

令和 6 年 5 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04649

研究課題名（和文）磁性体メタマテリアルの開発と革新的光スピントロニクス機能の創出

研究課題名（英文）Development of magnetic metamaterials and creation of innovative opto-spintronic functionalities

研究代表者

松原 正和（Matsubara, Masakazu）

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：50450648

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,900,000円

研究成果の概要（和文）：近年注目を集めるスピントロニクスにおいて、その機能の多くは電流のスピン版である「スピン流」によって駆動されるため、スピン流の革新的な生成・制御技術の開発が急務となっている。本研究では、ナノ空間の対称性を人工操作した磁性体メタマテリアルを新たに開発することで、室温かつ高速で、スピン流の伝搬方向や大きさを光パルスの偏光状態により完全制御する新原理を開拓した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた結果は、スピントロニクス技術の根幹を成すスピン流の生成・制御に対して、ナノテクノロジーを用いた「物質の対称性の人工操作」により、多くの既存物質をも機能化する普遍的な新原理・新機能を開拓するモデルとなるものであり、次世代のスピントロニクスデバイス設計の自由度の飛躍的な向上が期待される。

研究成果の概要（英文）：In spintronics, which has attracted much attention in recent years, many of its functions are driven by “spin currents”, which are the spin version of electric currents. Therefore, there is an urgent need to develop innovative technologies for generating and controlling spin currents. In this study, by developing magnetic metamaterials with artificially manipulated nanoscale symmetry, we have pioneered a new principle to fully control the propagation direction and magnitude of spin currents at room temperature by the polarization state of light pulses.

研究分野：光物性、光スピントロニクス

キーワード：光スピントロニクス スピン流 磁性体メタマテリアル

1. 研究開始当初の背景

近年、電子が持つ電荷の自由度に加えてスピン（磁気）の自由度を積極的に利用する「スピントロニクス」が、電気・磁気デバイスの新しい駆動原理の創出や省エネルギー化技術の観点から注目を集め、これらに関する研究が世界的規模で進められている。スピントロニクス機能の多くは、電流のスピン版である「スピン流（スピン角運動量の流れ）」によって駆動される（図1）。スピン流を用いれば、超低損失な不揮発性磁気メモリーや量子情報伝送が実現可能になると期待されており、スピン流の革新的な生成・制御技術の開発が急務となっている。

2. 研究の目的

本研究では、「ナノ空間を人工的かつ機能的に設計した磁性体メタマテリアル」を新たに開発することで、従来に無い全く新しい原理により、「室温かつゼロバイアスで、伝播方向や大きさを光の偏光により完全制御可能な超高速のスピン流生成」の基礎原理を構築する（図1）。これにより、スピン流の生成・制御手法の選択肢を広げ、次世代スピントロニクスデバイス設計の自由度の飛躍的な向上に貢献することを目指した。

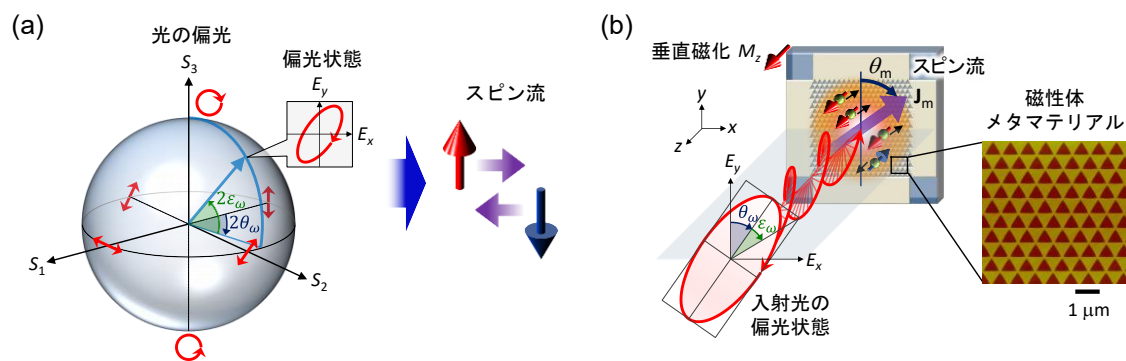


図1 研究の概念図。(a) 光の偏光状態を表すポアンカレ球。(b) ナノ空間の対称性を人工操作した磁性体メタマテリアルを用い、光の偏光自由度（偏光方向 θ_ω 、楕円率角 ε_ω ）の利用によりスピン流（スピン偏極電流） \mathbf{J}_m の伝搬方向 θ_m や大きさ $|\mathbf{J}_m|$ を超高速で完全制御する。

3. 研究の方法

本研究は3年間において、室温で動作する磁性体メタマテリアルをデザイン・作製・評価し、これらにおける新規な光スピントロニクス機能を実証することを目的とし、そのために、以下の「4. 研究成果」で述べる実験を行った。

4. 研究成果

(1) 磁性体メタマテリアルのデザイン・作製・評価

群論を用いた（磁気）対称性の考察により、光照射によりゼロバイアスでスピン流（スピン偏極電流）の生成・制御が可能になる磁気・空間構造を設計した。その結果、3回回転対称性と垂直磁化を有する構造が最適であることが分かった。試料作製は、イオンビームスパッタ装置、イオンビームエッチング装置、電子線描画装置などを利用し、室温強磁性体である Co/Pt 多層膜に人工的な3回回転対称性を導入した磁性体メタマテリアルを作製した（図2）。1 cm×1 cm の大きさの SiO₂ 基板上に、5 nm の SiN、2 nm の Pt、[Co(0.5 nm)/Pt(0.9 nm)]₅ 多層膜、2 nm の Pt の順に積層させた。その後、電子線描画装置を利用し、一辺が 480 nm の正三角形の穴（周期 558 nm）を三角格子状に描画（描画領域 250 μm×250 μm）することで3回回転対称性を持つ磁性体メタマテリアルを作製した。作製した試料の構造評価を原子間力顕微鏡（AFM）等で行い、設計通りの構造を作製することに成功した。また、Faraday 効果の測定により試料の磁気特性を評価し、100 mT 程度の保持力を持つ強磁性ヒステリシスを示すことを確認した。

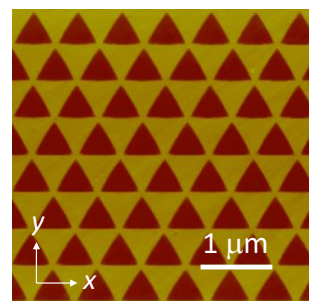


図2 Co/Pt 多層膜に人工的な3回回転対称性を導入した磁性体メタマテリアルの AFM 像。

(2) ゼロバイアス光電流の生成・検出系の構築

磁性体メタマテリアルにおいて光照射により生じるゼロバイアスのスピン偏極電流の大きさや伝播方向を精度よく測定するための測定系を新たに構築した。これにより、光電流の励起強度

依存性、入射直線偏光の偏光角依存性、円偏光度依存性、磁場依存性、入射光スポットの場所依存性の測定などが可能となった。

(3) 磁性体メタマテリアルにおけるスピン偏極電流の完全光操作

フェムト秒チタンサファイアレーザー（波長：800 nm、パルス幅：～100 fs、繰り返し周波数：80 MHz）から出た光を光チョッパーで1 kHz程度の周波数に落とし、試料（磁性体メタマテリアル）を励起した。レーザーのスポットの大きさは直径約250 μmであり、これは人工構造を描画した領域の大きさよりやや小さい程度である。試料の上下・左右方向に取り付けた電極間に流れる電流をそれぞれロックインアンプで検出することにより、誘起されるスピン偏極光電流の大きさと方向を測定した（図3(a)）。

作製した磁性体メタマテリアルに光パルスを照射したところ、i) バイアス印加なしで高速のスピン流が流れる〔超高速応答機能〕（図3(b))、ii) スピン流の伝搬方向およびスピンの向きを、磁性体メタマテリアルの垂直磁化の向きにより反転できる〔磁気スイッチ機能〕（図3(c))、iii) 光パルスの偏光方向を変えると、スピン流を意図する方向に伝搬させることができる〔伝搬方向制御機能〕（図3(d))、iv) 光パルスの楕円率角を変えると、スピン流の大きさを制御できる〔強度制御機能〕（図3(e))、ことなどが分かった。これらの振る舞いは、人工的に操作された対称性（磁気点群 $3m'$ ）から予想される振る舞いと完全に一致し、これにより、スピン流を完全光制御する革新的な光スピントロニクス機能の基礎原理を開拓した。

(4) まとめ

本研究では、スピントロニクス技術の根幹をなすスピン流の生成・制御に対して、メタマテリアルのアイデアを導入することで、元々の物質では不可能な新規な光スピントロニクス機能の創出が可能になり、光の任意の偏光情報をスピン流（スピン偏極光電流）に転写できることが判明した。また、テラヘルツレーザー（周波数 2.54×10^{12} ヘルツ）照射によるスピン流生成にも成功し、これは磁性体メタマテリアルを用いた光スピントロニクス機能の超広帯域動作を示唆するものである。テラヘルツレーザー照射実験では、スピンラチェット効果と命名した、偏光状態に依存しない新原理の光スピン流生成機構の存在も明らかになった。

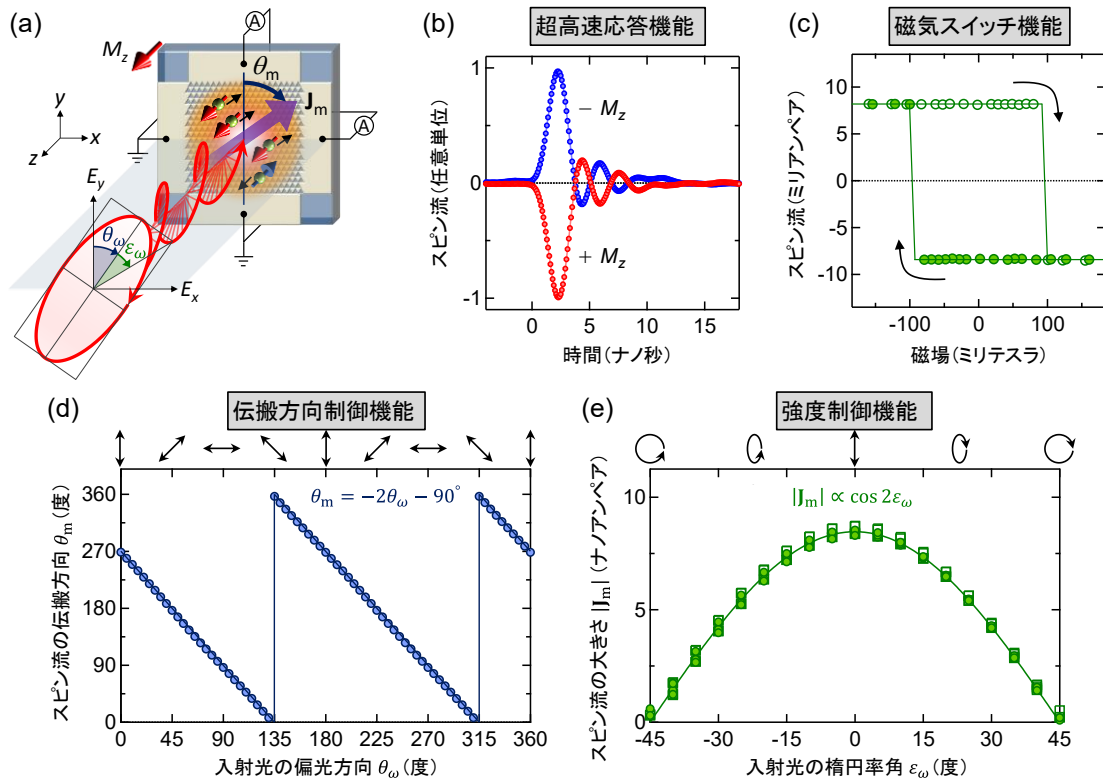


図3 磁性体メタマテリアルを用いた、スピン流の完全光制御の実現。(a) 実験配置。(b) 超高速応答機能：光パルスの照射により、瞬時にスピン流が流れる。スピン流の流れる方向は、垂直磁化 M_z の反転により向きが反転する（使用した装置の時間分解能により制限されているが、実際にはナノ秒よりはるかに高速な応答の実現が期待されている）。(c) 磁気スイッチ機能：外部磁場により磁性体メタマテリアルの垂直磁化の向きを反転すると、スピン流の伝搬方向およびスピンの向きが反転する。つまり、スピン流が磁気に直接結合し、磁気によりスイッチできる。(d) 伝搬方向制御機能：光パルスの偏光方向 θ_ω により、スピン流の伝搬方向 θ_m を自在に制御できる ($\theta_m = -2\theta_\omega - 90^\circ$)。(e) 強度制御機能：光パルスの楕円率角 ϵ_ω により、スピン流の大きさ $|J_m|$ を自在に制御できる ($|J_m| \propto \cos 2\epsilon_\omega$)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hild M., Golub L. E., Fuhrmann A., Otteneder M., Kronseider M., Matsubara M., Kobayashi T., Oshima D., Honda A., Kato T., Wunderlich J., Back C., Ganichev S. D.	4. 巻 107
2. 論文標題 Terahertz spin ratchet effect in magnetic metamaterials	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155419/1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.107.155419	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 Sekine Daiki, Sato Tatsuki, Tokunaga Yusuke, Arima Taka-hisa, Matsubara Masakazu	4. 巻 38
2. 論文標題 Second Harmonic Detection of Antiferromagnetism in MnTiO ₃	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011121/1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/jpscp.38.011121	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 Inoue Satoru, Higashino Toshiki, Nikaido Kiyoshi, Miyata Ryo, Matsuoka Satoshi, Tanaka Mutsuo, Tsuzuki Seiji, Horiuchi Sachio, Kondo Ryusuke, Sagayama Ryoko, Kumai Reiji, Sekine Daiki, Koyanagi Takayoshi, Matsubara Masakazu, Hasegawa Tatsuo	4. 巻 11
2. 論文標題 Control of Polar/Antipolar Layered Organic Semiconductors by the Odd Even Effect of Alkyl Chain	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 2308270/1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/advs.202308270	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 Matsubara Masakazu, Kobayashi Takatsugu, Watanabe Hikaru, Yanase Youichi, Iwata Satoshi, Kato Takeshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Polarization-controlled tunable directional spin-driven photocurrents in a magnetic metamaterial with threefold rotational symmetry	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 6708/1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-022-34374-7	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 Sekine Daiki, Sato Yoshifumi, Matsubara Masakazu	4. 巻 120
2. 論文標題 Nonlinear optical detection of mesoscopic magnetic toroidal dipoles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 162905 ~ 162905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0089235	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 M. Kondo, M. Ochi, T. Kojima, R. Kurihara, D. Sekine, M. Matsubara, A. Miyake, M. Tokunaga, K. Kuroki, H. Murakawa, N. Hanasaki, H. Sakai	4. 巻 2
2. 論文標題 Tunable spin-valley coupling in layered polar Dirac metals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 49/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-021-00152-z	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 -

〔学会発表〕 計38件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 M. Matsubara
2. 発表標題 Spin-driven optical nonlinearities for detection and generation of spin currents
3. 学会等名 X Ultrafast Dynamics and Ultrafast Bandgap Photonics Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Taketani, T. Kobayashi, T. Kato, and M. Matsubara
2. 発表標題 The 7th Symposium for the Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics and the 6th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science and Spintronics
3. 学会等名 Spin- and polarity-switchable zero-bias photocurrents in a polar ferromagnetic metamaterial (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名	S. Inoue, T. Higashino, K. Nikaido, R. Miyata, S. Matsuoka, M. Tanaka, S. Tsuzuki, S. Horiuchi, R. Kondo, R. Sagayama, R. Kumai, D. Sekine, T. Koyanagi, M. Matsubara, and T. Hasegawa
2. 発表標題	Parity control of interlayer arrangements in high performance organic semiconductor, pTol- BTBT-Cn
3. 学会等名	MRM2023/IUMRS-ICA2023 (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	松原正和
2. 発表標題	メタマテリアルを用いた光 - 電流 - スピン流制御「メタ光スピントロニクス」
3. 学会等名	量子物理学・ナノサイエンス第364回セミナー (招待講演)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	小柳恭徳, 松原正和
2. 発表標題	光第二高調波発生を用いたアシンメトリ量子の空間分解対称性マッピング技術の開発
3. 学会等名	学術変革領域研究 (A) 「アシンメトリ量子」トピカルミーティング
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	竹谷秀久, 加藤剛志, 松原正和
2. 発表標題	極性強磁性メタマテリアルにおける磁気トロイダルを用いた光電流の生成・制御
3. 学会等名	学術変革領域研究 (A) 「アシンメトリ量子」トピカルミーティング
4. 発表年	2023年

1. 発表者名 松原正和
2. 発表標題 非線形光学を用いたアシンメトリ量子の検出・可視化・新機能創出
3. 学会等名 学術変革領域研究(A)「アシンメトリ量子」トピカルミーティング(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小柳恭徳, 松原正和
2. 発表標題 光第二高調波発生を用いた非磁性金属メタマテリアルの対称性マッピング
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹谷英久, 加藤剛志, 松原正和
2. 発表標題 極性強磁性メタマテリアルにおけるスピン及び極性によるゼロバイアス光電流のスイッチング
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上悟, 東野寿樹, 二階堂圭, 宮田稜, 松岡悟志, 田中睦生, 都築誠二, 堀内佐智雄, 近藤隆祐, 佐賀山遼子, 熊井玲児, 関根大輝, 小柳恭徳, 松原正和, 長谷川達生
2. 発表標題 層状有機半導体・pToI-BTBT-Cn 系のCn 偶奇効果とTFT 特性との相関
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松原正和
2. 発表標題 非線形光学を用いた物性探索とメタ光スピントロニクス
3. 学会等名 固体物理セミナー & アシンメトリ量子セミナー (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松原正和
2. 発表標題 多極子の高感度検出・可視化と光スピントロニクス機能創出
3. 学会等名 セイコーインスツル新世代研究財団2023年度第2回スピントロニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松原正和
2. 発表標題 非空間反転対称磁性体の作製と新規スピン光機能の探索
3. 学会等名 文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ令和5年度「秀でた利用成果」発表会・表彰式 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松原正和, 本田杏奈, 大島大輝, 加藤剛志
2. 発表標題 非空間反転対称磁性体の作製と新規スピン光機能の探索
3. 学会等名 nano tech 2024
4. 発表年 2024年

1 . 発表者名 J. Li, M. Matsubara, K. Kliemt, N. Kaya, I. Reiser, C. Krellner, J. Kroha, S. Pal, and M. Fiebig
2 . 発表標題 Light-induced magnetization dynamics in a ferromagnetic semiconductor
3 . 学会等名 Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) Meeting of the Condensed Matter Section 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 H. Sakai, M. Kondo, M. Ochi, T. Kojima, R. Kurihara, M. Kimata, K. Sudo, D. Sekine, M. Matsubara, A. Miyake, M. Tokunaga, K. Kuroki, H. Murakawa, and N. Hanasaki
2 . 発表標題 Tunable spin-valley coupling and nonreciprocal transport in polar Dirac metal BaMnX ₂ (X = Sb, Bi)
3 . 学会等名 The 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 D. Sekine, T. Sato, Y. Tokunaga, T. Arima, and M. Matsubara
2 . 発表標題 Second harmonic imaging of multipolar domains in antiferromagnetic MnTiO ₃
3 . 学会等名 The 29th International Conference on Low Temperature Physics (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 J. Li, M. Matsubara, K. Kliemt, N. Kaya, I. Reiser, C. Krellner, J. Kroha, S. Pal, and M. Fiebig
2 . 発表標題 Light-induced magnetization dynamics in a ferromagnetic semiconductor
3 . 学会等名 The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Matsubara
2. 発表標題 Nonlinear optical effects in magnetic metamaterials
3. 学会等名 The 6th A3 Metamaterials Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Li, M. Matsubara, K. Klient, N. Kaya, I. Reiser, C. Krellner, J. Kroha, S. Pal, and M. Fiebig
2. 発表標題 Light-induced magnetization dynamics in a ferromagnetic semiconductor
3. 学会等名 International Conference on Molecular Ultrafast Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D. Sekine, T. Sato, and M. Matsubara
2. 発表標題 Direct detection of mesoscopic magnetic toroidal moment by optical second harmonic generation
3. 学会等名 EPSRC International Network for Spintronics Early Career Researchers Meeting "From Material Development to Novel Energy Efficient Technologies" (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 関根大輝, 佐藤樹, 徳永祐介, 有馬孝尚, 松原正和
2. 発表標題 MnTiO ₃ における多極子ドメインの非線形光学イメージング
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹谷英久, 加藤剛志, 松原正和
2. 発表標題 極性強磁性メタマテリアルにおけるゼロバイアス光電流の生成
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 関根大輝, 佐藤樹, 徳永祐介, 有馬孝尚, 松原正和
2. 発表標題 MnTiO ₃ 中の多極子ドメインの実空間イメージング
3. 学会等名 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」第9回QLC 若手コロキウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 関根大輝, 佐藤樹, 徳永祐介, 有馬孝尚, 松原正和
2. 発表標題 光第二高調波発生を用いた多極子ドメインの実空間観察
3. 学会等名 東北大学理学・生命科学研究所合同シンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 D. Sekine, T. Sato, Y. Tokunaga, T. Arima, and M. Matsubara
2. 発表標題 Real space imaging of multipolar domains in MnTiO ₃
3. 学会等名 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」令和4年度領域研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒井俊人, 吉田海琉, 井上悟, 関根大輝, 小柳恭徳, 松原正和, 長谷川達生
2. 発表標題 層状有機半導体pToI-BTBT-Cnの極性型分子配列様式の評価と制御
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

1. 発表者名 小柳恭徳, 関根大輝, 松原正和
2. 発表標題 非線形光学によるナノ空間の対称性マッピング
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 荒井俊人, 吉田海琉, 井上悟, 関根大輝, 小柳恭徳, 松原正和, 長谷川達生
2. 発表標題 層状有機半導体pToI-BTBT-Cnの分子膜積層様式制御と半導体特性
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 2022年

1. 発表者名 小柳恭徳, 関根大輝, 松原正和
2. 発表標題 金属メタマテリアルにおける光第二高調波発生のサイズ依存性
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村山尚紀, 辻悠汰, 松原正和
2. 発表標題 光メタマテリアルにおけるキラリティ依存光電流の検証
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D. Sekine, Y. Sato, M. Matsubara
2. 発表標題 Nonlinear Optical Detection of Mesoscopic Magnetic Toroidal Moment
3. 学会等名 International Conference on Frustration, Topology and Spin Textures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山尚紀, 辻悠汰, 関根大輝, 小柳恭徳, 松原正和
2. 発表標題 キラリティに依存する光ガルバノ効果の実験的検証
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻悠汰, 村山尚紀, 関根大輝, 小柳恭徳, 松原正和
2. 発表標題 4回回転対称キラルメタマテリアルにおけるゼロバイアス光電流の観測
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関根大輝, 佐藤樹, 徳永祐介, 有馬孝尚, 松原正和
2. 発表標題 光第二高調波発生を用いたMnTiO ₃ の反強磁性ドメインの実空間観察
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷口耕治, 黄柏融, 重藤真人, 小林隆嗣, 松原正和, 笹川崇男, 佐藤寛泰, 宮坂等
2. 発表標題 キラルな有機・無機ハイブリッド層状ペロブスカイト鉛ヨウ化物における円偏光ガルバノ効果
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷口耕治, 黄柏融, 重藤真人, 小林隆嗣, 松原正和, 笹川崇男, 佐藤寛泰, 宮坂等
2. 発表標題 キラリティを制御した有機・無機ハイブリッド層状ペロブスカイト型ヨウ化鉛における円偏光ガルバノ効果
3. 学会等名 第82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 近藤雅起, 酒井英明, 越智正之, 小島達弘, 栗原綾佑, 関根大輝, 松原正和, 三宅厚志, 徳永将史, 黒木和彦, 村川寛, 花咲徳亮
2. 発表標題 極性を持つディラック電子系物質BaMnBi ₂ における格子歪に敏感なスピン・バレー結合状態
3. 学会等名 第5回「固体化学フォーラム」
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 磁気メタマテリアル、スピン流制御装置及びスピン流制御方法	発明者 松原正和, 加藤剛志	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-82127	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 磁気メタマテリアル、スピン流制御装置及びスピン流制御方法	発明者 松原正和, 加藤剛志	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-82127	取得年 2022年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

ホームページ https://web.tohoku.ac.jp/sspp/matsubara/

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		
ドイツ	University of Regensburg	Technical University Munich	
ポーランド	Institute of High Pressure Physics PAS		
チェコ	Institute of Physics ASCR, v.v.i.		