

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

2021 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 ARPES によるハイブリッドトポロジカル材料創製

§ 1. 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、昨年度に引き続いて、この問題を打破する「ナノスピン ARPES 装置」と、その前身となる「マイクロ(m-)ARPES 装置」を開発した。マイクロ/ナノ集光系の構築と ARPES 測定系・スピン分析についての装置開発を進め、ナノスピン ARPES 装置の基幹部分である多チャンネルスピン検出を実現し、m-ARPES 装置の本格稼働に成功した。m-ARPES 装置では、従来試料上で $200 \times 300 \text{ mm}^2$ であった光スポットを $10 \times 12 \text{ mm}^2$ まで集光することに成功し、約 500 倍の光密度を実現した。さらに、本装置によって、本研究の到達目標の一つである一次元エッジ状態の観測に加えて、磁性トポロジカル絶縁体における磁性/結晶ドメイン分離観測やトポロジカル半金属多結晶におけるバンド計測などにも成功し、ARPES 測定におけるブレイクスルーをもたらした。本装置と MBE 装置を駆使して新しいハイブリッドトポロジカル材料を探索し、さらに、バルク単結晶育成、第一原理計算、物性理論が緊密に連携することで、トポロジカル相転移の制御が可能なディラック半金属の発見、擾乱に対して強固な二次元モット絶縁体の発見、新型トポロジカルかごめ超伝導体の電子状態解明、ベイズ統計を用いた電子状態解析法の提案など、チーム研究ならではの多くの新しい知見が得られた。

§ 2. 研究実施体制

(1) 佐藤グループ

- ① 研究代表者: 佐藤 宇史 (東北大学 材料科学高等研究所 教授)
- ② 研究項目
 - ・ナノスピンの ARPES 装置の開発
 - ・その場観察に基づいたハイブリッドトポロジカル材料創製

(2) 組頭グループ

- ① 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)
- ② 研究項目
 - ・ナノスピンの ARPES 装置の開発
 - ・その場観察に基づいたハイブリッドトポロジカル材料創製

(3) 瀬川グループ

- ① 主たる共同研究者: 瀬川 耕司 (京都産業大学 理学部 教授)
- ② 研究項目
 - ・その場観察に基づいたハイブリッドトポロジカル材料創製

(4) 山内グループ

- ① 主たる共同研究者: 山内 邦彦 (京都大学 学際融合教育研究推進センター 特定助教)
- ② 研究項目
 - ・第一原理計算を駆使したトポロジカル界面の機能設計

【代表的な原著論文情報】

- 1) Y. Nakata, K. Sugawara, A. Chainani, H. Oka, C. Bao, S. Zhou, P.-Y. Chuang, C.-M. Cheng, T. Kawakami, Y. Saruta, T. Fukumura, S. Zhou, T. Takahashi, and T. Sato, "Robust charge-density wave strengthened by electron correlations in monolayer 1T-TaSe₂ and 1T-NbSe₂", *Nature Commun.* **12**, 5873-1-9 (2021).
- 2) M. Kitamura, S. Souma, A. Honma, D. Wakabayashi, H. Tanaka, A. Toyoshima, K. Amemiya, T. Kawakami, K. Sugawara, K. Nakayama, K. Yoshimatsu, H. Kumigashira, T. Sato, and K. Horiba, "Development of a versatile micro-focused ARPES system with Kirkpatrick-Baez mirror optics", *Rev. Sci. Instrum.* **93**, 033906-1-8 (2022).
- 3) S. Tokuda, S. Souma, K. Segawa, T. Takahashi, Y. Ando, T. Nakanishi, and T. Sato, "Unveiling quasiparticle dynamics of topological insulators through Bayesian modelling", *Commun. Phys.* **4**, 170-1-8 (2021).
- 4) K. Nakayama, Y. Li, T. Kato, M. Liu, Z. Wang, T. Takahashi, Y. Yao, and T. Sato, "Carrier

Injection and Manipulation of Charge-Density Wave in Kagome Superconductor CsV_3Sb_5 ", *Phys. Rev. X*, **12**, 011001-1-8 (2022).

- 5) D. Takane, Y. Kubota, K. Nakayama, T. Kawakami, K. Yamauchi, S. Souma, T. Kato, K. Sugawara, S. Ideta, K. Tanaka, M. Kitamura, K. Horiba, H. Kumigashira, T. Oguchi, T. Takahashi, K. Segawa, and T. Sato, "Dirac semimetal phase and switching of band inversion in XMg_2Bi_2 ($X = \text{Ba}$ and Sr)", *Sci. Rep.* **11**, 21937-1-9 (2021).