

MEDIDAS DE ESPESSURA E ÍNDICE DE REFRAÇÃO
EM FILMES DE MATERIAL FOTOSSENSÍVEL

Charles A.S. de Oliveira e Sérgio A.A. Nobre
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA,
Departamento de Circuitos e Microondas, Pça.
M.^{al} Eduardo Gomes, s/n, São José dos Campos,
São Paulo - 12.200

Neste trabalho apresentamos medidas de espessura e índice de refração de filmes finos obtidos com Micro-Resist 747, da KODAK.

Os filmes foram depositados por centrifugação. O método utilizado permitiu a obtenção da curva: espessura do filme versus velocidade de rotação da centrifugadora. A curva obtida foi comparada com a fornecida pelo fabricante do material fotossensível.

Filmes finos, Óptica guiada, Óptica integrada

1. INTRODUÇÃO

Estruturas de alta precisão geradas por processos fotolitográficos em filmes de material fotossensível são requeridos em áreas tão diversas como: fabricação de micro-circuitos eletrônicos, construção de dispositivos experimentais para a óptica integrada, fabricação de redes holográficas, construção de pontos de fósforo nos painéis frontais de cinescópios de televisores a cores(1), entre outros.

O conhecimento, com grande precisão, da espessura do material fotossensível é fundamental nestas áreas. Os métodos mais conhecidos e utilizados para a medida de índice de refração e espessura de filmes finos apresentam diversos inconvenientes, particularmente quando aplicados a filmes delicados como os de material fotossensível.

O método de modos guiados para a medida de índice de refração e espessura (2), (3), (4), mostrou-se bastante eficaz quando aplicado em filmes de material fotossensível, superando a maioria das dificuldades apresentadas pelos outros métodos, como:

- o "Talystep", que deslisa um estilete sobre um degrau produzido no filme, e sua inconveniência é clara,
- o método interferométrico de feixes múltiplos, de Tolanski, que requer que o filme seja recoberto por alumínio ou prata, além de fornecer somente a espessura,
- a elipsometria, que envolve equipamento caro, além de cálculos razoavelmente complexos,
- outros métodos interferométricos de difícil aplicação que demandam equipamentos não tão comuns.

2. O MÉTODO DE MODOS GUIADOS

Considerando uma estrutura planar, conforme esquematizado na figura 01, constituída por um filme de índice de refração n_f e espessura W depositado sobre um substrato de índice de refração n_s e considerando o meio sobre o filme (cobertura) como tendo um índice de refração n_c , temos que, a condição para a propagação de modos guiados no filme (3) é $n_f > n_s$ e $n_f > n_c$.

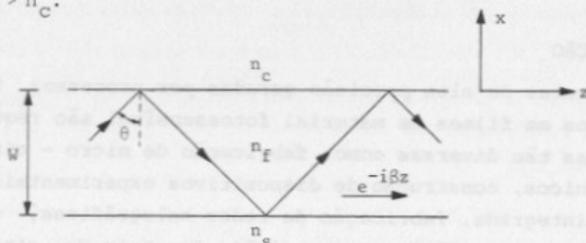


Fig. 01 - Propagação de um modo guiado.

Impondo as condições de contorno na interface substrato-filme ($x=-W$) e na interface filme-cobertura ($x=0$) considerando ainda a cobertura como sendo o ar, obtemos a seguinte equação de dispersão para os modos TE:

$$WK = \frac{1}{(n_f^2 - N^2)^{1/2}} \left\{ \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\left[(N^2 - n_s^2)^{1/2} + (N^2 - 1)^{1/2} \right] (n_f^2 - N^2)^{1/2}}{n_f^2 - N^2 - \left[(N^2 - n_s^2) (N^2 - 1) \right]^{1/2}} \right] + m\pi \right\}, \quad (1)$$

e para os modos TM:

$$WK = \frac{1}{(n_f^2 - N^2)^{1/2}} \left\{ \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\left[(N^2 - n_s^2)^{1/2} + (N^2 - 1)^{1/2} n_s^2 \right] n_f^2 (n_f^2 - N^2)^{1/2}}{(n_f^2 - N^2) n_s^2 - \left[(N^2 - n_s^2) (N^2 - 1) \right]^{1/2} n_f^2} \right] + m\pi \right\}, \quad (2)$$

onde: $m = 0, 1, 2, \dots$,

n_f = índice de refração do filme

n_s = índice de refração do substrato,

K = número de onda no espaço livre,

$N = \frac{\beta}{K}$ = índice efetivo.

As expressões (1) e (2), representam as soluções possíveis para todos os modos guiados que venham a propagar-se dentro de um dado guia de ondas planar.

3. PROCÊDIMENTO EXPERIMENTAL PARA A IDENTIFICAÇÃO DE MODOS

Uma descrição detalhada do procedimento experimental para a identificação de modos guiados pode ser encontrada na Ref. (5). De maneira sucinta pode-se afirmar que se pudermos determinar os índices efetivos dos diversos modos que se propagam no guia e suas respectivas ordens (número m), conhecendo-se o índice de refração do substrato e levando-se em conta que utilizamos um laser de He-Ne com $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ podemos, através das expressões (1) e (2), obter o índice de refração e a espessura do filme.

Na figura 02, esquematizamos o arranjo experimental necessário para a identificação experimental dos modos guiados.

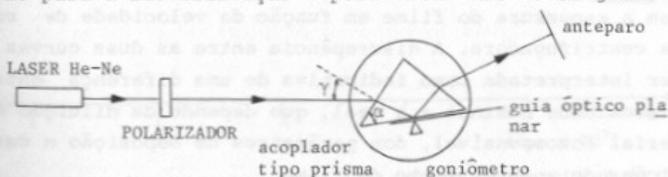


Fig. 02 - Arranjo experimental para a identificação dos modos.

Com o goniômetro podemos variar e medir o ângulo γ , e desta maneira excitar seletivamente os diversos modos de propagação. Os índices efetivos estão relacionados com os ângulos medidos (4) pela seguinte expressão:

$$N = n_p \left\{ \alpha + \left[\text{arc sen} \left(\frac{\text{sen} \gamma}{n_p} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

onde n_p = índice de refração do prisma de acoplamento.
 α = ângulo prisma, definido na fig. 02.

No momento em que ocorre a excitação de um determinado modo, a linha correspondente a este modo é visualizada no anteparo.

De posse dos valores de m e N correspondentes a pelo menos dois modos (3) poderemos facilmente determinar n_f e W .

Se conhecermos o índice de refração do filme, com a identificação de apenas um modo poderemos determinar a espessura W .

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÕES

Foram medidas duas séries de filmes produzidas pela deposição de Micro-Resit 747 sobre lâminas de vidro borossilicato cujo índice de refração, medido com refratômetro de Abbe é 1,513. Na primeira série utilizou-se material fotossensível com viscosidade nominal de 60 Cst e na segunda com viscosidade nominal de 110 Cst.

Na tabela I apresentamos os valores obtidos para o índice de refração e espessura para filmes correspondentes a primeira série de amostras.

A figura 03 mostra uma comparação entre as curvas experimental e a fornecida pelo fabricante, essas curvas fornecem a espessura do filme em função da velocidade de rotação da centrífuga. A discrepância entre as duas curvas pode ser interpretada como indicativa de uma diferença entre a viscosidade nominal e a real, que depende da diluição do material fotossensível, dos parâmetros de deposição e das condições de endurecimento do filme.

ROTAÇÃO (rpm)	MODOS OBSERVADOS	ÂNGULO MEDIDO - γ	ÍNDICE EFETIVO - n	ÍNDICE DO FILME n_f	ESPESSURA $W(\mu m)$
1000	TE ₀ e TE ₁	$\gamma_0=27^{\circ}04'$	1,5414	1,547	1,84
		$\gamma_1=24^{\circ}51'$	1,5231		
2000	TE ₀	$\gamma_0=26^{\circ}30'$	1,5367	-	1,30
3000	TE ₀	$\gamma_0=25^{\circ}46'$	1,5307	-	0,95
4000	TE ₀	$\gamma_0=25^{\circ}18'$	1,5268	-	0,80
5000	TE ₀	$\gamma_0=24^{\circ}50'$	1,5232	-	0,70
6000	TE ₀	$\gamma_0=24^{\circ}43'$	1,5220	-	0,66

TABELA I - Dados obtidos experimentalmente para a primeira série de amostras.

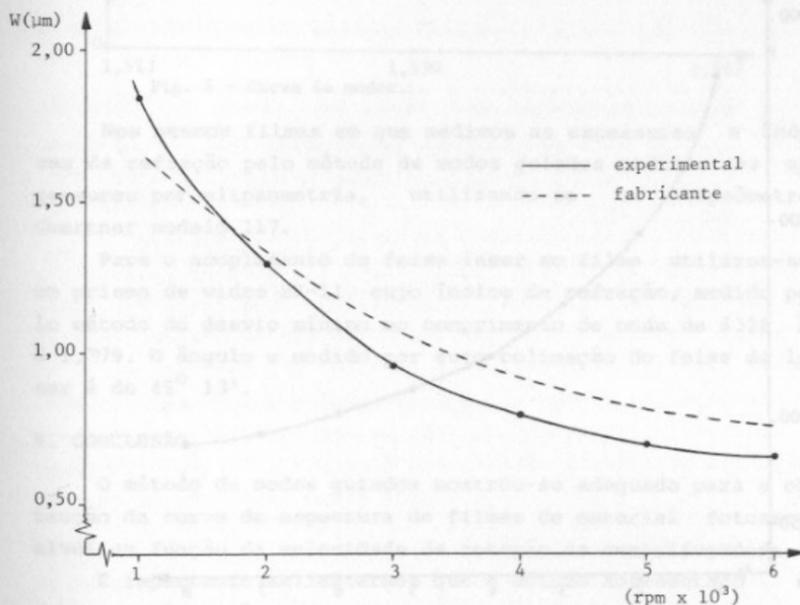


Fig. 03 - Curva de espessura em função da velocidade de rotação da centrifugadora. Micro-Resist 747 com 60 Cst.

ROTAÇÃO (rpm)	MODOS OBSERVADOS	ÂNGULO MEDIDO - γ	ÍNDICE EFETIVO - N	ÍNDICE DO FILME - n_f	ESPESSURA $W(\mu\text{m})$
1000	TE_0, TE_1, TE_2	$\gamma_0 = 27^{\circ}36'$	$N_0 = 1,5451$	1,547	2,72
		$\gamma_1 = 26^{\circ}19'$	$N_1 = 1,5352$		
2000	TE_0 e TE_1	$\gamma_0 = 27^{\circ}02'$	$N_0 = 1,5410$	1,547	1,94
		$\gamma_1 = 24^{\circ}58'$	$N_1 = 1,5241$		
3000	TE_0 e TE_1	$\gamma_0 = 26^{\circ}46'$	$N_0 = 1,5389$	1,547	1,59
		$\gamma_1 = 24^{\circ}08'$	$N_1 = 1,5170$		
4000	TE_0	$\gamma_0 = 26^{\circ}29'$	$N_0 = 1,5367$	-	1,33
5000	TE_0	$\gamma_0 = 26^{\circ}15'$	$N_0 = 1,5347$	-	1,18
6000	TE_0	$\gamma_0 = 25^{\circ}58'$	$N_0 = 1,5324$	-	1,05
7000	TE_0	$\gamma_0 = 25^{\circ}45'$	$N_0 = 1,5305$	-	0,96
8000	TE_0	$\gamma_0 = 25^{\circ}34'$	$N_0 = 1,5291$	-	0,90

TABELA II - Dados obtidos experimentalmente para a segunda série de amostras.

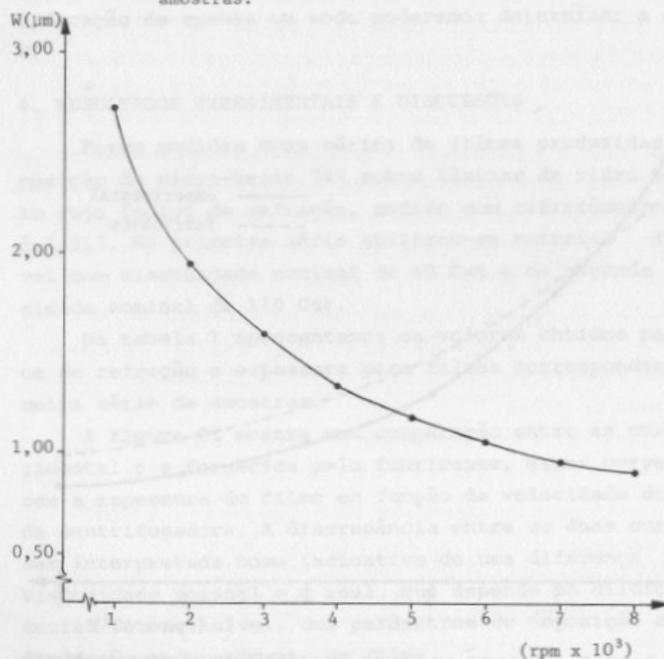


Fig. 04 - Curva de espessura em função da velocidade de rotação da centrífuga para a segunda série de amostras.

Entrando agora com os valores de $n_f=1,547$, $n_s=1,53$, na expressão (1), e obtemos a curva de modos apresentada na figura 05.

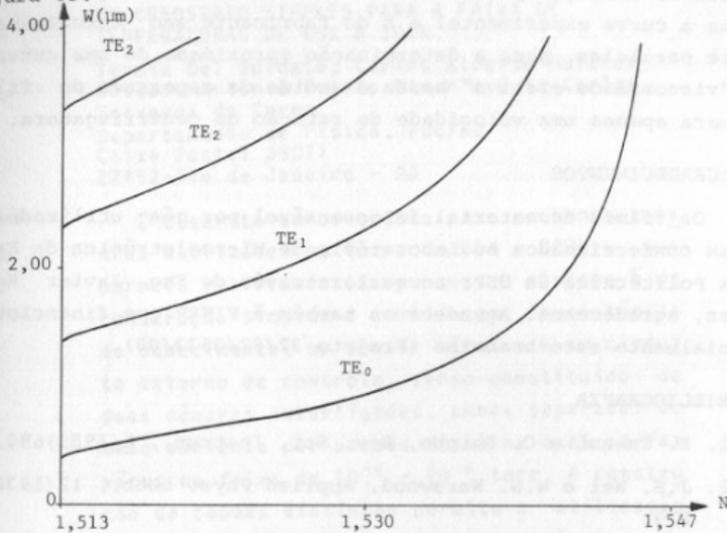


Fig. 5 - Curva de modos.

Nos mesmos filmes em que medimos as espessuras e índices de refração pelo método de modos guiados medimos as espessuras por elipsometria, utilizando-se um elipsômetro Gaertner modelo 117.

Para o acoplamento do feixe laser ao filme utilizou-se em prisma de vidro SF-11, cujo índice de refração, medido pelo método do desvio mínimo no comprimento de onda de 6328 \AA é $1,779$. O ângulo α medido por auto-colimação do feixe de laser é de $45^\circ 13'$.

5. CONCLUSÃO

O método de modos guiados mostrou-se adequado para a obtenção da curva de espessura de filmes de material fotosensível em função da velocidade de rotação da centrifugadora.

É importante salientarmos que o método apresentado é muito simples, não destrutivo, fornece simultaneamente a espessura e o índice de refração do filme e utiliza-se equipamento simples e disponível na maioria dos laboratórios.

Um outro ponto que deve ser salientado é que entre 4000 e 7000 rpm, que corresponde à faixa de utilização, e como o índice de refração praticamente não varia, além do que nesta faixa a curva experimental e a do fabricante são aproximadamente paralelas, para a determinação aproximada de uma curva de "viscosidade efetiva" basta a medida da espessura do fil me para apenas uma velocidade de rotação da centrífugadora.

6. AGRADECIMENTOS

Os filmes de material fotossensível por nós utilizados foram confeccionados no Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP, ao qual, através do Eng. Javier Ra mires, agradecemos. Agradecemos também à FINEP que financiou parcialmente este trabalho (Projeto 32/82/0533/00).

7. BIBLIOGRAFIA

1. K. Takami e C. Shinbo, Rev. Sci. Instrum., 6(1983)690.
2. J.S. Wei e W.S. Werswood, Applied Phys. Lett., 12(1978) 819.
3. Roberto Stempniak, Rev. Bras. Apl. Vácuo, 3 (1983) 27.
4. Charles A.S. de Oliveira, Modos de Propagação em Guias de Ondas Ópticos Planares, Tese de Mestrado, CTA - ITA IEEC, (1982).
5. André L. Côrtes e Charles A.S. de Oliveira, Anais do III Simpósio Bras. de Microeletrônica, (1983).