

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな) 氏 名	はしもと けんいちろう 橋本 顕一郎
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
(学位論文題目) Non-universal superconducting gap structure in iron-pnictides revealed by magnetic penetration depth measurements (磁場侵入長測定による鉄系超伝導体のノンユニバーサルな超伝導ギャップ構造の解明)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 芝内 孝禎 准教授 松田 祐司 教授 前野 悦輝 教授

理 学 研 究 科

京都大学	博士（理学）	氏名	橋本顕一郎
論文題目	Non-universal superconducting gap structure in iron-pnictides revealed by magnetic penetration depth measurements		
（論文内容の要旨） 本論文は、2008 年以降に発見された様々な鉄系超伝導体について、超伝導状態を特徴付ける最も重要な物理量であるエネルギーギャップの構造を、準粒子の低エネルギー励起に敏感な磁場侵入長精密測定により詳細に調べた結果をまとめたものである。現在までに知られている鉄系超伝導体物質群のうち、特に純良単結晶試料が得られている 122 系と 111 系とよばれる系を中心に、高品質な測定データからその超伝導ギャップにおけるゼロ点（ノード）の有無を同定した。 論文では、主に（１）等価元素置換した$\text{BaFe}_2(\text{As}, \text{P})_2$とホールドープ系超伝導体$(\text{Ba}, \text{K})\text{Fe}_2\text{As}_2$の比較、（２）過剰ホールドープ系超伝導体$\text{KFe}_2\text{As}_2$について、（３）111 系化学量論化合物$\text{LiFeAs}$と$\text{LiFeP}$の比較、について 3 章に分けて論じている。 （１）の比較では、ホールドープ系の K 置換試料では磁場侵入長の温度依存性が低温ではほぼ温度変化しないことからノードがないフルギャップ超伝導であるのに対し、等価置換系の P 置換試料では磁場侵入長が低温で温度に線形に比例する振る舞いを見出し、ギャップに線状のノードが存在することを明らかにした。このように、同じ鉄系超伝導体の物質群でも、系によって非常に異なる超伝導ギャップ構造を示すことは、他の超伝導体では見られない顕著な振る舞いである。このことは、鉄系超伝導体では、フェルミ面が分離したホール面と電子面からなるマルチバンドの電子構造を持つことによる特異な性質であることを議論した。さらに、P 置換量を変化させた試料に対する実験結果と、置換量による電子構造の変化を比較することから、複数のフェルミ面のうち、電子面におけるギャップにノードが入っていることを明らかにした。これらの結果は鉄系超伝導発現機構を考える上で重要な結果である。 （２）のKFe_2As_2については、同じ系列に属する$(\text{Ba}, \text{K})\text{Fe}_2\text{As}_2$の最適ドープがフルギャップであるのに対して、100%のK置換の試料では、磁場侵入長測定からギャップにノードを持つ超伝導状態であることを明らかにした。このKFe_2As_2超伝導体では、他の鉄系超伝導体とは異なり、フェルミ面のうち電子面が消失した複数のホール面からなる電子構造をしており、波数空間の中心付近に位置するホール面に線状のノードが入ったギャップ構造であることを示唆する実験結果を得た。このことは鉄系超伝導体のうち、同系列のものでも異なるギャップ構造を持つことを示している。 （３）の 111 系についての比較では、LiFeAsではノードがないのに対して、LiFePではノードがあるギャップ構造であることを明らかにした。この系では置換系でない化学量論化合物を比較可能であるため、ギャップ構造の違いを生む重要な要因を探る試みを行った。両者の電子構造の比較から、ホール面と電子面の間の散乱に重要なd_{xy}軌道の成分の違いを指摘した。さらに今までに得られた様々な系におけるギャップ構造の比較から、鉄平面からニクトゲン原子までの距離が短くなる方がノードを生みやすいという傾向があることを実験的に明らかにした。 以上のように、多数の実験データから鉄系超伝導体のギャップ構造が物質群により異なるノンユニバーサルなものであることを明確にしている。この結果は鉄系超伝導のマルチバンド電子構造と密接に関わっており、この系の超伝導発現機構に重要な情報を与えるものである。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文の対象となる鉄系超伝導体は東工大の細野グループによる発見以来、非常に注目されている物質群である。特に、その超伝導転移温度が一部の物質で 55 K を記録し、銅酸化物高温超伝導体に次ぐ高い転移温度を持つことから、非常に多数の研究者がその発現機構を明らかにするべく研究に参入した。橋本氏は、このような初期の段階から鉄系超伝導の研究を開始し、1111 系の単結晶試料で磁場侵入長測定を世界で先駆けて行って、銅酸化物高温超伝導体とは異なり、ノードがない超伝導ギャップ構造を示すことをいち早く発表した。この論文のプレプリントを発表後、他グループより角度分解光電子分光などの結果が発表され、橋本氏の測定結果の正しさが実証された経緯がある。

本論文では、様々な物質群の良質な単結晶試料を用いて、磁場侵入長の温度依存性の精密測定から、鉄系超伝導体のエネルギーギャップ構造は物質によって多様性を示すことを明らかにした。今までの超伝導体では、同系列に属する物質群では、同様な超伝導状態になっていると考えられてきた。例えば銅酸化物高温超伝導体では全ての物質群で $d(x^2-y^2)$ の対称性を持ち、線状のノードを持つエネルギーギャップ構造を有している。橋本氏の研究結果は、このような常識を覆すもので、鉄系超伝導体におけるマルチバンドの電子構造と非従来型の超伝導メカニズムが絡み合うことにより多様性が現れることを示したものである。本研究は、高温超伝導発現機構解明という固体物理学における重要な問題に対して、物質パラメータによる電子構造の詳細と超伝導の秩序パラメータの構造が密接に関連していることを実験的に明らかにした点で、非常に高く評価できる。

橋本氏は磁場侵入長の精密測定のための実験装置を自ら開発し、低温実験技術を極めて高いレベルで習熟したうえでの研究を展開した。実際、微小単結晶試料を用いながら、高精度かつ信頼性の高い実験データを得られるために様々な工夫を行い、世界最高レベルの品質の実験結果を導き出したことは、特筆に値する。橋本氏の研究成果は世界的にも多くの研究者に認められており、本論文の結論である鉄系超伝導体がノンユニバーサルな超伝導ギャップ構造を持つことは、この系の超伝導発現機構を議論する上で大きな注目を浴びており、今後の理論的解明が期待されるものである。

さらに橋本氏は、複数の測定手法を用いて磁場侵入長の絶対値の評価についても行っており、 $\text{BaFe}_2(\text{As}, \text{P})_2$ 系での P 置換量に対する依存性において、常伝導状態において見られる反強磁性転移が消失する置換量において、超伝導ドーム内に磁場侵入長の絶対値が鋭いピークを持つことも明らかにしている。この結果は超伝導状態内に量子臨界点の存在を示しており、強相関電子系における超伝導と量子臨界性に関する重要な示唆を与えると考えられる。

このように、本論文の研究結果は、電子間の相互作用が強い系に現れる非従来型の超伝導のメカニズムを解明する上で重要な貢献をするものだと認められる。

橋本氏は、低温実験技術力の高さだけでなく、理論的な背景や周辺の物性物理に関するトピックなども幅広く理解しており、実験物理学の研究を遂行する上でのバランスのとれた非常に優れた能力を有していることを実証した。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 24 年 1 月 13 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。