

二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出  
平成28年度採択研究代表者

2018年度 実績報告書
-----------------

笹川 崇男

東京工業大学科学技術創成研究院フロンティア材料研究所  
准教授

トポロジカル量子計算の基盤技術構築

## § 1. 研究成果の概要

トポロジカル超伝導状態に現れるとされるマヨラナ粒子[粒子と反粒子が同一で、その特殊な粒子統計性が量子計算に応用可能]を用いた「トポロジカル量子コンピュータ」の実現に向けて、要素技術(マヨラナ粒子の生成法・検出法・操作法)の確立と革新的素材(ヘテロ構造用各物質・最適トポロジカル超伝導体)の創製とに挑戦している。

ヘテロ構造用の革新的素材の創製に関しては、電子状態の直接観察から  $\beta$ - $\text{Bi}_4\text{I}_4$  が「弱い」トポロジカル絶縁体(WTI)であることを発見した[1]。相転移の利用で温度履歴制御により WTI-通常絶縁体の電子状態スイッチが可能なることの実証にも成功した(図1)。WTI は量子スピンホール状態の積層と等価であるため、このエッジ状態と通常超伝導の接合構造で、磁場を必要としないトポロジカル量子ビット素子を作製できる可能性もでてきた。一方で、最適トポロジカル超伝導体の創製に関しては、昨年開発の進んだ極限性能走査型トンネル顕微鏡分光装置を活用することで、有力候補物質として提唱されている  $\text{Fe}(\text{Te},\text{Se})$  を対象として、磁場中超伝導状態における量子化された磁束芯の超高分解分光測定に成功し、マヨラナ粒子の検出に向けた素材の検討および量子計測技術の確立の双方において大きな進展があった。また、高絶縁性トポロジカル絶縁体を用いた表面電子状態の検証デバイスや、強磁性トポロジカル絶縁体を用いたマヨラナ粒子検出に向けたデバイス構造の試作についても順調に実験が進んでいる。

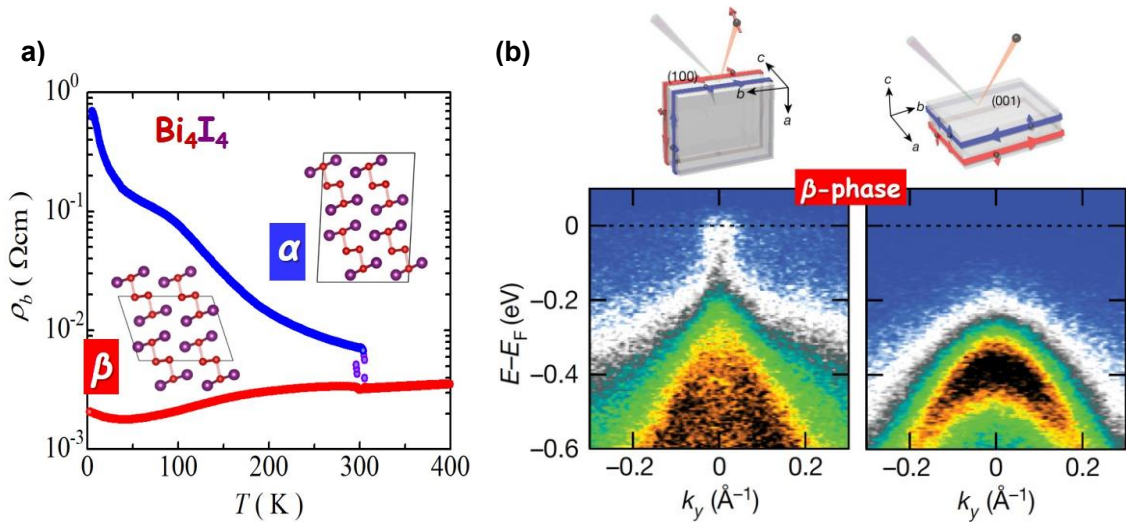


図 1.  $\beta$ - $\text{Bi}_4\text{I}_4$  がスイッチ可能な「弱い」トポロジカル絶縁体であることを示した実験結果[1]。(a) 温度履歴で構造相転移と電子状態の制御が可能なることの実証結果、(b)  $\beta$  相が結晶側面のみにトポロジカル表面状態が出現する「弱い」トポロジカル絶縁体であることの実験証拠。

【代表的な原著論文】

- [1] “A Weak Topological Insulator State in Quasi-one-dimensional Bismuth Iodide”  
R. Noguchi, T. Sasagawa, T. Kondo *et al.*, ***Nature*** **566**, 518 (2019).
- [2] “Emergence of Superconductivity in the Cuprates via a Universal Percolation Process”  
D. Pelc, T. Sasagawa, N. Barišić *et al.*, ***Nature Commun.*** **9**, 4327 (2018).
- [3] “Ubiquitous Formation of Bulk Dirac Cones and Topological Surface States from a Single Orbital Manifold in Transition-metal Dichalcogenides”  
M.S. Bahramy, T. Sasagawa, P.D.C. King *et al.*, ***Nature Materials*** **17**, 21 (2018).

## § 2. 研究実施体制

### (1)「東工大」グループ

- ① 研究代表者: 笹川 崇男 (東京工業大学科学技術創成研究院 准教授)
- ② 研究項目
  - ・トポロジカル量子デバイス用革新的素材(トポロジカル電子物質)の開発
  - ・トポロジカル電子物質を用いたデバイス構造の作製と評価

### (2)「理研」グループ

- ① 主たる共同研究者: 花栗 哲郎 (理化学研究所創発物性科学研究センター チームリーダー)
- ② 研究項目
  - ・極限性能走査型トンネル顕微鏡分光装置の開発
  - ・トポロジカル超伝導体候補物質の実空間電子状態の解明

### (3)「東大」グループ

- ① 主たる共同研究者: 石坂 香子 (東京大学大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・極限性能角度分解光電子分光装置の開発
  - ・トポロジカル超伝導体候補物質の運動量空間電子状態の解明

### (4)「名大1」グループ

- ① 主たる共同研究者: 柏谷 聡 (名古屋大学大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・トポロジカル量子素子の作製と評価
  - ・量子ビット操作に向けたデバイス構造の検討

### (5)「名大2」グループ

- ① 主たる共同研究者: 川口 由紀 (名古屋大学大学院工学研究科 准教授)
- ② 研究項目
  - ・トポロジカル量子ビット構造の作製に向けた理論的検討: 物質設計
  - ・トポロジカル量子ビット構造の作製に向けた理論的検討: 構造設計
  - ・トポロジカル量子ビット操作に向けたデバイス構造の理論的検討