Bi-2212 酸化物超電導体の c 軸方向の磁束線弾性相関距離

九工大・情報工　大和 秀好, 木内 勝, 松下照男

はじめに　Bi 系超電導体は結晶の c 軸を容易に配向させることができることより、線材化への応用が期待されているが、高温・高磁界におけるピンニング力が弱く、さらに結晶構造による二次元性により熱活性化の影響が大きいことが知られている。この二次元性を議論する上で磁束線が CuO_2 面間のブロック層で切れるという、パンケーキ磁束モデル[1] が提案されている。しかし、このモデルから予想されるピンニング・ポテンシャルは極めて小さくなるが、最も二次元性が強い Bi-2212 超電導体でもピンニング・ポテンシャルの値は三次元的 Y-123 の値とわずかしか違わない[2]。Bi-2212 のピンニングが元来弱いことを考えると、このことは磁束線は長さ方向にかなり強く結合していることを示唆する。本研究では、Bi-2212 超電導単結晶試料に c 軸方向に磁界をかけたときの磁束線の長さ方向の弾性相関距離を直接測定し、この結果と測定した臨界電流密度 J_c の値を用いて予想される理論値を比較する。またこれらの結果より導かれる見掛けのピンニング・ポテンシャル U_0^* を磁化緩和の実験結果と比較し、磁束線の振る舞いについて検討を行う。

測定　試料は 5 mm × 1.5 mm × 0.1 mm 程度の Bi-2212 単結晶超電導体で、c 軸は広い面に垂直に配向し、その臨界温度 T_c は 91.0 K であった。弾性相関距離の測定は AC 法で行なった。測定では試料の c 軸方向に直流磁界を印加し、これに垂直に振幅 b_0 の微小な交流磁界を加えて、試料表面における磁束線を振って、その応答をピックアップ・コイルを用いて測定し、交流磁界の侵入深さ λ' を求めた。この b_0 - λ' 曲線の $b_0 \to 0$ の極限の λ' の値から磁束線の長さ方向の弾性相関距離 l_{44} が、曲線の傾きから $1/\mu_0 J_c$ が得られる。また、SQUID により、c 軸方向の磁化の緩和を測定し、その緩和率から見掛けのピンニング・ポテンシャル U_0^* の評価を行った。

結果及び検討　図 1 に各温度における弾性相関距離の磁界依存性を示す。図 1 から磁束線の長さ方向の弾性相関距離は数 ~ 数十 μm のオーダーであり、CuO_2 面間距離が数 nm であるのに比べて 4 桁も大きく、また温度および磁界に依存している。この測定結果は測定された臨界電流密度から得られる理論結果とも定性的および定量的に一致した。図 2 に見掛けのピンニング・ポテンシャル U_0^* の実験値 (●) と理論値 (○) を示す。理論値が実験値より多少大きいものの数十 meV のオーダーで、両者はほぼ定量的に一致した。以上の結果より磁束線は CuO_2 面で切れ切れになった、パンケーキ状態にはなっておらず、長さ方向に強く結合していると考えられる。したがってピンニング特性向上のためには個々のパンケーキ磁束ををピン止めする必要がなく、金属系と同様なピンニングセンターの導入で十分であることが結論される。

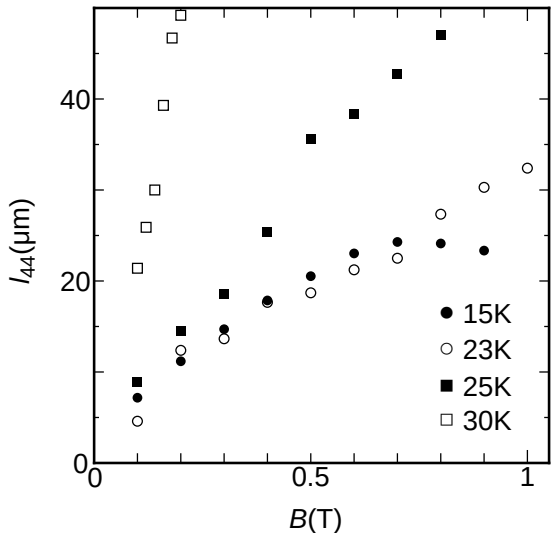

図 1. 各温度での弾性相関距離の磁界依存性。

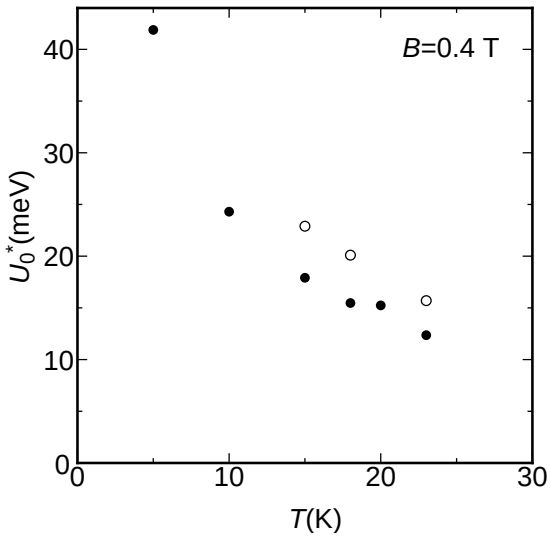

図 2. 見掛けのピンニング・ポテンシャル U_0^* の実験値 (●) と理論値 (○)。

【参考文献】

1) J. R. Clem: Phys. Rev. B **43** (1991) 7837.

2) S. Hayashi *et al.*: *Adv. Supercond.. IV* (Springer-Verlag, Tokyo, 1992) p. 369.