

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5118412号

(P5118412)

(45) 発行日 平成25年1月16日(2013. 1. 16)

(24) 登録日 平成24年10月26日(2012. 10. 26)

(51) Int.Cl.		F I			
H O 1 F	6/06	(2006.01)	H O 1 F	5/08	B
H O 1 B	12/02	(2006.01)	H O 1 F	5/08	N
H O 1 B	13/00	(2006.01)	H O 1 B	12/02	Z A A
			H O 1 B	13/00	5 6 5 D

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-206919 (P2007-206919)	(73) 特許権者	000001199
(22) 出願日	平成19年8月8日(2007. 8. 8)		株式会社神戸製鋼所
(65) 公開番号	特開2009-43910 (P2009-43910A)		兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番2
(43) 公開日	平成21年2月26日(2009. 2. 26)		6号
審査請求日	平成22年3月30日(2010. 3. 30)	(73) 特許権者	000213297
			中部電力株式会社
(出願人による申告) 平成16年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構超電導電力ネットワーク制御技術開発委託事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願			愛知県名古屋市東区東新町1番地
		(74) 代理人	100067828
			弁理士 小谷 悦司
		(74) 代理人	100096150
			弁理士 伊藤 孝夫
		(74) 代理人	100109058
			弁理士 村松 敏郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 酸化物超電導素線の集合化導体、及びこの集合化導体の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

並列接続するための複数の酸化物超電導素線と、
 前記複数の酸化物超電導素線の両端にそれぞれ接続される電極とを備え、
 前記各酸化物超電導素線の長さを L (mm)、外部磁界 0 T における $0.01\text{ }\mu\text{V/m}$ 基準での各酸化物超電導素線の臨界電流を I_c (A) とした場合、前記各酸化物超電導素線と当該酸化物超電導素線の両端にそれぞれ接続された電極との接続抵抗 R (Ω) は、当該各酸化物超電導素線の使用温度において、それぞれ以下の式(1)で示す条件を満たし、前記各酸化物超電導素線が、前記両端にそれぞれ接続された電極を介して並列に接続され、集合化されていること

を特徴とする酸化物超電導素線の集合化導体。

$$0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \quad \dots (1)$$

【請求項2】

前記接続抵抗 R (Ω) は、以下の式(2)で示す条件を満たすこと
 を特徴とする請求項1記載の酸化物超電導素線の集合化導体。

$$0.1 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 2 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \quad \dots (2)$$

【請求項3】

前記酸化物超電導素線と前記電極とは、ビスマス(Bi)含有合金を用いたはんだによ

って、はんだ付けされていること

を特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の酸化物超電導素線の集合化導体。

【請求項 4】

前記はんだは、ビスマス (Bi) と錫 (Sn) との合金であること

を特徴とする請求項 3 に記載の酸化物超電導素線の集合化導体。

【請求項 5】

前記はんだは、ビスマス (Bi) とインジウム (In) との合金であること

を特徴とする請求項 3 に記載の酸化物超電導素線の集合化導体。

【請求項 6】

前記複数の酸化物超電導素線を、並列に接続する接続部をさらに備えること

を特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の酸化物超電導素線の集合化導体。

10

【請求項 7】

複数の酸化物超電導素線の両端部と複数の電極とを、ビスマス (Bi) を含有するはんだを用いて 100℃～200℃の範囲内における所定の温度ではんだ付けすることにより、前記複数の酸化物超電導素線の両端部と複数の電極とを接続し、前記複数の電極を介して前記複数の酸化物超電導素線を並列に接続することにより、前記複数の酸化物超電導素線を集合化し、

前記各酸化物超電導素線の長さを L (mm)、外部磁界 0 T における $0.01 \mu V/m$ 基準での各酸化物超電導素線の臨界電流を I_c (A) とした場合、前記各酸化物超電導素線と当該各酸化物超電導素線の両端にそれぞれ接続された電極との接続抵抗 R (Ω) を、当該各酸化物超電導素線の使用温度において、それぞれ以下の式 (1) で示す条件を満たすように設定すること

20

を特徴とする酸化物超電導素線の集合化導体の製造方法。

$$0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c$$

・・・ (1)

【請求項 8】

前記はんだは、ビスマス (Bi) と錫 (Sn) との合金であり、

前記温度は、140℃～200℃の範囲内の温度であること

を特徴とする請求項 7 に記載の酸化物超電導素線の集合化導体の製造方法。

【請求項 9】

前記はんだは、ビスマス (Bi) とインジウム (In) との合金であり、

前記温度は、100℃～200℃の範囲内の温度であること

を特徴とする請求項 7 に記載の酸化物超電導素線の集合化導体の製造方法。

30

【請求項 10】

前記接続抵抗 R (Ω) は、前記酸化物超電導素線と前記電極との接続面積を調節することにより、設定されること

を特徴とする請求項 7～9 のいずれか 1 項に記載の酸化物超電導素線の集合化導体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、酸化物超電導素線を複数集合化した集合化導体、及びこの集合化導体の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、超電導線材を用いた電力応用機器として、種々の機器装置の開発が進められている。例えば、超電導磁気エネルギー貯蔵装置 (Superconducting Magnetic Energy Storage、以下 SMES と略称する) は、他のエネルギー貯蔵装置と比べてエネルギーの貯蔵効率が低い、エネルギーの出し入れ速度が速い等の特徴を有しており、精力的に開発が進められている。また、変圧器に代表される交流コ

50

イル、電動機や発電機に代表される超電導回転機、常電導時高抵抗線材を使用した限流器等の開発も進められている。

【0003】

このような電力応用機器に、NbTiやNb₃Snなどの金属系超電導線材を用いた場合は、冷却材として液体ヘリウムを用いて4.2K又はそれに近い温度まで線材を冷却しなければ超電導状態にならないため、冷却コストが増大し、実用化の弊害となっている。一方、Bi系やY系の酸化物超電導線材は、超電導転移温度が高く、超電導状態にするための冷却材として77.3Kの液体窒素を用いることができるため、冷却コストを大幅に低減可能である。例えば、Y系酸化物超電導テープ線材の場合、典型的なものは、テープ幅が10mmで、液体窒素により77.3Kまで冷却し、外部磁界0Tとした場合の臨界電流が約100～300Aという超電導特性を有するものが入手可能であり、例えばパンケーキコイル等として利用できる。

10

【0004】

また、一般に、NbTiやNb₃Sn等の金属系超電導線材の場合は、臨界電流を超える電流が流れると即座に常電導転移を起こし、超電導状態が保てなくなってしまう。そのため、例えばこのような金属系超電導線材を用いてSMESを構成した場合、臨界電流を超える電流が流れると即座に常電導転移を起こしてコイルに蓄積されていたエネルギーが放出されてしまう。一方、Y系酸化物超電導テープ線材の場合は、臨界電流を超える電流を流しても磁束流領域と称される電流範囲であれば、常電導転移を生じることなく超電導状態を維持することができる。そこで、このようなY系酸化物超電導テープ線材の利点を活かした応用が期待されている。

20

【0005】

また、SMESや変圧器等の各種電力応用機器に適用する場合には、さらなる電流の増大が求められている。そこで、超電導線材を複数本並列接続して集合化し、全体として流すことのできる許容電流を増大させることが考えられている（例えば、特許文献1参照）。

【特許文献1】特開2001-256841号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

30

ところで、複数の超電導素線を並列接続するためには、その接続部分で銅などの常電導材料の電極が用いられ、所定長の超電導素線を得るために複数の超電導素線を直列接続する場合にも、その接続部分で常電導材料の電極が用いられる。また、このような超電導素線を外部の回路と接続するためにも、必ず常電導材料の電極と接続する必要がある。そうすると、各超電導素線そのものは超電導状態であって抵抗がゼロであっても、各超電導素線と各電極との接続抵抗にわずかでもばらつきがあると、各超電導素線に流れる電流に偏りが生じ、一部の超電導素線に大きな電流が流れる電流偏流が生じる。

【0007】

そうすると、偏流により最も大きな電流が流れる超電導素線の臨界電流によって、集合化導体全体に流すことのできる電流が制限されるため、集合化導体の臨界電流は、集合化された超電導素線の臨界電流の合計を下回ってしまうという不都合があった。

40

【0008】

本発明は、このような事情に鑑みて為された発明であり、複数の酸化物超電導線材を用いつつ、電流偏流を低減することができる酸化物超電導素線の集合化導体を提供することを目的とする。そして、このような酸化物超電導素線の集合化導体の製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明者らは、上記課題を解決すべく鋭意検討した結果、複数の酸化物超電導素線と、複数の酸化物超電導素線の両端にそれぞれ接続される複数の電極との間の接続抵抗を、所

50

定の抵抗値範囲にすることにより、複数の酸化物超電導素線間の電流偏流を低減することができるを見出した。

【0010】

すなわち、本発明に係る酸化物超電導素線の集合化導体は、並列接続するための複数の酸化物超電導素線と、前記複数の酸化物超電導素線の両端にそれぞれ接続される電極とを備え、前記各酸化物超電導素線の長さを L (mm)、外部磁界 0 T における $0.01\text{ }\mu\text{V/mm}$ 基準での各酸化物超電導素線の臨界電流を I_c (A) とした場合、前記各酸化物超電導素線と当該各酸化物超電導素線の両端にそれぞれ接続された電極との接続抵抗 R (Ω) は、当該各酸化物超電導素線の使用温度において、それぞれ以下の式 (1) で示す条件を満たし、前記各酸化物超電導素線が、前記両端にそれぞれ接続された電極を介して並列に接続され、集合化されている。

$$0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \quad \cdot \cdot (1)$$

この構成によれば、複数の酸化物超電導線材を用いつつ、電流偏流を低減することができる。

【0011】

また、前記接続抵抗 R (Ω) は、以下の式 (2) で示す条件を満たすことが好ましい。
 $0.1 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 2 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \quad \cdot \cdot (2)$

この構成によれば、電流偏流をさらに低減することができる。

【0012】

また、前記酸化物超電導素線と前記電極とは、ビスマス (Bi) 含有合金を用いたはんだによって、はんだ付けされていることが好ましい。また、前記はんだは、ビスマス (Bi) と錫 (Sn) との合金であることが好ましい。また、前記はんだは、ビスマス (Bi) とインジウム (In) との合金としてもよい。

【0013】

この構成によれば、接続抵抗 R のばらつきを低減することができる。

【0014】

また、前記複数の酸化物超電導素線を、並列に接続する接続部をさらに備えることが好ましい。この構成によれば、接続部によって、複数の酸化物超電導素線が並列に接続されて集合化導体が構成され、単一の酸化物超電導素線に流せる電流よりも集合化導体に流せる電流を増大させることができる。

【0015】

また、本発明に係る酸化物超電導素線の集合化導体の製造方法は、複数の酸化物超電導素線の両端部と複数の電極とを、ビスマス (Bi) を含有するはんだを用いて $100^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ の範囲内における所定の温度ではんだ付けすることにより、前記複数の酸化物超電導素線の両端部と複数の電極とを接続し、前記複数の電極を介して前記複数の酸化物超電導素線を並列に接続することにより、前記複数の酸化物超電導素線を集合化し、前記各酸化物超電導素線の長さを L (mm)、外部磁界 0 T における $0.01\text{ }\mu\text{V/mm}$ 基準での各酸化物超電導素線の臨界電流を I_c (A) とした場合、前記各酸化物超電導素線と当該各酸化物超電導素線の両端にそれぞれ接続された電極との接続抵抗 R (Ω) を、当該各酸化物超電導素線の使用温度において、それぞれ以下の式 (1) で示す条件を満たすように設定するものである。

$$0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

【0016】

この構成によれば、複数の酸化物超電導線材を用いつつ、電流偏流を低減することができる酸化物超電導素線の集合化導体を製造することができる。また、この構成によれば、接続抵抗 R のばらつきを低減することができる。

10

20

30

40

50

【0017】

また、前記はんだは、ビスマス（Bi）と錫（Sn）との合金であり、前記温度は、140℃～200℃の範囲内の温度であることが好ましい。また、前記はんだは、ビスマス（Bi）とインジウム（In）との合金であり、前記温度は、100℃～200℃の範囲内の温度であってもよい。この構成によれば、接続抵抗Rのばらつきを低減することができる。

【0019】

また、前記接続抵抗R（Ω）は、前記酸化物超電導素線と前記電極との接続面積を調節することにより、設定されることが好ましい。この構成によれば、接続抵抗R（Ω）を、上述の条件を満たす抵抗値の範囲に設定することが容易である。

10

【発明の効果】

【0020】

このような構成の酸化物超電導素線の集合化導体及びこの集合化導体の製造方法によれば、複数の酸化物超電導素線と、前記複数の酸化物超電導素線の両端にそれぞれ接続される複数の電極とを備え、前記各酸化物超電導素線の長さをL（mm）、外部磁界0Tにおける0.01μV/mm基準での臨界電流をI_c（A）とした場合、前記酸化物超電導素線それぞれと前記電極それぞれとの接続抵抗R（Ω）は、 $0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c$ となる条件を満たすことにより、複数の酸化物超電導線材を用いつつ、電流偏流を低減することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、本発明に係る実施形態を図面に基づいて説明する。なお、各図において同一の符号を付した構成は、同一の構成であることを示し、その説明を省略する。図1は、本発明の一実施形態に係る酸化物超電導素線の集合化導体の構成の一例、及びこの集合化導体の特性を測定するための測定回路を概念的に示した説明図である。また、図2は、図1に示す集合化導体の電極付近における拡大図、及びこの集合化導体の特性を測定するための測定回路を概念的に示した説明図である。

【0022】

図1に示す集合化導体1は、酸化物超電導素線を集合化して得られる導体の一例であり、例えば、磁気エネルギー貯蔵、変圧器、核融合コイル等の超電導コイルに代表される液体窒素冷却型の超電導マグネット、及び冷凍機冷却型の超電導マグネット等の構成素材として用いられる酸化物超電導線材である。なお、本発明に係る酸化物超電導素線を集合化した適用例としては、パンケーキ状コイル等が挙げられる。

30

【0023】

図1に示す集合化導体1は、酸化物超電導素線11、21と、酸化物超電導素線11の両端にそれぞれ接続された電極12、13と、酸化物超電導素線21の両端にそれぞれ接続された電極22、23とを備えている。

【0024】

酸化物超電導素線11、21は、例えば、厚さ100μm、幅10mm、長さ10mの Hastelloy 基板の上に、Gd-Zr 酸化物を中間層として1μm堆積し、その上に厚さ0.5μmのCeO₂層をキャップ層として形成し、その上に厚さ1μmのYBa₂Cu₃O_{7-x}超電導膜をCVD（Chemical Vapor Deposition）装置により成膜し、最後に保護層としてAg層を成膜して得られたY系超電導テープ線材から切り出されて、作成されている。図1、図2は、酸化物超電導素線11、21を厚み方向から見て図示している。

40

【0025】

電極12、13、22、23は、例えば銅等の常電導材料によって構成されている。そして、酸化物超電導素線11と電極12とは、はんだ14によってはんだ付けされ、酸化物超電導素線11と電極13とは、はんだ15によってはんだ付けされている。また、酸化物超電導素線21と電極22とは、はんだ24によってはんだ付けされ、酸化物超電導素線21と電極23とは、はんだ25によってはんだ付けされている。

50

【0026】

電極12, 13, 22, 23は、例えば酸化物超電導素線11, 21を、常電導の回路部に接続するための接続端子であってもよく、例えば複数の酸化物超電導素線を直列に接続して延長するための接続端子であってもよい。

【0027】

なお、図1に示す集合化導体1では、後述する比較例1、及び実施例1～3において、電流偏流の低減効果を確認するために、酸化物超電導素線11の両端すなわち電極12, 13間に生じる電圧V1と、酸化物超電導素線21の両端すなわち電極22, 23間に生じる電圧V2とを個別に測定する必要があることから、電極12と電極22、及び電極13と電極23を、それぞれ分離絶縁しているが、電極12と電極22、及び電極13と電極23をそれぞれ配線等の導体からなる接続部により接続することで、酸化物超電導素線11, 21を並列接続する構成としてもむろんよい。また、電極12と電極22、電極13と電極23をそれぞれ単一の電極として構成し、例えば一の電極の一部を電極12、残りの一部を電極22とし、他の一の電極の一部を電極13、残りの一部を電極23として用いることで、単一の電極を接続部として用いてもよい。

10

【0028】

はんだ14, 15, 24, 25としては、例えばSn-Ag-Cu、Bi-Sn、Bi-In等、種々のはんだを用いることができる。なお、本明細書において、「はんだ」とは、JIS Z 3001の定義に従い「450℃未満の低い融点をもつろう接用溶加材」を指し、「はんだ付」とは「はんだを用いて母材をできるだけ溶融しないで行う溶接方法」を指すこととする。

20

【0029】

酸化物超電導素線11, 21と、電極12, 13, 22, 23との接続部は、例えば幅10mm×長さ14mmの範囲にされている。なお、酸化物超電導素線11, 21と、電極12, 13, 22, 23との接続部の面積は、酸化物超電導素線の長さをL(mm)、外部磁界0Tにおける $0.01\mu\text{V}/\text{mm}$ 基準での臨界電流を $I_c(\text{A})$ とした場合に、酸化物超電導素線と電極との接続抵抗 $R(\Omega)$ が、以下の式(1)で示す条件を満たすような面積になっていればよく、幅10mm×長さ14mmに限らない。

【0030】

$$0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \quad \dots (1)$$

30

このように、酸化物超電導素線と電極との接続抵抗 $R(\Omega)$ を、酸化物超電導素線と電極との接続部の面積を調節することにより、式(1)で示す条件を満たすように設定する。

【0031】

ここで、酸化物超電導素線の長さLとは、両端に接続された電極間に挟まれた酸化物超電導素線の長さを示し、例えば酸化物超電導素線11における長さLとは、図1において、符号X1で示す位置から符号X2で示す位置までの酸化物超電導素線11の長さを意味し、例えば酸化物超電導素線12における長さLとは、図1において、符号Y1で示す位置から符号Y2で示す位置までの酸化物超電導素線12の長さを意味している。

40

【0032】

はんだ14, 15, 24, 25として融点が130℃のBi-Snを用いた場合、はんだ付温度は140℃～200℃の範囲が望ましく、例えば150℃とされる。また、はんだ14, 15, 24, 25として融点が80℃のBi-Inを用いた場合、はんだ付温度は100℃～200℃の範囲が望ましく、例えば120℃とされる。このように、はんだ付温度を200℃以下にすることにより、酸化物超電導素線11, 21の劣化を低減することができる。はんだ付けの際には、はんだを溶融した後、酸化物超電導素線11及び電極12, 13、酸化物超電導素線21及び電極22, 23が、それぞれはがれないように両者を固定した状態で冷却することで、安定した接続抵抗が得られる。

【0033】

50

このようにして得られた酸化物超電導素線の集合化導体 1 について、後述する比較例 1、及び実施例 1～3 に示す実験結果から、以下の知見が得られた。

【0034】

第 1 の知見は、以下のものである。すなわち、集合化導体 1 を冷却して酸化物超電導素線 1 1, 2 1 を超電導状態にした状態で、電極 1 2 から酸化物超電導素線 1 1 を介して電極 1 3 に至る電流経路 L 1 と、電極 2 2 から酸化物超電導素線 2 1 を介して電極 2 3 に至る電流経路 L 2 とを並列に接続して集合化し、この並列回路に電流を流すと、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 の抵抗値はゼロであるから、電流経路 L 1 を流れる電流 I 1 と電流経路 L 2 を流れる電流 I 2 とは、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 と電極 1 2, 1 3, 2 2, 2 3 との間の各接続抵抗 R のバランスによって電流値に差異が生じ、すなわち電流偏流が生じることとなる。

10

【0035】

電流偏流をなくすためには、理想的には、各接続抵抗 R をすべてゼロにするか、各接続抵抗 R を完全に同一にすればよいが、実際の装置において、各接続抵抗 R をすべてゼロにしたり、各接続抵抗 R を完全に同一にすることは困難である。むしろ、各接続抵抗 R をゼロに近づけようとして抵抗値を減少させると、各接続抵抗 R 間のばらつきにより、逆に電流偏流が増大することが実験的に確認された。

【0036】

そして、各接続抵抗 R を、磁束流抵抗によって酸化物超電導素線 1 1, 2 1 に生じる電圧との関係で得られる抵抗値、具体的には、以下の式 (3) の条件を満たす抵抗値にすることにより、電流経路 L 1, L 2 間の電流偏流を抑制することができることを見いだした。これは、従来の金属系超電導線材の偏流防止の対策としては知られていなかった知見である。

20

【0037】

$$R \geq 0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \quad \dots (3)$$

但し、各酸化物超電導素線の長さ：L (mm)

外部磁界 0 T における $0.01 \mu V / mm$ 基準での臨界電流： I_c (A)

第 2 の知見は、以下のものである。

【0038】

複数の酸化物超電導素線を作成した場合、各酸化物超電導素線の臨界電流 I_c にはばらつきが生じるため、全く臨界電流が等しい酸化物超電導素線を作成することは、困難である。また、酸化物超電導素線の抵抗値は、流れる電流が、臨界電流 I_c に近づくと僅かながら増大し、臨界電流 I_c を超えると急激に増大する性質がある。

30

【0039】

ここで、臨界電流が I_{c1} の酸化物超電導素線 1 1 と、臨界電流が I_{c2} の酸化物超電導素線 2 1 とを並列接続した場合、仮に、電極との接続抵抗 R がゼロオームであって、この並列回路には、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 自体に生じる抵抗のみしか存在しない理想的な条件を仮定する。そして、臨界電流 I_{c1} が臨界電流 I_{c2} より小さいものとする。そうすると、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 を流れる電流は、まず先に酸化物超電導素線 1 1 において、臨界電流 I_{c1} に近くなる。そうすると、酸化物超電導素線 1 1 でわずかに抵抗が生じて酸化物超電導素線 1 1 を流れる電流が減少し、酸化物超電導素線 2 1 を流れる電流が増大するように、電流が分配される。

40

【0040】

このように、上述のような理想的な条件下では、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 を流れる電流は、臨界電流 I_{c1} の付近で自動的にバランスするので、例えば臨界電流 I_{c1} と臨界電流 I_{c2} とに差異があっても、酸化物超電導素線 1 1 に流れる電流を臨界電流 I_{c1} 近くまで増大させ、酸化物超電導素線 2 1 に流れる電流を臨界電流 I_{c2} 近くまで増大させることができる結果、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 の並列回路に $(I_{c1} + I_{c2})$ の電流を流すことができる。

【0041】

50

しかし、実際には、このような理想的な条件を実現することは困難であり、酸化物超電導素線と電極との接続抵抗 R が存在する。そして、電流経路 L_1 、 L_2 の抵抗値は、酸化物超電導素線 1_1 、 2_1 の抵抗値と接続抵抗 R とをそれぞれ加算したものとなる。そうすると電流経路 L_1 、 L_2 全体の抵抗値に対する酸化物超電導素線 1_1 、 2_1 自体の抵抗値の比率が相対的に小さくなる結果、一方の酸化物超電導素線 1_1 において、流れる電流が臨界電流 I_{c1} に近くなって酸化物超電導素線 1_1 に抵抗が生じた場合であっても、上述のように酸化物超電導素線 1_1 で臨界電流 I_{c1} を超えないような電流分配が生じ難くなる。そして、接続抵抗 R が増大するほど、相対的に酸化物超電導素線 1_1 自体の抵抗が酸化物超電導素線 1_1 、 2_1 間の電流配分に及ぼす影響が減少する結果、酸化物超電導素線 1_1 、 2_1 の並列回路に流すことのできる電流は、上述のような理想的な条件下において流れる電流 ($I_{c1} + I_{c2}$) よりも減少する。このような事情は、酸化物超電導素線を三本以上並列接続した場合であっても同様である。

10

【0042】

本願発明者らは、複数の酸化物超電導素線を並列接続した場合に、各酸化物超電導素線の接続抵抗 R を、以下の式 (4) の条件を満たす抵抗値にすることにより、並列接続された複数の酸化物超電導素線に流すことのできる合計の電流値を増大させることができることを見いだした。

【0043】

$$R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \quad \dots (4)$$

以上、第1及び第2の知見から、接続抵抗 R の値を、式 (3) 及び式 (4) の条件を同時に満たす式 (1) で示す範囲に設定することにより、電流経路 L_1 、 L_2 間の電流偏流を低減しつつ、酸化物超電導素線 1_1 、 2_1 それぞれについて臨界電流近傍まで電流を増大させることができ、すなわち集合化導体1に流すことのできる許容電流を増大させることができる。

20

【0044】

ここで、式 (1) から明らかなように、接続抵抗 R の適切な抵抗値の範囲は、酸化物超電導素線の長さ L (mm)、外部磁界 0 T における $0.01 \mu V/mm$ 基準での臨界電流 I_c (A) に応じて変化するものであり、絶対値として適切な抵抗値の範囲が存在するわけではない。

【0045】

なお、集合化導体1は、酸化物超電導素線を二本用いた例を示したが、酸化物超電導素線は複数であればよく、三本以上を集合化してもよい。また、各酸化物超電導素線の長さ L が同じでもよく、異なってもよい。さらに、各酸化物超電導素線の長さ L が同じで、各酸化物超電導素線の材質や構造、超電導層の厚み等を変更してもよい。

30

【0046】

第3の知見は、以下のものである。すなわち、はんだ14、15、24、25として、融点が $130^\circ C$ の $Bi-Sn$ や融点が $80^\circ C$ の $Bi-In$ 等、融点の低いビスマス (Bi) 含有合金を用いて、 $200^\circ C$ 以下の温度、例えば $Bi-Sn$ であれば $140^\circ C \sim 200^\circ C$ の範囲、例えば $Bi-In$ であれば $100^\circ C \sim 200^\circ C$ の範囲の温度ではんだを加熱して溶融させた後に冷却してはんだ付けすることにより、単位面積あたりの接続抵抗を再現性よく制御できることを見いだした。これにより、酸化物超電導素線と電極との接続面積を実用的な範囲、例えば幅 $10 mm \times$ 長さ $100 mm$ 程度以下の範囲に抑えつつ、式 (1) の条件を満たす接続抵抗 R に設定することが容易となった。

40

【0047】

次に、図1に示す酸化物超電導素線の集合化導体1について、サンプルを用いて実験的に電流偏流を測定した実施例と、集合化導体1と同様の構造で、酸化物超電導素線と電極との接続抵抗 R が式 (1) の条件を満たさないサンプルを用いて実験的に電流偏流を測定した比較例とについて、説明する。

【比較例1】

【0048】

50

比較例 1 では、酸化物超電導素線 1 1 と電極 1 2, 1 3 との間の接続抵抗 R 、及び酸化物超電導素線 2 1 と電極 2 2, 2 3 との間の接続抵抗 R が、式 (1) の条件を満たさない場合における酸化物超電導素線 1 1, 酸化物超電導素線 2 1 間の電流偏流の評価結果を示す。

【0049】

外形 60 mm の円盤状の FRP (Fiber Reinforced Plastics) 製の巻枠 (図略) に、電極 1 2, 1 3, 2 2, 2 3 を固定した。そして、電極 2 2 の幅 10 mm × 長さ 14 mm の範囲に Sn-Pb はんだを載せ、280℃に加熱した後に酸化物超電導素線 2 1 の一方端部の Ag 側を溶融したはんだに接触させるようにして固定した。次に、電極 1 2 の幅 10 mm × 長さ 14 mm の範囲に Sn-Pb はんだを載せ、280℃に加熱した後に酸化物超電導素線 1 1 の一方端部の Ag 側を溶融したはんだに接触させるようにして固定した。

10

【0050】

そして、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 を図略の巻枠に沿って配置し、電極 2 3 の幅 10 mm × 長さ 14 mm の範囲に Sn-Pb はんだを載せ、280℃に加熱した後に酸化物超電導素線 2 1 の他端部の Ag 側を溶融したはんだに接触させるようにして固定した。次に、電極 1 3 の幅 10 mm × 長さ 14 mm の範囲に Sn-Pb はんだを載せ、280℃に加熱した後に酸化物超電導素線 1 1 の他端部の Ag 側を溶融したはんだに接触させるようにして固定した。

【0051】

このとき、図 1 では、説明の関係上、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 の長さが異なっているように図示されているが、実際には電極 1 2 と電極 1 3 との間の酸化物超電導素線 1 1 の長さ L と、電極 2 2 と電極 2 3 との間の酸化物超電導素線 2 1 の長さ L とが、いずれも 120 mm になるように固定した。そして、集合化導体 1 を室温まで自然冷却してはんだを固着させた。

20

【0052】

このようにして得られたサンプルにおいて、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 の自己インダクタンスは、共に約 1.0×10^{-7} H になっている。

【0053】

また、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 について、温度 77.3 K、外部磁場 0 T の条件で臨界電流 I_{c1} , I_{c2} を測定したところ、酸化物超電導素線 1 1 の臨界電流 I_{c1} は、143 A、酸化物超電導素線 2 1 の臨界電流 I_{c2} は、147 A となった。この場合、臨界電流の定義は、「発生電圧を、電極 1 2, 2 2 と電極 1 3, 2 3 との間の酸化物超電導素線 1 1, 2 1 の長さ L (例えば 120 mm) で除したときの電界が、 $0.1 \mu V/cm$ ($= 0.01 \mu V/mm$) となるときの (すなわち発生電圧が $1.2 \mu V$ となるときの) の電流値」である。

30

【0054】

次に、このようにして得られた集合化導体のサンプルを、液体窒素に浸漬して冷却し、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 を超電導状態にした上で、以下のようにして接続抵抗 R と酸化物超電導素線 1 1, 2 1 間の電流偏流を評価した。

【0055】

40

まず、接続抵抗 R の測定方法について説明する。図 2 に示すように、酸化物超電導素線 1 1 上の、はんだ 14 の端部から 5 mm 以内の位置に設けられた測定点 P1 と、電極 1 2 の、はんだ 14 との界面から 5 mm 以内の位置に設けられた測定点 P2 との間に、直流電流源 101 を用いて所定の測定用電流 I_m を流し、電圧計を用いて測定点 P1 と測定点 P2 との間に生じた電圧 V_1 を測定する。そうすると、酸化物超電導素線 1 1 と電極 1 2 との接続抵抗 R は、 V_1 / I_m として得られる。

【0056】

また、酸化物超電導素線 2 1 上の、はんだ 24 の端部から 5 mm 以内の位置に設けられた測定点 P3 と、電極 2 2 の、はんだ 24 との界面から 5 mm 以内の位置に設けられた測定点 P4 との間に、直流電流源 102 を用いて所定の測定用電流 I_m を流し、電圧計を用

50

いて測定点 P 3 と測定点 P 4 との間に生じた電圧 V 2 を測定する。そうすると、酸化物超電導素線 2 1 と電極 2 2 との接続抵抗 R は、 $V 2 / I m$ として得られる。

【0057】

このように、はんだ 1 4, 2 4 の端部から測定点 P 1, P 3 間での距離、及び電極 1 2, 2 2 とはんだ 1 4, 2 4 との界面から測定点 P 2, P 4 までの距離を 5 mm 以内としたのは、これ以上の距離となると酸化物超電導素線と銅電極との間の接続抵抗よりも銅電極そのものの抵抗が大きくなって、接続抵抗 R を精度よく求めることが困難となるからである。

【0058】

同様に、酸化物超電導素線 1 1 と電極 1 3 との接続抵抗 R、及び酸化物超電導素線 2 1 と電極 2 3 との接続抵抗 R を求めた。そうすると、酸化物超電導素線 1 1 と電極 1 2, 1 3 との間の接続抵抗 R は、 $3.18 \times 10^{-6} \Omega$ 、 $3.89 \times 10^{-6} \Omega$ となった。また、酸化物超電導素線 2 1 と電極 2 2, 2 3 との間の接続抵抗 R は、 $3.64 \times 10^{-6} \Omega$ 、 $3.48 \times 10^{-6} \Omega$ となった。

【0059】

ここで、酸化物超電導素線 1 1 の長さ L は 120 mm、臨界電流 $I c 1$ は 143 A であるから、 $5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I c = 4.20 \times 10^{-8} \Omega$ となる。そうすると、酸化物超電導素線 1 1 と電極 1 2, 1 3 との間の接続抵抗 R は、 $5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I c$ の値を大きく超えて、式 (1) の条件を満たさない。

【0060】

また、酸化物超電導素線 2 1 の長さ L は 120 mm、臨界電流 $I c 2$ は 147 A であるから、 $5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I c = 4.17 \times 10^{-8} \Omega$ となる。そうすると、酸化物超電導素線 2 1 と電極 2 2, 2 3 との間の接続抵抗 R もまた $5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I c$ の値を大きく超えて、式 (1) の条件を満たさない。

【0061】

次に、電流偏流の評価結果について説明する。まず、図 1 に示すように、直流電流源 103 を用いて、電流経路 L 1 と電流経路 L 2 との並列回路に電流を流し、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 に流れる合計の電流 $I t$ を測定した。直流電流源 103 の出力電流は、60 A/min の速度で徐々に増加させるようにした。そして、このとき酸化物超電導素線 1 1 に生じる電圧 V 1 1 を、酸化物超電導素線 1 1 上の、はんだ 1 4 の端部から 5 mm 以内の位置に設けられた測定点 P 1 と、はんだ 1 5 の端部から 5 mm 以内の位置に設けられた測定点 P 5 との間で測定した。同様に、このとき酸化物超電導素線 2 1 に生じる電圧 V 2 1 を、酸化物超電導素線 2 1 上の、はんだ 2 4 の端部から 5 mm 以内の位置に設けられた測定点 P 3 と、はんだ 2 5 の端部から 5 mm 以内の位置に設けられた測定点 P 6 との間で測定した。

【0062】

酸化物超電導素線 1 1, 2 1 の自己インダクタンスは共に約 $1.0 \times 10^{-7} H$ であり、自己インダクタンスにより生じる電圧が、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 と電極 1 2, 1 3, 2 2, 2 3 との接続抵抗 R により生じる電圧や、磁束流抵抗により生じる電圧より十分小さくなるようにした。

【0063】

そして、便宜上、酸化物超電導素線 1 1 に生じる電圧 V 1 1 が $1.2 \mu V$ となるとき電流 $I t$ を、電流 $I t c 1$ 、酸化物超電導素線 2 1 に生じる電圧 V 2 1 が $1.2 \mu V$ となるとき電流 $I t$ を、電流 $I t c 2$ として測定した。そうすると、電流 $I t c 1$ として 238 A が得られ、電流 $I t c 2$ として 226 A が得られた。

【0064】

この場合、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 に電流偏流が無く、酸化物超電導素線 1 1, 2 1 の臨界電流 $I c 1$, $I c 2$ がそれぞれ同時に流れた場合には、 $I t c 1 / (I c 1 + I c 2) = I t c 2 / (I c 1 + I c 2) = 1.0$ となる。このことから、 $I t c 1 / (I c 1 + I c 2)$ 、 $I t c 2 / (I c 1 + I c 2)$ の値が 1.0 より小さくなるほど、電流

10

20

30

40

50

偏流が大きいことが判る。そこで、以下の説明において、 $I_{tc1} / (I_{c1} + I_{c2})$ と $I_{tc2} / (I_{c1} + I_{c2})$ とを、偏流の評価値として用いる。

【0065】

なお、本明細書において、偏流とは、特定の線材に大きな電流が流れ、ある線材には臨界電流に比べてわずかしき電流が流れない場合を意味するものとする。

【0066】

電流 $I_{tc1} = 238\text{ A}$ 、電流 $I_{tc2} = 226\text{ A}$ であるから、 $I_{tc1} / (I_{c1} + I_{c2})$ 、 $I_{tc2} / (I_{c1} + I_{c2})$ を計算すると、 $I_{tc1} / (I_{c1} + I_{c2}) = 0.82$ 、 $I_{tc2} / (I_{c1} + I_{c2}) = 0.78$ となり、顕著な偏流が生じていることが確認された。

10

【0067】

以上のように、比較例1では、酸化物超電導素線11と電極12、13との間の接続抵抗 R 、及び酸化物超電導素線21と電極22、23との間の接続抵抗 R が、式(1)の条件を満たさない場合、電流偏流の評価値として、0.82と0.78とが得られた。

【実施例1】

【0068】

実施例1では、はんだ14、15、24、25として融点 280°C の $\text{Sn}96.5\text{ Ag}3\text{ Cu}0.5$ を用いた。また、酸化物超電導素線の長さ L や、酸化物超電導素線と電極との接続面積、はんだの加熱温度を変化させて、接続抵抗 R を異ならせた複数のサンプルを作成し、 $I_{tc1} / (I_{c1} + I_{c2})$ 、 $I_{tc2} / (I_{c1} + I_{c2})$ の値を算出して電流偏流の評価を行った。なお、本明細書において、はんだの種類(組成)の表記は JIS Z 3282 に従うものとする。

20

【0069】

まず、比較例1と同様に、酸化物超電導素線11、21としてY系超電導テープ素線を2本作成し、温度 77.3 K 、外部磁場 0 T の条件で臨界電流 I_{c1} 、 I_{c2} を測定したところ、酸化物超電導素線11の臨界電流 I_{c1} は 151 A 、酸化物超電導素線21の臨界電流 I_{c2} は 146 A となった。このようにして得られた酸化物超電導素線11、21を用いて、比較例1とは、はんだ14、15、24、25として $\text{Sn}96.5\text{ Ag}3\text{ Cu}0.5$ を用いる以外は同様の構成で、集合化導体1のサンプルを作成した。

【0070】

このサンプルについて、比較例1と同様にして接続抵抗 R を測定すると、酸化物超電導素線11と電極12、13との間の接続抵抗 R は、 $3.61 \times 10^{-8}\ \Omega$ 、 $3.29 \times 10^{-8}\ \Omega$ となった。また、酸化物超電導素線21と電極22、23との間の接続抵抗 R は、 $3.37 \times 10^{-8}\ \Omega$ 、 $3.58 \times 10^{-8}\ \Omega$ となった。

30

【0071】

ここで、酸化物超電導素線11の長さ L は 120 mm 、臨界電流 I_{c1} は 151 A であり、 $0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_{c1} = 0.08 \times 10^{-9}\ \Omega$ 、 $5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_{c1} = 3.97 \times 10^{-8}\ \Omega$ となるから、酸化物超電導素線11と電極12、13との間の接続抵抗 R は、いずれも式(1)の条件を満たしている。

【0072】

また、酸化物超電導素線21の長さ L は 120 mm 、臨界電流 I_{c2} は 146 A であるから、 $0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_{c2} = 0.08 \times 10^{-9}\ \Omega$ 、 $5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_{c2} = 4.11 \times 10^{-8}\ \Omega$ となるから、酸化物超電導素線21と電極22、23との間の接続抵抗 R は、いずれも式(1)の条件を満たしている。

40

【0073】

そして、比較例1と同様に、臨界電流 I_{tc1} 、 I_{tc2} を測定したところ、臨界電流 I_{tc1} は 283 A 、臨界電流 I_{tc2} は 273 A であった。そうすると、 $I_{tc1} / (I_{c1} + I_{c2}) = 0.95$ 、 $I_{tc2} / (I_{c1} + I_{c2}) = 0.92$ となり、集合化導体1全体を流れる電流 I_{tc1} 、 I_{tc2} として、臨界電流 I_{c1} 、 I_{c2} の合計の92%以上を確保することができた。

50

【0074】

すなわち、式(1)の条件を満たさない比較例1の場合に対し、式(1)の条件を満たす実施例1では、 $I_{tc1}/(I_{c1}+I_{c2})$ 、 $I_{tc2}/(I_{c1}+I_{c2})$ の値が増大して、電流偏流を低減できることが確認できた。

【0075】

図3は、酸化物超電導素線の長さLや、酸化物超電導素線と電極との接続面積、はんだの加熱温度を変化させて、接続抵抗Rを異ならせた複数のサンプルを作成し、 $I_{tc1}/(I_{c1}+I_{c2})$ 、 $I_{tc2}/(I_{c1}+I_{c2})$ の値を算出した結果を示すグラフである。

【0076】

10

図3に示すように、 $0.01 \leq R \times I_c / (0.01 \times 10^{-6} \times L) \leq 5$ を満足する範囲、すなわち $0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c$ を満足する範囲で、 $I_{tc1}/(I_{c1}+I_{c2})$ と $I_{tc2}/(I_{c1}+I_{c2})$ とが共に0.90以上の値となることが確認でき、すなわち式(1)の条件を満たす範囲で効果的に電流偏流を抑制できることが確認できた。

【0077】

また、より望ましい接続抵抗Rの範囲は、 $0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 2 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c$ であり、この範囲では、 $I_{tc1}/(I_{c1}+I_{c2})$ と $I_{tc2}/(I_{c1}+I_{c2})$ とが共に0.95以上の値となることが確認でき、すなわち式(2)の条件を満たす範囲で、より効果的に電流偏流を抑制できることが確認できた。

20

【0078】

なお、上記実験結果は、酸化物超電導素線11, 21としてY系超電導テープ線材を用いた場合のものであるが、Ag及びAg基合金シースを用いたBi系酸化物超電導線材を用いても、表面がY系超電導テープ線材と同様にAg又はAg基合金であるので、同様な結果が得られる。

【実施例2】

【0079】

実施例2では、実施例1と同様、はんだ14, 15, 24, 25として融点280℃のSn96.5Ag3Cu0.5を用い、280℃加熱の条件で酸化物超電導素線11, 21と、電極12, 13, 22, 23とをはんだ付けしたサンプルを、5個作成した。そして、5個のサンプルにおける酸化物超電導素線と電極との全接続箇所、20箇所について、比較例1と同様にして、温度77.3K、外部磁場0Tの条件で接続抵抗Rを測定した。

30

【0080】

その結果、20箇所の接続抵抗Rすべてについて、 $5.38 \times 10^{-9} \Omega \leq R \leq 4.03 \times 10^{-8} \Omega$ の範囲でばらついたものの、式(1)で示す抵抗値範囲である $7.92 \times 10^{-11} \Omega \leq R \leq 4.16 \times 10^{-8} \Omega$ の条件を満たした。

【実施例3】

【0081】

40

はんだ14, 15, 24, 25として融点130℃のBi58Sn42を用い、150℃に加熱した後に冷却することで、酸化物超電導素線11, 21と、電極12, 13, 22, 23とをはんだ付けした以外の条件を、実施例2を同一にして集合化導体1のサンプルを5個作成した。そして、5個のサンプルにおける酸化物超電導素線と電極との全接続箇所、20箇所について、実施例2と同様にして、温度77.3K、外部磁場0Tの条件で接続抵抗Rを測定した。

【0082】

その結果、20箇所の接続抵抗Rすべてについて、式(1)で示す $0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c$ の条件を満足し、且つ $3.18 \times 10^{-8} \Omega \leq R \leq 3.56 \times 10^{-8} \Omega$ の範囲内に収まり、実施例2よりも接続

50

抵抗 R のばらつき範囲を小さくすることができた。

【0083】

なお、はんだ付けの加熱温度は、150℃に限られず、140℃～200℃の温度範囲で同様の結果が得られる。

【0084】

また、はんだ14, 15, 24, 25として融点80℃のIn65Bi35を用い、120℃に加熱した後に冷却することで、酸化物超電導素線11, 21と、電極12, 13, 22, 23とをはんだ付けした以外の条件を、実施例2を同一にして集合化導体1のサンプルを5個作成した。そして、5個のサンプルにおける酸化物超電導素線と電極との全接続箇所、20箇所について、実施例2と同様にして、温度77.3K、外部磁場0Tの条件で接続抵抗Rを測定した。

10

【0085】

その結果、20箇所の接続抵抗Rすべてについて、式(1)で示す $0.01 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c \leq R \leq 5 \times 0.01 \times 10^{-6} \times L / I_c$ の条件を満足し、且つ $3.25 \times 10^{-8} \Omega \leq R \leq 3.72 \times 10^{-8} \Omega$ の範囲内に収まり、実施例2よりも接続抵抗Rのばらつき範囲を小さくすることができた。

【0086】

なお、はんだ付けの加熱温度は、120℃に限られず、100℃～200℃の温度範囲で同様の結果が得られる。

【図面の簡単な説明】

20

【0087】

【図1】本発明の一実施形態に係る酸化物超電導素線の集合化導体の構成の一例、及びこの集合化導体の特性を測定するための測定回路を概念的に示した説明図である。

【図2】図1に示す集合化導体の電極付近における拡大図、及びこの集合化導体の特性を測定するための測定回路を概念的に示した説明図である。

【図3】接続抵抗Rを異ならせた複数のサンプルについて、 $I_{tc1} / (I_{c1} + I_{c2})$ 、 $I_{tc2} / (I_{c1} + I_{c2})$ の値を算出した結果を示すグラフである。

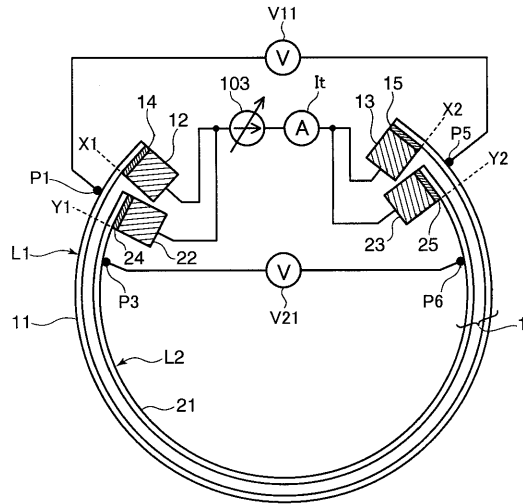
【符号の説明】

【0088】

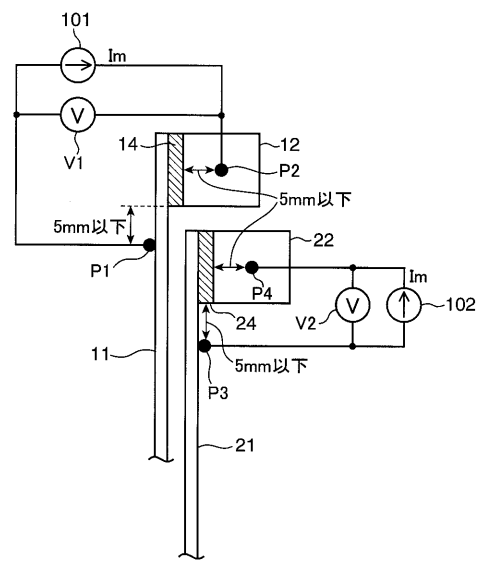
- 1 集合化導体
- 11, 21 酸化物超電導素線
- 12, 13, 22, 23 電極
- 14, 15, 24, 25 はんだ

30

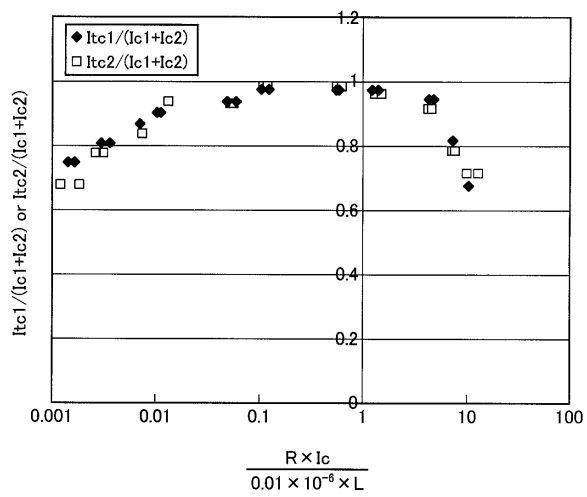
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

- (72)発明者 長谷 隆司
神戸市西区高塚台1丁目5番5号 株式会社神戸製鋼所 神戸総合技術研究所内
- (72)発明者 式町 浩二
愛知県名古屋市緑区大高町字北関山20番地の1 中部電力株式会社 電力技術研究所内
- (72)発明者 平野 直樹
愛知県名古屋市緑区大高町字北関山20番地の1 中部電力株式会社 電力技術研究所内
- (72)発明者 長屋 重夫
愛知県名古屋市緑区大高町字北関山20番地の1 中部電力株式会社 電力技術研究所内

審査官 田中 純一

- (56)参考文献 特開2003-298129 (JP, A)
特開平10-050447 (JP, A)
特開2009-043912 (JP, A)
特開2005-322905 (JP, A)
特表2002-540565 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01F	6/00	—	6/06
H01B	12/00	—	12/16
H01B	13/00		