



## 18. 柱状欠陥を含む $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ の混合状態における 面間位相コヒーレンス変化

### Interlayer phase correlation of vortex system around at the coupling transition in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ containing columnar defects

東京大学大学院総合文化研究科 土屋良重, 安田英彰, 前田京剛

東京大学大学院工学系研究科 花栗哲郎

日本原子力研究所東海研究所 笹瀬雅人, 北條喜一

Argonne National Laboratory D. G. Steel, J. U. Lee, D. J. Hofman

## 1 はじめに

銅酸化物高温超伝導体の固有ジョセフソン結合構造に起因して存在するジョセフソンプラズマ振動の特徴的な周波数  $\omega_p$  は面間の位相コヒーレンスの強さを反映して変化する。従って、混合状態におけるジョセフソンプラズマ周波数の振る舞いから、渦糸の面間コヒーレンスの振る舞いに関する情報を得ることができる。とくに異方性の強い  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  では  $\omega_p$  はマイクロ波領域にあり、マイクロ波共鳴吸収として観測された [1, 2](ジョセフソンプラズマ共鳴)。その後の研究から物質の次元性やピンニング特性をよく反映しているということが明らかになってきている。

最近、 $c$  軸に垂直に重イオン照射によって柱状欠陥を導入した Bi-2212 でジョセフソンプラズマ共鳴の測定が行なわれ、柱状欠陥が磁束の面間コヒーレンスを大きく変えることが分かり [3]、さらに磁束液体相において、磁束液体の面間カップリング急激に変化する新たな相転移の存在が指摘された [4]。しかし、観測された現象をすべて説明できるような解釈はいまだ存在しない。本研究では、この磁束液体相での異常な振る舞いについて、ジョセフソンプラズマ共鳴と直流磁化の結果と、共同研究としておこなった柱状欠陥分布の TEM による直接観察の結果とをあわせて議論する。

## 2 実験方法

Bi-2212 単結晶は Floating Zone 法により作成し、800°C で 70 時間アニールの後、Argonne National Laboratory で 1.2 GeV  $^{238}\text{U}$  イオンを照射し、 $c$  軸に平行な柱状欠陥を導入した。柱状欠陥の直接観察は日本原子力研究所東海研究所の電子顕微鏡を用いて行ない、TEM 写真 (Fig. 1) より見積もった欠陥密度は  $6.3 \times 10^{10}$  ions/cm<sup>2</sup> である。これは等価照射磁場  $B_\phi = 1.2$  T に対応する。

ジョセフソンプラズマ共鳴の測定は、空洞共振器内にマイクロ波の電場が  $c$  軸に平行になるように試料を置き、一定周波数のマイクロ波照射下での磁場スイープ、あるいは温度スイープによる試料のマイクロ波吸収による温度変化を検出するボロメーター法により行なった。直流磁化測定は SQUID 磁束計を用いて行なった。印加磁場は共に  $c$  軸に平行である。

## 3 結果と考察

Figure 2(a) に、磁束液体領域での測定結果に見られたダブルピーク構造をしめす。このダブルピークは磁束液体相のかなり広い温度領域に見られ、この2つのピークの境界は磁場温度平面

上でほとんど水平、つまり温度依存性がないということが分かる (Fig. 2(b))。これは最近のコンピュータシミュレーションの結果と一致する [5]。

特徴的なこととして、カップリング磁場  $B_{cp}$  直下の磁場  $B^*$  にほとんど温度依存しないピークシリーズが存在することが分かる (Fig. 3)。これは、 $\omega_p$  の磁場依存性と対応させて考えると、 $B^*$  で面間位相相関の急激な減少が起っていることを示すものである (Fig. 4)。これに対して、磁化測定の結果からは不可逆温度  $T_{irr}$  のリエントラントな振る舞いが観測された (Fig. 5)。Fig. 3 にはこの不可逆線をジョセフソンプラズマ共鳴ピークの位置と共にプロットしてあるが、ちょうど  $B^*$  が不可逆線の upturn の位置に対応している。このことは、 $B^*$  において、面内の臨界電流の増大と面間位相コヒーレンスの急激な減少が同時に起こっているという可能性を示唆する。

$B_{cp}$ 、 $B^*$  といった異常のおこる磁場は  $B_\phi$  よりもかなり低い。なぜこのような低い磁場でおこるのかについてはあきらかではないが、Fig. 1 の柱状欠陥の TEM 写真から分かるように欠陥の分布は非常に不均一であり、この不均一さが  $B_\phi$  に対して低い磁場での異常と関連があるものと考えている。

### 参考文献

- [1] O. K. C. Tsui *et al.*, Phys. Rev. Lett. **73**, 724 (1994).
- [2] Y. Matsuda *et al.*, Phys. Rev. Lett. **75**, 4512 (1995).
- [3] T. Hanaguri *et al.*, Phys. Rev. Lett. **78**, 3177 (1997).
- [4] M. Kosugi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **79**, 3763 (1997).
- [5] R. Sugano *et al.*, Phys. Rev. Lett. **80**, 2925 (1998).

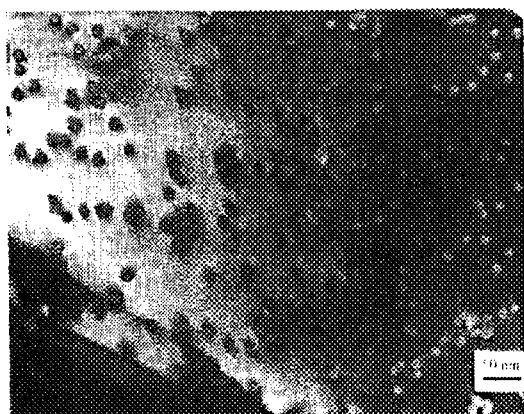


Fig. 1

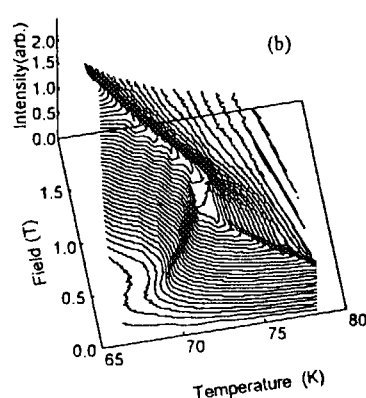
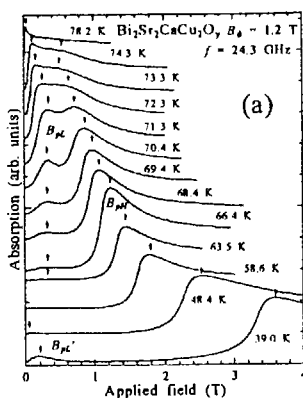


Fig. 2

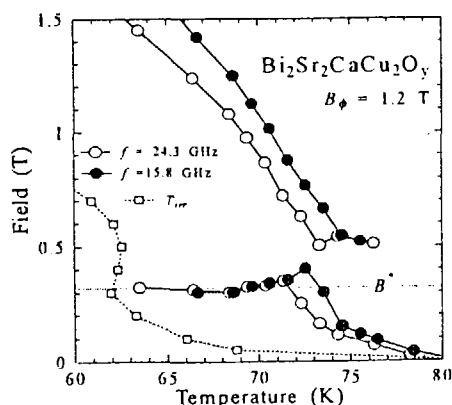


Fig. 3

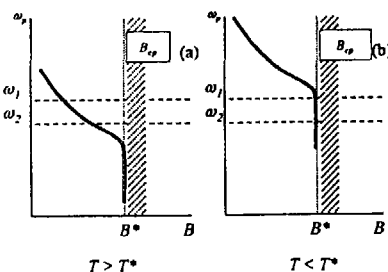


Fig. 4

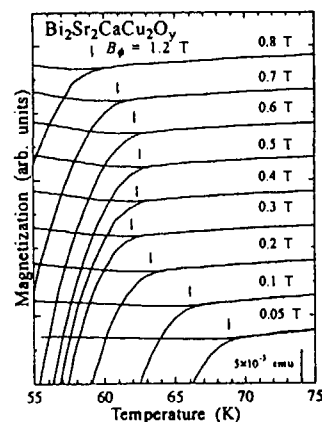


Fig. 5