

I Semiconduttori

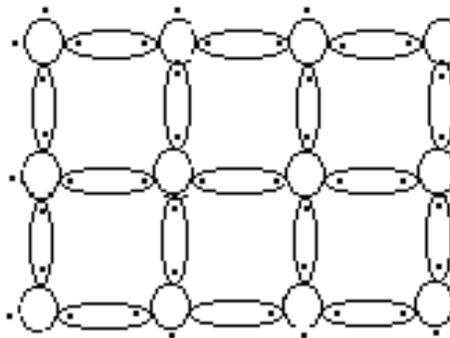
I semiconduttori hanno un comportamento intermedio fra quello dei conduttori e quello degli isolanti. Presentano una **conduttività** intermedia fra quella dei conduttori e degli isolanti e che **cresce** all'aumentare della temperatura. Trovano impiego nella costruzione dei circuiti integrati digitali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

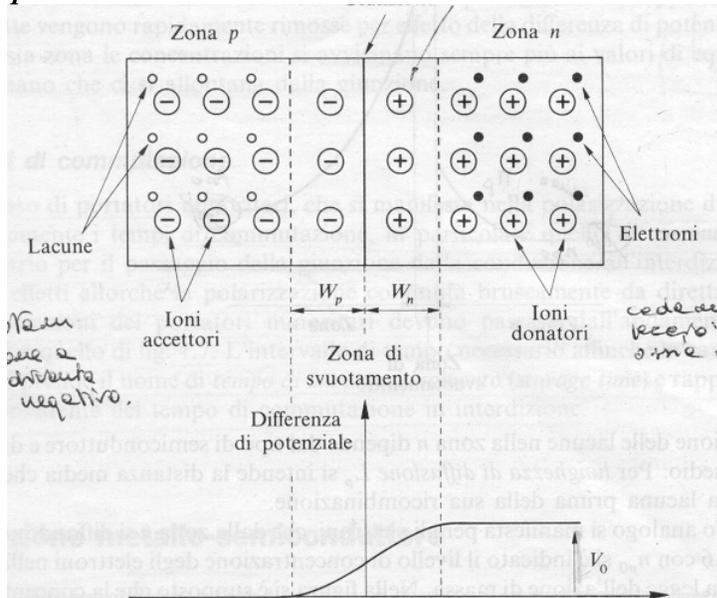
- una grande quantità di lacune;
- una piccola quantità di elettroni
- una grande quantità di ioni negativi (dovuti agli atomi accettori detti cariche stazionarie negative) che bilanciano le lacune per rendere la zona elettricamente neutra;

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.

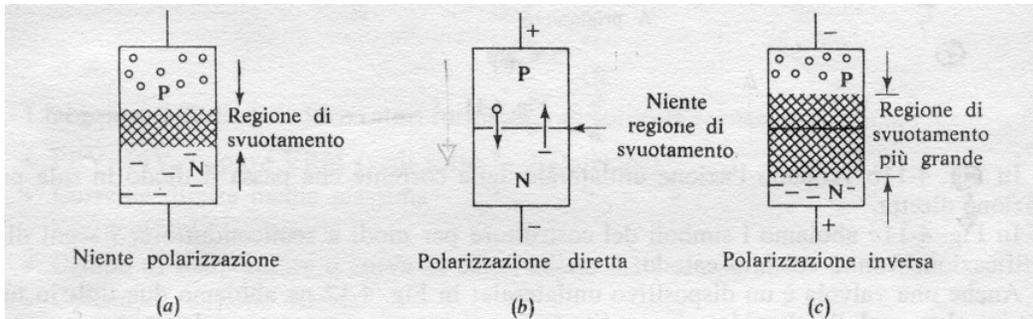
Lacune ed elettroni tendendo a ricombinarsi lasciano ai due lati della giunzione strati di ioni negativi nella zona P e ioni positivi nella zona N.

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 si accendeva.