

# 論文審査の結果の要旨

氏名 橋本 信

本論文は英語で執筆され、また構成は8章から成る。第1章では本研究で取り上げる銅酸化物高温超伝導体の紹介と本博士論文の研究意義及び論文の章構成が簡潔にまとめられている。第2章の前半に高温超伝導体の物性に関する詳細が解説され、後半において本研究の動機が丁寧に説明されている。

酸化物高温超伝導体は Mott 絶縁体にホールをドーピングすることで超伝導転移し、さらに結晶中の  $\text{CuO}_2$  面が層状構造を形成している。このうち一層(single-layer)型のもは多層型に比べて転移温度が低いものの電子構造がより単純であり、さらに転移するホール濃度が広範囲であるので超伝導発現機構の基本原理を探る上で最適である。そこで本研究では一層型である  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  (LSCO)、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{CuO}_{6+\delta}$  (Bi2201) 及び  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Ln}_x\text{CuO}_{6+\delta}$  のランタノイドを交換したもの (Ln-Bi2201; Ln=La, Nd, Eu, Gd) に注目した。そして広範囲の温度及びホール濃度の変化、さらにはドーピング元素の交換に対する電子構造の変化を調べることで、キャリアの輸送現象も含めて超伝導発現機構を総括的に解明することを本研究の目的としている。

第3章では本研究対象である電子状態(バンド構造、フェルミ面、電子の運動量分布幅)を直接プローブすることができる光電子分光法について解説している。論文ではその実験原理から国内外の放射光施設と大学研究室で使用した実験装置について詳細な説明がある。

第4章では、ホールドーピングに伴うバンドの変化を取り扱った研究が書かれている。Mott 絶縁体にホールドーピングをすると、化学ポテンシャルがギャップ内にピン止めされる場合と、ZRS バンド側にシフトする場合がある。一層型銅酸化物高温超伝導体ではこれまで LSCO が前者で、Na-CCOC が後者に属することが報告されていたが Bi2201 についてはまだ分かっていなかった。詳細な実験の結果、本論文により Bi2201 は Na-CCOC と同じタイプであり、かつフェルミ面(フェルミアーク)やバンド構造との関連も明らかになった。Bi2201 や LSCO はチェッカーボード型局所状態密度やストライプ構造の発生など様々な現象が存在し超伝導発現との関連が議論されている。本研究によって、これらを理解するのに不可欠な電子構造を決定したのは今後の研究の基本データとして価値が高い。

第5章では、LSCO サンプルについて、広範囲の温度及びドーピング範囲における擬ギャップと超伝導ギャップの関係を調べた。このような非常に小さいエネルギーギャップを光電子分光で観測するには高分解能測定による長時間スキャンが不可欠であるが、通常サンプルの寿命が足りないので実験的に非常に困難である。そこで本研究では独自の実験・解析アプローチにより、各ドーピング量において擬ギャップと超伝導ギャ

ップをそれぞれを独立に観測することに成功し、前者がドーピングに強く依存するのに対して後者は無関係であることを明らかにした。すなわち超伝導発現には超伝導ギャップのみが直接関わっていることを意味し、これは機構解明に大変重要な実験的証拠である。さらに本論文では詳細な議論によりその機構としてフェルミアークモデルが妥当であると考察した。

第6章は LSCO についてこれまで報告された種々な面内電気伝導の異常性について電子構造の観点から研究した。高分解能光電子分光測定により各ドーパ量のサンプルにおける平均自由行程の温度依存性を調べたところ、擬ギャップの変化を考慮に入れると矛盾なく説明できることが分かった。また LSCO( $x=0.03$ )では 50K 以下にて電気抵抗が急激に増加することが報告されており、それに対応したエネルギーギャップの観測にも成功した。このように基本物性である輸送現象を、擬ギャップ(フェルミアーク)も含めて、電子状態から矛盾なく直接明らかにしたのは大変意義高い。

第7章は、Ln-Bi2201 のランタノイド元素を La, Nd, Eu, Gd と入れ替えることにより、層状構造の面外の乱れを人工的に変化させ、電子構造および超伝導転移に対する影響を調べた。高温超伝導にはホールドーピングが必要であるが、ドーピング元素そのものが系に与える影響はあまり調べられていなかったため、この点に注目してその電子状態の変化を調べた本研究はオリジナリティが高い。

第8章では本研究成果が簡潔にまとめられ、さらにそれらを元にした超伝導発現機構の考察が行われている。

以上、本論文について各章を紹介しながらその物理学的価値を解説した。高温超伝導機構解明に、適切な試料を選択し、その性質に合わせて実験及び解析方法を工夫し、最終的には重要な実験的証拠を掴んだ。このように本研究は独自性も高く、また当該分野に学術的に優れた寄与をしている。そのため、本論文は、学位論文として十分な水準にあることが審査員全員によって認められ、博士論文として合格であると判定された。なお、本論文の内容の1部は Physical Review B(R)、Physica C、AIP Conference Proceedings にてすでに掲載され、今後も本学位論文から4報の論文投稿が見込まれている。いずれの論文も提出者が第一著者として中心に研究した結果であり、その寄与が十分であると判断される。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。