

CARACTERIZAÇÃO DE FILMES FINOS DE NITRETO DE ÍNDIO FORMADOS POR DEPOSIÇÃO ASSISTIDA POR FEIXE DE ÍONS

K.C. Lopes^{1*}; M. Matsuoka¹; J.C.R. Mittani¹; L.H. Avanci¹; J.F.D. Chubaci¹; W. Sucasaire¹; M.C.B.S. Salvadori¹; J.R. Leite¹; J.A. Freitas²

¹ Instituto de Física, Universidade de São Paulo, C.P. 66318, 05315-970, São Paulo, SP, Brasil

² Naval Research Laboratory, Washington, DC, USA

Recebido: 26 de julho, 2005; Revisado: 03 de maio, 2006

Palavras-chave: InN, deposição assistida por feixe de íons, fonte de íons

RESUMO

As propriedades morfológica e cristalográfica dos filmes de InN depositados sobre substratos de Si(111) e safira (110) com uma camada depositada de GaN em temperaturas de 420°C, 470°C e 520°C, foram estudadas através das técnicas de microscopia eletrônica de varredura (SEM) e difratometria de raios-X (XRD), respectivamente. As fotografias tiradas com SEM indicaram a segregação de In nos filmes depositados sobre os substratos de Si(111). Por outro lado, as análises dos difratogramas de XRD mostraram que as estruturas cristalinas dos substratos utilizados influenciam fortemente o crescimento do filme.

ABSTRACT

Crystallographic and morphological properties of InN films grown on Si(111) substrates and sapphire(110) deposited with a layer of GaN substrates at 420°C, 470°C and 520°C, were studied by scanning electron microscopy (SEM) and x-ray diffraction (XRD) techniques. The pictures took by SEM showed segregation of In on the films deposited on Si(111). On the other hand, the analyses of the XRD diffractograms showed that the crystalline structures of the substrates used influence hardly the film growth.

1. INTRODUÇÃO

Os compostos de nitreto do grupo III (AlN, GaN e InN) têm despertado grande interesse por serem considerados promissores para aplicações ópticas e eletrônicas (por exemplo, componentes eletrônicos de alta velocidade, diodos emissores de IR à UV) e por formarem um sistema de ligas contínuo (InGaN, InAlN e AlGaIn) [1-3]. Em particular, InN não foi estudado suficientemente por consequência da dificuldade em produzir filmes cristalinos, devido à segregação de índio e à disponibilidade de substratos adequados.

Neste trabalho, formamos filmes finos de InN através do método de deposição assistida por feixe de íons (*Ion Beam Assisted Deposition*, IBAD). No método IBAD, a deposição a vácuo de material sobre um substrato é combinada com irradiação por feixe de íons; o fluxo e a energia de íons inci-

dentos podem ser variados independentemente do fluxo de átomos depositantes, resultando no controle fácil da composição química de filmes compostos.

O presente estudo relata a deposição de InN sobre substratos de Si(111) ou safira (110) com uma camada depositada de GaN (safira(110)/GaN) pela evaporação de In com bombardeamento simultâneo de íons de nitrogênio, em função de dois parâmetros de deposição, temperatura de substrato, energia de íons e *arrival rate ratio*, ARR(N/In), definida como o fluxo de partículas atômicas de nitrogênio no feixe de íons incidente no substrato relativo ao fluxo de átomos evaporados de In transportados ao substrato. O objetivo deste estudo é relacionar a formação de InN observada por microscopia eletrônica de varredura (SEM) e por difratometria de raios-X (XRD) aos três parâmetros de deposição acima mencionados.

2. EXPERIMENTAL

O sistema IBAD consiste basicamente de: (1) Uma fonte de íons tipo Kaufman (MPS-3000, *Ion Tech*) com diâmetro de feixe de 5 cm na saída, energia de íons de 50 a 1200 eV, corrente de feixe máxima de 200 mA (densidade de corrente máxima de 10 mA/cm² na saída da fonte de íons). O fluxo de gás de nitrogênio injetado à fonte de íons foi regulado por um controlador de fluxo de massa (1179A, *MKS*); (2) Um evaporador por feixe de elétrons (EB3, *Edwards*) com um porta amostra para quatro cadinhos de 4 cc cada e potência de 3 kW (5 kV e 600 mA). O ângulo de incidência do fluxo de átomos evaporados ao substrato é aproximadamente de 45°; (3) Uma câmara de vácuo de aço inoxidável com diâmetro de 60 cm e altura de 70 cm, em que estão instalados, além da fonte de íons e do evaporador por feixe de elétrons acima mencionados, dois sensores de pressão de gás (um pirani e um penning), um suporte de substrato anexado a um aquecedor de até 550°C com um termopar tipo K, sobre o qual pode ser fixado um substrato de 2,5 × 2,5 cm² de área máxima, um monitor de deposição (XTC/2, *Leybold*) e um copo de Faraday feito de aço inoxidável com diâmetro de 2". Esta câmara de vácuo é evacuada por uma bomba mecânica (taxa de bombeamento de 40 m³/h) e por uma cri-

* karina.lopes@if.usp.br

ogênica (1500 l/s). A pressão de trabalho dentro da câmara foi de $1,1 \times 10^{-2}$ Pa.

Durante a deposição, o substrato é exposto perpendicularmente ao feixe de íons. As temperaturas dos substratos foram mantidas 420°C, 470°C e 520°C durante a deposição para cada filme. Os filmes depositados tiveram espessura de 150 nm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os filmes foram depositados com a energia de íons E de 800 eV. Essa energia de íons foi escolhida após as deposições nos substratos de Si(111) com $E = 200, 400, 600, 800$ e 1000 eV e um valor fixo de ARR(N/In), sendo que o filme depositado com $E = 800$ eV mostrou a maior razão da intensidade do pico de XRD referente a InN relativa à intensidade do pico de XRD de In metálico.

A figura 1 mostra dois difratogramas de XRD para os filmes crescidos sobre os substratos de Si(111) mantidos em 470 ou 520°C com ARR(N/In) = 3,1. O filme crescido em 470°C tem dois picos: um em 31,2° refere-se ao plano (002) de InN com a estrutura wurtzita e o outro em 33,0°, ao plano (101) de In metálico. Por outro lado, o filme preparado em 520°C mostra pelo menos dois picos referentes aos planos (101) e (110) de In metálico, em 33,0° e em 39,2°. Este fato indica que a temperatura de substrato durante a deposição influencia a formação do filme.

As figuras 2 e 3 exibem duas fotografias tiradas com a micrografia SEM com ampliação de 3.000 e 35.000 vezes, respectivamente, mostrando a morfologia do filme depositado sobre o substrato de Si(111) em 470°C com $E = 800$ eV e ARR(N/In) = 4,3. O gráfico da figura 3 mostra o resultado de análise elemental por raios-X emitidos ao longo da flecha indicada na fotografia da figura 3. A parte branca e a escura observadas na fotografia da figura 3 indicam, respectivamente, a deposição de In metálico e a de InN, significando o surgimento da segregação de In. A nossa próxima etapa é como solucionar o problema dessa segregação.

Visto que o crescimento de filme fino é influenciado pela estrutura cristalina e pela sua orientação do substrato, foram usados substratos de safira(110)/GaN. A figura 4 mostra três difratogramas de XRD para filmes crescidos sobre os substratos de safira(110)/GaN mantidos em 420, 470 ou 520°C, com $E = 800$ eV e ARR(N/In) = 3,1. Todos os filmes apresentaram, além de dois picos referente ao substrato (um em 34,6° associado ao plano (002) de GaN e o outro em 37,7° referente ao plano (110) de safira) dois picos em 31,2° e 64,9° identificados como as reflexões pelos planos (002) e (004) de InN. Vale salientar que: (a) foi observados um pico em 52,9° não identificado nos filmes depositados em 420 e 520 °C; (b) o pico do plano (110) de In metálico foi encontrado só no filme depositado em 520 °C. Além do fato de que a temperatura do substrato durante a deposição influencia na formação do filme, a figura indica que o crescimento do plano (002) de InN foi paralelo ao plano (002) de GaN, significando a importância da estrutura cristalina e da sua orientação do substrato na formação dos filmes finos de InN.

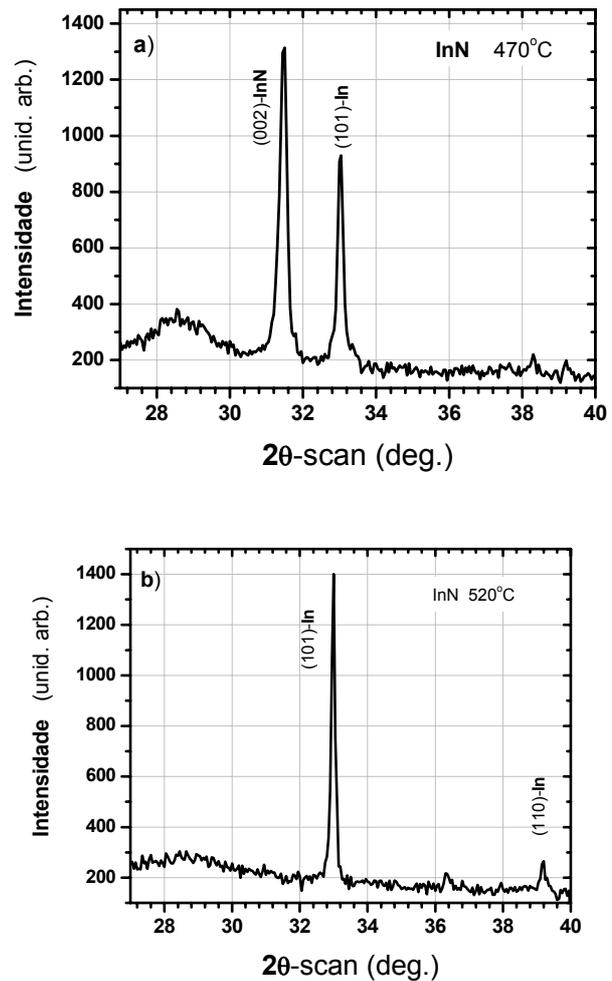


Figura 1 - Difratogramas para filmes de InN depositados sobre Si(111) em a) 470°C e b) 520°C.

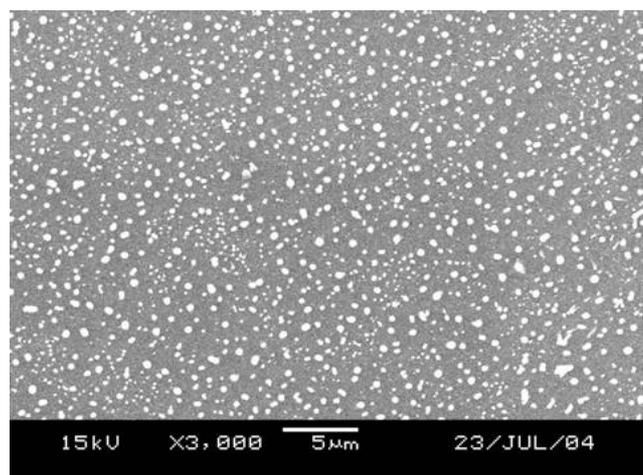


Figura 2 - Micrografia do filme depositado sobre Si(111) com ampliação de 3000 vezes.

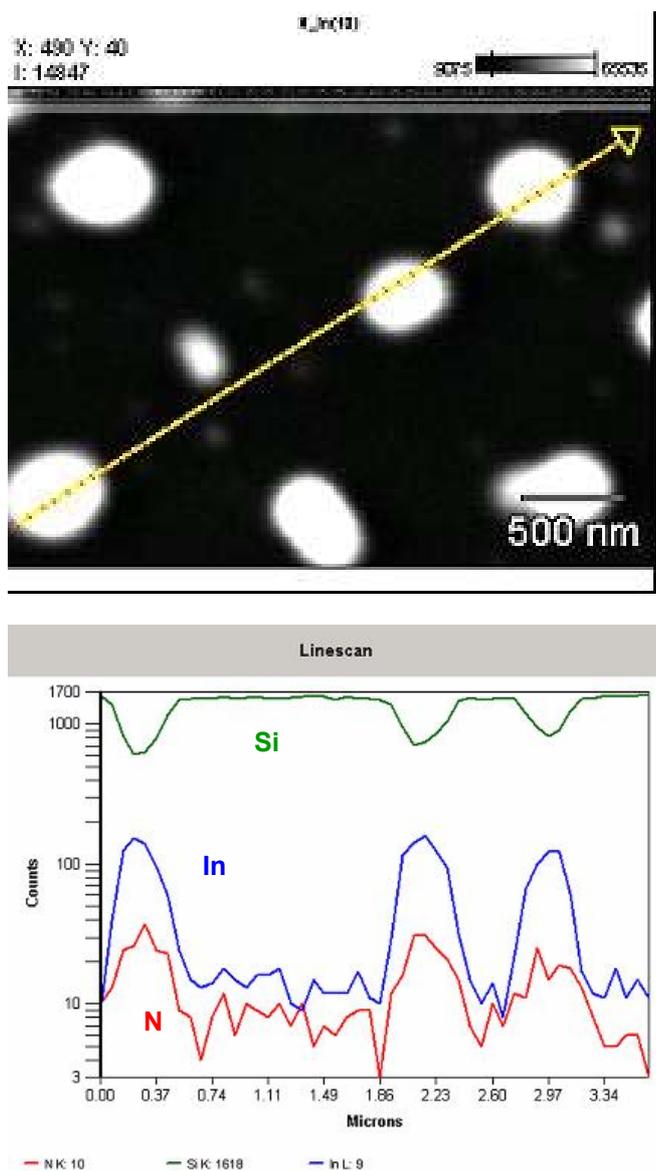


Figura 3 - Microanálise feita para filme de InN depositado sobre Si(111) com ampliação de 35000 vezes.

4. CONCLUSÃO

Os resultados dos crescimentos dos filmes de InN através do método IBAD sobre substratos de Si(111) ou safira(110)/GaN em função da temperatura do substrato mostram que essa temperatura, a estrutura cristalina e sua orientação cristalográfica do substrato utilizado para a formação do filme influenciam fortemente o crescimento de InN.

Observa-se que o melhor substrato para a formação de InN foi de safira(110)/GaN neste estudo, uma vez que qualidade do filme de InN é melhorada quando se deposita sobre safira(110)/GaN.

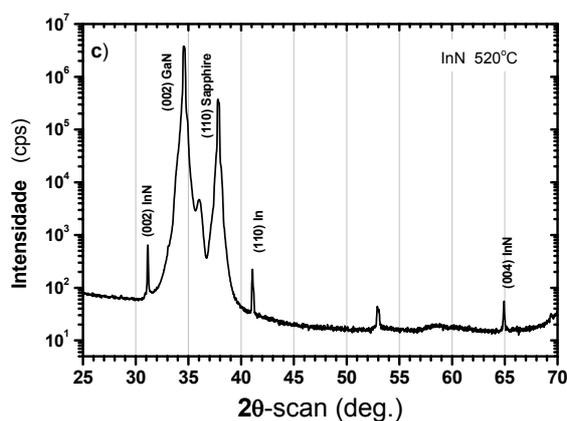
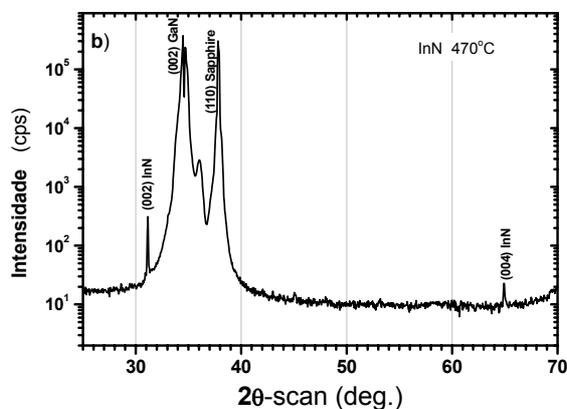
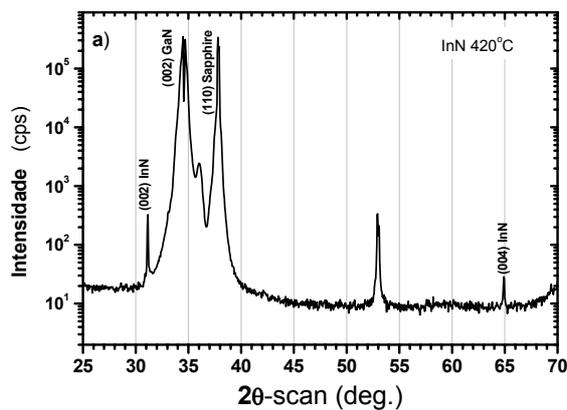


Figura 4 - Difratomogramas para filmes de InN depositados sobre safira(110)/GaN em a) 420°C, b) 470°C e c) 520°C.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FAPESP e a *Naval Research Laboratory* pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

1. AMBACHER, O., *J. Phys.D: Appl. Phys.*, 31 (1989) 2653.
2. ORTON, J.W.; FOXON, C.T., *Rep .Prog. Phys.*, 61 (1998) 1.
3. RUBHUIYAN, A.G.; HASHIMOTO, A.; YAMAMOTO, A., *J .Appl. Phys.*, 94 (2003) 2779.