

ペロブスカイト酸化物 $\text{LaNiO}_3/\text{LaMnO}_3$ ヘテロ界面における界面強磁性 II Interfacial ferromagnetism at the heterointerface between perovskite oxides LaNiO_3 and LaMnO_3 II

北村未歩^{1,2,*}, 堀場弘司², 小林正起², 坂井延寿², 簗原誠人², 湯川龍², 志賀大亮², 雨宮健太²,
藤森淳³, 藤岡洋¹, 組頭広志²

¹ 高エネルギー加速器研究機構放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大徳 1-1

² 東京大学生産技術研究所, 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

³ 東京大学大学院理学系研究科, 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

Miho Kitamura^{1,2,*}, Koji Horiba¹, Masaki Kobayashi¹, Enju Sakai¹, Makoto Minohara¹,
Ryu Yukawa¹, Daisuke Shiga¹, Kenta Amemiya¹, Atsushi Fujimori³,
Hiroshi Fujioka², and Hiroshi Kumigashira¹

¹ Institute of Industrial Science, the University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo
153-8505, Japan

² Photon Factory, KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

³ Department of Physics, the University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

1 はじめに

酸化物ヘテロ界面では、構成物質単体では発現し得ないような特異な磁気特性が発現する。近年、 LaNiO_3 (LNO) / LaMnO_3 (LMO) 超格子構造において、バルクでは常磁性金属の LNO に界面誘起の反強磁性秩序が生じ、交換バイアスが発現するという報告がなされた[1]。このような特異な界面磁気状態には、ヘテロ界面における遷移金属イオン間の電荷移動が重要な役割を果たしていると考えられる。そこで我々は、LNO/LMO ヘテロ界面における電荷移動現象と界面強磁性の関係を明らかにするため、X線吸収分光 (XAS) を用いた LNO/LMO ヘテロ界面の電荷移動現象、特に価数変化とその空間分布の評価と、X線磁気円二色性 (XMCD) を用いた界面磁気評価とを行っている。

これまで、LNO/LMO ヘテロ構造における XAS 測定により、界面において Mn イオンから Ni イオンへ電子が移動していること、さらに移動した電荷の空間分布が両者で異なることを明らかにしてきた[2]。また、Ni $L_{2,3}$ XMCD の評価結果から、電荷移動によって生成した界面 1 ML の LNO 中の Ni^{2+} イオンにのみ磁化が誘起されていることを見いだしてきた [3]。これらの結果を受けて、今回我々は Mn 側の磁化状態を明らかにするために、Mn $L_{2,3}$ XMCD 測定を行ったので、その結果を報告する。

2 実験

LNO と LMO とのサンドイッチ構造 (LNO 5 ML/LMO m ML/LNO 20 ML; $m = 6, 12$) は、KEK-PF Beamline MUSASHI (BL-2A) に設置された「その場 (*in-situ*) 光電子分光—レーザー分子線エピタキシー複合装置」を用いて、Nb:SrTiO₃ (Nb = 0.05 wt. %) (001) 基板上に作製した。作製したサンドイッチ構造における Ni イオンと Mn イオンの磁化状

態を元素選択的に評価するため、BL-16A に設置された「常伝導電磁石 XMCD 測定装置」を用いて、測定温度 70 K、印加磁場 1 T の条件下で XMCD 測定を行った。

3 結果および考察

図 1 に LNO 5 ML/LMO m ML/LNO 20 ML サンドイッチ構造 ($m = 6, 12$) と、参照としての LMO 薄膜の Mn $L_{2,3}$ XMCD スペクトルを示す。LMO はバルクでは反強磁性絶縁体であるが、エピタキシャル薄膜にすると強磁性絶縁体になることが報告されている [1]。今回我々の LMO 薄膜においても明瞭な XMCD 信号が観測され、LMO 薄膜は強磁性特性を有することを確認した。同様に、LNO/LMO/LNO サンドイッチ構造においても明瞭な XMCD 信号が観測されている。両者のスペクトル形状を比較すると、サンドイッチ構造における XMCD スペクトルでは、 Mn^{4+} 由来の状態と考えられる 644 eV 付近の強度 [4] が増大している事が見取れる。このことから、LNO と接合した LMO 中では、強磁性発現に電荷移動によって生じた Mn^{4+} 状態 [2] が、強磁性発現により大きく寄与していると考えられる。

さらに定量的な解析を行うため、Sum rule [5] を用いて Mn イオン当たりの平均磁化を算出した。その結果、Mn イオン当たりの平均磁化が LMO 薄膜の $2.2 \mu_B$ から、LMO 6 ML のサンドイッチ構造においては $3.0 \mu_B$ と増加していることが明らかになった。以前に報告した XAS の結果から、電荷移動により生じた正孔は、LMO 側では界面から 3-4 ML の領域に空間的に広がっていると考えられる [3]。これらの結果を併せて考えると、電荷移動によりホールドープされた界面領域において Mn^{3+} と Mn^{4+} による強磁性的な二重交換相互作用が安定化することによ

て、LMO 内部よりも強磁性が安定化していることが示唆される。

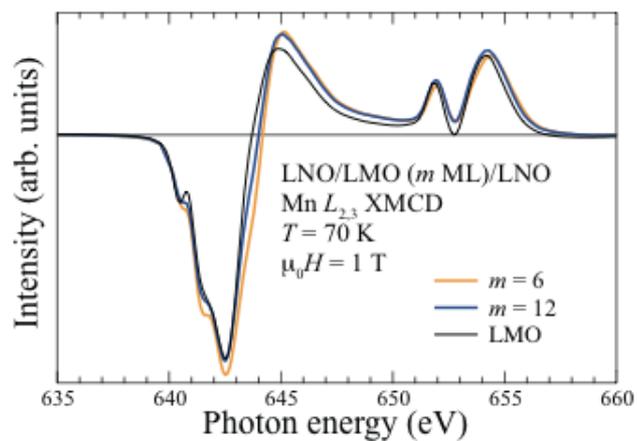


図 1 : LNO 5 ML/LMO m ML/LNO 20 ML ($m = 6, 12$) サンドイッチ構造と LMO 薄膜の Mn $L_{2,3}$ XMCD スペクトル。

参考文献

- [1] M. Gibert *et al.*, Nat. Mater. **11**, 195 (2012).
- [2] M. Kitamura *et al.*, Appl. Phys. Lett. **108**, 111603 (2016).
- [3] M. Kitamura *et al.*, PF Activity Report 2015 (2016).
- [4] K. Yoshimatsu *et al.*, Phys. Rev. B **88**, 174423 (2013).
- [5] P. Carra *et al.*, Phys. Rev. Lett. **70**, 694 (1993).

*mkita@post.kek.jp