

## Caracterização Elétrica e Estrutural de Filmes Finos de PbTe Crescidos por MBE

OKAZAKI, A. K.<sup>1</sup>; RAPPL, P. H. O.<sup>2</sup>; ABRAMOF, E.<sup>2</sup>; FORNARI, C. I.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

<sup>1</sup>Aluno de Mestrado do Curso de Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores - CMS.

anderson.okazaki@inpe.br

**Resumo:** *A procura por filmes finos de qualidade, com boa cristalinidade e mobilidade, para ser usado como padrão na investigação de efeitos de dopagem de CaF<sub>2</sub> em PbTe, gerou uma série de crescimentos realizados por epitaxia de feixe molecular (MBE). A influência do emprego de diferentes parâmetros de crescimento foi investigada pela largura a meia altura das curvas de difração de raios X (rocking curves) e pela caracterização elétrica (medidas de efeito Hall e resistividade).*

**Palavras-chave:** PbTe tipo-p; epitaxia de feixe molecular; difração de raios X; efeito Hall.

### 1. Introdução

O telureto de chumbo, PbTe, é um material semiconductor de gap estreito com importantes aplicações tecnológicas [LaLonde 2011, Springholz 1994]. Camadas epitaxiais desse composto com alta qualidade cristalina e alta concentração de portadores com boa mobilidade é altamente desejável para a confecção de dispositivos.

Com esse propósito, utilizou-se a técnica de epitaxia por feixe molecular (MBE). Este método de crescimento permite rigoroso controle na dopagem e espessura das camadas [Herman 1996].

As caracterizações realizadas neste trabalho têm como objetivo encontrar um filme, com propriedades elétricas e estruturais satisfatórias, que possa ser utilizado como padrão na investigação de efeitos de dopagem extrínseca do PbTe com CaF<sub>2</sub>.

### 2. Metodologia

As camadas foram crescidas sobre substrato de BaF<sub>2</sub> cristalino, recém clivado em planos (111), por MBE, Riber 32P. A sublimação congruente do PbTe se deu a partir do aquecimento, 649°C, de uma fonte com essa liga, intencionalmente, rica em Pb. Entretanto, esse desvio na estequiometria pode ser corrigido com a oferta adicional de Te, durante o crescimento, pois, pode-se obter camadas do tipo-p com o excesso de Te, devido ao surgimento de vacâncias de chumbo. Neste trabalho, por conveniência operacional, fez-se uso de duas fontes, independentes, de Te, com temperaturas entre 290 a 300°C. A temperatura do substrato manteve-se fixa em 215°C. As propriedades elétricas foram determinadas por efeito Hall e por medidas de resistividade à temperatura ambiente e 77K. As amostras foram caracterizadas soldando-se, com In, quatro contatos de fio de ouro no filme, na geometria Van der Pauw. O grau de ordenação, ou cristalinidade, das amostras foi avaliado pela medida da largura a meia altura (FWHM)

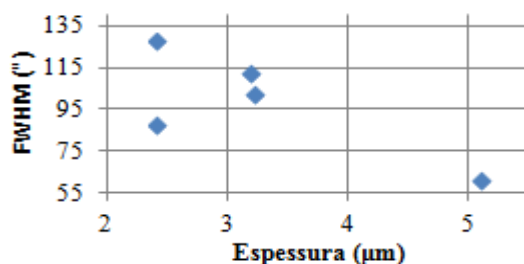
de curvas de difração de raios X (*rocking curve*) em torno do pico de Bragg (222) do PbTe, obtidas através de varreduras em um difratômetro de raios X de alta resolução.

### 3. Resultados e Discussão

As amostras são do tipo-p e a concentração de portadores e mobilidade, a 77K, apresentada na Tabela 1, variam de  $1,62 \cdot 10^{17}$  a  $2,81 \cdot 10^{17}$   $\text{cm}^{-3}$  e de  $3,44 \cdot 10^3$  a  $8,34 \cdot 10^3$   $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ , respectivamente. A FWHM variou de 61,4 a 127,7", indicando que as camadas de PbTe possuem uma boa qualidade cristalina. Da Figura 1 observa-se que quanto maior a espessura da amostra, menor é a largura a meia altura. Ou seja, melhor é a qualidade cristalina da amostra, pois a desordem, devido à relaxação do filme, ocorre nas primeiras camadas, próximo da interface com o substrato.

**Tabela 1. Dados de crescimento e caracterização dos filmes de PbTe sobre BaF<sub>2</sub> (111).**

ID	Temperaturas (°C)			FWHM (")	e (µm)	t (Å/s)	Medições Hall			
	PbTe	Te1	Te2				300K		77K	
							p (cm <sup>-3</sup> )	µ (cm <sup>2</sup> /Vs)	p (cm <sup>-3</sup> )	µ (cm <sup>2</sup> /Vs)
14000	649	292	290	61,4	5,1	3,54	2,51E+17	4,16E+02	2,02E+17	8,34E+03
14001	649	294	290	112,7	3,18	3,53	2,18E+17	4,11E+02	1,62E+17	7,47E+03
14002	649	294	295	88	2,41	3,35	2,55E+17	3,71E+02	2,23E+17	6,03E+03
14005	649	292	290	127,7	2,41	3,35	3,59E+17	3,36E+02	2,81E+17	5,53E+03
14007	654	292	290	103	3,22	3,58	3,46E+17	2,94E+02	2,59E+17	3,44E+03



**Figura 1. Largura a meia altura do pico de Bragg (222) do PbTe versus espessura do filme.**

### 4. Conclusão

A amostra 14000 foi a que apresentou menor FWHM (61,4") entretanto, ela é muito espessa e, por isso, demanda um consumo demasiado de insumo e um longo tempo de preparo. Deste modo, a amostra 14002, ainda com boa qualidade cristalina e com mobilidade acima da média, pode ser boa candidata à amostra padrão de PbTe.

*Agradecimentos: a CAPES, aos professores, colegas e funcionários do INPE.*

### Referências

- LaLonde, A. D.; Pei, Y.; Wang, H. and Snyder, G. J. (2011), Lead telluride alloy thermoelectric, *Materials Today*, Vol. 14.
- Springholz, G. and Bauer, G. (1994), Low temperature growth of PbTe and of PbTe/Pb<sub>1-x</sub>Eu<sub>x</sub>Te multi-quantum wells by molecular beam epitaxy, *Journal of Crystal Growth*. Elsevier Science.
- Herman M. A. and Sitter H (1996). *Molecular Beam Epitaxy - Fundamentals and Current Status*. Springer 2<sup>th</sup> edition.