

UNIFORMIDADE EM ESPESSURA DE FILMES FINOS PREPARADOS POR R.F. SPUTTERING

Airton Lourenço, Roberto T. Assumpção\* e Annette Gorenstein  
DFA/IFGW/UNICAMP e \* Depto. Engenharia Materiais, FEM/UNICAMP, CP 6165  
CEP 13081, Campinas, SP

RESUMO:

O controle da espessura de filmes finos é de fundamental importância, tanto a nível de laboratório como a nível de processos industriais em larga escala, uma vez que este parâmetro exerce influência nas propriedades básicas do material, especialmente ópticas, elétricas e estruturais.

Neste trabalho, filmes finos de alumínio foram preparados por r.f. sputtering, tendo sido realizado um estudo detalhado da uniformidade de espessura em uma série de posições do porta-substrato.

Os resultados obtidos possibilitaram a simulação do perfil em espessura sobre toda a área útil do porta-substrato, servindo de orientação para a utilização deste sistema de deposição (BAE 250) para outros materiais e condições experimentais.

I- INTRODUÇÃO:

O controle da espessura de filmes finos é de fundamental importância tanto a nível de laboratório como a nível de processos industriais em larga escala. No segundo caso, razões econômicas são usualmente as dominantes, uma vez que normalmente as demais variáveis do processo já estão estabelecidas. Por outro lado, a influência da espessura nas propriedades fundamentais, especialmente ópticas, elétricas e estruturais, torna seu controle ainda

mais necessário durante o processo de pesquisa e desenvolvimento de novas estruturas e/ou materiais.

Exemplo típico de importância da relação espessura / propriedades fundamentais ocorre na preparação de filmes finos de materiais transparentes e eletro-condutores (EC), usualmente filmes finos metálicos ou de óxidos metálicos semicondutores tais como óxido de índio, óxido de estanho, óxido de índio e estanho, etc [1]. Nesses materiais, de aplicações tão distintas como substratos para dispositivos optoeletrônicos ou parceiros em heterojunções semicondutoras para conversão fotovoltaica, as propriedades básicas devem ser globalmente otimizadas.

Neste trabalho, filmes finos de alumínio foram preparados por RF-Sputtering sendo realizado um estudo detalhado da uniformidade de espessura em uma série de pontos do porta-substrato. Os resultados obtidos possibilitaram a simulação numérica sobre toda a área útil do porta-substrato (500 cm<sup>2</sup>), servindo de orientação para a utilização deste sistema de deposição para outros materiais e condições experimentais.

II- PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Lâminas de vidro de 25 x 25mm foram

utilizadas como substratos. Após limpeza orgânica convencional (tricloroetileno, acetona, água deionizada e etanol) foi impresso um padrão nas lâminas utilizando a técnica de fotolitografia.

A sequência de preparação dos filmes finos (veja fig. 1) segue o esquema abaixo:



Figura 1- Esquema de preparação do substrato.

1- Deposição/revelação do foto-resist formando faixas com 400 µm de largura separadas por 100 µm de distância.

2- RF-Sputtering de alumínio sobre toda a área do substrato.

3- Remoção das regiões com resina através de ataque químico em banho ultrassônico, resultando em camadas bem delineadas de alumínio com 100 µm de largura e espaçadas por 400 µm.

#### II.1- Deposição de alumínio

Os filmes de alumínio foram preparados por RF-Sputtering utilizando o sistema BAE 250 Balzers, que é um equipamento de pequeno porte e bastante versátil, com uma câmara de deposição de 250mm de diâmetro por 400mm de altura e posição do alvo excêntrico.

A figura 2 mostra um desenho esquemático da câmara de deposição, que possui também uma fonte de evaporação térmica, possibilidade de aquecimento das amostras durante o crescimento e um sistema de rotação do porta-substrato.

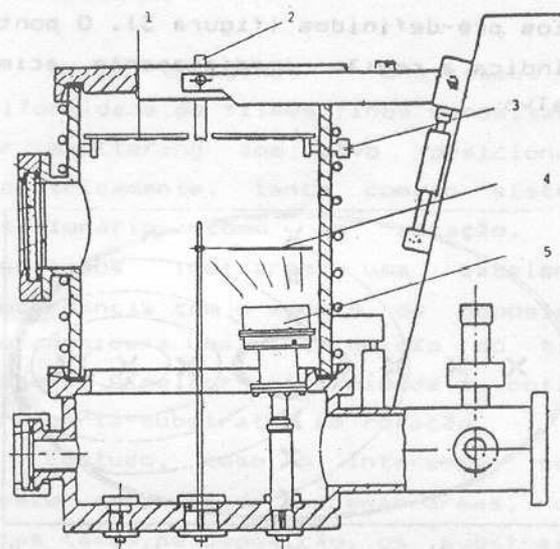


Figura 2- Esquema da câmara de deposição (1) Porta-substrato; (2) Monitor de espessura; (3) Motor; (4) Shutter; (5) Alvo.

As deposições foram realizadas em duas etapas (porta-substrato fixo e girando a 60 rpm) em plasma de argônio ultra puro a uma pressão de trabalho de  $7 \times 10^{-3}$  mbar e 200 watts de potência, resultando em uma taxa de deposição de 70 Angstroms/min, conforme determinação feita através do monitor de cristal de quartzo localizado no centro e ao mesmo nível do porta-substrato (fig 2).

A tabela 1 apresenta os dados relativos às condições de deposição.

TABELA 1

#### Condições de Deposição

Material do alvo.....	Al puro
Distância alvo/substrato.....	180mm
Atmosfera de deposição.....	Ar + O <sub>2</sub>
Pressão de trabalho.....	$7,0 \times 10^{-3}$ mbar
Potência.....	200watts
Tempo de deposição.....	10min
Taxa de deposição.....	70Å/min

Os substratos foram fixados em pontos pré-definidos (figura 3). O ponto 'A' indica a região imediatamente acima do alvo.

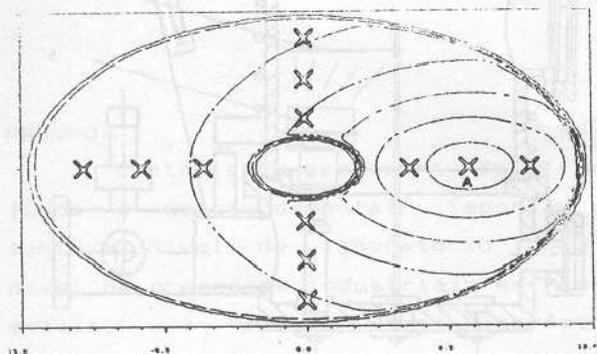


Figura 3- Posicionamento das amostras no porta-substrato.

As medidas de espessura dos filmes foram feitas através do equipamento ALPHA-STEP 200 (TENCOR), que permite medidas com uma precisão nominal de  $\pm 5$  angstroms. Os valores apresentados referem-se à média de 4 regiões distintas da amostra. A Figura 4 ilustra uma destas medidas.

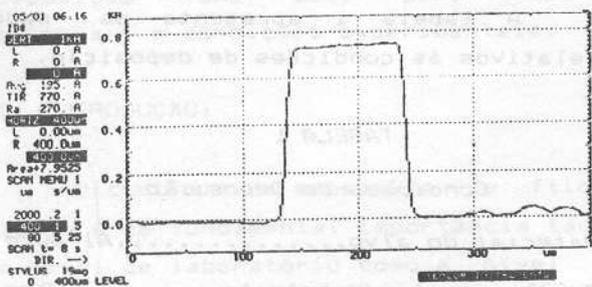


Figura 4-Perfil de espessura típico de uma amostra.

### III- RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 5 apresenta o perfil de espessura para diferentes posições das

amostras no porta-substrato. A figura 5a é relativa ao porta-substrato estacionário, e a figura 5b ao porta substrato em rotação. As setas indicam a posição aproximada do alvo.

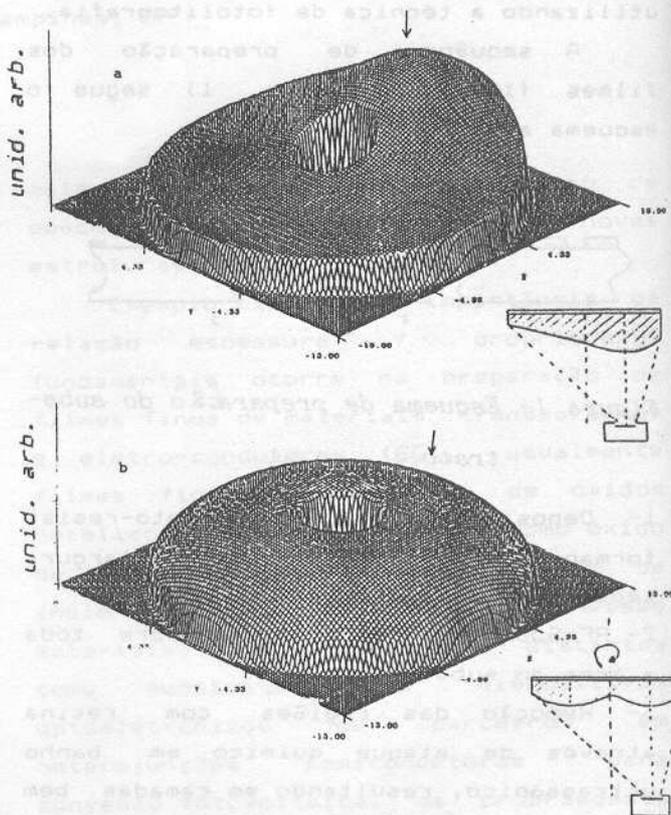


Figura 5 - Perfil de espessura para porta-substrato estacionário 5(a) e porta-substrato em rotação 5(b).

A uniformidade obtida no caso do porta-substrato em rotação é muito superior à obtida no caso estacionário. Nas condições experimentais deste trabalho, a variação de espessura no primeiro caso não ultrapassa 10%, para uma área útil de 180 cm<sup>2</sup> ao redor do centro do porta substrato. Já no caso de porta-substrato estacionário, as variações de espessura atingiram valores de até 70%. A maior espessura é obtida para amostras imediatamente acima do alvo. Amostras com mesma distância

relativa ao ponto "A" (Figura 3) apresentam mesma espessura final, indicando que o fator determinante é o angulo sólido originário no centro do alvo.

Segundo Schwartz, Jones e Maissel [2], a taxa de deposição ( $I_o(r)$ ) de filmes metálicos por sputtering é dada pela fórmula:

$$I_o(r) = \frac{m}{2} \left( 1 + \frac{R^2 - r^2 - D^2}{[(D^2 + R^2 - r^2)^2 + (2rD)^2]^{1/2}} \right)$$

onde R= raio do alvo

D= distância alvo/amostra

m= emissão do disco

r= distância da amostra ao ponto "A" do porta-substrato.

A Figura 6 mostra a taxa de deposição experimental em função de  $I_o(r)/(m/2)$ , mostrando a concordância entre os resultados experimentais e a expressão acima.

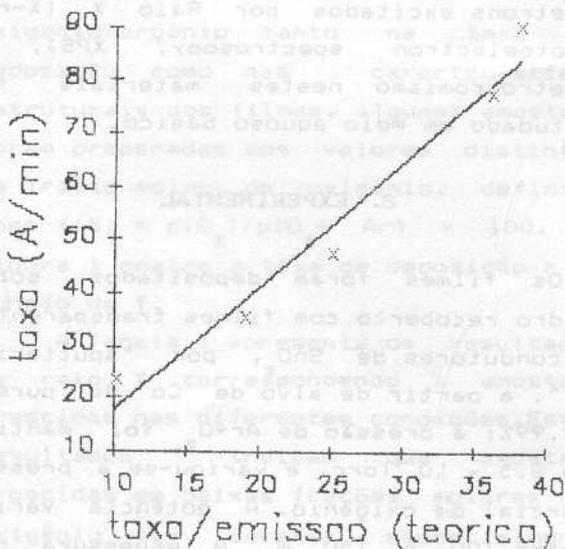


Figura 6- Taxa de deposição experimental vs.  $I_o(r)/(m/2)$ .

#### IV- CONCLUSÃO

Neste trabalho, analisamos a uniformidade de filmes finos depositados por sputtering com alvo posicionado excêntricamente, tanto com o sistema estacionário como em rotação. Os resultados indicaram uma excelente concordância com o modelo de deposição que considera uma distribuição do tipo cosseno. A melhor uniformidade é obtida para porta-substratos em rotação.

Contudo, caso o interesse seja crescer amostras de pequenas áreas, com altas taxas de deposição, os substratos devem ser colocados imediatamente acima do alvo, e o porta-substrato deve ficar parado.

Agradecimentos: Agradecemos ao Prof. Paulo H. Sakanaka (IFGW/UNICAMP), pelo apoio na área de computação.

#### REFERÊNCIAS

- [1] K.L. Chopra, S. Major e D.K. Pandya, Thin Solid Films, 102 (1983) 1 - 46.
- [2] G.C. Schwartz, R.E. Jones e L.I. Maissel, J. Vac. Sci. Techn., 6 (1969) 351 - 354.