

## Abstract

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  ( $x = 0.5, 0.6, 0.8$  and  $1$ ) films were deposited by radio frequency magnetron sputtering onto  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  substrates at  $420\text{ }^\circ\text{C}$  and the compositional, structural and thermoelectric characterizations of the films were performed for different concentrations before and after ion irradiation at different fluences. Rutherford backscattering spectrometry (RBS) and particle-induced x-ray emission (PIXE) were employed in the analysis of the relative atomic concentration of the films. The structure of the films was characterized by grazing incidence x-ray diffraction (GIXRD) and extended x-ray absorption fine structure (EXAFS) analyses, whereas scanning electron microscopy (SEM) provided information about the morphology of the films. The thermoelectric properties of the films were measured with the aid of an equipment specially developed for this purpose. GIXRD showed the formation of polycrystalline zincblende structure in as-deposited films with the lattice parameter changing linearly with composition  $x$  as predicted by Vegard's law. EXAFS evidenced that the lattice mismatch in ternary compounds is accommodated favorably through bond bending over bond stretching. Regarding the thermoelectric properties, it was observed that  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{Sb}$  films exhibited the highest ZT value (0.53 at 450 K) among the films investigated here. Upon ion irradiation with  $16\text{ MeV Au}^{+7}$  ions with ion fluences ranging from  $1 \times 10^{13}\text{ cm}^{-2}$  to  $5 \times 10^{14}\text{ cm}^{-2}$ ,  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  films presented a pronounced continuous-to-porous transformation and a bond length conservation with no loss of material or sputtering induced by the ion irradiation process.  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  compounds, however, exhibited a nonlinear stoichiometry-dependent porosity. Through GIXRD analysis, it was verified that it is easier to amorphize the ternary compound than its binary counterpart  $\text{InSb}$ .  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  nanofoams also showed to be remarkably stable under annealing in vacuum at  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , with very small changes in atomic concentration induced by thermal annealing. Concerning the thermoelectric properties (ZT parameter), its value substantially decreased after ion irradiation. These results show that  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  films deposited by magnetron sputtering have potential application in gas sensor devices.

**Keywords:**  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  films; magnetron sputtering; extended x-ray absorption fine structure; grazing incidence x-ray diffraction; scanning electron microscopy; thermoelectric properties.

## Resumo

Filmes de  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  ( $x = 0,5, 0,6, 0,8$  e  $1$ ) foram depositados por magnetron sputtering em regime de radiofrequência sobre substratos de  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ , a  $420\text{ }^\circ\text{C}$ , e as caracterizações composicional, estrutural e termoelétrica dos filmes foram realizadas para diferentes concentrações antes e depois da irradiação com íons em diferentes fluências. Espectrometria de retroespalhamento Rutherford (RBS) e emissão de raios-x induzida por partículas (PIXE) foram empregadas na análise da concentração atômica relativa dos filmes. A estrutura dos filmes foi caracterizada por difração de raios-x de incidência rasante (GIXRD) e estrutura fina de absorção de raios-x estendida (EXAFS), enquanto a microscopia eletrônica de varredura (MEV) forneceu informações sobre a morfologia dos filmes. As propriedades termoelétricas dos filmes foram medidas com o auxílio de um equipamento especialmente desenvolvido para este fim. GIXRD mostrou a formação de estrutura de zincoblenda policristalina nos filmes depositados com o parâmetro de rede mudando linearmente com a composição  $x$ , conforme previsto pela lei de Vegard. EXAFS evidenciou que o descasamento de rede em compostos ternários é acomodado favoravelmente através da flexão da ligação sobre o alongamento da ligação. Com relação às propriedades termoelétricas, observou-se que os filmes de  $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{Sb}$  apresentaram o maior valor de ZT (0.53 a 450 K) entre os filmes aqui investigados. Após irradiação de íons com íons  $\text{Au}^{+7}$  de 16 MeV com fluências de íons variando de  $1 \times 10^{13}\text{ cm}^{-2}$  a  $5 \times 10^{14}\text{ cm}^{-2}$ , os filmes de  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  apresentaram uma pronunciada transformação da forma contínua à porosa e a conservação do comprimento de ligação sem perda de material ou pulverização induzida pelo processo de irradiação de íons. Os compostos  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$ , no entanto, exibem uma porosidade dependente da estequiometria não linear. Através da análise GIXRD, verificou-se que é mais fácil amorfizar o composto ternário do que o seu homólogo binário  $\text{InSb}$ . As nanoespumas  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  também mostraram ser notavelmente estáveis sob recozimento a vácuo em temperatura de  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , com mudanças muito pequenas na concentração atômica induzidas pelo recozimento térmico. Com relação às propriedades termoelétricas (parâmetro ZT), seu valor diminuiu substancialmente após a irradiação iônica. Esses resultados mostram que os filmes de  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$  depositados por magnetron sputtering têm potencial aplicação em dispositivos sensores de gás.