

I Semiconduttori

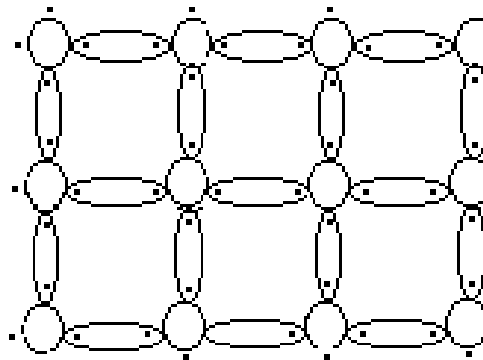
I semiconduttori hanno un comportamento intermedio fra quello dei conduttori e quello degli isolanti. Presentano una **conduttività** intermedia fra quella dei conduttori e degli isolanti e che **crece** all'aumentare della temperatura. Trovano impiego nella costruzione dei circuiti integrati digitali e analogici.

I principali semiconduttori sono : il **silicio** (Si) , il **germanio** (Ge) e l' **arseniuro di gallio** (GaAs).

I loro atomi costituiscono uno schema cristallino, noto come **reticolo a facce centrate**, nel quale gli atomi sono tenuti a posto dai legami covalenti.

Negli atomi di Si e di Ge il livello energetico più esterno contiene quattro elettroni e per raggiungere l'ottetto elettronico , tende ad acquistarne altri quattro. Ogni atomo di Si o di Ge mette in compartecipazione i suoi quattro elettroni più esterni formando quattro legami covalenti come si può vedere nella struttura cristallina in cui ogni atomo si lega (mediante i quattro legami covalenti) con altri quattro atomi uguali.

A temperatura ambiente ci sono sempre degli elettroni che si liberano dal loro legame (se così non fosse, germanio e silicio sarebbero degli isolanti perfetti) e applicando tensione si darà sempre luogo a una piccola corrente detta corrente intrinseca dovuta alla concentrazione dei portatori di carica.



I semiconduttori sono, infatti, caratterizzati dall'avere una banda proibita () relativamente stretta e, già a temperatura ambiente, un certo numero di elettroni salta dalla banda di valenza a quella di conduzione.*

Quando un elettrone si libera passando nella banda di conduzione lascia un posto vuoto definito buco o **lacuna**, che verrà occupato prima o poi da un altro elettrone che passa nelle vicinanze, ripristinando così il legame covalente. Per cui:

- quando un elettrone passa dalla banda di valenza a quella di conduzione si forma una coppia Elettrone-lacuna (**generazione**)
- quando un elettrone libero ricade nella banda di valenza si ha la scomparsa di una coppia (**ricombinazione**).

In un semiconduttore si ha una continua generazione di coppie elettrone libero - lacuna e contemporaneamente la ricombinazione.

Il numero di coppie può :

- aumentare nel tempo (la generazione predomina sulla ricombinazione)
- diminuire nel tempo (la ricombinazione predomina sulla generazione)
- rimanere inalterato nel tempo (ricombinazione e generazione si equilibrano).

La concentrazione delle coppie elettrone-lacune aumenta con l'aumentare della temperatura in quanto la generazione predomina sulla ricombinazione al crescere della temperatura.

Ma l'aumento della generazione fa aumentare anche la ricombinazione per cui si arriva ad un nuovo stato di equilibrio caratterizzato però da una maggiore concentrazione di coppie

Analogamente se facciamo diminuire la temperatura il nuovo stato di equilibrio avrà un minore numero di coppie elettrone-lacune.

L'elettrone libero e la lacuna vengono definiti **portatori di carica** e possono muoversi all'interno del materiale trasportando con sé la carica elettrica posseduta. ($q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

Se l'elettrone si sposta in un senso andando ad occupare posti vuoti, le lacune si postano in senso opposto.

La resistività di un semiconduttore è legata alla concentrazione dei portatori di carica, sia elettroni liberi che lacune; in particolare essa diminuisce con l'aumentare di dette concentrazioni ossia con l'aumentare della temperatura a differenza dei conduttori in cui la resistività aumenta e nei quali la corrente è dovuta solo al movimento di elettroni liberi.

Con il termine **drogaggio** intendiamo l'operazione di aumento della concentrazione di elettroni liberi (drogaggio di tipo n) o delle lacune (drogaggio di tipo p), causando in tal modo una forte diminuzione della resistività del semiconduttore.

Il drogaggio con atomi trivalenti (atomi **accettori: alluminio, boro, gallio, indio**) provoca un aumento delle lacune e viene denominato drogaggio di tipo p.

Il drogaggio con atomi pentavalenti (atomi **donatori: fosforo, antimonio**) provoca un aumento degli elettroni (portatori maggioritari) e viene denominato drogaggio di tipo n..

- Se il materiale di tipo P è sotto tensione, i suoi pochissimi elettroni migrano dal terminale negativo a quello positivo e le lacune nel contempo dal positivo al negativo. Le lacune si considerano portatori maggioritari di carica mentre gli elettroni rappresentano i portatori minoritari di carica.
- Nel materiale di tipo N, sotto tensione, gli elettroni sono i portatori maggioritari di carica. E muovono dal terminale negativo verso quello positivo e il piccolo numero di lacune migra in direzione opposta. Le lacune si considerano portatori minoritari di carica.

() L'ampiezza della banda energetica che vi è tra la banda di valenza e la banda di conduzione viene indicata salto energetico o banda proibita. Nei semiconduttori il salto è relativamente basso per cui alcuni elettroni, acquistata l'energia necessaria (dovuta ad es. al calore), possono raggiungere la banda di conduzione diventando elettroni liberi e lasciando un numero corrispondente di lacune, che a loro volta, possono essere colmate da altri elettroni della banda di valenza. In definitiva nel semiconduttore vi è la disponibilità sia di portatori di carica negativa che positiva.*

Quanto maggiore è il salto energetico tanto più il semiconduttore mantiene le proprie caratteristiche alle alte temperature. Il Ge può lavorare sino a 100°C, il Si sino a 200°C, e GaAs sino a 300°C

In un semiconduttore intrinseco, ossia non drogato e nella condizione di equilibrio dinamico, la concentrazione di elettroni liberi n_i eguaglia quella delle lacune p_i e cresce, come abbiamo già detto, all'aumentare della temperatura. Per cui

$$n \cdot p = n_i^2 \quad \text{legge dell'azione di massa}$$

Se viene drogato con una concentrazione di atomi donatori $N_d \approx n$

► $p = n_i^2 / N_d$

La giunzione PN

Si definisce giunzione P-N la superficie di separazione fra due zone di materiale semiconduttore drogate di tipo opposto (che si incontrano nello stesso cristallo in modo da non esserci interruzione nella struttura cristallina).

In altre parole la giunzione va realizzata drogando un unico pezzo di semiconduttore e non accoppiando due pezzi di semiconduttore distinti e drogati in modo diverso.

Nella zona di tipo P troviamo:

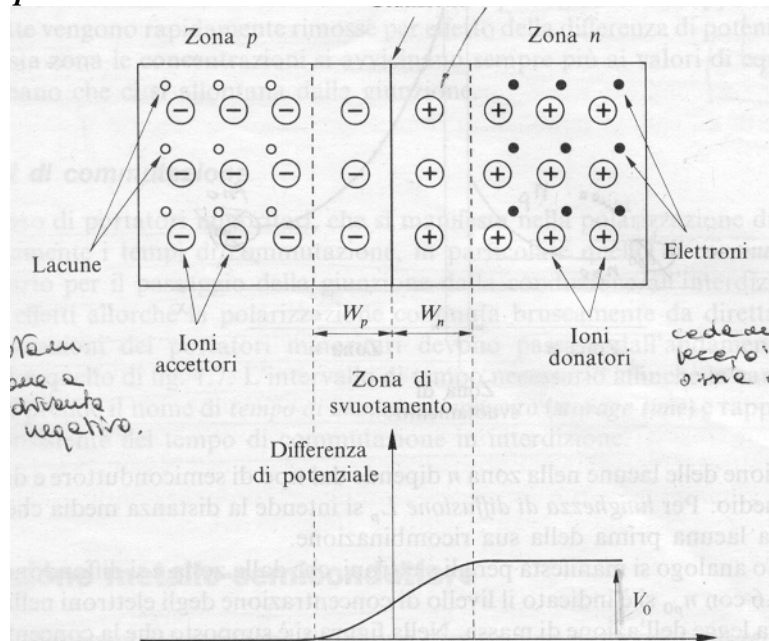
- una grande quantità di lacune;
- una piccola quantità di elettroni
- una grande quantità di ioni negativi (dovuti agli atomi accettori detti cariche stazionarie negative) che bilanciano le lacune per rendere la zona elettricamente neutra;

Nella zona di tipo N troviamo invece:

- una piccola quantità di lacune;
- una grande quantità di elettroni
- una grande quantità di ioni positivi (dovuti agli atomi donatori detti cariche stazionarie positive) che bilanciano gli elettroni;

Nella regione a cavallo della giunzione si manifesta il fenomeno della diffusione:

le lacune, numerose nella zona P, tendono a diffondersi nella zona N, dove la loro concentrazione è molto più bassa, e gli elettroni al contrario tendono a diffondersi dalla zona N a quella P.



Si provoca così uno sbilanciamento della neutralità elettrica che crea un campo elettrico diretto verso sinistra che produce una differenza di potenziale V_0 che va via via aumentando con l'aumentare delle cariche che si accumulano ai lati della giunzione stessa.

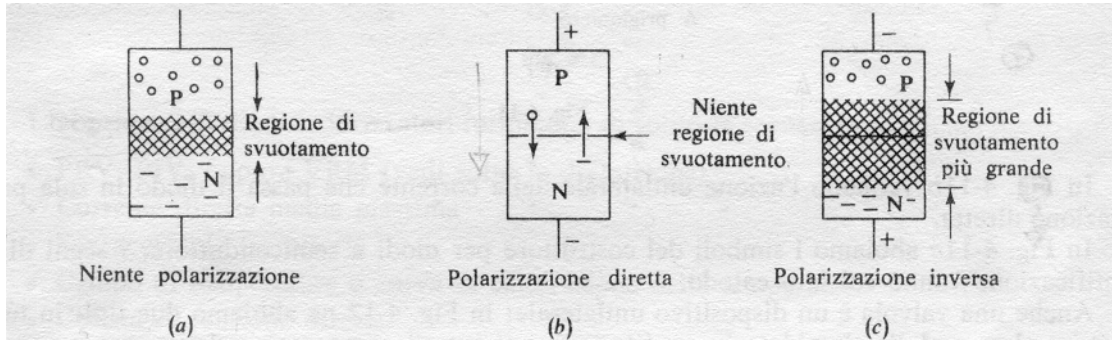
Lacune ed elettroni tendendo a ricombinarsi lasciano ai due lati della giunzione strati di ioni negativi nella zona P e ioni positivi nella zona N.

Gli elettroni (ad es.) vengono spinti dalla diffusione verso sinistra (**corrente di diffusione**) ma la forza esercitata dal campo elettrico li spinge in senso contrario (verso destra) (**corrente di deriva**).

Si perviene ad un equilibrio quando le due correnti quella di diffusione e quella di deriva, deboli e di verso opposto, si annullano a vicenda.

La zona a cavallo della giunzione in cui è avvenuta la ricombinazione risulta essere così priva di portatori liberi e si comporta da isolante. Viene detta **zona di svuotamento** e ai suoi capi si è stabilita una differenza di potenziale V_0 detta barriera di potenziale che tende ad opporsi ad un ulteriore passaggio dei portatori maggioritari (**corrente di diffusione**)

- La **corrente di diffusione** è quella provocata da una differenza di concentrazione nelle lacune o negli elettroni
- La **corrente di deriva** è invece quella in cui i portatori di carica si muovono perché spinti da un campo elettrico.



Se al materiale P si applica una tensione positiva e all’N una negativa i portatori di carica del cristallo si spostano verso la giunzione. La regione di svuotamento diminuisce e la giunzione si dice a **polarizzazione diretta**.

Se la polarizzazione diretta aumenta fino a far scomparire la regione di svuotamento i portatori di carica si sposteranno attraverso la giunzione e si avrà corrente. Ci vogliono circa 0,2 V per la polarizzazione diretta a conduzione di una giunzione PN al germanio; per quella al silicio ce ne vogliono 0,7 V.

Se al materiale si applica una tensione negativa e all’N una positiva i portatori di carica si allontanano dalla giunzione. Le lacune positive vengono attratte verso il terminale negativo; gli elettroni negativi sono attratti da quello positivo, quindi la regione di svuotamento aumenta e la giunzione si dice a polarizzazione inversa. Per un certo valore della **polarizzazione inversa** attraverso la giunzione PN non passa corrente. Se invece questa polarizzazione è abbastanza alta la barriera si spezza e la corrente passa. Il punto in cui ciò si verifica identifica la tensione zener.

La maggior parte della giunzioni al germanio se viene polarizzata fino al punto zener si distrugge. Questo non succede alle giunzioni al silicio, sempre che la corrente inversa non sia eccessiva.

APPROFONDIMENTI

- Nella **polarizzazione diretta** vi sono 2 campi elettrici:

- E_g dovuta al generatore esterno
- E_o che impedisce la diffusione dei portatori di carica maggioritari

Quindi $E_t = E_o - E_g < E_o$: il campo elettrico così diminuito non è più in grado di contrastare la diffusione dei portatori maggioritari, per cui la diffusione riprende e provoca un forte passaggio di corrente sostenuta dal generatore esterno, tanto più grande quanto più elevata è V_g .

La corrente è di tipo esponenziale per cui la corrente assume valori molto elevati già per piccole tensioni ed è data dalla formula:

$$I = I_0 * (e^{V_g / \eta V_0} - 1)$$

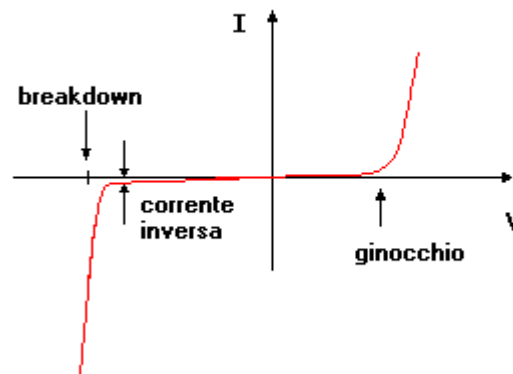
I_0 = corrente di saturazione inversa
(μA nel Ge, nA nel Si)

$V_0 = 25mV$ a $25^\circ C$

$\eta = 1$ nel Ge

$\eta = 2$ nel Si

V = tensione di polarizzazione diretta applicata



Per valori negativi $I \approx I_0$ (nA nel Ge, μ A nel Si)

Per evitare correnti troppo elevate occorre limitare la tensione applicata alla giunzione entro i valori di 0,2V per il Ge e 0,6V per il Si. Si limita la corrente inserendo una resistenza in serie alla giunzione che provocando una caduta di tensione ridurrà la tensione applicata alla giunzione.

La curva caratteristica di un diodo non è rettilinea: il diodo, pertanto, non è un bipolo lineare.

In polarizzazione diretta:

- La tensione di soglia definita definita come quella tensione applicata ai capi del diodo che fa crescere sensibilmente la corrente (circa 0,5Volt). Al di sotto della tensione di soglia non vi è praticamente corrente
- La tensione di conduzione o di ginocchio che rappresenta praticamente il valore di tensione che annulla l'effetto della barriera di potenziale e per la quale la corrente cresce rapidamente per piccoli incrementi di tensione. (circa 0,7 Volt per diodi al silicio)

Quindi, in polarizzazione diretta occorre non superare:

- il valore massimo di corrente diretta $I_{f_{max}}$, pena la distruzione del componente per il calore che si sviluppa se la corrente è troppo grande ($I_{f_{max}} \leq 150$ mA).
- La massima dissipazione di potenza

Nella **polarizzazione inversa** Il campo elettrico E_g esercitato dal generatore ha lo stesso verso di E_0 per cui $E_t = E_0 + E_g$, per cui gli elettroni vengono spinti dalla zona P alla zona N, e le lacune sono spinte in senso contrario. Si ottiene come risultato una diminuzione dei portatori di carica minoritaria e la zona di svuotamento si allarga. La giunzione viene attraversata da una piccola corrente dovuta ai portatori di carica minoritaria detta corrente inversa che aumenta con l'aumentare della tensione V_g e quando questa supera gli 0,1V, la corrente inversa rimane costante e prende il nome di corrente inversa di saturazione. (nA nel Si e μ A nel Ge).

La corrente inversa risulta trascurabile quando si rimane sotto la tensione di rottura (breakdown) oltre la quale la corrente inversa aumenta enormemente. Nella zona di svuotamento si ha infatti un'enorme quantità di portatori di carica dovuti a due processi:

Effetto Zener :

(Ad una maggiore concentrazione di impurità corrisponde un campo elettrico più elevato nello strato di carica spaziale, a parità di tensione applicata.)

Può succedere che intorno ai 6V di polarizzazione inversa a causa della forza esercitata dal campo elettrico E , i **legami di valenza possano rompersi**, riuscendo a liberare elettroni in grande quantità che spinti in circolazione formano una elevata corrente inversa.

Questi elettroni sottoposti all'azione del campo elettrico vengono accelerati e aumentano la propria energia cinetica ma urtano continuamente tra loro per cui perdono l'energia che avevano acquistato.

Effetto valanga :

Si ha, appunto, quando gli elettroni, acquistano un certo valore di energia cinetica per azione del campo elettrico sufficiente a rompere un legame covalente dell'atomo urtato e libera in questo modo un altro elettrone. Tra un urto e l'altro si producono nuove coppia elettrone-lacuna, cioè, altri portatori secondari che a loro volta, se hanno sufficiente energia, per urti con altri ioni, produrranno altre coppie elettrone-lacuna; in questo modo si ha una moltiplicazione a valanga dei portatori di carica e la corrente inversa che si ottiene può divenire molto grande.

Il breakdown della giunzione è un fenomeno non distruttivo purché venga limitata la corrente. Evitando così un eccessivo aumento della temperatura sulla giunzione.

I fenomeni di breakdown vengono sfruttati nella realizzazione dei diodi zener.

La temperatura influisce in maniera diversa sui due meccanismi: in particolare, un suo aumento facilita l'effetto zener (perché i legami si rompono prima a causa dell'agitazione termica) e riduce la valanga (perché rende più frequenti le collisioni e il percorso dei portatori si accorcia, non riuscendo ad acquistare fra un urto e l'altro una energia sufficiente a rompere i legami)

Per tensioni inverse molto maggiori della tensione di rottura, non si ha più né effetto Zener, né effetto valanga, ma solo forti correnti che surriscaldano la giunzione sino a distruggerla.

Effetto Tunnel

Consiste nel fatto che, quando lo spessore della barriera è molto sottile, i portatori riescono a superare la barriera perforandola.

Le specifiche di un diodo fornite dai fabbricanti riguardano:

- **Massima tensione ammissibile di polarizzazione Inversa** (VRM Voltage reverse Maximum detta anche PRV o PIV o tensione di rottura)
- **Corrente diretta media massima**
- **Sovracorrente transitoria** (valore istantaneo di corrente che il diodo può sopportare senza distruggersi (da 0,5 a 4 A), per sicurezza si mette una resistenza limitatrice da 10 a 20 Ω)
- **Il campo di temperatura** entro cui il diodo può funzionare con le specifiche indicate
- **Caduta di tensione diretta** V_f , rilevata ai capi del diodo quando esso conduce in corrispondenza alla corrente diretta massima
- **Corrente inversa massima** I_r che il diodo può gestire per un certo tempo quando viene usato come zener

CONTATTO METALLO- SEMICONDUCTTORE

Sulla superficie di separazione tra un metallo e un semiconduttore si possono ottenere 2 tipi di contatto:

- contatto **ohmico** (che si comporta come un normale collegamento elettrico). La zona di contatto tra le due superfici conduce nei due sensi, in quanto priva di zona di svuotamento.
- contatto **rettificante** (che ha un comportamento analogo a quello della giunzione p-n). La zona di contatto conduce in un solo senso in quanto si forma una zona di carica spaziale nel semiconduttore che si oppone al passaggio delle cariche.

Si definisce Potenziale di estrazione l'energia che occorre spendere per portare un elettrone che si trova sulla superficie esterna sino all'infinito, cioè il lavoro che bisogna compiere per vincere l'attrazione che alla superficie, caricata positivamente per la mancanza dell'elettrone, esercita sull'elettrone estratto.

Metallo –semiconduttore di tipo N

Se il metallo ha un potenziale di estrazione maggiore di quello del semiconduttore il contatto è **rettificante**. Quando le superfici vengono a contatto gli elettroni del silicio, avendo maggiore energia, migrano verso il metallo, provocando una zona di carica spaziale nel semiconduttore e un deposito di cariche nel metallo. A cavallo della superficie di contatto una barriera di potenziale che si oppone al passaggio sino ad arrivare ad un equilibrio termico.

Il contatto è polarizzato direttamente se il metallo si trova al potenziale positivo. In tal caso gli elettroni vanno dal metallo al semiconduttore e si abbassa la barriera.

Il contatto è polarizzato inversamente se il metallo si trova al potenziale negativo. In tal caso gli elettroni vengono prelevati dalla barriera di potenziale verso il metallo. La zona di svuotamento si allarga e il passaggio di corrente viene impedito.

Se il metallo ha un potenziale di estrazione inferiore di quello del semiconduttore il contatto è **ohmico**.

Metallo –semiconduttore di tipo P

Se il metallo ha un potenziale di estrazione maggiore di quello del semiconduttore il contatto è ohmico.

Se il metallo ha un potenziale di estrazione inferiore di quello del semiconduttore il contatto è rettificante.

DIODO ZENER

Ha una giunzione realizzata in modo tale da poter lavorare bene in condizioni di breakdown. Viene comunemente usato come stabilizzatore di tensione, sfruttando il fatto che in zona di breakdown la tensione è quasi costante ed indipendente dalla corrente, comportandosi pertanto come un generatore quasi ideale di tensione

Sono rettificatori al silicio nei quali la corrente inversa rimane piccola fino a che non si raggiunge la tensione di break-down e poi cresce rapidamente per piccoli incrementi di tensione. In queste condizioni la resistenza dinamica del diodo è molto bassa e se la dissipazione di potenza e la temperatura del diodo rimangono basse non si avranno dei danneggiamenti.

La tensione di break-down dipende dal materiale utilizzato e dalla tecnica di costruzione del diodo. Più in particolare, si può controllare il livello di break-down dalla concentrazione dei droganti e quindi dalla larghezza della zona di svuotamento.

Se quest'ultima è stretta il breakdown si genera per effetto Zener, se invece è più larga si genera per effetto valanga.

Un normale diodo, invece, soggetto a tensioni inverse superiori a quella di rottura può danneggiarsi perché, a causa di un drogaggio non uniforme, in alcune zone può concentrarsi un forte passaggio di corrente, con alta dissipazione di corrente e conseguenti danneggiamenti.

L'effetto valanga si verifica quando per un certo valore della tensione inversa, si arriva ad un alto valore del campo elettrico nella zona di svuotamento che consente di fornire agli elettroni, liberi per effetto termico, una certa energia da permettere negli urti di liberare altri elettroni di valenza.

Rompendo altri legami covalenti, si creano nuove coppie elettrone-lacuna che contribuiscono ad aumentare la probabilità di nuovi urti e quindi nuove rotture, incrementando così la corrente inversa che cresce con una specie di reazione a catena.

Questo fenomeno è sensibile alla temperatura in quanto all'aumentare della temperatura aumenta l'agitazione termica e quindi la probabilità d'urto delle particelle con gli atomi quando esse attraversano lo spessore di transizione. È più difficile quindi per gli elettroni e le lacune acquistare sufficiente energia, fra una collisione e l'altra, per innescare il processo a valanga. Per questo motivo il suo valore deve crescere all'aumentare della temperatura e quindi il coefficiente di temperatura è positivo.

Nei diodi Zener essendo le due parti fortemente drogate, aumentando la tensione inversa l'allargamento della zona di svuotamento è limitato.

L'effetto valanga è poco probabile in quanto le cariche in tale zona hanno poco spazio per acquistare una energia sufficiente a rompere i legami covalenti per urto, si raggiungono invece forti campi elettrici che comportano la rottura diretta dei legami covalenti con la generazione di forti correnti inverse (effetto ZENER).

Un aumento di temperatura fa aumentare le energie degli elettroni dei legami covalenti e quindi rende più facile a questi elettroni sfuggire dai legami (si ha un aumento dell'agitazione termica); si richiede perciò una minore tensione applicata per strappare gli elettroni dal reticolo cristallino e farli diventare di conduzione.

La tensione di scarica diminuisce con l'aumentare della temperatura e il coefficiente di temperatura risulta pertanto negativo.

In generale l'effetto Zener si verifica per tensioni inverse molto basse inferiori ai 6V.

I diodi zener con tensioni comprese fra 5V e 6V sono i più stabili in temperatura.

Per tensioni inverse comprese tra 6/8 V si ha la presenza contemporanea dei due fenomeni (Zener e valanga).

Per tensioni inverse superiori a 8V l'effetto preminente e' quello a valanga.

Nei diodi zener normalmente la tensione di lavoro V_z indicata dai costruttori e' data in corrispondenza ad un valore I_z pari al 20% del valore massimo di corrente ammissibile.

Di grande importanza e' la pendenza della curva caratteristica nella regione di break-down $r = V_z / I_z$ o resistenza differenziale.

Tecnologie costruttive:

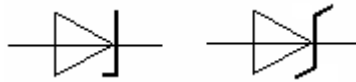
-Tecnologia a lega Al-Si: per diodi di piccola e media potenza (fino a 10W);

-Tecnologia a diffusione: per diodi di media ed alta potenza dove sono necessarie grandi aree di giunzioni;

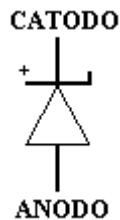
-Tecnologia planare: per diodi di piccola potenza;

DIODI ZENER= STABILIZZATORI DI TENSIONI CONTINUE

Simboli



Su Nuova Elettronica trovate questo simbolo:



Sebbene i diodi Zener hanno la stessa forma dei diodi al silicio ed una fascia colorata che identifica il lato del terminale Catodo, non vengono utilizzati per raddrizzare una tensione alternata, ma soltanto per stabilizzare delle tensioni continue.

La sigla riportata sul loro corpo ad es. 4,5 -5,1 - 7,5 - 12 -15 - 18 ecc..., indica il valore della tensione che ci forniscono già stabilizzata.

In altre parole un diodo zener siglato 18 verrà usato per stabilizzare una tensione continua di valore più elevato (22-25-30 volt) sul valore fisso di 18 Volt.

Per stabilizzare una tensione tramite diodo zener bisogna sempre collegare sul suo Catodo una resistenza di caduta (R1). Infatti un diodo zener collegato direttamente sulla tensione da stabilizzare senza una resistenza, si danneggerebbe in pochi secondi. Il valore di questa resistenza si sceglie in funzione del valore della tensione che vogliamo stabilizzare e del valore del diodo zener utilizzato.

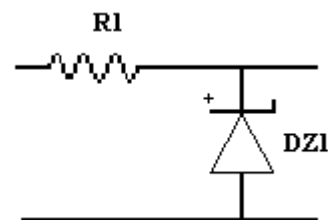
$$R = \frac{(V_{cc} - V_z)}{0,025}$$

dove

V_z = Volt del diodo zener utilizzato

V_{cc} = Volt applicati sull' resistenza

0,025 = corrente media di lavoro in Ampere



Supponendo di avere un atensione di 12 Volt e di volerla stabilizzare a 5,1 V occorrerà procurarsi un diodo zener da 5,1 Volt e poi collegarlo ai 12 Volt tramite un aresistenza che abbia un valore di

$$R = \frac{(12-5,1)}{0,025} = 276 \text{ ohm} \Rightarrow 270 \text{ ohm}$$

Come qualsiasi altro componente , anche i diodi zener hanno una loro tolleranza, quindi la tensione che stabilirizzeremo non avrà l'esatto valore riportato sul loro involucro . In altre parole sull'uscita di un diodo zener siglato 5,1 potremo prelevare una tensione compresa tra 4,8 V e 5,4 V.

I diodi zener si collegano solamente in serie, perchè collegandoli in parallelo si ottiene una tensione stabilizzata pari al diodo zener con il valore più basso.

Collegando in parallelo due diodi zener , uno da 5,1V e uno da 15V, otterremo una tensione stabilizzata sul valore di tensione minore, cioè 5,1 Volt. Se invece colleghiamo in serie due diodi zener potremo stabilizzare una tensione sl valore pari alla somma dei due diodi .

Collegando in serie un diodo zener da 5,1V ed uno da 15 V otterremo una tensione stabilizzata di $5,1+15=20,1$ volt.

Per collegare in serie due diodi Zener bisogna collegare sull'Anodo del primo il catodo del secondo.

Ricapitolando

Se si supera la tensione di rottura , una forte corrente inversa passa attraverso la giunzione (corrente inversa di rottura) che dipende dal valore del campo elettrico nello strato di carica spaziale ed è dovuta all'effetto valanga e/o all'effetto zener.

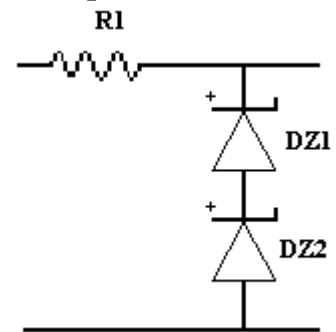
Effetto Valanga

Il campo elettrico nello strato di carica spaziale prodotto da una tensione inversa di rottura fa acquistare una certa energia ai portatori di carica mobili che vengono accelerati tra un urto e l'altro con gli ioni immobili dello strato. Succede che un portatore di carica mobile nell'urto può produrre una coppia elettrone lacuna ,cioè, altri due portatori secondari che a loro volta , se hanno sufficiente energia , per urti con altri ioni ,produrranno altre coppie elettrone-lacuna; in questo modo la corrente inversa che si ottiene può divenire molto grande.

Effetto Zener

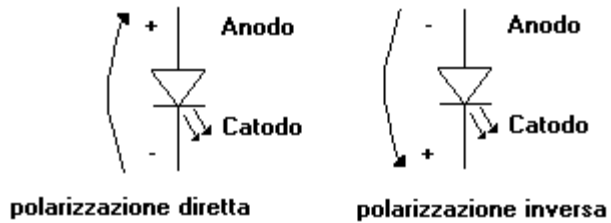
Ad una maggiore concentrazione di impurità corrisponde un campo elettrico più elevato nello strato di carica spaziale, a parità di tensione applicata.

Può succedere che intorno ai 6V di polarizzazione inversa a causa della forza esercitata da tale campo elettrico qualche legame di valenza possa rompersi , creando così coppie lacune-elettroni che formano la corrente inversa



IL LED o Diodo Emittitore di Luce

Il LED (Light Emitting Diode) è un dispositivo usato frequentemente per la visualizzazione dello stato di una variabile logica nel caso che essa sia rappresentata da un livello di tensione. Questo componente può essere polarizzato direttamente o inversamente.



Quando è polarizzato direttamente emette luce; quando è polarizzato inversamente oppure non è polarizzato non emette luce.

I principali parametri di un LED sono :

- colore della luce emessa
- diametro del contenitore
- corrente max
- intensità luminosa

Calcolo della resistenza di protezione

Se la tensione utilizzata per polarizzarlo è superiore ad 1 volt è opportuno limitare la corrente inserendo una resistenza in serie di valore determinato dalla relazione.

$$R = \frac{V_{cc} - V_f}{I_f}$$

Ad es. se:

V_{cc}=5V (tensione con cui viene polarizzato il diodo LED),

V_f=1,7V (tensione ai capi del diodo LED,)

I_f=10 mA (corrente max diretta che il diodo LED può sopportare)

R=360 ohm