

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6601174号  
(P6601174)

(45) 発行日 令和1年11月6日 (2019.11.6)

(24) 登録日 令和1年10月18日 (2019.10.18)

(51) Int.Cl. F I  
**HO2N 2/10 (2006.01)** HO2N 2/10  
**HO1L 41/09 (2006.01)** HO1L 41/09  
**HO1L 41/187 (2006.01)** HO1L 41/187  
**HO1L 41/193 (2006.01)** HO1L 41/193  
**HO1L 41/318 (2013.01)** HO1L 41/318

請求項の数 12 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-222564 (P2015-222564)  
 (22) 出願日 平成27年11月13日 (2015.11.13)  
 (65) 公開番号 特開2017-93194 (P2017-93194A)  
 (43) 公開日 平成29年5月25日 (2017.5.25)  
 審査請求日 平成30年9月27日 (2018.9.27)

(73) 特許権者 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 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

審査官 若林 治男

最終頁に続く

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

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

平面視で一部が重なって配置されている2つの基板と、  
圧電体を備えた複数の圧電素子であって、前記平面視で前記2つの基板が重なっている領域において、前記2つの基板の面上であって、前記2つの基板が互いに向かい合う側の面上の少なくとも四隅に配置された圧電体を有する複数の圧電素子と、  
前記2つの基板の面上に分離して配置された前記複数の圧電素子のそれぞれ一部を覆っている被覆部と、

を備える、圧電アクチュエーター。

【請求項2】

2つの前記被覆部の間に接着層が配置されている、請求項1に記載の圧電アクチュエーター。

【請求項3】

前記基板は、振動部と、前記振動部を支持する支持部と、を有し、  
 前記複数の圧電素子は、前記振動部に設けられている、請求項1または2に記載の圧電アクチュエーター。

【請求項4】

前記被覆部は、前記圧電素子の全体を覆っている、請求項3に記載の圧電アクチュエーター。

【請求項5】

10

20

前記被覆部は、前記支持部の周囲の一部を覆っている、請求項3または4に記載の圧電アクチュエーター。

【請求項 6】

前記振動部の先端に、突出している領域を有する、請求項3乃至5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】

前記振動部と前記支持部とを繋いで配置されている配線層と、  
前記配線層と電氣的に接続され、前記支持部に接続されている回路基板と、  
を備える、請求項3乃至6のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーター。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーターが複数積層されている積層アクチュエーター。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の圧電アクチュエーター、または、請求項 8 に記載の積層アクチュエーターを備える圧電モーター。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の圧電モーターを備えるロボット。

【請求項 11】

請求項 9 に記載の圧電モーターを備えるハンド。

【請求項 12】

請求項 9 に記載の圧電モ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及びこれらを用いた各種の装置に関する。

【背景技術】

【0002】

シム材の両面に圧電体が接着され、その周囲が樹脂で覆われている圧電アクチュエーターが知られている（例えば、特許文献 1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2006 - 80318 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 の圧電アクチュエーターは、圧電体が、シム材の両面（外側）にあるため、外傷を受けるおそれがある。とくに圧電体を薄膜とした場合には、圧電体の外傷により、その機能が損なわれる可能性がある。

【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。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、平面視で一部が重なって配置されている 2 つの基板と、圧電体を備えた複数の圧電素子であって、前記平面視で前記 2 つの基板が重なっている領域において、前記 2 つの基板の面上であって、前記 2 つの基板が互いに向かい合う側の面上の少なくとも四隅に配置された圧電体を有する複数の圧電素子と、前記 2 つの基板の面上に分離して配置された前記複数の圧電素子のそれぞれ一部を覆っている被覆部と、を備える。この形態によれば、圧電素子は、被覆部に覆われていることに加え、少なくとも一部が重なって配置されている 2 つの基板の互いに向かい合う側の面上少なくとも四隅に配置さ

10

20

30

40

50

れた圧電体を有する複数の圧電素子を備えるので、2つの基板によっても保護され、外傷を受け難い。さらに、圧電アクチュエーターの振動部が振動部の平面内で屈曲して蛇行形状（S字形状）に変形できる。

【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、2つの基板と、前記2つの基板の間に配置されている圧電素子と、前記圧電素子の少なくとも一部を覆っている被覆部と、を備える。この形態によれば、圧電素子は、2つの基板と被覆部により保護されるので外傷を受け難い。

【0007】

（2）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、平面視で少なくとも一部が重なって配置されている2つの基板と、前記平面視で前記2つの基板が重なっている領域において、前記2つの基板が互いに向かい合う側の面上にそれぞれ配置されている圧電素子と、前記2つの圧電素子のそれぞれ少なくとも一部を覆っている被覆部と、を備える。この形態によれば、圧電素子は、被覆部に覆われていることに加え、少なくとも一部が重なって配置されている2つの基板の互いに向かい合う側の面上にそれぞれ配置されているので、2つの基板によっても保護され、外傷を受け難い。

10

【0008】

（3）上記形態において、前記2つの被覆部の間に接着層が配置されていてもよい。この形態によれば、2つの被覆部の間に接着層が配置されているので、2つの被覆部が剥がれにくく、圧電素子が保護されやすい。

20

【0009】

（4）上記形態において、前記基板は、振動部と、前記振動部を支持する支持部と、を有し、前記2つの圧電素子は、前記振動部に設けられていてもよい。この形態によれば、支持部の振動を低減するとともに、基板の強度を上げることが出来る。

【0010】

（5）上記形態において、前記被覆部は、前記圧電素子の全体を覆っていてもよい。この形態によれば、被覆部は、圧電素子の全体を覆っているので、圧電素子が保護され易い。

【0011】

（6）上記形態において、前記被覆部は、前記支持部の周囲の少なくとも一部を覆っていてもよい。この形態によれば、前記被覆部は、前記支持部の周囲の少なくとも一部を覆っているので、支持部も保護できる。

30

【0012】

（7）上記形態において、前記振動部の先端に、突出している領域を有してもよい。この形態によれば、突出している領域を用いて振動部の振動を他の部材に伝えることが可能となる。

【0013】

（8）上記形態において、前記振動部と前記支持部とを繋いで配置されている配線層と、前記配線層と電気的に接続され、前記支持部に接続されている回路基板とを備えてもよい。回路基板は支持部に接続されるので、振動部の振動の影響が回路基板に及びにくい。

40

【0014】

（9）本発明の一形態によれば、積層アクチュエーターが提供される。この積層アクチュエーターは、上記形態のいずれかに記載の複数の圧電アクチュエーターが積層されている。この形態によれば、積層アクチュエーターの駆動力を大きく出来る。

【0015】

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、積層アクチュエーターの他、圧電アクチュエーターまたは積層アクチュエーターを備える圧電モーター、圧電モーターを備えるロボット、ハンド、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】

50

## 【 0 0 1 6 】

【図 1 A】圧電アクチュエーターの概略構成を示す平面図。

【図 1 B】圧電アクチュエーターの断面図。

【図 1 C】圧電アクチュエーターの側面図。

【図 2 A】圧電アクチュエーターユニットの上面図。

【図 2 B】圧電アクチュエーターユニットの第 2 接続部における断面図。

【図 3】圧電アクチュエーターユニットを拡大して示す説明図。

【図 4】圧電アクチュエーターの製造工程を示すフローチャート。

【図 5】圧電アクチュエーターユニットの製造工程を示す説明図。

【図 6】配線電極による配線のパターンを示す説明図。

【図 7】2つの圧電アクチュエーターユニットを用いて圧電アクチュエーターを製造する工程を示す説明図。

【図 8】圧電アクチュエーターにおける回路基板との接続部の説明図。

【図 9】圧電アクチュエーターと基板とを接続する工程を示す説明図。

【図 1 0】圧電アクチュエーターの等価回路を示す説明図。

【図 1 1】圧電アクチュエーターの動作の例を示す説明図。

【図 1 2】第 2 の実施形態の圧電アクチュエーターを示す説明図。

【図 1 3】第 3 の実施形態の積層アクチュエーターを示す説明図。

【図 1 4】圧電アクチュエーター（圧電モーター）を利用したロボットの一例を示す説明図。

【図 1 5】圧電アクチュエーター（圧電モーター）を利用したハンドを示す説明図。

【図 1 6】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。

【図 1 7】圧電アクチュエーター（圧電モーター）を利用した送液ポンプの一例を示す説明図。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 7 】

## ・第 1 の実施形態：

図 1 A は、圧電アクチュエーター 1 0 の概略構成を示す平面図である。圧電アクチュエーター 1 0 は、圧電素子 1 1 0 a , 1 1 0 b , 1 1 0 c , 1 1 0 d , 1 1 0 e と、基板 2 0 0 と、凸部材 2 0 と、を備える。基板 2 0 0 は、振動部 2 1 0 と、振動部 2 1 0 を支持する支持部 2 2 0 とを有する。振動部 2 1 0 は略長方形形状を有しており、圧電素子 1 1 0 a , 1 1 0 b , 1 1 0 c , 1 1 0 d , 1 1 0 e を配置している。圧電素子 1 1 0 e は、略長方形形状に構成されており、振動部 2 1 0 の幅方向の中央において、振動部 2 1 0 の長手方向に沿って構成されている。圧電素子 1 1 0 a , 1 1 0 b , 1 1 0 c , 1 1 0 d は、振動部 2 1 0 の四隅の位置に構成されている。支持部 2 2 0 は、振動部 2 1 0 の約半分を囲うように構成されており、支持部 2 2 0 の端部は、振動部 2 1 0 と、振動部 2 1 0 の長辺の中央で接続されている。支持部 2 2 0 のうちの振動部 2 1 0 と接続されている端部を「第 1 接続部 2 2 2」、「第 2 接続部 2 2 3」と呼び、第 1 接続部 2 2 2、第 2 接続部 2 2 3 以外の部分を「固定部 2 2 1」と呼ぶ。振動部 2 1 0 と支持部 2 2 0 との間には、隙間 2 0 5 が構成されている。圧電素子 1 1 0 a ~ 1 1 0 e に電圧を印加すると圧電素子 1 1 0 a ~ 1 1 0 e が伸縮し、振動部 2 1 0 が振動するが、隙間 2 0 5 は、この振動によっても振動部 2 1 0 が支持部 2 2 0 の固定部 2 2 1 と接触しない大きさに構成されている。振動部 2 1 0 の支持部 2 2 0 に囲われていない側の短辺には、凸部材 2 0 が配置されている。すなわち、振動部 2 1 0 の先端に突出した形状の領域が配置されている。凸部材 2 0 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。

## 【 0 0 1 8 】

図 1 B は、図 1 A の圧電アクチュエーター 1 0 の 1 B - 1 B 断面図である。圧電アクチュエーター 1 0 は、2つの圧電アクチュエーターユニット 1 0 0 を備える。2つの圧電アクチュエーターユニット 1 0 0 は、それぞれ、基板 2 0 0 と、基板 2 0 0 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つの圧電アクチュエーターユニット100は、基板200を外側にして、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。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つの圧電アクチュエーターユニット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、圧電アクチュエーター10が構成される。図1Aでは、凸部材20の形状について説明しなかったが、凸部材20は、略円柱形状をしており、2つの基板200に跨がっている。但し、凸部材20を球形状、楕円体形状として、各基板200のそれぞれ設ける様にしても良い。

10

#### 【0019】

圧電アクチュエーター10は、図1Bに示すように、支持部220の上にも、圧電素子110a~110eと同じような層構造を有する圧電素子構造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、圧電アクチュエーターユニット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を備えたと、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、圧電アクチュエーターユニット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。

20

30

#### 【0020】

図1Cは、圧電アクチュエーター10の側面図である。図1Cでは、図示の都合上、振動部210における側面図を図示し、支持部220(図1A, 1B)における側面図を省略している。図1Cからわかるように、被覆部260は、圧電素子110a~110eの側面までも覆っている。

#### 【0021】

図2Aは、1つの圧電アクチュエーターユニット100の上面図である。図2Aでは、振動部210を図示し、支持部220は、第1接続部222と第2接続部223の一部を除き、図示が省略されている。さらに、圧電アクチュエーターユニット100のそれぞれの圧電素子110a~110eは、被覆部260により覆われている。なお、第1接続部222と第2接続部223と接する領域では、被覆部260が無く、被覆部260は、圧電素子110a~110eの周囲の少なくとも一部を覆っていると言える。なお、被覆部260は、圧電素子110a~110eの周囲を全部覆っていても良い。

40

#### 【0022】

図2Bは、1つの圧電アクチュエーターユニット100の第2接続部223における断面図である。なお、図2Bでは、振動部210を破線で示している。振動部210上の圧電素子110a~110e及び被覆部260は省略している。第2接続部223の上に配線252、253が見えるが、第2接続部223の上には、被覆部260は配置されていない。図示しないが、同様に、第1接続部222の上にも、被覆部260は配置されてい

50

ない。このように、被覆部 260 は、圧電素子 110a ~ 110e の全部を覆っている必要はなく、それらの周囲の一部（例えば配線 252、253 の部分）は覆っていなくてもよい。なお、被覆部 260 は、圧電素子 110a ~ 110e の周囲を全部覆っていても良い。

#### 【0023】

図 3 は、圧電アクチュエーターユニット 100 の断面を詳細に示す説明図である。圧電アクチュエーターユニット 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 130 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構成する。保護層 260（被覆部 260）は、上述したように、圧電素子 110a ~ 110e を保護する。

#### 【0024】

図 4 は、圧電アクチュエーターの製造工程を示すフローチャートである。図 5 は、圧電アクチュエーターユニットの製造工程を示す説明図である。ステップ S100 では、基板 200 上に絶縁層 201 を形成する。基板 200 として例えば Si ウェハを利用することができる。1 枚の Si ウェハ上には、圧電アクチュエーターユニット 100 を複数個形成することが可能である。絶縁層 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  $\text{SiO}_2$  層を利用することができる。なお、図 1B 等では、絶縁層 201 の図示が省略されている。絶縁層 201 としてアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、アクリルやポリイミドなどの有機材料を用いることができる。なお、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。

#### 【0025】

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 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。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、例えば、エッチングにより行うことができる。

#### 【0026】

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 の材料としては、 $\text{ABO}_3$  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。 $\text{ABO}_3$  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。

#### 【0027】

圧電体 140 の形成は、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

10

20

30

40

50

度にも依存するが、約 50 nm ~ 150 nm 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、50 nm (0.05 μm) 以上 20 μm 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 0.05 μm 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 20 μm 以下とすれば、圧電体 140 に印加する電圧を 600 V 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 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出来る。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。

10

#### 【0028】

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。

#### 【0029】

第1の実施形態では、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。

20

#### 【0030】

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、エッチングにより行うことが出来る。

#### 【0031】

ステップ S140 では、第2電極 150 の上に絶縁層 240 を形成し、パターニングしてコンタクトホールを形成する。ステップ S150 では、絶縁層 240 の上に、銅または真鍮を用いて配線層 250 を形成し、配線層 250 をパターニングして配線を形成する。

#### 【0032】

図6は、配線層 250 による配線のパターン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 から接続部 222, または 223 を通って振動部 210 に渡るように形成されている。すなわち、配線 251 ~ 254 は、振動部 210 と支持部 220 とを繋いで配置されている。第1配線 251 は、振動部 210 において、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 252 は、振動部 210 において、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 において、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 において、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 251 ~ 254 は、支持部 220 において、回路基板と接続される。なお、配線 251 ~ 254 は、固定部 221 の圧電素子構造 111 とは接続されていない。

30

40

#### 【0033】

ステップ S160 では、保護層 260 (被覆部 260) を形成する。被覆部 260 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。

#### 【0034】

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、振動部 210 と、支持部 220 との間に隙間 205 を形成し、凸部材 20 を取り付けするための凹部 216 を形成する。

50

## 【 0 0 3 5 】

図 7 は、2 つの圧電アクチュエーターユニット 1 0 0 を用いて圧電アクチュエーター 1 0 を製造する工程を示す説明図である。ステップ S 1 8 0 では、2 つの圧電アクチュエーターユニット 1 0 0 を、互いに基板 2 0 0 が外側、圧電素子 1 1 0 a ~ 1 1 0 e が内側を向き、同一符号の部材が面对称となるように配置する。その後、接着層 2 7 0 を用いて 2 つの圧電アクチュエーターユニット 1 0 0 の被覆部 2 6 0 同士を接着する。圧電素子 1 1 0 a ~ 1 1 0 e は、被覆部 2 6 0 で覆われると共に、2 枚の基板 2 0 0 に挟まれるので、ゴミなどによる外傷を受け難くなる。ステップ S 1 9 0 では、凹部 2 1 6 に凸部材 2 0 を接着剤で接着する。

## 【 0 0 3 6 】

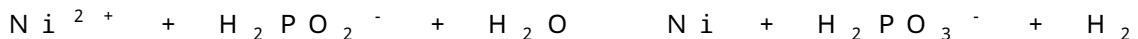
図 8 は、圧電アクチュエーター 1 0 と回路基板（図示せず）との接続部の説明図である。圧電アクチュエーター 1 0 は、支持部 2 2 0 において、外部の回路基板と接続される。支持部 2 2 0 では、支持部 2 2 0（基板 2 0 0）の上に絶縁層（図 3 の絶縁層 2 0 1、図 8 では図示が省略）が形成され、その上に、圧電素子構造 1 1 1、絶縁層 2 4 0、配線 2 5 2（図 8 の B - B 断面では、配線層 2 5 0 の配線 2 5 1 ~ 2 5 4 のうちの第 2 配線 2 5 2 が見えている）、保護層 2 6 0（被覆部 2 6 0）が順次形成されている。なお、なお、図 5 に示す工程では説明しなかったが、圧電アクチュエーターユニット 1 0 0 では、エッチングやイオンミリングを用いてパターニングを行っているため、積層方向から見たときの外形が上層ほど小さくなっている。第 2 配線 2 5 2 は、圧電素子構造 1 1 1 の上から、支持部 2 2 0 の圧電素子構造 1 1 1 の形成されていない位置まで、形成されている。2 つの第 2 配線 2 5 2 の間には、無電解ニッケルめっき層 2 8 0 が形成されている。無電解ニッケルめっき層 2 8 0 の上には、金めっき層 2 9 0 が形成されている。

## 【 0 0 3 7 】

図 9 は、圧電アクチュエーターと回路基板とを接続する工程を示す説明図である。ここでは、第 2 配線 2 5 2 を例にとって説明するが、他の配線 2 5 1、2 5 3、2 5 4 についても同様である。ステップ S 2 0 0 では、第 2 配線 2 5 2 に無電解ニッケルめっき層 2 8 0 を形成する。無電解ニッケルめっき層 2 8 0 の形成では、先ず、パラジウムイオンを含む触媒溶液に圧電アクチュエーター 1 0 の端部を浸漬する。第 2 配線 2 5 2 は、銅または真鍮で形成されているため、銅の一部がパラジウムで置換されパラジウム金属が第 2 配線 2 5 2 に吸着する。

## 【 0 0 3 8 】

次に、圧電アクチュエーター 1 0 の端部を無電解ニッケル - リンめっき液に浸漬する。無電解ニッケル - リンめっき液は、ニッケルイオン ( $\text{Ni}^{2+}$ ) と、次亜リン酸イオン ( $\text{H}_2\text{PO}_2^-$ ) とを含む。ニッケルイオン ( $\text{Ni}^{2+}$ ) と、次亜リン酸イオン ( $\text{H}_2\text{PO}_2^-$ ) とは、パラジウムを触媒として以下の酸化還元反応を起こし、還元されたニッケルが第 2 配線 2 5 2 上に析出する。ニッケルは、第 2 配線 2 5 2 に沿って析出するため、基板 2 0 0（支持部 2 2 0）に沿って、基板 2 0 0 よりも外縁側に突き出る凸部 2 8 5 を有する形状となる。なお、ニッケルは、析出するとき、リンを含んでも良い。



## 【 0 0 3 9 】

ステップ S 2 1 0 では、無電解ニッケルめっき層 2 8 0 上に金めっき層 2 9 0 を形成する。ステップ S 2 2 0 では、圧電アクチュエーター 1 0 と回路基板 3 0 0 とを接合する。回路基板 3 0 0 は、フレキシブル基板上に配線が形成された構造を有する。金めっき層 2 9 0 を有する凸部 2 8 5 を回路基板 3 0 0 に押しつけることで、凸部 2 8 5 を回路基板 3 0 0 に食い込ませ、圧電アクチュエーター 1 0 と回路基板 3 0 0 とを接合し、電氣的に接続させる。

## 【 0 0 4 0 】

図 1 0 は、圧電アクチュエーター 1 0 の等価回路を示す説明図である。なお、圧電アクチュエーター 1 0 は、2 つの圧電アクチュエーターユニット 1 0 0 を有しているが、図 1 0 では、一方の圧電アクチュエーターユニット 1 0 0 のみを図示している。図 1 0 から分

10

20

30

40

50



かるように、5つの圧電素子110a~110eの第1電極130は、配線254に接続され、回路基板300に接続されている。圧電素子110a, 110dの第2電極150は、配線251に接続され、回路基板300に接続されている。圧電素子110b, 110cの第2電極150は、配線252に接続され、回路基板300に接続されている。圧電素子110eの第2電極150は、配線253に接続され、回路基板300に接続されている。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、回路基板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、回路基板300に接続されている。並列接続すると、各圧電素子110a~110dに掛かる電圧を大きく出来る。第3グループの圧電素子110eは、単独で回路基板300に接続されている。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、容量を小さく出来る。

10

#### 【0041】

回路基板300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を超音波振動させて、凸部材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。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、凸部材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。すなわち、圧電アクチュエーター10は、圧電モーターとして機能する。

20

#### 【0042】

図11は、圧電アクチュエーター10の動作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の凸部材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11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11の矢印xの方向に伸縮する。これに応じて、圧電アクチュエーター10の振動部210が振動部210の平面内で屈曲して蛇行形状（S字形状）に変形し、凸部材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11では時計回り方向）に回転する。なお、回路基板300が、第2グループの2つの圧電素子110b, 110c（図10）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、圧電アクチュエーター10が長手方向に伸縮するので、凸部材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。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。

30

40

#### 【0043】

以上、第1の実施形態によれば、圧電アクチュエーター10は、2枚の基板200の間に配置されている圧電素子110a~110eと、圧電素子110a~110eの周囲の少なくとも一部を覆っている被覆部260と、を備える。その結果、圧電素子110a~110eは、2枚の基板200と被覆部260により保護されるので外傷を受け難い。

50

## 【 0 0 4 4 】

また、第1の実施形態によれば、圧電アクチュエーター10は、平面視で少なくとも一部が重なって配置されている2枚の基板200と、平面視で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面上にそれぞれ配置されている圧電素子110a～110eと、それぞれの圧電アクチュエーターユニット100において、圧電素子110a～110eを覆っている被覆部260と、を備える。この形態によれば、圧電素子110a～110eは、被覆部260に覆われていることに加え、少なくとも一部が重なって配置されている2枚の基板200の互いに向かい合う側の面上にそれぞれ配置されているので、2枚の基板200によっても保護され、外傷を受け難い。

10

## 【 0 0 4 5 】

第1の実施形態によれば、各圧電アクチュエーターユニット100の圧電素子110a～110eを覆っている被覆部260は、互いに接着層270で接着されているので、2つの被覆部260が剥がれにくく、圧電素子110a～110eが保護されやすい。

## 【 0 0 4 6 】

第1の実施形態によれば、基板200は、振動部210と、支持部220と、を有し、圧電素子110a～110eは、振動部210に設けられているので、支持部220の振動を低減するとともに、基板200の強度を上げることが出来る。

## 【 0 0 4 7 】

上記形態において、被覆部260は、振動部210と、支持部220との接続部221、222において圧電素子110a～110eを覆っていなかったが、圧電素子110a～110eの全体を覆ってもよい。被覆部260は、圧電素子110a～110eの全体を覆っていれば、圧電素子110a～110eが更に保護され易い。

20

## 【 0 0 4 8 】

上記形態において、被覆部260が支持部220の周囲の少なくとも一部を覆う構成を採用しても良い。被覆部260は、支持部220の周囲の少なくとも一部を覆っていれば、支持部220を保護できる。

## 【 0 0 4 9 】

・第2の実施形態：

図12は、第2の実施形態の圧電アクチュエーター11を示す説明図である。第1の実施形態の圧電アクチュエーター10は、2つの圧電アクチュエーターユニット100を備えていたが、第2の実施形態の圧電アクチュエーター11は、圧電アクチュエーターユニット100を1つのみ備え、第1の実施形態の2つ目の圧電アクチュエーターユニット100の代わりに、圧電素子が配置されていない基板200を備えている。すなわち、第1の圧電アクチュエーターユニット100の圧電素子110a～110eを、第1の圧電アクチュエーターユニット100の基板200と、圧電素子が配置されていない基板200とで挟んでいる。

30

## 【 0 0 5 0 】

第2の実施形態の圧電アクチュエーター11は、2枚の基板200と、2枚の基板200の間に配置されている圧電素子110a～110eと、圧電素子の周囲の少なくとも一部を覆っている被覆部260と、を備える。第2の実施形態の圧電アクチュエーター11によれば、圧電素子110a～110eは、2枚の基板200と被覆部260により保護される効果が高くなるので、第1の実施形態の圧電アクチュエーター10と同様に、外傷を受け難い。

40

## 【 0 0 5 1 】

・第3の実施形態：

図13は、第3の実施形態の積層アクチュエーター12を示す説明図である。第1の実施形態では、圧電アクチュエーター10について説明した。この圧電アクチュエーター10を複数個用いて、基板200の面の法線方向に積層して、積層アクチュエーター12を構成することが可能である。なお、第2の実施形態の圧電アクチュエーター11を複数個

50

用いて基板 200 の面の法線方向に積層してもよい。

#### 【0052】

・他の実施形態：

上述した圧電アクチュエーター 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）、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出来る。以下、代表的な実施の形態について説明する。

10

#### 【0053】

図 14 は、上述の圧電アクチュエーター 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。

20

#### 【0054】

図 15 は、図 14 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 及びハンド 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。

30

#### 【0055】

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。

40

#### 【0056】

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。

#### 【0057】

図 16 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

50

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 703 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 16 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。

10

#### 【0058】

図 17 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 の凸部材 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。

20

30

#### 【0059】

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。

40

#### 【符号の説明】

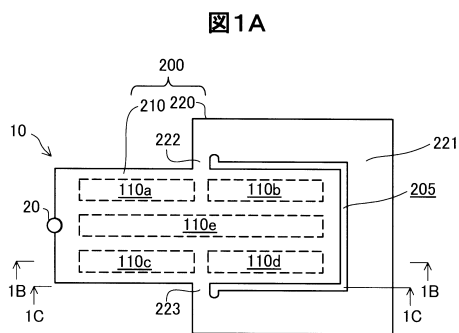
#### 【0060】

10、11...圧電アクチュエーター、12...積層アクチュエーター、20...凸部材、50...ローター、51...中心、100...圧電アクチュエーターユニット、110a、110b、110c、110d、110e...圧電素子、111...圧電素子構造、130...第 1 電極、140...圧電体、150...第 2 電極、200...基板、201...絶縁層、205...隙間、210...振動部、216...凹部、220...支持部、221...固定部、222...第 1 接続部、223...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...保護層（被覆部）、270...接着層、280...無電解ニッケルめっき層、285...凸部、290...金めっき層、3

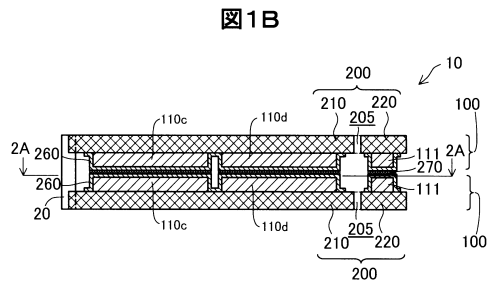
50

00...回路基板、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...フィンガー、2222...ローター、2223...減速伝達機構

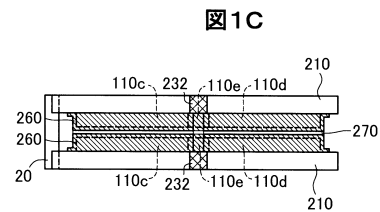
【図1A】



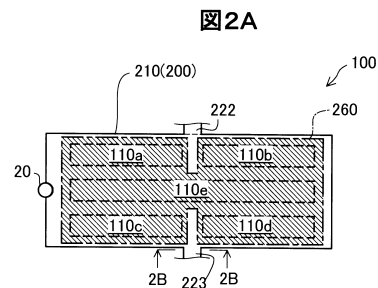
【図1B】



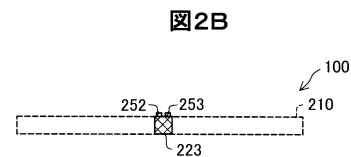
【図1C】



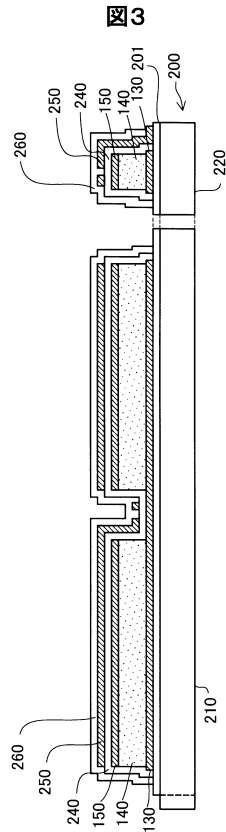
【図2A】



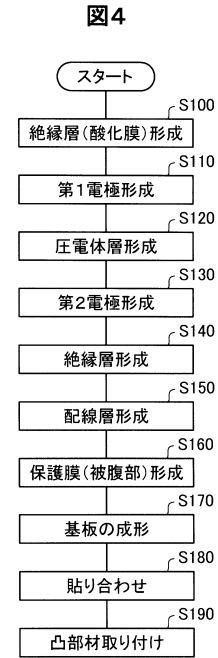
【図2B】



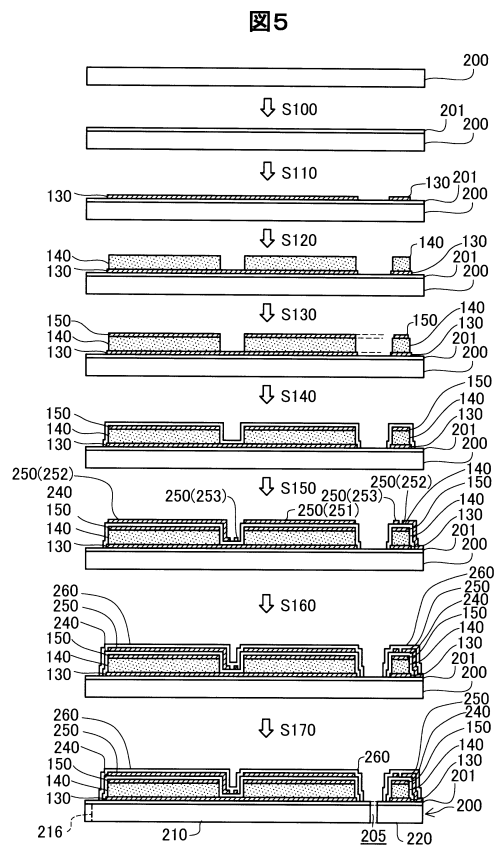
【図3】



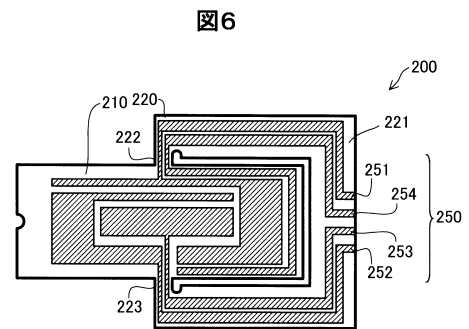
【図4】



【図5】



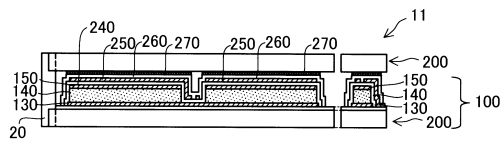
【図6】





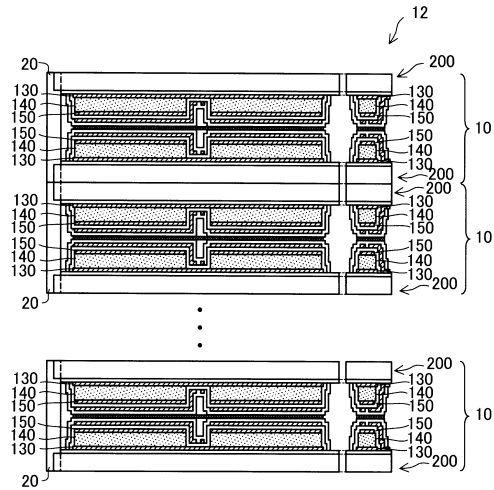
【図 12】

図12



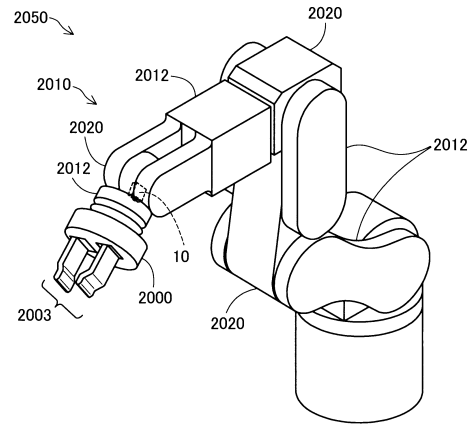
【図 13】

図13



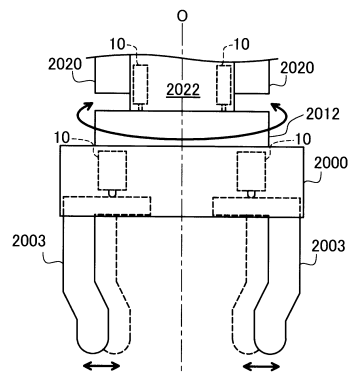
【図 14】

図14



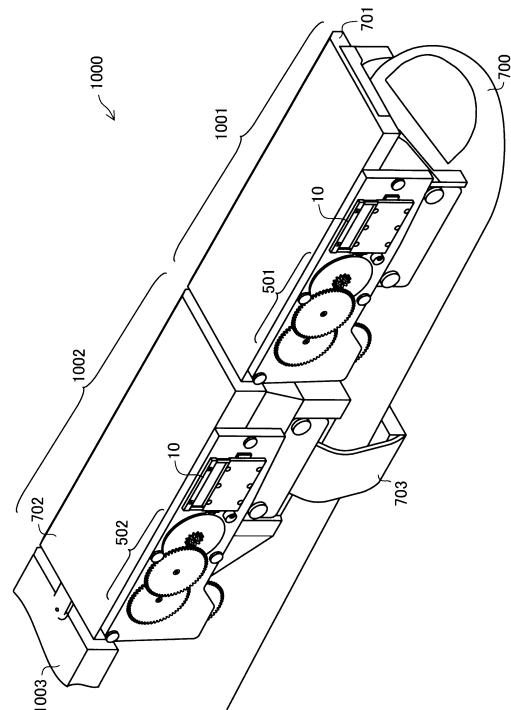
【図 15】

図15



【図 16】

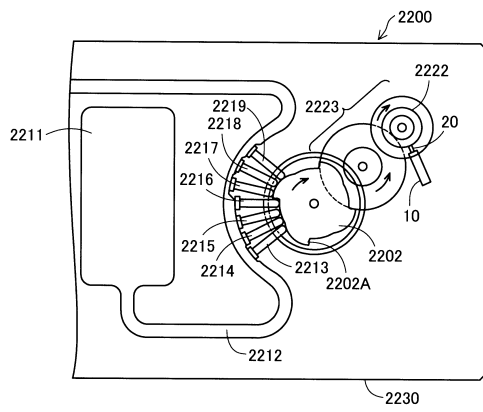
図16





【図 17】

図 17



---

 フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I	
<i>H 0 1 L</i>	<i>41/332</i>	<i>(2013.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	41/332
<i>H 0 1 L</i>	<i>41/23</i>	<i>(2013.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	41/23
<i>H 0 1 L</i>	<i>41/29</i>	<i>(2013.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	41/29

(56)参考文献 特開 2 0 0 6 - 3 4 0 5 0 3 ( J P , A )  
 特開 2 0 1 4 - 1 6 4 2 6 6 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 8 - 1 4 7 2 1 9 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 8 - 2 1 8 9 5 3 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

*H 0 2 N* 2 / 1 0  
*H 0 1 L* 4 1 / 0 9  
*H 0 1 L* 4 1 / 1 8 7  
*H 0 1 L* 4 1 / 1 9 3  
*H 0 1 L* 4 1 / 2 3  
*H 0 1 L* 4 1 / 2 9  
*H 0 1 L* 4 1 / 3 1 8  
*H 0 1 L* 4 1 / 3 3 2