

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：鉄ヒ素系超伝導体の転移温度決定因子の解明と物質設計への適用
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

永崎洋（産業技術総合研究所エレクトロニクス研究部門 主任研究員）

主たる共同研究者

伊藤利充（産業技術総合研究所 主任研究員）

石橋章司（産業技術総合研究所 主任研究員）

吉澤正人（岩手大学 教授）（平成 22 年 9 月～）

3. 研究実施概要

本研究課題は、鉄ヒ素系高温超伝導体研究における 3 つの中心テーマ（1）なぜ、鉄とヒ素の組み合わせが高温超伝導にとって最適か（2）高温超伝導を最適化するパラメーターは何か（3）更なる転移温度 (T_c) の向上は可能か に対して明確な回答を与えることを目的とした。具体的には高圧合成法をベースとした新超伝導物質の開発および純良単結晶・多結晶試料の作製等の物質開発・合成、静水圧高圧下電気抵抗測定や光学反射率測定等の輸送特性評価や中性子を用いた磁気特性、結晶構造評価を物質横断的に遂行する物性測定・評価、および第一原理計算に基づく実験結果の理論的解析および新物質探索指針の提案を行う理論研究によって、様々な角度から鉄系高温超伝導体の新物質開発と物性解明を推進した。その結果、鉄系高温超伝導体におけるユニークな「散乱（電荷ダイナミクス）」、「構造（フォノン）」、「磁性（スピンダイナミクス）」の特徴を抽出し、それらの相互の関連性を明らかにした。

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高圧合成法を基盤とする鉄系超伝導体の新物質開発、特性向上指針の確立、および同位体効果の検証

高圧合成を用いた新物質開発、構造および物性評価、更にバンド計算に基づく理論的評価の連携を通じて、Ln1111 系およびペロブスカイト含有型鉄ヒ素系超伝導体において、FeAs₄ 四面体が正四面体配置となる時に T_c が最大となることを実証した。更に、Ln1111 系および(Ba, K)122 系において、その Fe 同位体効果が、通常の電子-格子相互作用から期待される振る舞いから著しく逸脱することを示した。

②鉄系超伝導体の相図の理解と特徴的電荷・スピンダイナミクスの抽出

Ln1111 系、Ba122 系の良質多結晶、単結晶を対象とした系統的物性評価を行い、反強磁性、超伝導両秩序相において出現する特徴的な電荷・スピンダイナミクスの様相、特に、 T_c と電荷ダイナミクスとの関連、構造・磁気相転移近傍の異方的電子状態を明らかにした。

③鉄系超伝導体における構造的量子臨界現象の発見および軌道揺らぎと超伝導発現機構の関連性の解明

鉄系超伝導体 Ba(Fe_{1-x}Cox)₂As₂ の弾性定数測定から、「構造的量子臨界現象」とも称せられる特徴的な C66 弾性定数の弾性軟化現象を発見した。更に、この弾性異常が本系の T_c と密接に相関することを明らかにし、鉄系超伝導体における構造揺らぎおよびその原因である軌道揺らぎと超伝導発現機構との関係の重要性を指摘した。

4-2. 総合的評価

ヒ素系、リン系にわたる幅広い系について多結晶・単結晶試料を作製して、キャラクタライゼーションのための測定を幅広く行い、組成、構造、超伝導特性、電子状態、電荷のダイナミクスに関する統一的

描像を得る努力を重ねた。その内容の豊かさと信頼性の高さは貴重である。このチームにより育成された純良単結晶が TRIP 内の研究者の研究推進に大きく寄与したことも評価される。特記すべきこととして、Lee Plot と格子のソフトニングの発見がある。Lee Plot は軌道の関与をうかがわせるものではあったが、 C_{66} のソフト化は格子・軌道の揺らぎの寄与を如実に示すものである。これにより、本研究グループのメンバー自らが言うように、構造・磁性・散乱・超伝導の関連の理解にかなりの見通しが立った。低 T_c メタル（電子格子相互作用）と高 T_c 銅酸化物（強相関スピン間相互作用）の中間的存在であるなら、超伝導メカニズムに関する新たな概念を生む可能性がある。また、新物質系探索に弾みがつく。しかし同時に、組成・構造に関する実行可能な人為的制御を通じて多自由度の絡み合いを制御するのは容易ではなく、今後慎重な戦略策定が必要となる。