

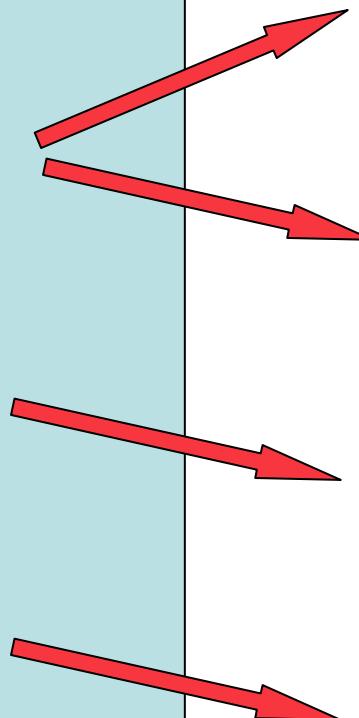
Obiettivi del corso

Scopi

Come funzionano?

A che servono?

Come si fanno?



Programma

Fisica dei semiconduttori

Strutture pn, MS, MOS

Principali classi di dispositivi classici

Tecnologie

Programma

A - FISICA DEI SEMICONDUTTORI

In questa sezione vengono introdotti i concetti relativi a proprietà di equilibrio e di non equilibrio di materiali semiconduttori.

Richiami struttura a bande

Proprietà generali dei semiconduttori. Bande elettroniche. Teorema accelerazione. Massa effettiva. Densità degli stati in sistemi massivi ed a confinamento quantico. Concetto di lacuna. Difetti. Impurezze sostituzionali. Accettori e donori: modello idrogenoide.

Distribuzione di equilibrio di elettroni e lacune

Statistica di Fermi. Distribuzione di elettroni e lacune. Semiconduttori intrinseci ed estrinseci. Drogaggio p ed n. Legge di azione di massa. Dipendenza del livello di Fermi da temperatura e drogaggio. Compensazione. Materiali semi-isolanti per substrati in microelettronica.

Fenomeni di trasporto

Trasporto di carica: conducibilità e mobilità. Relazione di Einstein. Effetti di campo elevato: saturazione, resistività differenziale negativa. Effetto Hall, misura della massa effettiva con la risonanza di ciclotrone. Assorbimento e fotoluminescenza

Sistemi fuori equilibrio

Iniezione ed estrazione di portatori. Equazione di continuità, generazione e ricombinazione. Tempo collisionale e vita media dei portatori minoritari. Iniezione laterale a regime. Lunghezza di diffusione dei portatori minoritari..

B - STRUTTURE A SEMICONDUTTORE

In questa sezione vengono illustrate le proprietà delle principali strutture che sono alla base della realizzazione di dispositivi complessi. Si introducono inoltre alcune delle principali famiglie di dispositivi a semiconduttore.

La giunzione p-n

Diagramma a bande all'equilibrio. Elettrostatica della **giunzione p-n**. Profilo di potenziale e regione di svuotamento. Capacità della giunzione p-n: misure CV di drogaggio. Applicazioni: **fotodiodi, LED, laser a semiconduttore. Transistore bipolare. Transistore JFET.**

Il contatto metallo-semiconduttore

Giuizione metallo semiconduttore. **Diodi Schottky:** schema a bande. Stati di superficie (cenni). Caratteristiche tensione corrente. Corrente di tunnelling e contatti Ohmici.

La struttura Metallo-Ossido-Semiconduttore

Il sistema MOS ideale: struttura a bande. Effetto dell'applicazione di una tensione esterna: accumulazione, svuotamento e inversione. Sistemi MOS reali. Caratteristiche capacità-tensione. Applicazioni: **transistore MOSFET, invertitore logico CMOSFET, CCD, memorie.**

C- Flusso di processo tecnologico per la realizzazione di un MOSFET

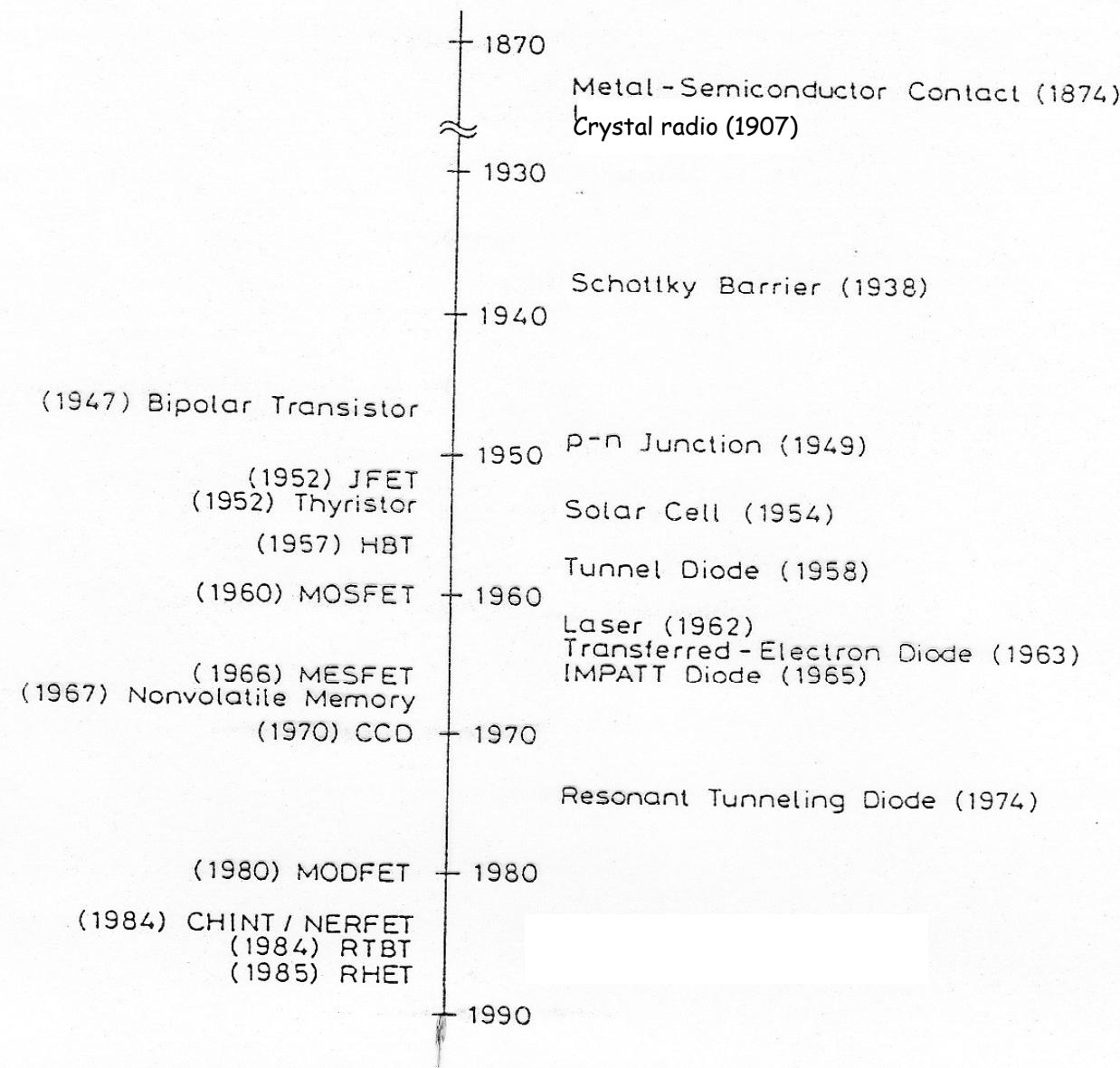
Testi consigliati:

•B. Sapoval, C. Hermann: **Physics of Semiconductors**, Springer-Verlag 1995

Capitoli 1 (escluso 1.3a,b); 2.1b, 2.2a-c, 2.3(incluso App.3.1);; 3; 4(incluso App.4.2); 5 (escluso 5.3); 7; 8; 9; 10 (incluso supplemento appendice 10.3)

•S.M.Sze: **Semiconductor devices**, Wiley & Sons , 1985
Capitoli 2.6;4.2.1; 5.2, 5.4.1, 5.5.4, 7.2 (escluso 7.2.2) ,7.3 (escluso 7.3.4), 12.3.1

Cronologia dei dispositivi a semiconduttori



SEMICONDUTTORI

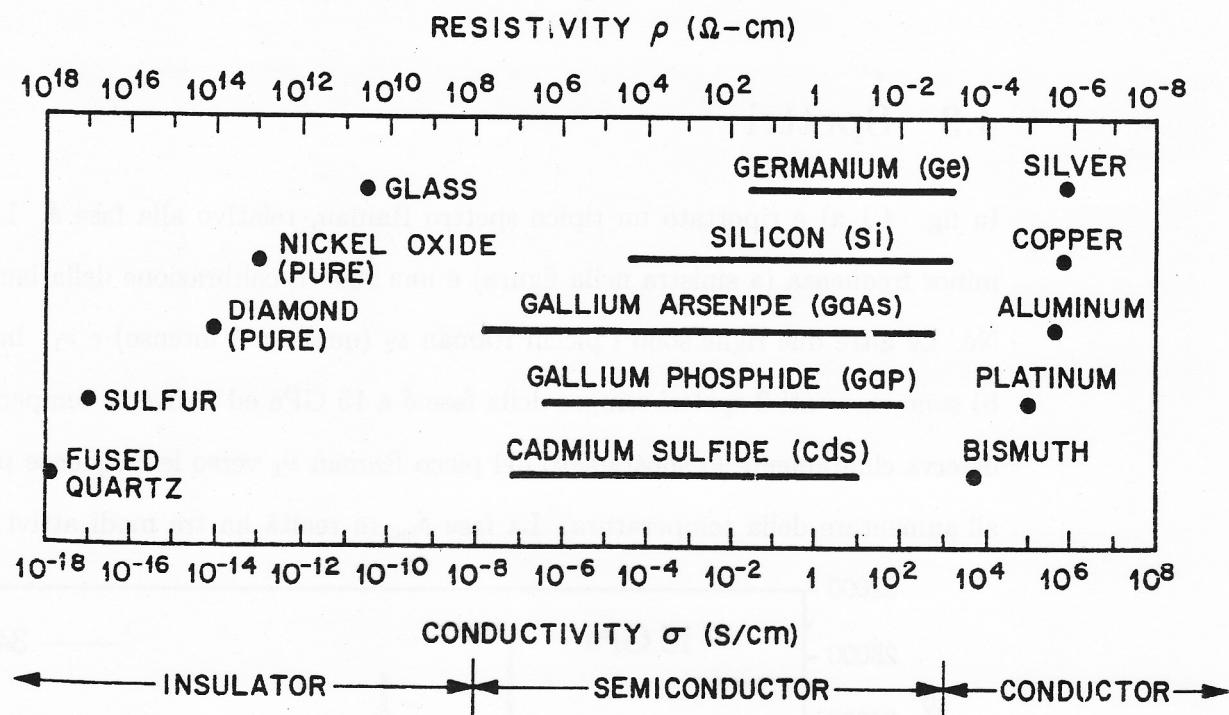


Fig. 1 Typical range of conductivities for insulators, semiconductors, and conductors.

- Conducibilità crescente con T
- Sono trasparenti all'infrarosso
- Danno luogo a contatti non ohmici



Ritratto di A. Volta

1782 Alessandro Volta introduce la parola **"semiconduttori"** osservando la velocità con la quale un elettrometro si scarica se uno dei suoi terminali viene toccato con materiali diversi: i metalli lo fanno istantaneamente, gli isolanti non lo scaricano e i semiconduttori lo scaricano molto lentamente.



1833: First Semiconductor Effect is Recorded

Michael Faraday describes the “extraordinary case” of his discovery of electrical conduction increasing with temperature in silver sulfide crystals. This is the opposite to that observed in copper and other metals.



1874: Semiconductor Point-Contact Rectifier Effect is Discovered

In the first written description of a semiconductor diode, Ferdinand Braun notes that current flows freely in only one direction at the contact between a metal point and a galena crystal (PbS).



1901: Semiconductor Rectifiers Patented as “Cat's Whisker” Detectors

Radio pioneer Jagadis Chandra Bose patents the use of a semiconductor crystal rectifier for detecting radio waves.





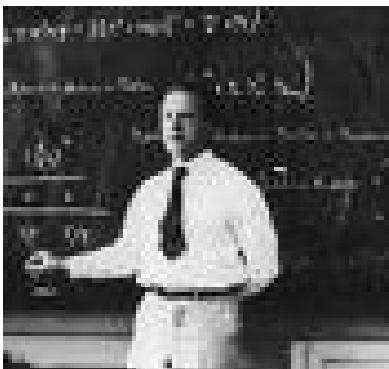
1926: Field Effect Semiconductor Device Concepts Patented

Julius Lilienfeld files a patent describing a three-electrode amplifying device based on the semiconducting properties of copper sulfide. Attempts to build such a device continue through the 1930s.



1931: "The Theory Of Electronic Semi-Conductors" is Published

Alan Wilson uses quantum mechanics to explain basic semiconductor properties. Seven years later Boris Davydov (USSR), Nevill Mott (UK), and Walter Schottky (Germany) independently explain rectification.



1931: Hole concept

Heisenberg proposed the hole concept as a quasi-particle for describing a full band with a missing electron, .



Tuttavia

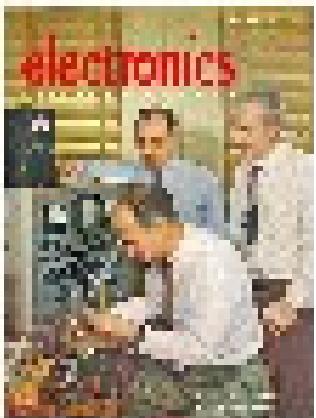
Da una lettera che Pauli scrisse a Rudolf Peierls da New York nel 1931:

*"Ueber Halbleiter sollte man nicht arbeiten, das ist eine Schweinerei,
wer weiss, ob es überhaupt Halbleiter gibt"
[uno non deve lavorare sui semiconduttori, sono un pasticcio, chi sa se
addirittura esistono i semiconduttori]*



1940: Discovery of the p-n Junction

Russell Ohl discovers the p-n junction and photovoltaic effects in silicon that lead to the development of junction transistors and solar cells.



1947: Invention of the Point-Contact Transistor

John Bardeen & Walter Brattain achieve transistor action in a germanium point-contact device in December 1947.

1948: Conception of the Junction Transistor

William Shockley conceives an improved transistor structure based on a theoretical understanding of the p-n junction effect.



1951: Development of Zone Refining

William Pfann and Henry Theurer develop zone refining techniques for production of ultra-pure semiconductor materials.



1952: Transistorized Consumer Products Appear

Semiconductors appear in battery-powered hearing aids and pocket radios where consumers are willing to pay a premium for portability and low power consumption.

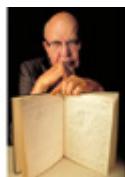
1953: Transistorized Computers Emerge

A transistorized computer prototype demonstrates the small size and low-power advantages of semiconductors compared to vacuum tubes.



1956: Silicon Comes to Silicon Valley

Shockley Semiconductor Laboratory develops Northern California's first prototype silicon devices while training young engineers and scientists for the future Silicon Valley.



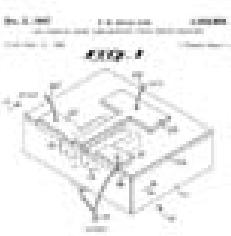
1958: Kilby demonstrates a “Solid Circuit”

Jack Kilby produces a microcircuit with both active and passive components fabricated from semiconductor material.

1959: Invention of the “Planar” Manufacturing Process

Jean Hoerni develops the planar process to solve reliability problems of the mesa transistor, thereby revolutionizing semiconductor manufacturing.





1963: Complementary MOS Circuit Configuration is Invented

Frank Wanlass invents the lowest power logic configuration but performance limitations impede early acceptance of today's dominant manufacturing technology.



1965: “Moore’s Law” Predicts the Future of Integrated Circuits

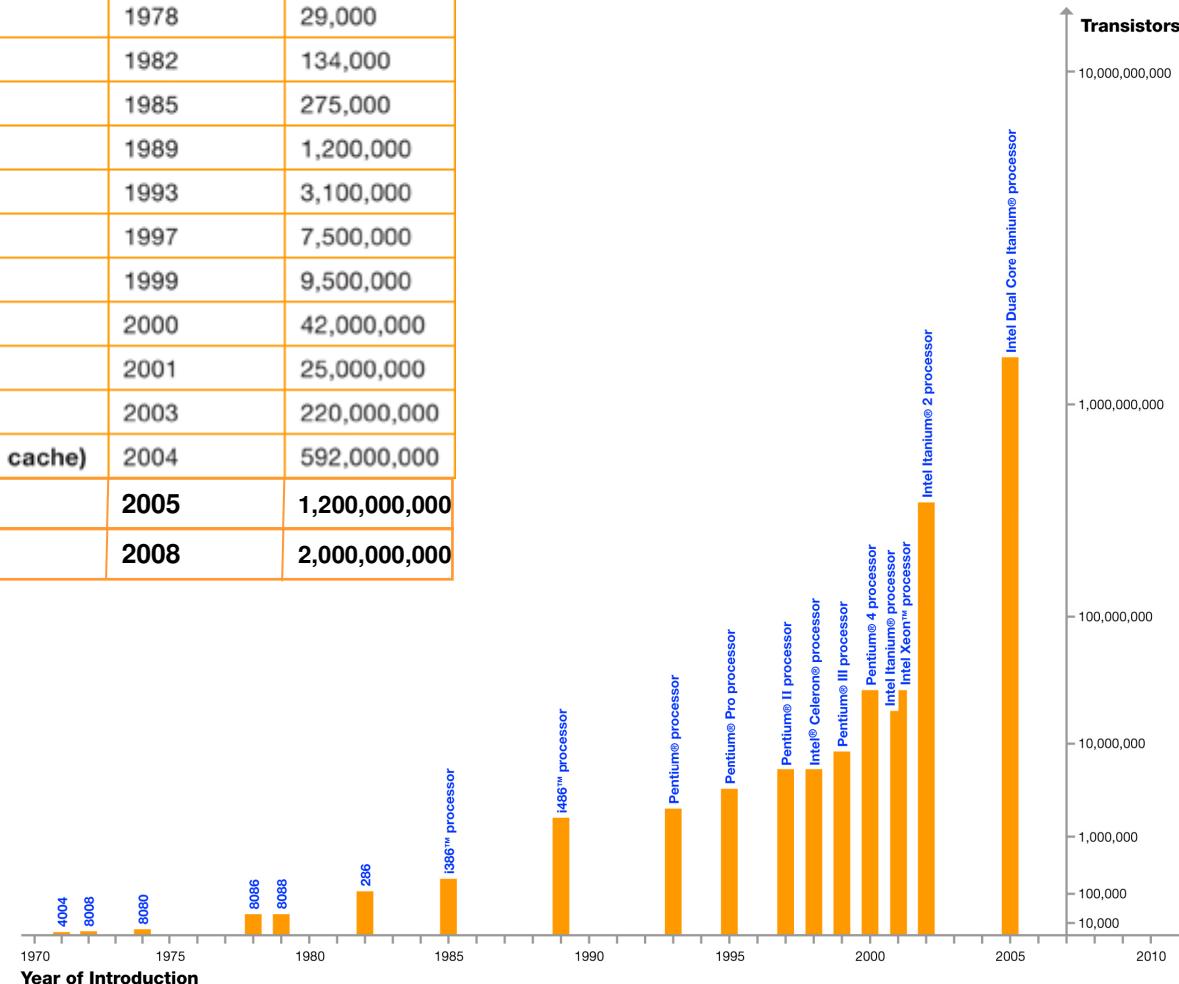
Fairchild's Director of R & D predicts the rate of increase of transistor density on an integrated circuit and establishes a yardstick for technology progress.



1966: Semiconductor RAMs Developed for High-Speed Storage

Sixteen-bit bipolar devices are the first ICs designed specifically for high speed read/write memory applications.

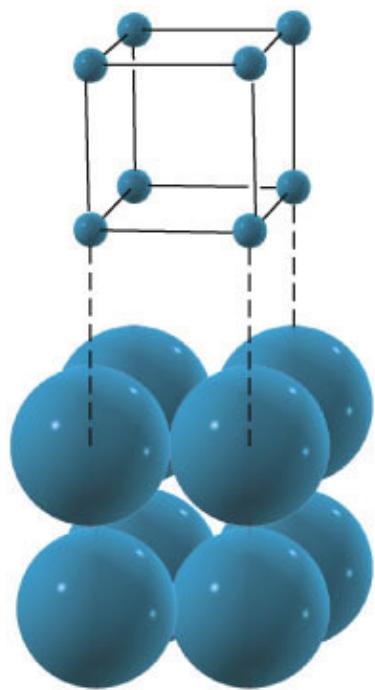
Microprocessor	Year of Introduction	Transistors
4004	1971	2,300
8008	1972	2,500
8080	1974	4,500
8086	1978	29,000
Intel286	1982	134,000
Intel386™ processor	1985	275,000
Intel486™ processor	1989	1,200,000
Intel® Pentium® processor	1993	3,100,000
Intel® Pentium® II processor	1997	7,500,000
Intel® Pentium® III processor	1999	9,500,000
Intel® Pentium® 4 processor	2000	42,000,000
Intel® Itanium® processor	2001	25,000,000
Intel® Itanium® 2 processor	2003	220,000,000
Intel® Itanium® 2 processor (9MB cache)	2004	592,000,000
Intel dual core processor	2005	1,200,000,000
Intel Silverthorne processor	2008	2,000,000,000



*Note: Vertical scale of chart not proportional to actual Transistor count.

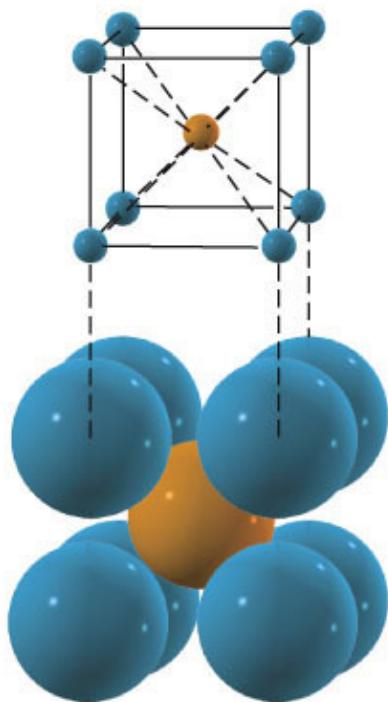
Semiconduttori cristallini

Classi cristallografiche

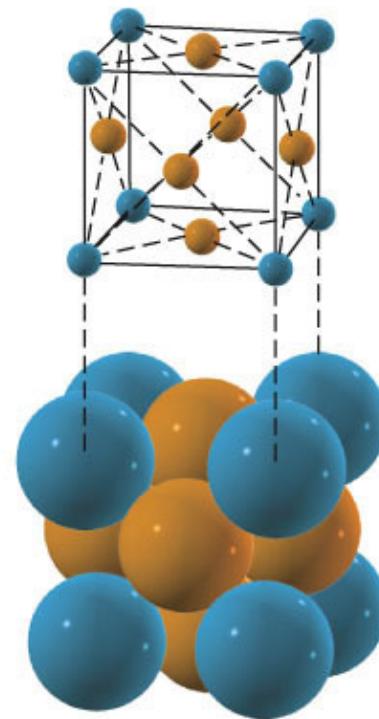


Primitive

© 2007 Thomson Higher Education

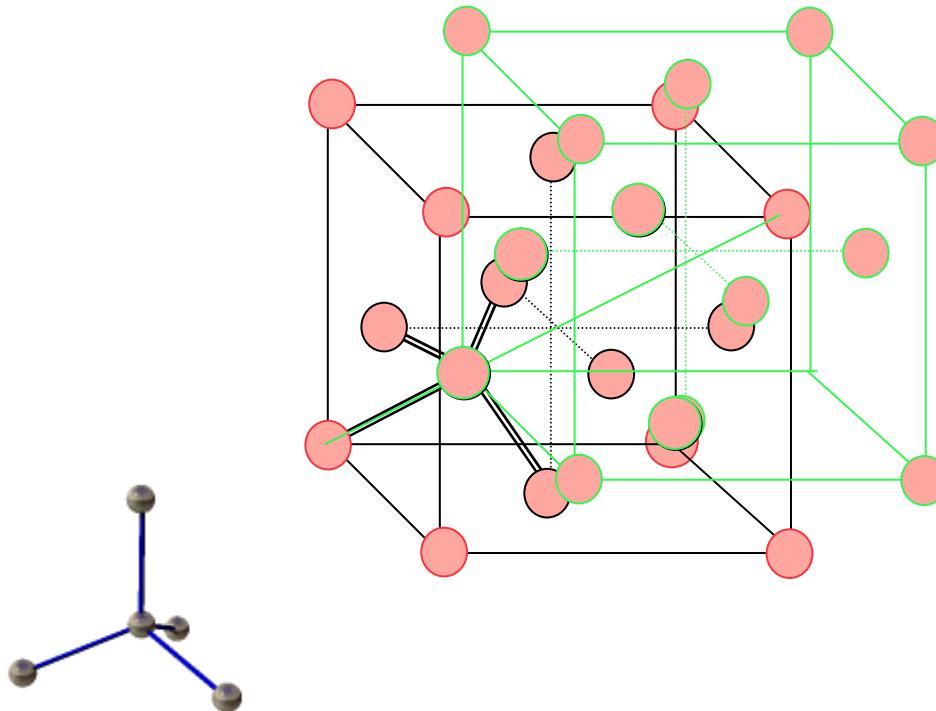
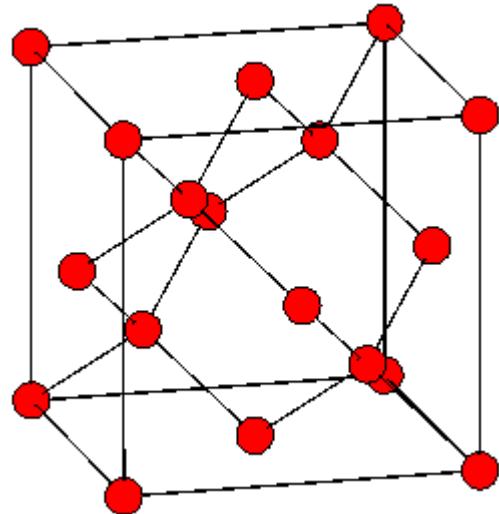
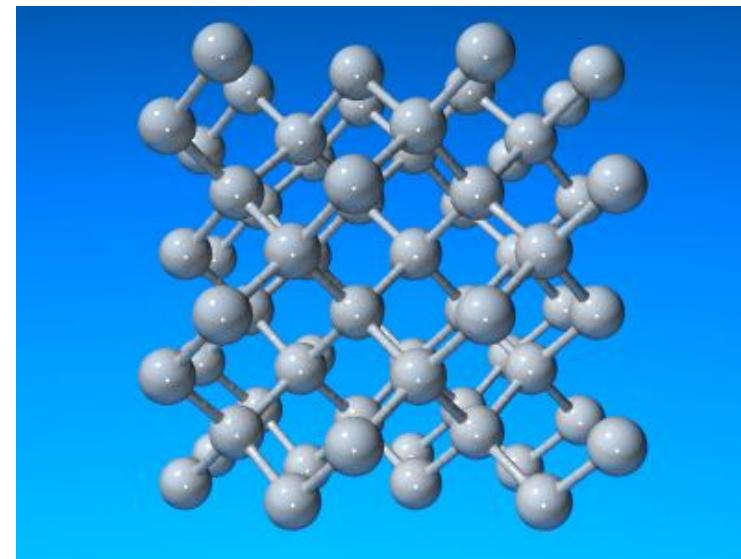


Body-centered

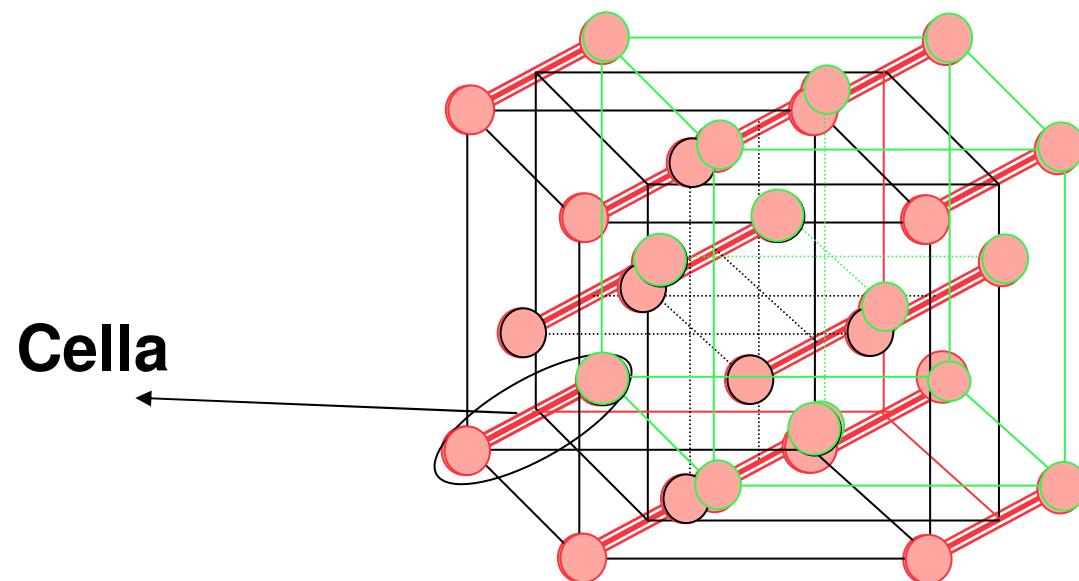


Face-centered

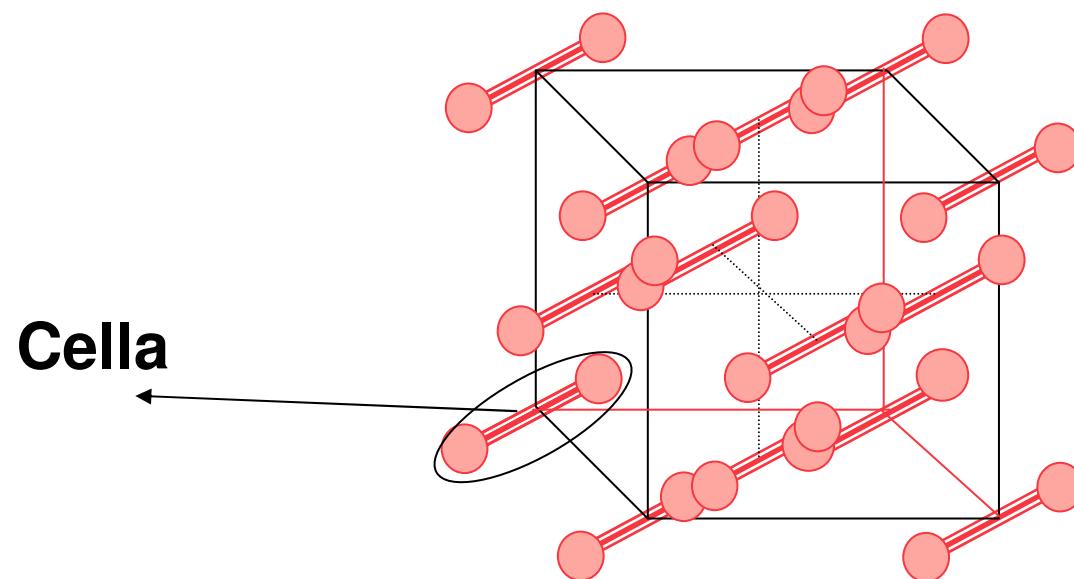
Diamante



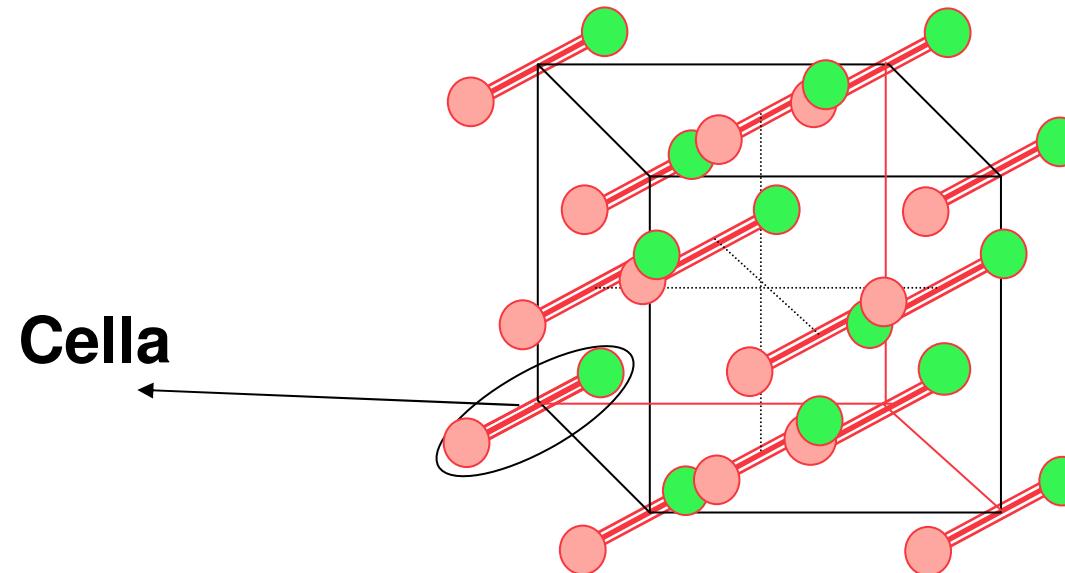
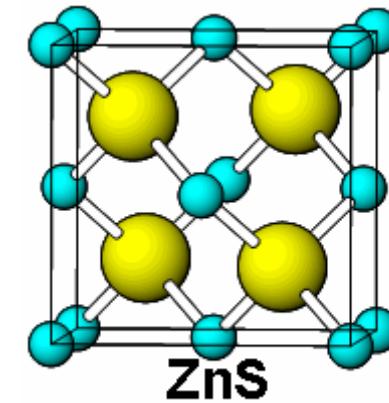
Diamante (C,Si,Ge)

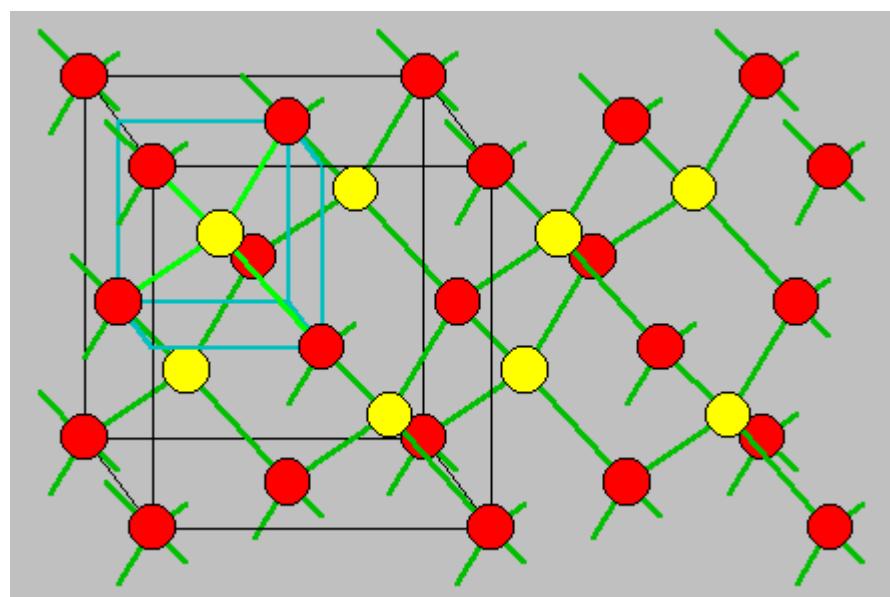
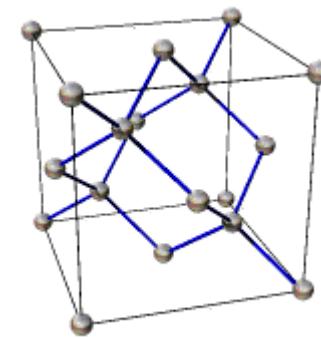
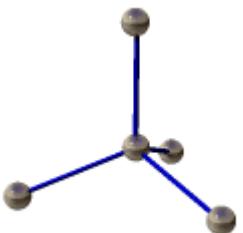
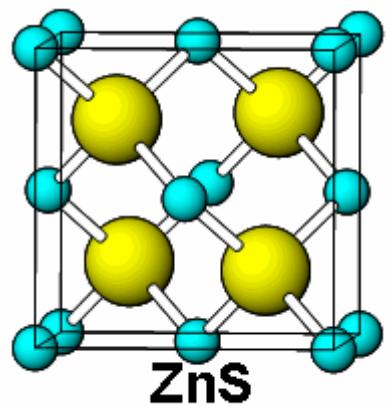


Diamante (C,Si,Ge)



Zincoblenda (ZnS, GaAs, InAs)





		13	14	15	16	17	
11	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
12	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At

