

DEPOSIÇÃO REATIVA DE FILMES DE NITRETO DE SILÍCIO
OBTIDOS ATRAVÉS DE UM SISTEMA RF PLANAR MAGNETRON SPUTTERING

A. FLACKER

A. C. PAGOTTO

A. FISSORE

CPqD - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DA TELEBRÁS
CAIXA POSTAL 1579 13.085 - CAMPINAS - SP - BRASIL

RESUMO:

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo da deposição de filmes de nitreto de silício em substratos de silício polido tipo n e orientação (111), através de um sistema "RF PLANAR MAGNETRON SPUTTERING". O estudo consistiu em se verificar o comportamento do índice de refração e da taxa de deposição em função da variação da pressão parcial do gás nitrogênio em três densidades de potência: 1,09 e 1,45 e 2,90 Watts/cm². Os estudos mostraram uma acentuada dependência da taxa de deposição e da estequiometria do filme de nitreto de silício em relação à potência de sputtering empregada, e esta dependência está também relacionada com o fluxo de gás nitrogênio admitido na câmara de sputtering, mantendo-se constantes os demais parâmetros de deposição.

1- INTRODUÇÃO

Filmes de nitreto de silício são amplamente usados em tecnologia de componentes semicondutores, devido à sua eficiência como barreira de difusão.

Outras aplicações incluem a passivação para microeletrônica e a formação de revestimentos antireflectores para detectores infravermelhos e células solares (1). Em todas essas aplicações, as técnicas de deposição a baixa temperatura são, muitas vezes, necessárias para prevenir difusões indesejáveis nas camadas previamente depositadas.

Por essa razão, plasma CVD e técnicas de sputtering são frequentemente usadas. Entretanto, filmes de nitreto de silício, depositados por plasma CVD, incorporam apreciáveis quantidades de hidrogênio, afetando seriamente suas propriedades elétricas (2). Assim sendo, a técnica de deposição por sputtering reativo, utilizando alvo de silício, tem sido considerada uma alternativa promissora, pois pode-se obter taxas de deposição relativamente altas, mantendo-se baixa a

temperatura. A possibilidade de se associar baixa temperatura à altas taxas pode ser, também, relevante no que tange o lado econômico da deposição (3). Por outro lado, a deposição e as propriedades dos filmes depositados por sputtering dependem de condições complexas do processo de sputtering (4.5). Para aproveitar todas as potencialidades da técnica de sputtering reativo, é necessário um bom controle das condições de deposição e entendimento de todas as variáveis do processo. Estudou-se o comportamento da taxa de deposição e do índice de refração para o filme de nitreto de silício em função da pressão parcial do gás nitrogênio a três potências diferentes com a finalidade de se confeccionar capacitores e passivar circuitos integrados monolíticos de microondas.

2- DETALHES EXPERIMENTAIS

Filmes de nitreto de silício, com espessura entre 250 e 1500 Å, foram obtidos por meio de deposição RF reativa, através de um alvo de silício de pureza 99,999% em atmosfera de nitrogênio e argônio, usando-se um equipamento denominado Planar Magnetron Sputtering BAS 450 da firma Balzers, como mostra a figura 1.

A câmara foi evacuada, inicialmente, a uma pressão inferior a 8×10^{-7} mbar, por meio de uma bomba difusora acoplada a uma armadilha de nitrogênio líquido e a um "Meissner Trap". Após o acionamento da válvula "Throttle", localizada acima da armadilha de nitrogênio líquido, foram introduzidos separadamente por meio de válvulas de dosagem automática (RME 010), os gases nitrogênio e argônio, com purezas 99,999% e com os respectivos fluxos controláveis. A temperatura, a rotação do porta-substratos e a mínima distância entre o alvo e o porta-substratos foram fixados à temperatura ambiente (25°C), 14 r.p.m. e 50 mm respectivamente. A imposição da potência de sputtering foi realizada por meio de um sistema de variação de potência com ajuste fino (counter), associado à um mostrador analógico. As pressões parciais

do vapor de água e dos gases oxigênio, hidrogênio e gás carbônico foram monitoradas através de um quadrupolo QMG 064 da Balzers. Os valores do índice de refração e da espessura dos filmes foram calculados através de parâmetros obtidos com um elipsômetro da Gaertner Scientific Corp.; para confronto da espessura foi utilizado um equipamento alfa step 100 da Tencor Instruments.

Os substratos, submetidos ao processo de deposição do filme, foram desengordurados durante 10 minutos, e pela ordem, nos seguintes solventes em ebulição: tricloroetileno, acetona e álcool isopropílico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 2 e 3, apresentam-se, respectivamente, os comportamentos do índice de refração (n) e da taxa de deposição (R) em função do percentual da pressão parcial do gás nitrogênio, P(N₂) para três níveis de potência, (300, 400 e 800 W) a uma pressão de "sputtering" constante, igual a 4,0 X 10⁻³ mbar. Nota-se nestas figuras que cada curva apresenta três regiões de comportamentos diferentes. Abaixo de um certo limite inferior do percentual de P(N₂) denominado ponto crítico, os "n" tendem rapidamente aos "n" do silício (n=3,71) e as "R" praticamente permanecem constantes, correspondendo àquelas do próprio alvo de silício (Si). Acima de um certo limite superior, do percentual de P(N₂) os "n" tendem a se manterem constantes e os "R" idem. Na região intermediária, entre os limites superior e inferior, as "R" sofrem variações abruptas, enquanto as curvas do "n" apresentam apenas mudanças de comportamento.

Na região de cada curva, abaixo do ponto crítico, a disponibilidade de gás N₂ reativo é muito pequena, implicando a formação de um filme com alto teor de Si e baixo teor de nitrogênio, resultando em "n", tendendo ao do Si e "R", características do rendimento de "sputtering" do Si.

A partir do ponto crítico, na região intermediária, a quantidade de gás N₂ reativo torna-se suficiente para iniciar a formação de compostos de silício e nitrogênio (Si_x N_y) sobre o alvo, causando uma acentuada redução na taxa de deposição (3,6). Nesta região, provavelmente ocorre uma maior incorporação de quantidades indefinidas e variáveis de: Nitrogênio, Oxigênio, Hidrogênio, Silício e seus compostos (7), que incorporados ao filme favorecem o decréscimo dos "n" (8,9).

Na região acima do limite superior as "R" permanecem praticamente constantes, já que elas são

características do "sputtering" do Si_x N_y e uma vez o alvo de Si encontra-se totalmente coberto por material; os "n" sofrem pequenas variações. Tais variações, são devidas a um aumento da razão nitrogênio/argônio função do acréscimo do fluxo de nitrogênio (6), provocando um decréscimo da densidade do filme, devido a uma maior incorporação de nitrogênio ao mesmo (10).

Realizou-se também, nas mesmas condições operacionais já descritas, um estudo comparativo, associando-se as tonalidades das colorações do filme dielétrico às respectivas espessuras obtidas através da elipsometria e da profilometria.

Na tabela I, apresenta-se os resultados:

COR (*)	ESPESSURA (Å°)
SILÍCIO	0 - 200
MARROM ACINZENTADO	200 - 300
MARROM	300 - 450
MARROM DOURADO	450 - 550
MARROM AVERMELHADO	550 - 650
VERMELHO	650 - 700
AZUL ESCURO	700 - 750
AZUL	750 - 850
AZUL CLARO	850 - 950
AZUL MUITO CLARO	950 - 1100
SILÍCIO	1100 - 1200
AMARELO CLARO	1200 - 1300
AMARELO	1300 - 1500

(*) Estas cores estão associadas ao índice de refração de 1,97 a 2,00

Estes resultados são compatíveis com o encontrado na literatura (7,11). Por essa razão, em aplicações onde não são necessárias altíssimas precisões da ordem daquelas obtidas por elipsometria

Δ = 2% no valor da espessura da camada, é possível a utilização da tabela para efeitos de avaliações de espessuras.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se que o índice de refração e a taxa de deposição de filmes de nitreto de silício, obtidos por meio de um sistema "RF Planar Magnetron Sputtering" pelo método descrito, apresentam acentuadas dependências do fluxo de gás N_2 admitido na câmara de vácuo e da densidade de potência de operação, mantidos constantes os demais parâmetros do processo.

Conclui-se também que, a partir dos resultados obtidos, a deposição de nitreto de silício sobre Si polido tipo "n" de orientação (111) é possível em toda faixa proposta de variação do fluxo de nitrogênio até ao maior nível de potência empregado. Entretanto, é importante salientar que, como foi discutido, os mecanismos fisicoquímicos predominantes da deposição do filme de nitreto de silício, são distintos para diferentes intervalos das variáveis do processo, o que implica em variações na estequiometria do filme.

5. COMENTÁRIOS

Este estudo foi uma introdução objetivando avaliar os mecanismos fisicoquímicos predominantes e condições operacionais, para a obtenção de filmes de nitreto de silício sobre substratos de arseneto de gálio (GaAs) monocristalino, visando a passivação de circuitos integrados monolíticos de microondas, bem como a confecção de capacitores sobre GaAs, e portanto, aspectos como aderência, níveis de potência permissíveis, temperatura dos substratos, stress e estequiometria do filme devem ser levados em consideração.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à **MÁRCIA RAUNTEMBERG FINARDI** e **MARIA FELOMENA C. J. DOS SANTOS** pela realização das medidas de espessura e à **CLÁUDIO MARSOLA** pela realização das medidas de elipsometria.

7. BIBLIOGRAFIA

1. C. E. MORASANV, THIN SOLID FILMS, 65, 171 (1980).
2. P. S. PEECY AND M. J. STEIN, IN PROC. SYMP. SILICON NITRIDE THIN INSULATING FILMS (EDITED BY V. J. KAPOOR AND M. J. STEIN), THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY (1983)

3. T. SERIKAWA AND A. OKAMOTO, J. ELECTROCHEM. SOC., 131, 2982 (1984)
4. R. E. JONES, H.F. WINTERS AND L.I. MAISSEL, J. VAC. SCI. TECHNOL. 5, 84 (1968)
5. S. MANIV AND W. D. WESTWOOD, J. APPL. PHYS., 51, 718 (1983)
6. T. SERIKAWA AND A. OKAMOTO, THIN SOLID FILMS, 101, 1 (1983)
7. R. E. WILLIAMS, GALLIUM ARSENIDE PROCESSING TECHNIQUES, SECOND EDITION, (1985)
8. D. M. BROWN, P. V. GRAY, F. K. HEUMANN, H. R. PHILIP AND E. A. TAFT, J. ELETROCHEM. SOC., 115, 311 (1968)
9. L. SCHONBRODT AND K. REICHEL, THIN SOLID FILMS, 81, 45 (1981)
10. L. I. MAISSEL AND R. GLAND, HANDBOOK OF THIN FILM TECHNOLOGY, SECOND EDITION, (1970)
11. S. M. SZE, PHYSICS OF SEMICONDUCTOR DEVICES, SECOND EDITION, (1981)

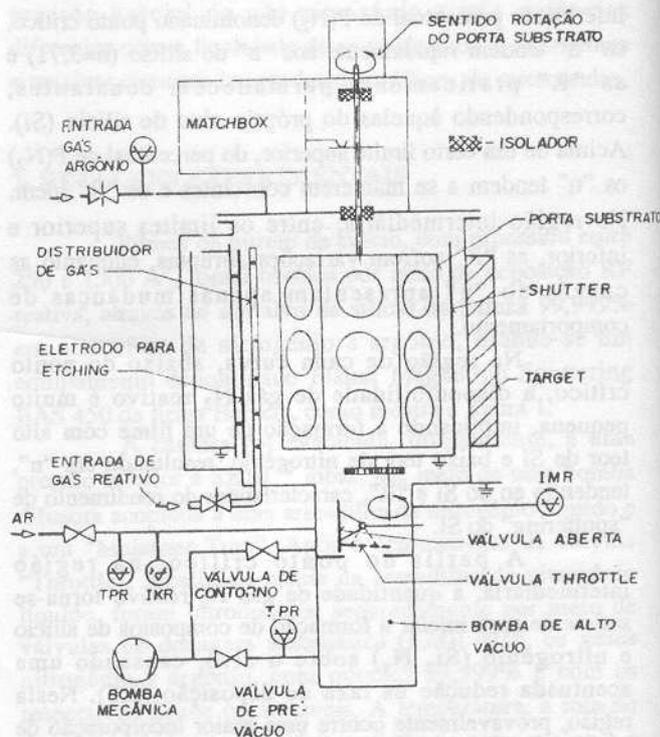


FIG.1- ESQUEMA DO PLANAR MAGNETRON SPUTTERING

BAS 450 DA BAL. 7

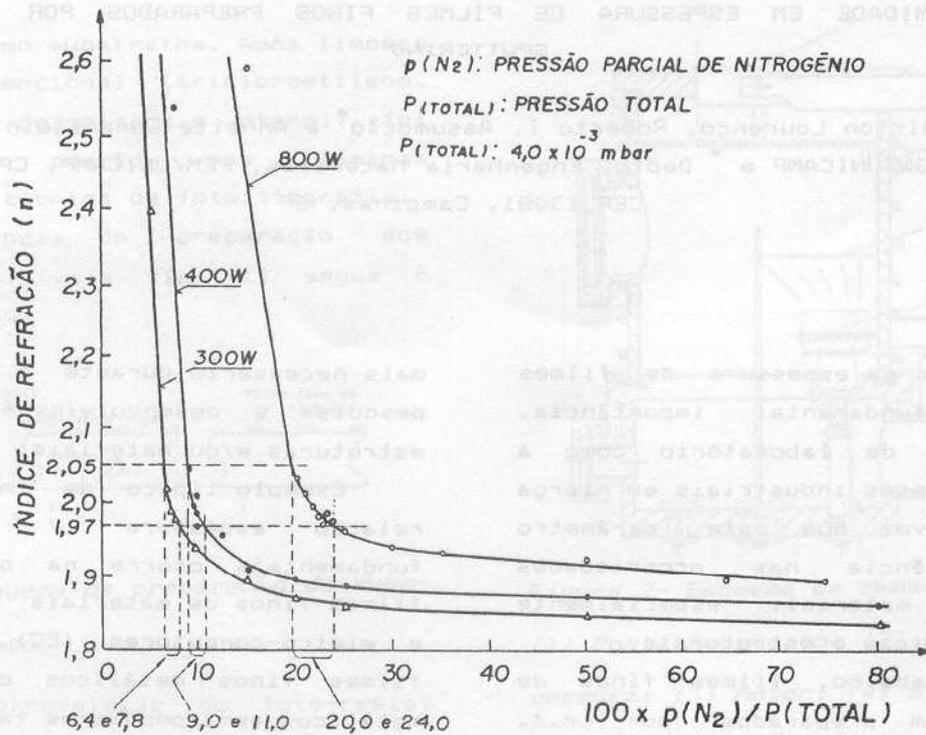


FIG.2 - ÍNDICE DE REFRAÇÃO EM FUNÇÃO DA PRESSÃO PARCIAL RELATIVA DO NITROGÊNIO.

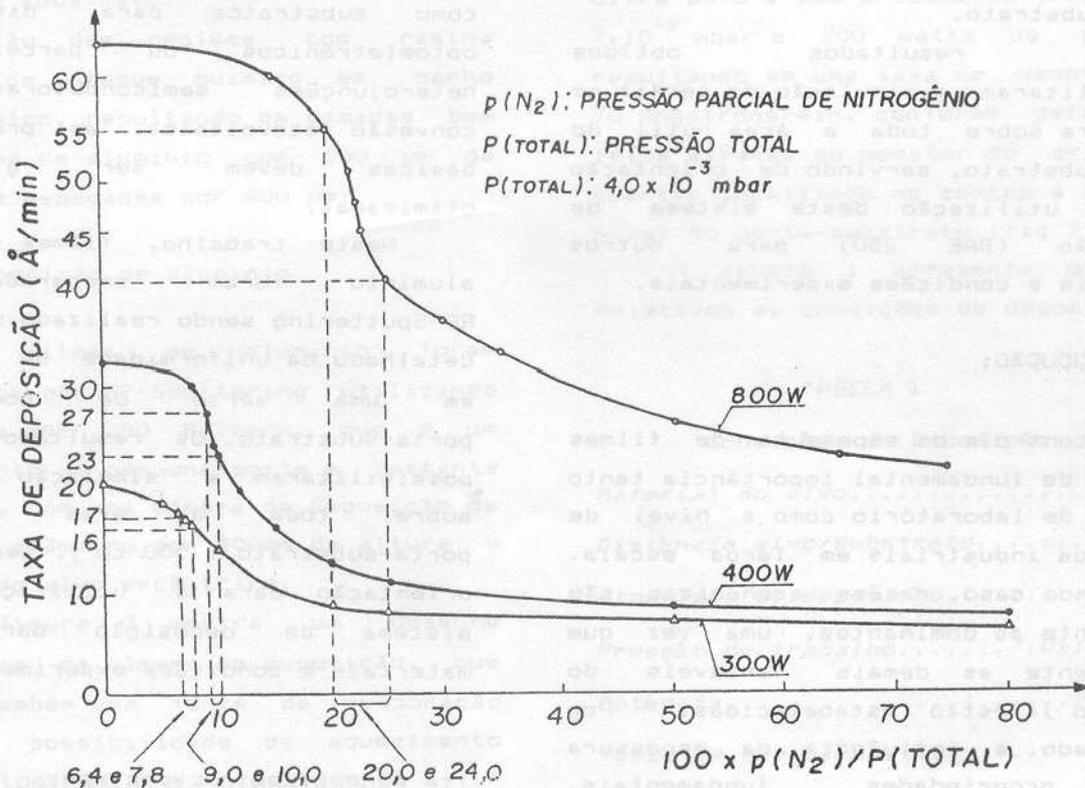


FIG.3 - TAXA DE DEPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA PRESSÃO PARCIAL RELATIVA DO NITROGÊNIO.