

非結晶ボロンを用いた浸透法による MgB_2 の作製と臨界電流特性

平成 25 年度入学 藤代・内藤研究室 20213046 富樫遙太

1. 序論

MgB_2 は金属間化合物で最も高い転移温度 $T_c = 39\text{ K}$ を持つ。また、RE-Ba-Cu-O 系(RE: 希土類元素) 超電導体に比べコヒーレンス長が長いため弱結合の問題がないことや、軽量、高い臨界電流密度、作製しやすさなど多くの利点がある。そのため、実際の応用に向けて研究が進められている。

MgB_2 バルクの作製法は様々なものがあるが、充填率が捕捉磁場に関係することから、私は高い充填率を得られる浸透法で MgB_2 バルクを作成した。浸透法とはボロン粉末ペレットを Mg 融液に浸透反応させることで MgB_2 を作製する方法である。また一般的に浸透法においてバルクを作る際に使われる粉末は結晶ボロンであり、本研究室でも結晶ボロンを用いた MgB_2 の生成で 4.6T という高い捕捉磁場をだし、さらに研究が行われている。しかし、実用化することを考えると、結晶ボロンは非結晶ボロンの約 4 倍の高いコストが掛かってしまい、性能の前にコスト面での問題が生まれる。この問題に対し、結晶ボロンを使用した時と同等、またはそれ以上の性能でコストを抑えることができないかと考え、線材でも使われる非結晶ボロンに変えることができればコストを大きく削減することができるため非結晶ボロンを使用した。

本研究では非結晶ボロンを用いた浸透法による MgB_2 の作製とその臨界電流特性の評価を目的とした。

2. 実験方法

原料粉は Mg 粉末と非結晶ボロン粉末を 1.1:2 のモル比で混ぜたものを用いた。原料粉末を直径 8mm の SUS 管に入れ 5 MPa でプレスを行い、電気炉の中で各温度 (700, 800, 900, 1000, 1100°C) まで昇温し 9 時間保持した。研削盤により SUS 管の側面を削り、表面観察を行った。またその表面で X 線回折を行い、微細組織は走査型電子顕微鏡で観察した。磁化は SQUID 磁束計で測定し、臨界電流密度は磁気のヒステリシス曲線から拡張ビーンモデルを用いて算出した。

3. 結果

図 1 にそれぞれの温度で作製した MgB_2 を示す。(a)700°C は灰色の MgB_2 とは異なる物質ができており、その物質の下には非結晶ボロンが粉末のまま残っている。(b)800°C は Mg の下に MgB_2 のような物質が①に少しきれており、①の下には(a)700°C と同様に非結晶ボロンが粉のまま残っている。(c)900°C は生成物の大体が MgB_2 のような茶色の硬い物質であり、その生成物の下には脆くはないが上層よりも柔らかい物質がある。最下層部には脆く茶色い粉の塊がある。(d)1000°C は全体が MgB_2 であるが、二色に分かれしており(赤線で表示)、上層の方が薄い茶色で、下層は暗い茶色をしている。(e)1100°C も全体に MgB_2 ができるおり、統一された色である。700°C では MgB_2 が生成しなかったが、800°C 以上で生成した。しかし、広範囲での MgB_2 を生成するためには 900°C 以上が必要である。非結晶ボロン 15mm の成長には 1000°C 以上が必要であった。

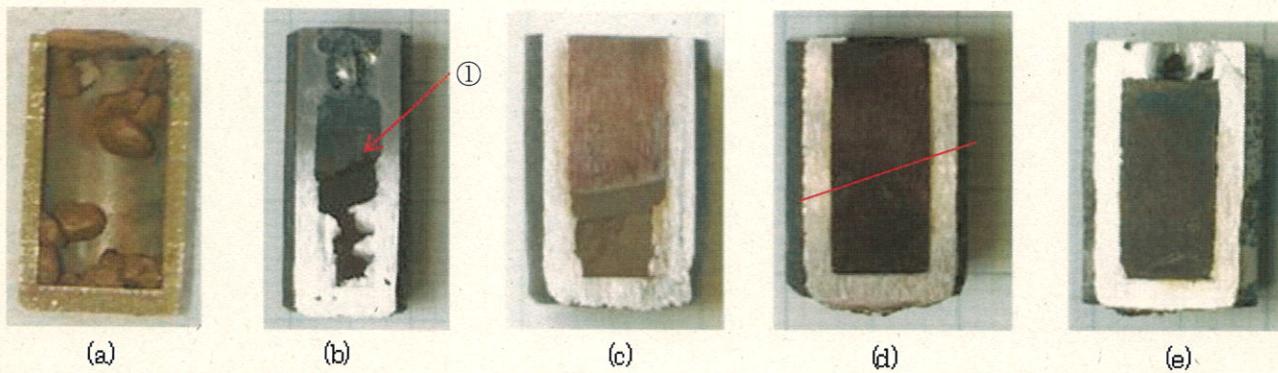


図 1 IG プロセスによる MgB_2 (a)700°C (b)800°C (c)900°C (d)1000°C (e)1100°C

次にこの表面の色ごとに分けマスキングを行い、X線測定を行った。X線測定の結果が図2である。

800°CではMgB₂ができた。しかし、生成物の中に中間相Mg₂B₂₅も混ざっている。中間相Mg₂B₂₅も混ざっており、MgB₂できている範囲も狭いことからより広範囲のMgB₂の生成においてより適した温度があると考えられる。

900°CでもMgB₂ができた。X線測定からは他の物質が見られないこと、広い範囲にMgB₂ができていることから、SUS管でMgB₂を作るにはこの温度で十分と言える。

1000°Cと1100°CのX線測定の結果は、900°Cの結果とほぼ同一である。ゆえにX線測定の結果からは800°Cだと中間相ができてしまうので、900°C以上での焼結がMgB₂を作る上で必要になってくると分かる。

作製した試料の臨界電流密度 J_c を測定した。20Kにおける臨界電流密度 J_c の磁場依存性を図3に示す。結果を見ると、900°Cで作製したMgB₂は1100°Cで作製したMgB₂と比べて、自己磁場での J_c が5倍程度高かった。さらに1000°Cで作製した試料も1100°Cで作製した試料よりもわずかに高い値を出した。表面観察では、MgB₂ができる面積は温度が上がれば上がった分だけ高くなっているにも関わらず、 J_c を比較すると温度を上げた分だけ下がっている。より大きなバルクを作るためには高い温度が必要であるが、 J_c を高くして捕捉磁場の向上を目的とするのであれば、900°Cが最適である。また結晶ボロンで900°C9時間の条件のもと生成を行ったMgB₂と比較を行ったところ、非結晶ボロンの方が J_c が高かった。

4. 考察

本研究では、非結晶ボロンを用いた浸透法によるMgB₂の作製とその臨界電流特性の評価を目的とした。非結晶ボロンでのMgB₂の作製には900°C以上で9時間の加熱が必要であり、結晶ボロンの場合は、15mm反応させるために700°C9時間必要なので、非結晶ボロンでMgB₂の生成にはより高い温度が必要であるとわかった。この研究によりアモルファスボロンを使用することができれば大幅なコストダウンをすることができる。今後は実用化にあたって、高い J_c を出すための方法を考える必要がある。

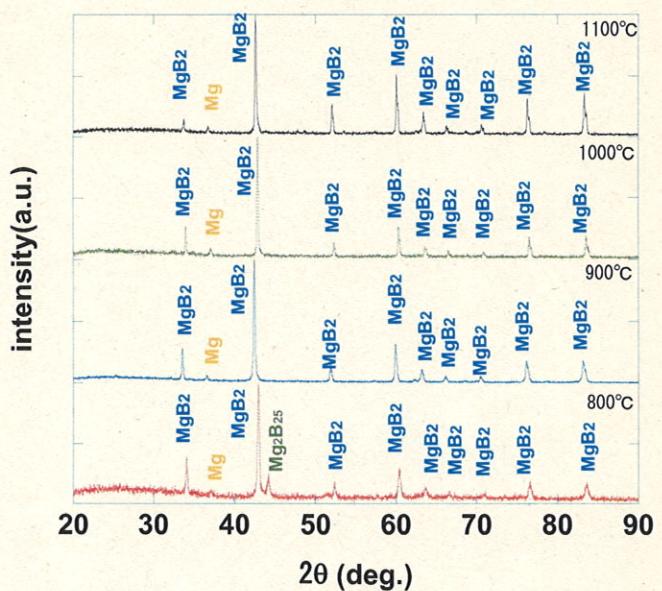


図2 各温度で生成した試料のX線測定結果

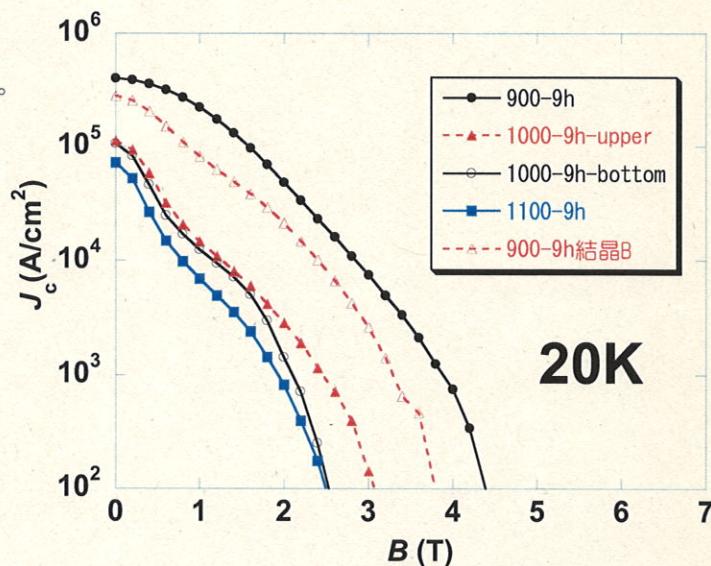


図3 20Kにおける臨界電流密度 J_c の磁場依存性