

## 共鳴軟 X 線散乱による巨大磁気抵抗効果を示す マンガン系人工超格子の研究

### Manganite superlattice system exhibiting a large negative magnetoresistance studied by resonant soft x-ray scattering

中尾裕則<sup>1,\*</sup>, 須田山貴亮<sup>1</sup>, 山崎裕一<sup>2,3</sup>, 村上洋一<sup>1</sup>, 山田浩之<sup>4</sup>, 澤彰仁<sup>4</sup>

<sup>1</sup>高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

<sup>2</sup>東京大学 大学院工学系研究科, 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

<sup>3</sup>理化学研究所 創発物性科学研究センター, 〒351-0198 和光市広沢 2-1

<sup>4</sup>産業技術総合研究所, 〒305-8565 つくば市東 1-1-1

Hironori Nakao<sup>1,\*</sup>, Takaaki Sudayama<sup>1</sup>, Yuichi Yamasaki<sup>2,3</sup>, Youichi Murakami<sup>1</sup>,  
Hiroyuki Yamada<sup>4</sup>, Akihito Sawa<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Materials Structure Science, KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

<sup>2</sup>Department of Applied Physics, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku 113-8656, Japan

<sup>3</sup>CEMS, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako 351-0198, Japan

<sup>4</sup>AIST, 1-1-1 Azuma, Tsukuba, 305-8565, Japan

#### 1 はじめに

強相関電子系では、電子の持つ自由度である電荷・スピン・軌道の結晶格子での多様な振舞いから、多彩でかつ新奇な物性が次々と発見されている。従って、この系の物性発現機構を理解する上で、これらの電子自由度の秩序状態の解明が重要となっている。共鳴 X 線散乱(RXS)は、このような物性発現機構の鍵を握る電子自由度の秩序状態を決定するための優れた手法である。特に、軟 X 線領域の RXS 実験では、 $3d$  遷移金属酸化物の  $L_{2,3}$ -edge を利用することで物性を担っている  $3d$  電子状態を直接的に観測できる点だけでなく、その性質からスピン構造を比較的強い RXS 信号として観測ができることから、大変注目されている。そこで我々は、軟 X 線領域での RXS 実験を行うための回折装置や検出器の開発を進めてきた。本稿では、開発してきた装置を利用したマンガン系人工超格子の共鳴軟 X 線散乱研究を紹介する。

マンガン系人工超格子  $(\text{LaMnO}_3)_m(\text{SrMnO}_3)_m$  では、 $\text{LaMnO}_3$  と  $\text{SrMnO}_3$  の積層周期や基板による歪みを制御することで、様々な電子秩序相が出現することが報告されている。[1] 特に、 $(\text{LaAlO}_3)_{0.3}(\text{SrAl}_{0.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_3)_{0.7}$ (LSAT) 基板で歪みを制御した  $(\text{LaMnO}_3)_2(\text{SrMnO}_3)_2$  超格子構造を作製したところ薄膜化したことにより初めて出現する巨大磁気抵抗効果が発見され注目されている。そこで、 $(\text{LaMnO}_3)_2(\text{SrMnO}_3)_2$  の共鳴軟 X 線散乱による磁気的・電子的な状態の研究を行った。[2]

#### 2 実験

$\text{Mn } 3d$  の電子状態、磁気状態を解明するために、BL-16A, 19B において  $\text{Mn } L_{2,3}$ -edge での X 線回折実

験を行った。回折計としては、開発してきた 2 軸回折計[3] を使い、 $\pi$  配置での回折実験を実施した。試料としては、PLD 法により LSAT 基板上に作製された、厚さ約 20nm の  $(\text{LaMnO}_3)_2(\text{SrMnO}_3)_2$  を用いた。

#### 3 結果および考察

$\text{Mn } L_{2,3}$ -edge での蛍光スペクトルを図 1 (a)に示す。 $L_3$  と  $L_2$  の吸収端に対応して蛍光強度が強くなっていることが分かる。また、 $L_3$  より  $L_2$  の方が強く観測され

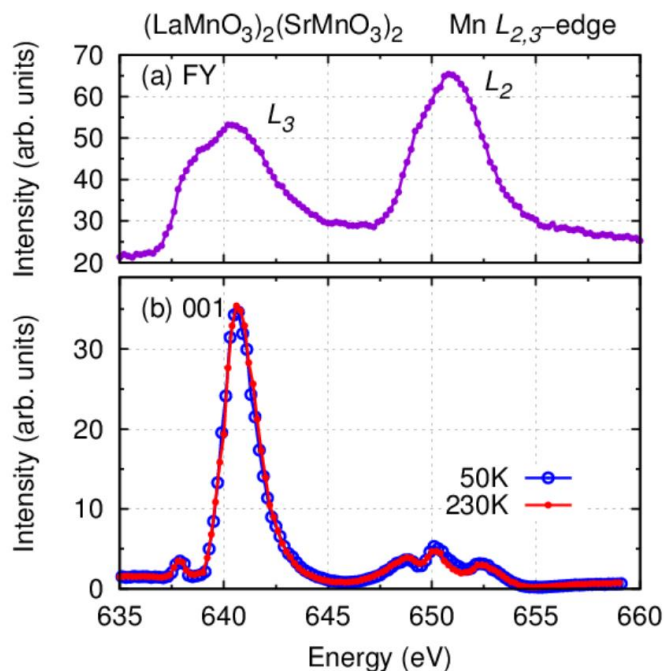


図 1 :  $(\text{LaMnO}_3)_2(\text{SrMnO}_3)_2$  の(a) 蛍光スペクトルと (b) 001 反射のエネルギー依存性。

ているのは、試料の自己吸収や表面状態に影響されたものと考えている。次に、 $(\text{LaMnO}_3)_2(\text{SrMnO}_3)_2$  の超格子周期に対応した 001 反射のエネルギー依存性を図 1(b)に示す。 $\text{LaMn}^{3+}\text{O}_3$  と  $\text{SrMn}^{4+}\text{O}_3$  の積層構造であり、Mn の価数変調構造を反映して、吸収端で共鳴的に信号強度が強くなるエネルギースペクトルが観測された。さらに磁気構造決定のために、磁気転移温度 ( $T_c \sim 200$  K) 以下での 001 反射のエネルギー依存性を測定した。(図 1 (b)) しかしながら、図に示すようにスペクトルの温度依存性は観測されなかった。つまり、001 反射が反映する周期での磁気秩序はないことが明らかとなった。

#### 4 まとめ

共鳴軟 X 線散乱は、Mn  $L_{2,3}$ -edge を利用することで Mn  $3d$  の電子状態を直接観測でき、今回の  $(\text{LaMnO}_3)_2(\text{SrMnO}_3)_2$  では観測されなかったものの、強い磁気信号が観測される。[4] しかしながら、共鳴軟 X 線散乱では利用する X 線の波長が長いこと、周期の短い磁気構造の観測は、原理的にできない。そこで本研究では、中性子磁気散乱との相補利用により、界面強磁性状態が  $(\text{LaMnO}_3)_2(\text{SrMnO}_3)_2$  で実現していることを解明するとともに、この界面強磁性状態が巨大磁気抵抗効果の起源であることを提案した。[2]

#### 謝辞

本研究は、共鳴軟 X 線散乱装置の開発にあたり、科研費(No. 21224008, 25286090)、最先端研究開発支援プログラム、CREST の支援を受けた。

#### 参考文献

- [1] H. Yamada *et al.*, *Phys. Rev. B* **81**, 014410 (2010).
- [2] H. Nakao *et al.*, *Phys. Rev. B* **92**, 245104 (2015).
- [3] H. Nakao *et al.*, *J. Phys. Conf. Ser.* **502**, 012015 (2014).
- [4] M. Kubota *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **53**, 05FH07 (2014).

\*hironori.nakao@kek.jp