

2024年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

調査研究報告書(公開版)

【研究題目】カルコゲナイド系層状物質を用いたスピンデバイス実現に向けた機能探索

【整理番号】24-21

【代表機関】産業技術総合研究所

【調査研究代表者（氏名）】諸田 美砂子

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】NIMS：深田直樹、東北大：齊藤雄太

【TIA 外連携機関】なし

【報告書作成者】諸田 美砂子

【報告書作成年月日】2025 年 3 月 31 日

【連携推進（具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等）】

産総研が中心となり、東北大において第一原理計算を用いてカルコゲナイド系層状材料および界面構造の設計を行い、その計算した材料の成膜を産総研でスパッタ装置を用いて行い、NIMS の電子スピン共鳴装置を用いてその試料の材料機能を評価・解析する。このような一連の実験ができる体制を3機関が連携して構築した。さらに、高度な技術を持つ人材の育成の一環として、東北大の大学院生が本研究の材料計算、成膜、計測の一連の実験の習得を目指して技術研修を行っている。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

先端半導体の集積回路には、処理の高速化・低消費電力化、大容量化などの要求のため、微細化・高集積化による性能向上が求められている。一方、スピンを情報媒体としたデバイスは高速化、低消費電力化の実現が可能であり、その特性は微細化によって向上する。そこで、本研究では、微細化で注目される低次元マテリアルのスピンデバイス実現に向け、カルコゲナイド系層状物質におけるスピン・磁気特性や界面物性やその伝導特性を実験的に調査した。

本研究での調査内容は、『層状物質界面におけるスピン伝導特性』と『二次元層状強磁性体の磁気特性』の主に2つを課題とした。

『層状物質界面におけるスピン伝導特性』では、まず相変化メモリの材料として用いられる Sb_2Te_3 と強磁性体との積層膜において、ESR 装置を用いた強磁性共鳴に伴う起電力の詳細な解析を行った。産総研のスパッタ装置で Sb_2Te_3 /強磁性二層膜の Sb_2Te_3 の膜厚と結晶相を系統的に変えた試料を作製し、NIMSで電子スピン共鳴装置を用いて、強磁性体から Sb_2Te_3 へ注入されるスピン流が電流に変換されて発生する起電力、いわゆる逆スピンホール効果をすべての試料で測定した。その結果、本研究では Sb_2Te_3 の結晶相に依存した逆スピンホール効果が観測され、層状 Sb_2Te_3 ではスピンの対する伝導が表面成分とバルク成分を原子層の数で区別することが可能で、さらに散乱されるスピンの向きが表面とバルクで逆向きとなることが解明された。さらに、スピン流—電流変換効率の高効率化を目指して、層状カルコゲナイド材料でも原子番号が大きくスピン軌道相互作用が大きいとされる BiTe 系に関して、原子層の組み合わせ

を変化させた試料を、スパッタパワー、ガス流量、などの条件を調整して作製し、その評価を行った。その結果、スピン流—電流変換効率が高効率化する原子層の組み合わせ条件があることが明らかになったため、これを基本方針として更なる高効率化を目指して様々な材料の組み合わせを試みている。

『二次元層状強磁性体の磁気特性』は東北大が主体となり、材料計算および学生を産総研に派遣してスパッタ装置での成膜とNPFの共用設備を利用して磁気・電気特性評価を行っている。現在までに、組み合わせ材料の選定まで完了し、現在、スパッタ装置を用いた成膜および熱処理条件の最適化を進めている。

【今後の活動予定】

来年度も引き続き、『層状物質界面におけるスピン伝導特性』と『二次元層状強磁性体の磁気特性』の課題解決に向けた調査研究を行う予定である。今年度は層状カルコゲナイド材料本体のスピン特性について解明してきた一方で、金属である強磁性体からカルコゲナイド材料へのスピン注入のメカニズムについては未だ不明な点が多い。先端半導体と同じ舞台でスピndeバイスを実現するためには様々な材料を組み合わせで構成される半導体デバイスと同様に、抵抗率やバンドギャップの異なる物質から成る界面でのスピン伝導について調査を進める。本検討に関しては、論文や学会発表といったアウトプットを本格化させていく計画である。さらに、JSPS科研費や学術変革領域といったボトムアップ型の競争的資金に応募していく計画である。また、超低消費電力デバイスを目指したマテリアル探索の観点から、JSTやNEDO等から政府戦略に沿って公募されるトップダウン型の予算についても積極的な応募を進めていく。また、東北大の学生が主体となって進めている層状強磁性体材料の開発も継続し、人材育成の観点から、学生による学会・論文等の対外発表を推進する予定である。