

平成 22 年 4 月 19 日現在

研究種目：若手研究 (A)

研究期間：2007～2010

課題番号：19684010

研究課題名 (和文) 強相関酸化物量子井戸構造のフェルミオロジー

研究課題名 (英文) Angle-resolved photoemission study on Fermi surface of quantum well structures based on strongly correlated oxides

研究代表者

組頭 広志 (KUMIGASHIRA HIROSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：345092

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：(1) 光電子分光 (2) 強相関エレクトロニクス (3) 表面・界面物性 (4) 強相関電子系 (5) 量子井戸 (6) 酸化物超構造 (7) 酸化物ヘテロ構造 (8) 酸化物薄膜

## 1. 研究計画の概要

銅酸化物の高温超伝導に代表される層状酸化物が示す特異物性は、低次元性と結び付いた強相関電子状態にその起源をもつ。層状酸化物の結晶構造を絶縁層 (電荷供給層) で 2 次元の伝導層を挟み込んだ構造をもつ自然量子井戸構造ととらえると、低次元強相関物性への最も直接的なアプローチとして、酸化物量子井戸構造を用いることで低次元電子状態を任意に制御し、その物性変化を調べるといふ研究に行き着く。つまり、この強相関酸化物量子井戸構造で発現する低次元電子状態を直接観測することは、低次元強相関酸化物の示す特異物性の機構解明に直接結び付く。そのため、本研究では、レーザー分子線エピタキシー法により原子レベルで構造を制御した「強相関酸化物量子井戸構造」を作製し、この強相関酸化物量子井戸構造を用いて新規な低次元電子状態をデザインする。そして、このフェルミ面トポロジーを高分解能角度分解光電子分光法により直接決定し、物性との相関関係を明らかにすることにより低次元強相関物性を明らかにすることを目的とする。

## 2. 研究の進捗状況

本研究では、レーザー分子線エピタキシー法により原子レベルで構造を制御した「強相関酸化物量子井戸構造」を作製し、その電子状態を光電子分光法により直接決定することで、新規な低次元電子状態をデザインすることにある。これまで、「酸化物超構造界面」で発現する新規な 2 次元電子状態にターゲ

ットを絞って研究を行い、下記の成果を得た。

(1) LaO 電荷供給層からの  $\delta$  ドープによる界面 2 次元電子状態形成が示唆され話題を呼んでいる、バンド絶縁体  $\text{LaAlO}_3$  と  $\text{SrTiO}_3$  とのヘテロ界面について測定を行った。その結果、バンド絶縁体界面で発現する金属層の起源として、これまで提案されてきた界面数層における「電荷移動」現象ではなく、極性  $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$  界面の電荷不整合による電位発散を防ぐために  $\text{SrTiO}_3$  の酸素欠損により生じたキャリアが界面に形成されるノッチ構造に蓄積されることがその起源であることを見出した。

(2) バンド幅制御による金属・絶縁体転移 (MIT) の起源を調べるための新たな手法として、酸化物量子井戸構造による次元性制御 MIT というアプローチを開発した。具体的には、伝導性酸化物である  $\text{SrVO}_3$  (SVO) 超薄膜を  $\text{SrTiO}_3$  (STO) 基板上に作製し、その膜厚を原子レベルで制御してその場光電子分光を行った。その結果、元素置換 ( $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{VO}_3$ ) では MIT が報告されていないペロプスカイト V 酸化物において膜厚依存の MIT を観測し、その実験結果を理論計算と比較することにより、観測された MIT が次元性の低下 (3 次元から 2 次元) に由来した MIT であることを明らかにした。

また、劈開性を持たないことから未だフェルミ面決定されていない  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ,  $\text{SrVO}_3$ ,  $\text{SrRuO}_3$  について、放射光を用いた高分解能角度分解光電子分光をおこない、3 次元のフェルミ面を決定した。

### 3. 現在までの達成度

やや遅れている。理由：量子井戸構造を作製する技術を確立し、適切な物質を選定することで研究のめどがついたが、実験装置の整備不良ため決め手となる実験がやや遅れている。

### 4. 今後の研究の推進方策

上記の実験装置の問題は物品納期の問題である。この遅延による影響を極力少なくするために、実験の計画を再構築したため全体の研究の進捗には問題がない。

### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計27件)

1. ***In-situ* Photoemission Study of  $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  Epitaxial Thin Films with Suppressed Charge Fluctuations;** H. Wadati, A. Maniwa, A. Chikamatsu, I. Ohkubo, H. Kumigashira, M. Oshima, A. Fujimori, M. Lippmaa, M. Kawasaki, and H. Koinuma *Phys. Rev. Lett.* **100**, 026402 [1-4] (2008).

2. **Origin of metallic states at the heterointerface between the band insulators  $\text{LaAlO}_3$  and  $\text{SrTiO}_3$ ;** K. Yoshimatsu, R. Yasuhara, H. Kumigashira, and M. Oshima *Phys. Rev. Lett.* **101**, 026802[1-4] (2008).

3. **Thickness dependent electronic structure of  $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3$  layer in  $\text{SrTiO}_3/\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3/\text{SrTiO}_3$  heterostructures studied by hard x-ray photoemission spectroscopy;** K. Yoshimatsu, K. Horiba, H. Kumigashira, E. Ikenaga, and M. Oshima *Appl. Phys. Lett.* **94**, 071901[1-3] (2009).

3. **Yoshimatsu et al. Reply ;** K. Yoshimatsu, R. Yasuhara, H. Kumigashira, and M. Oshima *Phys. Rev. Lett.* **102**, 199704[1] (2009).

4. **Pressure-induced change in the electronic structure of epitaxially strained  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  thin films;** K. Horiba, A. Maniwa, A. Chikamatsu, K. Yoshimatsu, H. Kumigashira, H. Wadati, A. Fujimori, D. Nomoto, S. Ueda, H. Yoshikawa, E. Ikenaga, J. J. Kim, K. Kobayashi, and M. Oshima *Phys. Rev. B* **80**, 132406[1-4] (2009).

5. **Coherent and incoherent d band dispersions in  $\text{SrVO}_3$ ;**

M. Takizawa, M. Minohara, H. Kumigashira,

D. Toyota, M. Oshima, H. Wadati, T. Yoshida, A. Fujimori, M. Lippmaa, M. Kawasaki, H. Koinuma, G. Sordi, and M. Rozenberg *Phys. Rev. B* **80**, 235104[1-4] (2009).

### 6. Dimensional-Crossover-Driven Metal-Insulator Transition in $\text{SrVO}_3$ Ultrathin Films

K. Yoshimatsu, T. Okabe, H. Kumigashira, S. Okamoto, S. Aizaki, A. Fujimori, and M. Oshima *Phys. Rev. Lett.*, *in press.*

[学会発表](計14件)

1. 「*In situ* photoemission studies on oxide heterostructures」

組頭広志 (招待講演)

日本物理学会 第63回年次大会、2008年3月23日、近畿大学(東大阪)キャンパス

2. “Interfacial Electronic Structure of Perovskite Oxide  $\text{ABO}_3/\text{SrTiO}_3$  Heterojunctions”

Hiroshi KUMIGASHIRA (招待講演)

The IUMRS International Conference in Asia 2008, December 12, 2008, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan

3. “Synchrotron radiation studies of oxide surfaces”

Hiroshi KUMIGASHIRA (招待講演)

6th International Workshop on Oxide Surfaces, January 19, 2009; Schladming, Austria

4. 「その場放射光電子分光による強相関酸化物超構造の電子状態研究」

組頭 広志 (招待講演)

日本物理学会第64回年次大会、2009年3月27日、立教大学

5. *In situ* Photoemission Studies on Oxide Heterostructures

Hiroshi KUMIGASHIRA (招待講演)

2009 Villa Conference on Complex Oxide Heterostructures (VC-COH)

September 16, 2009, Ritz Carlton - St. Thomas, USVI

6. *In situ* photoemission studies on oxide heterostructures

Hiroshi KUMIGASHIRA (招待講演)

11-th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure (ICESS -11), October 8th, 2009 Nara, Japan

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕