

LSCO最適組成Ni置換試料における E_{cross} ピークの検証

Investigation of E_{cross} peak in the Ni-doped high- T_c superconductor LSCO

利用者 松浦 直人¹⁾、 脇本 秀一²⁾
Masato Matsuura Shuichi WAKIMOTO

所属 ¹⁾東北大学金属材料研究所、 ²⁾原子力機構

キーワード 高温超伝導、砂時計型磁気励起、磁性同位体効果、偏極中性子非弾性散乱

1. 目的

ホールドープ系高温超伝導銅酸化物では砂時計型の分散を持つ磁気励起が共通して観測されているが^{1,2)}、その起源や高温超伝導のメカニズムとの関わりは未だ明らかではない。そのような関わりを探る上で、不純物置換、特にCuサイトのZn, Ni置換は、キャリア数、格子系にほとんど影響を与えずに磁性(スピン)を変え、 T_c を制御できる為、有効な実験手法である。最近、我々は高温超伝導銅酸化物 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO)系最適ドープ組成の磁気励起に対するNi置換効果を調べ、砂時計型の磁気励起の分散がくびれる部分にあたるエネルギー E_{cross} ($\sim 40\text{meV}$)が T_c に比例して低エネルギー側にシフトする事を明らかにしてきた³⁾。CuをNiで置換する事により低エネルギーにシフトする E_{cross} 付近のピークの起源が磁気的である事は、温度依存性、 Q 依存性などから検証したが、最も直接的で、最終的な検証は偏極非弾性中性子散乱実験を行うことである。今回、 E_{cross} 付近の励起ピークの起源について確かめる為にNiを置換したLSCO単結晶試料について偏極中性子非弾性散乱実験を行った。

2. 方法

試料はLSCO最適ドープ組成(Sr:15%)におけるCuをNiで4%置換した試料を用いた。Ni4%置換により T_c は0 K付近まで抑制される事から、もし E_{cross} が T_c に比例するのであれば比較的測定が容易な0 meV付近において反強磁性ゾーンセンター(p,p)に弾性散乱として観測することが出来る。本実験では、E=0から20meVまでの磁気励起の測定を試みた。今回の測定では、非常に中性子ビーム強度が小さく実験の難しい偏極非弾性散乱実験を行うため、2cc(8f×40mm)の良質単結晶を4本育成し、結晶の軸を揃えることにより8ccの単結晶試料に相当する非常に大型の単結晶試料を用意した(図1)。また、偏極非弾性散乱実験は純粋に磁気的な成分を取り出す為、中性子のスピンを波数ベクトル Q と平行に向け(図2)、 $T=4\text{K}$ において測定を行った。



図1 Ni4%-LSCO単結晶試料

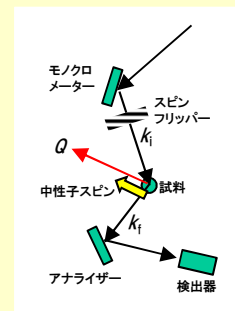


図2 偏極中性子実験条件

3. 実験結果

弾性散乱条件($E=0\text{meV}$)において、 $(1/2 \pm 0.1, 1/2, 0)$ 、 $(1/2, 1/2 \pm 0.1, 0)$ に位置する格子非整合なピークと、反強磁性ゾーンセンター $(1/2, 1/2, 0)$ に位置する格子整合な磁気ピークが存在することを偏極モードにより明らかにした。さらに非弾性散乱においても、励起エネルギー2 meV、18 meVにほぼ同じ Q に磁気励起ピークがある事を見出した。これら位置の変わらない磁気的なピークは、 $0 < \omega < 18$ meVにエネルギー分散のない磁気励起ピークが連続的に存在している事を示している。格子非整合な Q に現れるエネルギー分散のない低エネルギー磁気励起は高温超伝導体LSCO系の超伝導組成における特徴であるが、Ni4%置換した試料では格子非整合なピークに加えて格子整合なピークもエネルギー0から18 meVまで連続的に存在している事が明らかになった。

4. まとめ

Niを置換していないLSCO試料($T_c \sim 38\text{K}$)では、このような格子整合なピークは40meV付近より高エネルギーで観測されている。また、我々は3%のNi置換により、このピークが T_c の低下($T_c = 12\text{K}$)に比例して30meVまで低下することを非偏極中性子散乱実験により既に明らかにしている³⁾。今回の4% Ni置換試料に対する偏極中性子非弾性散乱実験から、さらなる T_c の低下($T_c \sim 0\text{K}$)によって格子整合なピークがエネルギー0まで低下した事が明らかになった。この事は、Ni置換が格子整合なピークの現れる最低エネルギーと超伝導転移温度 T_c を線形な関係を保ちながら低下させている事を示唆している。このNi置換による磁気励起エネルギー及び T_c に対する振る舞いはBCS超伝導体における同位体効果と非常に類似している。BCS超伝導体の同位体置換では、中性子数の違いから質量の異なる同位体を置換する事により T_c が質量 M のべき乗に反比例して減少する($T_c \sim 1/M^a$; $a \sim 0.5$)。質量 M が大きくなる事によりフォノン周波数は低下($f \sim 1/M^{0.5}$)する事から、クーパー対の生成にフォノンが重要な役割を果たしている事を示しており、同位体効果の発見はBCS理論の構築に重要な役割を果たした。Ni²⁺のスピン量子数($=1$)はCu²⁺の1/2より大きく、格子系の同位体効果と同様にスピン系の磁気励起を遅くする可能性がある。そのようなマグノンの周波数の低下が、LSCO系のみならず⁴⁾、他の代表的な高温超伝導銅酸化物YBCO系においても T_c と線形な関係が確立している⁵⁾ 格子整合なピークに対して起こっていることは非常に興味深い。これらの事は、高温超伝導におけるクーパー対生成に格子非整合な反強磁性揺らぎが重要な役割を果たしている事を強く示唆している。

5. 引用(参照)文献等

- 1) J. M. Tranquada et al., Nature **429** (2004) 6991.
- 2) S. M. Hayden et al., Nature **429** (2004) 6991.
- 3) M. Matsuura et al., J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) 114703.
- 4) M. Matsuda et al., Phys. Rev. Lett. **101** (2008) 197001.
- 5) P. Dai et al., Phys. Rev. B **63** (2001) 54525.