

充填スクッテルダイト化合物 $\text{Sm}(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_4\text{P}_{12}$ の低温物性

室蘭工大院工

○板澤魁渡, 川村 幸裕, 林 純一, 関根 ちひろ

1. 序論

充填スクッテルダイト化合物 RT_4X_{12} (R : 希土類元素等, T : 遷移金属元素, X : プニクトゲン元素) は各元素の組合せにより, 100 種類以上の化合物が存在し, 非 BCS 超伝導, 非従来型金属-絶縁体転移など様々な異常物性を示すこと知られている[1]. この化合物の結晶構造は, 体心立方晶系 (空間群 $Im\bar{3}$) であり, 12 個の X 原子が 20 面体のカゴ状構造を形成することが特徴である. 充填スクッテルダイト化合物の物性は, そのカゴ状構造に内包された希土類イオン (R) の 4f 電子とカゴを形成する X 原子の p 電子との混成 (p-f 混成) 効果が重要であると考えられている. 現在の電子デバイスは, 電子の電荷とスピンを利用したものであり, 電子の軌道の自由度を利用したものは開発されていない. しかし, 近年, 軌道自由度とスピンを合わせて整理される多極子自由度が関与する新たな秩序相の発見など, 実験的に多極子秩序の存在が確認されており, 将来, 新たな電子デバイスへの応用も期待されている.

充填スクッテルダイト化合物は, 多極子自由度による異常物性が多く発見されており, 多極子研究に不可欠な物質の一つである. その中で, $\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$ は, $T_{\text{MI}} = 16.5 \text{ K}$ 付近で金属-絶縁体転移が確認されている. さらに $T_{\text{N}} = 14 \text{ K}$ 付近にも異常が観測され, 磁場印加により, この異常は顕著になる振る舞いを示しており, 低温でもう一つの秩序相が存在することが示唆されている[2]. 磁場印加により, T_{MI} は高温側に, T_{N} は低温側にシフトし, その磁場依存性も単純ではなく複雑な磁気相図を示す. 磁場中比熱測定では, これらの変化をはっきりと確認できる[3].

これまで多くの実験的, 理論的研究が行われているが, $\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$ における低温秩序相の転移機構はいまだに明らかになっていない. 本研究では, $\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$ の Ru サイトを Rh で置換し, その効果を調べることで, この系の転移機構の解明につながる新たな知見を得ることを目的とした.

2. 実験方法

$\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$ の Ru サイトを Rh で 5% 置換した $\text{Sm}(\text{Ru}_{0.95}\text{Rh}_{0.05})_4\text{P}_{12}$ の試料を, キュービック・アンビル・プレスを用いた高圧合成法により合成

した. 合成条件は圧力 4 GPa, 温度 1100 °C とした. 得られた試料の同定には, 粉末 X 線回折法を用いた. 物性評価として電気抵抗, 比熱の測定をそれぞれ, 直流四端子法, 緩和法で行い, 磁化測定は, 超伝導量子干渉計 (SQUID) を用いた.

3. 結果と考察

作製した $\text{Sm}(\text{Ru}_{0.95}\text{Rh}_{0.05})_4\text{P}_{12}$ 試料の粉末 X 線回折実験の結果より, スクッテルダイト構造の単一相試料が得られたと考えられる.

図 1 に $\text{Sm}(\text{Ru}_{0.95}\text{Rh}_{0.05})_4\text{P}_{12}$ の比熱の温度依存性を示す. 比較のため $\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$ のデータも示している. Rh5% の少量置換により, T_{MI} での転移に伴うピークが大きく抑制されるが, T_{N} での転移に伴う異常は残っていることがわかった. このことは, Rh 置換により高温側の転移がより敏感に影響を受けていることを示しており, 今後, 転移機構を解明する上で重要な知見となると考えられる.

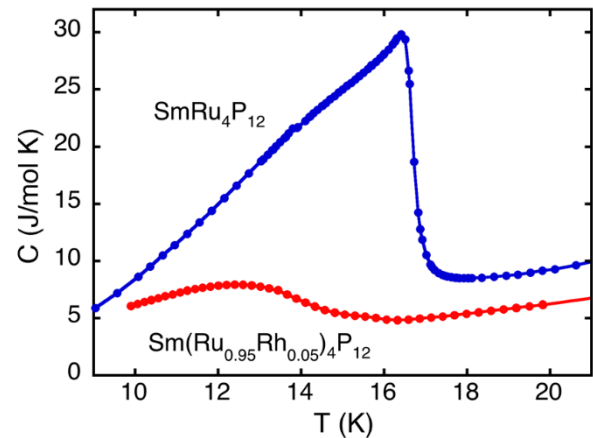


図 1 $\text{Sm}(\text{Ru}_{0.95}\text{Rh}_{0.05})_4\text{P}_{12}$ の比熱の温度依存性 (比較のため $\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$ のデータも示している[4])

参考文献

- [1] H. Sato *et al.*, Handbook of Magnetic Materials ed. K. H. J. Buschow (North-Holland: Amsterdam) Vol. 18, Chap. 1 (2009).
- [2] C. Sekine *et al.*, Acta Phys. Pol. B **34** (2003) 983.
- [3] K. Matsuhira *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. Suppl. **71** (2002) 237.
- [4] C. Sekine *et al.*, JPS Conf. Proc. **30** (2020) 011080