

2025年度 各務記念材料技術研究所共同研究報告書

研究課題名	トポロジカルジントル相の熱電特性		
重点課題	Ⅲ-C 省エネルギーと物性		
新規・継続	継続		
研究代表者	フリガナ	スズキ	タケヒト
氏名	鈴木 健士		
所属機関・部局・職名	東邦大学 理学部 講師		
研究分担者 (氏名・所属機関・部局・職名)	研究代表者 鈴木 健士 (東邦大学 理学部 講師) 研究分担者 荒木 貴義 (東邦大学 理学部 学部4年生)		
研究所側 受入教員名	勝藤 拓郎		

研究目的

熱電変換のエネルギー変換効率における電気的な因子(電力因子)を最も大きくする為には、キャリア濃度に対して相反する依存性を持つ熱起電力と電気伝導率を最適化する必要がある。その為、キャリア移動度の高い半導体が熱電変換材料候補として広く探索されてきた。その中で、カチオン-アニオン間の電荷移動とアニオン間結合の幾何学的な構造により閉殻構造を実現するジントル相は高い熱電効率を示す半導体材料として研究が進められている。一方、トポロジカル半導体はその電子構造から高い移動度持つ事が期待されてる。本研究では、これらの概念を組み合わせた「トポロジカルジントル相」を対象として、その基礎物性を明らかにし、熱電変換材料としての可能性を探る事を目的とする。

実験内容と研究成果

LaCrSb₃型希土類金属間化合物は、図1の様にSb正方副格子層、遷移金属-Sb八面体層、希土類層が結晶c軸方向に沿って積層する層状構造を取り、特にSb正方副格子の基本単位胞の大きさが結晶全体のab面内単位胞の大きさの半分となっている。この構造上の特徴により、本系は広い意味でのジントル相として分類する事ができ、更にSb正方格子上的(p_x , p_y)軌道が一般に高いキャリア移動度が期待できる線形分散の交差点をフェルミ準位近傍に持つトポロジカルな電子バンド構造を有する事が明らかとなっている。本研究では特に、遷移金属サイトが非磁性となるRVsb₃ ($R = \text{Pr, Nd, Gd}$)を対象とし、物質合成と輸送係数測定を通じて、熱電変換材料候補物質としての可能性を判断するに資する基礎伝導特性の解明を進めた。

RVsb₃ ($R = \text{Pr, Nd, Gd}$)単結晶試料はSbをフラックス材として用いる金属フラックス法により育成し、長辺が最大5 mm程度に達する直方体上の試料を得る事に成功した。得られた試料は、粉末X線回折法及び磁化測定を通じて評価し、過去の報告[1]と同程度の格子定数及び磁性転移温度を示す単相試料である事を確認した。

また、 $R = \text{Pr}$ 及びNd試料について電気抵抗率及びホール抵抗率の測定を行った。零磁場下における電気抵抗率の温度依存性は、室温以下の測定全温度領域において金属的な振舞を示し、反強磁性転移温度において磁性-伝導性の結合に由来するキंक状の異常が観測された。また、電子清浄度の指標となる残留抵抗比 $\rho(T=300\text{ K})/\rho(T=2\text{ K})$ は $R = \text{Pr}$ (Nd)に対して4.5 (3.7)と得られた。これはSefatらの報告[1]と近い値であり、電子的にもこれまでの報告と同程度の質の結晶育成に成功している事が示唆される。更に磁場中における電気抵抗率・ホール抵抗率の測定を行った結果、反強磁性秩序相及び中間磁場相が強磁性秩序相に比べ高い電気抵抗率を示す異常が観測された一方で、ホール抵抗率は磁性転移に伴う急峻な変化は示さず、印加磁場に対して非線形な変化を示した(図2)。また、低磁場領域のホール抵抗率を線形フィットして見積もった高移動度のキャリア濃度は 10^{22} cm^{-3} 程度であった。これらの事から、本物質系は、金属並みのキャリア数を持つ半金属であり、当初ジントル相として期待した熱電半導体の性質は示さなかったものの、各磁気秩序相で実現するミクロスコピックもしくはマクロスコピックなスピン配列に固有のキャリア散乱を持って、磁気輸送特性の物理の観点からは興味深い事が明らかとなった。

[1] A. S. Sefat et al., J. Magn. Magn. Mater. 320, 120 (2008).

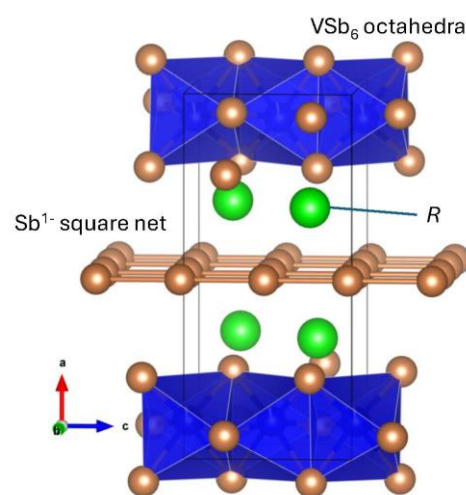


図1. LaCrSb₃型RVsb₃ ($R = \text{希土類}$)の層状結晶構造

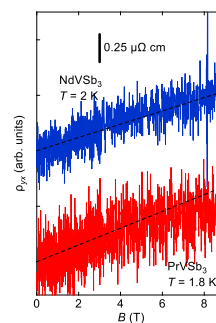


図2. NdVSb₃及びPrVSb₃におけるホール抵抗率。破線は低磁場領域の線形フィットを示す。

研究成果の公表状況（論文、国際・国内会議、学会発表、特許等の知財）

〔論文〕

1. S. Kusakabe, R. Mikawa, H. Takei, T. Katsufuji, Y. Kawasugi, and T. Suzuki “Magnetotransport of a square-net topological semimetal with magnetization plateaus DyAgSb₂” *Phys. Rev. B* **112**, 205119 (2025).

〔セミナー発表〕

2. 鈴木健士 “Transport in magnetic multidomain states of nodal semimetals” HiSOR×WPI-SKCM2 ジョイントセミナー, 2025年5月。

(論文の場合、別刷りの添付をお願いいたします。)

(注) 様式Bは、A4サイズ2頁になるようにしてください。