



Estudio de la contribución de fluctuaciones térmicas en la conductividad eléctrica del superconductor $\text{Yb}_{0.6}\text{Sm}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Study of the contribution of thermal fluctuations in the electrical conductivity of superconductor $\text{Yb}_{0.6}\text{Sm}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

M. P. Rojas Sarmiento,¹ E. W. Barrera Bello,¹ C.A. Parra V.,^{1,2} D. Martínez B.,^{1,2}
D. A. Landínez Téllez,¹ J. Roa-Rojas¹

¹ Grupo de Física de Nuevos Materiales, Departamento de Física,
Universidad Nacional de Colombia, A.A. 14490, Bogotá DC

² Grupo Física de Materiales, Escuela de Física, Universidad Pedagógica
y Tecnológica de Colombia, Tunja

Recibido 22 de Oct. 2007; Aceptado 2 de sep. 2009; Publicado en línea 30 de oct. 2009

Resumen

Reportamos el análisis de efectos de fluctuaciones en la conductividad eléctrica del superconductor $\text{Yb}_{0.6}\text{Sm}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, a partir de mediciones de resistividad eléctrica. El análisis, mediante el concepto de la derivada logarítmica del exceso de conductividad con respecto a la temperatura, permitió determinar la ocurrencia de regímenes de fluctuaciones Gaussianas 3D y 2D. En un régimen intermedio se observó un exponente característico de fluctuaciones desarrollándose en un espacio de dimensionalidad fractal. Muy cerca de la temperatura crítica T_c se observó un régimen genuinamente crítico descrito por el modelo 3D-XY.

Palabras clave: Fluctuaciones, cupratos, propiedades de transporte

Abstract

We report experiments on conductivity fluctuations in the $\text{Yb}_{0.6}\text{Sm}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ superconductor, by using results of resistivity measurements. The analysis was performed by using the temperature logarithmic derivative concept. Gaussian, 3D and 2D, fluctuation regimes was identified near T_c . An intermediate exponent was determined, which was interpreted as a fractal fluctuation regime. Close to T_c a genuine critical regime was identified, which is good described by the 3D-XY model.

Keywords: Fluctuations, cupratos, transport properties

© 2009 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

Desde el descubrimiento del YBCO en 1987, varias sustituciones han sido realizadas en diferentes sitios del compuesto $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ esperando obtener o mejorar propiedades estructurales y de transporte eléctrico. La transición entre los estados normal y superconductor de esta familia de óxidos superconductores es de segundo orden y, como tal, es fuertemente influenciada por fluctuaciones termodinámicas del parámetro de orden [1] como pares de Cooper fuera del equilibrio en intervalos de temperatura por encima de la temperatura crítica T_c [2]. Este efecto directo de las fluctuaciones térmicas se conoce como paraconductividad [3] y ha

sido bastante estudiado en diversos HTSC policristalinos [4], monocristalinos [5] y en películas delgadas [6]. Sin embargo, en materiales de características estructurales intermedias como los texturizados no se han analizado las contribuciones de las fluctuaciones térmicas a la conductividad eléctrica. En el presente trabajo se muestran resultados experimentales y análisis de las fluctuaciones termodinámicas en la conductividad eléctrica de muestras superconductoras de $\text{Yb}_{0.6}\text{Sm}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ □

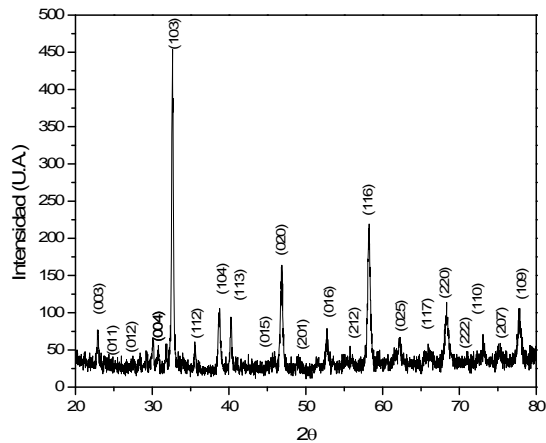


Figura 1: Patrón de rayos x característico de la estructura ortorrómbica de la perovskita $\text{Yb}_{0.6}\text{Sm}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

2. Técnicas experimentales

La muestra de $\text{Yb}_{0.6}\text{Sm}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, fue sintetizada por medio de la técnica de reacción en estado sólido a partir de los óxidos precursores. A partir de la mezcla se prensaron pastillas que fueron calcinadas a 910 °C durante 24 horas, luego fueron pulverizadas y empastilladas de nuevo para sinterización a 910 °C durante 24 horas y finalmente fueron colocadas en flujo de oxígeno a una temperatura de 550 °C durante 48 horas. Las medidas de resistividad fueron llevadas a cabo utilizando la técnica de cuatro puntas equidistantes, usando un nanovoltmetro Keithley 2182A y una fuente de corriente 6221, y los contactos electricos fueron a través de pines amortiguados fabricados en oro. Los análisis de difracción de rayos X fueron hechos utilizando un difractoro Phillips PW1710 con longitud de onda $\lambda = 1.54064 \text{ \AA}$. Los resultados de rayos x indican que el compuesto posee estructura ortorrómbica similar al $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Además se muestra la aparición de una pequeña fracción BaCuO_2 , esta fase no puede reducirse cuando se utiliza la técnica de reacción en estado sólido

3. Resultados y discusión

En la figura 1 se presenta el patrón de difracción de rayos x de una muestra de $\text{Yb}_{0.6}\text{Sm}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. El análisis de dicho patrón permitió determinar los parámetros cristalográficos $a = 3.91 \text{ \AA}$, $b = 3.80 \text{ \AA}$ y $c = 11.68 \text{ \AA}$, correspondientes a una celda perovskita ortorrómbica.

El análisis de los resultados se efectuó obteniendo el exceso de conductividad (contribución de las fluctuaciones a la conductividad) por medio de la relación: $\Delta\sigma = \sigma - \sigma_R$, donde σ es el inverso de la resistividad medida, $1/\rho$, y σ_R es el

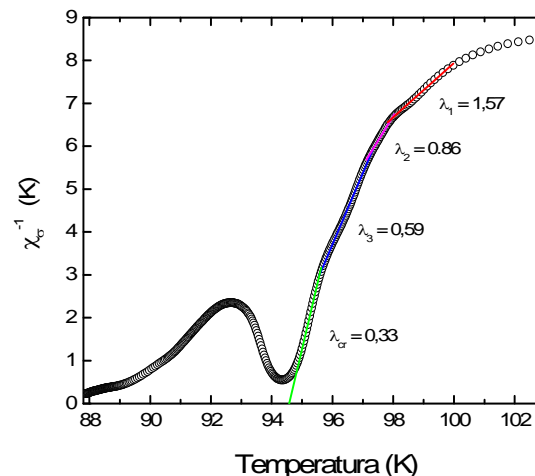
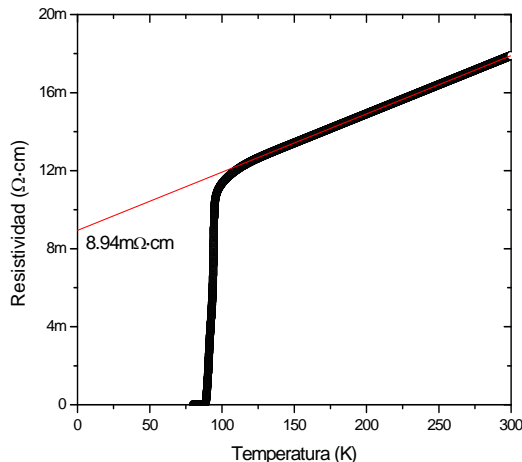


Figura 2: (a) Extrapolación del comportamiento lineal de la resistividad como una función de la temperatura para una muestra de $\text{Yb}_{0.6}\text{Sm}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. (b) Regímenes de fluctuaciones característicos identificados en las proximidades de T_c .

inverso de la resistividad regular, el cual se determina mediante la extrapolación del comportamiento lineal de la resistividad en altas temperaturas, conforme se observa en la figura 2(a).

Suponiendo que $\Delta\sigma$ diverge siguiendo una ley de potencias, de acuerdo con la teoría de Aslamazov-Larkin (AL) [3], $\Delta\sigma = A\varepsilon^{-\lambda}$, donde $\varepsilon = (T - T_c)/T_c$ se define como la temperatura reducida, A es una constante y λ representa el exponente crítico. Para efectos de análisis definimos la derivada logarítmica [4], $\chi_\sigma = -\frac{d}{dT} \ln(\Delta\sigma) = -\frac{1}{\Delta\sigma} \frac{d}{dT} (\Delta\sigma)$, de donde se

tiene que $\frac{1}{\chi_\sigma} = \frac{1}{\lambda}(T - T_c)$. Así, la simple identificación de comportamientos lineales en gráficos χ_σ^{-1} en función de T , permite la determinación simultánea de λ y de T_c del régimen de fluctuaciones. Fueron identificados dos regímenes en ley de potencia, dominados por fluctuaciones Gaussianas [2], caracterizados por los exponentes $\lambda_{3D}=0,59\pm0,02$ y $\lambda_{2D}=0,86\pm0,02$, conforme se observa en la figura 2(b). De acuerdo con la teoría AL [3], los exponentes relevantes de tipo Gaussiano se relacionan con la dimensionalidad d del espectro de fluctuaciones mediante $\lambda=2-d/2$.

La región Gaussiana más próxima de T_c , caracterizada por el exponente λ_{3D} , corresponde a un régimen homogéneo de fluctuaciones desarrollándose en un espacio con geometría tridimensional (3D), puesto que $d=4-2\lambda=4-2(0.59) \approx 3$. En temperaturas ligeramente mayores, el exponente λ_{2D} caracteriza fluctuaciones definidas en un espacio bidimensional (2D), ya que $d=4-2\lambda$, luego, $d=4-2(0.86) \approx 2$. En temperaturas ligeramente mayores, el exponente λ_{1D} caracteriza fluctuaciones definidas en un espacio unidimensional (1D), ya que $d=4-2\lambda$, luego, $d=4-2(1.57) \approx 1$. Cuando la dimensionalidad no es entera de acuerdo a la propuesta de Char y Kapitulnik [7], corresponde a fluctuaciones desarrollándose en un espacio con topología fractal.

De acuerdo con la teoría de Ginzburg-Landau (GL), la longitud de coherencia depende de la temperatura según la

función potencial $\xi(T) = \xi(0)\epsilon^{-\frac{1}{2}}$. Aplicando esta relación a cada uno de los regímenes, con $\xi(0) = 1,5 \text{ \AA}$, se obtienen los valores $3,80 \text{ \AA}$; $5,38 \text{ \AA}$ y $11,58 \text{ \AA}$ para cada uno de los regímenes de fluctuaciones Gaussianas 1D, 2D y 3D, respectivamente. Estos valores pueden compararse con el parámetro estructural c entre dos planos de CuO_2 ($c/2=5.81 \text{ \AA}$), lo cual permite inferir que la superconductividad se establece primero en los planos de CuO_2 , extendiéndose progresivamente a toda la estructura con el aumento en la densidad de superpartículas a medida que la temperatura se acerca a T_c . Una vez alcanzado el orden de largo alcance a nivel planar (régimen 2D), el sistema pasa por un régimen con dimensionalidad intermedia (fractal), hasta que se establece un acoplamiento entre los planos responsables de la superconductividad, obteniéndose orden de largo alcance 3D en el sistema.

En las proximidades inmediatas de la transición se determinó un exponente $\lambda_{CR} \approx 0.33$, que no puede tratarse dentro de la teoría de GL y que corresponde a un régimen genuinamente crítico. Las teorías de escalonamiento estático y dinámico del modelo 3D-XY [7] predicen $\Delta\sigma = \nu(2+z-d) \approx 1/3$, donde $\nu \approx 2/3$ es el exponente crítico de la longitud de coherencia crítica, $z \approx 3/2$ es el exponente crítico dinámico y $d=3$ es la dimensionalidad del sistema.

Agradecimientos:

Este trabajo tuvo el apoyo parcial de COLCIENCIAS: proyecto No. 1101-333-18707 y Centro de Excelencia en Nuevos Materiales, contrato No. 043-2005.

Referencias

- [1]. H.E. Stanley, *Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena*, Oxford: Clarendon Press, 1971, p. 180
- [2]. A.A. Varlamov, M. Ausloos, *Fluctuation Phenomena in High Temperature Superconductors*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1977, p. 3-41
- [3]. L.G. Aslamazov, A.I. Larkin, *Soviet Physics Solid State* 19, 875 (1968)
- [4]. P. Pureur, R.M. Costa, P. Rodrigues Jr., J. Schaf, J.V. Kunzler, *Phys. Rev. B* 47, 11420 (1993)
- [5]. R. Menegotto Costa, P. Pureur, L. Ghivelder, J.A. Campá, I. Rasines, *Phys. Rev. B* 56, 10836 (1997)
- [6]. J. Roa-Rojas, P. Prieto, P. Pureur, *Mod. Phys. Lett. B* 15, 1117 (2001)
- [7]. K. Char and Kapitulnik, *Z. Phys. B* 72, 253 (1988).