

## DEPOSIÇÃO DE FILMES SIPOS POR LPCVD

Daniela Garrotte Lantin\*  
Edyr Onoda\*  
Luís da Silva Zambom\*\*

### Resumo

Filmes de silício policristalino semi-isolante foram depositados através da reação química de óxido nitroso e silana, utilizando-se um reator de deposição química à vapor em pressão reduzida (LPCVD), na temperatura de 650 °C, pressões de 150, 200 e 300 mtorr e proporção gasosa de 0,3, 0,57 e 0,83. Os resultados de índice de refração e infravermelho demonstram a existência de um filme composto por óxido de silício e silício. Obteve-se valores de taxa de deposição superiores aos normalmente encontrados na literatura para a pressão de 300 mtorr, da ordem de 7 – 11 nm/min, que é praticamente o dobro das outras pressões utilizadas neste trabalho.

Capacitores Metal – SIPOS – Semicondutor foram construídos para análise corrente-voltagem. O filme SIPOS apresenta baixa condutividade, na faixa de  $10^{-9}$  e  $10^{-11}$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )<sup>-1</sup>, valor abaixo do esperado.

### Introdução

Filmes SIPOS (Semi-Insulating Polycrystalline Silicon) ou silício policristalino semi-isolante são conhecidos desde a década de 70 como passivantes de junção p-n em diodos de potência. Antes da utilização deste filme, óxido de silício era o filme normalmente utilizado. Entretanto, o filme de óxido de silício não suporta altas tensões (750–1000V) aplicadas ao diodo, pois ocorre o acúmulo de estados de interface na junção, gerando altos campos elétricos que leva ao rompimento da sua rigidez dielétrica e, por consequência, à degradação do diodo [1].

A utilização de um filme semi-isolante evita o acúmulo de cargas na junção [2], diminuindo o campo elétrico local. A diminuição de cargas é observada pela alta corrente de fuga que o filme SIPOS apresenta.

Este material é normalmente obtido por LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition – deposição química à vapor em baixa pressão) pela reação química de silana (SiH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) em temperaturas de 600 – 750 °C[3].

Neste trabalho estaremos estudando as características do filme SIPOS obtido a 650 °C, como taxa de deposição, índice de refração, composição química e características elétricas, variando-se pressão total do processo e relação entre as vazões gasosas de silana e óxido nitroso.

Além disso, trabalharemos em condições mais suaves do que as encontradas normalmente na literatura. Isso se justifica, pois o processo é bastante reativo, degradando rapidamente o reator LPCVD.

### Parte Experimental

A deposição de filmes SIPOS foi realizada em lâminas de silício de 75 mm, tipo p, orientação cristalográfica (100) e resistividade 1 - 20  $\Omega \cdot \text{cm}$ . As lâminas passaram pela seqüência de limpeza "piranha" (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), solução de 5% de HF, "RCA1" (NH<sub>4</sub>OH + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O) e "RCA2" (HCl + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O). Antes de cada processo as lâminas eram imersas em uma solução de 5% de HF.

O processo de deposição foi realizado em reator LPCVD, utilizando-se como gases reagentes SiH<sub>4</sub> (silana) e N<sub>2</sub>O (óxido nitroso), cuja vazão de silana foi mantida constante em 30 sccm e a vazão de óxido nitroso foi de 9, 17 e 25 sccm. A temperatura foi mantida constante em 650° C, variando-se a pressão em 150, 200 e 300 mtorr ( 20, 27 e 40 Pa).

Para a caracterização dos filmes utilizou-se, elipsômetro ( $\lambda = 632,8$  nm) para a determinação da espessura e índice de refração, espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) para análise das ligações químicas e caracterização elétrica corrente - voltagem através de capacitores MSS (Metal – SIPOS – Semicondutor).

Os capacitores MSS foram construídos através da evaporação de cerca de 500 nm de espessura de alumínio sobre o filme SIPOS e definição das áreas de 700x700 e 200x200  $\mu\text{m}$  por litografia óptica. Nas costas da lâmina também foi depositado cerca de 500 nm de alumínio.

Metade de cada amostra foi sinterizada na temperatura de 430 °C, em ambiente de 5% de H<sub>2</sub> e 95% de N<sub>2</sub> (forming gas) por 30 minutos, para melhorar o contato entre o alumínio e o substrato e com filme SIPOS.

### Resultados e Discussão

Na figura 1 é mostrada a taxa de deposição versus a relação entre as vazões gasosas N<sub>2</sub>O/SiH<sub>4</sub>.

\* Alunos de graduação do curso de MPCE - FATEC - SP

\*\* Professor Doutor da FATEC - SP

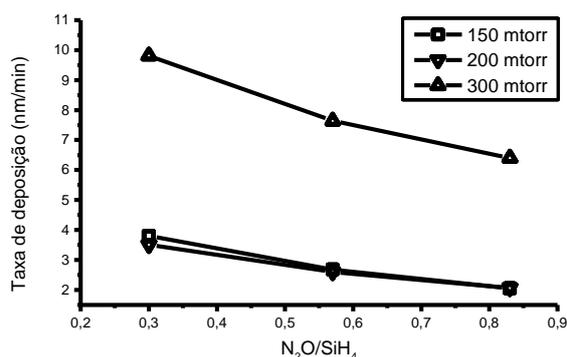


Fig. 1 – Taxa de deposição versus  $N_2O/SiH_4$ .

A taxa de deposição diminui com o aumento da relação entre as vazões e aumenta com a pressão total, apesar de para 150 e 200 mtorr as taxas de deposições praticamente não variarem entre si.

A taxa de deposição obtida para as pressões de 150 e 200 mtorr está na mesma ordem de grandeza que outros processos da literatura [4]. Entretanto, para a pressão de 300 mtorr, a taxa de deposição tem aumento significativo, de cerca de 2 vezes os valores de taxa de deposição para as pressões de 150 e 200 mtorr. Esse aspecto indica que é factível diminuir a proporção gasosa ao se aumentar a pressão total, pois pode-se conseguir as mesmas espessuras de filme diminuindo-se o tempo de processo.

Pode-se observar que o gás que determina a taxa de deposição do filme SIPOS é a silana e não o óxido nitroso, pois o aumento da concentração de óxido nitroso ocorre a diminuição da taxa de deposição [5,6]. Essa dependência do gás silana com a taxa de deposição é encontrada na obtenção de outros filmes, como por exemplo, óxido de silício e nitreto de silício.

A figura 2 apresenta o comportamento do índice de refração versus a proporção gasosa  $N_2O/SiH_4$ .

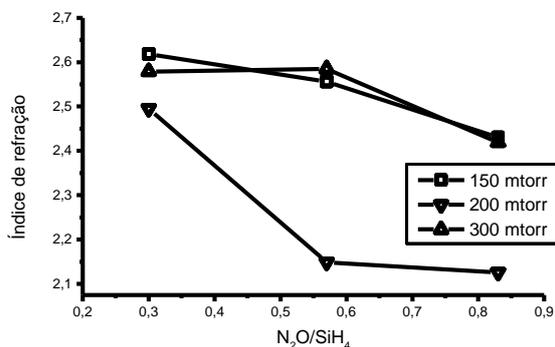


Fig. 2 – Índice de refração versus  $N_2O/SiH_4$ .

Um filme de silício possui índice de refração de 3,7, o filme de óxido de silício possui índice de refração de 1,46. Portanto, é de se esperar que o filme

SIPOS possua um índice de refração intermediário, como pode-se observar pela figura 2. Os valores estão bem acima do óxido de silício, indicando que o filme possui alta concentração de silício.

O aumento na concentração do óxido nitroso, aumenta a concentração de oxigênio no filme SIPOS, diminuindo o índice de refração.

A figura 3 apresenta espectros de infravermelho para diferentes proporções gasosas de  $N_2O/SiH_4$  e de óxido de silício térmico para comparação.

Pela análise dos espectros de infravermelho obteve-se as seguintes bandas correspondentes às ligações químicas: estiramento Si-O ( $1030 - 1040 \text{ cm}^{-1}$ ), Si-O ( $880 - 890 \text{ cm}^{-1}$ ) e Si-O ( $435 - 445 \text{ cm}^{-1}$ ). A banda em  $1245 \text{ cm}^{-1}$  “joelho”, que aparece claramente no óxido térmico, é bastante tênue no filme SIPOS e está deslocada e sobreposta na banda de  $1030 - 1040 \text{ cm}^{-1}$ . Hidrogênio, que em filmes de óxido de silício e nitreto de silício é considerado uma impureza prejudicial, pois degrada a isolamento elétrica, apresenta uma banda de ligação em  $2160 \text{ cm}^{-1}$  relativa à ligação Si-H, mas foi encontrada nesses filmes.

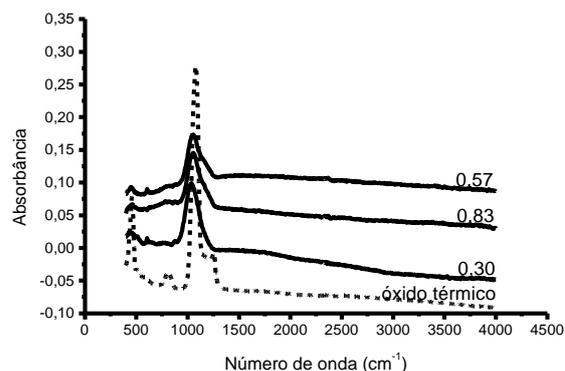


Fig. 3 – Espectros de FTIR de filmes SIPOS para diferentes proporções gasosas de  $N_2O/SiH_4$  e óxido de silício térmico.

Através dos resultados de índice de refração, em que pode-se concluir que o filme possui alta concentração de silício, e por FTIR, em que pode-se concluir pela presença de óxido de silício, ambos resultados indicam que foi obtido filme SIPOS. Não se pode obter informações sobre a sua estrutura, que acredita-se ser de ilhas de silício circundadas por óxido de silício [7], e nem composição relativa oxigênio-silício.

#### Análise Elétrica

As figuras 4 e 5 apresentam os valores de condutividade obtidos para os capacitores de tamanho de  $700 \times 700 \text{ }\mu\text{m}$ , não sinterizadas e sinterizadas, respectivamente. Capacitores de  $200 \times 200 \text{ }\mu\text{m}$  também foram analisados, mas apresentamos resultados de  $700 \times 700 \text{ }\mu\text{m}$  por serem capacitores maiores e que

apresentam maiores chances de se encontrar defeitos no filme SIPOS.

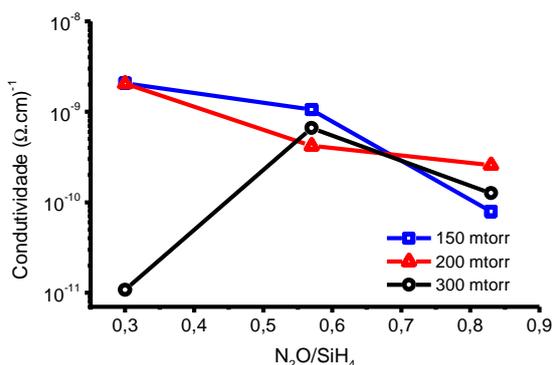


Fig. 4 - Condutividade versus proporção gasosa N<sub>2</sub>O/SiH<sub>4</sub> para capacitor de 700x700 µm sem sinterização.

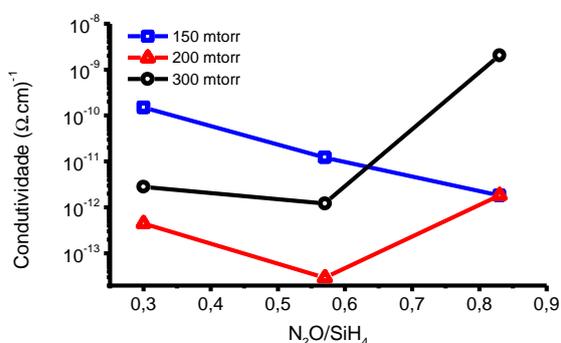


Fig. 5 - Condutividade versus proporção gasosa N<sub>2</sub>O/SiH<sub>4</sub> para capacitor de 700x700 µm com sinterização.

Observa-se pelas figuras 4 e 5 que a condutividade está diminuindo, de uma maneira geral, com o aumento da proporção gasosa [7]. As amostras sinterizadas apresentam valores de condutividade inferiores às amostras não sinterizadas, em função da formação da melhor interface filme-alumínio e substrato-alumínio.

A condutividade diminui com o aumento da concentração de oxigênio no filme SIPOS [2,7]. Isso é devido ao aumento da quantidade de óxido de silício, que é um isolante. A faixa de condutividade obtida nestes casos varia de 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-9</sup> (Ω.cm)<sup>-1</sup>. Para os nossos filmes a condutividade está variando de 10<sup>-9</sup> a 10<sup>-11</sup> (Ω.cm)<sup>-1</sup> para filmes não sinterizados e 10<sup>-9</sup> a 10<sup>-14</sup> (Ω.cm)<sup>-1</sup>. Esses valores são muito baixos e estão mais próximos do óxido de silício.

Não se observa nenhuma relação significativa entre a condutividade e pressão total do processo.

A eficiência destes filmes como passivantes das junções de diodos de potência não foi realizada, pois estamos no início do trabalho.

## Conclusão

Filmes de silício policristalino semi-isolante foram depositados através da reação química de óxido nitroso e silana, utilizando-se um reator LPCVD na temperatura de 650 °C, pressões de 150, 200 e 300 mtorr e proporção gasosa de 0,3, 0,57 e 0,83. O índice de refração mais os resultados de espectroscopia de infravermelho indicam a presença de silício mais óxido de silício. Obteve-se valores de taxa de deposição superiores aos normalmente encontrados na literatura para a pressão de 300 mtorr, da ordem de 7 – 11 nm/min, que é praticamente o dobro das outras pressões.

Caracterização elétrica foi realizada através da análise corrente-voltagem em capacitores MSS. O filme SIPOS apresentou baixa condutividade, na faixa de 10<sup>-9</sup> e 10<sup>-11</sup> (Ω.cm)<sup>-1</sup>.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro.

## Bibliografia

- [1] – C. A. Neugebauer, J. F. Burgess, R. E. Joynson and J.L. Mundy, J Appl. Phys. Letters. V. 19, p.287, 1971.
- [2] – Matsushita, T e at all "Highly reliable voltage transistors by use of the SIPOS Process". IEEE Transaction on Electron Devices, V. ED 23, n° 8, p.826 – 30, 1976.
- [3] – Wolf, S. e Tauber, R. N. Silicon Processing for the VLSI Era: Process Tecnology Sunset Beach, Lattice Press, V.1, 1986.
- [4] – Cordier, C.; Dehan, E.; Scheid, E.; Duverneuil, P. "Semi-insulating proprieties control by CVD process modeling" Elsevier Science S. A., p.30 – 34, 1996.
- [5] – Versteegen, B.; Habraken, F. H. P. M. e Van der Weg, W. F. The role of hydrogen in the deposition, composition, and struture of semi insulating polycrystalline silicon films; J. Apl. Phys. V. 57 n° 8, p. 2766 – 2770, 1985.
- [6] – Joubert, P. e outros. The effect of low pressure on the structure of LPCVD polycrystalline silicon films. J. Electrochem. Soc., V.134, n° 10, p. 2541 – 2545, 1987.
- [7] – Brüesch, P.; Stockmeier, T.; Stucki, F. "Physical Properties of semi-insulating polycrystalline silicon". Appl. Phys., V.73, n° 11, p.7677 – 89, 1993.