

2023 年度年次報告書

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

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)

森本 高裕 (東京大学 大学院工学系研究科 准教授)

研究成果の概要

円偏光による物質のトポロジーの超高速の変化、誘起されるベリー曲率やそれがもたらす異常ホール効果について、3次元ディラック電子系を中心に包括的に調べた。1光子共鳴エネルギーに普遍的にトポロジカル電荷2のワイル点(フロケ二重ワイル点)が生成されることを明らかにした。同フロケワイル点生成に付随して表面に生じるフェルミアークについて理論的な考察を進めた。一方、ディラック点周りに生じるフロケワイル点についても、フロケ有効理論に基づき、円偏光レーザーの効果をカイラルゲージ場として定式化し、その時空間変調によりカイラル電磁場が生じ量子アノマリーに起因する電流が発生するメカニズムを探索した。さらに、非平衡定常状態の性質を調べるために、フロケ理論と密度行列形式を組み合わせた量子開放系としてのアプローチを行った。円偏光がもたらすカイラルゲージ場の効果について、3次元ディラック電子系を対象に光誘起異常ホール効果の観測から調べた。

ディラック半金属において円偏光に誘起される磁気モーメントの起源を解明することを念頭に、物質に電流を流すとスピンの流れが発生するスピホール効果、軌道磁気モーメントの流れである軌道流が発生する軌道ホール効果を区別するための高感度の電流誘起磁気光学測定系を開発した。

フロケ理論を超伝導体、マルチフェロイック物質に拡張した。銅酸化物高温超伝導体に円偏光を照射することによりトポロジカル超伝導を誘起できるかについて調べた。高周波近似を用いることなく、時間依存グッツヴィラー近似により円偏光照射d波超伝導体の時間発展シミュレーションを行い、定常状態でd+id波トポロジカル超伝導状態が実現しうることを理論的に明らかにした。また二次非線形光学過程であるシフト電流に関するフロケ理論をマルチフェロイック磁性体に適用し、磁気励起(マグノン)を担体として電流が発生する機構を明らかにした。

【代表的な原著論文情報】

- 1) "Floquet Weyl states at one-photon resonance: An origin of nonperturbative optical responses in three-dimensional materials", Y. Hirai, S. Okumura, N. Yoshikawa, T. Oka, and R. Shimano, *Phys. Rev. Research* **6**, L012027 (2024).
- 2) "Time-dependent Gutzwiller simulation of Floquet topological superconductivity", T. Anan, T. Morimoto and S. Kitamura, *Communications Physics* **7**, 99 (2024).
- 3) "Spin and orbital Hall currents detected via current-induced magneto-optical Kerr effect in V and Pt", Y. Marui, M. Kawaguchi, S. Sumi, H. Awano, K. Nakamura, M. Hayashi, *Phys. Rev. B* **108**, 144436 (2023).
- 4) "Picosecond Trajectory of Two-dimensional Vortex Motion in FeSe_{0.5}Te_{0.5} Visualized by Terahertz Second Harmonic Generation", S. Nakamura, H. Matsumoto, H. Ogawa, T. Kobayashi, F. Nabeshima, A. Maeda, R. Shimano, *Phys. Rev. Lett.*, in press (Editor's suggestion).
- 5) "Terahertz photon to dc current conversion via magnetic excitations of multiferroics", M. Ogino, Y.

Okamura, K. Fujiwara, T. Morimoto, N. Nagaosa, Y. Kaneko, Y. Tokura, and Y. Takahashi, *Nature Communications* (2024). (in press)