



Title	半導体/強磁性体ヘテロ構造を用いた磁気熱電材料の高性能化に関する研究
Author(s)	北浦, 怜旺奈
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/105531
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 北 浦 怜 旺 奈 ）	
論文題名	半導体/強磁性体ヘテロ構造を用いた磁気熱電材料の高性能化に関する研究
論文内容の要旨 IoTセンサ用電源の実現に向け、身近な低温廃熱を電気に直接変換可能な薄膜熱電材料が注目されている。温度差と出力電圧が同方向な従来のゼーベック熱電は、デバイス構造の複雑さが課題である。一方、磁気熱電デバイスは、磁化と温度差に垂直な方向に電圧が生じるため、デバイス構造が単純になり、高耐久・低コスト・高集積化が可能であり、本論文では、この薄膜磁気熱電材料に注目した。磁気熱電性能は無次元性能指数$zT=S_N^2\sigma T\kappa^{-1}$ (S_N: 横ゼーベック係数、σ: 電気伝導率、κ: 熱伝導率、T: 絶対温度) で表され、性能向上に向けて、近年はS_Nの増大が重要視されている。特に巨大ベリー曲率材料の探索に加えて、材料非依存の手法として積層構造化によるS_N向上が注目されている。また、半導体材料で有効なナノ構造化によるκ低減方法は、磁気熱電材料は金属材料であるため、直接利用できず、κ低減の方法論は未確立である。zT向上にはS_N増大とκ低減を同時に実現する体系的手法の確立が求められている。 本研究では、半導体/強磁性体ヘテロ構造を用いたS_N増大とκ低減の同時実現による磁気熱電性能向上の新方法論の構築を目的とした。まず、Si/Co積層構造を用いて、半導体/強磁性体界面を利用したS_N増大の実証とその原理解明、及びκ低減の同時実現の実証を行い、1300倍のzT増大が可能であると見出した。次に、Fe₃Siを舞台に、高規則度維持下でのoff-stoichiometry化による結晶対称性の低下を活用し、巨大ベリー曲率の取得確率向上を介したS_N増大の新学理の構築を行い、$S_N^2\sigma$の3.6倍増大を実証した。また、off-stoichiometry Fe₃Siと半導体層をヘテロ構造化することで、更なる高zT化を実証し、3倍のzT増大を達成した。最後に、本試料を用いた熱電デバイスの動作実証を行い、44 nW m⁻²程度発電可能であることを示した。 本論文では、半導体/強磁性体ヘテロ構造化による$S_N^2\sigma$増大とκ低減の同時実現と、組成制御による$S_N^2\sigma$増大を実現し、薄膜磁気熱電デバイス実現の可能性を示した。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (北浦 怜旺奈)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	中村 芳明
	副 査	教 授	酒井 朗
	副 査	教 授	浜屋 宏平
論文審査の結果の要旨 IoT社会の普及を背景に、センサ駆動用自立型電源として薄膜熱電発電が注目されている。従来では、温度差と同方向に電圧が生じるゼーベック効果を利用したものが着目されていたが、複雑なデバイス構造が課題であった。そこで、本論文では、磁化と温度勾配に垂直方向に電圧を生じる特性により、簡単なデバイス構造が作製でき、それにより高耐久・低コスト化、高集積化可能である磁気熱電発電に注目している。 しかし、磁気熱電性能を示す無次元性能指数$zT=S_N^2\sigma T\kappa^{-1}$ (S_N: 横ゼーベック係数、σ: 電気伝導率、κ: 熱伝導率、T: 絶対温度) の値は低く、高S_N及び低κを有する磁気熱電材料が必要である。 本研究では、薄膜磁気熱電材料の高性能化を目指し、半導体/強磁性体ヘテロ構造を用いることで、半導体/強磁性体界面による高S_N化とナノ構造導入による低κ化に着目している。具体的には、①Si/Co積層構造を用いた、半導体/強磁性体界面の導入による高S_N化の実証とその原理解明、及び低κ化の同時実現の実証を狙い、1300倍のzT増大が可能であると見出している。また、②Fe₃Siを舞台として、高規則度を維持した状態でのoff-stoichiometry化により、結晶対称性の低下を促し、巨大ベリー曲率の取得確率向上を介したS_N増大の新学理の構築を狙っている。これにより、$S_N^2\sigma$の3.6倍増大を実証している。さらに、③②で開発したoff-stoichiometry Fe₃Siと半導体層をヘテロ構造化することにより、更なる高zT化の実証を狙い、3倍のzT増大を達成している。また、この材料を基とした磁気熱電デバイスの実証に成功している。以上の結果から、半導体/強磁性体ヘテロ構造を利用した高S_N化及び低κ化の実現と、off-stoichiometry化による高$S_N^2\sigma$化を実証しており、これらが磁気熱電性能向上に有効であることが示されている。 以上より、本論文は、半導体/強磁性体ヘテロ構造の利用による磁気熱電特性制御を実証し、新たな性能向上を示したものであり、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。			