

佐藤 宇史

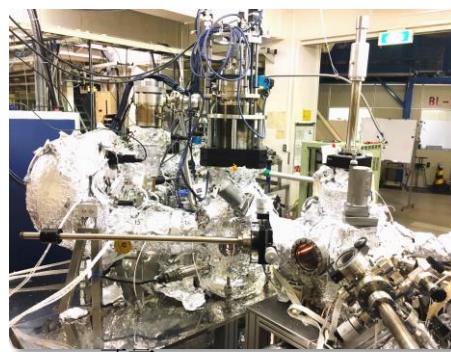
東北大学大学院理学研究科
教授

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

約 10 年前に、トポロジカル絶縁体と呼ばれる新しい種類の絶縁体が発見されました。トポロジカル絶縁体は、物質内部(バルク)は絶縁体であるのに対して、端に金属状態を持つ奇妙な物質であり、その特異な性質を利用した新しい量子現象の探索やデバイス応用に向けた研究が進展しています。これらの研究開発のための出発点となるのが、新しいトポロジカル物質の実証であり、多岐にわたるトポロジカル材料の開拓それ自体が研究の進展に直結しています。物質の電子状態を運動量とスピンにまで分解して直接観測できるスピン・角度分解光電子分光(スピンARPES)は、表面におけるトポロジカル電子のもつエネルギー状態を直接決定できる特長を生かして、多くのトポロジカル物質の同定を先導してきました。一方、従来のARPESは、測定対象が大面積かつ平坦な清浄表面が得られる試料に限られるという本質的な問題を抱えているため、二次元トポロジカル絶縁体や「弱い」トポロジカル絶縁体の同定、デバイス動作中における局所電子状態観測などといった課題に対して威力を十分発揮できておらず、材料開発において障害となっています。

本研究では、これらの問題を打破する「ナノスピンARPES装置」を開発しています。この装置は、放射光からの極端紫外線および軟X線をナノ集光して材料に照射しながら走査型スピン分解ARPES測定を行うことで、電子のもつ全ての物理量「エネルギー・運動量・スピン」をナノメートルスケールで可視化します。また、この装置と分子線エピタキシー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・実証を行います。研究開始初年度である本年度は、ナノスピンARPES装置の開発に向けて、その前身となる「マイクロスポットARPES装置」の集光系の設計を行いました。詳細な光軌道シミュレーションの結果、既存の放射光ビームラインに、付加的にK-Bミラーと呼ばれる集光システムを組み込むことで、従来試料上で数百マイクロン角程度であった光ビームスポットを、数十マイクロン角に絞り込めることを明らかにしました。K-Bミラーの仕様はすでに確定し、現在、ミラー駆動系を含む超



高真空装置の最終設計を行いつつ、稼働中のARPES装置をミラーに接続するための改良を行っています(図1)。また、この装置開発と並行して、海外の放射光施設(イギリス、フランスなど)にも赴いてナノARPESの最先端装置開発の現状を把握しつつ、スピン分析器開発を行う東北大チームとナノ集光系開発を行うKEKチームが議論を重ねることで、ナノスピンARPES装置全体のグランドデザインを確定することができました。このような装置開発と同時に、海外放射光施設におけるナノARPES実験を行い、種々のトポロジカル物質においてナノARPESの有用性を明らかにする実験も行っています。また、二次元トポロジカル絶縁体におけるエッジ状態のARPESによる直接可視化に向けて、幾つかの候補物質の薄膜作製にも着手し、そのARPES実験と第一原理バンド計算により、バルクの電子状態を決定することにも成功しました。今後も継続して、ARPES装置の高度化とナノスピンARPES装置の開発を中心に研究を推進します。

【代表的な原著論文】

1. Daisuke Shiga, Makoto Minohara, Miho Kitamura, Ryu Yukawa, Koji Horiba, and Hiroshi Kumigashira, “Emergence of metallic monoclinic states of VO₂ films induced by K deposition”, Phys. Rev. B, Vol. 99, p 125120 -1-7, 2019.
2. Anh Khoa Augustin Lu, Tomoe Yayama, Tetsuya Morishita, Michelle J. S. Spencer, and Takeshi Nakanishi, “Uncovering new buckled structures of bilayer GaN: a first-principles study”, J. Phys. Chem. C, Vol. 123, No. 3, pp. 1939-1947, 2019.

§ 2. 研究実施体制

(1) 佐藤グループ

- ① 研究代表者: 佐藤 宇史 (東北大学大学院理学研究科 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放射光科学研究施設/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物理科学科 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)
- 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