

OBTENÇÃO DE UM PROCESSO DE LITOGRAFIA  
DE MULTICAMADAS

Ronaldo D. Mansano  
Patrick B. Verdonck

LSI/EPUSP, Cx. Postal 8174, CEP 01051-970, São Paulo - SP

Homero S. Maciel

Dept<sup>o</sup> Física ITA/CTA, CEP 12228-900, São José dos Campos - SP

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um processo de litografia de três camadas, para ser utilizado nos processos de corrosão por plasma de materiais usados em microeletrônica. Ao mesmo tempo é apresentado um estudo sobre as influências dos parâmetros do plasma (pressão, potência e vazão) nas taxas de corrosão, nos perfis obtidos e nas taxas de corrosão do fotorresiste utilizado (AZ 1350J). Os perfis obtidos nesse trabalho foram verticais (aproximadamente 90°), com taxas de corrosão suficientemente altas para uso em produção comercial de circuitos integrados (400 nm/min).

1. INTRODUÇÃO

Na fabricação de circuitos integrados (CIs), uma das etapas mais significativas é a litografia. Nesta etapa são formados os padrões a serem transferidos para as camadas de materiais que compõem os dispositivos [1].

Durante a litografia, a lâmina é coberta com uma camada de um material fotossensível (fotorresiste), e em seguida é exposta a radiação (litografia óptica), a um feixe de elétrons (litografia por feixe de elétrons), ou ainda a um feixe de raios X (litografia por raios X), para a formação dos padrões [2]. A litografia de múltiplas camadas foi desenvolvida para superar as limitações da litografia óptica e da litografia por feixe de elétrons. A litografia óptica é limitada pela difração da luz nos padrões e pela profundidade de foco reduzida. A litografia por feixe de elétrons é limitada pela baixa resistência de seus resistes às etapas de corrosão por plasma e implantação iônica, etapas necessárias ao desenvolvimento de dispositivos.

Para se conseguir planarizar a topografia dos dispositivos, obtendo as menores dimensões horizontais, foi desenvolvida a litografia de três camadas [3] (trilayer process). A primeira camada é de resiste espesso, com aproximadamente 2  $\mu\text{m}$  (bottom resist) para planarizar a

topografia da estrutura. A segunda camada (isolation layer) é de um material metálico, Spin On Glass (SOG) ou  $\text{SiO}_2$  com espessura entre 50 e 100 nm. A terceira camada é de fotorresiste (litografia óptica) ou elétron resiste (feixe de elétrons) com espessura de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  (top resist).

Neste método, após a litografia da camada superior, os padrões definidos na mesma são transferidos para a segunda camada por corrosão por via úmida ou por corrosão por plasma. A camada de isolamento já corroída serve como máscara para a corrosão por plasma da camada de resiste espesso [4].

A corrosão por plasma (plasma etching) tem como principal característica a de reproduzir com grande fidelidade os padrões da máscara no resiste espesso e também transferir esses padrões do resiste para as camadas inferiores que compõem a estrutura.

O uso de um material metálico como camada de isolamento, em especial o alumínio, apresenta a vantagem de poder ser depositado tanto por "sputtering" como por evaporação térmica [5].

2- PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram usadas lâminas de silício de 2" tipo p <111>. Sobre estas foram feitas todas as etapas necessárias à obtenção de uma estrutura litográfica de três camadas:

- a) Limpeza;
- b) oxidação (espessura do óxido: 300 nm);
- c) cobertura com 300 nm de alumínio;
- d) cobertura com uma camada espessa de resiste (2  $\mu\text{m}$ );
- e) cozimento a 190 °C por 30 min;
- f) deposição de um filme de 50 nm de alumínio por evaporação térmica;
- g) cobertura com um promotor de aderência;
- h) cobertura com uma camada de fotorresiste AZ 1350J (1,4  $\mu\text{m}$ ).

Para a camada espessa de resiste foi usado o fotorresiste positivo AZ 1350J. Todas as coberturas com resiste foram feitas em um "spinner" à 6000 RPM por 40 s. O promotor de aderência foi depositado também por "spinner" à 6000 RPM por 15 segundos.

O filme de alumínio foi conseguido em uma evaporadora EDWARDS modelo Auto 306, o alumínio foi evaporado a pressão de  $2 \times 10^{-7}$  Torr com uma corrente de filamento de 15 A (que corresponde a uma temperatura de 1600 °C) [5].

Após a cobertura com o fotorresiste as lâminas foram submetidas a um processo de litografia óptica convencional:

- a) Cozimento a 90 °C por 30 min. em chapa quente (prebake);
- b) exposição;
- c) revelação por imersão no revelador AZ developer;
- d) enxágue com água;
- e) secagem com jato de nitrogênio;
- f) cozimento à 90 °C por 30 min. em chapa quente (postbake).

Com os padrões já definidos na litografia óptica foi feita a corrosão por via úmida do filme de alumínio, para isso foi usada a seguinte solução:  
175 ml de ácido fosfórico,  
70 ml de água des-ionizada,  
15 ml de ácido nítrico.

Essa solução apresenta uma taxa de corrosão de 200 nm/min. A camada de alumínio corroída é usada como máscara na corrosão por plasma do resiste espesso.

A corrosão da camada inferior de resiste foi efetuada em uma câmara de corrosão por plasma para uso geral tipo planar, modo "single wafer", com configuração Reactive Ion Etching (RIE). Há um eletrodo de cobre, recoberto por uma lâmina de alumínio, onde está conectado o gerador de rádio frequência [6]. Sobre esse eletrodo é colocado um substrato de silício para que não ocorra a redeposição do material do eletrodo sobre as lâminas a serem corroídas.

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a camada de alumínio já corroída passou-se a corrosão da camada espessa de resiste.

O arranjo estatístico utilizado foi o CFC [7], onde as arestas do cubo correspondem à pressão, potência e vazão. As condições desses experimentos foram:

Pressão : 50 mTorr ; 75 mTorr ; 100 mTorr  
Potência : 100 W ; 125 W ; 150 W  
Vazão de O<sub>2</sub>: 50 sccm; 75 sccm; 100 sccm.

A taxa de corrosão foi obtida em um ponto central da lâmina por interferometria óptica. Esse valor foi confirmado por espectrometria de emissão [8]. Com o projeto estatístico observamos que a maior taxa de corrosão associada ao perfil mais vertical (observado por microscopia eletrônica de varredura) foi conseguida para as seguintes condições:

Pressão: 100 mTorr  
Potência: 100 W  
Vazão total de O<sub>2</sub>: 100 sccm.

Em uma segunda etapa foram efetuadas diversas medidas para várias condições dos parâmetros em torno desse ponto, para podermos observar com maior resolução as influências dos mesmos nas taxas de corrosão. Os resultados obtidos com essas condições são apresentados nas figuras 1, 2 e 3 onde são mostradas as taxas de corrosão em função da pressão, potência e vazão.

Os resultados do projeto estatístico estão presentes nos mesmos gráficos, confirmando sua aplicabilidade, pois representa bem as participações dos parâmetros nas taxas de corrosão. Pela observação dos gráficos podemos tirar algumas conclusões importantes para a continuação do trabalho experimental. Uma das primeiras conclusões que podemos ter é que a vazão não tem influência sobre a taxa de corrosão, desde que sejam mantidas condições de pressão adequadas. Maior pressão corresponde a maior taxa de corrosão, isto pode ser justificado pois maior pressão corresponde a um número maior de partículas no interior da câmara de corrosão.

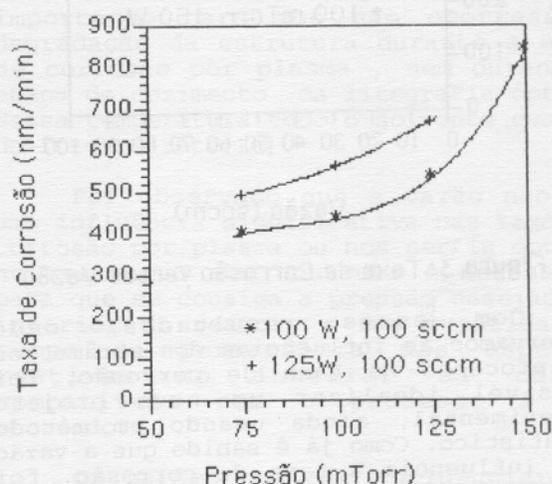


Figura 1: Taxa de Corrosão versus Pressão

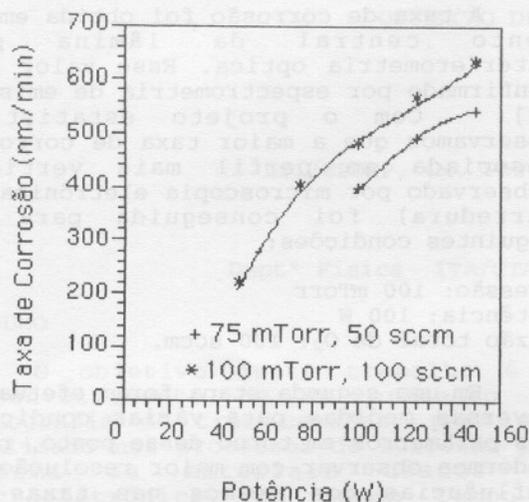


Figura 2: Taxa de Corrosão versus Potência

A potência também influi na taxa de corrosão. Maior potência corresponde a maior taxa de corrosão, pois implica em um aumento nas taxas de reação na fase gasosa gerando maior concentração de partículas carregadas e partículas reativas e maior diferença de potencial para acelerar os íons em direção ao substrato.

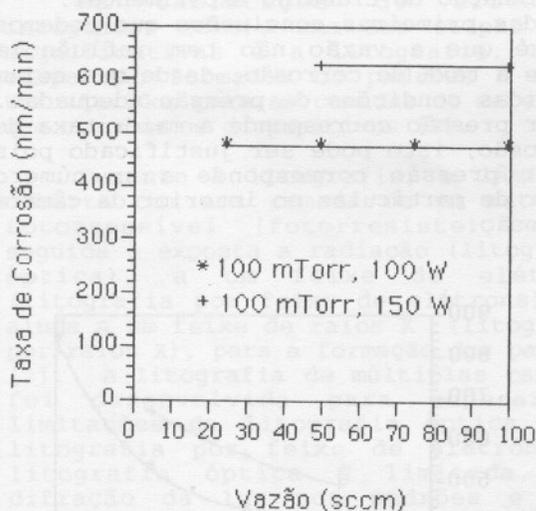


Figura 3: Taxa de Corrosão versus Vazão

Com esses resultados, onde observamos as influências dos parâmetros de processo na taxa de corrosão, foi possível idealizar um novo projeto experimental, ainda usando um método estatístico. Como já é sabido que a vazão não influencia a taxa de corrosão, foi possível fazer o projeto somente tendo como parâmetros de interesse a pressão e a potência e mantendo-se uma vazão compatível com as pressões utilizadas.

O projeto experimental utilizado é conhecido como projeto fatorial completo em três níveis com réplica, onde todos os fatores são variados em três valores e todos os experimentos são repetidos para reduzir os erros experimentais[9]. Os resultados são mostrados na tabela I.

Tabela I: Taxa de corrosão em função dos parâmetros pressão e potência:

Exp.	Pressão mTorr	Potência W	Tx. de Corrosão nm/min
A.	50	50	171
B.	50	100	393
C.	50	150	539
D.	100	50	208
E.	100	100	478
F.	100	150	963
G.	150	50	228
H.	150	100	598
I.	150	150	992

Para todos os experimentos foi mantida uma vazão de 50 sccm. As influências dos parâmetros são apresentadas nos figuras 4 e 5. Observando-se esses gráficos percebemos que as conclusões obtidas anteriormente são válidas, pois as taxas de corrosão se comportaram como já havia sido verificado. Todos os processos sofreram uma etapa de sobrecorrosão para eliminar os resíduos do material corroído. Os perfis mais verticais foram obtidos para uma pressão de 50 mTorr e potência de 100 W.

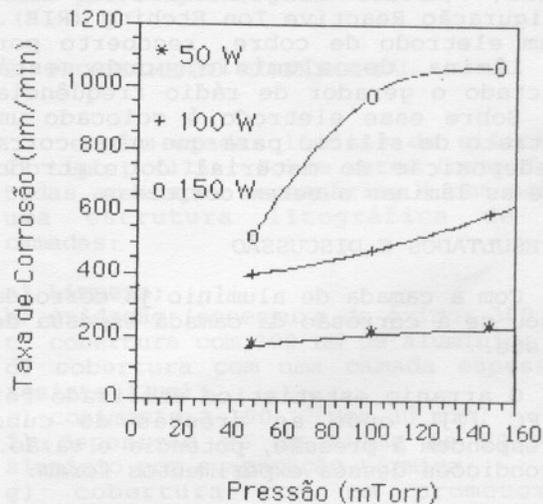


Figura 4 Taxa de Corrosão versus Pressão

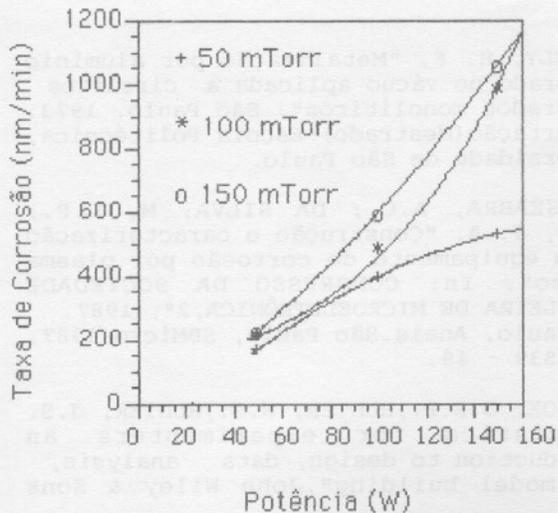


Figura 5 Taxa de Corrosão versus Potência

São apresentadas a seguir fotos onde são apresentadas três etapas de um processo de litografia de três camadas, que são os perfis após a etapa de litografia óptica (figura 6), após a corrosão por via úmida da camada de alumínio (figura 7), e após a corrosão por plasma da camada espessa de resiste (figura 8). Esta estrutura foi usada como máscara para a corrosão de uma camada de alumínio de 300 nm (figura 9).

Com um processo de litografia óptica comum há grandes problemas com a retirada do resiste após a corrosão do alumínio. Com este processo litográfico o resiste foi removido completamente com uma corrosão por plasma de oxigênio, nas mesmas condições usado para a definição dos padrões.

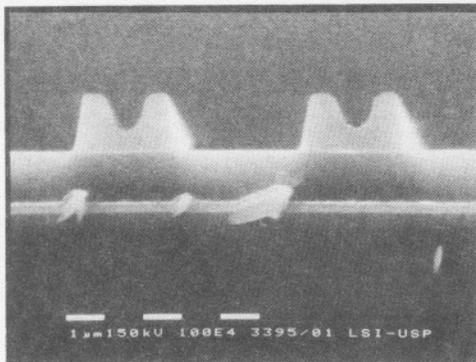


Figura 6: Perfil após a litografia óptica.

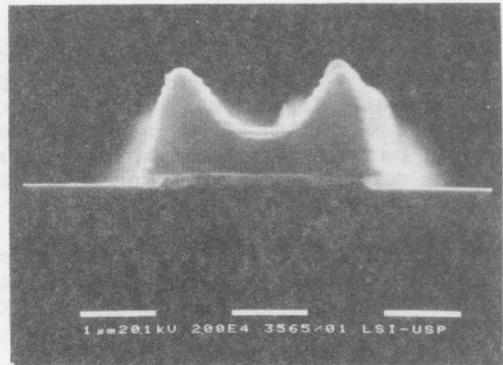


Figura 7: Perfil após a corrosão por via úmida do alumínio.

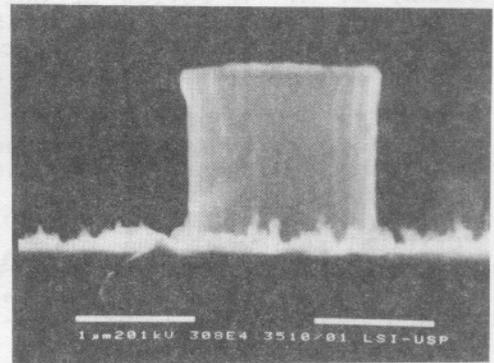


Figura 8: Perfil após a corrosão por plasma da camada espessa de resiste.

CONCLUSÕES

A temperatura de cozimento de 190 °C para o resiste da camada inferior foi importante para que não ocorresse a degradação da estrutura durante a etapa de corrosão por plasma, nem durante a etapa de cozimento da litografia óptica. Nessa temperatura todo o solvente evapora do fotorresiste[10].

Foi observado que a vazão não têm uma influência significativa nas taxas de corrosão por plasma ou nos perfis obtidos no resiste. O seu controle é necessário para que se consiga a pressão desejada no interior do reator, e uma quantidade e tempo de permanência das espécies reativas no interior da câmara compatíveis com o processo a ser efetuado.

Os parâmetros que influenciaram o processo de corrosão por plasma do resiste e que devem ser controlados são a pressão e a potência.

O fator mais influente é a potência. A influência dos dois fatores não pode ser totalmente distinta, pois a corrosão por plasma é devida a existência de um número de partículas reativas no interior da câmara e esse número é função dos dois fatores.

A estrutura resultante se mostra muito atraente para o uso como máscara para corrosões agressivas como a corrosão de alumínio.

#### REFERÊNCIAS

- [1] DOANE, D. A. "A review of optical lithographic techniques for VLSI". Silicon Processing. Philadelphia. Society for Testing and Materials 1983.p.85- 107.
- [2] MCGILLIS, D. A."Lithography". In: SZE,S.M. VLSI TECHNOLOGY. Singapura. McGraw - Hill. 1983. cap.7 p.267 - 300.
- [3] HARTNEY, M. A.; HESS, D. W.; SOANE, D.S. "Critical review: Oxigen plasma etching for resist stripping and multilayer lithography". Journal of Vacuum Science and Technology.v.7, n.1,p.1 - 13. Jan/Feb. 1989.
- [4] HOSHIMOTO, K.;KAWAKITA, K.;NOMURA, N. "High fidelity direct-write electron beam process for trilayer resist by ion shower technology". Journal of Electrochemical Society,v.137,n.1,pag.296 - 99,Jan. 1990.
- [5] ELY, H. F. "Metalização por alumínio evaporado no vácuo aplicada a circuitos integrados monolíticos". São Paulo. 1973. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [6] SEABRA, A.C.; DA SILVA, M. L.P.; ZUFFO, J. A. "Construção e caracterização de um equipamento de corrosão por plasma gasoso". In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MICROELETRÔNICA, 2º, 1987. São Paulo. Anais.São Paulo, SBMicro 1987, pag. 539 - 48.
- [7] BOX, G.E.P.;HUNTER, W.G.;HUNTER, J.S. "Statistics for experimenters an introduction to design, data analysis, and model building".John Wiley & Sons 1978.
- [8] MANSANO, R.D.; YUNAKA, N.T.; MACIEL,H.S. "Detecção do ponto final da corrosão por plasma usando espectrometria de emissão para litografia de três camadas". In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MICROELETRÔNICA. 8º. Campinas SBMicro, 1993. Seção XII, p.68 - 70.
- [9] PETERSEN, R. G. "Response surface". In:Design and analysis of experiments. Marcel Dekker, New York, 1985. Cap. 11, p.252 - 64.
- [10] MANSANO, R. D.; YUNAKA, N. T.; MACIEL,H. S. "Identificação de parâmetros de processo de resiste usando FTIR" In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MICROELETRÔNICA. 8º. Campinas, 1993. Anais. Campinas, SBMicro, 1993.Seção XII, p.65 - 67.