Bi-2212 の磁場中面内抵抗率転移 Resistive transition of Bi-2212 under the magnetic field

弘前大・理工	臼井	友洋, 工藤 広信, 足立 伸太郎, 渡辺 孝夫						
東北大·金研	西嵜	照和,小林 典男						
岡山大·自然	工藤	一貴						
東北大•WPI	山田	和芳						
東北大・工	野地	尚,小池 洋二						
T. Usui ¹ , H. Kudo ¹ , S. Adachi ¹ , T. Watanabe ¹ ,								
	.2	3						

T. Nishizaki², N. Kobayashi², K. Kudo³, K. Yamada⁴, T. Noji⁵ and Y. Koike⁵
¹Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University
²Institute for Materials Research, Tohoku University, ³Okayama University
⁴World Primier International Reserch Center, Tohoku University
⁵Graduate School of Engineering, Tohoku University

1. はじめに

銅酸化物高温超伝導体の特徴の一つにコヒーレンス長 が従来の超伝導体に比べ非常に短いという点がある。コ ヒーレンス長は超伝導の秩序状態の空間的な広がりを表 しており、超伝導状態に形成されるクーパー対の相互作。 用の強さを表す超伝導ギャップの大きさと密接な関係が あるため非常に重要である。高温超伝導のクーパー対を 形成する機構を明らかにするためにコヒーレンス長や超 伝導ギャップのドーピング依存性の研究は重要であり、特 にアンダードープ領域における実験が様々な方法で行わ れ議論されている。

N. P. Ongらによって行われたネルンスト効果の実験[1] では、アンダードープ領域においてドーピング量の減少 に従いコヒーレンス長の大きさが減少する事が報告されて いる。これは、ペアリングの相関がドーピング量が小さい ほど大きくなることを示唆している。一方で、K. Tanaka ら によって行われた ARPES の実験[2]からは超伝導ギャッ プの大きさが直接分かり、アンダードープ領域でドーピン グ量が減少すると超伝導ギャップの大きさは小さくなる事 が報告されている。この結果は、ペアリングの相関はドー ピング量が小さいほど弱くなることを示唆している。このよ うに、実験によってクーパー対のペアリングの強さのドー ピング依存性については様々な報告がある。

本研究では、Bi-2212 の磁場中面内抵抗率転移を測定 し、解析を池田氏等による理論[3]を用いて行った。銅酸 化物高温超伝導体ではコヒーレンス長が非常に短いため 超伝導揺らぎの効果が超伝導転移温度 T。近傍の広い温 度範囲で見られる。池田氏の理論では磁場中の超伝導 揺らぎの効果による抵抗率転移を説明しており、解析から 面内コヒーレンス長 ξab と比熱の跳び ΔC が分かる。私達 は、Fig.1 に示すさまざまなドーピング量の試料を用いて 磁場中面内抵抗率測定を解析し、ξab のドーピング依存性 を調べた。

特に今回の目的は、アンダードープ領域における面内 コヒーレンス長のドーピング依存性を調べる事である。



Fig.1 In-plane resistivity of Bi-2212 single crystals for various doping levels.

2. 実験

測定する試料は Bi_{2.0+x}Sr_{2.0-x}CaCu₂O_{8+ δ} (X=0.1,0.2)、 Pb,Na 置換を行った Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr₂Ca_{0.925}Na_{0.075}Cu₂O_{8+ δ}を 使用した。単結晶の育成は溶媒移動型浮遊帯域(TSFZ) 法で行い、その後、酸素雰囲気下における熱処理を行い 広い範囲のドーピング量の試料を作製した。試料のドー ピング量 p は J. L. Tallon の式を用いて決定した。

$$\frac{T_c}{T_{c.\text{max}}} = 1 - 82.6(p - 0.16)^2$$

結晶の組成とドープ量は Table.1 にまとめた。

磁場中面内抵抗率の測定は直流四端子法で行い、実験は東北大学金属材料研究所の20T超伝導マグネットを 使用し、磁場の印加方向は H//c で行った。

解析は、初めに OT の面内抵抗率転移の解析を超伝導 揺らぎの Aslamazov-Larkin(AL)の式を用いて行う。その 際、超伝導揺らぎの効果を含まない裸の抵抗率 ρ_0 を仮定 する。OT の解析からは、平均場の転移温度 $T_{c0} \ge \rho_0$ が決 定される。この時の AL の式と実験値にフィッティングを行



う計算式ρを以下に示す。



磁場中の解析は池田氏等による理論式で計算した。 フィッティングから面内コヒーレンス長ξab、比熱の跳びΔC を決定する。



Fig.2 Fits of the in-plane resistivity data under various applied magnetic fields for Bi-2212 single crystals. The applied fields are parallel to the c-axis. The broken line shows the bare resistivity ρ_0 . The parameters used for the fits are listed in Table 1.

3. 結果と考察

1203-1 解析の結果

解析の結果、広いドープ領域で池田氏等の理論により、 Bi-2212 の磁場中面内抵抗率転移にフィッティングをする 事ができた。解析した結果はFig.2で実験値との比較を行 い、Table 1 でパラメータを比較している。

0Tの解析をする際、決定するρ₀の傾きは面内抵抗率の 高温側で見られる直線部の傾きよりも大きくとる必要があ ることが分かった。この傾向はアンダードープ側ほど大き くなる。これは、T。近傍の抵抗率の減少の振る舞いは超 伝導揺らぎの効果だけでなく擬ギャップが開くことで面内 抵抗率が減少するためだと考えられる。

以下では、特に磁場中の解析から得られた ξab と ΔC の 結果を示し考察する。

$\mathrm{Bi}_{1.6}$ Cu_2	$_{3}Pb_{0.4}Sr_{2}Ca_{0.925}Na_{0.075}$ $O_{8+\delta}$	$\operatorname{Bi}_{2.1}\operatorname{Sr}_{1.9}\operatorname{C}$	$CaCu_2O_{8+\delta}$	$Bi_{2.2}Sr_{1.8}CaCu_2O_{8^+\delta}$	
	Heavily over	Slightly over	Optimally	Slightly under	Heavily under
р	0.22	0.20	0.16	0.12	0.11
ξ_{ab} [Å]	18	10	10	16	18
$\Delta C \ [mJ/Kcn]$	n ³] 10	18	20	4	3

Table 1 Values of the various parameters

3-2 面内コヒーレンス長 ξab のドーピング依存性

ξ_{ab}はドーピング量の増加に従いアンダードープ領域では減少し、オーバードープ領域では増加していることが分かった。Fig.3でξ_{ab}とT_cのドーピング依存性の比較を示した。ξ_{ab}はT_cと逆相関している。

また、コヒーレンス長 ξと超伝導ギャップ Δ の間には以下 の関係がある。

$$\xi \approx \frac{\hbar v_F}{\Delta}$$

v_Fがドーピングによってあまり変化しないと仮定すると、 超伝導ギャップはドープ量の増加に従いアンダードー プ領域では増加しオーバードープ領域では減少して いる事になる。

3-3 ΔC のドーピング依存性

ΔC はドーピング量の増加に従いアンダードープ領域で は増加し、オーバードープ領域では減少していることが分 かった。ΔC は以下に示す式のように、フェルミ準位にお ける状態密度 N(0)と超伝導ギャップ Δ によって決まる。

$$\Delta C = N(0) \left(\frac{-d\Delta^2}{dT} \right)_{Tc}$$

アンダードープ領域とオーバードープ領域共に最適 ドープに比べて ΔC が減少するのは、超伝導ギャップが 減少しているからだと考えられる。また、特にアンダー ドープ領域で小さな値になるのは擬ギャップが開くた めフェルミ準位近傍の状態密度が減少することが大きな 要因になっていると考えられる。

4.まとめ

磁場中の面内抵抗率転移を池田氏等の理論で解析を 行い、広いドープ領域で Bi-2212 の実験値にフィッティン グをすることが出来た。解析した結果、面内コヒーレンス 長 ξab は Tc のドーピング依存性と逆相関している事が分 かった。クーパー対のペアリングの強さは最適ドープ領域 で最大になるようなドーピング依存性がある事を示してい



Fig.3 Doping dependence of in-plane the coherence length ξ_{ab} , the critical temperature Tc.

る。ペアリングの機構として反強磁性相互作用が有力と 考えられており、それによるとドーピング量の増加に従い クーパー対の広がりは大きくなっていくと予想される。しか し、今回の結果は逆の傾向であった。

参考文献

- [1]N. P. Ong et al., Science 299, 86 (2003).
- [2]K. Tanaka et al., Science 314, 1910 (2006).
- [3]R. Ikeda et al., J. Phys. Soc. Jpn. 60, 1051 (1991).