piano comprende almeno 3 atomi ne può contenere infiniti

piano reticolare, si identifica con gli indici di Milles

FASTCOPY
Tel. 050/556414



$(\frac{1}{2}, 1, 1)$ → si fa il reciproco delle intersezioni con gli assi

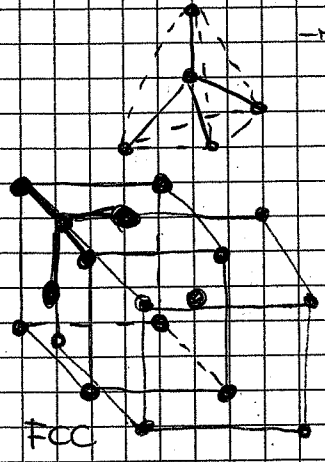
$(1, 2, 2)$ → si fa il minimo comune multiplo e poi si butta il denominatore.

Semiconduttori → si può controllare o in modo controllare la conducibilità. Con essi si fanno tutti i dispositivi, di cui poi il 90% si usa il Silicio. I dispositivi non in silicio possono illuminarsi.

Silicio (Si)

→ È del 4° gruppo ⇒ valenza = 4

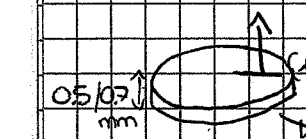
→ è un tetraedro e gli atomi sono equidistanti fra loro.



→ Quella mancante è la struttura tetraedrica del Si.

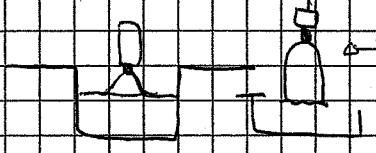
GaAs → semiconduttore che è una lega

↓ la struttura è la stessa solo che sono un FCC di Ga e un FCC di As traslati.



→ e⁻ monocristallino e le proprietà di lavoro dipendono dalla direzione del piano.

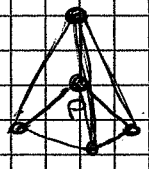
Il silicio nasce dalla sabbia che viene isolata e fusa



→ tipo oggi = tipo fuori un lingotto di Si. Poi lo affetto e lo allappo in modo da mantenere la stessa orientazione del reticolo cristallino

DROGAGGIO →

le impurità si mettono con il III° o V° gruppo per Si.



P ha un elettrone libero in più.

↓ n è poco il numero di atomi di P che ci metto.

Se metto il boro che gli manca un elettrone c'è una deficienza di elettroni e questo è come se fosse una particella di carica positiva (HOLE, LACUNA)

→ Per i semiconduttori composti: non posso fare proprio lo stesso giochino che col silicio. Per GaAs sostituisco il Si come drogante che per Ga si comporta da tipo n e per As da tipo +.

Torniamo all'alluminio:

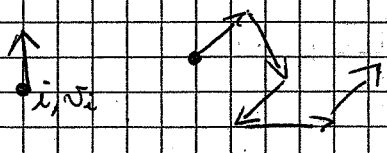
Al $n = 6 \cdot 10^{22}\ e^-/cm^3$ cerchiamo delle relazioni per la conducibilità:

$$\sigma = \frac{n e^2 \tilde{\tau}}{m_0}$$

Teoria di Drude → non funziona per i semiconduttori

$T = 0K$ temperatura $T = 300K$ temp. ambiente

→ Se ho degli elettroni a $0K$ stanno fermi, a una certa temperatura essa è la misura del loro movimento casuale



$\tilde{\tau}$ = tempo medio tra gli urti

$\overline{v} = \sum_{i=1}^{n} v_i / n = 0$ → è la velocità media all'equilibrio.

→ Se si applica un campo elettrico $\vec{v}_i$ è sempre casuale ma in un tempo τ subisce una variazione di velocità nella direzione di $\vec{E}$, secondo il teorema dell'impulso.

$$m_0 \Delta \vec{v}_E = \vec{F}_{eq} \cdot t_i$$

$$m_0 \vec{v}_E = qE \cdot t$$

$$\vec{v} = \left(\sum_{i=1}^{n} \vec{v}_i + q\frac{\vec{E}}{m_0} \cdot t_i \right) \cdot \frac{1}{n} = \cancel{0} + q\frac{\vec{E}}{m_0} \sum_{i=1}^{n} \frac{t_i}{n} = q\frac{\vec{E}}{m_0} \cdot \tau = \underbrace{\frac{q}{m_0}\tau}_{\mu} E$$

μ mobilità dell'elettrone cm^2/Vs

$q = 1.602 \cdot 10^{-19}\ C$

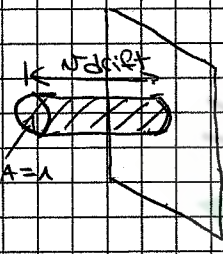
$m_0 = 9.1 \cdot 10^{-31}\ kg$ massa a riposo di e⁻.

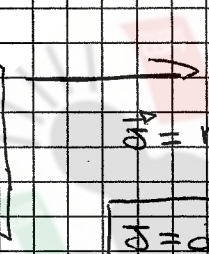
τ = tempo di rilassamento, dipende dalle impurezze del reticolo e dalla temperatura. $\tau \propto \frac{1}{T}$

$\vec{v} = \mu \vec{E}$ → in un gas di elettroni con molti elettroni

→ V TRASCINAMENTO o DRIFT, il campo elettrico si trascina dietro le particelle. Ha la stessa direzione e intensità per tutti gli elettroni.

$\vec{\delta} = \frac{I}{A}$ $(A/m^2, A/cm^2)$ densità di corrente





→ Una volta avvenuto l'urto l'elettrone perde la memoria di quello che ha fatto prima, riparte da capo.

$$\vec{\delta} = n \vec{v}_{drift} \cdot 1 \cdot q = qn \underbrace{\vec{v}_d}_{\mu E} = \sigma \cdot E$$

$$\boxed{\vec{\delta} = qn\mu E}$$

RELAZIONE DI DRIFT

$\sigma = qn\mu$ con la temperatura diminuisce

ρ (resistività) $= \frac{1}{\sigma}$

$$\mu = \frac{q}{m} \cdot \tau \qquad \sigma = qn\frac{q}{m}\tau = \frac{nq^2\tau}{m_0}$$

10-03-11

$m_0 \vec{v} = e\vec{E}\tau$ → Dopo l'urto riparte con velocità casuale.

$m \vec{v}_i = e\vec{E}t_i$

$v_{drift} = \mu E$ $\mu = \frac{e}{m_0}\tau$ τ = tempo medio fra gli urti.

$m_0 \vec{v} = e\vec{E}\tau$

• Come va il segno della corrente?

$-q = -1.602 \cdot 10^{-19}\ C$

$m_0 \vec{v}_{drift} = -q\vec{E}\tau$

il segno è dovuto alla carica negativa dell'elettrone.

FASTCOPY
Tel. 050/556414