

審査の結果の要旨

氏名 長島 椿

本論文では、正方晶の鉄系超伝導体 $\text{Fe}(\text{Se},\text{S})$ における新奇な超伝導状態について、レーザー角度分解光電子分光を用いた研究結果について述べられている。本論文は6章からなり、第1章は超伝導全般について、第2章は一般的な光電子分光法について、第3章は極低温超高分解能レーザー角度分解光電子分光について、第4章はレーザー角度分解光電子分光用の新規光源の導入について、第5章では正方晶 $\text{Fe}(\text{Se},\text{S})$ における新奇な超伝導状態について、第6章では結論について述べられている。

第1章では超伝導全般についての背景が述べられている。BCS理論を紹介した後、BCS理論から期待される超伝導ギャップの温度変化、超伝導状態における準粒子状態密度、異方的超伝導などについて述べられている。

第2章では、一般的な光電子分光法について述べられている。光電子分光の基本原理について述べた後、角度分解光電子分光、光電子の平均自由工程、光電子放出の選択則、光電子の検出方法などについて述べられている。

第3章では、本研究で用いた実験手法である極低温超高分解能レーザー角度分解光電子分光について述べられている。本研究で用いた光電子分光装置について概観した後、エネルギー分解能の全般についてと高エネルギー分解能の実現について、さらに高エネルギー分解能実現における問題点とその解決方法について述べられている。当該極低温超高分解能レーザー角度分解光電子分光装置では、最高分解能 $70 \mu\text{eV}$ が実現されていたものの、測定効率が著しく落ちてしまうという問題があったが、連続波レーザーの導入によって高い測定効率と高分解能が両立できることが述べられている。

第4章では、連続波レーザー導入の詳細について述べられている。導入における背景として、連続波レーザーによって高効率と高分解能が両立できることについての詳細が述べられ、強度安定化に向けた具体的な対策方法、角度積分光電子分光や角度分解光電子分光の測定例、非従来型超伝導体 LaNiC_2 の超伝導ギャップの測定結果、実際の使用に向けたさらなる改良や条件などについて述べられている。

第5章では、正方晶 $\text{Fe}(\text{Se},\text{S})$ の新奇超伝導状態について述べられている。前半では、 $\text{Fe}(\text{Se},\text{S})$ における先行研究結果として、 FeSe の結晶構造、電子構造、超伝導状態、 $\text{Fe}(\text{Se},\text{S})$ の電子相図、ネマティック臨界点などについて紹介した後、 FeSe における Se を S で置換することでネマティック臨界点を超えると異なる超伝導相が現れ、この超伝導相では、比熱、熱伝導度、走査トンネルスペクトルなどの研究から、超伝導状態において大きな残留状態密度が存在すること、BCS-BEC クロスオーバーが生じて BEC 超伝導が実現している可能性があること、時間反転対称性が破れている可能性があること、超伝導状態において大きな残留状態密度が存在することから、超

伝導ギャップのノードが 2 次元的な面になるポゴリユーボフフェルミ面の存在する可能性が議論されていることなどが紹介され、本章における研究動機と行った実験の詳細について述べられている。後半では実験結果について紹介されており、ネマティック臨界点を超えて正方晶となった $\text{FeSe}_{0.78}\text{S}_{0.22}$ のブリルアンゾーン中心付近のホールフェルミ面について、極低温超高分解能レーザー角度分解光電子分光を用いて超伝導ギャップの異方性について詳細に調べた結果、結晶構造は 4 回対称であるにもかかわらず超伝導ギャップは 2 回対称であることが明らかとなり、さらに、ポゴリユーボフフェルミ面の存在が示唆される結果が得られたことも述べられている。

第 6 章では、結論として、レーザー光電子分光において高効率と高エネルギー分解能を両立する新規光源が導入されたことで、転移温度が低い非従来型超伝導体の微小な超伝導ギャップも測定可能になったこと、 $\text{FeSe}_{0.78}\text{S}_{0.22}$ においてポゴリユーボフフェルミ面の存在が初めて超伝導ギャップ異方性の直接観測によって示唆されたことなどが述べられている。

以上のように、本論文は、超伝導の研究において強力な実験手法であるレーザー光電子分光の性能を大きく改善し、鉄系超伝導体などの非従来型超伝導体の理解についても大きく前進させるものである。なお、本研究の第 5 章は、橋本嵩広、Sahand Najafzadeh、大内俊一郎、鈴木剛、福島昭子、笠原成、松田祐司、松浦康平、邱明璋、水上雄太、橋本顕一郎、芝内孝禎、辛埴、岡崎浩三との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、解析を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1 9 4 3 字