

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04643

研究課題名（和文）高エネルギー重イオン照射で作る磁気メタマテリアルとトポロジカルマグノニクス

研究課題名（英文）Magnetic metamaterials created by high-energy heavy ion irradiation, and topological magnonics

研究代表者

家田 淳一（Ieda, Jun'ichi）

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主幹

研究者番号：20463797

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,500,000円

研究成果の概要（和文）：磁性絶縁体単結晶薄膜に、放射線の一種である高エネルギーの重イオンビームを照射すると、ビームトラック上の原子が電子をはぎ取られ瞬間的に加熱されることでアモルファス化する。この性質と、フォトリソグラフィーによるマスクパターン法を組み合わせることで、マグノンの伝導回路の作製を目指した。磁性絶縁体は、磁気損失が小さく室温を超える磁気転位温度を持つ酸化物フェリ磁性体イットリウム鉄ガーネット（Y₃Fe₅O₁₂、YIG）とその類似物質を対象とした。本研究によって、磁性/非磁性の明瞭な境界面の作製手法が確立された。今後マグノン伝搬特性の評価を進めることで、磁気メタマテリアル実現に向けた研究基盤が創出される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線の応用を目的とした原子力工学と磁性体を舞台としたスピン伝導を対象とするスピントロニクスという異なる研究分野の融合で、世界に先駆けて「トポロジカルマグノニック結晶」を実現するための革新的な手段の開発が促進され、新たな学術分野を開拓する基盤が形成される。これにより、自然界には存在しない物性や有用な機能を発現する「メタマテリアル」を作り出す試みに大きく貢献できる。機能性酸化物材料の2次元微細加工技術が誕生すれば世界初であり、将来的に半導体素子の基本であるMOS構造にも一大転換がもたらされる可能性を秘める。

研究成果の概要（英文）：When a single-crystal thin film of a magnetic insulator is irradiated with a high-energy heavy ion beam the atoms along the beam track are stripped of their electrons and instantaneously heated, causing them to become amorphous. By combining this property with a mask patterning method using photolithography, a magnon conduction circuit will be created. The magnetic insulators targeted will be the oxide ferrimagnetic material yttrium iron garnet (Y₃Fe₅O₁₂, YIG), and similar materials, which have low magnetic loss and magnetic transition temperatures above room temperature. This research establishes a method for fabricating clear magnetic/non-magnetic boundaries and evaluate the magnon propagation characteristics, thereby creating a research foundation for realizing magnetic metamaterials.

研究分野：物性理論、スピントロニクス

キーワード：メタマテリアル 磁性絶縁体 マグノン 重イオンビーム マグノニクス スピントロニクス スピン格子結合

1. 研究開始当初の背景

サブミクロンスケールの微細加工技術の進展に伴い、自然界には存在しない物性や有用な機能を発現する「メタマテリアル」を作り出す試みが増え盛んになっている。一例であるフォトニック結晶は、光の屈折率が周期的に変化するナノ構造体であり、基礎研究とともに応用開発が活発に進み、高機能光ファイバー等の商業利用もなされている。この他、赤外線(熱)に対するメタマテリアルで熱流を制御するものや、圧力や振動など機械的な応答に対するメタマテリアルの設計が基礎研究段階で進められている。

2013年、東京工業大学の村上修一教授らの研究グループは、磁気に対するメタマテリアルとして磁性絶縁体を母体とした「トポロジカルマグノニック結晶」の理論提案を行った。磁気励起が磁性体中を波のように伝搬するスピン波は、量子化されてマグノンと呼ばれる。磁気メタマテリアルは、電子の電荷(電気)とスピン(磁気)を利用したスピントロニクスをさらに先鋭化させ、量子化されたスピン波励起(マグノン)のみを用いた情報処理技術「マグノニクス」における機能材料として囑望されている。特にトポロジカルマグノニック結晶が実現すれば、室温動作する量子伝導素子が生み出される可能性を秘めるため、情報機器の省エネルギー化を目指す研究に大きなインパクトを与える。なお、ここでの「トポロジカル」とは、物質中の様々な励起(エネルギー分散関係)に現れる性質を指し、ある条件を満たすとバルクエネルギーのギャップ中に特異な「端状態」が発生することを意味する。この性質があると、バルク状態との混成が排除されることから端状態が不純物散乱から保護され、端状態を利用した高効率な情報伝送などが実現されるとされている。しかしながら、上記の2013年の理論提案以降、国内外の複数のグループで数々の試みがなされたものの、未だトポロジカルマグノニック結晶の実現報告例はなかった。

マグノニクスの典型材料としては、専ら酸化物の磁性絶縁体が用いられる。絶縁体のため、素子を動作させた際にジュール熱等の電氣的な損失が生じず、信号の入出力がスピンセクターのみで桁違いに小さなエネルギーで実現できると期待されている。特に酸化物モット絶縁体であるイットリウム鉄ガーネット($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ 、以下YIG)は、磁気損失も小さく(磁性金属の1/100)、室温を優に超える高い磁気転位温度($T_C = 560 \text{ K}$)をもつことから、マグノニクス適応材料として広く利用されている。トポロジカルマグノニック結晶の実現には、この酸化物磁性体に磁性/非磁性の明瞭な境界で隔てられた周期構造を広範囲に2次元パターンニングする必要がある。

これまでに試みられたYIGの加工法は、物理的手法と化学的手法に大別される。いずれも単結晶のYIG試料(磁性領域)に磁性をもたない実際の「穴」を周期的に空ける(またはその逆に、YIGが点状に残るように周囲を削り取る)ことを目指していた。しかし、レーザーアブレーション法などの物理的手法では加工の境界が不鮮明となり、さらに表面の物理ダメージも重なるため素子の動作検証のための測定が妨げられる。またYIGを溶かす熱リン酸でのエッチングといった化学的手法では加工の自由度が低くなり、十分な精度を持った加工は実現されていない。

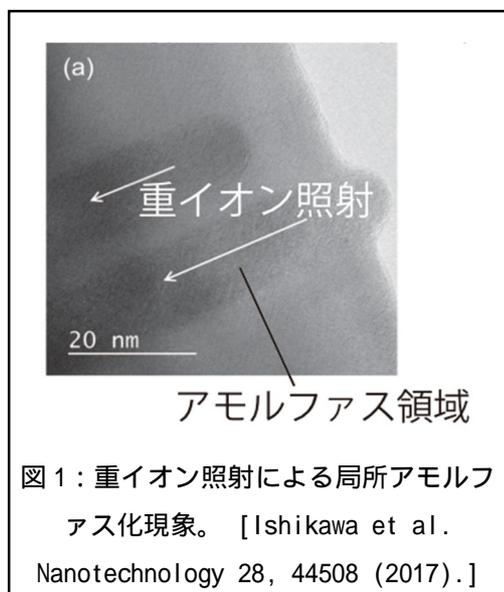
また、マグノニクス現象の観測には、通常アンテナによるスピン波の透過・反射測定やブリルアン散乱分光法等が用いられる。しかしこれらの従来手法は周波数・波数空間での詳細な情報を与えるが、トポロジカルマグノニック結晶の特徴である「試料端に局在して伝搬するスピン波」の存在を実空間・実時間で直接捉えるには不向きである。

このように、トポロジカルマグノニック結晶を酸化物磁性体に作り込み、その特徴的なマグノン伝搬様式の直接観測を実現する新たなアプローチの開発が求められていた。

2. 研究の目的

前項の背景を踏まえ、本研究では、酸化物磁性体のYIGに実際の穴ではなく「磁気の穴」を空ける全く新しい加工法を開発し、その機能性を検証することを目的に掲げた。この新加工法は、放射線の一種である高エネルギーの重イオンビームをYIGに照射すると、直線状のイオントラックが数 $10 \mu\text{m}$ 程度の深さまでアモルファス化し、直径約 10 nm の柱状の非磁性領域を作り出すという原子力工学分野の研究成果(図1)に着想を得たものである。また、研究分担者らが独自に開発したポンププローブ法による実空間・実時間磁気光学イメージング技術「スピン波トモグラフィー法」は、トポロジカルマグノンの空間伝搬を直接映像化できる手法であるため、素子の動作検証に最適である。

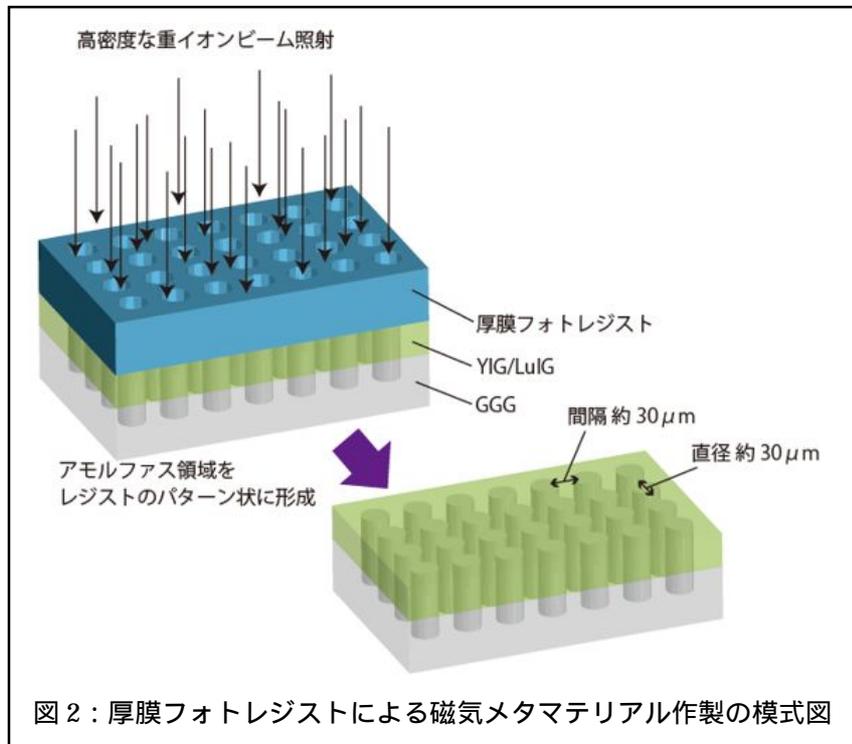
以上2つの実験的アプローチを理論と照合しながら突き詰め、最終的に磁気メタマテリアルを世界に先駆け創出することが本研究の目指す到達点である。



3. 研究の方法

高速重イオン照射をマグノニクスデバイス作製に応用するためには、所望のデバイスデザインに従って空間制御された照射が必要となる。ここで要求される空間分解能は $10\ \mu\text{m}$ 程度と小さいため、タンデム加速器の重イオンビームスキャンをパターンニングに利用することはできない。そこで本研究では、レーザーリソグラフィ法によるマスクパターンニングに着目した。レーザーリソグラフィ法はエポキシ樹脂などの高分子フォトレジストをレーザーによって直接パターンニングする技術であり、膜厚 $30\ \mu\text{m}$ という高速重イオンビーム遮蔽が可能な厚みのレジスト膜に対しても所望の空間分解能をもった加工が可能である(図2)。本研究の対象材料は、ガドリニウムガリウムガーネット($\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ 、以下 GGG)の基板に、YIG 膜を成型したもの、及び YIG の元素置換物質($\text{Bi}_1\text{Lu}_2\text{Fe}_{3.6}\text{Ga}_{1.4}\text{O}_{12}$ 、以下 Bi-LuIG)膜を成型したものの2種類である。Bi-LuIG は、スピントモグラフィー法において、YIG より高い感度を実現することから、重イオン照射の効果を検証する上で採用した。それらの表面に、重イオンビームの照射域をパターン化させるために、直径数 $10\ \mu\text{m}$ の貫通孔が数 $10\ \mu\text{m}$ の間隔で配置・加工されたフォトレジスト膜を作製する。これに重イオン照射を施し、照射後にフォトレジスト膜を除去することで、円筒状に磁性/非磁性境界を形成するようパターン照射された試料を作製する。

本研究の実験に関する部分は、試料作製を原子力機構にて、磁気励起の測定を主に東北大学(分担者の異動に伴い途中から東京大学。以下同じ。)で行う。原子力機構のタンデム加速器を利用し、高エネルギー重イオンビーム照射実験を実施した。予備実験の結果に基づき、酸化物試料中に柱状欠陥が生じる閾値以上のエネルギー $300\ \text{MeV}$ の金イオン(Au)および $200\ \text{MeV}$ のキセノンイオン(Xe)を用いた。また、量研機構保有の光学測定機器に電磁石を追加し磁気特性評価に使用した。東北大学(東京大学)のスピントモグラフィー装置は、分担者の日置が運用しており、本研究にてスピントモグラフィー装置の励起光パターン制御機構を拡張した。また、それと相補的なスピントモグラフィー測定を分担者の佐藤らが実施するための、信号発生器(GHz 帯域)、アナライザー($26.5\ \text{GHz}$ まで)は原子力機構所有の装置を利用し、本研究専用の微細加工用のマスクレスアライナを導入し運用した。理論面は代表者の家田が担当し、数値計算が必要となった場合は所属する研究グループの共用ワークステーションを利用した。磁気励起やスピントモグラフィー計算コードも、過去に開発したものを基礎とした。この他、研究協力者と共同で、磁性絶縁体の基礎物性評価や、磁性絶縁体を用いた新機能素子の理論提案にも取り組んだ。



4. 研究成果

(1) 重イオン照射による磁性絶縁体の2次元パターンニング技術の開発

酸化物ガーネット薄膜表面に重イオンビームの照射域を二次元描画するために、最終的には直径数 $10\ \mu\text{m}$ の貫通孔が数 $10\ \mu\text{m}$ の間隔で配置・加工された厚膜フォトレジストの作製が必要となる。このプロセスに $0.6\ \mu\text{m}$ 精度マスクレスアライナを本研究経費にて導入し、装置の立ち上げと描画パターンニングの調整を行った。研究期間2年目に、電極加工用のドロモードオプションを追加購入している。最終年度、同装置の故障が発生し、計画していた実験が全て延期となるアクシデントに見舞われたが、別途予算を確保することで修理を完了し研究を継続している。

重イオン照射実験は、原子力機構のタンデム加速器を利用した。これまでの研究から、ガーネット薄膜試料の磁性を完全に消失させる照射量(フルエンス)は $2 \times 10^{12}\ \text{ions}/\text{cm}^2$ と分かっている。磁性制御の観点からは照射量はこれ以下で十分であり、カレントの大きいキセノンイオンビームの場合、1つの条件の照射時間は数十分程度になる。1条件で2~3試料に同時照射できることから、半日の照射時間で年間測定に十分なマグノニクスデバイスが作成できる。加えて、カレントが小さく、 $10^{11}\ \text{ions}/\text{cm}^2$ 台のフルエンスコントロールが容易な Au ビームを半日使用することで欠陥密度のコントロールが重要となる擬一次元磁性体構造デバイスの作製が可能となる。このように、照射イオン種は目的に応じて使い分ける。照射後にフォトレジスト膜を除去するこ

とで、円筒状に磁性/非磁性境界を形成するようパターン照射された試料を作製した。作製した試料の磁気ドメイン観察を、磁気光学カー顕微鏡等で実施した。

試行の結果、最終年度には高い再現性でマイクロスケールの磁性微細加工が可能になってきた。図3に周期構造を有するマグノニクスデバイスの試作例を示す。図3に示した基板は $2 \times 2 \text{ mm}^2$ のBi-LuIG基板であり、照射された試料表面は濃く変色することから照射領域と非照射領域（レジストで保護された部分）が形成されていることが視認できる。右下の拡大図にあるように、開発した技術を用いることでマイクロスケールの周期性をもつ構造が作製できていることから、パターンニングによるマグノン伝搬制御実験の実現可能性は十分に担保されている。

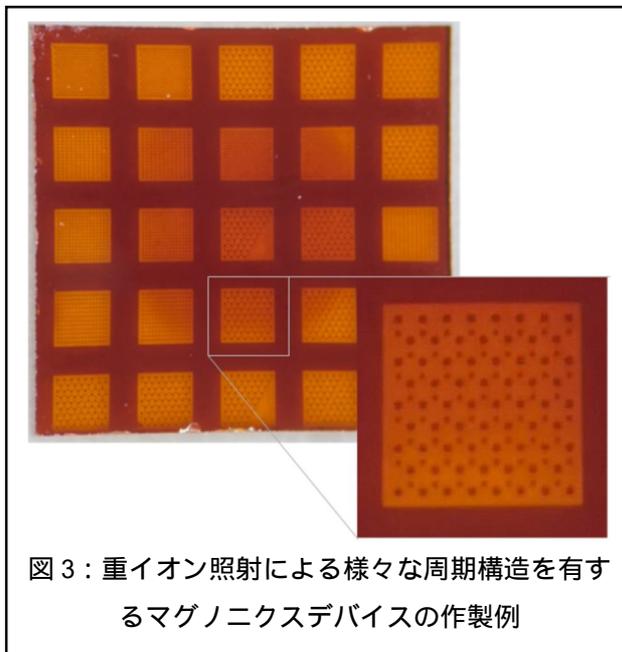


図3：重イオン照射による様々な周期構造を有するマグノニクスデバイスの作製例

磁気光学イメージング測定装置については、最終年度の2023年にパルスレーザー光源の発振タイミングを制御するシグナルディレイジェネレータの電源に異常を生じたため、電源が入らない状況となり使用不可能になった。パルスレーザー光源の購入元に新規のシグナルディレイジェネレータの発注し修理が行われた。

しかし、その作業の際に大幅な光軸調整が行われたため、光源から試料までの光路調整が必要となり、2024年1月に光路調整を行った。現在は、シグナルディレイジェネレータの交換に伴って変更されたマイクロ波とレーザーの同期機構のプログラムを調整中であり、従前の測定ができる状態には回復していない。今後、マイクロ波とレーザーの同期機構をプログラムし調整するとともに、測定効率を高めるために電磁石の設計を修正し、従前の測定が可能なセットアップを回復する予定である。

以上の成果は、磁気メタマテリアルを重イオン照射により作製する上での重要な基礎データとなると共に、磁性絶縁体材料と放射線の相互作用に関する新しい知見をもたらすものである。本研究課題で作製した試料には、副格子を含むような異なる2つの大きさのアンチドットを配列した構造を準備しており、このイメージング測定によってマグノンバンドの変調を確認するとともに、端状態の観測による磁気メタマテリアル継続して挑戦する。

(2) 重イオン照射による磁気ヒステリシスの誘導

パターン化試料以外でも、重イオン照射によるBi-LuIGの磁気特性の変調効果を系統的に調べ、ある照射量閾値を境に保持力が急速に増大する振る舞いを発見した。重イオン照射前のBi-LuIGは、膜面容易磁化でほぼ無視できる保持力特性を示す。ここに、300 MeVの金イオンを照射し、照射量による磁化曲線の変化を調べた。照射量を0(未照射)から $2 \times 10^{12} \text{ ions/cm}^2$ までの範囲で変化させたBi-LuIG試料の面内磁化曲線を図4に示す。照射量の増大に伴う飽和磁化の減少は、アモルファス化した領域が磁性を失うことに起因する。加えて、 $2 \times 10^{11} \text{ ions/cm}^2$ 以上の照射量の試料においては保磁力の増大も観測された。

この現象を理解するため、マイクロマグネティックシミュレーションを実施し、重イオン照射によるアモルファス化した非磁性領域の蓄積により磁性領域が島状に分断される結果、ランダムな面内磁化配置が実現されることを突き止めた。この閾値的振る舞いは、2次元パーコレーション理論による解析とも整合する。これらは、磁性絶縁体の磁気特性を高速重イオン照射によって変調できることを示す世界初の成果であり、学会発表と論文発表[Harii et al., J.Phys.Soc.Jpn. 2023]を行なった。

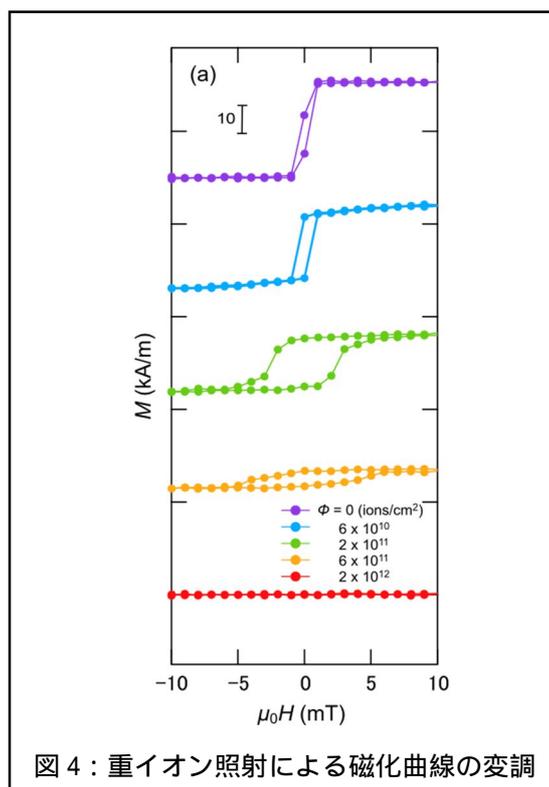


図4：重イオン照射による磁化曲線の変調

(3) 磁性絶縁体 YIG におけるスピン格子結合の中性子散乱実験による解析

磁性絶縁体 YIG 中にマグノンスピン流を励起する最も簡単な手法は、素子に温度勾配をかける縦型スピンゼーベック効果である。この縦型スピンゼーベック効果の温度変化は、これまでの研究により 100K 付近でピークとなり室温付近へ緩やかに減少することが知られていた。この振る舞いは、縦型スピンゼーベック効果の出力が熱分布するマグノン数の上昇に伴いそのまま上昇するという素朴な期待とは異なるもので、これまでいくつかのメカニズムが提案されていたものの、その起源を実験的に確認することはできておらず原因の解明が求められていた。

本研究では、YIG 単結晶を育成し、結晶軸方向に沿って超音波をあてながら中性子準弾性散乱法でスピンの応答(磁気ブラッグピーク)を調べた。その結果、中性子散乱の信号強度が低温と室温付近の間で大きく異なることを発見した[Shamoto et al., Phys.Rev.Research 2022]。その温度変化を詳しく調べたところ、ある結晶の軸方向に縦波の超音波を入れた場合に温度 100K 以上で信号が著しく減少し、スピンゼーベック効果が減少しはじめる温度と一致することを確認した。本手法では、超音波で格子を振動させて、中性子でスピンのみに感度のある磁気ブラッグピークの変化を検出していることから、スピン格子結合を直接検出することができる。すなわち、このスピン格子結合が 100K 以上で急激に弱まり格子の振動がスピンに伝わりにくくなることから、マグノンスピン流生成の高効率化を妨げている主要因であると結論づけられる。今後、この中性子散乱と超音波印加を組み合わせた手法を様々な磁性絶縁体材料に活用することで、室温でより強いスピン格子結合をもつ材料の開発が促進されることを期待する。

(4) 絶縁体インダクタの理論提案

電子回路の基本構成要素となるインダクタの小型化方針として、磁性体中の磁化運動を電流で駆動しその反作用として起電力を得る「創発インダクタ」という革新的提案が 2019 年になされた。一方でその実証はらせん磁性体金属に限られ、またジュール熱による損失が無視できない等の課題が残されている。更にキャパシタに関しては、このような理論提案すらない。これを受け、本研究では磁性体絶縁体とトポロジカル絶縁体の界面に生じる電子系トポロジエの効果を考慮した創発インダクタ・キャパシタの普遍的理論を構築し、低電流でインダクタ・キャパシタ機能を示す物質探索の指針を提供することに取り組んだ。研究協力者の荒木が磁性トポロジカル物質でこれまでに得たスピントルク等の理論を元に、電子系と磁化のダイナミクスを組み合わせ、インダクタンス・キャパシタンスの公式を導出することに成功した[Araki and Ieda, J.Phys.Soc.Jpn. 2023]。実現すれば、理想的にはジュール損失のないインダクタ・キャパシタ特性が得られることから、これまでに無い高 Q 値(受動素子の性能指数。素子の複素インピーダンスの実部と虚部の比で表される。)が得られることが判明した。論文発表に先立ち、関連する特許を出願済である。本研究で得られた理論的知見を基礎として、磁性絶縁体の重イオン照射による加工技術を組み合わせることで、具体的な物質選択及び実験によるインピーダンス測定に繋げることを計画している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ieda Jun'ichi, Okayasu Satoru, Harii Kazuya, Kobata Masaaki, Yoshii Kenji, Fukuda Tatsuo, Ishida Masahiko, Saitoh Eiji	4. 巻 58
2. 論文標題 The Damage Analysis for Irradiation Tolerant Spin-Driven Thermoelectric Device Based on Single-Crystalline Y3Fe5O12/Pt Heterostructures	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.2022.3145888	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 Harii Kazuya, Umeda Maki, Arisawa Hiroki, Hioki Tomosato, Sato Nana, Okayasu Satoru, Ieda Jun'ichi	4. 巻 92
2. 論文標題 Magnetic Hysteresis Induction with Nanocolumnar Defects in Magnetic Insulators	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 073701(1-4)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.92.073701	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 Shamoto Shin-ichi, Akatsu Mitsuhiro, Matsuura Masato, Ohira-Kawamura Seiko, Harii Kazuya, Ono Masao, Chang Lieh-Jeng, Ito Takashi U., Nemoto Yuichi, Ieda Jun'ichi	4. 巻 4
2. 論文標題 Magnetic Bragg peak enhancement under ultrasound injection	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 013245(1-5)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevResearch.4.013245	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 該当する
1. 著者名 Araki Yasufumi, Ieda Jun'ichi	4. 巻 92
2. 論文標題 Emergence of Inductance and Capacitance from Topological Electromagnetism	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 074705(1-9)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.92.074705	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 Shamoto Shin-ichi, Akatsu Mitsuhiro, Chang Lieh-Jeng, Nemoto Yuichi, Ieda Jun'ichi	4. 巻 124
2. 論文標題 Inelastic neutron scattering study of magnon excitation by ultrasound injection in yttrium iron garnet	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 112402(1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0189768	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

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 J. Ieda, S. Okayasu, A. Takeyama, K. Harii, T. Ohshima, M. Ishida, and E. Saitoh
2. 発表標題 Irradiation tolerance of spin-driven thermoelectric device based on Y3Fe5O12/Pt heterostructures
3. 学会等名 the 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Harii, T. Ohshima, S. Okayasu, M. Umeda, H. Arisawa, T. Hioki, and J. Ieda
2. 発表標題 Magnetic property modification by heavy ion irradiation to lutetium-iron garnet
3. 学会等名 the 24th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS-2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 針井 一哉, 岡安 悟, 埋田 真樹, 有沢 洋希, 日置 友智, 家田 淳一
2. 発表標題 磁性絶縁体 LuIG の磁化過程に対する高エネルギー重イオン照射効果
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 家田 淳一
2. 発表標題 高速イオンビームによる磁性絶縁体の照射試験と局所変調
3. 学会等名 岩手大学スピントロニクスワークショップ 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuya Harii, Satoru Okayasu, Maki Umeda, Nana Sato, Hiroki Arisawa, Tomosato Hioki, Jun'ichi Ieda
2. 発表標題 Magnetic property modification of LuIG caused by ion beam irradiation
3. 学会等名 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuya Harii, Satoru Okayasu, Maki Umeda, Nana Sato, Ohshima Takeshi, Hiroki Arisawa, Tomosato Hioki, Jun'ichi Ieda
2. 発表標題 Modification of magnetic properties in garnets caused by swift ion beam irradiation
3. 学会等名 International Workshop on Quantum Beams Study of the Dynamics of Rare Earth Garnets (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 薄膜インダクタ素子、薄膜可変インダクタ素子及び積層薄膜素子の使用方法	発明者 荒木康史、家田淳一、山根結太、深見俊輔	権利者 東北大学、日本原子力研究開発機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-183158	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

[令和4年3月29日プレス発表]
 スピンの響き、超音波で奏でて中性子で聴く
 工業用磁性材料として広く用いられるイットリウム鉄ガーネット (YIG) において、スピン・格子結合が100K以上の温度で抑制されることを超音波と中性子を組み合わせた新実験手法により明らかにしました。(詳細はこちら: <https://www.jaea.go.jp/02/press2021/p22032901/>)

[令和5年6月16日プレス発表]
 「インダクタ」のサイズを10000分の1に！超小型化できる新原理を考案
 電子回路の基礎となる素子「インダクタ」の機能について、絶縁体の薄膜を用いることにより、従来型インダクタと同等の電力効率をもちつつ、サイズを抜本的に小型化できる新原理を考案し理論的に検証しました。(詳細はこちら: <https://www.jaea.go.jp/02/press2023/p23061602/>)

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	針井 一哉 (Harii Kazuya) (00633900)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 量子機能創製研究センター・主任研究員 (82502)	
研究分担者	佐藤 奈々 (Sato Nana) (10867112)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究職 (82110)	
研究分担者	日置 友智 (Hioki Tomosato) (10898042)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・助教 (12601)	

	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
研究協力者	社本 真一 (Shamoto Shin-ichi)		
研究協力者	荒木 康史 (Araki Yasufumi)		

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			
その他の国・地域	National Cheng Kung University, Taiwan			