

INTRODUÇÃO A CIÊNCIA DOS MATERIAIS

PROF^a Dr^a.Claudia Joseph Nehme.

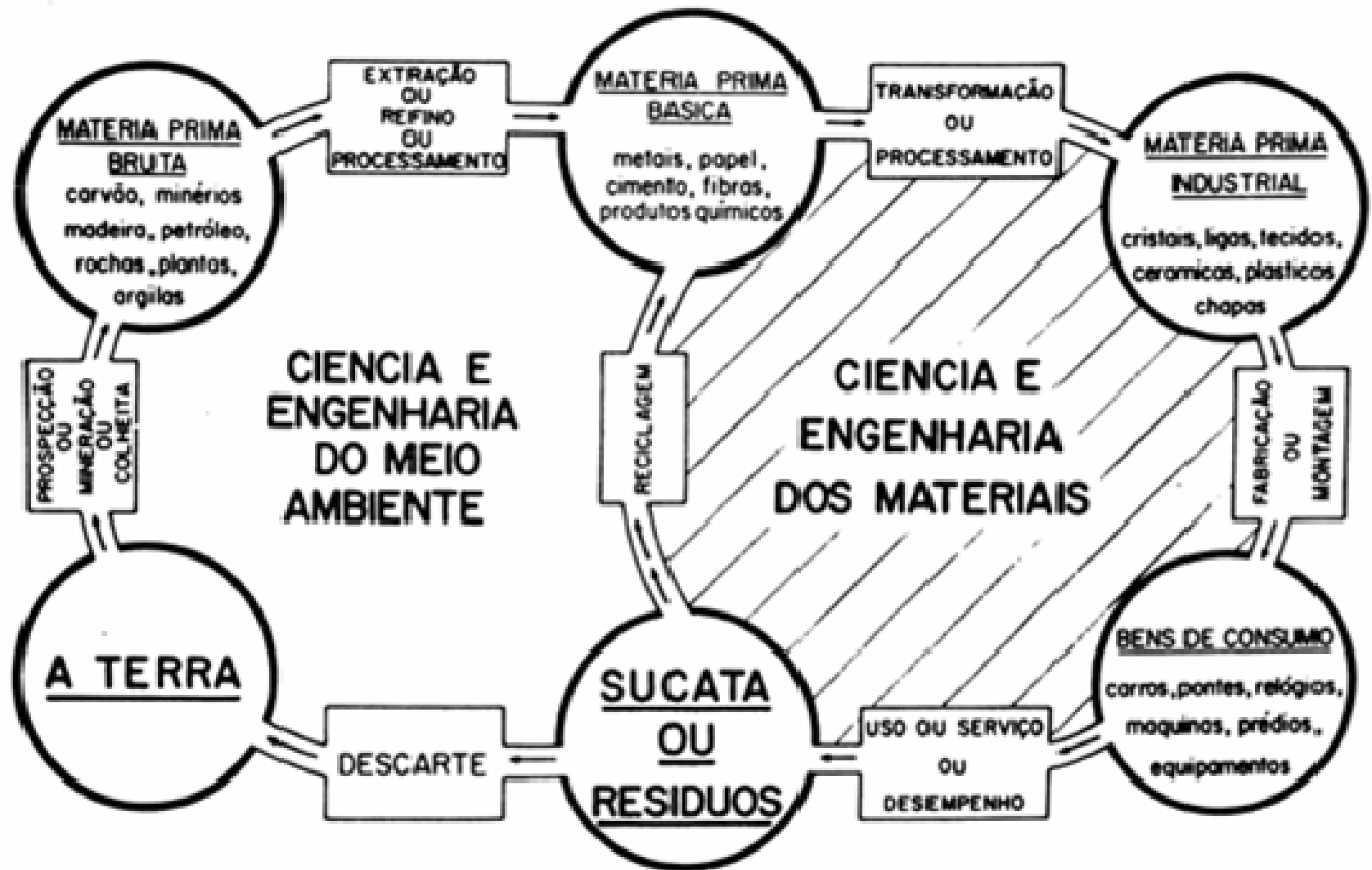
1. INTRODUÇÃO



- Condições de Serviço: ditam as propriedades exigidas do material. É raro o material ideal.
 - resistência \Rightarrow \downarrow ductilidade
 - Deterioração das propriedades durante uso:
 - \downarrow Resistência \Rightarrow \uparrow Temperatura ou Corrosão
 - Fatores Econômicos (custo): também inclui despesas incorridas durante a fabricação (processamento).
-



1. INTRODUÇÃO



2. ESTRUTURA

- **ESTRUTURA:** geralmente relacionada ao arranjo de seus componentes internos.
 - **ESTRUTURA SUB-ATÔMICA:** envolve elétrons no interior dos átomos individuais e as interações com seus núcleos;
 - **ESTRUTURA ATÔMICA:** engloba a organização dos átomos ou moléculas em relação uns aos outros;
 - **ESTRUTURA MICROSCÓPICA:** contém grandes grupos de átomos normalmente conglomerados;
 - **ESTRUTURA MACROSCÓPICA:** pode ser vista a olho nu.



2. ESTRUTURA

| Classe do estudo | Ciência dos Materiais | Ciência e Engenharia dos Materiais | Engenharia dos Materiais |
|------------------------------|--|--|----------------------------|
| Nível | microestrutural | mesoestrutural | macroestrutural |
| Escala | 10^{-7} - 10^{-3} mm | 10^{-3} - 1 mm | >1 mm |
| Estrutura | molecular | fases, grãos | todo material |
| Exemplos | moléculas de celulose silicatos de cálcio hidratado | células da madeira pasta de cimento | madeira concreto |
| Técnicas de ensaios | porosimetria a Hg microscopia eletrônica | estrutura das fases | propriedades mecânicas |
| Interpretação dos resultados | modelos estruturais teoria das deformações | modelos multifásicos transferência de massa | diagramas gráficos |
| Uso da informação | conhecimento novos materiais | conhecimento parâmetros | custos, ensaios parâmetros |



3. PROPRIEDADES

- PROPRIEDADE: é uma peculiaridade do material em termos do tipo e da intensidade da resposta a um estímulo específico que lhe é imposto. As definições das propriedades são feitas de maneira independente da forma e do tamanho do material.
 - MECÂNICA: relaciona deformação com uma carga ou força aplicada;
 - ELÉTRICA: o estímulo é um campo elétrico;
 - TÉRMICA: capacidade calorífica e condutividade térmica;
 - MAGNÉTICA: demonstram a resposta de um material à aplicação de um campo magnético;
 - ÓTICA: o estímulo é a radiação eletromagnética ou a luminosa;
 - DETERIORATIVA: indica a reatividade química dos materiais.

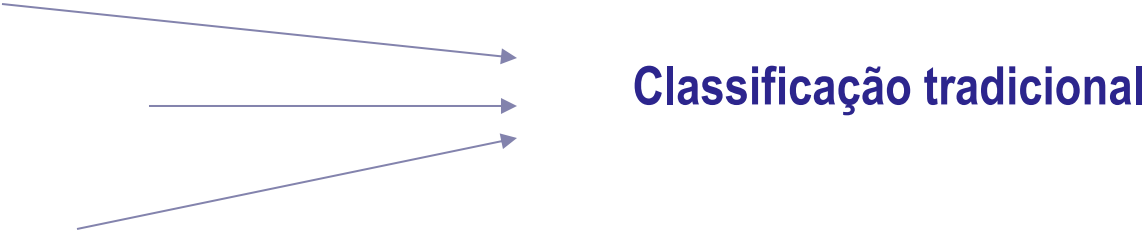


3. PROPRIEDADES

| | |
|----------------------|--|
| ASPECTO ECONÔMICO | Preço e disponibilidade Capacidade de reciclagem |
| FÍSICA GERAL | Densidade |
| MECÂNICA | Módulo de elasticidade Resistência à deformação e à tração Dureza Tenacidade Limite de fadiga Limite de resistência à deformação a quente (creep) Característica de amortecimento Condutividade térmica |
| TÉRMICA | Condutividade térmica Calor específico Coeficiente de expansão térmica |
| ELÉTRICA E MAGNÉTICA | Constante dielétrica Permeabilidade magnética |
| INTERAÇÃO AMBIENTAL | Oxidação Corrosão Desgaste |
| PRODUÇÃO | Facilidade no processamento União Acabamento |
| ESTÉTICA | Cor Textura Sensação tátil |

4. CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

A classificação tradicional dos materiais é geralmente baseada na estrutura atômica e química:

- Metais
 - Cerâmicas
 - Polímeros
 - Compósitos (combinação de dois ou mais)
 - Semicondutores (características elétricas peculiares)
 - Biomateriais (Mat. Biocompatíveis)
- 
- Classificação tradicional**



4. CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

- METAIS: são normalmente combinações de elementos metálicos. Possuem grande número de elétrons não-localizados, ou seja, não estão ligados a qualquer átomo em particular.

- Propriedades:

- Condutores de eletricidade e calor;
 - Não transparentes à luz visível;
 - Têm aparência lustrosa quando polidos;
 - Geralmente são resistentes e deformáveis;
 - São muito utilizados para aplicações estruturais.
-



Metais

- ✓ **Resistentes e deformáveis**
- ✓ **Boa ductilidade**
- ✓ **Alta condutividade elétrica e térmica**
- ✓ **Não transparente sob luz visível**
- ✓ **Superfície brilhante**



Materiais metálicos são formados geralmente por combinações de elementos metálicos.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| I A | | | | | | | | | | | | | | | | O | |
| 1 H | II A | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He |
| 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 11 Na | 12 Mg | VIII | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| | | IIIB | IVB | V B | VIB | VIIB | | | | | | I B | II B | | | | |
| 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 |
| 55 Cs | 56 Ba | 57 La | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn |
| 87 Fr | 88 Ra | 89 Ac | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 Pm | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu | |
| | | | 90 Th | 91 Pa | 92 U | 93 Np | 94 Pu | 95 Am | 96 Cm | 97 Bk | 98 Cf | 99 Es | 100 Fm | 101 Md | 102 No | 103 Lw | |

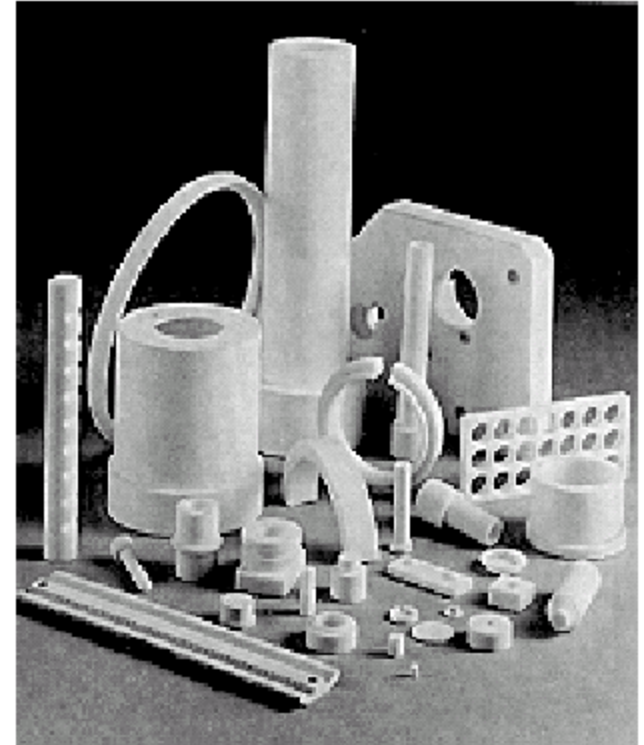
4. CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

- CERÂMICOS: compostos entre os elementos metálicos e não-metálicos; são freqüentemente óxidos, nitretos e carbetos.
 - Propriedades:
 - Isolantes de eletricidade e calor;
 - Resistentes à alta temperatura e ambientes abrasivos (mais que metais e polímeros);
 - Duros, porém muito quebradiços.



Cerâmicas

- ✓ **Alta resistência mecânica e baixa ductilidade**
- ✓ **Alta estabilidade química e térmica**
- ✓ **Bons isolantes térmico e elétrico**
- ✓ **Alta dureza e baixo coeficiente de expansão**



Cerâmicas são formados por combinações de elementos metálicos e não metálicos.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|-----|-----|-----|------|----|----|----|----|----|----|-----|------|-----|-----|----|-------|------|-----|-----|-------|----|
| I A | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| H | II A | | | | | | | | | | | | | | | | | III A | IV A | V A | VIA | VII A | He |
| 3 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Li | Be | | | | | | | | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne |
| 11 | 12 | VIII | | | | | | | | | | | | | | | | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Na | Mg | IIIB | IVB | V B | VIB | VIIB | | | | | | | I B | II B | Al | Si | P | S | Cl | Ar | | | |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | | | | | | |
| K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr | | | | | | |
| 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | | | | | | |
| Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe | | | | | | |
| 55 | 56 | 57 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | | | | | | |
| Cs | Ba | La | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn | | | | | | |
| 87 | 88 | 89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fr | Ra | Ac | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | | | | | | | |
| | | | Ce | Pr | Nd | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | | | | | | | |
| | | | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | | | | | | | |
| | | | Th | Pa | U | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm | Md | No | Lw | | | | | | | |

4. CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

- **POLÍMEROS:** compreendem os materiais comuns de plástico e borracha. Muitos deles são compostos orgânicos que tem sua química baseada no carbono, no hidrogênio e em outros elementos não-metálicos; além disso, possuem estruturas moleculares muito grandes.

- **Propriedades:**

- Alta flexibilidade;

- Baixa densidade.



Polímeros

- ✓ **Grande espectro de resistência e ductilidade**
- ✓ **Leveza**
- ✓ **Baixo isolamento térmico e elétrico**
- ✓ **Alta dureza e baixo coeficiente de expansão**



Materiais poliméricos são formados por compostos orgânicos consistindo de longas cadeias moleculares.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|
| I A | | | | | | | | | | | | | | | | | O | |
| 1 H | II A | | | | | | | | | | | | III A | IV A | V A | VIA | VII A | 2 He |
| 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne | |
| 11 Na | 12 Mg | VIII | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar | |
| | | III B | IV B | V B | VI B | VII B | | | | | | I B | II B | | | | | |
| 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 | |
| 55 Cs | 56 Ba | 57 La | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn | |
| 87 Fr | 88 Ra | 89 Ac | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 Pm | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu | | |
| | | | 90 Th | 91 Pa | 92 U | 93 Np | 94 Pu | 95 Am | 96 Cm | 97 Bk | 98 Cf | 99 Es | 100 Fm | 101 Md | 102 No | 103 Lw | | |

4. CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

- COMPÓSITOS:
 - são constituídos de mais de um tipo de material insolúveis entre si;
 - são “desenhados” para apresentarem a combinação das melhores características de cada material constituinte;
 - muitos dos recentes desenvolvimento em materiais envolvem materiais compósitos;
 - um exemplo clássico é o compósito de matriz polimérica com fibra de vidro. O material compósito apresenta a resistência da fibra de vidro associado a flexibilidade do polímero.



Compósitos

- Os materiais compósitos são formados por mistura de 2 ou mais materiais das classe apresentadas anteriormente e suas propriedades são resultado dessa combinação
- Podem ser identificadas fisicamente pela interface que há entre eles.



4. CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

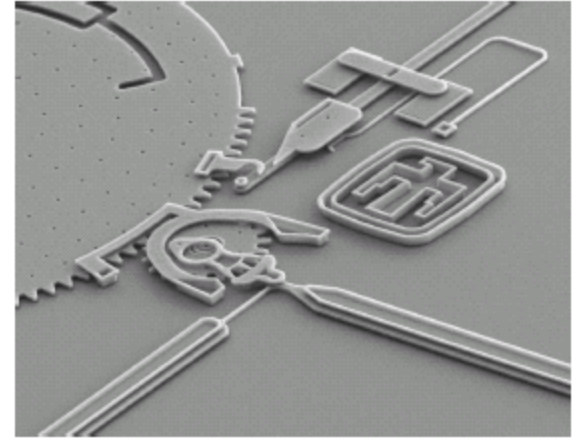
- SEMICONDUTORES:

- apresentam propriedades elétricas que são intermediárias entre metais e isolantes;
- as características elétricas são extremamente sensíveis à presença de pequenas quantidades de impurezas, cuja concentração pode ser controlada em pequenas regiões do material;
- os semicondutores tornaram possível o advento do circuito integrado que revolucionou as indústrias de eletrônica e computadores.

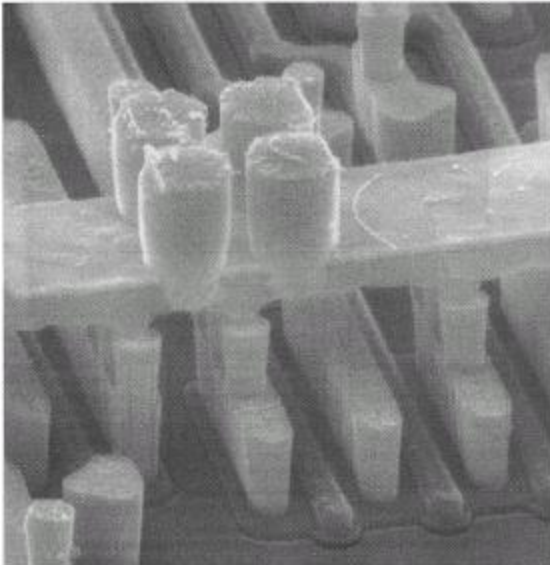


Semicondutores

- ✓ **Condutividade elétrica intermediária**
- ✓ **Propriedades elétricas são extremamente sensíveis à pureza química dos elementos**



Micro sistemas eletro-mecânicos (MEMS)



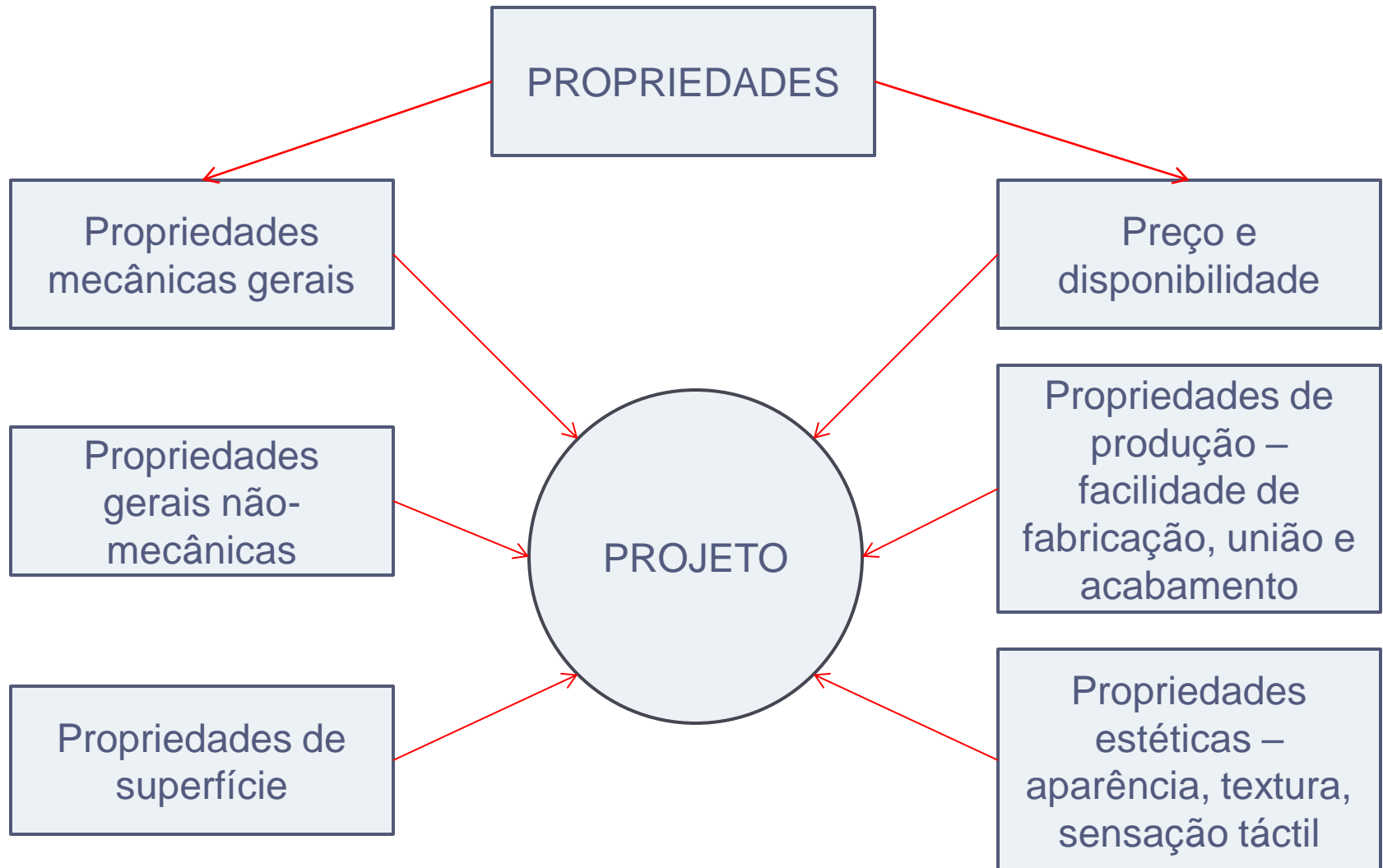
“wafer” de Si para chips de computador


4. CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

- BIOMATERIAIS:
 - são empregados em componentes para implantes de partes em seres humanos;
 - esses materiais não devem produzir substâncias tóxicas e devem ser compatíveis com o tecido humano (isto é, não deve causar rejeição);
 - metais, cerâmicos, compósitos e polímeros podem ser usados como biomateriais.



5. PROPRIEDADES X PRODUÇÃO





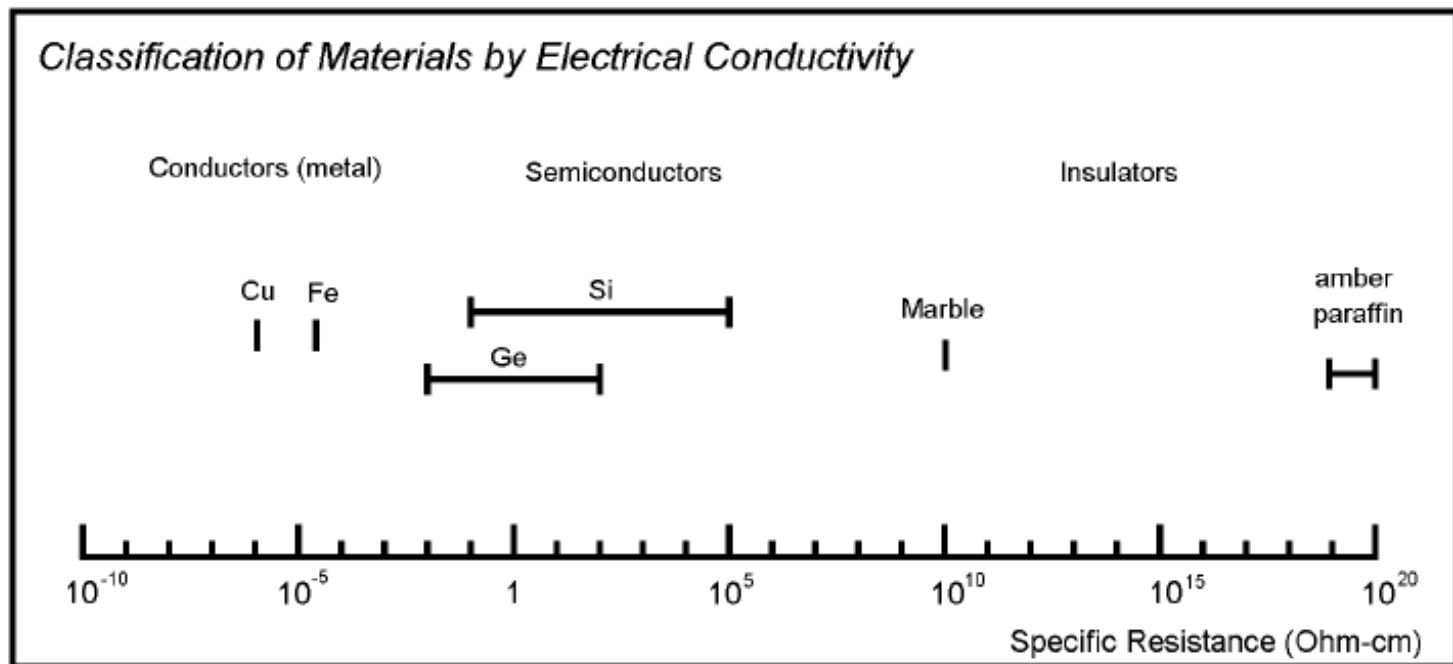
MATERIAIS SEMICONDUCTORES

Isolantes, Semicondutores e Metais

- ▶ **Isolante** – é um condutor de eletricidade muito pobre;
- ▶ **Metal** – é um excelente condutor de eletricidade;
- ▶ **Semicondutor** – possui condutividade entre os dois extremos acima.

➔ Semicondutores

O material básico utilizado na construção de dispositivos eletrônicos semicondutores, em estado natural, não é um bom condutor, nem um bom isolante.



Silício e o Germânio

- ▶ O silício e o germânio são muito utilizados na construção de dispositivos eletrônicos.
- ▶ O silício é o mais utilizado, devido as suas características serem melhores em comparação ao germânio e também por ser mais abundante na face da terra.

Temperatura, Luz e Impurezas

- ▶ Em comparação com os metais e os isolantes, as propriedades elétricas dos semicondutores **são afetadas** por variação de temperatura, exposição a luz e acréscimos de impurezas.

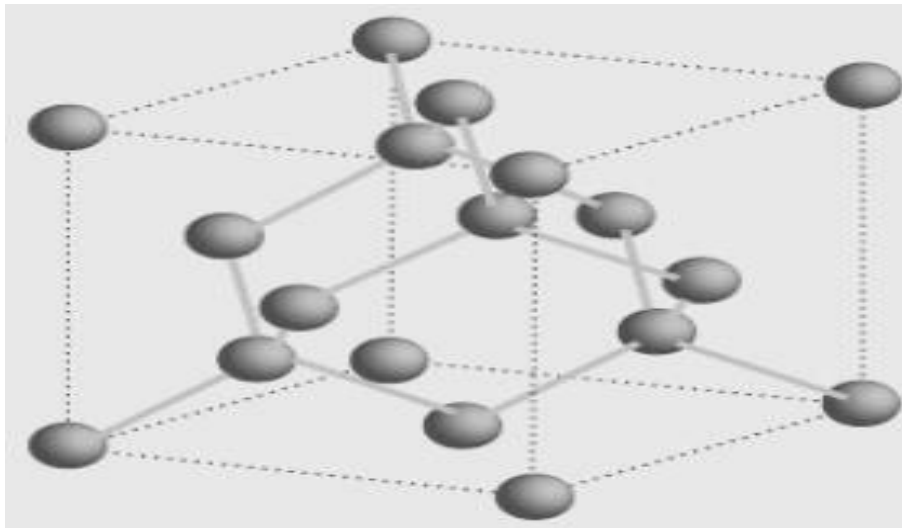
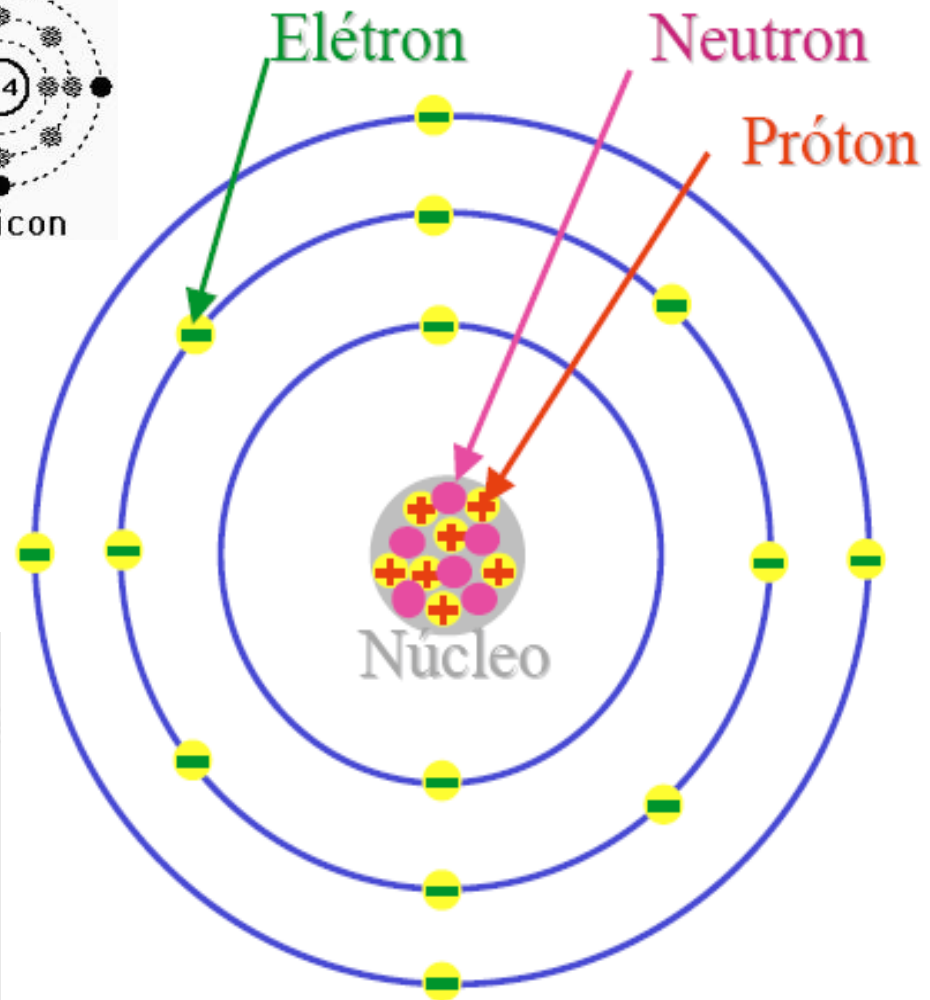
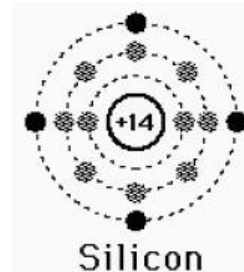
MODELOS ATÔMICOS DE BOHR

- ▶ **O átomo** - é constituído por partículas elementares, as mais importantes para o nosso estudo são os elétrons, os prótons e os nêutrons.
- ▶ **Camada de Valência** - A última camada eletrônica (nível energético) é chamada camada de valência. O silício e o germânio são átomos tetravalentes, pois possuem quatro elétrons na camada de valência.

Materiais Semicondutores

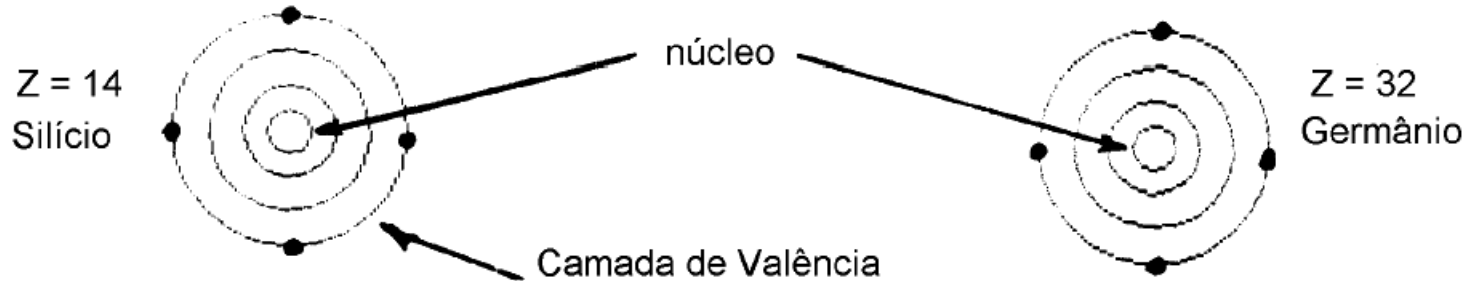
Átomo de Silício

- Grande estabilidade física e química em temperatura
- 4 elétrons na órbita externa: valência 4



SEMICONDUCTORES

Camada de Valência



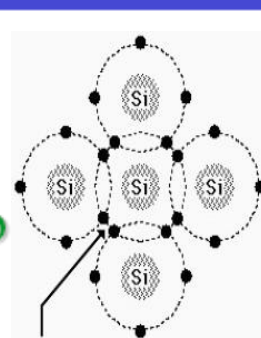
- O silício e o germânio são átomos tetravalentes, pois possuem quatro elétrons na camada de valência.
- O potencial necessário para tornar livre qualquer um dos elétrons de valência é menor que o necessário para remover qualquer outro da estrutura.
- Os elétrons de valência podem absorver energia externa suficiente para se tornarem elétrons livres.

Materiais Semicondutores

Cristal de Silício

Monocrystal: Silício Monocristalino

- estrutura regular e homogênea
- ligações covalentes
- material quimicamente estável

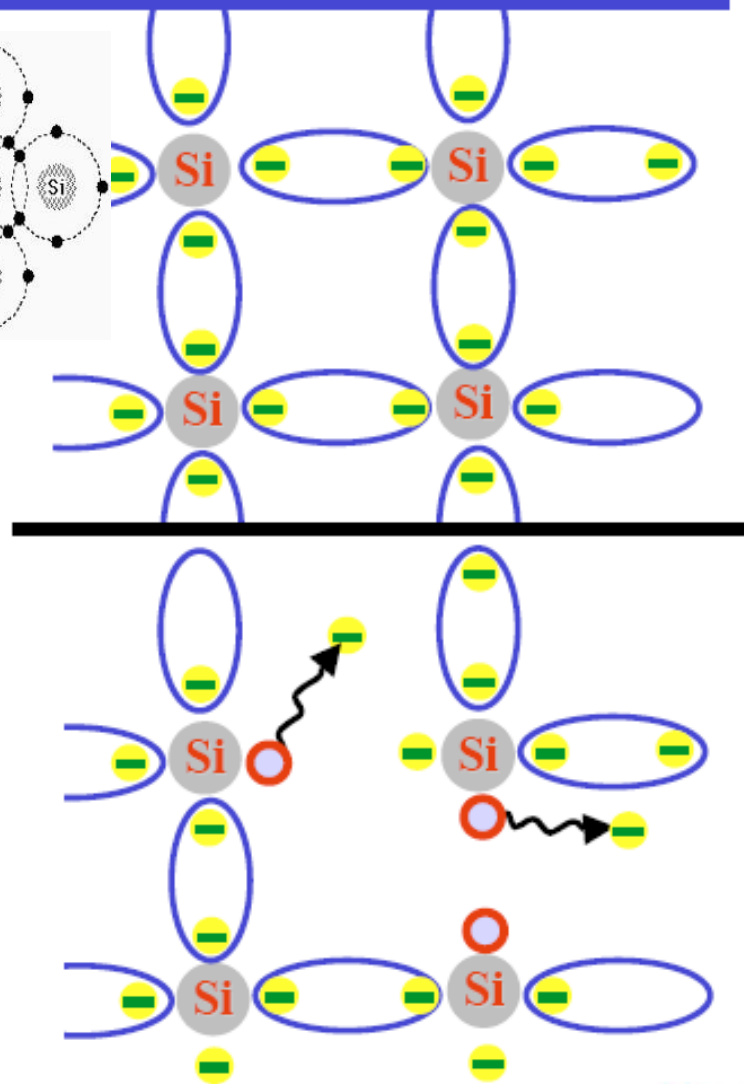


Em estado puro (intrínseco):

- mau condutor a temperatura ambiente
- isolante a baixas temperaturas

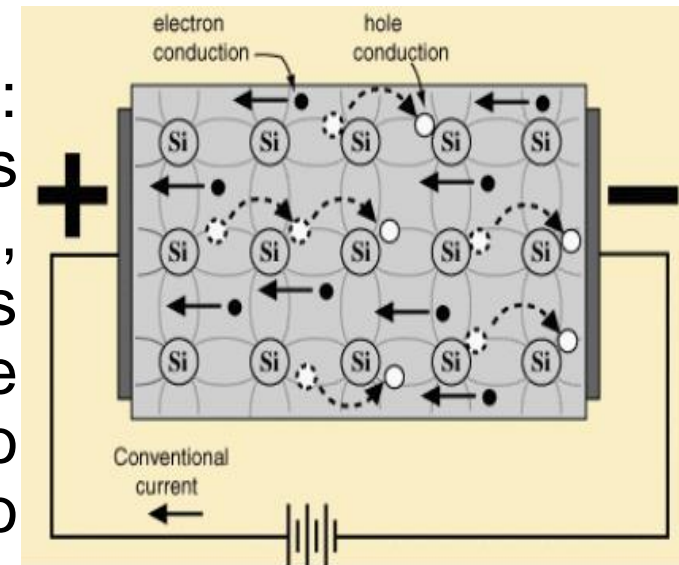
Aumento da temperatura:

- provoca quebra das ligações
- um elétron livre provoca a formação de um buraco
- ocorre a geração de pares elétrons-buracos



Corrente em Semicondutores

- Em um semicondutor intrínseco, tanto elétrons quanto lacunas contribuem para o fluxo de corrente.
- Elétrons livres de sua posição fixa no reticulado: movem-se na banda de condução.
- ▶ Elétrons na banda de valência: movem-se ocupando posições disponíveis no reticulado, preenchendo os vazios deixados pelos elétrons livres - Condução de lacunas migrando ao longo do material no sentido oposto ao movimento do elétron livre.



MATERIAIS EXTRINSECOS

- **Dopagem** - A adição de certos átomos estranhos aos átomos de silício ou germânio, chamados de átomos de impurezas, pode alterar a estrutura de camadas (bandas) de energia de forma suficiente mudar as propriedades elétricas dos materiais intrínsecos.
- **Material extrínseco** - Um material semicondutor que tenha sido submetido a um processo de dopagem por impurezas e chamado de material extrínseco.
- Esses materiais são chamados de: tipo **N** e tipo **P**.

MATERIAL DOPADO

TIPO N

- Um método de dopagem consiste na utilização de elementos contendo 5 elétrons na camada de valência (penta-valente), como o **antimônio**, **arsênio** e **fósforo**.
- O quinto elétron, porém, fica desassociado de qualquer ligação. Esse elétron pode tornar-se **livre** mais facilmente que qualquer outro, podendo nessas condições vagar pelo cristal.
- O material tipo **N** resultante, é eletricamente **neutro**.

MATERIAL DOPADO

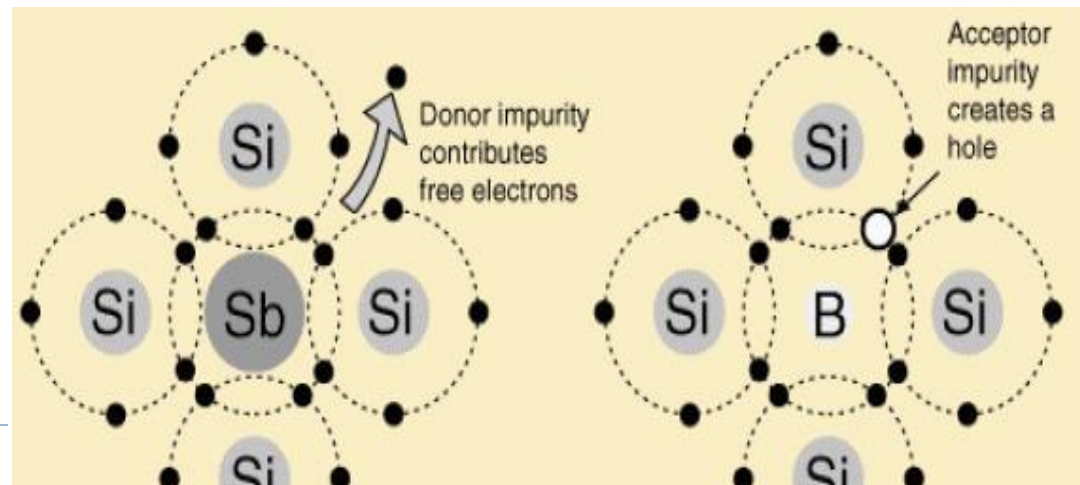
TIPO P

- O material tipo P é formado pela dopagem do semicondutor intrínseco por átomos trivalentes como o **boro**, **gálio** e **índio**.
- Há agora um número insuficiente de elétrons para completar as ligações covalentes. A falta dessa ligação é chamada de lacuna ou (buraco).
- Como uma lacuna pode ser preenchida por um elétron, as impurezas trivalentes acrescentadas ao silício ou germânio intrínseco, são chamados de átomos aceitadores ou receptores.
- O material tipo **P** resultante é eletricamente **neutro**.

Semicondutores dopados ou extrínsecos

- ▶ Impurezas pentavalentes: antimônio, arsênio, fósforo à produzir semicondutores do tipo-n, por contribuírem com elétrons extras (impurezas doadoras).
- ▶ Impurezas trivalentes: boro, alumínio, gálio à produzir semicondutores do tipo-p, por produzirem lacunas ou deficiência de elétrons (impurezas aceitadoras).

N

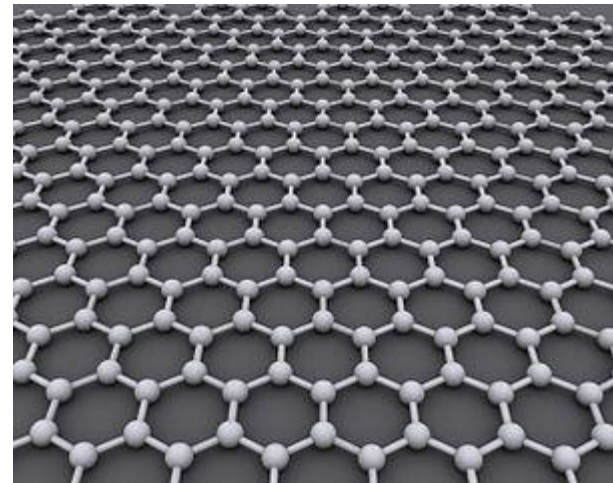


P

Grafeno

- ▶ O **grafeno** é o material mais forte já demonstrado, consistindo em uma folha plana de átomos de carbonos densamente compactados em uma grade de duas dimensões.

Recentemente, empresas de [semicondutores](#) estiveram realizando testes a fim de substituir o [silício](#) pelo grafeno devido à sua altíssima eficiência em comparação ao silício.

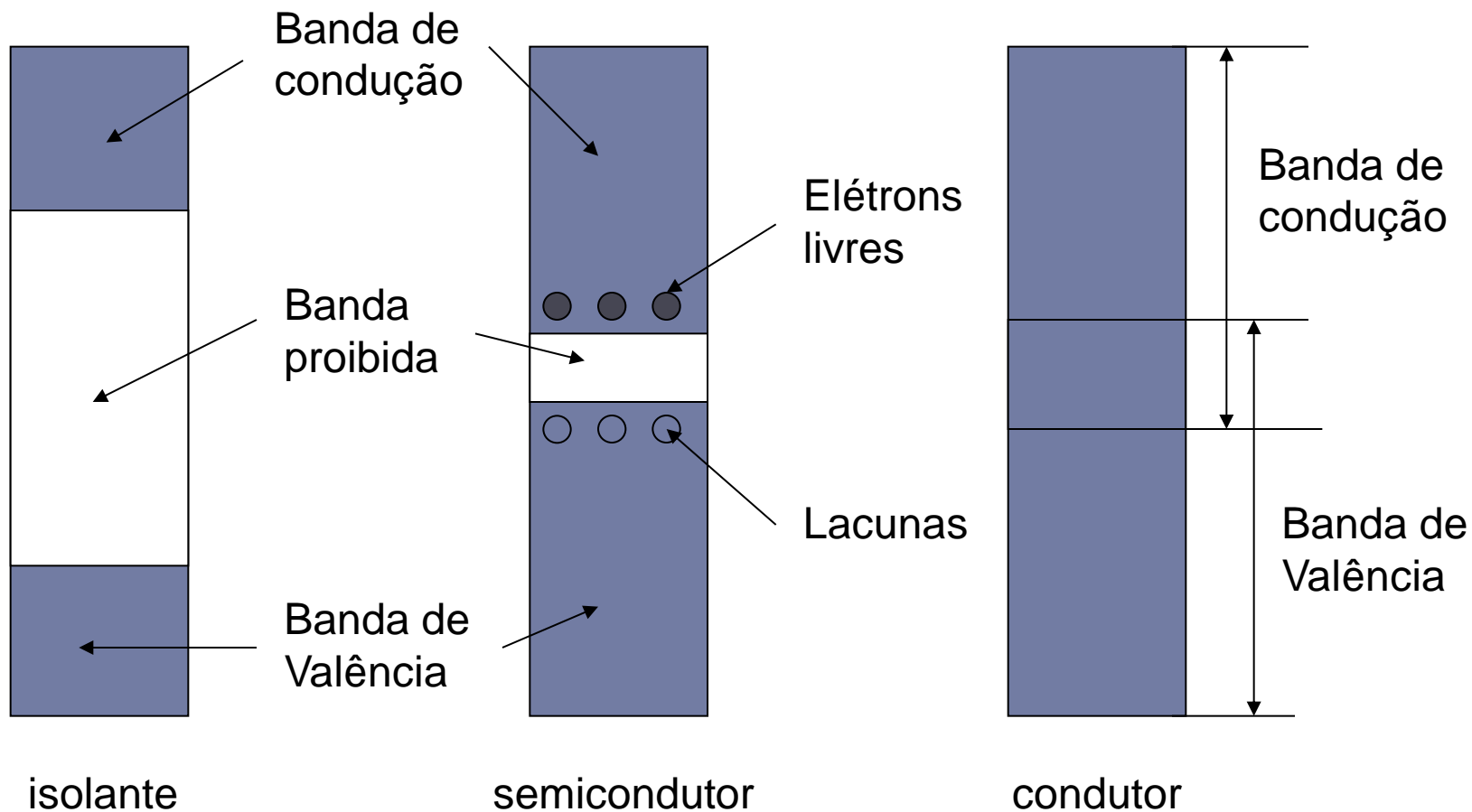


Curiosidades.

- ▶ Em teoria, um processador, ou até mesmo um circuito integrado, poderia chegar a mais de 500 GHz. O silício, por sua vez, trabalha abaixo de 5 GHz.
- ▶ O uso de grafeno proporcionaria equipamentos cada vez mais compactos, rápidos e eficientes, mas o grafeno é tão bom condutor que ainda não se sabe como fazer com que pare de conduzir, formando assim o sistema binário.
- ▶ Os trabalhos revolucionários sobre o grafeno valeram o Nobel da Física de 2010.
- ▶ Uma das aplicações mais recentes do grafeno foi a criação em laboratório de supercapacitores, que podem ser utilizados em baterias e carregam mil vezes mais rápido que as baterias de hoje em dia.



Estrutura de bandas de energia



Exercícios

1. Quais as principais classes de materiais usados em engenharia?
2. Lista alguns materiais normalmente encontrados em engenharia.
3. Defina o que são materiais conjugados ou compósitos.
4. Dê exemplos de materiais que foram substituídos por outros em determinadas aplicações industriais. Explique as razões de tais substituições.



-
- ▶ 5. Atualmente, diversos componentes de motores de combustão são confeccionados a partir de materiais cerâmicos. Qual a principal vantagem do emprego desses materiais neste caso?
 - ▶ 6. Considere um computador moderno. Pesquise os novos materiais envolvidos na construção dos mesmos.

