

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5445065号  
(P5445065)

(45) 発行日 平成26年3月19日(2014.3.19)

(24) 登録日 平成26年1月10日(2014.1.10)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>G01L</b>	<b>1/16</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 L	1/16	B
<b>G01L</b>	<b>5/16</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 L	5/16	
<b>G01L</b>	<b>5/00</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 L	5/00	1 O 1 Z
<b>B25J</b>	<b>15/08</b>	<b>(2006.01)</b>	B 25 J	15/08	V
<b>B25J</b>	<b>19/02</b>	<b>(2006.01)</b>	B 25 J	15/08	W

請求項の数 10 (全 31 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2009-267935 (P2009-267935)

(22) 出願日

平成21年11月25日 (2009.11.25)

(65) 公開番号

特開2011-112459 (P2011-112459A)

(43) 公開日

平成23年6月9日 (2011.6.9)

審査請求日

平成24年9月11日 (2012.9.11)

(73) 特許権者 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(74) 代理人 110000637

特許業務法人樹之下知的財産事務所

(72) 発明者 西脇 学

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 森 雅之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】剪断力検出素子、触覚センサー、および把持装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

剪断力を検出する剪断力検出素子であって、

前記剪断力の検出方向に直交し、互いに平行する一対の直線部を有する開口部を備えた支持体と、

前記支持体上に形成されて前記開口部を閉塞するとともに、可撓性を有する支持膜と、

前記支持体を基板厚み方向から見る平面視において、前記開口部の一対の前記直線部のうち少なくともいずれか一方の直線部に沿い、前記開口部の内外に跨って、前記支持膜上に設けられるとともに、湾曲することで電気信号を出力する圧電体部と、

前記圧電体部および前記支持膜を覆う弾性層と、

を具備したことを特徴とする剪断力検出素子。

## 【請求項2】

請求項1に記載の剪断力検出素子において、

前記圧電体部および前記開口部は、前記平面視において、長辺の長さ寸法が短辺の長さ寸法以上となる長方形状に形成され、

前記開口部の前記直線部は、当該開口部の長辺であり、

前記圧電体部の長辺に沿う圧電体長手方向と、前記開口部の長辺に沿う開口部長手方向は、同一方向である

ことを特徴とする剪断力検出素子。

## 【請求項3】

10

20

請求項 1 または請求項 2 に記載の剪断力検出素子において、前記開口部の前記検出方向の中心部において、前記直線部と平行に設けられるとともに、前記直線部の直線方向に沿って当該剪断力検出素子を見る断面視において、前記検出方向に沿って前記剪断力が加えられた際の前記支持膜の変形状態に変曲点を生じさせるコンプライアンス部が設けられることを特徴とする剪断力検出素子。

**【請求項 4】**

請求項 3 に記載の剪断力検出素子において、前記支持体は、前記開口部の前記検出方向の中心部に前記直線部と平行に設けられる支持補強部を備え、前記コンプライアンス部は、前記支持補強部上に設けられることを特徴とする剪断力検出素子。

**【請求項 5】**

請求項 3 または請求項 4 に記載の剪断力検出素子において、前記圧電体部は、前記開口部の一対の直線部の双方に対してそれぞれ設けられることを特徴とする剪断力検出素子。

**【請求項 6】**

請求項 5 に記載の剪断力検出素子において、2 つの前記圧電体部から出力される前記電気信号の差および和の少なくともいずれか一方を出力する演算回路を備えることを特徴とする剪断力検出素子。

**【請求項 7】**

請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載の剪断力検出素子において、前記弾性層は、前記検出方向に沿って複数配設されるとともに、前記支持膜よりも剛性が大きい複数の弾性部材を備えることを特徴とする剪断力検出素子。

**【請求項 8】**

請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載の剪断力検出素子を複数備えた触覚センサーであって、前記剪断力検出素子の前記直線部が、所定の第一方向に沿って設けられる第一方向剪断力検出部と、前記剪断力検出素子の前記直線部が、前記第一方向とは異なる第二方向に沿って設けられる第二方向剪断力検出部と、を備えることを特徴とする触覚センサー。

**【請求項 9】**

請求項 8 に記載の触覚センサーにおいて、対象物に接触した際の前記支持膜の面方向に対して直交する接触方向の圧力を検出する正圧検出部を備え、前記正圧検出部は、前記支持体に開口形成される正圧検出用開口部と、この正圧検出用開口部を閉塞するとともに、可撓性を有する支持膜と、前記支持体を基板厚み方向から見る平面視において、前記正圧検出用開口部の内側で、前記支持膜上に設けられるとともに、湾曲することで電気信号を出力する正圧検出用圧電体と、前記正圧圧電体および前記支持膜を覆う弾性層と、を有することを特徴とする触覚センサー。

**【請求項 10】**

請求項 8 または請求項 9 の触覚センサーを備えて、前記対象物を把持する把持装置であつて、前記対象物を把持するとともに、前記対象物に接触する接触面上に前記触覚センサーが設

10

20

30

40

50

けられる少なくとも一対の把持アームと、

前記触覚センサーから出力される前記電気信号に基づいて、前記対象物のすべり状態を検出する把持検出手段と、

前記すべり状態に基づいて、前記把持アームの駆動を制御する駆動制御手段と、  
を備えることを特徴とする把持装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、剪断方向の応力を検出する剪断力検出素子、この剪断力検出素子を備えた触覚センサー、およびこの触覚センサーを備えた把持装置に関する。 10

【背景技術】

【0002】

従来、ロボットのアームなどにより、重量や摩擦係数が未知である対象物を把持して持ち上げる把持装置が知られている。このような把持装置では、対象物を破損することなく、かつ対象物を滑り落とすことなく把持するためには、把持面に対して直交する方向に作用する力(正圧)と、把持面の面方向(剪断方向)に作用する力(剪断力)を検出する必要があり、これらの力を検出するセンサーが知られている(例えば、特許文献1参照)。

【0003】

この特許文献1に記載の触覚センサーは、センサー基板に開設される開口の縁部から延伸するカンチレバー構造の構造体を有し、この構造体は、平板状の感應部と、感應部とセンサー基板とを連結するヒンジ部とから構成される。そして、この構造体の感應部には導電性磁性体膜が形成され、ヒンジ部には、ピエゾ抵抗膜が形成され、導電性磁性体膜とピエゾ抵抗膜とが導通している。また、ヒンジ部には電極が設けられ、圧力によりヒンジ部が曲がることで、ヒンジ部のピエゾ抵抗で発生する電流が電極から流れる構成となっている。そして、この触覚センサーは、センサー基板上に上記のような構造体が複数形成され、これらの構造体のうち一部がセンサー基板に対して起立し、他の一部がセンサー基板に対して平行に保持されている。また、このセンサー基板上には、弾性体が設けられ、起立した構造体は、弾性体に埋め込まれている。そして、起立した構造体により剪断力が測定可能となり、基板面に平行な構造体により正圧が測定可能となる。 20

【0004】

このような触覚センサーを製造するためには、センサー基板の表面に熱拡散法などによりP型抵抗領域を形成し、スパッタリングにより導電性磁性体層をパターニングする。そして、導電性磁性体層をマスクとして、イオンエッチングにより不純物層およびSi層を除去し、さらにヒンジ部の表面に形成される導電性磁性体膜をエッチングし、この後、反応性イオンエッチングなどにより、構造体の外形を成形する開口を形成する。そして、センサー基板の裏面側から磁場を加えることで、複数の構造体の一部を起立させ、触覚センサーを製造する。 30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2006-208248号公報 40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、上記特許文献1に記載のような触覚センサーでは、カンチレバー構造の構造体を起立させた複雑な立体構造を有しており、その製造においても、磁場を加えてカンチレバー構造の構造体を湾曲させるなど、複雑な製造工程を有し、生産性が悪いという問題がある。

【0007】

本発明は、上記のような問題に鑑みて、簡単な構成で剪断力の測定が可能な剪断力検出 50

素子、触覚センサー、および把持装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の剪断力検出素子は、剪断力を検出する剪断力検出素子であって、前記剪断力の検出方向に直交し、互いに平行する一対の直線部を有する開口部を備えた支持体と、前記支持体上に形成されて前記開口部を閉塞するとともに、可撓性を有する支持膜と、前記支持体を基板厚み方向から見る平面視において、前記開口部の一対の前記直線部のうち少なくともいずれか一方の直線部に沿い、前記開口部の内外に跨って、前記支持膜上に設けられるとともに、湾曲することで電気信号を出力する圧電体部と、前記圧電体部および前記支持膜を覆う弾性層と、を具備したことを特徴とする。

10

【0009】

この発明では、剪断力検出素子は、支持体上に、開口部を塞ぐ状態に支持膜が形成され、この支持膜上に、開口部の内外に跨って圧電体部が積層され、さらにその上層に弾性層が積層されている。ここで、以降の説明において、開口部内の領域の支持膜をメンブレンと称する。

このような剪断力検出素子では、弾性膜に対象物が接触し、開口部の一方向と直交する方向に力が加わると、弾性層に歪みが生じる。そして、この弾性層の歪みによりメンブレン全体が撓み、圧電体部から電気信号（電流）が出力される。したがって、例えばこのような剪断力検出素子を、対象物を把持するための把持面に設けることで、剪断力検出素子から出力される電気信号により、接触した対象物から把持面に加えられる剪断力を測定することが可能となる。

20

また、本発明の剪断力検出素子では、支持体上に支持膜、圧電体部、弾性層を積層するだけの構成であるため、例えば磁場を加えて一部の構成を加工するなどの煩雑な製造方法が不要であり、各構成を積層するだけの簡単な方法により製造することができる。したがって、剪断力検出素子の生産性が良好となり、製造に要するコストも低減させることができる。また、例えばカンチレバー形状の構造体を立設させる構成では、構造体を立設させる分、厚み寸法が増大するが、本発明では、支持体上に膜状の支持膜、圧電体部、弾性層を積層する構成であるため、厚み寸法の増大を抑えることができ、剪断力検出素子の小型化を図ることができる。

【0010】

30

本発明の剪断力検出素子では、前記圧電体部および前記開口部は、前記平面視において、長辺の長さ寸法が短辺の長さ寸法以上となる長方形形状に形成され、前記開口部の前記直線部は、当該開口部の長辺であり、前記圧電体部の長辺に沿う圧電体長手方向と、前記開口部の長辺に沿う開口部長手方向は、同一方向であることが好ましい。

【0011】

支持体に開口部が長方形形状に形成されている場合、弾性層に接触した対象物により、開口部の長手方向に沿う向きの剪断力を受けた場合では、メンブレンに撓みが生じにくく、開口部の長手方向に対して直交する向きの剪断力を受けた場合では、メンブレンにこの長手方向に直交する向きで撓みが生じやすくなる。

この時、開口部の長手方向に沿った一側縁に圧電体部を設け、開口部長手方向と圧電体部長手方向とを一致させることで、メンブレンのどの位置が撓んだとしても、圧電体部によりその撓みを検出することができる。また、圧電体部を、その長手方向が、開口部の長手方向に対して直交する方向となるように配置した場合、圧電体部が支持膜の撓みを阻害するおそれもあり、精度の高い剪断力の検出が困難となる。これに対して、上記のように、圧電体部の長手方向と開口部の長手方向とを一致させる構成では、圧電体部により支持膜の撓みを阻害する事なく、支持膜は、対象物からの剪断力に応じて撓むことができる。したがって、剪断力の検出精度をより向上させることができるとなる。

40

【0012】

本発明の剪断力検出素子は、前記開口部の前記検出方向の中心部において、前記直線部と平行に設けられるとともに、前記直線部の直線方向に沿って当該剪断力検出素子を見る

50

断面視において、前記剪断方向に沿って前記剪断力が加えられた際の前記支持膜の変形状態に変曲点を生じさせるコンプライアンス部が設けられることを特徴とする。

ここで、コンプライアンス部としては、例えば、支持膜上に剪断方向の中心位置に直線部と平行に溝を形成するなどして、メンブレンの他部よりも厚み寸法が薄くすることで形成されていてもよく、また支持膜上に形成される例えば圧電体部や補強膜など積層体の形成位置により、積層体が設けられていない部分をコンプライアンス部とする構成としてもよい。さらには、支持膜上に形成される例えば圧電体部や補強部などの積層体と、支持膜とのトータル膜厚に差を生じさせることでコンプライアンス部を形成する構成などとしてもよい。すなわち、コンプライアンス部は、メンブレンに変曲点を生じさせる構成であればいかなる構成であってもよい。

10

#### 【0013】

弾性層に対象物が接触して剪断力が加えられた際、例えば、開口部の直線部を第一辺、第二辺とし、第一辺から第二辺に向かう検出方向に剪断力が加わる場合、弾性層では、次のような力が作用する。すなわち、弾性層の第二辺側では、支持体が設けられる一方の面とは反対方向側に盛り上る力が発生し、第一辺側では、支持体の開口部内に入り込む力が発生する。ここで、コンプライアンス部が設けられている場合、このコンプライアンス部での開口部の軸方向（支持膜の面方向に対する法線方向）に沿う変位が小さくなり、ほぼ一定位置に保持され、かつ、コンプライアンス部が伸縮することで、このコンプライアンス部を変曲点としてメンブレンが撓む。これにより、コンプライアンス部を挟んでメンブレンの第一辺側では、開口部側に凹状に撓み、メンブレンの第二辺側では、支持体から離れる方向に凸状に撓む。したがって、全体として、コンプライアンス部をほぼ中心として略点対称となる撓みが形成される。すなわち、支持膜を直線部の直線方向に沿って見た断面視において、支持膜は、コンプライアンス部を略中心とした1波長分のsin波形状に変形される。このような撓みが形成されると、例えば、メンブレン全体が開口部側に入り込み、半波長のsin波形状に変形する場合に比べて、圧電体部の変位量を大きくすることができ、圧電体部から出力される電気信号も大きくなる。このような大きな信号値を取得することで、ノイズなどの影響が少ないより精度の高い剪断力の検出を実施することが可能となる。

20

#### 【0014】

本発明の剪断力検出素子では、前記支持体は、前記開口部の前記検出方向の中心部に前記直線部と平行に設けられる支持補強部を備え、前記コンプライアンス部は、前記支持補強部上に設けられることが好ましい。

30

#### 【0015】

この発明では、支持補強部上に設けられるコンプライアンス部は、支持補強膜により保持されているため、剪断力が加えられたとしても定位置に保持される。このため、例えば、開口部の直線部を第一辺、第二辺とし、第一辺から第二辺に向かう検出方向に剪断力が加わる場合に、コンプライアンス部を境に第一辺側のメンブレンの撓み形状と第二辺側のメンブレンの撓み形状とを、より精度良く対称形状にすることができる。

ここで、直線部の直線方向に沿って剪断力検出素子を見た断面視において、メンブレンの撓みが、第一辺側と第二辺側とで点対称とならない場合では、例えば、第一辺側の撓みが小さいと、第一辺に沿って設けられる圧電体部から出力される電気信号が弱くなり、剪断力の検出精度が低下する。これに対して、本発明では、支持補強部により、コンプライアンス部が定位置に保持され、メンブレンの撓みを、コンプライアンス部を挟んで略点対称とすることができますため、第一辺側および第二辺側の撓み量が同一値となる。したがって、圧電体部が第一辺側に形成される場合であっても、第二辺側に形成される場合であっても、メンブレンの撓み量を精度良く検出することができる。

40

#### 【0016】

本発明の剪断力検出素子では、前記圧電体部は、前記開口部の一対の直線部の双方に対してそれぞれ設けられることが好ましい。

上記のようにコンプライアンス部が形成される場合、直線部の直線方向に沿って見る断

50

面視において、コンプライアンス部を変曲点として、メンブレンの第一辺側と第二辺側とで、より点対称に近似する撓み形状が形成される。したがって、第一辺および第二辺に対して圧電体部を設け、これらの2つの圧電体部により撓みを検出することで、メンブレンの撓みに対する正確な電気信号を得ることができる。

#### 【0017】

ここで、本発明では、2つの前記圧電体部から出力される前記電気信号の差および和の少なくともいずれか一方を出力する演算回路を備えることが好ましい。

上記のように第一辺および第二辺にそれぞれ圧電体部が形成される場合、剪断力が加わると、メンブレンの第一辺側と第二辺側とで略点対称となる撓みが形成される。したがって、第一辺に設けられる圧電体部および第二辺に設けられる圧電体部からそれぞれ撓み量に対する電気信号が出力されることとなる。したがって、これらの圧電体部から出力される電気信号の絶対値を加算することで、より大きな電気信号を得ることができ、より精度の高い剪断力検出を実施することが可能となる。10

ここで、各圧電体部から出力される電子信号の絶対値の和を得るためにには、加算回路を用いてもよく、減算回路を用いてもよい。

圧電体部は、圧電膜と、膜上面に形成される上部電極と、膜下面に形成される下部電極とにより形成される。ここで、加算回路を用いる場合、第一辺側の圧電体部の上部電極と第二辺側の圧電体部の下部電極を第一の接続線により接続し、第一辺側の圧電体部の下部電極と第二辺側の圧電体部の上部電極を第二の接続線により接続し、これら第一接続線および第二の接続線を加算回路に接続する。また、減算回路を用いる場合では、第一辺側の圧電体部の上部電極と第二辺側の圧電体部の上部電極を第一の接続線により接続し、第一辺側の圧電体部の下部電極と第二辺側の圧電体部の下部電極を第二の接続線により接続し、これら第一接続線および第二の接続線を減算回路に接続する。20

各圧電体部では、上述したように、撓み方向が逆となるため、第一辺側の圧電体部から出力される電気信号と、第二辺側の圧電体部から出力される電気信号とでは、正負符号が逆となる。これに対して、上記のような加算回路や減算回路を用いることで、各電気信号の正負符号を揃えて、各電器信号の絶対値の和を演算することが可能となる。

#### 【0018】

本発明の剪断力検出素子では、前記弾性層は、前記検出方向に沿って複数配設されるとともに、前記支持膜よりも剛性が大きい複数の弾性部材を備えることが好ましい。30

ここで、弾性部材は、板状に形成され、板面方向が前記直線部の直線方向と平行で、かつ板厚み方向が検出方向となるように配設されるものであってもよく、棒状部材がメンブレン内に複数立設される構成などとしてもよい。

このような弾性部材を用いる構成では、弾性部材に対象物が接触して剪断力が働くと、モーメント力により各弾性部材が傾斜する。そして、弾性部材の傾斜により、弾性部材と支持膜との連結部が傾斜し、メンブレンに撓みが発生する。このような構成では、モーメント力をを利用してメンブレンの撓み量を大きくすることができ、圧電体部からより大きな電気信号を出力させることができる。

#### 【0019】

本発明の触覚センサーは、上述したような剪断力検出素子を複数備えた触覚センサーであって、前記剪断力検出素子の前記直線部が、所定の第一方向に沿って設けられる第一方向剪断力検出部と、前記剪断力検出素子の前記直線部が、前記第一方向とは異なる第二方向に沿って設けられる第二方向剪断力検出部と、を備えることを特徴とする。40

#### 【0020】

上記したような剪断力検出素子は、圧電体部が設けられる開口部の直線部に対して直交する方向を検出方向として、この検出方向に作用する剪断力を検出する。したがって、上述のように、この直線部が異なる第一方向剪断力検出部と、第二方向剪断力検出部とを設けることで、それぞれ異なる方向の剪断力を検出することができる。このような剪断力検出素子を複数設ける構成とすることで、触覚センサーが設けられるセンサー面内において、あらゆる方向に作用する剪断力を検出することができる。また、各剪断力検出素子は、50

上述したように、支持体に支持膜、圧電体部、および弾性層を積層させただけの簡単な構成であり、容易に製造可能な素子であるため、このような剪断力検出素子を用いた触覚センサーも、同様に簡単な構成とすることができます、製造も容易となる。

#### 【0021】

本発明の触覚センサーでは、対象物に接触した際の前記支持膜の面方向に対して直交する接触方向の圧力を検出する正圧検出部を備え、前記正圧検出部は、前記支持体に開口形成される正圧検出用開口部と、この正圧検出用開口部を閉塞するとともに、可撓性を有する支持膜と、前記支持体を基板厚み方向から見る平面視において、前記正圧検出用開口部の内側で、前記支持膜上に設けられるとともに、湾曲することで電気信号を出力する正圧検出用圧電体と、前記正圧圧電体および前記支持膜を覆う弾性層と、を有することが好ましい。10

この発明では、センサー面に作用する剪断力に加えて、前記センサー面に対して直交する方向の圧力（以降、正圧と称す）をも検出することができる。また、このような触覚センサーを用いることで、例えば物体を把持する装置などにおいて、把持時に正圧と滑り力を計測することができ、触覚センサーから出力される電気信号に基づいて把持動作を制御することで、把持対象物を破損させず、かつ落とさないように把持することができる。20

#### 【0022】

本発明の把持装置は、上述のような触覚センサーを備え、前記対象物を把持する把持装置であって、前記対象物を把持するとともに、前記対象物に接触する接触面に前記触覚センサーが設けられる少なくとも一対の把持アームと、前記触覚センサーから出力される前記電気信号に基づいて、前記対象物のすべり状態を検出する把持検出手段と、前記すべり状態に基づいて、前記把持アームの駆動を制御する駆動制御手段と、を備えることを特徴とする。

#### 【0023】

この発明では、上記したように、触覚センサーにより、把持の対象物を把持した際の剪断力を計測することで、対象物が把持アームから滑り落ちている状態であるか、把持されている状態であるかを計測することができる。すなわち、対象物を把持する動作において、対象物を十分に把持できていない状態では、動摩擦力に応じた剪断力が働き、把持力を強めるほど、この剪断力も大きくなる。一方、把持力を強め、静摩擦力に応じた剪断力が検出される状態では、対象物の把持が完了した状態であり、把持力を強めた場合でも静摩擦力は一定であるため、剪断力も変化しない。したがって、例えば、対象物の把持力を徐々に増加させ、剪断力が変化しなくなった時点を検出することで、対象物を破損させることなく、最低限の把持力のみで対象物を把持することができる。30

また、上述したように、把持装置を構成する触覚センサーは、支持体に支持膜、圧電体部、および弾性層を積層させただけの簡単な構成の剪断力検出素子を備える簡単な構成を有するものであり、容易に製造可能であるため、このような触覚センサーを用いた把持装置においても、同様に簡単な構成とすることができます、製造も容易となる。40

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0024】

【図1】本発明に係る第一実施形態の剪断力検出素子の概略構成を示す断面図である。

【図2】第一実施形態の剪断力検出素子の平面図である。

【図3】剪断力検出素子に把持対象物が接触し、剪断力が加えられた状態を示す図であり、(A)は、剪断力検出用メンブレンの変形前の状態を示す図、(B)は、剪断力により剪断力検出用メンブレンが変形した状態を示す図である。

【図4】剪断力検出用圧電膜で発生する電位差を示す図であり、(A)は、剪断力検出用圧電膜が変形していない状態、(B)は、剪断力検出用圧電膜が伸長された状態、(C)50

は、剪断力検出用圧電膜が圧縮された状態を示す図である。

【図5】第一実施形態の剪断力検出素子の演算回路の概略構成を示す回路図である。

【図6】剪断力検出素子から出力される電気信号の発信波形の例を示す図であり、図5中の点S aでの発信波形を示す図であり、(B)は、図5中の点S bでの発信波形を示す図である。

【図7】第二実施形態の剪断力検出素子を示す図であり、(A)は、剪断力検出用開口部の短辺方向に沿って断面した断面図、(B)は、剪断力検出素子の平面図である。

【図8】第三実施形態の剪断力検出素子を剪断力検出用開口部の短辺方向に沿って断面した断面図であり、(A)は、剪断力が加わっていない状態を示す図、(B)は、剪断力が加えられた状態を示す図である。

10

【図9】第四実施形態の触覚センサーの一部を拡大した平面図である。

【図10】触覚センサーの変形例を示す平面図である。

【図11】第四実施形態の正圧検出部の概略構成を示す図であり、(A)は、正圧検出部をセンサー基板の基板厚み方向で断面した際の断面図、(B)は、センサー平面視における正圧検出部の平面図である。

【図12】第五実施形態の把持装置の概略構成を示す装置ブロック図である。

【図13】把持装置の把持動作における触覚センサーに作用する正圧および剪断力の関係を示す図を示す。

【図14】制御装置の制御による把持装置の把持動作を示すフローチャートである。

【図15】把持装置の把持動作時において、アーム駆動部への駆動制御信号、触覚センサーから出力される検出信号の発信タイミング示すタイミング図である。

20

【図16】他の実施形態における触覚センサーの一部を示す平面図である。

【図17】さらに他の実施形態におけるバイモルフの剪断力検出用圧電体を有する剪断力検出素子を示す図であり(A)は、短辺方向に沿う断面図であり、(B)は、センサー平面視における平面図である。

【図18】さらに他の実施形態における剪断力検出素子の構成を示す図であり、(A)は、短辺方向に沿って断面した断面図、(B)は、センサー平面視における平面図である。

【図19】さらに他の実施形態における剪断力検出素子の構成を示す平面図である。

【図20】さらに他の実施形態における剪断力検出素子の構成を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0025】

〔第一実施形態〕

以下、本発明に係る第一実施形態の剪断力検出素子について、図面に基づいて説明する。

#### (1. 剪断力検出素子の構成)

図1は、本実施形態の剪断力検出素子200の概略構成を示す断面図であり、図2は、剪断力検出素子200の平面図である。

【0026】

剪断力検出素子200は、図1に示すように、支持体であるセンサー基板11上に、支持膜14、本発明の圧電体部を構成する剪断力検出用圧電体210、および弾性層である弾性膜15を積層することで構成されている。この剪断力検出素子200は、弾性膜15に対象物が接触し、対象物が剪断方向に移動した際に、その剪断力を検出する素子である。

40

【0027】

センサー基板11は、例えばS1により形成され、厚み寸法が例えば $200\mu m$ に形成されている。このセンサー基板11には、図1および図2に示すように、本発明の開口部である剪断力検出用開口部111が形成されている。この剪断力検出用開口部111は、平面視長方形状に形成されており、長方形を構成する長辺が本発明の直線部を構成する。ここで、この剪断力検出用開口部111の長辺に沿う方向が本発明の直線部の直線方向であり、この方向をY方向として設定する。また、剪断力検出用開口部111の短辺に沿う

50

方向が、本発明の検出方向であり、この検出方向をX方向として設定する。

また、本実施形態では、この剪断力検出用開口部111は、長辺寸法Lが500μm、短辺寸法Wが100μmに形成されている。なお、剪断力検出用開口部111の寸法は、長辺寸法Lおよび短辺寸法Wの比がL/W<2となるように形成されればよく、上記寸法には限られない。すなわち、例えば剪断力検出素子200において、長辺寸法Lおよび短辺寸法Wの比がL/W<2となるように剪断力検出用開口部111を形成した場合、弾性膜15のY方向への撓みにより、支持膜14もY方向に対して撓みが生じてしまい、X方向のみの撓み検出が困難となる。これに対して、長辺寸法Lおよび短辺寸法Wの比がL/W<2とすることで、支持膜14のY方向への撓みを軽減することができ、X方向に対する剪断力を精度よく検出することができる。10

#### 【0028】

支持膜14は、図示は省略するが、センサー基板11上に例えば厚み寸法が3μmに成膜されるSiO<sub>2</sub>層と、このSiO<sub>2</sub>層上に積層される厚み寸法が例えば400nmのZrO<sub>2</sub>層との2層構造により形成されている。ここで、ZrO<sub>2</sub>層は、後述する剪断力検出用圧電体210の焼成形成時に剪断力検出用圧電膜211の剥離を防止するために形成される層である。すなわち、剪断力検出用圧電膜211が例えばPZTにより形成される場合、焼成時にZrO<sub>2</sub>層が形成されていないと、剪断力検出用圧電膜211に含まれるPbがSiO<sub>2</sub>層に拡散して、SiO<sub>2</sub>層の融点が下がり、SiO<sub>2</sub>層の表面に気泡が生じ、この気泡によりPZTが剥離してしまう。また、ZrO<sub>2</sub>層がない場合、剪断力検出用圧電膜211の歪みに対する撓み効率が低下するなどの問題もある。これに対して、ZrO<sub>2</sub>層がSiO<sub>2</sub>層上に形成される場合、剪断力検出用圧電膜211の剥離、撓み効率の低下などの不都合を回避することが可能となる。20

また、以降の説明において、図2に示すようなセンサー平面視において、支持膜14のうち、剪断力検出用開口部111を閉塞する領域を剪断力検出用メンブレン141と称す。

#### 【0029】

剪断力検出用圧電体210は、膜状の剪断力検出用圧電膜211と、この剪断力検出用圧電膜211膜厚み方向にそれぞれ形成される剪断力検出用下部電極212および剪断力検出用上部電極213と、を備えている。

剪断力検出用圧電膜211は、例えばPZT(ジルコン酸チタン酸鉛:lead zirconate titanate)を厚み寸法が例えば500nmとなる膜状に成膜することで形成される。なお、本実施形態では、剪断力検出用圧電膜211としてPZTを用いるが、膜の応力変化により電荷を発生することが可能な素材であれば、いかなる素材を用いてもよく、例えばチタン酸鉛(PbTiO<sub>3</sub>)、ジルコン酸鉛(PbZrO<sub>3</sub>)、チタン酸鉛ランタン((Pb,La)TiO<sub>3</sub>)、窒化アルミニウム(AlN)、酸化亜鉛(ZnO)、ポリフッ化ビニリデン(PVDF)などを用いてもよい。この剪断力検出用圧電膜211は、剪断力により支持膜が撓むと、その撓み量に応じて剪断力検出用下部電極212および剪断力検出用上部電極213の間で電位差が発生する。これにより、剪断力検出用下部電極212および剪断力検出用上部電極213に剪断力検出用圧電膜211からの電流が流れ、電気信号が出力される。30

#### 【0030】

剪断力検出用下部電極212および剪断力検出用上部電極213は、剪断力検出用圧電膜211の膜厚み方向を挟んで形成される電極であり、剪断力検出用下部電極212は、剪断力検出用圧電膜211の剪断力検出用メンブレン141に対向する面に形成され、剪断力検出用上部電極213は、剪断力検出用下部電極212が形成される面とは反対側の面に形成されている。

剪断力検出用下部電極212は、厚み寸法が例えば200nmに形成される膜状の電極である。この剪断力検出用下部電極212としては、導電性を有する導電薄膜であれば、いかなるものであってもよいが、本実施形態では、例えば、Ti/Ir/Pt/Tiの積層構造膜を用いる。40

また、剪断力検出用上部電極 213 は、厚み寸法が例えば 50 nm に形成される膜状の電極である。この剪断力検出用上部電極 213 としても、導電性薄膜であれば、いかなる素材を用いてもよいが、本実施形態では、Ir 薄膜を用いる。

#### 【0031】

また、この剪断力検出用圧電体 210 は、剪断力検出用開口部 111 の長手方向 (Y 方向) と同一方向に長手となる矩形状に形成され、剪断力検出用開口部 111 の長辺 111A に沿って一対設けられている。また、各剪断力検出用圧電体 210 (210A, 210B) は、平面視において、剪断力検出用開口部 111 の長辺 111A を挟んで、剪断力検出用開口部 111 の内外に跨って配置されている。

#### 【0032】

この剪断力検出用圧電体 210 において、剪断力検出用下部電極 212 は、基板部 113 から剪断力検出用メンブレン 141 内に、X 方向に沿って形成される。具体的には、-X 方向側に配置される剪断力検出用圧電体 210A では、剪断力検出用下部電極 212 は、剪断力検出用圧電膜 211 の +X 側の端縁から +X 方向に僅かに突出して形成され、+X 方向側に配置される剪断力検出用圧電体 210B では、剪断力検出用下部電極 212 は、剪断力検出用圧電膜 211 の -X 側の端縁から -X 方向に僅かに突出して形成される。ここで、剪断力検出用下部電極 212 の Y 方向に沿う端縁 (下部電極先端縁 2121) から剪断力検出用開口部 111 の長辺 111A までの距離寸法は、剪断力検出用開口部 111 の短辺寸法 W の 1/2 より小さく、例えば 40 μm に形成されている。したがって、-X 方向から剪断力検出用メンブレン 141 内に配置される剪断力検出用下部電極 212 と、+X 方向から剪断力検出用メンブレン 141 内に配置される剪断力検出用下部電極 212 との間には、所定寸法 (例えば 20 μm) の隙間が形成されている。この部分は、剪断力検出用下部電極 212 の他、剪断力検出用圧電膜 211 や剪断力検出用上部電極 213 も積層されておらず、支持膜 14 において、最も柔らかく変形しやすいコンプライアンス部 143 となる。

#### 【0033】

そして、この剪断力検出用下部電極 212 上に、剪断力検出用下部電極 212 の X 方向に沿う一対の端縁 (下部電極側縁 2122) 間を覆って、Y 方向に長手となる剪断力検出用圧電膜 211 が形成される。さらに、この剪断力検出用圧電膜 211 上に、剪断力検出用圧電膜 211 の X 方向に沿う一対の端縁 (圧電膜側縁 2111) 間を覆って、Y 方向に長手となる剪断力検出用上部電極 213 が形成される。この剪断力検出用上部電極 213 は、例えば剪断力検出用開口部 111 の一対の対向する短辺 111B 間に亘って形成され、短辺 111B 近傍から X 方向に延出して引出部 2131 形成される。このような剪断力検出用圧電体 210 であれば、剪断力検出用下部電極 212 および剪断力検出用上部電極 213 が直接接触する部分がないため、各電極 312, 313 を絶縁膜で被覆するなどすることなく、容易に剪断力検出用圧電体 210 から出力される電気信号を取り出すことができる。

#### 【0034】

このような剪断力検出用圧電体 210 では、剪断力検出用下部電極 212、剪断力検出用圧電膜 211、および剪断力検出用上部電極 213 が膜方向に沿って重なり合っている部分が、支持膜の撓み量の検出する圧電積層部 214 となる。

ここで、圧電積層部 214 は、Y 方向に長手となる矩形状に形成され、図 2 に示すようなセンサー平面視において、Y 方向の長さ寸法  $L_p$  が剪断力検出用開口部 111 の長辺 111A の長さ寸法  $L$  より小さく、かつ、X 方向に沿う端縁 (下部電極側縁 2122) から剪断力検出用開口部 111 の短辺 111B までの距離寸法  $L_G$  が、少なくとも剪断力検出用開口部 111 の短辺寸法 W よりも大きく形成されている。なお、本実施形態では、距離寸法  $L_G$  は 120 μm に形成されている。

これは、距離寸法  $L_G$  が剪断力検出用開口部 111 の短辺寸法 W 以下となる場合、X 方向の撓み検出精度が低下するおそれがあるためである。すなわち、長方形状の剪断力検出用メンブレン 141 において、剪断力検出用開口部 111 の短辺 111B 上の支持膜 14

10

20

30

40

50

は、基板部 113 に固定されているため、弾性膜 15 の撓んだとしても変位しない。したがって、短辺 111B 近傍では、剪断力に対して撓みが生じないため、この領域の支持膜 14 の撓みを検出した場合、正確な剪断力の測定が困難となる。これに対して、上記のように、距離寸法  $L_g$  が剪断力検出用開口部 111 の短辺寸法  $W$  より大きくなる場合、剪断力に応じた撓みを支持膜 14 に生じさせることができ、かつ、X 方向の剪断力により支持膜 14 に Y 方向の撓みが発生しないため、精度の高い剪断力測定を実施することが可能となる。

#### 【 0035 】

また、圧電積層部 214 は、剪断力検出用メンブレン 141 の内部と外部に亘って形成されるが、圧電積層部 214 の剪断力検出用メンブレン 141 内の X 方向に沿う寸法  $W_{p_1}$  が、圧電積層部 214 の Y 方向に沿う寸法  $L_p$  の  $1/3$  以下に形成されていることが好みしい。例えば、本実施形態では、 $W_{p_1} = 30 \mu m$ 、 $L_p = 260 \mu m$  に形成されている。これは、圧電積層部 214 の剪断力検出用メンブレン 141 内の X 方向に沿う寸法  $W_p$  が、圧電積層部 214 の Y 方向に沿う寸法  $L_p$  の  $1/3$  よりも大きく形成される場合、圧電積層部 214 において、Y 方向の剪断力の影響を受ける可能性が大きくなるためである。これに対して、上記のように、 $3W_{p_1} > L_p$  となるように、圧電積層部 214 の寸法を形成することで、Y 方向の剪断力の影響を除外し、X 方向の剪断力により支持膜 14 および圧電積層部 214 を撓ませることが可能となる。

#### 【 0036 】

そして、圧電積層部 214 は、剪断力検出用メンブレン 141 の外部において、X 方向に沿う寸法  $W_{p_2}$  が、支持膜 14 および圧電積層部 214 の膜厚寸法の和の 5 倍以上に形成されることが好みしい。本実施形態では、支持膜 14 および圧電積層部 214 の膜厚総和が約  $4.15 \mu m$  であり、寸法  $W_{p_2}$  が例えば  $25 \mu m$  に形成されている。

ここで、圧電積層部 214 の剪断力検出用メンブレン 141 の外部における X 方向に沿う寸法  $W_{p_2}$  が、支持膜 14 および圧電積層部 214 の膜厚総和の 5 倍よりも小さい寸法である場合、次のような問題がある。すなわち、剪断力検出用メンブレン 141 が剪断力により変形する際、各層が剪断力により剪断力検出用開口部 111 内に入り込もうとするモーメント力、または剪断力検出用開口部 111 から離れる方向に浮き上がろうとするモーメント力が発生する。これらのモーメント力は、支持膜 14、剪断力検出用下部電極 212、剪断力検出用圧電膜 211、および剪断力検出用上部電極 213 のそれぞれに作用して、剪断力検出用メンブレン 141 および剪断力検出用圧電体 210 を変形させる。この時、剪断力検出用圧電体 210 における圧電積層部 214 の剪断力検出用メンブレン 141 の外部の領域において、剪断力検出用開口部 111 の縁（長辺 111A）から離れるに従って剪断力検出用メンブレン 141 の変形に係る応力も小さくなる。ここで、圧電積層部 214 における剪断力検出用メンブレン 141 の外部に形成される部分の X 方向寸法  $W_{p_2}$  が  $W_{p_2} < 5t$  ( $t$  は、膜厚総和) となる場合、剪断力検出用メンブレン 141 の変形に係る応力を十分に受けことができないため、安定した剪断力検出用メンブレン 141 の変形が得られない。また、剪断力検出用圧電体 210 を構成する各膜 311, 312, 313 が剥離するおそれもある。これに対して、寸法  $W_{p_2}$  が  $W_{p_2} > 5t$  となるように剪断力検出用圧電体 210 を形成することで、剪断力検出用メンブレン 141 の変形を安定させることができ、剥離などの不都合も回避することができる。

#### 【 0037 】

弾性膜 15 は、上述のような支持膜 14、剪断力検出用圧電体 210 を覆って形成される膜である。この弾性膜 15 としては、本実施形態では、例えば P D M S (PolyDiMethyl Siloxane) を用いるが、これに限定されず、弾性を有する合成樹脂など、その他の弾性素材により形成されるものであってもよい。また、弾性膜 15 の厚み寸法としては、特に限定されないが、例えば  $300 \mu m$  に形成されている。

この弾性膜 15 は、剪断力検出用圧電体 210 の保護膜として機能するとともに、当該弾性膜 15 に加わる剪断力を剪断力検出用メンブレン 141 に伝達して撓ませる。そして、この弾性膜 15 の撓みにより、剪断力検出用メンブレン 141 が撓むことで、剪断力検

10

20

30

40

50

出用圧電体 210 も撓み、その撓み量に応じた電気信号が出力される。

#### 【0038】

##### (2. 剪断力検出素子の動作)

次に上記のような剪断力検出素子の動作について、図面に基づいて説明する。

図3は、剪断力検出素子に把持対象物Aが接触し、矢印P1の方向に応力(剪断力)が加えられた状態を示す図であり、(A)は、剪断力検出用メンブレン141の変形前の状態を示す図、(B)は、剪断力により剪断力検出用メンブレン141が変形した状態を示す図である。

#### 【0039】

剪断力検出素子200は、図3(A)に示すように、弾性膜15に対象物Aが接触し、矢印P1の方向に剪断力が加えられると、図3(B)に示すように、剪断力検出用メンブレン141に撓みが発生する。10

すなわち、弾性膜15に剪断力が発生すると、剪断力検出用メンブレン141の-X側の面では、矢印M1に示すように、剪断力検出用開口部111内に入り込むモーメント力が発生し、+X側の面では、矢印M2に示すように、剪断力検出用開口部111から浮き上がりうとするモーメント力が発生する。

この時、剪断力検出用メンブレン141の中心位置には、剪断力検出用メンブレン141の他部よりも膜厚寸法が小さく、柔らかく形成されるコンプライアンス部143が形成されているため、このコンプライアンス部143が変曲点となり、1波長分のsin波形状に剪断力検出用メンブレン141が撓む。20

#### 【0040】

図4は、剪断力検出用圧電膜211で発生する電位差を模式的に示す図であり、(A)は、剪断力検出用圧電膜211が変形していない状態、(B)は、剪断力検出用圧電膜211が伸長された状態、(C)は、剪断力検出用圧電膜211が圧縮された状態を示す図である。

上記のような剪断力検出素子200により剪断力を検出するためには、予め剪断力検出用上部電極213および剪断力検出用下部電極212間に電圧を印加し、図4(A)に示すように、分極させておく。この状態で、図3(B)に示すように、剪断力検出用メンブレン141に撓みが発生すると、剪断力検出用圧電膜211に電位差が発生する。

具体的には、図3(A)の矢印P1に示すような剪断力が加わった場合、図3(B)の-X方向側の剪断力検出用圧電体210の剪断力検出用圧電膜211は、剪断力検出用メンブレン141と同様に、矢印M1に示すようなモーメント力が加わるため、図4(B)に示すように、剪断力検出用圧電膜211に引っ張り応力が発生し、膜厚も小さくなる。これにより、剪断力検出用圧電膜211では、分極モーメント量が低下し、剪断力検出用上部電極213との接触面に正電荷、剪断力検出用下部電極212との接触面に負電荷が発生する。このため、剪断力検出用下部電極212から剪断力検出用上部電極213に向かう方向に電流が流れ、電気信号として出力される。30

#### 【0041】

一方、図3(B)の+X方向側の剪断力検出用圧電体210の剪断力検出用圧電膜211は、矢印M2に示すようなモーメント力が加わるため、図4(C)に示すように、剪断力検出用圧電膜211に圧縮応力が発生し、膜厚も大きくなる。これにより、剪断力検出用圧電膜211では、分極モーメント量が増大し、剪断力検出用上部電極213に負電荷、剪断力検出用下部電極212に正電荷が発生する。このため、剪断力検出用上部電極213から剪断力検出用下部電極212に向かう方向に電流が流れ、電気信号として出力される。40

#### 【0042】

##### (3. 剪断力検出素子の出力回路)

また、上記のような剪断力検出素子200は、-X方向側の剪断力検出用圧電体210から出力される剪断力検出信号、および+X方向側の剪断力検出用圧電体210から出力される剪断力検出信号を加算する演算回路220を備えている。50

この演算回路 220 は、例えばセンサー基板 11 上に形成されていてもよく、センサー基板 11 とは別体として設けられ、センサー基板 11 上に形成される剪断力検出用下部電極 212 および剪断力検出用上部電極 213 に接続される構成などとしてもよい。なお、センサー基板 11 と別体として設けられる場合では、例えば剪断力検出素子 200 が取り付けられる装置などに収納される構成などとしてもよい。

#### 【0043】

図 5 は、剪断力検出素子 200 の演算回路 220 の概略構成を示す回路図である。

本実施形態の剪断力検出素子 200 の演算回路 220 では、-X 方向側の剪断力検出用圧電体 210A の剪断力検出用下部電極 212、および+X 方向側の剪断力検出用圧電体 210B の剪断力検出用上部電極 213 を接続した接続線 221A と、-X 方向側の剪断力検出用圧電体 210A の剪断力検出用上部電極 213、および+X 方向側の剪断力検出用圧電体 210B の剪断力検出用下部電極 212 を接続した接続線 221B と、をそれぞれ増幅器 (Amp) 222 に出力する。  
10

ここで、図 3 (B) に示すように、剪断力検出用圧電体 210A と剪断力検出用圧電体 210B とでは、撓み方向が逆となるため、これらの剪断力検出用圧電体 210A および剪断力検出用圧電体 210B から出力される電流は、正負が逆転する。したがって、上記のように、剪断力検出用圧電体 210A の剪断力検出用上部電極 213 と、剪断力検出用圧電体 210B の剪断力検出用下部電極 212 とを接続し、剪断力検出用圧電体 210A の剪断力検出用下部電極 212 と、剪断力検出用圧電体 210B の剪断力検出用上部電極 213 とを接続することで、剪断力検出用圧電体 210A, 210B から出力される電流の正負符号を揃えることができる。  
20

#### 【0044】

また、これら剪断力検出用圧電体 210A, 210B から出力される電流を増幅器 222 で増幅させた後、積分器 223 に入力することで図 6 に示すような発信波形を得ることができる。

図 6 (A) は、図 5 中の点 S a での発信波形を示す図であり、(B) は、図 5 中の点 S b での発信波形を示す図である。

剪断力検出素子 200 は、弾性膜 15 に対象物 A が当接して X 方向に剪断力が発生するタイミング t1 で、図 6 (A) に示すように、例えば正の電気信号が出力される。また、例えば対象物 A が弾性膜 15 から離れて剪断力がなくなるタイミング t2 で、弾性膜 15 が弾性により元の位置に戻るため、剪断力検出用メンブレン 141 も元の位置に戻り、この時発生する剪断力検出用圧電体 210 の変形により、負の電気信号が出力される。このような電気信号を積分器 223 に入力することで、図 6 (B) に示すような、剪断力検出信号が得られる。この剪断力検出信号では、剪断力が作用している期間中、剪断力に応じた信号が連続的に出力される。  
30

#### 【0045】

##### (4. 第一実施形態の作用効果)

上述したように、上記第一実施形態の剪断力検出素子 200 は、剪断力検出用開口部 111 が形成されるセンサー基板 11 上に、支持膜 14 を積層する。そして、この支持膜 14 上に、剪断力検出用開口部 111 の長辺 111A に沿って剪断力検出用メンブレン 141 の内外に跨って配置される剪断力検出用圧電体 210 を積層し、さらに、その上層に弾性膜 15 を積層形成している。このような構成の剪断力検出素子では、弾性膜 15 に剪断力が加わると、剪断力検出用メンブレン 141 がモーメント力により撓み、剪断力検出用圧電体 210 から剪断力に応じた電気信号が出力される。したがって、このような電気信号を検出することで、容易に剪断力を測定することが可能となる。  
40

また、センサー基板 11 上に、支持膜 14、剪断力検出用圧電体 210、および弾性膜 15 を積層するだけの簡単な構造であるため、各層を例えばスパッタリングなどによる積層、エッチングなどによるパターニングにより容易に形成することができる。したがって、例えば、基板の一部を剪断力の方向に合わせて折り曲げるなどの加工が不要であり、簡単な製造工程により剪断力検出素子を製造することができ、製造効率を向上させることができ  
50

できる。

**【0046】**

また、剪断力検出用開口部111は、長方形形状に形成され、長方形の長辺111Aに沿って剪断力検出用圧電体210が配置されている。

このような剪断力検出用開口部111上に形成される剪断力検出用メンブレン141は、長辺方向への撓みが生じにくくなる。したがって、剪断力検出用圧電体210から出力される電気信号としても、長辺方向の撓みによるノイズを除去でき、検出方向である短辺方向(X方向)の剪断力を精度よく検出することができる。

**【0047】**

また、剪断力検出用開口部111の一対の長辺111Aに対応して、一対の剪断力検出用圧電体210A, 210Bが設けられている。そして、剪断力検出用メンブレン141の中心部には、これらの剪断力検出用圧電体210A, 210Bが積層されないコンプライアンス部143が形成されている。10

したがって、剪断力検出用メンブレン141は、剪断力検出用開口部111の短辺方向に沿って断面した図4(B)に示すような断面視において、コンプライアンス部143を中心に点対称となる撓み、すなわち1波長分のsin波状の撓みが発生する。これにより、剪断力検出用メンブレン141内の撓み部分における傾斜角度が大きくなり、剪断力検出用圧電体210の撓み量も大きくなる。したがって、剪断力検出信号としてより大きな電気信号を出力することができ、剪断力検出精度を向上させることができる。

**【0048】**

また、コンプライアンス部143を挟んで、一対の剪断力検出用圧電体210A, 210Bが設けられている。ここで、剪断力検出用メンブレン141は、剪断力が加えられると、コンプライアンス部143を挟んで、略点対称となる変形が発生するが、例えば剪断力検出用開口部111の長辺方向に沿う撓みが加わるなどにより、左右非対称となる場合もある。このような場合でも、コンプライアンス部143を挟む2つの領域にそれぞれ剪断力検出用圧電体210A, 210Bを設けることで、剪断力の検出精度を向上させることができ。例えば、コンプライアンス部143を挟んで-X方向側の剪断力検出用メンブレン141の撓み量が小さく、+X方向側の剪断力検出用メンブレン141の撓み量が大きい場合、仮に剪断力検出用圧電体210Aのみしか設けられていない場合、剪断力が小さいと判断される場合がある。これに対して、コンプライアンス部143を挟んで剪断力検出用圧電体210A, 210Bが設けられている場合、剪断力検出用圧電体210Aから出力される電気信号が小さい場合でも、剪断力検出用圧電体210Bから大きい電気信号が出力されることとなり、剪断力の検出精度を向上させることができる。20

**【0049】**

さらに、剪断力検出素子200は、剪断力検出用圧電体210Aの剪断力検出用上部電極213と、剪断力検出用圧電体210Bの剪断力検出用下部電極212とを接続し、剪断力検出用圧電体210Aの剪断力検出用下部電極212と、剪断力検出用圧電体210Bの剪断力検出用上部電極213とを接続することで、各剪断力検出用圧電体210Aから出力される信号を加算する演算回路220を備えている。このような演算回路220により、より大きな剪断力検出信号を得ることができ、剪断力検出精度をより一層向上させることができる。30

**【0050】**

**[第二実施形態]**

次に本発明に係る第二実施形態の剪断力検出素子200Aについて、図面に基づいて説明する。

図7は、第二実施形態の剪断力検出素子200Aを示す図であり、(A)は、剪断力検出用開口部111の短辺方向に沿って断面した断面図、(B)は、剪断力検出素子200Aの平面図である。なお、以降の実施形態の説明において、上記第一実施形態と同様の構成については同符号を付し、その説明を省略または簡略する。

**【0051】**

50

20

30

40

第二実施形態は、第一実施形態の剪断力検出素子 200 の構成の一部を変更したものである。

すなわち、第二実施形態の剪断力検出素子 200A は、第一実施形態と同様にセンサー基板 11 上に、支持膜 14 、剪断力検出用圧電体 210 (210A, 210B) 、および弾性膜 15 を積層することにより構成される。

ここで、第二実施形態の剪断力検出素子 200A のセンサー基板 11 に形成される剪断力検出用開口部 111 は、短辺方向 (X 方向) の中心位置に、長辺 111A に平行する支持補強部 114 が形成されている。

#### 【0052】

また、支持膜 14 上には、剪断力検出用圧電体 210A, 210B および、これらの剪断力検出用圧電体 210A, 210B の間で、かつ図 7 (B) に示すようなセンサー平面視において、支持補強部 114 と重なる位置に、補強膜 230 が形成されている。この補強膜 230 は、コンプライアンス部 143 の変化を抑制するものであればよく、例えば剪断力検出用圧電体 210 の形成時に、下部電極、圧電膜、および上部電極を積層することで構成されるものであってもよく、例えば圧電膜のみが積層されることで形成されるものであってもよく、さらには、他の膜部材であってもよい。

#### 【0053】

上記のような第二実施形態の剪断力検出素子 200A では、支持補強部 114 上に形成される支持膜 14 が本発明のコンプライアンス部として機能する。

すなわち、剪断力検出用メンブレン 141 に剪断力が加わると、支持補強部 114 が形成される位置は定位位置となり、この支持補強部 114 上の支持膜 14 を中心として、 -X 方向側および +X 方向側に *sin* 波形状の撓みが形成される。

また、補強膜 230 が設けられない構成としてもよいが、この場合、支持補強部 114 近傍において、剪断力検出用メンブレン 141 の撓み量が大きくなり、正常な *sin* 波形状の撓みが形成されない場合がある。これに対して、補強膜 230 が設ける構成とすることで、支持補強部 114 近傍の剪断力検出用メンブレン 141 の撓み量を抑えることができ、支持補強部 114 を挟んで -X 方向側と +X 方向側とにおいて、撓み形状を略同一に揃えることができる。

このような剪断力検出素子 200A では、剪断力検出用圧電体 210A から出力される電気信号と、剪断力検出用圧電体 210B から出力される電気信号とが、符号が異なるが絶対値が略同一値となり、信頼性の高い剪断力を検出することができる。

#### 【0054】

##### 〔第三実施形態〕

次に、本発明に係る第三実施形態の剪断力検出素子について、図面に基づいて説明する。

図 8 は、第三実施形態の剪断力検出素子 200B を剪断力検出用開口部 111 の短辺方向に沿って断面した断面図であり、(A) は、剪断力が加わっていない状態を示す図、(B) は、剪断力が加えられた状態を示す図である。

第三実施形態は、第一実施形態の剪断力検出素子 200 において、弾性膜 15 を変形したものであるため、センサー基板 11 、支持膜 14 、剪断力検出用圧電体 210 の構成については、その説明を省略する。

#### 【0055】

第三実施形態の剪断力検出素子 200B では、支持膜 14 または剪断力検出用圧電体 210 の上層に複数の弾性部材 151 が形成されている。

この弾性部材 151 は、板状部材であり、剪断力が加わっていない状態において、図 8 (A) に示すように、板面方向が支持膜 14 の面方向および剪断力検出用開口部 111 の短辺方向 (剪断力検出方向) に対して直交するように、支持膜 14 および剪断力検出用圧電体 210 上に立設されている。そして、複数の弾性部材 151 が平行に、かつ剪断力検出方向に沿って敷き詰められることで本発明の弾性層を形成している。

なお、弾性部材 151 としては、棒状に形成され、支持膜 14 に対して直交する方向に

10

20

30

40

50

立設される構成としてもよいが、この場合、Y方向に対する剪断力をも支持膜14に伝達してしまい、X方向に対する剪断力のみを検出する場合には不適切となる。これに対して、本実施形態のように、板状の弾性部材151を、X方向に複数並設することで、X方向に対する剪断力のみを良好に支持膜14に伝達することが可能となる。

#### 【0056】

このような弾性部材151は、支持膜14の剛性よりも強く形成されており、また、板面方向に対する剛性が、板厚み方向に対する剛性よりも強く形成されている。このため、把持面5に対象物Aが接触し、剪断力が加えられると、図8(B)に示すように、各弾性部材151にモーメント力が作用し、これにより支持膜14および剪断力検出用圧電体210が変形する。

10

#### 【0057】

上記のような第三実施形態の剪断力検出素子200Bでは、上記第一実施形態と同様に、簡単な構成で剪断力を構成できる。これに加えて、剪断力検出素子200Bでは、各弾性部材151をモーメント力により回動させ、これらの弾性部材151の回動により支持膜14が変形させる。このため、対象物Aから受ける剪断力に対して、支持膜14の撓み量をより大きくすることができ、剪断力検出素子200Bからより大きな剪断力検出信号を出力させることができるとなる。したがって、剪断力の検出精度をより高めることができる。

#### 【0058】

##### 〔第四実施形態〕

20

次に、上述したような剪断力検出素子の応用例として、第一実施形態の剪断力検出素子200を備えた触覚センサーについて、図面に基づいて説明する。

#### 【0059】

##### (触覚センサーの構成)

図9は、第四実施形態の触覚センサーの一部を拡大した平面図である。

図9に示すように、触覚センサー10は、正圧検出部12と、上記第一実施形態の剪断力検出素子200が配置される第一剪断力検出部13Aおよび第二剪断力検出部13Bと、を複数備えている。

正圧検出部12は、例えば正方形形状に形成されるセンサー素子であり、触覚センサー10のセンサー平面に対して直交する圧力を検出する。

30

第一剪断力検出部13Aは、上述した第一実施形態と同様に、Y方向に沿って長手となる剪断力検出素子200であり、X方向に対して発生する剪断力を検出する。

第二剪断力検出部13Bは、上述した剪断力検出素子200の配置方向を変更したものであり、X方向に沿って長手となる剪断力検出素子200であり、Y方向に対して発生する剪断力を検出する。

#### 【0060】

これらの検出部12, 13A, 13Bは、本発明の支持体を構成するセンサー基板11上に、2次元アレイ構造に配置されている。

具体的には、図2に示すように、センサー基板11の面内の所定の矩形範囲内において、正圧検出部12は、矩形範囲の角部に相当する位置および矩形対角線上に配置され、これらの正圧検出部12に隣接する位置に所定の一方向に沿って長手となる第一剪断力検出部13Aおよび第一剪断力検出部13Aの長手方向と直交する方向に長手となる第二剪断力検出部13Bが配置されている。すなわち、センサー基板11の面内にX方向、Y方向の座標軸を設定した場合、正圧検出部12は、n, mを自然数として、(X, Y) = (4n, 4m), (4n, 4m+3), (4n+1, 4m+1), (4n+1, 4m+2), (4n+2, 4m+1), (4n+2, 4m+2), (4n+3, 4m), (4n+3, 4m+3)となる位置に配置される。また、第一剪断力検出部13Aは、(X, Y) = (4n, 4m+1), (4n+1, 4m+3), (4n+2, 4m), (4n+3, 4m+2)の位置に配置され、第二剪断力検出部13Bは、(X, Y) = (4n, 4m+2), (4n+1, 4m), (4n+2, 4m+3), (4n+3, 4m+1)となる位置に配置

40

50

される。このように、センサー基板 11 の面内に一様に正圧検出部 12、第一剪断力検出部 13A および第二剪断力検出部 13B を設けることで、センサー基板 11 上のどの位置に対象物 A が当接した場合でも、正圧および剪断力を検出することが可能となる。

#### 【0061】

なお、正圧検出部 12、第一剪断力検出部 13A および第二剪断力検出部 13B の配置構造としては図 9 のパターンに限られず、例えば図 10 に示すように、その他のアレイ構造に形成されるものであってもよい。

図 10 は、触覚センサーにおける正圧検出部 12、および剪断力検出部 13 の他の配置例を示す図である。

すなわち、図 10 に示す触覚センサー 10 では、センサー基板 11 上の所定位置に正圧検出部 12 を配置され、この正圧検出部 12 の外周に、放射状に例えば 45 度間隔で剪断力検出部 13 が配置されている。この場合、X 方向の剪断力を検出する第一剪断力検出部 13A、Y 方向の剪断力を検出する第二剪断力検出部 13B に加え、傾きが +1 となる方向の剪断力を検出する第三剪断力検出部 13C、および傾きが -1 となる方向の剪断力を検出する第四剪断力検出部 13D が設けられる構成となる。

#### 【0062】

##### (正圧検出部の構成)

次に、触覚センサー 10 を構成する正圧検出部 12 の構成について、図面に基づいて説明する。図 11 は、正圧検出部 12 の概略構成を示す図であり、(A) は、正圧検出部 12 をセンサー基板 11 の基板厚み方向で断面した際の断面図、(B) は、センサー平面視における正圧検出部 12 の平面図である。

#### 【0063】

図 11 に示すように、正圧検出部 12 は、センサー基板 11 上に、支持膜 14、本発明の正圧検出用圧電体を構成する正圧検出用圧電体 310、本発明の弾性層を構成する弾性膜 15 を積層することで構成されている。

ここで、正圧検出部 12 を構成するセンサー基板 11、支持膜 14、および弾性膜 15 は、剪断力検出部 13A、13B を構成する剪断力検出素子 200 を構成するセンサー基板 11、支持膜 14、および弾性膜 15 と共通である。すなわち、1 つのセンサー基板 11 上に、剪断力検出素子 200 を構成する前記剪断力検出用開口部 111、および正圧検出用開口部である正方形状の正圧検出用開口部 112 が形成されている。また、このセンサー基板 11 上を覆うように、センサー基板 11 の全面に支持膜 14 および弾性膜 15 が形成されている。したがって、ここでのセンサー基板 11、支持膜 14、および弾性膜 15 の詳細な説明は省略する。

また、以降の説明において、図 11 (B) に示すようなセンサー平面視において、正圧検出用開口部 112 の内周側領域に重なる支持膜 14 を正圧検出用メンブレン 142 と称する。

#### 【0064】

正圧検出用圧電体 310 は、正圧検出用圧電膜 311 と、正圧検出用圧電膜 311 および支持膜 14 の間に配置される正圧検出用下部電極 312 と、正圧検出用圧電膜 311 および弾性膜 15 の間に配置される正圧検出用上部電極 313 を備えている。これらの正圧検出用圧電膜 311、正圧検出用下部電極 312、および正圧検出用上部電極 313 は、上述した剪断力検出素子 200 の剪断力検出用圧電膜 211、剪断力検出用下部電極 212、剪断力検出用上部電極 213 と同様の素材により形成することができる。

#### 【0065】

正圧検出用下部電極 312 は、厚み寸法が例えば 200 nm に形成される膜状の電極である。この正圧検出用下部電極 312 は、正方形に形成される正圧検出用開口部 112 の中心部から所定の一辺に向かう方向（本実施形態では、-X 方向）に延出して形成されている。また、正圧検出用上部電極 313 は、厚み寸法が例えば 50 nm に形成される膜状の電極である。この正圧検出用上部電極 313 は、正圧検出用開口部 112 の中心部から、正圧検出用下部電極 312 の延出する方向とは反対方向（図 11 中、紙面右側方向）

10

20

30

40

50

に延出して形成されている。

そして、これらの正圧検出用上部電極313および正圧検出用下部電極312は、それぞれ支持膜14上に形成される図示しないパターン電極に接続されて、例えばフレキシブル基板などの導通部材を介して、例えば触覚センサー10からの信号を処理する制御装置などに接続されている。

#### 【0066】

##### (正圧検出部の動作)

上記のような正圧検出部12では、予め正圧検出用上部電極313および正圧検出用下部電極312間に電圧を印加し、分極させておく。この状態で、触覚センサー10に基板厚み方向の圧力(正圧)が加えられると、その正圧により正圧検出用メンブレン142が正圧検出用開口部112側に撓む。これにより、正圧検出用メンブレン142上に形成される正圧検出用圧電体310も撓み、正圧検出用圧電膜311に電位差が発生する。したがって、正圧検出用上部電極313および正圧検出用下部電極312に電位差に基づいた電流が流れ、触覚センサー10から正圧検出信号として出力される。

10

#### 【0067】

##### (第四実施形態の作用効果)

上述したような第四実施形態の触覚センサー10では、上記第一実施形態の剪断力検出素子200が配置されている。このような剪断力検出素子200は、上述したように、各層を例えればスパッタリングなどによる積層、エッチングなどによるパターニングにより容易に形成することができる。したがって、剪断力検出素子200を図9や図10に示すようなアレイ構造に配置した触覚センサー10においても、上記剪断力検出素子200と同様の作用効果が得られ、簡単な構成で、薄型化および小型化を図ることができ、製造効率も向上させることができる。

20

#### 【0068】

これに加えて、触覚センサー10では、1つのセンサー基板11上を本発明の支持体、および正圧検出用支持体として用い、センサー基板11上の全面に支持膜14、および弾性膜15を形成して、正圧検出部12、剪断力検出部13A, 13Bを構成している。このため、正圧検出部12および剪断力検出部13A, 13Bを1つずつ製造して、基板上に配置する構成などに比べて、一度にセンサー基板11上にアレイ構造に配置された各検出部12, 13A, 13Bを有する触覚センサー10を製造することができ、製造効率やコスト面を向上させることができる。

30

#### 【0069】

そして、上記のような触覚センサー10には、上記のような剪断力検出素子200の配置方向を異ならせた第一剪断力検出部13Aおよび第二剪断力検出部13Bを複数備えた触覚センサー10が設けられている。

このような触覚センサー10では、X方向およびY方向の双方に対して剪断力を検出することができる。すなわち、触覚センサー10のセンサー面に沿って作用するあらゆる方向の剪断力を検出することができる。

#### 【0070】

また、触覚センサー10は、正圧検出部12を備えている。したがって、触覚センサー10のセンサー面に作用する剪断力だけでなく、センサー面に直交する圧力をも検出することができ、触覚センサー10に対象物Aが接触した際の各方向に作用する力を適切に検出することができる。

40

#### 【0071】

##### (第五実施形態)

次に、第四実施形態の触覚センサー10の応用例として、触覚センサー10を備えた把持装置について、図面に基づいて説明する。

#### 【0072】

図12は、本発明に係る第五実施形態の把持装置の概略構成を示す装置ブロック図である。

50

図12において、把持装置1は、少なくとも一対の把持アーム2を備え、この把持アーム2により、把持対象物Aを把持する装置である。この把持装置1としては、例えば製品を製造する製造工場などにおいて、ベルトコンベアなどにより搬送された対象物を把持して持ち上げる装置である。そして、この把持装置1は、前記把持アーム2と、把持アーム2を駆動するアーム駆動部3と、アーム駆動部3の駆動を制御する制御装置4と、を備えて構成されている。

#### 【0073】

一对の把持アーム2は、それぞれ先端部に接触面である把持面5を備え、この把持面5を対象物Aに当接させて把持することで対象物Aを把持し、持ち上げる。ここで、本実施形態において、把持アーム2が一対設けられる構成を例示するが、これに限定されず、例えば3本の把持アーム2により、対象物Aを3点支持により把持する構成などとしてもよい。

#### 【0074】

把持アーム2に設けられる把持面5は、表面には、第四実施形態において説明した触覚センサー10が設けられており、触覚センサー10の表面部の弹性膜15(図1、図11参照)が露出形成されている。そして、把持アーム2は、この弹性膜15を対象物Aに接触させ、対象物Aに所定の圧力(正圧)を印加することで、対象物Aを把持する。このような把持アーム2では、把持面5に設けられる触覚センサー10により、対象物Aに印加する正圧、および把持した際に対象物Aが把持面5から滑り落ちようとする剪断力を検出し、正圧や剪断力に応じた電気信号を制御装置4に出力する。

#### 【0075】

アーム駆動部3は、一对の把持アーム2を互いに近接離隔する方向に移動させる装置である。このアーム駆動部3としては、把持アーム2を移動可能に保持する保持部材6と、把持アーム2を移動させる駆動力を発生する駆動源7と、駆動源の駆動力を把持アーム2に伝達させる駆動伝達部8を備えている。

保持部材6は、例えば把持アーム2の移動方向に沿う案内溝を備え、この案内溝内で把持アーム2を保持することで、把持アーム2を移動可能に保持する。また、保持部材6は、鉛直方向に移動可能に設けられている。

駆動源7は、例えば駆動モーターであり、制御装置4から入力される駆動制御信号に応じて駆動力を発生させる。

駆動伝達部8は、例えば複数のギアにより構成され、駆動源7で発生した駆動力を把持アーム2および保持部材6に伝達させ、把持アーム2および保持部材6を移動させる。

なお、本実施形態では、一例として上記構成を示したが、これに限定されるものではない。すなわち、把持アーム2を保持部材6の案内溝に沿って移動させる構成に限らず、把持アームを回転可能に保持する構成などとしてもよい。駆動源7としても駆動モーターに限られず、例えば油圧ポンプなどにより駆動される構成としてもよく、駆動伝達部8としても、例えば駆動力を歯車により伝達する構成に限らず、ベルトやチェーンにより伝達する構成、油圧などにより駆動されるピストンを備えた構成などとしてもよい。

#### 【0076】

制御装置4は、把持アーム2の把持面5に設けられる触覚センサー10、およびアーム駆動部3に接続され、把持装置1における対象物Aの把持動作の全体を制御する。

具体的には、制御装置4は、図12に示すように、アーム駆動部3および触覚センサー10に接続され、把持装置1の全体動作を制御する。この制御装置4は、触覚センサー10から入力される剪断力検出信号、および正圧検出信号を読み取る信号検出手段41、対象物Aの滑り状態を検出する把持検出手段42、およびアーム駆動部3に把持アーム2の駆動を制御するための駆動制御信号を出力する駆動制御手段43を備えている。また、この制御装置4としては、例えばパーソナルコンピューターなどの汎用コンピューターを用いることもでき、例えばキーボードなどの入力装置や、対象物Aの把持状態を表示させる表示部などを備える構成としてもよい。

また、信号検出手段41、把持検出手段42、および駆動制御手段43は、プログラム

10

20

30

40

50

として例えばメモリーなどの記憶部に記憶され、CPUなどの演算回路により適宜読み出されて実行されるものであってもよく、例えばICなどの集積回路により構成され、入力された電気信号に対して所定の処理を実施するものであってもよい。

#### 【0077】

信号検出手段41は、触覚センサー10に接続され、触覚センサー10から入力される正圧検出信号や剪断力検出信号などを認識する。この信号検出手段41にて認識された検出信号は、例えば図示しないメモリーなどの記憶部に出力されて記憶されるとともに、把持検出手段42に出力される。

#### 【0078】

把持検出手段42は、剪断力検出信号に基づいて、把持アーム2により対象物Aを把持したか否かを判断する。10

ここで、図13に、把持装置1の把持動作における触覚センサーに作用する正圧および剪断力の関係を示す図を示す。

図13において、正圧が所定値に達するまでは、正圧の増加に応じて剪断力が増加する。この状態は、対象物Aと把持面5との間に動摩擦力が作用している状態であり、把持検出手段42は、対象物Aが把持面5から滑り落ちている滑り状態で、把持が未完了であると判断する。一方、正圧が所定値以上となると、正圧を増大させても剪断力が増加しない状態となる。この状態は、対象物Aと把持面5との間に静摩擦力が作用している状態であり、把持検出手段42は、対象物Aが把持面5により把持された把持状態である判断する。20

具体的には、剪断力検出信号の値が、静摩擦力に対応した所定の閾値を越える場合に、把持が完了したと判断する。

#### 【0079】

駆動制御手段43は、把持検出手段42にて検出された電気信号に基づいてアーム駆動部3の動作を制御する。

#### 【0080】

次に、制御装置4の動作について図面に基づいて説明する。

図14は、制御装置4の制御による把持装置1の把持動作を示すフローチャートである。図15は、把持装置1の把持動作時において、アーム駆動部3への駆動制御信号、触覚センサー10から出力される検出信号の発信タイミング示すタイミング図である。30

#### 【0081】

把持装置1で対象物Aを把持するためには、まず制御装置4の駆動制御手段43は、各把持アーム2を互いに近接させる方向に移動させる旨の駆動制御信号をアーム駆動部3に出力する（把持動作）。これにより、把持アーム2の把持面5が対象物Aに近接する（図14：ステップS1）。

#### 【0082】

次に、制御装置4の把持検出手段42は、対象物Aが把持面5に接触したか否かを判断する（図14：ステップS2）。具体的には、制御装置4は、信号検出手段41で正圧検出信号の入力が検知されたか否かを判断する。ここで、正圧検出信号が検出されない場合は、把持面5が対象物Aに接触していないと判断し、駆動制御手段43は、ステップS1を継続して、駆動制御信号を出力し、把持アーム2を駆動させる。40

#### 【0083】

一方、把持面5が対象物Aに接触する（図15：タイミングT1）と、触覚センサー10の正圧検出部12の正圧検出用メンブレン142が撓み、その撓み量に応じた正圧検出信号が出力される。

駆動制御手段43は、把持検出手段42において、正圧検出信号を検出すると、把持アーム2の近接移動（対象物Aへの押圧）を停止させる（図14：ステップS3、図15：タイミングT2）。また、駆動制御手段43は、アーム駆動部3に駆動制御信号を出力し、把持アーム2を上方に持ち上げる動作（持上げ動作）を実施させる（図14：ステップS4、図15：タイミングT2～T3）。

## 【0084】

ここで、対象物Aを持ち上げる際に、弾性膜15が剪断力により撓み、剪断力検出部13A, 13Bを構成する剪断力検出素子200の剪断力検出用メンブレン141にも撓みが生じる。したがって、剪断力検出部13A, 13Bから剪断力検出用メンブレン141の撓みに応じた剪断力検出信号が出力される。

把持検出手段42は、信号検出手段41に入力される剪断力検出信号に基づいて、滑りがあるか否かを判断する(ステップS5)。

## 【0085】

この時、把持検出手段42において、滑りがあると判断されると、駆動制御手段43は、アーム駆動部3を制御して、把持アーム2を、把持面5を対象物Aに押し付ける方向に移動させて、把持力(正圧)を増大させる(図14:ステップS6)。

すなわち、制御装置4は、図15におけるタイミングT3において、駆動制御手段43にて把持動作を実施させ、対象物Aへの正圧を増大させ、信号検出手段41にて、再び剪断力検出部13A, 13Bから出力される剪断力検出信号を検出する。以上のような滑り検知動作(タイミングT2~T6)を繰り返し、剪断力検出信号が、所定の閾値S1以上となった場合(タイミングT6)に、ステップS5において、滑りがない、すなわち把持が完了したと判断し、滑り検知動作を停止させる。

## 【0086】

## (第五実施形態の作用効果)

上述したような第五実施形態の把持装置1では、上記第四実施形態の触覚センサー10を備えている。このような触覚センサー10は、上述したように、簡単な構成で、薄型化および小型化を図ることができ、製造効率も向上させることができるものであるため、把持装置1においても同様の作用効果を得ることができる。

そして、上記のような把持装置1の把持面5には、触覚センサー10が設けられている。したがって、触覚センサー10にて、対象物Aを把持した際の正圧および剪断力を精度よく検出することができ、これらの検出された正圧および剪断力に基づいて、対象物Aの破損や滑りをなくした精度のよい把持動作を実施することができる。

また、このような触覚センサー10では、X方向およびY方向の双方に対して剪断力を検出することができる。したがって、上記実施形態では、対象物Aを持ち上げる際の剪断力を測定したが、例えばベルトコンベアー上で搬送される対象物に対して把持を実施する際に、搬送方向への剪断力をも測定することができる。

## 【0087】

## 〔その他の実施形態〕

なお、本発明は前述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

## 【0088】

例えば、上記第一から第三実施形態では、1つの長方形状の剪断力検出用開口部111の一対の長辺111Aに対してそれぞれ剪断力検出用圧電体210(210A, 210B)を設ける構成としたが、これに限定されるものではなく、例えば図16に示すように、剪断力検出用開口部111の一対の長辺111Aのうち、いずれか一方に剪断力検出用圧電体210を設ける構成などとしてもよい。

この場合、各剪断力検出素子200の短辺方向の寸法をより小さく形成でき、剪断力検出素子200、および触覚センサー10をより小型にすることが可能となる。

## 【0089】

また、図16のように、剪断力検出用開口部111の一対の長辺111Aのうち、いずれか一方に剪断力検出用圧電体210を設ける構成では、1つの剪断力検出素子200から出力される剪断力検出信号が小さくなるおそれがある。これに対して、図17に示すように、1つの長辺111Aに対して、2つの剪断力検出用圧電膜211を重ねた、いわゆるバイモルフを備えた剪断力検出素子200Cを設ける構成としてもよい。この図17は、他の実施形態におけるバイモルフの剪断力検出用圧電体210を有する剪断力検出素子

10

20

30

40

50

200Cを示す図であり(A)は、短辺方向に沿う断面図であり、(B)は、センサー平面視における平面図である。

具体的には、剪断力検出素子200Cでは、剪断力検出用開口部111の一対の長辺111Aのうち、例えば-X方向側の長辺111Aに沿って剪断力検出用圧電体210Cが形成されている。このような剪断力検出用圧電体210Cは、支持膜14上に剪断力検出用下部電極212、第一層圧電膜215、中間電極216、第二層圧電膜217、剪断力検出用上部電極213を順に積層することで容易に形成可能である。また、第一層圧電膜215および第二層圧電膜217からそれぞれ電気信号が出力されるため、剪断力検出素子200Cから出力される剪断力検出信号としても、これらの電気信号の和が出力されるため、大きな信号値を得ることができる。したがって、図16に示すような1つの剪断力検出用開口部111に対して、図17に示すような1つの剪断力検出用圧電体210Cを設けることで、剪断力検出精度を低下させることなく、剪断力検出素子200Cおよび触覚センサー10の小型化を図ることができる。  
10

また、図17に示すような剪断力検出素子200Cを用いた場合には、図5で示したような、2つの剪断力検出用圧電体210A, 210Bの電極を接続する演算回路220が不要となり、回路構成をより簡略化することができる。

#### 【0090】

さらに、第一実施形態において、剪断力検出用圧電体210A, 210Bがそれぞれ別体として構成され、それぞれ剪断力検出用上部電極213および剪断力検出用下部電極212を備える構成としたが、例えば図18に示すような構成としてもよい。図18は、他の実施形態における剪断力検出素子の構成を示す図であり、(A)は、短辺方向(X方向)に沿って断面した断面図、(B)は、センサー平面視における平面図である。  
20

#### 【0091】

図18に示す剪断力検出素子200Dは、支持膜14上に、剪断力検出用開口部111の一対の長辺111Aに沿ってそれぞれ剪断力検出用圧電体210Aおよび剪断力検出用圧電体210Bが設けられる。-X方向側に配置される剪断力検出用圧電体210Aは、剪断力検出用下部電極212A、剪断力検出用圧電膜211A、および剪断力検出用上部電極213Aを備え、+X方向側に配置される剪断力検出用圧電体210Bは、剪断力検出用下部電極212B、剪断力検出用圧電膜211B、および剪断力検出用上部電極213Bを備えている。  
30

ここで、-X方向側に配置される剪断力検出用下部電極212Aは、剪断力検出用圧電膜211Aよりも+X方向側に突出して形成されている。一方、+X方向側に配置される剪断力検出用下部電極212Bの-X方向側端縁は、剪断力検出用圧電膜211Bの-X方向側端縁よりも+X方向側に位置している。すなわち、剪断力検出用下部電極212Bの-X方向側端縁は、剪断力検出用圧電膜211Bにより覆われている。そして、この剪断力検出用下部電極212Bの-X方向側端部には、±Y方向に剪断力検出用メンブレン141の外側領域まで延びる第一電極接続部212B1が連続して形成されている。

#### 【0092】

また、-X方向側に配置される剪断力検出用圧電体210Aの剪断力検出用上部電極213Aは、Y方向に沿って長手状に形成され、剪断力検出用圧電膜211Aを覆って配置されている。そして、この剪断力検出用上部電極213Aの+Y方向側端部および-Y方向側端部には、それぞれ+X方向に、第一電極接続部212B1まで延びる第二電極接続部213A1が連続して形成されている。つまり、この第二電極接続部213A1は、延伸先端部が第一電極接続部212B1上に積層されることで、剪断力検出用上部電極213Aと剪断力検出用下部電極212Bとが導通されている。  
40

#### 【0093】

さらに、+X方向側に配置される剪断力検出用圧電体210Bの剪断力検出用上部電極213Bは、剪断力検出用圧電膜211B上から-X方向側に、剪断力検出用圧電膜211Aの+X方向側端縁から+X方向側に突出する剪断力検出用下部電極212Aの+X方向側端部上まで延びて形成されている。つまり、剪断力検出用上部電極213Bは、-X  
50

方向側端部が剪断力検出用下部電極 212A 上に積層されることで、剪断力検出用上部電極 213B と剪断力検出用下部電極 212A とが導通されている。

#### 【0094】

以上のような構成の剪断力検出素子 200D では、上記第一実施形態の図 9 に示すような演算回路 220 の一部が剪断力検出用メンブレン 141 上または剪断力検出用メンブレン 141 近傍に形成されることとなる。したがって、剪断力検出用圧電体 210A, 210B から出力される電気信号を加算して増幅された剪断力検出信号を得ることができる。また、この剪断力検出素子 200D では、剪断力検出用下部電極 212A および剪断力検出用上部電極 213B のうちいずれか一方と、剪断力検出用下部電極 212B および剪断力検出用上部電極 213A のうちいずれか一方とに引き出し線や、電極パターンを接続することで、剪断力検出信号を得ることができるために、構成を簡単にでき、配線接続工程や配線パターン形成工程も容易に実施することができる。10

#### 【0095】

そして、上記第一ないし第三実施形態、および図 16 ないし図 18 の実施形態において、1つの剪断力検出素子 200、200A, 200B, 200C, 200D により、X 方向に作用する剪断力を検出する構成を例示したが、図 19 に示すように、X 方向および Y 方向の双方に対する剪断力を検出する構成としてもよい。図 19 は、X 方向および Y 方向の剪断力を検出可能な剪断力検出素子 200E を示す平面図である。

すなわち、図 19 に示すように、センサー基板 11 に正方形形状の剪断力検出用開口部 111C を形成し、この剪断力検出用開口部 111C を閉塞する支持膜 14 を形成する。そして、剪断力検出用開口部 111C の各辺に対して、それぞれ剪断力検出用メンブレン 141 の内側および外側に跨る剪断力検出用圧電体 210C, 210D, 210E, 210F を形成する。このような構成の剪断力検出素子 200E では、Y 方向と平行な辺に沿って形成される剪断力検出用圧電体 210C, 210D により X 方向の剪断力を検出し、X 方向と平行な辺に沿って形成される剪断力検出用圧電体 210E, 210F により Y 方向の剪断力を検出する。20

このような構成の剪断力検出素子 200 では、X 方向および Y 方向に対する剪断力を 1 つの剪断力検出素子 200E により検出することができるため、触覚センサー 10 の小型化を図ることができる。

#### 【0096】

また、第一実施形態において、剪断力検出用圧電体 210A および剪断力検出用圧電体 210B から出力される電気信号を加算する演算回路 220 を例示したが、これに限定されない。例えば、剪断力検出用圧電体 210A から出力される電気信号と、剪断力検出用圧電体 210B から出力される電気信号とを、それぞれ減算回路に出力し、減算回路にてその差を演算することで剪断力を検出する構成としてもよい。この場合でも、剪断力検出用圧電体 210A および剪断力検出用圧電体 210B から出力される電気信号はそれぞれ正負符号が異なる値となるため、減算回路にて減算させることで、結果として絶対値の大きい出力値を得ることができる。30

#### 【0097】

さらに、上記各実施形態において、剪断力検出用上部電極 213 および剪断力検出用下部電極 212 は、それぞれが接触しないように、センサー平面視において互いに重ならない位置に設ける構成としたが、これに限らない。例えば、剪断力検出用上部電極 213 および剪断力検出用下部電極 212 の間に絶縁膜を形成するなどすれば、センサー平面視において、これら剪断力検出用上部電極 213 および剪断力検出用下部電極 212 の一部が重なる位置に設けられる構成としてもよい。40

#### 【0098】

第二実施形態において、支持補強部 114 の上方に補強膜 230 を成膜する構成としたが、例えば補強膜 230 が設けられない構成としてもよい。

また、第三実施形態において、板状の弾性部材 151 を X 方向に沿って並設させる構成を例示したが、この板状の弾性部材 151 における Y 方向の寸法は、例えば剪断力検出用50

開口部 111 の長辺 111A と同一長さ寸法に形成されるものであってもよく、長辺 111A よりも短く形成され、Y 方向に沿って並設される構成などとしてもよい。

#### 【0099】

さらに、第一から第五実施形態において、剪断力検出素子 200 を構成する剪断力検出用開口部 111 は、平面視長方形状に形成される構成としたが、これに限定されない。剪断力検出用開口部 111 の形状としては、剪断力が剪断力検出方向（第一～第三実施形態では、X 方向）に沿って作用した際に、剪断力検出用メンブレン 141 に  $\sin$  波形状の撓みを発生させる形状であればよい。したがって、例えば、図 20 に示すように、一対の互いに平行する直線部 111D1 を備え、これら直線部 111D1 の両端部間を半円 111D2 により連結した形状の剪断力検出用開口部 111D が形成されるものであってよい。このような剪断力検出用開口部 111D では、直線部 111D1 に沿って、剪断力検出用圧電体 210 を形成することで、直線部 111D1 に直交する方向に作用する剪断力を検出することができる。10

#### 【0100】

そして、第一実施形態において、剪断力検出用メンブレン 141 上の剪断力検出用圧電体 210 が形成されない位置がコンプライアンス部 143 を構成する例と示したが、これに限定されない。例えば、剪断力検出用メンブレン 141 において、短辺 111B, 111B 間の中心位置で、長辺 111A に平行する凹溝を形成する構成としてもよい。この場合、この凹溝部分の厚み寸法が支持膜 14 の他の領域に比べて薄く、柔らかくなることによってコンプライアンス部 143 が構成される。20

#### 【0101】

また、本発明の支持体として、一枚のセンサー基板 11 により構成される例を示したが、各剪断力検出部 13A, 13B、および正圧検出部 12 に対してそれぞれ 1 つの支持基板（支持体）を備え、センサー基板上にこれらの支持基板を固定することで、触覚センサー 10 を形成する構成としてもよい。

#### 【0102】

さらに、把持装置 1 として、一対の把持アーム 2 が設けられる構成を例示したが、3 本以上の把持アームを互いに近接離間する方向に移動させて対象物 A を把持する構成としてもよい。また、アーム駆動部により駆動される駆動アームと、駆動しない固定アームまたは固定壁とを備え、駆動アームを固定アーム（固定壁）側に移動させて対象物を把持する構成などとしてもよい。30

#### 【0103】

さらには、剪断力検出素子 200, 200A, 200B, 200C, 200D, 200E を、対象物 A を把持する把持装置 1 に適用する例を示したが、これに限定されない。例えば、剪断力検出素子 200, 200A, 200B, 200C, 200D, 200E を備えた触覚センサー 10 を、例えば入力装置や、剪断力を測定する測定装置などとして適用してもよい。入力装置として用いる場合は、例えばノート型パソコンや、パーソナルコンピューターに組み込むことができる。具体的には、板状の入力装置本体に設けられる表面部に触覚センサー 10 を設ける構成などが例示できる。このような入力装置では、表面部上で利用者の指を動かしたり、タッチペンなどを動かしたりすると、これらの動きにより剪断力が発生する。この剪断力を触覚センサー 10 により検出することで、利用者の指やタッチペンの接触位置座標、移動方向を検出して電気信号として出力することができる。また、剪断力測定装置としては、例えばタイヤのグリップ力を測定する測定装置などにも適用することができる。40

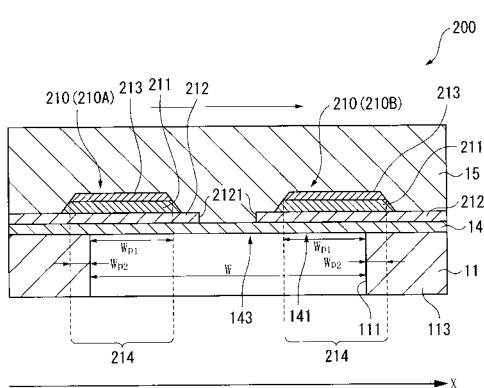
#### 【符号の説明】

#### 【0104】

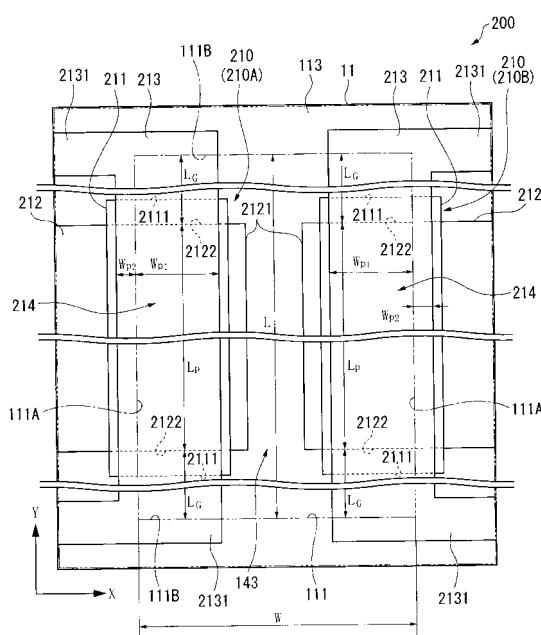
1 … 把持装置、2 … 把持アーム、5 … 接触面である把持面、10 … 触覚センサー、12 … 正圧検出部、13A … 第一剪断力検出部、13B … 第二剪断力検出部、14 … 支持膜、15 … 弹性層を構成する弹性膜、42 … 把持検出手段、43 … 駆動制御手段、111 … 正圧検出用開口部である第一開口部、111, 111C, 111D … 開口部を構成する剪断50

力検出用開口部、111A…長辺、114…支持補強部、143…コンプライアンス部、151…弾性層を構成する弾性部材、200…剪断力検出素子、210…圧電体部である剪断力検出用圧電体、220…演算回路、310…正圧検出用圧電体、A…対象物。

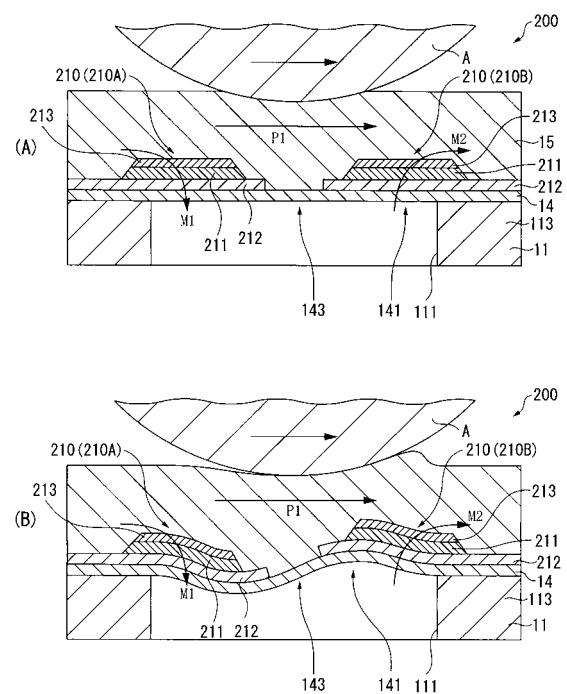
【図1】



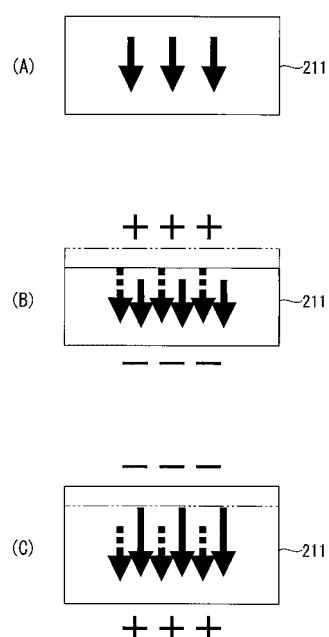
【図2】



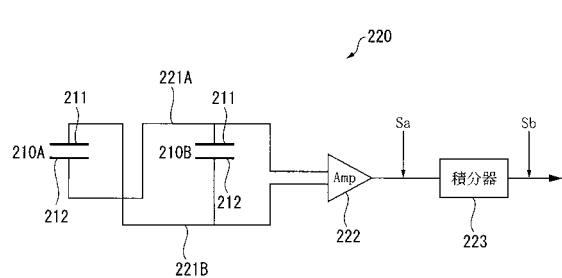
【図3】



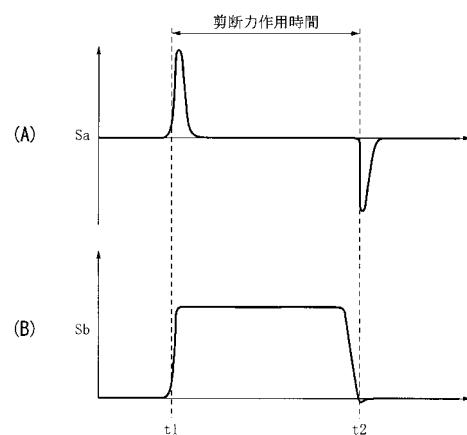
【図4】



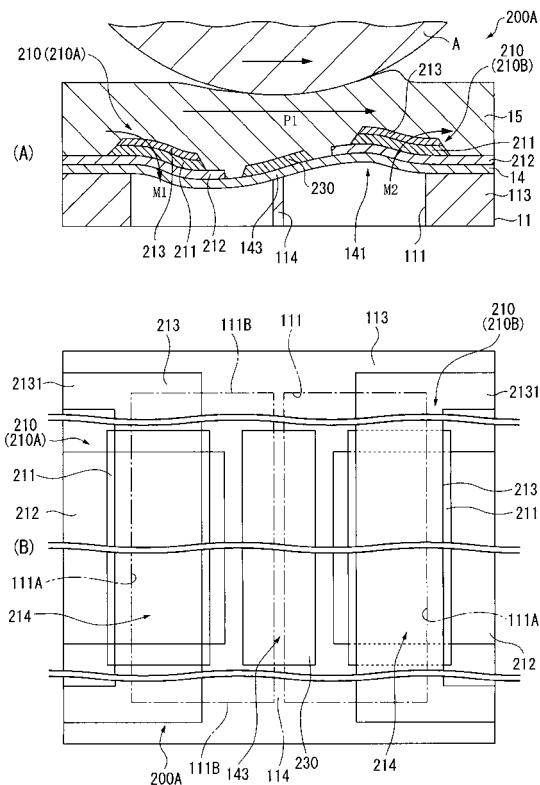
【図5】



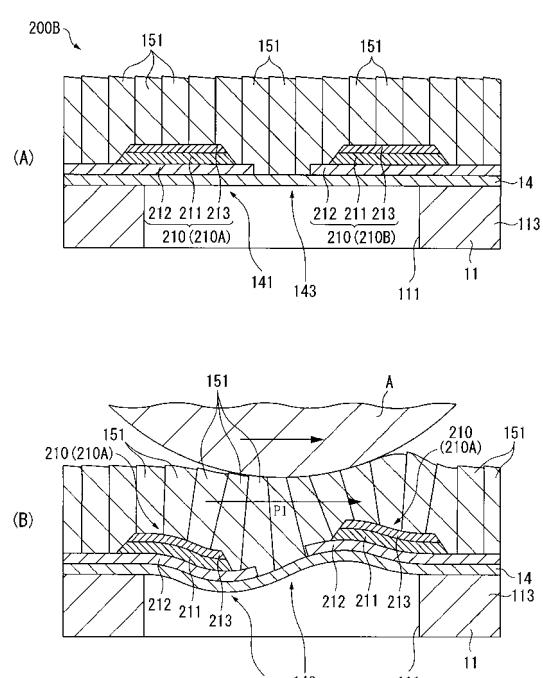
【図6】



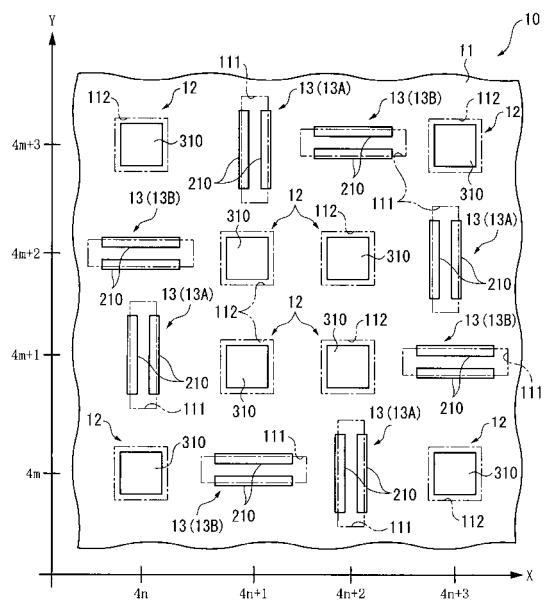
【 図 7 】



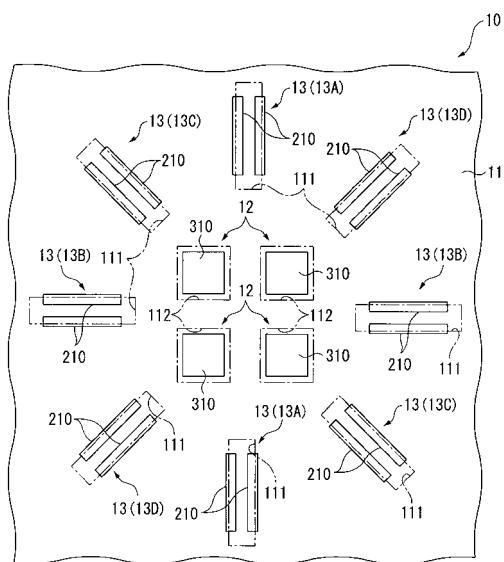
【 四 8 】



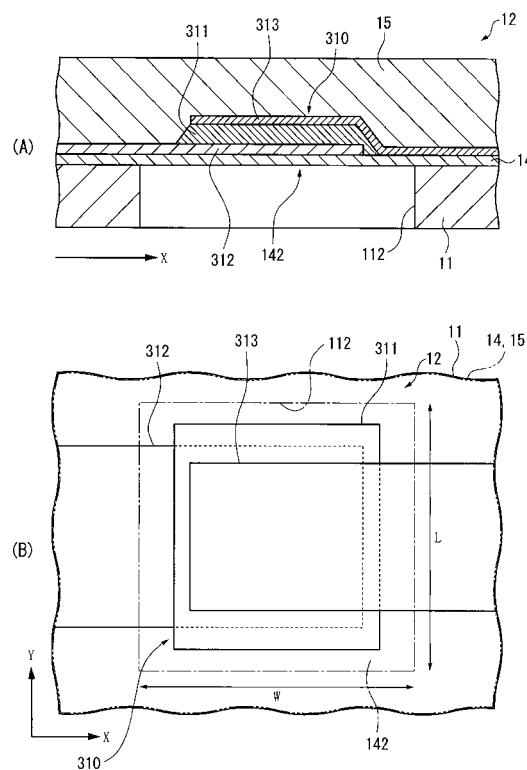
【図9】



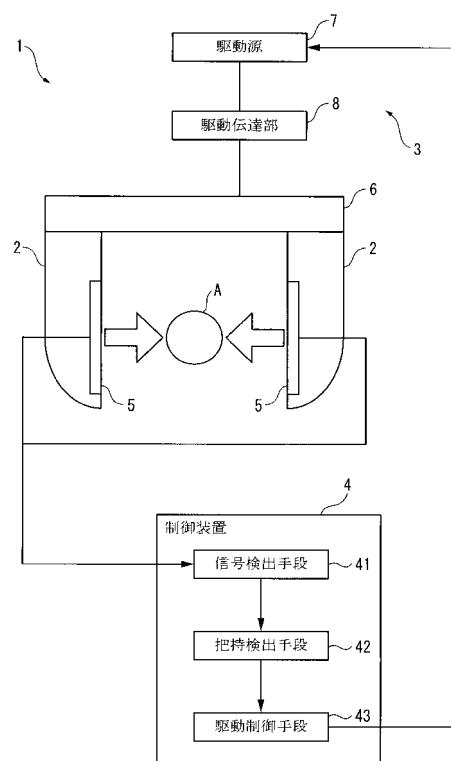
【図10】



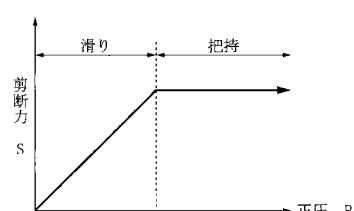
【図11】



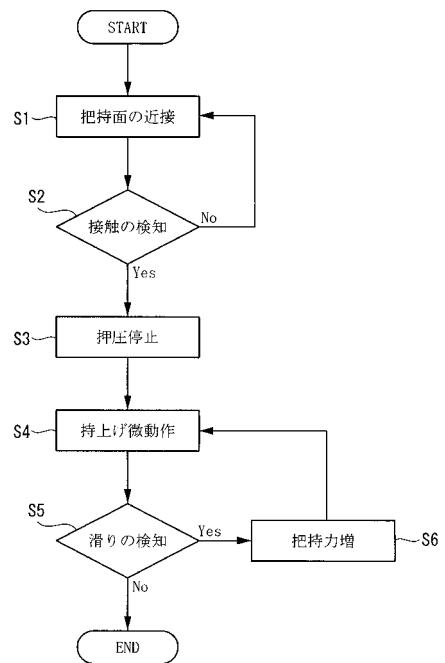
【図12】



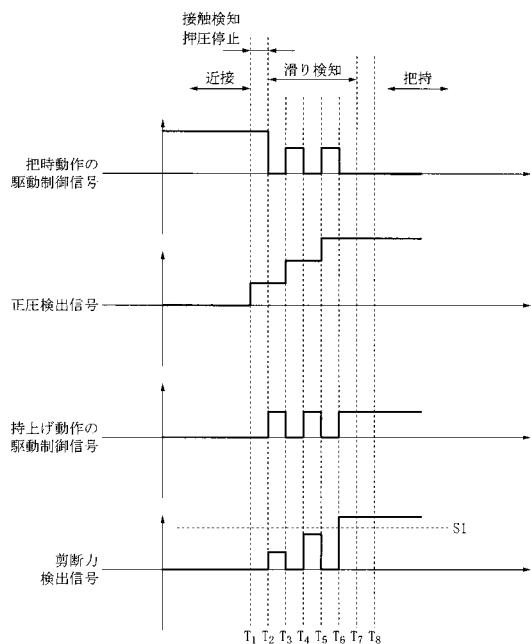
【図13】



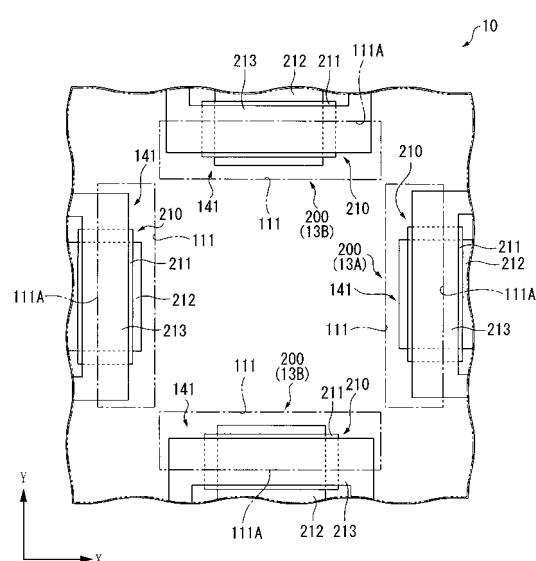
【図14】



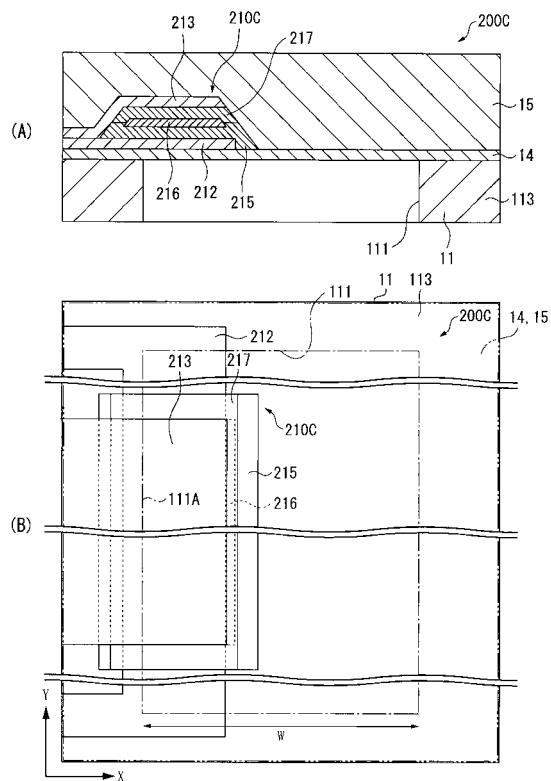
【図15】



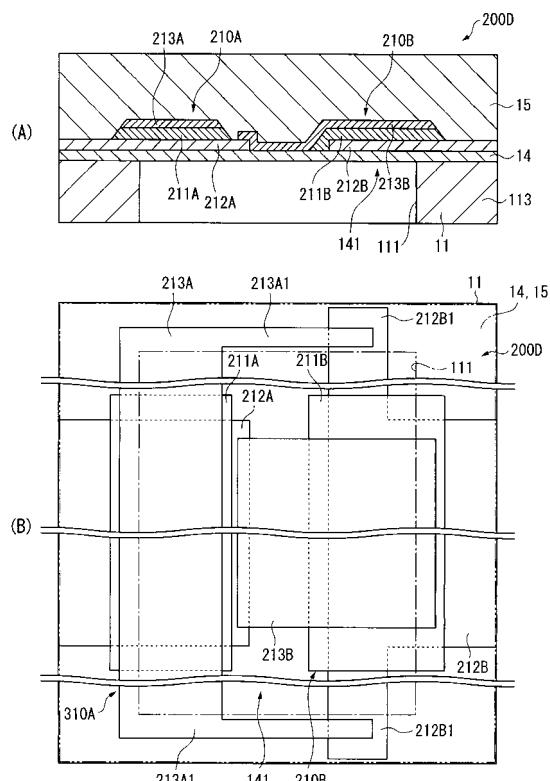
【図16】



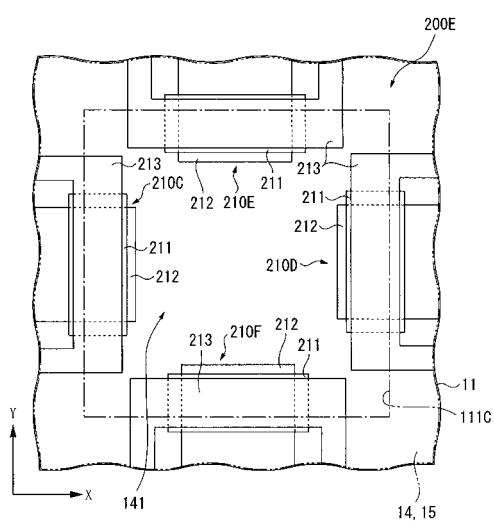
【図17】



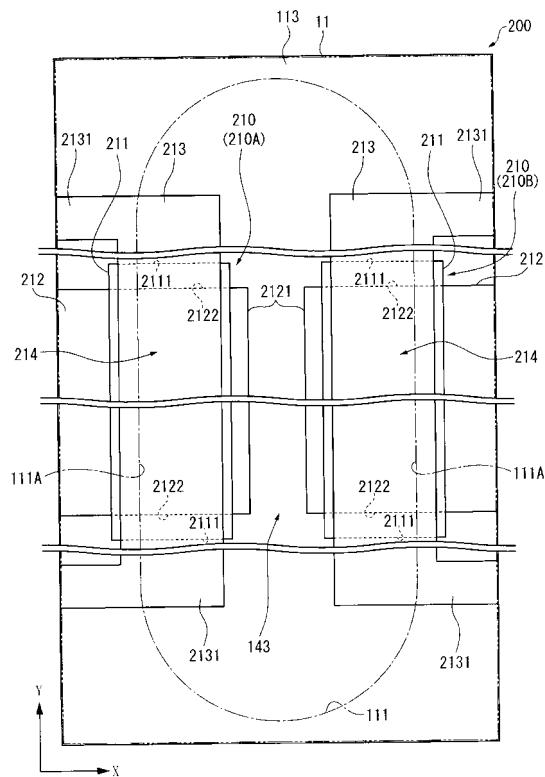
【図18】



【図19】



【図20】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
B25J 19/02

(56)参考文献 特許第4876240(JP,B2)  
特開2000-193544(JP,A)  
特公平4-48595(JP,B2)  
特開2006-226858(JP,A)  
特開昭62-168029(JP,A)  
特開平11-118636(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01L 1/16  
G01L 5/