

先端国際共同研究推進事業
2023 年度採択

Top 研究者のための ASPIRE
量子分野

2023 年度～2024 年度
年次報告書（公開版）

研究課題名 トポロジカル物質に基づく革新的量子エレクトロニクス創成

日本側研究代表者 中辻 知 東京大学 トランススケール量子科学国際連携
研究機構 機構長、理学系研究科物理学専攻 教授

相手側研究代表者 Collin Broholm, Director, Institute for Quantum Matter,
Johns Hopkins University

研究期間 2024 年 2 月 1 日～2029 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

研究開発項目である、高機能トポロジカル反強磁性体の開発／高品質・積層単結晶薄膜の作製／クラスター磁気多極子による磁気スイッチングダイナミクスの解明に取り組んだ。

<得られた成果>

Mn₃Sn に対する元素置換が物理特性に及ぼす影響について、数値シミュレーション手法を開発・検証し、その予測、及び評価を可能とした。あわせて、単結晶電極の配向の最適化、適切なバリア材料の選定、及び界面品質の向上を図ることにより、磁気トンネル接合（MTJ）デバイスにおけるトンネル磁気抵抗（TMR）の増大を実現した。

② 国際ネットワーク構築・拡大に関する成果

<実施したこと>

国際的な研究交流を促進すべく、以下の 2 件の国際シンポジウムを主催した：（1）「量子エレクトロニクス」国際シンポジウム（2024 年 2 月 13 日～16 日、東京大学）、および（2）「量子マテリアルから量子情報へ（QMQI2024）」（2024 年 11 月 11 日～15 日、沖縄科学技術大学院大学）。さらに、複数の国際会議において、機能性反強磁性体を主題とする特別セッションを企画・実施した。

<得られた成果>

- (1) 「量子エレクトロニクス」国際シンポジウム：量子磁性体の基礎、先端スピントロニクスデバイスなど量子エレクトロニクス、及び素粒子・原子核、宇宙や量子多体系からも第一人者が一堂に会し量子エレクトロニクスや量子技術、及び学際領域を議論した。
- (2) 「量子マテリアルから量子情報へ」国際シンポジウム：前 2 日量子マテリアル、後 2 日量子情報、中 1 日が両領域の「橋渡し」からなり、米国 QMS（Quantum Materials Synthesis collaboration）、及び沖縄科学技術大学院大学との共催により実現した。
- (3) 国際会議で特別セッションが採択された：(i) APS March 2024（American Physical Society）、(ii) INTERMAG 2024（IEEE International Magnetism Conference）、(iii) APS Global Physics Summit 2025。

③ 国際頭脳循環の促進に資する若手研究者の人材育成に関する成果

<実施したこと>

研究者及び学生の国際派遣・受入プログラムの立上げに取り組んだ。

<得られた成果>

国際派遣・受入プログラムが立ち上がり、派遣ではトランスファを初めて実現した。また、相手側研究者が日本側拠点に滞在し、共同研究を推進すると同時にポストドクターと大学院学生の指導を行った。これにより、今後の海外への若手研究者や学生の派遣や教育訓練など国際頭脳循環への出発点となった。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
研究テーマ1	中辻 知 Collin L. Broholm	東京大学・トランススケール量子科学国際連携研究機構・機構長 Johns Hopkins University (JHU) ・ Department of Physics and Astronomy ・ Gerhard H. Dieke Professor & Institute for Quantum Matter (IQM)・Director

研究テーマ2	有田 亮太郎 Oleg Tchernyshyov	東京大学・理学系研究科物理学専攻・教授 JHU ・ Department of Physics and Astronomy・Professor & IQM・thrust lead
研究テーマ3	三輪 真嗣 Chia-Ling Chien	東京大学・物性研究所・准教授 JHU ・ Department of Physics and Astronomy・Jacob L. Hain Professor
研究テーマ4	是常 隆 N. Peter Armitage	東北大学・大学院理学研究科物理学専攻・教授 JHU ・ Department of Physics and Astronomy・Professor & IQM・Exec comm.
研究テーマ5	近藤 浩太 Daniel Worledge	大阪大学・先導的学際研究機構 スピン学際研究部門・准教授 IBM ・ T. J. Watson Research Center MRAM ・ Distinguished Research Staff Member and Senior Manager

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

研究開発項目(1)

- M. Wu, T. Chen, T. Nomoto, Y. Tserkovnyak, H. Isshiki, Y. Nakatani, T. Higo, T. Tomita, K. Kondou, R. Arita, S. Nakatsuji, Y. Otani, Current-driven fast magnetic octupole domain-wall motion in noncollinear antiferromagnets, Nat. Commun. 15, 4305 (2024).
- Shun'ichiro Kurosawa, Tomoya Higo, Shota Saito, Ryota Uesugi, and Satoru Nakatsuji, Large spontaneous magneto-thermoelectric effect in epitaxial thin films of the topological kagome ferromagnet Fe₃Sn, Phys. Rev. Materials 8, 054206 (2024).
- H. Isshiki, N. Budai, A. Kobayashi, R. Uesugi, T. Higo, S. Nakatsuji, Y. Otani, Observation of cluster magnetic octupole domains in the antiferromagnetic Weyl semimetal Mn₃Sn nanowire, Phys. Rev. Lett. 132, 216702 (2024).
- M. Asakura, T. Higo, T. Matsuo, R. Uesugi, D. Nishio-Hamane, S. Nakatsuji, Observation of Omnidirectional Exchange Bias at All-Antiferromagnetic, Polycrystalline Heterointerface, Adv. Mater. 36, 2400301 (2024).

研究開発項目(2)

- S. Sakamoto, T. Nomoto, T. Higo, Y. Hibino, T. Yamamoto, S. Tamaru, Y. Kotani, H. Kosaki, M. Shiga, D. Nishio-Hamane, T. Nakamura, T. Nozaki, K. Yakushiji, R. Arita, S. Nakatsuji, S. Miwa, Antiferromagnetic spin-torque diode effect in a Kagome Weyl semimetal, Nat. Nanotechnol (2024).
- S. Sakamoto, T. Higo, Y. Kotani, H. Kosaki, T. Nakamura, S. Nakatsuji, S. Miwa, Bulk and surface uniformity of magnetic and electronic structures in epitaxial W/Mn₃Sn/MgO films revealed by fluorescence- and electron-yield x-ray magnetic circular dichroism, Phys. Rev. B 110, L060412 (2024).

研究開発項目(3)

- Y. Chen, J. Gaudet, G. G. Marcus, T. Nomoto, T. Chen, T. Tomita, M. Ikhlas, H. S. Suzuki, Y. Zhao, W. C. Chen, J. Stremper, R. Arita, S. Nakatsuji, C. Broholm, Intertwined charge and spin density waves in a topological kagome material, Phys. Rev. Research. 6, L032016 (2024).
- H.-Y. Chen, T. Nomoto, M. Hirschberger, R. Arita, Topological Hall Effect of Skyrmions from first Principles, Phys. Rev. X 15, 011054 (2025).
- Akito Sakai, Yosuke Matsumoto, Mingxuan Fu, Takachika Isomae, Masaki Tsujimoto, Eoin O'Farrell, Daisuke Nishio-Hamane, Satoru Nakatsuji, Interplay between multipolar order and multipole-induced superconductivity in PrTi₂Al₂₀, Nat. Commun. 16, 2114 (2025).