

トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を  
有する材料・デバイスの創出  
2018 年度採択研究代表者

2022 年度  
年次報告書

佐藤 宇史

東北大学 材料科学高等研究所  
教授

ナノスピンの ARPES によるハイブリッドトポロジカル材料創製

主たる共同研究者:

組頭 広志 (東北大学 多元物質科学研究所 教授)

瀬川 耕司 (京都産業大学 理学部 教授)

山内 邦彦 (大阪大学 大学院工学研究科 特任助教)

## 研究成果の概要

トポロジカル物質を利用した量子現象の探索やデバイス応用に向けた研究の出発点となるのが、新物質の実証であり、ARPES は、これまで多くのトポロジカル物質の同定を先導してきた。しかし、既存の ARPES 装置は、空間分解能の不足により、二次元トポロジカル絶縁体や動作中のデバイスなど、局所的な電子状態の観測が必須となる課題に対して威力を発揮できず、材料開発における障害となっていた。本年度は、本課題の中心をなす「ナノスピン ARPES 装置」の開発を行うとともに、ナノスピン ARPES 装置の前身で既に安定稼働を実現したマイクロ( $\mu$ -)ARPES 装置を用いて、従来は測定困難であった種々のトポロジカル材料における電子状態の解明を行った。ナノスピン ARPES 装置の開発では、基幹部分であるナノ空間測定システムの開発に注力した。超高真空チャンバにフレネルゾーンプレートを用いたナノ集光光学系とピエゾ素子を用いた試料多軸精動機構を導入し、放射光を用いた光学系と試料位置の調整により、現時点で  $\mu$ -ARPES 装置を遥かに凌駕する 1 mm を切る空間分解能を達成した。 $\mu$ -ARPES 研究では、微小ファンデルワールス結晶やトポロジカル半金属・超伝導体候補材料の実験を通して、従来は主に大型単結晶や均一な薄膜に限られていた ARPES 実験の測定対象が、粉末試料や難劈開/多結晶にも拡大できることを証明した。本装置と MBE 装置を駆使して、さらにバルク単結晶育成と第一原理計算とも緊密に連携することで新しいハイブリッドトポロジカル材料を探索し、新型トポロジカルかごめ超伝導体における極性ドメイン分離、原子層遷移金属ダイカルコゲナイドにおける特殊な「ダビデの星」型金属的電荷秩序状態の観測など、チーム研究ならではの多くの新しい知見が得られた。今後はナノスピン ARPES 装置の開発を継続し、2 次元/高次トポロジカル絶縁体におけるエッジ・ヒンジ状態の直接観測などにも挑む。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) “Direct imaging of band structure for powdered rhombohedral boron monosulfide by micro-focused ARPES”, K. Sugawara, H. Kusaka, T. Kawakami, K. Yanagizawa, A. Honma, S. Souma, K. Nakayama, M. Miyakawa, T. Taniguchi, M. Kitamura, K. Horiba, H. Kumigashira, T. Takahashi, S.-i. Orimo, M. Toyoda, S. Saito, T. Kondo, and T. Sato, *Nano Lett.* **5**, 1673 (2023).
- 2) “Fermiology of a topological line-nodal compound  $\text{CaSb}_2$  and its implication to superconductivity: angle-resolved photoemission study”, C-W. Chuang, S. Souma, A. Moriya, K. Nakayama, A. Ikeda, M. Kawaguchi, K. Obata, S.R. Saha, H. Takahashi, S. Kitagawa, K. Ishida, K. Tanaka, M. Kitamura, K. Horiba, H. Kumigashira, T. Takahashi, S. Yonezawa, J. Paglione, Y. Maeno, and T. Sato, *Phys. Rev. Mater.* **6**, 104203 (2022).
- 3) “Fermiology and Origin of  $T_c$  Enhancement in a Kagome Superconductor  $\text{Cs}(\text{V}_{1-x}\text{Nb}_x)_3\text{Sb}_5$ ”, T. Kato, Y. Li, K. Nakayama, Z. Wang, S. Souma, F. Matsui, M. Kitamura, K. Horiba, H. Kumigashira, T. Takahashi, Y. Yao, and T. Sato, *Phys. Rev. Lett.* **129**, 206402 (2022).