

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】 硫黄プラズマを用いた層状硫化物半導体の新たな成膜技術の創出

【整理番号】 TK24-12

【代表機関】 東北大学

【調査研究代表者（氏名）】 鈴木 一誓

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】 物質材料研究機構（NIMS）：大澤 健男

【TIA 外連携機関】 なし

【報告書作成者】 鈴木 一誓 【報告書作成年月日】 2025/3/27

【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）】

東北大学と NIMS の間で、硫黄プラズマを用いて作製した材料評価に関する連携を進めた。NIMS が保有する高感度ホール測定装置を用いた硫化物薄膜の電気特性評価を実施した。特に SnS 薄膜については、従来法を上回る移動度を示す結果が得られ、NIMS との連携によって本手法の有効性を客観的に裏付けるデータが得られた。さらに硫黄プラズマ技術に関して、国内の半導体企業および材料関連企業と 2025 年度内に共同研究を開始することを合意した。以上より、本「かけはしプログラム」によって、本技術に関する大型研究費の申請に必要な重要データや、企業との連携による社会実装を狙うための技術基盤を得ることができた。

【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）】

本研究では、硫化物薄膜の成膜時に硫黄欠損が生じる問題を、硫黄プラズマを用いた反応性スパッタ法によって解決することを目指した。Sn 金属および硫黄プラズマを用いた反応性スパッタにより SnS 薄膜を作製し、ミクロンオーダーの大きなグレインを有する高い結晶性の薄膜が得られた。得られた SnS 膜のキャリア移動度は $13 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と、通常のスパッタ膜のその数倍に達しており、デバイス応用に適した物性であることを実証した。また、 MoS_2 および WS_2 については、基板温度 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ という従来よりも $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上も低い条件下で結晶化し、TEM 観察でも明瞭かつ緻密な層状構造が観察された。これは、硫黄プラズマの高い反応性に起因するものであり、本手法が低温で高品質な成膜が可能であることを示す成果である。これらの成果は、以下のように対外発表を行った。

論文

- "Non-stoichiometry in SnS: How it affects thin-film morphology and electrical properties" T. Nogami, I. Suzuki*, D. Motai, H. Tanimura, T. Ichitsubo, T. Omata APL Mater., 13, 031115 (2025).
<https://doi.org/10.1063/5.0248310>
- "Reactive sputtering of SnS thin films using sulfur plasma and a metallic tin target: achieving stoichiometry and large grains" D. Motai, I. Suzuki*, T.

Nogami, T. Omata, arXiv preprint (2025) (プレプリント)

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.18922>

プレスリリース

- 次世代太陽電池用 SnS 薄膜の最適組成を解明 — 蒸発しやすい S を補う精密な成膜技術で実証 — 東北大学 2025 年 3 月 25 日
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2025/03/press20250325-02-sns.html>

学会発表

- 鈴木一誓『硫黄プラズマを用いた硫化物薄膜の作製』日本表面真空学会 SP 部会 第 181 回定例研究会、東京、2025 年 3 月 13 日 (招待・口頭)
- 茂田井大輝、鈴木一誓、野上大一、小俣孝久『硫黄プラズマを用いた硫化物薄膜の作製法に関する研究』応用物理学会若手チャプター 太陽光エネルギー変換機能材料・デバイス開発研究会 第 5 回研究会、北九州、2025 年 3 月 10 日 (ポスター)
- 野上大一、鈴木一誓、茂田井大輝、小俣孝久『硫黄量を精密制御した SnS 薄膜の作製：組成ずれがモフォロジーや電気的性質へ与える影響』応用物理学会若手チャプター 太陽光エネルギー変換機能材料・デバイス開発研究会 第 5 回研究会、北九州、2025 年 3 月 10 日 (ポスター)
- 茂田井大輝、鈴木一誓、野上大一、小俣孝久『硫黄プラズマを用いた金属硫化物の低温作製』2024 年度 多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会、岡山、2024 年 12 月 13 日 (ポスター)
- 野上大一、鈴木一誓、茂田井大輝、小俣孝久『硫黄量を精密制御した SnS 薄膜の作製：組成ずれがもたらすモフォロジーや電気的性質への影響』2024 年度 多元系化合物・太陽電池研究会 年末講演会、岡山、2024 年 12 月 13 日 (口頭)

➤

【今後の活動予定】

成膜条件の最適化と再現性検証を進めるとともに、デバイス応用に向けた実証試験を開始する。具体的には、SnS 薄膜を用いたホモ接合太陽電池や、WS₂ を用いたトランジスタ素子の作製と評価を行い、硫黄プラズマ成膜法の実用性をデバイスレベルで検証する。また、外部資金獲得に向けた取り組みを継続して進めるとともに、既に NDA を締結した企業 2 社との共同研究を正式に開始し、応用展開を狙う。