



Sistemas Ópticos

Fontes de Luz

Roteiro

Aula 12

- *A luz...*
- *O fóton ...*
- *Formas de interação...*
- *Bandas de energia ...*
- *Semicondutores ...*
- *Referências...*

Introdução

A luz...

É uma onda eletromagnética que se propaga com velocidade de $3 \cdot 10^8$ m/s no vácuo e no ar atmosférico ($N_{AR} = 1$).

- *Características ondulatórias: reflexão, refração e dispersão;*
- *É policromática, ou seja, pode ser separada em λ ;*

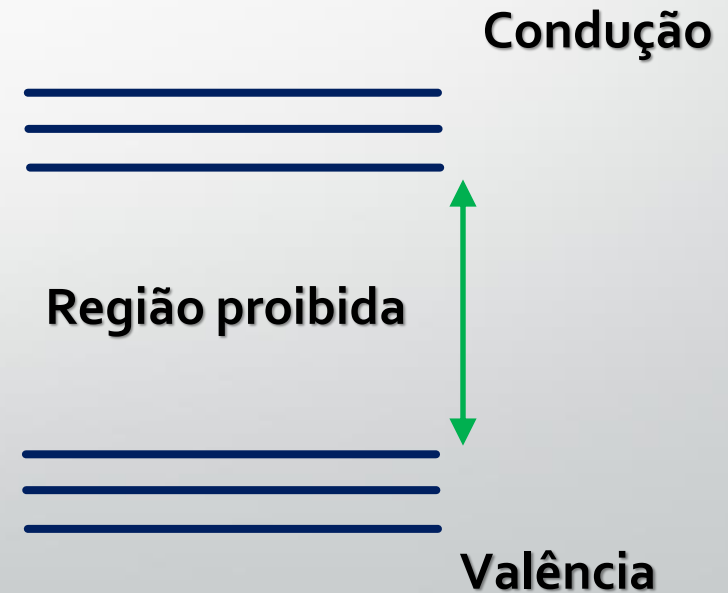
Fontes de Luz

Bandas de energia...

Em material semicondutor os elétrons ocupam níveis de energia que estão agrupados em duas bandas:

- *Banda de condução.*
- *Banda de valência.*

Cada banda possui \neq níveis de energia

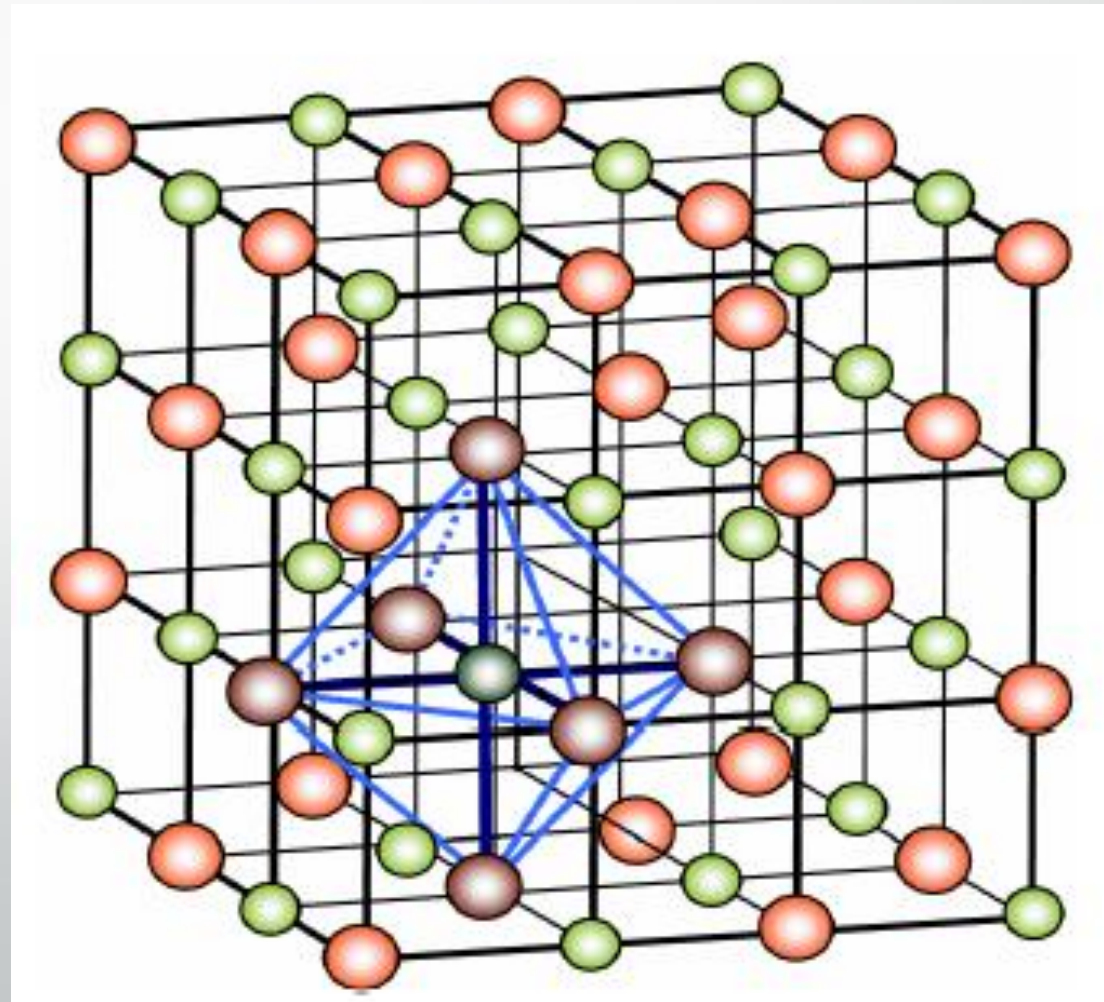


Fontes de Luz

Bandas de energia...

Os elétrons livres da banda de valência estão presos às ligações covalentes da rede cristalina.

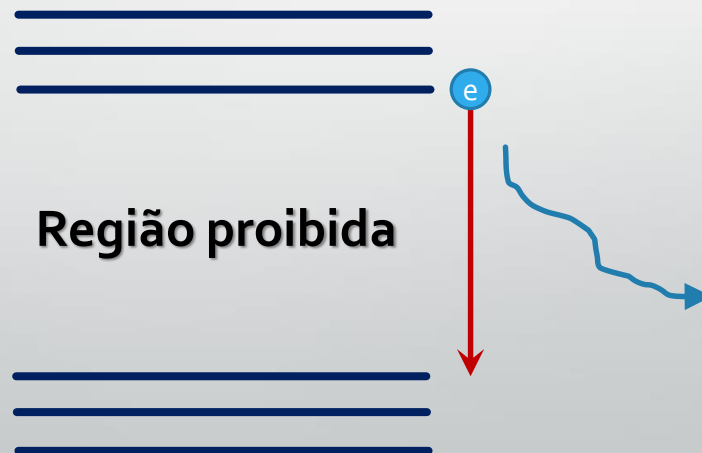
Os elétrons da banda de condução são livres para circular no material.



Fontes de Luz

O fóton...

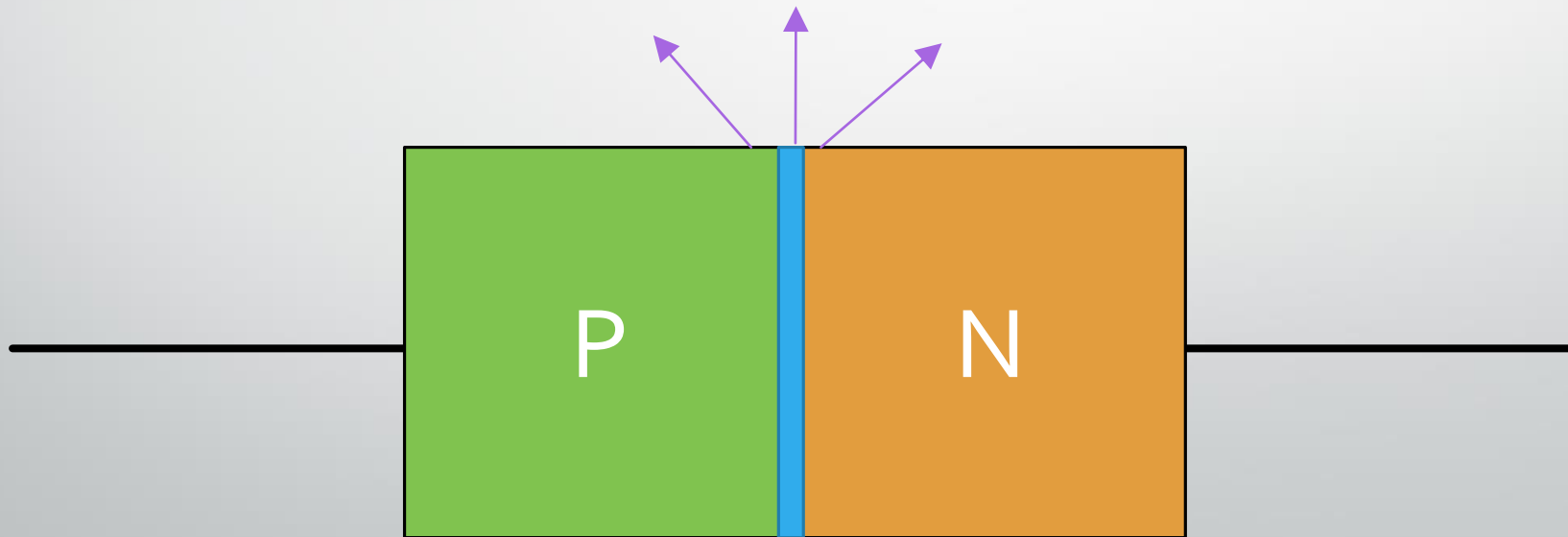
É um pacote de energia liberado pelo decaimento de um elétron da banda (ou camada) de condução para a banda de valência. A luz visível é composta por bilhões desses pequenos pacotes direcionados.



Fontes de Luz

Semicondutores...

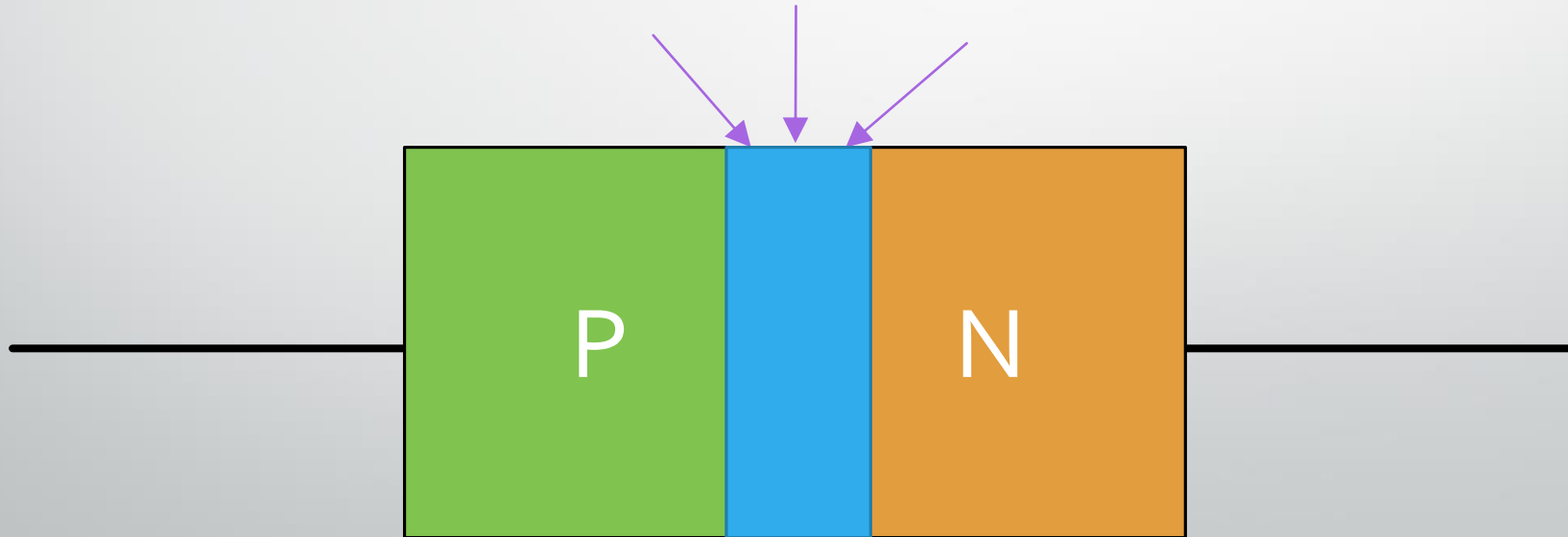
A luz nos semicondutores é gerada através da liberação de fótons nas recombinações (elétron-lacuna) – Polarização direta.



Fontes de Luz

Semicondutores...

A luz nos semicondutores é gerada através da liberação de fótons nas recombinações (elétron-lacuna) – Polarização inversa.



Fontes de Luz

Semicondutores...

São processos de interação luminosa com átomos de materiais:

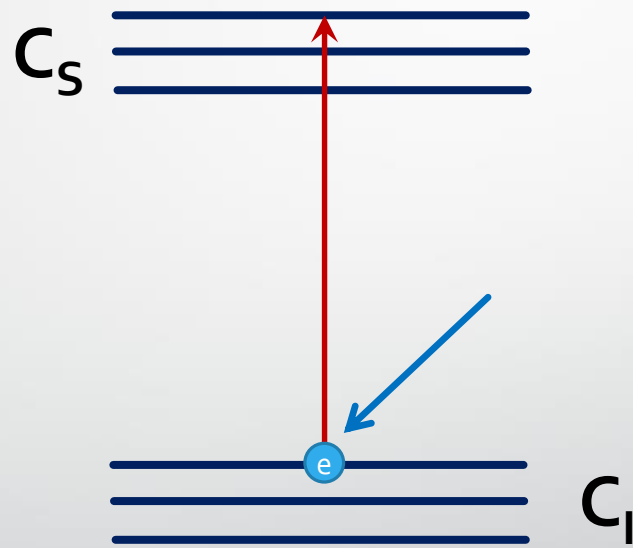
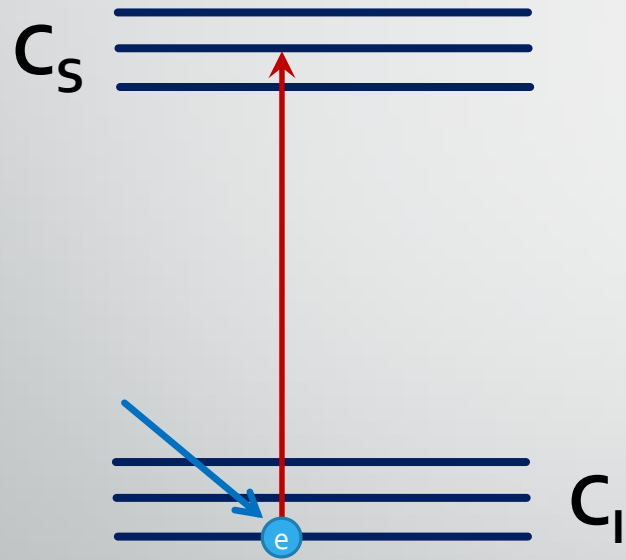
- *Absorção;*
- *Emissão espontânea; e*
- *Emissão estimulada.*

Interação

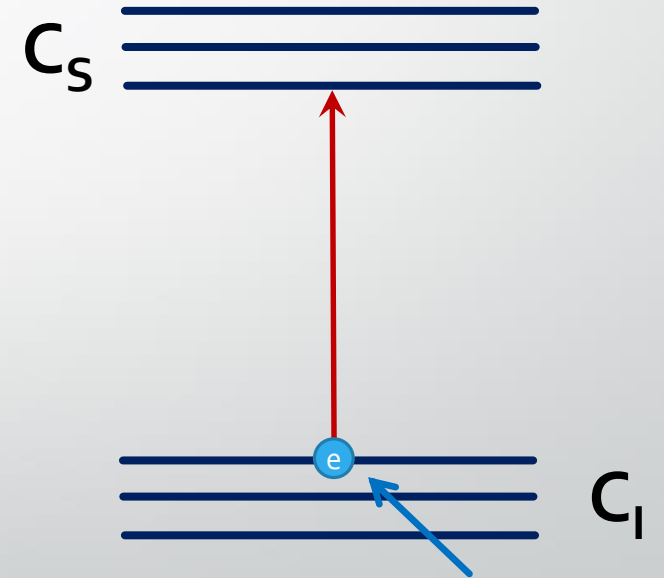
Absorção...

É um processo que ocorre quando um fóton cuja energia coincide com a diferença entre níveis de energia de transição em questão, colide com um átomo em no estado inferior. Essa interação entre o elétron na banda inferior faz com ele acelere e absorva energia suficiente para ir para a banda superior.

Absorção



Interação



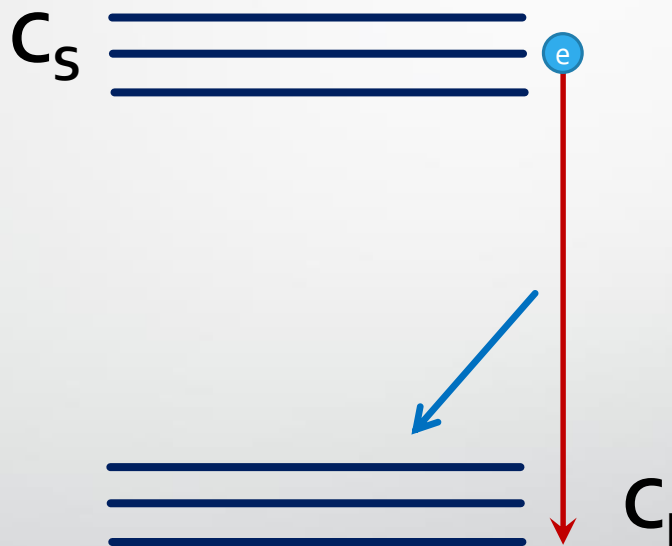
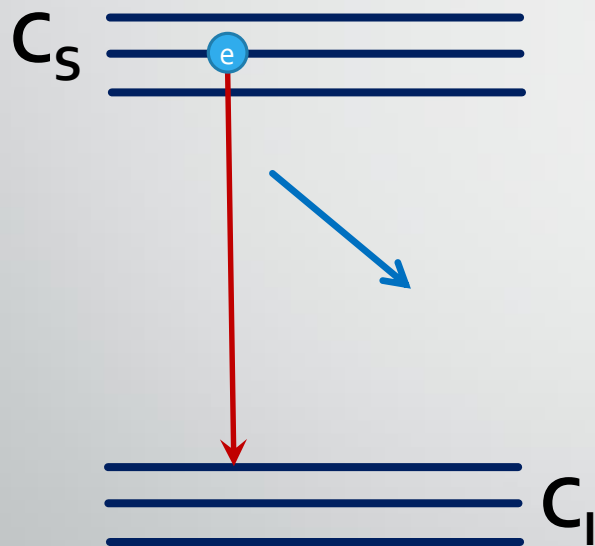
Interação

Emissão Espontânea...

É um sintoma da tendência de todos os átomos migrarem para o estado inferior de energia (equilíbrio). Nesse processo um átomo do estado superior decai, espontaneamente, para o estado inferior, e simultaneamente, emite um fóton cuja frequência corresponde à diferença entre os níveis de energia. A emissão espontânea depende do número de átomos do estado superior (C_S).

Interação

Emissão Espontânea...



Interação

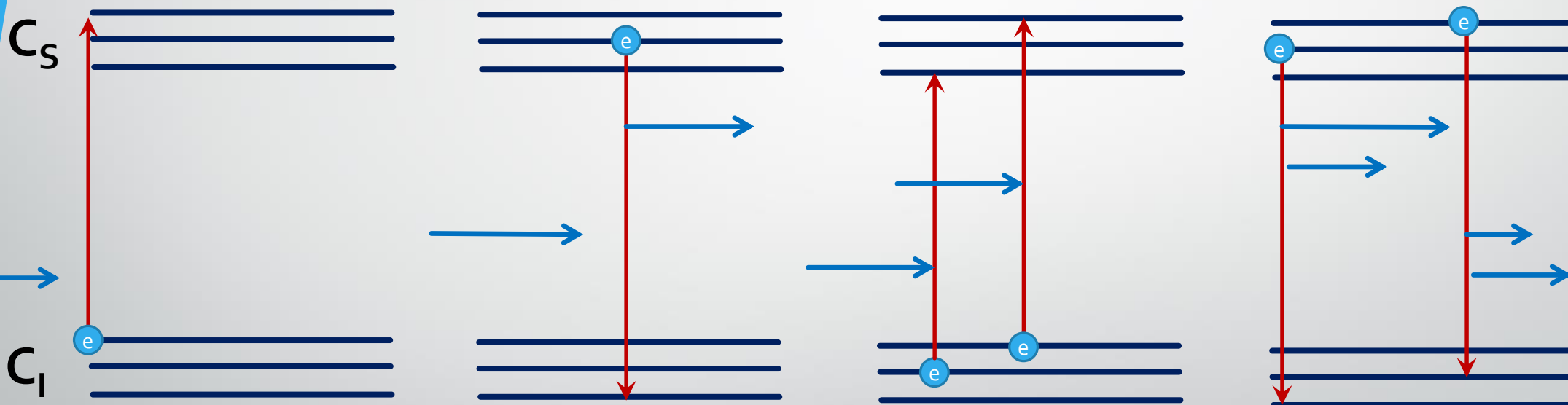
Emissão estimulada...

É o princípio que torna a amplificação óptica possível e também o LASER. A emissão estimulada resulta em átomos serem estimulados pelo campo óptico incidente a descenderem do estado superior de energia para o estado inferior, e emitirem um fóton com a energia apropriada para o processo.

Interação

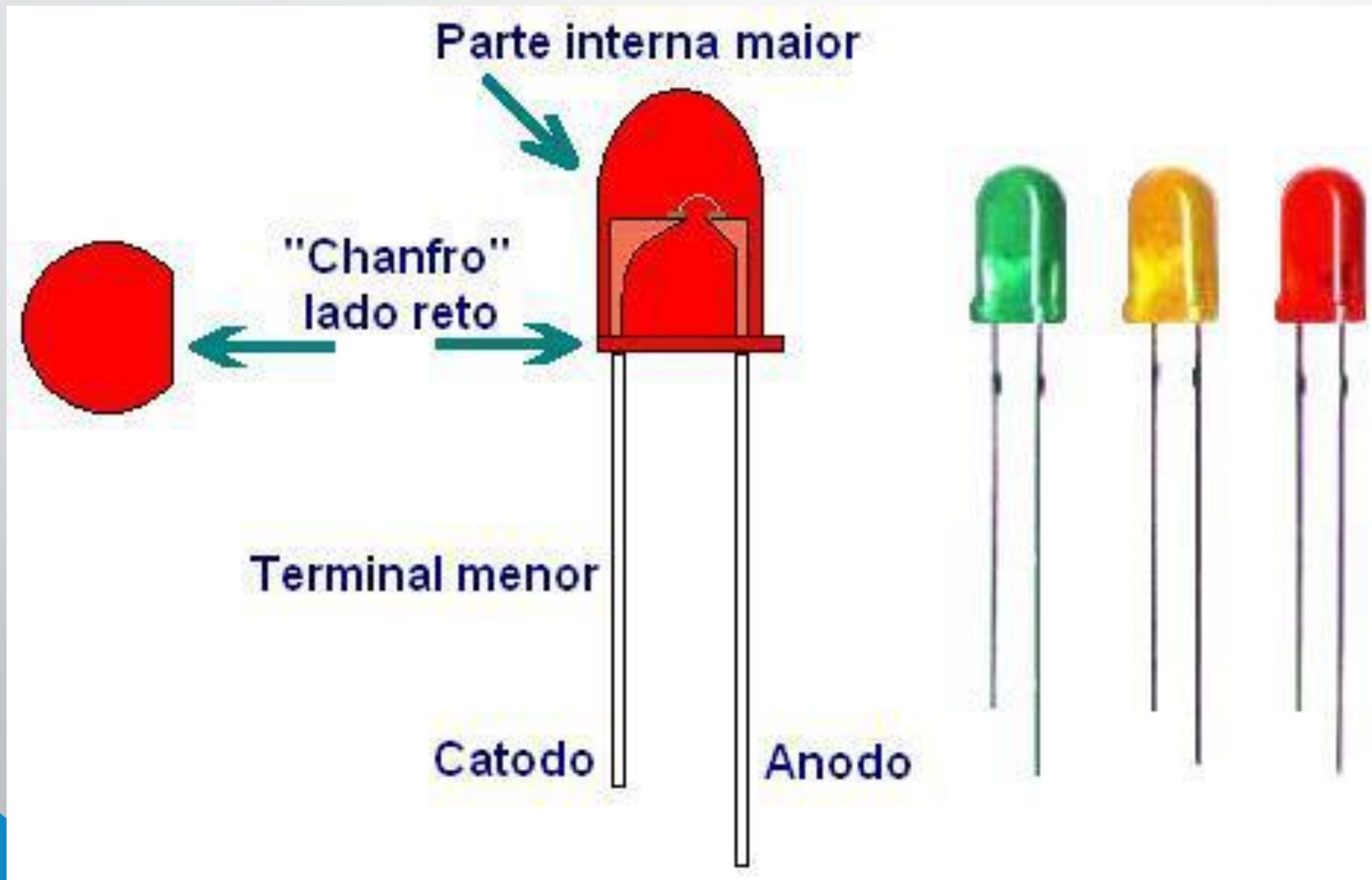
Emissão Estimulada...

$$C_S > C_I$$



Interação

LED



LED "Indicator"

Luz emitida

Ligação ao Ânodo

CHIP

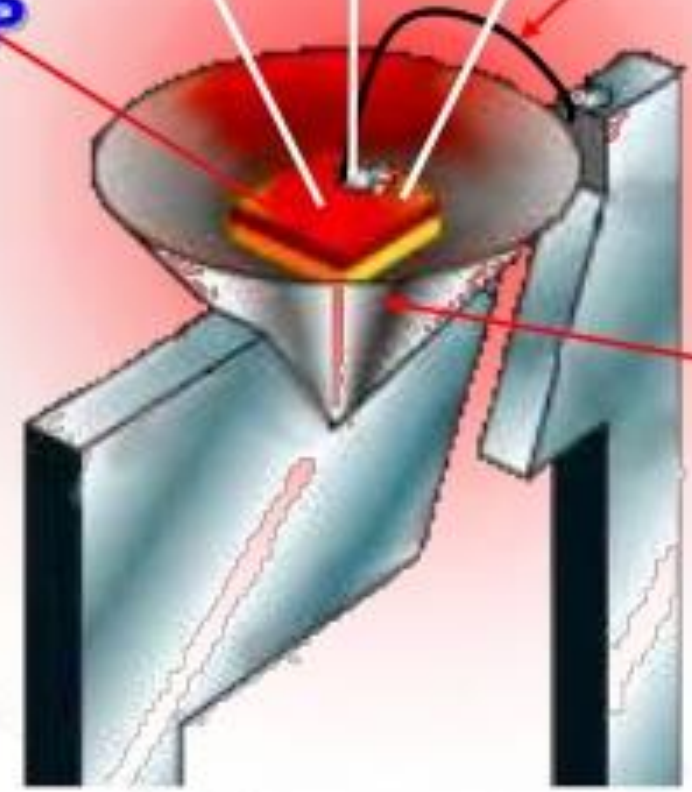
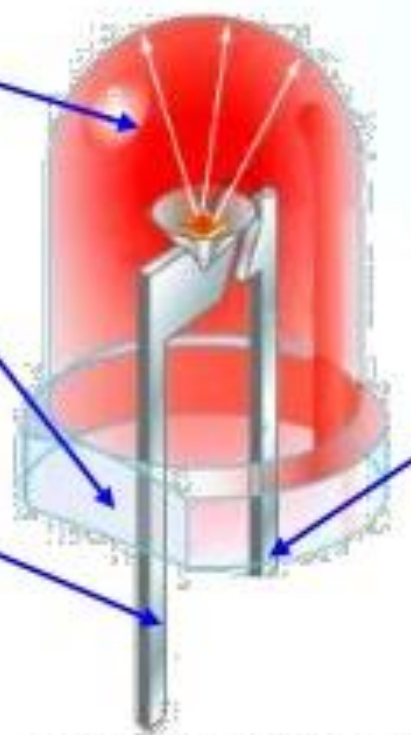
Ânodo (+)

Copo Reflector

Lente (epoxy)

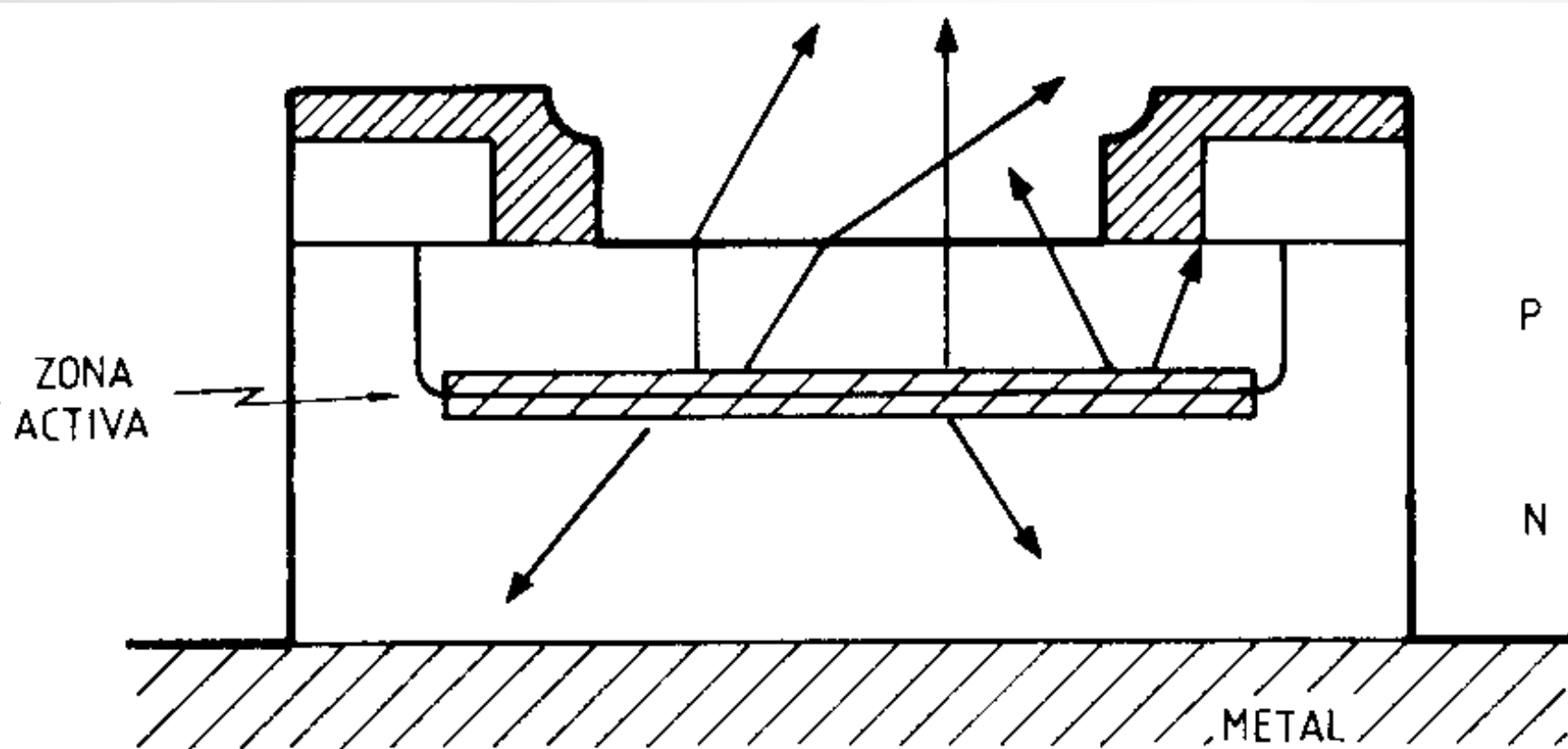
Chanfro

Cátodo (-)



Interação

LED



● Fig. 1.—Estructura de un LED.

Interação

GAP Energia E_g

O comprimento de onda dos fótons depende da diferença entre os níveis de energia da banda de condução e da banda de valência (**E_g**).

$$\lambda = \frac{hc}{E_g}$$

Também chamada de energia da banda proibida ao elétron.

Interação

GAP Energia E_g

$$\lambda = \frac{hc}{E_g}$$

onde:

λ comprimento de onda do fóton (***m***)

h constante de Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ ***J.s***)

c velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ ***m/s***)

E_g diferença entre níveis de energia da banda proibida (***eV***).

$1eV$ corresponde a energia para um elétron se deslocar ($1,602 \cdot 10^{-19}$ ***J***)

Interação

GAP Energia E_g

Perceba que o produto hc é sempre constante.

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{\lambda} / 1,602 \cdot 10^{-19} = \frac{1,24 \mu m}{\lambda} eV$$

Exemplo:

Diodo de Gálio possui $\lambda = 0,87 \mu m \rightarrow E_g = 1,43 eV$

Fosfato de Índio possui $\lambda = 0,92 \mu m \rightarrow E_g = 1,35 eV$

Interação

GAP Energia E_g

Exercício:

Qual a diferença máxima de energia entre bandas de condução e valência dos semicondutores que liberam luz nos λ de 1310nm e 1550nm?

Interação

GAP Energia E_g

Exercício:

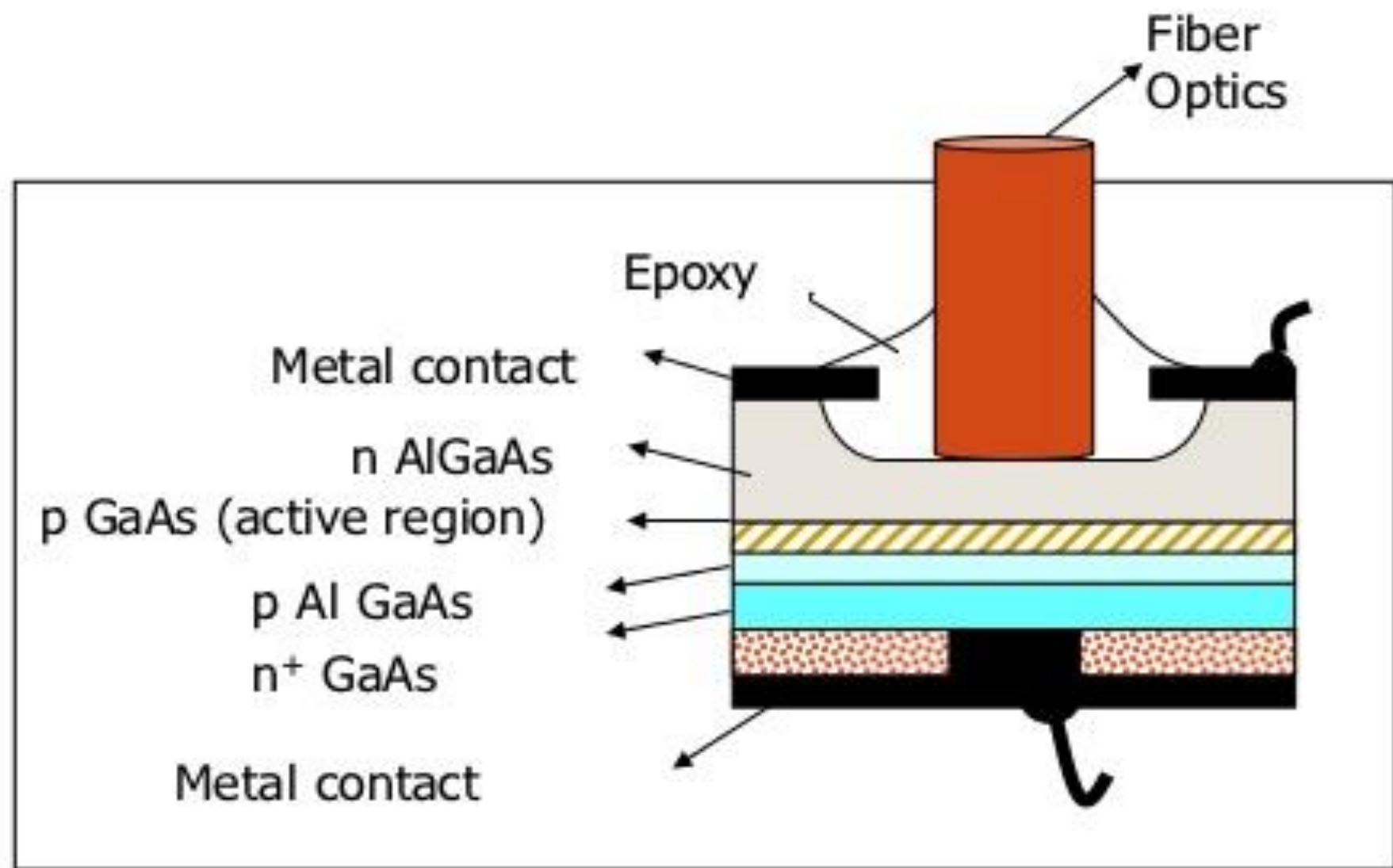
$$E_g = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1,24\mu m}{1310nm} = 0,94eV$$

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1,24\mu m}{1550nm} = 0,80eV$$

Dispositivos

LED de heterojunção

É um diodo onde a junção PN é formada por materiais que possuem estrutura com índices de refração diferentes divididas em múltiplas junções. A estrutura serve para direcionamento da luz, diminuindo o espalhamento e conseqüentemente aumentando o acoplamento óptico da fibra.



Double heterostructure

□ Burrus type LED

□ Shown bonded to a substrate with index-matching epoxy

LASER

Cavidade

Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation.

No diodo laser a intensidade luminosa é amplificada através da realimentação da luz gerada. O fóton gerado pela emissão espontânea interage com outro elétron na banda de condução, induzindo-o a recombinar-se com uma lacuna.

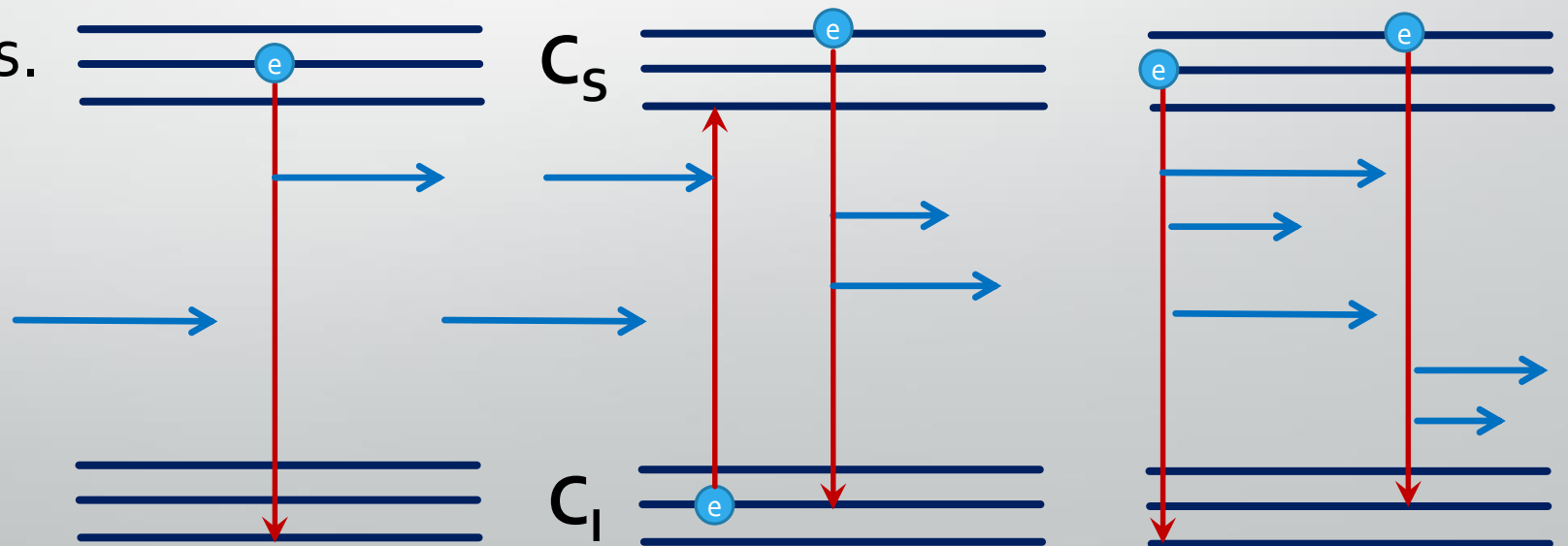
Cavidade

LASER

Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation.

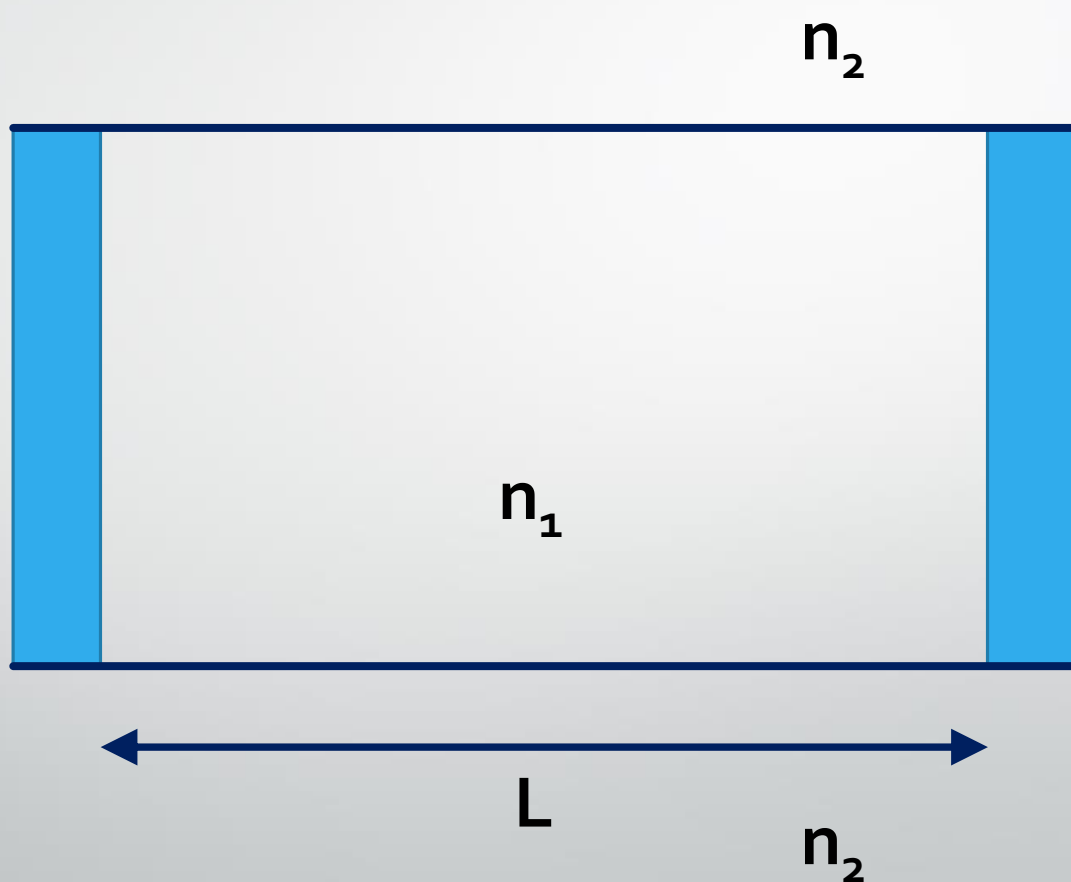
Essa indução é possível devido a estrutura do diodo que produz uma cavidade ressonante onde os fótons ficam confinados devido a sucessivas reflexões.

$$C_S > C_I$$



Cavidade

LASER



$$L = m \frac{\lambda}{2}$$

LASER

Cavidade

A região ativa do Laser e uma cavidade ressonante tipo ***Fabry-Perot***, delimitada por dois espelhos com reflexibilidade próxima de 100%. A maioria dos ftons que atingem os espelhos e refletida de volta para a região ativa e interagem com elétrons da banda de condução, gerando novos ftons.

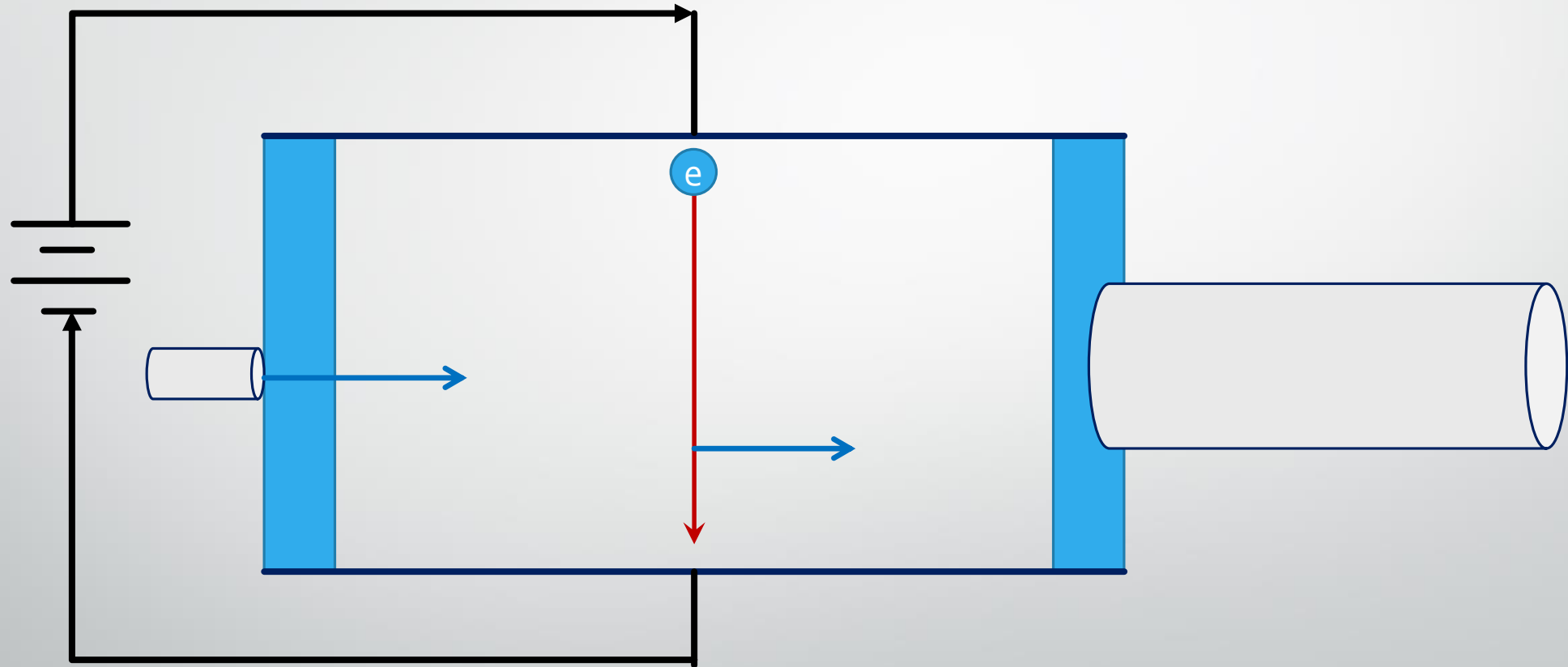
LASER

Cavidade

Estes novos fótons apresentam mesmo comprimento de onda do fóton que lhe deu origem. A recombinação foto-elétron também amplifica a intensidade luminosa, pois após a interação o elétron decai liberando dois fótons, o original e mais um).

Cavidade

LASER



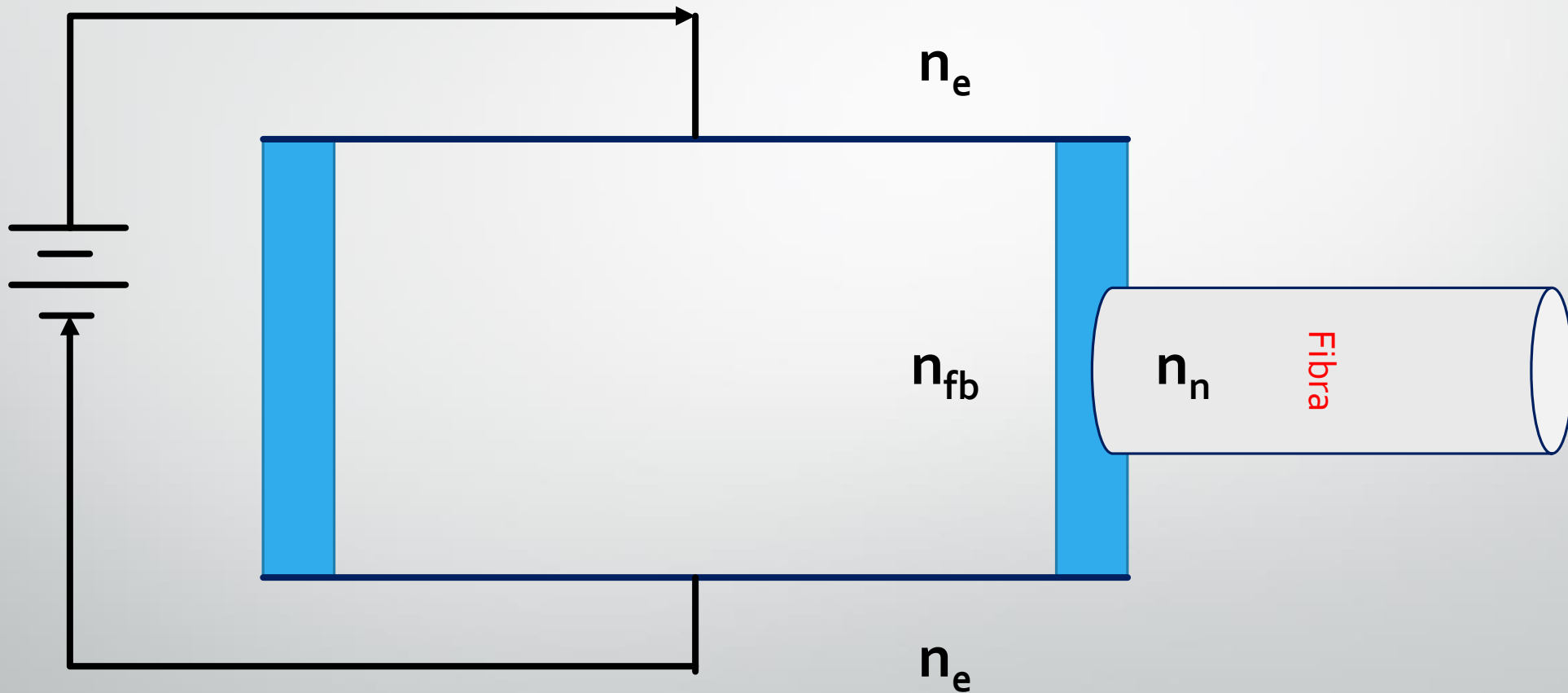
LASER

Interação

É um oscilador em frequência óptica que emprega algum tipo de realimentação positiva para estabilizar a operação do dispositivo. Na grande maioria, isso é conseguido com uma cavidade de frequência óptica do tipo *Fabry-Perot* (FP).

Interação

LASER



$$n_n > n_{fb} > n_e$$

LASER

Interação

A seleção de comprimento de onda na cavidade de FP torna a largura espectral do laser menor do que a dos LEDs e, mesmo na faixa de operação do laser apenas alguns comprimentos de onda são amplificados. Em função disso a luz do laser é mais coerente, possui menos comprimentos de ondas e diminui a dispersão nas comunicações ópticas, permitindo maiores distancias entre TX e RX e o emprego de maiores taxas de transmissão.