

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
2016 年度年度採択研究代表者

2019 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準粒子(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(マヨラナ準粒子の生成法・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。

革新的素材開発の最終ゴールの1つは、単一物質でマヨラナ準粒子を創発できるトポロジカル超伝導体の発見と確立である。開発を完了した極限性能走査型トンネル顕微鏡/分光装置(温度 90 mK 以下、磁場 17.5 T、原子分解能かつ $500 \times 500 \text{ nm}^2$ の広域測定、4.5 日の継続安定稼働)を用いることで、Fe(Te,Se) 超伝導体の磁場中の結晶表面(量子化磁束芯)において、マヨラナ準粒子の検出に成功した(図)[1]。特異な磁場依存性などの理論予測にない挙動も発見しており、未踏領域であるマヨラナ準粒子の挙動や多体相互作用を解明し、トポロジカル量子ビットの実現に向けたデバイス応用につなげる大きな第一歩が踏み出した。

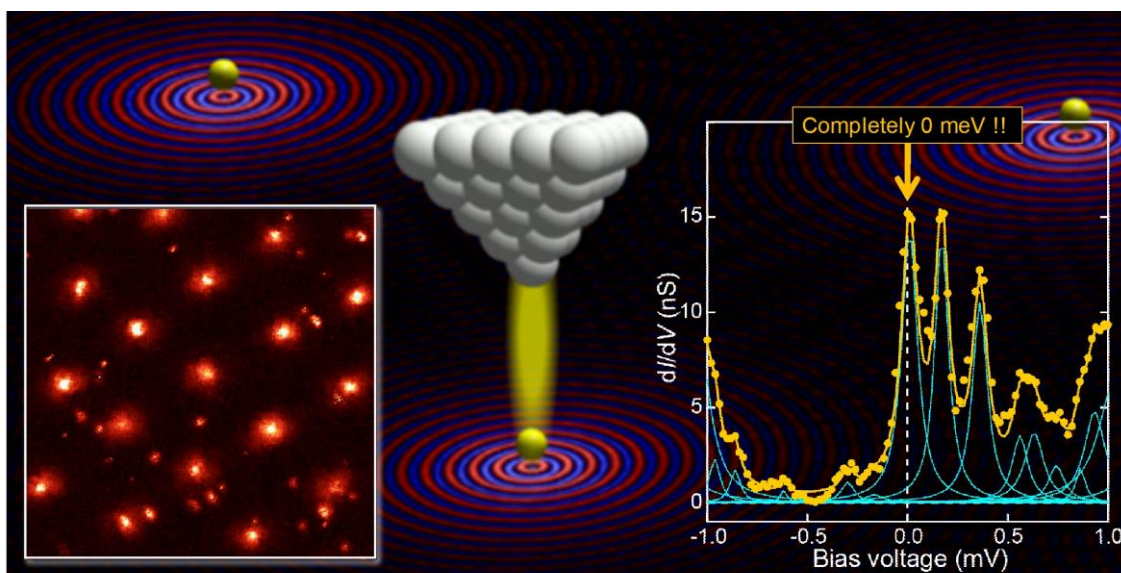


図. 極限性能 STM/STS 装置を用いてトポロジカル超伝導候補物質 Fe(Te,Se)について、超伝導状態の詳細を検証し、マヨラナ準粒子の検出に成功した結果。(左図)超伝導状態における STS スペクトルの空間マッピングから得た量子化磁束像、(右図)量子化磁束の中心におけるマヨラナ準粒子由来のゼロバイアスピーク。

【代表的な原著論文】

1. T. Machida, T. Hanaguri, T. Sasagawa *et al.*, “Zero-energy Vortex Bound State in the Superconducting Topological Surface State of Fe(Se,Te)”, *Nature Materials* **18**, 811 (2019).
2. M. Sakano, K. Ishizaka, T. Sasagawa *et al.*, “Radial Spin Texture in Elemental Tellurium with Chiral Crystal Structure”, *Phys. Rev. Lett.* **124**, 136404 (2020).
3. R. Yano, T. Sasagawa, S. Kashiwaya *et al.*, “Unusual Superconducting Proximity Effect in Magnetically Doped Topological Josephson Junctions”, *J. Phys. Soc. Jpn* **89**, 034702 (2020).

§ 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
 - ・革新的素材(トポロジカル量子デバイス用電子物質)の開発
 - ・革新的量子状態(トポロジカル表面伝導・マヨラナ準粒子)の確立
 - ・革新的量子デバイス機能(マヨラナ準粒子制御)の実証

(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
 - ・革新的計測(極限性能走査型トンネル顕微鏡分光)装置・データ解析法の開発
 - ・革新的素材(トポロジカル電子物質)・デバイス構造の実空間電子状態の解明
 - ・革新的量子状態(マヨラナ準粒子)の確立
 - ・革新的量子デバイス機能(マヨラナ準粒子制御)の実証

(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
 - ・革新的計測(極限性能角度分解光電子分光)装置の開発
 - ・革新的素材(トポロジカル電子物質)・デバイス構造の運動量空間電子状態の解明
 - ・革新的量子状態(マヨラナ準粒子)の確立

(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
 - ・革新的量子状態(マヨラナ準粒子の発生法、検出法)の確立
 - ・革新的量子デバイス機能(トポロジカルジョセフソン素子・トポロジカル量子ビット)の実証

(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
 - ・革新的量子デバイス構造(トポロジカル量子ビット構造)の理論的検討
 - ・革新的量子デバイス機能(トポロジカル量子ビット性能)の理論的検討
 - ・革新的量子デバイス技術(トポロジカル量子ビット操作)の理論的検討