

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Integration of BiSb topological insulator and ferromagnetic multilayers for magnetic storage devices
著者(和文)	HOHOANG HUY
Author(English)	Huy Ho-Hoang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第281号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:ファム ナムハイ,中川 茂樹,間中 孝彰,山田 明,宮島 晋介,大矢 忍
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第281号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Ho Hoang Huy		
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名	
	主査	Pham Nam Hai	教授	宮島 晋介	准教授	
	審査員	中川 茂樹	教授	審査員	大矢 忍	外部審査員 (東京大学 教授)
		間中 孝彰	教授			
山田 明		教授				

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Integration of BiSb topological insulator and ferromagnetic multilayers for magnetic storage devices」(磁気ストレージデバイスのための BiSb トポロジカル絶縁体と強磁性多層膜の集積化)と題し、英文7章より構成されている。

第一章「Introduction to magnetic storage devices」では、メモリのヒエラルキーにおける磁気ストレージデバイスの位置づけについて述べている。特に、省電力・超高速のキャッシュメモリとして期待されているスピン軌道トルク磁気抵抗メモリ (SOT-MRAM) および大容量磁気記録装置の次世代スピン軌道トルク磁気センサー技術の現状について紹介している。

第二章「Fundamental physics of spin-orbit interaction」では、スピン軌道トルクの起源であるスピンホール効果の基礎物理を紹介している。この章では、スピンホール効果が強い物質として BiSb トポロジカル絶縁体の諸特性についてまとめている。BiSb が他のトポロジカル絶縁体や重金属材料よりも優れたスピンホール材料であることについて触れつつ、BiSb のスピン軌道トルクデバイスに関する諸課題とそれらを解決する必要性について述べている。

第三章「Sample preparation and characterization techniques」では、BiSb トポロジカル絶縁体と強磁性多層膜の成膜方法、デバイスの作製方法、および構造分析の手法について述べている。

第四章「Integration of BiSb topological insulator for a spin-orbit torque reader in magnetic recording technology beyond 4 Tb/in<sup>2</sup>」では、従来の TMR 磁気センサーと SOT 磁気センサーの比較を行い、次世代磁気記録技術における SOT 磁気センサーの優位性を示している。また、SOT 磁気センサーの SNR の理論解析を行い、SNR が 28 dB 以上を実現するためのスピンホール角を見積もっている。次に、スパッタリング法を用いて作製した様々な BiSb/面内磁化膜構造を評価した結果、BiSb/MgO/CoFe 構造がもっとも優れたスピンホール効果が得られることを示している。最後に、BiSb/MgO/CoFe 構造からなる SOT 磁気センサーを試作し、実用化に必要な十分な性能があることを実証している。

第五章「Integration of BiSb topological insulator and CoFeB/MgO with perpendicular magnetic anisotropy using an oxide interfacial layer for ultralow power SOT-MRAM cache memory」では、高性能な SOT-MRAM の実現に向けて、BiSb と CoFeB/MgO 垂直磁化膜との集積技術の開発について述べている。BiSb と CoFeB の間に、CrO<sub>x</sub>/Ta の中間層を挿入し、CoFeB/MgO の垂直磁気異方性を維持しつつ、比較的高いスピンホール角を実現できることを示している。また、重金属よりも一桁小さい電流密度で BiSb による CoFeB の磁化反転を実証している。

第六章「Large spin-orbit torque induced by high temperature annealed BiSb topological insulator on oxidized Si substrate substrates」では、BiSb と CoFeB/MgO 垂直磁化膜構造において、Si/SiO<sub>x</sub> 基板と BiSb の間に酸化物系バッファー層を挿入し、さらに、BiSb の上に金属層を設けることによって、半導体プロセスへ適用可能な 400°C で熱処理を行った後でも、BiSb の高いスピンホール角が維持できることを実証している。

第七章「Conclusion」では、本論文の成果を要約している。

以上を要するに本論文は、大容量磁気記録装置の次世代 SOT 磁気センサーおよび省電力・超高速 SOT-MRAM の実現に向けて、BiSb トポロジカル絶縁体と強磁性多層膜の様々な集積化基盤技術を開発し、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、我々は本論文が博士(工学)の学位論文として十分に価値があるものと認める。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。