

CONSTRUÇÃO DE UM ELIPSÔMETRO PARA CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA DE SUPERFÍCIES

Roberto Hübler e Flavio Horowitz

Instituto de Física, UFRGS
Caixa Postal, 15051 - Campus do Vale
91500 Porto Alegre, RS

Um elipsômetro a ângulo variável foi elaborado visando a medição de índices de refração em materiais "bulk" ou na forma de filmes finos. O instrumento é composto de Laser HeNe, prismas Glan-Thomson com coeficientes de extinção menores que uma parte em 10^6 , goniômetro permitindo leituras de ângulos com precisão melhor que $0,01^\circ$ de arco e suporte de amostras que permite varredura horizontal contínua. Resultados em lâminas de vidro BK7 e filmes de MgF_2 na Condição de Brewster confirmam a validade do método e indicam a aplicabilidade do instrumento na caracterização de superfícies mais complexas.

Elipsômetro, Superfícies, Índice de Refração.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades ópticas das superfícies de materiais, tanto "bulk" (em bruto) como na forma de filmes finos, é um elemento-chave na projeção de sistemas para aplicações ópticas.

Em ambos os tipos de configuração, e de acordo com cada finalidade específica, tornam-se críticas as constantes ópticas dos materiais utilizados. Além disto, em aplicações com tolerâncias estreitas via-de-regra torna-se contraproducente a utilização de tabelas convencionais. Isto porque não só a pureza e os índices de refração de materiais "bulk" em produção seriada variam levemente lote-a-lote ou fornada-a-fornada, como também há uma dependência significativa do comportamento dos recobrimentos nos parâmetros de deposição empregados^{1,2}.

Estes fatos, e a consequente necessidade de medir índices para cada caso, constituem a principal motivação para o elipsômetro a ângulo variável que descrevemos a seguir.

2. PROCEDIMENTO

Sobre uma bancada óptica, foi montado um goniômetro comercial da Zeiss-Jena, no qual foi adaptado um fixador de amostras que nos permite transladá-las e com isto varrer todos seus pontos sem descalibrar o goniômetro. Este, por sua vez, permite-nos rotar a amostra com duas velocidades; a manual e a milimétrica para ajustes finais, e medir ângulos de incidência com precisão melhor que 0.01° de arco.

Utilizamos como fonte um laser monomodo de HeNe, perfeitamente alinhado com o centro de rotação da mesa do goniômetro.

Dentro deste alinhamento, foi introduzido entre o laser e o goniômetro um polarizador do tipo prisma Glan-Thomson com coeficiente de extinção de, no máximo, uma parte em 10^6 . O mesmo nos garante a polarização do "tipo p", isto é, luz polarizada paralelamente ao plano de incidência.

Na saída do laser, foi colocado um rotor de polarização que permite variar a intensidade da luz transmitida pelo polarizador.

Esta montagem está mostrada na figura

1.

Este aparato permite-nos obter o índice de refração de um material "bulk" na condição de Brewster, assim como o de um recobrimento utilizando o método de Abelès³.

Como sabemos que na condição de Brewster apenas a polarização "tipo s" (ortogonal ao plano de incidência) não é extinta e, no nosso caso, devemos tratar apenas com um feixe p-polarizado, colocamos uma amostra com pouca rugosidade na mesa do goniômetro e procuramos a extinção da luz refletida ou o seu mínimo. A seguir, caso não tenhamos obtido a extinção, devemos ajustar o polarizador até atingi-la. Este é o processo de calibração do polarizador.

Para obtermos o ângulo de incidência normal sobre a amostra giramos sua mesa até que o feixe incidente volte sobre si próprio, quando então zeramos a leitura do goniômetro.

Ao girarmos a mesa, vemos que o feixe refletido pela amostra forma uma mancha de intensidade variável no receptáculo branco.

Anotamos então o ângulo no goniômetro que corresponde à refletância zero.

Este é o ângulo de Brewster δ para o material "bulk" e podemos então determinar seu índice de refração n facilmente como segue:

$$n = n_1 \tan \delta, \quad (1)$$

onde n_1 é o índice de refração do meio ambiente (ar).

Para um material na forma de filme fino, se suposto homogêneo e isotrópico, vale a mesma expressão acima. Entretanto, para determinar seu ângulo de Brewster é necessário modificar o procedimento da forma seguinte.

Previamente à deposição, uma máscara é colocada sobre o substrato, de modo a bloquear a formação do filme numa região deste. A amostra resultante é então posicionada na mesa goniométrica, enquanto o feixe do laser é expandido por uma lente localizada entre o goniômetro e o polarizador. A amostra e a lente são então transladadas convenientemente, de modo que uma metade do feixe ilumine o filme, e a outra o substrato nu.

Variando o ângulo de incidência, a condição de Brewster para o filme é alcançada quando as intensidades refletidas nas duas seções do feixe se tornarem idênticas. Nesta situação particular, é como se a interface filme-ar não existisse.

3. RESULTADOS

Utilizando o método acima, foram medidas algumas amostras.

Para um vidro do tipo BK7 obtivemos um índice de refração de 1.518, em bom acordo com os valores fornecidos pelo fabricante.

Para medirmos um filme fino, utilizamos como substrato uma lâmina de microscópio, para a qual foi obtido um índice de refração de 1.503 ± 0.010 .

Foi escolhido para o filme, o Fluoreto de Magnésio (MgF_2), visto que é largamente utilizado como monocamada anti-refletores ou como componente de baixo índice (\bar{L}) em filtros multicamadas.

Tal filme foi evaporado com o substrato à temperatura ambiente e a uma pressão da ordem de 10^{-6} Torr.

Após um grande número de medidas, obteve-se um índice de refração de 1.332 ± 0.010 .

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados apresentados na literatura para índices de refração de filmes de MgF_2 de um quarto de onda ($\lambda/4$) onde $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, variam de 1.32 até 1.41, dependendo da temperatura com que o substrato foi recoberto² e da qualidade do vácuo (pressão)⁴. Geralmente, o índice de refração aumenta com a temperatura do substrato.

Assim sendo, os valores obtidos são consistentes com os relatados, indicando a aplicabilidade do instrumento e do método para caracterizar tanto substratos como os

filmes neles depositados.

Os altos valores para o desvio padrão, da ordem de 10^{-2} , devem-se ao fato de estarmos utilizando, para detecção da extinção do feixe refletido, a sensibilidade do olho humano de observar um mínimo ou diferenciais de intensidade no receptáculo branco. Esta precisão pode ser melhorada utilizando-se como detector uma célula fotosensível, como por exemplo um fotodiodo ou uma fotomultiplicadora.

Com o aumento de precisão, entretanto, podem evidenciar-se efeitos de anisotropia do MgF_2 nas medições a grandes ângulos de incidência, exigindo uma reinterpretação da própria condição de Brewster⁽¹⁾ aqui utilizada.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). As amostras de vidro BK7 foram fornecidas pela FUNBEC. Agradecemos também a Ivone Schunck e Rui Bastos pela datilografia e revisão dos manuscritos.

6. REFERÊNCIAS

- 1- Thornton, J.A., J. Vac. Sci. Tech. 11: 666 (1974).
- 2- Ritter, E. & Hoffmann, R., J. Vac. Sci. Tech. 6:733 (1969).
- 3- Abelés, F., J. Phys. Radium 11:310 (1950).
- 4- Hacman, D., Optica Acta 17(9):659 (1970).

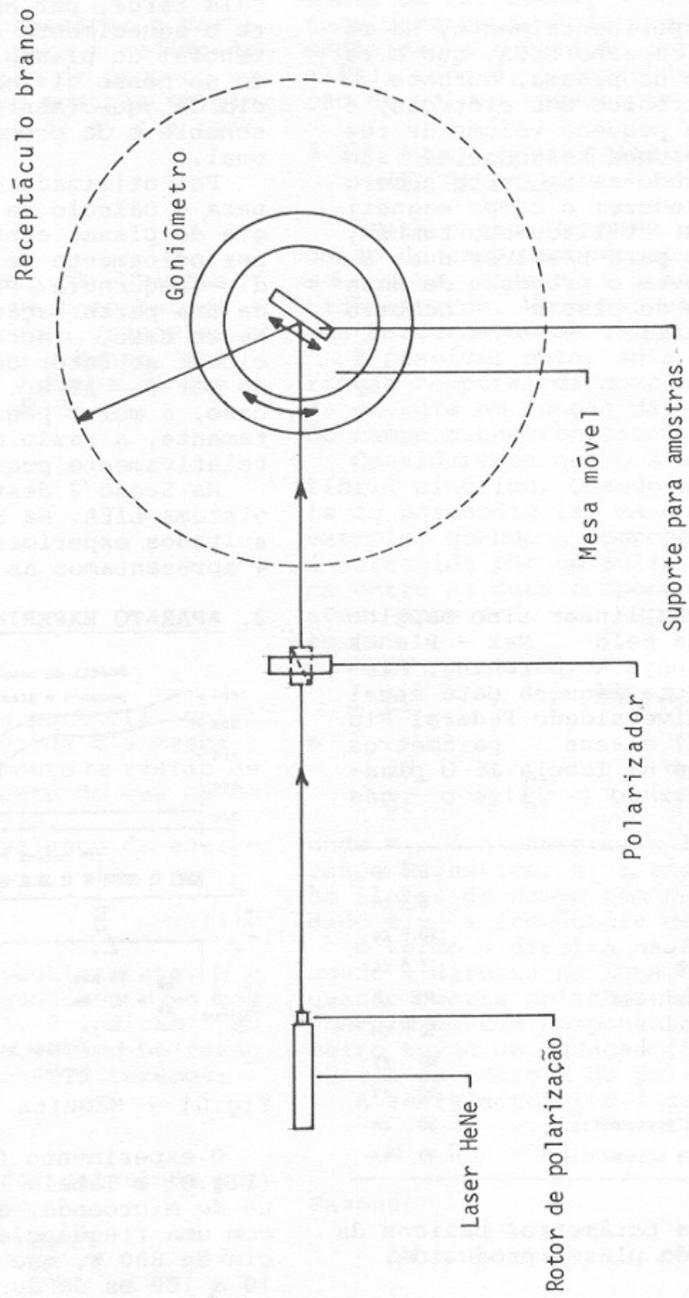


Figura 1: Diagrama esquemático da montagem experimental.