

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フロンティア材料研究所 准教授)
- ② 研究項目
 - ・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
 - ・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
 - ・極限性能走査型トンネル顕微鏡分光装置の開発

(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」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

§ 2. 研究実施の概要

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。

革新的素材の創製に関しては、トポロジカル超伝導体の有力候補物質として提案してきた β -PdBi₂ ($T_c \sim 5.4$ K)についての超伝導状態の詳細な検証実験[1]と、トポロジカル電子物質を開拓するための普遍的な一般論の提案[2:図1]とについて大きな進展があった。特に後者は、物質と物性の多様性をもつ遷移金属ダイカルコゲナイド化合物を実例としたものであり、トポロジカル超伝導体を探索する上での重要な指針を与える成果である。

一方で、要素技術の開発に関しては、計測技術とデバイス構造の開発で大きな進展があった。まず、走査型トンネル電子顕微鏡分光(STM/STS)法が 17.5 T の強磁場と 100 mK 以下の極低温で実施できるようになった。このスペックは世界トップと言える。また、高絶縁性トポロジカル絶縁体を用いた表面キャリア濃度の精密制御や、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考案と試作が進んで、データが出始めた。

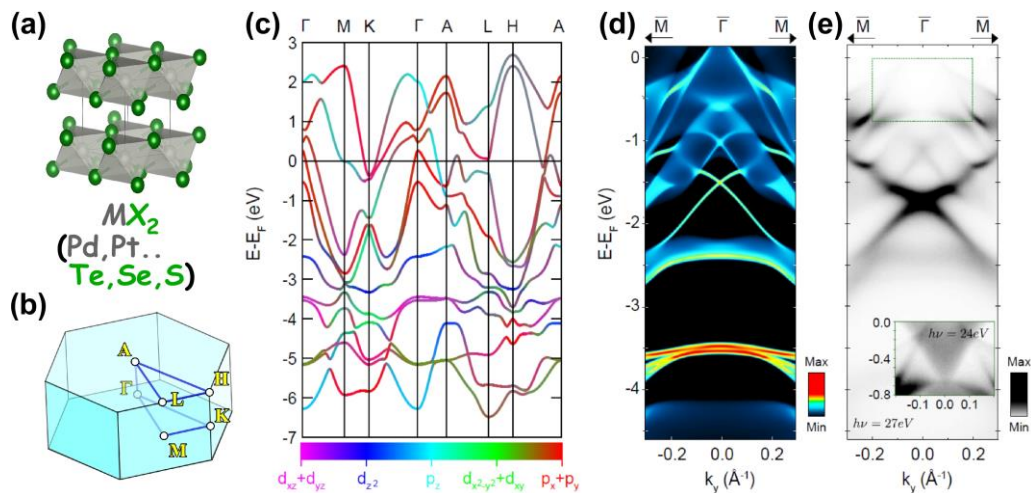


図 1. 遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)のトポロジカル電子状態発現について一般法則を提唱し実験実証した結果[1]。(a) TMD の結晶構造、(b) 運動量空間における第一ブリルアン域と対称点、(c) PdTe₂ を例としたバルクの電子構造(エネルギーと運動量の関係:各色は由来する原子軌道に対応)の第一原理計算結果、(d) 表面運動量に射影した PdTe₂ のバルクと表面の電子構造(第一原理計算)、(e) 角度分解光電子分光実験で直接観察した PdTe₂ の電子構造。

- [1] “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] “Full-gap Superconductivity in Spin-polarised Surface States of Topological Semimetal β -PdBi₂”
K. Iwaya, Y. Kohsaka, K. Okawa, T. Machida, M.S. Bahramy, T. Hanaguri, and T. Sasagawa,

Nature Commun. **8**, 976 (2017).

- [3] “Low-energy Surface States in the Normal State of α -PdBi₂ Superconductor”
H. Choi, M. Neupane, T. Sasagawa, E. E. M. Chia, and J.-X. Zhu,
Phys. Rev. Mater. **1**, 034201 (2017).