

## Bloco 01: DETERMINAÇÃO ÓPTICA DA ESPESSURA E DO “GAP” DE SEMICONDUTORES

Nesta experiência você utilizará a luz para caracterizar dois semicondutores. Na primeira parte você determinará a espessura de uma lâmina de Si, e, na segunda, determinará o chamado *gap óptico* de uma lâmina de GaAs. As propriedades ópticas de semicondutores são importantes na tecnologia atual. Por exemplo, fotodetectores, células solares, LEDs, dispositivos fotocondutores e diodos laser são alguns exemplos.

### Questionário Para Estudos

#### Parte 1

1. Qual é a faixa em eV, Hz, nm e  $\text{cm}^{-1}$  da luz visível? Em qual faixa falamos de infravermelho?
2. O que é fase de uma onda?
3. O que é a interferência de ondas?
4. Observando a Figura 1, vemos um raio de luz incidindo sobre uma lâmina de espessura  $t$ . Em A, parte da luz reflete e parte da luz refrata, propagando-se até B. Em B, repete-se o fenômeno. Se a lâmina é fina o suficiente, então os raios refletidos em A e B podem interferir entre si. A mesma interferência acontece com os raios transmitidos em B e D.

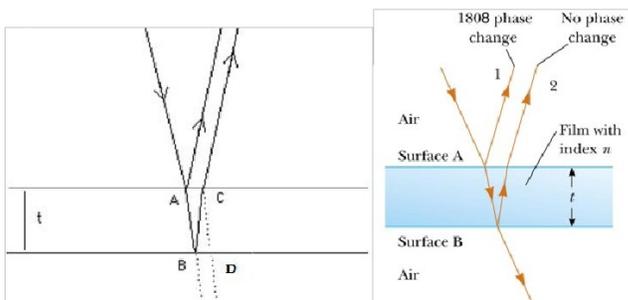


Figura 1

Figura 2

Quando a luz vem de um meio com índice de refração menor e reflete na superfície de um meio com índice de refração maior, a onda sofre uma mudança de fase de  $180^\circ$ , como mostrado na Figura 2. Em A, ocorre mudança de fase. Em B, não. Admitindo a luz como uma onda

os raios refletidos em A e B podem interferir entre si. A mesma interferência acontece com os raios transmitidos em B e D. Quando a luz vem de um meio com índice de refração menor e reflete na superfície de um meio com índice de refração

se propagando no ar e para uma **incidência normal** à superfície de uma lâmina com índice de refração  $n$ , deduza as condições abaixo de interferência construtiva e destrutiva na situação de transmissão da luz.

$$2nt = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_m \text{ destrutivo}$$

$$2nt = (m)\lambda_m \text{ construtivo}$$

5. Porque as bolhas de sabão ficam coloridas se iluminadas com luz branca?

## Parte 2

1. Explique o que é um semicondutor, bandas de energia de valência e condução e o gap de energia.
2. Quais experiências fazer se você quiser tirar um portador da banda de valência de um semicondutor e colocá-lo na banda de condução?
3. Liste alguns semicondutores conhecidos e seus respectivos gaps de energia.

## Experimento

### Parte 1.

1-Ative o programa Spectra Suite. O espectrômetro Red Tide deve aparecer no canto esquerdo e imediatamente deve mostrar um espectro no gráfico.

2-A lâmpada incandescente é ativada com um Variac. Este Variac gera ou transforma os 127 V AC da rede em  $0 \rightarrow 140$  V AC de forma variável. Basta girar o botão superior para ajustar a luz da lâmpada.

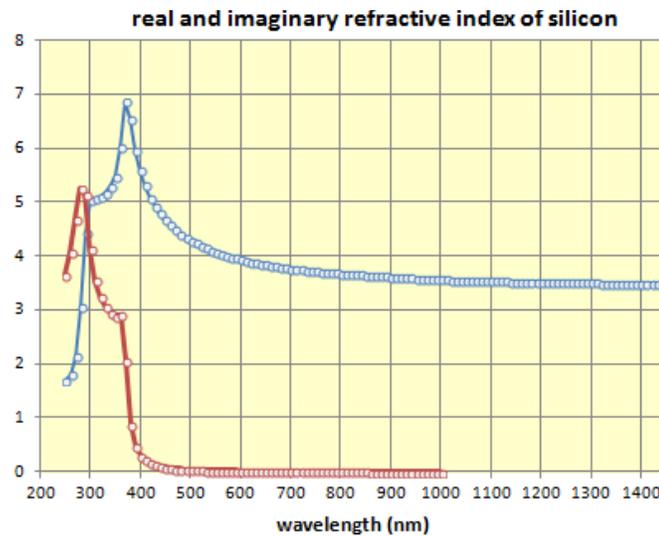
3-Capte um espectro da lâmpada. Salve este espectro e aprenda a graficá-lo exportando-o para o programa Origin.

4-Coloque a lâmina de Si micrométrica em frente à lâmpada e ajuste até captar as oscilações interferenciais. Salve o gráfico  $T$  ( $T$  de transmissão) contra  $\lambda$  (nm) e passe para o Origin.

5-Com o gráfico no Origin colete ao menos 15 máximos (ou mínimos) ( $m$  de 0 a 15) em intensidade das oscilações na região do infravermelho. Anote números inteiros, começando com zero em um máximo (ou mínimo) qualquer e anote o comprimento de onda correspondente. Faça uma tabela.

6-Faça um gráfico  $1/\lambda$  contra  $m$ .

7-Obtenha a espessura da lâmina de Si usando o índice de refração da Figura 3.



**Figura 3** - Índice de refração do Si: a parte real está em azul e a parte imaginária está em vermelho. Na figura observa-se algumas características ópticas do Si. O índice de refração real  $n$  do Si é quase constante de 600 nm para cima. O índice de refração imaginário  $k$  é zero do visível ao infravermelho e não vai nos complicar a vida ( $\tilde{n}=n+ik$ , lembra?  $k$  fala da absorção da luz no meio).

8-Confira a espessura obtida com o prof..

9-Uma extensão interessante a fazer é transformar o gráfico  $T \times \lambda$  (nm) em  $T \times \text{cm}^{-1}$ . Se você for do Curso de Química, vai lembrar que os espectros do FTIR sempre vem na forma  $T \times \text{cm}^{-1}$ . A razão disto é a seguinte: a energia do fóton é dada por:

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

Então, utilizar  $\text{cm}^{-1}$  é como usar a energia sem as constantes de Planck e da velocidade da luz. Faça o gráfico. (Ou, basta transformar o gráfico obtido no item 6 de nm para cm!)

10-Outro aspecto interessante nesta experiência consiste em observar a região onde as interferências da luz cessam no gráfico. Isto ocorre porque a luz transmitida em B e D (veja a Figura 1) perdeu o que se chama de coerência espacial. A luz que sai em D tem um certo atraso com relação à luz que sai em B, porque a primeira teve que percorrer a distância  $t$  duas vezes. Se este atraso é tal que o trem de onda que sai em B já partiu, de forma que o trem de onda que sai em D não consegue mais interferir, então o resultado disto é a cessação das interferências. Em especial, se você é do Curso de Física, vai poder estimar de quantos comprimentos de onda é constituído tipicamente um fóton a partir da informação do gráfico e da espessura da lâmina de Si. E se você é um verdadeiro Nerd da Física, vai poder estimar quanto

tempo um átomo leva para emitir este fóton. Poderá, ainda, comparar este número com o tempo típico das transições eletrônicas dos átomos para luz visível que fica em  $10^{-8}$  segundos. Essa é a visão clássica.

## Parte 2.

1-Volte ao SpectraSuite.

2-Obtenha um espectro da lâmpada sem a lâmina de GaAs.

3-Obtenha um espectro da lâmpada com a lâmina de GaAs. Veja o que mudou.

4-Passe pro Origin e grafique  $T(\lambda)$ . Agora, uma mudança importante que você pode fazer, é transformar comprimento de onda da luz no *espectro em energia* em elétron-volts, pela fórmula:

$$E(eV) = \frac{1240}{\lambda(nm)}$$

6-Faça o gráfico  $T(\lambda)$  contra  $E(eV)$ .  $T(\lambda)$  agora virou  $T(E)$ .

7-Extrapolé o gráfico e obtenha o gap óptico do GaAs.

8-Confira com o valor tabelado.