

F530

Relatório Final



“Desenho e construção de evaporadora MBE (Molecular beam epitaxy)”

Aluno: Caio Cesar Silva
c080870 at dac.unicamp.br

Orientador: Prof. Dr. Abner de Siervo
asiervo at ifi.unicamp.br

Inst. de Execução: Inst. de Física Gleb Wataghin (IFGWUNICAMP)
C.P. 6165, 13083-970 Campinas SP.

Data: Junho/2011

I.Introdução

Para o crescimento controlado de filmes ultra-finos (sub-nanométrico) de diferentes tipos de materiais, uma possibilidade muito empregada é a de evaporação térmica do material desejado por células de efusão tipo MBE (Molecular beam epitaxy). Estas células são evaporadoras térmicas que utilizam o princípio de bombardeamento de elétrons. Essa instrumentação é relativamente complexa, pois combina mecânica de precisão, tecnologia de ultra-alto-vácuo e eletrônica de potência e de medição. O grupo de física de superfícies tem utilizado equipamentos deste tipo que tiveram versões preliminares desenvolvidas no próprio laboratório e outros adquiridos de empresas especializadas. Devido ao altíssimo custo deste tipo de equipamento e pelo fato de dominarmos o conhecimento necessário para o desenvolvimento de tecnologia própria, pretendemos com este projeto detalhar um desenho 3D profissional, utilizando ferramentas como CAD 3D para desenvolver este tipo de equipamento no país.

II.Teoria

O funcionamento de uma evaporadora por feixe de elétrons baseia-se na transferência de energia de elétrons acelerados por um campo elétrico. Um filamento é controladamente aquecido por meio de uma corrente I . Este filamento aquecido emite elétrons através do efeito termiônico, o qual é governado pela equação 1, onde J é a densidade de corrente (corrente por unidade de área) emitida pelo filamento, Λ é uma constante e seu valor

teórico e de aproximadamente $120 \text{ A cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$, K_B é a constante de Boltzmann, T é a temperatura absoluta do filamento e ψ é a função trabalho do material.

$$J = \Lambda \cdot T^2 \cdot \exp\left(\frac{-\psi}{K_B \cdot T}\right)$$

Equação 1

Um cadinho, geralmente feito de grafite, é posicionado próximo ao filamento e polarizado positivamente através de uma fonte de tensão V . Esta polarização produz um campo elétrico \mathbf{E} que aponta do cadinho (maior potencial) para o filamento (menor potencial). Esse campo produz sobre os elétrons emitidos uma força \mathbf{F} no sentido de atraí-los em direção ao cadinho. Estes elétrons então se chocam contra o cadinho e aquecem-no, aquecendo também o material que está no interior do mesmo por simples condução. Como o ponto de fusão do cadinho é bastante elevado, este permanece intacto enquanto seu conteúdo é evaporado.

Devido às altas temperaturas e altas energias envolvidas neste processo, os átomos do material evaporado estão em sua forma ionizada e, por isso, ao tocarem o anel coletor de íons, o qual é um anel metálico posicionado na saída da evaporadora, produzirão uma corrente que é proporcional ao fluxo de átomos (moléculas) evaporados. Esta medida de corrente representa uma estimativa da taxa de evaporação do material.

III.Desenho da Montagem Mecânica

Primeiramente, foi necessário conhecer a ferramenta de desenho 3D Autodesk Inventor. Todos os desenhos mecânicos do projeto foram feitos utilizando-se essa ferramenta.

A montagem mecânica da evaporadora pode ser dividida em três partes, sendo: Interface com o vácuo, corpo e bico.

Interface com o vácuo:

Esta é a parte que fica fora da câmara, portanto, é a interface entre a região com pressão atmosférica e a região em ultra-alto-vácuo.

Todas as dimensões foram definidas de tal forma que as soldas pudessem ser feitas sem maiores dificuldades. Como esta peça fica na interface de regiões com pressões diferentes, é fundamental que ela seja isenta de vazamentos.

A peça é constituída basicamente por um corpo cônico e côncavo montado sobre uma flange CF40. Este corpo possui quatro entradas, sendo uma entrada central e três entradas em ângulo, onde foram soldados tubos que possuem na outra extremidade flanges CF16. Por esses tubos passam o cadinho, água para resfriamento da evaporadora e passantes elétricos.

O material escolhido para a fabricação dessa peça foi o aço inox e ela foi fabricada na oficina do Departamento de Física Aplicada do Instituto de Física Gleb Wataghin. As soldas e testes para vácuo foram realizados na oficina de vácuo do mesmo instituto.

A figura 1 mostra o desenho mecânico da peça de interface com o vácuo.



Figura 1 – Imagem da interface

Corpo:

O Corpo da evaporadora é basicamente um cilindro de cobre. Uma das extremidades do cilindro possui um furo por onde entra o cadinho e a outra possui um furo menor por onde sai o material evaporado. Nesta extremidade está o filamento de tungstênio do qual são emitidos os elétrons por efeito termiônico. O filamento está posicionado de forma a não entrar em contato com o cilindro de cobre, assim, dois fios que passam por fora do corpo são conectados ao filamento para que possa passar a corrente elétrica.

O Corpo possui um sistema de resfriamento. Este é constituído por uma cavidade, que fica dentro da parede do corpo cilíndrico, por onde entra um tubo de diâmetro igual a 1/4 de polegada, por dentro desse tubo passa outro tubo de diâmetro igual a 1/8 de polegada. A água gelada entra pelo tubo de 1/8" e volta pelo tubo de 1/4" que está em contato com a parede do

cilindro de cobre, dessa forma, a água retira o calor resfriando o corpo da evaporadora. Foi escolhido o cobre exatamente por sua alta condutividade térmica, o que é importante para o sistema de resfriamento do corpo da evaporadora.

O corpo da evaporadora foi fabricado na oficina mecânica do Instituto de Física Gleb Wataghin.

A figura 2 mostra o desenho mecânico do corpo da evaporadora.

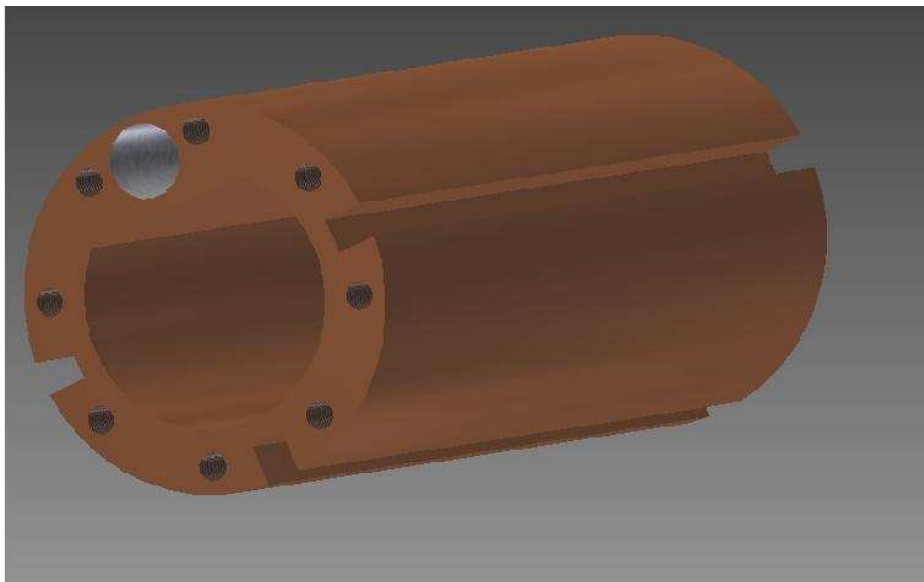


Figura 2 – Imagem do corpo

Bico:

O bico da evaporadora é local por onde o material evaporado sai. Esse deve ser posicionado na direção do substrato onde se deseja depositar o filme.

Na extremidade final do bico foi colocado um shutter que serve como um bloqueio permitindo ou não a passagem do material evaporado.

Na saída da evaporadora existe um coletor de íons responsável por medir a corrente de fluxo, sabendo assim qual foi a taxa do material de evaporação do material.

O material escolhido para a fabricação dessa peça foi o aço inox e ela foi fabricada na oficina mecânica do instituto de física Gleb Wataghin.

A figura 3 mostra uma imagem do bico da evaporadora.



Figura 3 – Imagem do bico

A figura 4 mostra uma imagem da montagem da evaporadora.



Figura 4 – Montagem da evaporadora

Todas as demais peças utilizadas na montagem da evaporadora, como passantes elétricos, conexões para o sistema de refrigeração e bellows, são modelos comerciais que foram comprados para uso na montagem.

IV. Montagem Mecânica

Todas as peças foram desenhadas e construídas e algumas compradas.

Todas as peças foram devidamente lavadas para uso em ultra-alto-vácuo, sendo assim, lavadas em uma solução de tricloro etano na presença de ultrassom, esse procedimento é feito para retirar sujeiras e gorduras presas nas peças. Em seguida é repetido o processo utilizando-se de uma solução acetona, e novamente, o processo é repetido utilizando-se uma solução de álcool isopropílico. As peças foram secas por um soprador térmico e todo manuseio feito nas peças, foi feito utilizando-se de luvas sem talco.

A evaporadora foi montada no laboratório do grupo de física de superfícies pelo aluno e seu orientador. A figura 5 mostra uma foto da evaporadora montada.



Figura 5 – Montagem final da evaporadora

Os primeiros teste realizados mostraram que a evaporadora construída atende aos propósitos de sua construção. Foram medidas correntes de emissão termiônica e verificou-se que o material presente no cadinho foi evaporado.

A evaporadora está montada no sistema STM (scanning tunneling microscope) que fica no laboratório do grupo de física de superfícies. Ela está montada na câmara de preparação *in situ* das amostras que serão analisadas no STM. A figura 6 mostra uma imagem da evaporadora montada no sistema STM.



Figura 6 – Evaporadora montada no sistema STM

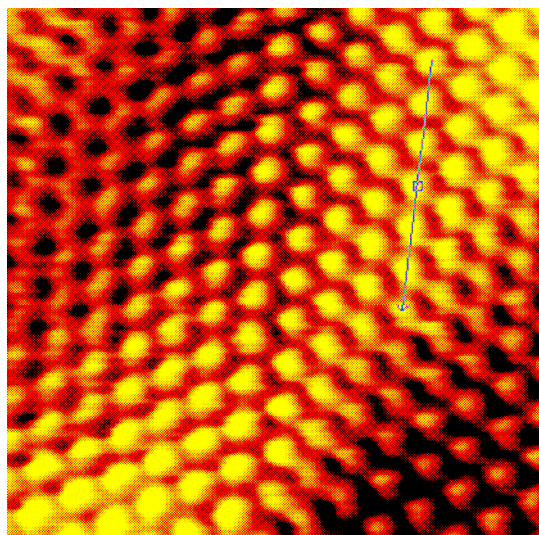


Figura 7 – Imagem de STM da superfície de paládio sobre um substrato de Au (111)

A figura 7 mostra uma imagem de STM da superfície de paládio, que foi evaporada pela evaporadora construída, sobre um substrato de Au(111).

IV. Conclusão

A instrumentação construída cumpriu seu propósito de controlar o crescimento de filmes ultra-finos (sub-nanométrico) de diferentes tipos de materiais. Ela tem sido utilizada regularmente pelo grupo de física de superfície, no sistema STM que fica no do departamento de física aplicada do instituto de física Gleb Wataghin.

A intenção do orientador é de construir novas evaporadoras a partir dos desenhos feitos para esse projeto.

V.Referências

- G. A. Fiorentini. Construção de um sistema de epitaxia por feixe molecular. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação , UNICAMP, 2008.
- Omicron. Home. Pagina na internet, Omicron Nanotechnology, março 2011. <http://www.omicroninstruments.com/index2.html>.
- Omicron. Home. Pagina na internet, Omicron Nanotechnology, junho 2011. <http://www.omicron.de/en/products/e-beam-evaporators>.
- M. A. Herman, H. Sitter. Molecular Beam Epitaxy - Fundamentals and Current Status. Springer,1996.
- E. H. C. Parker. The Technology and Physics of Molecular Beam Epitaxy. Plenum Press,1985.
- Sergio Gama. Introdução a Ciência e Tecnologia de Vácuo. Apostila do curso de vácuo - F640 (Unicamp), Agosto 2002.
- E. F. de Lima, M. Foschini, M. Magini. O Efeito Termiônico: Uma nova Proposta Experimental. Revista Brasileira de Ensino de Física, 23(4):391, 2001.

Parecer do Orientador

Disciplina : F-530 Instrumentação

Professor : Jose Joaquin Lunazzi

Aluno: **Caio César Silva**

Projeto: “Desenho e construção de evaporadora MBE (Molecular beam epitaxy)”

Orientador: Prof. Abner Siervo (DFA_IFGW)

Período : 1º Semestre de 2011

Avaliação:

O Sr. Caio C. Silva tem trabalhado no laboratório há algum tempo. Desenvolveu esta instrumentação científica como parte de um programa de iniciação científica. Essa instrumentação tem sido utilizada pelo grupo e tem atendido as nossas necessidades.

O desempenho do aluno foi excelente, mostrando uma contínua evolução do aprendizado e amadurecimento acadêmico.