

## Experimento 6

### FILMES FINOS – PREPARAÇÃO E APLICAÇÕES

#### Introdução

Uma das primeiras observações de deposição de filmes finos foi realizada por Faraday, que explodiu metais em uma atmosfera inerte. A possibilidade de se depositar camadas finas de metais por aquecimento Joule em vácuo foi concebida em 1887. No início, o estudo destes filmes estava voltado para aplicações óticas e a cinética de difusão de gases. Após a obtenção de sistemas de alta capacidade e alto vácuo, houve um crescente interesse industrial em aplicações, como em camadas anti-refletoras, superfícies refletoras de espelhos, camadas múltiplas para espelhos interferométricos, etc. Nos últimos anos, o maior interesse em filmes finos acontece na indústria de eletrônica e microeletrônica, com a fabricação de dispositivos como células solares, transistores, xerografia, detectores e memórias magnéticas e óticas, entre muitas outras aplicações.

A maioria dos métodos de deposição de filmes finos utiliza vácuo e a presente experiência visa introduzir duas das mais importantes técnicas de deposição de filmes finos: 1) evaporação térmica sob vácuo e 2) pulverização catódica. As atividades deste experimento serão conduzidas por um responsável com acompanhamento dos estudantes. Serão apresentadas várias aplicações de filmes finos e será realizada a deposição de um filme de alumínio.

#### Experimento

##### 1) Evaporação térmica sob vácuo

Como sabemos, todo material, seja elemento ou composto, apresenta, para cada temperatura, uma pressão de vapor, definida como sendo a pressão em que a fase vapor está em equilíbrio com a fase sólida ou líquida do material. Nestas condições, quando colocamos um pedaço de material sob vácuo e aumentamos a sua temperatura utilizando um aquecedor, sua pressão de vapor aumenta consideravelmente, levando a uma evaporação intensa do material. Este vapor, ao encontrar uma superfície fria, como um substrato específico onde queremos depositar o filme, volta ao estado sólido, formando o filme desejado. A espessura depositada dessa maneira depende da distância entre a fonte e o alvo e da natureza e da temperatura da fonte, composta pelo aquecedor e pelo material a ser evaporado e depositado, e do tempo de deposição. No caso em que todo material na fonte é evaporado, podemos pensar que esse volume é espalhado uniformemente em uma casca esférica de raio igual à distância  $d$  do substrato à fonte e espessura igual à espessura  $e$  do filme. Se a amostra a ser evaporada está na forma de um fio de diâmetro  $\phi$  e comprimento  $L$ , podemos determinar que a espessura do filme depositado é de:

$$e = \frac{L\phi^2}{16d^2} \quad (1)$$

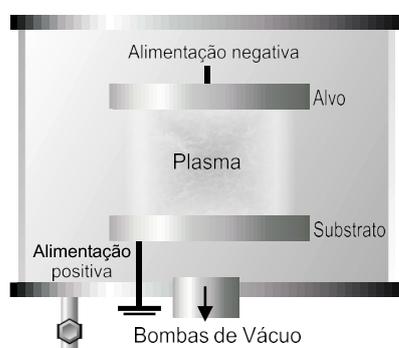
(deduza esta expressão). Essa equação nos permite estimar qual será a espessura do filme depositado, conhecendo-se as dimensões iniciais do fio de alumínio que será usado em nossa

experiência. Se não soubermos as dimensões do filme, mas tivermos o valor de sua massa, podemos obter uma equação semelhante. Deduza esta equação.

Nosso experimento utilizará uma câmara de evaporação, que é uma campânula de vidro, conectada a um sistema de vácuo consistindo de uma bomba difusora e uma bomba mecânica de palhetas e medidores de baixo e alto vácuo. Dentro dessa câmara existem pólos aos quais está ligado um filamento de tungstênio enrolado em forma de espiral. Esse filamento é aquecido por meio de uma fonte de baixa tensão e alta corrente, formada por um conjunto transformador-variatic. O fio de alumínio a ser evaporado é colocado dentro da espiral do filamento. O substrato em que se formará o filme consiste de uma lâmina de microscópio, cuja superfície é plana e muito limpa. Esse substrato é posicionado a uma certa distância do filamento, que deve ser medida. Para o processo de medida da espessura do filme é necessária a construção de um degrau entre o filme e o substrato. Isso é conseguido colocando-se uma lamínula de vidro sobre a lâmina de microscópio, colocada com uma fita gomada conveniente, ou utilizando outro obstáculo apropriado. Para a evaporação, a campânula é colocada no lugar e em seguida é feito o vácuo até atingir cerca de  $10^{-5}$  torr ou menos, e o conjunto transformador-variatic é acionado utilizando uma corrente apropriada, até que todo o fio de alumínio seja consumido. Desliga-se então o variatic, isola-se a câmara do sistema de vácuo e admite-se ar na campânula (ou nitrogênio, para evitar umidade nas paredes da campânula) até atingir a pressão atmosférica. Em seguida remove-se a campânula e retira-se a lâmina do sistema. Após a retirada da amostra é sempre recomendável deixar o sistema sob vácuo (neste caso basta utilizar a bomba mecânica).

## 2) Pulverização catódica (ou sputtering)

Neste experimento será utilizado um sistema de pulverização catódica (ou *sputtering*, em inglês, como é mais conhecido) que é uma das técnicas mais importantes para a deposição de filmes finos de maneira geral. Por questões técnicas utilizaremos *sputtering* DC, que usa uma tensão contínua. A Fig. 1 mostra um esquema simplificado de um sistema de pulverização catódica, que descreve bem a montagem experimental de nosso laboratório. Tipicamente, o "alvo", que é uma placa de material a ser depositado ou do material do qual um filme deverá ser sintetizado, é ligado ao terminal negativo (catodo) de uma fonte de alta tensão. O substrato onde se quer depositar o filme (anodo) é colocado em um suporte que é ligado ao outro terminal da fonte de alta tensão. Usualmente, este terminal está aterrado. Para iniciar e manter a descarga é introduzido um gás a baixa pressão. O gás mais usual para pulverização catódica é o argônio, embora outros gases, como o xenônio e kriptônio possam ser usados também. Quando a descarga luminescente é iniciada, íons positivos incidem no alvo e removem principalmente átomos neutros por transferência de momentum, e estes átomos condensam no anodo formando o filme fino desejado.



Fonte de gás para  
pulverização catódica

**Figura 1 – Diagrama esquemático do sistema de *sputtering* semelhante ao utilizado neste experimento.**

**Bibliografia:**

1. Tadatsugu Itoh, Ion beam assisted film growth (Elsevier, 1989)
- 

**RELATÓRIO (seguir o modelo da página 5)**

**Resumo** – Faça um resumo do relatório (em poucas linhas)

**I – Introdução** – Destaque os objetivos e a motivação deste experimento ilustrando várias aplicações.

**II – Descrição do procedimento** – descreva como o experimento foi realizado, fornecendo informações de dados utilizados.

**III - Resultados** – demonstre teoricamente como se obtém a equação 1 e determine, a partir dela, o valor esperado para a espessura do filme depositado. Obtenha outra expressão mais genérica usando a massa e a densidade do material (para qualquer material) como parâmetros e não as dimensões do fio. A espessura do filme deverá ser determinada experimentalmente no laboratório multiusuário do IFGW, LAMULT.

**IV - Discussão** – além de discutir o experimento realizado, faça uma descrição detalhada dos mecanismos de formação de filmes finos (processo de nucleação – consultar literatura especializada).

**V – Conclusão**

**VI – Referências**