

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
------------------

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

我々はトポロジカル絶縁体を用いた超低消費電力 SOT-MRAM の実証に向けて、高い品質が期待できるサファイア基板上にスパッタリング製膜したトポロジカル絶縁体 BiSb/(Pt/Co)<sub>n</sub> 垂直磁化多層膜を作製し、スピホール効果の評価および磁化反転を試みた。その結果、スパッタリング製膜した BiSb/(Pt/Co)<sub>n</sub> 垂直磁化多層膜構造において、超巨大なスピホール効果(有効スピホール角 12.3)および超低消費電力磁化反転の実証に成功した。さらに、我々は Si 基板上にスパッタリング製膜したトポロジカル絶縁体 BiSb/Pt/Fe 面内磁化膜において、無磁場下のスピ軌道ルク磁化反転に成功した。また、面内磁化反転を検出するために、2 次高調波ホール効果を用いた新しい検出方法を提案し、その実証を行った。将来、BiSb を積層した磁性細線メモリの試作および動作検証に必要となる要素技術の開発のため、先行して、(Co/Tb)フェリ磁性細線を用いたメモリ素子構造を試作するとともに、メモリ動作に必要となる、磁区の書き込み、移動、読み出し技術の開発を進めた。

また、BiSb/MnGa の界面におけるバンド構造を明らかにするために、垂直磁化膜である MnGa の電子状態を角度分解光電子分光 (ARPES) により評価した。MnGa における APRES 測定から、バルクは三次元的なバンド構造を示すが、Fermi 準位近傍のバンド構造は二次元的な表面状態があることが分かった。この結果は、BiSb/MnGa 界面において MnGa 表面の Fermi 面と BiSb 表面の Dirac cone が重なる特定の波数領域が存在することを示唆し、この領域において BiSb のトポロジカル表面状態と MnGa 表面状態との電子的な相互作用が強いことが予想される。

## § 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 / (公社) 日本磁気学会、総務・特任理事)

#### 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 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) Nguyen Huynh Duy Khang, Pham Nam Hai, “Spin-orbit torque as a method for field-free detection of in-plane magnetization switching”, Applied Physics Letters, Vol. 117, pp. 252402 2020.
- 2) Nguyen Huynh Duy Khang, Soichiro Nakano, Takanori Shirokura, Yasuyoshi Miyamoto, Pham Nam Hai, “Ultralow power spin-orbit torque magnetization switching induced by a non-epitaxial topological insulator on Si substrates”, Scientific Reports, Vol.10, pp. 12185, 2020.
- 3) Tuo Fan, Mustafa Tobah, Takanori Shirokura, Nguyen Huynh Duy Khang, Pham Nam Hai, “Crystal growth and characterization of topological insulator BiSb thin films by sputtering deposition on sapphire substrates”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 59, pp. 063001, 2020.
- 4) Takanori Shirokura, Pham Nam Hai, “Bias-field-free spin Hall nano-oscillators with an out-of-plane precession mode”, Journal of Applied Physics, Vol. 127, No. 10, pp. 103904, 2020.