

## 論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 （ 理 学 ）	氏名	松崎 智明
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目			
Order Parameters and Phase Diagrams in Noncentrosymmetric Superconductors (空間反転対称性のない超伝導体における秩序変数と相図)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	嶋 原	浩
審査委員	教 授	高 島	敏 郎
審査委員	教 授	高 根	美 武
審査委員	准 教 授	樋 口	克 彦
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文では、空間反転対称性のない超伝導体における超伝導秩序変数の構造と、電子間相互作用の結合定数の空間における相図を、理論的に求めている。空間反転対称性のない超伝導体は、固体物理学における最も興味深い研究対象の一つであり、近年多くの理論的・実験的研究が行われている。その中でも超伝導秩序変数の構造は、対形成相互作用の微視的起源に深く関係し、また新奇現象の起源ともなり得るため、とくに重要な研究対象と考えられている。この問題に対し、本論文の研究では、多くの先行研究とは異なり、微視的な相互作用に基づき、網羅的に秩序変数の構造を探索している。</p> <p>本論文の内容は以下のとおりである。</p> <p>第1章と第2章は主に導入のための章である。第1章では、本研究の背景ならびに動機・目的が説明され、これに続く第2章では、本研究の基礎となる空間反転対称性のない超伝導体の一般的な理論が解説されている。これらの章は、過去の理論的・実験的研究の解説を含んでいる。第2章では、超伝導対の波動関数の一般的な表式と超伝導のギャップ方程式に加えて、超伝導転移温度、自由エネルギー、比熱の表式も提示されている。通常の超伝導体ではスピン3重項状態の秩序変数は運動量の奇関数となるが、空間反転対称性のない超伝導体では奇パリティの位相因子を除いた部分が偶関数となり、スピン3重項状態でも（この位相因子を除いて）s波やd波の秩序変数が生じることが述べられている。</p> <p>第3章では、第2章の基礎理論をラシュバ型の反対称スピン軌道相互作用のある系に適用し、転移温度直下で生じる超伝導状態の、結合定数の空間における相図を求めている。その結果から、空間反転対称性のない超伝導体において実験的にラインノード構造が観測された場合、その超伝導状態は主にスピン1重項d波であると推察できること、一方、フ</p>			

ルギャップ構造が観測された場合、スピン1重項と3重項の両方の可能性があることを述べている。

第4章では、運動量空間における混成効果が調べられている。この混成は超伝導のギャップ方程式の非線形性に起因するものであり、従来から考えられている反対称スピン軌道相互作用に起因する混成とは異なる。申請者は、この混成を考慮して導いたギャップ方程式を数値計算によって解き、自由エネルギーを比較することによって、実現する超伝導状態を明らかにした。これにより申請者は、結合定数の空間における基底状態相図ならびに有限温度相図を完成している。また、正常状態から、温度を下げたときに、純粋な超伝導状態を経て混成した超伝導状態へと転移する、二段転移が起きる可能性を示し、そのときの比熱の温度依存性を求めている。とくに、スピン1重項の $d + i s$ 波と呼ばれる混成状態に加えて、スピン1重項 $d$ 波対とスピン3重項 $s$ 波対が位相差 $\pi/2$ を伴って混成した状態が安定に存在し得るパラメーター領域が存在することを発見した。後者は、本論文の研究によって初めて発見された新奇な混成状態であり、重要な研究成果と評価できる。

第5章では、電子間相互作用が、直接に作用する電子対のスピン対称性とは逆のスピン対称性をもつ超伝導状態を安定化させる現象を、理論的に発見している。通常、スピン1重項の相互作用はスピン1重項状態に、またスピン3重項の相互作用はスピン3重項状態に寄与するのみであり、このことは、空間反転対称性のない超伝導体でも、単純化したモデルでは成立している。本論文の研究では、相互作用の運動量依存性が強い場合にはこのことが成立せず、上記のような逆転現象が起きる得ることを指摘している。このとき、斥力的な相互作用が対形成相互作用として機能し得ることも明らかにされており、大変興味深い。また、電子格子系の、より微視的なモデルに基づいた計算による検証も行われており、上記の現象が起きる電子格子相互作用のパラメーター領域が存在することも示されている。

第6章では上記の研究成果が総括されている。

以上のように、本論文の研究は空間反転対称性のない超伝導体の理論を発展させており、その学術的な意義は大きい。とくに、新しい構造の秩序変数をもつ混成状態の発見と、電子間相互作用が本来とは逆のスピン対称性の超伝導対の形成に寄与する機構の発見は、全く新しい展開であり、学術的に高く評価できる。従って、本論文の著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な能力と実績を有するものと認める。