

EVAPORADORA ACOPLADA A ELIPSOMETRO

A.A.P.Pohl, A.J.Damião e H.H.Dispert.
Inst. de Física, Unicamp; Caixa Postal 6165
13.100 - Campinas - SP.

Foi construída uma evaporadora à vácuo, a qual foi acoplada um elipsometro fotométrico automático. O sistema permite, estudos "in situ" de propriedades ópticas de filmes evaporados. Valores de espessura de filmes finos de óxidos são obtidos a partir dos angulos elipsométricos.

Elipsometria, filmes finos, oxido de Al.

1. INTRODUÇÃO

O acoplamento de um elipsometro a uma evaporadora permite o estudo da formação e oxidação de filmes finos, sob condições controladas de vácuo e temperatura. O sistema permite estabelecer as condições da superfície antes e após a evaporação, e ainda acompanhar em tempo real o processo de oxidação, desde as primeiras camadas.

A Elipsometria é uma técnica de óptica que permite a medida de propriedades ópticas de superfícies e filmes refletor¹. Isto é obtido devido a mudança no estado de polarização de um feixe de luz plano polarizado, refletido por uma superfície. É um processo de medida não destrutivo e de extrema sensibilidade. Permite, por exemplo, a determinação de camadas de óxido de apenas alguns angstroms de espessura.

2. TEORIA

O fenômeno da reflexão produz uma diferença de fase entre as componentes paralela e perpendicular de um feixe de luz monocromático, incidente em uma superfície, e muda sua razão de amplitude. Esta alteração no estado de polarização é medida pela elipsometria através da relação básica:

$$r_p/r_s = \operatorname{tg} \varphi \cdot \exp(i\Delta)$$

que relaciona a razão entre os coeficientes complexos de Fresnel, r_p e r_s , da superfície aos ângulos elipsométricos φ e Δ . Assim para uma superfície limpa, sem filmes, é possível determinar o índice de refração complexo N , onde $N = n - ik$ (n é o índice de refração real e k é o coeficiente de extinção). Estão relacionados aos ângulos elipsométricos através das equações ²:

$$2nk = \frac{\sin^2 \theta \operatorname{tg}^2 \theta \sin 4\varphi \sin \Delta}{(1 + \sin 2\varphi \cos \Delta)^2}$$

$$\text{e } n^2 - k^2 = \frac{\sin^2 \theta \operatorname{tg}^2 \theta (\cos^2 2\varphi - \sin^2 2\varphi \sin^2 \Delta) + \sin^2 \theta}{(1 + \sin 2\varphi \cos \Delta)^2}$$

onde θ é o ângulo de incidência.

No caso de alteração da superfície, através da formação de um filme de óxido, valores diferentes de φ e Δ serão registrados, resultando valores de n e k diferentes, chamados de pseudo constantes. Também pode ser calculada a espessura do óxido; Vasicek ² mostrou que, para filmes de espessura bem menor que o comprimento de onda da luz incidente ($d \ll \lambda$), as variações em φ e Δ são funções lineares de d , ou seja,

$$\delta \Delta = \Delta - \Delta' = -Ad / \varphi$$

$$\delta 2\varphi = 2\varphi - 2\varphi' = Bd$$

onde φ' e Δ' referem-se aos valores obtidos na ausência do

filme e A e B são funções do ângulo de incidência, do comprimento de onda da luz, e das constantes ópticas do substrato e do filme. A validade destas relações é limitada a filmes de espessura menor que 100 Angstroms, sendo ideal para o estudo do crescimento natural de óxidos em filmes metálicos.

3. ARRANJO EXPERIMENTAL

Foi desenvolvida uma câmara de evaporação de aço-inox, conectada a um sistema de vácuo composto por uma bomba mecânica (Welch, modelo 1376) e uma difusora (da Edwards, modelo E02). O sistema é capaz de atingir uma pressão final de 10^{-6} torr. Janelas ópticas foram dispostas num ângulo de 140 graus, para a entrada e saída do feixe de luz dentro da câmara. Fig. 1

As evaporações são feitas através de um filamento de tungstênio aquecido por uma fonte de corrente (max. de 300 A e 6V). Uma fonte de tensão (max. 3.000V e 200mA), para descarga de "glow" antes de cada evaporação, para limpeza do substrato.

O elipsometro acoplado é do tipo fotométrico automático, com analisador rodando³. O instrumento consiste de uma fonte de luz monocromática (laser de He-Ne), que incide num polarizador (tipo Glan, coef. de extinção 10^{-6}), gerando uma onda plano polarizada. O feixe refletido pela amostra passa por um analisador (polarizador rodando) e é detetado por uma fotomultiplicadora (RCA, S20). O processo de medida é totalmente automático (controlado por micro computador); os dados processados são impressos em terminal sob forma de ângulos elipsométricos, constantes ópticas e pseudo constantes da superfície.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os filmes de alumínio foram evaporados em substrato de vidro a uma pressão menor que $4 \cdot 10^{-5}$ torr, à temperatura ambiente. As laminas de vidro foram limpas com solventes organi-

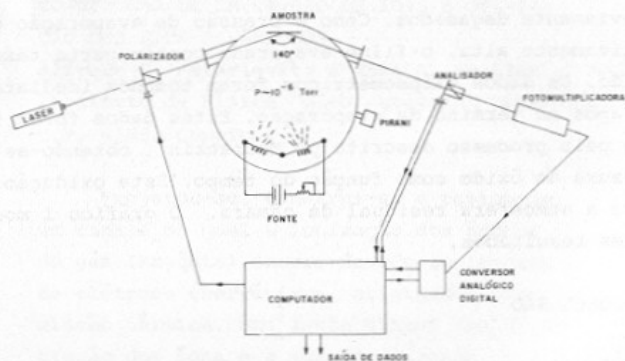


FIGURA 1 - ARRANJO EXPERIMENTAL

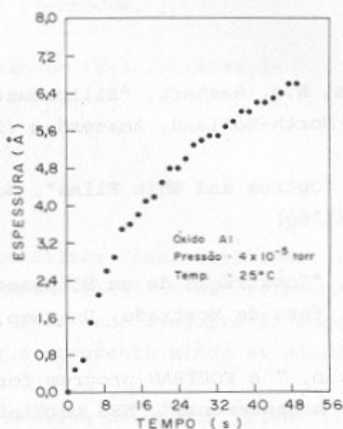


GRÁFICO I - OXIDAÇÃO DE FILME DE ALUMÍNIO

cos (tricloro, acetona e metanol, em ultra-som) e submetidos a uma descarga de "glow", em argônio, durante 30 min. à 50 mtorr. Foram utilizados filamentos de tungstênio, previamente degasados. Como a pressão de evaporação é relativamente alta, o filme evaporado contém certa taxa de óxido. Os dados elipsométricos foram tomados imediatamente após ao término da evaporação. Estes dados foram tratados pelo processo descrito por McCrackin⁴, obtendo-se a espessura do óxido como função do tempo. Esta oxidação se deve a atmosfera residual da câmara. O gráfico I mostra estes resultados.

5. CONCLUSÃO

Estes resultados iniciais estão de acordo com os resultados encontrados na literatura.⁵ O sistema apresenta precisão de centésimo de grau nas medidas dos parâmetros elipsométricos, o que permitirá o estudo de nitretação, hidretação e oxidação de filmes. Uma descrição mais detalhada da câmara de evaporação e do elipsometro, será publicada oportunamente.

BIBLIOGRAFIA

1. R.M.A. Azzam, N.M. Bashara, "Ellipsometry and Polarized Light", North-Holland, Amsterdam (1977) cap.6.
2. A. Vasicek, "Optics and Thin Films", North-Holland, Amsterdam, (1960)
3. A.J. Damião, "Construção de um Elipsometro Fotométrico Automático", Tese de Mestrado, Unicamp, (1982)
4. F.L. McCrackin, "A FORTRAN program for analysis of Ellipsometer measurements", NBS technical note 479, (1969)
5. T.H. Allen, J.Vac. Sci. Technol., 13 (1976) 112.