

I MATERIALI SEMICONDUCTORI **PER L'ELETTRONICA**

SOMMARIO

- come è fatto un **cristallo** semiconduttore di Silicio
- che cosa significhi "materiale **semiconduttore**"
- quali **proprietà** manifestino questi materiali
- in quali modi e sotto quali condizioni è possibile un passaggio di **corrente** al loro interno.

II SILICIO

- E' il materiale principe dell'elettronica contemporanea.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | | | | | | | | | | | 10 | 11 | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | H | | | | | | | | | | | He | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Li | 4 | Be | | | | | | | | | | | B | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Na | 12 | Mg | | | | | | | | | | | Al | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | K | 20 | Ca | 21 | Sc | 22 | Ti | 23 | V | 24 | Cr | 25 | Mn | 26 | Fe | 27 | Co | 28 | Ni | 29 | Cu | 30 | Zn | 31 | Ga | 32 | Ge | 33 | As | 34 | Se | 35 | Br | 36 | Kr |
| 37 | Rb | 38 | Sr | 39 | Y | 40 | Zr | 41 | Nb | 42 | Mo | 43 | Tc | 44 | Ru | 45 | Rh | 46 | Pd | 47 | Ag | 48 | Cd | 49 | In | 50 | Sn | 51 | Sb | 52 | Te | 53 | I | 54 | Xe |

- Se vuoi saperne di più sulla tabella periodica degli elementi, consulta <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Elements/index.html>

- Numero atomico $Z=14$

\Rightarrow 14 protoni nel nucleo e 14 elettroni all'esterno

MODELLO DEL SILICIO

8 stati possibili
occupati da 4 e⁻



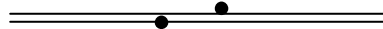
n = 3

8 stati possibili
occupati da 8 e⁻



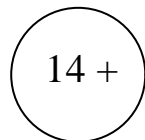
n = 2

2 stati possibili
occupati da 2 e⁻



n = 1

La distanza tra i livelli energetici è, al più,
di qualche elettronVolt

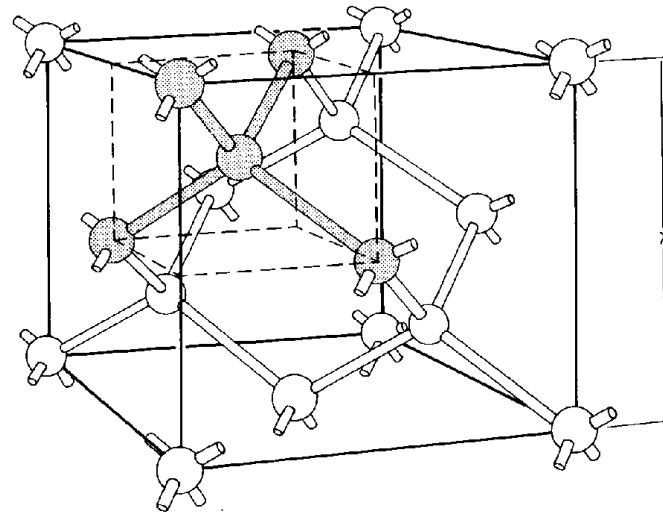


L'unità di misura dell'energia comoda in
elettronica è l'elettronVolt, eV:

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ joules}$$

RAPPRESENTAZIONE 3D DI UN CRISTALLO DI SILICIO

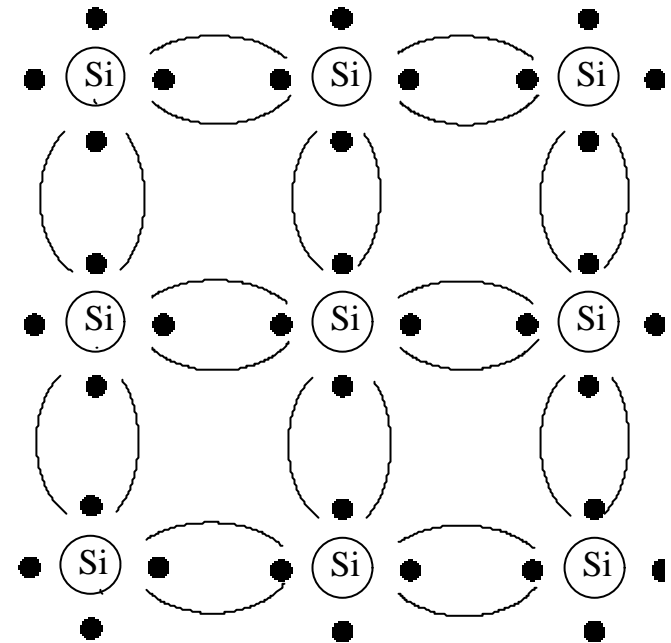
- Ogni atomo di silicio si lega con altri **4 atomi**
- La disposizione spaziale è perfettamente simmetrica, con gli *atomi ai vertici di un tetraedro*
- Tetraedri contigui si legano a formare il **crystallo**



- In **1cm³** di silicio cristallino ci sono **5 x 10²² atomi**

RAPPRESENTAZIONE 2D DI UN CRISTALLO DI SILICIO

- Inserire un video con la rotazione del cristallo, come :
<http://jas2.eng.buffalo.edu/applets/education/solid/unitCell/home.html>

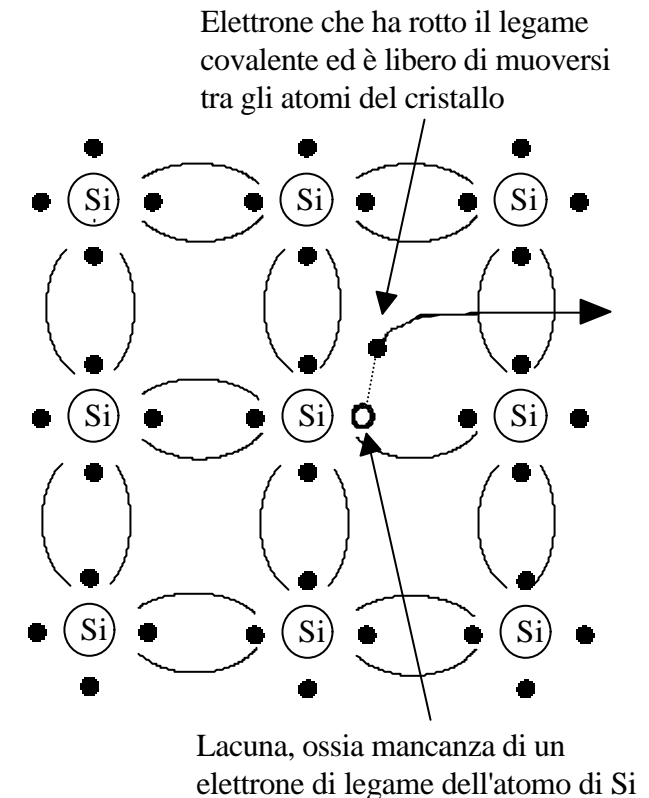


I PORTATORI DELLA CORRENTE : gli ELETTRONI

- A temperatura ambiente (circa 27°C , ossia 300K), l'agitazione termica del cristallo provoca la rottura di alcuni legami covalenti degli atomi di Si

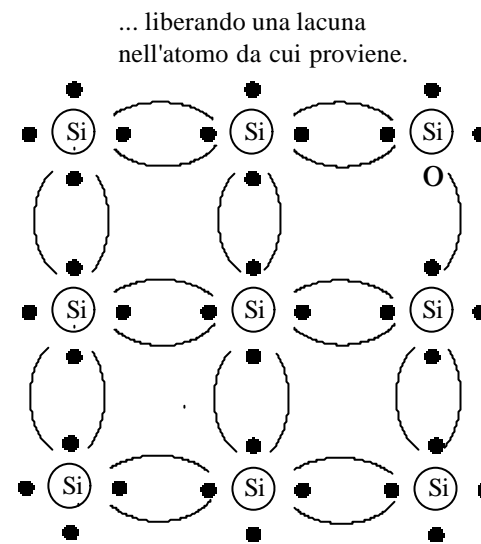
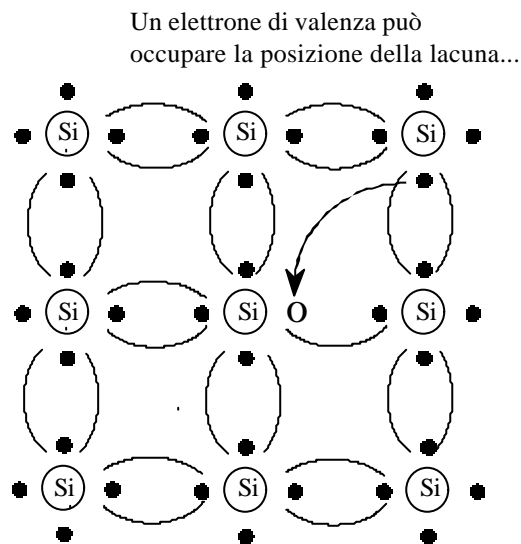
L'energia minima per rompere il legame è di 1.1eV

- L'ELETTRONE libero, trascinato da un campo elettrico, può muoversi nel cristallo e dare luogo ad una CORRENTE ELETTRICA



I PORTATORI DELLA CORRENTE : le LACUNE

- ... ma anche gli elettroni di valenza possono muoversi ...



- ... facendo scorrere in senso opposto la lacuna, cioè la mancanza di un legame covalente.

I PORTATORI DELLA CORRENTE : ELETTRONI e LACUNE

Nel silicio la conduzione di carica è quindi realizzata *contemporaneamente* e *indipendentemente* dagli:

- elettroni liberi (o di conduzione) che si muovono “tra” gli atomi e quindi “tra” i legami covalenti che gli atomi di silicio stabiliscono tra di loro nel cristallo,
- elettroni di valenza che si muovono “lungo” i legami covalenti che tengono uniti gli atomi di silicio.
Quest’ultimo meccanismo di trasporto è normalmente visualizzato dallo spostamento, in direzione opposta, delle rispettive lacune.

CORRENTE ELETTRICA

La corrente elettrica è quindi formata dal:

- **moto degli elettroni di conduzione**, e
- moto degli elettroni di valenza.

La corrente degli elettroni di valenza può anche essere espressa come **moto delle lacune** corrispondenti, purché queste siano immaginate avere **carica positiva** (in modulo uguale a quella dell'elettrone) perché muoventesi in senso opposto.

CONCENTRAZIONE di ELETTRONI e di LACUNE

- In un cristallo puro di Si, la densità di elettroni (n) necessariamente eguaglia la densità di lacune (p) ed è pari, alla temperatura ambiente, a :

$$n = p \cong 1.4 \times 10^{10} \text{ portatori/cm}^3$$

- Questo valore va confrontato con la densità di atomi di silicio, cioè con il numero di legami che si sarebbero potuti rompere, pari a 5×10^{22} atomi/cm³, enormemente di più !!!

Significato di SEMICONDUCTORE

- Quando un materiale, alla temperatura di interesse, ha una modesta frazione di legami covalenti rotti e dà luogo ad elettroni e lacune libere di muoversi e produrre corrente, esso viene chiamato MATERIALE SEMICONDUCTORE.
- Un ISOLANTE, come il diamante o la ceramica (SiO_2), non ha elettroni né lacune per la conduzione di corrente perché i legami tra gli atomi contigui sono così forti che nessuno è spezzato.
- Un CONDUTTORE, come il rame o l'alluminio, è formato da atomi che perdono tutti un elettrone, fornendo quindi un numero di elettroni liberi per la conduzione pari al numero di atomi presenti e senza generare lacune.

ALTRI MATERIALI SEMICONDUTTORI

- Germanio (Ge)
- i composti di 2 elementi delle colonne III-V : GaAs, InP...
- i composti di 3 (ternari) o di 4 (quaternari) elementi : GaAlAs, GaInAsP....
- i composti II-VI : CdTe ...

| | IIIB | IVB | VB | VIB | |
|-----|--|---|--|---|---|
| | 5 $^2P_{1/2}^o$ B Boron 10.811 $1s^2 2s^2 2p$ 8.2980 | 6 3P_0 C Carbon 12.0107 $1s^2 2s^2 2p^2$ 11.2603 | 7 $^4S_{3/2}$ N Nitrogen 14.00674 $1s^2 2s^2 2p^3$ 14.5341 | 8 3P_2 O Oxygen 15.9994 $1s^2 2s^2 2p^4$ 13.6181 | |
| | 13 $^2P_{1/2}^o$ Al Aluminum 26.98154 $[Ne]3s^2 3p$ 5.9858 | 14 3P_0 Si Silicon 28.0855 $[Ne]3s^2 3p^2$ 8.1517 | 15 $^4S_{3/2}$ P Phosphorus 30.97376 $[Ne]3s^2 3p^3$ 10.4867 | 16 3P_2 S Sulfur 32.066 $[Ne]3s^2 3p^4$ 10.3600 | |
| IIB | 30 1S_0 Zn Zinc 65.39 $[Ar]3d^{10} 4s^2$ 9.3942 | 31 $^2P_{1/2}^o$ Ga Gallium 69.723 $[Ar]3d^{10} 4s^2 4p$ 5.9993 | 32 3P_0 Ge Germanium 72.61 $[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^2$ 7.8994 | 33 $^4S_{3/2}$ As Arsenic 74.92160 $[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^3$ 9.7886 | 34 3P_2 Se Selenium 78.96 $[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^4$ 9.7524 |
| | 48 1S_0 Cd Cadmium 112.411 $[Kr]4d^{10} 5s^2$ 8.9938 | 49 $^2P_{1/2}^o$ In Indium 114.818 $[Kr]4d^{10} 5s^2 5p$ 5.7864 | 50 3P_0 Sn Tin 118.710 $[Kr]4d^{10} 5s^2 5p^2$ 7.3439 | 51 $^4S_{3/2}$ Sb Antimony 121.760 $[Kr]4d^{10} 5s^2 5p^3$ 8.6084 | 52 3P_2 Te Tellurium 127.60 $[Kr]4d^{10} 5s^2 5p^4$ 9.0096 |

TECNICA DI FABBRICAZIONE DI SI CRISTALLINO PURO

- Il silicio è presente nei composti naturali come la silice ed i silicati (la comune sabbia!).
- Questi vengono fusi in fornaci e purificati selezionando il solo silicio.
- Nel crogiuolo di silicio fuso è immerso un “seme” di cristallo di silicio che viene poi lentamente sollevato ruotandolo.
- Il silicio fuso si attacca al seme e, mentre esce dal crogiuolo e si raffredda, riproduce la struttura cristallina del seme
- Si realizzano lingotti del diametro di 20cm e lunghi fino ad 1m.