

鉄を高濃度置換した高温超伝導体の低温構造

Low temperature structure of
heavily Fe-substituted high- T_c superconductor茂筑 高士¹⁾ 畑 慶明²⁾ トルスン ウルニサ³⁾ 星川 晃範³⁾ 井川 直樹⁴⁾

Takashi MOCHIKU Yoshiaki HATA Wuernisha TUERXUN Akinori HOSHIKAWA Naoki IGAWA

¹⁾NIMS ²⁾防衛大 ³⁾茨城大 ⁴⁾原子力機構

鉄を高濃度置換した高温超伝導体 $\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ は、低温において Fe の反強磁性的な磁気秩序が発現するが、Fe の周りの酸素に欠損が存在するため長距離秩序とはならず、磁気反射も観測されない。一方、Cu の周りの原子間距離の温度依存性には磁気秩序の発現する温度付近に異常が発生し、磁気秩序が CuO_2 超伝導面に影響を及ぼしている可能性がある。

キーワード：高温超伝導、鉄置換、磁気秩序、Rietveld 解析

1. 目的

鉄を高濃度置換した高温超伝導体 $\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ 系は、還元アニールとそれに引き続いて酸化アニールを施すことにより初めて 60 K 程度の超伝導転移温度 (T_c) を持つ超伝導体となる。その結晶構造は、2 層の CuO_2 面とそれに電荷を供給する FeO_8 面とが積層されたものであり、20 K 以下では FeO_8 面の反強磁性的な磁気秩序が出現する。室温での中性子回折を利用した結晶構造解析では、理想位置からの酸素の大きな変位が観測されており、低温では何らかの構造的な異常がある可能性もある。本課題では、 $\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ 系の低温での結晶構造の変化を解析し、低温での構造的な異常の有無と磁気秩序の構造的な要因を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

60 K の T_c を持つ $\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ と、Cu サイトを一部 Zn に置換して非超伝導化した $\text{FeSr}_2\text{Y}(\text{Cu}_{0.95}\text{Zn}_{0.05})_2\text{O}_{6+\delta}$ の室温及び低温での結晶構造を解析した。両試料とも固相反応法により合成され[1, 2]、酸素量 $6+\delta$ を揃えるため、同一のアニールを施した。反強磁性的な磁気秩序は両試料とも 20 K 程度で観測された。

中性子回折実験は、各試料を粉末化してバナジウム製試料容器に装填し、JRR-3 内に設置された高分解能粉末回折装置 HRPD を利用して行われた。各試料とも重量は約 5 g、測定時間はほぼ 8 時間で、10 K から室温において測定を行い、収集された中性子回折データは、Rietveld 解析プログラム RIETAN-2000[3]により解析された。なお、解析に使用された構造モデルは、正方晶 $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_{6+d}$ 型構造 (空間群 $P4/mmm$) である (図 1)。

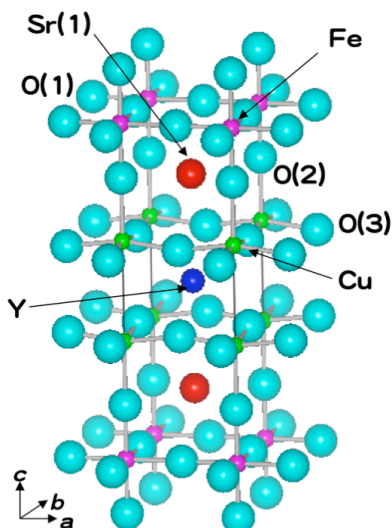


図 1 $\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ の構造モデル

3. 研究成果

図2に超伝導を示す $\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ の Rietveld 解析パターンを示す。反強磁性的な磁気秩序が観測される 20 K 以下においても特に磁気反射は観測されず、この系の磁気秩序は長距離秩序ではないことが明らかになった。格子定数の温度変化は超伝導を示す $\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ 、非超伝導の $\text{FeSr}_2\text{Y}(\text{Cu}_{0.95}\text{Zn}_{0.05})_2\text{O}_{8+\delta}$ ともに、親物質である $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_{6+\delta}$ 系と同様、 a および c が温度とともに減少している(図3)。超伝導を示す $\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ では Cu の周りの原子間距離が 30 K 付近で極値を持つ傾向が見られた(図4)が、他の原子間距離及び非超伝導の $\text{FeSr}_2\text{Y}(\text{Cu}_{0.95}\text{Zn}_{0.05})_2\text{O}_{8+\delta}$ の原子間距離の温度依存性には特に異常は見られなかった。

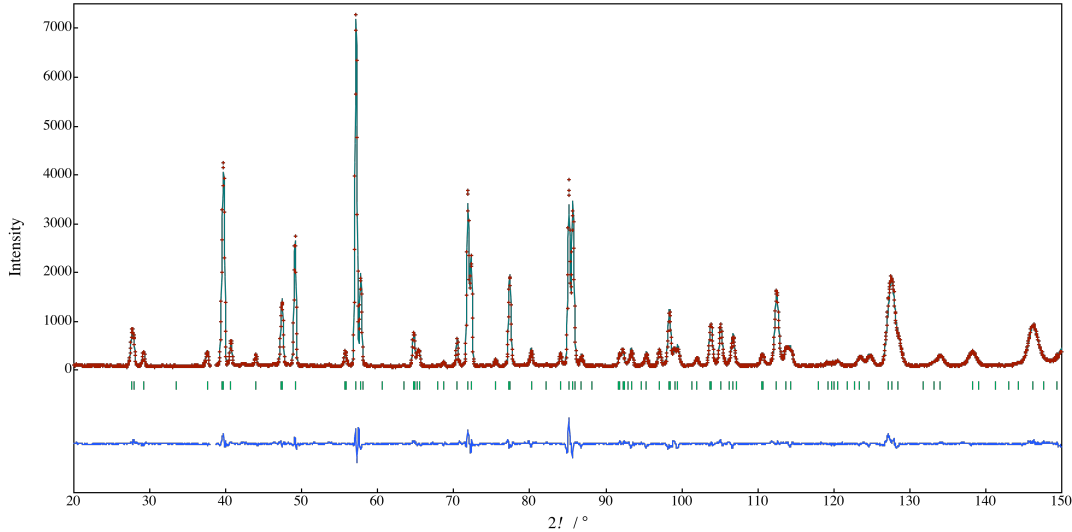


図2 超伝導を示す $\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ の Rietveld 解析パターン

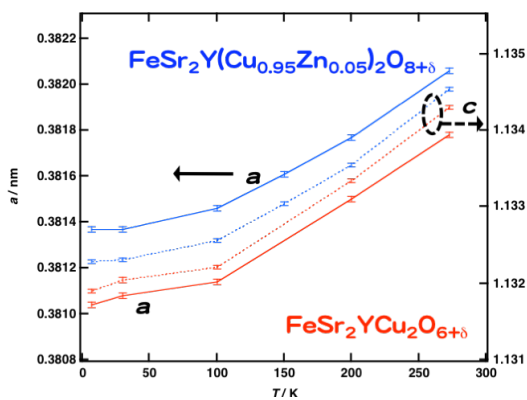


図3 格子定数の温度依存性

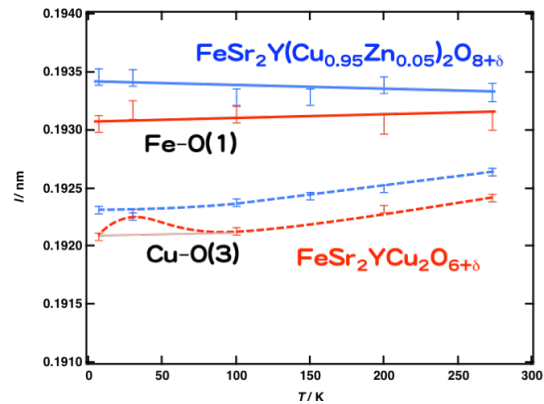


図4 原子間距離の温度依存性

4. 結論・考察

$\text{FeSr}_2\text{YCu}_2\text{O}_{6+\delta}$ 系において Fe の周りの酸素には 20%ほどの酸素欠損があるために、長距離の磁気秩序が発現するのを妨げていると考えられる。また、磁気秩序の要因となる FeO_6 八面体の傾き (tilt) 角 (10 K で 9.5°) が、同じ構造を持ち、低温で磁気秩序を持つ $\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ の RuO_6 八面体の傾き (tilt) 角 (10 K で 14.4°) と同様の温度依存性を持つものかなり小さい。酸素欠損が存在するため、 FeO_6 八面体の傾きが不均一で、局所的に磁気秩序が発達している可能性が高い。一方、超伝導を示す場合の、Cu の周りの原子間距離の温度依存性のみ観測されたのは、新たな発見であり、今後の多角的な実験によりさらに解析を進めて行く予定である。

5. 引用(参照)文献等

- [1] T. Mochiku *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 71 (2002) 790.
- [2] T. Mochiku *et al.*, Physica C 400 (2003) 43.
- [3] F. Izumi, T. Ikeda, Mater. Sci. Forum 321-324 (2000) 198.