

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 27 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2011

課題番号：20244060

研究課題名(和文)高温超伝導体の超伝導ギャップ構造の解明

研究課題名(英文) Studies on superconducting gap of high-temperature superconductors

研究代表者

花栗 哲郎 (HANAGURI TETSUO)

独立行政法人理化学研究所・高木磁性研究室・専任研究員

研究者番号：40251326

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：走査プローブ顕微鏡、超伝導材料・素子、超精密計測、低温物性

1. 研究計画の概要

本研究は、走査型トンネル顕微鏡を用いて、銅酸化物高温超伝導体の超伝導ギャップの特徴を実験的に明らかにすることを目的とする。特に、分光イメージングを幅広いドーピング、磁場、温度範囲で行い、超伝導と共存/競合すると考えられている擬ギャップ状態における種々の電子秩序、電子超構造の生成過程と、超伝導ギャップとの関係を解明する。

また、銅酸化物研究で培った分光イメージングの技術を、最近発見された鉄系超伝導体に適用し、超伝導ギャップ構造の特徴を探る。得られたデータから銅酸化物と鉄系超伝導体の類似点、相違点を明らかにし、両系の超伝導発現機構に関して考察を行う。

2. 研究の進捗状況

(1). 銅酸化物超伝導体 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ において、Mott 絶縁体母物質がドーピングによって金属(超伝導体)へと変化する過程を分光イメージングで調べた。ドーピングされたホールは、結晶格子の並進回転対称性を破る擬ギャップ状態を局所的に誘起し、この領域がドーピングとともに拡大すること、超伝導発現組成を超えても、電子状態の空間分布に質的に大きな変化は現れないことを明らかにした。

(2). ほぼ最適組成にある $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ における Bogoliubov 準粒子に対する磁場効果を調べた。磁場によって、ノード近傍で超伝導ギャップが抑制され、いわゆる Volovik 効果によって Fermi エネルギーにおける状態密度が上昇することを見出した。また、準粒子干渉によって生じる電子定在波の振幅の磁場変化に超伝導のコヒーレンス効果が現れることを見出した。これを利用することによ

って、波数空間における超伝導ギャップ構造を、位相情報を含めて明らかにできることを示した。

(3). 銅酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の渦糸芯における超伝導の抑制について調べた。渦糸芯では、チェッカーボード状の電子状態の超周期構造が存在することが知られている。この構造は量子極限にある渦糸芯における Friedel 振動であることを強く示唆する予備的な結果を得たが、現在技術的問題で再現性のチェックが難航している。

(4). (2) で開発した新しい超伝導ギャップの構造決定法を、最近発見された鉄系超伝導体に応用した。 $\text{Fe}(\text{Se},\text{Te})$ を試料として準粒子干渉効果の磁場依存性の観測に成功し、非連結 Fermi 面間で超伝導ギャップの符号が反転する s_{\pm} 波構造が実現していることを見出した。

3. 現在までの達成度

③やや遅れている。

当初の目標は、ドーピング、磁場、温度をパラメータとして、銅酸化物の超伝導ギャップを分光イメージングで調べることにあった。ドーピング依存性に関しては、一定の成果があったが、超伝導ギャップそのものに関しては、さらに踏み込んだ議論を展開したい。磁場依存性に関しては、波数分解した超伝導ギャップの位相情報の取得という大きな成果があり、鉄系超伝導体まで含めた期待以上の展開ができた。しかし、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ のようなピン止めの強い物質のギャップの磁場依存性の研究、ギャップの温度変化の研究は、技術的問題が明らかになり、遅れている。現在の装置で可能な実験のデザインを行っている。

4. 今後の研究の推進方策

ギャップの位相構造の決定は、鉄系超伝導体研究の大きな課題である。特に、鉄系超伝導体では、銅酸化物と異なり、ギャップ構造が物質によって異なる可能性が指摘されているので、Fe(Se,Te)以外の試料での測定が重要である。今後、LiFeAsにおける実験を行う予定である。

現在問題を抱えているBi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}の渦糸芯の研究、超伝導ギャップの温度依存性の測定に関しては、残りの研究期間で意味のある貢献ができるデータの取得に注力したい。渦糸芯に関しては、渦糸のピン止めによる磁歪が問題となっているので、5 K程度まで温度を上げ、ピン止めを弱めた状態での測定を計画している。温度変化に関しては、10 K程度以上の温度での温度制御が不安定になることが問題となっている。熱交換ガスの導入等での解決策を探る。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

1. 超伝導体を探る針～分光イメージング走査型トンネル顕微鏡～, 花栗哲郎, 日本物理学会誌 **66 No. 3**, 186-194 (2011). 査読有
2. Unconventional *s*-Wave Superconductivity in Fe(Se,Te), T. Hanaguri, S. Niitaka, K. Kuroki and H. Takagi, *Science*, **328**, 474-476 (2010). 査読有
3. Coherence Factors in a High-*T_c* Cuprate Probed by Quasi-particle Scattering off Vortices, T. Hanaguri, Y. Kohsaka, M. Ono, M. Maltseva, P. Coleman, I. Yamada, M. Azuma, M. Takano, K. Ohishi and H. Takagi, *Science*, **323**, 923-926 (2009). 査読有
4. STM で見る高温超伝導体の渦糸, 花栗哲郎, *パリテイ* **23 No. 10**, 50-54 (2008). 査読有
5. How Cooper pairs vanish approaching the Mott insulator in Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}, Y. Kohsaka, C. Taylor, P. Wahl, A. Schmidt, Jinhwan Lee, K. Fujita, J. W. Alldredge, K. McElroy, Jinho Lee, H. Eisaki, S. Uchida, D.-H. Lee and J. C. Davis, *Nature* **454**, 1072-1078 (2008). 査読有

[学会発表] (計 35 件)

1. STM/STS studies of the superconducting gap in iron-based superconductors, T. Hanaguri, Aspen Winter Conference “Contrasting Superconductivity of Pnictides and Cuprates”, Jan. 22-28, 2011

2. Spectroscopic-Imaging Scanning Tunneling Microscopy on Iron-Based Superconductors, T. Hanaguri, The 9th International Conference on Spectroscopies in Novel Superconductors, May 24-28, 2010, Shanghai, China.
3. Emergence of local broken symmetries with hole-doping in Ca_{2-x}Na_xCuO₂Cl₂, Y. Kohsaka, The 9th International Conference on Spectroscopies in Novel Superconductors, May 24-28, 2010, Shanghai, China.
4. Phase-sensitive quasi-particle interference effects in high-*T_c* superconductors, T. Hanaguri, 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX), Sept. 7-12, 2009, Tokyo, Japan.
5. Magnetic-field effects on the quasi-particle interference in cuprates, T. Hanaguri, Gordon Research Conference on Superconductivity, June 7-12, 2009, Hong Kong, China.

[その他]

RikaTan 2010 年 11 月号
NPG Asia Materials 2010 年 7 月 12 日
子供の科学 2010 年 7 月号
科学新聞 2010 年 5 月 14 日
日経産業新聞 2010 年 4 月 23 日
日刊工業新聞 2010 年 4 月 23 日
日刊工業新聞 2009 年 3 月 2 日
科学新聞 2009 年 2 月 6 日
化学工業日報 2009 年 1 月 23 日