

1.序論

REBaCuO系超伝導バルク体に磁場を印加すると、超伝導バルク体のピン止め効果により磁束が捕捉されて擬似永久磁石になる。一般的な着磁方法としてFCM(磁場中冷却法)がある。しかし、大型の超伝導マグネットを用いるため高価で実用的ではない。そこで、装置が比較的小さく安価なPFM(パルス着磁法)が注目されている。しかし、PFMはFCMと比べて捕捉磁場が極めて小さい。その原因として、磁束の運動とは逆向きに働く抵抗力(粘性力)やピン止め力による大きな発熱が臨界電流密度 J_c の低下につながり、捕捉磁場の減少を引き起こしたためと考えられている。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において高い捕捉磁場を占めるバルクにおいても、ピン止め力が不均一なためPFMでは捕捉磁場が向上するとは限らないという結果を報告した。ピン止め力の不均一は、面内でのGSR(成長領域)とGSB(成長領域境界)の違いなどで現れるが、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ほか、捕捉磁場特性としてこれまで調べられていなかった。超伝導バルク体は、結晶成長方式の理由から、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と予想され、バルク表面ではa-growth領域、厚さ方向に向かってc-growth領域になっていると考えられる。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枚スライスし、厚さ6.5mmの各スライス板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、実験結果を報告する。

2.実験方法

超伝導工学研究所(ISTEC)で作製した直径45mm、厚さ19.5mmのGd系超伝導バルクを厚さ方向に6.5mmずつにスライスした3枚のバルクを使用した。スライスしたバルクは上部からBulk-1、Bulk-2、Bulk-3とし、図1に示した。

各スライス板は熱伝導性を向上させるためInを間に挟みGM冷凍機のcold stageに固定した。各スライス板を冷却し、ソレノイド型パルスコイルを用いて、単一又は複数回の同一パルス磁場($B_{ex}=2.0\sim 6.0T$)をc軸方向に印加して着磁を行った。各スライス板においてcold stageとバルク表面(T_s)の温度の関係をバルク表面とcold stageにCernox抵抗温度計を貼り付けて測定した。パルス磁場印加後、バルク表面から1mm上方をホールセンサで走査し、捕捉磁場分布測定を行った。測定はBulk-1、Bulk-2、Bulk-3、2枚重ね(Bulk-1とBulk-2の重ね合わせ)、3枚重ね(Bulk-1、Bulk-2、Bulk-3の重ね合わせ)に対して行った。

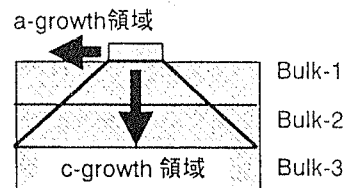


図1 バルクの概略図

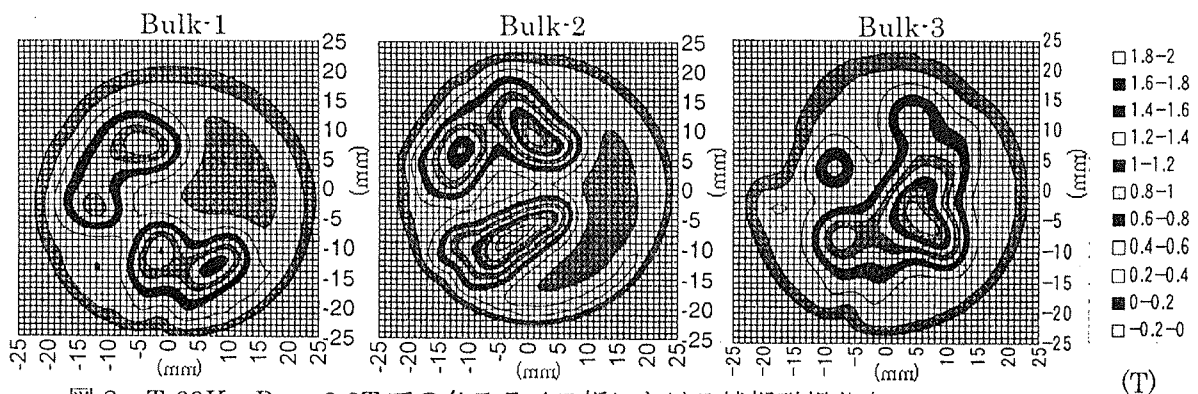


図2 $T_s=60K$, $B_{ex}=3.2T$ での各スライス板における捕捉磁場分布

3.結果と考察

Cold stage とバルク表面の温度差は、Bulk-1 で約 10K、Bulk-2 で約 30~40K、Bulk-3 で約 10~20K、2枚重ねで約 35~40K、3枚重ねで約 35~40K でバルク表面温度 T_s の方が温度が高かった。これは cold stage とバルクの熱接触が不十分であることが原因である。以後の測定はこの結果を元にバルク表面温度 $T_s=40\sim 60K$ になるように設定する。

図 2 に $T_s=60K$ 、比較的低い磁場 $B_{ex}=3.2T$ での各スライス板における捕捉磁場分布を示す。Bulk-1 と Bulk-2 では左上と下方に強く磁束を捕捉しており、磁束を捕捉している位置が比較的近い。しかし、Bulk-3 では中心から右側に強く磁束を捕捉している。Bulk-1 と Bulk-2 には共通点があることから種結晶に近い Bulk-1 と Bulk-2 は a-growth 領域であり、異なった点に強く磁束を捕捉している Bulk-3 は c-growth 領域であると考えられる。

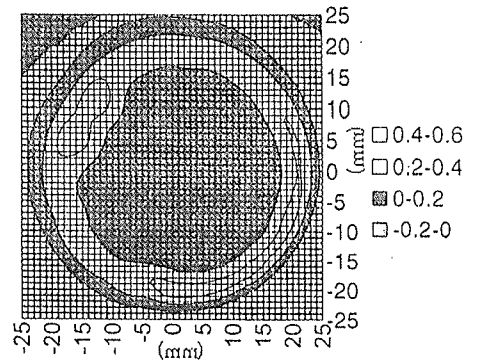


図 3 に $T_s=60K$ 、 $B_{ex}=3.4T$ における 3枚重ねの捕捉磁場分布を示す。

図 1 の Bulk-1、Bulk-2、Bulk-3 の捕捉磁場分布と比較すると同等の印加磁場であるが磁束の侵入は少ない。これは 3枚重ねであるためバルク自体が厚くなっていることから磁束が侵入しにくくなっているためである。侵入した磁束は外周部に捕捉されている。

図 3 $T_s=60K$ 、 $B_{ex}=3.4T$ の 3枚重ねの捕捉磁場分布

図 4 に $T_s=60K$ における中心の捕捉磁場の印加磁場依存性を示す。Bulk-1、Bulk-2、Bulk-3 において、低磁場~中磁場印加($B_{ex}=2.6\sim 3.8T$)時では Bulk-3 が高い捕捉磁場を示しているが、高磁場印加($B_{ex}=4.6T$)時では Bulk-1 と Bulk-2 の方が高い捕捉磁場を示している。また、Bulk-1 と Bulk-2 の最大捕捉磁場は同等の値を示したが Bulk-3 は小さい値を示している。よって Bulk-1 と Bulk-2 のピン止め力は Bulk-3 より強いと考えられる。またこのことから Bulk-1 と Bulk-2 はピン止め力の強い a-growth 領域、Bulk-3 はピン止め力の弱い c-growth 領域であると考えられる。2枚重ねと 3枚重ねの捕捉磁場は侵入開始の印加磁場が高磁場側にシフトしているため実験上の最大印加磁場 5.8T までではピークは見られなかった。

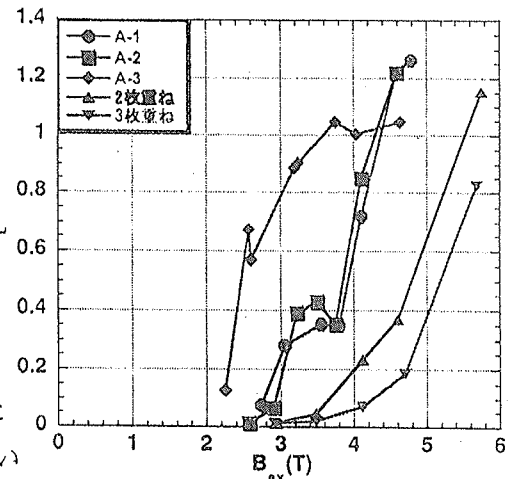


図 4 $T_s=60K$ における中心の捕捉磁場の印加磁場依存性

図 5 に $T_s=60K$ における総磁束量の印加磁場依存性を示す。Bulk-1、Bulk-2、Bulk-3 において、Bulk-2 の総磁束量が最も高いことから、Bulk-2 の磁場の捕捉能力が高いことを示している。

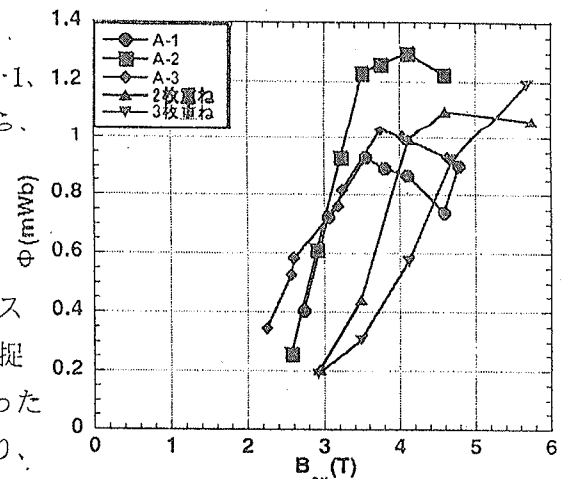


図 5 $T_s=60K$ における総磁束量の印加磁場依存性

4.結論

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枚スライスし、厚さ 6.5mm の各スライス板のパルス着磁特性を調べた。Bulk-1 と Bulk-2 は捕捉磁場分布と中心での捕捉磁場に似たような振る舞いを示しているのに対し、Bulk-3 は異なった結果であった。これは Bulk-1 と Bulk-2 は主に a-growth 領域であり、Bulk-3 は c-growth 領域であるためである。総磁束量から磁場の捕捉能力が高いのは Bulk-2 であることがわかった。結果、超伝導バルクは厚さ方向によって異なる捕捉磁場特性をもっていることがわかった。