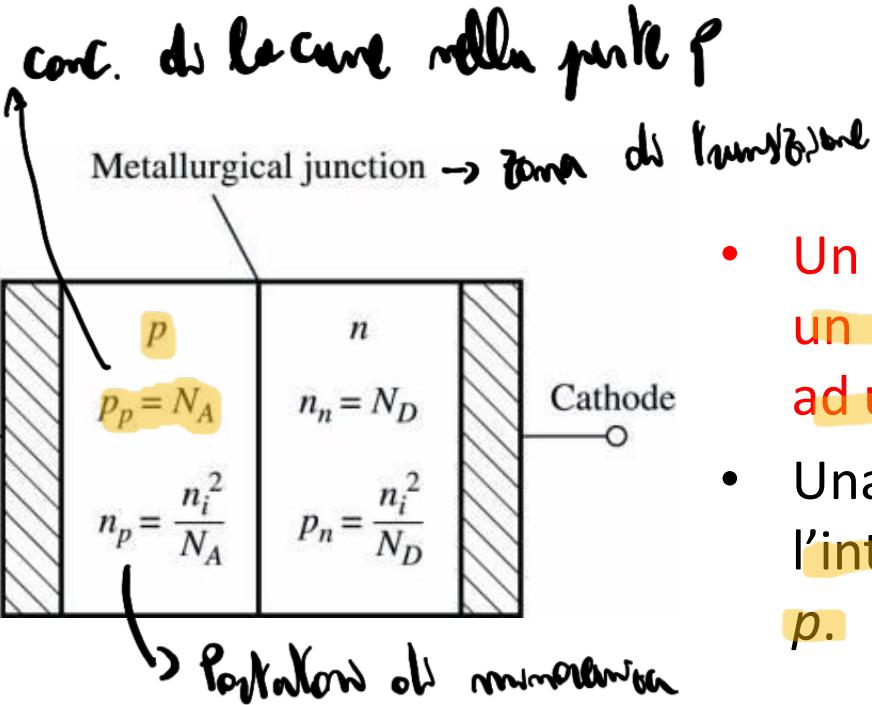
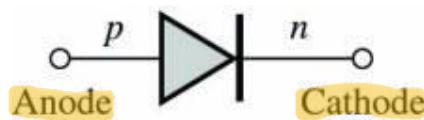


Introduzione al diodo



- Un diodo si realizza unendo un semiconduttore di tipo n ad uno di tipo p.
- Una giunzione pn è l'interfaccia tra le regioni n e p.



Simbolo del diodo

Transiz. PM \rightarrow Sn impurita drogante P.

Ci sono due punti con concentraz. diverse:

Si aspettiamo che le lucine tendano ad andare a destra e viceversa. Flusso di particelle in entrambi i lati

Quando 1 elettrone e 1 lucina si incontrano, si accoppiano.
S'aprile una coppia di portatori.

Questa diffusione non va avanti all'infinito. Ci deve essere un meccanismo che blocca questo passaggio di cariche.

Se così non fosse, il semiconduttore si riscalderebbe per effetto.

Ma c'è un campo elettrico che li ferma:

Zona p due atomi accettatori: questi accettano elettroni
e diventano negativi.

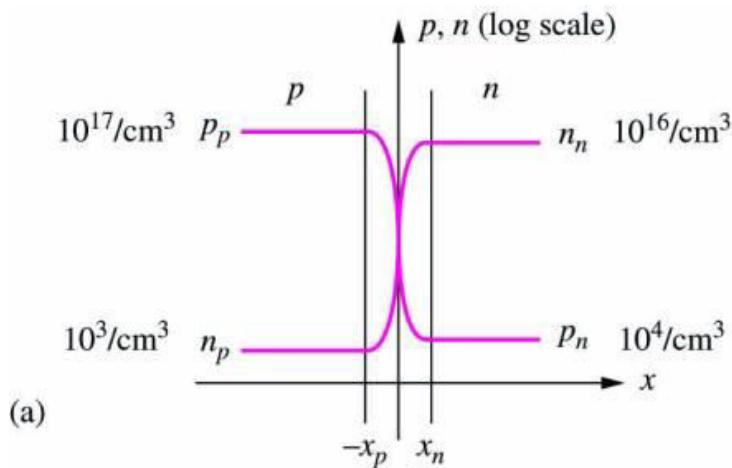
Ogni coppia elettrone-lucina che si combina subisce
una spinta pos. a destra e una a sinistra. Ciò crea
un campo elettrico che blocca la corrente di diffusione.

Ione e lucina si combinano e danno uno spess.

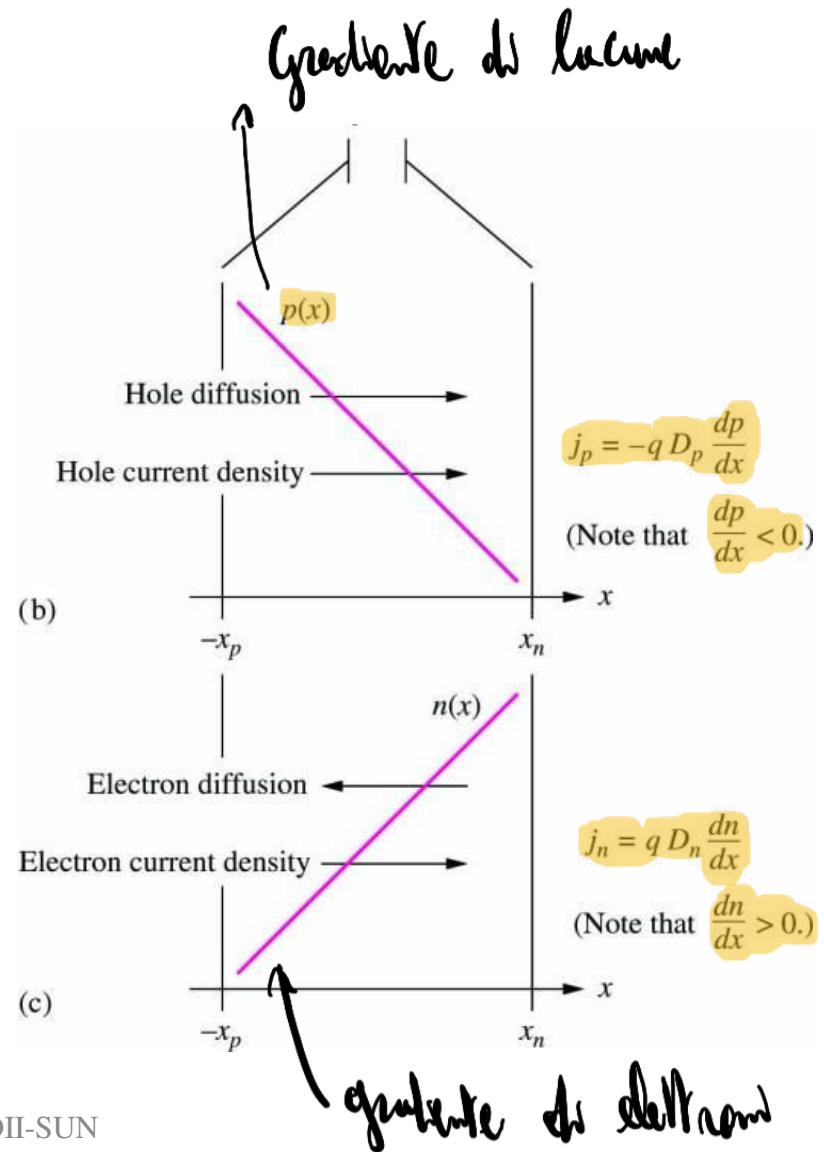
Donatori rimangono positivi perché hanno perso
elettrone

Elettrostatica della giunzione pn

Fortissimo gradiente



Concentrazione di donatori e accettori . I gradienti di concentrazione danno origine alle correnti di diffusione



Correnti di deriva

- Le correnti di diffusione portano a variazioni della densità di carica localizzate vicino alla giunzione pn .
- La legge di Gauss prevede un campo elettrico dovuto alla distribuzione di carica:

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho_c}{\epsilon_s}$$

$\frac{SE}{\delta x}$ (Unidimensionale)

- Ipotizzando una permittività costante,

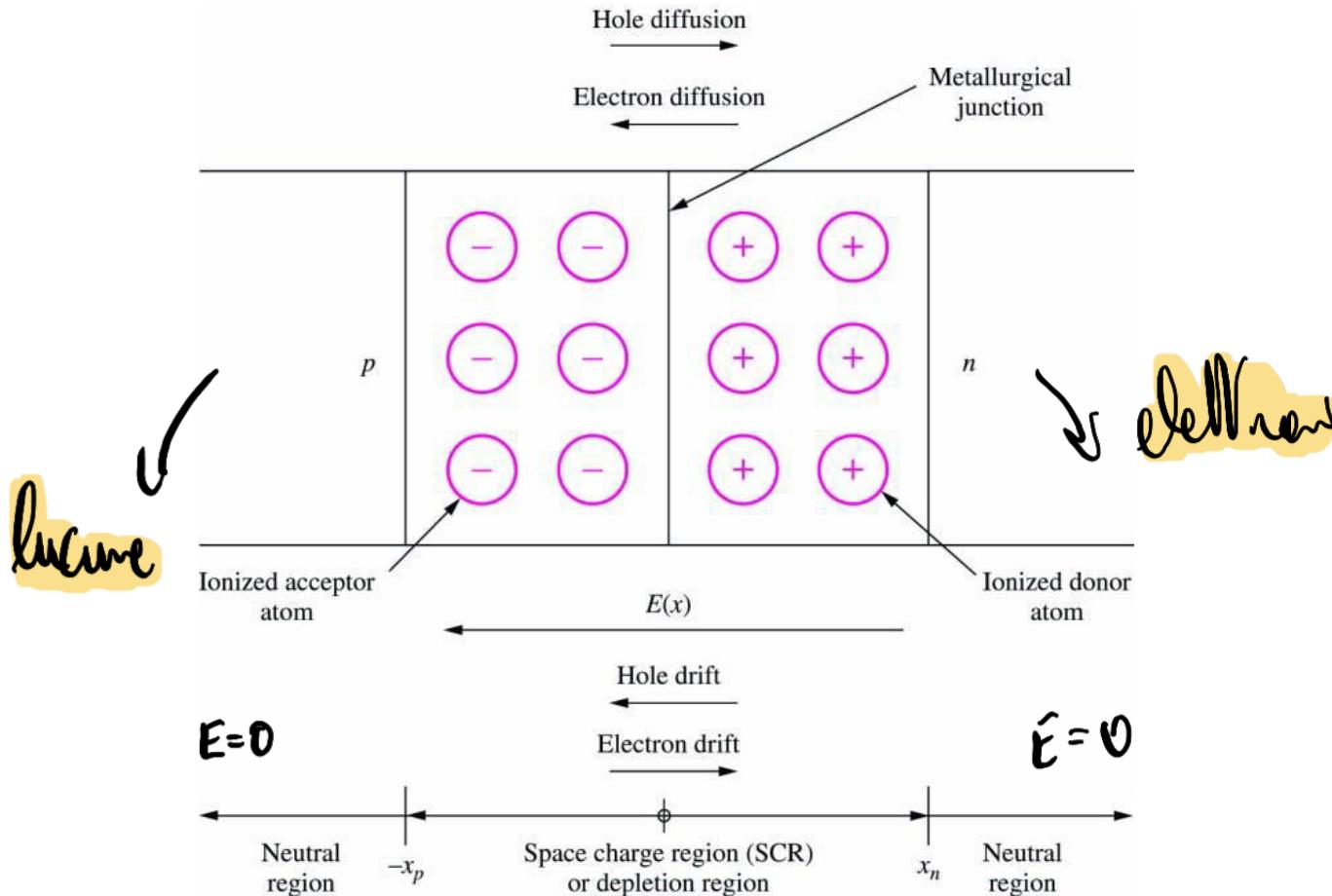
$$E(x) = \frac{1}{\epsilon_s} \int \rho(x) dx$$

- Il campo elettrico risultante da origine ad una corrente di deriva. Senza connessioni circuitali esterne le correnti di deriva e di diffusione si annullano. Non c'è corrente, dato che questa implicherebbe una dissipazione di potenza, invece il campo elettrico annulla la 'tendenza' della corrente di diffusione

Campo E non uniforme: non ha fogli ma regolare di spazio

Gauss lo applico

Formazione della regione di carica spaziale in prossimità della

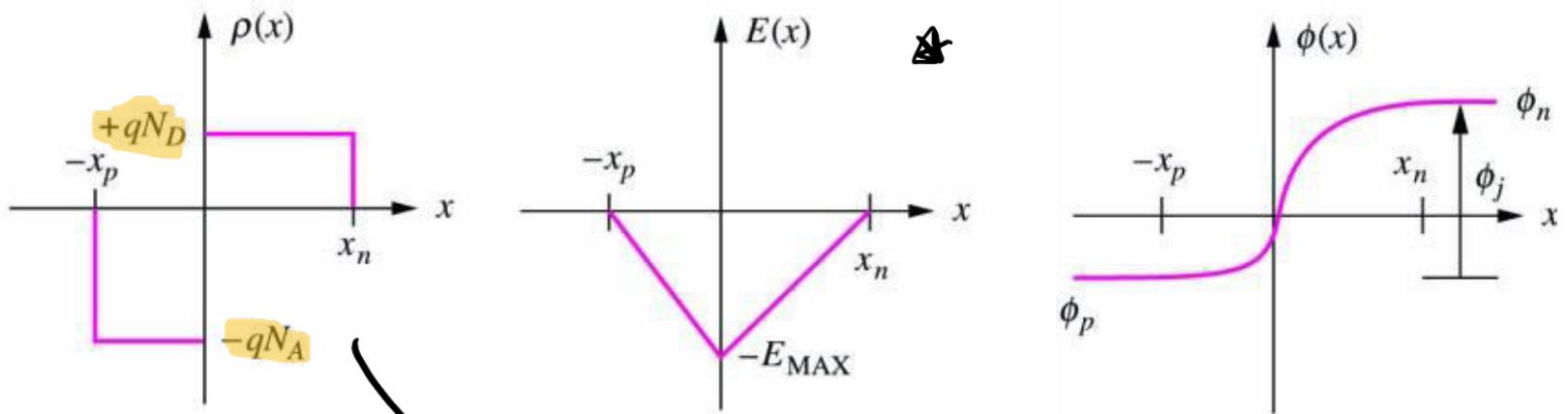


Regione di svuotamento

Luigi Zeni DII-SUN
Fondamenti di Elettronica Digitale

Potenziale attraverso la giunzione (a gradino)

Transf. Pm
regione n e p i metà



Densità di carica
costante

Campo elettrico

Potenziale

$$\phi_j = - \int E(x) dx = V_T \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right), \quad V_T = \frac{kT}{q}$$

Campo elettrico
di densità
di carica

* Quis intendo a spostarmi verso le creste perché
su la superficie gaussiana.

Se $N_A = N_D$ a destra e sinistra ho perfetta
simmetria

Se $N_A > N_D$ per raggiungere lo stesso carico

Area

S_W estende di più sul lato su cui la densità

di载荷 é minore: L'area sollecitata nel punto
grafico deve essere $\neq 0$. Questo deve accadere perché $P_X = q_{res}$
che deve essere $\neq 0$

Giuntione in più profonda di p nel grafico.

Alla fine Φ_S , dà p rappresenta POTEZIALE IMPRESO

Non é un potenziale misurabile: Se prendo giuntone per sede
del potenz. funziona e la chiude in conto conto,

che succede? Non puó passare corrente, perché se così

fosse ci sarebbe dissipat. di energia che genera calore
del nulla (anche se metto resistenza). Non c'è fonte di
energia che genererebbe calore. Nella batteria sì.

Non fu passar corrente una gombrone per che ha un potenz. limit-^{im}. A meno che non vole progettata come tale.

ES: Pannello solare: luce sinistra gombrone. Foton con energia generano coppie di elettroni luce rompe legami catallinti nella reazione di sviluppo, vengono allontanate dal campo elettrico e passa nel filo producendo corrente.

Dopo ricezione la luce si aschiarisce. No luce ma energia. (energia superiore al band gap del silicio)

Il diodo dove ha prete l'energia non volti che è separato?

Larghezza della regione di svuotamento

Unendo le espressioni precedenti, possiamo ottenere una espressione per la larghezza della regione di carica spaziale, o regione di svuotamento. Si chiama regione di svuotamento in quanto non ci sono elettroni e lacune ma solo ioni di drogante.

$$w_{d0} = (x_n + x_p) = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right)} \phi_j$$

$x_n N_D = x_p N_A$ Condizione di neutralità

\uparrow
Carica Totale (Affido con base costante e altezza x_n e x_p)

Profondità maggior con volume <<

Larghezza della regione di svuotamento (Esempio)

Problema: calcolare il potenziale di giunzione e l'ampiezza della regione di svuotamento in un diodo

Dati noti: Lato di tipo p: $N_A = 10^{17}/\text{cm}^3$ Lato di tipo n: $N_D = 10^{20}/\text{cm}^3$

Ipotesi: Temperatura ambiente con $V_T = 0.025 \text{ V}$

Analisi:

$$\phi_j = V_T \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) = (0.025 \text{ V}) \ln \left[\frac{(10^{17}/\text{cm}^3)(10^{20}/\text{cm}^3)}{(10^{20}/\text{cm}^6)} \right] = 0.979 \text{ V}$$

$$w_{d0} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \phi_j} = 0.113 \mu\text{m}$$

$\hookrightarrow 10^{-6} \text{ m}$

Campo elettrico in un diodo (Esempio)

- **Problema:** Calcolare il campo elettrico e la dimensione delle regioni di svuotamento su entrambi i lati della giunzione pn di un diodo assegnato
- **Dati noti:** Lato di tipo p: $N_A = 10^{17}/\text{cm}^3$ lato di tipo n: $N_D = 10^{20}/\text{cm}^3$ dall'esempio precedente,

$$\phi_j = 0.979 \text{ V} \quad w_{d0} = 0.113 \mu\text{m}$$

- **Ipotesi:** Temperatura ambiente

- **Analisi:**

$$w_{d0} = x_n + x_p = x_n \left(1 + \frac{N_D}{N_A}\right) = x_p \left(1 + \frac{N_A}{N_D}\right)$$

$$x_n = \frac{w_{d0}}{\left(1 + \frac{N_D}{N_A}\right)} = 1.13 \times 10^{-4} \mu\text{m} \quad x_p = \frac{w_{d0}}{\left(1 + \frac{N_A}{N_D}\right)} 0.113 \mu\text{m}$$

Fattore 1000 di
↑ differenza drogaggio.

$$E_{MAX} = \frac{2\phi_j}{w_{d0}} = \frac{2(0.979V)}{0.113\mu\text{m}} = 173 \text{ kV/cm}$$

maggiore



Conrrenti interne del diodo

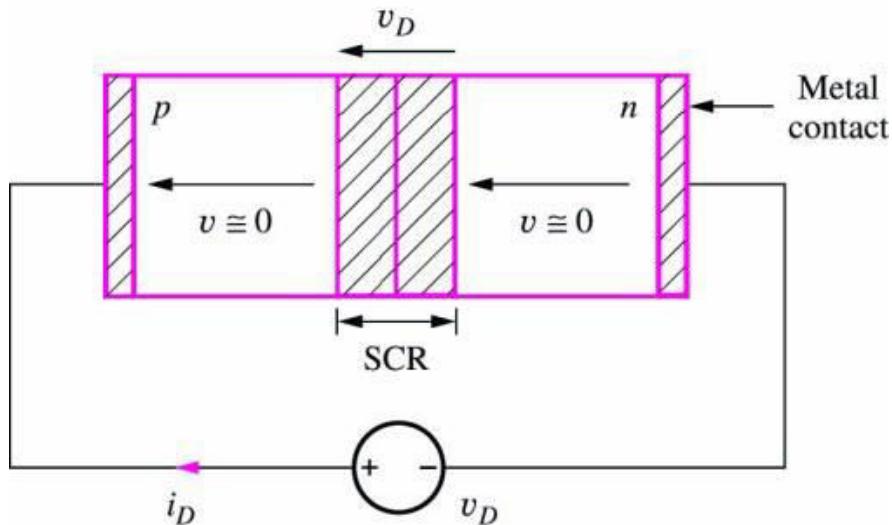
Analiticamente, per un diodo senza connessioni esterne, le espressioni della corrente totale sviluppate nel capitolo 2 sono uguali a zero. Le equazioni stabiliscono solamente che le correnti totali sono nulle. In ogni caso, come accennato precedentemente, dobbiamo ipotizzare che il campo e la tendenza della corrente di diffusione si annullino e che le correnti siano pari a zero.

$$j_n^T = q\mu_n nE + qD_n \frac{\partial n}{\partial x} = 0$$

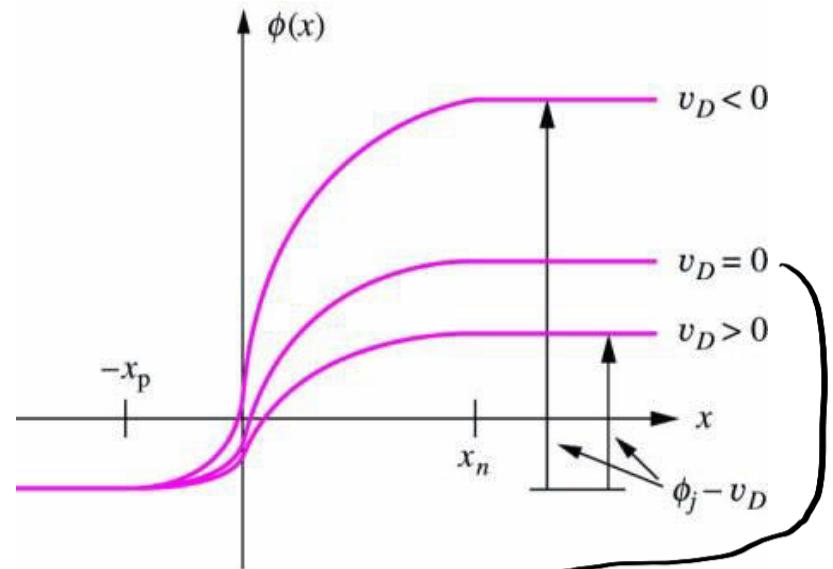
$$j_p^T = q\mu_p pE - qD_p \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

Quando si applica una tensione ai capi del diodo, le equazioni precedenti assumono valori diversi da zero.

Potenziale della giunzione per diverse tensioni applicate



Polo positivo sul lato delle lucine



Se potenziali si abbassano, potenz. bandiera

Se il potenziale si abbassa, il corrente passa al catodo.

Esempio: la batteria con polo positivo nella parte più
le lacune vengono allontanate dall'elettrodo positivo verso la gomma.
Anche gli elettroni fanno lo stesso. Si avvicinano le cariche mobili;
Regione di sussidio. Tende a ridursi

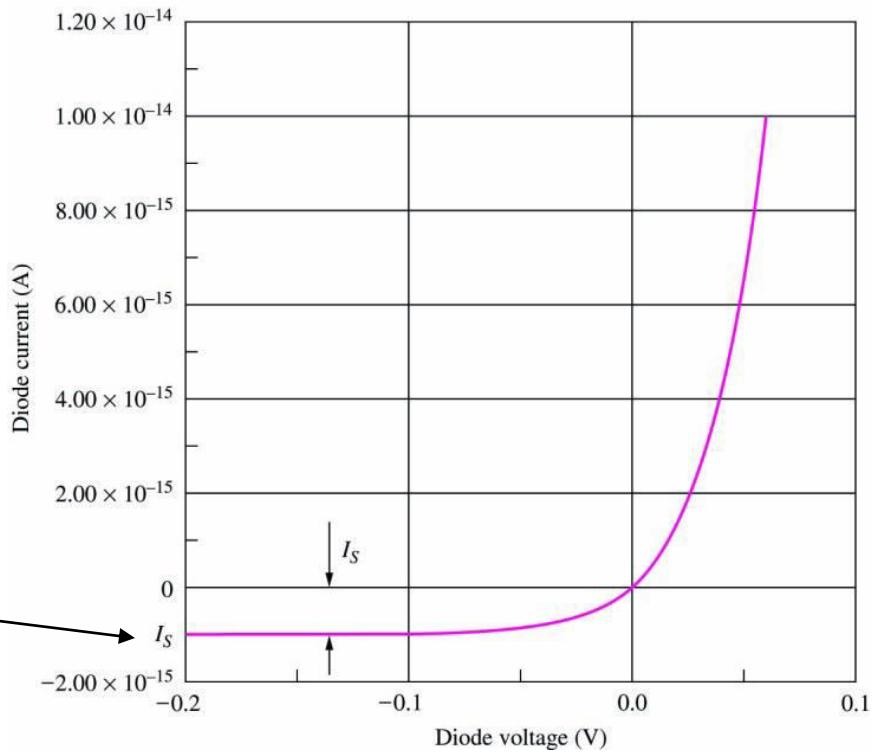
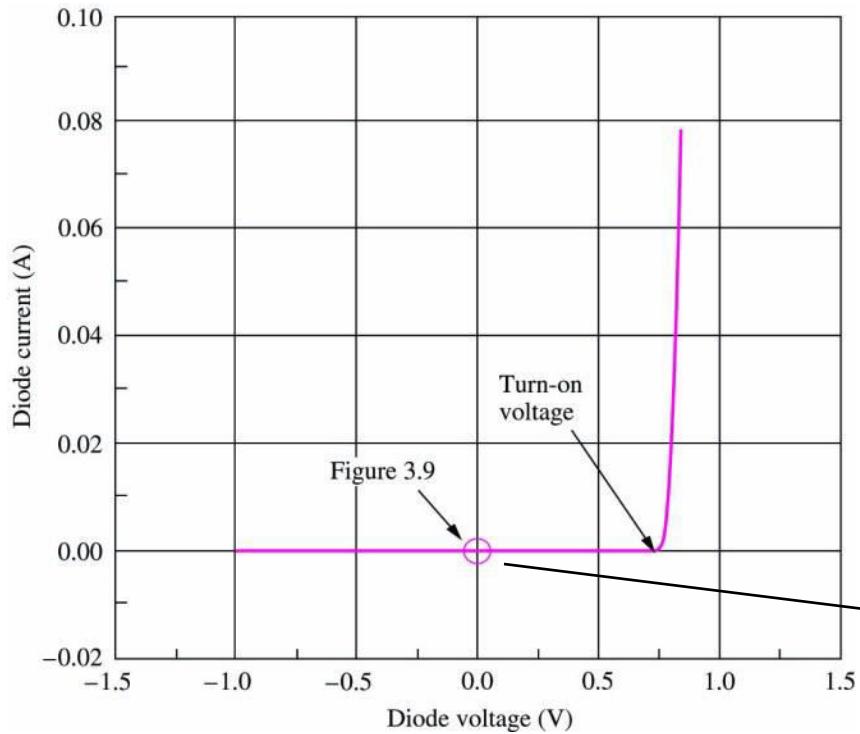
Viceversa: Lacune attirate dal polo negativo e si allontanano dalla
gomma. \Rightarrow Regione di sussidio si allarga e il potenziale cresce.
(built-in)

Immobilizzamento del potenziale: la corrente non passa.

Tensione bassa, si verifica una sovraccarica sul condensatore

Tensione positiva: spinti verso l'alto. Bisogna compensare il
potenziale built-in. (Si oppone a built-in)

Caratteristica $i-v$ del diodo



La tensione di accensione definisce il punto in cui il diodo inizia a condurre in maniera significativa.

I_s è chiamata corrente di saturazione inversa.

Converte estremamente debole; perché non 0? Perché se non sollecitato
in quale motivo dovrebbe passare?

Perché il diodo non si trova a 0K, c'è generaz. termica. (T_{ambiente}
fornisce un po' di energia che rompe un legame covalente)
Sotto eff

Voltage inverso: si allontanano nettamente.

Tensione

+ P - n; Polarizz. diretta del diodo. Resiste la carica elettronica.
Favorevole processo di diffusione.
Regime di svuotamento si restaura.

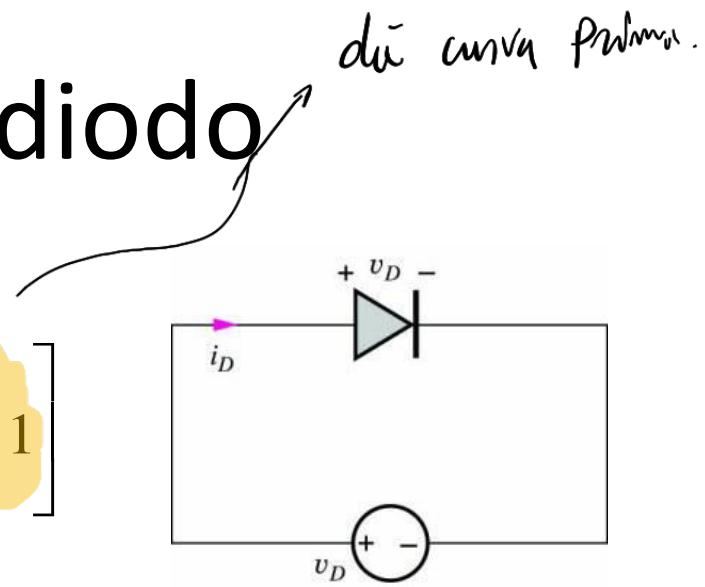
Tensione esterna deve prevalere su buona dist. \rightarrow Super concreto.

Voltage inverso: Annessione degli atomi di foglie scoperte.

L'equazione del diodo

Corrente dovuta alla germe termica

$$i_D = I_S \left[\exp\left(\frac{qv_D}{nkT}\right) - 1 \right] = I_S \left[\exp\left(\frac{v_D}{nV_T}\right) - 1 \right]$$



dove	I_S	= corrente di saturazione inversa (A)
	v_D	= tensione applicata al diodo (V)
	q	= carica dell'elettrone (1.60×10^{-19} C)
	k	= costante di Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)
	T	= temperatura assoluta
	n	= fattore di idealità
	V_T	= kT/q = tensione termica (V) (25 mV a temperatura ambiente.)

I_S è tipicamente tra 10^{-18} e 10^{-9} A, ed è fortemente influenzato dalla temperatura a causa della sua dipendenza da n^2 . Il fattore di idealità è tipicamente vicino a 1, ma si avvicina a 2 per dispositivi con elevate densità di corrente.

Assumeremo come valore 1 se non diversamente specificato.

Calcolo della corrente e della tensione in un diodo (Esempio)

Problema: Calcolare la tensione di un diodo assegnato

Dati noti: $I_S = 0.1 \text{ fA}$, $I_D = 300 \mu\text{A}$

Ipotesi: Funzionamento a temperatura ambiente in corrente continua con $V_T = 0.025 \text{ V}$
mentre egualt.

Analisi:

Con $I_S = 0.1 \text{ fA}$

$$V_D = nV_T \ln\left(1 + \frac{I_D}{I_S}\right) = 1(0.0025V) \ln\left(1 + \frac{3 \times 10^{-4} A}{10^{-16} A}\right) = 0.718 \text{ V}$$

$$V_D = 0.603 \text{ V}$$

Con $I_S = 10 \text{ fA}$

*Non è possibile fare calcolo
preciso perché dipende da
piccole variazioni.*

$$V_D = 0.748 \text{ V}$$

Con $I_D = 1 \text{ mA}$, $I_S = 0.1 \text{ fA}$

Diodo in polarizzazione inversa, nulla e diretta

$$V_d \text{ negativo} \rightarrow \frac{1}{e^{\frac{V_d}{nV_T}}} \approx 0$$

- Polarizzazione inversa:

$$i_D = I_S \left[\exp\left(\frac{V_D}{nV_T}\right) - 1 \right] \cong I_S [0 - 1] \cong -I_S$$

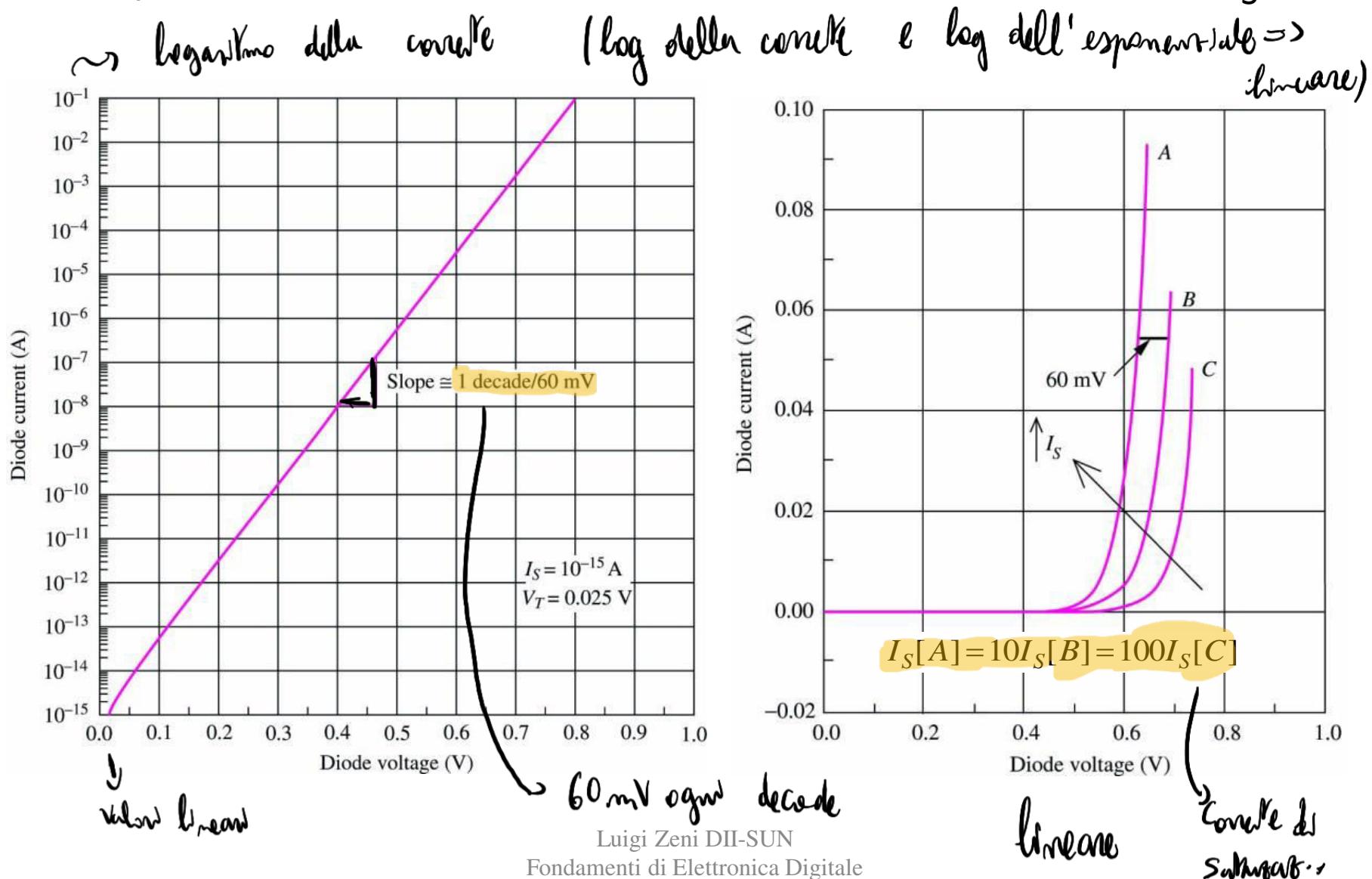
- Polarizzazione nulla:

$$i_D = I_S \left[\exp\left(\frac{V_D}{nV_T}\right) - 1 \right] \cong I_S [1 - 1] \cong 0$$

- Polarizzazione diretta:

$$i_D = I_S \left[\exp\left(\frac{V_D}{nV_T}\right) - 1 \right] \cong I_S \exp\left(\frac{V_D}{nV_T}\right)$$

Grafico in scala semilogaritmica della corrente di polarizzazione diretta con tre differenti valori di I_S



Coefficiente di temperatura del diodo

Tensione del diodo in polarizzazione diretta:

$$v_D = V_T \ln\left(\frac{i_D}{I_S} + 1\right) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{i_D}{I_S} + 1\right) \approx \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{i_D}{I_S}\right)$$

Derivando rispetto alla temperatura si ottiene I_S dipende da T .

$$\frac{dv_D}{dT} = \frac{k}{q} \ln\left(\frac{i_D}{I_S}\right) = \frac{kT}{q} \underbrace{\frac{1}{I_S} \frac{dI_S}{dT}}_{V_D - V_T} = \frac{V_D - V_T}{T} \frac{1}{I_S} \frac{dI_S}{dT} = \frac{V_D - V_{GO} - 3V_T}{T} \text{ V/K}$$

Variat. della tens.
di retta

Ipotizzando $i_D \gg I_S$, $I_S \propto n_i^2$, e V_{GO} è il potenziale corrispondente alla banda proibita nel silicio a 0K. Per un classico diodo al silicio

↪ Potenziale band in a 0K.

$$\frac{dv_D}{dT} = \frac{(0.65 - 1.12 - 0.075)V}{300K} = -1.82 \text{ mV/K} \approx -1.8 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

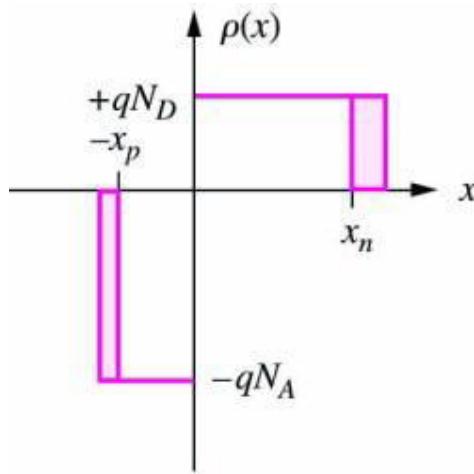
Per com'è fatto il diodo non viene v_D esatta.

(Curva tangente al
variaz. di temperatura)

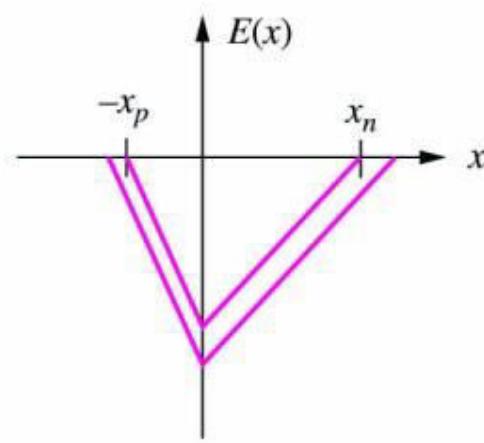
Polarizzazione inversa

(opposizione
al passaggio
di carica)

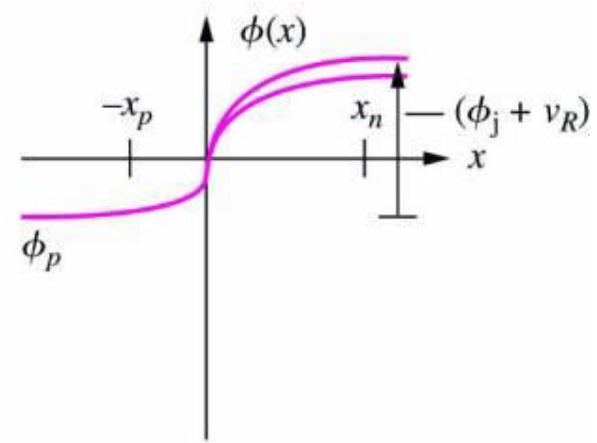
La polarizzazione inversa si aggiunge alle potenzialità della giunzione pn. Le regioni evidenziate nelle figure rappresentano l'incremento della regione di carica spaziale dovuto all'applicazione di una polarizzazione inversa, v_D .



(a) Space charge density



(b) Electric field



(c) Electrostatic potential

Polarizzazione inversa (cont.)

La polarizzazione inversa inoltre incrementa la larghezza della regione di svuotamento dato che vi è un aumento del campo elettrico interno

$$w_d = (x_n + x_p) = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (\phi_j + v_R)}$$

Al massimo
che ride la
dipendenza.

$$w_d = w_{d0} \sqrt{1 + \frac{v_R}{\phi_j}}$$

dipendenza della concre
nel modo: esponentiale
qui: quadrat. sc.

$$\text{dove } w_{d0} = (x_n + x_p) = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) \phi_j}$$

Corrente di saturazione in polarizzazione inversa

Precedentemente abbiamo ipotizzato che la corrente di saturazione inversa fosse costante. Dato che è dovuta alla generazione di coppie elettrone-lacuna nella regione di carica spaziale, è quindi proporzionale all'ampiezza della regione di svuotamento. Si può verificare un graduale incremento della corrente di polarizzazione inversa all'aumentare della polarizzazione inversa (dovuta all'allargamento della regione di svuotamento)

$$I_S = I_{SO} \sqrt{1 + \frac{\nu_R}{\phi_j}}$$

I_S è uguale a I_{SO} in polarizzazione diretta.

Vediamo con la stessa legge cosa accade quando si allunga la giunzione.

Oltre alla dipendenza dalla temperatura: aumenta volume \Rightarrow aumentano coppie che si possono generare

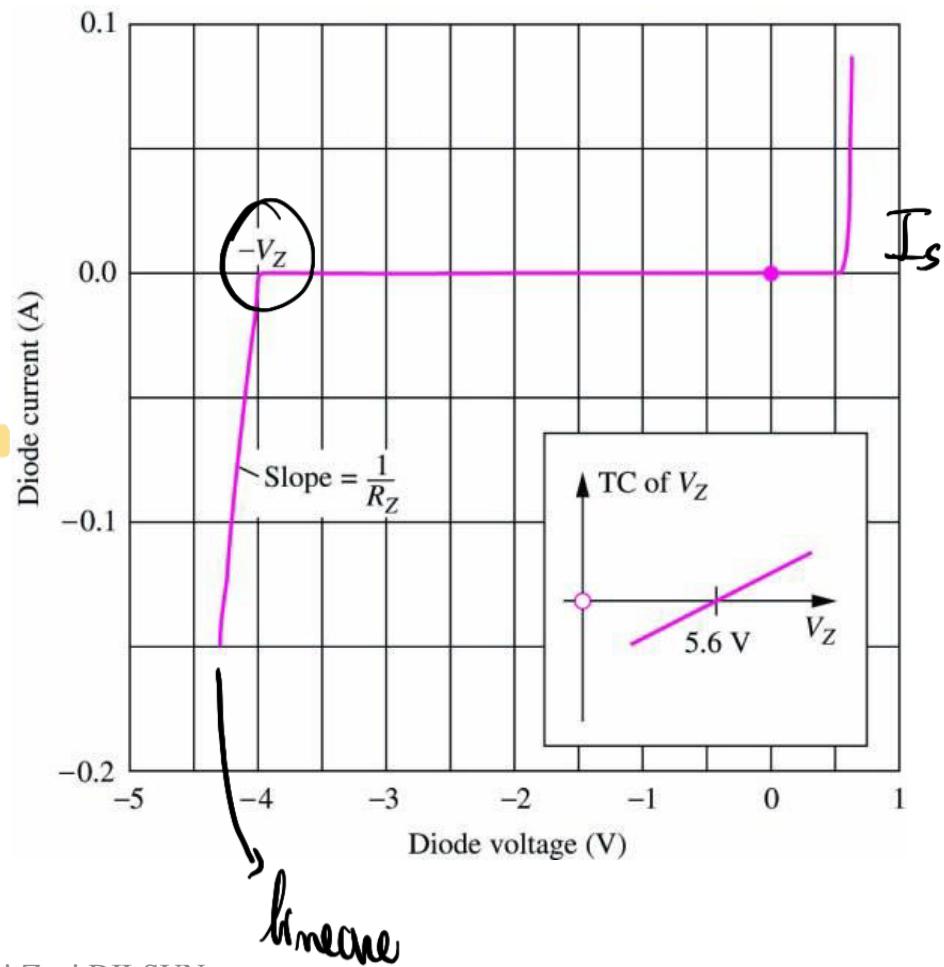
Rottura della giunzione

Parma o poi si scassa

L'aumento della tensione inversa può porare il diodo in quella che viene definita **regione di rottura**, che porta ad un rapido incremento della corrente del diodo. La tensione in cui avviene la rottura è detta **tensione di rottura**, V_Z .

$$2 \text{ V} \leq V_Z \leq 2000 \text{ V}$$

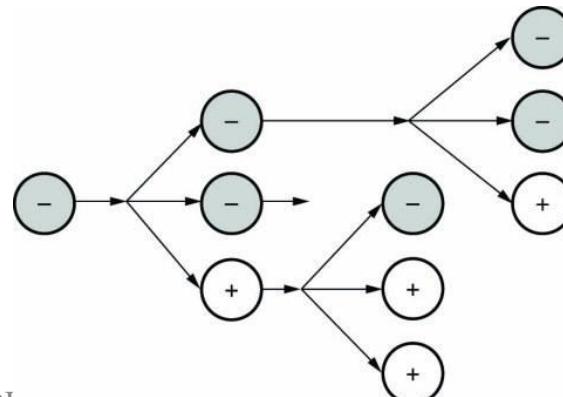
Può succedere in questo intervallo



Meccanismi di rottura

- **Rottura per effetto valanga**

Nei diodi al silicio con V_Z superiore a 5.6 volts il processo di rottura è dovuto a un meccanismo chiamato moltiplicazione a valanga. Al crescere del campo elettrico, i portatori accelerati collidono con gli atomi fissi. All'aumentare della polarizzazione, l'energia dei portatori accelerati aumenta, portando alla ionizzazione degli atomi colpiti. I nuovi portatori anch'essi accelerati ionizzano altri atomi. Questo processo si autoalimenta e porta alla rottura per effetto valanga.



A un pub la concorrenza aumenta violentemente, il circuito potrebbe rompersi.

O.1 campo enorme; più grande di quella che vedevamo in polarizz.
di cui.

BREAK DOWN di giunzione. Perché avviene?

Drolo in polarizz. inversa conduce corrente dovuta a temperatura.

Ci sono 2 meccanismi in più per creare di coppie responsabili;
molto diversi e comportamenti opposti rispetto a T.

ROTTURA VALANGA

Campo elettrico grande: portiamo generalmente effetto T sono presenti
accidenti da E. Aumenta velocità, aumenta energia K, se c'è abbastanza
spazio (abbastanza campo = aumento E oppure W) Lo spazio a disposizione
dell'elettrone mediamente è quello fra due atomi di silicio (Max distance
percorribile) [libero cammino medior quanto può camminare una particella prima
di impattare con un atomo]. Non posso aumentare energia aumentando spazio.

Ora si aumenta E. Se K supera quella è maggiore dell'energia del
band gap del materiale, quanto impatta trasferisce energia al Si e
rompe legame covalente. Atomo si ionizza: abbiamo 2 elettroni e 1 lacuna.
Entrambi corrono nella direz. del precedente. Effetto a catena.

Valanga: ripetut. del fenomeno, che dove essere possibile con valo spazio di segnale
che diventa zero. È grande per rompere le gomme covalenti.

Fenomeno influenzato male dalla temperatura: libero cammino medio Si
riduce perché atomi oscillano di più?

Dovrò aumentare la tensione.

Se aumento T, la tens. di break down VI aumenta, allora stiamo osservando

fenomeno di multiplicazione a valanga. (può non essere questo)

Diodo portante drogato, la regione di inversione è piccola: non c'è spazio per fare la valanga.

IONIZZA Z. DIRETTA / EFF. ZENER

Campo elettrico alto se regione piccola. ($E = \frac{\Delta V}{2}$)

Campo elettrico forte che giaccia elettroni da attorno al silicio. (ha maggiore densità elettronica) Prende meno spazio ad alto drogaggio.

Se aumenta T , la tensione di breakdown $|V|$ diminuisce: $\Delta T > 0 \Rightarrow$ serve meno tensione per spezzare elettrone perché hanno già energia che aumenta.

Misurando l'effetto quanto aumenta temperatura, si che cosa prevale.

Meccanismi di rottura (cont.)

- **Rottura per effetto Zener**

La rottura per effetto Zener avviene solo in diodi molto drogati. L'elevato droggaggio determina uno spessore molto piccolo della regione di svuotamento. L'applicazione di una polarizzazione inversa fa sì che i portatori con sufficiente energia passino direttamente dalla banda di conduzione alla banda di valenza per effetto tunnel. Una volta raggiunta questa soglia, un aumento della polarizzazione inversa porta ad un rapido incremento della corrente inversa

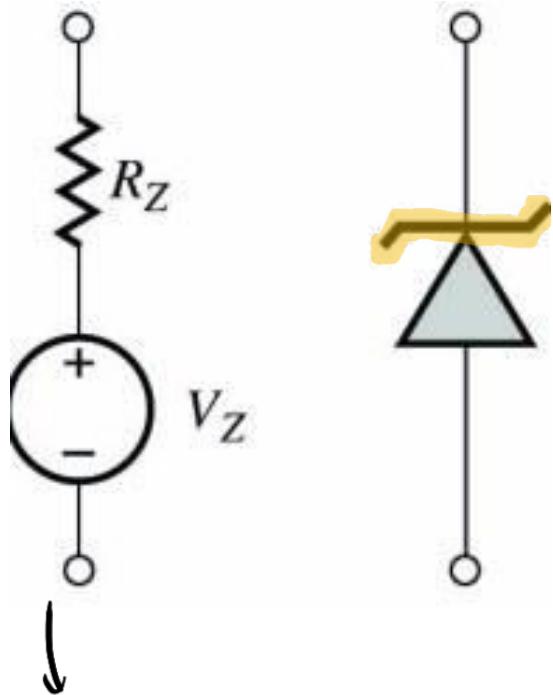
Coefficiente di temperatura della tensione di rottura

Un metodo rapido per distinguere i meccanismi di rottura è il coefficiente di temperatura. La tensione di rottura per effetto valanga cresce al crescere della temperatura, mentre quella per effetto Zener diminuisce con la temperatura.

Per un diodo al silicio, si ottiene un coefficiente di temperatura pari a zero in corrispondenza di circa 5.6V

Regime inverso di breakdown

Modello del diodo in regione di rottura



In condizioni di rottura il diodo può essere rappresentato da un generatore di tensione, V_Z , con una resistenza in serie, R_Z . R_Z determina la pendenza della caratteristica $i-v$.

Diodi progettati per operare nella regione di rottura sono chiamati **diodi Zener** e sono indicati dai simboli in figura.

La curva è molto verticale, l'entore varia poco al variare della corrente. Viene usato anche come limitatore: Se ci sono valori che superano un certo valore, il diodo va in breakdown e limita la tensione.

Carica dipendente da tensione \Rightarrow effetto capacitivo

Capacità in polarizzazione inversa

$\hookrightarrow Q = C V$ effetto capacitivo avviene ogni volta che c'è variaz. di tensione legata a variaz. di carica

Cambiamenti nella tensione portano a cambiamenti nella larghezza della regione di svuotamento e nella carica. Questo ci porta a capacità che possono essere calcolate partendo dalla dipendenza tensione-carica

$$Q_n = q N_D x_n A \xrightarrow{\text{Sv. regione}} \text{dipende dalla tensione inversa quadruplicandosi}$$
$$= q \left(\frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right) w_d A \quad \text{Coulombs}$$

$$C_j = \frac{dQ_n}{dv_R} = -\frac{C_{j0} A}{\sqrt{1 + \frac{v_R}{\phi_j}}} \quad \text{F/cm}^2 \quad \text{dove } C_{j0} = \frac{\epsilon_s}{w_{d0}}$$

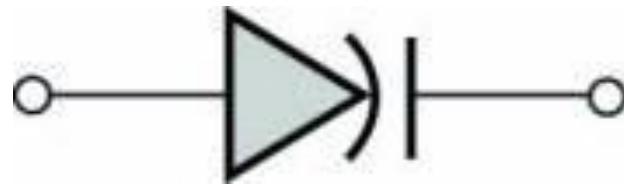
Via tensione inversa esterna

Sv. simile a quello a facce parallele e parallele

C_{j0} è la capacità del diodo a polarizzazione nulla.

Capacità in polarizzazione inversa (cont.)

I diodi possono essere progettati con profili di drogaggio opportuni, ottimizzati per funzionare come condensatori controllati dalla tensione.



Simbolo del diodo a capacità variabile (Varactor)

Oggetto di selez. cente frequenze. RC resistenza per capacità a fuoco colodine. Che se cambio tensione al VARACTOR ho condensatore diverso,

(Non necessario che fa cagione)

Polarizz. inversa si somme a quella e quindi non passa

Capacità in polarizzazione diretta

Anche qui c'è fenomeno simile: Si ha un accumulo di carica che dà capacità.

In polarizzazione diretta, un'ulteriore carica è immagazzinata in prossimità delle regioni neutre adiacenti alla regione di carica spaziale

Si definisce

$$Q_D = i_D \tau_T \text{ Coulombs}$$

corrente diretta e un tempo-tempo di transito

τ_T è detta tempo di transito e dipende dalle dimensioni e dal tipo di diodo.

La capacità di diffusione, associata alla condizione di polarizzazione diretta è proporzionale alla corrente e diventa abbastanza elevata per alte correnti

$$C_j = \frac{dQ_D}{dv_D} = \frac{(i_D + I_S) \tau_T}{V_T} \approx \frac{i_D \tau_T}{V_T} \text{ F}$$

Questa somma la capacità dovuta alle cariche fisse, con capacità equivalente a quelle di un condensatore a piastre D e II.

Relat. fra la variaz. delle cariche fisse e

Se c'è corrente si crea ulteriore accumulo di cariche la cui dipendenza è esponentiale:

Piccole variaz. di tensione portano ampie variaz. di carica.

1° caso: q dipende da x_p , che dipende quadraticamente da tensione.

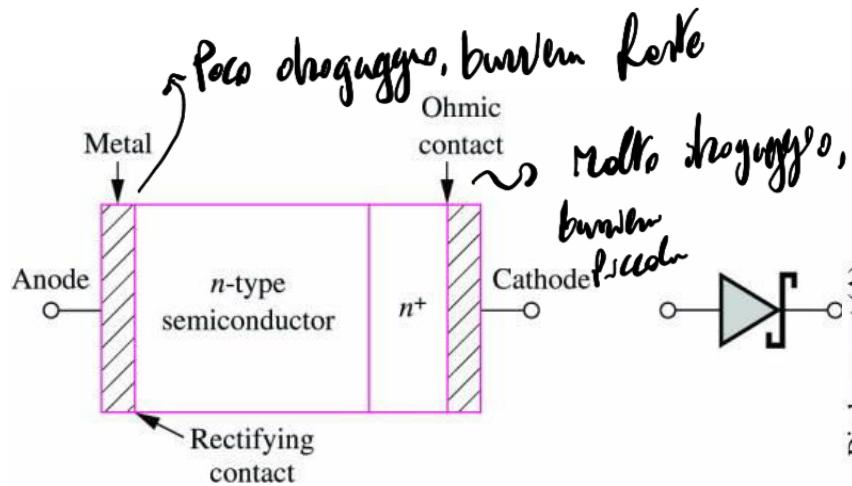
2° caso: espnt. dipende esponenzialmente da tensione.

CAPACITÀ DI DIFFUSIONE VS DI TRANSIZIONE

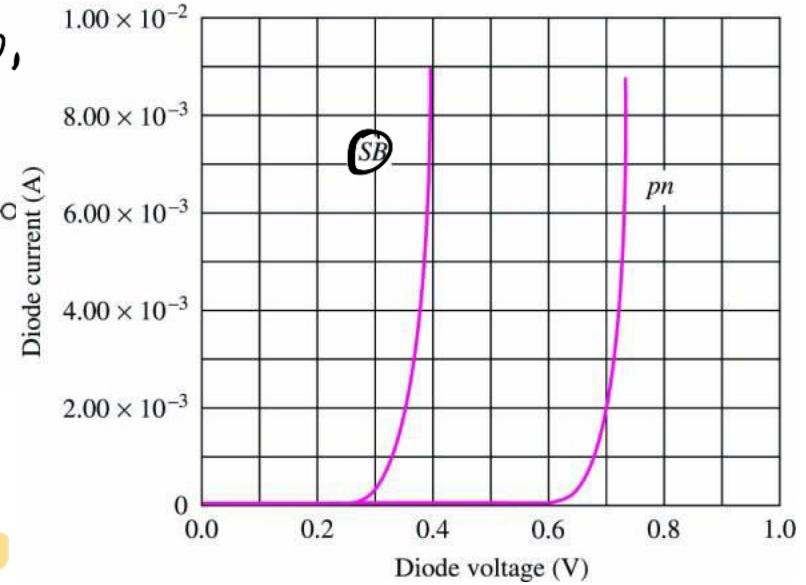
(CARICHE FISSE e CARICHE MOBILI ha dipendenza fra $Q_0 = N_D P_0$)

(Capacità anche senza polarizzaz.?)

Diodo a barriera Schottky



Una delle regioni di semiconduttore del diodo a giunzione *pn* viene sostituita da un metallo. E' più semplice realizzare un contatto Schottky con un semiconduttore di tipo n. La regione metallica diventa l'anodo. Una regione *n⁺* viene aggiunta al catodo per ottenere un contatto di tipo ohmico.



I diodi Schottky entrano in conduzione a tensioni molto minori rispetto a diodi a giunzione *pn* inoltre la carica immagazzinata in polarizzazione diretta è molto minore.

Contatto di due tra semiconduttori è stato metallico.

$n^+ = n$ più drogato

Nesse sempre un ostacolo con una giunzione di 2 materiali diversi:
c'è una barriera di potenziale.

Una trans. fra 2 materiali può favorire di più o di meno il passaggio di cariche.

Un contatto si definisce OHICO se la barriera di potenz.
è trascurabile. Barriera può essere vista come una resist.

CONTATTO RETTIFICANTE; barriera non trascurabile. Tipicamente
la giunzione è così.

Ma se drogo un pioceco semiconduttore, riduce la barriera
e il contatto diventa bidirezionale (interpretabile come resistenza)

Questi diodi hanno tensione di accensione più bassa.

Diodo si accende prima.

Led: diodo Pn 
Ma non solo.

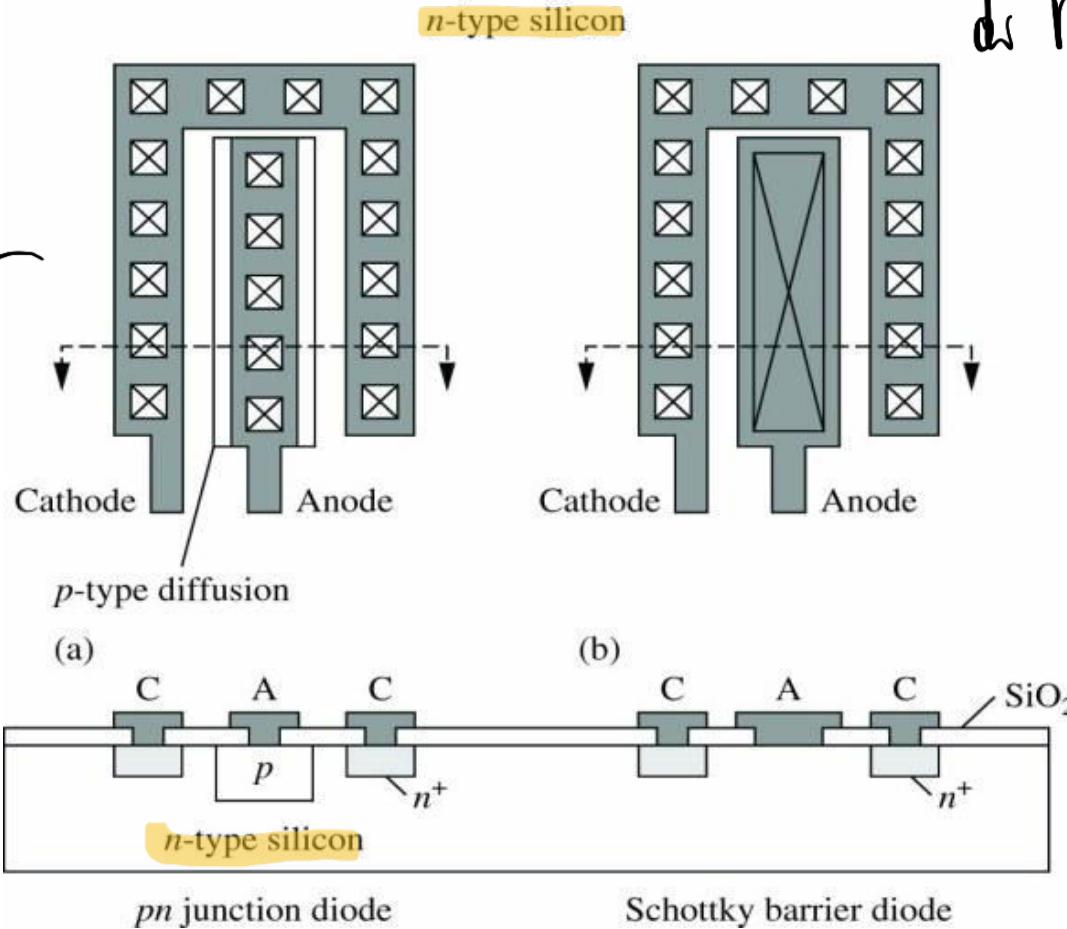
Perché quando c'è luce si emette luce rilasciata energia che aumenta temperatura.

Ci sono altri materiali in cui la ricombinazione rilascia energia in termine di fotoni, luce.

Layout del diodo

Diodo PM normale

Cathode non mette drappeggi
di tipo p.



Maschera
raccolta da corrente