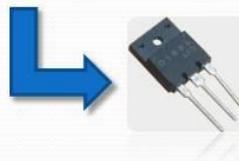


Semicondutores: uma introdução teórica

Ivan de Paula Miranda, 6435159
Uiran Umbelino da Silva, 6434694
Professor: Marcelo G. Munhoz

Semicondutores

- Interessantes pela sua ampla utilização em dispositivos eletrônicos. Exemplo: os **transistores**.



- Caracterizam-se por ter um *intervalo de energia* entre as bandas de *Condução* e de *Valência* inferior a **2 eV** – e são considerados “isolantes” no zero absoluto.

Para o silício, $\epsilon_g = 1,14 \text{ eV}$

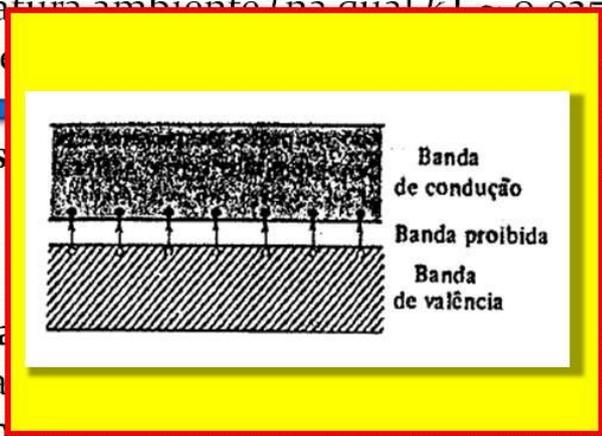
Para o germânio, $\epsilon_g = 0,67 \text{ eV}$

Semicondutores

- À temperatura ambiente (na qual $kT \approx 0,025 \text{ eV}$) o número de estados disponíveis na *Banda de Condução* é elevado  o que conduz à excitação de um **número significativo** de elétrons por energia térmica!
- Como à **baixas temperaturas** a *Banda de Valência* está quase totalmente ocupada, cada excitação deixa um “buraco” nela, que funcionam como **portadores de carga positiva**.

Semicondutores

- À temperatura ambiente (na qual $kT \approx 0,025 \text{ eV}$) o número de estados disponíveis na *Banda de Condução* é elevado  o que conduz à excitação de um **número significativo** de elétrons por energia térmica!
- Como à **baixas temperaturas** a *Banda de Valência* está quase totalmente ocupada, cada excitação deixa um “buraco” nela, que funcionam como **portadores de carga positiva**.



Semicondutores

- Há **dois** tipos de semicondutores:

Intrínsecos

- Conductividade proveniente apenas de **excitações térmicas!**

Reforço
externo de
condutividade



Extrínsecos

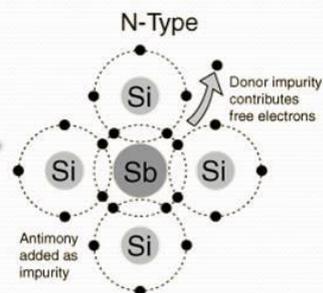
- Fotocondutores*: energia proibida é **equivalente** à região do infravermelho.
- Processos de dopagem*: adição de impurezas do **mesmo tamanho** ao semicondutor.

Semicondutores extrínsecos

- Quando há a **substituição** de alguns átomos de uma amostra por átomos de outro elemento (com **valência diferente**), ocorre a formação de semicondutores:

Tipo-n

- A substância de dopagem é formada por átomos com **elétrons de valência a mais**.
- Os elétrons em comum são ligados (de forma *covalente*), e o restante ficará **fracamente ligado** em uma "órbita" de raio grande, próxima a *Banda de Condução* (níveis dos *doadores*) – facilmente ionizável.

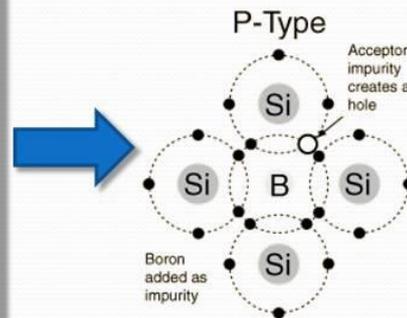


Semicondutores extrínsecos

- Quando há a **substituição** de alguns átomos de uma amostra por átomos de outro elemento (com **valência diferente**), ocorre a formação de semicondutores:

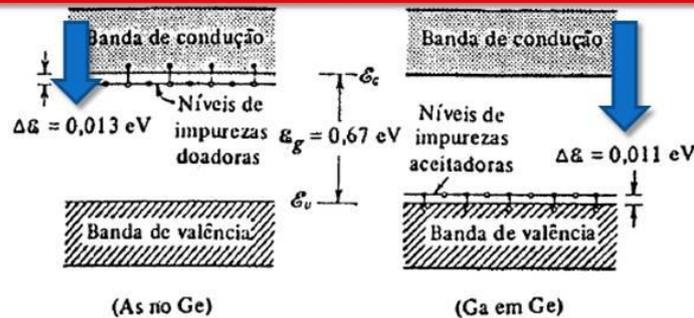
Tipo-p

- A substância de dopagem é formada por átomos com **elétrons de valência a menos**.
- Surgem *lacunas*, que se comportam como **cargas positivas**. Essas podem ser ocupadas por elétrons vizinhos, que criam outros "buracos". A corrente se dá por esse fluxo de carga **sucessivo** – e induz-se a criação de um **níveis vazios** (dos *aceitadores*), acima da *Banda de Valência*.



Semicondutores extrínsecos

Observe que as energias são comparáveis a $kT \approx 0,025 \text{ eV}$



À esquerda: Diagrama esquemático de níveis de energia de um cristal de germânio contendo átomos de impurezas doadoras. À direita: Contendo átomos de impurezas aceitadoras.

A diferenciação entre tipo-n e tipo-p é determinada por **Efeito Hall**.

Energia de Fermi

- Dada a definição matemática para a *distribuição de Fermi*:

$$n(\varepsilon) = \frac{1}{e^{(\varepsilon - \varepsilon_F)/kT} + 1}$$

- A *energia de Fermi* (ε_F) é definida como aquela para a qual o **número médio** de elétrons que ocupam um estado quântico é $\frac{1}{2}$, em uma escala de 0 a 1.

Energia de Fermi

- Assim, em relação à *energia de Fermi*, podem ocorrer as seguintes situações, de acordo com o tipo de semicondutor:

Intrínsecos

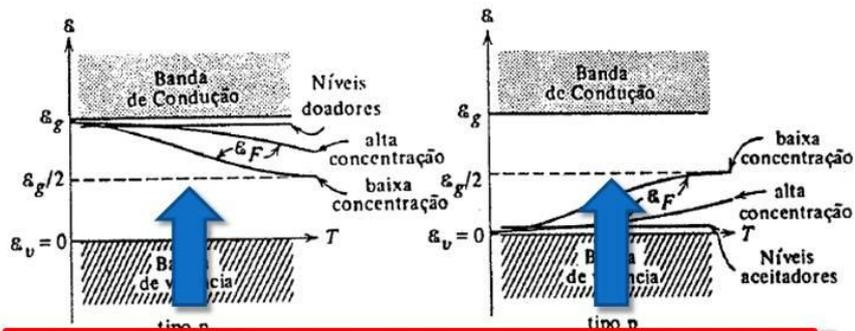
- Se a densidade de estados nas duas bandas for **simétrica**, a *energia de Fermi* se situará no meio do intervalo de energia proibida ($\varepsilon_F = \frac{\varepsilon_g}{2}$).



Extrínsecos

- Ocorre um **efeito combinado** da temperatura e das impurezas na *energia de Fermi*. Para um semicondutor contendo *doadores*, ela se situa acima do meio. Caso contrário, abaixo.

Energia de Fermi



Observe que ambos **convergem** para o meio do intervalo.

duas concentrações diferentes de impurezas. À direita: Em semicondutores do tipo *p* para duas concentrações diferentes de impurezas.