

09/10

negli isolanti son puli, band gap molto grande, non si possono facilmente elettroni in condiz.

Nei materiali abbiamo un certo # di El. ionizzati.

El. ionizzati = elettroni liberi per la conduzione. Hanno sufficiente energia per essere liberi, libero. Sono in banda di conduzione, non sono attaccati o niente. banda di valenza.

Ciò vale per tutti i materiali. Sono molti nei conduttori. ma negli isolanti sono pochi. ionizzati, c'è una rule elettronica, lo mole sono molto che

Semiconduttori. Ci interessano quelli della 4^a colonna

isolanti = $\sigma = 10^{-20} \text{ } \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$
conduttori = 10^8 conduttori
nei semiconduttori $10^{-6} \text{ } \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$
conduttività $\left[\frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}} \right]$

III	IV	V	VI
B	C	N	O
A _L	Si	P _{Forsp}	
	Ge	Ge _{maio}	As _{maio}

+ peso atomico maggiore

di particolare interesse = sono semiconduttori

Materiali con struttura A DIAMANTE

il gruppo identifica il peso atomico, cioè

Collocazione dell'occupazione dell'ultimo stato energetico

(configuraz. a massima stabilità)

Per completare l'ottetto, mancano 4 elettroni (8^a colonna, stabili)

è nella 6^a colonna

legame difficile da rompere

Es. O_2
O da solo è uno ione, non è in configuraz. ad energia minima

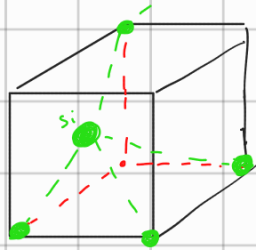
legame covalente, difficile da rompere
compartecipazione 2 elettroni per raggiungere stabilità

STRUTTURA a DIAMANTE = Struttura del silicio
manca di 4 elettroni

i 4 elettroni dell'ultima orbitale esterna dell'atomo di silicio fanno legami coval. con 4 atomi di Si
 Si Silicio ci mancano 4 elettroni, si circonda e. altri 4 silicio (sono su un tetraedro)
 silicio, nello spazio e' messo così

Struttura a diamante del silicio

"prende" un elettrone da un altro silicio



Struttura vale per Gallio e Carbonio

Compartecipazione, legame covalente che rende la struttura stabile

ROBUSTA

Struttura tetraedica molto stabile

Es. grafite e diamante col carbonio

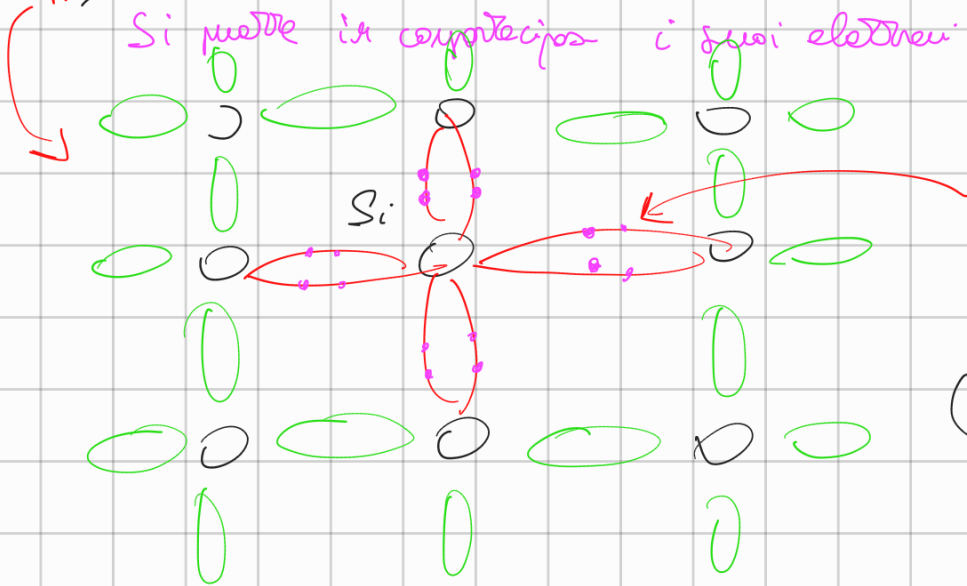
Es. C_4 struttura a diamante, resistente

CUBICA

Grafite struttura planare, poco resistente

Rappresento. Planare Si: compartecipazione di elettroni

Si mette in compartecipazione i suoi elettroni nell'ultimo liv. energetico



Ciascuno di questi 4 di Si prende 4 el. in media doppi atomi affianco esso diventa una struttura stabile

Esso non conduce, perché conduttività, a temperatura ambiente ... dovuta el. liberi per cm^3

es. se ionizziamo un solo elettrone, 4 atomi ho un elettrone, differenza di

17 ordini di grandezza

avrei tanta energia per ionizzare tutti gli elettroni dell'ultimo liv. energetico

el. ionizzati, dipendono dalla conduttività

•
$$n_i = \frac{10^{10}}{cm^3}$$
 # el. ionizzati ma ho 10^{22} atomi cm^3

Posso migliorare di molto la conduttività di questo oggetto

• Densità di un cristallo di atomi di silicio =
$$\frac{10^{22}}{cm^3}$$
 # atomi

4 atomi, per fare dei covalenti ionizziamo 1 at. oppure 2, 3, 4 Max

Si ricorda dell'"abbondanza" del legame coval.

lascia la propria sede

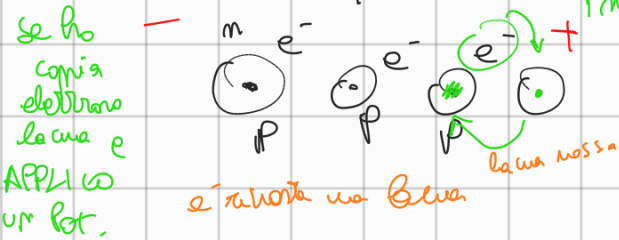
Quando un elettrone si ionizza e si allontana dal gruppo, lascia al suo posto una "BUCA DI POTENZIALE", rimane un elettrone e^- e una "buca" di potenziale
 un atomo che ha perso un elettrone, ione positivo

gli ioni positivi rimangono fissi, applicata una tensione carica positiva del sistema genera un campo el, dunque un potenziale. un elettrone mobile trova questa barriera di potenziale e vi cade dentro, perdendo la sua energia, il log con una forma di calore

• Possa avere conduzione mediante lacune o elettroni

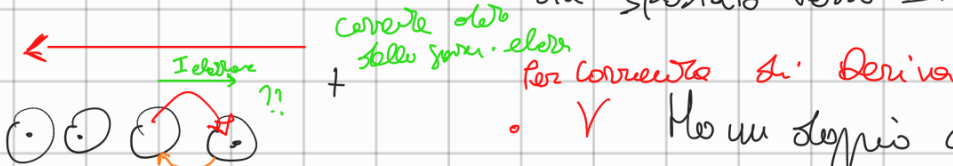
immediata Perché ha conduzione? se ionico

• Se ho coppia elettrone (m , carica negat.) e lacuna (p , carica positive)



in un materiale neutro, la risultante netta della carica è 0.
• Ora ho una lacuna, l'elettrone ha rivestito l'energia, e' ingiù
Se applico un Campo elettrico, e all'istante Δt_1 , è possibile che l'elettrone si

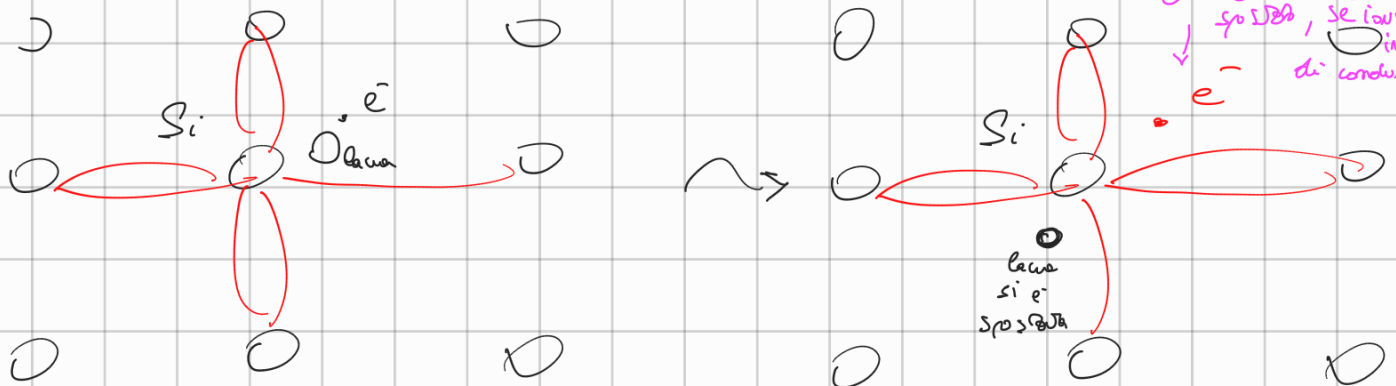
sia spostato verso DX e la lacuna a SX



• V Ho un doppio contributo, una delle porte delle lacune e altre agli elettroni

- elettroni si muovono verso dx, per compensazione di origine ad una corrente del + al - dovuta agli el. (conr, corrente el. verso opposto rispetto a carica el.)
- ho lacune che si spostano verso SX, generano corrente dovuta alla carica positive, verso della lacuna

• Può capitare che a Δt_2 la lacuna si sia spostata per la natura degli elettroni



Materiale INTRINSECO

el. libero di essere spostati, se ionizzati e in grado di conduzione

$$\Delta Q = nq \Delta S \Delta x$$

• Esprimo densità corrente di deriva, 2 contributi

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta S \Delta t} = nq \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right) V$$

denità corrente relativa ad elettroni e lacune

$$J = J_n + J_p$$

valore carica • # lacune • Vel. deriv. lacune
q p V_p velocità deriva lacune
lacune

Velocità diverse, hanno comportamenti diversi sul piano di vista delle MOBILITÀ

Valore carica sing. el. si sposta positivamente

$$-q \cdot n \cdot V_n$$

elettroni

• valore carica sing. el. • # elettroni • velocità deriva el

$$V_n = -\mu_n E \quad \text{Mobilità} \cdot E$$

$$V_p = \mu_p E$$

MOBILITÀ elettroni e lacune è diverso, E è lo stesso

le lacune si muovono concordemente nella dir. positiva del campo el.

• Campo e' costante, cambia la Mobilità

$$J_n = -(-q n \mu_n E)$$

$$J_p = q p \mu_p E$$

elettrone e
lacuna hanno masse
diverse
unti diversi
nel tempo

- J densità corrente di un sistema Elettrone - Lacuna

$$J = q n \mu_n E + q p \mu_p E$$

$$\mu_n = 1390 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \quad \text{mobilità elettr.}$$

$$\mu_p = 550 \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \quad \text{mobilità lacune}$$

Ma la lacuna e il suo diverso, contributo corrente e $2,5 \times$
il contributo della corrente della lacuna

- Contributo della corrente complessiva sarà una somma di
due contributi, vanno nella stessa direzione ma con "pesi" diversi

- Materie:** **INTRINSICI**, μ la densità di corrente
è piccola, a temperatura ambiente ho solo 10^{10} elettroni intrinseci

$$\sigma_{intrinseci} = 10^{-6} \frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}}$$

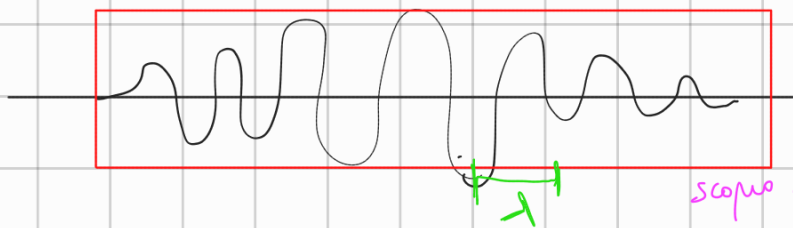
elettrone intrinseco si dice che è in banda di conduzione, e libero
di muoversi liberamente, si può muovere nel reticolo

Perché la lacuna si sposta?

- L'elettrone ha una **lunghezza** ^{piccola}, ma è visto come una Funzione d'onda
cioè esiste una dualità onda-corpuscolo. Si descrive posizione e velocità di un elettrone
mediante una equaz. d'onda. La posizione dell'elettrone dipende dalla
lunghezza d'onda del suo pacchetto d'onda (che non può essere più piccola della λ)...

Non posso confinare un elettrone in uno spazio più piccolo della sua lunghezza d'onda

- L'elettrone può essere modellato come un "pacchetto d'onda"



pacchetto
d'onda

λ distanza tra
periodi del pacchetto
d'onda

λ lunghezza d'onda

scopo che la distanza tra 2 atomi è molto più
piccola della lunghezza d'onda

- Esiste una probabilità che l'el sia in una posizione
casuale della sua matrice,

De Broglie, relaz. tra velocità el. e lunghezza d'onda

probabilità di trovare, della sua
lunghezza d'onda

$$\lambda = \frac{h}{m v} \quad \text{costante di Planck}$$

Energia cinetica
di un elettrone
a causa dell'agit. termica

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

ho a stimare
l'elettrone

a temper. ambiente è 13 meV

l'elettrone può trovarsi in una posizione tra la sua lunghezza d'onda dove λ è $\gg$ della distanza tra gli atomi di silicio

$$v = \sqrt{\frac{2E_F}{m}}$$

$\Rightarrow$

$$\lambda = \frac{h}{m \sqrt{\frac{2E_F}{m}}}$$

$\lambda = 10 \text{ nm}$ silicio

$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2m(E_F)}}$

c'è una probabilità non nulla che un elettrone si materializzi in un punto lontano dalla buca di potenziale

$\approx 13 \text{ eV}$ elettronvolt a temperatura ambiente

$\approx 6/7$ volte la distanza

INTERATOMICA di una struttura di silicio

Passo lineare che l'elettrone si può trovare "libero" nel mio cristallo

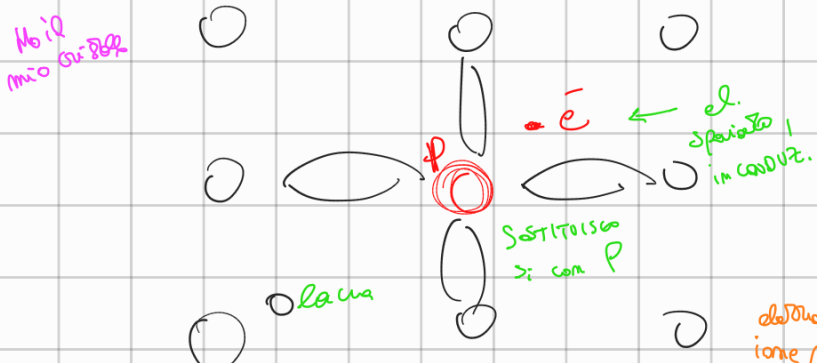
- La fusione dell'onda è tempo-variante, dunque l'elettrone si muove, e muoversi, e la lacuna generata sarà occupata da un altro elettrone ionizzato, in un altro punto del reticolo. Se l'el. si muove per colmare la lacuna, la lacuna si muoverà nel verso opposto

- è come se ci fosse un effetto tunnel, gli elettroni possono attraversare il cristallo in un'altra posizione, si materializzano

Materiale intrinseco non ci piace per essere usato come conduttore
SILICIO **DROGATO** silicio intrinseco ha 10^{10} cm^{-3} in ogni numero la carica libera

Prendo una riga in cui ho bisogno di sel. 3 elettroni per **fosforo** el. 5 el. sull'ultimo guscio, e allora ci sono silicio che hanno bisogno di prendere 1 elettrone libero del fosforo (che li dà in legame covalente)

Fosforo ha 5 el., e i 4 fosfori ne prendono 1 ciascuno ho UN EL. SPARIATO
 Fosforo ha 5 el., e i 4 fosfori ne prendono 1 ciascuno ho UN EL. SPARIATO



ho un elettrone spaiato!
 è in conduzione a temperatura ambiente

Se dico drogare, N (numero cariche ionizzate)

Quanti P posso mettere?

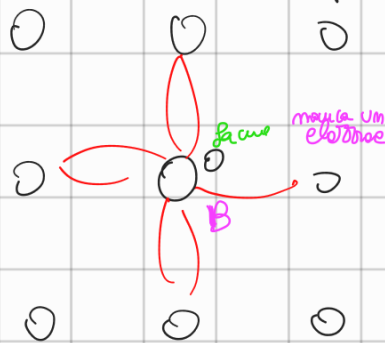
$10^{10} \text{ cm}^{-3} < N < 10^{22} \text{ cm}^{-3}$
 12 ordini di grandezza sono tanti
 # impuri da donatrici
 $N \approx N_D$
 -> avere solo Fosforo, Caricatore Nazionale
 el. libero e ione positivo fisso

es. sostituisco $10^8 / \text{cm}^3$ di silicio con Fosforo
 - ogni cm^3 ne ha 10^{22} , ne calcolo 10^8 . ho 10^8 el. spaiati in più, RISPETTO a 10^{10} che sono
 $10^8 + 10^{10} \approx 10^{10}$ INUTILE
 el. liberi per cm^3
 non libero caricato nelle

N = # di cariche ionizzate che sto introducendo modificando il cristallo con un drogante (P che ha un elett. in più di quello che serve al cristallo)

Per avere Mobilità, posso anche iniettare una carica
 positive, "INIEZIONE" LACUNE
 invece del fosforo, uso il boro, ho "iniettato una carica positiva"
 posso ottenere mobilità aggiungendo lacune, mi serve di una colonna
 di impurità accettando si crea una lacuna positiva

USO IL BORO, HO INIETTATO UNA CARICA POSITIVA



do¹⁰
el.
inietta

$$\# \text{ el. iniettato} = \# \text{ lacune}$$

Se libero el. del reticolo, ho lacune
 si ricombinano ma per aprirle. Tendenza a liberare

Se $\frac{10^{10}}{\text{cm}^3} < N < \frac{10^{22}}{\text{cm}^3}$ vincolo

|| ... controllo # portatori / accettori Crea corrente

Se $N = 10^{10}$ con drogaggio di deriva applicando ddp

istantaneamente, a Temp. ambiente lo segue $\frac{10^{10}}{\text{cm}^3}$ elettroni e lacune disponibili, e se attacco el. con ddp
 una diff. di potenziale che mi genera un drogaggio / corrente di deriva delle cariche nel materiale

Non conviene drogare con B e P insieme, i due drogaggi
 si influenzano secondo una legge, drogare libero o a con cella
 la lacuna Donatori e accettori si
 annullano reciprocamente
 come in un cristallo

drog. N, inietta el. liberi, drog. P, inietta lacune
 drogaggi si influenzano secondo la
 LEGGE DI AZIONE DI MASSA

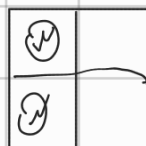
Se over. spazio limitato, cristallo

B = lacuna Drog. P, inietta palline bianche

N = elettroni Drog. N, inietta palline nere

P = # portaz. positivi, lacune nella scacchiera a N posizioni

N # celle



P cor. a

N cor. a

Probabilità che
 drogando, drogaggio
 i due drogaggi
 nella stessa posiz.

$$\frac{P_c}{N} \text{ possibilità che } \textcircled{B} \text{ sia in una specifica cella tra le } N$$

$$\frac{N_c}{N}$$

N = posizioni scacchiera

Qual è la probabilità che io, drogando
 vedo a far sovrapporre i due drogaggi
 nella medesima posizione?

↳ in cui ho effettuato un drogaggio
 opposto

Probabilità di occupare lo stesso sito è prodotto prob. • numero cell

$$\frac{P_c}{N} \cdot \frac{N_c}{N} \cdot N \Rightarrow$$

$$C = \frac{P_c \cdot N_c}{N}$$

$$\frac{\# \text{ lacune} \cdot \# \text{ elettroni}}{\# \text{ posizioni}}$$

in un cristallo, all'equilibrio, anche un tasso di generazione e ricombinazione
 si genera lacune e si creano in "part. d'equilibrio" copia el. - lacune
 si ricombina e MAGGIOR P
 ecc. ecc.

G = Tasso generazione

R = Tasso Ricombinazione

$$R = \gamma \cdot M \cdot P = \text{numero di cariche che in una unità di tempo si ricombinano}$$

Se $G > R$ impossibile. *che si può solo Crivare* Se genero più copie el-lacune di quelle che posso colmare anche solo el. intrin.
 Se $G < R$ impossibile. *spuntellano tutte le copie el-lacune* in un materiale intrinseco isolante perfetto, genera meno copie di quelle che riciclaio
 $G = R$ *in un materiale drogato (con lo stesso componente)* R tutto dipende dal drogato si prende il cristallo

Tono generato = Tono riciclaio con

$$R \approx \gamma \cdot n \cdot p \approx \gamma \cdot n_i^2 = \gamma \cdot N_c \cdot p_c$$

in un materiale intrinseco, posso approssimare $n_i = \# \text{el. lib. dosi generati intrinsec}$ γ per cm^3 avrai 10^{10} el-in e dopo 10^{10} lacune N_c p_c n dopo N_c di Fosforo, non so p_c n_c

$\Rightarrow$ In un materiale drogato avrà lo stesso comportamento, quello che domina è il silicio, γ il tono generato / ricomb non sarà troppo variato, influenzato
 • γ (indice) dipende dal cristallo *Ho modificato il reticolo*

Materiali estrinseci = Materiale drogato
 Ho drogato, ho introdotto N_c el., ora ho $n_i + N_c \approx N_c$
 se $N_c > 10^{10}$ $\Rightarrow$ *Con il Fosforo ANCHE!* $P = \frac{n_i^2}{N_c}$ *Conosco, dato del cristallo intrinseco* Concentraz. lacune *domina N_c*
 drogando, non sono quasi lacune rimangono $N_c > 10^{10}$ $\Rightarrow$ ciò che ho aggiunto io, elettroni

drogando con il Boro *giungo p_c* $M = \frac{n_i^2}{p_c}$ *#el. che rimangono dopo il drogaggio* *#el. che vi ho aggiunto dopo il drogaggio per cm^3* *elettroni che rimangono dopo il drogaggio di tipo P con Boro*

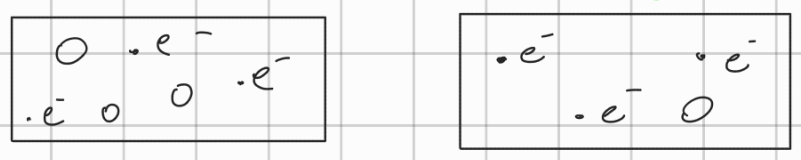
Esempio: Drogo Silicio con Fosforo *tipo N*

P, Si: $10^{10} / \text{cm}^3$ n_i el. in S_i $10^{10} / \text{cm}^3$ p_i lacune S_i intrinseco a Temperat. ambiente

molto 10^{14} su cm^3 fosfori nel cristallo di Silicio $P = 10^{14} / \text{cm}^3$ *Fosfori* *molto $10^{14} / \text{cm}^3$ nel silicio avendo el, ci saranno meno lacune*

Leppa $\Rightarrow$ $P_p = \frac{10^{20}}{10^{14}} = 10^6 / \text{cm}^3$ *# nuove lacune* $\neq$ nuove lacune drogando con Fosforo *Sau diminuire le lacune*

Prima *Dopo drogaggio* **AVVIO PORTATORI MAGGIORITARI (elettroni) e**



portatori minoritari (lacune)
 2 portatori con due deriva di cariche diversa

i portatori maggioritari in modo rimangono e^- , sono ionizzati, e però facilmente mobili, non sono legati a niente
 • Gli elettroni iniettati sono ionizzati, quindi effetto: sono facilmente drogabili, non sono legati a nulla, ma aumentando la conducibilità del mio semiconduttore
 # portatori maggioritari non cambiano.
 Anche se si ricombinano, loro ricompaiono / Generano gli elettroni della parte intrinseca
 $\sigma = n \cdot q \cdot \mu$, ho aumentato n

Non sarà 10^8 , ma $10^4, 10^2$, che è sicuramente meglio di 10^{-20} di un isolante
 prima con 10^{-6} conduttività elettronica

Forme iniziali
 modello el. lacuna
 $R = \gamma \cdot n \cdot p$
 ||
 G
 (•) si è neutro
 Insieme
 $\gamma n_i^2 = \gamma N_c p$
 espresione
 ho modificato io ho moltiplicato elettroni, 10^{14} ,
 materiale drogato
 ne ho aggiunto ma non i portatori sulla generazione

$V = \frac{1-E_g}{2} \approx \mu = \frac{1}{2} \frac{q \cdot t}{m}$

il drogante non cambia le proprietà chimico-fisiche del Silicio, uso le proprietà cristalline di Silicio

le proprietà di generazione o ricombinazione sono quelle del cristallo di Si

Velocità di Tappi di porte BOTTOM E
 i tempi di on/off
 li uso per la conduzione

AFTER RPOSA

@ Segnalo del drogaggio

Se faccio drogaggio ho lacune e elettroni, ma comunque

la densità corrente

$$J = J_n + J_p = q n \mu_n E + q p \mu_p E$$

di deriva

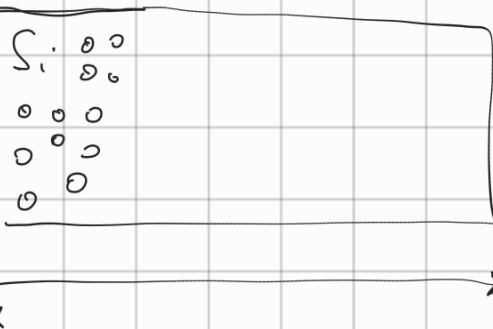
Prendo silicio drogato a SX con boro in questa zona ho densità di lacune più alta del resto, ma esse si separano e occupano lo spazio a minore energia (cioè andano al

drogaggio con boro vale di più ho densità LACUNE maggiore a SX si forma una diffusione

LACUNE TENDONO ad occupare SPAZIO a MINOR ENERGIA

DENSITÀ CORR. DI DIFFUSIONE Coeff. di Diffusione Tipo del Drogaggio

nasce una nuova densità di corrente, quella densità di corrente di DIFFUSIONE che va nella direzione OPPOSTA al gradiente (ddp) più alto è il gradiente, maggiore è la DIFFUSIONE delle LACUNE nella direzione opposta



$$J_p = -q D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

Variazione lacune rispetto ad x

$$J_n = q D_n \frac{dn(x)}{dx}$$

CONTINUAZIONE del CAMPO ELETTRICO ma solo del drogaggio

conduttività dipende solo da drogaggio, non dal campo elettrico allora era una forza la densità di corrente complessiva che è dovuta un silicio drogato rispetto al campo ma è solo la componente di deriva

$$J = q n \mu_n E + q D_n \frac{dn(x)}{dx} + q p \mu_p E - q D_p \frac{dp(x)}{dx}$$

DENSITÀ CORRENTE COMPLESSIVA dovuta a questi fenomeni

Componente di deriva e diffusione di elettroni e di lacune si sommano mentre componente deriva e diffusione di lacune si sottraggono

Fenomeni sempre presenti in un semiconduttore ANCHE SENZA CAMPO ELETTRICO Relaz. di HEUSTEIN

$$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{k T_{equil}}{q}$$

Potenziale Termico

che sono lacune o elettroni

$$V_T = \frac{k T_{equil}}{q} \approx 25 \text{ mV}$$

Coeff. diff. mobilità

anche mobilità dipende dalla Temperatura e come $\frac{1}{T}$ POT. BUILT IN

Vediamo perché, anche in assenza di campo esterno, contributi di deriva e diffusione esistono sempre. in un semiconduttore con drogaggio non costante

Prendo un semiconduttore con drogaggio di tipo P, non costante

• dopo drogaggio, le lacue si muovono verso x,

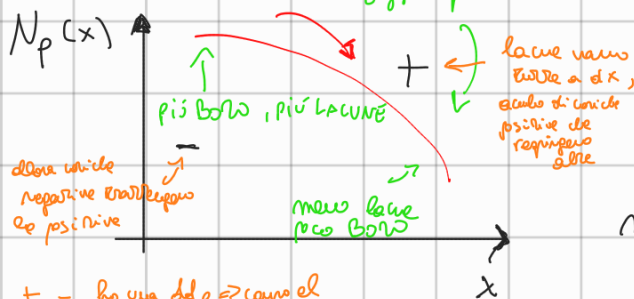
le lacue si muovono alla fine del drogaggio, dove c'è meno carrieri. le lacue verso x. Cosa impedisce che vadano tutto verso dx? Sforzandosi

le lacue, nasce un campo elettrico (c'è una scil. di carica ma crescente) che tende ad opporsi a questo passaggio

• Viene a formarsi un accumulo di cariche positive verso dx che tende ad impedire che si muovano tutte le cariche posiz. Cariche negative tendono a mantenere le lacue in equilibrio. allora ho sia cor. el. che deriv. che deriv.

• Non ho nessun circuito a cui è collegato, ho solo un drogaggio istant. di carica, consent di equilibrio. $\Rightarrow$ deriv. di corrente = 0

fuori corpo el. è nullo,



+ , - , ho una ddp $\Rightarrow$ campo el $\Rightarrow$ corrente diff + deriva generato artificialmente

OGGETTO IN UNA PASTA era e NEUTRO dove MARCHIARE

• Se ho un + e un - , ho una diff di potenziale, ho un campo elettrico. allora ho sia cor. el. che deriv.

$$\Rightarrow J = q \mu_p E - q D_p \frac{dP(x)}{dx}$$

$$\hookrightarrow q \cancel{\mu_p} E = q \frac{D_p}{\mu_p} \frac{dP(x)}{dx}$$

V_T potenziale termico

$$\Rightarrow PE = V_T \frac{dP(x)}{dx}$$

concentraz. lacue $\propto$ inversamente

eq. di Poisson e mi giustifica la nascita di un pot. di Boltzmann

$\Rightarrow$ il campo elettrico è nullo fuori DROGGAGGIO $\Rightarrow$ POT. BOLTZMANN

$$E = \frac{1}{\epsilon} \frac{dP(x)}{dx}$$

campo el. che mi porta a rapporto del drogaggio

Se lo misuro, cancello il campo elettrico, ma l'equilibrio c'è

• All'interno di un semiconduttore drogato, ho una tensione, ho un potenziale che non posso misurare. l'oggetto rimuove comunque neutro dopo che ho introdotto cariche. il campo elettrico è nullo fuori (all'interfaccia del materiale si accumulano cariche che lo annullano il campo elettrico)

• Pseudo Boxette silicio lunga W e drogato in modo N

legge con cui drogo

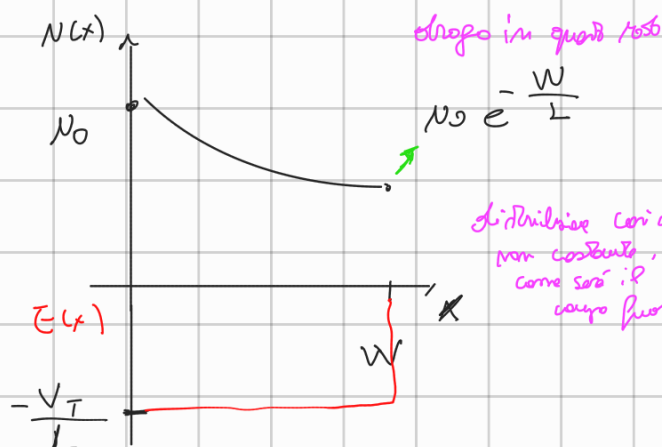
$$N = N_0 e^{-\frac{x}{L}}$$

ELETTRONI INiettati nel mio sistema

boxette di silicio lunga W
Voglio calcolare $E(x)$ x da 0 a W

$$E(x) = \frac{1}{\epsilon} V_T \frac{dP(x)}{dx}$$

da Poisson ora N non è uguale



$$E(x) = \frac{1}{N} V_T \left(-\frac{N_0}{L} e^{-\frac{x}{L}} \right) = \frac{1}{N_0 e^{-\frac{x}{L}}} V_T \left(-\frac{N_0}{L} e^{-\frac{x}{L}} \right)$$

$\frac{dN}{dx}$

L'area pedotta, G.O.D. σ all'interno del cuboide, ma fuori è nullo

Per Poisson, E costante $\Rightarrow$ tutte le cariche sono state compensate

del drogaggio

Se distribuzione γ variabile, il campo tende ad essere quello di governo delle lacune, e' costante

Fuori vedo potenziale nullo

Posso calcolare quanto vale la carica per annullare il campo fuori della mia barriera

• Uso Teorema Gauss per calcolare carica per annullare campo fuori della barriera

$\int_S E \cdot \hat{n} ds$

integrando su una S superficie campo ortogonale alla superficie

$\int_S E \cdot \hat{n} ds = \frac{Q}{\epsilon_0} = E \cdot S$



Carica racchiusa $Q = \epsilon_0 E S$
Costante dielettrica ϵ_0
Se campo ortogonale alla sup

fuori della barriera densità carica per unità di sup. sulla sup. per annullare campo

$E = \frac{\rho}{\epsilon_0} = -\frac{V_T}{L}$

Carica sulla superficie che annulla campo

S superficie barriera

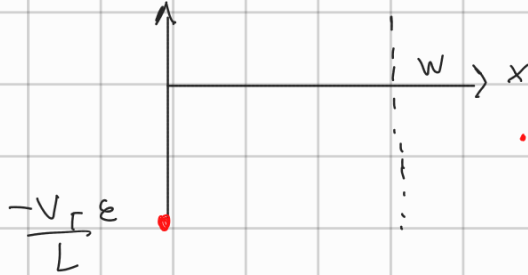
Flusso campo E attr. sup. chiusa =

Cariche interne sup / ϵ_0 , costante
densità carica per unità di sup.

$\rho = -\frac{\epsilon_0 V_T}{L}$

$\rho = -\frac{V_T}{L} \epsilon_0$

un campo elettrico costante produce un potenziale crescente all'esterno poiché compensato dalle cariche di superficie



• C'è una densità di carica sulla superficie che tende ad annullare il campo costante interno, il potenziale di Built-in

• Quanto vale potenziale? uno è l'integrale dell'altro

$V(x) = -\int_0^x -\frac{V_T}{L} dx = \frac{V_T}{L} x$

risultato
Per campo e potenziale

il campo fuori del semiconduttore è nullo perché la densità di carica che ne fa annullare la diff. di pot. è crescente



voglio leggere distribuzione portatori al potenziale di Built-in

Legg andamento dei portatori nello spazio al campo el. e potenziale

• Come varia L'ANDAMENTO dei PORTATORI $P(x), N(x)$ nello spazio in relaz.

al campo E e allo SPAZIO? Come varia la densità dei portatori in base alla posizione?

EQ. Poisson.

Come varia la densità portatori al variare della posizione?

$\rho(x) E = V_T \frac{dP(x)}{dx}$

Separo le variabili

$\Rightarrow E dx = V_T \frac{dP(x)}{P(x)} \Rightarrow \int_0^x E(x) dx = \int_{P(0)}^{P(x)} \frac{dP(x)}{P(x)} \cdot V_T \int \frac{1}{P} = \ln$

se integro lungo x qui...

e come se integro lungo la carica qui

integrale

ed e' come se integrassi da 0 a x, dopo la carica

Corpo conduttore

$$E \cdot x = [\ln P(x) - \ln P(0)] V_T$$

integrale di un campo

e' un pot. per definizione, E costante

POT di BUILT-IN

$$V(x) = -V_T \ln \frac{P(x)}{P(0)}$$

lo conosco, ho drogato io, voglio sapere come si diffondono le lacune

quante lacune vedo intrinsecamente? lo so, ho drogato cio

$$\Rightarrow e^{-\frac{V(x)}{V_T}} = \frac{P(x)}{P(0)}$$

Stesso ragionamento con elettroni, vale lo stesso

$$\Rightarrow P(x) = P(0) e^{-\frac{V(x)}{V_T}}$$

$$n(x) = n(0) e^{\frac{V(x)}{V_T}}$$

carica negativa in Poisson, drogato con n

esprimere la legge concettuale di poission: in due generici punti 0 e 1 il potenziale tra 0 e x

Se drogato con n, cambia verso campo el

Posso capire qual e' l'INIEB. di elettroni o lacune in una zona diversa del mio drogaggio che mi genera una certa corrente

Nella diffusione, si ricombinano, possono migrare i droganti in un'altra zona dove ho fatto un drogaggio diverso. Si ricombinano i drogaggi e

risultano drogaggio FINALE che mi determineranno il potenziale maggioritario, e la sua distribuzione nello spazio del silicio da loro controllata

=> Posso avere diversi tipi di conducibilita', e dunque corrente

Drugo Si e so come varia f(x) in funzione di un certo potenziale per sapere qual e' il pot. devo sapere la forma di P(x) cos'io vedo campo e dunque potenziale

Ma drogando il silicio e gli do un potenziale 10, cercando di modificare V(x), cambiando la distribuzione delle cariche nel mio silicio

NON HO SOLO POT. DI BUILT-IN.

Posso aumentare movimento delle lacune o frenarlo

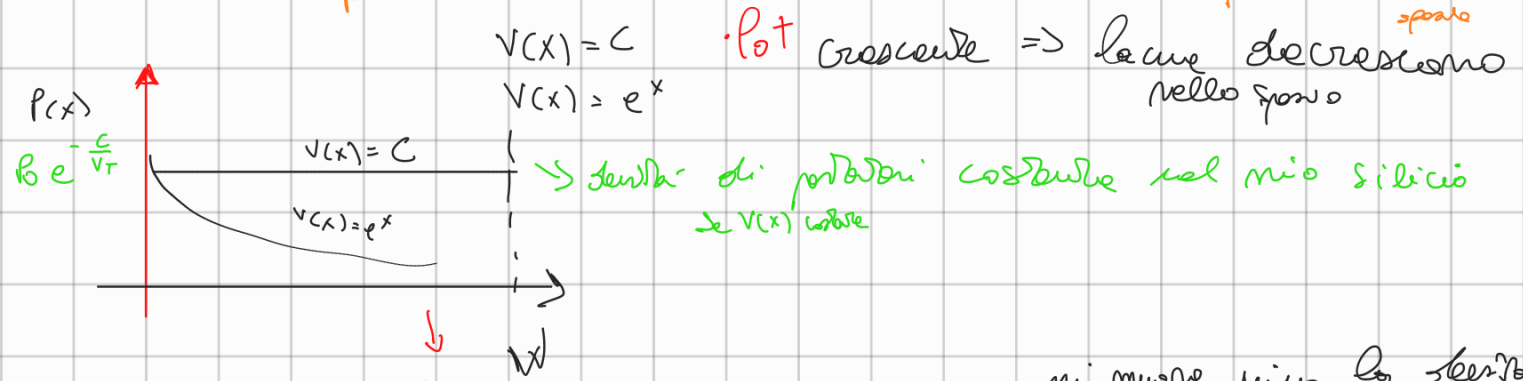
Esempio

$$P(x) = P(0) e^{-\frac{V(x)}{V_T}}$$

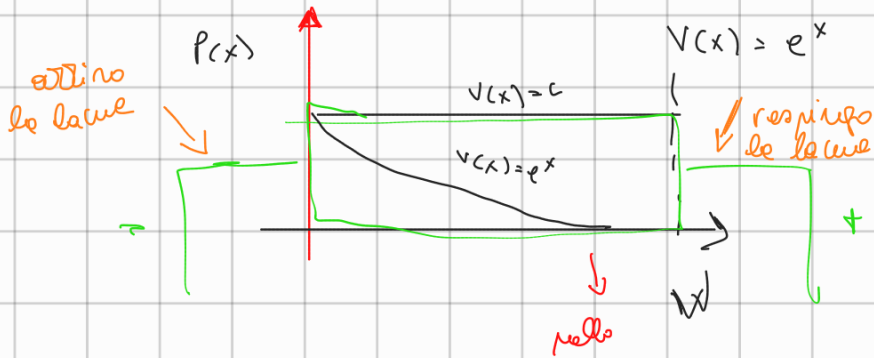
$$P(0) = 1 \quad V(x) = 1 \quad \text{se l'ho, } P(x) = e^{-\frac{1}{V_T}} \quad \text{costante al variare di x}$$

Se V(x) cresce, riduco la distribuzione delle lacune nello

$P(x)$ non sarà costante. Se $V(x)$ non costante, allora $P(x)$ va a 0. Se applico V crescente agli estremi della lamina, silicio riduce la penetrazione lacune nello spazio.



nello spazio non c'è più lacune se crescente tensione. mi muove prima la separazione delle lacune.



Se riesco a controllare il potenziale esterno, riesco a controllare la distribuzione di portatori nel mio materiale.

• Se controllo portatori, controllo la corrente.

riesco a controllare la distribuzione delle lacune.

Se avevo pensato di condurre, applicando $V(x)$ esterno, mediante un portatore maggioritario, delle lacune, non ci riesco.