

氏名	前田 賢輝
授与した学位	博士
専攻分野の名称	理学
学位授与番号	博甲第5536号
学位授与の日付	平成29年 3月24日
学位授与の要件	自然科学研究科 数理物理学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	強いスピン軌道相互作用を持った物質における非従来型超伝導状態の探索
論文審査委員	教授 小林 達生 准教授 川崎 慎司 准教授 村岡 祐治

学位論文内容の要旨

スピン軌道相互作用は(1)バンドのスピン縮退を解く、(2)トポロジカルな電子状態を実現する、等の理由から、スピン軌道相互作用が強い物質で非従来型超伝導が期待されている。本研究では新たな非従来型超伝導体の発見を目指し、強いスピン軌道相互作用を持った LaPt_2Ge_2 や $\text{Sn}_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$ の作製と核磁気共鳴(NMR)法等を用いた研究を行った。

反転対称性が破れた超伝導体では反対称スピン軌道相互作用によってスピン縮退が解けるため、非従来型超伝導が期待される。本研究では反転対称性の破れた結晶構造が報告されている LaPt_2Ge_2 の研究を行った。始めに、粉末X線回折によって実際には反転対称性が破れていないことが明らかになった。しかし、筆者は LaPt_2Ge_2 の構造相転移と超伝導の関係性に興味を持ち、バンド計算やPt:Geの組成比を変えた $\text{LaPt}_{2-x}\text{Ge}_{2+x}$ を作製して研究を続行した。バンド計算からは構造相転移の起源が電荷密度波である可能性を示した。実験からは、 $\text{LaPt}_{2-x}\text{Ge}_{2+x}$ の x を増やしていくと構造相転移温度 T_s が抑えられ、超伝導転移温度 T_c が上昇することを発見し、 $\text{LaPt}_{2-x}\text{Ge}_{2+x}$ の T - x 相図を得た。結果として、 T_c を0.41Kから1.95Kまで上昇させることに成功した。 ^{195}Pt -NMRでは2つのPtサイトのサイト選択的な測定に成功し、 ^{195}Pt -NMR(核スピン $I=1/2$)と ^{139}La -NMR($I=7/2$)の温度で割ったスピン格子緩和率($1/T_1T$)の比較からは T_s 付近で電氣的な揺らぎが存在していることを明らかにした。

トポロジカル結晶絶縁体 SnTe に In をドーピングした $\text{Sn}_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$ ではポイントコンタクトから非従来型超伝導が提案されている。バンド計算からは In ドーピングが単純なホールドーピングではなく、超伝導に寄与すると考えられる不純物状態(In に束縛された電子状態)を作ることが予想されている。本研究では、 $\text{Sn}_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$ における超伝導のバックグラウンドの解明と超伝導対称性の決定を行うため、試料作製と ^{125}Te -NMRなどの測定を行った。

$x=0.1$ の ^{125}Te -NMRでは非対称なスペクトルや $1/T_1T$ のキュリーワイス型の温度依存性などの不純物状態に特有な特徴を明らかにし、不純物状態の存在を示した。 $x=0.04$ の超伝導状態の ^{125}Te -NMRでは、半値幅の増加を用いて計算した磁場侵入長が $0.5T_c$ 以下で一定となったことからフルギャップな超伝導状態が実現していることを示した。ナイトシフトのスピンパート(K_s)は T_c 以下で減少し、トリプレット超伝導の目安 $2/3$ を下回ったことから、スピン対称性はシングレットであると結論した。

以上をまとめると、残念ながら非従来型超伝導の発見には至らなかったが、2つの物質でそれぞれにただの従来型超伝導体と一口に言えない特徴的な性質を明らかにすることができた。

論文審査結果の要旨

本論文は非従来型超伝導状態の発見を目的とし、強いスピン軌道相互作用を持った超伝導体 LaPt_2Ge_2 と $\text{Sn}_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$ の物性を、試料作製、試料評価、バンド計算、核磁気共鳴(NMR)、電気四重極共鳴(NQR)などの様々な手法を用いて解明したものである。

空間反転対称性が破れた物質では、反対称スピン軌道相互作用が増大する。そのため、スピン縮退が解け、スピン三重項超伝導が期待される。学位申請者は反転対称性の破れた結晶構造が報告されていた超伝導体 LaPt_2Ge_2 に着目し、研究を行った。しかし、実際この物質は反転対称性を持つことが明らかになったが、この物質の構造相転移が電荷密度波(CDW)由来であることを明らかにした。また、PtとGeの組成比を変えると ($\text{LaPt}_{2-x}\text{Ge}_{2+x}$)、構造相転移点が低下し、転移温度が4倍以上に上昇することを発見した。 ^{195}Pt -NMRと ^{139}La -NMRの比較からは $\text{LaPt}_{2-x}\text{Ge}_{2+x}$ において構造相転移に伴う電氣的な揺らぎ(CDW揺らぎ)の観測に成功した。揺らぎが磁氣的か電氣的かを判別するこの方法は鉄系超伝導体の超伝導発現機構の解明に応用できると期待され、高く評価できる。また、 ^{139}La -NQRより $\text{LaPt}_{2-x}\text{Ge}_{2+x}$ がs波超伝導体であることを明らかにした。

Inをドーブしたトポロジカル結晶絶縁体 $\text{Sn}_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$ もスピン軌道相互作用が大きい系である。ポイントコンタクト分光によって非従来型超伝導が示唆され、スピン対称性の決定が望まれていた。学位申請者はナイトシフトとNMRスペクトルの半値幅の温度変化を測定し、フルギャップ・スピン一重項の超伝導状態が実現していることを明らかにした。また、理論的に示唆されていたInドーブによる不純物束縛状態を、NMRを用いて初めて観測した。

本論文は $\text{LaPt}_{2-x}\text{Ge}_{2+x}$ と $\text{Sn}_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$ の超伝導対称性の決定に加え、揺らぎが電氣的か磁氣的かを見分ける方法の開発、トポロジカル結晶絶縁体における不純物束縛状態の重要性などの有益な知見を与えており、博士学位に値すると認める。