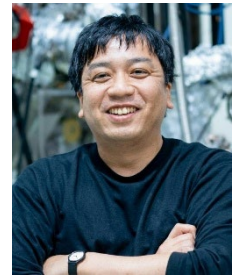


スピン角度分解光電子分光を用いた反強磁性スピントロニクス 材料におけるスピン分裂バンドの直接検証

Direct observation of spin-split electronic bands in antiferromagnetic spintronic materials using spin-resolved angle-resolved photoemission spectroscopy



広島大学 黒田 健太

反強磁性体は、隣接する磁気モーメントが互いに反平行に配列する磁性体であり、外部磁場の影響を受けにくい安定性やテラヘルツ帯での超高速応答が期待されることから、次世代スピントロニクス材料として注目を集めている。さらに近年では、異常ホール効果や磁気光学効果など、従来は強磁性体に特有と考えられてきた機能物性が反強磁性体においても相次いで発見され、磁気秩序が電子状態へ及ぼす影響に大きな関心が寄せられている。これらの機能は、反強磁性秩序によって電子バンド構造に形成されるスピン分裂や特徴的なスピントクスチャに起因すると考えられているものの、それらを実験的に直接観測した例は極めて限られており、磁気秩序と電子スピン構造との関係は十分に理解されていない。

本研究では、電子の運動量、エネルギー、さらにスピンの向きを同時に測定できるスピン角度分解光電子分光法（Spin-ARPES）を用い、反強磁性体における電子スピン構造の直接可視化に取り組んだ。我々はこれまでに、数 μm スケールの空間分解能とスピン分解能を両立したレーザー顕微 Spin-ARPES を広島大学放射光科学研究所において独自に開発しており [1]、電子状態を微小領域ごとに直接観測できる新しい計測基盤を構築してきた。反強磁性体では、微小な磁気ドメインが空間的に複雑に分布するため、従来の Spin-ARPES では異なるドメインからの信号が平均化され、磁気秩序に由来する電子スピン構造の観測が困難であった。本装置は、このようなドメイン平均化の影響を低減できる空間分解能を有し、反強磁性スピントロニクス研究を支える新たな顕微計測技術として期待される。そこで、将来的な反強磁性デバイスへの応用を見据え、反強磁性薄膜試料を大気に曝すことなく成膜装置から放射光施設へ輸送できる可搬型超高真空試料搬送システムを開発した。本システムにより薄膜試料の Spin-ARPES 測定基盤を構築するとともに、反強磁性薄膜に対するスピン計測の実現に向けた技術的課題を明確にした。加えて、バルク反強磁性体 NdBi に高空間分解能レーザー Spin-ARPES を適用し、反強磁性秩序に伴って表面電子状態が明瞭なスピン偏極を示すことを直接観測した。第一原理計算との比較から、遍歴電子のスピン構造が局在した 4f 電子磁性と結晶対称性の協奏によって形成されることを明らかにし、磁気秩序と電子スピン構造との密接な関係を実験的に実証した [2]。これらの成果は、反強磁性体における量子機能の起源を電子構造の観点から理解するための新たな研究基盤を提供するとともに、磁場や歪み、光などの外場を利用して電子スピン構造を自在に制御する新しい反強磁性スピントロニクスの設計指針へとつながることが期待される。

【キーワード】 スピントロニクス、反強磁性体、電子構造、スピン偏極

【参考文献】

- T. Iwata *et al.*, “Laser-based angle-resolved photoemission spectroscopy with micrometer spatial resolution and detection of three-dimensional spin vector”, *Scientific Reports* **14**, 127 (2024).
- R. Yamamoto *et al.*, “Spin splitting in the surface electronic structure of antiferromagnet NdBi”, *Physical Review Research* **7**, L022005 (2025).