

内部 Mg 拡散法によって作製した MgB₂ 線材の機械特性

Mechanical property of MgB₂ superconducting wire fabricated by internal Mg diffusion process

西島 元, 葉 術軍, 松本 明善, 戸叶 一正, 熊倉 浩明, 北口 仁 (NIMS); 小黒 英俊 (東北大)

NISHIJIMA Gen, YE Shujun, MATSUMOTO Akiyoshi, TOGANO Kazumasa,

KUMAKURA Hiroaki, KITAGUCHI Hitoshi (NIMS); OGURO Hidetoshi (Tohoku University)

E-mail: nishijima.gen@nims.go.jp

1. はじめに

MgB₂ 線材は市販されている線材も含めて、殆どが PIT (Powder in Tube) 法とその応用によって作製されている。しかし、PIT 法は基本的に粉末の焼結なので、高密度な MgB₂ を得ることが難しい。一方、Giunchi らによって開発された IMD (Internal Mg Diffusion) 法 [1] は、同心に配置した金属管と 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 MgB₂ を得る。この方法は Togano らによって発展し、Cu-Ni シース 7 芯線材で 990 A/mm² (4.2 K, 10 T) [2], Fe シース単芯線材で 480 A/mm² (4.2 K, 10 T) [3] 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。

そこで、本研究では IMD 法 MgB₂ 線材の機械特性を調べ、PIT 法 MgB₂ 線材との比較を行う。

2. 線材諸元

試料線材は IMD 法および PIT 法によって作製された Fe シース MgB₂ 単芯線である。断面写真を図 1 に示す。IMD 線材は SiC+ジメチルトルエン添加であり、670 °C×2 h, PIT 線材は SiC 添加で 850 °C×1 h の熱処理を行った。

3. 実験方法

両線材について I_c の応力/歪依存性を調べた。全長 40mm 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 を測定した [4]。歪は電極間距離をクリップゲージによって測定し、初期長さで除することで求めた。実験は東北大金研の 15 T 超伝導マグネットで行った。なお、 I_c は測定した I - V 曲線から 10^{-4} V/m (1 μ V/cm) 電界基準を用いて求めた。

4. 実験結果

図 2 にゼロ歪時の J_c の磁場依存性を示す。 J_c は I_c を超伝導層断面積で除して求めた。IMD 線材の J_c は PIT 線材のそれに対して 5 T で約 5 倍、10 T で約 4 倍であった。

図 3 には 4.2 K, 10 T における I_c の歪依存性を示す。●および■は負荷時、○および□は可逆性を調べるための除荷時 I_c である。PIT 線材、IMD 線材ともに歪増加に伴って I_c は可逆かつ線形に増加し、 I_c 最大となる点が可逆限界となつて劣化する。この傾向は Kitaguchi らの結果 [5] と一致する。また、可逆限界歪 (不可逆歪) 値は IMD 線材のほうが大きい。挿入図にはゼロ歪 I_c (I_{c0}) で規格化した I_c の歪依存性を示す。 I_c/I_{c0} の増加率 $d(I_c/I_{c0})/d\varepsilon$ は PIT に比べて IMD 線材のほうが小さい。つまり、IMD 線材と PIT 線材では、前者のほうが可逆限界歪が大きく、歪感受性が小さい。

参考文献

- [1] G. Giunchi *et al.*, *Supercond. Sci. Technol.* **16** (2003) 285.
 [2] K. Togano *et al.*, *Supercond. Sci. Technol.* **23** (2010) 085002.

[3] S.J. Ye *et al.*, *Physica C* (2011) in press.

[4] G. Nishijima *et al.*, *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **20** (2010) 1391.

[5] H. Kitaguchi and H. Kumakura, *Supercond. Sci. Technol.* **18** (2005) S284.

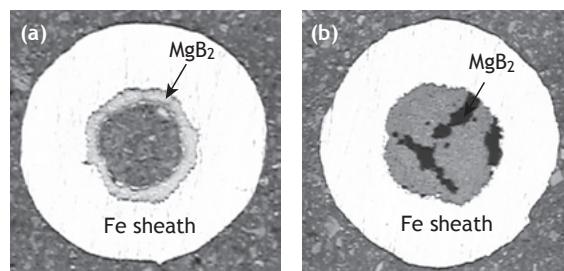


Fig. 1 Cross-sectional views of (a) IMD and (b) PIT processed MgB₂ superconducting wires. Diameter is 1 mm for each.

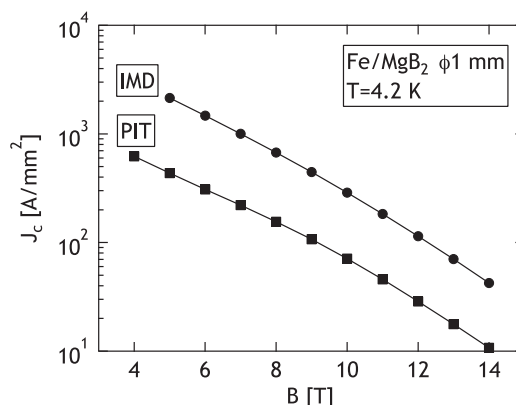


Fig. 2 J_c as a function of magnetic field.

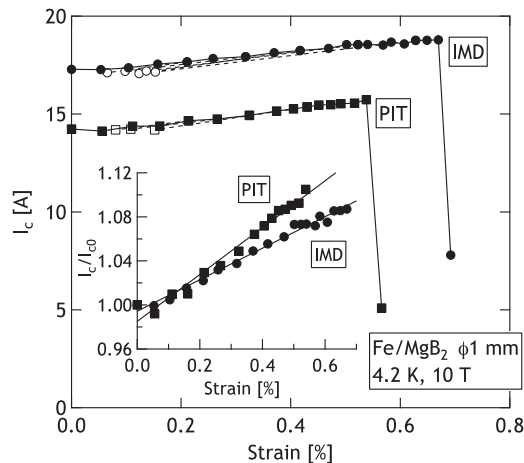


Fig. 3 I_c as a function of uniaxial strain. Inset shows I_c/I_{c0} as a function of uniaxial strain.

MgB₂ 線材の組織と超伝導特性に及ぼす HIP 処理の効果Effects of HIP treatment on structures and superconducting properties of MgB₂ wires

金田 尚也, 大野 高弘, 金澤 昌哉, 山田 豊, 太刀川 恭治 (東海大); 松本 明善, 熊倉 浩明 (NIMS)
 KANEDA Naoya, OHNO Takahiro, KANAZAWA Masaya, YAMADA Yutaka, TACHIKAWA Kyoji (Tokai University);
 MATSUMOTO Akiyoshi, KUMAKURA Hiroaki (NIMS)
 E-mail : 1bazzm010@mail.tokai-u.jp

1. はじめに

MgB₂ 線材の高臨界電流密度(J_c)化を図るため、高密度な MgB₂ コアを得る方法としてこれまで熱処理中に一軸加圧するホットプレス処理を用い成果が得られている。本報では、等方加圧である HIP 処理を施し、一部の線材には追加熱処理を行い、種々の条件で作製された MgB₂ 線材の組織と超伝導特性について報告する。

2. 実験方法

Fig. 1 に外部拡散法による MgB₂ 線材作製方法を示す。外径/内径: 12/6 mmφ の純鉄管に、外径/内径: 6.0/4.0 mmφ の Mg 金属管を挿入後、5 mol% の SiC 粉末を添加したアモルファス B 粉末を充填した。その後、冷間で線引加工を行い、1.0~0.6 mmφ に伸線し試料とした。630°C×5 h、Ar 雰囲気中で熱処理を行った。また、一部の試料には、100 MPa 及び 200 MPa の圧力下で、630°C×5 h、Ar 雰囲気中で HIP 処理を施し、HIP 処理の前または後に追加熱処理を行った。4.2 K における臨界電流(I_c)の磁場依存性については物質・材料研究機構(NIMS)にて測定した。

3. 実験結果および考察

Fig. 2 に、冷間線引加工により作製した直径 0.6 mmφ の線材の横断面における光学顕微鏡写真を示す。630°C×5 h の熱処理を行った線材(a)では、生成した MgB₂ コアの周りには Mg の拡散によって生じた空隙(Gap)が生じている事が分かる。一方、HIP 処置を施した線材(b)を見ると、等方加圧により空隙が押し潰されている事が分かり、線材の全断面積もやや減少した。また、SEM 観察からも同様に空隙が押し潰されていることが確認でき、MgB₂ コアは空孔のほとんどない緻密な組織であった。

Fig. 3 に直径 0.6 mmφ 線材の 4.2 K における J_c の磁場依存性を示す。HIP 処理後に 630°C×5 h の熱処理を行った線材は 5 T において 2800 A/mm² の値を示し、10 T においては 360 A/mm² を示した。また、630°C×5 h の熱処理後に HIP 処理を施した線材では 5 T で 2160 A/mm²、10 T では 280 A/mm² を示した。HIP 処理を施す前後に適切な熱処理を行うことで、J_c が向上する可能性がある。今後、生成する MgB₂ コアの組織をさらに改善するため HIP 処理条件の最適化を行い、電流特性の向上を図る予定である。

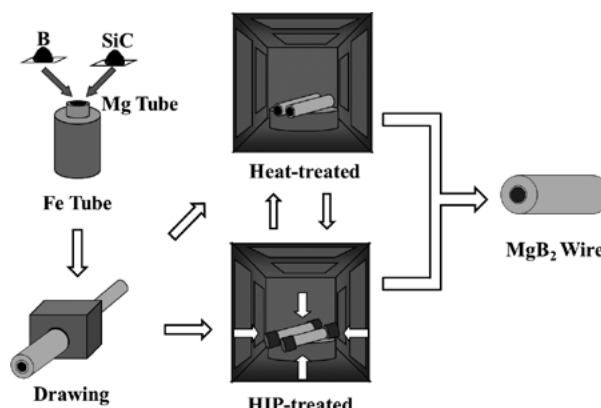


Fig. 1 Preparation procedure of external diffusion processed MgB₂ wires.

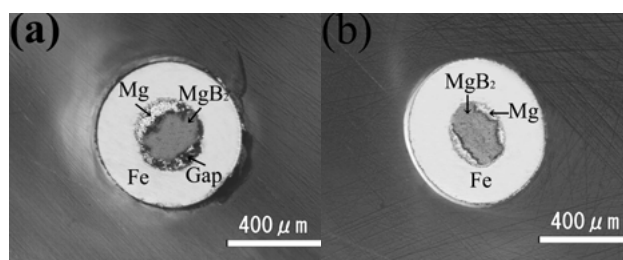


Fig. 2 Macrostructure of cross sections in MgB₂ wires of 0.6 mmφ in diameter. (a) heat-treated, (b) HIP treated.

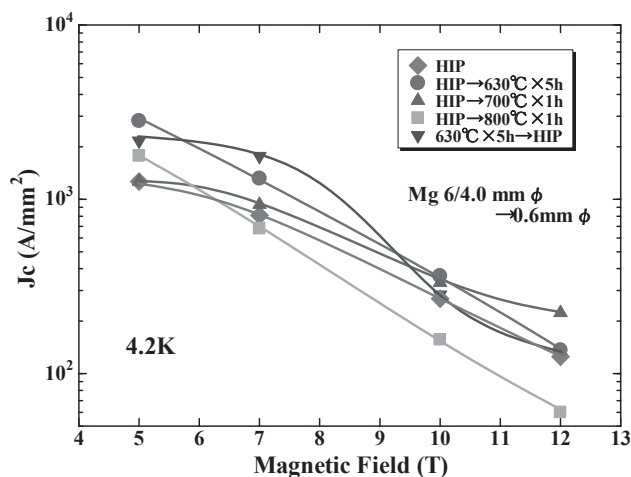


Fig. 3 Magnetic field dependence of J_c at 4.2 K for the MgB₂ wires treated by HIP.

Cold high pressure densification プロセスによる MgB₂/Nb/Monel 線材 — 圧力依存性 —

In situ MgB₂/Nb/Monel Wire after Cold High Pressure Densification

— Pressure Dependence —

中山 佳威, 前田 穂, 久保田 洋二(日大); Ashkan Motaman, Jung Ho Kim, Shi Xue Dou (Univ. Wollongong)
NAKAYAMA Yoshitake, MAEDA Minoru, KUBOTA Yoji (Nihon Univ.);
MOTAMAN Ashkan, KIM Jung Ho, DOU Shi Xue (Univ. Wollongong)

E-mail: MPD@nihon-u.ne.jp

1. はじめに

金属系超伝導体で最も高い T_c を持つ MgB₂ 線材の J_c を向上させるために、様々な研究が行われている。しかし、原材料の混合粉を金属管に充填し、MgB₂ 線材を作製する *in-situ* 法では、コア領域で MgB₂ の占線率が低いので、高 J_c を得ることが困難であった。

そこで、我々は混合粉を充填させた線材を Cold high pressure densification プロセス(以下 CHPD と記す)を加えた *in situ* 法で MgB₂ 線材を作製した。これらの線材の超伝導特性に対する CHPD の圧力効果を調べたので報告する。

2. 実験

用いた線材は、Hyper Tec Research, Inc. 製(#2284)である。線材の原料のモル比は Mg : C コーティング B = 0.9 : 2 であり、後者は B に対して 2wt.% になる C でコーティングされている。線材のバリア材は Nb、シースは Monel で外径は ϕ 0.83 である。

この線材に CHPD (室温でアンビルを用いて線材に 4 方向から圧力を加える)で 2GPa, 2.25GPa, 2.5GPa の圧力を加えて、平角線材を作製した。また、比較のため #2284 線材を用意した。

これら 4 種類の線材を 700°C-30min の熱処理を行い試料とした。各試料の諸元を Table 1. に示す。

試料の J_c は、温度 20K で超伝導マグネットを用いて最大 5T までの磁場中で、測定した。 J_c は試料に 1 μ V/cm の電場が発生した電流で定義した。 J_e は J_c を試料の断面積で割って求めた。また、 T_c は SQUID を用いて交流帯磁率の実数部 χ' で求めた。

Table 1. Specification of samples.

Sample	CHPD (GPa)	T_c (K)
#1	0	35.0
#2	2	34.4
#3	2.25	34.4
#4	2.5	34.8

3. 結果

Fig.1. に各試料の B_{c2} の温度依存性を示す。高温領域の B_{c2} は、CHPD のあり、なしには依存せず、全ての試料でほぼ同じであった。全ての試料で、 T_c は約 34.7K、5T での T_c は約 25.0K であった。

Fig.2. に各試料の 20K における J_e の磁場依存性を示す。CHPD を加えると、 J_e が高くなっていることがわかる。4T での J_e は、CHPD なしの #1 の試料では、 2.1×10^3 A/cm² であるが、CHPD の圧力が 2.5GPa の #4 の試料は 7.0×10^3 A/cm² であり約 3 倍も J_e が高くなっている。

一方、CHPD を行った試料と CHPD を行っていない試料は、各温度でほぼ同じ B_{c2} を示し、 J_e の磁場依存性も同じである。しかし、CHPD で加圧すると J_e は増大している。詳細な検討は当日報告する。

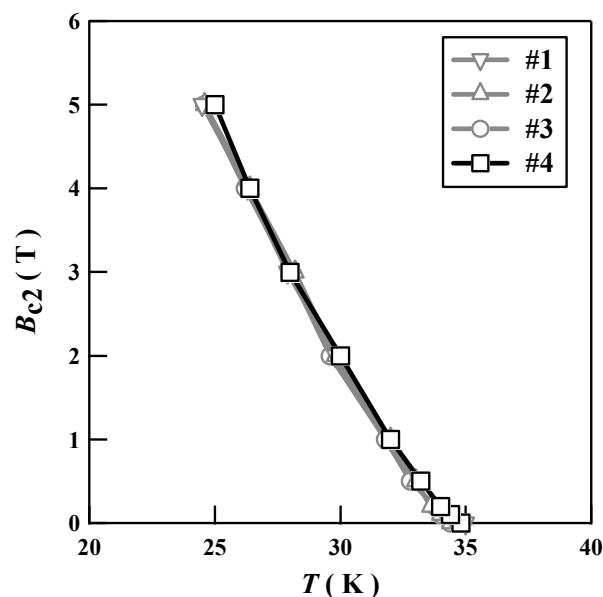


Fig.1. B_{c2} vs. T for all samples.

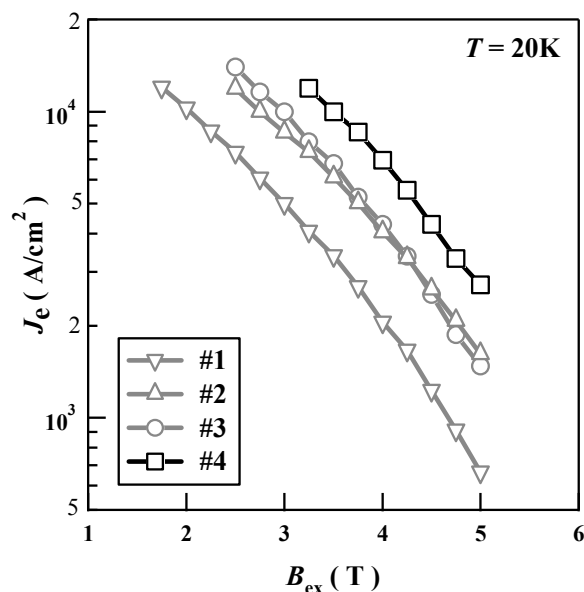


Fig.2. J_e at 20K vs. B_{ex} for all samples.

Premix-PIT 法により作製した MgB₂ 単芯線材の J_c-B 特性 J_c-B properties of premix-PIT processed MgB₂ mono core wires

児玉 一宗, 田中 和英, 岡本 和孝(日立・日立研); 山本 明保, 下山 淳一(東大)
KODAMA Motomune, TANAKA Kazuhide, OKAMOTO Kazutaka(Hitachi);
YAMAMOTO Akiyasu, SHIMOYAMA Jun-ichi(Univ. of Tokyo)
E-mail: motomune.kodama.yf@hitachi.com

1. 緒言

MgB₂ は比較的高い T_c(~40 K)を有し、磁束クリープも小さいため、20 K 付近での永久電流モード運転を可能とする唯一の超伝導体である。MgB₂の J_c-B 特性の改善には、B サイトの C 置換による電子散乱中心の導入[1]、拡散法や Premix 拡散法[2]などの MgB₂ 高密度化手法による電氣的結合度の向上[3]が有効であることが、バルク試料を用いた詳細な検討から明らかにされている。本発表では、C 供給源として B₄C を、MgB₂ 高密度化手法として Premix 法を選び、これらの高加工度線材(断面減少率 > 99.9%)における効果を検証した。

2. 実験方法

Fe 管に原料粉末を充填して φ 0.5 mm まで引抜加工した後、それを焼成することで MgB₂ 線材試料を作製した。Table 1 に示すように、試料は無添加 In-situ 線材(IN), B₄C 添加 In-situ 線材(IC), 無添加 Premix 線材(PN), B₄C 添加 Premix 線材(PC)の 4 種類とした。B₄C 添加量は、MgB_{1.80}(B₄C)_{0.04}の組成となるようにした。Premix 法は原料粉末に Mg, B, MgB₂ を配合することで、MgB₂ が In-situ に生成するときの体積収縮による密度低下を抑制する手法であるが、今回は MgB₂ 配合量を 50 wt.%とした。各線材試料に対して J_c-B 特性(4 端子法)、縦断面微細組織(FE-SEM)を評価した。また、Fe シースを剥がして取り出した MgB₂ コアに対して J_c-B 特性(磁化法)、T_c, B_{c2}, B_{irr}(4 端子法)を評価した。

3. 結果及び考察

Fig.1 に各試料の J_c-B 特性を示す。試料ごとに最適な焼成条件が異なったため、ここでは高い J_c が得られる代表的な焼成条件のデータを示した。4.2 K の高磁場域(> 4 T)では B₄C 添加試料(IC, PC)の方が J_c は高く、特に PC において最も高い J_c が得られた。一方、4.2 K の低磁場域と 20 K では無添加試料(IN, PN)の方が J_c は高かった。一般に、In-situ 法において C を含む化合物を添加すると、B_{c2} の向上と粒界ピンの強化により J_c が改善されるが、同時に T_c の低下が起こるため、T_c に近づくにつれてその効果は薄まる。この傾向は In-situ 試料だけでなく Premix 試料にも表れており、B₄C 添加が Premix 法でも有効な J_c 改善の手段となり得ることを確認した。一方、B₄C 添加による 20 K の B_{c2}, J_c の改善が認められなかったが、これは T_c 低下による悪影響をより強く受けたためであると考えられる。20 K での使用を想定する場合には、B₄C 添加量をより少量にして T_c 低下を抑制する必要がある。

Fig.2 において In-situ 試料(a)(b)と Premix 試料(c)(d)の縦断面の微細組織を比較する(ともに B₄C 添加)。MgB₂ の生成は Mg が B 粒子の領域に拡散することで起こるが、この反応時の体積収縮により生じる空隙は、線材加工時に塑性変形した Mg 粒子の形状を反映して細長くなる。低倍率像においてこのような細長い空隙が占める割合は(c)の方が少なく、Premix 法の適用により MgB₂ 密度が大幅に向上しているように見える。しかし高倍率像からは、(b)では前述した空隙以外の部分が非常に緻密であるのに対し、(d)では微細な空隙や未反応の B 粒子が多く存在し、Premix 試料の MgB₂ 密度は低倍率像の見かけほど高くはない。このように、今回の Premix 試料の微細組織はまだ最適とはいえないにも関わらず、その J_c-B 特性

は In-situ 試料と同等の値が得られている。原料粉末や配合組成などのパラメータの検討により微細組織をより理想的なものに近づけることで、J_c-B 特性の更なる向上が期待される。

Table1 Specifications of MgB₂ samples

Sample	MgB ₂ ratio	Composition	T _{c onset} (K)	T _{c offset} (K)	B _{c2} (20 K) (T)	B _{irr} (20 K) (T)
IN	0 wt.%	MgB ₂	38.1	37.7	10.6	7.8
IC	0 wt.%	MgB _{1.80} (B ₄ C) _{0.04}	36.8	35.0	11.0	8.0
PN	50 wt.%	MgB ₂	37.5	36.8	9.3	6.6
PC	50 wt.%	MgB _{1.80} (B ₄ C) _{0.04}	36.4	33.8	9.9	7.1

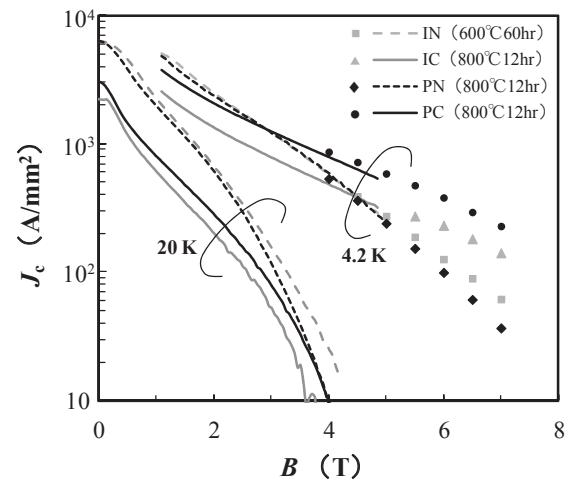


Fig.1 J_c-B properties of MgB₂ samples
(Symbols : 4-probe method, Lines : Magnetization method)

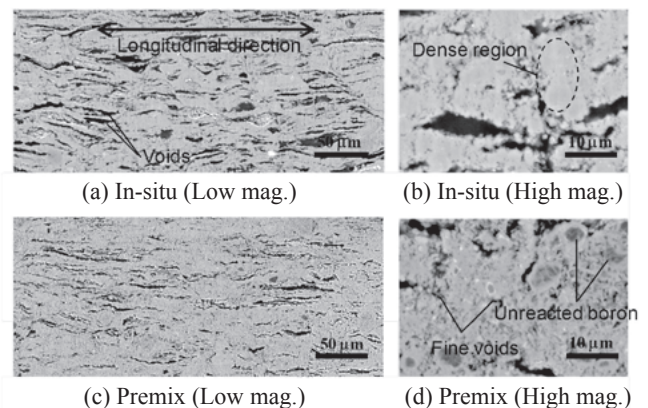


Fig.2 SEM-images of longitudinal sections of B₄C-doped wires

参考文献

1. A. Yamamoto et al.: *Supercond. Sci. Technol.* **18** (2005) 1323
2. I. Iwayama et al.: *Physica C* **460** (2007) 581
3. A. Yamamoto et al.: *Supercond. Sci. Technol.* **20** (2007) 658

MgB₂ テープ線を用いた転位導体の開発Development of a transposed conductor composed of MgB₂ tapes

北村 裕紀, 川越 明史, 住吉 文夫(鹿児島大);

柳 長門, 三戸 利行(核融合研); 木内 勝, 小田部 莊司, 松下 照男(九工大);

田中 和英, 和久田 毅(日立)

KITAMURA Hiroki, KAWAGOE Akifumi, SUMIYOSHI Fumio (Kagoshima University);

YANAGI Nagato, MITO Toshiyuki (NIFS);

KIUCHI Masaru, OTABE Edmund Soji, MATSUSHITA Teruo, (Kyushu Institute of Technology);

TANAKA Kazuhide, WAKUDA Tsuyoshi (HITACHI);

E-mail: k3989782@kadai.jp

1. はじめに

核融合装置や電力貯蔵装置用コイルの、低損失化と高安定化の両立、および低コスト化のために、高い断面アスペクト比をもつ MgB₂ テープ線材の開発を行っている。この線材は、丸線材をテープ形状に圧延したもので、臨界電流密度と交流損失の両方の電磁特性が向上することを明らかにしている^[1,2]。また、MgB₂ テープ線を用いたコイルを作製し、予測通りの性能が出ることで明らかにしている^[3]。今回は、電流大容量化のために、5 本束ねて転位した導体を試作し、その電磁特性を調べた。素線間の電気抵抗が電磁特性に及ぼす影響を明らかにするために、素線間絶縁有りとし無しの2つを作製し、臨界電流の測定を行った。

2. 試作導体と測定方法

MgB₂ テープ線を5本束ねて試作した転位導体のパラメータを Table1 に示す。本線材は、MgB₂/Nb/Cu で構成された直径 0.799mm の丸線材をアスペクト比 2 に圧延したテープ形状の in-situ 法線材である。このテープ線を5本用いて転位導体を2つ試作し、熱処理は導体化後に行った。素線間の電気接触が電磁特性に及ぼす影響を明らかにするために、絶縁あり導体と絶縁なし導体を作製した。導体は直線状であり、長さは 400mm である。素線が現在ある位置から隣の位置に移る転位ピッチは 50mm である。したがって、導体断面の位置を素線がすべて経験して一周するための導体長は 250mm となる。

サンプルは、伝導冷却を模擬するために、FRP製のサンプルホルダ内にセットし、隙間をエポキシ樹脂で埋め込んだ構造にし、サンプル表面には液体ヘリウムが直接触れないようにした。このサンプルホルダを液体ヘリウムに浸して冷却することによって、サンプルは熱伝導によって冷却されるようにした。サンプルの温度は、サンプルホルダ内に設置したステンレス製のヒーターで調整できるようにした。

測定温度は、ヒーター入熱なしの 4.2K と、ヒーターに入熱して 20K 近傍にした場合で測定した。印加磁界は、線材幅広面に対して平行な方向(EO方向)に 2~7T を印加した。端子間距離は 30mm であり、電界基準を 1μV/cm とし測定した。

3. 測定結果

測定した臨界電流の外部磁界依存性を Fig.1 に示す。4.2K の測定値は、絶縁有り・無しともに短尺サンプルの実測データからの予測値とほぼ一致した。このことから、絶縁ありと絶縁なしの MgB₂ テープ線から作製した2つの転位導体は、線材の特性劣化なく作製できていることがわかった。また、安定に通電できることもわかった。20K 近傍に温度調整した場合の臨界電流は、サンプルの温度に不均一が生じていたため、温度測定点の設定温度を変えて測定している。絶縁の有無で測定値が異なっているのは、絶縁層の有無によりサンプルホルダ内の温度分布が変わったためと考えられる。4.2K の測定値と磁界

依存性は変わらないとしてデータのフィッティングを行った曲線にはよく一致しており、4.2K と 20K 近傍で、臨界電流特性に本質的な違いはないと考えられる。

4. まとめ

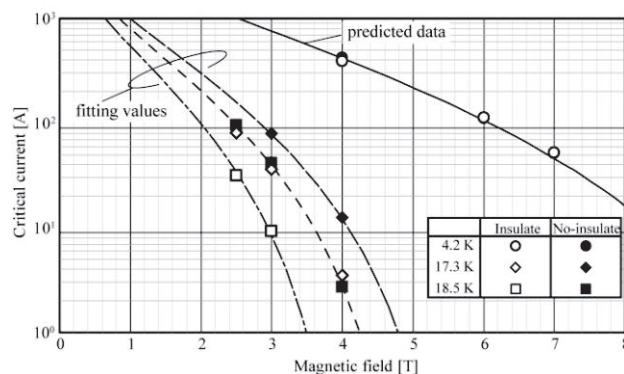
MgB₂ 丸線材を圧延して作製したテープ線5本から構成した転位導体を試作した。素線間の絶縁有りとし無しの2つのサンプルを試作し、伝導冷却を模擬した状態で臨界電流の測定を行った。4.2K の臨界電流は、短尺の実測値からの予測値とほぼ一致し、導体化による劣化は観測されなかった。以上のことより、本導体構造が MgB₂ テープ線の大容量化の方法として有効であることを示した。

参考文献

- [1] Y. Wakabayashi, et al.: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 80 (2009) p.197.
 [2] A. Kawagoe, et al.: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 80 (2009) p.198.
 [3] M. Taejun, et al.: Abstracts of CSJ Conference, Vol. 83 (2010) p.79.

Table1 Parameter of test conductors composed of MgB₂ tapes

Strand	
Dimension	1.051 mm x 0.504 mm
Filament dimension	0.712 mm x 0.233 mm
Aspect ratio	2.08
Conductor	
Type	Transposed conductor
Shape	Straight
Number of strand	5
Transposition pitch	50 mm
Length	400 mm

Fig. 1 Critical currents of MgB₂ transposed conductors

Al 合金基板上への MgB₂ 薄膜の作製 Fabrication of MgB₂ thin films prepared on Al alloy substrates

菅松 裕史, 土井 俊哉, 三宅 正男, 平藤 哲司 (京大); 田中 和英, 岡本 和孝 (日立)
 TSUNEMATSU Hirofumi, DOI Toshiya, MIYAKE Masao, HIRATO Tetsuji (Kyoto University);
 TANAKA Kazuhide, OKAMOTO kazutaka (HITACHI)
 E-mail: s.hirofumi@t05.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

二ホウ化マグネシウム (MgB₂) は、金属系超伝導物質の中で最高の超伝導転移温度 ($T_c = 39$ K) を有している。構成元素が 2 種類と少ないことから組成制御が比較的容易であり、また構成元素である Mg と B はいずれも資源的に豊富で安価であり、環境にも優しい。更に、MgB₂ は他の超伝導物質に比べて軽い (密度が小さい)。このようなことから、実用化に向けて精力的に研究開発が行われている。

最近、Al テープ上に作製した MgB₂ 薄膜が、外部磁場 10 T 中で 10^6 A/cm² 以上の非常に高い臨界電流密度 J_c を有することが報告された [1]。そこで、本研究では薄膜形態の MgB₂ 線材の開発を目的とし、軽量かつ高強度の Al 合金基板上に MgB₂ 薄膜を作製した。

2. 実験方法

MgB₂ 薄膜は約 260 °C に加熱した Al 合金基板上に電子ビーム蒸着装置を用いて作製した。Al 合金基板は電解研磨を施したもの (平均二乗粗さ $Rq = 27$ nm) と研磨をしていないもの ($Rq = 293$ nm) の 2 種類を用いた。原料である Mg と B の蒸着速度をそれぞれ 0.9 nm/sec と 0.3 nm/sec にコントロールすることで、化学量論組成からやや B リッチ組成の MgB₂ 薄膜を作製した。膜厚は 200 nm もしくは 1000 nm とした。Table.1 に Al 合金基板上に作製した MgB₂ 薄膜の作製条件を纏めて示す。結晶構造は XRD 測定により評価した。組成は ICP 発光分光分析装置を用いて評価した。臨界温度 T_c は磁化の温度依存性から決定した。 I_c (J_c) の測定は 1 mm 幅のブリッジがある試料を用いて、直流 4 端子法により行った。1 mm 幅のブリッジは成膜時にマスクをすることで形成した。

3. 結果と考察

Fig.1 に X 線回折測定結果を示す。いずれの MgB₂ 薄膜においても Al 合金基板からの回折ピーク以外には MgB₂ の (001) 面と (002) 面からの回折ピークしか観測されなかった。このことから基板面に垂直に c 軸配向が揃った MgB₂ 薄膜が形成されていることが確認できた。

ICP 発光分光分析装置による組成分析の結果、Sample 1, Sample 2, Sample 3 の組成比はそれぞれ Mg : B = 1 : 2.1, 1 : 2.0, 1 : 2.1 であり、何れの試料もやや B リッチ組成であることが確認できた。

Fig.2 に磁化の温度依存性を示す。作製した MgB₂ 薄膜はいずれも反磁化を示すことから超伝導転移していることが確認でき、sample 1, 2, 3 の T_c は 30.4, 29.4, 32.9 K であった。電解研磨を施した Sample 1 と電解研磨をしていない Sample 2 の T_c はほぼ同じであって、基板表面粗さは T_c にほとんど影響を与えないことが確認できた。また、電解研磨を施した基板上に作製した膜厚 1000 nm の MgB₂ 薄膜の T_c は 32.9 K と最も高い T_c であった。 I_c (J_c) については現在測定中であり、当日報告する予定である。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金 21560689 の助成を受けて実施されたものである。

Sample number	1	2	3
Substrate	polished	as-rolled	polished
Evaporation rate Mg : B	0.9 : 0.3 (nm / sec)		
Film thickness	200 nm	200 nm	1000 nm

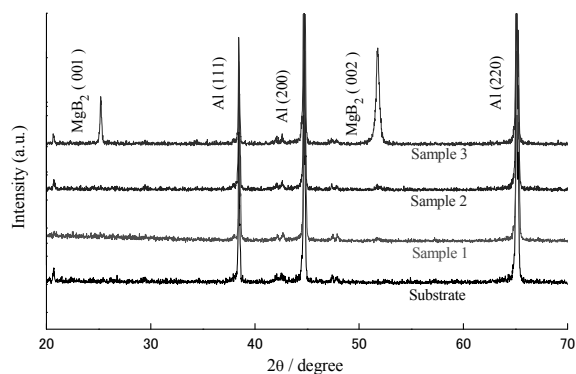


Fig.1 X-ray diffraction spectras for the MgB₂ thin films prepared on the different substrates in different thickness.

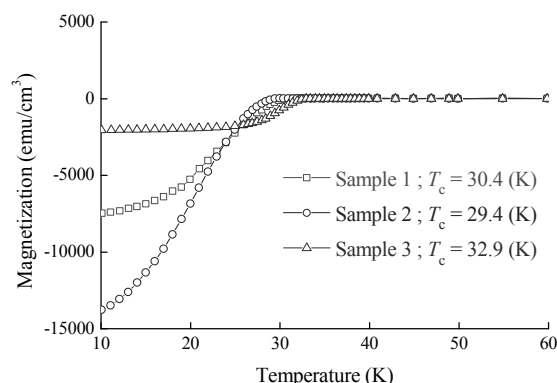


Fig.2 Temperature dependences of the magnetization of the MgB₂ thin films prepared on the different substrates in different thickness.

[1] 吉原ら, 低温工学・超伝導学会講演概要集 83(2010) 2P-p16