

LITOGRAFIA DE METALIZAÇÃO POR "LIFT-OFF" DE TRÊS NÍVEIS

R.C. Oliveira e A.L. Gobbi

Divisão de Optoeletrônica - DTB
 CPqD - TELEBRÁS
 13088-061 - Campinas, SP, Brasil

RESUMO

Neste trabalho nós apresentamos um processo de metalização utilizando "lift-off" de 3 níveis. A principal característica deste processo é a capacidade de se depositar filmes metálicos espessos (> 1.0 µm), com paredes inclinadas, usando deposição por "sputtering". O processo permite ainda o engrossamento do metal pela técnica de eletrodeposição. A estrutura de 3 níveis consiste de uma grossa camada de fotoresiste (> 1.0 µm) espalhada sobre o substrato, um filme de SiO₂ de ~100 nm depositado sobre o primeiro fotoresiste, e de um filme de fotoresiste espalhado sobre o óxido de silício. O primeiro fotoresiste e o SiO₂ são "abertos" via plasma de O₂ e CF₄, respectivamente. Utilizando este processo temos obtido linhas espessas (~ 1.0 µm), com largura reduzida (1.0 µm). Esta técnica resultou na diminuição do número de etapas para fabricar fotodetectores de InGaAs e circuitos integrados de GaAs, em relação ao processo utilizado anteriormente em nossos laboratórios.

1-INTRODUÇÃO

A fabricação de dispositivos discretos (Transistores, Fotodetectores e LASERS) e circuitos integrados sobre semicondutores exige sempre a combinação dos processos de metalização e fotolitografia, para definir as áreas que devem ser metalizadas. Estes processos, ou simplesmente metalizações, são utilizados para formar linhas de interconexões, eletrodos de contatos ôhmicos ou de porta, almofadas de solda, etc. As exigências básicas para o processo de metalização são: 1- Boa aderência do metal ao semicondutor ou dielétrico, 2- Baixa resistividade, 3- Boa definição das geometrias projetadas, 4- Baixa resistência de contato, 5- Boa soldabilidade.

Basicamente as técnicas de metalização dividem-se em dois grupos: as técnicas tradicionais ou diretas e as técnicas de metalização que utilizam "lift-off".

A técnica tradicional consiste basicamente de 4 etapas de processamento; 1- Metalização de toda a superfície da lâmina, 2- Aplicação do fotoresiste e definição das áreas a serem fotogravadas, 3- Corrosão do metal em excesso sobre o semicondutor ou dielétrico, 4- Remoção do fotoresiste. A figura 1 ilustra este processo. Embora esta técnica seja fácil de implementar existem algumas particularidades que são indesejáveis na fabricação dos dispositivos semicondutores, especialmente sobre semicondutores compostos III-V (GaAs, InP, InGaAs e outros). Dentre estas particularidades podemos citar: 1- O processo de corrosão, seja por via úmida (soluções químicas), ou seca via "reactive ion etching" (RIE), provoca alterações morfológicas na superfície semicondutora [1], especialmente em semicondutores compostos. 2- Dificuldade para obter linhas estreitas (~1.0 µm) com boa resolução. Em face destas dificuldades, as técnicas de litografia por "lift-off" vêm sendo utilizadas como alternativa.

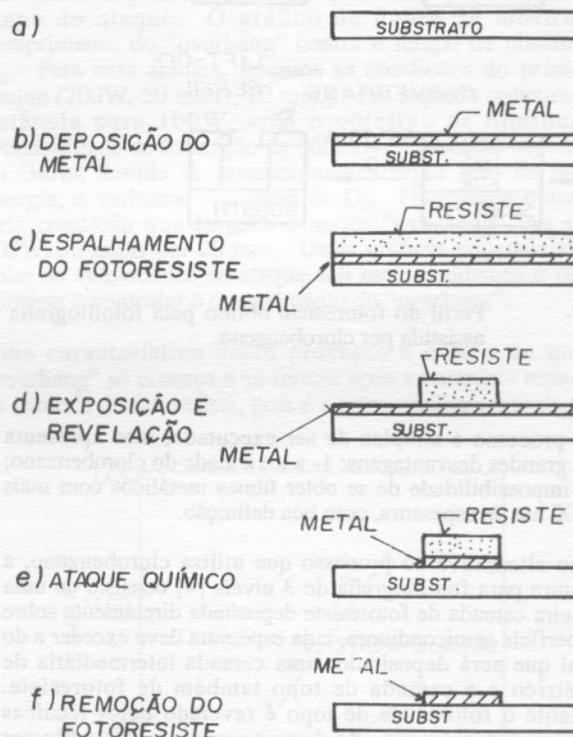


Fig.1- Principais etapas para definição de um padrão metálico sobre uma lâmina - Processo direto.

"Lift-off" é uma técnica para formar padrões sobre uma superfície por um processo aditivo, oposto ao processo de remoção utilizado na corrosão [2].

A característica marcante da técnica de litografia por "lift-off", é a deposição de metal somente sobre as áreas desejadas. O excesso de metal é depositado sobre o fotoresiste e posteriormente removido juntamente com o fotoresiste. Deste modo evita-se depositar metal sobre toda a superfície do semicondutor ou dielétrico e ainda evitamos a etapa de corrosão do metal.

A fotolitografia "lift-off" assistida por clorobenzeno [3] é obtida a partir da imersão do filme de fotoresiste em uma solução contendo um solvente aromático (clorobenzeno), o qual altera a solubilidade da parte do fotoresiste que esteve em contato com o líquido, através da remoção de solventes e resinas de baixo peso molecular contidas no fotoresiste, deixando esta parte menos solúvel à solução reveladora. A parte do fotoresiste não afetada pelo clorobenzeno permanece com a solubilidade inalterada. Esta diferença na

solubilidade ao ataque pelo revelador é que provoca o aparecimento destas "abas" sobre a região atacada, que são conhecidas pela denominação em inglês "overhangs", como pode ser visto na figura 2.

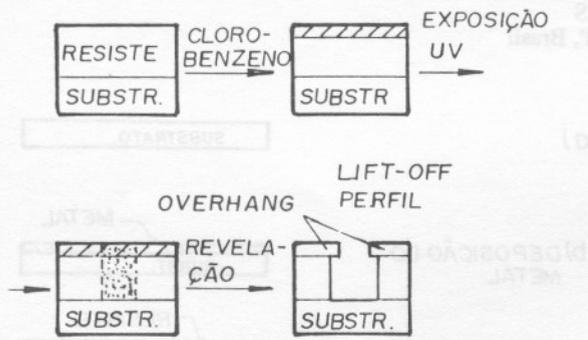


Fig.2- Perfil do fotoresiste obtido pela fotolitografia assistida por clorobenzeno.

Este processo é simples de ser executado, mas apresenta duas grandes desvantagens: 1- a toxicidade do clorobenzeno; 2- a impossibilidade de se obter filmes metálicos com mais de 500 nm de espessura, com boa definição.

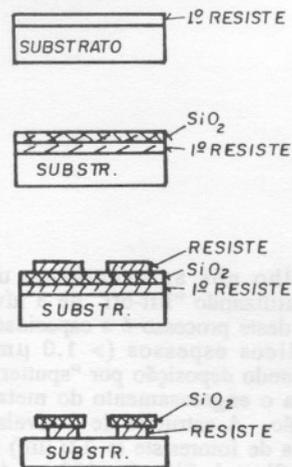
Como alternativa ao processo que utiliza clorobenzeno, a estrutura para fotolitografia de 3 níveis [4] consiste de uma primeira camada de fotoresiste depositada diretamente sobre a superfície semicondutora, cuja espessura deve exceder a do metal que será depositado, uma camada intermediária de dielétrico e a camada de topo também de fotoresiste. Somente o fotoresiste de topo é revelado pelas técnicas usuais de fotogravação. As demais camadas são abertas por plasma de CF_4 e O_2 , respectivamente. A largura de linha

possível de ser obtida é função apenas da fotolitografia realizada sobre o fotoresiste de topo. A figura 3 ilustra o processo de lift-off de 3 níveis.

A técnica de fotolitografia "lift-off" de 3 níveis tem como vantagens os seguintes pontos: 1- Permite trabalhar com filmes metálicos mais espessos (acima de $1.0 \mu m$), dependendo somente da espessura do primeiro fotoresiste. 2- A dimensão do "overhang" é ajustável, independente do processo de revelação. Como desvantagens podemos citar que esta é uma técnica que necessita de várias etapas de processamento para sua execução.

Neste trabalho nós apresentamos uma técnica de metalização simples e confiável baseado no "lift-off" de 3 níveis. A principal característica deste processo é a capacidade de se depositar filmes metálicos espessos ($> 1.0 \mu m$), com paredes inclinadas, usando deposição por "sputtering", o que permite um fácil recobrimento destas em etapas posteriores. Este processo permite ainda o engrossamento do metal pela técnica de eletrodeposição.

a) FORMAÇÃO DA MÁSCARA



b) EVAPORAÇÃO



c) "LIFT-OFF"



Fig.3- Processo de fotolitografia "lift-off" de três níveis.

2-EXPERIMENTAL

Para realizar este trabalho foram utilizados substratos de GaAs. Antes de espalhar o fotoresiste os substratos foram submetidos a uma limpeza com base em solventes orgânicos (tricloroetileno, acetona, metanol e isopropanol). O primeiro fotoresiste (Shipley S1400-26), foi espalhado para ter espessura de $1.0 \mu m$ e curado a $130^\circ C$ por 30 min. Esta espessura foi escolhida para permitir a deposição de camadas metálicas com espessura próximas de $1.0 \mu m$. Para a segunda camada da estrutura de fotolitografia de 3 níveis, escolhemos o dielétrico SiO_2 (espessura de $\sim 120 \text{ nm}$) depositado em um "sputtering" MRC-8667 (13.56 MHz) à temperatura ambiente. Não é possível realizar deposições em temperaturas elevadas, pois o fotoresiste torna-se polimerizado. Uma segunda camada de fotoresiste (Shipley S1400-17), de menor viscosidade, curado a $90^\circ C$ por 25 min. com espessura de $0.5 \mu m$ finaliza a estrutura de camadas. Este último fotoresiste é mais fino para permitir maior resolução das linhas fotogravadas.

Para corroer o SiO_2 , após realizada a fotogravação e revelação do fotoresiste superior, foi utilizado plasma de CF_4/O_2 , usando um sistema de plasma "etch" da Technics, PEIIA.

A corrosão do primeiro fotoresiste foi realizada em duas etapas usando plasma de oxigênio em um sistema "barrel etch" da Plasma Technology operando em 13.56 MHz. Nesta fase do processo é definido o comprimento do "overhang", por isto foi essencial realizar a calibração da

corrosão do fotoresiste por plasma de O_2 , em função da pressão de O_2 , potência de RF e tempo de processo.

Em seguida, antes da deposição do filme metálico, os substratos foram submetidos a um processo de limpeza em HCl diluído para remover resíduos que permanecem dentro da área exposta após o plasma de O_2 , como pode ser visto na figura 4. Esta granulação residual origina-se durante o plasma de oxigênio a baixa pressão, devido ao "sputtering" indesejável no eletrodo de alumínio. Este alumínio ou óxido de alumínio redeposita-se sobre o material que está sendo atacado e causa este tipo de granulação [4,5].

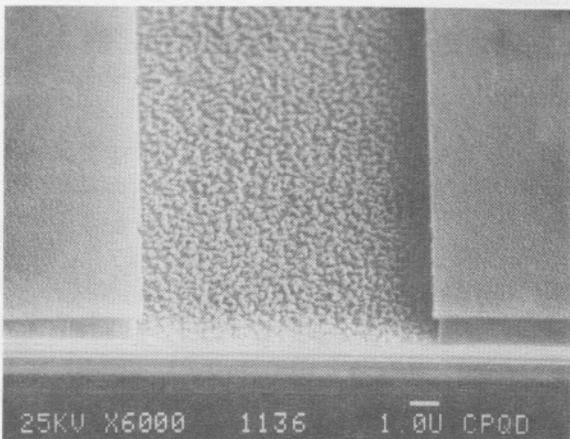


Fig.4a- Resíduos formados dentro dos canais após plasma de O_2 .

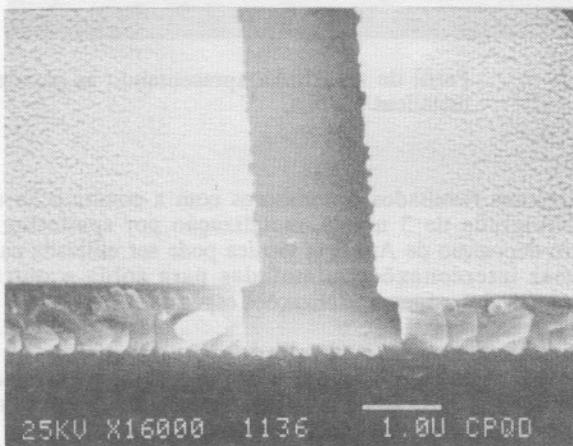


Fig.4b- Após limpeza com HCl diluído.

Os metais Ti/Pt/Au (50nm/50nm/50 a 900nm), foram então evaporados à temperatura ambiente em um RF "sputtering" da Leybold, Z-400.

Após a metalização, algumas destas amostras foram engrossadas pela técnica de eletro-deposição de ouro usando soluções eletrolíticas comerciais (Goldstar PG e Ourotoque AB). As condições de trabalho utilizados foram: temperatura: 55 C densidade de corrente: 0.3 a 1.5 A/dm². Estas condições permitem obter filmes com espessura da ordem de 1.0 μ m. Finalmente, o fotoresiste foi removido usando acetona.

3-RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 5a e 5b são apresentados os gráficos de calibração da corrosão do fotoresiste via plasma de O_2 sob diversas condições. Na figura 5a mostramos o gráfico da profundidade de ataque para o primeiro fotoresiste contra o tempo de plasma, para dois diferentes valores de potência empregados (100W e 200W), mantendo-se a pressão constante (50 mtorr). A partir destes resultados, escolhemos a condição de mais alta potência (200W), por proporcionar paredes com perfis retos, como parâmetro para a primeira etapa do ataque. O gráfico da figura 5b mostra o comprimento do "overhang" contra o tempo de plasma de O_2 . Para esta análise, fixamos as condições do primeiro ataque (200W, 50 mtorr, 10 min.). Em seguida reduzimos a potência para 100W, com o objetivo de diminuir a probabilidade de formação de defeitos elétricos na superfície do GaAs, devido ao bombardeamento por íons de maior energia, e variamos a pressão de O_2 . Finalmente optamos pela condição que fornece o maior "overhang", ou seja, 100W, 50 mtorr por 20 min.. Deste gráficos podemos ainda obter as velocidades de ataque sob estas condições e como otimizar e controlar o comprimento do "overhang".

Uma característica deste processo é o fato de que o "overhang" só começa a se formar após a completa remoção da camada de fotoresiste, pois é o retroespalhamento de íons

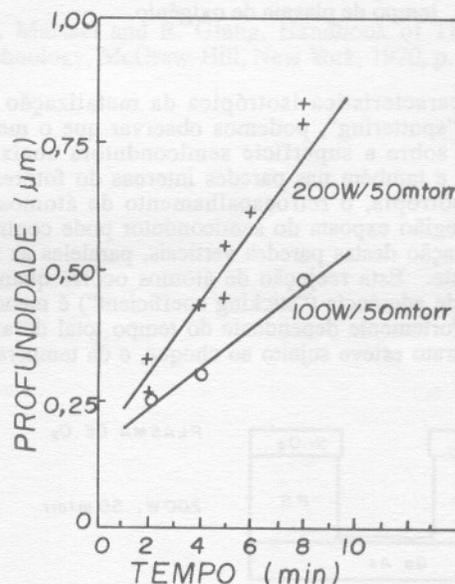


Fig.5a- Relação entre corrosão do primeiro fotoresiste e tempo de ataque usando plasma de oxigênio.

no substrato não reativo que causa o ataque lateral do resiste [6]. Para ter maior flexibilidade no dimensionamento do "overhang", optamos por realizar este processo em duas etapas. A 1ª etapa consiste em abrir o fotoresiste até o ponto de quase exposição do substrato, neste caso o "overhang" é mínimo. Na 2ª etapa os parâmetros do plasma de O_2 são alterados para aumentar o comprimento do "overhang", como pode ser visto na figura 6.

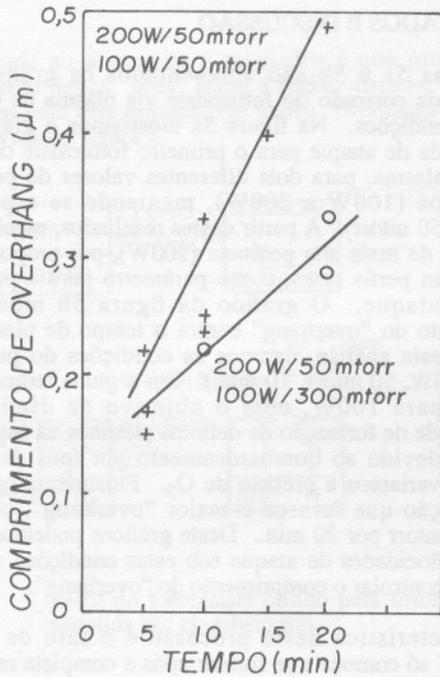


Fig.5b- Relação entre comprimento do "overhang" e tempo de plasma de oxigênio.

Devido a característica isotrópica da metalização pela técnica de "sputtering", podemos observar que o metal é depositado sobre a superfície semicondutora abaixo do "overhang" e também nas paredes internas do fotoresiste. Além da isotropia, o retroespalhamento de átomos que chegam a região exposta do semicondutor pode contribuir para a formação destas paredes verticais, paralelas as faces do fotoresiste. Esta rejeição de átomos ocorre quando o coeficiente de aderência ("sticking coefficient") é menor do que 1, e é fortemente dependente do tempo total durante a qual o substrato esteve sujeito ao choque, e da temperatura.

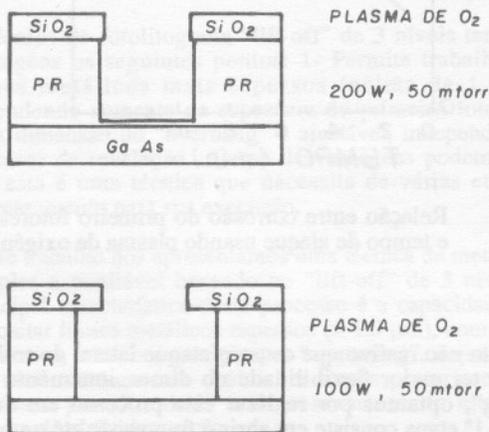


Fig.6- Etapas do processo de abertura do primeiro fotoresiste com plasma de oxigênio.

Os diferentes perfis das paredes metálicas para o Ti, Pt, Au podem ser entendidos observando-se a energia média com que cada átomo é ejetado do alvo, sob as mesmas condições, ou seja, quanto maior esta energia, maior a probabilidade de espalhamento de átomos, e portanto de formação de paredes. A energia média de ejeção para bombardeamento com íons de Kr a 1200V é de 12 eV, 34 eV, e 21 eV para o Ti, Pt, e Au, respectivamente [7]. Contudo, a formação destas paredes não desqualifica a utilização da fotolitografia de 3 níveis combinada com a técnica de evaporação por "sputtering", já que estas paredes são suficientemente finas para serem removidas junto com o fotoresiste.

Na figura 7 é apresentado um resultado típico, incluindo as paredes metálicas, de um processo de evaporação por "sputtering" (sem engrossamento).

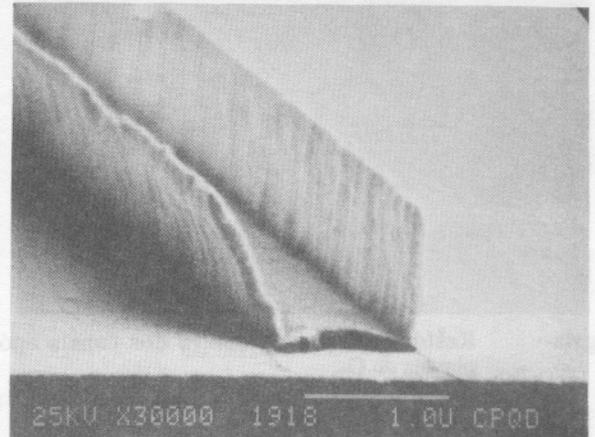


Fig.7- Perfil de uma linha apresentando as paredes metálicas laterais,

Obtivemos resultados promissores com a combinação da fotolitografia de 3 níveis, metalização por sputtering e eletro-deposição de Au. Esta técnica pode ser utilizada para formar interconexões, almofadas para solda e outras estruturas que exigem metalizações espessas.

A figura 8 mostra o resultado do "lift-off" após o engrossamento com ouro por eletro-deposição e, podemos notar que a deposição de ouro preencheu toda a abertura no fotoresiste, fornecendo uma linha com perfil reto.

4-CONCLUSÃO

O processo de fotolitografia "lift-off" de 3 níveis mostrou-se compatível com os processos de evaporação realizados pelas técnicas de "sputtering" e ainda permitiu o engrossamento do filme de Au por eletro-deposição. Este processo resultou na diminuição do número de etapas para fabricar fotodetectores e circuitos integrados de GaAs, em relação ao processo utilizado anteriormente em nossos laboratórios e na possibilidade de se depositar filmes metálicos com excelente recobrimento de degraus com espessuras da ordem de 1.0 μm. Foi possível ainda, obter linhas da ordem de 1.0 μm de largura.

Mostramos também que podemos utilizar a técnica de "sputtering" para deposição de camadas metálicas em processos de "lift-off" obtendo-se linhas com paredes inclinadas, facilitando os processos subsequentes.

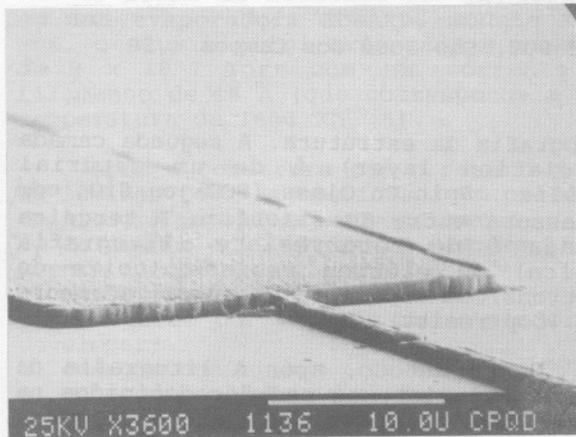


Fig.8- Perfil de uma linha de 1,5 μ m de largura, com 1.0 μ m de espessura, após o engrossamento da camada de ouro.

5-AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a K. Jomori pela realização das fotografações, a M.R. Finardi pelas experiências com eletro-deposição, a H.C. Carvalho pelas fotografias realizadas ao SEM, e a H. Bertan pela execução dos desenhos.

6-REFERÊNCIAS

- [1] G.S. Oehrlein and Y.H. Lee, J. Vac. Sci. & Technol. A5, 1585 (1987).
- [2] D.J. Elliot, Integrated Circuit Fabrication Technology, McGraw-Hill, New York, 1982.
- [3] M. Hatzakis, J. Electrochem. Soc. 116, 1033 (1969).
- [4] S.J. Till, A.G. Brown, and V.G.I. Deshmukh, Microelectronic Engineering, 3, 491 (1985).
- [5] P. Banks, W. Pilz, I. Hussla, G. Lorentz, and G. Castrischer, Proc. Monitoring and Control of Plasma-Enhanced Processing of Semiconductors, vol. 1037, 35 (1988).
- [6] L.J. Fried, J. Havas, J.S. Lechaton, J.S. Logan, G. Paal, and P.A. Totta, IBM J. Res. Devel., 26, 362 (1982).
- [7] L.I. Maissel and R. Glang, Handbook of Thin Film Technology, McGraw-Hill, New York, 1970, p. 4-40.