

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01320

研究課題名(和文) 複合機能を持つ新たな酸化物磁性体の物質探索とデバイス設計

研究課題名(英文) Search for novel magnetic oxides with multifunctionalities and their device applications

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) 33,100,000円

研究成果の概要(和文)：コンデンサーのように電場を加えると電荷を溜めることができる性質と磁石のように磁場に強く反応する性質を兼ね備えた物質(これをマルチフェロイクスという)、また、磁石の性質を持ちながら光に対して透明な物質(これを磁気光学材料という)を対象に、新たな物質を合成し、その性質(電場、磁場、光に対する応答性)を調べ、その機構を解明することを目的とした。上記のような性質を持つ物質をいくつか見いだすとともに、機能を導く機構を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マルチフェロイクスならびに可視光に対して優れた特性を示す磁気光学材料はそれほど多くは知られていない。そのため、新しい物質を見いだして、性質が現れる機構を明らかにすることは固体化学や材料科学といった学問分野に寄与するものである。また、マルチフェロイクスは電場と磁場に応答できることから高密度記録材料として、また、磁気光学材料は3次元記録システムであるホログラフィーなどへの応用が考えられ、新物質の発見は実用的な面からも価値がある。

研究成果の概要(英文)：Materials, which can not only respond to external electric fields to accumulate positive and negative charges separately like a capacitor but also simultaneously respond to external magnetic fields like a permanent magnet, are called multiferroics. Also, magnets which can interact strongly and uniquely with light are called magneto-optical materials. The former materials can be practically utilized as a high-density information storage device. The latter is a promising device for holography, three-dimensional memory system using light, as well as for an optical isolator, which can transmit a light signal only in one direction. In the present study, novel materials which show the above-mentioned properties and functionalities have been found. Also, the mechanism to lead to those properties has been revealed.

研究分野：無機固体化学

キーワード：酸化物 磁性体 誘電体 マルチフェロイクス 磁気光学 プラズモニクス 薄膜 単結晶

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

酸化物磁性体は古くから永久磁石、磁気記録材料、高周波用の磁心などとして実用化されてきた物質群であるが、今なお、酸化物固体のスピンが奏でる新しい現象や特性が見いだされ、強相関電子系の物理と化学、新たな電子デバイスの開拓といった基礎・応用両面から大いに興味を持たれて、研究は国内外で活況を呈している。特に、磁性と誘電性、電気伝導、電場などが共存し、かつ相関した系は、基礎的な固体物性学の観点から重要であるばかりでなく、これまでにない原理で動作するデバイスの開発にも繋がるものである。応用面では、特徴的な磁性、電気伝導、誘電性、光物性が共存し、それらが相関した物質の開拓、これら異なる特性を持つ物質の複合化による相乗効果の実現が、一つの重要な視点となる。なかでも、強磁性と強誘電性が共存して相関するマルチフェロイクスは、2003年に初めて物性が認識された比較的新しい概念の物質群であり、これまで活発な研究がなされてきた分野であるが、実用に耐えうる優れた特性が十分に得られているとは言い難い。また、磁性と光物性が関わる性質として磁性体が光を変調する磁気光学効果が古くから知られており、赤外域を使う光通信に対応した光アイソレーターとして $Y_3Fe_5O_{12}$ や $(Gd, Bi)_3Fe_5O_{12}$ などガーネット型フェライトが優れた物質・材料として実用化されているものの、最近の進展が著しい青色から深紫外の半導体レーザーなど短波長光源に対応できる磁気光学デバイスは、未だ優れた材料が見いだされていない。これは「真に無色透明な磁石」を作る作業であるが、その実現はそれほど容易ではない。

マルチフェロイクスに関連して、研究代表者らは近年、新しい機構(層状ペロブスカイトの八面体回転による反転対称性の破れ、ならびに電子誘電体の電子の局在化がトリガーとなる強誘電性)の実現や、特徴的な合成手法(高圧合成や気相合成)の駆使により、新たな圧電体、強誘電体、マルチフェロイクスを見いだしている。たとえば、新たなマルチフェロイクスである $LiNbO_3$ 型 $ScFeO_3$ の合成に成功している¹⁾。また、磁気光学の分野では、 $EuTiO_3$ と Eu_2TiO_4 のアモルファス薄膜が、アモルファス酸化物としてはきわめて稀有な強磁性体となり、 $EuSe$ のような磁性半導体結晶に匹敵するファラデー効果を示すことを明らかにした²⁾。一方、光物性に関わる最近の研究代表者らの成果として、金属や窒化物のナノ構造体が規則的に配列した場における局在型表面プラズモンがもたらす特徴的な増強電場の分布(増強された電場がナノ構造体近傍のみならず、周期構造全体に広がると光との結合により、発光やラマン効果の増強を実現している³⁾。局在型表面プラズモンは磁気光学効果にも影響すると考えられ、実際にプラズモンによる磁気光学効果の増大を目指した研究はいくつか報告されているが、金属ナノ粒子の粒径に分布があり、ナノ粒子の空間的配列も無秩序である場合が多く、プラズモンの効果は限定的であり、その機構も曖昧で、十分には解明されていない。

2. 研究の目的

複合的な機能を持ちうる酸化物磁性体に対する多くの研究者の興味と他のグループが行ってきた研究の現状、ならびに研究代表者らのこれまでの研究成果を踏まえ、特に応用を見据えた上記の二つの視点から、本研究では、優れたマルチフェロイック特性を持つ新しい物質の開拓、磁性体とプラズモニック構造の組合せによる新たな磁気光学材料の作製を目的とする。また、これまでの研究でマルチフェロイクスであると考えられていながら、物性やそれが現れる機構が解明されていない化合物が少なからず存在する。そこで、いくつかの既知の物質について、特にマルチフェロイクスと関係する物性を明らかにし、その機構を解明することも目的の一つとする。

3. 研究の方法

3-1. 試料の作製

固体酸化物の合成については、多結晶は固相反応法を、また、単結晶育成にはフローティングゾーンメルトリング(FZ)法を用いた。後者では前もって多結晶を固相反応法によって合成し、それを種子結晶として結晶成長を行った。さらに、一部の試料についてはエピタキシャル薄膜の合成を試みた。合成にはパルスレーザー堆積(PLD)法を用いた。基板には単結晶を使用し、予め作製した多結晶をターゲットとした。

一方、磁気光学効果の増幅を目的として、局在型表面プラズモンを効果的に利用するために、大きさと形状の揃った金属ナノ粒子が2次元に規則的に配列したナノ周期アレイを作製した。作製にはナノインプリントとエッチングを利用した。シリカガラスあるいは石英を基板として電子線蒸着などの気相法で金属薄膜を生成し、その表面にレジストを塗布した。その後、ナノ構造を持つ鋳型をレジストに押し付けて構造を転写し、エッチングによりレジストならびに金属薄膜の一部をナノ構造パターンに応じて除去した。作製過程を

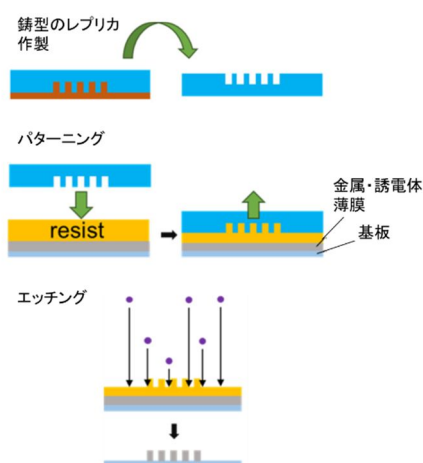


図1. 金属ナノ周期アレイの作製過程の模式図

模式的に図 1 に示す。

3 - 2 . 構造解析と物性測定

合成した酸化物の構造解析には X 線回折を用いた。必要に応じて放射光 X 線回折測定、電子回折、高分解能電子顕微鏡観察を行った。また、金属ナノ周期アレイの構造は走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察によって調べた。

物性測定は、超伝導量子干渉磁力計 (SQUID) による磁化ならびに磁化率の測定、圧電性を評価するための光第二高調波発生測定、金属ナノ周期アレイのプラズモニクス特性を明らかにするための光吸収測定、磁気光学特性を評価するためのファラデー効果測定を実施した。

4 . 研究成果

4 - 1 . 新規強誘電体の合成

固相反応により、層状ペロブスカイト型構造を持つ新規酸化物強誘電体の作製に成功した。組成は $\text{Sr}_3\text{Zr}_2\text{O}_7$ および $(\text{Ca},\text{Sr})_3\text{Sn}_2\text{O}_7$ であり、いずれもルドルスデン - ポッパー相の一種である。図 2 は $\text{Sr}_3\text{Zr}_2\text{O}_7$ の結晶構造解析から得られた空間群の温度依存性である。昇温過程と降温過程が示されている。空間群は低温相が $A2_1am$ であり、高温相が $Pnab$ であって、それぞれ、強誘電体相、常誘電体相である。また、両者には $640 \sim 720^\circ\text{C}$ の広い温度領域で相転移が見られる。相転移温度付近において昇温過程と降温過程でヒステリシスが見られることから、これは 1 次相転移であると判断できる。

図 2 は光第二高調波強度 (の平方根) と秩序パラメーターの相転移温度付近での温度依存性である。秩序パラメーター η は

$$\eta = Q_{X_2^+} Q_{X_3^-}$$

と表現される。ここで、 X_2^+ と X_3^- はいずれもフォノン分散の X 点での振動モードであって、 $Q_{X_2^+}$ と $Q_{X_3^-}$ はそれぞれのモードの振幅を表す。また、 X_2^+ と X_3^- は ZrO_6 八面体の回転に相当し、前者は層状ペロブスカイト型構造の c 軸を回転軸とする回転 (oxygen octahedral rotation, OOR)、後者は ab 面内の (回転がない状態での) Zr を結ぶ直線を回転軸とする回転に当たる。図 3 に示されているように、光第二高調波の強度は温度とともに単調に減少し、特に 700 K 付近で急激に低下してゼロに近づく。一方、秩序パラメーターも同じような挙動を示し、温度とともに単調に減少する。これらの事実から、約 700 K 以下で $\text{Sr}_3\text{Zr}_2\text{O}_7$ は反転対称性を持たない (すなわち、圧電体である) こと、 ZrO_6 八面体の 2 種類の回転モードのカップリングにより反転対称性が破れていることが分かる。すなわち、 $\text{Sr}_3\text{Zr}_2\text{O}_7$ は約 700 K にキュリー温度を持つハイブリッド間接型強誘電体である。

$(\text{Ca},\text{Sr})_3\text{Sn}_2\text{O}_7$ 固溶体に対する同様の構造解析と物性測定から、この化合物群は空間群が $A2_1am$ となる強誘電体相を持ち、 $\text{Sr}_3\text{Sn}_2\text{O}_7$ 、 $(\text{Ca}_{0.1}\text{Sr}_{0.9})_3\text{Sn}_2\text{O}_7$ 、 $(\text{Ca}_{0.2}\text{Sr}_{0.8})_3\text{Sn}_2\text{O}_7$ のキュリー温度はそれぞれ 410 K 、 590 K 、 800 K となることを明らかにした。また、強誘電体を導く機構も $\text{Sr}_3\text{Zr}_2\text{O}_7$ と同様で、 SnO_6 八面体の回転に対応する X_2^+ モードと X_3^- モードのカップリングに基づくハイブリッド間接型であることが判明した。さらに、本研究で新規に合成した $\text{Sr}_3\text{Zr}_2\text{O}_7$ および $(\text{Ca},\text{Sr})_3\text{Sn}_2\text{O}_7$ 固溶体を含め、 $\text{Ca}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ など $n=2$ のルドルスデン - ポッパー相のキュリー温度を許容因子 (トレランスファクター) で整理したところ、化合物の種類に依らずキュリー温度は許容因子にともない単調かつ直線的に減少するという普遍的な相関関係が見いだされた。定性的には、許容因子が小さいほど酸素八面体の回転の程度が大きくなり、強誘電体相が安定化する温度が高くなると解釈できる。

4 - 2 . 電子誘電体の合成と磁性

一連の希土類フェライトはマルチフェロイクスとなるものが多い。特に $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ 組成 (R は希土類元素あるいはインジウム) の酸化物は電荷とスピンの強く相関した系の一つとして知られている。この結晶は高温 (約 400 K 以上) では空間群が $R\bar{3}m$ となることが報告されている。結晶構造を模式的に図 4 に示す。構造は希土類 (あるいはインジウム) と酸素から成る層と鉄と酸素から成る層の 2 種類の層から構成されており、一層の希土類 (インジウム) 層と二層の鉄層が c 軸

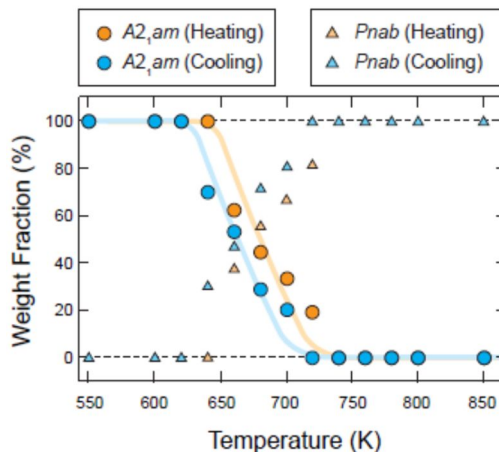


図 2 . $\text{Sr}_3\text{Zr}_2\text{O}_7$ の結晶構造 (空間群) の温度依存性

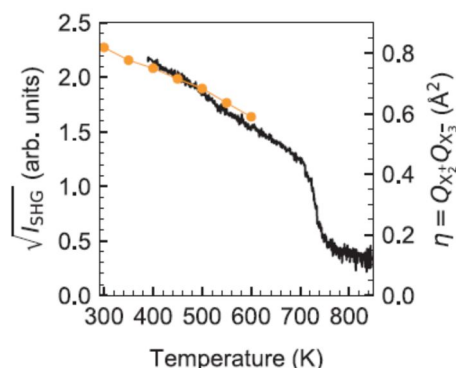


図 3 . $\text{Sr}_3\text{Zr}_2\text{O}_7$ の光第二高調波強度と秩序パラメーターの温度依存性

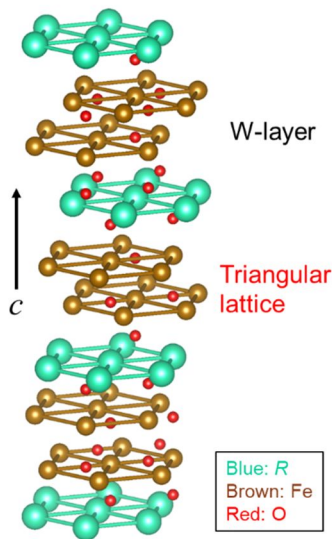


図4 . $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ の結晶構造

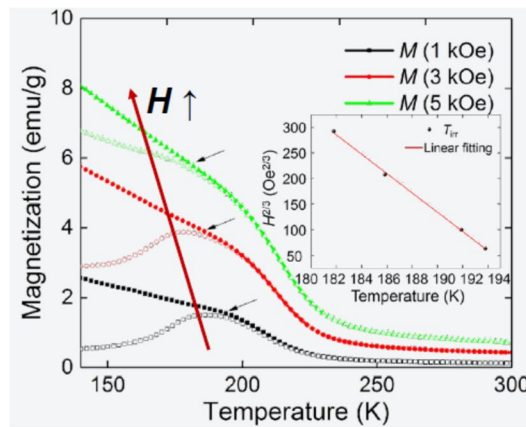


図5 . さまざまな直流磁場下での $\text{TmFe}_2\text{O}_{3.93}$ の磁化の温度依存性. 磁場冷却と零磁場冷却過程での変化. 挿入図は, 印加磁場と T_{irr} の関係. 直線は de Almeida-Thouless 線

に沿って交互に規則的に積み重ねられた構造である。希土類イオンが占有するサイトは酸素 6 配位であるため、カチオンが入る空間としては小さい。そのため希土類の中でもイオン半径の小さい元素を含む化合物の方が安定である。実際、これまでの研究ではもっぱら LuFe_2O_4 の構造や物性が調べられている。本研究ではこれまでの研究では未だ十分には調べられていない TmFe_2O_4 の構造や物性を対象に研究を進めた。

$R\text{Fe}_2\text{O}_4$ は R が 3 価のカチオンであるため Fe の平均価数は +2.5 となる。マグネタイトなどと同様、高温では平均化された価数を取るとみなすことが合理的であるが、低温では電子は局在して Fe^{2+} と Fe^{3+} が共存する。図4から分かるように鉄の層は Fe が三角格子を組む。この格子に等しい数の Fe^{2+} と Fe^{3+} を配置する方法は一意には決まらず、電荷の分布は幾通りもの状態があり、互いに似たようなエネルギーを取り得る。すなわち、低温では電荷のフラストレーションが起こる。同時に、鉄イオン間の磁気的相互作用は反強磁性的であり、かつ、磁気モーメントが三角格子を組むため、典型的なスピンのフラストレーションも生じる。加えて、この化合物は合成条件(温度と雰囲気)に依存して酸素欠陥を生じやすい。これは鉄イオンの価数に影響を及ぼすため、電荷の分布や磁気モーメントの配列にも影響する。その結果、誘電性や磁性は多様で複雑な挙動を示す。本研究では上記の理由から TmFe_2O_4 を選択し、FZ法で単結晶を育成して、磁性を調べた。

作製した単結晶試料の熱分析から酸素欠陥量を見積もったところ、組成は化学量論から少しずれており、おおそ $\text{TmFe}_2\text{O}_{3.93}$ であることが分かった。図5はこの試料についてさまざまな直流磁場下で測定した磁化の温度依存性である。磁場冷却過程と零磁場冷却過程の磁化を測定したところ、高温では両者は一致したが、低温では差が見られ、磁場冷却では磁化は温度の低下とともに単調に増加したが、零磁場冷却では磁場の大きさによっては低温で温度の低下とともに磁化が減少する傾向が見られた。このような冷却過程の違いによって磁化に差が生じ始める温度を T_{irr} とおき、印加磁場 H との関係性を調べたところ、図5の挿入図に示すように T_{irr} は $H^{2/3}$ に比例することが分かった。すなわち、磁場と温度の関係は de Almeida-Thouless 線に従う。また、零磁場冷却下での交流磁化率の温度依存性を測定したところ、磁化率は一定の温度で極大値を取り、この温度は交流周波数が高くなるほど高温側にシフトすることが明らかとなった。両者の関係は動的スケール則で解析することができ、磁気モーメントの緩和時間は $10^{-13.66(5)}$ s と妥当な値となった。さらに、零磁場磁化率が極大となる温度以下でエージングを行ったところ、メモリー効果と若返り効果が観察された。これらのことから、 $\text{TmFe}_2\text{O}_{3.93}$ は 200 K 付近でスピングラス転移を起こすと結論した。

一方、 TmFe_2O_4 を対象に PLD 法を用いてエピタキシャル薄膜を作製した。基板にはイットリア安定化ジルコニア (YSZ) を用いた。高角散乱環状暗視野走査透過顕微鏡法 (HAADF-STEM) と電子エネルギー損失分光法 (EELS) を用いて薄膜と基板の界面を詳細に調べたところ、YSZ 基板の表面には Tm が過剰な領域が存在し、その上に六方晶 TmFeO_3 に相当する組成の薄膜 (図4の結晶構造において、鉄の層が一層になったもの) が数原子層分だけ生成し、その上に TmFe_2O_4 組成の薄膜が成長することが明らかになった。このように 2 種類の磁性薄膜が界面を形成して接していることに起因して、この薄膜は磁化の磁場依存性において交換バイアス効果を示した。

4 - 3 . プラズモニクスを利用した磁気光学効果の増幅

金属としてアルミニウムを用い、400 nm の周期でナノシリンダーが三角形に並んだアレイを作製した (図6の挿入図)。その上に鉄を蒸着して薄膜とした。膜厚は 7.5 nm である。この複合体を空气中ならびにマッチングオイル (屈折率は基板に用いたシリカガラスと同じ 1.46) 中に設置し、光透過スペクトルとファラデー回転角の波長依存性を測定した。結果を図6に示す。比

較のためにシリカガラス基板上に蒸着した Fe 薄膜 (厚さは 7.5 nm で Al アレイ上の薄膜と同じ) の光透過スペクトルとファラデー回転角の波長依存性も示した。シリカガラス基板上的 Fe 薄膜では、透過率とファラデー回転角はいずれも波長に対して大きな変化を示さないが、Al ナノ周期アレイ上の Fe 薄膜では透過率ならびにファラデー回転角のいずれにおいても極大や極小を示す波長が存在する。たとえば、マッチングオイルを用いた場合 (図中の青色の曲線) に 575 nm に見られる透過率のディップは、光の面内回折と局在型表面プラズモンとのカップリングによる協同プラズモニックモードであり、この波長においてファラデー回転角が増強されている。

一方、磁場中での自由電子の運動方程式から誘電分極を見積り、電場との関係から誘電率テンソル

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} & -\varepsilon_{xy} & 0 \\ \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zz} \end{pmatrix}$$

を計算すると、テンソルの対角項と非対角項の成分をプラズマ振動数や電子の衝突頻度などによって表現できる。ここでは、強い外部磁場を印加することによって強磁性体 (ここでは鉄) の飽和磁化を表現した。つまり、一種の平均場近似を用いた。この理論モデルに基づいて数値シミュレーションを実行し、ファラデー回転角の波長依存性を導いたところ、定性的に実験データを再現できた。

本研究で得られたファラデー回転角と磁気光学的性能指数をこれまでに報告されている値⁴⁾と比較したのが表 1 である。ここで性能指数は

$$\text{FOM} = \theta_F \sqrt{T}$$

と定義した。ただし、 θ_F はファラデー回転角、 T は透過率である。過去には Au ナノ粒子のプラズモンと Bi 添加 YIG ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) の磁気光学効果を組合わせた例があるが、波長が異なるため単純な比較はできないものの、表 1 に示されているように本研究で作製した試料の特性は優れたものであることが分かる。特に、従来の材料よりも短波長で大きな性能指数を示している。以上の結果は、プラズモンが磁気光学効果の増強に有効であることを実証するものである。

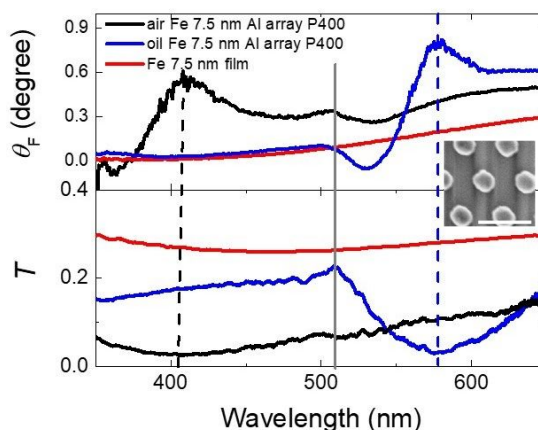


図 6 .Al ナノ周期アレイならびにシリカガラス基板上に蒸着した Fe 薄膜の光透過スペクトルとファラデー回転角の波長依存性。黒：Al アレイ上、空气中、青：Al アレイ上、マッチングオイル中、赤：シリカガラス基板上。挿入図は Al ナノ周期アレイの SEM 像

表 1 .金属ナノ構造のプラズモンによる磁気光学効果の増強 .過去の研究例と本研究の比較

	ナノ粒子/磁性体	$\lambda(\text{nm})$	$\theta_F(^{\circ})$	T	FOM($^{\circ}$)	引用
ナノシリンダー 周期構造 (空气中)	Al/Fe	406	0.61	0.026	0.098	本研究
ナノシリンダー 周期構造 (オイル中)	Al/Fe	575	0.81	0.030	0.14	本研究
ランダムナノ粒子	Au/Bi:YIG film	644	0.19	0.17	0.078	H Uchida et al., <i>J. Phys. D: Appl. Phys.</i> 44 (2011) 064014-1-7.
ナノシリンダー 周期構造	Au/Bi:YIG film	698	0.43	0.040	0.086	A. V. Baryshev and A. M. Merzlikin, <i>J. Opt. Soc. Am. B</i> 33 (2016) 399.

文献

- 1) T. Kawamoto et al., *J. Am. Chem. Soc.* **136** (2014) 15291-15299.
- 2) H. Akamatsu et al., *Phys. Rev. B* **82** (2010) 224403-1-8; T. Kawamoto et al., *Phys. Rev. B* **88** (2013) 024405-1-9.
- 3) S. Murai et al., *Opt. Express* **24** (2016) 1143-1153; Y. Kawachiya et al., *Opt. Express* **26** (2018) 5970-5982; R. Kamakura et al., *J. Appl. Phys.* **124** (2018) 213105-1-9.
- 4) H Uchida et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **44** (2011) 064014-1-7; A. V. Baryshev and A. M. Merzlikin, *J. Opt. Soc. Am. B* **33** (2016) 399.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kim You Jin, Konishi Shinya, Hayasaka Yuichiro, Kakeya Itsuhiro, Tanaka Katsuhisa	4. 巻 22
2. 論文標題 Magnetic and electrical properties of LuFe2O4 epitaxial thin films with a self-assembled interface structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 1096 ~ 1105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ce01666j	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masayuki Fukuda, Ikuya Yamada, Hidenobu Murata, Hajime Hojo, Olivier Hernandez, Clemens Ritter, Katsuhisa Tanaka, and Koji Fujita	4. 巻 32
2. 論文標題 Perovskite-type CuNbO3 exhibiting unusual noncollinear ferrielectric to collinear ferroelectric dipole order transition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 5016-5027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c00444	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 You Jin Kim, Shinya Konishi, Mari Okada, Mai Komabuchi, Daisuke Urushihara, Toru Asaka, and Katsuhisa Tanaka	4. 巻 32
2. 論文標題 Spin glass transition of single-crystalline TmFe2O4-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 405801-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/ab95cd	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 You Jin Kim, Shinya Konishi, Yuichiro Hayasaka, Ryo Ota, Ryosuke Tomozawa, and Katsuhisa Tanaka	4. 巻 8
2. 論文標題 Magnetic properties of epitaxial TmFe2O4 thin film with anomalous interface structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 11704-11714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0tc01367f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirofumi Akamatsu, Koji Fujita, Toshihiro Kuge, Arnab Sen Gupta, James M. Rondinelli, Isao Tanaka, Katsuhisa Tanaka, Venkatraman Gopalan	4. 巻 3
2. 論文標題 A-site cation size effect on oxygen octahedral rotations in acentric Ruddlesden-Popper alkali rare-earth titanates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 065001-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.3.065001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Byoungjin So, Jiangbo She, Yicong Ding, Jinsuke Miyake, Taisuke Atsumi, Katsuhisa Tanaka, Lothar Wondraczek	4. 巻 9
2. 論文標題 Magnetic properties and photoluminescence of thulium-doped calcium aluminosilicate glasses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 4348-4359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.9.004348	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Suguru Yoshida, Koji Fujita, Hirofumi Akamatsu, Olivier Hernandez, Arnab Sen Gupta, Forrest Brown, Haricharan Padmanabhan, Alexandra S. Gibbs, Toshihiro Kuge, Ryosuke Tsuji, Shunsuke Murai, James M. Rondinelli, Venkatraman Gopalan, and Katsuhisa Tanaka	4. 巻 28
2. 論文標題 Ferroelectric Sr3Zr207: Competition between hybrid improper ferroelectric and antiferroelectric mechanisms	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 1801856-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.201801856	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Suguru Yoshida, Hirofumi Akamatsu, Ryosuke Tsuji, Olivier Hernandez, Haricharan Padmanabhan, Arnab, Sen Gupta, Alexandra Gibbs, Ko Mibu, Shunsuke Murai, James M. Rondinelli, Venkatraman Gopalan, Katsuhisa Tanaka, and Koji Fujita	4. 巻 140
2. 論文標題 Hybrid improper ferroelectricity in (Sr,Ca)3Sn207 and beyond: universal relationship between ferroelectric transition temperature and tolerance factor in n = 2 Ruddlesden - Popper phases	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 15690-15700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b07998	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Futoshi Suzuki, Fumio Sato, Hiroyuki Oshita, Situ Yao, Yuko Nakatsuka, and Katsuhisa Tanaka	4. 巻 76
2. 論文標題 Large Faraday effect of borate glasses with high Tb ³⁺ content prepared by containerless processing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optical Materials	6. 最初と最後の頁 174-177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.optmat.2017.12.031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計42件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 You Jin Kim, Shinya Konishi, Yuichiro Hayasaka, Ryo Ota, and Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Structural and Magnetic Properties of Epitaxial TmFe ₂₀₄ Thin Film with Self-assembled Interface
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鬼頭拓也, 村井俊介, 藤田晃司, 田中勝久
2. 発表標題 EuZr ₀₃ 系固溶体の結晶構造と磁氣的性質
3. 学会等名 日本材料学会ナノ材料部門委員会第1回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中勝久
2. 発表標題 酸化物薄膜のナノ構造に起因する磁気特性
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2020年度秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鬼頭拓也, 村井俊介, 藤田晃司, 田中勝久
2. 発表標題 EuZrO ₃ 系固溶体の結晶構造と磁氣的性質
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中勝久
2. 発表標題 金属酸化物および金属単体のナノ構造制御による磁気特性と光機能の創出
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2021年度 春季大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 厚味泰輔, 村井俊介, 田中勝久
2. 発表標題 Alナノ周期構造によるFeの磁気光学効果の増強
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度春季大会 (第123回講演大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 第14回日本セラミック吉田傑, 赤松寛文, 辻涼介, Olivier Hernandez, Haricharan Padmanabhan, Alexandra S. Gibbs, 壬生功, 村井俊介, Venkatraman Gopalan, 田中勝久, 藤田晃司
2. 発表標題 層状ペロブスカイト強誘電体における強誘電転移温度と許容因子の線形関係
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第14回関西支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中勝久
2. 発表標題 フラストレーション系化合物TmFe ₂ O ₄ の誘電性と磁性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第14回関西支部学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Fukuda, Ikuya Yamada, Hidenobu Murata, Hajime Hojo, Katsuhisa Tanaka, Koji Fujita
2. 発表標題 Reversible phase transition and irreversible topochemical reaction in a perovskite-type CuNbO ₃
3. 学会等名 The 11th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-11) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taisuke Atsumi, Shunsuke Murai, Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Enhancement of Faraday rotation of iron thin layers on periodic array of Al nanocylinders
3. 学会等名 META 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Dielectric and Magnetic Properties of Frustrated Compound TmFe ₂ O ₄
3. 学会等名 The International Conference on Traditional and Advanced Ceramics, 8th Asia-Oceania Ceramic Federation Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 YouJin Kim, Shinya Konishi, Yuichiro Hayasaka, Itsuhiro Kakeya, Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Electrical Transport and Magnetic Properties of LuFe ₂ O ₄ Epitaxial Thin Films
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井大起、楠瀬好郎、塩田尚樹、掛谷一弘、田中勝久、藤田晃司
2. 発表標題 Magnetic and transport properties of EuNbO ₃ thin films
3. 学会等名 京都大学量子理工学教育研究センター第20回公開シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 YouJin Kim, Shinya Konishi, Yuichiro Hayasaka, Itsuhiro Kakeya, Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Magnetic and Transport Properties of TmFe ₂ O ₄ Thin Film with Anomalous Interface Structure
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramics Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suguru Yoshida, Hirofumi Akamatsu, Ryosuke Tsuji, Olivier Hernandez, Haricharan Padmanabhan, Alexandra S. Gibbs, Ko Mibu, Shunsuke Murai, Venkatraman Gopalan, Katsuhisa Tanaka, Koji Fujita
2. 発表標題 Development of Hybrid Improper Ferroelectric Layered Perovskites
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramics Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田傑、赤松寛文、Alexandra S. Gibbs、藤田晃司、田中勝久
2. 発表標題 層状構造を持つ複酸化物群ARTiO4における空間反転対称性の破れと異常熱膨張
3. 学会等名 第17回京都大学福井謙一記念研究センターシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松井大起、村井俊介、田中勝久、藤田晃司
2. 発表標題 Eu ²⁺ 含有ペロブスカイト型酸化物薄膜の合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大塚達貴、田中 勝久、藤田晃司
2. 発表標題 層状ペロブスカイト酸化物Sr ₃ Zr ₂ O ₇ のBカチオン置換による構造相転移
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 YouJin Kim, Shinya Konishi, Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Re-entrant Spin Glass Behavior of TmFe ₂ O ₄
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Large magneto-optical effect of random oxides in short wavelength range
3. 学会等名 Glass and Optical Materials Division Meeting (GOMD 2018), The American Ceramic Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田傑, 赤松寛文, 辻涼介, Olivier Hernandez, Haricharan Padmanabhan, Arnab Sen Gupta, Alexandra S. Gibbs, 壬生功, 村井俊介, Venkatraman Gopalan, 田中勝久, 藤田晃司
2. 発表標題 層状ペロブスカイト強誘電体におけるキュリー温度と許容因子の関係
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田真幸, 田中勝久, 藤田晃司, 山田幾也, 北條元
2. 発表標題 ペロブスカイト型酸化物CuNbO ₃ の高圧合成とその特異な熱分解挙動
3. 学会等名 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 YouJin Kim, Shinya Konishi, Yuichiro Hayasaka, and Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Preparation of RFe ₂ O ₄ (R = Lu, Tm) Thin Films by Pulsed Laser Deposition Method and Their Magnetic Properties
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 厚味泰輔, 村井俊介, 藤田晃司, 田中勝久
2. 発表標題 AlナノシリンドーアレイによるFe薄膜の磁気光学効果の増強
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福田真幸, 田中勝久, 藤田晃司, 山田幾也, 北條元
2. 発表標題 ペロブスカイト型酸化物CuNbO ₃ の高圧合成と トポケミカル分解
3. 学会等名 日本材料学会第4回材料WEEK
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 YouJin Kim, Shinya Konishi, Yuichiro Hayasaka, and Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Preparation of RFe ₂ O ₄ (R = Lu, Tm) Thin Films by Pulsed Laser Deposition and their Magnetic properties
3. 学会等名 第19回QSEC公開シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中勝久
2. 発表標題 電子誘電体RFe ₂ O ₄ (Rは希土類)の誘電的性質
3. 学会等名 2018年度セラミックス総合研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三宅仁介, 吉田傑, 村井俊介, Olivier Hernandez, Clemens Ritter, 田中勝久, 藤田晃司
2. 発表標題 極性構造を持つカチオン欠陥ペロブスカイト型酸化物の構造解析
3. 学会等名 第57回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中勝久
2. 発表標題 複合的な機能を持つ 酸化鉄系磁性材料の開拓
3. 学会等名 第3回元素ブロック研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 YouJin Kim, Shinya Konishi, Yuichiro Hayasaka, and Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Preparation of TmFe ₂₀₄ Thin Films and Their Magnetic Properties
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中勝久
2. 発表標題 準安定フェライトの合成と磁氣的性質
3. 学会等名 第二回コバルト研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 厚味泰輔, 村井俊介, 田中勝久
2. 発表標題 Alナノ周期構造によるFeの磁気光学効果の増強
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会2019年度春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中勝久
2. 発表標題 フラストレーション系化合物TmFe ₂ O ₄ の誘電性と磁性
3. 学会等名 日本セラミックス協会関西支部第14回学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryosuke Tsuji, Koji Fujita, Suguru Yoshida, Jinsuke Miyake, Shunsuke Murai, and Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Coexistence of ferroelectricity and weak ferromagnetism in iron-based layered compound
3. 学会等名 IUMRS-ICAM 2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田傑, 藤田晃司, 赤松寛文, Olivier Hernandez, Arnab Sen Gupta, Alexandra Gibbs, 久家俊洋, 辻涼介, 村井俊介, Venkatraman Gopalan, 田中勝久
2. 発表標題 ルドルスデン-ポッパー相における強誘電性
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小西伸弥, 大多亮, 有馬孝尚, 田中勝久
2. 発表標題 STEM-EELSを用いたTmFe ₂ O ₄ における鉄イオンの価数の評価
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田傑, 藤田晃司, 久家俊洋, 辻涼介, 村井俊介, 田中勝久, 赤松寛文, Olivier Hernandez, Arnab Sen Gupta, Venkatraman Gopalan, Alexandra Gibbs
2. 発表標題 層状ペロブスカイト酸化物における間接型強誘電性と構造相転移
3. 学会等名 日本セラミックス協会第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Magnetic properties of amorphous oxides
3. 学会等名 2017 Workshop of Mountain Tai on Advanced Functional Glasses and Glass Ceramics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Katsuhisa Tanaka
2. 発表標題 Magnetic and magneto-optical properties of metastable oxide thin films
3. 学会等名 Magnetics and Optics Research International Symposium (MORIS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田傑, 藤田晃司, 赤松寛文, Olivier Hernandez, Arnab Sen Gupta, Alexandra S. Gibbs, 辻 涼介, Venkatraman Gopalan, 田中勝久
2. 発表標題 層状ペロブスカイト酸化物における間接型強誘電性
3. 学会等名 第15回京都大学福井謙一記念研究センターシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中勝久
2. 発表標題 酸化物固体における遷移元素の電子状態と固体の物性
3. 学会等名 第6回元素ブロック合同修論発表会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻涼介, 藤田晃司, 吉田傑, 三宅仁介, 村井俊介, 田中勝久
2. 発表標題 酸素欠損ペロブスカイト化合物における極性構造と弱強磁性の共存
3. 学会等名 日本セラミックス協会2018年年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	藤田 晃司 (Fujita Koji) (50314240)	京都大学・工学研究科・教授 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	村井 俊介 (Murai Shunsuke) (20378805)	京都大学・工学研究科・助教 (14301)	
研究分担者	北條 元 (Hojo Hajime) (90611369)	九州大学・総合理工学研究院・准教授 (17102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Pennsylvania State University	Northwestern University		
ドイツ	Friedrich Schiller University	University of Jena		
中国	Univ Chinese Academy of Sciences	Chinese Academy of Science		
フランス	Univ Rennes	Institut Laue-Langevin		
英国	Rutherford Appleton Laboratory			