

柱状欠陥を導入した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 膜の磁束系相図

東北大学理学研究科物理学専攻 片倉正弘

序章

量子磁束線のピン止め場所となる欠陥を多数含む dirty な第Ⅱ種超伝導体では、磁束系の液体状態からガラス状態への2次相転移が存在することが知られている。特に欠陥が柱状の場合、この磁束ガラス状態は欠陥方向にのみ強い相関をもつ Bose グラスという特殊な相になることが理論的に予想されている。しかし最近、柱状欠陥を導入した $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ の単結晶において、マッチング磁場 $B_\Phi (=n\Phi_0; n$ は欠陥密度、 Φ_0 は磁束量子) の $1/3$ 付近の磁場で磁化や不可逆線に異常が報告され、柱状欠陥を含む磁束系のガラス状態や相転移はそれほど単純なものではないことがわかってきた。本研究では柱状欠陥を含む超伝導体中における磁束系の磁場-温度($H-T$)相図を作成することを目的に重イオン照射した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (YBCO) 膜を用いて磁場中での輸送特性を詳しく測定した。 $B_\Phi/3$ での異常の有無を含め、柱状欠陥を導入した影響が YBCO のガラス転移温度、磁束ガラス相および磁束液体相にどのように反映されているかを調べた。

試料作成

本研究に用いた YBCO 膜はスパッター法により作成した。これらの試料に対し日本原子力研究所のタンデム加速器により Au イオンを照射することにより、柱状欠陥を導入した。スパッター法で作成された試料はバックグラウンドとして点欠陥を含む。そのため、本研究では点欠陥と柱状欠陥の両方が存在している系を扱うことになる。

実験結果および考察

$H-T$ 相図上のガラス転移線 $H_G(T_G)$ は、各磁場中における電流電圧($I-V$)特性と電気抵抗の温度依存性 $R(T)$ を測定し、これらをガラススケーリング理論を用いて解析することにより求めた。図1に典型例として $B_\Phi = 2\text{ T}$ の試料における各磁場での T_G を示す。 $B_\Phi/3$ にあたる 0.6 T 付近の磁場においてガラス転移線 $H_G(T_G)$ が急激に上昇し、確かに YBCO のガラス転移についても $B_\Phi/3$ に異常があることがわかる。液体相とガラス相の各相においてこの異常が $H-T$ 相図上にどのように広がっているかを調べるため、臨界電流密度 $J_c(B)$ と、電気抵抗の磁場依存性 $R(B)$ を測定した。図2と図3に $J_c(B)$ と $R(B)$ の磁場微分をそれぞれ示す。ガラス相、液体相の各相において磁束のピン止め状態、運動状態が急激に変わる特徴的な磁場がそれぞれ2つあることがわかる。各温度における

これらの特性磁場をグラス転移線 $H_G(T_G)$ とともにプロットすることにより図 1 に示す $H-T$ 相図を得た。これをみると $B_\Phi/3$ 付近にグラス相から液体相に続く温度に依存しない境界線があること、さらにグラス相において B_Φ 付近に、液体相において $H_G(T_G)$ 沿った新たな境界線が存在することが明らかになった。 $B_\Phi/3$ を基準とした同様な $H-T$ 相図が他の照射密度を持つ試料においても得られた。今まで柱状欠陥が存在する場合、磁束グラス相は Bose グラス相になるとだけ考えられていたが、本研究の結果から複雑な磁束状態をとることがわかった。

各境界の前後でどのような変化が起きているか、さらなる情報を得るため欠陥方向に対する磁場方向を変えながら J_c および R の測定を行った。その結果 $B_\Phi/3$ 以下の glass I、liquid I 相では試料がバックグラウンドとして有する点欠陥の効果が強く、輸送特性に柱状欠陥の効果が強く現れるのは $B_\Phi/3$ 以上の glass II、glass III、liquid II であることがわかった。以上のことから、liquid I から glass I への相転移は点欠陥が引き起こす Vortex グラスと Bose グラスの競合した相転移、liquid II から glass II への相転移は通常の Bose グラス相転移であると結論した。これは柱状欠陥に対する磁束の Trapping rate を計算したシミュレーション結果とつじつまが合う。

1) R.Sugano *et al.*, *Phy.Rev.Lett* 80, 2925(1998)

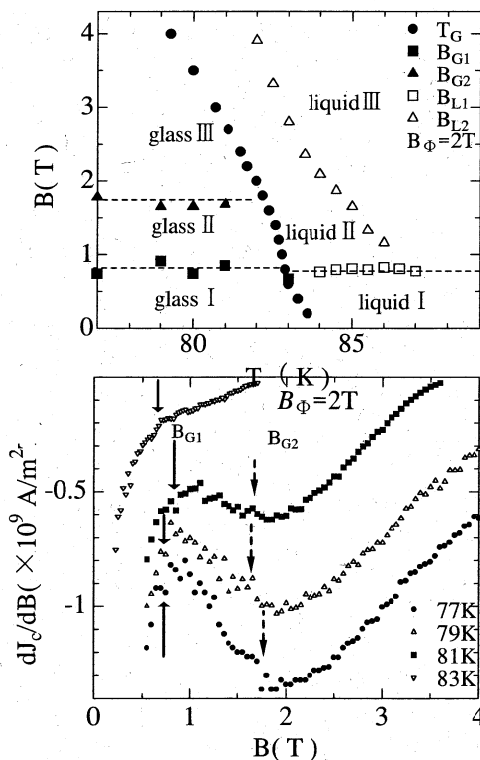


図 2 臨界電流密度の磁場依存性に対する磁場微分

図 1 $B_\Phi=2T$ の試料における温度-磁場($H-T$)相図

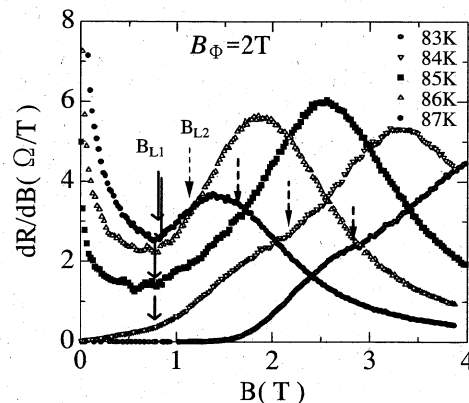


図 3 電気抵抗の磁場依存性に対する磁場微分