

I. INTRODUCTION

これまでに多くの新しい高温超電導体が発見された。なかでも MgB_2 は、金属間化合物の中で最も高い超電導転移温度 $T_c=39$ K を持つ。RE-Ba-Cu-O 系(RE : 希土類元素)と比べるとコヒーレンス長が長いいため弱結合の問題がなく、多結晶体でバルク磁石の作製が可能でテスラ級の捕捉磁場が実現されている。

in-situ 法で作製した MgB_2 は、焼結過程で原理的に空隙が生じるため常圧で焼結すると充填率は約 50% である。従って、充填率を向上させることでピンニングセンターである粒界や臨界電流密度 J_c 、粒間結合性 K が増大し、捕捉磁場の向上が期待できる。また、ビーンの臨界状態モデルによると J_c が一定の場合、バルクの径と捕捉磁場には比例関係がある。本研究では、大型かつ高密度 MgB_2 バルクを HIP(Hot Isostatic Pressing)法を用いて作製し、その捕捉磁場特性を明らかにすることを目的とする。

II. EXPERIMENT

試料は Mg(純度 99.5%,80 mesh)と B(純度 99%,300 mesh)の混合粉(モル比 Mg:B = 1.05:2)を一軸加圧成型したものを前駆体とした。前駆体を真空中でステンレス容器に電子ビーム溶接で密封した後、900 °Cで 3 時間 HIP 処理を行った。印加圧力は 98 MPa であった。Table 1 に作製試料を示す。充填率はどの試料も約 90%であった。HIP#70 には、flux jump を防ぐため 5 つの穴(約 2-3 mm)をあけ In を充填した。

Table 1 作製試料

試料	直径(mm)	厚さ(mm)
HIP#26	26	6.5
HIP#38	38	6.8
HIP#70	70	11.8

伝導冷却型超伝導マグネットを用いて 5 T の磁場中で MgB_2 バルクを冷却して磁場を捕捉させ、バルク表面の中心にセットした極低温用ホール素子で捕捉磁場の温度依存性を測定した。バルク体から切り出した試料片を用いて、電気抵抗率は直流四端子法で測定し、臨界電流密度 J_c は SQUID 磁束計で測定した磁気ヒステリシス曲線から拡張型ビーンモデルより算出した。

III. RESULTS AND DISCUSSION

Fig.1 に MgB_2 バルクの捕捉磁場の温度依存性を示す。HIP#26 は 13.1 K で 2.51 T、HIP#38 は 16.0 K で 2.53 T、HIP#70 は 17.9 K で 2.72 T の磁場を捕捉した。HIP#70 は 17.9 K 以下の温度では flux jump が起こり、捕捉磁場は減少した。挿入図に 20 K における捕捉磁場の径依存性を示す。各試料の捕捉磁場を比較すると、それぞれ 1.93 T、2.18 T、2.43 T であり、バルクの径が大きくなるとともに捕捉磁場が向上した。しかし、ビーンモデルで考えられるような比例関係にはならなかった。

Fig.2 に 20 K における J_c の磁場依存性を示す。ゼロ磁場

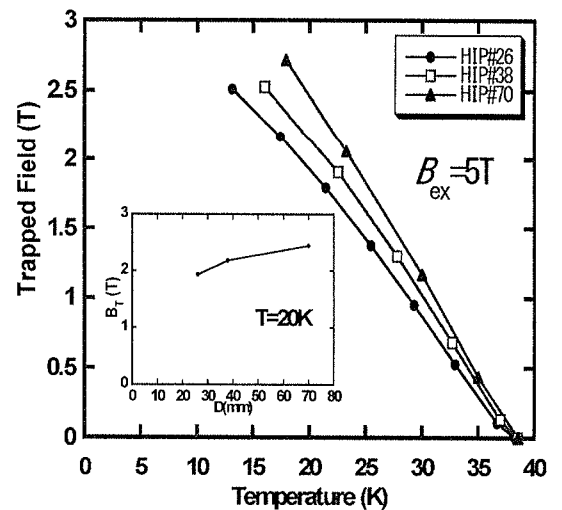


Fig.1 捕捉磁場の温度依存性

中において、HIP#26 は約 $4.0 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ 、HIP#38 は約 $3.5 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ 、HIP#70 は約 $3.5 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ であった。 J_c は、ゼロ磁場中でそれぞれ同程度の値であったため、ビーンモデルに従わない原因にならなかった。

ビオ・サバルの法則から導出した式

$$B_T(z) = \frac{\mu_0 J_c}{2} \left((z+D) \ln \frac{R + \sqrt{R^2 + (z+D)^2}}{z+D} \right) - z \ln \frac{R + \sqrt{R^2 + z^2}}{z} \quad (1)$$

より捕捉磁場の値を用いて、バルク全体を流れる臨界電流密度である巨視的 J_c を算出した。結果、20 K の HIP#26 では $0.75 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ 、HIP#38 では $0.67 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ 、HIP#70 では $0.42 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ であった。径が大きくなるにつれて、巨視的 J_c の減少が見られた。その原因としては自己磁場が影響すると考えられる。捕捉磁場はバルクの外周部から中心部にかけて上昇し、径が大きくなるにつれ捕捉磁場が向上する。しかし、自己磁場によって外周部から中心部にかけて J_c が低下していき、捕捉磁場値は径が大きいほど減少し、巨視的 J_c も低下するためである。これより高磁場領域での J_c をより大きくすることで自己磁場による J_c の低下が緩和され捕捉磁場の向上が考えられる。

Fig.3 に各試料の巨視的 J_c から①式より算出した捕捉磁場の径依存性を示す。これより捕捉磁場の向上にはアスペクト比（直径/厚さ）が関係していることが分かった。アスペクト比は HIP#26 が 4.0、HIP#38 が 5.6、HIP#70 が 5.9 であった。アスペクト比が小さいバルクの方が、比が大きいバルクより径が大きくなるにつれ高い捕捉磁場がついた。このことから捕捉磁場の向上には、径の大型化と同時に厚さを大きくする必要がある。

IV. CONCLUSION

本研究では HIP 法を用いて大型かつ高密度な MgB_2 バルクを作製し、その捕捉磁場特性を明らかにすることを目的とした。最大捕捉磁場は HIP#70 が 17.9 K で 2.72 T であった。各試料を比較すると、バルクの径が大きくなるとともに捕捉磁場が向上した。しかし、ビーンモデルで考えられる比例関係にならなかった。局所的 J_c は、ゼロ磁場中で同程度の値であったため、ビーンモデルに従わない原因にはならなかった。捕捉磁場の値を用いて、式①より巨視的 J_c を算出した結果、径が大きくなるにつれて、巨視的 J_c の減少が見られた。自己磁場によってバルクの外周部から中心部にかけて J_c が低下していき、捕捉磁場値は減少するため、巨視的 J_c も低下するためと考えられる。これより高磁場領域での J_c をより大きくすることで自己磁場による J_c の低下が緩和され捕捉磁場の向上が期待される。捕捉磁場の径依存性より、捕捉磁場の向上にはアスペクト比（直径/厚さ）が関係していることが分かった。アスペクト比が小さいバルクの方がより径が大きくなるにつれ高い捕捉磁場がついた。このことから捕捉磁場の向上には、径の大型化と同時に厚さを大きくする必要がある。

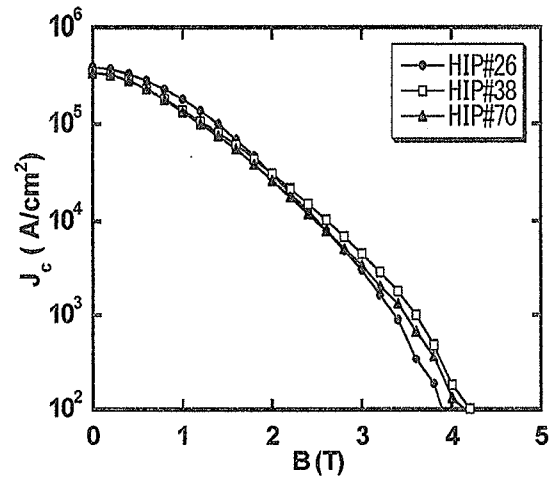


Fig.2 20K における J_c の磁場依存性

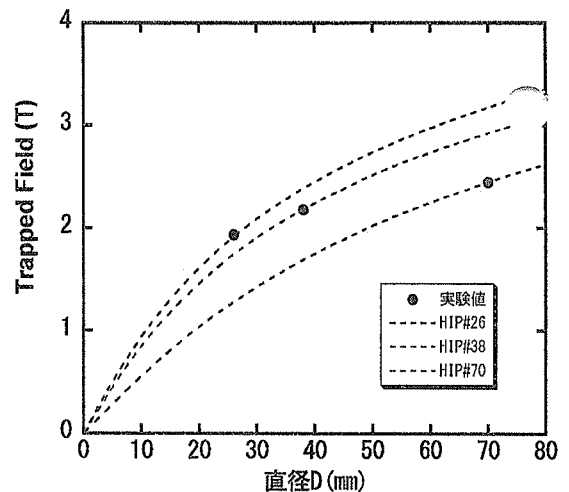


Fig.3 捕捉磁場の径依存性