



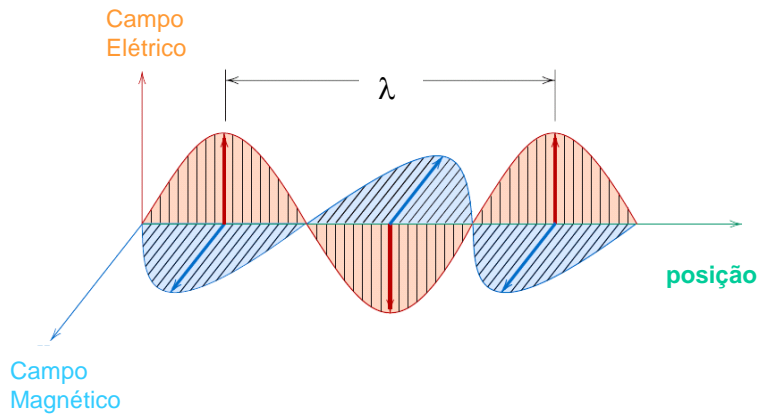
Propriedades Óticas



Tópicos

- Conceitos básicos de Eletromagnetismo para a Luz
- Interação da Luz com a Matéria Sólida - Interações Atômicas e Eletrônicas
 - Metais
 - Não-metais
- Propriedades: cor, opacidade, translucidez, transparência, refletividade.

Radiação Eletromagnética



$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

No vácuo

$$c = \lambda f$$

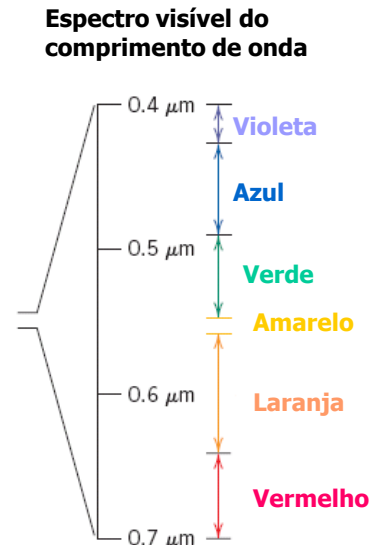
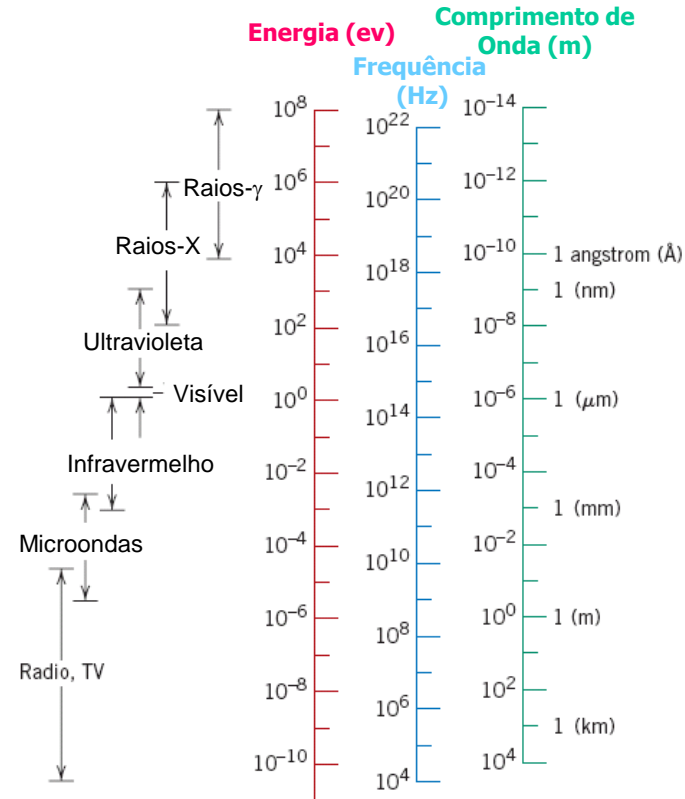
$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Em um meio material

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$

$$v = \lambda f$$

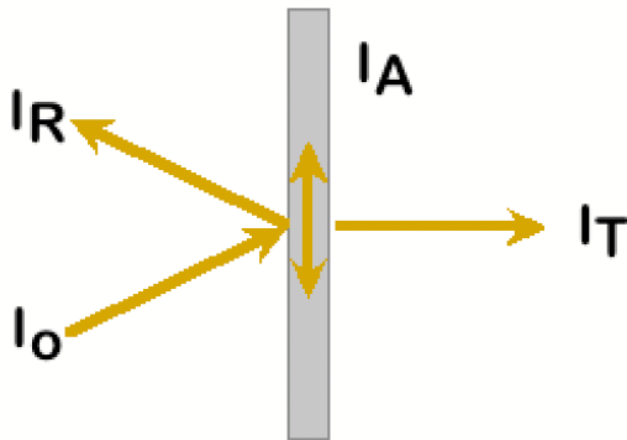
$$E = hf = \frac{hv}{\lambda}$$



Interação da Luz com Sólidos

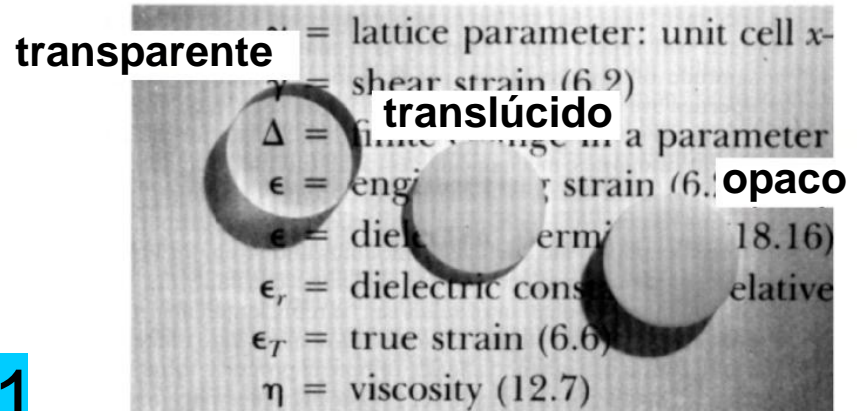
I = intensidade da luz

I_0 = intensidade da luz incidente



$$I_0 = I_T + I_A + I_R \equiv T + A + R = 1$$

- Na interação da luz com os sólidos pode acontecer:
 - Reflexão (R)
 - Absorção (A)
 - Transmissão (T)



Interações Eletrônicas e Atômicas

■ Polarização Atômica

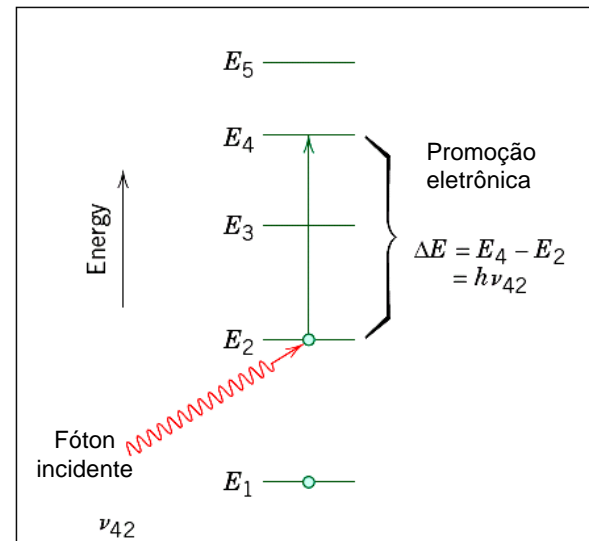
- O campo elétrico da onda interage com a nuvem de elétrons do átomo
- Conseqüências:

1) Parte da energia pode ser absorvida (calor/fônon)

2) A velocidade da onda diminui ao atravessar o meio (refração: $n = c/v$).

■ Polarização Eletrônica

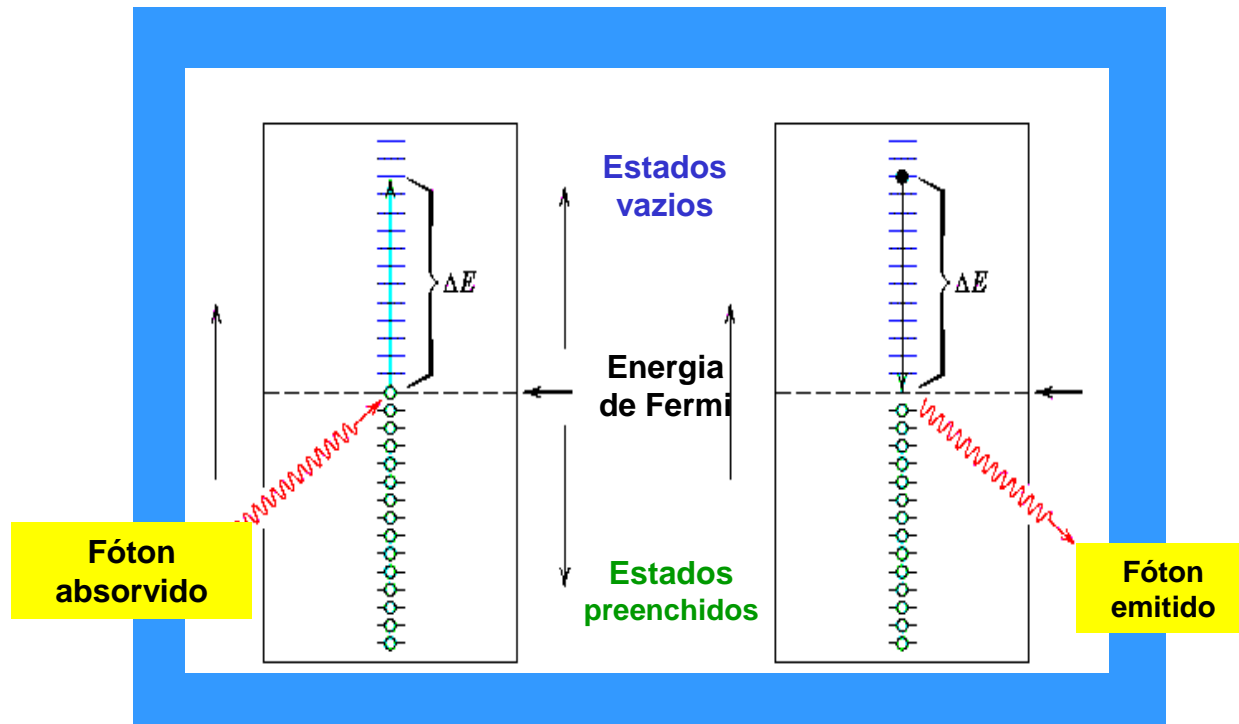
- A absorção e emissão de energia envolvem transições de elétrons entre níveis de energia.



Propriedades Óticas de Metais

Absorção é máxima

Energia absorvida é re-emitida a partir da superfície na forma de luz visível





Propriedades Óticas de Metais

continuação

- . Transmissão ≈ 0 ; .
- . Refletividade : (Σ luz refletida + luz re-emitida) $\sim 0,90 - 0,95$;
- . Fração de $\sim 0,1 \rightarrow$ dissipada em forma de calor.

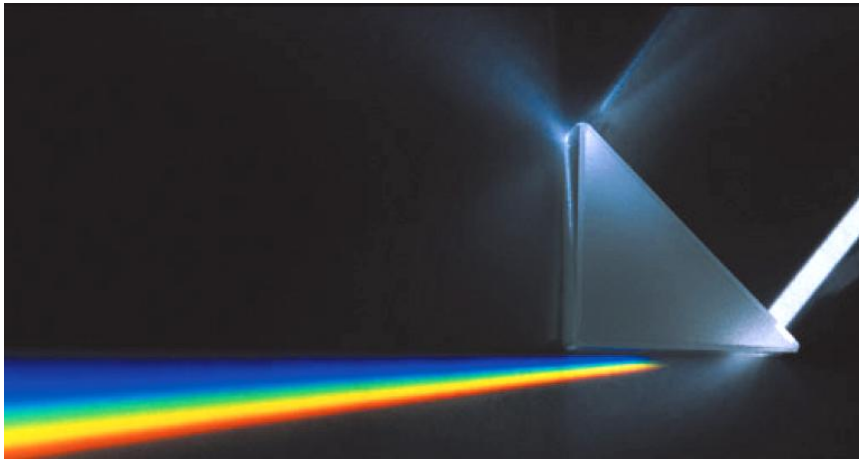
- Al e Ag refletem luz branca quando expostos à luz branca (perda quase nula).
- Cu e Au refletem luz laranja e amarela quando expostos a luz branca \rightarrow parte da energia absorvida não é re-emitida como luz visível.



Propriedades Óticas de Não-Metais

- Refração
- Reflexão
- Absorção
- Transmissão

Refração



- A luz transmitida do interior de um material transparente tem sua velocidade diminuída.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\sqrt{\epsilon\mu}}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = \sqrt{\epsilon_r\mu_r}$$

$$n \cong \sqrt{\epsilon_r}$$

- Há o desvio da direção da luz em relação ao trajeto inicial (lei de Snell)
- O desvio, depende do comprimento de onda da luz incidente.

Refração -continuação

Refração → polarização eletrônica (luz visível)

$$n \cong \sqrt{\epsilon_r}$$

O tamanho dos átomos influencia na polarização eletrônica

Maior átomo → Maior a Polarização Eletrônica
→ Menor v , Maior n .

Exemplo: Vidro comum tem $n=1,5$ adiciona PbO
pode chegar a $n=2,1$.

n depende da estrutura cristalina:

Cúbicos - n é isotrópico

Não-cúbicos - n é maior na direção onde a densidade de átomos é maior.

Material	n
Cerâmicas	
Silica	1,458
Vidro borosilicato (Pirex)	1,47
Vidro comum	1,51
Quartzo (SiO_2)	1,65
Vidro ótico denso	1,72
Espinel (MgAl_2O_4)	
Periclase (MgO)	1,74
Corundum (Al_2O_3)	1,76
Polímeros	
Politetrafluoretileno	1,35
Polipropileno	1,49
Polietileno	1,51
Poliestireno	1,60



Reflexão

- Quando a luz atravessa a interface entre 2 meios com índices de refração diferentes (n_1 e n_2), mesmo que os dois meios sejam transparentes, parte da luz é refletida na superfície.

refletividade

$$R = \frac{I_R}{I_0}$$

Raios incidentes
perpendiculares à superfície

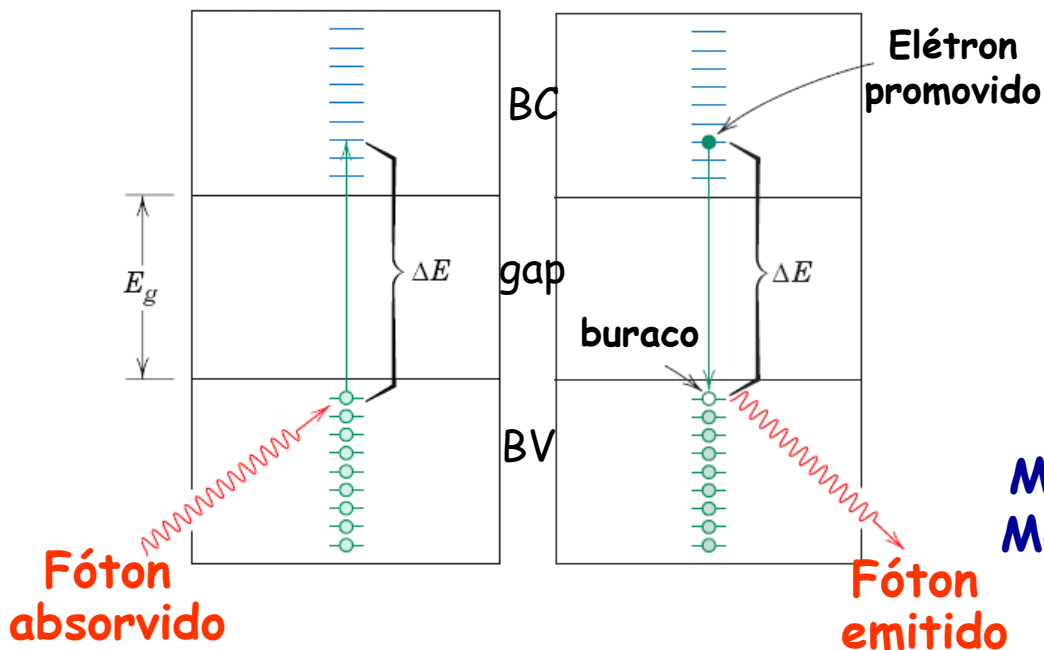
$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

Absorção

Opacos ou transparentes

Se transparente → colorido

A absorção se dá por:
Polarização Eletrônica e Transições de elétrons entre
a BV e BC



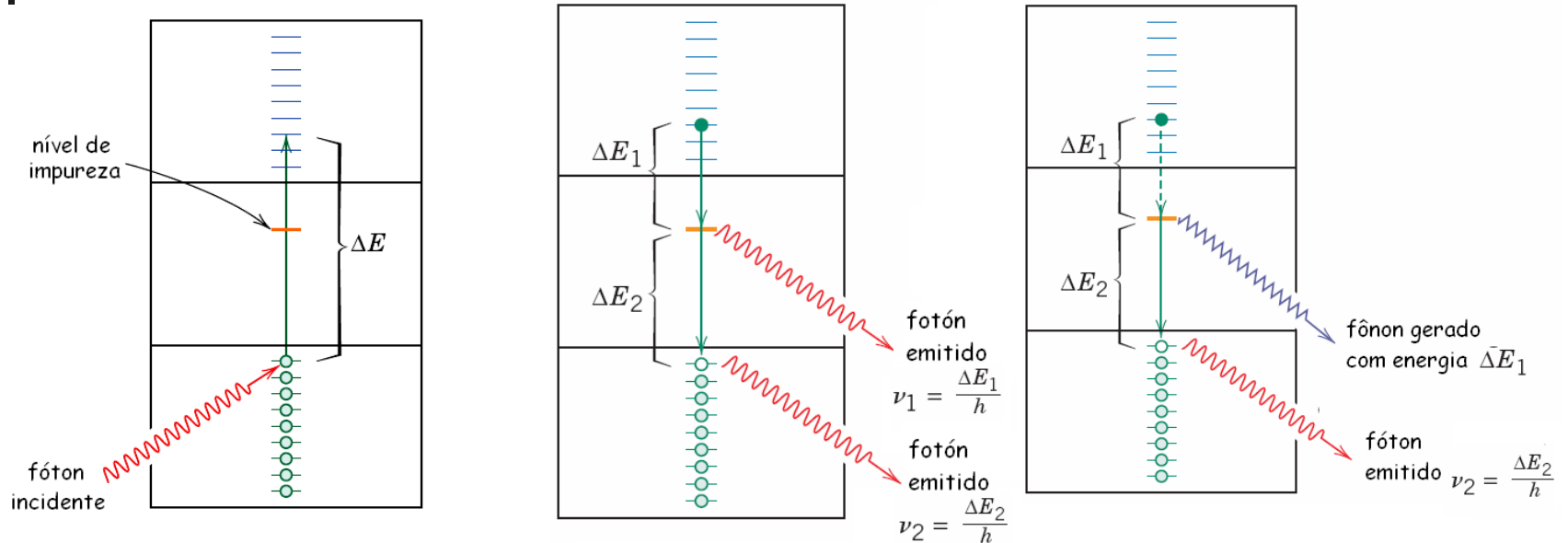
Luz visível:

$$0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,7 \mu\text{m}$$

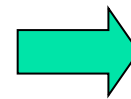
$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Não há promoção de elétrons:
Mínima: $E < 1,8 \text{ eV}$ ($\lambda > 0,7 \mu\text{m}$)
Máxima: $E < 3,1 \text{ eV}$ ($\lambda < 0,4 \mu\text{m}$)

Coeficiente de absorção - β



- Intensidade da radiação transmitida (não-absorvida) I_T' :



$$I_T' = I_0' e^{-\beta x}$$

- I_T' = intensidade da luz não refletida
- β é o coeficiente de absorção (em mm^{-1}); β grande \rightarrow alta absorção



Cor

Materiais transparentes aparecem coloridos como consequência da absorção de luz com determinadas frequências.

A cor é uma combinação dos comprimentos de onda que são re-emitidos após absorção.

Cor em não-metálicos

SEMICONDUCTORES

ABSORÇÃO SELETIVA: ocorre a excitação de elétrons da banda de valência para a banda de condução para $E > E_g$. A re-emissão dos fótons nem sempre ocorre para o mesmo valor de λ da luz incidente

Exemplo: CdS (sulfeto de Cadmium) : $E_g = 2,4 \text{ eV}$
 $E > 2,4 \text{ eV} \Rightarrow$ luz azul e violeta --- absorvidas
 $1,8 < E < 2,4 \text{ eV} \Rightarrow$ não absorvida
A cor do CdS é amarelo-laranja.

ISOLANTES PUROS

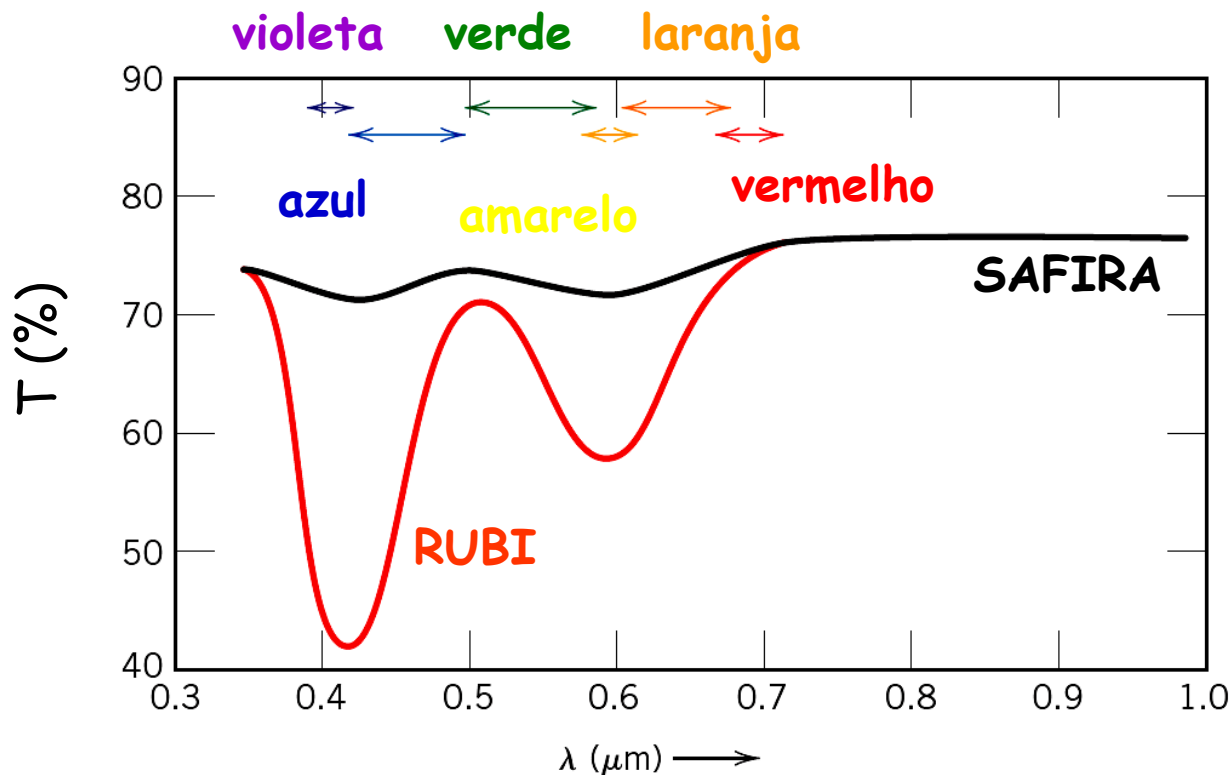
ABSORÇÃO UNIFORME: re-emissão total, igual para todos os comprimentos de onda, ou seja, **TRANSMISSÃO TOTAL**
sem cor

Exemplos: vidros inorgânicos de alta pureza, diamante, safira

ISOLANTES IMPUROS

Níveis de energia extras dentro do "gap", permitem transições eletrônicas que antes não eram possíveis.

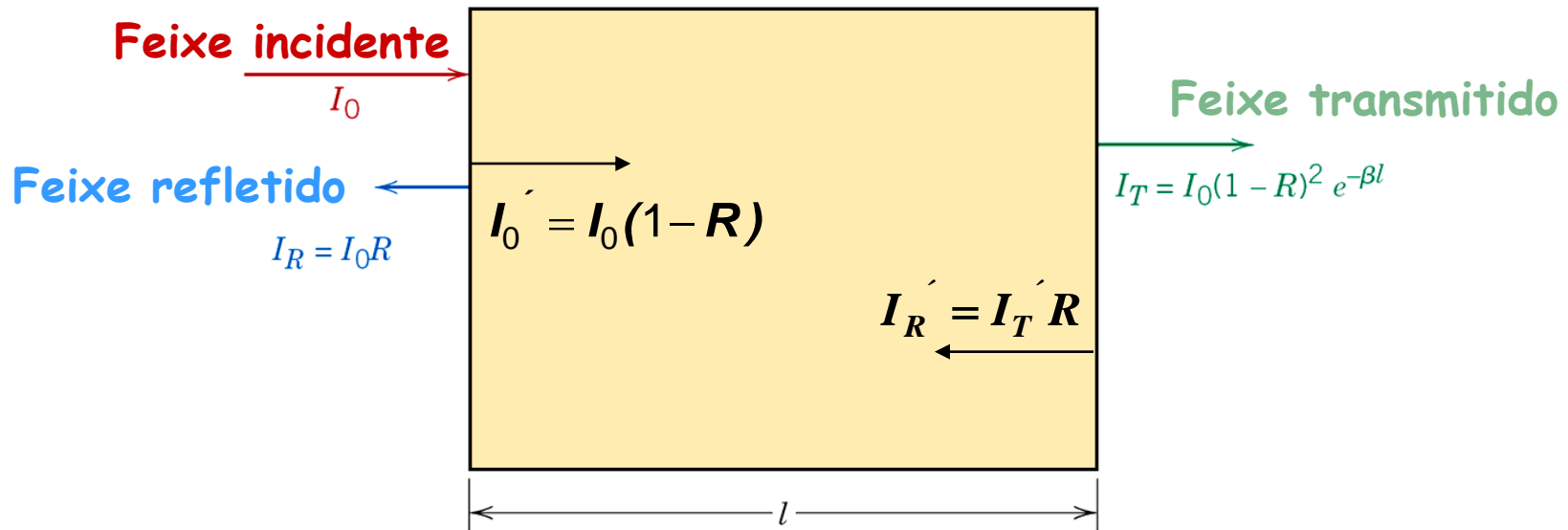
Safira (Al_2O_3 monocristalina e de alta pureza): transparente.
Dopando com 0,5 a 2 % de Cr_2O_3 muda a cor para vermelho.
(Cr^{+++} substitui Al^{+++})



Transmissão

A luz transmitida através de um sólido transparente pode ser dada por:

$$I_T = I_0(1 - R)^2 e^{-\beta l}$$



Fração absorvida: $I'_T = I'_0 e^{-\beta x}$



Translucidez e Opacidade

- Isolantes
- Depende do espalhamento (reflexão e transmissão interna) da luz, originada de:
 - Contornos de grão
 - Anisotropia de n
 - Porosidade
 - Cristalinidade



Aplicações

- Luminescência
- Fotocondutividade
- LASERS
- Fibra Ótica



Luminescência

- Capacidade de absorver energia e re-emitir luz visível
- Energias:
 - Calor
 - Radiação eletromagnética

Classificação por tempo de decaimento

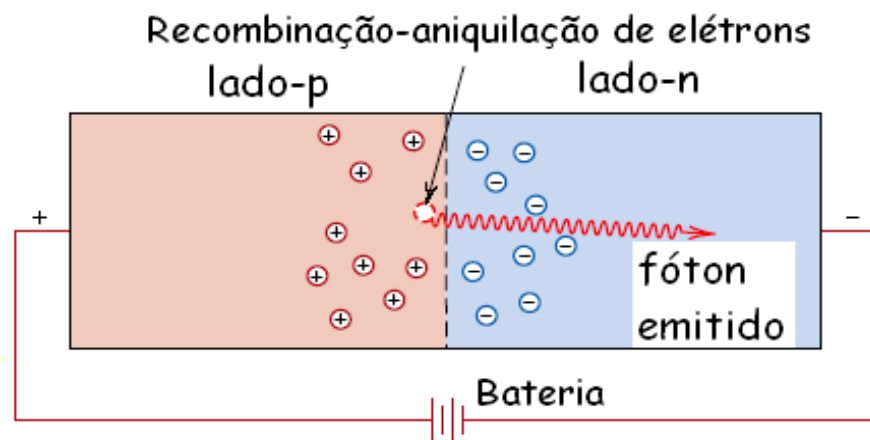
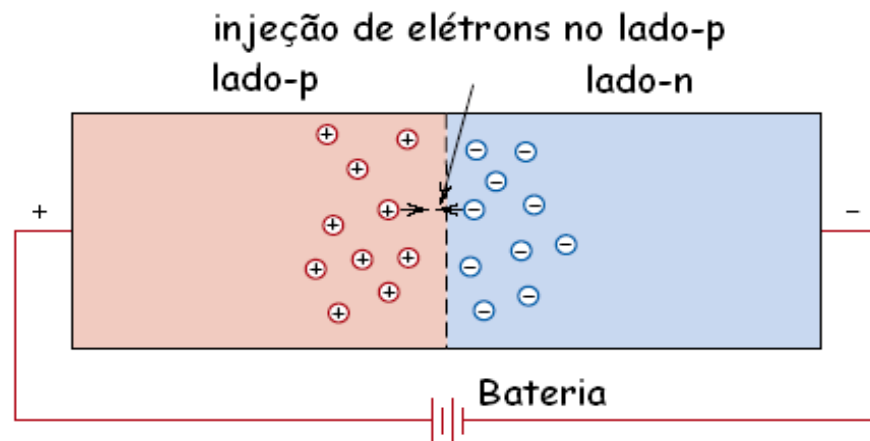
- Longos tempos: Fluorescência
- Curtos tempos: Fosforescência

Substâncias: sulfatos, tungstatos e materiais orgânicos

Exemplos: lâmpadas fluorescentes; interruptores

Fotocondutividade

- Semicondutores
 - Células solares (junções p-n)
 - LEDs (light emitting-diode)

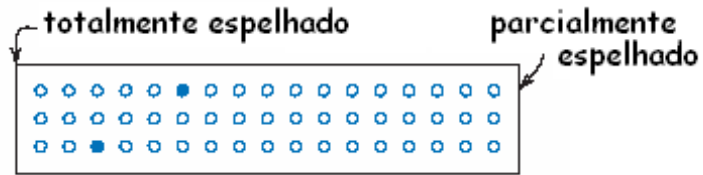


Exemplo

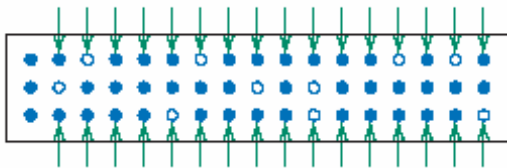
Fotografia de uma enorme tela de vídeo de LEDS, situada na esquina da 43ª Av. e a Broadway em NY



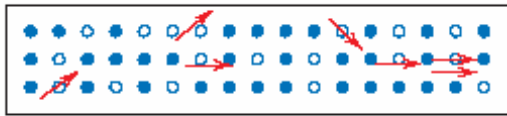
LASERS



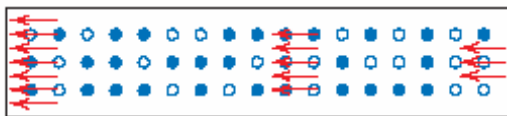
(a)



(b)



(c)

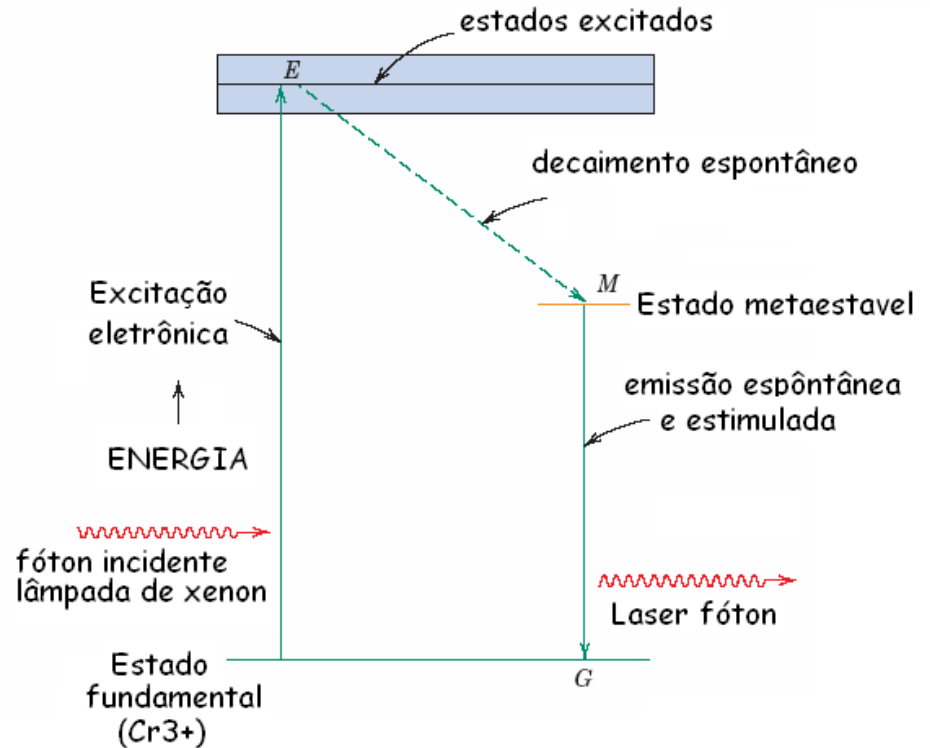
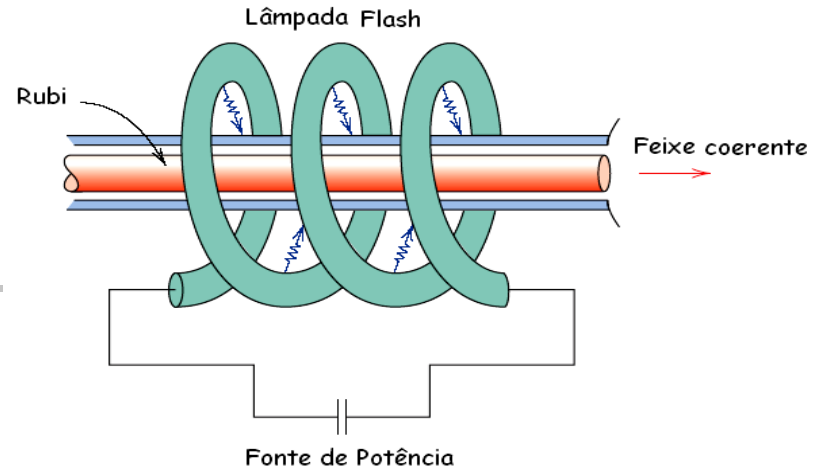


antes da reflexão no meio do cristal depois da reflexão

(d)



(e)





Processo Xerox

- Placa feita de semicondutor amorfo: As, Se e Te depositado em placa metálica.
- É quase um material isolante ($E^{\text{gap}} \gg 2 \text{ eV}$), mas é um material fotocondutivo.
- A placa é carregada aplicando-se uma tensão de $\approx 30 \text{ kV}$.
- O documento a ser copiado é projetado na placa.
- Regiões brancas fazem com que o semicondutor conduza e a carga superficial é descarregada através da placa metálica.
- Nas regiões escuras a carga permanece.
- A placa é então impregnada com um pó fino: carbono + sílica + polímero térmico.
- O pó é assoprado da placa e permanecerá somente nas regiões carregadas.
- Uma folha de papel é pressionada contra a placa usando-se rolos, que é então passado numa região de luz infravermelha. Isto causa a fusão do polímero que “gruda” no C e SiO^2 e forma uma imagem permanente no papel.
- Para limpar a placa (descarregar), ela é toda iluminada e a tinta é “soprada”. Assim ela está preparada para uma nova cópia.