

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

2022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

主たる共同研究者:

野村 健太郎 (九州大学 大学院理学研究院 教授)  
求 幸年 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

## 研究成果の概要

今年度は、磁性ワイル半金属  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  の薄膜におけるトポロジカル物性を検出する研究を推進した。 $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  の磁壁に生じる電気伝導現象を測定するためには磁区を自在に生成する技術が必要になるが、現状では困難である。本研究では、磁場印加によって自然生成される磁区を縦抵抗とホール抵抗で検出することを目指して、磁区サイズと同等と思われる最小 200nm のナノ細線素子を電子線リソグラフィで作製した。この細線において、大きな異常ホール抵抗、ホール角と面直磁化の大きな保磁力が観測されたため、磁性ワイル半金属の性質が保たれていることを確認した。磁場印加で生じる逆磁区の生成に由来する不連続なホール抵抗の変化を観測したため、素子サイズ依存性を系統的に評価することにより、7%程度の大きな磁壁抵抗を観測するとともに  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  薄膜の磁化反転プロセスを理解することができた。ナノ細線に加えて、電気二重層トランジスタ構造を用いて結晶性薄膜の厚さを調整する手法を確立した。薄膜とイオン液体の界面で生じる電気化学反応を利用して Co 原子を効果的に脱離することで、電気伝導をもたらす Co カゴメ格子層の結晶性原子層総数を調整できることを示した。この手法による膜厚制御性をさらに高めることで、カゴメ格子単原子層の物性評価が可能になると期待される。理論グループでは、1,2,3 層の Co カゴメ格子における磁気構造とホール伝導度を計算して、安定な磁気構造が層数に依存して変化することを指摘するとともに、Sn 終端面で量子異常ホール状態が発現することを報告した。また、カゴメ格子の示す安定な磁気状態を電子の充填率に対して系統的に調査して、強磁性だけでなく、様々な磁気状態が発現することを見出した。近年、3d 遷移金属のカゴメ格子を有する物質群は磁性ワイル半金属や超伝導という観点で盛んに研究されているため、本論文で指摘した磁気構造は今後の研究推進に対して有効な指針になると期待される。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) "Electrochemical thinning of Co kagome-lattice layers in ferromagnetic  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  thin films by bias-induced Co dissolution" K. Fujiwara, J. Ikeda, S. Ito, A. Tsukazaki  
Journal of Applied Physics, vol. 133, pp. 125302-1-7, 2023
- 2) "Non-volatile chirality switching by all-optical magnetization reversal in ferromagnetic Weyl semimetal  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$ " N. Yoshikawa, K. Ogawa, Y. Hirai, K. Fujiwara, J. Ikeda, A. Tsukazaki, R. Shimano, Communications Physics, vol. 5, pp. 328-1-9, 2022
- 3) "One, two, three, ... infinity: topological properties of thin films of Co-based shandite"  
K. Nakazawa, Y. Kato, Y. Motome, preprint (arXiv:2212.09026), 2022
- 4) "Electrical detection of domain evolution in magnetic Weyl semimetal  $\text{Co}_3\text{Sn}_2\text{S}_2$  submicrometer-wide wire devices" J. Shiogai, J. Ikeda, K. Fujiwara, T. Seki, K. Takanashi, A. Tsukazaki  
Physical Review Materials, vol. 6, pp. 114203-1-9, 2022
- 5) "Magnetic orderings from spin-orbit coupled electrons on kagome lattice" J. Watanabe, Y. Araki, K. Kobayashi, A. Ozawa, K. Nomura, Journal of Physical Society of Japan, vol. 91, pp. 083702-1-5, 2022