



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Chimiche

Tesi di Laurea in Scienza dei Materiali

Giunzioni di semiconduttori e le loro applicazioni

Studente:

Pietro Marzolo

Matricola: 2034079

Relatore:

Prof.ssa Antonella Glisenti

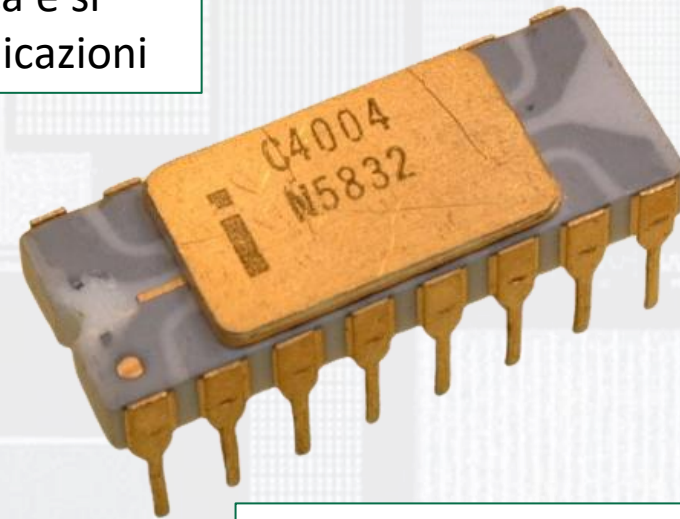
Anno accademico 2023-2024

Panoramica

Le **giunzioni** tra semiconduttori costituiscono la base del progresso della moderna elettronica e si ritrovano in numerose applicazioni



*Illuminazione –
diodi LED*



Intel 4004 – 2300 transistor

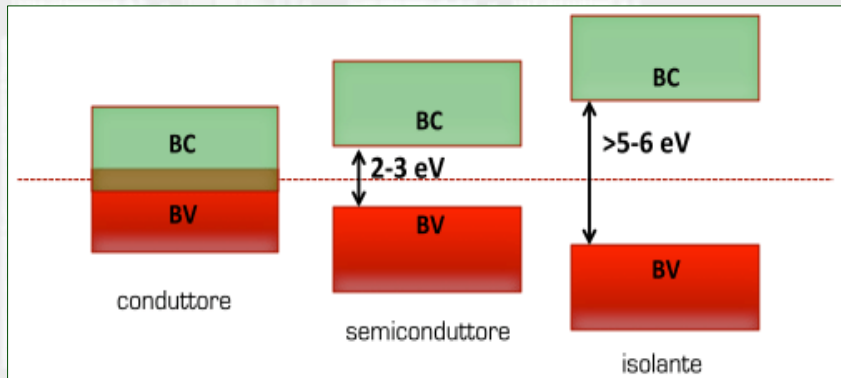
Semiconduttori: caratteristiche

I semiconduttori sono materiali che hanno una resistività intermedia tra i conduttori e gli isolanti.



I semiconduttori sono definiti come solidi nei quali a 0 K la banda a energia più elevata di stati elettronici di energia occupati è completamente piena.

La conduzione elettrica avviene solo quando si ha una banda di stati elettronici non completamente piena, quindi la conduzione nei semiconduttori puri avviene solo quando gli elettroni sono stati eccitati ($h\nu$, kT , ...)



Semiconduttori: caratteristiche

Gli elettroni nella banda di conduzione sono chiamati *elettroni liberi*.

Gli stati energetici liberi nella banda di valenza sono chiamati *lacune*.

$$p(T) \cong \frac{1}{4} \left(\frac{2m_h^* k_B T}{\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{\epsilon_v - \mu}{k_B T}}$$

Densità di buche nella banda di valenza



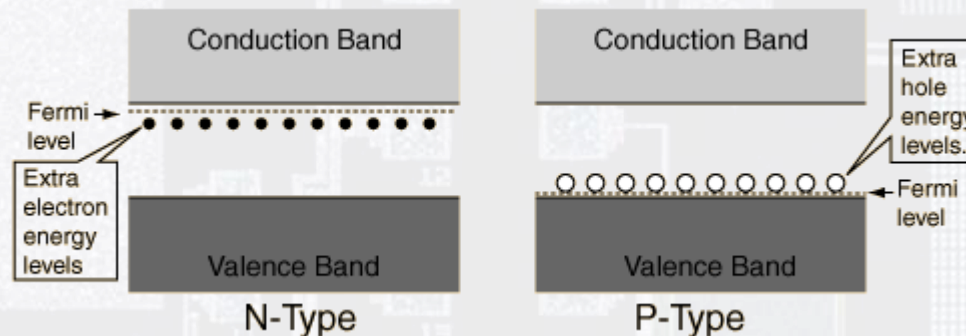
$$n(T) \cong \frac{1}{4} \left(\frac{2m_e^* k_B T}{\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{\epsilon_c - \mu}{k_B T}}$$

Densità elettronica banda di conduzione

Semiconduttori: drogaggio

I semiconduttori possono essere drogati al fine di modificarne le proprietà tramite l'aggiunta di impurità che possono aumentarne la densità elettronica o di lacune.

Semiconduttori di **tipo-N**:
iniezione di elettroni
tramite aggiunta di
elementi elettron-donatori
come *fosforo*, *arsenico* e
antimonio



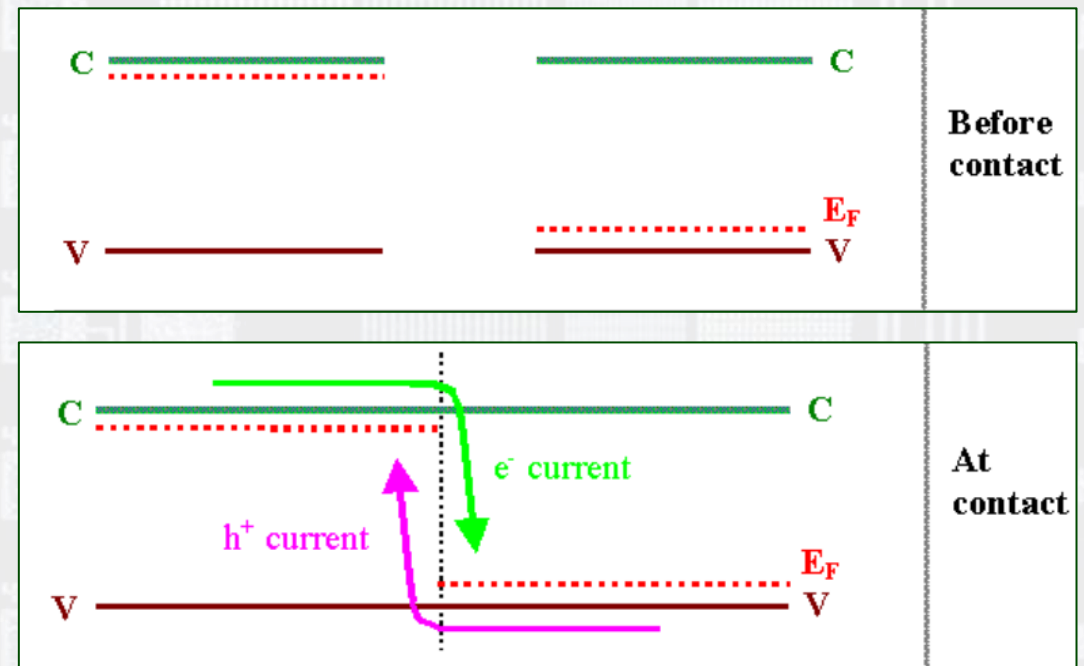
Semiconduttori di **tipo-P**:
iniezione di buche tramite
aggiunta di elementi
elettron-attrattori come
boro, *alluminio* e *gallio*

Semiconduttori: giunzioni

Quando si realizza una giunzione p-n si distinguono tre fasi principali.

Prima del contatto nella zona di interfaccia c'è una differenza di concentrazione di elettroni e di lacune.

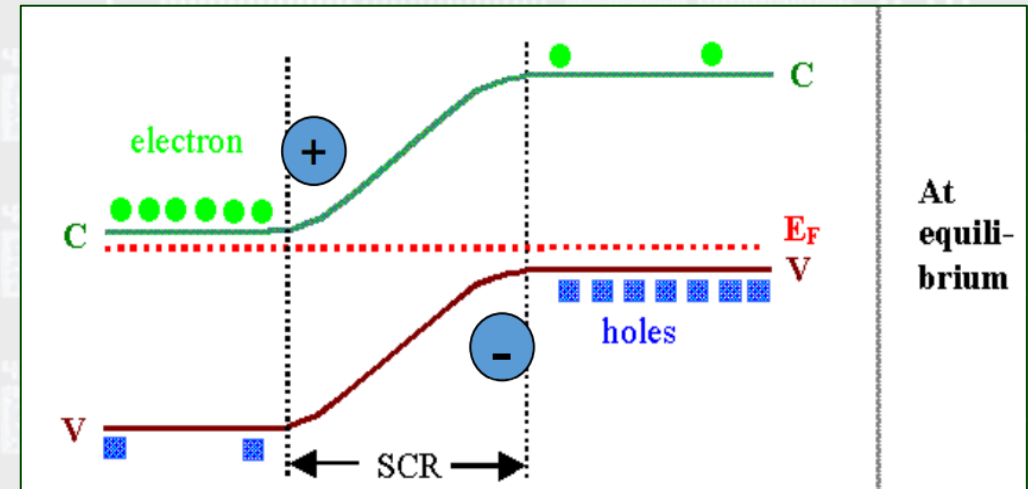
Al contatto si verifica una migrazione dei portatori di carica con separazione di carica, la quale porta alla generazione di un campo elettrico che si oppone al moto di tali cariche (**polarizzazione diretta**).



Semiconduttori: giunzioni

All'equilibrio le due energie di Fermi si allineano e si instaura un equilibrio dinamico tra le concentrazioni di elettroni e lacune (**band bending**).

Inoltre si nota che in corrispondenza della giunzione, detta zona di deplezione, si ha penuria di entrambi i portatori di carica.



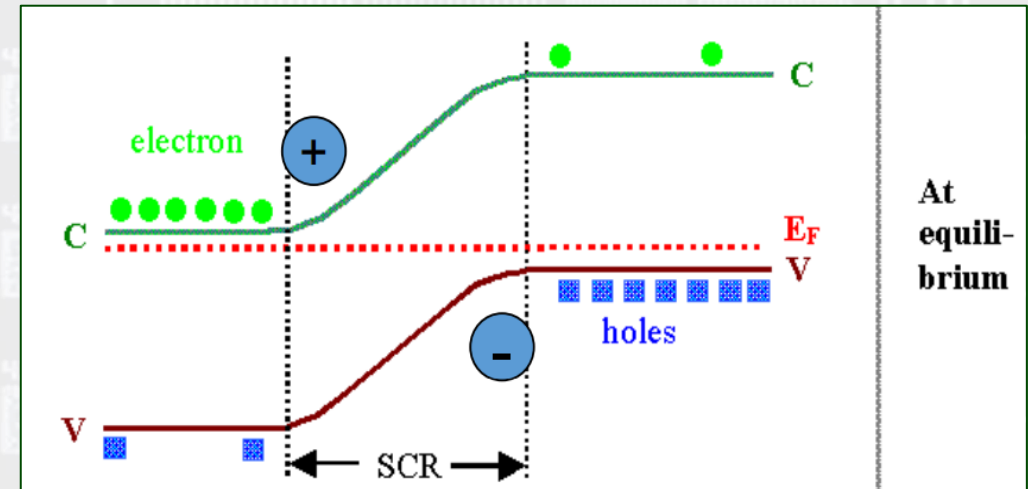
ZONA DI DEPLEZIONE

Semiconduttori: giunzioni

Grandezza della regione di deplezione data da equazione di Poisson (in x)

$$-\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{\rho}{\varepsilon} = \frac{q}{\varepsilon} \{(P_0 - N_0) + (C_D - C_A)\}$$

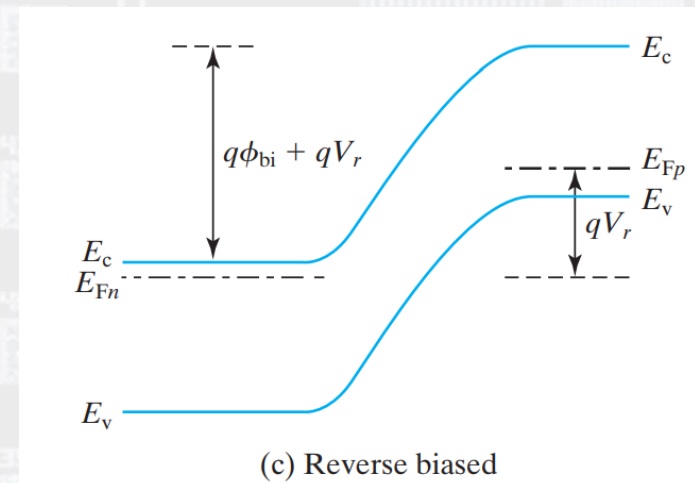
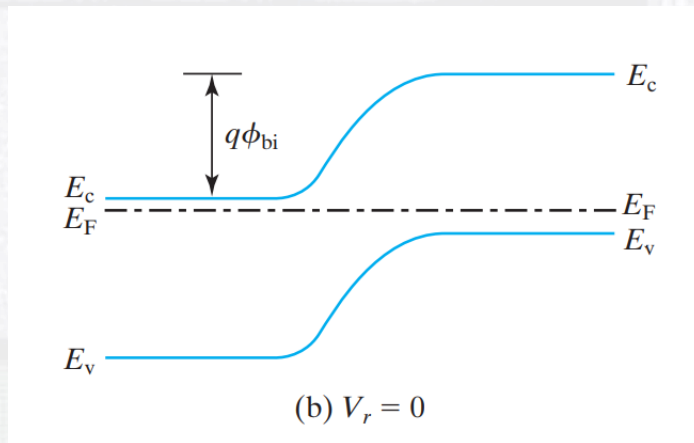
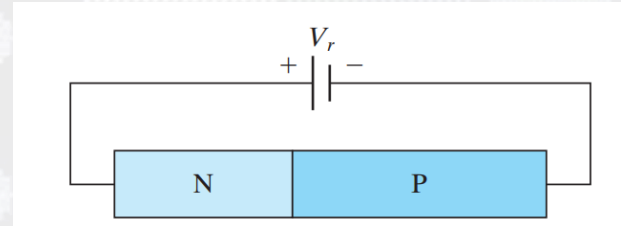
Con: C_A concentrazione accettori; C_D concentrazione donatori; N_0 concentrazione di e^- all'equilibrio; P_0 concentrazione di h^+ all'equilibrio.



ZONA DI DEPLEZIONE

Applicazione di tensione a giunzione p-n

Quando viene applicata una tensione positiva alla regione N rispetto alla regione P, si dice che la giunzione PN è **polarizzata inversamente**.



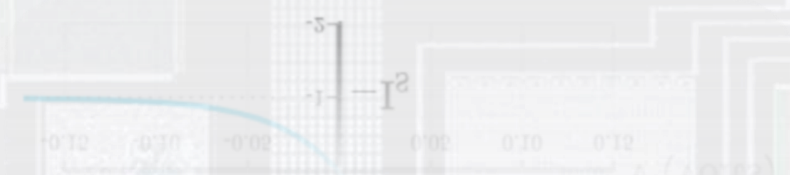
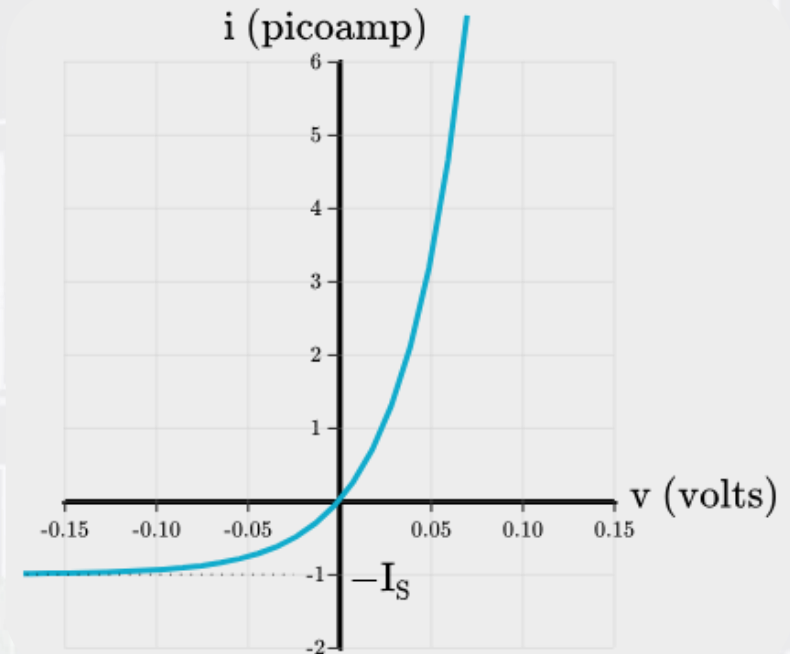
Equazione di Shockley

L'equazione di Shockley descrive la relazione esponenziale tra corrente e tensione in un diodo ideale

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

Con n variabile da 1 a 2 in base al materiale

$$e \quad V_T = \frac{kT}{q}$$



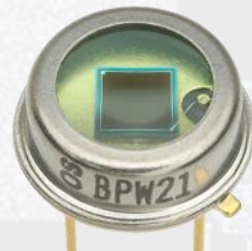
Applicazioni

Le giunzioni di semiconduttori hanno svariate applicazioni nell'elettronica:

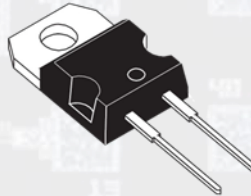
Dispositivi a due terminali:

fotodiodi

*Diodi ad emissione
luminosa (LED)*

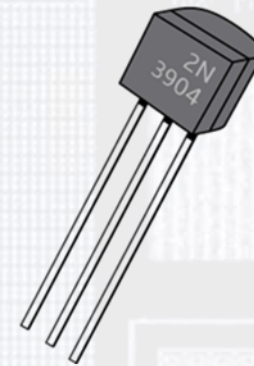


*Diodo Schottky
(giunzione s-m)*



Dispositivi a tre terminali:

transistor





*Si ringraziano per il supporto ricevuto durante
l'ideazione e la stesura del progetto di tesi:*

Prof. Giovanni Mattei

Prof.ssa Antonella Glisenti



INDICE BIBLIOGRAFICO

- S.M. Sze: *Physics of Semiconductor Devices*;
- G. Mattei: *Fisica dello Stato Solido, appunti delle lezioni*;
- TU Delft OpenCourseWare: https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/solar_energy_section_8_1.pdf