

Força de Pinning e Densidade de Corrente Elétrica no Supercondutor Monocristalino $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_7$

LOPES, Rován Fernandes¹; MENDONÇA, Ana Paula Aguiar¹; DIAS, Fábio Teixeira¹; PUREUR, Paulo³; SCHAF, Jacob³; VIEIRA, Valdemar das Neves²

¹Universidade Federal de Pelotas – rovanfl@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – vdnieira@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1. INTRODUÇÃO

Uma das propriedades essenciais que tornam os materiais supercondutores atraentes para aplicações tecnológicas em larga escala é o transporte de elevados valores de densidade de corrente crítica, $J_c(H, T)$, na presença de um campo magnético H a uma temperatura fixa T , que proporciona a produção de equipamentos mais compactos e eficientes.

Os supercondutores de alta temperatura crítica (HTSC), quando submetidos a um campo magnético externo, possuem uma fase característica conhecida como fase mista que é caracterizada pela penetração parcial de fluxo magnético no interior da amostra. Uma condição para que as amostras transportem elevados valores de $J_c(H, T)$, sem que haja dissipação de energia, é a que esse fluxo magnético esteja aprisionado por um potencial denominado de força de pinning, F_p .

A realização de substituições químicas na estrutura cristalina de materiais supercondutores é um dos artifícios empregados com o objetivo de promover a elevação do valor de $J_c(H, T)$ e fornecer subsídios para a compreensão dos mecanismos de aprisionamento de fluxo magnético por meio do estudo do comportamento da força de pinning. De acordo com essa premissa, o presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento de $J_c(H, T)$ e da força de pinning no supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ quando o sítio do Ba é parcialmente substituído por átomos de Sr.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram crescidas, segundo a técnica de auto-fluxo, amostras monocristalinas de $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ ($x = 0; 0.1; 0.25$ e 0.37), onde x está relacionado com as concentrações de (0%; 5%; 12.5% e 18.5%) de Sr respectivamente. A estrutura destes monocristais foi analisada por meio de difração de raio-x a qual não detectou presença de fases espúrias à de Y123.

A superfície das amostras foi caracterizada através de microscopia de luz polarizada a qual identificou um aumento significativo no número de maclas comparadas com a amostra pura ($x=0$).

As propriedades magnéticas das amostras foram caracterizadas por meio de medidas de magnetização DC, $M(T, H)$, em função do campo magnético e temperatura, realizadas com o auxílio de um magnetômetro SQUID, Quantum Design, dimensionado para aplicar campos magnéticos de até 50kOe e variar a temperatura entre 1.6 e 400K. O procedimento experimental utilizado para a determinação do comportamento de $J_c(H, T)$, foi o de medir a histerese magnética

a partir da obtenção de ciclos de $M-H$. Neste procedimento as amostras foram resfriadas na ausência de campo magnético partindo de temperaturas superiores a da sua temperatura crítica de transição T_c até atingir a temperatura de 77.5K (temperatura de liquefação do nitrogênio). A partir daí o campo magnético H , aplicado ao longo do eixo cristalográfico c dos monocristais, foi ciclado entre 0 e 50kOe e a magnetização DC das amostras foi registrada à medida em que transcorresse a ciclagem de campo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 apresentamos os resultados provenientes das medidas de $M-H$, descritas no item anterior. Note que o quadrado sólido representa o resultado do monocristal puro (YBCO).

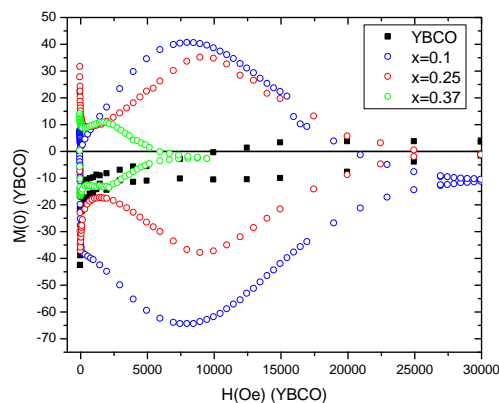


Figura 1: Histerese magnética para os monocristais de $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_7$. ($x = 0, 0.1, 0.25, 0.37$)

Na Figura 1 quando comparamos os resultados de $M-H$ dos monocristais dopados com o do monocristal puro percebemos que o alargamento do ciclo de histerese magnética nos monocristais dopados ocorre para $x=0.1$ e $x=0.25$ no limite onde o campo aplicado H é menor que aproximadamente 20kOe.

Acreditamos que este alargamento do ciclo de $M-H$ deve-se essencialmente às substituições químicas e que a sua proeminência em algumas das amostras dopadas está relacionada a uma maior efetividade por parte dos mecanismos de aprisionamento de fluxo magnético, pinning. Efetividade essa que é proporcional ao aumento da magnitude de $J_c(H,T)$ transportada não dissipativamente por estes materiais.

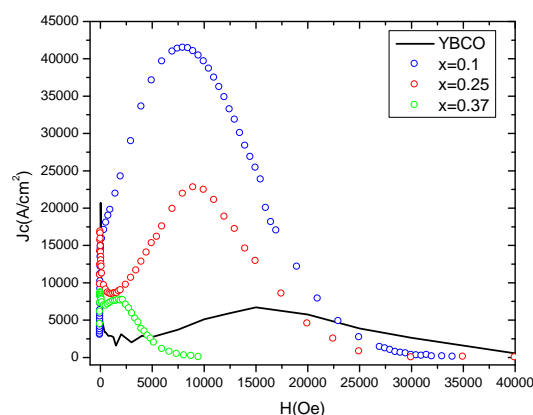


Figura 2: Comportamento de $J_c(H,T)$ para as amostras de $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_7$.

Na Figura 2 apresentamos os resultados de $J_c(H, T)$ das amostras dopadas e pura. A magnitude de $J_c(H, T)$ foi determinada a partir da aplicação do modelo de Bean extendido. Este, essencialmente, relaciona $J_c(H, T)$ a razão entre a largura dos ciclos de $M-H$ e o fator geométrico da amostra dependente da direção de campo magnético empregado. Note que de acordo com a Figura 2, os valores de $J_c(H, T)$ em $T = 77,5$ K obtidos para as amostras com $x = 0.1$ e $x=0.25$ são superiores aos da amostra de YBCO até o limite de 20kOe, valor de campo aplicado onde é observado o máximo de $J_c(H, T)$ para o $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Por outro lado, estes valores decrescem rapidamente em função do campo aplicado para as demais concentrações.

A partir dos valores de $J_c(H, T)$ podemos calcular o valor da força de pinning através da relação $F_p = J_c \cdot \mu_0 H$ como mostra a Figura 3 abaixo:

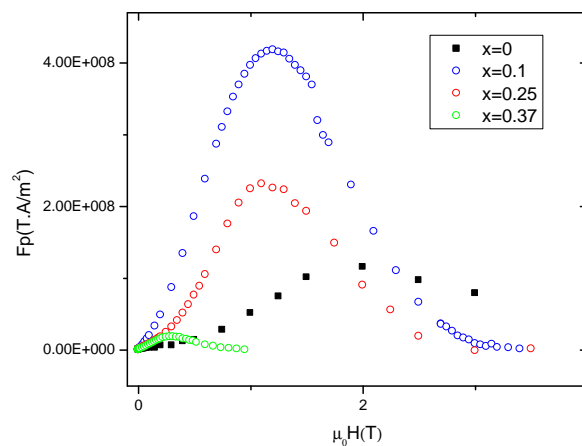


Figura 3: Força de pinning para as amostras de $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_7$.

Podemos observar que a força de pinning possui um comportamento similar ao da densidade de corrente crítica.

Com o objetivo de identificar os mecanismos responsáveis pelo “pinning” dos monocristais dopados, normalizamos as curvas da figura anterior em termos dos fatores F_{pmax} e H_{irr} , onde F_{pmax} é a força de pinning máxima e H_{irr} é o campo de irreversibilidade definido no ponto o qual marca a separação das curvas de magnetização da Figura 1, os resultado obtido encontra-se expresso na figura 4.

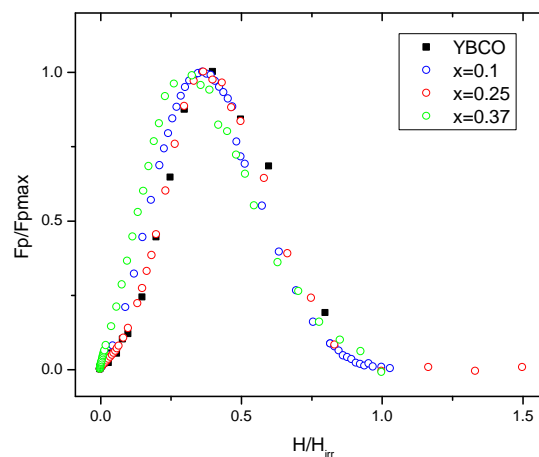


Figura 4: Normalização das curvas de força de pinning

4. CONCLUSÕES

Resultados experimentais provenientes de medidas de $M-H$ realizados nas proximidades da temperatura de liquefação do nitrogênio em uma série de monocristais supercondutores de $YBa_{2-x}Sr_xCu_3O_7$. ($x = 0; 0.1; 0.25$ e 0.37) revelaram que a substituição parcial do sítio do Ba por átomos de Sr para a concentração $x = 0.1$ (5%) resultou na elevação significativa dos valores de $J_c(H,T)$ transportados pelo supercondutor $YBa_{2-x}Sr_xCu_3O_7$, bem como na elevação da força de pinning como mostram as Figuras 2 e 3.

Por outro lado, para a concentração de $x = 0.37$, foi observado que os valores de força de pinning apresentaram-se como sendo inferiores aos transportados pelo supercondutor puro, como se observa na Figura 3.

Desta forma, concluímos que os valores de $J_c(H,T)$ transportados pelo supercondutor $YBa_{2-x}Sr_xCu_3O_7$ podem ser elevados com a substituição de até 12.5 % do sítio do Ba por Sr. Sugerimos que a dopagem com átomos de Sr é responsável pela maximização dos mecanismos de aprisionamento de fluxo de nossas amostras, fato ressaltado pela observação do aumento da força de pinning como mostra a Figura 3.

A partir do escalonamento dos resultados ilustrados pela Figura 4, pode-se afirmar que o mecanismo responsável pelo pinning em nossas amostras não é diferente do que atua no supercondutor puro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SAITO, K.; NISSEN, H. U.; BEELI, C.; WOLF, T.; SCHAUER, KÜPFER, H. Influence of Sr doping on twin-wall structure and flux pinning of $YBa_2Cu_3O_7$ - single crystals. **Physical Review B**, v. 58, n. 10, p. 6645 – 6649, 1998.

VIEIRA, V. N.; SCHAF, J. Influence of Sr doping on the second magnetization peak and the critical current density of $YBa_2Cu_3O_7$ - single crystals. **Physica C**, v. 408, n. 2, p. 533 – 534, 2004.

CIVALE, L.; MCELFRISH, M. V.; MARWICK, A. D.; HOLTZBERG, F.; FIELD, C.; THOMPSON, J. R.; CHRISTEN, D. K. Scaling of the hysteretic behavior in $YBa_2Cu_3O_7$ - single crystals. **Physical Review B**, v. 43, n. 16, p.13732 – 13735, 1991.

MASUI, T.; TAKANO, Y.; YOSHIDA, K.; KAJITA, K.; TAJIMA, S. The effect of Zn-substitution and carrier doping on vortex pinning in $YBa_2Cu_3O_7$ - single crystals. **Physica C**, v. 412, n. 2, p.515 – 520, 2004.

FUCHS, G.; NENKOV, K; KRABBES, G.; WEINSTEIN, R.; GANDINI, A.; SAWH, R.; MAYES, B.; PARKS, D. Strongly enhanced irreversibility fields and Bose-Glass behavior in bulk YBCO with discontinuous columnar irradiation defects. **Superconductor Science and Technology**, v. 20, p.197-204, 2007.