

SISTEMA DE EFEITO HALL AUTOMATIZADO DEPENDENTE COM A TEMPERATURA

Celso Ferreira Mastrella

Aluno do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - IC PIBIC/CNPq

Orientador : Dr. Eduardo Abramof, Pesquisador, Laboratório
Associado de Sensores e Materiais - LAS/INPE.

Durante este trabalho foi implementado um sistema para medidas de efeito Hall e resistividade dependente com a temperatura completamente automatizado. O sistema montado permite a determinação da resistividade, concentração de portadores e mobilidade Hall de materiais de natureza metálica, semicondutora ou isolante, da temperatura ambiente até 13K.

A amostra a ser caracterizada é montada em um criostato de circuito fechado de He com 4 contatos na geometria Van der Pauw ou com 6 contatos na geometria Hall.

Um "software" para controle do sistema de medidas de efeito Hall e resistividade foi desenvolvido em linguagem objeto ("Visual Basic" para ambiente "Windows"), apresentando uma série de vantagens em relação ao anterior, implementado para DOS.

As propriedades elétricas de amostras de silício implantadas com bismuto preparadas no Instituto de Física da UFRGS pelo Prof. Joel P. de Souza foram investigadas através de medidas efetuadas no sistema implementado. A resistividade de amostras de Si:Bi com concentrações de doadores variando de 3×10^{17} até $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ foi medida em função da temperatura, apresentando uma concentração crítica para a transição metal-não metal por volta de $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Estes resultados experimentais foram comparados com os calculados pelo modelo de Drude generalizado, apresentando uma excelente concordância.

Filmes finos de PbSnTe crescidos sobre substratos de BaF_2 e $\text{BaF}_2/\text{CaF}_2/\text{Si}$ pela técnica de epitaxia de feixe molecular também foram caracterizados eletricamente utilizando o sistema desenvolvido.

SISTEMA DE EFEITO HALL AUTOMATIZADO DEPENDENTE COM A TEMPERATURA

**RELATÓRIO PARCIAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(agosto/96 - fevereiro/97)
PIBIC - CNPq**

**Celso Ferreira Mastrella
Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, CTA
CEP 12228-460,S.J.dos Campos, SP**

**Dr. Eduardo Abramof
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CP 515, CEP 12201-970, S.J.dos Campos, SP**

1 . INTRODUÇÃO

Durante o trabalho de iniciação científica realizado no período de agosto/95 a julho/96, foi implementado um sistema para medidas de efeito Hall e resistividade dependente com a temperatura completamente automatizado. O sistema montado permite a determinação da resistividade, concentração de portadores e mobilidade Hall de materiais de natureza metálica, semicondutora ou isolante, da temperatura ambiente até 13K.

A amostra a ser caracterizada é montada em um criostato de circuito fechado de He com 4 contatos na geometria Van der Pauw [1] ou com 6 contatos na geometria Hall.

Um "software" para controle do sistema de medidas de efeito Hall e resistividade foi desenvolvido em linguagem objeto ("Visual Basic" para ambiente "Windows"), apresentando uma série de vantagens em relação ao anterior, implementado para DOS.

Neste período de julho/96 a fevereiro/97 foi dada uma continuidade ao trabalho passado. O "software" para medidas de resistividade e efeito Hall foi aprimorado e problemas remanescentes foram solucionados. As propriedades elétricas de camadas epitaxiais de $Pb_{1-x}Sn_xTe$, cobrindo toda a faixa de concentração de Sn (x variando de 0 a 1) crescidas no LAS/INPE por MBE ("Molecular Beam Epitaxy"), foram investigadas .

2 - AS CAMADAS EPITAXIAIS DE $PbSnTe$

As amostras de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ foram crescidas no sistema Riber32P MBE equipado com fontes sólidas de Te, PbTe, e SnTe e a pressão na câmara de crescimento foi mantida abaixo de 1×10^{-10} Torr. Os substratos de BaF_2 foram clivados imediatamente antes de serem colocados na câmara de preparação e foram pré-aquecidos a 500°C por 10 minutos antes do crescimento da camada IV-VI. As camadas de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ foram crescidas no substrato a temperaturas entre 200 e 300 °C, com taxas de crescimento variando entre 0,6 a 1,0 $\mu m/h$. As espessuras das amostras, determinadas através de franjas de interferência em espectros de transmissão no infravermelho, variaram de 4 a 8 μm .

Assumindo uma dependência linear da constante de rede na composição da liga entre PbTe (6,462 Å) e SnTe (6,327 Å), a verdadeira composição das camadas de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ foi determinada medindo a constante de rede por difração de raio x.

As propriedades elétricas das amostras foram determinadas pelas medidas efetuadas no sistema de efeito Hall automatizado dependente com a temperatura entre 12 e 350K.

3. CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA

Com o intuito de investigar a influência do desvio estequiométrico nas propriedades de camadas de $Pb_{1-x}Sn_xTe$, duas espécies de fontes de PbTe e SnTe foram usadas no crescimento por MBE: fontes ricas em Te ($Pb_{0.49}Te_{0.51}$ e $Sn_{0.49}Te_{0.51}$) e outras estequiométricas ($Pb_{0.50}Te_{0.50}$ e $Sn_{0.50}Te_{0.50}$).

A figura 1 mostra a concentração de portadores (p) a 300K e a 12K em função da composição da liga para duas séries de camadas de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ crescidas a partir de fontes ricas em Te e a partir de fontes estequiométricas. Todas as amostras são tipo p. Para ambas as séries a concentração de buracos aumenta exponencialmente com a composição da liga, mostrando algum desvio da dependência exponencial para $x > 0,7$. Como esperado, a concentração de buracos para camadas de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ crescidas a partir de fontes ricas em Te é sempre maior que a das camadas correspondentes (com o mesmo x) crescidas a partir de fontes estequiométricas. A diferença entre a concentração de buracos de camadas com a mesma composição pertencentes às duas séries aumenta com o aumento de x , alcançando um valor de uma ordem de magnitude para a faixa com $x > 0,8$.

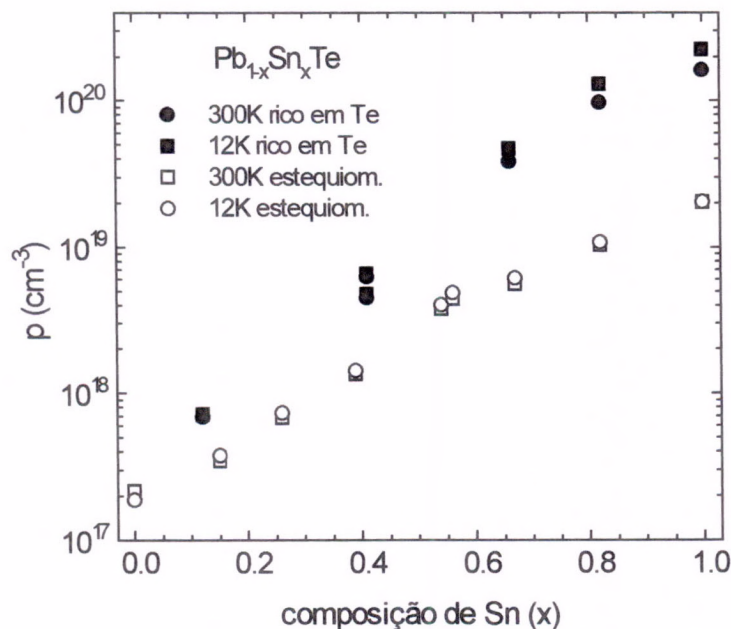


Figura 1

O forte desvio para o lado tipo p do diagrama de fase no sistema $Pb_{1-x}Sn_xTe$ já era conhecido para cristais volumétricos de $PbSnTe$. Entretanto, baixas concentrações de buracos

são esperadas para camadas epitaxiais de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ devido às suas altas temperaturas de crescimento. O gráfico da figura 1 mostra como a concentração de buracos aumenta com o aumento de x para camadas de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ crescidas por MBE. É também importante notar que camadas de $SnTe$ com tão baixa concentração de portadores ($\sim 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) obtidas com fontes estequiométricas só foram obtidas antes em amostras de MBE dopadas com Bi (que é um dopante tipo n).

A concentração de buracos para cada amostra fica constante para toda a faixa de temperatura investigada (12 a 350K), independente da composição da liga. Isso prova que as características elétricas do $PbTe$, no qual o modelo de vacâncias [2] não prevê um congelamento de portadores, continuam válidas para todo o sistema $Pb_{1-x}Sn_xTe$.

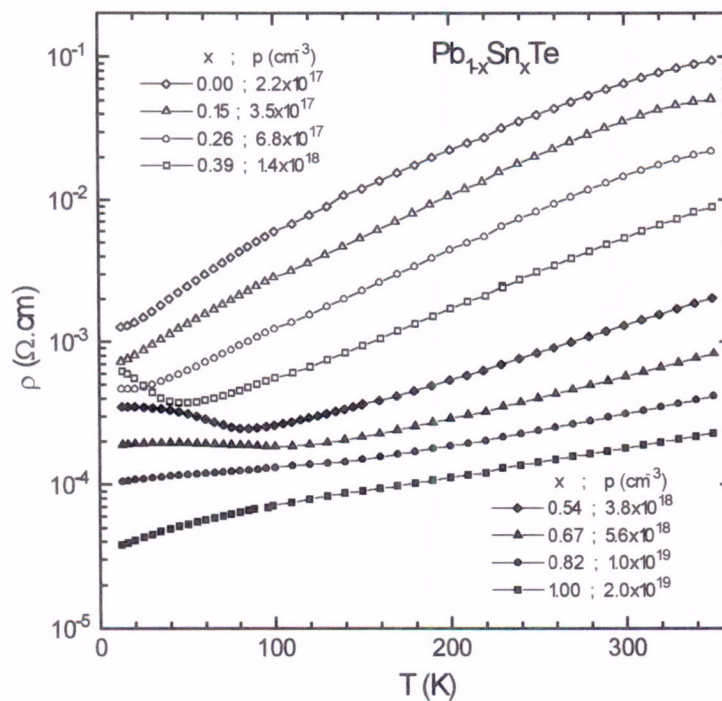


Figura 2

A figura 2 mostra a resistividade em função da temperatura para camadas epitaxiais de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ com x variando de 0 até 1. As curvas de resistividade das amostras de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ revelam quase a mesma dependência da temperatura, exceto para as amostras com x no intervalo de 0,35 a 0,7. Para tais amostras, um mínimo muito bem definido na curva de resistividade é observado em temperaturas entre 20 e 120K, dependendo do valor de x . Esse comportamento anômalo será discutido no final deste relatório. A resistividade mostra uma dependência exponencial da temperatura com uma derivada decrescendo à medida que a composição da liga vai de $PbTe$ a $SnTe$. O valor da resistividade das amostras depende principalmente das suas concentrações de buracos. A figura 3 mostra os valores de

resistividade a 12 e 300K em função da concentração de buracos a 300K. A resistividade a 300K decresce de 10^{-1} até 10^{-4} Ω .cm como uma potência da concentração de buracos que aumenta de 10^{17} a 10^{19} cm^{-3} ($\rho = \rho_0 p^{-1.3}$), enquanto a resistividade a 12K desvia da desta dependência devido ao comportamento anômalo observado em baixas temperaturas.

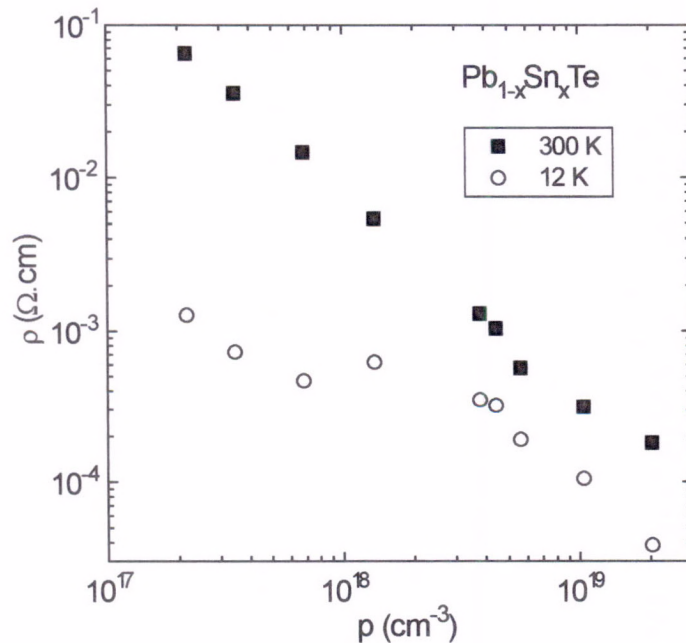


Figura 3

A dependência de temperatura da mobilidade Hall para amostras com diferentes percentagens de Sn é mostrada na figura 4. Para maior clareza, nem todas as amostras foram plotadas nesse gráfico. O comportamento da mobilidade Hall em função da temperatura depende da composição da liga, a qual pode ser dividida em três regiões :

1- Para amostras com $0 \leq x \leq 0,35$, a mobilidade Hall é limitada por fonos acústicos ($\mu \sim T^{-5/2}$) e desvios da curva de fonos saturam em um valor residual a baixas temperaturas devido a espalhamento por impurezas. As mobilidades residuais em torno de $2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ obtidas por essas amostras são relativamente baixas quando comparadas com os altos valores referentes a PbTe [3]. Mas deve-se lembrar que essas amostras são tipo p e foram crescidas em condições não otimizadas para maximizar a mobilidade residual. Se fossem otimizados a temperatura dos dois substratos e o fluxo adicional de Te, seriam obtidas camadas de PbTe tipo n com mobilidades de $5 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ a 12K, comparáveis aos altos valores do PbTe;

2- Para amostras com $0,35 \leq x \leq 0,7$, a mobilidade a altas temperaturas ainda é limitada por fonos, mas a faixa de baixas temperaturas da curva mostra um máximo na mesma temperatura na qual ocorre um mínimo na curva de resistividade;

3- Para amostras com $0,7 \leq x \leq 1$, a alta concentração de buracos limita a mobilidade até altas temperaturas, levando a um aumento muito menos pronunciado na mobilidade com a redução da temperatura.

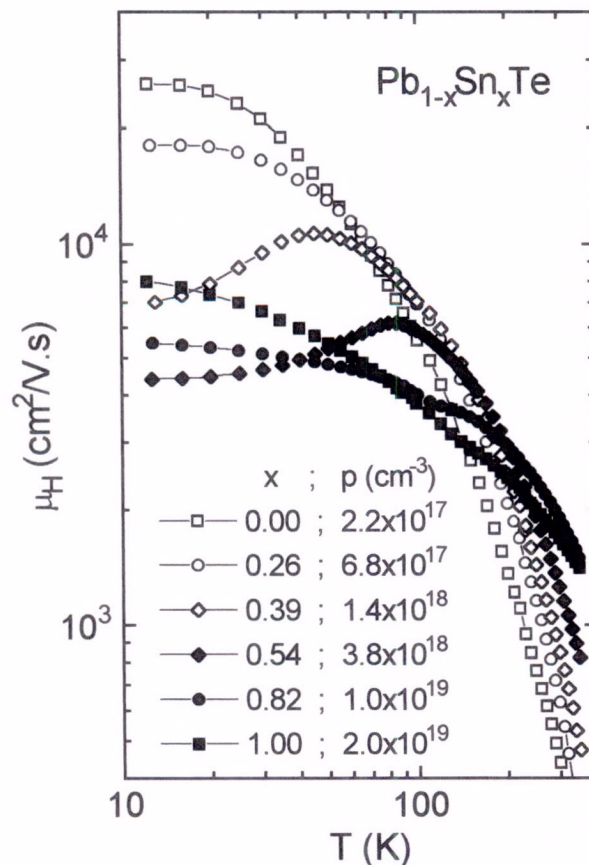


Figura 4

Para as amostras de $Pb_{1-x}Sn_xTe$ com percentagem de Sn entre 0,35 e 0,70, um comportamento diferente na resistividade foi observado em baixas temperaturas. A figura 5 mostra a resistividade e a concentração de portadores de uma amostra de $Pb_{0,44}Sn_{0,56}Te$ entre 10 e 200K. Uma significativa mudança na curva de resistividade é observada neste intervalo de temperatura, com um mínimo muito bem definido em 92K. A temperatura na qual o mínimo ocorre pode ser precisamente determinada por diferenciação da curva de resistividade. O

comportamento mostrado na figura 5 foi observado para todas as amostras com $0,35 \leq x \leq 0,7$, não sendo observado fora desse intervalo de composição de Sn.

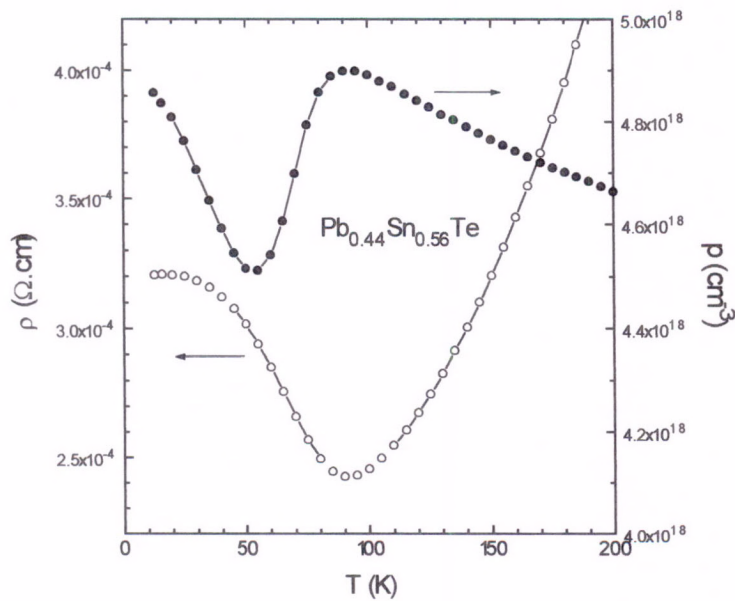


Figura 5

Acredita-se que o ponto crítico observado na curva de resistividade resulta da inversão de banda neste material. Na temperatura em que ocorre o cruzamento de banda, a variação do gap (E_g) com a temperatura (T) muda de sinal. Esta mudança de sinal do coeficiente de energia de gap com T (dE_g/dT) pode ser influenciada pela dependência da curva de resistividade com a temperatura.

4 . Referências:

[1] L.J. van der Pauw. Phillips Research Reports, 13, 1 (1958).

[2] N.J. Parada, Phys. Rev. B 3, 2042 (1971).

[3] G. Springholtz, G. Bauer and G. Ihninger, J. Crystal growth 127,302 (1993).