

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6766328号  
(P6766328)

(45) 発行日 令和2年10月14日 (2020. 10. 14)

(24) 登録日 令和2年9月23日 (2020. 9. 23)

(51) Int. Cl.	F I
HO 2 N 2/12 (2006. 01)	HO 2 N 2/12
HO 1 L 41/09 (2006. 01)	HO 1 L 41/09
HO 1 L 41/187 (2006. 01)	HO 1 L 41/187

請求項の数 9 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2015-150424 (P2015-150424)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成27年7月30日 (2015. 7. 30)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-34784 (P2017-34784A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成29年2月9日 (2017. 2. 9)	(74) 代理人	100116665
審査請求日	平成30年7月20日 (2018. 7. 20)		弁理士 渡辺 和昭
		(74) 代理人	100179475
			弁理士 仲井 智至
		(74) 代理人	100216253
			弁理士 松岡 宏紀
		(72) 発明者	岩▲崎▼ 友寿
			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
		(72) 発明者	荒川 豊
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電駆動装置、ロボット、及び圧電駆動装置の駆動方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1面と、前記第1面の裏面側にあつて凹部が形成された第2面とを有する振動体と、  
前記第1面に設けられた圧電素子と、  
前記振動体と前記圧電素子とを含む第1圧電振動部及び第2圧電振動部と、を含み、  
前記凹部は、円柱状の形状であり、第2面から第1面へ貫通せず、  
前記凹部と前記圧電素子とは、前記第2面の法線方向から見て、重なる部分を有し、  
前記第1圧電振動部の前記第2面と前記第2圧電振動部の前記第2面とが接着されていることを特徴とする圧電駆動装置。

【請求項 2】

請求項1に記載の圧電駆動装置において、  
前記第2面の法線方向から見て、  
前記振動体は、第1線に対して対称な形状であり、  
前記凹部は、前記第1線に対して対称に配置されていることを特徴とする圧電駆動装置。

【請求項 3】

請求項1または2に記載の圧電駆動装置において、  
前記第2面の法線方向から見て、  
前記振動体は、第1線に対して対称な形状であり、  
前記凹部は、前記第1線に対して非対称に配置されていることを特徴とする圧電駆動装

10

20

置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の圧電駆動装置において、  
前記第 1 面は、平坦であることを特徴とする圧電駆動装置。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の圧電駆動装置において、  
前記圧電素子は、第 1 電極、第 2 電極、及び前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に位置する圧電体を有し、  
前記圧電体の厚さは、50 nm 以上 20 μm 以下であることを特徴とする圧電駆動装置。

10

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の圧電駆動装置において、  
前記振動体は、シリコンを含むことを特徴とする圧電駆動装置。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の圧電駆動装置において、  
前記振動体に接続されている支持部を含むことを特徴とする圧電駆動装置。

【請求項 8】

複数のリンク部と、  
前記複数のリンク部を接続する関節部と、  
前記リンク部を前記関節部で回動させる請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の圧電駆動装置と、  
を有することを特徴とするロボット。

20

【請求項 9】

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の圧電駆動装置の駆動方法であって、  
前記圧電駆動装置は、第 1 電極、第 2 電極、及び前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に位置する圧電体を有し、  
前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に、周期的に変化する電圧を印加することを特徴とする圧電駆動装置の駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、圧電駆動装置、ロボット、及び圧電駆動装置の駆動方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

圧電体を振動させて被駆動体（被駆動部材）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（例えば、特許文献 1 参照）。この圧電駆動装置の基本的な構成は、補強板の 2 つの面のそれぞれの上に、4 つの圧電素子が 2 行 2 列に配置された構成である。圧電体は支持部材である振動体を変形させて駆動している。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2004 - 320979 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献 1 では、圧電体が支持部材である振動体を変形させて駆動しているため、振動体の剛性により効率が低下するという課題がある。特に薄膜ピエゾの場合、ピエゾの膜厚に対して振動体の厚さが大きくなるため、課題が顕著となる。

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

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、以下の形態又は適用例として実現することが可能である。

## 【0006】

〔適用例1〕本適用例に係る圧電駆動装置は、第1面と、凹部が形成された第2面とを有する振動体と、前記第1面に設けられた圧電素子と、を含み、前記凹部と前記圧電素子とは、前記第2面の法線方向から見て、重なる部分を有することを特徴とする。

## 【0007】

本適用例によれば、振動体を使った圧電駆動装置において、振動体に凹部を作り、振動体の剛性を低くすることにより効率が向上する。また、素子変位拡大、最適化による効率向上が見込める。

## 【0008】

〔適用例2〕上記適用例に記載の圧電駆動装置において、前記凹部は、溝状又は穴状の形状の少なくとも一つを有することが好ましい。

## 【0009】

本適用例によれば、凹部を容易に形成することができる。

## 【0010】

〔適用例3〕上記適用例に記載の圧電駆動装置において、前記振動体は、第1線に対して対称な形状であり、前記凹部は、前記第1線に対して対称に配置されていることが好ましい。

## 【0011】

本適用例によれば、凹部の配置によって振動体の剛性に等方性を持たせ、圧電駆動装置の先端が描く軌道の分布が方向に依存しないようにコントロールすることができる。

## 【0012】

〔適用例4〕上記適用例に記載の圧電駆動装置において、前記振動体は、第1線に対して対称な形状であり、前記凹部は、前記第1線に対して非対称に配置されていることが好ましい。

## 【0013】

本適用例によれば、凹部の配置によって振動体の剛性に異方性を持たせ、圧電駆動装置の先端が描く軌道をコントロールすることができる。

## 【0014】

〔適用例5〕上記適用例に記載の圧電駆動装置において、前記第1面は、平坦であることが好ましい。

## 【0015】

本適用例によれば、圧電素子の薄膜は、膜形成プロセスを利用して容易に形成することができる。

## 【0016】

〔適用例6〕上記適用例に記載の圧電駆動装置において、前記圧電素子は、第1電極、第2電極、及び前記第1電極と前記第2電極との間に位置する圧電体と、を有し、前記圧電体の厚さは、50nm以上20μm以下であることが好ましい。

## 【0017】

本適用例によれば、圧電体の厚みを0.05μm以上とすれば、圧電体の伸縮に応じて十分に大きな力を発生することができる。また、圧電体の厚みを20μm以下とすれば、圧電振動部を十分に小型化することができる。

## 【0018】

〔適用例7〕上記適用例に記載の圧電駆動装置において、前記振動体は、シリコンを含むことが好ましい。

## 【0019】

本適用例によれば、圧電駆動装置を、半導体製造装置や半導体製造プロセスを応用して

10

20

30

40

50

製造可能なので、圧電駆動装置を小型、高精度に製造できる。

【 0 0 2 0 】

[ 適用例 8 ] 上記適用例に記載の圧電駆動装置において、前記振動体と前記圧電素子と、を含む第 1 圧電振動部及び第 2 圧電振動部を有することが好ましい。

【 0 0 2 1 】

本適用例によれば、第 1 圧電振動部と第 2 圧電振動部との 2 つの圧電振動部を備えるので、高い動力を得ることができる。

【 0 0 2 2 】

[ 適用例 9 ] 上記適用例に記載の圧電駆動装置において、前記第 1 圧電振動部の上に前記第 2 圧電振動部が積層されていることが好ましい。

10

【 0 0 2 3 】

本適用例によれば、第 1 圧電振動部の上に第 2 圧電振動部を積層することにより、高い動力を得ることができる。また、素子を多層に重ねる場合、振動体の表面の凹部が接着材の逃げの役割を果たし、接着材のはみ出しを防ぐことができる。

【 0 0 2 4 】

[ 適用例 10 ] 本適用例に係るロボットは、複数のリンク部と、前記複数のリンク部を接続する関節部と、前記複数のリンク部を前記関節部で回転させる上記のいずれか一項に記載の圧電駆動装置と、を有することを特徴とする。

【 0 0 2 5 】

本適用例によれば、圧電駆動装置をロボットの駆動に利用できる。

20

【 0 0 2 6 】

[ 適用例 11 ] 本適用例に係る圧電駆動装置の駆動方法は、上記のいずれか一項に記載の圧電駆動装置の駆動方法であって、前記圧電駆動装置は、第 1 電極、第 2 電極、及び前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に位置する圧電体、を有し、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間に、周期的に変化する電圧を印加することを特徴とする。

【 0 0 2 7 】

本適用例によれば、圧電素子の圧電体に印加される電圧は一方向だけなので、圧電体の耐久性を向上できる。

【 0 0 2 8 】

本発明は、種々の形態で実現することが可能であり、例えば、圧電駆動装置の他、圧電駆動装置の駆動方法、圧電駆動装置の製造方法、圧電駆動装置を搭載するロボット、圧電駆動装置を搭載するロボットの駆動方法、電子部品搬送装置、送液ポンプ、及び投薬ポンプ等、様々な形態で実現することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 9 】

【図 1】本実施形態に係る圧電振動部の概略構成を示す説明図、( A ) は平面図、( B ) はその 1 B - 1 B 断面図。

【図 2】本実施形態に係る基板を示す平面図。

【図 3】本実施形態に係る振動体の剛性を示す図。

【図 4】従来の振動体の剛性を示す図。

40

【図 5】圧電駆動装置の等価回路を示す説明図。

【図 6】圧電振動部の動作の例を示す説明図。

【図 7】本実施形態に係る圧電振動部の製造工程で実行される膜形成プロセスを示すフローチャートを示す説明図。

【図 8】本実施形態に係る圧電振動部の製造工程を図示した説明図。

【図 9】配線電極のパターンを示す説明図。

【図 10】圧電駆動装置の構成例を示す説明図、( A ) 及び( B ) は 4 つの圧電振動部を備えている図、( C ) は 2 つの圧電振動部を備えている図。

【図 11】他の実施形態としての圧電振動部の平面図、( A ) は 3 つの圧電素子が形成されている図、( B ) は 4 つの圧電素子が形成されている図、( C ) は 1 つの第 2 電極が形

50

【図 12】圧電振動部の別の構成を示す説明図。

【図 14】ロボットの手首部分の説明図。

【発明を実施するための形態】

以下、本発明を具体化した実施形態について図面に従って説明する。なお、使用する図面は、説明する部分が認識可能な状態となるように、適宜拡大又は縮小して表示している。

図１は、本実施形態に係る圧電振動部の概略構成を示す説明図である。図１（Ａ）は平面図であり、図１（Ｂ）はその１Ｂ－１Ｂ断面図である。図１（Ａ）に示す平面図では、図１（Ｂ）に示した絶縁膜２４０と、配線電極２５０と、保護膜２６０と、については、図示が省略されている。始めに、圧電駆動装置１０と圧電振動部１００との関係を説明する。圧電駆動装置１０は、１以上の圧電振動部１００を備えるものである。したがって、圧電振動部１００が１つしかない場合、圧電駆動装置１０と圧電振動部１００とは同じものである。

圧電振動部 100 は、基板 200 と、圧電素子 110 と、絶縁膜 240 と、配線電極 250 と、保護膜 260 と、を備える。基板 200 は、振動体 210 と、支持部 220 とを備える。振動体 210 と、支持部 220 とは、振動体 210 の長辺の中央で接続されている。支持部 220 のうち、振動体 210 と接続されている端部を「第 1 接続部 222」及び「第 2 接続部 223」と呼び、第 1 接続部 222 及び第 2 接続部 223 以外の部分を「固定部 221」と呼ぶ。なお、第 1 接続部 222 と第 2 接続部 223 とを区別しない場合には、「第 1 接続部 222」及び「第 2 接続部 223」を、それぞれ「接続部 222」及び「接続部 223」とも呼ぶ。振動体 210 は、第 1 面 217 と、凹部 12 が形成された第 2 面 218 とを備えている。基板 200 の上には、圧電素子 110 が形成されている。圧電素子 110 は、基板 200 の第 1 面 217 に形成されている。凹部 12 と圧電素子 110 とは、第 2 面 218 の法線方向から見て、重なる部分を有している。圧電素子 110 の上には、絶縁膜 240 と、配線電極 250 と、保護膜 260 とが形成されている。基板 200 の第 1 面 217 は、平坦であってもよい。これによれば、圧電素子 110 の薄膜は、膜形成プロセスを利用して容易に形成することができる。

圧電素子 1 1 0 は、第 1 電極 1 3 0（膜状に形成されているため「第 1 電極膜 1 3 0」とも呼ぶ。）と、第 1 電極 1 3 0 の上に形成された圧電体 1 4 0（膜状に形成されているため「圧電体膜 1 4 0」とも呼ぶ。）と、圧電体 1 4 0 の上に形成された第 2 電極 1 5 0（膜状に形成されているため「第 2 電極膜 1 5 0」とも呼ぶ。）と、を備え、第 1 電極 1 3 0 と第 2 電極 1 5 0 とは、圧電体 1 4 0 を挟持している。第 1 電極 1 3 0 や第 2 電極 1 5 0 は、例えばスパッタリングによって形成される薄膜である。第 1 電極 1 3 0 や第 2 電極 1 5 0 の材料としては、例えば A l（アルミニウム）や、N i（ニッケル），A u（金），P t（白金），I r（イリジウム），及び C u（銅）などの導電性の高い任意の材料を利用可能である。

圧電体 140 は、例えばゾル - ゲル法やスパッタリング法によって形成され、薄膜形状を有している。圧電体 140 の材料としては、 $ABO_3$  型のペロブスカイト構造を採るセラミックスなど、圧電効果を示す任意の材料を利用可能である。 $ABO_3$  型のペロブスカイト構造を採るセラミックスとしては、例えばチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT)、チタン酸バリウム、チタン酸鉛、ニオブ酸カリウム、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、タングステン酸オトリウム、酸化亜鉛、チタン酸バリウムストロンチウム (BST)、タ

ンタル酸ストロンチウムビスマス (S B T) , メタニオブ酸鉛 , 亜鉛ニオブ酸鉛 , 及びスカンジウムニオブ酸鉛等を用いることが可能である。またセラミック以外の圧電効果を示す材料は、例えばポリフッ化ビニリデン及び水晶等を用いることも可能である。圧電体 140 の厚みは、例えば 50 nm ( 0 . 05  $\mu$  m ) 以上 20  $\mu$  m 以下の範囲とすることが好ましい。この範囲の厚みを有する圧電体 140 の薄膜は、膜形成プロセス ( 「成膜プロセス」 とも呼ぶ。 ) を利用して容易に形成することができる。これによれば、圧電体 140 の厚みを 0 . 05  $\mu$  m 以上とすれば、圧電体 140 の伸縮に応じて十分に大きな力を発生することができる。また、圧電体 140 の厚みを 20  $\mu$  m 以下とすれば、圧電振動部 100 を十分に小型化することができる。

#### 【 0035 】

本実施形態では、圧電振動部 100 は、圧電素子 110 として、5 つの圧電素子 110 a , 110 b , 110 c , 110 d , 110 e を含んでいる。圧電素子 110 e は、ほぼ長方形形状に形成されており、振動体 210 の幅方向の中央において、振動体 210 の長手方向に沿って形成されている。圧電素子 110 a , 110 b , 110 c , 110 d は、振動体 210 の四隅の位置に形成されている。なお、図 1 では、圧電素子 110 が振動体 210 の一方の面に形成されている例を示しているが、圧電素子 110 は、振動体 210 の 2 つの面に形成されていてもよい。この場合、一方の面の圧電素子 110 a ~ 110 e と、他方の面の圧電素子 110 a ~ 110 e とは、振動体 210 を対称面とする対称位置に配置されることが好ましい。

#### 【 0036 】

基板 200 は、第 1 電極 130 と圧電体 140 と第 2 電極 150 とを膜形成プロセスで形成するための基板として使用される。また、基板 200 の振動体 210 は機械的な振動を行う振動板としての機能も有する。基板 200 は、例えば、Si、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、及び ZrO<sub>2</sub> などで形成することができる。Si 製の基板 200 ( 「シリコン基板 200」 とも呼ぶ。 ) として、例えば半導体製造用の Si ウェハーを利用することが可能である。これによれば、圧電駆動装置 10 を、半導体製造装置や半導体製造プロセスを応用して製造可能なので、圧電駆動装置 10 を小型、高精度に製造できる。基板 200 の厚みは、例えば 10  $\mu$  m 以上 100  $\mu$  m 以下の範囲とすることが好ましい。基板 200 の厚みを 10  $\mu$  m 以上とすれば、基板 200 上の成膜処理の際に基板 200 を比較的容易に取り扱うことができる。なお、基板 200 の厚みを 50  $\mu$  m 以上とすれば、基板 200 をさらに容易に取り扱うことができる。また、基板 200 ( 振動体 210 ) の厚みを 100  $\mu$  m 以下とすれば、薄膜で形成された圧電体 140 の伸縮に応じて、振動体 210 を容易に振動させることができる。

#### 【 0037 】

本実施形態では、支持部 220 の上にも、第 1 電極 130 と、圧電体 140 と、第 2 電極 150 と、絶縁膜 240 と、配線電極 250 と、保護膜 260 と、が形成されている。その結果、振動体 210 における圧電振動部 100 の厚さと支持部 220 における圧電振動部 100 の厚さとをほぼ同じにする ( 例えば厚さの差を 6  $\mu$  m 以下、あるいは 3  $\mu$  m 以下にする ) ことができる。これにより複数の圧電振動部 100 を重ねて圧電駆動装置 10 を構成する場合、振動体 210 における隣接する 2 つの圧電振動部 100 の間の隙間と、支持部 220 における隣接する 2 つの圧電振動部 100 の間の隙間とをほぼ同じにできるので、圧電振動部 100 間のガタツキが発生し難い。なお、固定部 221 の上の第 1 電極 130 と、圧電体 140 と、第 2 電極 150 とは、動作可能な圧電素子を構成していないことが好ましい。動作可能な圧電素子を構成していなければ、圧電体 140 が変形しないので、固定部 221 を他の部材と固定しやすい。本実施形態では、後述するように、配線電極 250 を介して振動体 210 上の第 1 電極 130 と、第 2 電極 150 とに電圧を印加する。動作可能な圧電素子を構成しないようにするには、( i ) 固定部 221 の上の第 1 電極 130 と、第 2 電極 150 とを、振動体 210 上の第 1 電極 130 と、第 2 電極 150 とに電圧を印加するための配線電極 250 と接続しない、あるいは、( ii ) 固定部 221 の上の第 1 電極 130 と、固定部 221 の上の第 2 電極 150 とを互いに接続する、

10

20

30

40

50

の少なくとも一方を行えば良い。なお、固定部 221 の上の電極 130, 150 と、振動体 210 の上の電極 130, 150 とは、互いに接続されておらず、分離されている。上記説明では、第 1 電極 130 と、圧電体 140 と、第 2 電極 150 とは、支持部 220 (固定部 221 と接続部 222, 223) の上に形成されているとしたが、支持部 220 のうち、接続部 222, 223 の上には第 1 電極 130 と、圧電体 140 と、第 2 電極 150 とが形成されない構成であってもよい。

#### 【0038】

図 2 は、本実施形態に係る基板 200 を示す平面図である。基板 200 は、振動体 210 と、支持部 220 (固定部 221 と接続部 222, 223) と、を備えている。図 2 では、振動体 210 と支持部 220 とを区別しやすくするために、振動体 210 にハッチングを付し、支持部 220 (固定部 221 と接続部 222, 223) には、ハッチングを付していない。振動体 210 は、第 1 辺 211 と、第 2 辺 212 と、第 3 辺 213 と、第 4 辺 214 と、の 4 辺を含む長方形形状を有している。第 1 辺 211 と、第 2 辺 212 とは互いに対辺であり、第 3 辺 213 と第 4 辺 214 とは、互いに対辺である。第 3 辺 213 と第 4 辺 214 とは、それぞれ、第 1 辺 211 と第 2 辺 212 との間をつなぎ、第 1 辺 211 よりも長い。

#### 【0039】

振動体 210 は、第 1 面 217 と、凹部 12 が形成された第 2 面 218 とを備えている。振動体 210 は少なくとも一つの凹部 12 を備えている。凹部 12 は穴状の形状を有している。凹部 12 は溝状であってもよい。これによれば、凹部 12 を容易に形成することができる。凹部 12 の形状は特に限定されず、例えば、円柱状であってもよい。凹部 12 の内周はテーパ形状に形成されていてもよい。凹部 12 は平面形状が矩形又は円形に形成されていてもよい。凹部 12 は千鳥状に配列されていてもよい。

#### 【0040】

振動体 210 は、第 1 線に対して対称な形状である。ここで、第 1 線は任意の線であり、本実施形態では、第 1 線は、第 1 辺 211 の中点と第 2 辺 212 の中点とを結んだ線とも言えるし、第 3 辺 213 の中点と第 4 辺 214 の中点とを結んだ線とも言える。

凹部 12 は、上記第 1 線に対して対称に配置されてもよい。これによれば、凹部 12 の配置によって振動体 210 の剛性に等方性を持たせ、圧電駆動装置 10 の先端が描く軌道の分布が方向に依存しないようにコントロールすることができる。

凹部 12 は、上記第 1 線に対して非対称に配置されてもよい。これによれば、凹部 12 の配置によって振動体 210 の剛性に異方性を持たせ、圧電駆動装置 10 の先端が描く軌道をコントロールすることができる。

#### 【0041】

2 つの接続部 222, 223 は、それぞれ固定部 221 の端部に設けられ、振動体 210 の第 3 辺 213 と第 4 辺 214 とのそれぞれ中央の位置に接続されている。固定部 221 は、第 1 接続部 222 から第 2 辺 212 側を回って、第 2 接続部 223 に至るように、第 1 辺 211 よりも第 2 辺 212 に近い側に配置されている。振動体 210 と、支持部 220 とは、1 枚のシリコン基板から一体形成されている。具体的には、圧電素子 110 が形成されたシリコン基板をエッチングすることにより、個々の基板 200 の形状を形成するとともに、振動体 210 と、支持部 220 との間の隙間 205 を形成する。これにより、振動体 210 と、支持部 220 (固定部 221 と接続部 222, 223) とが一体形成される。

#### 【0042】

振動体 210 の長さ L (第 3 辺 213 及び第 4 辺 214 の長さ) と幅 W (第 1 辺 211 及び第 2 辺 212 の長さ) との比は、 $L:W = \text{約 } 7:2$  とすることが好ましい。この比は、振動体 210 がその平面に沿って左右に屈曲する超音波振動 (後述) を行うために好ましい値である。振動体 210 の長さ L は、例えば 0.1 mm 以上 30 mm 以下の範囲とすることができ、幅 W は、例えば 0.02 mm 以上 9 mm 以下の範囲とすることができ、なお、振動体 210 が超音波振動を行うために、長さ L は 50 mm 以下とすることが好ま

10

20

30

40

50

しい。

#### 【0043】

図3は、本実施形態に係る振動体210の剛性を示す図である。図4は、従来の振動体の剛性を示す図である。

上述の実施形態の効果を確認するために振動体210の剛性のシミュレーションを行った。振動体210の大きさは、縦が3.5mmで、横が1.00mmで、厚さが0.2mm(0.1mmを2枚)である。各接続部222, 223の大きさは、横が0.25mmで、縦が0.3mmである。凹部12の大きさは、横が0.1mmで、深さが0.05mmである。その配列は、縦が0.15mmで、横が0.2mmのピッチで片側23×5=115穴(両面に凹部12あり)である。

10

#### 【0044】

シミュレーション結果を図3及び図4に示す。それぞれ同じ力で素子長辺方向に力を加えた時の各領域の変位(量)を求めており、変位が大きければ振動体210の剛性が低いということになる。図3のように振動体210に凹部12をパターン化して作った形状にすることで、図4の凹部のない形状に比べて変位(1N引張時の変位)が54nm(凹部なし)70nm(凹部12あり)で約1.3倍になっている。つまり、圧電素子110へ同じ電力を加えた場合、変位が約1.3倍になる。変位が増えた分、出力が増加すると予測できる。同じ電力で出力が増加すれば、効率は向上する。

#### 【0045】

振動体210の第1辺211には、凹部216が形成されている。凹部216には、被駆動部材と接触可能な接触子20が嵌め込まれて接合(通常は接着)される。接触子20は、被駆動部材と接触して、被駆動部材に力を与えるための部材である。接触子20は、セラミックス(例えば $Al_2O_3$ )などの耐久性がある材料で形成することが好ましい。

20

#### 【0046】

図5は、圧電駆動装置10の等価回路を示す説明図である。図5に示す等価回路は、1つの圧電振動部100を動作するものを例として図示している。圧電素子110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110a, 110dを有する。第2グループは、2つの圧電素子110b, 110cを有する。第3グループは、1つの圧電素子110eのみを有する。第1グループの圧電素子110a, 110dは、互いに並列に接続され、駆動回路300に接続されている。第2グループの圧電素子110b, 110cは、互いに並列に接続され、駆動回路300に接続されている。第3グループの圧電素子110eは、単独で駆動回路300に接続されている。

30

#### 【0047】

駆動回路300は、5つの圧電素子110a~110eのうちの所定の圧電素子、例えば第1グループの圧電素子110a, 110dの第1電極130と第2電極150との間に周期的に変化する交流電圧又は脈流電圧を印加することにより、圧電振動部100を超音波振動させて、接触子20に接触するローター(被駆動体、被駆動部材)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、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である。電流の向きは、第1電極130から第2電極150に向かうよりも第2電極150から第1電極130に向かう方が好ましい。また、第2グループの圧電素子110b, 110cの第1電極130と第2電極150との間に交流電圧又は脈流電圧を印加することにより、接触子20に接触するローターを逆方向に回転させることが可能である。

40

#### 【0048】

駆動回路300は、圧電素子110の共振周波数と同じ周波数の交流電圧又は脈流電圧を印加させてもよい。こうすることで、圧電素子110を滑らかに屈曲振動又は縦振動させることができる。本実施形態の圧電駆動装置10は、振動体210に凹部12を設けることにより、圧電素子110の共振周波数が下がる。また、縦共振と屈曲共振との差も変わるの、凹部12の個数や形状によって共振周波数の調整が可能である。さらに、凹部

50



12の形状の分布や形状により、振動体210の剛性に異方性を持たせることができる。これにより、ローターと接する接触子20が描く軌跡の変位をコントロールでき、効率のよい駆動が実現できる。

#### 【0049】

図6は、圧電振動部100の動作の例を示す説明図である。圧電振動部100の接触子20は、被駆動部材としてのローター50の外周に接触している。図6に示す例では、第1グループの2つの圧電素子110a, 110dに交流電圧又は脈流電圧を印加しており、圧電素子110a, 110dは図6の矢印xの方向に伸縮する。これに応じて、圧電振動部100の振動体210が振動体210の平面内で屈曲して蛇行形状(S字形状)に変形し、接触子20の先端が矢印yの向きに往復運動するか、又は、楕円運動する。その結果、ローター50は、その中心51の周りに所定の方向z(図6では時計回り方向)に回転する。なお、駆動回路300が、第2グループの2つの圧電素子110b, 110c(図1)に交流電圧又は脈流電圧を印加する場合には、ローター50は逆方向に回転する。なお、中央の圧電素子110eに、交流電圧又は脈流電圧を印加すれば、圧電駆動装置10が長手方向に伸縮するので、接触子20からローター50に与える力をより大きくすることが可能である。これによれば、圧電素子110a, 110dの圧電体140に印加される電圧は一方向だけなので、圧電体140の耐久性を向上できる。なお、圧電駆動装置10(又は圧電振動部100)のこのような動作については、上記先行技術文献1(特開2004-320979号公報、又は、対応する米国特許第7224102号)に記載されており、その開示内容は参照により組み込まれる。

10

20

#### 【0050】

図7は、本実施形態に係る圧電振動部100の製造工程で実行される膜形成プロセスを示すフローチャートを示す説明図である。図8は、本実施形態に係る圧電振動部100の製造工程を図示した説明図である。ステップS100では、基板200上に絶縁膜201を形成する。基板200として例えばSiウェハーを利用することができる。1枚のSiウェハー上には、圧電振動部100を複数個形成することが可能である。絶縁膜201としては、例えば、基板200の表面を熱酸化して形成されるSiO<sub>2</sub>膜を利用することができる。なお、図1では、絶縁膜201の図示が省略されている。その他、絶縁膜201としてアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、アクリルやポリイミドなどの有機材料を用いることができる。なお、基板200が絶縁体である場合には、絶縁膜201を形成する工程は省略可能である。

30

#### 【0051】

ステップS110では、第1電極130を形成し、パターニングする。第1電極130は、例えば、スパッタリングにより形成でき、パターニングは、エッチングにより行うことができる。

#### 【0052】

ステップS120では、第1電極130の上に圧電体140を形成し、パターニングする。圧電体140を形成は、例えばゾル-ゲル法を用いて行うことが可能である。すなわち、圧電体材料のゾルゲル溶液を基板200(第1電極130)の上に滴下し、基板200を高速回転させることにより、第1電極130の上にゾルゲル溶液の薄膜を形成する。その後、200~300の温度で仮焼きして第1電極130の上に圧電体材料の第1層を形成する。その後、ゾルゲル溶液の滴下、高速回転、仮焼き、のサイクルを複数回繰り返すことによって、第1電極130の上に所望の厚さまで圧電体膜を形成する。なお、1サイクルで形成される圧電体の一層の厚みは、ゾルゲル溶液の粘度や、基板200の回転速度にも依存するが、約50nm~150nmの厚さとなる。所望の厚さまで圧電体膜を形成した後、600~1000の温度で焼結することにより、圧電体140を形成する。焼結後の圧電体140の厚さを、50nm(0.05μm)以上20μm以下とすれば、小型の圧電駆動装置10を実現できる。なお、圧電体140の厚さを0.05μm以上とすれば、圧電体140の伸縮に応じて十分に大きな力を発生することができる。また、圧電体140の厚さを20μm以下とすれば、圧電体140に印加する電圧を600V

40

50

以下としても十分に大きな力を発生することができる。その結果、圧電駆動装置 10 を駆動するための駆動回路 300 を安価な素子で構成できる。なお、圧電体の厚さを 400 nm 以上としてもよく、この場合、圧電素子で発生する力を大きくできる。なお、仮焼きや焼結の温度、時間は、一例であり、圧電体材料により、適宜選択される。

#### 【0053】

ゾル - ゲル法を用いて圧電体材料の薄膜を形成した後に焼結した場合には、原料粉末を混合して焼結する従来の焼結法と比較して、(a) 薄膜を形成しやすい、(b) 格子方向を揃えて結晶化し易い、(c) 圧電体の耐圧を向上できる、というメリットがある。

#### 【0054】

本実施形態では、ステップ S120 において、アルゴンイオンビームを用いたイオンミリングにより、圧電体 140 のパターニングを行っている。なお、イオンミリングを用いてパターニングを行う代わりに、他の任意のパターニング方法（例えば、塩素系のガスを用いたドライエッチング）によりパターニングを行っても良い。

#### 【0055】

ステップ S130 では、圧電体 140 の上に第 2 電極 150 を形成し、パターニングする。第 2 電極 150 の形成及びパターニングは、第 1 電極 130 と同様に、スパッタリングとエッチングにより行うことができる。

#### 【0056】

ステップ S140 では、第 2 電極 150 の上に絶縁膜 240 を形成する。ステップ S150 では、絶縁膜 240 の上に配線電極 250 を形成する。

#### 【0057】

図 9 は、配線電極 250 のパターンを示す説明図である。配線電極 250 は、4 つの配線パターン 251, 252, 253, 254 を有している。これらの配線パターン 251 ~ 254 は、固定部 221 の上から接続部 222, 223 の上を通過して振動体 210 上に至るように形成されている。第 1 配線パターン 251 は、振動体 210 上で、圧電素子 110a, 110d (図 1) の第 2 電極 150 と接続される。同様に、第 2 配線パターン 252 は、振動体 210 上で、圧電素子 110b, 110c の第 2 電極 150 と接続され、第 3 配線パターン 253 は、振動体 210 上で、圧電素子 110e の第 2 電極 150 と接続され、第 4 配線パターン 254 は、振動体 210 上で、圧電素子 110a, 110b, 110c, 110d, 110e の第 1 電極 130 と接続される。また、これらの配線パターン 251 ~ 254 は、支持部 220 上 (接続部 222, 223 上を除く) で、駆動回路 300 からの配線と接続されている。なお、配線パターン 251 ~ 254 は、固定部 221 上の第 1 電極 130 及び第 2 電極 150 とは接続されていない。

#### 【0058】

ステップ S160 では、保護膜 260 を形成し、ステップ S170 では、エッチングにより、個々の基板 200 の形状を形成すると同時に、振動体 210 と、支持部 220 との間に隙間 205 を形成し、第 1 辺 211 に凹部 216 を形成する。凹部 216 には、接触子 20 が接着剤で接着される。また、振動体 210 の第 2 面 218 に凹部 12 を形成する。

#### 【0059】

以上、本実施形態によれば、振動体 210 と支持部 220 (固定部 221 と接続部 222, 223) とが一体成形されており、振動体 210 の少なくとも一方の面に第 1 電極 130 と圧電体 140 と第 2 電極 150 とで一体に形成された圧電素子 110 を備える。したがって、振動体 210 と圧電素子 110 との間に接着剤膜がなく、駆動力の伝達ロスが発生し難い。

#### 【0060】

図 10 は、圧電駆動装置の構成例を示す説明図である。図 10 (A) 及び (B) は 4 つの圧電振動部 100a, 100b, 100c, 100d を備えている図であり、図 10 (C) は 2 つの圧電振動部 100e, 100f を備えている図である。

図 10 (A) に示す圧電駆動装置 10a は、4 つの圧電振動部 100a, 100b, 1

10

20

30

40

50

00c, 100dを備えている。各圧電振動部100a~100dは、上述した圧電振動部100と同様に、振動体210と支持部220とを備えている。第2圧電振動部100bの支持部や固定部を「第2支持部」及び「第2固定部」と呼ぶ。以下、第3圧電振動部100c、第4圧電振動部100dについても同様である。この例では、第2圧電振動部100bは、第1圧電振動部100aの振動体210と、第1圧電振動部100aに隣接する第2圧電振動部100bの圧電素子110（第2圧電素子）とが接着剤膜270により接着されている。これによれば、振動体210表面の凹部12形状が接着剤膜270の逃げの役割を果たし、接着剤膜270のはみ出しを防ぐことができる。

【0061】

図10(B)に示す圧電駆動装置10bも、同様に4つの圧電振動部100a, 100b, 100c, 100dを備えている。ただし、図10(B)では、第1圧電振動部100aの振動体210と、第1圧電振動部100aに隣接する第2圧電振動部100bの振動体210（「第2振動体210」とも呼ぶ。）と、が接着剤膜270により接着され、第2圧電振動部100bの圧電素子110と、第2圧電振動部100bに隣接する第3圧電振動部100cの圧電素子110と、が接着剤膜270により接着されている。これによれば、振動体210表面の凹部12形状が接着剤膜270の逃げの役割を果たし、接着剤膜270のはみ出しを防ぐことができる。

【0062】

なお、第1圧電振動部100aの振動体210と、第1圧電振動部100aに隣接する第2圧電振動部100bの振動体210（「第2振動体210」とも呼ぶ。）とは、接着剤膜270の有無にかかわらず、凹部12同士をずらして（図面上左右）嵌合してもよい。

【0063】

図10(C)に示す圧電駆動装置10cは、2つの圧電振動部100e, 100fを備えており、これらの圧電振動部100e, 100fは、いずれも振動体210の両面に圧電素子110を備える構成である。第1圧電振動部100eの圧電素子110と、第1圧電振動部100eに隣接する第2圧電振動部100fの圧電素子110とが接着剤膜270により接着されている。

【0064】

このように、圧電駆動装置10は、2以上の圧電振動部100を振動体210の法線方向に積層した構成を備えていても良い。これにより、駆動力を大きくできる。なお、本実施形態では、圧電駆動装置10は、2以上の圧電振動部100を振動体210の法線方向に積層した構成を備えているが、2以上の圧電振動部100を振動体210の平面に沿って配置しても良い。これによれば、2以上の圧電振動部100を振動体210の法線方向に積層した構成と比較して、圧電駆動装置10を薄型化することができる。

【0065】

図11は、他の実施形態としての圧電振動部の平面図であり、第1実施形態の図1(A)に対応する図である。図11(A)は3つの圧電素子110a, 110e, 110dが形成されている図であり、図11(B)は4つの圧電素子110a, 110b, 110c, 110dが形成されている図であり、図11(C)は1つの第2電極150eが形成されている図である。図11(A)、(B)、及び(C)では、図示の便宜上、振動体210のみを図示し、支持部220や接続部222, 223は、図示が省略されている。図11(A)の圧電振動部100gでは、一对の圧電素子110b, 110cが省略されている。この圧電振動部100gも、図6に示すような1つの方向zにローター50を回転させることが可能である。なお、図11(A)の3つの圧電素子110a, 110e, 110dには同じ電圧が印加されるので、これらの3つの圧電素子110a, 110e, 110dの第2電極(150a, 150e, 150d)を、連続する1つの電極膜として形成してもよい。

【0066】

図11(B)は、本発明のさらに他の実施形態としての圧電振動部100hの平面図で

ある。この圧電振動部 100h では、図 1 (A) の中央の圧電素子 110e が省略されており、他の 4 つの圧電素子 110a, 110b, 110c, 110d が図 1 (A) よりも大きな面積に形成されている。この圧電振動部 100c も、第 1 実施形態とほぼ同様な効果を達成することができる。

【0067】

図 11 (C) は、本発明のさらに他の実施形態としての圧電振動部 100j の平面図である。この圧電振動部 100j では、図 1 (A) の 4 つの第 2 電極 150a, 150b, 150c, 150d が省略されており、1 つの第 2 電極 150e が大きな面積で形成されている。この圧電振動部 100d は、長手方向に伸縮するだけであるが、接触子 20 から被駆動体 (図示省略) に対して大きな力を与えることが可能である。

10

【0068】

図 1 及び図 11 (A)、(B)、及び (C) から理解できるように、圧電振動部 100 の第 2 電極 150 としては、少なくとも 1 つの電極膜を設けることができる。ただし、図 1 及び図 11 (A) 及び (B) に示す実施形態のように、長方形の振動体 210 の対角の位置に圧電素子 110 (第 2 電極 150) を設けるようにすれば、振動体 210 を、その平面内で屈曲する蛇行形状に変形させることが可能である点で好ましい。

【0069】

図 12 は、圧電振動部 100 の別の構成を示す説明図である。圧電振動部 100k は、図 1 に示す圧電振動部 100 と比較すると、以下の点が異なっている。図 1 に示す圧電振動部 100 では、基板 200 の上に圧電素子 110 が形成され、その上に絶縁膜 240 と配線電極 250 と保護膜 260 とが形成されている。図 12 に示す圧電振動部 100k では、基板 200 の上に絶縁膜 240 と配線電極 250 と絶縁膜 265 とが形成され、絶縁膜 265 の上に圧電素子 110 が配置されている。すなわち、圧電体 140 よりも基板 200 側に配線電極 250 が形成される。このような構成であっても良い。この構成の場合、配線電極 250 の下層に圧電体 140 がなく、圧電体 140 の厚さの影響を受けないので、配線電極 250 が断線しにくいという効果がある。

20

【0070】

(圧電駆動装置を用いた装置の実施形態)

上述した圧電駆動装置 10 は、共振を利用することで被駆動部材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。圧電駆動装置 10 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 (例えば紙送り機構。ただし、ヘッドに利用される圧電駆動装置では、振動板を共振させないので、ヘッドには適用不可である。) 等の各種の機器における駆動装置として用いることができる。以下、代表的な実施の形態について説明する。

30

【0071】

図 13 は、上述の圧電駆動装置 10 を利用したロボット 2050 の一例を示す説明図である。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 の間を回動又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。それぞれの関節部 2020 には、上述した圧電駆動装置 10 が内蔵されており、圧電駆動装置 10 を用いて関節部 2020 を任意の角度だけ回動又は屈曲させることが可能である。アーム 2010 の先端には、ロボットハンド 2000 が接続されている。ロボットハンド 2000 は、一対の把持部 2003 を備えている。ロボットハンド 2000 にも圧電駆動装置 10 が内蔵されており、圧電駆動装置 10 を用いて把持部 2003 を開閉してものを把持することが可能である。また、ロボットハンド 2000 とアーム 2010 との間にも圧電駆動装置 10 が設けられており、圧電駆動装置 10 を用いてロボットハンド 2000 をアーム 2010 に対して回転させることも可能である。

40

【0072】

図 14 は、図 13 に示したロボット 2050 の手首部分の説明図である。手首の関節部

50

2020は、手首回転部2022を挟持しており、手首回転部2022に手首のリンク部2012が、手首回転部2022の中心軸O周りに回転可能に取り付けられている。手首回転部2022は、圧電駆動装置10を備えており、圧電駆動装置10は、手首のリンク部2012及びロボットハンド2000を中心軸O周りに回転させる。ロボットハンド2000には、複数の把持部2003が立設されている。把持部2003の基端部はロボットハンド2000内で移動可能となっており、この把持部2003の根元の部分に圧電駆動装置10が搭載されている。このため、圧電駆動装置10を動作させることで、把持部2003を移動させて対象物を把持することができる。

#### 【0073】

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10を適用可能である。ここで、手首の関節部2020やロボットハンド2000の内部には、圧電駆動装置10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2020やロボットハンド2000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、上述した実施形態の圧電駆動装置10は、通常の電動モーターや、従来の圧電駆動装置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。

#### 【0074】

図15は、上述の圧電駆動装置10を利用した送液ポンプ2200の一例を示す説明図である。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10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、が設けられている。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10の接触子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10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2213～2219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2213～2219が順番に放射方向外側に押される。フィンガー2213～2219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、極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。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、上述した実施形態の圧電駆動装置10を用いることにより、従来の圧電駆動装置よりも駆動電流が小さくなるので、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。

#### 【0075】

以上、いくつかの実施例に基づいて本発明の実施の形態について説明してきたが、上記した発明の実施の形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明は、その趣旨並びに特許請求の範囲を逸脱することなく、変更、改良され得るとともに、本発明にはその等価物が含まれることはもちろんである。

#### 【符号の説明】

#### 【0076】

10, 10a, 10b, 10c...圧電駆動装置 12...凹部 20...接触子 50...ローター 51...中心 100, 100a, 100b, 100c, 100d, 100e, 100f, 100g, 100h, 100j, 100k...圧電振動部 110, 110a, 1

10

20

30

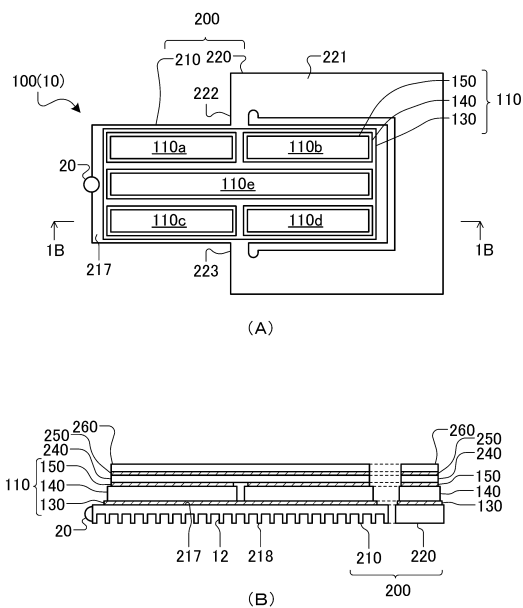
40

50

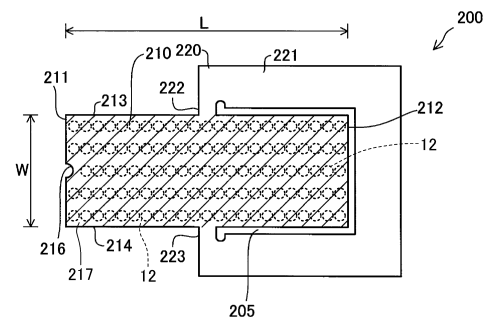
10b, 110c, 110d, 110e...圧電素子 130...第1電極(第1電極膜)  
 140...圧電体(圧電体膜) 150, 150a, 150b, 150c, 150d, 150e...第2電極(第2電極膜)  
 200...基板 201...絶縁膜 205...隙間 210...振動体 211...第1辺 212...第2辺 213...第3辺 214...第4辺 216...凹部  
 217...第1面 218...第2面 220...支持部 221...固定部 222...第1接続部 223...第2接続部  
 240...絶縁膜 250...配線電極 251, 252, 253, 254...配線パターン 260...保護膜 265...絶縁膜 270...接着剤膜  
 300...駆動回路 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 2022...手首回転部 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 2213~2219...フィンガー 2222...ローター 2223...減速伝達機構  
 2230...ケース。

10

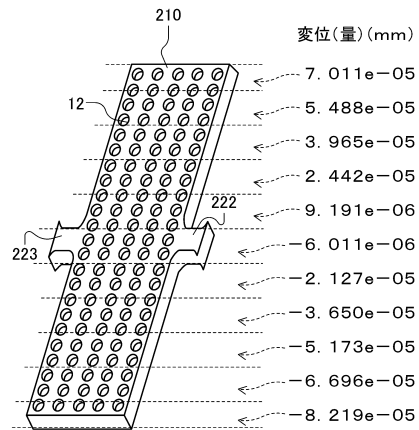
【図1】



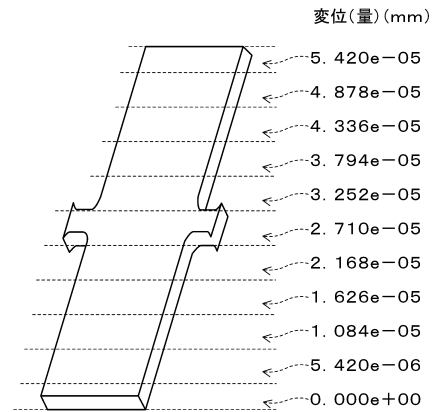
【図2】



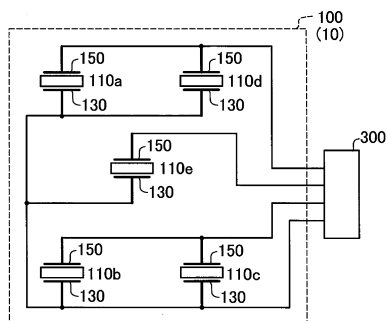
【図 3】



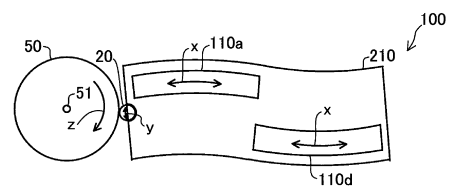
【図 4】



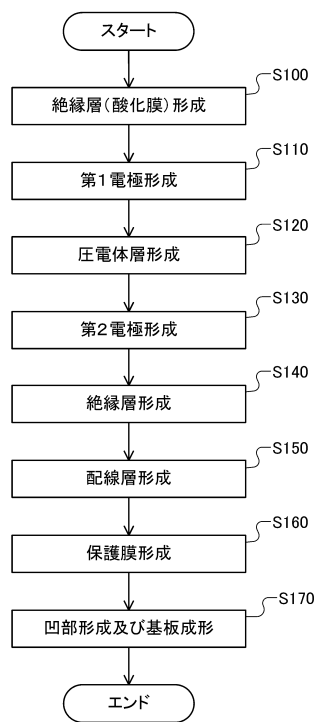
【図 5】



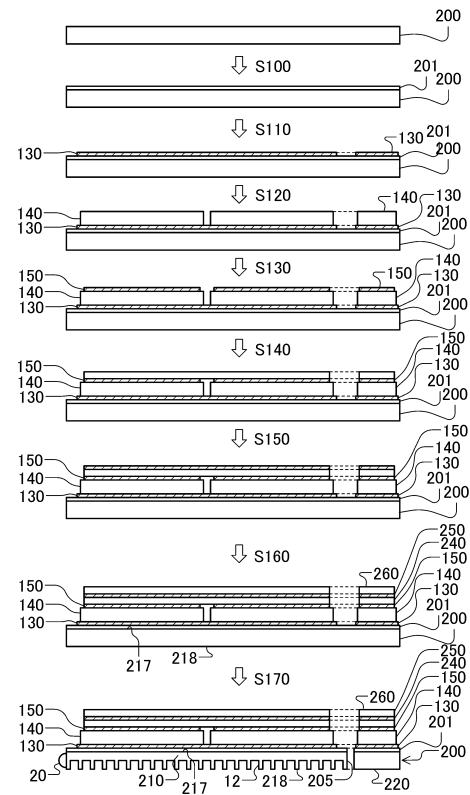
【図 6】



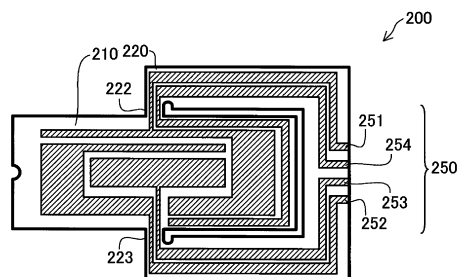
【図 7】



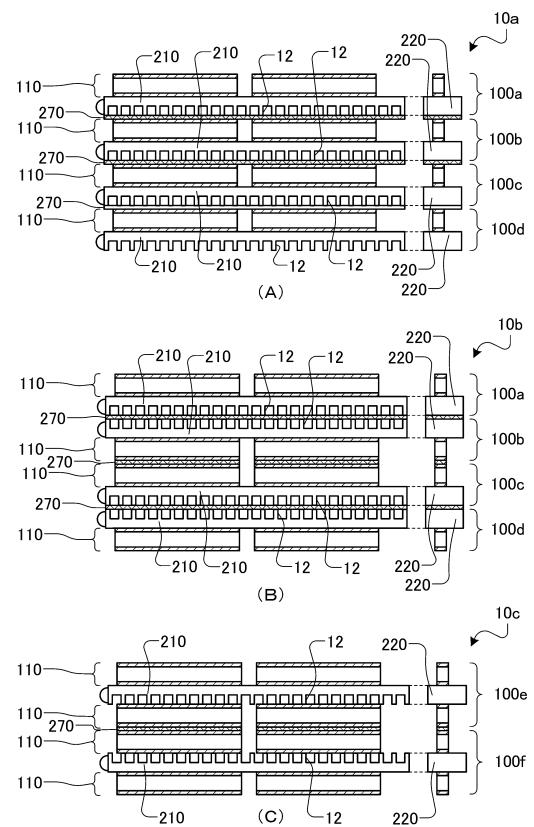
【図 8】



【図 9】

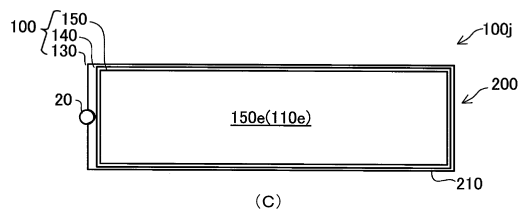
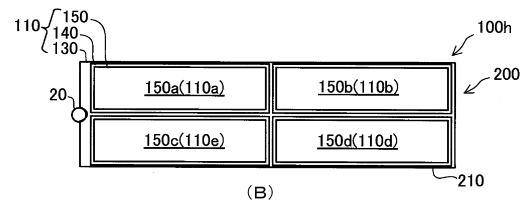
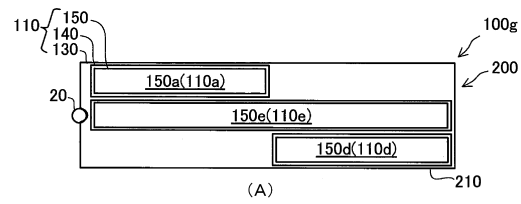


【図 10】

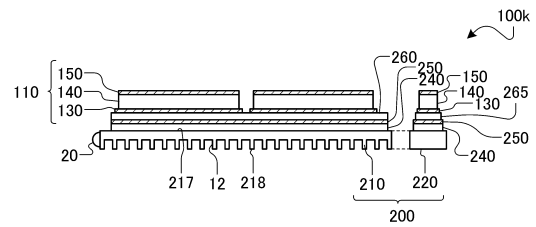




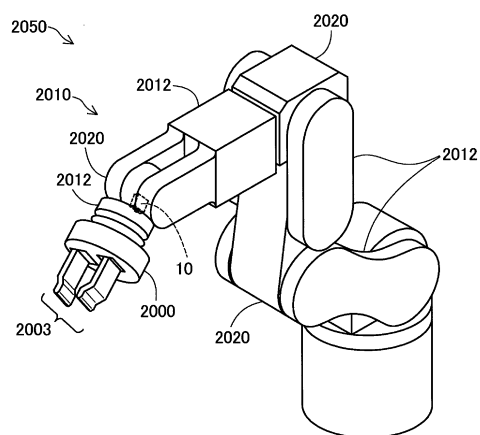
【図 1 1】



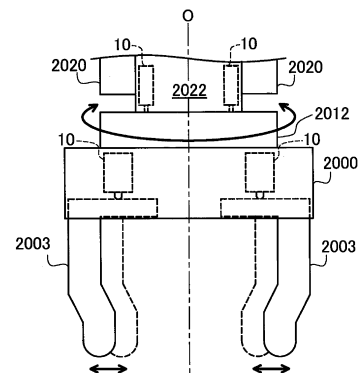
【図 1 2】



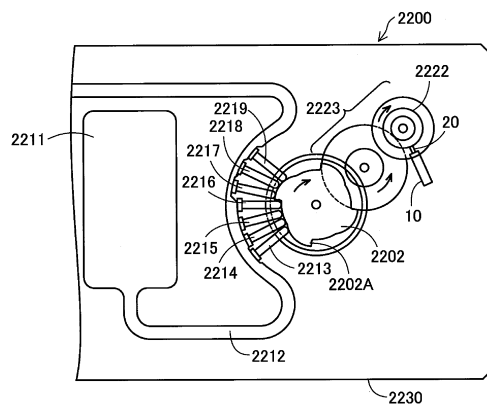
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 15】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 小西 晃雄  
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
- (72)発明者 露木 幸一郎  
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

審査官 末續 礼子

- (56)参考文献 特開2003-134861(JP,A)  
特開平09-182468(JP,A)  
特開2003-008094(JP,A)  
特開2004-187334(JP,A)  
特開2014-082874(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |        |
|------|--------|
| H02N | 2/12   |
| H01L | 41/09  |
| H01L | 41/187 |