

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6211277号

(P6211277)

(45) 発行日 平成29年10月11日 (2017. 10. 11)

(24) 登録日 平成29年9月22日 (2017. 9. 22)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 39/00 (2006. 01)	H O 1 L 39/00 Z A A S
A 6 1 B 5/05 (2006. 01)	A 6 1 B 5/05 A
H O 1 L 39/04 (2006. 01)	H O 1 L 39/04

請求項の数 5 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2013-43293 (P2013-43293)	(73) 特許権者	000002107
(22) 出願日	平成25年3月5日 (2013. 3. 5)		住友重機械工業株式会社
(65) 公開番号	特開2013-251527 (P2013-251527A)		東京都品川区大崎二丁目1番1号
(43) 公開日	平成25年12月12日 (2013. 12. 12)	(74) 代理人	100117499
審査請求日	平成27年10月13日 (2015. 10. 13)		弁理士 小島 誠
(31) 優先権主張番号	特願2012-101800 (P2012-101800)	(72) 発明者	三上 行雄
(32) 優先日	平成24年4月26日 (2012. 4. 26)		神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友重
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		機械工業株式会社 横須賀製造所内
前置審査		審査官	綿引 隆

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 脳磁計用超電導磁気シールド装置及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

円筒形状を有する支持体と、

前記支持体に支持され、テープ状超電導材の両端同士が接合されてリング状にされており前記支持体の円筒形状における周方向に延設された前記リング状の第1の高温超電導材を前記支持体の円筒形状における軸方向に複数積層した構成であり、隣り合う前記第1の高温超電導材同士の前記軸方向における隙間が1 mm以下であり、各々の前記テープ状超電導材の両端同士の接合された部分の抵抗値である接続抵抗が0. 1 $\mu\Omega$ 以下である第1の磁気シールドと、

前記支持体に支持され、前記第1の磁気シールドが延設される方向に対して直交或いは傾いて配設され、前記第1の磁気シールドと電氣的に接続されるテープ状の第2の高温超電導材からなる第2の磁気シールドと、を有し、

前記第2の磁気シールドは、前記第2の高温超電導材を前記周方向に複数並設した構成であり、隣り合う前記第2の高温超電導材同士の前記周方向における隙間が1 mm以下であり、各々の前記第2の高温超電材と前記第1の磁気シールドとの接続部分の抵抗値である接続抵抗が0. 1 $\mu\Omega$ 以下である、脳磁計用超電導磁気シールド装置。

【請求項 2】

前記支持体を、接合された前記第1の磁気シールドと前記第2の磁気シールドとの最外周位置又は最内周位置に配設したことを特徴とする請求項1に記載の脳磁計用超電導磁気シールド装置。

10

20

【請求項 3】

前記第 1 の磁気シールドを構成する複数の前記第 1 の高温超電導材の間に形成される間隙を塞ぐ第 1 の閉塞用超電導材を設けたことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の脳磁計用超電導磁気シールド装置。

【請求項 4】

前記第 2 の磁気シールドを構成する複数の前記第 1 の高温超電導材の間に形成される間隙を塞ぐ第 2 の閉塞用超電導材を設けたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項 に記載の脳磁計用超電導磁気シールド装置。

【請求項 5】

円筒形状を有する支持体と、前記支持体に支持され、前記支持体の円筒形状における周方向に延在するようリング状に形成されたテープ状の第 1 の高温超電導材と、前記支持体に支持され、前記第 1 の高温超電導材が延在する方向に対して直交或いは傾いて配設されると共に前記第 1 の高温超電導材と電気的に接続されるテープ状の第 2 の高温超電導材と、を有する脳磁計用超電導磁気シールド装置の製造方法であって、

隣り合う前記第 1 の高温超電導材同士の前記軸方向における隙間が 1 mm 以下であり隣り合う前記第 2 の高温超電導材同士の前記周方向における隙間が 1 mm 以下であるように複数の前記第 1 の高温超電導材と複数の前記第 2 の高温超電導材を格子状に配置すると共に、前記第 1 の高温超電導材と前記第 2 の高温超電導材の交差する部位を接続抵抗が 0. 1 $\mu\Omega$ 以下となるように第 1 の導電性接合材で接合し電磁シールドを形成する電磁シールド形成工程と、

前記電磁シールドを前記支持体に巻き付ける装着工程と、

前記第 1 の高温超電導材の両端同士を接続抵抗が 0. 1 $\mu\Omega$ 以下となるように前記第 1 の導電性接合材よりも接合温度が低い第 2 の導電性接合材で接合して前記リング状にする接合工程と

を有することを特徴とする脳磁計用超電導磁気シールド装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高温超電導体を用いて磁気シールドを行う超電導磁気シールド装置及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、脳磁計や心磁計のような微弱磁場を計測する微弱磁場計測装置は、地磁気等の外部磁場が印加された場合、これを外乱として計測してしまう。このため、外乱が微弱磁場計測装置に悪影響を及ぼさないように微弱磁場計測装置を外乱となる外部磁場から遮蔽する磁気シールド装置でシールドし、これにより微弱磁場を計測することが行われている。

【0003】

従来、この磁気シールド装置としては、微弱磁場計測装置を設置する部屋の内壁全体を磁気シールド材で構成し、この磁気シールドルームにより外部磁場の影響を防止するものがあった（特許文献 1 参照）。しかしながら、磁気シールドルームは部屋全体を磁気シールドする構成であるため、大掛かりな設備となってしまう。

【0004】

そこで、内部に人体全体或いは頭部を装着可能とした筒状の超電導磁気シールド装置が提案されている（特許文献 2 参照）。この超電導磁気シールド装置は筒状基材にマイスナー効果を有する超電導体を配設した構成を有し、地磁気等が印加された際に超電導体有する完全反磁性により対象空間の磁場を遮蔽する。これにより、地磁気等の外部磁場に影響されることなく、微弱磁場を計測することが可能となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2002-291713号公報

【特許文献2】特開平10-313135号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、超電導磁気シールドを構成する超電導材としては、低温超電導材と高温超電導材が存在する。超電導磁気シールドの材料として低温超電導材を用いた場合、低温超電導材は成型が容易であるため大径の円筒形状を有した超電導磁気シールドを比較的容易に製造することかできる。しかしながら、低温超電導材料を用いた場合には冷却温度を9 K以下に保つ必要があり、冷却装置が大掛かりになってしまう。

10

【0007】

これに対し、超電導磁気シールドの材料として高温超電導材を用いた場合、冷却温度は80 K以下と冷却は容易になるが、高温超電導材料は製造が面倒となる。具体的には、円筒状基材に溶射により高温超電導材料を被膜形成することが行われる。しかしながら、この作業は面倒で作製に長い時間を要し製品コストが高くなるという問題点がある。

【0008】

一方、超電導磁気シールド装置は、筒状に形成された超電導磁気シールドの内部に人が入るため、これに対応した大きさが必要となる。これに対し、従来の高温超電導材料を用いた超電導磁気シールドは、一体物とされていたため部分補修ができなかった。

20

【0009】

よって、超電導磁気シールドの一部に不良箇所が発生すると、大きな形状を有する超電導磁気シールドの全てが使用不可能となり、全体を改めて作製し直す必要が生ずる。このため、従来の超電導磁気シールド装置は歩留まりが低く、製造に関するリスクが高いという問題点があった。

【0010】

更に、高温超電導材料は歪に対して脆弱であり、歪により容易にクラックが発生するため、超電導磁気シールド装置の組み立て作業においてその取扱に注意を要するという問題点もあった。

30

【0011】

本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、高温超電導材料を用いても組み立ての容易化、歩留まりの向上、及び低コスト化を図りうる超電導磁気シールド装置及びその製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記の課題は、第1の観点からは、

円筒形状を有する支持体と、

前記支持体に支持され、テープ状超電導材の両端同士が接合されてリング状にされており前記支持体の円筒形状における周方向に延設された前記リング状の第1の高温超電導材を前記支持体の円筒形状における軸方向に複数積層した構成であり、隣り合う前記第1の高温超電導材同士の前記軸方向における隙間が1 mm以下であり、各々の前記テープ状超電導材の両端同士の接合された部分の抵抗値である接続抵抗が0.1 $\mu\Omega$ 以下である第1の磁気シールドと、

40

前記支持体に支持され、前記第1の磁気シールドが延設される方向に対して直交或いは傾いて配設され、前記第1の磁気シールドと電氣的に接続されるテープ状の第2の高温超電導材からなる第2の磁気シールドと、を有し、

前記第2の磁気シールドは、前記第2の高温超電導材を前記周方向に複数並設した構成であり、隣り合う前記第2の高温超電導材同士の前記周方向における隙間が1 mm以下であり、各々の前記第2の高温超電材と前記第1の磁気シールドとの接続部分の抵抗値である

50

接続抵抗が $0.1 \mu\Omega$ 以下である、脳磁計用超電導磁気シールド装置により解決することができる。

【発明の効果】

【0013】

開示の発明によれば、軸方向磁気シールドと横方向磁気シールドとにより超電導磁気シールド装置が構成されているため、超電導磁気シールド装置の組み立ての容易化、歩留まりの向上、及び低コスト化を図ることができ、また軸方向磁場及び横方向磁場が印加されてもこれを確実にシールドすることができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0014】

【図1】図1は、本発明の第1実施形態である超電導磁気シールド装置の斜視図である。

【図2】図2は、本発明の第1実施形態である超電導磁気シールド装置の平面図である。

【図3】図3は、本発明の第1実施形態である超電導磁気シールド装置の分解斜視図である。

【図4】図4は、軸方向用テープ状超電導材を拡大して示す斜視図である。

【図5】図5は、軸方向用テープ状超電導材と横方向用テープ状超電導材との接合位置を拡大して示す断面図である。

【図6】図6は、軸方向磁場が印加された時に軸方向用テープ状超電導材に発生する渦電流を示す図である。

20

【図7】図7は、横方向磁場が印加された時に軸方向用テープ状超電導材と横方向用テープ状超電導材との間に発生する渦電流を示す図である。

【図8】図8は、本発明の第1実施形態である超電導磁気シールド装置の横方向磁場に対するシールド率を示す図である。

【図9】図9は、本発明の第1実施形態である超電導磁気シールド装置の軸方向磁場に対するシールド率を示す図である。

【図10】図10は、軸方向のシールド率と、軸方向用テープ状超電導材の接続抵抗と、軸方向用テープ状超電導材の間隙との関係を示す図である。

【図11】図11は、本発明の第2実施形態である超電導磁気シールド装置の分解図である。

30

【図12】図12は、本発明の第3実施形態である超電導磁気シールド装置の分解斜視図である。

【図13】図13は、本発明の第4実施形態である超電導磁気シールド装置の平面図である。

【図14】図14は、第4実施形態である超電導磁気シールド装置に用いる横方向用テープ状超電導材を拡大して示す図である。

【図15】図15は、本発明の第5実施形態である超電導磁気シールド装置の平面図である。

【図16】図16は、本発明の第5実施形態である超電導磁気シールド装置の斜視図である。

40

【図17】図17は、本発明の第6実施形態である超電導磁気シールド装置の平面図である。

【図18】図18は、本発明の第6実施形態である超電導磁気シールド装置の一部を切り欠いた斜視図である。

【図19】図19は、本発明の第6実施形態である超電導磁気シールド装置の軸方向のシールド率と軸方向用テープ状超電導材の接続抵抗との関係を示す図である。

【図20】図20は、本発明の第7実施形態である超電導磁気シールド装置の製造方法を説明するための図である（その1）。

【図21】図21は、本発明の第7実施形態である超電導磁気シールド装置の製造方法を説明するための図である（その2）。

50

【図 2 2】図 2 2 は、本発明の第 7 実施形態である超電導磁気シールド装置の製造方法を説明するための図である（その 3）。

【図 2 3】図 2 0 は、本発明の第 7 実施形態である超電導磁気シールド装置の斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

次に、本発明の実施の形態について図面と共に説明する。

【0016】

図 1 乃至図 3 は、本発明の第 1 実施形態である超電導磁気シールド装置 10 A を示している。図 1 は超電導磁気シールド装置 10 A の斜視図、図 2 は平面図、図 3 は分解斜視図である。この超電導磁気シールド装置 10 A は、例えば脳磁計や心磁計のような微弱磁場を計測する微弱磁場計測装置に適用される。

【0017】

超電導磁気シールド装置 10 A は、支持体 11 A、軸方向磁気シールド 12 A、及び横方向磁気シールド 13 A 等を有している。本実施形態では、最内周に支持体 11 A が配設され、その外周に軸方向磁気シールド 12 A が配設され、更にその外周に横方向磁気シールド 13 A が配設された構成とされている。よって、超電導磁気シールド装置 10 A は、支持体 11 A、軸方向磁気シールド 12 A、及び横方向磁気シールド 13 A が三重に重なった構成とされている。

【0018】

また、超電導磁気シールド装置 10 A は、全体として円筒形状を有している。よって、その中央部分には空間部 14 が形成されており、超電導磁気シールド装置 10 A を脳磁計に適用した場合には、この空間部 14 の内部に脳磁計が配設され、また被測定体となる人の頭部が挿入される。以下、超電導磁気シールド装置 10 A を構成する各構成要素について説明する。

【0019】

先ず、支持体 11 A について説明する。支持体 11 A は円筒形状を有しており、軸方向磁気シールド 12 A 及び横方向磁気シールド 13 A を支持するものである。

【0020】

この支持体 11 A は、特にその材質を限定されるものではないが、本実施形態では非磁性で成形性の良好な樹脂或いは金属を用いている。具其他的には、FRP（ガラス繊維強化プラスチック）等を用いることができる。また、この支持体 11 A の内周には、後述する各磁気シールド 12、13 A を冷却する冷媒が流れる冷却管（図示を省略）が配設されている。

【0021】

軸方向磁気シールド 12 A は、軸方向磁場に対するシールドを行うものである。なお、本明細書において、円筒の軸方向（図中矢印 Z1、Z2 で示す方向）の磁場を軸方向磁場と呼び、円筒の軸方向に直交する方向の磁場を横方向磁場と呼ぶものとする。また、軸方向磁場に対する磁気シールドを軸方向磁気シールドといい、横方向磁場に対する磁気シールドを横方向磁気シールドというものとする。

【0022】

なお、軸方向又は横方向以外の方向から印される磁場は、軸方向磁場と横方向磁場に分解することができる。このため、以下の説明においては軸方向磁場と横方向磁場についてのみ説明するものとする。

【0023】

次に、軸方向磁気シールド 12 A について説明する。軸方向磁気シールド 12 A は、軸方向用テープ状超電導材 15 A（請求項に記載の軸方向用超電導材）を支持体 11 A の軸方向に複数積層した（積み重ねた）構成を有している。軸方向用テープ状超電導材 15 A は、図 4 に拡大して示すように、テープ状超電導材 21 を曲げてリング状にすると共に、その両端部をはんだ 18 で接合した構成とされている。

【0024】

ここで、テープ状超電導材 2 1 は、超電導材の外周を金属で覆うか、又は金属の基板の上に高温超電導材を成膜した構成とされている。また、超電導材としては、臨界温度が高い高温超電導材を用いている。このテープ状超電導材 2 1 としては、例えば住友電気工業株式会社製の DI-BSCCO（製品名）を用いることができる。

【0025】

このように構成されたテープ状超電導材 2 1 は、超電導材単体の場合に比べて機械的強度が高く、歪に対しても強い。このため、図 4 に示すようにテープ状超電導材 2 1 をループ状に成形しても、その歪により高温超電導材が損傷するようなことはなく歩留まりの向上を図ることができる。また、テープ状超電導材 2 1 及び軸方向用テープ状超電導材 1 5 A の取扱が容易であることにより、軸方向磁気シールド 1 2 A の組み立て作業を容易に行うことができる。

10

【0026】

上記の構成とされた軸方向用テープ状超電導材 1 5 A は、支持体 1 1 A の外周に接着剤等を用いて固定される。これにより、軸方向磁気シールド 1 2 A は、支持体 1 1 A に支持された構成となる。

【0027】

次に、横方向磁気シールド 1 3 A について説明する。横方向磁気シールド 1 3 A は、横方向用テープ状超電導材 1 6（請求項に記載の横方向用超電導材）を支持体 1 1 A の周方向に複数並設した（平行に並べた）構成を有している。この横方向用テープ状超電導材 1 6 は、上記したテープ状超電導材 2 1 と同様に、高温超電導材の外周を金属で覆うか、又は金属の基板の上に高温超電導材を成膜した構成とされている。

20

【0028】

横方向磁気シールド 1 3 A は、軸方向磁気シールド 1 2 A と異なり直線状とされている。よって、軸方向磁気シールド 1 2 A と横方向磁気シールド 1 3 A は、図 1 及び図 7 に示すように、互いに直交する方向に延在した構成となっている。

【0029】

また本実施形態では、各々の横方向用テープ状超電導材 1 6 の長手方向が軸方向と平行なるよう構成されている。更に横方向用テープ状超電導材 1 6 は、筒状とされた軸方向磁気シールド 1 2 A の外周位置を囲うように配設される。

30

【0030】

各横方向用テープ状超電導材 1 6 は、図 5 に拡大して示すように、各軸方向磁気シールド 1 2 A を構成する軸方向用テープ状超電導材 1 5 A にはんだ 1 9 を用いて接合されることにより電氣的に接続されている。即ち、軸方向用テープ状超電導材 1 5 A と横方向用テープ状超電導材 1 6 は、はんだ 1 9 により電氣的に接続される。

【0031】

次に、上記構成とされた超電導磁気シールド装置 1 0 A において、外部から磁場が印加された時の動作について説明する。

【0032】

超電導磁気シールド装置 1 0 A に対して軸方向磁場（ B_A ）が印加された場合（図 6 参照）は、軸方向磁気シールド 1 2 A が機能する。即ち、軸方向磁場（ B_A ）が印加された場合は、軸方向磁気シールド 1 2 A を構成する各軸方向用テープ状超電導材 1 5 A に周方向に渦電流 A が発生し、これにより軸方向磁場（ B_A ）が空間部 1 4 内に影響することを防止できる。

40

【0033】

これに対し、超電導磁気シールド装置 1 0 A に対して横方向磁場（ B_S ）が印加された場合（図 7 参照）は、横方向磁気シールド 1 3 A が機能する。即ち、横方向磁場（ B_S ）が印加された場合は、軸方向用テープ状超電導材 1 5 A 及び横方向用テープ状超電導材 1 6 内に、横方向磁場（ B_S ）の印加位置を中心として円方向に流れる渦電流 A が発生する。

50

【0034】

前記のように、軸方向用テープ状超電導材15Aと横方向用テープ状超電導材16ははんだ19により接合することにより電氣的に接続している（図5参照）。よって、横方向磁場（ B_S ）で発生する渦電流Aは各テープ状超電導材15、16の内部或いは各テープ状超電導材15、16を跨いで流れ、これにより横方向磁場（ B_S ）が空間部14内に影響することを防止できる。

【0035】

図8は、超電導磁気シールド装置10Aの横方向磁場（ B_S ）に対するシールド率を示している。また図9は、超電導磁気シールド装置10Aの軸方向磁場（ B_A ）に対するシールド率を示している。図8及び図9に示す特性は、いずれもシミュレーションにより求めたものである。

10

【0036】

各図において、横軸は周数であり、縦軸はシールド率である。ここで、シールド率とは、超電導磁気シールド装置10Aの空間部14内の磁場の強さ（ B_{IN} ）に対する外部の磁場 B_{OUT} の強さの比をいう（シールド率＝ B_{OUT} / B_{IN} ）。

【0037】

なお図8、図9、及び後述する図10において、横軸に周波数を取っているのは次の理由による。即ち、本実施形態に係る超電導磁気シールド装置10Aは、軸方向用テープ状超電導材15Aの両端部を接合するのにはんだ18を用い（図4参照）、また各テープ状超電導材15、16を接合するのにもはんだ19を用いている。即ち、軸方向磁気シールド12A及び横方向磁気シールド13Aは完全な超電導体ではなく、はんだ18、19の抵抗成分を含んだものである。

20

【0038】

このため、印加される磁場が直流的な磁場である場合には、軸方向磁気シールド12A及び横方向磁気シールド13Aはこれを有効にシールドすることができない。しかしながら、印加される磁場が交流的な磁場である場合には、シールドを行うことができる。そこで、図8～図10は、横軸として印加される磁場の周波数を取っている。

【0039】

一般に、脳磁計や心磁計のような微弱磁場を計測する場合、軸方向磁場及び縦方向磁場のいずれの磁場であっても、磁場の周波数は1Hz以上を計測する。そこで、図8で横方向の外部磁場（ B_S ）が1Hzにおけるシールド率を見ると、横方向磁気シールド13Aのシールド率は約7000と高い値となっていることが判る。また、図9で軸方向の外部磁場（ B_A ）が1Hzにおけるシールド率を見ると、軸方向磁気シールド12Aのシールド率は約12500と高い値となっていることが判る。

30

【0040】

よって、図8及び図9に示す結果より、本実施形態に係る超電導磁気シールド装置10Aによれば、外部からの軸方向磁場（ B_A ）及び横方向磁場（ B_S ）の双方に対して有効なシールドを行うことができることが証明された。

【0041】

一方、前記のように軸方向磁気シールド12Aは軸方向用テープ状超電導材15Aを軸方向に積層したものであり、横方向磁気シールド13Aは横方向用テープ状超電導材16を周方向に並設したものである。即ち、軸方向磁気シールド12A及び横方向磁気シールド13Aは一体成形されたものではなく、軸方向用テープ状超電導材15A及び横方向用テープ状超電導材16を複数集合させ、これを接合した構成とされている。

40

【0042】

更に、個々のテープ状超電導材15、16は、軸方向磁気シールド12A及び横方向磁気シールド13Aの作製時において良否検査が可能である。

【0043】

よって本実施形態では、良品であるテープ状超電導材15、16を選定した上で、軸方向磁気シールド12A及び横方向磁気シールド13Aを作製することが可能となる。これ

50

により本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 10 A によれば、高温超電導材を用いても歩留まりを高めることができる。

【0044】

ところで、本実施形態のように軸方向用テープ状超電導材 15 A を積層した構成の軸方向磁気シールド 12 A では、隣接する軸方向用テープ状超電導材 15 A 間に必然的に間隙 $\Delta W 1$ (図 5, 図 7 に矢印で示す) が発生する。同様に、横方向磁気シールド 13 A を横方向用テープ状超電導材 16 を並設した構成とすると、隣接する横方向用テープ状超電導材 16 間に必然的に間隙 $\Delta W 2$ (図 2, 図 7 に矢印で示す) が発生する。

【0045】

図 10 (A) は、軸方向磁気シールド 12 A において、隣接する軸方向用テープ状超電導材 15 A の距離 $\Delta W 1$ と、軸方向用テープ状超電導材 15 A の接続抵抗と、軸方向磁気シールド 12 A のシールド率との関係を示している。

10

【0046】

図 10 (A) において、矢印 A は $\Delta W 1 = 1\text{mm}$ の時のシールド率と接続抵抗との関係を示し、矢印 B は $\Delta W 1 = 2\text{mm}$ の時のシールド率と接続抵抗との関係を示し、矢印 C は $\Delta W 1 = 3\text{mm}$ の時のシールド率と接続抵抗との関係を示し、更に矢印 D は $\Delta W 1 = 4\text{mm}$ の時のシールド率と接続抵抗との関係を示している。

また図 10 (B) は、横方向磁気シールド 13 A において、隣接する横方向用テープ状超電導材 16 の距離 $\Delta W 2$ と、横方向用テープ状超電導材 16 の接続抵抗と、横方向磁気シールド 13 A のシールド率との関係を示している。

20

【0047】

図 10 (B) において、矢印 A は $\Delta W 2 = 1\text{mm}$ の時のシールド率と接続抵抗との関係を示し、矢印 B は $\Delta W 2 = 2\text{mm}$ の時のシールド率と接続抵抗との関係を示し、矢印 C は $\Delta W 2 = 3\text{mm}$ の時のシールド率と接続抵抗との関係を示し、更に矢印 D は $\Delta W 2 = 4\text{mm}$ の時のシールド率と接続抵抗との関係を示している。

【0048】

図 10 (A) 及び図 10 (B) の結果より、軸方向磁気シールド 12 A 及び横方向磁気シールド 13 A のいずれにおいても、同様の特性が得られた。即ち、軸方向磁気シールド 12 A 及び横方向磁気シールド 13 A のいずれにおいても、隣接する軸方向用テープ状超電導材 15 A, 16 間の間隙 $\Delta W 1$, $\Delta W 2$ が小さくなるに従いシールド率が良好になることが判った。また、軸方向磁気シールド 12 A 及び横方向磁気シールド 13 A のいずれにおいても、接続抵抗が小さいほど、シールド率が良好になることが判った。

30

【0049】

本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 10 A では、軸方向磁気シールド 12 A を構成する各軸方向用テープ状超電導材 15 A の両端部の接続抵抗 (即ち、はんだ 18 の接続抵抗) を軸方向磁気シールド 12 A のシールド率が 1000 以上となるよう設定した。即ち、軸方向用テープ状超電導材 15 A のはんだ 18 による接続抵抗を約 $0.1\mu\Omega$ に設定した。また、軸方向に積層された軸方向用テープ状超電導材 15 A の間隙を 2mm 以下とした。

40

【0050】

このように各値を設定することにより、超電導磁気シールド装置 10 A を脳磁計や心磁計のような微弱磁場を計測する微弱磁場計測装置に適用しても、外部磁場を確実にシールドでき、これらの計測を正確に行うことが可能となる。

【0051】

同様に、軸方向磁気シールド 12 A と横方向磁気シールド 13 A との電氣的接続については、軸方向用テープ状超電導材 15 A と横方向用テープ状超電導材 16 との接続抵抗を横方向磁気シールド 13 A のシールド率が 1000 以上となるよう設定した。即ち、はんだ 19 による接続抵抗を約 $0.1\mu\Omega$ に設定した。また、周方向に並設された横方向用テープ状超電導材 16 の間隙を 2mm 以下とした。

50

【0052】

このように各値を設定することによっても、超電導磁気シールド装置10Aを脳磁計や心磁計のような微弱磁場を計測する微弱磁場計測装置に適用しても、外部磁場を確実にシールドでき、これらの計測を正確に行うことが可能となる。

【0053】

次に、本発明の第2乃至第7実施形態について説明する。

【0054】

図11乃至図23は、第2乃至第7実施形態に係る超電導磁気シールド装置10B～10Fを示している。なお、図11乃至図23において、図1乃至図7に示した第1実施形態に係る超電導磁気シールド装置10Aの構成と対応する構成については同一符号を付してその説明を省略する。

10

【0055】

図11は、第2実施形態である超電導磁気シールド装置10Bを示している。

【0056】

前記した第1実施形態である超電導磁気シールド装置10Aは、横方向用テープ状超電導材16が軸方向（矢印Z1、Z2方向）と平行となるよう構成した。これに対して本実施形態に係る超電導磁気シールド装置10Bは、横方向用テープ状超電導材16の延在方向（図中、矢印D1、D2方向）を軸方向磁気シールド12Aの軸方向（Z1、Z2方向）に対して傾いて配設したことを特徴とするものである。

20

【0057】

本実施形態では、横方向用テープ状超電導材16を軸方向に対して角度 θ 傾けた例を示している。このように、軸方向に対する横方向用テープ状超電導材16の延出方向は平行（ $\theta = 0^\circ$ ）に限定されるものではなく、任意の角度に適宜変更が可能なるものである。この構成とした場合でも、前記した第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0058】

図12は、第3実施形態である超電導磁気シールド装置10Cを示している。

【0059】

前記した第1実施形態に係る超電導磁気シールド装置10Aは、支持体11Aを最内周位置に配置した構成を示した。これに対して本実施形態に係る超電導磁気シールド装置10Cは、支持体11Bを最外周位置に配設したことを特徴とするものである。

30

【0060】

即ち、本実施形態に係る超電導磁気シールド装置10Cでは、最内周に軸方向磁気シールド12Aが位置し、その外側に横方向磁気シールド13Aが位置し、最外周に支持体11Bが位置した構成とされている。このように、支持体11Bが最外周位置に配設されても、軸方向磁気シールド12A及び横方向磁気シールド13Aはこの支持体11Bにより支持される。

【0061】

また、支持体11Bの外周面には、軸方向磁気シールド12A及び横方向磁気シールド13Aの高温超電導材を冷却する冷媒が流れる冷却管17が配設されている。この冷却管17は、支持体11Bの外周に螺旋状に配設されている。

40

【0062】

本実施形態のように支持体11Bが最外周に配設され、軸方向磁気シールド12A及び横方向磁気シールド13Aがその内部に位置することにより、各磁気シールド12、13は支持体11Bにより保護されるため、不要な外力が印加されても磁気シールド12、13が損傷することを防止することができる。

【0063】

図13は、第4実施形態である超電導磁気シールド装置10Dを示す平面図である。

【0064】

前記した第1実施形態に係る超電導磁気シールド装置10Aは、横方向磁気シールド1

50

3 Aを構成する複数の横方向用テープ状超電導材 1 6 は、細長い板状の形状とされており、折り曲げられてはいなかった。これに対して本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 Dでは、横方向磁気シールド 1 3 Cを構成する横方向用テープ状超電導材 2 0 の上方の所定範囲（Z 1 方向側の所定範囲）を内側に折曲した構成としたことを特徴とするものである。

【0065】

図 1 4 は、本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 Dを構成する一つの横方向用テープ状超電導材 2 0 を拡大して示している。同図に示すように、横方向用テープ状超電導材 2 0 は、その上部を折曲されることにより本体部 2 0 Aと、折り曲げられた折曲部 2 0 Bとを有した構成とされており、全体して略 L 字形状を有している。

10

【0066】

このように、横方向磁気シールド 1 3 Cを構成する横方向用テープ状超電導材 2 0 に折曲部 2 0 Bを形成することにより、超電導磁気シールド装置 1 0 Dの上側の開口部の一部は折曲部 2 0 Bにより塞がれた構成となる。円筒状の超電導磁気シールドにおいて、開口部の一部を超電導材で覆うことによりシールド効果は大きく増大する。よって、本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 Dによれば、更にシールド効果を高めることができる。

【0067】

図 1 5 及び図 1 6 は、第 5 実施形態である超電導磁気シールド装置 1 0 Eを示している。

20

【0068】

前記した第 1 実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 Aは、支持体 1 1 Aの外周に沿って複数の軸方向用テープ状超電導材 1 5 Aを軸方向に並設されるよう積み重ねて配設していた。これに対して本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 Eは、支持体 1 1 Aの外周に横方向磁気シールド 1 3 Aを構成する横方向用テープ状超電導材 1 6 を複数配設した後、この横方向用テープ状超電導材 1 6 上に 1 本の軸方向用テープ状超電導材 1 5 Bを螺旋状に巻回した構成としている。

【0069】

図 1 乃至図 3 に示した超電導磁気シールド装置 1 0 Aの場合、個々の軸方向用テープ状超電導材 1 5 Aを支持体 1 1 Aに装着する方法としては、次の方法が考えられる。

30

【0070】

先ず、テープ状超電導材 2 1 をリング状に形成し、これを支持体 1 1 Aに所定範囲にわたり接着固定する。続いて、テープ状超電導材 2 1 の両端部を付き合わせ、この端部同士をはんだ 1 8 で接合する（図 4 参照）。

【0071】

これに対して本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 Eは、軸方向磁気シールド 1 2 Aを一本の軸方向用テープ状超電導材 1 5 Bにより構成している。また、軸方向磁気シールド 1 2 Aの長さは、横方向用テープ状超電導材 1 6 が配設された支持体 1 1 Aを複数回にわたり螺旋状に巻回できる長さに設定されている。よって、単に 1 本の軸方向用テープ状超電導材 1 5 Bを横方向用テープ状超電導材 1 6 が配設された支持体 1 1 Aに巻回

40

【0072】

この際、軸方向磁気シールド 1 2 Bの内側面には、予めペースト状のはんだを塗布しておく。そして、この状態で軸方向磁気シールド 1 2 Bが巻回された支持体 1 1 Aを加熱炉で加熱しはんだを溶融することにより、一括的に軸方向磁気シールド 1 2 Bを横方向用テープ状超電導材 1 6 に電氣的及び機械的に接合することができる。

【0073】

よって、本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 Eによれば、部品点数の削減を図れると共に、組み立て作業の簡単化を図ることができる。

【0074】

50

なお、上記の説明では軸方向磁気シールド 1 2 B のみを 1 本の軸方向用テープ状超電導材 1 5 B により形成し、これを支持体 1 1 A に螺旋状に巻回した例を示したが、横方向磁気シールドを 1 本の横方向用テープ状超電導材で構成し、これを支持体 1 1 A に乱戦状に巻回する構成する構成としてもよい。

【0075】

更に、軸方向磁気シールド及び横方向磁気シールドの双方を 1 本のテープ状超電導材で構成し、いずれも支持体 1 1 A に対して螺旋状に巻回する構成とすることも可能である。この構成することにより、更に超電導磁気シールド装置の組み立て作業の簡単化を図ることができる。

【0076】

図 1 7 及び図 1 8 は、第 6 実施形態である超電導磁気シールド装置 1 0 F を示している。

【0077】

なお、図 1 7 は超電導磁気シールド装置 1 0 F の平面図であり、図 1 8 は超電導磁気シールド装置 1 0 F の一部を切り欠くことにより、軸方向磁気シールド 1 2 A の断面を示す図である。また図 1 8 においては、支持体 1 1 A の図示は省略している。

【0078】

前記したように、脳磁計や心磁計のような微弱磁場を計測する微弱磁場計測装置に超電導磁気シールド装置を適用する場合、軸方向磁気シールド 1 2 A を構成する軸方向用テープ状超電導材 1 5 A の間隙、及び横方向磁気シールド 1 3 A を構成する横方向用テープ状超電導材 1 6 の間隙を 2mm 以下に設定することが望ましい。しかしながら、更に高精度の磁気シールドを行う必要が生じる場合が考えられる。

【0079】

本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 F は、これに対応するために軸方向磁気シールド 1 2 A を構成する軸方向用テープ状超電導材 1 5 A の間に形成される間隙 3 4 を閉塞用磁気シールド 3 0 で塞ぐ構成としたものである。

【0080】

閉塞用磁気シールド 3 0 は、本実施形態では軸方向磁気シールド 1 2 A の内側に配設されている。しかしながら、閉塞用磁気シールド 3 0 を軸方向磁気シールド 1 2 A の外側（横方向磁気シールド 1 3 A と対向する側）に配設することも可能である。

【0081】

閉塞用磁気シールド 3 0 は、複数の閉塞用テープ状超電導材 3 2（請求項に記載の第 1 の閉塞用超電導材に相当する）により構成されている。この閉塞用テープ状超電導材 3 2 は、軸方向磁気シールド 1 2 A を構成する軸方向用テープ状超電導材 1 5 A と同一構成とされている。即ち、閉塞用テープ状超電導材 3 2 は、図 4 に示したように、テープ状超電導材 2 1 を曲げてリング状にすると共に、その両端部をはんだ 1 8 で接合した構成とされている。

【0082】

閉塞用磁気シールド 3 0 を構成する各閉塞用テープ状超電導材 3 2 は、隣接する軸方向用テープ状超電導材 1 5 A の間隙 3 4 の大きさよりも大きな幅（Z 1，Z 2 方向の長さ）を有している。また、各閉塞用テープ状超電導材 3 2 は、軸方向用テープ状超電導材 1 5 A にはんだ付けされた構成とされている。

【0083】

このように間隙 3 4 を閉塞用磁気シールド 3 0 で塞ぐことにより、前記の超電導磁気シールド装置 1 0 A に比べ、更に外部磁場が空間部 1 4 内に進入することを防止することができる。

【0084】

図 1 9 は、本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 F の効果を示す図である。

【0085】

同図において、矢印 F で示すのは図 1 0 に矢印 A で示した特性と同じである。即ち、軸

10

20

30

40

50

方向用テープ状超電導材 1 5 A の間隙 $\Delta W 1$ を 1mm とした時の接続抵抗とシールド率との関係を示している。前記したように、軸方向用テープ状超電導材 1 5 A の間隙 $\Delta W 1$ を 1mm とすることにより、高いシールド効果が得られることが分かる。

【0086】

これに対して図中矢印 E で示すのは、間隙 3 4 を閉塞用磁気シールド 3 0 で塞いだ本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 F の特性を示している。超電導磁気シールド装置 1 0 F の特性は、軸方向用テープ状超電導材 1 5 A の間隙 $\Delta W 1$ を 1mm とした時の特性に比べてシールド率が約 1 0 程度向上していることが分かる。

【0087】

よって、軸方向用テープ状超電導材 1 5 A 間に形成される間隙 3 4 を塞ぐ閉塞用磁気シールド 3 0 を設けることにより、高いシールド効果が得られることが実証された。

10

【0088】

なお、本実施形態のように高いシールド効果を得る方法として、軸方向磁気シールド 1 2 A を形成する際に、隣接する軸方向用テープ状超電導材 1 5 A の間隙 ΔW がなくなるよう ($\Delta W = 0$ となるよう)、軸方向用テープ状超電導材 1 5 A を支持体 1 1 A に配設することも考えられる。

【0089】

しかしながら、多数の軸方向用テープ状超電導材 1 5 A をリング状に成形しつつ、かつ隣接する間隙 ΔW がなくなるよう支持体 1 1 A に配設する作業は困難で手間の掛かる作業となる。これに対し、閉塞用テープ状超電導材 3 2 により間隙 3 4 を塞ぐ作業は容易であり、かつ閉塞用テープ状超電導材 3 2 が間隙 3 4 を塞ぐことができれば、閉塞用テープ状超電導材 3 2 が上下方向 (Z 1, Z 2 方向) に若干ずれたとしても高いシールド性は維持される。

20

【0090】

よって、本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 F によれば、組み立て作業の容易化を図りつつ、高いシールド性を実現することができる。

【0091】

なお上記した実施形態では、軸方向磁気シールド 1 2 A に形成される間隙 3 4 を覆う閉塞用磁気シールド 3 0 を設ける構成を示したが、横方向磁気シールド 1 3 A を構成する横方向用テープ状超電導材 1 6 間に形成される間隙 (図 7 に矢印 $\Delta W 2$ で示す) を塞ぐように閉塞用テープ状超電導材 (請求項に記載の第 2 の閉塞用超電導材に相当する) を配設する構成としてもよい。

30

【0092】

このように、閉塞用テープ状超電導材は、軸方向用テープ状超電導材 1 5 A 間に形成される間隙 3 4 をのみ塞ぐように設けても、また横方向用テープ状超電導材 1 6 間に形成される間隙 ($\Delta W 2$) のみを塞ぐように設けても、更に間隙 3 4 及び間隙 ($\Delta W 2$) の双方を塞ぐように設けた構成としてもよい。

【0093】

図 2 0 乃至図 2 3 は、第 7 実施形態である超電導磁気シールド装置 1 0 G 及びその製造方法を示している。

40

【0094】

前記した第 1 実施形態では、支持体 1 1 A に軸方向用テープ状超電導材 1 5 A を配設することにより軸方向磁気シールド 1 2 A を形成し、その後に軸方向磁気シールド 1 2 A の上部に横方向用テープ状超電導材 1 6 をはんだ付けすることにより横方向磁気シールド 1 3 A を接合し、これにより超電導磁気シールド装置 1 0 A を製造していた。

【0095】

これに対して本実施形態に係る超電導磁気シールド装置 1 0 F は、軸方向用テープ状超電導材 1 5 A と横方向用テープ状超電導材 1 6 を格子状にはんだ付けした構成の格子状磁気シールド 4 0 を予め製造しておき、これを支持体 1 1 A に配設することにより超電導磁気シールド装置 1 0 F を製造することを特徴としている。以下、具体的な超電導磁気シ

50

ルド装置 10F の製造方法について説明する。

【0096】

超電導磁気シールド装置 10F を製造するには、先ずテープ状超電導材 21 を図 20 に矢印 X1, X2 方向に列設する。続いて、この列設されたテープ状超電導材 21 上に、テープ状超電導材 21 を図 20 に矢印 Y1, Y2 方向に列設する。

【0097】

この X1, X2 方向に列設に列設されたテープ状超電導材 21 は横方向用テープ状超電導材 16 を構成し、Y1, Y2 方向に列設に列設されたテープ状超電導材 21 は軸方向用テープ状超電導材 15A を構成する。また、軸方向用テープ状超電導材 15A となるテープ状超電導材 21 上に軸方向用テープ状超電導材 15A となるテープ状超電導材 21 を重ねる際、各テープ状超電導材 21 が交差する部位には高融点はんだ（請求項に記載の第 1 の導電性接合材に相当する）を配設しておく。

10

【0098】

格子状に配列されたテープ状超電導材 21 は加熱炉において加熱処理が行われる。これにより高融点はんだは溶融し、各テープ状超電導材 21 の各交差部分においてははんだ付けが行われる。これにより、軸方向用テープ状超電導材 15A と横方向用テープ状超電導材 16 は接合され、シート状の格子状磁気シールド 40 が製造される（電磁シールド形成工程）。

【0099】

このように電磁シールド形成工程では、単にテープ状超電導材 21 を X1, X2 方向及び Y1, Y2 方向に列設させると共に、多数の交差部におけるはんだ付けを一括的に行うことができる。よって、格子状磁気シールド 40 の製造を容易に行うことができる。

20

【0100】

また電磁シールド形成工程においてテープ状超電導材 21 を格子状に列設する際、本実施形態では基台等の平面上で列設処理を行うことができる。よって、支持体 11A に軸方向用テープ状超電導材 15A 及び横方向用テープ状超電導材 16 を配設する方法に比べ、各テープ状超電導材 21 を近接させる処理を容易に行うことができる。

【0101】

なお、各図においては図示の便宜上、隣接する軸方向用テープ状超電導材 15A 間の間隙、及び隣接する横方向用テープ状超電導材 16 間の間隙を広く図示しているが、各間隙の実際の寸法は 2mm 程度とされている。

30

【0102】

次に、電磁シールド形成工程で製造された格子状磁気シールド 40 は、図 21 に示されるように、予め製造されていた支持体 11A に巻き付けることにより装着される（装着工程）。この際、格子状磁気シールド 40 と支持体 11A は、接着剤等を用いて固定される。

【0103】

テープ状超電導材 21 は曲げることが可能なテープ状の部材であり、これを格子状にはんだ付けした格子状磁気シールド 40 も可撓性を有している。また、格子状磁気シールド 40 は軸方向用テープ状超電導材 15A と横方向用テープ状超電導材 16 が一体化した構成であるため、軸方向用テープ状超電導材 15A と横方向用テープ状超電導材 16 を一括的に支持体 11A に巻き付けることができる。

40

【0104】

よって本実施形態では、格子状磁気シールド 40 を支持体 11A に装着する処理を容易に行うことができる。

【0105】

図 22 は、格子状磁気シールド 40 が支持体 11A に巻き付けられることにより、軸方向用テープ状超電導材 15A の両端部（図中、矢印 P で示す）が突き合わされた状態を示している。軸方向用テープ状超電導材 15A は、軸方向磁場を有効にシールドするために電氣的に接合する必要がある（図 4 参照）。

50

【0106】

この各軸方向用テープ状超電導材15Aの端部Pを電氣的に接合するため、このつき合わせ部分にはんだ45（請求項に記載の第2の導電性接合材に相当する）を配設する。このはんだ45は、電磁シールド形成工程において格子状に配置されたテープ状超電導材21を接合するのに用いた高融点はんだに比べ、融点が低い低融点はんだを用いている。

【0107】

次に、加熱処理を行うことにより、はんだ45を溶融して各軸方向用テープ状超電導材15Aの突き合わせ部分を電氣的に接合する（接合工程）。上記の処理を行うことにより、図23に示す超電導磁気シールド装置10Gが製造される。

【0108】

本実施形態に係る製造方法では、上記のように電磁シールド形成工程において格子状磁気シールド40を容易に製造することができる。このため、超電導磁気シールド装置10Gの組み立て作業を容易に行うことが可能となる。

【0109】

以上、本発明の好ましい実施形態について詳述したが、本発明は上記した特定の実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能なものである。

【符号の説明】

【0110】

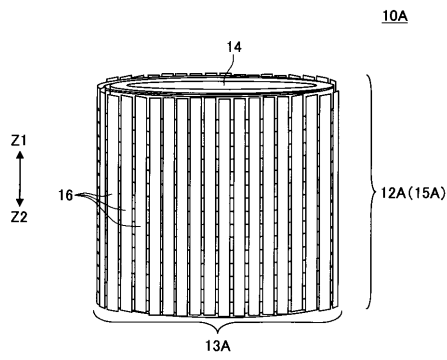
- 10A～10G 超電導磁気シールド装置
- 11A, 11B 支持体
- 12A, 12B 軸方向磁気シールド
- 13A, 13B, 13C 横方向磁気シールド
- 14 空間部
- 15A, 15B 軸方向用テープ状超電導材
- 16, 20 横方向用テープ状超電導材
- 20A 本体部
- 20B 折曲部
- 17 冷却管
- 18, 19 はんだ
- 30 閉塞用磁気シールド
- 32 閉塞用テープ状超電導材
- 34 間隙
- 40 格子状磁気シールド

10

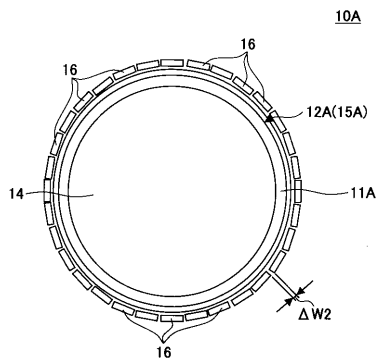
20

30

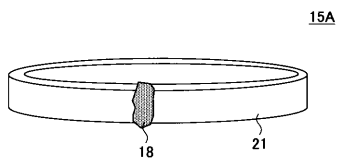
【図 1】



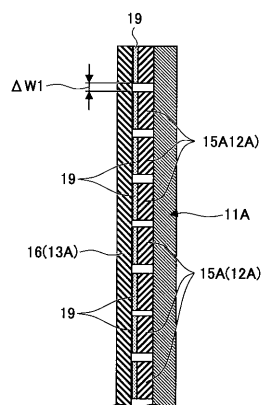
【図 2】



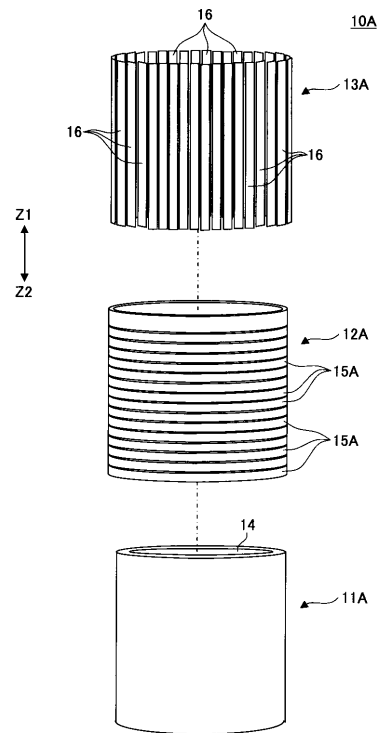
【図 4】



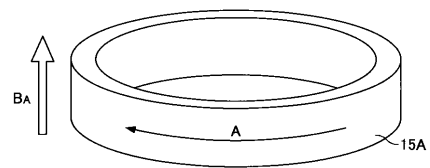
【図 5】



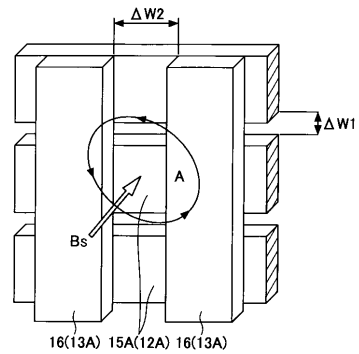
【図 3】



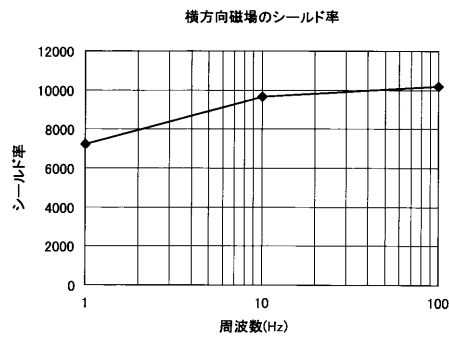
【図 6】



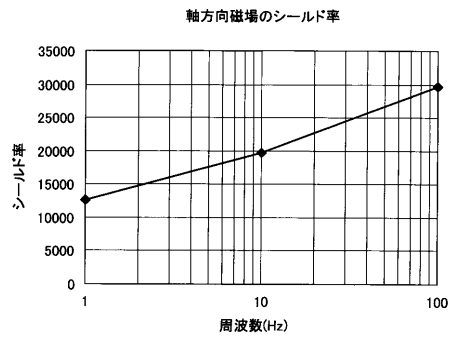
【図 7】



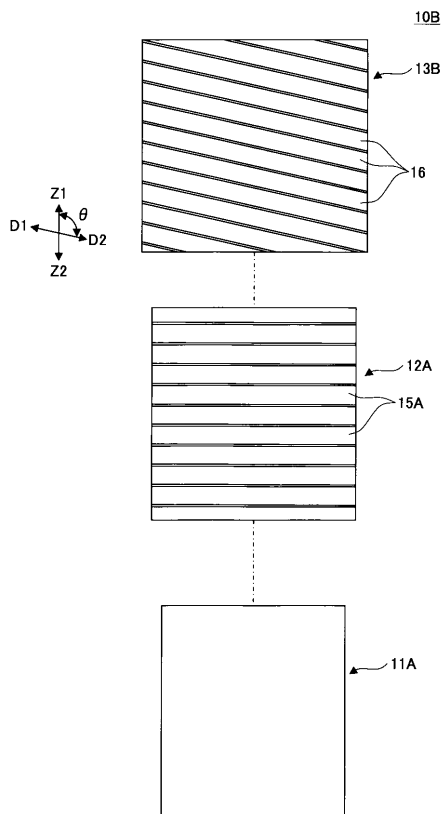
【図 8】



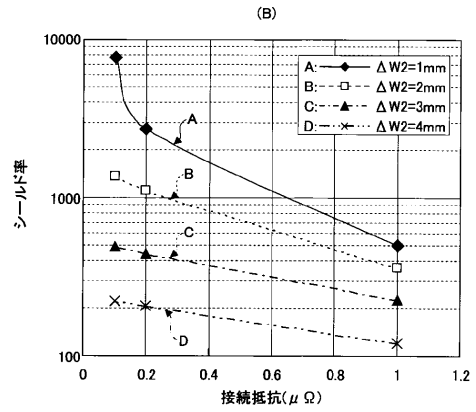
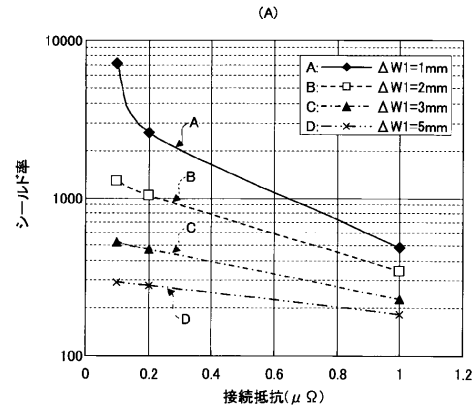
【図 9】



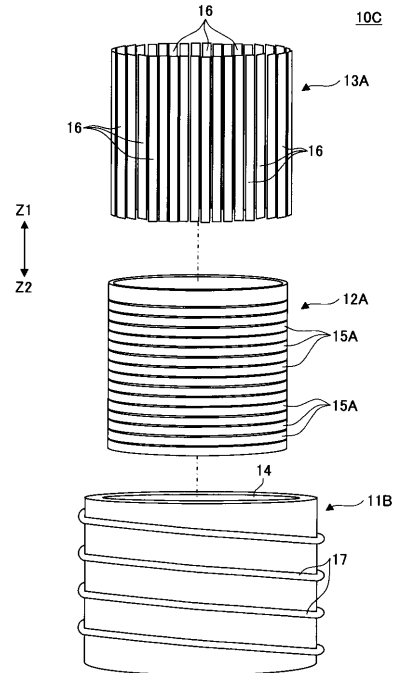
【図 11】



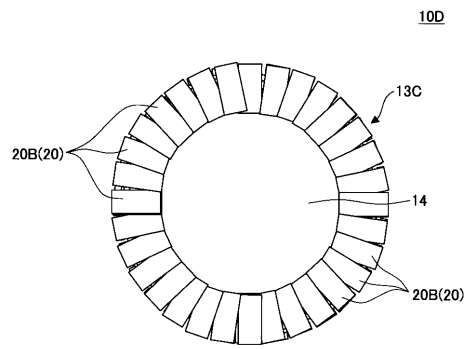
【図 10】



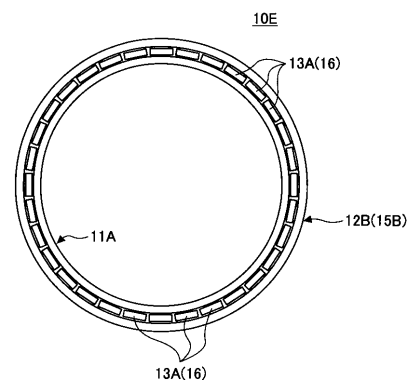
【図 12】



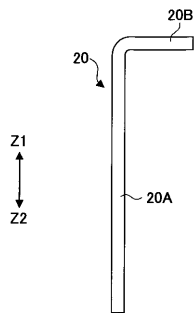
【図 13】



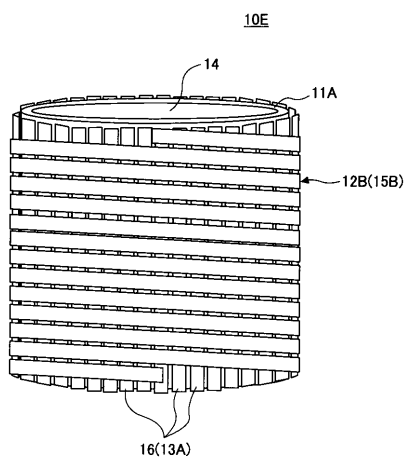
【図 15】



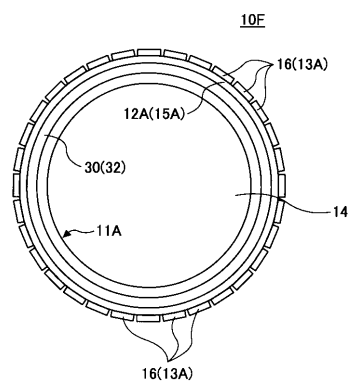
【図 14】



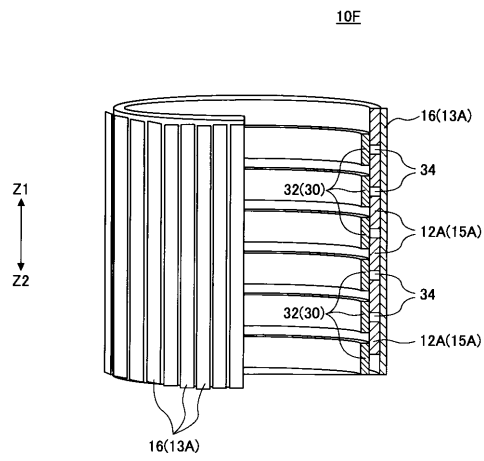
【図 16】



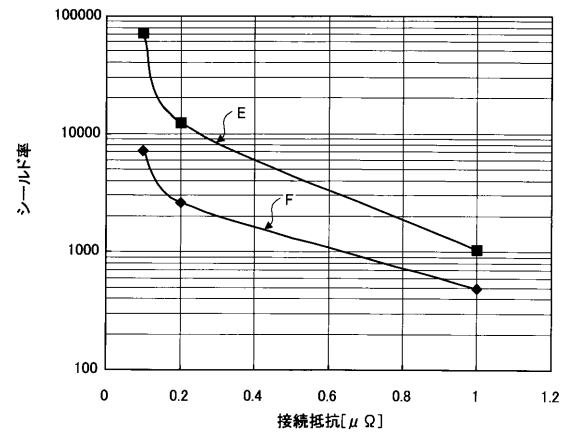
【図 17】



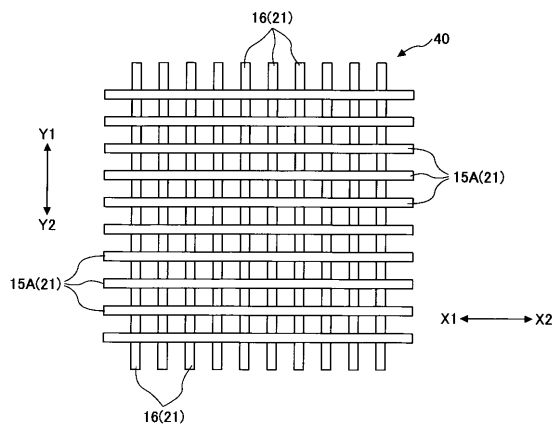
【図 18】



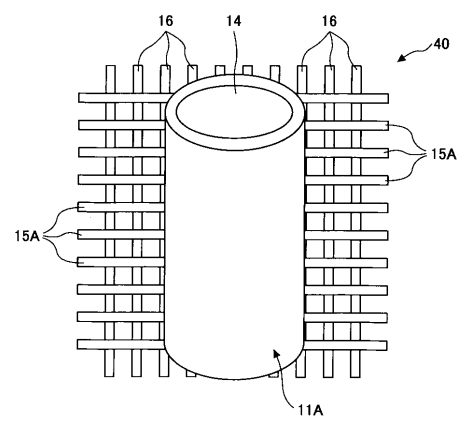
【図 19】



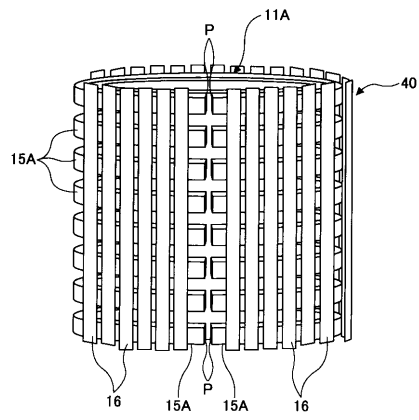
【図 20】



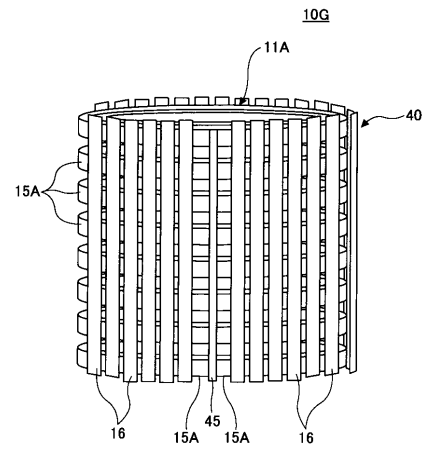
【図 21】



【図 2 2】



【図 2 3】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平06-216565 (JP, A)
特開2000-021621 (JP, A)
特開平01-152696 (JP, A)
特開平02-089399 (JP, A)
特開平06-224036 (JP, A)
特開2009-260363 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 5/05
H01L 39/00-24
H05K 9/00