

令和 6 年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目：個人 研究 研究期間：令和 6 年 10 月 ～ 令和 7 年 3 月（予定）
研究課題名：半金属材料でのフレキシエレクトリック効果の検証と巨大応答材料の開拓
ラボ長
所属：大学院基礎工学研究科 物質創成 専攻
職位 准教授 氏名：高橋 英史

研究成果：

(概要)

ベリー位相は固体中の伝導電子によるバンド構造や多数のスピンが作るスピン秩序において特異な構造(トポロジカル構造)がある場合や特殊な超伝導電子対(パリティ混成)の形成により有限になる。一方で、ベリー位相は「時間・空間」反転対称性がある場合、結晶全体で打ち消されてしまうため、ベリー位相に由来した機能応答を実現するには、何らかの方法で「時間」もしくは「空間」反転対称性を破る必要がある。絶縁体材料では空間反転対称性の破れた結晶において、電場や光を用いることで、ベリー位相に由来したトポロジカル電流(分極電流やシフト電流)を作り出すことが可能であり、強誘電材料や太陽光発電材料としての応用が期待されている。一方で、金属材料では光や電場といった外場は伝導電子の遮蔽効果により結晶内部まで影響を及ぼさないため、トポロジカル半金属ではベリー位相に由来した機能応答は限定されていた。本研究では、金属材料において磁性の有無や結晶の対称性によらないトポロジカル機能応答として、「フレキシエレクトリック効果」を用いた新しい電気-振動応答現象の開拓を行った。

(本文)

フレキシエレクトリック効果とは、ひずみや電場の空間的な変化率（空間勾配）に比例した電場(トポロジカル電流)-機械応答である（誘電効果のような「空間的に一様」な電場やひずみによる応答とは異なる）。本来この効果は、絶縁体（誘電体）で観測される現象であり、結晶をひずませることで実質的に「空間」反転対称性が破れ、結晶内に分極が生じる現象である。しかしながら、結晶に加える外場(電場やひずみ)を、ある周波数で時間変化させることで、結晶表面だけでなく内部まで伝搬させることが可能になると期待される。そこで、交流電流を外場として用い、歪を測定する逆フレキシエレクトリック効果の測定を行った。

具体的な実験として、(1)トポロジカル半金属でのフレキシエレクトリック効果の観測、(2)極性半導体における極性構造制御とキャリア制御によるフレキシエレクトリック効果の検証、(3)誘電率が高い半導体材料でのフレキシエレクトリック効果の検証を行った。これらの研究について下記に外観する。

(1)の研究成果については昨年度の研究報告書において詳述したため割愛するが、トポロジカル半金属である VTe_2 と MoTe_2 、さらに一般的な半金属 TiTe_2 において動的「逆」フレキシエレクトリック効果を測定し、トポロジカル材料である VTe_2 や MoTe_2 において大きなフレキシエレクトリック効果の観測に成功した。この成果について論文発表している。(2)の研究では、

巨大逆フレキシエレクトリック効果を示す材料の開拓のため、極性層状半導体 AgCrSe_2 において、電気抵抗率を絶縁体から金属的に変えた場合での測定を行い、電気伝導性と逆フレキシ効果の相関についての検証を行った(図1の#1が最も抵抗率が高く、#3は最も抵抗率が低い試料)。さらに Cr の一部を Ti で置換することで、結晶構造が反転対称性を持たない極性構造から反転対称性を持つ非極性構造に変化するため(図1(a))、反転対称性の有無による違いの検証も同時に行った。その結果、電気伝導性が上がることで、逆フレキシエレクトリック効果も増幅されることを明らかにした(図2)。また、空間反転対称性の有無はそれほど影響しないことも確認した。(3)では、 SrTiO_3 に Nb や La をドーピングした場合でも逆フレキシエレクトリック効果の検証を行い、絶縁体である SrTiO_3 に比べドーピング系でより巨大な逆フレキシ効果が観測されることを明らかにしました。また、理論的に誘電率が高いことが予想される Te 単結晶でも測定を行い巨大なフレキシエレクトリック効果が観測されることを実証しました。

さらに本研究では新しい巨大フレキシエレクトリック効果を示す新材料の開拓のため、層状 Te 化合物の合成に取り組み、いくつかの材料において大型単結晶の合成に成功し今後フレキシエレクトリック効果の測定を行う予定である。

研究経費（R6年度）の内訳：

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
円	220,000 円	円	円	円	円

共同研究者等：

(1) 共同研究者（氏名・所属）

なし

(2) 研究協力者（氏名・所属・学年（学生の場合））

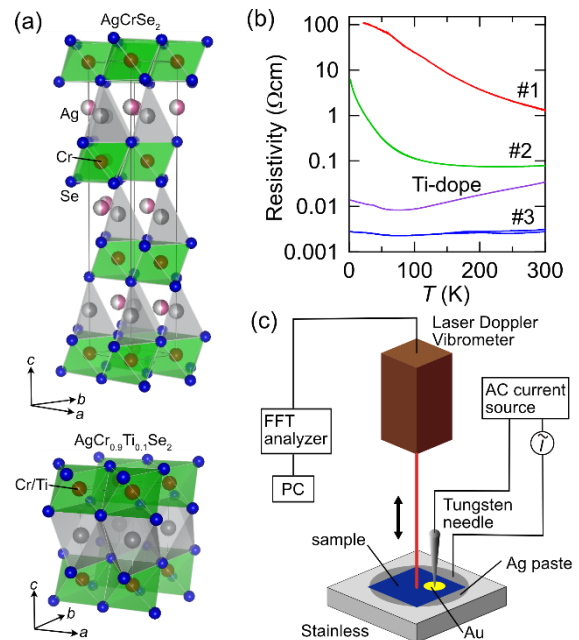


図1：(a) AgCrSe_2 の結晶構造。(b)電気抵抗率の試料依存性。(c)実験装置が概要

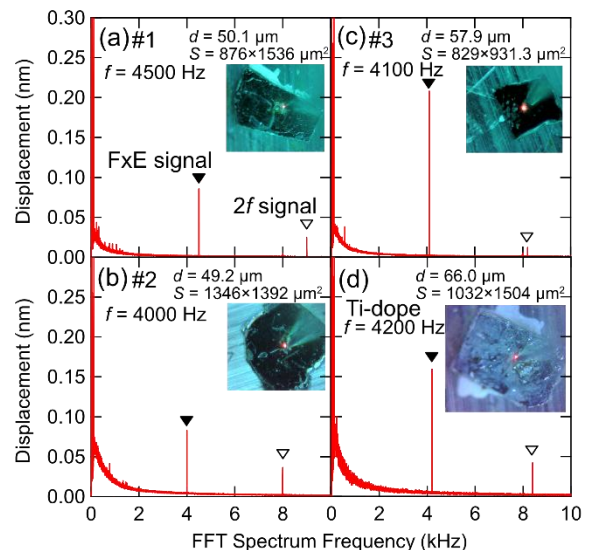


図2： AgCrSe_2 のそれぞれの試料での逆フレキシエレクトリック効果の結果

令和 6 年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

豊福拓海 基礎工学研究科 M2

発表論文等（令和 7 年 3 月 31 日現在）：

〔雑誌論文〕 Observation of converse flexoelectric effect in topological semimetals

H. Takahashi, Y. Kurosaka, K. Kimura, A. Nakano and S. Ishiwata

Commun Mater **5**, 236 (2024).

〔著書〕

〔学会発表〕 2 次元磁性極性半導体 AgCrSe_2 における電気機械応答の検証

豊福拓海, 高橋英史, 秋葉智起, 石渡晋太郎

日本物理学会第 79 回年次大会 2024 年 9 月 16 日

〔その他〕

高橋英史

"極性-非極性構造相転移を示すトポロジカル半金属 SrAuBi での新規超伝導の発見"

ASYMMETRY Newsletter Vol. 03 (2024)

外部資金獲得状況・申請状況：

（採択）基盤研究 B（代表） 2024 年度～2026 年度

（採択）創発的研究支援事業（代表）2024 年度～2027 年度（第 1 フェーズ）

（採択）学術変革領域研究 A（分担）2025 年度～2029 年度

参考となる HP 等：<https://qm.mp.es.osaka-u.ac.jp/>