

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6873861号
(P6873861)

(45) 発行日 令和3年5月19日(2021.5.19)

(24) 登録日 令和3年4月23日(2021.4.23)

(51) Int.Cl. F I
 GO 1 N 29/24 (2006.01) GO 1 N 29/24
 GO 1 N 29/32 (2006.01) GO 1 N 29/32

請求項の数 6 (全 10 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2017-151471 (P2017-151471) | (73) 特許権者 | 000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号 |
| (22) 出願日 | 平成29年8月4日(2017.8.4) | (73) 特許権者 | 317015294 東芝エネルギーシステムズ株式会社 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地34 |
| (65) 公開番号 | 特開2019-32168 (P2019-32168A) | (74) 代理人 | 100145816 弁理士 鹿股 俊雄 |
| (43) 公開日 | 平成31年2月28日(2019.2.28) | (72) 発明者 | 若崎 真吾 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内 |
| 審査請求日 | 令和2年2月10日(2020.2.10) | (72) 発明者 | 小林 剛史 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波トランスデューサ、超音波探傷装置及び超音波探傷方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

上部電極及び下部電極を有する圧電振動子と、前記上部電極の上部に設けられたダンパーと、前記下部電極の下部に設けられた前面板と、前記圧電振動子及びダンパーを囲繞するケーシングと、を有する超音波トランスデューサにおいて、

前記圧電振動子の少なくとも1つの側面が前記下部電極に向けて傾斜状の切欠き部を有し、前記上部電極は前記ダンパーから前記切欠き部側に所定領域露出し、

前記下部電極の幅と前記ダンパーの幅が略同等であることを特徴とする超音波トランスデューサ。

【請求項2】

前記上部電極の露出した表面にリード線を接続したことを特徴とする請求項1に記載の超音波トランスデューサ。

【請求項3】

前記切欠き部は多段状に形成されていることを特徴とする請求項1または2に記載の超音波トランスデューサ。

【請求項4】

前記切欠き部は曲線状に形成されていることを特徴とする請求項1または2に記載の超音波トランスデューサ。

【請求項5】

請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の超音波トランスデューサを用いて構造物

の超音波探傷検査を行うことを特徴とする超音波探傷装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の超音波トランスデューサを用いて構造物の超音波探傷検査を行うことを特徴とする超音波探傷方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、超音波トランスデューサ、超音波探傷装置及び超音波探傷方法に関し、特に高温環境下において使用可能な超音波トランスデューサ、超音波探傷装置及び超音波探傷方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

高速炉とは高速中性子による核分裂反応がエネルギー発生源となっている原子炉である。高速炉は放射性廃棄物の減容、ウランの有効活用等の利点がある。高速炉の冷却材は、中性子の減速能及び吸収断面積が比較的小さいこと、熱輸送特性が良好なことから液体ナトリウムが用いられている。しかしながら、液体ナトリウムは銀色を呈しており不透明であるため、高速炉の内部を目視することができない。

【0003】

一方、高速炉の炉内構造物の検査が高速炉の品質信頼性確保のために要求されており、高速炉の運転休止中に定期検査を行う必要がある。炉内構造物は高放射線領域にあるため、定期検査には遠隔操作で炉内構造物の欠陥を検出できる超音波探傷装置が用いられている。超音波探傷装置は超音波を検査対象に入射しその反射波から欠陥を検出するため、液体ナトリウム中においても炉内構造物の状態を検査できる。定期検査時は、液体ナトリウムが固化しない温度の 200 ± 20 に維持されるため、炉内検査用の超音波探傷装置は少なくとも 220 以上の耐熱性を有する必要がある。

20

この超音波探傷装置は、高速炉以外にも、その他の高温の液体中においても使用することができる。

【0004】

通常超音波探傷装置は、超音波を送受波する超音波トランスデューサと、この超音波トランスデューサの検出結果に所定の信号処理を施す信号処理装置と、から構成されている。

30

【0005】

一般的な超音波トランスデューサ 1 は、図 6 (d) に示すように、上下面に電極層を形成した圧電振動子 4 を有しており、この圧電振動子 4 は外部から電圧を加えることにより、圧電振動子の極性に応じて膨張と収縮を繰り返し振動させることで超音波を発生させる。この超音波トランスデューサ 1 において、超音波の送受信面側には前面板 7 が設けられ、送受信面の背面側には背面側に圧電振動子の不要な振動を抑制する機能を有するダンパー 8 が設けられている。

【0006】

図 6 (a) ~ (d) に従来の超音波トランスデューサ 1 の製造工程を示す。まず、圧電振動子 4 の上下面に薄膜の電極層 (上部電極 5、下部電極 6) を形成し、上部電極 5 にリード線 14 を取り付け (図 6 (a))。次に、圧電振動子 4 の上面に接合層 10 を介してダンパー 8 を接合し、下面に接合層 9 を介して前面板 7 を接合する (図 6 (b)、(c))。その後、前面板 7 にリード線 13 を取り付け、ケーシング 11 とコネクタ 12 を取り付けて超音波トランスデューサ 1 を得る (図 6 (d))。

40

【0007】

一方、高温環境下で用いられる超音波トランスデューサ 1 を従来と同様の工程で製造する場合、圧電振動子 4 とダンパー 8 の接合層 10 に用いられる接合材は、上部電極 5 とリード線 14 の接続に用いる接合材よりも融点の低い接合材を用いる必要がある。しかしながら、高温用の超音波トランスデューサ 1 では耐熱性を有する接合材を選定する必要があ

50

るため、圧電振動子 4 とダンパー 8 の接合材の選定が困難となる。また、上部電極 5 とリード線 1 4 の接続と、圧電振動子 4 へのダンパー 8 の接合に同じ接合材を用いる場合、上部電極 5 とリード線 1 4 が導通する必要があるため、接合材は金属接合材を用いる。しかし、ダンパー 8 の材料であるセラミックスと金属接合材の接合性を良好に保つのは困難であるため、ダンパー 8 の材料の選定に制約が生じる。

【 0 0 0 8 】

そこで、圧電振動子 4 とダンパー 8 の接合材やダンパー 8 の材料の選定に制約が生じないようにするため、高温用の超音波トランスデューサ 1 を、図 6 (a) ~ (d) に示す従来の製造工程とは異なる工程で製造する方法が考えられる。

【 0 0 0 9 】

例えば、圧電振動子 4 へダンパー 8 を接合した後に上部電極 5 とリード線 1 4 の接続をする方法が挙げられる。この場合、上部電極 5 とリード線 1 4 の接続に用いる接合材は、圧電振動子 4 とダンパー 8 の接合に用いる接合材よりも融点を低くする必要がある。

【 0 0 1 0 】

また、この工程では、圧電振動子 4 とダンパー 8 との間上部電極 5 に対して、側面からリード線 1 4 を接続する必要があるため、上部電極 5 は薄膜であるためリード線 1 4 の接続スペースが小さく、リード線 1 4 の接続作業が困難であるとともに、所望の接続強度が得られない場合がある。

【 0 0 1 1 】

そこで、圧電振動子 4 の一部にダンパー 8 が接続しない領域を形成し、リード線 1 4 の

接続スペースを確保する方法が考えられる。
その例として、図 7 に圧電振動子 4 の一部にダンパー 8 が接続しない領域を形成した超音波トランスデューサ 1 の構成図を示す。図 7 に示す超音波トランスデューサ 1 では、上部電極 5 にリード線 1 4 の接続スペースを確保している。これにより、十分な量の接合材でリード線 1 4 を接続することが可能となり、所望の接続強度を確保することができるため、超音波トランスデューサ 1 の信頼性を高めることができる。

【 0 0 1 2 】

また、他の方法としてダンパー 8 の底面及び少なくとも 1 つの側面に金属蒸着を施して側面電極 1 8 を形成し、その側面電極 1 8 にリード線 1 4 を接続することが知られている。図 8 に側面電極 1 8 を形成した超音波トランスデューサ 1 の構成図を示す。この場合、

圧電振動子 4 の全てにダンパー 8 が接続される構造となるため、不要な振動は発生しない。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 3 】

【 特許文献 1 】 特許第 4 2 4 4 1 7 2 号公報

【 特許文献 2 】 特許第 4 9 1 1 6 3 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 4 】

上述したように、図 7 に示す従来の高温用の超音波トランスデューサ 1 では、ダンパー 8 に接触しない上部電極 5 の領域にリード線を接続し、リード線の接続強度、信頼性を向上させている。

【 0 0 1 5 】

しかしながら、ダンパー 8 が接触しない領域の圧電振動子 4 では不要な振動が発生する可能性がある。この不要な振動はパルス幅が大きいため、分解能を低下させる要因となる。パルス幅とは、超音波パルスが継続する時間間隔である。超音波トランスデューサ 1 がパルス幅の大きい超音波を送信した場合、物体から反射した超音波のパルス幅も大きくなる。

【 0 0 1 6 】

また、超音波トランスデューサ 1 が 2 つの異なる距離に存在する物体から反射した超音波を受信する場合、受信する超音波は 2 物体間の距離分の時間差が生じるが、この時間差よりパルス幅が大きいと 2 つの超音波は重なり合っ分離できない。すなわち、圧電振動子 4 で不要な振動が発生すると、超音波トランスデューサ 1 が送受信する超音波のパルス幅が大きくなり、分解能が低下するという問題があった。

【 0 0 1 7 】

また、図 8 に示すダンパー 8 の側面に側面電極 1 8 を設けた従来の高温用の超音波トランスデューサ 1 では、ダンパー 8 の側面に側面電極 1 8 を形成するため、上部電極 5 と側面電極 1 8 の断線・接続不良や下部電極 6 と側面電極 1 8 間でのショートが生じやすく、超音波トランスデューサ 1 の信頼性に問題があった。

10

【 0 0 1 8 】

本発明に係る実施形態は、上記課題を解決するためになされたもので、超音波トランスデューサを高温環境下で使用する際も、周波数特性及び分解能が良好で、かつ、リード線と電極との接続強度を向上させることができる信頼性の高い超音波トランスデューサ、超音波探傷装置及び超音波探傷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】

【 0 0 1 9 】

上記の目的を達成するために、本発明の実施形態に係る超音波トランスデューサは、上部電極及び下部電極を有する圧電振動子と、前記上部電極の上部に設けられたダンパーと、前記下部電極の下部に設けられた前面板と、前記圧電振動子及びダンパーを囲繞するケーシングと、を有する超音波トランスデューサにおいて、前記圧電振動子の少なくとも 1 つの側面が前記下部電極に向けて傾斜状の切欠き部を有し、前記上部電極は前記ダンパーから前記切欠き部側に所定領域露出し、前記下部電極の幅と前記ダンパーの幅が略同等であることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【 0 0 2 0 】

本発明の実施形態によれば、高温環境下でも周波数特性及び分解能が良好で、かつ、リード線と電極との接続強度を向上させた信頼性の高い超音波トランスデューサ、超音波探傷装置及び超音波探傷方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【 0 0 2 1 】

【図 1】第 1 の実施形態に係る超音波トランスデューサの構成図。

【図 2】第 1 の実施形態に係る超音波トランスデューサの周波数特性図。

【図 3】第 1 の実施形態の変形例に係る超音波トランスデューサの構成図。

【図 4】第 2 の実施形態に係る超音波トランスデューサの構成図。

【図 5】第 3 の実施形態に係る超音波トランスデューサの構成図。

【図 6】従来の超音波トランスデューサの製造工程を示す図。

【図 7】従来の超音波トランスデューサの構成図（その 1）。

【図 8】従来の超音波トランスデューサの構成図（その 2）。

【発明を実施するための形態】

40

【 0 0 2 2 】

以下、本発明に係る超音波トランスデューサ、超音波探傷装置及び超音波探傷方法の実施形態について、図面を参照して説明する。

[第 1 の実施形態]

第 1 の実施形態に係る超音波トランスデューサ、超音波探傷装置及び超音波探傷方法を、図 1 ~ 図 3 を用いて説明する。

【 0 0 2 3 】

(全体構成)

第 1 の実施形態に係る超音波探傷装置は超音波トランスデューサ 1 と信号処理装置 2 から構成され、超音波トランスデューサ 1 から検査対象の構造物 3 に超音波を出射しその反

50

射波から構造物 3 の欠陥を検出する。

【 0 0 2 4 】

超音波トランスデューサ 1 は、上下面に上部電極 5 及び下部電極 6 を有する圧電振動子 4 と、圧電振動子 4 の下部電極 6 側に接合層 9 を介して設けられた前面板 7 と、上部電極 5 側に接合層 10 を介して設けられたダンパー 8 と、圧電振動子 4 等を内包し下面に前面板 7 が溶接等によって接合されたケーシング 11 と、ケーシング 11 の上面に設けられたコネクタ 12 と、コネクタ 12 と前面板 7 及び上部電極 5 との間にそれぞれ接続されるリード線 13、14 と、から構成される。

【 0 0 2 5 】

(圧電振動子)

圧電振動子 4 は、図 1 に示すように、一方の側面 (図 1 の例では右側側面) が下部電極 6 に向けて傾斜状の切欠き部を有する逆錐状であり、ダンパー 8 は上部電極 5 の切欠き部側が所定領域露出するように、接合層 10 を介して圧電振動子 4 の上部に接合されている。すなわち、切欠き部は上下方向において圧電振動子 4 の下部電極 6 側に設けられており、ダンパー 8 は従来の超音波トランスデューサ 1 のように上部電極 5 の全てを覆うように設けられるのではなく、上部電極 5 の上面が横方向において切欠き部側に所定領域露出するように、上部電極 5 上に接合層 10 を介して接合されている。

【 0 0 2 6 】

下部電極 6 は逆錐状の圧電振動子 4 の下面に設けられており、上部電極 5 に接するダンパー 8 の接触面と、略同等の幅を有している。すなわち、下部電極 6 のサイズは上部電極 5 よりも小さく、上部電極 5 に接するダンパー 8 の接触面と略同サイズとなっている。

【 0 0 2 7 】

圧電振動子 4 は、膨張と収縮を繰り返し振動させることで超音波を発生させる機能を有する。高温用の圧電振動子 4 の材料としては、キュリー温度が低いと超音波トランスデューサ 1 を高温下で使用する際に脱分極を起こしてしまい感度を失うことから、例えばチタン酸鉛系等のキュリー温度の高い材料が用いられるが、その他のキュリー温度の高い材料を用いてもよい。

【 0 0 2 8 】

(前面板、ダンパー、ケーシング)

前面板 7 は、圧電振動子 4 の表面を保護する機能を有し、薄肉の金属板が用いられる。圧電振動子 4 と前面板 7 との接合層 9 には金属の接合材が用いられ、下部電極 6 と前面板 7 は導通状態に維持され、リード線 13 が前面板 7 に接続している。

【 0 0 2 9 】

ダンパー 8 は、圧電振動子 4 の不要な振動を抑制する機能を有し、耐熱性の多孔体セラミックス、例えばチタン酸アルミニウム系等の材料が用いられる。

圧電振動子 4 とダンパー 8 との接合層 10 は耐熱無機系セラミックス等の接合材が用いられ、ダンパー 8 が接していない領域の上部電極 5 にリード線 14 が接続されている。

【 0 0 3 0 】

ケーシング 11 は、前面板 7 と密閉溶接されており、ケーシング 11 内部への液体の流入を防ぐ機能を有する。また、ケーシング 11 にはコネクタ 12 が設けられている。コネクタ 12 はリード線 13、14 と接続しており、超音波トランスデューサ 1 と信号処理装置 2 を接続する機能を有する。

【 0 0 3 1 】

なお、上記説明で挙げた超音波トランスデューサ 1 の構成材料はあくまでも例示に過ぎず、同様な機能、材質を持つものであれば他の材料を用いてもよいことはもちろんである。

【 0 0 3 2 】

(作用)

上述したように、本実施形態に係る超音波トランスデューサ 1 は、一方の側面が下部電極 6 に向けて傾斜状の切欠き部を有する逆錐状とし、圧電振動子 4 の下部に設けられた下

10

20

30

40

50

部電極 6 の幅をダンパー 8 の幅と略同等としている。すなわち、ダンパー 8 に重ならない下部電極 6 の領域が除去されている。

【 0 0 3 3 】

この領域に対応する圧電振動子 4 (傾斜部分) は下部電極 6 が設けられていないため、電圧が印加されず、これにより分解能低下の要因となる不要な振動が発生しない。また、圧電振動子 4 の一方の側面 (図 1 の例では右側側面) に逆錐状の傾斜面が形成されていることにより、圧電振動子 4 の厚みが変化するため、周波数帯域の幅が広くなり分解能が向上する。

【 0 0 3 4 】

さらに、上部電極 5 にはダンパー 8 が接続しない所定の領域が形成されるため、上部電極 5 にリード線 1 4 を接続するためのスペースを十分確保することができる。これにより、上部電極 5 とリード線 1 4 との接続強度を向上させることができるため、リード線 1 4 の接続の信頼性が向上する。

【 0 0 3 5 】

本実施形態に係る超音波トランスデューサ 1 の周波数特性を図 2 に示す。図 2 の曲線 a は、従来の超音波トランスデューサの周波数特性の例であり、曲線 b は本実施形態における超音波トランスデューサの周波数特性の例である。

【 0 0 3 6 】

本実施形態に係る超音波トランスデューサ 1 では、圧電振動子 4 の一方の側面を傾斜状とし縦方向の厚みが変化する構成にしたことで、図 2 に示すように、圧電振動子 4 の不要な振動が発生せず、かつ、周波数帯域の幅が広がる。これにより、周波数帯域の幅が広がることでパルス幅が小さくなるため分解能が向上する。

【 0 0 3 7 】

(効果)

以上説明したように、本実施形態によれば、圧電振動子 4 の一方の側面を傾斜状とし縦方向の厚みが変化する構成にしたことで、圧電振動子 4 の不要な振動が発生せず、かつ、周波数帯域の幅が広がる。これにより、周波数帯域の幅が広がることでパルス幅が小さくなるため分解能が向上する。

【 0 0 3 8 】

また、上部電極 5 とリード線 1 4 の接続のためのスペースを十分確保することができるため、上部電極 5 とリード線 1 4 との接続強度を向上させることが可能となり、リード線 1 4 の接続の信頼性を向上させることができる。

【 0 0 3 9 】

(変形例 1)

上記第 1 の実施形態では、圧電振動子 4 の下部に設けられた下部電極 6 の幅をダンパー 8 の幅と略同等としているが、本変形例 1 では、図 3 に示すように、下部電極 6 の幅をダンパー 8 の幅よりも一定程度大きくなるように設定している。

これにより、圧電振動子 4 の一部では不要な振動が発生するが、この影響はごく僅かであるため、図 1 に示す超音波トランスデューサ 1 と同等の効果を得ることができる。

【 0 0 4 0 】

(変形例 2)

上記第 1 の実施形態では、圧電振動子 4 は一方の側面 (図 1 の例では右側側面) が下部電極 6 に向けて傾斜状の切欠き部を有する逆錐状であるが、その代わりに他方の側面 (図 1 の例では左側側面) に傾斜状の切欠き部を設けてもよく、さらに、両側面に傾斜状の切欠き部を設け、逆台形状にしてもよい (図示せず)。

【 0 0 4 1 】

[第 2 の実施形態]

第 2 の実施形態に係る超音波トランスデューサ、超音波探傷装置及び超音波探傷方法を、図 4 を用いて説明する。なお、上記の実施形態と同一又は類似の構成については同一の符号を付し、重複説明を省略する。

10

20

30

40

50

本第2の実施形態では、図4に示すように、圧電振動子4の傾斜状の切欠き部を多段状に形成している。

【0042】

このように、圧電振動子4の切欠き部を多段状にすることで、圧電振動子4の厚みが段階的に変化する。

これにより、第1の実施形態と同様に分解能を向上させることができるとともに、段数を適宜増減することで、周波数特性や分解能を調整することができる。

【0043】

[第3の実施形態]

第3の実施形態に係る超音波トランスデューサ、超音波探傷装置及び超音波探傷方法を、図5を用いて説明する。なお、上記の実施形態と同一又は類似の構成については同一の符号を付し、重複説明を省略する。

【0044】

本第3の実施形態では、図5に示すように、圧電振動子4の傾斜状の切欠き部を曲線状に形成している。

このように、圧電振動子4の切欠き部を曲線状にすることで、圧電振動子4の厚みが連続的に変化する。

【0045】

これにより、第1の実施形態と同様に分解能を向上させることができるとともに、曲線の曲率を適宜調整することで、周波数特性や分解能を調整することができる。なお、曲線の形状は連続的に変化するものに限られず、複数の変曲点を持つ曲線であってもよい。

【0046】

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。これら新規な実施形態は、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る。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、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】

【0047】

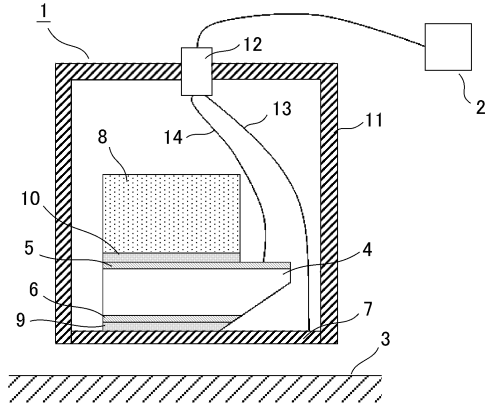
1...超音波トランスデューサ、2...信号処理装置、3...構造物、4...圧電振動子、5...上部電極、6...下部電極、7...前面板、8...ダンパー、9、10...接合層、11...ケーシング、12...コネクタ、13、14...リード線、18...側面電極

10

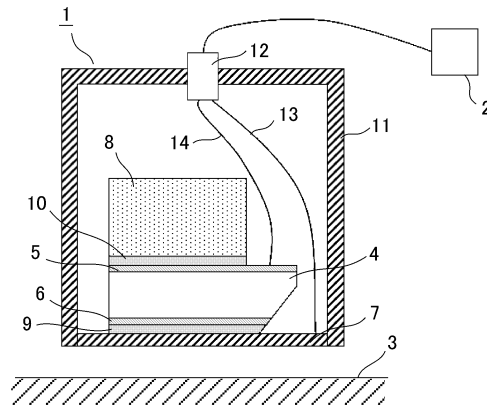
20

30

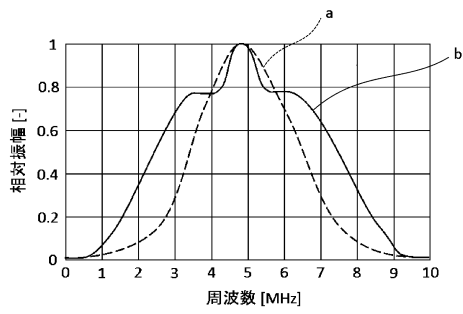
【図 1】



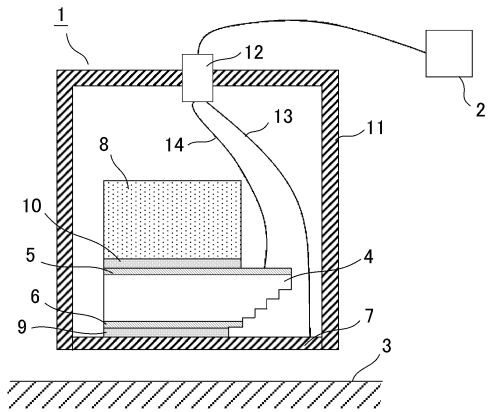
【図 3】



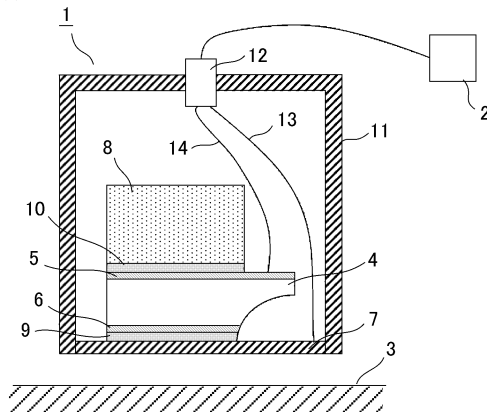
【図 2】



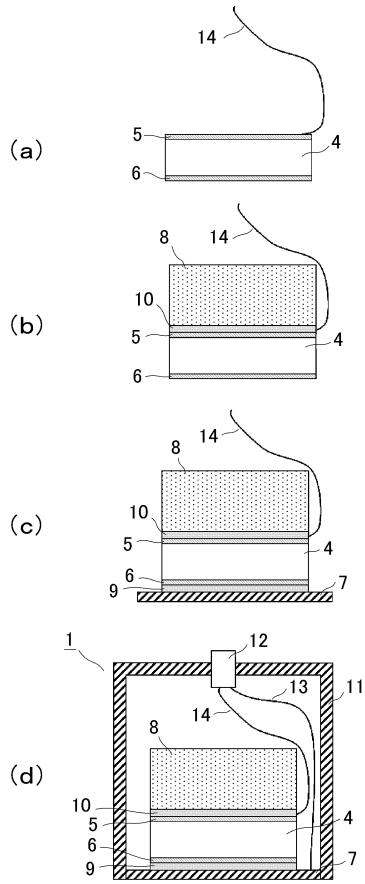
【図 4】



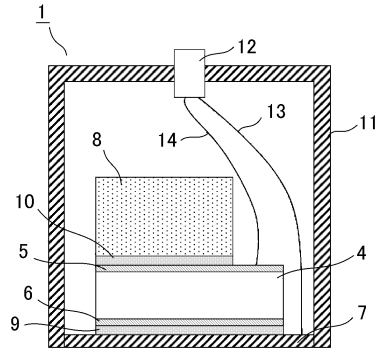
【図 5】



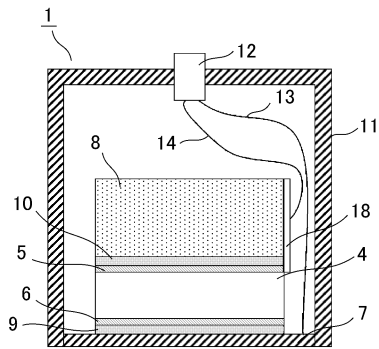
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 原田 耕一
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 鈴木 哲
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
- (72)発明者 相澤 利枝
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 小澤 瞬

- (56)参考文献 特開平02-099041(JP,A)
特開昭61-099860(JP,A)
特開2006-035003(JP,A)
特開平05-184572(JP,A)
特許第4244172(JP,B2)
特許第4911630(JP,B2)
特開2001-268694(JP,A)
特開平07-303299(JP,A)
米国特許出願公開第2007/0216257(US,A1)
特開平08-223696(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00 - G01N 29/52
H04R 1/00
H04R 1/02
H04R 1/06
H04R 1/20
H04R 1/22
H04R 1/24
H04R 1/26
H04R 1/28
H04R 1/30
H04R 1/32
H04R 1/34
H04R 1/40
H04R 1/44
H04R 3/00
H04R 7/00
H04R 9/00
H04R 13/00
H04R 15/00
H04R 17/00
H04R 17/10
H04R 19/00
H04R 23/00
H04R 29/00
H04R 31/00