

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7619657号
(P7619657)

(45)発行日 令和7年1月22日(2025.1.22)

(24)登録日 令和7年1月14日(2025.1.14)

(51)国際特許分類

F I

H O 4 R 19/04 (2006.01)

H O 4 R 19/04

請求項の数 15 (全16頁)

(21)出願番号	特願2022-558611(P2022-558611)	(73)特許権者	504157024
(86)(22)出願日	令和2年10月26日(2020.10.26)		国立大学法人東北大学
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/040080		宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(87)国際公開番号	WO2022/091178	(74)代理人	100143834
(87)国際公開日	令和4年5月5日(2022.5.5)		弁理士 楠 修二
審査請求日	令和5年8月18日(2023.8.18)	(72)発明者	田中 秀治
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
			国立大学法人東北大学内
		(72)発明者	鈴木 裕輝夫
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
			国立大学法人東北大学内
		審査官	稲葉 崇

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 静電トランスデューサおよび静電トランスデューサの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

支持体と、
前記支持体に固定された固定部と、前記固定部に対して変動可能に設けられた変動部とを有する変位板と、
少なくとも一部が前記変動部と共に変動可能に取り付けられ、前記変動部の変動を静電容量の変化として検出可能に設けられ、一端が前記変動部に固定され、他端が前記固定部側に向かって伸びる細長い連結部と、前記連結部の前記他端に接続され、その他端の変動を前記変動部の変動として検出可能に設けられた変動検出部とを有する検出手段とを有し、前記検出手段が、真空または低圧の空間に配置されていることを特徴とする静電トランスデューサ。

【請求項2】

前記変動検出部は、前記固定部または前記支持体に設けられていることを特徴とする請求項1記載の静電トランスデューサ。

【請求項3】

前記検出手段は、前記変動部に取り付けられていることを特徴とする請求項1記載の静電トランスデューサ。

【請求項4】

前記変動部が前記変位板の厚み方向に一軸曲げ変位するよう設けられた補強部を有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の静電トランスデューサ。

【請求項 5】

前記変位板は片持ち梁状に設けられ、一端側に前記固定部を有し、他端側に前記変動部を有していることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の静電トランスデューサ。

【請求項 6】

前記変位板は両持ち梁状に設けられ、前記変動部を挟むよう前記固定部が設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の静電トランスデューサ。

【請求項 7】

前記変位板はダイヤフラム状に設けられ、周縁に前記固定部を有し、前記周縁の内側に前記変動部を有していることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の静電トランスデューサ。

10

【請求項 8】

前記支持体は、中央に開口を有し、

前記変位板は、前記変動部が前記開口側に突出して、前記開口を覆うよう、または、ほぼ覆うよう設けられていることを

特徴とする請求項 5 記載の静電トランスデューサ。

【請求項 9】

複数から成り、それぞれ各変動部を内側にして、各支持体で各変動部の周囲を囲うと共に、各変動部が各支持体で囲まれた空間を覆うよう、または、ほぼ覆うよう配置されていることを特徴とする請求項 5 記載の静電トランスデューサ。

20

【請求項 10】

前記変動部と前記支持体との隙間、または、隣り合う変位板の前記変動部同士の隙間が、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 8 または 9 記載の静電トランスデューサ。

【請求項 11】

MEMS デバイスであることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の静電トランスデューサ。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の静電トランスデューサを製造するための静電トランスデューサの製造方法であって、

基層の表面に、第 1 層と第 2 層と第 3 層とをこの順番で積層した積層体に対し、前記第 3 層を、前記第 2 層とは反対の表面側から加工して、前記検出手段の構造を形成すると共に、前記第 2 層まで貫通する 1 または複数の第 1 貫通孔を形成し、

30

加工された前記第 3 層の前記第 2 層とは反対の表面に、第 4 層と第 5 層とをこの順番で形成し、

前記第 5 層に、前記第 4 層とは反対の表面側から、前記第 4 層まで貫通する 1 または複数の第 2 貫通孔を形成し、

前記第 3 層が前記検出手段を構成すると共に、前記検出手段が真空または低圧の空間に配置されるよう、前記第 5 層に形成した前記第 2 貫通孔、および、前記第 3 層に形成した前記第 1 貫通孔を通して、前記第 4 層および前記第 2 層の一部を除去した後、前記第 5 層に形成した前記第 2 貫通孔を塞ぎ、

40

前記第 1 層が変位板を構成するよう、前記変動部の位置に対応する前記基層を除去することを

特徴とする静電トランスデューサの製造方法。

【請求項 13】

前記第 5 層はシリコンから成り、

前記第 5 層に形成した前記第 2 貫通孔を、前記シリコンの表面流動で塞ぐことを

特徴とする請求項 12 記載の静電トランスデューサの製造方法。

【請求項 14】

支持体と、

前記支持体に固定された固定部と、前記固定部に対して変動可能に設けられた変動部とを

50

有する変位板と、

少なくとも一部が前記変動部と共に変動可能に取り付けられ、前記変動部の変動を静電容量の変化として検出可能に設けられた検出手段とを有し、

前記検出手段が、真空または低圧の空間に配置されている静電トランスデューサを製造するための静電トランスデューサの製造方法であって、

基層の表面に、第1層と第2層と第3層とをこの順番で積層した積層体に対し、前記第3層を、前記第2層とは反対の表面側から加工して、前記検出手段の構造を形成すると共に、前記第2層まで貫通する1または複数の第1貫通孔を形成し、

加工された前記第3層の前記第2層とは反対の表面に、第4層と第5層とをこの順番で形成し、

前記第5層に、前記第4層とは反対の表面側から、前記第4層まで貫通する1または複数の第2貫通孔を形成し、

前記第3層が前記検出手段を構成すると共に、前記検出手段が真空または低圧の空間に配置されるよう、前記第5層に形成した前記第2貫通孔、および、前記第3層に形成した前記第1貫通孔を通して、前記第4層および前記第2層の一部を除去した後、前記第5層に形成した前記第2貫通孔を塞ぎ、

前記第1層が変位板を構成するよう、前記変動部の位置に対応する前記基層を除去することを

特徴とする静電トランスデューサの製造方法。

【請求項15】

前記第5層はシリコンから成り、

前記第5層に形成した前記第2貫通孔を、前記シリコンの表面流動で塞ぐことを

特徴とする請求項14記載の静電トランスデューサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、静電トランスデューサおよび静電トランスデューサの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

静電トランスデューサは、MEMSを構成する基本的な要素の1つである。その基本的な動作原理は、対向する電極を、隙間をあけて設置し、それらの間にバイアス電圧を印可し、各電極の相対距離の変化を静電容量の変化として検出するというものである。これは、2つの電極の間に電圧を印可し、静電引力によってそれらの電極の一方または両方を駆動するアクチュエータとしても用いられる。この静電トランスデューサを用いれば、MEMSの微小な動きを検出または制御することができる。

【0003】

一方、MEMSは微小であるがゆえに、静電トランスデューサによる検出限界はノイズに支配される。様々なノイズのうち、前述の2つの電極の隙間、すなわち静電隙間に存在するガス（空気）によるダンピングを発生源とするものがある。これは、たとえば、静電MEMSマイクロフォンで支配的なノイズとなっている。

【0004】

静電隙間におけるガスダンピングによるノイズを無くするためには、センサを真空封止すればよい。これは、たとえば、慣性センサでは可能であり、一般的に行われている。しかし、マイクロフォン、超音波センサ、質量センサ、走査プローブなど、真空封止の難しいデバイスもある。

【0005】

これらのうち、マイクロフォンについては、静電容量の検出部を2つのダイヤフラムの間に配置し、それらのダイヤフラムをピラーで接続し、各ダイヤフラム間の閉空間を真空にしたものがある（例えば、特許文献1または2参照）。このマイクロフォンでは、ピラーは、2つのダイヤフラムの動きを同期させるとともに、大気と真空との圧力差でダイヤ

10

20

30

40

50

フラム間の閉空間が潰れてしまうのを防ぐ。これによって、ガスダンピングによるノイズを減らし、S N比を高くし、マイクロフォンとして高い音声認識率を実現している。

【0006】

また、他のマイクロフォンでは、ダイヤフラムと静電容量の検出部とをデバイス平面内で分離し、後者を真空空間に配置し、両者をリンク機構で接続したものもある（例えば、非特許文献1または2参照）。このマイクロフォンでは、リンクの一端にはダイヤフラムが、もう一端には検出部が接続され、リンクの中央部に支持部となるヒンジが配置されている。また、静電容量の検出部は平行平板型であり、リンク機構によってシーソーのように、つまり面外方向に動く。

【0007】

なお、MEMSマイクロフォン（音響トランスデューサ）としては、圧電効果を利用したものもある。例えば、圧電型MEMSマイクロフォンとして、圧力を印加される板が、1対の電極層の間に圧電層を挟んだ4つの三角形の片持ち梁状を成し、これらを四角形になるよう配置した構造を有するものがある（例えば、特許文献3乃至5または非特許文献3参照）。圧電型MEMSマイクロフォンでは、圧力を印加される板を周辺固定のダイヤフラム状にすると、圧電膜の応力によって性能が劣化するため、このような構成が採られている。圧電トランスデューサには電極隙間はなく、電極隙間でのガスダンピングを起源とするノイズは発生しないが、圧電膜の誘電損失に起因するノイズが発生するため、特許文献1または2に記載のMEMSマイクロフォンほどの高S N比は得られていない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【文献】米国特許第9181080号明細書

【文献】米国特許出願公開第2016／0066099号明細書

【文献】特許第5936154号公報

【文献】米国特許第9055372号明細書

【文献】特開2011-4129号公報

【非特許文献】

【0009】

【文献】Samer Dagher, Carine Ladner, Stephane Durand and Loic Joet, “NOVEL HINGE MECHANISM FOR VACUUM TRANSDUCTION HIGH PERFORMANCE CAPACITIVE MEMS MICROPHONES,” Transducers 2019 - EUROSENSORS XXXIII, Berlin, GERMANY, 23-27 June 2019, p. 663-666

【文献】Samer Dagher, Frederic Souchon, Audrey Berthelot, Stephane Durand and Loic Joet, “FIRST MEMS MICROPHONE BASED ON CAPACITIVE TRANSDUCTION IN VACUUM,” IEEE MEMS 2020, Vancouver, CANADA, 18-22 January, 2020, p. 838-841

【文献】Robert Littrell and Ronald Gagnon, “PIEZOELECTRIC MEMS MICROPHONE NOISE SOURCES,” Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Workshop, 2016, p.258-261

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献1および2に記載のMEMSマイクロフォンは、非常に高いS N比を有しているが、静電容量の変化を検出する検出部の配置が、各ダイヤフラムの間の空間に限定されるため、その構造の自由度が小さいという課題があった。このため、この構造は、マイクロフォンと超音波センサには有効であるが、その他のセンサ、例えば、質量センサや走査プローブには適用できないという課題があった。また、これをマイクロフォンとして用いたときも、検出部の大きさはダイヤフラムの大きさ以下に限られ、これによって感度またはS N比の向上が制限されるという課題もあった。

【0011】

非特許文献1および2に記載のMEMSマイクロフォンは、ダイヤフラムの大きさと静電容量の検出部の大きさとが独立であり、所望の仕様によってこれらの大きさを自由に設計することができる。しかし、ダイヤフラムの動きを検出部に伝えるリンクは、そのヒンジ部にある隔膜を通して大気中から真空中に接続されるため、隔膜によってリンクの動きが妨げられ、SN比が低下してしまうという課題があった。なお、隔膜を薄くまたは大きくすれば、隔膜の剛性が下がり、原理的にリンクは動きやすくなるが、大気と真空との圧力差で隔膜が歪み、これがセンサの誤差となる上、歪んだ隔膜の応力によって、結局、リンクが動きにくくなり、SN比が低下してしまう。

【0012】

本発明は、このような課題に着目してなされたもので、様々なセンサに適用可能で、高いSN比を得ることができ、静電容量の変化を検出する部分の配置および構造の自由度を高めることができる静電トランスデューサおよび静電トランスデューサの製造方法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】

【0013】

上記目的を達成するために、本発明に係る静電トランスデューサは、支持体と、前記支持体に固定された固定部と、前記固定部に対して変動可能に設けられた変動部とを有する変位板と、少なくとも一部が前記変動部と共に変動可能に取り付けられ、前記変動部の変動を静電容量の変化として検出可能に設けられた検出手段とを有し、前記検出手段が、真空または低圧の空間に配置されていることを特徴とする。

【0014】

本発明に係る静電トランスデューサは、MEMSデバイスであることが好ましい。本発明に係る静電トランスデューサは、変位板の変動部の変動を静電容量の変化として検出可能に設けられた検出手段が、真空または低圧の空間に配置されているため、空気などの気体や液体などの周囲の流体によるダンピング等の影響を受けにくい。このため、ノイズを低減することができ、高いSN比を得ることができる。

【0015】

また、変動部の変動を検出するために、検出手段の少なくとも一部が変動部と共に変動可能に取り付けられていればよく、検出手段の他の部分（以下、「変動検出部」という）は、変動部に配置されていても変動部以外の安定した場所に配置されていてもよい。また、変動検出部を、変動部の変動を妨げない位置に配置することにより、変動検出部の構造を比較的自由に構成することができる。このように、本発明に係る静電トランスデューサは、静電容量の変化を検出する検出手段の配置および構造の自由度を高めることができる。

【0016】

本発明に係る静電トランスデューサは、変動検出部を変動部以外の場所に配置して、変動部と変動検出部とを分離することができるため、要求される性能に応じて、それぞれを独立に設計することができ、設計の自由度が高い。例えば、変動部を小さくして過大な圧力の入力や機械的な衝撃に対する耐性を高めるとともに、変動検出部を大きくしてその感度を高める構造にすることができる。このとき、変動検出部が真空または低圧の空間に配置されているため、変動検出部の感度を高めてもノイズの増加を抑えることができる。

【0017】

また、本発明に係る静電トランスデューサは、検出手段が真空または低圧の空間に配置されているため、非特許文献1および2に記載のような、検出手段の途中に大気と真空または減圧空間とを隔てる隔膜のような構造が不要であり、このような構造によって検出手段の動きが妨げられない。また、非特許文献1および2では、静電容量を検出する部分は面外方向に動く平行平板型であるが、本発明に係る静電トランスデューサは、静電容量を検出する部分を、例えば、面内方向および面外方向のいずれに動く構造にも、あるいは両方に動く構造にも設計することができる。

【0018】

本発明に係る静電トランスデューサで、変動検出部を変動部以外の場所に配置する構成として、例えば、前記検出手段は、一端が前記変動部に固定され、他端が固定部側に向かって伸びる細長い連結部と、前記連結部の前記他端に接続され、その他端の変動を前記変動部の変動として検出可能に設けられた変動検出部とを有していてもよい。この場合、連結部により、変動部の変動を拡大して変動検出部に伝えることができる。変動検出部は、変動部以外の場所であればどこに設けられていてもよく、例えば固定部または支持体に設けられていてもよい。

【0019】

本発明に係る静電トランスデューサで、変動検出部は、変動部の変動を静電容量の変化として検出可能なものであればいかなる構成であってもよく、例えば、変動部の変動により、静電容量を検出するための電極の間隔や重なりが変化する構成であってもよく、差動型の構成であってもよい。

10

【0020】

本発明に係る静電トランスデューサは、前記変動部が前記変位板の厚み方向に一軸曲げ変位するよう設けられた補強部を有していてもよい。この場合、変位板の厚み方向の一軸曲げ変位を精度良く捉えることができる。また、変位板が所望の方向以外に変動し、捻れて破損するのを防ぐこともできる。

【0021】

本発明に係る静電トランスデューサで、前記変位板は片持ち梁状に設けられ、一端側に前記固定部を有し、他端側に前記変動部を有していてもよい。また、前記変位板は両持ち梁状に設けられ、前記変動部を挟むよう前記固定部が設けられていてもよい。また、前記変位板はダイヤフラム状に設けられ、周縁に前記固定部を有し、前記周縁の内側に前記変動部を有していてもよい。

20

【0022】

本発明に係る静電トランスデューサで、変位板が片持ち梁状に設けられている場合、前記支持体は、中央に開口を有し、前記変位板は、前記変動部が前記開口側に突出して、前記開口を覆うよう、または、ほぼ覆うよう設けられていてもよい。または、本発明に係る静電トランスデューサは、複数から成り、それぞれ各変動部を内側にして、各支持体で各変動部の周囲を囲うと共に、各変動部が各支持体で囲まれた空間を覆うよう、または、ほぼ覆うよう配置されていてもよい。これらの場合、仮想的なダイヤフラムのようにして、例えば静電マイクロフォンとして利用することができる。また、変動部が変動する際に、空気などの流体が漏れて感度が低下するのを防ぐよう、前記変動部と前記支持体との隙間、または、隣り合う変位板の前記変動部同士の隙間が、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

30

【0023】

本発明に係る静電トランスデューサは、例えば、マイクロフォンや超音波センサなどの音響トランスデューサ、質量センサ、質量検出方式または周波数検出方式の化学センサ、変位センサ、変位検出方式の化学センサ、流量センサ、走査プローブなどの各種センサとして利用することができる。また、検出手段が、真空または低圧の空間に配置されているため、気体中だけでなく、液体中でも使用することができる。本発明に係る静電トランスデューサを、センサではなくアクチュエータとして用いて変位板を駆動し、音波の送出などに用いることもできる。

40

【0024】

本発明に係る静電トランスデューサの製造方法は、本発明に係る静電トランスデューサを製造するための静電トランスデューサの製造方法であって、基層の表面に、第1層と第2層と第3層とをこの順番で積層した積層体に対し、前記第3層を、前記第2層とは反対の表面側から加工して、前記検出手段の構造を形成すると共に、前記第2層まで貫通する1または複数の第1貫通孔を形成し、加工された前記第3層の前記第2層とは反対の表面に、第4層と第5層とをこの順番で形成し、前記第5層に、前記第4層とは反対の表面側から、前記第4層まで貫通する1または複数の第2貫通孔を形成し、前記第3層が前記検

50

出手段を構成すると共に、前記検出手段が真空または低圧の空間に配置されるよう、前記第5層に形成した前記第2貫通孔、および、前記第3層に形成した前記第1貫通孔を通して、前記第4層および前記第2層の一部を除去した後、前記第5層に形成した前記第2貫通孔を塞ぎ、前記第1層が変位板を構成するよう、前記変動部の位置に対応する前記基層を除去することを特徴とする。

【0025】

本発明に係る静電トランスデューサの製造方法は、本発明に係る静電トランスデューサを好適に製造することができる。本発明に係る静電トランスデューサの製造方法は、第1層から第5層をそれぞれ成膜しながら静電トランスデューサを製造してもよく、市販のダブルSOIウエハやSOIウエハを用いて静電トランスデューサを製造してもよい。また、第1層から第5層を積層する際、少なくともいずれか1つの層の積層工程が基板接合（wafer bonding）により行われてもよい。また、本発明に係る静電トランスデューサの製造方法で、例えば、第1層、第3層および第5層は、シリコン（Si）から成り、第2層および第4層は、酸化シリコン（SiO₂）から成っていてもよい。

【0026】

本発明に係る静電トランスデューサの製造方法で、前記第5層はシリコンから成り、前記第5層に形成した前記第2貫通孔を、前記シリコンの表面流動で塞ぐことが好ましい。この場合、熱処理のみで容易に第2貫通孔を塞ぐことができる。また、第5層は、特に単結晶シリコンであることが好ましい。これにより、表面流動のための熱処理を行っても機械的特性等が変化せず、高品質の静電トランスデューサを製造することができる。

【0027】

また、本発明に係る静電トランスデューサの製造方法は、第5層に形成した第2貫通孔を、シリコン、酸化シリコン、窒化シリコン（Si_xN_y）、金属などを成膜して塞いでもよい。また、第2貫通孔上にシリコンを成膜した後、熱処理を行うことにより、そのシリコンの表面流動で第2貫通孔を塞いでもよい。

【0028】

本発明に係る静電トランスデューサの製造方法は、第2貫通孔を塞いだ後、窒素雰囲気などの水素分圧の低い環境でアニールしてもよい。この場合、検出手段が配置された空間の水素を拡散によって排出することができ、真空度を高めることができる。

【発明の効果】

【0029】

本発明によれば、様々なセンサに適用可能で、高いSN比を得ることができ、静電容量の変化を検出する部分の配置および構造の自由度を高めることができる静電トランスデューサおよび静電トランスデューサの製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】本発明の実施の形態の静電トランスデューサを示す（a）平面図、（b）A-A'線断面図である。

【図2】図1に示す静電トランスデューサの、封止カバーを取り除いた平面図である。

【図3】本発明の実施の形態の静電トランスデューサの製造方法を示す（a）～（d）断面図である。

【図4】本発明の実施の形態の静電トランスデューサの製造方法の、図3の続きを示す（a）～（f）断面図である。

【図5】図1に示す静電トランスデューサの、複数を用いて変動部をダイヤフラム状に配置した変形例を示す平面図である。

【図6】本発明の実施の形態の静電トランスデューサの、変動検出部が変位板の厚み方向に沿って移動する変形例を示す（a）変動部が変動していない状態の断面図、（b）変動部が変動した状態の断面図である。

【図7】本発明の実施の形態の静電トランスデューサの、変動検出部が変動部に設けられた変形例を示す（a）平面図、（b）B-B'線断面図である。

10

20

30

40

50

【図 8】図 7 に示す静電トランスデューサの、封止カバーを取り除いた平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0031】

以下、図面に基づいて、本発明の実施の形態について説明する。

図 1 乃至図 8 は、本発明の実施の形態の静電トランスデューサおよび静電トランスデューサの製造方法を示している。

図 1 および図 2 に示すように、静電トランスデューサ 10 は、MEMS デバイスから成り、支持体 11 と変位板 12 と検出手段 13 と封止枠 14 と補強部 15 と封止カバー 16 とを有している。

【0032】

支持体 11 は、所定の厚みを有する矩形板状を成している。

変位板 12 は、薄い板状を成し、一端側に平面形状が矩形形状を成す固定部 12a を有し、他端側に、固定部 12a の一方の長辺を底辺とした三角形形状を成す変動部 12b を有している。変位板 12 は、変動部 12b が支持体 11 から突出するよう、固定部 12a の一方の表面を、支持体 11 の一方の表面に貼り付けて固定されている。これにより、変位板 12 は、固定部 12a を延長して設けられた変動部 12b が、固定部 12a に対して変動可能な片持ち梁状を成している。

【0033】

検出手段 13 は、変位板 12 の支持体 11 とは反対側の表面に沿って、その表面との間に間隔をあけて設けられている。検出手段 13 は、細長い連結部 21 と変動検出部 22 とを有している。連結部 21 は、一端が三角形形状を成す変動部 12b の頂点に配置され、他端が変動部 12b の底辺の中心の固定部 12a まで伸びている。変動検出部 22 は、固定部 12a に配置され、連結部 21 の他端に接続された第 1 歯状電極 23 と、第 1 歯状電極 23 に噛み合うよう設けられた第 2 歯状電極 24 とを有している。第 2 歯状電極 24 は、一列に並んで、連結部 21 の延長線の左右に、2 組ずつ対称に設けられている。第 1 歯状電極 23 は、一列に並んで、各第 2 歯状電極 24 の左右に設けられ、連結部 21 の延長線に対して対称に、全部で 5 つ設けられている。

【0034】

各第 1 歯状電極 23 は、連結部 21 の長さ方向に対して平行に伸びる支持部 23a と、支持部 23a の左右（各第 1 歯状電極 23 のうち、真ん中の 3 つ）、または、左右のいずれか一方（各第 1 歯状電極 23 のうち、両端の 2 つ）から、それぞれ連結部 21 の長さ方向に対して垂直方向に伸びるように並んだ多数の歯 23b とを有している。各第 1

歯状電極 23 のうち、2 番目および 4 番目の第 1 歯状電極 23 は、支持部 23a の連結部 21 とは反対側の端部から、バネ状に伸びるバネ状接続部 23c を有している。各第 2 歯状電極 24 は、連結部 21 の長さ方向に対して平行に伸びる支持部 24a と、支持部 24a の左右から、それぞれ連結部 21 の長さ方向に対して垂直方向に伸びるように並んだ多数の歯 24b とを有している。変動検出部 22 は、隣り合う第 1 歯状電極 23 の歯 23b と第 2 歯状電極 24 の歯 24b とが噛み合っており、隣り合う歯の間隔の変化を静電容量の変化として検出するよう構成されている。

【0035】

封止枠 14 は、変位板 12 の支持体 11 とは反対側の表面に沿って、その表面に接して設けられている。封止枠 14 は、連結部 21 の両側方および変動検出部 22 の周囲を囲うよう、連結部 21 および変動検出部 22 との間に間隔をあけて設けられている。また、封止枠 14 は、連結部 21 の一端に接続されている。封止枠 14 は、変動検出部 22 の周囲を囲う部分のうち、固定部 12a の変動部 12b とは反対側の 2 つの隅の付近で、各バネ状接続部 23c が接続されている。

【0036】

補強部 15 は、複数から成り、連結部 21 の両側方に設けられた封止枠 14 から外側に向かって、連結部 21 の長さ方向に沿って所定の間隔で、連結部 21 の長さ方向に対して垂直方向に伸びるよう設けられている。

10

20

30

40

50

【0037】

検出手段13は、連結部21の一端が、第1スペーサ17を介して変位板12の変動部12bに固定されている。また、検出手段13は、第2 歯状電極24の支持部24aが、第1スペーサ17を介して変位板12の固定部12aに固定されている。封止枠14および補強部15は、第1スペーサ17を介して変位板12に固定されている。こうして、静電トランスデューサ10は、補強部15により、変動部12bが変位板12の厚み方向に一軸曲げ変位するようになっている。

【0038】

また、静電トランスデューサ10は、変動部12bと共に連結部21の一端が変動することにより、連結部21が曲がって、連結部21の他端がその長さ方向に沿って引っ張られるようになっている。また、これにより、隣り合う第1 歯状電極23の歯23bと第2 歯状電極24の歯24bとの間隔が変化して、その静電容量が変化するようになっている。こうして、静電トランスデューサ10は、変動部12bの変動を静電容量の変化として検出可能になっている。なお、図1および2に示す具体的な一例では、変動検出部22は、連結部21が曲がって引っ張られたとき、連結部21の延長線の左側および右側のそれぞれ1つの第2 歯状電極24では、その歯24bと隣り合う第1 歯状電極23の歯23bとの間隔（静電容量を検出するための歯同士の間隔）が広くなり、他の2つの第2 歯状電極24では、その間隔が狭くなるよう構成されている。これにより、静電トランスデューサ10は、差動検出がなされるようになっている。

【0039】

封止カバー16は、薄い板状で、検出手段13を覆うような形状を成しており、変位板12との間に検出手段13および封止枠14を挟むよう、検出手段13との間に間隔をあけて配置されている。封止カバー16は、第2スペーサ18を介して、連結部21の一端、第2 歯状電極24の支持部24a、および封止枠14に固定されている。補強部15の一部は、封止カバー16を構成する薄い板で構成されている。この部分では、封止カバー16を構成する薄い板は、第2スペーサ18を介して変位板12に固定されている。

【0040】

静電トランスデューサ10は、検出手段13が、変位板12、第1スペーサ17、封止枠14、第2スペーサ18、および封止カバー16により、周囲に間隔をあけて密封されている。また、静電トランスデューサ10は、検出手段13の周囲の空間19が真空または低圧であり、検出手段13が真空または低圧の空間19に配置されている。

【0041】

静電トランスデューサ10は、本発明の実施の形態の静電トランスデューサの製造方法により、好適に製造することができる。すなわち、図3および図4に示すように、本発明の実施の形態の静電トランスデューサの製造方法では、まず、基層30の表面に、第1層31と第2層32と第3層33とをこの順番で積層した積層体を準備する（図3（a）参照）。なお、図3（a）に示す具体的な一例では、積層体としてダブルSOIウエハを用いているが、積層体は、各層を成膜して形成されてもよい。また、基層30がSi層およびSiO₂層、第1層31がSi層（厚み0.5 μm）、第2層32がSiO₂層（厚み0.1 μm）、第3層33がSi層（厚み0.5 μm）に対応している。

【0042】

次に、第3層33を、第2層32とは反対の表面側からパターンニング加工して、検出手段13、封止枠14および補強部15の構造を形成すると共に、第2層32まで貫通する1または複数の第1貫通孔41を形成する（図3（b）および図1参照）。次に、加工された第3層33の第2層32とは反対の表面に、第4層34と第5層35とをこの順番で形成する（図3（c）および（d）参照）。なお、図3（c）および（d）に示す具体的な一例では、第3層33の表面に、SOIウエハを基板接合し（図3（c）参照）、そのSOIウエハのハンドル層42とBOX層43とを除去することにより、第4層34と第5層35とを形成している（図3（d）参照）が、各層を成膜して形成してもよい。また、第4層34がSiO₂層（厚み0.1 μm）、第5層35がSi層（厚み0.5 μm）

に対応している。

【0043】

次に、第5層35に、第4層34とは反対の表面側から、第4層34まで貫通する1または複数の第2貫通孔44を形成する(図4(a)および図1参照)。次に、第3層33が検出手段13、封止枠14および補強部15を構成すると共に、検出手段13が真空または低圧の空間19に配置され、さらに第2層32が第1スペーサ17、第4層34が第2スペーサ18、第5層35が封止カバー16を構成するよう、第5層35に形成した第2貫通孔44、および、第3層33に形成した第1貫通孔41を通して、第4層34および第2層32の一部をエッチングにより除去した後(図4(b)参照)、第5層35に形成した第2貫通孔44を塞ぐ(図4(c)参照)。なお、図4(c)に示す具体的な一例では、第5層35がシリコンから成るため、いわゆるシリコンマイグレーションシール(SMS)により、第5層35のシリコンの水素中熱処理による表面流動で、第2貫通孔44を塞いでいる。また、その後、水素濃度が十分に低い雰囲気中で熱処理を行うことにより、検出手段13が配置された空間19から熱拡散現象で水素ガスを排出して、その空間19を真空または低圧にしている。

10

【0044】

次に、第1層31に変位板12の構造を形成すると共に、第3層33の変動検出部22の第1 歯状電極23および第2 歯状電極24の端子用の孔45などを形成するよう、第2層32から第5層35を、第5層35の側から形状加工し(図4(d)参照)、形成した各端子用の孔45に、第1 歯状電極23の歯および第2 歯状電極24の歯に電気的に接続された金属端子46をそれぞれ形成する(図4(e)参照)。次に、第1層31が変位板12を構成するよう、深掘りエッチング(DRIE)により、変動部12bの位置に対応する基層30を除去する(図4(f)参照)。なお、基層30が支持体11を構成している。こうして、静電トランスデューサ10を製造することができる。

20

【0045】

静電トランスデューサ10は、変位板12の変動部12bの変動を静電容量の変化として検出可能に設けられた検出手段13が、真空または低圧の空間19に配置されているため、空気などの気体や液体などの周囲の流体によるダンピング等の影響を受けにくい。このため、ノイズを低減することができ、高いSN比を得ることができる。

【0046】

また、静電トランスデューサ10は、変動検出部22が、支持体11に固定された固定部12aに配置されており、変動部12bの変動を妨げず、安定している。また、これにより、変動検出部22の構造を比較的自由に構成することができ、静電容量の変化を検出する検出手段13の配置および構造の自由度を高めることができる。また、変動部12bと変動検出部22とを分離することができるため、要求される性能に応じて、それぞれを独立に設計することができ、設計の自由度が高い。例えば、変動部12bを小さくして過大な圧力の入力や機械的な衝撃に対する耐性を高めるとともに、変動検出部22の第1歯状電極23および第2 歯状電極24の歯数を増やして感度を高める構造にすることができる。このとき、変動検出部22が真空または低圧の空間19に配置されているため、変動検出部22の感度を高めてもノイズの増加を抑えることができる。

30

40

【0047】

また、静電トランスデューサ10は、変動検出部22が変動部12bとは別の位置に配置されているため、変動部12bが硬くなるのを抑えることができる。また、変動部12bと共に変動する部分を軽くすることができ、変動部12bの共振周波数を高めることができる。静電トランスデューサ10は、補強部15により、変動部12bが変位板12の長さ方向以外の方向に撓むのを抑えることができるため、変位板12の一軸曲げ変位を精度良く捉えることができる。また、変位板12が所望の方向以外に変動し、捻れて破損するのを防ぐこともできる。

【0048】

また、静電トランスデューサ10は、第5層35のシリコンの表面流動により、熱処理

50

のみで容易に第2貫通孔44を塞ぐと共に、検出手段13を真空または低圧の空間19に配置することができる。このとき、第5層35を単結晶シリコンで構成しておくことにより、表面流動のための熱処理を行っても機械的特性等が変化せず、高品質の静電トランスデューサとすることができる。なお、静電トランスデューサ10は、変動部12bの平面形状が三角形のものに限らず、例えば矩形状や細長い棒状など、いかなる形状であってもよい。

【0049】

また、静電トランスデューサ10は、検出手段13が真空または低圧の空間19に配置されているため、非特許文献1および2に記載のような、検出手段の途中に大気と真空または減圧空間とを隔てる隔膜のような構造が不要であり、このような構造によって検出手段13の動きが妨げられない。

【0050】

なお、図5に示すように、静電トランスデューサ10は、4つから成り、それぞれ各変動部12bを内側にして、各支持体11で各変動部12bの周囲を囲うと共に、各支持体11で囲まれた空間の中心部に、三角形の各変動部12bの頂点を集中させて、各変動部12bが各支持体11で囲まれた空間をほぼ覆うよう配置されている。図5に示す具体的な一例では、三角形の各変動部12bの頂点は、90°であり、各変動部12bは、隣り合う変動部12bの側辺との間に、わずかな隙間12cをあけて配置されている。この場合、仮想的にダイヤフラムのようにして、例えばマイクロフォンとして利用することができる。また、変動部12bが変動する際に、空気などの流体が漏れて感度が低下するのを防ぐよう、隣り合う変動部12bの側辺同士の隙間12cが、10μm以下であることが好ましく、その隙間12cを無くして、各支持体11で囲まれた空間19を完全に覆っている。また、静電トランスデューサ10は、4つに限らず、複数であればいくつであってもよい。また、変動部12bの平面形状は、支持体11で囲まれた空間19を完全に覆う、または、ほぼ覆うことが可能な形状であれば、三角形に限らずどのような形状であってもよい。

【0051】

また、静電トランスデューサ10は、1つから成り、支持体11が中央に開口を有し、変位板12は、変動部12bが開口側に突出して、開口を覆うよう、または、ほぼ覆うよう設けられている。この場合にも、仮想的にダイヤフラムのようにして、例えばマイクロフォンとして利用することができる。また、変動部12bが変動する際に、空気などの流体が漏れて感度が低下するのを防ぐよう、変動部12bと支持体11との隙間が、10μm以下であることが好ましく、その隙間を無くして、支持体11の開口を完全に覆っている。また、変動部12bの平面形状は、支持体11の開口の形状に応じて、どのような形状であってもよい。なお、変位板12が、支持体11の開口を覆うよう両持ち梁状に設けられ、変動部12bを挟むよう固定部12aが設けられている。また、変位板12が、支持体11の開口を覆うようダイヤフラム状に設けられ、周縁に固定部12aを有し、その周縁の内側に変動部12bを有している。

【0052】

また、静電トランスデューサ10は、第1 歯状電極23および第2 歯状電極24が図1および図2に示す配置に限らず、どのような配置であってもよい。また、図1および図2に示す静電トランスデューサ10は、変動部12bが変動したとき、変動部12bと共に連結部21が曲がり、変動検出部22の第1 歯状電極23が変動部12bの表面に沿って、面内方向に移動するよう構成されているが、図6に示すように、変動部12bが変動したとき、連結部21が曲がらず、連結部21の他端に接続された変動検出部22が変位板12の厚み方向に沿って、面外方向に移動可能に構成されている。この場合、変動部12bの変動を、第1 歯状電極23および第2 歯状電極24の厚さ方向の重なりの変化として検出するよう構成することもでき、あるいは、変動検出部22と固定部12aとの間隔の変化による静電容量の変化として検出するよう構成することもできる。

【0053】

また、図 7 および図 8 に示すように、静電トランスデューサ 10 は、連結部 21 を有さず、検出手段 13 の変動検出部 22 が、変動部 12b の表面に沿って並んで配置されて、変動部 12b に固定された複数の固定電極 51 と、各固定電極 51 との間に間隔をあけて、変動部 12b の表面に沿って各固定電極 51 の周囲を囲うよう配置され、変動部 12b に固定されていない網状電極 52 とを有し、封止枠 14 が変動部 12b の周縁に沿って、各固定電極 51 および網状電極 52 を囲うよう設けられていてもよい。この場合、変動検出部 22 は変動部 12b に設けられているが、変動部 12b の変動により各固定電極 51 と網状電極 52 との間隔が変化して、その静電容量が変化するため、変動部 12b の変動を静電容量の変化として検出することができる。

【0054】

また、本発明の実施の形態の静電トランスデューサの製造方法は、図 3 および図 4 に示す方法では、第 3 層 33 まで形成した後、第 3 層 33 のみにパターニング加工などを行い（図 3（b）参照）、さらに第 5 層 35 まで形成した後、第 5 層 35 に第 2 貫通孔 44 を形成する（図 4（a）参照）と共に、第 4 層 34 および第 2 層 32 をエッチング加工している（図 4（b）参照）が、第 2 層 32 から第 5 層 35 の各層を成膜するたびに、各層をパターニング加工しておき、第 5 層 35 に第 2 貫通孔 44 を形成した後、第 4 層 34 および第 2 層 32 をさらにエッチング加工してもよい。

【0055】

さらに、図 3 および図 4 に示す方法では、基層 30 上に第 1 層 31、第 2 層 32 および第 3 層 33 を形成した後（図 3（a）参照）、エッチング加工等を行っているが、連結部 21、第 2 歯状電極 24 およびバネ状接続部 23c と、変位板 12 とは、第 1 スペース 17 として第 3 層 33 の材料を用いて繋がっていてもよく、その場合、第 2 層 32 を部分的にエッチングした後、第 3 層 33 を成膜してもよい。同じことは第 4 層と第 5 層についても言え、連結棒 21、第 2 歯状電極 24 およびバネ状接続部 23c と、封止カバー 16 とは、第 2 スペース 18 として第 5 層 35 の材料を用いて繋がっていてもよく、その場合、第 4 層 34 を部分的にエッチングした後、第 5 層 35 を成膜してもよい。図 4（b）の犠牲層エッチングでは、第 1 スペース 17 と第 2 スペース 18 とを残すように制御するが、この方法によるとそれが容易になる。

【符号の説明】

【0056】

- 10 静電トランスデューサ
- 11 支持体
- 12 変位板
 - 12a 固定部
 - 12b 変動部
- 13 検出手段
 - 21 連結部
 - 22 変動検出部
 - 23 第 1 歯状電極
 - 23a 支持部
 - 23b 歯
 - 23c バネ状接続部
 - 24 第 2 歯状電極
 - 24a 支持部
 - 24b 歯
- 14 封止枠
- 15 補強部
- 16 封止カバー
- 17 第 1 スペース
- 18 第 2 スペース

10

20

30

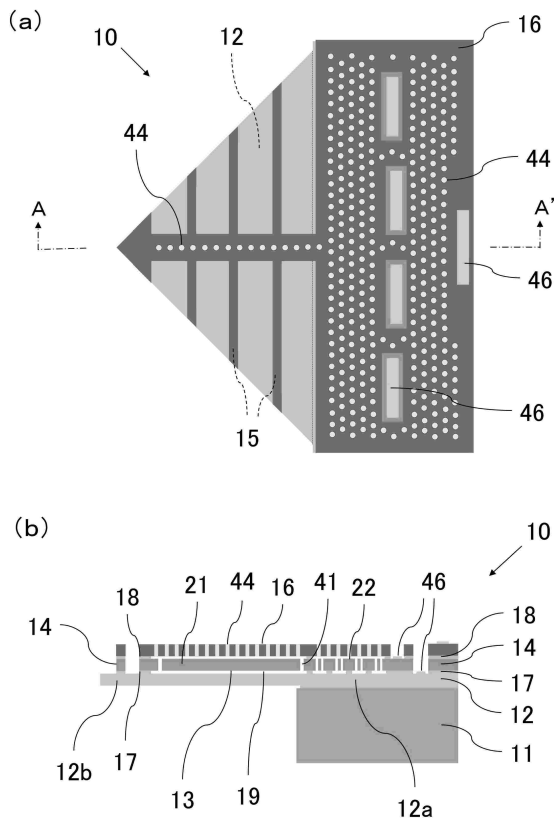
40

50

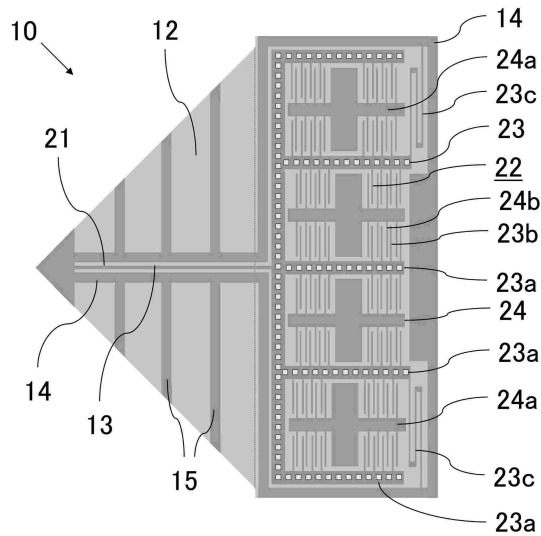
- 1 9 空間
- 3 0 基層
- 3 1 第 1 層
- 3 2 第 2 層
- 3 3 第 3 層
- 3 4 第 4 層
- 3 5 第 5 層
- 4 1 第 1 貫通孔
- 4 2 ハンドル層
- 4 3 B O X 層
- 4 4 第 2 貫通孔
- 4 5 孔
- 4 6 金属端子
- 5 1 固定電極
- 5 2 網状電極

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

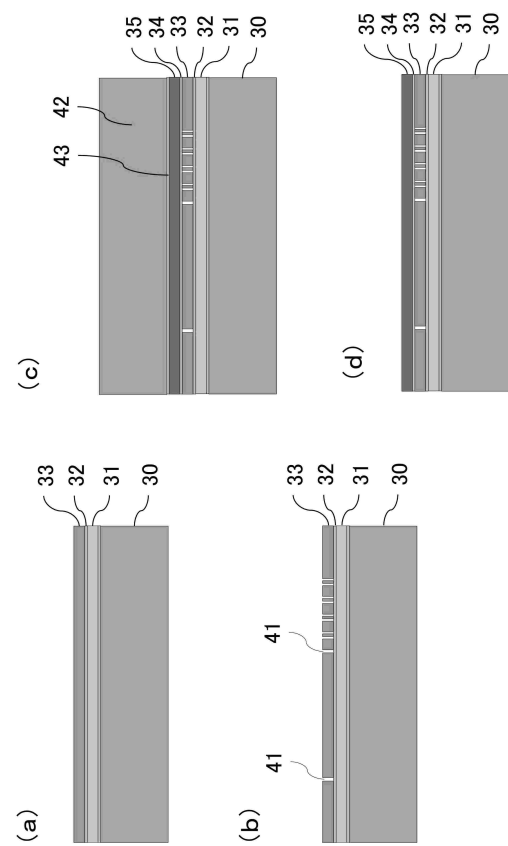
20

30

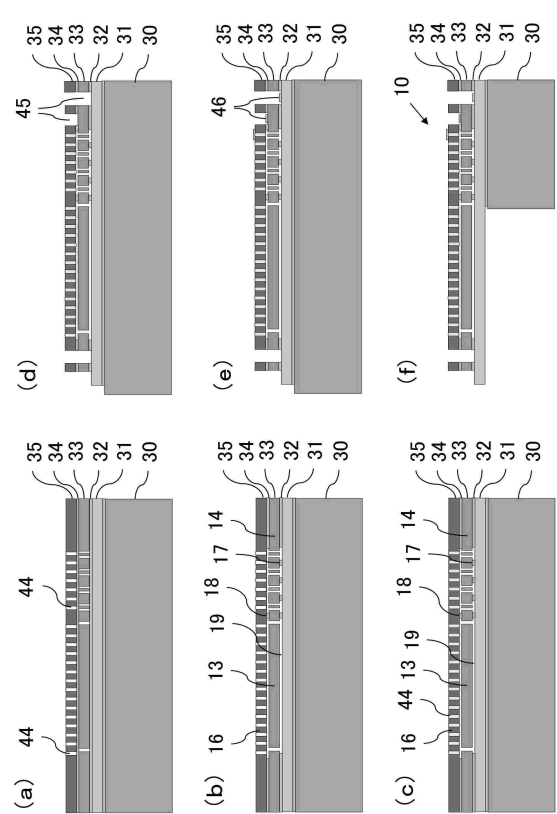
40

50

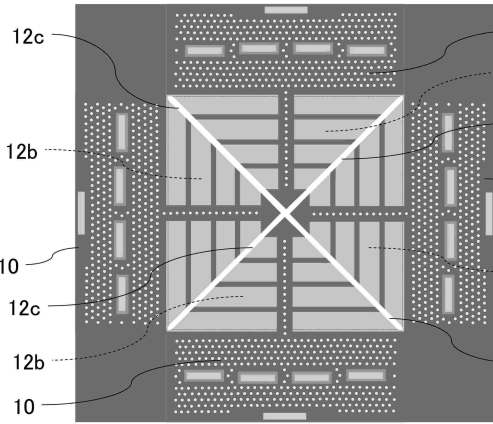
【図 3】



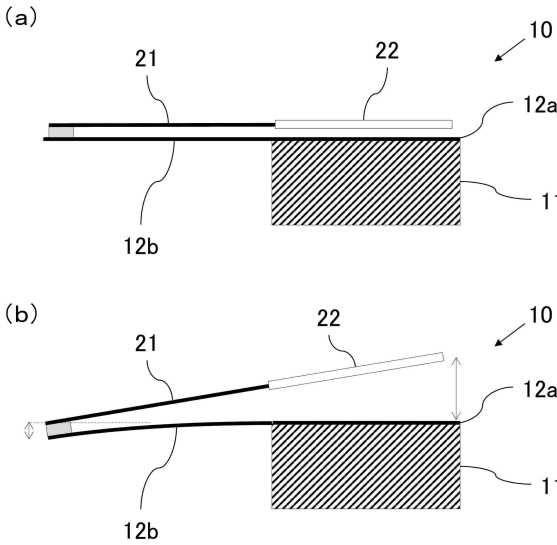
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

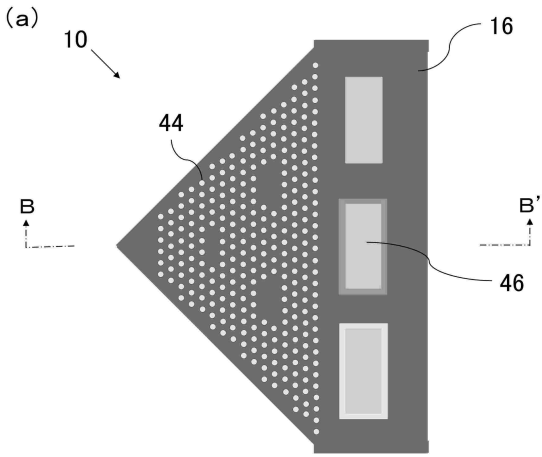
20

30

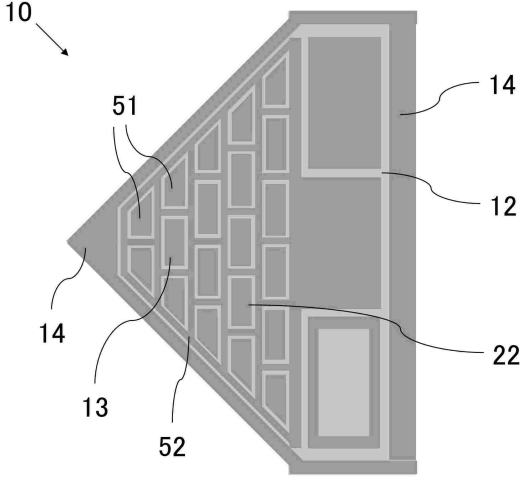
40

50

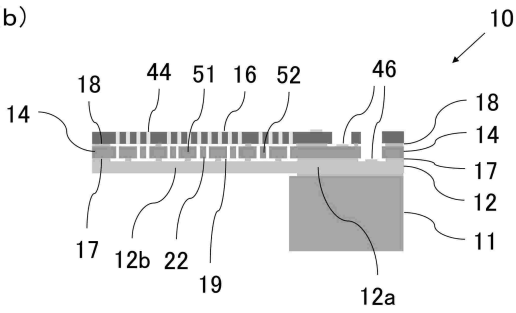
【図 7】



【図 8】



(b)



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2018/0352341 (US, A1)
米国特許出願公開第2019/0058936 (US, A1)
特表2014-515214 (JP, A)
特表2012-503355 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H04R 11/00-31/00