

Appunti Elettronica Digitale

Leonardo Toccafondi

2024-04-12

Indice

1	Dispositivi elettronici	1
1.1	Semiconduttori	1
1.1.1	Giunzione p-n	1
1.1.2	Diodo	3
A	Esercizi	5
A.1	Esercizi capitolo 1	5
B	Varie	7
B.1	Semiconduttori e bande	7

Capitolo 1

Dispositivi elettronici

1.1 Semiconduttori

I semiconduttori sono i materiali con cui sono composti i circuiti integrati. Sono, come suggerisce il nome, materiali in cui il flusso di corrente *non è libero* (non è un conduttore), ma è **presente** (non è un isolante).

In particolare, conducono in particolari situazioni. Quali sono però i materiali con queste condizioni?

- *Elementi semiconduttori*: Silicio (Si), Germanio (Ge) (Carbonio (C), ma composto)
- *Elementi composti*: GaAs, GaN (Gallio-Arsenico/Azoto) In generale sono gli elementi della 4° colonna della tavola periodica o composti a numero medio di elettroni liberi pari a 4 (dai 3 ai 4).

Silicio

Il silicio è il materiale semiconduttore sicuramente più diffuso.

Un atomo presenta 4 elettroni (detti di *valenza*) nello strato più esterno, ma la sua forma cristallina pura del silicio ogni atomo forma un legame covalente ^a con i suoi vicini "più prossimi". Il cristallo di silicio puro ha inoltre una struttura cristallina matriciale, che blocca il passaggio di carica.

È da notare che all'aumentare della temperatura, qualche elettrone può rompere il legame e muoversi liberamente nel cristallo.

^alegame chimico in cui due atomi mettono in comune delle coppie di elettroni.

Per dotare un materiale semiconduttore di conduttività *selettiva* è necessario "*drogare*" il materiale stesso. Il drogaggio, quindi, va a **modificare** la concentrazione di elettroni e di *lacune* ¹, attraverso questo inserimento di impurità sostituzionali (ovvero atomi di elementi diversi, i quali si sostituiscono ad alcuni degli atomi di silicio.) In pratica andiamo ad aggiungere, in piccole dosi, nel reticolo cristallino materiali della 5° colonna (drogaggio di tipo **n**, hanno 5 elettroni di valenza, sono detti **donatori**, ad esempio il fosforo), o elementi della 3° colonna (tipo **p**, hanno 3 elettroni di valenza e sono detti **accettori**, ad esempio il boro).

Tale discrepanza induce la formazione di livelli energetici aggiuntivi all'interno della banda proibita² o "gap" del semiconduttore. Nel primo caso, si genera un eccesso di lacune, mentre nel secondo si ha un eccesso di elettroni liberi, determinando così una variazione della conducibilità elettrica intrinseca del materiale.

La qualità del semiconduttore è influenzata dal materiale usato (per esempio Ge è meglio del Si, ma è più raro), che è a sua volta influenzato dal goal³ (elettronica digitale usa Si, l'elettronica di potenza il GaN o SiC).

Vediamo ora degli elementi in silicio.

1.1.1 Giunzione p-n

Una giunzione pn (o p-n) è formata da una sezione del semiconduttore drogata con un drogaggio p (con una percentuale N_a , n. accettori) e un'altra sezione drogata con un drogaggio n (con una percentuale N_d , n. donatori).

Il materiale quindi è separato in due zone *nettamente distinte*, senza alterazione della struttura cristallina

¹assenza di elettroni dovuta alla **rottura** di un legame.

²intervallo di energia interdetto agli elettroni, distanza tra la banda di valenza di conduzione (nei semiconduttori distanti 1eV)

³(penso voglia dire "obiettivo perseguito")

all'interfaccia delle due zone.

Il drogaggio è quantificato con le grandezze

$$N_A = \frac{\#acceptors}{vol.unit} \text{ e } N_d = \frac{\#donors}{vol.unit}$$

dove N_A è tipo p: 'positivo', mentre N_d è di tipo n: 'negativo'.

Collegando un blocco drogato tipo p ed uno tipo n abbiamo

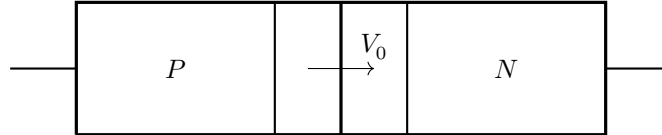


Figura 1.1: Giunzione pn

Nella pratica parto da un blocco puro di silicio, per poi iniettare a *strati* il drogaggio.

L'abbondanza di lacune in p è considerabile come una carenza di elettroni, di cui n *abbonda*. Ciò genera una **migrazione** di elettroni da N verso P, detta anche *corrente di diffusione*.

Tale fenomeno carica in modo *positivo* n (meno elettroni), e in modo *negativo* p (più elettroni).

Tali cariche generano dei campi elettrici (positivo su n e negativo su p), i quali impediscono un ulteriore passaggio di carica, ottenendo allora un **equilibrio**.

Nel punto di contatto si crea così una zona in cui tutte le lacune sono state riempite, e tutti gli elettroni extra di p ceduti. Tale zona è detta **depletion layer** (regione di svuotamento o di carica spaziale), al cui interno **non** vi sono portatori mobili (di carica elettrica).

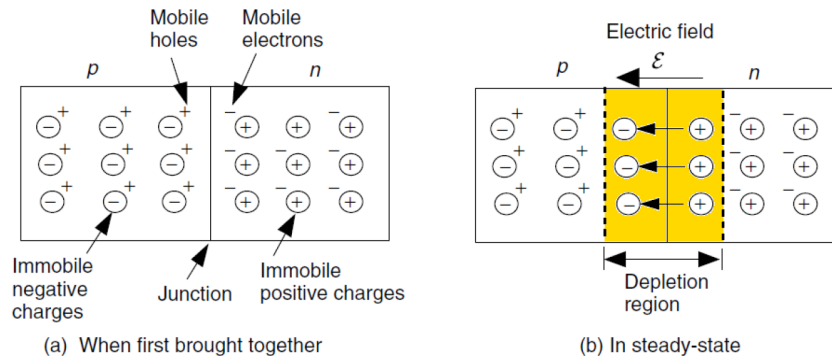


Figura 1.2: Regione di svuotamento

In genere la regione di svuotamento non è simmetrica: deve valere:

$$x_P N_A = x_N N_D$$

Come si vede nella figura 1.3 (x_P e x_N dipendono da N_A e N_D).

- $N_A > N_D \rightarrow$ più è drogata la regione più la regione di svuotamento è piccola.

Ricordando che il campo elettrico $E = \int Q dq$, e che la tensione (o potenziale) $V = \int E$, si vede come il potenziale **impedisca** il moto (forse ulteriore?, dei rimanenti elettroni) $p \rightarrow n$ (delle lacune) e $n \rightarrow p$ (degli elettroni).

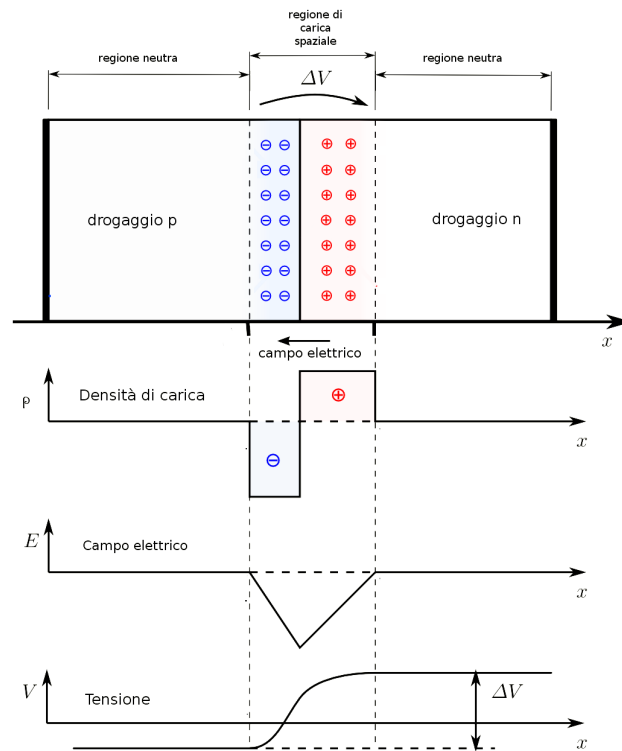


Figura 1.3: Grafici relativi alla regione di svuotamento

1.1.2 Diodo

Il simbolo circuitale della giunzione p-n, detta **diodo**⁴ è



Figura 1.4: Diodo

dove a sinistra abbiamo un **anodo** A (dal greco *salita*), e a destra un **catodo** K (dal greco *discesa*).

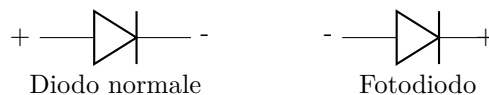
Sia la zona p che la zona n sono munite di un contatto elettrico (detto **reoforo**), in modo tale che sia possibile applicarvi una tensione. È da notare come la zona n in contatto col suo reoforo deve essere molto drogata (approfondire).

1.1.2.1 Polarizzazione

In base all'applicazione di un potenziale sul diodo posso distinguere la:

- Polarizzazione **diretta** (forward bias): applico un potenziale positivo sull'anodo A e negativo sul catodo K, "alzando" il potenziale

1.1.2.2 Diodi Speciali



⁴Un diodo è un dispositivo elettrico che permette alla corrente di muoversi attraverso di esso in una direzione con molta più facilità che nell'altra. È il dispositivo più semplice che fa uso di una giunzione p-n.

Appendice A

Esercizi

A.1 Esercizi capitolo 1

Appendice B

Varie

B.1 Semiconduttori e bande

Gli elettroni in un solido allo stato fondamentale e a temperatura 0 kelvin, in obbedienza alla loro natura fermionica e al principio di Pauli che preclude ai fermioni il fatto di potersi trovare in due nello stesso stato, riempiono gli stati elettronici loro consentiti partendo dal livello energetico più basso via via su, fino a che tutti gli elettroni del solido hanno trovato un'accomodazione. Si distribuiscono cioè rispettando la distribuzione di Fermi-Dirac calcolata a temperatura 0 kelvin. Nei metalli, il livello energetico più alto occupato si definisce livello di Fermi.

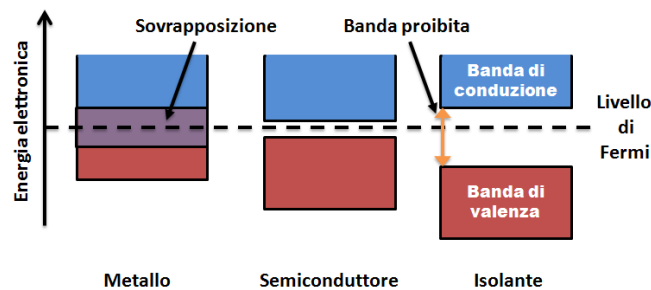


Figura B.1: Schema semplificato della struttura elettronica a bande per metalli, semiconduttori e isolanti.

A questo punto possono verificarsi diverse possibilità:

- Vi è una banda, o più di una fra le ultime riempite da elettroni, che è parzialmente riempita e restano degli stati vuoti. In tal caso si ha a che fare con un metallo, cioè un sistema in cui gli ultimi elettroni hanno la possibilità di spostarsi in livelli energetici molto vicini, infinitesimalmente più alti in energia, e dunque hanno la possibilità di una mobilità elevata che porta il sistema ad essere un buon conduttore di elettricità.
- L'ultima banda è stata riempita completamente in modo tale che il prossimo stato elettronico consentito si trovi sulla banda successiva e fra questa banda e la banda completamente riempita c'è una banda proibita (*band gap*) di energie. In tal caso il solido è un dielettrico.
- Si parla infine di semiconduttore nel caso di un isolante in cui la banda proibita è talmente piccola che a temperatura ambiente c'è una certa probabilità che gli elettroni si trovino a saltare la banda proibita per agitazione termica, e dunque il sistema si trovi in una situazione prossima a quella di un metallo, con valori di conducibilità elettrica non nulli.

(N.B paragrafo proveniente da Wikipedia)

