

課題番号 :2023A-E17
利用課題名 (日本語) :強磁性酸化物を用いたスピントロニクスデバイスにおける量子輸送特性の解明
Program Title (English) :Unveiling the quantum transport property of spintronics devices using ferromagnetic oxides
利用者名 (日本語) :関裕一¹⁾, 稲垣洸大¹⁾, 有川世修¹⁾, 小林正起¹⁾
Username (English) :Y. Seki¹⁾, K. Ingaki¹⁾, S. Arikawa¹⁾, 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, Spintronics, ferromagnetic oxide

1. 概要 (Summary) 目的・用途・実施内容

情報技術の革新は高品質半導体物質を基にした高性能電子デバイスによって支えられている。しかしながら、微細化によって発展した半導体電子デバイスは技術的な限界が近づいており、発展を続ける情報化社会を維持するために新しい原理に基づくエレクトロニクスが切望されている。酸化物エレクトロニクスは、金属から絶縁体までの広い伝導特性を持つ酸化物を用いたエレクトロニクスである。特に遷移金属酸化物は、超伝導や巨大磁気抵抗効果などの特異な量子物性を示す[H. Y. Hwang *et al.*, Nat. Mater. 11, 103 (2012.)]。近年、強磁性酸化物を用いたデバイス構造において電子スピンに起因した新しい伝導現象が発見されており、スピントロニクス(スピン+エレクトロニクス)の発展に貢献することが期待されており、基礎及び応用共に強磁性酸化物ヘテロ構造の研究が進んでいる。本研究では、強磁性酸化物デバイスの電子状態を調べることで、量子輸送特性の原因を解明することを目的とする。

酸化物エレクトロニクスおよびスピントロニクスの発展は、従来の半導体エレクトロニクスを拡張し将来の消費電力・エネルギー問題の解決に貢献することが期待される。強磁性遷移金属酸化物(La,Sr)MnO₃ (LSMO)を電極として用いたスピントランジスタにおいて、従来の半導体デバイスを遥かに凌ぐ、超巨大磁気抵抗(MR)比が達成された。このデバイスでは、LSMO電極間にArミリングを行い、酸素欠損を導入することで絶縁化したLSMOがトンネル障壁として存在し、この高いMR比の達成に大きな役割を果たしているとされている。本研究では、これら強磁性酸化物を用いたスピントロニクスデバイス構造における電子状態を光電子分光により調べ、スピン物性の起源を電子状態の観点から解明することで、将来の酸化物エレクトロニクス・ナノテクノロジーへの貢献を目指した。

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、Ar処理前後の高品質La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃薄膜である。光電子分光測定は、温度 $T=30\text{ K}$ 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)

LSMOを用いたスピントランジスタデバイスでは、LSMO電極間にArミリングを行い、酸素欠損を導入することで絶縁化したLSMOがトンネル障壁として存在し、この高いMR比の達成に大きな役割を果たしていると考えられている。本研究では、デバイスと同様のAlキャップ/LSMOの構造を対象にRPES測定を行うことで、この絶縁層の電子状態を解明し、ミリング条件の最適化やトンネル障壁に最適な絶縁壁の構造、電子状態の提案を目指した。

図1は、Ar照射およびアニール処理をしたLSMO薄膜におけるMn L₃端共鳴光電子分光スペクトルを示す。LSMOでは E_F をよぎるMn 3d部分状態密度(PDOS)が観測されているが、Ar照射によりフェルミ準位(E_F)近傍の強度がなくなり絶縁化することが分かった。アニールにより僅かに E_F 近傍の強度が回復するがギャップは空いている様子が観測された。この結果はAr照射後にアニールをしても金属状態は回復せずに、LSMOは絶縁化した状態になる

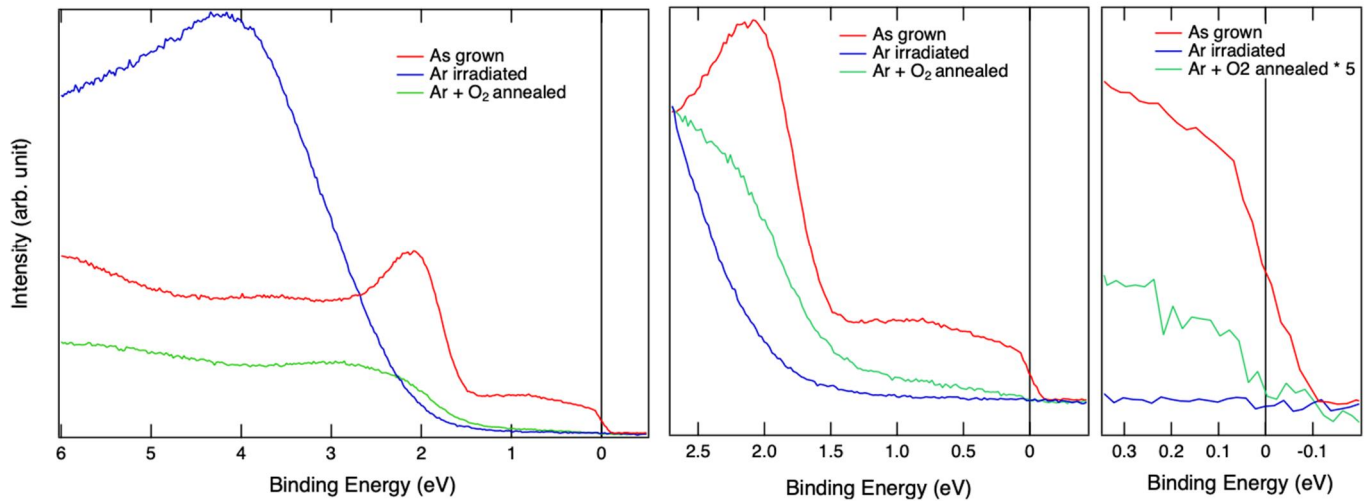


図 1. LSMO の価電子帯スペクトルにおける Ar 照射処理の影響.

ことが明らかになった。この結果は、Ar 照射の処理によって LSMO を部分的に絶縁化できることを示唆しており、スピントランジスタデバイスで観測された巨大な磁気抵抗効果は、急峻な界面を有する金属-絶縁体ヘテロ構造によるものと考えられる。

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。