

MgB₂ 新超伝導体の線材作製法を開発

- 簡便な方法で最高の臨界電流密度を達成 -

平成13年6月14日

独立行政法人 物質・材料研究機構

1. 概要

独立行政法人物質・材料研究機構（以下では物材機構）材料研究所 超伝導線材グループ（熊倉浩明 グループリーダー）は、このたび新しい超伝導体である MgB₂（二硼化マグネシウム）を用いて、熱処理不要の簡便な方法によって高い臨界電流密度を有する線材の作製に成功した。 MgB₂ は去る1月に青山学院大学の秋光純教授らのグループによって発見された超伝導体で、39K の高い超伝導遷移温度（T_c）を有する。MgB₂ はいわゆる金属系超伝導体に属するが、一般的に金属系超伝導体は線材化にさいして酸化物系超伝導体のように結晶粒の向きをそろえる必要が無いこと、線材加工が比較的容易なこと、など、多くの利点を有する。特に MgB₂ は T_c が高いことからその実用化に大きな期待がもたれ、世界中で超伝導応用の要となる線材化の研究が進められている。今回、物材機構において高い特性を有する簡便な MgB₂ 線材作製法が開発されたことで、世界中の MgB₂ の線材化研究が一気に進むことになる。

2. この度の成果

超伝導線材においては、臨界電流密度（J_c）が実用的に最も重要であり、J_c を高めるための研究が世界中で行われている。また実用的には、超伝導状態を安定的に保つため、超伝導体を金属の母体の中に多芯に分割した、いわゆる多芯線材にできることが望ましい。

物材機構では、今回金属管に粉末を詰め込んで線材に加工する、パウダー・イン・チューブ法により高特性の線材作製に成功した。このパウダー・イン・チューブ法では、金属管に何を用いるかが一つのポイントとなるが、物材機構では今回ステンレス管ならびに銅 - ニッケル合金（キュープロニッケル）管を使用した。これらの金属管に MgB₂ の粉末を詰め込んで封をし、溝ロール圧延やダイスによる線引きにより、ワイヤーに加工した。一部のワイヤーについては、さらに平ロールで圧延加工を行い、テープを作製した。MgB₂ 粉末を詰め込んだ金属管は加工性に富み、途中で焼きなましを必要とせずに、最後のテープにまで加工をすることができる。またこの方法では、加工した線を束ねてもう一度金属管に詰め、さらに加工を繰り返して線にし、多芯線材を作製することも容易である。

図1に、キュープロニッケル管を使用して作製した多芯線材、ならびにステンレス管を使用して作製した単芯のテープ材の断面を示す。これらの線材について、熱処理をすることなしに、そのまま液体ヘリウム（4.2K）の中に浸し、磁界中において、電流を流すことによって臨界電流密度 J_c を測定した。

図2に、ステンレス管を使用して作製した単芯のテープ材、およびキュープロニッケル管を使用して作製した多芯ワイヤーならびに単芯テープ材の J_c を示す。ステンレス管を用いて作製したテープにおいては、5 テスラの磁界中で 12,000A/cm² の J_c 値が得られた。磁化測定により評価し

た J_c を参考にして、図のデータから 2 テスラの磁界に外挿した J_c は $70,000\text{A}/\text{cm}^2$ に達し、さらにゼロ磁界に外挿した値は $450,000\text{A}/\text{cm}^2$ に達する。

これらの、ステンレス管を用いて作製したテープの磁界中での J_c は、 MgB_2 線材としてはこれまでの世界最高の値であり、 MgB_2 の実用化へ向けての大きな進歩といえることができる。ステンレス管を用いたテープで高い J_c が得られた理由は、ステンレスはキュープロニッケルに比べて硬い材料であるため、加工によってそれだけ MgB_2 粉末に大きな圧力がかかり、線材中の MgB_2 粉末の充填率が上がったためと考えられる。一方、キュープロニッケル管を用いた多芯ワイヤーでは、ゼロ磁界で $24,000\text{A}/\text{cm}^2$ の J_c が得られた。

3 . 波及効果と今後の展望

今回の線材作製法の特長は、これまでの超伝導線材の作製においては必ず必要であった熱処理が不要であり、加工するだけで線材が作製でき、しかも多芯化が容易なことである。したがって線材製造コストがこれまでの方法に比べて大幅に低減できると期待される。実用線材としては超伝導特性が優れているだけでなく、線材のコストが低いことが必須の条件であるが、今回簡便な方法で高い特性を有する線材ができたことで MgB_2 の実用化へ向けた研究が一気に拡大すると期待される。

この MgB_2 線材の応用には種々のものが考えられるが、例えば 1~2 テスラの磁界発生が必要な医療診断用の MRI 用マグネットの線材などに、本 MgB_2 線材が有望と考えられる。ただし今回得られた MgB_2 線材の J_c は、まだ実用的には十分というわけではない。実用的には、使用する磁界中で少なくとも $100,000\text{A}/\text{cm}^2$ の J_c が必要とされる。今後は製法の最適化などにより、さらに高い J_c を目指して研究を続けて行く予定である。

用語解説

超伝導遷移温度

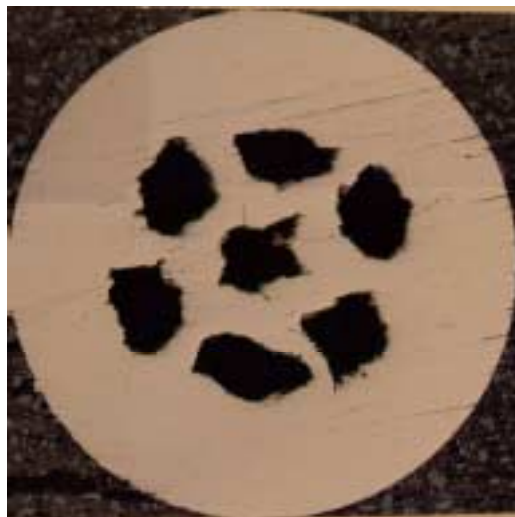
超伝導体の温度を下げていくと、ある温度で突然電気抵抗が完全にゼロになる。この温度を超伝導遷移温度 (T_c) といい、通常絶対温度 (K) で表す。超伝導の利用は、 T_c 以下のゼロ抵抗が保持される温度に限られる。 MgB_2 の T_c は、高温酸化物超伝導体のそれと比べると低いが、 MgB_2 はいわゆる金属系の超伝導体に属し、これまでの金属系超伝導体の最高の T_c が Nb_3Ge の 23K であったことを考えると、 MgB_2 は金属系超伝導体のなかでは飛びぬけて高い T_c を示す。

臨界電流密度

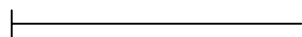
超伝導体には抵抗ゼロで電流 (超伝導電流) を流すことができるが、この超伝導電流の大きさには限りがある。そこで超伝導体の単位断面積あたりに流せる最大の超伝導電流を臨界電流密度といい、 J_c で表す。実用的には J_c が高いほど超伝導体の利用価値が高まる。

付図

多芯ワイヤー



1mm



単芯テープ



1mm

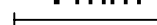


図1 パウダー・イン・チューブ法で作製した多芯（7-芯）ワイヤー（Cu-Ni 合金管を使用）ならびに単芯テープ（ステンレススチール管を使用）の断面写真。

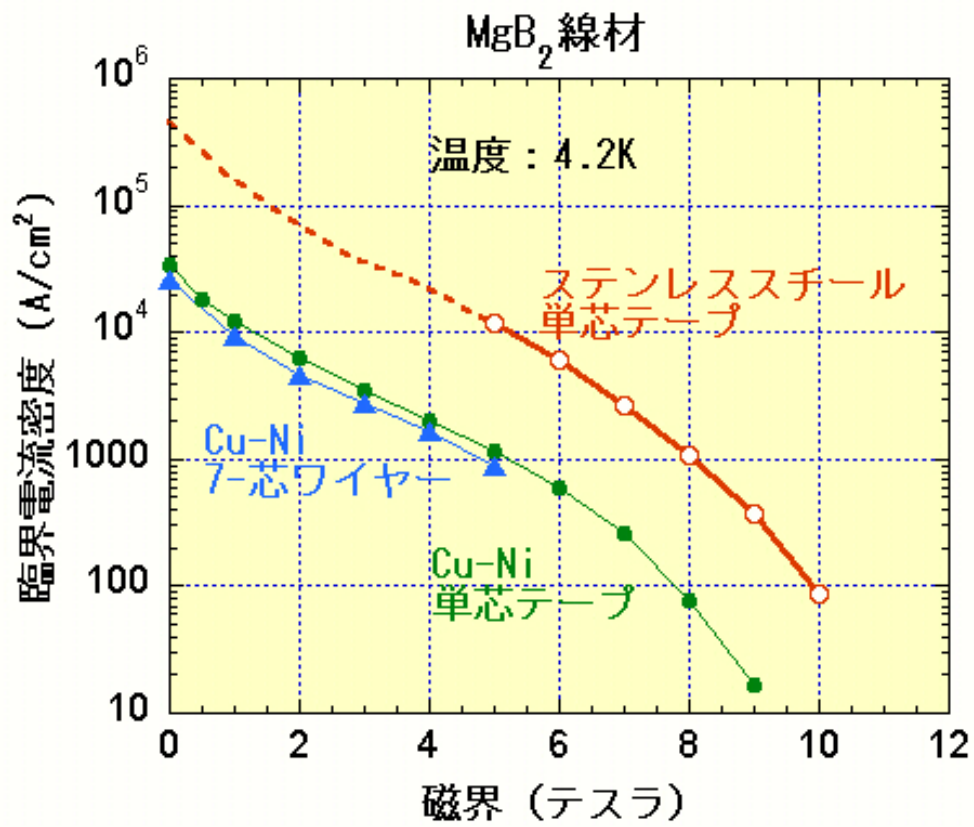


図2 パウダー・イン・チューブ法で作製した MgB₂ テープならびにワイヤーの臨界電流密度の磁界依存性。

問い合わせ先

独立行政法人

物質・材料研究機構 総務部総務課広報係

Tel: 0298-59-2026

Fax: 0298-59-2029

e-mail: info@nims.go.jp

(研究内容に関すること)

独立行政法人

物質・材料研究機構 材料研究所 材料基盤センター

熊倉浩明(Tel: 0298-59-2327)

戸叶一正(Tel: 0298-59-2303)