

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

「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」をめざし、研究を進めた。主な研究成果の概要は以下の通りである。

1. トポロジカル絶縁体 BiSb の巨大なスピンホール効果の再確認およびその起源の解明

BiSb の巨大なスピンホール角を再確認し、その起源を明らかにした。トポロジカル絶縁状態の $\text{Bi}_{0.6}\text{Sb}_{0.4}(001)$ 薄膜／面内磁化膜の接合を作製し、面内磁化回転法を用いて、低温から室温まで系統的にスピンホール角 θ_{SH} を評価した。50 nm 厚の $\text{Bi}_{0.6}\text{Sb}_{0.4}(001)$ 薄膜において、室温では $\theta_{\text{SH}} \sim 38$ 、低温では $\theta_{\text{SH}} \sim 450\text{-}530$ と非常に巨大なスピンホール角を観測した。また、熱電効果などのアーティファクトを排除できるプレナーホール抵抗法を新たに提案し、巨大な θ_{SH} を再確認できた。さらに、BiSb のスピンホール効果は表面状態に起因し、その強さが表面状態のディラックコーンの数に比例することを見出した。一方、半金属状態の 50 nm 厚の $\text{Bi}_{0.2}\text{Sb}_{0.8}(001)$ 薄膜では低温でも $\theta_{\text{SH}} \sim -4$ と二桁小さいこと、かつ符号が負であることから、半金属状態の BiSb ではバルクのスピンホール効果が支配的であることが分かった。

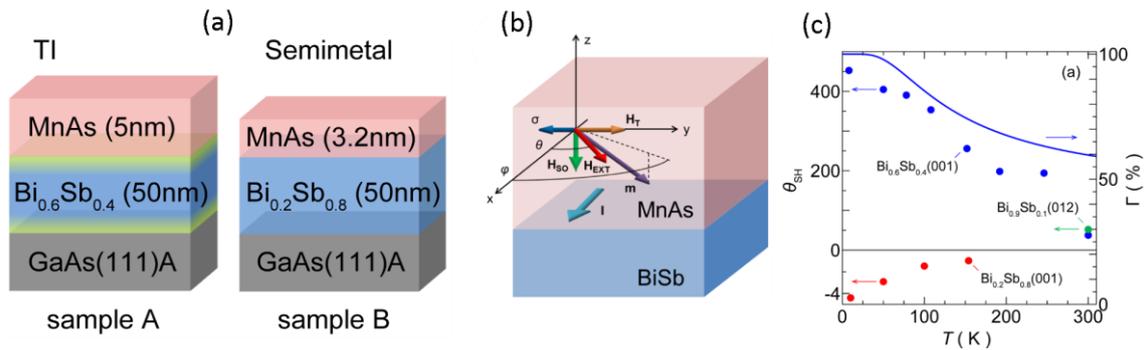


図 1. BiSb の巨大なスピホール効果の再確認およびその起源の解明: (a) 作製した BiSb/MnAs 接合および (b) 面内磁化回転法を用いたスピホール効果の測定原理 (c) BiSb のスピホール角 θ_{SH} および表面伝導の比率 Γ の温度依存性

2. BiSb の結晶成長モードの評価

BiSb の結晶成長モードを調べるために、様々な面方位の GaAs 基板の上に、BiSb の結晶を成長させた。その結果、BiSb の結晶成長は基板の対称性ではなく、表面を終端している原子の種類と再構築表面パターンに強く依存することを明らかにした。

具体的な成果は下記の通りである。

* GaAs(111)A 面: この面は Ga 終端で高い規則性がある表面である。その上に成膜した BiSb はエピタキシャル的に(001)面成長する。

* GaAs(111)B 面: この面は As 終端で乱れた表面である。その上に成膜した BiSb が数 nm と薄い場合、(012)面のテクスチャ膜になる。一方、20nm 以上の厚い BiSb 膜では、BiSb(012)面と(001)面の混晶膜となる。また、薄い(<1 nm)Bi バッファー層を挿入することにより、BiSb の結晶性の改善が見られた。

* GaAs(001)面: As 終端で高い規則性がある表面である。その上に成膜した BiSb は BiSb(001)面のテクスチャ膜になる。

以上のように、異なる2つの基板表面状態: GaAs(111)A 面と GaAs(111)B 面とを比較すると、基板の面方位の対称性が同じでも表面の終端原子の種類と再構築表面が異なると、BiSb の結晶成長モードが異なることが分かった。また、GaAs(111)B 面と GaAs(001)面上に成長した BiSb の面方位の対称性は基板の面方位の対称性と異なっている。これらは、BiSb の結晶成長は基板の再構築表面パターンに強く依存することを示している。この結果は、今後、BiSb と磁性体の接合を作製するときの重要な指針となる。

【代表的な原著論文】

1. Kenichiro Yao, Nguyen Huynh Duy Khang, Pham Nam Hai, "Influence of crystal orientation and surface termination on the growth of BiSb thin films on GaAs substrates", Journal of Crystal Growth vol. 511, pp. 99-105, 2019
2. Takanori Shirokura, Kenichiro Yao, Yugo Ueda, Pham Nam Hai, "Origin of the giant spin Hall effect in BiSb topological insulator", submitted, preprint arXiv:1810.10840

§2. 研究実施体制

(1) PHAM グループ (東京工業大学)

- 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
 - ・ スピンホール効果の Sb 組成依存性の評価
 - ・ BiSb/MnGa 接合におけるスキルミオンの発生および DMI の評価

(2) 宮本グループ (日本放送協会)

- 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 総務理事)
- ② 研究項目
 - ・ カイラル磁壁・スキルミオン用 BiSb/垂直磁性体の候補の調査

(3) 小林グループ (東京大学)

- 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 BiSb(012)の表面状態の観察