

機関番号：24403
 研究種目：基盤研究（B） 一般
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20340078
 研究課題名（和文） 磁気・誘電リラクサーの創製と機能開拓
 研究課題名（英文） Magnetoelectric relaxors
 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

研究成果の概要（和文）：

本研究では $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ 固溶体に着目し、磁気・誘電特性および結晶構造や強誘電分域等の微細構造について調べた。その結果本物質系は、 $x > 0.33$ 組成で存在する立方晶構造は、立方晶構造中にナノスケールサイズで強誘電性を有する菱面体構造が存在する2相共存状態として特徴づけられるとともに、強誘電分域が微細化され、 $x > 0.33$ 組成では、約20～30nm程度の大きさで強誘電ドメインと強磁性ドメインが共存し、磁気誘電リラクサー物質であることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

We have investigated magnetic and dielectric properties and related microstructures in $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ solid solution using a transmission electron microscopy (TEM), in combination with conventional magnetic and dielectric measurements. Nano-sized domain structures in the cubic phase of $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ with $0.33 < x < 0.60$ were found. From high-resolution TEM observation, it is revealed that the cubic phase in $0.33 < x < 0.60$ is characterized as nano-scaled coexisting state of the *polar* rhombohedral structure and the *non-polar* cubic one, which should be regarded as the *psudo*-cubic phase. On the other hand, both P-E hysteresis measurements and the TEM experiments revealed that the cubic phase without any distortion due to the coexisting state appears in the $x=0.60$ compound at room temperature. Our experimental findings suggested that $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ is a good candidate materials showing a gigantic magnetoelectric effect as a magnetoelectric relaxor.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成20年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
平成21年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
平成22年度	2,500,000	750,000	3,250,000
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：材料物理・電子顕微鏡

科研費の分科・細目：物理学・物性I

キーワード：磁性誘電体、リラクサー、電子顕微鏡、ビスマスフェライト、 BaTiO_3 、ドメイン構造、マルチフェロイック物質

1. 研究開始当初の背景

最近、同一物質中に自発磁化や自発分極などの異なる秩序変数が共存するマルチフェロイック物質が、基礎的観点および応用的観点から注目を集めている。最近マンガン酸化物 TbMnO_3 でスピン秩序の形成に伴って自発分極が生じるという現象が見出されたことを契機として、自発磁化（強磁性）と自発分極（強誘電性）をあわせもつマルチフェロイック物質の研究が盛んに行なわれている。[1-5] 特に、スピン-電荷-格子系が強く結合することにより発現する電気磁気効果や電場による磁気モーメントの制御など興味深い現象が見出されてきているが、その多くは室温以下の低温領域で発現することから、応用的観点からは、室温で電気磁気効果等の物理的特性を示す物質の探索が望まれている。本研究では、室温で反強磁性と強誘電性が共存する BiFeO_3 および関連物質に着目し、磁気・誘電リラクサーとしての可能性を探った。

2. 研究の目的

本研究では、相異なる秩序構造が競合・共存する遷移金属酸化物および関連物質群に着目し、ナノスケールでの微視的相分離構造（本質的不均質構造）を制御することにより、マルチフェロイック物質がもつ磁気・誘電相関現象とリラクサー誘電体がもつ優れた誘電特性を融合させ、新たな磁気・誘電リラクサー物質を創製し、電気・磁気・格子間の相関により生じる新規な物理的特性（例えば、巨大電気磁気効果や巨大磁気容量効果など）の機能探索を行うことを目的とする。特に、(1)添加元素による不均質構造の制御 (2)フラストレーション効果を利用した不均質構造の制御 により、広温度範囲において巨大な磁場応答、誘電応答および外力応答を示す新たな磁気・誘電リラクサー物質群の探索を行なうとともに、室温で磁性と誘電性が共存する磁気・誘電リラクサー物質の創製を目指す。また、磁気特性、誘電特性、結晶構造解析、X線構造解析など多角的な物性・構造評価を行うことにより、微視的な観点から物性発現の起源を探り、電気・磁気・格子間の相関により生じる新規な物理的特性（例えば、巨大電気磁気効果や巨大磁気容量効果など）を生じさせる物理的起因を明らかにしていくことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、多結晶試料 $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ ($x=0, 0.05, 0.15, 0.20, 0.25, 0.28, 0.33, 0.35, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 0.95$) を作製した。作製方法としては、原料粉 Bi_2O_3 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 BaTiO_3 (純度

99.9%)を用いて固相反応法により作製した。 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ は600°Cで20時間前処理を行なったものを使用した。また、仮焼成を30時間で850°Cと880°Cで2回行い、本焼成を900~1000°Cで72時間行った。また粒径サイズを大きくするために、本焼成の後、720°Cで48時間アニールを行った。

透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察に用いた薄膜試料は主にクラッシュ法およびイオンミリング法により作製した。得られた試料は、室温において粉末X線回折実験および電子回折実験により構造評価を行った。また、明視野法および暗視野法により強誘電分域などの微細組織の観察を行った。磁気特性については、超伝導量子干渉素子 (SQUID) 装置を用いて、磁化の磁場依存性や磁化の温度依存性の測定を行った。また、誘電特性については、誘電率測定を行うとともに、分極ヒステリシス (P-E 曲線) 測定、圧電測定を行うことにより評価した。

4. 研究成果

本研究では、 $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ 試料での磁気・誘電特性と結晶構造や強誘電分域等の微細構造との相関を明らかにするために、誘電・磁気特性を誘電率測定、P-E ヒステリシス曲線の測定および磁化測定により調べるとともに、結晶構造変化や強誘電分域等の微細構造については、粉末X線回折法や透過型電子顕微鏡法により調べた。

① $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ の結晶構造

室温での結晶構造を調べるために $x=0.20, 0.25, 0.30, 0.33, 0.40, 0.50$ の試料に対して粉末X線回折実験を行った。図1に得られたX線回折プロファイルを示す。指数付けは立方晶構造 (Pm3m) で行っている。室温での結晶構造が菱面体構造か立方晶構造かを判別するために、 $2\theta=30^\circ$ 付近に現れた (110) 反射に注目し、(110) 反射のピークの分裂の有無によって判断した。(110) 反射の拡大図を図2に示す。(110) 反射にピークの分裂が観察されれば、菱面体構造である。 $x=0.20, 0.25, 0.30$ 試料では、(110) 反射のピークに分裂が観察され、その結晶構造が菱面体晶であることがわかった。(110) 反射の分裂幅の減少から、 BaTiO_3 の固容量が増えるにつれ、菱面体構造に起因する歪みが緩和されていくことが分かった。一方、 $x=0.33, 0.40, 0.50$ 、試料では、(110) 反射のピークに分裂が観察されない。また、ピーク位置の変化や、新たなピークの分裂などは $0.33\sim 0.50$ の間では観察されないため、 $0.33\sim 0.50$ の組成では広い範囲で平均構造が立方晶構造である相が存在していることが分かった。

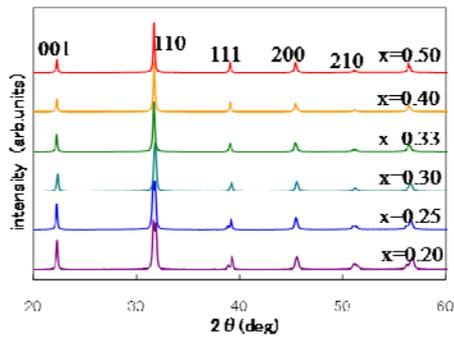


図 1.室温での粉末 X 線回折プロファイル

② $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ の磁気特性

図 2 に、 $x=0.33$ 、 0.50 試料の室温における磁気ヒステリシス曲線を示す。 BiFeO_3 は室温では反強磁性状態であるため自発磁化は存在しない。一方、 $x=0.33$ 、 0.50 試料では $M-H$ 曲線(図 2)にヒステリシスループが現れ、室温で自発磁化が出現していることがわかった。このことにより BaTiO_3 の固溶により強磁性成分が現れることが分かった。この強磁性成分は BiFeO_3 が螺旋磁気構造をもつため、そのキャント成分から現れたものと考えられる。また、 $x=0.33$ 試料において $500[\text{Oe}]$ の磁場を印加して室温から 2K まで冷却した (FC) 時の $M-H$ 曲線を調べた結果、FC 時の $M-H$ 測定では、印加した磁場方向に対して磁化がずれた $M-H$ 曲線が得られた。このような結果は、クラスター的な相互作用が働くことによって起こるものであり、 $(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ 系にはなんらかの磁気ドメインが形成されていることを示唆するものである。

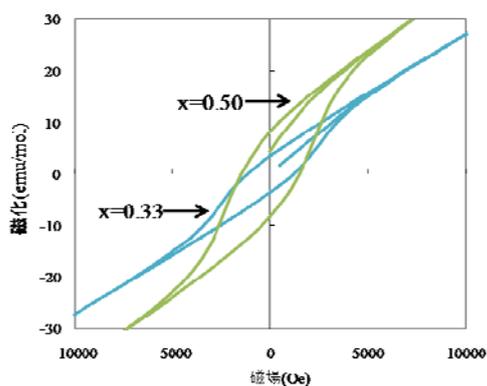


図 2. 室温での $M-H$ 曲線

③ 結晶構造と強誘電分域構造

$(1-x)\text{BiFeO}_3-x\text{BaTiO}_3$ 試料での室温における微細構造を明らかにするために、電子回折実験及び明視野像・暗視野像観察を行った。

図 3 の挿入部分に $x=0.20$ 、 0.25 、 0.40 試料において、室温で得られた電子回折パターンを示す。電子線の入射方向は $[1\bar{1}0]$ 方向である。 $x=0.20$ 、 0.25 試料での電子回折パターンでは、基本構造である立方晶構造による基本格子反射に加え、 $(1/2\ 1/2\ 1/2)$ タイプの位置に超格子反射が存在しているが、 $x=0.40$ 試料においては $(1/2\ 1/2\ 1/2)$ タイプの位置の超格子反射が消滅している。このことから BaTiO_3 を固溶させることによって、菱面体晶のひずみが減少し、 $x=0.40$ 試料においては立方晶構造に構造変化していることが示唆された。

次に、 $x=0.20$ 、 0.25 、 0.40 試料での分域構造を図 3 に示す。 $x=0.20$ 、 0.25 試料では、菱面体構造に起因する分域構造が観察された。解析の結果、この分域構造は $\langle 111 \rangle$ 方向に自発分極を持つ強誘電分域構造とみなすことができることがわかった。また、 $x=0.40$ 試料では、菱面体構造の組成で観察されたような強誘電分域は観察されず、 g ベクトル方向にツイードパターンが観察された。このツイードパターンは局所的な歪に起因するコントラストであり、 $x=0.40$ 試料は結晶粒内に局所的な歪みをもつ組織であることがわかった。

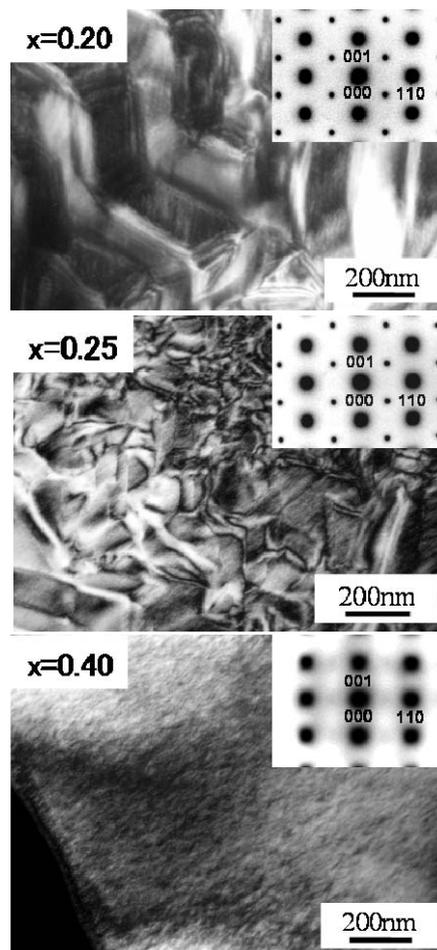


図 3 分域構造の組成変化

④擬立方晶領域での微細構造と誘電特性

上記の結果から、 $(1-x)\text{BiFeO}_3 \cdot x\text{BaTiO}_3$ では巨視的な強誘電分域が $x=0.33$ で消滅するが、粉末 X 線回折測定では立方晶構造と考えられる相においても、結晶粒内に局所的な歪みをもつ組織であることが分かった。この結果から $x=0.40$ は純粋な立方晶構造ではないと考えられ、X 線回折測定から立方晶構造とされた相を擬立方晶構造とし、強誘電性がどこの組成で無くなるのか調べるため、擬立方晶構造組成の試料で室温での分極ヒステリシス測定を行った。分極ヒステリシス測定により得られた結果を図 4 に示す。図 4 から分かるように BaTiO_3 の固溶量を増やすにつれて、自発分極の値は減少していくが、擬立方晶構造である $x=0.33 \sim 0.50$ 組成の試料は自発分極をもつ強誘電相であることが分かった。通常、強誘電体になるためには中心対称性をもたない結晶構造が必要であるため、中心対称性をもつ立方晶構造では強誘電性を発現することはできない。つまり、 $(1-x)\text{BiFeO}_3 \cdot x\text{BaTiO}_3$ での擬立方晶相は、強誘電性を持つことが可能な結晶構造をもつ領域が存在していることが考えられる。

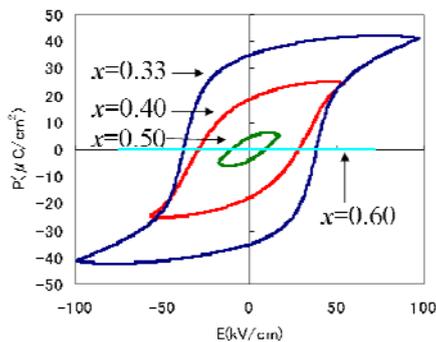


図 4. 室温での分極ヒステリシス曲線

TEM 観察において擬立方晶相で観察されるツイードパターンと分極ヒステリシスで得られた自発分極の組成変化との関連性を調べるため、擬立方晶相での TEM 観察を行い、組成毎に比較した。図 5 が TEM 観察で得られた暗視野像である。挿入図には同じ領域での $[1\bar{1}0]$ 入射での電子回折パターンを示す。電子回折パターンでは相境界付近の $x=0.35$ から BaTiO_3 の固溶量を増やすにつれて、基本格子点周りの散漫散乱が弱くなっていき、 $x=0.60$ でほとんど消滅していることが分かる。この散漫散乱は *huang* 散乱と呼ばれるもので、局所的な歪みコントラストであり、ナノスケールでの二相共存状態である組織でも観察される散漫散乱である。つまり、 $(1-x)\text{BiFeO}_3 \cdot x\text{BaTiO}_3$ では立方晶構造中に分極した菱面体構造のナノドメインが存在し

ている二相共存状態の組織であることが考えられる。また、暗視野像においても、 $x=0.35$ では、はっきりとしたツイードパターンが観察されるが、 $x=0.50$ でツイードパターンのコントラストは弱くなり、さらに、 $x=0.60$ においてはほとんどツイードパターンのコントラストは観察されなかった。以上の結果から、擬立方晶領域では、 BaTiO_3 の固溶量が増えるにつれて、分極したナノドメインのサイズが減少している、若しくは、結晶粒内に存在するナノドメインの密度の低下が起きていると考えられる。

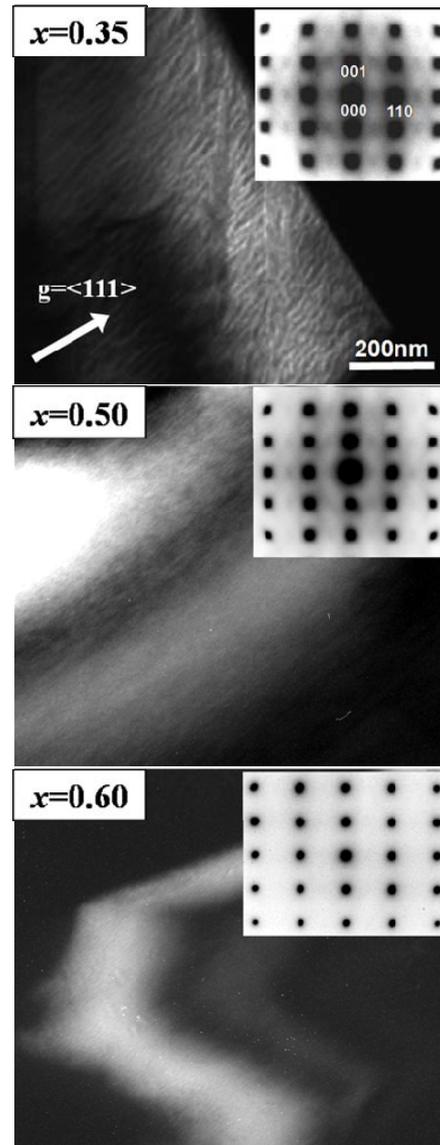


図 5. 擬立方晶相での暗視野像と電子回折パターン

5. まとめ

本研究では $(1-x)\text{BiFeO}_3 \cdot x\text{BaTiO}_3$ 固溶体に

着目し、磁気・誘電特性および結晶構造や強誘電分域等の微細構造について調べた。以下に得られた研究成果を示す。

・菱面体構造である、 $x < 0.35$ 試料では強誘電分域が観察され BaTiO_3 固容量が増加するにつれて、分域構造は微細化された。また、自発分極の大きさが大きくなることがわかった。

・擬立方晶構造の組成領域では、電子回折パターンにおいて局所的な歪みに起因する *huang* 散乱が観察され、暗視野像ではツイードパターンが観察された。また、高分解能像から菱面体構造のナノドメインが観察された。つまり、 $(1-x)\text{BiFeO}_3 \cdot x\text{BaTiO}_3$ は擬立方晶領域において立方晶構造と菱面体構造の二相共存状態である。

・ $x > 0.33$ 試料では、約 20~30nm 程度の大きさで強誘電ドメインと強磁性ドメインが共存し、磁気誘電リクサー物質であることが明らかとなった。

参考文献

1. J.B. Neaton *et al.*, PRB **71**, 014113(2005).
2. J. Wang, *et al.* Science **299**, 1719 (2003).
3. M.M. Kumar *et al.*, J. Appl. Phys., **87**, 855(2000).
4. T. Ozaki, *et al.* Ferroelectrics **385**, 155 (2009)
5. S. Kitagawa, *et al.* Ferroelectrics **376**, 122 (2008)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計45件)

- ① Y. Murakami, H. Kasai, J. J. Kim, S. Mamishin, D. Shindo, S. Mori and A. Tonomura “Direct observation of ferromagnetic-domain network leading to colossal magnetoresistance” Nature Nanotechnology Vol. 5, 37-41 (2010).
- ② Y. Horibe, K. Yoshii, N. Ikeda, S. Mori Oxygen-deficient effect on charge ordering in spin- and charge-frustrated ferrite $\text{YFe}_2\text{O}_{4-\delta}$, Phys. Rev. B80, 092104 (2009).
- ③ D. Fu, H. Taniguchi, M. Itoh, S. Koshihara, N. Yamamoto, and S. Mori “Relaxor $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$: A ferroelectric with multiple inhomogeneities”, Phys. Rev. Lett. 103, 207601 1-4 (2009).
- ④ T. Michiuchi, Y. Yokota, T. Komatsu, H. Hayakawa, T. Kuroda, D. Maeda, Y. Matsuo, S. Mori, K. Yoshii, N. Hanasaki, T. Kambe, N. Ikeda “Stoichiometric Study of the Dielectric and Magnetic Properties in Charge Frustrated System LuFe_2O_4 ” Ferroelectrics 378, 175 (2009).
- ⑤ 吉井賢資、池田直、松尾祥史、森茂生, “希土類-鉄酸化物 RFe_2O_4 の示す新規な強誘電性 (R=Y, Ho-Lu)” 日本結晶学会誌 51, No.2, 162-168 (2009).
- ⑥ T. Ozaki and S. Mori, “Dielectric properties

and related domain structures in $0.75\text{BiFeO}_3\text{-}0.25\text{BaTiO}_3$ ” Japanese Journal of Applied Physics, 48, 09KC07-1-4 (2009).

⑦ Y. Matsuo, T. Hoshiyama, S. Mori, K. Yoshii, Y. Michiue, T. Kanbe, N. Ikeda, F. Brown and N. Kimizuka, “Structural characterization and dielectric properties in hexagonal $\text{Lu}(\text{Fe,Ti})\text{O}_3$ ” Japanese Journal of Applied Physics, 48, 09KB04-1-3 (2009).

⑧ K. Yoshii, N. Ikeda, T. Michiuchi, Y. Yokota, Y. Okajima, Y. Yoneda, Y. Matsuo, Y. Horibe, S. Mori, “Magnetic and dielectric properties of $\text{YbFe}_{2-x}\text{Mn}_x\text{O}_4$ ($0 < x < 1$)” Journal of Solid State Chemistry, 182, 1611-1618 (2009).

⑨ Y. Matsuo, A. Hirata, Y. Horibe, K. Yoshii, N. Ikeda and S. Mori, “Nanometer-sized domain structures in LuFeMO_4 ($M=\text{Cu, Co}$) revealed by energy-filtered transmission electron microscopy” Ferroelectrics 380, **56-62** (2009).

⑩ H. Hayakawa, M. Morimoto, N. Ikeda, Y. Yoneda, S. Kohara, K. Yoshii, Y. Matsuo, T. Michiuchi, and S. Mori. “Local Structure modulation in the electronic ferroelectric oxide LuFe_2O_4 ” Transactions of the Materials Research Society of Japan, 34 [1], 51-54 (2009).

⑪ T. Ozaki, S. Nishihara, Y. Hosokoshi, M. Suzuki, Y. Noguchi, M. Miyayama and S. Mori “Nano-sized domain structures in the *psudocubic* phase of $(1-x)\text{BiFeO}_3\text{-}x\text{BaTiO}_3$ ($0.33 < x < 0.60$)” Transactions of the Materials Research Society of Japan, 34 [1], 47-50 (2009).

⑫ K. Yoshidome, Y. Nagamine, X. Xu, T. Asaka, Y. Matsui, K. Takenaka, S. Sugai and S. Mori “Ferromagnetic domain structures in Al-substituted $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ” Transactions of the Materials Research Society of Japan, 34 [1], 55-58 (2009).

⑬ 森茂生, 尾崎友厚, 喜多川修次 “ $(1-x)\text{BiFeO}_3\text{-}x\text{BaTiO}_3$ の磁気誘電特性と微細構造” マテリアルインテグレーション, Vol. 22, No. 02, 47-52 (2009).

⑭ Y. Horibe, J. Ahn, P. Sharma, S. Mori, C.H. Chen, S. J. Oh, and S-W. Cheong. “Two Types of Charge Ordering in the Half-Doped Manganites of $\text{Bi}_{0.5}(\text{Ca,Sr})_{0.5}\text{MnO}_3$ ” J. Phys. Soc. Jpn. 78, 044704 (2009).

⑮ Y. Yoneda, K. Yoshii, S. Kohara, S. Kitagawa, and S. Mori “Local Structure of $\text{BiFeO}_3\text{-BaTiO}_3$ Mixture” Japanese Journal of Applied Physics, 47, pp. 7590-7594, (2008).

⑯ K. Yoshi, N. Ikeda, Y. Okajima, Y. Yoneda, Y. Matsuo, Y. Horibe and S. Mori “Magnetic and dielectric properties of InFe_2O_4 , InFeCuO_4 and InGaCuO_4 ”, Inorganic Chemistry, 47, 6493-6501 (2008).

⑰ N. Ikeda, Y. Matsuo, S. Mori and K. Yoshii “Electronic Ferroelectricity from Charge

Ordering in RFe_2O_4 ” IEEE transactions on ultrasonic, ferroelectrics and frequency control, 55, No. 5, 1043-1045 (2008).

⑱S. Kitagawa, T. Ozaki, Y. Horibe, K. Yoshii and S. Mori “Ferroelectric Domain Structures in $BiFeO_3$ - $BaTiO_3$ ” Ferroelectrics **376**, 122-128 (2008).

〔学会発表〕 (計 4 8 件)

① S. Mori, Domain Structure near the Morphotropic Phase Boundary of $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ - $PbTiO_3$ The 10th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity (Tokyo, Japan, June, 23, 2010)

②T. Ozaki and S. Mori, Dielectric Properties and Polar Nanodomains in $(1-x)BiFeO_3$ - $xBaTiO_3$ The 10th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity (Tokyo, Japan, June 23, 2010)

③T. Hoshiyama, Y. Matsuo, S. Mori, K. Yoshii, Y. Michiue, T.Kambe, N. Ikeda, F. Brown, and N. Kimizuka, Polar Nanodomain and Magneto capacitance Effect in Hexagonal $Yb(Fe,Ti)O_3$ The 10th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity (Tokyo, Japan, June 23, 2010)

④D. Fu, H. Taniguchi, M. Itoh, S. Koshihara, N. Yamamoto, and S. Mori, Polarization state in $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ relaxer, The 10th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity (Tokyo, Japan, June 23, 2010)

⑤S. Mori, Dielectric properties and nano-scaled domain structures in $RFeMO_4$ ($R=Lu, Y, Yb, M=Cu, Co$), 7th Asian Meeting on Ferroelectricity (AMF-7) and the 7th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-7) (Jeju, Korea, June 15, 2010)

⑥ S. Mori, Charge ordering phenomena in RFe_2O_4 ($R=Y, Yb$ and Lu), The 8th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (Himeji, Hyogo, Aug. 3, 2010)

⑦T. Ozaki, Y. Noguchi, M. Miyayama and S. Mori Dielectric Properties and related microstructures in $(1-x)BiFeO_3$ - $xBaTiO_3$ The 8th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (Himeji, Hyogo, Aug. 3, 2010)

⑧T. Hoshiyama, S. Mori, K. Yoshii, T.Kambe, N. Ikeda, N. Kimizuka, Polar Nanodomains and Magnetocapacitance Effect in Hexagonal $R(Fe,Ti,V)O_3$ ($R=Lu, Yb$) The 8th Japan-Korea Conference on Ferroelectrics (Himeji, Hyogo, Aug. 3, 2010)

⑨S. Mori and K. Kurushima, Domain Structures with Multiple Inhomogeneities in the Monoclinic Phase of $0.68Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ - $0.32PbTiO_3$, 3rd International Congress on Ceramics (Osaka, Japan, Nov. 10, 2010)

⑩K. Matsumoto, T. Hoshiyama, S. Mori, K. Yoshii, T.Kambe, N. Ikeda, Dielectric

properties and related microstructures in Mu-substituted $YbFe_2O_4$, 3rd International Congress on Ceramics (Osaka, Japan, Nov.10, 2010)

⑪M. Ohno, Y. Togawa Y. Horibe and S. Mori Magnetic nanoscale chessboard-type domain structures in the Mn-doped $CoFe_2O_4$ 3rd International Congress on Ceramics (Osaka, Japan, Nov. 10, 2010)

⑫R. Fujii, T. Ozaki, M. Soda, and S. Mori Dielectric properties and related microstructures in $(1-x)BiFeO_3$ - $xRTiO_3$ ($R=Pb$ and Sr), 3rd International Congress on Ceramics (Osaka, Japan, Nov. 10, 2010)

⑬ T. Ozaki, S. Nishihara, Y. Noguchi, M. Miyayama and S. Mori, Multiferroic properties and related microstructures in $BiFeO_3$ - $BaTiO_3$, International Conference of Frustration in Condensed Matter (Sendai, Japan, Jan. 11, 2011)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称：電子顕微鏡、および回折像観察方法

発明者：戸川欣彦、原田研、森茂生

権利者：大阪府立大学

種類：特願

番号：011-61352

出願年月日：2011年3月18日

国内外の別：国内

名称：圧電材料、圧電素子

発明者：森茂生、尾崎友厚、松尾祥史、堀部陽一

権利者：大阪府立大学

種類：特願

番号：2008-153068

出願年月日：2009年6月11日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森茂生 (MORI SHIGEO)

研究者番号：20251613

大阪府立大学・工学研究科・教授

(2) 連携研究者

池田直 (IKEDA NAOSHI)

研究者番号：00222894

岡山大学・理学部・教授