

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 丸山 大輔  
 学位 博士 ( 理学 )  
 学位記番号 新大院博 (理) 第 400 号  
 学位授与の日付 平成 27 年 3 月 23 日  
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当  
 博士論文名 空間反転対称性が欠如した結晶におけるフェルミ面のトポロジカル転移と電子相関効果

論文審査委員 主査 教授・大野 義章  
 副査 教授・摂待 力生  
 副査 教授・武田 直也  
 副査 准教授・柳瀬 陽一  
 副査 准教授・奥西 巧一

博士論文の要旨

近年の物性物理学ではスピン軌道相互作用が生み出す新奇な量子相の研究が著しい発展を続けている。なかでも空間反転対称性がない結晶に現れる反対称スピン軌道相互作用は様々な分野において注目を集めており、研究の新展開を生み出している。例えば、スピントロニクス、マルチフェロイクス、カイラル磁性、トポロジカル絶縁体などがその例である。超伝導の分野では、2004年にオーストリアのバウアーらによって  $\text{CePt3Si}$  という超伝導物質が発見されたことを契機として、空間反転対称性が欠如した超伝導に関する膨大な研究が行われた。このような背景のもとで、申請者は空間反転対称性がない結晶における新奇物性に関して2つの研究を行った。一つは反対称スピン軌道相互作用によりフェルミ面のトポロジカル転移が起こる系における超伝導物性の研究であり、もう一つは反対称スピン軌道相互作用に対する電子相関効果である。それらの研究成果をまとめたものが本博士論文である。

本博士論文の第1部では、空間反転対称性が欠如した結晶構造に特有の反対称スピン軌道相互作用の構造とその微視的な起源について解説している。また、反対称スピン軌道相互作用が生み出す様々な物性について要領よくまとめている。

第2部では、大きな反対称スピン軌道相互作用が存在する系において起こるフェルミ面のトポロジカル転移とそこで超伝導が発現した場合に生じる興味深い物性について解説されている。特に、申請者は超伝導状態の磁化率について詳細な理論計算を行い、フェルミ面のトポロジカル転移に伴う異常が現れることを発見している。そのようなことが起こりうる物質の候補として  $\text{Li2Pt3B}$  を挙げており、実験結果との比較が議論されている。

第3部では、空間反転対称性がない結晶における電子相関効果について申請者が行った研究成果が解説されている。上で述べた様々な研究分野 (スピントロニクス、マルチフェロイクス、トポロジカル絶縁体、空間反転対称性が欠如した超伝導) では電子相関が強い物質が研究対象とされているのにも関わらず、これまで電子相関効果に対する理論研究は

ごくわずかししか行われていなかった。その数少ない理論研究も、反対称スピン軌道相互作用の繰りこみが無視されるなど、基礎的な理論研究としては不備が目立つものであった。申請者は弱相関領域では摂動論を用いて精密な計算ができることに着目し、空間反転対称性が欠如した結晶におけるクーロン相互作用の効果を詳細に調べた。特に、多くの興味深い現象がフェルミ面のスピン分裂に由来することを念頭に、スピン分裂に対する電子相関効果を計算した。その結果、(1) 電子相関効果により反対称スピン軌道相互作用が増強される、(2) その一方でフェルミ面のスピン分裂に対する補正は存在しない、という2つの結果を得た。後者に関しては、反対称スピン軌道相互作用の繰りこみと電子有効質量の  $k$ -mass 繰りこみが完全にキャンセルして補正が消失することを解析的な計算により示した。また、最低次の摂動論である2次摂動に加えて3次摂動の計算も行い、これらの計算結果が摂動の次数によらないことを示した。この結果から、申請者が示した結果は弱相関領域のみならず強相関領域でも成立する厳密な結果であることが示唆される。

#### 審査結果の要旨

本博士論文は、空間反転対称性が欠如した結晶に現れる興味深い物性に着目し、その基礎的な側面を明らかにしたものである。申請者は、フェルミ面のトポロジカル転移が起こる系における超伝導物性の研究を行い、超伝導磁化率に表れる異常を発見した。また、申請者は反対称スピン軌道相互作用がある系の電子相関効果を摂動論に基づいて調べ、反対称スピン軌道相互作用の繰りこみと、フェルミ面のスピン分裂に対する補正を明らかにした。特に後者の研究成果は強相関電子系物理学の分野に対して大きなインパクトを与えるものであり、本博士論文を端緒として今後さまざまな研究が行われると期待される。本博士論文は、強相関電子系のスピン軌道相互作用に対する独創的な理論研究であり、その成果を高く評価することができる。

これらの研究成果のうち前半にあたる部分は原著論文として *J. Phys. Soc. Jpn.* に出版されている。後半にあたる部分を現在 *J. Phys. Soc. Jpn.* に投稿中である。

よって、本論文は博士（理学）の博士論文として十分であると認定した。