

## 論文審査の結果の要旨

氏名 出田 真一郎

銅酸化物高温超伝導体および2008年に発見された鉄ヒ素系の超伝導体に関して、その超伝導発現のメカニズム、異常な物性特性など、未だに解明されていない点や将来の課題が多く残されている。本研究は、これら2種類の物質に関して、角度分解型光電子分光という手法を用いて超伝導が発現する背景となっている物質中の電子状態について系統的に調べたものである。さらに、得られた電子状態と超伝導の関係について調べ、考察されている。これら電子状態を系統的に明らかにすることは、超伝導発現のメカニズムを考える上での本質的な情報を与えると考えられる。

本論文の第一章から第三章は序論である。第一章では一般的な超伝導研究の意義と本論文に直接関係のある実験がまとめられ、第二章では銅酸化物および鉄ヒ素系の超伝導体に関する包括的なレビュー、第三章では本論文で用いられる実験的手法の解説がなされている。それ以降の、第四、五章で銅酸化物高温超伝導体、第六、七章で鉄系超伝導体およびその関連物質に対する研究結果をまとめている。第八章はまとめに当てられている。

具体的に、第四章ではBiを含む高温超伝導体のうちで最高の超伝導転移温度をもつ  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$  という物質について、角度分解型光電子分光によってフェルミ面を調べた。この物質は3枚の  $\text{CuO}_2$  面を持ち、それぞれの面が独立のフェルミ面を形成している。出田氏本人による以前の研究によって2つのフェルミ面が確認されているが、本論文では、この結果を踏まえて、フェルミ面上での超伝導のギャップ関数を詳細に調べた。その結果、3枚のうち外側の面に由来するフェルミ面では単純なd波超伝導のギャップが開き、内側の面に由来するフェルミ面では、いわゆる「2ギャップ」的な振舞いがみられることを明らかにした。さらに、超伝導転移温度以上の温度領域において各フェルミ面上の電子状態を調べ、2つのフェルミ面において「フェルミ・アーク」と呼ばれる異常な状態であることを見出した。「フェルミ・アーク」とは、通常ならば波数空間において閉曲線となるべきフェルミ面が、閉曲線とならずに途中で切れているように見えるという異常な状態である。さらに超伝導ギャップ関数とフェルミ・アークの長さから特徴的なパラメータを抽

出し、そのパラメータが超伝導転移温度 ( $T_c$ ) と直接関係することを示した。次に、第五章では同じ物質における電子の分散関係を調べ、ある有限エネルギーのところに分散関係の特徴的な構造 (キंक構造) があることを見出した。2つのバンドについてこのキंक構造を詳しく調べ、これまでの高温超伝導体物質で知られているよりも大きなエネルギーにおいて異常があることを見出した。さらにこの構造の物理的原因について可能性のある2種類の格子振動について議論した。

次に第六章では、 $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  という鉄系超伝導物質の1つについて、Co、Ni、Cu、Znなどをドーピングした場合のフェルミ面を調べた。まずドーピングによってフェルミ面がどのように変化していくかを詳細に調べ、その結果をもとに電子とホールキャリア数を評価することに成功した。さらに、得られたキャリア数とドーピング量を比較することにより、この物質ではドーピングとともにバンド構造も変化するのであると結論した。これは、半導体などで考えられている rigid band model、つまりドーピングによってバンド構造は変化せずにフェルミ面の位置だけ変更をうける、という描像とは明確に異なっている。以上の結果を相図にまとめ、ドーピングの関数として  $T_c$  がどのように変化するかを議論している。 $T_c$  はドーピング量のみで整理されるわけではなく、それ以外に Co、Ni、Cu などの種類に依存したバンド構造の変化が  $T_c$  を決定しているのであると結論した。次に第七章では、 $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  のうち、Fe が完全に Ni に置換されさらに As が完全に P に置換された物質についてフェルミ面を明らかにした。この系のフェルミ面はバンド構造で予想されていたものと近く、フェルミ面のネスティングという現象が弱いことを見出した。このことと  $T_c$  が低いということが対応しているのであるという議論を行っている。

以上のように本研究では、高温超伝導体に対して、詳細で高精度の角度分解型光電子分光を実施し、そこから得られる電子状態について系統的に調べた。さらに得られた電子状態と超伝導のギャップ関数、あるいは  $T_c$  との関係について多角的に議論し、非常に興味ある相関を得た点が評価される。

本論文の内容の一部は、すでに英文雑誌に投稿済である。また本研究は藤森淳教授ほか数名との共同研究であるが、論文提出者は、実際の光電子分光実験、実験の解析などの点において本質的な寄与をしていると認められる。以上をもって審査員一同は、本論文が博士 (理学) の学位を授与するにふさわしいものであると認定した。