

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 園部 竜也

本論文「鉄系超伝導体における常伝導状態の電子構造」は8章から構成されており、第1章に序論、第2章に研究の背景、第3章に実験原理と手法、第4章に $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$ における常伝導状態の電子構造、第5章に $\text{Na}(\text{Fe,Co})\text{As}$ における常伝導状態の電子構造、第6章に $\text{Fe}(\text{Se,S})$ における常伝導状態の電子構造、第7章に全体を俯瞰した考察、第8章に結論が述べられている。

鉄系超伝導体は2008年に発見されて以来盛んに研究されており、近年では銅酸化物高温超伝導体に並ぶような高い超伝導転移温度の確認も一部で報告されている。銅酸化物系にはない鉄系超伝導体の際立った特徴のひとつとして、多様な結晶構造に基づく広範な物質展開とそれらが示すバラエティに富んだ電子相図や超伝導対称性の存在が挙げられる。この背景には鉄固有のスピン・軌道・格子の複雑な協奏が果たす役割があると考えられており、それぞれの物質群を横断的に俯瞰することの重要性が指摘されている。本研究では、外部光電効果により物質中の電子のエネルギーと運動量を分解した測定が可能な角度分解光電子分光を用いることにより、3種の異なる物質系 $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$, $\text{Na}(\text{Fe,Co})\text{As}$, $\text{Fe}(\text{Se,S})$ における常伝導状態の電子構造を系統的に精査している。それぞれの物質系について、広い組成領域と温度領域で高精度の測定を行うことにより、各系における軌道異方性および擬ギャップといった異常な常伝導状態を明らかにしたものである。

以下では各章ごとに内容を詳細に述べる。

第1章では、本論文の序論として、これまでの超伝導研究の流れとともに本研究で対象とした鉄系超伝導体の位置づけについて説明したうえで、常伝導状態の電子構造、特に軌道異方性および擬ギャップに着目した本研究の意義を述べている。

第2章では、本研究の背景として、鉄系超伝導体における先行研究を整理しつつ紹介するとともに、必要となる基礎知識について説明している。それらを踏まえ、本研究で対象とした物質系 $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$, $\text{Na}(\text{Fe,Co})\text{As}$, $\text{Fe}(\text{Se,S})$ の位置づけを示したうえで目的を述べている。

第3章では、本研究に用いた実験手法である角度分解光電子分光の原理や、解析に必要な基礎知識が述べられている。また、実際の実験に用いた試料や装置について説明するとともに、論文提出者が自ら考案作製し、本研究を遂行するうえで不可欠であったデツイン装置について述べられている。

第4章では、 $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$ における常伝導状態の電子構造についての実験結果と考察を述べている。本系においては、 xz と yz 軌道の不均衡で定義されるバンドの軌道異方性が広い組成領域で存在し、斜方晶・反強磁性相および超伝導相より高温から発達する様子が観測された。また、デツインした超伝導試料の測定により、超伝導状態における軌道異方性を定量的に評価した。さらに、ほぼ同じ組成・温度領域においてフェルミ準位近傍に擬ギャップが発達する様子が明らかになった。これらの結果は、軌道異方性と擬ギャップに特徴づけられる異常な常伝導状態の存在を示すものである。

第5章では、 Na(Fe,Co)As における常伝導状態の電子構造についての実験結果と考察を述べている。本系においても xz と yz の軌道異方性が斜方晶構造相転移とともに発達する様子が観測された。組成依存性は $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$ とは異なっており、 Co ドープに伴い軌道異方性が速やかに消失する様子が明らかとなった。

第6章では、 Fe(Se,S) における常伝導状態の電子構造についての実験結果と考察を述べている。本系においては軌道異方性が斜方晶構造相転移とともに急速に発達する様子が観測されており、計算との比較によりこれを軌道秩序によるものと解釈している。ドイツ試料の測定により、軌道秩序状態における楕円形のフェルミ面を定量的に測定するとともに、 S 置換にともない構造相転移とともに軌道異方性（軌道秩序）が消失する様子を明らかにした。

第7章では、前章までに示された $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$, Na(Fe,Co)As , Fe(Se,S) における実験結果を俯瞰的にまとめた考察が述べられている。本研究で明らかにされた軌道異方性や擬ギャップの結果を磁気構造相転移やスピン揺らぎの振る舞いと物質横断的に比較することにより、異常な常伝導状態や超伝導に対して軌道やスピンの果たす役割について、可能なシナリオを議論している。

第8章では、本研究から得られた知見をまとめ結論を述べている。

以上のように、本論文提出者は3種の異なる物質系の常伝導電子状態に着目し、それぞれについて系統的な角度分光光電子分光測定を広い温度・組成領域で粘り強く行うことにより電子構造を明らかにした。その結果、各物質系において軌道異方性および擬ギャップといった異常な性質をともなう電子構造を見出し、物質系を横断した俯瞰的な議論を行った。本研究で得られた知見は、鉄系高温超伝導体における多様な電子構造や超伝導機構の理解に貢献するものであり、物性物理学および物理工学への寄与は大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。