

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656368

研究課題名(和文) 高密度 MgB₂ 線材の実現に向けた常圧下固相反応プロセスの検討研究課題名(英文) Understanding Routes for Dense MgB₂ Wires by Pressureless Process

研究代表者

山本 明保 (Yamamoto, Akiyasu)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：20581995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000 円、(間接経費) 930,000 円

研究成果の概要(和文)：二ホウ化マグネシウム(MgB₂)は冷却に液体ヘリウムを要さず、冷凍機冷却により高温度で動作可能な次世代超伝導材料である。本研究では、MgB₂線材実用化への課題である超伝導相の高密度化を検討した。ホウ素の代わりにMgB₄前駆体を用いる改良in-situ法を基礎開発した。従来法と比較して空隙の原因となる仕込みMg量を半減でき、相対密度は約30%向上した。これまで高圧下においてのみ報告されていたMgB₂の顕著な自己焼結を常圧下において初めて実現した。高密度組織と強固に結合した結晶粒界を反映して、コネクティビティは従来のin-situ法の3倍に達し、常圧下作製MgB₂線材として最高値を記録した。

研究成果の概要(英文)：MgB₂ has the highest critical temperature T_c (~40 K) among conventional metallic superconductors and is expected to be applied at 5-30 K using a compact cryocooler, which enables cooling without liquid helium. In this study, pressureless densification of superconducting core in MgB₂ wires was investigated. (1) Modified in-situ process using MgB₄ as precursor was developed. The packing factor of MgB₂ was improved 30% compared to the conventional in-situ process owing to the reduction of Mg amount in starting powder mixture. (2) Promotion of self-sintering of MgB₂ under ambient pressure was succeeded. Record high connectivity was achieved owing to dense and well-connected grain-boundaries.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：金属物性

キーワード：超伝導材料

1. 研究開始当初の背景

金属系最高の超伝導転移温度($T_c \sim 40$ K)を持つ MgB_2 (二ホウ化マグネシウム) は、液体ヘリウムを冷媒として必要としない 5-30 K の中温度領域での応用が有望視されている新世代超伝導材料である。 MgB_2 線材のエネルギー、マグネット分野への実用化に向けては、現状において実用材料である NbTi、 Nb_3Sn 線材と比較すると臨界電流密度(J_c : 電気抵抗ゼロで通電できる最大の電流値)が低いことが課題である。その原因として多結晶体における低いコネクティビティ (電氣的結合度) の問題が指摘されている。すなわち、 MgB_2 線材の電気抵抗率は単結晶の値よりも大幅に高く、多結晶体中で電流が流れることが可能な有効断面積が制限されていると考えられる。

MgB_2 線材の作製法には、Mg と B の混合原料から熱処理によって MgB_2 を生成させる *in-situ* 法と、既製の MgB_2 を加工・熱処理によって線材を得る *ex-situ* 法がある。*in-situ* 法では粒間の結合が強く、比較的高い J_c が容易に得られることから盛んに研究が行われてきたが、原理的に低い充填密度 (~50%) がコネクティビティを抑制していることが明らかになっている。一方、*ex-situ* 法では高密度、組織が均一などのメリットがあるが、*in-situ* 法と比較すると MgB_2 結晶粒間の組織的・電氣的結合が弱いことが問題であった。

2. 研究の目的

本研究では、 MgB_2 線材実用化への課題の一つである超伝導相の高密度化を目的として、以下 3 項目を検討した。

- (1) MgB_4 を前駆体として用いた改良 *in-situ* 法プロセスの基礎開発。
- (2) *ex-situ* 法 MgB_2 線材における粒間結合改善指針の確立。
- (3) (1),(2) で得られた知見を元に、高密度超伝導コアを持つ MgB_2 線材の試作。

3. 研究の方法

(1) MgB_4 前駆体を用いた改良 *in-situ* 法では、ホウ素の代わりに MgB_4 を前駆体として用いることで ($0.5MgB_4 + 0.5Mg$ (MgB_2)), 空隙生成の原因となる仕込 Mg 量を減らし、常圧下で *in-situ* 法 MgB_2 多結晶体の高密度化が可能であると考えた。本研究では MgB_4 前駆体を用いた *in-situ* 法の反応機構、及び得られる MgB_2 の超伝導特性を詳細に評価することを目的に、原料となる MgB_4 前駆体を種々の条件で作製し、熱処理過程の異なる *in-situ* 法 MgB_2 線材を合成した。試料の構成相、微細組織と超伝導特性について、従来の *in-situ* 法 ($Mg + 2B$ (MgB_2)) で作製した試料との比較検討を行った。

実験方法は、まず市販 MgB_2 粉末に対して、真空封入した石英管中で 950°C 、24 h の熱処理を行い、以下の低 Mg 分圧下における熱分解反応により MgB_4 を得た。



MgB_4 と Mg を 1:1 の比で混合した粉末を SUS316 管に充填後、一軸プレスにより両端を封じたテープ状に成型し、石英管に真空封入した。これを $650-1000^\circ\text{C}$ 、1-12 h の様々な条件で熱処理することにより MgB_2 を作製した。

SUS316 管を取り除いて得た焼結体バルク試料について、X 線回折測定により構成相を、SQUID 磁束計による磁化測定から超伝導特性を、交流四端子法により常伝導状態の電気抵抗率 ρ とコネクティビティ K ($K = 6.32 \mu\Omega\text{cm}/\Delta\rho$, $\Delta\rho = \rho_{300\text{K}} - \rho_{40\text{K}}$) を評価し、電界放射型走査電子顕微鏡により微細組織観察を行った。

(2) *ex-situ* 法 MgB_2 線材における粒間結合改善指針の確立に向けては、セラミックス等で用いられる高温・常圧下における固相自己焼結プロセスを応用することで、*ex-situ* 法 MgB_2 多結晶体の粒間結合性を強化することを試みた。しかし、 MgB_2 は融点が 2000°C 以上と高い一方で、焼結に適すると考えられる高温においては Mg の平衡蒸気圧が高く、Mg の飛散に伴い MgB_4 に分解する。また長時間の焼結は MgB_2 の粒成長やシース材との反応を起こし、超伝導特性を劣化させる。したがって本研究では、 900°C での自己焼結反応を促進することを目的とし、元素置換、ポールミルなどの処理を施した自製の高純度 MgB_2 原料粉末を用いて常圧下で不純物の極めて少ない *ex-situ* 法 MgB_2 線材の合成を試みた。得られた試料について微細組織観察、コネクティビティと超伝導特性の評価を行った。

実験方法として、自製 MgB_2 原料粉末は、酸素濃度 0.1 ppm 以下の不活性雰囲気グローブボックス中で、Mg 粉末と B 粉末の混合粉末を SUS316 管に充填し、一軸プレスによって両端を封じ、Ar 気流中で 900°C 、2 h の熱処理を行うことにより得た (界面制御プロセス)。また元素置換を行うため B_4C を $Mg:B:C = 1:1.98:0.02$ となるように混合した粉末を同様のプロセスで熱処理し、炭素置換 MgB_2 原料粉末を作製した (駆動力制御プロセス)。また比較として大気中で原料粉末を混合、熱処理した MgB_2 原料粉末を準備した (従来法)。

自作した MgB_2 原料粉末をグローブボックス中で粉碎し、SUS316 管に充填した後、一軸プレスによって両端を封じ、テープ状に成型した。これらの試料について常圧下焼結を 900°C 、24 h の条件で行い、*ex-situ* 法 MgB_2 試料を得た。試料の評価は(1)と同様に行った。(3) 高密度 MgB_2 線材の試作では、(1)、(2) で得られた知見を元にスケールアップを行い、加工プロセスを経た線材中における超伝導相高密度化の効果を実証することを目指した。1 m 長線材の作製は、最適化した原料粉末を金属管に充填後、冷間加工を施す PIT (Powder In Tube) 法により行った。熱処理後の線材試料に対して、微細組織観察、超伝導特性の評価を行った。

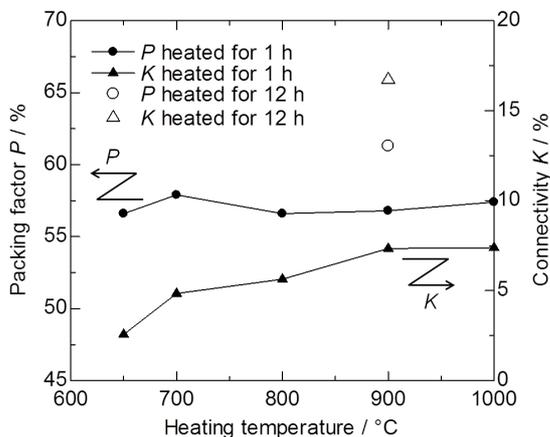


Fig. 1 Packing factor P and connectivity K as a function of heating temperature for the MgB_2 samples synthesized from MgB_4 precursor.

4. 研究成果

(1) MgB_4 前駆体を用いた改良 *in-situ* 法

MgB_4 を前駆体とした *in-situ* 法により反応温度の異なる MgB_2 線材を作製した(熱処理条件: 650, 700, 800, 900, 1000°C, 1 h)。得られた試料の粉末 XRD パターンからは、いずれの反応温度においても主相として MgB_2 が得られたが、未反応の MgB_4 、及び MgO が共存することが分かった。高温(>800°C)で熱処理した試料においても未反応の MgB_4 が残ったことは、本実験の合成条件では MgB_4 と B の反応による MgB_2 の生成が遅く、完結しにくいことを示唆する。

試料の充填率 P 、コネクティビティ K の熱処理温度依存性を Fig. 1 に示す。従来の *in-situ* 法における充填率(~50%)と比較して、 MgB_4 を前駆体とした *in-situ* 法ではいずれの試料においても充填率に向上がみられた(~57%)。また、充填率の熱処理温度依存性は弱く、ほぼ一定であった。コネクティビティは熱処理温度の上昇とともに向上したが、最高で約 7% であり、従来の *in-situ* 法と同程度であった。

Fig. 2 に MgB_4 を前駆体として作製した試料の断面研磨面の二次電子像を示す。未反応の MgB_4 粒子が MgB_2 凝集粒内に残存し、凝集粒間の結合を阻害している様子がみられる。また、従来の *in-situ* 法試料と比較して粒界に存在する MgO 量が多い。

MgB_4 から MgB_2 への反応を完結させるため、900°C において長時間の熱処理を試みたところ、充填率は 61% に増加し、コネクティビティも 17% に大きく改善した(Fig. 1)。また、 J_c も従来の *in-situ* 法と比較して高い ~0.3 MA/cm² (20 K, self-field) に達した。従来の *in-situ* 法と比較して比較的長時間の熱処理を要し、磁場下における J_c 特性の劣化があまり見られなかった。このことから、 MgB_4 を用いた *in-situ* 法は、通常 Mg と B の反応とは異なる MgB_2 の生成プロセスを経ることが示

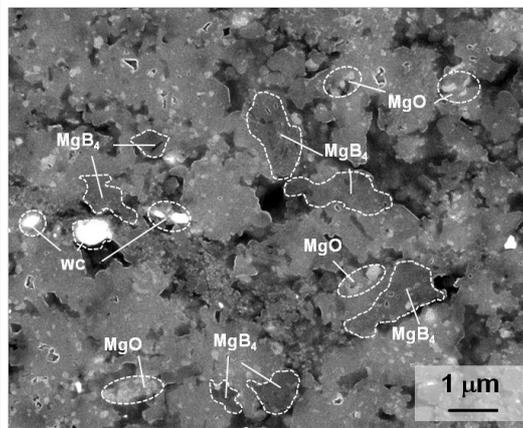


Fig. 2 Secondary electron image of the MgB_2 synthesized at 900°C for 1 h from MgB_4 precursor.

唆された。また、結晶粒界において多量の MgO 不純物が見られたことから、 MgB_4 前駆体の高純度化によって J_c 特性のさらなる改善が期待できる。

(2) *ex-situ* 法 MgB_2 線材における粒間結合改善

常圧下 900°C, 24 h 焼結処理を施した *ex-situ* 法 MgB_2 試料の断面研磨面の二次電子像を Fig. 3(b), (c), (d) に示す。また、界面制御試料の熱処理前の二次電子像を Fig. 3(a) に示す。図中において、灰色、白色、黒色のコントラストはそれぞれ MgB_2 、 MgO 不純物相、空隙に対応する。熱処理後の従来法試料 (Fig. 3(b)) において、焼結組織の特長であるネックや粒界の生成はあまりみられない。また、 MgB_2 結晶粒の表面を微細な MgO 粒子が覆っており、粒界の形成を阻害していると考えられる。一方、界面制御試料 (Fig. 3(c)) では、 MgO 粒子の数が激減し、これによって焼結が促進され、強固に結合した粒界が形成されていることが分かる。

低倍率二次電子像を Fig. 4 に示す。界面制御試料 (Fig. 4(a)) と比較して、駆動力制御試料 (Fig. 4(b)) においては、結晶粒間の結合が改善している。焼結の進行度の指標となる相対密度は 63% から 71% に向上した。これらの結果はホウ素サイトの炭素置換による欠陥導入が MgB_2 の自己焼結促進に有効であることを示唆する。

試料の電気抵抗率の温度依存性を Fig. 5 に示す。従来法試料、界面制御試料、駆動力制御試料の超伝導転移温度はそれぞれ 38.9, 38.8, 38.4 K であった。駆動力制御試料における約 0.5 K の転移温度の低下は炭素置換に由来すると考えられる。従来法試料と比較して界面制御、駆動力制御試料では室温における電気抵抗率が約 1 桁低下した。これは結晶粒界の結合性の向上により有効な電流パスが増加したことを示唆する。界面制御試料と駆動力制御試料の抵抗率はクロスオーバーを示し、40 K における残留抵抗は駆動力制御試料の方が高い値を示した。これは電子散乱率の増加を示しており、炭素置換による格子欠

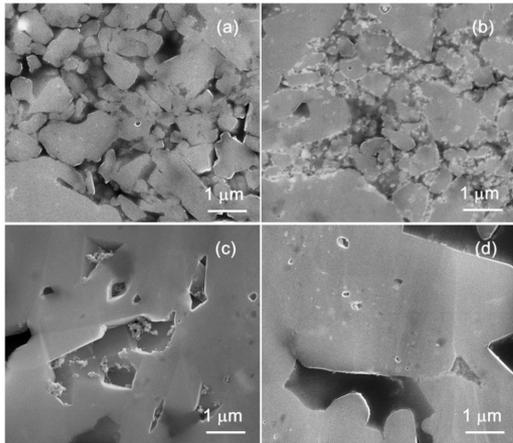


Fig. 3 Secondary electron images of *ex-situ* MgB₂ samples: (a) as-pressed powder before sintering (surface area control process); (b) sample sintered at 900°C for 24 h (conventional process); (c) sample sintered at 900°C for 24 h (surface area control process); and (d) sample sintered at 900°C for 24 h (driving force control process).

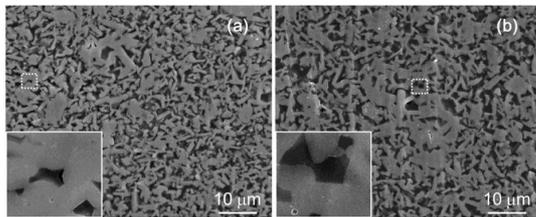


Fig. 4 Secondary electron images of *ex-situ* MgB₂ samples: (a) surface area control process and (b) driving force control process). The inset images in (a) and (b) show magnified images of the regions indicated by the white dotted squares in (a) and (b), respectively.

陥導入に由来する。この試料のコネクティビティは常圧下で作製した *ex-situ* 法 MgB₂ 多結晶試料として最高の値を示し、従来法の約 3 倍に向上した。以上の結果から、高純度界面を持つ原料粉末の使用、格子欠陥の導入が MgB₂ の自己焼結の促進に有効であり、高密度かつ強固に結合した結晶粒界が記録的に高いコネクティビティに寄与したことが示された。

(3) MgB₂ 線材の試作

Powder In Tube 法により 1 m 長の MgB₂ 線材を試作した。(1), (2)の短尺線材試料と同等の高密度と超伝導特性が再現性よく得られることを確認した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

H. Tanaka, A. Yamamoto, J. Shimoyama,

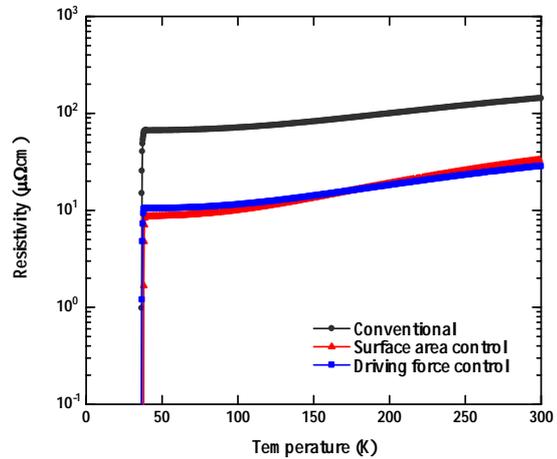


Fig. 5 Temperature dependence of electrical resistivity for the sintered *ex-situ* MgB₂ samples.

H. Ogino, and K. Kishio, Strongly connected *ex situ* MgB₂ polycrystalline bulks fabricated by solid-state self-sintering, *Superconductor Science & Technology* 査読有り、25 巻、2012、115022 1-7

T. Matsushita, J. Tanigawa, M. Kiuchi, A. Yamamoto, J. Shimoyama, and K. Kishio, Effect of packing density on the critical current density at high magnetic fields in polycrystalline MgB₂ superconductors, *Japanese Journal of Applied Physics* 査読有り、51 巻、2012、123103 1-7

A. Ito, A. Yamamoto, J. Shimoyama, H. Ogino, and K. Kishio, Synthesis of Denser *in-situ* MgB₂ Bulks using MgB₄ Precursor, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* 査読有り、23 巻、2013、7101005 1-5

M. Kodama, Y. Ichiki, K. Tanaka, K. Okamoto, A. Yamamoto, and J. Shimoyama, Mechanism for high critical current density in *in-situ* MgB₂ wire with large area-reduction ratio, *Superconductor Science & Technology* 査読有り、27 巻、2014、055003 1-9

S. Mizutani, A. Yamamoto, J. Shimoyama, H. Ogino, and K. Kishio, Understanding routes for high connectivity in *ex-situ* MgB₂ by self-sintering, *Superconductor Science & Technology* 査読有り、27 巻、2014、044012 1-7

S. Mizutani, A. Yamamoto, J. Shimoyama, H. Ogino, and K. Kishio, Self-sintering assisted high intergranular connectivity in ball milled *ex-situ* MgB₂ bulks, *Superconductor Science & Technology* 査読有り、27 巻、2014、出版中

〔学会発表〕(計 3 2 件)

A. Yamamoto, H. Tanaka, A. Ito, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, Improved

connectivity and critical current density of ex-situ MgB₂ bulks by solid-state self-sintering、24th International Cryogenic Engineering Conference International Cryogenic Materials Conference 2012、2012年5月15日、Fukuoka、日本

A. Ito, A. Yamamoto, H. Tanaka, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, Synthesis of dense MgB₂ bulks using MgB₄ precursor、24th International Cryogenic Engineering Conference International Cryogenic Materials Conference 2012、2012年5月15日、Fukuoka、日本

Y. Shimada, S. Hata, K. Ikeda, H. Nakashima, H. Tanaka, A. Yamamoto, J. Shimoyama, Microstructural comparison between in-situ and ex-situ MgB₂ bulks、24th International Cryogenic Engineering Conference International Cryogenic Materials Conference 2012、2012年5月15日、Fukuoka、日本

M. Kodama, Y. Ichiki, K. Tanaka, K. Okamoto, A. Yamamoto, J. Shimoyama, Jc-B properties and microstructures of premix PIT processed MgB₂ mono-filament、24th International Cryogenic Engineering Conference International Cryogenic Materials Conference 2012、2012年5月17日、Fukuoka、日本

A. Yamamoto, H. Tanaka, A. Ito, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio、Development of high critical current density MgB₂ conductors by pressure-less densification、Materials & Mechanisms of Superconductivity Conference 2012、2012年8月1日、Washington D.C.、USA

山本明保、MgB₂バルクの実現と応用ポテンシャル、第11回高温超伝導バルク材「夏の学校」、2012年8月20日、岩手、日本

山本明保、伊藤明植、下山淳一、荻野拓、岸尾光二、金田尚也、山田豊、ex-situ法MgB₂バルクにおけるホットプレス焼結処理の効果、第73回応用物理学会学術講演会、2012年9月11日、松山、日本

松下照男、谷川潤弥、木内勝、山本明保、下山淳一、岸尾光二、MgB₂バルク超伝導体の高磁界特性に及ぼす充填率の影響、第73回応用物理学会学術講演会、2012年9月11日、松山、日本

A. Yamamoto, A. Ito, H. Tanaka, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio、Understanding The Routes to Superior Intergrain Connectivity and Critical Current Density in MgB₂ Superconductor、International Union of Materials Societies Int'l Conf. on Electronic Materials、2012年9月25日、横浜、日本

A. Ito, A. Yamamoto, H. Tanaka, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio、Synthesis

of dense MgB₂ bulks using high purity MgB₄ precursor、Applied Superconductivity Conference 2012、2012年10月10日、Portland、USA

A. Yamamoto, A. Ishihara, T. Akasaka, M. Muralidhar, M. Tomita, J. Shimoyama, K. Kishio、Trapped magnetic field, critical current density and doping effects of MgB₂ bulk superconducting magnets、Applied Superconductivity Conference 2012、2012年10月11日、Portland、USA

A. Yamamoto, H. Tanaka, A. Ito, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, M. Kodama, Y. Ichiki, K. Tanaka, K. Okamoto、Development of high connectivity and critical current density in ex-situ MgB₂ wires by self-sintering、Applied Superconductivity Conference 2012、2012年10月9日、Portland、USA

伊藤明植、山本明保、下山淳一、荻野拓、岸尾光二、MgB₄を前駆体としたin-situ法MgB₂バルクの微細組織と臨界電流特性、第86回低温工学・超電導学会、2012年11月7日、岩手、日本

A. Yamamoto, A. Ishihara, T. Akasaka, M. Muralidhar, M. Tomita, K. Iwase, J. Shimoyama, K. Kishio、Synthesis of MgB₂ bulks and their field trapping properties、25th International Symposium on Superconductivity、2012年12月4日、Tokyo、日本

A. Yamamoto, H. Tanaka, A. Ito, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, N. Kaneda, Y. Yamada、Effects of hot-pressing on the self-sintering behavior of ex-situ MgB₂ bulks、25th International Symposium on Superconductivity、2012年12月4日、Tokyo、日本

A. Yamamoto, A. Ishihara, T. Akasaka, M. Muralidhar, M. Tomita, K. Iwase, J. Shimoyama, K. Kishio、Development of MgB₂ superconducting bulk magnets、The 8th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials、2012年12月7日、Tainan、Taiwan

水谷俊介、山本明保、下山淳一、荻野拓、岸尾光二、自己焼結法による高コネクティビティ ex-situ法MgB₂バルクの開発、第87回低温工学・超電導学会、2013年5月13日、東京、日本

A. Yamamoto, S. Mizutani, A. Ito, T. Kuro, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, M. Kodama, Y. Ichiki and K. Tanaka、Understanding the route from solid-state reaction to fully-connected MgB₂ wires、The 16th Japan-US Workshop Advanced Superconductors、2013年7月10日、Dayton、USA

A. Yamamoto, K. Iwase, J. Shimoyama,

K. Kishio, A. Ishihara, T. Akasaka, M. Muralidhar, M. Tomita, MgB2 superconducting bulk for novel permanent magnet applications, 23rd Magnet Technology Conference, 2013年7月17日、Boston, USA

水谷俊介, 山本明保, 下山淳一, 荻野拓, 岸尾光二, 自己焼結法による炭素置換 ex-situ 法 MgB2 バルクの作製、第74回応用物理学会秋季学術講演会、2013年9月18日、京都、日本

⑲ A. Yamamoto, S. Mizutani, A. Ito, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, M. Kodama, K. Tanaka, Self-sintering assisted development of high connectivity ex-situ MgB2 wires, 11th European Conference on Applied Superconductivity, 2013年9月16日、Genova, Italy

⑳ A. Yamamoto, K. Kishio, A. Ishihara, T. Akasaka, M. Tomita, Evaluation of trapped field stability in MgB2 superconducting bulk magnet, 11th European Conference on Applied Superconductivity, 2013年9月18日、Genova, Italy

㉑ S. Mizutani, A. Yamamoto, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, Development of high connectivity ex-situ MgB2 bulks and wires by novel self-sintering technique, 26th International Symposium on Superconductivity, 2013年11月19日、Tokyo, 日本

㉒ A. Yamamoto, S. Sugino, K. Iwase, J. Shimoyama, K. Kishio, A. Ishihara, T. Akasaka, M. Tomita, Trapped field properties of MgB2 superconducting bulk magnet, 26th International Symposium on Superconductivity, 2013年11月19日、Tokyo, 日本

㉓ 水谷俊介, 山本明保, 下山淳一, 荻野拓, 岸尾光二, 山田豊, ex-situ 法 MgB2 バルクにおける自己焼結の促進、第88回低温工学・超電導学会、2013年12月4日、名古屋、日本

㉔ S. Mizutani, A. Yamamoto, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, Development of High Connectivity ex-situ MgB2 Bulks by Promotion of Self-Sintering, 2014 MRS Spring Meeting, 2014年4月23日、San Francisco, USA

㉕ A. Yamamoto, S. Mizutani, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, M. Kodama, Y. Ichiki, K. Tanaka, Can we realize self-assembled, strongly connected grain-boundaries in high performance MgB2 bulks and wires?, International Conference "Superconductivity for Energy 2014", 2014年5月18日、Paestum, Italy

㉖ 水谷俊介, 山本明保, 下山淳一, 荻野拓, 岸尾光二, 自己焼結法 ex-situ MgB2 バルクにおける原料粉末作製条件の検討、第89回

低温工学・超電導学会、2014年5月28日、東京、日本

⑳ 久良智明, 山本明保, 下山淳一, 荻野拓, 岸尾光二, 直接合成 MgB4 を前駆体とした in-situ 法 MgB2 バルクの作製、第89回低温工学・超電導学会、2014年5月28日、東京、日本

㉑ 山本明保, MgB2 バルクならびに線材における組織学的特徴と高 Jc 化の課題、液体酸素冷却 MgB2 超電導線の開発と応用に関するフォーラム、2014年7月24日、東京、日本

㉒ A. Yamamoto, S. Mizutani, T. Kuro, J. Shimoyama, H. Ogino, K. Kishio, M. Kodama, Y. Ichiki, K. Tanaka, Development of high connectivity ex-situ MgB2 wires by self-sintering process, Applied Superconductivity Conference 2014, 2014年8月11日、Charlotte, USA

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 明保 (YAMAMOTO AKIYASU)
東京大学・大学院工学系研究科・助教
研究者番号：20581995

(2) 研究分担者

下山 淳一 (SHIMOYAMA JUNICHI)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：20251366

(3) 連携研究者

岸尾 光二 (KISHIO KOHJI)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：50143392