

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15022

研究課題名（和文）クラスタースピングラスにおけるスピン波伝搬制御及び演算処理の研究開発

研究課題名（英文）Research on spin wave propagation control toward logical operation in spin cluster glass

研究代表者

山原 弘靖（Yamahara, Hiroyasu）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・助教

研究者番号：30725271

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、低消費電力の観点から新たな情報演算のキャリアとして期待されるスピン波に注目し、スピン波演算に向けた材料・デバイス開発を実施した。ガーネット型スピングラスを開発し、スピン波伝搬を確認するとともに、物理リザーバ計算に必要な短期記憶性能について優れた性能を示した。また、薄膜結晶成長におけるエピタキシャル格子歪を最適化することで傾斜歪構造を希土類鉄ガーネット薄膜に導入した。フレクソエレクトリック効果による誘電分極と磁化の共存が示唆され、スピン波の電場変調への応用可能性を示した。スピン波素子は局所加熱による変調技術を開発し、位相干渉によって再構成可能な論理回路を動作実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ICT利用が進む中、関連機器の電力消費量は増加傾向にあり、今後ますます増加することが予測されている。急増するエネルギー消費問題を解決することは喫緊の課題である。電荷の移動を伴わないスピン波はジュール損失が存在しないため、低消費電力動作の観点から新たな情報演算のキャリアとして注目されている。スピン波デバイスによる情報処理を実現するにはスピン波の外場による変調技術が求められ、本研究では外場変調とスピン波位相干渉によって再構成可能な論理回路を動作実証した。さらに光・電場制御を目指して光誘起磁性を示すスピングラスや残留分極を示す傾斜歪み構造のガーネットフェライトを開発した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we focused on spin waves, which are expected as a carrier for information processing with low power consumption, and have developed materials and devices toward spin wave logic calculations. We have fabricated a garnet-structured spin cluster glass and observed the spin wave propagation. Then, we have revealed the excellent short-term memory capacity necessary for physical reservoir computing. Also, we have induced strain-gradient to the rare-earth iron garnet thin films by optimizing the epitaxial strain in the thin film growth procedure. Coexistence of dielectric polarization and magnetization due to the flexoelectricity was suggested, indicating the possibility of spin wave control by electric field. For spin wave devices, we have developed a modulation technique using local heating, and demonstrated the operation of a reconfigurable logic gate using the spin wave interference.

研究分野：酸化物エレクトロニクス

キーワード：スピングラス スピン波 希土類鉄ガーネット フレクソエレクトリック効果 短期記憶性能

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ICT 利活用が進む中、ICT 関連機器の電力消費量は増加傾向にあり、今後ますます増加することが予測されている。急増する電気機器のエネルギー消費問題を解決することは喫緊の課題である。電荷の移動を伴わないスピン波はジュール損失が存在しないため、低消費電力動作の観点から新たな情報演算のキャリアとして注目されている。スピン波デバイスによる情報処理を実現するにはスピン波の外場による変調技術が求められ、光熱制御、逆磁歪効果、スピン軌道トルク、電圧制御磁気異方性などが報告されている。

2. 研究の目的

本研究においては、スピン波演算に向けてスピン波伝搬の外場制御技術の研究開発を目的とする。スピングラス(スピングラス)はランダムな磁性元素の配列により、低温でスピニングが凍結し、光誘起磁性・エージングメモリ効果と呼ばれる特徴的な記憶性質を示す物質である。そのポテンシャルエネルギーは多数の準安定状態からなる多谷構造を取り、磁場・電界・光・熱による外場の履歴を記憶することができる。一方、スピン波はスピンと直接作用するため、スピン配列状態を高感度に検出することが期待できる。本研究では酸化スピングラスにおけるスピン波の伝搬と外場による制御機構を明らかにすることにより、人間の脳機能を模倣したスピン波演算処理技術を開発することを目指した。

3. 研究の方法

本研究では、低消費電力の観点から新たな情報演算のキャリアとして期待されるスピン波に注目し、スピン波演算に向けた材料・デバイス開発を実施した。希土類鉄ガーネット($R_3Fe_5O_{12}$, RIG, R:希土類元素)はフェリ磁性絶縁体で特に $Y_3Fe_5O_{12}$ や $Lu_3Fe_5O_{12}$ はスピン波の低ダンピング定数を示すことが知られている。RIG 薄膜はパルスレーザー堆積法によって成膜し、一対の送受信マイクロ構造アンテナ(コプレーナ線路)と外場印加端子をリソグラフィで作製することでスピン波外場評価の基本素子とした。外場には局所加熱による磁化変調を行い、位相干渉によって再構成可能な論理回路の性能を評価した。一方、ガーネット型スピングラスの開発を目指し、異方性 Co^{2+} と非磁性 Si^{4+} をRIGに共添加することでランダムネスとフラストレーションを導入し、磁気測定によりスピングラス挙動を評価した。作製したガーネット型スピングラスの物理リザーバーへの応用を目指し、短期記憶性能を評価した。また、薄膜結晶成長におけるエピタキシャル格子歪を最適化することにより、傾斜歪構造を導入した希土類鉄ガーネット薄膜を作製し、フレクソエレクトリック効果による誘電分極の発現を目指した。中心対称性を破ることで電場による応答が促進され、スピン波の電気変調への応用可能性を目指した。

4. 研究成果

(1)スピン波演算デバイスの開発と外場変調

スピン波の低損失(低ダンピング定数)で知られるイットリウム鉄ガーネット($Y_3Fe_5O_{12}$, YIG)薄膜上に成膜した一対の送受信マイクロ構造アンテナ(コプレーナ線路, CPWs)を基本素子として作製した。YIG 薄膜はパルスレーザー堆積法により成膜し、CPWs はフォトリソグラフィによるマイクロ加工とスパッタ法による電極成膜により作製した。CPWs 間を伝搬するスピン波の電界制御にあたり、スピン波伝搬経路上に外場印加電極として金属膜の成膜が必要となる。ここで、一般的な貴金属として Au 及び Pt を外場印加電極として用いた場合のスピン波伝搬に及ぼす影響を評価した。その結果、Au を用いた場合に明確なスピン波の減衰が見られ、Pt が外場印加電極として適していることが明らかとなった。Au によるスピン波減衰はその反磁性により、スピン波の反射とマグノン散乱によって起こると考えられる。Pt の常磁性と Au の反磁性に起因するスピン波周波数のシフトも観察されている[1]。

上記で作製した Pt 電極をヒーターとして用いることで、ジュール熱の局所加熱によるスピン波変調を実施した。Pt 電極の局所加熱によって YIG 薄膜の飽和磁化は $M_s \approx M_{s,RT} - (T - T_{RT})$ (ここで $M_{s,RT}$ は室温の飽和磁化、 α は定数)に従って変化し、その結果、スピン波の伝搬周波数は Kittel 式に基づいてシフトすることが明らかになった。さらに局所加熱によってスピン波が散乱され、スピン波伝搬の減衰が示された[2]。

局所加熱によるスピン波変調をクロスバー(十字型)形状の素子に拡張し、静磁後進体積波(BVMSW, backward volume magnetostatic spin wave)と静磁表面波(MSSW, magnetostatic surface spin wave)の位相干渉による再構成可能な論理素子を動作実証した(図1)。パルスレーザー堆積法で作製した YIG 薄膜をリソグラフィ法とウェットエッチングにより、クロスバー形状に加工し、スピン波干渉素子とした。クロ

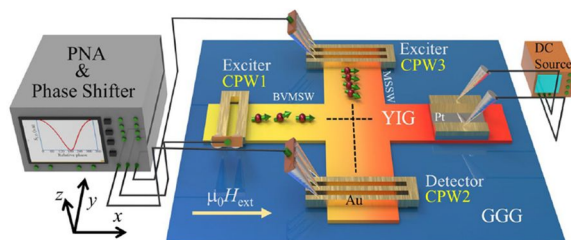


図1. クロスバー形状スピン波素子と計測システムの概要図[3]

スパーの4端のうち、隣り合う2つをBVMSW(ポート1)とMSSW(ポート2)の入力、ポート2の対向を干渉波検出のポート3とした。残るポート4にはPt薄膜を成膜し、局所的なジュール加熱によって干渉波を外場変調した。各スピン波の分散関係に基づいて波長変換され、その結果、干渉波はXORとXNORの論理表を満たす再構成可能な論理素子として動作することが実証された[3]。

(2) ガーネット型スピクラスタガラスの開発

スピン波伝搬とスピングラス挙動が共存する材料開発を目指し、ガーネット型スピクラスタガラスの開発を実施した。希土類鉄ガーネット(Lu₃Fe₅O₁₂, LuIG)に異方性Co²⁺と非磁性Si⁴⁺を共置換したLu₃Fe_{5-2x}Co_xSi_xO₁₂(LFCS)は磁気相互作用にランダムネスとフラストレーションが導入され、スピングラス挙動を示す。DC磁化率のZero-field cooling(ZFC)-field cooling(FC)過程の分岐、AC磁化率の温度依存性によるカスプと周波数シフト、エージングメモリ効果においてスピングラス挙動が確認されており、スピン凍結温度は190-220 K(印加磁場100-50 Oe)であった。さらに逆スピンホール効果によるスピン波計測を50-450 Kの範囲で計測し、低温でのダンピング増加を観測した[4]。

開発したガーネット型スピングラスLFCSの物理リザーバーコンピューティングの応用に向けて、短期記憶性能(Short-term memory: STM)を評価した。リザーバーコンピューティング(RC)は再帰的ニューラルネットワークの一種で、入力・リザーバー・出力の三層から構成される。リザーバー部を入力情報の短期記憶性と非線形性を備えた物理性質をもつハードウェアに置き換えた物理RCは消費電力や計算負荷で優位であると期待される。本研究ではスピングラスのスローダイナミクスがSTMに及ぼす影響を評価した。2値の乱数列に対応した磁場(0 Oe, 100 Oe)を入力とし、振動試料型磁力計(VSM)により計測したスピングラスの磁化変化を出力として扱う。スピングラスの磁化緩和は拡張指数関数 $M(t) = M_0 \exp[-(t/\tau)^\beta]$ で与えられる。スピクラスタガラスLFCS(x=0.5)とフェリ磁性体LuIGを比較した結果、LFCSは各温度でLuIGと比べて優れたSTMを示した(図2(a))。特にスピン凍結温度(~200 K)近傍で時定数が最大となることを反映して、STMが向上する温度依存性が見出された[5]。短期記憶性能によるリザーバー計算の性能向上が期待される。

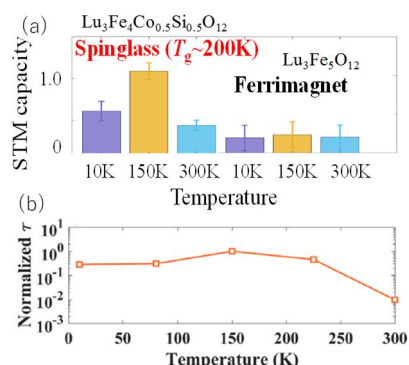


図2.(a) 10 K, 150 K, 300 KにおけるLu₃Fe₄Co_{0.5}Si_{0.5}O₁₂薄膜とLu₃Fe₅O₁₂薄膜の短期記憶性能、(b) Lu₃Fe₄Co_{0.5}Si_{0.5}O₁₂薄膜の時定数温度依存性[5]

(3) 希土類鉄ガーネットの傾斜歪み構造における磁化と誘電分極の共存

希土類鉄ガーネットは立方晶の空間群Ia3dに属し、高い中心対称性を有するため一般には残留誘電分極を生じえない。本研究では電界応答を実現することを目指し、薄膜成長において傾斜歪みを導入し、構造中心対称性を破ることによりFlexoelectricityによる残留分極を発現した。希土類サイトにSmを用いたSm₃Fe₅O₁₂(SmIG)はGd₃Ga₅O₁₂基板との格子ミスマッチが1.2%存在し、臨界膜厚は約60 nmが見積もられる。臨界膜厚以下ではエピタキシャル歪みによって正方晶に歪み、十分膜厚が厚いと立方晶に格子緩和する。臨界膜厚付近の正方晶と立方晶の境では15 nmの厚みにわたって、面直の格子定数は一定である一方、面内の格子定数が膜厚とともに増加する傾斜歪みが存在することが原子分解能を有する走査型透過電子顕微鏡によって明らかになった。様々な膜厚のSmIG薄膜に対して、非線形誘電率顕微鏡による分極分布を計測した結果、臨界膜厚付近の薄膜において平均径約30 nmの負に分極したナノドメインの存在が観察され、フレクソエレクトリック効果による分極発現が示唆された。さらにX線磁気円二色性分光によって、正方晶、傾斜歪み、立方晶の各層の磁気特性を調べた結果、各層はそれぞれ磁気ヒステリシスを示し、正方晶、立方晶の層では保磁場が0.02 Tであったのに対して、傾斜歪み層では0.1 Tという非常に大きい保磁場を示すことが明らかとなった。傾斜歪み構造において格子欠陥の存在が磁気ドメインのピンニングサイトとして働くことによると考えられる。以上の結果、希土類鉄ガーネットの傾斜歪み構造において磁化と残留分極が共存することが見出された[6]。多機能な情報記憶材料とともに電場による磁化変調の可能性が期待される。

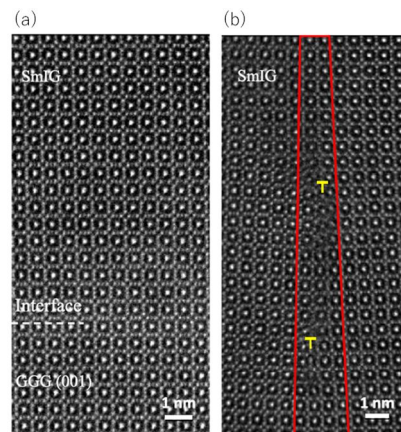


図3.(a)基板-薄膜界面、(b)臨界膜厚付近におけるSmIG薄膜の走査型透過電子顕微鏡画像。それぞれ均一にエピタキシャル歪を受けた正方晶と傾斜歪み構造を示す[6]。

- [1] Md Shamim Sarker, Hiroyasu Yamahara, Hitoshi Tabata, *AIP Adv.* 10, 015015 (2020).
- [2] Md Shamim Sarker, Hiroyasu Yamahara, Hitoshi Tabata, *Appl. Phys. Lett.* 117, 152403 (2020).
- [3] Md Shamim Sarker, Lihao Yao, Hiroyasu Yamahara, Kaijie Ma, Zhiqiang Liao, Kenyu Terao, Siyi Tang, Sankar Ganesh Ramaraj, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata, *Sci. Rep.* 13, 4872 (2023).
- [4] Hiroyasu Yamahara*, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata, *J. Magn. Magn. Mater.* 501, 166437 (2020).
- [5] Zhiqiang Liao, Hiroyasu Yamahara, Kenyu Terao, Kaijie Ma, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata, *Sci. Rep.* 13, 5260 (2023).
- [6] Hiroyasu Yamahara, Bin Feng, Munetoshi Seki, Masaki Adachi, Md Shamim Sarker, Takahito Takeda, Masaki Kobayashi, Ryo Ishikawa, Yuichi Ikuhara, Yasuo Cho, Hitoshi Tabata, *Commun. Mater.* 2, 95 (2021).

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 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Liao Zhiqiang, Huang Keying, Tang Siyi, Yamahara Hiroyasu, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi	4. 巻 49
2. 論文標題 Reconfigurable logical stochastic resonance in a hyperbolic one-site lattice with variable-barrier potential	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Results in Physics	6. 最初と最後の頁 106469 ~ 106469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rinp.2023.106469	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Liao Zhiqiang, Yamahara Hiroyasu, Terao Kenyu, Ma Kaijie, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Short-term memory capacity analysis of Lu3Fe4Co0.5Si0.5O12-based spin cluster glass towards reservoir computing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-32084-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sarker Md Shamim, Yao Lihao, Yamahara Hiroyasu, Ma Kaijie, Liao Zhiqiang, Terao Kenyu, Tang Siyi, Ramaraj Sankar Ganesh, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Reconfigurable magnon interference by on-chip dynamic wavelength conversion	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4872
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-31607-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sarker Md Shamim, Yamahara Hiroyasu, Yao Lihao, Tang Siyi, Liao Zhiqiang, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Sensitivity enhancement in magnetic sensor using CoFeB/Y3Fe5O12 resonator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-15317-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	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 95
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 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	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 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 Liao Zhiqiang, Ma Kaijie, Sarker Md Shamim, Tang Siyi, Yamahara Hiroyasu, Seki Munetoshi, Tabata Hitoshi	4. 巻 5
2. 論文標題 Quantum Analog Annealing of Gain Dissipative Ising Machine Driven by Colored Gaussian Noise	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Theory and Simulations	6. 最初と最後の頁 2100497 ~ 2100497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adts.202100497	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 Sarker Md Shamim, Yamahara Hiroyasu, Tabata Hitoshi	4. 巻 117
2. 論文標題 Current-controlled magnon propagation in Pt/Y3Fe5O12 heterostructure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 152403 ~ 152403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0019024	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 Hiroyasu Yamahara, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata	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 1-9
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 Md Shamim Sarker, Hiroyasu Yamahara, Hitoshi Tabata	4. 巻 10
2. 論文標題 Spin wave modulation by topographical perturbation in Y3Fe5012 thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 15015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5130186	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26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Kenyu Terao, Md Shamim Sarker, Hiroyasu Yamahara, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Spin Wave Characteristics of Spin Frustrated System of Co and Si-substituted Y3Fe5012 Thin Films
3. 学会等名 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX) (国際学会)
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 Shamim Sarker, Lihao Yao, Kaijie Ma, Hiroyasu Yamahara, Siyi Tang, Kenyu Terao, Zhiqiang Liao, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Magnonic cross-bar interference-based reconfigurable logic gate
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 Shamim Sarker, Hiroyasu Yamahara, Lihao Yao, Siyi Tang, Zhiqiang Liao, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Implementation of a highly sensitive magnetic sensor using CoFeB/Y3Fe5O12 bilayer magnonic resonator
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Md Shamim Sarker, Hiroyasu Yamahara, Lihao Yao, Siyi Tang, Zhiqiang Liao, Munetoshi Seki, and Hitoshi Tabata
2. 発表標題 CoFeB/Y3Fe5O12 bilayer magnonic resonator for magnetic sensor application
3. 学会等名 The 28th oxide electronics workshop(iWOE28) (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Shamim Sarker, Hiroyasu Yamahara, Kenyu Terao, Siyi Tang, Kaijie Ma, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Electrically tunable magnon FET driven by dynamic redox reaction
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 山原 弘靖、Feng Bing、関 宗俊、足立 真輝、Md Shamim Sarker、武田 崇仁、小林 正起、石川 亮、幾原 雄一、長 康雄、田畑 仁
2. 発表標題 傾斜歪希土類鉄ガーネット薄膜におけるフレクソエレクトリック分極
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 寺尾 健裕、山原 弘靖、関 宗俊、田畑 仁
2. 発表標題 置換元素選択によるY ₃ Fe _{5-x} M _x O ₁₂ (M=Al, Ga, In, Cr, Mn, Co-Si)薄膜のスピン凍結温度の制御
3. 学会等名 第70回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 山原 弘靖、関 宗俊、小林正起、田畑 仁
2. 発表標題 傾斜歪み希土類鉄ガーネット薄膜における磁性と誘電物性
3. 学会等名 第26回半導体スピン工学の基礎と応用(PASPS-26) (招待講演)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Shamim sarker、Hiroyasu Yamahara、Munetoshi Seki、Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Electrically tunable magnon FET controlled by ionic polymer gate
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Shamim Sarker、Hiroyasu Yamahara、Siyi Tang、Zhiqiang Liao、Munetoshi Seki、Hitoshi Tabata
2. 発表標題 CoFeB/Y ₃ Fe ₅ O ₁₂ bilayer resonator for magnonic control and magnetic sensor application
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 M. Sarker, S. Nakamura, H. Yamahara, M. Seki and H. Tabata
2. 発表標題 Multifrequency Magnon Propagation for Parallel Data Processing using Micro Structured Yttrium Iron Garnet Thin Films
3. 学会等名 第26回半導体スピン工学の基礎と応用(PASPS-26)
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Md Shamim Sarker, Hiroyasu Yamahara, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Electrically tunable YIG magnon FET based on the ionic polymeric gate stack
3. 学会等名 International Workshop on Oxide Electronics 27(iWOE27) (国際学会)
4. 発表年 2021年～2022年

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～2021年

1. 発表者名 Shamim sarker, Hiroyasu Yamahara, Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Current controlled magnon propagation in Pt/Y3Fe5O12 heterostructure
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～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 2020年～2021年

1. 発表者名 寺尾 健裕、山原 弘靖、田畑 仁
2. 発表標題 エピタキシャル歪みによるCo,Ge置換Lu ₃ Fe ₅ O ₁₂ 薄膜のスピンクラスターガラス特性制御
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 2020年～2021年

1. 発表者名 Hiroyasu Yamahara, Md Shamim Sarker, Shunpei Nakamura, Munetoshi Seki, Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Flexoelectric polarization in rare-earth iron garnet thin films under strain-gradient as structural singularity
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (CGCT-8) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Hiroyasu Yamahara, Sarker Md Shamim, Munetoshi Seki, Yasuo Cho, Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Flexoelectricity and magnetism in strain-gradient rare-earth iron garnet thin films
3. 学会等名 26th International Workshop on Oxide Electronics (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 山原 弘靖、S. 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回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 H. Yamahara, S. Nakamura, Md. S. Sarker, M. Seki, H. Tabata
2. 発表標題 Coexistence of Flexoelectric Polarization and Magnetization in Strain-gradient Rare-earth Iron Garnet Thin Films for Spin Wave Devices
3. 学会等名 International Symposium on Hybrid Quantum Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 山原 弘靖, 桑野 資基, 川山 巖, 田畑 仁
2. 発表標題 テラヘルツ波分光計測による傾斜格子歪み希土類鉄ガーネット薄膜の誘電分極評価
3. 学会等名 光・量子ビーム科学合同シンポジウム2019
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Sarker Md Shamim, Hiroyasu Yamahara, Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Spin wave modulation by the topographical modification of the YIG surface
3. 学会等名 26th International Workshop on Oxide Electronics
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 中村 駿平、山原 弘靖、Sarker Shamim、田畑 仁
2. 発表標題 エピタキシャル歪希土類鉄ガーネットにおけるスピン波伝搬
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会（国際学会）
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 矢野 泰生、山原 弘靖、関 宗俊、田畑 仁
2. 発表標題 ウェアラブル皮膚アンモニア測定に向けた ポリアニリン-ゼオライトガスセンサの開発
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Shamim sarker、Hiroyasu Yamahara、Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Spin wave transport in different metallic and ferromagnetic YIG bilayer system
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 shamim sarker、Hiroyasu Yamahara、Hitoshi Tabata
2. 発表標題 Spin wave modulation by inserting periodic metal stripe on the YIG surface
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～2020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
--	---------------------------	-----------------------	----

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