

# EFFECTO DE UNA CORRIENTE CONTINUA EN LOS ESPECTROS RAMAN DE DOS MAGNONES EN $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+\delta}$

N.E.Massa.

*Departamento de Química y Departamento de Física, Universidad Nacional de La Plata, CC962, 1900 La Plata.*

P.G.Etchegoin y C. Fainstein.

*Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro, Comisión Nacional de Energía Atómica y Universidad de Cuyo, CC 439, 8400 San Carlos de Bariloche.*

Es conocido que los óxidos superconductores de alta temperatura tienen como característica principal el orden antiferromagnético de los planos de  $\text{CuO}_2$ . Esto permite detectar, con técnicas comunes a espectroscopía Raman, scattering inelástico de pares de magnones como una banda ancha centrada alrededor de  $2500 \text{ cm}^{-1}$ .

En esta comunicación presentamos medidas preliminares de dichas excitaciones en pastillas superconductoras de Bi-2212 nominalmente puras y semiconductoras dopada con Fe bajo una corriente DC a temperaturas inferiores a  $T_c$ . Encontramos que bajo estas condiciones aumenta el ancho medio a media altura del perfil aproximadamente simétrico de la banda de dos magnones de la pastilla pura y que del lado de más altas frecuencias hay un significativo incremento en su intensidad. Estas medidas sugieren una explicación según la cual los portadores involucrados en la corriente continua afectarían la interacción de intercambio a través de una interacción electrón magnón.

Los cupratos óxidos superconductores de alta  $T_c$  se caracterizan por el orden antiferromagnético en los planos de  $\text{CuO}_2$ , así como por cierto grado de desorden de los oxígenos. En esa configuración cuasi-bidimensional es donde se manifiesta la superconductividad y por ende la correlación antiferromagnética podría jugar algún rol en el mecanismo responsable del apareamiento de portadores. La presencia de antiferromagnetismo permite que el scattering de dos magnones, proceso de segundo orden, pueda ser detectado por técnicas estándar usadas en espectroscopía Raman. La frecuencia Raman está dada por  $\omega_s = \omega_l \pm (\omega_q^m + \omega_{-q}^m)$ , la línea Stokes corresponde a dos subniveles de espín mas arriba del original y la antiStokes a dos mas abajo, con  $\Delta S_z = 0$ , y donde  $q$  puede tomar cualquier valor de la zona de Brillouin, dando lugar a un perfil de densidad de estados de dos magnones con interacción magnón-magnón.<sup>1</sup> Esto da lugar a una banda ancha y un tanto asimétrica, centrada alrededor de  $2500 \text{ cm}^{-1}$ , común a todos los óxidos de cobre. En monocristales<sup>2</sup> dicha banda se puede desdoblar en dos componentes. Una de simetría  $B_{1g}(D_{4h})$ , que es activa debajo de  $T_c$ , mostrando que el orden antiferromagnético de corto alcance está presente en el estado superconductor, y otra que corresponde a un fondo muy ancho alrededor de  $4000 \text{ cm}^{-1}$ , de origen no claro, que es activa a temperaturas

mayores que  $T_c$  y que practicamente desaparece debajo de esta temperatura. En el presente estudio la banda en cuestión es una superposición de ambas debido al caracter policristalino de las muestras.

Por otro lado, nosotros recientemente también puntualizamos<sup>3</sup> que bajo el efecto de una pequeña corriente continua se podía inducir una banda de absorción muy débil en el espectro de reflectividad infrarroja de  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+\delta}$  a  $3200 \text{ cm}^{-1}$  y a  $24\text{K}$ . Como estos valores de la frecuencia corresponden a la misma magnitud en los que la banda de dos magnones es más intensa, cabe preguntarse cuál es el efecto de una corriente en el espectro Raman, contraparte del infrarrojo, a bajas temperaturas.

Con este fin se obtuvieron espectros Raman en incrementos de  $10 \text{ cm}^{-1}$ , a partir de pastillas policristalinas, con un espectrómetro Spex-Ramalog con cuentas de fotones estándar. Se verificó la homogeneidad de las muestras tomando espectros en diferentes puntos de la superficie de las mismas.

Las muestras con contactos de pintura de plata e hilos de cobre y dimensiones típicas de  $10 \times 6 \times 2 \text{ mm}^3$ , fueron medidas montadas en el dedo frío de un sistema criogénico Displex. En todos los casos, la densidad de corriente máxima usada no superó los  $8 \text{ mA/mm}^2$  ( $I \leq 90 \text{ mA}$ ).

En la presente comunicación mostramos los resulta-

dos de tres pastillas con comportamientos resistivos disímiles. Una, correspondiente a  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+\Delta}$  (Bi-2212), con una transición superconductoramente muy bien definida; otra, también pura, con una transición muy ancha (resistencia cero a 45K), denotando la presencia de otras fases además de la de dos planos característica de Bi-2212, y una tercera, en la que se buscó una modificación semiconductormente extrema introduciendo en la composición inicial un 20% de hierro en reemplazo de cobre. Esta introducción de impurezas produce una resistencia de tipo semiconductormente en el rango de 4K a 300K. En los tres casos la banda de scattering Raman de dos magnones es distintiva, indicando la presencia de correlaciones antiferromagnéticas aún para dopajes muy altos. Este resultado está de acuerdo con la caracterización de esas muestras por rayos x, que indica que el reemplazo de cobre por hierro induce la fase con  $n=1$  a expensas de la  $n=2$ , lo que a su vez indica que se conserva la topología planar.<sup>4</sup>

La figura 1 muestra el espectro para la primera pastilla policristalina a 24K., en el que se observa, una vez aplicada la corriente, un corrimiento de la posición pico de la banda hacia frecuencias más altas. En términos de la interacción de superintercambio  $J_{\text{exch}}$ , que puede ser estimada con la relación  $\omega_{\text{max}} = 2,7 J_{\text{exch}}$ , calculada a partir de un modelo de Heisenberg,<sup>5</sup> esto implica un incremento de  $J_{\text{exch}} \cong 850 \text{ cm}^{-1}$  a  $J_{\text{exch-DC}} \cong 1400 \text{ cm}^{-1}$ . Cabe notar que se observa el mismo efecto usando la línea 4880 Å o la 5145 Å del láser de argón, lo que sugiere que no es debido a un fenómeno resonante gatillado por la presencia de portadores móviles bajo los efectos de una corriente continua. Teniendo en cuenta que la potencia del láser después del monocromador de filtrado de las líneas del plasma es de 30 mW, nosotros creemos que, a pesar del calentamiento puntual implícito debido a la incidencia del haz de luz sobre la pastilla, ésta todavía está a una temperatura inferior a la de transición superconductoramente. También descartamos un posible calentamiento de la muestra debido a la resistencia finita de los contactos, ya que esto resultaría en un ensanchamiento y disminución de intensidad de la banda de dos magnones respecto de la medida sin corriente. Es también de descartar que la respuesta observada corresponda a regiones aisladas de la muestra, porque debería esperarse un desdoblamiento del pico y no el observado corrimiento en frecuencia, en cuanto aquellas partes no afectadas por el paso de la corriente mantendrían el valor original de la interacción de superintercambio.

La figura 2a muestra el resultado típico para la pastilla con un ancho de transición de unos 35K. A diferencia del caso discutido en el párrafo precedente, no hay un cambio en frecuencia del pico de dos magnones, sino un leve aumento en su ancho medio a media altura, acentuándose quizás la asimetría del lado de mayor energía. Para el caso de la muestra dopada con 20% de hierro, mostrado en la figura 2b, este efecto, si es que está presente, está dentro del error estadístico de la medida. Considerando que estos dos últimos espectros corresponden a muestras en que el comportamiento resistivo y la caracterización por rayos x indican la presencia de otras fases, además de la  $n=2$  (en el caso de la muestra con impurezas de hierro la topología mayoritaria corresponde a la de  $n=1$ ), el espectro sugiere que los defectos juegan un rol menor en los resultados correspondientes a la pastilla superconductoramente y que el corrimiento en frecuencia es un efecto intrínseco de la misma.

Así, concluimos que el comportamiento encontrado en nuestras medidas preliminares bajo una corriente continua, distintivo de la muestra Bi-2212 superconductoramente, se debe probablemente a la mayor movilidad y a la mayor población de portadores libres en estados hibridizados Cu-3d, O-2p, originados porque alguna interacción electrón (vacancia)-magnón determina un incremento en la interacción de superintercambio. Por otra parte, la verificación de estas mediciones en monocristales es altamente deseable, necesaria, y está dentro de nuestros planes.

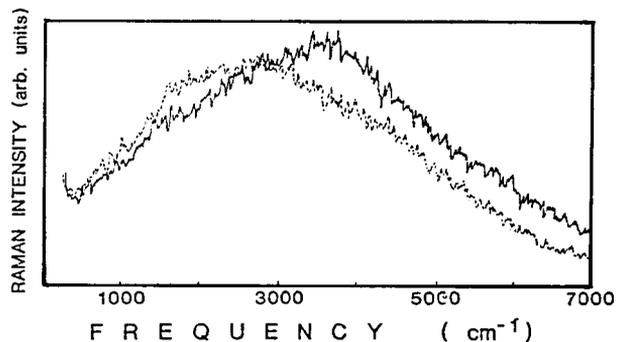


Figura 1. Scattering de dos magnones en  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+\Delta}$  sin corriente (guiones) y tomada bajo una corriente continua ( $\cong 8 \text{ mA/mm}^2$ ). La temperatura nominal es 24K.

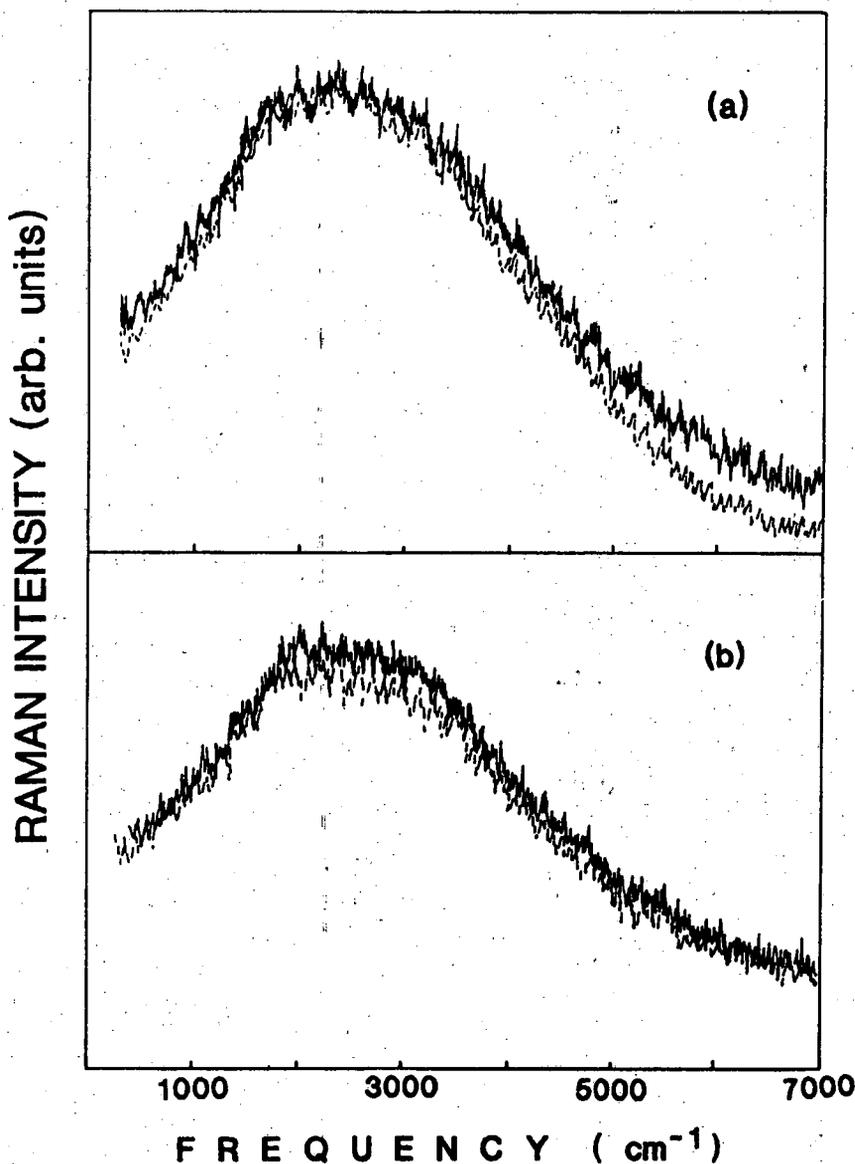


Figura 2. a) Scattering de dos magnones de una pastilla de Bi-2212 con una resistencia cero solamente a 45K. (guiones) sin corriente; (línea llena) con corriente ( $\approx 5$  mA/mm<sup>2</sup>). La temperatura nominal es 24K.

b) Scattering de dos magnones en una pastilla de composición inicial Bi<sub>2</sub> Sr<sub>2</sub> Ca<sub>1</sub> (Cu<sub>0.80</sub>Fe<sub>0.20</sub>)<sub>2</sub>O<sub>8+Δ</sub>. (guiones) sin corriente; (línea llena) con corriente ( $\approx 5$  mA/mm<sup>2</sup>). La temperatura nominal es 24K.

## REFERENCIAS

- 1.- J.M.Calleja, Raman Spectroscopy and Phase Transition in Solids, en Curso de Espectroscopia Raman, Universidad de Zaragoza, Jaca (Huesca) 1983.
- 2.- C. Thomsen and M. Cardona, Raman Scattering in High-T<sub>c</sub> Superconductors, en "Physical Properties of High-Temperature Superconductors", Ed. D.M. Ginsberg (World Scientific, Singapur) 1989 y referencias allí incluidas.
- 3.- P.Etchegoin, C.Fainstein y N.E. Massa. Proc. of the International Conference on Transport Properties of Superconductors, ICTPS'90, Ed. R.Nicolisky (World Scientific, Singapur), en prensa.
- 4.- S.Duhalde, comunicación privada.
- 5.- J.B. Parkinson, J.Phys. C2, 2012 (1969).