

Title	NMR and NQR Studies on New Type of Heavy Fermion Superconductors
Author(s)	與儀, 護
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/926
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	與儀 護
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 18826 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	NMR and NQR Studies on New Type of Heavy Fermion Superconductors (新規の重い電子超伝導体の NMR、NQR による研究)
論文審査委員	(主査) 教授 北岡 良雄 (副査) 教授 三宅 和正 教授 菅 滋正 助教授 河野 浩

論文内容の要旨

これまでにない特徴を持つ 2 つの超伝導体及びその関連物質について NMR、NQR により研究を行った。一つは反転中心を持たない重い電子超伝導体 CePt_3Si でありもう一つは初の Pr を基にする重い電子超伝導体 $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ である。

CePt_3Si についての Pt、Si-NMR による緩和時間及びナイトシフトの測定結果は外部磁場の強さに依存性を示し、非常に近接している結晶場の存在を示唆する結果となった。約 6 K にて重い電子を形成し、 $T_N \sim 2.2$ K の反強磁性転移にてギャップが開く特徴を示す。また特徴的なのは T_N 以下での準粒子のウェイトが磁場の強さに依存するという事である。さらにこれまでの異方的重い電子超伝導体とは違い、 T_b にて $1/T_1 T$ にピークが存在し、 T_b 以下でも T^3 とは違った振る舞いを示し、本質的にスピン一重項とスピン三重項の混ざった新規の超伝導状態が実現されている可能性があることを明らかにした。

$\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ の超伝導の起源を調べるために同じ Pr を含む超伝導体である $\text{PrRu}_4\text{Sb}_{12}$ について研究を行った。 $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ の結晶場のエネルギー差が 10 K 以下と非常に小さいことと比べて $\text{PrRu}_4\text{Sb}_{12}$ は約 70 K と大きい事が特徴である。 $1/T_1$ の測定結果、 $\text{PrRu}_4\text{Sb}_{12}$ は典型的な BCS 理論に従う弱結合の s 波超伝導体であることがわかった。この結果、 $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ の示す強結合・重い電子超伝導は非クラマース二重項もしくは非常に近いところに第一励起状態がある事により引き起こされる四極子揺らぎにより発現している可能性が高い事を明らかにした。

次に $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ の超伝導状態での様々な磁場下においての $1/T_1 T$ の測定によりゼロ磁場にて観測された異常は本質的な物である事を示した。また、超伝導状態での緩和時間は多段転移が存在する事を示唆し、熱伝導率で示されている多重超伝導相が本質的な物であることを微視的な立場から明らかにした。

近藤半導体と言われている $\text{CeOs}_4\text{Sb}_{12}$ においては低温にて $1/T_1 \propto (T-0.06)^{0.5}$ という反強磁性量子臨界点に近い事を示す振る舞いをするにもかかわらず、約 0.9 K にて SDW 的な 1 次相転移を示す事を明らかにした。

論文審査の結果の要旨

これまでにない特徴を持つ2つの超伝導体及びその関連物質について NMR、および NQR により研究を行った。一つは反転中心を持たない重い電子超伝導体 CePt_3Si であり、もう一つは Pr 元素を含む最初の重い電子系超伝導体 $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ である。

CePt_3Si についての Pt、Si-NMR による核スピン格子緩和時間 (T_1) 及びナイトシフトの測定結果は外部磁場の強さに依存性することから、非常に近接している結晶場分裂の存在を示唆した。さらに、約 6 K 以下で重い電子を形成し、 $T_N=2.2$ K の反強磁性転移以下でエネルギーギャップが発生し、 T_N 以下での重い準粒子の有効数が磁場の強さに依存することを明らかにした。さらにこれまでの異方的重い電子系超伝導体とは違い、Tc 直下で $1/T_1$ にピークが存在し、これまで多くの系で観測されている Tc 以下での T_3 の温度依存性とは違った振舞いを示した。この結果は、反転中心を持たない超伝導体では本質的にスピン一重項とスピン三重項の混ざった新規の超伝導状態が実現されている可能性があることを世界に先駆けて明らかにした。

$\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ の超伝導の起源を調べるために同じ Pr を含む超伝導体である $\text{PrRu}_4\text{Sb}_{12}$ について研究を行った。 $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ の結晶場のエネルギー差が 10 K 以下と非常に小さいことと比べて $\text{PrRu}_4\text{Sb}_{12}$ は約 70 K と大きい事が特徴である。 $1/T_1$ の測定結果から、 $\text{PrRu}_4\text{Sb}_{12}$ は典型的な BCS 理論に従う弱結合の s 波超伝導体であることが分かった。この結果から、 $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ の示す強結合・重い電子系超伝導は、非磁性二重項が基底状態かあるいは非常に近いところに第一励起状態があることにより引き起こされる四極子揺らぎにより発現している可能性があることを明らかにした。さらに、磁場下での $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ の超伝導状態は多段転移が存在する事を示唆し、熱伝導率で示されている多重超伝導相が本質的である可能性を微視的な立場から支持する結果を得た。これまで研究されてきた「強く電子が相互作用している系で発現する超伝導体」とは異なる、これまでに例のない新規な超伝導状態が重い電子超伝導体 CePt_3Si や $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ 系で発現している可能性を明らかにしたことが與儀君の研究成果である。この成果は、今後の超伝導研究のフロンティアを開拓することに繋がるもので博士 (理学) の学位論文として価値のあるものと認める。