

FILTROS NEUTROS PARA ÓTICA

J. Hönel, M.A. Antonio, J.G. Ferreira Jr. e S.C. Zilio

Instituto de Física e Química de São Carlos - USP
Cx. Postal 369, 13560 São Carlos, SP, Brasil

RESUMO

Neste trabalho apresentamos a tecnologia de produção de filmes finos de inonel para serem utilizados como atenuadores óticos. Foram produzidos vários filmes neutros com transmissões variando entre 0,1 e 80%, cujos espectros mostraram-se razoavelmente acromáticos na região visível. Um programa de filmes finos desenvolvido por nós permitiu o cálculo das partes real e imaginária do índice de refração do inonel.

Filmes finos, Componentes Óticos, Filtros Neutros.

luz incidente, mas que reflete bastante. É óbvio que este segundo tipo de filtro é o mais adequado para aplicações que envolvem altas intensidades, como as encontradas em feixes de lasers de potência, já que grande parte da radiação é refletida e o substrato não se aquece significativamente. Por outro lado, o filtro puramente absorvente é usado quando uma grande quantidade de reflexão é indesejável tal como em sistemas fotográficos.

Os filtros neutros são usualmente caracterizados pela densidade ótica D que é definida em termos de transmissão T como:

$$D = -\log_{10} T \quad (1)$$

de forma que quanto menor for a transmissão, maior será a densidade ótica. Por outro lado, estes atenuadores óticos obedecem a lei de Bouguer-Lambert, que estabelece que a transmissão de N filtros colocados em série é o produto das transmissões individuais de cada filtro, ou seja:

$$T = T_1 \times T_2 \times T_3 \dots \times T_N \quad (2)$$

ou, em termos da densidade ótica:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 \dots + D_N \quad (3)$$

Isto permite que a partir de alguns filtros com transmissões conhecidas, sejam obtidos outros de diferentes transmissões pela associação em série destes.

Neste trabalho abordamos a tecnologia de produção de filtros neutros construídos a partir da deposição de um filme metálico sobre um substrato transparente. Embora este tipo de componente ótico seja disponível comercialmente, pouco é mencionado na literatura a respeito de sua construção e assim este trabalho visa preencher parcialmente esta lacuna.

II. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os substratos planos foram confeccionados em vidro de qualidade ótica (Schott tipo BK7) através de polimento em matriz de piche¹, com o qual se obteve planicidade de $0.05 \mu\text{m}$ ($\lambda/10$). Na deposi-

I. INTRODUÇÃO

O filtro neutro é comumente usado para atenuar a intensidade de uma fonte de luz sem alterar suas características espectrais, isto é, a atenuação produzida deve independe do comprimento de onda na região visível do espectro. Esta propriedade é frequentemente necessária para evitar a saturação, ou mesmo dano, de uma grande variedade de detetores que incluem: fotodetetores, filmes fotográficos e o próprio olho humano. Quando o filtro é calibrado de maneira a se ter um conhecimento preciso de seu grau de atenuação, é possível se calcular a intensidade absoluta da fonte de luz a partir da medida registrada pelo detetor. Desta forma, o filtro neutro tem como finalidade precípua o acréscimo do intervalo dinâmico de operação de detetores de luz.

Existem dois tipos de filtros neutros amplamente utilizados: um deles é puramente absorvente, ficando boa parte da luz incidente retida no substrato. O outro tipo consiste de uma fina película metálica, evaporada à vácuo sobre um substrato transparente, que absorve uma fração da

ção de filmes metálicos foi utilizada uma evaporadora BALZERS BAK 600 do tipo "Box Coater" com cristal de quartzo para monitorar a espessura do filme depositado. O metal foi evaporado em vácuo a partir de um cadinho de molibdênio por meio de um feixe de elétrons. Durante a evaporação o substrato é mantido a uma temperatura entre 250 e 300°C, o que assegura uma boa aderência do filme depositado. Na limpeza do substrato foi utilizado ultrassom e em seguida um sistema de circulação de vapor de álcool isopropílico. As medidas dos espectros de transmissão dos filtros foram efetuadas em espectrofotômetro Cary modelo 17.

Nossa primeira tentativa de confecção do filtro foi feita usando-se o alumínio, porém este metal mostrou-se inadequado por dois motivos: 1) a parte real do índice de refração varia demasiadamente com a frequência o que torna o filtro em elemento cromático² e 2) a condutividade (e conseqüentemente a reflexão) é muito grande e assim pouca luz é transmitida mesmo quando a espessura do filme é pequena, o que torna difícil o controle preciso desta. Outros materiais que são bons condutores tais como: ouro, prata e cobre, apresentam o mesmo tipo de problema e também devem ser descartados. Portanto, materiais com condutividades moderadas, tais como algumas ligas metálicas são os candidatos mais adequados para servirem como atenuadores óticos. Dentre estas ligas nós escolhemos o inconel (75,3 % do níquel, 15,5 % de cromo e 7 % de ferro) que embora tenha alto ponto de fusão (cerca de 2.500°C) e necessite de um canhão de elétrons para sua evaporação, apresenta a vantagem de não precisar qualquer revestimento protetor, já que é um material inoxidável.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A seguir apresentamos os espectros de transmissão de alguns filtros neutros produzidos em nosso laboratório de filmes finos. As figuras 1, 2 e 3 mostram respectivamente filtros com densidades óticas nos intervalos 0-1, 1-2 e 2-3. Como pode ser visto destes resultados, quando a densidade ótica é menor que 2, estes componentes apresentam espectros que são praticamente independentes do comprimento de onda na região entre 400 e 800 nm.

IV. DISCUSSÃO

A teoria para a ótica de filmes finos já foi previamente apresentada³. A transmissão pelo filme de inconel pode ser descrita por uma matriz do tipo:

$$U = \begin{bmatrix} \exp(i\phi) & 0 \\ 0 & \exp(-i\phi) \end{bmatrix} \quad (4)$$

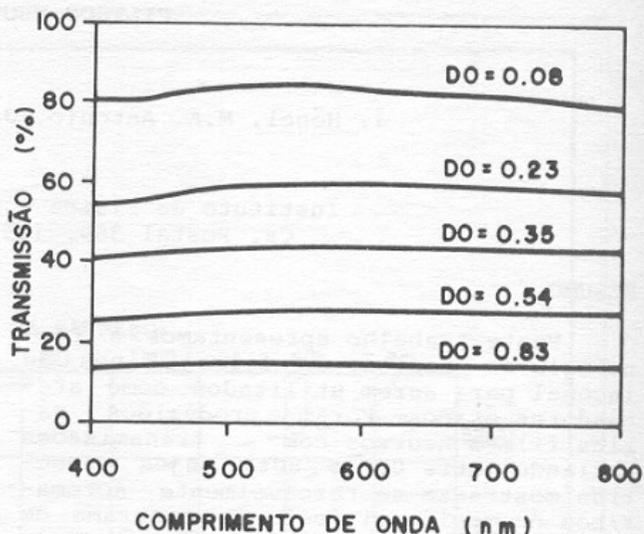


Fig. 1 - Espectros de transmissão de filtros neutros com densidades óticas entre 0 e 1.

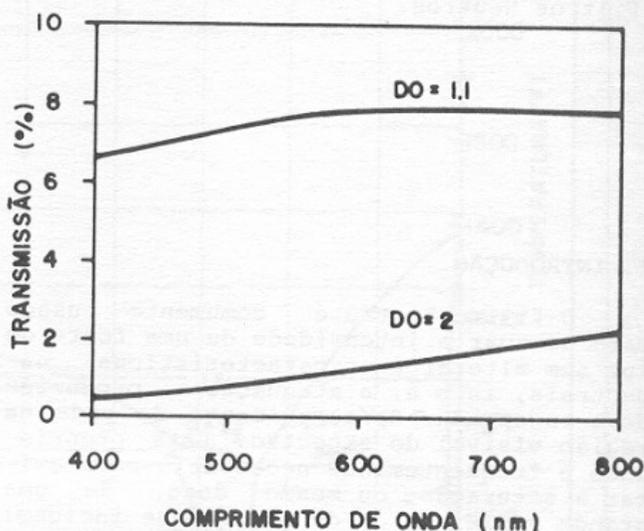


Fig. 2 - Espectros de transmissão de filtros neutros com densidades óticas entre 1 e 2.

onde $\phi = 2\pi\tilde{n}t/\lambda$, sendo t a espessura do filme, λ é o comprimento de onda e \tilde{n} é o índice de refração complexo. \tilde{n} pode ser escrito como $\tilde{n} = n + ik$, onde n está relacionado com a velocidade de propagação da luz no inconel e k com a absorção que este produz.

A partir de U e das matrizes de admitância do meio de entrada (ar) e do meio de saída (vidro), é possível o cálculo da transmitância do filtro³. Como o inconel utilizado por nós tinha procedência desconhecida, seguimos um procedimento inverso ao usual, isto é, a partir das transmissões medidas experimentalmente determinamos os valores n e k . Para

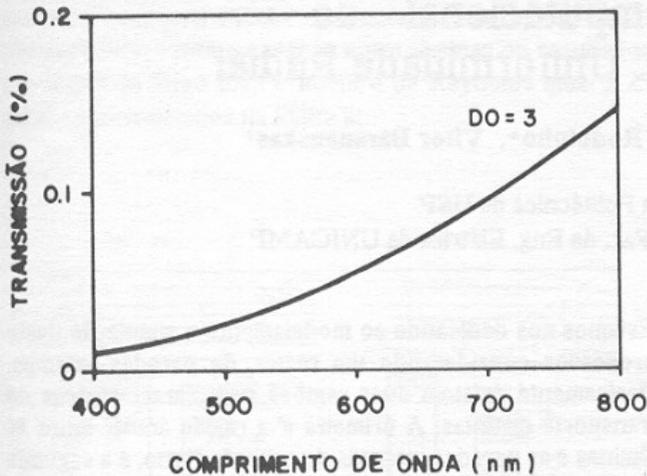


Fig. 3 - Espectro de transmissão de filme neutro com densidade ótica em torno de 3.

este fim desenvolveremos um programa de filmes finos para microcomputador IBM-PC que, para cada comprimento de onda, calcula a transmissão do filtro como função da espessura do filme. Usando o método do desvio quadrático mínimo os valores n e k são variados até que a curva calculada passe pelos pontos experimentais. Conforme pode ser visto da Fig. 4, os pontos experimentais coincidem com a curva teórica para espessuras inferiores a $0.2\mu\text{m}$ ($DO = 2$). Porém, para espessuras acima desta, além da transmissão experimental ser maior do que a teórica, o espectro possui uma dependência acentuada com o comprimento de onda. Isto se deve ao fato de que a taxa de evaporação que utilizamos (10 \AA/s) é muito baixa e isto afeta a estrutura do filme e a neutralidade espectral⁴.

O ajuste teórico foi realizado para diversos comprimentos de onda e assim pudemos obter as partes real e imaginária do índice de refração do inconel que utilizamos. Estes valores estão apresentados na Tabela I. comparando com os valores encontrados na literatura⁵ ($n = 1,7$ e $K = 3,1$ para $\lambda = 500 \text{ nm}$) vemos que a parte real do índice de refração é aproximadamente a mesma, porém a liga que usamos absorve bem menos. Isto é de interesse prático já que torna o controle da espessura menos crítico do que se o material absorvesse bastante.

Tabela I - Partes real (n) e imaginária (k) do índice de refração como função do comprimento de onda.

λ (nm)	400	500	600	700	800
n	1.92	1.61	1.73	1.78	1.90
k	0.68	0.86	0.96	1.10	1.23

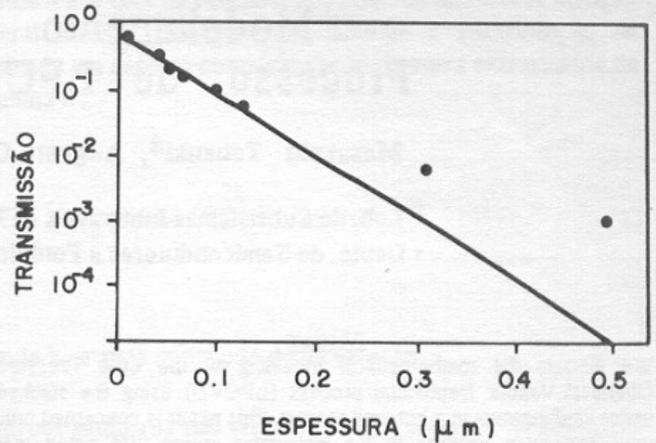


Fig. 4 - Transmissão em 500 nm como função da espessura do filme. A curva em linha cheia corresponde ao cálculo teórico com $n = 1.61$ e $k = 0.86$.

REFERÊNCIAS

- 1) R. ROBERT e R.E. UHLMANN, Rev. Fís. Aplic. e Instrum. 1, 273 (1986).
- 2) J.M. BENNETT e M.J. BOOTY, Appl. Opt. 5, 41 (1966).
- 3) J.F. ARAÚJO, N. MAURICI e J.C. CASTRO, Rev. Bras. Aplic. Vac. 3, 35 (1983).
- 4) K.H. BERHRNDT, in Physics of Thin Films vol. 4, p.1, Academic Press, NY (1966).
- 5) W.V. GOODELL, J.K. COULTER e P.B. JOHNSON, J. Opt. Soc. Am. 63, 185 (1973).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria da Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro à esta pesquisa.