

トポロジカル材料科学と革新的機能創出
2020 年度採択研究者

2021 年度 年次報告書

松永 隆佑

東京大学 物性研究所
准教授

トポロジカル半金属を用いたテラヘルツ高速エレクトロニクス・スピントロニクス素子開拓

§ 1. 研究成果の概要

3次元ディラック半金属 Cd_3As_2 薄膜が示す赤外域の光機能性に注目し、テラヘルツ帯及びマルチテラヘルツ帯における超高速ダイナミクスを調べた。バンド内遷移とバンド間遷移のクロスオーバーが生じるマルチテラヘルツ帯(10-45 THz)において 28 fs の時間分解能で複素光学伝導度スペクトルを精密に計測できる時間領域分光システムを構築し、近赤外光でキャリアを光励起した際の非平衡ダイナミクスを調べた。横波電場及び縦波電場の吸収を表す光学伝導度スペクトル及び損失関数スペクトルを詳細に観測したことで、光励起キャリアがもともとドーピングされているキャリアと散乱しあって約 0.5 ps の時間をかけて熱平衡化すること、強励起すると散乱確率の上昇に伴って熱平衡化が促進されること、緩和過程において強励起のみ Auger 再結合がわずかに現れることなど、これまでにない精度でキャリアダイナミクスの詳細を明らかにすることに成功した。

さらにプラズマ周波数の上昇に伴って 20 THz 付近の屈折率が 80%以上もの巨大な現象を示すことを明らかにした。このような巨大屈折率変化が生じる帯域でバンド間遷移が生じるディラック半金属の特性を活用して、フロクエエンジニアリングに伴う巨大誘導レイリー散乱が生じることを明らかにした。これは 30 THz の周期的な光外場によってディラック半金属を励起すると、励起周波数 30 THz の高周波側で負の伝導度が現れて誘導放出による利得が発生し、一方で低周波側では吸収が増大するという、鋭い分散型構造を示すことを初めて見出したものである。現象論的なモデル計算と、現実的なバンド構造に基づいた微視的な理論計算の双方から、この実験結果を再現することに成功し、フロクエ状態間で共鳴する誘導レイリー散乱が屈折率変化に伴って巨大な応答として現れることを明らかにした。さらにこの特性によって、室温の半金属に赤外光を照射するだけで無散逸なスローライトを広帯域に生成できるという可能性を提示した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Natsuki Kanda, Yuta Murotani, Takuya Matsuda, Manik Goyal, Salva Salmani-Rezaie, Jun Yoshinobu, Susanne Stemmer, and Ryusuke Matsunaga, “Tracking Ultrafast Change of Multiterahertz Broadband Response Functions in a Photoexcited Dirac Semimetal Cd_3As_2 Thin Film”, Nano Letters, vol. 22, No. 6, pp.2358-2364, 2022.
- 2) Yuta Murotani*, Natsuki Kanda*, Tatsuhiko N. Ikeda, Takuya Matsuda, Manik Goyal, Jun Yoshinobu, Yohei Kobayashi, Susanne Stemmer, and Ryusuke Matsunaga, “Stimulated Rayleigh scattering and slow light generation in a periodically driven Dirac semimetal Cd_3As_2 ”, arXiv:2112.13113 [cond-mat.mtrl-sci].
- 3) Hamid Chorsi, Bing Cheng, Bo Zhao, Johann Toudert, Viktor Asadchy, Omor F. Shoron, Shanhui Fan, and Ryusuke Matsunaga, “Topological materials for functional optoelectronic devices”, Advanced Functional Materials, vol. 32, issue 19, pp. 2110655, 2022