

電気抵抗・X線回折同時測定による Th_3P_4 型物質における新規超伝導体探索 Exploration of superconductors in Th_3P_4 -type compounds using simultaneous analysis of electric transport property and XRD measurement

松本凌^{1*}, 寺嶋健成¹

¹物質・材料研究機構 ナノアーキテクトニクス材料研究センター

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

²筑波大学, 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

Ryo MATSUMOTO^{1*} and Kensei Terashima¹

¹ National Institute for Materials Science, MANA, 1-2-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-0047, Japan

² University of Tsukuba, 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8577, Japan

1 はじめに

ダイヤモンドアンビルセル (DAC) を用いた高压合成法は、これまでに知られていない機能性物質が得られる可能性があり、特に超伝導体の探索において重宝されている。著者らはこれまでに、金属化したホウ素ドーパダイヤモンドをダイヤモンドアンビル上に電極形状で形成することで、高压合成後にそのまま電気抵抗測定と XRD 測定が可能な仕組みを開発してきた[1]。課題 2022G049 では、この装置を用いて $\text{In}_{3-x}\text{S}_4$ が 15~17 K 程度の超伝導転移温度 (T_c) を示すことを発見した。一方で、本物質において T_c が数ケルビン程度揺らぐ理由は未解明であった。

そこで本課題では、同一の DAC 内で、高压アニール処理と XRD 測定、電気抵抗測定による T_c の評価を複数条件・一気通貫に行うことで、超伝導特性を支配する要因の解明を行った[2]。

2 実験

ホウ素ドーパダイヤモンドから成る電気抵抗測定用電極、加熱用ヒーター、および温度計が微細加工されたダイヤモンドアンビルを用いて、DAC を構成した。Re ガスケットの試料空間に、圧力伝達媒体である cBN および試料となる In_2S_3 を封入し、40 GPa 程度まで加圧した。当該圧力で試料の電気抵抗の温度依存性 (R - T 特性) および XRD パターンの測定を行った後、600 K 程度まで試料室を加熱し、 $\text{In}_{3-x}\text{S}_4$ を合成した。試料合成後、再度 R - T 特性と XRD パターンを測定した。さらに 900 K でアニールした後に R - T 特性と XRD パターンを測定し、これを 1000 K と 1100 K でも繰り返した。この検討により、超伝導特性の変化と結晶構造の関係を調べた。 R - T 特性の測定は NIMS にて、XRD パターン測定は BL-NE1A にてそれぞれ行った。

3 結果および考察

図1に、 R - T 特性測定から観測した超伝導転移温度 T_c と、XRD パターンをリートベルト解析して得られ

た $\text{In}_{3-x}\text{S}_4$ における In 欠損量 x の関係を示す。試料のアニール温度を高くするとともに、In 欠損量が少なくなり、 T_c が高くなっていることが分かる。この結果から、 $\text{In}_{3-x}\text{S}_4$ は In サイトの欠損が殆どない状態で最高の $T_c=20$ K を発現することが分かった。これは一つの DAC で連続的にアニール温度を変えて、物性測定と構造解析を行ったからこそ得られた知見と言える。

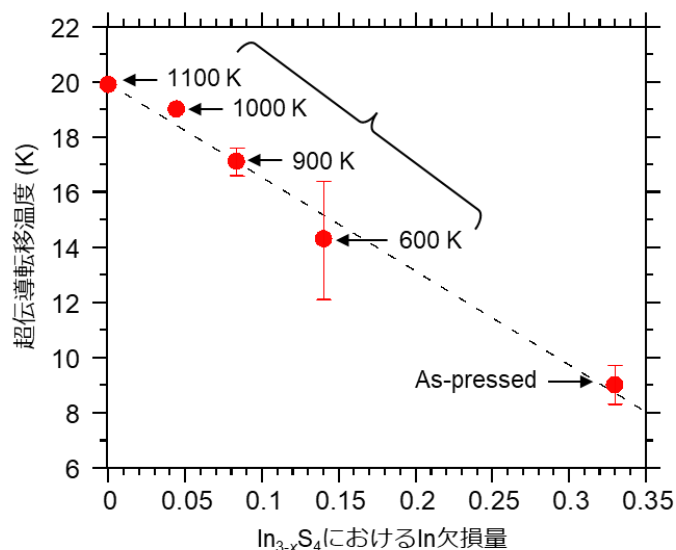


図1：リートベルト解析により推定した $\text{In}_{3-x}\text{S}_4$ における In 欠損量と超伝導転移温度の関係。

4 まとめ

本課題では、物性測定と構造解析を同一セル内で行う技術を用いて、高い T_c の超伝導体を発見することができた。この技術を応用して、今後も新規物質の探索が加速すると期待される。

謝辞

本研究の遂行にあたり、柴崎 裕樹 博士をはじめとしたビームラインスタッフの皆様、ビームラインユーザーの皆様より多大なるご支援を賜りました。この場をお借りして、感謝申し上げます。

参考文献

- [1] R. Matsumoto et al., APL. 119, 053502 (2021).
- [2] R. Matsumoto et al., Chem. Mater. 37, 1648 (2025).

成果

- 1. MRM2025 Poster Award, 2025 年
- 2. 日本高圧力学会奨励賞, 2024 年

*MATSUMOTO.Ryo@nims.go.jp