

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 4 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03833

研究課題名(和文) 多元的微小構造評価システムの構築と非自明高次構造の直接観察

研究課題名(英文) Construction of multidimensional microstructure evaluation system and direct observation of magnetic textures

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて、電子光学レンズ系の制御により、(1)10-2から10-7[rad]の角度分解能を持つ小角電子回折法を実現し、同一領域から小角電子回折図形、ローレンツTEM像および暗視野像を取得できる多元的微小構造観察システムの構築に成功した。本システムをマンガン酸化物、強磁性マルテンサイト材料やヘキサフェライト材料に展開し、磁気テクスチャなどの磁気的微小構造の磁化分布を明らかにした。さらに、バルク単結晶試料合成や物性測定、TEM観察を行い、磁気テクスチャの磁化分布、外部磁場および温度に対する応答、結晶方位依存性などから磁気的微小構造の形成機構を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築した多元的微小構造観察システムでは、小角電子回折法、フーコ法および構造的暗視野法により、ナノからマクロサイズの磁気的/構造的微小構造を調べることができる。本システムを用いることで、らせん磁性体やマルチフェロイック物質が示すナノからマクロサイズでの磁気的微小構造および構造的微小構造の階層的な空間構造を明らかにすることで、巨視的なマクロ物性(磁気・誘電特性、電気磁気効果など)の発現機構の解明に貢献できる。本手法は、誘電体や強磁性マルテンサイト材料等の様々な機能性材料の微小構造観察に応用可能であり、機能発現と微小構造に関する研究に幅広く用いることができる。

研究成果の概要(英文)：In this study, a small-angle electron diffraction method with an angular resolution ranging from 10-2 [rad] to 10-7 [rad] was realized by controlling the electron-optical lens system using a conventional transmission electron microscope. We succeeded in constructing a multidimensional microstructure observation system that can acquire small-angle electron diffraction patterns, Lorentz TEM images, and structural dark-field images from the same region. This system was developed for manganese oxides, ferromagnetic martensite materials, and hexaferrite materials. In these materials, the magnetization distribution of magnetic microstructures such as magnetic textures were clarified. The formation mechanism of the magnetic textures was also clarified from the magnetization distribution of the magnetic texture, the response to an external magnetic field and temperature, and the crystal orientation dependence.

研究分野：ナノ構造物理

キーワード：小角電子回折 透過型電子顕微鏡 ローレンツ顕微鏡 電気磁気効果

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

透過型電子顕微鏡(TEM)は、結晶固体中に存在する構造的微細構造(誘電分域、双晶構造、欠陥構造等)をナノからマクロスケールで観察・評価・解析できるため、金属やセラミックス等の物質材料研究に幅広く用いられている。一方、磁性体の磁氣的微細構造(磁区構造、磁壁構造等)観察には、ローレンツ TEM によるフレネル法とフーコ法が一般的に用いられる。その特徴は、(1)高い空間分解能で磁氣的微細構造を観察することができる(フーコ法)、(2)磁区構造の磁場応答や温度変化を動的に観察できる(フレネル法)、ことである。しかしながら、汎用 TEM では、結晶固体中に存在する構造的微細構造の観察の際は、対物レンズが作る強磁場(～2T)中に観察試料を置くため、磁氣的微細構造は磁場の影響を受ける。このため結晶固体中の磁氣的微細構造と構造的微細構造を同一領域で同時に観察することは出来ない。

最近我々は、対物レンズが作る磁場をゼロにした状態で、TEM の電子光学レンズ系の電流値を適切に制御することで、100m から 1000m にわたってカメラ長(逆空間での倍率)を制御できる小角電子回折法を実現し、電子線散乱角の角度分解能を  $10^{-6}$ [rad]まで向上することに成功した。さらに、フーコ法と  $10^{-6}$ [rad]の角度分解能を持つ小角電子回折法を同一の汎用 TEM 装置を用いて実現することにも成功した。これらの研究成果を踏まえて、電子線の干渉性が優れた電界放出型 TEM を用いて、対物レンズが作る磁場をゼロにした状態で、電子光学レンズ系の電流値を適切に制御し、 $10^{-2}$ [rad]から  $10^{-7}$ [rad]に及ぶ幅広い角度分解能を持つ小角電子回折法を実現する。さらに、空間分解能の高いフーコ法による磁氣的微細構造観察と暗視野法による結晶対称性に起因する構造的微細構造観察が、同一領域かつ同時に観察可能な多元的微細構造観察システムの構築を行うことを目的とする。

### 2. 研究の目的

強相関電子系物質やらせん磁性体、マルチフェロイック物質では、電荷、スピン、軌道(結晶格子)や分極の自由度間の相互作用の共存・競合により誘起されるナノスケールでの非自明な高次構造(磁気・誘電テクスチャ構造、磁気渦構造、スピン超構造、磁気スキルミオンなど)が形成される。最近これらの高次構造が、電気磁気効果や異常ホール効果などの特異な電気磁気複合物性の起因であることが見出され、盛んに研究が進められている。我々は、スピン、電荷、軌道および格子自由度が強く相互作用する巨大磁気抵抗マンガン酸化物の強磁性状態や相分離状態での磁氣的微細構造に関する一連の研究の中で、最近、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3(x=0.175)$ の強磁性金属相において、磁場下において非自明な高次構造であるナノスケールの磁気渦構造(図 1 参照)が出現することを見出した。しかしながら、この磁気渦構造の形成機構や磁気渦構造内でのスピン構造については明らかになっていない。本研究では、多元的微細構造観察システムを用いて、磁気渦構造等の非自明な高次構造の形成メカニズムやそのスピン構造を解明することを目的とする。

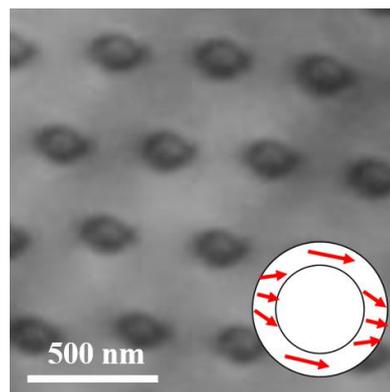


図 1.磁気渦構造と模式図  
(矢印はスピン方向を示す)

### 3. 研究の方法

透過型電子顕微鏡の対物レンズ、中間レンズおよび投影レンズ系のレンズ電流値の最適化により、 $10^{-2}$ [rad]から  $10^{-7}$ [rad]に及ぶ幅広い角度分解能を持つ小角電子回折法を実現し、同一領域で小角電子回折図形、フーコ像、電子線ホログラフィー像および構造的暗視野像を取得できる多元的微細構造

評価システムを構築する。本システムを用いて、マンガン酸化物やヘキサフェライト磁性体を研究対象物質として、電磁磁気複合物性と相関する磁気渦構造や磁気・誘電テクスチャ構造等の非自明な高次構造をナノスケールで直接観察を行う。さらに、単結晶試料作製、物性測定、放射光粉末 X 線構造解析を系統的に行い、非自明な高次構造を含めた温度-磁場-組成相図を作製し、電気磁気効果等の電気磁気複合物性の探索を行う。

#### 4. 研究成果

##### 4-1 多元的微細構造評価システムの構築のための電子光学系

本研究では、強相関電子系物質やらせん磁性体、マルチフェロイック物質での磁氣的微細構造を TEM で観察を行うため、対物レンズをオフの状態での TEM 観察を行うことが有用である。図 2 に、対物レンズをオフにした状態での電子回折図形(図 2(a))と暗視野像(図 2(b))を得るための電子光学系を示す。本電子光学系では、対物レンズをオフにした状態でコンデンサーレンズと対物ミニレンズの電流値を制御して、制限視野絞りの位置にクロスオーバー(電子回折面)を形成させている。小角電子回折では、中間レンズ 1 の電流値を大きくし、磁場を強くすることにより、数十~数百 m にカメラ長を得ることができる。一方、結晶格子面からのブラッグ反射を観測する場合は、中間レンズ 1 の電流値を弱くすることでカメラ長を数十 cm に設定することができる。本電子光学系では中間レンズ 2 と 3 によりカメラ長の長さを制御することができ、制限視野絞りをを用いて磁気偏向スポットを選択することでフーコ像を得ることができる。また、対物レンズに電流を印加することにより、観察試料に光軸方向に平行に磁場を印加することができる。

図 2(c) は、上記の光学系を、加速電圧 200KV の汎用透過電子顕微鏡(JEM-2010)を用いて、中間レンズの電流値を変化させたときのカメラ長の変化を示したグラフである。長距離のカメラ長(70 m ~ 320 m)を用いる場合は中間レンズ 1 の電流  $I_1$  は強励磁(5.0 A)で使用される一方、ブラッグ反射を観測する数十 cm のカメラ長では  $I_1$  は長距離のカメラ長の場合よりも弱励磁(2.3 A)で、カメラ長は 4.5 m から 0.8 m まで制御することが可能である。

##### 4-2. M 型ヘキサフェライトの磁区構造観察

本研究で構築した電子光学系を用いて M 型ヘキサフェライト( $\text{BaFe}_{10.35}\text{Sc}_{1.6}\text{Mg}_{0.05}\text{O}_{19}$ )の磁氣的微細構造の観察を行った。図 3 に c 面を用いて得られた(a)220 反射を用いた暗視野像と(b)電子回折図形を示す。暗視野像では構造的微細構造と同時に磁氣的微細構造を同時に観察するためにデフォーカス

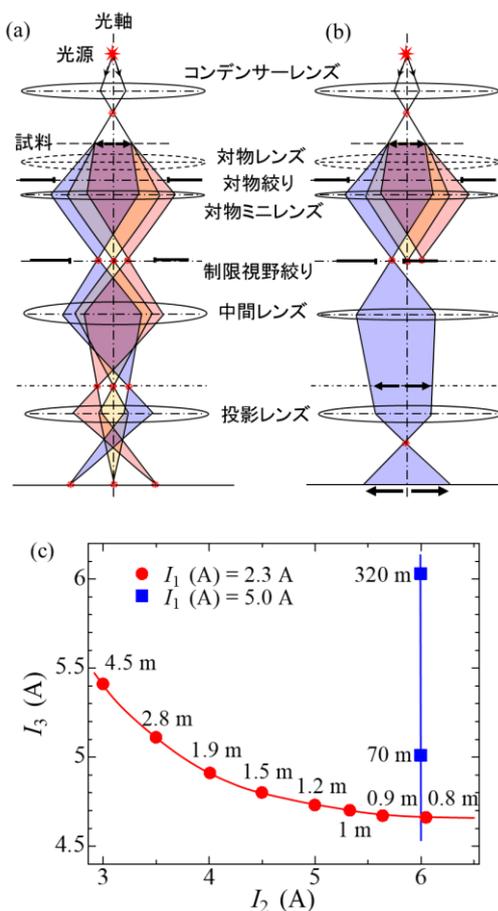


図 2,対物レンズをオフにした状態での(a)電子回折と(b)暗視野法の光学系. (c) 中間レンズに対するカメラ長.  $I_1, I_2, I_3$  は中間レンズ 1(上段), 2(中段), 3(下段)の電流値

条件で撮影を行っている. 図 3(a)に示す暗視野像では, 磁氣的微細構造と結晶ドメイン等の構造的微細構造が存在しているような材料では, 構造的微細構造と同時に磁氣的微細構造を同一領域で同時に観察することができる. 通常の電子光学系では対物レンズを用いて, 対物絞りで回折スポットを選択するため, 構造的微細構造と同時に磁氣的微細構造を同一領域で同時に観察することはできない. また, 本システムを用いると, 小角電子回折図形も得ることが可能であり, 小角電子回折図形中には, ストライプ磁区の周期 (360 m) に由来したスポットとその周りに直線状のストリーク状の散漫散乱が観察され, 磁壁がブロッホ磁壁であることが見出された.

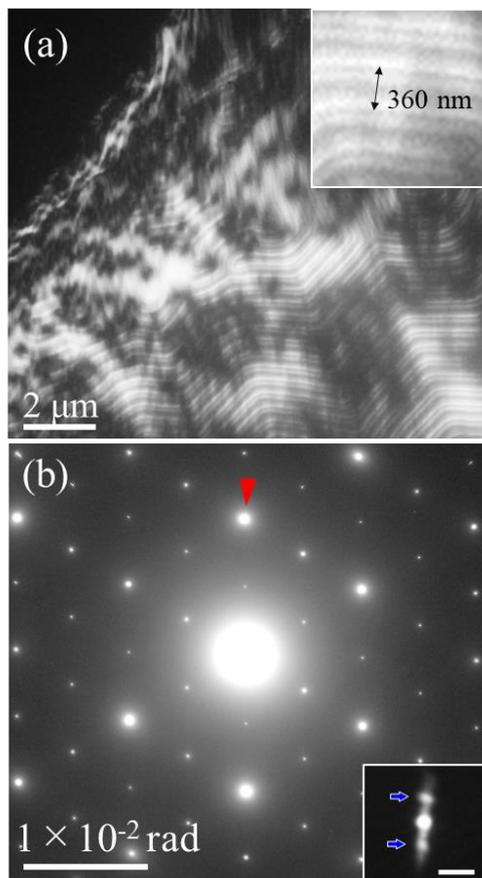


図 3.  $M$  型ヘキサフェライトの (a)暗視野像と (b)電子回折図形 (結晶面は  $c$  面である). カメラ長は (b) では 1 m, 挿入図は, カメラ長 320 m で撮影した 透過波の小角電子回折スポットの分裂とストリーク状の散漫散乱が観察される.

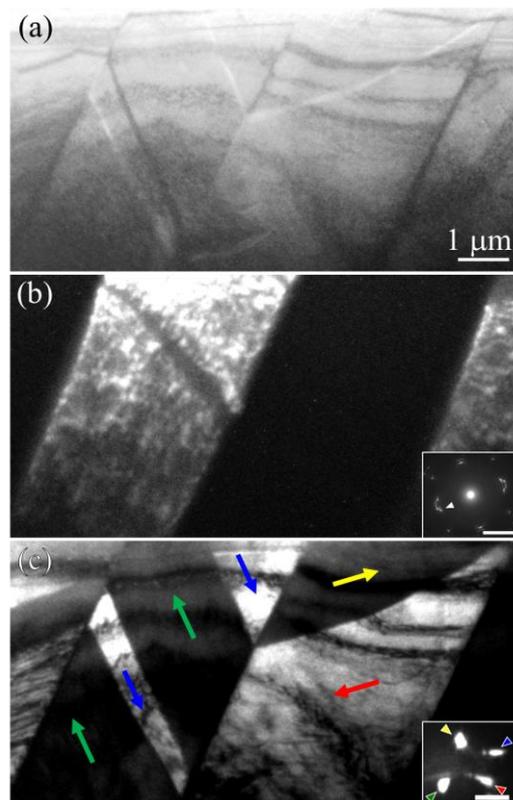


図 4  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  の室温での (a)フレネル像 (アンダーフォーカス) と (b)暗視野像. 挿入図は, 電子回折図形 (カメラ長 1m) である. 挿入図中の矢頭は暗視野像を得る際に用いた回折スポット. (c) フォーコー像と小角電子回折パターン (カメラ長 100 m). フォーコー像に用いた偏向スポットは右側の 2 つ矢頭で示されている.

#### 4-3. 強磁性マルテンサイト $\text{Ni}_2\text{MnGa}$ の磁氣的/構造的微細構造観察

本電子光学系によって, 同一領域で構造的暗視野像と微視的磁気構造像 (フォーコー像) が取得できることを実証するために, 強磁性マルテンサイト  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  を用いて, 結晶格子の周期に対応するブラッグ反射スポットを用いた暗視野像と磁氣的微細構造像 (フレネル像) を同一領域で撮影を行った. 図 4(a)に示すフレネル像には, 磁壁による明暗の直線状のコントラストが観察される. 図 4(b)の挿入図に示す電子回折図形からは, 結晶格子の周期に対応するブラッグ反射スポットが分裂している. 分裂したスポットの 1 つを用いて暗視野像を撮影したところ, 図 4(b)の示すように双晶構造に起因する帯状の明暗のコントラストが観察される. これは強磁性マルテンサイト  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  で見られる双晶ドメイン (バリエント) であ

り、強弾性の起源であると考えられている。次に、100 m のカメラ長を用いて透過スポットに対して小角電子回折図形を得た結果、4 つに分裂した磁気偏向が観測された。このことは、この領域において  $90^\circ$  磁区を形成されていることを示している。また、分裂の幅は、約  $3.5 \times 10^{-5}$  rad であり、磁気偏向角  $\beta = e\lambda B t / h$  ( $e$ : 電気素量、 $\lambda$ : 電子線の波長、 $B$ : 試料内部の磁束密度、 $t$ : 観察試料の厚さ、 $h$ : プランク定数) を用いて試料内部の磁束密度  $B$  を見積ると、約 0.72 T である。ここで、試料厚さ  $t$  は 80 nm と仮定した。図 4(c)の挿図に示した右側 2 つのスポットを絞りで選択した場合、フーコ像は 2 つの磁化方向を持つドメインが可視化された。構造的暗視野像(図 4(b))と磁氣的微細構造像(フーコー像: 図 4(a))を比較すると  $180^\circ$  磁壁は同一バリエーション内に形成されるが、 $90^\circ$  磁壁は異なるバリエーション間で形成されていることがわかる。このように本電子光学系では同一視野で構造的暗視野像と電子回折図形および微視的磁気微細構造像(フーコー像)と小角電子回折図形を取得できることが実証できた。さらに、対物レンズをオフにした状態で磁区構造を壊すことなく構造的暗視野像を取得することに成功した。

#### 4-4. 強相関電子系物質 $\text{La}_{0.825}\text{Sr}_{0.175}\text{MnO}_3$ の磁気テクスチャ

強相関電子系物質  $\text{La}_{0.825}\text{Sr}_{0.175}\text{MnO}_3$  の磁気テクスチャに対し、外部磁場による動的挙動を調べた。ここでは、(001)面に磁場印加を行った結果について報告する。観察温度は 100 K で、磁場は観察面垂直方向、つまり磁化容易軸である  $[001]$  方向に印加した。無磁場状態では、図 5(a)に示すフレネル像ではストライプ状磁区構造が観察される。ここで図中の赤矢印は磁化の方向を表す。外部磁場を印加すると、図 5 (b)に示すように、185 mT でストライプ状の磁区が分断されることが分かる。また、青の矢頭で示した部分では Bloch line が観察された。さらに磁場強度を増大させると、図 5(c)に示すように、Bloch line が観察された領域付近で 470 mT で磁気バブルの形成が観測された。またフレネル像から、図 4(c)で観察された磁気バブルは、磁壁内で時計回りおよび反時計回りに磁化が回転している Type-I の磁気バブルであることがわかった。一方、図 4(c)中には磁化が一回転せず半弧を描くように湾曲している Type-II の磁気バブルも混在していることが分かる。これらの磁化の配列の模式図を図 4 (d)に示した。

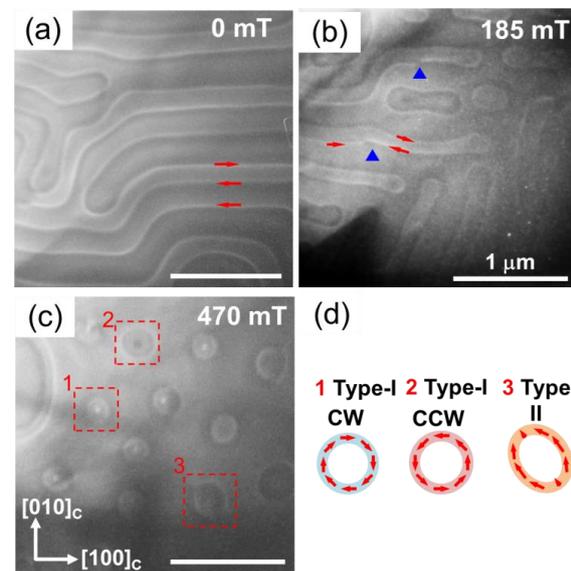


図 5.  $[001]$ 軸方向に外部磁場を印可した時の磁区構造の変化と磁場印加によって得られた磁気バブル構造の模式図。

本研究では、汎用透過型電子顕微鏡を用いて、電子光学レンズ系の制御により、 $(1)10^{-2}$ [rad]から  $10^{-7}$  [rad]に及ぶ角度分解能を持つ小角電子回折法の実現し、同一領域から小角電子回折図形、ローレンツ TEM 像および構造的暗視野像を取得できる多元的磁気微細構造観察システムの構築に成功した。本システムを強相関電子系マンガン酸化物、強磁性マルテンサイト材料およびヘキサフェライト材料に適応し、非自明な時期構造である磁気テクスチャなどの磁氣的微細構造の磁化分布解析を行った。さらに、バルク単結晶試料合成や物性測定、TEM 観察を行い、磁気テクスチャの磁化分布、外部磁場および温度に対する応答、結晶方位依存性などから磁気テクスチャをはじめとする磁氣的微細構造の形成機構を明らかにできた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Ken Harada, Atsushi Kawaguchi, Atsuhiko Kotani, Yukihiro Fujibayashi, Keiko Shimada and Shigeo Mori	4. 巻 12
2. 論文標題 Hollow-Cone Foucault Imaging Method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied. Physics Express	6. 最初と最後の頁 042003 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/1b0523	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 森 茂生, 久留島 康輔	4. 巻 58
2. 論文標題 PbCrO <sub>3</sub> の電荷ガラス状態における不均質構造と圧力誘起体積変化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 まてりあ	6. 最初と最後の頁 87
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 Atsuhiko Kotani, Hiroshi Nakajima, Ken Harada, Yui I shii, Shigeo Mori	4. 巻 464
2. 論文標題 Magnetic anisotropy and magnetic textures in La <sub>1-x</sub> Sr <sub>x</sub> MnO <sub>3</sub> controlled by annealing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 56-60
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 A. Kotani, K. Harada, M. Malac, M. Salomons, M. Hayashida, and S. Mori	4. 巻 8
2. 論文標題 Observation of FeGe skyrmions by electron phase microscopy with hole-free phase plate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 055216 1-6
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 該当する

1. 著者名 Hiroshi Nakajima, Atsuhiko Kotani, Ken Harada, Shigeo Mori	4. 巻 67
2. 論文標題 Electron diffraction covering a wide angular range from Bragg diffraction to small-angle diffraction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 207-213
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 Brown Francisco, Jacobo-Herrera Ivan, Alvarez-Montao Victor, Kimizuka Noboru, Kurashina Keiji, Michiue Yuichi, Matsuo Yoji, Mori Shigeo, Ikeda Naoshi, Medrano Felipe	4. 巻 251
2. 論文標題 Phase relations in the pseudobinary systems $RAO_3-R_2Ti_2O_7$ (R: rare earth element and Y, A: Fe, Ga, Al, Cr and Mn) and syntheses of new compounds $R(A_{1-x}Ti_x)O_{3+x/2}$ ( $2/3 < x < 3/4$ ) at elevated temperatures in air	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Solid State Chemistry	6. 最初と最後の頁 131 - 142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jssc.2017.04.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsukasaki Hirofumi, Mori Shigeo, Morimoto Hideyuki, Hayashi Akitoshi, Tatsumisago Masahiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Direct observation of a non-crystalline state of $Li_2S-P_2S_5$ solid electrolytes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4142 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-04030-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 A. Kotani, H. Nakajima, Y. Ishii, K. Harada and S. Mori	4. 巻 95
2. 論文標題 Field-temperature phase diagram of magnetic bubbles spanning charge orbital ordered and metallic phases in $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ ( $x = 0.125$ )	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144403 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.144403	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Kurushima, W. Yoshimoto, Y. Ishii, S-W. Cheong, and S. Mori	4. 巻 56
2. 論文標題 Direct observation of charged domain walls in hybrid improper ferroelectric (Ca,Sr)3Ti2O7	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 10PB02 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.10PB02	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Nakajima, H. Kawase, K. Kurushima, A. Kotani, T. Kimura, and S. Mori	4. 巻 96
2. 論文標題 Observation of magnetic domain and bubble structures in magnetoelectric Sr3Co2Fe 240 41	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 24431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.024431	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Nakajima, A. Kotani, M. Mochizuki, K. Harada, S. Mori	4. 巻 111
2. 論文標題 Formation process of skyrmion lattice domain boundaries: The role of grain boundaries	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett	6. 最初と最後の頁 192401 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4991791	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中島宏、小谷厚博、原田研、森茂生	4. 巻 52
2. 論文標題 ローレンツ顕微鏡法と小角電子回折	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 顕微鏡	6. 最初と最後の頁 134-138
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tsukada Shinya, Ohwada Kenji, Ohwa Hidehiro, Mori Shigeo, Kojima Seiji, Yasuda Naohiko, Terauchi Hikaru, Akishige Yukikuni	4. 巻 7
2. 論文標題 Relation between Fractal Inhomogeneity and In/Nb-Arrangement in Pb(In <sub>1</sub> /2Nb <sub>1</sub> /2)O <sub>3</sub>	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 17508 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-17349-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Nakajima, A. Kotani, K. Harada, Y. Ishii, S. Mori	4. 巻 65
2. 論文標題 Foucault imaging and small-angle electron diffraction in controlled external magnetic fields	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 473-478
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 H. Nakajima, A. Kotani, K. Harada, Y. Ishii, S. Mori	4. 巻 48
2. 論文標題 Foucault optical system by using a nondedicated conventional TEM	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Surface and Interface Analysis	6. 最初と最後の頁 1166-1168
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 H. Nakajima, A. Kotani, K. Harada, Y. Ishii, and S. Mori	4. 巻 94
2. 論文標題 Formation mechanisms of magnetic bubbles in an M-type hexaferrite: the role of chirality reversals at domain walls	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224427
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 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Y. Ouchi, Y. Ishii, S. Kawaguchi, H. Ishibashi, Y. Kubota, and S. Mori
2. 発表標題 Structural instability of Ba <sub>1-x</sub> Sr <sub>x</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (x=0.07) on the border of ferroelectricity.
3. 学会等名 2018ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference(IFAAP 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Nakahira, C. Moriyoshi, Y. Kuroiwa, H. Moriwake, Y. Ishii and S. Mori
2. 発表標題 Structure Fluctuation and Soft Phonon Modes in Improper Ferroelectric BaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> by Single Crystal X-ray Diffraction.
3. 学会等名 2018ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference(IFAAP 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigeo Mori
2. 発表標題 Temperature evolution of unconventional magnetic domains in multiferroic Sr <sub>3</sub> Co <sub>2</sub> Fe <sub>24</sub> O <sub>41</sub> .
3. 学会等名 21th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MAGNETISM (ICM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukihiro Fujibayashi, Atsuhiko Kotani, Ken Harada, Yui Ishii, Shigeo Mori
2. 発表標題 Magnetocrystalline anisotropy and magnetic microstructures in the ferromagnetic phase of Nd <sub>0.7</sub> Sr <sub>0.3</sub> MnO <sub>3</sub> .
3. 学会等名 21th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MAGNETISM (ICM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Mori
2 . 発表標題 Observation of charged domain walls and defect structures in improper ferroelectric materials.
3 . 学会等名 12th Japan-Korea Conference on Ferroelectricity ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Ouchi, Y. Ishii, S. Kawaguchi, H. Ishibashi, Y. Kubota, and S. Mori
2 . 発表標題 Single crystal X-ray diffraction investigation for Ba <sub>0.93</sub> Sr <sub>0.07</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
3 . 学会等名 12th Japan-Korea Conference on Ferroelectricity ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Hirano, H. Tsukasaki, Y. Satofuka, S. Kawaguchi, A. Hayashi, M. Tatsumisago, H. Takeda, Y. Ishii, S. Mori
2 . 発表標題 Microstructures and their relevance to photoluminescence in Sr <sub>1-x-y</sub> Eu <sub>x</sub> Ca <sub>y</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .
3 . 学会等名 12th Japan-Korea Conference on Ferroelectricity ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Shigeo Mori
2 . 発表標題 Analysis of magnetic domains using small angle electron diffraction
3 . 学会等名 19th International Microscopy Congress ( IMC19 ) ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigeo Mori
2. 発表標題 HAADF-STEM Study on Unusual Inhomogeneous Microstructures in Charge-Glass State of PbCrO <sub>3</sub> .
3. 学会等名 19th International Microscopy Congress (IMC19) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Kotani, M. Malac, K. Harada and S. Mori
2. 発表標題 Observation of magnetic nanostructures by phase plate microscopy with hole-free phase plate.
3. 学会等名 19th International Microscopy Congress (IMC19) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Mori
2. 発表標題 Observation of Nanosized Magnetic Domains in Multiferroic Hexaferrites.
3. 学会等名 The 10th APCTP Workshop on Multiferroics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Kotani, M. Fujibayashi, H. Nakajima, K. Harada, Y. Ishii and S. Mori
2. 発表標題 Magnetic textures in La <sub>1-x</sub> Sr <sub>x</sub> MnO <sub>3</sub> (0.10 < x < 0.30).
3. 学会等名 The 10th APCTP Workshop on Multiferroics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Kawaguchi, A. Kotani, K. Harada, H. Numakura, Y. Ishii and S. Mori
2. 発表標題 Magnetic microstructure in large magnetostrictive FeGa alloy.
3. 学会等名 The 10th APCTP Workshop on Multiferroics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久留島康輔、吉本航、石井悠衣、森茂生、酒井雄樹、北條元、東正樹
2. 発表標題 HAADF-STEM法によるPb電荷ガラスPbCrO <sub>3</sub> の微細構造解析
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 久留島康輔、中島宏、森茂生
2. 発表標題 DPC-STEM法によるM型ヘキサフェライトにおけるBloch line の直接観察
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 久留島康輔、尾形昂洋、東正樹、石井悠衣、森茂生
2. 発表標題 PbCrO <sub>3</sub> における電荷ガラス状態の構造解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Kurushima, W. Yoshimoto, H. Tsukasaki, Y. Ishii, S-W. Cheong and S. Mori
2. 発表標題 Direct Observation of ferroelectric domain walls in improper ferroelectric (Ca,Sr)3Ti2O7
3. 学会等名 Microscopy & Microanalysis 2016 Meeting (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shigeo Mori, Hirofumi Tsukasaki, Yusuke Suginaka, Yui Ishii, Takuya Matsuyama, Akitoshi Hayashi, Masahiro Tatsumisago
2. 発表標題 Observation of Li2S-P2S5 crystalline glass by transmission electron microscopy
3. 学会等名 18th International meeting on Lithium Batteries (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroshi Nakajima, Atsuhiko Kotani, Ken Harada, Yui Ishii and Shigeo Mori
2. 発表標題 Extended Foucault Method for Applying Magnetic Fields with Conventional TEM
3. 学会等名 Microscopy & Microanalysis 2016 Meeting (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 電子顕微鏡およびそれを用いた試料観察方法	発明者 原田 研、鳶田恵子、 森茂生、小谷厚博	権利者 公立大学法人大 阪府立大学、国 立研究開発法人
産業財産権の種類、番号 特許、2018-140161	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

[その他]

<http://mori-lab.mtr.osakafu-u.ac.jp/>

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
研究協力者	原田 研  (HARDA KEN)		