(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
2017 年 9 月 14 日(14.09.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/154228 A1

(51) 国際特許分類:
H01B 12/02 (2006.01) *H01R 4/68* (2006.01)
H01B 13/00 (2006.01) *H01R 43/00* (2006.01)
H01F 6/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/065124

(22) 国際出願日: 2016 年 5 月 23 日(23.05.2016)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2016-048786 2016 年 3 月 11 日(11.03.2016) JP

(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: 長部　吾郎 (OSABE, Goro); 〒 5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号　住友電気工業株式会社　大阪製作所内 Osaka (JP). 山崎 浩平 (YAMAZAKI, Kohei); 〒 5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号　住友電気工業株式会社　大阪製作所内 Osaka (JP). 加藤　武志 (KATO, Takeshi); 〒 5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号　住友電気工業株式会社　大阪製作所内 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二丁目２番７号　中之島セントラルタワー 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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, 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).

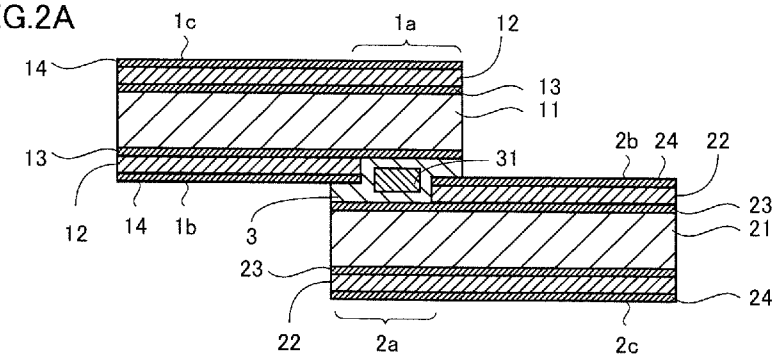
添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: SUPERCONDUCTING WIRE AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称 : 超電導線及びその製造方法

FIG.2A



(57) **Abstract**: The present invention is provided with: a first superconducting wire rod, which has a first front surface, and a first rear surface on the reverse side of the first surface, and which also has a first superconducting layer and a first reinforcement layer; a second superconducting wire rod, which has a second front surface, and a second rear surface on the reverse side of the second front surface, and which also has a second superconducting layer, and a second reinforcement layer; and a connecting member that bonds the first superconducting wire rod and the second superconducting wire rod to each other. The first superconducting wire rod has a first end portion wherein at least a first reinforcement layer portion on the first front surface side is removed, and the second superconducting wire rod has a second end portion wherein at least a second reinforcement layer portion on the second front surface side is removed. A first front surface portion positioned at the first end portion is bonded, by means of the connecting member, to a second front surface portion at a position excluding the second end portion, and a second front surface portion positioned at the second end portion is bonded, by means of the connecting member, to the first front surface portion at a position excluding the first end portion.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/154228 A1

第１表面と、第１表面の反対側の面である第１裏面とを有し、かつ第１の超電導層と、第１の補強層とを有する第１の超電導線材と、第２表面と、第２表面の反対側の面である第２裏面とを有し、かつ第２の超電導層と、第２の補強層とを有する第２の超電導線材と、第１の超電導線材と第２の超電導線材とを接合する接続部材とを備えている。第１の超電導線材は第１表面側の第１の補強層の少なくとも一部が除去されている第１の端部を有し、第２の超電導線材は第２表面側の第２の補強層の少なくとも一部が除去されている第２の端部を有している。第１の端部に位置する第１表面は、接続部材により、第２の端部以外に位置する第２表面に接合され、第２の端部に位置する第２表面は、接続部材により、第１の端部以外に位置する第１表面に接合されている。

明　細　書

発明の名称 ： 超電導線及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、超電導線及びその製造方法に関する。

本出願は、２０１６年３月１１日出願の日本出願第２０１６－４８７８６号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0002] 超電導機器用の超電導線を作製するためには、長尺の超電導線材が必要とされる。通常、複数の超電導線材を順次接続していくことにより、超電導線材の長尺化が図られる。

[0003] 複数の超電導線材を接続する構造として、特開２０１１－２３８５１３号公報（特許文献１）記載の接続構造が提案されている。特許文献１記載の第１の超電導線材は、超電導層と、内部はんだ層と、補強層とを有する。また、特許文献１記載の超電導線材は、端末部を有している。特許文献１記載の第２の超電導線材は、第１の超電導線材と同様の構造を有している。

[0004] 超電導層は、第１面と、第２面とを有している。補強層は、第１面及び第２面上に設けられている。但し、第１面の端末部側に位置する領域上においては、補強層が設けられていない。すなわち、第１面の端末部側に位置する領域においては、超電導層が露出している。内部はんだ層は、補強層と第１面及び第２面との間に設けられており、補強層と超電導層とを接合している。

[0005] 特許文献１記載の超電導線材の接続構造は、第１の超電導線材と、第２の超電導部材と、接続はんだ層とを有している。第１の超電導部材の第１面の端末部側に位置する領域において露出している超電導層が、第２の超電導部材の第１面の端末部側に位置する領域において露出している超電導層と対向するように配置されている。第１の超電導部材の第１面の端末部側に位置す

る領域において露出している超電導層と第２の超電導部材の第１面の端末部側に位置する領域において露出している超電導層とは、接続はんだにより接合されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２０１１－２３８５１３号公報

発明の概要

課題を解決するための手段

[0007] 本開示の超電導線は、第１表面と、第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材と、第２表面と、第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材と、第１の超電導線材と第２の超電導線材とを接合する接続部材とを備えている。第１の超電導線材は、第１の超電導層と、第１の超電導層の第１表面側及び第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有する。第２の超電導線材は、かつ第２の超電導層と、第２の超電導層の第２表面側及び第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有する。

[0008] 第１の超電導線材は、第１表面側の第１の補強層の少なくとも一部が除去されている第１の端部を有している。第２の超電導線材は、第２表面側の第２の補強層の少なくとも一部が除去されている第２の端部を有している。

[0009] 第１の端部に位置する第１表面は、接続部材により、第２の端部以外に位置する第２表面に接合され、第２の端部に位置する第２表面は、接続部材により、第１の端部以外に位置する第１表面に接合されている。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]第１の実施形態に係る超電導線の上面図である。

[図2A]第１の実施形態に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。

[図2B]第１の実施形態の第１の変形例に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。

[図2C]第１の実施形態の第２の変形例に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。

[図3]第１の実施形態の第３の変形例に係る超電導線の断面図である。

[図4]第１の実施形態に係る超電導線を用いた超電導機器の模式図である。

[図5]第１の実施形態に係る超電導線の製造方法の工程図である。

[図6A]線材加工工程が行われた後の第１の超電導線材の断面図である。

[図6B]線材加工工程が行われた後の第２の超電導線材の断面図である。

[図6C]線材加工工程が行われた後の第１の超電導線材の変形例の断面図である。

[図6D]線材加工工程が行われた後の第２の超電導線材の変形例の断面図である。

[図7A]線材加工工程が行われた後の第１の超電導線材の第１表面側からみた上面図である。

[図7B]線材加工工程が行われた後の第１の超電導線材の変形例の第１表面側からみた上面図である。

[図7C]線材加工工程が行われた後の第１の超電導線材の別の変形例の第１表面側からみた上面図である。

[図8A]線材加工工程が行われた後の第２の超電導線材の第２表面側からみた上面図である。

[図8B]線材加工工程が行われた後の第２の超電導線材の変形例の第２表面側からみた上面図である。

[図8C]線材加工工程が行われた後の第２の超電導線材の別の変形例の第２表面側からみた上面図である。

[図9A]線材加工工程において第１の超電導線材の第１の端部を加熱する際の断面図である。

[図9B]線材加工工程において第１の超電導線材の第１の補強層を引き剥がす際の断面図である。

[図9C]線材加工工程の変形例において第１の超電導線材の第１の端部を加熱

する際の断面図である。

[図9D]線材加工工程の変形例において第１の超電導線材の第１の補強層を引き剥がす際の断面図である。

[図9E]線材加工工程において第１の超電導線材の第１の端部の一部を切断する際の断面図である。

[図10A]線材接合工程における接合前の第１の実施形態に係る超電導線の断面図である。

[図10B]線材接合工程における接合時の第１の実施形態に係る超電導線の断面図である。

[図11A]線材接合工程における接合前の第１の実施形態の第３の変形例に係る超電導線の断面図である。

[図11B]線材接合工程における接合時の第１の実施形態の第３の変形例に係る超電導線の断面図である。

[図12]第１の比較例に係る超電導線の断面図である。

[図13]臨界電流測定の模式図である。

[図14]第２の比較例に係る超電導線の断面図である。

[図15]第２の実施形態に係る超電導線の上面図である。

[図16A]第２の実施形態に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。

[図16B]第２の実施形態の変形例に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。

[図17]第２の実施形態に係る超電導線の製造方法の工程図である。

[図18A]線材接合工程における接合前の第２の実施形態に係る超電導線の断面図である。

[図18B]線材接合工程における接合時の第２の実施形態に係る超電導線の断面図である。

[図19]第３の実施形態に係る超電導線の上面図である。

[図20A]第３の実施形態に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超

電導部材とが接合されている部分での断面図である。

[図20B]第３の実施形態の第１の変形例に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。

[図21A]第３の実施形態の第２の変形例に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。

[図21B]第３の実施形態の第３の変形例に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。

[図22]第３の実施形態に係る超電導線の製造方法の工程図である。

[図23A]線材接合工程における接合前の第３の実施形態に係る超電導線の断面図である。

[図23B]線材接合工程における接合時の第３の実施形態に係る超電導線の断面図である。

発明を実施するための形態

[0011] ［本開示が解決しようとする課題］

特許文献１記載の超電導線材の接合構造は、曲げ変形、引張変形等を受けた際の機械的特性が十分ではない場合がある。すなわち、特許文献１記載の超電導線材の接合構造においては、曲げ変形、引張変形等を受けた場合に、超電導層が接続はんだを介して互いに対向している部分の端に、応力集中が生じやすい。

[0012] 本開示は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたものである。すなわち、本開示は、機械的特性に優れた超電導線を提供するものである。

[0013] ［本開示の効果］

本開示によれば、曲げ変形、引張変形等に対する良好な機械的特性を得ることが可能となる。

[0014] ［本発明の実施形態の説明］

最初に本発明の実施態様を列記して説明する。

[0015] （１）本発明の一実施態様に係る超電導線は、第１表面と、第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材と、第２表面と、第２

表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材と、第１の超電導線材と第２の超電導線材とを接合する接続部材とを備えている。第１の超電導線材は、第１の超電導層と、第１の超電導層の第１表面側及び第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有する。第２の超電導線材は、かつ第２の超電導層と、第２の超電導層の第２表面側及び第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有する。

[0016] 第１の超電導線材は、第１表面側の第１の補強層の少なくとも一部が除去されている第１の端部を有している。第２の超電導線材は、第２表面側の第２の補強層の少なくとも一部が除去されている第２の端部を有している。

[0017] 第１の端部に位置する第１表面は、接続部材により、第２の端部以外に位置する第２表面に接合され、第２の端部に位置する第２表面は、接続部材により、第１の端部以外に位置する第１表面に接合されている。

[0018] （１）の超電導線によると、曲げ変形、引張変形等に対する良好な機械的特性を得ることが可能となる。

[0019] （２）（１）において、第１表面側の第１補強層の全部は第１の端部において除去されており、第２表面側の第２補強層の全部は第２の端部において除去されていてもよい。

[0020] （２）の超電導線によると、第１の超電導線材と第２の超電導線材との間の接続抵抗値を低減することが可能となる。

[0021] （３）（１）及び（２）の超電導線は、接続部材よりも低い電気抵抗値を有する導電部材を備えており、導電部材は、第１の端部に位置する第１表面と第２の端部に位置する第２表面との間に配置されている。

[0022] （３）の超電導線によると、第１の超電導線材と第２の超電導線材との間の接続抵抗値を低減することが可能となる。

[0023] （４）（１）～（３）の超電導線は、第１裏面側の第１の補強層上に設けられた第１の補強部材をさらに備えており、第１の補強部材は第１の端部から突出して第２表面側の第２の補強層に接合されていてもよい。

[0024] （４）の超電導線によると、曲げ変形、引張変形等に対するさらに良好な

機械的特性を得ることが可能となる。

[0025] （５）（１）～（４）の超電導線は、第２裏面側の第２補強層上に設けられている第２の補強部材をさらに備えており、第２の補強部材は第２の端部から突出して第１表面側の第１の補強層に接合されていてもよい。

[0026] （５）の超電導線によると、曲げ変形、引張変形等に対するさらに良好な機械的特性を得ることが可能となる。

[0027] （６）（１）～（５）の超電導線は、第１の超電導線材及び第２の超電導線材の許容引張強度のうちの小さい方の許容引張強度の８０％以上の許容引張強度を有していてもよい。

[0028] （６）の超電導線によると、良好な引張特性を得ることが可能となる。

（７）（１）～（６）の超電導線は、第１の超電導線材及び第２の超電導線材の許容曲げ直径のうちの大きい方の許容曲げ直径の４倍以下の許容曲げ直径を有していてもよい。

[0029] （７）の超電導線によると、良好な曲げ特性を得ることが可能となる。

（８）本発明の一実施態様に係る超電導線は、第１表面と、第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材と、第２表面と、第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材と、第１の超電導線材と第２の超電導線材とを接合する接続部材とを備えている。第１の超電導線材は、第１の超電導層と、第１の超電導層の第１表面側及び第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有する。第２の超電導線材は、かつ第２の超電導層と、第２の超電導層の第２表面側及び第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有する。

[0030] 第１の超電導線材は、第１表面側の第１の補強層の少なくとも一部が除去されている第１の端部を有している。第２の超電導線材は、第２表面側の第２の補強層の少なくとも一部が除去されている第２の端部を有している。

[0031] 第１の端部に位置する第１表面と第２の端部に位置する第２表面とは、接続部材により接合されている。第１裏面側の第１の補強層は、第１の端部から突出して第２表面側の第２の補強層に接合されている第１の突出部を有し

ている。第２裏面側の第２の補強層は、第２の端部から突出して第１表面側の第１の補強層に接合されている第２の突出部を有している。

[0032] （８）の超電導線によると、曲げ変形、引張変形等に対する良好な機械的特性を得ることが可能となる。

[0033] （９）（８）の超電導線において、第１表面側の第１補強層の全部は第１の端部において除去されており、第２表面側の第２補強層の全部は第２の端部において除去されていてもよい。

[0034] （９）の超電導線によると、第１の超電導線材と第２の超電導線材との間の接続抵抗値を低減することが可能となる。

[0035] （１０）本発明の一実施形態に係る超電導線は、第１表面と、第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材と、第２表面と、第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材と、第１表面と第２表面との間に配置される第３の補強部材と、第１の超電導線材と第３の補強部材とを接合し、第２の超電導線材と第３の補強部材とを接合する接続部材とを備えている。第１の超電導線材は、第１の超電導層と、第１の超電導層の第１表面側及び第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有している。第１の超電導線材は、第１表面側の第１の補強層の少なくとも一部が除去されている第１の端部を有している。第２の超電導線材は、第２の超電導層と、第２の超電導層の第２表面側及び第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有している。第２の超電導線材は、第２表面側の第２の補強層の少なくとも一部が除去されている第２の端部を有している。

[0036] 第１の端部に位置する第１表面は、第２の端部以外に位置する第２表面に対向するように配置され、第２の端部に位置する第２表面は、第１の端部以外に位置する第１表面に対向するように配置されている。第３の補強部材は、接続部材よりも電気抵抗値が低く、接続部材よりも強度が高い。

[0037] （１０）の超電導線によると、曲げ変形、引張変形等に対するより良好な機械的特性及びを得ることが可能となり、第１の超電導線材と第２の超電導線材との間の接続抵抗値を低減することが可能となる。

[0038] （１１）（１０）において、第１表面側の第１補強層の全部は第１の端部において除去されており、第２表面側の第２補強層の全部は第２の端部において除去されていてもよい。

[0039] （１１）の超電導線によると、第１の超電導線材と第２の超電導線材との間の接続抵抗値を低減することが可能となる。

[0040] （１２）（１）～（１１）の超電導線において、第１の補強層は、第１の超電導層に対して圧縮歪みを生じさせており、第２の補強層は、第２の超電導層に対して圧縮歪みを生じさせていてもよい。

[0041] （１２）の超電導線によると、曲げ変形、引張変形等に対するより良好な機械的特性を得ることが可能となる。

[0042] （１３）（１２）の超電導線において、第１の端部に位置する第１の超電導層に対する圧縮歪みは、第１の端部以外に位置する第１の超電導層に対する圧縮歪みよりも小さく、第２の端部に位置する第２の超電導層に対する圧縮歪みは、第２の端部以外に位置する第２の超電導層に対する圧縮歪みよりも小さくてもよい。

[0043] （１３）の超電導線によると、第１の超電導線材と第２の超電導線材との間の接続抵抗値を低減することが可能となる。

[0044] （１４）本発明の一実施形態に係る超電導線の製造方法は、第１表面と、第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材を、第２表面と、第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材に接合する工程を備えている。第１の超電導線材は、第１の超電導層と、第１表面側及び第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有する。第２の超電導線材は、第２の超電導層と、第２表面側及び第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有する。

[0045] 第１の超電導線材は、第１表面側の第１の補強層の少なくとも一部が除去された第１の端部を有している。第２の超電導線材は、第２表面側の第２の補強層の少なくとも一部が除去された第２の端部を有している。第１の端部に位置する第１表面は、接続部材により、第２の端部以外に位置する第２表

面に接合されている。第２の端部に位置する第２表面は、接続部材により、第１の端部以外に位置する第１表面に接合されている。

[0046] （１４）の超電導線の製造方法によると、曲げ変形、引張変形等に対するより良好な機械的特性を有する超電導線の接続を行うことが可能となる。

[0047] （１５）（１４）の超電導線の製造方法において、第１の端部に位置する第１表面側の第１の補強層及び第２の端部に位置する第２表面側の第２の補強層は全て除去されてもよい。

[0048] （１５）の超電導線の製造方法によると、接続抵抗値を低減することが可能となる。

（１６）（１４）及び（１５）の超電導線の製造方法は、第１の端部に位置する第１表面と第２の端部に位置する第２表面との間に導電部材を挿入する工程をさらに備えていてもよい。

[0049] （１６）の超電導線の製造方法によると、接続抵抗値をさらに低減することが可能となる。

[0050] （１７）本発明の一実施形態に係る超電導線の製造方法は、第１表面と、第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材を、第２表面と、第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材に接合する工程を備えている。第１の超電導線材は、第１の超電導層と、第１表面側及び第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有する。第２の超電導線材は、第２の超電導層と、第２表面側及び第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有する。

[0051] 第１の超電導線材は、第１表面側の第１の補強層の少なくとも一部が除去された第１の端部を有している。第２の超電導線材は、第２表面側の第２の補強層の少なくとも一部が除去された第２の端部を有している。第１の端部に位置する第１表面は、接続部材により、第２の端部に位置する第２表面に接合されている。

[0052] 第１裏面側の第１の補強層は、第１の端部より突出した第１の突出部を有している。第２裏面側の第２の補強層は、第２の端部より突出した第２の突

出部を有している。第１の突出部は、第２表面側の第２の補強層に接合されている。第２の突出部は、第１表面側の第１の補強層に接合されている。

[0053] （１７）の超電導線の製造方法によると、曲げ変形、引張変形等に対するより良好な機械的特性を有する超電導線の接続を行うことが可能となる。

[0054] （１８）（１７）の超電導線の製造方法において、第１の端部に位置する第１表面側の第１の補強層及び第２の端部に位置する第２表面側の第２の補強層は全て除去されてもよい。

[0055] （１８）の超電導線の製造方法によると、接続抵抗値を低減することが可能となる。

（１９）本発明の一実施形態に係る超電導線の製造方法は、第１表面と、第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材と、第２表面と、第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材とを、接続部材により第１表面と第２表面との間に配置された第３の補強部材に接合する工程を備えている。第１の超電導線材は、第１表面側の第１の補強層の少なくとも一部が除去された第１の端部を有している。第１の超電導線材は、第１の超電導層と、第１表面側及び第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有している。第２の超電導線材は、第２表面側の第２の補強層の少なくとも一部が除去された第２の端部を有している。第２の超電導線材は、第２の超電導層と、第２表面側及び第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有している。記第１の端部に位置する第１表面は、第２の端部以外に位置する第２表面に対向するように配置されており、第２の端部に位置する第２表面は、第１の端部以外に位置する第１表面に対向するように配置されている。第３の補強部材は、接続部材よりも電気抵抗値が低く、接続部材よりも強度が高い。

[0056] （１９）の超電導線の製造方法によると、曲げ変形、引張変形等に対するより良好な機械的特性を有し、接続抵抗値が低減された超電導線の接続を行うことが可能となる。

[0057] （２０）（１９）の超電導線の製造方法において、第１の端部に位置する

第１表面側の第１の補強層及び第２の端部に位置する第２表面側の第２の補強層は全て除去されてもよい。

[0058] （２０）の超電導線の製造方法によると、接続抵抗値を低減することが可能となる。

[本発明の実施形態の詳細]

次に、実施の形態の詳細について説明する。

[0059] （第１の実施形態）

以下に、第１の実施形態に係る超電導線の構成について、図を参照して説明する。

[0060] 図１は、第１の実施形態に係る超電導線の上面図である。図１に示すように、第１の実施形態に係る超電導線は、第１の超電導線材１と、第２の超電導線材２と、接続部材３（図２Ａ参照）とを有している。接続部材３には、例えば、錫（Ｓｎ）鉛（Ｐｂ）共晶合金、錫（Ｓｎ）インジウム（Ｉｎ）合金等のはんだが用いられる。第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２は、シート状の形状を有している。第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とは、接続部材３により接合されている。なお、図１においては、第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２のみが図示されているが、第１の実施形態に係る超電導線は、より多数の超電導線材を接合して形成することも可能である。

[0061] 図２Ａは、第１の実施形態に係る超電導線における第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが接合されている部分での断面図である。図２Ａに示すように、第１の超電導線材１は、第１の超電導層１１と、第１の補強層１２と、第１の内部接続部材１３と、第１の表面接続部材１４とを有している。第２の超電導線材２は、第２の超電導層２１と、第２の補強層２２と、第２の内部接続部材２３と、第２の表面接続部材２４とを有している。第１の超電導線材１は、第１の端部１ａを有している。第２の超電導線材２は、第２の端部２ａを有している。第１の端部１ａは、第１の超電導線材１の長手方向における端に位置する部分である。第２の端部２ａは、第２の超電導線

材２の長手方向における端に位置する部分である。

[0062] 第１の超電導線材１は、第１表面１ｂと、第１裏面１ｃとを有している。第１裏面１ｃは、第１表面１ｂの反対側の面である。第２の超電導線材２は、第２表面２ｂと、第２裏面２ｃとを有している。第２裏面２ｃは、第２表面２ｂの反対側の面である。

[0063] 第１の超電導層１１及び第２の超電導層２１は、例えば銀（Ａｇ）のシース中にビスマス（Ｂｉ）系の高温超電導酸化物を含有する層である。但し、第１の超電導層１１及び第２の超電導層２１の構成はこれに限られるものではない。

[0064] 第１の補強層１２及び第２の補強層２２には、例えばニッケル（Ｎｉ）合金が用いられる。但し、第１の補強層１２及び第２の補強層２２に用いられる材料はこれに限られるものではない。例えば、第１の補強層１２及び第２の補強層２２として、ステンレス鋼、銅（Ｃｕ）合金等を用いることができる。なお、第１の補強層１２に用いられる材料は、第２の補強層２２に用いられる材料と同一の材料であってもよく、異なる材料であってもよい。

[0065] 第１の内部接続部材１３及び第２の内部接続部材２３には、例えば錫（Ｓｎ）銀（Ａｇ）合金等の鉛フリーはんだが用いられる。第１の内部接続部材１３及び第２の内部接続部材２３は、接続部材３よりも融点が高いことが好ましい。

[0066] 第１の表面接続部材１４及び第２の表面接続部材２４には、例えば錫（Ｓｎ）銀（Ａｇ）合金等の鉛フリーはんだが用いられる。なお、第１の表面接続部材１４及び第２の表面接続部材２４は、第１の内部接続部材１３及び第２の内部接続部材２３と同一の材料であってもよく、異なる材料であってもよい。第１の表面接続部材１４及び第２の表面接続部材２４は、接続部材３よりも融点が高いことが好ましい。

[0067] 第１の超電導層１１の第１表面１ｂ側及び第１裏面１ｃ側には、第１の補強層１２が設けられている。第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側では、第１の補強層１２が全て除去されている。

[0068] 図２Ｂは、第１の実施形態の第１の変形例に係る超電導線における第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが接合されている部分での断面図である。なお、図２Ｂに示すように、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側においては、第１の補強層１２の一部が除去されていてもよい。この場合、第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１の第１表面１ｂ側は第１の補強層１２により覆われているが、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の厚さは、第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の厚さよりも薄くなっている。このように、第１の端部１ａは、第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の少なくとも一部が除去された部分であればよい。

[0069] 図２Ａに示すように、第２の超電導層２１の第２表面２ｂ側及び第２裏面２ｃ側には、第２の補強層２２が設けられている。第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側では、第２の補強層２２が全て除去されている。

[0070] なお、図２Ｂに示すように、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側においては、第２の補強層２２の一部が除去されていてもよい。この場合、第２の端部２ａに位置する第２の超電導層２１の第２表面２ｂ側は第２の補強層２２により覆われているが、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２の厚さは、第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２の厚さよりも薄くなっている。このように、第２の端部２ａは、第２表面２ｂ側の第２の補強層２２の少なくとも一部が除去された部分であればよい。

[0071] 第１の補強層１２は、張力が付加された状態で、第１の超電導層１１上に設けられている。これにより、第１の補強層１２は、第１の超電導層１１に対して、圧縮歪みを生じさせている。第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１に生じている圧縮歪みは、第１の端部１ａ以外に位置する第１の超電導層１１に生じている圧縮歪みよりも小さくてもよい。第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１の第１表面１ｂ側に生じている圧縮歪みが、第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１の第１裏面１ｃ側に生じている

圧縮歪みよりも小さい場合は、第１の端部１ａの長手方向における幅は狭いほうが好ましい。具体的には、この場合には、第１の端部１ａの長手方向における幅は、２０ｍｍ以下であることが好ましい。

[0072] 第２の補強層２２は、張力が付加された状態で、第２の超電導層２１上に設けられている。これにより、第２の補強層２２は、第２の超電導層２１に対して、圧縮歪みを生じさせている。第２の端部２ａに位置する第２の超電導層２１に生じている圧縮歪みは、第２の端部２ａ以外に位置する第２の超電導層２１に生じている圧縮歪みよりも小さくてもよい。第２の端部２ａに位置する第２の超電導層２１の第２表面２ｂ側に生じている圧縮歪みが、第２の端部２ａに位置する第２の超電導層２１の第２裏面２ｃ側に生じている圧縮歪みよりも小さい場合は、第２の端部２ａの長手方向における幅は狭いほうが好ましい。具体的には、この場合には、第２の端部２ａの長手方向における幅は、２０ｍｍ以下であることが好ましい。

[0073] なお、圧縮歪みの測定は、Ｘ線又は中性子回折法により行われる。また、圧縮歪みの測定は、スプリングボードを用いて測定されてもよい。

[0074] 第１の内部接続部材１３は、第１の超電導層１１と、第１の補強層１２との間に設けられている。これにより、第１の超電導層１１と第１の補強層１２とが接合されている。第２の内部接続部材２３は、第２の超電導層２１と、第２の補強層２２との間に設けられている。これにより、第２の超電導層２１と第２の補強層２２とが接合されている。なお、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の全てが除去されている場合、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の内部接続部材１３は、除去されていてもよい。また、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２の全てが除去されている場合、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の内部接続部材２３は、除去されていてもよい。

[0075] 第１の表面接続部材１４は、第１表面１ｂ側及び第１裏面１ｃ側の第１の補強層１２上に設けられている。第２の表面接続部材２４は、第２表面２ｂ側及び第２裏面２ｃ側の第２の補強層２２上に設けられている。

[0076] 第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂは、第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂに接合されている。具体的には、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の内部接続部材１３が第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の表面接続部材２４に接合されている。

[0077] 第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂは、第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂに接合されている。具体的には、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の内部接続部材２３が第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の表面接続部材１４に接合されている。

[0078] なお、図２Ｂに示すように、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側に第１の補強層１２が設けられ、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側に第２の補強層２２が設けられている場合は、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２が第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の表面接続部材２４に接合され、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２が第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の表面接続部材１４に接合されている。

[0079] 図２Ａに示すように、第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の端と第２表面２ｂ側の第２の補強層の端との間には、間隔が設けられている。この間隔が設けられている位置では、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の内部接続部材１３が第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の内部接続部材２３に接合されている。

[0080] なお、図２Ｂに示すように、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側に第１の補強層１２が設けられ、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側に第２の補強層２２が設けられている場合は、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２が、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２に、接続部材３により接合されている。

[0081] 第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂの間には、接続部材３中に導電部材３１が設けられていてもよい。導電部材３１には、接続部材３よりも電気伝導率が高い材料が用いられる。

例えば、接続部材３がＳｎ合金等のはんだである場合、導電部材３１にはＣｕ、Ａｇ、金（Ａｕ）等が用いられる。

[0082] 図２Ｃは、第１の実施形態の第２の変形例に係る超電導線における第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが接合されている部分での断面図である。図２Ｃに示すように、第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の端と第２表面２ｂ側の第２の補強層の端との間には、間隔が設けられていなくてもよい。すなわち、第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の端と第２表面２ｂ側の第２の補強層の端とは、互いに接触していてもよい。なお、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側に第１の補強層１２が設けられ、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側に第２の補強層２２が設けられている場合、第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の端は、第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２の端に接触していてもよい。

[0083] 図３は、第１の実施形態に係る超電導線の第３の変形例の断面図である。図３に示すように、第１の実施形態に係る超電導線は、第１の補強部材４と、第２の補強部材５とを有していてもよい。なお、第１の実施形態に係る超電導線は、第１の補強部材４及び第２の補強部材５のいずれか一方のみを有していてもよい。

[0084] 第１の補強部材４は、第１の超電導線材１の第１裏面１ｃに設けられている。第１の補強部材４は、その端が第１の端部１ａから突出し、かつ接続部材３により第２の超電導線材２の第２表面２ｂに接合されている。第２の補強部材５は、第２の超電導線材２の第２裏面２ｃに設けられている。第２の補強部材５は、その端が第２の端部２ａから突出し、かつ接続部材３により第１の超電導線材１の第１表面１ｂに接合されている。第１の補強部材４及び第２の補強部材５は、第１の補強層１２及び第２の補強層２２と異なる材料が用いられていてもよく、同一の材料が用いられていてもよい。

[0085] 以下に、第１の実施形態に係る超電導線を用いた超電導機器の構造について説明する。図４は、第１の実施形態に係る超電導線を用いた超電導機器６

の模式図である。第１の実施形態に係る超電導線を用いた超電導機器６は、例えば冷凍機冷却型の超電導マグネットシステムである。なお、第１の実施形態に係る超電導線を用いた機器はこれに限られない。

[0086] 第１の実施形態に係る超電導線を用いた超電導機器６は、例えば超電導コイル体６１を有している。超電導コイル体６１には、第１の実施形態に係る超電導線が用いられている。また、第１の実施形態に係る超電導線を用いた超電導機器６は、その他の構成として、例えば、超電導コイル体６１を格納する断熱容器６２と、超電導コイル体６１を冷却するための冷凍機６３と、冷凍機６３を駆動するコンプレッサ６４と、電源６５とを有している。

[0087] 以下に、第１の実施形態に係る超電導線の製造方法について説明する。

図５は、第１の実施形態に係る超電導線の製造方法の工程図である。図５に示すように、第１の実施形態に係る超電導線の製造方法は、線材加工工程Ｓ１と、線材接合工程Ｓ２とを有している。

[0088] 図６Ａは、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第１の超電導線材１の断面図である。図６Ｂは、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第２の超電導線材２の断面図である。図６Ａ及び図６Ｂに示すように、線材加工工程Ｓ１により、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２及び第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２は、全部が除去される。図６Ｃは、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第１の超電導線材１の変形例の断面図である。図６Ｄは、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第２の超電導線材２の変形例の断面図である。図６Ｃ及び図６Ｄに示すように、線材加工工程Ｓ１により、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２及び第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２は、一部が除去されてもよい。

[0089] 図７Ａは、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第１の超電導線材１の第１表面１ｂ側からみた上面図である。図７Ａに示すように、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２は、第１の補強層１２の端が第１の超電導線材１の長手方向と直角をなすように除去されてもよい。図７Ｂは

、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第１の超電導線材１の変形例の第１表面１ｂ側からみた上面図である。なお、図７Ｂに示すように、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２は、第１の補強層１２の端が第１の超電導線材１の長手方向に対して傾くように除去されてもよく、第１の超電導線材１の端は、第１の超電導線材１の長手方向に対して傾くように除去されてもよい。図７Ｃは、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第１の超電導線材１の別の変形例の第１表面１ｂ側からみた上面図である。図７Ｃに示すように、第１の超電導線材１の端が第１の超電導線材１の長手方向に傾くように除去された場合、その先端部分がさらに除去されてもよい。

[0090] 図８Ａは、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第２の超電導線材２の第２表面２ｂ側からみた上面図である。図８Ａに示すように、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２は、第２の補強層２２の端が第２の超電導線材２の長手方向と直角をなすように除去されてもよい。図８Ｂは、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第２の超電導線材２の変形例の第２表面２ｂ側からみた上面図である。なお、図８Ｂに示すように、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２は、第２の補強層２２の端が第２の超電導線材２の長手方向に対して傾くように除去されてもよく、第２の超電導線材２の端は、第２の超電導線材２の長手方向に対して傾くように除去されてもよい。この場合、第２の補強層２２の端及び第２の超電導線材２の端は、第１表面１ｂと第２表面２ｂとが対向するように重ね合わせた際に、第１の補強層１２の端及び第１の超電導線材１の端と平行になるように除去されることが好ましい。図８Ｃは、線材加工工程Ｓ１が行われた後の第２の超電導線材２の別の変形例の第２表面２ｂ側からみた上面図である。なお、図８Ｃに示すように、第２の超電導線材２の端が第２の超電導線材２の長手方向に傾くように除去された場合、その先端部分がさらに除去されてもよい。このような形状を有することにより、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２との間で生じる応力集中をより緩和することが可能となる。

[0091] 図９Ａは、線材加工工程Ｓ１において第１の超電導線材１の第１の端部１

ａを加熱する際の断面図である。図９Ａに示すように、線材加工工程Ｓ１においては、まず、第１の超電導線材１の第１の端部１ａに熱Ｈ１が加えられる。これによって、第１の端部１ａに位置している第１の内部接続部材１３が溶融する。なお、第１の端部１ａに位置している第１の内部接続部材１３が溶融することにより、第１の補強層１２が第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１に対して付与していた圧縮歪みが解放される。

[0092] 図９Ｂは、線材加工工程Ｓ１において第１の超電導線材１の第１の補強層１２を引き剥がす際の断面図である。次に、図９Ｂに示すように、第１表面１ｂ側の第１の補強層１２が引き剥がされる。第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の引き剥がしは、第１の端部１ａに位置する第１の内部接続部材１３が溶融した状態で（すなわち熱Ｈ１が加えられた状態で）行われる。第１表面１ｂ側の第１の補強層１２の引き剥がされた部分は、切断等により除去される。

[0093] 図９Ｃは、線材加工工程Ｓ１の変形例において第１の超電導線材１の第１の端部１ａを加熱する際の断面図である。図９Ｄは、線材加工工程Ｓ１の変形例において第１の超電導線材１の第１の補強層１２を引き剥がす際の断面図である。図９Ｃ及び図９Ｄに示すように、第１の超電導線材１の第１の端部１ａ側の端のみに熱Ｈ２を加えた後に、第１表面１ｂ側の第１の補強層１２を引き剥がしてもよい。この場合、熱Ｈ２により、第１の端部１ａ側の端に位置している第１の内部接続部材１３のみが溶融する。すなわち、第１の端部１ａに位置している第１の内部接続部材１３の大部分が溶融しない。そのため、第１の補強層１２が第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１に対して付与していた圧縮歪みは解放されない。図９Ｅは、線材加工工程Ｓ１において第１の超電導線材１の第１の端部１ａの一部を切断する際の断面図である。なお、図９Ｅに示すように、第１の端部１ａのうち、熱Ｈ２により溶融した第１の内部接続部材１３を含む部分については、切断により除去されてもよい。

[0094] なお、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２及び

第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２の一部が除去される場合には、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２及び第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２に対する研磨が行われる。

[0095] 第２の超電導線材２に対しても、第１の超電導線材１に対するのと同様の処理が行われることにより、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２の全部又は一部が除去される。

[0096] 図１０Ａは、線材接合工程Ｓ２における接合前の第１の実施形態に係る超電導線の断面図である。図１０Ａに示すように、線材接合工程Ｓ２において、まず、第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２は、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂとが対向し、かつ第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂと第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂとが対向するように配置される。

[0097] 図１１Ａは、線材接合工程Ｓ２における接合前の第１の実施形態の第３の変形例に係る超電導線の断面図である。図１１Ａに示すように、第１の補強部材４が設けられる場合には、さらに第１の補強部材４が第１裏面１ｃ及び第２表面２ｂ側に配置される。第２の補強部材５が設けられる場合には、さらに第２の補強部材５が第２裏面２ｃ及び第１表面１ｂ側に配置される。

[0098] この際、図１１Ａに示すように、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部以外に位置する第２表面２ｂとの間、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとの間及び第１の端部以外に位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとの間には、接続部材３が供給される。第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとの間においては、接続部材３の間に、導電部材３１が挿入されていてもよい。なお、接続部材３は、例えばペースト状、シート状等の形態で供給される。また、接合に先立ち、第１の超電導線材１の第１表面１ｂ、第２の超電導線材２の第２表面２ｂ、接続部材３の表面、導電部材３１の表面には、フラックスが塗布されてもよい

。

[0099] なお、第１の補強部材４、第２の補強部材５が設けられる場合、図１１Ａに示すように、第１の補強部材４と第１裏面１ｃ及び第２表面２ｂとの間及び第２の補強部材５と第１表面１ｂ及び第２裏面２ｃとの間にも接続部材３が供給される。この場合、接合に先立ち、第１の超電導線材１の第１裏面１ｃ、第２の超電導線材２の第２裏面２ｃ、第１の補強部材４の第２表面２ｂに対向している側の面、第２の補強部材５の第１表面１ｂに対向している側の面、接続部材３の表面にも、フラックスが塗布されてもよい。

[0100] 図１０Ｂは、線材接合工程Ｓ２における接合時の第１の実施形態に係る超電導線の断面図である。その後、図１０Ｂに示すように、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２との接合が行われる。より具体的には、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２が重なり合っている部分に、圧力Ｐが加えられる。圧力Ｐは、後述する熱Ｈ３の印加開始から冷却終了に至るまで、一定に保持されることが好ましい。その後、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とに熱Ｈ３が加えられる。熱Ｈ３により第１の内部接続部材１３、第１の表面接続部材１４、第２の内部接続部材２３、第２の表面接続部材２４は溶融しない一方、接続部材３は溶融する。熱Ｈ３を加える加熱時間は、１０秒以上であることが好ましい。加熱時間の終了後、例えば冷却ファン等を用いて冷却が行われる。冷却は、安全上、５０℃以下となるまで行われることが好ましい。これにより、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２との接合が行われる。

[0101] 図１１Ｂは、線材接合工程Ｓ２における接合時の第１の実施形態の第３の変形例に係る超電導線の断面図である。第１の補強部材４、第２の補強部材５が設けられる場合、図１１Ｂに示すように、第１の補強部材４と第２表面２ｂ側の第２の補強層２２とが重なり合っている部分及び第２の補強部材５と第１表面１ｂ側の第１の補強層１２とが重なり合っている部分に、圧力Ｐが加えられる。圧力Ｐは、後述する熱Ｈ３の印加開始から冷却終了に至るまで、一定に保持されることが好ましい。その後、第１の超電導線材１と第２

の超電導線材２とに熱Ｈ３が加えられる。熱Ｈ３により第１の内部接続部材１３、第１の表面接続部材１４、第２の内部接続部材２３、第２の表面接続部材２４は溶融しない一方、接続部材３は溶融する。熱Ｈ３を加える加熱時間は、１０秒以上であることが好ましい。加熱時間の終了後、例えば冷却ファン等を用いて冷却が行われる。冷却は、安全上、５０℃以下となるまで行われることが好ましい。これにより、接続部材３が溶融し、第１の補強部材４と第２表面２ｂ側の第２の補強層２２とが接合され、第２の補強部材５と第１表面１ｂ側の第１の補強層１２とが接合される。

[0102] 以下に、第１の実施形態に係る超電導線の効果を、比較例と対比することにより説明する。

[0103] まず、比較例に係る超電導線の構造について説明する。図１２は、第１の比較例に係る超電導線の断面図である。図１２に示すように、第１の比較例に係る超電導線は、第１の超電導線材１と、第２の超電導線材２と、接続部材３とを有している。第１の比較例に係る超電導線の第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２の構造は、第１の実施形態に係る超電導線と同様である。

[0104] しかしながら、第１の比較例に係る超電導線においては、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが、第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１の第１表面１ｂ側が第２の端部２ａに位置する第２の超電導層２１の第２表面２ｂ側と対向するように、接続部材３により接合されている。第１の比較例に係る超電導線においては、第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１の第１表面１ｂ側が第２の端部２ａに位置する第２の超電導層２１の第２表面２ｂ側とが接合されている部分の端が、応力集中箇所となる。また、第１の比較例に係る超電導線においては、第１の補強層１２と第２の補強層２２とが長手方向において途中で接合されていない箇所がある（一旦補強層が途切れている）。

[0105] 次に、第１の実施形態に係る超電導線及び第１の比較例に係る超電導線に対する曲げ試験結果及び引張試験結果について説明する。この曲げ試験及び

引張試験に用いられた第１の実施形態に係る超電導線及び第１の比較例に係る超電導線の第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２は、幅が４．５ｍｍ、厚さが０．３１ｍｍ、第１の内部接続部材１３及び第２の内部接続部材２３がＰｂフリーはんだ、接続部材３がＰｂＳｎ共晶はんだ、第１の補強層１２及び第２の補強層２２がＮｉ合金、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２の重なり合っている長さ（ラップ長）が２０ｍｍである。

[0106] 曲げ試験及び引張試験に先立ち、第１の実施形態に係る超電導線及び第１の比較例に係る超電導線の臨界電流測定が行われる。図１３は、臨界電流測定の模式図である。この臨界電流測定は、図１３に示すように、液体窒素中で第１の超電導線材１と第２の超電導線材２が接合されている部分を中心として電圧端子間距離２２０ｍｍで４端子法により電流電圧曲線を取得するとともに、取得された曲線からオームの法則で見られる抵抗成分を除くように計算させた曲線において、１μＶ／ｃｍの電界基準での電流値を読み取ることにより行われる。

[0107] 曲げ試験は、第１の実施形態に係る超電導線及び第１の比較例に係る超電導線に対する両曲げを行った後の状態で臨界電流測定を行い、両曲げを行った後の状態における臨界電流が、曲げ試験に先立って測定された臨界電流の９５％を下回った際の曲げ半径（許容曲げ直径）を測定することにより行った。なお、両曲げは、室温において、第１の超電導線材１を所定の径を有する治具に沿うように曲げた後、第２の超電導線材２もその治具に沿うように曲げることにより行った。両曲げを行った後に臨界電流測定を行った結果、曲げ試験に先立って測定された臨界電流の９５％を上回った場合には、再度より径の小さい治具を用いて両曲げ及び臨界電流測定を繰り返した。

[0108] 第１の超電導線材１、第２の超電導線材２単独で上記の曲げ試験をおこなったところ、許容曲げ直径は４０ｍｍであった。第１の比較例に係る超電導線に対して上記の曲げ試験を行ったところ、第１の比較例に係る超電導線の許容曲げ直径は１８０ｍｍ（第１の超電導線材１、第２の超電導線材２単独の場合の４．５倍）であった。他方、第１の実施形態に係る超電導線に対し

て上記の曲げ試験を行ったところ、第１の実施形態に係る超電導線の許容曲げ直径は８０ｍｍ（第１の超電導線材１、第２の超電導線材２単独の場合の２倍）であった。すなわち、第１の実施形態に係る超電導線は、第１の比較例に係る超電導線に対し、２．２５倍優れた曲げ特性を示した。なお、第１の実施形態に係る超電導線において導電部材３１を設けた場合の許容曲げ直径は、９０ｍｍであった。

[0109] 引張試験は、液体窒素中で行われる。第１の実施形態に係る超電導線及び第１の比較例に係る超電導線に所定の引張張力を加えた状態で臨界電流測定を行い、引張張力を加えた状態における臨界電流が引張試験に先立って測定された臨界電流の９５％を下回った際の引張張力を測定することにより行った。許容引張強度は、引張張力÷線材幅÷線材厚みにより算出される（第１の補強層１２と第２の補強層２２とが同一の材料である場合、線材幅、線材厚みには、第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２の線材幅、線材厚さの平均値が用いられる。第１の補強層１２と第２の補強層とが異なる材料である場合、線材幅、線材厚みには、第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２のうち、引張強度の低い超電導線材の線材幅、線材厚みが用いられる。）。なお、引張張力を加えた状態で臨界電流測定を行った結果、引張試験に先立って測定された臨界電流の９５％を上回った場合は、再度より高い引張張力を加えて臨界電流測定を繰り返した。

[0110] 第１の超電導線材１、第２の超電導線材２単独で上記の引張試験をおこなったところ、許容引張応力は４２４ＭＰａであった。第１の比較例に係る超電導線に対して上記の引張試験を行ったところ、第１の比較例に係る超電導線の許容引張強度は１６５ＭＰａ（第１の超電導線材１、第２の超電導線材２単独の場合の３９％）であった。他方、第１の実施形態に係る超電導線に対して上記の引張試験を行ったところ、第１の実施形態に係る超電導線の許容引張強度は３８９ＭＰａ（第１の超電導線材１、第２の超電導線材２単独の場合の９１％）であった。すなわち、第１の実施形態に係る超電導線は、第１の比較例に係る超電導線に対し、２．３３倍優れた引張特性を示した。

なお、第１の実施形態に係る超電導線において導電部材３１を設けた場合の許容引張強度は、３８９ＭＰａであった。

[0111] 上記のとおり、第１の比較例に係る超電導線は、応力集中箇所を有しているとともに、補強層が長手方向において途中で途切れている。一方、第１の実施形第１の態に係る超電導線は、顕著な応力集中箇所を有しておらず、長手方向において第１の補強層１２及び第２の補強層２２が途切れることなく接合されている。そのため、上記の曲げ試験結果に示されるように、第１の実施形態に係る超電導線によると、曲げ変形、引張変形等に対する良好な機械的特性を得ることが可能となる。

[0112] なお、第１の実施形態に係る超電導線は、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側に第１の補強層１２が設けられておらず（または、第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２よりも薄くなっており）、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側に第２の補強層２２が設けられていない（または、第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２よりも薄くなっている）ため、第１の補強層１２と第２の補強層２２とが第１の超電導層１１と第２の超電導層２１との間に位置することに伴う接続抵抗の増加は抑制されている。この点を以下において説明する。

[0113] まず、第２の比較例に係る超電導線の構造について説明する。

図１４は、第２の比較例に係る超電導線の断面図である。図１４に示すように、第２の比較例に係る超電導線は、第１の超電導線材１と、第２の超電導線材２と、接続部材３とを有している。第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２は、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとが対向するように、接続部材３により接合されている。

[0114] 第２の比較例に係る超電導線における第１の超電導線材１は、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２と、第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２が同一の厚さを有している点において、第１の実施形態に係る超電導線と異なっている。また、第２の比

較例に係る超電導線における第２の超電導線材２は、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２と、第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２が同一の厚さを有している点において、第１の実施形態に係る超電導線と異なっている。

[0115] 次に、第１の実施形態に係る超電導線及び第２の比較例に係る超電導線に対する接続抵抗測定試験について説明する。第１の実施形態に係る超電導線及び第２の比較例に係る超電導線の第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２は、幅が４．５ｍｍ、厚さが０．３１ｍｍ、第１の内部接続部材１３及び第２の内部接続部材２３がＰｂフリーはんだ、接続部材３がＰｂＳｎ共晶はんだ、第１の補強層１２及び第２の補強層２２がＮｉ合金、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２の重なり合っている長さ（ラップ長）が２０ｍｍである。

[0116] なお、この接続抵抗測定試験は、液体窒素中で第１の超電導線材１と第２の超電導線材２が接合されている部分を中心として電圧端子間距離２２０ｍｍで４端子法により電流電圧曲線を取得するとともに、取得された曲線からオームの法則で見られる抵抗成分の傾きを算出することにより行われた。

[0117] 第２の比較例に係る超電導線に対して、上記の接続抵抗測定試験を行ったところ、第２の比較例に係る超電導線の接続抵抗は６９６ｎΩであった。他方、第１の実施形態に係る超電導線に対して上記の接続抵抗測定試験を行ったところ、第１の実施形態に係る超電導線の接続抵抗は１０９ｎΩであった。第１の実施形態に係る超電導線は、第１の比較例に係る超電導線に対し、６．３９倍優れた接続抵抗を示した。なお、第１の実施形態に係る超電導線において導電部材３１を設けた場合、接続抵抗は７３ｎΩであった。

[0118] なお、参考として、第２の比較例に係る超電導線に対して、上記の曲げ試験及び引張試験を行ったところ、許容曲げ直径は１５０ｍｍ、許容引張強度は４２４ＭＰａであった。

[0119] 上記のとおり、第１の実施形態に係る超電導線においては、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２が設けられておらず（また

は、第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２よりも薄くなっており）、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２が設けられていない（または、第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２よりも薄くなっている）。他方、第２の比較例に係る超電導線においては、第１の端部１ａ及び第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２が均等な厚さを有しており、第２の端部２ａ及び第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２が均等な厚さを有している。

[0120] すなわち、第１の実施形態に係る超電導線おいては、第２の比較例に係る超電導線と比較して、第１の超電導層１１と第２の超電導層２１との間に配置されている相対的に電気抵抗値の高い第１の補強層１２及び第２の補強層２２の厚さが薄くなっている。そのため、第１の実施形態に係る超電導線においては、接続抵抗の増加は抑制されている。

[0121] 第１の実施形態に係る超電導線において、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２が全て除去されており、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２が全て除去されている場合、第１の超電導層１１と第２の超電導層２１との間に配置されている相対的に電気抵抗値の高い第１の補強層１２及び第２の補強層２２の厚さがより薄くなっている。そのため、この場合には、接続抵抗値をさらに低減することが可能となる。

[0122] 第１の実施形態に係る超電導線において、接続部材３中に、導電部材３１を設けた場合、導電部材３１の電気抵抗値が接続部材３よりも低いため、第１の超電導層１１と第２の第２の超電導層２１との接続抵抗をさらに低減することが可能となる。

[0123] 第１の実施形態に係る超電導線が第１の補強部材４、第２の補強部材５を有している場合、第１の補強部材４、第２の補強部材５が接続部材３による第１の超電導線材１と第２の超電導線材２の接合を補強する。そのため、この場合には、曲げ変形、引張変形等に対するさらに良好な機械的特性を得る

ことが可能となる。

[0124] 第１の実施形態に係る超電導線において、第１の超電導層１１に対して第１の補強層１２による圧縮歪みが生じており、第２の超電導層２１に対して第２の補強層２２による圧縮歪みが生じている場合には、曲げ変形、引張変形等が加わった際に第１の超電導層１１及び第２の超電導層２１に生じる引張応力が緩和される。そのため、この場合には、曲げ変形、引張変形等に対するさらに良好な機械的特性を得ることが可能となる。

[0125] 第１の実施形態に係る超電導線において、第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１に対する圧縮歪みが、第１の端部１ａ以外に位置する第１の超電導層に対する圧縮歪みよりも小さく、第２の端部２ａに位置する第２の超電導層２１に対する圧縮歪みが、第２の端部２ａ以外に位置する第２の超電導層２１に対する圧縮歪みよりも小さい場合には、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２及び第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２を除去する際の第１の端部１ａ及び第２の端部２ａの反りが小さい。そのため、この場合には、第１の端部１ａ及び第２の端部２ａの幅を広くすることができ、その結果、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２との接続抵抗をさらに低下させることが可能となる。

[0126] （第２の実施形態）

以下に、第２の実施形態に係る超電導線について説明する。なお、ここでは、第１の実施形態と異なる点について主に説明する。

[0127] 以下に、第２の実施形態に係る超電導線の構造について説明する。図１５は、第２の実施形態に係る超電導線の上面図である。図１５に示すように、第２の実施形態に係る超電導線は、第１の実施形態に係る超電導線と同様、第１の超電導線材１と、第２の超電導線材２と、接続部材３（図１６Ａ参照）とを有している。

[0128] 図１６Ａは、第２の実施形態に係る超電導線における第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが接合されている部分での断面図である。図１６Ｂは、第２の実施形態の変形例に係る超電導線における第１の超電導線材１と

第２の超電導線材２とが接合されている部分での断面図である。図１６Ａ及び図１６Ｂに示すとおり、第１の超電導線材１の第１裏面１ｃ側の第１の補強層１２の形状及び第２の超電導線材２の第２裏面２ｃ側の第２の補強層２２の形状が、第１の実施形態に係る超電導線と異なっている。

[0129] 具体的には、第１裏面１ｃ側の第１の補強層１２は、第１の端部１ａから突出している第１の突出部１２ａを有している。第１の突出部１２ａは、接続部材３により第２表面２ｂ側の第２の補強層２２に接合されている。第２裏面２ｃ側の第２の補強層２２は、第２の端部２ａから突出している第２の突出部２２ａを有している。第２の突出部２２ａは、接続部材３により第１表面１ｂ側の第１の補強層１２に接合されている。

[0130] 第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂは、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂと対向するように配置され、接続部材３により、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂと接合されている。この点においても、第２の実施形態に係る超電導線は、第１の実施形態に係る超電導線と異なっている。

[0131] 具体的には、図１６Ａに示すように、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ上の第１の内部接続部材１３が、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ上の第２の内部接続部材２３に接合されている。なお、図１６Ｂに示すように、第１の端部１ａに位置する第１の超電導層１１の第１表面１ｂ側に第１の補強層１２が設けられ、第２の端部２ａに位置する第２の超電導層の第２表面２ｂ側に第２の補強層２２が設けられている場合には、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２が、接続部材３により、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２に接合されている。

[0132] 以下に、第２の実施形態に係る超電導線の製造方法について説明する。

図１７は、第２の実施形態に係る超電導線の製造方法の工程図である。第１の実施形態に係る超電導線の製造方法と同様に、第２の実施形態に係る超電導線の製造方法は、図１７に示すように、線材加工工程Ｓ１と、線材接合工程Ｓ２とを有している。

[0133] しかしながら、第２の実施形態に係る超電導線の製造方法の線材接合工程Ｓ２は、第１の実施形態に係る超電導線の製造方法の線材接合工程Ｓ２と異なっている。

[0134] 図１８Ａは、線材接合工程Ｓ２における接合前の第２の実施形態に係る超電導線の断面図である。図１８Ａに示すように、線材接合工程Ｓ２においては、第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２は、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとが対向して配置される。その結果、第１の突出部１２ａが第２表面２ｂに対向し、第２の突出部２２ａが第１表面１ｂに対向するように配置される。

[0135] この際に、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとの間、第１の突出部１２ａと第２表面２ｂとの間及び第２の突出部２２ａと第１表面１ｂとの間に、接続部材３が供給される。なお、接合に先立ち、第１の超電導線材１の第１表面１ｂ、第２の超電導線材２の第２表面２ｂ、第１の突出部１２ａの第２表面２ｂと対向する側の面、第２の突出部２２ａの第１表面１ｂと対向する側の面、接続部材３の表面には、フラックスが塗布されてもよい。

[0136] 図１８Ｂは、線材接合工程Ｓ２における接合時の第２の実施形態に係る超電導線の断面図である。その後、図１８Ｂに示すように、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２との接合が行われる。より具体的には、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２が重なり合っている部分に、熱Ｈ３及び圧力Ｐが加えられる。これにより、接続部材３が溶融し、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２との接合が行われる。

[0137] 以下に、第２の実施形態に係る超電導線の効果について説明する。

第２の実施形態に係る超電導線においては、上記のとおり、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂは、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂと対向するように配置され、接続部材３により、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂと接合されている。そのため、第２の実施形態に係る超電導線は、第１の比較例に係る超電導線と同様に、第１の端部１ａに位置する第１表面

１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとの接合部の端において、応力集中箇所を有している。

[0138] しかしながら、第２の実施形態に係る超電導線においては、第１裏面１ｃ側の第１の補強層１２が、第１の端部１ａから突出し、第２表面２ｂ側の第２の補強層２２に接合されている。また、第２の実施形態に係る超電導線においては、第２裏面２ｃ側の第２の補強層２２が、第２の端部２ａから突出し、第１表面１ｂ側の第１の補強層１２に接合されている。

[0139] そのため、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとの接合部が、第１裏面１ｃ側の第１の補強層１２、第２裏面２ｃ側の第２の補強層２２により補強されている。その結果、第２の実施形態に係る超電導線によると、曲げ変形、引張変形等に対する良好な機械的特性を得ることが可能となる。

[0140] （第３の実施形態）

以下に、第３の実施形態に係る超電導線について説明する。なお、ここでは、第１の実施形態と異なる点について主に説明する。

[0141] 以下に、第３の実施形態に係る超電導線の構造について説明する。図１９は、第３の実施形態に係る超電導線の上面図である。図１９に示すように、第３の実施形態に係る超電導線は、第１の実施形態に係る超電導線と同様、第１の超電導線材１と、第２の超電導線材２と、接続部材３（図２０Ａ参照）とを有している。

[0142] 図２０Ａは、第３の実施形態に係る超電導線における第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが接合されている部分での断面図である。図２０Ｂは、第３の実施形態の第１の変形例に係る超電導線における第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが接合されている部分での断面図である。図２０Ａ及び図２０Ｂに示すように、第３の実施形態に係る超電導線は、第３の補強部材７を有している点において、第１の実施形態に係る超電導線と異なっている。

[0143] 図２０Ａ及び図２０Ｂに示すように、第３の実施形態に係る超電導線にお

いては、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とは、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂとが対向し、かつ第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂと第１の端部１ａ以外の第１表面１ｂとが対向するように配置されている。

[0144] 具体的には、図２０Ａに示すように、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２及び第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２が全て除去されている場合、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の内部接続部材１３が、第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の表面接続部材２４と対向し、かつ第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の内部接続部材２３が、第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の表面接続部材１４と対向している。

[0145] また、図２０Ｂに示すように、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側に第１の補強層１２が設けられ、第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側に第２の補強層２２が設けられている場合、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂ側の第１の補強層１２が、第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂ側の第２の表面接続部材２４と対向し、かつ第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂ側の第２の補強層２２が、第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂ側の第１の表面接続部材１４と対向している。

[0146] 第３の補強部材７は、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが重なり合っている部分の少なくとも一部において、第１表面１ｂと第２表面２ｂとの間に設けられている。第３の補強部材７は、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが重なり合っている部分の全長にわたって、第１表面１ｂと第２表面２ｂとの間に設けられていることが好ましい。

[0147] より具体的には、第３の補強部材７は、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂとの間、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとの間、及び第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂとの間に設けられている。

[0148] 図２１Ａは、第３の実施形態の第２の変形例に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。図２１Ｂは、第３の実施形態の第３の変形例に係る超電導線における第１の超電導部材と第２の超電導部材とが接合されている部分での断面図である。図２１Ａ及び図２１Ｂに示すように、第３の補強部材７は、複数の部材により構成されていてもよい。

[0149] 第３の補強部材７は、第１の超電導線材１の第１表面１ｂ及び第２の超電導線材２の第２表面２ｂに、接続部材３を用いて接合されている。

[0150] 第３の補強部材７は、接続部材３よりも電気抵抗値が低いことが好ましい。第３の補強部材７は、接続部材３よりも強度が高いことが好ましい。第３の補強部材に用いられる材料は、例えばＣｕ合金である。

[0151] 以下に、第３の実施形態に係る超電導線の製造方法について説明する。

図２２は、第３の実施形態に係る超電導線の製造方法の工程図である。図２２に示すように、第３の実施形態に係る超電導線の製造方法は、線材加工工程Ｓ１と、線材接合工程Ｓ２とを有している。第３の実施形態に係る超電導線の製造方法における線材加工工程Ｓ１は、第１の実施形態と同様である。

[0152] 図２３Ａは、線材接合工程Ｓ２における接合前の第３の実施形態に係る超電導線の断面図である。図２３Ａに示すように、線材接合工程Ｓ２においては、第１の超電導線材１及び第２の超電導線材２は、第１の端部１ａに位置する第１表面１ｂと第２の端部２ａ以外に位置する第２表面２ｂとが対向し、かつ第２の端部２ａに位置する第２表面２ｂと第１の端部１ａ以外に位置する第１表面１ｂとが対向するように配置される。

[0153] この際、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが重なり合っている部分の少なくとも一部において、第１表面１ｂと第２表面２ｂとの間に、第３の補強部材７が挿入される。また、第３の補強部材７と第１表面１ｂとの間及び第３の補強部材７と第２表面２ｂとの間には、接続部材３が供給される。なお、接合に先立ち、第１の超電導線材１の第１表面１ｂ、第２の超電

導線材２の第２表面２ｂ、第３の補強部材７の表面、接続部材３の表面には、フラックスが塗布されてもよい。

[0154] 図２３Ｂは、線材接合工程Ｓ２における接合時の第３の実施形態に係る超電導線の断面図である。その後、図２３Ｂに示すように、第１の超電導線材１と第３の補強部材７との接合及び第２の超電導線材２と第３の補強部材７との接合が行われる。より具体的には、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２が重なり合っている部分に、熱Ｈ３及び圧力Ｐが加えられる。これにより、接続部材３が溶融し、第１の超電導線材１と第３の補強部材７との接合及び第２の超電導線材２と第３の補強部材７との接合が行われる。

[0155] 以下に、第３の実施形態に係る超電導線の効果について説明する。

上記のとおり、第３の実施形態に係る超電導線は、第３の補強部材７を有しており、第３の補強部材７は接続部材３よりも強度が高く、電気抵抗値が低い。そのため、第３の実施形態に係る超電導線は、第１の超電導線材１と第２の超電導線材２とが接続部材３により直接接合される場合と比較し、より低い接続抵抗及びより高い曲げ変形、引張変形等に対する機械的強度を得ることが可能となる。

[0156] 今回開示された実施の形態はすべ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の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、および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0157] １　第１の超電導線材、１ａ　第１の端部、１ｂ　第１表面、１ｃ　第１裏面、１１　第１の超電導層、１２　第１の補強層、１２ａ　第１の突出部、１３　第１の内部接続部材、１４　第１の表面接続部材、２　第２の超電導線材、２ａ　第２の端部、２ｂ　第２表面、２ｃ　第２裏面、２１　第２の超電導層、２２　第２の補強層、２２ａ　第２の突出部、２３　第２の内部接続部材、２４　第２の表面接続部材、３　接続部材、３１　導電部材、４　第１の補強部材、５　第２の補強部材、６　超電導機器、６１　超電導

コイル体、６２　断熱容器、６３　冷凍機、６４　コンプレッサ、６５　電源、７　第３の補強部材、Ｈ１，Ｈ２，Ｈ３　熱、Ｐ　圧力、Ｓ１　線材加工工程、Ｓ２　線材接合工程。

請求の範囲

[請求項1] 第１表面と、前記第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材と、

第２表面と、前記第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材と、

前記第１の超電導線材を前記第２の超電導線材に接合する接続部材とを備え、

前記第１の超電導線材は、第１の超電導層と、前記第１の超電導層の前記第１表面側及び前記第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有しており、

前記第１の超電導線材は、前記第１表面側の前記第１の補強層の少なくとも一部が除去されている第１の端部を有しており、

前記第２の超電導線材は、第２の超電導層と、前記第２の超電導層の前記第２表面側及び前記第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有しており、

前記第２の超電導線材は、前記第２表面側の前記第２の補強層の少なくとも一部が除去されている第２の端部を有しており、

前記第１の端部に位置する前記第１表面は、前記接続部材により、前記第２の端部以外に位置する前記第２表面に接合され、前記第２の端部に位置する前記第２表面は、前記接続部材により、前記第１の端部以外に位置する前記第１表面に接合されている、超電導線。

[請求項2] 前記第１の端部において前記第１表面側の前記第１の補強層は全て除去されており、前記第２の端部において前記第２表面側の前記第２の補強層は全て除去されている、請求項１に記載の超電導線。

[請求項3] 前記接続部材よりも低い電気抵抗値を有し、前記第１の端部に位置する前記第１表面と前記第２の端部に位置する前記第２表面との間に配置されている導電部材を備えている、請求項１または２に記載の超電導線。

[請求項4] 前記第１裏面側の前記第１の補強層上に設けられ、前記第１の端部から突出して前記第２表面側の前記第２の補強層に接合されている第１の補強部材をさらに備えている、請求項１～３のいずれか１項に記載の超電導線。

[請求項5] 前記第２裏面側の前記第２の補強層上に設けられ、前記第２の端部から突出して前記第１表面側の前記第１の補強層に接合されている第２の補強部材をさらに備えている、請求項１～４のいずれか１項に記載の超電導線。

[請求項6] 前記第１の超電導線材及び前記第２の超電導線材の許容引張強度のうちの小さい方の許容引張強度の８０％以上の許容引張強度を有する、請求項１～５のいずれか１項に記載の超電導線。

[請求項7] 前記第１の超電導線材及び前記第２の超電導線材の許容曲げ直径のうちの大きい方の許容曲げ直径の４倍以下の許容曲げ直径を有する、請求項１～６のいずれか１項に記載の超電導線。

[請求項8] 第１表面と、前記第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材と、

第２表面と、前記第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材と、

前記第１の超電導線材を前記第２の超電導線材に接合する接続部材とを備え、

前記第１の超電導線材は、第１の超電導層と、前記第１の超電導層の前記第１表面側及び前記第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有しており、

前記第１の超電導線材は、前記第１表面側の前記第１の補強層の少なくとも一部が除去されている第１の端部を有しており、

前記第２の超電導線材は、第２の超電導層と、前記第２の超電導層の前記第２表面側及び前記第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有しており、

前記第２の超電導線材は、前記第２表面側の前記第２の補強層の少なくとも一部が除去されている第２の端部を有しており、

前記第１の端部に位置する前記第１表面は、前記接続部材により、前記第２の端部以外に位置する前記第２表面に接合され、前記第２の端部に位置する前記第２表面は、前記接続部材により、前記第１の端部以外に位置する前記第１表面に接合されており、

前記第１裏面側の前記第１の補強層は、前記第１の端部から突出し、前記第２表面側の前記第２の補強層に接合されている第１の突出部を含み、前記第２裏面側の前記第２の補強層は、前記第２の端部から突出し、前記第１表面側の前記第１の補強層に接合されている第２の突出部を含む、超電導線。

[請求項9] 前記第１の端部において前記第１表面側の前記第１の補強層は全て除去されており、前記第２の端部において前記第２表面側の前記第２の補強層は全て除去されている、請求項８に記載の超電導線。

[請求項10] 第１表面と、前記第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材と、

第２表面と、前記第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材と、

前記第１表面と前記第２表面との間に配置される第３の補強部材と、

前記第１の超電導線材と前記第３の補強部材とを接合し、前記第２の超電導線材と前記第３の補強部材とを接合する接続部材とを備え、

前記第１の超電導線材は、第１の超電導層と、前記第１の超電導層の前記第１表面側及び前記第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有しており、

前記第１の超電導線材は、前記第１表面側の前記第１の補強層の少なくとも一部が除去されている第１の端部を有しており、

前記第２の超電導線材は、第２の超電導層と、前記第２の超電導層

の前記第２表面側及び前記第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有しており、

前記第２の超電導線材は、前記第２表面側の前記第２の補強層の少なくとも一部が除去されている第２の端部を有しており、

前記第１の端部に位置する前記第１表面は、前記第２の端部以外に位置する前記第２表面に対向するように配置され、

前記第２の端部に位置する前記第２表面は、前記第１の端部以外に位置する前記第１表面に対向するように配置され、

前記第３の補強部材は、前記接続部材よりも電気抵抗値が低く、前記接続部材よりも強度が高い、超電導線。

[請求項11] 前記第１の端部において前記第１表面側の前記第１の補強層は全て除去されており、前記第２の端部において前記第２表面側の前記第２の補強層は全て除去されている、請求項１０に記載の超電導線。

[請求項12] 前記第１の補強層は前記第１の超電導層に対して圧縮歪みを生じさせており、前記第２の補強層は前記第２の超電導層に対して圧縮歪みを生じさせている、請求項１～１１のいずれか１項に記載の超電導線。

[請求項13] 前記第１の端部に位置する前記第１の超電導層に対する前記圧縮歪みは、前記第１の端部以外に位置する前記第１の超電導層に対する前記圧縮歪みよりも小さく、

前記第２の端部に位置する前記第２の超電導層に対する前記圧縮歪みは、前記第２の端部以外に位置する前記第２の超電導層に対する圧縮歪みよりも小さい、請求項１２に記載の超電導線。

[請求項14] 第１表面と、前記第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材を、接続部材により、第２表面と、前記第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材に接合する工程を備え、

前記第１の超電導線材は、第１の超電導層と、前記第１表面側及び

前記第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有し、

前記第１の超電導線材は、前記第１表面側の前記第１の補強層の少なくとも一部が除去された第１の端部を有し、

前記第２の超電導線材は、第２の超電導層と、前記第２表面側及び前記第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有し、

前記第２の超電導線材は、前記第２表面側の前記第２の補強層の少なくとも一部が除去された第２の端部を有し、

前記第１の端部に位置する前記第１表面は、前記接続部材により、前記第２の端部以外に位置する前記第２表面に接合されており、前記第２の端部に位置する前記第２表面は、前記接続部材により、前記第１の端部以外に位置する前記第１表面に接合されている、超電導線の製造方法。

[請求項15] 前記第１の端部に位置する前記第１表面側の前記第１の補強層及び前記第２の端部に位置する前記第２表面側の前記第２の補強層は、全て除去される、請求項１４に記載の超電導線の製造方法。

[請求項16] 前記第１の端部に位置する前記第１表面と前記第２の端部に位置する前記第２表面との間に、前記接続部材よりも低い電気抵抗値を有する導電部材を挿入する工程を備える、請求項１４または１５のいずれか１項に記載の超電導線の製造方法。

[請求項17] 第１表面と、前記第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材を、第２表面と、前記第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材に接合する工程を備え、

前記第１の超電導線材は、第１の超電導層と、前記第１表面側及び前記第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有し、

前記第１の超電導線材は、前記第１表面側の前記第１の補強層の少なくとも一部が除去された第１の端部を有し、

前記第２の超電導線材は、第２の超電導層と、前記第２表面側及び前記第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有し、

前記第２の超電導線材は、前記第２表面側の前記第２の補強層の少なくとも一部が除去された第２の端部を有し、

前記第１の端部に位置する前記第１表面は、前記第２の端部に位置する前記第２表面に接合されており、

前記第１裏面側の前記第１の補強層は、前記第１の端部から突出している第１の突出部を有し、

前記第２裏面側の前記第２の補強層は、前記第２の端部から突出している第２の突出部を有し、

前記第１の突出部は前記第２表面に接合し、前記第２の突出部は前記第１表面に接合している、超電導線の製造方法。

[請求項18] 前記第１の端部に位置する前記第１表面側の前記第１の補強層及び前記第２の端部に位置する前記第２表面側の前記第２の補強層は、全て除去される、請求項１７に記載の超電導線の製造方法。

[請求項19] 第１表面と、前記第１表面の反対側の面である第１裏面とを有する第１の超電導線材と、第２表面と、前記第２表面の反対側の面である第２裏面とを有する第２の超電導線材とを、接続部材により前記第１表面と前記第２表面との間に配置された第３の補強部材に接合する工程を備え、

前記第１の超電導線材は、第１の超電導層と、前記第１表面側及び前記第１裏面側に設けられた第１の補強層とを有し、

前記第１の超電導線材は、前記第１表面側の前記第１の補強層の少なくとも一部が除去された第１の端部を有し、

前記第２の超電導線材は、第２の超電導層と、前記第２表面側及び前記第２裏面側に設けられた第２の補強層とを有し、

前記第２の超電導線材は、前記第２表面側の前記第２の補強層の少なくとも一部が除去された第２の端部を有し、

前記第１の端部に位置する前記第１表面は、前記第２の端部以外に位置する前記第２表面に対向するように配置されており、前記第２の

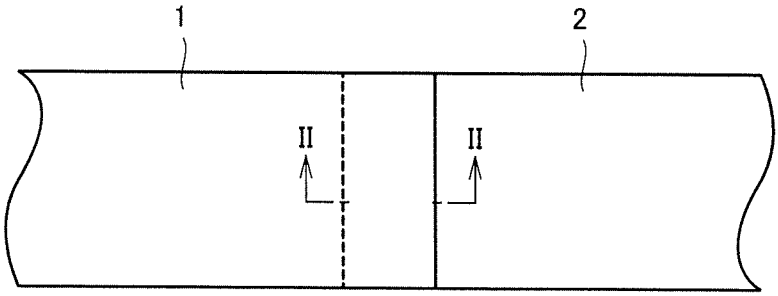
端部に位置する前記第２表面は、前記第１の端部以外に位置する前記第１表面に対向するように配置されており、

前記第３の補強部材は、前記接続部材よりも電気抵抗値が低く、前記接続部材よりも強度が高い、超電導線の製造方法。

[請求項20] 前記第１の端部に位置する前記第１表面側の前記第１の補強層及び前記第２の端部に位置する前記第２表面側の前記第２の補強層は、全て除去される、請求項１９に記載の超電導線の製造方法。

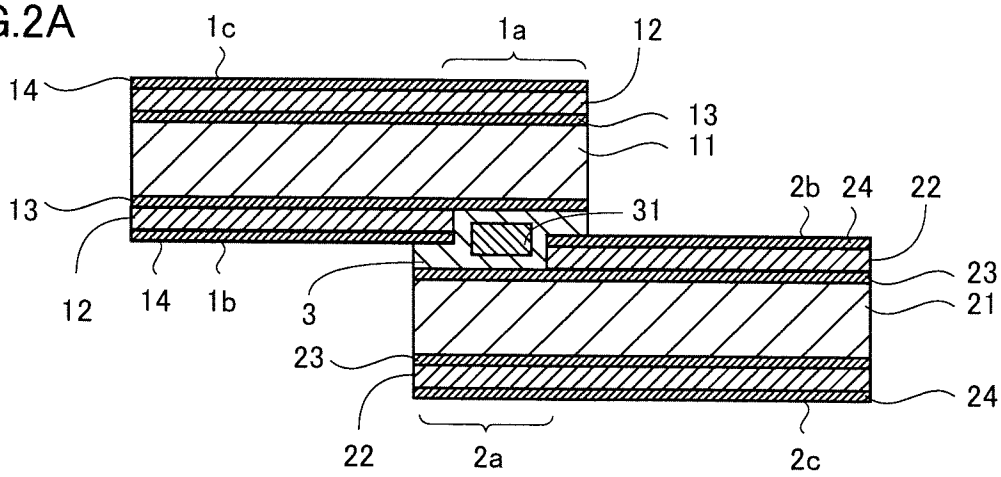
[図1]

FIG.1



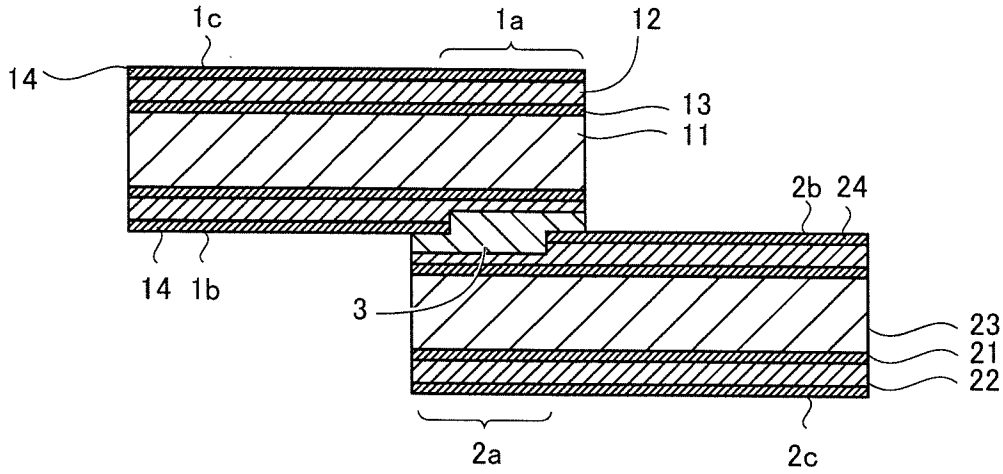
[図2A]

FIG.2A



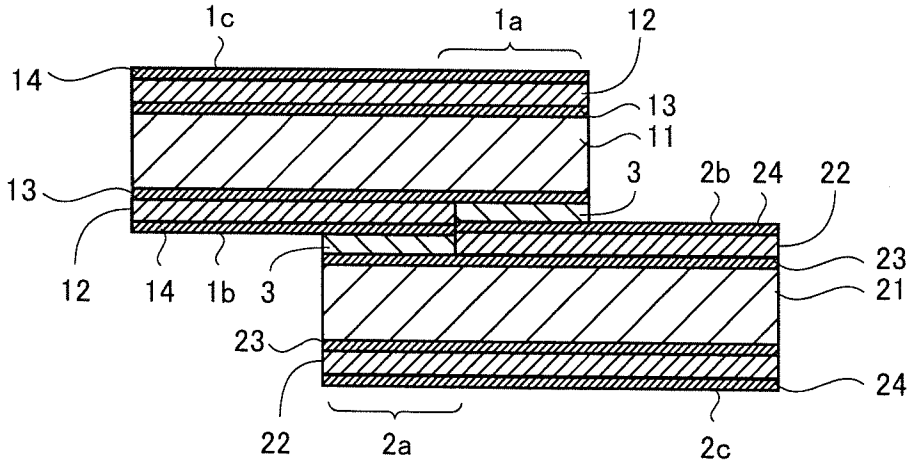
[図2B]

FIG.2B



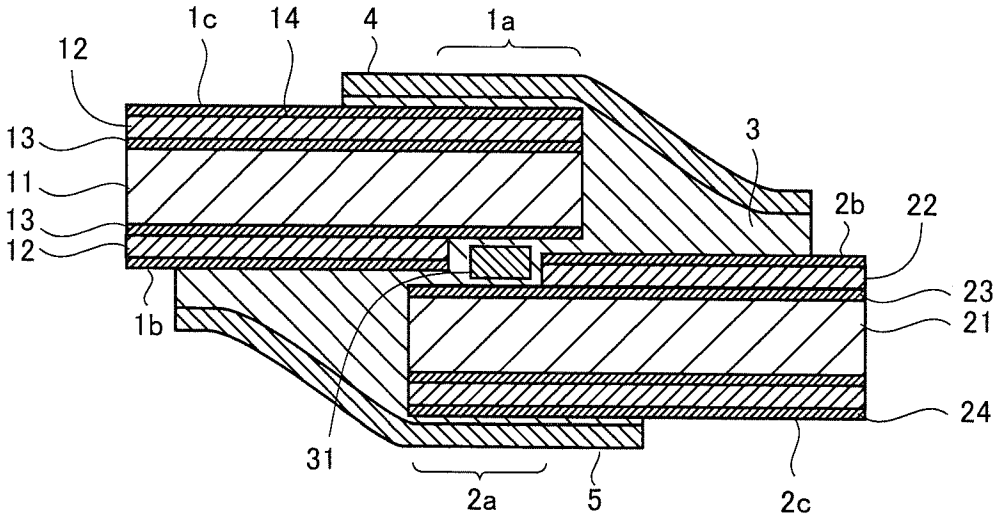
[図2C]

FIG.2C



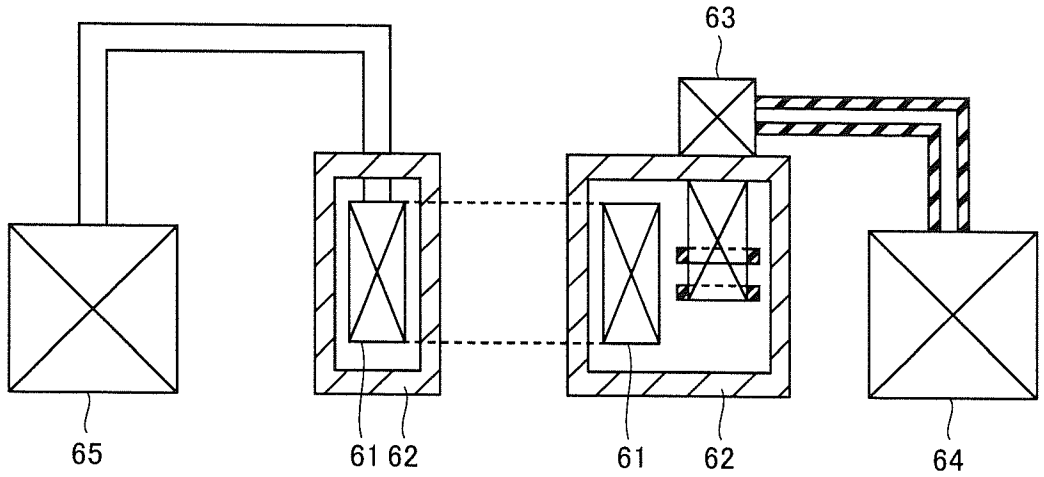
[図3]

FIG.3



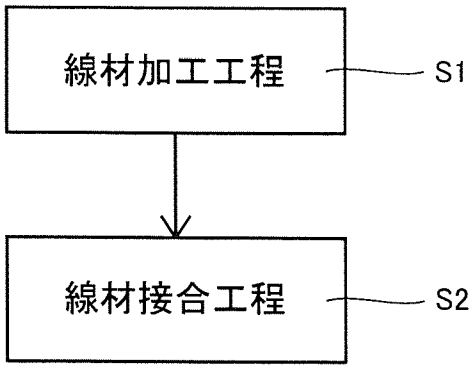
[図4]

FIG.4



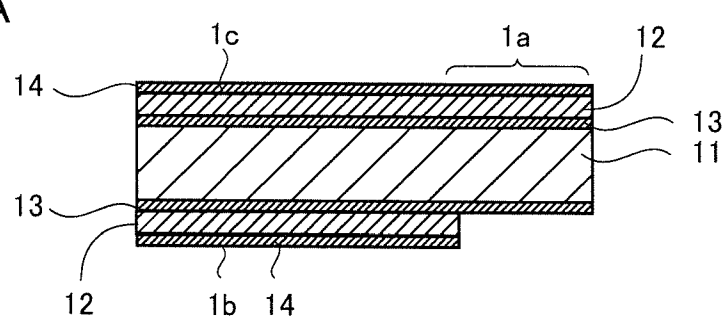
[図5]

FIG.5



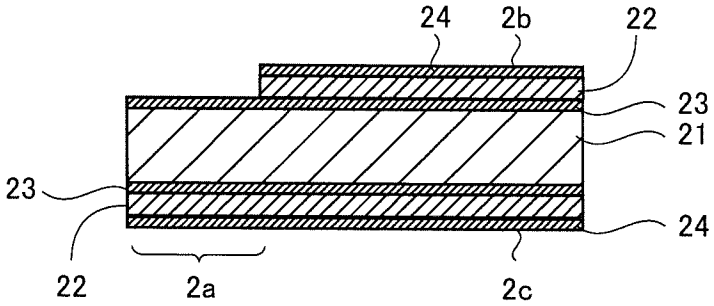
[図6A]

FIG.6A



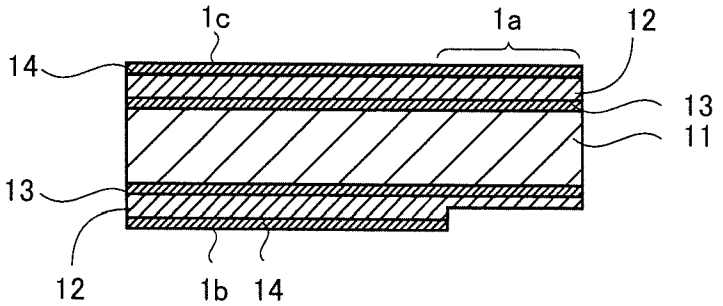
[図6B]

FIG.6B



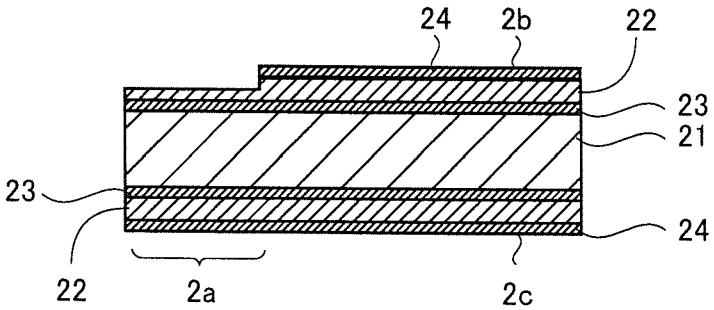
[図6C]

FIG.6C



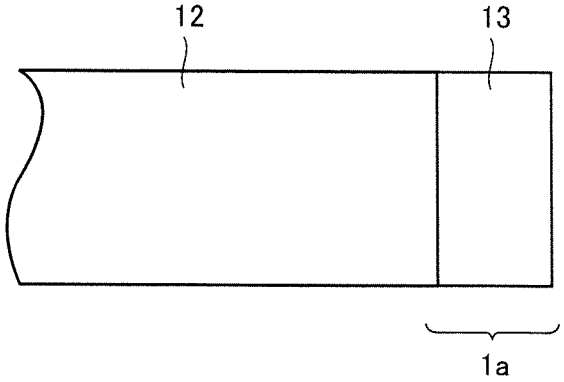
[図6D]

FIG.6D



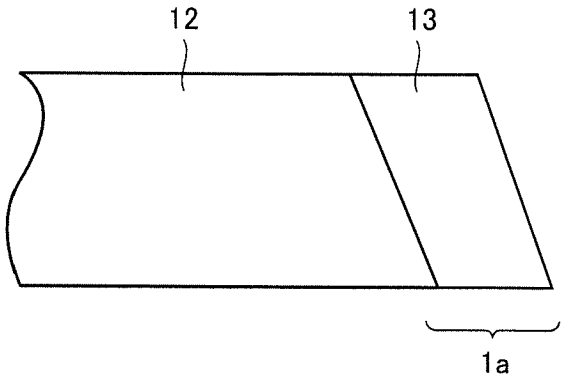
[図7A]

FIG.7A



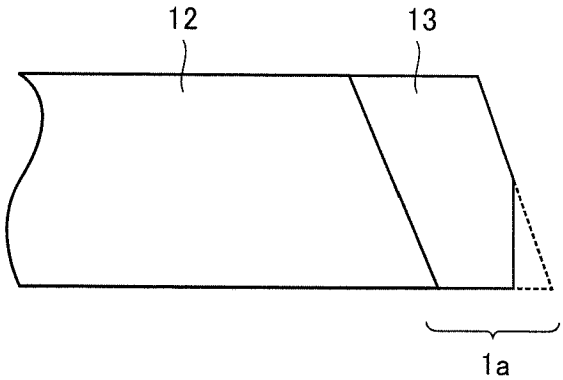
[図7B]

FIG.7B



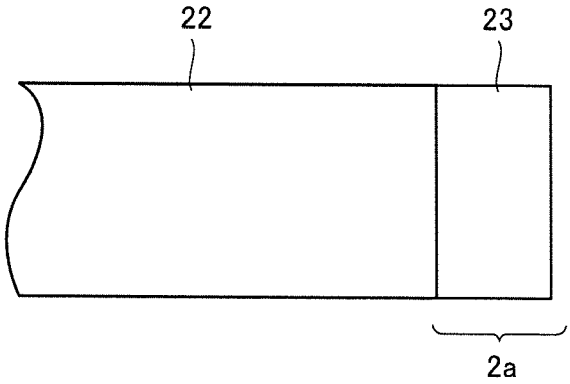
[図7C]

FIG.7C



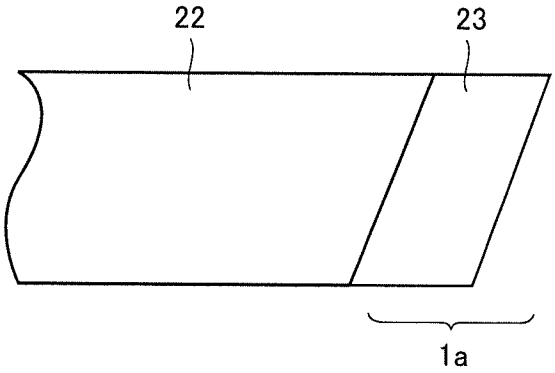
[図8A]

FIG.8A



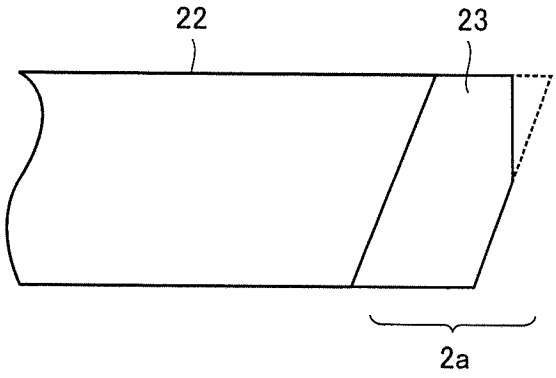
[図8B]

FIG.8B



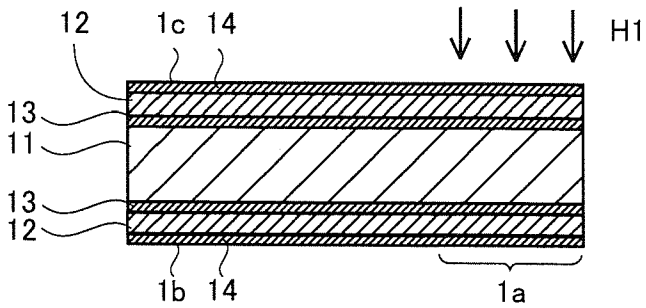
[図8C]

FIG.8C



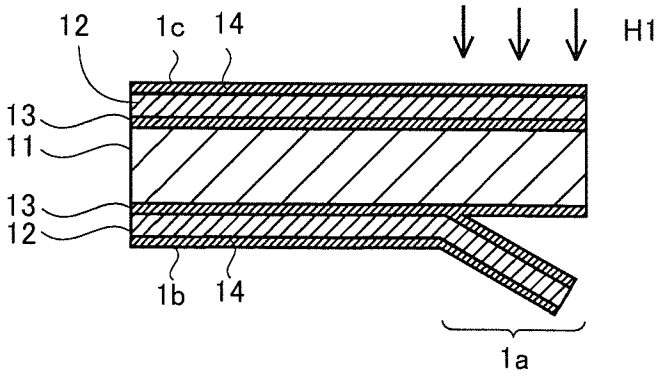
[図9A]

FIG.9A



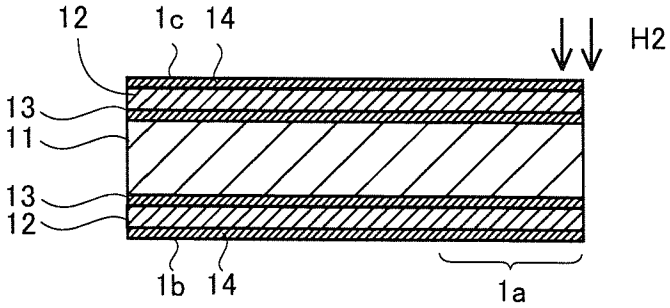
[図9B]

FIG.9B



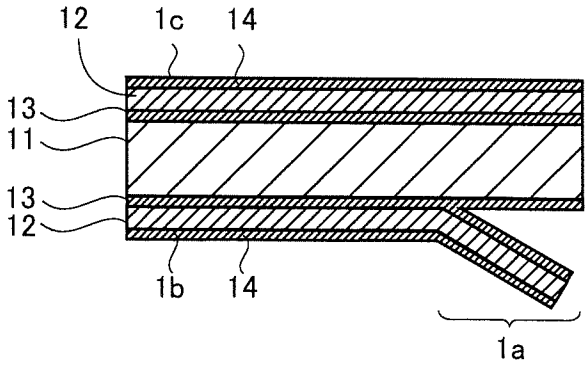
[図9C]

FIG.9C



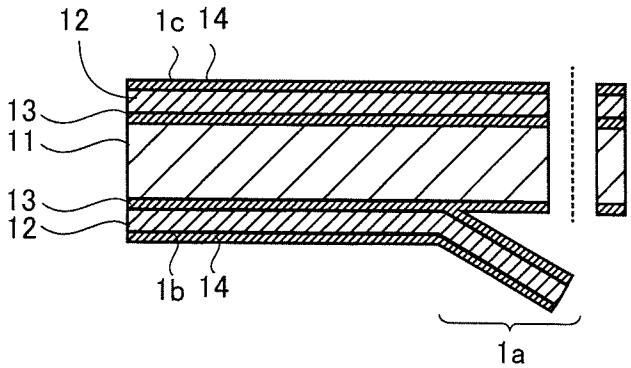
[図9D]

FIG.9D



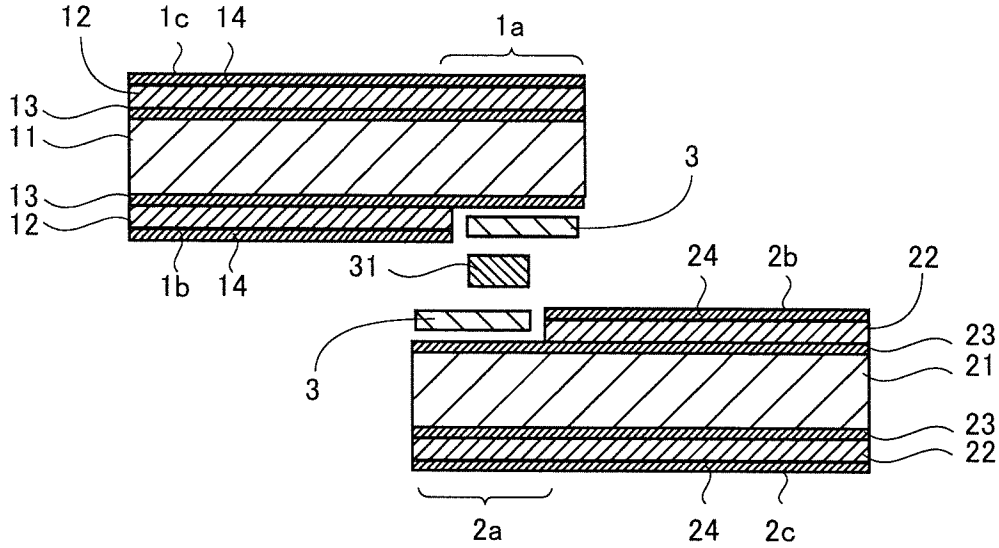
[図9E]

FIG.9E



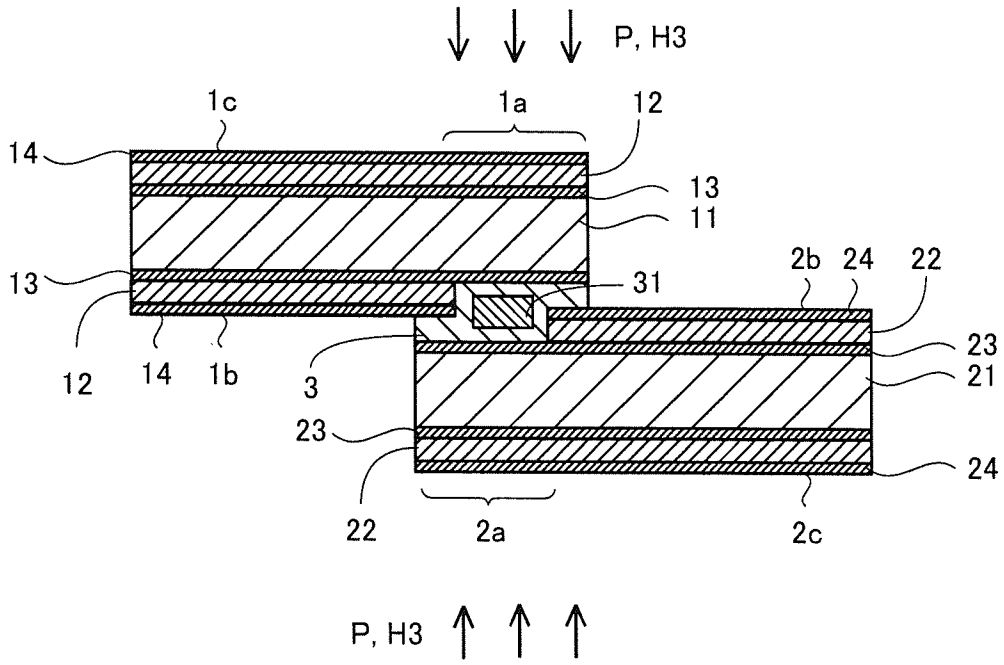
[図10A]

FIG.10A



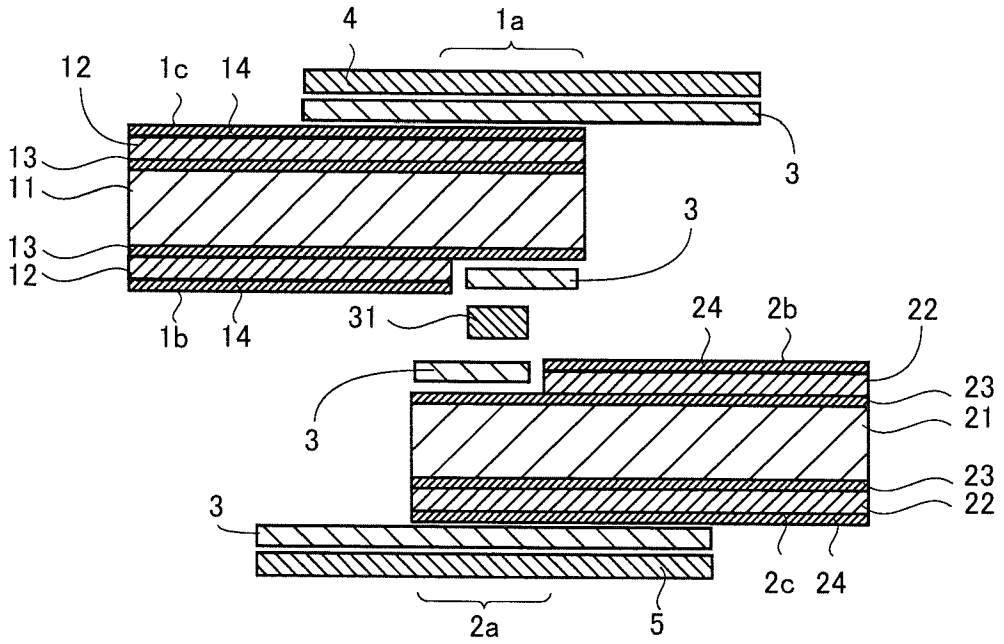
[図10B]

FIG.10B



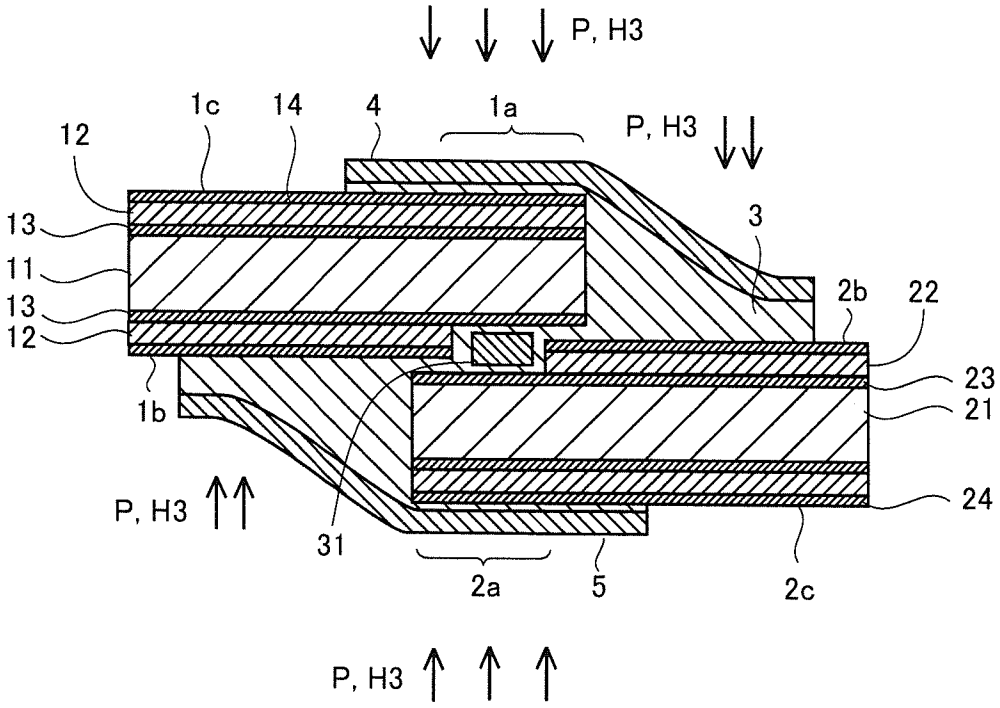
[図11A]

FIG.11A



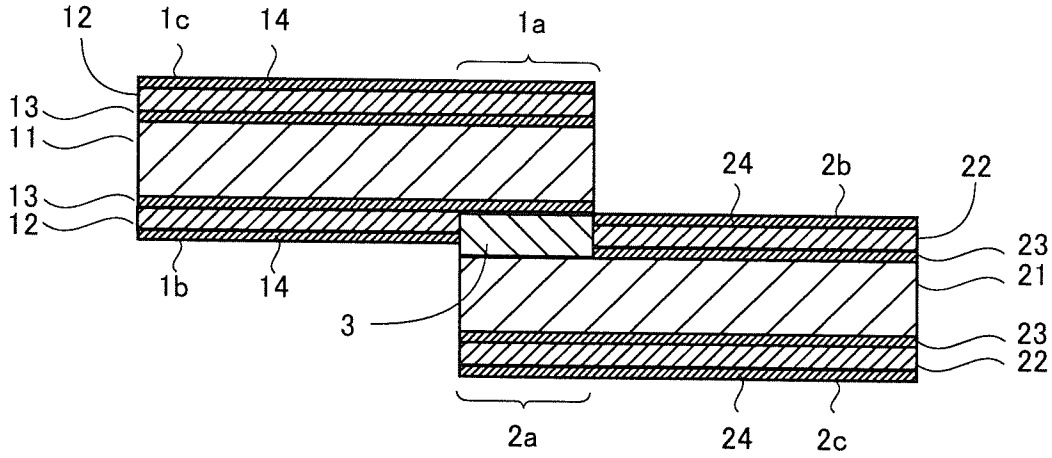
[図11B]

FIG.11B



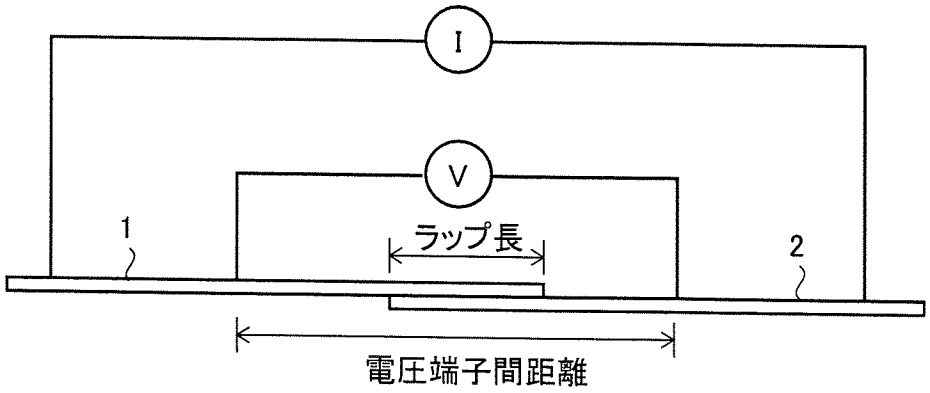
[図12]

FIG.12



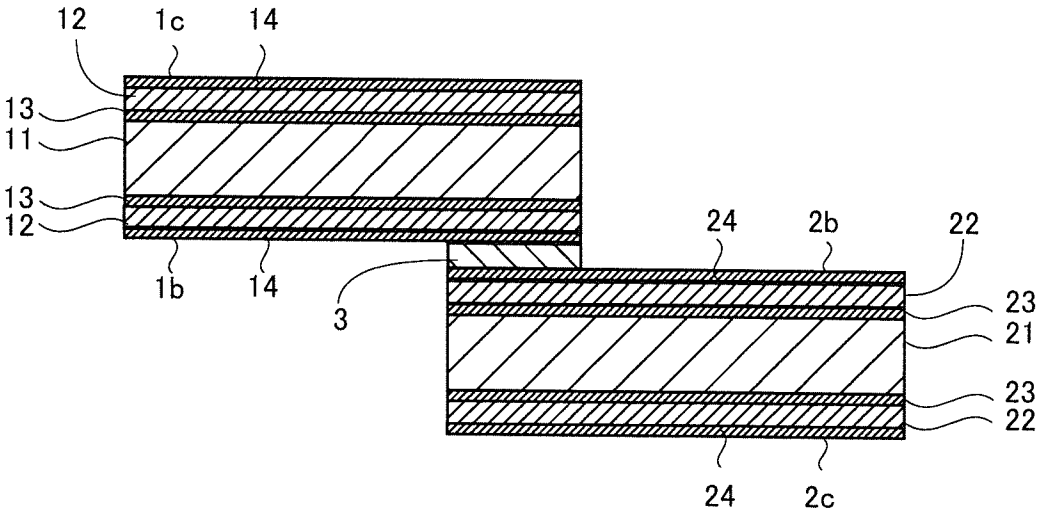
[図13]

FIG.13



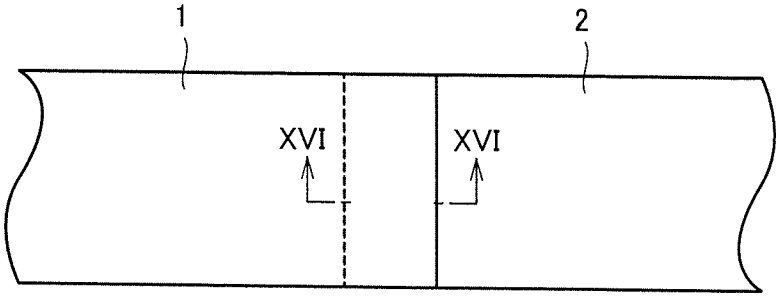
[図14]

FIG.14



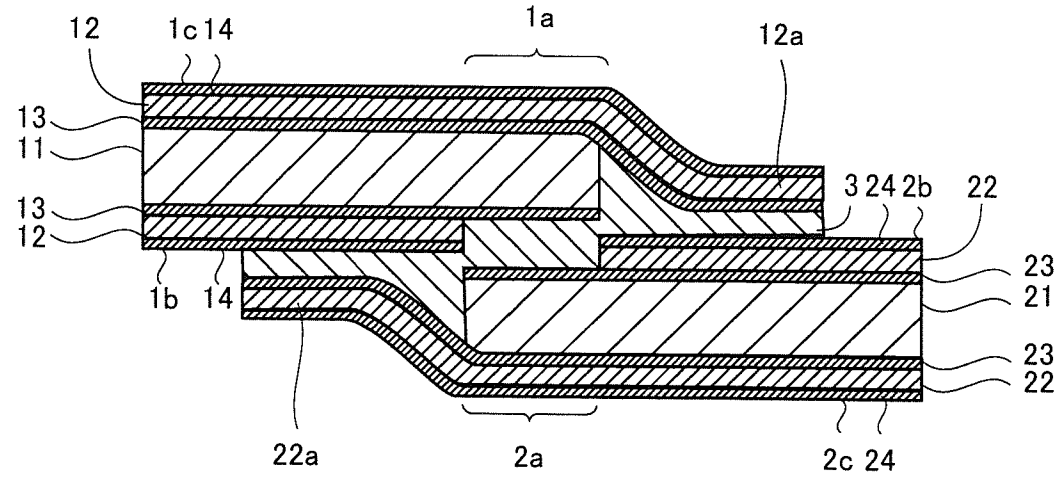
[図15]

FIG.15



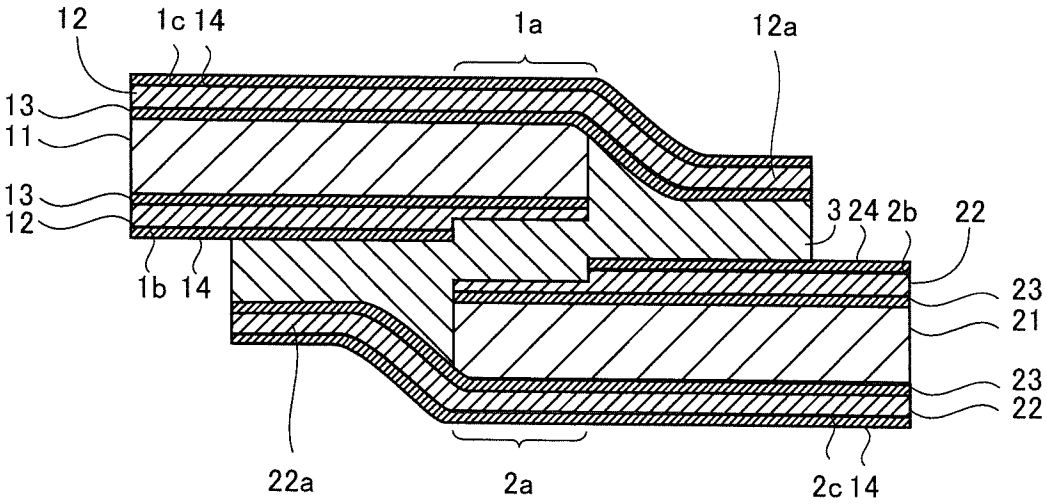
[図16A]

FIG.16A



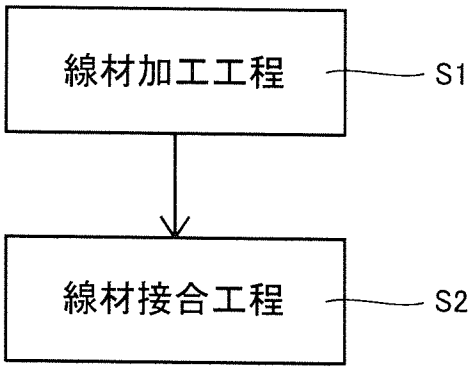
[図16B]

FIG.16B



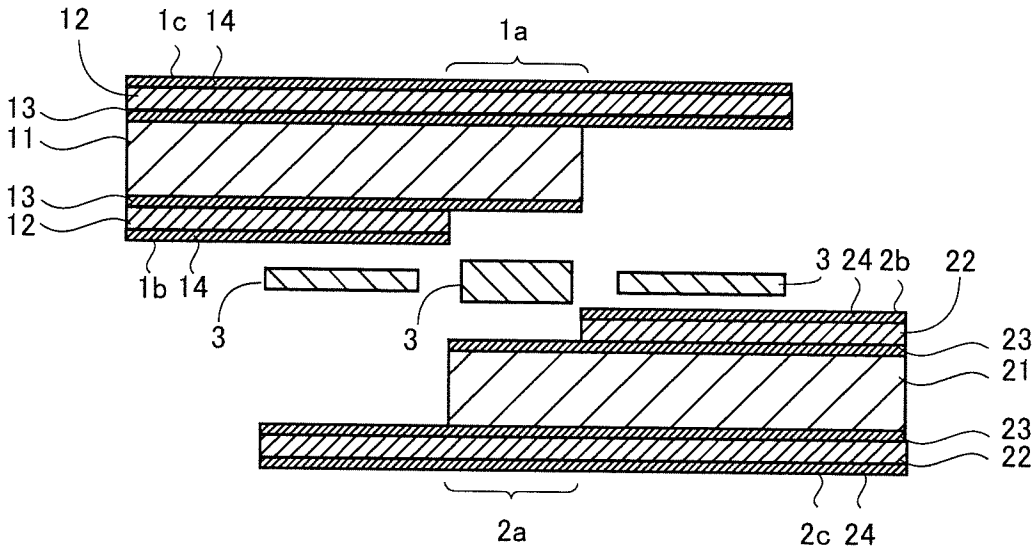
[図17]

FIG.17



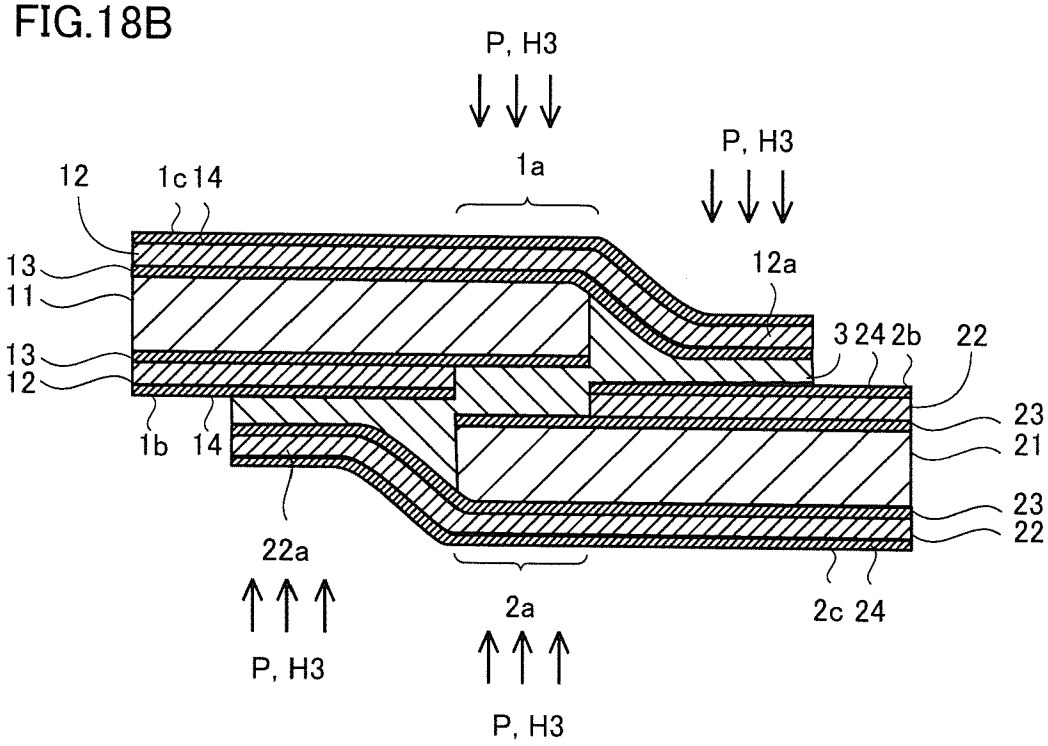
[図18A]

FIG.18A



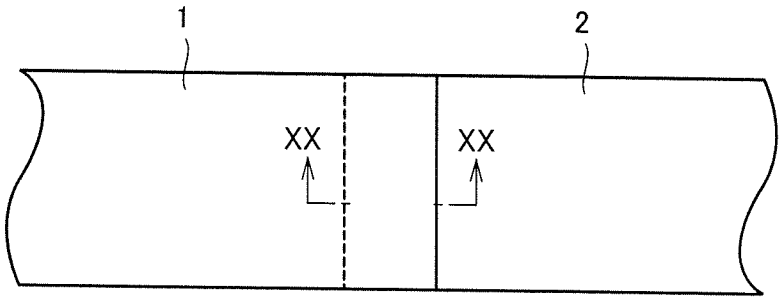
[図18B]

FIG.18B



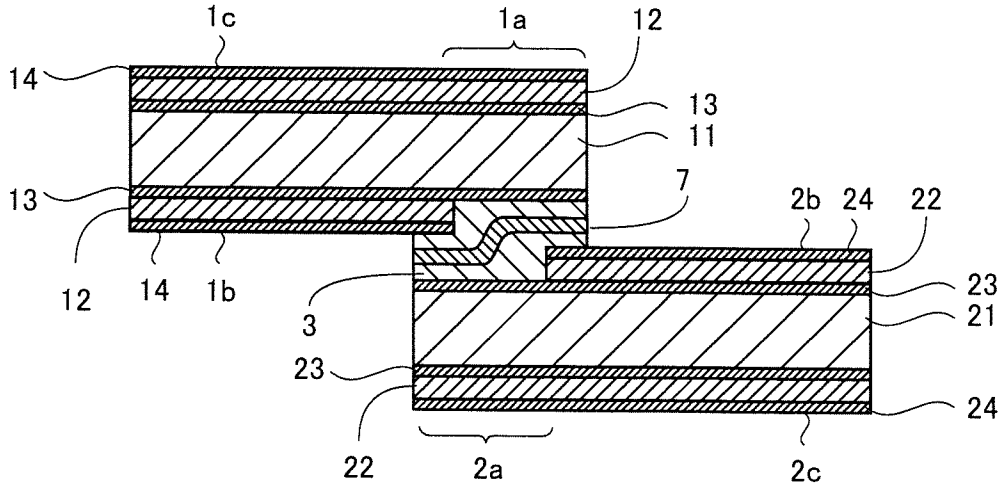
[図19]

FIG.19



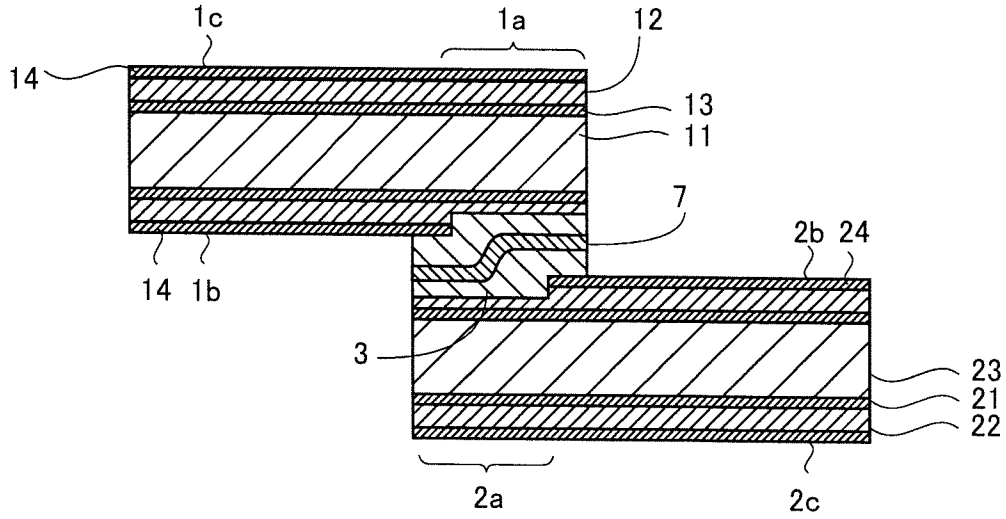
[図20A]

FIG.20A



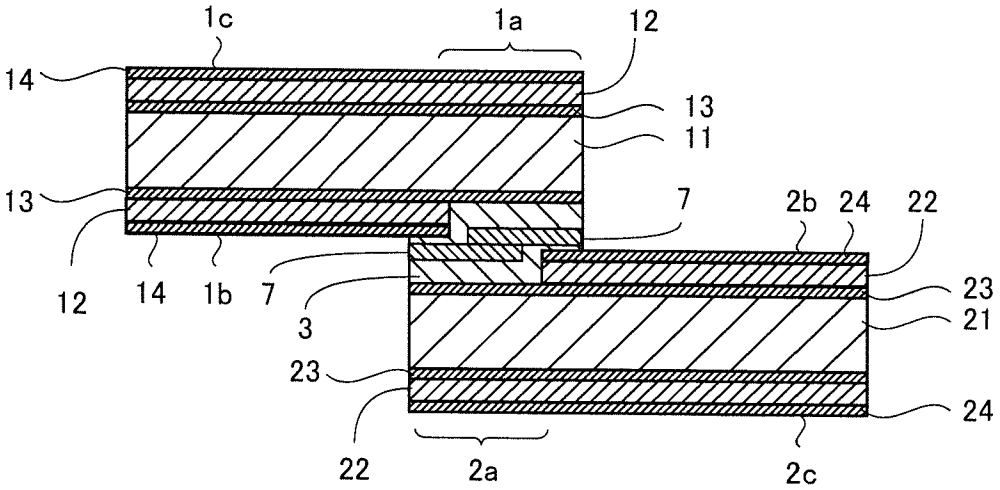
[図20B]

FIG.20B



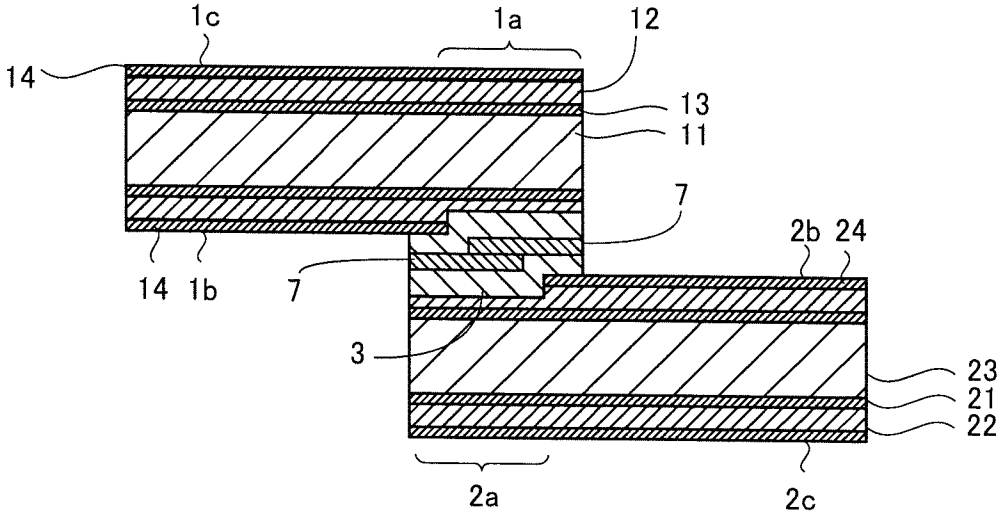
[図21A]

FIG.21A



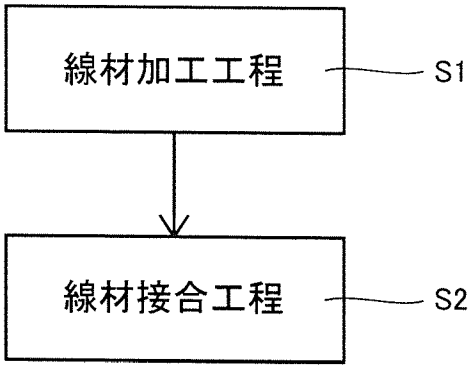
[図21B]

FIG.21B



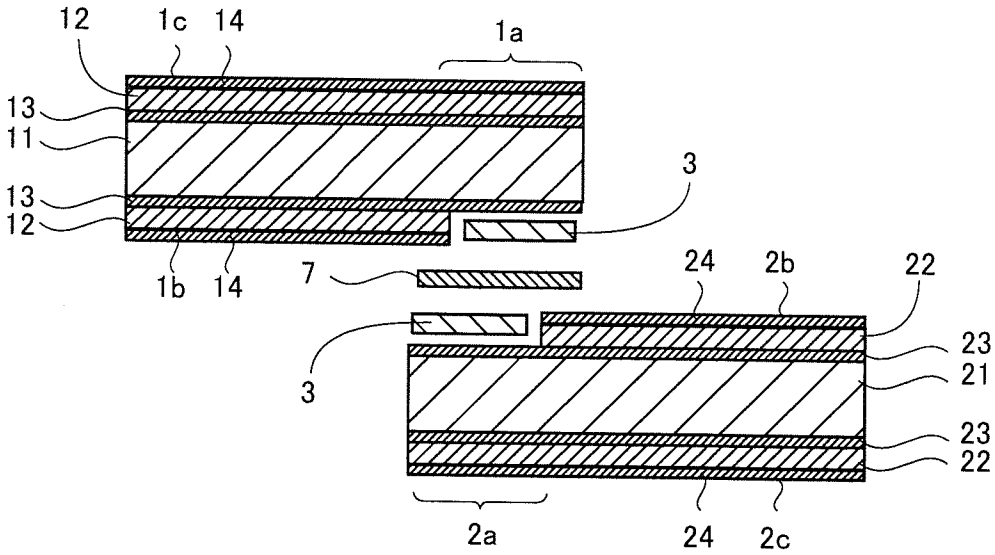
[図22]

FIG.22



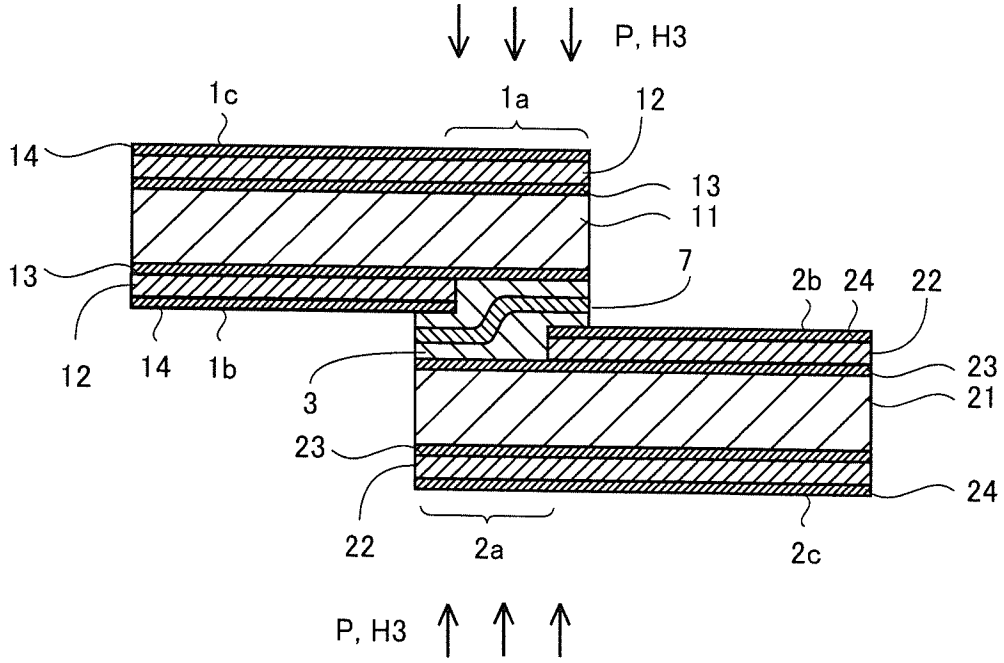
[図23A]

FIG.23A



[図23B]

FIG.23B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/065124

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01B12/02(2006.01)i, *H01B13/00*(2006.01)i, *H01F6/06*(2006.01)i, *H01R4/68*(2006.01)i, *H01R43/00*(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)
H01B12/02, H01B13/00, H01F6/06, H01R4/68, H01R43/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
A	JP 2011-165435 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 25 August 2011 (25.08.2011), (Family: none)	1-20
A	JP 2014-130730 A (Fujikura Ltd.), 10 July 2014 (10.07.2014), (Family: none)	1-20
A	JP 2008-234957 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 02 October 2008 (02.10.2008), (Family: none)	1-20
A	JP 2007-266149 A (Toshiba Corp.), 11 October 2007 (11.10.2007), (Family: none)	1-20

☐ 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	Date of mailing of the international search report
28 July 2016 (28.07.16)	09 August 2016 (09.08.16)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０６５１２４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01B12/02(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, H01F6/06(2006.01)i, H01R4/68(2006.01)i, H01R43/00(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.　H01B12/02, H01B13/00, H01F6/06, H01R4/68, H01R43/00

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　１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報　１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報　１９９４－２０１６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
A	JP 2011-165435 A (住友電気工業株式会社) 2011.08.25, (ファミリーなし)	1-20
A	JP 2014-130730 A (株式会社フジクラ) 2014.07.10, (ファミリーなし)	1-20
A	JP 2008-234957 A (古河電気工業株式会社) 2008.10.02, (ファミリーなし)	1-20

☑　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	国際調査報告の発送日
２８．０７．２０１６	０９．０８．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　５Ｇ　９４５９
和田　財太
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５２６

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
A	JP 2007-266149 A (株式会社東芝) 2007.10.11, (ファミリーなし)	1-20