

異方性の小さい Bi-2212 超伝導体の凝縮エネルギー密度

00232012 松下研究室 今田 丈貴

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の最大値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、磁界中において超伝導体に電流を流すと、内部の磁束に Lorentz 力が働き、この力によって量子化磁束が動き、誘導起電力が生じる為である。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 超伝導体は絶縁的なブロック層が厚く異方性が高いため、他の超伝導体に比べて凝縮エネルギー密度 $B_c^2/2\mu_0$ がかなり低い。これが Bi-2212 超伝導体の J_c が小さい理由である。

一般に J_c 特性の向上のためには強いピンを高濃度で導入する必要があるが、そうしたことが可能かどうかを判断する上で、凝縮エネルギー密度の評価が重要である。

本研究では、異方性の違う 6 つの Bi-2212 超伝導試料に重イオンを照射して円柱状欠陥を導入し、得られた臨界電流密度から円柱状欠陥のピン力を予想し、凝縮エネルギー密度を評価した。それにあたって、測定した臨界電流密度から磁束クリープによって劣化する以前の仮想的臨界電流密度 J_{c0} を求めるのに、磁束クリープ理論を用いた。また J_{c0} から個々の円柱状欠陥のピン力を求めるのに加算理論を用いた。その結果から $B_c^2/2\mu_0$ を求め、超伝導体の異方性と $B_c^2/2\mu_0$ の関係を考察した。なお、このような解析が可能なのは円柱状欠陥の場合、サイズや数密度が分かるからである。

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。酸素ドーピングの条件を変え、試料 A → F の順に 3 次元的な超伝導体にした (表 1 参照)。

試料の c 軸方向に磁界をかけて SQUID 磁力計により直流磁化測定を行い、観測された磁気モーメントのヒステリシスの大きさから 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。通常、臨界電流密度は磁界の増加と共に単調に減少するのに対し、ある磁界 B_p でピークをもつことがある。これをピーク効果といい、異方性パラメータ γ_a^2 はすべての試料でピーク効果を観測できる $T/T_c=0.25$ におけるピーク磁界 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。

3. 結果および検討 上述の解析方法で求めた各試料の $B_c^2/2\mu_0$ の温度依存性を図 1 に示す。参考のため Bi-2212 に比べ 3 次元性のかなり高い Y-123 超伝導体の実験結果とも比較した²⁾。

全温度領域で、異方性が小さくなるほど $B_c^2/2\mu_0$ は大きくなっていった。また Bi-2212 の $B_c^2/2\mu_0$ は高温領域で Y-123 よりはるかに小さい。しかし、低温にいくほど $B_c^2/2\mu_0$ が大幅に増加し、 $T/T_c = 0.2$ で Y-123 の $B_c^2/2\mu_0$ に近い値を得た。さらに全試料の中で特に異方性の小さい試料 E、F について、Y-123 の $B_c^2/2\mu_0$ を超える結果が得られた。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。このことは低温における Bi-2212 超伝導体の高いポテンシャルを示すものである。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。このことより、これまでの予想が定性的に正しいことが示された。

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
E	さらに強いオーバードーピング	4400	75.1 K
F	強いオーバードーピング	4400	74.2 K

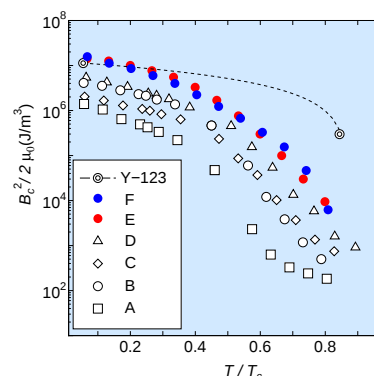
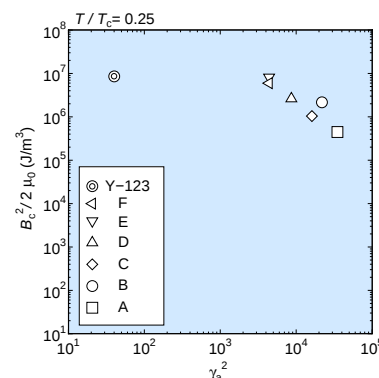


図 1 凝縮エネルギー密度の温度依存性。

図 2 $T/T_c = 0.25$ 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.