

***In-situ*法による添加物を加えた MgB<sub>2</sub>/Nb/Monel 線材の超伝導特性**  
**Superconducting properties of hemoglobin doped MgB<sub>2</sub>/Nb/Monel wires**  
**fabricated by an in situ powder-in-tube method**

○吉田史治<sup>1</sup>, 中山佳威<sup>2</sup>, 鈴木康正<sup>1</sup>, 尾崎泰文<sup>1</sup>, 三浦悠太<sup>1</sup>, 久保田洋二<sup>3</sup>  
 \*Fumiharu Yoshida<sup>1</sup>, Yoshitake Nakayama<sup>2</sup>, Yoshimasa Suzuki<sup>1</sup>, Yasufumi Osaki<sup>1</sup>, Yuta Miura<sup>1</sup>, Yoji Kubota<sup>3</sup>

We studied the transport critical current density ( $J_C$ ) for 2.5 wt% hemoglobin doped MgB<sub>2</sub>/Nb/Monel wires fabricated by an in situ powder-in-tube method. All wires were sintered at 650°C for 0.5, 1, 2, and 4h. For comparison, un-doped MgB<sub>2</sub>/Nb/Monel wires were also fabricated by the same preparation method. The  $J_C$  was obtained from the transport critical current observed in the current-voltage characteristics. We found that the  $J_C$  of MgB<sub>2</sub> + 2.5 wt% hemoglobin doped wires increased as the sintering time increased and showed higher  $J_C$  in high fields compared with that of un-doped sample.

### 1. はじめに

2001年に発見されたMgB<sub>2</sub>超伝導体は金属系超伝導体の中で最も臨界温度( $T_C=39K$ )が高い。これによりNbTiやNb<sub>3</sub>Snが使える20K近傍での応用が期待されている。そのため、MgB<sub>2</sub>の臨界電流密度 $J_C$ を向上させるために様々な研究が行われている。 $J_C$ の改善には、添加剤としてSiC等の炭素を含んだ化合物が有効であると報告されている。<sup>[1]</sup>

MgB<sub>2</sub>線材の作製方法は2通りある。一つはMgとBの混合粉を金属シースに充填し圧延加工し、熱処理を行う *In-situ* 法と、もう一つは MgB<sub>2</sub>粉末を金属シースに充填する *Ex-situ* 法である。

今回は *In-situ* 法を用いて MgB<sub>2</sub>/Nb/Monel 線材を作製し、ヘモグロビンを添加して超伝導特性がどのように変わるのかを調ったので結果を報告する。

### 2. 実験

#### 2-1 試料作製

Mg(99.9%, 300-760 $\mu$ m)とB(95%, 0.85 $\mu$ m)をモル比がMg:B=1:2となるように秤量する。ヘモグロビン(Hb)とBを詰めたTa管( $\phi$ 6-50mm)の両端をArガス中でアーク溶接する。これを石英管( $\phi$ 10-100mm)に真空封入し、400°C-60minで熱処理を行い急冷する。Ta管中でHbと反応させたBとMgをArガス中で40分混合し、この混合粉を4t-10minの加重で円柱状の圧粉体( $\phi$ 5.5)を成型する。これを4ヶ、長さ40mm、内径(I.D.) $\phi$ 5.5、外径(O.D.) $\phi$ 9.5のNbパイプに詰め、溝ロールでO.D. $\phi$ 3.5まで圧延加工する。これをO.D. $\phi$ 6.5, I.D. $\phi$ 3.5のMonelパイプに挿入し、再び溝ロールでO.D. $\phi$ 0.93まで圧延加工し、その後丸ダイスを用いて線材をO.D. $\phi$ 0.87まで落とした。これを650°C-30, 60, 120, 240min熱

処理を行い試料を作製した。Hbが無添加の試料も同様の条件で作製した。

#### 2-2 測定

$I_C$ 測定装置で試料の臨界電流密度 $J_C$ を調べた。 $I_C$ は1 $\mu$ V/cmの電場が発生したときの電流で定義した。 $J_C$ は $I_C$ を線材のMgB<sub>2</sub>領域で割った値である。

また、試料表面を観察するため、走査型顕微鏡(SEM)を用いた。

### 3. 結果及び考察

Table 1に各試料のO.D.とMgB<sub>2</sub>の面積(S), S/(S+N)(N:常伝導体の断面積)を示す。Hbを添加した試料H25は無添加の試料H00と比べるとMgB<sub>2</sub>の面積が減ったので、S/(S+N)比が低くなっている。

Table 1. Specifications of wires

wire	Hb/MgB <sub>2</sub> (%)	O.D. (mm)	MgB <sub>2</sub> size ( $\times 10^4$ cm <sup>2</sup> )	S/(S+N) (%)
H00	0	0.87	7.23	12.2
H25	2.5	0.87	6.40	10.8

Fig.1 (a)と(b)にSEMで観察した試料断面のイメージを示す。(a)のH00は中心に見える暗い部分の空隙が多いが、(b)のH25は中心部分に空隙が少ない。

Fig.2に熱処理条件が650°C-30, 60, 120, 240minでH00の20Kにおける $J_C$ の外部磁場依存性を示す。熱処理時間が120minの試料は $J_C$ が最も高い。240minの試料は磁場が増加すると $J_C$ が他の試料より急激に減少している。

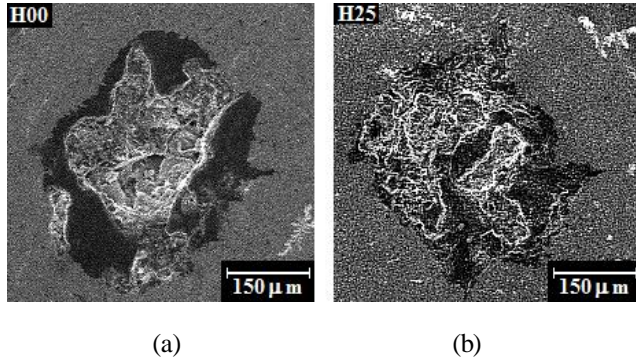


Fig.1 SEM Image

Fig.3に熱処理条件が650°C-30, 60, 120, 240minでH25の20Kにおける $J_c$ の外部磁場依存性を示す。熱処理時間が長いほど $J_c$ が向上している。全試料で磁場による影響はほぼ同じである。

Fig.4に最も $J_c$ の高い試料H00とH25の20Kにおける $J_c$ の外部磁場依存性を示す。低磁場側ではH00の $J_c$ が高いが、3.25T以上ではH25の $J_c$ が高くなる。磁場による影響はH25のほうがH00よりも小さい。

Hbを添加し熱処理時間を長くすることで、高磁場側では高い $J_c$ を得られる。さらなる $J_c$ 向上のためにH25の熱処理条件を変えたり、Hbの濃度を変化させて研究する必要がある。

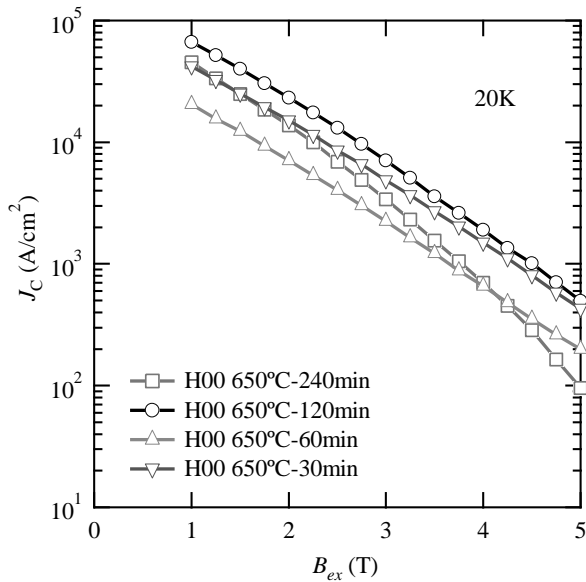


Fig.2  $J_c$  vs.  $B$  (H00)

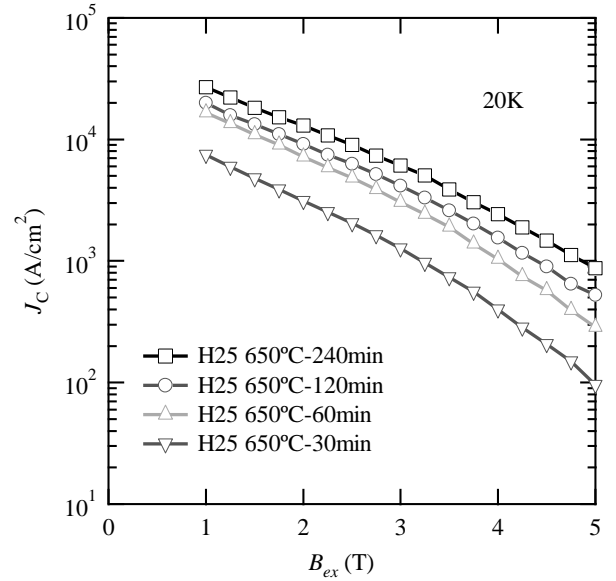


Fig.3  $J_c$  vs.  $B$  (H25)

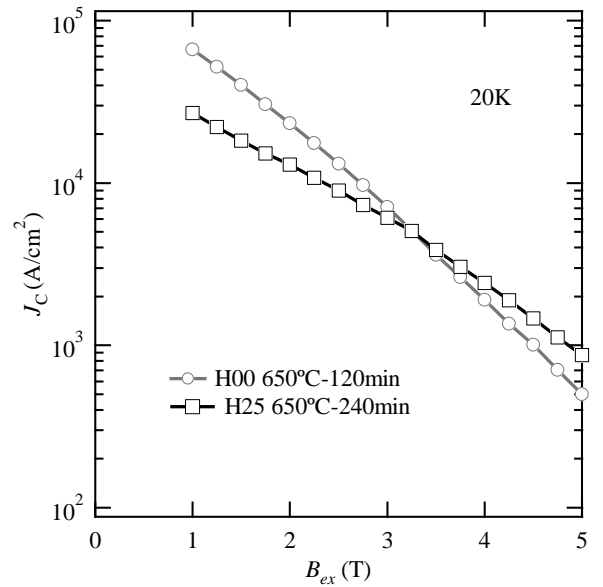


Fig.4  $J_c$  vs.  $B$  (H00 and H25)

#### 4. 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) 3419-3421