

La_{2-x}Sr_xCuO₄系超伝導体単結晶の育成と渦糸系相転移

22209004 藤代研究室 上野康正

I. 研究背景

高温超伝導体では、大きな熱ゆらぎが渦糸格子状態と渦糸運動状態を劇的に変化させる。渦糸格子の相転移は重要な問題として集中的に研究が行われてきた。YBa₂Cu₃O_{6+y} (Y123) 系では異方性 (異方性因子 $\gamma^2 = 25 \sim 100$) が小さく、渦糸の CuO₂ 面間の相関が無視できないので、その系での渦糸格子は一次相転移を通して融解すると考えられている。融解とは、熱ゆらぎによって渦糸格子のせん断弾性率が減少し、渦糸が液体状となり自由に動き回るという考えである。Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+y} (Bi2212) 系では異方性 ($\gamma^2 = 3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4$) が大きく、渦糸の CuO₂ 面間の相関が無視でき、CuO₂ 面内の相互作用が支配的になるので、その系での渦糸格子一次相転移は気体への昇華と考えられている。高温超伝導体における渦糸状態の研究は Y123 系と Bi2212 系を中心に行われてきたために、異方性を系統的に変化させたときの渦糸状態は明らかになっていない。

La_{2-x}Sr_xCuO₄ (LSCO) 系では、Sr 置換量によって異方性を変化させることが可能であり、その異方性 ($\gamma^2 = 2 \times 10^2 \sim 4 \times 10^2$) は Y123 系と Bi2212 系の間なので、渦糸状態と異方性の関係を調査するには適した系である。その系の渦糸格子一次相転移については、Naito らは、 $x = 0.15$ の最適ドーピング試料について印加磁場 5 T までの研究を行った結果、融解が起こっていると報告した。しかし、Sasagawa らは低ドーピング試料から最適ドーピング試料について印加磁場 5 T までの研究を行った結果、昇華が起こっていると報告している。また、Iwasaki らは $x = 0.14$ の試料について研究を行い、5T を境に低磁場側では融解転移、高磁場側では昇華転移が起こっていることから、5T を境に三次元的渦糸から二次元的渦糸への crossover を主張した。このように LSCO 系では渦糸状態の解釈について意見が分かれており、Sr 置換量を低ドーピングから過剰ドーピングまで系統的に、つまり異方性を系統的に変化させた渦糸相図はまだ完成していない。そこで本研究では、異方性を系統的に変化させた LSCO 系における渦糸相図を完成させ、異方性と渦糸状態との関係を明らかにすることを目的に単結晶育成と各種物性測定を行った。

II. 実験方法

単結晶育成には溶媒移動浮遊帯域法(TSFZ)を用いた。仕込み量 $x = 0.09, 0.12, 0.15, 0.18$ の四つの組成の単結晶を作製した。結晶方位の決定には背面 Laue 法を用いた。物性評価は、磁化測定と磁場中電気抵抗率測定を行った。磁化測定における印加磁場の範囲は 0 ~ 5T であり、磁場中電気抵抗率測定における印加磁場の範囲は 0 ~ 15T であった。

III. 実験結果

TSFZ 法による単結晶育成に関しては、四種類全てにおいて単結晶を作製することに成功した。

磁場中電気抵抗率測定では、 $x = 0.12, 0.15, 0.18$ の試料におい

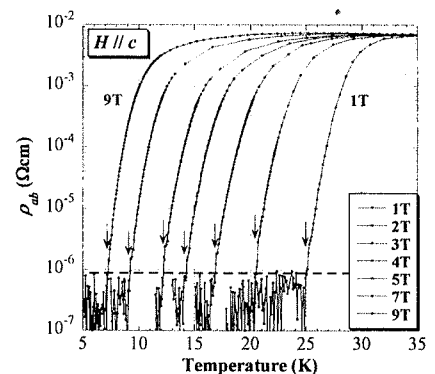


Fig. 1 Temperature dependence of resistivity in La_{1.88}Sr_{0.12}CuO₄ ($J=0.0063$ [A/cm²])

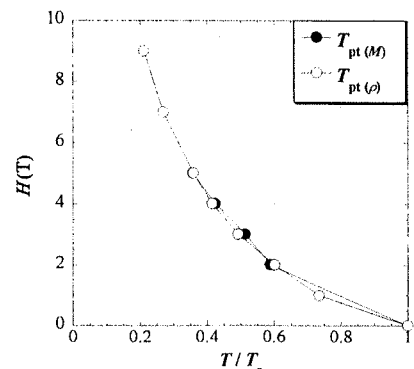


Fig. 2 H-T phase diagram at H // c in La_{1.88}Sr_{0.12}CuO₄

て渦糸格子の相転移を反映したと思われる異常（とび）が観測された。Fig. 1 に $x = 0.12$ の試料における磁場中電気抵抗率測定の結果を示す。図中の矢印において傾きが変化し、抵抗が急激に減少した。そのときの温度を相転移温度 T_{pt} と定義した。その電気抵抗率 ρ_{ab} の異常は、1~9T にて観測された。先ず ρ_{ab} の異常が熱力学的相転移を検知していることを示す。 $x = 0.12$ の試料における磁化測定では、可逆領域のある温度で傾きが変化する異常が、2~5 T にて観測された。両方の測定において異常が観測された温度について、Fig. 2 に横軸を超伝導転移温度 T_c で規格化した温度でプロットした渦糸相図を示す。●のプロットが磁化測定からの結果であり、○のプロットは電気抵抗率測定からの結果である。電気抵抗率測定において異常が観測された温度が、磁化測定におけるそれと一致したので、 ρ_{ab} の異常は、渦糸格子相転移のサインであると考えられる。 ρ_{ab} の異常を基に作成した渦糸相図を Fig. 3 に示す。融解理論における式 $H_m(T) \propto (1 - T/T_c)^n$ 、および昇華理論における式 $H_d(T) \propto (T_c/T - 1)$ の両方でフィッティングさせたところ、磁場が 5 T までは融解理論に当てはまり、5 T よりも大きな磁場では昇華理論が当てはまることがわかった。そのため、5~6 T の磁場で三次元的渦糸から二次元的渦糸へ crossover している可能性がある。また、1T において、Kwok らが Y123 系で観測したピーク効果と同様の現象を観測した。彼らは双晶を含んだ Y123 単結晶と非双晶 Y123 単結晶においてピーク効果を観測した。このピーク効果は、渦糸格子融解の起こる前ぶれ現象である。

$x = 0.15, 0.18$ の試料についても電気抵抗率測定と磁化測定の両方で異常が観測された。 $x = 0.15$ については、3~5 T のときに ρ_{ab} の異常が観測され、2~5 T のときに磁化測定にて異常が観測された。 $x = 0.18$ については、1~4 T のときに ρ_{ab} の異常が観測され、2~5 T のときに磁化測定にて異常が観測された。Fig. 4, 5 は横軸を超伝導転移温度 T_c で規格化した温度でプロットした渦糸相図である。 $x = 0.15, 0.18$ についても ρ_{ab} の異常が観測された温度は、磁化測定におけるそれとほぼ一致したので、 ρ_{ab} の異常は、渦糸格子一次相転移のサインであると考えられる。また、 $x = 0.15, 0.18$ における相転移線は、融解理論にフィッティングしたため、5 T までは三次元的渦糸状態であることがわかった。

IV. 結論

本研究では、LSCO 系における渦糸相図の作成し、異方性と渦糸状態の関係を明らかにすることを目的に研究を行った。磁場中電気抵抗率測定と磁化測定から $x = 0.12, 0.15, 0.18$ における渦糸相図を作成することができた。 $x = 0.12$ の試料については、5~6 T の磁場で三次元的渦糸から二次元的渦糸への crossover する可能性があることがわかった。また、 $x = 0.15, 0.18$ の試料については、5 T までは三次元的渦糸の状態であることがわかった。

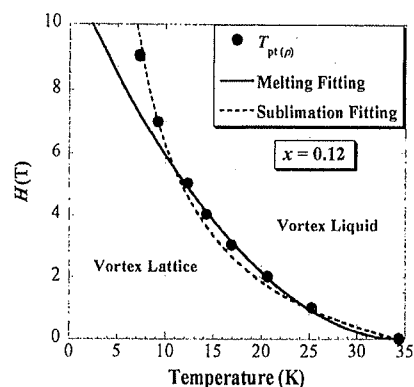


Fig. 3 H - T phase diagram by resistivity measurement at $H // c$ in $\text{La}_{1.88}\text{Sr}_{0.12}\text{CuO}_4$

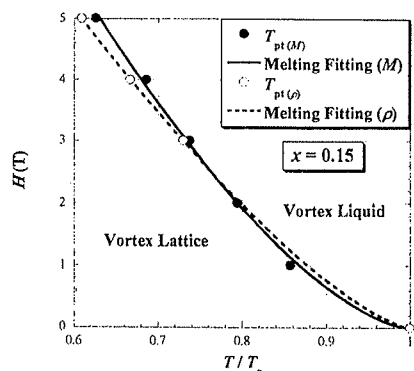


Fig. 4 H - T phase diagram at $H // c$ in $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$

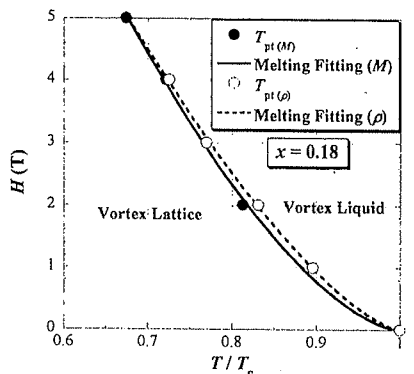


Fig. 5 H - T phase diagram in LSCO ($x = 0.18$) at $H // c$