

【部門構成員】

教授：小林 典男、 助教授：佐々木 孝彦、 助手：西寄 照和、米山 直樹、工藤 一貴、
その他（事務補佐員 1名）

【研究成果】

これまで系統的に行ってきた「高温超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ の渦糸状態」の研究において見出された渦糸相の磁場誘起不規則転移をナノスケールから明らかにするために低温走査型トンネル顕微鏡を用いて高温超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ の渦糸構造の直接測定を行った (Ref.1, 2)。その結果、低磁場の Bragg グラス相では三角格子構造が観測され、磁場の増加により乱れた渦糸構造（渦糸グラス相に対応する）に相転移する様子が始めて明らかにされた。以上のほかにも、Zn、Ni 不純物置換効果に対するマクロな渦糸状態とミクロな電子状態変化の相関について系統的に研究を行っている (Ref.2)。

本年度は、特に強相関有機伝導体に関して成果があった。k 型有機伝導体は特徴的な分子ダイマー構造に起因した実効的な $1/2$ 充填バンドを有する系である。そのため、わずかな圧力や分子置換 (Ref.5) によるバンド幅制御によりモット金属―絶縁体転移が起こる。この金属絶縁体転移近傍でマイクロメートルサイズの金属―絶縁体相分離構造の実空間可視化に世界で初めて成功した (Ref.4)。この観測には、電子状態変化と強く結合した分子振動の周波数変化 (Ref.3) をプローブとした、走査型局所赤外反射スペクトル測定を用いた。本実験は輝度と直線性の高い赤外光を必要とするため、SPring-8 放射光を赤外光源として用いている。このような手法を用いた局所電子状態の空間マッピングは、世界で初めてのものである。このような新手法を用いることで、マイクロメートルサイズの電子系不均一を実空間像として観測した初めての例である。

1. N. Kobayashi, T. Nishizaki, K. Shibata, and T. Sasaki.
Vortex state in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ crystals: vortex phase diagram and tunneling spectroscopy in magnetic field.
Physica B, 346-347 (2004) 329 -333.
2. T. Nishizaki, K. Shibata, M. Maeda, T. Sato, and N. Kobayashi
Vortex order-disorder transition and the effect of Zn and Ni substitution in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$.
Proceedings of Joint meeting of the International Symposium on JSPS Core-to-Core Integrated Action Initiative "Nanoscience and Engineering in Superconductivity" (CTC-NES) and The 4th International Symposium on Intrinsic Josephson Effect and Plasma Oscillations in High-Tc Superconductors (PLASMA 2004), (2004) pp. II-27 - II-30.
3. T. Sasaki, I. Ito, N. Yoneyama, N. Kobayashi, N. Hanasaki, H. Tajima, T. Ito, and Y. Iwasa.
Electronic correlation in the infrared optical properties of the quasi-two-dimensional k-type BEDT-TTF dimer system.
Phys. Rev. B, 69 (2004) 064508-1-064508-7.
4. T. Sasaki, N. Yoneyama, N. Kobayashi, Y. Ikemoto and H. Kimura.
Imaging phase separation near the Mott boundary of the correlated organic superconductors $\text{k}-(\text{BEDT-TTF})_2\text{X}$.
Phys. Rev. Lett., 92 (2004) 227001-1-227001-4.

5. N. Yoneyama, T. Sasaki and N. Kobayashi.
Substitution effect by deuterated donors on superconductivity in $k\text{-}(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$.
J. Phys. Soc. Jpn., 73 (2004) 1434-1437

【研究計画】

本研究部門は、高温超伝導体を中心とする超伝導物性の解明を目的としている。これまでの研究成果により蓄積された、高品質単結晶試料育成技術、バルク物性測定技術、走査型局所電子状態観察技術をベースにして研究を推進する。特に走査型トンネル顕微鏡 (STM/STS) を用いた局所電子状態測定を研究の柱とし、強相関電子系超伝導体の不均一電子状態と超伝導発現の相関、バルク超伝導特性とナノ電子状態の相関の解明を中心課題とする。これらの実験研究を行うにあたり、既存装置よりも強い磁場や極低温における走査型トンネル顕微鏡測定技術を開発する。将来目標は、付属強磁場超伝導材料研究センターに設置されている定常強磁場ハイブリット磁石(最高磁場 30T)や高磁場超伝導磁石(最高磁場 20T) と組み合わせることができる小型 STM/STS ユニットの開発である。このような装置開発により、磁場中超伝導秩序空間変調 (FFLO) 状態や磁場誘起超伝導状態の発見を目指す。

短期的な具体的研究課題としては、低温強磁場走査型トンネル顕微鏡を用いた以下の課題を集中的に行う。

1. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ における希薄 Zn、Ni 原子置換による置換原子周りの局所変調電子構造と超伝導特性の相関
2. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ における 1 次元 CuO 鎖上電荷密度変調構造の不純物効果、および超伝導特性との相関
3. 1 次元梯子型銅酸化物 $\text{Sr}_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ におけるスピン、電荷変調構造の探索
4. Bi 系銅酸化物超伝導体における擬ギャップ形成とその磁場抑制効果、および超伝導発現との相関
5. 準 2 次元有機伝導体における電荷秩序状態とその融解現象の可視化。