

GERAÇÃO DE PERFIS EM RESINAS ACRÍLICAS NACIONAIS
COM O USO DE LITOGRAFIA POR FEIXE DE ELÉTRONS

R.A. Nunes, S. Paciornik, A. Boskovic e L.S. Scavarda do Carmo

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia e
Departamento de Física - PUC/RJ - Cx. Postal 38071

Resumo

Um sistema CAD/CAM desenvolvido em nosso laboratório para utilização em elétron-litografia foi utilizado na transposição de diversos perfis para filmes de resinas acrílicas. Estes perfis, gerados sobre substratos metálicos ou isolantes, foram submetidos a processos de deposição e corrosão para avaliação dos limites de resolução e da velocidade de transposição de imagens. A largura da linha obtida em substratos metálicos ($4 \mu\text{m}$) é significativamente menor do que a obtida sobre substratos isolantes ($10 \mu\text{m}$). Estes resultados não podem ser explicados através dos efeitos de espalhamento dos elétrons mas devem ser devidos a efeitos térmicos locais associados a condutividade térmica dos substratos.

1. Introdução

A evolução dos projetos em microeletrônica exige sempre maior velocidade de operação, menor consumo de potência, menor volume e maior confiabilidade. A introdução de novas tecnologias de fabricação, por exemplo, permitiu, em curto espaço de tempo, tanto estender a faixa de funcionamento de circuitos transistorizados de MHz para GHz quanto reduzir por um fator 4 os custos de produção de microprocessadores de complexidade média. Uma importante contribuição para que as necessidades e os objetivos dos projetos em microeletrônica sejam atendidos está no desenvolvimento de novas tecnologias em litografia que permitam reduzir as dimensões de cada componente do projeto, isto é, no aumento do grau de integração do circuito¹.

A técnica de litografia por feixe de elétrons, surgida nos anos 70, permitiu o rompimento da barreira imposta pelo efeito de difração na litografia ótica. As vantagens advindas com o surgimento desta técnica situam-se principalmente na menor largura da linha e na flexibilidade permitida (principalmente pelo software) para a produção de chips dedicados e produção de máscaras para fotolitografia^{2,3}.

Como os avanços experimentados pela litografia ótica permitiram que esta atingisse, hoje a fronteira de $0.75 \mu\text{m}$ em processo de produção, a demanda real pela litografia por feixe de elétrons dentro do processo produtivo foi adiada⁵.

Atualmente a tecnologia de litografia por feixe de elétrons tem tido uma participação significativa na fabricação de máscaras para litografia ótica sendo a chave do sucesso atual e futuro da fotolitografia devido a excelência das máscaras produzidas⁶.

A necessidade de explorar, ainda que em escala de laboratório, as possibilidades desta tecnologia levou-nos a adaptar uma microsonda eletrônica comercial (Hitachi Perkin-Elmer modelo XMA-5B) para utilização em litografia por feixe de elétrons.

Em eletrolitografia o limite de resolução não está atualmente na focalização do feixe mas sim no espalhamento dos elétrons incidentes pe

lo resiste e pelo substrato (fig. 1). Quando se discute a largura de linha e a resolução de imagens geradas no resiste por um feixe de elétrons deve-se levar em conta a energia do feixe incidente, o tipo e a espessura do resiste, o material do substrato e uma série de outras variáveis críticas para a produção otimizada de perfis^{7,8,9}

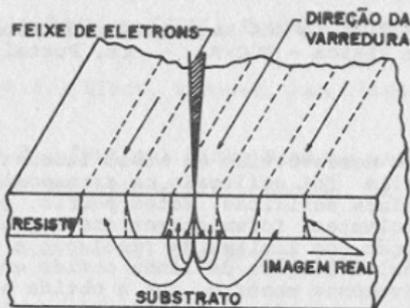


Figura - Ilustração do alargamento de linha gerado pelo espalhamento dos elétrons

2. Descrição do instrumento

A figura 2 mostra um diagrama de blocos do sistema desenvolvido. A geração de uma região sensibilizada pelo feixe de elétrons é obtida através da movimentação da amostra sob o feixe mantido fixo. Esta movimentação é controlada por computador através de motores de passo acoplados a parafusos micrométricos que permitem deslocamentos com passo mínimo de 0.2 microns num curso total de 3 milímetros. A figura a ser litografada é inicialmente gerada utilizando um programa de projeto auxiliado por computador, genericamente denominado CAD ("computer aided design"). Em seguida, um programa especial de C.A.M. ("computer aided manufacturing") processa o arquivo que contém os dados sobre a figura gerada e, além de produzir os comandos necessários a movimentação dos motores responsáveis pelo deslocamento X-Y da amostra, aciona também um sistema de obturação do feixe de elétrons. Este programa possui vários recursos tais como escolha da velocidade de deslocamento do porta-amostras e apresentação simultânea (em tempo real) em tela das figuras litografadas.

A figura 2 indica também o processo de varredura utilizado para a geração de áreas sensibilizadas com dimensões maiores que o diâmetro do feixe. A relação entre a separação entre linhas de varredura e o diâmetro do espalhamento do feixe é crítica para a definição da taxa de exposição do resistivo ao feixe assim como para sua uniformidade. Nosso programa permite o controle deste espaçamento.

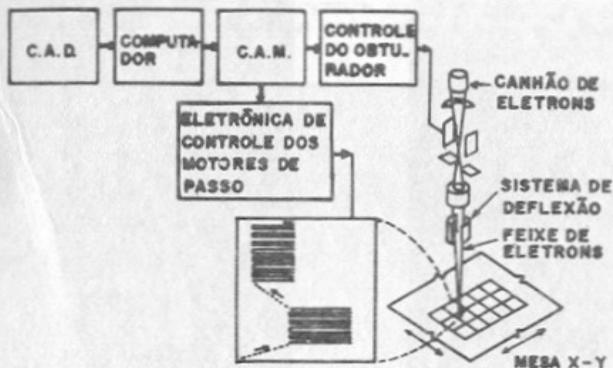


Figura 2 - Diagrama de blocos do sistema de litografia por feixe de elétrons

3. Materiais e Métodos

Para selecionar as condições de trabalho (corrente elétrica, velocidade de varredura e espaçamento entre as linhas) que devem ser utilizadas para as transposições dos perfis gerados no programa de C.A.D. utilizamos resina acrílica depositada sobre substratos de Alumínio ($Z = 13$) e vidro ($Z \approx 10$). Estes substratos foram escolhidos entre os materiais condutores e isolantes disponíveis que exibem número atômico próximo ao Si ($Z = 14$) de forma a melhor compreender a contribuição do espalhamento de elétrons (que é uma função de Z) e da temperatura em situação próxima a da microeletrônica.

A resina acrílica foi depositada sobre os substratos; uma camada final de $3\mu\text{m}$ foi obtida por rotação da amostra a 6.000 RPM durante o processo de deposição. Sobre a resina depositada no substrato de vidro foi evaporada uma camada de cobre de alguns décimos de micron de espessura de maneira a melhorar e uniformizar o contato elétrico com o porta-amostra evitando o acúmulo de carga depositada pelo feixe de elétrons.

4. Resultados

A figura 3 mostra os resultados obtidos com substrato de alumínio (3a) e vidro (3b). Ambas as fotos tem uma ampliação de 500 vezes. Utilizamos corrente de $0,4\mu\text{A}$, velocidade de varredura de $100\mu\text{m/s}$ e tensão de aceleração de 30kV.

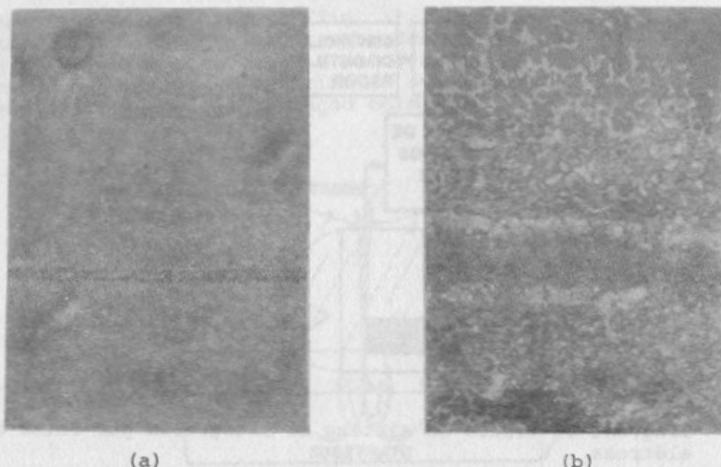


Figura 3 - a) Resina acrílica sobre Alumínio - largura da linha - $4\mu\text{m}$
 b) Resina acrílica sobre Vidro - largura da linha - $10\mu\text{m}$

A largura de linha para o substrato do Al ($4\mu\text{m}$) é significativamente menor do que a obtida para o vidro ($10\mu\text{m}$). Se apenas efeitos de espalhamento de elétrons fossem responsáveis pelo alargamento das linhas deveríamos esperar menor espalhamento para o vidro (Z menor) do que para o alumínio. Isto indica que efeitos térmicos também devem ser levados em conta, especialmente em substratos isolantes, onde a baixa condutividade térmica contribui para um grande aquecimento no local de incidência do feixe. A figura 4 indica o problema de subexposição da resina nas bordas de uma região exposta ao feixe. Este efeito, chamado de intraproximidade(2), é resultado do espalhamento de elétrons no resiste e no substrato que faz com que a dose em um vértice e em uma aresta seja, respectivamente, $1/4$ e $1/2$ da dose numa região interna.

5. Discussão

Em nossas amostras tivemos sempre que utilizar correntes elétricas maiores que $0,4\mu\text{A}$ para obter sensibilização da resina. Este fato implica em considerável aquecimento local, o que, como vimos, contribui para um aumento da largura da linha.

A redução da espessura da camada de resina poderá contribuir para a diminuição destes efeitos, por exigir menores correntes. Esta redução, entretanto, exige, por sua vez, ou maior velocidade de rotação na deposição do acrílico, ou maior diluição. Neste último caso surgem problemas de aderência e uniformidade no recobrimento que devem ser otimizados.

Outra possibilidade de redução da largura de linha está associada a utilização de menores tensões de aceleração. Em substratos de Si, com resiste de PMMA (polimetil-meta-acrilato) por exemplo, a largura da linha cai $3,2\mu\text{m}$ para $1\mu\text{m}$ quando a tensão é reduzida de 20kV para 10kV ³.

Pretende-se desenvolver recursos na microsonda que permitam a diminuição da tensão aplicada sem uma drástica redução na capacidade de focalização do feixe.

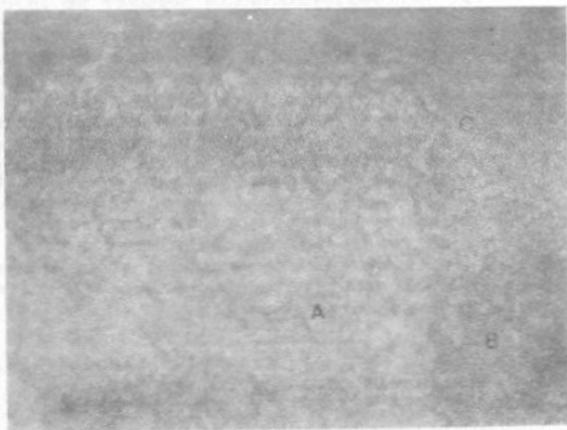


Figura 4 - Efeitos de intraproximidade. A dose em B é metade da dose em A. A dose em C é um quarto da dose em A

6. Conclusões

Como vimos, é viável utilizar resinas acrílicas baratas e de fácil obtenção como elemento eletrosensível para litografia eletrônica. Com um sistema não otimizado em termos de espessura do resiste e tensão de aceleração foi possível obter linhas de $4\mu\text{m}$ em um substrato de Alumínio e $10\mu\text{m}$ em substrato de vidro.

A otimização do sistema exige um controle mais estrito dos efeitos térmicos, que se mostraram predominantes quando comparados com o alargamento causado pelo espalhamento de elétrons.

Os resultados obtidos permitem a expectativa de obtenção de linhas da ordem de $1\mu\text{m}$ ou menor, o que coloca a utilização destas resinas como opção viável para litografia por feixe de elétrons.

Referências

1. Tasch, A.C.F., Op. Engineering 22(2), 176-180, (1983)
2. Weber, E.V., Op. Engineering 22(2), 190-194, (1983)
3. Cahen, O., Sizelli, R. and Trotel, J. Proc. Int. Conf. on Eletron. Ion Beam Science and Technology (Houston) Bakish, R. ed 92-101, (1972)
4. Livesay, W.R. Solid State Technol. 17(6), 37-42, (1974)
5. Nakase, M. Op. Engineering 36(4), 319-324, (1987)
6. Pfeiffer, H.C., Op. Engineering 26(4), 325-329 (1987)
7. Polasko, K.J., Yae, Y.E. and Peaso, R.F.W., Op. Engineering 22(2), 195-198, (1983)
8. Nakase, M. and Matsumoto, Y., Photogr. Sci. Eng. 23(4), 215-218, (1979)
9. Greeneich, J.S., in "Electron-beam Technology in microeletronic fabrication" ed. by Brewer, G.R., Academic Press (1980).