

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

中辻 知

東京大学 物性研究所  
特任教授

電子構造のトポロジーを利用した機能性磁性材料の開発とデバイス創成

主たる共同研究者:

有田 亮太郎 (理化学研究所 創発物性科学研究センター チームリーダー)  
大谷 義近 (東京大学 物性研究所 教授)  
薬師寺 啓 (産業技術総合研究所 新原理コンピューティング研究センター  
研究チーム付)

## 研究成果の概要

今年度も引き続き、トポロジカル反強磁性体  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  を中心にデバイス基盤技術開発を進め、特に歪みを用いた反強磁性秩序の制御に関連した研究が大きく進展した。 $\text{Mn}_3\text{Sn}$  のカゴメ面に平行に一軸歪みを導入することで巨大なピエゾ磁気効果が起こることを室温で見出すとともに、歪みにより  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  の示す異常ホール効果の符号を反転できることを明らかにした[1]。この歪みにより反強磁性秩序を制御できるという結果に着想を得て、 $\text{Mn}_3\text{Sn}$  エピタキシャル薄膜と重金属薄膜を含む多層膜を作製し、 $\text{Mn}_3\text{Sn}$  のカゴメ面に平行に引っ張り歪みを導入することで膜面垂直方向に磁気容易軸を持たせた垂直二値状態を示す試料を得た。この多層膜を用いてメモリ素子を作製し、電流書き込みで出力信号を 100%反転すること、つまり反強磁性体で初の垂直磁気記録の実証に成功した[2]。反強磁性体の情報の読み出し技術についても開発を進め、 $\text{Mn}_3\text{Sn}/\text{MgO}/\text{Mn}_3\text{Sn}$  の反強磁性体からなる MTJ 素子において初めてトンネル磁気抵抗効果を観測した[3]。観測された磁気抵抗の変化は数%であるが、理論的には現在強磁性体で見られる値と同程度まで増強可能であることも明らかにした。また  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  の磁壁観察のために、簡易的ながら高い空間分解能を持つ新しい磁気イメージング法を開発した。試料細線の表面に原子間力顕微鏡の探針を接触させて局所的な温度勾配を作り、生じる異常ネルンスト電圧をマッピングし磁気像を得るもので世界初の試みである。トポロジカル強磁性体  $\text{Co}_2\text{MnGa}$  で、この方法のデモンストレーションに成功した[4]。鉄系トポロジカル強磁性体  $\text{Fe}_3\text{Ga}$  の多結晶において、単結晶と同等の巨大異常ネルンスト効果を確認した。また Fe 組成比を詳細にコントロールすることにより、異常ネルンスト係数を増大させることにも成功した[5]。作成容易な多結晶において世界最大の値であり、熱流センサを始め様々な熱電応用に利用されることが期待される。以上のように、トポロジカル磁性体を用いたメモリとセンサの実用化に向けた研究開発が順調に進んでいる。

### 【代表的な原著論文情報】

1. M. Ikhlas, S. Dasgupta, F. Theuss, T. Higo, Shunichiro Kittaka, B. J. Ramshaw, O. Tchernyshyov, C. W. Hicks & S. Nakatsuji, “Piezomagnetic switching of the anomalous Hall effect in an antiferromagnet at room temperature” *Nat. Phys.* **18** (2022).
2. T. Higo, K. Kondou, T. Nomoto, M. Shiga, S. Sakamoto, X. Chen, D. Nishio-Hamane, R. Arita, Y. Otani, S. Miwa & S. Nakatsuji, “Perpendicular full switching of chiral antiferromagnetic order by current” *Nature* **607**, 474–479 (2022).
3. X. Chen, T. Higo, K. Tanaka, T. Nomoto, H. Tsai, H. Idzuchi, M. Shiga, S. Sakamoto, R. Ando, H. Kosaki, T. Matsuo, D. Nishio-Hamane, R. Arita, S. Miwa & S. Nakatsuji, “Octupole-driven magnetoresistance in an antiferromagnetic tunnel junction” *Nature* **613**, 490–495 (2023).
4. N. Budai, H. Isshiki, R. Uesugi, Z. Zhu, T. Higo, S. Nakatsuji, & Y. Otani, “High-resolution magnetic imaging by mapping the locally induced anomalous Nernst effect using atomic force microscopy”, *Appl. Phys. Lett.* **122**, 102401 (2023).
5. Z. Feng, S. Minami, S. Akamatsu, A. Sakai, T. Chen, D. Nishio-Hamane, & S. Nakatsuji “Giant and Robust Anomalous Nernst Effect in a Polycrystalline Topological Ferromagnet at Room Temperature”, *Adv. Funct. Mater.*, 2206519 (2022).