

Aula # 2 – Materiais Semicondutores

Bartolomeu J. Ubisse
&
Hélder Marrenjo

Universidade Eduardo Mondlane
Faculdade de Ciências
Departamento de Física

2017

Conteúdos

- 1 Objectivos e Métodos
- 2 Átomo e Níveis Energéticos
- 3 Bandas Energéticas
- 4 Semicondutores e outros Materiais
- 5 Tarefas individuais
- 6 Bibliografia

Objectivos e Métodos

Objectivos

No final desta sessão, os estudantes devem:

- 1 Explicar o processo de surgimento de bandas energéticas num cristal;
- 2 Distinguir semicondutores dos outros materiais;
- 3 Explicar o processo de dopagem e seu papel no fabrico de dispositivos electrónicos.

Métodos

- Elaboração conjunta.

Átomo e Níveis Energéticos

- As substâncias que se encontram à nossa volta são todas resultantes de rearranjos atómicos.

★ Então, porque algumas substâncias (eg. metais) conduzem electricidade e outras (eg. madeira) não?.

- A resposta para esta questão acenta-se no facto de algumas substâncias possuírem nas suas estruturas portadores de carga livres e outras não. No entanto, o entendimento de existência ou não destes portadores parte do conhecimento de como é que os electrões e protões encontram-se organizados no seio das substâncias e/ou átomos.

Átomo e Níveis Energéticos

- As substâncias tem átomos como seus elementos básicos e, estes por sua vez, são compostos por prótons, neutrões e electrões.

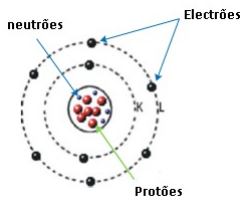


Figura 1: Composição do átomo

- Os átomos isolados apresentam **níveis de energias discretos** associados a cada electrão e à sua respectiva órbita. Entre esses níveis energéticos não existem nenhum electrão.

Bandas Energéticas

- Quando vários átomos inicialmente isolados são por meios tecnológicos postos juntos, para formarem um cristal, os electrões de um átomo interagem com os dos outros átomos vizinhos.
- Nessa interacção, alguns electrões deixam de ser localizados nos seus átomos iniciais e passam a pertencer ao cristal no seu todo e, como consequência, ocorre um alargamento dos seus níveis energéticos dando origem a bandas energéticas.
- O alargamento começa com os níveis mais externos visto que estes são os mais perturbados pelos electrões dos átomos vizinhos e procede para os níveis internos á medida que se vai diminuindo¹ o espaçamento interatômico.

¹A diminuição ocorre até se atingir o espaçamento de equilíbrio

Bandas Energéticas

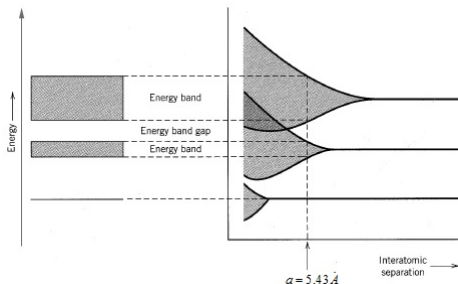


Figura 2: Alargamento do nível energético

- No que diz respeito à estrutura interna da banda energética, esta consiste de "N" níveis energéticos. Porém, a distância média entre dois níveis consecutivos é muito pequena ($\sim 10^{-23} \text{ eV}$) pelo que, esta quantização é desprezível e por via disso, a banda energética é tratada como **contínua**.

Bandas de Valência e de Condução

- Os átomos que formam os cristais contêm vários níveis e, visto que cada um deles sofre um alargamento que vai resultando em uma banda, sucede que a quantidade destas bandas também é muita. Entretanto, somente duas bandas são fundamentais para análise de cristais quanto à possibilidade de conduzir electricidade.

Tais bandas são:

- 1 Banda de valência;
 - 2 Banda de condução.
- Banda de valência — resulta de alargamento dos níveis de electrões de valência.
 - Banda de condução — resulta de alargamento do primeiro estado excitado.

Semicondutores e outros Materiais

Em alguns materiais, as bandas de valência (BV) e de condução (BC) encontram-se separadas por uma faixa sem nenhum estado energético aceitável que se designa de banda de energia proibida (E_g) como é o caso dos **semicondutores e isoladores** conforme a fig.

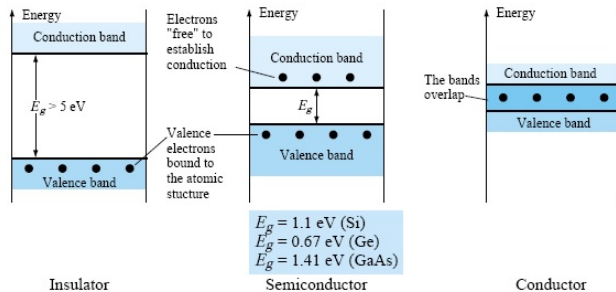


Figura 3: Bandas de valência e de condução de materiais ($T=300\text{k}$)

Semicondutores e outros Materiais

Material	Características
Condutores	<ul style="list-style-type: none">- Banda de condução parcialmente ocupada (eg. Cu) ou existência de bandas sobrepostas (eg. Zn, Pb);- Baixa resistividade que aumenta com aumento da temperatura;- $E_g \leq 0\text{eV}$
Isoladores	<ul style="list-style-type: none">- Banda de valência totalmente ocupada e banda de condução totalmente vazia- Electrões de valência fortemente ligados aos átomos vizinhos- $E_g > 5\text{eV}$
Semicondutores	<ul style="list-style-type: none">- $0.6 \leq E_g < 5\text{eV}$- possuem uma geração térmica a 300K

Classificação de Semicondutores

Tabela 1: Materiais Semicondutores.

Classificação geral	Exemplos específicos
Elementar	Si e Ge
Compostos (III-IV)	AlP, AlAs, GaN, GaP, GaAs GaSb, InP, InAs, InSb, SiC
Composto (II-IV)	ZnO, ZnS, ZnSe, ZnTe CdSe, CdTe, HgS, CdS
Ligas	$Al_x Ga_{1-x} As$, $GaAs_{1-x} P_x$ $Ga_x In_{1-x} As_{1-y} P_y$, $Hg_{1-x} Cd_x Te$

Semicondutores intrínseco e extrínsecos

Semiconductor Intrínseco

- Aquele que por meios tecnológicos foi devidamente refinado de tal forma que apresente uma quantidade de **impurezas e/ou defeitos desprezíveis**.
- Ele possui uma baixa concentração de portadores livres a temperatura ambiente ($T=300K$). Por exemplo, a essa temperatura, o silício apresenta uma concentração intrínseca de $1.5 \times 10^{10} cm^{-3}$, quantidade relativamente inferior para que possa conduzir uma electricidade considerável, pois, para tal, $n(Si)_{300k} = 5.0 \times 10^{23} cm^{-3}$
- $n = p = n_i$, visto que cada electrão livre deixa uma lacuna na BV

Semicondutores intrínseco e extrínsecos

Semicondutores extrínsecos

- É aquele s/cond. que já foi submetido ao processo de **dopagem**² com vista a se melhorar de uma forma controlada a sua **condutibilidade**.
- **A escolha da impureza depende do tipo de portadores de carga** que se pretende que seja maioritário e/ou minoritário. Por exemplo, pode-se desejar que os maioritários sejam as lacunas e os electrões como minoritários assim como o contrário.
- Assim, dependendo do tipo da impureza, o s/cond. extrínseco pode ser do tipo P ou do tipo n

²processo de introdução de impurezas numa rede cristalina inicialmente intrínseca

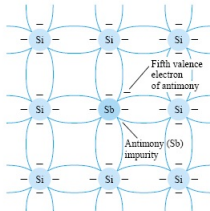
Semicondutores intrínseco e extrínsecos

S/cond. Extrínseco do tipo N

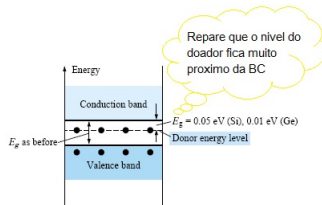
É aquele cujos portadores maioritários são electrões

II	III	IV	V	VI
4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O
12 Mg	13 Al	14 Si	15 P	16 S
30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se
48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te
80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po

i) Materials s/cond. elementares e Impurezas



ii) S/cond extrínseco do tipo N

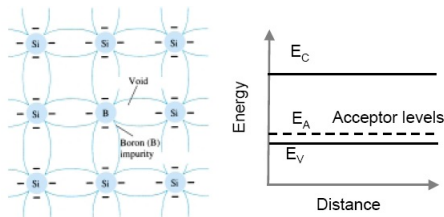


iii) Efeito da impureza doadora na estrutura de banda energetica

Semicondutores intrínseco e extrínsecos

S/cond. Extrínseco do tipo P

É aquele cujos portadores maioritários são lacunas



Nota: Um cristal s/cond. por mais que seja do tipo N ou P, é electricamente neutro. Isto resulta pelo facto de as cargas fixas referentes aos átomos das impurezas neutralizarem as cargas maioritárias.

Tarefas individuais

Resolva as questões referentes a aula # 2 e entrega dois (2) dias antes da aula seguinte (**faz parte das avaliações !**).

Bibliografia

- ① Robert Boylestad & Louis Nashelsky. *Electronic Devices and Circuit Theory*. Seventh Edition.
- ② R.F. Pierret, G.W. Neudeck. *Modular Series on Solid State Devices, Advanced Semiconductor Fundamentals*. 2nd Edition.
- ③ Sedra A. S & Smith K.C (2000) *Microelectrônica*. 4^a Edição. São Paulo, Brasil.
- ④ Simon M. Sze (2001). *Semiconductor Devices, Physics and Technology*. John Wiley & Sons, 2nd Edition.