

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360273

研究課題名（和文）精密に構造制御した酸化物磁性体薄膜の合成とスピン機能の創出

研究課題名（英文）Spin functions of magnetic oxide thin films synthesized under precise structural control

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

研究成果の概要（和文）：酸化物磁性体薄膜を対象に、磁性イオンの価数や分布、格子の歪みなどのサブナノ構造を制御し、また、原子レベルで平滑な薄膜を合成することによって、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、磁性半導体中のスピン偏極キャリアを利用するスピントロニクス、スピンと誘電分極が強くカップリングした系であるマルチフェロイクスのそれぞれの分野に関連した新物質・新材料を開拓した。

研究成果の概要（英文）：We have synthesized novel magnetic oxide thin films under control of sub-nanostructure such as valence state of magnetic ions and their distribution, strain of lattice, and so forth. Also, we have fabricated thin films possessing a flat surface from a point of view of atomistic level. The magnetic oxide thin films show a variety of interesting properties and excellent functionalities including magneto-optical properties in the short wavelength region, both ferro- or ferrimagnetism and high electric conductivity applicable to spintronics, and multiferroic properties.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
23年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
24年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・無機材料・物性

キーワード：磁性体、薄膜、酸化物、磁気光学、スピントロニクス、マルチフェロイクス、気相合成、電子構造

## 1. 研究開始当初の背景

実用的な磁性材料として金属・合金ならびに酸化物がよく知られている。酸化物磁性体はフェライトを中心に、永久磁石、記録媒体、磁性流体、光アイソレータ、電磁波遮蔽材料などとして多くの領域で用いられている。金属磁性体と比較すると酸化物磁性体には次のような特徴がある。(1) 紫外から赤外の広い波長範囲において透明な領域と特徴的な光吸収の起こる領域が存在する。(2) 半導体の性質を示す場合があり、組成や欠陥生成に

応じた荷電担体の制御が可能である。(3) 誘電体（特に強誘電体）の性質を示す場合があり、スピンと電気双極子の強いカップリングが見られることがある。これら(1)～(3)の特徴はそれぞれが酸化物磁性体の新たなあるいは十分に開拓すべき余地のある応用分野とつながっている。すなわち、国内外の研究の現状を踏まえると、上記の(1)～(3)に対応して次のような新しい展開が期待される。

(1) 短波長磁気光学材料：磁性体と光の相互作用は 磁気光学や光磁気にかかわる現象を

導く。特に透過光が対象となる磁気光学効果であるファラデー効果は光アイソレータに利用され、光通信に使われる 1.5  $\mu\text{m}$  帯の光信号に対してはビスマス置換ガーネット型フェライト単結晶がすでに実用化されている。一方で、可視光や紫外光に対応する波長領域では希薄磁性半導体、希土類高含有ガラスなどが実用化されているが、磁気光学的性能指数は十分ではない。このような波長領域での新たな物質の発見や材料の開発が切望されている。

(2) スピントロニクス材料：磁性体と半導体の性質を兼ね備えた物質は磁性半導体としてスピントロニクスへ展開できる。また、酸化物磁性体にはハーフメタルとなる物質もあり、スピン偏極キャリアの存在はスピントランジスタへの応用が期待される。スピントロニクスは 2007 年のノーベル物理学賞の対象となった領域で、現在もなお新しいデバイスの考案や実用化に向けた研究が世界的に活発に行われているが、金属系磁性体が巨大磁気抵抗効果を利用した磁気ヘッドや MRAM (不揮発磁気抵抗メモリー) として開発が進んでいるのに対して、半導体スピントロニクスでは未だ十分な特性を有する物質・材料が見いだされていない。酸化物磁性半導体は空气中に多量に存在する酸素を固体から出し入れすることで酸化還元状態が制御でき、ひいては荷電担体の制御が容易に行えるため、半導体スピントロニクスの領域では有効な材料となりうる。

(3) マルチフェロイクス材料：マルチフェロイクス物質はスピンと電気双極子が強くカップリングした系であり、磁場による誘電率や誘電分極の変化、電場による磁化や磁化率の制御など、誘電特性と磁性の相互変換が可能で、強磁性強誘電性メモリーといった新規電子デバイスへの応用が期待される。この分野は海外では Materials Research Society (アメリカ材料学会) などでは比較的早くから取り上げられ、理論、物性、合成などさまざまな観点から議論がなされてきたが、日本で注目され始めたのは最近のことである。マルチフェロイクス物質は酸化物を中心に発見が相次いでいるが、まだその数は少なく、さらに新規な物質が合成される可能性がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、磁性イオンの価数や分布、磁性イオン間距離などサブナノ構造を制御することによって新たな酸化物磁性体薄膜を合成し、従来にはないスピン機能をもつ新たな酸化物磁性物質・材料を創製すると同時に、合成過程のさらなる精密化を実現して、新規スピン工学デバイスとしての応用に耐えうる良質の酸化物薄膜を作製することを目的とする。具体的には、EuO-TiO<sub>2</sub>系で研究代表

者らが偶然に発見した非晶質酸化物強磁性体の強磁性の機構を原子レベルで明らかにするとともに、短波長磁気光学材料を念頭に置いてファラデー効果測定を行い、その機構を磁性と関連づけて解明する。また、これまで研究代表者や研究分担者が作製を試みてきた FeTiO<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系室温フェリ磁性酸化物半導体について原子レベルで平滑な薄膜が合成できる条件を確立する。磁性半導体は Nb でドーピングした EuTiO<sub>3</sub> 薄膜についても合成を試み、磁性と電気伝導の機構を解明する。さらに、マルチフェロイクスの観点から、EuTiO<sub>3</sub> を異なる基板上に成膜して格子不整合を利用した歪みの導入を行い、磁性の評価ならびにその起源の解明を行う。同様のペロブスカイト型構造をもつ EuZrO<sub>3</sub>、EuHfO<sub>3</sub> についても歪みの導入が磁性にもたらす変化について検討する。

## 3. 研究の方法

酸化物磁性体薄膜の合成、構造解析、磁性を中心とした物性の測定と機能の創出に関して実験を進めた。短波長磁気光学の関連では EuO 系非晶質強磁性体、スピントロニクスの関連では FeTiO<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系室温フェリ磁性半導体および EuTiO<sub>3</sub>:Nb 系強磁性金属、マルチフェロイクスの関連ではペロブスカイト型構造を有する EuTiO<sub>3</sub>、EuZrO<sub>3</sub>、EuHfO<sub>3</sub> をそれぞれ対象とした。合成には主としてパルスレーザー堆積法を用い、上記の酸化物磁性体薄膜のサブナノ構造の制御を行った。構造解析には X 線回折 (XRD)、高分解能透過型電子顕微鏡 (HRTEM)、原子間力顕微鏡 (AFM)、メスbauer分光を用いた。物性の測定と機能の創出では、磁化や磁化率の測定を中心に、X 線磁気円二色性分光 (XMCD)、電気伝導率、Hall 効果、ファラデー効果の測定を行った。

## 4. 研究成果

非常に多くの研究成果が得られたが、ここではその代表的なものについて項目ごとにまとめて記す。

### (1) 短波長磁気光学材料

強磁性を示す非晶質 EuO-TiO<sub>2</sub> 薄膜について強磁性の起源を原子レベルで明らかにすると同時に、この薄膜が可視域において大きなファラデー効果を示すことを見いだした。図 1 は Eu<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> 非晶質薄膜の Eu L<sub>3</sub>-端 XMCD ならびに磁化の温度依存性 (上図) と外部磁場依存性 (下図) を示している。Eu L<sub>3</sub>-端の X 線吸収は 2p-5d 遷移に相当するので、XMCD は 5d 電子がスピン分極をもつ場合にのみ観察される。図 1 は、この遷移に基づく XMCD がある一定温度以下で顕著に現れ、その強度の温度ならびに磁場依存性は磁化の挙動と完全に一致することを示している。この結果

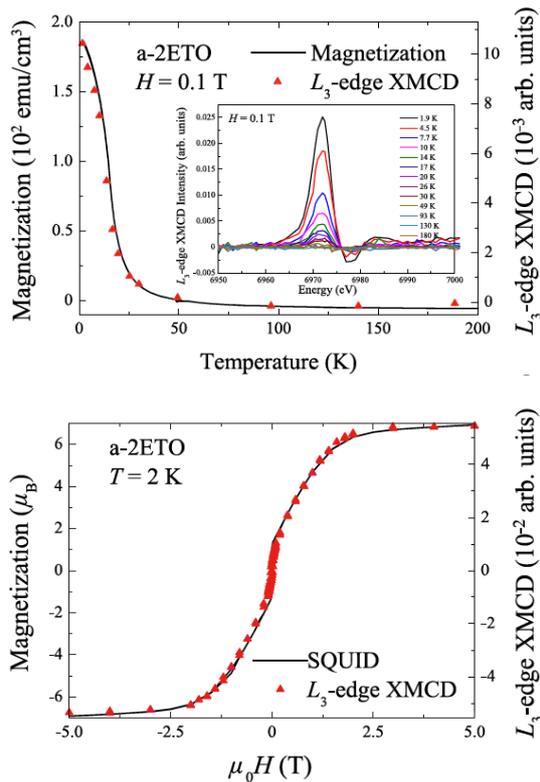


図1  $\text{Eu}_2\text{TiO}_4$  非晶質薄膜の  $\text{Eu}L_3$ -端 XMCD ならびに磁化の温度依存性(上)と外部磁場依存性(下)

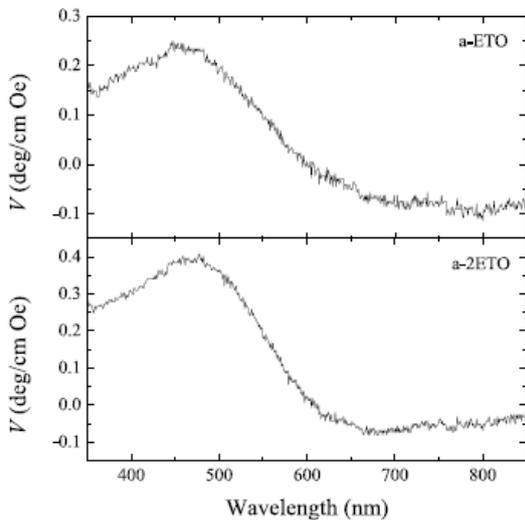


図2  $\text{EuTiO}_3$  および  $\text{Eu}_2\text{TiO}_4$  非晶質薄膜の室温におけるファラデー回転角(ベルデ定数)の波長依存性

は  $\text{Eu}_2\text{TiO}_4$  非晶質薄膜の強磁性が 5d 軌道を介した 4f スピン間の相互作用に基づくことを表している。図2は  $\text{EuTiO}_3$  および  $\text{Eu}_2\text{TiO}_4$  非晶質薄膜の室温におけるファラデー回転角の波長依存性であり、縦軸は単位磁場、単位光路長あたりのファラデー回転角であるベルデ定数を表している。ベルデ定数は最大で 0.4 deg/cm Oe 程度である。これは、過去に報

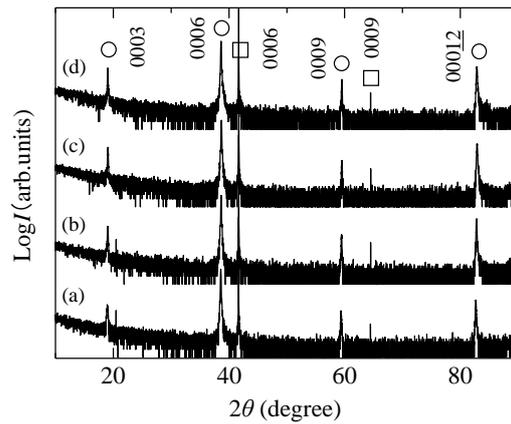


図3  $0.8\text{FeTiO}_3-0.2\text{Fe}_2\text{O}_3$  固溶体薄膜の XRD パターン (a)  $P_{\text{O}_2} = 1.0 \times 10^{-3}$  Pa and  $T_{\text{S}} = 850$  °C, (b)  $P_{\text{O}_2} = 1.5 \times 10^{-3}$  Pa and  $T_{\text{S}} = 850$  °C, (c)  $P_{\text{O}_2} = 1.5 \times 10^{-3}$  Pa and  $T_{\text{S}} = 900$  °C, and (d)  $P_{\text{O}_2} = 1.5 \times 10^{-3}$  Pa and  $T_{\text{S}} = 925$  °C

告されている希土類含有酸化物ガラスのベルデ定数 (0.01 deg/cm Oe 程度) と比較すると 1 桁大きく、希薄磁性半導体(Cd,Mn)Te に匹敵する値である。このような強磁性ならびに大きなファラデー効果は、 $\text{EuTiO}_3$  および  $\text{Eu}_2\text{TiO}_4$  非晶質薄膜における  $\text{Eu}^{2+}$  の局所構造が  $\text{EuO}$  結晶における局所構造に近いことに起因している。

## (2)スピントロニクス

$\text{FeTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$  固溶体薄膜に関する研究では、原子レベルで平滑な表面をもつ高品質のエピタキシャル薄膜を得る条件の確立に成功した。一例として、さまざまな条件下 ( $P_{\text{O}_2}$  は酸素分圧、 $T_{\text{S}}$  は基板温度を表す) で C 面サファイア基板の上に蒸着した  $0.8\text{FeTiO}_3 \cdot 0.2\text{Fe}_2\text{O}_3$  組成の薄膜の XRD パターンを図3に示す。基板温度を高温に保つことで、エピタキシャル成長した単相の秩序相薄膜が得られることがわかった。AFM による観察から、特に基板温度が 925°C の条件下で得られた薄膜は原子レベルで平滑な表面を有していることが明らかとなった。固溶体薄膜とサファイア基板の間には 6.2% の大きな格子不整合があるにもかかわらず高品質の薄膜が得られた理由を解明するために、界面を HRTEM を用いて観察した。図4にこの薄膜の HRTEM 写真とフーリエ・フィルタリングを施した TEM 像を示す。図中の赤色の円は界面においてミスフィット転位の存在する場所である。転位の間隔は 13-16 単位の格子面間隔に対応している。 $\text{FeTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$  薄膜の格子面間隔の 15 倍 ( $2.539 \text{ \AA} \times 15 = 38.085 \text{ \AA}$ ) が  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  の格子面間隔の 16 倍 ( $2.380 \text{ \AA} \times 16 = 38.080 \text{ \AA}$ ) とほぼ一致することから、いわゆる domain-matching epitaxy 機構に基づいて転

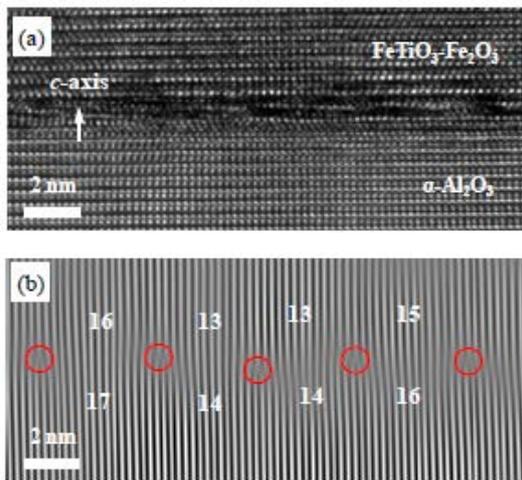


図4 (a) 0.8FeTiO<sub>3</sub>-0.2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜と  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0001) 基板の界面の HRTEM (b) (a) のフーリエ・フィルタリングを施した TEM 像. 赤色の円はミスフィット転位を示す

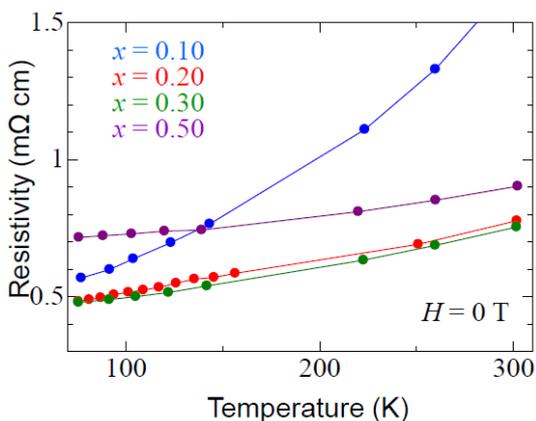


図5 EuTiO<sub>3</sub>-EuNbO<sub>3</sub> 固溶体薄膜の電気抵抗の温度依存性

位が発生し、格子不整合を緩和していると考えられる。この機構によって大きな格子不整合の存在にもかかわらず高品質の薄膜が得られたと結論できる。

図5は EuTiO<sub>3</sub>-EuNbO<sub>3</sub> 系固溶体薄膜の電気抵抗の温度依存性である。図中の  $x$  は EuNbO<sub>3</sub> の固溶量を表す。この系はバルクで作製すると相分離が起こり、固溶体をつくることができないが、非平衡プロセスである気相合成で作製した薄膜において初めて固溶体を実現した。EuTiO<sub>3</sub> に EuNbO<sub>3</sub> が固溶すると Ti<sup>4+</sup> のサイトを Nb<sup>5+</sup> が置換するため電子が注入され、電子の濃度が高くなればこれがキャリアとなると同時に Eu<sup>2+</sup> に局在したスピンの向きをそるえながら結晶中を移動するため、電気伝導と同時に強磁性が出現すると期待される。実際、固溶量が 10% を超えると薄膜は強磁性となり、キュリー温度は 7-9 K に達する。同時に、図5に示すように固溶体薄膜は金属伝導を示す。本系は強磁性金属とな

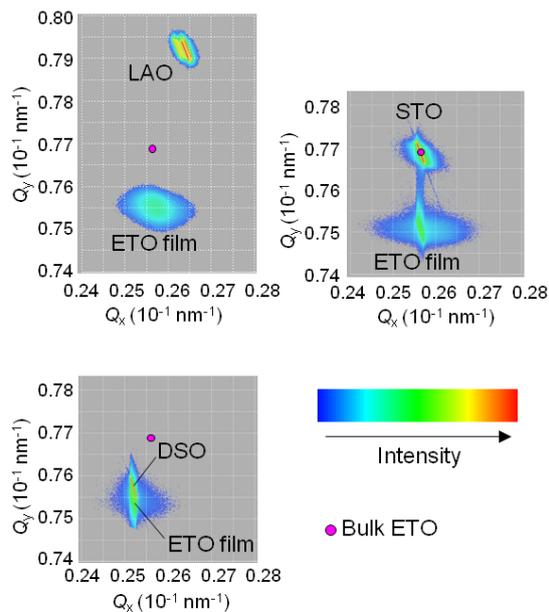


図6 さまざまな基板上に作製した EuTiO<sub>3</sub> 薄膜ならびにバルク EuTiO<sub>3</sub> の逆格子マッピング

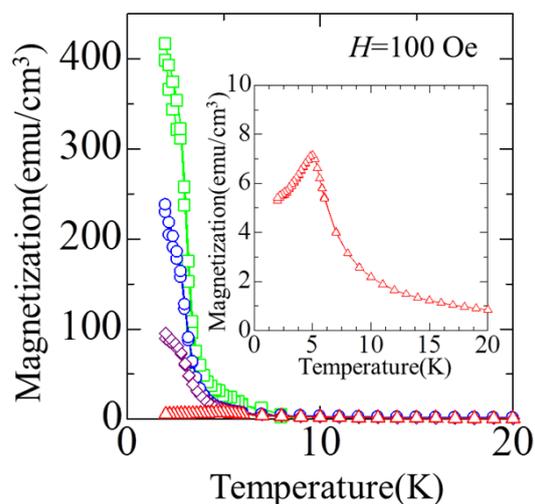


図7 さまざまな基板上に作製した EuTiO<sub>3</sub> 薄膜ならびにバルク EuTiO<sub>3</sub> の磁化の温度依存性

る新しい化合物であり、スピントロニクスへの展開が期待できる。

### (3) マルチフェロイクス

EuTiO<sub>3</sub> は反強磁性かつ量子常誘電性であるが、これを薄膜化して基板との格子不整合による歪みを与えると、歪みの大きさに応じて強磁性と強誘電性が現れることが理論的に示唆されている。本研究では格子定数の異なる3種類の基板、すなわち、LaAlO<sub>3</sub> (LAO)、SrTiO<sub>3</sub> (STO)、DyScO<sub>3</sub> (DSO) に EuTiO<sub>3</sub> 薄膜を蒸着して磁性を調べた。図6は3種類の薄膜ならびにバルク EuTiO<sub>3</sub> の逆格子マッピングであり、この結果から、EuTiO<sub>3</sub> 薄膜の格子体積はバルク EuTiO<sub>3</sub> と比較して、LAO で

+1.56%、STO で+2.41%、DSO で+3.92%だけ変化することが明らかとなった。図7はこれらの薄膜およびバルク  $\text{EuTiO}_3$  の磁化の温度依存性であり、紫、青、緑のデータがそれぞれ LAO、STO、DSO 基板上的  $\text{EuTiO}_3$  薄膜の磁化を表す。バルク  $\text{EuTiO}_3$  が反強磁性転移を示すのに対し、3種類の基板上的  $\text{EuTiO}_3$  薄膜はいずれも強磁性となり、低温での磁化の大きさは  $\text{DSO} > \text{STO} > \text{LAO}$  の順となった。これは図6から見積もられた格子体積の増加の順と一致している。本研究ではハイブリッド・ハートリー・フォック密度汎関数法に基づく理論計算により、格子体積が増すと  $\text{Eu}^{2+}$  間の交換相互作用定数が負から正に転じてその大きさが単調増加することを見いだし、理論計算の結果は図7の実験結果と整合するものとなった。同様の理論計算を  $\text{EuTiO}_3$  と同じペロブスカイト型構造を有する  $\text{EuZrO}_3$  と  $\text{EuHfO}_3$  にも施し、これらの正方晶相を準安定相として得ることができれば、それらは強磁性体となることを予測した。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

- (1) T. Kawamoto, K. Fujita, H. Akamatsu, T. Nakamura, T. Kinoshita, M. Mizumaki, N. Kawamura, M. Suzuki, Y. Kususe, S. Murai, and K. Tanaka, Eu  $M_{4,5}$ - and  $L_{2,3}$ -edge x-ray magnetic circular dichroism of ferromagnetic amorphous oxides in  $\text{EuO-TiO}_2$  System, Phys. Rev. B, 査読有, (2013), 印刷中
- (2) H. Akamatsu, Y. Kumagai, F. Oba, K. Fujita, K. Tanaka, and I. Tanaka, Strong correlation between magnetic interaction and oxygen octahedral rotation in divalent europium perovskites, Adv. Func. Mater., 査読有, **23** (2013) 1864-1872  
DOI: 10.1002/adfm.201202477
- (3) K. Tanaka, K. Fujita, Y. Maruyama, Y. Kususe, H. Murakami, H. Akamatsu, Y. Zong, and S. Murai, Ferromagnetism induced by lattice volume expansion and amorphization in  $\text{EuTiO}_3$  thin films, J. Mater. Res., 査読有, **28** (2013) 1031-1041  
DOI: 10.1557/jmr.2013.60
- (4) Y. Hasegawa, M. Kumagai, A. Kawashima, T. Nakanishi, K. Fujita, K. Tanaka, and K. Fushimi, First synthesis of  $\text{EuS}$  nanoparticle thin film with wide energy gap and giant magneto-optical efficiency on glass electrode, J. Phys. Chem. C, 査読有, **116** (2012) 19590-19596  
DOI: 10.1021/jp306819u
- (5) 田中勝久, 藤田晃司, 村井俊介, 赤松寛文, Zong Yanhua, 竹本直紘, 長距離的な強磁性秩序を示す新しい非晶質酸化物, NEW GLASS, 査読無, **26** (2011) 26-29
- (6) H. Akamatsu, K. Fujita, H. Hayashi, T. Kawamoto, Y. Kumagai, Y. Zong, K. Iwata, F. Oba, I. Tanaka, and K. Tanaka, Crystal and electronic structure and magnetic properties of divalent europium perovskite oxides  $\text{EuMO}_3$  (M=Ti, Zr, and Hf): Experimental and first-principles approaches, Inorg. Chem., 査読有, **51** (2012) 4560-4567  
DOI: 10.1021/ic2024567
- (7) Y. Zong, K. Fujita, H. Akamatsu, S. Nakashima, S. Murai, and K. Tanaka, Local structure of amorphous  $\text{EuO-TiO}_2$  thin films probed by x-ray absorption fine structure, J. Am. Ceram. Soc., 査読有, **95** (2012) 716-720  
DOI: 10.1111/j.1551-2916.2011.04849.x
- (8) H. Akamatsu, Y. Kumagai, F. Oba, K. Fujita, H. Murakami, K. Tanaka, and I. Tanaka, Antiferromagnetic superexchange via 3d states of titanium in  $\text{EuTiO}_3$  as seen from hybrid Hartree-Fock density functional calculations, Phys. Rev. B, 査読有, **83** (2011) 214421-1-6  
DOI: 10.1103/Phys.RevB.83.214421

〔学会発表〕(計24件)

- (1) T. Matoba, K. Fujita, S. Murai, E. Ikenaga, and K. Tanaka, Electronic structure of ilmenite and ilmenite-hematite solid solution using hard X-ray photoemission spectroscopy, The 11th International Conference on Ferrites, 2013年4月16日, Okinawa, Japan
- (2) K. Tanaka and K. Fujita, Magnetic Properties of Divalent Europium Perovskite Oxide Thin Films, The 60th Japan Society of Applied Physics Spring Meeting, 招待講演, 2013年3月29日, Kanagawa, Japan
- (3) 渡邊正治, 藤田晃司, 楠瀬好郎, 村井俊介, 田中勝久,  $\text{Eu}^{2+}$ を含むペロブスカイト型遍歴電子磁性体エピタキシャル薄膜の合成, 日本セラミックス協会 2013年年会, 2013年03月17日, 東京工業大学
- (4) 田中勝久, パルスレーザー堆積法による酸化物磁性薄膜の合成と特性評価, 日本学術振興会 先進セラミックス第124委員会, 招待講演, 2012年10月24日, 早稲田大学
- (5) K. Tanaka, K. Fujita, Y. Maruyama, Y. Kususe, H. Murakami, H. Akamatsu, and S. Murai, Magnetic and dielectric properties of  $\text{EuTiO}_3$  thin film under strain, The 4th International Conference on Smart Materials, Structures and Systems, 招待講演, 2012年06月13日, Montecatini Terme, Italy

- (6) 中尾隆志, 渡邊正治, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, SrTiO<sub>3</sub> 基板上への FeTiO<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> エピタキシャル薄膜の作製, 日本材料学会 第 6 1 期学術講演会, 2012 年 05 月 26 日, 岡山大学
- (7) K. Tanaka, K. Fujita, Y. Maruyama, Y. Kususe, H. Murakami, H. Akamatsu, and S. Murai, Effect of substrate strain and interface on magnetic properties of EuTiO<sub>3</sub> thin film, Materials Research Society, Spring Meeting 2012, 招待講演, 2012 年 04 月 13 日, San Francisco, USA
- (8) H. Akamatsu, K. Fujita, S. Murai, and K. Tanaka, Magneto-Optical and Magnetic Properties of Oxide Glasses, 4th International Workshop on Photoluminescence in Rare Earths (PRE12), 2012 年 3 月 29 日, Kyoto, Japan
- (9) 楠瀬好郎, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, EuTiO<sub>3</sub> 薄膜へのキャリア導入及び磁気・輸送特性, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 2012 年 3 月 21 日, 京都大学
- (10) 赤松寛文, 熊谷悠, 大場史康, 藤田晃司, 田中勝久, 田中功, Eu<sup>2+</sup>ペロブスカイト酸化物の磁性と電子構造に関する第一原理計算, 日本セラミックス協会 2012 年会, 2012 年 3 月 21 日, 京都大学
- (11) 田中勝久, 藤田晃司, EuTiO<sub>3</sub> 薄膜の欠陥導入に基づく強磁性, 2012 年春季 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 招待講演, 2012 年 3 月 15 日, 早稲田大学
- (12) K. Tanaka, Ferromagnetism of amorphous EuO-TiO<sub>2</sub> thin films, ナノテクノロジーにおける日伊科学セミナー, 招待講演, 2011 年 11 月 22 日, Kyoto, Japan
- (13) 赤松寛文, 熊谷悠, 大場史康, 藤田晃司, 田中勝久, 田中功, 第一原理計算による Eu<sup>2+</sup>ペロブスカイト酸化物の磁気的相互作用, 2011 年日本金属学会秋期大会, 2011 年 11 月 7 日, 沖縄コンベンションセンター
- (14) 楠瀬好郎, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, EuTiO<sub>3</sub> 薄膜へのキャリア導入及び磁気・輸送特性, 2011 年日本金属学会秋期大会, 2011 年 11 月 7 日, 沖縄コンベンションセンター
- (15) K. Fujita, Ferromagnetism in Eu<sup>2+</sup>-Containing Crystalline and Amorphous Oxide Thin Films, The Seventh International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-7), 招待講演, 2011 年 11 月 7 日, Xiamen, China
- (16) 楠瀬好郎, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, EuTiO<sub>3</sub> 薄膜へのキャリア導入及び磁気・輸送特性, 第 55 回日本学術会議材料工学連合講演会, 2011 年 10 月 19 日, 京都教育文化センター
- (17) 河本崇博, 藤田晃司, 赤松寛文, 楠瀬好郎, 村井俊介, 田中勝久, EuO-TiO<sub>2</sub> 系非晶質薄膜の X 線磁気円二色性, 日本セラミックス協会 第 24 回秋季シンポジウム, 2011 年 9 月 7 日, 北海道大学
- (18) K. Tanaka, K. Fujita, Y. Zong, T. Kawamoto, H. Akamatsu, Y. Kususe, and S. Murai, Origin of Ferromagnetism in Amorphous EuO-TiO<sub>2</sub> Thin Films, ICCE-19, Oxide Nanocomposites and Heterostructures Symposium, 招待講演, 2011 年 7 月 28 日, Shanghai, China
- (19) K. Tanaka, Ferromagnetism of Amorphous Oxides Containing Divalent Europium, ICG 2011 Annual Meeting & 1st International Forum on Glass, 招待講演, 2011 年 4 月 1 日, Shenzhen, China
- (20) H. Murakami, K. Fujita, S. Murai, and K. Tanaka, Magnetic and electrical properties of EuTi<sub>1-x</sub>Nb<sub>x</sub>O<sub>3</sub> epitaxial thin films, 20th MRS-J Symposium Session E, 2010 年 12 月 20 日, Yokohama, Japan
- (21) 丸山裕也, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, 格子伸張 EuTiO<sub>3</sub> 薄膜の作製と磁気的及び誘電的性質, 粉体粉末冶金協会平成 23 年度秋季大会, 2010 年 11 月 9 日, 京都大学
- (22) 的場智彦, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, スピントロニクスデバイス応用を目指した FeTiO<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 固溶体薄膜の合成, 粉体粉末冶金協会平成 23 年度秋季大会, 2010 年 11 月 9 日, 京都大学
- (23) K. Tanaka, K. Fujita, S. Murai, H. Hojo, T. Matoba, Oxide thin films composed of abundant elements for spintronics applications, Asian Doctoral Innovation Conference 2010, 招待講演, 2010 年 10 月 16 日, Hangzhou, China
- (24) 的場智彦, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, スピントロニクスデバイス応用を目指したイルメナイト-ヘマタイト固溶体薄膜の合成, 2010 年秋季 第 71 回応用物理学学会学術講演会 (講演奨励賞受賞記念講演), 2010 年 9 月 14 日, 長崎大学

## 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