

別紙 1-1

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 高 橋 英 史

論 文 題 目

Anomalous transport properties and electronic states

of narrow-gap semiconductor FeSb_2

(ナローギャップ半導体 FeSb_2 における異常輸送現象と電子状態)

論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院理学研究科 教 授 博士(工学) 寺 崎 一 郎
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教 授 理学博士 伊 藤 正 行
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教 授 博士(理学) 紺 谷 浩
委 員 名古屋大学物質科学国際研究センター 教 授 理学博士 阿波賀 邦 夫
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 准教授 博士(理学) 谷 口 博 基

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

真空中を運動する電子が電荷と運動エネルギーを運ぶように、固体中の伝導電子は電荷と熱を運ぶ。そのため固体中の電流と熱流の間には熱電効果として知られる交差相関が存在する。1821年にゼーベックが見出したゼーベック効果は代表的な熱電効果で、試料の両端に温度差に比例した電圧、熱起電力が生じる現象である。

最近、 FeSb_2 において、10 K で-45 mV/K という巨大なゼーベック係数 (1 K あたりの熱起電力) が報告された。これは通常金属のそれより 1000 倍以上大きく、バンド理論を基礎とした半導体物理学の予測を大きく超える値である。そのため、この巨大な熱起電力の起源をめぐり、世界中で精力的な研究が行われている。

申請者はまず、 FeSb_2 の熱起電力が単結晶試料と多結晶 (焼結体) 試料とで顕著に異なる点に注目し、その原因が試料の純度にあると推察した。そして純度の異なる原料試薬を用いて、4 種類の単結晶を作製し、磁化率、抵抗率、ホール係数、ゼーベック係数を計測した。その結果、Sb の純度が系の物性を支配していることを明らかにし、巨大な熱起電力が純度 99.9999% の Sb を原料とした場合にのみ観測されることを初めて示した。これは、出発原料の純度を制御することで、 FeSb_2 単結晶中の不純物を ppm レベルで制御できることを実験的に証明したものである。また同時に、 FeSb_2 が不純物に非常に敏感であり、その特性が ppm 程度の不純物の影響をうけることから、単位胞あたり ppm 程度の少数の伝導キャリアが物性を支配する系であることを明らかにした。

次に申請者は、最も純良な単結晶試料を用いて、ホール抵抗と磁気抵抗を低温で計測した。従来の半導体のホール抵抗と磁気抵抗がそれぞれ外部磁場の 1 乗および 2 乗に比例するのに対して、測定されたホール抵抗はある磁場で極値を取るような非線形性を示し、磁気抵抗も磁場の 2 乗から大きく逸脱する振る舞いを示した。申請者は、2 成分キャリアモデルを修正した現象論を構築し、移動度、キャリア濃度、エネルギーギャップを定量的に求めた。しかし得られた輸送パラメータからは、 FeSb_2 の熱起電力を定量的には説明できず、電子間の多体効果や非平衡効果など、一体近似を超える効果を考慮する必要があることを示した。

そこで申請者は、最も純良な単結晶を用いて圧力下でのホール抵抗と磁気抵抗の測定を行った。電子間の多体効果による熱起電力の増大は、近藤半導体と呼ばれる特殊な金属間化合物で観測されてきた。近藤半導体の特徴として、エネルギーギャップが圧力に敏感であることが挙げられる。そのため申請者は、圧力に対するエネルギーギャップの変化を調べることで、 FeSb_2 が近藤半導体と見なせるかどうかを実験的に検証しようと試みた。実験の結果、 FeSb_2 のギャップは 1 GPa で 10% 程度増大するだけであることが初めて見出された。これは従来の半導体の圧力効果と同程度であることがわかった。この結果を考慮して、申請者は巨大な熱起電力の起源としてフォノンドラッグのような非平衡効果を可能性の一つとしてあげている。

これらの成果は、 FeSb_2 の電子輸送現象を支配する要因を、よく評価された試料と精密な実験結果から定量的に論じたものであり、本系の基礎物性を明らかにした点で高く評価される。また申請者の提案した磁気輸送現象の解析方法は、他の物質へも適用可能な基礎評価方法の一つとして高く評価できる。参考論文は、異常な熱電効果を示す物質の先端的な研究であり、価値あるものである。以上の理由により、申請者は博士 (理学) の学位を与えられるに相応しいと認められる。