

論文審査の結果の要旨

氏名 鶴巻 厚

本論文は4章からなり、第1章は本論文の基礎となる概念とこれまでの関連する研究について、第2章は実験方法について、第3章は作製された YBCO 薄膜の構造と物性について、第4章は研究のまとめと今後の展望について述べている。

第1章では、まず銅酸化物の全般的な物性についてまとめ、その代表的な物質である $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) の結晶構造、化学的性質、物理的性質について述べられている。次に基板物質である SrTiO_3 (STO) を表面処理することで得られるステップ基板の特徴に触れている。さらにステップ基板を用いた薄膜研究の例をあげ、これまでに行われてきた YBCO 薄膜に関する研究について概観されている。特に、基板ステップの薄膜物性に与える影響に着目した研究例がほとんどないことが強調されている。最後に本論文の目的として、YBCO 超薄膜における基板ステップの影響について期待される効果が述べられている。

第2章では、本論文においてなされた実験の手法について述べられている。

第3章では、まず良質な薄膜成長のための STO ステップ基板作製について述べられている。様々な条件を最適化した結果、40-300nm の間隔で周期的に並んだ原子ステップ線を STO 表面に作製した。この上に YBCO 薄膜を形成し、基板ステップの影響が薄膜表面にまで現れることを原子間力顕微鏡観察から示した。表面でのステップの高さはもとの STO の単位胞に対応し、膜中にステップの上で「1/3 fault」が形成されることを明らかにした。ただし、これは膜厚が 10nm 以下の場合であり、これより厚くなると緩和されて見えなくなる。YBCO と同じ結晶構造を有し、超伝導を示さない $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ をバッファーおよびカバー層として用いることで YBCO 3 単位胞厚さの極めて良質な超伝導薄膜を作製した。

得られた薄膜の面内電気抵抗を測定し、ステップ線に平行と垂直方向で大きな異方性が存在することを明らかにした。超伝導転移温度以上では、常伝導状態の抵抗に約2倍の異方性を見出し、これがステップの効果により YBC 構造中に含まれる Cu-O 鎖がステップ線に平行に秩序化したためであること示唆した。

同じく電気抵抗測定により、超伝導転移の様子にステップに平行、垂直方向で大きな違いがあることを見つけた。平行方向ではシャープな電気抵抗の落ちを観測し、転移温度が 80K 以上であるのに対して、垂直方向では転移の裾が現れ、ゼロ抵抗温度は約 15K 低いことが分かった。これは、1/3 fault が超伝導弱結合として働いていることを強く示唆する。一方、磁場中電気抵抗測定実験から、ステップ線に垂直に電流を流したときにのみ、電気抵抗の磁場依存性に多くのディップを発見した。これは、ある特定の磁場で磁束流抵抗が低く抑えられることを意味し、何らかの磁束ピンング機構が働いていることを示している。ディップの磁場値から、周期的 1/3 fault 構造が特異な一次元ピンングセンターとして機能することを結論した。これまで、人工的に導入された三角格子状の欠陥などにより、同様のマッチング効果が観測されているが、このような基板ステップ由来のピンングセンターは初めての例である。さらに 1 次元磁束ピンングに関しては 30 年前に理論的に研究されたことがあるが、実験的に観測されたのは極めて珍しい。高温超伝導における磁束ピンングの物理を研究する上で非常に興味深い試料を提供した。また、臨界電流密度の向上に向けた基礎研究としても注目される。

第 4 章では、以上の結果をまとめるとともに、今後の展望について述べられている。

なお、本論文の全ての結果は、論文提出者が実験および解析を行ったものである。以上の STO ステップ基板上に作製した YBCO 超薄膜に関する研究は、学位申請者が世界で初めて行ったものであり、極めてオリジナリティーの高い研究である。また、得られた成果も物性物理学の新たな展開に結びつくものであり、高く評価される。

したがって、博士（ 科学 ）の学位を授与できると認める。