

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
 - ・単結晶を舞台としたトポロジカル電子物質の開発
 - ・薄膜人工格子系を舞台とした革新的トポロジカル電子物質の創製に向けた設備の整備

(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
 - ・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、准教授)
- ② 研究項目
 - ・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)「産総研」グループ

- ① 主たる共同研究者: 柏谷 聡 (産業技術総合研究所・電子光技術研究部門、首席研究員)
- ② 研究項目
 - ・トポロジカル超伝導素子の作製
 - ・トポロジカル量子ビット操作に向けた装置整備

(5)「名大」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
- ・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

§ 2. 研究実施の概要

電子(粒子)か正孔(反粒子)かの区別がつかない全く新しい準粒子状態をもつマヨラナ粒子を使うことで、粒子同士の交換順序を決めるだけで論理計算の行える「トポロジカルな量子コンピュータ」が作れると予言されている。その実現に向けて、本研究では要素技術(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(最適トポロジカル超伝導体)の創製とに挑戦している。

素材への取り組みとしては、マヨラナ粒子を生成する舞台の要となる2次元平面型量子ビット作製のトポロジカル電子材料の開発を進めているが、「高絶縁性トポロジカル絶縁体」と「トポロジカル超伝導体候補物質」のそれぞれについて大きな進展があった。(通常)超伝導体との接合構造を作って、近接効果によってマヨラナ粒子の発生を狙うアプローチにおいては、高性能なトポロジカル絶縁体の単結晶試料が不可欠となる。輸送特性および分光特性の測定において目標とした性能を確認することに成功し、素子構造を作るのに十分な高絶縁性をもつトポロジカル絶縁体単結晶の開発にはある程度目途がついた。一方で、単独の素材でマヨラナ粒子を発生することを目指してトポロジカル超伝導体の候補物質開拓も進めている。トリプレットのクーパ対の形成が期待される「空間反転対称性の破れ」に注目することにより、 PbTaSe_2 ($T_c \sim 3.8 \text{ K}$)を有力候補物質として提案した。第一原理計算による電子構造の検討や単結晶試料の開発が進み、トポロジカル超伝導性の実験的検証が行える状況が整った。

デバイス構造の作製および計測手法の開発にも進展があった。ヘキ開によって数十マイクロメートルの微小フレーク状にした単結晶をデバイス素材として、 ~ 10 個の電極端子を作製する技術を確立した。実空間の電子状態を探る走査トンネル顕微鏡・分光法においては、分光データの空間マッピングをフーリエ変換して得た準粒子干渉パターンから、スピン軌道相互作用の効果を抽出できる新たな解析手法を提案し、その有用性の実験的実証にも成功した(図)。量子ビット構造を作製した際の局所的な電子状態の詳細な解析や、更には物質開拓・設計を行う際の実験的知見を得ることに、今後活用してゆく予定である。

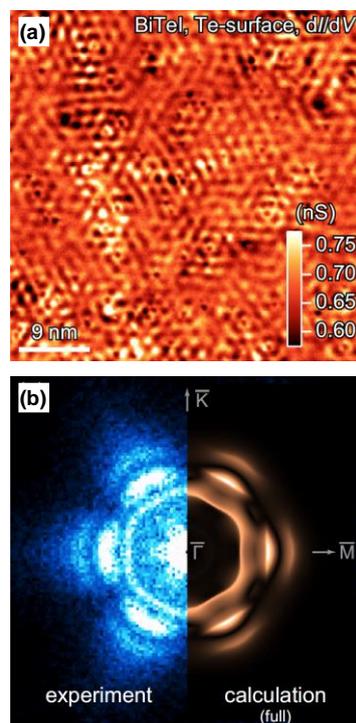


図. (a)大きなスピン軌道相互作用をもつ BiTeI で観測したトンネル分光データの空間マッピング。(b)フーリエ変換して得た準粒子干渉パターンの実験結果(左)と数値シミュレーション(右)の結果[1]。

代表的原著論文

- [1] Y. Kohsaka, T. Machida, K. Iwaya, M. Kanou, T. Hanaguri, and T. Sasagawa, “Spin-orbit Scattering Visualized in Quasiparticle Interference”, *Phys. Rev. B* **95**, 115307 (2017).
- [2] A. Ohmura, Y. Higuchi, T. Ochiai, M. Kano, F. Ishikawa, S. Nakano, A. Nakayama, Y. Yamada, and T. Sasagawa, “Pressure-induced Topological Phase Transition in Polar-semiconductor BiTeBr”, *Phys. Rev. B* **95**, 125203 (2017).
- [3] H. Namiki and T. Sasagawa, “Anisotropic Superconducting Properties of Noncentrosymmetric PbTaSe₂ as a Candidate Exotic Superconductor”, *Sci. Adv. Mater.* **8**, 2097 (2016).