



Title	2バンド超伝導体における奇周波数Cooper対の物理 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	佐々木, 章宏
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15833号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91906
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Akihiro_Sasaki_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 佐々木 章宏

審査担当者 主 査 准教授 浅野 泰寛
副 査 教 授 矢久保 考介
副 査 教 授 市村 晃一
副 査 教 授 野村 竜司

学位論文題名

2 バンド超伝導体における奇周波数 Cooper 対の物理 (Physics of odd-frequency Cooper pairs in two-band superconductors)

超伝導とは極低温において金属の電気抵抗が消失する、あるいは金属が完全反磁性 (Meissner 効果) を示すなど、電磁気学的に異常な物理現象を指す。そのような現象を起こす物質を超伝導体と呼んでいる。超伝導が発現する機構は、1957 年 Bardeen、Cooper、Schrieffer の三人の研究者によって明らかになった。それによると、Fermi 面上の 2 電子に有効な引力相互作用が働いた結果クーパー対という束縛状態を形成し、多くのクーパー対が位相を揃えて低エネルギーの状態に凝縮することで超伝導状態は実現している。電子が従うフェルミ統計性により、クーパー対を記述する対相関関数はスピン-重項偶パリティもしくはスピン三重項奇パリティの対称性クラスに分類できる。実際に超伝導秩序を担うクーパー対の対称性は、今のところこれら二種類に限られている。しかし、超伝導秩序にはならないが超伝導体中に対相関としてのみ存在するクーパー対があり、その例が奇周波数クーパー対である。電子は、座標とスピンに加えて時間の自由度を持つため、クーパー対を組む 2 電子の時間の入れ替えに対して対相関関数は偶奇性をもつ。上述した二つの対称性クラスは偶周波数対称性に属する。こうした偶周波数対称性に属する超伝導体の表面、磁束芯、接合界面に現れる副次的な対相関が奇周波数対称性に属することがわかっている。2001 年の二ホウ化マグネシウムや 2008 年の鉄系超伝導体の発見は、新たに多軌道・多バンド超伝導という研究分野を拓くことになった。以後 2 バンド超伝導体と記すことにするこれらの超伝導体では、2 つの伝導バンドがフェルミ準位の上に重なっているために、クーパー対を組む 2 電子における座標部分の自由度が有効的にバンドとパリティに分割されることになる。このような 2 バンド超伝導体では、超伝導秩序を担うのは偶周波数クーパー対であるにもかかわらず、奇周波数クーパー対が空間的に一様な副次対相関として存在し基底状態の一部を形成することが 2013 年に指摘されていた。しかし、そうした超伝導体に一様に広がった奇周波数クーパー対の特徴的な物理現象に関する研究は全く行われていなかった。本研究では、超伝導体に一様に広がった奇周波数クーパー対の物理的な性質を理論的に考察した。

第 2 章では、超伝導現象を担うクーパー対の対称性に関して、その分類指標、研究の歴史的経緯、対称性クラスと超伝導現象の特徴を概観している。単純な電子構造の電子がクーパー対を作って凝縮した超伝導体中において、奇周波数クーパー対は常に局所的な対相関としてしか存在できないことなど先行研究のまとめを行っている。その上で 2 バンド超伝導体の一様な基底状態を形成する奇周波数クーパー対の対称性クラスとその軌道磁気応答に関して網羅的に調べた結果を議論し

ている。主要な結果として奇周波数クーパー対は磁気応答が常磁性であり、その結果として超伝導転移温度を低下させることが示された。

第3章では、電子のスピン自由度に関する磁気応答にあたるスピン磁化率の定式化を行い、様々な2バンド超伝導体のスピン磁化率の特徴を議論している。解析の結果、奇周波数クーパー対は偶周波数クーパー対とは逆の応答をすることが明らかになった。

第4章では、2バンド超伝導体のジョセフソン電流の特徴を解析した。その結果、奇周波数クーパー対が担う電流は、偶周波数クーパー対が担う電流とは反対向きに流れることがわかった。これらの結果を俯瞰することにより、奇周波数クーパー対は、通常の偶周波数クーパー対が引き起こす劇的な電磁気学的現象を常に緩和するような役割を担っているという物理描像に至った。

これを要するに著者は、奇周波数クーパー対を含む超伝導体の一般的性質を理論的に明らかにした。これらの知見は、超伝導現象論の進展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。