

Ti 添加 MgB₂ 超電導バルク磁石の高性能化

平成 25 年度入学 22213027 藤代・内藤研究室 吉田卓史

I. INTRODUCTION

MgB₂は、金属間化合物の中で最も高い超電導転移温度 $T_c=39\text{ K}$ 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ため電磁的異方性が低いことから、弱結合の問題がない。そのため、多結晶体でバルク磁石が作製可能であり、テスラ級の捕捉磁場が実現されている^[1]。本研究室では以前、常圧焼結法の一つである CAP 法で MgB₂バルク体を作製することにより、テスラ級の磁石化に成功している。しかし、この方法では原理的に空隙が生じるため、充填率は 50%程度になる。充填率を向上させることは、ピンニングセンターとなる粒界の面積や臨界電流密度 J_c を増大させることに繋がり捕捉磁場の向上につながる。そこで、高压化焼結法の HIP(Hot Isostatic Pressing)法を用いて高密度な MgB₂バルクを作製し、捕捉磁場を向上させることに成功した。HIP 法バルクは充填率が 90%以上となり、その捕捉磁場は CAP 法バルクに比べ大きく向上した。また、不純物として Ti をドープすることにより臨界電流密度 J_c が向上するという報告例がある^[2]。そこで本研究では、高密度 Ti ドープ MgB₂バルクを HIP 法により作製し、その捕捉磁場特性及びピン止め点の強化における Ti ドープの効果を明らかにすることを目的とした。

II. EXPERIMENTAL DETAILS

バルクは Mg と B, Ti をモル比 Mg:B:Ti = 1-x : 2 : x (x = 0, 0.05, 0.1, 0.2)で混合し、196 MPa の印加圧力で CIP 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。試料の直径は約 38 mm、厚さは約 7 mm であった。各バルクの充填率 F は、どれも約 90%以上であった。

伝導冷却型超電導マグネットを用いて 5 T の磁場中でバルクを冷却して磁場を捕捉させ、バルク表面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。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を用いて算出した。微細組織観察は EPMA を用いて行った。

III. RESULT AND DISCUSSION

Fig. 1 に pristine バルクと Ti ドープバルクの捕捉磁場 B_T の温度依存性を示す。最大捕捉磁場は、Ti 5% ドープ試料において 13.2 K で 3.6 T であった。各バルクの B_T を比較するために、挿入図に 20 K における B_T の Ti ドープ量依存性を示す。pristine バルクと比べ、Ti ドープバルクの B_T は約 1.3 倍の B_T の値が高く、Ti ドープによる捕捉磁場特性の向上が確認できた。 B_T は、ドープ量にほとんど依存しなかった。

Fig. 2 に各バルクの臨界電流密度 J_c の温度依存性を示す。Ti ドープバルクの J_c は、全ての測定温度において pristine バルクの J_c よりも高い値となった。また、pristine

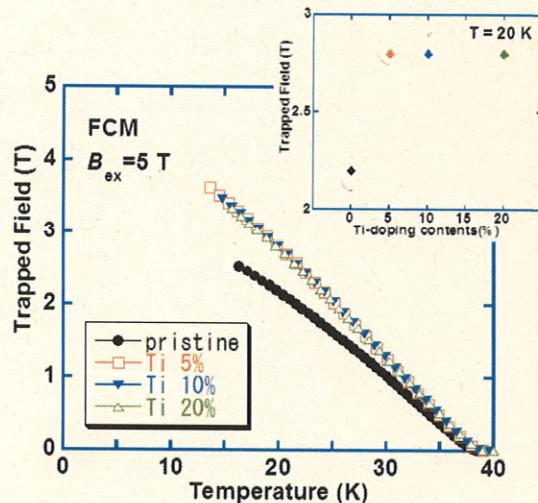


Fig. 1 各バルクの捕捉磁場の温度依存性

バルクと Ti ドープバルク間の J_c の差は磁場の増加に伴って顕著に広がり、約一桁の差が見られた。この結果より、Ti ドープが磁束ピンニングに効果的に作用することが分かった。また、ドープ量の違いによる大きな差は見られなかったことから、捕捉磁場が同程度であるという結果と一致する。

Fig. 3 に 10 K と 20 K における pristine バルクと Ti10% バルクのピンニング力 F_p の磁場依存性を示す。 F_p の値も Ti ドープによって強化されていることが明らかに分かる。Ti10% バルクのピーク値は、二つの温度下で pristine バルクよりも約二倍高い。また、Ti ドープすることによりピークがシフトしている。以上の結果から、Ti 含有不純物が高磁場領域においてピン止め点として効果的に働くことを示す。

Fig. 4 に Ti5% バルクにおける(a)Mg, (b)B, (c)Ti の特性 X 線像を示す。B の特性 X 線像から見られるように B が Ti 粒子の周辺に溜まって存在する。この薄い相は、XRD パターンより観察された TiB_2 である。この TiB_2 相が強い磁束ピン止め点として働き、 J_c や B_T が強化されたと考えられる。なぜなら、Ti 粒子単体の大きさが約 10 μm であり、効果的に磁束ピン止め点となるには大きすぎるためである。

IV. CONCLUSION

本研究では、HIP 法によって作製された高密度 Ti ドープ MgB_2 バルクの B_T , J_c , 微細組織を比較し評価した。最大捕捉磁場は Ti5% バルクにおいて 13.2 K のとき 3.6 T であった。これは、pristine バルクの 1.3 倍である。また、Ti ドープバルクの J_c の値は pristine バルクよりも一桁高かった。これらの結果から Ti ドープが磁束ピンニングに効果的に作用することが分かった。Ti 粒子の周辺で発見した TiB_2 は、高磁場領域で効果的に磁束ピン止め点として働き、結果として B_T や J_c を大きく強化した。

REFERENCES

- [1] T. Naito *et al.* : Supercond. Sci. Technol. **25** (2012) 095012
- [2] Y. Zhao *et al.* : Appl. Phys. Lett. **79** (2001) 1154-1156.

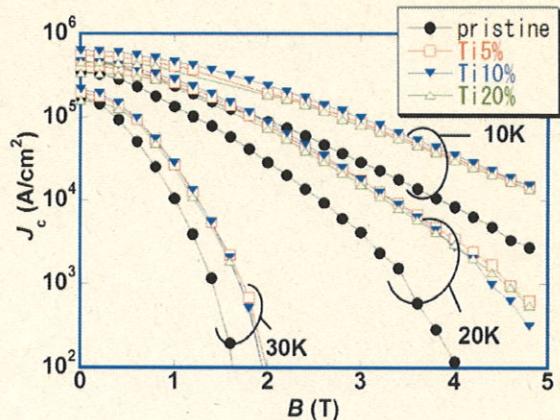


Fig. 2 各バルクの臨界電流密度の磁場依存性

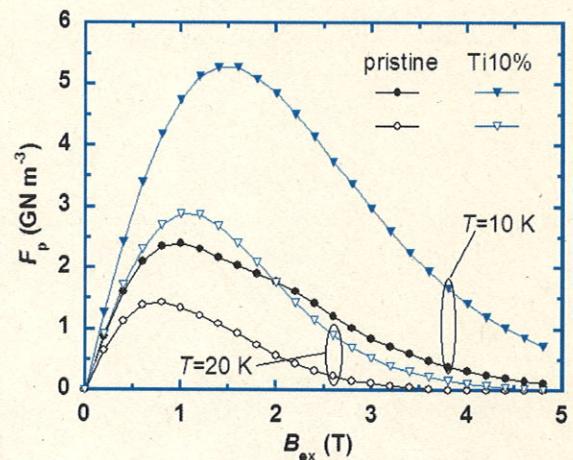


Fig. 3 10-20 K における pristine バルクと Ti10% バルクのピンニング力の磁場依存性

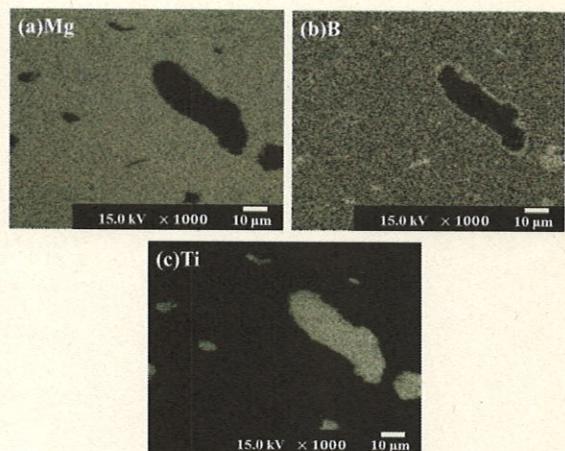


Fig. 4 Ti5% バルクにおける(a)Mg, (b)B, (c)Ti の特性 X 線像