

## 学位論文審査結果の概要

氏名	臼井 友洋
学位論文審査委員氏名	主査 渡辺 孝夫
	副査 宮永 崇史
	副査 小豆畑 敬
	副査 御領 潤
	副査 任 皓駿
論文題目	銅酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の磁場中電気抵抗率測定による擬ギャップ状態と超伝導揺らぎの研究
審査結果の概要（2,000字以内）	
<p>審査は、当該学生のプレゼンテーション 40 分、その後に審査委員を含む参加者との質疑応答が 20 分、全部で 1 時間程度行われた。</p> <p>申請論文内容は次のようにまとめられる。</p> <p>銅酸化物高温超伝導体は発見以来約 30 年が経過しようとしているが、なぜ高い転移温度 <math>T_c</math> を示すか、共通の理解に至っていない。未解決の問題の一つに擬ギャップ問題がある。擬ギャップとは、<math>T_c</math> よりも遥かに高温から開き始めるエネルギーギャップのことであるが、これが超伝導の「兆し」なのか、超伝導とは無関係あるいは競合する秩序なのかを巡って議論が続いている。擬ギャップの起源がわかると超伝導機構を大きく絞り込むことが可能になる。</p> <p>現状で擬ギャップ問題が未解決なことの理由の一つに、相図上で決め手になるオーバードープ領域の結晶がなく、そこでの物性が調べられていないことが挙げられる。そこで、申請者は過剰オーバードープ結晶の作製を第一の研究課題とした。<math>\text{Bi-2212}</math> と呼ばれる物質には陽イオン組成に不定比性があることに着目し、その組成に工夫を凝らした独自のアイデアで、初めて過剰オーバードープ試料の作製に成功した。</p> <p>第二の課題は、この試料を用いた物性研究である。この試料の <math>c</math> 軸抵抗率を調べたところ、通常見られる半導体的振る舞いが見られず、超伝導転移温度 <math>T_c</math> まで金属的であった。これは、<math>T_c</math> 以上の温度において、擬ギャップが開かないことを意味する。次に、磁場を印加しながら同様に <math>c</math> 軸抵抗率を調べた。その結果、6 T 以上の磁場で <math>T_c</math> 近傍から半導体的振る舞いを観測した。このことに関して、二通りの解釈が可能である。一つ目は、<math>T_c</math> 以下に下がっていた擬ギャップ開始温度 <math>T^*</math> が、磁場印加に伴って超伝導が壊され顔を出した可能性。二つ目は、超伝導揺らぎによって生じた可能性。両者を区別するために、今度は面内抵抗率を調べた。その結果、超伝導揺らぎによって生じていると考えられる正の磁気抵抗が、<math>c</math> 軸抵抗率に見られた半導体的振る舞いのオンセット温度と一致して観測された。このことから、<math>c</math> 軸抵抗率に見られた半導体的振る舞いは、超伝導起源であると考察した。</p> <p>第三の課題は、このような半導体的振る舞い（高温側から <math>T_c</math> に近づく程、抵抗率が上昇する）が</p>	

ほんとうに超伝導で起きるかを調べることである。そのために、日本で最大の磁場 (60 T) を発生できる東京大学物性研究所のパルス磁場を用いて c 軸抵抗率測定を行った。その結果、半導体的振る舞いは、60 T 級の強磁場下で超伝導が破壊されるに伴って消失することがわかった。このことは、上述の半導体的振る舞いが超伝導由来で起こっていることを意味している。また同時に、擬ギャップが超伝導の前駆現象的性格を持つことを示唆している。

以上、新しい結晶の作製に成功したこと、その結晶を用いた物性研究から擬ギャップ現象に関して新しい知見を得たことは、学位論文に十分に値する。また、質疑応答の内容も適切であったことから、全員一致で合格と判定した。

#### 学位論文の基礎となる参考論文

(1) Tomohiro Usui, Daiki Fujiwara, Shintaro Adachi, Hironobu Kudo, Kosuke Murata, Haruki Kushibiki, Takao Watanabe, Kazutaka Kudo, Terukazu Nishizaki, Norio Kobayashi, Shojiro Kimura, Kazuyoshi Yamada, Tomoyuki Naito, Takashi Noji, and Yoji Koike, Doping Dependencies of Onset Temperatures for the Pseudogap and Superconductive Fluctuation in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ , Studied from both In-Plane and Out-of-Plane Magnetoresistance Measurements, *J. Phys. Soc. Jpn.* 83, 064713 (2014).

(2) Shintaro Adachi, Tomohiro Usui, Yasuhito Ito, Hironobu Kudo, Haruki Kushibiki, Kosuke Murata, Takao Watanabe, Kazutaka Kudo, Terukazu Nishizaki, Norio Kobayashi, Shojiro Kimura, Masaki Fujita, Kazuyoshi Yamada, Takashi Noji, Yoji Koike, and Takenori Fujii, Unscaling Superconducting Parameters with  $T_c$  for Bi-2212 and Bi-2223: A Magnetotransport Study in the Superconductive Fluctuation Regime, *J. Phys. Soc. Jpn.* 84, 024706 (2015).

(3) Yuta Koshika, Tomohiro Usui, Shintaro Adachi, Takao Watanabe, Kohei Sakano, Shalamujiang Simai, and Masahito Yoshizawa, Effects of Annealing under Tellurium Vapor for  $\text{Fe}_{1.03}\text{Te}_{0.8}\text{Se}_{0.2}$  Single Crystals, *J. Phys. Soc. Jpn.* 82, 023703 (2013).