

2024年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

調査研究報告書(公開版)

【研究題目】電気磁気活性な反強磁性秩序の光検出原理の開拓

【整理番号】TK24-13

【代表機関】東北大学

【調査研究代表者（氏名）】松原 正和

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】東京大学：徳永 祐介

【TIA 外連携機関】該当なし

【報告書作成者】松原 正和

【報告書作成年月日】2025 年 4 月 12 日

【連携推進（具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等）】

東京大学グループによりフローティングゾーン法を用いて育成された反強磁性酸化物 MnTiO_3 の純良単結晶を用い、東北大学グループが非線形光学イメージングを用いて反強磁性ドメインの 3 次元マッピングを行った。東北大学グループにおいて、本プロジェクトにおける中心的な役割を担った博士研究員 1 名が国際会議で Best Poster Award を受賞し、また、修士課程 2 年の学生が国内研究会で最優秀ポスター賞を受賞した。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

本研究では、非線形光学効果の一種である、角周波数 ω の光が 2ω の光に変換される光第二高調波発生（SHG）が、本質的に「空間反転対称性の破れ」と「時間反転対称性の破れ」の両者に敏感であるという性質に着目し、これらを高度に発展させることで多彩な機能的スピンナノ構造の新しい計測・評価技術として確立することを目的とした。

東京大学・有馬教授のグループから提供された反強磁性体 MnTiO_3 を対象に、SHG イメージングを用いて反強磁性ドメインの 3 次元マッピングに取り組んだ。 MnTiO_3 は反強磁性転移温度 65 K 以下で、電気磁気活性な反強磁性秩序である磁気トロイダル・磁気単極子・磁気四極子を一つの物質中に有すると期待される特異な材料である。2023 年度には、SHG の選択則を巧みに利用することで、これらの秩序を非破壊・非接触で検出・可視化することに成功している[1]。さらに今年度は、レーザーの波長を変化させ、サンプルの吸収係数の差によって生じる光の侵入長の違いを利用することで、サンプル面内だけで

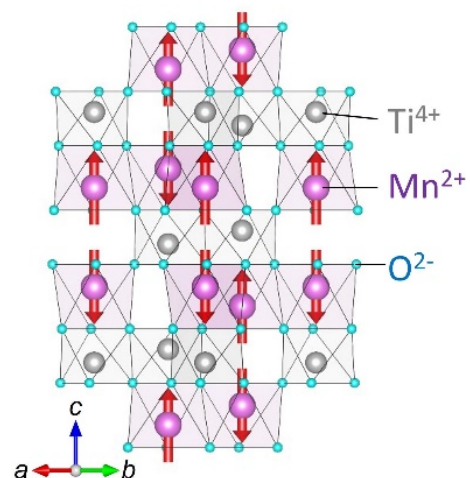


図 1 MnTiO_3 の結晶・磁気構造。

なく、面直方向の反強磁性ドメイン分布も可視化することに成功した。この成果は、従来は観測が困難であった反強磁性ドメインを3次元的にマッピングする新たな検出・可視化手法を開拓したものである[2]。

また、ファンデルワールス物質 PtBi_2 の SHG 計測も実施し、物質固有の特異な性質を明らかにする際に、SHG による対称性の同定が極めて有効であることを示した[3]。

さらに、機能的スピンナノ構造を有するナノ磁性体を用いたスピン光電変換機能の検証を行った。その結果、渦状磁気配列による新規光電変換「スピン光電変換」を明確に観測することに成功した。

- [1] D. Sekine, T. Sato, Y. Tokunaga, T. Arima, and M. Matsubara, “Second harmonic imaging of antiferromagnetic domains and confirmation of absence of ferroaxial twins in MnTiO_3 ”, *Phys. Rev. Mater.* **8**, 064406/1–5 (2024).
- [2] D. Sekine, T. Sato, Y. Tokunaga, T. Arima, and M. Matsubara, “Three-dimensional imaging of antiferromagnetic domains in MnTiO_3 ”, In preparation.
- [3] N. Jiang, M. Maeda, Y. Yamaguchi, M. Watanabe, M. Tokuda, K. Takaki, S. Masaki, T. Koyanagi, M. Matsubara, K. Kudo, and Y. Niimi, “Zero-field superconducting diode effect induced by magnetic flux in a van der Waals superconductor trigonal PtBi_2 ”, Submitted.

【受賞】

- [1] 2024 年 11 月 Best Poster Award (CRCGP-MSSP2024)
“Optical second harmonic imaging of multipolar domains in a ferroaxial antiferromagnet MnTiO_3 ”
D. Sekine, T. Sato, Y. Tokunaga, T. Arima, and M. Matsubara
- [2] 2024 年 5 月 最優秀ポスター賞（学術変革領域研究(A)「アシンメトリが彩る量子物質の可視化・設計・創出」令和6年度領域全体会議・公募研究キックオフ会議）
「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スピン流の生成」
竹谷英久, 小林隆嗣, 加藤剛志, 松原正和

【今後の活動予定】

光と物質の相互作用を巧みに利用することで、空間反転対称性と時間反転対称性を同時に破る反強磁性秩序のみならず、様々な秩序の検出・可視化を行い、従来の光物性研究の枠組みでは不可能だった最先端の量子物性機能の解明を行う。