

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-109263

(P2012-109263A)

(43) 公開日 平成24年6月7日(2012.6.7)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
HO 1 B	13/00	(2006.01)	HO 1 B	13/00	5 6 5 D	4 G 0 4 7		
HO 1 B	12/06	(2006.01)	HO 1 B	12/06	Z A A	5 G 3 2 1		
CO 1 G	1/00	(2006.01)	CO 1 G	1/00	S			
HO 1 F	6/06	(2006.01)	HO 1 F	5/08	B			

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2012-24797 (P2012-24797)	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社
(22) 出願日	平成24年2月8日 (2012.2.8)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(62) 分割の表示	特願2005-274235 (P2005-274235) の分割	(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
原出願日	平成17年9月21日 (2005.9.21)	(72) 発明者	大松 一也 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
		Fターム(参考)	4G047 JA04 JA05 JB02 KE02 KG04 5G321 AA02 AA04 BA03 CA04 CA18 CA24 CA27 CA41 CA50 DB22 DB37

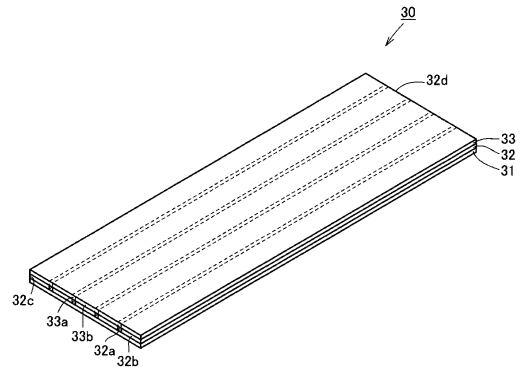
(54) 【発明の名称】 超電導テープ線材の製造方法、超電導テープ線材、および超電導機器

(57) 【要約】

【課題】長尺な線材と同様の効果を有する超電導テープ線材の製造方法、超電導テープ線材、および超電導機器を提供する。

【解決手段】超電導テープ線材30の製造方法は、テープ状基板31を準備する工程(S10)と、テープ状基板31上に中間薄膜層32を形成する工程(S20)と、中間薄膜層32は一方端部32cから他方端部32dまで伸び、中間薄膜層32に一方端部32cから他方端部32dまで延在する少なくとも1つの中間層分割領域32aを形成する工程(S50)と、中間薄膜層32上に超電導層33を形成する工程(S30)とを備えている。超伝導領域層33aは、超電導層33bの臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴とする。

【選択図】図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

テープ状基板を準備する工程と、
前記テープ状基板上に中間薄膜層を形成する工程と、
前記中間薄膜層は一方端部から他方端部まで伸び、前記中間薄膜層に前記一方端部から前記他方端部まで延在する少なくとも1つの中間層分割領域を形成する加工工程と、
前記中間薄膜層上に超電導層を形成する工程とを備え、
前記中間層分割領域上の超電導層領域は、前記超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴とする、超電導テープ線材の製造方法。

【請求項 2】

テープ状基板と、
前記テープ状基板上に形成された中間薄膜層と、
前記中間薄膜層上に形成され、一方端部から他方端部まで伸び、前記一方端部から前記他方端部まで延在する少なくとも1つの分割領域を含む超電導層とを備え、
前記分割領域は、前記超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴とする、超電導テープ線材。

【請求項 3】

テープ状基板と、
前記テープ状基板上に形成され、一方端部から他方端部まで伸び、前記一方端部から前記他方端部まで延在する少なくとも1つの中間層分割領域を含む中間薄膜層と、
前記中間薄膜層上に形成された超電導層とを備え、
前記中間層分割領域上の超電導層領域は、前記超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴とする、超電導テープ線材。

【請求項 4】

請求項 2 または 請求項 3 に記載の超電導テープ線材を用いた、超電導機器。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、超電導テープ線材の製造方法、超電導テープ線材、および超電導機器に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、高磁界コイルにビスマス系高温超電導線材が用いられている。また、最近は、Y（イットリウム）系薄膜テープ高温超電導線材が用いられることもある。また、金属系超電導線材を用いて、周波数 900 MHz ~ 920 MHz の NMR コイルを作製している。このような NMR コイルを作製するためには、長尺で均一な線材が必要である。

【0003】

長尺で均一な特性の線材の製造方法として、特開平 6 - 120025 号公報（特許文献 1）では、酸化物超電導コイルの製造方法が開示されている。特許文献 1 には、コイルの中心軸に対してコイルの内径と外形とを結ぶ直線が中心軸に対して回転したときに、その直線と中心軸との交点が、中心軸の上下方向に移動するらせん状の連続面を有する非超電導体製基板を用意し、その基板上に酸化物超電導体を成膜する方法が開示されている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献 1】特開平 6 - 120025 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

しかしながら、周波数 1 GHz の NMR コイルを作製するためには、たとえば Bi - 2

10

20

30

40

50

2 1 2 組成の Bi (ピスマス) 系線材では、温度が 4 . 2 K、磁束密度が 2 5 T、 I_c (臨界電流) = 3 0 0 A の条件下で、内径 1 m m の丸線の場合、単長が 1 6 0 0 m という長尺な線材が必要となる。また、Y 系薄膜線材では、同様の条件下で、幅 1 c m のテープ線材の場合、単長が 5 0 0 m 必要となる。そのため、超電導線材を用いてコイルを作製するためには、長尺で均一な特性の線材が必要となる。特に高磁界コイルを作製する際には、そのような線材が要求される。

【 0 0 0 6 】

しかし、上記超電導線材では、上述のような長尺の線材を作成することは困難である。また、上記のような長尺な線材を実現した場合であっても、製造するのに非常に高価なものとなるため、工業製品とすることは非常に困難であるという問題がある。

10

【 0 0 0 7 】

また、上記特許文献 1 に記載の酸化物超電導コイルの製造方法では、らせん状の連続面を有する非超電導体製基板上に酸化物超電導体を成膜しているので、長尺な線材を製造することはできる。しかし、この場合も上述したように工業化が困難であるという問題がある。

【 0 0 0 8 】

それゆえ本発明の目的は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、長尺な線材と同様の効果を有する超電導テープ線材の製造方法、超電導テープ線材、および超電導機器を提供することである。

【課題を解決するための手段】

20

【 0 0 0 9 】

本発明の一の局面における超電導テープ線材の製造方法によれば、テープ状基板を準備する工程と、テープ状基板上に中間薄膜層を形成する工程と、中間薄膜層上に超電導層を形成する工程と、超電導層は一方端部から他方端部まで伸び、超電導層に一方端部から他方端部まで延在する少なくとも 1 つの分割領域を形成する加工工程とを備える。分割領域は、超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

本発明の他の局面における超電導テープ線材の製造方法によれば、テープ状基板を準備する工程と、テープ状基板上に中間薄膜層を形成する工程と、中間薄膜層は一方端部から他方端部まで伸び、中間薄膜層に一方端部から他方端部まで延在する少なくとも 1 つの中間層分割領域を形成する加工工程と、中間薄膜層上に超電導層を形成する工程とを備える。中間層分割領域上の超電導層領域は、超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴とする。

30

【 0 0 1 1 】

本発明の一の局面における超電導テープ線材は、テープ状基板と、テープ状基板上に形成された中間薄膜層と、中間薄膜層上に形成され、一方端部から他方端部まで伸び、一方端部から他方端部まで延在する少なくとも 1 つの分割領域を含む超電導層とを備える。分割領域は、超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

本発明の他の局面における超電導テープ線材は、テープ状基板と、テープ状基板上に形成され、一方端部から他方端部まで伸び、一方端部から他方端部まで延在する少なくとも 1 つの分割領域を含む中間薄膜層と、中間薄膜層上に形成された超電導層とを備え、中間層分割領域上の超電導層領域は、超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴とする。

40

【 0 0 1 3 】

本発明の超電導機器は、上記超電導テープ線材を用いている。

【発明の効果】

【 0 0 1 4 】

本発明の超電導テープ線材の製造方法によれば、加工工程により分割領域または中間層分割領域を形成する。そのため、幅広の超電導テープ線材を相対的に幅の狭い複数の並列

50

に配置された、または1本の直列に配置された超電導テープ線材に加工することができる。このような並列に配置された複数の、または直列に配置された1本の超電導テープ線材を用いてたとえばコイルなどの機器を製造すれば、上記複数の超電導テープ線材を直列に接続したような長尺のテープ線材を使ってコイルを製造した場合と同様の巻き数のコイルを容易に製造できる。つまり、長尺な線材と同様の効果を有する超電導テープ線材を容易に製造することができる。

【0015】

本発明の超電導テープ線材によれば、分割領域または中間層分割領域を備えている。そのため、線材を並列に複数枚集めたものと同様の効果を有する幅広の超電導テープ線材とすることができる。

10

【0016】

本発明の超電導機器によれば、分割領域または中間層分割領域が形成されている。そのため、長尺な線材を用いた超電導機器と同様の効果を有する超電導機器を、比較的長さの短い、幅広の超電導テープ線材を用いて製造できる。このため、長尺な線材を用いる場合より製造コストを低減できる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】実施の形態1における超電導テープ線材を示す概略斜視図である。

【図2】実施の形態1における超電導テープ線材の製造方法を示すフローチャートである。

20

【図3】実施の形態1での加工工程を示す概略模式図である。

【図4】実施の形態1の変形例における超電導テープ線材を示す概略斜視図である。

【図5】実施の形態2における超電導テープ線材を示す概略斜視図である。

【図6】実施の形態2における超電導テープ線材の製造方法を示すフローチャートである。

【図7】実施の形態3における超電導機器を示す概略斜視図である。

【図8】実施の形態3における超電導コイルの製造方法を示すフローチャートである。

【図9】1枚の超電導テープ線材を用いて製造された1層のコイルの模式図である。

【図10】3枚の超電導テープ線材からそれぞれ形成された巻き形状体を用いて3層のコイルを製造する模式図である。

30

【図11】実施の形態3の変形例における超電導コイルの製造方法を示すフローチャートである。

【図12】実施の形態4における超電導コイルの製造方法を示すフローチャートである。

【図13】実施の形態4での加工工程を示す概略模式図である。

【図14】本発明の実施の形態5における超電導コイルの製造方法を示すフローチャートである。

【図15】(A)は、実施の形態6における超電導コイルを示す概略上面図であり、(B)は、実施の形態6における超電導コイルを示す概略正面図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

40

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。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。

【0019】

(実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1における超電導テープ線材を示す概略斜視図である。図1を参照して、本発明の実施の形態1における超電導テープ線材を説明する。本発明の実施の形態1における超電導テープ線材10は、図1に示すように、テープ状基板11と、中間薄膜層12と、超電導層13とを備えている。

【0020】

中間薄膜層12は、テープ状基板11上に形成されている。超電導層13は、中間薄膜

50

層 1 2 上に形成され、一方端部 1 3 c から他方端部 1 3 d まで伸び、一方端部 1 3 c から他方端部 1 3 d まで延在する少なくとも 1 つの分割領域 1 3 a を含む。分割領域 1 3 a は、超電導層 1 3 b の臨界温度では超電導状態とならない領域である。

【 0 0 2 1 】

詳細には、分割領域 1 3 a は、超電導層 1 3 の長手方向（図 1 において一方端部 1 3 c から他方端部 1 3 d に延びる方向）に 1 つまたは複数並列に形成されている。実施の形態 1 では、一方端部 1 3 c と他方端部 1 3 d とは互いに対向している。

【 0 0 2 2 】

なお、「端部」とは、端である場合、および、端までは達しておらず端近傍である場合の両方を意味する。実施の形態 1 では、図 1 に示すように、一方端部 1 3 c および他方端部 1 3 d は、端としている。

10

【 0 0 2 3 】

分割領域 1 3 a は、後述する製造方法からも分かるように、超電導層 1 3 にレーザ光を照射するといった手法によりその結晶性が乱された状態（超電導層 1 3 b より超電導状態となる臨界温度が低い、あるいは超電導状態にならないような結晶構造の状態）になっている部分、若しくは分割領域 1 3 a に相当する超電導層そのものの存在が無い状態になっている部分や、テープ状基板 1 1 までの深さ方向において材料が繋がらない状態（分割領域 1 3 a 下の中間薄膜層の一部または全部の存在が無い状態、またはテープ状基板 1 1 の裏面まで達して切断される場合を除き分割領域 1 3 a 下の中間薄膜層およびテープ状基板の一部の存在が無い状態を含む）になっている部分である。すなわち、分割領域 1 3 a は、超電導層 1 3 が存在している場合であって超電導層の結晶性が乱された状態になっている部分、分割領域 1 3 a に相当する超電導層が存在しない状態になっている部分、分割領域 1 3 a に相当する超電導層とその下の中間薄膜層 1 2 の一部とが存在していない（中間薄膜層 1 2 の残部と基板 1 1 とは存在している）状態になっている部分、分割領域 1 3 a に相当する超電導層とその下の中間薄膜層 1 2 の全部とが存在していない（基板 1 1 は存在している）状態になっている部分、または分割領域 1 3 a に相当する超電導層とその下の中間薄膜層 1 2 の全部とその下の基板 1 1 の一部とが存在していない（基板 1 1 の残部は存在している）状態になっている部分である。

20

【 0 0 2 4 】

実施の形態 1 では、分割領域 1 3 a が 4 列形成されており、分割領域 1 3 a 以外の部分の超電導層 1 3 b が 5 列形成されている。そのため、分割領域 1 3 a が形成されていない（長手方向と直交する方向における超電導層 1 3 b の幅と同じ幅を有する）超電導テープ線材が 5 列並列されている場合と同様のものとなる。そのため、超電導テープ線材 1 0 では、分割領域 1 3 a が形成できる程度の幅広としている。なお、分割領域 1 3 a は、特にこの構成に限定されない。たとえば、分割領域 1 3 a は、超電導層 1 3 の短手方向（図 1 において長手方向と直交する方向、すなわち一方端部 1 3 c および他方端部 1 3 d と平行な方向）に複数並列に形成されていてもよい。

30

【 0 0 2 5 】

また、テープ状基板 1 1 は、Ni（ニッケル）または Ni 合金系の配向テープを用いている。中間薄膜層 1 2 は、CeO₂（セリア）および YsZ（イットリア安定化ジルコニア）の少なくとも一方を含んでいるものを用いている。超電導層 1 3 は、HoBCO（ホルミウム系高温超電導材料：HoBa₂Cu₃O_x）を用いている。

40

【 0 0 2 6 】

なお、テープ状基板 1 1 の材料は上述した Ni または Ni 合金系に限られず他の材料（たとえば他の金属材料、あるいはその他のフレキシブルな材料）を用いてもよい。中間薄膜層 1 2 は、その上に超電導層 1 3 を形成できれば上述した材料に限られない。また、中間薄膜層 1 2 は 1 層に限らず、2 層以上の複数層としてもよい。超電導層 1 2 としては上述した HoBCO 以外のレア・アース系超電導材料、若しくは従来の金属系超電導材料や他の酸化物系超電導材料を用いてもよい。

【 0 0 2 7 】

50

また、超電導層 1 3 の表面保護のために、超電導層 1 3 上に A g (銀) 安定化層や C u (銅) 安定化層などの表面保護層や安定化層 (図示せず) を設けている。分割領域 1 3 a 上の表面保護層は、分割領域 1 3 a 以外の部分の超電導層 1 3 b 上の表面保護層と同様の状態としてもよいし、分割領域 1 3 a と同様の状態としてもよい。

【 0 0 2 8 】

次に、図 2 および図 3 を参照して、超電導テープ線材 1 0 の製造方法について説明する。図 2 は、実施の形態 1 における超電導テープ線材 1 0 の製造方法を示すフローチャートである。図 3 は、実施の形態 1 での加工工程を示す概略模式図である。

【 0 0 2 9 】

まず、テープ状基板 1 1 を準備する工程 (S 1 0) を実施する。この工程 (S 1 0) では、上述したテープ状基板 1 1 を準備する。

10

【 0 0 3 0 】

次に、中間薄膜層 1 2 を形成する工程 (S 2 0) を実施する。この工程 (S 2 0) では、中間薄膜層 1 2 は、物理蒸着法や有機金属堆積法などによりテープ状基板 1 1 上に上述した材料を用いて形成される。

【 0 0 3 1 】

次に、超電導層 1 3 を形成する工程 (S 3 0) を実施する。この工程 (S 3 0) では、超電導層 1 3 は、中間薄膜層 1 2 上に P L D (Pulsed Laser Deposition) 法またはスパッタ法などの物理蒸着法および有機金属堆積法 (M O D 法) の少なくともいずれか一方を含む方法で形成される。

20

【 0 0 3 2 】

次に、超電導層 1 3 は一方端部 1 3 c から他方端部 1 3 d まで伸び、超電導層 1 3 に一方端部 1 3 c から他方端部 1 3 d まで延在する少なくとも 1 つの分割領域 1 3 a を形成する加工工程 (S 4 0) を実施する。この工程 (S 4 0) では、分割領域 1 3 a は、超電導層 1 3 b の臨界温度では超電導状態とならない領域となるように行なう。

【 0 0 3 3 】

実施の形態 1 では、工程 (S 4 0) は、レーザにより行なっている。具体的には、図 3 に示すように、レーザ (図 3 において矢印) は、超電導層 1 3 の長手方向に複数 (図 3 において 4 列) 並列に照射している。レーザを照射した部分は、分割領域 1 3 a となる。つまり、レーザが照射された部分では、超電導層 1 3 が局所的に溶融・凝固することによって、当該部分の結晶性が乱れた状態 (他の部分と対比するとその結晶構造に乱れが発生した状態) となる。このような結晶性が乱れた部分は、他の部分 (超電導層 1 3 b) より超電導状態に遷移する臨界温度が低い、あるいは超電導状態にならないというようにその超電導特性が他の部分より劣化している。あるいはレーザ照射によって、超電導層の超電導材料そのものが飛散されて材料が無くなっている。そのため、このようにレーザが照射された部分が分割領域 1 3 a となる。

30

【 0 0 3 4 】

なお、工程 (S 4 0) は、分割領域 1 3 a を形成できれば、レーザにより行なわれることに特に限定されない。たとえば、分割領域 1 3 a は、当該部分に機械的な応力を加える (たとえば分割領域 1 3 a の平面形状に対応するブレード状の治具を押圧する) ことにより、超電導層 1 3 において結晶性を変更することにより形成してもよい。または、(テープ状基板 1 1 は切断せずに残存させる一方) 超電導層 1 2 における分割領域 1 3 a を形成すべき部分を切断、除去、あるいは切削加工することにより、工程 (S 2 0) を実施することもできる。

40

【 0 0 3 5 】

最後に、超電導層 1 3 上に表面保護層を形成する工程を実施する。この工程では、分割領域 1 3 a を形成した後に表面保護層を形成する。この場合は、分割領域 1 3 a 上の表面保護層は、分割領域 1 3 a 以外の部分の超電導層 1 3 b 上の表面保護層と同様の状態となる。

【 0 0 3 6 】

50

なお、表面保護層を形成する工程は、超電導層 13 を形成する工程 (S 30) の後に実施してもよい。この場合は、表面保護層が形成されたのちに、加工工程 (S 40) を実施する。この場合は、分割領域 13 a 上の表面保護層は、分割領域 13 a と同様の状態となる。

【0037】

上記工程 (S 10 ~ S 40) を行なうことにより、実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 を製造することができる。

【0038】

次に、実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 の動作について説明する。超電導テープ線材 10 において一方端部 13 c と他方端部 13 d との間に電圧を印加して電流を流すと、一定の条件 (たとえば超電導層 13 b が超電導状態になる温度にまで超電導テープ線材 10 を冷却した状態) では、分割領域 13 a 以外の部分の超電導層 13 b に超電導状態で電流を流すことができる。このとき、複数の超電導層 13 b は互いに電氣的に独立した導電線とみなすことができるので、複数の超電導線が並列に配置された状態と等価な状態となる。

10

【0039】

また、超電導テープ線材 10 の動作については、上述した動作に限られない。たとえば、分割領域 13 a 以外の部分の 5 の超電導層 13 b を直列に接続することもできる。具体的にはそれぞれの超電導層 13 b の端部で近接の他の超電導層 13 b と電氣的に接続する。そして、電流を流すと、1本の導電線とみなすことができるので、1本の長尺な線材と等価な状態となる。

20

【0040】

以上説明したように、本発明の実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 の製造方法によれば、テープ状基板 11 を準備する工程 (S 10) と、テープ状基板 11 上に中間薄膜層 12 を形成する工程 (S 20) と、中間薄膜層 12 上に超電導層 13 を形成する工程 (S 30) と、超電導層 13 は一方端部 13 c から他方端部 13 d まで伸び、超電導層 13 に一方端部 13 c から他方端部 13 d まで延在する少なくとも 1つの分割領域 13 a を形成する加工工程 (S 40) とを備えている。分割領域 13 a は、超電導層 13 b の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴とする。そのため、分割領域 13 a を形成することにより、1の超電導テープ線材 10 で、分割領域 13 a 以外の部分の超電導層 13 b を構成する領域数の超電導テープ線材を集めたものと同様の効果を有する超電導テープ線材 10 を容易に製造することができる。また、幅広の超電導テープ線材 10 を用いれば、たとえ長尺でなくてもその長さの領域数の超電導テープ線材を集めたものと同様の効果を有する超電導テープ線材 10 を製造することができる (そのトータル長さが、(幅広の超電導テープ線材 10 の長手方向の長さ) × (超電導層 13 b の領域数) となる、複数の超電導テープ線材が並列に配置された構造体を製造できる)。よって、長尺な線材を用いずに、幅広の超電導テープ線材 10 を分割して、並列な複数の幅の狭い超電導テープ線材からなる構造体を形成できる。このような構造体では分割数を増やすことによって超電導テープ線材のトータル長さを長くすることができるので、長尺な超電導テープ線材と同様に用いることができる超電導テープ線材 10 を工業化することは可能となる。

30

40

【0041】

上記超電導テープ線材 10 の製造方法において好ましくは、加工工程 (S 40) は、レーザにより行なわれる。これにより、分割領域 13 a を容易に形成することができる。また、レーザの照射領域の幅、位置、または深さを変更することで、分割領域 13 a の幅、位置、または深さを容易に変更できる。このため、並列に配置された超電導テープ線材とみなせる超電導層 13 b の幅や分割数を容易に変更できる。

【0042】

上記超電導テープ線材 10 の製造方法において好ましくは、加工工程 (S 40) は、超電導層 13 の長手方向に 1つまたは複数並列に分割領域 13 a を形成するように行なわれる。これにより、分割領域 13 a 以外の部分の複数の超電導層 13 b において、複数本の

50

電流パスを確保できる。または、超電導層 13b を直列に接続して電流を流すことによって、1本の長尺な線材と等価な線材を実現することができる。よって、安価で高性能な超電導テープ線材 10 を製造できるので、工業化が可能となる。

【0043】

上記超電導テープ線材 10 の製造方法において好ましくは、中間薄膜層 12 は物理蒸着法により形成されている。物理蒸着法としては、PLD法やスパッタ法などの特性に優れた膜を形成できる手法を用いることができるので、優れた膜質の中間薄膜層 12 を容易に形成することができる。

【0044】

上記超電導テープ線材 10 の製造方法において好ましくは、超電導層 13 は、物理蒸着法および有機金属堆積法の少なくともいずれか一方を含む方法により形成される。物理蒸着法（たとえば PLD 法など）は超電導層の特性に優れ、MOD法は、低コストという点で優れている。そのため、超電導テープ線材 10 の工業化が可能となる。

10

【0045】

また、本発明の実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 は、テープ状基板 11 と、テープ状基板 11 上に形成された中間薄膜層 12 と、中間薄膜層 12 上に形成され、一方端部 13c から他方端部 13d まで伸び、一方端部 13c から他方端部 13d まで延在する少なくとも 1 つの分割領域 13a を含む超電導層 13 とを備え、分割領域 13a は、超電導層 13b の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴としている。そのため、分割領域 13a を形成することにより、1 の超電導テープ線材 10 は、分割領域 13a 以外の部分の超電導層 13b を構成する領域数の超電導テープ線材を集めたものと同様の効果を有する。

20

【0046】

また、幅広の超電導テープ線材 10 を用いれば、たとえ長尺でなくてもその長さの領域数の超電導テープ線材を集めたものと同様の効果を有する。そのため、超電導テープ線材 10 は、長尺である必要がない。よって、超電導テープ線材 10 の工業化は容易となる。

【0047】

上記超電導テープ線材 10 において好ましくは、テープ状基板 11 は、Ni または Ni 合金系の配向金属テープであり、中間薄膜層は CeO_2 および YsZ の少なくとも一方を含んでおり、超電導層 12 は、 HBCO を含んでいる。これにより、テープ状基板 11 の配向性を生かす構造とすることができる。そのため、超電導テープ線材 10 は、実用上必要とされる大きな臨界電流値 (I_c) および臨界電流密度 (J_c) を得ることができる。さらに、テープ状基板 11 として用いる材料の選択の自由度を大きくできる。よって、超電導テープ線材 10 の工業化が可能となる。

30

【0048】

次に、図 4 を参照して、実施の形態 1 の超電導テープ線材 10 の変形例について説明する。図 4 は、実施の形態 1 の変形例における超電導テープ線材を示す概略斜視図である。変形例における超電導テープ線材 20 の構成は、基本的には本発明の実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 と同様の構成を備えるが、分割領域 13a の形状において、図 1 に示した超電導テープ線材 10 と異なる。

40

【0049】

詳細には、分割領域 13a は、端までは達しておらず端近傍である一方端部 13c から他方端部 13d まで延在している。変形例では、端近傍である分割領域 13a の先端とその近傍である端との幅 W は、 $5\text{cm} \sim 20\text{cm}$ としている。なお、幅 W は超電導テープ線材 20 の長さや分割領域 13a の形成される長さによらず、 $5\text{cm} \sim 20\text{cm}$ とすることが好ましい。

【0050】

なお、変形例の超電導テープ線材 20 における分割領域 13a は、実施の形態 1 の超電導テープ線材 10 における分割領域 13a の場合に加えて、分割領域 13a に相当する超電導層、その下の中間薄膜層 12 および基板 11 が、レーザ加工や機械加工などで切れ目

50

を入れる手法により存在していない状態を含む。すなわち、端までは達していない場合の分割領域 13a は、超電導層 13 が存在している場合であって超電導層の結晶性が乱された状態になっている部分、分割領域 13a に相当する超電導層が存在しない状態になっている部分、分割領域 13a に相当する超電導層とその下の中間薄膜層 12 の一部とが存在していない（中間薄膜層 12 の残部と基板 11 とは存在している）状態になっている部分、分割領域 13a に相当する超電導層とその下の中間薄膜層 12 の全部とが存在していない（基板 11 は存在している）状態になっている部分、分割領域 13a に相当する超電導層とその下の中間薄膜層 12 の全部とその下の基板 11 の一部とが存在していない（基板 11 の残部は存在している）状態になっている部分、または分割領域 13a に相当する超電導層とその下の中間薄膜層 12 とその下の基板 11 とが存在していない（切れ目が入った）状態になっている部分である。

10

【0051】

また、超電導テープ線材 20 の製造方法の構成は、基本的には本発明の実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 の製造方法と同様の構成を備えるが、加工工程（S40）において、図 2 に示した超電導テープ線材 10 の製造方法と異なる。

【0052】

詳細には、実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 の製造方法における加工工程（S40）で、分割領域 13a を、図 4 に示すように、端近傍（端から幅 W）まで延在するように形成する。上記工程を行なうことにより、実施の形態 1 の変形例における超電導テープ線材 20 を製造することができる。

20

【0053】

超電導テープ線材 20 を動作させるときには、幅 W に相当するテープ状基板 11、中間薄膜層 12、および超電導層 13 を切断する。これにより、実施の形態 1 の超電導テープ線材 10 と同様の動作となる。なお、幅 W に相当するテープ状基板 11、中間薄膜層 12、および超電導層 13 を切断することに特に限定されない。たとえば、一方端部または両端部を切断せずに、分割領域 13a で 2 の領域に区分された領域の先端を接続することにより、1 本の長尺な超電導テープ線材を製造することもできる。

【0054】

以上説明したように、実施の形態 1 の変形例における超電導テープ線材 20 によれば、幅 W を残して分割領域 13a を形成する。そのため、実用性を向上することができる。

30

【0055】

（実施の形態 2）

図 5 は、実施の形態 2 における超電導テープ線材を示す概略斜視図である。図 5 を参照して、本発明の実施の形態 2 における超電導テープ線材を説明する。本発明の実施の形態 2 における超電導テープ線材 30 は、図 5 に示すように、テープ状基板 31 と、中間薄膜層 32 と、超電導層 33 とを備えている。

【0056】

中間薄膜層 32 は、テープ状基板 31 上に形成され、一方端部 32c から他方端部 32d まで伸び、一方端部 32c から他方端部 32d まで延在する少なくとも 1 つの中間層分割領域 32a を含む。中間薄膜層 32 は、1 層または 2 層以上としている。超電導層 33 は、中間薄膜層 32 上に形成される。

40

【0057】

中間層分割領域 32a 上の超電導層領域 33a は、超電導層 33b の臨界温度では超電導状態とならない領域としている。すなわち、中間層分割領域 32a は、中間層分割領域 32a 以外の部分の中間薄膜層 32b 上の超電導層 33b が超電導状態となるとき、中間層分割領域 32a 上の超電導層領域 33a が超電導状態とならないような構造としている。

【0058】

詳細には、中間層分割領域 32a は、超電導層 33 の長手方向に複数並列に形成されている。実施の形態 2 では、中間層分割領域 32a が 4 列形成されており、中間層分割領域

50

3 2 a 以外の部分の中間薄膜層 3 2 b が 5 列形成されている。

【 0 0 5 9 】

中間層分割領域 3 2 a 上の超電導層領域 3 3 a は、中間層分割領域 3 2 a の長手方向に複数並列に形成されている。実施の形態 2 では、中間層分割領域 3 2 a 上の超電導層領域 3 3 a が 4 列形成されており、中間層分割領域 3 2 a 以外の領域上の超電導層 3 3 b が 5 列形成されている。そのため、中間層分割領域 3 2 a が形成されていない同じ長さの超電導テープ線材が 5 列並列されている場合と同様のものとなる。

【 0 0 6 0 】

実施の形態 2 では、テープ状基板 3 1、中間薄膜層 3 2、超電導層 3 3 は、実施の形態 1 におけるテープ状基板 1 1、中間薄膜層 1 2、超電導層 1 3 と同様の材料を用いているが、特にこの構成に限定されない点についても実施の形態 1 と同様である。なお、図示していないが、超電導テープ線材 3 0 は表面保護層を含む点においても実施の形態 1 と同様である。

【 0 0 6 1 】

次に、図 6 を参照して、超電導テープ線材 3 0 の製造方法について説明する。図 6 は、実施の形態 2 における超電導テープ線材 3 0 の製造方法を示すフローチャートである。

【 0 0 6 2 】

まず、テープ状基板 3 1 を準備する工程 (S 1 0) を実施する。次に、テープ状基板 3 1 上に中間薄膜層 3 2 を形成する工程 (S 2 0) を実施する。この工程 (S 1 0 , S 2 0) は、実施の形態 1 の製造方法における工程 (S 1 0 , S 2 0) と同様であるので、その説明は繰り返さない。

【 0 0 6 3 】

次に、中間薄膜層 3 2 は一方端部 3 2 c から他方端部 3 2 d まで伸び、中間薄膜層 3 2 に一方端部 3 2 c から他方端部 3 2 d まで延在する少なくとも 1 つの中間層分割領域 3 2 a を形成する加工工程 (S 5 0) を実施する。この工程 (S 5 0) では、中間層分割領域 3 2 a 上の超電導層領域 3 3 a は、超電導層 3 3 b の臨界温度では超電導状態とならない領域となるように実施する。

【 0 0 6 4 】

実施の形態 2 では、工程 (S 5 0) は、実施の形態 1 における工程 (S 4 0) と同様に、レーザにより行なっているが、レーザにより行なわれることに特に限定されず、実施の形態 1 における工程 (S 4 0) に関する説明で述べた機械的加工法など任意の方法を用いることができる。

【 0 0 6 5 】

また、中間薄膜層 3 2 が 2 層以上の複数層からなる場合、少なくとも最上層 (テープ状基板 3 1 から最も離れた位置に形成された層) に中間層分割領域 3 2 a が形成されていればよい。中間層分割領域 3 2 a は、中間薄膜層 3 2 b 上に形成される超電導層 3 3 b より結晶性の劣る (超電導特性の劣る、あるいは超電導特性を発揮しない結晶構造である) 超電導層領域 3 3 a をその上に形成できれば、どのような構造であってもよい。たとえば、中間層分割領域 3 2 a はその上部表面 (超電導層 3 3 側の表面) の膜質が、中間薄膜層 3 2 b の上部表面の膜質と異なってもよい。また、中間薄膜層 3 2 が複数の層からなる場合、超電導層 3 3 に接触する最上層または当該最上層の超電導層 3 3 側の表面に中間層分割領域 3 2 a が形成されていてもよいし、中間層分割領域 3 2 a は上述した複数の層を貫通するように形成されていてもよい。

【 0 0 6 6 】

次に、中間薄膜層 3 2 上に超電導層 3 3 を形成する工程 (S 3 0) を実施する。この工程 (S 3 0) を行なうと、中間層分割領域 3 2 a 上の超電導層領域 3 3 a の結晶性は、中間層分割領域 3 2 a 以外の部分の中間薄膜層 3 2 b 上の超電導層 3 3 b の結晶性と異なる。

【 0 0 6 7 】

次に、表面保護層を形成する工程を実施する。上記工程 (S 1 0 , S 2 0 , S 5 0 , S

10

20

30

40

50

30)を行なうことにより、実施の形態2における超電導テープ線材30を製造することができる。

【0068】

超電導テープ線材30の動作は、実施の形態1における超電導テープ線材10の動作と同様であるので、その説明は繰り返さない。

【0069】

以上説明したように、本発明の実施の形態2における超電導テープ線材30の製造方法によれば、テープ状基板31を準備する工程(S10)と、テープ状基板31上に中間薄膜層32を形成する工程(S20)と、中間薄膜層32は一方端部から他方端部まで伸び、中間薄膜層32に一方端部から他方端部まで延在する少なくとも1つの中間層分割領域32aを形成する加工工程(S50)と、中間薄膜層32上に超電導層33を形成する工程(S30)とを備え、中間層分割領域32a上の超電導層領域33aは、超電導層33bの臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴としている。中間層分割領域32aを形成することにより、1の超電導テープ線材30で、中間層分割領域32a以外の中間薄膜層32b上の超電導層33bの領域数の超電導テープ線材を集めた(直列に配置した)ものと同様の効果を有する超電導テープ線材30を容易に製造することができる。よって、長尺な線材を用いずに、幅広の超電導テープ線材30を用いることができるので、超電導テープ線材30を工業化することは可能となる。

10

【0070】

本発明の実施の形態2における超電導テープ線材30によれば、テープ状基板31と、テープ状基板31上に形成され、一方端部から他方端部まで伸び、一方端部から他方端部まで延在する少なくとも1つの中間層分割領域32aを含む中間薄膜層32と、中間薄膜層32上に形成された超電導層33とを備え、中間層分割領域32a上の超電導層33aは、超電導層33bの臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴としている。中間層分割領域32aを形成することにより、1の超電導テープ線材30は、中間層分割領域32aにより区分された中間薄膜層32b上の超電導層33bを構成する領域数の超電導テープ線材を集めたものの効果と同様の効果を有する。

20

【0071】

(実施の形態3)

図7は、本発明の実施の形態3における超電導機器を示す概略斜視図である。図7を参照して、本発明の実施の形態3における超電導機器を説明する。本発明の実施の形態3における超電導機器は超電導コイルとしている。実施の形態3における超電導コイル40は、実施の形態1における超電導テープ線材10を用いて製造されている。

30

【0072】

超電導コイル40は、図7に示すように、分割領域13aが形成された超電導層13とテープ状基板11とを含む超電導テープ線材10(図1参照)が巻かれることにより巻き形状体41,42,43が構成され、分割領域13aは、分割領域13a以外の部分の超電導層13bが超電導状態となるとき、超電導状態とならないような構造としている。

【0073】

なお、上記「巻き形状体」とは、筒状または中空でない棒体であり、その断面形状は丸、多角形、一部凹の形状など任意の形状であることを意味する。

40

【0074】

実施の形態3では、超電導コイル40は、3枚の超電導テープ線材10からそれぞれが構成される巻き形状体41~43を備えている。超電導テープ線材10は、らせん状に巻かれることにより円筒となる巻き形状体41~43を構成する。そして、超電導コイル40の内側から順に巻き形状体41,42,43が配置されており、最外層には超電導テープ線材10からなる巻き形状体43が配置されている3層コイルとしている。なお、超電導コイル40を構成する巻き形状体41~43は、超電導コイル40の内周側に位置するものほどその外径が小さくなっている。

【0075】

50

巻き形状体 4 1 , 4 2 , 4 3 を構成する超電導テープ線材 1 0 は、それぞれ、分割領域 1 3 a により区分された 2 以上の領域がらせん状になるように、分割領域 1 3 a が形成された超電導層 1 2 とテープ状基板 1 1 とを含む超電導テープ線材 1 0 が円筒状に巻かれている。これにより、巻き形状体 4 1 ~ 4 3 を形成している。

【 0 0 7 6 】

実施の形態 3 では、図 7 に示すように、最外層である超電導テープ線材 1 0 からなる巻き形状体 4 3 において、4 列の分割領域 1 3 a が形成されて区分された 5 列の領域の超電導層 1 3 b のうち、任意の領域 1 3 B に着目する。巻き形状体 4 3 の任意の領域 1 3 B は、巻き形状体 4 2 の領域 1 3 B に相当する領域と、たとえばはんだで接続されている。同様に、巻き形状体 4 2 の領域 1 3 B に相当する領域は、巻き形状体 4 1 の領域 1 3 B に相当する領域と、たとえばはんだで接続されている。このようにして、巻き形状体 4 1 ~ 4 3 におけるそれぞれの領域が接続されている。

10

【 0 0 7 7 】

なお、上記の構成に特に限定されず、たとえばコイルは 1 層であってもよい (1 つの巻き形状体から構成されていてもよい) 。また、分割領域 1 3 a は 2 以上であれば、形成可能な数の領域に分割してもよい。また、コイルを構成する巻き形状体 4 1 ~ 4 3 のそれぞれは、1 枚ではなく 2 枚以上 (たとえば 3 枚) の超電導テープ線材 1 0 を組合せて形成してもよい。たとえば、3 枚の超電導テープ線材 1 0 のそれぞれの一方端部 1 3 c について所定の加工 (らせん状に巻くため端部を斜めに切断するなどの加工) を行なったあと、当該加工後の端面の端を互いに接続して、巻き形状体の端部の円形開口部を構成する。そして、3 つの超電導テープ線材をらせん状に巻きながら接続して 1 つのコイルを形成する (つまり、1 つのコイルの外周側面を複数 (たとえば 3 つ) の超電導テープ線材 1 0 により構成する) 。このようにすれば、複数の超電導テープ線材 1 0 を用いて大口径のコイルを形成することができる。

20

【 0 0 7 8 】

なお、図示していないが、超電導コイル 4 0 は、表面保護層を超電導層 1 3 上に備えている。

【 0 0 7 9 】

次に、図 8 ~ 図 1 0 を参照して、超電導コイル 4 0 の製造方法について説明する。図 8 は、実施の形態 3 における超電導コイル 4 0 の製造方法を示すフローチャートである。図 9 は、1 枚の超電導テープ線材 1 0 を用いて製造された 1 層のコイルの模式図である。図 1 0 は、3 枚の超電導テープ線材からそれぞれ形成された巻き形状体 4 1 ~ 4 3 を用いて 3 層のコイルを製造する模式図である。

30

【 0 0 8 0 】

まず、超電導テープ線材 1 0 の製造方法により最内層である巻き形状体 4 1 である超電導コイルを製造する工程を実施する。実施の形態 3 では、超電導コイルは、実施の形態 1 における超電導テープ線材 1 0 を用いている。そのため、具体的には、図 8 に示すように、まず、テープ状基板 1 1 を準備する工程 (S 1 0) を実施する。次に、テープ状基板 1 1 上に中間薄膜層を形成する工程 (S 2 0) を実施する。次に、超電導層 1 3 を形成する工程 (S 3 0) を実施する。次に、超電導層 1 3 は一方端部 1 3 c から他方端部 1 3 d まで伸び、超電導層 1 3 に一方端部 1 3 c から他方端部 1 3 d まで延在する少なくとも 1 つの分割領域 1 3 a を形成する加工工程 (S 4 0) を実施する。これらの工程 (S 1 0 ~ S 4 0) は、実施の形態 1 における工程 (S 1 0 ~ S 4 0) と同様であるため、その説明は繰り返さない。

40

【 0 0 8 1 】

次に、超電導テープ線材 1 0 を巻く工程 (S 6 0) を実施する。この工程 (S 6 0) では、巻き形状体 4 1 を形成する。

【 0 0 8 2 】

実施の形態 3 では、図 9 に示すように、分割領域 1 3 a により区分された 2 以上の領域がらせん状になるように、分割領域 1 3 a が形成された超電導テープ線材 1 0 を円筒状に

50

巻く。この際に、超電導テープ線材 10 の長手方向の辺である境界線 4 1 a が重ならず、かつ隙間ができないようにらせん状に巻いている。

【0083】

そして、図 10 に示すように、3 つの超電導テープ線材 10 について工程 (S 60) を実施することにより、それぞれ巻き形状体 4 1, 4 2, 4 3 を形成する。次いで、図 10 に示すように、巻き形状体 4 1, 4 2, 4 3 を順に重ねる (同心円状に配置する、あるいは巻き形状体 4 1 の外周を覆うように巻き形状体 4 2 を配置し、さらに巻き形状体 4 2 の外周を覆うように巻き形状体 4 3 を配置する)。なお、巻き形状体 4 1, 4 2, 4 3 を重ねることができるように、その円筒の内径をその順に大きくしている。

【0084】

上記工程 (S 10 ~ S 60) を行なうことにより、実施の形態 3 における超電導コイル 40 を製造することができる。そして、上述したように各巻き形状体 4 1 ~ 4 3 の対応する領域 (超電導層 1 3 b) が互いに電氣的に接続される。

【0085】

次に、図 7 を参照して、超電導コイル 40 の動作について説明する。超電導コイル 40 に電流を流すために、電源を接続する。超電導コイル 40 は、各巻き形状体 4 1, 4 2, 4 3 において分割領域 1 2 a が形成されて区分された領域ごとに接続されている。領域ごとに接続された巻き形状体 4 1, 4 2, 4 3 において、接続された先端と電源とを接続する。

【0086】

実施の形態 3 では、巻き形状体 4 3 における 4 列の分割領域 1 3 a が形成されて区分された 5 の領域の超電導層 1 3 b のうち任意の領域 1 3 B の端部 (図 7 においてたとえば下側) と、巻き形状体 4 2 における領域 1 3 B の端部 (図 7 においてたとえば下側) とを接続している。同様に、巻き形状体 4 2 における領域 1 3 B の他方の端部 (図 7 においてたとえば上側) と、巻き形状体 4 1 における領域 1 3 B の端部 (図 7 においてたとえば上側) とを接続している。これにより、巻き形状体 4 1 ~ 4 3 は、電氣的に接続される。

【0087】

そして、接続されてなる超電導コイル 40 において、電源を ON にすると、巻き形状体 4 1 の領域 1 3 B (図 7 においてたとえば上方向)、巻き形状体 4 2 の領域 1 3 B (図 7 においてたとえば下方向)、巻き形状体 4 3 の領域 1 3 B (図 7 においてたとえば上方向) を電流が流れる。このようにして、5 列の領域それぞれに電流を流し、一定の条件下で超電導状態とすることができる。

【0088】

なお、上記構成に特に限定されず、たとえば巻き形状体 4 1, 4 2, 4 3 のそれぞれの超電導テープ線材 10 において分割領域 1 3 a 以外の部分の 5 の超電導層 1 3 b の端部で近接の他の超電導層 1 3 b を直列に接続する。そして、巻き形状体 4 1, 4 2, 4 3 を接続すると、1 本の導電線とみなすことができる。すなわち、1 本の長尺な線材と等価な状態となる。そして、電源をその先端に接続すると、必要な電源は 1 つとなる。これにより、電源の数を減らすことができるので、安価な超電導コイルを製造することができる。この超電導コイルに電流を流すと、一定の条件下、1 の流路において超電導状態とすることができる。

【0089】

以上説明したように、本発明の実施の形態 3 における超電導機器の一例である超電導コイル 40 によれば、実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 を用いた超電導機器としている。そのため、分割領域 1 3 a を形成することにより、1 の超電導テープ線材 10 は、分割領域 1 3 a 以外の部分の超電導層 1 3 b を構成する領域数の超電導テープ線材を集めたものと同様の効果を有する超電導テープ線材となり、当該超電導テープ線材を用いて超電導コイル 40 を容易に製造できる。

【0090】

また、本発明の実施の形態 3 における超電導機器の一例である超電導コイル 40 の製造

10

20

30

40

50

方法によれば、実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 の製造方法により超電導テープ線材 10 を製造する工程 (S 10 ~ S 40) と、超電導テープ線材 10 を巻く工程 (S 60) とを備えている。そのため、分割領域 13 a を形成することにより、1 の超電導テープ線材 10 で、分割領域 13 a 以外の部分の超電導層 13 b を構成する領域数の超電導テープ線材を集めたものと同様の効果を有する超電導テープ線材 10 を用いて超電導コイル 40 を容易に製造することができる。よって、長尺な線材を用いずに、幅広の超電導テープ線材 10 を用いることができるので、超電導コイル 40 を工業化することは可能となる。

【0091】

次に、実施の形態 3 の超電導コイル 40 の変形例について説明する。変形例における超電導機器の一例である超電導コイルの構成は、基本的には本発明の実施の形態 3 における超電導コイル 40 と同様の構成を備えるが、中間薄膜層において中間層分割領域が形成されている点において、図 7 に示した超電導コイル 40 と異なる。

10

【0092】

詳細には、実施の形態 2 における超電導テープ線材 30 を用いている。具体的には、図 5 に示すように、超電導テープ線材 30 は、テープ状基板 31 と、中間薄膜層 32 と、超電導層 33 とを備えている。超電導テープ線材 30 を中間層分割領域 32 a 上の超電導層 33 a により区分された 2 以上の領域がらせん状になるように、中間層分割領域 32 a が形成された超電導テープ線材 30 を円筒状に巻かれた巻き形状体として、変形例における超電導コイルを形成している。

20

【0093】

次に、図 11 を参照して、実施の形態 3 の変形例における超電導コイルの製造方法について説明する。図 11 は、変形例における超電導コイルの製造方法を示すフローチャートである。

【0094】

実施の形態 3 の変形例における超電導コイルの製造方法の構成は、基本的には本発明の実施の形態 3 における超電導コイル 40 の製造方法と同様の構成を備えるが、実施の形態 2 における超電導テープ線材を用いて製造している点において、図 8 に示した超電導コイル 40 の製造方法と異なる。

【0095】

まず、実施の形態 2 における超電導テープ線材 30 の製造方法により超電導テープ線材 30 を製造する工程を実施する。具体的には、図 11 に示すように、テープ状基板 31 を準備する工程 (S 10) を実施する。次に、テープ状基板 31 上に中間薄膜層 32 を形成する工程 (S 20) を実施する。次に、中間薄膜層 32 は一方端部から他方端部まで伸び、中間薄膜層 32 に一方端部から他方端部まで延在する少なくとも 1 つの中間層分割領域 32 a を形成する加工工程 (S 50) を実施する。次に、中間薄膜層 32 上に超電導層 33 を形成する工程 (S 30) を実施する。これらの工程 (S 10, S 20, S 50, S 30) は、実施の形態 2 の製造方法における工程 (S 10, S 20, S 50, S 30) と同様であるので、その説明は繰り返さない。

30

【0096】

次に、超電導テープ線材 30 を巻く工程 (S 60) を実施する。この工程 (S 60) は、実施の形態 3 の製造方法における工程 (S 60) と同様であるので、その説明は繰り返さない。

40

【0097】

上記工程 (S 10, S 20, S 50, S 30, S 60) を行なうことにより、各巻き形状体 41 ~ 43 を形成し、これらの巻き形状体 41 ~ 43 を組合せることによって実施の形態 3 の変形例における超電導コイルを製造することができる。

【0098】

以上説明したように、実施の形態 3 の変形例における超電導機器の一例である超電導コイルによれば、実施の形態 2 における超電導テープ線材 30 を用いている。これにより、

50

中間層分割領域 3 2 a を有する中間薄膜層 3 2 を備える超電導コイルとなる。

【 0 0 9 9 】

以上説明したように、実施の形態 3 の変形例における超電導機器の一例である超電導コイルの製造方法によれば、実施の形態 2 における超電導テープ線材 3 0 の製造方法により超電導テープ線材 3 0 を製造する工程 (S 1 0 , S 2 0 , S 5 0 , S 3 0) と、製造する工程 (S 1 0 , S 2 0 , S 5 0 , S 3 0) により製造された超電導テープ線材 3 0 を巻く工程 (S 6 0) とを備えている。そのため、中間層分割領域 3 2 a を有する中間薄膜層 3 2 を備える超電導コイルを容易に製造することができる。

【 0 1 0 0 】

(実施の形態 4)

本発明の実施の形態 4 は、超電導機器の一例である超電導コイルである。本発明の実施の形態 4 における超電導コイルは、基本的には図 7 に示す実施の形態 3 における超電導コイル 4 0 と同様の構成であるが、製造方法が異なる。そのため、実施の形態 4 における超電導コイルについてその説明は繰り返さない。

10

【 0 1 0 1 】

次に、図 1 2 および図 1 3 を参照して、本発明の実施の形態 4 における超電導コイルの製造方法について説明する。図 1 2 は、本発明の実施の形態 4 における超電導コイルの製造方法を示すフローチャートである。図 1 3 は、実施の形態 4 における加工工程を示す概略模式図である。

【 0 1 0 2 】

まず、テープ状基板を準備する工程 (S 1 0) を実施する。次に、テープ状基板上に中間薄膜層を形成する工程 (S 2 0) を実施する。次に、中間薄膜層 3 2 上に超電導層 3 3 を形成する工程 (S 3 0) を実施する。これらの工程 (S 1 0 ~ S 3 0) は、実施の形態 1 の製造方法における工程 (S 1 0 ~ S 3 0) と同様であるので、その説明は繰り返さない。

20

【 0 1 0 3 】

次に、超電導テープ線材を巻く工程 (S 6 0) を実施する。この工程 (S 6 0) は、実施の形態 3 の製造方法における工程 (S 6 0) と同様であるので、その説明は繰り返さない。

【 0 1 0 4 】

次に、巻いた超電導テープ線材の超電導層において、一方の端部に位置する一方端部から他方の端部に位置する他方端部まで伸び、超電導層を一方端部から他方端部まで延在する 2 以上の領域に区分する分割領域を形成する加工工程 (S 4 0) を実施する。この工程 (S 4 0) では、分割領域は、超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域となるように行なわれる。

30

【 0 1 0 5 】

実施の形態 4 における工程 (S 4 0) では、たとえば、工程 (S 6 0) により形成された巻き形状体の両端を固定する。固定するために、固定部材を設けてもよい。固定部材を設けることにより、超電導コイルの形状を維持しやすくなる。なお、この工程 (S 2 0) では、巻き形状体に分割領域を形成できれば、特にこれに限定されない。たとえば、超電導テープ線材を巻いた状態を維持できれば、分割領域を形成できる。

40

【 0 1 0 6 】

そして、図 1 3 に示すように、たとえば超電導テープ線材の超電導層 5 3 をレーザーで照射して分割領域 5 3 a を形成している。具体的には、レーザーは、巻き形状体の超電導層 5 3 をらせん状に照射して、分割領域 5 3 a を形成する。実施の形態 4 では、分割領域 5 3 a は 4 列並列に形成している。これにより、分割領域 5 3 a により区分された 5 の領域の超電導層 5 2 b がらせん状になるように円筒状に巻かれる巻き形状体を製造することができる。

【 0 1 0 7 】

上記工程 (S 1 0 , S 2 0 , S 3 0 , S 6 0 , S 4 0) を行なうことにより、巻き形状

50

体を製造でき、当該巻き形状体を組合せることによって実施の形態 4 における超電導コイルを製造することができる。

【0108】

実施の形態 4 における超電導コイルの動作は、実施の形態 3 における超電導コイル 40 と同様であるので、その説明は繰り返さない。

【0109】

以上説明したように、実施の形態 4 における超電導機器の一例である超電導コイルの製造方法によれば、テープ状基板を準備する工程 (S10) と、テープ状基板上に中間薄膜層を形成する工程 (S20) と、中間薄膜層 32 上に超電導層 33 を形成する工程 (S30) と、超電導テープ線材を巻く工程 (S60) と、巻いた超電導テープ線材の超電導層 53 において、一方の端部に位置する一方端部から他方の端部に位置する他方端部まで伸び、超電導層 53 を一方端部から他方端部まで延在する 2 以上の領域に区分する分割領域 53a を形成する加工工程 (S40) とを備え、加工工程 (S40) は、超電導層 53 のうち分割領域 53a となるべき部分を、分割領域以外の部分の超電導層 53b が超電導状態となるとき、超電導状態とならないような構造に加工する工程を含む。これにより、超電導テープ線材を巻き形状体とした後に、加工工程 (S40) を実施することができる。そのため、分割領域 53a を形成することにより、1 の超電導テープ線材で、分割領域 53a 以外の部分の超電導層 53b を構成する領域数の超電導テープ線材を集めたものと同様の効果を有する超電導テープ線材を用いて超電導コイルを容易に製造することができる。よって、超電導コイルを工業化することは可能となる。

10

20

【0110】

(実施の形態 5)

本発明の実施の形態 5 は、超電導機器の一例である超電導コイルである。本発明の実施の形態 5 における超電導コイルは、基本的には図 7 に示す実施の形態 3 における超電導コイル 40 と同様の構成であるが、中間薄膜層を備えている点および製造方法が異なる。

【0111】

実施の形態 5 における超電導コイルは、テープ状基板と、中間薄膜層と、超電導層とを備えている。中間薄膜層は、テープ状基板上に形成され、一方端部から他方端部まで伸び、一方端部から他方端部まで延在する少なくとも 1 つの中間層分割領域を含む。超電導層は、中間薄膜層上に形成されている。中間層分割領域が形成された中間薄膜層とテープ状基板と超電導層とを含む超電導テープ線材が巻かれることにより巻き形状体が構成されている。中間層分割領域上の超電導層領域は、超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域としている。

30

【0112】

そして、テープ状基板と、中間層分割領域により区分された 2 以上の領域がらせん状になるように中間層分割領域が形成された中間薄膜層と、超電導層とを含む超電導テープ線材により円筒状に巻かれた巻き形状体が構成されている。

【0113】

次に、本発明の実施の形態 5 における超電導コイルの製造方法について説明する。図 14 は、本発明の実施の形態 5 における超電導コイルの製造方法を示すフローチャートである。

40

【0114】

図 14 に示すように、まず、テープ状基板を準備する工程 (S10) を実施する。次に、テープ状基板上に中間薄膜層を形成する工程 (S20) を実施する。この工程 (S10, S20) は、実施の形態 2 の製造方法における工程 (S10, S20) と同様であるのでその説明は繰り返さない。

【0115】

次に、テープ状基材を巻く工程 (S70) を実施する。この工程 (S70) では、テープ状基板と中間薄膜層とを備えたテープ状基材がらせん状になるように、テープ状基材を円筒状に巻く。

50

【0116】

次に、巻いたテープ状基材の中間薄膜層において一方端部に位置する一方端部から他方の端部に位置する他方端部まで伸び、中間薄膜層を一方端部から他方端部まで延在する2以上の領域に区分する中間層分割領域を形成する加工工程(S50)を実施する。この工程(S50)では、基本的には実施の形態4の工程(S50)と同様の工程であるが、巻き形状体に形成されたテープ状基材の中間薄膜層に中間層分割領域を形成する。具体的には、実施の形態4の工程(S40)と同様に、巻き形状体の両端を固定し、中間薄膜層にレーザーで照射することにより、中間層分割領域を形成する。

【0117】

その後、中間薄膜層上に超電導層を形成する工程(S30)を行なう。この工程(S30)では、実施の形態2の製造方法における工程(S30)と同様の方法を用いることができる。そして、超電導層が形成された巻き形状体を複数用意し、それらの巻き形状体を組合せることによって、超電導コイルを製造する。

10

【0118】

上記工程(S10, S20, S70, S50, S30)を行なうことにより、実施の形態5における超電導コイルを製造することができる。

【0119】

実施の形態5における超電導コイルの動作は、実施の形態3における超電導コイル40と同様であるので、その説明は繰り返さない。

【0120】

20

以上説明したように、実施の形態5における超電導機器の一例である超電導コイルの製造方法によれば、テープ状基板を準備する工程(S10)と、テープ状基板上に中間薄膜層を形成する工程(S20)と、テープ状基材を巻く工程(S70)と、巻いたテープ状基材の中間薄膜層において一方端部に位置する一方端部から他方の端部に位置する他方端部まで伸び、中間薄膜層を一方端部から他方端部まで延在する2以上の領域に区分する中間層分割領域を形成する加工工程(S50)と、中間薄膜層上に超電導層を形成する工程(S30)とを備え、中間層分割領域上の超電導層領域は、超電導層の臨界温度では超電導状態とならない領域であることを特徴としている。これにより、テープ状基材を巻き形状体とした後に、加工工程(S50)を実施することができる。そのため、中間層分割領域を形成することにより、1の超電導テープ線材で、中間層分割領域以外の領域上の超電導層を構成する領域数の超電導テープ線材を集めたものの効果と同様の効果を有する超電導テープ線材を備えた超電導コイルを容易に製造することができる。よって、超電導コイルを工業化することは可能となる。

30

【0121】

(実施の形態6)

図15(A)は、実施の形態6における超電導コイルを示す概略上面図であり、図15(B)は、実施の形態6における超電導コイルを示す概略正面図である。図15(A)および図15(B)を参照して、本発明の実施の形態6における超電導機器を説明する。本発明の実施の形態6における超電導機器は超電導コイルとしている。実施の形態6における超電導コイル60は、実施の形態1における超電導テープ線材10を用いて巻き形状体が構成されている。

40

【0122】

詳細には、図15(A)および図15(B)に示すように、超電導コイル60は、テープ状基板11と、中間薄膜層12と、超電導層13とを備えている。超電導層13は、5の領域の超電導層13bに区分するように4列並列に形成された分割領域12aを含んでいる。

【0123】

そして、分割領域13aが形成された超電導層13と、テープ状基板11を含む超電導テープ線材10が短手方向の一方の辺を軸として、中心を中空としてその周囲を渦巻状に囲むように、超電導テープ線材10が円筒状に巻かれることにより巻き形状体が構成され

50

ている。図 15 では、1 つの巻き形状体により超電導コイルが構成されている。

【0124】

次に、実施の形態 6 における超電導コイルの製造方法について説明する。当該超電導コイルの製造方法は、実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 を製造する工程 (S10 ~ S40) と、実施の形態 3 における超電導テープ線材を巻く工程 (S60) とを備える。

【0125】

詳細には、まず、実施の形態 1 における超電導テープ線材 10 を製造する工程 (S10 ~ S40) を実施する。

【0126】

次に、巻く工程 (S60) を実施する。この工程 (S60) では、分割領域 13a により区分された 2 以上の領域が渦巻状になるように、分割領域 13a が形成された超電導テープ線材 10 を円筒状に巻く。実施の形態 6 では、超電導テープ線材 10 を渦巻状に巻くことにより、分割領域 13a が渦巻状になるように超電導テープ線材 10 を円筒状に巻くこととなる。

【0127】

上記工程 (S10, S20, S30, S40, S60) を行なうことにより、実施の形態 6 における超電導コイルを製造することができる。

【0128】

実施の形態 6 における超電導コイルの動作は、実施の形態 3 における超電導コイル 40 と同様であるので、その説明は繰り返さない。

【0129】

以上説明したように、実施の形態 6 における超電導機器の一例である超電導コイルの製造方法によれば、巻く工程 (S60) において巻き方を渦巻状としている。そのため、所望の形状のコイルに製造することが容易となる。

【0130】

また、実施の形態 6 における超電導機器の一例である超電導コイルによれば、巻き形状体を渦巻状に円筒状となるように巻くことにより構成されている。そのため、所望の形状のコイルとすることが可能となる。

【0131】

なお、上記実施の形態 3 ~ 6 は、超電導機器として、超電導コイルを例に挙げて説明したが、特に超電導コイルに限定されない。超電導機器として、たとえば、超電導ケーブル、電力貯蔵装置とすることもできる。また、超電導コイルまたは巻き形状体の断面形状については、円形状の例を示したが、当該断面形状は円形状に限定されず、他の形状 (三角形や四角形などの多角形状、あるいは曲面状部と直線状部とを組合せた形状など) であってもよい。

【実施例 1】

【0132】

本発明による超電導機器の製造方法の効果を確認するべく、表 1 の下段に示す超電導テープ線材を用いて、以下の実施例 1 および比較例 1, 2 のような、表 1 上段に示す超電導コイルを製造した。なお、実施例 1 および比較例 1, 2 の超電導コイルは、1 GHz の NMR コイルに適用するものとして製造した。

【0133】

(実施例 1 における超電導コイルの製造)

実施例 1 では、実施の形態 1 の製造方法にしたがって超電導コイルを製造した。具体的には、まず、テープ状基板を準備する工程 (S10) を実施した。テープ状基板は、Ni 合金系配向テープである Ni-W (タングステン) 配向金属テープを用いた。次に、テープ状基板上に中間薄膜層を形成する工程 (S20) を実施した。この工程 (S20) では、中間薄膜層は、テープ状基板上に RF スパッタ法により CeO₂ 層を、PLD 法により YSZ 層を形成させ、3 層構造中間層 (CeO / YSZ / CeO₂) を形成させた。次に

10

20

30

40

50

、中間薄膜層上に超電導層を形成する工程（S30）を実施した。この工程（S30）では、超電導層は、中間薄膜層上にPLD法により厚みが約 $1.0\ \mu\text{m}$ のHBCO膜をエピタキシャル成長させた。

【0134】

この超電導テープ線材は、膜厚が $1\ \mu\text{m}$ のとき J_c （臨界電流密度） $= 1\ \text{MA}/\text{cm}^2$ （ $77\ \text{K}$ ， $0\ \text{T}$ ）と仮定すると、 I_c （ $77\ \text{K}$ ， $0\ \text{T}$ ） $= 100\ \text{A}$ となり、 $1\ \text{GHz}$ のNMRコイルでの適用条件である温度が $4.2\ \text{K}$ ，磁束密度が $25\ \text{T}$ の磁場環境下では、 I_c （ $4.2\ \text{K}$ ， $25\ \text{T}$ ） $= 1000\ \text{A}$ に相当する。

【0135】

また、超電導層上に $5\ \mu\text{m}$ の銀からなる膜と $20\ \mu\text{m}$ の銅めっきを形成した超電導テープ線材は、厚みが $0.1\ \text{mm}$ で幅が $5\ \text{cm}$ である幅広の寸法とした。

10

【0136】

次に、加工工程（S40）を実施した。この工程（S40）では、超電導層において、連続的にYAGレーザを照射することにより、長手方向に $1\ \text{cm}$ 幅の領域を5つ区分するように分割領域を4列並列に形成した。

【0137】

次に、巻く工程（S60）を実施した。この工程（S60）では、分割領域により区分された4の領域がらせん状になるように、超電導テープ線材を円筒状に巻いた。コイルを20層積層・接続することにより、 $1\ \text{GHz}$ のNMRコイルとすることができる。これにより、実施例1における超電導コイルを製造した。

20

【0138】

（比較例1における超電導コイルの製造）

比較例1では、径が $2.0\ \text{mm}$ のBi-2212丸線を用いて、14層の超電導コイルを製造した。ここで、Bi-2212とは、ビスマスと鉛とストロンチウムとカルシウムと銅と酸素とを含み、その原子比（酸素を除く）として（ビスマスと鉛）：ストロンチウム：カルシウム：銅が2：2：1：2と近似して表わされるBi-Sr-Ca-Cu-O系の酸化物超電導のことである（（Bi，Pb）2212と記すこともある）。より具体的には、 $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+z}$ という化学式で示されるものが含まれる。式中 z は、酸素含有量を示し、 z が変化することで臨界温度（ T_c ）や臨界電流（ I_c ）が変化することが知られている。

30

【0139】

（比較例2における超電導コイルの製造）

比較例2では、超電導テープ線材の幅が $1\ \text{cm}$ のものを用いた点を除き、実施例1の製造方法における工程（S10～S30）と同様の工程を実施した。

【0140】

次に、加工工程（S40）を行わずに、巻く工程（S60）を実施した。これにより、比較例2における20層の超電導コイルを製造した。

【0141】

【表 1】

	実施例 1	比較例 1	比較例 2
コイル			
内径 (mm)	75	75	75
外径 (mm)	126	126	126
長さ (mm)	600	600	600
ターン数	1260	4095	1260
層数	20	14	20
通電電流 (A)	160×5 本直列通電	300	1000
自己磁界 (T)	2.5	2.5	2.5
バックアップ磁界 (T)	21.0	21.0	21.0
コイル電流密度 (A/mm ²)	>100	>100	>100
線材			
構成	HoBCO テープ線	Bi 系線材 (Bi-2212 線)	HoBCO テープ線
寸法	0.1mm×5cm 幅	2.0mmφ	0.1mm×1cm 幅
単長 (m)	10 (20 単長)	1600 (1 単長)	500 (1 単長)
I _c (A) (4.2K, 25T)	>800	>300	>800

10

20

【0142】

(評価結果)

表 1 に示すように、実施例 1 における超電導コイルは、1 層あたり 10 m という短い単長の超電導テープ線材により製造することができた。また、加工工程 (S20) により 1 cm の幅に区分された領域の超電導層に、それぞれ 160 A の電流を流して通電すると、5 の領域それぞれの合計で 800 A の通電電流となった。

30

【0143】

さらに、超電導層への要求仕様が低くなったため、実施例 1 における超電導コイルを製造するコストを低減することもできた。

【0144】

なお、この通電は、1 cm 幅に区分された 5 の領域に 5 個の電源による並列通電を実施した他、シリーズに接続 (5 の領域を直列に接続) して 1 個の電源による直列通電を実施した。その結果、いずれの場合においても 800 A の通電が可能であった。

40

【0145】

一方、比較例 1 における超電導コイルは、丸線形状の Bi 系線材を用いているので、単長が 1600 m という非常に長い線材が必要となった。

【0146】

また、比較例 2 では、1 cm 幅テープ形状の HoBCO 膜を用いているので、比較例 1 で必要となった線材の長さよりは短いものの、単長が 500 m という長い線材が必要となった。

【実施例 2】

【0147】

(実施例 2 における超電導コイルの製造)

50

実施例 2 では、実施の形態 2 の製造方法にしたがって超電導コイルを製造した。具体的には、実施例 2 における超電導コイルは、テープ状基板を準備する工程 (S 1 0)、テープ状基板上に中間薄膜層を形成する工程 (S 2 0) を実施した。この工程 (S 1 0 , 2 0) では、実施例 1 と同様のテープ状基板および中間薄膜層を用いた。

【 0 1 4 8 】

次に、中間薄膜層は一方端部から他方端部まで伸び、中間薄膜層に一方端部から他方端部まで延在する少なくとも 1 つの中間層分割領域を形成する加工工程 (S 5 0) を実施した。この工程 (S 5 0) では、中間薄膜層に Y A G レーザを照射して中間層分割領域を形成した。

【 0 1 4 9 】

次に、超電導層を形成する工程 (S 3 0) を実施した。この工程 (S 3 0) では、中間層分割領域が形成された中間薄膜層上に、実施例 1 と同様に超電導層を形成した。

【 0 1 5 0 】

次に、超電導テープ線材を巻く工程 (S 6 0) を実施した。これにより、下記の表 2 に示す実施例 2 における 1 層の超電導コイルを製造した。

【 0 1 5 1 】

(実施例 3 における超電導コイルの製造)

実施例 3 における超電導コイルは、実施例 1 で用いた超電導テープ線材を用いて、下記の表 2 に示す 1 層の超電導コイルを製造した。

【 0 1 5 2 】

【表 2】

	実施例 2	実施例 3
コイル		
内径 (mm)	75	75
外径 (mm)	80	80
長さ (mm)	600	600
ターン数	60	60
層数	1	1
通電電流 (A)	200×5 本直列通電	200×5 本直列通電
自己磁界 (T)	0.15	0.15
線材		
構成	HoBCO テープ線 (実施の形態 2 によるもの)	HoBCO テープ線 (実施の形態 1 によるもの)
寸法	0.1mm×5cm 幅	0.1mm×5cm 幅
単長 (m)	10	10
I _c (A) (4.2K, 0T)	>1200	>1200

【 0 1 5 3 】

(評価結果)

実施例 2 における超電導コイルに用いている超電導テープ線材において、Y A G レーザの照射により中間層分割領域は結晶性を乱れた状態とした。そのため、中間層分割領域上の超電導層は、アモルファス化、または面内の結晶性が不十分であるので、超電導状態とならなかった。そのため、実施例 2 における超電導コイルに通電させると、中間層分割領域以外の部分の中間薄膜層上の超電導層が超電導状態となるとき、中間薄膜層のうち中間層分割領域となるべき部分上の超電導層が超電導状態とならなかった。

【 0 1 5 4 】

また、表 2 に示すように、実施例 2（実施の形態 2 によって製作された超電導テープ線材）によって製作された超電導コイルの性能は実施例 3（実施の形態 1 によって製作された超電導テープ線材）によって製作された超電導コイルと同等の性能を示した。よって、本発明の実施の形態 2 における超電導コイルの製造方法および超電導コイルの効果が確認できた。

【 0 1 5 5 】

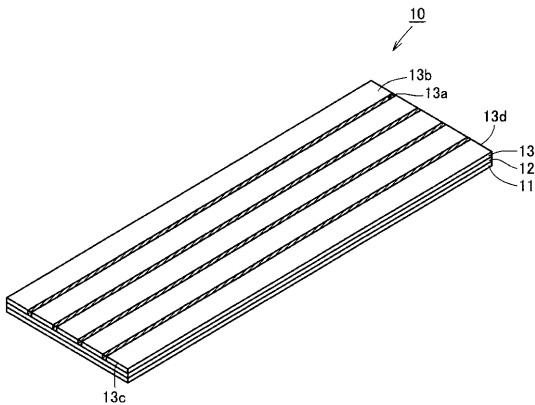
今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した実施の形態ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【符号の説明】

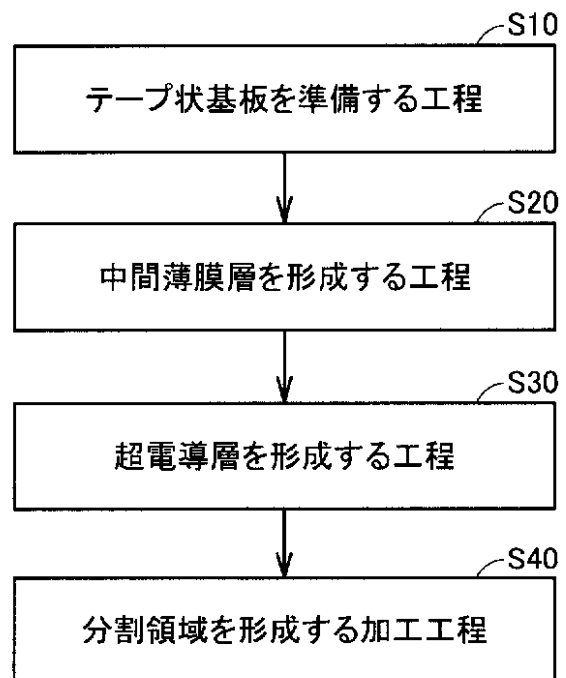
【 0 1 5 6 】

10, 20, 30 超電導テープ線材、11, 31 テープ状基板、13, 13b, 33, 33b, 52, 52b 超電導層、13a, 53a 分割領域、13c, 32c 一方端部、13d, 32d 他方端部、13B 領域、22, 32, 32b 中間薄膜層、30, 40, 60 超電導コイル、32a 中間層分割領域、33a 超電導層領域、41a 境界線、41, 42, 43 巻き形状体。

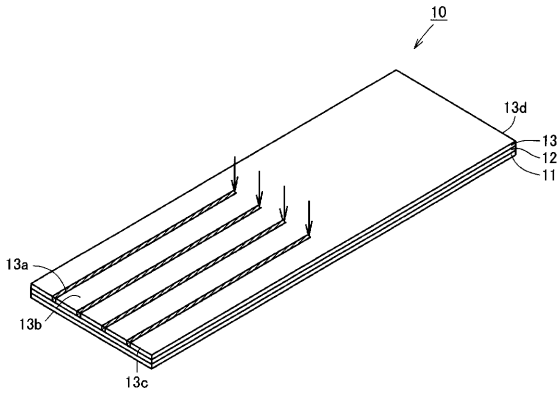
【 図 1 】



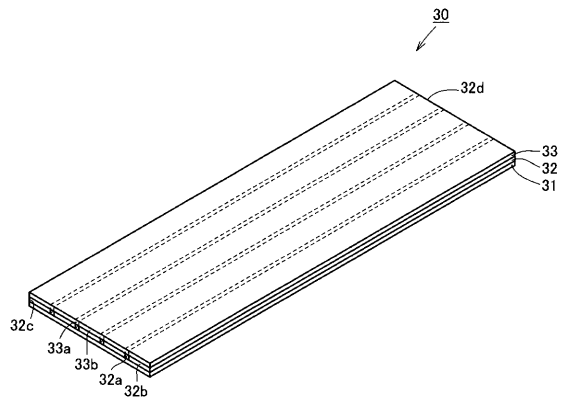
【 図 2 】



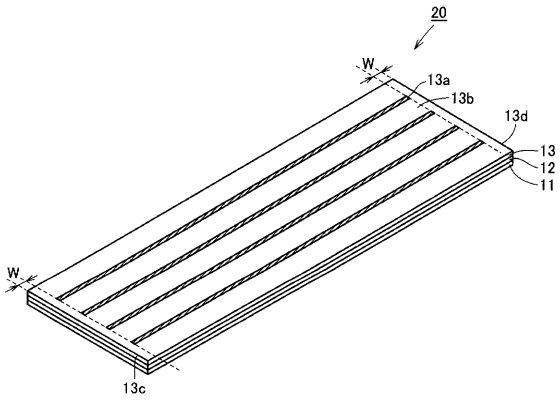
【 図 3 】



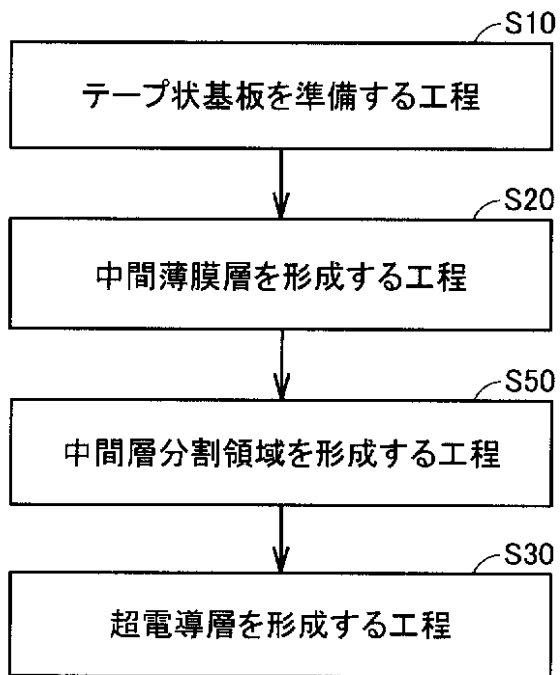
【 図 5 】



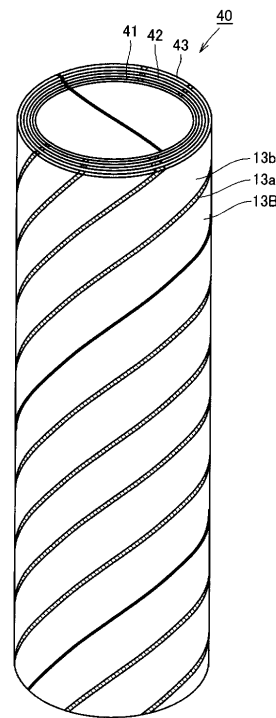
【 図 4 】



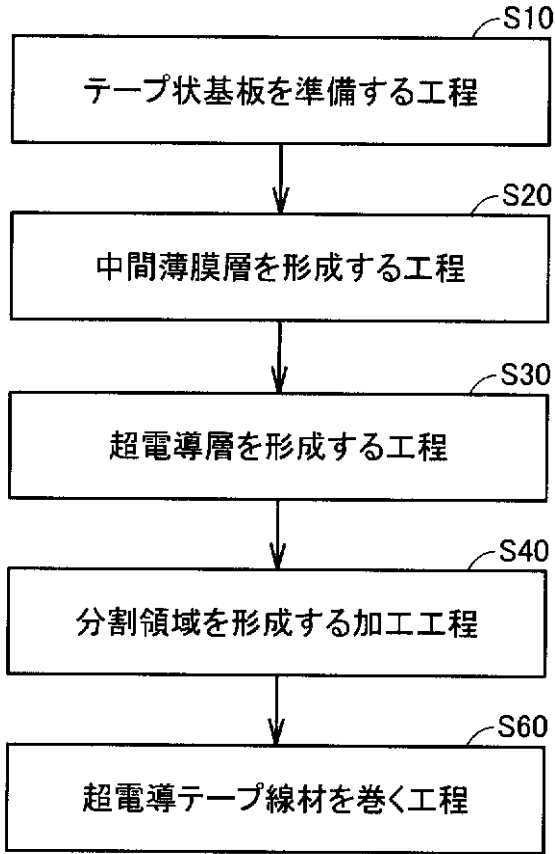
【 図 6 】



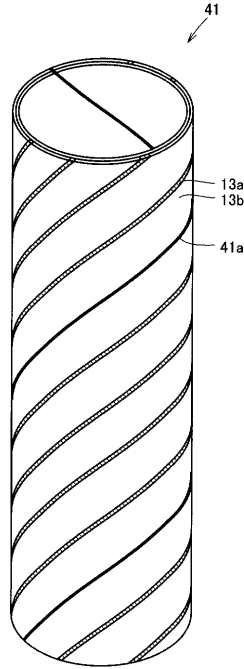
【 図 7 】



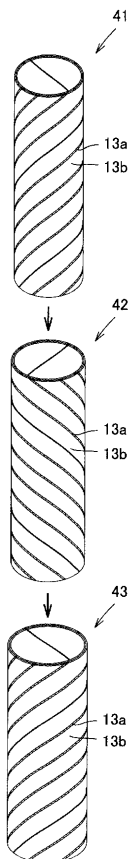
【図8】



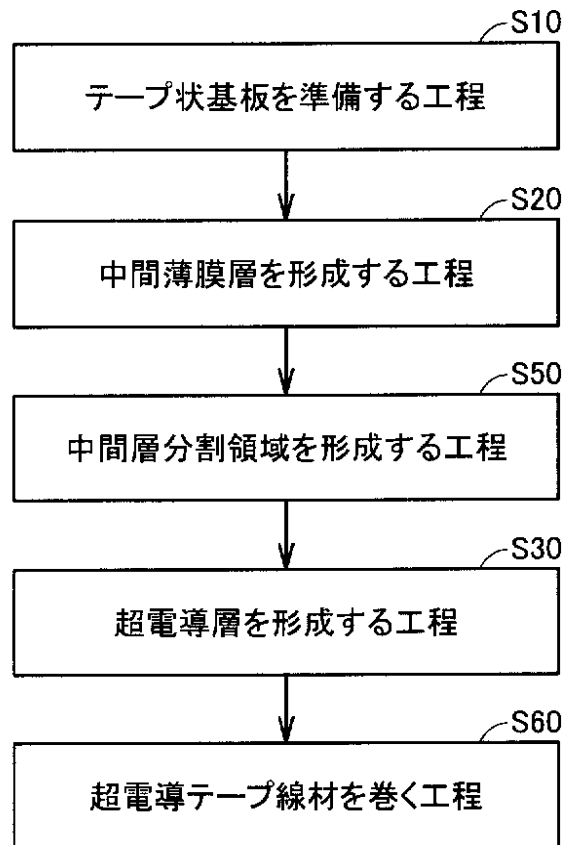
【図9】



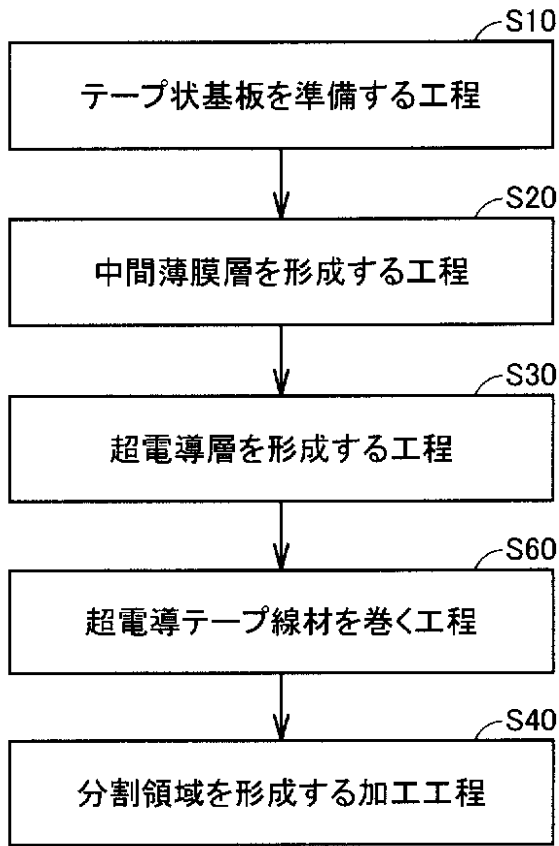
【図10】



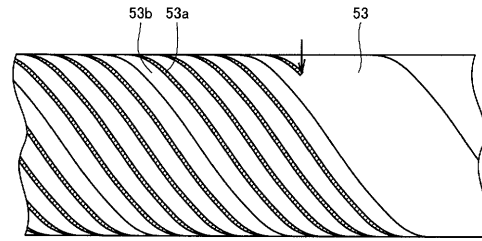
【図11】



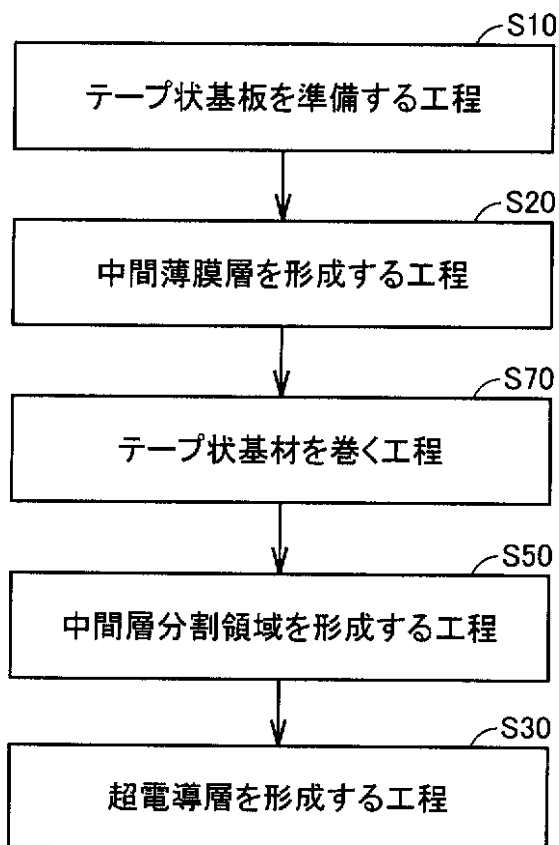
【図12】



【図13】



【図14】



【図15】

