

課題番号 : 2022B-E16  
 利用課題名 (日本語) : 軟 X 線光電子分光による磁性トポロジカル量子輸送特性の解明  
 Program Title (English) : Elucidation of magnetic topological quantum transport properties using soft x-ray photoemission spectroscopy  
 利用者名 (日本語) : 関祐一<sup>1)</sup>, 稲垣洗大<sup>1)</sup>, 武田崇仁<sup>1)</sup>, 小林正起<sup>1)</sup>  
 Username (English) : Y. Seki<sup>1)</sup>, K. Ingaki<sup>1)</sup>, T. Takeda<sup>1)</sup>, M. Kobayashi<sup>1)</sup>  
 所属名 (日本語) : 1) 東京大学大学院工学系研究科

キーワード : Photoemission spectroscopy, topological state, Spintronics

1. 概要 (Summary)

電子の「電荷」と「スピン」を組み合わせるスピントロニクスは、「電荷」の自由度を用いている現在のエレクトロニクスを発展させる、次世代のエレクトロニクスとして期待されている。特に半導体スピントロニクスは、既存の半導体技術つまり半導体結晶成長やプロセス技術との親和性が高く、量子情報技術や量子物性を実用デバイスへ応用するために重要となる。本研究課題では、スピントロニクス物質として注目を集めるトポロジカル絶縁体やワイル半金属の電子状態を調べることにより、それらのデバイス応用へ向けた新奇強磁性物質の基礎物性の解明を目的とする。Weyl 量子輸送特性を示す超高品質 SrRuO<sub>3</sub> 薄膜における共鳴光電子分光

る振る舞いが観測された。この結果は、量子輸送特性を活かしたナノデバイスを作製する時の閾値となる膜厚を示しており、物性理解やデバイスデザインにおいて重要な結果であると考えられる。

2. 実験(目的,方法) (Experimental)

測定には、SPring-8 重元素科学ビームライン (BL23SU) の光電子分光装置を用いた。測定した試料は、膜厚を制御した超高品質 SrRuO<sub>3</sub> 薄膜である (膜厚 1–5 nm)。光電子分光測定は、温度  $T = 30$  K で行い、450–1250 eV の入射光エネルギーを用いた。エネルギー分解能は約 140–300 meV である。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

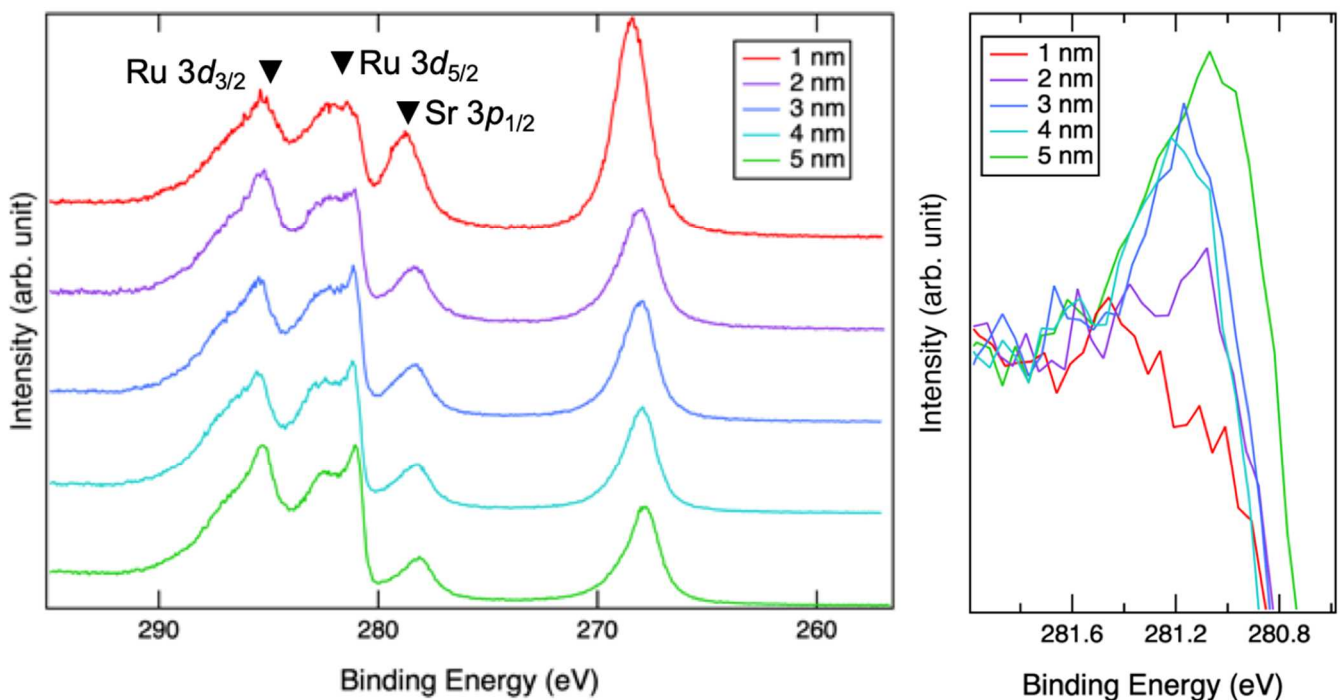


図 1. 超高品質 SrRuO<sub>3</sub> 薄膜の光電子分光測定. 試料の膜厚は、1-5 nm. (Left) Ru 3d および Sr 3p スペクトル. Ru 3d<sub>5/2</sub> に膜厚に依存して強度が変化する Well-screened (WS) ピークが観測されている. (Right) WS ピークの拡大図.

測定から、膜厚に依存してコヒーレントピーク強度が減少す

SrRuO<sub>3</sub> 薄膜は垂直磁化を持つ金属強磁性体である。

近年、若林らは[Y. K. Wakabayashi *et al.*, *APL Materials* **7**, 101114 (2019)]、機械学習を利用した分子線エピタキシー (MBE) 法により超高品質の強磁性酸化物  $\text{SrRuO}_3$  薄膜の作製に成功し、この薄膜においてバンドのトポロジーに起因した Weyl Fermion による量子振動や磁気抵抗などの量子輸送物性を観測した[K. Takiguchi *et al.*, *Nat. Comm.* **11**, 4969 (2020)]これまでに  $\text{SrRuO}_3$  を用いた酸化物スピントロニクスデバイスの研究例も報告があり[H. Boschker *et al.*, *Phys. Rev. X* **9**, 011027 (2019)]、 $\text{SrRuO}_3$  は酸化物エレクトロニクスにおいて Weyl 量子輸送特性を利用したデバイスへの候補物質として期待されている。

図1は膜厚を制御した  $\text{SrRuO}_3$  薄膜における光電子分光測定で観測された Ru 3d および Sr 3p 内殻スペクトルを示す。Sr 3p のスペクトルは膜厚にはほぼ依存していない一方で、Ru 3d スペクトル、特に Ru 3d<sub>5/2</sub> に現れる鋭いピーク構造である Well-screened (WS) ピーク強度が、膜厚により変化する様子が観測された。WS ピ

ークは、電気伝導を担う Ru 4d 準粒子による遮蔽効果に由来しており、WS ピークの強度は  $\text{SrRuO}_3$  の伝導度を反映していると考えられる。WS ピークは膜厚の減少に伴い強度が減少する様子が見られ、1 nm ではほぼピーク強度が消失している(図1右)。この結果は、 $\text{SrRuO}_3$  薄膜の膜厚を薄くすることで、電気伝導度が減少する、つまり Weyl 量子輸送特性が消失していくことを示唆している。この原因としては、基板との界面散乱の影響や、膜厚の極薄化による有効電子相関効果の増大が原因と考えられる。前者の原因については、今度、基板を変えることで界面のミスマッチ等を変調して、その効果を調べることで検証する。

#### 4. その他・特記事項 (Others)

BL23SUでの実験に関して、原子力研究機構の竹田幸治氏、藤森伸一氏、にご支援いただいた。本研究の一部は、スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点の支援を受けて行われた。