

SEMICONDUCTORI

Fra i materiali che presentano proprietà semiconduttrici si citano il silicio, il germanio, l'arseniuro di gallio. Ai semiconduttori semplici, cioè costituiti da una sola specie di atomi, appartengono quindi elementi del IV gruppo del sistema periodico (fig. 1), mentre i semiconduttori composti sono normalmente formati da combinazioni di elementi del III e del V gruppo, oppure del II e del VI gruppo.

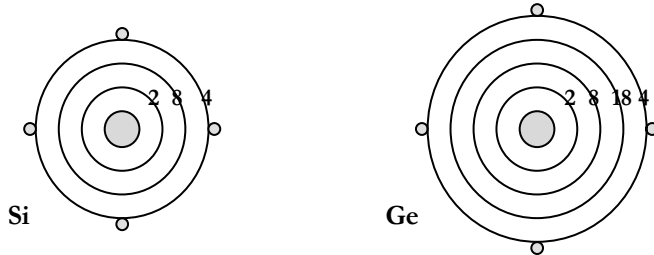


Fig. 1 - Atomi di silicio e germanio.

agitazione termica: Per agitazione termica si intende il movimento continuo di cui sono dotati le particelle elementari in tutti gli stati di aggregazione della materia. L'aggettivo termico indica che questo stato di moto corrisponde al valore della temperatura, essendo quest'ultima un indice dell'energia cinetica posseduta in media dalle particelle che costituiscono il corpo in esame. In particolare in un semiconduttore o in un metallo gli elettroni presentano agitazione termica.

Il reticolo cristallino del silicio è l'elemento semiconduttore più conosciuto e utilizzato. Ogni atomo di silicio spartisce i suoi quattro elettroni di valenza con i quattro atomi adiacenti; si formano così delle regioni con densità elettronica relativamente elevata (due elettroni di valenza per ciascuna regione) che collegano fra loro i vari atomi del cristallo e costituiscono i cosiddetti legami covalenti (fig. 2).

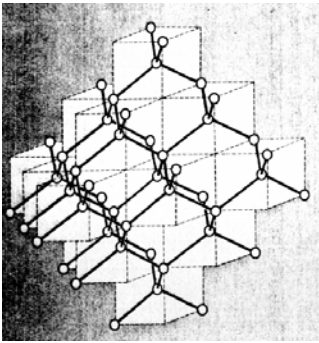


Fig. 2 - Cristallo di silicio.

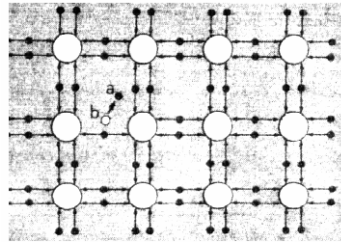


Fig. 3 - a: elettrone; b: lacuna.

A temperatura ambiente, la condizione di equilibrio delle regioni che formano i legami covalenti può essere distrutta per effetto dell'agitazione termica: infatti qualcuno degli elettroni che formano i legami covalenti può acquisire energia sufficiente per evadere dalla regione originaria e muoversi liberamente anche nelle altre regioni del reticolo. Si può cioè "spezzare" qualcuno dei legami covalenti. La distruzione di un legame covalente dà origine a due processi distinti: l'elettrone che ha acquisito energia sufficiente per spezzare il legame covalente si muove liberamente attraverso il reticolo cristallino; il legame spezzato può essere ripristinato da parte di un elettrone di valenza impegnato in un altro legame con uno degli atomi adiacenti; questo elettrone neutralizza un atomo temporaneamente privato di un elettrone, ma nello stesso tempo lascia dietro di sé una nuova vacanza di elettrone, ossia una lacuna (fig. 3).

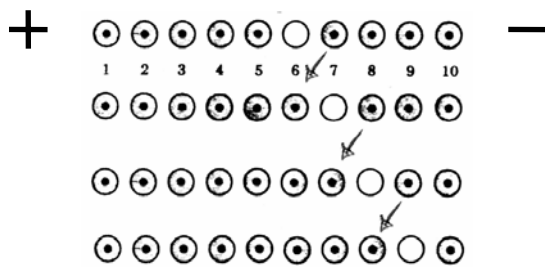


Fig. 4 - Per effetto del movimento degli elettroni la lacuna si muove dal polo positivo a quello negativo.

Mentre il primo processo è simile a quello che è responsabile dei fenomeni di conduzione nei metalli, il secondo rappresenta un movimento elettronico di tipo diverso che ha come effetto lo spostamento di una lacuna da un atomo all'altro (fig. 4). Si può quindi pensare che la distruzione di un legame covalente comporti la liberazione simultanea di due portatori di carica di segno opposto: un elettrone (portatore negativo) e una lacuna (portatore positivo).

Nel loro moto casuale entro il cristallo un elettrone libero e una lacuna possono avvicinarsi tanto da interagire tra loro; in questo caso, se sono soddisfatte particolari condizioni, elettrone e lacuna possono neutralizzarsi rispettivamente (ricombinazione). Dal punto di vista fisico il fenomeno della ricombinazione consiste nel ripristino di un legame covalente da parte di un elettrone libero, anziché da parte di un elettrone di valenza appartenente a un legame adiacente. Sotto l'azione di un campo elettrico applicato dall'esterno, elettroni liberi e lacune assumono movimenti di insieme di senso opposto: gli elettroni liberi acquistano una componente di velocità di senso opposto al campo elettrico, le lacune una componente di velocità di senso concorde al campo stesso. Per quanto si è detto precedentemente, la corrente elettrica in un semiconduttore è data dalla risultante di un flusso di cariche negative (gli elettroni liberi) e di un flusso simultaneo in senso opposto di cariche positive (le lacune).

Nel caso di un semiconduttore puro o intrinseco, la conduttività è dovuta alla liberazione simultanea di elettroni e lacune in seguito alla distruzione di legami covalenti e pertanto risulta: $n = p = n_i$ (concentrazione intrinseca). La rottura di un legame covalente è un fenomeno relativamente raro nei semiconduttori intrinseci perché richiede una energia assai maggiore di quella media di agitazione termica. Esistono però mezzi per aumentare la concentrazione di portatori di carica all'interno di un semiconduttore attraverso l'introduzione controllata di opportune impurezze, cioè attraverso il cosiddetto drogaggio. Per i semiconduttori tetravalenti, come il silicio, possono essere usati come droganti elementi pentavalenti (arsenico, fosforo, antimonio) o trivalenti (boro, gallio, indio, alluminio). La situazione nel caso di un campione di silicio drogato con fosforo è stata schematizzata in fig. 5.

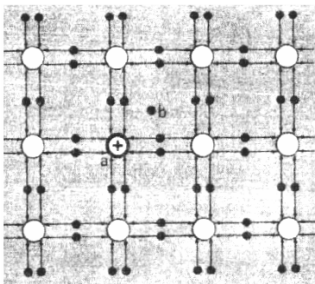


Fig. 5 - Drogaggio di tipo n. a: atomo donatore ionizzato positivamente; b: elettrone libero.

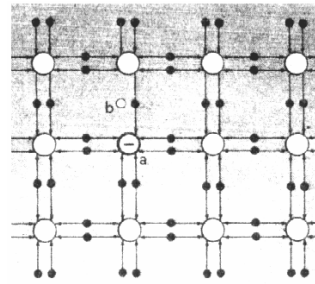


Fig. 6 - Drogaggio di tipo p. a: atomo accettore ionizzato negativamente; b: lacuna libera.

Mentre ogni atomo di silicio esaurisce i propri quattro elettroni di valenza per formare legami covalenti con i quattro atomi adiacenti, l'atomo di fosforo (con cinque elettroni di valenza), dopo essersi legato con i quattro atomi di silicio a esso adiacenti, si trova con un elettrone di valenza in eccesso. Poiché questo elettrone è legato molto debolmente all'atomo di fosforo, di fatto è un elettrone libero. Per questa loro caratteristica di donare al reticolo elettroni in eccesso, gli atomi droganti che hanno più elettroni di valenza di quanto necessario per la formazione di legami covalenti sono detti donatori. La concentrazione di elettroni liberi aumenta rispetto alla concentrazione intrinseca. Di conseguenza la presenza di donatori dà luogo a una conduttività dovuta quasi interamente agli elettroni liberi (conduttività di tipo n). Gli elettroni liberi costituiscono in questo caso i portatori maggioritari, le lacune i portatori minoritari.

La situazione che si verifica in un cristallo di silicio quando un atomo di un elemento trivalente (p. es. boro) va a sostituire uno degli atomi dell'elemento di base è tale che l'atomo di boro non ha abbastanza elettroni per completare i quattro legami covalenti e quindi, se l'agitazione termica porta in condizioni favorevoli un elettrone di valenza appartenente a un atomo vicino, l'atomo di boro lo cattura completando i suoi legami con gli altri atomi e facendo nascere una lacuna che si sposta poi da un atomo all'altro in maniera casuale. Gli atomi droganti che hanno disposizione a catturare elettroni degli atomi vicini dando così luogo alla nascita di lacune, sono detti accettori (fig. 6). A loro volta i semiconduttori che contengono accettori sono detti di tipo p perché i portatori maggioritari (in questo caso lacune) sono positivi.