

論文審査の結果の要旨

氏名 卞 舜生

本論文は、題目「高温超伝導体 $\text{La}_{2-x-y}\text{Eu}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ における電荷ストライプ秩序と超伝導」に表現されるように、高温超伝導体 $\text{La}_{2-x-y}\text{Eu}_y\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LESCO) を舞台とした多角的な物性研究から、銅酸化物超伝導体の CuO_2 面に形成される電子の自己組織化構造と超伝導発現の関係を明らかにした研究である。論文は全 4 章からなる。

第 1 章では、研究背景が述べられている。銅酸化物高温超伝導体では反強磁性絶縁体にキャリアがドーパされる過程で高温超伝導が発現する。超伝導に隣接して、電荷秩序状態が形成される。高温超伝導機構解明の観点から、微小ドーパ領域でのフェルミ面再構成と電荷秩序との関係、電荷秩序と超伝導の共存競合関係を明らかにすることの重要性が指摘されている。本章の最後に、研究対象とした電荷秩序の一種である電荷ストライプ秩序についての予備知識がまとめられている。

第 2 章では、電荷秩序がフェルミ面再構成にどのように寄与するか明らかにすることを目的として LESCO 単結晶に対して行った様々な輸送特性測定とそれらの結果が述べられている。LESCO は結晶構造相転移と電荷ストライプ秩序形成が独立に起こる。電子状態に対する結晶構造変化の寄与を分離できるため、電荷秩序形成によるフェルミ面再構成を検証するのに適した物質である。

キャリア濃度と Eu 置換量が異なる様々な組成の 11 種類の LESCO 単結晶が育成された。これらの試料に対する磁化測定、X 線回折、ホール係数測定から、キャリア量 $x \sim 1/8$ 近傍において、超伝導が強く抑制されて長周期電荷ストライプ秩序が最も安定に形成されることが示されている。 $x \sim 1/8$ キャリア領域では、電荷秩序の安定化に伴ってホール係数とゼーベック係数が正から負に符号変化する。この結果から YBCO の量子振動観測から提案された不足ドーパ領域における電子ポケットの生成が LESCO でも起きていると結論付けられる。また、電荷ストライプ秩序形成に付随するようにネルンスト係数が増大する。電気抵抗率とホール係数、X 線回折実験結果の比較からフェルミ面の再構築が結晶構造相転移と独立に起きていることが示される。

第 3 章では、LESCO 多結晶に対して行われた酸素同位体置換及び磁化・ホール係数測定とその結果について述べられている。超伝導と電荷ストライプ秩序に対する酸素同位体効果の比較から、双方の共存・競合関係が議論されている。最初に Mn 酸化物における同位体効果の例が示され、同位体効果が相競合を検証する有力な手法であることが指摘されている。次に LESCO 多結晶の合成及び酸素同位体置換熱処理の手法、重量測定とラマン分光による同位体置換の確認について述べられている。得られた試料に対して磁化及びホール係数をそれぞれ測定した結果、酸素同位体置換によって超伝導は抑制され

るものの電荷ストライプ秩序の安定性はほとんど変化しないことが示されている。このことから、超伝導と電荷秩序の関係は単純な競合関係にはないと結論づけられている。

第 4 章では、本論文全体が総括され、電荷秩序が超伝導の種結晶的な役割を果たしていることなどが議論されている。

以上、本論文でまとめられた研究により、電荷秩序が CuO_2 面の電子構造を劇的に変化させ、フェルミ面を再構成すること、および電荷秩序と超伝導が非競合関係にあることが明らかにされた。本研究の結果は、高温超伝導体の電子構造の理解に重要な知見を提供するとともに、電荷秩序が超伝導と共存してその発現に重要な役割を果たしている可能性を示したものであり、高温超伝導発現メカニズムの解明に大きなインパクトを与える。超伝導工学、相関電子科学、さらには物性物理に寄与するところ大であり、博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。