

令和 2 年 5 月 22 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03393

研究課題名（和文）強相関電子材料のドメイン界面におけるハイブリッド配位環境を利用した機能性制御

研究課題名（英文）Control of functionality by hybrid coordination at domain boundaries in strongly-correlated electron materials

研究代表者

堀部 陽一（Horibe, Yoichi）

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80360048

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：層状マンガン酸化物 Ca_2MnO_4 のCaサイトに一部Smを置換した $\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{MnO}_4$ について、固相反応法を用いてセラミックス試料を作製し、各種の構造ドメインの種類および配列について主に透過型電子顕微鏡を用いた電子回折法および明・暗視野法により調べた。その結果、 $\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{MnO}_4$ の $x = 0.0 \sim 0.2$ 試料中において、c軸方向に沿った酸素八面体回転の回転パターンの乱れに関連した反位相ドメインが存在し、異なる回転方向を持つ反位相ドメインの割合がSm置換量 x と共に変化することを見出した。さらに局所構造に関連した電子状態の理論計算を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

遷移金属イオン周りの環境の変化を利用した新しい機能性の開拓は、最近の材料分野で最も注目されるトピックの一つであり、多くの研究が行われている。材料中に存在する様々なドメインの界面近傍では、異なる結晶構造を反映した異常な環境が出現し得る。このようなドメインの界面に現れる、異常な環境を利用して、新奇物性の開拓が可能になると考えられる。実際に本研究の結果から、強相関電子材料におけるドメイン構造制御により、新しい物性発現の可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：Ceramics of $\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{MnO}_4$ were prepared by solid-state reaction method with Sm partial substitution into Ca sites of layered manganese oxide Ca_2MnO_4 . Crystallographic and morphological features of structural domains were investigated by electron diffraction technique and bright- / dark- field imaging. As a result, in the $\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{MnO}_4$ $x = 0.0 \sim 0.2$, there are antiphase domains related to the discontinuity of the rotation pattern of the oxygen octahedron rotation along the c-axis. It was found that the domain structures depends on the Sm substitution amount x . Furthermore, theoretical calculation of electronic states related to local structure.

研究分野：固体物理学

キーワード：局所構造 ナノ構造 透過型電子顕微鏡 電子回折

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

結晶粒界や人工薄膜の界面におけるわずかな配位環境の変化を利用した新しい機能性の開拓は、最近の材料分野で最も注目されるトピックの一つであり、多くの研究が行われている[1,2]。例えば最近の研究から SrRuO₃/Ca_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ 薄膜界面において、界面での格子ミスフィットに起因する酸素八面体のわずかな回転変化と、それに関係した配位環境の変化による SrRuO₃ の磁気異方性の出現が報告されている[1]。一方、透過型電子顕微鏡(TEM)法を用いた実・逆空間の同時観察により、強誘電反強磁性体 RMnO₃ (R=希土類)における「cloverleaf ドメイン」において、ドメイン界面の MnO₆ 酸素六面体が、隣接したドメイン内部のイオン変位を足し合わせた異常な変形を伴うことが見出されている[3]。同様の酸素ケージの異常な変形は、MnO₆ 酸素八面体を持つ強相関電子材料の構造ドメイン(双晶ドメインや反位相ドメインなど結晶構造に関するドメイン)の界面でも生じ得ると予測できる。このような構造ドメインの界面に現れる、酸素多面体の異常変形に関係した配位環境を、『ハイブリッド配位環境』と定義する。

強相関電子材料は、電荷やスピンという d 電子の内部自由度同士および結晶構造が密接に相関し、巨大磁気抵抗効果などの様々な興味深い物性を示す。従来の研究から、これらの強相関現象は配位環境に関係した d-p 電子軌道の重なり度合に強く依存し、配位環境の変化に非常に敏感であることが明らかになっている[4]。そのため強相関電子材料でのハイブリッド配位環境において、劇的な物性変化を導入できる可能性がある。実際に上述の cloverleaf ドメイン界面の場合、研究代表者らの走査プローブ顕微鏡(SPM)法を用いた直接観察から、界面絶縁性や界面強磁性の発現など、ハイブリッド配位環境を起源とする、ドメイン内部とは異なる新奇機能性の発現が見出されている[3,5]。

2. 研究の目的

これらの背景から本研究では、層状マンガン酸化物(Ca,R)₂MnO₄ (R:希土類元素)における Ca サイトを一部 Sm で置換した Ca_{2-x}Sm_xMnO₄ を取り上げ、強相関材料における構造ドメイン境界に関係したハイブリッド配位環境について明らかにするため、反位相ドメイン配列の特徴および局所構造について研究を行った。具体的には本目的達成のため、以下の点について X 線回折法および TEM 法を用いた研究を行った。

(1) 層状マンガン酸化物 Ca_{2-x}Sm_xMnO₄ における構造ドメインの観察：本系における構造ドメインの特徴について明らかにするため、MnO₆ 酸素八面体の[001]軸周りに関する反位相ドメインについて TEM 法を用いた実空間直接観察を行った。

(2) 構造ドメイン出現に関係した局所的結晶構造の解明：本系における反位相ドメインに関係した局所構造の特徴について明らかにするため、TEM 法を用いた電子回折図形の観察を行うとともに、走査透過型電子顕微鏡(STEM)法を用いた局所構造観察を行った。

(3) 局所構造変化に関係した物性の解明：得られた結晶構造の知見を基に、第一原理計算により局所物性の検討を行った。

3. 研究の方法

層状マンガン酸化物 Ca_{2-x}Sm_xMnO₄ において、Sm 置換量や焼成条件を系統的に変化させながら固相反応法による多結晶試料作製を行ったのち、熱処理を施すことにより反位相ドメインを導入した。得られた結晶試料について X 線回折測定による平均結晶構造の測定を行うと共に、TEM による実空間・逆空間の同時直接観察を行い局所構造変化について調べるとともに、反位相ドメインの特徴について研究を行った。具体的には Ca_{2-x}Sm_xMnO₄ において Sm 濃度を x = 0.0 ~ 0.4 まで変化させたセラミックス試料を作製し、それらに出現する反位相ドメインの種類および配列について主に TEM を用いた電子回折法および明・暗視野法により調べると共に、同じ試料において測定された粉末 X 線回折曲線から精密構造解析を行い、得られた結晶構造データを元に各構造ドメインにおける特徴について検討を行った。またドメイン界面近傍における局所構造について高角度環状暗視野-走査透過型電子顕微鏡(HAADF-STEM)法等を用いて明らかにした。さらに熱処理条件の最適化のため、x = 0.0 試料および x = 0.2 試料における高温粉末 X 線回折測定を行い、精密結晶構造解析により本系における構造変化について検討を行った。同時に検討された結晶構造を用いて第一原理計算を行った。

4. 研究成果

粉末 X 線回折曲線およびシンクロトロン放射光回折曲線による結果から、Ca_{2-x}Sm_xMnO₄ 試料において、0.0 ≤ x ≤ 0.05 の Sm 組成範囲における I4₁/acd 相と少量の Acam 相の共存状態が示唆された。そこで、TEM を用いた電子回折法および暗視野法により、Ca_{2-x}Sm_xMnO₄ 試料における局所構造およびナノ構造について観察を行った。Ca_{2-x}Sm_xMnO₄ 試料において、Ca₂MnO₄ および Ca_{1.95}Sm_{0.05}MnO₄ から得られた電子回折図形を、それぞれ図 1(a)および 1(b)に示す。電子入射方向は、[310]方向にほぼ平行であり、指数付けは高対称構造である I4/mmm 構造を基準に行っている。これらの回折図形中には、強度の強い基本格子反射に加えて、 $\bar{1}/2\ 3/2\ 1/2$ 逆格子位置および $\bar{1}/2\ 3/2\ 0$ 逆格子位置に弱い強度を持つ超格子反射が観察される。既知の結晶構造を基に逆格

子を作製し検討を行った結果、これらの超格子反射はそれぞれ $I4_1/acd$ および $Acam$ 構造に起因するものとして矛盾なく説明できることが明らかとなった（以下簡便化のため、 $\bar{1}31/2$ 位置および $\bar{1}30$ 位置における超格子反射を、それぞれ $I4_1/acd$ 超格子反射および $Acam$ 超格子反射と呼ぶ）。さらにこれらの電子回折図形中には、 $[001]$ 方向に対して平行なストリーク状散漫散乱が観察される。さらに $x=0.05$ の電子回折図形（図 1(b)）中の $Acam$ 超格子反射強度は、 $x=0.0$ の電子回折図形（図 1(a)）中の $Acam$ 超格子反射強度と比べて、より強いストリーク傾向を示す。これらの結果から、 $Ca_{2-x}Sm_xMnO_4$ の、 $0.0 \leq x \leq 0.05$ の低 Sm 組成域においては、主相である $I4_1/acd$ 相に加えて、極少量の $Acam$ 相の存在が明らかとなった。

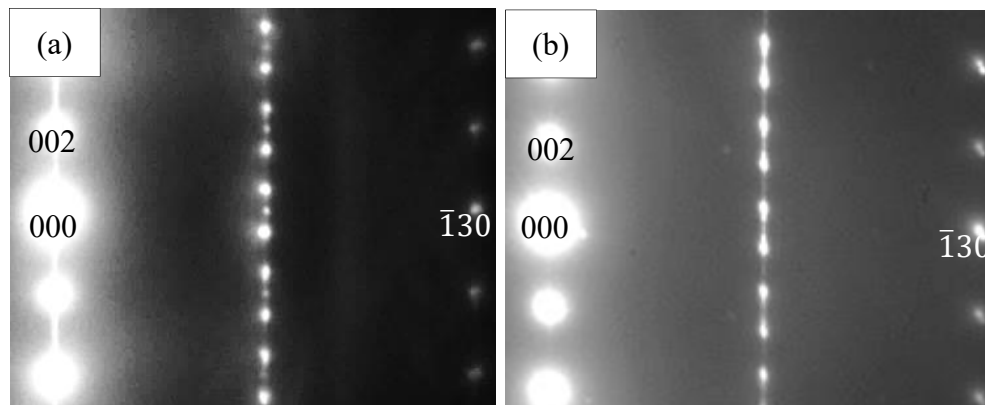


図 1 $Ca_{2-x}Sm_xMnO_4$ (a) Ca_2MnO_4 、(b) $Ca_{1.95}Sm_{0.05}MnO_4$ における電子回折図形。電子入射方向は、 $[310]$ 方向にはほぼ平行である。

Ca_2MnO_4 および $Ca_{1.9}Sm_{0.05}MnO_4$ の電子回折図形における $[001]$ 方向に沿ったストリーク状散漫散乱の起源について明らかにするため、超格子反射を用いて暗視野像を撮影することにより、2 相共存状態のナノ構造の観察を行った。図 2(a) および 2(b) は、それぞれ Ca_2MnO_4 試料および $Ca_{1.9}Sm_{0.05}MnO_4$ 試料から得られた超格子反射暗視野像である。電子入射方向は $[310]$ 方向にはほぼ平行であり、結像は $I4_1/acd$ および $Acam$ 超格子反射の両者を同時に用いて行っている。図 2(a) では、全体的に薄暗いコントラスト領域の中に、 $[130]$ 方向に沿った線状コントラストが観察されるとともに、同じ $[130]$ 方向に伸びた細かい縞状コントラストも見出される。縞の間隔は約 6\AA であることから、これらの縞状コントラストは層状マンガン酸化物の結晶構造中に存在する MnO_2 面に対応すると考えられる。また図 2(a) 中の線状コントラスト間の $[001]$ 方向の間隔は、約 12\AA である。この暗視野像におけるコントラストの特徴は、薄暗いコントラスト領域が大部分を占めており、線状コントラスト領域は薄暗いコントラスト領域と比べて極端に小さいことである。粉末 X 線回折曲線および $[310]$ 入射電子回折図形の観察から、 Ca_2MnO_4 および $Ca_{1.9}Sm_{0.05}MnO_4$ 試料は主要相 $I4_1/acd$ と少量の $Acam$ 構造の共存状態を示す。これらの結果は、薄暗いコントラスト領域は主要相である $I4_1/acd$ 相であり、 $I4_1/acd$ マトリックス中に少量の $Acam$ 相が板状形状を伴い $[001]$ 方向に積層して出現することを示している（図 3）。

$Ca_{1.9}Sm_{0.05}MnO_4$ において、 $I4_1/acd$ および $Acam$ 超格子反射の両者を同時に用いて結像した暗視野像（図 2(b)）中では、 Ca_2MnO_4 とは異なり、 $[001]$ 方向に積層した厚さ約 $12 \sim 24\text{\AA}$ 程度の明るい線状コントラスト・薄暗い線状コントラスト・暗い線状コントラストの複雑な配置が観察される。この暗視野像は、 $[310]$ 入射電子回折図形中の $I4_1/acd$ ・ $Acam$ 超格子反射および超格子反射位置近傍のストリーク状散漫散乱を用いて結像した暗視野像であり、3 種類の異なるコントラストを示すことから、薄暗い線状コントラスト領域は $I4_1/acd$ 相であり、明暗の線状コントラスト領域は結晶方位の異なる $Acam$ 構造を示していると考えられる。 $Acam$ 構造は斜方晶空間群に属することから、 $[310]$ と $[\bar{1}30]$ 入射は非等価な方向であり、異なる回折図形を示す。そのためこれらの回折図形は、 $\bar{1}/23/20$ タイプおよび $\bar{1}/23/21$ タイプ超格子反射の存在により特徴付けられる。 $[310]$ 方向と $[\bar{1}30]$ 方向は c 軸周りに 90° だけずれていることから、これらの結果は本試料中における、板状形状を伴い $[001]$ 方向に積層した $I4_1/acd$ 相と、結晶方位が互いに 90° 異なる $Acam$ 相の共存状態の存在を示している。

これらの $I4_1/acd$ 構造および $Acam$ 構造の共存の結果、 $[310]$ 入射電子回折図形には、 $I4_1/acd$ 構造による $\bar{1}/23/21/2$ タイプ超格子反射と、 $Acam$ 構造における 2 つの異なる結晶方位に対応した、 $\bar{1}/23/20$ タイプおよび $\bar{1}/23/21$ タイプ超格子反射の足し合わせとなり、 $[001]$ 方向に超格子反射が交互に並んで配置する回折図形を示すと同時に、領域形状に起因するストリーク状散漫散乱の出現が予想される。実際、予想される回折図形は観察結果とよく一致する。以上のことから、 $Ca_{2-x}Sm_xMnO_4$ $0.0 \leq x \leq 0.05$ の Sm 組成域におけるナノ構造は、 $I4_1/acd$ ドメインと、結晶方位が c 軸周りに 90° だけ異なる 2 種類の板状 $Acam$ ドメインが、 c 軸方向に積み重なったものであるということが明らかとなった。

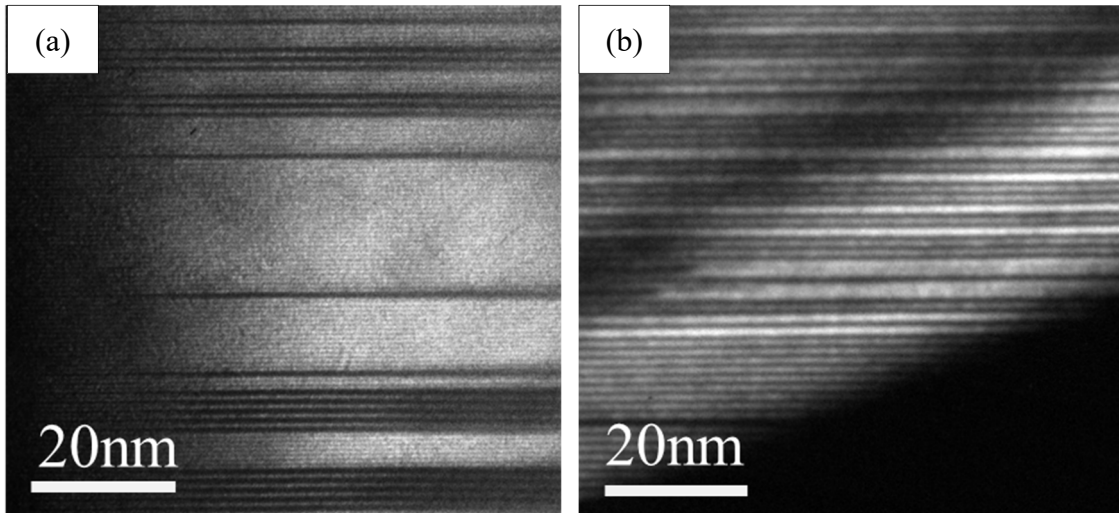


図2 $I4_1/acd$ および $Acam$ 超格子反射を用いて結像した暗視野像。(a) Ca_2MnO_4 および(b) $Ca_{1.9}Sm_{0.05}MnO_4$ 。電子入射方向は $[310]$ 方向にほぼ平行である。

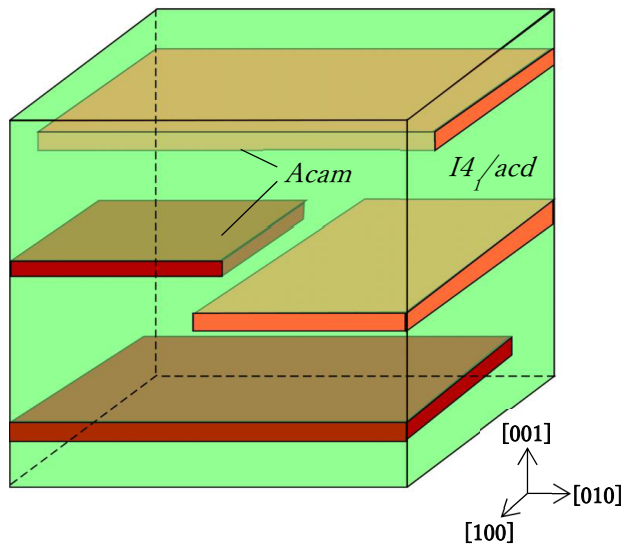


図3 $I4_1/acd$ および $Acam$ 相の共存状態の模式図

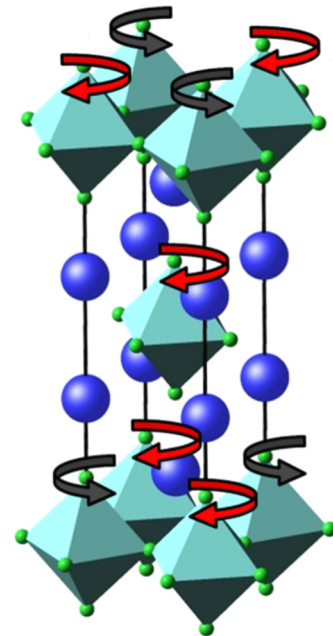


図4 $I4_1/acd$ 構造の模式図

本系における特徴的なナノ構造の起源について、考察を行った。 $I4_1/acd$ および $Acam$ 構造は、単位格子中に存在する MnO_6 酸素八面体の $[001]$ 軸周りの回転により特徴付けられる。すなわち、 $I4_1/acd$ 構造は図4に示すように、同一の $[001]$ 軸上に隣接する MnO_6 八面体の逆方向回転、 $Acam$ 構造は MnO_6 八面体の同方向回転により特徴付けられる。したがって同一の $[001]$ 軸上に配列する MnO_6 八面体の $[001]$ 軸周りの回転が逆方向か同方向かにより、 $I4_1/acd$ か $Acam$ 構造のいずれかになるかが決定される。 $I4_1/acd$ 相における反位相ドメイン境界では、酸素八面体回転の方向が不連続に変化しており、結果として $Acam$ 構造と類似した局所構造が実現されていると考えられる。すなわち $Ca_{2-x}Sm_xMnO_4$ の低 Sm 組成域の $I4_1/acd$ マトリックス中における、 $[001]$ 方向に沿った板状 $Acam$ ドメインの出現は、マトリックス中において $[001]$ 方向に沿った MnO_6 八面体回転の空間的な揺らぎに起因することが明らかになった。さらにこれらの MnO_6 八面体回転の空間的揺らぎを考慮した局所構造をもとにした第一原理計算により、これらのドメイン界面近傍領域が得意な電子構造を持つ可能性が示唆された。

<引用文献>

- [1] D. Kan, *et al.*, Nature Materials **15**, 432 (2016).
- [2] Z. Liao, *et al.*, Nature Materials **15**, 475 (2016).
- [3] T. Choi, *et al.*, Nature Materials **9**, 253 (2010).
- [4] P. G. Radaelli, *et al.*, Nature **416**, 155 (2002), N. Ikeda, *et al.*, Nature **436**, 1136 (2005).
- [5] Y. Geng, *et al.*, Nano Lett. **12**, 6055 (2012).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Budiman Faisal, Kotooka Takumi, Horibe Yoichi, Eguchi Masanori, Tanaka Hirofumi	4. 巻 57
2. 論文標題 Electric property measurement of free-standing SrTiO ₃ nanoparticles assembled by dielectrophoresis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 06HE07 ~ 06HE07
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/JJAP.57.06HE07	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Woo Hyun-Joo, Horibe Yoichi, Jha Kaushal, Jang Kiwan, Jeong Jung Hyun	4. 巻 72
2. 論文標題 Peculiar Optical Characteristics of Different Silicate Source and Synthesis Technique in Europium Doped Li ₂ SrSiO ₄	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Korean Physical Society	6. 最初と最後の頁 1350 ~ 1355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3938/jkps.72.1350	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 KIM Taeyoung, NAMKHAI Purevdulam, JANG* Kiwan, HORIBE Yoichi, WOO Hyun-Joo	4. 巻 68
2. 論文標題 Effect of the Size of the Particles in a Raw SiO ₂ Material on the Optical Properties of Eu ^(2+/3+) -Doped Li ₂ SrSiO ₄	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Physics: Sae Mulli	6. 最初と最後の頁 593 ~ 598
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3938/NPSM.68.593	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Yamashita Y., Okuda T., Mori S., Horibe Y., Murata R., Katsufuji T.	4. 巻 2
2. 論文標題 Transport, magnetic, thermoelectric, and structural properties of hollandite titanates BaxTi ₈ O ₁₆₊	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 74409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.2.074409	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 堀部陽一	4. 巻 54
2. 論文標題 マルチフェロイック六方晶マンガン酸化物における特異なドメイン構造 ~透過型電子顕微鏡を用いたドメイン観察~	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 セラミックス	6. 最初と最後の頁 99-102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroyama Takumi, Hirata Akihiko, Inoue Yasuhide, Horibe Yoichi, Koyama Yasumasa	4. 巻 88
2. 論文標題 Effect of Ca Doping on Modulated Structures in Multiferroic Bi _{1-x} CaxFeO ₃	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054601 ~ 054601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.054601	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Horibe Y., Nomoto M., Inoshita T., Watanabe K., Cheong S.-W., Inoue Y., Koyama Y.	4. 巻 100
2. 論文標題 Quadruple superstructure with antiferroic ionic displacements in Bi _{1-x} SmxFeO ₃	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 24105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevB.100.024105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakajima Hiroshi, Shigematsu Koji, Horibe Yoichi, Mori Shigeo, Murakami Yasukazu	4. 巻 60
2. 論文標題 Charged Domain Walls and Crystallographic Microstructures in Hybrid Improper Ferroelectric Ca _{3-x} Sr _x Ti ₂ O ₇	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 2103 ~ 2108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2320/matertrans.MT-MI2019006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Horibe Y., Ishimatsu M., Takeyama S., Mori S., Kudo M., Auchi M., Tanaka M., Murakami Y.	4. 巻 115
2. 論文標題 Self-assembled lamellar-type nanostructure in manganite spinel (Co,Mn,Fe)304	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 232401 ~ 232401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5123780	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 二ノ方智裕, 堀部陽一
2. 発表標題 ペロブスカイトスラブ型酸化物Sr ₂ Ta ₂ O ₇ の室温における結晶学的特徴
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀部陽一, 渡辺謙, 木口賢紀, 今野豊彦, 野元将志, 井上靖秀, 小山泰正
2. 発表標題 置換型ピスマスフェライトBi _{1-x} NdxFeO ₃ の反強誘電相における超構造
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hyun-Joo Woo, Takanori Kiguchi, Toyohiko Konno, Shigeo Mori, Yoichi Horibe
2. 発表標題 Characteristic diffuse scattering in Cu- substituted bilayer ferrite YbFeCuO ₄
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石松雅史, 田吹遥, 堀部陽一
2. 発表標題 スピネル型マンガン酸化物におけるナノ組織変化
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Ninokata, Y. Horibe
2. 発表標題 Topological domain structure in transition metal oxides
3. 学会等名 平成30年度日本金属学会・日本鉄鋼協会・日本軽金属学会九州支部合同講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazufumi Moritani, Yoichi Horibe, Kazuhisa Matsumoto, Masaharu Hatano
2. 発表標題 Hydrogen Effect on Microstructures in Austenitic Stainless Steels
3. 学会等名 平成30年度日本金属学会・日本鉄鋼協会・日本軽金属学会九州支部合同講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hyun-Joo Woo, Takanori Kiguchi, Toyohiko Konno, Shigeo Mori, Yoichi Horibe
2. 発表標題 Characteristic diffuse scattering in Cu- substituted bilayer ferrite YbFeCuO4
3. 学会等名 平成30年度日本金属学会・日本鉄鋼協会・日本軽金属学会九州支部合同講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石松 雅史, 田吹 遥, 堀部 陽一
2. 発表標題 スピネル型マンガン酸化物におけるナノ組織の特徴
3. 学会等名 平成30年度日本金属学会・日本鉄鋼協会・日本軽金属学会九州支部合同講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石松雅史、田吹遥 堀部陽一、
2. 発表標題 スピネル型マンガン酸化物ZnMnGaO4におけるナノ組織変化
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀部 陽一、渡邊 謙、野元 将志、井上 靖秀、小山 泰正
2. 発表標題 置換型ピスマスフェライトBi _{1-x} R _x FeO ₃ (R = Nd, Sm)における構造相転移の特徴
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堀部 陽一, 石松 雅史, 森 茂生
2. 発表標題 スピネル酸化物(Co, Fe, Mn)3O ₄ におけるチェッカーボード型ナノ組織変化
3. 学会等名 本顕微鏡学会 第75回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Horibe
2. 発表標題 Transmission- Electron Microscopy Studies on Domain Structure in Hexagonal Manganites
3. 学会等名 International Symposium on Applied Science 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	中村 和磨 (Kazuma Nakamura) (60525236)	九州工業大学・大学院工学研究院・准教授 (17104)	
研究 分担者	田中 啓文 (Hirofumi Tanaka) (90373191)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授 (17104)	