

審査の結果の要旨

氏名 松林 康仁

本論文は7章からなり、前文に引き続いて第1章は本論文が注目するパイロクロア酸化物 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ の特徴とこれまでの研究について説明する。特に「スピン軌道結合金属」の概念を中心として研究の方向性に関してまとめられている。第2章は単結晶育成と得られた結晶の評価について述べ、第3章ではドハース・ファンアルフェン効果実験の結果について、第4章では磁化率および磁気トルクの異方性について、第5章では高圧下のラマン分光実験結果について、第6章では偏光顕微鏡観察によるドメイン構造の観察についてそれぞれまとめている。第7章で研究のまとめと今後の展望について述べている。

第1章ではまず $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ の基礎物性、構造転移、超伝導性について説明があり、これまでの研究における問題点が整理されている。次に、最近、理論的に提案されたスピン軌道結合金属の興味深い物性について解説があり、本物質がその候補となる可能性が言及されている。

第2章では、純良単結晶育成の手法と電気抵抗の残留抵抗比を用いた評価について述べられている。原料の精製と合成条件の最適化、さらに再結晶法の採用により、従来と比べて1桁大きい残留抵抗比をもつ良質な結晶の育成に成功した。

第3章では、ドハース・ファンアルフェン効果実験の結果について記述があり、純良単結晶を用いたことにより初めて観測された量子振動について述べられている。その詳細な解析から大きな有効質量の存在を明らかにするとともに、空間反転対称性の破れに伴う反対称スピン軌道相互作用によるフェルミ面のスピン分裂を観測した。さらにその分裂幅から、比較的小さな反対称スピン軌道相互作用の大きさを見積もることに成功した。

第4章は本物質の磁性に関して、磁化率および磁気トルク測定の結果を述べている。構造相転移により形成される正方晶ドメインが磁場により整列することを観測し、これを磁化率の異方性により説明した。さらに磁気トルクに特徴的な角度依存性を見出し、スピン分裂したフェルミ面の特徴が現れている可能性を示唆した。

第5章では、高圧ラマン散乱実験結果がまとめられている。過去に報告されていた高圧相図を確認するとともに、 T_{s1} における構造相転移の奇対称ソフトモードとして従来と異なるフォノンを同定した。また、空間反転対称性が復活する高圧領域において新たな偶対称ソフトフォノンの存在を明らかにした。

第6章では、偏光顕微鏡を用いて構造相転移を観測し、2つの相転移においてドメインが変化する様子を明らかにした。これにより T_{s2} での1次相転移の明確な証拠を得た。

第7章では研究の総括と今後の展望が述べられている。純良単結晶育成とその評価により、パイロクロア酸化物 $Cd_2Re_2O_7$ において未解決であった T_{s2} 転移に関する問題を明らかにした。ドハース・ファンアルフェン効果測定によるフェルミ面の直接観測により、スピン分裂の様子を明らかにし、本物質が確かにスピン軌道結合金属の候補であることを示した。磁化、磁気トルク測定を通して正方晶ドメインを観測し、ラマン散乱実験により高圧下の相図と構造不安定性の詳細を突き止めたことがまとめられている。

なお、本論文中の第2章は平井大悟郎氏、廣井善二氏との、第3章は杉井かおり氏、宇治進也氏、寺嶋太一氏、廣瀬陽代氏、杉浦栞理氏との、第4章は宇治進也氏、廣瀬陽代氏、杉浦栞理氏との、第5章は長谷川巧氏、荻田典夫氏、山浦淳一氏との、第6章は徳永将史氏との共同研究成果であるが、論文提出者が主体となって合成・物性実験を行い、結果の分析および検証を行ったものであり、その寄与が十分であると判断する。

以上のパイロクロア酸化物 $Cd_2Re_2O_7$ に関する研究は、高度な結晶作製と精密な物性測定を組み合わせにより学位論文申請者がほぼ独力で行ったものであり、極めてオリジナリティーの高い研究である。本物質に関しては2001年の超伝導発見以来、多くの研究が行われてきたが、ここで得られた成果は従来の理解を大幅に進めるものであり、高く評価される。また、スピン軌道結合金属という物性物理学の新たな概念の構築に結びつくものであり、国内外に与えたインパクトは大きい。論文申請者は、本論文の成果の一部を英文論文「High-pressure Raman study on the superconducting pyrochlore oxide $Cd_2Re_2O_7$, Yasuhito Matsubayashi, Takumi Hasegawa, Norio Ogita, Jun-ichi Yamaura, Zenji Hiroi」として *Physica B: Condensed Matter* 誌に投稿し、平成29年10月6日に受理されている。

以上の理由により、論文申請者に博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1973 字