

# MgB<sub>2</sub>バルクの捕捉磁場特性に対するGe添加効果

平成25年度入学 藤代・内藤研究室 20213023 熊谷 毬

## 1. Introduction

MgB<sub>2</sub>超電導体は臨界温度が39 Kと金属系超電導体の中で最も高く、20 K級での応用が期待されている。しかし、MgB<sub>2</sub>超電導体はREBCO (RE:希土類)系超電導体と比べてピン止め力が弱く、臨界電流密度J<sub>c</sub>が外部磁場の増加に伴って急激に減少するため実用化には至っていない。これまでCやSiC、Tiなどの不純物添加によって超電導特性を向上させる試みがなされてきた。その一例としてGeを0.5%添加すると常電導相であるMg<sub>2</sub>Geが1117°Cで溶融し、それが分散し、空隙を埋めピン止め点として働くことによる高磁場下でのJ<sub>c</sub>の向上が報告されている。<sup>[1]</sup>以上のことより本研究室のSPS装置においてもGeの添加で特性の向上が可能であるかを調査するため、MgB<sub>2</sub>バルクの捕捉磁場値B<sub>T</sub>がGe添加量によってどのように変化するかを評価し、そのメカニズムを調べた。

## 2. Experimental

Mg粉末(純度99.5%)とB粉末(純度99%)をモル比1:2で秤量・混合し900°Cで3 h焼結したものを400 rpmで1 hのボールミル処理を行い、MgB<sub>2</sub>粉末とした。作製したMgB<sub>2</sub>粉末とGe粉末(純度99.999%)を(MgB<sub>2</sub>)Ge<sub>x</sub>, x = 0, 0.001, 0.003, 0.005となるように秤量し、自動乳鉢で1 h混合した。混合粉を内径20 mmのグラファイトダイスに充填し、SPS(spark plasma sintering)法を用いて50 MPaの単軸圧力を印加しながら約1030°Cで10 min焼結を行った。焼結した試料の結晶構造はXRD(X-ray diffraction)法を用いて評価し、微細組織は走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。作製したMgB<sub>2</sub>バルクを磁場中冷却によって着磁した後、バルク中心の捕捉磁場B<sub>T</sub>の温度依存性を昇温過程においてホールセンサで測定した。SQUID(Superconducting Quantum Interference Device)磁束計を用いて磁化Mの印加磁場依存性であるM-H曲線と磁化Mの温度依存性であるM-T曲線を求め、M-H曲線に拡張型Bean Modelを適応させて臨界電流密度J<sub>c</sub>を算出した。

## 3. Result and discussion

### 3.1 X線回折

x=0-0.005のSPSバルク表面のXRDパターンをFig.1に示す。全ての試料のXRDパターンにおいて主相であるMgB<sub>2</sub>相や不純物相であるMgB<sub>4</sub>相とMgO相が観測された。またGeを添加した全ての試料でMg<sub>2</sub>Ge相が観測された。SPS処理中にMgB<sub>2</sub>が分解し、

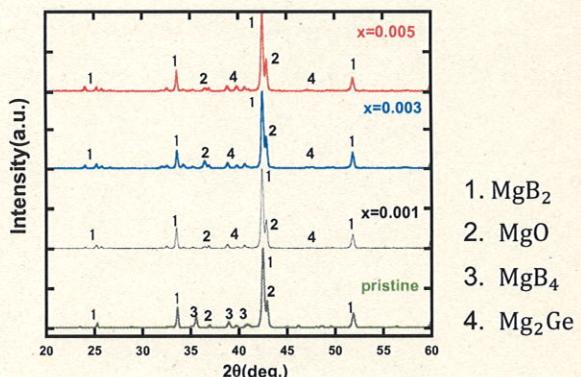
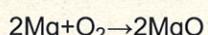
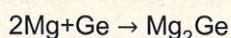
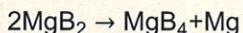


Fig. 1 各試料のXRDパターン

の反応が生じて上述のような不純物が生成したと考えられる。

### 3.2 捕捉磁場 $B_T$

Fig. 3 に捕捉磁場の温度依存性のグラフを示す。20 K における pristine 試料の捕捉磁場が  $B_T=2.24$  T であったのに対して Ge を添加したいずれの試料も大きく低下した。この理由としては、Ge が 937 °C で溶融し空隙を埋め  $Mg_2Ge$  となり、分散しピン止め点として働くと思われたが焼結温度が低かったために  $Mg_2Ge$  が溶融して分散せず、粗大な粒で存在することが原因と考えられる。

### 3.3 臨界電流密度

Fig. 4 に 20K における臨界電流密度の磁場依存性のグラフを示す。自己磁場での  $J_c$  は Ge 添加量との相関は見られなかった。0.3% 試料がほかの試料に比べて低くなっているのは本研究室の SPS 装置では温度調整が難しいため、他の試料より 70°C 程度焼結温度が高くなり、粒成長が進んでしまったことが原因であると考えられる。

### 3.4 磁化測定

Fig. 4 に磁化の温度依存性を示す。Ge 添加量の増加に伴って転移温度  $T_c$  が低下している。このことから Ge はわずかに B サイトへ置換していると考えられる。しかしことんどは粗大な  $Mg_2Ge$  として存在し、ピン止め点として作用せず超電導分率を低下させていると考えられる。

## 4. Conclusion

我々は高圧下焼結法の一つである SPS 法を用いて、直径約 20 mm、厚さ約 10 mm の  $MgB_2$  超電導バルクを作製した。本研究では  $MgB_2$  に Ge を添加し作製した  $MgB_2$  バルクの捕捉磁場測定と微細組織観察を行い、Ge の添加効果を明らかにすることを目的とした。Pristine 試料の 20 K での捕捉磁場値は 2.24 T であるのに対し、Ge の添加量が 0.5% 試料の 20K における捕捉磁場値は 1.34 T と大幅に低下する。これは焼結温度が  $Mg_2Ge$  の融点より低かったため、分散せずピン止め点としても作用しない粗大な粒子として残留したことが原因であると考えられる。Ge を添加した  $MgB_2$  バルクの捕捉磁場値の向上のためには、添加量と焼結温度の適正値をさらに詳細に解明することが必要である。

## Reference

1. D.Batalu et al,J Supercond.Nov Magn, (2015) 28:531-534.

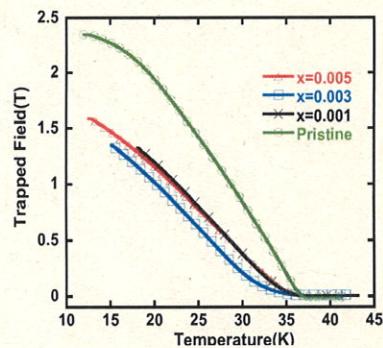


Fig 2. 捕捉磁場の温度依存性

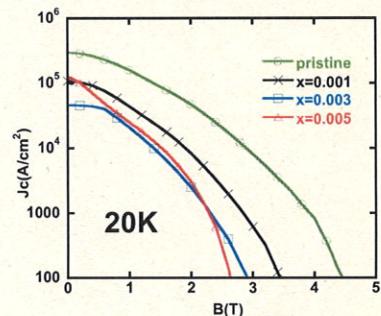


Fig 3. 臨界電流密度の磁場依存性

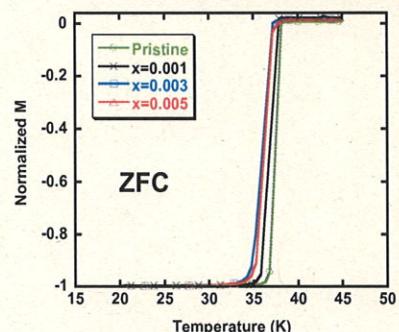


Fig. 4 磁化の温度依存性