

トポロジカル材料科学と革新的機能創出
2020年度採択研究代表者

2022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

研究成果の概要

磁性体の異常ホール効果を 50 フェムト秒の時間分解能で超高速に時間分解して計測する実験を世界に先駆けて実現した。異常ホール効果には波数空間のベリー曲率に由来する内因性異常ホール効果と不純物散乱に由来する外因性異常ホール効果が存在しており、その起源が常に議論の対象となっている。本研究ではワイル反強磁性金属 Mn_3Sn に注目し、光励起した非平衡状態における異常ホール伝導をテラヘルツパルスで高速に計測し、非平衡ダイナミクスを調べた。一般に光パルスを物質に照射すると電子が励起され、電子が高速に散乱しあつて高温電子状態が作られて、その後で電子格子相互作用によって電子系から格子系へとエネルギーが移動し格子温度が上昇する。電子系と格子系が相互作用するまでの 1 ピコ秒以下の僅かな時間に異常ホール伝導を測定すれば、格子系はネール温度(430 K)より十分低温に抑えたままで電子系のみを 700 K ほどまで急加熱して異常ホール伝導を計測することが可能である。異常ホール伝導の起源が内因性であれば、その DC 極限の値はベリー曲率を電子占有状態で積分した量で決まるため、高温電子状態においては電子分布の変化によって異常ホール伝導度が大きく変化すると考えられる。実際に実験を行うと、光励起後 100fs 以下の時間スケールで超高速に異常ホール伝導度が 40%もの減少を示し、内因的機構の理論から予測される値とよく整合した。一方でそのとき縦伝導度はほとんど変化しないこともわかった。これらの結果は、散乱によるドルーデ応答で記述される縦伝導と、トポロジカルなベリー曲率で決まる異常ホール伝導が互いにほぼ独立であることを意味しており、 Mn_3Sn の異常ホール効果が外因性では説明できず内因的機構であることを明確に示している。このことから異常ホール効果の起源を明らかにするうえで超高速ダイナミクスを調べるのが有効であるという新たな手法を開拓することに成功した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Y. Murotani*, N. Kanda*, T. N. Ikeda, T. Matsuda, M. Goyal, J. Yoshinobu, Y. Kobayashi, S. Stemmer, and R. Matsunaga, "Stimulated Rayleigh Scattering Enhanced by a Longitudinal Plasma Mode in a Periodically Driven Dirac Semimetal Cd_3As_2 ", *Phys. Rev. Lett.* 129, 207402 (2022).
- 2) T. Matsuda, T. Higo, T. Koretsune, N. Kanda, Y. Hirai, H. Peng, T. Matsuo, N. Yoshikawa, R. Shimano, S. Nakatsuji, and R. Matsunaga, "Ultrafast Dynamics of Intrinsic Anomalous Hall Effect in the Topological Antiferromagnet Mn_3Sn ", *Phys. Rev. Lett.* 130, 126302 (2023).
- 3) H. Tanaka, A. V. Telegin, Y. P. Sukhorukov, V. A. Golyashov, O. E. Tereshchenko, A. N. Lavrov, T. Matsuda, R. Matsunaga, R. Akashi, M. Lippmaa, Y. Arai, S. Ideta, K. Tanaka, T. Kondo, and K. Kuroda, "Semiconducting Electronic Structure of the Ferromagnetic Spinel $HgCr_2Se_4$ Revealed by Soft-X-Ray Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy", *Phys. Rev. Lett.* 130, 186402 (2023).
- 4) Y. Murotani, N. Kanda, T. Fujimoto, T. Matsuda, M. Goyal, J. Yoshinobu, Y. Kobayashi, T. Oka, S. Stemmer, and R. Matsunaga, "Dynamics of light-induced anomalous Hall effect in the three-dimensional Dirac semimetal Cd_3As_2 ", arXiv:2211.02229 [cond-mat.mtrl-sci]