(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 4 月 6 日(06.04.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/057064 A1

(51) 国際特許分類:
*H01B 12/06* (2006.01) *H01F 6/06* (2006.01)
*H01B 12/10* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/077464

(22) 国際出願日: 2016 年 9 月 16 日(16.09.2016)

(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 2015-190318 2015 年 9 月 28 日(28.09.2015) JP

(71) 出願人: 株式会社東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目１番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 戸坂 泰造(TOSAKA, Taizo). 宮崎 寛史 (MIYAZAKI, Hiroshi). 大谷 安見 (OOTANI, Yasumi). 岩井 貞憲(IWAI, Sadanori). 高山 茂貴 (TAKAYAMA, Shigeki). 田崎 賢司 (TASAKI, Kenji). 小柳 圭(KOYANAGI, Kei).

(74) 代理人: 特許業務法人 東京国際特許事務所 (TOKYO INTERNATIONAL PATENT FIRM); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目１７番１６号 宮田ビル２階 Tokyo (JP).

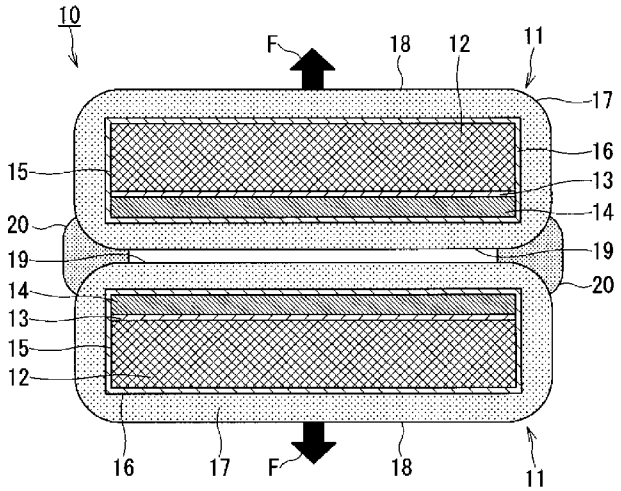
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, 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).

[続葉有]

(54) **Title**: HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING CONDUCTOR, HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING COIL, AND CONNECTING STRUCTURE OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING COIL

(54) 発明の名称 : 高温超電導導体、高温超電導コイル及び高温超電導コイルの接続構造




(57) **Abstract**: A high-temperature superconducting conductor 10 is configured by: forming a laminated body 15 by laminating a high-temperature superconducting layer 14 on one surface of a tape-like flexible metal substrate 12 via an intermediate layer 13; forming a thin film wire rod 11 by providing a stabilization layer 17 around the laminated body via a protection layer 16; and disposing a plurality of the thin film wire rods in the thickness direction. In the high-temperature superconducting conductor 10, the thin film wire rods 11 are configured such that: the thin film wire rod disposed on the outermost side is positioned such that a surface 18 on the metal substrate 12 side faces outside, and a surface 19 on the high-temperature superconducting layer 14 side is held in a state of not being bonded to a facing surface; and both end portions in the width direction are bonded thoroughly in the long-side direction in a conductive state by means of conducting coupling members 20.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/057064 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

高温超電導導体１０は、可撓性で且つテープ状の金属基板１２の片側面に中間層１３を介して高温超電導層１４が積層されて積層体１５が形成され、この積層体の周囲に保護層１６介して安定化層１７が設けられて薄膜線材１１が形成され、この薄膜線材が厚さ方向に複数配置されて構成された高温超電導導体１０であって、複数の薄膜線材１１は、最も外側に配置される薄膜線材が金属基板１２側の面１８を外側に向けて位置づけられ、高温超電導層１４側の面１９が対向する面と非固着状態に保持され、幅方向両端部が導電性結合部材２０により導電可能な状態で長手方向に亘って結合されて構成されたものである。

# 明　細　書

## 発明の名称 ：

## 高温超電導導体、高温超電導コイル及び高温超電導コイルの接続構造

## 技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、高温超電導層を有する高温超電導導体、この高温超電導導体を備えた高温超電導コイル、及びこの高温超電導コイルの接続構造に関する。

## 背景技術

[0002] 高温超電導薄膜線材（薄膜線材）は、イットリウム（Ｙ）やガドリニウム（Ｇｄ）等の希土類金属（Ｒｅａｒ　Ｅａｒｔｈ；ＲＥ）を含み、（ＲＥ）$Ba_2Cu_3O_7$に代表される組成の高温超電導層を線材化したものである。この薄膜線材は、厚さ百μｍ程度の金属基板上に、中間層と呼ばれる$CeO_2$やＭｇＯなどの結晶を２軸配向させた数μｍ程度の薄膜層を積層し、その上に結晶を２軸配向させた厚さ数μｍ程度の高温超電導層を積層した構造となっている。実用の薄膜線材では、高温超電導層の表面に銀などの保護層を施し、更にその外側に、常電導転移した際に電流を迂回させるための銅などの安定化層が形成されているのが一般的である。

[0003] このような薄膜線材は、高磁場下での電流容量が大きく、更に長手方向の耐応力特性が良いという特徴がある。そのため、高磁場を発生させるために必要な高電流密度、高応力の高温超電導コイルを実現できることが期待されており、ＭＲＩ用磁石や単結晶引き上げ装置用磁石、加速器用磁石等に適用するための開発が進められている。

[0004] 薄膜線材は、その長手方向に機械的負荷を作用させた場合の許容応力が高い一方で、積層した中間層、高温超電導層等を引きはがす方向（剥離方向）に対しては、極めて弱い応力で高温超電導層が破壊されることが知られている。例えば、薄膜線材を巻線して樹脂含浸すると、冷却時の熱応力等によって薄膜線材に剥離方向の力が作用するが、その対策が様々に提案されている

。

[0005] つまり、外部から高温超電導層に作用する剥離方向の力を別の部材で分担させる構造として、例えば、薄膜線材の外表面を金属テープからなるカバー部材で覆う構造や、２枚の薄膜線材を超電導層側で貼り合わせる構造、２枚の薄膜線材を金属基板側で接続し導電性構造で覆う構造等が開示されている。一方、薄膜線材の周囲を取り囲むように補強テープ線を配置し、補強テープ線と薄膜線材間を離形する構造、中空部を有する安定化層（材）を薄膜線材に接合する構造、薄膜線材を銅などのシートで密閉する構造が開示されている。

[0006] また、剥離方向の力が高温超電導層に作用することを回避する構造として、例えば、線材の周囲に離形材を設けることで剥離方向の応力が作用しないようにする構造や、薄膜線材と補強板を絶縁テープで包囲して拘束し、薄膜線材と補強板が摺接する面に離型材を設ける構造、薄膜線材と離形テープを共巻する構造が開示されている。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0007] 特許文献1：特開２０１２－１６９２３７号公報

特許文献2：特表２００３－５０５８８７号公報

特許文献3：特表２００９－５０３７９４号公報

特許文献4：特開２０１１－３４９４号公報

特許文献5：特開２０１３－２３２２９７号公報

特許文献6：特表２００３－５０５８４８号公報

特許文献7：特開２００８－２４４２４９号公報

特許文献8：特開２０１１－１１３９３３号公報

特許文献9：特開２０１２－３３９４７号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0008] 薄膜線材を巻き回し樹脂含浸して作製した高温超電導コイルにおいて、薄膜線材の剥離を防止する構造は、前述のように様々に開示されているが、それぞれの構造には以下に示す課題がある。

[0009] 即ち、外部から高温超電導層に作用する剥離方向の力を別の部材で補強する構造では、高温超電導層に作用する剥離方向の力を完全にゼロにすることができず、高温超電導層が破損する恐れがある。

[0010] また、薄膜線材の外部を補強テープで覆ったり、内部に中空部を有する安定化材を追加したりすることで、剥離方向の力を高温超電導層に伝達しないようにした構造では、補強テープや安定化材を追加した分だけ薄膜線材の横断面積が増加し、この横断面での臨界電流密度が低下するという課題がある。

[0011] 更に、薄膜線材の周囲に離形材を配置する方法や、薄膜線材を絶縁テープで拘束する構造の場合には、高温超電導コイルの保護対策としての“無絶縁コイル”を適用することが困難になるという課題がある。無絶縁コイルは、隣接する巻線ターン間を電気的に導通させることで、常電導に転移した部位の電流を減少させるものであるが、離形材や絶縁テープによって巻線ターン間が電気的に絶縁されると、無絶縁コイルとしての機能が喪失してしまう。

[0012] 本発明の目的は、上述の事情を考慮してなされたものであり、機械的負荷に対して高温超電導層の破損を防止して信頼性を確保できると共に、臨界電流密度を良好に確保できる高温超電導導体を提供することにある。

[0013] また、本発明の目的は、製造工程や使用状況に応じて発生する機械的負荷に対して超電導特性を良好に確保できる高温超電導コイルを提供することにある。

[0014] 更に、本発明の目的は、高温超電導コイルの高温超電導導体と金属導体とを低い電気抵抗値で良好に接続できる高温超電導コイルの接続構造を提供することにある。

## 課題を解決するための手段

[0015] 本発明に係る高温超電導導体は、可撓性で且つテープ状の金属基板の片側

面に中間層を介して高温超電導層が積層されて積層体が形成され、この積層体の周囲に保護層を介して安定化層が設けられて薄膜線材が形成され、この薄膜線材が厚さ方向に複数配置されて構成された高温超電導導体であって、複数の前記薄膜線材は、最も外側に配置される前記薄膜線材が前記金属基板側の面を外側に向けて位置づけられ、前記高温超電導層側の面が対向する面と非固着状態に保持され、幅方向両端部が導電可能な状態で長手方向に亘って結合されて構成されたことを特徴とするものである。

[0016] また、本発明に係る高温超電導コイルは、前記発明における高温超電導導体が巻枠に巻き回されて構成されたことを特徴とするものである。

[0017] 更に、本発明に係る高温超電導コイルの接続構造は、前記発明における高温超電導コイルを構成する高温超電導導体の長手方向端部が、銀マトリックス中に高温超電導フィラメントが混在して構成された銀シース線材を介して、金属導体に接続されるよう構成されたことを特徴とするものである。

## 発明の効果

[0018] 本発明によれば、複数の薄膜線材が厚さ方向に配置されてなる高温超電導導体は、最も外側に配置される薄膜線材が金属基板側の面を外側に向けて位置づけられると共に、薄膜線材の高温超電導層側の面が対向する面と非固着状態に保持されて構成される。このため、高温超電導導体に外部から機械的荷重が作用したとき、この荷重が薄膜線材の高温超電導層に剥離方向の力として作用することを抑制できる。この結果、外部からの機械的負荷に対して高温超電導層の破損を防止して、高温超電導導体の信頼性を確保できる高温超電導導体を提供できる。従って、この高温超電導導体を巻枠に巻き回して構成される高温超電導コイルに、その製造時または使用時に機械的負荷が作用した場合にも、高温超電導コイルの超電導特性を良好に確保できる高温超電導コイルを提供できる。

[0019] また、複数の薄膜線材が厚さ方向に配置されてなる高温超電導導体は、薄膜線材の幅方向両端部が導電可能な状態で長手方向に亘って結合されて構成される。従って、高温超電導導体の長手方向に垂直な横断面積において薄膜

線材以外の部材の割合が少ない。この結果、高温超電導導体の臨界電流密度を低下させることなく良好に確保できる高温超電導導体を提供できる。

[0020] 更に、高温超電導コイルの高温超電導導体の長手方向端部が銀シース線材を介して金属導体に接続され、接続長が実質的に長くなることで、高温超電導コイルの高温超電導導体と金属導体とを低い電気抵抗値で良好に接続できる高温超電導コイルの接続構造を提供できる。

## 図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明に係る高温超電導導体の一実施形態を示す長手方向に垂直な横断面図。

[図2]図１の高温超電導導体の電流の流れを示す横断面図。

[図3]図１の高温超電導導体の第１変形形態を示す横断面図。

[図4]図１の高温超電導導体の第２変形形態を示す横断面図。

[図5]図１の高温超電導導体の第３変形形態を示す横断面図。

[図6]本発明に係る高温超電導コイルの一実施形態を示し、（Ａ）が全体断面図、（Ｂ）が図６（Ａ）のＡ部を拡大して示す拡大断面図。

[図7]図６の高温超電導コイルの第１変形形態を示す部分拡大断面図。

[図8]図６の高温超電導コイルの第２変形形態を示す部分拡大断面図。

[図9]本発明に係る高温超電導コイルの接続構造における一実施形態を示し、（Ａ）が縦断面図、（Ｂ）が横断面図。

[図10]図９の銀シース線材の変形形態を示す横断面図。

[図11]図９における金属導体の一例としての口出し用電極を含む高温超電導コイルの巻枠等を示す平面図。

[図12]図９における金属導体の他の例としての口出し用電極が設けられた高温超電導コイルを示す斜視図。

[図13]図９における金属導体の更に他の例としての接続導体が設けられた高温超電導コイルを示す斜視図。

## 発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明を実施するための実施形態を図面に基づき説明する。

［Ａ］第１実施形態（図１～図５）

図１は、本発明に係る高温超電導導体の一実施形態を示す長手方向に垂直な横断面図である。この図１に示すように、本第１実施形態の高温超電導導体１０は、長尺形状の高温超電導薄膜線材（以下、薄膜線材１１と称する）が厚さ方向に複数枚（例えば２枚）配置されて構成されたものである。

[0023] 薄膜線材１１は、可撓性で且つテープ形状の金属基板１２の片側面に、中間層１３を介して高温超電導層１４が積層されて積層体１５が形成され、この積層体１５の周囲に、保護層１６を介して安定化層１７が設けられて形成される。ここで、中間層１３及び保護層１６については、図３～図９において図示を省略している。

[0024] 金属基板１２は、Ｎｉ基合金等の高強度金属である。また、中間層１３は、$CeO_2$や$MgO$等の電気絶縁性の層である。更に、高温超電導層１４は、イットリウム（Ｙ）やガドリニウム（Ｇｄ）等の希土類金属（ＲＥ）を含み、（ＲＥ）$Ba_2Cu_3O_7$に代表される組成の超電導層である。また、保護層１６は、銀などの貴金属の層である。更に、安定化層１７は、銅などの低抵抗金属からなる層である。

[0025] 高温超電導導体１０は、最も外側に配置される薄膜線材１１（本実施形態では２枚の薄膜線材１１）が金属基板１２側の面１８を外側に向けて位置づけられると共に、薄膜線材１１の高温超電導層１４側の面１９が対向する面と非固着状態（本実施形態では、２枚の薄膜線材１１のそれぞれ対向する高温超電導層１４側の面１９が非固着状態）に保持されて構成される。更に、高温超電導導体１０は、薄膜線材１１の幅方向両端部が導電性結合部材２０により、導電可能な状態で薄膜線材１１の長手方向に亘って結合されて構成される。ここで、導電性結合部材２０は、錫や錫合金またはインジウムやインジウム合金等の低融点金属が好ましい。

[0026] 本第１実施形態の高温超電導導体１０では、薄膜線材１１の高温超電導層１４が金属基板１２によって外側から挟まれ、更に、薄膜線材１１の高温超電導層１４側の面１９が非固着状態に構成されている。このため、高温超電

導導体１０の外側から様々な方向の機械的負荷（曲げ、引張り、加熱等）が作用したとしても、この機械的荷重を高強度の金属基板１２や安定化層１７が支持し、薄膜線材１１に対する剥離方向の力は、高温超電導層１４にほとんど伝達しない。例えば、高温超電導導体１０の外表面である金属基板１２側の安定化層１７の面１８に、外部からの力Ｆが引っ張る方向に作用したとしても、その力Ｆは安定化層１７及び金属基板１２を介して導電性結合部材２０を引っ張る力となり、高温超電導層１４を剥離させる力には極めてなりにくい。

[0027] また、高温超電導導体１０では、薄膜線材１１の全体を覆うように安定化層１７が形成されている。このため、図２に示すように、高温超電導導体１０の外表面から安定化層１７を介して高温超電導層１４へ電流２１が流れるので、外部からの電流導入が容易である。なお、高温超電導導体１０を構成する両薄膜線材１１の金属基板１２と高温超電導層１４との間に形成される中間層１３が一般的に電気絶縁体であるため、高温超電導導体１０の外表面から、安定化層１７→保護層１６→金属基板１２→中間層１３→高温超電導層１４のように、薄膜線材１１の積層方向（厚さ方向）に電流２１を流すことはできない。

[0028] また、高温超電導導体１０は、２枚の薄膜線材１１を導電性結合部材２０により電気的に接続することで、２枚の薄膜線材１１に流れる電流２１を互いに融通する機能がある。例えば、高温超電導導体１０の外表面の片側、即ち一方の薄膜線材１１の金属基板１２側の面１８から電流２１を流したとしても、導電性結合部材２０を介して、他方の薄膜線材１１へも電流２１が流れる。また、一方の薄膜線材１１における長手方向の一部に局所的に臨界電流値が低い性能低下部分が存在し、通電電流値がその性能低下部分で臨界電流値を越えそうになったとしても、電流２１が他方の薄膜線材１１へ導電性結合部材２０を経て分流する。このため、性能低下部分が常電導導体に変化することを防止でき、高温超電導導体１０に熱暴走が発生しにくくなる。

[0029] ここで、薄膜線材１１における安定化層１７は、銅等の低抵抗金属をメッ

キする方法で形成してもよいし、図３の第１変形形態に示すように、銅等のテープ材を、ろう材２２を介して固着させてもよい。ろう材２２としては、錫や錫合金またはインジウムやインジウム合金等の低融点金属が好適である。

[0030] また、２枚の薄膜線材１１を、導電性結合部材２０を用いて幅方向両端部（つまり横断面両端部）のみで固着するほか、図４の第２変形形態に示すように、銅製等のテープ状の導電性結合部材２３を用いて２枚の薄膜線材１１を覆い、ろう材２２を用いて２枚の薄膜線材１１を導電性結合部材２３に固着させてもよいし、２枚の薄膜線材１１の全体を銅等でメッキしても良い。導電性結合部材２３を用いたり、全体をメッキしたりする場合には、２枚の薄膜線材１１は、幅方向両端部を含む周囲が互いに結合されることになる。

[0031] また、高温超電導導体１０では、薄膜線材１１の高温超電導層１４側の安定化層１７の面１９が、対向する薄膜線材１１の高温超電導層１４側の安定化層１７の面１９と非固着状態に保持されることが重要になるが、図１～３の導電性結合部材２０や図４のろう材２２が大きくはみ出ると、これらの両薄膜線材１１における互いに対向する高温超電導層１４側の面１９が、広い範囲で固着してしまう可能性がある。それを防止するために、図５の第３変形形態に示すように、２枚の薄膜線材１１間に固着防止部材２４を挿入して介在させてもよい。この固着防止部材２４は、アルミニウムやステンレスなどのように、導電性結合部材２０及びろう材２２と固着しない金属、またはフッ素樹脂やポリイミド等の高分子材料を用いるのが好ましい。

[0032] なお、高温超電導導体１０において、薄膜線材１１は２枚である必要はなく、３枚以上の薄膜線材１１を用いてもよい。更に、製作性や補強、保護等の目的で、複数枚の薄膜線材１１間にステンレステープや銅テープを介在させてもよい。この場合には、高温超電導導体１０において最も外側に配置される薄膜線材１１は、金属基板１２側の面１８が外表面になるように位置づけられ、更に、各薄膜線材１１は、高温超電導層１４側の安定化層１７の面１９が、対向する面と非固着状態に保持される必要がある。

[0033] 以上のように構成されたことから、本第１実施形態によれば、次の効果（１）～（４）を奏する。

（１）図１に示すように、複数枚（例えば２枚）の薄膜線材１１が厚さ方向に配置されてなる高温超電導導体１０は、最も外側に配置される薄膜線材１１が金属基板１２側の面１８を外側に向けて位置づけられると共に、薄膜線材１１の高温超電導層１４側の面１９が、対向する薄膜線材１１の高温超電導層１４側の面１９と非固着状態に保持されて構成される。このため、高温超電導導体１０に外部から機械的荷重が作用して薄膜線材１１の金属基板１２側の安定化層１７の面１８に力Ｆが作用したとき、この力Ｆが薄膜線材１１の高温超電導層１４に剥離方向の力として作用することを抑制できる。この結果、外部からの機械的負荷に対して高温超電導層１４の破損を防止でき、高温超電導導体１０の信頼性を確保できる。

[0034] （２）複数枚（例えば２枚）の薄膜線材１１が厚さ方向に配置されてなる高温超電導導体１０は、薄膜線材１１の幅方向両端部が導電性結合部材２０、２３により導電可能な状態で長手方向に亘って結合されて構成される。従って、高温超電導導体１０の長手方向に垂直な横断面積において薄膜線材１１以外の部材の割合が少ない。この結果、高温超電導導体１０の横断面における臨界電流密度を、低下させることなく良好に確保できる。

[0035] （３）図１及び図４に示すように、高温超電導導体１０は、周囲に安定化層１７が形成された薄膜線材１１を用い、この薄膜線材１１の幅方向両端部が導電性結合部材２０または導電性結合部材２３により、導電可能な状態で長手方向に亘って結合されて構成される。このため、高温超電導導体１０の外表面から薄膜線材１１の安定化層１７を通って薄膜線材１１の高温超電導層１４へ電流２１を容易に流すことができ、且つ導電性結合部材２０または導電性結合部材２３により２枚の薄膜線材１１間で電流２１を融通することができる。この結果、高温超電導導体１０の外部からの電流導入が容易であり、更に、薄膜線材１１における臨界電流値の低い性能低下部分にその臨界電流値を越える電流２１が流れてその部分が常電導導体に変化することを防

止できるので、高温超電導導体１０に熱暴走が発生することを防止できる。

[0036] （４）図５に示すように、高温超電導導体１０における薄膜線材１１間に固着防止部材２４が挿入して介在された場合には、対向する薄膜線材１１の高温超電導層１４側の面１９が、導電性結合部材２０またはろう材２２により広範囲に亘って固着することを防止でき、非固着状態を確実に保持できる。この結果、機械的荷重に対する高温超電導導体１０の信頼性を向上させることができる。

[0037] ［Ｂ］第２実施形態（図６～図８）

図６は、本発明に係る高温超電導コイルの一実施形態を示し、（Ａ）が全体断面図、（Ｂ）が図６（Ａ）のＡ部を拡大して示す拡大断面図である。この図６の高温超電導コイル３０は、第１実施形態におけるテープ形状の高温超電導導体１０を例えば巻枠（図６～図８には不図示）に積層して巻き回してパンケーキコイル３１を作製し、これらのパンケーキコイル３１を、それぞれの軸心０を一致させて積み重ねて構成される。

[0038] 各パンケーキコイル３１は、高温超電導導体１０と絶縁テープ３２とを共に巻線し、これらの高温超電導導体１０及び絶縁テープ３２の各巻線ターンが、絶縁性の樹脂３３により含浸されて固着される。これらのパンケーキコイル３１の軸方向両端に絶縁材３４が配設され、この絶縁材３４の外側に、高温超電導導体１０を冷却するための冷却板３５が設置されている。冷却板３５は、様々な部材を介して最終的に冷却手段（例えば冷凍機など）に熱的に接続される。

[0039] 樹脂３３で含浸された高温超電導コイル３０を冷却すると、この高温超電導コイル３０には、熱収縮率の異方性によってコイル径方向に引張応力が発生する。この引張応力は、高温超電導コイル３０の高温超電導導体１０にとって剥離方向の力として作用する。但し、高温超電導コイル３０は、剥離方向の力が作用したとしても薄膜線材１１の高温超電導層１４にほとんど力が伝達しない高温超電導導体１０を用いて巻線されている。このため、この高温超電導コイル３０では、高温超電導コイル３０を構成する高温超電導導体

１０における薄膜線材１１の高温超電導層１４が破損して、高温超電導コイル３０の超電導特性が低下することがない。

[0040] また、高温超電導コイル３０は、冷却の観点においても優れている。つまり、高温超電導コイル３０を構成する高温超電導導体１０の薄膜線材１１における高温超電導層１４の破損を回避するために、高温超電導コイル３０の巻線ターン間を樹脂３３で固着せず離形処理することで、高温超電導層１４に剥離方向の力が作用することを防止する構造があるが、その場合、離形部で熱を伝えにくくなるため、薄膜線材１１の冷却が不十分になる可能性がある。しかしながら、本実施形態の高温超電導コイル３０では、巻線ターンの高温超電導導体１０及び絶縁テープ３２を周囲の部材（絶縁材３４、冷却板３５など）と樹脂３３で固着させても、高温超電導導体１０における薄膜線材１１の高温超電導層１４が破損することがない。従って、高温超電導コイル３０を構成する高温超電導導体１０の周囲に、熱の流れ３６を阻害する離形部が存在しないので、高温超電導導体１０を確実に冷却できる。

[0041] また、高温超電導コイル３０は、巻線ターン間を電気的に導通させた無絶縁コイルとして機能する。つまり、図７は、無絶縁コイルとした高温超電導コイル３０の第１変形形態の巻線構成を示す。この高温超電導コイル３０では、隣接する高温超電導導体１０間に絶縁テープ３２が介在せず、高温超電導導体１０のみからなる各巻線ターンは、樹脂３３で固着されると同時に、高温超電導導体１０の長手方向に延在するターン間接触部３７により導電可能に設けられる。

[0042] この図７に示す第１変形形態では、高温超電導コイル３０を構成する高温超電導導体１０自体が、薄膜線材１１の高温超電導層１４に剥離方向の力を作用させない機能を有しているため、樹脂３３によって高温超電導導体１０の隣接する巻線ターンを接触させ、隙間を樹脂などで充填し固着することが可能であり、ターン間接触部３７により巻線ターン間の電気的導通を確保して無絶縁コイルにすることが可能になる。なお、ターン間接触部３７の接触電気抵抗値は、薄膜線材１１を電気的に接続する導電性結合部材２０の電気

抵抗値よりも数倍から数桁大きい値となる。

[0043] また、高温超電導コイル３０を構成する高温超電導導体１０における薄膜線材１１の高温超電導層１４が破損することを回避するために、高温超電導導体１０の巻線ターン間を樹脂３３で固着させない（離形する）ことで、薄膜線材１１の高温超電導層１４に剥離方向の力が作用することを避ける手段もあるが、その手段では、離形部によって巻線ターン間の電気的な導通が無くなる、もしくは不確実になり、高温超電導コイル３０を無絶縁コイルとして成立させることが不可能になる。

[0044] 高温超電導導体１０の巻線ターン間の電気的な導通を確保する手段としては、図７に示すターン間接触部３７により隣接する高温超電導導体１０を直接接触させるほか、図８に示す高温超電導コイル３０の第２変形形態のように、高温超電導導体１０と共巻した電気導通部材３８を、高温超電導導体１０の隣接する巻線ターン間に配置してもよい。電気導通部材３８は、導電材料であると共に、高温超電導導体１０と良好な接触状態が得られる必要があることから、インジウム等の柔らかい金属、銅やステンレス等の金網、炭素繊維等が好適である。この電気導通部材３８を適切に選択することで、電気導通部材３８と高温超電導導体１０との接触状態や、高温超電導導体１０間の電気抵抗値を変更することが可能になる。

[0045] 以上のように構成されたことから、本第２実施形態によれば、次の効果（５）～（８）を奏する。

（５）図６、図７及び図８に示すように、高温超電導コイル３０は、剥離方向の力が作用してもこの力が薄膜線材１１の高温超電導層１４にほとんど伝達しない高温超電導導体１０を用いて構成されている。このため、超電導コイル３０の製造工程または使用状況において超電導コイル３０に機械的負荷が作用して、この超電導コイル３０を構成する高温超電導導体１０における薄膜線材１１に剥離方向の力が作用しても、この力が薄膜線材１１の高温超電導層１４に伝達されることがほとんどないので、この高温超電導コイル３０の高温超電導層１４の破損を防止できる。この結果、高温超電導コイル

３０の超電導特性を低下させることなく良好に確保できる。

[0046] （６）図６、図７及び図８に示すように、高温超電導コイル３０は、剥離方向の力が作用してもこの力が薄膜線材１１の高温超電導層１４にほとんど作用しない高温超電導導体１０を用いて構成されている。このため、高温超電導コイル３０を構成する高温超電導導体１０における薄膜線材１１の高温超電導層１４が剥離方向の力によって破損することを回避するために、高温超電導導体１０の各巻線ターンを樹脂３３で固着させないための離形部を形成する必要がない。従って、高温超電導コイル３０における高温超電導導体１０と周囲部材（絶縁材３４、冷却板３５など）とを樹脂３３で固着させることが可能になるので、熱の流れ３６が阻害されない。この結果、高温超電導コイル３０の高温超電導導体１０の冷却性能を向上させることができる。

[0047] （７）図７に示すように、高温超電導コイル３０は、剥離方向の力が作用してもこの力が薄膜線材１１の高温超電導層１４にほとんど伝達しない高温超電導導体１０を用いて構成されている。このため、高温超電導コイル３０を構成する高温超電導導体１０の各巻線ターンが樹脂３３により固着されると共に、高温超電導導体１０の隣接する巻線ターンがターン間接触部３７により導電可能に接触している。この結果、高温超電導コイル３０を、巻線ターンが電気的に導通された無絶縁コイルとして構成することができる。

[0048] （８）図８に示すように、高温超電導コイル３０を構成する高温超電導導体１０の各巻線ターンが樹脂３３により固着されると共に、高温超電導導体１０の隣接する巻線ターン間に、導電材料から構成された電気導通部材３８が高温超電導導体１０に接触して配置されている。この電気導通部材３８を適切に選択することで、高温超電導導体１０の巻線ターン間の電気抵抗値が容易に変更できるので、高温超電導コイル３０の無絶縁コイルとしての機能性を高めることができる。

[0049] ［Ｃ］第３実施形態（図９～図１３）

図９は、本発明に係る高温超電導コイルの接続構造における一実施形態を示し、（Ａ）が縦断面図、（Ｂ）が横断面図である。この図９に示す高温超

電導コイルの接続構造４０は、第２実施形態の高温超電導コイル３０における高温超電導導体１０の長手方向端部と金属導体４１とを、高温超電導銀シース線材（以下、銀シース線材４２と称する）を介して電気的に接続する構造である。

[0050] つまり、高温超電導コイル３０を構成する高温超電導導体１０の長手方向端部に、この高温超電導導体１０と平行して銀シース線材４２が半田４３を用いて電気的に接続され、この銀シース線材４２に、半田４３を用いて金属導体４１が電気的に接続されて接続構造４０が構成される。このとき、高温超電導コイル３０の高温超電導導体１０と銀シース線材４２との接続長Ｌ１は、銀シース線材４２と金属導体４１との接続長Ｌ２よりも長く設定されて、高温超電導導体１０と金属導体４１との接続長が銀シース線材４２により実質的に長くなっている。

[0051] 銀シース線材４２は、薄膜線材１１と同様にテープ形状であるが、その内部構造は薄膜線材１１とは大きく異なる。つまり、銀シース線材４２は、薄膜線材１１のような積層構造ではなく、母材である銀マトリクス４４中に高温超電導フィラメント４５が埋め込まれて混在した構造になっている。実用化された銀シース線材４２の高温超電導フィラメント４５の材質としては、$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$が用いられる。また、銀シース線材４２は、図１０に示すように、その表面及び裏面に補強材４６が、例えばろう材２２によって固着されて補強されたものを用いてもよい。

[0052] 半田４３の材質としては、錫や錫合金またはインジウムやインジウム合金等の低融点金属が好適である。高温超電導導体１０と銀シース線材４２との接続、銀シース線材４２と金属導体４１との接続には、製造上の容易さ等を踏まえて異なる材質の半田４３を用いてもよい。

[0053] 金属導体４１は、例えば、図１１に示すような、高温超電導導体１０を巻き始めるために巻枠４７に固定された口出し用電極４１Ａ、図１２に示すような、巻終わり部において電流を導入するための口出し用電極４１Ｂ、または、図１３に示すようなパンケーキコイル３１間の接続導体４１Ｃである。

金属導体４１の材質としては、銀や銅などの低抵抗金属が用いられるが、薄膜線材１１や銀シース線材４２が金属導体４１として用いられてもよい。

[0054] 仮に、高温超電導導体１０の外表面と金属導体４１とを銀シース線材４２なしで直接電気的に接続した場合、高温超電導導体１０の外表面が薄膜線材１１の金属基板１２側の安定化層１７の面１８であるため、電流２１は、薄膜線材１１の数十μｍ程度の薄い安定化層１７を通って高温超電導層１４に流れる。このため、通常の薄膜線材１１で行うように薄膜線材１１の高温超電導層１４側の安定化層１７に金属導体４１を直接接続した場合と比較すると、銀シース線材４２なしで高温超電導導体１０の外表面と金属導体４１とを直接接続した場合には、電流２１が流れる距離が長く、且つ断面積が小さくなるため、高温超電導導体１０と金属導体４１との接続部の電気抵抗が高くなり、発熱が大きくなってしまう。

[0055] この銀シース線材４２なしで高温超電導導体１０と金属導体４１とを接続した場合、接続長を数百ｍｍから１ｍ程度まで長くすれば、低い電気抵抗値で接続することが可能である。ところが、口出し用電極４１Ａ、４１Ｂや接続導体４１Ｃで用いられる金属導体４１は、寸法や製造上の制約等により、通常１００ｍｍ程度以上の長さにすることが困難である。

[0056] これに対し、本第３実施形態における高温超電導コイルの接続構造４０であれば、銀シース線材４２は長手方向の電気抵抗がほぼゼロであると共に、銀シース線材４２の裏面と表面を貫通する方向（厚さ方向）にも、母材である銀マトリクス４４を通して低い電気抵抗で電流２１を流すことができる。このため、高温超電導コイル３０の高温超電導導体１０と金属導体４１との接続において、銀シース線材４２によって実質的な接続長が長くなり、低い電気抵抗値で電気的に接続することが可能になる。

[0057] 以上のように構成されたことから、本第３実施形態によれば、次の効果（９）を奏する。

（９）高温超電導コイル３０の高温超電導導体１０の長手方向端部が銀シース線材４２を介して金属導体４１に接続され、このとき、高温超電導導体

１０と銀シース線材４２との接続長Ｌ１が、銀シース線材４２と金属導体４１との接続長Ｌ２よりも長く設定されて、銀シース線材４２により、高温超電導コイル３０の高温超電導導体１０と金属導体４１との実質的な接続長が長くなっている。この結果、高温超電導導体１０と金属導体４１とを低い電気抵抗値で接続できるので、この接続部での発熱を抑制できる。

[0058] 以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これらの実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができ、また、それらの置き換えや変更は、発明の範囲や要旨に含まれると共に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

## 符号の説明

[0059] １０…高温超電導導体、１１…薄膜線材、１２…金属基板、１３…中間層、１４…高温超電導層、１５…積層体、１６…保護層、１７…安定化層、１８…金属基板側の面、１９…高温超電導層側の面、２０、２３…導電性結合部材、２４…固着防止部材、３０…高温超電導コイル、３３…樹脂、３７…ターン間接触部、３８…電気導通部材、４０…高温超電導コイルの接続構造、４１…金属導体、４２…銀シース線材、４４…銀マトリクス、４５…高温超電導フィラメント、４７…巻枠、Ｌ１、Ｌ２…接続長。

# 請求の範囲

[請求項1] 可撓性で且つテープ状の金属基板の片側面に中間層を介して高温超電導層が積層されて積層体が形成され、この積層体の周囲に保護層を介して安定化層が設けられて薄膜線材が形成され、この薄膜線材が厚さ方向に複数配置されて構成された高温超電導導体であって、

複数の前記薄膜線材は、最も外側に配置される前記薄膜線材が前記金属基板側の面を外側に向けて位置づけられ、前記高温超電導層側の面が対向する面と非固着状態に保持され、幅方向両端部が導電可能な状態で長手方向に亘って結合されて構成されたことを特徴とする高温超電導導体。

[請求項2] 前記薄膜線材における高温超電導層側の面とこの面に対向する面との間に、これら両面の固着を防止するための固着防止部材が介在されたことを特徴とする請求項１に記載の高温超電導導体。

[請求項3] 請求項１に記載の高温超電導導体が巻き回されて構成されたことを特徴とする高温超電導コイル。

[請求項4] 前記高温超電導導体の各巻線ターンが、絶縁性の樹脂の含浸により固着して構成されたことを特徴とする請求項３に記載の高温超電導コイル。

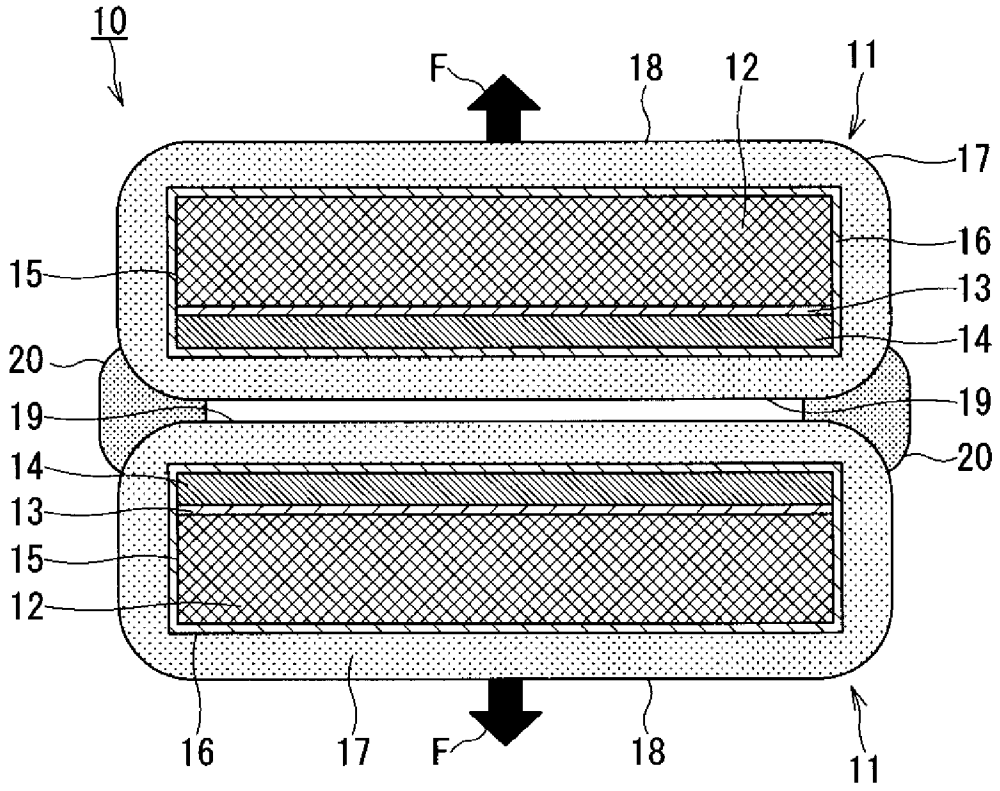
[請求項5] 前記高温超電導導体の隣接する巻線ターンが、ターン間接触部により導電可能に設けられたことを特徴とする請求項３に記載の高温超電導コイル。

[請求項6] 前記高温超電導導体の隣接する巻線ターン間に、導電材料から構成された電気導通部材が前記高温超電導導体に接触して配置されたことを特徴とする請求項３に記載の高温超電導コイル。

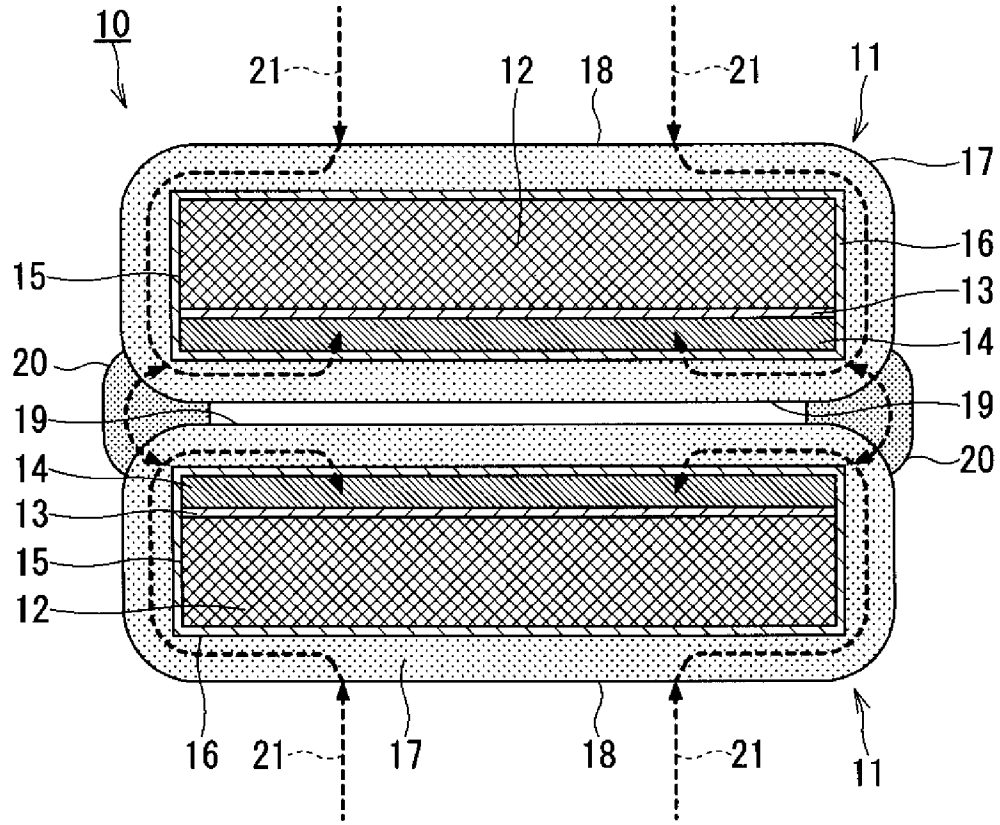
[請求項7] 請求項３に記載の高温超電導コイルを構成する高温超電導導体の長手方向端部が、銀マトリックス中に高温超電導フィラメントが埋め込まれて構成された銀シース線材を介して、金属導体に接続されるよう構成されたことを特徴とする高温超電導コイルの接続構造。

[請求項8] 前記高温超電導導体と銀シース線材との接続長が、前記銀シース線材と金属導体との接続長よりも長く設定されたことを特徴とする請求項７に記載の高温超電導コイルの接続構造。

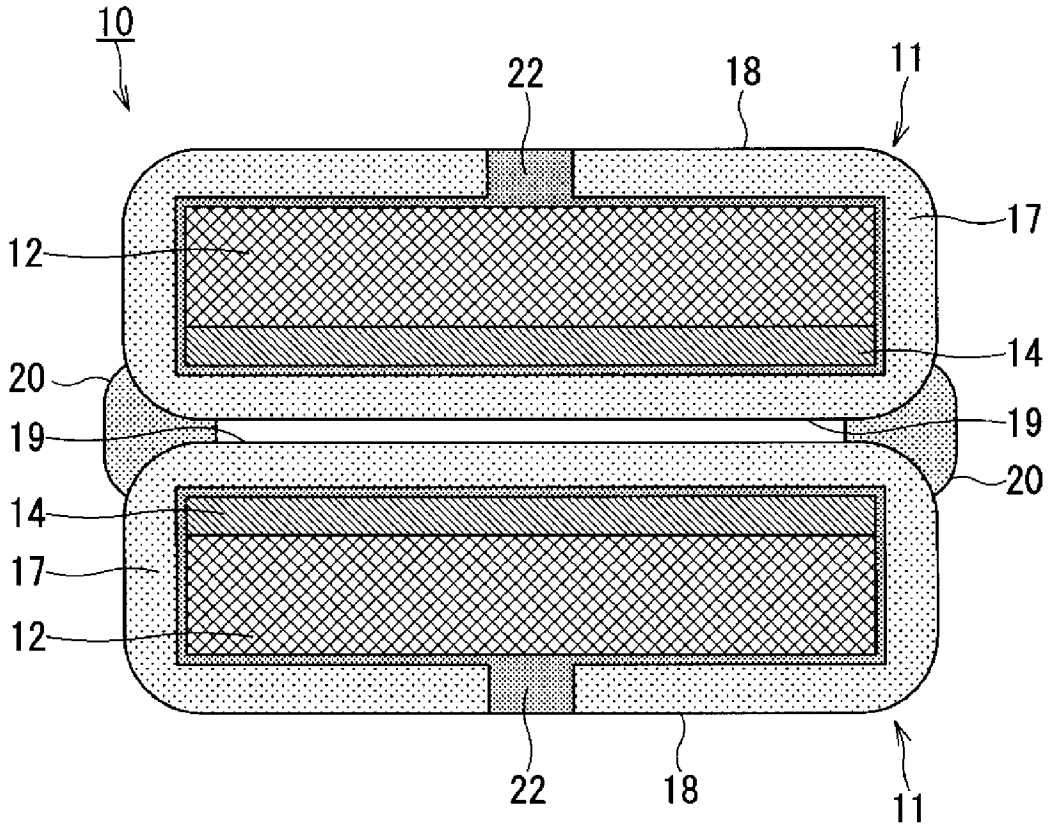
[図1]


10
F
18
12
11
17
16
15
13
14
20
19
19
14
13
15
12
20
16
17
F
18
11

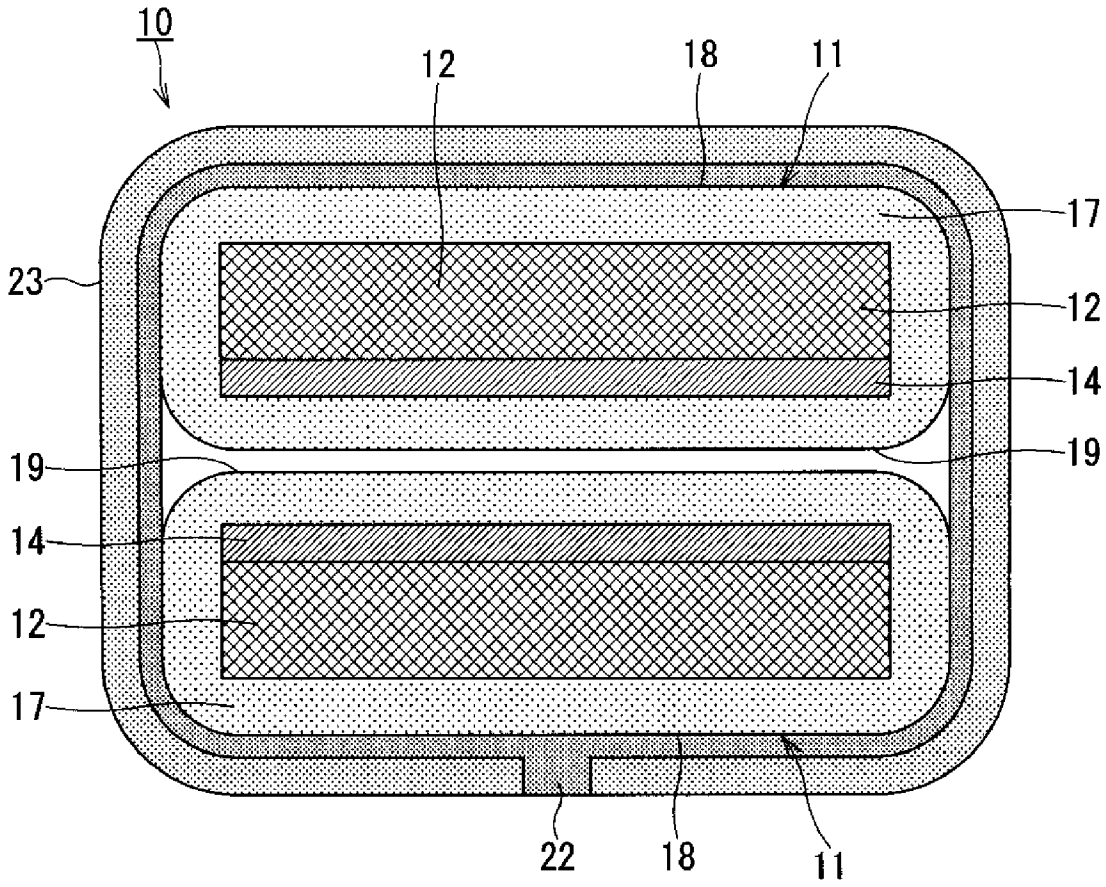
[図2]


10
21
12
18
21
11
17
16
15
13
14
20
19
19
14
13
15
12
20
16
21
17
18
21
11

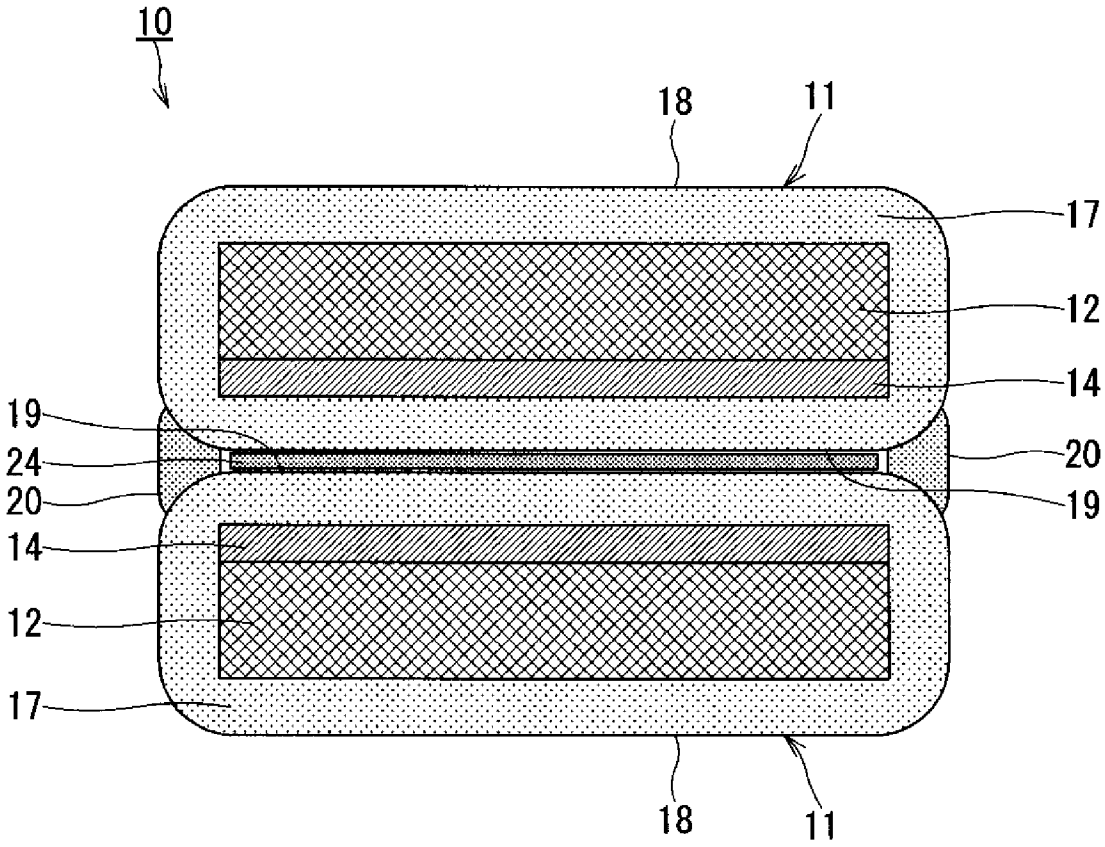
[図3]


10
22
18
11
17
12
14
20
19
19
20
14
17
12
22
18
11

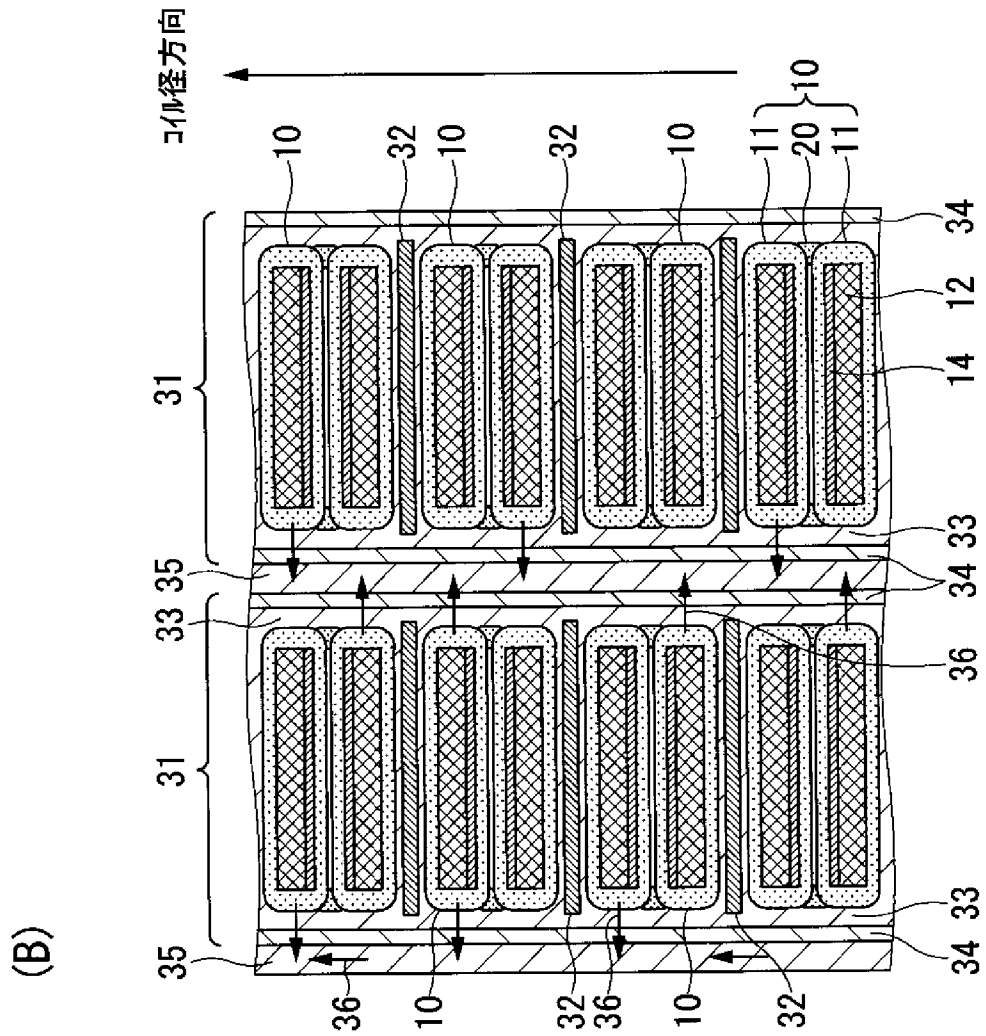
[図4]


10
12
18
11
17
23
12
14
19
19
14
12
17
22
18
11

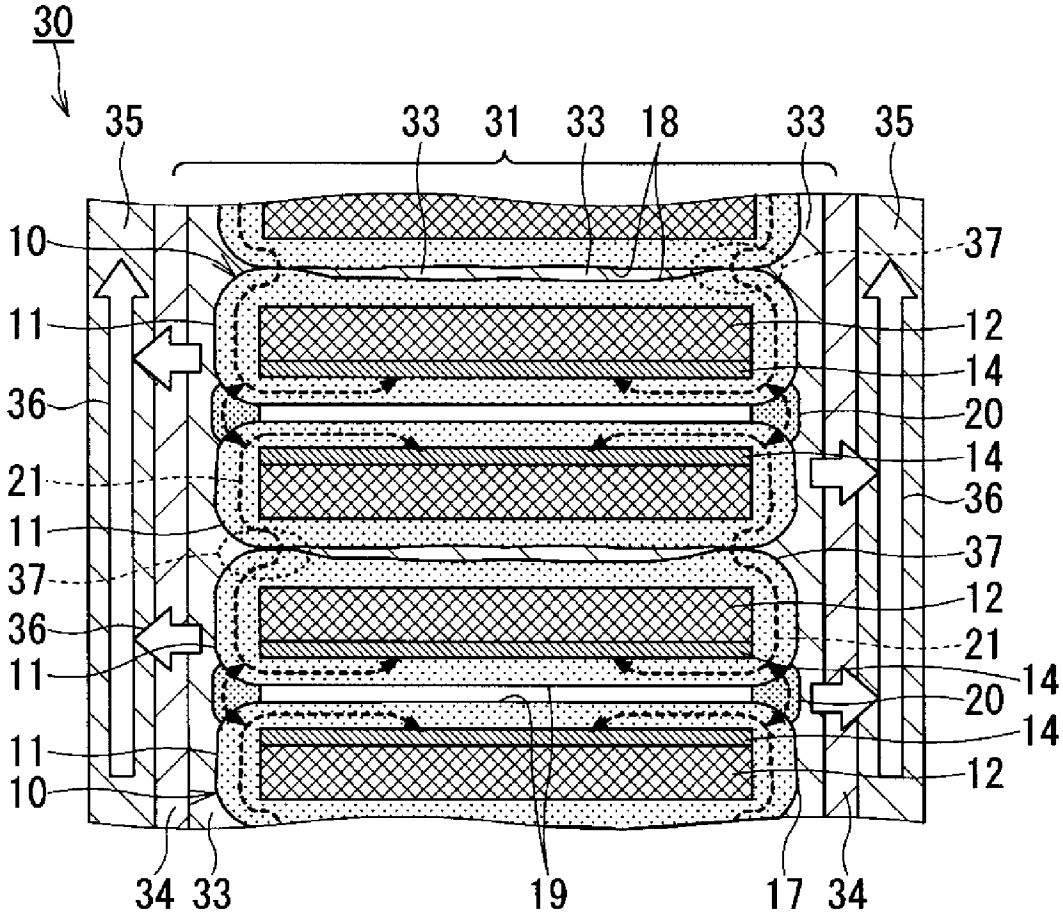
[図5]



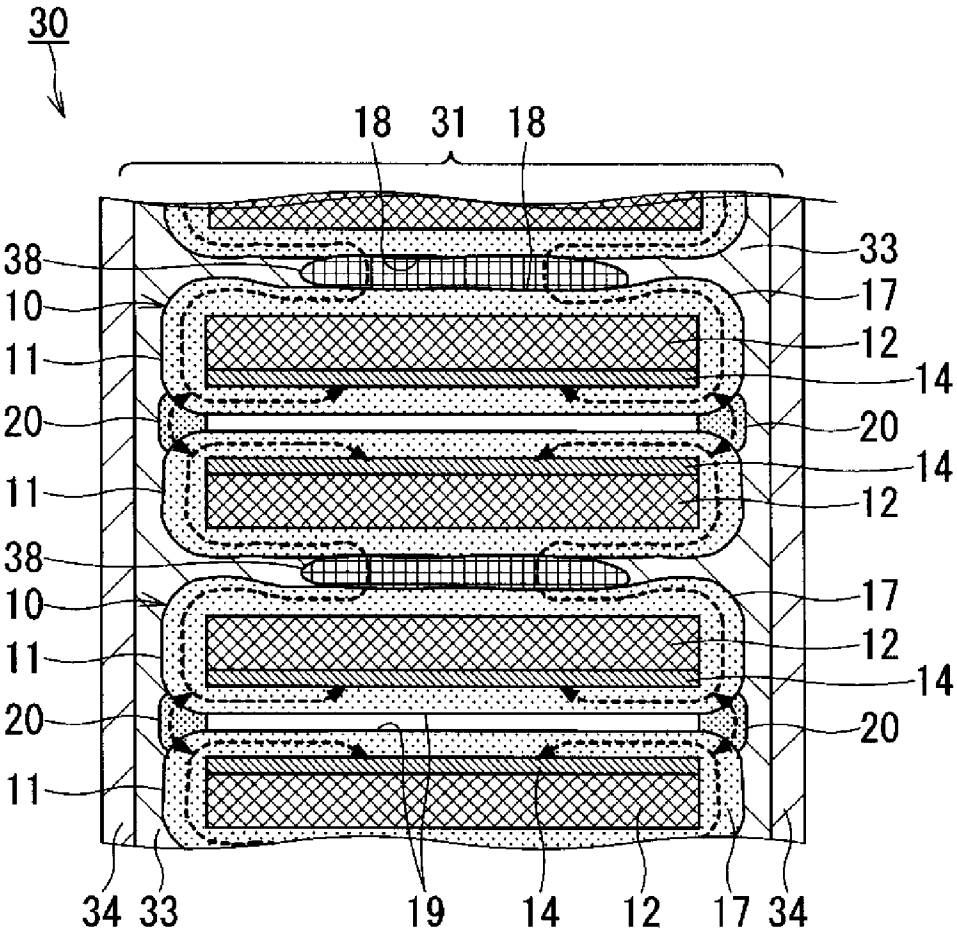
[図6]


(B)
コイル径方向
10
32
10
32
10
11
20
11
10
34
12
14
31
33
35
34
33
36
31
33
35
34
36
10
32
36
10
32
(A)
コイル径方向
A
30
31
31
0

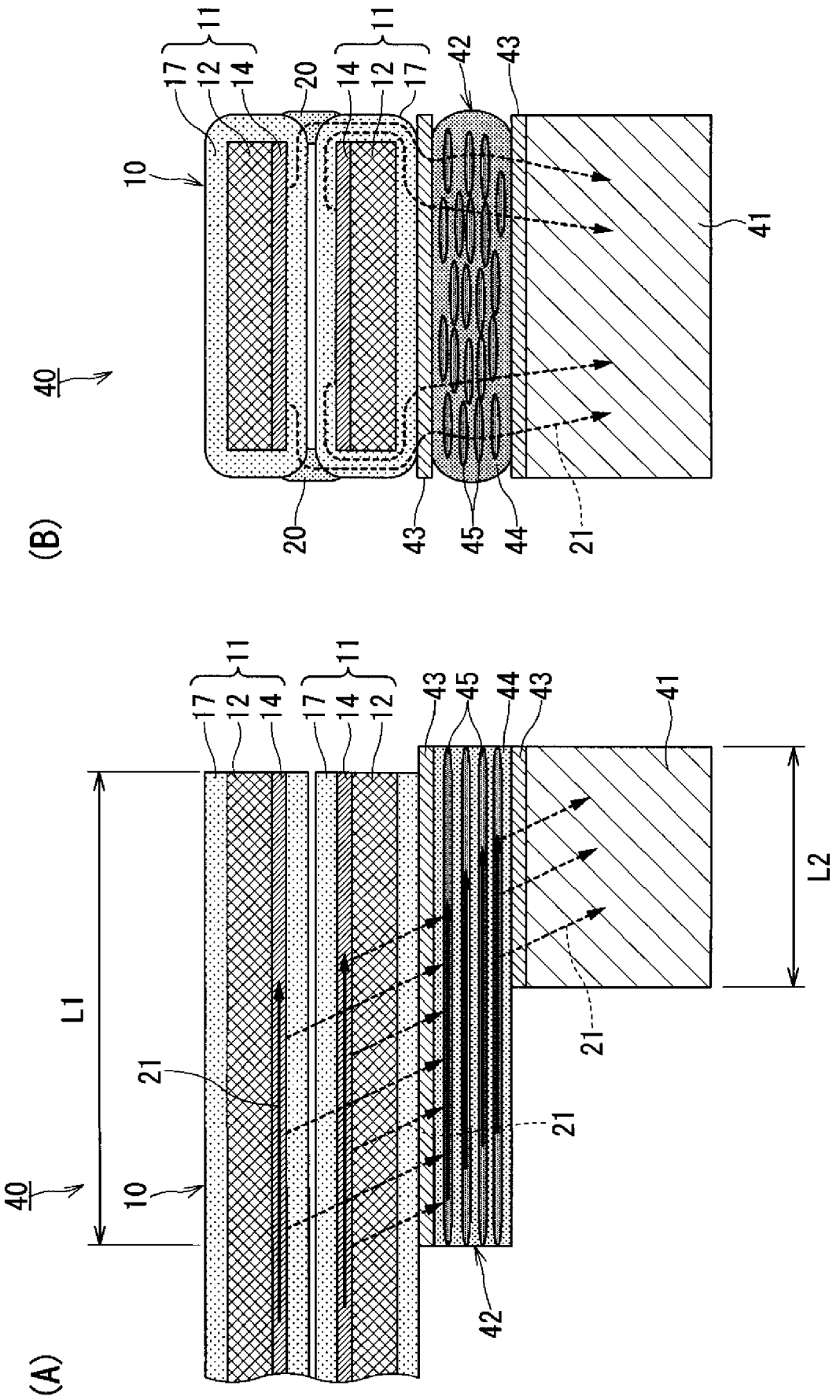
[図7]


30
35
33
31
33
18
33
35
10
11
36
21
11
37
36
11
11
10
37
12
14
20
14
36
37
12
21
14
20
14
12
34
33
19
17
34

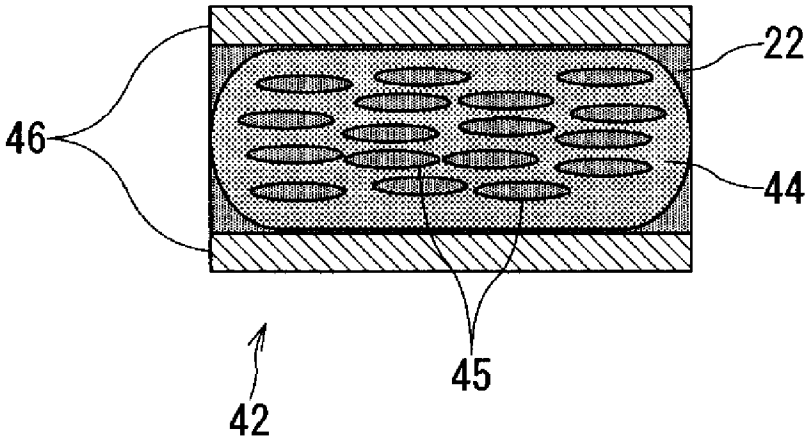
[図8]


30
18
31
18
38
10
11
20
11
38
10
11
20
11
33
17
12
14
20
14
12
17
12
14
20
34
33
19
14
12
17
34

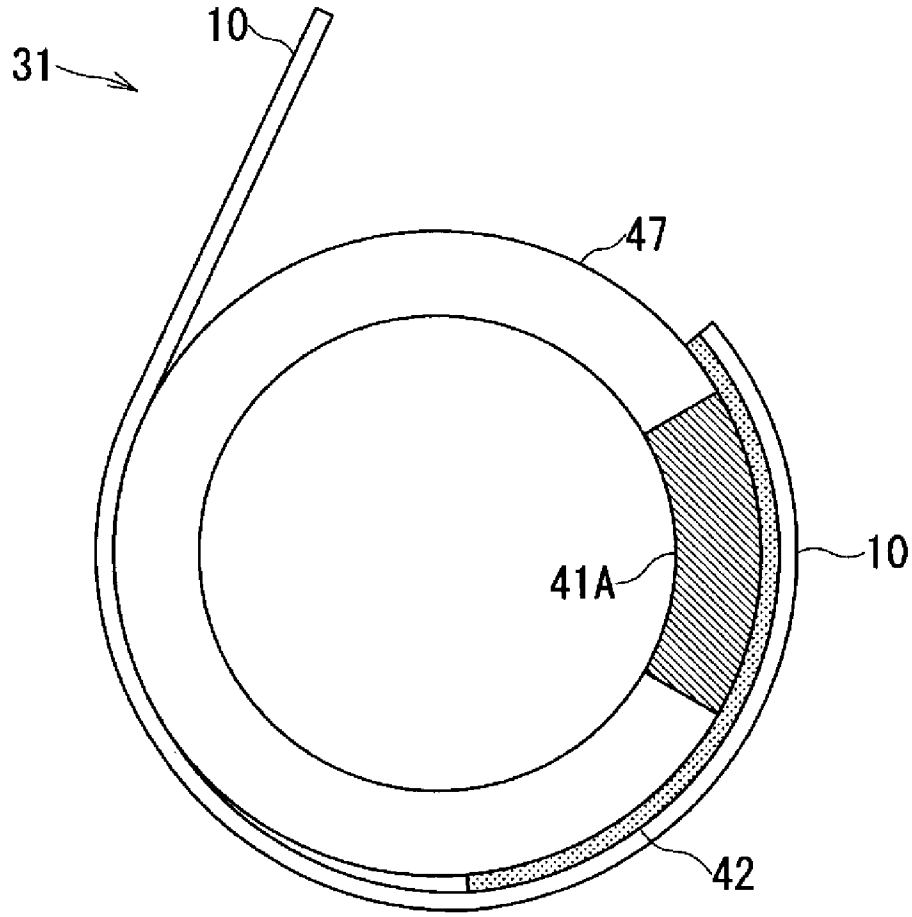
[図9]



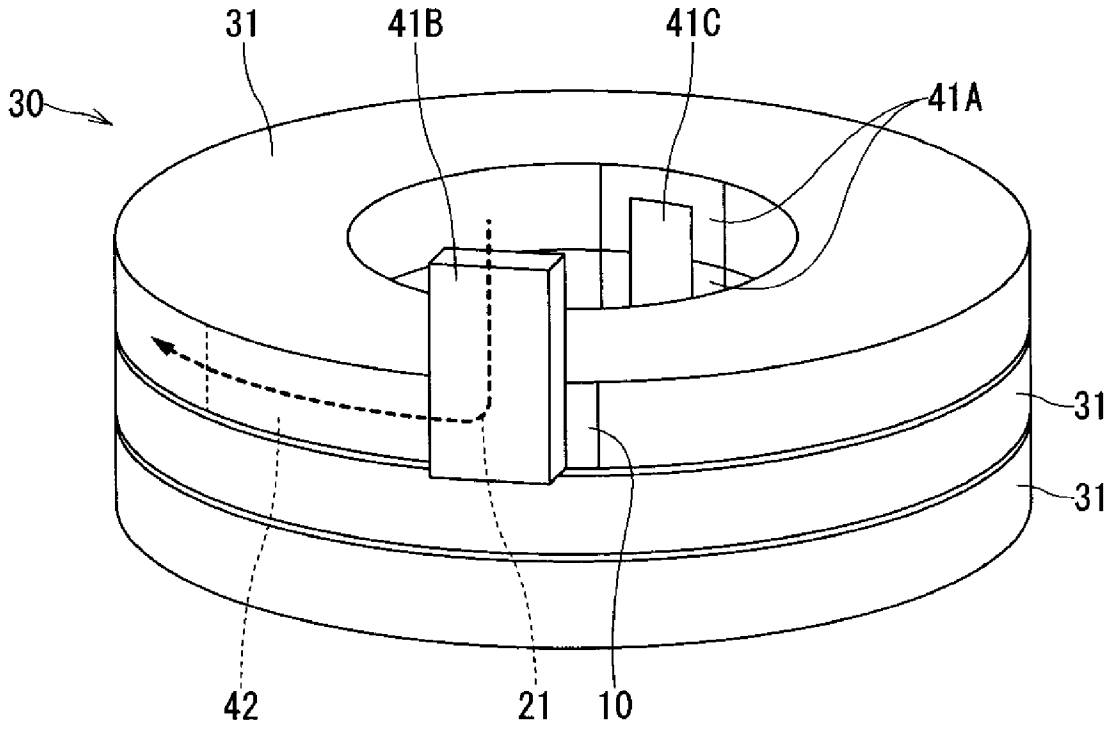
[図10]



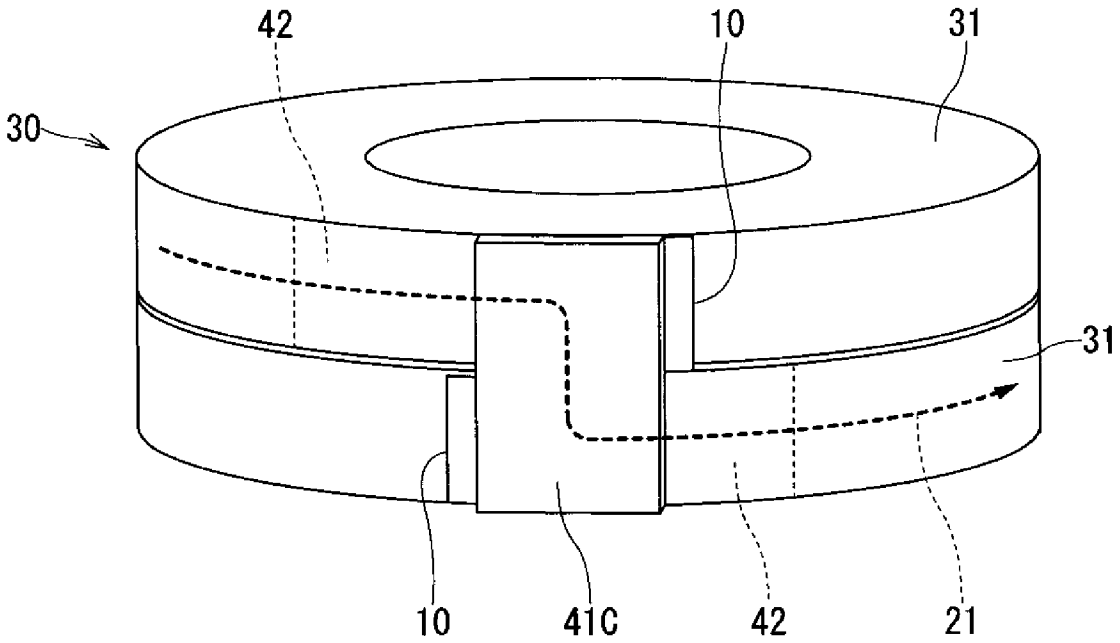

[図11]



[図12]




[図13]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/077464

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
*H01B12/06*(2006.01)i, *H01B12/10*(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)
H01B12/06, H01B12/10, 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 2013-247291 A (Chubu Electric Power Co., Inc.), 09 December 2013 (09.12.2013), (Family: none) | 1-8 |
| A | JP 2014-017090 A (Fujikura Ltd.), 30 January 2014 (30.01.2014), (Family: none) | 1-8 |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

| Date of the actual completion of the international search | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| 04 November 2016 (04.11.16) | 15 November 2016 (15.11.16) |

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

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０７７４６４

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, H01B12/10(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.　H01B12/06, H01B12/10, 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 2013-247291 A (中部電力株式会社) 2013.12.09, (ファミリーなし) | 1-8 |
| A | JP 2014-017090 A (株式会社フジクラ) 2014.01.30, (ファミリーなし) | 1-8 |

☐　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 |
|---|---|
| ０４．１１．２０１６ | １５．１１．２０１６ |


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