

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19360298

研究課題名 (和文) 酸化物磁性薄膜の創製とスピントロニクスへの応用

研究課題名 (英文) PREPARATION OF MAGNETIC OXIDE THIN FILMS AND
THEIR APPLICATION TO SPINTRONICS

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)：磁性体と半導体の性質を兼ね備えた物質は省電力・省エネルギーの新しいタイプのトランジスタへの応用が可能である。また、透明な磁性体は光信号の制御に有効であるが、紫外から青色の GaN 系半導体レーザーに対応するデバイスは未開拓である。本研究ではこのような新しい電子・光デバイスの基礎となる材料として、新規酸化物磁性薄膜を作製することに成功した。とりわけ地殻中に存在する鉱物と同じ組成の化合物で高機能の磁性薄膜を得ることができた。

研究成果の概要 (英文)：A material that is both a magnet and a semiconductor can be utilized as a new type of transistor, in which we can control the “up” and “down” spins as well as the electric charge of carriers. Such a transistor has an advantageous point when compared with a conventional transistor based on silicon, because the “spin-transistor” consumes less electric power. Also, although a “transparent” magnet is useful for the control of an optical signal, a material that can be a device working well in the ultraviolet to blue region, i.e., a wavelength range of emission from GaN-based laser diodes, has not been developed. In the present study, we have succeeded in fabricating novel magnetic oxide thin films with magnetic, electrical, and optical functions. In particular, we emphasize that we could prepare magnetic oxide thin films with potential functions for spintronics applications by using abundant minerals present in the earth's crust.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2007年度 | 9,700,000 | 2,910,000 | 12,610,000 |
| 2008年度 | 4,500,000 | 1,350,000 | 5,850,000 |
| 2009年度 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 15,800,000 | 4,740,000 | 20,540,000 |

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、スピントロニクス、酸化物磁性体、磁性半導体、薄膜、磁気光学

1. 研究開始当初の背景

近年、スピントロニクスの研究が国内外で

活発に行われている。従来のエレクトロニクスでは電子や正孔の電荷のみに着目して電

子デバイスが作られてきたが、スピントロニクスでは電荷の正負に加えて電子のスピンの上向き・下向きも情報として加味し、新しい概念に基づいて新規なトランジスタやメモリを生み出す。具体的には、スピントランジスタ、トンネル磁気抵抗素子、MRAMなどのデバイスの開発が進められている。このうち、トンネル磁気抵抗素子やMRAMについては金属や合金の磁性薄膜などを中心に研究開発が進んでおり、実用化への目処が整いつつある。一方で、スピントランジスタや強磁性ダイオードは未だ物質探索の域を出ていない。このデバイスの作製において重要になる物質は磁性半導体である。現在汎用的に利用されているGaAs系の半導体にMnイオンを添加した化合物などで磁性半導体としての特性評価が行われているが、キュリー温度が室温以下と低いことが短所となっている。室温で強磁性あるいはフェリ磁性となり、しかも半導体であって電気伝導率も高い物質が多く研究者によって探索されている。その候補として酸化物の研究も活発である。MnドープZnOにおける室温強磁性の理論的予測やCoドープTiO₂薄膜における強磁性の発現が酸化物磁性半導体研究の一つの引き金となって、様々な酸化物半導体と磁性元素との組合せが試みられている。ところが、このような酸化物の希薄磁性半導体では一般に磁性イオンの濃度が低いため磁化が小さく、また、多くの系において理論と実験の不一致や実験の再現性の欠如が見られるなど重大な問題がある。

一方、半導体への磁性イオンの添加とは異なる手法として、磁性体を半導体化するというアプローチも重要であり、研究代表者らはそのような視点から新しい酸化物磁性半導体を探索している。その一つがFeTiO₃-Fe₂O₃系の固溶体であり、これは室温フェリ磁性半導体となるばかりでなく、固溶体の組成に応じて荷電担体の種類を変化させることができ、p型、n型いずれの半導体も作製することができるので、一つの固溶体で磁性半導体のpn接合やスピントランジスタを実現できる。この系ではこれまで多結晶焼結体のみが作られ、磁性や電気伝導に関する実験がなされたが、デバイス化の実現には高品質の単結晶薄膜の作製が不可欠である。研究代表者らはすでにパルスレーザー堆積(PLD)法を用いてフェリ磁性真性半導体薄膜ならびにフェリ磁性n型半導体薄膜の作製に成功している。

また、研究代表者らはスパッタ法を用いて不規則ZnFe₂O₄薄膜を作製し、本来10K程度にネール温度を持つ反強磁性体であるZnFe₂O₄が室温においても強い磁化を示すこと、短波長領域で大きなファラデー効果を示すことなどを明らかにした。同様の機能は

CdFe₂O₄など他の酸化物でも期待され、新たな短波長磁気光学材料への展開が可能である。

2. 研究の目的

本研究ではスピントロニクスの世界では応用の観点からはほとんど未開拓である酸化物結晶をもとに、磁性体および半導体として高い機能を持つ薄膜を精密な条件下で精度よく作製するとともに、それを応用して、電荷、スピン、光が高次に相互作用して現れる新しい現象を利用したスピン工学素子(特に、スピントランジスタとスピンドायオード)へ展開することを目的としている。本研究では酸化物を使うところに“うまみ”があり、金属やシリコン半導体では成し得ない可視域で透明な磁性半導体の実現が可能となる。これにより電場や磁場による荷電担体の制御のみならず、光によるスピンや電荷の制御と、偏光を発するレーザーダイオードの実現が視野に入る。このような物質では短波長での磁気光学効果も期待されるため、紫外・青色レーザー用光アイソレータなどへの応用も考えられる。

3. 研究の方法

薄膜を合成した酸化物は、FeTiO₃-Fe₂O₃系固溶体、Fe₃O₄-Fe₂TiO₄系固溶体、不規則CdFe₂O₄系、EuTiO₃系の結晶である。また、磁気光学材料の関連で酸化鉄系やEuO系の非晶質酸化物も対象とした。バルクの結晶としてEuZrO₃の合成も試みた。

薄膜合成にはパルスレーザー堆積法(PLD法)とスパッタ法を用いた。基板の種類、基板温度、合成雰囲気、成膜速度などを調整することにより目的とする結晶相や非晶質相を得た。必要に応じて固相反応法や熔融冷却法によってバルクの酸化物結晶や非晶質酸化物も合成した。

合成した酸化物試料に対してX線回折、高分解能透過型電子顕微鏡観察、原子間力顕微鏡観察、内部転換電子メスbauer分光などによる構造解析を行った。また、スピン工学素子への応用を考える上で不可欠な基礎物性として磁氣的性質と電氣的性質を調べた。磁氣的性質の測定には超伝導量子干渉磁力計(SQUID)を用い、種々の温度での磁化曲線や磁化の温度依存性、交流磁化率の周波数依存性、非線形磁化率の温度依存性などから、室温強磁性(フェリ磁性)の可能性、磁気転移の挙動、磁氣的相互作用の大きさなどに関する情報を得た。また、半導体としての性質を調べるため、電気伝導率の温度依存性、ホール効果測定とゼーベック効果測定による半導体の種類(p型、n型の区別)の決定、荷電担体の密度と移動度の見積もりを行った。光の透過率の高い試料に対してはファラ

デー効果測定を行った。

4. 研究成果

(1) $\text{FeTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 系固溶体薄膜

PLD 法を用いて C 面サファイア基板の上に c 軸配向した $0.8\text{FeTiO}_3\text{-}0.2\text{Fe}_2\text{O}_3$ 組成の固溶体単結晶薄膜を蒸着することに成功した。この組成の固溶体はキュリー温度が約 270 K と室温よりやや低いもののフェリ磁性体であり、電気伝導率の温度依存性は半導体としての挙動を示している。また、ゼーベック係数の値から、作製した薄膜が p 型半導体であることが明らかとなった。

この組成の固溶体薄膜を A 面サファイア基板の上に成長させることにも成功した。図 1 は酸素分圧が 2.0×10^{-3} Pa、基板温度が 850 °C の条件で作製した薄膜の in-plane X 線回折パターンである。単相の固溶体秩序相薄膜のエピタキシャル成長が確認できる。 $\text{FeTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 固溶体秩序相では C 面内方向に電気伝導が起こるため、A 面サファイア基板の上に $\text{FeTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 固溶体秩序相を成長させることにより、基板の面外方向に電気伝導が起こる薄膜の作製が可能となる。このような薄膜はトンネル磁気接合素子などへ応用できる。

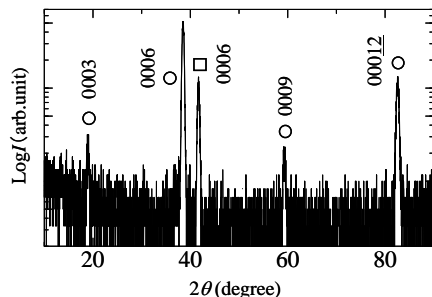


図 1. A 面サファイア基板に成膜した $0.8\text{FeTiO}_3\text{-}0.2\text{Fe}_2\text{O}_3$ 固溶体薄膜の X 線回折パターン

この系では、結晶構造において Ti^{4+} と Fe^{3+} からなる層と鉄イオンのみからなる層が規則正しく繰り返される秩序相とカチオン分布がランダムな無秩序相があり、前者はフェリ磁性であるが後者は反強磁性となる。この固溶体薄膜において、X 線回折パターンは無秩序相に対応しているにもかかわらず、磁化の温度依存性がフェリ磁性的となる場合があり、その原因が不明であったが、本研究において HAADF-STEM を用いた詳細な結晶構造の解析により、X 線回折からは無秩序相と思われていた薄膜が antiphase boundary を含む秩序相からなり、秩序相がフェリ磁性的な挙動に寄与していることが明らかとなった。

$\text{FeTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 系固溶体に関して特筆すべき点は、この系が鉱物として地殻中に豊富に存在することである。つまり、天然に存在する

ありふれた物質を原子レベルで精度よく薄膜化することで、省資源、省エネルギー、低環境負荷を実現するスピントロニクス素子の開拓が可能となる。この事実の社会的な波及効果はきわめて大きい。

(2) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$ 系固溶体薄膜

Fe_3O_4 は高いキュリー温度 (~ 860 K) と金属に匹敵する電気伝導率 ($\sim 10^4 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$) を有しており、電子構造はハーフメタルであることから、スピントロニクス材料として有望である。ここではキャリア制御の可能な磁性半導体となる $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$ 系固溶体を対象に、サファイア(0001)および $\text{MgO}(100)$ 基板を用いて成膜を試み、 $0.4\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-}0.6\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ 組成の薄膜のエピタキシャル成長に成功した。特に薄膜との格子不整合の小さい $\text{MgO}(100)$ 基板を用いた場合には原子レベルで平滑な薄膜が得られ、薄膜は基板の上に cube-on-cube で成長した。また、薄膜は 400 K 以上のキュリー温度を有する n 型フェリ磁性半導体であった。固溶体エピタキシャル薄膜の電子構造および磁気構造を明らかにするために、X 線吸収分光と X 線磁気円二色性 (XMCD) 測定を行い、実験結果を理論計算と比較した。本来、 d^0 電子配置である Ti^{4+} イオンは磁気モーメントを有しないため XMCD シグナルは生じないはずであるが、固溶体中の Ti イオンでは明確な XMCD シグナルが観測された。この現象は、 Ti^{4+} イオンの励起後の終状態と鉄イオンによる内部磁場との相互作用に基づくものと考えられる。

ここでの $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$ 系固溶体も鉱物として天然に多く存在することを強調しておきたい。

(3) EuTiO_3 系および EuZrO_3 系

EuTiO_3 では磁性と誘電性がカップリングし、外部磁場により誘電率が変化することが報告されており、第一原理計算からは、このマルチフェロイックな性質に基づき、結晶格子の歪みが磁性と誘電性に影響を及ぼすことが予測されている。また、 Eu^{2+} の一部を Gd^{3+} や La^{3+} で置換すると、電荷補償のために注入される電子が Ti^{4+} の 3d 軌道を占め、伝導電子として振舞うため、生じる化合物は金属伝導を示す。同時に、注入された電子のスピンの局在している Eu^{2+} の磁気モーメントと相互作用しながら結晶構造中を移動するため

(RKKY 相互作用あるいは磁気ポーラロン)、得られる化合物は強磁性となる。本研究ではこのように興味深い磁氣的・電氣的性質を示す EuTiO_3 を対象に、PLD 法を用いて $\text{SrTiO}_3(100)$ 基板の上にエピタキシャル薄膜を合成し、特に EuTiO_3 の格子定数と磁性との関係について考察した。

X 線回折測定の結果から、as-depo 膜ならば

にそれを還元雰囲気中 1000°Cで熱処理した薄膜はともにペロブスカイト型構造の単相からなり、(100)方向に配向していることが確認された。また、原子間力顕微鏡観察 (AFM) による表面観察から、as-depo 膜および熱処理膜は原子レベルで平坦な表面を有していることが明らかとなった。図 2 に熱処理後の薄膜の AFM 像を示す。明確なステップ・テラス構造が見られ、一つのステップの高さは約 0.4 nm で、EuTiO₃ の単位格子の大きさに対応していることがわかる。すなわち、原子レベルで平滑なきわめて高品質の EuTiO₃ 単結晶薄膜の合成に成功した。

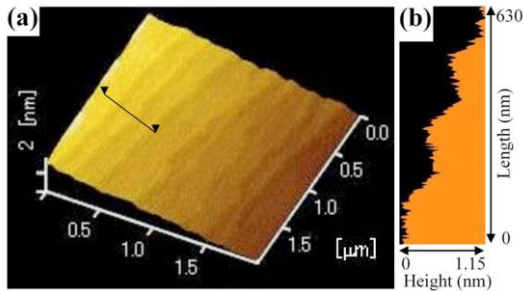


図 2. EuTiO₃ 単結晶薄膜の AFM 像

磁化の温度依存性を測定したところ、as-depo 膜では磁化は温度の低下とともに単調に増加し、低温域で急激な磁化の増大が見られるが、熱処理後の薄膜では 5 K で反強磁性転移が観察された。報告されている第一原理計算の結果に基づき、as-depo 膜では面外への格子の伸びが Eu²⁺ の磁気モーメントの強磁性的配列を安定化するものと推察した。

EuTiO₃ と同じペロブスカイト型構造を持つ結晶に EuZrO₃ があるが、この結晶の磁性に関しては研究者間で見解が一致していない。そこでバルクの EuZrO₃ 結晶を固相反応法で作製し、Rietveld 法による精密な構造解析を行うとともに磁化率の温度依存性を測定した。結果として、EuZrO₃ 結晶は 4.1 K にネール温度を持つ反強磁性体であることがわかった。

(4) 非晶質酸化物強磁性体の発見

PLD 法で作製した EuO-TiO₂ 系非晶質薄膜が強磁性転移を示すことを見いだした。図 3 は EuTiO₃ 組成の非晶質薄膜の磁化率の温度依存性ならびに磁化の磁場依存性である。この薄膜が 5.5 K にキュリー温度を持つ強磁性体であることが明らかである。このように非晶質酸化物で強磁性となる例は非常に珍しい。強調すべき点は EuTiO₃ 結晶が反強磁性体であるにもかかわらず、非晶質 EuTiO₃ は強磁性となることである。さらに興味深いことに、この非晶質酸化物の磁気転移温度は同じ組成の結晶より高くなることが明らかとなった。

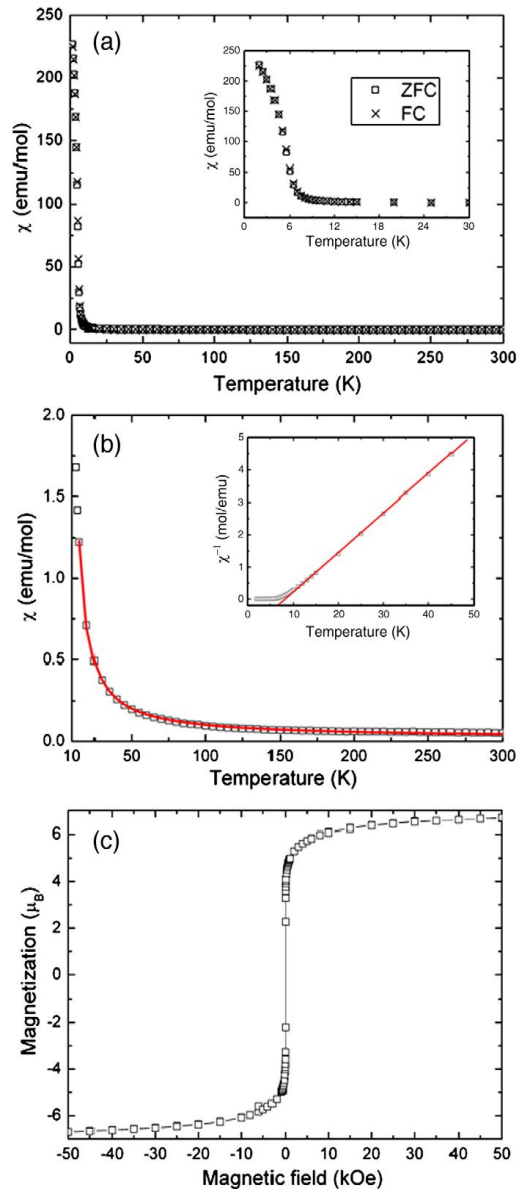


図 3. 非晶質 EuTiO₃ 薄膜の (a) 磁化率の温度依存性, (b) 磁化率の逆数の温度依存性 (内挿図), (c) 2 K での磁化の磁場依存性

(5) CdFe₂O₄ 薄膜および Fe²⁺ 含有リン酸塩ガラスの短波長ファラデー効果

スパッタ法を用いて不規則 CdFe₂O₄ 薄膜を作製することに成功した。不規則 ZnFe₂O₄ 薄膜と同様、不規則 CdFe₂O₄ 薄膜も安定相の CdFe₂O₄ とは異なりフェリ磁性体となり、紫外から青色の短波長領域において大きなファラデー効果を示した。

また、一連の酸化鉄系ガラスの磁性の研究を進める中で、Fe²⁺ を高濃度で含むリン酸塩ガラスがほぼ無色透明の磁性体となることを見いだした。これは、Fe³⁺ を高濃度で含む酸化物ガラスの多くが黒色に濃く着色することと顕著な対比をなす。FeO-P₂O₅ 系ガラスはスピングラス転移を示し、ワイス温度は負

になるものの絶対値が小さく、 Fe^{2+} イオン間には強磁性的な相互作用も働いていることが示唆される。このガラスは可視域でファラデー効果を示し、回転角は短波長になるほど大きくなった (図4)。

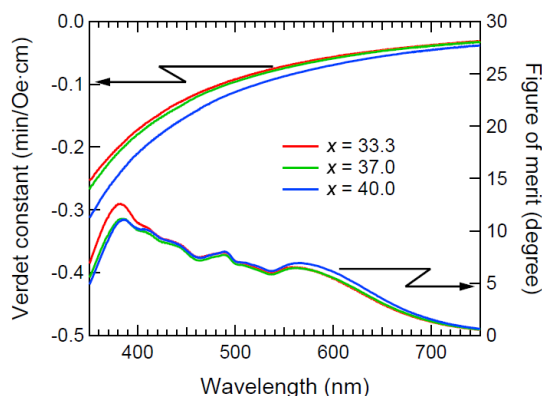


図4. $\text{FeO-P}_2\text{O}_5$ 系ガラスのファラデー回転角と磁気光学的性能指数の波長依存性

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計19件)

- 1) Y. Zong, K. Kugimiya, K. Fujita, H. Akamatsu, K. Hirao and K. Tanaka, Preparation and Magnetic Properties of Amorphous EuTiO_3 Thin Films, *J. Non-Cryst. Solids* (2010) 印刷中. 査読有
- 2) H. Murase, K. Fujita, S. Murai and K. Tanaka, Epitaxial Growth of Ferrimagnetic Semiconductor $0.4\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-}0.6\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ Solid Solution Thin Films on $\text{MgO}(100)$ Substrates, *J. Phys.: Conference Series* **200** (2010) 062013-1-4. 査読有
- 3) T. Matoba, K. Fujita, S. Murai and K. Tanaka, Low-Temperature Growth of Highly Crystallized $\text{FeTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Solid Solution Thin Films with Smooth Surface Morphology, *J. Phys.: Conference Series* **200** (2010) 062011-1-4. 査読有
- 4) H. Akamatsu, K. Fujita, S. Murai and K. Tanaka, Ferromagnetic Eu^{2+} -Based Oxide Glasses with Reentrant Spin Glass Behavior, *Phys. Rev. B* **81** (2010) 014423-1-9. 査読有
- 5) Y. Zong, K. Fujita, H. Akamatsu, S. Murai and K. Tanaka, Antiferromagnetism of Perovskite EuZrO_3 , *J. Solid State Chem.* **183** (2010) 168-172. 査読有
- 6) H. Akamatsu, S. Oku, K. Fujita, S. Murai and K. Tanaka, Magnetic Properties of Mixed Valence Iron Phosphate Glasses, *Phys. Rev. B* **80** (2009) 134408-1-9. 査読有
- 7) 田中勝久, ガラスの磁性, *NEW GLASS* **24**, No.3 (2009) 47-54. 査読無
- 8) 田中勝久, 藤田晃司, 強磁性を示す準安定酸化物薄膜の合成と構造, *マテリアルインテグレーション* **22** (2009) 43-51. 査読無
- 9) H. Hojo, K. Fujita, T. Mizoguchi, K. Hirao, I. Tanaka, K. Tanaka and Y. Ikuhara, Magnetic Properties of Ilmenite-Hematite Solid-Solution Thin Films: Direct Observation of Antiphase Boundaries and Their Correlation with Magnetism, *Phys. Rev. B* **80** (2009) 075414-1-5. 査読有
- 10) H. Murase, K. Fujita, S. Murai and K. Tanaka, Epitaxial Growth of Room-Temperature Ferrimagnetic Semiconductor Thin Films Based on $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$ Solid Solution, *Mater. Trans.* **50** (2009) 1076-1080. 査読有
- 11) K. Tanaka, K. Fujita, S. Nakashima, H. Hojo and T. Matoba, Magnetic Properties of Disordered Ferrite and Ilmenite-Hematite Thin Films, *J. Magn. Magn. Mater.* **321** (2009) 818-821. 査読有
- 12) K. Fujita, N. Wakasugi, S. Murai, Y. Zong and K. Tanaka, High-Quality Antiferromagnetic EuTiO_3 Epitaxial Thin Films on SrTiO_3 Prepared by Pulsed Laser Deposition and Post-Annealing, *Appl. Phys. Lett.* **94** (2009) 062512-1-3. 査読有
- 13) S. Nakashima, K. Fujita, A. Nakao, K. Tanaka, Y. Shimotsuma, K. Miura and K. Hirao, Enhanced Magnetization and Ferrimagnetic Behavior of Normal Spinel ZnFe_2O_4 Thin Film Irradiated with Femtosecond Laser, *Appl. Phys. A* **94** (2009) 83-88. 査読有
- 14) H. Akamatsu, Y. Zong, Y. Fujiki, K. Kamiya, K. Fujita, S. Murai and K. Tanaka, Structural and Magnetic Properties of CdFe_2O_4 Thin Films Fabricated via Sputtering Method, *IEEE Trans. Magn.* **44** (2008) 2796-2799. 査読有
- 15) H. Akamatsu, K. Tanaka, K. Fujita and S. Murai, Magnetic Phase Transitions in $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ Glasses, *J. Phys.: Condens. Matter* **20** (2008) 235216-1-9. 査読有
- 16) H. Akamatsu, K. Fujita, S. Murai and K. Tanaka, Magneto-Optical Properties of Transparent Divalent Iron Phosphate Glasses, *Appl. Phys. Lett.* **92** (2008) 251908-1-3. 査読有
- 17) H. Akamatsu, S. Murai, K. Fujita and K. Tanaka, Magnetic Properties of Amorphous $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-R}_2\text{O}_3$ ($R = \text{La, Gd and Tb}$) Thin Films Fabricated by Sputtering Method, *Ad. Mater. Res.* **39-40** (2008) 207-212. 査読有
- 18) K. Tanaka, H. Akamatsu, S. Nakashima and K. Fujita, Magnetic Properties of Disordered Oxides with Iron and Manganese Ions, *J. Non-Cryst. Solids* **354** (2008) 1346-1351. 査読有
- 19) 田中勝久, 藤田晃司, 酸化物磁性体薄膜の新しい機能, *化学工業* **58** (2007) 665-672. 査読無

[学会発表] (計37件)

- 1) Yanhua Zong, 赤松寛文, 藤田晃司, 村井

俊介, 田中勝久, 非晶質 EuZrO_3 薄膜の強磁性的挙動, 日本金属学会 2010 年春季大会, 2010 年 3 月 29 日, 筑波大学 (茨城)

2) 的場智彦, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, A 面サファイア基板上への $\text{FeTiO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 固溶体エピタキシャル薄膜の合成, 2010 年春季第 57 回応用物理学関係連合講演会, 2010 年 3 月 20 日, 東海大学 (神奈川)

3) 田中勝久, 非晶質ならびに準安定酸化物の磁気的性質, 第 19 回 3 次元ナノ・マイクロ構造研究集会, 2009 年 10 月 6 日, 大阪大学 (大阪)

4) T. Matoba, K. Fujita, S. Murai and K. Tanaka, High-Quality Ilmenite-Hematite Solid Solution Thin Films for Spintronics Device Application, The International Conference on Magnetism 2009, 2009 年 7 月 30 日, Karlsruhe, Germany

5) H. Murase, K. Fujita, S. Murai and K. Tanaka, Magnetic and Electrical Transport Properties of Ferrimagnetic Semiconductor Thin Films Based on $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$ Solid Solution, The International Conference on Magnetism 2009, 2009 年 7 月 30 日, Karlsruhe, Germany

6) 田中勝久, 酸化物磁性体の新たな応用をめざして, 第 4 回日本セラミックス協会関西支部学術講演会, 2009 年 7 月 23 日, 関西大学

7) 若杉直樹, 赤松寛文, 竹本直紘, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, チタン酸ユウロピウム薄膜の強磁性的挙動, 日本金属学会 2009 年春季講演大会, 2009 年 3 月 29 日, 東京工業大学 (東京)

8) 赤松寛文, 藤田晃司, 竹本直紘, 村井俊介, 田中勝久, Eu^{2+} 系アモルファス酸化物における強磁性的相互作用, 日本物理学会 2009 年年次大会, 2009 年 3 月 29 日, 立教大学 (東京)

9) 村瀬英昭, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$ 固溶体エピタキシャル薄膜の磁気および輸送特性, 日本セラミックス協会 2009 年年会, 2009 年 3 月 18 日, 東京理科大学 (千葉)

10) H. Murase, K. Fujita, S. Murai, K. Tanaka, Epitaxial Growth of Room-Temperature Ferrimagnetic Semiconductor Thin Films Based on $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4$, The Sixth International Conference on Inorganic Materials, 2008 年 9 月 29 日, Dresden, Germany

11) 若杉直樹, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, エピタキシャル EuTiO_3 薄膜の作製と磁気的性質, 日本セラミックス協会第 21 回秋季シンポジウム, 2008 年 9 月 17 日, 北九州国際会議場 (福岡)

12) 田中勝久, 新しい酸化物磁性薄膜の合成と物性, 第 59 回磁性研究室ゼミナール, 2008 年 7 月 22 日, 豊橋技術科学大学 (愛知)

13) H. Akamatsu, S. Murai, K. Fujita, K. Tanaka, Magnetic Properties of Amorphous $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-R}_2\text{O}_3$

(R = La, Gd, and Tb) Thin Films Fabricated by Sputtering Method, The 9th ESG Conference with the Annual Meeting of the ICG, 2008 年 6 月 25 日, Trenčín, Slovakia

14) K. Tanaka, Magnetic Properties of Disordered Ferrite and Ilmenite-Hematite Thin Films, Moscow International Symposium on Magnetism, 2008 年 6 月 21 日, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

15) 田中勝久, 新しい酸化物磁性薄膜の合成と機能, 東北大学応用物理学セミナー, 2008 年 6 月 12 日, 東北大学 (宮城)

16) H. Akamatsu, Y. Zong, Y. Fujiki, K. Kamiya, K. Fujita, S. Murai, and K. Tanaka, Preparation and magnetic properties of disordered CdFe_2O_4 thin films, IEEE International Magnetism Conference, 2008 年 5 月 6 日, Palacio Municipal de Congresos, Madrid, Spain

17) 赤松寛文, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, 鉄リン酸塩系透明磁性ガラスの合成とフレアデー効果, 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 2008 年 3 月 29 日, 日本大学 (千葉)

18) 村瀬英昭, 藤田晃司, 村井俊介, 田中勝久, $\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ エピタキシャル薄膜の作製と物性, 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 2008 年 3 月 28 日, 日本大学 (千葉)

19) 赤松寛文, 藤木ヨセフ, Y. Zong, 村井俊介, 藤田晃司, 田中勝久, CdFe_2O_4 スパッタ薄膜の磁気的性質, 日本物理学会第 63 回年次大会, 2008 年 3 月 24 日, 近畿大学 (大阪)

20) 赤松寛文, 奥聡志, 田中勝久, 藤田晃司, 村井俊介, 酸化鉄系ガラスの磁気的性質, 日本物理学会第 62 回秋季大会, 2007 年 9 月 22 日, 北海道大学 (北海道)

〔図書〕 (計 1 件)

1) 田中勝久他, 先端ガラスの産業応用と新しい加工 (新材料・新素材シリーズ), シーエムシー (2009), 334 ページ.

〔産業財産権〕
該当なし

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