

# 審査の結果の要旨

氏名 成田 秀樹

本論文は、ワイル磁性体であるカイラル反強磁性体  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  と強磁性体  $\text{Co}_2\text{MnGa}$  の単結晶バルク試料を、集束イオンビーム(FIB)を用いて作製した微細素子について行った磁気輸送特性、熱電効果に関する研究を纏めたものである。

全 7 章からなり、第 1 章の序論においては研究の背景と対象とした物質の諸物性及び研究目的、第 2 章においては異常ホール効果、異常ネルンスト効果、磁気抵抗効果の基礎理論、第 3 章では、FIB を用いた単結晶バルク試料の加工方法と熱電効果測定用素子の作製手法と測定手法、第 4 章では  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  バルク単結晶試料と、それを FIB 加工して作製した  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  の素子における異常ネルンスト効果の測定結果とその評価について、第 5 章では、FIB 加工により作製した  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  の微細素子における非対称な磁気抵抗効果と異常ホール効果の測定結果、及び  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  の熱電対列の作製に向けた異常ネルンスト効果の測定結果と反強磁性磁区構造の関係について、第 6 章では、 $\text{Co}_2\text{MnGa}$  微細素子における電気抵抗や異常ネルンスト効果の測定結果と、 $\text{Mn}_3\text{Sn}$  と  $\text{Co}_2\text{MnGa}$  を組み合わせた素子における異常ネルンスト効果の測定結果について、最終章の第 7 章では本研究全体の総括と今後の展望が述べられている。

博士論文において、成田秀樹氏はワイル磁性体である  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  と  $\text{Co}_2\text{MnGa}$  を FIB で加工した微細素子において異常ネルンスト効果の詳細な実験解析から、今後の磁性体を用いた熱電変換現象の研究や、熱電素子の開発に資する以下に述べる 3 つの重要な成果を得ている。

- (1)  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  バルク単結晶試料の異常ネルンスト効果の測定を行うための測定系を構築し、バルク単結晶試料とそれを FIB 加工して作製した素子における異常ネルンスト効果の結果と、温度分布シミュレーションで得られた試料の温度勾配の結果を組み合わせることで、微細素子化した後においてもバルク試料の異常ネルンスト効果と同等の性能を示すことを明らかにした。
- (2) FIB 加工して作製した  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  の微細素子において、磁気抵抗効果、異常ホール効果の測定を行ったところ、比較的単純な反強磁性磁区構造が存在するため、磁区ごとの異常ホール効果の符号反転によって、磁気抵抗効果に非対称な成分が現れることを観測した。また温度勾配下では、異常ネルンスト効果に由来する電圧の磁気ヒステリシスにステップ状の構造が現れ、温度勾配の大きさに依存して熱起電力だけでなく、スイッチング磁場も変化することを明らかにした。反強磁性体  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  を用いた熱電対

列では、磁場の向きを変化させずに磁場の大きさによって熱起電力の符号を変化させることが期待できる結果が得られ、これは反強磁性体を用いた熱電対列の設計指針を与えるものである。

- (3) 異常ネルンスト効果の符号が互いに異なる  $\text{Co}_2\text{MnGa}$  と  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  のバルク試料を FIB 加工して作製した微細素子において、異常ネルンスト効果の測定を行い、熱起電力が増強されることを示した。また FIB により作製した電極を用いると、電極と試料界面の状態により、異常ネルンスト効果や電気抵抗の振る舞いが異なることを観測した。FIB で作製したタングステンは低温で超伝導体となるため、電極として用いた場合にその特性が異常ネルンスト効果や電気抵抗にも寄与することを示唆している。

なお、上述した研究成果は、Ikhlas MUHAMMAD、木俣基、Agustinus Agung Nugroho、中辻知各氏との共同研究として得られたものであるが、論文提出者の成田秀樹氏が主体となつて行った実験研究から得られたもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上、本博士論文はこれまで報告例のない FIB を用いたバルク単結晶薄片の熱電測定を行うことで、薄膜を作製することが難しい物質においてもバルク試料を用いることで、薄膜試料と同様の熱電測定が可能であることを明らかにした。また、同一基板上に種類の異なるバルク薄片を作製することができるため、2 種類の熱電対列作製に向けて最適な物質を探索するために FIB が有効な手法であることを示した。このことは、今後の磁性体を用いた熱電変換現象の研究や熱電素子の開発のさらなる研究を促し、スピントロニクス発展に十分寄与するとみなせる。よって、成田秀樹氏の学位論文の論文審査の結果、博士(科学)の学位を授与できると認める。

(以上 1795 字)