

(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2017-103956

(P2017-103956A)

(43) 公開日 平成29年6月8日(2017.6.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H02N 2/00 (2006.01)</b>	H02N 2/00	5H681
<b>H01L 41/09 (2006.01)</b>	H01L 41/09	
<b>H01L 41/187 (2006.01)</b>	H01L 41/187	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-236651 (P2015-236651)	(71) 出願人	000002369
(22) 出願日	平成27年12月3日 (2015.12.3)		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 AA12 BB02 BB15 BC08 CC02
			CC07 DD02 DD15 DD23 DD53
			DD55 DD64 GG02 GG25

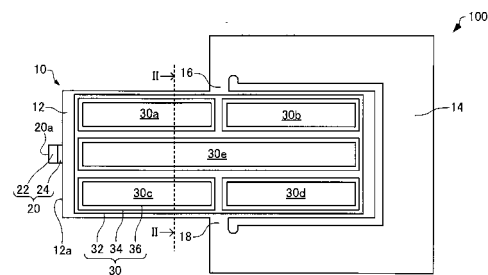
(54) 【発明の名称】 圧電駆動装置、モーター、ロボット、およびポンプ

## (57) 【要約】

【課題】接触部のバネ定数を特定することにより、接触部の磨耗を抑制することができる圧電駆動装置を提供する。

【解決手段】固定部、および圧電素子が設けられ前記固定部に支持された振動体部を有する基板と、被駆動体に接触し、前記振動体部の動きを前記被駆動体に伝える接触部と、含み、前記接触部は、前記振動体部の屈曲方向と直交する方向における端部に設けられ、前記接触部の前記屈曲方向におけるバネ定数を $K_T$ とし、前記接触部の前記屈曲方向における最大変位量を $X_{Tmax}$ とし、接触部と被駆動体との間の静止摩擦力を $F_S$ とすると、 $K_T \times X_{Tmax} < F_S$ の関係を満たす、圧電駆動装置。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

固定部、および圧電素子が設けられ前記固定部に支持された振動体部を有する基板と、被駆動体に接触し、前記振動体部の動きを前記被駆動体に伝える接触部と、  
を含み、

前記接触部は、前記振動体部の屈曲方向と直交する方向における端部に設けられ、  
前記接触部の前記屈曲方向におけるバネ定数を  $K_T$  とし、前記接触部の前記屈曲方向における最大変位量を  $X_{Tmax}$  とし、前記接触部と前記被駆動体との間の静止摩擦力を  $F_s$  とすると、

$$K_T \times X_{Tmax} < F_s$$

の関係を満たす、圧電駆動装置。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 において、

前記接触部は、先端部と、前記先端部と前記振動体部との間に設けられた接着剤部と、  
を有し、

前記振動体部は、前記先端部側に突出し前記先端部に接する突出部を有している、圧電駆動装置。

## 【請求項 3】

請求項 1 において、

前記接触部は、先端部と、前記先端部と前記振動体部との間に設けられた接着剤部と、  
を有し、

前記先端部は、前記振動体部側に突出し前記振動体部に接する突出部を有している、圧電駆動装置。

20

## 【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の圧電駆動装置と、

前記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 5】

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 3 のいずれか 1 項に記載の圧電駆動装置と、  
を含む、ロボット。

30

## 【請求項 6】

請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の圧電駆動装置と、

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。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

40

## 【0001】

本発明は、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】

圧電素子により振動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（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】

このような圧電駆動装置において、過渡的な振動の防止、超音波振動子と被駆動体部材との点接触の防止、および電力効率の向上などを目的として、圧電駆動装置の被駆動体との接触部近傍にバネ領域を設けることが記載されている（例えば特許文献 1 ～ 3 参照）。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2008-295234号公報

【特許文献2】特開平06-22565号公報

【特許文献3】特開2015-80329号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1～3には、バネ領域があるという定性的なことしか記載されておらず、具体的なバネ領域のバネ定数や押圧による変形量などについては、言及されていない。

10

【0006】

本発明のいくつかの態様に係る目的の1つは、接触部のバネ定数を特定することにより、接触部の磨耗を抑制することができる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、上記の圧電駆動装置を含むモーター、ロボット、またはポンプを提供することにある。

【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。

20

【0008】

[適用例1]

本発明に係る圧電駆動装置の一態様は、

固定部、および圧電素子が設けられ前記固定部に支持された振動体部を有する基板と、被駆動体に接触し、前記振動体部の動きを前記被駆動体に伝える接触部と、

を含み、

前記接触部は、前記振動体部の屈曲方向と直交する方向における端部に設けられ、

前記接触部の前記屈曲方向におけるバネ定数を  $K_T$  とし、前記接触部の前記屈曲方向における最大変位量を  $X_{Tmax}$  とし、前記接触部と前記被駆動体との間の静止摩擦力を  $F_s$  とすると、

30

$$K_T \times X_{Tmax} < F_s$$

の関係を満たす。

【0009】

このような圧電駆動装置では、接触部は、滑ることなく被駆動体と接触することができる。これにより、このような圧電駆動装置では、接触部の磨耗を抑制することができる。

【0010】

[適用例2]

適用例1において、

前記接触部は、先端部と、前記先端部と前記振動体部との間に設けられた接着剤部と、を有し、

40

前記振動体部は、前記先端部側に突出し前記先端部に接する突出部を有していてもよい。

【0011】

このような圧電駆動装置では、接触部の屈曲方向のバネ定数と、接触部の屈曲方向と直交する方向のバネ定数と、を独立して調整することができる。

【0012】

[適用例3]

適用例1において、

前記接触部は、先端部と、前記先端部と前記振動体部との間に設けられた接着剤部と、

50

を有し、

前記先端部は、前記振動体部側に突出し前記振動体部に接する突出部を有していてもよい。

【0013】

このような圧電駆動装置では、接触部の屈曲方向のバネ定数と、接触部の屈曲方向と直交する方向のバネ定数と、を独立して調整することができる。

【0014】

[適用例4]

本発明に係るモーターの一態様は、

適用例1ないし3のいずれか1例に記載の圧電駆動装置と、

前記圧電駆動装置によって回転されるローターと、

を含む。

10

【0015】

このようなモーターでは、本発明に係る圧電駆動装置を含むことができる。

【0016】

[適用例5]

本発明に係るロボットの一態様は、

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転させる適用例1ないし3のいずれか1例に記載

20

の圧電駆動装置と、

を含む。

【0017】

このようなロボットでは、本発明に係る圧電駆動装置を含むことができる。

【0018】

[適用例6]

本発明に係るポンプの一態様は、

適用例1ないし3のいずれか1例に記載の圧電駆動装置と、

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。

30

【0019】

このようなポンプでは、本発明に係る圧電駆動装置を含むことができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本実施形態に係る圧電駆動装置を模式的に示す平面図。

【図2】本実施形態に係る圧電駆動装置を模式的に示す断面図。

【図3】本実施形態に係る圧電駆動装置を模式的に示す斜視図。

【図4】本実施形態に係る圧電駆動装置を説明するための等価回路を示す図。

【図5】本実施形態に係る圧電駆動装置の動作を説明するための図。

40

【図6】本実施形態に係る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1変形例に係る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1変形例に係る圧電駆動装置を模式的に示す平面図。

【図10】本実施形態の第2変形例に係る圧電駆動装置を模式的に示す平面図。

【図11】本実施形態の第2変形例に係る圧電駆動装置を模式的に示す平面図。

【図12】本実施形態に係るロボットを説明するための図。

【図13】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14】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】

50

## 【 0 0 2 1 】

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。

## 【 0 0 2 2 】

## １． 圧電駆動装置

まず、本実施形態に係る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、本実施形態に係る圧電駆動装置１００を模式的に示す図１のⅠⅠ－ⅠⅠ線断面である。図３は、本実施形態に係る圧電駆動装置１００の接触部２０近傍を模式的に示す斜視図である。

10

## 【 0 0 2 3 】

圧電駆動装置１００は、図１～図３に示すように、基板１０と、接触部２０と、圧電素子３０と、を含む。

## 【 0 0 2 4 】

基板１０は、例えば、シリコン基板と、シリコン基板上に設けられた酸化シリコン層と、酸化シリコン層上に設けられた酸化ジルコニウム層と、の積層体から構成されている。

## 【 0 0 2 5 】

基板１０は、図１に示すように、振動体部１２と、固定部１４と、第１接続部１６と、第２接続部１８と、を有している。図示の例では、振動体部１２の平面形状（基板１０の厚さ方向からみた形状）は、略長方形である。振動体部１２上には、圧電素子３０が設けられ、振動体部１２は、圧電素子３０の変形により振動することができる。固定部１４は、接続部１６，１８を介して、振動体部１２を支持している。固定部１４は、例えば、外部部材（図示せず）に固定されている。図示の例では、接続部１６，１８は、振動体部１２の長手方向における中央部から、該長手方向と直交する方向に延出し、固定部１４に接続されている。

20

## 【 0 0 2 6 】

接触部２０は、振動体部１２の長手方向（以下、単に「長手方向」ともいう）における端部１２ａに設けられている。長手方向は、振動体部１２の屈曲方向と直交する方向である。図３に示す例では、振動体部１２は、端部１２ａに、接触部２０の先端部２２側に突出する突出部１２ｂを有している。接触部２０は、例えば、突出部１２ｂに嵌合して設けられている。図示の例では、突出部１２ｂは、先端部２２と離間している。なお、便宜上、図１および後述する図５では、突出部１２ｂの図示を省略している。

30

## 【 0 0 2 7 】

接触部２０は、先端２０ａを有し、接触部２０は、先端２０ａにおいて被駆動部材（後述する図５に示すローター４）と接触して、振動体部１２の動きを被駆動部材に伝える部材である。ローター４の形状は、例えば、円柱状、球状である。

## 【 0 0 2 8 】

接触部２０は、先端２０ａを構成する先端部２２と、先端部２２と振動体部１２との間に設けられた接着剤部２４と、を有している。先端部２２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（ $Si_3N_4$ ）、またはこれらの混合物など）である。図示の例では、先端部２２の形状は、直方体である。接着剤部２４は、先端部２２と振動体部１２とを接着させる接着剤によって構成されている。

40

## 【 0 0 2 9 】

図３に示す例では、接触部２０の先端部２２および接着剤部２４の長手方向と直交する幅方向の長さを $W_s$ 、先端部２２および接着剤部２４の長手方向および幅方向と直交する方向の長さを $T_s$ 、先端部２２の長手方向の長さを $L_s$ 、接着剤部２４の長手方向の長さを $L_a$ としている。

## 【 0 0 3 0 】

50

長さ $W_s$ は、例えば、 $0.1\text{ mm}$ 以上 $0.5\text{ mm}$ 以下である。長さ $T_s$ は、例えば、 $0.1\text{ mm}$ 以上 $0.5\text{ mm}$ 以下である。長さ $L_s$ は、例えば、 $0.1\text{ mm}$ 以上 $0.5\text{ mm}$ 以下である。長さ $L_a$ は、例えば、 $0.5\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $15\text{ }\mu\text{ m}$ 以下である。より具体的には、 $W_s = 0.2\text{ mm}$ 、 $T_s = 0.2\text{ mm}$ 、 $L_s = 0.1\text{ mm}$ 、 $L_a = 3\text{ }\mu\text{ m}$ である。

#### 【0031】

圧電素子30は、図2に示すように、基板10上に設けられている。具体的には、圧電素子30は、振動体部12上に設けられている。圧電素子30は、第1電極32と、圧電体層34と、第2電極36と、を有している。

#### 【0032】

第1電極32は、振動体部12上に設けられている。図1に示す例では、第1電極32の平面形状は、長方形である。第1電極32は、振動体部12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、 $5\text{ nm}$ 以上 $100\text{ nm}$ 以下である。白金層の厚さは、例えば、 $50\text{ nm}$ 以上 $300\text{ nm}$ 以下である。なお、第1電極32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。第1電極32は、圧電体層34に電圧を印加するための一方の電極である。

#### 【0033】

圧電体層34は、第1電極32上に設けられている。図示の例では、圧電体層34の平面形状は、長方形である。圧電体層34の厚さは、例えば、 $50\text{ nm}$ 以上 $20\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であり、好ましくは、 $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $7\text{ }\mu\text{ m}$ 以下である。このように、圧電素子30は、薄膜圧電素子である。圧電体層34の厚さが $50\text{ nm}$ より小さいと、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34への印加電圧を高くすると、圧電体層34が絶縁破壊を起こす場合がある。圧電体層34の厚さが $20\text{ }\mu\text{ m}$ より大きいと、圧電体層34にクラックが生じる場合がある。

#### 【0034】

圧電体層34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34の材質は、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛( $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ : PZT)、ニオブ酸チタン酸ジルコン酸鉛( $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti}, \text{Nb})\text{O}_3$ : PZTN)である。圧電体層34は、電極32, 36によって電圧が印加されることにより、変形(伸縮)することができる。

#### 【0035】

第2電極36は、圧電体層34上に設けられている。図示の例では、第2電極36の平面形状は、長方形である。第2電極36は、圧電体層34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、 $10\text{ nm}$ 以上 $100\text{ nm}$ 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、 $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $10\text{ }\mu\text{ m}$ 以下である。導電層は、例えば、Cu層、Au層、Al層やこれらの積層体である。第2電極36は、圧電体層34に電圧を印加するための他方の電極である。

#### 【0036】

圧電素子30は、複数設けられている。図1に示す例では、圧電素子30は、5つ設けられている(圧電素子30a, 30b, 30c, 30d, 30e)。平面視において(基板10の厚さ方向からみて)、例えば、圧電素子30a~30dの面積は同じであり、圧電素子30eは、圧電素子30a~30dよりも大きな面積を有している。圧電素子30eは、振動体部12の短手方向の中央部において、振動体部12の長手方向に沿って設けられている。圧電素子30a, 30b, 30c, 30dは、振動体部12の四隅に設けられている。図示の例では、圧電素子30a~30eにおいて、第1電極32は、1つの連続的な導電層として設けられている。

#### 【0037】

なお、図示はしないが、圧電駆動装置100は、圧電素子30を覆うように設けられた

10

20

30

40

50

絶縁層や、第 1 電極 3 2 と電氣的に接続された第 1 配線層、および第 2 電極 3 6 と電氣的に接続された第 2 配線層を有していてもよい。

【0038】

図 4 は、圧電駆動装置 1 0 0 を説明するための等価回路を示す図である。圧電素子 3 0 は、3 つのグループに分けられる。第 1 グループは、2 つの圧電素子 3 0 a , 3 0 d を有する。第 2 グループは、2 つの圧電素子 3 0 b , 3 0 c を有する。第 3 グループは、1 つの圧電素子 3 0 e のみを有する。図 4 に示すように、第 1 グループの圧電素子 3 0 a , 3 0 d は、互いに並列に接続され、駆動回路 1 1 0 に接続されている。第 2 グループの圧電素子 3 0 b , 3 0 c は、互いに並列に接続され、駆動回路 1 1 0 に接続されている。第 3 グループの圧電素子 3 0 e は、単独で駆動回路 1 1 0 に接続されている。

10

【0039】

駆動回路 1 1 0 は、5 つの圧電素子 3 0 a , 3 0 b , 3 0 c , 3 0 d , 3 0 e のうちの所定の圧電素子、例えば、圧電素子 3 0 a , 3 0 d , 3 0 e の第 1 電極 3 2 と第 2 電極 3 6 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。これにより、圧電駆動装置 1 0 0 は、振動体部 1 2 を超音波振動させて、接触部 2 0 に接触するローター（被駆動部材）を所定の回転方向に回転させることができる。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、脈流電圧の電圧（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。

【0040】

なお、電界の向きは、第 1 電極 3 2 から第 2 電極 3 6 に向かうよりも第 2 電極 3 6 から第 1 電極 3 2 に向かう方が好ましい。また、圧電素子 3 0 b , 3 0 c , 3 0 e の電極 3 2 , 3 6 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 2 0 に接触するローターを逆方向に回転させることができる。

20

【0041】

図 5 は、圧電駆動装置 1 0 0 の振動体部 1 2 の動作を説明するための図である。圧電駆動装置 1 0 0 の接触部 2 0 は、図 5 に示すように、被駆動部材としてのローター 4 の外周に接触している。駆動回路 1 1 0 は、圧電素子 3 0 a , 3 0 d の電極 3 2 , 3 6 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 3 0 a , 3 0 d は、矢印 x の方向に伸縮する。これに応じて、振動体部 1 2 は、振動体部 1 2 の平面内で屈曲振動して蛇行形状（S 字形状）に変形する。さらに、駆動回路 1 1 0 は、圧電素子 3 0 e の電極 3 2 , 3 6 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 3 0 e は、矢印 y の方向に伸縮する。これにより、振動体部 1 2 は、振動体部 1 2 の平面内で縦振動する。上記のような振動体部 1 2 の屈曲振動および縦振動によって、振動体部 1 2 の接触部 2 0 との境界部（接続部）は、矢印 z のように楕円運動する。その結果、ローター 4 は、その中心 4 a の周りに所定の方向 R（図示の例では時計回り方向）に回転する。

30

【0042】

なお、駆動回路 1 1 0 が、圧電素子 3 0 b , 3 0 c , 3 0 e の電極 3 2 , 3 6 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 4 は、方向 R とは反対方向（反時計回り方向）に回転する。

【0043】

また、振動体部 1 2 の屈曲振動の共振周波数と縦振動の共振周波数とは、同じであることが好ましい。これにより、圧電駆動装置 1 0 0 は、効率よくローター 4 を回転させることができる。

40

【0044】

図 5 に示すように、本実施形態に係るモーター 1 2 0 は、本発明に係る圧電駆動装置（図示の例では圧電駆動装置 1 0 0）と、圧電駆動装置 1 0 0 によって回転されるローター 4 と、を含む。ローター 4 の材質は、例えば、セラミックスである。図示の例では、ローター 4 の形状は、円柱状である。

【0045】

図 6 は、圧電駆動装置 1 0 0 の振動体部 1 2 の動作を、より詳細に説明するため図であ

50

る。振動体部 12 は、図 6 に示すように、状態 (A) から状態 (F) まで順に変形し、再び状態 (A) に戻る。この動作を、圧電駆動装置 100 が駆動している間 (圧電素子 30 に電圧が印加されている間) 繰り返す。なお、図 6 において、破線で示した長方形は、圧電駆動装置 100 が駆動していない状態での振動体部 12 (具体的には、便宜上、突出部 12b が設けられていない振動体部 12) を示している。

#### 【0046】

図 6 では、振動体部 12 の接触部 20 との境界部 (例えば突出部 12b) が描く楕円を  $z$  で示している。突出部 12b は、時計回りに回転する。ローター 4 は、反時計回りに回転する。ローター 4 の回転速度は、ほぼ一定である。ローター 4 表面の移動速度は、突出部 12b の屈曲方向速度の平均 (圧電駆動装置 100 が駆動され、接触部 20 の先端 20a がローター 4 と接触している間の平均) とほぼ同じである。

10

#### 【0047】

状態 (A) は、振動体部 12 が縦方向 (長手方向) に最も縮んだ状態であり、接触部 20 とローター 4 とは、離間している。状態 (A) では、突出部 12b の第 1 方向 (図 6 の左側へ向かう方向) への移動速度は、最大 (圧電駆動装置 100 が駆動している間で最大) となる。

#### 【0048】

状態 (B) を経て、状態 (C) において、接触部 20 は、ローター 4 と接触している。状態 (C) では、図示の例では、接触部 20 の先端 20a 全面がローター 4 と接触している。状態 (C) では、突出部 12b は、第 2 方向 (図 6 の右側へ向かう方向) へ移動する。しかし、突出部 12b の移動速度は、ローター 4 の回転速度よりも小さいため、接着剤部 24 が変形して、突出部 12b は、先端部 22 よりも遅れた状態となる。接着剤部 24 は、例えば、先端部 22 のヤング率よりも小さいヤング率を有している。

20

#### 【0049】

状態 (D) では、振動体部 12 が縦方向に最も伸びた状態であり、突出部 12b の第 2 方向への移動速度は、最大となる。そのため、状態 (E) では、接着剤部 24 が変形して、突出部 12b は、先端部 22 よりも進んだ状態となる。状態 (E) では、接触部 20 の先端 20a 全面がローター 4 と接触している。

#### 【0050】

そして、状態 (F) では、接触部 20 は、ローター 4 と離間し、再び、状態 (A) に戻る。

30

#### 【0051】

ここで、圧電駆動装置 100 では、接触部 20 の屈曲方向におけるバネ定数を  $K_T$  とし、接触部 20 の屈曲方向における最大変位量を  $X_{Tmax}$  とし、接触部 20 とローター 4 との間の静止摩擦力を  $F_S$  とすると、下記式 (1) を満たす。

#### 【0052】

$$K_T \times X_{Tmax} < F_S \quad \cdots (1)$$

#### 【0053】

そのため、圧電駆動装置 100 では、状態 (C) ~ 状態 (E) において、接触部 20 は、滑ることなくローター 4 と接触することができる。状態 (C) および状態 (E) における先端部 22 速度とローター 4 の速度との差は、例えば、接着剤部 24 が変形する (弾性変形する) ことにより吸収することができる。

40

#### 【0054】

なお、接触部 20 の屈曲方向における最大変位量  $X_{Tmax}$  とは、振動体部 12 が屈曲方向に変形していない状態を基準とした (例えば状態 (D))、屈曲方向 (第 1 方向、第 2 方向) における突出部 12b の変位量である。具体的には、最大変位量  $X_{Tmax}$  は、突出部 12b が描く楕円  $z$  の屈曲方向成長さの半分である。図示の例では、最大変位量  $X_{Tmax}$  は、長軸の長さの半分と同一である。

#### 【0055】

圧電駆動装置 100 は、例えば、以下の特徴を有する。

50



## 【0056】

圧電駆動装置100では、式(1)を満たす。そのため、接触部20は、滑ることなくローター4と接触することができる。これにより、圧電駆動装置100では、接触部20の磨耗を抑制することができる。その結果、圧電駆動装置100では、接触部20の長寿命化を図ることができる。例えば接触部が大きい場合は、接触部が少々磨耗しても圧電駆動装置の特性に大きな変化はないが、本実施形態に係る圧電駆動装置100の接触部20は、例えば、 $W_s = 0.2\text{ mm}$ 、 $T_s = 0.2\text{ mm}$ 、 $L_s = 0.1\text{ mm}$ 、 $L_a = 3\text{ }\mu\text{m}$ と小型であり、接触部20が少し磨耗するだけで圧電駆動装置100の特性が変化してしまう場合がある。したがって、小型な接触部20では、磨耗の抑制が重要となる。

## 【0057】

10

さらに、圧電駆動装置100では、接触部20がローター4に対して滑らないので、振動体部12の変形による復元力を低減させることなく、効率よく該復元力をローター4に伝えることができる。さらに、圧電駆動装置100では、接触部20のローター4との接触する部分が、状態(C)～状態(E)において、ローター4に対して変位しないので、ローター4の回転速度やトルクの変動を小さくすることができ、安定して駆動することができる。

## 【0058】

圧電駆動装置100では、例えば、突出部12bが描く楕円zの上半分側(ローター4側の半分側)において、接触部20をローター4に接させ、楕円zの下半分側(ローター4とは反対側の半分側)において、接触部20をローターと離間させることができる。これにより、圧電駆動装置100は、振動体部12の変形による復元力を、効率よくローター4に伝えることができる。

20

## 【0059】

## 2. 圧電駆動装置の製造方法

次に、本実施形態に係る圧電駆動装置の製造方法について、図面を参照しながら説明する。

## 【0060】

図1および図2に示すように、基板10の振動体部12上に第1電極32を形成する。第1電極32は、例えば、スパッタ法、CVD(Chemical Vapor Deposition)法、真空蒸着法などによる成膜、およびパターニング(フォトリソグラフィおよびエッチングによるパターニング)により形成される。

30

## 【0061】

次に、第1電極32上に圧電体層34を形成する。圧電体層34、例えば、液相法による前駆体層の形成と該前駆体層の結晶化とを繰り返した後、パターニングすることによって形成される。液相法とは、薄膜(圧電体層)の構成材料を含む原料液を用いて薄膜材料を成膜する方法であり、具体的には、ゾルゲル法やMOD(Metal Organic Deposition)法などである。結晶化は、酸素雰囲気において、例えば、700～800の熱処理により行われる。

## 【0062】

次に、圧電体層34に第2電極36を形成する。第2電極36は、例えば、第1電極32と同じ方法で形成される。なお、図示はしないが、第2電極36のパターニングと圧電体層34のパターニングとは、同一の工程として行われてもよい。

40

## 【0063】

以上の工程により、基板10の振動体部12上に、圧電素子30を形成することができる。

## 【0064】

次に、接着剤部24を介して、先端部22を振動体部12の端部12aに接着させる。これにより、端部12aに接触部20を設けることができる。

## 【0065】

以上の工程により、圧電駆動装置100を製造することができる。

50

## 【 0 0 6 6 】

## 3 . 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 変形例に係る圧電駆動装置 2 0 0 を模式的に示す平面図である。

## 【 0 0 6 7 】

以下、本実施形態の第 1 変形例に係る圧電駆動装置 2 0 0 において、本実施形態に係る圧電駆動装置 1 0 0 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、以下に示す本実施形態の第 2 変形例に係る圧電駆動装置においても同様である。

10

## 【 0 0 6 8 】

上述した圧電駆動装置 1 0 0 では、図 3 に示すように、振動体部 1 2 の端部 1 2 a には、突出部 1 2 b が設けられていた。これに対し、圧電駆動装置 2 0 0 では、図 7 に示すように、端部 1 2 a には、突出部 1 2 b は設けられていない。

## 【 0 0 6 9 】

圧電駆動装置 2 0 0 では、圧電駆動装置 1 0 0 と同様に、接触部 2 0 の磨耗を抑制することができる。

## 【 0 0 7 0 】

なお、図 7 に示す例では、先端部 2 2 の形状は直方体であるが、先端部 2 2 の形状は、図 8 に示すように半球状であってもよく、図 9 に示すように球状であってもよい。図 9 に示す例では、振動体部 1 2 の端部 1 2 a に切り欠き 1 3 が設けられ、切り欠き 1 3 に接着剤部 2 4 が充填されている。

20

## 【 0 0 7 1 】

## 3 . 2 . 第 2 変形例

次に、本実施形態の第 2 変形例に係る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 0 は、本実施形態の第 2 変形例に係る圧電駆動装置 3 0 0 を模式的に示す平面図である。

## 【 0 0 7 2 】

上述した圧電駆動装置 1 0 0 では、図 3 に示すように、振動体部 1 2 は、端部 1 2 a に突出部 1 2 b を有し、突出部 1 2 b は、先端部 2 2 と離間していた。これに対し、圧電駆動装置 3 0 0 では、図 1 0 に示すように、振動体部 1 2 は、先端部 2 2 側に突出し先端部 2 2 に接する突出部 1 2 b を有している。突出部 1 2 b は、端部 1 2 a の短手方向における中央部に設けられている。長手方向および幅方向と直交する方向の長さにおいて、突出部 1 2 b と接着剤部 2 4 とは、同じ長さである。図 1 0 に示す例では、突出部 1 2 b の幅方向の長さを  $W_t$  としている。長さ  $W_t$  は、例えば、 $1\ \mu\text{m}$  以上  $50\ \mu\text{m}$  以下であり、より具体的には、 $20\ \mu\text{m}$  である。

30

## 【 0 0 7 3 】

圧電駆動装置 3 0 0 では、圧電駆動装置 1 0 0 と同様に、接触部 2 0 の磨耗を抑制することができる。さらに、圧電駆動装置 3 0 0 では、突出部 1 2 b により、接触部 2 0 の長手方向のパネ定数と、接触部 2 0 の屈曲方向のパネ定数と、を独立して調整することができる（詳細は後述する「4 . 実験例」参照）。

40

## 【 0 0 7 4 】

なお、図 1 1 に示すように、振動体部 1 2 は突出部 1 2 b を有しておらず、先端部 2 2 は、振動体部 1 2 側に突出し振動体部 1 2 に接する突出部 1 2 b を有していてもよい。

## 【 0 0 7 5 】

## 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。

## 【 0 0 7 6 】

50

#### 4.1. バネ定数に関する計算

接触部とローターとの間の静止摩擦係数を $\mu_s$ 、接触部とローターとの間の静止摩擦力を $F_s$ 、接触部の屈曲方向における最大変位量を $X_{Tmax}$ 、接触部の先端を縦方向に押し当てた（押圧した）押圧力を $F_{pr}$ 、接触部の屈曲方向のバネ定数を $K_T$ とした。接触部が最大に変位したときでも、ローターに対して滑らない条件は、下記式（2）となる。したがって、静止摩擦係数 $\mu_s = 0.5$ 、最大変位量 $X_{Tmax} = 1 \mu m$ 、押圧力 $F_{pr} = 0.5 N$ とした場合は、下記式（3）を満たせば、接触部が屈曲方向に最大に変位したときでも、接触部はローターに対して滑らない。

【0077】

$$F_s = \mu_s \times F_{pr} > K_T \times X_{Tmax} \quad \dots (2)$$

10

$$K_T < (\mu_s \times F_{pr}) / X_{Tmax} = 2.5 \times 10^5 N/m \quad \dots (3)$$

【0078】

#### 4.2. バネ定数に関するシミュレーション

##### 4.2.1. 図7に示すようなモデルでのシミュレーション

上述した図7に示すような接触部をモデルとして、接触部の先端に長手方向に1Nを印加したときの接触部の変形量を有限要素法によるシミュレーションで求めた。そして、求めた変形量からバネ定数を算出した。接触部の先端部としては、アルミナを想定した。各寸法およびヤング率は、下記の通りである。

【0079】

先端部のヤング率： $3.7 \times 10^{11} N/m^2$

20

先端部および接着剤部の長さ $W_s$ ： $200 \mu m$

先端部および接着剤部の長さ $T_s$ ： $200 \mu m$

先端部の長さ $L_s$ ： $100 \mu m$

接着剤部のヤング率： $3 \times 10^7 N/m^2$

接着剤部の長さ $L_a$ ： $3 \mu m$

【0080】

下記表1は、シミュレーションで求めた変位量とバネ定数との関係を示している。表1より、上記のような条件では、屈曲方向のバネ定数を、上記の「4.1.」の計算で求めた、 $2.5 \times 10^5 N/m$ よりも小さくできることがわかった。

【0081】

30

【表1】

	変位量 [ $\mu m$ ]	バネ定数 [N/m]
長手方向	0.76	1.3E+06
屈曲方向	6.3	1.6E+05

【0082】

##### 4.2.2. 図10に示すようなモデルでのシミュレーション

次に、上述した図10に示すような接触部をモデルとして、上記の「4.2.1.」と同じシミュレーションを行った。下記に示す条件以外は、上記の「4.2.1.」と同じ条件でシミュレーションを行った。振動体部としては、シリコンを想定した。

40

【0083】

接着剤部の長さ $L_a$ ： $10 \mu m$

振動体部の（突起部の）ヤング率： $1.59 \times 10^{11} N/m^2$

突起部の長さ $W_t$ ： $20 \mu m$

【0084】

下記表2は、シミュレーションで求めた変位量とバネ定数との関係を示している。表2より、屈曲方向のバネ定数を $2.5 \times 10^5 N/m$ よりも小さくしつつ、長手方向のバネ定数を、図7に示したモデルとは異なる値にできることがわかった。すなわち、突起部を

50

設けることにより、接触部の長手方向のバネ定数と屈曲方向のバネ定数とを、独立して調整することができることがわかった。

【 0 0 8 5 】

【表 2】

	変位量 [ $\mu\text{m}$ ]	バネ定数 [N/m]
長手方向	0.037	2.7E+07
屈曲方向	5.9	1.7E+05

10

【 0 0 8 6 】

#### 5 . 圧電駆動装置を用いた装置

本発明に係る圧電駆動装置は、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、本発明に係る圧電駆動装置として、圧電駆動装置 1 0 0 を含む装置について説明する。

【 0 0 8 7 】

#### 5 . 1 . ロボット

図 1 2 は、圧電駆動装置 1 0 0 を利用したロボット 2 0 5 0 を説明するための図である。ロボット 2 0 5 0 は、複数本のリンク部 2 0 1 2（「リンク部材」とも呼ぶ）と、それらリンク部 2 0 1 2 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 2 0 2 0 と、を備えたアーム 2 0 1 0（「腕部」とも呼ぶ）を有している。

20

【 0 0 8 8 】

それぞれの関節部 2 0 2 0 には、圧電駆動装置 1 0 0 が内蔵されており、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 にも圧電駆動装置 1 0 0 が内蔵されており、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 との間にも圧電駆動装置 1 0 0 が設けられており、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。

30

【 0 0 8 9 】

図 1 3 は、図 1 2 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、圧電駆動装置 1 0 0 を備えており、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 の根元の部分に圧電駆動装置 1 0 0 が搭載されている。このため、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圧電駆動装置 1 0 0 を適用可能である。

40

【 0 0 9 0 】

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、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

50

かしながら、圧電駆動装置 100 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 2020（特に、アーム 2010 の先端の関節部）やロボットハンド 2000 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。

#### 【0091】

##### 5.2. ポンプ

図 14 は、圧電駆動装置 100 を利用した送液ポンプ 2200 の一例を示す説明するための図である。送液ポンプ 2200 は、ケース 2230 内に、リザーバー 2211 と、チューブ 2212 と、圧電駆動装置 100 と、ローター 2222 と、減速伝達機構 2223 と、カム 2202 と、複数のフィンガー 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219 と、を含む。

10

#### 【0092】

リザーバー 2211 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 2212 は、リザーバー 2211 から送り出される液体を輸送するための管である。圧電駆動装置 100 の接触部 20 は、ローター 2222 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 100 がローター 2222 を回転駆動する。ローター 2222 の回転力は減速伝達機構 2223 を介してカム 2202 に伝達される。フィンガー 2213 から 2219 はチューブ 2212 を閉塞させるための部材である。カム 2202 が回転すると、カム 2202 の突起部 2202A によってフィンガー 2213 から 2219 が順番に放射方向外側に押される。フィンガー 2213 から 2219 は、輸送方向上流側（リザーバー 2211 側）から順にチューブ 2212 を閉塞する。これにより、チューブ 2212 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 2200 を実現することができる。

20

#### 【0093】

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 2222 に設けられたボールなどがチューブ 2212 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 2200 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、圧電駆動装置 100 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。

30

#### 【0094】

本発明は、本願に記載の特徴や効果を有する範囲で一部の構成を省略したり、各実施形態や変形例を組み合わせたりしてもよい。

#### 【0095】

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。

40

#### 【符号の説明】

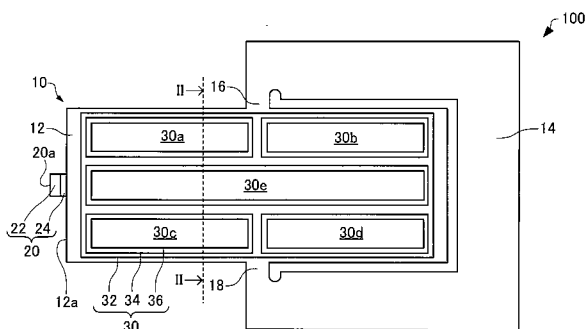
#### 【0096】

4 ... ローター、4a ... 中心、10 ... 基板、12 ... 振動体部、12a ... 端部、12b ... 突出部、13 ... 切り欠き、14 ... 固定部、16 ... 第 1 接続部、18 ... 第 2 接続部、20 ... 接触部、20a ... 先端、22 ... 先端部、24 ... 接着剤部、30, 30a, 30b, 30c, 30d, 30e ... 圧電素子、32 ... 第 1 電極、34 ... 圧電体層、36 ... 第 2 電極、100 ... 圧電駆動装置、110 ... 駆動回路、120 ... モーター、200, 300 ... 圧電駆動装置、2000 ... ロボットハンド、2003 ... 把持部、2010 ... アーム、2012 ... リンク部、2020 ... 関節部、2050 ... ロボット、2200 ... 送液ポンプ、2202 ... カム、2202A ... 突起部、2211 ... リザーバー、2212 ... チューブ、2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219 ... フィンガー、2222 ... ローター

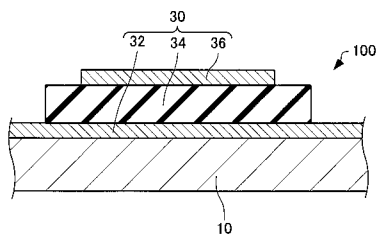
50

、 2 2 2 3 ... 減速伝達機構、 2 2 3 0 ... ケース

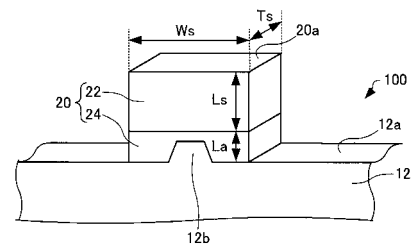
【 図 1 】



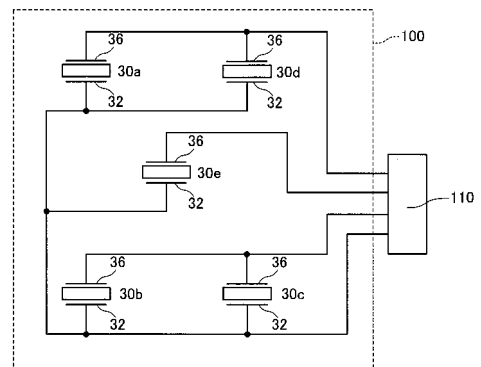
【 図 2 】



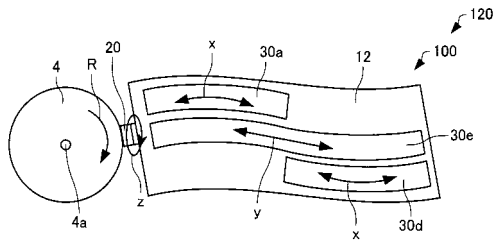
【 図 3 】



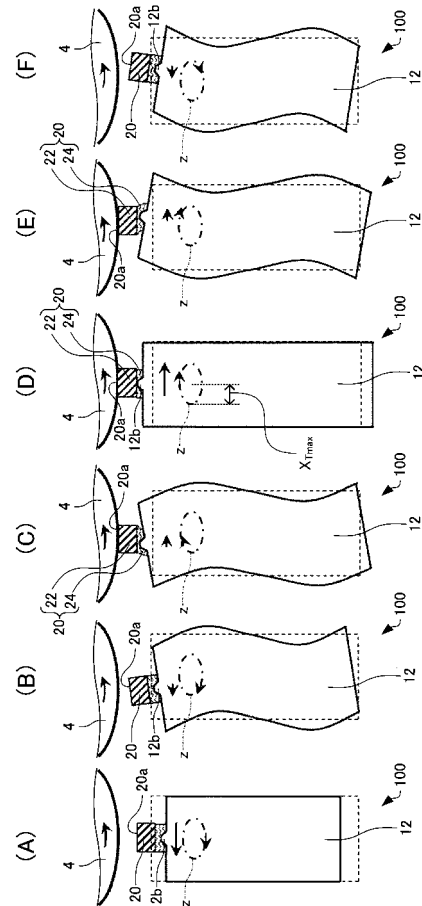
【 図 4 】



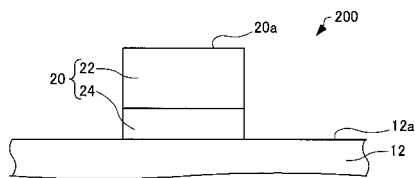
【図 5】



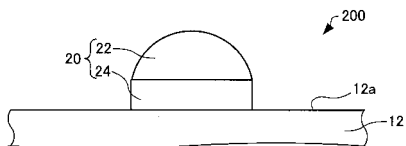
【図 6】



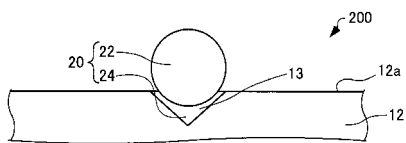
【図 7】



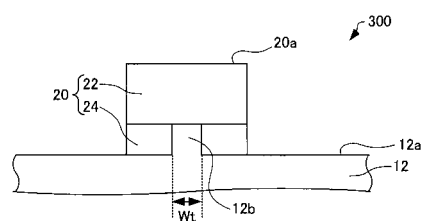
【図 8】



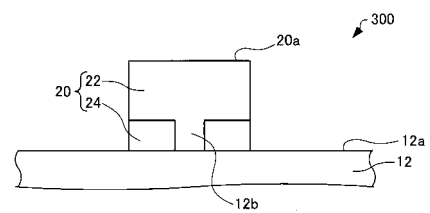
【図 9】



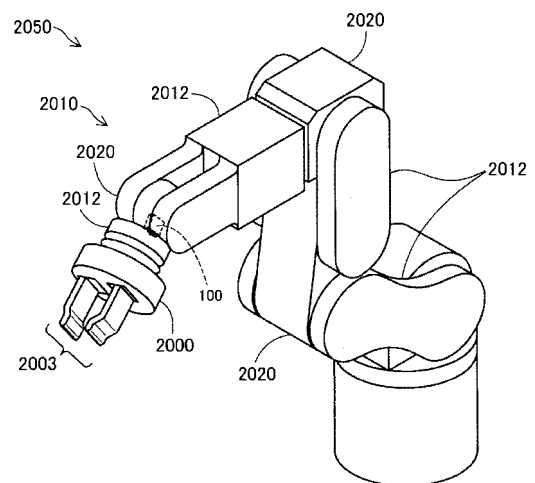
【図 10】



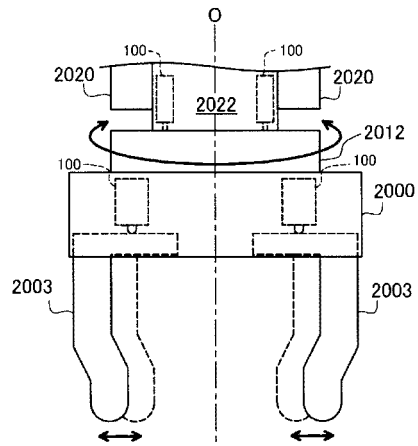
【図 11】



【図 12】



【図 13】



【図 14】

