

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 山本遇哲

本論文は 6 章からなり、第 1 章は超伝導理論の基礎、第 2 章は光電子分光の原理、第 3 章は鉄系超伝導体 $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ の物性、第 4 章はファイバーレーザー光電子分光装置の開発、第 5 章は鉄系超伝導体 $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ の角度分解光電子分光についての実験結果および考察、第 6 章でまとめについて述べられている。

本研究はファイバーレーザーによる光電子分光装置の開発および非従来型超伝導を発現する鉄系超伝導体 $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ の物性研究という 2 つの内容から成り立っている。

光電子分光実験は、固体中の電子を直接取り出しエネルギーや運動量などを直接観測することができる有効な実験手法である。しかしながら、従来の光電子分光用光源では、高い励起エネルギーと高エネルギー分解能を両立するものが存在しなかったため、鉄系超伝導体 $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ のような、ブリルアンゾーンの端付近に重要なフェルミ面を持ち、かつ 1 meV 程度の小さい超伝導ギャップが開くと思われる物質群を精査するのが困難であった。論文提出者はこうした物質群に対して光電子分光を可能とするために、励起エネルギー 8.1 eV を持つ狭線幅のレーザー光源を開発し、極低温光電子分光器と接続し、非従来型超伝導機構を持つ極低温鉄系超伝導体の $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ について超伝導ギャップの異方性を精査した。

本論文の第 1 章では超伝導の基礎について述べられている。論文提出者の物性研究テーマである鉄系超伝導体は超伝導転移温度が高い試料では 100 K を超える、非従来型超伝導体である。鉄系超伝導体を研究することの位置づけを明らかにするため、従来の BCS 的な超伝導機構や、非従来型の超伝導機構としてどのようなものが提唱されているかについて述べられている。

第 2 章では、光電子分光法実験について述べられている。論文提出者は光電子分光用ファイバーレーザー装置の開発を行い、角度分解光電子分光 (ARPES) 実験による鉄系超伝導体の物性研究を行っている。それらの研究に必要な光電子分光実験の基礎知識について述べられている。

第 3 章では、鉄系超伝導体 $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ の先行研究について述べられている。非従来型の超伝導体である鉄系超伝導体では、スピン揺らぎや軌道揺らぎを媒介とした超伝導機構が提唱されており、その起源は今も議論が続いている。スピン揺らぎを媒介とした超伝導機構の場合超伝導ギャップに符号反転が存在し、超伝導ギャップが 0 となるノードが存在する。 $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ 系における最適ドーピング $\text{Ba}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{Fe}_2\text{As}_2$ では、ARPES の先行研究から各フェルミ面で超伝導ギャップがフルギャップであることが報告されている一方で、ホールドーピング端 KFe_2As_2 やその近傍の K オーバードーピング試料において、様々な実験からノードの存在が示唆されている。これらの試料において ARPES 測定から超伝導ギャップの異方性を精査し、超伝導対称性を決定することは不可欠である。

第 4 章では、新型レーザー光電子分光装置の開発過程について述べられている。レーザーは高エネルギー分解能を有する光源として注目されているが、励起エネルギーが最

大でも 7 eV 程度と低く、鉄系超伝導体において重要とされているブリルアンゾーン端にあるフェルミ面を観測不可能という弱点があった。鉄系超伝導体においては、ブリルアンゾーン中心付近のフェルミ面とゾーンコーナー付近のフェルミ面との間の相互作用が超伝導発現に重要という理論の提唱があるため、ゾーンコーナー付近のフェルミ面も測定が可能となるように励起エネルギー 8.1 eV を有するレーザー開発に着手した。高エネルギー分解能な高エネルギー励起光を得るには、スペースチャージ効果の影響を考慮し、ガスではなく非線形光学結晶を用いて赤外パルス光を波長変換する必要がある。非線形光学結晶には波長変換の最短波長記録を有する $\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$ (KBBF) 結晶を用いるが、この結晶を用いても今回必要とする短波長 (= 153 nm) 付近の光の発生は難しい。このような吸収端でも十分な強度かつ高繰り返しで光を発生するため、本研究では吸収中心波長が他の光源よりも比較的長波長帯にある Yb ドープファイバーレーザーを選択した。これにより、8.1 eV 光の発生に成功し、種々の改良により強度や安定性も向上した。レーザーは光電子分光装置と接続され、Au のフェルミエッジ測定や、単体金属 Sn 超伝導体の超伝導ギャップ観測が行われた結果、最低到達温度 1 K、最高分解能 690 μeV という高分解能が達成された。

第 5 章は、鉄系超伝導体 $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ の ARPES 実験により、ブリルアンゾーン端付近のフェルミ面における超伝導ギャップ異方性を精査した結果が述べられており、超伝導転移温度が 10 K 以下と低く、これまで超伝導状態の電子状態研究が行われていなかった Ba ドープ KFe_2As_2 において、ゾーンコーナーのフェルミ面で超伝導ギャップ異方性が僅かな K ドーピングで劇的に変化する様子が捉えられた。この結果より、K オーバードープ領域では「ゾーンセンターの 2 つのフェルミ面間の inter-band scattering」、「ゾーンセンター FS とゾーンコーナー FS 間の inter-band scattering」、「ゾーンコーナー FS におけるフェルミ面内 K_Z 方向での intra-pocket scattering」、の 3 者が競合していることが示唆され、同一軌道間の相互作用の重要性を示した。その結果、この K ドープ領域では、スピン揺らぎ機構による超伝導発現を示唆する結論を得た。

なお、本論文の第 4 章の実験装置開発は、野村雄高、伊藤功、小澤陽、岡崎浩三、石田行章、大田由一、小谷佳範、渡部俊太郎、C. T. Chen、辛埴、第 5 章の物性研究は、岡崎浩三、深澤英人、小堀洋、木方邦宏、李哲虎、伊豫彰、永崎洋、辛埴との共同研究であるが、装置開発・物性研究共に論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の結果から、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。