

# INFLUÊNCIA DA DOPAGEM COM Ce EM FILMES FINOS DE SnO<sub>2</sub>.

Tatiane de Fátima Pineiz, Marco Aurélio Lopes Pinheiro, Luis Vicente de Andrade Scalvi – 1.05 (Física) – Licenciatura em Física – Departamento de Física – Faculdade de Ciências – Campus de Bauru.

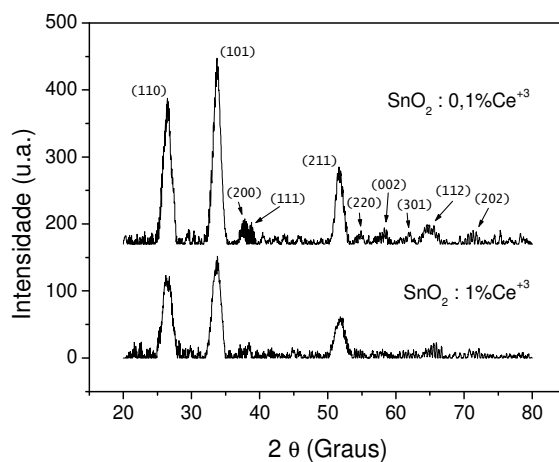
Em geral os semicondutores tem um bandgap (distância entre a banda de valência e a banda de condução), inferior a 2 eV <sup>[1]</sup>. O dióxido de estanho (SnO<sub>2</sub>) tem um bandgap superior a este limite, da ordem de 3,5 eV <sup>[2]</sup>. No entanto, apresenta características semicondutoras do tipo-n, devido principalmente a vacâncias de oxigênio, que agem como doadores nesta matriz. Uma forma de alterar sua condutividade é pela adição de impurezas (*dopagem*). No projeto no qual trabalhamos dopamos o dióxido de estanho (SnO<sub>2</sub>), com o terra-rara Ce. SnO<sub>2</sub> não dopado é caracterizado por razoável condutividade elétrica, transparência de cerca de 90% no visível e alta refletividade no infravermelho <sup>[3]</sup>.

Até este momento estudamos as propriedades ópticas, elétricas e estruturais desse material, pois pretendemos conhecer melhor os mecanismos de condutividade elétrica e a cinética de captura de portadores de carga pelos defeitos presentes no material. Para isso foram produzidos filmes finos pela técnica de “dip-coating” (molhamento) via sol-gel.

A técnica de “dip-coating” consiste na imersão de um substrato, previamente limpo, em uma suspensão coloidal a uma velocidade controlada, e em seguida, retirado à mesma velocidade, normalmente à temperatura ambiente. O sol-gel é um processo químico utilizado para síntese de uma suspensão coloidal de partículas sólidas em um líquido, sol, e subsequente formação de um material em fase dupla, ou seja, um sólido ocupado com um solvente, gel úmido <sup>[4]</sup>. É um processo que apresenta uma boa homogeneidade, fácil controle de espessura e custo relativamente baixo, se comparado a outros métodos de deposição. Para a caracterização elétrica foram depositados contatos de Sn nas amostras por evaporação resistiva.

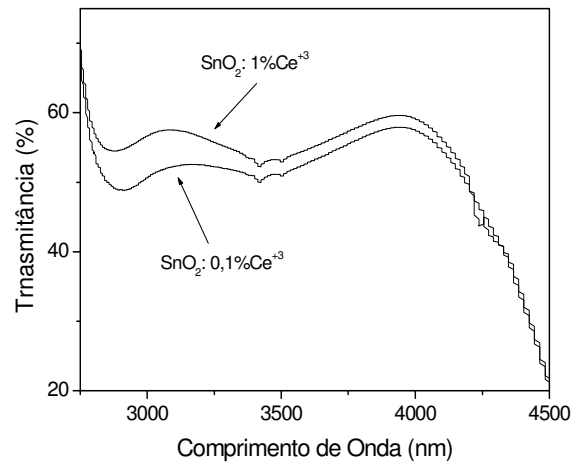
O interesse na produção de semicondutores dopados com terras-raras tem crescido significativamente, devido a possíveis aplicações como dispositivos optoeletrônicos <sup>[5]</sup>.

A figura 1 apresenta resultados de difração de Raios X em filmes finos referentes a amostras de SnO<sub>2</sub> dopados com 0,1%Ce<sup>+3</sup> e 1%Ce<sup>+3</sup>. Os picos de difração nos dois gráficos estão nas mesmas posições dos picos encontrados nos cristais de cassiterita; assim podemos nos assegurar que o material com o qual estamos trabalhando é mesmo o SnO<sub>2</sub>.



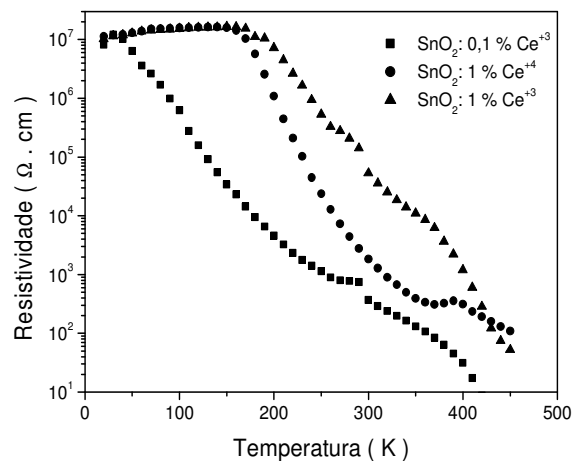
**Figura 1.** Espectro de Difração de Raios X para amostras de SnO<sub>2</sub>: 0,1%Ce<sup>+3</sup> e SnO<sub>2</sub>: 1%Ce<sup>+3</sup>.

A figura 2 mostra a transmitância no infravermelho em filmes de  $\text{SnO}_2$  dopados com  $0,1\%\text{Ce}^{3+}$  e  $1\%\text{Ce}^{3+}$ . O filme que possui menor concentração de dopante transmite menos, o que, de acordo com a teoria de Drude, significa maior reflexão devido à maior concentração de elétrons livres.



**Figura 2.** Transmitância no infravermelho em filmes de  $\text{SnO}_2$  dopados com  $0,1\%\text{Ce}^{3+}$  e  $1\%\text{Ce}^{3+}$ .

A figura 3 mostra uma comparação de medidas de  $R \times T$  para filmes de  $\text{SnO}_2$  dopados com  $0,1\%\text{Ce}^{3+}$ ,  $1\%\text{Ce}^{3+}$  e  $1\%\text{Ce}^{4+}$ . Se comparada ao filme de  $0,1\%\text{Ce}^{3+}$ , o filme de  $1\%\text{Ce}^{4+}$  apresenta maior resistividade, o que pode ser explicado por possuir uma maior concentração de dopante. Se comparado ao filme de  $1\%\text{Ce}^{3+}$  o filme de  $1\%\text{Ce}^{4+}$  apresenta menor resistividade, ambos possuem a mesma concentração de dopante, entretanto o  $\text{Ce}^{3+}$  age como aceitador, deixando a amostra ainda mais resistiva.



**Figura 3.** Resistividade em função da Temperatura para diferentes dopagens do  $\text{SnO}_2$ .

Como pode ser visto o espectro de difração referente ao filme de menor concentração de dopante ( $0,1\%$ ) apresenta picos mais pronunciados, o que pode ser explicado devido a essa menor concentração de impurezas interferir menos no arranjo da matriz ( $\text{SnO}_2$ ).

Medidas de transmitância no infravermelho mostram que filmes que possuem menor concentração de dopante transmitem menos, o que é uma confirmação de que  $\text{Ce}^{3+}$  apresenta comportamento aceitador em  $\text{SnO}_2$ . De modo geral os filmes possuem altíssima concentração de elétrons livres, de modo que já no infravermelho próximo, estamos acima do comprimento de onda de plasma, levando a uma maior reflexão da luz.

Medidas de resistividade em função da temperatura mostram que o aumento da incorporação de dopante na rede de  $\text{SnO}_2$  é responsável pelo aumento da resistividade da amostra. Considerando que matriz de  $\text{SnO}_2$  é naturalmente do tipo-n, o aumento da resistividade pela adição de  $\text{Ce}^{3+}$  implica num comportamento aceitador. Já a dopagem com  $\text{Ce}^{4+}$  também leva a um aumento da resistividade, devido provavelmente ao acúmulo no contorno de grão, contribuindo para diminuição da mobilidade eletrônica.

### Referências Bibliográficas

- [1] Eisberg, R; Resnick, R. Física Quântica, Rio de Janeiro: Editora Campus, 1979.
- [2] J. Rockenberger, U. Felde, M. Tischer, L. Troger, M. Haase, H. Weller, *J. of Chem. Phys.* **112**, 4296 (2000)
- [3] S. C. Ray, M. K. Karanjai, D. Dasgupta, *Surface & Coatings Technol.* **102**, 73 (1998)
- [4] V. Geraldo, *Filmes Finos de  $\text{SnO}_2$  Via Processo Sol-Gel: Influência de Alguns Parâmetros na Deposição e na Dopagem com Sb*. Dissertação de Mestrado - programa Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais – USP, São Carlos (2001)
- [5] H. Zhang, X. Fu, S. Niu, G. Sun, Q. Xin, *J. of Luminescence.* **115**, 7 (2005)

**Bolsa:** CNPq/PIBIC