

氏名	砂川 正典
授与した学位	博士
専攻分野の名称	理学
学位授与番号	博甲第5537号
学位授与の日付	平成29年 3月24日
学位授与の要件	自然科学研究科 数理物理学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	放射光角度分解光電子分光による鉄系高温超伝導体の電子状態研究
論文審査委員	教授 野原 実 准教授 川崎 慎司 准教授 大成誠一郎

学位論文内容の要旨

本博士論文では、鉄系超伝導体の超伝導機構解明に重要である高い超伝導転移温度(T_c)を担う電子構造の特徴を明らかにすることを目的として、物質の電子構造を直接観測できる放射光角度分解光電子分光を用いた $K_xFe_{2-y}Se_2$ 超伝導体の詳細な電子状態研究を報告している。

$K_xFe_{2-y}Se_2$ の放射光角度分解光電子分光

鉄系超伝導体の超伝導機構として、ブリルアンゾーンの Γ 点のホールフェルミ面と M 点の電子フェルミ面とのフェルミ面ネスティングによるスピン/軌道揺らぎ超伝導が提案されている。このメカニズムに基づくと、高 T_c を担う電子構造にはホールフェルミ面と電子フェルミ面が共存していることが期待される。実際に、多くの高 T_c 鉄系超伝導体におけるホール・電子フェルミ面の共存が、角度分解光電子分光(ARPES)によって明らかにされてきた。しかしながら、 $T_c=32$ K の超伝導を発現する $K_xFe_{2-y}Se_2$ は、ARPES 先行研究ではホールフェルミ面が観測されておらず、ホール・電子フェルミ面間のネスティングが存在しないと考えられている。このフェルミ面トポロジーの違いは、鉄系超伝導体の超伝導機構の統一的な理解を困難にしている。本研究では、電子フェルミ面のみで構成されるフェルミ面トポロジーが $K_xFe_{2-y}Se_2$ の本質的な電子構造であるかという問題意識のもと、放射光 ARPES を用いた電子構造の再検証を行った。この研究により、これまで観測されていない隠れたホールバンドの直接観測に成功した。バンド計算と対応からこのバンドが $K_xFe_{2-y}Se_2$ の本質的な電子構造であることを示した。加えてブリルアンゾーン全域での詳細測定から、隠れたホールバンドによる Γ 点ホールフェルミ面の形成を示唆する結果を得た。以上の結果から、鉄系超伝導体の高 T_c を担う電子構造の特徴がホール・電子フェルミ面の共存であることを提案した。

$K_xFe_{2-y}Se_2$ の温度依存放射光角度分解光電子分光

$K_xFe_{2-y}Se_2$ は相分離によって伝導特性と結晶構造が異なる複数の相が共存している。だが一方で、フェルミ準位近傍のバンド構造は1つの「金属相」で説明できるとこれまで考えられてきた。本研究では温度依存放射光 ARPES を用いて、 $K_xFe_{2-y}Se_2$ のバンド構造の温度変化を測定し、 $K_xFe_{2-y}Se_2$ のフェルミ準位近傍のバンド構造が1つの「金属相」では説明できないことを示す結果を得た。 $K_xFe_{2-y}Se_2$ では ARPES 先行研究からフェルミ準位近傍に存在するバンドのうち特定のバンドが高温で消失することが報告されており、この顕著な温度変化は 122 単一相の電子構造を仮定したモデル(軌道選択 Mott 転移)で説明されている。本研究はこのモデルの仮定に再検討を要請する。

論文審査結果の要旨

本学位論文は、鉄系超伝導体における高い超伝導転移温度 (T_c) を実現する電子構造の解明を目的として、アルカリ金属ドープ鉄セレン超伝導体の電子構造を放射光角度分解光電子分光 (ARPES) 測定により詳細に研究し報告したものである。

鉄系超伝導体には大きく分けて、FeAs面を有する鉄ヒ素系超伝導体とFeSe面を有する鉄カルコゲナイド系超伝導体がある。鉄ヒ素系超伝導体では、ブリルアンゾーン Γ 点のホールフェルミ面とゾーン境界の電子フェルミ面のネスティングに由来するスピン揺らぎあるいは軌道揺らぎがクーパー対形成に重要な役割を果たしていると考えられている。しかしながら、近年発見されたアルカリ金属ドープ鉄セレン超伝導体では電子フェルミ面のみが観測されたため、上記の超伝導メカニズムが必ずしも鉄系超伝導体に特有の超伝導機構ではないとの認識が広まった。本学位論文では、放射光の光エネルギー・偏光可変性を積極的に活用したARPES測定により、アルカリ金属ドープ鉄セレン超伝導体においてこれまで観測されなかったホールフェルミ面の存在を示唆する結果を報告した。また、この結果から鉄系超伝導体の高い T_c を担う電子構造の特徴がホール・電子フェルミ面の共存であることを提案した。一方、観測されたバンドの本数と理論的に予測されるバンド本数の不一致の起源を調べるために温度依存ARPES測定を行い、本超伝導体の電子構造が温度依存性の異なる2つの金属電子状態からなることを示した。この結果は、フェルミ準位近傍の電子構造が1つの金属相に由来するという従来の解析の前提に再検討を要請した。

これらの成果は、アルカリ金属ドープ鉄セレン超伝導体における電子構造を解明したことにとどまらず、鉄系超伝導体に共通する電子構造の存在を提案することにより高温超伝導の発現機構の理解に大きく貢献しており、博士の学位に値すると認められる。