

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

本研究課題では、トポロジカル物質群の特長を活用する機能的界面の創製を目標に、理論と実験の協働で研究を展開している。今年度は、特異な電子構造に由来して発現する異常ホール効果のホール素子活用を目指して、使用範囲を拡張する上で欠かせない、不純物添加による伝導度制御と周波数依存性の評価を行った。

磁場を検出するホール素子には、通常、正常ホール効果を示す高移動度の非磁性半導体がいられるが、本研究では、Fe と Sn で構成される磁性薄膜の異常ホール効果を活用するホール素子を開発している。これまでの研究で、トポロジカルな電子構造をもつことで、従来の磁性薄膜に比べて、非常に大きな異常ホール効果を示すことを報告している。今年度は、トポロジカル物質群における異常ホール効果を増強するための電子構造制御の考え方に立脚して、Fe-Sn の母体原料に加えて様々な不純物を添加することで、フェルミ準位の制御とスピン軌道相互作用の促進を検討した。実際に、スピン軌道相互作用の大きい元素として知られる W, Pt, Mo, Ta や電子数の変化が期待できる In, Ge, Mn を添加した素子を作製して特性評価を行ったところ、Ta と In が有効であることを見出した。特に、高い検出感を維持しつつ伝導度を制御できることがわかったことは、用途や使用範囲の拡張に有効である。これまで、ワイル半金属候補とされる  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$  結晶と室温堆積のアモルファスライクなナノ結晶 Fe-Sn 薄膜で、なぜ同等の大きな異常ホール効果が発現するのか、理由は不明であった。今回、様々な不純物の添加された試料を用いて伝導度とホール伝導度の関係を検討したところ、アモルファスライクな Fe-Sn 薄膜でも、結晶と同様の機構で大きな異常ホール効果が発現

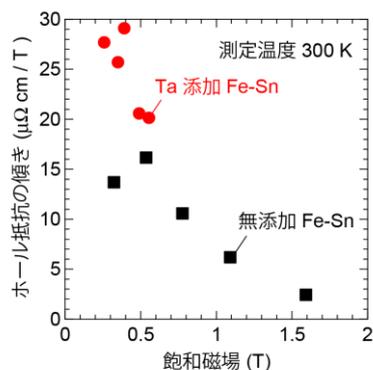


図1 磁場を検出する性能と検出可能な最大磁場の関係

している、と結論することができた。

続いて、磁場センサーとしてデバイス利用するために、高い検出感度と低い検出能の達成を目指して評価を進めた。検出電圧の周波数依存性を評価したところ、数十ヘルツの低周波まで異常ホール効果での磁場検出が可能であることを示した。そのため、磁気構造の変化に起因するノイズの影響も小さいことがわかった。これにより、Fe-Sn ホール素子の特性として、安価な原料、汎用性の高い合成手法、高い温度安定性、不純物添加による伝導度制御と低ノイズ水準で広い周波数範囲で適用可能など、多くの特長を見出した。

#### 【代表的な原著論文】

1. K. Fujiwara, Y. Satake, J. Shiogai A. Tsukazaki, “Doping-induced enhancement of anomalous Hall coefficient in Fe-Sn nanocrystalline films for highly sensitive Hall sensors”, APL Materials, vol. 7, 111103-1-5, 2019.
2. J. Shiogai, Z. Jin, Y. Satake, K. Fujiwara, A. Tsukazaki, “Low-frequency noise measurements on Fe-Sn Hall sensors”, Applied Physics Express, vol. 12, 123001-1-7, 2019.

## § 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