

トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を
有する材料・デバイスの創出
2019年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

島野 亮

東京大学 低温科学研究センター
教授

トポロジカル非線形光学の新展開

主たる共同研究者:

岡 隆史 (東京大学 物性研究所 教授)

林 将光 (東京大学 大学院理学系研究科 准教授)

研究成果の概要

強磁性ワイルド半金属 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 薄膜に円偏光パルスを照射することで、ワイルド点のカイリティと磁化を不揮発に反転させることに成功し、その反転機構を解明した。

ディラック半金属相にある $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ 薄膜及び、典型的なディラック半金属である Bi 薄膜に対して、円偏光誘起異常ホール効果の観測を行った。理論との比較から、 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ において円偏光照射による光誘起カイラルゲージ場の生成を示唆する結果を得た。一方 Bi では、円偏光の光子エネルギーがディラックバンド間に共鳴するときに、共鳴点近傍で新たなワイルド点が生成されることを発見した。これは3次元ディラック電子系に普遍的に成り立つ性質であり、ディラック電子系のフロッケエンジニアリングに新たな展開をもたらすものといえる。

Bi におけるスピン輸送特性を調べ、モデル計算と比較した結果、ディラック電子系におけるスピン流はスピン磁気モーメントの流れによるものであることを明らかにした。この結果をもとに円偏光誘起起電流のキャリア密度依存性を考慮すると、円偏光によるカイラルゲージ場がスピン蓄積を誘起し、円偏光誘起起電流が生じている可能性が高いことがわかった。

非摂動効果によるトポロジカル非線形光学の基礎理論研究を進めた。幾何学的トンネル効果やフロッケ・トポロジカル相に代表されるレーザー電場の非摂動効果を取り込んだ研究を行い、光誘起ホール効果や、カイラルゲージ場生成、光誘起電流などに関し、理論予言を行った。

銅酸化物高温超伝導体のモデルである2次元正方格子上的 Hubbard 模型に対して、円偏光照射下でフロッケ理論を適用し、高周波展開と呼ばれる近似をすることで、強相関効果からギャップ関数の虚部に d 波成分が誘起されトポロジカル超伝導相が実現しうることを理論的に明らかにした。

【代表的な原著論文情報】

- 1) "Non-volatile chirality switching by all-optical magnetization reversal in ferromagnetic Weyl semimetal $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ ", N. Yoshikawa, K. Ogawa, Y. Hirai, K. Fujiwara, J. Ikeda, A. Tsukazaki, and R. Shimano, *Commun. Phys.* **5**, 328 (2022).
- 2) "Nonlinear spin current of photoexcited magnons in collinear antiferromagnets", K. Fujiwara, S. Kitamura, T. Morimoto, *Phys. Rev. B* **107**, 064403 (2023). [Editors' Suggestion]
- 3) "Floquet topological superconductivity induced by chiral many-body interaction" S. Kitamura, H. Aoki, *Commun. Phys.* **5**, 174 (2022).
- 4) "Spin Hall effect driven by the spin magnetic moment current in Dirac materials", Z. Chi, G. Qu, Y.-C. Lau, M. Kawaguchi, J. Fujimoto, K. Takanashi, M. Ogata, and M. Hayashi, *Phys. Rev. B* **105**, 214419 (2022).