

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18850

研究課題名（和文）酸化鉄の原子価制御による室温脳機能模倣型素子の形成

研究課題名（英文）Fabrication of brain-inspired devices by control of Fe valence state in iron oxides

研究代表者

関 宗俊（Munetoshi, Seki）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：40432439

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：室温で動作する脳機能模倣素子の開発に向けて、新規クラスターガラス磁性体の作製とその物性評価に関する研究を推進した。具体的には、スピネル型の結晶構造を有する鉄酸化物を母体材料に用いて、元素置換により室温付近の高温ガラス転移温度と大きな光応答性（ガラスの光融解）を発現するクラスターガラス薄膜の作製に成功した。また、その構成カチオンの原子価を制御することによって、キャリアタイプが変調されることも見出した。さらに、超低消費エネルギー型素子の実現に向けて、新しいクラスターガラス磁性体を作製し、その磁気特性と結晶構造を制御することにより、スピン波の伝搬を室温で初めて観測することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高温クラスターガラスを発現する物質を作製し、その磁気特性の光制御を実現しただけでなく、ガラス状態を室温においてスピン波伝搬の形で簡易かつ高感度で検出することに成功した。この成果は、莫大な消費電力のもと決定論的作動を高速で行う従来のノイマン型コンピュータに代わる、柔軟かつ超低消費電力型の革新的情報処理システムの実現への道を開くものであると考えられる。また、本研究で扱った材料・素子を構成する元素の多くが、Fe（クラーク数4位）、O（1位）、Si（2位）、Mg（8位）等の地球上に豊富に存在する資源であることは、産業応用の観点から大きな意義を持っている。

研究成果の概要（英文）：New cluster-glass materials were fabricated, and their physical properties were investigated towards the creation of room-temperature brain-mimic devices. Especially, cluster-glass thin films with high glass-transition temperature and high responsivity to light irradiation were successfully fabricated using iron oxides with a spinel-type crystal structure as host materials. It was found that the carrier type of these films can be controlled by modulating the valence state of cations in the films. Furthermore, the propagation of spin-wave was successfully observed in the cluster-glass Al-substituted γ -Fe₂O₃ thin films. This result can be utilized in the development of the devices with ultra-low energy consumption.

研究分野：機能材料科学

キーワード：酸化鉄 スピングラス

1. 研究開始当初の背景

現代社会を支えるエレクトロニクスは、基本素子の微細化による性能向上を原動力として劇的な発展を遂げてきた。しかしながら、素子微細化が限界に近付きスケールアップの破綻が懸念される現在、従来の半導体技術では実現不可能な高機能性を発現する材料の創製が望まれている。また、エネルギー・環境・資源の問題が地球規模で深刻化する現在、莫大なエネルギーと環境資源の投入を必要とする従来の技術に代わる、省エネルギーかつ環境調和型の新たなエレクトロニクス創成が喫緊の課題となっている。研究代表者はこれまでに、このような次世代エレクトロニクスのプロトタイプデバイスとして、機能性酸化物を用いた脳神経模倣型素子の開発研究を推進してきた。その中で、スピン(クラスター)ガラスを示す酸化鉄単結晶薄膜において磁気特性の長期増強および短期増強機能が発現することを見出したが、脳型素子への応用を図るうえで、ガラス転移温度や外部刺激に対する応答性が著しく低いことが問題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者がこれまで開発を進めてきた、高温クラスターガラス酸化物の敏感な外場応答性を積極的に利用して、ノイズレベルの微弱な光刺激に対する学習機能を発現する革新的な脳神経模倣型素子の実現を目指すものである。具体的な研究対象として、スピネル型またはガーネット型結晶構造を有する酸化鉄単結晶に注目し、元素置換やナノ構造制御によって室温を超える高いスピン凍結温度と大きな外場応答性の同時実現を狙う。また素子応用に向けて、簡易的かつ高感度なガラス磁性の検出・制御技術の確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究で用いた試料(酸化物単結晶薄膜)は、パルスレーザー堆積法(PLD法)によって作製した。試料の構造評価にはX線回折(XRD)、透過電子顕微鏡(TEM)、走査型電子顕微鏡(SEM)、原子間力顕微鏡(AFM)などの手法を用いた。磁気特性評価は超伝導量子干渉素子、磁気円二色性(MCD)測定装置によって行い、電気測定には、物理特性評価システム(PPMS)や半導体パラメータアナライザを用いた。また、X線光電子分光(XPS)により試料中の陽イオンの原子価を調べた。

4. 研究成果

新規クラスターガラス薄膜とヘテロ接合素子の作製

スピンガラス転移温度の上昇や外光や熱などの微小な外部刺激に対する応答性の向上を目指し実験を推進した。ガーネット型フェライトおよびスピネル型フェライト薄膜の作製実験においては、二段階でターゲットを切り替えるパルスレーザー堆積法を用いることによって、非磁性元素Siを添加した高品質な薄膜を形成することに成功した。また、Siのドーパ量に傾斜をかけた薄膜試料において、磁場印加中に光照射することによって、鉄イオン(Fe^{2+} - Fe^{3+})間で電荷移動が起こることを確認し、磁化の光制御に成功した。また、素子応用に向けて、ガラス特性の電流による検出の可能性を探るため、クラスターガラス酸化鉄のp-n接合素子の作製を試みた。まずn型層酸化鉄として用いる $Co(Fe,V)_2O_4$ および $Co(Fe,Ga)_2O_4$ 薄膜をPLD法によって作製した。磁気測定によって、これらの薄膜が室温でクラスターガラス状態になっていることを確認した。MCD測定では、光照射によってそのガラス状態が融解し磁化が増大する(ガラスの光融解)ことが分かった。また、 $Co(Fe,Ga)_2O_4$ の磁気構造を研究する過程で作製した $Co(Mn,Ga)_2O_4$ 薄膜においては、Mnの濃度の増大に伴い、キャリアタイプがn型からp型に変わることがゼーベック測定によって明らかにされた。さらに、 $Co(Mn,Ga)_2O_4$ 薄膜の作製温度を変えることにより、試料中にナノワイヤ構造が自己形成されることが分かった。この構造の作製温度依存性を系統的に調べた結果、このナノワイヤ構造の自己組織化はJahn-Teller効果と薄膜中のMgとGaの相互拡散によって起こることが分かった。その後、これらのn型薄膜とp型酸化鉄($GeFe_2O_4$, $Fe_{0.1-x}Co(Fe,Mo)_2O_4$)の接合素子の作製実験を実施したが、これらの素子では整流特性は得られなかった。さらに実験を進めた結果、p-n界面付近でFeイオンが価数揺動状態になるため、空乏層が存在せずオーミック接合が形成することが分かった。したがって、この混合価数状態を抑制するため、p型層(Fe^{2+} -rich)とn型層(Fe^{3+} -rich)を分離するための絶縁層($MgGa_2O_4$)の導入が必要であることが分かった。しかしながら、この絶縁層を蒸着する際に、酸化鉄層へガリウムが拡散してしまい、各層の磁気特性が低下してしまうことが判明した。そこで後述するように、スピンガラス状態を電流ではなく、スピン波の伝搬によって検出する方法を検討した。また、スピネル型酸化物だけでなく、ガーネット型鉄酸化物薄膜の作製とその磁気特性の評価も実施した。巨大磁気光学効果を示すイットリウム鉄ガーネット(YIG)を母体として、非磁性イオンの Al^{3+} を添加したクラスターガラス磁性体薄膜をPLD法によって作製した。交流帯磁率の温度依存性から、この薄膜のガラス転移温度が約350Kとなり、室温を超えるガラス転移温度が実現することを見出した。また、このガラス状態への光照射による磁化の変化を、磁気円二色性(MCD)の測定によって観測し、ガラス状態特有の光磁気メモリ効果が起こることを確認した。さらに、光応答性を向上させるため、 Al^{3+} だけでなく、 Co^{2+} を添加した薄膜を作製して結晶構造と磁気特性を評価し、

この薄膜が高い結晶性と高いガラス転移温度(350K)を有していることを確認した。本研究の実施期間の後半では、新しいクラスターガラス磁性体の候補材料として、擬ブルッカイト型 $\text{Fe}_2\text{TiO}_5\text{-FeTi}_2\text{O}_5$ 結晶固 溶体 ($\text{Fe}_{2-x}\text{Ti}_{1+x}\text{O}_5$) の薄膜作製実験を実施した。基板に $\text{SrTiO}_3(001)$ 単結晶を用いて PLD 法で製膜することにより、広い組成領域 ($0 < x < 0.7$) において高品質な固溶 体単結晶薄膜が得られた。作製された薄膜はすべて室温において強磁性的挙動を示した。また、薄膜の電気・磁気特性はその組成に大きく依存し、特に、熱電特 性は Ti 置換量によって劇的に変化することを見出し、 $x=0.5$ の組成において非常に大きなゼーベック係数 ($S=1.65\text{mV/K}$) が得られた。

光電気化学セルにおける光電流の磁場制御

また、高い可視光応答性が期待される BiFeO_3 を母体に用いたガラス薄膜を PLD 法によって作製し、その特性を評価した。この薄膜に可視光を照射すると光電流が発生し、薄膜表面上では光照射で生成した正孔が水を酸化して酸素を発生し、対極(Pt)側では電子による還元反応によって水素が発生することを確認した。これは通常の n 型半導体を用いた光電極と同様の挙動であるが、この薄膜を用いたセルではポーリング処理によって光電流値が変化することが分かった。これは、ポーリング処理によって誘起された特有のドメイン構造と自発分極が電子正孔対の空間分離を促進(または阻害)するためであると考えられる。本研究では更に、ポーリング処理後に磁場(1T)を引加することによって、光電流が僅かに増大することが分かった。この現象は分極が無い状態では起こらないことから、スピンと双極子のクロスターム効果(電気磁気効果:M-E効果)の寄与を示唆している。

スピネル型酸化鉄薄膜におけるスピン波伝搬の観測

超低消費電力型デバイスの創製に向けて、スピネル型 Al 置換 $\text{-Fe}_2\text{O}_3(\text{-Fe}_{2-x}\text{Al}_x\text{O}_3\text{:FAO})$ の単結晶薄膜作製実験を実施した。この物質は従来マグネシウムの分野で精力的に研究されてきたガーネット型酸化鉄とは異なり、結晶構造が比較的単純で様々な結晶基板上で薄膜がエピタキシャル成長するため、ヘテロ接合型のマグネシウム素子(スピン波変調素子)への応用が可能となる。PLD 法によって作製した試料に対して XRD による結晶構造解析を行い、 MgO 、 Al_2O_3 、 MgAl_2O_4 単結晶基板上で薄膜がエピタキシャル成長していることを確認した。また、一般的には試料中の不純物濃度が増大するに従い結晶性は低下するが、この薄膜では逆に、Al 濃度の増加にともなって結晶性が向上することを見出した。これは Fe よりも酸素との親和性が高い Al を添加することにより、酸素欠損が抑制されたためであると考えられる。電子スピン共鳴(ESR)や XPS により、Al 濃度の増加によって Fe^{2+} の量が減少することが分かった。この結果は、Al 添加の酸素欠損の抑制効果を示唆するものである。結晶性の低下により、Gilbert ダンピング定数は増大するため、高効率のスピン波伝搬の実現のためには、Al 濃度が高い試料が望ましい。一方、磁気測定の結果、薄膜の飽和磁化は Al 置換量の増大に伴って減少することが分かった。したがって、スピン波素子に応用するためには、Al 置換量を最適化する必要がある。ダンピング定数と結晶性の組成依存性を詳細に検証した結果、Al 置換量が $x=0.15$ の試料で最小のダンピング定数 $=0.05$ が得られ、室温においてスピン波の伝搬を観測することに 成功した。また、この Al 置換 $\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 薄膜は室温においてクラスターガラスの状態となっていることも分かった。したがって、スピンガラス状態をスピン波の形で検出したことになる。今後は素子化に向けて、FAO のガラス状態への光照射によるスピン波伝搬特性の変化や、FAO ヘテロ接合素子での電界効果によるスピン波変調の検出を目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Chen Jiaxin, Seki Munetoshi, Sarker Md Shamim, Yamahara Hiroyasu, Tabata Hitoshi	4. 巻 563
2. 論文標題 Self-organized nanostructures in magnetic CoGa _{0.8} Mn _{1.2} O ₄ thin films fabricated by pulsed laser deposition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 126103(1)-(5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2021.126103	査読の有無 無
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 Sarker Md Shamim, Nakamura Shumpei, Yamahara Hiroyasu, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi	4. 巻 58
2. 論文標題 Multifrequency Spin-Wave Propagation for Parallel Data Processing Using Microstructured Yttrium Iron Garnet Thin Films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2021.3087812	査読の有無 無
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 Li H., Yamahara H., Tabata H., Seki M.	4. 巻 119
2. 論文標題 Epitaxial thin films of room-temperature ferromagnetic semiconductor based on Fe ₂ TiO ₅ ?FeTi ₂ O ₅ solid solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022402(1)-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0055324	査読の有無 無
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 Tang Siyi, Sarker Md Shamim, Ma Kaijie, Yamahara Hiroyasu, Tabata Hitoshi, Seki Munetoshi	4. 巻 119
2. 論文標題 Efficient spin-wave transmission in epitaxial thin films of defect spinel - Fe ₂ Al ₂ O ₇	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 082402(1)-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0060102	査読の有無 無
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 Sakuda Masahiro, Yamahara Hiroyasu, Tabata Hitoshi, Seki Munetoshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Control of Magnetic Properties of Barium Ferrite Thin Films With Unusual Valence Fe	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Materials	6. 最初と最後の頁 732676(1)-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmats.2021.732676	査読の有無 無
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 Yamahara Hiroyasu, Feng Bin, Seki Munetoshi, Adachi Masaki, Sarker Md Shamim, Takeda Takahito, Kobayashi Masaki, Ishikawa Ryo, Ikuhara Yuichi, Cho Yasuo, Tabata Hitoshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Flexoelectric nanodomains in rare-earth iron garnet thin films under strain gradient	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-021-00199-y	査読の有無 無
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 Zhang B., Seki M., Zhou H., Chen J., Tabata H.	4. 巻 8
2. 論文標題 InFeO ₃ photoelectrode with two-dimensional superlattice for visible- and ultraviolet-light-driven water splitting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 051107 ~ 051107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0003251	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 Yamahara Hiroyasu, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi	4. 巻 501
2. 論文標題 High temperature spin cluster glass behavior in Co- and Si-substituted garnet ferrite thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 166437 ~ 166437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2020.166437	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 Takeda Takahito, Suzuki Masahiro, Anh Le Duc, Tu Nguyen Thanh, Schmitt Thorsten, Yoshida Satoshi, Sakano Masato, Ishizaka Kyoko, Takeda Yukiharu, Fijimori Shin-ichi, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi, Fujimori Atsushi, Strocov Vladimir N., Tanaka Masaaki, Kobayashi Masaki	4. 巻 101
2. 論文標題 Hybridization between the ligand p band and Fe-3d orbitals in the p-type ferromagnetic semiconductor (Ga,Fe)Sb	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155142-155142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.155142	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 Anh Le Duc, Kaneta Shingo, Tokunaga Masashi, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi, Tanaka Masaaki, Ohya Shinobu	4. 巻 32
2. 論文標題 High Mobility 2D Hole Gas at a SrTiO3 Interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1906003 ~ 1906003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201906003	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 Takeda Takahito, Suzuki Masahiro, Anh Le Duc, Tu Nguyen Thanh, Schmitt Thorsten, Yoshida Satoshi, Sakano Masato, Ishizaka Kyoko, Takeda Yukiharu, Fijimori Shin-ichi, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi, Fujimori Atsushi, Strocov Vladimir N., Tanaka Masaaki, Kobayashi Masaki	4. 巻 101
2. 論文標題 Hybridization between the ligand p band and Fe 3d orbitals in the p-type ferromagnetic semiconductor (Ga,Fe)Sb	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155142 (1)-(7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.155142	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 Ohya Shinobu, Araki Daisei, Anh Le Duc, Kaneta Shingo, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi, Tanaka Masaaki	4. 巻 2
2. 論文標題 Efficient intrinsic spin-to-charge current conversion in an all-epitaxial single-crystal perovskite-oxide heterostructure of La0.67Sr0.33MnO3/LaAlO3/SrTiO3	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 012014 (1)-(6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.012014	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 Yamahara Hiroyasu, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi	4. 巻 501
2. 論文標題 High temperature spin cluster glass behavior in Co- and Si-substituted garnet ferrite thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 166437 ~ 166437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2020.166437	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 Anh Le Duc, Kaneta Shingo, Tokunaga Masashi, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi, Tanaka Masaaki, Ohya Shinobu	4. 巻 32
2. 論文標題 High Mobility 2D Hole Gas at a SrTiO ₃ Interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1906003 ~ 1906003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201906003	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 Zhang B., Seki M., Zhou H., Chen J., Tabata H.	4. 巻 8
2. 論文標題 InFeO ₃ photoelectrode with two-dimensional superlattice for visible- and ultraviolet-light-driven water splitting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 051107 ~ 051107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0003251	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 Sathe Ameya, Seki Munetoshi, Zhou Hang, Chen Jia Xin, Tabata Hitoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Bandgap engineering in V-substituted -Fe ₂ O ₃ photoelectrodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 091003 ~ 091003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab37b1	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10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山原 弘靖、武田 崇仁、関 宗俊、小林 正起、田畑 仁
2. 発表標題 磁気円二色性分光による傾斜格子歪希土類鉄ガーネットの磁気構造解析
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 作田 政大、山原 弘靖、関 宗俊、田畑 仁
2. 発表標題 異常原子価鉄イオンを含むBaFeO ₃ 薄膜の磁気特性の制御
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shamim Sarker、Shumpei Nakamura、Hiroyasu Yamahara、Munetoshi Seki、Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Multifrequency Spin Wave Device for Parallel Data Processing using Micro Structured Yttrium Iron Garnet Thin Films
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haining Li、Masahiro Sakuda、Hiroyasu Yamahara、Munetoshi Seki、Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Room Temperature Ferromagnetic Behaviors in Fe _{2-x} Ti _{1+x} O ₅ Solid Solution Thin Films Fabricated by a Pulsed Laser Deposition
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Siyi Tang、Md. Shamim Sarker、Hiroyasu Yamahara、Munetoshi Seki、Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Control of Magnetic properties of spinel ferrite thin film for magnonic applications
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山原 弘靖、Sarker Md. Shamim、関 宗俊、長 康雄、田畑 仁
2. 発表標題 傾斜格子歪み希土類鉄ガーネットにおけるフレクソ分極とフェリ磁性の共存
3. 学会等名 第80回秋季応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大矢 忍、荒木 大晴、Anh Le Duc、金田 真悟、関 宗俊、田畑 仁、田中 雅明
2. 発表標題 Theoretical understanding of the efficient intrinsic spin-to-charge current conversion in $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3/\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$
3. 学会等名 第80回秋季応用物理学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関 宗俊
2. 発表標題 鉄酸化物薄膜における電気磁気特性の室温制御
3. 学会等名 CSRN-Tokyo Workshop 2019「スピントロニクス新機能物質と巨大物性応答」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤木章浩、山原弘靖、関宗俊、田畑仁
2. 発表標題 希土類鉄ガーネット薄膜における成長レートと格子歪み相関
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 2018年

1. 発表者名 山原 弘靖、Sarkar Md Shamim、鈴木 雄大、関 宗俊、田畑 仁
2. 発表標題 Co,Si置換Lu ₃ Fe ₅ O ₁₂ スピクラスタガラス薄膜における低温スローダイナミクスとスピン波励起寿命
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

〔図書〕 計2件

1. 著者名 関 宗俊、足立 真輝く、山原 弘靖、田畑 仁	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 4
3. 書名 磁性材料の最新開発事例と各種応用技術 (第8章1節 室温光・磁気・電子機能素子応用に向けた酸化鉄単結晶薄膜の磁気制御)	

1. 著者名 Munetoshi Seki	4. 発行年 2018年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 7
3. 書名 Iron Ores and Iron Oxide Materials (Chapter title: Bandgap-Engineered Iron Oxides for Solar Energy Harvesting)	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------