

PROPRIEDADES FÍSICAS ANISOTRÓPICAS DO MONOCRISTAL DE GdB_4

Filipe Oliveira Tavares da Silva¹, Sueli Hatsumi Masunaga²

¹ Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI

² Departamento de Física, Centro Universitário FEI

uniefsil@fei.edu.br; smasunaga@fei.edu.br

Resumo: Neste trabalho foram estudadas as propriedades físicas anisotrópicas do monocristal de GdB_4 . Essas propriedades despertam interesse por conta das suas propriedades magnéticas e de transporte, em que novas fases são induzidas por campo magnético, como por exemplo, as fases topológicas não-triviais. Para contribuir com o entendimento das propriedades desse composto, o monocristal foi caracterizado através de medidas de magnetização e calor específico como função da temperatura e do campo magnético aplicado. Foi observado que as propriedades físicas são mais susceptíveis ao campo magnético aplicado na direção [110], de fácil magnetização do composto.

1. Introdução

Os fenômenos magnéticos foram os primeiros a despertar a curiosidade do homem sobre propriedades intrínsecas da matéria. [1] A partir do século XIX o magnetismo começou a ter um maior foco de estudo por conta das descobertas de sua relação com a própria eletricidade com os físicos Ampère, Faraday e Henry. [2] Nos dias atuais, o magnetismo é uma das maiores linhas de estudo da Física da Matéria Condensada.

Neste contexto, os compostos de terras-raras RB_4 (onde R é o elemento terra-rara) são de interesse da comunidade pelas suas possíveis aplicações e realizações experimentais. Especificamente no composto GdB_4 , monocristal estudado neste trabalho, os momentos formam uma estrutura magnética não-colinear, de ordem antiferromagnética (AF), cujos spins se ordenam perpendicularmente ao eixo c da célula unitária. O monocristal de GdB_4 desperta interesse também por conta das suas propriedades magnéticas e de transporte que estão ainda em aberto e em fase de pesquisa.

2. Metodologia

Para obter os monocristais de GdB_4 , foi utilizado o método de crescimento de fluxo, utilizando Al. [3] Foram colocadas no fundo de um cadinho alto de alumina, quantidades estequiométricas de Gd e B metálicos. Em seguida, o cadinho foi preenchido com uma quantidade de Al correspondente a 95% da massa total dos metais que foram utilizados para a síntese. Os metais foram aquecidos a 1550°C em atmosfera de gás Ar, mantidos durante duas horas nesta temperatura, resfriados até 1000°C em três horas, e finalmente deixados para resfriar até a temperatura ambiente. Para separar os monocristais, foi eliminado o fluxo de Al utilizando uma solução saturada de NaOH.

Alguns cristais foram pulverizados de forma manual por 15 minutos com um almofariz e pistilo de ágata, para a caracterização via difração de raios X (DRX). Foi adquirido o difratograma em um difratômetro D-8

Discovery, com radiação $K\alpha$ do cobre ($CuK\alpha$), com comprimento de onda de $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$, de 20 a 80° e em temperatura ambiente.

As medidas de magnetização (M) e calor específico (C_p) como função da temperatura (T) e do campo magnético aplicado (H) foram obtidas no equipamento Dyna Cool - Physical Property Measurement System (PPMS) fabricado pela Quantum Design. As curvas M vs T foram obtidas no intervalo de 2 a 300 K e sob campo magnético aplicado de 50 Oe a 90 kOe nas direções cristalográficas [110] e [001].

3. Resultados

Como pode ser visto na Figura 1, as reflexões presentes na DRX ocorrem nas mesmas posições referentes às de Bragg do composto GdB_4 tabeladas na base BDEC da CAPES, indicando a formação da fase única do monocristal.

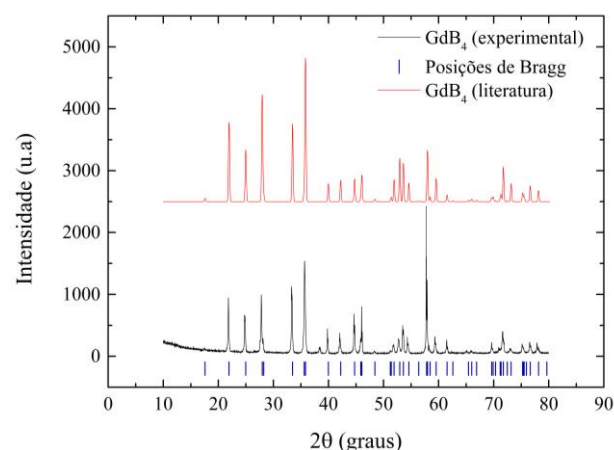


Figura 1 – Diagrama de difração de raios X para a amostra GdB_4

A partir das curvas de magnetização M vs T , foi possível obter as curvas da susceptibilidade magnética (χ), dividindo a magnetização por H . Para se obter o valor da temperatura de transição para o estado AF (T_N) foi gerada a função $d(\chi T)/dT$, onde T_N foi definida como sendo a temperatura de máximo dessa curva. (4) Na Figura 2, pode-se verificar a dependência de T_N com H , no eixo c e na direção [110]. Considerando as barras de incerteza, os valores de T_N são compatíveis nas duas direções até ~ 10 kOe. Para altos H , acima de 70 kOe, o efeito da aplicação H é mais efetivo na direção [110] de fácil magnetização, onde T_N decresce mais abruptamente, indicando um efeito anisotrópico.

Foi obtido também os valores de T_N a partir das curvas de C_p vs T . Para $H = 0$, $T_N = (41,7 \pm 0,1) \text{ K}$ em todas as direções cristalográficas, sendo esse valor compatível com os mostrados na Figura 2. O mesmo

efeito anisotrópico do campo magnético aplicado ocorre nas propriedades térmicas, com a diminuição de T_N para $(41,2 \pm 0,1)$ K e $(40,5 \pm 0,1)$ K com a aplicação de 90 kOe ao longo do eixo c e direção [110], respectivamente.

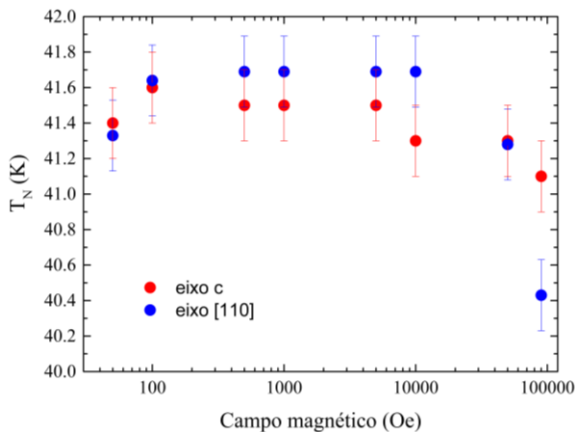


Figura 2 – T_N como função de H nos eixos c e [110]

A anisotropia magnética no composto GdB_4 também pode ser visualizada nas curvas de susceptibilidade magnética, na Figura 3, abaixo de T_N . Essa é uma característica similar ao observado em compostos AF convencionais, onde χ não varia com T na direção perpendicular ao de fácil magnetização. Entretanto, na direção de fácil magnetização, $\chi \rightarrow 0$ para $T \rightarrow 0$ nos AF convencionais, o que não é observado para o GdB_4 . Provavelmente esse efeito está associado ao ordenamento não-colinear dos momentos magnéticos do íon Gd^{3+} .

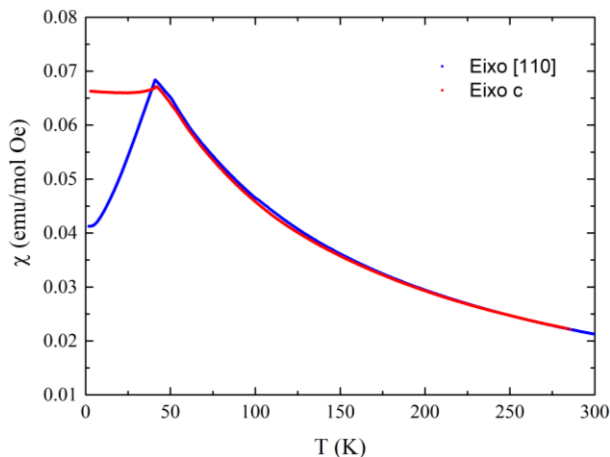


Figura 3 – Susceptibilidade magnética do GdB_4 .

A entropia magnética foi obtida dos dados de C_p vs T, extraindo-se a componente magnética (C_m). Para isso, o composto YB_4 foi utilizado com referência, por ser um composto análogo não magnético, e assumindo que o calor específico da rede $C_{lat}(T)$ do GdB_4 é aproximadamente igual ao $C_p(T)$ do YB_4 . Ao subtrair as curvas, obtém-se a componente C_m , exibida na Figura 4. Dividindo a curva C_m por T e integrando em T ($S_m = \int_0^T \frac{C_m}{T} dT$), o valor de entropia magnética foi de $S_m = (20,6 \pm 0,5)$ Jmol $^{-1}$ K $^{-1}$. Esse valor é maior que a variação de entropia magnética esperado para um sistema com $J = 7/2$ do Gd^{3+} , sendo de $R \ln(2J+1) = 17,3$ Jmol $^{-1}$ K $^{-1}$. Esse efeito

pode ser atribuído à anomalia de Schottky, que comumente está presente em sistemas com Gd e à frustração magnética dos compostos da família RB_4 . [4]

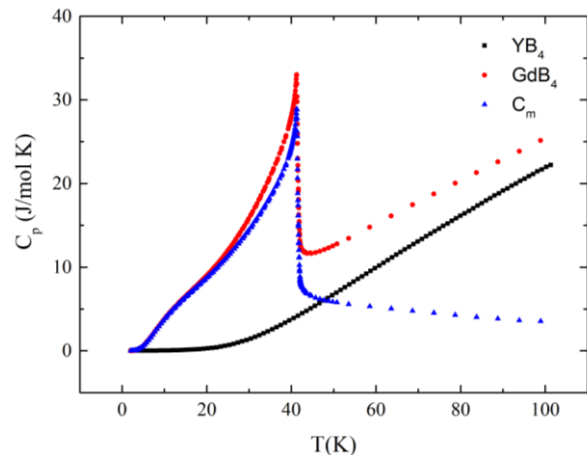


Figura 3 – Obtenção da curva C_m

4. Conclusões

Foram realizados estudos das propriedades magnéticas e térmicas com o campo magnético aplicado paralelo e perpendicular ao eixo de fácil magnetização, para analisar a anisotropia do monocristal de GdB_4 . Observou-se uma diferença significativa nas curvas de susceptibilidade magnética entre os eixos, abaixo de T_N . Entretanto, na análise de calor específico não foi possível identificar uma diferença notável nas características das curvas nos dois eixos. O efeito da aplicação do campo magnético em T_N também foi anisotrópico, sendo possível notar uma diminuição mais acentuada ao longo do eixo fácil de magnetização [110], em altos H. A pequena variação de T_N mesmo com a aplicação de 90 kOe, indica que as anomalias na magnetização relacionadas com a frustração seriam manifestadas em campos ainda maiores, mas foi possível verificar esse efeito indiretamente com o resultado de entropia magnética. Os resultados indicam que o estudo de amostras monocristalinas é importante para compreender a anisotropia de materiais magnéticos.

5. Referências

- [1] RODRIGUEZ, Gustavo Jesús Bracho. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 4, p. 315, 1998.
- [2] REZENDE, Sérgio M. **A física de materiais e dispositivos eletrônicos**. Editora da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil, p. 392-411, 1996.
- [3] SHON, Wonhyuk et al. **Materials Today Physics**, v. 11, p. 100168, 2019.
- [4] NOVIKOV, V. V. et al. **Journal of Applied Physics**, v. 111, n. 6, p. 063907, 2012.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

¹ Aluno de IC do CNPq (PBIC060/21). Projeto com vigência de 01/22 a 08/22.