

EN2719
Dispositivos Eletrônicos

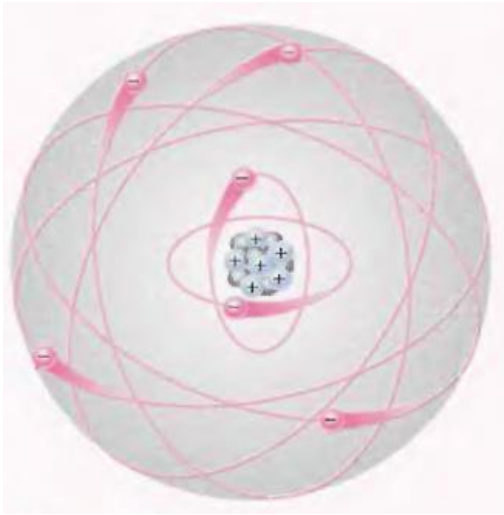
Semicondutores: fundamentos

Prof. Carlos Reis
Sala-705-1-A

Estrutura do átomo

Um átomo é a menor partícula de um elemento que mantém as características deste elemento.

Cada um dos conhecidos 109 elementos possui átomos que são diferentes dos átomos de todos os outros elementos. Isso dá a cada elemento uma estrutura atômica única. De acordo com o modelo clássico de Bohr, os átomos têm uma estrutura do tipo planetária que consiste em um núcleo central rodeado por elétrons em órbita.

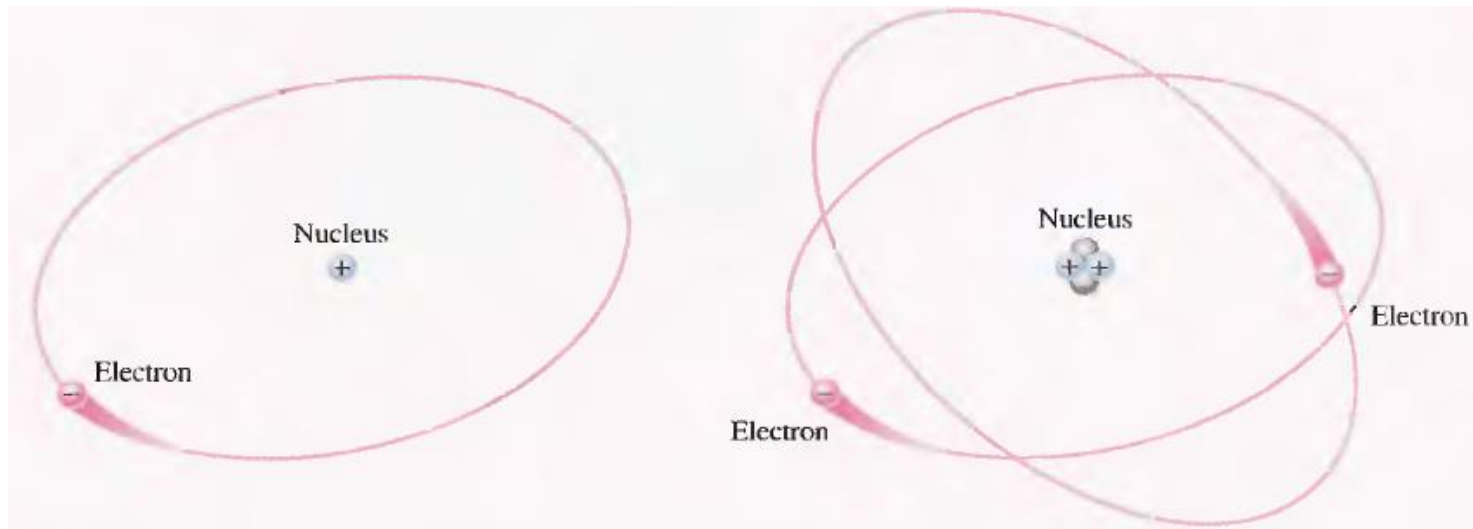


O núcleo é formado de partículas carregadas positivamente chamadas prótons e partículas sem cargas chamadas nêutrons. As partículas básicas de carga negativa são chamadas de **elétrons**.

Número atômico

Todos os elementos estão dispostos na tabela periódica de forma ordenada de acordo com o seu **número atômico**. O número atômico é igual ao número de prótons no núcleo, que é o mesmo que o número de elétrons em um átomo eletricamente neutro.

Por exemplo, o Hidrogênio tem um número atômico 1 e o Hélio tem um número atômico 2. Em seus estados normais (eletricamente neutros), todos os átomos de um dado elemento têm o mesmo número de elétrons e prótons. As cargas positivas cancelam as cargas negativas, e o átomo tem uma carga líquida nula!



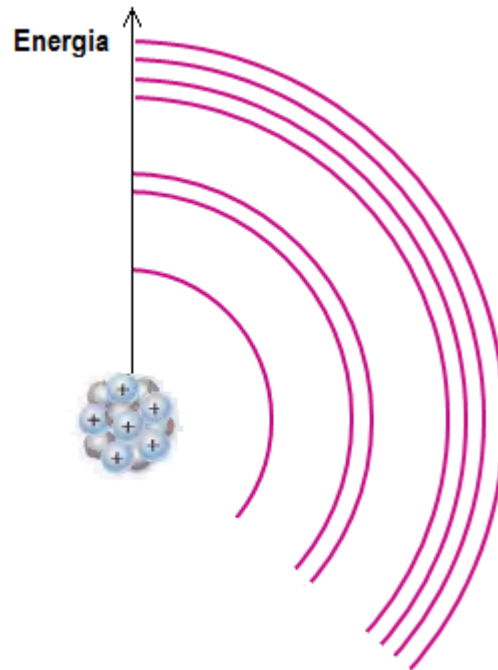
Átomo do Hidrogênio

Átomo do Hélio

Camadas eletrônicas e órbitas

Os elétrons orbitam o núcleo de um átomo em certas distâncias a partir do núcleo. Os elétrons próximos do núcleo têm menos energia do que aqueles que se encontram em órbitas mais distantes.

Os elétrons só podem ter valores discretos (separados e distintos) de energia dentro de estruturas atômicas. Portanto, os elétrons só podem orbitar em distâncias discretas em relação aos núcleos.

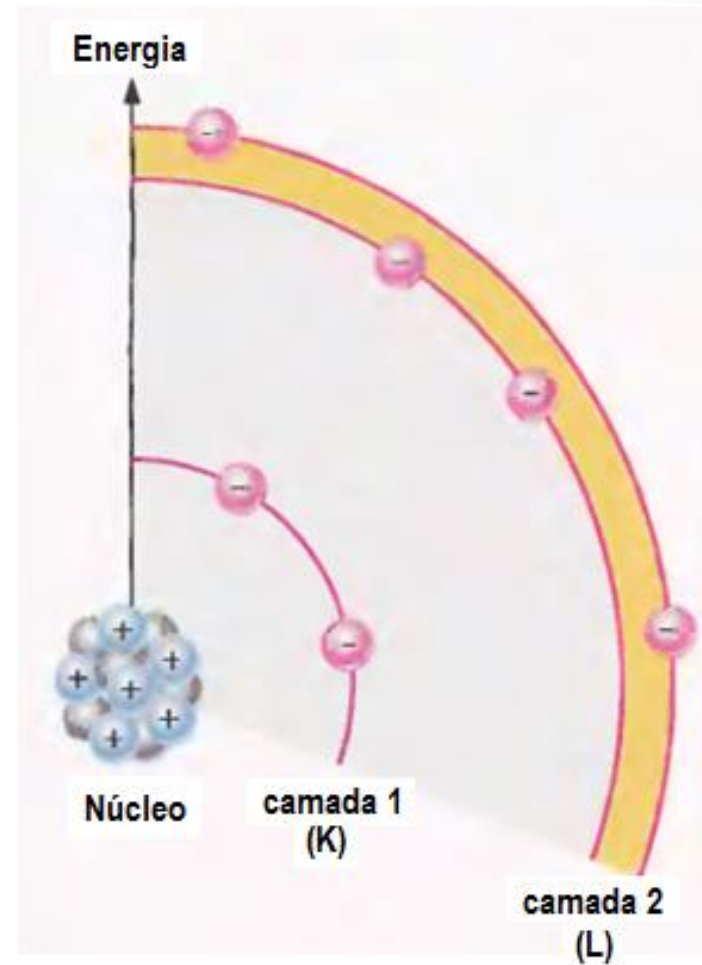


Níveis de energia

Cada distância (discreta) a partir do núcleo corresponde a um determinado nível de energia e é chamada de órbita. Em um átomo, as órbitas são agrupadas em faixas de energia conhecidas como camadas atômicas. Um dado átomo tem um número fixo de camadas atômicas e cada camada tem um número máximo (fixo) de elétrons em níveis de energia permitidos (órbitas).

As distâncias entre os níveis de energia dentro de uma camada atômica são muito menores do que as distâncias entre as camadas.

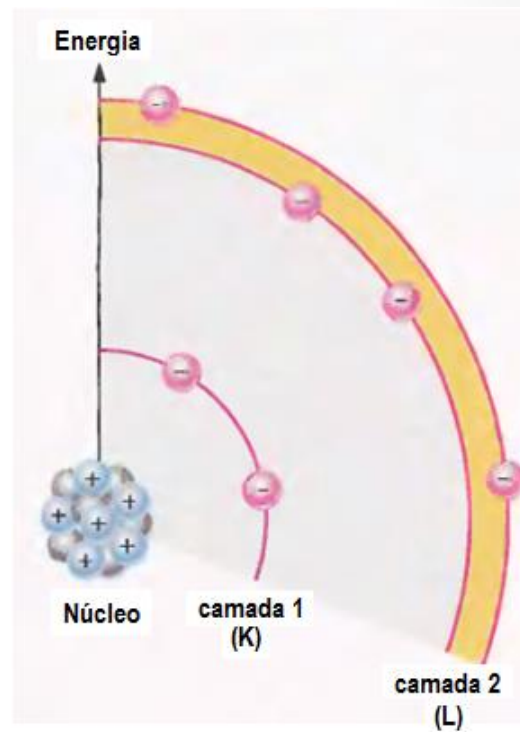
As camadas são denominadas 1, 2, 3...etc, sendo 1 a mais próxima do núcleo. É também comum na literatura denominar as camadas com as letras K, L, M, e assim por diante.



Elétrons de valência

Os elétrons que se encontram nas camadas mais distantes do núcleo têm maior energia e estão ligados com menor intensidade ao átomo do que os que estão mais próximos do núcleo.

Isto ocorre porque a força de atração entre o núcleo carregado positivamente e os elétrons, que têm carga negativa, diminui com o aumento da distância em relação ao núcleo.



A camada mais externa é conhecida como a **camada de valência** e os elétrons que aí se encontram são chamados de elétrons de valência. Os elétrons de valência contribuem nas reações químicas e nas ligações no interior da estrutura de um material, determinando ainda as suas propriedades elétricas.

Ionização

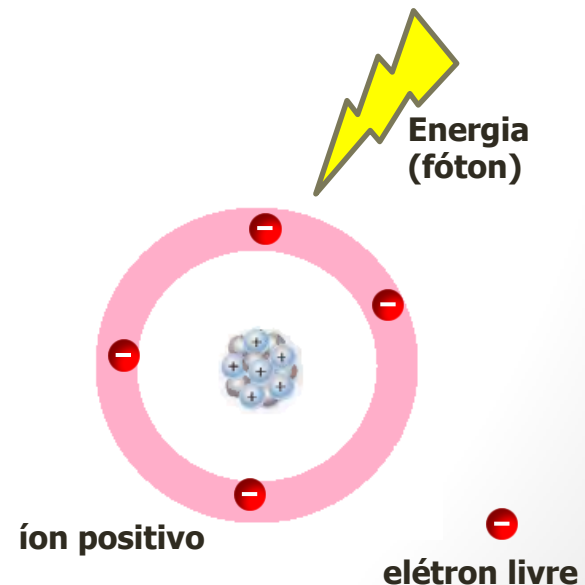
Quando um átomo absorve energia oriunda de uma fonte de calor ou de luz, por exemplo, as energias dos elétrons aumentam.

O átomo absorve ou emite luz em pacotes discretos chamados fótons, e cada fóton tem uma quantidade bem definida de energia.

Para um elétron saltar de uma órbita para a órbita superior seguinte, o fóton que deve absorver deve ter a exata quantidade de energia que corresponde à diferença entre os níveis de energia das duas órbitas.

Como os elétrons de valência possuem mais energia e são mais fracamente ligados ao átomo, podem facilmente saltar para órbitas mais elevadas dentro da camada de valência quando esta energia externa é absorvida.

Se um elétron de valência adquire uma quantidade suficiente de energia, pode até escapar da sua camada, livrando-se da influência do átomo. A saída de um elétron de valência deixa o átomo, previamente neutro, com um excesso de carga positiva (mais prótons do que elétrons). O processo de perda de um elétron de valência é conhecido como ionização e o átomo com carga positiva resultante é chamado de **íon** positivo.



Número de elétrons em uma camada atômica

O número máximo de elétrons (N_e) que pode existir em uma camada de um átomo é um fato da natureza e pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$N_e = 2n^2$$

Onde n é o número que indica a posição da camada, lembrando que $n=1$ indica a camada mais próxima do núcleo.

Assim, cabem, no máximo:

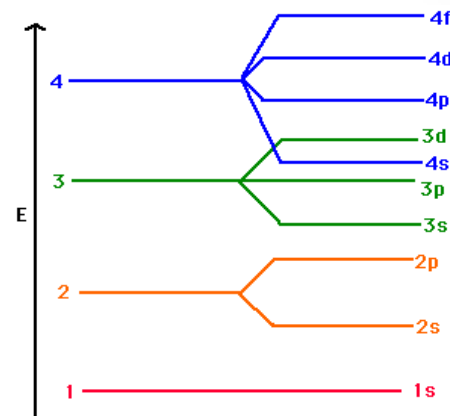
2 elétrons na primeira camada (K)
8 elétrons na segunda camada (L)
18 elétrons na terceira camada (M) etc...

Todas as camadas em um átomo devem estar completamente ocupadas, exceto a camada de valência.

Em cada camada, os elétrons se distribuem em subcamadas ou subníveis, representados pelas letras s, p, d, f, em ordem crescente de energia, da seguinte forma:

Subnível	s	p	d	f
Número máximo de elétrons	2	6	10	14

O número de subníveis de energia em cada camada depende do número de elétrons na correspondente camada:



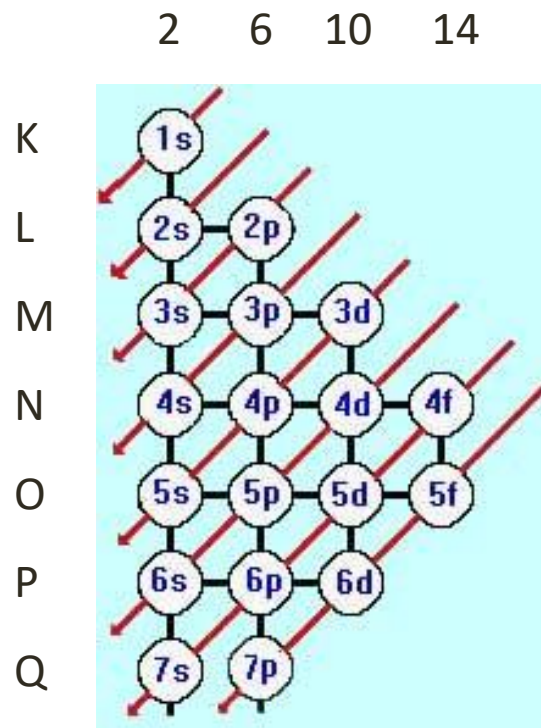
A energia do primeiro nível, que reúne os elétrons mais próximos ao núcleo, é inferior à energia de todos os subníveis do segundo nível. Por sua vez, a energia do segundo nível é inferior à de todos os subníveis do terceiro nível. A diferença entre a energia média de dois níveis sucessivos vai decrescendo à medida que cresce sua distância do núcleo, e, simultaneamente, vai crescendo a quantidade de subníveis.

A partir do terceiro nível, há um solapamento de energias, ou seja, o subnível de menor energia do quarto nível (4s) tem uma energia inferior ao subnível de maior energia do terceiro nível (3d). Esse fenômeno repete-se em níveis superiores: no sexto nível, o subnível 6s tem energia inferior ao 4f do quarto nível.

Diagrama de Pauling

Para determinar como os elétrons se distribuem nos diversos níveis de energia da estrutura de um átomo, é conveniente utilizar o chamado Diagrama de Pauling (ou Madelung).

Camada	Nível	Subnível				Total de elétrons
		s ²	p ⁶	d ¹⁰	f ¹⁴	
K	1	1s				2
L	2	2s	2p			8
M	3	3s	3p	3d		18
N	4	4s	4p	4d	4f	32
O	5	5s	5p	5d	5f	32
P	6	6s	6p	6d		18
Q	7	7s	7p			8

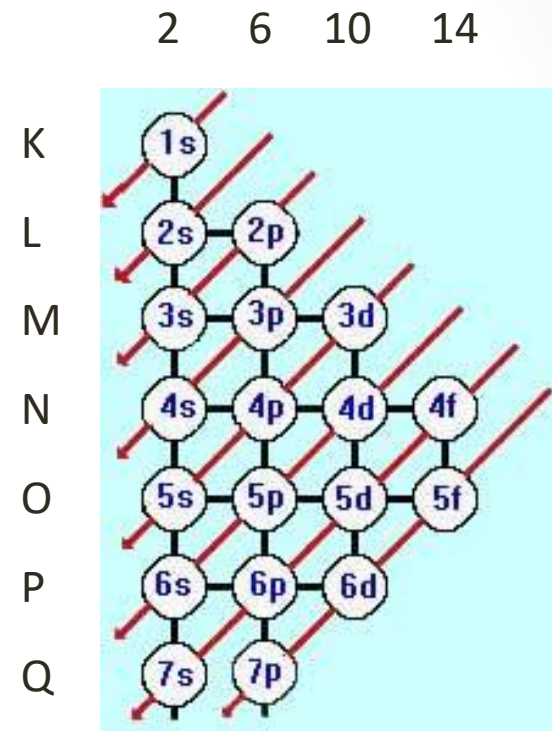


No diagrama, as setas indicam a ordem crescente dos níveis de energia: $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ **$4s^2$ $3d^{10}$** $4p^6$ $5s^2$ $4d^{10}$ $5p^6$ $6s^2$ $4f^{14}$ $5d^{10}$ $6p^6$ $7s^2$ $5f^{14}$ $6d^{10}$

Note que como a energia de $4s^2$ é menor, esta posição vem antes de $3d^{10}$.

Assim, seguindo o diagrama de Pauling, podemos determinar a distribuição eletrônica de qualquer elemento químico, como por exemplo:

Elemento químico	Número atômico	Distribuição eletrônica
He Hélio	2	$1s^2$ K = 2
Cl Cloro	17	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ K = 2, L = 8, M = 7
Zr Zircônio	40	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^2$ K = 2, L = 8, M = 18, n = 10, O = 2
Pt Platina	78	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^8$ K = 2, L = 8, M = 18, N = 32, O = 16, P = 2



Exercício:

Determine quantos elétrons ocupam a camada de valência de cada um dos elementos Germânio e Silício.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	1A																	8A
1	1 H Hidrogênio									C Sólido								2 He Hélio
2	3 Li Lítio	4 Be Berílio								Hg Líquido								
3	11 Na Sódio	12 Mg Magnésio								H Gasoso								
4	19 K Potássio	20 Ca Cálcio								Rf Desconhecido								
5	37 Rb Rubídio	38 Sr Estrôncio																
6	55 Cs Césio	56 Ba Bário																
7	87 Fr Frâncio	88 Ra Rádio																

	3A	4A	5A	6A	7A													
	5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrogênio	8 O Oxigênio	9 F Fluor													
	13 Al Alumínio	14 Si Silício	15 P Fósforo	16 S Enxofre	17 Cl Cloro													
	31 Ga Gálio	32 Ge Germânio	33 As Arsênio	34 Se Selênio	35 Br Bromo													
	49 In Índio	50 Sn Estanho	51 Sb Antimônio	52 Te Telúrio	53 I Iodo													
	81 Tl Tálio	82 Pb Chumbo	83 Bi Bismuto	84 Po Polônio	85 At Astato													
	113 Uut Ununtrio	114 Uuq Ununquá	115 Uup Ununpêntio	116 Uuh Ununhexa	117 Uus Ununseptio													

	21 Sc Escândio	22 Ti Titânio	23 V Vanádio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganês	26 Fe Ferro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinco								
	39 Y Ítrio	40 Zr Zircônio	41 Nb Níbio	42 Mo Molibdênio	43 Tc Tecnécio	44 Ru Rutênio	45 Rh Ródio	46 Pd Paládio	47 Ag Prata	48 Cd Cádmio								
	57-71 * Lantânídeos	72 Hf Háfio	73 Ta Tântalo	74 W Tungstênio	75 Re Rênio	76 Os Ósmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platina	79 Au Ouro	80 Hg Mercúrio								
	89-103 ** Actinídeos	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubnio	106 Sg Seabórgio	107 Bh Bóhrio	108 Hs Hássio	109 Mt Meitnério	110 Ds Darmstádio	111 Rg Roentgênio	112 Cn Copernício								

	57 La Lantânio	58 Ce Cério	59 Pr Praseodímio	60 Nd Neodímio	61 Pm Promécio	62 Sm Samário	63 Eu Európio	64 Gd Gadolínio	65 Tb Térbio	66 Dy Disprósio	67 Ho Hólmio	68 Er Érbio	69 Tm Túlio	70 Yb Ítrbio	71 Lu Lutécio
	89 Ac Actínio	90 Th Tório	91 Pa Protactínio	92 U Urânio	93 Np Neptúnio	94 Pu Plutônio	95 Am Améριο	96 Cm Cúrio	97 Bk Berquélio	98 Cf Califórnio	99 Es Einstênio	100 Fm Férmio	101 Md Mendeléevio	102 No Nobélio	103 Lr Laurêncio

Nº Atômico	
Símbolo	
Nome	

Da tabela periódica temos os números atômicos destes elementos:

Germânio = 32 → $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^2$

K=2, L=8, M=18 e **N=4**

Silício=14 → $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

K=2, L=8, **M=4**

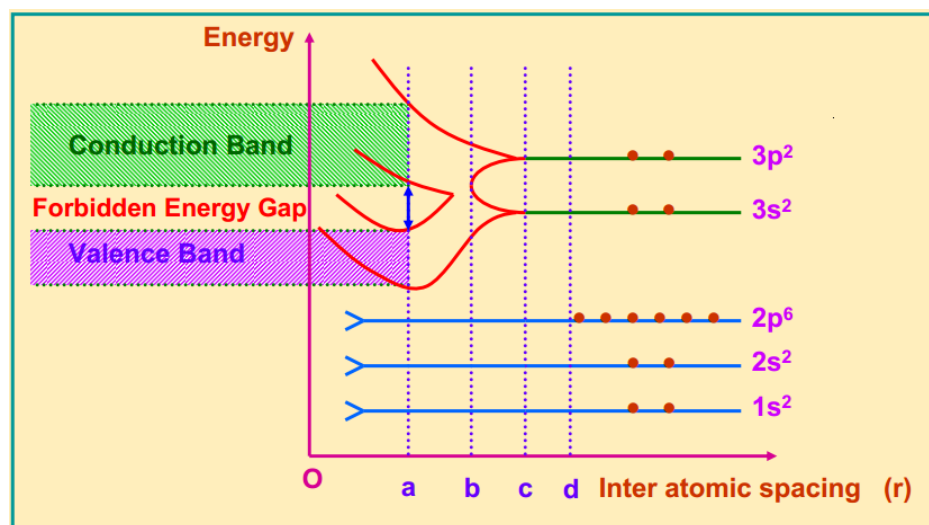
Camada de valência

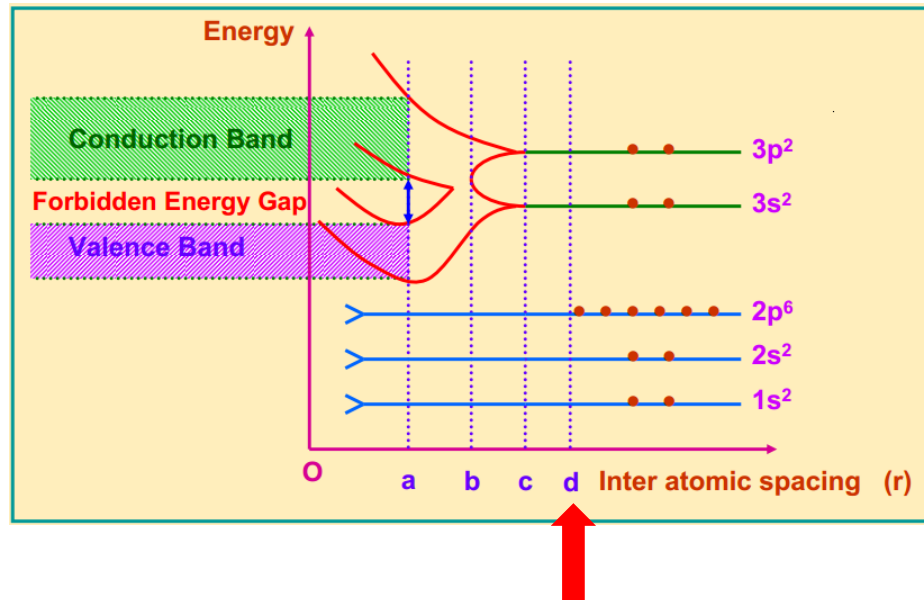
Bandas de energia

Quando os átomos não estão isolados, mas juntos em um material sólido, como é o caso de um cristal, as forças de interação entre eles são muito intensas, provocando alterações nos níveis de energia. Estas modificações não são significativas para as camadas mais próximas do núcleo, que se encontram completamente preenchidas de elétrons.

Mas, no caso das camadas mais externas, principalmente a camada de valência, estas alterações são expressivas porque os elétrons são compartilhados por muitos átomos vizinhos.

Devido à influência do intenso campo elétrico entre os núcleos dos átomos e os elétrons que são por eles compartilhados, os níveis de energia se subdividem ou se espalham formando bandas de energia.



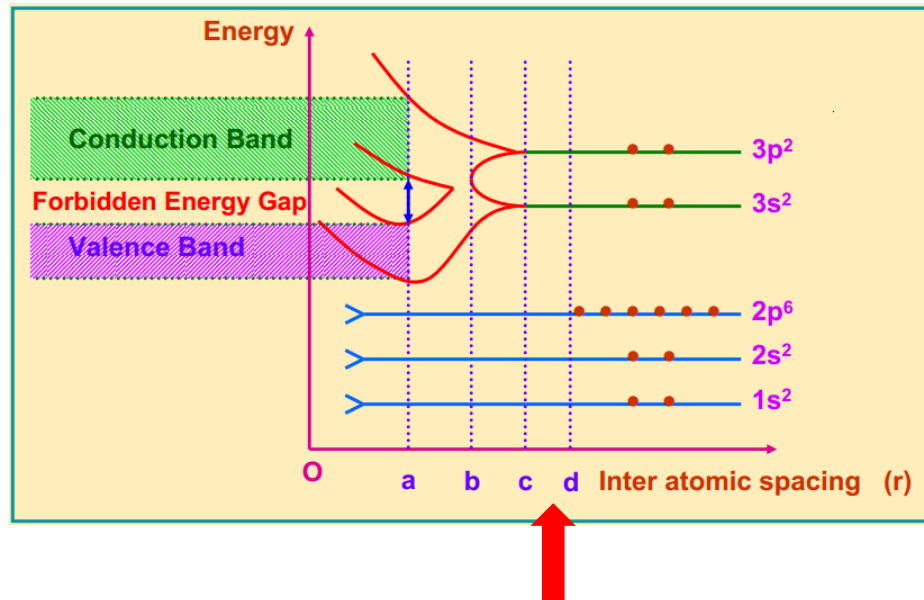


$$r = Od \ (\gg Oa)$$

Cada um dos N átomos tem seus próprios níveis de energia. Os níveis de energia são idênticos, discretos e distintos.

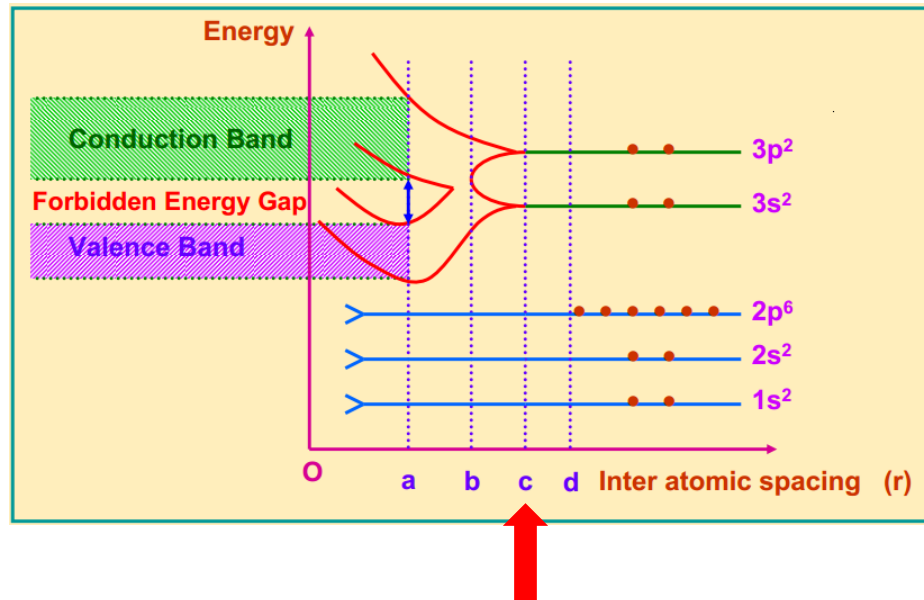
Os dois subníveis mais externos ($3s$ e $3p$ da camada M) do átomo do Silício contêm dois elétrons s e dois elétrons p . Portanto, existem $2N$ elétrons preenchendo $2N$ possíveis níveis s , tendo todos o mesmo nível de energia.

Dos $6N$ possíveis níveis p , somente $2N$ estão preenchidos e todos estes têm o mesmo nível de energia.



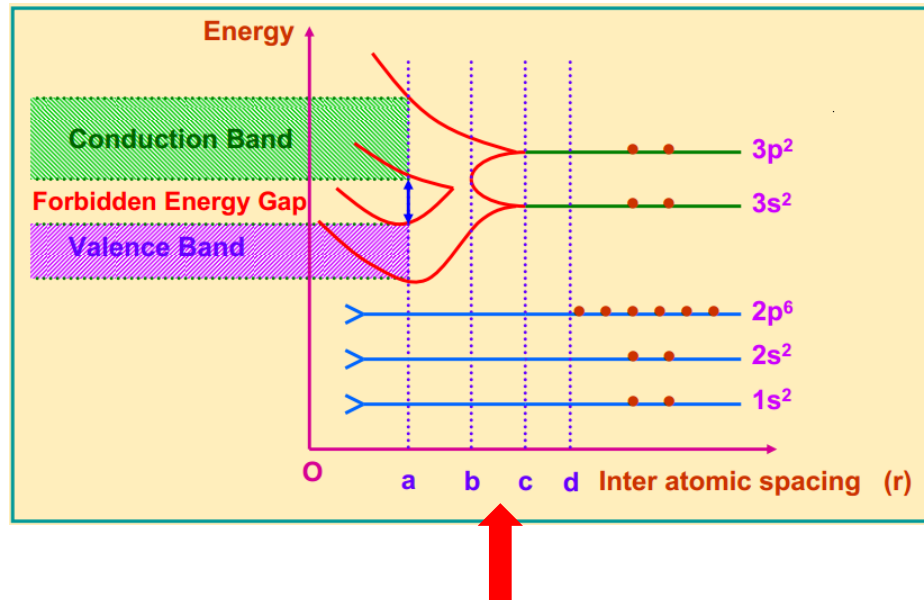
$$Oc < r < Od$$

Aparentemente não há qualquer subdivisão de níveis de energia, embora haja alguma tendência.



$$r = Oc$$

A interação entre os elétrons das camadas mais externas dos átomos vizinhos torna-se mais intensa, dando início à subdivisão dos níveis de energia.

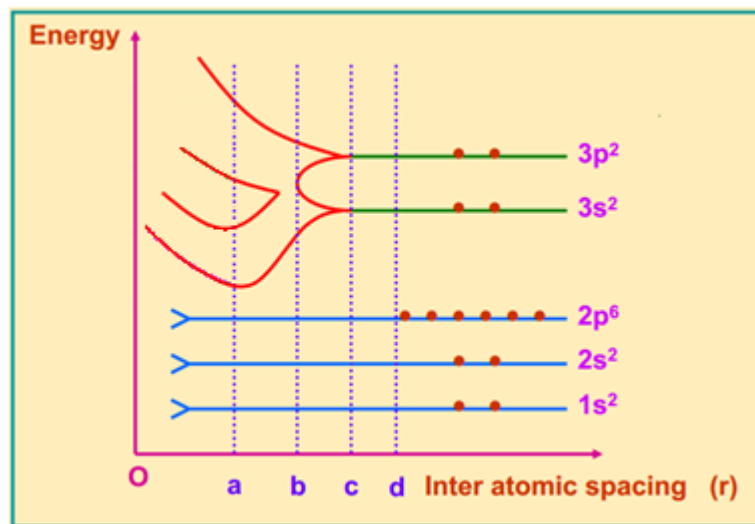


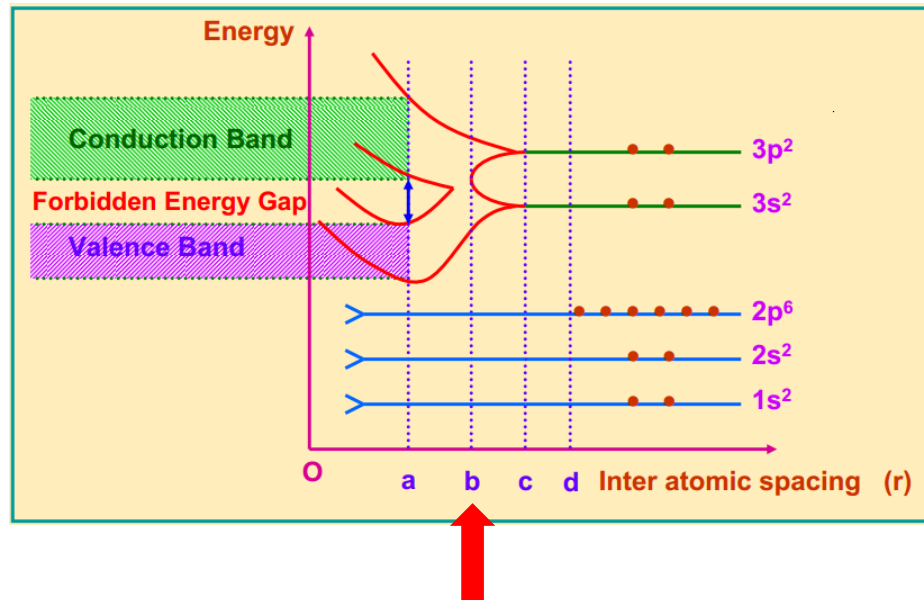
$$O_b < r < O_c$$

As energias correspondentes aos níveis s e p de cada átomo se modificam um pouco. A energia que corresponde ao nível s de um átomo isolado agora se encontra espalhada em $2N$ níveis. De forma similar, há $6N$ níveis em correspondência a um único nível p de um átomo isolado.

Como N é um número muito grande ($\sim 10^{29}$ átomos/ m^3) e a energia de cada nível é da ordem de poucos eV, os níveis que resultam deste espalhamento estão muito próximos um do outro. O espaçamento entre estes níveis é da ordem de $\sim 10^{-23}$ eV para um cristal de 1 cm^3 .

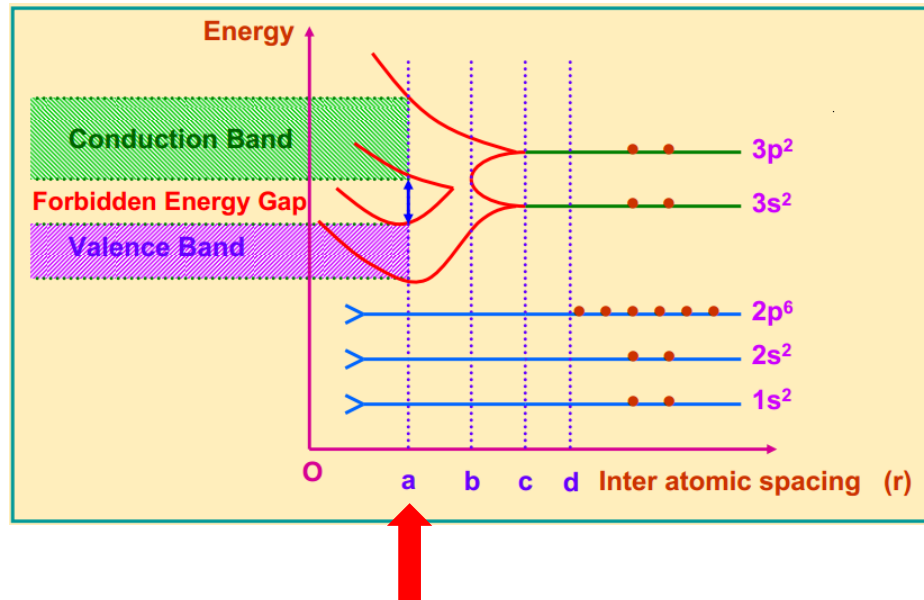
Esta coleção de níveis de energia muito próximos um do outro é que é chamada de **banda de energia**.





$$R=Ob$$

A separação entre os níveis discretos correspondentes a s e p desaparece completamente. 8N níveis se encontram distribuídos de maneira praticamente contínua. Pode-se afirmar, apenas, que 4N níveis estão preenchidos e 4N níveis estão vazios



$$R=Oa$$

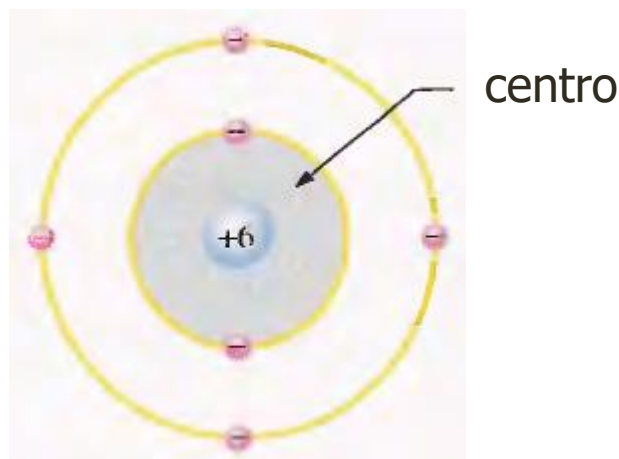
A banda de $4N$ níveis preenchidos de elétrons está separada da banda de $4N$ níveis vazios por uma região chamada de **banda proibida** (*forbidden gap*), ou *gap* de energia ou ainda *band gap*.

A banda de energia inferior que está completamente preenchida com elétrons (elétrons de valência) é chamada de **banda de valência** e a banda mais externa, que está vazia, é chamada de **banda de condução**.

Material Isolante, Semicondutor e Condutor

Todos os materiais são feitos de átomos e estes átomos contribuem para as propriedades elétricas destes materiais, inclusive a habilidade de conduzir a corrente elétrica.

Para discutir o problema da condutividade elétrica, um átomo pode ser representado pela camada de valência e uma parte central que inclui todas as camadas internas e o núcleo. Este conceito é mostrado abaixo para o caso de um átomo de Carbono.



Condutor

Um **condutor** é um material que conduz a corrente elétrica facilmente. Os melhores condutores são os materiais de um único elemento, tais como Cobre, Prata, Ouro e Alumínio, que têm como característica átomos com somente um elétron de valência fracamente ligado ao átomo.

Este elétron de valência pode facilmente se desligar do átomo e se tornar um elétron livre. Portanto, um material condutor tem muitos elétrons livres, que quando se movem em uma mesma direção perfazem a corrente elétrica.

Isolante

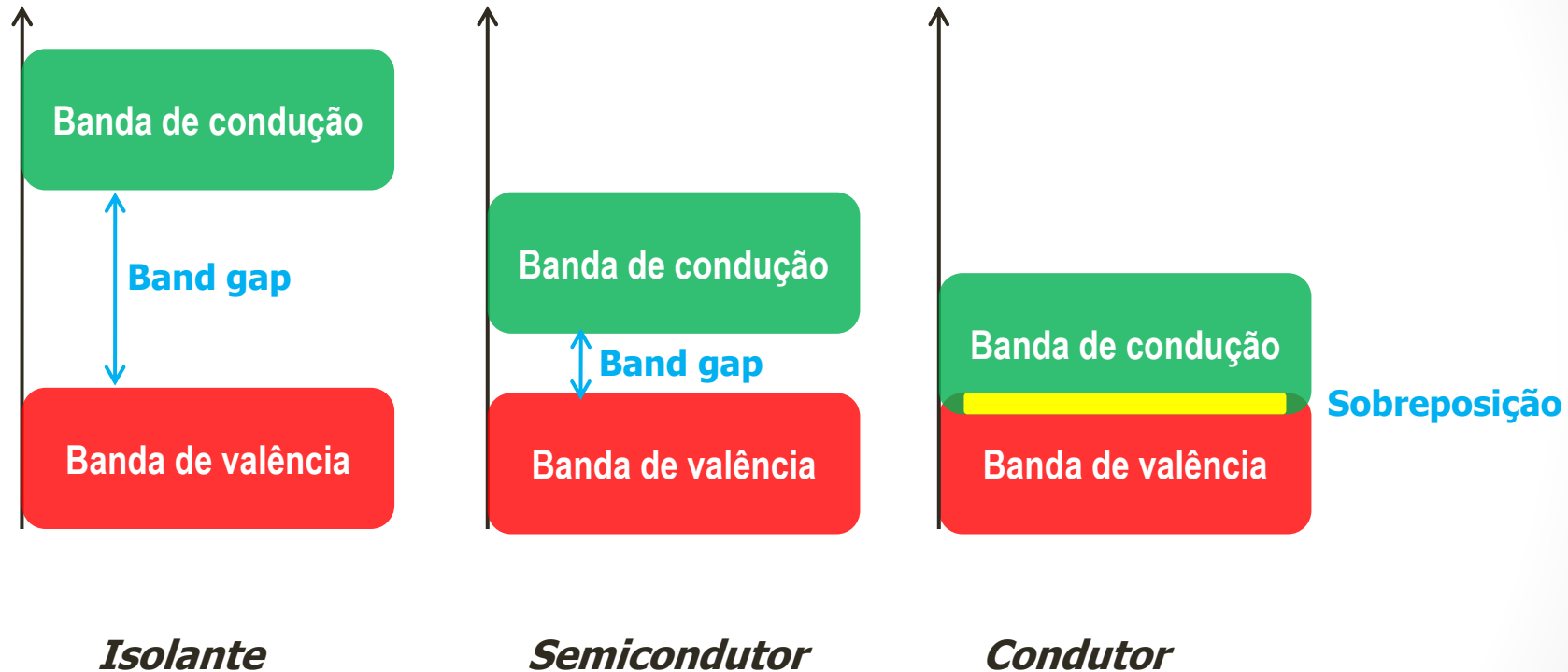
Um **isolante** é um material que não conduz a corrente elétrica em condições normais. Os bons isolantes são geralmente compostos e não materiais de um único elemento. Seus elétrons de valência estão fortemente ligados aos correspondentes átomos. Consequentemente, há poucos elétrons livres em um material isolante.

Semicondutor

Um **semicondutor** em seu estado intrínseco (puro) não é um bom condutor, nem um bom isolante. Os semicondutores de um único elemento mais comuns são o Silício, o Germânio e o Carbono. O semicondutor composto tal como o Arseneto de Gálio é também bastante usado. Os semicondutores de um único elemento têm como característica átomos com 4 elétrons de valência.

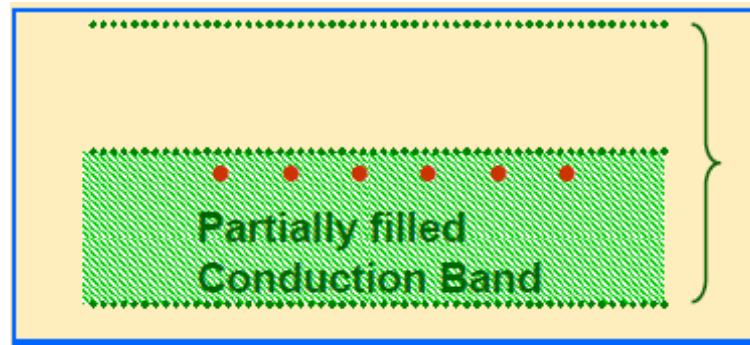
Material Isolante, Semicondutor e Condutor

A distinção entre estes materiais, sob o ponto de vista da condução elétrica, se deve à estrutura das correspondentes bandas de energia.



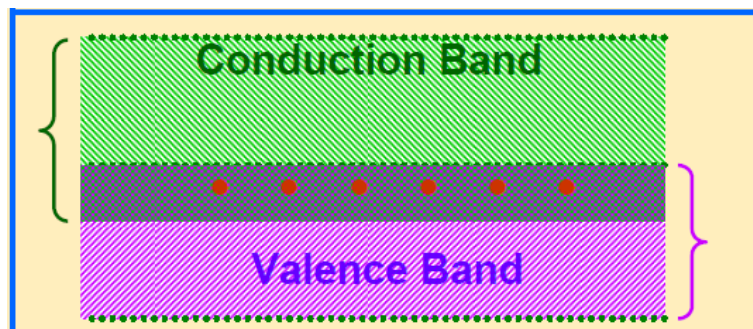
Material Condutor

No diagrama de bandas mostrado abaixo, a banda de condução está apenas parcialmente preenchida com elétrons. Deste modo, com pouca energia adicional, elétrons podem migrar para níveis superiores que estejam vazios, viabilizando a condução elétrica.



É importante lembrar que se todos os níveis de energia em uma banda estão ocupados por elétrons, não há movimento de elétrons e a banda não contribui para a condução de corrente elétrica.

Na estrutura de bandas abaixo, as bandas de condução e de valência se sobrepõem parcialmente. Isto ocorre porque os níveis mais baixos da banda de condução podem ser ocupados por elétrons que tenham menos energia do que requerem os níveis mais altos da banda de valência.



Os elétrons na banda de valência se deslocam para a banda de condução onde se movem facilmente, viabilizando a condução elétrica.

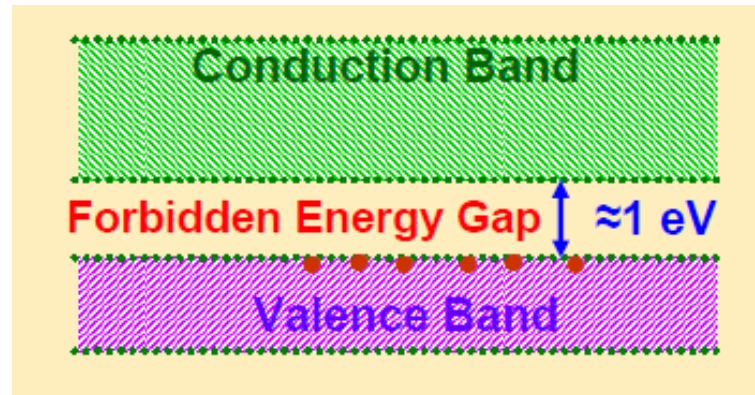
O nível mais alto de energia na banda de condução ocupado por elétrons, em um cristal, na temperatura de zero Kelvin, é chamado de **Nível de Fermi**.

Quando elétrons absorvem energia bastante para ultrapassar este nível, então ocorre condução elétrica.

Material Semicondutor

Na temperatura de zero Kelvin, nenhum elétron tem energia para saltar da banda de valência para a banda de condução, não havendo portanto, qualquer possibilidade de condução elétrica. Nestas condições, o material é isolante.

Na temperatura ambiente, alguns elétrons da banda de valência podem adquirir energia suficiente para ultrapassar a banda proibida, deslocando-se para a banda de condução, mesmo quando há influência de um pequeno campo elétrico.



É possível estimar a fração (p) de elétrons que migra para a banda de condução através da relação:

$$p \propto \frac{1}{e^{\frac{E_g}{kT}}}$$

E_g - Energia da banda proibida (eV)

T - temperatura em Kelvin

k - constante de Boltzmann

Observe que a unidade de E_g é eV (elétron-Volt).

Por definição, um elétron-Volt é a energia que um elétron absorve quando se desloca através de uma diferença de potencial de 1 Volt.

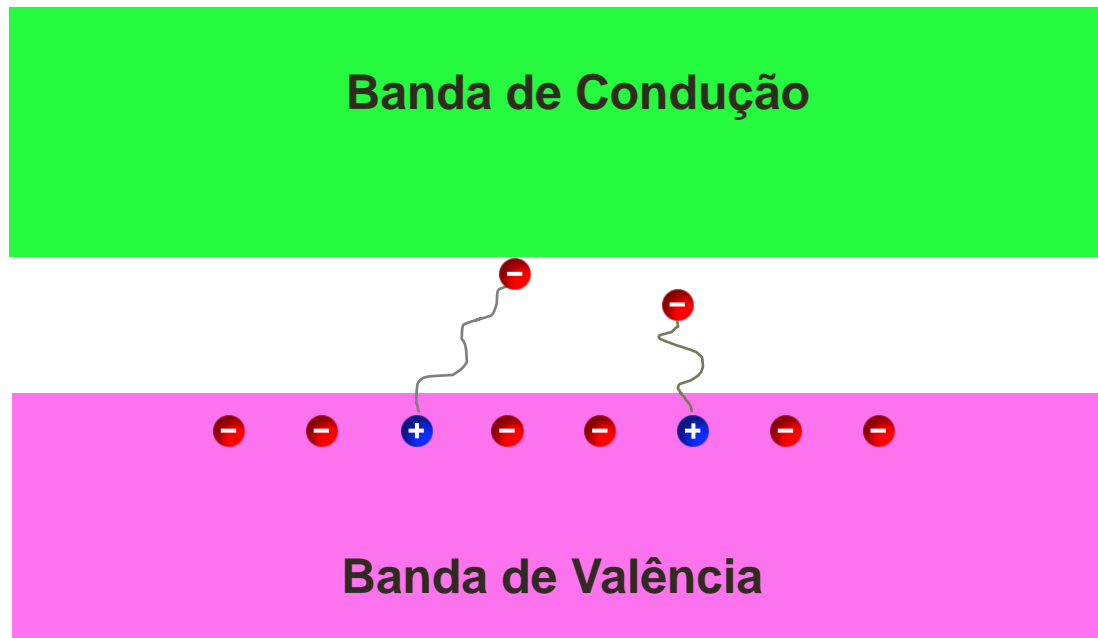
Quando a energia E_g é dividida por q (em unidades de carga do elétron, e não em Coulomb), o resultado é Volts.

Portanto, E_g e E_g/q têm o mesmo valor numérico.



Quando um elétron sai da banda de valência, o correspondente nível de energia torna-se menos preenchido (vago).

Esta região não preenchida é denominada "lacuna" na banda de valência e tratada matematicamente como um portador de carga positiva

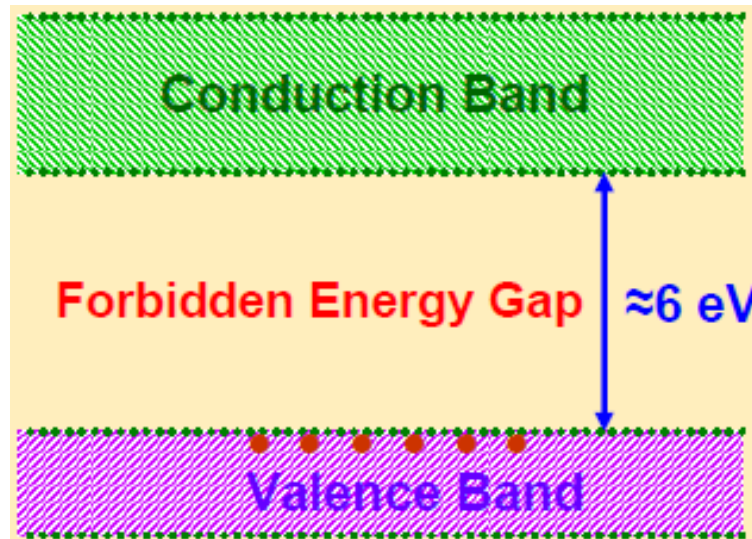


Qualquer movimento desta região é considerado como sendo o movimento de uma carga positiva.

Material Isolante

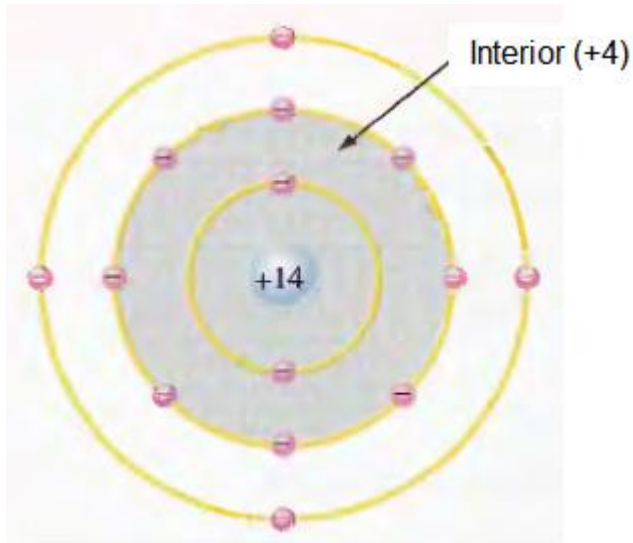
Nos materiais isolantes, os elétrons, mesmo quando aquecidos (com bastante energia), não conseguem saltar da banda de valência para a banda de condução devido à largura da banda proibida (*band gap*).

O diamante, por exemplo, tem um *band gap* de 5,5eV sendo por isso um isolante.

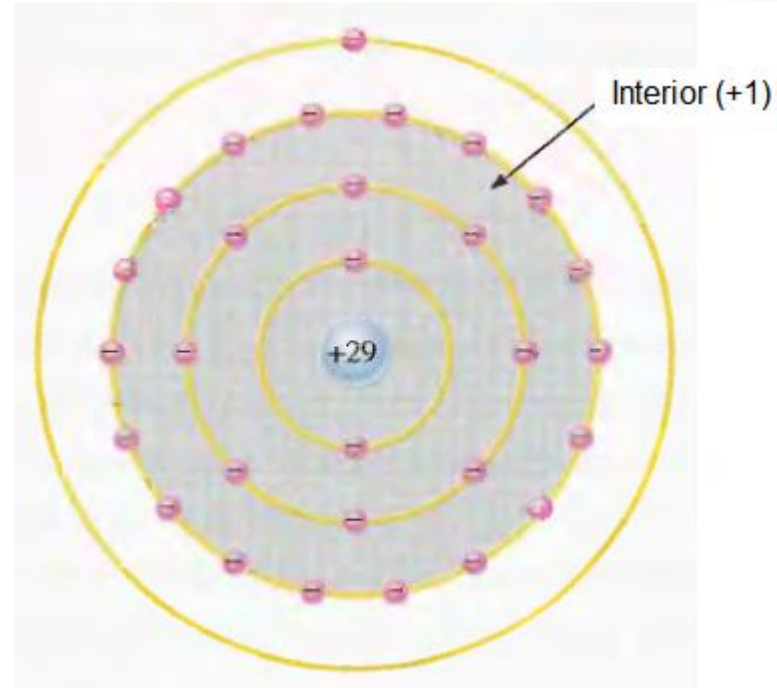


Átomo de um condutor e de um semiconductor: comparação

O Silício é um semiconductor e o Cobre é um condutor e seus correspondentes diagramas atômicos são mostrados abaixo:



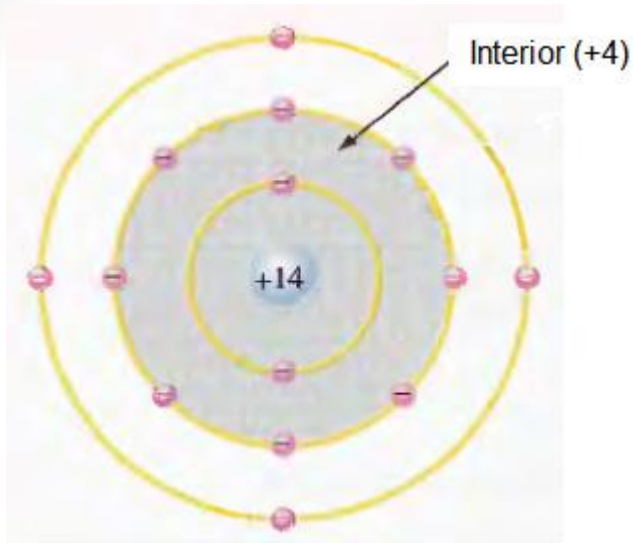
Silício



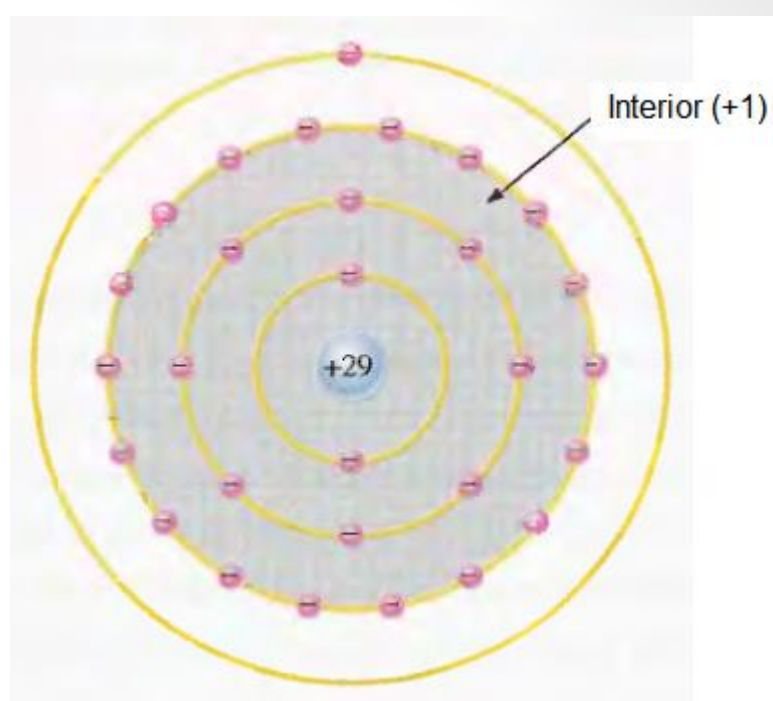
Cobre

O interior (centro) do átomo de Silício tem uma carga resultante de $+4$ (14 prótons – 10 elétrons), enquanto o interior do Cobre tem carga resultante de $+1$ (29 prótons – 28 elétrons).

O interior (ou centro) é tudo, exceto os elétrons de valência.



Silício

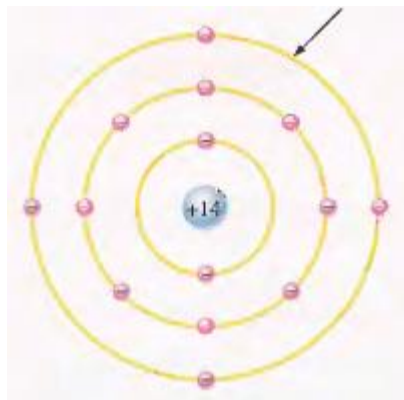


Cobre

Os elétrons de valência no átomo de Cobre “sentem” uma força de atração de +1, enquanto os elétrons de valência no átomo de Silício sentem uma força quatro vezes maior. Portanto, verifica-se uma força quatro vezes maior tentando segurar os elétrons de valência ao átomo de Silício do que no caso do Cobre.

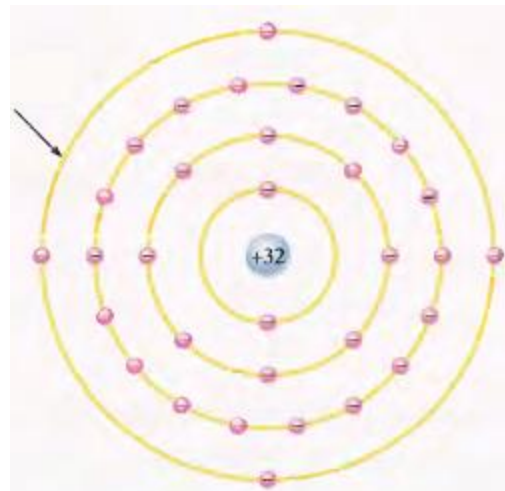
No Cobre, os elétrons de valência estão na quarta camada de energia, que está mais distante do núcleo do átomo do que no Silício, que está na terceira camada.

Silício e Germânio



Átomo de Silício

Quatro elétrons
na camada de
valência



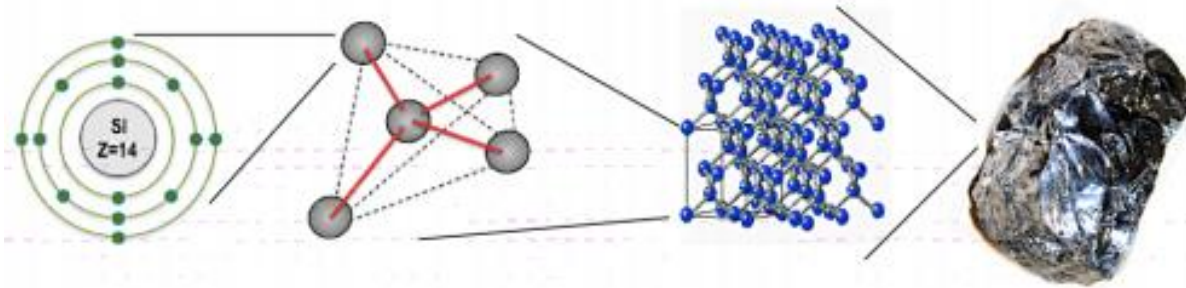
Átomo de Germânio

Os elétrons de valência no Germânio estão na quarta camada de energia enquanto no Silício estes elétrons estão na terceira camada em relação ao núcleo. Assim, como os elétrons de valência no Germânio se encontram em um nível de energia mais alto do que no Silício, precisam de menos energia adicional para escapar do átomo.

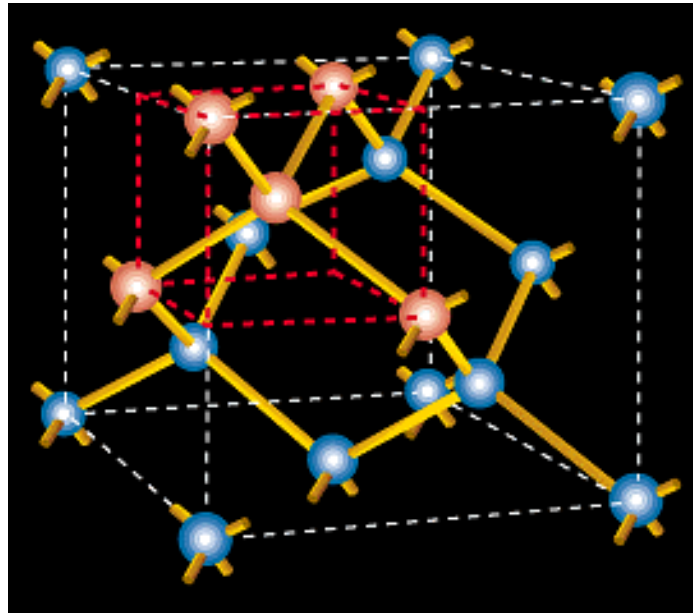
Como consequência disto, o Germânio é mais instável em altas temperaturas, sendo esta uma das razões por que o Silício é o material semicondutor mais usado.

Os cristais (puros) do Silício e do Germânio são formados pela justaposição regular dos correspondentes átomos destes elementos.

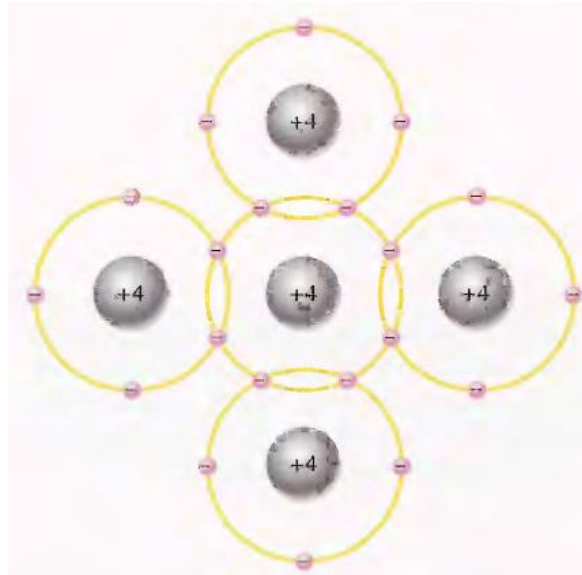
Os quatro elétrons na camada de valência, que atribuem uma importante propriedade a estes elementos, estão dispostos no espaço ocupando os vértices de um tetraédro definindo assim a forma geométrica que estes átomos têm.



Cada átomo está ligado a quatro átomos vizinhos compartilhando com cada deles um dos seus elétrons de valência.

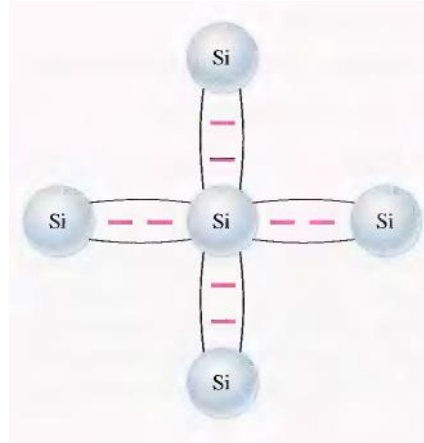


Uma outra ilustração de como se organizam os átomos do Silício (e do Germânio) é mostrada abaixo: Cada átomo de Silício compartilha um dos seus quatro elétrons de valência com cada um dos seus quatro átomos vizinhos. Isto faz com que cada átomo tenha oito elétrons compartilhados, formando um estado químico estável.

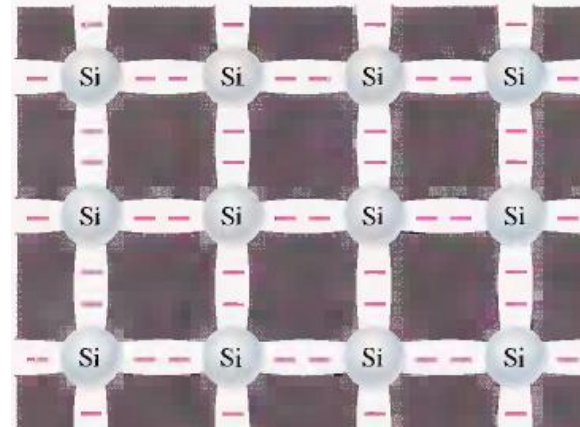


Este compartilhamento de elétrons produz as ligações covalentes que mantêm os átomos unidos. Cada um destes elétrons é atraído igualmente pelos dois átomos adjacentes que o compartilham.

As ligações entre os átomos também podem ser representadas através do chamado diagrama de ligações, conforme a figura abaixo, na qual os sinais vermelhos representam os elétrons compartilhados.



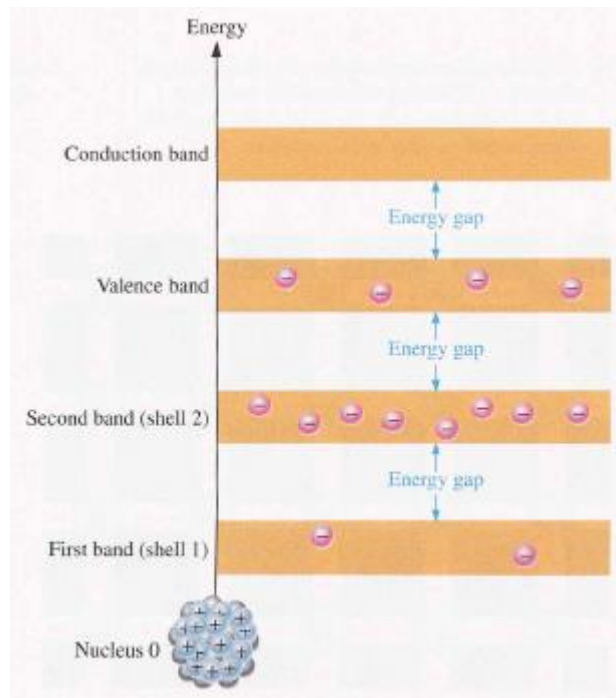
Representação das ligações covalentes em um cristal de Silício.



Condução em Semicondutores

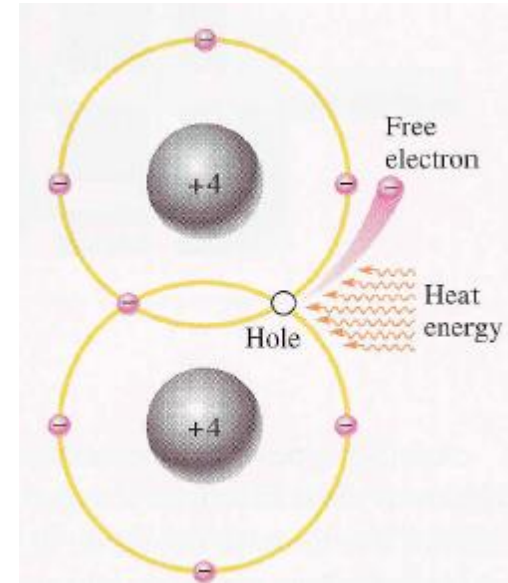
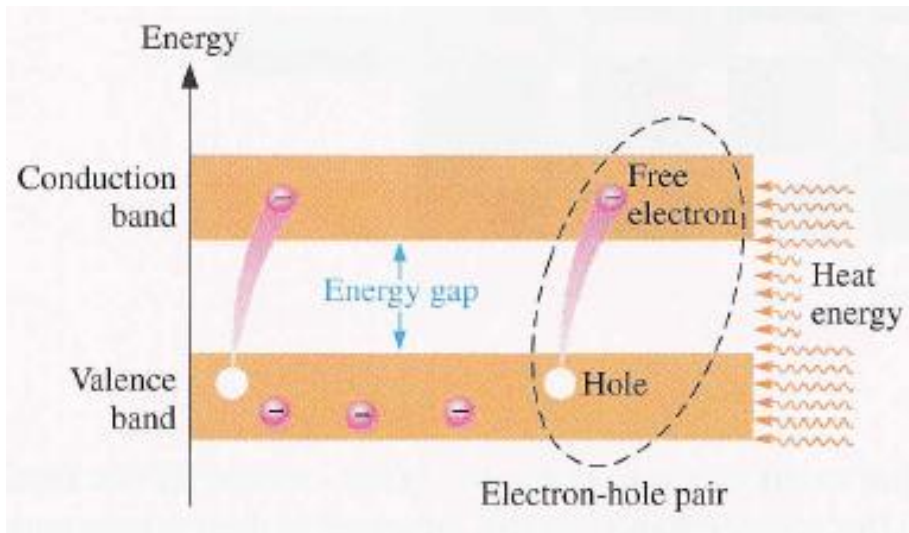
Os elétrons de um átomo só podem existir em determinadas bandas de energia. Cada camada ao redor do núcleo corresponde a um certo nível de energia e se encontra separada das camadas adjacentes por *gaps* (regiões proibidas) de energia, onde não podem existir elétrons.

Abaixo temos o diagrama de bandas do Silício, na condição de total ausência de excitação (energia externa, por exemplo, calor), portanto a zero Kelvin.



Um cristal puro de Silício, na temperatura ambiente ($\sim 27^{\circ}\text{C}$), tem suficiente energia (térmica) para que alguns elétrons de valência atravessem a região proibida (*gap*) e alcancem a banda de condução tornando-se elétrons livres.

Quando um elétron salta para a banda de condução, uma “vacância” (ou vaga) é deixada na banda de valência dentro do cristal. Esta vacância é chamada de **lacuna** (*hole* em Inglês).

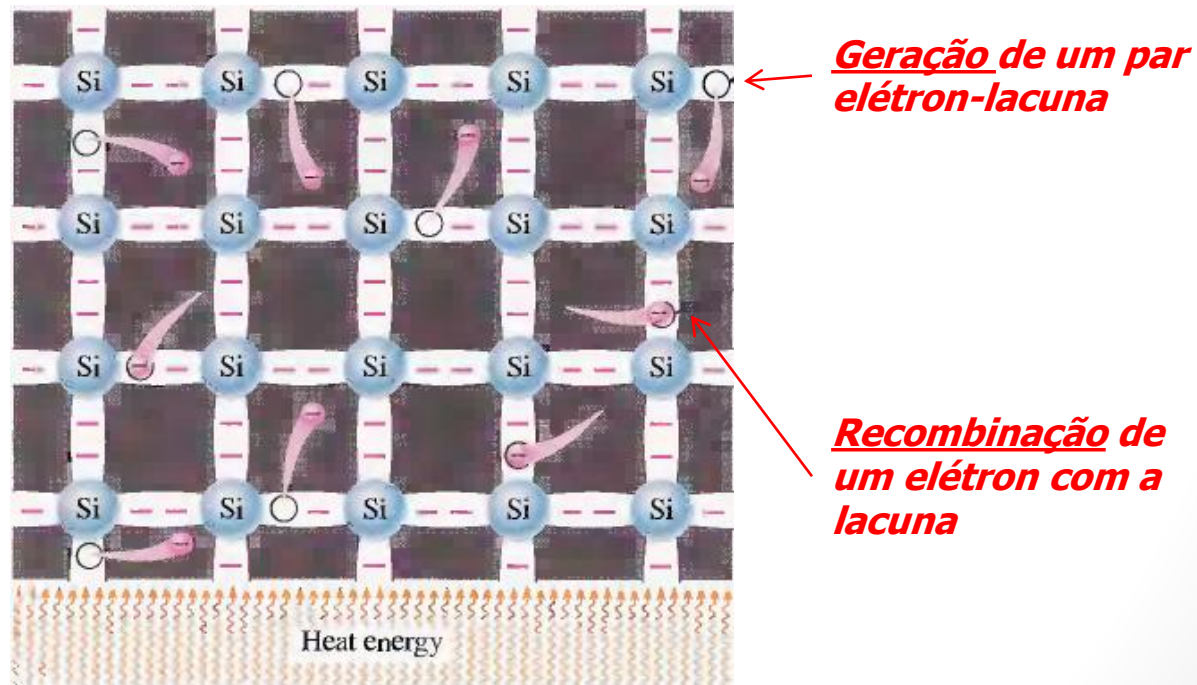


Para cada elétron que salta da banda de valência para a banda de condução, uma lacuna é deixada na banda de valência, dando origem ao que chamamos de **Geração de um par elétron-lacuna**.

Quando um elétron da banda de condução perde energia e retorna à camada de valência, ocupando a lacuna existente, ocorre uma **Recombinação**.

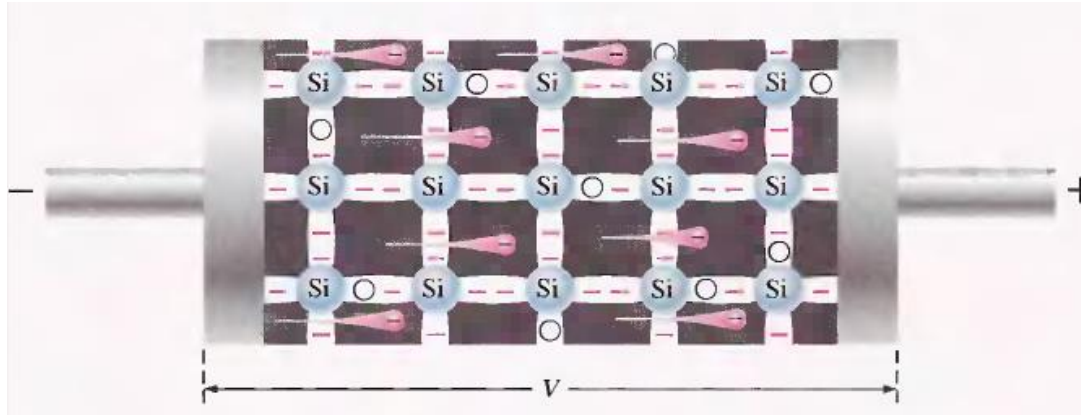
Para resumir: um pedaço de Silício intrínseco (puro) na temperatura ambiente, tem a qualquer instante, um certo número de elétrons livres (na banda de condução) que não estão ligados a nenhum átomo, movimentando-se de maneira aleatória pelo material.

Há, ao mesmo tempo, um igual número de **lacunas** na banda de valência, que foram criadas quando estes elétrons saltaram para a banda de condução, conforme ilustra a figura abaixo:



Corrente de elétrons e de lacunas

Quando uma diferença de potencial é aplicada em um pedaço de Silício intrínseco, os elétrons livres (criados pela energia térmica que incide sobre o material) são facilmente atraídos em direção ao terminal de potencial positivo.



Este movimento de elétrons livres constitui um tipo de corrente em um material semiconductor, chamada de **corrente de elétrons**.

Um outro tipo de corrente ocorre na banda de valência, onde estão as lacunas criadas com o surgimento dos elétrons livres. Os elétrons que permanecem na banda de valência se encontram ligados aos seus respectivos átomos, portanto não se movimentam aleatoriamente pelo cristal como acontece com os elétrons livres. Mas, um elétron de valência pode se deslocar para ocupar uma lacuna na sua vizinhança com muito pouca variação do seu nível de energia, deixando assim uma lacuna em seu lugar de origem.

Corrente de elétrons e de lacunas

Efetivamente, ocorre um movimento de lacunas na estrutura cristalina (dentro da camada de valência) e esta corrente é chamada de **corrente de lacunas**.

