

# Bi-2212 薄膜の不可逆磁界の膜厚依存性に関する研究

01674079 松下研究室 和田 浩志

**背景と目的** 一般に酸化物超伝導体にはその結晶構造から臨界電流密度や不可逆磁界に異方性があることが知られている。最も異方性が強く、2次元的なBi-2212超伝導体は異方性が弱い3次元的なRE-123系(RE: Y, Sm等)の超伝導体に比べ、不可逆磁界が低い。これを説明するモデルとしてパンケーキ磁束モデルがある。しかし、このパンケーキ磁束モデルによると不可逆磁界は超伝導層間距離、つまり結晶構造によって決定されるという。もしそうなら2次元超伝導体の特性改善が非常に困難なものになってしまう。

一方で、3次元的なY-123やSm-123超伝導体においてガラス-液体転移温度や不可逆磁界が試料サイズの影響を受けているという報告がある。さらに、中磁界領域で臨界電流密度 $J_c$ がブロードなピークをもつピーク効果が知られているが、Sm-123では試料サイズが小さくなるとピーク効果が消失することが報告されている<sup>1)</sup>。このことはY-123などのピーク効果が磁束線系のdisorder転移によって起るものであることを示し、ピーク効果の消失が試料のサイズの変化によるピンニングの次元性の変化によるものであることを強く示唆している。このことから最も2次元的なBi-2212においても試料サイズが不可逆磁界や臨界電流密度に強く影響しているのではないかと考えられる。

そこで本研究では最も2次元的な超伝導体であるBi-2212薄膜の厚み依存性を調べるために様々な厚さのBi-2212薄膜、及び単結晶の磁化測定を行い臨界電流密度、不可逆磁界を評価し、磁束クリープ理論を用いて検討する。なお、Bi-2212単結晶試料のピーク効果は、磁束線系の次元のクロスオーバーに起因するものである。ここではそうしたBi-2212におけるピーク効果及び不可逆磁界に対する試料の厚さの影響について考える。

**実験** 試料はBi-2212薄膜と単結晶を用いた。Bi-2212薄膜試料は、レーザーアブレーション法によりMgO基板上に作製されたものである。厚さはそれぞれ約0.1, 0.2, 0.5, 1.0  $\mu\text{m}$ で臨界温度 $T_c$ はそれぞれ、60, 72, 82, 79 Kである。Bi-2212単結晶試料はKClフラックス法により作製されたものを用いている。厚さはそれぞれ、5.0, 10  $\mu\text{m}$ 、 $T_c$ は86, 88 Kとなっている。各試料とも $c$ 軸は試料の広い面に垂直に配向してある。

測定はSQUID磁力計を用いて $c$ 軸に平行に磁界をかけ、直流磁化を測定した。臨界電流密度 $J_c$ は磁化のヒステリシスから見積もり、不可逆磁界 $B_i$ は $J_c$ が $1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ に減少する値で決定した。

**結果及び検討** 図1に20 Kにおける試料の厚さが0.5~5.0  $\mu\text{m}$ の試料の臨界電流密度を示す。図から厚さが0.5  $\mu\text{m}$ の試料ではピーク効果が生じておらず磁界の増加とともに単調に減少しているのに対して、厚さが1.0  $\mu\text{m}$ 以上になるとピーク効果が生じている。このピーク効果は磁束線の2次元-3次元転移によるものと考えられる。したがってこの転移が起こるためにある臨界厚があることが明らかとなり、その臨界の厚みは約1.0  $\mu\text{m}$ であることが分かった。これは同様なBi-2212単結晶の縦方向弾性相関距離 $l_{44}$ よりもはるかに短い。したがって磁束線の2次元-3次元転移は磁束線内の常伝導核が外側の磁束よりも短い距離で変形することによって起こるものと考えられる。つまり、臨界電流密度は磁束の常伝導核の変形の特性長によって決定されることが分かった。

また、図2に20 Kにおける不可逆磁界 $B_i$ の厚み依存性を示す。図からわかるように不可逆磁界は

試料の厚さがピーク効果の消失する臨界の厚みを越えても厚さに依存している。このことから不可逆磁界は試料の厚さが磁束線の縦方向弾性相関距離、つまり縦方向磁束バンドルサイズを越えるまで不可逆磁界が増加すると予想でき、不可逆磁界が磁束の変形の特性長 $l_{44}$ によって決定されていると考えられる。

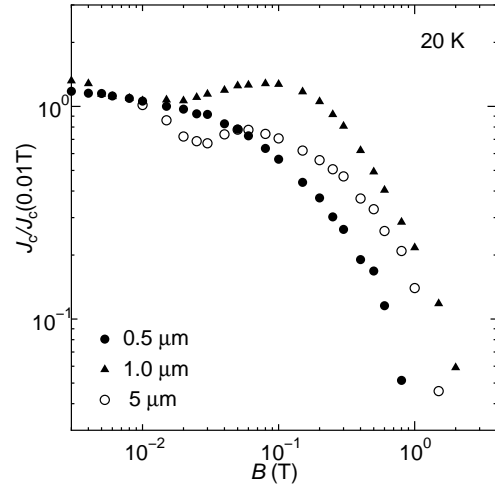


図1：20 Kにおける $J_c(0.01 \text{ T})$ で規格化した臨界電流密度。

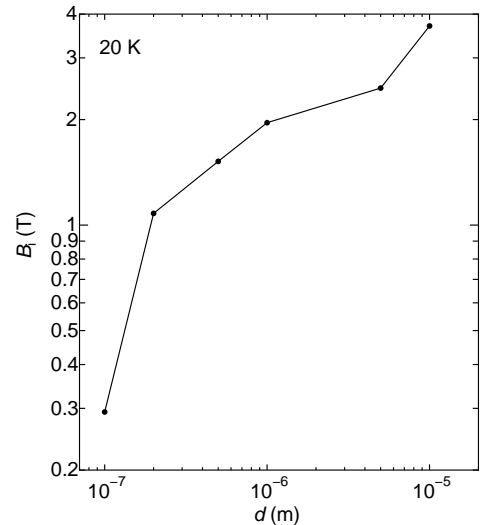


図2：20 Kにおける不可逆磁界の膜厚依存性。

**【参考文献】**

1) T. Matsushita, E. S. Otabe, H. Wada, Y. Takahama and H. Yamauchi: *Phys Rev B* (2003)

**研究業績**

- (1) 九州地区超伝導理工学研究会, 2001年8月
- (2) 応用物理学会, 2001年秋, 2002年春
- (3) International Symposium on Superconductivity, Sep. 2001, Nov. 2002
- (4) 電気学会九州支部, 2001年, 2002年
- (5) 低温工学超伝導学会 2001年秋, 2002年春, 秋
- (6) 応用物理学会九州支部 2001年, 2002年