

# In<sub>1.7</sub>Mn<sub>0.1</sub>Sn<sub>0.2</sub>O<sub>3</sub>における電子状態の酸素分圧依存性

## Oxygen pressure dependence of the electronic structure for In<sub>1.7</sub>Mn<sub>0.1</sub>Sn<sub>0.2</sub>O<sub>3</sub>

堤直也<sup>1</sup>, 大槻太毅<sup>1</sup>, 北川彩貴<sup>1</sup>, 組頭広志<sup>2,3</sup>, 中村敏浩<sup>1,4</sup>, 吉田鉄平<sup>1\*</sup><sup>1</sup>京都大学大学院人間・環境学研究科, 〒606-8501 京都市左京区吉田二本松町<sup>2</sup>高エネルギー加速器研究機構, 物質構造科学研究所, 放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大徳 1-1<sup>3</sup>東北大学多元物質科学研究所, 〒980-8577 仙台市青葉区片平二丁目1番1号<sup>4</sup>京都大学国際高等教育院, 〒606-8501 京都市左京区吉田二本松町N. Tsutsumi<sup>1</sup>, D. Ootsuki<sup>1</sup>, S. Kitagawa<sup>1</sup>, H. Kumigashira<sup>2,3</sup>, T. Nakamura<sup>1,4</sup>, and T. Yoshida<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan<sup>2</sup>High Energy Accelerator Research Organization, Institute of Materials Structure Science, Photon Factory, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan<sup>3</sup>Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan<sup>4</sup>Institute for Liberal Arts and Science, Kyoto University, Yoshida Nihonmatsu-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

### 1 背景

In<sub>2-x</sub>yMn<sub>x</sub>Sn<sub>y</sub>O<sub>3</sub> 薄膜は希薄磁性半導体としてスピントロニクスへの応用が期待される次世代材料である[1]。母物質の In<sub>2-y</sub>Sn<sub>y</sub>O<sub>3</sub> は Sn<sup>4+</sup>イオン置換により電子キャリアが供給され、高い電気伝導性を示す[2]。また酸素欠損が生じることにより電子ドーパされること知られており、成膜時の酸素分圧条件により電気的特性が大きく変化する。本研究では In<sub>1.7</sub>Mn<sub>0.1</sub>Sn<sub>0.2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜の軟X線光電子分光を行い、異なる酸素分圧条件による電子状態の変化を調査した。

### 2 実験

本測定では YSZ (111) 基板に rf magnetron sputtering 法でエピタキシャル成長した In<sub>1.7</sub>Mn<sub>0.1</sub>Sn<sub>0.2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜を用いた。成膜時のスパッタガス中の酸素濃度  $P_{O_2}$  が 0 % (0 Pa) と 25 % ( $3.0 \times 10^{-5}$  Pa) の条件で作成した 2 試料の軟 X 線光電子分光を BL-2A で行った。測定は  $10^{-10}$  Torr 以下の超高真空下で行った。測定温度は  $T = 50$  K である。励起光は  $h\nu = 1200$  eV の軟 X 線を用い、エネルギー分解能は  $\sim 280$  meV である。エネルギー校正には蒸着された Au のフェルミ準位を用いた。

### 3 結果および考察

図 1 (a) に  $P_{O_2} = 0\%$ , 25% の試料の価電子帯光電子分光スペクトルを示す。線形外挿することにより価電子帯頂点 (VBM) の位置を決定した。得られた VBM の束縛エネルギーはそれぞれ 2.91 eV ( $P_{O_2} = 0\%$ ), 2.34 eV ( $P_{O_2} = 25\%$ ) である。 $P_{O_2} = 0\%$  の方が  $P_{O_2} = 25\%$  よりも VBM が高束縛エネルギーに位置することは、 $P_{O_2} = 0\%$  の方が  $P_{O_2} = 25\%$  よりも電子ドーパされていることを意味する。また図 1 (b) に図 1 (a) のフェルミ準位近傍を拡大した図を示す。フェルミ準位近傍の強度は  $P_{O_2} = 0\%$  の方が大きく、 $P_{O_2} = 25\%$  よりも電子ドーパされていることが分かる。このフェルミ準位近傍の結果は VBM の変化と一致している。 $P_{O_2} = 25\%$  よりも  $P_{O_2} = 0\%$  の試料の方がドナーとして働く酸素欠損が増加したため、電子ドーパ効果が大きくなったと考えられる。

図 1 (c) に横軸を VBM に対する相対的なエネルギーとしてプロットした価電子帯スペクトルを示す。VBM より約 1 eV 低束縛エネルギー側のスペクトル強度が  $P_{O_2} = 25\%$  よりも  $P_{O_2} = 0\%$  の試料の方が大きい。この観測されたギャップ間状態は酸素欠損を表していると考えられる[3]。

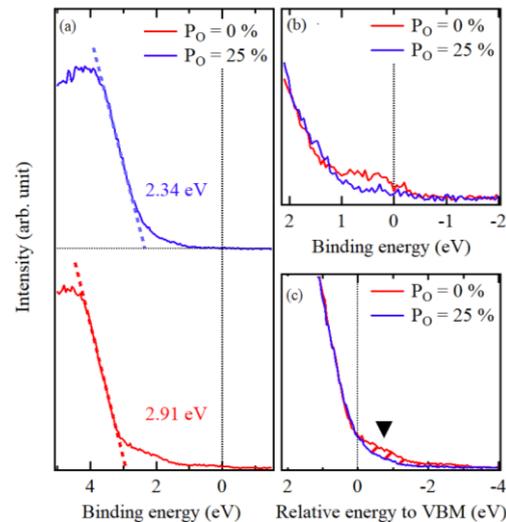


図 1 : (a) In<sub>1.7</sub>Mn<sub>0.1</sub>Sn<sub>0.2</sub>O<sub>3</sub> における価電子帯スペクトルの酸素分圧依存性。VBM を求める際に線形外挿を用いた。(b) (a) のフェルミ準位近傍の拡大図。(c) VBM に対する相対的なエネルギーでプロットした価電子帯スペクトル。赤斜線部は  $P_{O_2} = 0\%$  と  $P_{O_2} = 25\%$  の差分を表す。

### 4 まとめ

In<sub>1.7</sub>Mn<sub>0.1</sub>Sn<sub>0.2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜の軟 X 線光電子分光を行い、成膜時の酸素分圧条件変化に伴う電子状態の変化を観測した。酸素欠損に伴う電子状態の変化の解明にはさらなる検討が必要である。

### 参考文献

[1] T. Nakamura *et al.*, J. App. Phys. **101**, 09H105 (2007).[2] I. Hamberg, and C. G. Granqvist., J. Appl. Phys. **60**, R123 (1986).

[3] M. Batzill *et al.*, Phys. Rev. B **72**, 165414 (2005).  
\* [tsutsumi.naoya.64a@st.kyoto-u.ac.jp](mailto:tsutsumi.naoya.64a@st.kyoto-u.ac.jp)