

平成 30 年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

調査研究報告書(公開版)

【研究題目】

高温超伝導体におけるセントラルドグマの理解に向けた調査研究

【整理番号】

TK18-027

【代表機関】

筑波大学

【調査研究代表者（氏名）】

柏木 隆成

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】

NIMS 先端材料解析研究拠点：茂筑 高士

KEK 物質構造科学研究所：中尾 裕則

【TIA 外連携機関】

【報告書作成者】

柏木 隆成

【報告書作成年月日】

2019 年 3 月 25 日

【連携推進（具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等）】

- ・ 共同実験, ディスカッション
 - KEK 内の実験室にて, 育成結晶の格子定数の温度依存性に関する実験を行った。
 - KEK の共同施設利用による実験を行った。(マシンタイム期間: 2018 年 12 月 17-19 日)
 - NIMS において, 単結晶構造解析における問題点の改善に関する予備的な実験等を行った。
 - 結晶育成に関するディスカッションを適宜行った。
 - 得られた実験結果に関する打ち合わせを全体及び個別の研究機関で複数回行った。
- ・ 研究会・ワークショップ
 - 銅酸化物高温超伝導体に関する研究の出口の一つとして, 高温超伝導体テラヘルツ波発振素子の開発を考えている。そこで, テラヘルツ波帯の発振素子の開発の現状やその応用例の理解を深めることを目的に, 筑波大学 国際産学連携本部 尾内 敏彦 教授に「高効率テラヘルツ光源と検出器の開発及びテラヘルツイメージング応用～医療、安心安全への展開～」の内容で, ご講演いただいた(2018 年 11 月 22 日)。
 - 「つくば-柏-本郷 超伝導かけはしプロジェクト(研究代表: 寺嶋太一(NIMS))」の TIA 連携推進プロジェクトワークショップ(2019 年 1 月 15-16 日)に参加し, 連携推進での成果報告を行うとともに, 超伝導研究に関する状況の情報共有等を行なった。
- ・ かけはしプロジェクトの出口戦略に向けた活動
 - 「H30 筑波大学 Global Tech EDGE-NEXT プログラム【基礎編】」に参加し, 銅酸化物高温超伝導体を用いたテラヘルツ波発振素子に関して, その事業化の可能性について幅広く検討を行った(2018 年 6-7 月)。
 - 「2019 年日本物理学会 第 74 回年次大会」にて, 「高温超伝導体テラヘルツ波発振器の開発」の内容にて, シンポジウム講演を行った。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

反強磁性秩序を示す高温超伝導体の母物質は、キャリアをドーピングすることで、その反強磁性秩序が抑制される。そして、適当なドーピング量になると、物質は超伝導を示す。ドーピング量によっては、磁気秩序や電荷秩序などの他の秩序状態が、超伝導状態と競合・共存した複雑な状態を示し、物質が超伝導になる温度を大きく変化させる。この振る舞いは、銅酸化物高温超伝導体や鉄系超伝導体などの物質群において共通の描像として広く信じられており、これを「高温超伝導体におけるセントラルドグマ」と呼ぶことにする。このセントラルドグマの詳細な理解は、高温超伝導体の本質を理解するためだけでなく、より高い超伝導転移温度を示す新しい物質設計や、高温超伝導体デバイスの開発においても欠かせない。本連携プログラムでは、このセントラルドグマの理解を深化させると共に、実用に向けた超伝導材料の開発などにつなげることを目指す。

本年度は、銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) に関する研究を主に行った。過去の報告から、Bi と Sr の組成比の変化は、 CuO_2 面の平坦性に影響を与え、その結果、超伝導特性が変化することが示唆されている。そこで、筑波大グループでは、Bi/Sr の組成比を調整した単結晶を、フローティングゾーン法を用いて育成した。これら単結晶のホールドーピング量を調整するために、適当な酸素雰囲気下で熱処理を行なった。ホールドーピング量を調整した試料は、電気抵抗、及び、磁化の温度依存性から超伝導特性を評価した。そして、KEK グループと連携して、これらの試料について、格子定数の温度依存性などを丁寧に測定し、得られた超伝導特性と結晶構造の対応関係を調べた。現在は、得られたデータをもとに、Bi/Sr の組成比変化が結晶構造へ及ぼす影響と、その影響と超伝導特性及び既知の超伝導相図との対応関係を検討している。また既に、KEK とは次年度の放射光設備利用の課題申請を行い、この点の詳細を調べる予定になっている。一方 NIMS グループを中心に、単結晶構造解析用の結晶試料準備に関する検討を行った。Bi2212 は層状物質で、劈開性があり、柔らかいため、試料の切り出しや切断の際に歪みが入ると、回折データが劣化する。高温超伝導体における秩序状態と結晶構造の関連を明らかにするためには、精度の高い結晶構造解析を行う必要があるが、この歪みはその妨げになる。そこで、歪みを可能な限り低減する方法について調査した結果、ダイシングソーで切断することである程度まで歪みを低減できることがわかった。ただ、試料間にばらつきがあり、試料を取捨選択する必要があることもわかった。これらの成果の一部及び関連研究を、学会、及び論文等にて報告をした。以下にその代表的なものを示す。

1. 村山一哉, 志津友幸, 大槻祥馬, 柏木隆成, 南英俊, 辻本学, 門脇和男
“銅酸化物高温超伝導体 Bi2212 の CuO_2 面外の乱れが輸送特性に及ぼす影響”
日本物理学会 2018 年秋季大会, 10pPSB-39 同志社大学京田辺キャンパス
2. Yuuki Shibano, Takanari Kashiwagi *et al.*
“High- T_c superconducting THz emitters fabricated by wet etching”
AIP Advances **9**, 015116 (2019).
3. Takanari Kashiwagi *et al.*
“Improved excitation mode selectivity of high- T_c superconducting terahertz emitters”
J. Appl. Phys. **124**, 033901 (2018)

【今後の活動予定】

過去の報告から、Bi/Sr の組成比の変化は、 CuO_2 面の平坦性に影響を与え、その結果、超伝導特性が変化することが示唆されている。本年度の調査結果をさらに発展させれば、この点の検証も可能であり、結晶構造解析をベースにして、銅酸化物高温超伝導体の超伝導相図の理解が一層進むと考えている。そこで、銅酸化物高温超伝導体の単結晶育成、及び物性研究で実績のある「産総研の超伝導エレクトロニクスグループ」に新たに加わっていただき、調査力の一層の強化と拡大を行い、本年度調査の発展版を TIA かけはしの継続課題で行う。そして、その調査結果を活用し、高温超伝導体の応用利用研究の強化も今後は進める。具体的には、筑波大グループを中心に開発を進める高温超伝導体テラヘルツ波発振器の実用化に、上記調査結果を直接活用し、現状より高性能の実用的なテラヘルツ波発振器の開発を目指す。そして、数年後を目安に事業化できるような準備を進める。また、これらの内容を基礎にして、連携機関で大型の研究費（科研費等）の申請を行う。

以上