

トポロジカル材料科学に基づく革新的機能を有する材料・デバイスの創出  
2018 年度採択研究代表者

2021 年度 年次報告書
------------------

塚崎 敦

東北大学 金属材料研究所  
教授

トポロジカル機能界面の創出

## § 1. 研究成果の概要

今年度は、これまでに開発してきた Fe-Sn ホール素子の新たな活用法として磁場の 3 次元方位を検出する動作を開拓して実証した。Fe-Sn 薄膜の特徴は、安価な原料である Fe と Sn をベースに、汎用的なスパッタリング法を用いて室温で堆積可能でかつ、大きな異常ホール効果を示すことにある。有機膜上に堆積してフレキシブル素子として動作させることも可能で、金属間化合物であることから高い温度安定性を示す。本研究では、トポロジカル物質として知られる単結晶  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$  と比較しながら、アモルファスライク Fe-Sn 膜のホール素子の特性向上と基礎特性の検証を行ってきた。今回、トポロジカル物質の線形バンドの寄与によって大きな応答となる一方向性磁気抵抗効果が Fe-Sn 素子で発現することを見出し、その効果を活用することで平面型のホール素子 1 つで磁場の 3 次元方位を室温で検出できることを実証した。

素子は固体基板の上に Fe-Sn 膜と  $\text{SiO}_x$  の積層構造で構成される。スパッタリング法で室温堆積した後、ホールバー形状に加工してホール効果測定、磁気抵抗測定と一方向性磁気抵抗特性を計測した。磁場の 3 次元方位を仰角と方位角で考えると、仰角の検出にホール効果を適用して、方位角の検出に、磁気抵抗効果と一方向性磁気抵抗効果を用いる。これらの効果は、汎用の半導体ホール素子にはない新たな特徴を提供し、特に、大きな一方向性磁気抵抗効果を室温で観測できる要因にはトポロジカルな性質が寄与していると考えられる。作製した Fe-Sn 素子を用いて、変動する磁場方位の検出を実証する実験も行い、検出方法の有効性を確認した。したがって、従来の半導体ホール素子を 3 つ用いて個々の磁場方位を検出する場合に比べて、この 1 つの平面型素子を用いることで省スペース化と省電力化が期待される。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 塚崎グループ

- ① 研究代表者: 塚崎 敦 (東北大学 金属材料研究所 教授)
- ② 研究項目
  - ・トポロジカル物質群の薄膜合成技術開発、界面形成とデバイス作製および各種物性評価
  - ・マヨラナ粒子観測の舞台となる薄膜・界面の基盤技術開拓
  - ・新規に合成した薄膜や界面のトポロジカル性の実験的検証

### (2) 求グループ

- ① 主たる共同研究者: 求 幸年 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・第一原理計算を用いたトポロジカル物質の探索およびヘテロ界面物性の理論予測
  - ・第一原理計算に立脚した現実的な理論モデルの構築とトポロジカル物性の開拓
  - ・大規模数値計算を用いた強相関トポロジカル相とそれを用いたヘテロ界面物性の探索

### (3) 野村グループ

- ① 主たる共同研究者: 野村 健太郎 (東北大学 金属材料研究所 准教授)
- ② 研究項目
  - ・量子異常、トポロジカル場の理論に基づくトポロジカル物性と新規機能の探索
  - ・トポロジカル物質の動的磁気輸送現象の理論構築
  - ・磁性ディラック物質のスピン軌道結合による磁気伝導特性

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) “Two-dimensionality of metallic surface conduction in  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  thin films”  
Communications Physics, vol. 4, pp.117-1-6, 2021.
- 2) “Three-dimensional sensing of the magnetic-field vector by a compact planar-type Hall device”  
Communications Materials, vol. 2, pp. 102-1-6, 2021.
- 3) “Tuning scalar spin chirality in ultrathin films of the kagome-lattice ferromagnet  $\text{Fe}_3\text{Sn}$ ”  
Communications Materials, vol. 2, pp. 113-1-7, 2021.
- 4) “Electronic and magnetic properties of iridium ilmenites  $\text{A}\text{IrO}_3$  ( $A = \text{Mg}, \text{Zn}, \text{and Mn}$ ) ”  
Physical Review Materials, vol. 5, pp. 104409-1-14, 2021.
- 5) “Self-consistent analysis of doping effect for magnetic ordering in stacked-kagome Weyl system”  
Phys. Rev. Materials vol. 6, pp. 024202-1-6, 2022.