

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

2020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、トポロジカル物質特有の光応答、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、ディラック半金属である Bi 系薄膜で発現する円偏光誘起光電流(以下、CPC)生成機構について実験、理論両面から調べた。輸送現象測定により、Bi 単層膜や金属/Bi ヘテロ構造における円偏光照射による偏光依存光起電流を評価し、膜厚依存性、円偏光照射角度依存性などの系統的な測定から、CPC は光誘起スピン流と Bi における逆スピホール効果で説明できることを明らかにした。円偏光パルス照射による Bi 薄膜からのテラヘルツ(THz)波発生は直流の CPC の測定とよく整合し、円偏光パルスによって誘起された試料表面のスピン偏極が逆スピホール効果を介して電流パルスへと変換され THz 放射をもたらしていると結論した。円偏光励起によりスピン偏極が生じる機構についてフロッケ理論に基づく考察を進めたところ、ディラック電子系への円偏光照射がカイラルゲージ場をもたらし、円偏光による磁気カイラル効果が誘発されるという驚くべき機構の存在を見出した。この結果は物質中でカイラル電場・磁場が創発する物理現象を直接検証することを可能にするものである。ディラック、ワイル半金属を対象に今後の実験による検証を進める。トポロジカル非線形光学応答を超伝導体に拡張する試みに関して、まず時間・空間反転対称性が破れた超伝導体のもとで非相反非線形光学応答が顕在化することを、超伝導電流を注入した NbN 薄膜での THz 第二高調波発生の観測から実証した。また、超伝導体中の集団励起モードの光学応答について理論解析を行い、マルチバンド超伝導体においてはレゲットモードと呼ばれる特徴的な集団励起モードが光学的に観測しうることを理論的に明らかにした。この他、原子層ヘテロ接合系のモデル解析を行い、極性を持つ界面において電気分極やシフト電流が現れることを理論的に明らかにした。

## § 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・トポロジカル転移

### (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

・フロッケ・エンジニアリング理論

・トポロジカル非線形応答理論

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Terahertz Emission from Bismuth Thin Films Induced by Excitation with Circularly Polarized Light”, Yoshua Hirai, Naotaka Yoshikawa, Hana Hirose, Masashi Kawaguchi, Masamitsu Hayashi, and Ryo Shimano, *Phys. Rev. Appl.* **14**, 064015 (2020). *Editors’ Suggestion*
- 2) “Nonreciprocal Terahertz Second-Harmonic Generation in Superconducting NbN under Supercurrent Injection”, Sachiko Nakamura, Kota Katsumi, Hirotaka Terai, and Ryo Shimano, *Phys. Rev. Lett.* **125**, 097004 (2020).
- 3) “Interface-enhanced helicity dependent photocurrent in metal/semimetal bilayers”, H. Hirose, M. Kawaguchi, Y-C. Lau, Z. Chi, F. Freimuth, K. Takanashi, M. Hayashi, *Phys. Rev. B* **103**, 1774437 (2021).
- 4) “Nonperturbative topological current in Weyl and Dirac semimetals in laser fields”, Renato M. A. Dantas, Zhe Wang, Piotr Surówka, and Takashi Oka, *Phys. Rev. B* **103**, L201105 (2021).
- 5) “A van der Waals interface that creates in-plane polarization and a spontaneous photovoltaic effect”, T. Akamatsu, T. Ideue, L. Zhou, Y. Dong, S. Kitamura, M. Yoshii, D. Yang, M. Onga, Y. Nakagawa, K. Watanabe, T. Taniguchi, J. Laurienzo, J. Huang, Z. Ye, T. Morimoto, H. Yuan, and Y. Iwasa, *Science* **372**, 68 (2021).