

氏名(本籍)	橋本慎也(福島県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第6030号
学位授与年月日	平成24年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	高温超伝導体のウイスキー結晶の超伝導特性と磁束状態の研究

主査	筑波大学教授	理学博士	門脇和男
副査	筑波大学准教授	Ph.D.	小泉裕康
副査	筑波大学准教授	工学博士	谷本久典
副査	筑波大学講師	理学博士	南英俊

論文の内容の要旨

1986年に発見された高温超伝導体の研究はこれまで膨大であるが、その超伝導機構に関しては一時期の楽観的な見通しが失われ、近年、ますます混迷の色を濃くしている。その理由は、第一に銅酸化物という材料の難しさを軽視し、理論の先導する研究がなされてきた点にある。これは物性物理学における重大な教訓であるが、物質を主体とした研究の困難さにそもそもの本質がある。

高温超伝導体の超伝導転移温度はキャリアドーピングに強く依存し、特に低ドーブ領域の研究は絶縁体からキャリアドーピングとともに、どのように超伝導状態が発現するかという基本的な理解において機構解明には極めて重要であると考えられているが、この領域は特に試料の不均一性などが原因で良質の単結晶が得にくく理解が進んでいないのが現状である。この問題は指摘されてからすでに長い間、解決の糸口がつかめず、放置されていた状況にある。

この問題に、橋本慎也君はウイスキー結晶を用いるアイデアを導入した。すなわち、ウイスキー結晶を用いる方法は、低ドーブ側の試料を比較的簡単に作成できる可能性があることである。特に、 $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (RはYを含み、Ce、Pm、Tb以外の希土類元素)系は典型的な高温超伝導体であるが、このRをCaで置換することで、低ドーブ側で、且つ超伝導試料を比較的容易に作成できる点にある。これはすでに多結晶試料を用いた先行研究があるが単結晶による系統的な研究はまだ成されていない。橋本君はこの点に着目し、 $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 系のRをCaで置換した良質の単結晶ウイスキーを育成し、低ドーブ領域の電子状態を調べることが目標とした。また、良質な単結晶かどうかの材料特性評価を磁束状態の研究を通して行った。

その結果、R=Y, Eu, Gdにおいてウイスキーを様々な条件下で作成し、良質の、大型単結晶 ($10\ \mu\text{m} \times$ 数 $10\ \mu\text{m} \times \sim 1\ \text{mm}$) を得る育成条件を見いだした。また、電気抵抗、磁場中抵抗測定や磁化特性により超伝導パラメーターなど、ウイスキー試料の特性をこれまで得られている他に実験結果と比較した。基本的な超伝導特性は最適ドーブ領域では、バルク体単結晶超伝導体それほどではなく、むしろ結晶性はバルク単結晶試料以上の高品質性が確認された。電気抵抗においては低ドーブ側では転移転がゼロ磁場でも大きく広がり、磁場中では特に顕著である。これはCaを置換した事による結晶格子の乱れや、そのために派生する酸素の不規則なアンバランスのために起こるものと考えられる。橋本君はこの点を高温でアニールすること

で改善する事を試みた結果、電気抵抗の幅は約5 K程度まで下げることができた。しかしながら、それ以上改善ができなかった。このことは熱処理だけではCa置換による格子の乱れを修正できない事を意味している。さらに微視的な高分解能電子顕微鏡等の観察を通してこの点を明らかにする必要がある。橋本君は原子レベルにまでは言及できなかったが、その問題点を明らかにしたことは高温超伝導体解明に向けた新たな可能性が出てきたことを明確にした。

さらに、磁束状態を調べるため、ウイスキー結晶1本で磁化を測定できるようにSQUID磁束系の高感度、低ノイズ化に取り組み、装置の感度限界に達する高感度かを実現し、個別にウイスキーを磁化測定から評価することが可能となった。これは先行するウイスキーの研究がたくさんある中で特筆すべき進展である。

審 査 の 結 果 の 要 旨

このように、橋本慎也君はウイスキー結晶に着目し、それを育成し、これまでバルク単結晶では実現できなかった低ドーピング領域での高温超伝導体 $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 系の超伝導特性を調べる足がかりを得たことは、これまで長い間停滞していた高温超伝導体の超伝導機構解明に向けた一つの方向性を示したものと評価される。しかしながら、超伝導転移の広さの原因を突き止め、さらなる高品質のウイスキー作成を行う必要があり、今後への課題を残した。また、SQUID磁束計で、高感度で微小なウイスキーを測定できる方法を見だし、個々のウイスキーで磁気特性を測定した。これは従来の研究をさらに前進させる貢献を成したと考えられる。総じて、これらの結果は博士論文として十分価値ある仕事と評価できる。

平成24年2月17日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。