

SUSCEPTIBILIDAD, RESISTIVIDAD Y GAP SUPERCONDUCTOR EN $\text{Bi}_{1.75}\text{Pb}_{0.25}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$

B. Madhu Sudhana, B. Jagannadha Reddy, B. Srinivasulu Naidu, P. Jayarama Reddy,
Department of Physics, Sri Venkateswara University, Tirupati-517502, India.

N.E. Massa,
Programa QUINOR, Departamento de Química y Departamento de Física,
Universidad Nacional de La Plata, C.C 962, 1900 La Plata.

L. Botto.
Programa QUINOR, Departamento de Química, Universidad Nacional de La Plata,
C.C. 962, 1900 La Plata.

En el presente trabajo discutimos medidas de susceptibilidad, resistividad y espectros infrarrojos del cerámico $\text{Bi}_{1.75}\text{Pb}_{0.25}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$, superconductor a 105 K. La caracterización por difracción de rayos-X indica que la fase Bi-2223, con tres planos de CuO_2 , es mayoritaria mientras que las conocidas como Bi-2212 y Bi-2201, con dos y un plano respectivamente, son solamente minoritarias. Las medidas de resistividad de Bi-2223 demuestran un comportamiento metálico entre 303 K y 110 K el que comienza a descender a 115 K, resultando igual a cero a 105 K. La señal diamagnética se satura a 105 K. Un abrupto umbral en el espectro de absorción infrarrojo-diferencia debido al estado superconductor es detectado a partir de la medición de espectros de absorción a temperatura ambiente, 110 K y 20 K. De la diferencia entre los dos primeros se verifica el condensado superconductor, y por consiguiente la presencia de por lo menos un gap superconductor, alrededor de 400 cm^{-1} , están presentes en este compuesto a 110 K.

I. INTRODUCCION

En el sistema Bi-Sr-Ca-Cu-O se han identificado tres fases superconductoras^{1,2,3}, caracterizadas como fase Bi-2201 ($T_c=10\text{ K}$), fase Bi-2212 ($T_c=85\text{ K}$) y fase Bi-2223 ($T_c=110\text{ K}$), presentando capas simples, dobles o triples de planos CuO_2 ubicadas entre planos sucesivos Bi_2O_2 . La fase Bi-2223 usualmente resulta difícil de sintetizar⁴, sin embargo, la adición de Pb conjuntamente con un largo período de calentamiento incrementa la proporción de la fase mayor T_c ^{5,6}.

En la presente comunicación comentamos medidas de resistividad, susceptibilidad y la detección del gap superconductor por medio de medidas en el infrarrojo en el compuesto $\text{Bi}_{1.75}\text{Pb}_{0.25}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ perteneciente a la variedad Bi-2223 con tres planos superconductores.

II. PARTE EXPERIMENTAL

Muestras de la estequiometría citada han sido preparadas por reacción en estado sólido, utilizando los correspondientes óxidos de bismuto, plomo y cobre, así como los carbonatos de calcio y estroncio en la relación adecuada. El calentamiento se realizó al aire, en crisol de platino a una temperatura de $855\text{ }^\circ\text{C}$, durante 100 horas, con

moliendas sucesivas. El tamaño de partícula fue de $100\text{ }\mu$. A continuación se prepararon pellets, que fueron sometidos a un tratamiento térmico adicional a $845\text{ }^\circ\text{C}$ durante 72 hrs.

La caracterización por difracción de rayos X (DRX) se realizó en un difractómetro Philips, usando radiación $K\alpha'$ de Cu y filtro Ni. Las medidas de resistividad se realizaron sobre la muestra sintetizada, en el rango de temperatura entre 303 K y 70 K. La variación de susceptibilidad con la temperatura se registró a 317 Hz y 0.05 De entre 303 K y 60 K aprox. Los espectros de infrarrojo fueron medidos a temperatura ambiente y a bajas temperaturas empleando un interferómetro Bruker 113 V y un espectrómetro Perkin Elmer 580B con la muestra posicionada en el dedo frío de un crióstato Oxford DN1475 y de un sistema criogénico Displex respectivamente.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

El diagrama de DRX de una mayor muestra sintetizada a $845\text{ }^\circ\text{C}$ durante 72 hs. se muestra en la Fig. 1. La mayor parte de las reflexiones observadas son características de la celda ortorrómbica con parámetros $a=0.3866\text{ nm}$, $b=0.3753\text{ nm}$ y $c=3.6566\text{ nm}$, consistentes con los previamente reportados⁷.

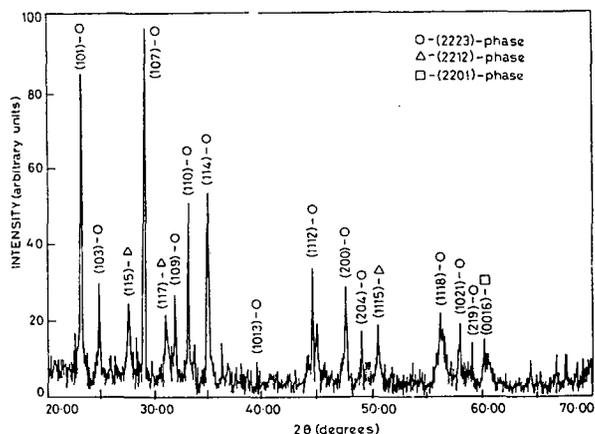


Fig. 1. Diagrama de difracción por rayos X de la muestra analizada.

En la figura también pueden verse las líneas débilmente intensas correspondientes a las fases Bi-2212 y Bi-2201 respectivamente, lo que muestra que estas dos últimas fases se encuentran en una muy pequeña proporción.

Por otra parte, la variación de la resistividad con la temperatura, para una muestra típica puede apreciarse en la Fig. 2. Se observa un comportamiento de tipo metálico entre 303 y 110 K, comenzando a disminuir aproximadamente 115 K y resultando igual a cero a 105 K.

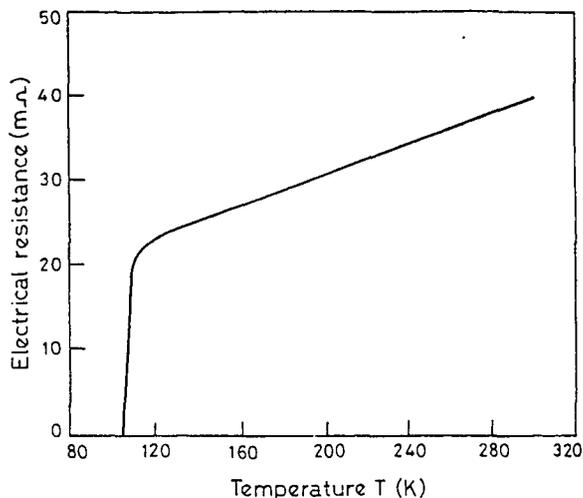


Fig. 2. Variación de la resistividad con la temperatura para $\text{Bi}_{1.75}\text{Pb}_{0.25}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$.

La variación de susceptibilidad con la temperatura, desde la ambiente hasta 70 K, se muestra en la Fig. 3. El comportamiento paramagnético de las mayores temperaturas cambia bruscamente a diamagnético a 115 K. La señal diamagnética se satura a 105 K.

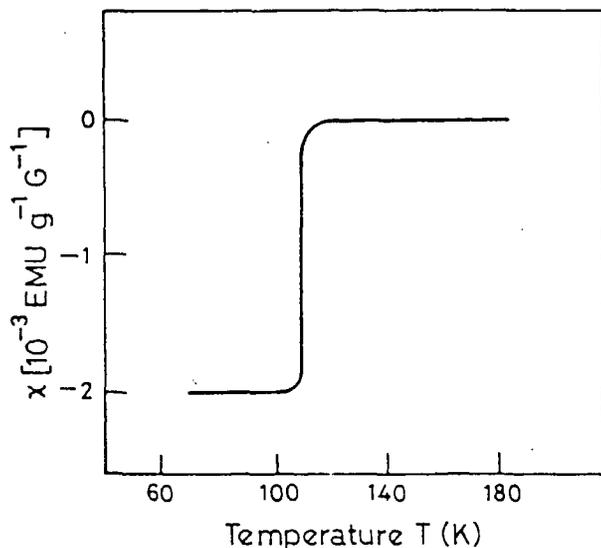


Fig. 3. Variación de la susceptibilidad en función de la temperatura.

Desde el punto de vista de la espectroscopia de absorción infrarrojo, los espectros corresponden al conjunto de microcristales distribuidos al azar en una matriz de CsI. Así, superpuesta a la contribución de los portadores de los planos CuO_2 se observa estructura de los fonones activos con el campo paralelo al eje cristalino c. De estos últimos el más notable es el originado por las capas constituidas por el arreglo de los poliedros piramidales CuO_5 . Como lo muestra la Fig. 4 se localiza a 606cm^{-1} en el espectro registrado a 20 K.

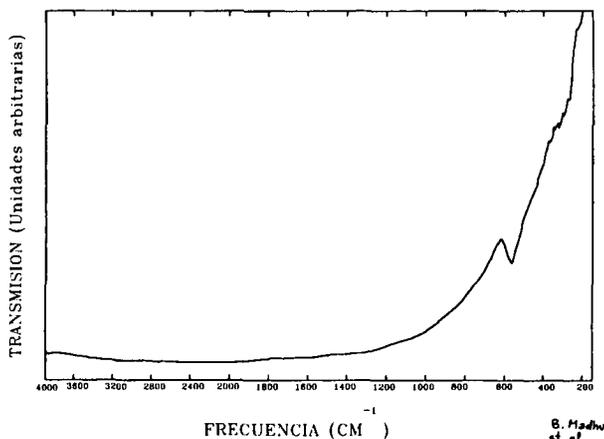


Fig. 4. Típico espectro de transmisión en el infrarrojo medio a 20 K.

Cuando la temperatura llega a la transición superconductor, la conductividad óptica $\sigma_1 = \omega \epsilon_2 / 4\pi$ presenta un umbral que se correlaciona con el cambio esperado en la función dieléctrica correspondiente al estado superconductor. La Fig. 5

muestra el espectro diferencia calculado a partir del medido a temperatura ambiente y el registrado a 110 K. la disminución de la absorción comienza alrededor de 1000 cm^{-1} , llegando a un mínimo en la región de 400 cm^{-1} señalando así la abertura de un gap. Este comportamiento contrasta con el espectro infrarrojo-diferencia registrado entre 110 y 20 K, Fig. 5b donde solamente hay un ligero cambio en la pendiente que podría ser atribuido a la presencia de la fase impureza Bi-2212 ($T_c=85\text{ K}$). Este tipo de comportamiento, en esta región del espectro, es característico de superconductores con temperatura crítica alrededor de 90 K. El hecho de que este comportamiento sea observado a temperaturas mayores a la de transición, denotaría efectos precursores en la condensación de pares a temperaturas mayores que T_c por lo tanto la ruptura de pares podría estar solamente indirectamente relacionada con la abrupta caída de σ_1 alrededor de 400 cm^{-1} .

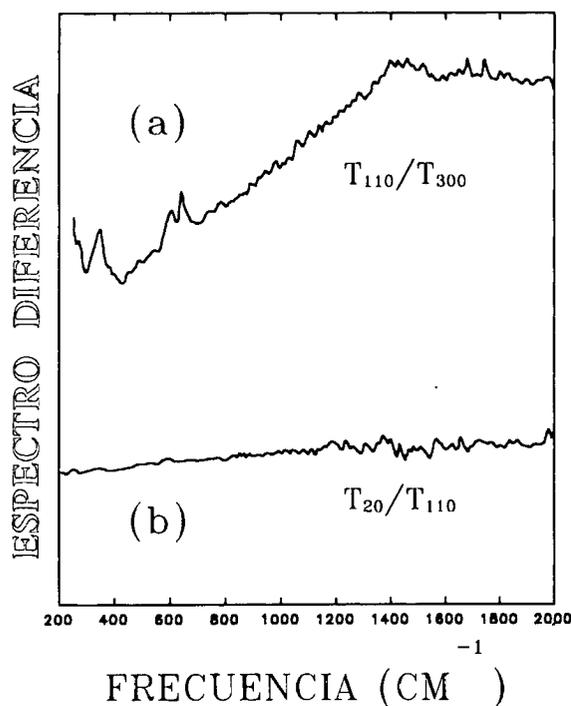


Fig. 5. (a) Espectro diferencia-infrarrojo de Bi-2223 calculado a partir de los espectros tomados a 300 K Y 110 K. (b) Idem entre 110 K y 300 K.

Por otro lado también es interesante comparar el cociente entre el espectro del material en el estado normal y el superconductor, con aquellos obtenidos con films delgados de material con alta T_c y con superconductores convencionales. En nuestro caso, no obstante tener como ya mencionamos, el efecto neto del promediado en todas direcciones incluidas el plano **ab** la variación dieléctrica de los planos es

tal que permite inferir un comportamiento superconductor similar al presentado en sistemas similares. Esto permite arribar a conclusiones semejantes a las obtenidas por Williams et al en Nb_3Ge y films de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.⁸ La Fig. 6 muestra el espectro cociente, T_s/T_n , de la muestra estudiada donde se puede delinear una envolvente gaussiana parecida a lo obtenible por un análisis Mattis-Bardeen para un superconductor clásico. Las diferencias observables pueden ser atribuidas a la presencia de los fonones de energías similares debido al carácter policristalino de la muestra. La estructura y por ende las adsorciones extras, implican localización de portadores residuales al aumentarse la interacción electrón residual (normal)-fonón al bajar la temperatura y que se manifiesta como valles en el cociente de los dos espectros. Así, con el mismo set de datos se llega a la imagen de la abertura de por lo menos un gap alrededor 400 cm^{-1} en un proceso en el cual los fonones (y spines) juegan un rol todavía a determinar.

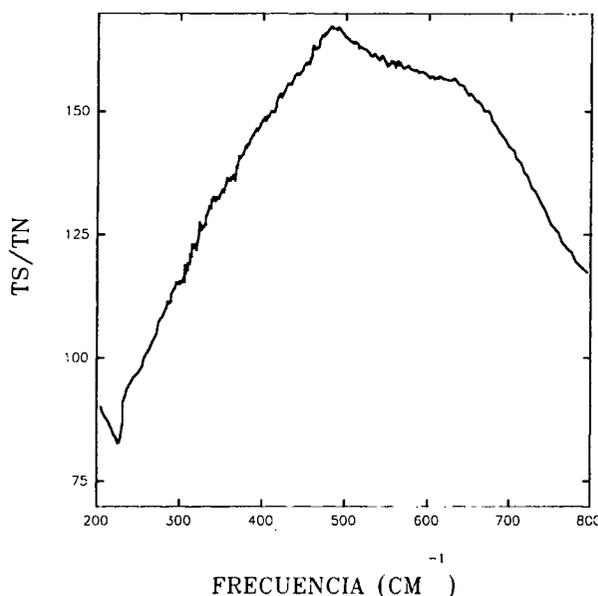


Fig. 6. T_s/T_n para Bi-2223 obtenido de la muestra policristalina discutida en el texto.

Concluyendo, en muestras bien caracterizadas de Bi-2223 se detecta un abrupto umbral en el espectro de absorción infrarrojo-diferencia debido al comportamiento de la conductividad óptica en el estado superconductor, a partir de la medición de los espectros de absorción a temperatura ambiente, 110 K y 20 K. De la diferencia entre los dos primeros se verifica que el condensado superconductor, y por consiguiente, la presencia de por lo

menos un gap superconductor,(ver original) a alrededor de 400 cm^{-1} es totalmente establecido en este compuesto a 110 K.

REFERENCIAS

1. Maeda, Y. Tanaka, M. Fukutomi y T. Asano, Jpn J. Appl. Phys. **27**, L 209 (1988).
2. C. Michel, M. Herrien, M.M. Borel, A. Grandin, F. Deslandes, J. Provost y B. Raveau, Z. Phys.B **68**, 421 (1987).
3. J. Emmen, "*Bismuth Based Ceramic Superconductors*". Doct. Thesis, Eindhoven University, 1992.
4. Y. Tanaka, M. Fukutomi, T. Asano y H. Maeda, Jpn. J. Appl. Phys. **27**, L548 (1988).
5. T. Ishida, T. Sakuma, T. Sasaki y Y. Kawada, Jpn. J. Appl. Phys. **28**, L559 (1989).
6. S.X. Dou, H.K. Liu, S.J. Guo, K.E. Easterling y J. Mikael, Supercond. Sci. Technol. **2**, 274 (1989).
7. F. Shi, T.S. Rong, S.Z. Zhou, X.F. Wu, J. Du, Z.H. Shi y N.C. Shi, Phys. Rev. B. **41**, 6541 (1990)
8. G.P. Williams, R.C. Budhani, J.C. Hirschmugl, G.L. Carr, S. Perkowitz, B. Lou y T.R. Yuong, Phys. Rev. B **41**, 4752 (1990).