2024 年度

創発的研究支援事業　年次報告書【公開版】

研究担当者	双逸
研究機関名	東北大学
所属部署名	大学院工学研究科
役職名	助教
研究課題名	準一次元ｖｄW相変化材料とその電子デバイスへの展開
研究実施期間	2024 年 10 月 1 日～2025 年 3 月 31 日

研究成果の概要

本創発的研究では、新規一次元ファンデルワールス（1D-vdW）相変化材料 $NbTe_4$ を提案し、その相変化メカニズムと動作特性を解明することで、相変化メモリデバイスの微細化限界を突破することを目指した。初年度は $NbTe_4$ 薄膜の成膜条件や組成依存性を詳細に検討し、相変化挙動の調査を実施した。その成果として、世界初となる 1D-vdW 材料における実験的状態図の作成に成功した。さらに、透過電子顕微鏡（HAADF-STEM）を用いた構造解析により、相変化メカニズムを明らかにし、メモリデバイスへの応用可能性を示した。

まず、相変化挙動について、成膜直後の $NbTe_4$ 薄膜は全てアモルファス状態にあり、組成に応じて異なる熱処理応答を示すことが分かった。Nb 含有量がやや少ない場合、アモルファス相から準安定な単斜晶系への結晶化が先行し、続く高温処理で安定な正方晶系の 1D-vdW 構造へと相変化が進行する。この構造変化は絶縁体-金属転移を伴い、電気抵抗や光学特性に顕著な変化をもたらした。一方、Te が多い場合、アモルファス相から直接正方晶系への結晶化が誘起されることも明らかとなった。これにより、組成と温度に依存する 1D-vdW 構造相変化のマップを構築し、今後の材料設計や機能化研究の基盤となる重要な知見を提供した。

次に、HAADF-STEM 法を用いた構造解析により、相変化に伴う原子レベルでの変化を観察した。その結果、構造相変化は、1D 原子鎖内の原子の再配列および鎖全体のシャフリング変位によって生じていることが分かった。この構造相変化メカニズムは、2D-vdW 材料における層間全体の再配列とは異なり、1D 構造ならでは鎖レベルでの動的な再構築が中心である点で際立っており、新たな相変化パラダイムを提示するものである。

さらに、本研究では $NbTe_4$ 相変化メモリデバイスの動作実証も行った。デバイスに高速電気パルスを印加することで、ジュール加熱により単斜晶系と正方晶系間で可逆的な構造相変化を誘起し、それに伴う電気抵抗のスイッチング動作が確認された。