

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540353

研究課題名（和文）内部構造をもつ磁性不純物による超伝導転移温度増大の可能性

研究課題名（英文）Possible enhancement of transition temperature due to magnetic impurities with internal structure in a superconductor

研究代表者

古賀 幹人 (KOGA MIKITO)

静岡大学・教育学部・准教授

研究者番号：40324321

研究成果の概要（和文）：超伝導研究は、将来の科学技術推進において重要なテーマの1つである。本研究では、より高い温度で超伝導を安定化する、軌道など磁性以外の余分な自由度の役割を明らかにした。特にマルチバンド超伝導体の場合に、バンド間の秩序変数の符号の関係と、バンド電子と結合する磁性不純物の多極子(軌道モーメント)のタイプに注目し、超伝導転移温度増大の条件を求めた。これは超伝導および磁性研究における新たな知見である。

研究成果の概要（英文）：Superconductivity is one of central issues in progress of science technology. We investigate additional degrees of freedom such as orbital that differ from magnetic degrees of freedom, which are relevant to stability conditions of higher temperature superconductors. In a multiband case, for increase of the transition temperature of superconductivity, we focus on (1) relative signs of order parameters in superconducting bands and (2) multipole (orbital moment) types of magnetic impurities coupled to band electrons. This result gives a new concept for the study of superconductivity and magnetism.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物性II

キーワード：物性理論、強相関系、超伝導

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 磁性不純物は超伝導を壊す働きがあると考えられてきたが、軌道など磁性以外の余分な内部自由度を持つ場合はその限りではないことが最近の実験で示唆されている。

(2) 重要な実験報告として、2000年に発見された  $UGe_2$  における強磁性と共存する超伝導や、日本で盛んに研究されているスクッテル

サイト系の1つ  $La_{1-x}Pr_xOs_4Sb_{12}$  超伝導のPr磁性不純物ドーピングによる超伝導転移温度の増大があげられる。これらは「超伝導と磁性の共存」の概念の見直しをせまるものである。

(3) 我々は、2000年頃から超伝導体中の磁性不純物効果や  $PrOs_4Sb_{12}$  超伝導の安定性とPr結晶場状態との相関などを調べてきた。今回の研究は、これまでの理論的研究をさらに発

展させ、磁性に対する超伝導の安定性に関して新たな可能性を探るものである。

## 2. 研究の目的

(1) 上述の Pr 原子の一重項-三重項結晶場状態を念頭において、超伝導を安定化するような磁性原子の構造に関する条件を現実的なモデルによって明らかにする。

(2)  $\text{LaO}_s\text{Sb}_{12}$  超伝導はフォノン起源の通常の超伝導と考えられているが、La サイトの 20% を Pr に置換することによって超伝導転移温度が 2 倍以上上昇する。(1) による成果を応用してその起源を明らかにする。

(3) 既知の高温超伝導体に内部構造を有する不純物をドーピングすることによって、200K 以上の超伝導状態を実現する可能性を探る。

## 3. 研究の方法

(1) 超伝導転移温度の評価について一般的手法であるエリアッシュベルグ方程式を用いる。磁性不純物の結晶場状態などの内部構造を考慮するにあたって、群論的手法を用いて計算を効率化し、転移温度増大の条件を見通しよく求める。

(2) 現実系への応用に際して伝導バンドの多重性も考慮する。特に、 $\text{PrO}_s\text{Sb}_{12}$  の場合は Pr 多極子モーメントによる軌道自由度と伝導バンドとの混成効果が重要だと考えられている。

(3) Pr 単一サイトの効果を詳細に検討して明らかになった磁性不純物による超伝導安定化のメカニズムについて、他の既知の超伝導体での可能性を調べる。

## 4. 研究成果

(1) 研究開始当初は、2008 年初めに国内で発見され、世界的に注目を集めた鉄砒素系高温超伝導体と関連して、マルチバンド超伝導における不純物効果を調べた。特に、2 つの伝導バンドで互いに符号の異なる秩序変数をもつ超伝導体の場合は、磁性不純物による非弾性散乱によって超伝導転移温度が増大する可能性があることがわかった。この成果は「超伝導と磁性の共存」の概念に新しい知見をもたらすものである。

(2) 磁性不純物の内部構造だけでなく複数の伝導バンドによる効果も考慮した超伝導理論を構築した。その応用として、 $\text{LaO}_s\text{Sb}_{12}$  超伝導体において磁性原子である Pr 不純物による超伝導転移温度増大のメカニズムとその現実性を明らかにした。これは、通常の超伝導体が磁性に対して不安定であるとい

う従来の理解に一石を投げ、軌道自由度の役割がいかに重要であるか再認識する成果である。

(3) 最終年度においては、 $\text{La}_{1-x}\text{Pr}_x\text{O}_s\text{Sb}_{12}$  超伝導体に注目して、Pr 濃度の増加とともに超伝導転移温度が増大するという実験事実を念頭において、Pr 結晶場一重項-三重項の寄与について詳しく調べた(図 1)。特に、Pr 不純物原子による多極子散乱の異方性と転移温度の磁場方向依存性との連関を明らかにし、弱磁場領域での上部臨界磁場の観測によるその実験的検証を提案した。

(4)  $\text{PrO}_s\text{Sb}_{12}$  超伝導体については 2004 年に上部臨界磁場についての詳細な報告があるが、 $\text{La}_{1-x}\text{Pr}_x\text{O}_s\text{Sb}_{12}$  超伝導体については今後の実験に期待される。現在、通常の超伝導体である  $\text{LaO}_s\text{Sb}_{12}$  と異方的超伝導体である  $\text{PrO}_s\text{Sb}_{12}$  とのつながりは未解明であり、Pr 原子の超伝導に対する役割の解明が重要である。

(5) 本研究成果は、新学術領域研究「重い電子系の形成と秩序化」(平成 20 年度～平成 24 年度)の国際会議において公表され、今後の研究、特にスピン以外の内部自由度のゆらぎに起因する超伝導体の同定とその機構解明を促進させると期待される。

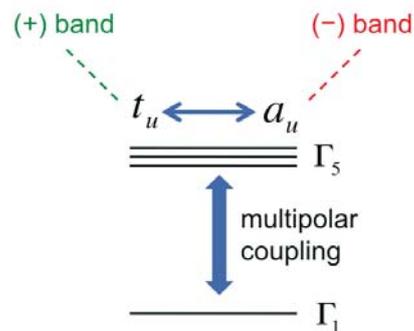


図 1 不純物散乱の基本モデル

## 5. 主な発表論文等

(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 4 件)

- ① 古賀幹人、松本正茂、楠瀬博明、Effects of Impurities with Singlet-Triplet Configuration on Multiband Superconductors、Journal of Physical Society of Japan、査読有、Vol. 80、2011、064708/1-10

- ② 古賀幹人、松本正茂、楠瀬博明、Effect of Impurities with Internal Structure on Multiband Superconductors - Possible Enhancement of Transition Temperature -、Journal of Physical Society of Japan、査読有、Vol. 79、2010、094704/1-14

〔学会発表〕（計5件）

- ① 古賀幹人、多バンドs波超伝導体中の磁性不純物結晶場一重項-三重項の効果、日本物理学会、2011年3月26日、新潟大学（新潟市）
- ② 古賀幹人、多バンド超伝導体の転移温度増大に寄与する磁性不純物結晶場一重項-三重項の効果、日本物理学会、2010年9月23日、大阪府立大学（堺市）
- ③ 古賀幹人、Effect of impurities with singlet-triplet configuration for enhancement of transition temperature in multiband superconductors、International Conference on Heavy Electrons、2010年9月18日、首都大学東京（八王子市）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

古賀 幹人 (KOGA MIKITO)  
静岡大学・教育学部・准教授  
研究者番号：40324321

### (2) 研究分担者

松本 正茂 (MATSUMOTO MASASHIGE)  
静岡大学・理学部・教授  
研究者番号：20281058  
楠瀬 博明 (KUSUNOSE HIROAKI)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：00292201