

超伝導 Bi-2212 薄膜の不可逆磁界に関する研究

松下研究室 B4 和田 浩志

序論 臨界電流密度 J_c がゼロの領域とゼロでない領域の境界の磁界である不可逆磁界は磁束ピンニング力と超伝導体の次元性に依存することが知られている。しかし、Bi-2223 超伝導体においてピンニング力の強い薄膜の方がピンニング力の小さいテープ線材より不可逆磁界が小さいという報告がされている。このことは磁束クリープ理論におけるバンドルサイズの違いによって説明される。つまり、薄膜では縦方向磁束バンドルサイズが膜厚によって制限されるためである。

これは2次元的な超伝導体においても磁束線が長さ方向に強く結合していることを示しており、この推測は常伝導核が絶縁のブロック層で切れ切れになっていると仮定されるパンケーキ磁束モデルによる予想とかなり異なる。実際に磁束線の縦方向の弾性相関距離は CuO_2 層間の距離よりはるかに大きいことが知られており、上述の考えと反持する。

以上の推論を確かめるために最も2次元的な Bi-2212 超伝導体において不可逆磁界の厚さ依存性を直接調べる。本研究では、厚さの異なる2つの Bi-2212 薄膜の不可逆磁界を測定した。また、この結果を厚みの異なる超伝導体と比較するために銀シース Bi-2212 超伝導テープにおける従来の測定結果と比較する。

実験 今回の実験で用いた試料はレーザーアブレーション法を用いて作製した Bi-2212 薄膜で、厚さの異なる2つの薄膜を用いた。厚さはそれぞれ Sample1 は約 200 nm で Sample2 は約 100 nm である。また、臨界温度 T_c はそれぞれ 72 K、60 K で、 c 軸は試料の広い面に垂直に配向している。作製条件は、ターゲットと基板の距離は共に 5cm 程度、400 mTorr の酸素ガス圧中で MgO 基板上に作製している。Sample1 は KrF エキシマレーザーで波長は 248nm、パルス幅は 20nsec、パワーは 240-280mJ で作製されたものである。Sample2 は Nd:YAG レーザーの4倍波で波長は 266nm(基本波 1064nm)、パルス幅は 4.6nsec、パワーは 80-90mJ で作製されたものである。

c 軸方向に直流磁界を印加し、SQUID 磁力計を用いて観測した磁気モーメントから臨界電流密度 J_c を求めた。また、 J_c が $1.0 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ に減少する磁界で不可逆磁界を決定した。

結果及び検討 図1に Sample1 と Sample2 における不可逆磁界の規格化温度依存性を示す。Sample2 の不可逆磁界は温度の減少とともに減少し、Sample1 より低くなった。この結果を超伝導層の平均の厚さが約 $5 \mu\text{m}$ (Tape1) と約 $10 \mu\text{m}$ (Tape2) の銀シース多層 Bi-2212 テープ線材の不可逆磁界と比較する。臨界温度はそれぞれ 86.0 K、90.0 K である。この結果も図1に示す。

不可逆磁界は Tape1 が最も高く、その他のものは超伝導体の厚さが減少するにつれ不可逆磁界も単調に減少している。これは磁束クリープモデルによる予想におおまかに一致する。

図2に $T/T_c = 0.42$ におけるそれぞれの試料の不可逆磁界の厚さ依存性を示す。不可逆磁界の厚さ依存性の数値解析では、各試料についてそのピンニングパラメータを不変とし、仮想的に厚みのみを変化させて磁束クリープ・フローモデルを用いて解析を行った。その数値解析の結果は図2に各々の線で示し、実験値を点で示す。不可逆磁界は、通常超伝導体の厚さ d の増加とともに増加し、 d が縦方向磁束バンドルサイズ L より大きくなると飽和する。実験結果は磁束クリープ・フローモデルの予想に従っていると判断され、不可逆磁界は d が L より小さい場合には厚み依存性をもつことがわかる。

以上の結果はパンケーキ磁束モデルの予想と矛盾する。すなわち、磁束線は最も2次元的な Bi-2212 超伝導体においてでさえも長さ方向に強く結合していると結論される。

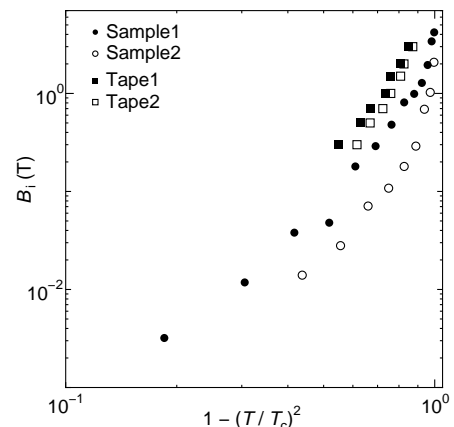
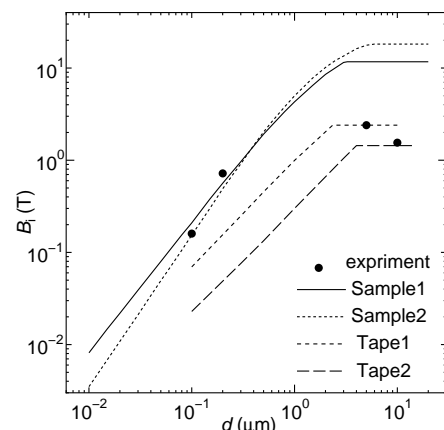


図1 不可逆磁界の磁界依存性

図2 $T/T_c = 0.42$ における不可逆磁界の厚さ依存性