(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2017-135935
(P2017-135935A)
(43)公開日　平成29年8月3日(2017.8.3)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H02N 2/00	(2006.01)	H02N	2/00	C	3C707
H01L 41/09	(2006.01)	H01L	41/09		5H681
B25J 19/00	(2006.01)	B25J	19/00	A	

審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　（全 19 頁）

(21)出願番号　特願2016-15704(P2016-15704)
(22)出願日　平成28年1月29日(2016.1.29)

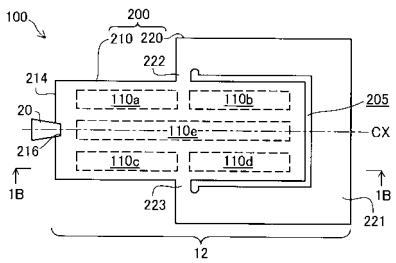
(71)出願人　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区新宿四丁目１番６号
(74)代理人　110000028
特許業務法人明成国際特許事務所
(72)発明者　岩▲崎▼　友寿
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内
(72)発明者　橋本　泰治
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

Ｆターム(参考)　3C707 CX01 CY36 ES03 HS29
5H681 AA10 AA12 BB02 BB12 BB17
BC08 CC02 DD23 DD39 DD63
DD89 FF33 FF36

(54)【発明の名称】圧電アクチュエーター、圧電モーター、ロボット、ハンドおよび送液ポンプ

(57)【要約】
【課題】突起部の摩耗に応じて振動体の共振周波数が上昇し、振動体の振動特性が変化することを低減する。
【解決手段】圧電アクチュエーター１０は、第１の面１４と第１の面１４に交差する第２の面１６とを有し、振動する振動体１２と、第２の面１６に配置されていて、振動体１２から突出する突起部２０と、を備える。突起部２０は、第２の面１６に沿った断面の断面積が、突出方向に向かって大きくなる部分を有する。
【選択図】図１Ａ

図1A



【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１の面と前記第１の面に交差する第２の面とを有し、振動する振動体と、
前記第２の面に配置されていて、前記振動体から突出する突起部と、
を備え、
前記突起部は、前記第２の面に沿った断面の断面積が、前記突起部の突出方向に向かって大きくなる部分を有する、圧電アクチュエーター。
【請求項２】
前記突起部は前記振動体と一体である請求項１に記載の圧電アクチュエーター。
【請求項３】
前記第１の面と交わる方向に請求項１または請求項２に記載の振動体が複数配置されており、
複数の前記振動体が配置される方向に沿った前記第２の面に前記突起部が配置されている、圧電アクチュエーター。
【請求項４】
前記突起部は台形柱である請求項１乃至請求項３のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーター。
【請求項５】
前記突起部は角錐台である請求項１乃至請求項３のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーター。
【請求項６】
前記突起部は円錐台である請求項１乃至請求項３のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーター。
【請求項７】
請求項１乃至請求項６のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーターを備える圧電モーター。
【請求項８】
請求項１乃至請求項６のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーターを備えるロボット。
【請求項９】
請求項１乃至請求項６のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーターを備えるハンド。
【請求項１０】
請求項１乃至請求項６のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーターを備える送液ポンプ。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、圧電アクチュエーター、および圧電アクチュエーターを用いた各種の装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
特許文献１では、超音波モーター用振動子の接触子として用いられる摩擦接触部材として、振動子先端の接触子が被駆動体との摩擦接触で摩耗する際に軸方向に沿って横断面の外形と横断面積が同一の状態を保つピン形部材が用いられている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２０１１－１５５７６１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、接触子としての摩擦接触部材の摩耗が進むと、振動子（以下、「振動体」とも呼ぶ）の剛性が高くなって、振動体の共振周波数が上昇する、という問題がある。そして、振動体の駆動周波数が共振周波数あるいは共振周波数の近傍とされた場合、駆動時間の増加に伴って、振動体の共振周波数が変化し、振動体の振動特性が変化する、という問題がある。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
本発明は、上述の課題を解決するためになされたものであり、以下の形態として実現することが可能である。
【０００６】
（１）本発明の一形態によれば、圧電アクチュエーターが提供される。この圧電アクチュエーターは、第１の面と前記第１の面に交差する第２の面とを有し、振動する振動体と、前記第２の面に配置されていて、前記振動体から突出する突起部と、を備える。前記突起部は、前記第２の面に沿った断面の断面積が、前記突起部の突出方向に向かって大きくなる部分を有する。
この形態の圧電アクチュエーターによれば、突起部の消耗に応じて突起部の断面積が小さくなるので、振動体の剛性が高くなって、振動体の共振周波数が上昇し、振動体の振動特性が変化することを低減することが可能である。
【０００７】
（２）上記形態の圧電アクチュエーターにおいて、前記突起部は前記振動体と一体であるとしてもよい。
この形態の圧電アクチュエーターによれば、突起部が別体で構成されている場合に比べて、耐久性の点で有利である。
【０００８】
（３）本発明の他の形態によれば、圧電アクチュエーターが提供される。この圧電アクチュエーターは、前記第１の面と交わる方向に上記いずれか一つの振動体が複数配置されており、複数の前記振動体が配置される方向に沿った前記第２の面に前記突起部が配置されている。
この形態の圧電アクチュエーターによれば、振動体が複数積層されているので、振動力を大きくできる。
【０００９】
（４）上記形態の圧電アクチュエーターにおいて、前記突起部は台形柱であってもよい。このようにすれば、突起部を、断面積が突出方向に向かって大きくなる部分を有する形状とすることができる。
【００１０】
（５）上記形態の圧電アクチュエーターにおいて、前記突起部は角錐台であってもよい。このようにすれば、突起部を、断面積が突出方向に向かって大きくなる部分を有する形状とすることができる。
【００１１】
（６）上記形態の圧電アクチュエーターにおいて、前記突起部は円錐台であってもよい。このようにすれば、突起部を、断面積が突出方向に向かって大きくなる部分を有する形状とすることができる。
【００１２】
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、圧電アクチュエーターの他、圧電アクチュエーターを備える圧電モーター、圧電アクチュエーターを備えるロボット、圧電アクチュエーターを備えるハンド、圧電アクチュエーターを備える送液ポンプ等様々な形態で実現することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１３】

【図１Ａ】第１実施形態の圧電アクチュエーターの概略構成を示す平面図である。
【図１Ｂ】図１Ａの圧電アクチュエーターの１Ｂ－１Ｂ断面図である。
【図２】配線層による配線のパターンの例を示す説明図である。
【図３】圧電振動体の等価回路を示す説明図である。
【図４Ａ】圧電振動体の縦振動の例を示す説明図である。
【図４Ｂ】圧電振動体の屈曲振動の例を示す説明図である。
【図５Ａ】比較例としての圧電アクチュエーターの問題点を示す説明図である。
【図５Ｂ】突起部の消耗量の増加に応じた共振周波数の変化を示すグラフである。
【図６Ａ】変形例の突起部の概略構成を示す斜視図である。
【図６Ｂ】変形例の突起部の概略構成を示す斜視図である。
【図６Ｃ】変形例の突起部の概略構成を示す斜視図である。
【図６Ｄ】変形例の突起部の概略構成を示す平面図である。
【図７】第２実施形態の圧電アクチュエーターの概略構成を示す断面図である。
【図８】第３実施形態の圧電アクチュエーターの概略構成を示す断面図である。
【図９Ａ】第４実施形態の圧電アクチュエーターの概略構成を示す平面図である。
【図９Ｂ】図９Ａの圧電アクチュエーターの断面図である。
【図９Ｃ】図９Ａの圧電アクチュエーターの基板の概略構成を示す平面図である。
【図１０Ａ】変形例の圧電振動体ユニットの概略構成を示す平面図である。
【図１０Ｂ】変形例の圧電振動体ユニットの概略構成を示す平面図である。
【図１０Ｃ】変形例の圧電振動体ユニットの概略構成を示す平面図である。
【図１１】圧電アクチュエーターを用いた圧電モーターの例を示す説明図である。
【図１２】圧電アクチュエーターを利用したロボットの一例を示す説明図である。
【図１３】圧電アクチュエーターを利用したハンドを示す説明図である。
【図１４】圧電アクチュエーターを利用した送液ポンプの一例を示す説明図である。
【図１５】圧電アクチュエーターを利用した指アシスト装置を示す説明図である。
【発明を実施するための形態】
【００１４】
Ａ．第１実施形態：
図１Ａは、第１実施形態の圧電アクチュエーター１０の概略構成を示す平面図である。圧電アクチュエーター１０は、圧電振動体（振動体）１２と、突起部２０と、を備える。圧電振動体１２は、圧電素子１１０ａ，１１０ｂ，１１０ｃ，１１０ｄ，１１０ｅと、基板２００と、を備える。基板２００は、振動部２１０と、支持部２２０とを有する。振動部２１０は略長方形形状を有しており、圧電素子１１０ａ～１１０ｅを配置している。圧電素子１１０ｅは、略長方形形状に構成されており、振動部２１０の短手方向（「短辺方向」あるいは「幅方向」とも呼ぶ）の中央において、振動部２１０の長手方向（中心軸ＣＸに沿った方向）に沿って配置されている。圧電素子１１０ａ～１１０ｄは、振動部２１０の四隅の位置に配置されている。支持部２２０は、振動部２１０の約半分を囲うように配置されており、支持部２２０の端部は、振動部２１０と、振動部２１０の長辺の中央で接続されている。支持部２２０のうちの振動部２１０と接続されている端部を「第１接続部２２２」、「第２接続部２２３」と呼び、第１接続部２２２、第２接続部２２３以外の部分を「固定部２２１」と呼ぶ。振動部２１０と支持部２２０との間には、隙間２０５が配置されている。圧電素子１１０ａ～１１０ｅに電圧を印加すると圧電素子１１０ａ～１１０ｅが伸縮し、振動部２１０が振動するが、隙間２０５は、この振動によっても振動部２１０が支持部２２０の固定部２２１と接触しない大きさに構成されている。
【００１５】
突起部２０は、振動部２１０の支持部２２０に囲われていない側の短辺を含む側面２１４の中央位置（平面視における中心軸ＣＸ上の位置）の凹部２１６に配置されている。突起部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構成することが好ましい。例えば、圧電アクチュエーター１０によって駆動される被駆動体の材料と同等以上の耐久性（硬度等）を有する材料で構成することが望ましく、被駆動体がセラミッ

クス（例えばAl_2O_3）で構成されている場合には、少なくとも突起部２０も被駆動体と同じ材料とすることにより被駆動体と突起部２０との摩耗の進みを遅らせることができる。突起部２０の好ましい形状については後述する。

【００１６】

図１Ｂは、図１Ａの圧電アクチュエーター１０の１Ｂ－１Ｂ断面図である。なお、図１Ｂでは、図示の便宜上、上下方向の寸法を誇張して描いている。圧電アクチュエーター１０の圧電振動体１２は、２つの圧電振動体ユニット１００を備える。２つの圧電振動体ユニット１００は、それぞれ、基板２００と、基板２００上に配置された５つの圧電素子１１０ａ～１１０ｅを備える。なお、図１Ｂでは、２つの圧電素子１１０ｃ，１１０ｄが図示され、他の３つの圧電素子１１０ａ，１１０ｂ，１１０ｅは図示されていない。圧電素子１１０ａ～１１０ｅは、平面視（図１Ａ）で２枚の基板２００が重なっている領域（振動部２１０の領域）において、２枚の基板２００が互いに向かい合う側の平面（圧電振動体１２の第１の面１４、すなわち主面、に沿った平面）上にそれぞれ配置されている。また、同一の符号を付した２つの圧電素子、例えば、２つの圧電素子１１０ａは、２枚の基板２００の平面視で、互いに重なって見える位置にある。他の圧電素子１１０ｂ～１１０ｅについても同様である。２つの圧電振動体ユニット１００は、基板２００を外側にして、それぞれの圧電素子１１０ａ～１１０ｅを２枚の基板２００で挟むようにして配置されている。すなわち、圧電振動体１２は、２つの圧電振動体ユニット１００が、基板２００上に圧電素子１１０ａ～１１０ｅが配置される方向（第１の面１４に交わる方向）に沿って配置(積層）されている。圧電素子１１０ａ～１１０ｅは、保護層２６０により覆われている。ここで「保護層２６０」を「被覆部２６０」とも呼ぶ。２つの圧電振動体ユニット１００の被覆部２６０同士が、接着層２７０により接着されることにより、圧電振動体１２が構成される。

【００１７】

突起部２０は、図１Ａ及び図１Ｂに示すように、突起部２０が設けられている圧電振動体１２の側面１６（第１の面１４に交わる第２の面）に沿った断面の断面積が突出方向に向かって直線的に増大する四角柱で構成されており、２つの圧電振動体ユニット１００に跨って取り付けられている。具体的には、突起部２０が設けられている側面１６に沿う方向（突出方向に交差する方向）の幅が突出方向に向かって大きくなるテーパーを有する台形状の底面の台形柱で構成されている。なお、この突起部２０の消耗による共振周波数の変化については、更に後述する。

【００１８】

圧電振動体１２は、図１Ｂに示すように、支持部２２０の上にも、圧電素子構造１１１を備える。ここで、圧電アクチュエーター１０が基板２００の支持部２２０の上に圧電素子構造１１１を備えない場合、２つの支持部２２０は、隙間を空けて配置されることになる。一方、振動部２１０では、２枚の基板２００の間に圧電素子１１０ａ～１１０ｅが配置される。そのため、支持部２２０の上に圧電素子構造１１１を備えない場合、振動部２１０と支持部２２０とで厚さが異なる為、支持部２２０において、圧電振動体ユニット１００同士が接触せず、構造が不安定となる場合がある。支持部２２０の上に、圧電素子構造１１１を備えると、振動部２１０と支持部２２０とで厚さがほぼ一致し、支持部２２０においても、圧電振動体ユニット１００同士が接触するため、構造が安定しやすい。なお、圧電素子構造１１１に電圧が印加されて、伸張、収縮すると支持部２２０が振動するおそれがあるので、圧電素子構造１１１は、その圧電体に電圧が印加されないように、あるいは電圧が印加されても伸張、収縮しないように、構成されていることが好ましい。例えば、圧電素子構造１１１の圧電体を挟む２枚の電極を接地する、あるいは、短絡すればよい。

【００１９】

圧電振動体ユニット１００は、基板２００の上に絶縁層２０１、第１電極１３０、圧電体１４０、第２電極１５０、絶縁層２４０、配線層２５０、保護層２６０（被覆部２６０）の順に各部材が配置されている。絶縁層２０１は、基板２００を他の電極（第１電極１

３０と第２電極１５０と配線層２５０）から絶縁する。第１電極１３０と圧電体１４０と第２電極１５０は、圧電素子１１０ａ～１１０ｅを構成する。絶縁層２４０は、圧電素子１１０ａ～１１０ｅを覆い絶縁する。但し、絶縁層２４０は、圧電素子１１０ａ～１１０ｅの第１電極１３０と第２電極１５０を、配線層２５０に接触させるためのコンタクトホールを備える。配線層２５０は、第１電極１３０と第２電極１５０に通電するための配線を配置する。保護層２６０は、上述したように、圧電素子１１０ａ～１１０ｅを保護する。

【００２０】

なお、圧電振動体ユニット１００は、例えば、成膜プロセスを利用して作製可能である。概略すると、以下の通りである。基板２００としてのＳｉウェハー上に、絶縁層２０１、第１電極１３０、圧電体１４０、第２電極１５０、絶縁層２４０、配線層２５０、保護層（被覆部）２６０を順に形成する。そして、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、振動部２１０と、支持部２２０との間の隙間２０５を形成し、突起部２０を取り付けるための凹部２１６（図１Ａ）を形成する。これにより、１枚のＳｉウェハー上に、複数の圧電振動体ユニット１００を形成することができる。そして、２つの圧電振動体ユニット１００を、互いに基板２００が外側、圧電素子１１０ａ～１１０ｅが内側を向き、同一符号の部材が面対称となるように配置し、接着層２７０を用いて２つの圧電振動体ユニット１００の被覆部２６０同士を接着することにより（図１Ｂ）、圧電振動体１２を作製することができる。そして、圧電振動体１２の凹部２１６に突起部２０を接着剤で接着する。これにより、圧電アクチュエーター１０を作製することができる。

【００２１】

なお、絶縁層２０１，２４０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_2層を利用することができる。また、絶縁層２０１としてアルミナ（Ａｌ$_2$Ｏ$_3$）、アクリルやポリイミドなどの有機材料を用いることもできる。基板２００が絶縁体である場合には、絶縁層２０１を形成する工程は省略可能である。

【００２２】

また、電極１３０，１５０の材料としては、Ａｌ（アルミニウム）や、Ｎｉ（ニッケル），Ａｕ（金），Ｐｔ（白金），Ｉｒ（イリジウム），Ｃｕ（銅）などの導電性の高い任意の材料を利用可能である。電極１３０，１５０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、例えば、エッチングにより行うことができる。

【００２３】

また、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，タングステン酸ナトリウム，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（ＳＢＴ），メタニオブ酸鉛，亜鉛ニオブ酸鉛，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、例えばポリフッ化ビニリデン，水晶等を用いることも可能である。

【００２４】

圧電体１４０の形成は、例えばゾルー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層を形成する。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層を形成した後、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、小型の圧電アクチュエーター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、圧電アクチュエーター１０を駆動するための駆動回路（図示せず）を安価な素子で構成できる。なお、圧電体の厚さを４００ｎｍ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。

【００２５】

ゾルー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。

【００２６】

圧電体１４０のパターニングは、アルゴンイオンビームを用いたイオンミリングにより行うことができる、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。

【００２７】

配線層２５０は、銅または真鍮を用いて形成することができる。配線層２５０は、例えば、スパッタリングにより形成でき、配線層２５０には、パターニングにより配線を形成することができる。配線のパターニングは、例えば、エッチングにより行うことができる。

【００２８】

図２は、配線層２５０による配線のパターンの例を示す説明図である。配線層２５０は、４つの配線２５１，２５２，２５３，２５４を有している。これらの配線２５１～２５４は、固定部２２１の上から接続部２２２，２２３の上を通って振動部２１０に渡るように形成されている。第１配線２５１は、振動部２１０上で、圧電素子１１０ａ，１１０ｄ（図１Ａ，図１Ｂ）の第２電極１５０と接続される。同様に、第２配線２５２は、振動部２１０上で、圧電素子１１０ｂ，１１０ｃの第２電極１５０と接続され、第３配線２５３は、振動部２１０上で、圧電素子１１０ｅの第２電極１５０と接続され、第４配線２５４は、振動部２１０上で、圧電素子１１０ａ～１１０ｅの第１電極１３０と接続される。また、これらの配線２５１～２５４は、支持部２２０上で、配線基板と接続される。なお、配線２５１～２５４は、固定部２２１上の圧電素子構造１１１とは接続されていない。

【００２９】

保護層２６０（図１Ｂ）は、例えば、ＪＣＲ（ジャンクション・コーティング・レジン）のようなシリコーン樹脂で形成される。なお、ＪＣＲの代わりに、エポキシ、ポリイミドなどの樹脂材料を用いて形成されてもよい。

【００３０】

圧電アクチュエーター１０の圧電振動体１２は、支持部２２０（図２）において、配線層２５０の配線２５１～２５４の端部に形成された接続端子（不図示）に接続された配線基板（不図示）を介して、外部の駆動回路（不図示）に電気的に接続される。

【００３１】

図３は、圧電アクチュエーター１０の圧電振動体１２の等価回路を示す説明図である。なお、圧電振動体１２は、２つの圧電振動体ユニット１００を有しているが、図３では、一方の圧電振動体ユニット１００のみを図示している。図３から分かるように、５つの圧電素子１１０ａ～１１０ｅの第１電極１３０は、第４配線２５４に接続され、駆動回路４００に接続される。圧電素子１１０ａ，１１０ｄの第２電極１５０は、第１配線２５１に接続され、駆動回路４００に接続される。圧電素子１１０ｂ，１１０ｃの第２電極１５０は、第２配線２５２に接続され、駆動回路４００に接続される。圧電素子１１０ｅの第２電極１５０は、第３配線２５３に接続され、駆動回路４００に接続される。すなわち、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４００に接続される。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４００に接続される。並列接続すると、各圧電素子１１０ａ～１１０ｄに掛かる電圧を大きくできる。第３グループの圧電素子１１０ｅは、単独で駆動回路４００に接続される。なお、第１グループの圧電素子１１０ａ，１１０ｄは直列に接続されていても良い。この場合、電圧が印加されたときの圧電素子１１０ａと１１０ｄの分極の向きは同じであることが好ましい。第２グループの圧電素子１１０ｂ，１１０ｃについても同様に直列に接続されていてもよい。直列接続すると、容量を小さくできる。

【００３２】

駆動回路４００から、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、圧電アクチュエーター１０の圧電振動体１２を縦振動あるいは屈曲振動の超音波振動で動作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。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。

【００３３】

図４Ａは、圧電振動体１２の縦振動の例を示す説明図である。支持部２２０については、図示の都合上、省略している。図４Ａに示す例では、第３グループの１つの圧電素子１１０ｅに交流電圧又は脈流電圧を印加しており、圧電素子１１０ｅは図４Ａの矢印ｘの方向に伸縮するように振動（縦振動）する。この振動が、基板２００の振動部２１０に伝えられ、振動部２１０も図４Ａの矢印ｘの方向に伸縮するように振動（縦振動）する。そして、突起部２０が圧電振動体１２の平面内でｘ方向の向きに往復運動し、圧電振動体１２は、振動部２１０の長手方向に縦振動することで往復運動する。

【００３４】

図４Ｂは、圧電振動体１２の屈曲振動の例を示す説明図である。図４Ａと同様に支持部２２０を省略している。図４Ｂに示す例では、第１グループの２つの圧電素子１１０ａ，１１０ｄに交流電圧または脈流電圧を印加しており、第１グループの２つの圧電素子１１０ａ，１１０ｄは図４Ｂの矢印ｘの方向に伸縮する。この振動が、基板２００の振動部２１０に伝えられ、振動部２１０が振動部２１０の平面内で屈曲して蛇行形状（Ｓ字形状）に変形するように振動（屈曲振動）する。そして、突起部２０が圧電振動体１２の平面内で矢印ｙの向き（振動部２１０の幅方向）に往復運動したり、又は、楕円運動をする。なお、駆動回路４００が、第２グループの２つの圧電素子１１０ｂ，１１０ｃ（図３）に交流電圧又は脈流電圧を印加する場合にも、伸縮する振動部２１０の位置は異なるが、同様に、屈曲振動の超音波振動を発生する。

【００３５】

なお、第１グループの２つの圧電素子１１０ａ，１１０ｄおよび第２グループの２つの圧電素子１１０ｂ，１１０ｃの第１電極１３０および第２電極１５０が、「屈曲振動電極」に相当し、第３グループの１つの圧電素子１１０ｅの第１電極１３０および第２電極１５０が、「縦振動電極」に相当する。また、振動部２１０の長手方向あるいは幅方向に沿った方向が圧電振動体１２あるいは圧電素子１１０の「第１の面に沿う方向（面内方向）」に対応する。また、縦振動あるいは屈曲振動の動作のいずれか一方が「第１の振動モード」、他方が「第２の振動モード」に相当する。本例では、縦振動が「第１の振動モード」であり、屈曲振動が「第２の振動モード」である。

【００３６】

圧電アクチュエーター１０は、縦振動による伸縮運動、および、屈曲振動による往復運

動あるいは楕円運動により発生する駆動力を、突起部２０を介して被駆動部に伝えることにより、被駆動部を駆動することができる。

【００３７】

なお、圧電素子１１０（１１０ａ～１１０ｅ）に印加する電圧の周期は、圧電振動体１２の振動を効率良く利用して、圧電アクチュエーター１０としての出力特性を高めるために、あらかじめ、圧電振動体１２の共振周波数あるいはその近傍の周波数の周期に設定される。

【００３８】

図５Ａは、比較例としての圧電アクチュエーター１０Ｒの問題点を示す説明図である。なお、図５Ａは、図示の都合上、圧電アクチュエーター１０Ｒの振動部２１０及び突起部２０Ｒのみを示して、他の構成要素は省略している。比較例の圧電アクチュエーター１０Ｒの突起部２０Ｒは、第１実施形態の突起部２０とは異なり、突起部２０Ｒが設けられている圧電振動体１２の側面１６（第２の面）に沿う幅が一定の直方体である。以下では、圧電アクチュエーター１０Ｒを軸方向に縦振動させた場合（図４Ａ）を例に説明する。この場合に発生する軸剛性Ｋｎは、下式で表される。

Ｋｎ＝Ｆ／ｄ＝Ｅ・Ａ／Ｌ　・・・（１）

ここで、Ｆは圧電アクチュエーター１０Ｒに加わる軸方向の荷重、ｄは軸方向の変形量、Ｅは突起部２０Ｒのヤング率、Ａは突起部２０Ｒの断面積(第２の面に沿った断面の断面積）、Ｌは突起部２０の軸方向の長さである。

【００３９】

上式（１）から、圧電アクチュエーター１０Ｒの駆動による突起部２０Ｒの摩耗によって突起部２０の長さＬの減少が進むと、これに応じて軸剛性Ｋｎの増加が進む。軸剛性Ｋｎが増加すると、これに応じて圧電振動体１２の共振周波数ｆｒが上昇することになる。

【００４０】

また、図示および説明は省略するが、圧電アクチュエーター１０Ｒを屈曲振動させた場合（図４Ｂ）の曲げ剛性も、同様に、突起部２０の長さＬの減少に応じて増加し、圧電振動体１２の共振周波数ｆｒが上昇することになる。

【００４１】

図５Ｂは、突起部２０の消耗量の増加に応じた共振周波数の変化を示すグラフである。上記のように、駆動周波数は、通常、共振周波数あるいは共振周波数の近傍の周波数に設定される。従って、図５Ｂに示すように、比較例の圧電アクチュエーター１０Ｒにおいては、駆動時間の増加に応じて突起部２０の消耗量（摩耗量）が増加して長さＬが減少すると、圧電振動体１２の共振周波数ｆｒが変化（上昇）し、圧電振動体１２の振動特性が変化する、という問題がある。

【００４２】

一方、上記実施形態の圧電アクチュエーター１０の突起部２０は、突起部２０が設けられた圧電振動体１２の側面１６（第２の面）に沿った断面の断面積Ａが突出方向に向かって大きくなるように、言い換えれば、突起部２０の先端側から根元側に向かって断面積が小さくなるような形状を有している（図１Ａ，図１Ｂ）。これにより、突起部２０の摩耗による長さＬの減少に応じて、断面積Ａも減少することになるので、軸剛性Ｋｎの増加を低減して共振周波数ｆｒの上昇を低減することができる。従って、図５Ｂに示すように、駆動時間の増加に応じて発生する圧電アクチュエーター１０の駆動特性の変化を低減することができる。

【００４３】

なお、第１実施形態では、２つの圧電振動体ユニット１００の圧電素子１１０ａ～１１０ｅ同士が内側を向くように積層配置された圧電振動体１２（図１Ａ，図１Ｂ）を例として示しているが、２つの圧電振動体ユニット１００の圧電素子１１０ａ～１１０ｅ同士が外側を向くように積層配置された圧電振動体としてもよい。この変形は、複数の圧電振動体ユニットで１つの圧電振動体を構成する他の実施形態においても同様に適用可能である。

【００４４】
また、支持部２２０の構造は、図１Ａ，図２に示した構造に限定されるものではない。例えば、振動部の両側の長辺に沿った固定部と、振動部の両側の長辺から延びて振動部と固定部とを接続する１つ以上の接続部と、で構成される構造であってもよい。また、長手方向に沿った片側のみに支持部を備える構造であってもよい。すなわち、振動部を振動可能に支持可能な構造であれば支持部の構造に特に限定はない。この点については、以下の実施形態においても同様である。
【００４５】
図６Ａ，図６Ｂは、変形例の突起部２０ｐ，２０ｑの概略構成を示す斜視図である。図６Ａ，図６Ｂでは、図示の便宜上、圧電振動体１２の外形を簡略化して示し、圧電振動体１２の短辺側の側面１６に設けられた突起部２０ｐ，２０ｑを拡大して示している。
【００４６】
上記第１実施形態では、突起部２０（図１Ａ，図１Ｂ）として、突起部２０が設けられた圧電振動体１２の側面１６に沿った断面の断面積が突出方向に向かって直線的に増大する形状の台形柱を例として説明されている。しかしながら、突起部の形状はこれに限定されるものではない。例えば、図６Ａの突起部２０ｐのような、突出方向に向かって断面積が直線的に増大する四角錐台等の種々の多角錐台としてもよい。また、図６Ｂの突起部２０ｑのように、突出方向に向かって断面積が直線的に増大する円錐台としてもよい。また、断面積の増加は直線的でなくても良く、曲線的であってもよい。すなわち、突起部としては、突起部が設けられた圧電振動体の側面（第２の面）に沿った断面の面積が、突出方向に向かって大きくなる形状であればよい。
【００４７】
また、図６Ｃは、他の変形例の突起部２０ｒの概略構成を示す斜視図である。図６Ｃも、図示の便宜上、圧電振動体１２の外形を簡略化して示し、圧電振動体１２の短辺側の側面１６に設けられた突起部２０ｒを拡大して示している。
【００４８】
実施形態の突起部２０(図１Ａ，図１Ｂ）や変形例の突起部２０ｐ，２０ｑ（図６Ａ，図６Ｂ）は、突起部の根元側（圧電振動体１２の側面１６側）ほど断面積が小さくなるので、根元の部分が構造上弱くなる。そこで、例えば、図６Ｃの突起部２０ｒに示すように、突起部の中間より先端側では、突出方向に向かって断面積が増大する形状とし、根元側では、根元側へ向かって断面積が増大する形状としてもよい。また、根元側の形状を、根元側へ向かって一定の断面積の形状としてもよい。すなわち、突起部として、先端側の部分の断面積が突出方向に向かって増大する構造を含む形状であってもよい。
【００４９】
図６Ｄは、別の変形例の突起部２０ｓの概略構成を示す平面図である。図６Ｄも、図示の便宜上、圧電振動体１２の外形を簡略化して示し、圧電振動体１２の短辺側の側面１６に設けられた突起部２０ｓを拡大して示している。図６Ｄの突起部２０ｓに示すように、突出方向に沿う一部分Ａｐに、突出方向に向かって断面積が大きくなる部分を含む球であってもよい。
【００５０】
以上の突起部の形状の変形は、以下の実施形態においても同様に適用可能である。
【００５１】
Ｂ．第２実施形態：
第１実施形態の圧電アクチュエーター１０は、２つの圧電振動体ユニット１００が積層配置された圧電振動体１２と、突起部２０と、を備える構成を例に説明したが、３つ以上の複数の圧電振動体ユニット１００が積層配置された圧電振動体と、突起部と、を備える構成とすることができる。
【００５２】
図７は、第２実施形態の圧電アクチュエーター１０Ａの概略構成を示す断面図である。この圧電アクチュエーター１０Ａは、第１実施形態の圧電アクチュエーター１０を複数積

層配置した構成を有している。圧電アクチュエーター１０Ａは、各圧電アクチュエーター１０の圧電振動体１２の外側の基板２００同士を接着することにより複数の圧電振動体１２が積層配置された圧電振動体１２Ａと、各圧電アクチュエーター１０の突起部２０同士を接着することにより一体に構成された突起部２０Ａと、を備える構成を有している。なお、複数の突起部２０と同じ大きさの一つの突起部を突起部２０Ａとして用いて、複数の圧電振動体１２の側面１６（第２の面）に跨って取り付けるようにしてもよい。

【００５３】

第２実施形態の圧電アクチュエーター１０Ａも、第１実施形態の圧電アクチュエーター１０と同様に、共振周波数の上昇を低減することができ、駆動時間の増加に応じて発生する圧電アクチュエーター１０Ａの駆動特性の変化を低減することができる。

【００５４】

なお、上記説明では、各圧電アクチュエーター１０同士を接着して圧電アクチュエーター１０Ａを構成するものとして説明したが、筐体を用いて各圧電アクチュエーター１０を一体化して圧電アクチュエーター１０Ａを構成するものとしてもよい。

【００５５】

また、圧電アクチュエーター１０Ａは、偶数個の圧電振動体ユニット１００が積層配置された構成を例として示しているが、奇数個の圧電振動体ユニット１００が積層配置された構成としてもよい。

【００５６】

Ｃ．第３実施形態：

図８は、第３実施形態の圧電アクチュエーター１０Ｂの概略構成を示す断面図である。第３実施形態の圧電アクチュエーター１０Ｂは、１つの圧電振動体ユニット１００で１つの圧電振動体１２Ｂが構成されている。突起部２０は、圧電振動体１２Ｂの短辺側の側面１６Ｂ（第２の面）に相当する基板２００の振動部２１０の短辺側の側面２１４に取り付けられている。

【００５７】

第３実施形態の圧電アクチュエーター１０Ｂも、第１実施形態の圧電アクチュエーター１０と同様に、共振周波数の上昇を低減することができ、駆動時間の増加に応じて発生する圧電アクチュエーター１０Ｂの駆動特性の変化を低減することができる。

【００５８】

なお、１つの圧電振動体ユニット１００で１つの圧電振動体１２Ｂを構成することは、以下の説明において、複数の圧電振動体ユニットで１つの圧電振動体を構成する他の実施形態においても同様に適用可能である。

【００５９】

Ｄ．第４実施形態：

図９Ａは、第４実施形態の圧電アクチュエーター１０Ｃの概略構成を示す平面図であり、図９Ｂは、図９Ａの圧電アクチュエーター１０Ｃの１Ｂ－１Ｂ断面図であり、図９Ｃは、図９Ａの圧電アクチュエーター１０Ｃの基板２００Ｘの概略構成を示す平面図である。第４実施形態の圧電アクチュエーター１０Ｃは、圧電振動体１２Ｃと、圧電振動体１２Ｃの短辺側の側面１６Ｃ（第２の面）に相当する基板２００Ｘの振動部２１０の側面２１４から突出した突起部２０と、を備えている。

【００６０】

圧電振動体１２Ｃは、振動板としての基板２００Ｘの振動部２１０の両面（圧電振動体１２Ｃの第１の面、すなわち主面、に沿った平面）上に、それぞれ圧電素子１１０Ｘが接着層２８０を介して貼り合わされることによって、２つの圧電振動体ユニット１００Ｘが設けられた構造を有している。

【００６１】

基板２００Ｘは、図９Ｃに示すように、図２に示した基板２００の構造とは異なり、振動部２１０の両側の長辺に沿った固定部２２１と、振動部２１０の両側の長辺からそれぞれ３本ずつ延びて振動部２１０と固定部２２１とを接続する接続部２２２と、で構成され

ている例を示している。これら３つの接続部２２２は、振動部２１０の屈曲振動の節の位置に設けられており、振動部２１０を振動可能に支持する。また、突起部２０は、基板２００Ｘの振動部２１０の短辺側の側面２１４（圧電振動体１２Ｃの側面１６Ｃに相当）から突出するように一体に構成されている。基板２００Ｘは、例えば、シリコン、シリコン化合物、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、金属酸化物、またはダイヤモンド等の材料で構成することが可能である。

【００６２】

圧電素子１１０Ｘは、図９Ａ，図９Ｂに示すように、第１実施形態の圧電素子１１０（１１０ａ～１１０ｅ）と同様の５つの圧電素子１１０Ｘａ～１１０Ｘｅで構成されている（図１Ａ，図１Ｂ）。但し、第１実施形態の圧電素子１１０は、Ｓｉウェハーを用いた基板２００上に、成膜プロセスにより、第１電極１３０と圧電体１４０と第２電極１５０とが形成されるものであったのに対して、第４施形態の圧電素子１１０Ｘは、図９Ｂに示すように、Ｓｉウェハーを用いた基板１２０上に、成膜プロセスにより、第１電極１３０と圧電体１４０と第２電極１５０とが形成されたものである。

【００６３】

第４実施形態の圧電アクチュエーター１０Ｃも、第１実施形態の圧電アクチュエーター１０と同様に、共振周波数の上昇を低減することができ、駆動時間の増加に応じて発生する圧電アクチュエーター１０Ｃの駆動特性の変化を低減することができる。

【００６４】

なお、基板２００Ｘに貼り合わされた圧電素子１１０Ｘａ～Ｘｅは、Ｓｉウェハーを用いた基板１２０上に成膜プロセスによって形成された構成を前提として説明したが、圧電体の一方の面に第１電極が形成され、他方の面に第２電極が形成されいわゆるバルク状の５つの圧電素子により構成されたものとしてもよい。

【００６５】

また、第４実施形態では、基板２００Ｘの振動部２１０の側面２１４に突起部２０が一体に構成されている場合を例に示したが、第１～第３実施形態と同様に、振動部２１０の側面２１４に、別部材の突起部２０を取り付けた構成としても良い。

【００６６】

なお、基板の振動部に突起部を一体に構成することは、上記第１～第３実施形態においても適用可能である。第１～第３実施形態の基板２００の振動部２１０に突起部２０を一体に構成することは、例えば、上述したように、振動部２１０に突起部２０を取り付けるための凹部２１６（図１Ｂ）をエッチングにより形成する代わりに、突起部２０をエッチングにより形成することで実施できる。

【００６７】

Ｅ．圧電振動体ユニットの変形例：

図１０Ａ，図１０Ｂ，図１０Ｃは、圧電アクチュエーターを構成する圧電振動体ユニットの変形例としての圧電振動体ユニット１００Ｊ，１００Ｋ，１００Ｌの概略構成を示す平面図である。図１０Ａ～図１０Ｃでは、図示の便宜上、基板２００の固定部２２１や接続部２２２，２２３や突起部２０が取り付けられる凹部２１６（図１Ａ，図１Ｂ）は図示が省略されている。

【００６８】

図１０Ａの圧電振動体ユニット１００Ｊは、図１Ａの第２グループの一対の圧電素子１１０ｂ，１１０ｃが省略されている例を示している。図１０Ｂの圧電振動体ユニット１００Ｋは、図１Ａの第３グループの圧電素子１１０ｅが省略されており、他のグループの４つの圧電素子１１０ａ～１１０ｄが図１Ａよりも大きな面積に配置されている例を示している。図１０Ｃの圧電振動体ユニット１００Ｌは、図１Ａの第１および第２グループの４つの圧電素子１１０ａ～１１０ｄが省略されており、第３グループの一つの圧電素子１１０ｅが大きな面積で配置されている例を示している。

【００６９】

これらの圧電振動体ユニット１００Ｊ，１００Ｋ，１００Ｌを用いた圧電アクチュエーターにおいても、同様に、突起部を、突起部が設けられている圧電振動体の短辺側の側面（第２の面）に沿った断面の断面積が突出方向に向かって大きくなる部分を有する形状とすることによって、共振周波数の上昇を低減することができ、駆動時間の増加に応じて発生する圧電アクチュエーターの駆動特性の変化を低減することができる。

【００７０】

Ｆ．圧電アクチュエーターを用いた圧電モーター：

図１１は、圧電アクチュエーター１０を用いた圧電モーターの例を示す説明図である。支持部２２０については、図示の都合上、省略している。圧電アクチュエーター１０の突起部２０は、被駆動部材（被駆動体）としてのローター５０の外周に接触している。図１１に示す例では、図４Ｂを用いて説明したように、第１グループの２つの圧電素子１１０ａ，１１０ｄの矢印ｘの方向への伸縮に応じて、振動部２１０が振動部２１０の平面内で屈曲振動し、これに応じて、突起部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１５では時計回り方向）に回転する。なお、第２グループの２つの圧電素子１１０ｂ，１１０ｃ（図１Ａ参照）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、図４Ａを用いて説明したように、中央の第３グループの圧電素子１１０ｅの伸縮に応じて、圧電アクチュエーター１０が長手方向に伸縮するので、突起部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。以上のように、圧電アクチュエーター１０を、圧電モーターとして用いることが可能である。なお、圧電アクチュエーター１０のこのような動作については、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。

【００７１】

Ｇ．圧電アクチュエーターを用いた装置の実施形態：

上述した圧電アクチュエーターは、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。圧電アクチュエーター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）、ハンド（指アシスト装置を含む）、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アクチュエーターでは、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。

【００７２】

図１２は、上述の圧電アクチュエーター１０を圧電モーターとして利用したロボット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、上述した圧電アクチュエーター１０が内蔵されており、圧電アクチュエーター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、ハンド２０００が接続されている。ハンド２０００は、一対の把持部２００３を備えている。ハンド２０００にも圧電アクチュエーター１０が内蔵されており、圧電アクチュエーター１０を用いて把持部２００３を開閉して物を把持することが可能である。また、ハンド２０００とアーム２０１０との間にも圧電アクチュエーター１０が設けられており、圧電アクチュエーター１０を用いてハンド２０００をアーム２０１０に対して回転させることも可能である。

【００７３】

図１３は、図１２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２０２０は、手首回動部２０２２を挟持しており、手首回動部２０２２に手首のリンク部２０１２が、手首回動部２０２２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２０２２は、圧電アクチュエーター１０を備えており、圧電アクチュエーター１０

は、手首のリンク部２０１２およびハンド２０００を中心軸Ｏ周りに回動させる。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アクチュエーター１０が搭載されている。このため、圧電アクチュエーター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。

【００７４】

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アクチュエーター１０を適用可能である。ここで、手首の関節部２０２０やハンド２０００の内部には、圧電アクチュエーター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。従って、関節部２０２０やハンド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アクチュエーター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。

【００７５】

上記説明では、ハンド２０００を備えるロボット２０５０を例にとって説明したが、ハンド２０００は、ロボット２０５０の部品としてのみならず、単独の製品として構成されていても良い。

【００７６】

図１４は、上述の圧電アクチュエーター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、圧電アクチュエーター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。圧電アクチュエーター１０の突起部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、圧電アクチュエーター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、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アクチュエーター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。従って、投薬装置を電池駆動する場合は、特に有効である。

【００７７】

図１５は、上述の圧電アクチュエーター１０を利用した指アシスト装置１０００を示す説明図である。指アシスト装置１０００は、第１の指アシスト部１００１と、第２の指アシスト部１００２と、ベース部材１００３と、を備え、指７００に装着される。第１の指アシスト部１００１は、圧電アクチュエーター１０と、減速機５０１と、指支持部７０１と、を備える。第２の指アシスト部１００２は、圧電アクチュエーター１０と、減速機５０２と、指支持部７０２と、バンド７０３と、を備える。バンド７０３を除き、第１の指アシスト部１００１と第２の指アシスト部１００２とは、ほぼ同じ構成である。バンド７

０３は、指７００の腹側から第２の指アシスト部１００２を固定する。なお、バンド７０３は、第１の指アシスト部１００１にも、設けられるが、図１５では省略されている。指アシスト装置１０００は、圧電アクチュエーター１０により、指７００の屈伸をアシストする。なお、本実施形態では、指アシスト装置１０００は、指７００の屈伸をアシストするものとして説明したが、指７００の代わりにロボットのハンドを用い、ハンドと指アシスト装置１０００とを一体化してもよい。この場合、ハンドが、圧電アクチュエーター１０により駆動され、屈伸する。

【００７８】

本発明は、上述の実施形態や実施例、変形例に限られるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲において種々の構成で実現することができる。例えば、発明の概要の欄に記載した各形態中の技術的特徴に対応する実施形態、実施例、変形例中の技術的特徴は、上述の課題の一部または全部を解決するために、あるいは、上述の効果の一部または全部を達成するために、適宜、差し替えや組み合わせを行うことが可能である。また、その技術的特徴が本明細書中に必須なものとして説明されていなければ、適宜、削除することが可能である。

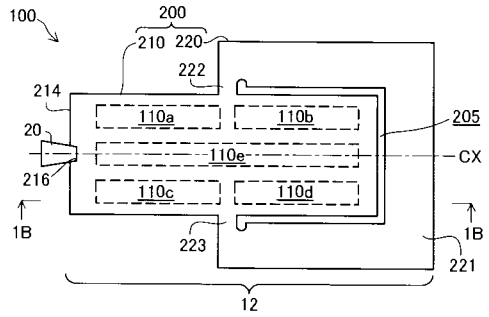
【符号の説明】

【００７９】

１０，１０Ａ～１０Ｃ，１０Ｒ…圧電アクチュエーター、１２，１２Ａ～１２Ｃ…圧電振動体（振動体）、１４…第１の面、１６，１６Ｂ，１６Ｃ…側面（第２の面）、２０，２０Ａ，２０Ｒ，２０ｐ～２０ｓ…突起部、５０…ローター（被駆動体）、５１…中心、１００，１００Ｊ～１００Ｌ，１００Ｘ…圧電振動体ユニット、１１０，１１０ａ～１１０ｅ，１１０Ｘ，１１０Ｘａ～１１０Ｘｅ…圧電素子、１１１…圧電素子構造、１２０…基板、１３０…第１電極、１４０…圧電体、１５０…第２電極、２００，２００Ｘ…基板、２０１…絶縁層、２０５…隙間、２１０…振動部、２１４…側面、２１６…凹部、２２０…支持部、２２１…固定部、２２２…接続部（第１接続部）、２２３…接続部（第２接続部）、２４０…絶縁層、２５０…配線層、２５１…第１配線、２５２…第２配線、２５３…第３配線、２５４…第４配線、２６０…被覆部（保護層）、２７０，２８０…接着層、４００…駆動回路、５０１，５０２…減速機、７００…指、７０１，７０２…指支持部、７０３…バンド、１０００…指アシスト装置、１００１，１００２…指アシスト部、１００３…ベース部材、２０００…ハンド、２００３…把持部、２０１０…アーム、２０１２…リンク部、２０２０…関節部、２０２２…手首回動部、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、Ａｐ…一部分、ＣＸ…中心軸

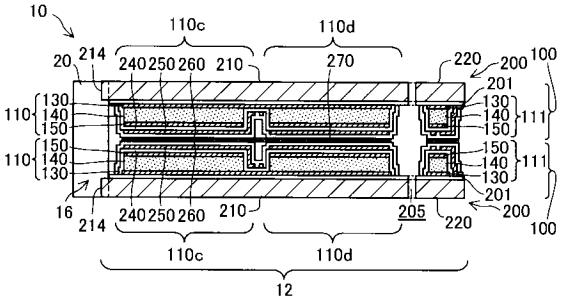
【図１Ａ】

図1A



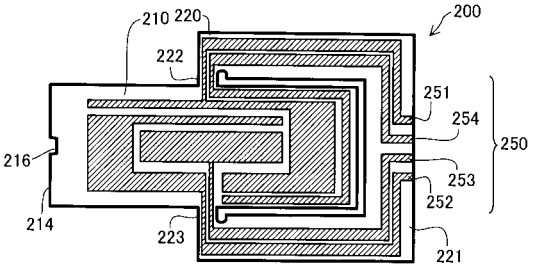
【図１Ｂ】

図1B



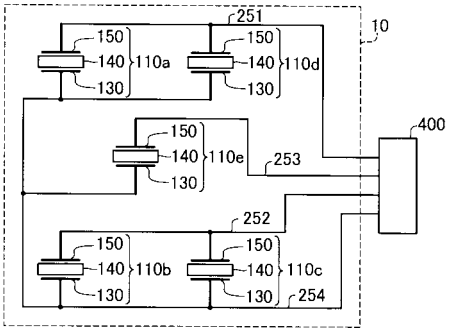
【図２】

図2



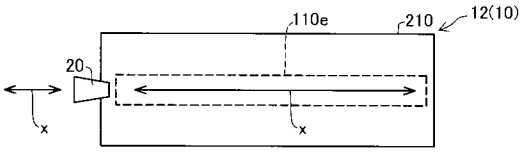
【図３】

図3



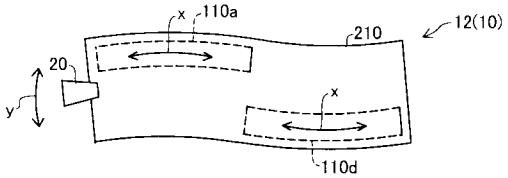
【図４Ａ】

図4A



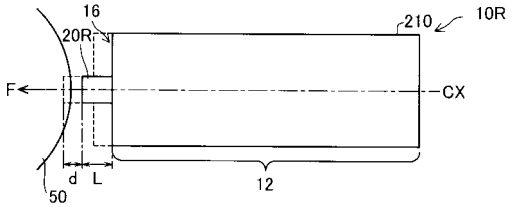
【図４Ｂ】

図4B



【図５Ａ】

図5A



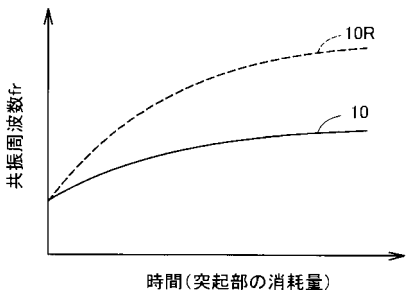
$Kn=\frac{F}{d}=\frac{E\cdot A}{L}$

Kn:軸剛性　d:軸方向変形量　F:荷重
E:突起部のヤング率
A:突起部の断面積
L:突起部の長さ

L:減少→Kn:増加→fr(共振周波数):上昇

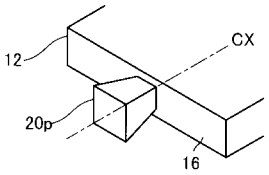
【図５Ｂ】

図5B



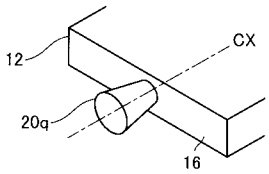
【図６Ａ】

図6A



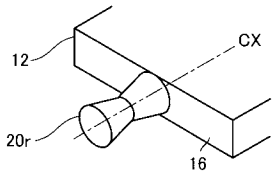
【図６Ｂ】

図6B



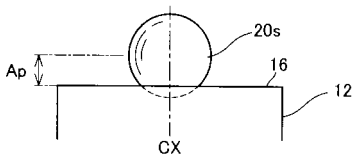
【図６Ｃ】

図6C



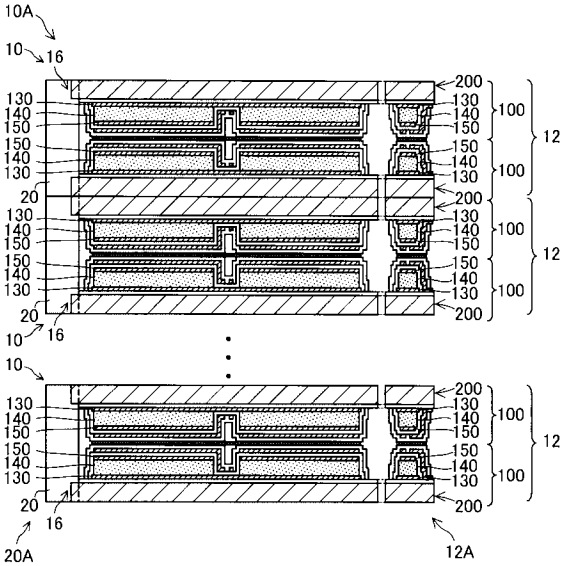
【図６Ｄ】

図6D



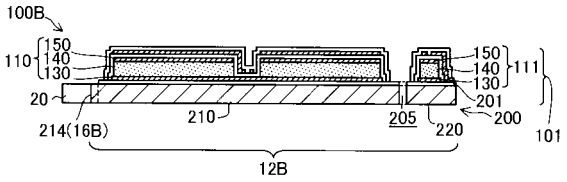
【図７】

図7



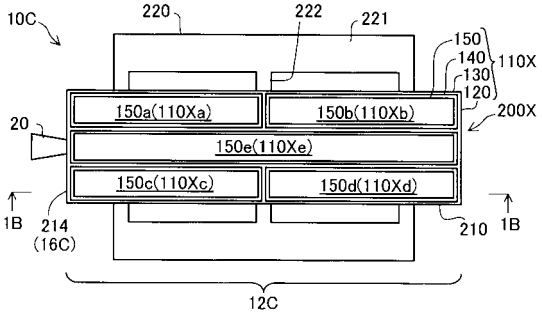
【図８】

図8



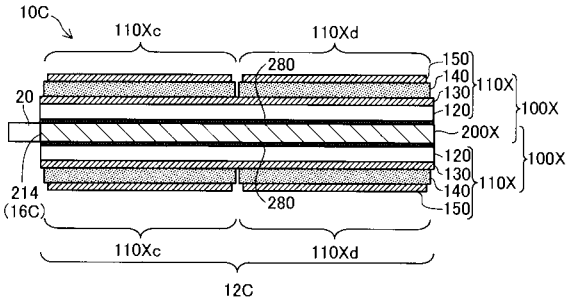
【図９Ａ】

図9A



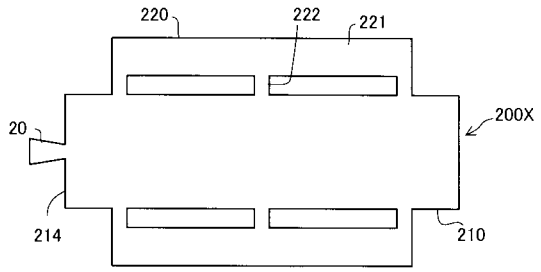
【図９Ｂ】

図9B



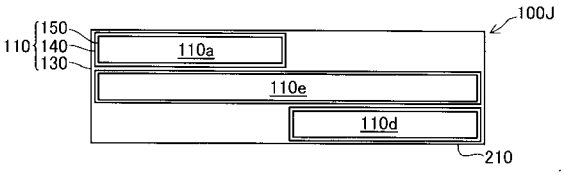
【図９Ｃ】

図9C



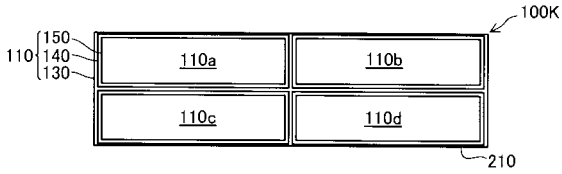
【図１０Ａ】

図10A



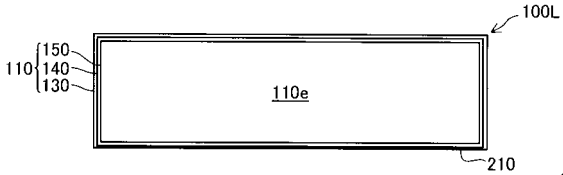
【図１０Ｂ】

図10B



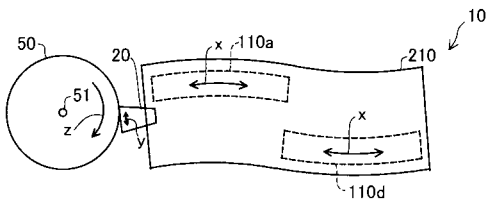
【図１０Ｃ】

図10C



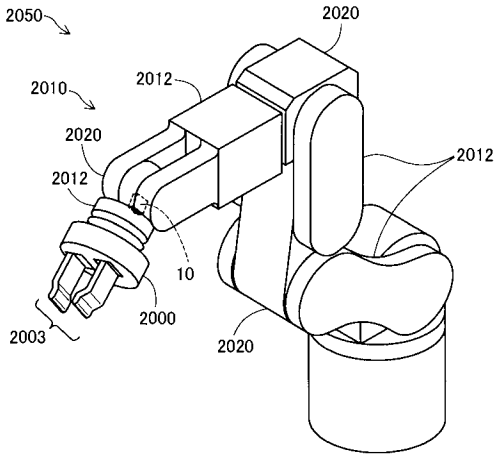
【図１１】

図11



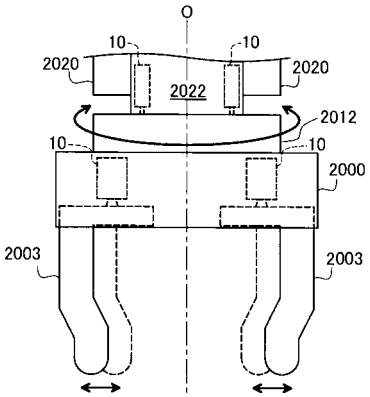
【図１２】

図12



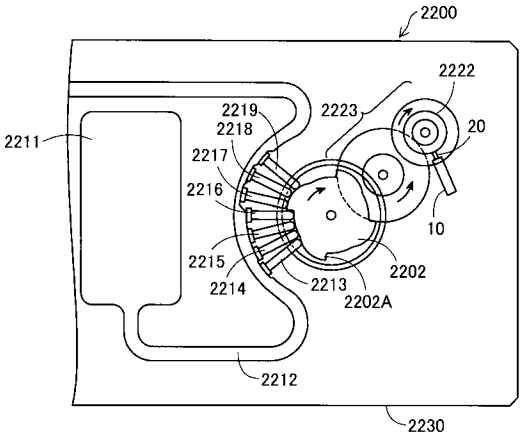
【図１３】

図13



【図１４】

図14



【図１５】

図15

