

論文審査の結果の要旨

氏名 瀬川 耕司

銅酸化物高温超伝導体の発見以来18年が経ち、多くの実験データが蓄積され、理論的研究も大きく進展したが、大きな目標である超伝導機構の解明にはいまだ至っていない。その理由のひとつとして、高温超伝導体では組成制御・欠陥制御が難しいために、高品質の試料を用いた精密で系統的な実験データの蓄積が十分でなかったことが挙げられる。本論文では、代表的な高温超伝導体のひとつである $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (YBCO) の高品質単結晶を作製し、磁気抵抗、ホール係数を含む輸送係数を精密かつ系統的に測定し、高温超伝導体で広く見られる異常な物性と、この系特有の振る舞いを明らかにしている。YBCO 単結晶は、ホール濃度を決定している酸素量の制御が難しいことに加え、 Cu-O 鎖の酸素原子の配列に起因する物理量の異方性が双晶化により覆い隠されてしまうことにより、本質的な物性を抽出することが遅れていた。論文提出者は、全組成 y 領域にわたって酸素量が制御され、かつ双晶をもたない単結晶を作製することに成功し、輸送現象の CuO_2 面内異方性を系統的に研究している。得られた輸送係数は、 CuO_2 面内における電荷ストライプの形成や揺らぎなど、新規な現象を示唆している。

本論文は7章からなる。第1章では、まず本研究の背景として、YBCO を中心とした高温超伝導体の物性を紹介している。とくに、中性子散乱で最初に見出された非整合ピークと、それに基づいて提唱された電荷ストライプモデルについて述べ、YBCO における物性の異常と電荷ストライプが関係する可能性を述べている。

第2章では、実験方法について述べている。最適ドープ領域から希薄ドープ領域に至る YBCO 単結晶試料の作製とその熱処理・非双晶化は、本論文の大きな特徴であり、詳しく述べられている。偏光顕微鏡で観察しながら圧力をかけることによって、低温で非双晶化できることを見出している。この方法により、構造の異方性がごくわずかな希薄ドープ試料でも非双晶化が可能となった。また、輸送現象の測定に際しての工夫や、細心の注意を払った測定と解析も本論文の特徴であり、その実験方法についての詳しい説明がされている。

続く第3章で、最も基本的な輸送係数である CuO_2 面内方向の電気抵抗率を測定し、 CuO_2 面の寄与と Cu-O 鎖の寄与を分離している。その結果、 Cu-O 鎖の酸素配列がほぼ等方的に

なる希薄ドープ領域で、予想に反して電気抵抗の異方性が増大することが見出された。この現象を説明するために、 CuO_2 面内でホールがストライプ状に秩序化していることが提唱されている。

第4章では、ホール係数の測定結果とその解析が述べられている。 CuO_2 面内のキャリアのホール移動度が、臨界温度が 60 K 付近で変化しなくなるいわゆる「60 K 異常」の組成 ($y \sim 6.65$) より大きなホール濃度で減少することを見出し、電荷ストライプの影響による可能性を指摘している。

第5章では、磁気抵抗の測定結果と解析結果が述べられている。超伝導揺らぎによる磁気抵抗の理論式を用いて得た超伝導オーダーパラメータのコヒーレンス長は、「60 K 異常」を越えた組成 $y \sim 6.7$ で異常に増大し、上部臨界磁場は異常に減少していることを見出している。これより、この組成で超伝導が壊れやすくなっているとしている。

第6章では、上記の異常な輸送現象が発現する機構について考察を行なっている。希薄ドープ領域の電気抵抗の異常な異方性も、「60 K 異常」付近のホール移動度の減少と超伝導の抑制も、ともに電荷ストライプの影響として考察されているが、両者の振る舞いが大きく異なっていることも指摘されており、今後の研究の発展への期待が述べられている。そして、最後の第7章で、本論文の結論をまとめている。

以上のように本論文は、典型的な高温超伝導体である YBCO について、酸素量を制御し非双晶化した高品質単結晶を作製し、輸送現象の異方性を精密に測定し、その実験結果に基づいて深い物理的洞察を行なったことで高く評価された。なお、本論文の一部は、安藤陽一、小宮世紀、A. N. Lavrov 各氏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、考察を行なったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。