

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：24403

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25610076

研究課題名(和文)階層的ドメイン構造をもつ酸化物誘電体の微細構造解析

研究課題名(英文)Microstructural analysis of functional materials with hierarchical structure

研究代表者

森 茂生(MORI, SHIGEO)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20251613

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：透過型電子顕微鏡を用いて、10-6rad以下の角度分解能を有するとともに、ローレンツ像を取得できる電子光学系の構築を目指した。カメラ長3kmを実現する電子光学系を構築するとともに、10-6radの角度分解能を有し、3500倍の実空間倍率を実現できる電子光学系を構築した。これらの手法をマンガン酸化物の強磁性金属状態でのストライプ磁区構造に適用し、磁氣的微細構造解析を行った。また、HAADF-STEM法を用いて、YMnO<sub>3</sub>における原子レベルでの強誘電分域構造の観察から、tail-to-tail(head-to-head)の180°強誘電分域構造の原子変位パターンを決定した。

研究成果の概要(英文)：(1)A novel electron optical system for obtaining both small-angle electron (SAE) diffraction patterns and Foucault images has been constructed using conventional transmission electron microscope. The Foucault images in magnetic domains of La<sub>0.825</sub>Sr<sub>0.175</sub>MnO<sub>3</sub> exhibit regularly ordered stripe pattern and the SAE pattern consisted of diffraction spots due to the periodic array of magnetic stripes and diffuse streaks due to the Bloch-type magnetic walls. It revealed that, by applying magnetic field, magnetic stripes transformed into magnetic bubbles. (2) A HAADF-STEM imaging technique was applied to the investigation of domain structures in the ferroelectric phase of YMnO<sub>3</sub>, at the atomic scale. Two types of domain walls should be identified in the ferroelectric domain structures. One is the charged longitudinal domain walls with head-to-head or tail-to-tail configuration and the other is non-charged transverse domain walls with head-to-tail configuration.

研究分野：構造物性

キーワード：透過型電子顕微鏡 ローレンツ顕微鏡法 小角電子線散乱 誘電体

### 1. 研究開始当初の背景

小角散乱法は、従来、小角 X 線散乱法や小角中性子散乱法により金属の析出現象やポリマーなどの巨視的なドメイン構造の観察に適用されてきた。一方、電子線を用いた小角散乱法は、1960 年以来幾つかの研究事例はあるものの、その角度分解能は  $10^{-4}$  rad 程度であり、磁性体やポリマーへの応用例のみである。最近我々は透過型電子顕微鏡を用いて、対物レンズ、中間レンズおよび投影レンズ系のレンズ電流値を制御することで、 $\text{LaB}_6$  型透過型電子顕微鏡を用いて、0.1m から 1000m にわたってカメラ長を制御できるシステムを実現し、電子線散乱角の角度分解能を  $10^{-6}$  rad 程度まで向上することに成功した。

磁気的特性および電気的特性の解釈のためにスピン構造を評価することは重要である。試料中の磁化による電子線の偏向角と磁気ブラック反射の回折角を直接検出することが磁気構造の直接的な理解に繋がる。らせん磁性体の磁化による偏向角は約  $10^{-6}$  rad であり、らせん磁気構造の磁気らせん周期である数十 ナノメートルから予測される磁気ブラック反射の回折角は  $10^{-5}$  rad 程度であるとそれぞれ予測される。しかし、一般的な透過型電子顕微鏡の電子線回折法は数ナノメートルの周期構造を対象としており、 $10^{-2}$  から  $10^{-3}$  rad 程度の結晶構造によるブラック回折角の解析を目的としている。従って、磁気秩序構造の理解のためには小角度領域での電子線散乱の測定手法を確立することが必要不可欠である。

現在までの透過型電子顕微鏡を用いた強誘電体での微細構造解析は、フリーデル則の破れを利用した暗視野法や電子回折法により行われてきた。フリーデル則の破れを利用した暗視野法では、ナノサイズの強誘電ドメイン構造やドメイン構造内での分極方向についての知見を得ることができる。一方、本研究で行う小角電子線散乱法と高角度環状暗視野法(HAADF 法)を用いた微細構造解析では、強誘電ドメイン構造のサイズに依らずナノサイズからマクロサイズのドメイン構造やドメイン構造境界の観察・評価ができ、階層的かつ不均一な空間分布を持つドメイン構造の定量的解析が可能である。

### 2. 研究の目的

本研究では、 $\text{LaB}_6$  型透過型電子顕微鏡を用いて得られた知見を基にして、電子線の干渉性に優れた電界放出型電子銃を搭載した透過型電子顕微鏡を用いることで、 $10^{-6}$  rad 以下の角度分解能をもつ小角電子線散乱法とフーコ法を同一試料領域で取得できる磁気的微小構造観察法を確立するとともに、高角度環状暗視野法(HAADF 法)を用いた強誘電分域構造や分域壁に関する微細構造を原子レベルで解析することを目的とした。また、ローレンツ電子顕微鏡法および小角電子線散乱法を用いて、強相関電子系物質やらせん磁

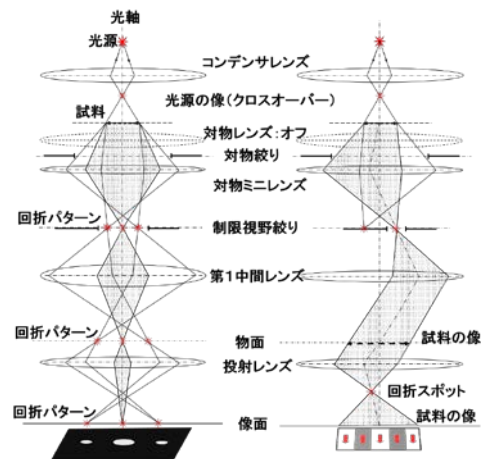


図1 電子光学系の模式図

性体が示す特異な磁気的微小構造や磁気渦構造を明らかにし、その磁場応答を調べた。

### 3. 研究の方法

$10^{-6}$  rad 以下の角度分解能をもつ小角電子線散乱法とフーコ法を同一試料領域で取得できる磁気的微小構造観察法を確立するために、新たに図1に示すような電子光学系を構築した。本手法は以下のような特徴を有している。(1)照射系と結像系を独立で操作可能。(2)回折スポットを制限視野絞りで選択することで Foucault 像を取得。(3)第1中間レンズを弱励磁にすることで小角電子回折法から Foucault 法への切り替えが可能。(4)投影レンズによってカメラ長と倍率を設定。(5)対物レンズの励磁によって磁場中での小角電子回折法と Foucault 法が可能。

一般的な透過型電子顕微鏡では結晶構造を解析するために数十 cm から数 m のカメラ長がある。このカメラ長によって結晶格子の回折データを取得することで、解析対象の回折スポット間距離を十分に確保できる。一方、試料中の磁化による電子線の偏向角は  $10^{-4}$  rad から  $10^{-6}$  rad と桁違いに小さい。このように小さな電子線の偏向角度を精度よく測定するためにはカメラ長を大幅に増加する必要がある。そのために TEM 装置の電磁レンズに流す電流値を調整することによって、カメラ長を 3 km 以上に延長した。これは、試料中の磁化を解析するためには十分なカメラ長である。次いで、試料面に対して垂直方向に磁場を印加するために、試料直下の電磁レンズを磁場印加装置として利用した。また、それぞれの磁場に対する実空間および逆空間の光学系を設計した。本研究手法の特徴は、無磁場下および試料垂直方向に静磁場を段階的に印加した条件下にて、同一試料の同一箇所において実空間と逆空間の両面から解析を行うことによって定量的なデータが取得できることであり、他の手法にはない利点

である。

#### 4. 研究成果

##### (1)小角電子散乱法およびフーコ法を用いたマンガン酸化物の磁氣的微細構造観察

本研究では、ローレンツ電子顕微鏡法および電子線小角散乱法を用いて、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  の強磁性金属相でのストライプ状磁区構造や磁気渦構造などのナノスケールでの磁氣的微細構造およびその磁場応答について調べた。

ローレンツ電子顕微鏡法と電子線小角散乱法を組み合わせることで、磁氣的微細構造に加えて、各磁区内での磁気モーメントの大きさ、磁壁の特徴（ブロッホ磁壁やネール磁壁など）、磁区構造の周期性について調べることができる。ここでは、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x=0.175$ )の強磁性金属相（斜方晶構造）で見られるストライプ磁気構造について、ローレンツ電子顕微鏡法と電子線小角散乱法を用いて調べた結果について報告する。図 2(a)に示すように、本物質系の強磁性金属相における菱面体構造では、巨視的なバンド状の磁区構造が形成されていることがわかった。そこで、試料温度を低下させると、約 175K で菱面体構造から斜方晶構造へと構造相転移し、図 2(b)に示すように、斜方晶構造では約 300nm~400nm 程度の幅からなるストライプ磁区構造が形成される。このような構造相転移に伴う磁区構造の変化は、本物質系で見出されている磁場誘起構造相転移と強く相関していると考えられる。次に、菱面体構造での巨視的なバンド状の磁区構造において透過スポットの分裂を調べると、図 2(c)に示すように、2つの分裂していることが分かった。また、斜方晶構造でのストライプ状の磁区構造においても透過スポットの分裂を調べると、図 2(d)に示すように、2つの分裂している。ここで、図 2(c)と 2(d)を比較すると、スポットの分裂方向および分裂幅が

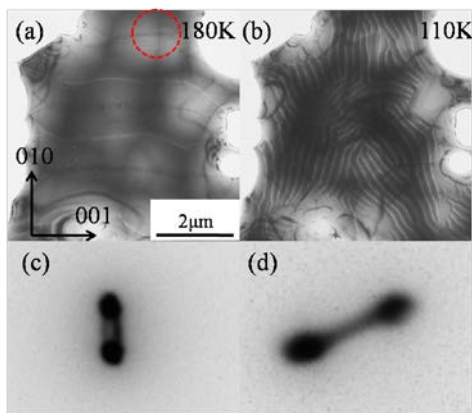


図2  $\text{La}_{0.825}\text{Sr}_{0.175}\text{MnO}_3$  で得られた(a),(b)フレネル像と(c),(d)小角電子線散乱パターン。

異なることが分かる。このことは磁区構造の変化に伴い、磁気モーメントの方向が[001]方向から[0-11]方向に変化し、磁気モーメントの大きさも変化していることを示している。

そこで、斜方晶構造において見出されたストライプ磁区構造の詳細について電子線小角散乱法を用いて調べた。図 3に、ストライプ磁区構造のフーコ像および電子線小角散乱パターンを示す。 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  ( $x=0.175$ )では、斜方晶構造において図 3(a)に示すような約 300nm~400nm 程度の幅から成るストライプ磁区が周期的に並ぶ磁区構造を形成する。このストライプ磁区構造から得られた電子線小角散乱パターンを図 3(b)に示す。まず、観察試料中の磁気モーメントの存在により、入射電子がローレンツ偏向を受け、透過波による 000 スポットが2つに分裂したスポットが、図 3(b)中の矢印で示す位置に観察される。このことからストライプ磁区構造は 180°磁区構造であることがわかる。また、図 3(a)の挿入図に示すように、2つの分裂したスポットの間には強度の弱い散漫散乱が観察される。この散漫散乱の形状から、ストライプ磁区の磁壁がブロッホ型の磁壁であることがわかる。

さらに、図 3(b)中には、2つの分裂したスポットの間に、ストライプ磁区の周期性に対応するブラック回折スポットが観察される。ストライプ磁区の周期性に起因する磁気回折スポットの高調波成分の存在から、磁区内の磁気モーメントの大きさや向きが一定であり矩形的に配列していることが分かる。磁気回折スポットの間隔から求められるストライプ磁区構造の周期は、約(690)<sup>-1</sup>nmであり、図 3(a)から求められる周期とほぼ一致している。このように小角電子線散乱法は、磁性酸化物における磁区構造や各磁区内での磁気

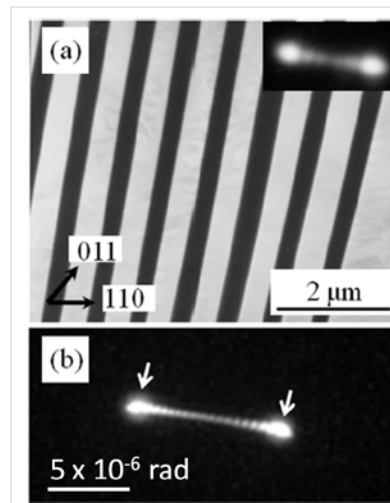


図3  $\text{La}_{0.825}\text{Sr}_{0.175}\text{MnO}_3$  のストライプ磁区構造で得られた(a)フーコ像と(b)小角電子線散乱パターン



モーメントの大きさと方向の評価、磁壁構造などの磁的微小構造に関する知見を得ることができる。

## (2) 六方晶 $\text{RMnO}_3$ における反位相/強誘電分域の STEM 観察

単結晶  $\text{YMnO}_3$  を用いて、反位相/強誘電ドメイン構造観察を行った。図4に  $\text{YMnO}_3$  における暗視野像を示す。ここで暗視野像は(a)  $g=1/3\ 1/3\ 4$ , (b)  $g=-1/3\ -1/3\ -4$ , (c)  $g=006$ , (d)  $g=110$  を用いて、2波励起条件のもとで撮影した。電子回折パターンは、高温相である六方晶構造(空間群  $\text{P6}_3/\text{mmc}$ )を基にして行った。まず、図4の領域で得られた電子回折パターンに注目すると、 $[110]$ 方向に3倍周期の長周期構造の存在を示す超格子反射が存在している。これは、 $\text{MnO}_5$  酸素六面体の傾斜に起因する  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  型超構造の存在によるものである。そこで、 $\text{YMnO}_3$  の反位相/強誘電ドメイン構造の構造的特徴を明らかにするために、2波励起条件のもとで暗視野像の観察を行った。図4(a)および4(b)に示すように、超格子反射を用いて撮影した暗視野像には、反位相/強誘電ドメイン構造が明暗のコントラストとして観察された。ここで、図4(a)および4(b)でのドメイン構造による明暗のコントラストが反転していることが分かる。これは、反位相ドメイン構造において、 $g$  と  $-g$  での結晶構造因子への各ドメインからの寄与の違いによるものである。次に、反位相/強誘電ドメイン構造では隣り合う分域の強誘電分極方向を明らかにするために、基本格子反射を用いて暗視野像の観察を行った。 $g=006$  反射を用いて撮影した暗視野像(図4(c))では、反位相/強誘電ドメイン構造が観察されるが、一方、 $g=110$  反射を用いて撮影した暗視野像(図4(d))では、反位相/強誘電ドメイン構造は観察されなかった。このことから、強誘電分極方向は、 $\langle 001 \rangle$ 方向であることが分かった。また、 $g=00-6$  反射を用いて撮影した暗視野像では、図4(c)のドメイン構

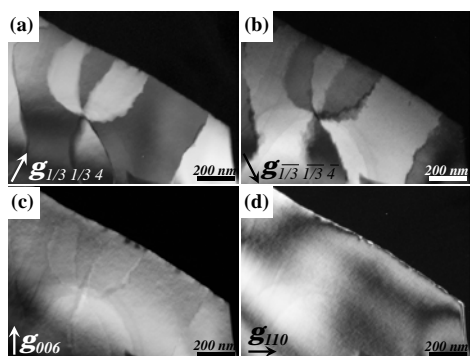


図4  $\text{YMnO}_3$  における暗視野像

造での明暗のコントラストに対して、明暗のコントラストが反転したドメイン構造のコントラストが得られたことから、隣り合う強誘電ドメインの分極方向が反平行であるこ

とが分かった。

図5に  $\text{YMn}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  ( $x=0, 0.10, 0.30, 0.40$ ) において、超格子反射を用いて得られた暗視野像を示す。 $x=0.0$  試料 ( $\text{YMnO}_3$ ) では、ボルテックス構造を持つ6種類の反位相/強誘電ドメインから成るドメイン構造が観察される。そこで、Mnサイトの一部をTiで置換することにより反位相/強誘電ドメイン構造の変化を調べた。 $x=0.10$  試料では、図5(b)に示すように、一部分にボルテックス構造を持つ反位相/強誘電ドメインが観察されたが、そのドメインサイズは約200nm程度である。さらにTi置換量を増やした  $x=0.30$  および  $x=0.40$  試料では、図5(c)および5(d)に示すように、ボルテックス構造を持つ反位相/強誘電ドメインは観察されず、約20nm程度に微細化されたドメイン構造が観察された。

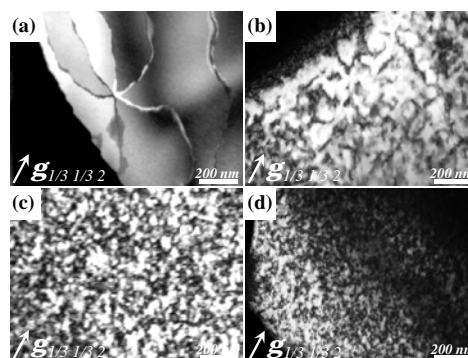


図5  $\text{YMn}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  の暗視野像 (a)  $x=0$ , (b) 0.10, (c) 0.30, (d) 0.40.

## (3) HAADF-STEM 法による反位相/強誘電ドメイン構造観察

図6に、 $\text{YMn}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  における(a)  $x=0.0$  試料、(b)  $x=0.3$  試料、(c)  $x=0.4$  試料の原子分解能 HAADF-STEM 像を示す。これらの HAADF-STEM 像において、YイオンおよびMnイオンが明るい輝点として観察されている。まず、図6(a)に示す  $x=0.0$  試料での HAADF-STEM 像では、領域(A)のYイオンに着目すると、輝点位置が down-up-up-down となっており、Yイオンが  $\langle 001 \rangle$  方向に変位していることがわかる。本物質において強誘電分極方向は、Yイオンの変位に起因していることから、領域(A)での分極方向は  $[001]$  方向であることが分かる。一方領域(B)では、輝点位置が up-down-down-up となっており、領域(B)での分極方向は  $[00-1]$  方向であることが分かる。また、自発分極の大きさは、変位量から次式のように求めることができる。ここで、 $V$  はユニットセルの体積、 $S_{12}$  は Y1 と Y2 の原子変位量、 $e$  は1つの電子の電荷である。HAADF-STEM 像からYイオンの変位の大きさを求め、式(1)を用いて自発分極の大きさを概算すると、 $6.4\mu\text{C}/\text{cm}^2$  であることが分かった。一方、 $P-E$  ヒステリシス曲線の測

定から求めた自発分極の大きさは、 $5.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$  であり、概ね一致していることが分かった。

またドメイン境界に着目すると、(a)の境界は TDW、(b)の境界は LDW であり、その間の境界は TDW と LDW を組み合わせたものであることがわかった。さらにこの LDW は隣り合う 2 つのドメインが互いに head-to-head の関係にあることから、電荷の貯まったドメイン境界であると言える。また、LDW におけるユニットセルに注目すると、ユニットセルが  $[110]$  方向に  $1/3\langle 110 \rangle$  変位している。次に  $x=0.3$  試料の STEM-HAADF 像

(図 6(b))に着目すると、 $\text{YMnO}_3$  と同様に、領域(A)では Y イオンの変位が down-up-up-down、領域 (B) では、up-down-down-up であることが分かる。ここで、Y イオンの変位の大きさ減少しており、式(1)から自発分極の大きさを

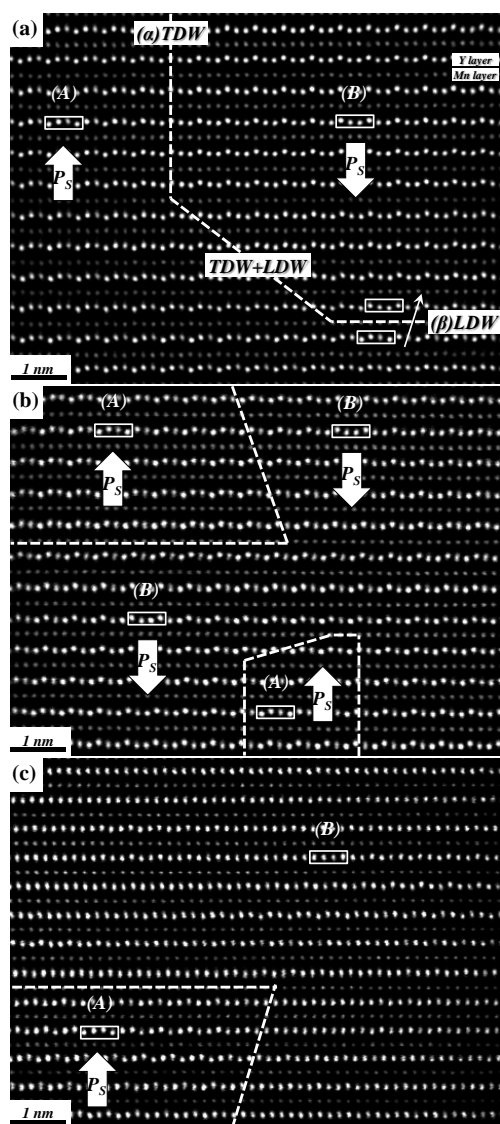


図 6  $\text{YMn}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  における HAADF-STEM 像(a)  $x=0.0$  試料、(b)  $x=0.3$  試料、(c)  $x=0.4$  試料。

概算すると  $5.5\mu\text{C}/\text{cm}^2$  となる。さらに  $x=0.4$  試料に関しては、領域 (A) では down-up-up-down である一方、領域(B)では Y イオンは変位しておらず、常誘電状態であると言える。つまり、Ti 置換することにより、Y イオンの  $\langle 001 \rangle$  方向への変位量が減少し強誘電性が抑制されることがわかった。

#### (4). 結言

本研究では、 $10^{-6}\sim 10^{-7}\text{rad}$  の角度分解能をもつ小角電子回折法を確率するとともに、ローレンツ電子法顕微鏡法と併用することにより、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  の強磁性金属相でのストライプ状磁区構造や磁気渦構造などのナノスケールでの磁氣的微細構造およびその磁場応答について調べた。ローレンツ TEM 法と小角電子散乱法は、ナノスケールでの磁氣的微細構造の知見を得るのに有効な手法であるといえる。また、高角度環状暗視野法 (HAADF 法)を用いた強誘分域構造や分域壁に関する微細構造を原子レベルで解析することに成功し、 $180$  度分域の tail-to-tail 分域壁の存在を見出した。原子レベルでのドメイン構造やドメイン構造境界での原子変位パターンからマクロレベルのドメイン構造の階層的空間構造に至るまでの微細構造解析は、視的なマクロ物性の発現機構を理解するうえで重要であるといえる。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① S. Mori, T. Ozaki, E. Tanaka, Y. Ishii, K. Kurushima, Y. Kubota and H. Taniguchi, Structural Phase transition and microstructures in stuffed tridymite-type compounds  $\text{Ba}(\text{Al},\text{Fe})_2\text{O}_4$  *Ferroelectrics* 464,(2014)116-121.DOI:10.1080/00150193.2014.893160. (査読有)
- ② S. Mori, K. Kurushima, H. Kamo, Y. Ishii, F.-T. Huang, Y. Horibe, T. Kastufuji, S.-W. Cheong, Ferroelectric and structural antiphase domains and domain wall structures in  $\text{Y}(\text{Mn},\text{Ti})\text{O}_3$  *Ferroelectrics* 462, 50-54 (2014).(査読有)
- ③ K. Yoshi, M. Mizumaki, K. Matsumoto, S. Mori, N. Endo, H. Saitoh, D.Matsuura, T. Kambe and N. Ikeda, Current-induced enhancement of magnetic anisotropy in spin-charge coupled multiferroic  $\text{YbFe}_2\text{O}_4$  *Journal of Physics: Conference Series* 428 (2013) 012032, 1-5 (査読有) Doi:10.1088/1742-6596/428/1/ 012032.
- ④ K. Yanai, Y. Kitanaka, Y. Noguchi\*, M. Miyayama, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, K. Kurushima, and S. Mori, Enhanced polarization switching in ferroelectric  $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$  single crystals by defect

- control, Phys. Status. Solidi A, 1-5 (2013). (査読有)
- ⑤ H. Taniguchi, A. Kuwabara, J. Kim, Y. Kim, H. Moriwake, S. Kim, T. Hoshiyama, T. Koyama, S. Mori, M. Takata, H. Hosono, Y. Inaguma, and M. Itoh. Ferroelectricity Driven by Twisting of Silicate Tetrahedral Chains. Angewandte Chemie International Edition, 52, 8088-8092 (2013) DOI: [10.1002/anie.201302188](https://doi.org/10.1002/anie.201302188), (査読有)
- ⑥ K. Kobayashi, K. Kurushima, Y. Togawa, Y. Horibe, S.-W. Cheong and S. Mori, Real-space imaging of ferroelectric and structural antiphase domain walls in Hexagonal YMnO<sub>3</sub>. J. of the Korean Physical Society 62, 1077-1081 (2013) DOI: [10.3938/jkps.62.1077](https://doi.org/10.3938/jkps.62.1077) (査読有)
- ⑦ F.-T. Huang, X. Wang, Y. S. Oh, K. Kurushima, S. Mori, Y. Horibe, and S.-W. Cheong, Delicate balance between ferroelectricity and antiferroelectricity in hexagonal InMnO<sub>3</sub>. Phys. Rev. B 87, 184109 1-4 (2013). (査読有)
- ⑧ 岡研吾、東正樹、森茂生, BiCo<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3</sub> の分極回転現象, 日本結晶学会誌 55, 278-284 (2013). (査読有)  
DOI:10.1080/00150193.2014.890855  
〔学会発表〕 (計 14 件)
- ① 日本物理学会 2014 年年次大会 (2014 年 3 月 27 日～30 日, 東海大学) 六方晶マンガン酸化物 InMnO<sub>3</sub> における構造相転移、堀部陽一, F.-T. Huang, 久留島康輔, 森茂生, S.-W. Cheong
- ② 日本物理学会 2014 年年次大会 (2014 年 3 月 27 日～30 日, 東海大学) 元素置換した充填トリジマイト型強誘電体 BaAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> における構造揺らぎと誘電特性 田中慧里, 尾崎友厚, 石井悠衣, 久保田佳基, 谷口博基, 森茂生
- ③ 日本物理学会 2014 年年次大会 (2014 年 3 月 27 日～30 日, 東海大学) La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> における磁気的微小構造の磁場応答、小谷厚博, 小山司, 石井悠衣, 戸川欣彦, 竹中康司, 原田研, 森茂生
- ④ 日本顕微鏡学会 第 70 回学術講演会 (2014 年 5 月 11 日～13 日; 千葉 幕張メッセ国際会議場) トリジマイト型強誘電体の微小構造解析 田中慧里, 石井悠衣, 久留島康輔, 森茂生
- ⑤ 日本顕微鏡学会 第 70 回学術講演会 (2014 年 5 月 11 日～13 日; 千葉 幕張メッセ国際会議場) 六方晶 RMnO<sub>3</sub> における反位相/強誘電分域の STEM 観察、森茂生、久留島康輔、石井悠衣、勝藤拓郎、堀部陽一
- ⑥ 第 31 回強誘電体応用会議 (2014 年 5 月 28 日～5 月 31 日, 京都 コープイン 京都) トリジマイト型強誘電体の微小構造解析、田中慧里、石井悠衣、谷口博基、久留島康輔、久保田佳基、谷口博基、森

## 茂生

- ⑦ 日本物理学会 2013 年秋季大会 (2014 年 9 月 7 日～9 月 10 日, 中部大学) 充填トリジマイト型酸化物(Ba,Sr)Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub> の構造揺らぎと強誘電相転移、田中慧里、石井悠衣、塚崎裕文、井山彩人、久保田佳基、長田実、谷口博基、森茂生
- ⑧ 日本物理学会 2013 年秋季大会 (2014 年 9 月 7 日～9 月 10 日, 中部大学) 充填トリジマイト型酸化物 Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>Ga<sub>2</sub>O<sub>4</sub> の構造変化と微細構造、石井悠衣、田中慧里、北橋、塚崎裕文、森茂生
- ⑨ 日本物理学会 2013 年秋季大会 (2014 年 9 月 7 日～9 月 10 日, 中部大学) 六方晶マンガン酸化物 RMnO<sub>3</sub>(R=希土類元素,In) における局所構造とドメイン構造、堀部陽一, F.-T. Huang, 久留島康輔, 森茂生, S.-W. Cheong
- ⑩ 日本物理学会 2013 年秋季大会 (2014 年 9 月 7 日～9 月 10 日, 中部大学) 充填トリジマイト型酸化物 Ba<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub> での構造相転移、塚崎裕文, 田中慧里, 石井悠衣, 長田実, 谷口博基, 森茂生
- ⑪ 日本セラミックス協会 (2014 年 9 月 9 日～9 月 11 日, 鹿児島大学) 電子顕微鏡法による機能性酸化物の構造物性研究、森茂生
- ⑫ 日本顕微鏡学会 第 69 回学術講演会 (2013 年 5 月 20 日～22 日; 大阪 ホテル阪急エキスポパーク) 六方晶マンガン酸化物の反位相/強誘電ドメイン構造の HAADF-STEM 観察 久留島康輔、小林敬介、加茂秀基、戸川欣彦、堀部陽一、森茂生
- ⑬ 中部関西誘電体セミナー(2013 年 6 月 15 日、名古屋工業大学) 六方晶マンガン酸化物の反位相/強誘電ドメイン構造の HAADF-STEM 観察 森茂生
- ⑭ 日本物理学会 2013 年秋季大会 (2013 年 9 月 25 日～28 日, 徳島大学) トリジマイト型強誘電体 Ba(Al<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub> の微小構造解析 森茂生、尾崎友厚、田中慧里、石井悠衣、久保田佳基、谷口博基、伊藤満

## 〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 1 件)  
名称: 電子顕微鏡およびそれを用いた試料の観察方法  
発明者: 森茂生、中島宏、原田研  
権利者: 大阪府立大学  
種類: 特願  
番号: 2015-038149 号  
出願年月日: 2015 年 2 月 27 日  
国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
森茂生 (MORI Shigeo)  
大阪府立大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 20251613