

トポロジカル材料科学と革新的機能創出  
2018 年度採択研究者

2020 年度 年次報告書
------------------

打田 正輝

東京工業大学 理学院  
准教授

薄膜技術を駆使したトポロジカル半金属の非散逸伝導機能の開拓

## § 1. 研究成果の概要

これまで、トポロジカルディラック半金属の典型物質である  $\text{Cd}_3\text{As}_2$  の高品質薄膜において、表面状態に由来した量子ホール効果を報告してきた。一方、この表面量子ホール状態では、印加磁場に垂直な試料表裏の表面状態が物質内部のワイル粒子を介してつながりワイル軌道を形成する描像と、従来のトポロジカル絶縁体と同様に表（おもて）面と裏面それぞれに独立したサイクロトロン軌道が形成される描像との、どちらが実現しているかが重要な争点となってきた。

そこで、高品質な薄膜試料からデュアルゲート型のトランジスタ構造を作製し、試料表裏のキャリア濃度を電界によって独立に制御する実験を試みた。試料表裏に配置したトップゲートとバックゲートの電圧を独立に掃引し、量子化したホール抵抗値の変化をマッピングした結果、従来型のサイクロトロン軌道に予想されるチェッカーボード状の模様ではなく、ストライプ状の模様を描くことを明らかにした。このホール抵抗値が描く模様のトポロジーは、表裏それぞれのゲート電圧に対して応答する軌道運動の数の違いを反映するが、ストライプ状の模様は電子の軌道運動が試料の表裏両方にまたがって存在するワイル軌道を示している。

これにより、トポロジカル半金属での量子化伝導が、試料の表（おもて）面と裏面の電子状態が結合したワイル軌道の空間分布を持つことを世界で初めて明らかにした。これまで二次元でのみ観測されてきた量子ホール効果が、三次元的な電子状態を持つトポロジカル半金属に拡張される背景には、空間的に離れた表面状態の間での散逸のない電子の行き来を可能とするワイル軌道特有のメカニズムがあるためと解釈され、このワイル軌道における量子輸送の学理構築に向けたさらなる研究の展開が期待される。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Y. Nakazawa, M. Uchida, S. Nishihaya, M. Ohno, S. Sato, and M. Kawasaki  
“Enhancement of spin-orbit coupling in Dirac semimetal  $\text{Cd}_3\text{As}_2$  films by Sb doping”  
Physical Review B 103, 045109 (2021).