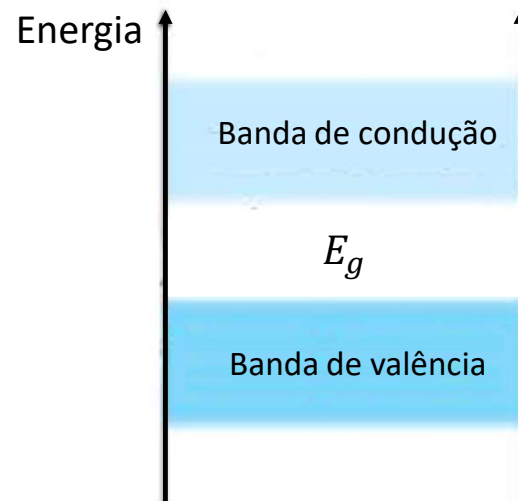


Teoria de bandas

Para a discriminação entre os tipos de materiais, ainda são denominadas a *banda de valência* e a *banda de condução*.

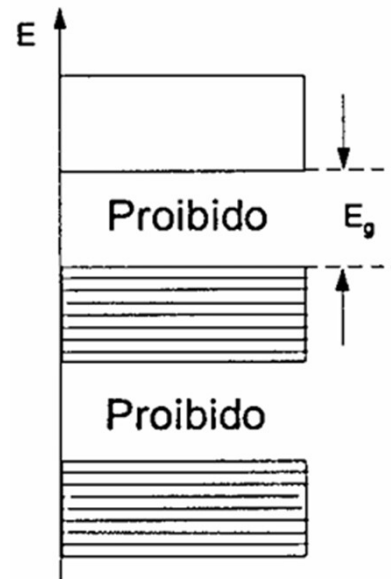
A *banda de valência* é aquela que possui elétrons com níveis energéticos mais altos e que são candidatos a constituírem uma corrente elétrica. Esses elétrons ao receberem energia suficiente, passam para a *banda de condução*, onde sob a ação de um campo elétrico estabelecerão uma corrente elétrica.



Teoria de bandas

Dielétricos

Materiais categorizados como dielétricos possuem uma estrutura de bandas nas quais todos os estados estão ocupados até a banda de valência e, devido ao princípio de exclusão de Pauli, não há mobilidade alguma para esses elétrons nessas bandas de energia.



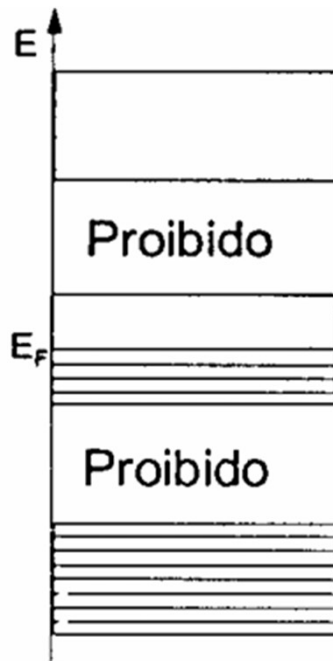
O *gap* de energia é relativamente alto.

Obs.: no caso do diamante, $E_g = 5,5$ eV.

Teoria de bandas

Condutores

Em condutores a banda de valência está parcialmente preenchida até um determinado nível energético. No zero absoluto, esse é o *nível de Fermi*, de energia E_F .

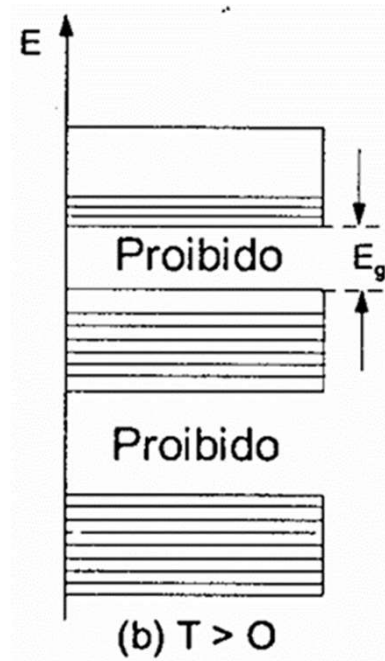
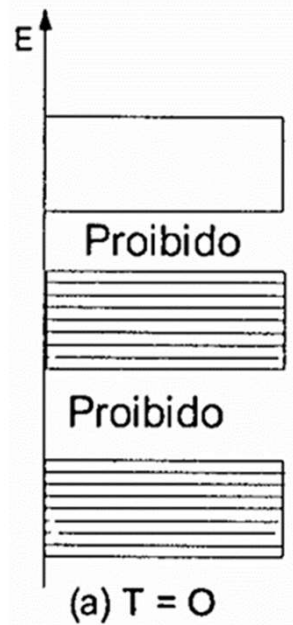


Para temperaturas maiores, a energia térmica ($E_t \sim kT$) é suficiente para fazer esses elétrons se moverem para níveis mais energéticos da banda de valência, o que facilita a passagem deles para a banda de condução.

Teoria de bandas

Semicondutores

Os semicondutores possuem uma estrutura de bandas de energia semelhante a dos dielétricos, com a banda de valência totalmente preenchida, a $T = 0$ K, porém com *gap* menor, da ordem de 0,5 eV.



Entretanto, para $T > 0$, alguns elétrons começam a ter probabilidade de passar para a camada de condução.

Teoria de bandas

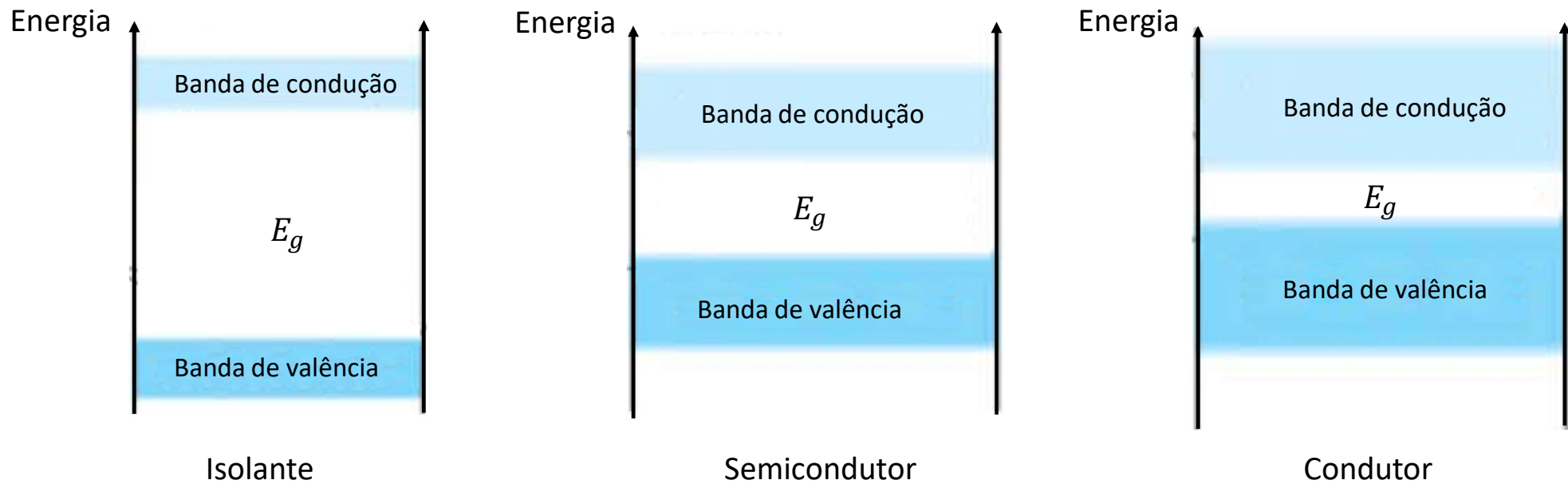
Demonstra-se que a probabilidade “ p ” para que um elétron passe da banda de valência para a banda de condução por excitação térmica é proporcional ao *fator de Boltzman*, ou seja

$$p \sim e^{-\frac{E_g}{2kT}}$$

Onde $k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K é a constante de Boltzman.

No caso dos semicondutores, essa relação implica em um aumento significativo no número de elétrons na banda de condução. Com efeito, a resistividade elétrica diminui com a temperatura, fazendo com que o coeficiente de temperatura do material seja negativo.

Teoria de bandas



Teoria de bandas

Qual é o comprimento de onda de uma radiação eletromagnética capaz de excitar um elétron da banda de valência do diamante para a banda de condução? A distância entre as duas bandas é $\Delta E = 5,5 \text{ eV}$.

Solução

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \lambda = h \frac{c}{E} = 6,63 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^8}{5,516 \times 10^{-19}} = 226 \text{ nm}$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

Teoria de bandas

Em um determinado cristal, a última banda ocupada está completa. O cristal é transparente para todos os comprimentos de onda maiores que 295 nm e opaco para comprimentos de onda menores. Calcule a distância, em eV, entre a última banda ocupada e a primeira banda vazia.

Solução

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda} = 6,63 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^8}{295 \times 10^{-9}} = 6,7 \times 10^{-1} \text{ J} \cong 4,2 \text{ eV}$$

Materiais semicondutores

Materiais semicondutores

- Os semicondutores constituem uma classe especial de elementos, pois apresentam condutividade elétrica entre condutores e isolantes.
- Os mais usados em eletrônica são: Si (silício); Ge (germânio) e o GaAs (arseneto de gálio).
- Os sólidos constituídos por materiais semicondutores são caracterizados por apresentarem estruturas cristalinas.

Uma estrutura cristalina é um agrupamento atômico ou molecular que se repete ao longo do volume do sólido, formando uma rede cristalina.

O menor grupo de elementos que estabelece a periodicidade da rede cristalina é a célula unitária.

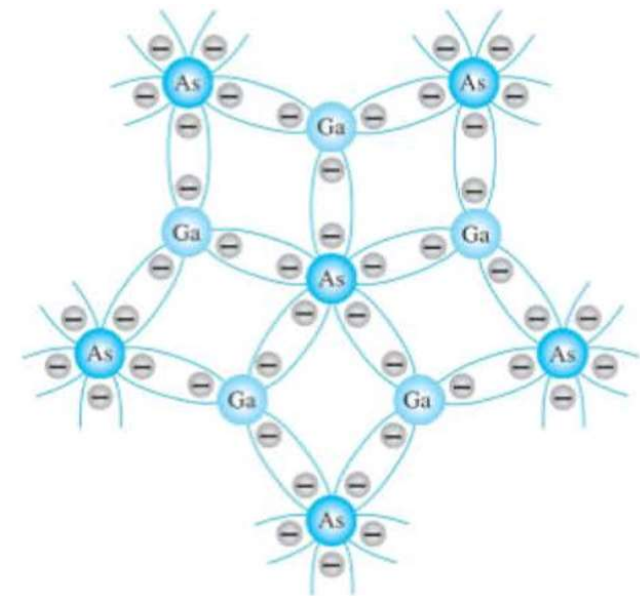
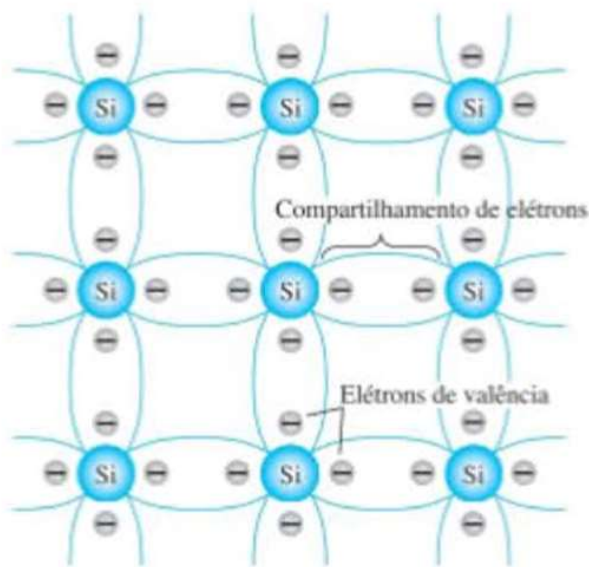
Materiais que não apresentam uma estrutura cristalina são denominados de *amorfo*s.

Materiais semicondutores

As estruturas cristalinas dos sólidos constituídos por semicondutores podem ser classificadas como *cristais singulares* ou *compostos*.

Cristais singulares são aqueles formados por um único elemento (como o Si).

cristais compostos são constituídos por dois ou mais tipos de átomos (como o GaAs).



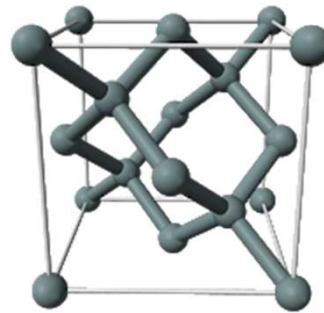
Materiais semicondutores

Esses materiais também são categorizados como semicondutores *intrínsecos* ou *extrínsecos*.

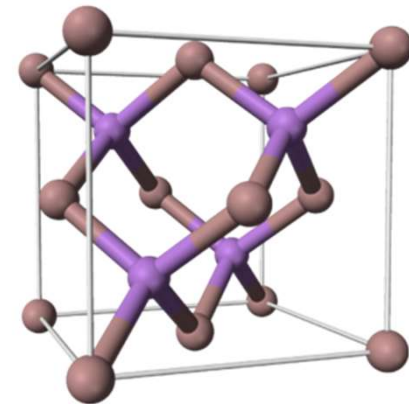
- *Semicondutores intrínsecos*: são aqueles que mantêm o mesmo tipo molecular ao longo da sua estrutura cristalina, ou seja, é um *sólido cristalino puro*.

Na prática, significa que o semicondutor foi cuidadosamente obtido a fim de reduzir a zero o número de impurezas.

Em ambos os casos, são semicondutores intrínsecos (puros) pois mantêm suas propriedades constantes ao longo da rede cristalina.



Célula unitária da estrutura cristalina do silício (CFC).



Célula unitária da estrutura cristalina do arseneto de gálio (CFC)₇₉

Materiais semicondutores

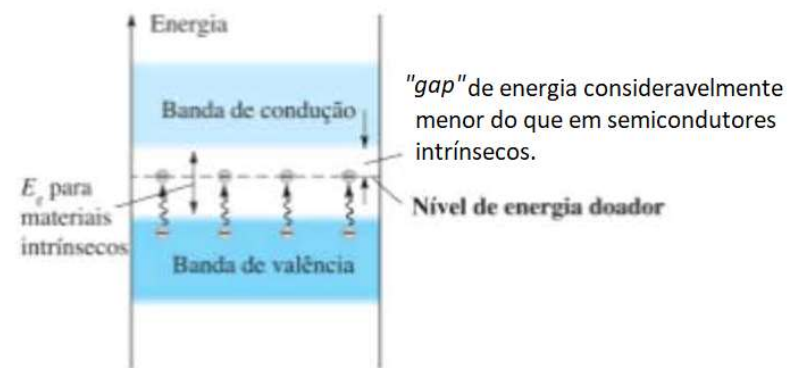
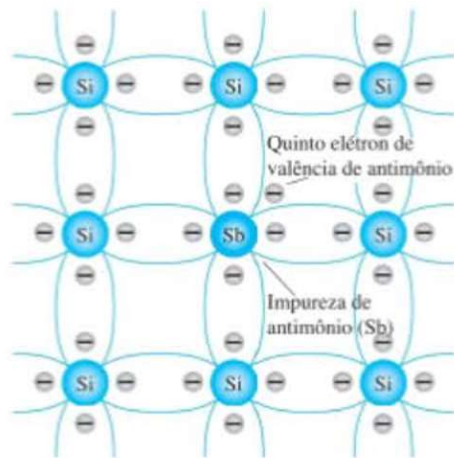
- Semicondutores extrínsecos

São materiais que foram submetidos ao processo de *dopagem* para incorporação de impurezas na rede cristalina, a fim de modificar as propriedades elétricas do semicondutor. Tal processo resulta em semicondutores do tipo “n” ou “p”, que são utilizados na construção de dispositivos semicondutores.

Materiais semicondutores

- Materiais semicondutores extrínsecos do tipo “n”

São obtidos pela incorporação de impurezas que possuam um número maior de elétrons de valência do que a base. Para um material à base de silício, pode-se incorporar à rede cristalina átomos com 5 elétrons na camada de valência, como antimônio, arsênio e fósforo.

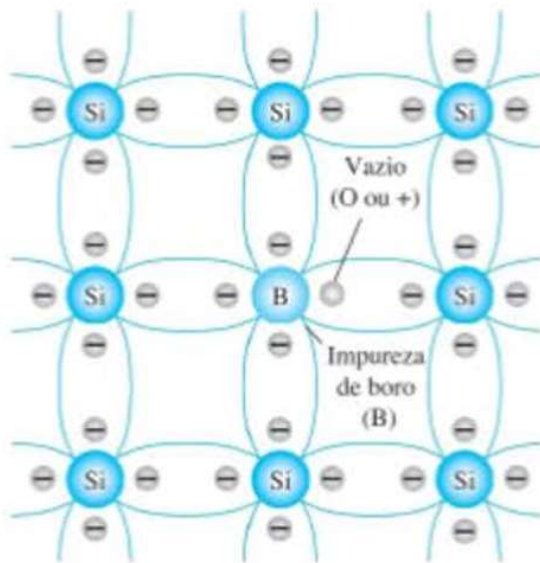


Impurezas incorporadas na matriz com um número maior de elétrons na camada de valência são chamados de átomos doadores.

Materiais semicondutores

- Semicondutores extrínsecos do tipo “p”

São obtidos pela incorporação de átomos que possuem um número menor de elétrons de valência do que os da matriz, gerando uma lacuna na rede. Os elementos mais utilizados são o boro, o índio e o gálio.



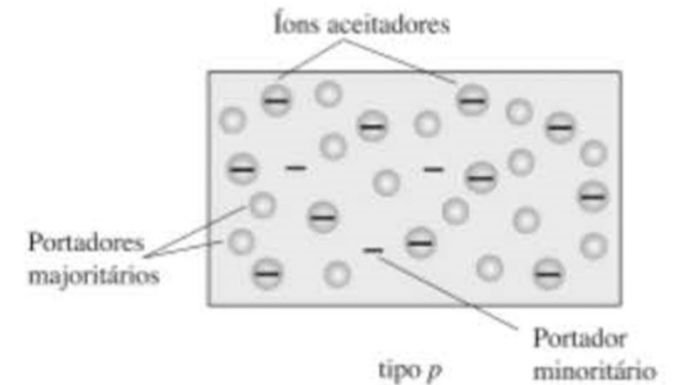
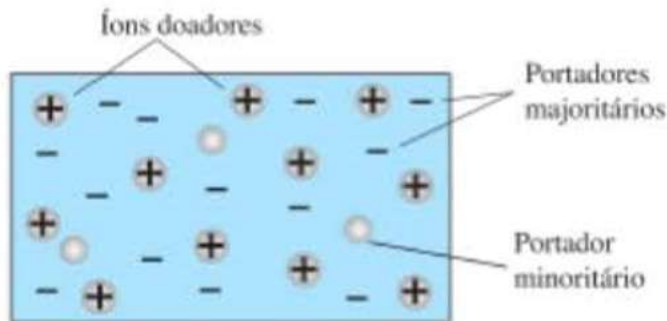
O número de elétrons da impureza é insuficiente para completar a ligação covalente. Esse espaço vazio é chamado de lacuna que é representada por um círculo ou sinal positivo.

Impurezas incorporadas na matriz com um número menor de elétrons na camada de valência são chamados de átomos aceitadores.

Materiais semicondutores

- Em geral, para semicondutores extrínsecos

Em um material do tipo n, o elétron é chamado de portador majoritário e a lacuna de portador minoritário.



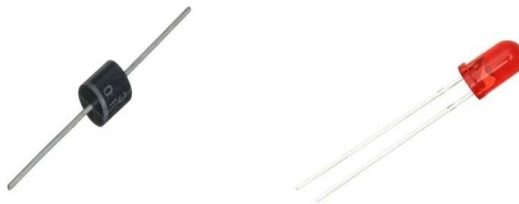
Em um material do tipo p, a lacuna é o portador majoritário e o elétron é o portador minoritário.

Aplicações de materiais semicondutores: Diodo

Aplicações de materiais semicondutores: Diodo

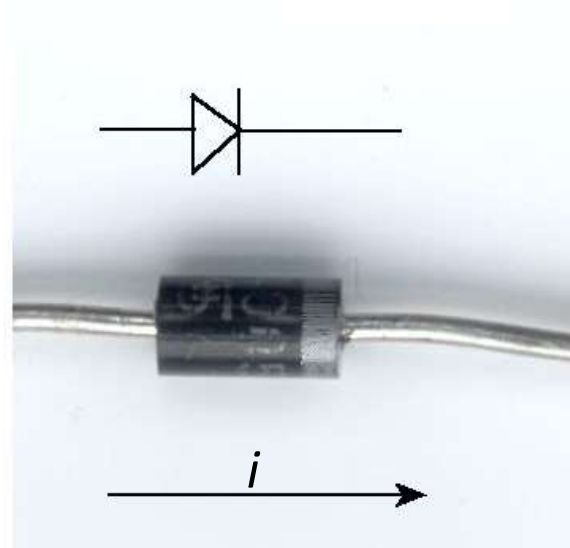
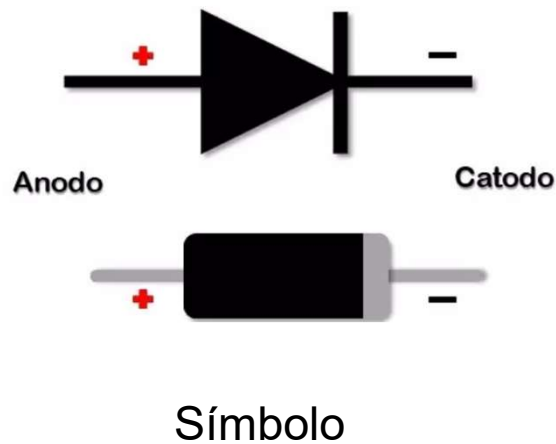
- É obtido pela união de um material do tipo “n” com outro do tipo “p”.

Existem muitas aplicações para o diodo, mas uma função básica é atuar como retificador de corrente elétrica. Isso é devido ao fato de que a *polarização* do diodo afeta o seu funcionamento, de modo que ele permite a passagem de corrente apenas em um sentido.



Dispositivos Eletrônicos: Diodos - introdução

O diodo é um componente eletrônico que permite que a corrente atravesse-o num sentido com muito mais facilidade do que no outro.



Diodo
retificador

A seta representa o sentido que o diodo deixa passar corrente elétrica.