

# ペロブスカイト型遷移金属酸化物 $\text{SrVO}_3(110)$ 薄膜の偏光依存 ARPES Polarization-Dependent ARPES Study of Perovskite Transition Metal Oxide $\text{SrVO}_3(110)$ Thin Films

三橋太一<sup>1,\*</sup>, 簗原誠人<sup>2</sup>, 北村未歩<sup>2</sup>, 湯川龍<sup>2</sup>, 坂井延寿<sup>2</sup>, 堀場弘司<sup>2</sup>, 吉松公平<sup>2,3</sup>, 藤森淳<sup>3</sup>,  
小林正起<sup>2</sup>, 組頭広志<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科, 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

<sup>2</sup> 高エネルギー加速器研究機構放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

<sup>3</sup> 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

Taichi Mitsuhashi<sup>1,\*</sup>, Makoto Minohara<sup>2</sup>, Miho Kitamura<sup>2</sup>, Ryu Yukawa<sup>2</sup>, Enju Sakai<sup>2</sup>, Koji Horiba<sup>2</sup>  
Kohei Yoshimatsu<sup>2,3</sup>, Atsushi Fujimori<sup>3</sup>, Masaki Kobayashi<sup>2</sup>, and Hiroshi Kumigashira<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Tohoku University, Sendai 980-8578, Japan

<sup>2</sup>Photon Factory, KEK 1-1 Oho, Tsukuba 305-0801, Japan

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

## 1 はじめに

近年、 $\text{SrVO}_3/\text{Nb:SrTiO}_3(001)$ 量子井戸構造における強相関電子の2次元閉じ込めにおいては「軌道選択的量子化」という現象が生じることが、その場 (*in-situ*) 角度分解光電子分光 (ARPES) 測定により観測され、注目を集めている[1]。この軌道選択的量子化現象とは、異方的な  $3d t_{2g}$  軌道の形状を反映し、量子閉じ込め方向 (量子化軸) である  $[001]$  軸に対して平行方向に分布する  $d_{yz}/d_{zx}$  軌道が量子化し、垂直方向に分布する  $d_{xy}$  軌道は量子化しないという現象である。この量子化現象は、量子閉じ込め方向と軌道の幾何学的配置によって異なるため、面方位制御による新たな2次元電子状態の設計に繋がると期待されている[2]。そこで本研究では、面方位制御の第一段階として、 $\text{SrVO}_3/\text{Nb:SrTiO}_3(110)$  薄膜における電子状態を、軌道毎に特定することを目的として偏光依存 ARPES を行なったので報告する。

## 2 実験

$\text{SrVO}_3(110)$  薄膜の作製及び *in-situ* ARPES 測定は、BL-2A MUSASHI に設置された *in-situ* ARPES+レーザー分子線エピタキシー (Laser MBE) 複合装置を用いて行なった。 $\text{SrVO}_3(110)$  薄膜は、Laser MBE 法を用いて基板温度  $650^\circ\text{C}$ 、真空度  $\sim 10^{-8}$  Torr の条件で Nb:SrTiO<sub>3</sub>(110) 基板上に作製した。作製した試料を大気に曝すことなく真空中を測定槽まで搬送し、ARPES 測定を行なった。ARPES 測定は、入射エネルギー ( $h\nu$ )  $74\text{ eV}$ 、測定温度  $20\text{ K}$  の条件下で、図1に示す測定面に対して行なった。エネルギー分解能と角度分解能は、それぞれ  $20\text{ meV}$  と  $0.2^\circ$  に設定した。さらに、偏光を水平 (LH) または垂直 (LV) と切り換えることで、偏光依存の ARPES 測定を行なった。

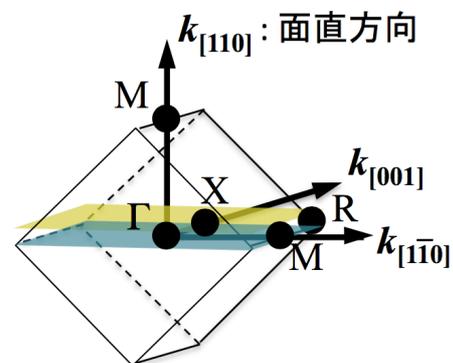


図1.  $\text{SrVO}_3(110)$  薄膜のブリルアンゾーン。2つの平面は、 $\Gamma$ -M-R-X emission plane (青) と  $h\nu = 74\text{ eV}$  に対応する測定面 (黄) を示す。

## 3 結果および考察

図2に偏光を切り換えて測定したフェルミ面マッピングの結果を示す。偏光切り換えにより、その形状が大きく変化することが見て取れる。この偏光により振る舞いの異なる電子構造についてさらに詳しく調べるために、図2に白い破線で示した方向に沿ってバンド分散を高分解能で測定した結果を図3に示す。偏光を LH としたときに放物線型、LV としたときに「W」字型のバンド分散が観測され、偏光により大きく異なる強度分布が得られていることが分かる。入射光と軌道の幾何学的配置を考慮すると、本測定においては偏光が LH の場合に  $d_{xy}$  バンドが、LV の場合には  $d_{yz}/d_{zx}$  バンドが、軌道選択的に観測されていると考えられる。より詳細な解析を行なうため、運動量分布関数 (MDC) とエネルギー分布関数 (EDC) からそれぞれピーク位置を求め、質量繰り込み因子を考慮した Tight Binding (TB) 計算との

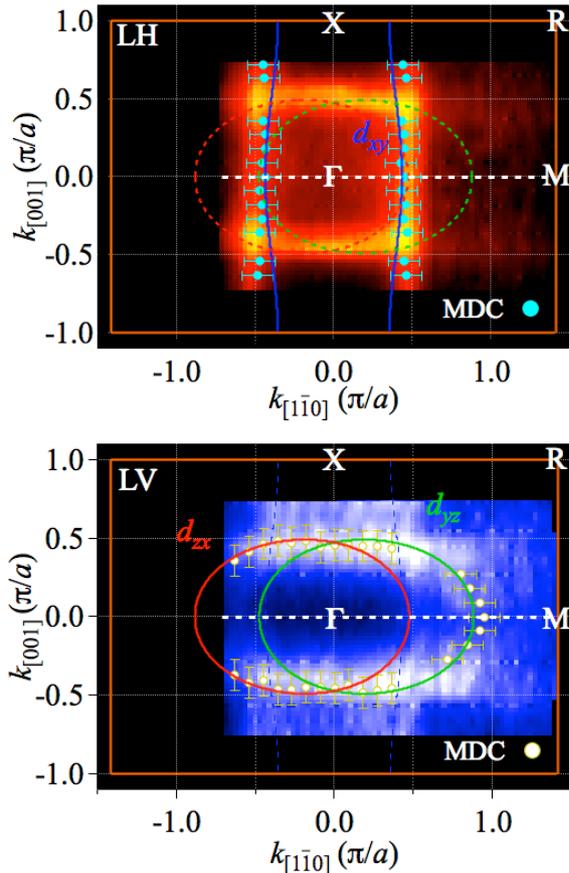


図2. 偏光を LH (上) と LV (下) にして観測した SrVO<sub>3</sub>(110)薄膜のフェルミ面。青、赤、緑の実線と破線は、それぞれ  $d_{xy}$ 、 $d_{yz}$ 、 $d_{zx}$  軌道に対する TB 計算結果。実験配置から、強度が強くなると考えられる軌道については実線で、弱くなると考えられる軌道については破線で示した。白い破線は、バンド分散 (図 3) を測定したカットを示す。

比較を行なった (図 3 実線)。その結果、得られたフェルミ面およびバンド分散は、質量繰り込みを考慮した TB 計算とよく一致していることが分かる。さらに両者の比較から、質量繰り込み因子 ( $Z$ ) の値は  $Z=0.5 \pm 0.06$  と見積もられた。

#### 4 まとめ

*In-situ* 偏光依存 ARPES 測定により、SrVO<sub>3</sub>(110)薄膜における軌道毎の電子状態を決定した。得られたバンド分散を、質量繰り込み因子を考慮した Tight Binding 計算と比較したところ、よい一致を示した。今後は、本研究において得られた知見を基に、SrVO<sub>3</sub>(110)量子井戸構造を作製することで、軌道選択的量子化現象を用いた新奇 2 次元電子状態の設計・制御を試みる。

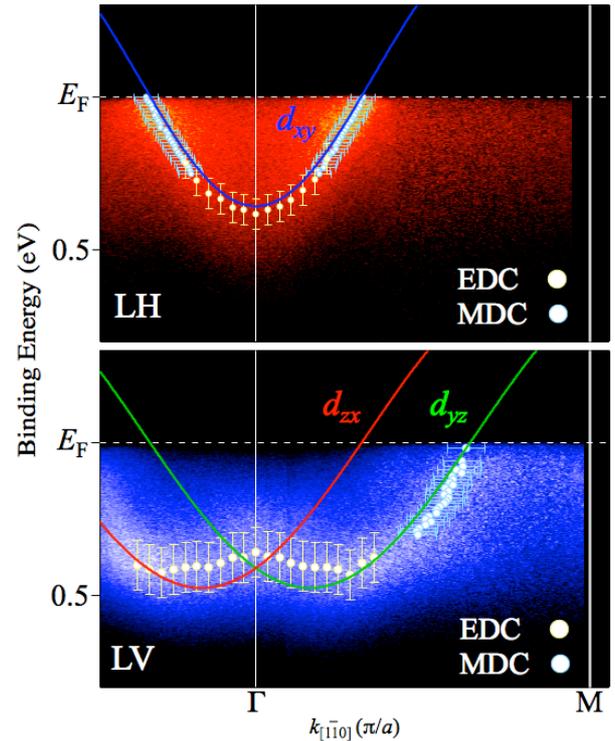


図 3. 偏光を LH (上) と LV (下) にして得られた SrVO<sub>3</sub>(110)薄膜のバンド分散。実線は、各  $t_{2g}$  軌道に対する TB 計算結果。計算に用いた質量繰り込み因子の値は、 $Z=0.5$  である。

#### 参考文献

- [1] K. Yoshimatsu *et al.*, Science **333**, 319 (2011).
- [2] Z. Wang *et al.*, PNAS **111**, 3937 (2014).

\* mitsuha@post.kek.jp