

Bi-2212 超伝導体の次元性と凝縮エネルギー密度

小田部研究室 富田美華

1. はじめに Bi-2212超伝導体は機械的に容易に c 軸を配向させることが可能であり、線材への応用が期待されている。しかし、超伝導体に電気抵抗ゼロで流せる電流密度である臨界電流密度 J_c が高温、高磁界で小さいという問題がある。超伝導体内で電気抵抗が発生する理由は、磁束線が通電により生じたローレンツ力により動き、電界が発生するからである。この磁束線の動きを止めることにより抵抗の発生を防ぐことができる。磁束線の動きを止める力をピン力といい、ピン力の発生源をピンという。ピン力の強さは凝縮エネルギー密度 $B_c^2/2\mu_0$ により決定され、この $B_c^2/2\mu_0$ は超伝導体の次元性の影響を強く受ける。Bi-2212超伝導体は2次元性が非常に強いため他の超伝導体に比べ $B_c^2/2\mu_0$ がかなり低い。これがBi-2212の J_c が小さい理由である。また、ピンには超伝導体作成時に元来含まれる酸素欠損、結晶界面や重イオンを照射することにより導入される柱状欠陥などの種類がある。

本研究では、酸素ドーピング状態の違う4つのBi-2212超伝導試料にIイオンを照射して円柱状欠陥を導入して得られた臨界電流密度の磁界依存性を測定し、その測定結果を磁束クリープ理論による理論値と合わせることで、クリープがないとした場合の仮想的な臨界電流密度 J_{c0} を求めた。次に、要素的ピン力の加算理論を用いて、求めた J_{c0} から要素的ピン力を求め、それから $B_c^2/2\mu_0$ を求めた。この結果より超伝導体の次元性と $B_c^2/2\mu_0$ の関係を考察した。なお、酸素欠損や結晶界面などのピンはサイズや数密度が特定できなかったため、 $B_c^2/2\mu_0$ は今まで定量的に評価されたことはなかった。

2. 実験 試料はFZ法により作成されたBi-2212単結晶を用いた。ドーピング条件を変え試料A、B、C、Dの順に3次元的な超伝導体にした(表1参照)。

測定はSQUID磁力計を用いた。試料の c 軸方向に磁界をかけて直流磁化測定を行い、観測された磁気モーメントから J_c を求めた。また、 J_c が 1.0×10^7 A/m²に減少する磁界で不可逆磁界 B_i を決定した。異方性パラメータ γ_a^2 はピーク磁界 B_p と $\gamma_a^2 = \phi_0/B_p s^2$ の関係式¹⁾から評価した。ただし、 ϕ_0 は磁束量子、 s は超伝導層間距離(1.5nm)である。 γ_a^2 が小さいほど3次元的な超伝導体であることを意味する。

表1. 各試料の諸元

試料	ドーピング条件	γ_a^2	T_c
A	アンダードーピング	34800	87.0 K
B	最適ドーピング	21800	88.9 K
C	弱いオーバードーピング	16100	84.6 K
D	強いオーバードーピング	8700	78.4 K

3. 結果および検討 上述の解析方法で求めた各試料およびY-123²⁾の $B_c^2/2\mu_0$ の温度依存性を図1に示す。全温度領域で、超伝導体が3次元になるほど $B_c^2/2\mu_0$ は大きくなっており、定性的な結果と一致した。Bi-2212は高温領域でY-123より $B_c^2/2\mu_0$ が小さい。しかし、 $B_c^2/2\mu_0$ の増加率は大きく、 $T/T_c = 0.2$ でY-123の $B_c^2/2\mu_0$ と一致した。これは低温領域でBi-2212は超伝導特性が良くなることを示唆している。次に、 $B_c^2/2\mu_0$ と γ_a^2 の関係を図2に示す。 γ_a^2 が小さくなるほど $B_c^2/2\mu_0$ が大きくなるという結果を得た。この傾向はこれまで定性的に言われてきたことであるが、今回はじめて定量的に明らかにすることができた。

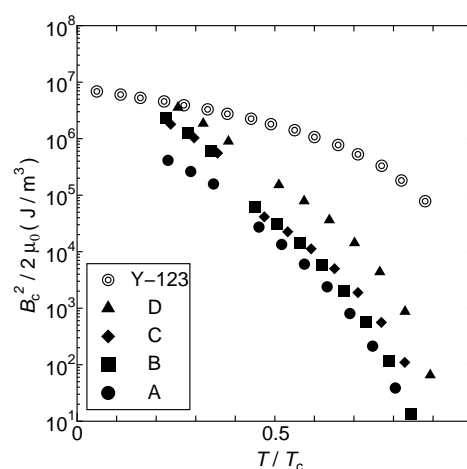
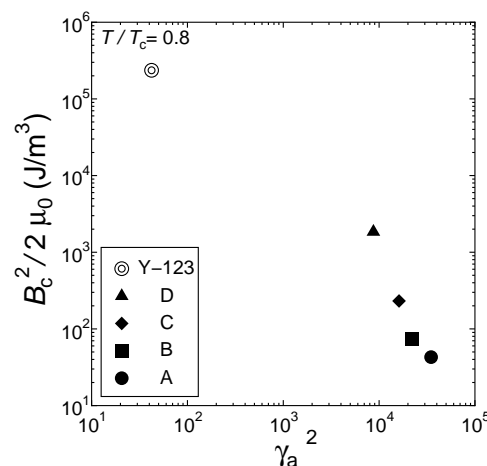


図1 凝縮エネルギー密度の温度依存性。

図2 $T/T_c = 0.8$ における凝縮エネルギー密度と異方性パラメータの関係。

【参考文献】

- 1) V. M. Vinokur *et al.*; Physica C **168** (1990) 29–39.
- 2) L. Civale *et al.*; Phys. Rev. Lett. **67** (1991) 648.