

Universidade Estadual de Campinas  
Instituto de Física "Gleb Wataghin"

Aperfeiçoamento do Experimento de  
Caracterização de Filmes Finos Semicondutores

**Aluno:** Lucas Romano Muniz      **RA:** 009166  
**Orientador:** Prof. Dr. Ivan Emilio Chambouleyron

**F-809: Instrumentação para Ensino**

Coordenador da disciplina: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

## Introdução

O termo Filmes Finos é aplicado aos “coatings”, que possuem uma espessura muito fina e ampla aplicabilidade. Com o avanço da tecnologia de alto vácuo, os filmes finos passaram a ser aplicado às superfícies de componentes ópticos (lentes, prismas, filtros, etc.); em ligas e revestimento dos mais diversos tipos de materiais, como roupas, jóias, materiais poliméricos, etc. Os filmes finos desempenham uma função essencial na tecnologia de circuitos e dispositivos integrados. Esses filmes podem ser condutores, semicondutores, ou isolantes, normalmente crescidos termicamente ou por “sputtering”.

Nos anos recentes tem havido avanços no desenvolvimento de métodos de recuperação das propriedades ópticas e da espessura de filmes finos a partir de dados de transmitância. No caso geral, este é um problema subdeterminado de difícil solução [1]. Existem métodos aproximados para tratar o caso de filmes finos que apresentam, no espectro de transmitância, figuras de interferência em regiões de baixa ou nula absorção [2]. Na UNICAMP foram desenvolvidos métodos computacionais que permitiram resolver, com sucesso, o caso geral [3-7].

## Objetivos

O objetivo do programa é o estudo e a familiarização com os métodos tradicionais e avançados de caracterização óptica de filmes finos semicondutores de germânio/silício amorfo. A caracterização inclui a determinação das constantes ópticas e da espessura dos filmes.

Este projeto visa implementar o Experimento do Laboratório de Ensino de Vácuo e Criogenia, que além de realizar a preparação de um filme fino semicondutor, ele também propõe a medida de constantes ópticas e espessura. O problema é que o experimento está sendo feito utilizando-se técnicas de recuperação de tipo “envelope” como as apresentadas nas refs. [2], onde se supõe que os filmes são suficientemente grossos como para possuir franjas de interferência numa região espectral de nula ou baixa absorção. Estes métodos, porém, são muito limitados nas suas aplicações.

Neste projeto propomos a implementação do Método de Minimização Irrestrita (*Pointwise Unconstrained Minimization Approach* - PUMA), desenvolvido na UNICAMP e descrito em [4-7]. Este algoritmo resolve o problema de um modo geral, não impondo a condição acima de franjas de interferência em região de baixa ou nula absorção, utilizadas pelos métodos [2]. Isso nos permitirá aperfeiçoar o ensino da caracterização e recuperação das propriedades ópticas de filmes finos em uma aula expositiva de um curso ministrado na graduação do Instituto de Física.

## Materiais e Métodos

- Espectroscopia de visível e infravermelho próximo: Espectrofotômetro Lambda 9, Perkin Elmer, Laboratório de Ensino de Ótica, IFGW.
- Método desenvolvido por Swanepoel para análise de filmes finos [2].

- Método de recuperação de constantes óticas e espessura de filmes finos diétricos e semicondutores [1].
- Computador com suporte LINUX para a execução do software PUMA e sistema de pulverização catódica (figura 1). Neste experimento não será necessário suporte financeiro, pois utilizaremos materiais do Laboratório de Pesquisa Fotovoltaicas do DFA/IFGW.

## Metodologia

Neste projeto de instrumentação propomos um aperfeiçoamento do experimento de caracterização de um filme fino semicondutor da disciplina F 640: Laboratório de Vácuo e Criogenia. Neste trabalho iremos apresentar os resultados de recuperação de propriedades óticas e da espessura obtidos a partir de medidas de transmitância de um filme fino de Germânio e/ou Silício depositado sobre um substrato de vidro ou de silício cristalino através da técnica de pulverização catódica (ou *sputtering*). Esta técnica é uma das mais importantes para a deposição de filmes finos em geral.

No caso da deposição dos semicondutores citados acima, podemos salientar a importância destes elementos no campo da microeletrônica, utilizado na fabricação de células solares, entre outros dispositivos eletrônicos.

A partir do espectro de transmitância do filme fino preparado iremos determinar a espessura e as propriedades óticas e do material depositado, índice de refração, banda de energia proibida do filme e coeficiente de absorção.

Para realizar a deposição por sputtering, utilizaremos o sistema de vácuo ilustrado na Figura 1. Esta figura mostra um esquema simplificado de um sistema de pulverização catódica, que descreve bem a montagem experimental que será utilizada no laboratório. Tipicamente, o “alvo”, que é uma placa de material a ser depositado ou do material qual um filme deverá ser sintetizado, é ligado ao terminal negativo (catodo) de uma fonte 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 será introduzido um gás a baixa pressão, usualmente no intervalo de pressão de mTorr. O gás mais usual para pulverização catódica é o argônio, embora outros gases, como xenônio e o kriptônio possam ser usados também.

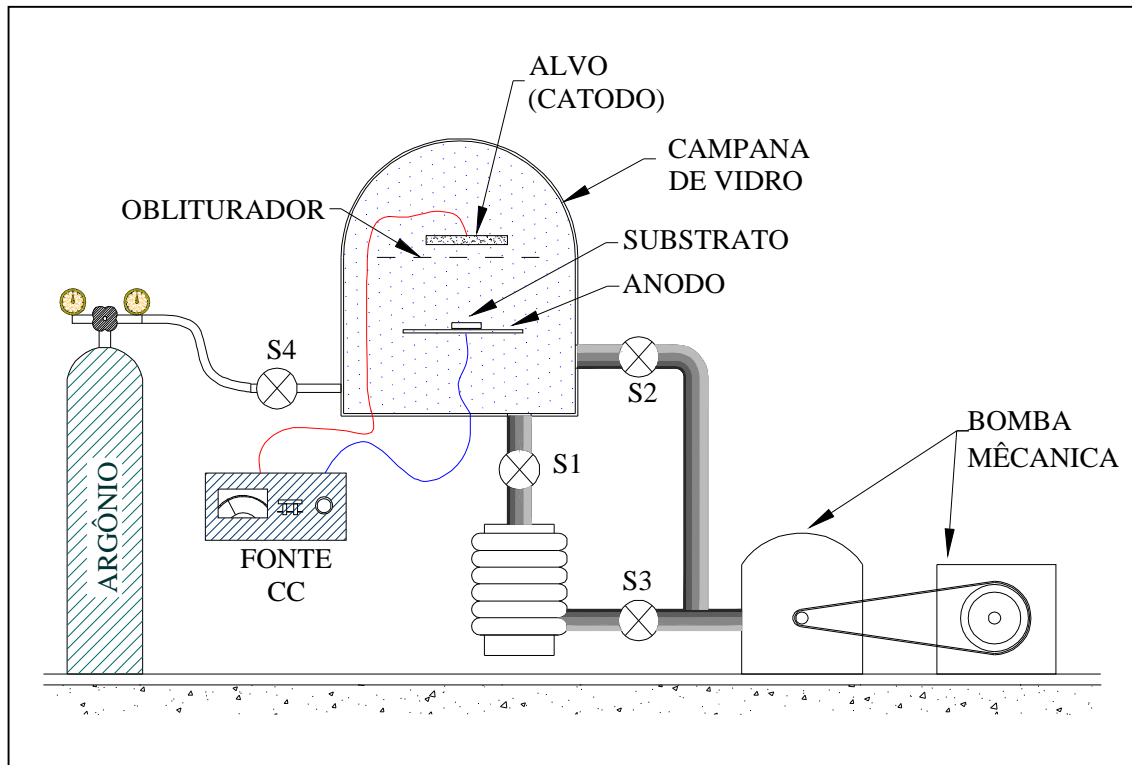


Figura 1: Montagem experimental utilizada na deposição do filme.

Quando a descarga luminescente é iniciada, íons positivos incidem no alvo e removem principalmente átomos neutros por transferência de momento linear, e estes átomos condensam no anodo, formando o filme desejado. A taxa de pulverização catódica (sputtering yield) é definida como a razão do número de átomos ejetados da superfície por um íon incidente, e é uma das grandezas mais importantes no processo de pulverização catódica.

Após a preparação do filme fino, faremos uma medida de transmitância ótica. Utilizaremos o Espectrofotômetro Lambda 9 da Perkin Elmer. Vamos realizar a medida espectral na região do visível e infravermelho próximo (400nm a 2600nm), onde ambos, o filme e o substrato permitem a passagem da luz.

Com estes dados em mãos poderemos fazer a recuperação das constantes ópticas e da espessura utilizando o método descrito em [4-7] e fazer uma comparação com o método de Manifacier descrito em [2], até hoje utilizado no experimento.

Com isso espero poder contribuir com o aperfeiçoamento de uma técnica experimental, não só dentro de um laboratório de pesquisa, mas dentro de uma sala de aula, visto que este experimento é realizado em uma disciplina de graduação. A partir desta experiência, os futuros estudantes de graduação do IFGW poderão se familiarizar com o PUMA, método avançado de caracterização de filmes finos desenvolvido na própria UNICAMP.

## Referências

- [1] *Optical properties of dielectric and semiconductor thin films*, I. Chambouleyron and J. M. Martínez, in Vol. **3**, Ch. 12, *Handbook of Thin Film Materials*, Ed. H. S. Nalwa (Academic Press, San Diego, USA, 2001), pp.593-622.
- [2] J. C. Manifacier, J. Gasiot and J. P. Fillard, *J. Phys E.: Sci. Instruments* **9**, 1002 (1976); A. M. Goodman, *Appl. Optics* **17**, 2779 (1978); R. Swanepoel, *J. Phys E.: Sci. Instruments* **16**, 1214 (1983); *ibid.* **17**, 896 (1984).
- [3] I Chambouleyron, J. M. Martinez, A. C. Moretti and M. Mulato, *Applied Optics* **36**, 8238-8247 (1997).
- [4] E. G. Birgin, I. Chambouleyron and J. M. Martínez, *J. Computational Physics* **151**, (2) 862-880 (1999).
- [5] M. Mulato, I. Chambouleyron, E. G. Birgin and J. M. Martínez, *Appl. Phys. Lett.* **77** (14) 2133-2135 (2000).
- [6] I. Chambouleyron, S. Ventura, E. G. Birgin and J. M. Martinez, *J. Appl. Phys.* **92**, 3093-3102 (2002).
- [7] E. G. Birgin, I. Chambouleyron and J. M. Martinez, *J. Comp. Appl. Math.* **152**, 35-50 (2003).