

超高性能純スピン注入源としてのBiSb トポロジカル絶縁体

Pham Nam Hai^{1,2,3}, Nguyen Huynh Duy Khang¹, 八尾 健一郎¹, 白倉 孝典¹
 東工大¹, 東大 CSRN², JST-CREST³

近年トポロジカル絶縁体における巨大なスピンホール効果が報告されている [1,2]。これらの材料では 1 を超えるスピンホール角が示されており純スピン注入源として用いることでスピン軌道トルク磁気抵抗メモリ (SOT-MRAM) における低電流かつ高速な磁化反転技術が期待できる。しかし、Bi₂Se₃ や (Bi,Se)₂Te₃ トポロジカル絶縁体は電気伝導率が 10³~10⁴ Ω⁻¹m⁻¹ 台と低いため、実用的ではない。本研究では、キャリア移動度が高いかつ表面状態が多い Bi_{1-x}Sb_x 合金を用いることで高い電気伝導率と巨大なスピンホール角が両立できることを実証した。我々は分子線エピタキシー結晶成長技術を用いて、様々な組成の Bi_{1-x}Sb_x(001) 薄膜の GaAs(111)A 基板上へのエピタキシャル成長を行い、Bi_{1-x}Sb_x 薄膜の伝導率は 10³~10⁶ Ω⁻¹m⁻¹ 台と他の Bi 系のトポロジカル絶縁体よりも 1~2 桁高いことを確認した[3]。また、抵抗率の温度依存性の測定から 90 nm 程度以下のサンプルにおいて量子サイズ効果によりバンドギャップが増大し、少なくとも x~0.4 までに金属的な表面と絶縁的なバルクを持つことが分かった。さらに Bi_{0.9}Sb_{0.1}(012)面/MnGa 垂直直磁性膜の接合において、Bi_{0.9}Sb_{0.1}(012)面のスピン軌道トルクを評価したところ、室温でも超強大なスピンホール角 $\theta_{SH} \sim 52$ を観測した。図 1 に示すように、BiSb/MnGa の接合において、従来よりも 1 桁~2 桁少ない超低電流密度で MnGa のスピン軌道トルクによる磁化反転を実証した[4]。また、超強大なスピンホール角の起源を探るために、50 nm の絶縁的な Bi_{0.4}Sb_{0.6}(001) 薄膜および半金属的な Bi_{0.2}Sb_{0.8}(001) 薄膜/MnAs 面内磁性膜の接合において、面内磁化回転法を用いてスピンホール効果を評価した。その結果、絶縁的な Bi_{0.4}Sb_{0.6}(001) 膜は室温では $\theta_{SH} \sim 38$ 、低温では $\theta_{SH} \sim 450-530$ が得られたことに対して、半金属的な Bi_{0.2}Sb_{0.8}(001) 膜は低温でも $\theta_{SH} \sim -4.4$ と小さい負の値しか示さなかった[5]。これらの結果は BiSb における超強大なスピンホール角の起源がトポロジカル表面状態にあることを強く示唆している [5]。

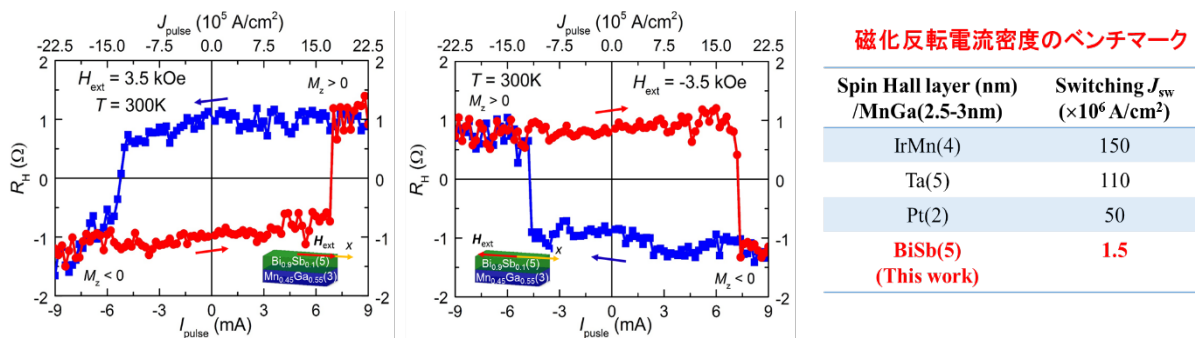


図1. 幅 50 μ m の BiSb(5nm)/MnGa(3nm)接合におけるスピン軌道トルクによる磁化反転の実証および磁化反転電流密度のベンチマーク。MnGa の磁化の向きを異常ホール効果により評価した。BiSb による MnGa 磁化反転の電流密度は 1.5×10^6 A/cm² と既存の材料より 1 桁~2 桁少ないことを実証した[3]。

参考文献

- [1] A. H. Mellnik *et al.*, Nature **511** (2014) 13534.
- [2] Y. Fan *et al.*, Nat. Mater. **13** (2014) 3973.
- [3] Y. Ueda, N. H. D. Khang, K. Yao, P. N. Hai. Appl. Phys. Lett. **110** (2017) 062401.
- [4] N. H. D. Khang, Y. Ueda, P. N. Hai, Nat. Mater. **17** (2018) 808.
- [5] T. Shirokura, K. Yao, Y. Ueda, P. N. Hai, arXiv:1810.10840 [cond-mat.mes-hall]