

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

2021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

## § 1. 研究成果の概要

本研究は、物質に内在するトポロジカルな性質に起因する非線形光学応答に着目し、光エレクトロニクスへの応用の可能性を拓くことを目標としている。本年度はディラック・ワイル半金属の光電変換現象、非線形光学応答を主要課題とし、輸送測定、光学測定、理論から多角的に調べた。ディラック半金属に円偏光を照射した際に発現する光起電流(以下 CPC)、テラヘルツ波放射の起源解明を進めた。CPC を与える一つの機構として理論グループによって提唱された、ディラック電子系に円偏光を照射した際に生じるカイラルゲージ場の存在を検証するために、それがもたらす光誘起異常ホール効果をテラヘルツ周波数領域の磁気光学測定により調べた。特にワイル半金属  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  薄膜では、フロケ理論からの予想と整合する結果を得た。輸送測定では分子線エピタキシー装置を用いて高品質の Bi 薄膜を作製し光起電流を調べた。その結果、CPC がディラック点近傍で急峻なピーク構造を持ち、キャリア密度の増加に伴って CPC が多数キャリアの符号を反映することがわかった。光誘起スピン流やカイラルゲージ場でこれらの結果を説明できるか検証している。また、光誘起スピン流を理解するため、輸送測定から Bi 薄膜のスピンホール効果を調べた結果、その大きなスピンホール伝導度はディラック電子の大きな  $g$  因子 ( $\sim 100$ ) で説明できることがわかった。理論グループでは光誘起スピン流生成に関する理論を完成させた。さらに、実験グループとの緊密な協力の下、強磁性ワイル半金属  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  のフロケ制御の理論解析を行った。加えて、2周期外場によるフロケ・トポロジー制御、並びに、フォノン励起によるシフト電流の基礎理論の構築に成功した。トポロジカル非線形光学応答の超伝導体への拡張実験に着手した。空間・時間反転対称性が破れた超伝導体の探索を、超伝導秩序変数に敏感なテラヘルツ波非線形光学応答から調べる手法の開発を進めた。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 島野グループ

- ① 研究代表者: 島野 亮 (東京大学 低温科学研究センター 教授)
- ② 研究項目
  - ・テラヘルツ光発生
  - ・超伝導体における非線形光学応答
  - ・フロッケ操作

### (2) 林グループ

- ① 主たる共同研究者: 林 将光 (東京大学 大学院理学系研究科 准教授)
- ② 研究項目
  - ・ヘテロ構造光電変換
  - ・光誘起非線形スピン流

### (3) 岡グループ

- ① 主たる共同研究者: 岡 隆史 (東京大学 物性研究所 教授)
- ② 研究項目
  - ・ディラック電子系の円偏光光誘起電流の非摂動的理解
  - ・ディラック半金属、ワイル半金属のフロッケ操作の理論
  - ・2周期外場によるフロッケ・トポロジー制御
  - ・フォノン励起によるシフト電流

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Z. Chi, G. Qu, Y.-C. Lau, M. Kawaguchi, J. Fujimoto, K. Takanashi, M. Ogata, M. Hayashi, “Spin Hall effect driven by the spin magnetic moment current in Dirac materials”, *Phys. Rev. B*, *in press*.
- 2) S. Takayoshi, J. Wu, T. Oka, “Nonadiabatic nonlinear optics and quantum geometry – Application to the twisted Schwinger effect”, *SciPost Phys.* **11** (4), 075 (2021).
- 3) R. M. A. Dantas, Z. Wang, P. Surówka, T. Oka, “Nonperturbative topological current in Weyl and Dirac semimetals in laser fields”, *Phys. Rev. B* **103**, L201105 (2021).
- 4) Y. Ikeda, S. Kitamura, T. Morimoto “Floquet engineering of electric polarization with two-frequency drive”, *Prog. Theor. Exp. Phys.* ptab127 (2021).
- 5) Y. Okamura, T. Morimoto, N.i Ogawa, Y. Kaneko, G.-Y. Guo, M.o Nakamura, M. Kawasaki, N. Nagaosa, Y. Tokura, Y.Takahashi “Photovoltaic effect by soft phonon excitation” *PNAS* **119**, e2122313119 (2022).