

Estudo das propriedades elétricas e magnéticas de filmes finos supercondutores do sistema BSCCO tratados termicamente em um forno de microondas

RESUMO

O entendimento e o controle da formação da fase supercondutora em supercondutores com alta temperatura crítica (T_c) é um fator de extrema importância para a obtenção das propriedades elétricas e magnéticas. Neste trabalho investigamos as propriedades supercondutoras exibidas por uma junção Josephson construída em filmes finos supercondutores do sistema $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_x$ (BSCCO-2212) tratados termicamente em um forno de microondas. Os resultados mostram, para as medidas, nas quais foi aplicado o campo magnético, que quanto maior a intensidade do campo magnético aplicado maior será o alargamento nas curvas $R \times T$. Já para as curvas características ($V \times I$), quanto maior o campo magnético aplicado menor o excesso de corrente a zero voltagem. Com as medidas elétricas foi possível observar a transição supercondutora e investigar o valor da temperatura crítica.

PALAVRAS-CHAVE: Efeito Josephson; Supercondutor; Microondas.

Gustavo Quereza de Freitasgustavo

quereza@ifgoiano.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. Rio Verde, Goiás, Brasil.

Jéferson Aparecido Moreto

jeferson.moreto.uftm@gmail.com
Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação (ICENE), Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFMT), Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

Cícero Rafael Cena

rcena@yahoo.com.br
Instituto de Física da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil

Guilherme Botega Torsoni

gbotsoni@yahoo.com.br
Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Claudio Luiz Carvalho

carvalho@dfq.feis.unesp.br
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

INTRODUÇÃO

As pesquisas envolvendo o estudo do efeito Josephson em junções de materiais supercondutores de alta temperatura crítica são bem estabelecidas na literatura (SANGMIN, L. *et al*, 1996; ENDO, K. *et al*, 2002). De modo geral, uma junção Josephson (JJ) pode ser construída de duas maneiras, a primeira envolve uma junção de materiais Supercondutor – Isolante – Supercondutor (SIS), enquanto que a segunda envolve materiais Supercondutor – Condutor Normal – Supercondutor (SNS), apresentando esta última a vantagem de possuir uma espessura muito maior que a SIS, ambas apresentam grande potencial para aplicações na fabricação de dispositivos eletrônicos (BUCKEL, W.; KLEINER, R. 2004).

Com relação a arquitetura das junções, destacamos as junções do tipo micro ponte, as quais consistem na construção de uma passagem estreita em um filme fino ou pastilha de material supercondutor. O estreitamento da ponte deve possuir dimensões da ordem do comprimento de coerência do supercondutor, a fim de limitar a troca dos pares de Cooper. No entanto, quando se trata de supercondutores de alta temperatura crítica, podem ser usados contornos de grãos como acoplamentos fracos, pois possuem pequenas espessuras da ordem do comprimento de coerência do material (POOLE, C.P. 2007).

Alguns trabalhos na literatura (KATARIA, N.D. *et al*, 1988; CHU, C.W. *et al*, 2011) relatam a construção manual de junções do tipo ponte com dimensões de 0,15 x 0,5 x 0,5 mm, as quais apresentam o efeito Josephson, apesar da dimensão da junção ser muito maior do que o comprimento de coerência do material utilizado. Na verdade, além da junção ponte esculpida manualmente, existem um conglomerado de cruzamentos intergrãos, no qual formam várias junções Josephson do tipo ponte (KATARIA, N.D. *et al*, 2012; CHU, C.W. *et al*, 1988).

Além da arquitetura da ponte, outro aspecto relevante, é a qualidade dos filmes empregados na confecção das junções. Eventuais defeitos na junção, ou mesmo nos contornos de grãos podem obscurecer o efeito Josephson (FUGINO, H. 2001). Neste contexto, o entendimento e o controle da formação da fase em supercondutores com alta temperatura crítica (T_c) é um fator de extrema importância para a obtenção das propriedades elétricas e magnéticas adequadas.

Em recentes estudos, junções Josephson foram obtidas em filmes finos supercondutores do sistema $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_{2,0}\text{Ca}_{2,0}\text{Cu}_{3,0}\text{O}_x$ tratados termicamente em um forno de microondas doméstico (FREITAS, G.Q. *et al* 2016). Apresenta-se, nesse trabalho, a caracterização das propriedades elétricas das amostras obtidas sob diferentes abordagens.

A EXPERIÊNCIA

Neste trabalho, analisamos as propriedades elétricas e magnéticas exibida por uma JJ do tipo ponte construída com dimensões de 0,2 mm x 0,2 mm em filmes finos de BSCCO, de espessura aproximada de 52 μm , tratados termicamente em um forno de microondas doméstico. Os resultados analisados foram obtidos pela técnica de **4 pontas**, conforme descrito na literatura (FREITAS, G. Q. *et al* 2015).

Para a obtenção das amostras foram utilizados 4 mg de um pó adquirido da *Superconductive Components Inc.* (Lot#SCI3130SCP3) com composição nominal $\text{Bi}_{1,8}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$. O pó, cujas distribuições granulares foram controladas utilizando uma peneira com malha 400 (abertura de $37 \mu\text{m}$), foi inicialmente espalhado sobre um substrato de LaAlO_3 e, em seguida, as junções foram esculpidas manualmente (FREITAS, G. Q. 2012).

Para o tratamento térmico das amostras, foi utilizado um forno microondas doméstico da marca Panasonic (Modelo NN-S 46 BK, 800 W e 2,45 GHz), devidamente revestido com uma manta térmica de alumina. A função da manta era proteger a estrutura metálica do forno das elevadas temperaturas, aproximadamente 800°C (FREITAS, G. Q. 2012).

Para absorver a energia das ondas eletromagnéticas emitidas pelo forno de microondas e transferir o calor para a amostra, foi utilizada uma pequena pastilha de carbetto de silício, SiC, com as seguintes dimensões: $(30 \times 25 \times 5 \text{ mm}^3)$ como suscepto. Um termopar tipo K, conectado a um controlador de temperatura, foi colocado em contato com o suscepto.

A amostra foi aquecida a partir da temperatura ambiente até 400°C a uma taxa de $20^\circ\text{C} / \text{min}$ e mantida nesta temperatura por dois minutos; em seguida, foi aquecida até 780°C a uma taxa de $20^\circ\text{C} / \text{min}$, e mantida nesta mesma temperatura durante sete minutos. Finalmente, a amostra foi resfriada a uma taxa de $20^\circ\text{C} / \text{min}$ até 400°C , seguido de um resfriamento até 24°C , pela inércia do sistema (FREITAS, G. Q., 2012).

As caracterizações estruturais da amostra analisada foram investigadas pelas técnicas de difração de raios-X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDX) e microscopia ótica (MO). Maiores informações podem ser obtidas nos seguintes trabalhos (FREITAS, G. Q., 2012; FREITAS, G. Q. *et al*, 2015).

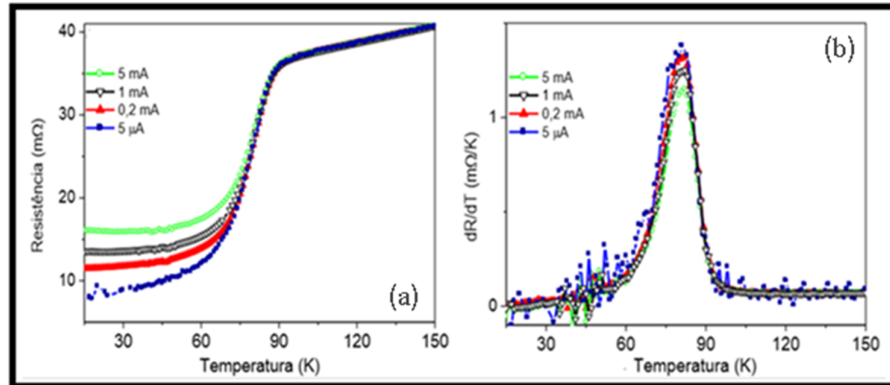
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A natureza supercondutora da JJ estudada neste trabalho foi inicialmente investigada com base no comportamento de sua resistência elétrica em função da temperatura. A **Figura 1** apresenta os gráficos da resistência elétrica em função da temperatura (R_xT) e de suas derivadas ($dR/dT \times T$), para a amostra submetida a diferentes valores de corrente elétrica.

No estado normal, a JJ apresentou um comportamento ôhmico para os diferentes valores de corrente elétrica aplicada. Posteriormente à transição supercondutora, foi observado que, com o aumento da corrente elétrica, em uma faixa de $5 \mu\text{A} - 5 \text{ mA}$, houve uma dispersão na curva R_xT .

A resistência elétrica residual identificada nas amostras pode ser associada a presença de fases secundárias, fazendo com que não ocorra a plena transição da amostra para o estado supercondutor. Assim, a presença de alguns grãos da amostra no estado normal, contribui para que não ocorra um caminho concatenado da corrente elétrica em regiões super condutoras, o que gera a resistência elétrica residual e, adicionalmente, o patamar desta resistência acaba sendo alterado pelo aumento da corrente elétrica.

Figura 1- (a) curva da resistência elétrica versus temperatura; (b) dR/dT versus T para diferentes valores de corrente elétrica aplicada.

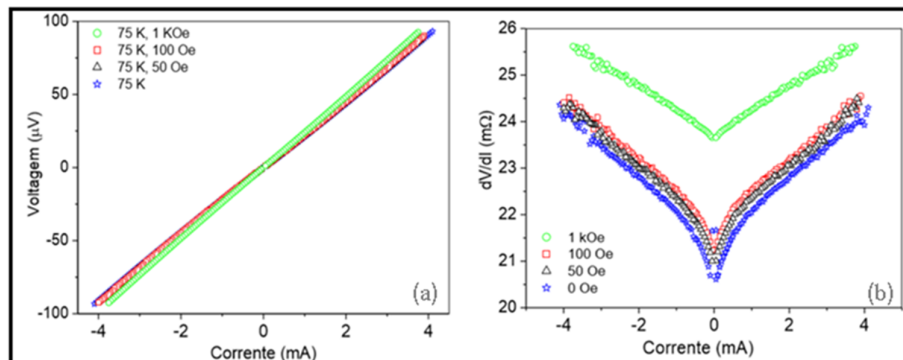


Fonte: autores.

De acordo com Togano e Colaboradores (TOGANO, K. *et al.*, 1988) a T_c é inversamente proporcional à corrente elétrica aplicada. Todavia, para os valores de corrente elétrica utilizados, a T_c da junção foi aproximadamente a mesma (81 ± 1) K. A T_c foi obtida pelo método *mid-point* ou método da derivada. Ressaltamos que tal valor de T_c é menor que o encontrado na literatura para a fase 2212, usualmente em torno de 84 K (HAMANAKA, K. *et al.*, 2011).

As Figuras 2 (a) e 2 (b) ilustram, respectivamente, a curva de potencial elétrico *versus* corrente elétrica ($V_x I$) da JJ para a temperatura de 75 K, em diferentes campos magnéticos (entre 0 e 1 kOe) e de suas derivadas $dV/dI \times I$, conhecida como resistência nominal.

Figura 2 - (a) curvas de V *versus* I e (b) derivadas dI/dT *versus* I para diferentes campos magnéticos aplicados



Fonte: autores.

Observa-se que quanto maior o campo aplicado menor é o valor da corrente crítica. A maior corrente crítica Josephson foi obtida para um campo magnético nulo ($H = 0$ kOe), com um valor de corrente elétrica de $42 \mu A$. Conseqüentemente, a maior resistência nominal foi obtida quando o campo era de 1 kOe. Dessa maneira, quanto maior a intensidade do campo magnético aplicado, maior será sua resistência nominal (POOLE, C. P. *et al.*, 2007; VEDENEEV, S. I. *et al.*, 2011).

CONCLUSÃO

Relatou-se, neste trabalho, a caracterização de junção Josephson em filmes finos supercondutores do sistema BSCCO tratados termicamente em um forno de microondas doméstico.

Com as medidas elétricas foi possível observar a transição supercondutora e investigar o valor da temperatura crítica.

Para as medidas em que foi aplicado o campo magnético, pode-se concluir que quanto maior a intensidade desse campo magnético maior será o alargamento nas curvas RxT . Para as curvas características (VxI) observou-se, nesse estudo, que quanto maior a intensidade do campo magnético aplicado menor será o excesso de corrente à voltagem zero.

Study behaviour of the electrical and magnetic properties of thin films of BSCCO superconducting system heat-treated in a microwave oven.

ABSTRACT

Understanding and controlling the formation of the superconducting phase in superconductors with high critical temperature, (T_c), is an extremely important factor for obtaining the electrical and magnetic properties. In this paper we investigate the superconducting properties exhibited by a Josephson junctions built in superconducting thin films of BSCCO system heat-treated in a microwave oven. The results show, for measures in which the magnetic field was applied, higher is the intensity of magnetic field applied bigger is the enlargement in the $R_x T$ curves. As for the $(V \times I)$ characteristic curves, the higher is the magnetic field applied lower is the excess current at zero voltage. With the electrical measurements it was possible to observe the superconducting transition and investigate the value of the critical temperature.

KEYWORDS: Josephson Effect; Superconductor; Microwave oven.

Estudio de las propiedades eléctricas y magnéticas de películas delgadas del sistema superconductor BSCCO tratados térmicamente en un horno de microondas

RESUMEN

La comprensión y el control de la formación de la fase superconductor en los superconductores de alta temperatura crítica, (T_c), es un factor extremadamente importante para obtener las propiedades eléctricas y magnéticas. En este trabajo investigamos las propiedades superconductoras exhibida por las uniones Josephson construidas en películas delgadas e tratados térmicamente en un horno de microondas. Los resultados muestran, para las medidas en que se aplicó el campo magnético, mayor es la intensidad del campo magnético aplicado es mayor ampliación en las curvas de $R \times T$. En cuanto a las curvas características ($V \times I$), mayor será el campo aplicado más pequeño del exceso de corriente a la tensión cero. Con las medidas eléctricas fue posible observar la transición superconductor e investigar el valor de la temperatura crítica.

PALABRAS CLAVE: Efecto Joseph; Superconductor; Microondas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o Departamento de Química e Física da Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, UNESP/Ilha Solteira e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo auxílio aos pesquisadores.

REFERÊNCIAS

BUCKEL, W., KLEINER, R. **Superconductivity: fundamentals and applications**. 2nd ver. And enlarged. Weinheim: Wiley-VCH, p. 461, 2004.

CHU, C. W. et al. Superconductivity up to 114-k in the bi-al-ca-sr-cu-o compound system without rare-earth elements. **Physical Review Letters**, v. 60, n. 10, p. 941-943, 1988.

ENDO, K., SATO, H., YAMAMOTO, K., MIZUKOSHI, T., YOSHIZAWA, T., ABE, K., BADICA, P., ITOH, J., KAJIMURA, K., AKOH, H. Fabrication of intrinsic Josephson junctions on BSCCO superconducting films grown by MOCVD. **Physica C**, v. 372-376, p. 1075-1077, 2002.

FREITAS, G. Q. Construção de uma junção Josephson em filmes finos supercondutores do sistema $\text{Bi}_{1,8}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_{0,2}\text{CaCu}_2\text{O}_x$ tratados termicamente em um forno microondas doméstico. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Física da matéria condensada, 2012.

FREITAS, G. Q., MORETO, J.A., CENA, C.R., CARVALHO, C.L. Construção de junções Josephson do tipo ponte obtidas manualmente em uma pastilha de $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_{2,0}\text{Ca}_{2,0}\text{Cu}_{3,0}\text{O}_x$. **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, v. 1, n. 2, p.14-21, 2015.

FREITAS, G.Q., ZADOROSNY, R., CENA, C.R., SILVEIRA, J.B., MORETO, J.A., CARVALHO, C.L. Preparations and characterization of a homemade Josephson junction prepared from a thin film sintered in a domestic microwave oven. **Materials Research**, v. 19, n. 2, p. 295-299, 2016.

FUGINO, H. et al. Fabrication and critical currents of thin-film-type $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ intrinsic Josephson junctions. **Physica C**, v. 362, p. 256-260, 2001.

HAMANAKA, K. *et al.* Intrinsic Josephson Junctions in Bi-2212 thin films fabricated by metal-organic decomposition. **Ieee Transactions on Applied Superconductivity**, v. 21, n. 3, p. 168-171, 2011.

KATARIA, N. D. et al. Josephson effects in a constricted bi-sr-ca-cu-o bulk superconductor. **Journal of Physics C - Solid State Physics**, v. 21, n. 15, p. L523-L527, 1988.

POOLE, C. P.; FARACH, H. A.; CRESWICK, R. J. **Superconductivity**. 2ª. Ed. Amsterdam: Elsevier, p. 646, 2007.

SANGMIN, L., JAEHONG, P., GWANGSEO, P., KIEJIN, L. An inhomogeneous Josephson junction array model in HTSC granular bridges. **Superconductor Science and Technology**, v. 9, p. A5-A8, 1996.

TOGANO, K. *et al.* Properties of Pb-doped Bi-Sr-Ca-Cu-O superconductors. **Applied Physics Letters**, v. 53, n. 14, p.1329-1331, 1988.

VEDENEV, S. I. *et al.* Tunneling in the ab plane of the high-T(C) superconductor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ in high magnetic fields. **Physical Review B**, v. 49, n. 14, pp. 9283-9380, 1994.

Recebido: 15 de fevereiro de 2015.

Aprovado: 14 de setembro de 2016.

DOI:

Como citar:

FREITAS, G.Q. et al., Estudo das propriedades elétricas e magnéticas de filmes finos supercondutores do sistema BSCCO tratados termicamente em um forno de micro-ondas, **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, Ponta Grossa, v. 3, n.2, p. 1-19, nov./dez. 2016.

Contato:

Gustavo Quereza de Freitas: gustavo.quereza@ifgoiano.edu.br

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

