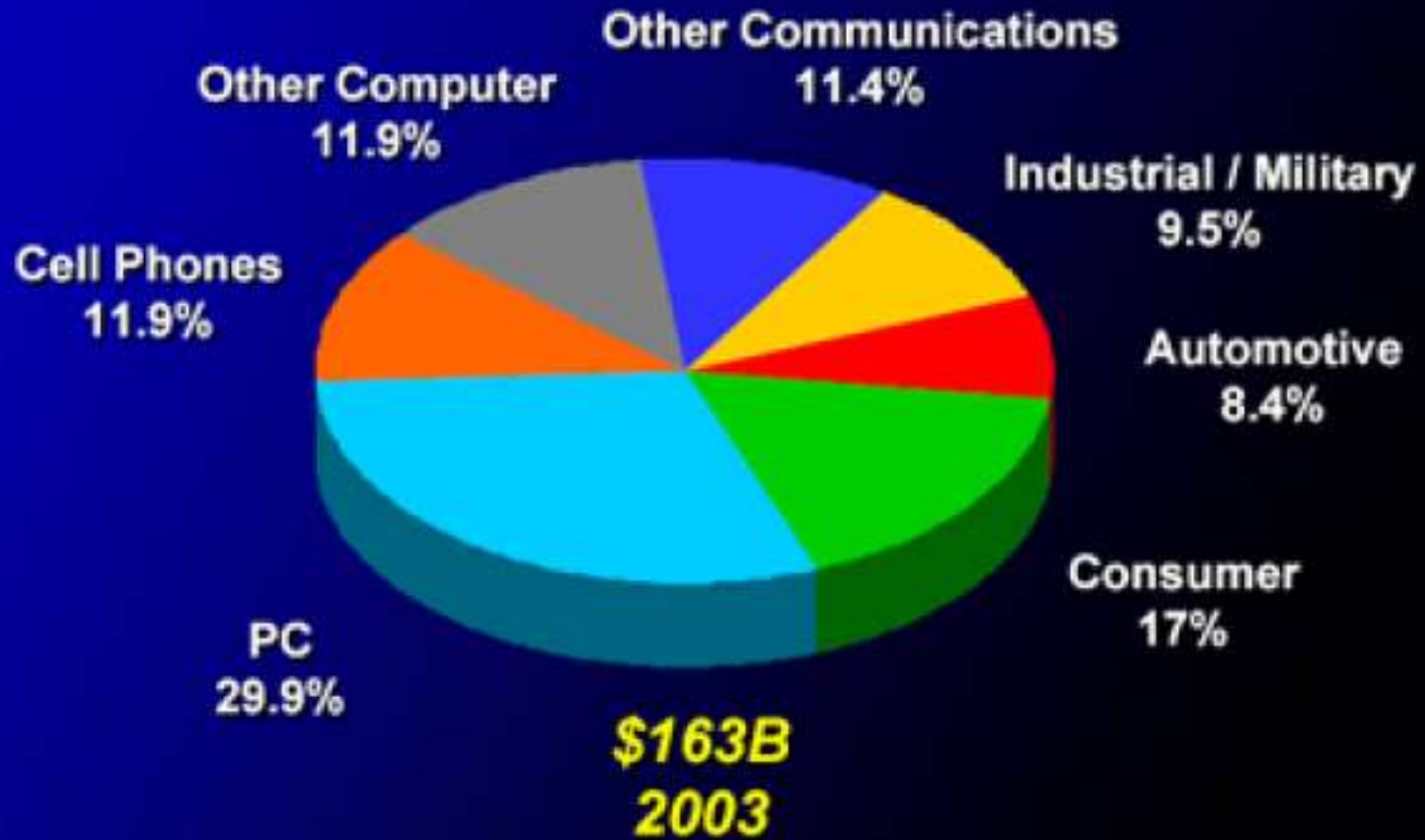


Introduzione

- Cosa sono i dispositivi a semiconduttore ?
 - con poche eccezioni, qualunque cosa che abbia una risposta corrente-tensione non-lineare è un dispositivo a semiconduttore
 - i semiconduttori possono essere usati per realizzare dei dispositivi rettificanti
 - ve ne sono molte tipologie, eccone alcune:
 - circuiti digitali: BJT, MOSFET
 - optoelettronici: LED, laser, rivelatori
 - analogici di segnale e potenza: BJT, MOSFET

2003 Semiconductor End Markets



Source: Gartner/SIA Nov 2003 Forecast



Proprietà Elettroniche del Silicio

Il Silicio (Si) è un materiale semiconduttore.

Il silicio puro ha una resistività elettrica relativamente elevata a temperature ambiente (RT).

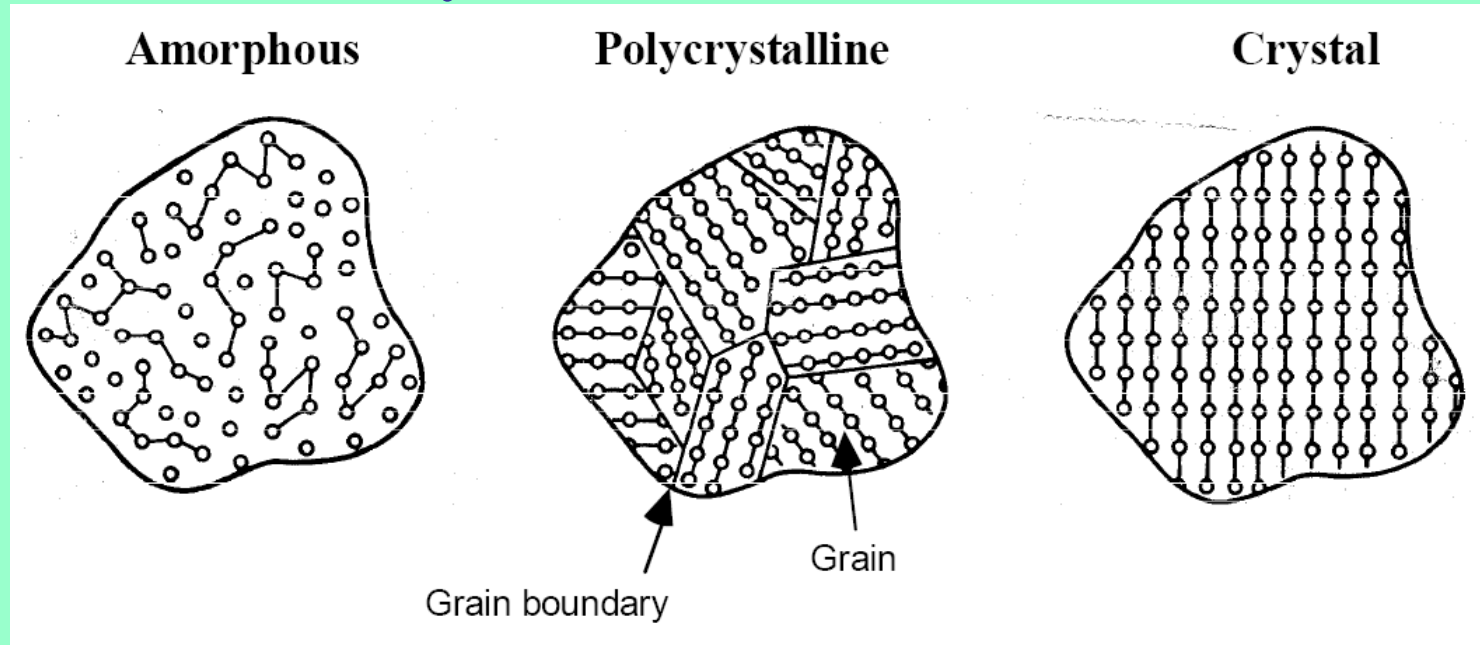
In un semiconduttore vi sono 2 tipi di portatori di carica:

- Elettroni (di conduzione) carichi negativamente;
- Lacune cariche positivamente.

La concentrazione ($\#/cm^3$) di elettroni di conduzione e di lacune può essere modificata in vari modi:

- aggiungendo specifici atomi impurezza (droganti)
- applicando un campo elettrico
- cambiando la temperatura
- irraggiando con particelle energetiche (p. es. fotoni)

Proprietà strutturali

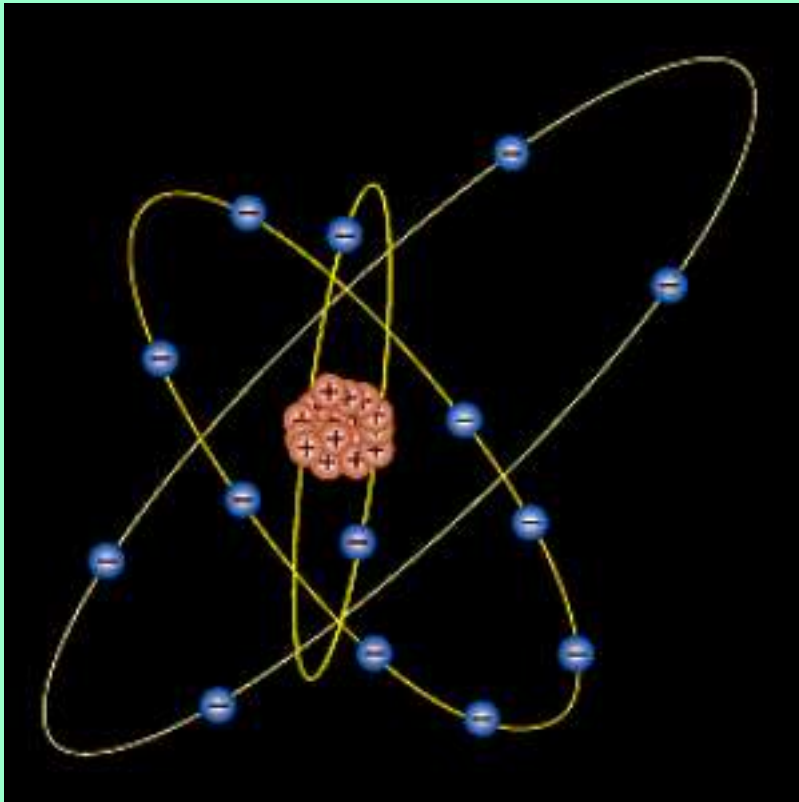


- I solidi possono classificarsi in tre forme:
 - **amorfi** (atomi disposti irregolarmente, es. vetro)
 - **policristalli** (piccole regione ordinate dette grani, es. poly-Si come elettrodo digate nei MOSFET)
 - **cristalli** (ordine a lungo raggio con disposizione regolare degli atomi, es. c-Si, diamante)

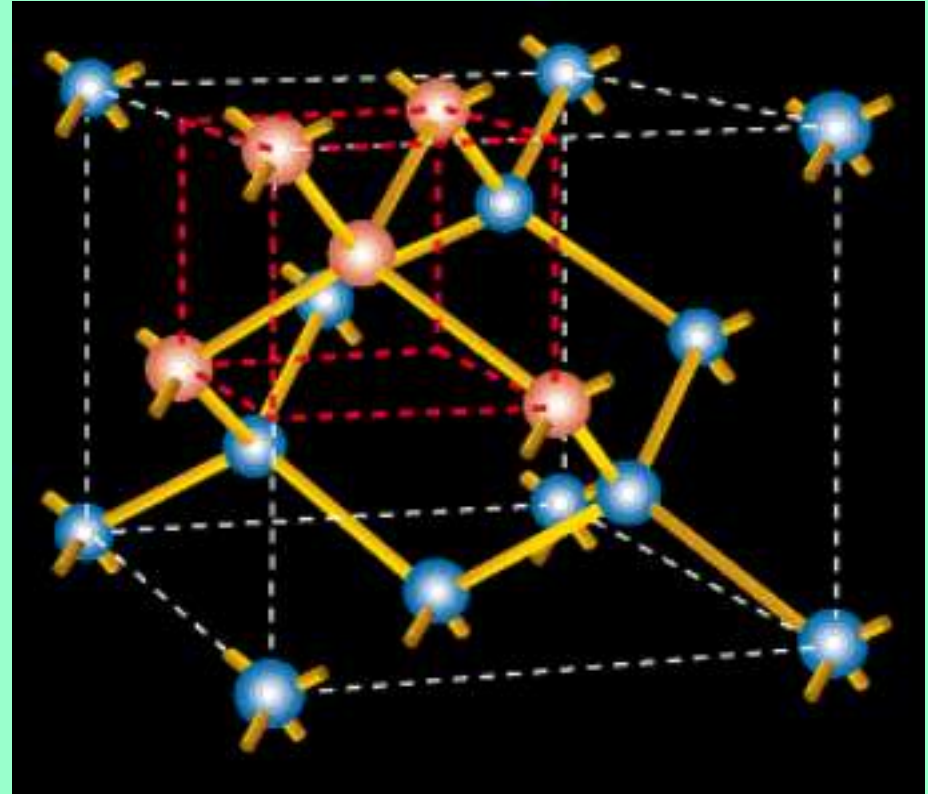
Classificazione dei Materiali

- I materiali allo stato solidi possono essere suddivisi in tre classi:
 - Isolanti
 - Semiconduttori
 - Conduttori
-
- Fra i semiconduttori abbiamo il Si, Ge e semiconduttori composti come il GaAs

Atomo di Silicio



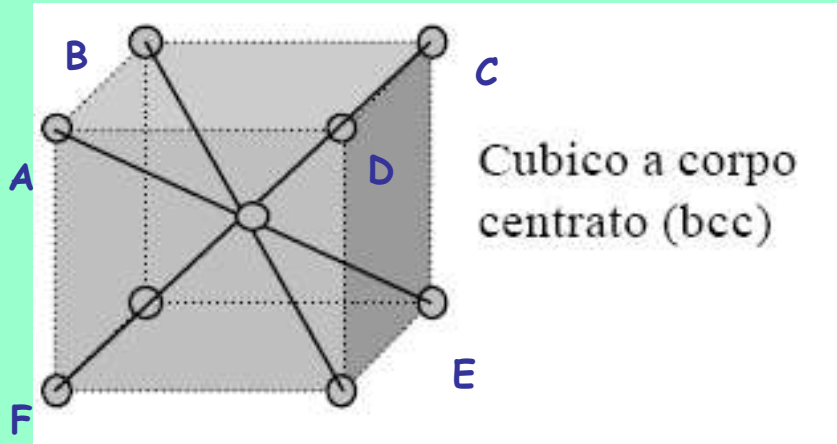
Cristallo di Silicio

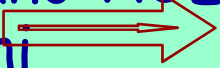


struttura del "diamante"

•I dispositivi a semiconduttore ad elevate prestazioni richiedono un materiale "pressochè privo" di difetti.

Struttura cristallina



Quattro atomi nel piano ABCD e cinque nel piano ACEF e distanze interatomiche diverse nei due piani  proprietà diverse lungo piani diversi e quindi caratteristiche del dispositivo che dipendono dall'orientazione del cristallo.

I piani di un cristallo vengono definiti usando gli

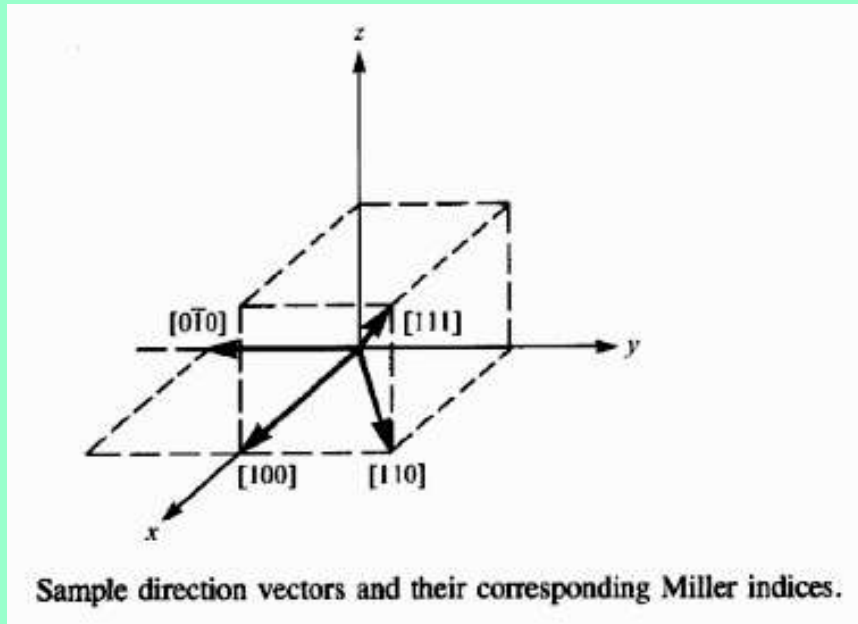
INDICI di MILLER.

Struttura Cristallina

Gli indici di Miller si ottengono con la seguente procedura:

2. Si determinano le intercette del piano con i tre assi cartesiani e si misurano usando per ciascun asse il relativo passo reticolare.
3. Si prendono i reciproci di tali numeri e si riducono ai più piccoli interi che stanno fra loro nello stesso rapporto.
4. I numeri risultanti indicati con $(h k l)$ costituiscono gli indici di Miller di quel piano.

Notazione cristallografica



Indici di Miller

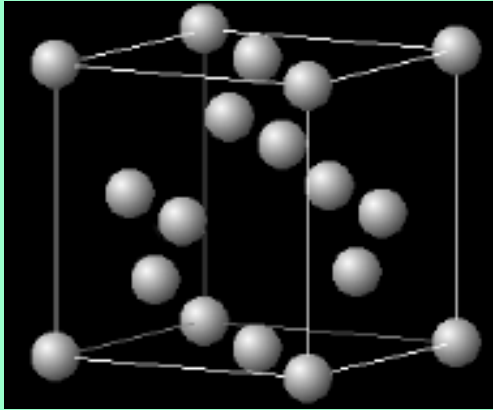
Notazione	Interpretazione
$(h\ k\ l)$	piano cristallino
$\{h\ k\ l\}$	piani equivalenti
$[h\ k\ l]$	direzioni cristalline
$\langle h\ k\ l \rangle$	direzioni equivalenti

- **h** : inverso dell'intercetta sull'asse x
- **k** : inverso dell'intercetta sull'asse y
- **l** : inverso dell'intercetta sull'asse z

Si esprimono i valori delle intercette in multipli della costante reticolare; h , k ed l sono gli interi più piccoli che stanno nel medesimo rapporto.

Piani cristallografici

Cella unitaria

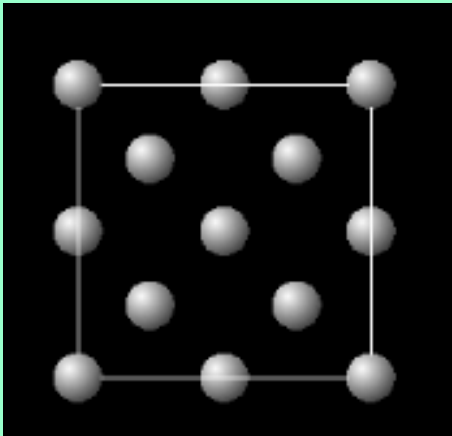


costante reticolare Si = 5.431 Å

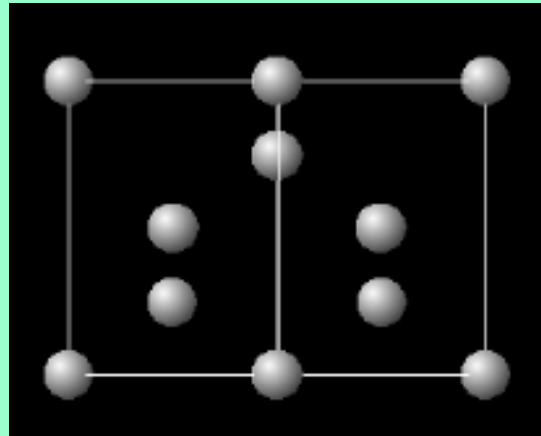


$$\rho = N_{\text{at}}/V = 8/(5.431 \text{ \AA})^3 = 5 \cdot 10^{22} \text{ atomi/cm}^3$$

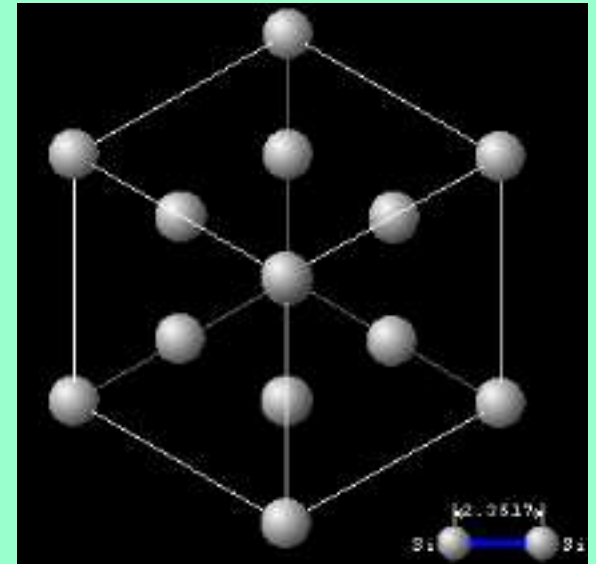
vista in direzione <100>



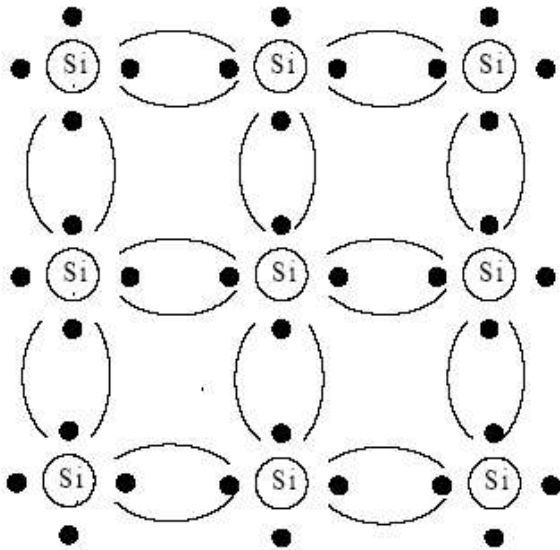
vista in direzione <110>



vista in direzione <111>



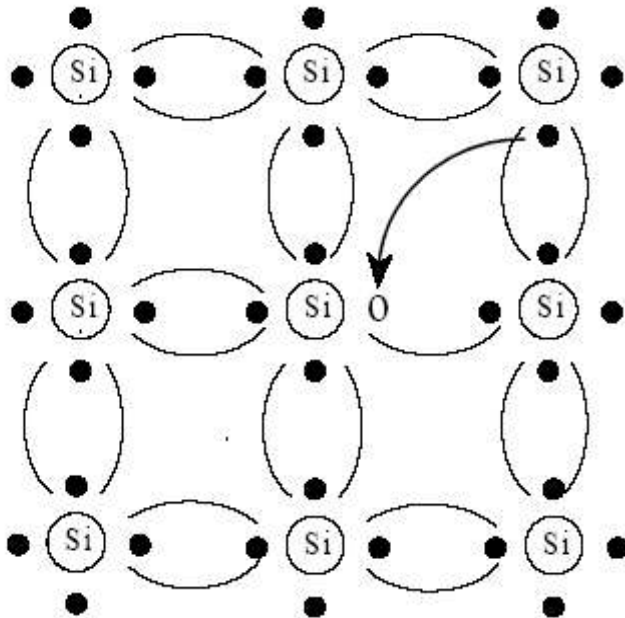
Legami covalenti



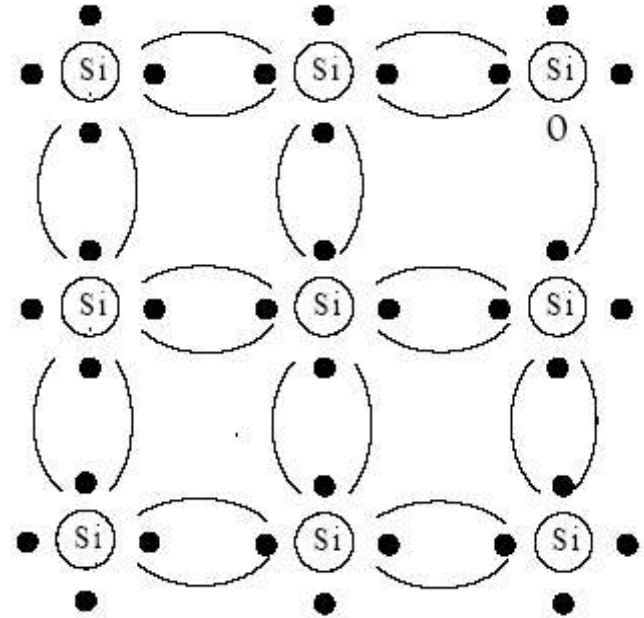
Ogni elettrone del Si dedica una uguale quantità di tempo ad ogni nucleo; comunque entrambi gli elettroni “stanno” per la maggior parte del tempo tra i due nuclei

ELETTRONI E LACUNE

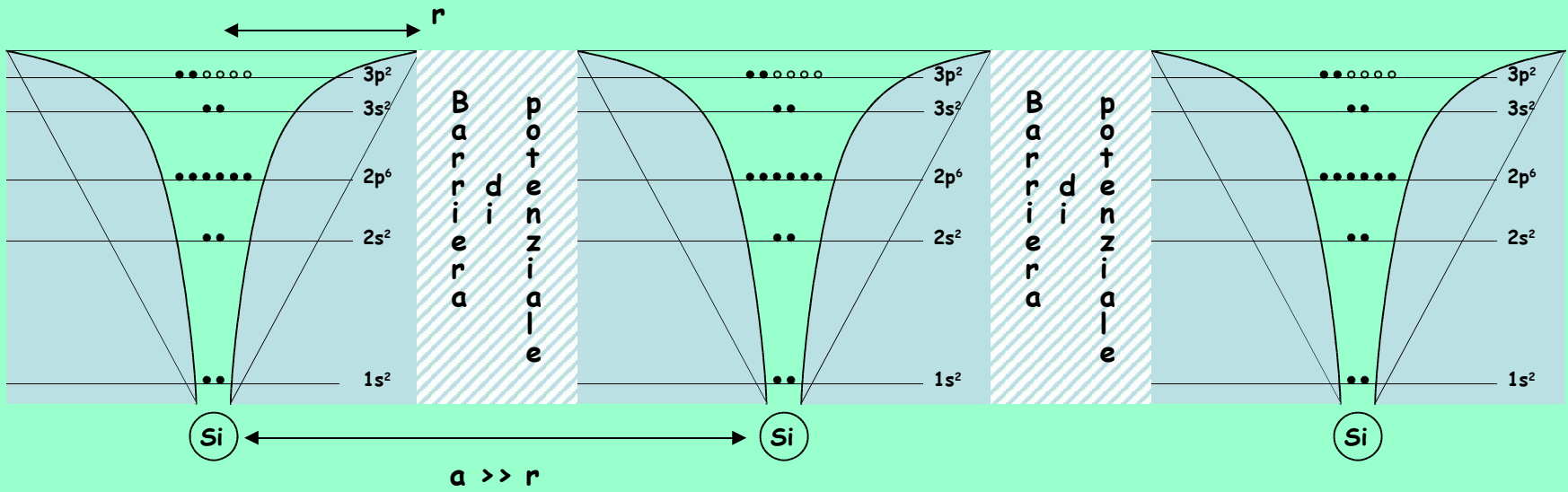
Un elettrone di valenza può occupare la posizione della lacuna...



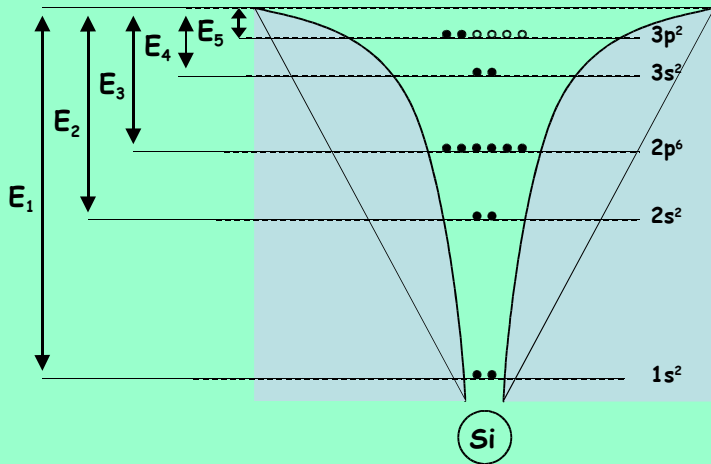
... liberando una lacuna nell'atomo da cui proviene.



Livelli di energia



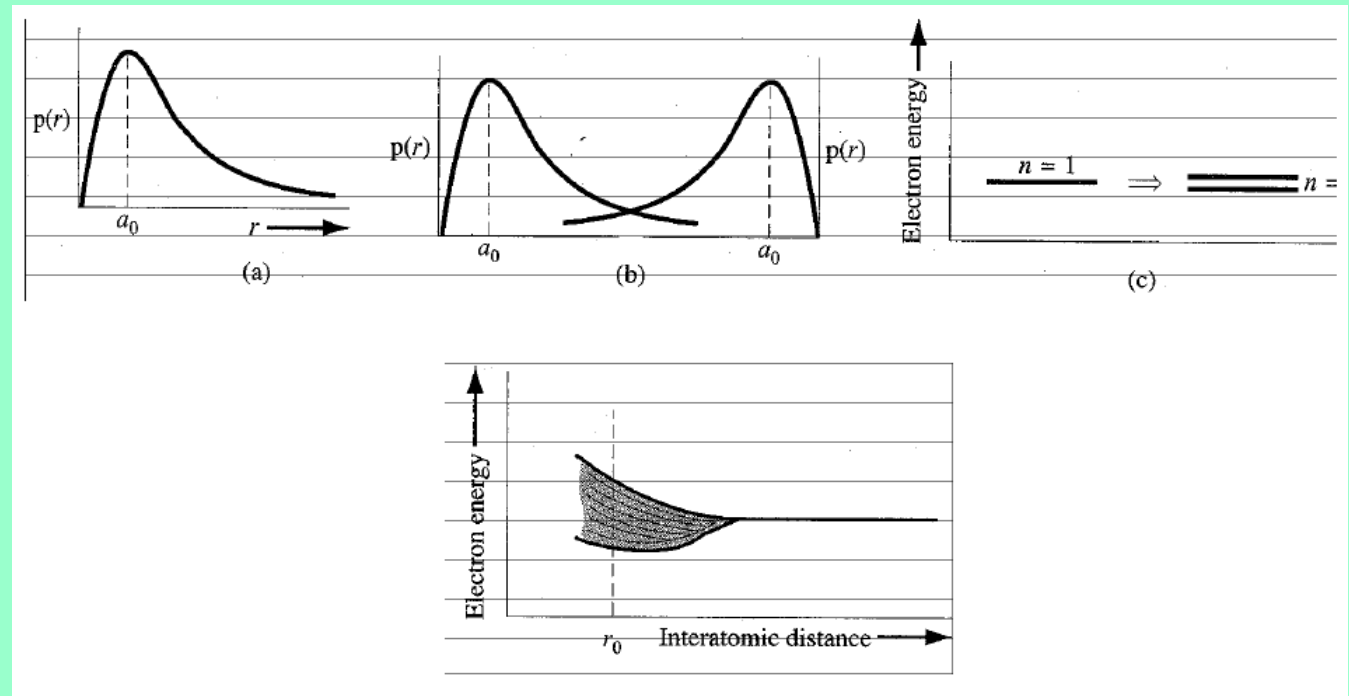
Atomo isolato (idrogeno H)



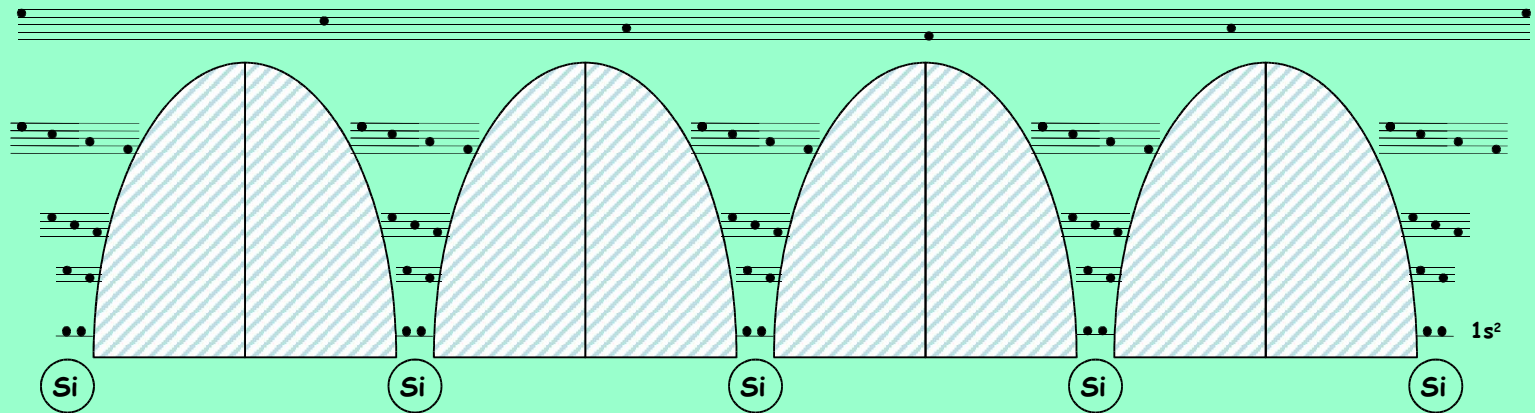
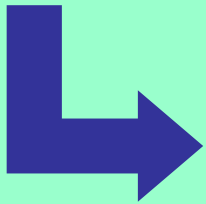
$$E_n(H) = -\frac{m_0 q^4}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2} = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$$

(Modello di Bohr)

Formazione delle bande di energia



N atomi disposti regolarmente



Formazione delle bande di energia

