

SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO CATÓDICA PARA DEPOSIÇÃO DE FILMES FINOS DE DIÓXIDO DE SILÍCIO ⁽¹⁾

C. R. Peter*

SUMÁRIO

Foi realizado o projeto e a construção de um sistema para deposição de filmes finos de dióxido de silício, a partir da pulverização catódica de silício em descarga elétrica contínua em ambiente com pressão reduzida (~ 100 m Torr) contendo argônio e oxigênio. A análise dos filmes obtidos, por retroespalhamento elástico de Rutherford com partículas alfa evidencia que estes têm a estequiometria do dióxido de silício, sendo esta homogênea em todo seu volume. Este sistema de deposição está em operação corrente com desempenho bastante satisfatório, tanto pela simplicidade e estabilidade de operação como pela repetibilidade dos resultados. Um segundo protótipo mais versátil, é descrito nesta publicação.

ABSTRACT

We performed the design and building of a deposition system for preparation of silicon dioxide thin films from DC sputtering of silicon in atmosphere with reduced pressure (~ 100 m Torr), containing argon and oxygen. By Rutherford Backscattering analysis with alpha particles of the obtained films it was shown that the estequiometry was the one of the

The deposition system, now in normal operation presents characteristics like simplicity and stability of operation and repeatability of the results. A second more versatile prototype is described in this publication.

*Estudante de graduação em Física, UFRGS; bolsista de iniciação científica pela PROPESP para o grupo de Microeletrônica; Instituto de Física, Av. Luiz Englert, s/nº, sala 215-B, Porto Alegre, RS.

Os filmes finos de dióxido de silício (SiO_2), pelas suas propriedades elétricas e químicas são amplamente empregados nos processos de construção de microcircuitos. As características destes filmes permitem sua utilização principalmente como barreira contra penetração de impurezas nos processos de difusão e implantação iônica e como dielétrico. Nos estudos de implantação iônica, após a implantação de determinado elemento, é necessário que se faça um recozimento do material implantado para reorganização da rede cristalina. O recozimento consiste num processo térmico que ocorre a temperaturas elevadas (500 a 1200 °C para o silício). Para evitar que durante o recozimento ocorra difusão para fora das impurezas implantadas, utiliza-se como barreira um filme de SiO_2 convenientemente depositado. [1]

Existem vários processos para deposição de filmes de SiO_2 sobre silício. Os processos mais comumente utilizados são: deposição química a partir de fase vapor (CVD) [2] e a pulverização catódica em radiofrequência (RF Sputtering). [3,4]

O processo de deposição química (CVD) propicia a formação de SiO_2 a partir da decomposição térmica da silana (SiH_4) e a oxidação do silício resultante. Obtêm-se altas taxas de deposição e excelentes características elétricas. Porém o reagente principal (SiH_4), além do custo muito elevado, é de difícil obtenção no mercado.

A técnica de preparação de filmes de SiO_2 por pulverização catódica em descarga RF é bastante difundida, porém requer equipamento relativamente complexo e catodo de SiO_2 .

Um processo menos frequentemente reportado para formação de SiO_2 é o que emprega pulverização catódica reativa do si

lício em descarga DC em atmosfera de pressão reduzida (~ 100 m Torr) contendo argônio e oxigênio. Este processo requer equipamentos mais simples e o material do cátodo pode ser facilmente obtido em alta pureza com lâminas usuais para microeletrônica. Neste processo de preparação do SiO_2 , os átomos de silício arrancados do cátodo pelo bombardeamento iônico reagem com o oxigênio presente na descarga formando o SiO_2 que se deposita sobre o ânodo.

O controle da espessura do filme depositado pode ser feito através da corrente e tempo de duração do processo para uma determinada tensão de descarga.

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O protótipo inicial mostrado esquematicamente na figura 1, consiste de uma câmara cilíndrica de pirex de 150 mm de diâmetro, com tampa de alumínio, montado sobre um sistema de alvo vácuo que permite bombeamento de seu interior até pressões de 10^{-7} Torr. No interior dessa câmara foram dispostos dois eletrodos, respectivamente cátodo e ânodo. O cátodo é uma lâmina de silício de 57 mm de diâmetro e 400 μm de espessura em contato mecânico e elétrico com um disco de alumínio de 63 mm de diâmetro e 6 mm de espessura. Um anel de alumínio de diâmetro externo de 63 mm e interno de 54 mm com 2 mm de espessura, aparafusado contra o disco de alumínio, mantém o cátodo de silício preso ao disco.

Este conjunto tem contato elétrico com o exterior por meio de um passador de cerâmica (feed-through) o qual está afixado na tampa da câmara de pirex. Envolvendo o conjunto e dis

tante dele de 2 mm temos uma blindagem eletrostática aterrada , construída em aço inox de 2 mm de espessura. Um orifício de 54 mm de diâmetro permite que o cátodo seja exposto à descarga elétrica. Entre o cátodo e a blindagem não se forma descarga pois sendo a largura da região escura maior que o distanciamento entre estes dois elementos, não existe possibilidade de formação de plasma. Assim sendo a blindagem previne que regiões do cátodo não cobertas por silício sejam pulverizadas o que implicaria em contaminação do filme depositado. Dessa forma permite-me que o bombardeio ocorra somente sobre a região do cátodo constituída pelo silício, evitando contaminações do filme por materiais indesejáveis.

O ânodo é constituído por um suporte de amostras em alumínio, conectado ao terra e que pode ter sua distância em relação ao cátodo ajustada de maneira conveniente.

Os gases argônio e oxigênio são admitidos na câmara através de válvulas do tipo agulha, para permitir um controle fino da vazão. Primeiramente a câmara é evacuada até pressões de 10^{-7} Torr, quando então a válvula gaveta que separa a câmara do sistema de bombeamento de alto vácuo é parcialmente fechada. Introduce-se então oxigênio e argônio na câmara; no nosso estudo foram empregadas pressões parciais de 30 m Torr de oxigênio e 100 m Torr de argônio. Ao se aplicar um potencial negativo ao cátodo que no caso é de 1 kV observa-se a formação de uma descarga luminosa entre o cátodo e ânodo com a formação de uma região escura de cerca de 5 mm de espessura junto ao cátodo. Com uma descarga de 1 kV e 10 mA ($0,5 \text{ mA.cm}^{-2}$) obtém-se uma velocidade de deposição de SiO_2 de 15 Å por minuto, sobre um substrato de silício de 38 mm de diâ

metro, distante 2,0 cm do cátodo. Observa-se boa uniformidade de espessura numa área central com cerca de 25 mm de diâmetro (com decréscimo de 10% da espessura do filme nas bordas), verificada pela coloração do filme sob luz branca.

Estamos limitados a taxa máxima de deposição de 15 Å/min pela fonte de alta tensão disponível que fornece no máximo 10 mA e além disso o cátodo não é refrigerado para poder suportar maior potência na descarga.

A distância de 2,0cm entre cátodo e ânodo é a que conferiu uma melhor uniformidade de deposição nas condições de funcionamento acima mencionadas. Convém ainda ressaltar que a taxa de deposição é repetitiva (dentro de $\pm 5\%$) e o funcionamento da descarga muito estável.

Análises por espalhamento Rutherford de partículas alfa [6] de 760 keV realizadas com o implantador iônico do Instituto de Física da UFRGS, mostram que se tem 2 átomos de oxigênio para cada átomo de silício em toda extensão do filme, sendo portanto SiO_2 estequiométrico e homogêneo. Essas análises também foram usadas para medida da espessura dos filmes e determinação da taxa de deposição.

A influência do oxigênio na taxa de crescimento dos filmes não pode ser precisamente determinada, pelo fato do argônio que utilizamos conter elevada taxa de umidade e pelo fato do sistema de vácuo não ser conveniente para uma degaseificação por aquecimento para diminuir a umidade. Verificamos que descargas somente com argônio produziam filmes de SiO_2 porém com a espessura abaixo da esperada quando se adiciona oxigênio.

Este sistema tem sido utilizado para deposição de filmes de 1000 Å de espessura sobre amostras previamente implantadas,

com o objetivo de evitar difusão para fora de dopantes durante os processos de recozimento térmico. [7]

PROJETO DE UM SISTEMA MAIS VERSÁTIL

Com base nas experiências que obtivemos com este sistema de pulverização catódica, elaboramos o projeto de um sistema mais versátil o qual está atualmente em fase final de construção. Esse novo sistema possui dois cátodos de 100 mm de diâmetro, refrigerados por circulação de água. O ânodo (suporte de amostras) consiste de um disco de alumínio que pode ser rodado por acionamento externo de forma que se possa trocar de amostras sem novo ciclo de bombeamento. A câmara de vácuo é feita em aço inox e as vedações com anel de viton, de forma que se possa realizar a degaseificação do sistema por aquecimento até 150 °C. A figura 2 apresenta um corte central desse conjunto, onde temos as seguintes especificações: 1 - cátodo refrigerado; 2 - blindagem eletrostática; 3 - ânodo, suporte dos substratos; 4 - anteparo; 5 - visor; 6 - câmara de vácuo em inox 304; 7 - isolador em teflon.

Com a refrigeração do cátodo é possível operar com potências maiores, o que permite a obtenção de taxas de deposição mais elevadas. Esperamos com esse novo sistema obter espessura uniforme sobre área com cerca de 70 mm de diâmetro.

O argônio será admitido na câmara após um processo de purificação utilizando limalha de cobre aquecida a 300 °C, sílica gel e peneira molecular de 4 Å. O oxigênio será purificado pela passagem através da sílica gel e peneira molecular de 4 Å. [8]

No início do processo a descarga será realizada entre o anteparo e o cátodo, possibilitando que a superfície do cátodo seja limpa pela erosão por alguns minutos. Após isto o anteparo será girado por comando externo para que ocorra deposição sobre os substratos.

Esse novo sistema, devido tanto à purificação dos gases quanto à possibilidade de degaseificação da câmara poderá ser utilizado também para deposição de filmes metálicos ou de seus compostos (óxidos, nitretos, etc...). Estudos posteriores empregando novo protótipo, visarão estudar a influência de parâmetros como pressão parcial do oxigênio sobre a estequiometria do óxido formado e taxa de deposição, assim como influência de parâmetros da descarga como tensão, densidade da corrente, pressão do argônio sobre uniformidade e taxa de deposição.

Além disso também serão realizados estudos para caracterizar eletricamente o filme produzido, quanto a rigidez dielétrica, contaminação iônica e densidade com objetivo de se determinar sua viabilidade no emprego como camada passivadora sobre dispositivos eletrônicos integrados.

O equipamento construído mostrou-se adequado à preparação de filmes de SiO_2 . Trata-se de equipamento bastante simples e de baixo custo, porém de alta repetibilidade e estabilidade de funcionamento. Utilizando-se gases comerciais como argônio e oxigênio e lâmina de silício para material do cátodo, realizamos processo de pulverização catódica reativa com consequente preparação de filmes de SiO_2 que tem-se prestado como barreira contra difusão de dopantes para fora de amostras em processos de recozimento de danos de implantação iônica. Ressaltamos no sistema construído a importância da blindagem eletrostática envolvendo o cátodo para evitar contaminação do filme por consequência da pulverização de materiais que não sejam silício. O equipamento descrito representa uma contribuição simples e acessível para laboratórios que necessitem preparar filmes de SiO_2 que são úteis também em áreas diversas da microeletrônica, como em ótica, proteção de superfícies, etc.

- [1] S.R. Wilson et alii, "Rapid Isothermal Anneal of ^{75}As Implanted Silicon", Appl. Phys. Lett, 41 (10) pg. 978-980, 1982.
- [2] J. Holleman, J. Middelhoek, "Report on the Silox Process", Technische Hogeschool Twente, Holand, 1970.
- [3] L. Holland, Vacuum Deposition of Thin Films, Chapman & Hall, London, 1958, 541 p.
- [4] V. Bruk, V. Garschermin e A. Kursonov. "Produccion de Dispositivos Semicondutores", Editora MIR, Moscow, 1971.
- [5] B. Chapman, "Glow Discharge Processes, Sputtering and Plasma Etching", John Wiley & Sons, New York, 1980.
- [6] W-K. Chu et alii, "Backscattering Spectrometry", Academic Press, New York, 1978, 384 p.
- [7] C.M. Hasenack, J.P. de Souza e I.J.R. Baumvol, "The Suppression of Residual Defects in Silicon Implanted with Arsenic by Rapid Isothermal Annealing", a ser publicado em Nucl. Instr. and Meth., seção B.
- [8] A.L. Kohl and F.C. Riesendfeld, "Gas Purification", 3 ed., Gulf Publishing, Houston, 1979, 825 p.

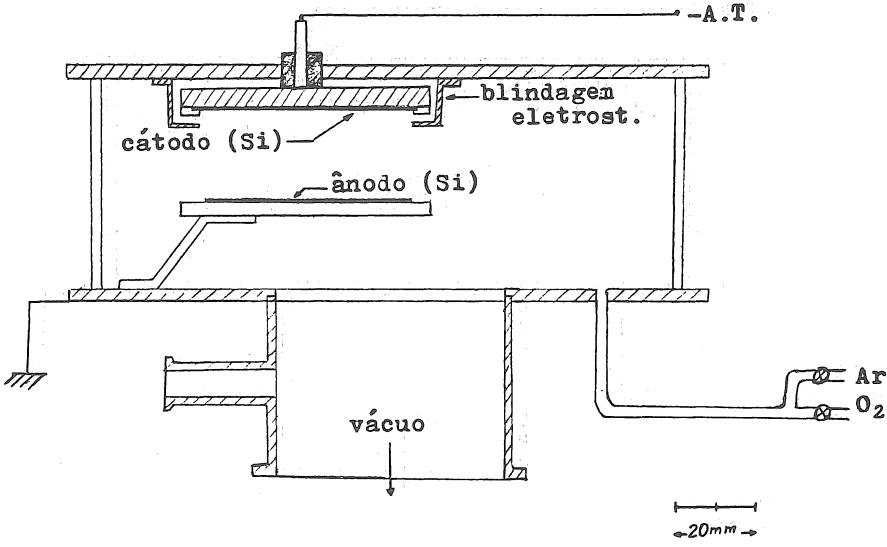


FIGURA 2

703

