

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 鉄系超伝導体の低エネルギー電子状態の解明

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

吉田 鉄平（東京大学大学院 助教）

主たる共同研究者

辛 埴（東京大学物性研究所 教授）

井野 明洋（広島大学大学院理学研究科 助教）

佐藤 仁（広島大学放射光科学研究センター 准教授）

相浦 義弘（(独)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）

3. 研究実施概要

本研究課題では、鉄系高温超伝導体の超伝導メカニズムについて知見を得るため電子状態の基礎的理解を構築することを目指して研究を行った。具体的には、角度分解光電子分光(ARPES)装置を用いたフェルミ面、バンド分散、超伝導ギャップ等の精密測定、光学スペクトル、輸送現象などの ARPES と相補完的なプローブを用いた電子状態の総合的な理解を行った。その結果として、 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{Px})_2$ の最適組成について 3次元性の強いフェルミ面形状を明らかにした。また、最適ドーブ $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ や最適組成 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{Px})_2$ の 3枚のホール面の超伝導ギャップを精密に観測した。さらには、レーザー励起光を用いた ARPES によって母物質 BaFe_2As_2 の反強磁性状態において 2回対称で 3次元性が強いフェルミ面形状を観測し、電子状態は軌道分極していることを明らかにした、などの成果を得た。

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 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{Px})_2$ の 3次元的フェルミ面

$\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{Px})_2$ の 3次元的フェルミ面については、超伝導ギャップにノードの存在が示唆されている $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{Px})_2$ の最適組成について 3次元性の強いフェルミ面形状を明らかにした。ホール面の強い 3次元性はホール-電子面間のネスティングを弱め、ノードを引き起こす原因になると推測される。

② $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ の超伝導ギャップの精密観測

$\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ の超伝導ギャップの精密観測については、レーザーARPES を用いて最適ドーブ $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ の超伝導ギャップの精密測定を行った。 d_{22} 軌道の寄与が含まれるフェルミ面も含めた 3枚のホール面で超伝導ギャップのシート依存性が見られず、軌道揺らぎの重要性を唆した。

③ 非双晶化された BaFe_2As_2 の光学スペクトル

非双晶化された BaFe_2As_2 の光学スペクトルについては、非双晶化された反強磁性相 BaFe_2As_2 の光学スペクトルを測定し、異方的電子状態が観測された。格子、スピン、電子軌道の自由度が複雑に絡まった、大きな電子異方性を内蔵する極めて特殊な電子相であることが明らかになった。

4-2. 総合的評価

本チームは目的に応じてレーザー光、HiSOR 低エネルギー放射光、真空紫外放射光を使った角度分解光電子分光法 (ARPES) を主な手法として、軌道分極、フェルミ面、及び超伝導ギャップに関して、

詳細な研究を行った。励起光のエネルギーと入射角度を変えて3次元方向の情報を得たことは、本研究の最も大きな特徴となっており、その結果フェルミ体積の評価、z方向の超伝導ギャップなどを研究することが可能となった。まず $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ のフェルミ面が3次元方向に大きな分散を持つことを見出した。高分解能にしたおかげで従来見過ごされてきたギャップ構造を同定し、その結果3枚のホールフェルミ面における超伝導ギャップはほぼ同程度であること、一方の電子フェルミ面では異方的な超伝導ギャップを持つことを発見した。 $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{M}_x)_2\text{As}_2$ ($\text{M}=\text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$) についてフェルミ体積を測定し、Coの場合にはxに対応したリジッドバンド的な振る舞いが見られるのに対して、Ni, Cuでは束縛状態にかなりの割合の電子が補足されることが示唆された。また母物質 BaFe_2As_2 の反強磁性秩序相について、ARPESの偏光依存性から軌道分極していることを結論した。また、光伝導度の異方性をも見出した。これらの成果は、鉄系超伝導体の低エネルギー電子状態にたいする重要な知見を与えるものであり、超伝導機構解明の基礎になると評価される。今後はARPESの結果を、相図や輸送現象などと比較検討することでより精度の高い議論が可能になると思われる。