

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

2020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ן 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、物質の電子状態を直接観測できる 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。一方、従来の ARPES は、測定対象が大面積で平坦な清浄表面が得られる試料に限られるという問題を抱えているため、二次元トポロジカル絶縁体の同定やデバイス動作中における局所電子状態観測などの課題に対して威力を発揮できておらず、材料開発において障害となっている。本研究では、これらの問題を打破する「ナノスピン ARPES 装置」とその前身となる「マイクロ ARPES 装置」を開発している。これらの装置は、放射光をマイクロ/ナノ集光して走査型 ARPES 測定を行うことで、電子のもつ全ての物理量を高い空間分解能で可視化できる。本研究では、この装置と分子線エピタキシー(MBE)法による薄膜開発により、新しいトポロジカル材料の探索・実証を進める。本年度は、ナノスピン ARPES 装置の開発に加えて、中間評価の達成目標でもあるマイクロ ARPES 装置の微小スポット化を実現し、本装置の本格稼働に成功した。昨年度導入した K-B ミラーと ARPES 装置・入射光のマッチング調整を行い、従来試料上で $200 \times 300 \mu\text{m}^2$ であった光スポットを $12 \times 15 \mu\text{m}^2$ まで集光することに成功し、約 300 倍の光密度を実現した。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、第一原理計算との連携により、トポロジカル絶縁体どうしのヘテロ構造がディラック電子制御に有用であることを示した。マイクロ空間分割測定により、局所ディラック電子バンド変調構造の観測や相転移制御が可能な新型ディラック半金属の同定などにも成功した。今後も装置開発を継続し、新規トポロジカル材料の実証と電子構造解明の研究を進める。

§ 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 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 (高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所、教授/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 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 (大阪大学 産業科学研究所、助教 (2020年11月15日まで)京都大学 触媒電池元素戦略研究拠点、特定助教(2020年11月16日から))

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) T. Sato, K. Sugawara, T. Kato, Y. Nakata, S. Souma, K. Yamauchi, T. Oguchi, T. Takahashi, and T. Sato, “Manipulation of Dirac Cone in Topological-Insulator/Topological-Insulator Heterostructure”, ACS Applied Electronic Materials **3**, 1080–1085 (2021) (Editor’s choice).
- 2) T. Kato, K. Sugawara, N. Ito, T. Sato, T. Takahashi, Y. Shiomi, E. Saitoh, and T. Sato, “Modulation of Dirac electrons in epitaxial Bi_2Se_3 ultrathin films on van-der-Waals ferromagnet $\text{Cr}_2\text{Si}_2\text{Te}_6$ ”, Phys. Rev. Mater. **4**, 084202–1–6 (2020).
- 3) Y. Satake, J. Shiogai, G. P. Mazur, S. Kimura, S. Awaji, K. Fujiwara, T. Nojima, K. Nomura, S. Souma, T. Sato, T. Dietl, and A. Tsukazaki, “Magnetic-field-induced topological phase transition in Fe-doped $(\text{Bi,Sb})_2\text{Se}_3$ heterostructures”, Phys. Rev. Mater. **4**, 044202–1–8 (2020).
- 4) T. Kosaka, K. Yamauchi, and T. Oguchi, “DFT-based Engineering of Dirac Surface States in Topological-insulator Multilayers”, J. Phys. Soc. Jpn. **89**, 094701 (2020).
- 5) T. Sato, Z. Wang, D. Takane, S. Souma, C. Cui, Y. Li, K. Nakayama, T. Kawakami, Y. Kubota, C. Cacho, T. Kim, A. Arab, V. N. Strocov, Y. Yao, and T. Takahashi, “Signature of Band Inversion in the Antiferromagnetic Phase of Axion Insulator Candidate EuIn_2As_2 ”, Phys. Rev. Research, **2**, 033342 (2020).