

Semiconduttore

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

I **semiconduttori** sono materiali che hanno una resistività (o anche una conducibilità) intermedia tra i conduttori e gli isolanti. Essi sono alla base di tutti i principali dispositivi elettronici e microelettronici a stato solido quali i transistor, i diodi e i diodi ad emissione luminosa (LED). Le proprietà dei semiconduttori diventano interessanti se vengono opportunamente drogati con impurità. Le loro caratteristiche quali resistenza, mobilità, concentrazione dei portatori di carica sono importanti per determinare il campo di utilizzo. La risposta di un semiconduttore a una portante dipende dalle sue caratteristiche intrinseche e da alcune variabili esterne come la temperatura.



Silicio, il semiconduttore più utilizzato in elettronica

Indice

- 1 Livelli energetici nei solidi
- 2 Semiconduttori intrinseci
- 3 Semiconduttori estrinseci
- 4 Corrente nei semiconduttori
- 5 Materiali semiconduttori
- 6 Mercato
- 7 Note
- 8 Bibliografia
- 9 Voci correlate
- 10 Collegamenti esterni

Livelli energetici nei solidi

La principale caratteristica dei solidi è la distribuzione di livelli energetici possibili in bande di energia separate da intervalli proibiti (GAP).

Nei conduttori di solito l'ultima banda (detta banda di conduzione) non è completamente riempita e quindi esistono livelli non occupati contigui in energia a quelli occupati. Gli elettroni possono accedere a questi livelli vuoti ricevendo energia da un campo elettrico esterno; questo comporta una densità di corrente concorde al campo. Gli elettroni delle bande inferiori, che sono tutte piene, non acquistano energia e non influiscono nel processo di conduzione. L'ultima banda piena si chiama banda di valenza.

Questa configurazione non è l'unica che permetta di avere proprietà di conduzione. Può accadere che l'ultima banda completamente piena si sovrapponga a quella successiva vuota. Questo tipo di struttura a bande si trova, ad esempio, nel magnesio, e spiega perché questo ha una buona conducibilità elettrica pur avendo la banda di conduzione vuota come gli isolanti. Nel magnesio la banda di conduzione (formata dagli orbitali 3p) è vuota ma non c'è una banda proibita con la banda di valenza piena (dagli orbitali 3s) perché questa "sale" a coprire parte della banda 3p.

Non sono conduttori i solidi refrattari in cui l'ultima banda contenente elettroni è completamente piena e non è sovrapposta alla banda successiva. Questa è la configurazione che caratterizza gli isolanti e i semiconduttori. L'ampiezza della zona proibita è definita banda proibita, o *energia di gap*, o con l'espressione inglese *band gap*.

Con questo parametro è possibile definire i semiconduttori come quei solidi la cui banda proibita è abbastanza piccola da far sì che ad una temperatura inferiore al punto di fusione si possa osservare statisticamente una conduzione non trascurabile (comunque inferiore a quella dei conduttori, ma superiore a quella degli isolanti) dovuta al passaggio dei portatori di carica dalla banda di valenza (piena) a quella di conduzione per eccitazione termica^[1].

Semiconduttori intrinseci

Nel silicio e nel germanio l'energia di gap a temperatura ambiente (300 K equivalenti a 27 °C) è di $E = 1.12$ eV per il silicio, $E = 0.42$ eV per il germanio. Questi solidi si comportano come isolanti a temperature prossime allo zero assoluto (a $T = 0$ K equivalenti a -273,15 °C il gap è 1.17 eV per il silicio e 0.74 eV per il germanio). Quando la temperatura aumenta non è trascurabile la probabilità che gli ultimi elettroni, presenti nella banda di valenza, possano passare alla banda di conduzione, per eccitazione termica. Gli elettroni passati alla banda di conduzione sotto l'azione di un campo elettrico esterno danno luogo a una densità di corrente j_e . Ogni elettrone che passa dalla banda di valenza alla banda di conduzione, lascia un livello vuoto definito *lacuna*.

La presenza delle lacune rende disponibili altri livelli che possono essere occupati da altri elettroni della banda di valenza e quindi si può avere un moto ordinato di cariche, sotto l'azione di un campo elettrico anche nella banda di valenza. Si parla quindi di una densità di corrente nella banda di valenza j_h . In un semiconduttore in presenza di un campo elettrico esterno abbiamo un flusso di carica negativa dovuto agli elettroni nella banda di conduzione, sia rispetto alla nuvola stazionaria degli elettroni di valenza, un flusso di carica positiva dovuto alle lacune nella banda di valenza. Chiamando n_e, n_h le concentrazioni degli elettroni e delle lacune e v_e, v_h le velocità di deriva, una opposta e una concorde al campo elettrico esterno, la densità di corrente totale è data da

$$\vec{j} = \vec{j}_e + \vec{j}_n = (-e)n_e\vec{v}_e + en_h\vec{v}_h$$

e considerando le mobilità (le mobilità sono diverse tra di loro perché descrivono due condizioni fisiche diverse)

$$\mu_e = \frac{v_e}{E}; \quad \mu_h = \frac{v_h}{E}$$

abbiamo che

$$\vec{j} = e(n_e\mu_e + n_h\mu_h)\vec{E}$$

Nei semiconduttori descritti sin qui, le cariche sono quelle fornite esclusivamente dagli atomi del semiconduttore stesso.

In questa condizione $n_e = n_h = n_i$; questa uguaglianza definisce i **semiconduttori intrinseci** per i quali abbiamo che

$$\vec{j} = en_i(\mu_e + \mu_h)\vec{E} = \sigma_i\vec{E}$$

dove σ_i si chiama conduttività del materiale.

La concentrazione n_i dei portatori di carica dipende dalla temperatura secondo la funzione

$n_i = C(k_{\mathbf{B}}T)^{\frac{3}{2}}e^{\frac{-E_g}{2k_{\mathbf{B}}T}}$ dove C è una costante che dipende dal materiale e $k_{\mathbf{B}}$ è la costante di Boltzmann. Questa formula è valida quando $E_g \gg k_{\mathbf{B}}T$. Per materiali solidi questa condizione è sempre verificata.

Semiconduttori estrinseci

I **semiconduttori estrinseci** o **drogati** sono quei semiconduttori ai quali vengono aggiunte impurità tramite il processo di drogaggio. Piccole percentuali di atomi diversi aumentano le proprietà di conduzione del semiconduttore: per quanto detto sui legami dei semiconduttori intrinseci, sappiamo che questi hanno legami tetraivalenti cioè ogni atomo è legato ad altri quattro atomi dello stesso tipo nel reticolo cristallino, ciò è dovuto all'esistenza di quattro elettroni di valenza degli atomi (silicio, germanio) del semiconduttore. Aggiungendo atomi pentavalenti cioè che hanno cinque elettroni di valenza entro il conduttore (fosforo, arsenico, antimonio) si ha un aumento di elettroni di conduzione: questo tipo di drogaggio viene chiamato **drogaggio di tipo n**.

Se invece aggiungiamo atomi trivalenti al semiconduttore cioè atomi che hanno tre elettroni di valenza nei livelli energetici più esterni (boro, gallio, indio), questi creano delle cosiddette *trappole* per gli elettroni, cioè creano legami che non sono stabili entro il conduttore e attraggono gli elettroni liberi in modo da stabilizzarsi. A tutti gli effetti, l'assenza di elettroni all'interno del reticolo cristallino di un semiconduttore può essere considerata come una presenza di una carica positiva detta lacuna che viaggia entro il conduttore esattamente come l'elettrone (ovviamente tenendo conto della carica). Questo tipo di drogaggio viene chiamato **drogaggio di tipo p**.

Statisticamente un semiconduttore drogato tipo n o tipo p segue la legge di azione di massa, cioè in un semiconduttore estrinseco:

$$n \cdot p = n_i^2$$

cioè il prodotto delle concentrazioni (numero elettroni o numero lacune per metro cubo) rimane costante.

Siano N_D, N_A le concentrazioni di impurezze rispettivamente degli atomi pentavalenti e trivalenti: esse sono il numero di atomi droganti per metro cubo immessi nel semiconduttore, D sta a significare che gli atomi sono *donatori* cioè forniscono elettroni, A che sono accettori cioè forniscono lacune. In un semiconduttore tipo n, $N_A = 0, n \gg p$:

$$n \approx N_D$$

cioè il numero di elettroni di conduzione in un semiconduttore tipo n è circa uguale a quello delle impurità pentavalenti presenti (o meglio, la concentrazione di elettroni liberi è approssimativamente uguale alla densità di atomi donatori). Dalla legge di azione di massa deriva che:

$$p \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$

Ovviamente relazioni analoghe valgono anche per i semiconduttori drogati tipo p.

$$n \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

Corrente nei semiconduttori

La corrente nei semiconduttori può essere dovuta sia all'azione di un campo elettrico esterno sia alla presenza di un gradiente di concentrazione di portatori di carica. Il primo tipo di corrente è la classica corrente elettrica detta **corrente di deriva o di drift**, la seconda avviene per il fenomeno della **diffusione elettrica**.

La densità di **corrente di diffusione** per le lacune e per gli elettroni sono:

$$-qD_p \cdot \frac{dp}{dx}$$

$$qD_n \cdot \frac{dn}{dx}$$

dove q è ovviamente la carica, D_p, D_n sono costanti di diffusione e le frazioni rappresentano esattamente i gradienti delle concentrazioni (p, n) in funzione della lunghezza.

La corrente totale in un semiconduttore sarà allora la somma di queste due correnti e sarà descritta dall'equazione detta equazione di drift-diffusion:

$$J_p = q\mu_p \cdot pE - qD_p \cdot \frac{dp}{dx}$$

$$J_n = q\mu_n \cdot nE + qD_n \cdot \frac{dn}{dx}$$

dove μ_p, μ_n sono le mobilità dei portatori di carica.

I coefficienti D, μ sono fenomeni termodinamici e quindi non sono fra loro indipendenti ma vale l'equazione di Einstein:

$$V_T = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n}$$

dove V_T è l'equivalente in tensione della temperatura e vale $V_T = \frac{kT}{q} = \frac{T}{16000}$, dove k è la costante di Boltzmann e T la temperatura assoluta in kelvin.

Materiali semiconduttori

- Germanio
- Silicio

- Semiconduttori composti
 - Arseniuro di gallio
 - Arseniuro di gallio e alluminio
 - Antimoniuro di indio
 - Antimoniuro di gallio
 - Fosfuro di indio
 - Nitruro di gallio
 - Carburo di silicio

Mercato

Il mercato dei semiconduttori è uno dei mercati trainanti delle alte tecnologie. Nel 2009 ha prodotto a livello mondiale un giro d'affari superiore ai 200 miliardi di dollari.^[2]

Note

- [^] Ashcroft; Mermin, 28 in *Solid State Physics*, 27, (in inglese) Saunders College : Harcourt College Publishers [1976], 562 ISBN 0-03-083993-9
«Solids that are insulators at T=0, but whose energy gaps are of such a size that thermal excitation can lead to observable conductivity at temperatures below the melting point, are known as semiconductors.».
- [^] *Vendite di semiconduttori in calo nel 2009*. Hardware Upgrade, 02-02-2010. URL consultato il 02-02-2010.

Bibliografia

- (EN) J. C. Phillips. *Bonds and Bands in Semiconductors*. New York, Academic Press, 1973. ISBN 0-12-553350-0

Voci correlate

- Fisica dei semiconduttori
- Legame metallico
- Banda di semiconduzione
- Semiconduttori a pellicola di diamante
- Eterostruttura
- Elettronica
- Elettrotecnica
- Microchip
- Transistor

Collegamenti esterni

- "Scuola Elettrica"

Categorie: Semiconduttori | Dispositivi elettronici

- Ultima modifica per la pagina: 10:09, 29 apr 2010.
- Il testo è disponibile secondo la licenza Creative Commons Attribuzione-Condividi allo stesso modo; possono applicarsi condizioni ulteriori. Vedi le condizioni d'uso per i dettagli. Wikipedia® è un marchio registrato della Wikimedia Foundation, Inc.