Bi-2223 銀シース線材の超低電界領域における輸送特性と不可逆磁界

福田 光洋 (93232073) / 松下研究室

1. はじめに　高温超伝導体の応用には、直流定常状態 (永久電流モード) から交流電流下に至るまで様々な場合が考えられ、それに対応して超伝導体に加わる電界の領域は大きく異なる。一方、こうした電界は流れる電流密度と密接な関係があり、高温超伝導体を用いた機器の特性は、その材料の電界 (E)- 電流密度 (J) 特性に左右される。しかしながら、高温超伝導体の広い電界領域にわたった E-J 特性の評価はまだ十分に明らかにされておらず、その電界発生の機構やそれに対するピンの分布の影響について詳細な知見が得られていない。本研究では、超伝導 Bi-2223 銀シーステープ線材について、SQUID を用いて磁化の緩和を測定し、超低電界領域の E-J 特性の評価を行うとともに、ピン力の分布を考慮した磁束クリープ・フローモデルによる理論結果との比較を行った。また E-J 特性のスケーリングの解析を行い、重要なパラメーターである臨界指数について調べた。さらに臨界電流密度がゼロとなる不可逆磁界をこの磁化の緩和から求め、他の測定方法との比較を行った。

2. 実験　試料は、超伝導 Bi-2223 銀シーステープ線材で、幅 3.7 mm、厚さ 270 μm であり、4.2 mm の長さに切断して用いた。線材内部のフィラメントを観測したところ、平均の幅 w、厚さ d は、それぞれ 320 μm、11 μm であり、フィラメント数 f は 59 であった。また、直流磁化率より求めた臨界温度 T_c は 110 K であった。実験では 40 K から 83 K までの各温度において試料の c 軸方向に直流磁界をかけて、一旦、試料に磁束を十分にトラップさせ、様々な一定磁界まで減少させた後の磁化の緩和測定を行った。すべての測定は SQUID 磁力計 (MPMS-7) を用いて行った。測定された磁気モーメント m から電流密度 J が、またその時間変化から電界 E が求まる。但し、すべてのフィラメント内の磁束分布が Bean モデルで記述されるような臨界状態にあるものとして考える。

3. 結果及び検討　上記の計算手法に基づき得られた $T = 40$ K での E-J 特性と、磁束クリープ・フローモデルにより得られた理論値との比較を図 1 に示す。この結果より、SQUID 磁力計による測定では、四端子法の測定 ($\sim 10^{-4}$ V/m) に比べて 6 から 7 桁も低い電界領域での定量的測定が可能であることが分かる。また実験値と理論値でのほぼ定量的な一致を示した。さらに E-J 曲線が、超低電界領域においてもスケーリングが可能であることを示した。各温度における z と ν を同様に評価したところ、z においては温度依存性が見られた。しかし E-J 曲線の理論値をスケーリングさせた結果、z と ν には実験値との不一致が見られた。このことは簡単のために磁束バンドルの大きさを表すパラメータの電界領域、温度、磁界に対する依存性を無視したためと考えられる。

図 2 は得られた E-J 曲線から不可逆磁界を測定した結果であり、他の測定方法よりも低い電界レベルでの不可逆磁界が得られた。

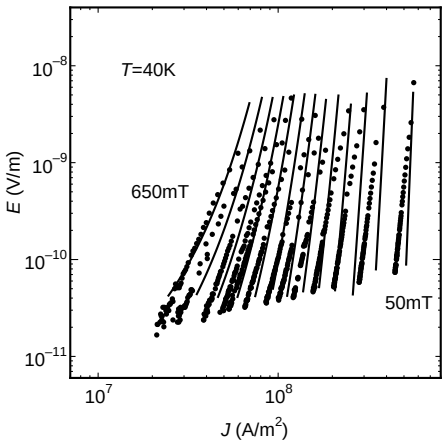

図 1 温度 40K における E-J 曲線の実験値 (黒丸) と理論値 (実線) との比較。

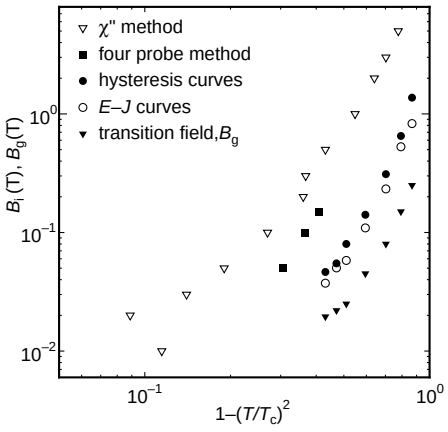

図 2 不可逆磁界。