

# Aula 13 – Semicondutores

---

Prof. Luis Gregório Dias

## Sumário

Introdução .....	1
Semicondutores. ....	1
Exemplo de semicondutor: Arseneto de Gálio (GaAs) .....	2
Interação do semicondutor com a luz .....	3
O que veremos a seguir: .....	4

## Introdução

Nesta aula, falaremos sobre [semicondutores](#). Como você pode acompanhar na vídeo-aula, fizemos uma visita a laboratórios do Instituto de Física da USP para mostrar como são produzidos cristais semicondutores e que tipo de aplicações esses materiais tem. O vídeo explica o crescimento através do método de epitaxia por feixe molecular. Na parte final do vídeo, veremos como ocorre a absorção de luz (laser no caso) nesses materiais.

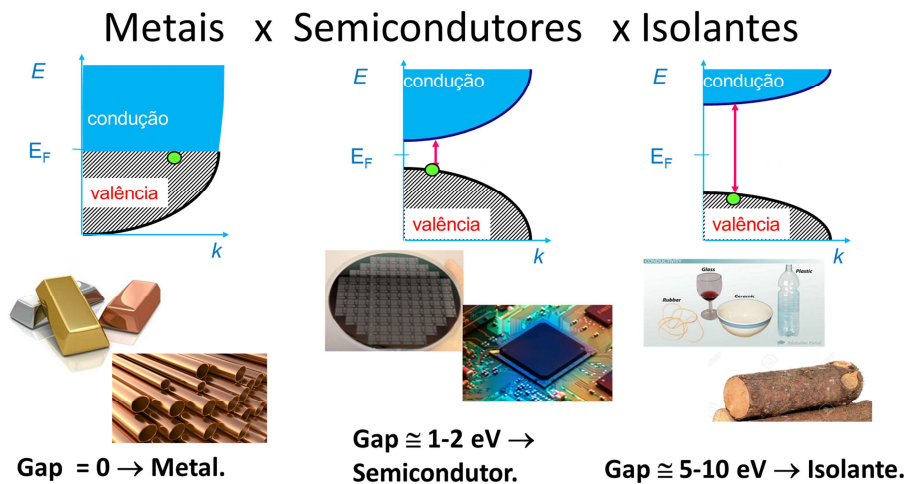
## Semicondutores.

Como vimos na Aula 11, a estrutura de bandas e seu preenchimento determinam várias das propriedades elétricas de materiais cristalinos. Isto porque processos de transporte tais como [condução de corrente elétrica](#) e [condução de calor](#) são dominados pelos [elétrons com energia próxima à energia de Fermi](#) que recebem energia adicional e assim são “promovidos” para a banda de condução.

No caso de isolantes e semicondutores, a banda de valência está totalmente preenchida e é separada da banda de condução por um gap de energia. Assim, há um “custo energético” de valor igual ou maior que o gap para esta promoção. Em [semicondutores](#), este “custo energético”, dado pelo o valor do gap, é da ordem [de 1 a 2 elétron-volts \(eV\)](#), embora possamos ter semicondutores com gap maior, os chamados *semicondutores de wide-gap*.

Este gap menor permite um maior controle das propriedades elétricas dos semicondutores. Por exemplo, é possível, através da introdução de impurezas na estrutura cristalina, criar estados dentro do gap em semicondutores. Isto permite criar dispositivos em que a passagem de uma corrente elétrica pelo material é controlada por parâmetros externos como potenciais elétricos. Este tipo de propriedade torna os semicondutores bastante usados na indústria eletrônica.

As diferenças entre metais, isolantes e semicondutores estão ilustradas na Figura 1 abaixo, em que são mostradas as bandas de energia e seu preenchimento em metais e isolantes.



**Figura 1: Metais, semicondutores e isolantes.**

### Exemplo de semicondutor: Arseneto de Gálio (GaAs)

Nesta aula, vamos aprender como é formado o cristal semicondutor Arseneto de Gálio (GaAs). Este material é formado por átomos de Arsênio (As) e de Gálio (Ga) formando uma estrutura cristalina chamada **blenda de Zinco**, como mostrado na Figura 2.



**Figura 2: Estrutura cristalina do GaAs.**

Nesta estrutura, os átomos de Ga e As estão dispostos nos vértices de um tetraedro e se ligam de forma alternada (um átomo de Ga está ligado a outros 4 átomos de As e vice-versa). A estrutura é parecida com a estrutura do diamante (que vimos na Aula 11), com a diferença que aqui temos dois tipos de átomos ao invés de apenas um.

### Crescimento de cristais de GaAs

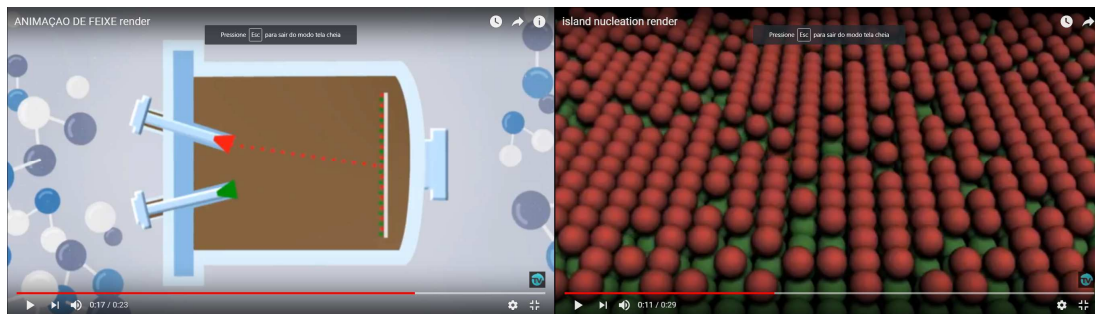
Um dos métodos utilizados para combinar os átomos de Ga e As para formar esta estrutura cristalina é a técnica de crescimento por **epitaxia de feixe molecular** (MBE). Neste método, “feixes” de átomos de Ga e As são direcionados a um substrato

montado em um “alvo” dentro de uma câmara de ultra-alto vácuo (UHV) a uma temperatura controlada. À medida em que os átomos colidem com o alvo, a estrutura vai se formando, como mostrado nas animações abaixo

[Incluir o link das animações na página]

<https://youtu.be/z14OQxPio-s>

<https://youtu.be/Ba-9MoGRSRQ>



### Estrutura de bandas do GaAs

Os átomos isolados de Ga e As tem níveis 4p parcialmente preenchidos, como mostra a Figura 3. Ao se combinar estes átomos, ocorrem hibridizações entre os orbitais atômicos (particularmente s e p), que levam ao aparecimento de bandas completamente preenchidas separadas de banda vazia por um gap de aproximadamente 1,42 eV. (vide Figura 3). Como discutimos acima, isto configura o GaAs como um semiconductor.

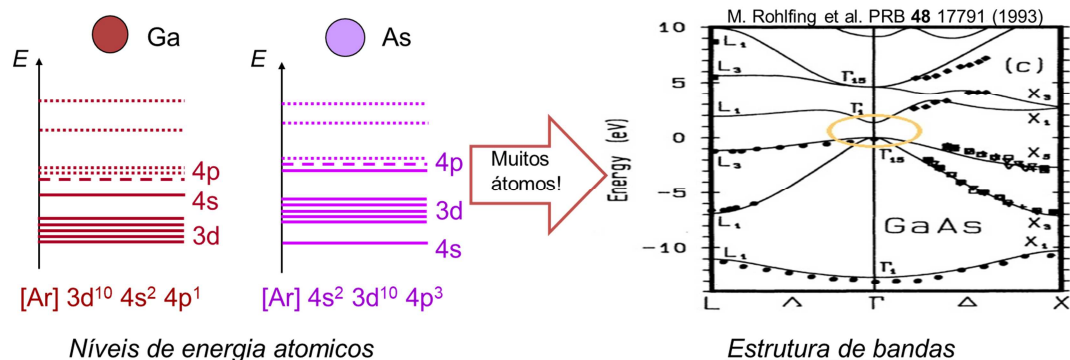


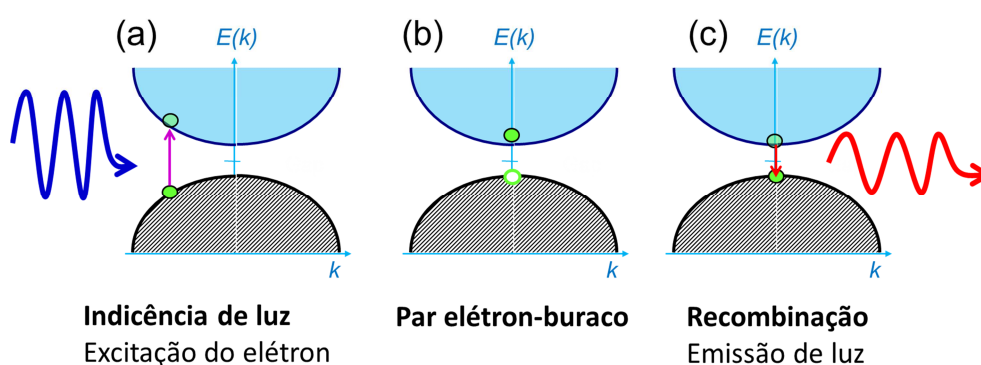
Figura 3: Estrutura de bandas do GaAs

### Interação do semiconductor com a luz

Por fim, mencionaremos o que ocorre quando incidimos luz sobre o cristal semiconductor, como mostrado no final da video-aula. Como vimos no início do

curso, a descrição da luz como sendo formada por partículas chamadas *fótons* é um dos primeiros grandes avanços da Teoria Quântica. A energia dos fótons é diretamente relacionada à sua frequência (ou “cor”) pela equação  $E_\nu = h\nu$  onde  $\nu$  é a frequência e  $h$  é a [constante de Planck](#)  $h = 4,1357 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ . Através desta relação, podemos converter a frequência da luz (dada em Hz ou  $\text{s}^{-1}$ ) em energia e vice-versa.

Se os fótons da luz incidente tiverem uma energia acima da energia do gap do semiconductor, pode ocorrer a absorção de fótons pelo semiconductor. O resultado deste processo é o fornecimento da energia do fóton para um elétron na banda de valência, como mostrado na Figura 4-a. Com esta energia extra, o elétron é promovido para a banda de condução, deixando um “espaço vago” na banda de valência, denominado *buraco*. Esta é a formação do [par elétron-buraco](#).



**Figura 4: Absorção e emissão de luz em um semiconductor.**

Este par elétron-buraco tem uma dinâmica própria no material, podendo eventualmente perder energia por diferentes processos e espalhamentos. O valor mínimo da energia de um par elétron-buraco é o valor da energia do gap, como mostrado na Figura 4-b. Neste ponto, pode ocorrer o que chamamos de [recombinação](#): o elétron decai da banda de condução para a banda de valência, emitindo um fóton e “preenchendo” novamente o buraco. A energia do fóton corresponde precisamente à energia do gap.

## O que veremos a seguir:

Na última aula do curso, veremos o tópico de [supercondutividade](#). Visitaremos um outro laboratório do Instituto de Física da USP para ver, na prática, um supercondutor em funcionamento. Até a próxima aula!