

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4568894号  
(P4568894)

(45) 発行日 平成22年10月27日(2010.10.27)

(24) 登録日 平成22年8月20日(2010.8.20)

(51) Int.Cl. F I  
 HO 1 F 6/00 (2006.01) HO 1 F 7/22 Z A A J  
 HO 1 F 6/06 (2006.01) HO 1 F 5/08 N

請求項の数 4 (全 14 頁)

|              |                               |           |   |
|--------------|-------------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号    | 特願2004-334747 (P2004-334747)  | (73) 特許権者 | 506334182<br>DOWAエレクトロニクス株式会社<br>東京都千代田区外神田四丁目14番1号 |
| (22) 出願日     | 平成16年11月18日(2004.11.18)       | (73) 特許権者 | 000213297<br>中部電力株式会社<br>愛知県名古屋市中区東新町1番地            |
| (65) 公開番号    | 特開2005-183941 (P2005-183941A) | (74) 代理人  | 100091362<br>弁理士 阿仁屋 節雄                             |
| (43) 公開日     | 平成17年7月7日(2005.7.7)           | (74) 代理人  | 100105256<br>弁理士 清野 仁                               |
| 審査請求日        | 平成19年9月10日(2007.9.10)         | (72) 発明者  | 小早志 秀一<br>東京都千代田区丸の内一丁目8番2号 同<br>和鉱業株式会社内           |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2003-399363 (P2003-399363)  |           |   |
| (32) 優先日     | 平成15年11月28日(2003.11.28)       |           |   |
| (33) 優先権主張国  | 日本国(JP)                       |           |   |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複合導体および超電導機器システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

溶融法で作製され、且つ、結晶配向されたもので、電流を流す方向が結晶のc軸方向と略垂直となるように金属導体中へ完全に埋め込まれている超電導体と、

この超電導体に接合されると共に少なくとも接合すべき相手導体との接合箇所に設けられた金属導体と、を備え、前記金属導体に相手導体を圧接接合することにより、相手導体との間で電流の授受を行う複合導体であって、

前記超電導体は略柱状をなし、その長手方向が、前記金属導体と前記相手導体との接合界面に対して略平行となるように、前記金属導体中に前記超電導体が完全に埋め込まれて配置されていることを特徴とする複合導体。

【請求項2】

請求項1に記載の複合導体であって、

前記超電導体は、複数個接合されたものであることを特徴とする複合導体。

【請求項3】

請求項1または2のいずれかに記載の複合導体であって、

前記金属導体と前記超電導体とが、間に接合用金属を介在することによって接合されており、前記接合用金属中に存在する空孔の体積が、接合部の隙間の容積の5%以下であることを特徴とする複合導体。

【請求項4】

請求項1から3のいずれかに記載の複合導体を用いていることを特徴とする超電導機器

システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、MRI、リニアモータ、SMES等の超電導システムへの給電経路の導体間接続に好適に用いられる複合導体に関し、特に、大電流を低抵抗で通電可能とするために超電導体を金属導体と共に接合した複合導体に関する。

【背景技術】

【0002】

超電導磁石等の超電導機器内においては、導体配線の取り回しの都合上、金属導体間や、金属導体と超電導導体間を接合しなければならない箇所が発生する。例えば、室温状態にある外部電源装置から極低温状態にある超電導システムへ、数百から数千アンペアの電流を供給する電流リードの電極部（金属導体よりなる）と、マグネットから引き延ばされた超電導導線とを、接続用導体を介して図5のように接合する場合等がある。

10

【0003】

このような接合を行う箇所には用いられる接続用導体としては、一般的に、電気抵抗値、価格、加工性などの点で比較的バランスの良い、高純度銅が用いられていた。図5において、1は電源側に位置する電流リード、2はマグネット（システム側）から引き延ばされた超電導線、3は電流リード1と超電導線2とを接続する接続用導体である。電流リード1の両端には板状の金属電極1a、1bが設けられており、その一端の金属電極1aに、接続用導体3の一端3aがネジ式クランプ4により圧接固定されている（圧接法）。また、接続用導体3の他端3bが、マグネットから引き延ばされた超電導線2の端部2aに半田5で接合されている（半田法）。ここで、ネジ式クランプ4による圧接法は、着脱が容易であるが、偏流が発生しやすいという欠点がある。また、半田法は、偏流が比較的小さくなるものの、接合部の界面における接触抵抗の均一性を保った接合とすることが難しく、偏流の発生を抑制することは依然として難しく、更には、着脱にも手間がかかるという問題点がある。（例えば、特許文献1参照。）

20

【0004】

【特許文献1】特開平5-198433号公報

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

近年、超電導応用機器の開発が進行し、導体間の接合部に対する要求性能の水準も高いものとなり、よりジュール発生熱が少ないことに加えて、着脱性が容易で、コンパクトなものが求められてきた。

【0006】

しかし、従来の金属導体を用いた接合では、電流リードの電極部や超電導線との接合部で偏流による大きな接触抵抗が発生し、接触抵抗を下げるためには接合面積を大きくせざるをえず、必然的に接合部が大きなものとなっていた。また、着脱性が比較的容易な圧接法では大きな偏流が起こり、接触抵抗が大きなものとなっていた。

40

【0007】

そこで本発明が解決しようとする課題は、システム側導体と電源側導体との接合箇所におけるジュール熱の発生を低減し、超電導機器システムのコンパクト化とシステム内での熱発生を最小限にすることのできる、接続用導体として好適な複合導体を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記の課題を解決するための第1の発明は、電流の流れる方向に設けられた超電導体と、この超電導体に接合されると共に少なくとも接合すべき相手導体との接合箇所に設けられた金属導体と、を備え、前記金属導体に相手導体を接合することにより、相手導体との

50

間で電流の授受を行う複合導体であって、前記金属導体と前記相手導体との接合界面に対して略平行となるように、前記金属導体中に前記超電導体が配置されていることを特徴とする。

【0009】

上記の構成を有する複合導体を用いると、接合した相手導体との間で電流の授受を行う際に、導体間の接触抵抗値が低減され、この部分で発生するジュール熱が抑制される。

【0010】

第2の発明は、第1の発明に記載の複合導体であって、前記超電導体は略柱状をなし、その長手方向が前記接合界面と略平行となるように配置されていることを特徴とする。

【0011】

超電導体が略柱状をなしていると、相手導体との接合界面に略平行をなすように金属導体中へ容易に配置することができ、コンパクトな複合導体を構成することが可能となる。

【0012】

第3の発明は、第1または第2の発明に記載の複合導体であって、前記超電導体は、溶融法で作製された酸化物超電導体であることを特徴とする。

【0013】

溶融法で作製された酸化物超電導体は、臨界温度および臨界電流密度が高く、機械的強度も大きいので、好適な電気的特性、機械的特性を有する複合導体を製造することができる。

【0014】

第4の発明は、第1から第3のいずれかの発明に記載の複合導体であって、前記超電導体は、複数個接合されたものであることを特徴とする。

【0015】

超電導体として、複数の超電導体が接合されたものを用いることで、複合導体の製造コストを削減することができる。

【0016】

第5の発明は、第1から第4のいずれかの発明に記載の複合導体であって、前記金属導体と前記超電導体とが、間に接合用金属を介在することによって接合されており、前記接合用金属中に存在する空孔の体積が、接合部の隙間の容積の5%以下であることを特徴とする。

【0017】

第6の発明は、第1から第5のいずれかの発明に記載の複合導体導体を用いていることを特徴とする超電導機器システムである。

【0018】

第7の発明は、電流の流れる方向に設けられた超電導体と、この超電導体に接合されると共に少なくとも接合すべき相手導体との接合箇所設けられた金属導体と、を備え、前記金属導体に相手導体を接合することにより、相手導体との間で電流の授受を行う複合導体の製造方法であって、

接合用金属によって、前記酸化物超電導体と前記金属電極とを接合する際、前記接合部分を、前記接合用金属の融点以上に加熱した後、減圧して、前記接合用金属を脱気させる工程を有することを特徴とする。

【0019】

金属導体と超電導体とを接合している接合用金属中にある空孔の体積が、接合部の隙間の容積の5%以下であると、この部分の電流の流れがスムーズになり、複合導体へ所定の電流を流した際の接触抵抗値が低減され、この部分で発生するジュール熱が抑制される。

【発明の効果】

【0020】

本発明は、電流の流れる方向に連続して設けられた超電導体と、この超電導体に接合されると共に少なくとも接合すべき相手導体との接合箇所設けられた金属導体と、を備え、前記金属導体に相手導体を接合することにより、相手導体との間で電流の授受を行う複

10

20

30

40

50

合導体であって、前記金属導体と前記相手導体との接合界面に対して略平行となるように、前記金属導体中に前記超電導体が配置されている複合導体であるが、この構成を有する複合導体においては、相手導体と電流の授受を行う接合部の接触抵抗値が低減され、この部分で発生するジュール熱が抑制される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

本発明者らは、金属導体中へ、接合すべき相手導体との接合界面に略平行となるように超電導体を配置することで、接合界面に沿った電位差を減少させることができれば、相手導体と金属導体との界面部に、ミクロ的には接触抵抗のばらつきがあった場合でも、マクロ的には偏流の発生抑制ができ、結果として、この部分の接触抵抗値を低減できることを見出し、本発明を完成させることができた。

10

【0022】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施の形態について説明する。

図1は、実施の形態として示す複合導体10の構成図であり、(a)は分解斜視図、(b)は外観斜視図、(c)は(b)のIc-Ic矢視断面図である。

【0023】

図1において、複合導体10は全体的に略角柱状をなしており、金属導体11の内部に、長手方向に連続する角柱状の超電導体12を埋め込んだ複合体として構成されている。金属導体11は、超電導体12を収納する溝13を上面に加工した角柱状の本体11Aと、超電導体12を溝13内に収納した上で超電導体12の上から溝13に嵌められる蓋11Bとからなる。溝13は、電流を流す長手方向に沿って平行に加工され、超電導体12は電流の流れる方向に連続している。勿論、複合導体10は全体的に略柱状を有していればよく、その断面形状は三角形、4角形等の多角形、円、楕円、および星形等の様々な形状をとることが出来る。

20

【0024】

この複合導体10は、金属導体11の長手方向両端の底面部分を相手導体との接合面21とするものであり、それらの接合面21に相手導体を面接合することにより、相手導体との間で電流の授受を行うものである。そのため、電流を流すための主体となる超電導体12は、金属導体11と相手導体との接合界面(接合面21)に対して略平行となるように、金属導体11中に配置されている。

30

【0025】

なお、金属導体11の本体11Aおよび蓋11Bの表面には、後述する接合用金属(図示略)との濡れ性を向上させるため、および、電源側から引き出されてくる導体、およびシステム側から引き出されてくる導体との接触抵抗値を低減するため、予め、錫、銀、金、ニッケル、亜鉛、パラジウムの単体または合金を主成分とするメッキ、あるいは、前記メッキの積層体を設けておくことが好ましい。

【0026】

また、金属導体11中に埋め込まれる超電導体12は、全体が一体のものであってもよいが、図示例では、長手方向にいくつか分割されたものとされている。全体の長さによっては、並列に数本並べたものを用いてもよい。この場合の超電導体12には、小さな断面積であっても大電流を流すことが可能で、機械的強度の高い希土類系酸化物超電導体を用いられている。この希土類系酸化物超電導体12は、熔融法で作製され、且つ、結晶配向されたもので、電流を流す方向が結晶のc軸方向と略垂直となるように金属導体11中に埋め込まれている。その結果、複合導体10のコンパクト化が達成され、且つ、低抵抗で大電流を流すことができるようになってきている。反面、熔融法で作製された希土類系酸化物超電導体は、長尺のものを作製することが困難であることから、長手方向にいくつか分割して埋め込まれることで、必要に応じた長尺のものであっても低コストで作製することができる。

40

【0027】

また、角柱状の超電導体12の各面は、金属導体11内に收容された際に、本体11A

50

の溝 1 3 の内面および蓋 1 1 B の内面とそれぞれ対面する。従って、超電導体 1 2 の 6 つの面は、接触抵抗値を減少させる観点より、予め銀コートされている。銀コートの方法としては、銀ペースト材の塗布焼き付け法、メッキ法、蒸着法、スパッタ法、および溶射法等が適用可能なので、生産性、量産性の観点より適宜選択すれば良い。

【 0 0 2 8 】

また、上述した超電導体 1 2 と金属導体 1 1 との接触抵抗を下げる観点から、両者は接合用金属（図示略）により接合しておくことが好ましい。これらを接合するには、超電導体 1 2 を埋め込む溝 1 3 の内面に接合用金属を溶融塗布しておき、ここへ、銀コート上に接合用金属を溶融塗布した超電導体 1 2 を設置し、さらに必要に応じて、超電導体 1 2 と、溝 1 3 の内面および蓋 1 1 B との間の隙間へ、溶融した接合用金属を注入した後、冷却固化させて接合することが好ましい。

10

【 0 0 2 9 】

この接合用金属としては、溶融塗布の際、超電導体 1 2 が過剰に加熱されて、ここから酸素が抜けてしまうのを回避するため、300 以下の融点を有する各種のハンダが好個に用いられる。中でも、この接合部分の密着性を上げて接触抵抗を下げる観点から、例えば、セラミックとの密着性と塗れ性が高くなるように Cd、Zn、Sb 等が添加された Pb-Sn 系や In 系の半田材を用いることが望ましい。ここで、セラミック用半田材の好ましい例として、セラソルザ（登録商標）を記載する。

【 0 0 3 0 】

セラソルザ 1 4 3 旭硝子（株）製

20

成分 Sn : 45 ~ 51 (Wt%)  
 Pb : 26 ~ 32  
 Cd : 16 ~ 22  
 Zn : 2 ~ 4  
 Sb : 1 ~ 3  
 融点 143

【 0 0 3 1 】

セラソルザ 1 2 3 旭硝子（株）製

成分 In : 44 ~ 50 (Wt%)  
 Cd : 45 ~ 50  
 Zn : 1 ~ 3  
 Sb : 1 未満  
 融点 123

30

【 0 0 3 2 】

以上のように、金属導体 1 1 の本体 1 1 A に形成した溝 1 3 に超電導体 1 2 を嵌め込み、その上に金属導体 1 1 の蓋 1 1 B を被せた状態で、接合用金属を隙間に介在させることにより金属導体 1 1 と超電導体 1 2 とを接合する構成を採ることで、金属導体 1 1 と超電導体 1 2 とを、全てミクロ的に見た面接触の状態に電氣的に接合することができる。この結果、金属導体 1 1 と超電導体 1 2 の接触抵抗値を下げるができる。

【 0 0 3 3 】

40

なお、金属導体 1 1 の蓋 1 1 B を本体 1 1 A の溝 1 3 に嵌め込んだときにできる隙間は、片側 0.05 ~ 0.5 mm 程度とすることが好ましい。この隙間が、0.05 mm 以上あれば接合用金属の脱気が十分に進み、0.5 mm 以下であれば接合用金属の容積が大きくなることによる不必要な接触抵抗値の上昇を回避できるからである。従って、この隙間は脱気部を構成する。

【 0 0 3 4 】

ところで、本発明者らは、このように接合用金属（半田）を用いて金属導体 1 1 と超電導体 1 2 を接合する場合には、次のような問題が生じる懸念があることを見出した。

【 0 0 3 5 】

即ち、第 1 の問題は、溶解させた接合用金属を、金属導体 1 1 の本体 1 1 A と蓋 1 1 B

50

および超電導体 1 2 へ熔融塗布して、これらを一体化する際に、大気等のガス状成分が、溶解した接合用金属中へ巻き込まれる。この接合用金属中に巻き込まれたガス状成分は、接合用金属が固化する際に、内部に空孔を形成する。接合用金属内に空孔が形成されると、接合用金属を介して金属導体 1 1 と超電導体 1 2 との間を流れていた電流の流路が狭まり、所定電流、例えば 1 0 0 0 A というような大電流の通電時には、この部分が新たな接触抵抗値の増加原因となる、という問題である。

【 0 0 3 6 】

また、第 2 の問題は、前記超電導体 1 2 として、臨界温度および臨界電流密度が高い酸化物超電導体を用いた場合には、複合導体 1 0 の使用時に、金属導体 1 1 中に埋めこまれた酸化物超電導体 1 2 に対し、室温と、液体ヘリウム温度ないし液体窒素温度間で熱履歴が繰り返されることで、金属導体 1 1 と超電導体 1 2 との線膨張係数の違いから応力が加わることになる。このとき、両者の接合部分に上述のような空孔が形成されていると、ここに応力が集中し、埋めこまれた酸化物超電導体にクラックが発生し、特性を著しく劣化させてしまうこととなる、という問題である。

10

【 0 0 3 7 】

ここで、金属導体 1 1 と超電導体 1 2 との間の接合部分に発生する空孔について、複合導体 1 0 の部分断面を示す図 2 を参照しながら説明する。

【 0 0 3 8 】

金属導体 1 1 内に設けられた溝 1 3 の中には、全体が銀コートされた超電導体 1 2 が設置され、これらの接合部分（隙間）には接合用金属 2 0 が介在され、この接合用金属 2 0 中には空孔 2 2 が発生している。

20

【 0 0 3 9 】

この空孔 2 2 が、前記接合部分の容積の 1 0 % 程度以上となると、上述したように、埋めこまれた酸化物超電導体 1 2 のクラック発生原因となり、複合導体 1 0 へ所定の電流を流したときに、接触抵抗値発生の原因ともなる。この空孔 2 2 の体積が接合部分の容積に占める割合は、例えば、次のような方法で測定することができる。即ち、接合部分を複合導体 1 0 の長手方向に沿って順番に切断してゆき、その切断面に現れる、接合部分の断面の面積と空孔 2 2 の断面積との割合を測定し、その値を順次積算してゆけばよい。

【 0 0 4 0 】

この接合用金属中の空孔 2 2 の生成を、抑制、回避する方法として、まず、大気中において超電導体 1 2 の埋め込み溝 1 3 等へ接合用金属の塗布を行い、超電導体 1 2 の埋め込み溝 1 3 へ超電導体 1 2 を設置して加熱し、接合用金属を熔融してこれらを接合するが、このときに、当該部分を真空中に暴露し、真空脱気法により、接合用金属内のガス状成分を除去することが好ましい。この真空脱気条件として、接合用金属の加熱温度は融点以上とすれば良いが、脱気を短時間で進行させ、且つ、接合用金属の酸化を抑制する観点から、融点 + 1 5 ~ 1 0 0 程度とすることが望ましい。また、周囲の真空度は、0 . 0 1 M P a 以下であれば効果が得られるが、1 0 P a 以下とすると、4 ~ 5 秒で脱気が完了することからより望ましい。そして、この水準の温度、および時間であれば、超電導体 1 2 から酸素が抜けてしまうことを考慮する必要はない。この結果、超電導体 1 2 の埋め込み溝 1 3 と、超電導体 1 2 と、金属導体 1 1 の蓋 1 1 B とが形成する接合部分に設置された接合用金属中から、空孔 2 2 の体積を、接合部分の容積の 5 % 以下に抑制することが可能となる。

30

40

【 0 0 4 1 】

このような真空脱気手段により、空孔 2 2 を接合部分の容積の 1 0 % 程度以下としたところ、複合導体 1 0 を「室温 ~ 4 . 2 K」の温度サイクル下においても、埋めこまれた超電導体 1 2 にクラックが発生しなかった。また、所定の電流を流しても、接触抵抗値の劣化上昇は発生しなかった。

【 0 0 4 2 】

なお、上記実施の形態の複合導体 1 0 においては、金属導体 1 1 の本体 1 1 A の上面に溝 1 3 を形成し、その溝 1 3 に超電導体 1 2 を収容して蓋 1 1 B を被せることで、金属導

50

体 1 1 中に超電導体 1 2 を埋め込んだ構造としたが、他の実施の形態として、金属導体の一方から孔を穿設し、その孔へ超電導体を嵌合することで複合導体を構成したり、あるいは、金属導体を分割可能な構造とし、超電導体を金属導体で挟み込む形で複合導体を組み上げたりすることも可能である。また、超電導体の形状も、円柱状あるいは筒状等、任意の形状を選択可能である。

#### 【 0 0 4 3 】

次に、上記のように構成された複合導体 1 0 と、電源側および超電導システム側より引き出されてきた導体（相手導体）とを接続する場合の構造について、図 3 を参照しながら説明する。図 3 の（ a ）は全体斜視図、（ b ）は断面図である。

#### 【 0 0 4 4 】

図 3 において、1 0 は複合導体、5 0 は電源側より引き出された電流リード（相手導体）、6 0 はシステム側より引き出された超電導線（相手導体）である。複合導体 1 0 の図面向かって左側には、インジウム箔（図面には記載していない）を介して、電源側より引き出されてきた電流リード 5 0 の金属電極部 5 1 が、挟み込み式クランプ 4 0 により接合されている。電流リード 5 0 の板状の金属電極部 5 1 は、その板面が複合導体 1 0 の接合面 2 1 に圧接させられることによって、複合導体 1 0 と接合されている。

#### 【 0 0 4 5 】

また、複合導体 1 0 の図面向かって右側には、システム側より引き出されてきた超電導線 6 0 が、挟み込み式クランプ 4 0 により接合されている。この超電導線 6 0 には予め圧接用金属板 6 1 が半田付けされており、超電導線 6 0 は、この圧接用金属板 6 1 の半田付けされた面と反対側の面が、インジウム箔を介して複合導体 1 0 の接合面 2 1 に圧接させられることによって、複合導体 1 0 と接合されている。

#### 【 0 0 4 6 】

このように複合導体 1 0 の両端の接合面 2 1 に電流リード 5 0 の金属電極部 5 1 および超電導線 6 0 の圧接用金属板 6 1 を接合することにより、図 3（ b ）に示すように、複合導体 1 0 内の超電導体 1 2 の長手方向が、電源側電流リード 5 0 の金属電極部 5 1 と複合導体 1 0 との接合界面 K 1、および、システム側の超電導線 6 0 の圧接用金属板 6 1 と複合導体 1 0 との接合界面 K 2 と略平行の状態となる。

#### 【 0 0 4 7 】

ここで、電流リード 5 0 とは、図示していない電源からの電流を、図示しない超電導システムへ供給するための導体であり、酸化物超電導体の両端部に金属電極部 5 1 が接合された構造のものが最も多く用いられており、電源からシステム側への熱侵入を抑制する効果を有する。この電流リード 5 0 の金属電極部 5 1 の表面や、複合導体 1 0 の表面、圧接用金属板 6 1 の表面には、予め錫、銀、金、ニッケル、亜鉛、パラジウムの単体または合金を主成分とするメッキ、あるいは、前記メッキの積層体を設けてあるのが好ましい。

#### 【 0 0 4 8 】

なお、複合導体 1 0 と相手導体（電流リード 5 0 の金属電極部 5 1 および超電導線 6 0 に半田付けした圧接用金属板 6 1）との重なり部分を、溶接、ロウ付け、低融点の半田等で接合することも可能である。ただし、脱着性を考えた場合、複合導体 1 0 の両端の少なくともいずれかを、図示のようにクランプ 4 0 で止めるか、ネジで止めることが好ましい。

#### 【 0 0 4 9 】

次に、電源から発し、電源側電流リード 5 0、複合導体 1 0、および、システム側導体（超電導線 6 0）を流れ、超電導システムに到達する電流について説明する。この電流の流れについては、詳細な解明は未だ研究中であるが、概ね、以下のように考えられる。ここでは便宜的に、複合導体 1 0 を境として、図面に向かって左側を電源側、右側をシステム側と称する。

#### 【 0 0 5 0 】

上記の複合導体 1 0 が使用される際には、複合導体 1 0 内の超電導体 1 2 が超電導状態となる温度で使用される。この結果、複合導体 1 0 内の略全長に亘って電位差が減少する

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 1 】

ここで、図面左側より電源側導体（電流リード50）を流れてきた電流は、電源側導体（電流リード50）と複合導体10との重なり部分（電源側接合部の接合界面K1）の、略全ての領域に亘って、ほぼ均等に複合導体10内へ徐々に流れ込むことになると考えられる。このため、ミクロ的には、金属の状態や、接合状態のバラツキにより電流の偏流が発生したとしても、マクロ的には、平均化されてしまうことになり、接触抵抗が大きく抑制され（詳細は、実施例にて詳述するが、略10分の1に抑制される）、従ってジュール熱の発生も大きく抑制される。

## 【 0 0 5 2 】

複合導体10内の超電導体12の中へ流れ込んだ電流は、超電導体12内ではジュール熱を発生することなく流れて、システム側の接合部（接合界面K2）へ到達する。そして、電源側接合部にて説明したものと同様のメカニズムにより、システム側導体（圧接用金属板61）と複合導体10との重なり部分（システム側接合部の接合界面K2）の、略全ての領域に亘って、接触抵抗を大きく抑制されながら（詳細は、実施例にて詳述するが、略10分の1に抑制される）システム側導体（圧接用金属板61）へ流れ込み、さらには超電導線60へ流れ込んで、超電導システムへ到達する。この結果、システム側の接合部においてもジュール熱の発生は大きく抑制される。この結果、ランニングコストが安く、コンパクトな超電導機器システムを製造することができる。

## 【 0 0 5 3 】

上述した、電源側導体（電流リード50）と複合導体10との接合部、および、システム側導体（圧接用金属板61）と複合導体10との接合部において、接触抵抗値を大きく下げ得る効果を得るためには、図3に示すように、電源側導体（電流リード50）と複合導体10、および、システム側導体（圧接用金属板61）と複合導体10とが、それぞれ互いの端部を互いの端部の手前に位置するように、重なり合って配置されていればよい。また、この両者の重なり合いの程度は大きい方が好ましいが、導体側の超電導体が有する断面積と、電極側の超電導体が有する断面積との和よりも、当該両超電導体の重なり合いの表面積が大きければ、本発明の効果を得ることができる。

## 【 0 0 5 4 】

また、複合導体10内に埋め込む超電導体12は、長手方向に渡って全体に埋め込むことが望ましいが、少なくとも相手導体との接合部分に亘って、導体側の超電導体が有する断面積と、電極側の超電導体が有する断面積との和よりも、当該両超電導体の重なり合いの表面積が大きくなるように埋め込まれていれば、本発明の効果を得ることができる。

## 【 0 0 5 5 】

また、図4のように、複数の電流リード50、50を並列に接合した場合にも、各々の接合部で同様の効果が得られ、複雑な接合部をコンパクトにすることが可能となる。

## 【実施例1】

## 【 0 0 5 6 】

以下、実施例に基づいて、本発明の実施の形態をさらに詳細に説明する。

## 1) 酸化物超電導体の製造

$Gd_2O_3$ 、 $BaCO_3$ 、 $CuO$ の各原料粉末を、モル比で $Gd : Ba : Cu = 1 : 2 : 3$ になるように秤量して混合し、920 で30時間焼成してからポットミルを用いて平均粒径 $3\mu m$ に粉砕し、再び930 で30時間焼成してからライカイ機およびポットミルにて平均粒径 $10\mu m$ に粉砕して、第1の仮焼粉である $Gd_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ の粉末を作製した。

次に、前記各原料粉末を $Gd : Ba : Cu = 2 : 1 : 1$ になるように秤量して混合し、890 で20時間焼成してからポットミルを用いて平均粒径 $0.7\mu m$ に粉砕し、第2の仮焼粉である $Gd_2BaCuO_5$ の粉末を作製した。

## 【 0 0 5 7 】

第1、第2の仮焼粉を $Gd_1Ba_2Cu_3O_{7-x} : Gd_2BaCuO_5 = 1 : 0.4$ となるよ

10

20

30

40

50



うに秤量し、さらにPt粉末（平均粒径 $0.01\mu\text{m}$ ）および $\text{Ag}_2\text{O}$ 粉末（平均粒径 $13.8\mu\text{m}$ ）を加えて混合し合成粉とした。ただし、Pt含有量は $0.42\text{wt}\%$ 、Ag含有量は $15\text{wt}\%$ とした。

【0058】

この合成粉を、板状の金型を用いてプレス成形し、縦 $77\text{mm}$ 、横 $105\text{mm}$ 、厚さ $26\text{mm}$ の前駆体を作製した。そして、この前駆体を炉体内に設置して、以下の工程を行った。

まず、室温から $70$ 時間で $1100$ まで昇温させ、この温度で $20$ 分間保持し、前駆体を半熔融状態にした後、前駆体の上部が低温側になるように前駆体の上下に $5$  /  $\text{cm}$ の温度勾配を加え、上部の温度が $995$ になるまで $0.4$  /  $\text{min}$ で降温させた。

10

【0059】

ここで、予め熔融法で作製しておいた、Agを含まずPtを $0.5\text{wt}\%$ 含む $\text{Nd}_{1.8}\text{Ba}_{2.4}\text{Cu}_{3.4}\text{O}_x$ 組成を有する結晶を、縦横 $2\text{mm}$ 、厚さ $1\text{mm}$ に切り出したものを種結晶とし、この種結晶を成長方向がc軸と平行になるように前駆体の上部の中心に接触させる。そして、前駆体上部の温度を $995$ から $1$  /  $\text{hr}$ の速度で $985$ まで降温させた。この温度で $100$ 時間保持した後、 $915$ まで $70$ 時間かけて徐冷し、その後、上下の温度勾配が $0$  /  $\text{cm}$ になるように前駆体の下部を $20$ 時間で $915$ になるように冷却し、その後、室温まで $100$ 時間かけて徐冷して結晶化を行い、酸化物超電導体の結晶試料を得た。

【0060】

20

この酸化物超電導体の結晶試料を、上下方向の中心付近で切断して断面をEPMaで観察したところ、 $\text{Gd}_{1+p}\text{Ba}_{2+q}(\text{Cu}_{1-b}\text{Ag}_b)_3\text{O}_{7-x}$ 相中に $0.1\sim 30\mu\text{m}$ 程度の $\text{Gd}_{2+r}\text{Ba}_{1+s}(\text{Cu}_{1-d}\text{Ag}_d)\text{O}_{5-y}$ 相が微細に分散していた。ここで、 $p$ 、 $q$ 、 $r$ 、 $s$ 、 $y$ はそれぞれ $-0.2\sim 0.2$ の値であり、 $x$ は $-0.2\sim 0.6$ の値であった。また、 $b$ 、 $d$ は $0.0\sim 0.05$ の値であり、平均的には $0.008$ 程度であった。さらに、結晶試料全体にわたって $0.1\sim 100\mu\text{m}$ 程度のAgが微細に分散していた。また、表面から $1\text{mm}$ より深い部分には粒径 $5\sim 200\mu\text{m}$ 程度の空孔が分散していた。また、結晶試料全体が種結晶を反映してディスク状材料の厚さ方向がc軸と平行であるように均一に配向し、隣接する結晶間の方位のずれが $3^\circ$ 以下であり、実質的に単結晶状の結晶試料が得られた。この結晶試料の表面から $1\text{mm}$ より深い部分を切り出して密度を測定したところ、 $7.0\text{g}/\text{cm}^3$ （理論密度 $7.68\text{g}/\text{cm}^3$ の $91.1\%$ ）であった。

30

【0061】

得られた結晶試料の表面から $1\text{mm}$ より深い部分より、以下の方法により複合導体内の超電導体に用いる柱状の酸化物超電導体を切り出した。

柱状の酸化物超電導体は、厚さ $3\text{mm}$ 、長手方向の全長 $85\text{mm}$ 、幅 $4\text{mm}$ の形状を有している。

これらの酸化物超電導体を、その長手方向が結晶のab面と平行になるように、結晶試料より切り出した。尚、柱状の酸化物超電導体は2本切り出した。

【0062】

2) 酸化物超電導体への銀コート設置

40

まず、エチルセルロース $10\text{wt}\%$ 、テルピネオール $30\text{wt}\%$ 、フタル酸ジブチル $50\text{wt}\%$ およびブチルカルビトールアセテート $10\text{wt}\%$ を混合して作製した有機ビヒクルと平均粒径 $3\mu\text{m}$ のAg粉末とをモル比 $3:7$ の割合で混合し、さらにリン酸エステルを $2\%$ 添加してAgペーストを作製した。

【0063】

次に、1)にて作製した柱状の酸化物超電導体の表面全面に作製されたAgペーストを厚さ $50\mu\text{m}$ で塗布した。

Agペーストが塗布された酸化物超電導体を真空含浸処理をした後、大気中 $80$ のオーブンの中で乾燥させた。次に、このAgペーストを塗布した2本の酸化物超電導体を、再び、炉体中において $920$ で $10$ 時間焼成してAgを焼き付けて銀コートとし、銀コ

50

ート酸化物超電導体を作製した。焼き付け後のAgの膜厚は約30 $\mu$ mであった。

【0064】

### 3) 銀コート酸化物超電導体のアニール処理

銀コート酸化物超電導体をガス置換可能な別の炉の中に設置し、まず、ロータリーポンプで0.1 Torrまで炉内を排気した後、炉内へ酸素ガスを流し込んで、酸素分圧が99%以上である大気圧の雰囲気にした。その後は、0.5 L/minの流量で酸素ガスを炉内に流しながら、室温から450℃まで10時間で昇温させ、次に450℃から250℃まで400時間かけて徐冷し、さらに250℃から室温まで10時間で降温させて、銀コート酸化物超電導体のアニール処理をおこなった。

【0065】

### 4) 金属導体および金属導体蓋の作製

純度4Nの無酸素銅を加工して金属導体および金属導体蓋を作製し、各々の表面にSnメッキを施した。

外形は、全長180mm、幅15mm、厚み15mmとした。さらに、金属導体内には、全長約170.8mm、幅4.5mm深さ9.3mmの超電導埋め込み溝が複合導体の略中心に彫り込まれている。溝と酸化物超電導体とのクリアランスは酸化物超電導体が金属導体の中心部に位置し、埋め込み溝の内壁より片側略0.25mmの間隔を保てることとした。

一方、金属導体蓋は、金属導体の超電導埋め込み溝へ酸化物超電導体を設置した後、ここへ埋め込まれて金属導体の外形と一体化できるものとした。但しこのとき、金属導体の埋め込み溝の内壁および酸化物超電導体と、片側略0.25mmの間隔を保てることとした。

【0066】

### 5) 酸化物超電導体の金属導体への設置

金属導体の埋め込み溝に、接合用金属としてPbSn系ハンダであるセラソルザ143(以下、セラソルザと記載する。)を溶融塗布しておく。一方、酸化物超電導体の銀コート部にもセラソルザを溶融塗布しておく。

そして金属導体と酸化物超電導体を塗布した接合金属の融点以上に加熱して金属導体の埋め込み溝に、酸化物超電導体を設置し、金属導体蓋をその上から設置する。

【0067】

### 6) 接合用金属の脱気処理

設置が完了したら、これらを、セラソルザの融点(143℃)以上である180℃で加熱してセラソルザを十分に溶融させ、素早く真空容器内に入れて約100Paで2分間脱気を行う。そして、超音波ハンダ小手により、この偏流抑制用部材を介して機械的衝撃を加え、既存のセラソルザの空孔を破裂させる。

【0068】

この結果、金属導体、酸化物超電導体、および金属導体蓋は、空孔を含まない接合用金属にて、電気的にも機械的にも好ましい状態で接合される。

【0069】

### 8) 複合導体の特性評価

ここで、本発明の構成である、金属導体内に埋め込まれた酸化物超電導体が、当該複合導体と相手導体との接触抵抗値へ与える効果を評価するため、金属導体内超電導体と埋め込み溝を設けない以外は、本発明に係る導体と同様の比較用金属導体も作製した。

【0070】

上述した、本発明に係る複合導体と比較用金属導体とを用いた、金属導体内酸化物超電導体が、当該複合導体と相手導体との接触抵抗値へ与える効果を評価する方法について、図4を参照しながら説明する。

ここで図4は、本発明に係る複合導体の左右に、各々、電源側電流リードの金属電極導体(以下電源側導体と略す)またはシステム側超電導線圧接用金属板導体(以下システム側導体と略す)を、厚さ0.1mmのインジウム箔を介して、クランプで接合した状態の外観

10

20

30

40

50

斜視図である。

ここで、複合導体と電源側導体および、複合導体とシステム側導体との接合部の抵抗値を計測するために、各々お互いの端部が接合されている部分の反対側の面において、対角の位置を為す場所にステンレスの電圧計測用端子をはんだ接合した。

【0071】

そして、複合導体と接続した側と反対側の電流リードの電極と、複合導体と接続した側と反対側のシステム側超電導線とに電源をつなぎ合わせ、電流リード、複合導体、超電導線を、4.2Kに冷却して、10A間隔で1060Aまでの電流を通電し、予め、取り付けしたステンレス線間の電圧を測定し、V-I特性の傾きから、接合部に発生する接触抵抗値Rを算定した

。

また、同様の測定を、超電導埋め込み用溝加工を施さない、従って酸化物超電導体が埋め込まれていない同形状の金属導体を用いて行った。

【0072】

その結果、抵抗値Rの値は、本発明に係る複合導体においてシステム側導体との接合部で $0.2\mu$ 、電源側導体との接合部で $1.3\mu$ であった。これに対し、比較用金属導体においては、システム側導体との接合部で $1.9\mu$ 、電源側導体との接合部で $2.6\mu$ であった。

【0073】

この結果から明らかなように、接触抵抗値Rの値を、本願発明に係る電流リードと比較用の電流リードとで比較してみると、相手側が常電導線である場合は約1/2、相手側が超電伝導線である場合には約1/10に、低減する効果があることが判明した。

【0074】

最後に、当該複合導体試料を通電方向に沿って切断し、酸化物超伝導体と金属電極との接合部分に設置された接合用金属中の空孔の体積が、接合部分の容積の何%を占めているかを測定した。その結果、接合用金属中の空孔の体積は、容積の約0.1%と低い値であった。

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図1】本発明の実施形態の複合導体の構成図で、(a)は分解斜視図、(b)は外観斜視図、(c)は(b)のIc-Ic矢視断面図である。

【図2】複合導体を構成する金属導体と超電導体とを接合するための接合用金属中の空孔について説明するのに用いる複合導体の部分断面図である。

【図3】実施形態の複合導体を用いて電源側導体とシステム側導体とを接続した例を示す図で、(a)は外観斜視図、(b)は側断面図ある。

【図4】実施形態の複合導体を用いて電源側導体とシステム側導体とを接続した他の例を示す図である。

【図5】従来例の接合用導体を用いた接続例を示す平面図である。

【符号の説明】

【0076】

- 10 複合導体
- 11 金属導体
- 11A 本体
- 11B 蓋
- 12 超電導体
- 13 溝
- 20 接合用金属
- 21 空孔
- 50 電流リード(相手導体)
- 51 金属電極部
- 60 超電導線(相手導体)

10

20

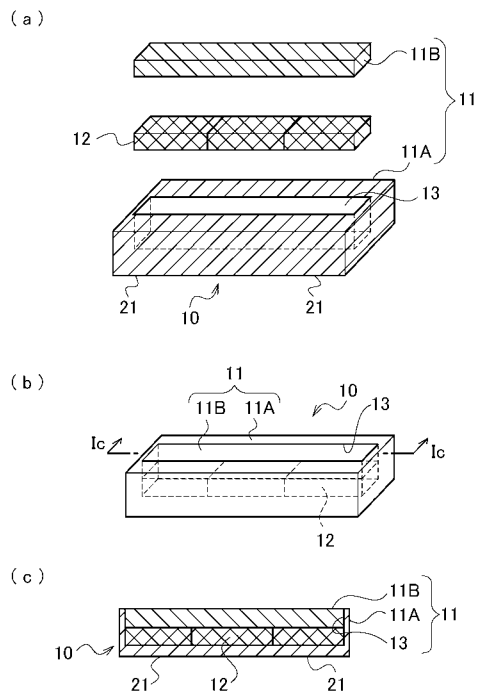
30

40

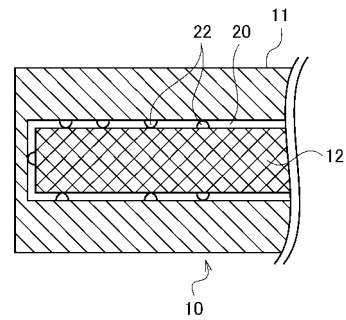
50

6 1 压接用金属板  
K 1 , K 2 接合界面

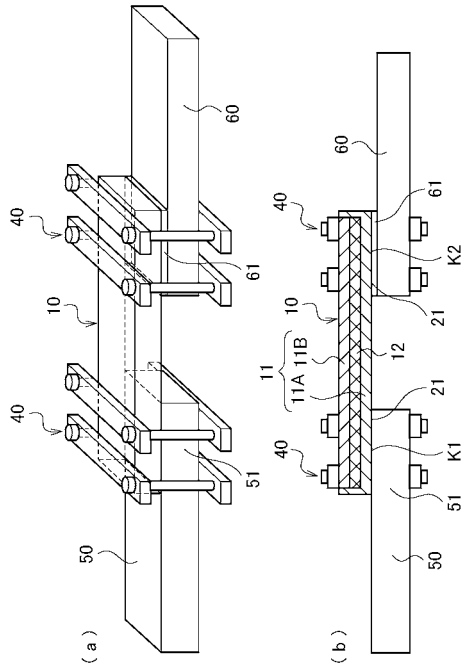
【 图 1 】



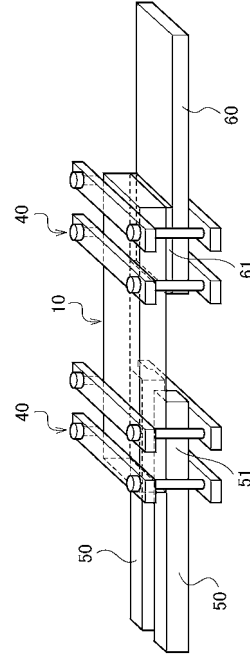
【 图 2 】



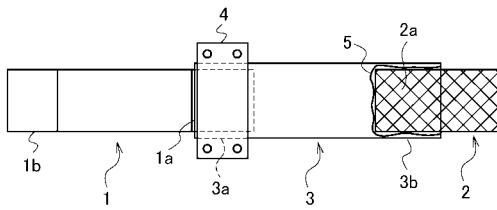
【図3】



【図4】



【図5】



## フロントページの続き

- (72)発明者 上村 一志  
東京都千代田区丸の内一丁目8番2号 同和鉱業株式会社内
- (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
- (72)発明者 鹿島 直二  
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

審査官 山田 倍司

- (56)参考文献 特開平02-242533(JP,A)  
特開平06-132121(JP,A)  
特開2001-085221(JP,A)  
特開平11-297524(JP,A)  
特開2003-173718(JP,A)  
特開2003-324013(JP,A)  
特開2000-082851(JP,A)  
特開平06-045141(JP,A)  
特開昭58-066209(JP,A)  
特開平07-211946(JP,A)  
特開平06-333728(JP,A)  
特開平03-016202(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01B 12/00 - 13/00  
H01F 6/00 - 6/06  
H01L 39/02 - 39/04  
39/14 - 39/16  
39/20  
H01R 4/58 - 4/72