

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00765

研究課題名（和文）二次元人工磁気格子を用いたスピンの流れ制御と集積化スピン波演算回路への応用

研究課題名（英文）Flow control of spin wave using two-dimensional magnonic crystals and application of integrated spin wave circuits

研究代表者

井上 光輝（Inoue, Mitsuteru）

豊橋技術科学大学・工学（系）研究科（研究院）・客員教授

研究者番号：90159997

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,000,000円

研究成果の概要（和文）：ナノメートルスケールの人為的構造を導入した磁性体は人工磁気格子と呼ばれ、これを使って磁性体の中を流れるスピン波を制御する方法は、次世代のコンピューティング素子を作ると期待されている。本研究は、この人工磁気格子の中でも、二次元マグノンニック結晶と呼ばれるデバイスを作製した。当初予定していた動作が確認でき、今後さらに高効率化・小型化するための方針も示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スピンの流れを制御する二次元マグノンニック結晶は、次世代の、低電力デバイスの基礎的な部品になることが期待されている。電流ではなく、スピンの流れを使った新しい演算素子の実現を目指すものである。このためには、基本的なスピンの制御技術の開発が必要であり、本研究では、この二次元マグノンニック結晶を実際に作製し、透過利得等を測定することで、基本的な動作を実証した。さらに、これを高効率化・小型化するための新しい構造の提案も行った。

研究成果の概要（英文）：Magnetic materials with artificial structures on the nanometer scale are called artificial magnetic lattices, and a method to control spin waves flowing in the magnetic materials is expected to create the next generation of computing devices. In this study, we fabricated a device called a two-dimensional magnonic crystal in the artificial magnetic lattices. The planned operation was observed, and the plan for further efficiency and miniaturization of spin-wave devices was also presented.

研究分野：磁気工学

キーワード：スピン波 マグノン マグノンニック結晶 次世代デバイス 低発熱 融合回路

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

ナノメートルスケールで、人為的構造を導入した磁性体を人工磁気格子と名付け、これの基礎的研究、および応用展開を行ってきた。この人工磁気格子は、構造に起因する新規の磁性と機能を示すことから、重要な技術分野を形成しつつある。特に、最近の電気通信技術の飛躍的な進展に伴い、重要な情報キャリアである光やスピン波、あるいは高周波電磁界とナノ構造との相互作用が注目されるようになった。そこで、我々は、2014-2018年に基盤研究(S)として、その基本的特性の解明およびデバイス実証を行う研究を展開した。人工磁気格子を応用デバイスと結びつけるかたちで、透明強磁性体にナノスケール構造を導入した人工磁気格子を「光人工磁気格子(磁性フォトニック結晶)」、高周波磁気応答を周期構造によって制御した人工磁気格子を「スピン波人工磁気格子」と整理し報告した。この中で、特に、数GHzから数十GHz高周波領域で動作する前進体積モードのスピン波については、これを基本キャリアとした情報処理デバイス(スピン波集積回路)展開を目指してきた。人工磁気格子を用いたスピン波の流れ制御と、スピン波の位相干渉に基づくロジック演算、さらに、低電力デバイスの実現を目指したスピン波トランスジューサを検討してきた。この研究の中で、微細なスピン波導波路の実現方法、効率的なスピン波トランスジューサの実現方法、等の課題が明らかになり、これらの解決が必要であることが分かった。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、スピンの流れを二次元面内で操作する二次元スピン波人工磁気格子の創出と、この媒体を用いたスピン波集積回路を得ることを目的とした。このために、二次元周期配列した非磁性の金属/磁性ガーネット媒体を用いた小型スピン波導波路を検討した。同時に、スピン波の演算回路の開発を通じて学術的「問い」の探求・解明を行うと共に、その物理的・工学的知見を広く産業界へ展開することで、我が国の産業競争強化に資することを目的とした。

3. 研究の方法

上記の目的の達成のために、我々は、二次元マグノニック結晶の構造設計を行い、これの中を流れるスピン波を、大型計算機上で、シミュレーションした。計算であるため、構造の調整やスピン波の現実に見ることができないような箇所の機微な振る舞いを確認することができた。同時に、実験時に使用する材料に求められる条件や適切な材料選定を、行うこととした。次に、シミュレーション結果に基づき、デバイスの試作を行った。研究開始当初は、学外施設を利用した実施を計画していたが、新型コロナウイルス発生に関連する規制等により、当初計画を変更し、学内で実施可能な環境構築を行った。結果的に、当初計画通りに、二次元マグノニック結晶を作製した。このデバイスの評価は、一般に市販されている装置ではできなかったため、自作することで解決した。開発した装置を用いて、二次元マグノニック結晶を評価した。

二次元マグノニック結晶の開発と並行し、効率的なスピン波トランスジューサの効率改善方法についても検討し論文等で報告した。

4. 研究成果

二次元マグノニック結晶を、有限積分法に基づいてスピン波伝搬を計算できる電磁界解析シミュレーターを用いて設計した。計算に用いたモデルは、実験で作製可能なものとした。結晶の計算で、よく用いられる周期境界条件や、無限境界条件は極力用いないことで、現実のデバイスに近い計算を行った。計算モデルでは、イットリウム鉄ガーネット膜上に、円形の銅を周期的に配置した。イットリウム鉄ガーネットの厚さは、10 μm 、イットリウム鉄ガーネットの飽和磁化は1800 Gauss、磁気回転比は、2.8 MHz/Oe、ダンピング定数は、 2.4×10^{-4} とした。いずれも、単結晶のイットリウム鉄ガーネット膜の値である。イットリウム鉄ガーネット内部に印加される有効磁界は600 Oeとした。銅の厚さは、1 μm 、導電率は 5.96×10^7 S/mとした。銅の周期構造の部分が二次元マグノニック結晶となり、これを面内で2つのマイクロストリップライン(microstrip line, MSL)で挟んだ。マイクロストリップラインは、18 μm 厚の銅から形成され、FR4と呼ばれる誘電ガラス基板上に形成されることを想定した。使用を想定したイットリウム鉄ガーネット膜は、ダンピング定数が小さく、さらに、これの中を流れる前進体積スピン波は、反射しても波長が変わらないため、極めて位相干渉しやすい。このため、スピン波導波路の端部の反射を抑制する必要があった。そこで、非磁性の金属膜を、導波路の端部に成膜し、スピン波を減衰した。非磁性の金属膜には、金を用いた。金の厚さは30 nmとし、導電率は 4.561×10^7 S/mとした。円形の銅の直径は、300 μm とし、円と円の間隔は150 μm とした。計算したところ、図1に示すように、明確なマグノニックバンドギャップが確認できた。金の膜を用いたスピン波吸収部が無い時は、図1(a)に示すように、位相干渉に起因するノイズが極めて大きい結果となり、バンドギャップを見分けることが、困難であることが分かる。一方で、図1(b)に示すように、ノイズ抑制構造を使用することで、バンドギャップが明瞭に表れる。したがって、スピン波吸収層を用いることで、二次元マグノニック結晶の動作が確認できることが計算で分かった。

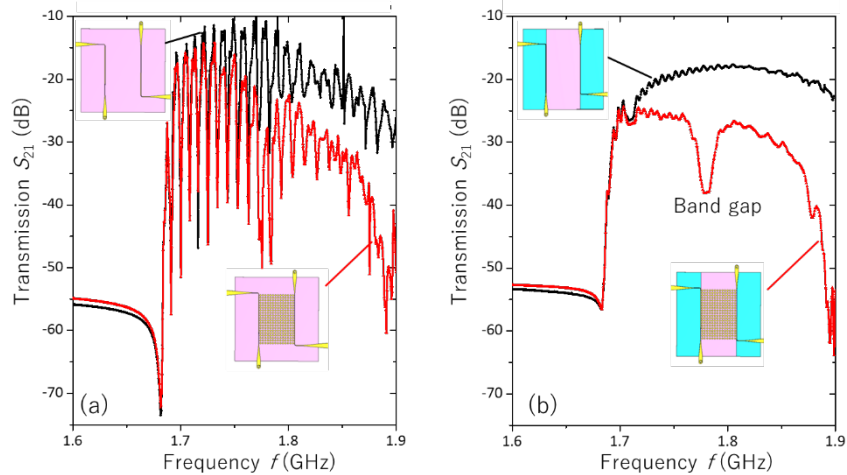


図1 (a) スピン波吸収部が無い時のマイクロストリップライン間の透過利得。(b) スピン波吸収部がある時のマイクロストリップライン間の透過利得。マイクロストリップライン間に、二次元マグノニック結晶が無い時（黒線）とある時（赤線）を示す。

単結晶の(111)配向したイットリウム鉄ガーネット上に、約 $1\ \mu\text{m}$ 厚の銅膜を、直流イオンビームスパッタ装置を用いて成膜し、これを、エッチングプロセスを用いて、シミュレーションのように、円形周期構造に加工した。露光には、レジストAZ5214E、マスクレス露光装置、ディベロッパAZ400K、リムーバーAZ700を用いた。この後、スピン波吸収層を作製した。スピン波吸収層は、約 $50\ \text{nm}$ 厚の金膜を、二次元マグノニック結晶の横にのみ成膜することで作製した。成膜には、直流イオンビームスパッタ装置を用いた。

この二次元マグノニック結晶の透過利得スペクトルを、構築した二次元マグノニック結晶評価装置を用いて測定した。二次元マグノニック結晶の膜面に対して、垂直方向に永久磁石を用いて磁界を印加した。マイクロストリップラインは、FR4基板上に、作製し、フリップチップボンディングによって接続した。マイクロストリップラインは、SMAコネクタを介して、ベクトルネットワークアナライザ (vector network analyzer, VNA) に、接続した。測定前には、電子校正キット Keysight Technologies, N4433A を用いて校正した。図2に測定結果を示す。マグノニックバンドギャップが周波数約 $1.84\ \text{GHz}$ で表れた。設計した周波数とは、マグノニックバンドギャップが発現する周波数に差があったため、追加で解析を行ったところ、実験で使用したイットリウム鉄ガーネット膜の膜厚と、シミュレーションで用いていた値に差があることが分かり、実験で使用したイットリウム鉄ガーネット膜の膜厚を用いて、計算をやり直したところ、図2に示すように、計算と実験結果が良く一致した。以上のことより、二次元マグノニック結晶が作製でき、計算とよく一致する結果が得られたと言え、当初の目的の実験が行えたといえる。

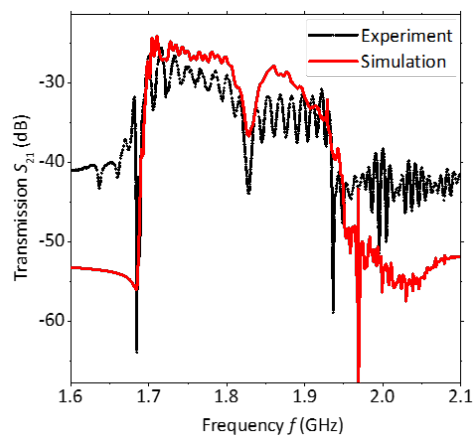


図2 測定した二次元マグノニック結晶の透過利得スペクトル。実験結果を黒色、計算結果を赤色で示している。

上記に加え、スピン波トランスジューサの構造を検討した。微細なスピン波の励起および検出には、単純にこれまでの構造を小さくするだけでは、励起できるスピン波の周波数帯域が狭く、かつ、強度が小さくなることが分かった。これには、スピン波の励起素子の電極構造が関係して

いる。スピン波の励起素子は、2つのマイクロストリップライン電極とイットリウム鉄ガーネットによって構成されている。広い周波数帯域、かつ、高強度なスピン波を励起するには、この2つの電極を、イットリウム鉄ガーネット膜の表面と裏面に形成する必要があることが分かった。しかし、最近のスピン波デバイス研究におけるイットリウム鉄ガーネット膜の厚さは数マイクロメートルからナノメートル台であり、割れてしまうなどの理由から、単純に膜の両端面に電極を作れないほど薄くなっている。そこで、厚さ1 μm のイットリウム鉄ガーネット (YIG) 膜をシリコン (Si) 上に、金属層 (metal) を介して、接着した、YIG-on-Metal (YOM) 構造を提案した。YOM 基板を使うと、イットリウム鉄ガーネットのウラ面には電極がすでに形成されているため、オモテ面に、もう片方の電極を作るだけで、スピン波励起素子を作ることができる。この構造をシミュレーションすると、従来の電極構造に比べて、周波数帯域が広く、かつ、強度が大きく、性能指数が2倍以上大きなスピン波励起素子を実現できると分かった。本成果は、論文及び学会発表により報告した。

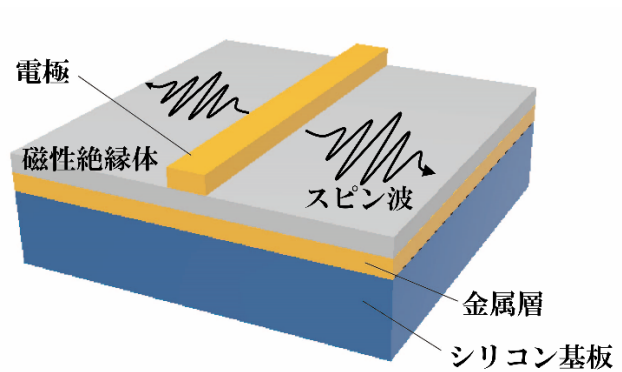


図3 提案したスピン波トランスジューサ構造の概略図。上部の電極と金属層の間に磁性絶縁体があり、全体がシリコン基板上にある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yuichi Nakamura, Pang Boey Lim, Taichi Goto, Hironaga Uchida and Mitsuteru Inoue	4. 巻 9 (9)
2. 論文標題 Development of Heat Dissipation Multilayer Media for Volumetric Magnetic Hologram Memory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1738-1 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app9091738	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 Go Kawamura, Kentaro Oura, Wai Kian Tan, Taichi Goto, Yuichi Nakamura, Daisaku Yokoe, Francis Leonard Deepak, Khalil El Hajraoui, Xing Wei, Mitsuteru Inoue, Hiroyuki Muto, Kazuhiro Yamaguchi, Aldo R. Boccaccini and Atsunori Matsuda	4. 巻 7 (32)
2. 論文標題 Nanotube array-based barium titanate/cobalt ferrite composite film for affordable magnetoelectric multiferroics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 10066 ~ 10072
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9tc02442e	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 Yuichi Nakamura, Pang Boey Lim, Taichi Goto, Hironaga Uchida, and Mitsuteru Inoue	4. 巻 27 (20)
2. 論文標題 Recording and reconstruction of volumetric magnetic hologram using multilayer medium with heat dissipation layers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 27573 ~ 27579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.027573	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 A. I. Musorin, A. V. Chetvertukhin, T. V. Dolgova, H. Uchida, M. Inoue, B. S. Luk'yanchuk, and A. A. Fedyanin	4. 巻 115
2. 論文標題 Tunable multimodal magnetoplasmonic metasurfaces	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 APPLIED PHYSICS LETTERS	6. 最初と最後の頁 151102-1 ~ 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5124445	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 Taichi Goto, Takuya Yoshimoto, Bungo Iwamoto, Kei Shimada, Caroline A. Ross, Koji Sekiguchi, Alexander B. Granovsky, Yuichi Nakamura, Hironaga Uchida and Mitsuteru Inoue	4. 巻 9
2. 論文標題 Three port logic gate using forward volume spin wave interference in a thin yttrium iron garnet film	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16472-1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-52889-w	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 中村雄一, 林 攀梅, 後藤太一, 内田裕久, 井上光輝	4. 巻 140 (3)
2. 論文標題 磁気ホログラム記録用熱拡散多層膜記録媒体の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌A	6. 最初と最後の頁 125 ~ 130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.140.125	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 V. K. Belyaev, D. V. Murzin, A. G. Kozlov, A. A. Grunin, A. S. Samardak, A. V. Ognev, A. A. Fedyanin, M. Inoue, and V. V. Rodionova	4. 巻 59
2. 論文標題 Engineering of optical, magneto-optical and magnetic properties of nickel-based one-dimensional magnetoplasmonic crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SEEA08-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab71df	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

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Mitsuteru Inoue
2. 発表標題 Magnetic phase interference in artificial magnetic lattices
3. 学会等名 METANANO 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩本文吾, 後藤太一, 中村雄一, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 高効率スピン波励起のためのコプレーナ線路の作製 (II)
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤太一, 中村雄一, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 前進体積スピン波を用いた一次元マグノニック結晶の作製
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高口拓己, 後藤太一, 中村雄一, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 非飽和状態における磁性ガーネットの高周波磁気応答
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊田雄大, 中村雄一, 後藤太一, 林攀梅, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 スピンゼーベック出力精密評価のための温度評価方法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 電子部品・材料研究会 (CPM)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉原優紀, エルフィック ケルビン, 内田裕久, 井上光輝, 廣畑貴文
2. 発表標題 CoドーブMn3Ga 反強磁性ホイスラー合金の交換バイアス効果
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西本光佑, 北原 旭, 橋本良介, 後藤太一, 中村雄一, Pang Boey Lim, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 非破壊検査用磁気光学センサのためのグラニューラ薄膜の作製
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Goto
2. 発表標題 Logic gates using spin waves
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 板橋悠人, Ilham Surya Priasmoro, 高田一紀, 水戸慎一郎, Andrey Fedyanin, 後藤太一, 中村雄一, P. B. Lim, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 正方配列Au粒子/Bi:YIG複合構造体におけるファラデー効果および極カー効果のFDTDシミュレーション
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Altankhuyag Khishig-Ochir, 木村陽太, 伊藤誉敏, 堀米秀嘉, 後藤太一, 中村雄一, Lim Pang Boey, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題	マイクロレンズアレイを用いた磁気光学3次元ディスプレイの高視野角化と像拡大化
3. 学会等名	第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	田中健太, 後藤 太一, 中村雄一, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題	磁気ホログラムメモリ記録媒体としての(Bi,Dy,Y)3(Fe,Al)5O12および(Bi,Nd)3(Fe,Ga)5O12の磁化特性及び磁気光学特性評価
3. 学会等名	電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Kenta Tanaka, Yuichi Nakamura, Taichi Goto, Pang Boey Lim, Hironaga Uchida, Mitsuteru Inoue
2. 発表標題	Performance of Nd _{0.5} Bi _{2.5} Fe _{4.0} Ga _{1.0} O ₁₂ Films as Recording Media for Magnetic Hologram Memory
3. 学会等名	Imaging, Sensing, and Optical Memory 2019 (ISOM'19) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	NAKAMURA Yuichi, INOUE Mitsuteru
2. 発表標題	Fabrication and properties of oxide thermoelectric thick film elements by aerosol deposition method
3. 学会等名	The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 Mitsuteru Inoue
2. 発表標題 Iron garnet base artificial magnetic lattices and applications
3. 学会等名 12th International Conference on Ferrites (ICF12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichi Nakamura, Taichi Goto, Pang Boey Lim, Hironaga Uchida, and Mitsuteru Inoue
2. 発表標題 Design and Properties of Heat Dissipation Multi-Layered Media for Magnetic Hologram Memory
3. 学会等名 IWH2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上光輝
2. 発表標題 磁気光学と応用デバイス・システム
3. 学会等名 電磁材料研究所講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上 光輝, 中村 雄一, Lim Pang Boey, 後藤 太一, 内田 裕久
2. 発表標題 人工磁気格子と光デバイス・システム応用
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村雄一, 後藤太一, 林 攀梅, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 磁気ホログラムメモリ用多層膜記録媒体の作製と評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会 (MRIS) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichi Nakamura
2. 発表標題 Design and Properties of Heat Dissipation Multi-Layered Media for Magnetic Hologram Memory
3. 学会等名 モスクワ大学講演会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村 雄一, Lim Pang Boey, 後藤 太一, 内田 裕久, 井上 光輝
2. 発表標題 磁気ホログラムメモリ用多層膜記録媒体の開発
3. 学会等名 IEEE MAGNETICS Soc. Nagoya Chapter 若手研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤 太一, 中村 雄一, 内田 裕久, ミナ マニ, 平等 拓範, 井上 光輝
2. 発表標題 磁性ガーネットを用いたキロワット出力スピンの制御レーザーの開発
3. 学会等名 IEEE MAGNETICS Soc. Nagoya Chapter 若手研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Taichi Goto, Shutaro Nakata, Yuichi Nakamura, Hironaga Uchida, Mitsuteru Inoue
2. 発表標題 Q-switch using magneto-optical garnet film for holographic application
3. 学会等名 SPIE Photonics West2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木健, 後藤太一, 中田周太郎, 中村雄一, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 スピン制御レーザーの出力増大磁性ガーネットの磁気光学効果の動的評価
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中健太, 中村雄一, 内田裕久, Lim Pang Boey, 後藤太一, 井上光輝
2. 発表標題 Ga 置換が Bi 高置換ガーネットの特性に及ぼす影響
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村雄一, 滝川 新, 後藤太一, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 周期多層膜構造の縦スピンゼーベック出力への影響
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西本光佑, 北原 旭, 橋本良介, 後藤太一, 中村雄一, Pang Boey Lim, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 磁性グラニューラ薄膜の磁気光学センサへの応用に向けた検討
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 板橋悠人, Surya-Priasmoro Ilham, 高田一紀, 水戸慎一郎, Andrey Fedyanin, 後藤太一, 中村雄一, Pang Boey Lim, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 正方配列Au粒子/Bi:YIG複合構造体におけるファラデー効果のFDTDシミュレーション
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村雄一, 是川真吾, 田中健太, 後藤太一, Pang Boey Lim, 内田裕久, 井上光輝
2. 発表標題 磁気ホログラムメモリ用Bi置換希土類鉄ガーネットの特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 2020年総合大会
4. 発表年 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
研究分担者	後藤 太一 (Goto Taichi) (00721507)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (13904)	

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	石山 和志 (Ishiyama Kazushi) (20203036)	東北大学・電気通信研究所・教授 (11301)	

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