

8. Cu-NQRによる酸化物超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の電氣的・磁氣的性質の研究

中村有希

1 序論

酸化物高温超伝導体である $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ は図1のような K_2NiF_4 型構造を持つ。 La_2CuO_4 では $\text{Cu}^{2+}(3d^9)$ でスピン $\frac{1}{2}$ が各 Cu サイトに局在した反強磁性である。

La^{3+} を Sr^{2+} で置換することにより反強磁性秩序は急速に壊され、約 $X=0.02$ で消失する。超伝導は $0.05 < X < 0.30$ の範囲でのみ現れ¹⁾ $X=0.15$ で最高の 39K に達する(図2)。反強磁性秩序状態では Cu は磁気モーメントを持ち、超伝導状態では超伝導電子は CuO 面内に存在する。酸化物高温超伝導の発現機構が従来の BCS 理論の枠内にあるのか、あるいは超伝導に隣接する反強磁性が超伝導と本質的な関連があるのかを調べるために Cu の NQR (核四重極共鳴) の測定を行った。

2 実験

電気四重極モーメントが電場勾配と相互作用し分裂したエネルギー準位間の遷移を NQR によってゼロ磁場でも観測することができる。本研究においては、超伝導状態から $X=1.0$ までの広い範囲で Cu の NQR spectrum を測定し、スピン-格子緩和時間、スピン-スピン緩和時間の温度変化を調べた。また、La 系では Sr 濃度の低い領域での絶縁体から超伝導、金属と Sr 濃度によって電子状態が変化するので、各濃度での電気抵抗の温度変化もあわせて測定した。

3 実験結果

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ($0 \leq X \leq 1.0$) の試料の電気抵抗の温度変化を測定した結果 $0 \leq X \leq 0.05$ では、低温で金属から絶縁体に転移する。 $0.05 < X < 0.30$ では超伝導が現れ、 $0.30 \leq X \leq 0.60$ では金属的である。 $0.80 \leq X \leq 1.0$ では再び局在性が強くなり室温から低温まで半導体的である。

$0.12 \leq X \leq 0.80$ で得られた Cu の NQR spectrum は図3のように $0.12 \leq X \leq 0.30$ の範囲では三本のピークを持つ²⁾。これは ^{63}Cu と ^{65}Cu のペアが接近して二組 (Line A, B) 重なっているためである。Sr 濃度を高くすると、しだいに近づき $X \geq 0.40$ では一組しか見えなくなる。また、 $0.40 < X < 0.60$ では 26MHz に Line C が現れる。これから電場勾配が異なる複数の Cu サイトがあることが解った³⁾。この原因は微視的な酸素欠損があるために、その周りの Cu サイトにできる電場勾配が変化することからである。 K_2NiF_4 型構造では Cu は6個の酸素によって八面体的に囲まれているので四重極共鳴周波数の変化を示した図4における Line A は6個全ての酸素が配位した Cu の信号で、図3のように信号強度は相対的に小さくなる。Sr 濃度が高いほど酸素欠損は多くなるので、 $X > 0.40$ では Line A はほとんど観測されなくなる。

$X=0.20$ において、スピン-格子緩和時間 T_1 は BCS 理論から期待される T_c 直下の増大はない(図5)。 T_c 以上では T_1 は非常に短く金属状態を示すコリンハの関係 $T_1 T^{-1} = \text{const.}$ も満たさない。 $0.30 \leq X \leq 0.60$ の金属領域では図6のようにコリンハの関係が成り立ち、 $X > 0.40$ では一定である。Sr 濃度が小さいほど常伝導状態の $T_1 T^{-1}$ が大きいので反強磁性的揺らぎが大きくなると考えられる。

$X \geq 0.80$ では電気抵抗は半導体的であるが、緩和率は図7のように低温で増大する。

これは伝導電子が再び少なくなると局在しスピンの低温で磁気秩序状態になることを示唆している。

参考文献

- 1) J. B. Torrance, A. Bezing, A. I. Nazza, T. C. Huang, S. S. P. Parkin, D. T. Keane, S. J. LaPlace, P. M. Horn and G. A. Held : Phys. Rev. B40 (1989) 8872
- 2) Y. Nakamura and K. Kumagai : Physica C 161 (1989) 265
- 3) K. Yoshimura, T. Imai, T. Shimizu, Y. Ueda, K. Kosuge and H. Yasuoka J. Phys. Soc. Jpn. 59 (1989) 3057

図 1

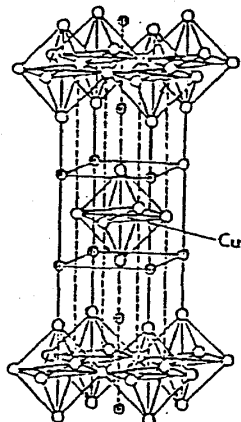


図 2

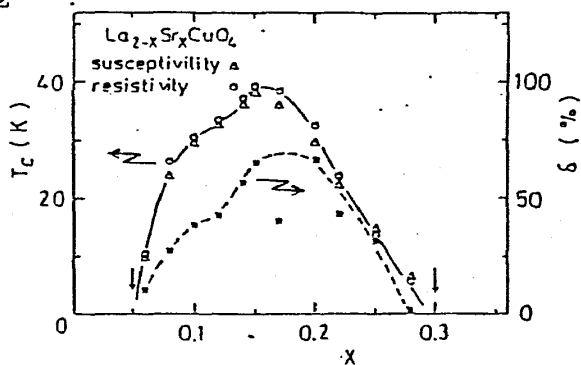


図 3

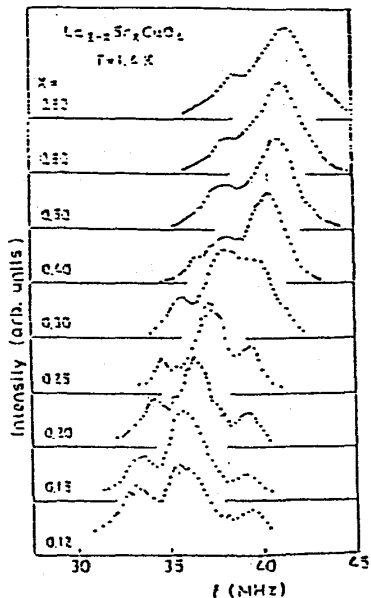


図 4

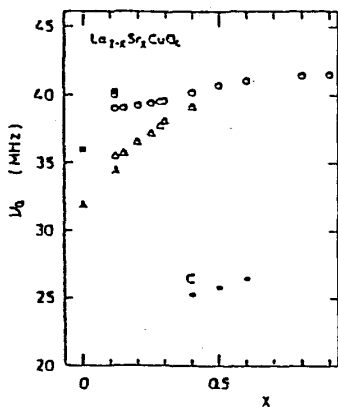


図 5

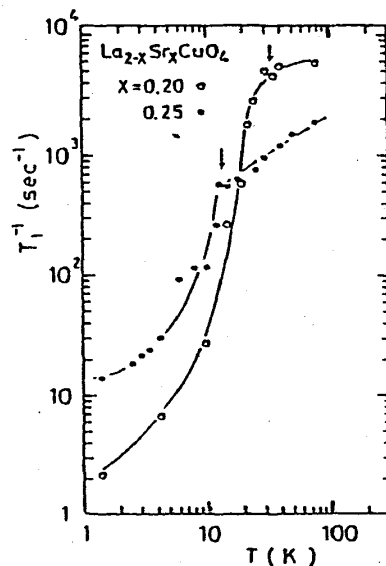


図 6

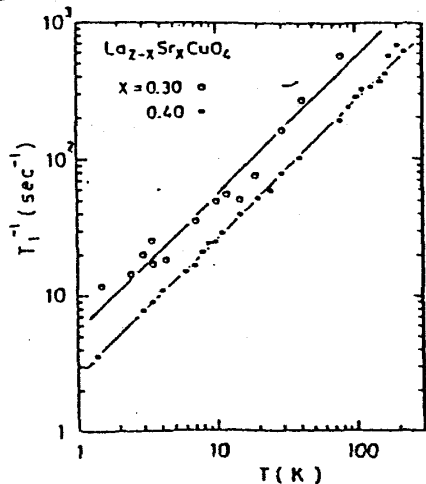


図 7

