

課題番号 : 2022A-E23
利用課題名 (日本語) : 軟 X 線分光を用いた強磁性トポロジカル界面状態・磁性ワイル半金属物性の解明
Program Title (English) : Unveiling physical properties of ferromagnetic topological interfacial states and magnetic Weyl semimetals using soft x-ray spectroscopy
利用者名 (日本語) : 関祐一¹⁾, 稲垣洗大¹⁾, 武田崇仁¹⁾, 小林正起¹⁾
Username (English) : Y. Seki¹⁾, K. Ingaki¹⁾, T. Takeda¹⁾, M. Kobayashi¹⁾
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で、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 SrRuO₃ 薄膜における共鳴光電子分光測定から、膜厚に依存して価電子帯における準粒子ピーク強度が減少する振る舞いが観測された。この結果は、量子輸送特性が膜厚に依存することを示しており、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 SrRuO₃ 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)

SrRuO₃ 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 SrRuO₃ 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 SrRuO₃ 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).], SrRuO₃ 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(a) は膜厚を制御した SrRuO₃ 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_{5/2} に現れる鋭いピーク構造である Well-screened (WS) ピーク強度が、膜厚により若干、変化の様子が観測された。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 SrRuO₃ の伝導度を反映していると考えられる。60 nm と 10 nm ではほぼ WS ピークに変化はないが、5 nm になると強度は減少した。図 1(b) は同試料で観測された価電子帯スペクトルを示す。フェルミ準位近傍では、準粒子ピークと呼ばれる鋭いスペクトル形状が観測された。準粒子ピーク強度は伝導を担う電子状態を反映している。内殻スペクトル (図 1(a)) の WS ピークと同様に、準粒子ピーク強度は 5 nm になると減少している様子が観測された。この実験結果は、WS ピーク強度が電気伝導特性と関係していることを示唆し、膜厚の減少により SrRuO₃ の量子輸送特性が抑制されることを示している。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。今後はさらに膜厚を薄くすることで、膜厚によりコヒーレント状態が消失する原因を

解明する。

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。

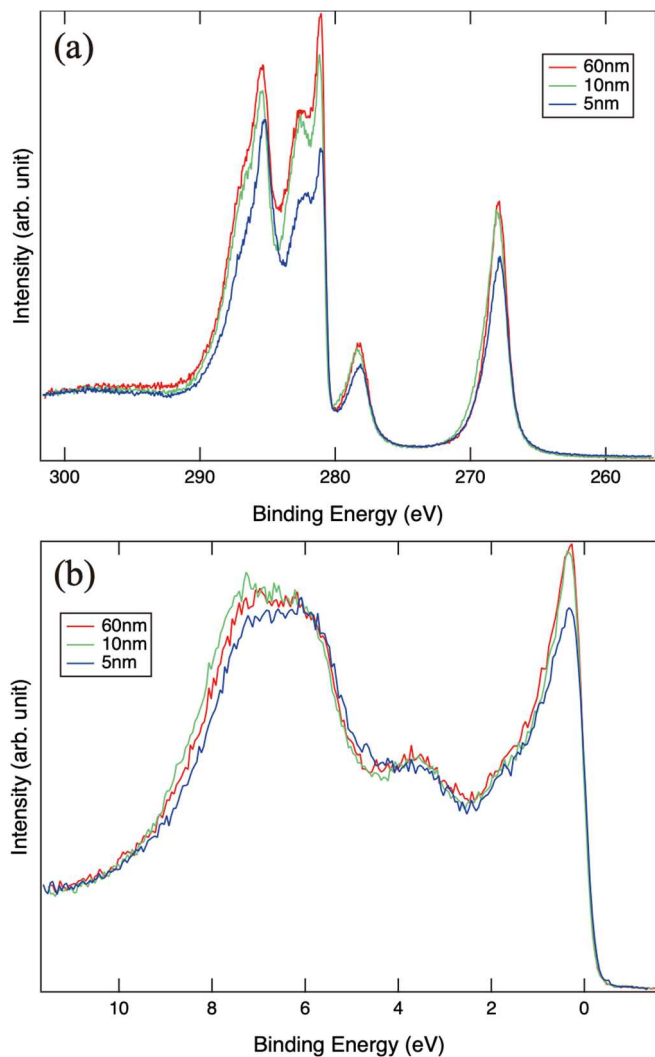


図 1. 膜厚を変えた SrRuO₃ 薄膜における光電子分光測定結果. 膜厚は 5, 10, 60 nm. (a) Ru 3d および Sr 3p 内殻スペクトル. (b) 価電子帯スペクトル.