

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

2021 年度 年次報告書

PHAM NAM HAI

東京工業大学 工学院
准教授

トポロジカル表面状態を用いるスピン軌道トルク磁気メモリの創製

§ 1. 研究成果の概要

東工大グループは UCLA と共同研究で、トポロジカル絶縁体を CoFeB/MgO/CoFeB 面内磁化型磁気トンネル接合に集積し、3 端子 SOT-MRAM デバイスの実証を行い、比較的高いトンネル磁気抵抗比(～90%)による読み出しおよび SOT による書き込みを同時に達成した。また、東工大グループと NHK グループは BiSb の巨大なスピンホール効果を用いて、垂直磁気異方性を持つ (Pt/Co)磁性多層薄膜を低電流密度かつナノ秒の超高速に磁化反転させることに成功した。また、東工大グループはスピン軌道トルクの評価法として用いられてきた二次高調波法の欠点を指摘し、正常ネルンスト効果と異常ネルンスト効果を含むより一般化された角度分解二次高調波法を開発することで、高精度なスピン軌道トルクの評価を可能にした。さらに、東工大グループと東大グループとの共同研究で、BiSb/強磁性半導体 GaFeSb の接合において、室温でのスピンプンピングによる GaFeSb から BiSb へのスピン注入、および BiSb の巨大な逆スピンホール効果によるスピン流—電流変換に成功した。

NHK グループは東工大グループと協力して、(Co/Tb)フェリ磁性細線メモリ素子に BiSb を積層した構造について試作・評価を進めた。加熱を極力さけ短時間でパターニング処理することによって、(Co/Tb)磁性細線の垂直磁気異方性を維持できるプロセスを構築した。併せて、BiSb と (Co/Tb)の界面に Pt を 1nm 堆積することによって Sb の層間拡散を抑制し(Co/Tb)の垂直磁気異方性の劣化を低減するとともに、BiSb 上に極薄 Ru を堆積することによって、表面平坦性を改善することができた。これらの対策により、電流密度 2.5×10^6 A/cm²(従来比 1 桁少ない)の数 μ s 幅の電流パルス印加によって、磁壁の移動を磁気光学顕微鏡により観察することに初めて成功した。

§ 2. 研究実施体制

(1) PHAM グループ

① 研究代表者: PHAM NAM HAI (東京工業大学 工学院 准教授)

② 研究項目

- ・ トポロジカル絶縁体の製膜技術および垂直磁気異方性を示す磁性体との接合の作製技術の確立
- ・ 超高速と超低消費電力の SOT-MRAM に向けたデバイスの試作、カイラル磁壁・スキルミオン用のトポロジカル絶縁体/磁性体接合の開発

(2) 宮本グループ

① 主たる共同研究者: 宮本 泰敬 (日本放送協会 放送技術研究所 主任研究員)

② 研究項目

- ・ カイラル磁壁・スキルミオン評価用磁性細線の試作
- ・ カイラル磁壁の発生、駆動、検出技術の開発

(3) 小林グループ

① 主たる共同研究者: 小林 正起 (東京大学 大学院工学系研究科 准教授)

② 研究項目

- ・ スピン角度分解光電子分光法によるトポロジカル絶縁体の表面状態およびトポロジカル絶縁体/垂直磁化膜接合界面の観察

【代表的な原著論文情報】

- 1) Hao Wu, Aitian Chen, Peng Zhang, Haoran He, John Nance, Chenyang Guo, Julian Sasaki, Takanori Shirokura, Pham Nam Hai, Bin Fang, Seyed Razavi, Kin Wong, Yan Wen, Yinchang Ma, Guoqiang Yu, Greg Carman, Xiufeng Han, Xixiang Zhang, and Kang Wang, “Magnetic memory driven by topological insulators”, Nature Communication, Vol. 12, pp. 6251, 2021.
- 2) Takanori Shirokura, Pham Nam Hai. “Angle resolved second harmonic technique for precise evaluation of spin orbit torque in strong perpendicular magnetic anisotropy systems”, Applied Physics Letters, Vol. 119, pp. 222402, 2021.
- 3) Mao Takahashi, Naoki Nakatani, Kei Ogura, Norihiko Ishii, Yasuyoshi Miyamoto. “Magnetic domain formation and shift in magnetic nanowire memory consisting of Co/Tb nanowires and U-shaped writer”, IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 58, 3100905, 2022.
- 4) J. Sasaki, H. H. Huy, N. H. D. Khang, P. N. Hai, Q. Le, B. York, X. Liu, S. Le, C. Hwang, M. Ho, H. Takano. “Improvement of the effective spin Hall angle by inserting an interfacial layer in sputtered BiSb topological insulator (bottom)/ferromagnet with in-plane magnetization”, IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 58, 3200404, 2022.
- 5) Nguyen Huynh Duy Khang, Takanori Shirokura, Tuo Fan, Mao Takahashi, Naoki Nakatani,

Daisuke Kato, Yasuyoshi Miyamoto, Pham Nam Hai. “Nanosecond ultralow power spin orbit torque magnetization switching driven by BiSb topological insulator”, Applied Physics Letters, Vol. 120, pp. 152401, 2022.