

1.序論

一定温度で行う超伝導バルクの磁場中冷却着磁(FCM)においては、超伝導バルク内のピン止め力 F_p (または臨界電流密度 J_c) の増加により捕捉磁場 B_T の向上が期待される。同様の効果はパルス着磁(PFM)においても期待できるが、ピン止め力の大きなバルクでは、ピン止め損失による大きな発熱も考えられ、大きな温度上昇を伴う PFM ではピン止め力と捕捉磁場の関係には不明な点が多い。これまで本研究室では、強いピン止め力を有する超伝導バルクを用いて PFM による捕捉磁場の向上を検討してきたが、FCM により高い捕捉磁場を示すバルクにおいても、ピン止め力分布の不均一なため PFM では必ずしも捕捉磁場が向上しないという結果を得ている。ピン止め力分布の不均一は、面内では成長領域(GSR)と成長境界領域(GSB)の違いとして現れるが、厚さ方向のピン止め力の不均一は、微小試料を切り出して磁化測定を行う以外、捕捉磁場特性としてはこれまで調べられていなかった。本研究では、直径 45mm、厚さ 19.5mm の Gd 系超伝導バルクを厚さ方向に 3 枚にスライスし、厚さ 6.5mm の各スライス板、及びスライス板を重ね合わせた場合のパルス着磁特性を調べた。面内の捕捉磁場分布特性が厚さ方向にどのように変化しているかを明らかにする。

2.実験方法

本研究では、SRL-ISTEC で作製した GdBaCuO 系超伝導バルク(直径 45mm、厚さ 19.5mm、 $B_T^{FCM}=1.8T$ at 77K)を厚さ方向に 3 枚にスライスし、厚さ 6.5mm のスライス板バルクとした。このスライス板を上部からそれぞれ Bulk-1、Bulk-2、Bulk-3 とする。このスライス板を、パルス着磁装置に設置し、それぞれのバルク板の実験を行った。

各スライス板は、 $T_s=40\sim 60K$ に伝導冷却され、ソレノイド型パルスコイルを用いて、印加磁場 $B_{ex}=2.0\sim 5.8T$ の範囲で同一パルス着磁(SPA)を行った。SPA 法は合計 3 発のパルス磁場を印加し、それぞれ No.1 pulse、No.2 pulse、No.3 pulse と表記する。バルク表面から 1.0mm 上方の捕捉磁場を、ホールセンサを走査させ分布測定を行った。また、バルク表面から 1.0mm 上方での捕捉磁場分布の中心を B_T^C とし、捕捉磁場分布の正の値を積分した値を総磁束量 Φ_T と定義した。温度測定は、Cernox 抵抗温度計を SUS ring の側面に張り付けモニタした。

3.実験結果

Fig.1 に $T_s=60K$ における中心での捕捉磁場と総磁束量の印加磁場依存性を示す。Bulk-1 の中心での捕捉磁場 B_T^C は印加磁場 $B_{ex}=4.8T$ まで単調に増加し、 $B_T^C=1.3T$ のピークを持ち、その後それ以上の磁場を印加すると捕捉磁場は減少した。Bulk-2 の捕捉磁場は、印加磁場の増加に伴い単調

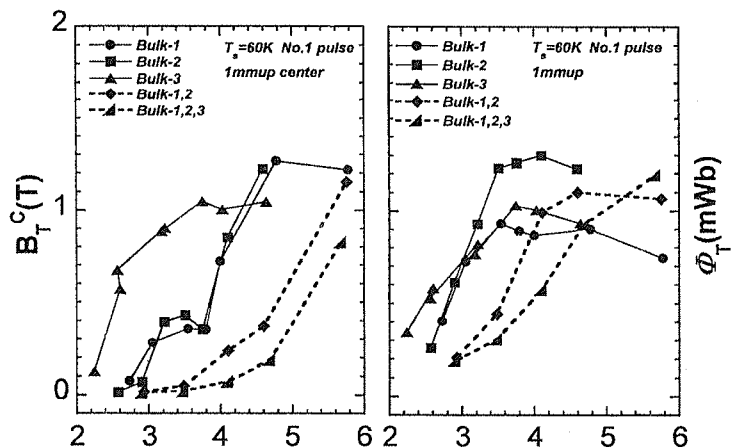


Fig.1 $T_s=60K$ における中心での捕捉磁場と総磁束量の印加磁場依存性

に増加し、ピークは見られなかった。また、Bulk-1 と Bulk-2 の捕捉磁場 B_{T^c} のラインはほぼ同じ振る舞いを示す。一方で、Bulk-3 の捕捉磁場ラインは、Bulk-1 と Bulk-2 での捕捉磁場ラインとは異なる振る舞いを示しており、低磁場側で磁束が中心に侵入していることが分かる。これは、中心におけるピンニング力で言えば、Bulk-1 と Bulk-2 が同等の能力を持ち、Bulk-3 は比較的低いと考えられる。また、Bulk-1,2,3 と Bulk-1,2 での捕捉磁場は、高磁場側にシフトしており、ピークは見られなかった。これは、バルク板を重ねたことで磁束の侵入が困難になったためである。総磁束量 Φ_T を見ると、Bulk-2 での総磁束量が最も大きく、最大値は $B_{ex}=5.0T$ の時ピーク値 $\Phi_T=1.3mWb$ だった。

Fig.2 に Bulk-1,2,3 に $B_{ex}=3.5T$ を印加した時の捕捉磁場分布と、Bulk-1、Bulk-2、Bulk-3 に $B_{ex}=3.2T$ を印加した時の捕捉磁場分布を示す。Bulk-1 と Bulk-2 の捕捉磁場分布を比べると、捕捉された場所が似ていることが分かる。これは、磁束の侵入口がほぼ一緒だったこと、すなわち Bulk-1 と Bulk-2 のピン止め点は似ているのではないかとということが考えられる。超伝導バルク体は、バルク作製時の結晶成長の過程で、ピン止め中心となる非超伝導相がプッシング効果により厚さ方向に広がっていくので、バルクの厚さ方向に超伝導特性や捕捉磁場(ピン止め)特性が変化していることが予想され、バルク表面では a-growth 領域、厚さ方向に向かって c-growth 領域支配になっていると考えられる。このことから、Bulk-1、Bulk-2 では主に a-growth 領域が支配していると結論付けた。一方 Bulk-3 の捕捉磁場分布を見ると、磁束は Bulk-1 と Bulk-2 とは異なる地点から磁束は侵入し、バルクの中心付近に磁場が捕捉されている。このことから、Bulk-3 は Bulk-1 と Bulk-2 とは異なる捕捉磁場特性(c-growth 領域)であることが説明できる。

3枚のバルク板を重ねた Bulk-1,2,3 と Bulk-1、Bulk-2、Bulk-3 を比較すると、Bulk-1,2,3 には磁束はわずかししか侵入しておらず、磁束は捕捉磁場分布の左上方と右下方に捕捉された。これは、スライス板を3枚重ねたことにより、磁束の侵入が困難となり、磁束がバルク内に侵入することが困難になったためである。また、スライスしたそれぞれの3枚のバルク板では右下方に捕捉磁場の集中が見ることは出来ず、Bulk-1,2,3 と Bulk-1、Bulk-2、Bulk-3 とでは捕捉磁場特性が大きく変化していることが予想される。

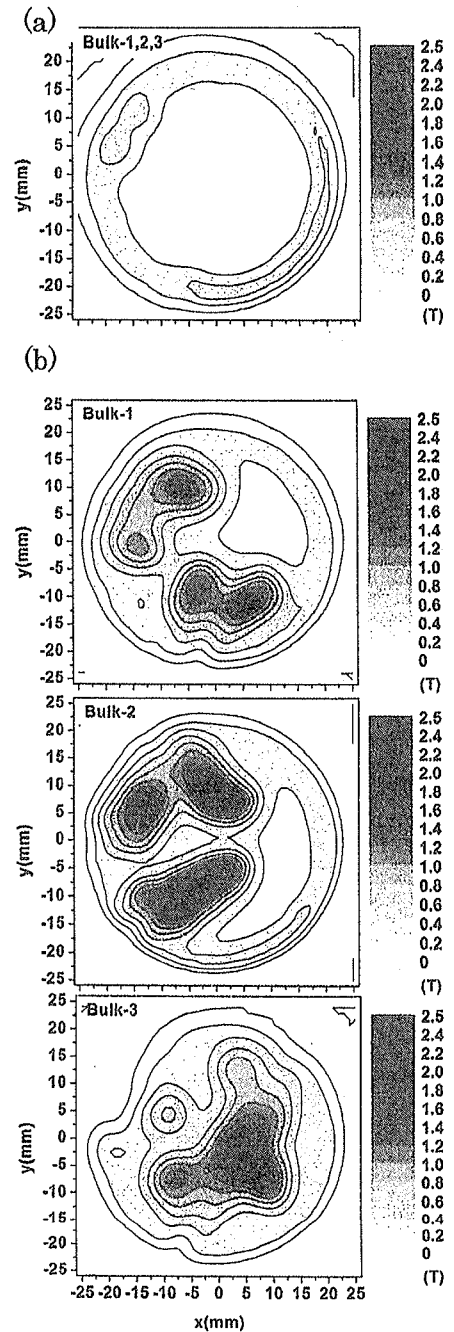


Fig.2 3枚重ねと各スライス板の捕捉磁場分布
(a) $B_{ex}=3.5T$ 、(b) $B_{ex}=3.2T$

4.結果

Fig.1 の中心での捕捉磁場の印加磁場依存性、Fig.2 での捕捉磁場分布において Bulk-1 と Bulk-2 は似た振る舞いを示したことから、捕捉磁場特性が似ていることが考えられる。しかし、総磁束量の印加磁場依存性から、Bulk-2 での総磁束量が大きく、バルクの edge 付近での特性が異なっていると予想した。また、Bulk-1,2,3 での捕捉磁場と比較すると、スライスしたそれぞれのバルク板は磁束の侵入が容易になっており、スライスしたことにより厚さ方向の捕捉磁場特性を検討することが出来た。