OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Electronic States of P doped 122 Iron based Superconductor studied by Angle-resolved Photoemission and Raman Scattering Spectroscopy
Author(s)	足立, 徹
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/69323
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　足立　徹　）	
論文題名	Electronic States of P doped 122 Iron based Superconductor studied by Angle-resolved Photoemission and Raman Scattering Spectroscopy （角度分解光電子分光及びラマン散乱分光によるリン置換型122系鉄系超伝導体の電子構造の研究）

論文内容の要旨

鉄系超伝導体は2008年に発見されて以来、その超伝導発現機構や常伝導状態に見られる異常な電子状態の起源に関して多くの研究が行われてきたが、いまだに物性を支配する鍵となる物理パラメータが明らかになったとは言えない。本研究では、122型と呼ばれる物質群に着目し、３つのアプローチによって鉄系超伝導体の電子状態を調べた。

1) AFe$_2$(As$_{1-x}$P$_x$)$_2$ (A=Sr/Ca/Eu)の単結晶を自己フラックス法により育成し、A サイト元素のイオン半径を変えることで系の異方性を制御し、異方性の変化が電子相図にどう影響するかを調べた。その結果、異方性は反強磁性の安定化には重要な因子であるが、超伝導転移温度(T_c)には全く影響しないことがわかった。また、精密構造解析により、EuFe$_2$(As$_{1-x}$P$_x$)$_2$ を除く全ての系の最大 T_c を示す組成の鉄砒素四面体の局所構造がほぼ同一であることがわかった。このことから、フェルミ面のトポロジーが重要となるような対形成モデルでは、本系の超伝導は説明できないことが明らかになった。

2) Sr$_{0.92}$Ca$_{0.08}$Fe$_2$(As$_{0.75}$P$_{0.25}$)$_2$ (T_c = 32 K)を用いて角度分解光電子分光を行い、その電子状態を観測した。3 次元性の強い結晶構造を反映して、フェルミ面は k_z 方向に大きく湾曲していることがわかった。複数のフェルミ面での超伝導ギャップを測定した結果、Z 点付近の最外ホール面において異方的な超伝導ギャップを観測した。この異方性はスピン揺らぎ理論から指摘されており、スピン揺らぎが超伝導に寄与していることを示唆している。また、X 点付近の一枚の電子面のみにノードを示唆する超伝導ギャップの最小値を観測した。この結果は、スピン揺らぎ理論では説明できず、スピン揺らぎ以外に軌道揺らぎを考慮する必要があることを示唆している。

3) BaFe$_2$(As$_{1-x}$P$_x$)$_2$ を用いてラマン散乱分光を行い、常伝導状態における電子ネマティック揺らぎと超伝導ギャップの測定を行った。その結果、全ての組成(x = 0, 0.07, 0.24, 0.32, 0.38)で高温から電子ネマティック揺らぎが発達し、構造相転移温度、または超伝導転移温度で揺らぎが最大になることがわかった。また、ネマティック揺らぎの温度依存性からネマティック転移温度を見積もった結果、T_c が最も高くなる最適組成付近でネマティック転移温度が 0 K になることがわかった。この結果は、ネマティック量子臨界点が最適組成付近に存在することを示唆している。超伝導状態における測定から、超伝導ギャップ形成に伴う対破壊ピークの他に、超伝導ギャップの値からは説明できないエネルギー領域に強いピークを発見した。また、他の対破壊ピークとは異なり、このピークは組成の変化に非常に敏感であることがわかった。このピークは超伝導状態における電子間にネマティック相関が存在することを示唆している。これらの結果は、ネマティック揺らぎが超伝導と何等かの関係があることの証拠と考えられる。

上記の3つの実験結果は鉄系超伝導体の超伝導機構にはスピン揺らぎ以外に複数の揺らぎが関わっている可能性を示唆している。スピン揺らぎや軌道揺らぎ、ネマティック揺らぎが互いに協力、競合した結果、鉄系超伝導体の異常な電子状態が実現していると思われる。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（足立　徹　）	
論文審査担当者	（職）	氏　名
主 査	教授	田島　節子
副 査	教授	黒木　和彦
副 査	教授	木村　真一
副 査	准教授	宮坂　茂樹
副 査	准教授	田中　清尚（自然科学研究機構・分子科学研究所）

論文審査の結果の要旨

鉄系超伝導体は 2008 年に発見されて以来、その超伝導発現機構や常伝導状態に見られる異常な電子状態の起源に関して多くの研究が行われてきたが、いまだに物性を支配する鍵となる物理パラメータが明らかになったとは言えない。本論文では、122 型と呼ばれる物質群に着目し、３つのアプローチによって鉄系超伝導体の電子状態を調べ、超伝導機構について知見を得ることを目指した。

第一のアプローチは、$AFe_2(As,P)_2$ (A=Sr/Ca/Eu)の単結晶を育成し、Ａサイト元素のイオン半径を変えることで系の異方性を制御し、異方性と電子状態の関係を調べる方法である。実験の結果、異方性は反強磁性の安定化には重要な因子であるが、超伝導転移温度には全く影響しないことがわかった。このことから、ネスティングなどフェルミ面のトポロジーが決定的に重要となるような対形成モデルでは、本系の超伝導は説明できないことが明らかになった。

第２のアプローチは、３次元性が強い $Sr_{0.92}Ca_{0.08}Fe_2(As,P)_2$ を用いて角度分解光電子分光を行い、複数のフェルミ面での超伝導ギャップ観測から対形成機構について迫る方法である。観測されたフェルミ面や異方的な超伝導ギャップは、既存のバンド計算やスピン揺らぎ理論で説明できず、スピン揺らぎ以外に軌道揺らぎを考慮する必要があることが示唆される結果となった。

第３のプローチは、$BaFe_2(As,P)_2$ を用いてラマン散乱分光を行い、常伝導状態における電子ネマティック揺らぎと超伝導ギャップの関係を調べる方法である。実験の結果、高温から電子ネマティック揺らぎが発達し、その揺らぎが急に増大する組成（量子臨界点）付近で超伝導転移温度が最も高くなることが明らかになった。また、超伝導ギャップエネルギーより低エネルギーにネマティッシティに由来する共鳴モードを見出した。これらは、ネマティック揺らぎが超伝導と何等かの関係があることの証拠と考えられる。

３つの研究から明らかになったことは、本系の超伝導機構には、従来から提唱されているスピン揺らぎ機構以外に複数の揺らぎが関わっている可能性が高いということである。本研究の強みは、系統的に構造変化させたオリジナリティの高い単結晶シリーズを自作したこと、それを用いて角度分解光電子分光とラマン散乱分光という二つの分光法を用いて電子状態の詳細な研究を行ったことにある。いずれの手法も習得に時間がかかるものであり、一人の研究者が両方の実験を行った例は極めて稀である。世界的に見て、電子ネマティック揺らぎについてのラマン散乱分光を用いた研究は始まったばかりであり、本研究はその一端を担うことができたものと考える。今後の更なる展開が期待される。

以上のように、研究の独創性や成果の超伝導研究分野への貢献度などの観点から、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。