

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25249090

研究課題名(和文) 準安定酸化物薄膜の合成とスピン機能の創出

研究課題名(英文) Synthesis and magnetic functionalities of metastable oxide thin films

研究代表者

田中 勝久 (Tanaka, Katsuhisa)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：80188292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、準安定遷移金属酸化物を主な対象として薄膜あるいはバルクを合成し、安定相とは異なる結晶構造や電子構造に基づく特異な磁気的相互作用を実現して、スピンと電気双極子が強くカップリングした系であるマルチフェロイクスならびにスピンと紫外・可視光の相互作用に基づく短波長磁気光学に関連した新物質を開拓することを目的として研究を遂行した。その結果、Nb添加EuTiO<sub>3</sub>薄膜における強磁性の実現、大きな磁気光学効果を示すBi<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>薄膜ならびにアモルファスFeO-SiO<sub>2</sub>薄膜の合成、高い磁気ならびに誘電転移温度を持つ新規のニオブ酸リチウム型鉄酸化物の合成などに成功した。

研究成果の概要(英文)：The aim of the present study is to synthesize metastable transition metal oxides in a form of thin film and bulk material and to deduce magnetic interactions among the transition metal ions peculiar to the unique crystal and electronic structures different than those of stable phases, so that we can obtain novel compounds and materials relevant to the multiferroics, in which spins are strongly coupled with electric dipoles, and UV-vis magneto-optical devices, for which the interaction between spins and short-wavelength light is very important. We have succeeded in realization of ferromagnetism in Nb-doped EuTiO<sub>3</sub> thin films, synthesis of Bi<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> thin film and amorphous FeO-SiO<sub>2</sub> thin films both of which show extremely large magneto-optical effect, and synthesis of novel lithium niobate-type iron oxides with high magnetic and dielectric transition temperatures.

研究分野：無機固体化学

キーワード：酸化物 磁性 準安定相 薄膜 マルチフェロイクス 磁気光学 誘電性 結晶構造

### 1. 研究開始当初の背景

酸化物固体は内在する多様な電子構造に基づいて実に興味深い電子物性、磁性、光物性を示す。とりわけ近年注目されている強相関電子系の酸化物結晶では、電子の遍歴と局在、電子相関に基づくスピンの秩序形成などに起因する興味深い物性、すなわち、超伝導、巨大磁気抵抗効果、マルチフェロイクスなどが観察される。この分野は常に新しい物質と物性を提供しながら世界的に活発な研究が続いている。

一方、熱力学的な観点から酸化物固体を眺めると、一つの化合物に対して常温・常圧での安定相は1種類であるものの、準安定相では多種類の構造が導かれ、それに対応して多様な電子状態が実現するため、安定相では見られない特異な物性を引き出すことができる。特に薄膜では非平衡プロセスに基づく準安定相の凍結に加えて、基板との応力を利用した準安定相の実現が可能となる。たとえば、安定相の  $\text{EuTiO}_3$  は立方晶ペロブスカイト型構造をとり、反強磁性ならびに量子常誘電性と同時に明確な電気磁気効果を示す興味深い物質であるが、この結晶に歪みや格子体積の変化をもたらすと、マルチフェロイック物質と位置づけられる強磁性と強誘電性が共存する準安定相に変換されることが理論的に示され、理論的予測の正しさが研究代表者らを含めた研究グループによって実験的に証明されている。

### 2. 研究の目的

本研究では、酸化物磁性体薄膜を主な対象として、非平衡プロセスを利用したエントロピーの高い状態の凍結や、基板との界面における応力を利用して準安定相を作製し、安定相とは異なる結晶構造・電子構造に基づく特異な磁氣的相互作用を実現して、スピンと電気双極子が強くカップリングした系であるマルチフェロイクスならびにスピンと紫外・可視光の相互作用に基づく短波長磁気光学に関連した新物質を開拓することを目的とした。また、薄膜のみならず、高温高压合成を用いて新たな準安定酸化物を作製し、結晶構造解析を行い、磁性を中心とする物性を明らかにすることも試みた。さらに、マルチフェロイクスや磁気光学に関連する新規酸化物に関して、安定相にも領域を広げて物質探索を行った。

### 3. 研究の方法

準安定酸化物の合成、構造解析、電子状態の理論計算、物性測定と機能の創出が本研究で実行した項目である。合成では主として薄膜に力点を置いたが、非平衡プロセスなどで得られるバルクも対象とした。酸化物薄膜の合成にはパルスレーザー堆積 (pulsed laser deposition, PLD) 法とミスト CVD (mist chemical vapor deposition) 法を用いた。バルク酸化物の作製には常圧・高温下での固相反

応のほか、高温高压合成も利用した。

得られた試料に対して、X線回折を用いて結晶構造解析を行った。また、X線吸収微細構造測定およびX線光電子分光により配位構造と電子状態を調べた。そのほか、高分解能電子顕微鏡観察、メスbauer分光などを利用して結晶構造や磁性イオンの局所構造についての情報を得た。

さらに、磁性、誘電性、磁気光学に関する物性測定を行った。超伝導量子干渉磁力計を用いた磁化および磁化率の測定、磁気光学効果としてファラデー効果の測定、また、誘電的性質の解析として非線形光学効果測定を実施した。特に2次非線形光学効果の一つである光第二高調波発生 (SHG) 測定に基づいて圧電性を評価した。

加えて、第一原理計算に基づき、結晶の電子構造とフォノン分散を明らかにして、物性との相関を考察した。

### 4. 研究成果

#### (1) $\text{Eu}^{2+}$ 含有ペロブスカイト型酸化物薄膜およびバルクの合成、構造、磁性

PLD法を用いることにより、低濃度のNbを添加した  $\text{EuTiO}_3$  薄膜を作製し、Nbイオン濃度と磁性ならびに電気伝導の関係を調べた。Bサイトを占めるNbの割合が0.01 (1 mol%) より低いと5 K付近で反強磁性転移が見られるが、Nbの割合が0.05あるいは0.1の場合、低温で強磁性的な挙動が観察される(図1)。さらに、単位体積当たりの磁化は、Nb濃度が増すにつれて大きくなる。一方、これらの薄膜の電気伝導率の温度依存性を調べたところ、Nb濃度が低い場合 ( $x = 0, 0.01$ ) には半導体としての挙動が現れ、Nb濃度が高い ( $x = 0.05, 0.1$ ) と金属伝導が見られた。Nb濃度が低い組成では反強磁性半導体となり、高い組成では強磁性金属となるという実験事実は、一部の  $\text{Ti}^{4+}$  を  $\text{Nb}^{5+}$  で置換することによって導入される伝導電子が  $\text{Eu}^{2+}$  イオンに局在したスピンと磁氣的な相互作用 (RKKY相互作用あるいは磁気ポーラロン) を行い、 $\text{Eu}^{2+}$  の磁気モーメントが巨視的に同じ方向を向くことで系が安定化し、金属伝導と同時に強磁性秩序がもたらされると解釈することができる。磁性と電気伝導の相関に関連して、強磁性金属となる薄膜ではキュリー温度付近において電気抵抗の温度依存性が極大を示すこと、また、負の磁気抵抗効果が現れ、とりわけキュリー温度付近では大きな磁気抵抗効果が見られることが明らかとなった。

一方、ペロブスカイト型構造を持つ  $\text{EuNbO}_3$  の多結晶体と薄膜を合成し、放射光X線回折とリートベルト法を用いた結晶構造解析を行った。この化合物の室温での安定相はこれまで立方晶とされていたが、この解釈は誤りであり、結晶構造は20 Kから360 Kまでは直方晶、360 Kから440 Kまでは正方晶、440 K以上で立方晶となることを見いだ

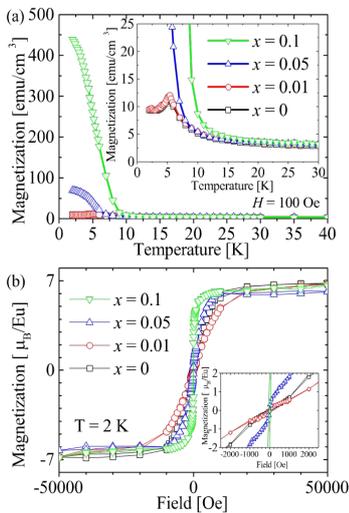


図1 さまざまな濃度の Nb を含有する  $\text{EuTiO}_3$  薄膜の (a) 磁化の温度依存性ならびに (b) 2 K における磁化の磁場依存性

した。また、フォノンのバンド構造ならびに電子と格子を考慮した全エネルギーに関して第一原理計算を行い、 $Imma$  相（直方晶）が立方晶より安定であることを明らかにした。計算の結果は、上記の実験事実とよく一致している。

さらに、単結晶基板の選択や合成条件の工夫により良質の  $\text{EuNbO}_3$  エピタキシャル薄膜を作製することに成功した。得られた  $\text{EuNbO}_3$  薄膜は化学量論組成を持ち、低温で強磁性相に転移した。また、電気伝導は金属的な挙動を示した。さらに、キュリー温度付近では負の磁気抵抗効果が見られた。

## (2) ガーネット型フェライト薄膜の合成と磁気光学

ガーネット型フェライトである  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  および  $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  は広い波長範囲で大きなファラデー効果を示し、とりわけ赤外領域で大きな磁気光学的性能指数を持つことが知られている。本研究では、大気圧下で大面積かつ均質な成膜が可能であるミスト CVD 法を用いて、初めて  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  および  $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  薄膜を作製することに成功した。ここでは、準安定酸化物であると同時に広い波長範囲にわたってきわめて大きな磁気光学効果を示す  $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  を対象に、エピタキシャル薄膜のファラデー効果について得られた結果を述べる。

室温におけるファラデー回転角の波長依存性を図 2 に示す。図中の青色の丸印は測定データであり、赤色の実線は計算で得られたファラデー回転角の波長依存性である。後者については、 $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  結晶の誘電率の非対角項の虚部（すなわち、ファラデー回転角）を、四面体位置と八面体位置の  $\text{Fe}^{3+}$  の電子遷移の和として表現した式を用いて計算を実行した。図 2 より、実測値と計算結果はよく一致している。波長 532 nm における磁気光学的性能指数は  $13.3^\circ$  であり、この値は PLD 法で作製された薄膜と比べると 48% ほど大きい。

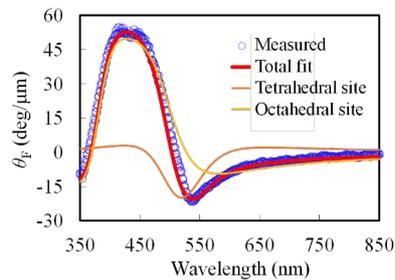


図2  $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  薄膜の室温におけるファラデー回転角の波長依存性

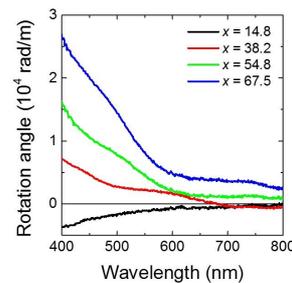


図3 アモルファス  $\text{FeO-SiO}_2$  薄膜の室温におけるファラデー回転角の波長依存性

すなわち、比較的新しい薄膜作製法であるミスト CVD 法を用いて、磁気光学特性に優れた準安定  $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  結晶を得ることができた。

## (3) アモルファス $\text{FeO-SiO}_2$ 薄膜の合成と磁気光学

準安定酸化物の一種であるアモルファス酸化物を合成して磁気光学材料への展開を図る目的で、種々の組成のアモルファス  $\text{FeO-SiO}_2$  薄膜を PLD 法で作製し、基礎的な磁気的性質と磁気光学的性質を調べた。図 3 にさまざまな FeO 濃度のアモルファス薄膜の室温におけるファラデー回転角の波長依存性を示す。特に FeO 濃度の高い組成では、通常の常磁性ガラスの挙動と異なり、短波長側でファラデー回転角が正の値をとる。さらに、400 nm 付近の短波長領域でのファラデー回転角が、希土類高含有酸化物ガラスなどと比べると一桁以上大きな値となった。このように、 $\text{FeO-SiO}_2$  系アモルファス薄膜は可視域で異常に大きなファラデー効果を示す。この原因を明らかにするために高分解能電子顕微鏡観察ならびに X 線光電子分光、X 線吸収微細構造測定を利用して原子レベルでの構造解析を行った。その結果、Fe は大部分が +2 の酸化状態であるものの、 $\text{Fe}^0$  の状態も少なからず存在し、特に FeO 濃度が最も高い試料ではきわめて微細な Fe ナノ結晶が存在することが明らかとなった。このような Fe ナノ結晶やクラスターが局所的な強磁性をもたらすことにより大きなファラデー効果が観察されるというモデルが提案できる。

## (4) 高压合成法による新規遷移金属酸化物の作製、構造、物性

準安定相に新規化合物を見いだす目的で、高温高压合成法を利用して酸化鉄系の新物

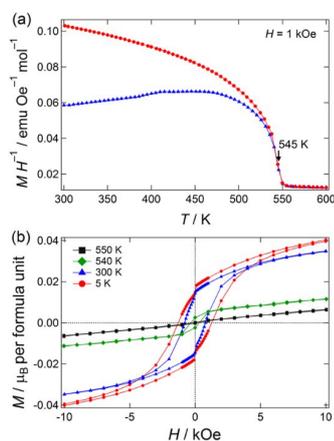


図4 ニオブ酸リチウム型  $\text{ScFeO}_3$  の磁化の (a)温度依存性および(b)磁場依存性

質合成を試みた。特にマルチフェロイクスを意識して、まず  $\text{ScFeO}_3$  の合成に注力した。この化合物は常温常圧でピクスバイト型構造をとるが、高圧下でコランダム型に転移することが知られている。本研究では従来よりも高い圧力での処理を施し、高温高圧でのペロブスカイト型を経てニオブ酸リチウム型の  $\text{ScFeO}_3$  を得ることに成功した。結晶構造はリートベルト解析により精密化し、構造に反転対称性がないことを室温での SHG 測定により実証した。図4はニオブ酸リチウム型  $\text{ScFeO}_3$  の磁化の温度依存性ならびに磁場依存性である。いずれの図においても、この化合物が室温で強磁性的挙動を示すことがわかる。磁気転移温度は545 Kと高い。磁化の値は  $\text{Fe}^{3+}$  イオン1個当たり  $0.035\mu_B$  ( $\mu_B$  はボーア磁子)と小さい。このことから、ニオブ酸リチウム型  $\text{ScFeO}_3$  は低温で弱強磁性を示すと考えられる。ニオブ酸リチウム型構造を持つ化合物としては、本化合物は、室温で強磁性を示す初めての例である。

結晶構造解析から得られたカチオンと酸化物イオンの位置から、ニオブ酸リチウム型  $\text{ScFeO}_3$  の  $c$  軸に沿った誘電分極は約  $100 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  と見積もられる。この値は、高いキュリー温度を持つ強誘電体として有名な  $\text{LiNbO}_3$  に対して計算される自発分極 ( $62 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ) よりも大きい。このように、準安定相であるニオブ酸リチウム型  $\text{ScFeO}_3$  は、高いキュリー温度(強磁性、強誘電性いずれに対しても)と大きな自発分極を持つマルチフェロイクスであると考えられる。

同様にマルチフェロイクスを意識しながら  $\text{InFeO}_3$  の合成を試みた。ここでも高温高圧合成を利用してニオブ酸リチウム型  $\text{InFeO}_3$  を得ることに成功し、この化合物が室温以上にキュリー温度を有する弱強磁性体となることを明らかにした。これにより、 $\text{ScFeO}_3$ 、 $\text{InFeO}_3$  ならびに類似のペロブスカイト型構造を持つ希土類オルソフェライトの磁氣的相互作用を結晶構造の観点から系統的に説明することが可能となった。

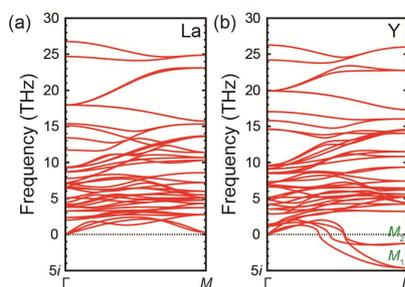


図5 ルドルスデン ポッパー相 ( $n=1$ ) の一種である (a)  $\text{NaLaTiO}_4$  および (b)  $\text{NaYTiO}_4$  に対して計算されたフォノンバンド構造

#### (5) 層状ペロブスカイト型酸化物の誘電性

ここで対象とする層状ペロブスカイト型酸化物は準安定相ではないが、新しいマルチフェロイクスの開拓の観点から重要な知見が得られているので、本節で説明する。具体的には、ルドルスデン ポッパー相(化学組成は  $(\text{ABO}_3)_n(\text{AO})$  であり、 $n$  は正の整数)において、 $B$  サイト回転という新しい機構によって圧電性を示す酸化物を得ることに成功した。図5は  $n=1$  のルドルスデン ポッパー相の一つである  $\text{NaLaTiO}_4$  および  $\text{NaYTiO}_4$  に対して第一原理計算で得られたフォノンのバンド構造である。ここでは  $P4/nmm$  構造を仮定して計算を行った。 $\text{NaLaTiO}_4$  では異常が見られないが、 $\text{NaYTiO}_4$  では  $M$  点において虚数の振動数が観察される。すなわち、 $\text{NaYTiO}_4$  では  $P4/nmm$  構造は不安定であり、フォノンがソフト化を起して他の結晶構造に相転移する。電子ならびに格子の全エネルギーを考慮した計算によると、この化合物は  $P4_21m$  が安定な構造となる。この空間群は反転中心を持たないため、圧電体となることが期待される。また、この空間群は八面体サイト ( $B$  サイト) の回転のモードによってもたらされる。一般にペロブスカイト型構造および類似の構造における八面体サイトの回転は、 $A$  サイトカチオンが小さいほど起こりやすい。このことは、 $A$  サイトが  $\text{La}$  (イオン半径が大きい) の系では八面体サイトの回転のない  $P4/nmm$  構造が安定で、 $\text{Y}$  (イオン半径が小さい) の系では  $P4_21m$  が安定な構造であるという事実と矛盾しない。

これらの化合物に対して室温で SHG 測定を施すと、 $\text{NaLaTiO}_4$  では SHG が見られないが、 $\text{NaYTiO}_4$  では明確に SHG が観察された。また、希土類イオンの種類を変えた多結晶体を作製して室温での SHG 強度と希土類のイオン半径との関係を調べたところ、イオン半径が小さくなるほど SHG が消失する温度が高くなる傾向が見られた。これは、八面体サイトの回転が結晶構造に反転対称性の欠如をもたらす機構として働いていることを示している。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計17件)

(1) H. Hojo, K. Fujita, H. Ikeno, T. Matoba, T.

Mizoguchi, I. Tanaka, T. Nakamura, Y. Takeda, T. Okane, and K. Tanaka, Magnetic structures of FeTiO<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> solid solution thin films studied by soft X-ray magnetic circular dichroism and ab initio multiplet calculations, Appl. Phys. Lett. **104** (2014) 112408-1-5. 査読有  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4868638>

(2) Y. Nakatsuka, H. Akamatsu, S. Murai, K. Fujita, and K. Tanaka, Superspin glass behavior of amorphous FeO-SiO<sub>2</sub> thin films, Jpn. J. Appl. Phys. **53** (2014) 05FB11-1-5. 査読有  
<http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.53.05FB11>

(3) S. Yao, T. Sato, K. Kaneko, S. Murai, K. Fujita, and K. Tanaka, Preparation of yttrium iron garnet thin films by mist chemical vapor deposition method and their magneto-optical properties, Jpn. J. Appl. Phys. **53** (2014) 05FB17-1-5. 査読有  
<http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.53.05FB17>

(4) Y. Kususe, H. Murakami, K. Fujita, I. Kakeya, M. Suzuki, S. Murai, and K. Tanaka, Magnetic and transport properties of EuTiO<sub>3</sub> thin films doped with Nb, Jpn. J. Appl. Phys. **53** (2014) 05FJ07-1-6. 査読有  
<http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.53.05FJ07>

(5) H. Akamatsu, K. Fujita, T. Kuge, A. S. Gupta, A. Togo, S. Lei, F. Xue, G. Stone, J. M. Rondinelli, L.-Q. Chen, I. Tanaka, V. Gopalan, and K. Tanaka, Inversion symmetry breaking by oxygen octahedral rotations in Ruddlesden-Popper NaRTiO<sub>4</sub> family, Phys. Rev. Lett. **112** (2014) 187602-1-5. 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.187602

(6) T. Matoba, K. Fujita, S. Murai, and K. Tanaka, Electronic structure of ilmenite and ilmenite-hematite solid solution using hard x-ray photoemission spectroscopy, J. Jpn. Soc. Powder and Powder Metall. **61** Supplement, No. S1 (2014) S57-S59. 査読有  
<http://doi.org/10.2497/jjspm.61.S57>

(7) T. Kawamoto, K. Fujita, I. Yamada, T. Matoba, S. J. Kim, P. Gao, X. Pan, S. D. Findlay, C. Tassel, H. Kageyama, A. J. Studer, J. Hester, T. Irifune, H. Akamatsu, and K. Tanaka, Room-temperature polar ferromagnet ScFeO<sub>3</sub> transformed from a high-pressure orthorhombic perovskite phase, J. Am. Chem. Soc. **136** (2014) 15291-15299. 査読有  
DOI: 10.1021/ja507958z

(8) S. Murai, M. Aratani, K. Fujita, and K. Tanaka, Enhanced Faraday effect in porous iron oxide thin films coupled to localized surface plasmon resonances, J. Jpn. Soc. Powder and Powder Metall. **62** (2015) 18-26. 査読有  
<http://doi.org/10.2497/jjspm.62.18>

(9) 田中勝久, 藤田晃司, 赤松寛文, 新規圧電体 NaRTiO<sub>4</sub> (R は希土類) = 非鉛系圧電材料開発への新しいアプローチ =, 超音波 TECHNO **27** (2015) 5-9. 査読有

(10) S. Yao, T. Sato, K. Kaneko, S. Murai, K.

Fujita, and K. Tanaka, Faraday effect of bismuth iron garnet thin film prepared by mist CVD method, Jpn. J. Appl. Phys. **54** (2015) 063001-1-6. 査読有  
<http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.54.063001>

(11) Y. Akizuki, I. Yamada, K. Fujita, K. Taga, T. Kawakami, M. Mizumaki, and K. Tanaka, Rattling in quadruple perovskite CuCu<sub>3</sub>V<sub>4</sub>O<sub>12</sub>, Angew. Chem. **54** (2015) 10870-10874. 査読有  
DOI: 10.1002/anie.201504784

(12) Y. Kususe, S. Yoshida, K. Fujita, H. Akamatsu, M. Fukuzumi, S. Murai, and K. Tanaka, Structural phase transitions in EuNbO<sub>3</sub> perovskite, J. Solid State Chem. **239** (2016) 192-199. 査読有  
<https://doi.org/10.1016/j.jssc.2016.04.032>

(13) K. Fujita, T. Kawamoto, I. Yamada, O. Hernandez, N. Hayashi, H. Akamatsu, W. Lafargue-Dit-Hauret, X. Rocquefelte, M. Fukuzumi, P. Manuel, A.J. Studer, C. Knee, and K. Tanaka, LiNbO<sub>3</sub>-type InFeO<sub>3</sub>: Room-temperature polar magnet without second-order Jahn Teller active ions, Chem. Mater. **28** (2016) 6644-6655. 査読有  
DOI: 10.1021/acs.chemmater.6b02783

(14) 田中勝久, ランダムスピンの磁性: 酸化物ガラスに見られるスピングラス転移, NEW GLASS **31**, No.3 (2016) 7-11. 査読無

(15) Y. Nakatsuka, S. Murai, K. Fujita and K. Tanaka, Instability of spin glass phase in divalent iron phosphate glass under a magnetic field, J. Phys.: Condens. Matter **29** (2017) 025802-1-5. 査読有  
DOI: 10.1088/0953-8984/29/2/025802

(16) S. Yao, R. Kamakura, S. Murai, K. Fujita, and K. Tanaka, Faraday effect of polycrystalline bismuth iron garnet thin film prepared by mist chemical vapor deposition method, J. Magn. Magn. Mater. **422** (2017) 100-104. 査読有  
<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.08.077>

(17) Y. Nakatsuka, K. Pollok, T. Wieduwilt, F. Langenhorst, M. A. Schmidt, K. Fujita, S. Murai, K. Tanaka, and L. Wondraczek, Giant Faraday rotation through Fe<sup>0</sup><sub>n</sub> states in superparamagnetic FeO-SiO<sub>2</sub> vitreous films, Adv. Sci. (2017) 1600299-1-6. 査読有  
DOI: 10.1002/advs.201600299

〔学会発表〕(計54件)

(1) T. Kawamoto, K. Fujita, T. Matoba, K. Tanaka, I. Yamada, S. Kim, P. Gao, X. Pan, H. Etani, and T. Irifune, Novel LiNbO<sub>3</sub>-type ScFeO<sub>3</sub> with weak ferromagnetic behavior at room temperature, 13th International Ceramics Congress (2014年6月8日~13日), Palazzo dei Congressi, Italy

(2) 田中勝久, 藤田晃司, 酸化物固体における元素ブロック - 酸化配位多面体の構造と配列からの酸化物の物性を考える -, 日本セラミックス協会第27回秋季シンポジウム

(2014年9月9日~11日), 鹿児島大学(招待講演)

(3) K. Tanaka and K. Fujita, Multifunctional divalent europium perovskite oxides, Materials Science & Technology 2014 (2014年10月12日~16日), Pittsburgh, USA (招待講演)

(4) 田中勝久, 藤田晃司, 赤松寛文, 酸素八面体回転に基づく新規圧電体, 第150回電子セラミックプロセス研究会(2015年2月14日), 万国橋会議センター, 神奈川(招待講演)

(5) 田中勝久, 金属の配位多面体がもたらす機能: 酸化物結晶と生体分子, 粉体粉末冶金協会バイオインスパイアード材料科学セミナー(2015年2月21日), 名古屋大学, 愛知(招待講演)

(6) 田中勝久, 藤田晃司, 2価のユウロピウムを含むペロブスカイト型酸化物の磁気的性質, 第62回応用物理学会春季学術講演会(2015年3月11日~14日), 東海大学, 神奈川(招待講演)

(7) S. Yao, S. Murai, K. Fujita, and K. Tanaka, Preparation of bismuth iron garnet thin film by mist CVD method, 2014 MRS Fall Meeting & Exhibit (2014年11月30日~12月5日), Hynes Convention Center, Boston, USA

(8) K. Tanaka, Looking for magnetic functionalities in metastable oxide, 23rd Annual International Conference on Composites and Nano-Engineering (2015年7月12日~18日), Chengdu, PRC (招待講演)

(9) T. Kawamoto, K. Fujita, I. Yamada, and K. Tanaka, Design of room-temperature polar magnet in LiNbO<sub>3</sub>-type oxides, 53rd International Conference on High Pressure Science and Technology (2015年8月30日~9月4日), Madrid, Spain

(10) K. Tanaka, K. Fujita, and H. Akamatsu, Piezoelectricity by OOR in perovskite-related oxides, IUMRS-ICAM 2015 (2015年10月25日~29日), Jeju, Korea (招待講演)

(11) K. Tanaka, K. Fujita, and H. Akamatsu, A new approach to piezoelectric materials: oxygen octahedral rotation in perovskite-related oxides, The Sixth Asia-Oceania Ceramic Federation Conference (2015年11月4日~7日), Guilin, PRC (招待講演)

(12) 田中勝久, 光機能材料 - 半導体・誘電体・磁性体の光学特性 -, 平成27年度(第31回)新材料・新技術利用研究会(2015年12月11日), 生産開発科学研究所, 京都(招待講演)

(13) K. Tanaka, Structure of Ferromagnetic amorphous oxides containing divalent europium, International Congress on Glass 2016 (2016年4月7日~11日), Shanghai, PRC (招待講演)

(14) K. Tanaka and K. Fujita, Divalent Europium: A key to ferromagnetic oxide, Rare Earths 2016 (2016年6月5日~10日), Sapporo, Japan (招待講演)

(15) K. Tanaka and K. Fujita, Magnetic functionalities of iron oxide-based thin films, 9th International Conference on High Temperature Ceramic Matrix Composites & Global Forum on Advanced Materials and Technologies for Sustainable Development (2016年6月26日~7月1日), Toronto, Canada (招待講演)

(16) Y. Nakatsuka, S. Fuhrmann, K. Pollok, T. Wieduwilt, F. Langenhorst, L. Wondraczek, K. Fujita, S. Murai, and K. Tanaka, Large Faraday effect of amorphous iron-containing silicate thin films, Society of Glass Technology Centenary Conference & European Society of Glass 2016 (2016年9月4日~8日), Sheffield, UK

(17) Y. Nakatsuka, K. Pollok, F. Langenhorst, L. Wondraczek, S. Murai, K. Fujita, and K. Tanaka, Large Faraday effect of amorphous iron silicate thin films by metallic iron, 第77回応用物理学会秋季学術講演会(2016年9月13日~16日), 朱鷺メッセ, 新潟

(18) 田中勝久, 藤田晃司, 準安定酸化物薄膜に見られる磁気機能, 第77回応用物理学会秋季学術講演会(2016年9月13日~16日), 朱鷺メッセ, 新潟(招待講演)

(19) K. Tanaka and K. Fujita, Dielectric and magnetic functionalities of oxides with perovskite-related structures, 26th Annual Meeting of MRS-J (2016年12月19日~22日), Yokohama, Japan (招待講演)

(20) 中塚 祐子, Kilian Pollok, Falko Langenhorst, Lothar Wondraczek, 村井俊介, 藤田晃司, 田中勝久, 鉄クラスターを含有するアモルファスケイ酸塩薄膜の磁気的性質, 第64回応用物理学会春季学術講演会(2017年3月14日~17日), パシフィコ横浜, 横浜(招待講演)

ほか、34件

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田中 勝久 (TANAKA, Katsuhisa)  
京都大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 80188292

### (2) 研究分担者

藤田 晃司 (FUJITA, Koji)  
京都大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 50314240

村井 俊介 (MURAI, Shunsuke)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 20378805

北條 元 (HOJO, Hajime)  
東京工業大学・フロンティア材料研究所・助教  
九州大学・大学院総合理工学研究院・准教授  
研究者番号: 90611369