

研究報告 2019 (KISTEC Annual Research Report, 2019)

【研究開発部】

戦略的研究シーズ育成事業

研究テーマ：革新的環境調和機能性材料の創出

◆総括・業績..... 221

研究代表者 東京工業大学 東 正樹

革新的環境調和機能性材料の創出

研究代表者：東京工業大学 東 正樹

【基本構想】

全てのモノがインターネットにつながる IoT 社会の実現に向けて、電子デバイスの消費電力の低減や、環境負荷の小さい材料の開発が求められている。例えば、電流ではなく電場による磁化の制御が可能なマルチフェロイック物質は、低消費電力不揮発性メモリ材料として期待されている。また、センサーやアクチュエーターとしてインクジェットプリンターや超音波診断機などで使われている圧電体の主流材料である PZT は、毒性元素である鉛を多量に含むため、代替物質の開発が望まれている。さらに、精密加工、半導体製造、光学、計測、電子デバイスといったナノテクノロジー分野では熱膨張によるわずかな位置ズレも許容できなくなってきたり、熱膨張制御の強い要請がある。研究代表者は Co ドープ BiFeO₃ を薄膜形態で安定化させ、室温で弱強磁性と強誘電性が共存するマルチフェロイック物質であること、分極回転の起こりうる結晶構造で圧電特性が向上することを実験的に確認した。また、サイト間電荷移動という全く新しいメカニズムで室温で巨大な負の熱膨張を示す BiNiO₃ ベースのペロブスカイト型酸化物を発見し、新聞報道されるなど注目を集めた。本プロジェクトでは、精密構造解析と電子状態解析に基づく物質設計で、低消費電力不揮発性メモリ材料につながる強磁性強誘電体や、風や振動から電気エネルギーを生む圧電発電のための非鉛圧電体、外気温の変化から生じる熱歪みを吸収する負熱膨張材料などの、革新的な環境調和機能性材料の開発を目指す。

1. 研究目的

プロジェクト 2 年目となる 30 年度は、以下の各項目を重点項目として研究を行った。

(1) 非鉛圧電体の開発

非鉛圧電体の開発には、代表的な鉛系圧電体である PbZr_{1-x}Ti_xO₃ (PZT) に倣った材料設計を行う事が大切である。28 年度に論文・新聞発表した、格子定数の小さな LaAlO₃ 基板上に成長させた BFCO 薄膜では、対称性から電気分極の方向が変化（回転）できる、M_A と呼ばれる単斜晶の結晶構造相で、圧電応答が増大する。これは PZT の巨大圧電応答の起源であるとされているメカニズムである。現状では格子歪みの目安である c/a 比が 1.26 と巨大であることから、圧電定数 d₃₃ は 60pm/V と小さい。さらなる圧電応答の向上のためには、c/a 比を低下することが必要である。29 年度に、同様の巨大正方晶歪みを持つ PbVO₃ の Pb²⁺ を一部 Bi³⁺ で置換し、電子ドープを施すと、c/a 比を 1.21 から PbTiO₃ と同程度の 1.08 にまで低下できることを見いだした。そこで BiCoO₃ についても Co³⁺ を一部 Ti⁴⁺ で置換することで電子ドープを行い、c/a を低下させることを目指す。また、Bi³⁺ を半分 Na⁺ で置換、Co³⁺ を V⁴⁺ で置換した Bi_{0.5}Na_{0.5}VO₃ の高圧合成にも取り組む。

(2) 強磁性強誘電体の開発

29 年度の研究で、GdScO₃ 基板上に成膜した室温強磁性強誘電体 BiFe_{0.9}Co_{0.1}O₃ において、圧電応答顕微鏡 (PFM) を用い、ストライプ状のドメイン形状を保ったまま電気分極を反転すると、面外方向の磁化を反転できることを見出した。磁化反転に電流で発生する磁場を用いないため、

低消費電力のメモリデバイスに繋がる可能性がある。現在は書き込み、読み出しともにプローブ顕微鏡（書き込み：PFM、読み出し：磁気力顕微鏡 (MFM)）を用いているが、これを電極に用いた書き込みと、ホール素子を用いた読み出しにするため、強誘電ドメインをシングルドメイン化する。具体的には、分極方向を変えることでストライプ状のドメインを実現する方法、500nm 程度の島状に微細加工への微細加工の二通りの方法を試す。

(3) 負熱膨張物質の開発

引き続き BiNi_{1-x}Fe_xO₃ の合成圧力低下に取り組む。最近、GdSc(OH)₆・xH₂O のゲルを水蒸気中で熱分解することで、

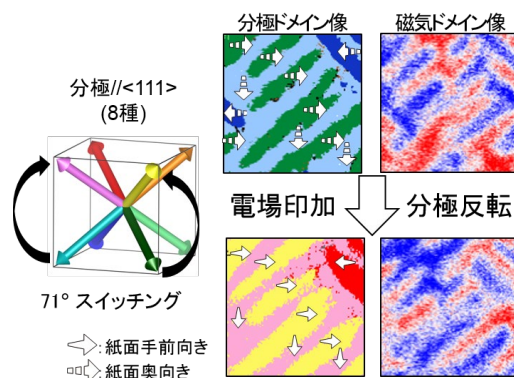


図 1：GdScO₃ 基板上の BiFe_{0.9}Co_{0.1}O₃ 薄膜の強誘電・強磁性ドメイン構造の観察。分極ドメイン像の色は、左の 8 つの<111> 方向の分極に相当する。紙面奥から手前への分極反転（71°スイッチング）の前後で、磁気ドメインのコントラストが反転している。

300℃という低温でペロブスカイト化合物 GdScO₃ を合成できることが示された。この方法を BiNi_{1-x}Fe_xO₃ に応用す

る。また、(1)に記したとおり、 PbVO_3 の Pb^{2+} を一部 Bi^{3+} で置換し、電子ドーピングを施すと、 c/a 比を 1.21 から PbTiO_3 と同程度の 1.08 にまで低下、昇温によって 8%もの体積減少を伴って立方晶の常誘電相へ転移することを見出した。さらに La^{3+} 置換を行うと、室温での負熱膨張を引き起こすことが出来る。 O^{2-} への F 置換による電子ドーピングや、 V^{4+} への Cr^{4+} 置換によっても負熱膨張化を行う。

2. 研究成果

以下に挙げるのは、平成 30 年度の具体的な研究成果である。

(1) 非鉛圧電体の開発

PbVO_3 同様に巨大な正方晶歪みを持ち、かつ非鉛の BiCoO_3 に対し、 Co^{3+} を一部 Ti^{4+} で置換する事で電子ドーピングを行った。 $\text{BiCo}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ においては、Ti 置換量 x に伴って c/a 比と自発分極の減少が見られたが、 $x=0.2$ でも $c/a=1.2$ を下回ることにはなかった。また、 $x=0.25$ では斜方晶と思われる構造に転移した。SHG 測定の結果、この相も極性の構造を持つ事がわかり、現在構造解析を進めている。

新しい非鉛正方晶ペロブスカイトである $\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{VO}_3$ と $\text{K}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{VO}_3$ の合成に成功した。図 2 に示す通り、構造歪みの指標である c/a 比はそれぞれ 1.085, 1.054 と、PZT の母物質である PbTiO_3 の 1.064 に近い。また、強弾性を示す事も確認した。PZT を模した、正方晶—菱面体品の固溶体の開発に期待が持てる。この結果は Chemistry of Material 誌 (IF: 9.8) に掲載された。

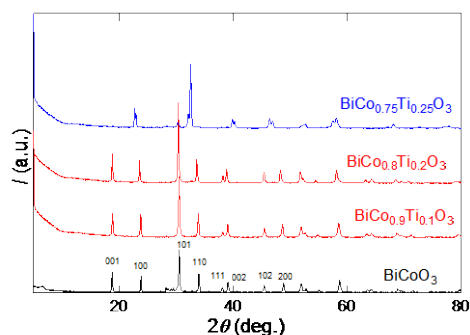


図 2 : $\text{BiCo}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ の粉末 XRD パターン

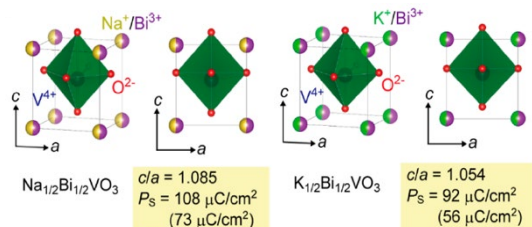


図 3 : $\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{VO}_3$ と $\text{K}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{VO}_3$ の結晶構造

(2) 強磁性強誘電体の開発

室温で強磁性の発現が期待される $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ (BFCO) 薄膜を PLD 法を用いて作製し、電場印加磁化反転の直接観察を試みた。(110) $_{\text{pc}}$ 配向の GdScO_3 基板に作製された BFCO 薄膜は格子歪みの少ない結晶性に優れた試料であり、室温で面直の磁化成分を有すること確認された。圧電応答顕微鏡(PFM)と磁気力顕微鏡(MFM)を用いることで、強誘電および磁気ドメインの直接観察に成功した。磁気ドメインが強誘電ドメインと同じストライプ構造を持つことから、両者は相関を持つと明らかとなった。電場印加によって電気分極の面直成分を反転させたところ、ドメイン形状を維持する 71° 分極反転が起きた場所では、面直磁化成分が反転していることが確認された(図 5)。これより、室温弱強磁性強誘電体 BFCO は電場による磁化制御が可能であると明らかになった。将来の低消費電力磁気メモリへの応用が期待される。論文は Nano Letter (IF: 12.08) に掲載された。

強誘電ドメインのサイズを拡大するため、ストライプ状のドメイン構造の安定化を図った。分極反転を行う際のカンチレバーのスキャン方向をそれまでの(100)方向から(110)方向に変えたところ、広い範囲にわたってストライプドメイン構造が得られることがわかった。また、アルミ箔を陽極酸化することで、300 nm 程度の穴が空いたポーラスアルミナを得ることに成功した。これをマスクとして用い、島状の成膜に取り組んでいる。

非鉛圧電体、強磁性強誘電体としての $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ 研究について、Advanced Materials (IF: 21.95) に解説記事が掲載された。

強磁性体薄膜は記録媒体として、また、スピン流生成のために重要な材料である。A サイト秩序型四重ペロブスカイト $\text{LnCu}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ (Ln =希土類元素)は、平面四角形サイトの Cu^{2+} と八面体サイトの Mn^{3+} が反強磁性的に秩序するフェリ磁性体として知られる。350 K 以上の高いネール温度(T_N)を持つこと、大きな磁気抵抗効果を示すことからスピントロニクスへの応用が期待されている。YAO(110) $_{\text{pc}}$ 基板上に PLD 法で成膜することで、 $\text{Ln} = \text{La, Ce, Pr, Nd, Gd, Ho}$ の薄膜試料の作製に成功した。

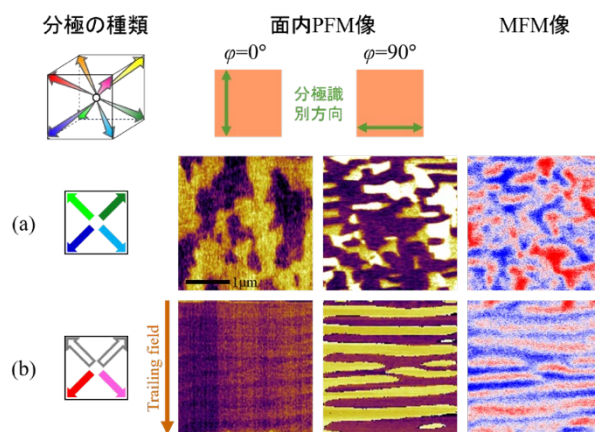


図 4 : $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ 薄膜の PFM 像・MFM 像
(a) 電場印加前, (b) 電場印加後

中でも $\text{CeCu}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ は室温をはるかに超える 420K の磁気転移温度と、式量あたり $9\mu\text{B}$ の大きな飽和磁化を持つことから、スピントロニクスデバイスへの応用が期待できる。今年度は、バッファー層として YCaAlO_4 を用いる事で面内に圧縮応力を付与した。その結果、形状磁気異方性によって磁化困難軸になっていた面外方向の磁化が増大し、垂直磁気異方性が実現したことが確認された。特許申請を準備中である。

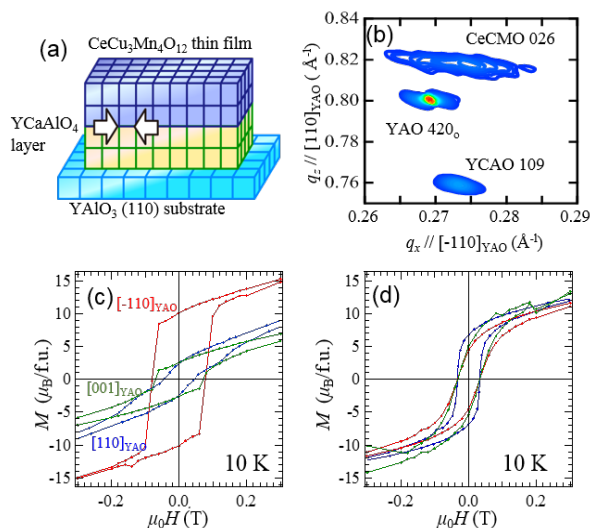


図 5: YCaAlO_4 バッファー層の上に成長した $\text{CeCu}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ の磁気異方性。

(3) 負熱膨張物質の開発

東工大の研究・産学連携本部が関西 TLO 等を通して $\text{BiNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ の売り込みを図り、樹脂メーカーであるダイセルへの試料提供を行う運びとなった。材料としての有用性が企業に認められる一方、東工大の産学連携会員である、ファブレス材料メーカーの日本材料技研の目に留まり、製造委託による量産試験を行うことにした。4回の合成実験を経て、良好な負熱膨張を示す試料の合成に成功した。試験研究で合成された材料も、日本材料技研によって販売される予定である。

現状は、硝酸塩を蒸発乾固、空气中で熱処理したものに酸化剤である KClO_4 を 20vol% 加えて高压高温処理してい

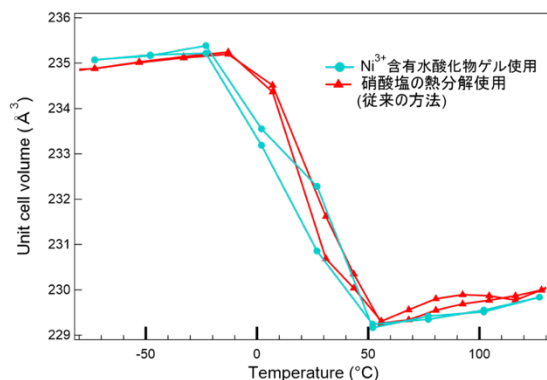


図 6: 共沈法で調整した前駆体から KClO_4 フリーで合成した $\text{BiNi}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}\text{O}_3$ の負熱膨張

る。酸化剤は前駆体中の Ni^{2+} を Ni^{3+} に酸化するために必要だが、残った KCl は水洗で取り除くため、この際にもロスが生じて、収率が低下する原因となっている。これに対し、共沈法で前駆体を調整、 NaClO を用いて予め Ni^{3+} に酸化する事が可能である事を見いだした。図 5 に示す様に、 KClO_4 を混合しなくても高压高温処理で巨大負熱膨張物質を得る事が出来る事を確認している。特許申請後、企業での試験的な合成に展開する予定である。

PbTiO_3 が強誘電→常誘電転移に伴って負熱膨張を示す事は古くから知られている。 PbVO_3 は PbTiO_3 型の結晶構造を持つペロブスカイト化合物である d^1 電子配置の V^{4+} イオンのヤーンテラー効果のため、 $c/a=1.21$ と巨大な正方晶歪みを持つ。 Pb^{2+} を Bi^{3+} で一部置換し、電子ドーピングを行った $\text{Pb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{VO}_3$ は、最大 8% もの体積収縮を伴った負熱膨張を示す事を見いだした。 La^{3+} , Bi^{3+} 両置換を行った $\text{Pb}_{0.76}\text{La}_{0.04}\text{Bi}_{0.20}\text{VO}_3$ は、図 8 の通り 230K から 410 K の間で、6.7% の体積収縮を示す。これは、これまでに報告されている負熱膨張材料の中で最大の体積収縮である。この結果は Angewandte Chemie International Edition (IF: 12.102) に論文掲載、特許申請も行った。また、朝日新聞、化学工業日報で報道された。

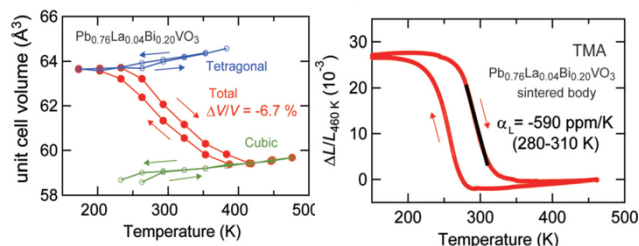


図 7: $\text{Pb}_{0.76}\text{La}_{0.04}\text{Bi}_{0.20}\text{VO}_3$ の単位格子体積の温度変化 (左) と熱膨張曲線 (右)

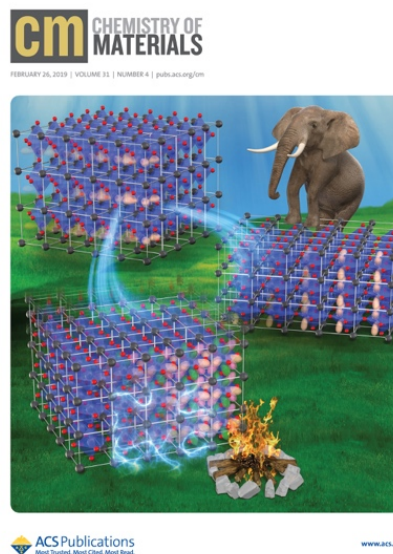


図 8: $\text{Pb}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ の強弾性と負熱膨張

さらに、 PbVO_3 の O^{2-} を一部 F^- で置換した $\text{PbVO}_{3-x}\text{F}_x$ の負熱膨張化に成功し、論文が Applied Physics Express に掲載

された。また、 V^{4+} を一部 Cr^{4+} で置換した $PbV_{1-x}Cr_xO_3$ でも c/a 比を 1.07 までの任意の値に設定でき、電気分極の大きさを制御することに成功した。またこの物質が応力によって結晶の方位が変化する強弾性や、負熱膨張を示す事も確認した。この成果は Chemistry of Materials 誌に掲載され、Supplementary Cover を飾った。

3. 今後の展開

室温での電場印加磁化反転の観察に成功した

$BiFe_{0.90}Co_{0.10}O_3$ に関し、リソグラフィーで円板上に微細加工を行い、単ドメイン化を図る。成功すれば上部電極とホール素子を成膜し、電極を用いた電場印加による分極反転と、ホール素子による磁化反転の検出を行い、メモリデバイスとしての動作を実証する。

巨大負熱膨張材料 $BiNi_{1-x}Fe_xO_3$ については、日本材料技研にて製造販売を行うべく調整中である。上手くいけば、まずはサンプル品として販売を行い、各企業との共同研究へとつなげる。

業 績

【原著論文】

1. K. Shigematsu, T. Asakura, H. Yamamoto, K. Shimizu, M. Katsumata, H. Shimizu, Y. Sakai, H. Hojo, K. Mibu and M. Azuma
Room temperature ferromagnetism in $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ thin film induced by spinstructuremanipulation
Appl. Phys. Lett., **112**, 192905, 2018
2. H. Hojo, K. Oka, K. Shimizu, H. Yamamoto, R. Kawabe and M. Azuma
Development of Bismuth Ferrite as a Piezoelectric and Multiferroic Material by Cobalt Substitution
Adv. Mater., **30**, 170566, 2018.
3. T. Nishikubo, Y. Sakai, K. Oka, M. Mizumaki, T. Watanuki, A. Machida, N. Maejima, S. Ueda, T. Mizokawa and M. Azuma
Optimized negative thermal expansion induced by gradual intermetallic charge transfer in $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x\text{NiO}_3$
Appl. Phys. Express, **11**, 061102, 2018.
4. H. Yamamoto, T. Imai, Y. Sakai and M. Azuma
Colossal Negative Thermal Expansion in Electron-Doped PbVO_3 Perovskites
Angew. Chem. Int. Ed., **57**, 8170–8173, 2018.
5. K. Takenaka, N. Inoue, Y. Mizuno, Y. Okamoto, N. Katayama, Y. Sakai, T. Nishikubo and M. Azuma
Extended operating temperature window of giant negative thermal expansion in Sn-doped Ca_2RuO_4
Applied Physics Letters, **113**, 071902, 2018.
6. H. Yamamoto, T. Ogata, S. Patel, J. Koruza, J. Rödel, A. Paul, T. Saha-Dasgupta, Y. Sakai, M. Itoh and M. Azuma
 $\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{VO}_3$ and $\text{K}_{1/2}\text{Bi}_{1/2}\text{VO}_3$: New Lead-free Tetragonal Perovskites with Moderate c/a ratio
Chem. Mater., **30**, 6728-6736, 2019.
7. Z. Pan, J. Chen, R. Yu, L. Patra, P. Ravindran, A. Sanson, R. Milazzo, A. Carnera, L. Hu, L. Wang, H. Yamamoto, Y. Ren, Q. Huang, Y. Sakai, T. Nishikubo, T. Ogata, X. Fan, Y. Li, G. Li, H. Hojo, M. Azuma and X. Xing
Large Negative Thermal Expansion Induced by Synergistic Effects of Ferroelectrostriction and Spin Crossover in PbTiO_3 -Based Perovskites
Chem. Mater., **31**, 1296-1303, 2019.
8. T. Ogata, Y. Sakai, H. Yamamoto, S. Patel, P. Keil, J. Koruza,

S. Kawaguchi, Z. Pan, T. Nishikubo, J. Rödel and M. Azuma
Melting of d_{xy} Orbital Ordering Accompanied by Suppression of Giant Tetragonal Distortion and Insulator-to-Metal Transition in Cr-Substituted PbVO_3
Chem. Mater., **31**, 1352-1358, 2019.

9. H. Yamamoto, T. Ogata, Y. Sakai and M. Azuma
Stability of Polar Structure in Filling-Controlled Giant Tetragonal Perovskite Oxide PbVO_3
Inorg. Chem., **58**, 2755-2760, 2019.

10. K. Shimizu, R. Kawabe, H. Hojo, H. Shimizu, H. Yamamoto, M. Katsumata, K. Shigematsu, K. Mibu, Y. Kumagai, F. Oba and M. Azuma
Direct Observation of Magnetization Reversal by Electric Field at Room Temperature in Co-Substituted Bismuth Ferrite Thin Film
Nano Lett., **19**, 1767-1773, 2019.

【総説】

1. 酒井雄樹, 東正樹
 $s-d$ 軌道のエネルギー制御により実現するペロブスカイト酸化物 PbCoO_3 の A サイト B サイト電荷秩序子
結晶学会誌, 第 60 巻, 第 5-6 号, 2018.
2. 東正樹, 岡研吾, 山本孟, 酒井雄樹
相転移型巨大負熱膨張物質
応用物理, 第 88 巻, 第 3 号, 2019.

【口頭発表】

1. M. Azuma, K. Shimizu, H. Hojo, R. Kawabe, H. Yamamoto, K. Shigematsu and K. Mibu
Magnetization Reversal by Electric Field at Room Temperature in Co Substituted BiFeO_3 Thin Film
IFAAP Hiroshima2018, 2018 年 5 月, 広島
2. 酒井雄樹, 東正樹
 $\text{Bi} \cdot \text{Pb}$ 系ペロブスカイト型酸化物の高圧合成と電荷分布
第 3 回マテリアルズ・インフォマティクス基礎研究会, 2018 年 5 月, 横浜
3. 勝俣真綸, 清水陽樹, 清水啓佑, 重松圭, 東正樹
マルチフェロイック $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ 薄膜の強誘電・強磁性ドメイン観察
第三回固体化学フォーラム, 2018 年 6 月, 京都

4. M. Azuma

Systematic Charge Distribution Changes in Bi- and Pb-3d Transition Metal Perovskite Oxides
9th International Symposium on the Reactivity of Solids (ISRS-19), 2018 年 7 月, ドイツ

5. 今井孝, 山本孟, 酒井雄樹, 尾形昂洋, 西久保匠, 東正樹

電子ドーピングによる PbVO_3 の巨大正方晶歪み制御と負熱膨張物質化
日本物理学会 2018 年秋季大会, 2018 年 9 月, 京都

6. 尾形昂洋, 西久保匠, 東正樹, 岡研吾

F 置換による PbVO_3 の巨大正方晶歪みの抑制と負熱膨張の実現
日本物理学会 2018 年秋季大会, 2018 年 9 月, 京都

7. 室田康太, 山本健登, 溝川貴司, 水牧仁一朗, 保井晃, 西久保匠, 山本樹, 尾形昂洋, 東正樹, 酒井雄樹, 池永英司

PbMO_3 ($M=\text{Cr, Mn, Fe, Co}$) の電子構造と原子価状態
日本物理学会 2018 年秋季大会, 2018 年 9 月, 京都

8. 勝俣真綸, 清水陽樹, 清水啓佑, 重松圭, 東正樹

B サイト置換 BiFeO_3 薄膜の強誘電・強磁性ドメイン構造変化
第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018 年 9 月, 名古屋

9. 重松圭, 山本一理, 清水啓佑, 西久保匠, 酒井雄樹, 東正樹

フェリ磁性体四重ペロブスカイト型 $\text{LnCu}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ 薄膜の電子状態
第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018 年 9 月, 名古屋

10. 前林航紀, 西久保匠, 酒井雄樹, 今井孝, 東正樹

酢酸塩を出発原料に用いた CaFeO_3 の高压合成
粉体粉末冶金協会平成 30 年度秋季大会, 2018 年 10 月, 新潟

11. 山本一理, 清水啓佑, 重松圭, 東正樹

四重ペロブスカイト $\text{CeCu}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ 薄膜の格子歪みによる磁気異方性の制御
粉体粉末冶金協会平成 30 年度秋季大会, 2018 年 10 月, 新潟

12. M. Azuma

Systematic Charge Distribution Changes in Bi- and Pb-3d Transition Metal Perovskite Oxides
The 9th Asian Conference on High Pressure Research

(ACHPR 9), 2018 年 10 月, シンガポール

13. 酒井雄樹, 西久保匠, 山田幾也, 町田晃彦, 綿貫徹, LONGYowen, 東正樹

ペロブスカイト型酸化物 PbCoO_3 の圧力誘起逐次相転移
第 59 回高压討論会, 2018 年 11 月, 岡山

14. 西久保匠, 酒井雄樹, 岡研吾, 綿貫徹, 町田晃彦, 溝川貴司, 東正樹

BiNiO_3 系負熱膨張物質のサイト間電荷移動と局所構造
第 59 回高压討論会, 2018 年 11 月, 岡山

15. 東正樹

ビスマス・鉛ペロブスカイトの系統的な電荷分布変化
神戸大学 分子フォトサイエンス研究センタースピン系物理研究会, 2018 年 11 月, 神戸

16. 東正樹

高压合成を用いた負熱膨張材料の探索
高压物質科学と地球惑星科学のワークショップ, 2018 年 12 月, 仙台

17. 東正樹, 清水啓佑, 山本孟, 川邊諒, 清水陽樹, 勝俣真綸, 重松圭, 熊谷悠, 大場史康, 北條元, 壬生攻

Co 置換 BiFeO_3 薄膜の電場印加磁化反転
第 8 回・酸化物研究の新機軸に向けた学際討論会, 2019 年 1 月, 東京

18. M. Azuma, K. Shimizu, R. Kawabe, H. Yamamoto, K. Shigematsu, H. Hojo and K. Mibu

Magnetization Reversal by Electric Field at Room Temperature in Co Substituted BiFeO_3 Thin Film
The 8th Indo-Japan Seminar "Designing Emergent Materials", 2019 年 1 月, 東京

19. K. Shigematsu, K. Yamamoto, K. Shimizu and M. Azuma

Epitaxial growth and strain manipulation of magnetic anisotropy in room temperature ferrimagnetic quadruple perovskite
The 8th Indo-Japan Seminar "Designing Emergent Materials", 2019 年 1 月, 東京

20. 酒井雄樹, 西久保匠, 尾形昂洋, 水牧仁一朗, 溝川貴司, 町田晃彦, 綿貫徹, 横山景祐, 沖本洋一, 東正樹

極性-非極性転移による $\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x\text{NiO}_3$ ($0.6 \leq x \leq 0.8$) の負熱膨張
日本物理学会 第 74 回年次大会, 2019 年 3 月, 博多

21. 今井孝, 西久保匠, 酒井雄樹, 山本孟, 水牧仁一朗, 溝川貴司, 東正樹

孤立電子対および Jahn-Teller 効果を制御した PbVO_3 の負熱膨張

日本物理学会 第 74 回年次大会, 2019 年 3 月, 博多

22. 尾関将樹, 岡本佳比古, 竹中康司, 酒井雄樹, 東正樹, 森茂生

逆ペロフスカイト型マンガン窒化物微粒子の磁性, 構造と負熱膨張

日本物理学会 第 74 回年次大会, 2019 年 3 月, 博多

23. 山本一理, 清水啓佑, 重松圭, 東正樹

$\text{CeCu}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ 薄膜への面内圧縮歪みの付与と垂直磁気異方性

第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 2019 年 3 月, 横浜

24. 石崎颯斗, 東正樹, 酒井雄樹, 岡研吾

電子ドーピングによる Bi 系巨大正方晶相の安定性制御と負の熱膨張

日本セラミックス協会 2019 年年会, 2019 年 3 月, 東京

25. 大橋孔太郎, 山本一理, 重松圭, Hena Das, 東正樹

パルスレーザー堆積法を用いた $\text{LiCuTa}_3\text{O}_9$ 薄膜の作製と第一原理計算による構造最適化

日本セラミックス協会 2019 年年会, 2019 年 3 月, 東京

26. 勝俣真綸, 清水陽樹, 清水啓佑, 重松圭, 東正樹

マルチフェロイック $\text{BiFe}_{0.9}\text{Co}_{0.1}\text{O}_3$ 薄膜のストライプ型強誘電・強磁性ドメインの相関

日本セラミックス協会 2019 年年会, 2019 年 3 月, 東京

27. 西久保匠, 尾形昂洋, 酒井雄樹, 東正樹

$\text{BiInO}_3\text{-BiZn}_{1/2}\text{Ti}_{1/2}\text{O}_3$ 固溶体における強誘電常誘電相転移による負熱膨張

日本セラミックス協会 2019 年年会, 2019 年 3 月, 東京

28. 酒井雄樹

PbCoO_3 の A サイト B サイト電荷秩序

第二回コバルト研究会, 2019 年 3 月, 仙台

29. 東正樹

コバルト置換ビスマスフェライト薄膜における電場印加磁化反転

第二回コバルト研究会, 2019 年 3 月, 仙台

【特許】

国内特許出願 1 件