

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5159452号
(P5159452)

(45) 発行日 平成25年3月6日 (2013.3.6)

(24) 登録日 平成24年12月21日 (2012.12.21)

(51) Int.Cl.
H02N 2/00 (2006.01)

F I
H02N 2/00 C

請求項の数 12 (全 17 頁)

| | | | |
|--------------|------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2008-155357 (P2008-155357) | (73) 特許権者 | 000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 |
| (22) 出願日 | 平成20年6月13日 (2008.6.13) | (74) 代理人 | 100126240 弁理士 阿部 琢磨 |
| (65) 公開番号 | 特開2009-50146 (P2009-50146A) | (74) 代理人 | 100124442 弁理士 黒岩 創吾 |
| (43) 公開日 | 平成21年3月5日 (2009.3.5) | (72) 発明者 | 秦 誠一 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 国立大学法人東京工業大学内 |
| 審査請求日 | 平成23年6月9日 (2011.6.9) | (72) 発明者 | 下河邊 明 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 国立大学法人東京工業大学内 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2007-189001 (P2007-189001) | | |
| (32) 優先日 | 平成19年7月20日 (2007.7.20) | | |
| (33) 優先権主張国 | 日本国 (JP) | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

円筒状の支持部材の内周に沿って移動体が支持部材の軸方向を移動するアクチュエータにおいて、

前記移動体は、
円筒状の圧電素子と、
前記圧電素子の一方の端部の内周面に取り付けられた第1の電極と、
前記圧電素子の他方の端部の内周面に取り付けられた第2の電極と、
圧電素子を介して前記第1の電極に対向した面に一端が固定され、圧電素子を介して前記第2の電極に対向した面に他端が固定され、中間部が前記支持部材と接触して配置されている円筒状の振動体と、を有し、

前記第1の電極と前記振動体との間及び前記第2の電極と前記振動体との間に電圧をかけて前記圧電素子を振動させ、前記圧電素子の振動を前記振動体によって増幅させることで、前記移動体を移動させることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 2】

円柱状の支持部材の外周に沿って移動体が支持部材の軸方向を移動するアクチュエータにおいて、

前記移動体は、
筒状の圧電素子と、
前記圧電素子の一方の端部の外周面に取り付けられた第1の電極と、

前記圧電素子の他方の端部の外周面に取り付けられた第２の電極と、

圧電素子を介して前記第１の電極に対向した面に一端が固定され、圧電素子を介して前記第２の電極に対向した面に他端が固定され、中間部が前記支持部材と接触して配置されている円筒状の振動体と、を有し、

前記第１の電極と前記振動体との間及び前記第２の電極と前記振動体との間に電圧をかけて前記圧電素子を振動させ、前記圧電素子の振動を前記振動体によって増幅させることで、前記移動体を移動させることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項３】

板状の支持部材の上面に沿って移動体が移動するアクチュエータにおいて、

前記移動体は、

板状の圧電素子と、

前記圧電素子の一方の端部の上面に取り付けられた第１の電極と、

前記圧電素子の他方の端部の上面に取り付けられた第２の電極と、

圧電素子を介して前記第１の電極に対向した面に一端が固定され、圧電素子を介して前記第２の電極に対向した面に他端が固定され、中間部が前記支持部材と接触して配置されている振動体と、を有し、

前記第１の電極と前記振動体との間及び前記第２の電極と前記振動体との間に電圧をかけて前記圧電素子を振動させ、前記圧電素子の振動を前記振動体によって増幅させることで、前記移動体を移動させることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項４】

振動する前記振動体の波頭と前記支持部材の接触部における摩擦によって、前記移動体を移動させることを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１つに記載のアクチュエータ。

【請求項５】

前記第１の電極と前記振動体との間及び前記第２の電極と前記振動体との間には、お互いの位相が異なり、周波数が同じ電圧を印加することで、前記振動体の前記振動部に進行波を発生させ、前記移動体を移動させることを特徴とする請求項１乃至３いずれか１つに記載のアクチュエータ。

【請求項６】

前記圧電素子を前記支持部材の軸方向に伸縮させる第１の電圧に、前記振動体の固有振動数と同じ周波数をもつ第２の電圧を、前記第１の電圧が増加または減少する時間帯において断続的に加えることにより形成した合成波を、前記第１の電極と前記振動体との間及び前記第２の電極と前記振動体との間に交互に印加することで、前記振動体の前記振動部に断続的な定在波を発生させ、前記移動体を移動させることを特徴とする請求項１または２に記載のアクチュエータ。

【請求項７】

前記振動部、あるいは前記支持部材は金属ガラスにより形成されていることを特徴とする請求項１ないし６のいずれか１つに記載のアクチュエータ。

【請求項８】

円筒状の支持部材の内周に沿って移動体が支持部材の軸方向を移動するアクチュエータにおいて、

前記移動体は、円筒状の圧電素子と、

前記圧電素子の一方の端部の内周面に取り付けられた第１の電極と、

両端が前記圧電素子の外周面に固定され、中間部が前記支持部材と接触して配置されている円筒状の振動体と、を有し、

前記第１の電極と前記振動体との間に定在波を発生させ、前記圧電素子の振動を前記振動体によって増幅させることで、前記移動体を移動させることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項９】

円筒状の支持部材の内周に沿って移動体が支持部材の軸方向を移動するアクチュエータにおいて、

10

20

30

40

50

前記移動体は、円筒状の圧電素子と、

前記圧電素子の一方の端部の内周面に取り付けられた第 1 の電極と、

前記圧電素子の他方の端部の内周面に取り付けられた第 2 の電極と、

前記圧電素子の中央部の内周面に取り付けられた第 3 の電極と、

圧電素子を介して前記第 1 の電極に対向した面に一端が固定され、圧電素子を介して前記第 2 の電極に対向した面に他端が固定され、中間部が前記支持部材と接触して配置されている円筒状の振動体と、を有し、

前記圧電素子を前記支持部材の軸方向に伸縮させる第 1 の電圧に、前記振動体の固有振動数と同じ周波数をもつ第 2 の電圧を、前記第 1 の電圧が増加または減少する時間帯において断続的に加えることにより形成した合成波を、前記第 1 の電極と前記振動体の間及び前記第 2 の電極と前記振動体の間と、前記第 3 の電極と前記振動体の間に交互に印加することで圧電素子を振動させ、前記圧電素子の振動を前記振動体によって増幅させることで、前記移動体を移動させることを特徴とするアクチュエータ。

10

【請求項 10】

円筒状の支持部材の内周に沿って移動体が支持部材の軸方向を移動するアクチュエータにおいて、

前記移動体は、円筒状の圧電素子と、

前記圧電素子の一方の端部の内周面に取り付けられた第 1 の電極と、

圧電素子を介して前記第 1 の電極に対向した面に一端が固定され、他端が前記支持部材と接触して配置されている円筒状の振動体と、を有し、

20

前記圧電素子を前記支持部材の軸方向に伸縮させる第 1 の電圧に、前記振動体の固有振動数と同じ周波数をもつ第 2 の電圧を、前記第 1 の電圧が増加または減少する時間帯において断続的に加えることにより形成した合成波を、前記第 1 の電極と前記振動体の間に印加することで圧電素子を振動させ、前記圧電素子の振動を前記振動体によって増幅させることで、前記移動体を移動させることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 11】

円筒状の支持部材の内周に沿って移動体が支持部材の軸方向を移動するアクチュエータにおいて、

前記移動体の一方の端部と他方の端部は、中間部が前記支持部材の内周面と接触して配置されている円筒状の振動体により連結されており、

30

前記一方の端部には、前記振動体の内周面に配置された圧電素子と、該圧電素子の内周面に取り付けられた第 1 の電極とが設けられており、

前記他方の端部には、前記振動体の内周面に配置された圧電素子と、該圧電素子の内周面に取り付けられた第 2 の電極とが設けられており、

前記第 1 の電極と前記振動体との間及び前記第 2 の電極と前記振動体との間に電圧をかけて前記圧電素子を振動させ、前記圧電素子の振動を前記振動体によって増幅させることで、前記移動体を移動させることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 12】

円柱状の支持部材の外周に沿って移動体が支持部材の軸方向を移動するアクチュエータにおいて、

40

前記移動体の一方の端部と他方の端部は、中間部が前記支持部材の外周面と接触して配置されている円筒状の振動体により連結されており、

前記一方の端部には、前記振動体の外周面に配置された圧電素子と、該圧電素子の外周面に取り付けられた第 1 の電極が設けられており、

前記他方の端部には、前記振動体の外周面に配置された圧電素子と、該圧電素子の外周面に取り付けられた第 2 の電極が設けられており、

前記第 1 の電極と前記振動体との間及び前記第 2 の電極と前記振動体との間に電圧をかけて前記圧電素子を振動させ、前記圧電素子の振動を前記振動体によって増幅させることで、前記移動体を移動させることを特徴とするアクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットハンドの指先の駆動などに応用される、振動を利用した直動型のアクチュエータに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から振動子と圧電素子を用いたアクチュエータは超音波モータなど、いくつかの構成が知られている。特にアクチュエータによりロボットハンドの指先の動きを実現するためには、人間の筋肉に相当する直動機構を小型に実現する必要がある。

【0003】

特許文献1には回転型の超音波モータの構造が開示されている。特公平4-72471号公報(特許文献1)に開示されているような回転型のモータで、ロボットハンドの指先の動きを実現しようとすると、ネジなどの回転直進変換機構が必要となり、小型化が非常に困難である。

【0004】

その点、超音波振動を用いた直動型のアクチュエータ(リニアアクチュエータ)は小さな構造で、直進運動を実現することができるため、ロボットハンドの指先の制御には好適である。特に、圧電素子の振動を利用した細くて長い円筒型(筒状)のリニアアクチュエータは、ロボットの高スピード化、長ストローク化、高精度化に非常に有望であり、近年検討が進んでいる。

【0005】

このような円筒型のリニアアクチュエータとしては次のようなものが知られている。

【0006】

図14は、特開平10-210776号公報(特許文献2)に開示されている、回転直動一体型超音波モータ及びそれを内蔵した電子機器であり、円筒形の固定子101とその内周面あるいは外周面に接触した円筒形の移動子102とを有する。固定子101は円筒形の圧電素子103と、その内周面あるいは外周面のどちらか一方に規則的に配列された複数の分極電極104と、他方に設けられた全面電極107を有し、固定子101に超音波振動を励起することで移動子102を駆動する。この場合、分極電極104のそれぞれに互いに位相がずれた複数の交流電圧を選択的に印加することにより、移動子102を回

【0007】

図15は、特開平5-49273号公報(特許文献3)に開示されている超音波リニアモータである。これは、進行方向に平行に振動する第1の圧電素子203aと、第1の圧電素子203aを貫通する軸201と、第1の圧電素子203aを挟んで、軸201を把持可能に配置され前記進行方向と垂直に振動する第2の圧電素子203b、203cとを有する。第1の圧電素子203aと軸201とは径方向に隙間が設けられ、第2の圧電素子203b、203cは軸201の外径に対し、収縮時には締め代、膨張時には隙間ができるように設定される。各圧電素子に印加する交流電圧の位相差を変化させることにより、駆動速度を変化させることができる。

【特許文献1】特公平4-72471号公報

【特許文献2】特開平10-210776号公報

【特許文献3】特開平5-49273号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従来の振動アクチュエータは一般に、移動子が固定子のどちらかを振動体として振動させ、両者が接触する部分において、進行方向に摩擦による推進力(推力)を発生させるものである。

【0009】

特許文献 2 に記載の回転直動一体型超音波モータでは、圧電素子に交流電圧を選択的に印加し圧電素子を振動させることによって、移動子を回転方向と直動方向に任意に駆動できるようにしていた。

【 0 0 1 0 】

また、特許文献 3 に記載の超音波リニアモータでは、第 1 の圧電素子に印加する交流電圧によって直動方向に駆動できるようにしていた。

【 0 0 1 1 】

しかしながら特許文献 2、3 に記載の超音波モータは、いずれも振動体が圧電素子そのものになっているため、以下のような未解決の課題がある。

(1) 設計の自由度

振動体の振動を利用するアクチュエータを設計製作する際、振動体の形状、ならびに固有振動モードの形、周波数などは推力や動作速度に直接関与する重要な設計パラメータである。ところが、圧電素子は焼結体であり、金属のような機械的強度がなく、機械的な加工法も限られている。そのため、振動体を圧電素子で形成する特許文献 2、3 に記載の超音波モータでは、大きな推力や高速な動作を実現するための設計の自由度が狭くなってしまう。

(2) 振動体の耐久性

振動を利用したアクチュエータでは高速な駆動を実現するために、振動体を非常に高速に振動させる必要がある。従ってアクチュエータの耐久性を考えた時、振動体の材料は繰り返し変形に強いものが要求され、振動体の構造はシンプルで壊れにくいことが好ましい。また、振動体の材料の発熱を考慮すると、内部減衰が小さい材料であることが必要である。

【 0 0 1 2 】

ところが、そのため振動体を圧電素子で形成する特許文献 2、3 に記載の超音波モータでは、振動体の外側と内側を電極で挟む複雑な構造物であるため、高周波数で大振幅で振動させると電極のはがれなどが発生し、高い耐久性を実現できない。また圧電素子は内部減衰が大きいいため、高速で大振幅で振動させると発熱が大きくなってしまう。

(3) 振動体の接触力

また、振動を利用したアクチュエータでは、駆動力である摩擦力を発生させるため、移動子と固定子間を密着させる接触力が必要である。この接触力は弱すぎると、摩擦力、すなわち駆動力が小さくなってしまいうし、強すぎると振動体の振動を阻害するほか、耐久性も悪くなるので問題である。従って振動アクチュエータにとって、接触力をいつも一定に保つことが非常に重要である。円筒型のリニアアクチュエータの場合、この接触力は振動子と固定子である円管の嵌合精度によって補償することとなる。

【 0 0 1 3 】

振動子と円管の嵌合精度は、圧電素子そのものの発熱や雰囲気温度の変化により大きく変化する。そのため、振動体である圧電材料と、固定子または移動子の材料の熱膨張係数はできるだけ等しい材料とすることが好ましい。しかしながら通常円管は金属等で作られるため、振動子が圧電材料の場合、熱膨張係数に大きな差が生じてしまい、熱による影響が大きくなる。

(4) 振動体の振動振幅および動作速度

一般に、圧電素子の変形比は 10^{-5} 程度である。そのため、直径 2 mm の圧電素子を使用すると、 $2 \times 10^{-5} \text{ mm} = 20 \text{ nm}$ しか変形しない。通常圧電素子の表面粗さは 20 nm よりも大きいのほうがずっと大きいため、直径 2 mm といった小型の直動アクチュエータを実現することは困難である。

【 0 0 1 4 】

また、進行方向の動作速度は駆動周波数に振幅を乗じたものであり、振動振幅が小さいことは、動作速度が遅いことを意味する。直径 2 mm の圧電素子で円周方向の振幅 20 nm とし、進行方向成分をその $1/10$ とすると、50 kHz で駆動した場合の動作速度は、 $20 \text{ nm} \times 1/10 \times 50 \text{ kHz} = 0.1 \text{ mm/s}$ と非常に遅い。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

高速に動かすためには振動体を大振幅で振動させればよいが、あまり振幅を大きくすると、接触部に隣接する隙間内の空気などの流体が圧縮されるため、その圧力によって振動体が浮上（超音波浮上）してしまう。その結果、接触領域の摩擦がなくなり、推力を得ることができない。つまり、大振幅で振動させると推力が落ちるという課題があった。

【 0 0 1 6 】

本発明は、上記従来技術が持っている未解決の課題に鑑みてなされたものであり、構造が簡単かつ小型であり、しかも安定した高速駆動が可能なアクチュエータ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】

10

【 0 0 1 7 】

本発明のアクチュエータは、円筒状の支持部材に沿って移動体を移動させるアクチュエータにおいて、前記移動体は、円筒状の圧電素子と、前記圧電素子の一方の端部の内周面に取り付けられた第1の電極と、前記圧電素子の他方の端部の内周面に取り付けられた第2の電極と、前記圧電素子を介して前記第1の電極に対向した面に一端が固定され、圧電素子を介して前記第2の電極に対向した面に他端が固定され、中間部が前記支持部材と接触して配置されている円筒状の振動体と、を有し、

前記第1の電極と前記振動体との間及び前記第2の電極と前記振動体との間に電圧をかけて前記圧電素子を振動させ、前記圧電素子の振動を前記振動体によって増幅させることで、前記移動体を移動させることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【 0 0 1 8 】

電圧素子の振動を振動体によって増幅して、移動体の推進力を発生させているため、圧電素子自体を振動体とする構成に比べて、材料の選択や形状設計等に制約が少なく、耐久性も向上する。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 9 】

本発明を実施するための最良の形態を図面に基づいて説明する。

【 0 0 2 0 】

（第1の実施の形態）

30

図1に本発明の第1の実施の形態を示す。筒状部材1は固定子として機能する円筒状の筒状部材ある。振動体2は円筒状の部材であり、軸方向の中央部の直径は端部の直径よりも大きく、中央部が膨らんだ形状をなしている。この膨らんだ部分が筒状部材1と嵌合するように配置されている。振動体はステンレス等の金属や金属ガラスにより形成されている。圧電素子3は円筒状の部材であり、振動体2の両端部の内周と固定されている。振動体2の中央部と圧電素子3の間には隙間2aが形成されている。

【 0 0 2 1 】

圧電素子3の両端部の内周面には、それぞれ、第1の電極（分割電極）4aと第2の電極（分割電極）4bが取り付けられている。交流電源10aは、第1の電極4aと振動子2の間に振動電圧を印加し、交流電源10bは、第2の電極4bと振動子2の間に振動電圧を印加することで圧電素子3は振動する。すなわち振動子2は共通電極としての機能も兼ねている。圧電素子3の振動は振動体2により増幅され、振動体2と筒状部材1の接触部において発生する摩擦力の変化を推進力に変換することで、振動体2及び電圧素子3からなる移動体が筒状部材1の軸方向に相対的に移動する。

40

【 0 0 2 2 】

図2は、振動体2の振動を推進力に変換する原理を説明する模式図である。図2は説明のために振動振幅を誇張して示している。図2(a)において、Vaは交流電源10aにより第1の電極4aと振動体2の間に加えられた正弦波状の振動電圧である。

【 0 0 2 3 】

図2(b)に示すように、第1の電極4aと振動体2の間に加えられた振動電圧Vaに

50

より円筒状の圧電素子 3 は、矢印 R 1 で示す直径方向に振動する。この振動は振動体 2 の第 1 の電極 4 a 側の端部において、振動体 2 を直径方向に振動振幅を持つ振動モードで振動させる。

【 0 0 2 4 】

振動体 2 の第 1 の電極 4 a 側の端部で発生した振動は、振動体 2 に沿って矢印 R 2 で示した振動体 2 の軸方向に移動する進行波となる。この進行波の振幅は、振動体 2 と接触する筒状部材 1 との間の摩擦や振動体自体による内部減衰によって次第に小さくなり、振動体 2 の第 2 の電極 4 b 側の端部に達する。

【 0 0 2 5 】

本実施の形態ではこの進行波を利用して、振動体 2 及び電圧素子 3 からなる移動体を筒状部材 1 の軸方向に相対的に移動させる。通常波頭が 1 つの方向に移動する波を進行波は、端部で反射した波と干渉することにより波頭が移動しない定在波となる。進行波が反射により定在波になるのを防止するには、加振側と反対側の端部で振動を吸収しなければならない。

【 0 0 2 6 】

そこで本実施形態では、図 2 の (a) に示すように、交流電源 1 0 b により、第 1 の電極 4 b と振動体 2 の間に加えられた正弦波状の振動電圧 V b を印加している。振動電圧 V b は、振動電圧 V a と同じ周波数で異なる位相と振幅を有している。振動電圧 V b の位相と振幅を最適化することにより、前述の進行波は、振動体 2 の第 2 の電極 4 b 側で完全に吸収することができる。すなわち、進行波が定在波に代わることなく維持される。

【 0 0 2 7 】

図 2 の (c) は、R 2 方向に移動する進行波により、振動体 2 及び電圧素子 3 からなる移動体が筒状部材 1 の軸方向に相対的に移動する原理を説明する模式図である。

【 0 0 2 8 】

振動体 2 には、矢印 R 2 で示す方向に進む進行波が発生しており、筒状部材 1 に接している。進行波は振動体 2 が矢印 R 3 で示す方向に楕円振動している。この楕円振動により、振動体 2 と接している筒状部材 1 は、進行波とは逆の矢印 R 4 で示す方向に押される。このようにして、筒状部材 1 は振動体 2 に対して矢印 R 2 の方向へ相対移動する。

【 0 0 2 9 】

この時、楕円振動の振幅が大きければ大きいほど、筒状部材 1 を押す力（推進力）は強く、移動速度も速くなるため、アクチュエータの特性としては好ましい。本実施の形態では、圧電素子 3 の振幅を振動体 2 を用いて増幅している。このときの振幅の増幅は、振動体 2 が持っている固有振動モードを利用している。すなわち振動モードの「節」の近傍を加振すると、共振により振動モードの「腹」の近傍で非常に大きな振幅が得られる。すなわち、振動電圧 V a 、V b の周波数を、振動体 2 の固有振動数と一致させることにより、振動体 2 の振幅を共振を使って大きくすることができる。

尚、アクチュエータの移動方向を変えるには、進行波の進む向きを反対にすればよい。すなわち、第 2 の電極 4 b と振動体 2 の間に振動電圧 V a を印加し、第 1 の電極 4 a と振動体 2 の間に振動電圧 V b を印加すれば良い。

【 0 0 3 0 】

振動体 2 は両端部付近で滑らかな R 形状の接続部 2 b を形成している。この R 形状によって耐久性を大幅に改善することが可能である。この接続部 2 b は圧電素子 3 の加振力により強い応力がかかる部分であるので、特にこの部分を滑らかに接続することは重要である。この R 形状により、応力が一箇所に集中することを防ぎ、振動体 2 の強度が向上する。その結果、耐久性が向上するとともに、より大きな振幅で振動させることが可能になり、より高速駆動できるアクチュエータを提供できる。

【 0 0 3 1 】

図 3 は振動体 2 の製造方法を説明する模式図である。

【 0 0 3 2 】

図 3 の (a) に示すように、円筒形の圧電素子 3 の両端に第 1 のキャップ 1 1 をかぶせ

10

20

30

40

50

る。このキャップ 1 1 は圧電素子 3 の外形に対して大きな内径をもつマスク部 1 1 a を有し、これがひさしとなって圧電素子 3 の両端部をマスクする。

【 0 0 3 3 】

次に図 3 の (b) に示すように、第 1 のキャップ 1 1 をかぶせた圧電素子 3 をスパッタ成膜装置に入れ、回転させながら犠牲層 1 2 を成膜する。この時、先ほどのマスク部 1 1 a があるので、犠牲層 1 2 の厚さは端に向かってしだいに薄くなる。犠牲層 1 2 の材料としては酸にもアルカリにも溶けるアルミニウムなどの金属や、有機溶剤に溶かすことのできる高分子材料が考えられる。

【 0 0 3 4 】

次に、図 3 の (c) に示すように、第 2 のキャップ 1 3 を圧電素子 3 の両端にかぶせ、回転させながら振動体 2 を犠牲層 1 2 の上に成膜する。振動体 2 の材料としては、繰り返し応力に強い耐久性の高い材料が好ましい、例えばステンレス系の材料、あるいは金属ガラス系の材料が好適である。特に金属ガラスは、非晶質の金属原子からなるもので、通常金属と異なり、非晶質であるため高耐久性を発揮できる。すなわち、非晶質は硬度が高く、耐摩耗性を向上させることができる。また同様に筒状部材 1 を金属ガラスで製作すれば、耐摩耗性を向上させることができる。こうした結果、さらに耐久性の高いアクチュエータを実現することができる。

【 0 0 3 5 】

次に、図 3 の (d) に示すように、犠牲層 1 2 を溶かし、振動体 2 と圧電素子 3 との間に隙間 2 a を形成する。この時、犠牲層 1 2 をとかす溶剤等と犠牲層 1 2 を接触させるためには、レーザ等により複数の微細な穴が形成された振動体 2 を使用することができる。

振動体に穴をあけることにより、接触部に隣接する隙間内の空気が圧縮されてもその穴から逃げるため圧力が高まることはない。従って振動体が浮上することを防止できる。その結果、振動体を大振幅で振動させても推力が落ちない。

【 0 0 3 6 】

このようにして製造することで、振動体 2 の圧電素子 3 との接続部 2 b を滑らかな R 形状とすることができる。

【 0 0 3 7 】

本実施の形態では、振動体が共通電極を兼ねる構造であるが、圧電素子の片側に導体の薄膜をつけて、それを共通電極とする構成でもよい。ただし、振動体が導体であれば、共通電極として用いる場合は一方の電極を省略することができるため、簡便な構造とすることができる。

【 0 0 3 8 】

また、振動体と圧電素子との隙間に、振動体の振動に影響しない十分に柔らかい軟質材を充填してもよい。このような軟質材として、硬度の低いシリコンゴムなどが好適である。このような軟質材を、前述の製作工程における犠牲層として用いることで、犠牲層を残す構成にすれば、犠牲層を除去する工程が必要ないため、製作が容易になり、コストダウンの効果がある。

【 0 0 3 9 】

なお、振動体 2 が振動すると支持部材である筒状部材 1 と部分的に接触、非接触を高速に繰り返すが、空気の圧力によって振動体 2 と筒状部材 1 が接触しない事態が考えられる。これは超音波浮上と呼ばれている。前述の振動体 2 に形成された複数の微細な穴により、この超音波浮上を防止することができる。

【 0 0 4 0 】

(変形例 1)

また、微細な穴が形成された振動体 2 を使用する替わりに、図 4 (a) に示すように、あらかじめ圧電素子 3 に穴 3 a をあけ、犠牲層 1 2 と同じ材料で埋めておいても良い。圧電素子に設けられた穴 3 a は、冷媒循環用のポンプ 5 に接続される流路に接続することで、隙間 2 a に冷媒を循環させる事ができる。圧電素子を大振幅で高速振動させると、発熱量が大きくなる。冷媒を圧電素子と振動体の間の隙間に導くことにより、この熱を取り除

10

20

30

40

50

くことができる。その結果圧電素子と振動体の温度上昇を抑えることができる。

【 0 0 4 1 】

(変形例 2)

また、振動体 2 の筒状部材 1 との接触部は、必ずしも平面である必要は無く、図 4 (b) に示すように、振動体 2 が波形状部 2 c を有する波板になっていてもよい。波板形状の振動体 2 は、犠牲層 1 2 を成膜する際に、網状のマスクをかけることで容易に製造することができる。

【 0 0 4 2 】

振動体 2 の振動中に、振動体 2 と筒状部材 1 の間における空気の圧力によって、振動体 2 が浮上してしまう、いわゆる超音波浮上が発生する。しかし振動体 2 を波板とすることにより、接触部に隣接する隙間内の空気が圧縮されても波板の谷部から逃げるため圧力が高まることはない。従って振動体が浮上することを防止できる。その結果、振動体を大振幅で振動させても推力が落ちない。

【 0 0 4 3 】

(第 2 の実施の形態)

図 5 は本発明の第 2 の実施の形態を示す断面図である。前述の第 1 の実施の形態を示す図 1 では、筒状部材 1 の内周を振動体 2 及び電圧素子 3 からなる移動体が相対的に移動している。これに対して本実施の形態は、中実のパイプである筒状部材 2 1 の外周を円筒状の振動体 2 2 及び電圧素子 2 3 からなる移動体が相対的に移動する。

【 0 0 4 4 】

振動体 2 2 は円筒状の部材であり、軸方向の中央部の直径は端部の直径よりも小さく、中央部が凹んだ形状をなしている。この凹んだ部分が筒状部材 2 1 と嵌合するように配置されている。圧電素子 2 3 は円筒状の部材であり、振動体 2 2 の両端部の外周と固定されている。振動体 2 2 の中央部と圧電素子 3 の間には隙間 2 2 a が形成されている。

【 0 0 4 5 】

圧電素子 2 3 の両端部の外周面には、それぞれ、第 1 の電極 (分割電極) 2 4 a と第 2 の電極 (分割電極) 2 4 b が取り付けられている。交流電源 2 0 a は、第 1 の電極 2 4 a と振動子 2 2 の間に振動電圧 V a を印加し、交流電源 2 0 b は、第 2 の電極 2 4 b と振動子 2 2 の間に振動電圧 V b を印加することで圧電素子 2 3 は振動する。すなわち振動子 2 2 は共通電極としての機能も兼ねている。圧電素子 2 3 の振動は振動体 2 により増幅され、振動体 2 2 と筒状部材 2 1 の接触部において発生する摩擦力の変化を推進力に変換することで、振動体 2 2 及び電圧素子 2 3 からなる移動体が筒状部材 2 1 の軸方向に相対的に移動する。

【 0 0 4 6 】

尚、本実施の形態の駆動方法は前述の第 1 の実施の形態と同様であり、ここでは省略する。尚本実施の形態の効果は、第 1 の実施の形態と同様である。

【 0 0 4 7 】

(第 3 の実施の形態)

図 6 は本発明の第 3 の実施の形態を示す断面図である。本実施の形態は、板状の支持部材である板状体 3 1 と、板状の振動体 3 2 及び板状の圧電素子 3 3 からなる移動体を用いている。振動体 3 2 の両端部を圧電素子 3 3 に固定し、振動部である中央部において隙間 3 2 a を形成する。

【 0 0 4 8 】

板状の振動体 3 2 は、両側の端部近傍で滑らかな接続部 3 2 b で圧電素子 3 3 に接続される。接続部 3 2 b の R 形状によって耐久性を大幅に改善することが可能である。振動体 3 2 の中央部は板状体 3 1 に接触する。ここで、重力の方向を下向きとすると、振動体 3 2 は自重によって板状体 3 1 に押し付けられているため、浮き上がることなく、接触状態を保つことができる。

【 0 0 4 9 】

前述の第 1 の実施の形態と同様に、圧電素子 3 3 の両端には、第 1 の電極 3 4 a、第 2

10

20

30

40

50

の電極 3 4 b が取り付けられている。交流電源 3 0 a は、第 1 の電極 3 4 a と振動子 3 2 の間に振動電圧 V a を印加し、交流電源 3 0 b は、第 2 の電極 3 4 b と振動子 3 2 の間に振動電圧 V b を印加することで圧電素子 3 3 は振動する。振動電圧 V a、V b によって発生する圧電素子 3 3 の振動が振動体 3 2 に伝わり、振動体 3 2 に進行波を発生させ、これに接している板状体 3 1 に対して相対移動する。

【 0 0 5 0 】

本実施例によれば、支持部材を板状の部材で構成できるので、スパッタなどの成膜法を用いれば簡単に製作することができる。また、振動体と支持部材である板状体との接触状態を保つための押し付け力は、前述の重力だけではなく、ばねや磁石を利用してもよい。

【 0 0 5 1 】

(第 4 の実施の形態)

次に、図 7 乃至 9 を用いて本発明の第 4 の実施の形態を説明する。本実施形態は、第 1 の実施の形態で利用した進行波に替えて、定在波を利用した直動型のアクチュエータの構成を説明する。図 7 乃至 9 において、図 1 と同じ部材は同じ符号を付し、その説明は省略する。

【 0 0 5 2 】

図 7 において図 1 と異なるのは、第 2 の電極 4 b が存在せず、圧電素子 3 の内周面には電極 4 が形成されている。また交流電源 2 0 a の振動電圧 V 1 と交流電源 2 0 b の振動電圧 V 2 は加算回路 6 で合成され、第 3 の振動電圧 V 3 として振動体 2 と電極 4 の間に印加される。すなわち、振動体 2 の両端に同じ第 3 の振動電圧 V 3 が印加されている。

【 0 0 5 3 】

定在波である振動電圧 V 3 により、振動体 2 及び電圧素子 3 からなる移動体が筒状部材 1 の軸方向に相対的に移動する原理を説明する。

【 0 0 5 4 】

交流電源 2 0 a により、図 8 (a) に示すに第 1 の振動電圧 V 1 を、振動体 2 と電極 4 の間に印加することにより、圧電素子 3 は直径方向に振動する。第 1 の振動電圧 V 1 は振動体 2 の固有振動数に一致する周波数で断続的に振動する。この振動を振動体 2 に伝えると、振動体 2 が加振され、図 9 の (a) に示すように、直径方向に振動振幅を持つ振動モードで振動する定在波が発生する。この定在波は振動体 2 がもつ固有振動モードであり、決まった周波数で共振し、大きな振幅を得ることができる。この振動により、振動体 2 の外側に配置した筒状部材 1 と振動体 2 は接触、非接触を繰り返すこととなる。

【 0 0 5 5 】

交流電源 2 0 b により、図 8 (b) に示すに第 2 の振動電圧 V 2 を、振動体 2 と電極 4 の間に印加することにより、圧電素子 3 は直径方向だけではなく、図 9 (a)、(b) の矢印 R a、R b で示すように軸方向にも変形する。圧電素子 2 は、矢印 R a 方向に伸びる動作と、矢印 R b 方向に縮む動作を繰り返すこととなる。

【 0 0 5 6 】

従って、第 2 振動電圧 V 2 により圧電素子 2 が矢印 R a 方向に伸びるときに、第 1 の振動電圧 V 1 を印加すれば、振動体 2 と筒状部材 1 を接触させ、摩擦力により筒状部材 1 を矢印 R a の方向に押す事ができる。また逆に、第 2 振動電圧 V 2 により圧電素子 2 が矢印 R b 方向に縮むときに、第 1 の振動電圧 V 1 の加振電圧を下げ振動振幅を小さくすれば、振動体 2 と筒状部材 1 の摩擦力は非常に小さくなり、筒状部材 1 は固定されたままとなる。

【 0 0 5 7 】

従って、図 8 (c) に示した、第 1 の振動電圧 V 1 と第 2 の振動電圧 V 2 を合成した、第 3 の振動電圧 V 3 を印加することで、図 9 の (a)、(b) に示す状態が繰り返される。これにより振動体 2 及び電圧素子 3 からなる移動体は、筒状部材 1 の軸方向に相対的に移動する。

【 0 0 5 8 】

尚、2 つの振動電圧 V 1、V 2 で圧電素子 3 を振動させる方法は、前述の第 3 の振動電

10

20

30

40

50

圧 V 3 を使用する替わりに、振動電圧 V 1、V 2 を別々に印加しても良い。すなわち、図 10 に示すように、振動電圧 V 1、V 2 を電極 4 に別々印加であればよい。

【0059】

アクチュエータの移動方向を変えるには、圧電素子 2 が矢印 R b 方向に縮むときに、第 1 の振動電圧 V 1 を印加し、圧電素子 2 が矢印 R a 方向に伸びるときに、第 1 の振動電圧 V 1 の加振電圧を下げればよい。つまり 2 つの振動電圧の位相 V 1、V 1 を変えることで、移動方向を変えることができる。

【0060】

(第 5 の実施の形態)

図 11 は本発明の第 5 の実施の形態を示す断面図である。本実施の形態において前述の第 4 の実施の形態と異なるのは、電極 4 を 3 つに分割している点のみである。図 11 に示すように、両側の端部に 2 つの電極 (分割電極) 44 a、44 b と、中央部に位置する電極 (分割電極) 44 c からなっている。

【0061】

振動電圧 V 1 をそれぞれ電極 4 a、4 b に、中央部の電極 4 c に振動電圧 V 2 をかける。振動電圧 V 2 によって圧電素子 3 は軸方向に伸縮し、同時に、両端部に振動電圧 V 1 をかけることにより、振動体 2 が加振し定在波の波頭を筒状部材 1 に接触させる。これを繰り返すことにより、振動体 2 及び電圧素子 3 からなる移動体は、筒状部材 1 の軸方向に相対的に移動する。

【0062】

(第 6 の実施の形態)

図 12 は本発明の第 6 の実施の形態を示す断面図である。本実施の形態において前述の第 4 の実施の形態と異なり、電極 4 を 2 つに分割している。図 12 に示すように、両側の端部に 2 つの電極 (分割電極) 54 a、54 b が設けられている。また振動体 2 と圧電素子 3 の間に共通電極 7 を配置している。

【0063】

振動電圧 V 1 を電極 4 b に、振動電圧 V 2 を電極 4 a に印加する。振動電圧 V 2 によって圧電素子 3 は軸方向に伸縮し、同時に、両端部に振動電圧 V 1 をかけることにより、振動体 2 が加振し定在波の波頭を筒状部材 1 に接触させる。これを繰り返すことにより、振動体 2 及び電圧素子 3 からなる移動体は、筒状部材 1 の軸方向に相対的に移動する。

【0064】

振動体 2 とは別体に第 2 の電極 7 を設けているため、電気抵抗の低い材料、例えば銅や金などで電極を構成できる。電極を流れる電流による発熱を抑えることができるので、温度上昇を抑える効果がある。

【0065】

(第 7 の実施の形態)

図 13 は本発明の第 7 の実施の形態を示す断面図である。本実施の形態は、前述の第 4 の実施の形態の振動体 2 及び電圧素子 3 からなる移動体を、軸と垂直平面で半分に切断した形態となっている。駆動方法は第 4 の実施の形態と同じである。

【図面の簡単な説明】

【0066】

【図 1】第 1 の実施の形態におけるアクチュエータを示す断面図。

【図 2】図 1 の装置に進行波を発生させた様子を説明する模式図。

【図 3】図 1 の装置の製造方法を説明する模式図。

【図 4】第 1 の実施の形態における第 1、第 2 の変形例を示す断面図。

【図 5】第 2 の実施の形態におけるアクチュエータを示す断面図。

【図 6】第 3 の実施の形態におけるアクチュエータを示す断面図。

【図 7】第 4 の実施の形態におけるアクチュエータを示す断面図。

【図 8】図 7 の装置の駆動信号を説明する模式図。

【図 9】図 7 の装置の駆動方法を説明する模式図。

【図 1 0】第 4 の実施の形態のアクチュエータの変形例を示す断面図。

【図 1 1】第 5 の実施の形態におけるアクチュエータを示す断面図。

【図 1 2】第 6 の実施の形態におけるアクチュエータを示す断面図。

【図 1 3】第 7 の実施の形態におけるアクチュエータを示す断面図。

【図 1 4】従来例によるアクチュエータを示す模式図である。

【図 1 5】従来例によるアクチュエータを示す模式図である。

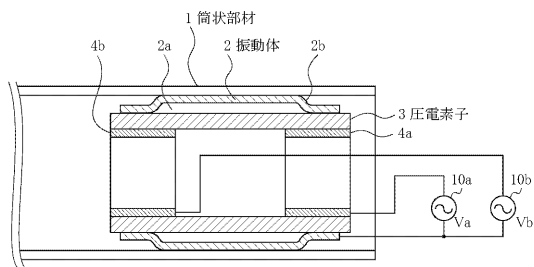
【符号の説明】

【 0 0 6 7 】

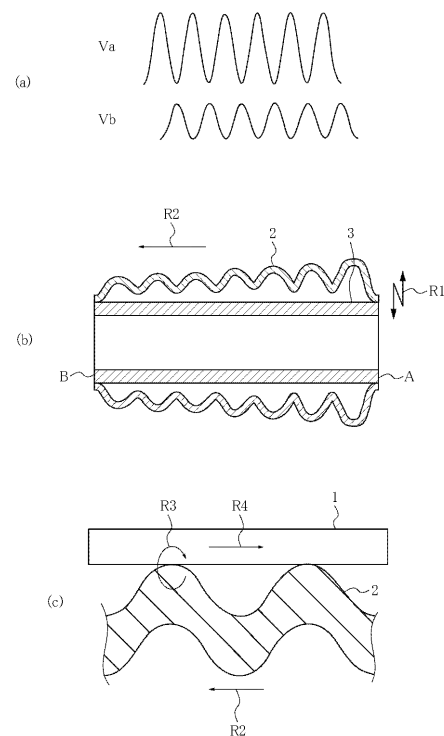
- 1、2 1 筒状部材
- 2、3 2 振動体
- 3、3 3 圧電素子
- 4、4 a、4 b、4 c 第 1 の電極
- 7 第 2 の電極
- 3 1 板状体

10

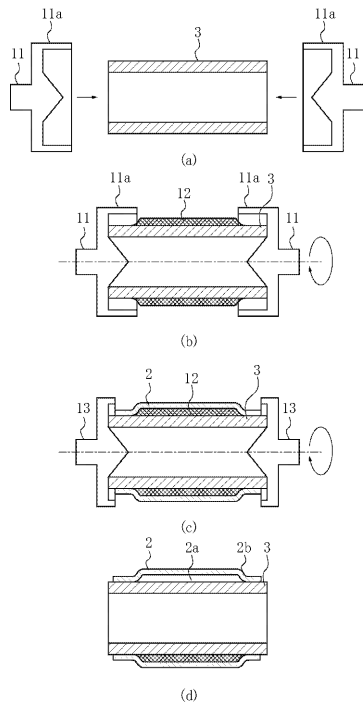
【図 1】



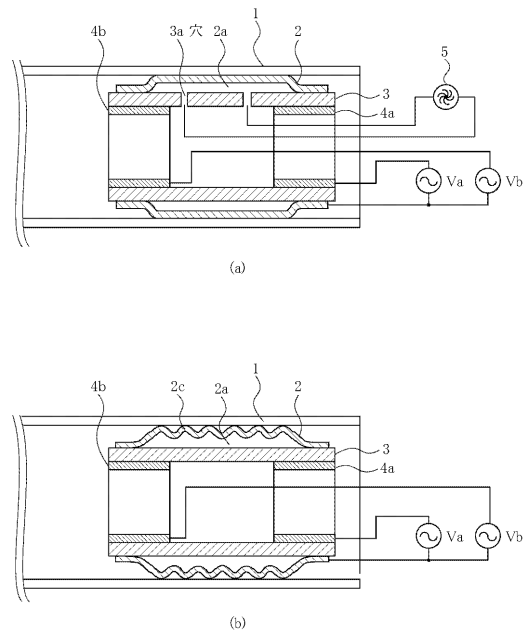
【図 2】



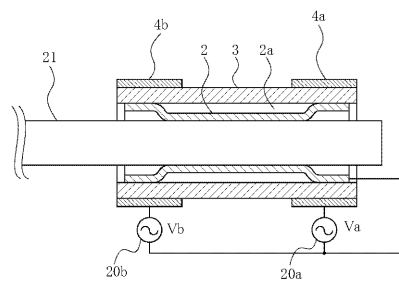
【図 3】



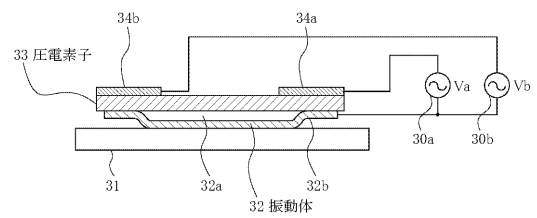
【図 4】



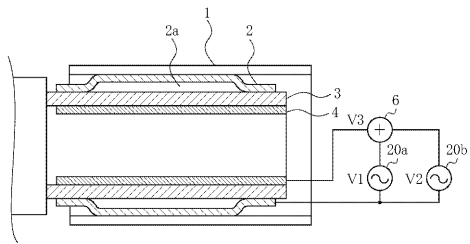
【図 5】



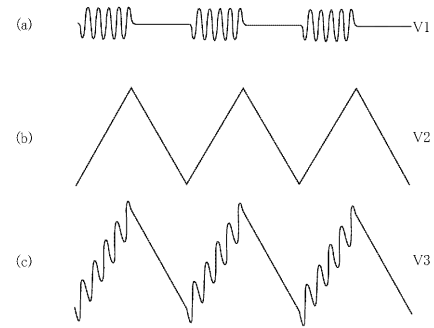
【図 6】



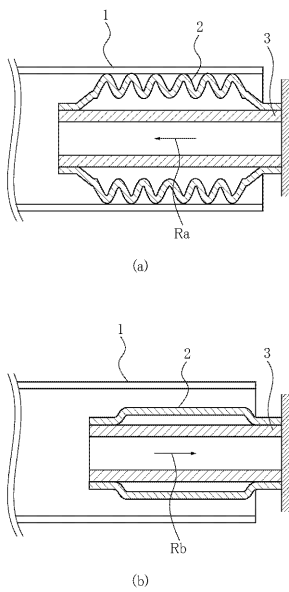
【図 7】



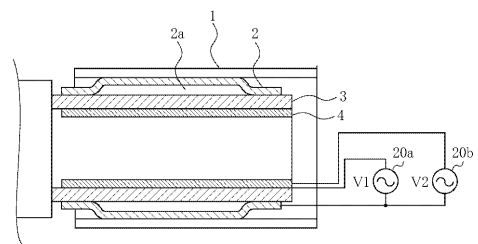
【図 8】



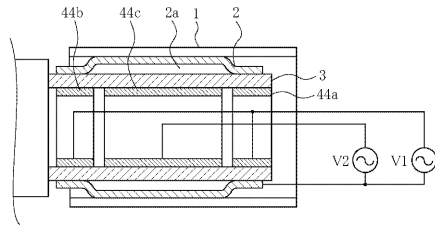
【図 9】



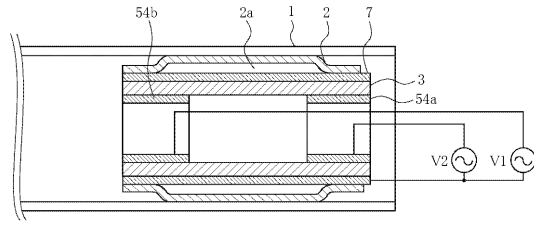
【図 10】



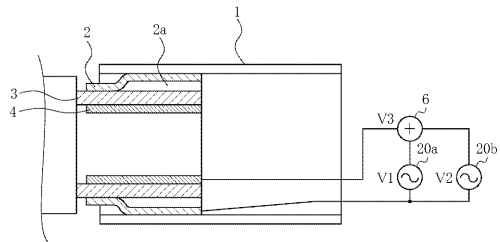
【図 1 1】



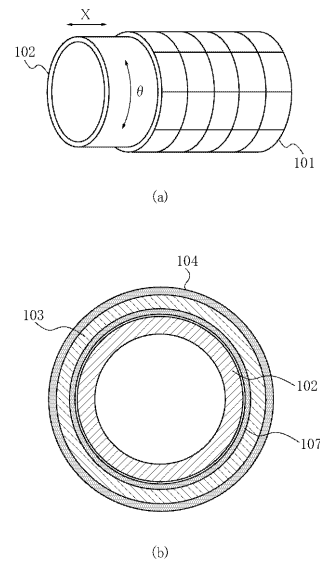
【図 1 2】



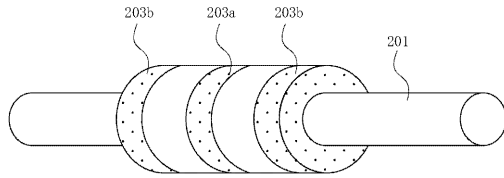
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 15】



フロントページの続き

- (72)発明者 孫 東明
神奈川県横浜市緑区長津田町4 2 5 9 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 汪 盛
神奈川県横浜市緑区長津田町4 2 5 9 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 根岸 真人
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 横松 孝夫
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 明正 謙
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

審査官 尾家 英樹

- (56)参考文献 特開2007-116889(JP,A)
特開平07-274559(JP,A)
特開2005-153110(JP,A)
特開平10-210776(JP,A)
特開平08-080068(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02N 2/00