

Vitamin B₁₂ を添加した MgB₂ バルクの超伝導特性Superconducting Properties in MgB₂ Bulks Synthesized by Vitamin B₁₂ Addition○鈴木将友¹, 中山佳威², 笠原清太郎¹, 三浦悠太¹, 久保田洋二³*Masatomo Suzuki¹, Yoshitake Nakayama², Seitaro Kasahara¹, Yuta Miura¹, Yoji Kubota³

We investigated the effect of Vitamin B₁₂ (VB₁₂) addition on superconducting properties of MgB₂ bulks. All samples were fabricated by an *in situ* Mg diffusion method using compacted boron powder, compacted mixtures of VB₁₂ and boron powders, and magnesium powder. X-ray diffraction patterns showed that all samples consist of MgB₂ with a trace amount of MgO. The secondary phase is found to be independent of doping amounts despite of its oxygen content in the additive. The VB₁₂ doped sample had higher critical current density in a high magnetic field compared with the un-doped sample. The VB₁₂ addition was found to be effective for the improvement of critical current densities for MgB₂ materials.

1. はじめに

MgB₂ (二ホウ化マグネシウム) は 2001 年に発見された超伝導体である. この物質は, 臨界温度 $T_C=39\text{K}$ と金属間化合物の中で最も高い T_C を示す. そのため MgB₂ は冷凍機で簡単に到達できる温度 (約 20K) で利用でき, セラミックス系超伝導体に比べ機械的に丈夫であることなどから, リニアモーターカーへの応用が期待されている. しかし, MgB₂ の実用化には更に臨界電流密度 J_C を向上させる必要がある. これには SiC など炭素を含んだ化合物を添加することが有効であると報告されている^[1].

ここでは, MgB₂ への添加剤として Vitamin B₁₂ を (VB₁₂) を用い, その割合を系統的に変化させた MgB₂ バルクを作製し, 超伝導特性を調べたので報告する.

2. 実験

実験に用いた試薬を **Table 1** に示す. 試料は, 反応速度を早くするために Mg : B のモル比を 1 : 1 とし, MgB₂ の生成量に対して Mg 粉末を 4wt% 添加し, それに VB₁₂ を 0, 2.5, 5, 10wt% 加えて混合粉を 4 種類用意した.

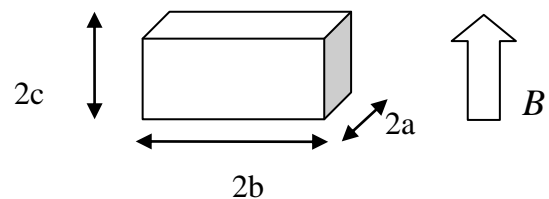
Table 1. Specifications of starting materials

試薬名	純度 [%]	粒径 [μm]
B	99	45
Mg 粉末	99.9	150
VB ₁₂	95	powder
Mg	99.99	300-500

試料作製には, はじめに Mg 粉末, B と VB₁₂ を Ar 中で 40 分間混合した後, 短冊状のプレス型に入れ 9t で 10 分間加圧し, 圧粉体を作製する. 片側をアーク溶接した Ta 管に, 作製した圧粉体と Mg を入れ, Ar 雰囲気中でアーク溶接し封管する. この Ta 管を石英管の中に入れ真空封入し, 1100°C で 5 分間の熱処理と, 続いて 710, 760°C で 6, 14, 24 時間の熱処理を行った. これを二段階熱処理という. その後 695°C で 30 分間で残留 Mg の除去を行った. 試料の組成と超伝導特性は, それぞれ粉末 X 線回折測定 (XRD) と超伝導量子干渉計 (SQUID) による磁化測定から評価した. J_C は磁化曲線から式 (1) で表される拡張 Bean モデルを用いて算出した.

$$J_C = \frac{\Delta M}{a \left(1 - \left(\frac{a}{3b} \right) \right)} \quad (1)$$

ΔM は磁場の上昇時と下降時の磁化の差である. 試料の大きさを $2a$ (縦) $\times 2b$ (横) $\times 2c$ (高さ) ($a < b$) とし, 直流磁場は $2a \times 2b$ 面に対して垂直方向になるように印加する. (**Figure 1** 参照)

**Figure 1.** Arrangement of sample and external magnetic field

3. 結果

Table 2 に作製した圧粉混合体を示す。

Table 3 に MgB₂ 試料作製に用いた熱処理条件を示す。

Figure 2 に試料の XRD のパターンを示す。全ての試料の主相は MgB₂ であり、不純物の MgO は VB₁₂ の量にはほとんど依存していなかった。

Table 2. Pressed mixtures

混合物	Mg [モル比]	B [モル比]	VB ₁₂ [wt%]
#1	1	1	0
#2	1	1	2.5
#3	1	1	5
#4	1	1	10

Table 3. Heat treatment conditions

条件名	1 段階		2 段階	
	温度	時間	温度	時間
	[°C]	[min]	[°C]	[h]
1	1100	5	710	6
2	1100	5	710	14
3	1100	5	710	24
4	1100	5	760	6
5	1100	5	760	14
6	1100	5	760	24

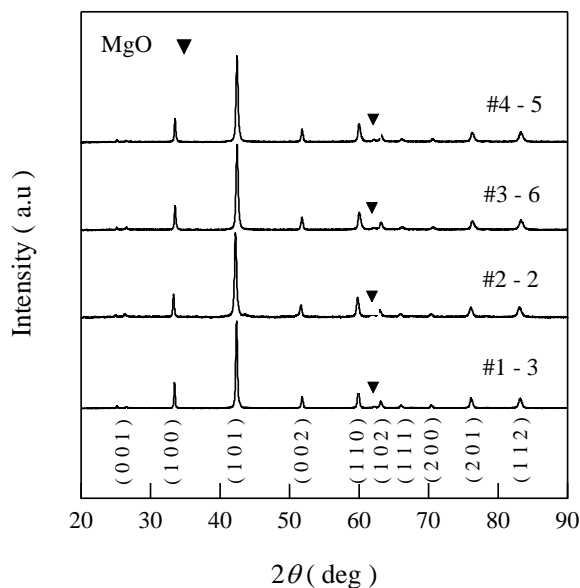


Figure 2. XRD patterns

Figure 3 に VB₁₂ 濃度が異なる試料で、20K での最大の J_C 対 外部磁場 B_{ex} のグラフを示す。低磁場では VB₁₂ の無添加の試料が高い J_C を示すが、2.5T 以上では VB₁₂ を 2.5wt% 添加した試料が最も高い J_C を示している。また VB₁₂ の量を 5, 10wt% 添加した試料でも高磁場では VB₁₂ を無添加の試料と同じ程度かそれ以上の J_C を示した。

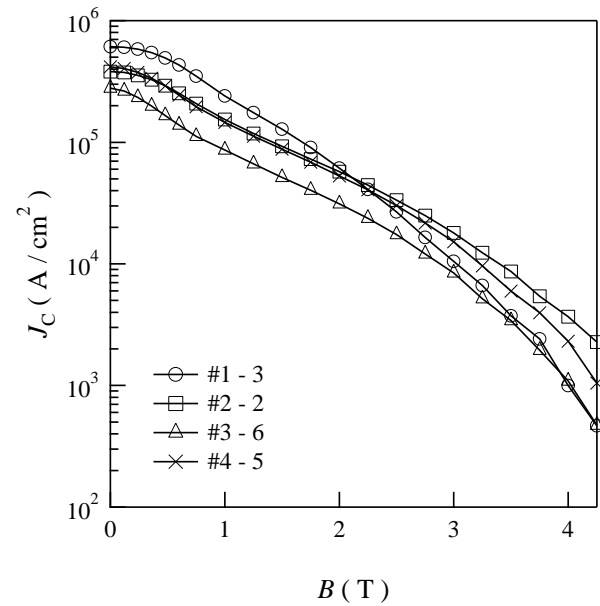


Figure 3. J_C at 20K vs B_{ex}

4. まとめ

B と Mg 粉末と VB₁₂ の圧粉体と Mg を一緒に Ta 管に詰め、二段階熱処理をし、MgB₂ バルクの作製を行い、XRD による試料の組成評価と SQUID による磁化測定から超伝導特性の評価を行った。

VB₁₂ を添加することによる MgB₂ の組成への大きな影響は見られなかった。J_C は、低磁場では VB₁₂ が無添加の試料が高いが、高磁場では VB₁₂ を添加することにより向上した。MgB₂ の密度は VB₁₂ 濃度が高くなると逆に減少するが、J_C は密度に比例して高くなる傾向がある。

今後は、VB₁₂ と B を反応させてから MgB₂ を作製し、超伝導特性を研究する予定である。

5. 参考文献

[1] S. X. Dou, S. Soltanian, J. Horvat, X. L. Wang, S. H. Zhou, M. Ionescu, H. K. Liu, P. Munroe, and M. Tomsic: "Enhancement of the critical current density and flux pinning of MgB₂ superconductor by nanoparticle SiC doping" Appl. phys. Lett. 81 (2002) 3419-34