

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年8月13日(13.08.2020)



(10) 国際公開番号

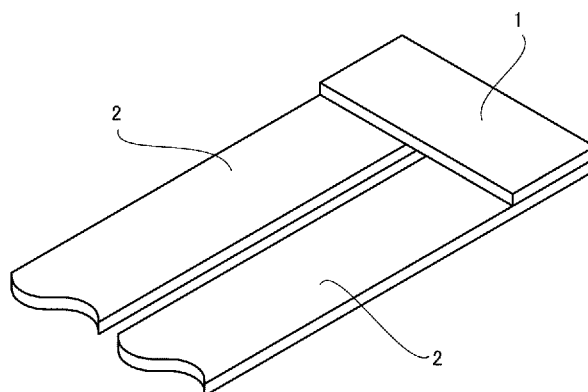
WO 2020/161909 A1

- (51) 国際特許分類:
H01R 4/68 (2006.01) *H01B 12/06* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/004709
- (22) 国際出願日: 2019年2月8日(08.02.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社
(**SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.**)
[JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 大木 康太郎(**OHKI, Kotaro**); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 永石 竜起(**NAGAISHI, Tatsuoki**); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(**FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.**); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,

(54) **Title:** SUPERCONDUCTING WIRE CONNECTION STRUCTURE

(54) 発明の名称: 超電導線材接続構造

FIG. 1



(57) **Abstract:** A superconducting wire connection structure according to one embodiment of the present disclosure comprises a first superconducting wire, a second superconducting wire, and a connection layer. The first superconducting wire has a first superconducting layer. The second superconducting wire has a second superconducting layer. The first superconducting layer, the second superconducting layer, and the connection layer are formed from an oxide superconductor. At least one among the first superconducting layer and the second superconducting layer is formed from an oxide superconductor polycrystalline body. The first superconducting wire and the second superconducting wire are positioned such that the first superconducting layer and the second superconducting layer face each other with the connection layer therebetween.

MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：本開示の一態様に係る超電導線材接続構造は、第1超電導線材と、第2超電導線材と、接続層とを備える。第1超電導線材は、第1超電導層を有する。第2超電導線材は、第2超電導層を有する。第1超電導層、第2超電導層及び接続層は、酸化物超電導体で形成されている。第1超電導層及び第2超電導層の少なくとも一方は、酸化物超電導体の多結晶体で形成されている。第1超電導線材及び第2超電導線材は、第1超電導層及び第2超電導層が接続層を介して互いに対向するように配置されている。

明 細 書

発明の名称：超電導線材接続構造

技術分野

[0001] 本開示は、超電導線材接続構造に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1（国際公開第2016／129469号）には、超電導線材接続構造が記載されている。特許文献1に記載の超電導線材接続構造は、第1超電導層を含む第1超電導線材と、第2超電導層を含む第2超電導線材と、接続層とを有している。第1超電導層、第2超電導層及び接続層は、 $REBa_2CuO_{7-x}$ （REは希土類元素）等の酸化物超電導体で形成されている。

[0003] 特許文献1に記載の超電導線材接続構造において、第1超電導線材及び第2超電導線材は、第1超電導層及び第2超電導層が接続層を介して互いに対向するように配置されている。接続層は、第1超電導層及び第2超電導層を超電導接合している。

[0004] 特許文献2（特開2013－26188号公報）には、超電導線材が記載されている。特許文献2に記載の超電導線材は、 $REBa_2CuO_{7-x}$ 等の酸化物超電導体の単結晶で形成された超電導層を有している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開第2016／129469号

特許文献2：特開2013－26188号公報

発明の概要

[0006] 本開示の一態様に係る超電導線材接続構造は、第1超電導線材と、第2超電導線材と、接続層とを備える。第1超電導線材は、第1超電導層を有する。第2超電導線材は、第2超電導層を有する。第1超電導層、第2超電導層及び接続層は、酸化物超電導体で形成されている。第1超電導層及び第2超電導線材の少なくとも一方は、酸化物超電導体の多結晶で形成されている。

。第 1 超電導線材及び第 2 超電導線材は、第 1 超電導層及び第 2 超電導層が接続層を介して互いに対向するように配置されている。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造の斜視図である。

[図2]第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造における第 1 超電導線材 1 の断面図である。

[図3]第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造における第 2 超電導線材 2 の断面図である。

[図4]第 1 超電導線材 1 と第 2 超電導線材 2 との接続部における第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造の断面図である。

[図5]第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造の製造方法を示す工程図である。

[図6]微結晶層形成工程 S 3 1 における第 1 超電導線材 1 の断面図である。

[図7]第 2 実施形態に係る超電導線材接続構造における第 2 超電導線材 2 の断面図である。

[図8]第 1 実施形態及び第 2 実施形態の変形例に係る超電導線材接続構造の斜視図である。

発明を実施するための形態

[0008] [本開示が解決しようとする課題]

特許文献 1 に記載の超電導線材接続構造においては、接続層により第 1 超電導層及び第 2 超電導層を接続する際に、第 1 超電導層、第 2 超電導層及び接続層を構成する酸化物超電導体から酸素が脱離し、当該酸化物超電導体为非超電導体化してしまう。そのため、特許文献 1 に記載の超電導線材接続構造においては、第 1 超電導線材と第 2 超電導線材との接続部に位置する第 1 超電導層、第 2 超電導層及び接続層に酸素を再導入するための処理（以下「酸素再導入処理」という）が必要となる。

[0009] 上記のとおり、特許文献 2 に記載の超電導線材の超電導層は、酸化物超電導体の単結晶で形成されているため、酸素再導入処理の際に当該超電導層

中へと酸素が侵入するための経路が少ない。そのため、特許文献2に記載の超電導線材を特許文献1の超電導線材接続構造に適用した場合、酸素再導入処理が長時間化する。

[0010] 本開示は、上記の従来技術の問題点に鑑みてなされたものである。より具体的には、本開示は、酸素再導入処理を相対的に短時間で完了可能な超電導線材接続構造を提供するものである。

[0011] [本開示の効果]

本開示に係る超電導線材接続構造によると、酸素再導入処理を相対的に短時間で完了することができる。

[0012] [本開示の実施形態の概要]

まず、本開示の実施形態を列挙して説明する。

[0013] (1) 本開示の一実施形態に係る超電導線材接続構造は、第1超電導線材と、第2超電導線材と、接続層とを備える。第1超電導線材は、第1超電導層を有する。第2超電導線材は、第2超電導層を有する。第1超電導層、第2超電導層及び接続層は、酸化物超電導体で形成されている。第1超電導層及び第2超電導層のいずれか一方は、酸化物超電導体の多結晶で形成されている。第1超電導線材及び第2超電導線材は、第1超電導層及び第2超電導層が接続層を介して互いに対向するように配置されている。

[0014] 上記(1)の超電導線材接続構造においては、第1超電導層及び第2超電導層のいずれか一方が多結晶で形成されているため、酸素再導入処理を行う際に、当該多結晶の結晶粒界を介して酸素が第1超電導層、第2超電導層及び接続層の内部へと拡散しやすい。そのため、上記(1)の超電導線材接続構造によると、酸素再導入処理を相対的に短時間で完了することが可能となる。

[0015] (2) 上記(2)の超電導線材接続構造において、第1超電導層は、酸化物超電導体の多結晶で形成されていてもよく、第2超電導層は、酸化物超電導体の単結晶で形成されていてもよい。

[0016] (3) 本開示の他の実施形態に係る超電導線材接続構造は、第1超電導線

材と、第2超電導線材と、接続層とを備える。第1超電導線材は、第1中間層と、第1中間層の直上に形成された第1超電導層とを有する。第2超電導線材は、第2中間層と、第2中間層の直上に形成された第2超電導層とを有する。第1超電導層、第2超電導層及び接続層は、酸化物超電導体で形成されている。第1中間層は、第2中間層よりも酸素透過性が高い。第1超電導線材及び第2超電導線材は、第1超電導層及び第2超電導層が接続層を介して互いに対向するように配置されている。

[0017] 上記(3)の超電導線材接続構造においては、第1中間層が第1超電導層に接しているとともに、第1中間層における酸素透過率が相対的に高くなっているため、酸素再導入処理を行う際に、第1中間層を介して酸素が第1超電導層、第2超電導層及び接続層の内部へと拡散しやすい。そのため、上記(2)の超電導線材接続構造によると、酸素再導入処理を相対的に短時間で完了することが可能となる。

[0018] (4) 上記(3)の超電導体接続構造において、第1超電導線材は、第1基材と、第1基材の直上に形成された第3中間層と、第3中間層の直上に形成された第4中間層とをさらに有していてもよい。第2超電導線材は、第2基材をさらに有していてもよい。第1中間層は、第4中間層の直上に形成されていてもよい。第2中間層は、第2基材の直上に形成されていてもよい。第4中間層は、第2中間層よりも酸素透過性が高くてもよい。

[0019] 上記(4)の超電導線材接続構造によると、酸素透過性が相対的に高い層が相対的に厚くなるため、酸素再導入処理をより短時間で完了することが可能となる。

[0020] (5) 上記(4)の超電導線材接続構造において、第1中間層は、酸化セリウムで形成されていてもよい。第2中間層及び第3中間層は、イットリアで形成されていてもよい。第4中間層は、イットリア安定化ジルコニアで形成されていてもよい。

[0021] (6) 上記(4)又は(5)の超電導線材接続構造において、第1超電導線材は、第2超電導線材よりも短くてもよい。

[0022] 上記（４）及び（５）の超電導線材接続構造において、第２超電導線材の中間層は１層構造となっている一方、第１超電導線材の中間層は３層構造となっているため、第１超電導線材の製造コストが相対的に高くなってしまう。しかしながら、上記（６）の超電導線材接続構造においては、第１超電導線材が第２超電導線材よりも短くなっている（すなわち、第１超電導線材が複数の超電導線材を接続するためのパッチとなっている）ため、第１超電導線材の中間層が３層構造となることに伴うコスト増を抑制しつつ、酸素再導入処理を相対的に短時間で完了することが可能となる。

[0023] （７）上記（３）～（６）の超電導線材接続構造において、第１超電導層は、酸化物超電導体の多結晶体で形成されていてもよい。第２超電導層は、酸化物超電導体の単結晶体で形成されていてもよい。

[0024] 上記（６）の超電導線材接続構造においては、第１超電導層が多結晶体で形成されているため、酸素再導入処理を行う際に、当該多結晶体の結晶粒界を介して酸素が第１超電導層（第２超電導層及び接続層）の内部へと拡散しやすい。そのため、上記（６）の超電導線材接続構造によると、酸素再導入処理をさらに短時間で完了することが可能となる。

[0025] （８）上記（１）～（７）の超電導接続構造において、酸化物超電導体は、 $\text{REBa}_2\text{CuO}_{7-x}$ （REは希土類元素）であってもよい。

[0026] [本開示の実施形態の詳細]

次に、本開示の実施形態の詳細を、図面を参照しながら説明する。以下の図面においては、同一又は相当する部分に同一の参照符号を付し、重複する説明は繰り返さない。

[0027] （第１実施形態）

以下に、第１実施形態に係る超電導線材接続構造の構成を説明する。

[0028] 図１は、第１実施形態に係る超電導線材接続構造の斜視図である。図１に示されるように、実施形態に係る超電導線材接続構造は、第１超電導線材１と、第２超電導線材２と、接続層３（図１中において図示せず）とを有している。

- [0029] 図2は、第1実施形態に係る超電導線材接続構造における第1超電導線材1の断面図である。図2に示されるように、第1超電導線材1は、基材11と、中間層12a、中間層12b及び中間層12cと、超電導層13（第1超電導層）とを有している。
- [0030] 基材11は、第1層11aと、第2層11bと、第3層11cとを有している。第1層11aは、例えばSUS316L等のステンレス鋼で形成されている。第2層11bは、第1層11a上に形成されている。第2層11bは、例えば銅（Cu）等で形成されている。第3層11cは、第2層11b上に形成されている。第3層11cは、例えばニッケル（Ni）等で形成されている。
- [0031] 中間層12aは、基材11（具体的には、第3層11c）の直上に形成されている。中間層12aは、例えば、イットリア（ Y_2O_3 ）で形成されている。中間層12bは、中間層12aの直上に形成されている。中間層12bは、例えば、安定化ジルコニア（YSZ）で形成されている。中間層12cは、中間層12bの直上に形成されている。中間層12cは、例えば、酸化セリア（ CeO_2 ）で形成されている。中間層12a～中間層12cは、例えば、マグネトロンスパッタ法により形成されている。
- [0032] 超電導層13は、中間層12cの直上に形成されている。超電導層13は、酸化物超電導体で形成されている。この酸化物超電導体は、例えば、 $REBa_2CuO_{7-x}$ （REは希土類元素）である。この希土類元素は、例えば、イットリウム（Y）、プラセオジウム（Pr）、ネオジム（Nd）、サマリウム（Sm）、ユウロビウム（Eu）、ガドリウム（Gd）、ホルミウム（Ho）、イッテルビウム（Yb）等である。超電導層13は、例えばPLD（Pulsed Laser Deposition）法により形成されている。超電導層13は、塗布熱分解（Metal Organic Deposition）法により形成されてもよい。
- [0033] 超電導層13は、上記の酸化物超電導体の多結晶体で形成されている。「超電導層13が酸化物超電導体の多結晶体で形成されている」とは、超電導層13のX線回折で評価した面内配向性（ $\Delta\phi$ ）が 4° より大きいことをい

う。基材 1 1 の第 2 層 1 1 b 及び第 3 層 1 1 c を構成する結晶粒は、所定の方位に沿って配向しており、中間層 1 2 a ～中間層 1 2 c は、当該所定の方位に沿って配向している結晶粒で構成される。その結果、中間層 1 2 c 上に形成される超電導層 1 3 も、当該所定の方位に沿って配向している結晶粒で構成されることになる。超電導層 1 3 を構成する酸化物超電導体の結晶粒の平均粒径は、例えば、 $100\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下である。

[0034] 図 3 は、第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造における第 2 超電導線材 2 の断面図である。図 3 に示されるように、第 2 超電導線材 2 は、基材 2 1 と、中間層 2 2 a、中間層 1 2 b 及び中間層 1 2 c と、超電導層 2 3（第 2 超電導層）とを有している。

[0035] 基材 2 1 は、例えばハステロイ（登録商標）で形成されている。中間層 2 2 a は、基材 2 1 の直上に形成されている。中間層 2 2 a は、例えばイットリウムで形成されている。中間層 2 2 b は、中間層 2 2 a の直上に形成されている。中間層 2 2 b は、例えば安定化ジルコニアで形成されている。中間層 2 2 c は、中間層 2 2 c の直上に形成されている。中間層 2 2 c は、例えば酸化セリアで形成されている。中間層 2 2 a ～中間層 2 2 c は、例えば、I B A D (Ion Beam Assisted Deposition) 法で形成される。

[0036] 超電導層 2 3 は、酸化物超電導体で形成されている。超電導層 2 3 を構成する酸化物超電導体は、超電導層 1 3 を構成する酸化物超電導体と同一であることが好ましい。超電導層 2 3 は、当該酸化物超電導体の単結晶で形成されている。超電導層 2 3 は、例えば P L D 法、M O D 法で形成される。この例では、超電導層 1 3 が酸化物超電導体の多結晶で形成されているとともに、超電導層 2 3 が酸化物超電導体の単結晶で形成されているとしたが、超電導層 1 3 及び超電導層 2 3 のいずれか一方が酸化物超電導体の多結晶で形成されていればよい。

[0037] 上記のとおり、中間層 2 2 a ～中間層 2 2 c は I B A D 法で形成されているが、I B A D 法で形成された中間層 2 2 a ～中間層 2 2 c は結晶配向性が極めて高い。その結果、そのように中間層 2 2 a ～中間層 2 2 c 上に形成さ

れた超電導層 2 3 は、酸化物超電導体の単結晶で形成されることになる。

[0038] 図 4 は、第 1 超電導線材 1 と第 2 超電導線材 2 との接続部における第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造の断面図である。図 4 に示されるように、第 1 超電導線材 1 及び第 2 超電導線材 2 は、接続層 3 を介して超電導層 1 3 及び超電導層 2 3 が互いに対向するように配置されている。

[0039] 接続層 3 は、酸化物超電導体で形成されている。接続層 3 を構成している酸化物超電導体は、超電導層 1 3 及び超電導層 2 3 を構成している酸化物超電導体と同一であることが好ましい。超電導層 1 3 及び超電導層 2 3 は、接続層 3 で接続されることにより、超電導接合されている。

[0040] 以下に、第 1 実施形態に係る超電導接続構造の製造方法を説明する。

図 5 は、第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造の製造方法を示す工程図である。図 5 に示されるように、第 1 実施形態に係る超電導線材の製造方法は、第 1 超電導線材準備工程 S 1 と、第 2 超電導線材準備工程 S 2 と、接続工程 S 3 と、酸素導入工程 S 4 とを有している。

[0041] 第 1 超電導線材準備工程 S 1 及び第 2 超電導線材準備工程 S 2 においては、第 1 超電導線材 1 及び第 2 超電導線材 2 がそれぞれ準備される。

[0042] 接続工程 S 3 は、微結晶層形成工程 S 3 1 と、加熱・加圧工程 S 3 2 とを有している。図 6 は、微結晶層形成工程 S 3 1 における第 1 超電導線材 1 の断面図である。図 6 に示されるように、微結晶層形成工程 S 3 1 においては、超電導層 1 3 上に、微結晶層 3 a が形成される。

[0043] 微結晶層 3 a の形成においては、第 1 に、超電導層 1 3 上に、有機化合物膜が形成される。この有機化合物膜は、接続層 3 を構成する超電導体の構成元素を含有している。すなわち、この有機化合物膜は、超電導層 1 3 及び超電導層 2 3 を構成する超電導体の構成元素を含有している。

[0044] 微結晶層 3 a の形成においては、第 2 に、有機化合物膜に対する仮焼成が行われる。仮焼成により、有機化合物膜は、接続層 3 を構成する超電導体の前駆体となる（以下においては、仮焼成が行われた有機化合物膜を、仮焼膜という）。仮焼成は、接続層 3 を構成する材料の生成温度未満の温度で行わ

れる。

[0045] 微結晶層 3 a の形成においては、第 3 に、仮焼成の後に、仮焼膜に対する熱処理が行われる。これにより、仮焼膜に含まれる炭化物が分解されて、接続層 3（超電導層 1 3 及び超電導層 2 3）を構成する超電導体の微結晶を含む微結晶層 3 a が形成される。

[0046] 上記の例においては、微結晶層 3 a が超電導層 1 3 上に形成されるものとして説明を行ったが、微結晶層 3 a は、超電導層 1 3 上及び超電導層 2 3 上の少なくとも一方に形成されていればよい。

[0047] 加熱・加圧工程 S 3 2 においては、接続層 3 が形成される。加熱・加圧工程 S 3 2 においては、第 1 に、第 1 超電導線材 1 及び第 2 超電導線材 2 は、超電導層 1 3 及び超電導層 2 3 が微結晶層 3 a を挟んで対向するように重ね合わされる。加熱・加圧工程 S 3 2 においては、第 2 に、微結晶層 3 a 並びにそれらを挟み込んでいる超電導層 1 3 及び超電導層 2 3 に対する加圧及び加熱が行われる。これにより、微結晶層 3 a に含まれる超電導体が超電導層 1 3 上及び超電導層 2 3 上にエピタキシャル成長し、接続層 3 が形成される。

[0048] 加熱・加圧工程 S 3 2 は、低酸素濃度（例えば、 10^{-4} atm）の雰囲気下において行われる。その結果、加熱・加圧工程 S 3 2 においては、接続部にある超電導層 1 3、超電導層 2 3 及び接続層 3 から酸素が脱離し、超電導層 1 3、超電導層 2 3 及び接続層 3 を構成している酸化物超電導体が非超電導体化する。

[0049] 酸素導入工程 S 4 においては、超電導層 1 3、超電導層 2 3 及び接続層 3 への酸素再導入が行われる。この酸素再導入は、比較的酸素濃度が高い（例えば、1 atm）雰囲気下において加熱を行うことにより行われる。

[0050] 以下に、第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造の効果を説明する。

仮に超電導層 1 3 及び超電導層 2 3 が酸化物超電導体の単結晶体で形成されている場合には、超電導層 1 3 及び超電導層 2 3 中に酸素が拡散するための経路が乏しいため、酸素再導入処理（酸素導入工程 S 4）に長時間を要す

る。

[0051] しかしながら、第1実施形態に係る超電導線材接続構造においては、超電導層13が酸化物超電導体の多結晶体で形成されているため、酸素再導入処理を行う際に、当該多結晶体の結晶粒界を介して酸素が超電導層13（超電導層23及び接続層3）の内部へと拡散しやすい。そのため、第1実施形態に係る超電導線材接続構造によると、酸素再導入処理を相対的に短時間で完了することが可能となる。

[0052] （第2実施形態）

以下に、第2実施形態に係る超電導線材接続構造の構成を説明する。但し、以下においては、第1実施形態に係る超電導線材接続構造の構成と異なる点を主に説明し、重複する説明は繰り返さないものとする。

[0053] 第2実施形態に係る超電導線材接続構造は、基材11（第1層11a、第2層11b及び第3層11c）と、中間層12a（第3中間層）、中間層12b（第4中間層）及び中間層12c（第1中間層）と、超電導層13とを有する第1超電導線材1と、第2超電導線材2と、接続層3とを有している。この点に関して、第2実施形態に係る超電導線材接続構造の構成は、第1実施形態に係る超電導線材接続構造の構成と共通している。

[0054] しかしながら、第2実施形態に係る超電導線材接続構造の構成は、第2超電導線材2の構成に関して、第1実施形態に係る超電導線材接続構造の構成と異なっている。図7は、第2実施形態に係る超電導線材接続構造における第2超電導線材2の断面図である。図7に示されるように、第2超電導線材2は、基材21と、中間層22（第2中間層）と、超電導層23とを有している。

[0055] 基材21は、第1層21aと、第2層21bと、第3層21cとを有している。第1層21aは、例えばSUS316L等のステンレス鋼で形成されている。第2層21bは、第1層21a上に形成されている。第2層21bは、例えば銅等で形成されている。第3層21cは、第2層21b上に形成されている。第3層21cは、例えばニッケル等で形成されている。

- [0056] 中間層 2 2 は、基材 2 1（具体的には、第 3 層 2 1 c）の直上に形成されている。中間層 2 2 は、例えばイットリアで形成されている。第 2 超電導線材 2 の中間層は、1 層構造となっている。中間層 2 2 の酸素透過率は、中間層 1 2 b 及び中間層 1 2 c の酸素透過性よりも低い。
- [0057] 超電導層 2 3 は、中間層 2 2 の直上に形成されている。超電導層 2 3 は、例えば超電導層 1 3 を構成する酸化物超電導体と同一の酸化物超電導体で形成されている。超電導層 2 3 は、酸化物超電導体の多結晶で形成されている。なお、超電導層 2 3 は、第 1 実施形態と同様に、酸化物超電導体の単結晶で形成されていてもよい。
- [0058] 第 1 超電導線材 1 は、第 2 超電導線材 2 よりも短いことが好ましい。すなわち、第 1 超電導線材 1 は、2 本の第 2 超電導線材 2 を接続するためのパッチとしての超電導線材であることが好ましい。
- [0059] 第 2 実施形態に係る超電導線材接続構造の製造方法は、第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造の製造方法と同様であるため、ここでは、その説明を省略する。
- [0060] 以下に、第 2 実施形態に係る超電導線材接続構造の効果を説明する。但し、以下においては、第 1 実施形態に係る超電導線材接続構造の効果と異なる点を主に説明し、重複する説明は繰り返さないものとする。
- [0061] 第 2 実施形態に係る超電導線材接続構造においては、中間層 1 2 c が超電導層 1 3 に接しているとともに、中間層 1 2 c における酸素透過率が中間層 2 2 よりも高くなっているため、酸素再導入処理を行う際に、中間層 1 2 c を介して酸素が超電導層 1 3（超電導層 2 3 及び接続層 3）の内部へと拡散しやすい。そのため、第 2 実施形態に係る超電導線材接続構造によると、酸素再導入処理を相対的に短時間で完了することが可能となる。
- [0062] 第 2 実施形態に係る超電導線材接続構造においては、中間層 1 2 b が中間層 1 2 c に接しているとともに、中間層 1 2 b の酸素透過性が中間層 2 2 よりも高くなっているため、高い酸素透過性を有する層が厚くなり、酸素再導入処理をより短時間で完了することが可能となる。

[0063] 第2実施形態に係る超電導線材接続構造においては、超電導層13及び超電導層23が酸化物超電導体の多結晶体で形成されているため、酸素再導入処理を行う際に、当該多結晶体の結晶粒界を介して酸素が超電導層13、超電導層23及び接続層3の内部へと拡散しやすい。

[0064] 第2実施形態に係る超電導線材接続構造においては、第2超電導線材2の中間層が1層構造となっている一方、第1超電導線材1の中間層が3層構造となっているため、第1超電導線材1の製造コストが相対的に上昇する。しかしながら、第2実施形態に係る超電導線材接続構造において第1超電導線材1が第2超電導線材2よりも短くなっている（第1超電導線材1が2本の第2超電導線材2を接続するためのパッチとしての超電導線材である）場合、第1超電導線材1の中間層を3層構造とすることに伴うコスト増は大きな問題とならない。そのため、この場合には、第1超電導線材1の中間層が3層構造となることに伴うコスト増を抑制しつつ、酸素再導入処理を相対的に短時間で完了することが可能となる。

[0065] （変形例）

上記の第1実施形態及び第2実施形態に係る超電導線材接続構造においては、2本の第2超電導線材2を平行に配置するとともに、第2超電導線材2の端部の各々を第1超電導線材1により接続する例を示した。

[0066] 図8は、第1実施形態及び第2実施形態の変形例に係る超電導線材接続構造の斜視図である。図8に示されるように、第1実施形態及び第2実施形態に係る超電導線材接続構造においては、2本の第2超電導線材2を直線状に配置するとともに、第2超電導線材2の端部の各々を第1超電導線材1により接続してもよい。

[0067] 今回開示された実施形態は全ての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した実施形態ではなく請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0068] S 1 第1超電導線材準備工程、S 2 第2超電導線材準備工程、S 3 接續工程、S 4 酸素導入工程、S 3 1 微結晶層形成工程、S 3 2 加圧工程、1 1 基材、1 1 a 第1層、1 1 b 第2層、1 1 c 第3層、1 2 a, 1 2 b, 1 2 c 中間層、1 3 超電導層、2 1 基材、2 1 a 第1層、2 1 b 第2層、2 1 c 第3層、2 2, 2 2 a, 2 2 b, 2 2 c 中間層、2 3 超電導層、3 接續層、3 a 微結晶層、1 第1超電導線材、2 第2超電導線材。

請求の範囲

- [請求項1] 第1超電導層を有する第1超電導線材と、
 第2超電導層を有する第2超電導線材と、
 接続層とを備え、
 前記第1超電導層、前記第2超電導層及び前記接続層は、酸化物超電導体で形成されており、
 前記第1超電導層及び前記第2超電導層の少なくとも一方は、前記酸化物超電導体の多結晶体で形成されており、
 前記第1超電導線材及び前記第2超電導線材は、前記第1超電導層及び前記第2超電導層が前記接続層を介して互いに対向するように配置されている、超電導線材接続構造。
- [請求項2] 前記第1超電導層は、前記酸化物超電導体の多結晶体で形成されており、
 前記第2超電導層は、前記酸化物超電導体の単結晶体で形成されている、請求項1に記載の超電導線材接続構造。
- [請求項3] 第1中間層と、前記第1中間層の直上に形成された第1超電導層とを有する第1超電導線材と、
 第2中間層と、前記第2中間層の直上に形成された第2超電導層とを有する第2超電導線材と、
 接続層とを備え、
 前記第1超電導層、前記第2超電導層及び前記接続層は、酸化物超電導体で形成されており、
 前記第1中間層は、前記第2中間層よりも酸素透過性が高く、
 前記第1超電導線材及び前記第2超電導線材は、前記第1超電導層及び前記第2超電導層が前記接続層を介して互いに対向するように配置されている、超電導線材接続構造。
- [請求項4] 前記第1超電導線材は、第1基材と、前記第1基材の直上に形成された第3中間層と、前記第3中間層の直上に形成された第4中間層と

をさらに有し、

前記第2超電導線材は、第2基材をさらに有し、

前記第1中間層は、前記第4中間層の直上に形成されており、

前記第2中間層は、前記第2基材の直上に形成されており、

前記第4中間層は、前記第2中間層よりも酸素透過性が高い、請求項3に記載の超電導線材接続構造。

[請求項5]

前記第1中間層は、酸化セリウムで形成されており、

前記第2中間層及び前記第3中間層は、イットリアで形成されており、

前記第4中間層は、イットリア安定化ジルコニアで形成されている、請求項4に記載の超電導線材接続構造。

[請求項6]

前記第1超電導線材は、前記第2超電導線材よりも短い、請求項4又は請求項5に記載の超電導線材接続構造。

[請求項7]

前記第1超電導層は、前記酸化物超電導体の多結晶体で形成されており、

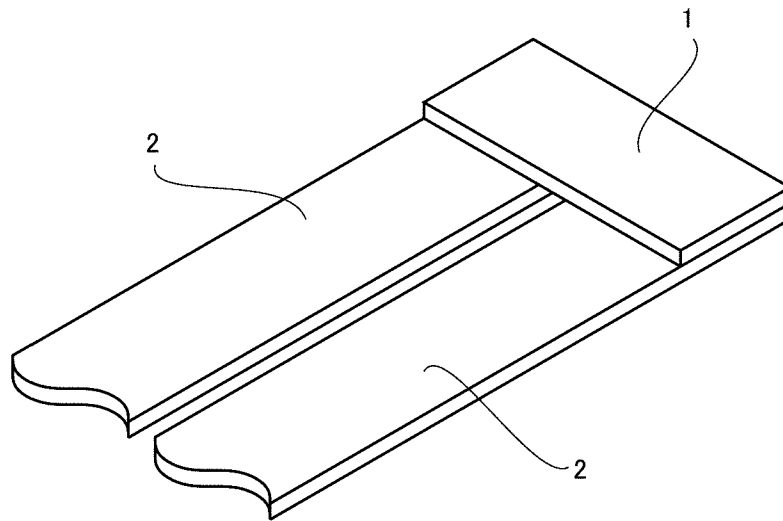
前記第2超電導層は、前記酸化物超電導体の単結晶体で形成されている、請求項3～請求項6のいずれか1項に記載の超電導線材接続構造。

[請求項8]

前記酸化物超電導体は、 $REBa_2CuO_{7-x}$ （REは希土類元素）である、請求項1～請求項7のいずれか1項に記載の超電導線材接続構造。

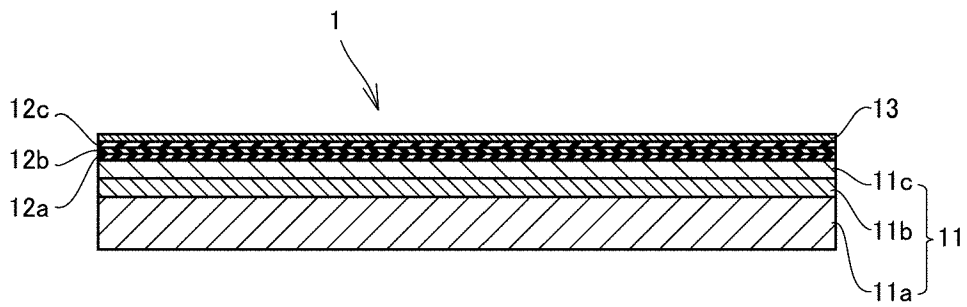
[図1]

FIG. 1



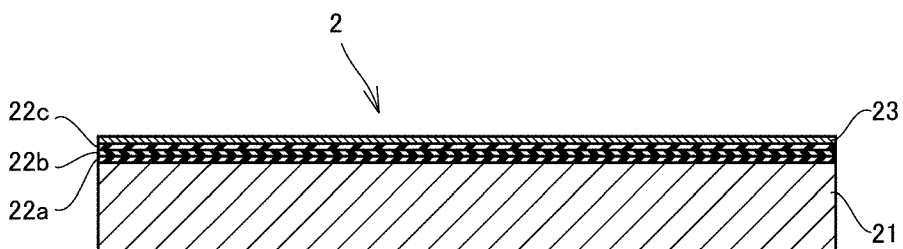
[図2]

FIG. 2



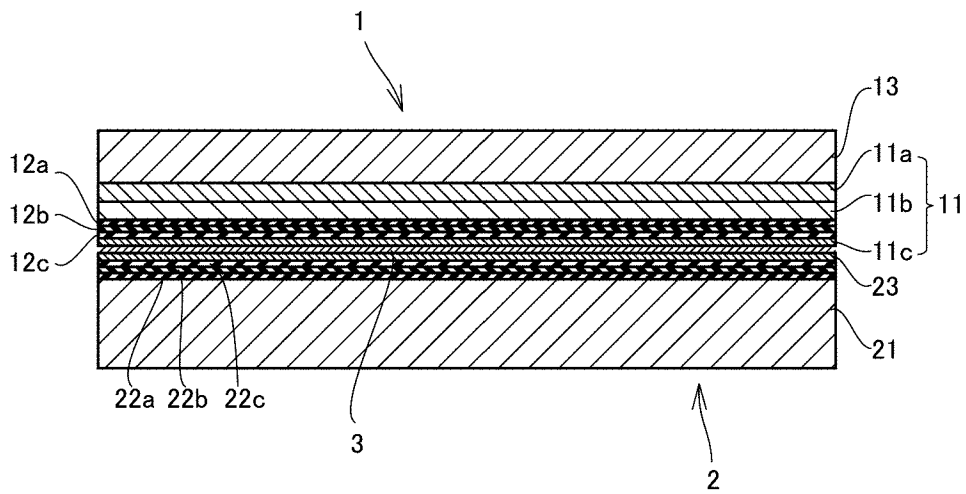
[図3]

FIG. 3



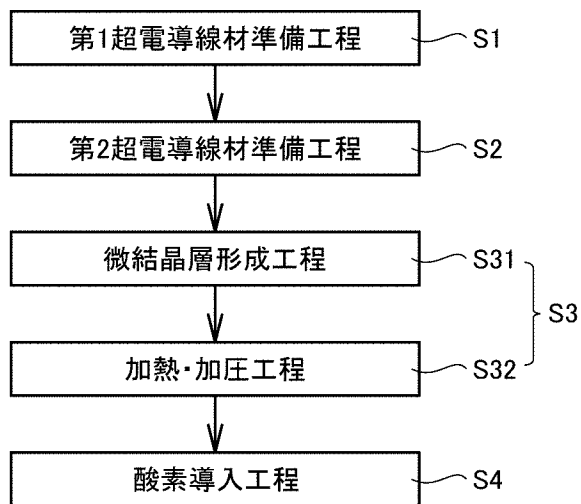
[図4]

FIG. 4



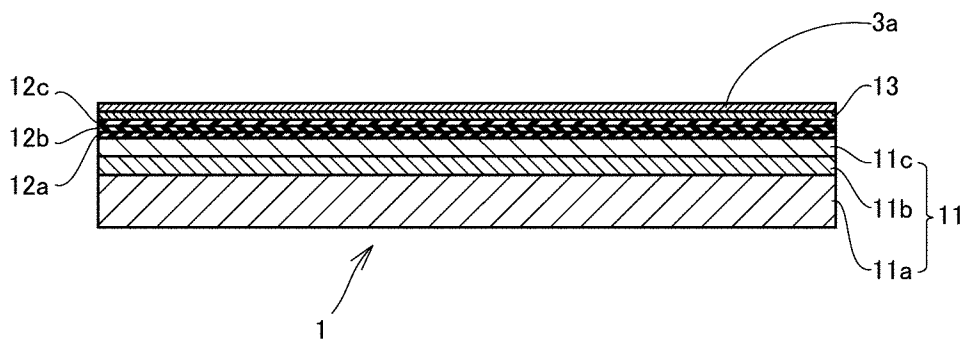
[図5]

FIG. 5



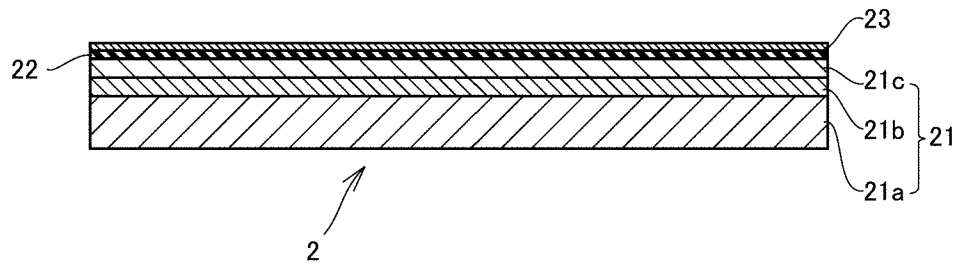
[図6]

FIG. 6



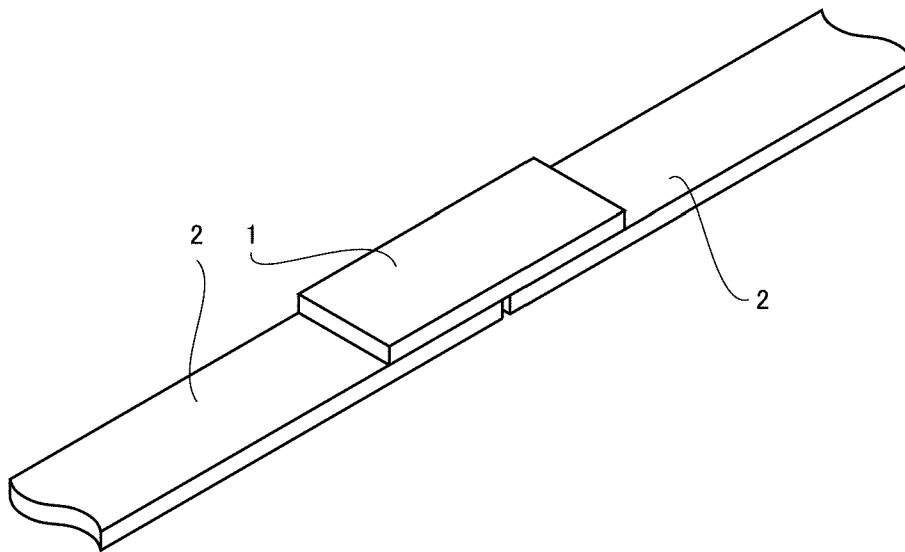
[図7]

FIG. 7



[図8]

FIG. 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/004709

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01R4/68 (2006.01) i, H01B12/06 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H01R4/68, H01B12/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2018/211699 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 22 November 2018, paragraphs [0009]-[0116],	1
Y	fig. 1-15 (Family: none)	8
A		2-7
X	WO 2018/211766 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 22 November 2018, paragraphs [0012]-[0100],	1
Y	fig. 1-12 (Family: none)	8
A		2-7
Y	JP 2008-140930 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 19 June 2008, paragraph [0020] (Family: none)	8
Y	JP 4728847 B2 (NIPPON STEEL CORP.) 20 July 2011, paragraph [0023] (Family: none)	8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15.03.2019

Date of mailing of the international search report
26.03.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/004709

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2017/061563 A1 (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 13 April 2017, paragraph [0027] (Family: none)	8
A	JP 2015-230875 A (FUJIKURA LTD.) 21 December 2015 (Family: none)	1-8
A	JP 2016-110816 A (FUJIKURA LTD.) 20 June 2016 (Family: none)	1-8
A	WO 2016/129469 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 18 August 2016 & US 2018/0025812 A1 & EP 3258471 A1 & KR 10-2017-0117414 A	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01R4/68(2006.01)i, H01B12/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01R4/68, H01B12/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	W0 2018/211699 A1（住友電気工業株式会社）2018.11.22, 段落 [0009]-[0116], 図 1-15（ファミリーなし）	1 8 2-7
X Y A	W0 2018/211766 A1（住友電気工業株式会社）2018.11.22, 段落 [0012]-[0100], 図 1-12（ファミリーなし）	1 8 2-7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.03.2019

国際調査報告の発送日

26.03.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

山下 寿信

3 T

3738

電話番号 03-3581-1101 内線 3368

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2008-140930 A (住友電気工業株式会社) 2008.06.19, 段落[0020] (ファミリーなし)	8
Y	JP 4728847 B2 (新日本製鐵株式会社) 2011.07.20, 段落[0023] (フ ァミリーなし)	8
Y	WO 2017/061563 A1 (古河電気工業株式会社) 2017.04.13, 段落 [0027] (ファミリーなし)	8
A	JP 2015-230875 A (株式会社フジクラ) 2015.12.21, (ファミリーな し)	1 - 8
A	JP 2016-110816 A (株式会社フジクラ) 2016.06.20, (ファミリーな し)	1 - 8
A	WO 2016/129469 A1 (住友電気工業株式会社) 2016.08.18, & US 2018/0025812 A1 & EP 3258471 A1 & KR 10-2017-0117414 A	1 - 8