

実験と理論・計算・データ科学を融合した材料開発の革新
2019年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

能崎 幸雄

慶應義塾大学 理工学部
教授

ナノ構造制御と計算科学を融合した傾斜材料開発とスピンドバイス応用

主たる共同研究者:

介川 裕章 (物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点 主幹
研究員)

柚木 清司 (理化学研究所 開拓研究本部 主任研究員)

渡邊 紳一 (慶應義塾大学 理工学部 教授)

研究成果の概要

本研究では、電流渦が作る力学的な回転運動から磁気の流れ(スピン流)を生み出す新しい磁気回転効果を解明し、電流渦を効率よく作製できるナノスケール傾斜材料を開発する。物質中の局所的な回転運動と伝導電子スピンの間のスケール超越した角運動量変換には未解明な点が多く、これを実デバイス応用した例はほとんどなく、基礎研究が始まったばかりである。物質を選ばずに生成可能な格子回転や電流渦をスピン流の生成に利用できれば、物質固有のスピン軌道相互作用が不可欠だった材料開発の自由度が飛躍的に向上する。例えば、これまで難しかった高電気伝導のスピン流生成材料も実現できるため、スピン流を用いるあらゆる電子デバイスの省電力化につながる。

本年度は、傾斜材料のスピン流生成機構の原理解明のため、負のスピン軌道相互作用を持つ Ti/W 傾斜材料を作製し、スピン流生成の起源であるスピナー渦度結合におけるスピン軌道相互作用(SOI)の偶奇性を調べた。さらに、非一様スピン依存散乱の定量化に向けて、力学回転-スピン変換の空間分解イメージング技術として、ストロボ光干渉計測手法を新たに開発した。また、原子層オーダーの成膜制御による傾斜材料の作製とスピン流生成能力の実験的評価を進め、実際にスピン流生成効率の増大効果を確認した。計算科学による傾斜材料の性能予測研究では、極性界面における電荷移動を起源とする巨大 Rashba 分裂の第一原理計算を高精度化した。傾斜材料のデバイス実装に向けた研究では、磁化スイッチング電流低減に大きな役割を果たすフィールドライクトルクの大きさや符号を評価した。さらに、実デバイス化の際に重要なシート抵抗値や、磁化ダンピング定数への影響を調べた結果、開発中の傾斜材料が磁化スイッチングに有望であることが確かめられた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Yamanoi, H. Semizu, and Y. Nozaki, “Enhancement of room-temperature unidirectional spin Hall magnetoresistance by using a ferromagnetic metal with a low Curie temperature”, *Phys. Rev. B* **106**, L140401 (2022).
- 2) A. Iwasaki, D. Nishikawa, M. Okano, S. Tateno, K. Yamanoi, Y. Nozaki, and S. Watanabe, “Temporal-offset dual-comb vibrometer with picometer axial precision”, *APL Photonics* **7** [10], 106101 (2022).
- 3) M. Okano and S. Watanabe, “Triggerless data acquisition in asynchronous optical-sampling terahertz time-domain spectroscopy based on a dual-comb system”, *Opt. Express* **30** [22], 39613-39623 (2022).
- 4) M. Nakagawa, M. Okano, and S. Watanabe, “Polarization-sensitive terahertz time-domain spectroscopy system without mechanical moving parts”, *Opt. Express* **30** [16], 29421-29434 (2022).
- 5) T. Funato, A. Yamakage, and M. Matsuo, “Acoustic spin transport by superconducting quasiparticles”, *Phys. Rev. B* **106**, 214420 (2022).