

氏 名 原田 翔太

授与した学位 博士

専攻分野の名称 理学

学位授与番号 博甲第4543号

学位授与の日付 平成24年 3月23日

学位授与の要件 自然科学研究科 先端基礎科学専攻

(学位規則第5条第1項該当)

学位論文の題目 Tuning the Spin-Orbit Coupling and Transition from the Spin-Singlet to Spin-Triplet State in Non-Centrosymmetric Superconductors  $\text{Li}_2(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_3\text{B}$

(空間反転対称性の破れた超伝導体  $\text{Li}_2(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_3\text{B}$  におけるスピン軌道相互作用の制御とスピン一重項から三重項状態への転移)

論文審査委員 教授 鄭国慶 教授 横谷尚睦 教授 市岡優典 講師 川崎慎司

### 学位論文内容の要旨

In a superconductor with inversion symmetry, the relation  $\psi_{\text{orb}}(\mathbf{r}) = \pm\psi_{\text{orb}}(-\mathbf{r})$  is always true. However, in the case of a non-centrosymmetric superconductor, the relation  $\psi_{\text{orb}}(\mathbf{r}) \neq \pm\psi_{\text{orb}}(-\mathbf{r})$  allows a mixing of the spin singlet state and the spin triplet state since the parity conservation is released. Theoretically, the extent of the mixing is considered to be determined by the strength of the spin-orbit coupling. However, detailed experimental study is required to obtain insight into the relation between spin-orbit coupling and the Cooper pairs symmetry.

In this work, I studied the evolution of Cooper pair's symmetry by tuning the spin-orbit interaction in  $\text{Li}_2(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_3\text{B}$ . I have successfully grown samples of  $\text{Li}_2(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_3\text{B}$  ( $x = 0, 0.2, 0.5, 0.8, 0.84, 0.9, 1$ ) by the arc melting method. The prepared poly-crystals were checked by XRD to be of high quality. The temperature dependence of the spin-lattice relaxation rate  $^{11}\text{(}1/T_1\text{)}$  was measured. It was found that  $^{11}\text{(}1/T_1\text{)}$  has a coherence peak just below  $T_c$  for  $x \leq 0.8$  while no coherence peak for  $x \geq 0.9$ , which indicates that  $s$ -wave gap function for  $x \leq 0.8$  has been changed to line-node gap function for  $x > 0.8$ .  $^{195}\text{(}1/T_1\text{)}$  is also measured for  $x = 0.84, 0.9, 1$ . The results are consistent with  $^{11}\text{(}1/T_1\text{)}$ . The temperature dependence of the Knight shift  $^{195}K$  was investigated as well. The result shows that the spin-singlet state is dominant for  $x \leq 0.8$  whereas the spin triplet state is dominant for  $x \geq 0.9$ . Furthermore, the mixing-like state was observed for  $x = 0.84$ . The NMR investigations show that the superconducting properties suddenly change around  $x = 0.8$ .

To seek the cause for the drastic change, I studied the crystal structure by Rietveld analysis of XRD. I found that the angle of two octahedrons changes dramatically at  $x = 0.84$ . This result shows that the crystal distortion is the most important to mix the triplet component.

In summary, I found that the crystal structure change as to increase the extent of the distortion is the origin of the spin orbit coupling and the abrupt change of the Cooper pair symmetry at  $x = 0.8$ .

## 論文審査結果の要旨

本論文は、物質合成、核磁気共鳴（NMR）及び X 線構造解析の実験手法を用いて、空間反転対称性の破れた超伝導体  $\text{Li}_2(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_3\text{B}$  におけるスピン軌道相互作用と超伝導対称性との関係を明らかにした研究成果をまとめたものである。

これまでの研究から  $\text{Li}_2\text{Pd}_3\text{B}$  は等方的なギャップを持つスピン一重項状態であるのに対し、 $\text{Li}_2\text{Pt}_3\text{B}$  は異方的なギャップを持つスピン三重項状態であることは既に知られていた。しかし、同一な結晶構造を持ちながら、異なる超伝導対称性を持つ起源は明らかになっていなかった。

学位申請者は、 $\text{Li}_2(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_3\text{B}$  混晶試料を自ら作成し、結晶パラメータなどを系統的に制御しながら超伝導対称性の移り変わりを NMR 法により精密に調べた。その結果、超伝導対称性が  $x \sim 0.8$  を境に急激に変わることを明らかにした。すなわち、 $x < 0.8$  の領域ではスピン一重項で等方的なギャップをもつ状態が支配的で、 $x > 0.8$  の領域ではスピン三重項で異方的なギャップをもつ状態が支配的であることを見出した。

その背後にある原因を究明するために、学位申請者は結晶構造の解析をリートベルト法により行った。その結果、 $\text{Pt}(\text{Pd})\text{B}_6$  八面体の歪みが  $x > 0.8$  では急激に増大することを見出した。この歪みの増大がスピン軌道相互作用を増大させた原因であり、スピン三重項混成の主原因であると結論付けた。

本論文は本物質系のみならず、空間反転対称性の破れた超伝導体全般に新しい知見を与えたものであり、博士学位に値すると認める。