

## MgB<sub>2</sub>超電導バルクの捕捉磁場特性に対する不純物置換効果

平成 22 年度入学 藤代・内藤研究室 20210028 佐々木みなみ

### 1. Introduction

MgB<sub>2</sub>は金属間化合物超電導体の中で、 $T_c = 39$  Kと最も高い超電導転移温度を持ち、RE-Ba-Cu-O系(RE: 希土類元素)酸化物超電導体と比べ軽量で、コヒーレンス長が長いため弱結合の問題がないという特徴を有する。

MgB<sub>2</sub>の作製方法は in-situ 法と ex-situ 法の 2 つがある。in-situ 法は Mg と B の混合粉から作製し、原理的な空隙のため低充填率(約 50%)であるが粒間結合が強いという特徴がある。ex-situ 法では MgB<sub>2</sub> 粉末から作製し、in-situ 法とは逆に充填率は高い(約 75%)が、粒間結合が弱いという特徴がある。本研究では、本研究室で開発した常圧で焼結する in-situ カプセル法を用いて試料を作製した。本研究室のこれまでの研究で、カプセル法における最適な焼結条件は、焼結温度 700°C~800°C、焼結時間 1 h~6 h であり、捕捉磁場特性が最も良いという結果に至った。さらなる捕捉磁場特性の向上のために、粒をより微細にすることや不純物を置換することなどが挙げられる。本研究ではピン止め中心として Ti の置換及び SiC を添加した MgB<sub>2</sub> 試料をカプセル法で作製し、捕捉磁場特性に対する不純物置換効果を明らかにすることを目的とする。

### 2. Experiment

試料は Mg (純度 99.5%, 80 mesh) と B (純度 99%, 300 mesh) と Ti (純度 99.9%, 45 μm) または SiC (純度 99.5%, 300 mesh) を、Mg<sub>1-x</sub>B<sub>2</sub>Ti<sub>x</sub> 及び MgB<sub>2</sub>SiCx ( $x = 0.05, 0.1, 0.2$ ) の組成でそれぞれ混合し、一軸加圧成型したものを前駆体とした。Ar 霧囲気中で SUS 容器に前駆体を密封した後、800°C、6 h で焼結した。

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<sub>2</sub> バルクを冷却して磁場を捕捉させた後、バルク表面中心に設置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。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、磁化率は SQUID 磁束計で測定した。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より算出した。また、構造評価は粉末 X 線回折で評価した。

### 3. Results And Discussion

Fig.1 に捕捉磁場の温度依存性を示す。Ti 5%、10% 置換試料は MgB<sub>2</sub> とふるまいの変化があまりみられなかった。特に Ti 10% 置換試料では flux jump が起こり捕捉磁場は減少した。Ti 20% 置換試料では 21 K で 1.3 T と更に捕捉磁場が減少した。一方 SiC 添加試料では添加量に関わらず、MgB<sub>2</sub> よりも捕捉磁場が低くなかった。特に Ti 20% 置換試料と SiC 10% 及び 20% 添加試料は、他の試料と比べクラックが多く、均一な電流分布を阻害していることが捕捉磁場の向上を制限していると考えられる。このようにバルクごとに出来が異なるため、捕捉磁場の比較が難しい。

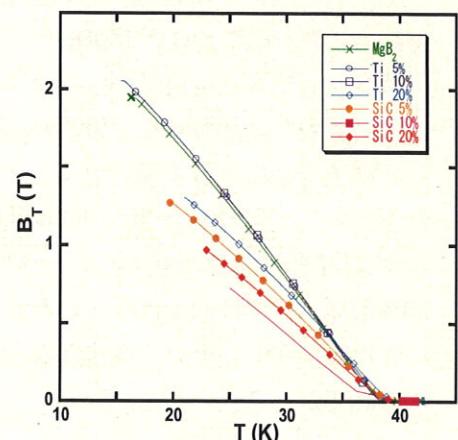


Fig.1 捕捉磁場の温度依存性

Fig.2 に XRD 回折パターンを示す。Fig.2(a) の Ti 置換試料においては、置換量が増えるにつれて未反応 Ti やピン力として有効な  $TiB_2$  のピークが増加している。Ti 置換した  $MgB_2$  では、 $MgB_2$  の粒界に  $TiB_2$  の薄膜が形成され、ピンとしてはたらくという報告例がある<sup>[1]</sup>。しかし、本研究の場合 XRD 回折パターンの結果で  $TiB_2$  のピークが確認されたものの、捕捉磁場の向上にはつながらなかった。Fig.2(b) の SiC 添加試料では未反応 SiC や  $Mg_2Si$  のピークがみられた。また、 $J_c$  の向上に寄与すると考えられている C 化合物はみられなかった。

Fig.3 に磁化率の温度依存性を示す。Ti 置換試料及び SiC 添加試料の転移温度  $T_c$  は置換量に関わらず約 39 K 程度であった。これは、Ti は Mg サイトに置換されておらず、SiC は B サイトに置換されていないことを示している。

Fig.4 に 20 K における  $J_c$  の磁場依存性を示した。0 T(低磁場側)では Ti 置換試料、SiC 5% 添加試料は、 $MgB_2$  とほぼ変わらない値を示した。3 T(高磁場側)では全ての Ti 置換試料と SiC 5% 添加試料で  $J_c$  の向上がみられた。Ti 置換試料においては生成された Ti 化合物がピンとして働き、SiC 5% 添加試料では C 化合物の電子の平均自由行程が短くなりコヒーレンス長が短くなったことが要因だと思われる。

しかし、SiC 10%、20% 添加試料では著しく減少した。この減少は、コヒーレンス長より厚い  $Mg_2Si$  により電流が阻害されたためであると考えられる。

#### 4. Conclusion

本研究では、不純物 Ti の置換及び SiC を添加した  $MgB_2$  バルクをカプセル法で作製し、捕捉磁場特性を評価した。Ti や SiC と  $MgB_2$  との置換物質は生成されなかった。全ての Ti 置換試料と SiC 5% 添加試料では 3 T 上で  $J_c$  の向上がみられた。これは、Ti 置換試料においては生成された  $TiB_2$  がピンとして働いたことが要因だと思われる。SiC 5% 試料では XRD 回折パターンではみられなかったが、C 化合物が存在し、電子の平均自由行程が短くなりコヒーレンス長が短くなつたために 3 T 上で  $J_c$  が向上したと考えられる。また、SiC 10%、20% 添加試料は特に 0 T 上で著しい減少がみられ、捕捉磁場及び  $J_c$  の改善はみられず、結果的に特性が低下した。一般に、SiC を添加した試料は  $J_c$  が向上するといわれているが、SiC 10%、20% 添加試料では向上はみられなかった。本研究では作製したバルクごとに出来が異なるため、捕捉磁場の比較が難しいという結果になった。焼結条件や作製方法の見直しを行い、再度捕捉磁場特性を測定する必要がある。

#### 参考文献

- [1] Y. Zhao et al. : Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 1154

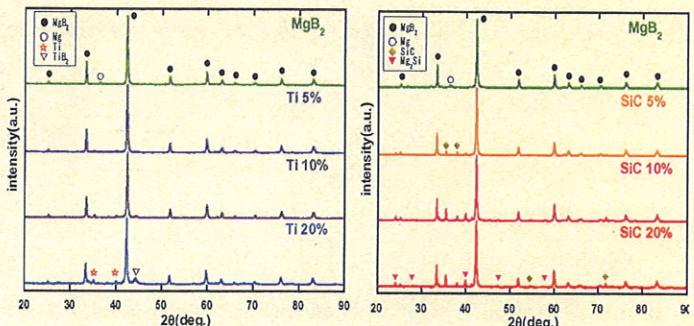


Fig.2 (a)Ti と (b)SiC の XRD 回折パターン

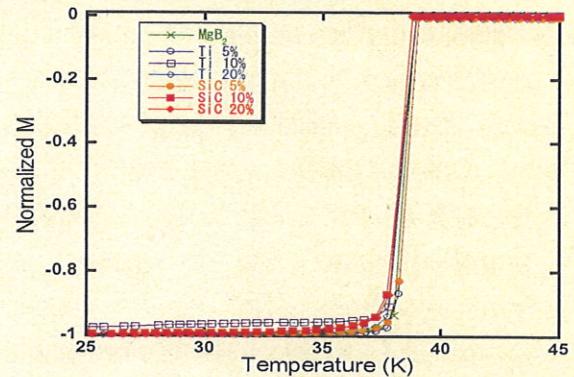


Fig.3 磁化率の温度依存性

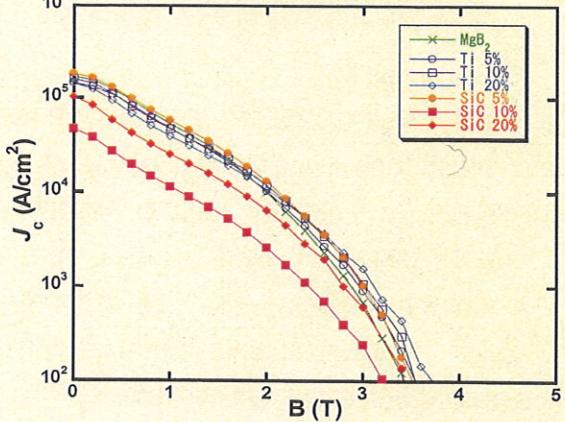


Fig.4 20K における  $J_c$  の磁場依存性