

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 齋藤 哲郎

論 文 題 目 Theoretical Study on superconducting gap
structures and pairing mechanisms of iron based superconductors

(鉄系超伝導体における超伝導ギャップ構造及びペアリング機構の
理論研究)

論文審査担当者

主 査	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	紺谷 浩
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(工学)	寺崎 一郎
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	理学博士	河野 浩
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	宮崎 州正
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士(理学)	小林 義明

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

2008年に発見された鉄系超伝導体は、銅酸化物高温超伝導体に次ぐ超伝導転移温度 T_c (最高で 56K) を示す高温超伝導体である。発見直後から今日まで、鉄系超伝導体の電子状態や超伝導発現機構の研究が世界中で進展し、現在の凝縮系物理学における主要テーマの一つとなっている。

鉄系超伝導体のフェルミ面は 2 次元的であり、鉄の 3d 電子 (角運動量 $l=2$) から構成される複数枚の電子面とホール面が存在する。つまり鉄系超伝導体は $2l+1=5$ 種類の活性な軌道自由度を有する多軌道金属であり、母物質において多彩な磁気秩序や軌道秩序が実現する。これらの長距離秩序がキャリアドーピングにより融解した際に生じる揺らぎは、電子間の強い有効引力を媒介するため、通常の BCS 超伝導体より高い T_c が実現する可能性がある。鉄系超伝導体の超伝導発現機構として、スピン揺らぎを媒介とする“スピン揺らぎ機構”と、軌道揺らぎを媒介とする“軌道揺らぎ機構”の両機構が有力視されているが、まだ決着はついていない。

申請者はまず、各種鉄系超伝導体に対する多軌道強束縛モデルを第一原理計算の手法に基づき導出した。次に、ギャップ方程式の数値計算プログラムを開発し、超伝導ギャップ関数を数値的に求めた。得られた結果を角度分解光電子分光法 (ARPES) の実験結果と比較することにより、超伝導発現機構の同定を試みた。過剰電子ドーピング系である KFe_2Se_2 ($T_c=30\text{K}$) では電子面が存在せず、2枚のホール面のみ存在する。この場合、実験で観測される“ノードが存在しない S 波状態”は、軌道揺らぎ機構により再現できるが、スピン揺らぎ機構では必ずノードが生じることを見出した。

次に申請者は、キャリアドーピングを必要としない LiFeAs ($T_c=18\text{K}$) を研究した。ARPES によると LiFeAs の超伝導ギャップは、一番小さいホールポケットにおいて最大になる。この実験事実は、軌道揺らぎ機構において自然に再現するが、スピン揺らぎ機構では真逆の結果が得られる。その後申請者は、スピン軌道相互作用を考慮したギャップ方程式の解析を遂行し、軌道揺らぎ機構に基づき、全てのフェルミ面のギャップ関数の大きさや異方性の定量的再現に成功した。

さらに申請者は、同一価数ドーピング系である $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$ ($T_c=30\text{K}$) を研究した。ARPES によるとホール面の超伝導ギャップは等方的である。この事実は軌道揺らぎ機構に基づく場合に自然に再現可能であるが、スピン揺らぎ機構では再現し得ない。なお $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$ では軌道秩序とスピン秩序がほぼ同時に消失するため、軌道揺らぎとスピン揺らぎの強度が拮抗していると思われる。事実、ARPES で観測された電子面上のループ状のノードが、軌道揺らぎとスピン揺らぎの競合を考慮することで、再現できることを見出した。

申請者の一連の研究によって、代表的な鉄系超伝導体である KFe_2Se_2 、 LiFeAs 、 $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$ における超伝導ギャップの波数依存性の実験結果が、軌道揺らぎ機構に基づき定量的に再現できることが明らかになった。これらの結果より、上記化合物をはじめとする様々な鉄系超伝導体において、軌道揺らぎを媒介とする超伝導発現機構の実現が期待される。

以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。