

平成 21 年 3 月 24 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006 ~ 2009

課題番号：18540347

研究課題名(和文) 空間反転対称性の破れた超伝導における新奇物性と強相関効果

研究課題名(英文) Novel phenomena and strong electron correlation effects in noncentrosymmetric superconductors

研究代表者

藤本 聡 (FUJIMOTO SATOSHI)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：10263063

研究分野：数物系分野

科研費の分科・細目：物理学・物性 II

キーワード：強相関系、超伝導

1. 研究計画の概要

本研究課題は近年発見され活発に研究が行われている空間反転対称性の破れた結晶構造を有する超伝導体の物性に関する理論研究を行うものである。特にこのような超伝導体は重い電子系と呼ばれる電子相関の強い系で多く発見されており、強い電子相関効果の役割を理解することが重要である。空間反転対称性の欠如と強相関効果が絡んで生じる新奇物性を記述する理論の構築と、それによる新現象の理解を目的とする。

2. 研究の進捗状況

これまで以下のような成果が挙げられている。

(1) 空間反転対称性の破れに起因する新奇物性に対する電子相関効果の解明。反転対称性の欠如によって生み出される新奇現象—磁気電気効果、異常ホール効果、スピンホール効果、異常な常磁性効果に対する電子相関効果を記述する一般的な理論を構築し、それに基づいて、重い電子系超伝導体 CePt3Si に対する NMR 実験(ナイトシフト)の結果を理解することに成功した。

(2) 上述の理論枠組みに基づいて磁気電気効果が強相関効果で増強されることを示し、実験で同効果を探る上での基礎となる理論を構築した。

(3) 重い電子系超伝導体 CeRhSi₃, CeIrSi₃ の超伝導発現機構の解明と巨大上部臨界磁場の起源の解明。これらの超伝導体は圧力下で反強磁性臨界点近傍において超伝導を示すが、その起源が反強磁性揺らぎによって媒介される引力であることを微視的なモデル計算によって示した。また、これらの系では超伝導転移温度が僅か 1 K 程度であるにもか

かわらず、上部臨界磁場が 30 T を越えるほど巨大である。この巨大な上部臨界磁場の起源の解明は興味深い問題であったが、我々はこれを解決することに成功した。我々の理論によると、磁気量子臨界点近傍に於ける引力の爆発的増大と、空間反転対称性の破れに起因するパウリ対破壊効果の抑制が、このような巨大上部臨界磁場を生み出しているということが明らかになった。

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

当初の研究計画の一つであった重い電子系超伝導体 CeRhSi₃, CeIrSi₃ に関する研究では 2. 研究の進捗状況で述べたように計画以上の成果が挙げられている。他方、もう一つの代表的な重い電子系超伝導体である CePt3Si については物性に関する実験の状況がこの数年で変化してきたため、超伝導発現機構、クーパー対状態に関する理論を見直す必要がある。以上の理由により、達成度について上記の評価が妥当と考えられる。

4. 今後の研究の推進方策

以下のテーマをさらに推進していく。

CePt3Si に関する最近の実験結果に基づいて超伝導発現機構のシナリオを見直す。この系は発見当初、クーパー対の強いパリティ混合が起こっていることが期待されたが、最近の実験によると、その根拠が揺らいでいる。この点を考慮した新しい超伝導発現機構の理論を構築していく。特に最近の NMR 実験によると通常の s 波超伝導と非 s 波超伝導が相分離して共存していることが示唆されており、このことから電子相関だけでなく、フ

ォノンとの相互作用も考慮した理論を展開していきたい。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

M. Sato and S. Fujimoto, "Topological Phases of Noncentrosymmetric Superconductors: Edge States, Majorana Fermions, and the Non-Abelian Statistics", Physical Review B79, 094504-1—094504-16 (2009). 査読有

Y. Tada, N. Kawakami, and S. Fujimoto, "Colossal Enhancement of Upper Critical Fields in Noncentrosymmetric Heavy Fermion Superconductors near Quantum Criticality: CeRhSi₃ and CeIrSi₃", Physical Review Letters 101, 267006-1—267006-4 (2008). 査読有

S. Fujimoto, "Topological order and non-Abelian statistics in noncentrosymmetric s-wave superconductors", Physical Review B77, 220501-1—220501-4(R), (2008). 査読有

S. Fujimoto, "Theory of parity-violated Cooper pairs in weakly noncentrosymmetric superconductors", Physical Review B76, 184504-1—184504-7 (2007). 査読有

S. Fujimoto, "Fermi liquid theory for heavy fermion superconductors without inversion symmetry: Magnetism and transport coefficients", Journal of the Physical Society of Japan 76, 034712-1—034712-16 (2007). 査読有

[学会発表](計 10 件)

藤本 聡, "空間反転対称性のない超伝導体におけるトポロジカル秩序と非アーベル統計", 日本物理学会 2008 年秋季大会、2008 年 9 月 22 日、岩手大学

多田靖啓, 川上則雄, 藤本 聡, "空間反転対称性のない超伝導体 CeRhSi₃, CeIrSi₃ における上部臨界磁場の解析 II", 日本物理学会 2008 年秋季大会、2008 年 9 月 22 日、岩手大学

藤本 聡, C. Iniotakis, M. Sigrist, "Fractional flux quanta at intrinsic metallic

interfaces of noncentrosymmetric superconductors", 日本物理学会第 63 回年次大会、2008 年 3 月 25 日、近畿大学

多田靖啓, 川上則雄, 藤本 聡, "空間反転対称性のない重い電子系超伝導体 CeRh(Ir)Si₃ における上部臨界磁場の解析", 日本物理学会第 63 回年次大会、2008 年 3 月 25 日、近畿大学

多田靖啓, 藤本 聡, 川上則雄, "空間反転対称性のない超伝導体 CeRhSi₃ についての Hubbard モデルによる解析 II", 日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 9 月 23 日、北海道大学

多田靖啓, 藤本 聡, 川上則雄, "Sr₂RuO₄ の(001)界面における超伝導発現に関する微視的研究", 日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 9 月 21 日、北海道大学

多田靖啓, 藤本 聡, 川上則雄, "空間反転対称性のない超伝導体 CeRhSi₃ についての Hubbard モデルによる解析", 日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 3 月 21 日、鹿児島大学

藤本 聡, "空間反転対称性の無い超伝導体における磁場誘起ギャップレス相の準古典近似解析と Y₂C₃ への応用", 日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 3 月 21 日、鹿児島大学

藤本 聡, "空間反転対称性の破れた超伝導の新奇な物性", 日本物理学会 2006 年秋季大会、2006 年 9 月 24 日、千葉大学

藤本 聡, "空間反転対称性の無い超伝導体における電子相関効果: 磁性と輸送現象", 日本物理学会 2006 年秋季大会、2006 年 9 月 25 日、千葉大学