(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2018-129294
(P2018-129294A)
(43)公開日　平成30年8月16日(2018.8.16)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H01B 12/02	***(2006.01)***	H01B	12/02	ZAA	4M113
C22C 11/00	***(2006.01)***	C22C	11/00		5G321
C22C 11/06	***(2006.01)***	C22C	11/06		
C22C 11/06	***(2006.01)***	C22C	11/08		
C22C 12/00	***(2006.01)***	C22C	12/00		

審査請求 未請求　請求項の数 8　ＯＬ　（全 7 頁）　最終頁に続く

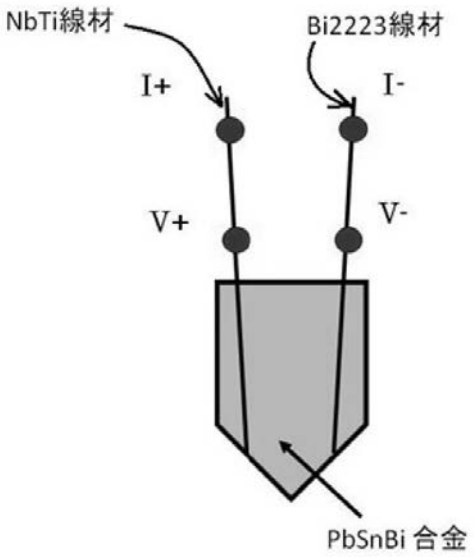
(21)出願番号　特願2018-6887(P2018-6887)
(22)出願日　平成30年1月19日(2018.1.19)
(31)優先権主張番号　特願2017-23659(P2017-23659)
(32)優先日　平成29年2月10日(2017.2.10)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(71)出願人　301023238
国立研究開発法人物質・材料研究機構
茨城県つくば市千現一丁目２番地１
(72)発明者　高野　義彦
茨城県つくば市千現一丁目２番地１　国立研究開発法人物質・材料研究機構内
(72)発明者　松本　凌
茨城県つくば市千現一丁目２番地１　国立研究開発法人物質・材料研究機構内
(72)発明者　岩田　啓嗣
茨城県つくば市千現一丁目２番地１　国立研究開発法人物質・材料研究機構内

Ｆターム(参考)　4M113 CA17 CA19 CA34 CA42
5G321 AA01 AA11 AA12 AA98 BA06
CA46 DA08

(54)【発明の名称】超伝導線材接合構造及びこれを用いた装置

(57)【要約】　（修正有）
【課題】常伝導材料を介在させることなく、異なる超伝導材料よりなる超伝導線材同士を接合させる超伝導線材接合構造を提供する。
【解決手段】第１の超伝導材料よりなる超伝導線材の端部と、第２の超伝導材料よりなる超伝導線材の端部とを接合する第３の超伝導材料よりなる超伝導接合部を備える超伝導線材接合構造であって、前記第３の超伝導材料は、鉛-スズ合金に低融点金属を添加してなることを特徴とする。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１の超伝導材料よりなる超伝導線材の端部と、第２の超伝導材料よりなる超伝導線材の端部とを接合する第３の超伝導材料よりなる超伝導接合部を備える超伝導線材接合構造であって、
前記第３の超伝導材料は、鉛-スズ合金に低融点金属を添加してなることを特徴とする超伝導線材接合構造。
【請求項２】
前記第１の超伝導材料は、合金系材料、銅酸化物高温超伝導体材料、及び鉄系超伝導物質からなる群から選ばれる超伝導材料であり、
前記第２の超伝導材料は、合金系材料、銅酸化物高温超伝導体材料、及び鉄系超伝導物質からなる群から選ばれる超伝導材料であることを特徴とする請求項１に記載の超伝導線材接合構造。
【請求項３】
前記合金系材料は、ＮｂＴｉ、Nb_3Sn、MgB_2からなる群から選ばれる超伝導材料であることを特徴とする請求項２に記載の超伝導線材接合構造。
【請求項４】
前記銅酸化物高温超伝導体材料は、$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$、$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$、$YBa_2Cu_3O_7$、$REBa_2Cu_3O_7$（ＲＥは希土類元素を表し、Ｌａ（ランタン）、Ｐｒ（プラセオジム）、Ｎｄ（ネオジム）、Ｓｍ（サマリウム）、Ｅｕ（ユウロピウム）、Ｇｄ（ガドリニウム）、Ｄｙ（ジスプロシウム）、Ｈｏ（ホルミウム）、Ｅｒ（エルビウム）、Ｔｍ（ツリウム）、Ｙｂ（イッテルビウム）、Ｌｕ（ルテチウム）からなる群から選ばれる）からなる群から選ばれる超伝導材料であることを特徴とする請求項２に記載の超伝導線材接合構造。
【請求項５】
前記第３の超伝導材料において、
鉛とスズの組成割合は、モル比で、鉛１％から９９％：スズ９９％から１％であり、
低融点金属の添加量は鉛スズ合金に対してモル比で１％以上９９％以下の割合で添加されたことを特徴とする請求項１から４のいずれか一項に記載の超伝導線材接合構造。
【請求項６】
前記低融点金属は、ビスマス、アンチモン、ガリウム、インジウム、もしくはこれらの元素の二種以上を組み合わせた合金から選ばれる低融点金属であることを特徴とする請求項１から５のいずれか一項に記載の超伝導線材接合構造。
【請求項７】
請求項１に記載の超伝導線材接合構造は、３本以上の超伝導線材の端部を接合する第３の超伝導材料よりなる超伝導接合部を備える超伝導線材接合構造であって、前記超伝導接合部が前記３本以上の超伝導線材における分岐構造をなすことを特徴とする請求項１から６のいずれか一項に記載の超伝導線材接合構造。
【請求項８】
請求項１から７のいずれか一項に記載の超伝導線材接合構造を用いた装置。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、高磁場を生成するＮＭＲ（核磁気共鳴装置）等に用いて好適な超伝導線材接合構造に関し、特に常伝導材料を介在させることなく、複数の超伝導材料よりなる超伝導線材同士を接合させる超伝導線材接合構造に関する。
また、本発明はこの超伝導線材接合構造を用いた装置に関する。
【背景技術】
【０００２】

医療用のＭＲＩ（核磁気共鳴画像法）では、超伝導線材材料としてＮｂＴｉ（ニオブチタン）が使用されており、生成磁場が０．５テスラから３．０テスラ程度である。ＮｂＴｉの転移温度は約１０Ｋであり、液体ヘリウムの沸点温度である４．２Ｋの状態で約１２Ｔ（テスラ）の臨界磁場をもつ。

【０００３】

しかし、核磁気共鳴装置において、例えば２０テスラ程度の高磁場を生成する場合は、超伝導線材材料としてＮｂＴｉとNb_3Sn、銅酸化物高温超伝導体（イットリウム系超伝導体、ビスマス系超伝導体）、二ホウ化マグネシウムなどの高い臨界磁場をもつ超伝導体材料を組み合わせて使用されている。この場合、超伝導線材接合構造においては、複数の超伝導材料よりなる超伝導線材同士を接合させる場合に、低融点の超伝導材料を介在させるのが一般的である（特許文献１参照）。この接合構造用の超伝導材料には、例えば鉛-スズ合金が使用されている。

【０００４】

しかしながら、上記構成の従来の超伝導線材接合構造においては、従来用いられてきた鉛-スズ合金では、接合部分に生じる合金の組成ムラが原因で発熱が生じ、超伝導線材にゼロ抵抗で流せる電流の最大値（臨界電流密度）が低下してしまう問題があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特開２００３－１７３７１８号公報（特許第４１７１２５３号）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

本発明は、上記従来技術の問題点を解決したもので、常伝導材料を介在させることなく、複数の超伝導材料よりなる超伝導線材同士を接合させる超伝導線材接合構造を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本発明は、上記課題を解決するものとして以下のことを特徴としている。

［１］第１の超伝導材料よりなる超伝導線材の端部と、第２の超伝導材料よりなる超伝導線材の端部とを接合する第３の超伝導材料よりなる超伝導接合部を備える超伝導線材接合構造であって、前記第３の超伝導材料は、鉛-スズ合金に低融点金属を添加してなることを特徴とする超伝導線材接合構造。

［２］前記第１の超伝導材料は、合金系材料、銅酸化物高温超伝導体材料、及び鉄系超伝導物質からなる群から選ばれる超伝導材料であり、前記第２の超伝導材料は、合金系材料、銅酸化物高温超伝導体材料、及び鉄系超伝導物質からなる群から選ばれる超伝導材料であることを特徴とする［１］に記載の超伝導線材接合構造。

［３］前記合金系材料は、ＮｂＴｉ、Nb_3Sn、MgB_2からなる群から選ばれる超伝導材料であることを特徴とする［２］に記載の超伝導線材接合構造。

［４］前記銅酸化物高温超伝導体材料は、$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$、$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$、$YBa_2Cu_3O_7$、$REBa_2Cu_3O_7$（ＲＥは希土類元素を表し、Ｌａ（ランタン）、Ｐｒ（プラセオジム）、Ｎｄ（ネオジム）、Ｓｍ（サマリウム）、Ｅｕ（ユウロピウム）、Ｇｄ（ガドリニウム）、Ｄｙ（ジスプロシウム）、Ｈｏ（ホルミウム）、Ｅｒ（エルビウム）、Ｔｍ（ツリウム）、Ｙｂ（イッテルビウム）、Ｌｕ（ルテチウム）からなる群から選ばれる）からなる群から選ばれる超伝導材料であることを特徴とする［２］に記載の超伝導線材接合構造。

［５］前記第３の超伝導材料において、鉛とスズの組成割合は、モル比で、鉛１％から９９％：スズ９９％から１％の割合であり、前記低融点金属の添加量は鉛スズ合金に対してモル比で１％以上９９％以下の割合で添加されたことを特徴とする［１］から［４］のいずれかに記載の超伝導線材接合構造。

鉛とスズの組成割合は、モル比で、好ましくは鉛１０％から９０％：スズ９０％から１０％の割合、更に好ましくは鉛６０％から８０％：スズ４０％から２０％の割合であるとよい。

前記低融点金属の添加量は、鉛スズ合金に対して、モル比で、好ましくは１０％以上９０％以下の割合、更に好ましくは２０％以上７０％以下の割合であるとよい。

［６］前記低融点金属は、ビスマス、アンチモン、ガリウム、インジウム、もしくはこれらの元素の二種以上を組み合わせた合金から選ばれる低融点金属であることを特徴とする［１］から［５］のいずれかに記載の超伝導線材接合構造。

［７］［１］に記載の超伝導線材接合構造は、３本以上の超伝導線材の端部を接合する第３の超伝導材料よりなる超伝導接合部を備える超伝導線材接合構造であって、前記超伝導接合部が前記３本以上の超伝導線材における分岐構造をなすことを特徴とする［１］から［６］のいずれかに記載の超伝導線材接合構造。

［８］［１］から［７］のいずれかに記載の超伝導線材接合構造を用いた装置。

【０００８】

鉛とスズの組成割合は、低融点金属を含まない場合は、$Pb_{70}Sn_{30}$の領域とSn_{100}領域に分かれる。$Pb_{70}Sn_{30}$の領域は、液体ヘリウム温度において超伝導領域となる。Sn_{100}領域は、液体ヘリウム温度において非超伝導領域となる。

【発明の効果】

【０００９】

本発明の超伝導線材接合構造によれば、鉛-スズ合金に少量のビスマスを添加することで接合部の組成ムラを大幅に抑制した。また、添加したビスマスは磁束のピン留め中心として働き、合金の上部臨界磁場・不可逆磁場ともに大きく向上した。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】本発明の一実施例を示す超伝導線材接合構造の構成図で、要部構成図を示している。

【図２】本発明の一実施例を示す超伝導線材接合構造のミクロ組織を説明する図で、液体ヘリウム温度における超伝導領域（白い部分）と非超伝導状態（黒い部分）の分布状態を説明している図である。

【図３】鉛-スズ合金へのビスマス添加量を様々に変えた場合の臨界電流値を見積もるための電流-電圧特性を示している。

【図４】鉛-スズ合金へのビスマス添加量を４０モル％とした場合の、様々な印加磁場における臨界電流値を見積もるための電流-電圧特性を示している。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

以下、本発明を実施形態に基づいて詳細に説明する。

図１は、本発明の実施形態を示す超伝導線材接合構造の構成図である。

図１に示す実施例では、第１の超伝導材料よりなる超伝導線材としてＮｂＴｉ線材、第２の超伝導材料よりなる超伝導線材として$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$（以下、Ｂｉ２２２３と表記する）線材を接合した。第３の超伝導材料は、鉛-スズ合金にビスマスを添加してなる鉛-スズ-ビスマス合金を用いた。

【００１２】

このように構成された超伝導線材接合構造の製造工程は以下の如くである。即ち、溶融させた鉛-スズ-ビスマス合金に、銀や銅を安定化剤とした複数の超伝導線材を挿入して、溶融状態の温度で所定時間保持したのち冷却することで超伝導接合を作製する。線材を溶融した合金に浸漬させる際、安定化剤である銀や銅は自然と溶け出し、超伝導線材と合金が強固に接合する。

ここで、溶融状態の温度は１８０℃以上１０００℃以下がよく、好ましくは２３０℃以上８００℃以下がよく、更に好ましくは３２０℃以上５００℃以下がよい。また、溶融状態を保持する時間は、１分以上１００時間がよく、好ましくは５分以上１０時間がよく、

更に好ましくは１０分以上１時間がよい。

【００１３】

図２は、本発明の一実施例を示す超伝導線材接合構造のミクロ組織を説明する図で、液体ヘリウム温度における超伝導領域（白い部分）と非超伝導状態（黒い部分）の分布状態を説明している図である。図２（Ａ）は$Pb_{42}Sn_{18}Bi_{40}$、図２（Ｂ）は$Pb_{36}Sn_{64}$を示している。図２（Ｂ）に示すように、鉛-スズ合金は、ミクロ組織が$Pb_{70}Sn_{30}$の領域とSn_{100}の領域に分かれている。

液体ヘリウム温度において、$Pb_{70}Sn_{30}$の領域が超伝導領域（白い部分）、Sn_{100}の領域が非超伝導状態（黒い部分）である。電流がこの黒い領域を通る際に熱が発生し、白い領域の臨界電流密度が小さくなる。

【００１４】

鉛-スズ-ビスマス合金では、添加したビスマスの作用によって、$Pb_{70}Sn_{30}$の領域とSn_{100}の領域に分かれることなく、合金のミクロ組織にムラが少なくなっている。そこで、超伝導相のみの電流経路が得られる鉛-スズ-ビスマス合金での接合が臨界電流密度に関して優位である。

【００１５】

図３は、鉛-スズ合金へのビスマス添加量を様々に変えた場合の臨界電流値を見積もるための電流-電圧特性を示している。鉛-スズ合金へのビスマス添加量を様々に変えた場合、全ての添加量で鉛-スズ合金の臨界電流値を上回った。

【００１６】

図４は、鉛-スズ合金へのビスマス添加量を４０モル％とした場合の、様々な印加磁場における臨界電流値を見積もるための電流-電圧特性を示している。図３の測定値で、最も臨界電流値が大きかったビスマス添加４０％合金では、ゼロ磁場下もしくは１００００Ｏｅ磁場下で２００Ａ以上（測定限界）、２００００Ｏｅ磁場下でも１２５Ａ以上、５０００Ｏｅ磁場下でも５０Ａ程度と非常に大きな電流をゼロ抵抗で流すことができた。

【００１７】

本発明のビスマス添加鉛-スズ合金において、添加物はビスマスに限定されない。例えば、鉛やスズと同様に低融点金属であるアンチモンやガリウム、インジウム、もしくはこのいずれかの組み合わせからなる合金などでも代替可能である。

【００１８】

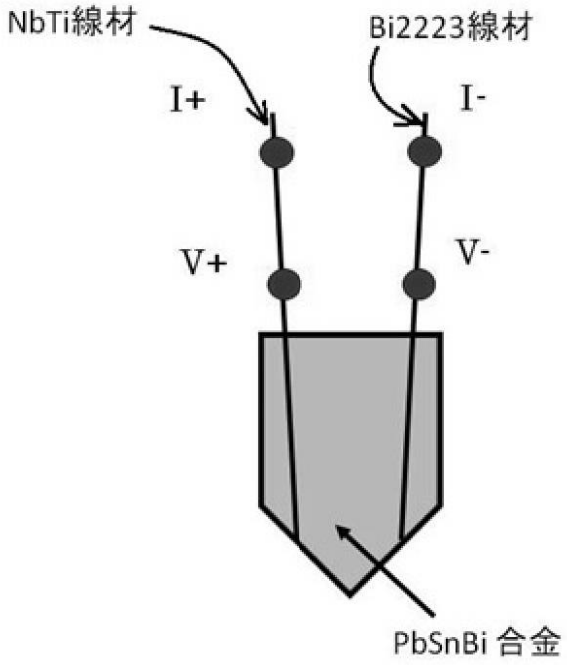
なお、実施例では低温超伝導体であるＮｂＴｉ線材と、高温超伝導体であるＢｉ２２２３線材の接合を示したが、超伝導線材の種類はこれに限らない。例えば、金属系超伝導線材（ＮｂＴｉ線材の他、Nb_3SnやMgB_2線材など）同士の接合、第一世代および第二世代高温超伝導線材（Ｂｉ２２２３線材の他、$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$（Ｂｉ２２１２）線材やＹ$Ba_2Cu_3O_7$（Ｙ１２３）線材、鉄系超伝導線材など）同士の接合など、同種・異種の任意の組み合わせおよび３本または４本、もしくはそれ以上の組み合わせの接合も同様の方法で実施可能である。３本以上の超伝導線材を接合する場合には、超伝導線材の分岐構造を実現できる。

【産業上の利用可能性】

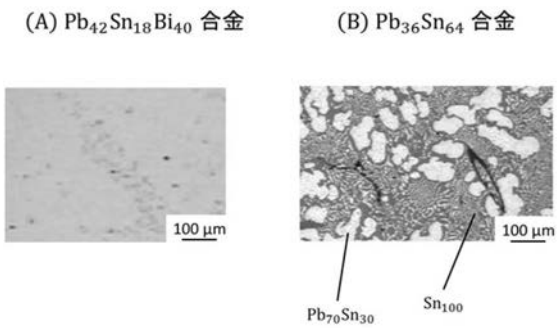
【００１９】

本発明の超伝導線材接合構造を用いることで、高温超伝導マグネットを永久電流モードで使用することが可能になるなどの様々な応用が見込まれる。

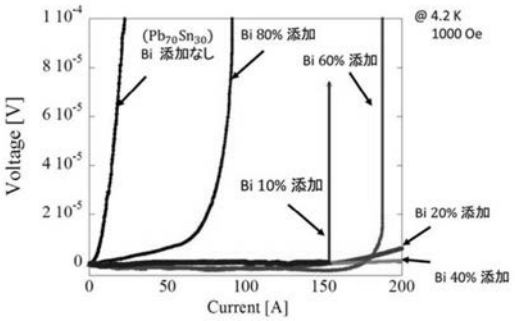
【図１】


NbTi線材
Bi2223線材
I+
I-
V+
V-
PbSnBi 合金

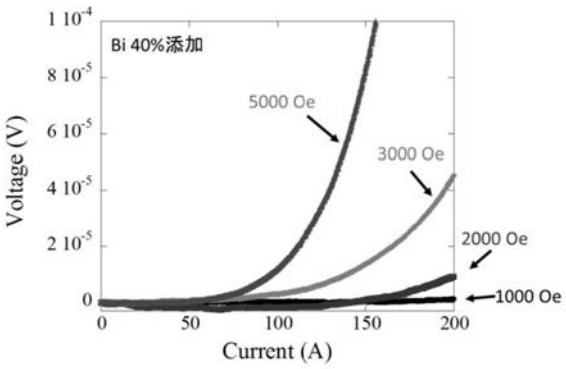
【図２】


(A) $Pb_{42}Sn_{18}Bi_{40}$ 合金
(B) $Pb_{36}Sn_{64}$ 合金
100 μm
100 μm
$Pb_{70}Sn_{30}$
Sn_{100}

【図３】


1 10-4
8 10-5
6 10-5
4 10-5
2 10-5
0
Voltage [V]
(Pb70Sn30)
Bi 添加なし
Bi 80% 添加
Bi 60% 添加
Bi 10% 添加
Bi 20% 添加
Bi 40% 添加
@ 4.2 K
1000 Oe
0
50
100
150
200
Current [A]

【図４】


1 10-4
8 10-5
6 10-5
4 10-5
2 10-5
0
Voltage (V)
Bi 40%添加
5000 Oe
3000 Oe
2000 Oe
1000 Oe
0
50
100
150
200
Current (A)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.		FI		テーマコード（参考）
C22C 13/00	*(2006.01)*	C22C	13/00	
C22C 13/02	*(2006.01)*	C22C	13/02	
C22C 28/00	*(2006.01)*	C22C	28/00	B
H01L 39/12	*(2006.01)*	H01L	39/12	A
H01R 4/68	*(2006.01)*	H01R	4/68	