

エキゾチック超伝導体 $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ と $\text{Y}_5\text{Os}_4\text{Ge}_{10}$ の単結晶作製
 Single-crystal growth of exotic superconductors $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ and $\text{Y}_5\text{Os}_4\text{Ge}_{10}$

○西野翔¹, 小塩潤三², 渡辺忠孝³

Sho Nishino¹, Junzo Koshio², Tadataka Watanabe³

Abstract: $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ and $\text{Y}_5\text{Os}_4\text{Ge}_{10}$ are possible exotic superconductors with the multiband electronic structure. We are interested in the pairing mechanism of superconductivity in these compounds. We performed growth of high-purity single crystals of $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ and $\text{Y}_5\text{Os}_4\text{Ge}_{10}$ to apply for the experimental studies of the superconducting gap functions.

1. 研究背景

2008 年に発見された鉄砒素系高温超伝導体は、発見後の爆発的な研究から瞬間に T_c が上昇し BCS 理論の予測を超え、銅酸化物に次ぐ高い $T_c = 55 \text{ K}$ を記録した。鉄砒素系高温超伝導体の電子状態は、複数枚の 2 次元的なフェルミ面で構成されていると考えられるが、その超伝導状態については最近の研究から各バンドで独立な超伝導ギャップを有するいわゆるマルチギャップ超伝導が発現していると指摘されている。我々は、鉄砒素系とは一線を画す新しいマルチギャップ超伝導、具体的には 3 次元的なマルチギャップ超伝導が発現すると期待される d 電子系遷移金属化合物 $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ と $\text{Y}_5\text{Os}_4\text{Ge}_{10}$ に注目し超伝導ギャップ対称性の研究を行っている。

鉄珪化物 $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ は、鉄を含みながらも高い超伝導転移温度 $T_c = 6.1 \text{ K}$ を示す。最近の比熱測定および磁場侵入長測定では、マルチギャップ超伝導を示唆する実験結果が報告されている[1,2]。さらに、我々のグループで最近行った磁場中熱伝導測定、および超伝導への非磁性不純物効果の研究では、強い電子相関の存在と符合反転マルチギャップ超伝導の発現を強く示唆する結果を得ている[3,4]。しかしこれまでの研究では、 $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ の超伝導ギャップ関数がフルギャップの s 波対称性なのか、それともノードをもつ非 s 波対称性なのかを判別するところまでは至っていない。超伝導ギャップ構造を運動量空間で厳密に決定するには、精密な角度分解物性測定を行う必要があるが、そのような実験を遂行する上では純良な単結晶試料を用いることが必要不可欠である。今回我々は、 $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ の純良単結晶作製を行ったので報告する。

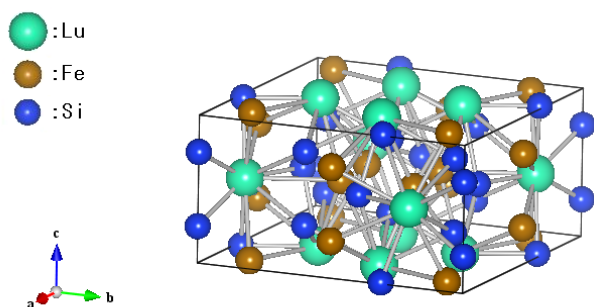


Figure 1. Crystal structure of $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$

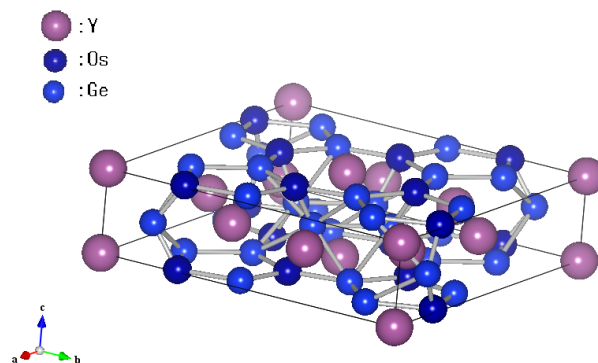


Figure 2. Crystal structure of $\text{Y}_5\text{Os}_4\text{Ge}_{10}$

オスmium化合物 $Y_5Os_4Ge_{10}$ は, $Lu_2Fe_3Si_5$ と同様の3次元的なマルチバンドの電子構造をもつと考えられる超伝導体で, 高い $T_c = 9.0$ K を示す. この物質の物性研究の報告例は非常に少ないものの, 非フェルミ液体的な振る舞いを示唆する実験結果が過去に報告されていることから, 超伝導発現に電子相関が重要な役割を果たしている可能性が高いと考えている[5]. 今回我々は, $Y_5Os_4Ge_{10}$ の超伝導ギャップ対称性を研究するために純良単結晶作製を行ったので報告する.

2. 実験方法

$Lu_2Fe_3Si_5$ の試料作製は, まず, $Lu_2Fe_3Si_5$ の多結晶をアーク溶融法により作製し, その多結晶を種結晶として用いた FZ (フローティングゾーン) 法により単結晶を育成した. 試料作製の原材料には, Lu イングット (99.9%), Fe パウダー (99.999%), Si イングット (99.99%) を使用した. より高い純度の試料を得るために, アーク溶融は 2 段階に分けて行った. まず 1 段階目として, 化学量論比に従い Lu, Fe, Si を秤量し, Fe と Si のみをアルゴン雰囲気中でアーク溶融, 凝固して Fe_3Si_5 合金を作製した. 続いて二段階目として, 化学量論比の Lu と Fe_3Si_5 合金を再びアーク溶融, 凝固して $Lu_2Fe_3Si_5$ の多結晶を作製した. 作製した $Lu_2Fe_3Si_5$ 多結晶は三度のアーク溶融・凝固により, FZ 用の種結晶として用いることができる $5\phi \times 40\text{mm}$ の棒状に成形した. FZ 法による単結晶作製はアルゴンガス雰囲気中にて行なった. $Y_5Os_4Ge_{10}$ 単結晶の作製には, 原材料として Y イングット, Os パウダー, Ge パウダーを用いた. 試料作製の手順は, $Lu_2Fe_3Si_5$ の場合と同じである. 作製した単結晶試料は, 構造の安定化を図るために 1050°C で 18 日間のアニール処理を施した. 当日の発表では, 作製した単結晶試料の X 線回折測定による構造評価, 電気抵抗率, 磁化率, 比熱の測定による物性評価の結果を報告する.

3. 参考文献

- [1] Y. Nakajima, T. Nakagawa, T. Tamegai, and H. Harima, *Physical Review Letters* **100**, 157001 (2008).
- [2] R. T. Gordon, M. D. Vannette, C. Martin, Y. Nakajima, T. Tamegai, and R. Prozorov, *Physical Review B* **78**, 024514 (2008).
- [3] Y. Machida, S. Sakai, K. Izawa, H. Okuyama, and T. Watanabe, *Physical Review Letters* **106**, 107002 (2011).
- [4] T. Watanabe, H. Sasame, H. Okuyama, K. Takase, and Y. Takano, *Physical Review B* **80**, 100502(R) (2009).
- [5] K. Ghosh, S. Ramakrishnan, and G. Chandra, *Physical Review B* **48**, 10440 (1993).