

(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2007-306800

(P2007-306800A)

(43) 公開日 平成19年11月22日(2007.11.22)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
 HO2N 2/00 (2006.01) HO2N 2/00 C 5H680

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-221233 (P2007-221233)	(71) 出願人	000005821 松下電器産業株式会社
(22) 出願日	平成19年8月28日 (2007. 8. 28)		大阪府門真市大字門真1006番地
(62) 分割の表示	特願2007-525105 (P2007-525105) の分割	(74) 代理人	100077931 弁理士 前田 弘
原出願日	平成19年1月9日 (2007. 1. 9)	(74) 代理人	100110939 弁理士 竹内 宏
(31) 優先権主張番号	特願2006-4518 (P2006-4518)	(74) 代理人	100110940 弁理士 嶋田 高久
(32) 優先日	平成18年1月12日 (2006. 1. 12)	(74) 代理人	100113262 弁理士 竹内 祐二
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100115059 弁理士 今江 克実
		(74) 代理人	100115691 弁理士 藤田 篤史

最終頁に続く

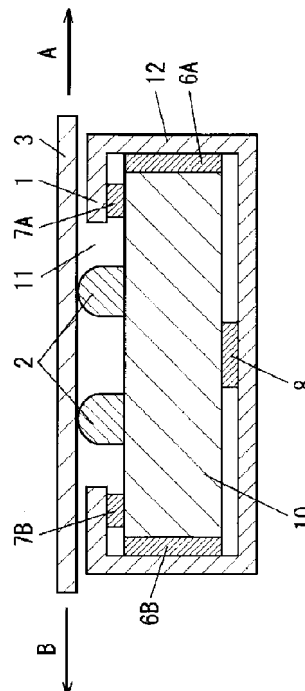
(54) 【発明の名称】 超音波アクチュエータ

(57) 【要約】

【課題】 小型で、かつハイパワーがかかった時においても破損しにくい超音波アクチュエータを提供する。

【解決手段】 超音波アクチュエータは、伸縮振動と屈曲振動とを行う圧電素子10と、圧電素子10に設けられ、該圧電素子10の振動に従って動作することで駆動力を出力する駆動子2、2と、圧電素子10を支持するケース12と、ケース12と圧電素子10との間に設けられ、圧電素子10の振動の非ノード部に対して圧電素子10に該振動の振動方向に圧縮力を予め付与する壁面支持体6A、6B、上面支持体7A、7B及び底面支持体8とを備えている。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

圧電素子で構成され、又は圧電素子を含んで構成され、振動方向が互いに異なる複数の振動を行うアクチュエータ本体と、

前記アクチュエータ本体に設けられ、該アクチュエータ本体の振動に従って動作することで駆動力を出力する駆動子と、

前記アクチュエータ本体を支持する基礎部と、

前記基礎部と前記アクチュエータ本体との間に設けられ、該アクチュエータ本体に該振動の振動方向へ圧縮力を予め付与する予圧手段とを備える超音波アクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、各種電子機器に用いられる振動アクチュエータに関するものであり、さらに詳しくは電気機械変換素子を用いた超音波アクチュエータに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来の超音波アクチュエータの分解斜視図を図 1 2 に示す。図 1 1 はこのような超音波アクチュエータに実装される圧電素子の斜視図である。

【0003】

圧電素子 1 0 は底面支持体 8 にてケース 1 2 に支持されており、この圧電素子 1 0 には、図 1 1 に示すように 4 分割電極 9 a、9 b、9 c、9 d が形成され、反対側の圧電素子全面には全面電極（図示せず）が形成されている。

20

【0004】

ワイヤー 4 a は、はんだ 5 a により電極 9 a と、はんだ 5 d により電極 9 d と接続されている。また、ワイヤー 4 b は、はんだ 5 b により電極 9 b と、はんだ 5 c により電極 9 c と接続されている。さらに、ワイヤー 4 g は、前記全面電極に接続されている。これらのワイヤー 4 a、4 b、4 g を通じて圧電素子 1 0 に電圧が加えられる。

【0005】

図 1 2 において、圧電素子 1 0 の上面には駆動子 2 が設けられ、その先端部は可動体 3 に接触している。この駆動子 2 の先端部は、前記底面支持体 8 により可動体 3 に押圧しており、これにより駆動子 2 の先端部と可動体 3 との摩擦力を高めて圧電素子 1 0 の振動を駆動子 2 を介してより確実に可動体 3 に伝搬させている。

30

【0006】

次に、この超音波アクチュエータの駆動方法について簡単に説明する。

【0007】

図 3 は圧電素子 1 0 の伸縮振動（所謂、縦振動。以下、縦振動ともいう。）の 1 次モードの変位図、図 4 は同屈曲振動の 2 次モードの変位図、図 5 (a) ~ (d) は、それぞれ圧電素子 1 0 の振動形態を説明するための概念図である。

【0008】

前記ワイヤー 4 g をグランドに接続し、前記ワイヤー 4 a には特定周波数の正弦波の基準電圧を、前記ワイヤー 4 b には基準電圧と位相が 9 0 °、または - 9 0 ° ずれた電圧を加える。すると、圧電素子 1 0 に図 3 に示す伸縮振動の 1 次モードおよび図 4 に示す屈曲振動の 2 次モードが誘起される。

40

【0009】

屈曲振動の共振周波数、および、伸縮振動の共振周波数はそれぞれ圧電素子 1 0 の材料、形状等により決定されるが、この二つの共振周波数を略一致させ、その近傍の周波数の電圧を加えることにより、圧電素子 1 0 には、屈曲振動 2 次モードと伸縮振動 1 次モードが調和的に誘起され、図 5 (a)、(b)、(c)、(d) に示す形状の変化を順番に起こす。

【0010】

50

その結果、圧電素子 10 に設けられた駆動子 2 が紙面方向から見て略楕円運動を起こす。つまり、圧電素子 10 の屈曲振動と伸縮振動の合成により駆動子 2 が楕円運動を起こす。この楕円運動により駆動子 2 に支持された可動体 3 が図 12 の矢印 A または矢印 B の方向に可動し、超音波アクチュエータとしての役割をなしている。

【0011】

なお、本出願の発明に関する先行技術文献情報としては、例えば、特許文献 1 が知られている。

【特許文献 1】特開 2005 - 94956 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0012】

前記特許文献 1 に記載された超音波アクチュエータは、駆動子を圧電素子と一体焼成することで、小型化およびコストダウンが可能なものであるが、超音波アクチュエータの形状を例えば 10 mm 以下のように小型化し、また、加えられるパワーが 10 mW と 10 W とハイパワー化したときに、超音波アクチュエータに加えられるひずみが弾性限界を超えてしまい、破損する虞があるという課題がある。

【0013】

そこで本発明は、小型で、かつハイパワーがかかった時においても破損しにくい超音波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】

20

【0014】

この目的を達成するために、本発明の超音波アクチュエータは、圧電素子で構成され、又は圧電素子を含んで構成され、振動方向が互いに異なる複数の振動を行うアクチュエータ本体と、前記アクチュエータ本体に設けられ、該アクチュエータ本体の振動に従って動作することで駆動力を出力する駆動子と、前記アクチュエータ本体を支持する基礎部と、前記基礎部と前記アクチュエータ本体との間に設けられ、該アクチュエータ本体の振動の非ノード部に対して該アクチュエータ本体に該振動の振動方向に圧縮力を予め付与する予圧手段とを備えることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0015】

30

本発明の超音波アクチュエータは、予め圧電素子の非ノード部に圧縮力が加えられているので、超音波アクチュエータの作動時に圧電素子に生じる引張応力を小さくすることができ、小型の超音波アクチュエータであってもハイパワーがかかった時において圧電素子が破損しにくいという優れた作用効果を有する。さらに、予圧手段による圧縮力を調整することにより、複数の振動の共振周波数を調整することが可能となるため、ばらつきの少ない超音波アクチュエータを提供することができるという効果も有する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。

【0017】

40

図 1 は、本実施形態における超音波アクチュエータの分解斜視図、図 2 は、同断面図である。この超音波アクチュエータは、その長さ、幅が 10 mm 以下の小型のものである。

【0018】

図 1 において、圧電素子 10 は略直方体で、一对の主面（前面及び後面）と、これに直交する長さ方向の両端面と、主面と端面に直交する上面および下面とを有している。圧電素子 10 は、ケース 12 の内部に収容されており、圧電素子 10 の長さ方向の両端面と対向するケース 12 の内壁面には壁面支持体 6 A、6 B が設けられている。

【0019】

このケース 12 の内底面における、圧電素子 10 の下面の長さ方向の中央部と対向する位置には底面支持体 8 が設けられて圧電素子 10 を支持している。また、ケース 12 の上

50

部には、開口部 11 が設けられており、この開口部 11 に張り出した張出部 1 がケース 12 に設けられている。そして張出部 1 と圧電素子 10 の上面との間にも上面支持体 7A, 7B が設けられている。この圧電素子 10 がアクチュエータ本体を構成すると共に、ケース 12 が基礎部を構成する。

【0020】

前記圧電素子 10 の前面には、給電電極 9 が設けられており、この給電電極 9 にはんだ 5 を介してワイヤー 4 が接続されている。ワイヤー 4 は、ケース 12 に設けられた貫通孔（図示せず）から外部へ導出されている。このワイヤー 4 を通じて圧電素子 10 の給電電極 9 に電圧を加えることにより圧電素子 10 が印加電圧の周波数に応じて振動する。

【0021】

前記はんだ 5 が設けられている圧電素子 10 の部位は、後述する伸縮振動および屈曲振動のノード（節）部周辺であり、ワイヤー 4 を接続する部位としてこのノード部を使用することにより圧電素子 10 の振動におよぼす悪影響、すなわち、はんだ 5 形成による圧電素子 10 への不要な負荷をできるだけ抑制することができる。

【0022】

前記圧電素子 10 の上面には、2つの駆動子 2, 2 が設けられている。各駆動子 2 は、圧電素子 10 の振動に従って動作することで駆動力を出力する。これら駆動子 2, 2 は、ケース 12 の上部に設けられた開口部 11 から突出している。各駆動子 2 は、圧電素子 10 に接着され、容易に分離できなくなっている。

【0023】

このように構成された超音波アクチュエータは、図 2 に示すように、駆動子 2, 2 が可動体 3 と当接するように配設される。このとき、超音波アクチュエータは、駆動子 2, 2 が可動体 3 に押圧されるように、その底面から所定の押圧力（例えば、1 N）を加えられた状態で配設されている。

【0024】

次に、前記構成の超音波アクチュエータの動作について説明する。図 5 は本発明の超音波アクチュエータの圧電素子 10 の動作を示す概念図、図 3 は伸縮振動の 1 次モードの変位図、図 4 は屈曲振動の 2 次モードの変位図である。

【0025】

図 1 に示した超音波アクチュエータの底面から所定の押圧力（例えば、1 N）を加えて駆動子 2 を可動体 3 に押し付けた状態で、前記ワイヤー 4 を介して圧電素子 10 の特定の給電電極に特定の周波数の交流電圧を加えることによって、圧電素子 10 には、図 3 に示す伸縮振動の 1 次モード、および図 4 に示す屈曲振動の 2 次モードが誘起される。屈曲振動の共振周波数および伸縮振動の共振周波数はそれぞれ圧電素子 10 の材料、形状等により決定されるが、この 2 つの共振周波数を略一致させ、その近傍の周波数の電圧を、4 つの給電電極 9 のうち、圧電素子 10 の対角線上に位置する給電電極にそれぞれ位相が 90°。又は -90° ずらして加えることにより、圧電素子 10 は、屈曲振動 2 次モードと伸縮振動 1 次モードとが調和的に誘起される。ここで、伸縮振動 1 次モードの振動方向は、可動体 3 の可動方向（即ち、超音波アクチュエータが出力する駆動力の駆動方向）であり、屈曲振動 2 次モードの振動方向は、可動体 3 の可動方向とは垂直方向で且つ圧電素子 10 と可動体 3 を結ぶ方向（駆動子 2 が可動体 3 を支持する方向）である。

【0026】

そして、圧電素子 10 は、図 5 (a)、(b)、(c)、(d) に示す形状の変化を順番に起こし、その結果、圧電素子 10 に設けられた各駆動子 2 が紙面方向から見て略楕円運動を起こす。すなわち、圧電素子 10 の屈曲振動と伸縮振動との合成により各駆動子 2 が楕円運動を起こす。駆動子 2, 2 に支持された（即ち、駆動子 2, 2 が当接した）可動体 3 が、この楕円運動によって図 2 矢印 A または矢印 B の方向に駆動される。こうして、本実施形態に係る超音波アクチュエータは、アクチュエータとしての役割をなしている。

【0027】

このような構成の超音波アクチュエータに係る圧電素子 10 は、複数の振動の腹を有す

10

20

30

40

50

る。ここで、振動の腹とは振動の変位が極大となる箇所であり、本実施形態においては振動の腹の部分は圧電素子10の長さ方向の両端面に位置する計2箇所の伸縮振動の腹と、圧電素子10の上面および下面の両端部の4箇所、さらに上面および下面における両端部から圧電素子10の長さ方向の30~40%内側の部分の4箇所の計8箇所の屈曲振動の腹とがある。すなわち、この超音波アクチュエータは、伸縮振動の腹と屈曲振動の腹とを合わせて10箇所の振動の腹がある。

【0028】

そして、前記駆動子2, 2は、図1, 2に示すように、10箇所の振動の腹のうち、圧電素子10の上面における両端部から長さ方向の30~40%の部分に設けられている。

【0029】

また、前記壁面支持体6A, 6Bは、10箇所の振動の腹のうち、圧電素子10の長さ方向両端面にそれぞれ設けられている。前記上面支持体7A, 7Bは、10箇所の振動の腹のうち、圧電素子10の上面における両端部にそれぞれ設けられている。

【0030】

尚、前記底面支持体8は、圧電素子10の下面における長手方向中央部に設けられている。

【0031】

これら前記壁面支持体6A, 6Bと上面支持体7A, 7Bと底面支持体8によって圧電素子10の非ノード部、さらに詳しくは振動の腹に予め応力、即ち、圧縮力を加えている。つまり、これら壁面支持体6A, 6Bと上面支持体7A, 7Bと底面支持体8とが予圧手段を構成する。ここで、「非ノード部」とは、振動の節(ノード)以外の部分を意味する。

【0032】

即ち、圧電素子10の長さ方向両端面に設けられた一对の壁面支持体6A, 6Bにより圧電素子10を挟むように伸縮振動の腹の部分を圧電素子10の伸縮振動の振動方向と平行に応力がかかった状態、即ち、圧縮力が作用した状態で支持すると共に、張出部1に設けた上面支持体7A, 7Bと底面支持体8とにより圧電素子10の屈曲振動の腹の部分を、屈曲振動の振動方向と平行に応力がかかった状態、即ち、圧縮力が作用した状態で支持している。

【0033】

このとき、底面支持体8は圧電素子10の長手方向中央部に位置する一方、上面支持体7A, 7Bは圧電素子10の長手方向中央部からそれぞれ両端部に向かって同じ距離だけ離れた部分に位置する。こうすることで、圧電素子10に対して屈曲振動の振動方向に作用する圧縮力は、圧電素子10の長手方向においてその中央部を中心に線対称に作用している。

【0034】

このように構成された超音波アクチュエータは、換言すれば、可動体3の駆動方向に対して垂直方向に振動する第1の振動モードと、前記可動体3の駆動方向に対して平行方向に振動する第2の振動モードを利用して、前記可動体3との間で相対運動を生じさせるものであって、少なくとも圧電素子10と、前記圧電素子10へ給電する圧電素子10上の電極9と、前記圧電素子10上に形成され、前記圧電素子10に第1および第2の振動モードを調和的に発生させることにより楕円運動することで前記可動体3を摩擦駆動する駆動子2, 2を備え、前記圧電素子10上の前記第1の振動モードおよび第2の振動モードの腹を含む位置の少なくとも1箇所に、その振動方向と平行に応力を加えている。

【0035】

前記壁面支持体6A, 6Bと上面支持体7A, 7Bと底面支持体8とは、いずれも弾性体よりなる。

【0036】

この弾性体は、圧電素子10及びケース12より弾性の低いものが用いられる。具体的には、エラストマー、シリコンゴム、板バネなどが挙げられる。圧電素子10と比較し

10

20

30

40

50

て1/100以下の弾性率を有する弾性体を用いることにより、圧電素子10の振動を妨げず、効率のよい超音波アクチュエータを提供することができる。また、特にシリコンゴムは、周囲の温度が変わっても、その弾性係数は比較的变化しにくいので、超音波アクチュエータの信頼性が向上する。

【0037】

さて、圧電素子10はセラミックや水晶などの脆性材料で構成されるが、この脆性材料の特徴として圧電素子10の圧縮強さは、引張強さと比較して数倍ある。超音波アクチュエータを駆動する場合、圧電素子10を共振により振動させることで、圧電素子10の内部には、圧縮応力と引張応力とが同じ値だけ発生する。超音波アクチュエータへの印加電圧を上げるなどして10mW~10W程度のハイパワーを入力すると、超音波アクチュエータの変位が大きくなって過度の応力が生じる。そうすると、引張応力により圧電素子10に加えられるひずみが弾性限界を超えてしまい、圧電素子10が破損に至る場合がある。

10

【0038】

しかし、本実施形態では、圧電素子10の振動の腹に予め圧縮力が加えられているので、圧電素子10に発生する圧縮応力と比較して引張応力が小さくなり、超音波アクチュエータの変位が大きくなって、引張応力によるひずみが圧電素子10の弾性限界を超えにくくなり、信頼性が向上する。

【0039】

加える圧縮力は、大きいほど信頼性の向上には効果を発揮するが、あまり大きすぎると、屈曲振動を妨げてしまうので、超音波アクチュエータの押圧力の1倍~10倍程度を加えることが望ましい。押圧力は長さ数mm程度の超音波アクチュエータの場合、通常0.1N~10N程度であるので、加える圧縮力による圧電素子全体にかかる力は、0.1N~100N程度になる。押圧力は、通常超音波アクチュエータの体積が増えれば、その体積に応じて増加させる。

20

【0040】

また、圧電素子10に加える圧縮力は、圧電素子10を挟んで対称となる位置に加えることが好ましい。そのことにより、屈曲振動および伸縮振動の対称性が維持されるので、駆動子2の楕円運動が安定し、安定した超音波アクチュエータ特性が得られる。具体的には、長さ方向への伸縮振動の振動方向に対して平行に圧縮力を加える場合は、圧電素子10の幅方向及び厚み方向において対称となるように加えるのが好ましい。また、幅方向への屈曲振動の振動方向に対して平行に圧縮力を加える場合は、圧電素子10の長さ方向及び厚み方向において対称となるように圧縮力を加えるのが好ましい。

30

【0041】

なお、底面支持体8は、圧電素子10の長さ方向中央部の底面に配置したが、上面支持体6と同じく、圧電素子10の長さ方向の底面角部の屈曲振動の腹の位置に配置しても良い。

【0042】

なお、圧縮力を加える部分は、振動の腹の部分のみで説明したが、一部の弾性体は腹の部分を含む広い範囲を支持し、圧縮力を加えてもよい。

40

【0043】

また、本発明における別の効果として、超音波アクチュエータの動作特性を安定化させることができるという効果を有する。

【0044】

詳しく説明すると、超音波アクチュエータは、圧電素子10に屈曲振動と伸縮振動とを調和的に誘起させることで駆動子2, 2に楕円運動を発生させるが、超音波アクチュエータの特性は、屈曲振動の共振周波数と伸縮振動の共振周波数との相対関係により大きく異なり、屈曲振動の共振周波数と伸縮振動の共振周波数との相対関係が設計値からずれると特性が大きく変わってしまう。

【0045】

50

本実施形態のように超音波アクチュエータを可動体 3 に押圧する構成においては、特に屈曲振動は、その振動方向が超音波アクチュエータを可動体 3 に押圧する方向と同一になるので、超音波アクチュエータにかかる実際の押圧力の反力が駆動子 2, 2 を介して圧電素子 10 に作用して共振周波数が変化しやすい。外部から加える超音波アクチュエータへの押圧力を一定にした場合においても、超音波アクチュエータによって可動体 3 を駆動する際に、可動体 3 の位置が変化したり、各駆動子 2 と可動体 3 との接触状態が変化したりするため、超音波アクチュエータに実質的にかかる押圧力が変化し、即ち、圧電素子 10 に作用する反力が変化し、屈曲振動の共振周波数が変化する。その結果、伸縮振動と屈曲振動との共振周波数の相対関係が変化し、超音波アクチュエータの特性が不安定になる課題が従来あった。

10

【0046】

そこで、本発明の超音波アクチュエータでは、特に屈曲振動の腹の部分にあらかじめ圧縮力を付与している。このように、圧電素子 10 に予め圧縮力を作用させておくことによって、予め圧縮力を作用させていない構成と比較して、可動体 3 からの反力の変化が圧電素子 10 の屈曲振動の共振周波数に与える影響が小さくなり、安定した超音波アクチュエータの特性が得られる。従って、予め加えられる圧縮力による圧電素子 10 全体にかかる力は、超音波アクチュエータの押圧力より大きいことが望ましい。こうすることによって、圧電素子 10 に作用する反力による該圧電素子 10 の共振周波数への影響を相対的に小さくすることができる。

【0047】

20

本発明のさらに別の効果として、圧電素子 10 に予め付与する圧縮力の大きさを調整する（具体的には、圧縮力を加える弾性体を調整する）ことにより、伸縮振動と屈曲振動との共振周波数の差（即ち、相対関係）を調整できるという優れた機能がある。即ち、圧電素子 10 の伸縮振動 1 次モードの共振周波数 [Hz] と屈曲振動 2 次モードの共振周波数 [Hz] は、おおよそ以下の式 (1) および式 (2) で表される。

【0048】

【数 1】

$$f_{L1} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

30

【0049】

【数 2】

$$f_{B2} = \frac{7.853W}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E}{12\rho}} \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

【0050】

40

式 (1)、(2) で、L は圧電素子 10 の伸縮振動の振動方向の長さ [m]、W は圧電素子 10 の屈曲振動の振動方向の長さ [m]、E は圧電素子 10 のヤング率 [Pa]、 ρ は圧電素子 10 の密度 [kg / m³] である。しかしながら、実際の共振周波数は、製造工程上に起因するばらつきや、圧電素子 10 上に接着される駆動子の大きさ、接着される位置のばらつき等によって変動してしまう。

【0051】

そこで、圧電素子 10 上に圧縮力を加えることで、共振周波数、特に屈曲振動 2 次モードの共振周波数を変更させ、所望の共振周波数に近づける。

【0052】

以下、具体的に周波数調整方法を示す。予め圧電素子 10 上に駆動子 2 を形成した状態

50

で、圧電素子の伸縮振動の振動方向の両側の端面から素子の中央部に向かって対向する方向に予め決められた標準的な所定の圧縮力を加えて、屈曲振動２次モードの共振周波数 f_{B2} と伸縮振動一次モードの共振周波数 f_{L1} とを測定する。このとき、設計上は一致している屈曲振動と伸縮振動の共振周波数であるが、物づくり（製造時及び組立時）のばらつきにより、若干差異が生じている場合がある。

【 0 0 5 3 】

圧電素子 10 は、シリコンゴムなどで形成された壁面支持体 6 A、6 B により伸縮振動の振動方向と同一方向より圧電素子 10 の両端面から中心部に向かって対向する方向に圧縮力を加えた状態で実装されるが、このとき壁面支持体 6 A、6 B の圧縮される方向と垂直方向（即ち、圧電素子 10 の短手方向、又は図 2 の上下方向）の寸法が異なる数種類の壁面支持体 6 A、6 B を用意しておく。そして圧電素子 10 をケースに実装するときの壁面支持体 6 A、6 B の寸法を変えることで、圧電素子 10 に加わる圧縮力を変えることにより、屈曲振動２次モードの共振周波数を変えることができる。

10

【 0 0 5 4 】

図 6 ~ 図 8 は、周波数調整後の超音波アクチュエータの断面図である。圧電素子 10 は、壁面支持体 6 A、6 B によって支持されている。

【 0 0 5 5 】

屈曲振動の共振周波数 f_{B2} と伸縮振動の共振周波数 f_{L1} との差が僅差（ $f_{B2} \sim f_{L1}$ ）であるときには、図 6 に示すように、そのまま所定の標準的寸法の壁面支持体 6 A、6 B により圧電素子 10 をケース 12 に組み込む。屈曲振動の共振周波数 f_{B2} が伸縮振動の共振周波数 f_{L1} よりも小さい（ $f_{B2} < f_{L1}$ ）ときには、図 7 に示すように、前記標準的寸法よりも大きい寸法の壁面支持体 6 A、6 B により圧電素子 10 をケース 12 に組み込み、圧電素子 10 に標準状態より大きな圧縮力を加える。屈曲振動の共振周波数 f_{B2} が伸縮振動の共振周波数 f_{L1} よりも大きい（ $f_{B2} > f_{L1}$ ）ときには、図 8 に示すように、前記標準的寸法よりも小さい寸法の壁面支持体 6 A、6 B により圧電素子 10 をケース 12 に組み込み、標準状態より小さい圧縮力を加える。こうすることにより、物づくり上のばらつきがあっても、伸縮振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数とを略一致させることができる。

20

【 0 0 5 6 】

なお、前記方法では、伸縮振動の振動方向からのみ圧縮力を加えた状態で予め共振周波数を測定したが、超音波アクチュエータを可動体 3 に対して押圧して配置し、駆動子 2、2 を可動体 3 に摩擦接触させた状態で、共振周波数を測定した方がより精度が高くなる。

30

【 0 0 5 7 】

また、壁面支持体 6 A、6 B の大きさにより、圧電素子 10 に加える圧縮力を調整したが、壁面支持体 6 A、6 B の材質を変更することで圧電素子 10 にかかる圧縮力を調整したり、ケース 12 の寸法を変更することで圧電素子 10 にかかる圧縮力を調整してもよい。

【 0 0 5 8 】

また、伸縮振動の振動方向より圧縮力を加えて周波数の調整を行ったが、屈曲振動の振動方向より圧縮力を加えて、共振周波数の調整を行ってもよい。すなわち、上面支持体 7 A、7 B 及び / 又は底面支持体 8 の寸法、材質等を変えることによって共振周波数の調整を行ってもよい。

40

【 0 0 5 9 】

前記方法では、周波数を調整することで、伸縮振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数とを略一致させたが、屈曲振動の共振周波数を伸縮振動の共振周波数よりあえて低く調整してもよい。このような超音波アクチュエータにおいては、伸縮振動の共振周波数と屈曲振動の共振周波数とを厳密に一致させることが難しい。そこで、かかる超音波アクチュエータは、通常、伸縮振動の共振周波数及び屈曲振動の共振周波数の何れよりも高い駆動周波数で駆動される（即ち、圧電素子 10 の各給電電極 9 には伸縮振動の共振周波数及び屈曲振動の共振周波数よりも高い周波数の交流電圧が印加される）。そのような場合にお

50

いて、伸縮振動の共振周波数を屈曲振動の共振周波数よりも高く調整すると、伸縮振動の共振周波数の方が屈曲振動の共振周波数よりも駆動周波数に近いいため、圧電素子10には伸縮振動の方がより支配的に発生する。この伸縮振動の振動方向は可動体3の可動方向と一致しているため、伸縮振動は超音波アクチュエータの最高速度に大きな影響を与える。つまり、伸縮振動の共振周波数を屈曲振動の共振周波数よりも高く設定することによって、雰囲気温度等の変化により圧電素子10の伸縮振動及び屈曲振動の共振周波数が変化したときでも、圧電素子10には伸縮振動が支配的に発生するため、駆動周波数を変更して駆動したときの超音波アクチュエータの最高速度が変化しにくいという利点がある。

【0060】

また、周波数を調整するときに、屈曲振動の共振周波数を伸縮振動の共振周波数よりあえて高く調整してもよい。前述の如く、振動方向が異なる2つの振動(伸縮振動と屈曲振動)を発生させる超音波アクチュエータは、通常、伸縮振動の共振周波数及び屈曲振動の共振周波数の何れよりも高い駆動周波数で駆動される。一般に、屈曲振動の帯域幅は狭い。そのため、屈曲振動の共振周波数を伸縮振動の共振周波数よりも高く調整することによって、屈曲振動の共振周波数が伸縮振動の共振周波数よりも低い場合と比較して、屈曲振動の共振周波数が駆動周波数に近づくため、圧電素子10に屈曲振動を十分に発生させることができる。一方、伸縮振動の帯域幅は屈曲振動の帯域幅よりも広いため、伸縮振動の共振周波数が駆動周波数から離れていても、圧電素子10に伸縮振動を発生させることができる。また、駆動周波数が伸縮振動の共振周波数から離れることになると、駆動周波数を変更して超音波アクチュエータを駆動したときの最高速度の変化は、共振周波数の近傍で駆動周波数を変化させる場合と比較して、緩やかになる。そのため、超音波アクチュエータを低速域まで安定して動作させることができるという利点がある。

【0061】

また、周波数を調整するときに壁面支持体6A、6Bの両方の大きさを変えたが、片方のみの大きさを変えて、圧電素子10にかかる圧縮力を調整してもよい。

【0062】

《その他の実施形態》

本発明は、前記実施形態について、以下のような構成としてもよい。

【0063】

すなわち、前記実施形態では、超音波アクチュエータの駆動力が付与されて駆動される可動体3は平板状であるが、これに限られるものではなく、可動体の構成としては任意の構成を採用することができる。例えば、図9に示すように、可動体は所定の軸X回りに回動可能な円板体31であり、超音波アクチュエータの駆動子2,2が該円板体31の側周面31aに当接するように構成されていてもよい。かかる構成の場合、超音波アクチュエータを駆動すると、駆動子2,2の概略楕円運動によって、該円板体31が所定の軸X回りに回動させられる。また、図10に示すように、可動体は所定の軸X回りに回動可能な円板体32であり、超音波アクチュエータの駆動子2,2が該円板体32の平面部32aに当接するように構成されていてもよい。かかる構成の場合、超音波アクチュエータを駆動すると、駆動子2,2の概略楕円運動によって、該円板体32が駆動子2,2と当接部における接線方向に駆動され、結果として該円板体32が所定の軸X回りに回動させられる。

【0064】

また、前記実施形態では、圧電セラミック板の表裏にのみ電極を形成する単板構成で説明したが、圧電セラミック板と内部電極を交互に積層する積層構造でも同様の効果が得られる。

【0065】

また、今回は圧電素子10自体が伸縮振動と屈曲振動とを調和的に発生させていたが、金属などの基板に圧電素子10を貼り付けた構成や、金属などで共振器を形成し、圧電素子10を挟み込んだ構成の場合でも同様の効果が得られる。この場合、圧電素子を含んで構成された共振器がアクチュエータ本体を構成し、該共振器をケース内において予め圧縮

力を付与した状態に配置する。

【0066】

また、前記実施形態では、圧電素子10の伸縮振動と屈曲振動との両方の腹の部分に圧縮力を加えているが、圧電素子10の材質及び超音波アクチュエータ駆動時の圧電素子10の変形量等を考慮して、破損する可能性が比較的高い方の振動方向の腹の部分にだけ圧縮力を加えるように構成してもよい。

【0067】

尚、以上の実施形態は、本質的に好ましい例示であって、本発明、その適用物、あるいはその用途の範囲を制限することを意図するものではない。

【0068】

《その他》

本明細書中に記載の超音波アクチュエータは、以下のようにも表現できる。

【0069】

(1) 圧電素子で構成され、又は圧電素子を含んで構成され、振動方向が互いに異なる複数の振動を行うアクチュエータ本体と、

前記アクチュエータ本体に設けられ、該アクチュエータ本体の振動に従って動作することで駆動力を出力する駆動子と、

前記アクチュエータ本体を支持する基礎部と、

前記基礎部と前記アクチュエータ本体との間に設けられ、該アクチュエータ本体の振動の非ノード部に対して該アクチュエータ本体に該振動の振動方向に圧縮力を予め付与する予圧手段とを備える超音波アクチュエータ。

【0070】

(2) 前記予圧手段は、前記アクチュエータ本体における前記駆動子が設けられた位置とは異なる位置に設けられている(1)記載の超音波アクチュエータ。

【0071】

(3) 前記予圧手段は、前記アクチュエータ本体における前記振動の腹の位置に設けられている(1)記載の超音波アクチュエータ。

【0072】

(4) 前記予圧手段は、前記アクチュエータ本体の中心を挟んで両側から該アクチュエータ本体に圧縮力を付与する(1)記載の超音波アクチュエータ。

【0073】

(5) 前記予圧手段は、弾性体を有し、該弾性体の弾性力によって圧縮力を付与する(1)記載の超音波アクチュエータ。

【0074】

(6) 前記弾性体は、その弾性率が前記圧電素子の弾性率の1/100以下である(5)記載の超音波アクチュエータ。

【0075】

(7) 前記弾性体は、シリコンゴムである(5)記載の超音波アクチュエータ。

【0076】

(8) 駆動力を付与する対象となる可動体に対して前記駆動子が押圧された状態で配設され、

前記予圧手段により付与される圧縮力は、前記駆動子を前記可動体に対して押圧する押圧力よりも大きい(1)記載の超音波アクチュエータ。

【0077】

(9) 前記アクチュエータ本体は、2次の屈曲振動と1次の縦振動とを行う(1)記載の超音波アクチュエータ。

【0078】

(10) 前記アクチュエータ本体は、振動方向が互いに異なる第1の振動と第2の振動とを行うと共に、前記予圧手段の圧縮力によって該第1の振動の共振周波数と該第2の振動の共振周波数とが一致するように構成されている(1)記載の超音波アクチュエータ。

10

20

30

40

50

【0079】

(11) 前記アクチュエータ本体は、振動方向が互いに異なる第1の振動と第2の振動とを行うと共に、前記予圧手段の圧縮力によって該第2の振動の共振周波数が該第1の振動の共振周波数よりも高くなるように構成されている(1)記載の超音波アクチュエータ。

【0080】

(12) 前記第1の振動は、前記駆動力の方向と平行な縦振動であり、前記第2の振動は、屈曲振動である(11)記載の超音波アクチュエータ。

【0081】

(13) 前記第2の振動は、前記駆動力の方向と平行な縦振動であり、前記第1の振動は、屈曲振動である(11)記載の超音波アクチュエータ。

10

【産業上の利用可能性】

【0082】

本発明の超音波アクチュエータは、予め圧電素子の振動の腹に圧縮力が加えられているので、超音波アクチュエータの作動時に圧電素子に生じる引張応力を小さくすることができ、長さや幅が10mm以下のように小型の超音波アクチュエータであっても、10mW~10W程度のハイパワーがかかった時において圧電素子が破損しにくいという優れた作用効果を有する。さらに、圧縮力を加える弾性体を調整することにより、各振動の共振周波数を調整することが可能となるため、ばらつきの少ない超音波アクチュエータを提供することができるという効果も有し、特に、小型化が要求される電子機器等に有用である。

20

【図面の簡単な説明】

【0083】

【図1】図1は、本発明の実施形態に係る超音波アクチュエータの分解斜視図である。

【図2】図2は、超音波アクチュエータの断面図である。

【図3】図3は、伸縮振動の1次モードの変位図である。

【図4】図4は、屈曲振動の2次モードの変位図である。

【図5】図5の(a)~(d)は、それぞれ圧電素子の動作を説明する概念図である。

【図6】図6は、標準的寸法の支持部により圧縮力を付与した状態で支持された超音波アクチュエータの断面図である。

【図7】図7は、標準的寸法よりも大きな寸法の支持部により周波数を調整した超音波アクチュエータの断面図である。

30

【図8】図8は、標準的寸法よりも小さな寸法の支持部により周波数を調整した超音波アクチュエータの断面図である。

【図9】図9は、その他の実施形態に係る超音波アクチュエータの斜視図である。

【図10】図10は、別のその他の実施形態に係る超音波アクチュエータの斜視図である。

【図11】図11は、従来の超音波アクチュエータの圧電素子の斜視図である。

【図12】図12は、従来の超音波アクチュエータの分解斜視図である。

【符号の説明】

【0084】

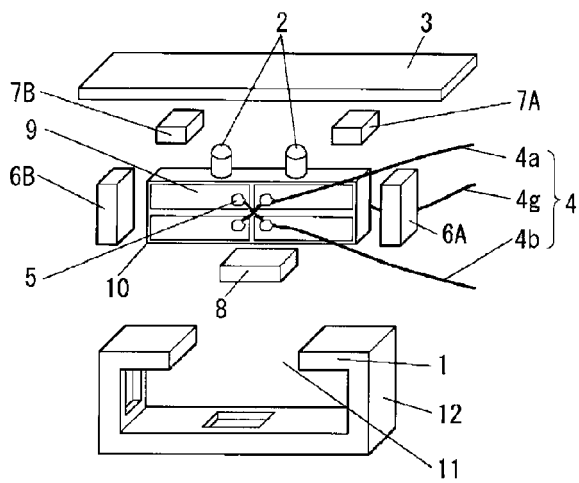
- 1 張出部
- 2 駆動子
- 3 可動体
- 4、4a、4b、4g ワイヤ
- 5、5a、5b、5c、5d はんだ
- 6A、6B 壁面支持体
- 7A、7B 上面支持体
- 8 底面支持体
- 9a、9b、9c、9d 給電電極
- 10 圧電素子

40

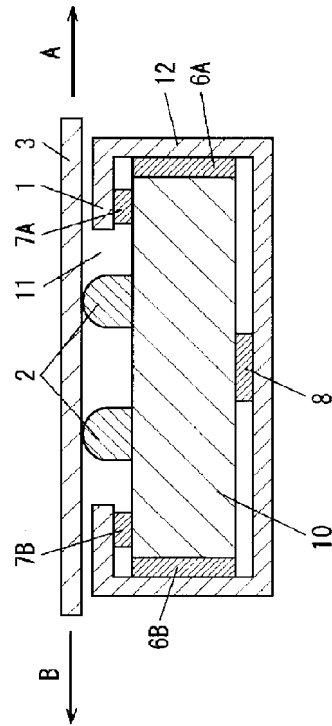
50

- 1 1 開口部
- 1 2 ケース

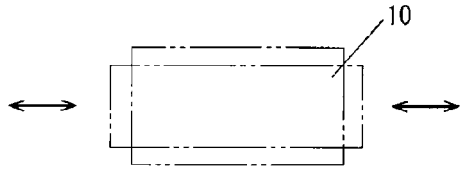
【図1】



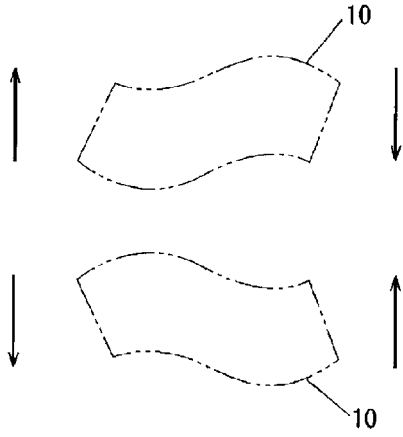
【図2】



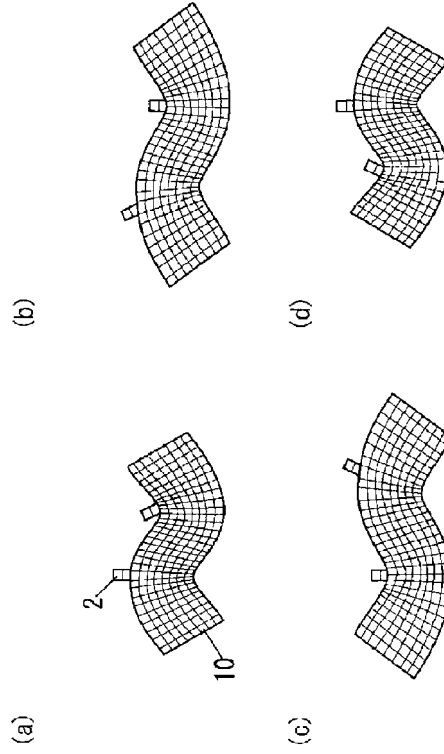
【 図 3 】



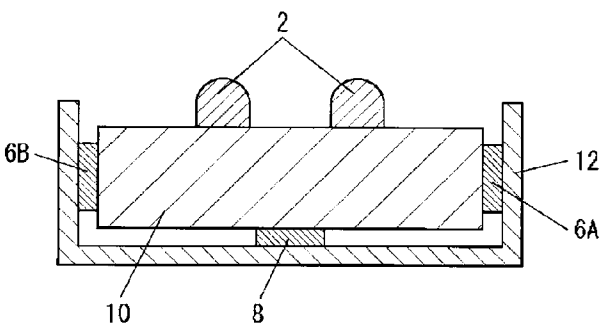
【 図 4 】



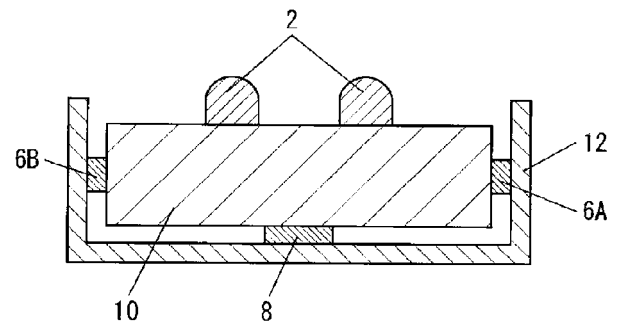
【 図 5 】



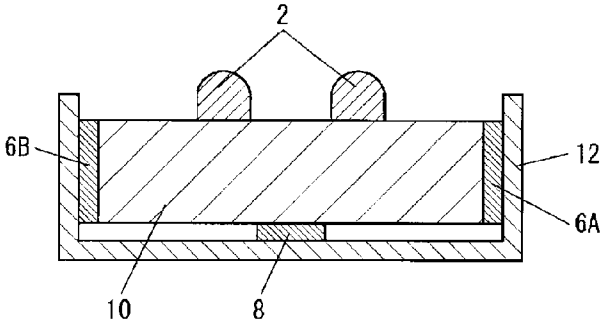
【 図 6 】



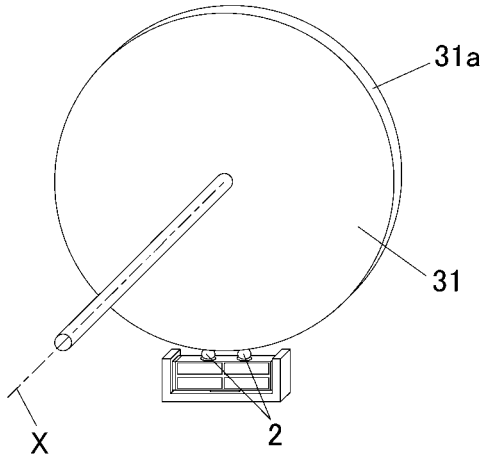
【 図 8 】



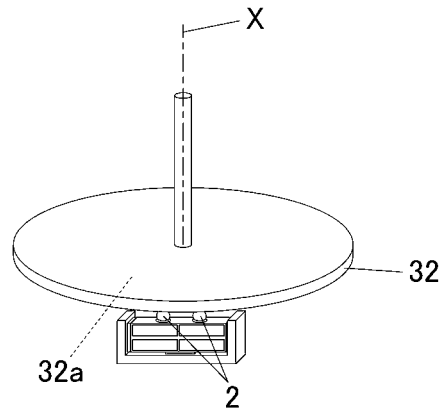
【 図 7 】



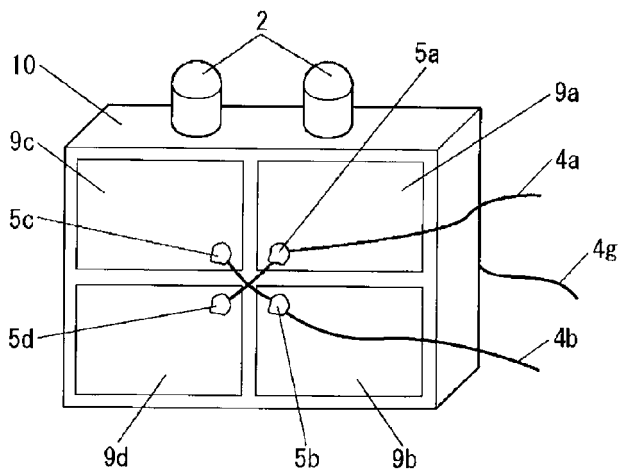
【 図 9 】



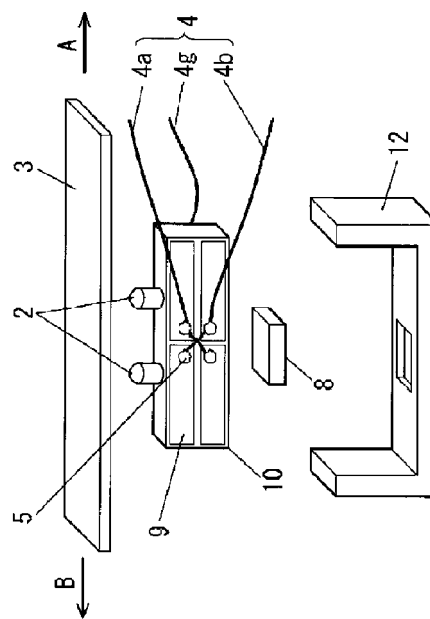
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】



フロントページの続き

(74)代理人 100117581

弁理士 二宮 克也

(74)代理人 100117710

弁理士 原田 智雄

(74)代理人 100121728

弁理士 井関 勝守

(74)代理人 100124671

弁理士 関 啓

(74)代理人 100131060

弁理士 杉浦 靖也

(72)発明者 足立 祐介

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

Fターム(参考) 5H680 AA12 AA19 BB02 BB13 CC03 DD02 DD15 DD23 DD34 DD55
DD63 DD82 GG18