

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

2020年度 年次報告書

中辻 知

東京大学 理学系研究科
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

§ 1. 研究成果の概要

超スマート社会の実現に向けて、現状のシリコントランジスタ技術の限界を超えた革新的デバイスの基盤技術の構築が急務である。本研究では、その主要な技術である不揮発性磁気メモリや磁気センサを既存の強磁性体から電子構造のトポロジーを利用した機能性磁性体材料に置き換えることで、革新的スピントロニクスデバイスの創製を目指す。

今年度は、メモリやセンサに適した新規トポロジカル磁性体の開発を更に推進した。ワイル反強磁性体 Mn_3Sn の姉妹物質 Mn_3Ge の純良単結晶を作成し、磁気構造を中性子実験から明らかにした。同時にトポロジカル電子構造由来の物性を実験と理論の両面から研究し、 Mn_3Ge が温度範囲によっては Mn_3Sn より高い性能を持ち、デバイス化に適した物質であることを見出した。メモリ関連技術の研究では、昨年度のワイル反強磁性体 Mn_3Sn 多結晶薄膜での磁区の電氣的制御手法の開発に続き、バルク単結晶での反強磁性磁壁の伝播原理の解明と制御に関する研究を行った。反強磁性体 Mn_3Sn 単結晶を用い作製したウェッジ型素子で、磁区の生成・駆動の実験から磁壁駆動が可能なることを実証した。これは反強磁性体を用いたレーストラックメモリデバイス実現の可能性を示唆する。また、反強磁性体では形状磁気異方性の影響が無視できるほど小さく、 Mn_3Sn では単一ビットでの多値記憶が原理上可能であることを見出した。形状磁気異方性が小さいという機能はデバイス応用時の形状選択の自由度の高さにもつながり、メモリのほか、細線構造が必要となる異常ネルンスト型熱流センサの開発に有用であることが分かった。

そのほか、スピンホール効果による Mn_3Sn 記憶層への高効率なデータ書込技術の開発や Mn_3X 反強磁性ホール素子メモリ設計を行っており、反強磁性体を用いることで高速駆動する不揮発性磁気メモリの実用化へ向けた研究開発が順調に進んでいる。

§ 2. 研究実施体制

(1) 中辻グループ

- ① 研究代表者: 中辻 知 (東京大学 理学系研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・ワイル反強磁性体の実験的開発と評価
 - ・ワイル磁性体の薄膜作製
 - ・磁気スピンホール効果の学理構築とそのスピントロニクス技術の開発
 - ・ワイル反強磁性体と他の金属との接合による磁気抵抗効果の開拓

(2) 大谷グループ

- ① 主たる共同研究者: 大谷 義近 (東京大学 物性研究所、教授)
- ② 研究項目

- ・磁気ダイナミクスと磁壁状態の実験的確認
- ・磁気スピホール効果の学理構築とそのスピントロニクス技術の開発
- ・不揮発性ホール素子メモリの性能評価

(3) 有田グループ

- ① 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)
- ② 研究項目
 - ・ワイル反強磁性体の理論的開発
 - ・磁気多極子ドメインの制御手法の理論構築

(4) 薬師寺グループ

- ① 主たる共同研究者: 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、チーム長)
- ② 研究項目
 - ・磁気ドメインの熱安定性の確認
 - ・ホール素子メモリのデザイン
 - ・不揮発性ホール素子メモリの作製
 - ・不揮発性ホール素子メモリの性能評価

【代表的な原著論文情報】

- [1] S. Sugimoto, Y. Nakatani, Y. Yamane, M. Ikhlas, K. Kondou, M. Kimata, T. Tomita, S. Nakatsuji, Y. Otani, "Electrical nucleation, displacement, and detection of antiferromagnetic domain walls in the chiral antiferromagnet Mn_3Sn ", *Commun. Phys.* **3**, 111 (2020).
- [2] S. Minami, F. Ishii, M. Hirayama, T. Nomoto, T. Koretsune, and R. Arita, "Enhancement of the transverse thermoelectric conductivity originating from stationary points in nodal lines", *Phys. Rev. B* **102**, 205128 (2020).
- [3] T. Chen, T. Tomita, S. Minami, M. Fu, T. Koretsune, M. Kitatani, I. Muhamad, D. Nishio-Hamane, R. Ishii, F. Ishii, R. Arita, and S. Nakatsuji, "Anomalous transport due to Weyl fermions in the chiral antiferromagnets Mn_3X , $X = Sn, Ge$ ", *Nat. Commun.* **12**, 572 (2021).
- [4] M.-T. Huebsch, T. Nomoto, M.-T. Suzuki, R. Arita, "Benchmark for Ab Initio Prediction of Magnetic Structures Based on Cluster-Multipole Theory", *Phys. Rev. X* **11**, 011031 (2021).
- [5] T. Higo, Y. Li, K. Kondou, D. Qu, M. Ikhlas, R. Uesugi, D. N.-. Hamane, C. L. Chien, Y. Otani, S. Nakatsuji, "Omnidirectional Control of Large Electrical Output in a Topological Antiferromagnet", *Adv. Funct. Mater.* **31**, 2008971 (2021).