

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：固体化学と磁気科学手法による新高温超伝導材料物質の創製

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）：

研究代表者

下山 淳一（東京大学 准教授）

主たる共同研究者

堀井 滋（高知工科大学 准教授）

3. 研究実施概要

本研究課題では、(1)新規高機能超伝導材料物質の化学設計と合成、(2)異方的電磁物性の解明と制御技術確立、(3)新高温超伝導材料物質の創製の3つの研究実施を計画し、鉄系超伝導体を含めて、次世代新高温超伝導材料の創製を最終的な目標としてきた。本研究チームは、 $(\text{Fe}_2\text{P}_2)(\text{Sr}_4\text{Sc}_2\text{O}_6)$ を皮切りにブロック層にペロブスカイト型酸化物層をもつ物質を次々と発見し、これらが2種のグループ $(\text{Fe}_2Pn_2)(AE_{n+1}M_nO_{3n-1})$  [ $M22(n+1)n(3n-1)$ 相]および $(\text{Fe}_2Pn_2)(AE_{n+2}M_nO_{3n})$  [ $M22(n+2)n(3n)$ 相]に分類できるホモログスシリーズであることを明らかにした。また、これらのうち16種の物質が超伝導を示した。さらに、一連の厚いブロック層を持つ新物質群の不可逆磁場、臨界電流密度が、ブロック層が厚くなるとともに系統的に低くなることを見出した。特にペロブスカイト型酸化物層を持つ新超伝導体では、酸化物層の元素の選択や層数の制御によって超伝導層である $\text{FePn}$ 層の局所構造を制御できることも明らかにした。さらに、さまざまなブロック層をもつ鉄系超伝導物質の室温における磁化軸及び磁気異方性について検討した結果、ブロック層が厚くなるとともに $J_c$ 、不可逆磁場が低下（異方性の増大を反映）することや、ペロブスカイト型ブロック層を持つ物質群では遷移金属元素の選択により1 T程度の低磁場で結晶磁場配向できることが新たな知見として得られた。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果

本研究課題では、次のような成果が得られた。

① ブロック層にペロブスカイト型酸化物層をもつホモログスシリーズを発見

ペロブスカイト型類縁構造の酸化物層をブロック層に持つ2種のホモログスシリーズを発見し、約20種の物質が超伝導を示した。 $T_c$ は最高47 Kに達し、これは鉄ニクタイト系超伝導体では1111相に次ぐ高い値である。構成元素の選択やブロック層の厚さの制御の柔軟性がこの新物質群の特徴である。3 nmと非常に厚いブロック層を有する層状 $\text{FeAs}$ 化合物においても40 K級の超伝導が観測されたことは、 $\text{FeAs}$ 層単層の本質的な超伝導が40 K級であることを意味する。

② ブロック層にペロブスカイト型酸化物層を持つ一連の新超伝導体群の臨界電流特性

ペロブスカイト型酸化物層をブロック層に持つ一連の新超伝導体群の臨界電流特性を評価し、ブロック層が厚くなるとともに不可逆磁場が低下することおよび磁束系の次元性変化を反映した不可逆磁場の温度依存性の変化という銅酸化物超伝導体と同様な傾向を持つことを明らかにした。

③ 鉄系超伝導物質における室温での磁化軸及び磁気異方性決定因子

さまざまなブロック層をもつ鉄系超伝導物質における室温での磁化軸および磁気異方性決定因子を明らかに

した。 $c$  軸方向に磁化容易軸をもつ **FeTe** 以外、すべての物質は  $c$  軸方向に磁化困難軸をもつ。**FeAs** 層の磁気異方性が系の磁化軸を決めているが、ブロック層への  $d$  電子系遷移金属イオンの導入が磁気異方性を増強させる手法として有効であることを明らかにした。

#### 4-2. 総合的評価

鉄系超伝導体に関し、**CuCh**系を参考にブロック層にペロブスカイト型酸化物層をもつ多様な新しい超伝導体を発見あるいは開拓し臨界温度および不可逆磁場などの物性測定により、ブロック層の差によらない**FeAs**層単層の本質的な超伝導を抽出することにより、今後の新しい鉄系超伝導体開拓の方向性に対し展望を与えた。ブロック層の厚さと  $T_c$  の関係を明らかにすることは、銅酸化物の場合との比較から当然明確にしなければならない課題の一つであったが、合成が容易ではなく、世界的にもこのグループが先導して解明した。固体化学と超伝導研究の蓄積と、現場で推進した研究者の優れた力量によるものとして高く評価できる。

一方、一つの研究目的として掲げていた「異方的電磁気物性の解明と制御技術の開発」においては、回転磁界を用いて3軸配向を実現する等、線材化研究への反映など応用から見ても魅力的な研究アプローチを提案していただけに、鉄系超伝導体固有の磁気的異方性に伴う困難はあったものの、今回の研究期間の中で目覚ましい研究成果が得られなかったことは残念である。もうひとつの研究目的であった「新高温超伝導材料物質の創製」と合わせて今後の研究成果に期待したい。