

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Sistemas
Eletrônicos

ISSN 1517-3542

BT/PSI/0015

Obtenção de Filmes de Nitreto de
Silício por Deposição Química
Assistida por Plasma Acoplado
Indutivamente

Luís da S. Zambom
Rogério Furlan
Ronaldo D. Mansano

São Paulo – 2000

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por Luís da S. Zambom, sob orientação dos Profs. Drs. Rogério Furlan e Ronaldo D. Mansano.: "Obtenção de Filmes de Nitreto de Silício por Deposição Química Assistida por Plasma Acoplado Indutivamente", defendida em 17/03/00, na Escola Politécnica.

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Zambom, Luís de S

Obtenção de filmes de nitreto de silício por deposição química assistida por plasma acoplado indutivamente / L.S. Zambom, R. Furlan, R.D. Mansano. — São Paulo : EPUSP, 2000.

12 p. — (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, BT/PSI/0015)

1. Nitreto de silício 2. Deposição química assistida por plasma I. Furlan, Rogério II. Mansano, Ronaldo Domingues III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos IV. Título V. Série

ISSN 1517-3542

CDD 620.193
621.38152

OBTENÇÃO DE FILMES DE NITRETO DE SILÍCIO POR DEPOSIÇÃO QUÍMICA ASSISTIDA POR PLASMA ACOPLADO INDUTIVAMENTE

DEPOSITION OF SILICON NITRIDE FILMS ASSISTED BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA

Luís da S. Zambom, Rogério Furlan, Ronaldo D. Mansano

Laboratório de Sistemas Integráveis do Departamento de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP - São Paulo - SP

RESUMO

Um sistema de plasma de alta densidade, usando-se como fonte ICP (Inductively Coupled Plasma), foi adaptado a um reator LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Depositon) convencional. Para isso uma bobina de RF de frequência de 13,56 MHz, circundada por um anteparo de alumínio, foi colocada em volta do tubo de quartzo do reator. Filmes de nitreto de silício foram depositados a partir de gases reagentes silana e amônia e silana e nitrogênio, na temperatura de 350 °C e potências de RF de 25, 50, 75, e 100 W. Obteve-se altas taxas de deposição e na mistura gasosa entre silana e nitrogênio a taxa de deposição tende a um valor constante a partir da proporção gasosa N_2/SiH_4 de 7,2 e potência de 50 W. O índice de refração variou de 1,8 a 2,4 para silana e amônia e de 1,8 a 3,2 para silana e nitrogênio. Os valores de índice de refração, em ambos os casos, diminuem com a diluição da silana e aumento da potência.

ABSTRACT

A Low Pressure Chemical Vapour Deposition reactor was transformed into an Inductively Coupled Plasma like Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition reactor by placing a coil at the inlet side of the tube and applying 13.56 MHz power to it. Silicon nitride films were deposited, using mixtures of silane and ammonia and silane and nitrogen, at 350°C and RF power of 25, 50, 75 and 100 W. The films deposited have a high deposition rate, but for mixtures of silane and nitrogen the deposition rate tends to a constant value for a N_2/SiH_4 rate higher than 7.2 for an applied RF power of 50 W. The refractive index ranges from 1.8 to 2.4 for silane and ammonia and 1.8 to 3.2 for silane and nitrogen, decreasing with the increase of the concentrations of ammonia and nitrogen, and also with the increase of the applied power.

1 - INTRODUÇÃO

O filme de nitreto de silício pode ser obtido por diversas fontes gasosas, amônia (NH_3) e silana (SiH_4)¹ ou haletos de silício (tetrafluoreto de silício (SiF_4), tetracloreto de silício (SiCl_4) ou tetrabrometo de silício (SiBr_4)). Quando da utilização de LPCVD (deposição química em pressão reduzida) substitui-se a silana pela diclorosilana (SiH_2Cl_2). No caso de se utilizar reator de plasma de baixa densidade, conhecidos por PECVD (deposição química auxiliada por plasma), pode-se substituir a amônia por nitrogênio, para diminuir a concentração de hidrogênio². Os filmes de nitreto de silício possuem várias aplicações como máscara de dopagem, baixa taxa de oxidação e alta impermeabilidade ao oxigênio e ao vapor d'água, é extensivamente utilizado como dielétrico de porta em transistores de filmes finos (TFTs)^{3,4}, isolante intermetálico⁵, camada de passivação final^{6,7}, material de guia de onda em circuitos optoeletrônicos^{8,9} e máscara em corrosão de silício por KOH ou NaOH^{10,11} para aplicações em microestruturas.

Substantial esforço tem sido feito no desenvolvimento, pesquisa e construção de vários tipos de reatores que utilizam diversas fontes de plasma de alta densidade, com o intuito de se depositar e corroer filmes finos com maiores taxas de deposição e corrosão, respectivamente, em pressões abaixo de 100 mTorr. Dentre essas possíveis fontes pode-se citar: ECR (Electron Cyclotron Resonance)^{12,13}, VHFCP (Very High Frequency Capacitive Plasma)^{14,15}, SW (Surface Wave Plasma)^{16,17} e ICP (Inductively Coupled Plasma)^{18,19,20}.

Dentre essas fontes de plasma de alta densidade utilizamos a do tipo ICP, cujo sistema está descrito na referência²¹.

2 - PARTE EXPERIMENTAL

Para as deposições de filmes de nitreto de silício foram utilizadas lâminas de silício de 3 polegadas de diâmetro, do tipo p (dopadas com boro), com orientação $\langle 100 \rangle$ e resistividade entre 1 e 10 $\Omega \cdot \text{cm}$. Lâminas de 2 polegadas, de dupla face polida, foram utilizadas para análise de espectroscopia de infravermelho (FTIR). Utilizamos como gases reagentes silana, amônia e nitrogênio que possuem 99,9 % de grau de pureza. Para limpeza das lâminas foi utilizada uma solução de 1HF (48 %) : 20 H_2O DI (18 $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$).

Na caracterização dos processos e dos filmes de nitreto de silício, foram utilizadas as seguintes técnicas: Espectrometria de Retroespalhamento Rutherford (Rutherford Backscattering - RBS): para a determinação da relação Si/N, isto é, a estequiometria do filme. Neste caso, os filmes de nitreto de silício foram depositados sobre substrato de carbono para eliminar a influência do substrato de silício e analisados com feixe de He^+ com energia de 1,2 MeV e incidência normal. Espectroscopia de Infravermelho para a detecção de ligações químicas e quantificação do conteúdo de hidrogênio através de ligações SiH e NH. Elipsometria para a determinação da espessura e do índice de refração. Através da espessura é calculada a uniformidade de espessura do filme.

3 – DEPOSIÇÃO A PARTIR DE AMÔNIA E SILANA

3.1 - TAXA DE DEPOSIÇÃO

A figura 1.1 mostra a taxa de deposição usando-se silana em função da proporção gasosa. As taxas de deposição ficaram entre 3,9 – 10,4 nm/min para 25 e 100 W, respectivamente.

Observa-se pelas figuras que a taxa de deposição é função da concentração de silana, isto é, a taxa de deposição diminui com a diluição da silana. Essa dependência da

concentração de silana normalmente é observada nos processos de deposição de filmes de nitreto de silício²².

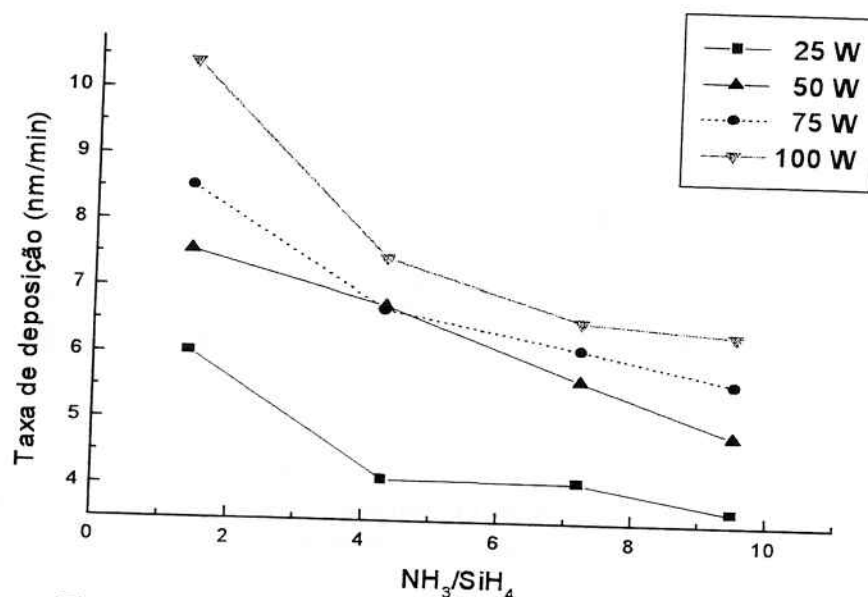


Fig. 1.1 - Taxa de deposição versus proporção gasosa entre NH_3/SiH_4 para diferentes potências de RF.

Mostram ainda que com o aumento da potência a taxa de deposição tende a se estabilizar, o que fica bem caracterizado para 100 W. Esse efeito deve estar relacionado com a saturação na dissociação das moléculas nessa potência.

3.2 - ÍNDICE DE REFRAÇÃO

A figura 1.2 mostra a dependência do índice de refração com a proporção gasosa. Os dois principais parâmetros que determinam o índice de refração dos filmes de nitreto de silício são a relação Si/N e sua densidade²³. Alguns autores^{23,24,25} também relacionam o índice de refração à concentração de hidrogênio presente nos filmes, mas isso é apenas uma correlação indireta, pois filmes que apresentam altas concentrações de hidrogênio apresentam menor densidade, como é o caso dos filmes de nitreto de silício obtidos por PECVD. Estes apresentam índices de refração inferiores aos filmes mais densos obtidos por LPCVD (para Si_3N_4 o índice de refração varia entre 1,98 e 2,00).

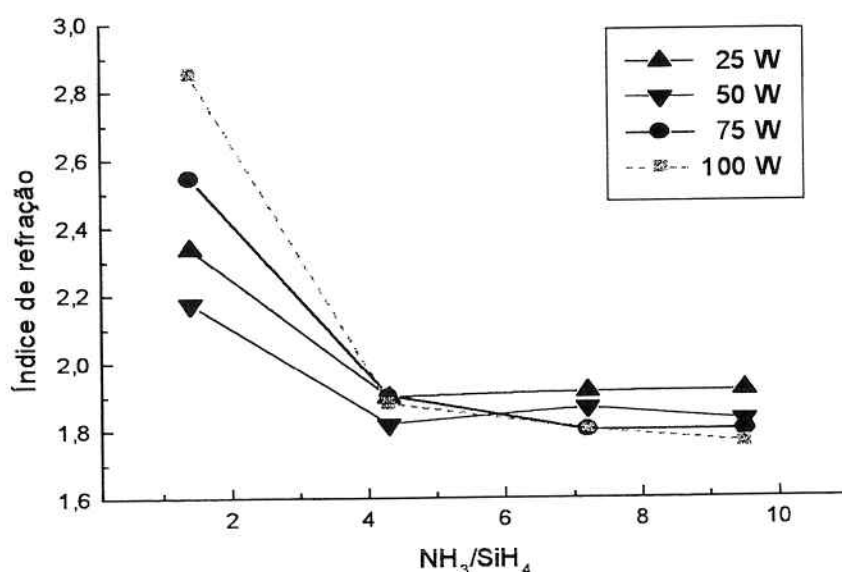


Fig. 1.2 - Índice de refração versus proporção gasosa de NH_3/SiH_4 para diferentes potências de RF.

Normalmente observa-se que o índice de refração aumenta com o aumento da relação Si/N^{25,26}.

Este comportamento é confirmado na figura 1.2 em que o índice de refração diminui com o aumento da concentração de amônia. Com a diluição da silana, forma-se um filme de nitreto de silício cuja relação Si/N diminui e, por consequência, torna-se mais rico em nitrogênio. Em função do aumento de nitrogênio o índice de refração diminui de acordo com a menor absorção da ligação N-N do que a ligação Si-Si presente no filme de nitreto²⁰.

Nossos resultados mostram que o índice de refração aumentou para filmes ricos em silício, pois formam-se mais ligações Si-Si, e diminui para filmes ricos em nitrogênio, devido a formação de novas ligações N-N.

3.3 - COMPOSIÇÃO DO FILME

A proporção de silício para nitrogênio nos filmes de nitreto de silício foi determinada a partir de espectros RBS, como por exemplo o da figura 1.3.

A figura 1.4 mostra a relação Si/N, obtida dos espectros de RBS, versus proporção gasosa NH_3/SiH_4 para 25 e 50 W.

A relação Si/N varia de 1,36 para a proporção gasosa de 1,4 para 0,67 na proporção gasosa de 4,3, isso a 25 W. Essa variação abrupta na estequiometria deve-se provavelmente à facilidade de dissociação da molécula da amônia com relação à molécula de silana, produzindo maior número de espécies reativas de nitrogênio. Essa maior dissociação da molécula de amônia aumenta com o aumento da potência, pois a relação Si/N para 50 W é menor do que para 25 W, indicando o aumento da concentração de nitrogênio no filme de nitreto.

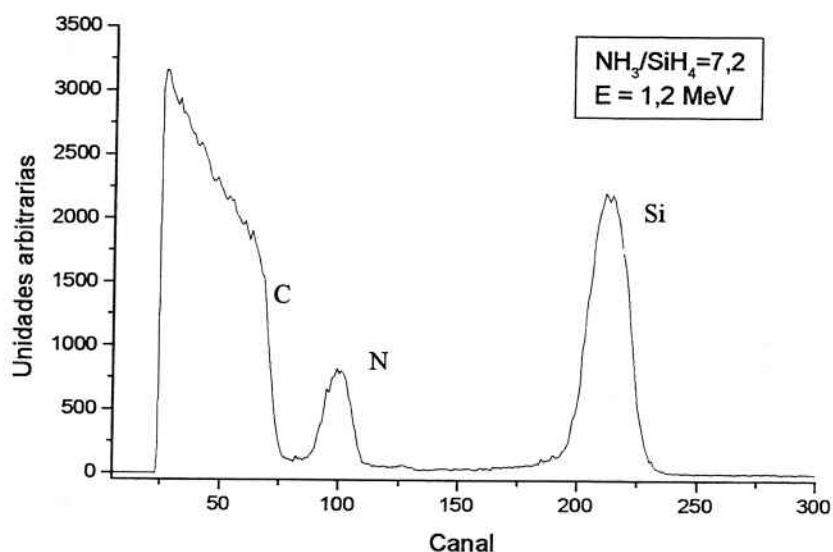


Fig. 1.3 – Espectro de RBS de uma amostra de nitrato de silício sobre substrato de carbono. (calibração da energia $E = 2,44 \times \text{canal} + 130,27 \text{ keV}$).

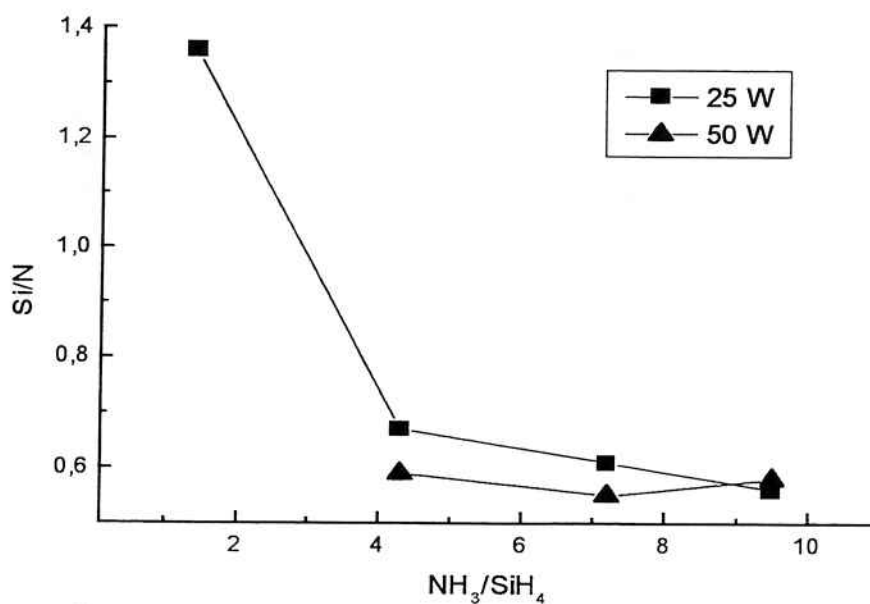


Fig. 1.4 - Relação Si/N versus proporção gasosa de NH_3/SiH_4 para 25 e 50 W.

3.4 - ANÁLISE DOS FILMES POR FTIR

Através de análise de infravermelho, FTIR^{27,28}, foram obtidas as seguintes bandas de absorção: Si-N "breathing" ($448 - 470$) e estiramento ($830 - 900 \text{ cm}^{-1}$), N-H curvamento ($1170 - 1187 \text{ cm}^{-1}$) e estiramento ($3340 - 3355 \text{ cm}^{-1}$), N-H₂ curvamento ($1530 - 1550$) e estiramento ($3410 - 3430 \text{ cm}^{-1}$), Si-H estiramento ($2160 - 2195 \text{ cm}^{-1}$).

A concentração de hidrogênio, nos filmes obtidos a partir de silana e amônia, na forma de ligações SiH e NH é mostrada na figura 1.5 para 25 e 50 W.

De uma maneira geral, a concentração total de hidrogênio tende a se estabilizar com o aumento da concentração de amônia, o que indica um limite na reatividade dos gases.

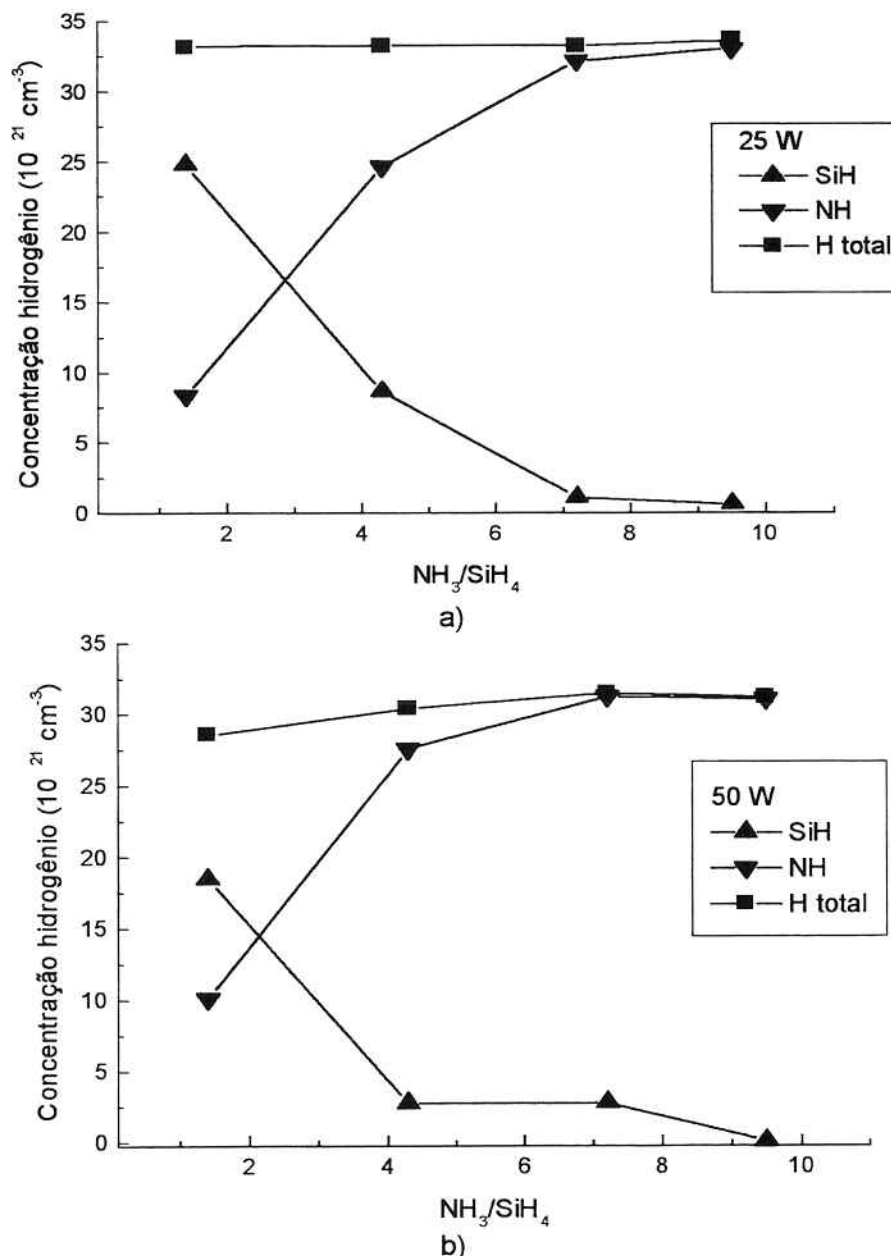


Fig. 1.5 - Concentração de hidrogênio versus proporção gasosa de NH_3/SiH_4 para potências de RF de a) 25 e b) 50 W.

4 – DEPOSIÇÃO A PARTIR DE NITROGÊNIO E SILANA

4.1 - TAXA DE DEPOSIÇÃO

As figuras 2.1 e 2.2 mostram a dependência da taxa de deposição com a proporção gasosa e a potência aplicada, respectivamente.

Pode-se observar que para as potências acima de 25 W, a taxa de deposição tende a se estabilizar para proporção gasosa superior a 7,2. Essa tendência ocorre em função da dissociação das moléculas de silana e nitrogênio saturarem nessa potência.

Han²⁰ e Sittbon²⁹ descrevem essa mesma tendência. Portanto, com o aumento da potência pode-se evitar esse limite de dissociabilidade das moléculas e, por consequência, aumentar a taxa de deposição.

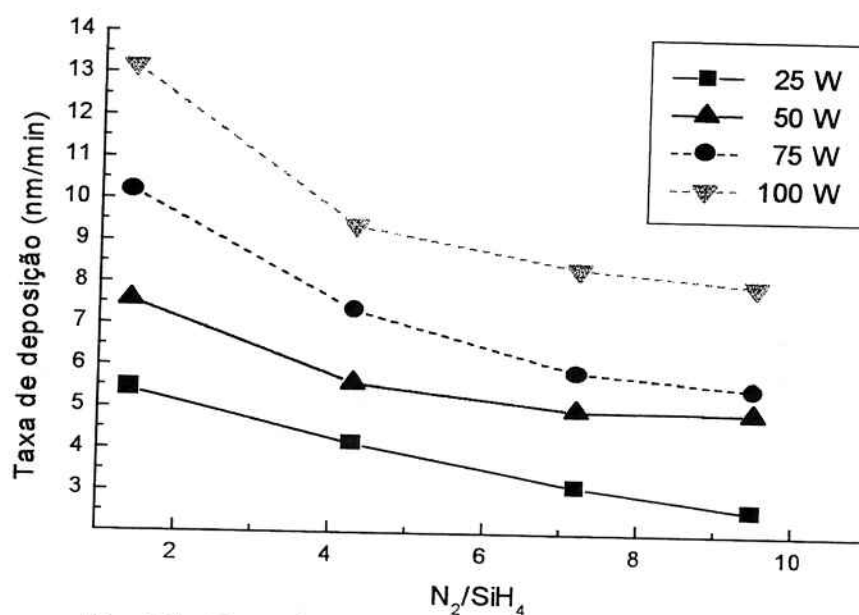


Fig. 2.1 - Taxa de deposição versus proporção gasosa de N_2/SiH_4 para diferentes potências.

Contrariamente aos nossos resultados, Sitbon²⁹ observou que o aumento da potência acarretava uma diminuição na taxa de deposição devido a um aumento no bombardeamento iônico sobre a amostra.

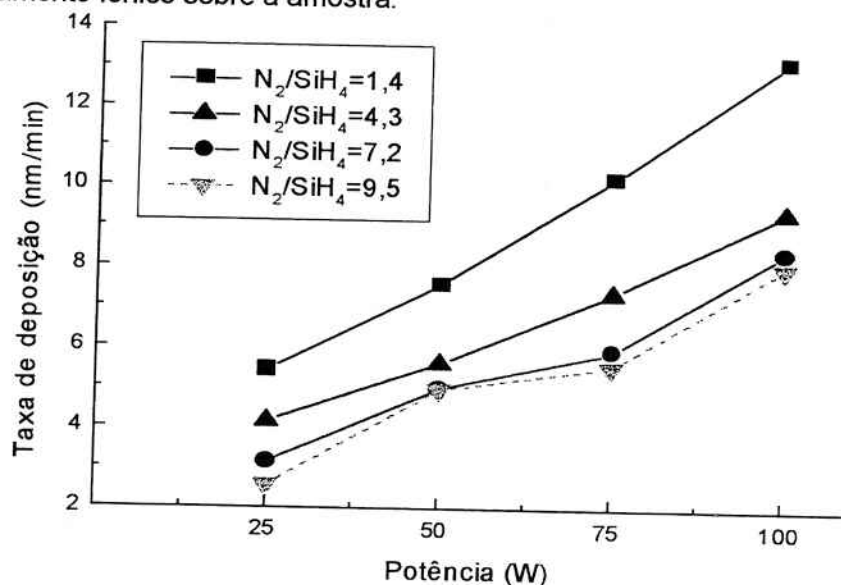


Fig. 2.2 - Taxa de deposição versus potência aplicada para N_2/SiH_4 para diferentes proporções gasosas.

4.2 - ÍNDICE DE REFRAÇÃO

As figuras 2.3 e 2.4 mostram a dependência do índice de refração com a proporção gasosa e a potência aplicada, respectivamente.

O índice de refração diminui com o aumento da concentração de nitrogênio e, também, com o aumento da potência. Com a diluição da silana, forma-se um filme de nitreto de silício cuja relação Si/N diminui e, por conseqüência, tende para filme de estequiometria Si_3N_4 cujo índice de refração é 2,0.

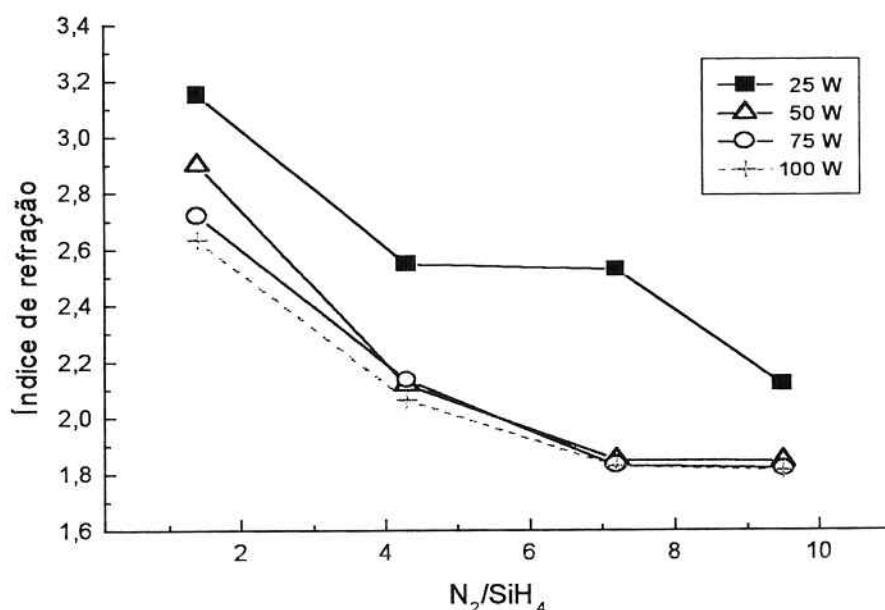


Fig. 2.3 - Índice de refração versus proporção gasosa de N_2/SiH_4 para diferentes potências.

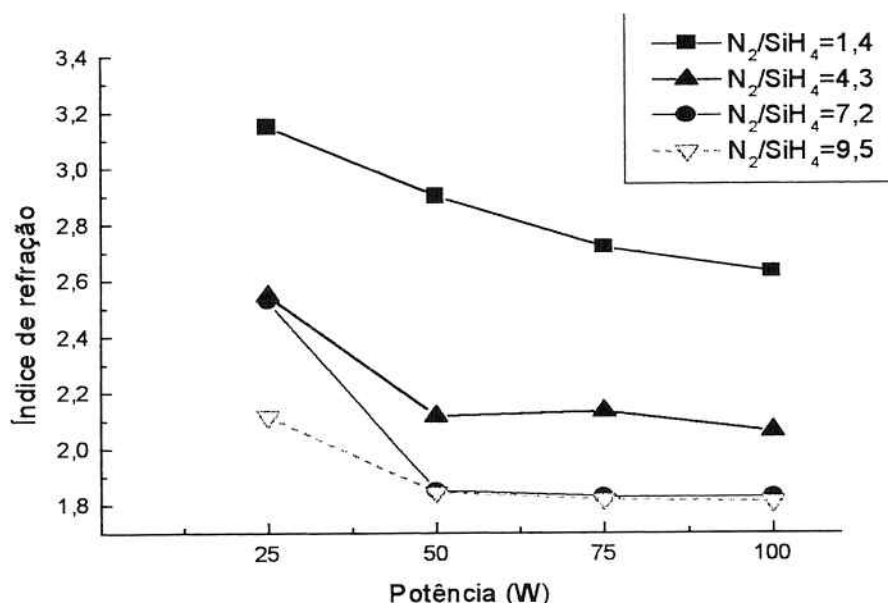


Fig. 2.4 - Índice de refração versus potência aplicada para diferentes proporções gasosas de N_2/SiH_4 .

Com o aumento da concentração de nitrogênio, o índice de refração diminui ainda mais, tendendo para um valor mínimo de índice de refração independente da potência de RF aplicada, figura 2.4.

Para a potência, esta nos leva a crer que o seu aumento dissocia proporcionalmente mais moléculas de nitrogênio do que moléculas de silana aumentando a quantidade de nitrogênio no filme que atinge uma concentração máxima no filme de nitreto de silício.

No nosso sistema, tanto o aumento da potência quanto o aumento no fluxo do nitrogênio afetam igualmente a taxa de deposição e o índice de refração, pois o nitrogênio e a silana são dissociados ao mesmo tempo. Han²⁰, que utilizou um ICP-CVD onde o nitrogênio era dissociado antes de reagir com a silana, observou que a potência afetava mais significativamente o índice de refração do que o fluxo de nitrogênio.

A figura 2.5 mostra os resultados de índice de refração após o processo de tratamento térmico.

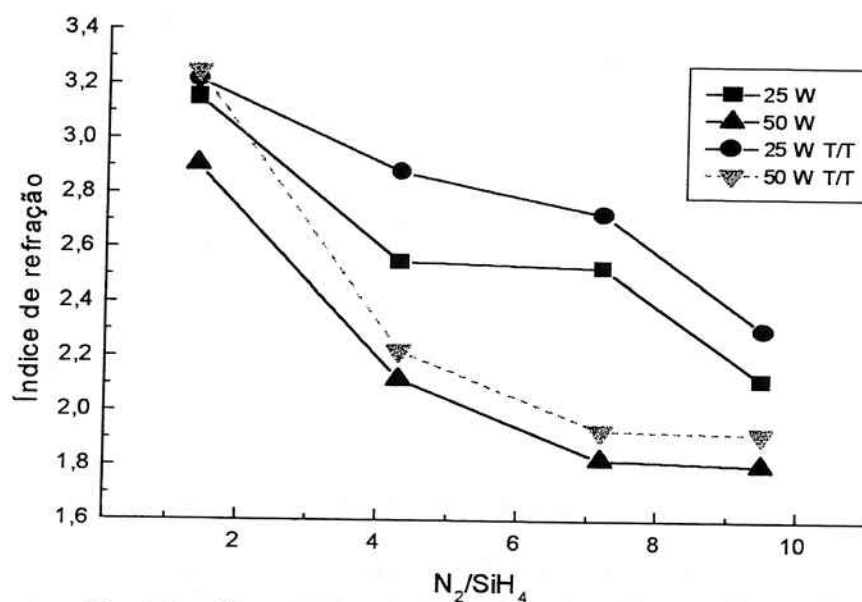


Fig. 2.5 - Índice de refração versus proporção gasosa de N_2/SiH_4 para 25 e 50 W, antes e após tratamento térmico (T/T).

O índice de refração aumentou após o tratamento térmico, indicando que houve formação de novas ligações Si-Si. Esse resultado está relacionado com a liberação de hidrogênio do filme de nitreto de silício após tratamento térmico.

4.3 - COMPOSIÇÃO DO FILME

A figura 2.6 mostra a relação Si/N versus N_2/SiH_4 obtida para as potências de 25 e 50 W.

Diferente do que ocorre com a utilização do gás amônia, a variação da relação Si/N não é abrupta. Para a potência de 25 W os filmes depositados apresentam valores entre 2,22 e 0,97. Estes valores são bastante superiores ao de um filme estequiométrico, $Si/N = 0,75$, mostrando que são filmes ricos em silício. Para a potência de 50 W a relação Si/N diminui, ficando entre 1,93 e 0,63; variando, portanto, de filme rico em silício para rico em nitrogênio.

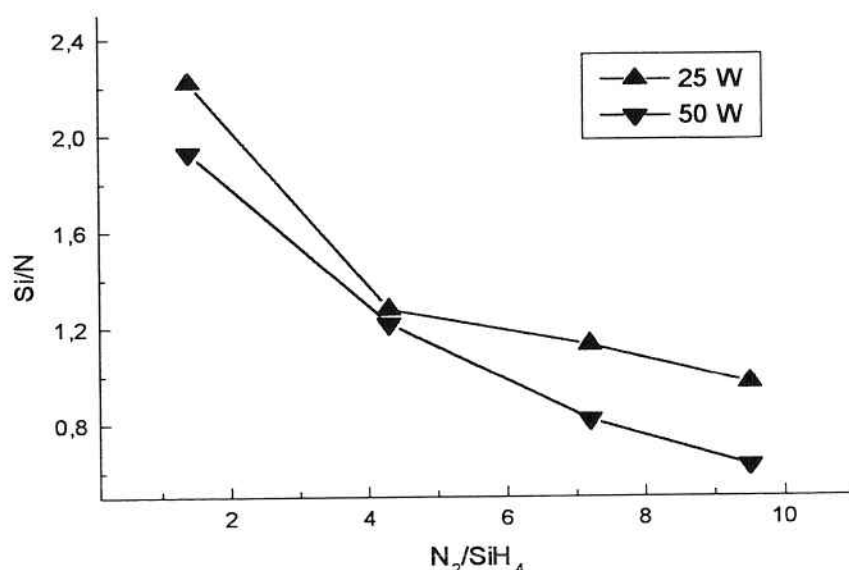


Fig. 2.6 - Relação Si/N versus N_2/SiH_4 para 25 e 50 W.

Apesar destes filmes se apresentarem ricos em silício em sua maioria, a relação Si/N diminui com a potência, indicando que com o aumento da potência ocorre maior dissociação das moléculas de nitrogênio do que das de silana, como já discutido para a amônia no item 3.3.

Han²⁰ indica que para o sistema $N_2 - SiH_4$, a energia de dissociação do nitrogênio é 9,9 eV e para a silana é 3,1 eV. Assim, o aumento da potência produz elétrons mais energéticos que conseguem dissociar mais facilmente a molécula de nitrogênio, aumentando a sua concentração nos filmes de nitreto de silício.

4.4 - ANÁLISE DOS FILMES POR FTIR

Foram obtidas as seguintes bandas de absorção: Si-N "breathing" ($460 - 470$) e estiramento ($830 - 860\text{ cm}^{-1}$), N-H curvamento ($1116 - 1190\text{ cm}^{-1}$) e estiramento ($3300 - 3355\text{ cm}^{-1}$), Si-H_n curvamento ($654 - 672\text{ cm}^{-1}$), Si-H estiramento ($2070 - 2180\text{ cm}^{-1}$). A concentração de hidrogênio, na forma de ligações SiH e NH, é mostrada na figura 2.7 para 25 e 50 W.

A molécula do nitrogênio possui ligações mais difíceis de serem rompidas, por isso essa molécula não se dissocia facilmente em baixas potências de RF. Para a potência de 25 W, figura 2.7a, em qualquer proporção gasosa temos a formação de um filme de nitreto de silício rico em silício, com concentração de ligações SiH variando de $1,98 \cdot 10^{22}$ a $2,20 \cdot 10^{22}\text{ cm}^{-3}$ e cujos índices de refração variam de 2,228 a 3,023.

Provavelmente, para a potência de 25 W, deve-se trabalhar em uma alta diluição da silana (maior do que a proporção gasosa de 9,5) para se tentar diminuir a concentração de ligações Si-H, pois esta é praticamente constante dentro da faixa de diluição utilizada em nosso trabalho.

Entretanto, aumentando-se a potência fornecida aumenta-se a taxa de dissociação da molécula de silana, mas, também, consegue-se aumentar a taxa de dissociação do nitrogênio. Esse aumento na taxa de dissociação das moléculas de silana e nitrogênio com o aumento da potência não é da mesma magnitude, isto é, o aumento da potência pode, por exemplo, dobrar a dissociação da molécula de silana e triplicar a dissociação da molécula de nitrogênio.

Isso pode ser observado para a potência de 50 W, figura 2.7b, em que ocorre uma mudança de filmes ricos em silício, relação 1,4 com concentração de ligações SiH de $1,71 \cdot 10^{22}\text{ cm}^{-3}$ e índice de refração de 2,919, para filmes ricos em nitrogênio, relação 9,5 com concentração de SiH de $2,74 \cdot 10^{21}\text{ cm}^{-3}$ e índice de refração de 1,922.

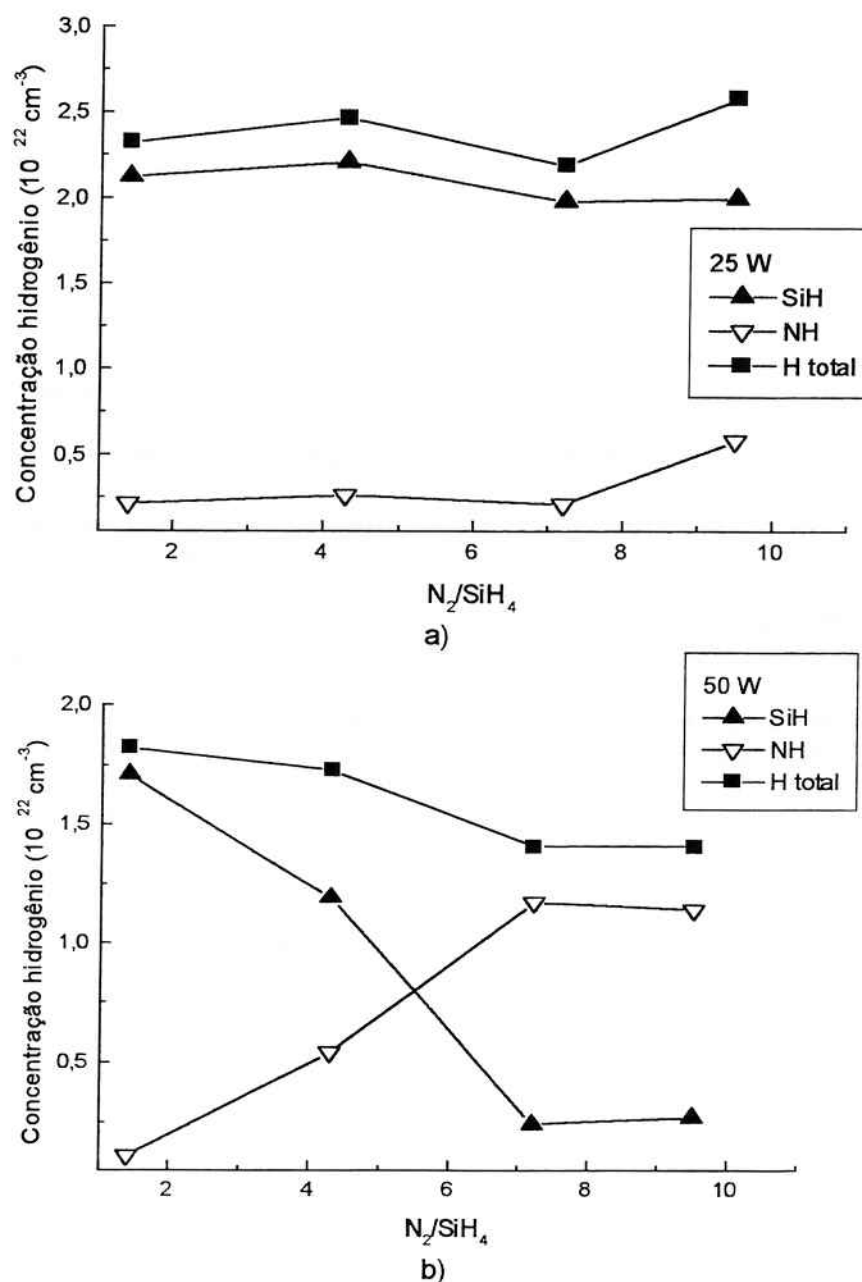


Fig. 2.7 - Concentração de hidrogênio versus N_2/SiH_4 para a) 25 e b) 50 W.

5 - CONCLUSÃO

Através da utilização de plasma de alta densidade, obtida via ICP, conseguiu-se altas taxas de deposição em baixas pressões (60 – 70 mtorr) e temperatura (350 °C) comparadas com outros sistemas de deposição CVD.

Através desse sistema nos foi possível obter filmes de nitreto de silício de diversas composições (estequiometrias), de filmes ricos em silício a ricos em nitrogênio. No entanto, esses filmes apresentam altas concentrações de hidrogênio na forma de ligações Si-H e N-H. A utilização de nitrogênio ao invés de amônia para se diminuir a concentração de ligações Si-H não foi conseguida. Provavelmente a ionização apenas do nitrogênio colaborasse para se diminuir essa concentração.

6 – BIBLIOGRAFIA

1 - STERLING, H. F.; SWANN, R. C. G. **Solid State Electronics**, v.8, p.653-4, 1965.

- 2 - CHOW, R.; LANDFORD, W. A.; KE-MING, W.; ROSLER, R. S. **Journal of Applied Physics**, v.53, n.8, p.5630-3, Aug. 1982.
- 3 - BARBOUR, J. C.; STEIN, H. J.; POPOV, O. A.; YONDER, M.; OUTTEN, C. A. **Journal Vacuum Science Technology A**, v.9, n.3, p.480-4, 1991.
- 4 - KOBAYASHI, I.; OGAWA, T.; HOTTA, S. Plasma-enhanced chemical vapor deposition of silicon nitride. **Japanese Journal of Applied Physics**, v.31, p.336-42, 1992.
- 5 - TREICHEL, H.; BRAUN, R.; GABRIC, Z.; SPINDLER, O.; GSCHWANDTNER, A. **Journal de Physique II**, v.1, p.839-46, 1991.
- 6 - BARTLE, D. C.; ANDREWS, D. C.; GRANGE, J. D.; HARRIS, P. G.; TRIGG, A. D.; WICKNDEN, D. K. **Vacuum**, v.34, n.1-2, p.315-20, 1984.
- 7 - SZE, S. M. **VLSI technology**. Auckland. McGraw-Hill International, 1986. p.119-21.
- 8 - NAIK, I. K. **Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation engineers**, v.460, p.56-8, 1984.
- 9 - BULLA, D. A. P., 1999. 95p. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 10 - KRÜGER, M.; ARENS-FISHER, R.; THÖNISSEN, M.; MÜNDER, H.; BERGER, M. G.; LÜTH, H. **Thin Solid Films**, v.276, p.257-60, 1996.
- 11 - STOFFEL, A.; KOVÁCS, A.; KRONAST, W.; MÜLLER, B. **Journal of Micromechanical Microengineering**, v.6, p.1-13, 1996.
- 12 - SHAPOVAL, S. Y.; PETRASHOV, V. T.; POPOV, O. A.; YODER, M. D.; MACIEL, P.; LOK, C. K. C. **Journal Vacuum Science Technoly A**, v.9, p.3071, 1991.
- 13 - HERNADEZ, M. J.; GARRIDO, J.; MARTINEZ, J.; PIQUERAS, J. **Semiconductor Science and Technology**, v.12, p.927-32, 1997.
- 14 - FINGER, F.; KROLL, U.; VIRET, V.; SHAH, A.; BEYER, W.; TANG, X. M.; WEBER, J.; HOWLING, A.; HOLLENSTEIN, C. **Journal of Applied Physics**, v.71, n.11, p.5665-74, June 1992.
- 15 - ODA, S.; NODA, J.; MATSUMURA, M. **Japanese Journal of Applied Physics**, v.29, n.10, p.1889-95, 1990.
- 16 - MOISAN, M.; ZAKRZEWSKI, Z. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v.24, p.1025-48, 1991.
- 17 - BORGES, C. F. M.; MOISAN, M.; GICQUEL, A. **Diamond and Related Materials**, v.4, p.149-54, 1995.
- 18 - FRACOMBE, M. H.; VOSSSEN, J. L. **Plasma Sources for Thin Film Deposition and Etching: Design of high-density plasma sources for materials processing**, 1994.
- 19 - POPOV, O. A. **High density Plasma** p.312:Electron Cyclotron Resonance Plasma Sources, 1995.
- 20 - HAN, S. S.; JUN, B. H.; NO, K.; BAE, B. S. **Journal of the Electrochemical Society**, v.145, n.2, p.652-8, Feb. 1998.
- 21 - ZAMBOM, L. S.; MANSANO, R. D.; FURLAN, R.; VERDONCK, P. **Thin Solid films**, v.343-344, p.299-301, 1999.
- 22 - PARSONS, G. N.; SOUK, J. H.; BATEY, J. **Journal of Applied Physics**, v.70, n.3, p.1553-60, Aug. 1991.
- 23 - GARDENIERS, J. G. E.; TILMANS, H. A. C.; VISSER, C. C. G. **Journal Vacuum Science technology A**, v.14, n.5, p.2879-92, Sep./Oct. 1996.
- 24 - OSENBACH, J. W.; KNOLLE, W. R. **Journal of Applied Physics**, v.60, n.4, p.1408-16, Aug. 1986.
- 25 - MORT, J.; JANSEN, F. **Plasma deposited thin films**. CRC Press. p.129: Silicon nitride and other insulator films.
- 26 - FRENCH, P. J.; SARRO, P. M.; MALLÉE, R.; FAKKELDIJ, E. J. M.; WOLFFENBUTTEL, R. F. **Sensors and Actuators A**, v.58, p.149-57, 1997.
- 27 - KNOLLE, W. R.; OSENBACH, J. W. **Journal of Applied Physics**, v.58, n.3, p.1248-54, Aug. 1985.
- 28 - LIN, K-C; LEE, S-C **Journal of Applied Physics**, v.72, n.11, p.5474-82, Dec. 1992.
- 29 - SITBON, S.; HUGON, M. C.; AGIUS, B.; ABEL, F.; COURANT, J. L. **Journal Vacuum Science Technology A**, v.13, p.2900-7, 1995.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PSI/0001 – Observabilidade Topológica de Osawa em Redes não Lineares – ARMANDO HANDAYA, FLÁVIO A. M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0002 – Desenvolvimento de uma Microbalança de Quartzo para Detectar Gases – ROBERTO CHURA CHAMBI, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0003 – Sistema para Desenvolvimento de Sensores Inteligentes – ANTONIO CARLOS GASPARETTI, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0004 – A 1.6GHz Dual Modulus Prescaler Using the Extended True Single-Phase Clock CMOS Circuit Technique (E-TSPC) – JOÃO NAVARRO SOARES JÚNIOR, WILHELMUS ADRIANUS M. VAN NOIJE
- BT/PSI/0005 – Modelamento em Linguagem VHDL de uma Unidade de Policiamento para Redes Locais ATM – ÉDSON TAKESHI NAKAMURA, MARIUS STRUM
- BT/PSI/0006 – Otimização das Operações Coletivas para um Aglomerado de 8 Computadores usando uma Rede Ethernet 10 Mbps baseada em Hub – MARTHA TORRES, SERGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PSI/0007 – Short Temporal Coherence Optical Source With External Fiber Optics Cavity – CARMEM LÚCIA BARBOSA, JOSÉ KEBLER DA CUNHA PINTO
- BT/PSI/0008 – Hydrogenated Carbon Films Used as Mask in Wafer Processing With Integrated Circuits: Post-Processing – JUAN M. JARAMILLO O., RONALDO D. MANSANO, EDGAR CHARRY R.
- BT/PSI/0009 – Redes Neurais em VLS – ANTONIO RAMIREZ HIDALGO, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0010 – Caracterização de Filmes Obtidos a Partir da Deposição por Plasma de Hexametildissilazana – SANDRINO NOGUEIRA, MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA
- BT/PSI/0011 – InterFace: A Real Time Facial Animation System – JOSÉ DANIEL RAMOS WEY, MARCELO KNORICH ZUFFO
- BT/PSI/0012 – Análise de Desempenho Dinâmico de Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua Multiterminais Série Utilizando GTO – MARIA APARECIDA DOS SANTOS, WALDIR PÓ
- BT/PSI/0013 – Estudo de Dispositivos Miniaturizados para Controle do Escoamento de Fluidos – ELIPHAS WAGNER SIMÕES, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PSI/0014 – Projeto de um Sistema de Sinalização de Tronco E1: Um Estudo de Caso usando o Ambiente Ptolemy – OSCAR W. PEÑA GUILARTE, MARIUS STRUM

