

硬・軟 X 線でみた  $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$  薄膜の電荷秩序・磁気秩序の膜厚依存性  
 Thickness dependence of charge and magnetic orderings of  $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$  thin films  
 measured by hard and soft X-ray

山本航平<sup>1,2,\*</sup>, 平田靖透<sup>1,2</sup>, 堀尾眞史<sup>2</sup>, 横山優一<sup>1,2</sup>, 田久保耕<sup>1</sup>, 簗原誠人<sup>3</sup>,  
 組頭広志<sup>3</sup>, 山崎裕一<sup>4,5</sup>, 中尾裕則<sup>3</sup>, 村上洋一<sup>3</sup>, 藤森淳<sup>2</sup>, 和達大樹<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学物性研究所, 〒277-8581 柏市柏の葉 5-1-5

<sup>2</sup> 東京大学大学院理学系研究科, 〒113-0033 文京区本郷 7-3-1

<sup>3</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>4</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>5</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

Kohei Yamamoto<sup>1,2,\*</sup>, Yasuyuki Hirata<sup>1,2</sup>, Masahumi Horio<sup>2</sup>, Yuichi Yokoyama<sup>1,2</sup>,  
 Kou Takubo<sup>1,2</sup>, Makoto Minohara<sup>3</sup>, Hiroshi Kumigashira<sup>3</sup>, Yuichi Yamamsaki<sup>4,5</sup>,  
 Hironori Nakao<sup>3</sup>, Yoichi Murakami<sup>3</sup>, Atsushi Fujimori<sup>2</sup> and Hiroki Wadati<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ISSP, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, 277-8581, Japan

<sup>2</sup> Department of Physics, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, 113-0033, Japan

<sup>3</sup> IMSS, KEK, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

<sup>4</sup> Department of Applied Physics, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku 113-8656, Japan

<sup>5</sup> CEMS, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako 351-0198, Japan

1 はじめに

ペロブスカイト型鉄酸化物  $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$  (LSFO) は  $\langle 111 \rangle$  方向に 3 倍周期の電荷秩序、6 倍周期の磁気秩序を持つことが中性子散乱などから知られている [1]。これらの秩序は転移温度  $T_c \sim 190\text{K}$  で生じ、同時に電気抵抗率のとびを示す。LSFO に現れる磁気秩序は共鳴軟 X 線散乱によってその薄膜中での状態が観察されている [2]。La/Sr 量による金属絶縁体転移や酸素欠陥による構造の制御 [3] などが調べられているが、新たに共同研究者の簗原らの電気抵抗率測定によって 12 nm 程度で膜厚の変化がこの秩序を抑制することが示唆された。しかし転移前後の電気抵抗率が膜厚の上昇に伴って上がってしまうため、測定精度の点から薄膜領域では秩序の存在が不明確であった。このため我々は X 線を用いて調べることとした。

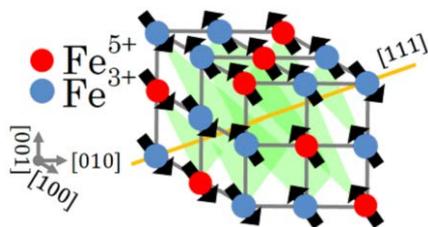


図 1 : LSFO 中の電荷および磁気秩序

2 実験

BL-4C において硬 X 線を用いて、電荷秩序の回折測定を行った。BL-19B において Fe L-edge を用いた共鳴軟 X 線回折を行った。用いた試料は

LSFO/SrTiO<sub>3</sub> 薄膜であり、膜厚を 5 nm から 44 nm の間で系統的に変化させた。

3 結果および考察

磁気秩序に対する回折測定の結果を図 2 に示す。回折ピークは膜厚 10 nm の LSFO で確認でき、5 nm 以下では確認できなかった。このことは LSFO の磁気秩序の臨界膜厚が 5-10 nm (磁気秩序の 3-5 周期程度) であることを示す。同様の測定を電荷秩序に対しても行ったところ、同様に膜厚 5 nm で電荷秩序が見られなかった。相関長は面内方向、面直方向ともに膜厚に比例している傾向が見られた。このことは磁気秩序が 3 次元的な相関を持っていることを示唆する。

これらの回折ピーク強度の温度依存性の便宜的な関数によるフィッティングから各膜厚での電荷秩序および磁気秩序の  $T_c$  を見積もった結果を図 3 に示す。電荷秩序・磁気秩序ともに膜厚依存性は少なく、また電荷秩序・磁気秩序の間での差も見られなかった。

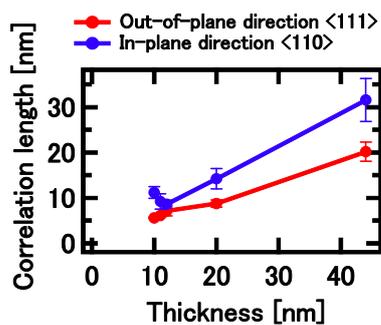


図 2 : 磁気秩序由来のピークと相関長

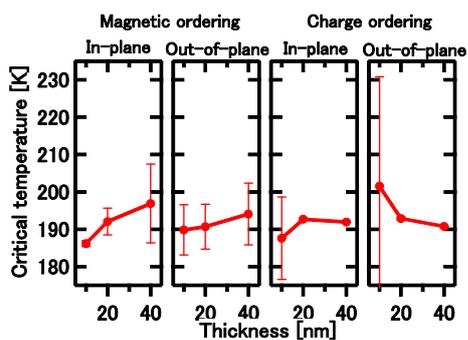


図 3 : 電荷・磁気秩序の  $T_c$  の膜厚依存

#### 4 まとめ

薄膜での電荷秩序・磁気秩序由来の回折ピーク及び両秩序の相関長、強度の膜厚、温度依存を得た。その結果、臨界膜厚 5-10 nm と見積もられ、これは磁気秩序の 3-5 倍程度に対応する。磁気秩序、電荷秩序の  $T_c$  は同程度で、膜厚依存性が小さいことが分かった。

#### 謝辞

X線自由電子レーザー重点戦略研究課題(科学技術振興機構)の支援を受けた。

#### 参考文献

- [1] M. Imada *et al.*, *Rev. Mod. Phys.* **70**, 1039 (1998).
- [2] J. Okamoto *et al.*, *Phys. Rev. B* **82**, 132402 (2010).
- [3] Y. Xie *et al.*, *Adv. Mater.* **26**, 1434 (2014).

#### 成果

1. 山本航平ほか、“共鳴 X 線散乱でみた  $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$  の磁気秩序の膜厚依存” 第 29 回日本放射光学会年会 3E006(2016)

\* yamako@issp.u-tokyo.ac.jp