課題番号　　:2020A-E18
利用課題名（日本語）　　:酸化物磁気トンネル接合デバイスにおける界面磁気状態の解明
Program Title (English)　:Elucidation of the interface magnetic states in oxide magnetic tunneling junction devices
利用者名（日本語）　　:武田 崇仁 [1)], 荒木 恒星 [1)], 小林正起 [1)]
Username (English)　　:T. Takeda[1)], K. Araki[1)], M. Kobayashi[1)]
所属名（日本語）　　:1）東京大学大学院工学系研究科
Affiliation (English)　　: 1) Department of Electrical Engineering and Information Systems, The University of Tokyo
キーワード：Ferromagnetic oxide, Photoemission spectroscopy, X-ray magnetic circular dichroism

1. 概要（Summary）

スピントロニクスデバイス応用に対する強磁性物質の利用において、強磁性体を用いたヘテロ構造における界面磁気特性を理解することは重要である。本研究課題では、単結晶 $LaAlO_3$ (LAO)/$La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$ (LSMO)/Nb:$SrTiO_3$ (Nb:STO)ヘテロ構造において LSMO 層の膜厚を変えることによる磁気特性の変化の原因を解明するために、共鳴光電子分光（RPES）および X 線磁気円二色性（XMCD）を用いた電子状態の解析を行った。測定結果より、LSMO 膜厚に依存した金属絶縁体転移（MIT）に伴い交換相互作用が変化することで、磁気異方性が変わることを明らかにした。

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）の光電子分光装置および XMCD 装置を用いた。測定した試料は、分子線エピタキシー法により成長した LAO(2 uc)/LSMO(t = 5 or 15 uc)/Nb:STO 薄膜である。RPES 測定は 20 K で行われた。X 線吸収分光（XAS）スペクトルは、全電子収量法により測定した。

3. 結果と考察（Results and Discussion）

LSMO 層の膜厚に依存した電子状態の変化を明らかにするために、Mn L_3 吸収端における RPES 測定を行った。図 1 は LAO/LSMO/Nb:STO 薄膜で観測された RPES スペクトルを示す。t = 5 uc の試料ではフェルミ準位（E_F）近傍でギャップが開いている一方で、t = 15 uc の試料では有限の状態密度が存在している。この結果は、過去に報告されている、STO 上の LSMO における膜厚依存 MIT と類似している。共鳴スペクトルにおいても同様の結果が得られており、この結果は LAO/LSMO/Nb:STO 薄膜における MIT も Mn 3d 状態の性質を反映したものであることを示唆する。

図 2(a)および 2(b)は LAO/LSMO/Nb:STO 薄膜で観測

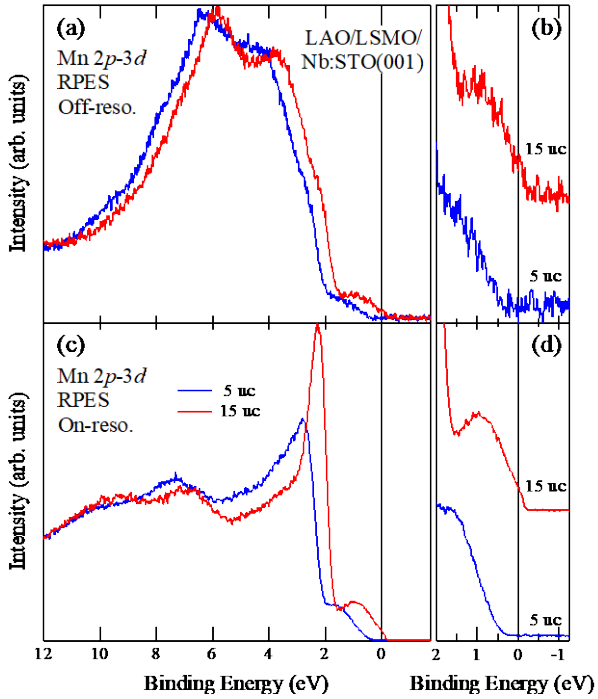

図 1. LAO/LSMO/Nb:STO 薄膜の Mn 2p-3d RPES. (a) 非共鳴スペクトル. (b) 共鳴スペクトル.

された Mn $L_{2,3}$ 端の XMCD スペクトルの磁場依存性を示す。15-uc 試料はスペクトル形状が磁場に依存しない一方で、5-uc 試料では 640 eV 近傍の構造が磁場で変化している。この結果は、15-uc 試料ではほぼ全ての Mn イオンが強磁性に貢献しているが、5-uc 試料では常磁性または反強磁性も共存していることを示唆する。図 2(c)および 2(d)はそれぞれ LAO/LSMO/Nb:STO 薄膜における XMCD 強度の磁場および温度依存性を表す。5-uc の飽和磁化は 15-uc の 1/3 程度であるが、5-uc の磁化曲線はゼロ磁場近傍で急峻に立ち上がっている。また、5-uc と 15-uc では磁化の温度依存性が異なる。これらの結果は、膜厚依存 MIT に伴って磁気的な振る舞いが変化したことを示唆しており、LAO による歪みの影響を反映していると考えられる。これらの結果から、伝導に関連する二重

交換相互作用と歪みによる超交換相互作用の競合により磁気異方性を制御することが可能と考えられる。

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。