(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
2018年5月3日(03.05.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/078876 A1

(51) 国際特許分類:
H01B 12/06 (2006.01) *H01F 6/06* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2016/082333

(22) 国際出願日： 2016年10月31日(31.10.2016)

(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: 永石 竜起 (NAGAISHI, Tatsuoki); 〒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). 山口 高史 (YAMAGUCHI, Takashi); 〒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).

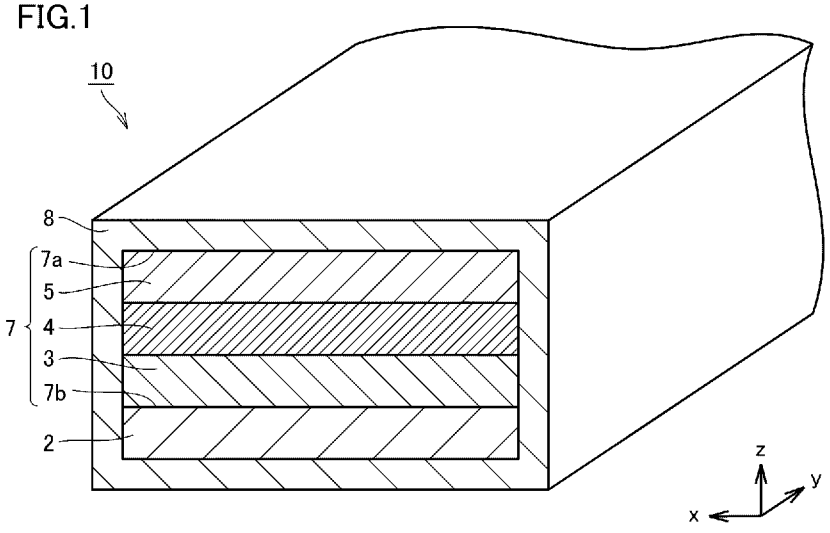
(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島三丁目２番４号 中之島フェスティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).

(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, JP, KE, KG, 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,

(54) Title: SUPERCONDUCTING WIRE AND SUPERCONDUCTING COIL

(54) 発明の名称： 超電導線材および超電導コイル

FIG.1



(57) Abstract: This superconducting wire comprises a main body, a substrate and a cover. The main body includes a superconducting material part having a first principle surface and a second principle surface positioned opposite of the first principle surface. The substrate supports the second principal surface of the main body. The cover is formed at least on the first principle surface of the main body. In the cover, the surface roughness of the center portion of the superconducting wire in the width direction is less than the surface roughness of the edges thereof in the width direction.

(57) 要約：超電導線材は、本体部と、基板と、被覆部とを備える。本体部は、第１の主面と、第１の主面と反対側に位置する第２の主面とを有し、超電導材料部を含む。基板は本体部の第２の主面を支持する。被覆部は、少なくとも本体部の第１の主面上に形成される。被覆部において、超電導線材の幅方向における中央部の表面粗さは、幅方向における端部の表面粗さよりも小さい。

WO 2018/078876 A1

［続葉有］

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:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明　細　書

発明の名称 ： 超電導線材および超電導コイル

技術分野

[0001]　本開示は、超電導線材および超電導コイルに関する。

背景技術

[0002]　近年、転移温度が液体窒素温度以下の高温超電導体である酸化物超電導体からなる超電導材料層が設けられた酸化物超電導線材が注目されている。

[0003]　このような酸化物超電導線材は、一般的に、酸化物超電導材料層を含む本体部を形成し、さらに、本体部の外周を銀（Ａｇ）や銅（Ｃｕ）の被覆部で覆うことにより製造されている（たとえば、特開２０１３－１２３２１号公報（特許文献１）および特開２０１３－１３４８５６号公報（特許文献２）参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０１３－１２３２１号公報

特許文献2：特開２０１３－１３４８５６号公報

発明の概要

[0005]　本開示の超電導線材は、本体部と、基板と、被覆部とを備える。本体部は、第１の主面と、第１の主面と反対側に位置する第２の主面とを有し、超電導材料部を含む。基板は本体部の前記第２の主面を支持する。被覆部は、少なくとも本体部の第１の主面上に形成される。被覆部において、超電導線材の幅方向における中央部の表面粗さは、幅方向における端部の表面粗さよりも小さい。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図１は、本実施の形態に係る超電導線材の断面図である。

[図2]図２は、本実施の形態に係る超電導線材を用いたコイル体を示す斜視図である。

[図3]図３は、本実施の形態に係る超電導線材を用いた超電導コイルの斜視図である。

[図4]図４は、図３に示すＡ－Ａ線に沿う断面図である。

[図5]図５は、本実施の形態に係る超電導線材の一部である被覆部の拡大図である。

発明を実施するための形態

[0007] [本開示が解決しようとする課題]

従来の超電導線材は、たとえばコイル状に巻回され、樹脂で含浸硬化されて超電導コイルを構成する。超電導コイルを臨界温度以下に冷却して使用する場合、一般的に、超電導線材の熱収縮率に比べて、含浸された樹脂の熱収縮率が大きいため、この熱収縮率の差に起因して、超電導線材に応力が加わる場合がある。この場合、応力を受けて超電導線材の超電導材料層が損傷し、結果的に超電導特性が劣化することがあった。

[0008] そこで、超電導特性の劣化を抑制することができる超電導線材および超電導コイルを提供することを目的とする。

[0009] [本開示の効果]

本開示によれば、超電導特性の劣化を抑制することができる超電導線材および超電導コイルを提供することができる。

[0010] [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。

[0011] （１）本発明の一態様に係る超電導線材１０（図１参照）は、本体部７と、基板２と、被覆部８とを備える。本体部７は、第１の主面７ａと、第１の主面７ａと反対側に位置する第２の主面７ｂとを有し、超電導材料部４を含む。基板２は本体部７の第２の主面７ｂを支持する。被覆部８は、少なくとも本体部７の第１の主面７ａ上に形成される。被覆部８において、超電導線材１０の幅方向における中央部の表面粗さは、幅方向における端部の表面粗さよりも小さい。

[0012] 超電導線材１０が巻回され、樹脂１６で含浸硬化された超電導コイル２０

（図３参照）においては、被覆部８と樹脂１６との接着性は被覆部８の表面粗さに依存する。上記のように、被覆部８において、幅方向における中央部の表面粗さを、幅方向における端部の表面粗さよりも小さくすることにより、中央部における被覆部８と樹脂１６との接着性は、端部における被覆部８と樹脂１６との接着性に比べて低くなる。

[0013] このようにすると、超電導コイル２０を冷却した際に、超電導線材１０と樹脂１６との熱収縮率の差に起因して、超電導線材１０の厚さ方向に応力が作用した場合、中央部では被覆部８と樹脂１６との界面に剥離が生じることで応力が開放される。よって、超電導線材１０に加わる応力を軽減することができる。この結果、超電導線材１０の超電導材料層４の損傷を防止できるため、超電導特性の劣化を抑制することができる。

[0014] 超電導コイル２０を冷凍機を用いて冷却する超電導機器においては、コイル軸方向の両端部にそれぞれ冷却板を配置し、この一対の冷却板を冷却することで、超電導コイルを冷却するように構成されたものがある。当該超電導機器では、超電導線材１０の幅方向の端部から樹脂１６を経由して冷却板に熱が伝わる伝熱経路が形成される。上記超電導線材１０によれば、幅方向の端部では、樹脂１６の熱収縮により超電導線材１０に応力が作用しても被覆部８と樹脂１６との界面の剥離が抑制される。そのため、超電導線材１０と樹脂１６との間の熱伝導度の低下を防ぐことができる。よって、超電導コイル２０を効率良く冷却することができる。

[0015] （２）上記超電導線材１０においては、被覆部８の中央部の表面粗さは０．８μｍ以下であってもよい。被覆部８の端部の表面粗さは０．８μｍより大きく、かつ、１．２μｍ以下であってもよい。

[0016] この場合、冷却に伴なう樹脂１６の収縮により超電導線材１０の厚さ方向に応力が作用した際、被覆部８の中央部では、被覆部８と樹脂１６との界面に剥離が生じ易くなり、この界面での剥離によって超電導線材１０に加わる応力を開放することができる。一方、被覆部８の端部では、被覆部８と樹脂１６との界面の剥離が抑制されるため、超電導線材１０と樹脂１６との間の

熱伝導度の低下を抑制することができる。

[0017] （３）上記超電導線材１０では、被覆部８は、本体部７および基板２の周囲を覆う金属層として形成されてもよい。

[0018] このようにすると、本体部７の第１の主面７ａ上に位置する金属層は、幅方向の中央部の表面粗さが幅方向の端部の表面粗さよりも小さくなっており、そのため、超電導コイル２０の使用時に超電導線材１０の中央部に加わる応力が開放されて、超電導材料層４の損傷を防止することができる。また、超電導コイル２０を効率良く冷却することができる。

[0019] （４）本発明の一態様に係る超電導コイル２０（図３参照）は、上記超電導線材１０を巻回したコイル体１２と、コイル体１２に含浸される樹脂１６とを備える。

[0020] このようにすると、超電導線材１０の臨界温度以下に冷却されて使用される場合に、熱収縮に起因する応力によって超電導特性が劣化が起こり難く、かつ、冷却効率が良い超電導コイル２０を実現することができる。

[0021] [本発明の実施形態の詳細]

以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。なお、以下の図面において、同一または相当する部分には同一の参照符号を付し、その説明は繰り返さない。

[0022] 最初に、図１を参照して、本発明の実施の形態に係る超電導線材１０について説明する。

[0023] 図１は、超電導線材１０が延在する方向（長手方向）に交差する方向に切断した、本実施の形態に係る超電導線材１０の断面を示す。超電導線材１０において超電導電流は超電導線材１０の長手方向に沿って流れる。図１に示されるように、超電導線材１０の幅方向をｘ軸方向とし、長手方向をｙ軸方向とし、厚み方向をｚ軸方向とする。

[0024] 本実施の形態に係る超電導線材１０は、長手方向の長さが厚みおよび幅に比べて大きく、かつ、厚みに比べて幅が大きいテープ形状を有していてもよい。本明細書では、超電導線材１０の幅方向および長手方向に延在する表面

（ｘｙ平面）を主面と呼ぶ。

[0025] 図１に示すように、超電導線材１０は、主に、本体部７と、基板２と、被覆部８とを備える。本体部７は、第１の主面７ａと、第１の主面７ａとは反対側の第２の主面７ｂとを有する。基板２は、本体部７の第２の主面７ｂを支持する。被覆部８は、少なくとも本体部７の第１の主面７ａ上に形成される。

[0026] 基板２は、たとえば金属からなり、断面が矩形をなすテープ形状を有していてもよい。コイル形状に巻回するためには、基板２はたとえば１ｋｍ程度に長尺化されていることが好ましい。基板２の厚みは目的に応じて適宜調整すればよく、通常は５０μｍ～２００μｍの範囲とすることができる。

[0027] 基板２は、配向金属基板を用いることが好ましい。配向金属基板とは、基板表面の面内の２軸方向（ｘ軸方向およびｙ軸方向）に関して結晶方位が揃っている基板を意味する。配向金属基板としては、たとえばＮｉ（ニッケル）、銅（Ｃｕ）、クロム（Ｃｒ）、マンガン（Ｍｎ）、コバルト（Ｃｏ）、鉄（Ｆｅ）、パラジウム（Ｐｄ），銀（Ａｇ）、および金（Ａｕ）のうちの２以上の金属からなる合金が好適に用いられる。配向金属基板は、たとえば他の金属または合金の表面に配向金属膜を貼り合せることによって形成されてもよい。合金としては、たとえば高強度材料であるＳＵＳを用いることができる。配向金属膜を構成する材料としては、ＮｉＷ（ニッケルタングステン）や銅（Ｃｕ）を例示することができる。なお、基板２の材料は特にこれに限定されない。なお、基板２としてＳＵＳ基板またはハステロイ基板等、表面が配向結晶化されていない無配向基板が用いられる場合には、中間層３として、たとえばＩＢＡＤ（Ion Beam Assisted Deposition）法にて形成された結晶配向層を用いてもよい。

[0028] 本体部７は、中間層３と、超電導材料層４と、保護層５とを含んでもよい。本体部７は、少なくとも超電導材料層４を含んでいればよい。

[0029] 中間層３は、基板２の主面上に形成されてもよい。中間層３は、超電導材料層４との反応性が極めて低く、超電導材料層４の超電導特性を低下させな

いような材料を用いることができる。中間層３は、高温プロセスを利用して超電導材料層４を形成する際に、基板２から超電導材料層４へ金属原子が流出することを防止する材料を用いることができる。中間層３は、好ましくは、たとえば、ＹＳＺ（イットリウム安定化ジルコニア）、CeO_2（酸化セリウム）、ＭｇＯ（酸化マグネシウム）、Y_2O_3（酸化イットリウム）、Al_2O_3（酸化アルミニウム）、ＬａＭｎO_3（酸化ランタンマンガン）およびＳｒＴｉO_3（チタン酸ストロンチウム）の少なくとも１つから構成される。

[0030] 中間層３は、複数の層により構成されていてもよい。中間層３が複数の層により構成される場合、中間層３を構成するそれぞれの層は互いに異なる材料または一部が同じ材料により構成されてもよい。

[0031] 超電導材料層４は、中間層３の、基板２に対向する主面と反対側の主面（図１における上側の主面）上に形成されてもよい。超電導材料層４は、超電導線材１０のうち、超電導電流が流れる部分である。超電導材料層４は本実施の形態における「超電導材料部」に相当する。本実施の形態では、超電導材料部である超電導材料層４は、超電導材料から実質的に構成される薄膜層である。

[0032] 超電導材料層４に用いることのできる超電導材料は特に限定されない。超電導材料として、ＲＥ－１２３系の酸化物超電導体を用いてもよい。ＲＥ－１２３系の酸化物超電導体とは、ＲＥ$Ba_2Cu_3O_y$（ｙは６～８、より好ましくは６．８～７、ＲＥはイットリウム、またはＧｄ、Ｓｍ、Ｈｏなどの希土類元素である）として表される超電導体を意味する。

[0033] 臨界電流Ｉｃを向上させるために、超電導材料層４の厚みは０．５μｍ以上であることが好ましい。超電導材料層４の厚みは特に限定されるものではないが、生産性を考慮すると１０μｍ以下が望ましい。

[0034] 保護層５は、超電導材料層４の、中間層３に対向する主面とは反対側の主面（図１における上側の主面）上に形成されてもよい。保護層５は、超電導材料層４を保護する機能を有する。保護層５は、たとえば銀（Ａｇ）または銀合金からなる。保護層５の厚みは、好ましくは２μｍ以下であり、より好

ましくは０．０５μｍ以上２μｍ以下である。

[0035] 被覆部８は、少なくとも本体部７の第１の主面７ａを覆っていればよい。本実施の形態では、本体部７および基板２の全周を覆うように被覆部８が設けられている。

[0036] 被覆部８は、良導電性の金属材料の箔またはめっき層などの金属層で構成される。被覆部８は、保護層５とともに、超電導材料層４が超電導状態から常電導状態に遷移する際に超電導材料層４の電流が転流するバイパスとして機能する。被覆部８はさらに、外力や水分などから本体部７を保護する機能を有する。被覆部８が保護層５および超電導材料層４を物理的に保護するために、被覆部８は、１０μｍ以上５００μｍ以下の厚みを有することが好ましい。

[0037] 被覆部８を構成する材料は、薄い箔に成形できるもの、または、めっき形成できるものであればよく、特に限定されないが、銅（Ｃｕ）、ＮｉＣｒ（Ｎｉ－Ｃｒ合金）、ステンレス、Ｃｕ－Ｎｉ合金等の銅合金が好ましい。なお、超電導線材１０を超電導限流器に使用する場合、被覆部８は高抵抗の金属材料であることが好ましく、たとえばＮｉＣｒ等のＮｉ系合金であることが好ましい。

[0038] 次に、本実施の形態に係る超電導線材１０の製造方法について説明する。

まず、基板２を準備する工程が実施される。具体的には、好ましくは配向金属基板からなる基板２が準備される。

[0039] 次に、基板２上に中間層３を形成する工程が実施される。具体的には、基板２の主面上に中間層３が形成される。中間層３の形成方法としては、たとえばスパッタ法などの物理蒸着法を用いることができる。基板２の表面が配向結晶化されていない場合には、ＩＢＡＤ法によって、配向された中間層３が形成されてもよい。

[0040] 次に、中間層３上に超電導材料層４を形成する工程が実施される。本実施の形態では、中間層３の基板２と対向する主面と反対側の主面（図１における中間層３の上側の主面）上にＲＥ－１２３系の酸化物超電導体を含む超電

導材料層４を形成する。たとえば、気相堆積法および液相堆積法、またはそれらの組合せにより、薄膜層である超電導材料層４を形成してもよい。気相堆積法としては、パルスレーザ蒸着法（ＰＬＤ法）、スパッタリング法、電子ビーム蒸着法、有機金属化学体積気相堆積（ＭＯＣＶＤ）法や分子線エピタキシー（ＭＢＥ）法を例示することができる。これらの堆積法のうち少なくとも１つによって超電導材料層４を成膜すると、結晶配向性および表面平滑性に優れた表面を有する超電導材料層４を形成することができる。

[0041] 次に、超電導材料層４上に保護層５を形成する工程が実施される。具体的には、超電導材料層４の中間層３と対向する主面と反対側の主面（図１における超電導材料層４の上側の主面）上に、銀（Ａｇ）またが銀合金からなる保護層５を形成する。保護層５は、たとえばスパッタなどの物理的蒸着法により形成してもよい。

[0042] 次に、本体部７を酸素雰囲気下でアニールする工程が実施される。このアニール工程によって、超電導材料層４に酸素が導入される。以上の工程が実施されることにより、基板２の上に、中間層３と超電導材料層４と保護層５とを含む本体部７が形成される。

[0043] 最後に、本体部７および基板２を覆うように被覆部８を形成する工程が実施される。被覆部８は、少なくとも本体部７の第１の主面７ａを覆っていればよい。本実施の形態では、本体部７および基板２の全周を覆うように、被覆部８が設けられる。たとえば、めっき法、または箔を貼り合せる方法により、被覆部８を本体部７および基板２上に形成してもよい。

[0044] なお、線材の幅を調整するために、保護層５を形成する工程と被覆部８を形成する工程との間に、本体部７および基板２を細線に加工する工程を行なってもよい。本体部７および基板２を細線に加工する工程では、本体部７および基板２に、たとえば機械スリット加工またはレーザスリット加工を施すことにより、本体部７および基板２を所定の幅に細線化する。たとえば、３０ｍｍ幅の本体部７および基板２を４ｍｍ幅の細線に加工して、１本の本体部７および基板２から７本の細線化された本体部７および基板２を得ること

ができる。

[0045] あるいは、基板２を準備する工程において、基板２を細線に加工する工程を行なってもよい。たとえば、３０ｍｍ幅の基板２を４ｍｍ幅の細線に加工する。細線に加工された基板２上に中間層３、超電導材料層４、保護層５を順に形成することにより、細線化された本体部７を得ることができる。

[0046] 以上の工程が実施されることにより、図１に示す超電導線材１０が製造される。

次に、本実施の形態に係る超電導線材１０を用いた超電導コイル２０の一例について、図２および図３を基に説明する。

[0047] 図２は、実施の形態に係る超電導線材１０を用いたコイル体１２を示す斜視図である。超電導線材１０は、一般的に、巻枠１４に対してシングルパンケーキ状あるいはダブルパンケーキ状に巻回されてコイル形状にされる。図２には、ダブルパンケーキコイル１８が例示されている。ダブルパンケーキコイル１８は、互いに積層された２つのコイル体１２を含む。

[0048] ダブルパンケーキコイル１８において、一方のコイル体１２における超電導線材１０の巻回し方向と他方のコイル体１２における巻回し方向とは互いに逆である。２つのコイル体１２の超電導線材１０の内周側に位置する端部同士は図示しない接続部を介して電気的に接続されている。これにより、一方のコイル体１２の外周側に位置する端部と、他方のコイル体１２の外周側に位置する端部との間で、２つのコイル体１２は互いに直列に接続されている。

[0049] なお、本実施の形態において、コイル体１２は、超電導線材１０の本体部７が形成された側を内側とし、基板２側を外側として巻回されている。

[0050] 図２に示したダブルパンケーキコイル１８全体を樹脂１６で覆うことにより超電導コイル２０が形成される。図３は、図２に示すダブルパンケーキコイル１８を樹脂１６で覆い構成された超電導コイル２０の斜視図である。

[0051] 図３に示すように、ダブルパンケーキコイル１８を樹脂１６で含浸硬化することによって、ダブルパンケーキコイル１８全体が樹脂１６により一体的

に覆われる。これにより、電磁力に対しても超電導線材１０同士の相対位置関係を維持することができ、安定した磁界を形成することができる。

[0052] 樹脂１６としては、たとえば、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、尿素樹脂、メラミン樹脂等の熱硬化性樹脂などを用いることができる。たとえば真空含浸法を用いることにより、ダブルパンケーキコイル１８の隅々にまで樹脂１６を浸透させることができる。これにより、ダブルパンケーキコイル１８の機械的強度を向上させることができる。

[0053] 図４は、図３に示すＡ－Ａ線に沿う断面図である。図４に示されるように、超電導線材１０を覆うように樹脂１６が含浸されることにより、超電導線材１０間にも樹脂１６が充填されている。

[0054] 超電導コイル２０を冷凍機を用いて冷却する超電導機器においては、超電導コイル２０のコイル軸方向の両端部に、それぞれ冷却板（図示せず）が配置される。そして、これらの冷却板を冷却することで、超電導コイル２０を冷却するように構成されている。このような超電導機器では、超電導線材１０と冷却板との間には、主に、超電導線材１０の幅方向の端部から樹脂１６を経由して冷却板に熱が伝わる伝熱経路が形成される。

[0055] 以下、本実施の形態の作用および効果について説明する。

本実施の形態に係る超電導線材１０は、本体部７の第１の主面７ａ上に位置する被覆部８において、幅方向（ｘ軸方向）における中央部の表面粗さが、幅方向における端部の表面粗さよりも小さくなっている。

[0056] 図５は、本実施の形態に係る超電導線材１０の一部である被覆部８の拡大図である。図５には、本体部７の第１の主面７ａ上に位置する被覆部８が部分的に示されている。

[0057] 図５に示すように、被覆部８において、端部１０ａは幅方向（ｘ軸方向）の一方端に位置し、端部１０ｂは幅方向の他方端に位置する。また、被覆部８において、中央部１０ｃは幅方向の中央線を含むように位置する。

[0058] 超電導線材１０の幅をＷとし、端部１０ａ，１０ｂの幅をＷ１とし、中央部１０ｃの幅をＷ２すると、幅Ｗに対する幅Ｗ１の比率（Ｗ１／Ｗ）は、好

ましくは１０％以上３０％以下である。また、幅Wに対する幅Ｗ２の比率は、好ましくは４０％以上８０％以下である。

[0059] 端部１０ａ，１０ｂおよび中央部１０ｃの各々の表面粗さは、被覆部８の主面の表面形状を測定することにより求めることができる。本実施の形態では、表面形状の測定は、触針表面形状計測器（装置名：ＤＥＫＴＡＫ　３０３０、Ｂｒｕｋｅｒ　Ｎａｎｏ製）を用いて行なった。

[0060] 表面形状の測定では、端部１０ａ，１０ｂおよび中央部１０ｃの各々に相当する被覆部８の表面を、上記触針形状計測器を用いて、５００μｍの範囲内で幅方向になぞった。この測定で得られた曲線は、被覆部８の表面の断面曲線を表す。そして、得られた断面曲線から基準長さ（たとえば、５０μｍ）だけを抜き取り、この抜き取り部分での最大谷深さと最大山高さとの和（最大高さ）を計測した。

[0061] 実施例１～４に係る超電導線材１０の各々について、表面粗さを計測した結果を表１に示す。実施例１～４に係る超電導線材１０はいずれも、上述した製造方法によって製造されたものであり、図１に示した超電導線材構造を有している。なお、端部の表面粗さについては、端部１０ａの表面粗さの計測値と端部１０ｂの表面粗さの計測値とを平均した値とした。

[0062] [表1]

	中央部	端部
実施例1	0.6μm	0.8μm
実施例2	0.6μm	0.9μm
実施例3	0.8μm	0.8μm
実施例4	0.8μm	1.2μm

[0063] 表１に示されるように、実施例１，２，４の各々において、中央部の表面粗さは、端部の表面粗さよりも小さくなっている。実施例３では、中央部の表面粗さと端部の表面粗さとが等しくなっている。

[0064] 本実施の形態に従う超電導線材１０において、被覆部８の中央部１０ｃの表面粗さは、好ましくは０．８μｍ以下、より好ましくは０．６μｍ以下とすることができる。また、被覆部８の端部１０ａ，１０ｂの表面粗さは、好ましくは０．８μｍより大きく、かつ、１．２μｍ以下とすることができる。

[0065] なお、被覆部８において、中央部１０ｃの表面粗さを端部１０ａ，１０ｂの表面粗さよりも小さくすることは、たとえば、被覆部８がめっき層である場合、被覆部８を形成する工程において、めっき液中に含まれる添加剤によって被覆部８の主面の表面形状を制御することで実現することができる。被覆部８が金属箔である場合には、金属箔によって被覆部８を形成する工程において、金属箔を表面加工することで実現することができる。

[0066] 本実施の形態によれば、超電導線材１０を用いて作製された超電導コイル２０（図３参照）において、超電導特性の劣化を抑制することができる。以下、この理由について説明する。

[0067] 超電導コイルを臨界温度以下に冷却して使用する場合、一般的に、超電導線材の熱収縮率に比べて、含浸された樹脂の熱収縮率が大きいため、この熱収縮率の差に起因して、超電導線材に応力が加わる場合がある。この応力は専ら超電導線材の厚さ方向に作用する。すなわち、超電導線材の主面に対して応力が加わることになる。そのため、超電導線材では、応力を受けて超電導材料層において局所的な破損や変形が生じ易くなる。この結果、超電導コイルの超電導特性が劣化する可能性がある。

[0068] 本実施の形態に係る超電導コイル２０では、超電導線材１０と樹脂１６との熱収縮率の差に起因する応力は、主に、超電導線材１０の最外周の被覆部８に加わることになる。

[0069] ここで、超電導コイル２０において、被覆部８と樹脂１６との接着性は被覆部８の表面粗さに依存する。詳細には、被覆部８の表面が粗くなるほど、樹脂１６が被覆部８の表面に形成された微小な凹凸に食い込みやすくなるため、接着性が高くなる。

[0070] 上記のように、本体部７の第１の主面７ａ上に位置する被覆部８において、幅方向における中央部１０ｃの表面粗さは、幅方向における端部１０ａ，１０ｂの表面粗さよりも小さくなっている。したがって、中央部１０ｃにおける被覆部８と樹脂１６との接着性は、端部１０ａ，１０ｂにおける被覆部８と樹脂１６との接着性に比べて低くなっている。

[0071] これにより、冷却に伴なう樹脂１６の収縮により超電導線材１０の厚さ方向に応力が作用した際、中央部１０ｃでは、被覆部８と樹脂１６との界面に剥離が生じ易くなる。この界面での剥離によって超電導線材１０に加わる応力が開放されることとなり、結果的に超電導線材１０に作用する応力を軽減することができる。したがって、超電導材料層４の破損および変形が抑制されるため、超電導特性の劣化を抑制することができる。

[0072] 一方、被覆部８と樹脂１６との界面に剥離が生じると、当該界面で隙間が生じるため、超電導線材１０と樹脂１６との間の熱伝導度が低下する可能性がある。その結果、上述した、超電導コイル２０を冷凍機を用いて冷却するように構成された超電導機器では、超電導線材１０から樹脂１６を経由して冷却板への熱伝導性が低下し、結果的に超電導コイル２０の冷却効率が低下する可能性がある。

[0073] 本実施の形態に係る超電導線材１０では、端部１０ａ，１０ｂにおいて被覆部８と樹脂１６との接着性が高くなっている。そのため、樹脂１６の熱収縮により応力が作用しようとしても、端部１０ａ，１０ｂでは被覆部８と樹脂１６との界面の剥離が抑制され得る。よって、超電導線材１０と樹脂１６との接着が保たれるため、熱伝導度の低下を抑制することができる。したがって、超電導コイル２０を効率良く冷却することができる。

[0074] ここで、端部１０ａ，１０ｂの表面粗さが大きくなるほど、被覆部８と樹脂１６との接着性が高くなる傾向がある。ただし、端部１０ａ，１０ｂの表面粗さが大きくなると、超電導コイル２０の使用時において、端部１０ａ，１０ｂ近傍に電界が集中しやすくなる。これにより、超電導コイル２０に過電圧が生じると、コイル体１２の巻線ターン間で絶縁破壊が生じる可能性が

ある。超電導コイル２０の絶縁強度を確保するためには、端部１０ａ，１０ｂの表面粗さは１．２μｍ以下であることが好ましい。

[0075] 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説明ではなくて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

[0076] ２ 基板、３ 中間層、４ 超電導材料層、５ 保護層、７ 本体部、７ａ 第１の主面、７ｂ 第２の主面、８ 被覆部、１０ 超電導線材、１０ａ，１０ｂ 端部、１０ｃ 中央部、１２ コイル体、１６ 樹脂、１８ ダブルパンケーキコイル、２０ 超電導コイル。

請求の範囲

[請求項1] 超電導線材であって、

第１の主面と、前記第１の主面と反対側に位置する第２の主面とを有し、超電導材料部を含む本体部と、

前記本体部の前記第２の主面を支持する基板と、

少なくとも前記本体部の前記第１の主面上に形成された被覆部とを備え、

前記被覆部において、前記超電導線材の幅方向における中央部の表面粗さは、前記幅方向における端部の表面粗さよりも小さい、超電導線材。

[請求項2] 前記被覆部の前記中央部の表面粗さは０．８μｍ以下であり、

前記被覆部の前記端部の表面粗さは０．８μｍより大きく、かつ、１．２μｍ以下である、請求項１に記載の超電導線材。

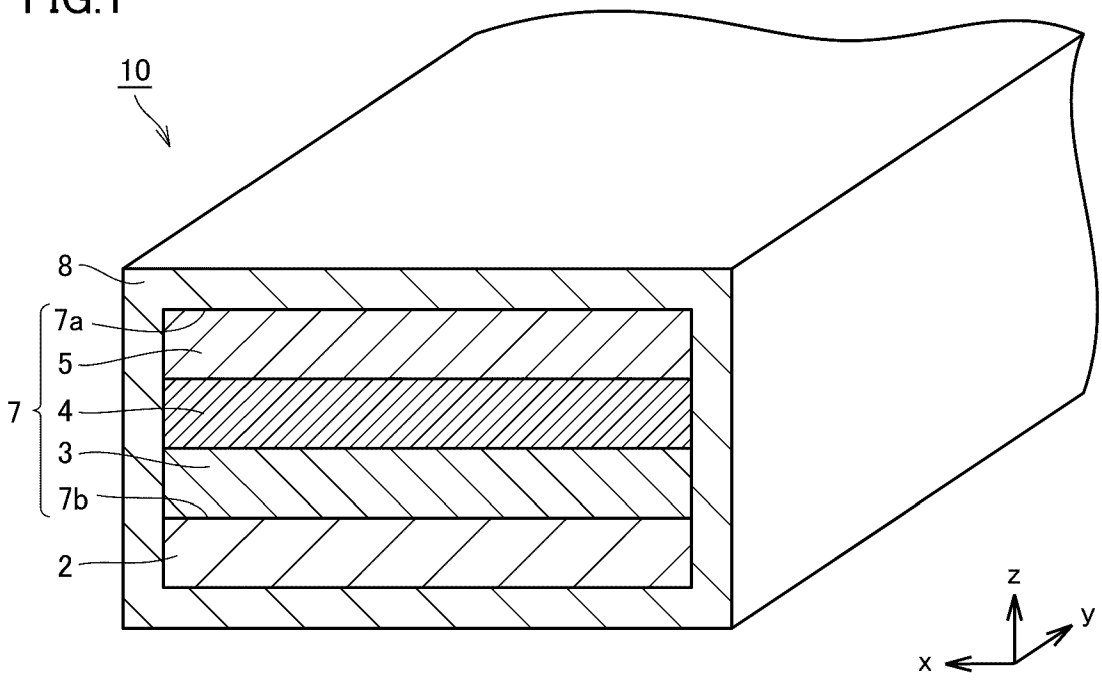
[請求項3] 前記被覆部は、前記本体部および前記基板の周囲を覆う金属層として形成される、請求項１または請求項２に記載の超電導線材。

[請求項4] 請求項１から請求項３のいずれか１項に記載の前記超電導線材を巻回したコイル体と、

前記コイル体に含浸される樹脂とを備える、超電導コイル。

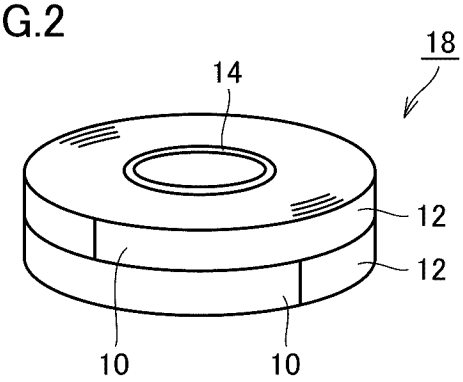
[図1]

FIG.1



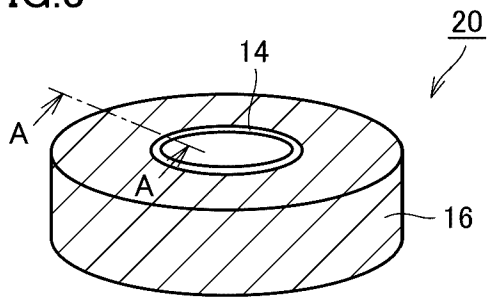
[図2]

FIG.2



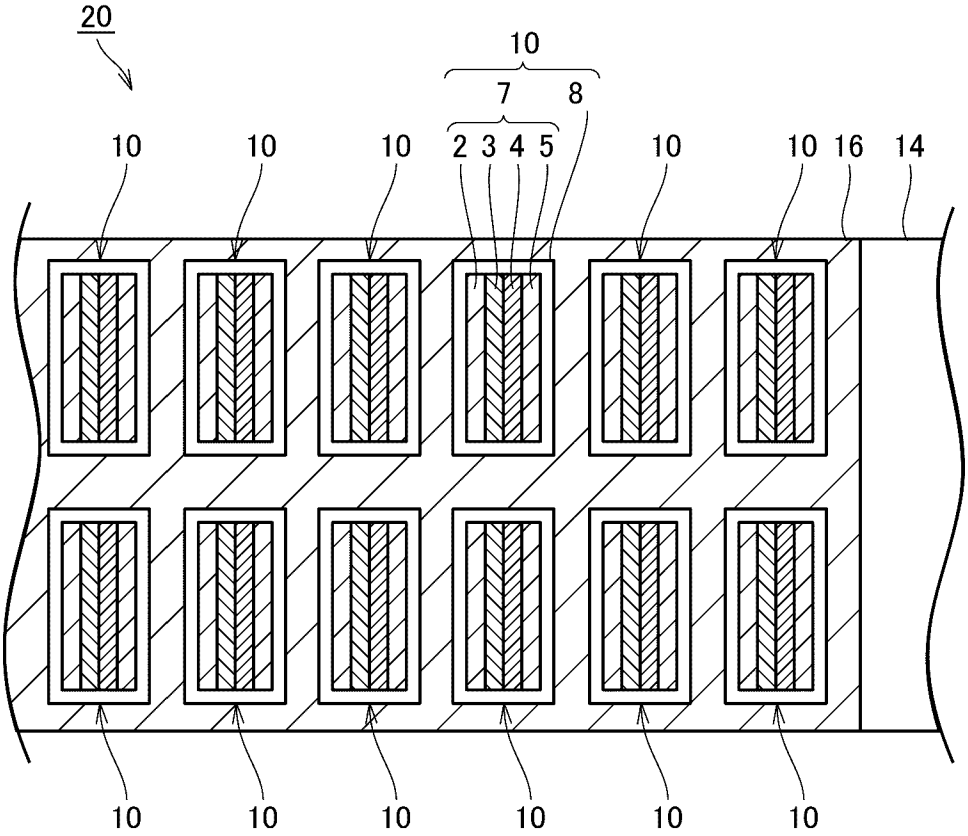
[図3]

FIG.3



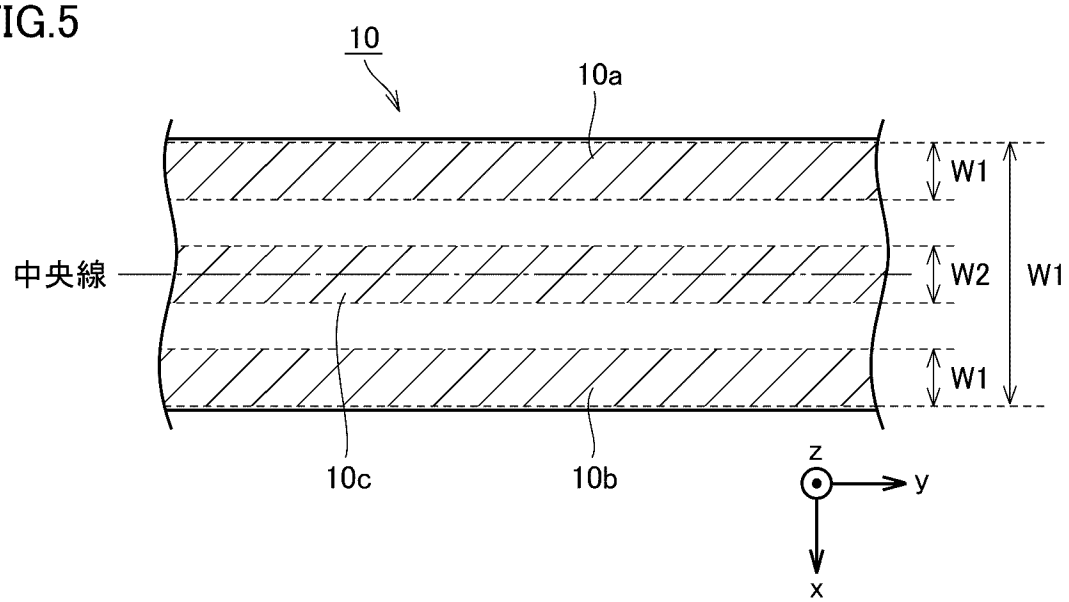
[図4]

FIG.4



[図5]

FIG.5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/082333

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01B12/06(2006.01)i, *H01F6/06*(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)
H01B12/00-12/16, H01B13/00, H01F6/06

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 5693784 B2 (Fujikura Ltd.), 01 April 2015 (01.04.2015), & US 2014/0357495 A1 & EP 2801983 A1 & WO 2013/129568 A1	1-4
A	JP 2012-216504 A (Fujikura Ltd.), 08 November 2012 (08.11.2012), (Family: none)	1-4
A	JP 2016-54050 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 14 April 2016 (14.04.2016), (Family: none)	1-4

☐ 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
16 December 2016 (16.12.16)	27 December 2016 (27.12.16)

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／ＪＰ２０１６／０８２３３３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01B12/06(2006.01)i, H01F6/06(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.　H01B12/00 - 12/16, H01B13/00, H01F6/06

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	１９７１－２０１６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 5693784 B2 (株式会社フジクラ) 2015.04.01 & US 2014/0357495 A1 & EP 2801983 A1 & WO 2013/129568 A1	1-4
A	JP 2012-216504 A (株式会社フジクラ) 2012.11.08 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 2016-54050 A (住友電気工業株式会社) 2016.04.14 (ファミリーなし)	1-4

☐　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
１６．１２．２０１６	２７．１２．２０１６

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　９６４２
久保　正典
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５２６