

2023 年度年次報告書

新原理デバイス創成のためのナノマテリアル

2023 年度採択研究代表者

松原 正和

東北大学 大学院理学研究科

准教授

ナノ空間の対称性制御による光スピン機能の創出

研究成果の概要

2次元極性強磁性メタマテリアルにおける新原理の光スピントロニクス機能の検証に焦点を当て研究を実施した。

具体的には、空間反転対称性を持つ等方的な強磁性金属薄膜 (Co/Pt 多層膜) に数百ナノメートル大の人工的な極性構造を導入し、磁化と極性を兼ね備える2次元極性強磁性メタマテリアルを作製した。この試料では、 x 方向の極性 ($\mathbf{P}$) と z 方向の磁化 ($\mathbf{M}$) の外積で表される磁気トロイダルモーメント $\mathbf{T} (\propto \mathbf{P} \times \mathbf{M})$ が y 方向に生じ、これが空間と時間の反転対称性を同時に破る。

光スピントロニクス機能の検証実験では、波長可変フェムト秒レーザーを用いて2次元極性強磁性メタマテリアルを励起し、バイアス印加なしで生じるスピン偏極光電流を評価した。その結果、人工的に導入した磁気トロイダルモーメントに由来して発生する光電流を発見し、空間反転対称性の破れた極性のみに由来する光電流よりも大きくなることが分かった。励起光の偏光や波長などを変えた詳細な測定、および、群論を用いた対称性の考察により、ナノ空間の対称性を人工的に操作した2次元極性強磁性メタマテリアルを用いた新しいスピン流生成手法が示された。

加えて、次年度以降で本格的に開始する光第二高調波発生 (SHG) を用いたナノマテリアルの空間分解対称性マッピング技術の開発に関連し、反強磁性秩序およびフェロアキシシャル秩序を有する天然物質 MnTiO_3 の SHG を用いた検出と可視化を行った。フェロアキシシャル秩序や反強磁性秩序に由来する SHG シグナルの観測に成功し、各ドメイン構造を明らかにした。また、極性／非極性の半導体薄膜結晶も SHG を用いて評価し、アルキル鎖の偶奇効果により非対称分子層間の配列を自在に制御する技術を立証した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Inoue, S. Higashino, T. Nikaido, K. Miyata, R. Matsuoka, S. Tanaka, M. Tsuzuki, S. Horiuchi, S. Kondo, R. Sagayama, R. Kumai, R. Sekine, D. Koyanagi, T. Matsubara, M. and Hasegawa, T. Control of polar/antipolar layered organic semiconductors by the odd-even effect of alkyl chain, *Advanced Science* **11**, 2308270/1-11 (2024).