

# Mg 拡散法で作製した MgB<sub>2</sub> 超伝導線材の機械特性

## Mechanical Properties of MgB<sub>2</sub> Superconductor Fabricated by Internal Mg Diffusion Process

西島 元<sup>1</sup>, 葉 術軍<sup>1</sup>, 松本 明善<sup>1</sup>, 戸叶 一正<sup>1</sup>, 熊倉 浩明<sup>1</sup>, 北口 仁<sup>1</sup>, 小黒 英俊<sup>2</sup>

<sup>1</sup>物質・材料研究機構, <sup>2</sup>東北大・金研

G. Nishijima<sup>1</sup>, S.J. Ye<sup>1</sup>, A. Matsumoto<sup>1</sup>, K. Togano<sup>1</sup>, H. Kumakura<sup>1</sup>, H. Kitaguchi<sup>1</sup> and H. Oguro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Institute for Materials Research

<sup>2</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

### 1. はじめに

MgB<sub>2</sub> 超伝導線は通常 PIT (Powder in tube) 法によって作製される。この方法は長尺化、量産等のスケールアップも比較的容易であるので、市販されている線材にも適用されている。しかし、PIT 法は原理的に粉末の焼結であるため、高密度な MgB<sub>2</sub> を得ることが難しい[1]。

これに対して、Giunchi らによって開発された IMD (Internal Mg Diffusion) 法[2]は、同心配置した金属管と Mg ロッドの間に B 粉末を充填し、拡散反応によって高密度な MgB<sub>2</sub> を得る。Togano らはこの方法を発展させ、最近では Cu-Ni シース 7 芯線材で 990 A/mm<sup>2</sup> (4.2 K, 10 T) [3], Fe シース单芯線材で 480 A/mm<sup>2</sup> (4.2 K, 10 T) [4] など、比較的高い臨界電流密度 ( $J_c$ ) が得られるようになってきた。

本研究では IMD 法 MgB<sub>2</sub> 線材の機械特性を調べ、PIT 法 MgB<sub>2</sub> 線材との比較を行った[5,6]。

### 2. 線材諸元

試料線材は IMD 法および PIT 法によって作製した Fe シース MgB<sub>2</sub> 単芯線材である。断面写真を Fig. 1 に示す。IMD 線材は SiC+ジメチルベンゼン添加であり、670 °C×2 hrs, PIT 線材は SiC 添加で 850 °C×1 hr の熱処理を行った。超伝導部分の断面積は画像解析によって求め、IMD 線材 0.06 mm<sup>2</sup>, PIT 線材 0.2 mm<sup>2</sup> であった。

### 3. 実験方法

両線材について臨界電流 ( $I_c$ ) の一軸応力/歪依存性および横圧縮応力依存性を調べた。 $I_c$  の一軸応力/歪依存性は、全長 40 mm の線材両端 10 mm ずつを電極（一方は可動）に半田付けし、線材に一軸引張り応力を印加しながら  $I_c$  を測定することで調べ

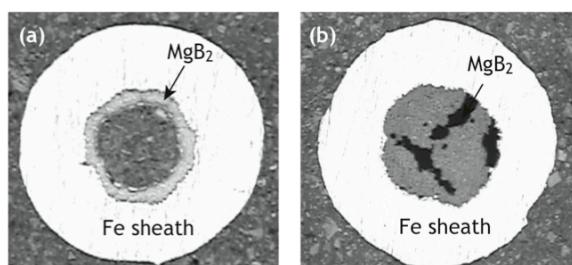


Fig. 1 Cross-sectional views of (a) IMD and (b) PIT processed MgB<sub>2</sub> superconducting wires. Diameter is 1 mm for each.

た[7]。また、 $I_c$  の横圧縮応力依存性は、試料を幅 3 mm の圧子で圧縮することで調べた[8]。

実験には東北大金研の 15T-SM を用いた。また、 $I_c$  は 10<sup>-4</sup> V/m (1 μV/cm) 電界基準を用いて求めた。

### 4. 結果

Fig. 2 に 4.2 K, 10 T における  $I_c$  の一軸歪依存性を示す。 $I_c$  はある歪閾値まで線形に上昇し、かつ可逆であるが、歪閾値を超えると劣化する。この傾向は Kitaguchi らによる報告[9]と定性的に一致する。つま

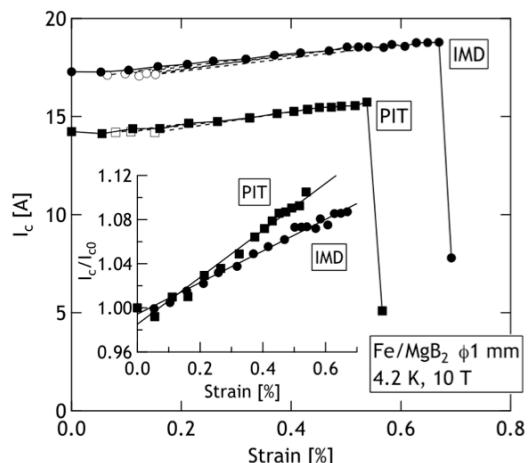


Fig. 2  $I_c$  as a function of uniaxial strain. Inset shows  $I_c/I_{c0}$  as a function of uniaxial strain.

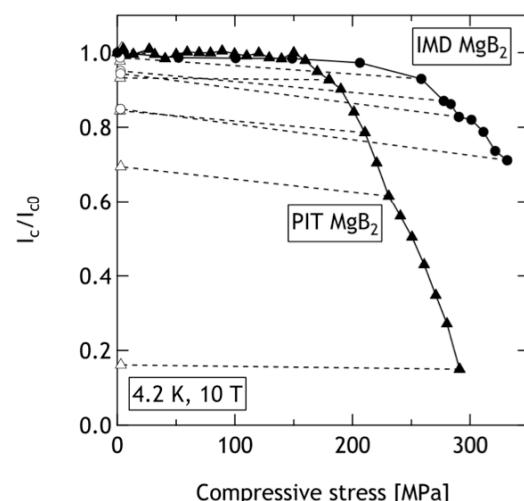


Fig. 3 Normalized  $I_c$  as a function of transverse compressive stress.

り、 $MgB_2$ は熱処理後の冷却で圧縮歪を受け、これが予歪として $I_c$ を低下させている。引張りによって予歪が緩和されると $I_c$ が増加するが、可逆限界歪を超えると不可逆劣化する。可逆限界歪の値はIMD法線材が0.67%，PIT法線材は0.54%であった。

Fig. 2 insetには $I_c$ 可逆領域の傾きを示した。この傾きは歪感受性と考える事ができる。傾きはIMD法線材0.14, PIT法線材0.21であった。すなわち、IMD法線材はPIT法線材に比べ、歪感受性が小さく、可逆限界歪が大きい。

Fig. 3には横圧縮応力に対する $I_c$ の応答を示す。 $I_c$ が劣化し始めた応力はPIT法線材160 MPaに対しIMD法線材206 MPaであり、IMD法線材は一軸引張りだけでなく、横圧縮に対しても高い特性を示すことが分かった。

## 5.まとめ

IMD法によって作製した $MgB_2$ 超伝導線材の機械特性を調べ、PIT法によって作製した線材と比較した。一軸引張り、横圧縮とともにIMD法線材のほうが良好な特性を示した。

## 参考文献

- [1] H. Kumakura *et al.*, *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **21** (2011) 2643.
- [2] G. Giunchi *et al.*, *Supercond. Sci. Technol.* **16** (2003) 285.
- [3] K. Togano *et al.*, *Supercond. Sci. Technol.* **23** (2010) 085002.
- [4] S.J. Ye *et al.*, *Physica C* **471** (2011) 1133.
- [5] 西島他, 2011年秋季低温工学・超電導学会講演概要集
- [6] G. Nishijima *et al.*, *Supercond. Sci. Technol.* **25** (2012) in press.
- [7] G. Nishijima *et al.*, *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **20** (2010) 1391.
- [8] G. Nishijima *et al.*, *Cryogenics* **45** (2005) 653.
- [9] H. Kitaguchi and H. Kumakura, *Supercond. Sci. Technol.* **18** (2005) S284.