

高温超伝導溶融バルク体における量子化磁束系の相転移

岩手大・工 内藤智之、藤代博之
東北大・金研 西寄照和、小林典男

1. はじめに

Dy-Ba-Cu-O バルク体は、他の希土類元素(RE)を用いて作製された RE-Ba-Cu-O バルク体とは異なる熱輸送特性を示すことが知られている。最も大きな特徴は、超伝導転移温度(T_c)以下の熱伝導率の増大現象が強く抑制されていることである。さらに、熱伝導率の絶対値自体(T_c 近傍の値で比較)も小さい。これらの起源は今のところ明らかになっていないが、熱伝導率の抑制は熱担体の散乱中心が他の RE-Ba-Cu-O バルク体に比べて多いことを意味している。その散乱中心が磁束ピン止めに効果的であれば応用上有用である。そこで、本研究では、Dy-Ba-Cu-O バルク体の磁場中電気抵抗を測定し、磁束系の振る舞いから熱伝導率抑制の起源に対する知見を得ることを目的とする。なお、比較のために Y-Ba-Cu-O バルク体についても測定した。

2. 研究経過

バルク体は溶融法によって作製された。まず、REBa₂Cu₃O_{7- δ} (RE123)と RE₂BaCuO₅ (RE211) 焼結体を固相反応で作製した。両者を 1:0.4 の比率でよく混合した後、一軸加圧下でペレット状に整形し前駆体とした。Nd123 単結晶を種結晶として前駆体上面に配置し、一旦半溶融状態にしてから包晶反応下で結晶成長を行った。成長した結晶を短冊状に切り出し、400°C、1 気圧の酸素気流中で 1 週間熱処理を行った。電気抵抗は直流 4 端子法で測定した。磁場は c 軸に平行に印加した。

3. 研究成果

図 1 に Dy-Ba-Cu-O バルク体の電気抵抗の温度依存性を示す。電気抵抗は磁場の印加に伴ってブロードニングを示し、ゼロ抵抗への転移は連続的であった。図 2 に Y-Ba-Cu-O バルク体の電気抵抗の温度依存性を示す。ゼロ抵抗への転移が連続的なのは前者と同様であったが、抵抗曲線の曲率が前者とは異なり上凸であった。

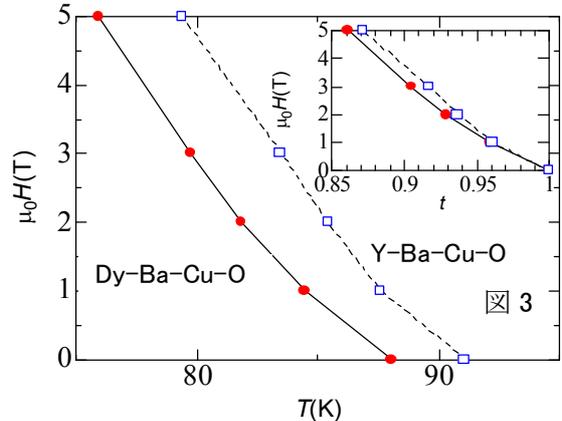
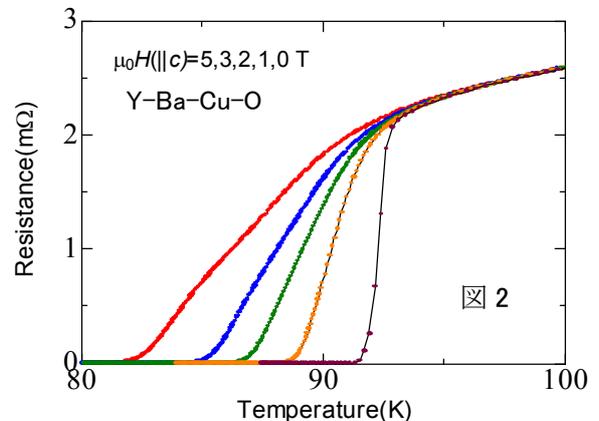
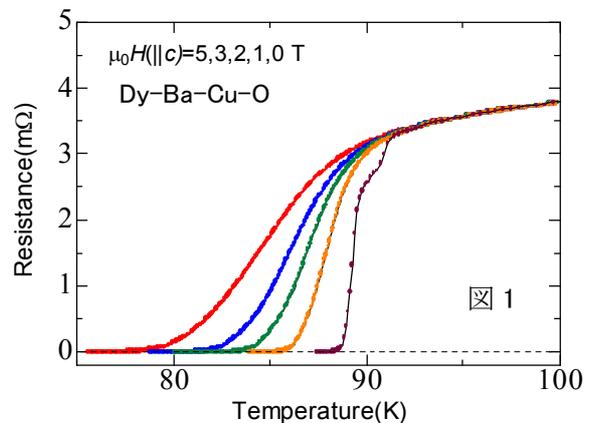
図 3 に Dy-Ba-Cu-O および Y-Ba-Cu-O バルク体の不可逆曲線を示す。挿入図は横軸を規格化温度 $t (= T / T_c)$ にしたものである。不可逆温度は電気抵抗がゼロになる温度で定義した。図から Dy-Ba-Cu-O バルク体の不可逆磁場が Y-Ba-Cu-O バルク体のそれに比べて低温・低磁場側に位置していることが分かる。電気抵抗の場合、不可逆曲線はグラス転移を反映するので、両者の位置関係は Dy-Ba-Cu-O バルク体の方が磁束の揺らぎを増大させる欠陥が多いことを示唆しており、熱伝導率の異常と矛盾しない結果である。

4. まとめ

今回、Dy-Ba-Cu-O および Y-Ba-Cu-O バルク体の磁場中電気抵抗を測定し磁束相図を作成した。その結果、前者の不可逆曲線は、後者のそれより低温・低磁場側にいることが分かった。これは、Dy-Ba-Cu-O バルク体のピン止めが強いことを意味しており、熱伝導率の異常な振る舞いがなんらかの結晶欠陥によってもたらされていることを示唆している。

5. 発表(投稿)論文

なし



高磁場 STM/STS 測定による 銅酸化物高温超伝導体における“隠れた秩序”の研究

佐賀大理工 真木 一
東北大金研 西寄照和、小林典男

1. はじめに

銅酸化物高温超伝導は、強相関効果に起因する反強磁性絶縁体にキャリアドーピングを施すことにより現れる。キャリア量の増加とともに、系の電子構造はフェルミ面をもつものへと変化するが、この機構の詳細は未だ不透明である。とくに低ドーピング領域で系が示す擬ギャップ的な振舞いについては、超伝導との関係と共に、その起源に強い関心が持たれている。この擬ギャップ領域では、電荷やスピンの低エネルギー励起が抑制されるばかりではなく、何らかの秩序形成を反映したと思われる現象も報告されており、基底状態として“隠れた秩序”の存在の有無が議論されている。実際に、低ドーピング領域の $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212)における走査型トンネル顕微鏡/分光法(STM/STS)実験では1次元短距離的な電荷秩序が見出された*。我々はこの“隠れた秩序”の素性を解明すると同時に、強相関電子系における普遍性を明らかにすべく $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO)で STM/STS 研究を行っている。

* Kohsaka *et al.*, Science (2007).

2. 研究経過

YBCOでは清浄測定表面を得るために試料を破断すると、BaO面とCuO鎖面の2つの原子面が終端となる。このうちBaO面では、その直下に位置するCuO₂面の情報を間接的に得ることができる。例えばCuO₂面のCuサイトの一部をNiで置き換えると、BaO面像にNi周りの局所的な電子状態変化を見ることができる。

BaO面が終端となるとき、キャリア(ホール)供給源であるCuO鎖面の欠損により、直下のCuO₂面はホールが不足した状態となる。我々はこの現象を利用して、低キャリア濃度のCuO₂面の電子状態を調べた。

3. 研究成果

YBCOの破断面(BaO面)のSTM像を右に示す。高バイアス印加時には比較的均一な原子像が見られる(a)が、バイアス電圧を下げると電荷密度分布に不均一性が現れる(b)ことがわかる。観測した電荷密度分布は長距離的な秩序を持たず、明確な1次元性を示す。この観測結果はBi2212で観測された局所状態密度分布と定性的に一致する。我々はこれを一種のグラス状態だと考えている。

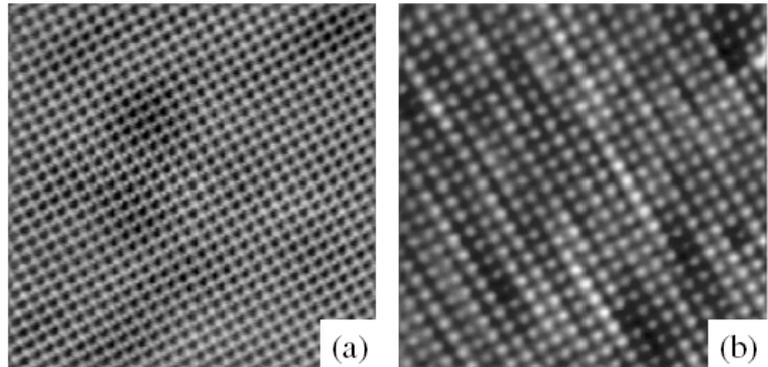


図 BaO面のトポグラフ像 (a) 1V, 20pA (b) -6mV, 20pA

この特異な電子状態の特徴は以下の通りである。まず、フェルミエネルギー近傍に局在した状態であること。この状態の安定性は不純物の存在と相関があるように見えること。Zn混入時はこれがエンハンスされる一方で、NiはZnほど影響を与えないことから、局所磁性との関係も予想されること。印加磁場に対しては(これまでのところ)顕著な変化を示さないこと。今後、さらなる理解に向けて、STSスペクトル分布の測定などが望まれるが、破断面の安定性が乏しく信号も弱いことから、装置の測定精度と安定性をより高める必要を感じている。

4. まとめ

YBCOのSTM/STS実験を行い、低ホール濃度のCuO₂面に1次元短距離的な電荷密度変調像を観測した。測定装置の改良と併せて、さらなる理解にむけた取組みを継続している。

5. 発表(投稿)論文

- “STM studies of electronic order in the underdoped surface of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ “, T. Nishizaki, N. Kobayashi and M. Maki, Int. J. of Modern Physics B21 (2007), 3199-3201.
- “One-dimensional electronic order in underdoped surface of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ studied by STM”, T. Nishizaki, M. Maki and N. Kobayashi, The Journal of Physics and Chemistry of Solids, in press.