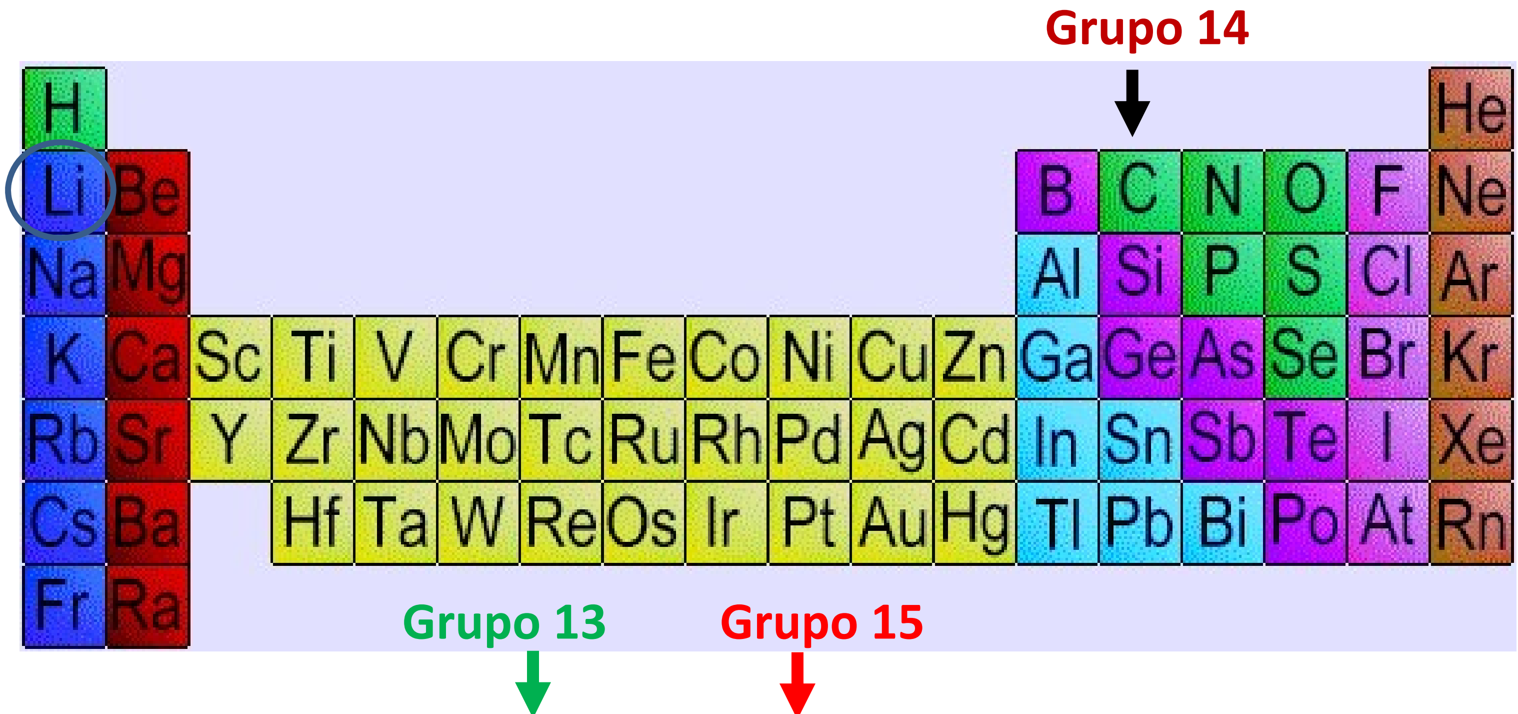
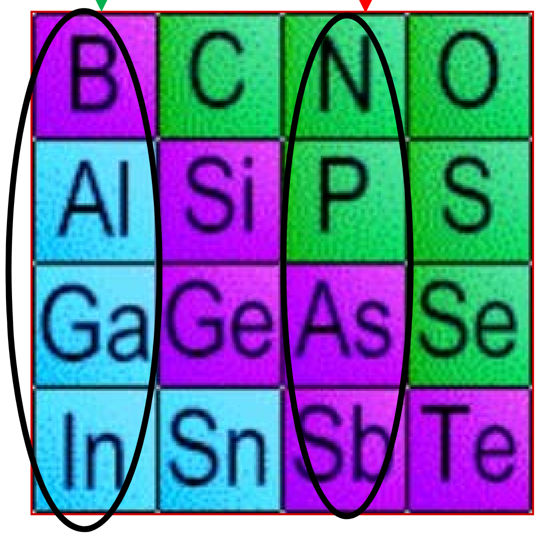
Semicondutores Extrínsecos



Tipo p:

Impurezas com **3** electrões de valência



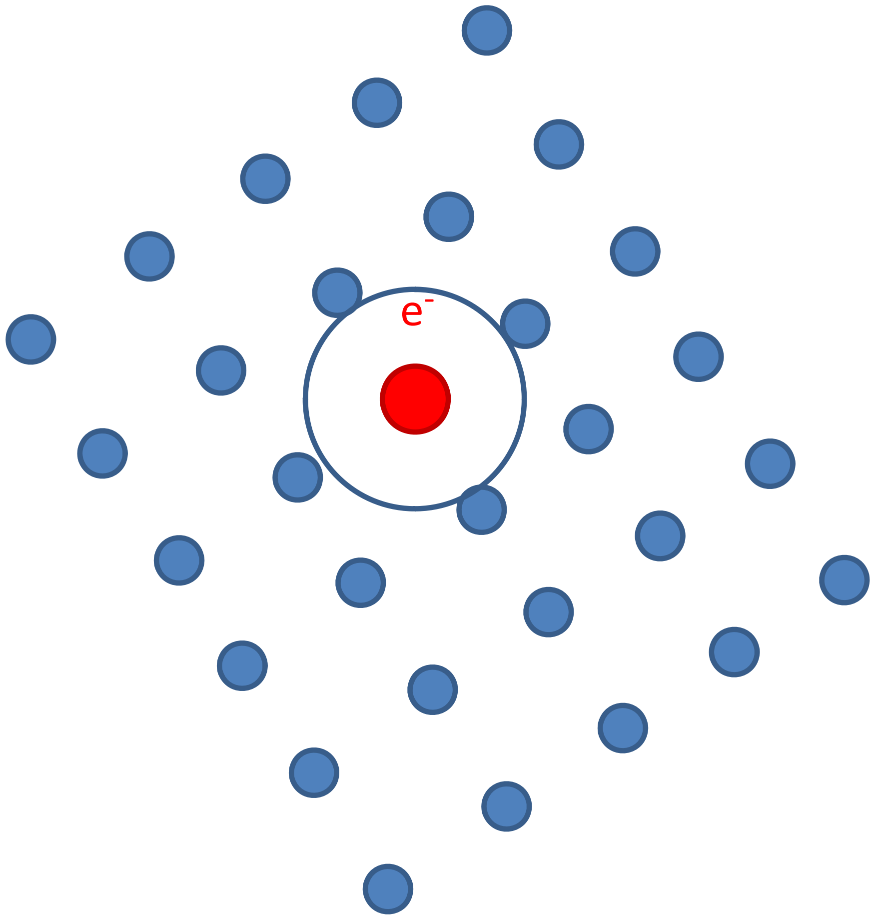
Tipo n:

Impurezas com **5** electrões de valência

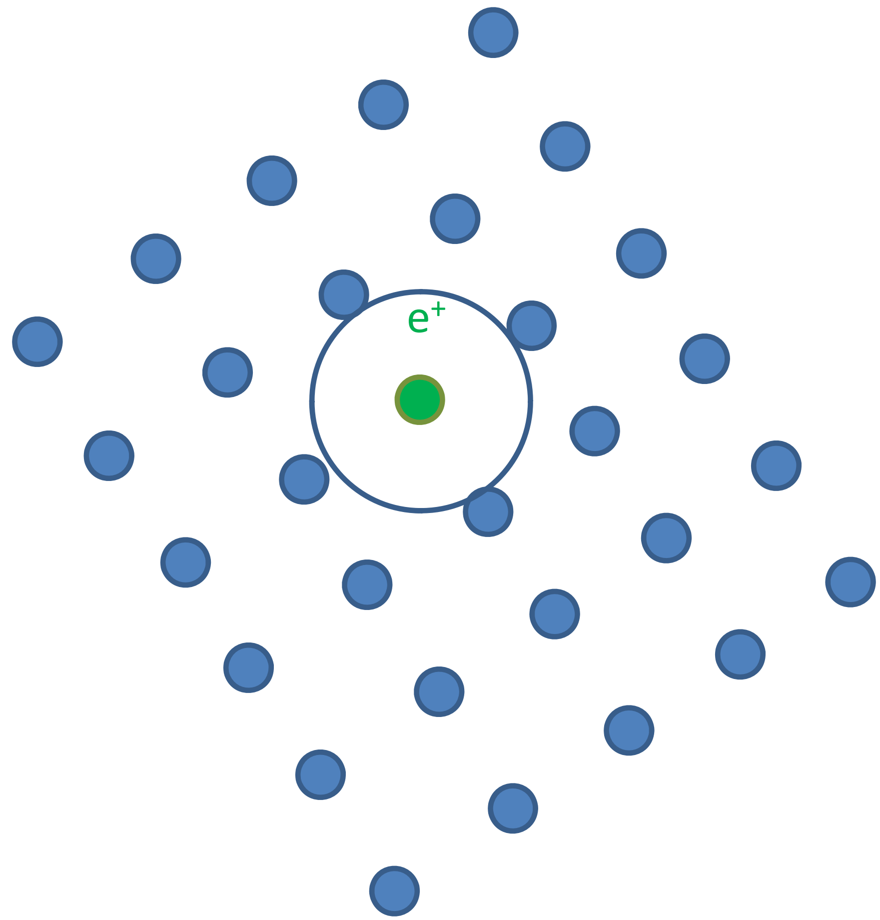
+

Li

Si ($[Ne]3s^2\ 3p^2$) dopado com As ($[Ar]3d^{10}\ 4s^2\ 4p^3$)



Si ($[Ne]3s^2\ 3p^2$) dopado com B ($1s^2\ 2s^2\ 2p^1$)



Impurezas do Grupo 15

Diagrama de Bandas de Energia

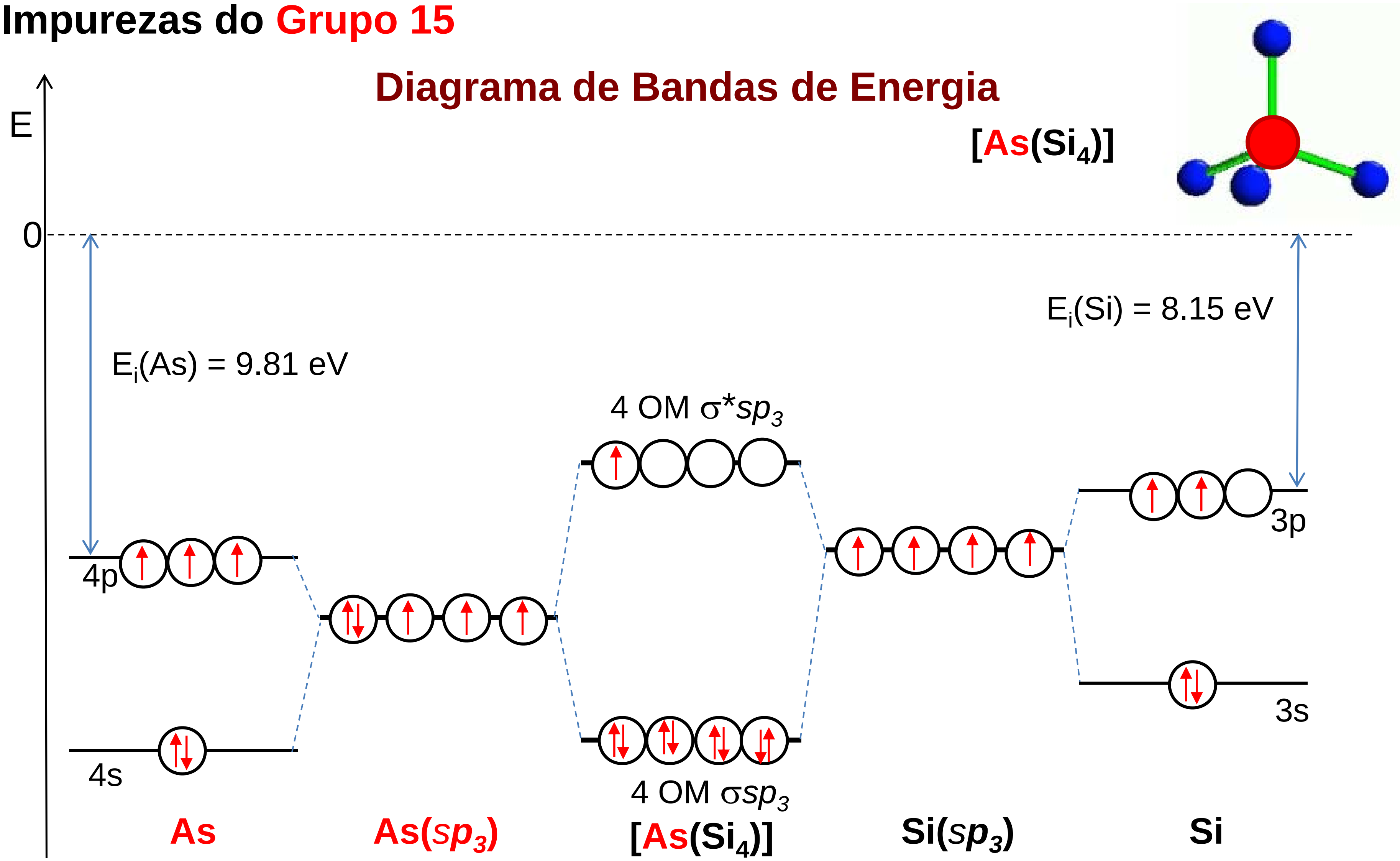


Diagrama de Bandas de Energia

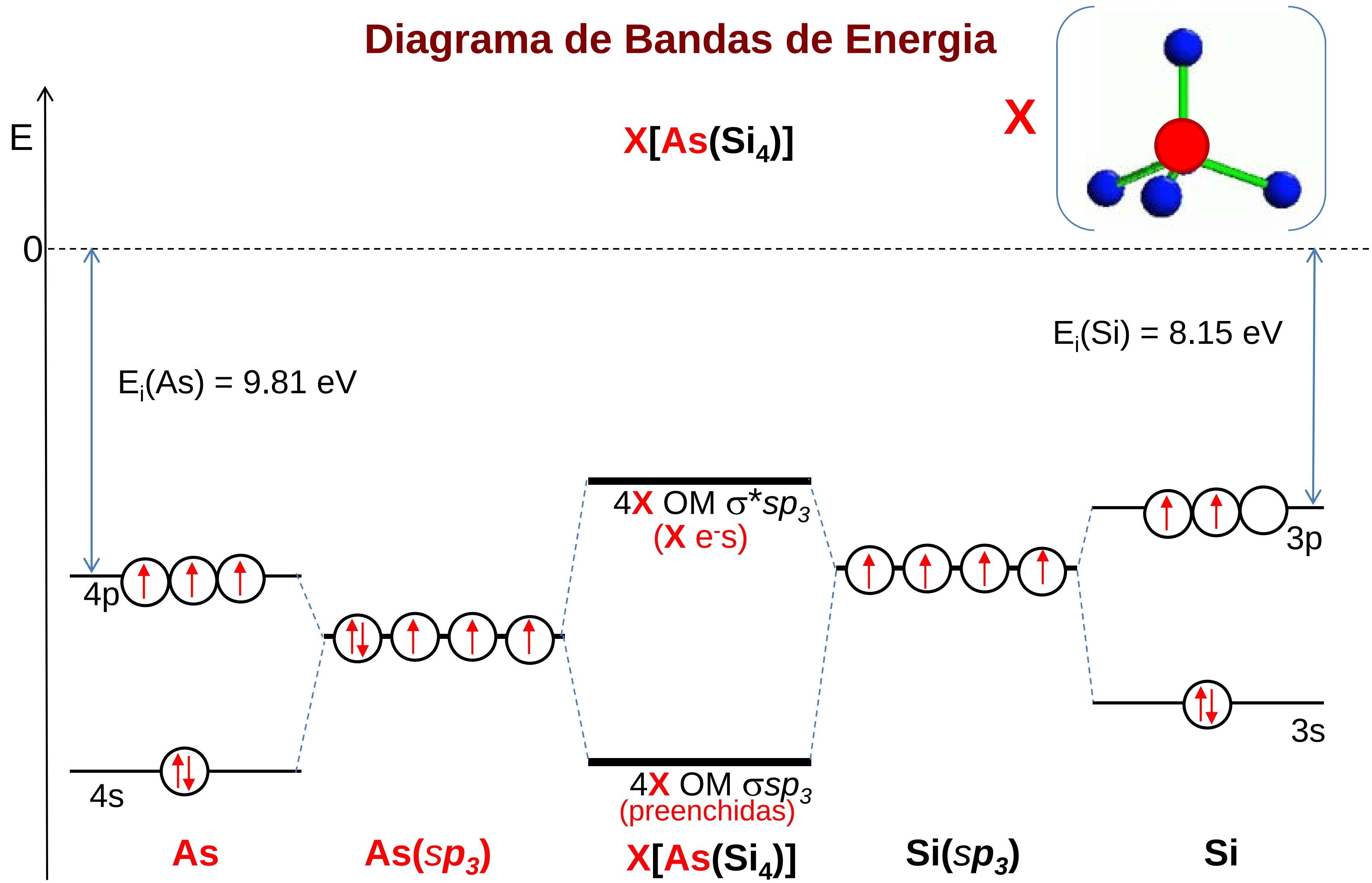
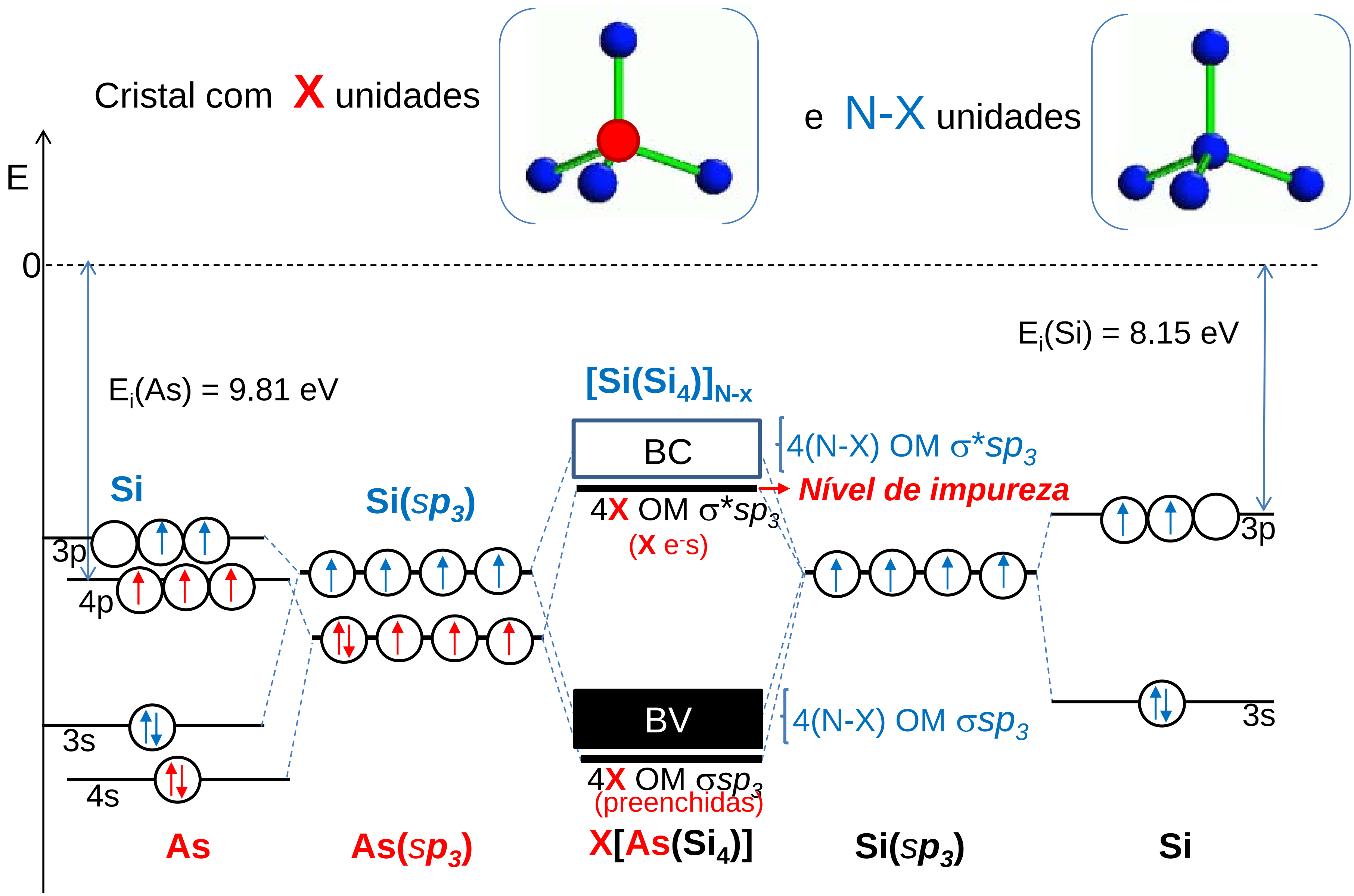


Diagrama de Bandas de Energia



Diagramas de bandas de energia para semicondutores extrínsecos

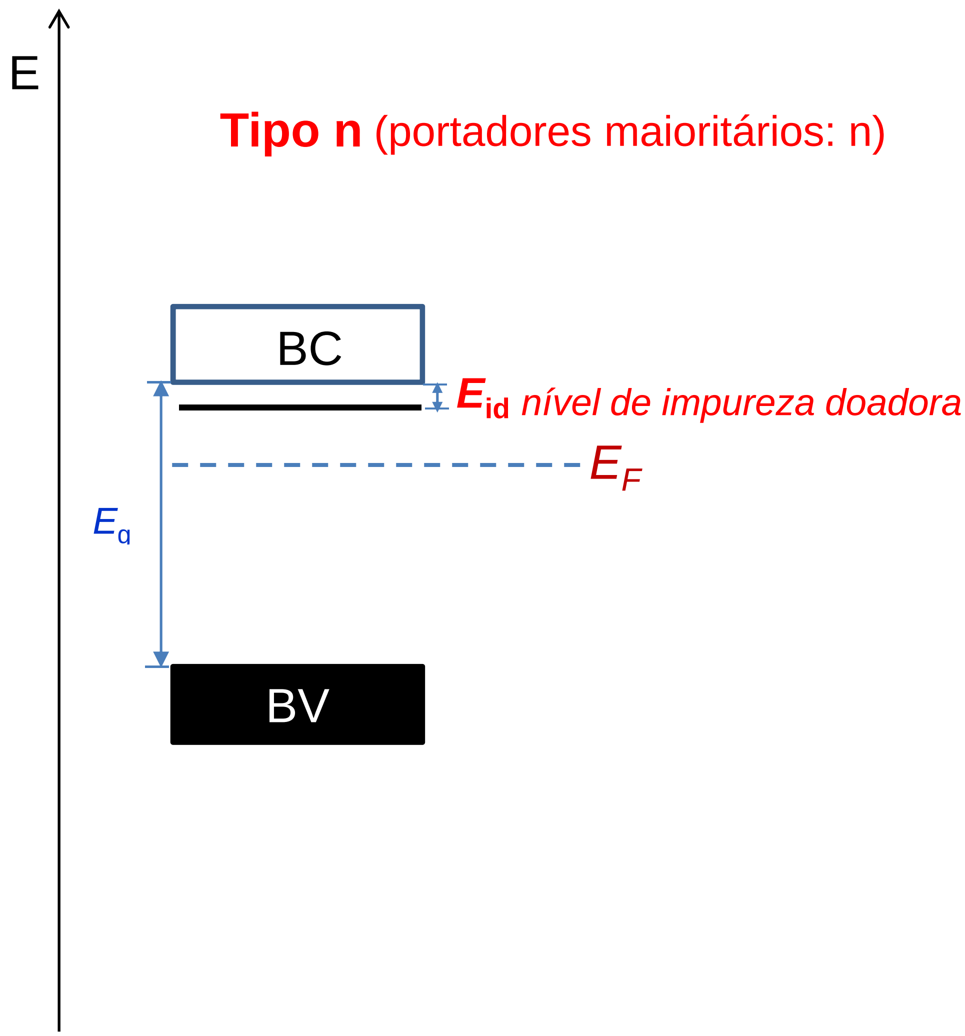
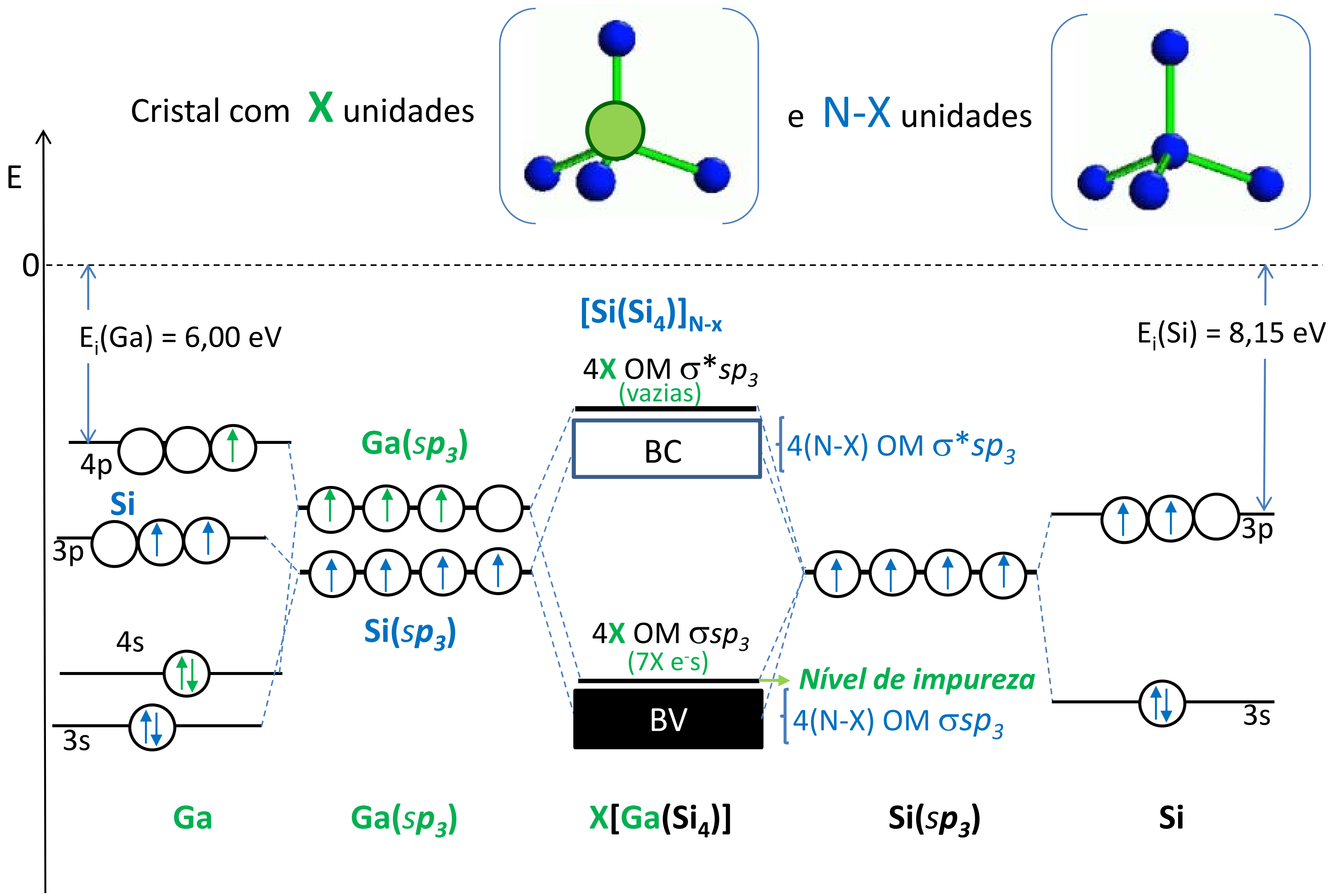
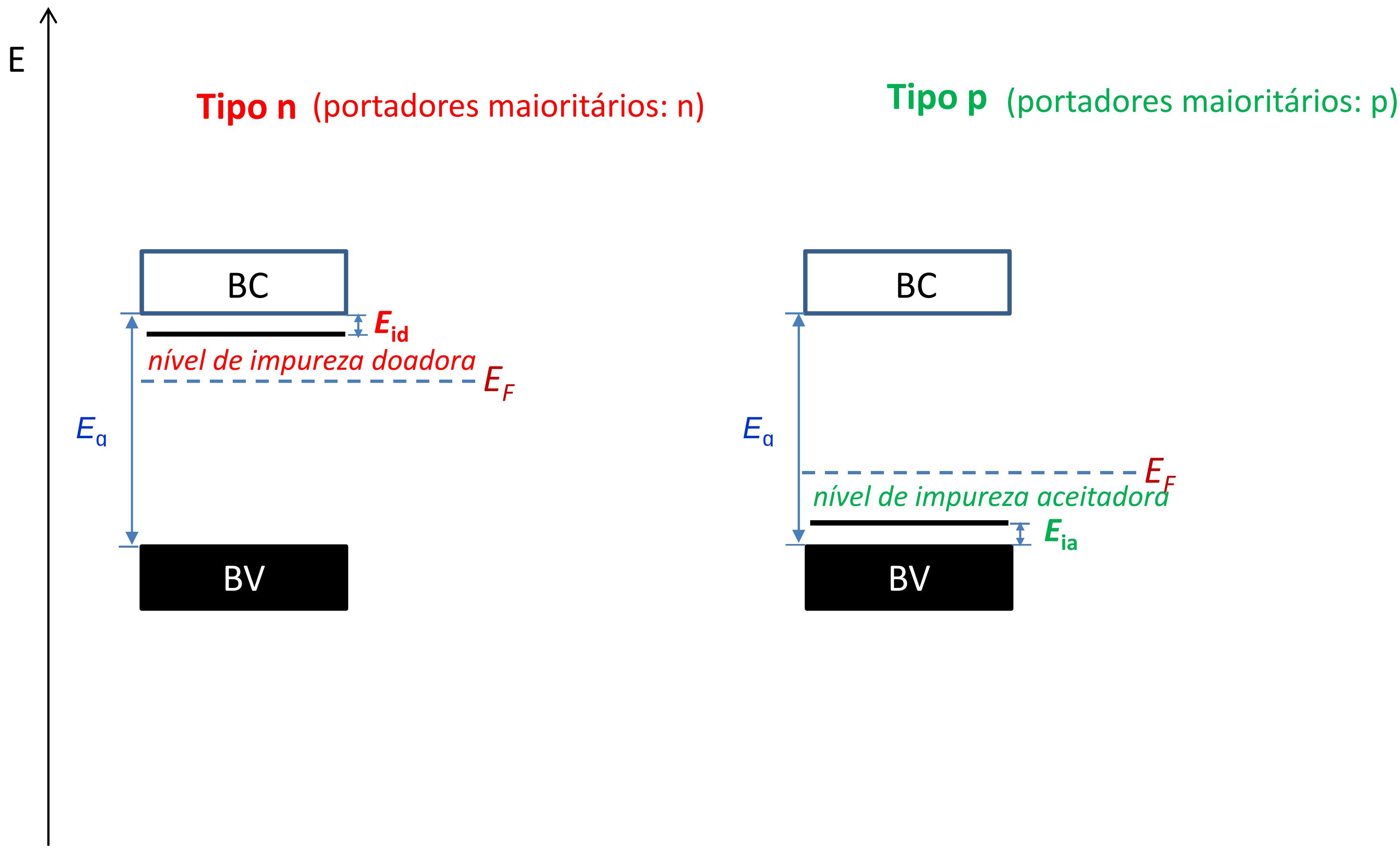


Diagrama de Bandas de Energia



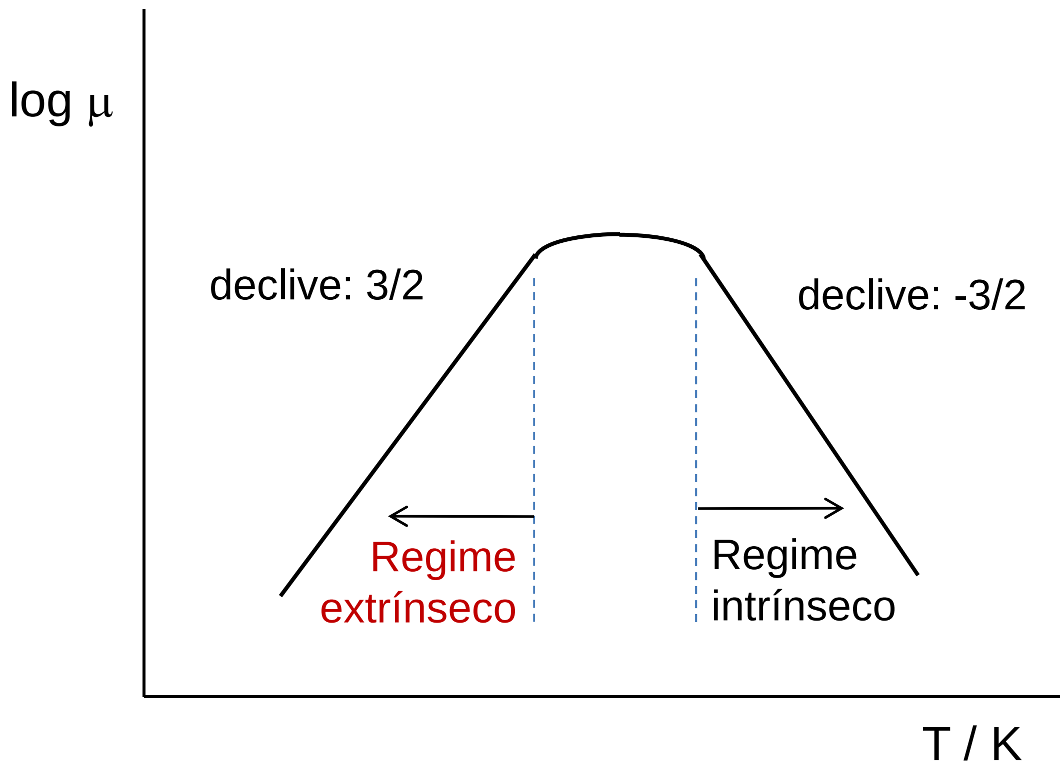
Diagramas de bandas de energia para semicondutores extrínsecos



Variação da mobilidade de portadores com a temperatura

A baixas temperaturas (zona extrínseca): $\mu = b\ T^{3/2}$

A temperaturas elevadas (zona intrínseca): $\mu = a\ T^{-3/2}$



Variação da densidade de portadores com a temperatura

Zona extrínseca ou de impureza: $n = n_0\, T^{3/4} \sqrt{N_d}\, e^{-E_{id}/2k_BT}$ (**tipo n**)

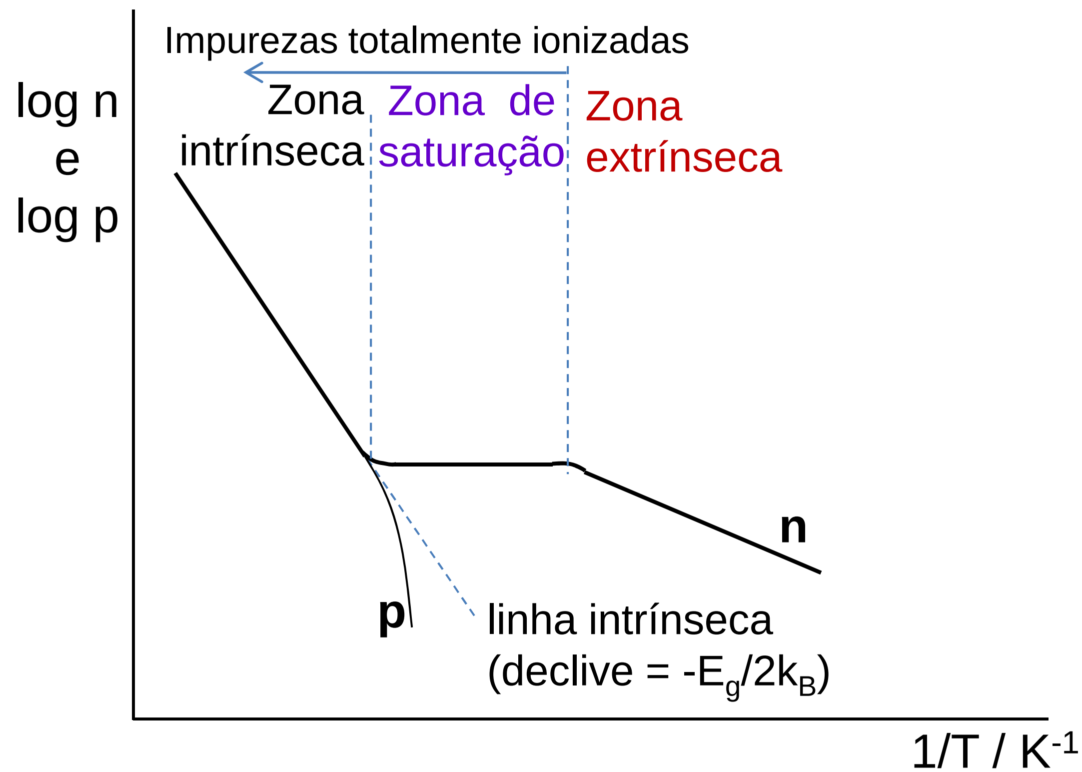
ou

$p = p_0\, T^{3/4} \sqrt{N_a}\, e^{-E_{ia}/2k_BT}$ (**tipo p**)

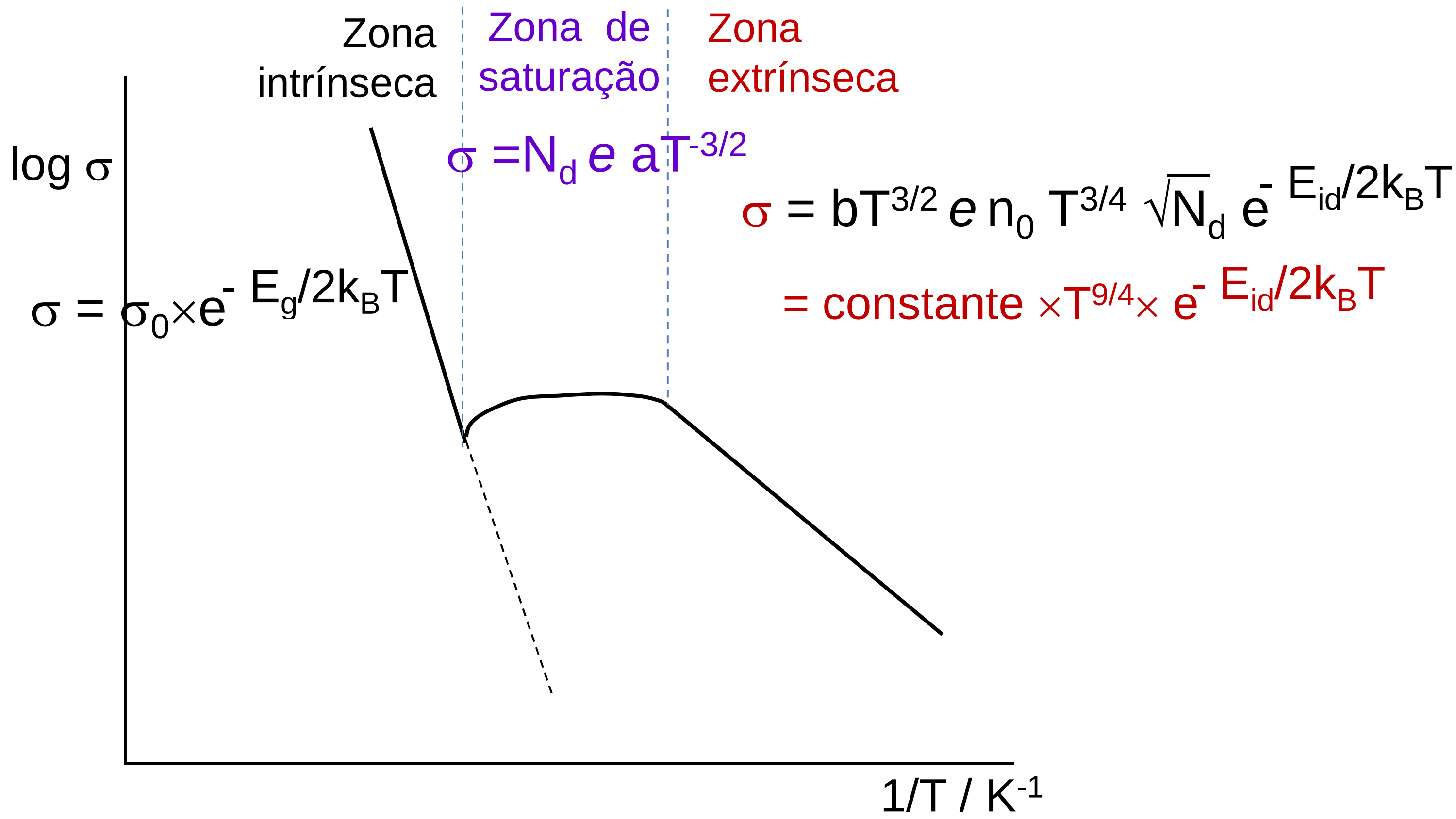
Zona de saturação: **n** constante (**tipo n**) ou **p** constante (**tipo p**)

Zona intrínseca : $n \cong p = \text{constante} \times T^{3/2}\, e^{-E_g/2k_BT}$

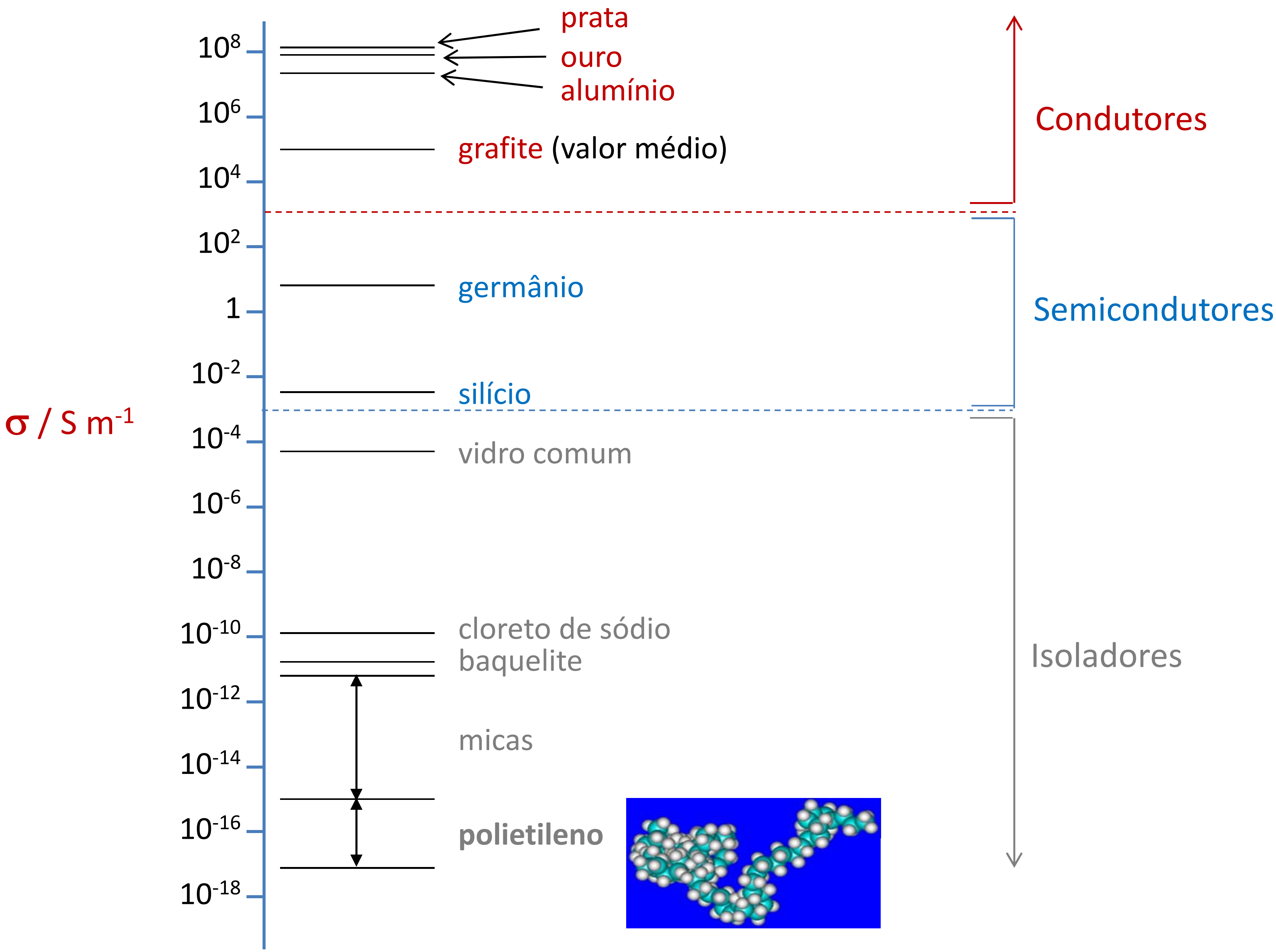
Semicondutor extrínseco tipo **n**:



Variação da condutividade de portadores com a temperatura

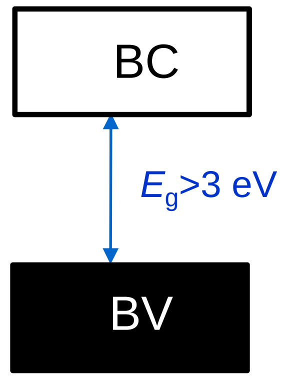


Condutividades de Alguns Materiais à Temperatura Ambiente

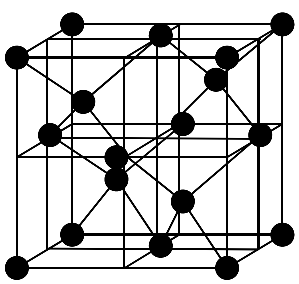


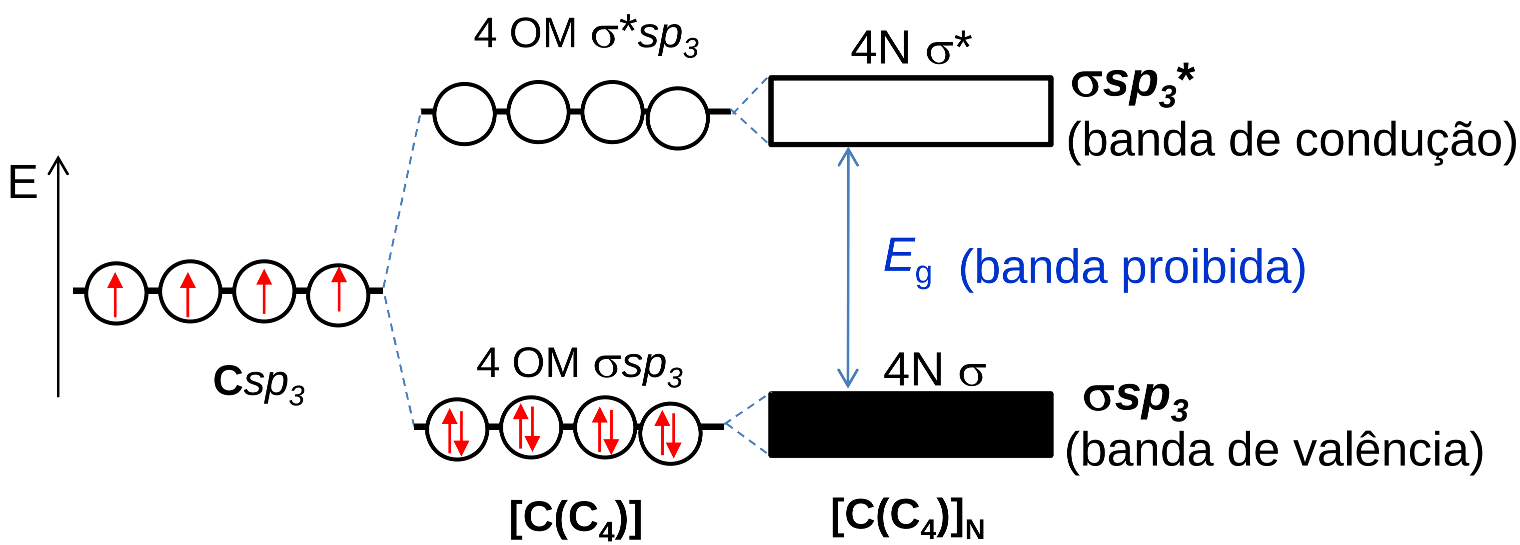
Isolantes

Diagrama de Bandas de Energia



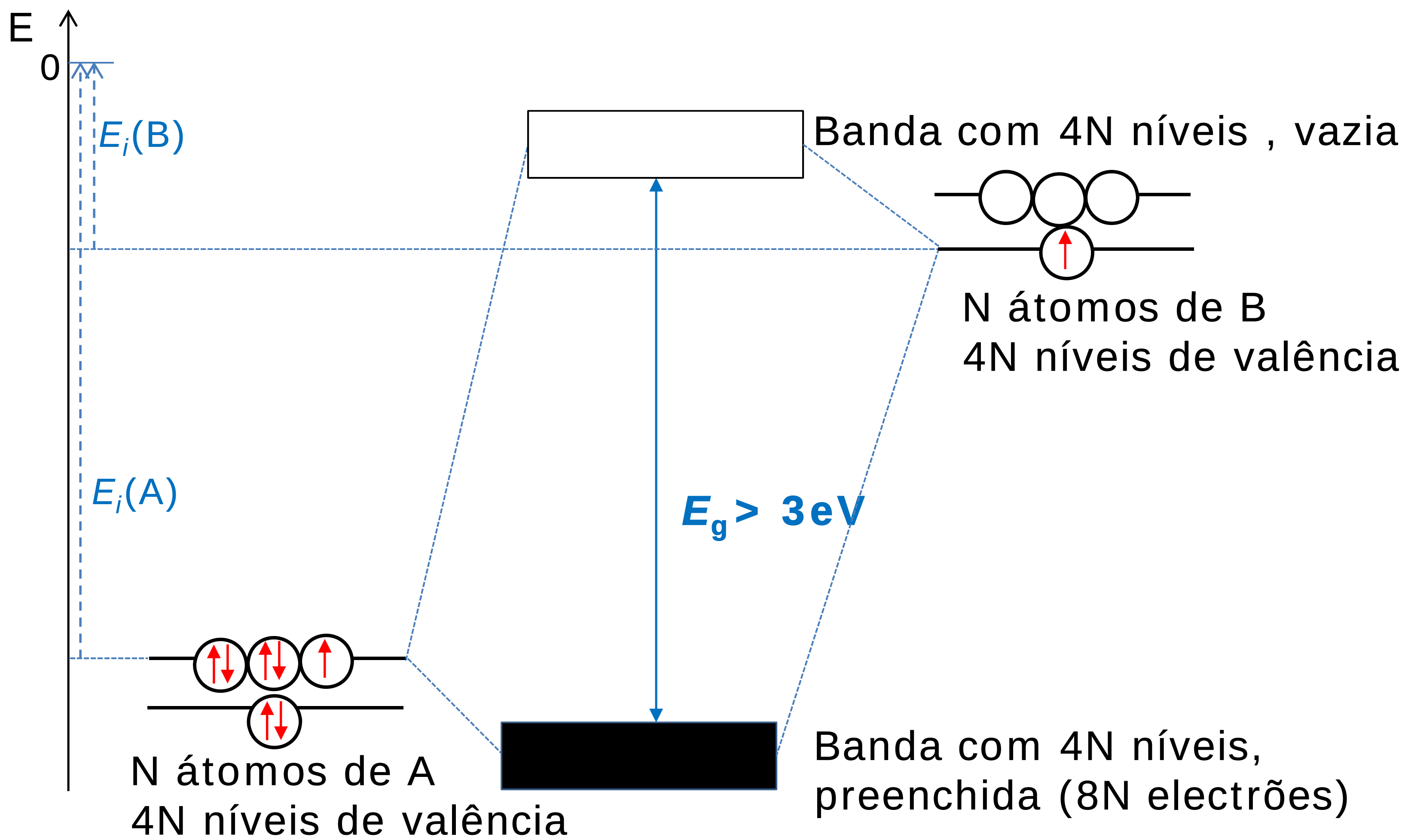
Carbono diamante





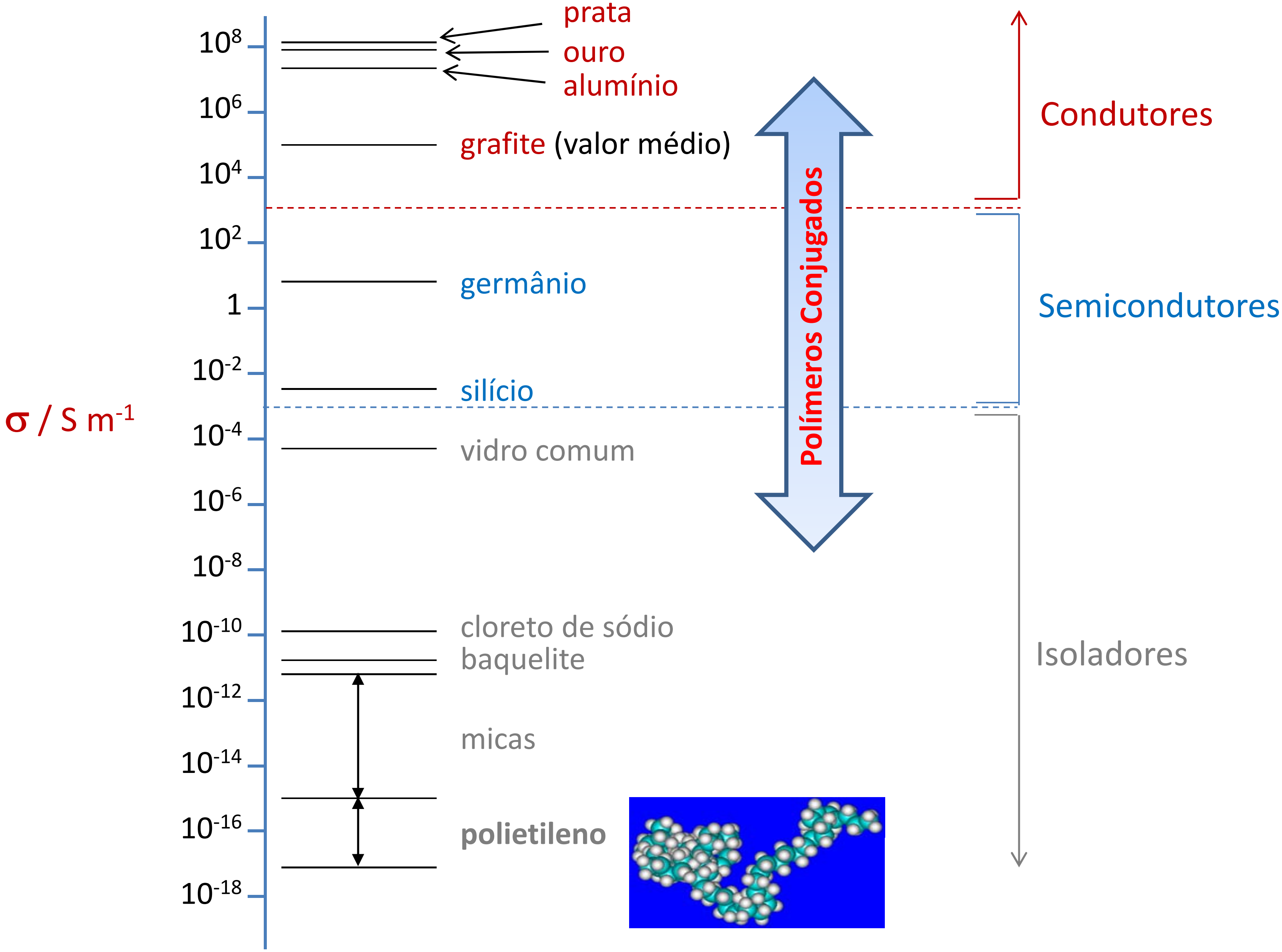
Compostos Iónicos AB

A do grupo 17 (*np^5*) e **B** do grupo 1 (*ns^1*)

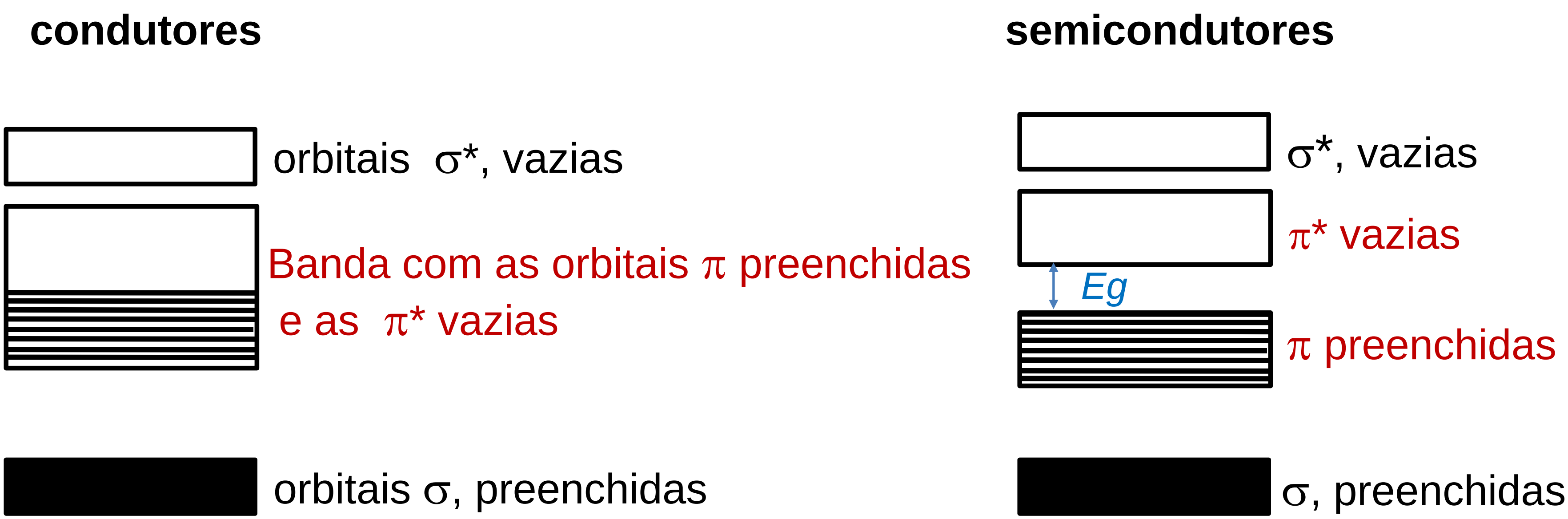


Conduzem a corrente eléctrica quando fundidos, por movimento orientado dos **iões**

Condutividades de Alguns Materiais à Temperatura Ambiente

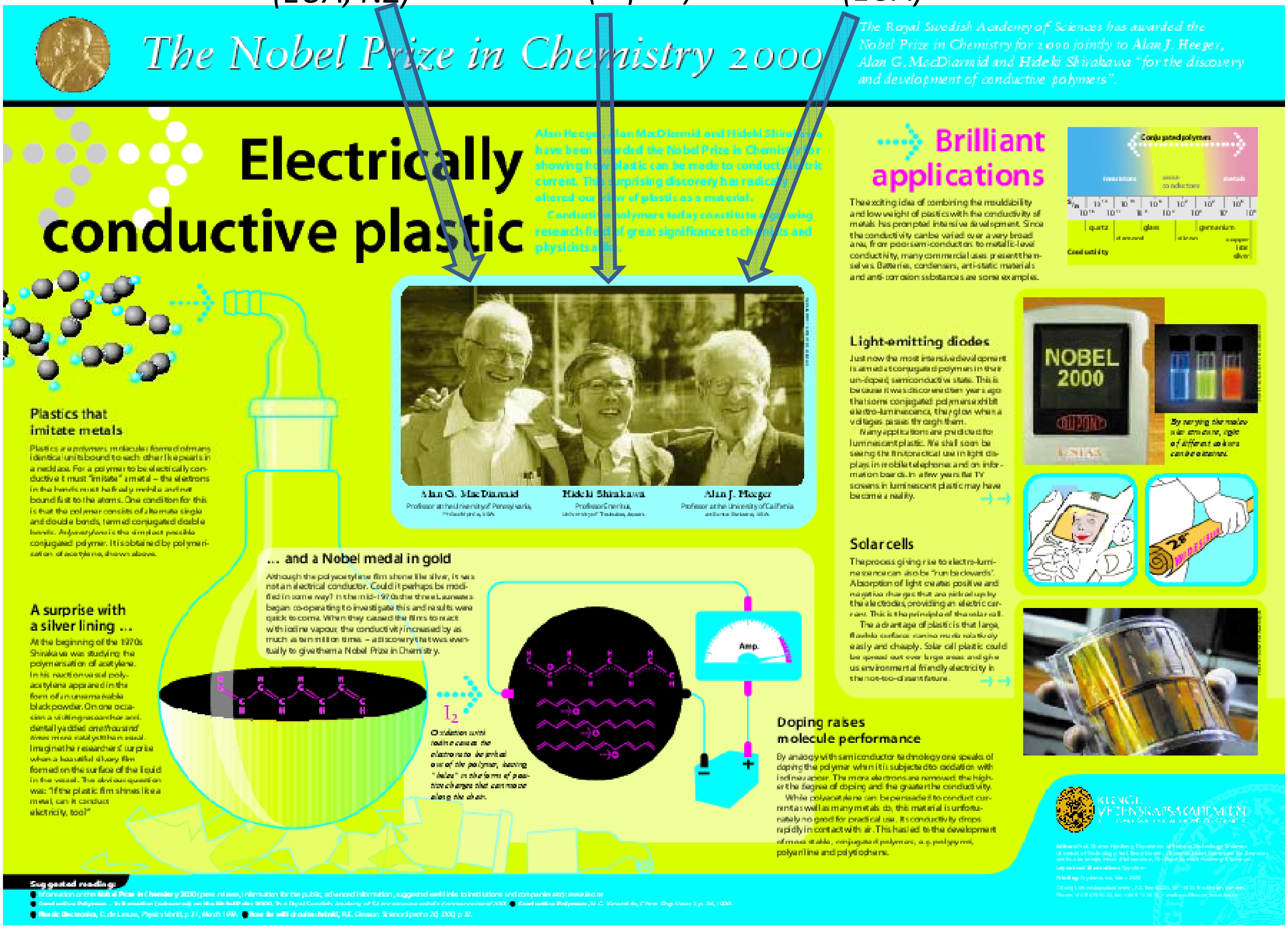


Polímeros Condutores e Semicondutores



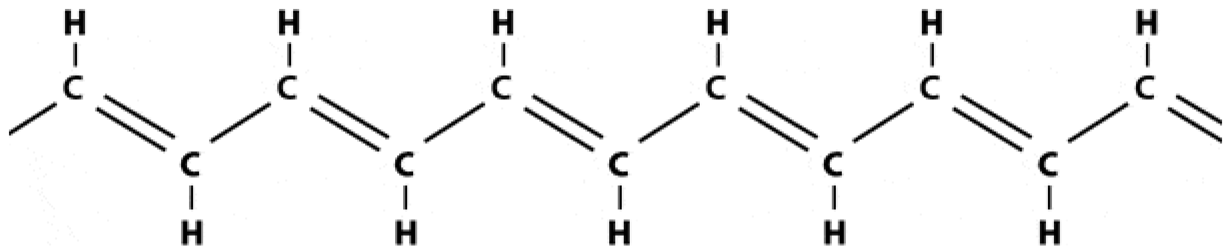
Polímeros Condutores

Alan G. MacDiarmid (EUA, NZ) *Hideki Shirakawa (Japão)* *Alan Meeger (EUA)*



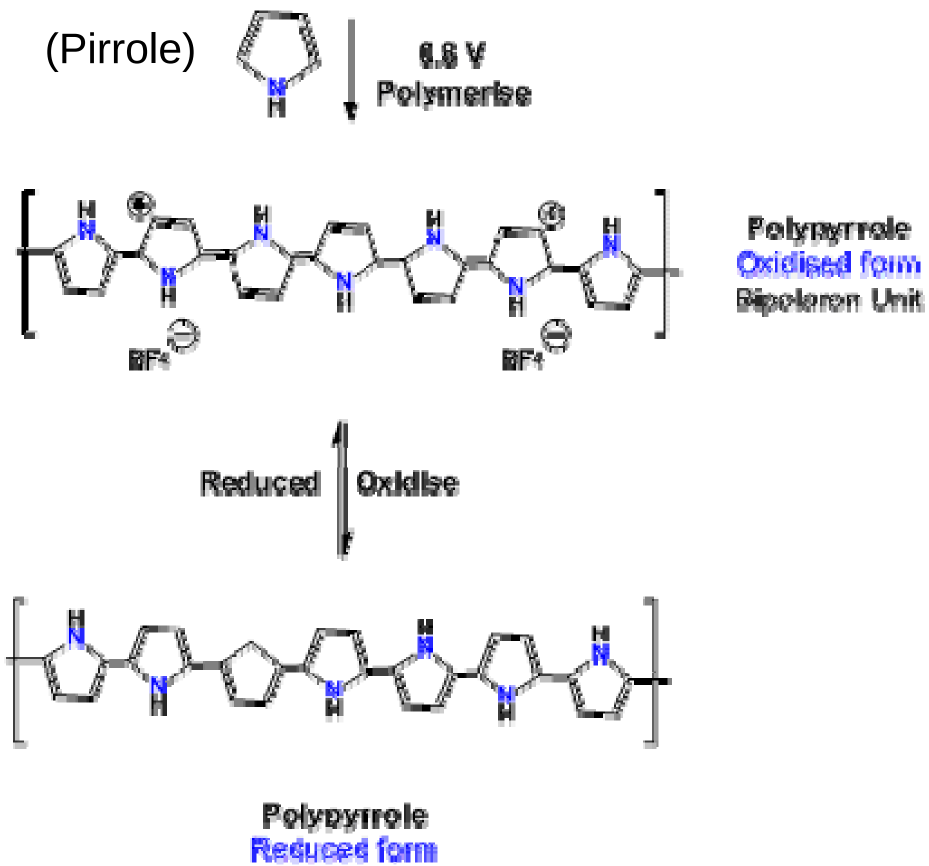
Polímeros Conjugados

Poliacetileno (PA)

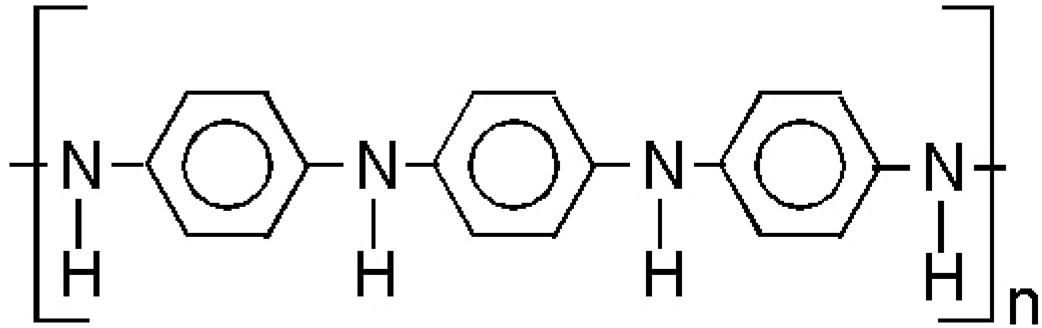


Polipirrole (PPy)

(Pirrole)



Polianilina



Vantagens dos polímeros condutores:

propriedades mecânicas

Utilizações:

Emissão de luz: polímeros electroluminescentes

Células solares (voltaicas)

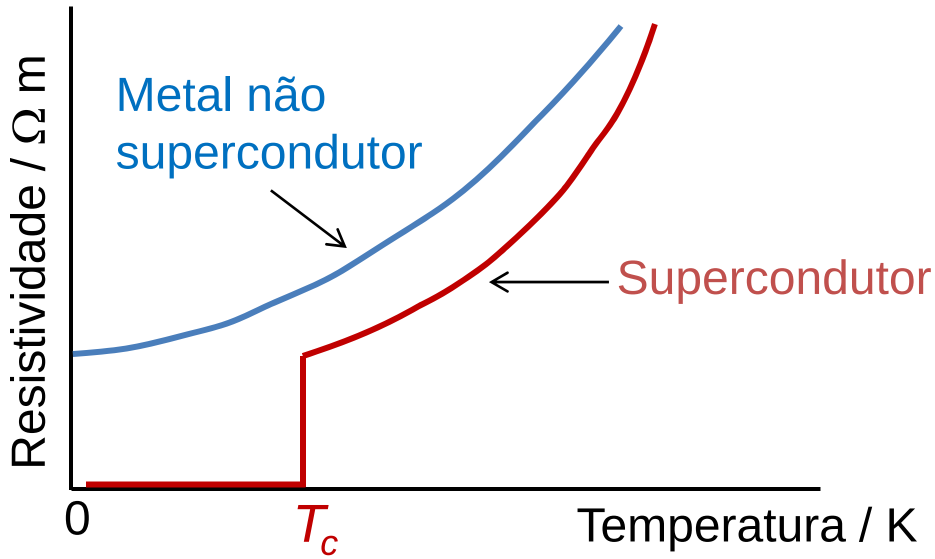
Supercondutores

Abaixo de uma temperatura crítica conduzem a corrente eléctrica
sem qualquer resistência: há uma modificação brusca das propriedades de metal

(Descoberta em 1911 por Heike Onnes)

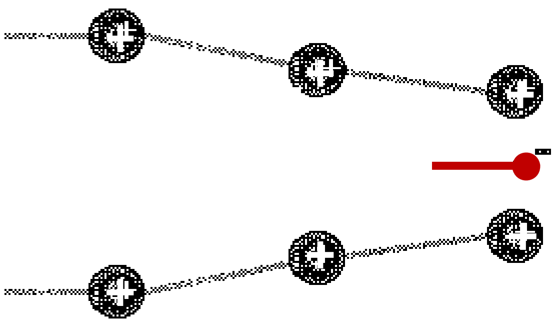
Tipo 1 : Metais e Metalóides com alguma condutividade à T ambiente.

Transição à supercondutividade muito abrupta e diamagnetismo perfeito.



Explicação teórica em 1957 (Bardeen, Cooper e Schrieffer) – Teoria BCS
- Prémio Nobel da Física em 1972 -
A corrente eléctrica é transportada por pares de electrões (pares de Cooper)

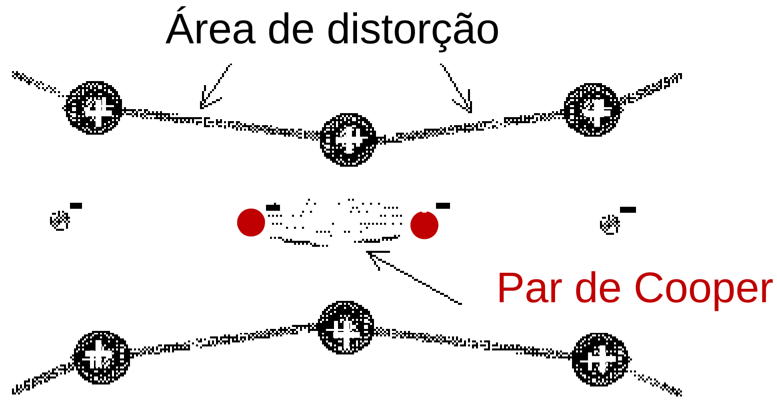
Estado supercondutor



A passagem de um e^- entre os átomos carregados positivamente atrai-os para dentro e causa uma distorção.

A rede distorcida cria uma região de potencial mais positivo que atrai outro electrão – forma-se um par de Cooper.

Estado supercondutor



Os dois electrões (pares de Cooper) ficam ligados e movem-se através da rede

Exemplos de supercondutores de Tipo 1

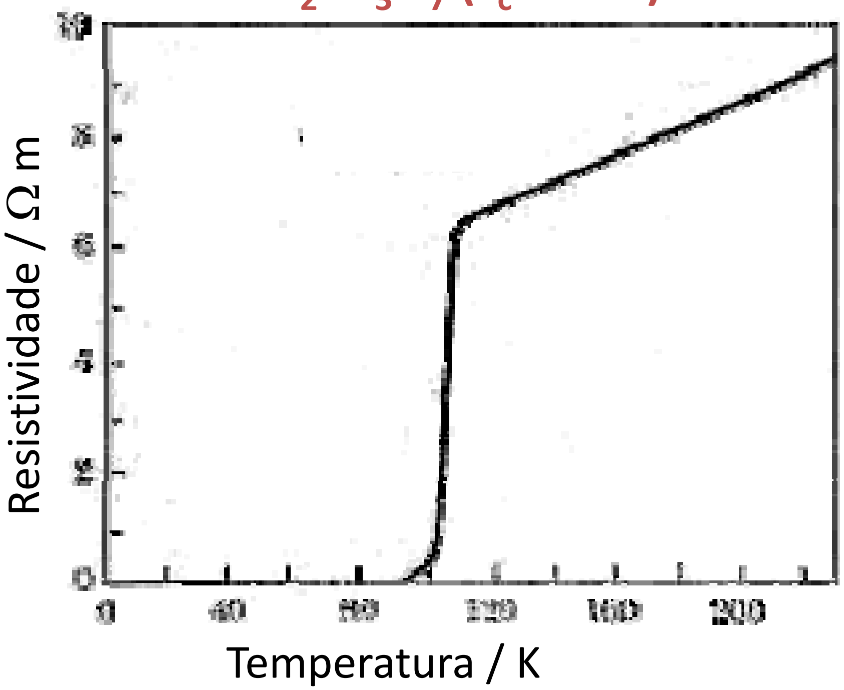
Metal/Metalóide	T_c	Estrutura
Lead (Pb)	7.196 K	FCC
Lanthanum (La)	4.88 K	HEX
Tantalum (Ta)	4.47 K	BCC
Mercury (Hg)	4.15 K	RHL
Indium (In)	3.41 K	TET
Thallium (Tl)	2.38 K	HEX
Rhenium (Re)	1.697 K	HEX
Protactinium (Pa)	1.40 K	TET
Thorium (Th)	1.38 K	FCC
Aluminum (Al)	1.175 K	FCC
Gallium (Ga)	1.083 K	ORC
Molybdenum (Mo)	0.915 K	BCC
Osmium (Os)	0.66 K	HEX
Zirconium (Zr)	0.61 K	HEX
Cadmium (Cd)	0.517 K	HEX
Ruthenium (Ru)	0.49 K	HEX
Titanium (Ti)	0.40 K	HEX
Uranium (U)	0.20 K	ORC
Hafnium (Hf)	0.128 K	HEX
Iridium (Ir)	0.1125 K	FCC
Beryllium (Be)	0.023 K (SRM 768)	HEX
Tungsten (W)	0.0154 K	BCC
Rhodium (Rh)	0.000325 K	FCC

Supercondutores

Tipo 2: Compostos metálicos
Ligas
"Perovskites" (cerâmicos de óxidos metálicos)

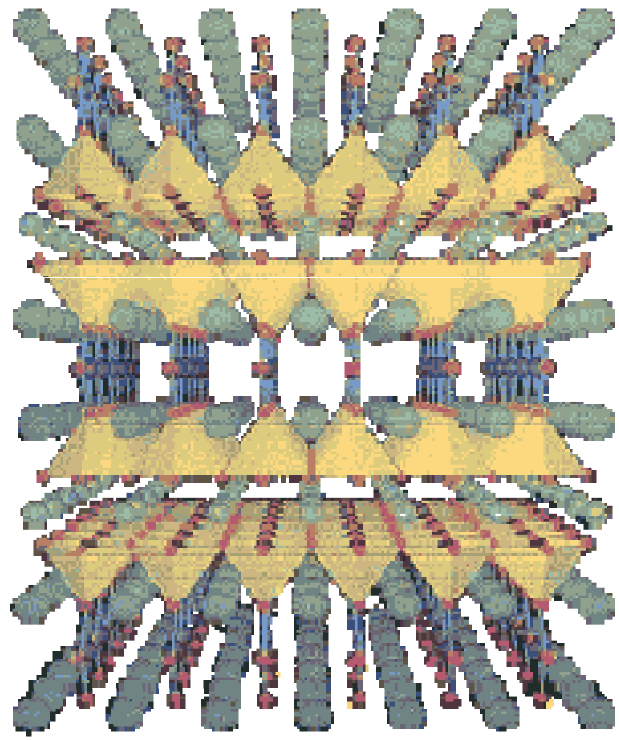
Transição à supercondutividade muito suave e temperaturas críticas mais elevadas que os de Tipo 1.

$YBa_2Cu_3O_7$ (T_c= 92 K)



Vários mecanismos propostos

Cuprato (óxido de cobre)



(estrutura em camadas)

Exemplos de supercondutores de Tipo 2

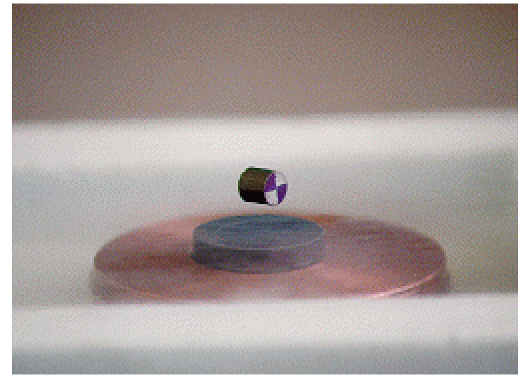
- Compostos metálicos
- Ligas
-“Perovskites" (cerâmicos de óxidos metálicos)

Supercondutor	T_c
$(Tl4Ba)Ba_2Ca_2Cu_7O_{13+}$	254
$InSnBa_4Tm_4Cu_6O_{18+}$ (*)	~150 K
$(Hg_{0.8}Tl_{0.2})Ba_2Ca_2Cu_3O_{8.33}$ $HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$ $HgBa_2Ca_3Cu_4O_{10+}$	138 K 133-135 K 125-126 K
$Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$ $(Tl_{1.6}Hg_{0.4})Ba_2Ca_2Cu_3O_{10+}$ $TlBa_2Ca_2Cu_3O_{9+}$	127-128 K 126 K 123 K
$Sn_2Ba_2(Ca_{0.5}Tm_{0.5})Cu_3O_x$ $SnInBa_4Tm_3Cu_5O_x$	~115 K ~113 K
$Bi_{1.6}Pb_{0.6}Sr_2Ca_2Sb_{0.1}Cu_3O_y$	115 K (filme espesso em substrato de MgO)

(*) – Patente pendente

Levitação magnética (efeito de Meissner)

Um supercondutor abaixo de T_c tem diamagnetismo perfeito e é repelido por um campo magnético aplicado



Maglev de *Shanghai*

Sumário 22

- **Propriedades Eléctricas dos Materiais**
  - **Semicondutores Extrínsecos**
    - Tipo n e Tipo p. Diagramas de bandas de energia
    - Portadores maioritários. Nível de Fermi
    - Variação da mobilidade, densidade de portadores e condutividade com a temperatura
  - **Isolantes**
    - Diagramas de bandas de energia
    - Exemplos
  - **Polímeros Condutores e Semicondutores**
    - Diagrama de bandas de energia
    - Vantagens e Utilizações
  - **Supercondutores**
    - Tipo 1 e Tipo 2. Exemplos.
    - Efeito de Meissner