

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 戸川 欣彦

本論文は、「高温酸化物超伝導体における磁束系動的相図の研究」と題し、高温酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ において、磁束系の運動における時間秩序に注目し、磁束の運動に伴い発生する速度揺らぎと密度揺らぎに着目したノイズ測定、直流駆動力と交流駆動力存在下での干渉効果の手法を用い、駆動力に対する動的磁束状態の変化を系統的に探ったものである。巨視的スケールにわたる洗濯板ノイズの観測にはじめて成功し動的再秩序化相の状態を明らかにしたこと、また、高温酸化物超伝導体の磁束系動的相図中における時間秩序の発達の様子、動的磁束状態の変遷を明らかにしたことがその成果といえる。本論文は6つの章から構成されている。

まず、第一章では、超伝導の分野における本研究の位置づけと、本研究の背景として静的、動的磁束状態研究の現状、磁束状態を決定する要因に関してまとめた後に、本研究の目的、意義が述べられている。また、本研究における動的磁束系の研究が、超伝導の分野にとどまらず、様々な量子凝縮体の運動、固体間摩擦、地震等のあらゆる空間スケールで存在する内部多自由度系の運動に共通する現象、概念を探るモデルとして重要視されていることが述べられている。

第二章では、高温酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ の育成方法、及び、研究を行ううえで重要な良質試料の選出方法が述べられた後、動的状態を探るための実験方法についての記述がなされている。ノイズ及び干渉効果の手法から、巨視的スケールにわたる磁束系の運動の情報が得ることができ、このことが本研究の大きな特徴であることが記されている。また、伝導ノイズ、局所密度ノイズ同時測定により磁束系の速度揺らぎと密度揺らぎを区別することの重要性が述べられている。

第三章では、伝導ノイズ、およびノイズ同時測定に関する実験結果が述べられている。本研究の特筆すべき成果である洗濯板ノイズの観測について記述があり、その成功により高温酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ において巨視的スケールにわたるコヒーレントな動的再秩序化状態の存在が明らかにされたことが述べられている。また、クリープ領域においてコヒーレント状態が観測されること、コヒーレンスの発達が理論に反する振る舞いを示すことが述べられており、既存の概念では説明し難いことが論じられている。また、ノイズ同時測定に初めて成功したことが記述されており、速度揺らぎと密度揺らぎは動的相図上の異なる領域で発生しており、それぞれ異なる動的磁束状態を反映していると理解されることが述べられている。

第四章では、干渉効果の意義について触れたのち、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ においてもはじめて干渉効果が観測され、コヒーレンス状態の存在が示されたという実験結果が記述されている。磁束系や電荷密度波動的状態における干渉効果との比較を通じ、高温酸化物超伝導体においては再秩序化相のコヒーレンスがそれほど発達しにくく、熱揺らぎの効果がその原因として有力視されることが述べられている。また、交流振幅依存性から干渉効果を用いても間接的に直流駆動の磁束状態が理解されること、本研究で動的相図を作製する上で干渉効果の手法が有用であることが述べられている。

第五章では、第三章、第四章で用いた手法を用い得られた高温酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ における動的相図、駆動力の増加に対する動的状態の変遷の様子が詳細に論じられている。 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ における動的相図は理論、数値計算による動的相図と部分的に定性的な一致が見出されるものの詳細はかなり異なることが述べられている。また、第2種従来超伝導体 NbSe_2 における動的相図とも大きく異なることが記されている。高温酸化物超伝導体では熱揺らぎの寄与が大きいいため動的相図のこのような違いが生じており、高温酸化物超伝導体における動的磁束状態の理解のためには熱揺らぎの寄与を顕わに扱った理論、数値計算が必要不可欠であることが提案されている。

第六章では、本論文のまとめ、ならびに今後の課題が述べられている。

以上をまとめると、本論文では、高温酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ の動的磁束系動的相図上における時間秩序発達の様子、動的状態の変遷に関し述べられている。特に、再秩序化相としてコヒーレンス状態が存在することが、ノイズ測定における洗濯板ノイズと干渉効果の手法によって示され、再秩序化相に限らず、駆動力に対する変遷が系統的に明らかにされている。多自由度系の運動を普遍的に考える上で磁束系動的状態の推移が明らかにされたことの意義は大きい。高温酸化物超伝導体における磁束系の動的振る舞いの理解は電力応用などにとって有用な基礎的な知識であり、超伝導工学への寄与は大きい。よって、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。