

PULVERIZAÇÃO CATÓDICA: ASPECTOS DO PROJETO
E DA CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA COM
MÚLTIPLOS ALVOS*

Marco A. Silveira, Alaide P. Mammana
LED/FEC/UNICAMP
Caixa Postal 6061, 13100 - Campinas - SP
Carlos I.Z.Mammana
FEC/UNICAMP e Instituto de Microeletrônica/
CTI-SEI
Caixa Postal 6162, 13100 - Campinas - SP

Neste trabalho descreve-se o projeto e a construção do suporte giratório dos substratos, de seu protetor (shutter), e do conjunto de refrigeração dos porta-alvos do sistema de pulverização catódica com múltiplos alvos que está sendo desenvolvido no LED para uso na deposição de filmes finos para circuitos integrados. É discutida a concepção de projeto tendo em vista a utilização de materiais e componentes nacionais, apresentando-se o desenho completo do sistema, e detalhes sobre sua construção.

Pulverização Catódica, Projeto, Construção

1. INTRODUÇÃO

Quando uma partícula com alta energia bombardeia a superfície de um sólido uma série de efeitos pode ocorrer, entre eles a ejeção de espécies pelo alvo, as quais se depositarão sobre substratos colocados em sua trajetória, formando fil

* Este trabalho contou com o apoio financeiro das seguintes Instituições: CNPq (Projeto nº 40.3234/81), FINEP, TELEBRÁS e Sociedade Cultural e Beneficente Guilherme Guinle.

mes finos. Esta técnica de deposição é conhecida como Deposição por Pulverização Catódica (Sputtering).

O alvo e o substrato estão dentro de uma câmara de deposição, numa atmosfera geralmente de argônio, à baixa pressão, onde é induzido plasma por uma fonte de alta tensão. O alvo é mantido num potencial negativo em relação ao resto do sistema de forma a atrair os íons com alta energia.

Se o sistema dispuser de mais de um alvo pode-se obter filmes compostos à partir de alvos simples. Isto é particularmente importante na fabricação de contatos para dispositivos de alta compactação, os quais devem ter: baixa resistividade, boa compatibilidade química com os demais materiais empregados na fabricação de circuitos integrados, bom contato ôhmico, baixa solubilidade, compatibilidade com os processos térmicos, e outros. Os materiais que melhor satisfazem as exigências acima são as ligas e compostos ^[1,2], em particular os silicetos de metais refratários (MoSi_2 , WSi_2 , etc.)

Os silicetos, assim como outras ligas e compostos, podem ser obtidos num sistema de pulverização catódica com múltiplos alvos através da co-deposição do silício e do metal. Alimentando os dois alvos com tensões suficientes para produzir a remoção das espécies na taxa desejada, e fazendo com que os substratos girem numa velocidade tal que em cada volta se deposite menos que uma monocamada de cada material, pode-se obter filmes compostos bastante homogêneos ^[3]. Pode-se assim obter compostos binários, ternários, etc., a partir de alvos simples, podendo-se modificar a composição dos filmes variando-se as tensões de alimentação de cada alvo. Um sistema com múltiplos alvos permite ainda depositar estruturas com múltiplas camadas no mesmo ciclo de vácuo. Deposita-se a primeira camada; em seguida, gira-se o substrato e deposita-se outra camada, e assim sucessivamente. Como a câmara está em vácuo, a contaminação da superfície dos filmes é mínima.

Neste trabalho descrevemos o Sistema de Pulverização Catódica desenvolvido no Laboratório de Eletrônica e Dispositivo, o qual está sendo reformulado de modo a poder operar com três alvos. São apresentados os detalhes do projeto e da

construção do suporte giratório dos substratos, do protetor deste suporte (shutter) e do sistema de refrigeração dos alvos.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO CATÓDICA

O sistema de pulverização catódica do LED foi projetado e construído em nosso laboratório, sendo constituído basicamente do sistema de vácuo, da câmara de deposição e do sistema de alta tensão.

O sistema de vácuo é constituído basicamente de uma bomba difusora de 6", uma bomba rotatória de 2 estágios, uma armadilha fria, válvulas e sensores de vácuo.

Na Fig. I tem-se uma vista em corte da câmara de deposição. A Fig. II é uma vista em planta e a Fig. III é uma vista em elevação. A câmara tem formato cilíndrico, com altura de 20,0 cm e diâmetro interno de 44,6 cm. No seu corpo (1 na Fig. I) existem 8 aberturas fechadas por flanges (2), para a entrada de gases, sensores, suporte do mancal do sistema de levantamento da tampa e instalação de visores. Na tampa superior (3) estão localizados os três porta-alvos (4) e respectivas tampas de proteção (5), espaçados 120° um do outro, além do parafuso de entrada do sistema de proteção para o suporte dos substratos (6). A saída para o sistema de vácuo é um furo de 18 cm de diâmetro localizado na base da câmara (7) e concêntrico com ela. Nesta base estão também o furo para a entrada do acionador rotativo atmosfera-vácuo (8) e os três tirantes (9) que sustentam o suporte giratório dos substratos (10).

O sistema de alta tensão é constituído basicamente de fontes de alta tensão DC e do sistema de refrigeração dos porta-alvos (11 na Fig. I).

3. PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA

Os projetos das partes componentes do sistema de pulverização catódica foram feitos com a preocupação de se utilizar somente materiais e insumos nacionais, e os recursos disponíveis na Oficina Mecânica do LED, além de se procurar garantir uma boa versatilidade ao sistema. Assim o projeto permite variações de distâncias, fácil troca de alvos e substratos, fá

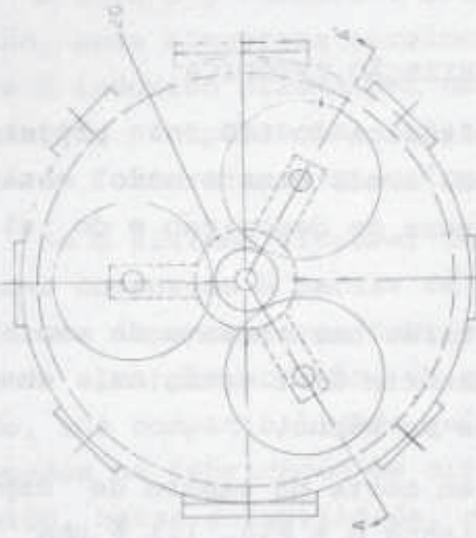


Fig. II - VISTA EM PLANTA
DA CÂMARA DE DEPOSIÇÃO

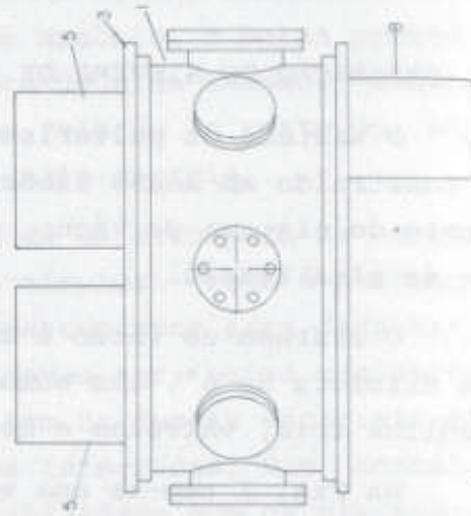


Fig. III - VISTA EM ELEVÇÃO
DA CÂMARA DE DEPOSIÇÃO

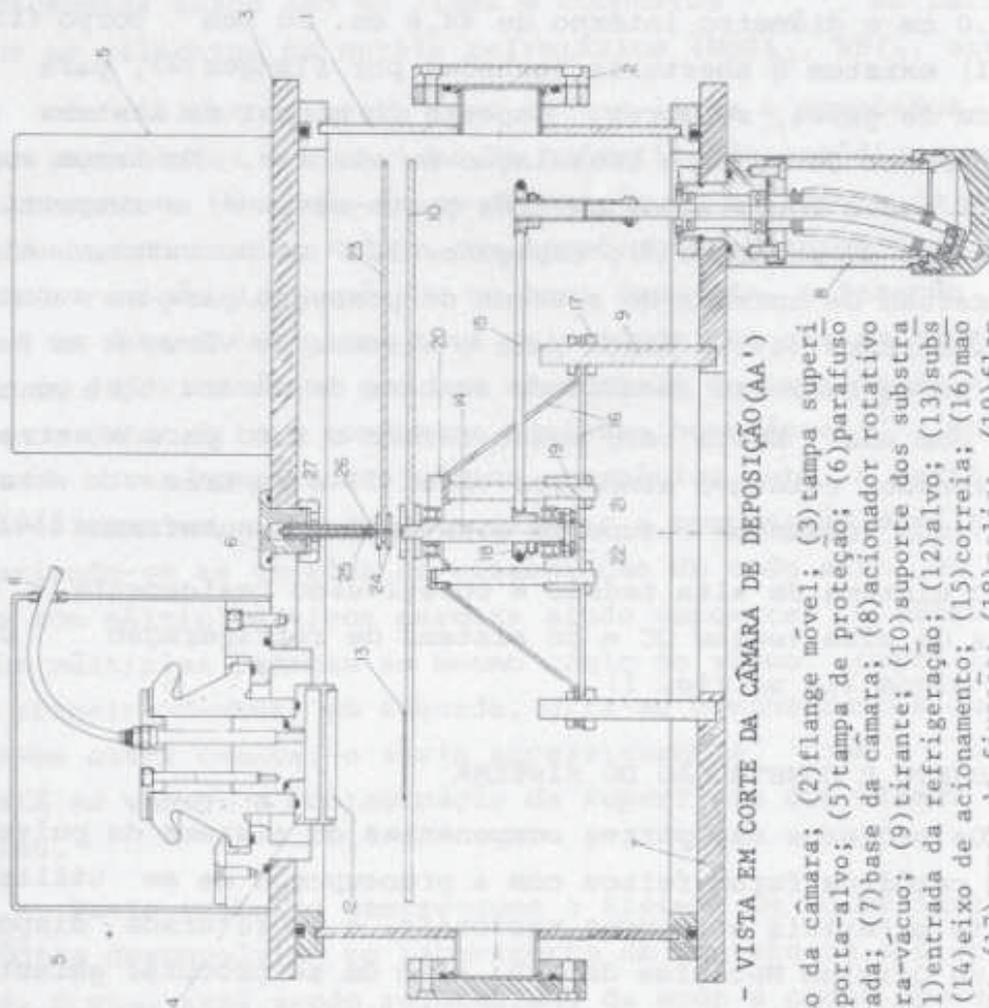


Fig. I - VISTA EM CORTE DA CÂMARA DE DEPOSIÇÃO (AA')

(1) corpo da câmara; (2) flange móvel; (3) tampa superior; (4) porta-alvo; (5) tampa de proteção; (6) parafuso de entrada; (7) base da câmara; (8) acionador rotativo atmosfera-vácuo; (9) tirante; (10) suporte dos substratos; (11) entrada da refrigeração; (12) alvo; (13) subtrato; (14) eixo de acionamento; (15) correia; (16) mao francesa; (17) porca de fixação; (18) polia; (19) flange inferior; (20) flange superior; (21) rolamento radial; (22) rolamento axial; (23) protetor; (24) porca de fixação; (25) eixo de sustentação; (26) tubo de sustentação; (27) porca principal.

cil operação e manutenção. As peças foram construídas de forma a impedir vazamentos virtuais. Foram feitos rasgos longitudinais em roscas e furos em algumas peças, de modo a reduzir as impedâncias na evacuação. Nas faces em que se fez necessário o selamento do vácuo, foi importante garantir superfícies planas e lisas, evitando-se riscos cruzados. Todas as partes foram construídas dentro dos limites de tolerância de 20 μm e as máquinas e ferramentas são as convencionais: torno, fresadora, furadeira, serra elétrica, paquímetro, micrômetro, e ferramentas comuns (bedames, machos, fresas, brocas, etc.).

SUPORTE GIRATÓRIO DOS SUBSTRATOS

Em um sistema com múltiplos alvos é necessário que estes ou o suporte dos substratos possam ser movimentados. Optamos por um suporte giratório para os substratos, cujo desenho de talhado é mostrado na Fig. I. Seu projeto foi feito tendo em vista atender às seguintes exigências básicas: suportar temperaturas de até 160°C, permitir variação de distância alvo-substrato (de 2,0 cm a 10,0 cm), suportar velocidade de até aproximadamente 20 rpm, ter a fonte de movimento deslocada de seu centro e apresentar um movimento praticamente isento de oscilações.

Devido às peculiaridades da câmara de deposição (alto-vácuo, ambiente reativo e necessidade de alta pureza), os materiais empregados em sua construção, principalmente os que estarão em contato direto com o plasma, devem ser escolhidos adequadamente. Em função disto, um ponto crítico no projeto do suporte giratório foi a transmissão do movimento do acionador rotativo (8 na Fig. I) para seu eixo de acionamento, afastados de 18 cm, de centro à centro. A transmissão por engrenagem não nos pareceu uma boa alternativa devido à geometria da câmara que exigiria uma alta relação de transmissão, sobrecarregando o acionador atmosfera-vácuo devido às altas velocidades de rotação envolvidas. Optamos pela transmissão por correia, mais apropriada que a transmissão por corrente, por não serem adequados à aplicação os materiais com que estas últimas são normalmente construídas. A correia deve apresentar as seguintes características: suportar temperaturas de até 160°C, ter baixa pressão de vapor, não absorver vapor d'água,

ter uma elasticidade conveniente e ser isenta de soltar detritos. A solução encontrada foi empregar um anel "o-ring" de "viton" (15 na Fig. I). Apesar de serem mais indicados os rolamentos de aço inox, por razões de custo, optamos por utilizar os convencionais de aço-cromo, lubrificados com graxa de silicone. As demais partes foram construídas com aço inox.

O conjunto todo é sustentado por três tirantes (9 na Fig. I), fixos na base da câmara e dispostos a 120° um do outro, através de três "mãos-francesas" (16), que estão apoiadas nas porcas de fixação (17), as quais permitem variar a distância alvo-substrato.

O suporte dos substratos é movimentado pela polia (18) que lhe é solidária e está apoiada nas flanges (19 e 20) através de dois rolamentos radiais (21) e um axial (22). O suporte dos substratos é um disco de aço-inox, de 0,4 cm de espessura e de 40,5 cm de diâmetro.

SISTEMA DE PROTEÇÃO PARA OS SUBSTRATOS

Com a câmara em vácuo, antes de se iniciar a deposição, deve-se proceder à remoção das primeiras camadas atômicas contaminadas da superfície dos alvos. Durante esta limpeza os substratos devem estar protegidos para evitar que estas partículas contaminadas se depositem em sua superfície. O protetor (shutter) (23 na Fig. I) é uma placa delgada de aço inox na forma de um setor de circunferência de 90%, que se interpõe entre o alvo e os substratos, impedindo que as partículas ejetadas do alvo se depositem no substrato. O sistema foi projetado de forma a permitir que o protetor possa ser facilmente trocado pela remoção da porca de fixação (24). Este sistema permite também que se adapte um rolamento ao eixo de sustentação (25) em torno do qual poderá girar o protetor. Assim, o acionamento pode ser feito externamente, através da força magnética exercida sobre um ímã colocado na borda do protetor. O eixo de sustentação do protetor é rosqueado no tubo de sustentação (26) de tal forma a poder ser movimentado. O tubo de sustentação pode também ser movimentado quando rosqueado na porca principal (27) de modo a se variar a distância entre o protetor e o alvo de 1,5 cm até 9,0 cm.

SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DOS ALVOS

Como 90% da potência entregue aos alvos é dissipada na forma de calor, faz-se necessário sua refrigeração eficiente. A Fig. IV mostra o diagrama de blocos do sistema de refrigeração projetado e construído por nós, o qual passamos a descrever.

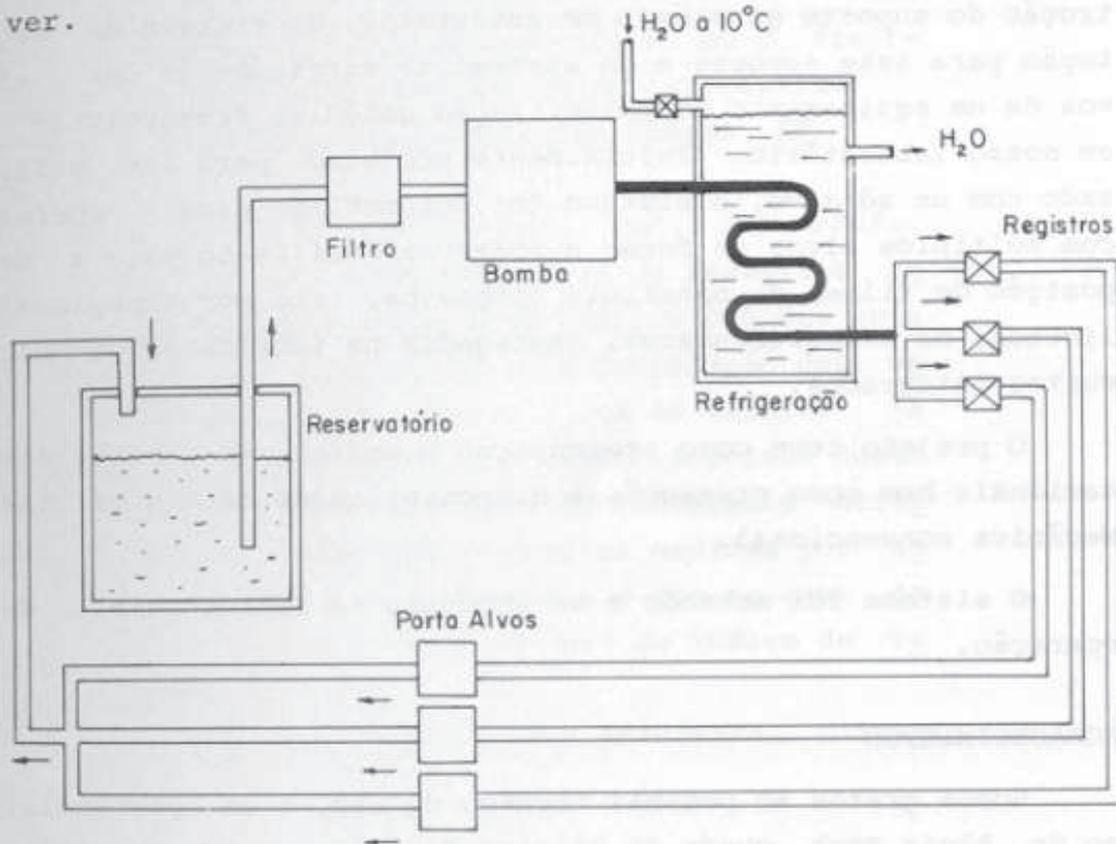


FIG. IV - DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

O fluido refrigerante utilizado é o óleo naftênico utilizado em transformadores, com boa isolação elétrica (30 KV), boa troca de calor, e baixa reatividade química com os demais materiais com que estará em contato (alumínio, cobre e latão). Uma bomba de engrenagem, de 1/2", acionada por um motor de indução trifásico de 6 polos/0,5 HP, faz circular óleo do reservatório para a linha de poliflo. Após passar pela serpentina de cobre imersa em água corrente a 10°C, a linha se subdivide em três, para resfriar os três alvos, cada uma com seu registro independente. O óleo circula por dentro dos porta-alvos, e a vedação é garantida por um anel de "o'ring". Depois da unificação das três linhas, a linha única resultante torna a despejar o óleo no reservatório,

fechando o circuito. Na entrada da bomba de engrenagem há um filtro que evita a passagem de partículas sólidas.

4. CONCLUSÃO

Apresentamos neste trabalho detalhes do projeto e construção do suporte giratório de substratos, do sistema de proteção para este suporte e do sistema de refrigeração dos alvos de um equipamento de pulverização catódica desenvolvido em nosso laboratório. Inicialmente projetado para ser utilizado com um só alvo, o sistema foi reformulado para operar com múltiplos alvos de forma a poder ser utilizado para a deposição de filmes de materiais compostos, como por exemplo, silicetos, ou de multicamadas, empregados na fabricação de circuitos integrados.

O projeto teve como preocupação o emprego de materiais nacionais bem como pressupôs a disponibilidade de uma Oficina Mecânica convencional.

O sistema foi montado e se encontra na fase inicial de operação.

AGRADECIMENTOS

Somos gratos ao pessoal técnico do LED, e em particular ao Sr. Alcir Beck, chefe da Oficina Mecânica, pelas sugestões apresentadas no projeto das partes mecânicas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] F. Sequeda, Anais da II Oficina Brasileira de Microeletrônica, (1979) 113.
- [2] F. Mohammadi, Solid State Technology, 1(1981) 65.
- [3] A.J.Steckl, Anais da IV Oficina Brasileira de Microeletrônica (1983) 15.