

(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2017-5925
(P2017-5925A)

(43) 公開日 平成29年1月5日(2017.1.5)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
H O 2 N 2 / 0 0 (2006.01) H O 2 N 2 / 0 0 C 5 H 6 8 1

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2015-119673 (P2015-119673)
(22) 出願日 平成27年6月12日 (2015.6.12)

(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(74) 代理人 100090387
弁理士 布施 行夫
(74) 代理人 100090398
弁理士 大淵 美千栄
(72) 発明者 ▲高▼橋 智明
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
Fターム(参考) 5H681 AA10 BB02 BB11 BB14 BB15
BC08 CC02 DD23 DD33 DD63
DD82

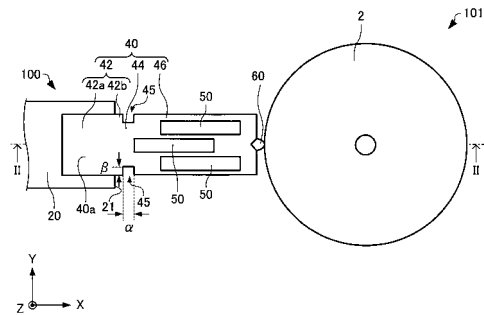
(54) 【発明の名称】 モーター用圧電駆動装置、モーター、ロボット、およびポンプ

(57) 【要約】

【課題】 振動板の固定部材に対する位置がばらついて、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなり、難いモーター用圧電駆動装置を提供する。

【解決手段】 本発明に係るモーター用圧電駆動装置100は、基部42と、圧電素子50が設けられた振動体部46と、基部42と振動体部46とを接続する接続部44と、を有する振動板40と、被駆動体2に接触し、振動板40の動きを被駆動体2に伝える接触部60と、を含み、振動板40の主面40aに平行かつ互いに直交する2つの方向をX方向およびY方向とし、振動板40の主面40aに垂直な方向をZ方向とし、Y方向およびZ方向を含む面をYZ面としたとき、Y方向からみて、基部42と、接続部44と、振動体部46とは、この順に、X方向に沿って設けられており、接続部44のYZ面に平行な断面の面積は、基部42のYZ面に平行な断面の面積よりも小さい。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基部と、圧電素子が設けられた振動体部と、前記基部と前記振動体部とを接続する接続部と、を有する振動板と、

被駆動体に接触し、前記振動板の動きを前記被駆動体に伝える接触部と、を含み、

前記振動板の主面に平行かつ互いに直交する 2 つの方向を X 方向および Y 方向とし、前記振動板の主面に垂直な方向を Z 方向とし、前記 Y 方向および前記 Z 方向を含む面を Y Z 面としたとき、

前記 Y 方向からみて、前記基部と、前記接続部と、前記振動体部とは、この順に、前記 X 方向に沿って設けられており、

前記接続部の前記 Y Z 面に平行な断面の面積は、前記基部の前記 Y Z 面に平行な断面の面積よりも小さい、モーター用圧電駆動装置。

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記接続部の前記 Y Z 面に平行な断面の面積は、前記振動体部の前記 Y Z 面に平行な断面の面積よりも小さい、モーター用圧電駆動装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 において、

前記接続部の前記 Y 方向の大きさは、前記基部および前記振動体部の前記 Y 方向の大きさよりも小さい、モーター用圧電駆動装置。

【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項において、

さらに、前記振動板の前記基部が取り付けられる固定部材を有し、

前記基部から前記振動体部側に向かう方向を + X 方向としたとき、前記接続部は、前記固定部材の前記 + X 方向側の端よりも、前記 + X 方向側に設けられている、モーター用圧電駆動装置。

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項において、

前記振動体部には、前記 X 方向において縦振動を、前記 Y 方向において屈曲振動を発生させるように、複数の前記圧電素子が設けられている、モーター用圧電駆動装置。

【請求項 6】

請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項において、

前記 Y 方向からみて、前記基部と、前記接続部と、前記振動体部と、前記接触部とは、この順に、前記 X 方向に沿って設けられている、モーター用圧電駆動装置。

【請求項 7】

請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載のモーター用圧電駆動装置と、

前記モーター用圧電駆動装置によって回転されるローターと、

を含む、モーター。

【請求項 8】

複数のリンク部と、

複数の前記リンク部を接続する関節部と、

複数の前記リンク部を前記関節部で回動させる請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載のモーター用圧電駆動装置と、

を含む、ロボット。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載のモーター用圧電駆動装置と、

液体を輸送するチューブと、

前記圧電駆動装置の駆動によって前記チューブを閉鎖する複数のフィンガーと、を含む、ポンプ。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モーター用圧電駆動装置、モーター、ロボット、およびポンプに関する。

【背景技術】

【0002】

圧電体を振動させて被駆動体を駆動する圧電アクチュエーター（モーター用圧電駆動装置）は、磁石やコイルが不要のため、様々な分野で利用されている。

【0003】

例えば特許文献1には、片方の端部を固定し他方の端部を自由にした弾性板の長手方向縦振動一次モードの共振振動と、長手方向の屈曲振動高次モードの共振振動を使用し、弾性板に接して配置されたローラーを回転させる超音波モーター（モーター用圧電駆動装置）が記載されている。このような圧電駆動装置では、縦振動の共振周波数と、屈曲振動（横振動）の共振周波数と、の差を小さくすることにより、効率よくローラーを回転させることができる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第2847758号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記のような圧電駆動装置において、振動板（弾性板）を固定部材に取り付ける際に、振動板の固定部材に対する位置がばらつく（所望の位置からずれてしまう）と、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなってしまふ場合がある。そのため、効率よくローラーを回転させることができない場合がある。さらに、圧電駆動装置の特性のばらつきが大きくなる場合がある。

【0006】

本発明のいくつかの態様に係る目的の1つは、振動板の固定部材に対する位置がばらついていても、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなり難いモーター用圧電駆動装置を提供することにある。また、本発明のいくつかの態様に係る目的の1つは、上記のモーター用圧電駆動装置を含む、モーター、ロボット、およびポンプを提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の態様又は適用例として実現することができる。

【0008】

[適用例1]

本発明に係るモーター用圧電駆動装置の一態様は、基部と、圧電素子が設けられた振動体部と、前記基部と前記振動体部とを接続する接続部と、を有する振動板と、被駆動体に接触し、前記振動板の動きを前記被駆動体に伝える接触部と、を含み、

40

前記振動板の主面に平行かつ互いに直交する2つの方向をX方向およびY方向とし、前記振動板の主面に垂直な方向をZ方向とし、前記Y方向および前記Z方向を含む面をYZ面としたとき、

前記Y方向からみて、前記基部と、前記接続部と、前記振動体部とは、この順に、前記X方向に沿って設けられており、

前記接続部の前記YZ面に平行な断面の面積は、前記基部の前記YZ面に平行な断面の

50

面積よりも小さい。

【 0 0 0 9 】

このようなモーター用圧電駆動装置では、振動板の固定部材に対する位置がばらついていても、例えば接続部の Y Z 面に平行な断面の面積が基部の Y Z 面に平行な断面の面積と同じ場合に比べて、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなり難い（詳細は後述する実験例参照）。

【 0 0 1 0 】

[適用例 2]

適用例 1 において、

前記接続部の前記 Y Z 面に平行な断面の面積は、前記振動体部の前記 Y Z 面に平行な断面の面積よりも小さくてもよい。

10

【 0 0 1 1 】

このようなモーター用圧電駆動装置では、振動板の固定部材に対する位置がばらついていても、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなり難い。

【 0 0 1 2 】

[適用例 3]

適用例 1 または 2 において、

前記接続部の前記 Y 方向の大きさは、前記基部および前記振動体部の前記 Y 方向の大きさよりも小さくてもよい。

【 0 0 1 3 】

このようなモーター用圧電駆動装置では、前記接続部の前記 Y Z 面に平行な断面の面積を、前記基部および前記振動体部の前記 Y Z 面に平行な断面の面積よりも小さくすることができる。

20

【 0 0 1 4 】

[適用例 4]

適用例 1 ないし 3 のいずれか 1 例において、

さらに、前記振動板の前記基部が取り付けられる固定部材を有し、

前記基部から前記振動体部側に向かう方向を + X 方向としたとき、前記接続部は、前記固定部材の前記 + X 方向側の端よりも、前記 + X 方向側に設けられていてもよい。

【 0 0 1 5 】

このようなモーター用圧電駆動装置では、振動板の固定部材に対する位置がばらついていても、接続部が固定部材に固定される可能性を小さくすることができる。

30

【 0 0 1 6 】

[適用例 5]

適用例 1 ないし 4 のいずれか 1 例において、

前記振動体部には、前記 X 方向において縦振動を、前記 Y 方向において屈曲振動を発生させるように、複数の前記圧電素子が設けられていてもよい。

【 0 0 1 7 】

このようなモーター用圧電駆動装置では、例えば振動体部が X 軸方向において縦振動をしない場合に比べて、接触部から被駆動体に与える力を大きくすることができる。

40

【 0 0 1 8 】

[適用例 6]

適用例 1 ないし 5 のいずれか 1 例において、

前記 Y 方向からみて、前記基部と、前記接続部と、前記振動体部と、前記接触部とは、この順に、前記 X 方向に沿って設けられていてもよい。

【 0 0 1 9 】

このようなモーター用圧電駆動装置では、振動板を被駆動体に押圧する力を大きくすることができる、高出力化を図ることができる。

【 0 0 2 0 】

[適用例 7]

50

本発明に係るモーターの一態様は、
適用例 1 ないし 6 のいずれか 1 例に記載のモーター用圧電駆動装置と、
前記モーター用圧電駆動装置によって回転されるローターと、
を含む。

【0021】

このようなモーターは、本発明に係るモーター用圧電駆動装置を含むことができる。

【0022】

[適用例 8]

本発明に係るロボットの一態様は、
複数のリンク部と、

10

複数の前記リンク部を接続する関節部と、

複数の前記リンク部を前記関節部で回動させる適用例 1 ないし 6 のいずれか 1 例に記載
のモーター用圧電駆動装置と、

を含む。

【0023】

このようなロボットでは、本発明に係るモーター用圧電駆動装置を含むことができる。

【0024】

[適用例 9]

本発明に係るポンプの一態様は、

適用例 1 ないし 6 のいずれか 1 例に記載のモーター用圧電駆動装置と、

20

液体を輸送するチューブと、

前記モーター用圧電駆動装置の駆動によって前記チューブを閉鎖する複数のフィンガー
と、

を含む。

【0025】

このようなポンプでは、本発明に係るモーター用圧電駆動装置を含むことができる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図 1】本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置を模式的に示す平面図。

【図 2】本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置を模式的に示す断面図。

30

【図 3】本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置を模式的に示す平面図。

【図 4】本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置を模式的に示す断面図。

【図 5】本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置と駆動回路との電気的接続状態を説明
するための図。

【図 6】本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置の動作を説明するための図。

【図 7】本実施形態の第 1 変形例に係るモーター用圧電駆動装置を模式的に示す平面図。

【図 8】本実施形態の第 2 変形例に係るモーター用圧電駆動装置を模式的に示す平面図。

【図 9】本実施形態の第 3 変形例に係るモーター用圧電駆動装置を模式的に示す断面図。

【図 10】シミュレーションに用いたモデルを説明するための斜視図。

【図 11】シミュレーションに用いたモデルを説明するための平面図。

40

【図 12】シミュレーションに用いたモデルにおける振動板の振動を説明するための平面
図。

【図 13】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差の変化率を示す表。

【図 14】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差の変化率を示すグラフ。

【図 15】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差を示す表。

【図 16】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差の変化率を示す表。

【図 17】シミュレーションに用いたモデルを説明するための斜視図。

【図 18】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差の変化率を示すグラフ。

【図 19】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差の変化率を示すグラフ。

【図 20】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差の変化率を示す表。

50

【図 2 1】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差の変化率を示すグラフ。

【図 2 2】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差の変化率を示すグラフ。

【図 2 3】縦振動の共振周波数を示す表。

【図 2 4】縦振動の共振周波数を示すグラフ。

【図 2 5】シミュレーションに用いたモデルを説明するための斜視図。

【図 2 6】縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差の変化率を示すグラフ。

【図 2 7】本実施形態に係るロボットを説明するための図。

【図 2 8】本実施形態に係るロボットの手首部分を説明するための図。

【図 2 9】本実施形態に係るポンプを説明するための図。

【発明を実施するための形態】

10

【0027】

以下、本発明の好適な実施形態について、図面を用いて詳細に説明する。なお、以下に説明する実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また、以下で説明される構成の全てが本発明の必須構成要件であるとは限らない。

【0028】

1. モーター用圧電駆動装置

まず、本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置について、図面を参照しながら説明する。図 1 は、本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置 100 を模式的に示す平面図である。図 2 は、本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置 100 を模式的に示す図 1 の I I - I I 線断面図である。なお、図 1, 2 および後述する図 3 ~ 12, 17, 25 では、互いに直交する X 軸、Y 軸、および Z 軸を図示している。

20

【0029】

モーター用圧電駆動装置 100 は、図 1 および図 2 に示すように、基板 10 と、固定部材（固定板）20 と、パネ 30 と、振動板 40 と、圧電素子 50 と、接触部（突起部）60 と、を含む。モーター用圧電駆動装置 100 と、ローター（被駆動体）2 とは、モーター 101 を構成している。ローター 2 は、モーター用圧電駆動装置 100 によって回転される。なお、便宜上、図 1 では、基板 10、固定部材 20、およびパネ 30 を省略している。また、図 1 および図 2 では、圧電素子 50 を簡略化している。

30

【0030】

基板 10 には、図 2 に示すように、固定部材 20 およびローター 2 が載置されている。図示の例では、基板 10 は、+Z 軸方向側に突出した凸部 12 を有している。基板 10 の材質は、特に限定されず、例えば、金属材料、樹脂材料、セラミックス材料、半導体材料である。

【0031】

固定部材 20 は、基板 10 上に設けられている。固定部材 20 には、振動板 40 の基部 42 が取り付けられている。固定部材 20 は、基板 10 に対して変位（図示の例では X 軸方向に変位）可能である。固定部材 20 の材質は、例えば、ステンレス鋼である。

【0032】

パネ 30 は、基板 10 の凸部 12 と、固定部材 20 と、を接続している。図示の例では、パネ 30 は、固定部材 20 を、+X 軸方向側に付勢している。これにより、接触部 60 をローター 2 に押圧する（押し付ける）ことができる。

40

【0033】

振動板 40 は、固定部材 20 上に設けられている。振動板 40 は、例えば、半導体基板（具体的にはシリコン基板）からなる。なお、振動板 40 の材質は、例えば、ステンレス鋼、アルミニウム、アルミニウム合金、チタン、チタン合金、銅、銅合金、鉄 - ニッケル合金などの金属材料やアルミナ、ジルコニア等のセラミックス材料であってもよい。図示の例では、振動板 40 は、X 軸方向が長手方向となる形状を有している。振動板 40 は、基部 42 と、接続部 44 と、振動体部 46 と、を有している。

【0034】

50

基部 4 2 は、固定部材 2 0 上に設けられている。図示の例では、基部 4 2 の平面形状（Z 軸方向からみた形状）は、長方形である。基部 4 2 は、例えば、Z 軸方向からみて（平面視において）、固定部材 2 0 と重なっている第 1 部分 4 2 a と、固定部材 2 0 と重なっていない第 2 部分 4 2 b と、を有している。第 1 部分 4 2 a は、固定部材 2 0 に固定されている。第 1 部分 4 2 a は、例えば、接着剤（図示せず）を介して固定部材 2 0 に接続されている。第 2 部分 4 2 b は、第 1 部分 4 2 a に接続されている。第 2 部分 4 2 b は、振動体部 4 6 の振動に（変形に）ともなって変形してもよい。図 2 に示すように、振動板 4 0 は、片持ち梁状に固定部材 2 0 に支持されている。なお、図示はしないが、基部 4 2 は、第 2 部分 4 2 b を有さず、第 1 部分 4 2 a のみによって構成されていてもよい。

【 0 0 3 5 】

接続部 4 4 は、基部 4 2 と振動体部 4 6 とを接続している。接続部 4 4 は、固定部材 2 0 と離間して設けられている。接続部 4 4 は、振動板 4 0 の、圧電素子 5 0 が設けられていない部分であって、基部 4 2 と振動体部 4 6 との間に位置している部分である。図示の例では、接続部 4 4 の平面形状は、長方形である。

【 0 0 3 6 】

接続部 4 4 の Y Z 面に平行な断面の面積は、基部 4 2 の Y Z 面に平行な断面の面積よりも小さく、振動体部 4 6 の Y Z 面に平行な断面の面積よりも小さい。図示の例では、接続部 4 4 の Y 軸方向の大きさは、基部 4 2 の Y 軸方向の大きさよりも小さく、振動体部 4 6 の Y 軸方向の大きさよりも小さい。接続部 4 4 の Y 軸方向の大きさは、例えば、0 . 1 m m 以上 1 6 m m 以下であり、振動体部 4 6 の Y 軸方向の大きさは、例えば、0 . 2 m m 以上 2 0 m m 以下である。接続部 4 4 の厚さ（Z 軸方向の大きさ）は、基部 4 2 および振動体部 4 6 の厚さと同じである。接続部 4 4 の厚さは、例えば、0 . 0 5 m m 以上 1 m m 以下である。なお、Y Z 面とは、Y 方向（Y 軸方向）および Z 方向（Z 軸方向）を含む面（Y 軸および Z 軸を含む面）のことである。

【 0 0 3 7 】

接続部 4 4 は、固定部材 2 0 の + X 方向（+ X 軸方向（基部 4 2 から振動体部 4 6 側に向かう方向））側の端 2 1 よりも、+ X 軸方向側に設けられている。すなわち、接続部 4 4 は、平面視において固定部材 2 0 と重なっておらず、基部 4 2 は、固定部材 2 0 と重なっていない第 2 部分 4 2 b を有している。

【 0 0 3 8 】

接続部 4 4 は、例えば、振動板 4 0 に切り欠き部 4 5 が設けられることによって形成されている。図示の例では、切り欠き部 4 5 は、Y 軸に沿って 2 つ設けられ、振動板 4 0 を Z 軸方向に貫通している。切り欠き部 4 5 の X 軸方向の大きさは、例えば、0 . 0 5 m m 以上 5 m m 以下であり、好ましくは 0 . 1 m m 以上 0 . 5 m m 以下である。切り欠き部 4 5 の Y 軸方向の大きさは、例えば、0 . 0 5 m m 以上 5 m m 以下であり、好ましくは 0 . 1 m m 以上 0 . 5 m m 以下である。接続部 4 4 は、振動体部 4 6 の変形にともなって変形してもよい。

【 0 0 3 9 】

振動体部 4 6 は、接続部 4 4 を介して基部 4 2 に支持されている。振動体部 4 6 は、固定部材 2 0 と離間して設けられている。振動体部 4 6 には、圧電素子 5 0 が設けられている。図示の例では、振動体部 4 6 は、振動板 4 0 の、接続部 4 4 よりも + X 軸方向側に位置している部分である。振動体部 4 6 の平面形状は、例えば、略長方形である。図示の例では、振動体部 4 6 の Y 軸方向の大きさは、基部 4 2 の Y 軸方向の大きさと同じである。振動体部 4 6 は、圧電素子 5 0 の変形に応じて、変形することができる。振動体部 4 6 の厚さは、例えば、7 0 0 μ m 以下である。これにより、振動体部 4 6 は、圧電素子 5 0 の変形に応じて十分に変形することができる。

【 0 0 4 0 】

圧電素子 5 0 は、振動体部 4 6 上に設けられている。図示の例では、圧電素子 5 0 は、振動板 4 0 の主面 4 0 a に設けられている。主面 4 0 a は、X 方向（X 軸方向）および Y 方向（Y 軸方向）に平行な面（X Y 平面に平行な面）であり、Z 方向（Z 軸方向）に垂直

10

20

30

40

50

な面（垂線がZ軸方向である面）である。図示の例では、主面40aは、+Z軸方向を向く面である。ここで、図3は、モーター用圧電駆動装置100を模式的に示す平面図である。図4は、モーター用圧電駆動装置100を模式的に示す図3のIV-IV線断面図である。なお、便宜上、図3および図4では、基板10、固定部材20、およびバネ30を省略している。

【0041】

圧電素子50は、図3に示すように、複数設けられている。図3に示す例では、圧電素子50は、3つ設けられている。圧電素子50aは、圧電素子50bと圧電素子50cとの間に設けられている。圧電素子50bは、圧電素子50aよりも-Y軸方向側に設けられている。圧電素子50cは、圧電素子50aよりも+Y軸方向側に設けられている。圧電素子50は、図3に示すように、第1電極層52と、圧電体層54と、第2電極層56と、を有している。

10

【0042】

第1電極層52は、振動体部46上に設けられている。第1電極層52は、振動体部46上に設けられたイリジウム層と、イリジウム層上に設けられた白金層と、によって構成されていてもよい。イリジウム層の厚さは、例えば、5nm以上100nm以下である。白金層の厚さは、例えば、50nm以上300nm以下である。なお、第1電極層52は、Ti、Pt、Ta、Ir、Sr、In、Sn、Au、Al、Fe、Cr、Ni、Cuなどからなる金属層、またはこれらの2種以上を混合または積層したものであってもよい。

20

【0043】

第1電極層52は、圧電体層54に電圧を印加するための一方の電極である。図示の例では、3つの圧電素子50a、50b、50cの第1電極層52は、互いに接続されて1つの電極層として設けられている（共通の電極層を構成している）。

【0044】

第1電極層52は、配線4を介して、端子5と電気的に接続されている。図示の例では、端子5のY軸方向の大きさは、配線4のY軸方向の大きさよりも大きい。端子5は、基部42上に設けられている。端子5は、接地されていてもよい。なお、便宜上、図1および図2では、配線4および端子5の図示を省略している。

【0045】

圧電体層54は、第1電極層52上に設けられている。圧電体層54の厚さは、例えば、0.05μm以上20μm以下であり、好ましくは、1μm以上7μm以下である。このように、圧電素子50は、薄膜圧電素子である。圧電体層54の厚さが0.05μmより小さいと、モーター用圧電駆動装置100の出力が小さくなる場合がある。具体的には、出力を上げようとして圧電体層54への印加電圧を高くすると、圧電体層54が絶縁破壊を起こす場合がある。圧電体層54の厚さが20μmより大きいと、圧電体層54にクラックが生じる場合がある。さらに、圧電体層54の厚さが20μmより大きいと、圧電素子50の質量が大きくなり、振動板40は、片持ち梁状の構造を有することができない場合がある。図示の例では、3つの圧電素子50a、50b、50cの圧電体層54は、互いに離間して設けられている。

30

【0046】

圧電体層54としては、ペロブスカイト型酸化物の圧電材料を用いる。具体的には、圧電体層54の材質は、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛(Pb(Zr,Ti)O₃:PZT)、ニオブ酸チタン酸ジルコン酸鉛(Pb(Zr,Ti,Nb)O₃:PZTN)である。

40

【0047】

第2電極層56は、圧電体層54上に設けられている。第2電極層56は、圧電体層54上に設けられた密着層と、密着層上に設けられた導電層と、によって構成されていてもよい。密着層の厚さは、例えば、10nm以上100nm以下である。密着層は、例えば、TiW層、Ti層、Cr層、NiCr層や、これらの積層体である。導電層の厚さは、例えば、0.1μm以上10μm以下である。導電層は、例えば、Cu層、Au層、Al

50

層やこれらの積層体である。

【0048】

第2電極層56は、圧電体層54に電圧を印加するための他方の電極である。図示の例では、3つの圧電素子50a, 50b, 50cの第2電極層56は、互いに離間して設けられている。

【0049】

第2電極層56は、図3に示すように、配線6a, 6b, 6cを介して、端子7a, 7b, 7cと電氣的に接続されている。具体的には、圧電素子50aの第2電極層56は、端子7aと電氣的に接続され、圧電素子50bの第2電極層56は、端子7bと電氣的に接続され、圧電素子50cの第2電極層56は、端子7cと電氣的に接続されている。図示の例では、端子7a, 7b, 7cのY軸方向の大きさは、配線6a, 6b, 6cのY軸方向の大きさよりも大きい。端子7a, 7b, 7cは、基部42上に設けられている。配線4, 6a, 6b, 6cは、接続部44上を通っている。配線6a, 6b, 6cは、配線4および第1電極層52と接触しないように設けられている。なお、便宜上、図1および図2では、配線6a, 6b, 6cおよび端子7a, 7b, 7cを省略している。

10

【0050】

なお、図示はしないが、3つの圧電素子50a, 50b, 50cの第1電極層52は、互いに離間して設けられ、3つの圧電素子50a, 50b, 50cの第2電極層56は、互いに接続されて1つの電極層として設けられていてもよい。また、3つの圧電素子50a, 50b, 50cの圧電体層54は、互いに接続されて1つの圧電体層として設けられていてもよい。また、圧電素子50は、振動体部46の主面(上面)40aと反対を向く下面にも設けられていてもよい。

20

【0051】

接触部60は、振動体部46の先端(図示の例では+X軸方向側の端)に設けられている。接触部60は、ローター2に接触し、振動板40の動きを(振動を)ローター2に伝える部材である。接触部60は、振動板40と別部材として設けられていてもよいし、振動板40と一体的に設けられていてもよい。接触部60は、接着剤(図示せず)を介して振動板40に設けられていてもよい。接触部60の材質は、例えば、セラミックス(具体的にはアルミナ(Al_2O_3))、ジルコニア(ZrO_2)、窒化ケイ素(Si_3N_4)など)である。

30

【0052】

図1に示すようにY軸方向からみて、基部42と、接続部44と、振動体部46と、接触部60とは、この順に、X軸方向に沿って設けられている。Y軸方向からみて、基部42と、接続部44と、振動体部46と、接触部60とは、この順に、X軸に平行な仮想直線(図示せず)に沿って設けられている。図示の例では、基部42と、接続部44と、振動体部46と、接触部60と、ローター2とは、この順に、X軸方向に沿って設けられている。

【0053】

ここで、図5は、モーター用圧電駆動装置100と駆動回路70との電氣的接続状態を説明するための図である。端子5, 7a, 7b, 7cは、図5に示すように、それぞれ配線80, 82, 84, 86を介して、駆動回路70と電氣的に接続されている。

40

【0054】

駆動回路70は、端子5と端子7aとの間、および端子5と端子7bとの間に周期的に変化する交流電圧または脈流電圧を印加することにより、モーター用圧電駆動装置100を超音波振動させて、接触部60に接触するローター2を所定の回転方向に回転させることが可能である。ここで、「脈流電圧」とは、交流電圧にDCオフセットを付加した電圧を意味し、その電圧(電界)の向きは、一方の電極から他方の電極に向かう一方向である。また、駆動回路70は、端子5と端子7cとの間、および端子5と端子7aとの間に交流電圧または脈流電圧を印加することにより、接触部60に接触するローター2を逆方向に回転させることが可能である。

50

【 0 0 5 5 】

図 6 は、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 の動作を説明するための図である。モーター用圧電駆動装置 1 0 0 の接触部 6 0 は、図 6 に示すように、ローター 2 の外周に接触している。駆動回路 7 0 は、端子 5 と端子 7 b との間に交流電圧または脈流電圧を印加する。これにより、圧電素子 5 0 b の圧電体層 5 4 は、図 6 の矢印 A の方向に伸縮する。これに応じて、振動体部 4 6 は、Y 軸方向において (X Y 平面と平行な面内において) 屈曲振動を行う。さらに、駆動回路 7 0 は、端子 5 と端子 7 a との間に交流電圧または脈流電圧を印加する。これにより、圧電素子 5 0 c の圧電体層 5 4 は、図 6 の矢印 B の方向に伸縮する。これに応じて、振動体部 4 6 は、X 軸方向において縦振動 (伸縮) を行う。振動体部 4 6 の屈曲振動および縦振動によって、接触部 6 0 は、楕円運動を行い、ローター 2 は、その中心 2 a を軸として方向 R (図 6 では時計周り方向) に回転する。

10

【 0 0 5 6 】

なお、駆動回路 7 0 が、端子 5 と端子 7 c との間、および端子 5 と端子 7 a との間に交流電圧または脈流電圧を印加する場合には、ローター 2 は、方向 R とは反対方向 (反時計回り方向) に回転する。

【 0 0 5 7 】

以上のように、振動体部 4 6 には、X 軸方向において縦振動を、Y 軸方向において屈曲振動を発生させるように、複数の圧電素子 5 0 が設けられている。具体的には、圧電素子 5 0 a は、振動板 4 0 に X 軸方向において縦振動を発生させるための圧電素子であり、圧電素子 5 0 b , 5 0 c は、振動板 4 0 に Y 軸方向において屈曲振動を発生させるための圧電素子である。

20

【 0 0 5 8 】

モーター用圧電駆動装置 1 0 0 は、例えば、以下の特徴を有する。

【 0 0 5 9 】

モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、接続部 4 4 の Y Z 面に平行な断面の面積は、基部 4 2 の Y Z 面に平行な断面の面積よりも小さい。そのため、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、振動板 4 0 の固定部材 2 0 に対する位置がばらついても、例えば接続部の Y Z 面に平行な断面の面積が基部の Y Z 面に平行な断面の面積と同じ場合に比べて、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなり難い (詳細は後述する実験例参照) 。その結果、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 は、効率よくローラーを回転させることができる。さらに、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 は、例えば、振動板の固定部材に対する位置がばらついても、圧電駆動装置の特性性のばらつきを小さくすることができる。

30

【 0 0 6 0 】

モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、接続部 4 4 の前記 Y 方向の大きさは、基部 4 2 および振動体部 4 6 の前記 Y 方向の大きさよりも小さい。そのため、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、接続部 4 4 の Y Z 面に平行な断面の面積を、基部 4 2 の Y Z 面に平行な断面の面積、および振動体部 4 6 の Y Z 面に平行な断面の面積よりも小さくすることができる。

【 0 0 6 1 】

モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、接続部 4 4 は、固定部材 2 0 の + X 軸方向側の端 2 1 よりも、+ X 軸方向側に設けられている。そのため、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、振動板 4 0 の固定部材 2 0 に対する位置がばらついても、接続部 4 4 が固定部材 2 0 に固定される可能性を小さくすることができる。接続部が固定部材に固定されると、モーター用圧電駆動装置の特性が大きく変動してしまう場合がある。

40

【 0 0 6 2 】

モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、振動体部 4 6 には、X 軸方向において縦振動を、Y 軸方向において屈曲振動を発生させるように、複数の圧電素子 5 0 が設けられている。そのため、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、例えば振動体部が X 軸方向において縦振動をしない場合に比べて、接触部 6 0 からローター 2 に与える力を大きくすることができる。

50

【 0 0 6 3 】

モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、Y 軸方向からみて、基部 4 2 と、接続部 4 4 と、振動体部 4 6 と、接触部 6 0 とは、この順に、X 軸方向に沿って設けられている。そのため、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 では、振動板 4 0 をローター 2 に押圧する力を大きくすることができ、高出力化を図ることができる。例えば、振動板の主面に接してローターが配置されている場合（振動板の主面に接触部が設けられている場合）は、振動板を、振動板の主面の垂線方向に押圧するため、振動板の固定部と接続部との境界に応力が集中して振動板が破壊する可能性があり、振動板を押圧する力を大きくすることができない場合がある。

【 0 0 6 4 】

2 . モーター用圧電駆動装置の製造方法

次に、本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置 1 0 0 の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【 0 0 6 5 】

図 1 に示すように、振動板 4 0 を形成する。振動板 4 0 は、例えば、シリコンウェハー（図示せず）を、フォトリソグラフィーおよびエッチングによってパターンングすることにより形成される。

【 0 0 6 6 】

図 4 に示すように、振動板 4 0 の振動体部 4 6 上に、第 1 電極層 5 2、圧電体層 5 4、第 2 電極層 5 6 をこの順で形成する。電極層 5 2、5 6 は、例えば、スパッタ法、CVD（Chemical Vapor Deposition）法、めっき法により導電層を成膜し、該導電層を、フォトリソグラフィーおよびエッチングによってパターンングすることにより形成される。圧電体層 5 4 は、例えば、ゾルゲル法、MOD（Metal Organic Deposition）法により絶縁層を成膜し、該絶縁層を、フォトリソグラフィーおよびエッチングによってパターンングすることにより形成される。本工程により、圧電素子 5 0 を形成することができる。

【 0 0 6 7 】

なお、第 1 電極層 5 2 を形成する工程において、配線 4 および端子 5 を形成することができる。また、第 2 電極層 5 6 を形成する工程において、配線 6 a、6 b、6 c および端子 7 a、7 b、7 c を形成することができる。

【 0 0 6 8 】

次に、接触部 6 0 を振動体部 4 6 に接続させる。接触部 6 0 と振動体部 4 6 との接続は、例えば、接着剤を用いて行われる。

【 0 0 6 9 】

次に、圧電素子 5 0 および接触部 6 0 が設けられている振動板 4 0 を、固定部材 2 0 に固定する。固定部材 2 0 と振動板 4 0 との接続は、例えば、接着剤を用いて行われる。

【 0 0 7 0 】

以上の工程により、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 を製造することができる。

【 0 0 7 1 】

次に、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 の端子 5、7 a、7 b、7 c を、それぞれ配線 8 0、8 2、8 4、8 6 を介して駆動回路 7 0 に接続させる。

【 0 0 7 2 】

3 . モーター用圧電駆動装置の変形例

3 . 1 . 第 1 変形例

次に、本実施形態の第 1 変形例に係るモーター用圧電駆動装置について、図面を参照しながら説明する。図 7 は、本実施形態の第 1 変形例に係るモーター用圧電駆動装置 2 0 0 を模式的に示す平面図である。なお、図 7 では、基板 1 0、固定部材 2 0、パネ 3 0、配線 4、6 a、6 b、6 c、および端子 5、7 a、7 b、7 c を省略し、圧電素子 5 0 を簡略化している。

【 0 0 7 3 】

10

20

30

40

50

以下、本実施形態の第1変形例に係るモーター用圧電駆動装置200において、本実施形態に係るモーター用圧電駆動装置100の構成部材と同様の機能を有する部材については同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。このことは、後述する本実施形態の第2,第3変形例に係るモーター用圧電駆動装置についても同様である。

【0074】

上述したモーター用圧電駆動装置100では、図1に示すように、基部42のY軸方向の大きさは、振動体部46のY軸方向の大きさと同じであった。これに対して、モーター用圧電駆動装置200では、図7に示すように、基部42のY軸方向の大きさは、振動体部46のY軸方向の大きさよりも大きい。基部42のY軸方向の大きさは、例えば、0.5mm以上30mm以下である。

10

【0075】

モーター用圧電駆動装置200では、モーター用圧電駆動装置100と同様に、接続部44のYZ面に平行な断面の面積は、基部42のYZ面に平行な断面の面積よりも小さい。そのため、モーター用圧電駆動装置200は、モーター用圧電駆動装置100と同様に、振動板40の固定部材20に対する位置がばらついても、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなり難い。

【0076】

3.2. 第2変形例

次に、本実施形態の第2変形例に係るモーター用圧電駆動装置について、図面を参照しながら説明する。図8は、本実施形態の第2変形例に係るモーター用圧電駆動装置300を模式的に示す平面図である。なお、図8では、基板10、固定部材20、パネ30、配線4,6a,6b,6c、および端子5,7a,7b,7cを省略し、圧電素子50を簡略化している。

20

【0077】

上述したモーター用圧電駆動装置100では、図1に示すように、基部42のY軸方向の大きさは、振動体部46のY軸方向の大きさと同じであった。さらに、モーター用圧電駆動装置100では、接続部44のY軸方向の大きさは、振動体部46のY軸方向の大きさよりも小さかった。これに対して、モーター用圧電駆動装置200では、図8に示すように、基部42のY軸方向の大きさは、振動体部46のY軸方向の大きさよりも大きい。さらに、モーター用圧電駆動装置200では、接続部44のY軸方向の大きさは、振動体部46のY軸方向の大きさと同じである。

30

【0078】

モーター用圧電駆動装置300では、モーター用圧電駆動装置100と同様に、接続部44のYZ面に平行な断面の面積は、基部42のYZ面に平行な断面の面積よりも小さい。そのため、モーター用圧電駆動装置300は、モーター用圧電駆動装置100と同様に、振動板40の固定部材20に対する位置がばらついても、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなり難い(詳細は後述する実験例参照)。

【0079】

3.3. 第3変形例

次に、本実施形態の第3変形例に係るモーター用圧電駆動装置について、図面を参照しながら説明する。図9は、本実施形態の第3変形例に係るモーター用圧電駆動装置400を模式的に示す断面図である。なお、便宜上、図9では、圧電素子50を簡略化している。

40

【0080】

上述したモーター用圧電駆動装置100では、図2に示すように、基部42の厚さは、接続部44の厚さおよび振動体部46の厚さと同じであった。これに対し、モーター用圧電駆動装置400では、図9に示すように、基部42の厚さは、接続部44の厚さおよび振動体部46の厚さよりも大きい。基部42の厚さは、例えば、0.1mm以上2mm以下である。

【0081】

50

モーター用圧電駆動装置 400 では、モーター用圧電駆動装置 100 と同様に、接続部 44 の Y Z 面に平行な断面の面積は、基部 42 の Y Z 面に平行な断面の面積よりも小さい。そのため、モーター用圧電駆動装置 400 は、モーター用圧電駆動装置 100 と同様に、振動板 40 の固定部材 20 に対する位置がばらついていても、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなり難い。

【0082】

なお、図示はしないが、上述したモーター用圧電駆動装置 200 において、基部 42 の厚さを、接続部 44 の厚さおよび振動体部 46 の厚さよりも大きくしてもよい。また、上述したモーター用圧電駆動装置 300 において、基部 42 の厚さを、接続部 44 の厚さおよび振動体部 46 の厚さよりも大きくしてもよい。

10

【0083】

4. 実験例

以下に実験例を示し、本発明をより具体的に説明する。なお、本発明は、以下の実験例によって何ら限定されるものではない。

【0084】

4.1. シミュレーションに用いたモデル

モデル M1 を用いてシミュレーションを行った。シミュレーションは、有限要素法により行った。図 10 は、シミュレーションに用いたモデル M1 を説明するための斜視図である。図 11 は、シミュレーションに用いたモデル M1 を説明するための平面図である。

【0085】

20

モデル M1 では、図 10 および図 11 に示すように、振動板 140 は、片持ち梁状に固定部材 120 に支持されている。振動板 140 は、固定部材 120 に取り付けられている基部 142 と、振動する振動体部 146 と、基部 142 と振動体部 146 とを接続する接続部 144 と、を有している。基部 142 は、平面視において、固定部材 120 と重なっている第 1 部分 142a と、固定部材 120 と重なっていない第 2 部分 142b と、を有している。接続部 144 は、振動体部 146 に切り欠き部 145 が設けられて形成されている。振動体部 146 の材質は、シリコンである。固定部材 120 の材質は、ステンレス鋼である。

【0086】

モデル M1 における固定部材 120 および振動板 140 は、それぞれモーター用圧電駆動装置 100 の固定部材 20 および振動板 40 に対応している。振動板 140 の基部 142、接続部 144、および振動体部 146 は、それぞれモーター用圧電駆動装置 100 の振動板 40 の基部 42、接続部 44、および振動体部 46 に対応している。

30

【0087】

モデル M1 では、振動体部 146 の X 軸方向の大きさ L1 (長さ L1) を、2.5 mm とした。振動板 140 の厚さ (Z 軸方向の大きさ) を、0.2 mm とした。切り欠き部 145 の X 軸方向の大きさ (切り欠き部 145 の長さ) を、0 mm、0.1 mm、0.2 mm、0.3 mm と振った。切り欠き部 145 の Y 軸方向の大きさ (切り欠き部 145 の深さ) を、0 mm、0.1 mm、0.2 mm、0.3 mm と振った。なお、 $\alpha = 0$ mm、 $\beta = 0$ mm の場合は、切り欠き部 145 が設けられていない形態であり、この場合、振動板 140 の、平面視において固定部材 120 と重なっていない部分の X 軸方向の大きさ L2 (長さ L2) は、2.7 mm となる。

40

【0088】

4.2. 振動板の固定部材に対する位置と f との関係

上記のようなモデル M1 について、振動板 140 の固定部材 120 に対する位置と、 f と、の関係について調査した。具体的には、図 11 (A) に示すように、基部 142 の第 2 部分 142b の X 軸方向の大きさ $P = 0.2$ mm の場合を基準とし、図 11 (B) のように振動板 140 を固定部材 120 に対して - X 軸方向に 0.1 mm 移動させた場合 (すなわち $P = 0.1$ mm の場合) と、図 11 (C) のように振動板 140 を固定部材 120 に対して + X 軸方向に 0.1 mm 移動させた場合 (すなわち $P = 0.3$ mm の場合) と

50

、について f を計算し、基準からの変化率を計算した。

【0089】

f は、振動板 140 における、縦振動の共振周波数と、屈曲振動の共振周波数との差である。具体的には、 f は、縦振動の共振周波数から屈曲振動の共振周波数を引いた値である。振動板 140 は、図 12 (A) に示すように X 軸方向において縦振動 (縦 1 次振動) を行い、図 12 (B) に示すように Y 軸方向において屈曲振動 (横 2 次振動) を行う。なお、図 12 は、モデル M1 における振動板 140 の振動を説明するための平面図である。図 12 は、モーダル解析の結果であり、図 12 における濃淡の差は、モデル M1 において発生する応力の大きさの違いを示している。

【0090】

図 13 は、切り欠き部 145 の長さ および深さ を変化させたときの f_{RANGE} の変化率を示す表である。図 14 は、図 13 に示す表の値をプロットしたグラフである。なお、 f_{RANGE} は、基準の状態 (図 11 (A) 参照) における縦振動の共振周波数に対する振動板 140 を固定部材 120 に対して ± 0.1 mm 変化させたとき (図 11 (B) および図 11 (C) 参照) の f の変化幅の比率である。

【0091】

図 13 および図 14 より、切り欠き部 145 を設けた場合は、切り欠き部 145 を設けない場合に比べて、 f_{RANGE} が小さくなることがわかった。接続部 144 の YZ 面に平行な断面の面積は、基部 142 の YZ 面に平行な断面の面積よりも小さい。したがって、接続部 144 の YZ 面に平行な断面の面積を、基部 142 の YZ 面に平行な断面の面積よりも小さくすることにより、振動板 140 の固定部材 120 に対する位置がばらついていても、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差が大きくなり難いことがわかった。

【0092】

特に、図 13 および図 14 より、切り欠き部 145 の長さ および深さ を 0.2 mm 以上とすることにより、 f_{RANGE} を 1% 未満することができることがわかった。

【0093】

ここで、図 15 および図 16 を用いて、 f_{RANGE} の計算方法について説明する。図 15 は、振動板の固定部材と重なっていない部分 (平面視において重なっていない部分) の長さ $L2$ に対する、縦振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数との差 f を示す表である。図 16 は、振動板の長さ $L2$ の変化率に対する、 f の変化率を示す表であって、図 15 に示す表の値を変化率で示したものである。図 15 および図 16 は、図 17 に示すモデル M2 を用いたシミュレーションの結果である。モデル M2 は、図 17 に示すように、固定部材 220 と、固定部材 220 に取り付けられた振動板 240 と、を有し、切り欠き部は設けられていない。モデル M2 では、振動板 240 の Y 軸方向の大きさ W (幅 W) を 1.03 mm とし、振動板 240 の厚さ T を 0.2 mm とした。

【0094】

図 16 では、 $L2 = 2.5$ mm の場合を基準とし、該基準の場合からの変化率を示している。具体的には、図 16 に示す f の変化率は、図 15 に示す f を縦振動の共振周波数で割った値を示している。例えば、図 16 における $L2$ の変化率が 0% のときの f の変化率 0.1% は、図 15 に示す「 1.2 」を「 850.9 」で割った値である。例えば、図 16 における $L2$ の変化率が -4% のときの f の変化率 -1.1% は、図 15 に示す「 -9.0 」を「 888.0 」で割った値である。

【0095】

上記の f_{RANGE} は、 $L2$ が基準の場合における縦振動の共振周波数に対する、 $L2$ が基準の場合から ± 0.1 mm 変化したときの f の変化幅 (最大値 - 最小値) の比率となる。具体的には、モデル M2 における f_{RANGE} は、 $(11.2 - (-9.0)) / 850.9 = 2.37\%$ となる。

【0096】

図 18 は、モデル M2 において、 $L2 = 2.5$ mm の場合から、振動板 240 の固定部

10

20

30

40

50

材 2 2 0 に対する位置を変化させたときの、 f の変化率を示すグラフである。図 1 8 では、 $L 2 = 2.5 \text{ mm}$ の場合から、振動板 2 4 0 を固定部材 2 2 0 に対して - X 軸方向に変化させた場合は、振動板 2 4 0 の固定部材 2 2 0 に対する位置を「-」で表し、振動板 2 4 0 を固定部材 2 2 0 に対して + X 軸方向に変化させた場合は、振動板 2 4 0 の固定部材 2 2 0 に対する位置を「+」で表している。図 1 8 において、例えば、横軸の「4 %」は $L 2 = 2.6 \text{ mm}$ の場合であり、横軸の「- 4 %」は $L 2 = 2.4 \text{ mm}$ の場合である。図 1 8 では、縦振動の変化率および屈曲振動の変化率もプロットしている。

【 0 0 9 7 】

図 1 9 は、振動板の基部に対する位置を変化させたときの、 f の変化率を示すグラフである。図 1 9 において「切り欠き部なし」は、モデル M 2 を用いて計算している。図 1 9 において、「 $\delta = 0.1 \text{ mm}$ 」、「 $\delta = 0.2 \text{ mm}$ 」、および「 $\delta = 0.3 \text{ mm}$ 」は、モデル M 1 を用いて計算している。すなわち、「切り欠き無し」は、 $L 2 = 2.5 \text{ mm}$ であり、「 $\delta = 0.1 \text{ mm}$ 」、「 $\delta = 0.2 \text{ mm}$ 」、および「 $\delta = 0.3 \text{ mm}$ 」は、 $L 2 = 2.7 + \delta$ となる。なお、上述のとおり、 δ は、切り欠き部 1 4 5 の長さであり、 h は、切り欠き部 1 4 5 の深さである。

10

【 0 0 9 8 】

図 1 9 からも、切り欠き部 1 4 5 を設けることにより、 f の変化率を小さくすることができることがわかった。なお、 f の変化率の幅（レンジ）は、 $\pm 1 \%$ 以内に抑えることが好ましい。

【 0 0 9 9 】

図 2 0 は、モデル M 1 において、切り欠き部 1 4 5 の長さ $L 2$ および深さ h を変化させたときの f_{RANGE} の変化率を示す表である。図 2 0 において、「断面積」とは、YZ 面に平行な断面の面積のことである。図 2 0 では、断面積減少率 A（ $A = 1 - \text{「接続部 1 4 4 の面積」} / \text{「振動体部 1 4 6 の面積」}$ ）、切り欠き長さ比 B（ $B = L 2 / L 1$ ）、および $A \times B$ の値も示している。

20

【 0 1 0 0 】

図 2 1 は、図 2 0 に示す表の $A \times B$ の値と f_{RANGE} とをプロットしたグラフである。図 2 2 は、図 2 0 に示す表の A と f_{RANGE} とをプロットしたグラフである。

【 0 1 0 1 】

図 2 0 および図 2 1 より、 $A \times B$ の値を 0.032 以上とすることにより、 f_{RANGE} を 1% 以下にできることがわかった。

30

【 0 1 0 2 】

なお、接続部 1 4 4 の断面積を小さくしすぎると、接続部 1 4 4 の強度が低くなる場合がある。さらに、接続部 1 4 4 の断面積を小さくしすぎると、圧電素子に電圧を印加するための配線を設けることが困難となる場合がある。例えば、 $L 1 = 2.5 \text{ mm}$ 、 $W = 1 \text{ mm}$ の場合、 $\delta = 0.3 \text{ mm}$ 、 $h = 0.4 \text{ mm}$ （接続部 1 4 4 の幅 0.2 mm ）までが現実的な寸法となる。このとき、断面積減少率 $A = 0.8$ 、切り欠き長さ比 $B = 0.12$ 、 $A \times B = 0.096$ となる。

【 0 1 0 3 】

4.3. 切り欠き部と共振周波数の絶対値との関係

40

図 2 3 は、モデル M 1 において切り欠き部 1 4 5 の長さ $L 2$ および深さ h を変化させたときの、縦振動の共振周波数（kHz）を示す表である。ただし、図 2 3 において、 $\delta = 0$ （切り欠き部なし）だけは、モデル M 2 を用いて計算した値である。図 2 4 は、図 2 3 に示す表の値をプロットしたグラフである。

【 0 1 0 4 】

図 2 3 および図 2 4 より、切り欠き部 1 4 5 を設けることにより、共振周波数を低くすることができることがわかった。例えば切り欠き部なしの場合、共振周波数は 850.9 kHz であるのに対し、切り欠き部 1 4 5 の長さ $L 2$ および深さ h が 0.2 mm の場合（ $\delta = 0.2 \text{ mm}$ の場合）、共振周波数は 660.8 kHz である。したがって、 $\delta = 0.2 \text{ mm}$ の場合は、切り欠き部なしの場合に比べて、 20% 以上共振周波数が低かつ

50

た。共振周波数が低いと、モーター用圧電駆動装置を駆動させるための駆動電流を小さくすることができ、インピーダンスによる損失を低減することができる。したがって、切り欠き部を設けることにより、消費電力を小さくすることができ、低コスト化を図ることができる。

【0105】

4.4. 別モデルでのシミュレーション

モデルM3を用いてシミュレーションを行った。図25は、シミュレーションに用いたモデルM3を説明するための斜視図である。モデルM3では、図25に示すように、振動板340は、片持ち梁状に固定部材320に支持されている。振動板340は、固定部材320に取り付けられている基部342と、振動する振動体部346と、基部342と振動体部346とを接続する接続部344と、を有している。基部342は、平面視において、固定部材320と重なっている第1部分342aと、固定部材320と重なっていない第2部分342bと、を有している。振動体部346の材質は、シリコンである。固定部材320の材質は、ステンレス鋼である。

10

【0106】

モデルM3における固定部材320および振動板340は、それぞれモーター用圧電駆動装置300の固定部材20および振動板40に相当する。振動板340の基部342、接続部344、および振動体部346は、それぞれモーター用圧電駆動装置300の振動板40の基部42、接続部44、および振動体部46に対応している。

【0107】

モデルM3では、振動板140の、平面視において固定部材120と重なっていない部分のX軸方向の長さL2を、2.7mmとした。振動体部346のY軸方向の大きさWを、0.975mmとした。基部342のY軸方向の大きさQを、1.975mmとした。振動板340の厚さTを、0.2mmとした。基部142の第2部分142bのX軸方向の大きさPを、0.2mmとした。

20

【0108】

図26は、振動板の基部に対する位置を変化させたときの、 f の変化率を示すグラフである。なお、図26において、「M3」は、上述のモデルM3で計算した値であり、「切り欠き部なし」は、図19に示す「切り欠き部なし」と同じデータ(プロット)であり、図26における「 $\frac{df}{dL} = 0.2$ 」は、図19に示す「 $\frac{df}{dL} = 0.2$ 」と同じデータである。

30

【0109】

図26により、基部のY軸方向の大きさを接続部のY軸方向の大きさよりも大きくすることによって、接続部のYZ面に平行な断面の面積を、基部のYZ面に平行な断面の面積よりも小さくしても、 f の変化率を小さくすることができることがわかった。

【0110】

5. モーター用圧電駆動装置を用いた装置

本発明に係るモーター用圧電駆動装置は、共振を利用することで被駆動体に対して大きな力を与えることができるものであり、各種の装置に適用可能である。本発明に係る圧電駆動装置は、例えば、ロボット(電子部品搬送装置(ICハンドラー)も含む)、投薬用ポンプ、時計のカレンダー送り装置、印刷装置の紙送り機構等の各種の機器における駆動装置として用いることが出来る。以下、代表的な実施の形態について説明する。以下では、本発明に係るモーター用圧電駆動装置として、モーター用圧電駆動装置100を含む装置について説明する。

40

【0111】

5.1. ロボット

図27は、モーター用圧電駆動装置100を利用したロボット2050を説明するための図である。ロボット2050は、複数本のリンク部2012(「リンク部材」とも呼ぶ)と、それらリンク部2012の間を回動または屈曲可能な状態で接続する複数の関節部2020と、を備えたアーム2010(「腕部」とも呼ぶ)を有している。

50

【 0 1 1 2 】

それぞれの関節部 2 0 2 0 には、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 が内蔵されており、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 を用いて関節部 2 0 2 0 を任意の角度だけ回動または屈曲させることが可能である。アーム 2 0 1 0 の先端には、ロボットハンド 2 0 0 0 が接続されている。ロボットハンド 2 0 0 0 は、一对の把持部 2 0 0 3 を備えている。ロボットハンド 2 0 0 0 にもモーター用圧電駆動装置 1 0 0 が内蔵されており、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 を用いて把持部 2 0 0 3 を開閉して物を把持することが可能である。また、ロボットハンド 2 0 0 0 とアーム 2 0 1 0 との間にもモーター用圧電駆動装置 1 0 0 が設けられており、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 を用いてロボットハンド 2 0 0 0 をアーム 2 0 1 0 に対して回転させることも可能である。

10

【 0 1 1 3 】

図 2 8 は、図 2 7 に示したロボット 2 0 5 0 の手首部分を説明するための図である。手首の関節部 2 0 2 0 は、手首回動部 2 0 2 2 を挟持しており、手首回動部 2 0 2 2 に手首のリンク部 2 0 1 2 が、手首回動部 2 0 2 2 の中心軸 O 周りに回動可能に取り付けられている。手首回動部 2 0 2 2 は、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 を備えており、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 は、手首のリンク部 2 0 1 2 およびロボットハンド 2 0 0 0 を中心軸 O 周りに回動させる。ロボットハンド 2 0 0 0 には、複数の把持部 2 0 0 3 が立設されている。把持部 2 0 0 3 の基端部はロボットハンド 2 0 0 0 内で移動可能となっており、この把持部 2 0 0 3 の根元の部分にモーター用圧電駆動装置 1 0 0 が搭載されている。このため、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 を動作させることで、把持部 2 0 0 3 を移動させて対象物を把持することができる。なお、ロボットとしては、単腕のロボットに限らず、腕の数が 2 以上の多腕ロボットにもモーター用圧電駆動装置 1 0 0 を適用可能である。

20

【 0 1 1 4 】

ここで、手首の関節部 2 0 2 0 やロボットハンド 2 0 0 0 の内部には、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 の他に、力覚センサーやジャイロセンサー等の各種装置に電力を供給する電力線や、信号を伝達する信号線等が含まれ、非常に多くの配線が必要になる。したがって、関節部 2 0 2 0 やロボットハンド 2 0 0 0 の内部に配線を配置することは非常に困難だった。しかしながら、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 は、通常の電動モーターよりも駆動電流を小さくできるので、関節部 2 0 2 0 (特に、アーム 2 0 1 0 の先端の関節部) やロボットハンド 2 0 0 0 のような小さな空間でも配線を配置することが可能になる。

30

【 0 1 1 5 】

5 . 2 . ポンプ

図 2 9 は、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 を利用した送液ポンプ 2 2 0 0 の一例を示す説明するための図である。送液ポンプ 2 2 0 0 は、ケース 2 2 3 0 内に、リザーバー 2 2 1 1 と、チューブ 2 2 1 2 と、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 と、ローター 2 2 2 2 と、減速伝達機構 2 2 2 3 と、カム 2 2 0 2 と、複数のフィンガー 2 2 1 3 , 2 2 1 4 , 2 2 1 5 , 2 2 1 6 , 2 2 1 7 , 2 2 1 8 , 2 2 1 9 と、が設けられている。

【 0 1 1 6 】

リザーバー 2 2 1 1 は、輸送対象である液体を収容するための収容部である。チューブ 2 2 1 2 は、リザーバー 2 2 1 1 から送り出される液体を輸送するための管である。モーター用圧電駆動装置 1 0 0 の接触部 6 0 は、ローター 2 2 2 2 の側面に押し付けた状態で設けられており、圧電駆動装置 5 0 0 がローター 2 2 2 2 を回転駆動する。ローター 2 2 2 2 の回転力は減速伝達機構 2 2 2 3 を介してカム 2 2 0 2 に伝達される。フィンガー 2 2 1 3 から 2 2 1 9 はチューブ 2 2 1 2 を閉塞させるための部材である。カム 2 2 0 2 が回転すると、カム 2 2 0 2 の突起部 2 2 0 2 A によってフィンガー 2 2 1 3 から 2 2 1 9 が順番に放射方向外側に押される。フィンガー 2 2 1 3 から 2 2 1 9 は、輸送方向上流側 (リザーバー 2 2 1 1 側) から順にチューブ 2 2 1 2 を閉塞する。これにより、チューブ 2 2 1 2 内の液体が順に下流側に輸送される。こうすれば、ごく僅かな量を精度良く送液可能で、しかも小型な送液ポンプ 2 2 0 0 を実現することができる。

40

【 0 1 1 7 】

50

なお、各部材の配置は図示されたものには限られない。また、フィンガーなどの部材を備えず、ローター 2 2 2 2 に設けられたボールなどがチューブ 2 2 1 2 を閉塞する構成であってもよい。上記のような送液ポンプ 2 2 0 0 は、インシュリンなどの薬液を人体に投与する投薬装置などに活用できる。ここで、モーター用圧電駆動装置 1 0 0 を用いることにより、通常の電動モーターよりも駆動電流を小さくできるので、投薬装置の消費電力を抑制することができる。したがって、投薬装置を電池駆動する場合は、特に有効である。

【 0 1 1 8 】

上述した実施形態および変形例は一例であって、これらに限定されるわけではない。例えば、各実施形態および各変形例を適宜組み合わせることも可能である。

【 0 1 1 9 】

本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

【 符号の説明 】

【 0 1 2 0 】

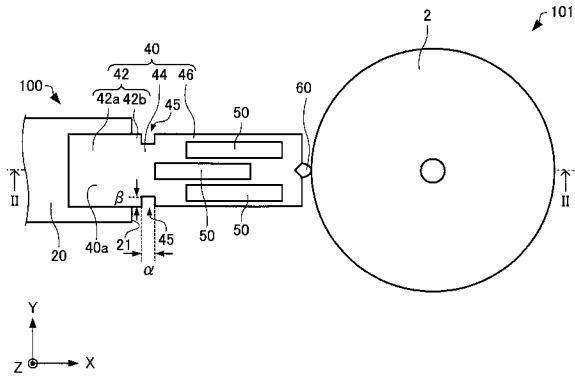
2 ... ローター、 2 a ... 中心、 4 ... 配線、 5 ... 端子、 6 a , 6 b , 6 c ... 配線、 7 ... 端子、
 1 0 ... 基板、 1 2 ... 凸部、 2 0 ... 固定部材、 2 1 ... 端、 3 0 ... バネ、 4 0 ... 振動板、 4 0
 a ... 主面、 4 2 ... 基部、 4 2 a ... 第 1 部分、 4 2 b ... 第 2 部分、 4 4 ... 接続部、 4 6 ... 振
 動体部、 5 0 , 5 0 a , 5 0 b , 5 0 c ... 圧電素子、 5 2 ... 第 1 電極層、 5 4 ... 圧電体層
 、 5 6 ... 第 2 電極層、 6 0 ... 接触部、 7 0 ... 駆動回路、 8 0 , 8 2 , 8 4 , 8 6 ... 配線、
 1 0 0 ... モーター用圧電駆動装置、 1 0 1 ... モーター、 1 2 0 ... 固定板、 1 4 0 ... 振動体
 、 1 4 2 ... 基部、 1 4 2 a ... 第 1 部分、 1 4 2 b ... 第 2 部分、 1 4 4 ... 接続部、 1 4 6 ...
 振動体部、 2 0 0 ... モーター用圧電駆動装置、 2 4 2 ... 基部、 2 4 2 a ... 第 1 部分、 2 4
 2 b ... 第 2 部分、 2 4 4 ... 接続部、 2 4 6 ... 振動体部、 3 0 0 ... モーター用圧電駆動装置
 、 3 4 2 ... 基部、 3 4 2 a ... 第 1 部分、 3 4 2 b ... 第 2 部分、 3 4 4 ... 接続部、 3 4 6 ...
 振動体部、 4 0 0 ... モーター用圧電駆動装置、 2 0 0 0 ... ロボットハンド、 2 0 0 3 ... 把
 持部、 2 0 1 0 ... アーム、 2 0 1 2 ... リンク部、 2 0 2 0 ... 関節部、 2 0 5 0 ... ロボット
 、 2 2 0 0 ... 送液ポンプ、 2 2 0 2 ... カム、 2 2 0 2 A ... 突起部、 2 2 1 1 ... リザーバー
 、 2 2 1 2 ... チューブ、 2 2 1 3 , 2 2 1 4 , 2 2 1 5 , 2 2 1 6 , 2 2 1 7 , 2 2 1 8
 , 2 2 1 9 ... フィンガー、 2 2 2 2 ... ローター、 2 2 2 3 ... 減速伝達機構、 2 2 3 0 ... ケ
 ース

10

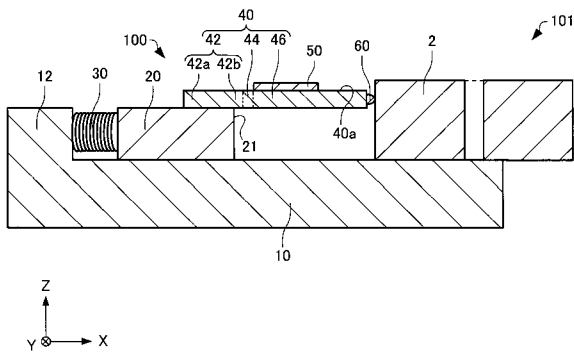
20

30

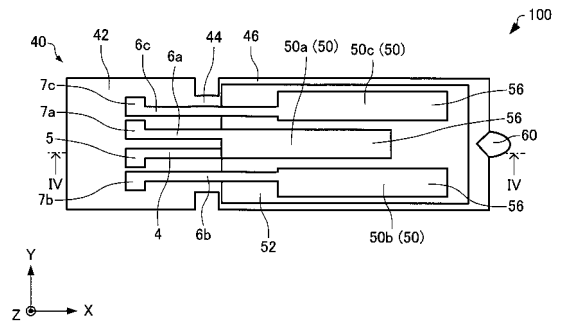
【 図 1 】



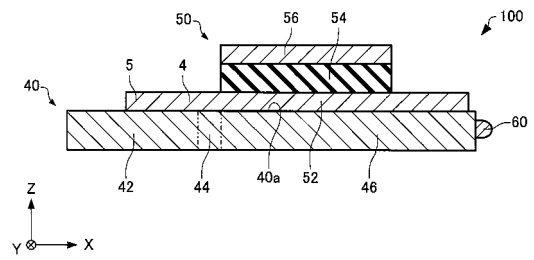
【 図 2 】



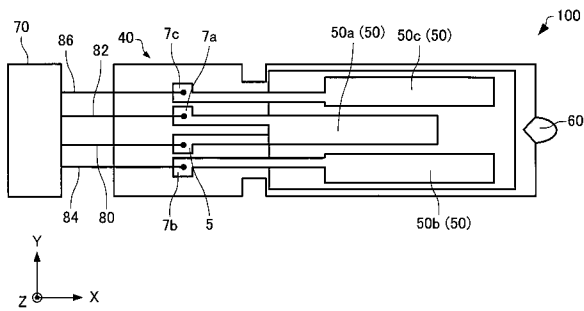
【 図 3 】



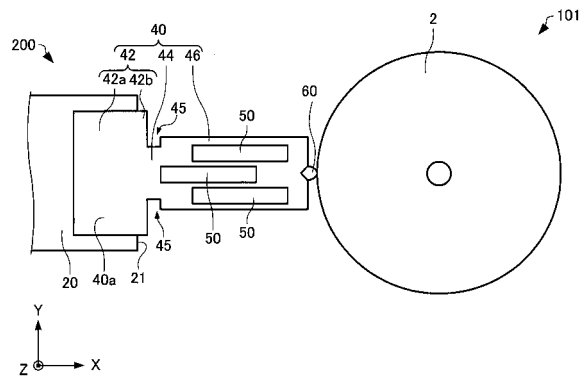
【 図 4 】



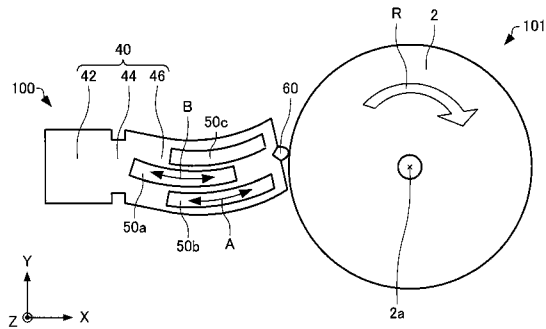
【 図 5 】



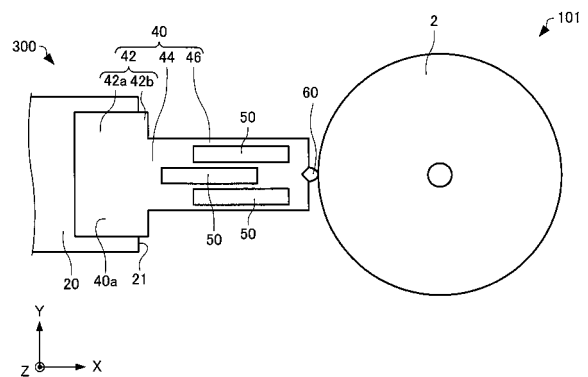
【 図 7 】



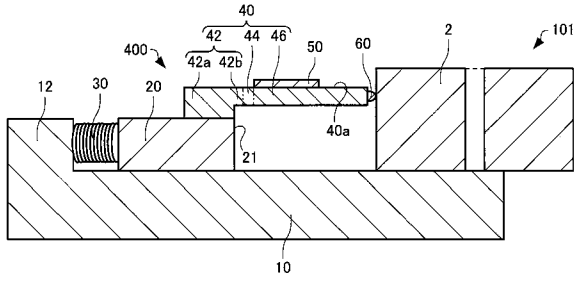
【 図 6 】



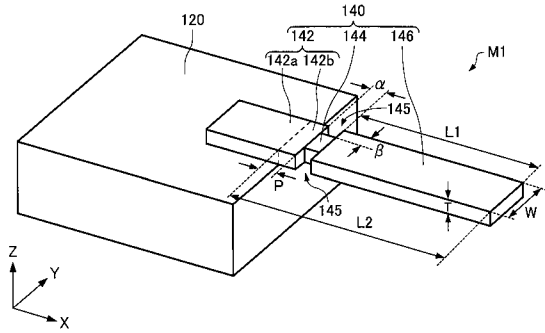
【 図 8 】



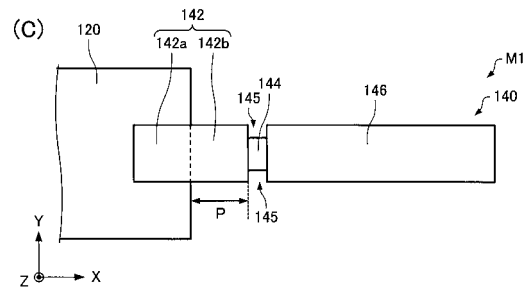
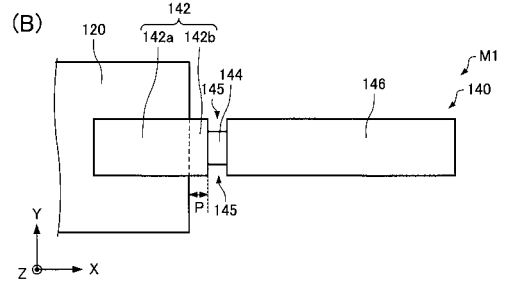
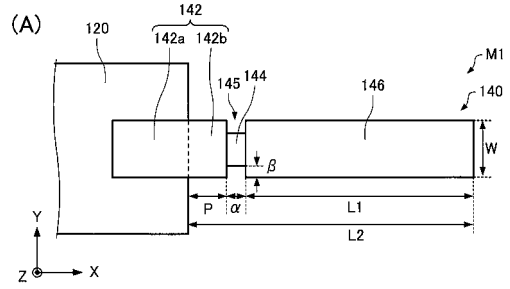
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



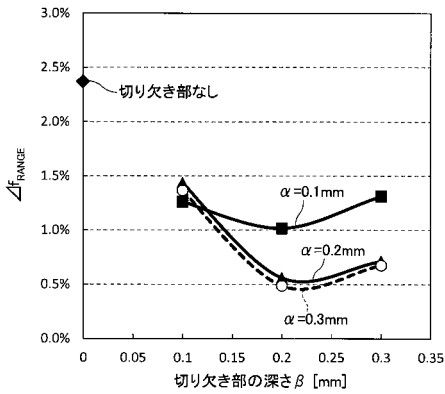
【 図 13 】

切り欠き部の長さ α [mm]	切り欠き部の深さ β [mm]			
	0	0.1	0.2	0.3
0	2.37%	-	-	-
0.1	-	1.26%	1.02%	1.31%
0.2	-	1.44%	0.56%	0.71%
0.3	-	1.37%	0.49%	0.68%

【 図 15 】

長さL2 [mm]	共振周波数 [kHz]		
	縦振動	屈曲振動	Δf
2.40	888.0	897.0	-9.0
2.45	869.0	873.1	-4.1
2.50	850.9	849.7	1.2
2.55	833.6	827.5	6.1
2.60	817.2	806.0	11.2

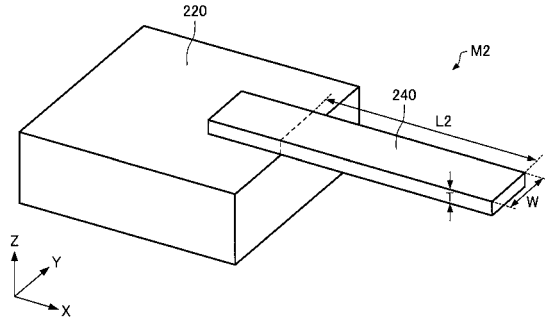
【 図 14 】



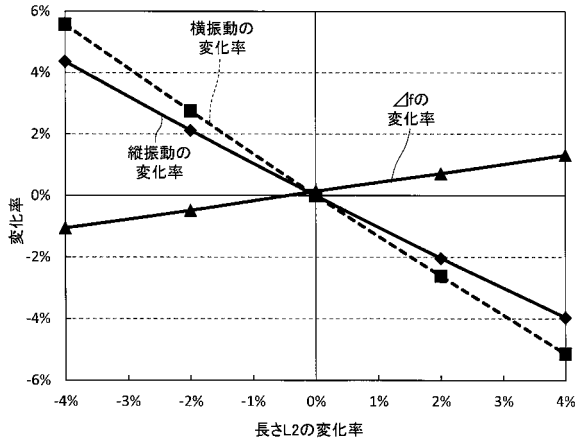
【 図 16 】

長さL2 変化率	共振周波数変化率		
	縦振動	屈曲振動	Δf
-4%	4.4%	5.6%	-1.1%
-2%	2.1%	2.8%	-0.5%
0%	0.0%	0.0%	0.1%
2%	-2.0%	2.6%	0.7%
4%	-4.0%	5.1%	1.3%

【 図 1 7 】



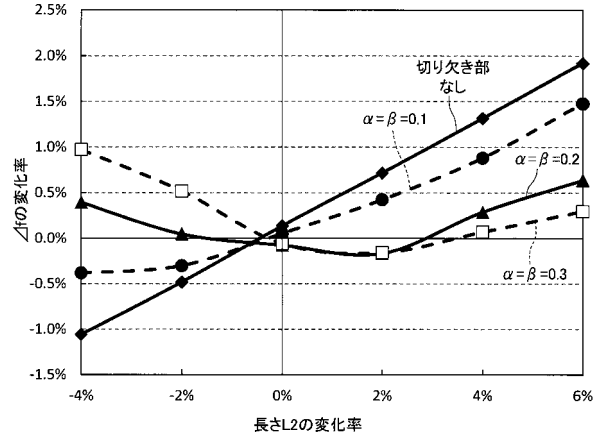
【 図 1 8 】



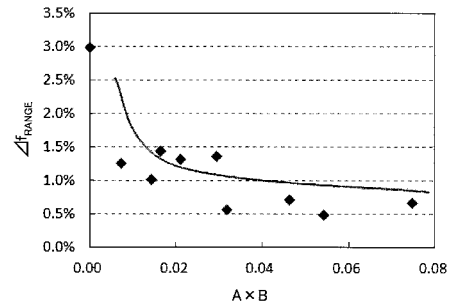
【 図 2 0 】

長さL [mm]	幅W [mm]	高さT [mm]	振動体部の 断面積 [mm ²]	切り欠き部の 長さα [mm]	切り欠き部の 深さβ [mm]	接線部の 断面積 [mm ²]	断面積減少率 A	切り欠き長さ比 B	A×B	Δf _{sum}
2.5	1.030	0.2	0.206	0.0	0.0	0.206	0.00	0.00	0.000	2.98%
2.5	1.082	0.2	0.216	0.1	0.1	0.176	0.18	0.04	0.007	1.26%
2.5	1.109	0.2	0.195	0.1	0.2	0.155	0.21	0.08	0.016	1.44%
2.5	1.139	0.2	0.162	0.1	0.3	0.122	0.25	0.12	0.030	1.37%
2.5	0.975	0.2	0.222	0.2	0.1	0.142	0.36	0.04	0.014	1.02%
2.5	1.005	0.2	0.201	0.2	0.2	0.121	0.40	0.08	0.032	0.56%
2.5	1.035	0.2	0.177	0.2	0.3	0.097	0.45	0.12	0.054	0.49%
2.5	0.811	0.2	0.228	0.3	0.1	0.108	0.53	0.04	0.021	1.31%
2.5	0.886	0.2	0.207	0.3	0.2	0.087	0.58	0.08	0.046	0.71%
2.5	0.961	0.2	0.192	0.3	0.3	0.072	0.62	0.12	0.075	0.68%

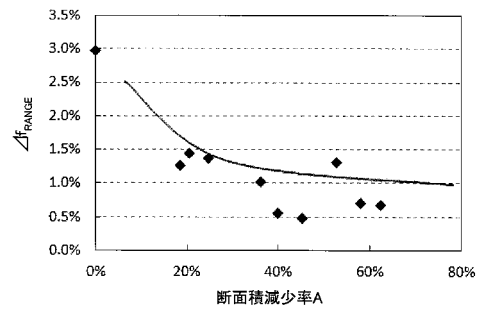
【 図 1 9 】



【 図 2 1 】



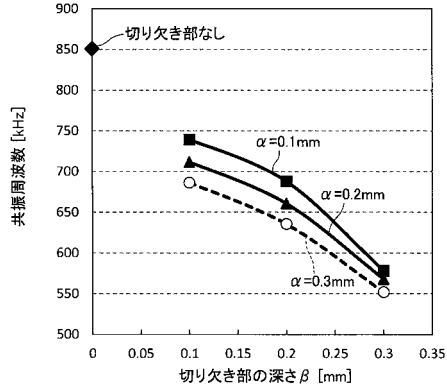
【 図 2 2 】



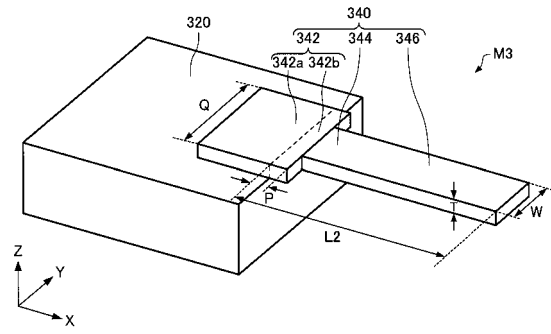
【 図 2 3 】

切り欠き部の長さ α [mm]	切り欠き部の深さ β [mm]			
	0	0.1	0.2	0.3
0	850.9	-	-	-
0.1	-	739.4	688.0	578.4
0.2	-	711.8	660.8	568.2
0.3	-	686.3	635.5	552.0

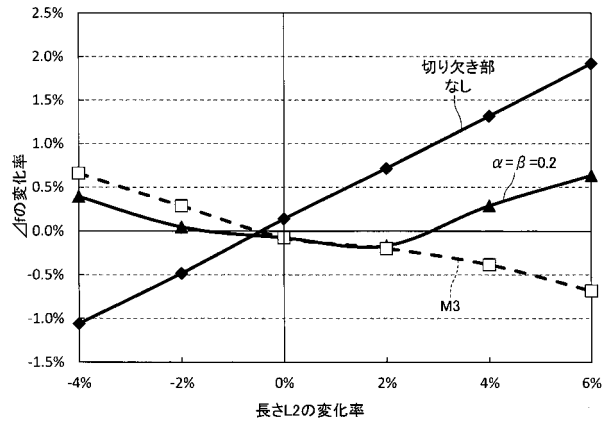
【 図 2 4 】



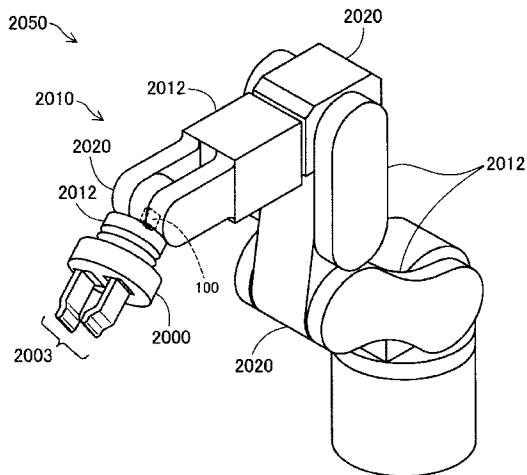
【 図 2 5 】



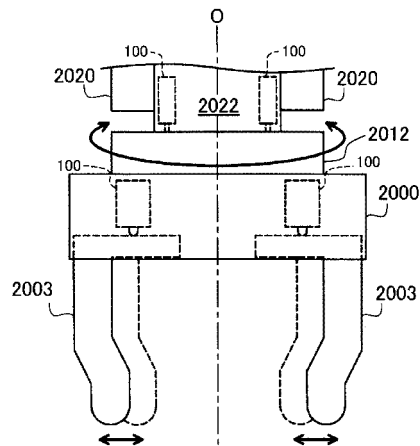
【 図 2 6 】



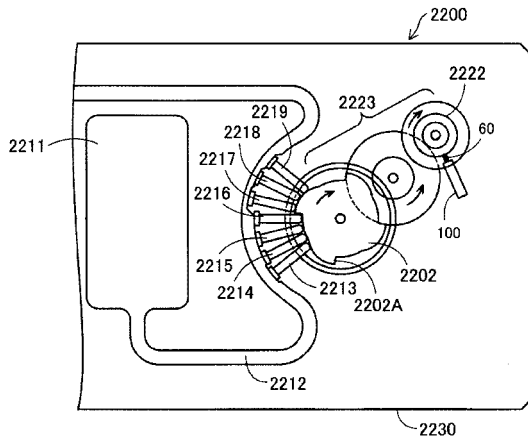
【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



【 図 2 9 】



【 図 1 2 】

