

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4933517号

(P4933517)

(45) 発行日 平成24年5月16日(2012.5.16)

(24) 登録日 平成24年2月24日(2012.2.24)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 R 19/04 (2006.01)

H O 4 R 19/04

H O 1 L 29/84 (2006.01)

H O 1 L 29/84

Z

請求項の数 8 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2008-306165 (P2008-306165)
(22) 出願日 平成20年12月1日(2008.12.1)
(65) 公開番号 特開2010-130615 (P2010-130615A)
(43) 公開日 平成22年6月10日(2010.6.10)
審査請求日 平成22年6月21日(2010.6.21)

(73) 特許権者 390022471
アオイ電子株式会社
香川県高松市香西南町4 5 5 番地の1
(74) 代理人 100084412
弁理士 永井 冬紀
(72) 発明者 林 宏樹
香川県高松市香西南町4 5 5 番地の1 ア
アオイ電子株式会社内
(72) 発明者 今野 隆
香川県高松市香西南町4 5 5 番地の1 ア
アオイ電子株式会社内

審査官 ▲吉▼澤 雅博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マイクロフォン

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ベース基板に形成された空所上に架け渡されている第1の梁と、
弾性部材を介して前記第1の梁により弾性支持され、前記空所内にてベース基板面に対して垂直に配置されている振動板と、
前記ベース基板の前記空所上に架け渡されている第2の梁と、
前記第2の梁により支持され、前記空所内にて前記振動板に隙間を介して対向配置されている固定電極とを備えた振動ユニットを、前記ベース基板に複数配置したことを特徴とするマイクロフォン。

【請求項2】

請求項1に記載のマイクロフォンにおいて、
前記固定電極は、前記第2の梁によって各々支持された2つの部分電極に分割されていることを特徴とするマイクロフォン。

【請求項3】

請求項1または2に記載のマイクロフォンにおいて、
前記振動板または前記固定電極を移動し、前記振動板と前記固定電極との隙間を調整する隙間調整機構を設けたことを特徴とするマイクロフォン。

【請求項4】

請求項3に記載のマイクロフォンにおいて、
前記隙間調整機構は、前記振動板または前記固定電極と連結された可動櫛歯電極と、空

10

20

隙を有して前記可動櫛歯電極と噛合する固定櫛歯電極とを備え、

前記可動櫛歯電極と前記固定櫛歯電極との間に電圧を印加することにより、前記振動板または前記固定電極を移動することを特徴とするマイクロフォン。

【請求項 5】

請求項 1～4 のいずれか一項に記載のマイクロフォンにおいて、

前記複数の振動ユニットは、前記振動板の法線方向が異なる複数種類の振動ユニットで構成されていることを特徴とするマイクロフォン。

【請求項 6】

ベース基板に形成された第 1 の空所上にベース基板面に対して平行に架け渡された第 1 の固定電極と、前記第 1 の空所内にて前記第 1 の固定電極と所定間隔を空けて対向配置される第 1 の振動板とを備えるマイクロフォンにおいて、

前記ベース基板に形成された第 2 の空所上に架け渡されている第 1 の梁と、

弾性部材を介して前記第 1 の梁により弾性支持され、前記第 2 の空所内にてベース基板面に対して垂直に配置されている第 2 の振動板と、

前記第 2 の空所上に架け渡されている第 2 の梁と、

前記第 2 の梁により支持され、前記第 2 の空所内にて前記第 2 の振動板に隙間を介して対向配置されている第 2 の固定電極とを備えた振動ユニットを、前記ベース基板に複数配置したことを特徴とするマイクロフォン。

【請求項 7】

ベース基板に形成された空所上に架け渡されている第 1 の梁と、

弾性部材を介して前記第 1 の梁により弾性支持され、前記空所内にてベース基板面に対して垂直に配置されている振動板と、

前記ベース基板の前記空所上に架け渡されている第 2 の梁と、

前記第 2 の梁により支持され、前記空所内にて前記振動板に隙間を介して対向配置されている固定電極とを備えた振動ユニットを備えたことを特徴とするマイクロフォン。

【請求項 8】

請求項 1～7 のいずれか一項に記載のマイクロフォンにおいて、

S O I (Silicon on Insulator) 基板をフォトリソグラフィー法で加工して形成したことを特徴とするマイクロフォン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超小型のマイクロフォンに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、シリコンウェハをマイクロマシニング技術で加工して、超小型のコンデンサ型マイクロフォンを形成する方法が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。特許文献 1 に記載の発明では、S O I (Silicon On Insulator) ウェハを構成する 2 層の S i 層に、振動板と電極とを対向するように形成している。

【0003】

【特許文献 1】特開 2 0 0 5 - 1 1 0 2 0 4 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上述した従来のマイクロフォンでは、振動板および電極はウェハ面に平行な構造となっている。このような構造では、振動板の面積はウェハ面よりも大きくはなり得ず、マイクロフォンを小型化するほど静電容量の変化が小さくなり、性能が低下するという問題がある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明によるマイクロフォンは、ベース基板に形成された空所上に架け渡されている第1の梁と、弾性部材を介して第1の梁により弾性支持され、空所内にてベース基板面に対して垂直に配置されている振動板と、ベース基板の空所上に架け渡されている第2の梁と、第2の梁により支持され、空所内にて振動板に隙間を介して対向配置されている固定電極とを備えた振動ユニットを、ベース基板に複数配置したことを特徴とする。固定電極を、第2の梁によって各々支持された2つの部分電極に分割するようにしても良い。

また、振動板または固定電極を移動し、振動板と固定電極との隙間を調整する隙間調整機構を設けるようにしても良い。

隙間調整機構としては、振動板または固定電極と連結された可動櫛歯電極と、空隙を有して可動櫛歯電極と噛合する固定櫛歯電極とを備え、可動櫛歯電極と固定櫛歯電極との間に電圧を印加することにより、振動板または固定電極を移動するものがある。

さらに、複数の振動ユニットを、振動板の法線方向が異なる複数種類の振動ユニットで構成するようにしても良い。

本発明は、ベース基板に形成された第1の空所上にベース基板面に対して平行に架け渡された第1の固定電極と、第1の空所内にて第1の固定電極と所定間隔を空けて対向配置される第1の振動板とを備えるマイクロフォンに適用され、ベース基板に形成された第2の空所上に架け渡されている第1の梁と、弾性部材を介して第1の梁により弾性支持され、第2の空所内にてベース基板面に対して垂直に配置されている第2の振動板と、第2の空所上に架け渡されている第2の梁と、第2の梁により支持され、第2の空所内にて第2の振動板に隙間を介して対向配置されている第2の固定電極とを備えたことを特徴とする。

本発明によるマイクロフォンは、ベース基板に形成された空所上に架け渡されている第1の梁と、弾性部材を介して第1の梁により弾性支持され、空所内にてベース基板面に対して垂直に配置されている振動板と、ベース基板の空所上に架け渡されている第2の梁と、第2の梁により支持され、空所内にて振動板に隙間を介して対向配置されている固定電極とを備えたことを特徴とする。

なお、マイクロフォンを、SOI (Silicon on Insulator) 基板をフォトリソグラフィー法で加工して形成するようにしても良い。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、小型化を図りつつ感度向上を図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

以下、図を参照して本発明を実施するための最良の形態について説明する。

－第1の実施の形態－

図1は、本実施の形態の指向性マイクロフォンの概略構成を示す図である。図1において、(a)はマイクロフォン1の平面図を示し、(b)は(a)のB-B断面を示す。マイクロフォン1は、図1(b)に示すように下部Si層30、SiO₂層20、上部Si層10の3層構造を有するSOI (Silicon on Insulator) 基板を用いて、マイクロマシニング技術、或いはフォトリソグラフィー技術により作製される。下部Si層30により形成されるベース31には開口311が形成され、開口311の中央には4本の支柱33で支持された中央支持部32が形成されている。ベース31と中央支持部32との間には、8つの振動ユニット2(2-1～2-8)が架け渡されるように円形状に配置されている。

【0008】

図2は振動ユニット2を詳細に示す図であり、(a)は平面図、(b)はA1-A1断面図、(c)はA2-A2断面図、(c)はA3-A3断面図である。振動ユニット2は、可動電極である振動板21を含む部分と、固定電極22を含む部分とで構成されている。

【0009】

固定電極 2 2 を含む部分は、固定電極 2 2 と一対の梁 2 4 とから成る。固定電極 2 2 は、ベース 3 1 に設けられた梁 2 4 と中央支持部 3 2 に設けられた梁 2 4 とによって、ベース 3 1 と中央支持部 3 2 との間の開口 3 1 1 内に垂直に支持されている。中央支持部 3 2 側の梁 2 4 には、電極パッド 2 4 c が形成されている。なお、固定電極 2 2 に複数の貫通孔を形成して、図 2 (a) の図示上方からの音波を振動板 2 1 で受けやすく構成しても良い。

【0010】

振動板 2 1 を含む部分は、振動板 2 1 と一対の梁 2 3 とから成る。ベース 3 1 と中央支持部 3 2 とに設けられた一対の梁 2 3 は、それぞれ上述した各梁 2 4 と平行に設けられている。各梁 2 3 の先端には、弾性部 2 3 b がそれぞれ設けられている。各弾性部 2 3 b は、振動板 2 1 に設けられた支持軸 2 1 a に連結している。このように、振動板 2 1 は、一対の梁 2 3 によって、固定電極 2 2 と対向する位置に弾性的に支持されている。ベース 3 1 側の梁 2 3 には、電極パッド 2 3 c が形成されている。

10

【0011】

なお、梁 2 3, 2 4 および弾性部 2 3 b は SOI 基板の上部 Si 層 1 0 で形成され、振動板 2 1, 固定電極 2 2, ベース 3 1, 中央支持部 3 2 および支柱 3 3 (図 1 参照) は SOI 基板の下部 Si 層 3 0 で形成される。梁 2 3, 2 4 の上面には多結晶シリコン膜 4 0 およびアルミ膜 5 0 が順に形成されている。

【0012】

図 3 は、弾性部 2 3 b の具体例を示す図である。図 3 (a) に例示する弾性部 2 3 b では、梁 2 3 1 の幅を薄くしてバネ定数を小さくしている。そのため、弾性部 2 3 は、ベース 3 1 に対して平行な方向に撓みやすい構造となっている。ここでは、梁 2 3 1 を 1 つとしているが、複数形成しても構わない。図 3 (a) の例では、図 3 (b) に例示する弾性部材 2 3 b では、ベース 3 1 に対して平行な方向に折り返された蛇腹構造の梁 2 3 1 を構成し、より撓みやすくしている。

20

【0013】

上述したように、固定電極 2 2 に対向配置された振動板 2 1 は、固定電極方向に変位可能に弾性支持されている。そのため、振動板 2 1 に音圧が作用すると、振動板 2 1 は、固定電極 2 2 に対して図 2 (d) に示すように振動することになる。その結果、振動ユニット 2 の静電容量が、振動板 2 1 の変位に応じて変化することになる。すなわち、各振動ユニット 2 が、それぞれコンデンサマイクロフォンを構成している。

30

【0014】

固定電極 2 2 と振動板 2 1 との関係を平行平板とすれば、平行平板における静電容量 C は、次式 (1) によって表される。式 (1) において、Q は電荷、V は電圧、ε は誘電率、S は電極面積、d は電極間距離である。

【数 1】

【数 1】

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon S}{d} \quad \dots (1)$$

40

【0015】

以下では、このようなコンデンサマイクロフォンにおける信号検出方法について説明する。本実施の形態のような静電容量型のマイクロフォンでは、振動板の変動による静電容量値の変化を負荷抵抗にかかる電圧の信号の形にして取り出す。このように静電変換器として機能するマイクロフォンに関して、以下では、一般的な静電変換器の基本式の導出とその出力電圧について示す。

【0016】

[1. 基本式の導出]

50

ここでは、図 4 に示すような構成で考える。

【0017】

電極間に印加している直流電圧を E_0 、交流電圧を e 、電極 101 に作用する外力を f 、変位が発生する前の電極間隔を d_0 とする。また、直流電圧 E_0 を印加したときの電極 101 の変位を X 、微小変位を x とし、電極間に生じる静電容量を $C(x)$ とする。このとき、図 4 に示すモデル系に対してラグランジュの運動方程式を用いると、ラグランジアンおよび散逸関数はそれぞれ次式 (2)、(3) のようになる。なお、 m は電極 101 の質量、 v は電極 101 の変位の速さ、 k は電極 101 を弾性支持している部分（弾性部 12 に相当）のバネ定数、 Q_0 は直流電圧 E_0 を印加することで生じた電荷であり、 q は交流電圧 e により生じた電荷であるとする。また、 r_f は系における機械抵抗である。

10

【数 2】

【数 2】

$$L = T - U$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}k(X+x)^2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{(Q_0+q)^2}{C(x)} \quad \dots (2)$$

$$F = \frac{1}{2}r_f v^2 \quad \dots (3)$$

20

【0018】

平行平板電極の対向面の面積を S とすると、平行平板電極間に生じる静電容量の式は次式 (4) のように表される。また、機械系および電気系のラグランジュ運動方程式は順に式 (5)、(6) で表される。

【数 3】

【数 3】

$$C(x) = \varepsilon_0 \left(\frac{S}{d_0 - X - x} \right) \quad \dots (4)$$

30

$$f = \frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{dv} \right) - \frac{dL}{dx} + \frac{dF}{dv} \quad \dots (5)$$

$$E_0 + e = \frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{di} \right) - \frac{dL}{dq} + \frac{dF}{di} \quad \dots (6)$$

【0019】

式 (5) に式 (2)、(3) を代入し展開すると次式 (7) が得られる。さらに、式 (7) の右辺第 3 項は、式 (8) のように展開される。

【数 4】

40

【数 4】

$$f = \frac{d}{dt}(mv) + \left[k(X+x) + \frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{2} \cdot \frac{(Q_0+q)^2}{C(x)} \right\} \right] + r_f v \quad \dots (7)$$

$$\frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{2} \cdot \frac{(Q_0+q)^2}{C(x)} \right\} = -(E_0+e)^2 \left\{ \frac{\varepsilon_0 S}{2(d_0 - X - x)^2} \right\} = h(x, e) \quad \dots (8)$$

【0020】

さらに、式 (8) をテイラー展開すると次式 (9) が得られる。

50

【数 5】

【数 5】

$$\begin{aligned}
 h(x, e) &= h(0, 0) + \left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=0, e=0} \cdot x + \left. \frac{dh}{de} \right|_{x=0, e=0} \cdot e + R(x, e) \\
 &= -\frac{\varepsilon_0 S E_0^2}{2(d_0 - X)^2} - \frac{\varepsilon_0 S E_0^2}{(d_0 - X)^3} \cdot x - \frac{\varepsilon_0 S E_0}{(d_0 - X)^2} \cdot e \quad \dots (9)
 \end{aligned}$$

10

【0 0 2 1】

式 (9) の第 1 項は静的な項なので、これを取り除き式 (7) に代入してまとめると、最終的な式 (10) が機械系の基本式として得られる。なお、式 (10) において、A, B, C(0) は次式 (11) ~ (13) で表される。

【数 6】

【数 6】

$$f = \{j\omega m + r_f + \frac{k - B}{j\omega}\} \cdot v - A \cdot e \quad \dots (10)$$

20

$$A = \frac{\varepsilon_0 S E_0}{(d_0 - X)^2} = \frac{C_0 E_0}{d_0 - X} \quad \dots (11)$$

$$B = \frac{\varepsilon_0 S E_0^2}{(d_0 - X)^3} \quad \dots (12)$$

$$C(0) = \frac{\varepsilon_0 S}{d_0 - X} = C_0 \quad \dots (13)$$

【0 0 2 2】

30

同様に、式 (6) に式 (2), (3) を代入し展開すると、式 (14) が得られる。

【数 7】

【数 7】

$$\begin{aligned}
 E_0 + e &= \frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{di} \right) - \frac{dL}{dq} + \frac{dF}{di} \\
 &= \frac{(Q + q)}{C(x)} \\
 Q + q &= (E_0 + e)C(x) \\
 &= (E_0 + e) \left(\frac{\varepsilon_0 S}{d_0 - X - x} \right) = h'(x, e) \quad \dots (14)
 \end{aligned}$$

40

【0 0 2 3】

式 (14) をテイラー展開すると式 (15) が得られ、 $Q_0 = C_0 E_0$ を静的項として消去すると、式 (16) が得られる。よって、電気系の基本式は式 (17) となる。式 (17) をフェーザ表示すると、式 (18) のようになる。

【数 8】

【数 8】

$$\begin{aligned}
 h'(x, e) &= h(0, 0) + \left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=0, e=0} \cdot x + \left. \frac{dh}{de} \right|_{x=0, e=0} \cdot e + R(x, e) \\
 &= \frac{\varepsilon_0 S E_0}{d_0 - X} + \frac{\varepsilon_0 S E_0}{(d_0 - X)^2} \cdot x + \frac{\varepsilon_0 S}{d_0 - X} \cdot e \\
 &= C_0 E_0 + A \cdot x + C_0 \cdot e = Q_0 + q
 \end{aligned} \quad \dots (15)$$

10

$$q = A \cdot x + C_0 \cdot e \quad \dots (16)$$

$$i = \frac{dq}{dt} = A \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{d}{dt}(C_0 \cdot e) \quad \dots (17)$$

$$i = A \cdot v + j\omega C_0 \cdot e \quad \dots (18)$$

【0024】

[2. 出力電圧]

一般的に、実際に使用する状態においては平行平板電極間にかかる直流電圧 E_p は、図 5 に示すように何らかのインピーダンスを通じて供給される。このインピーダンスは、コンデンサ・マイクロフォンなどの応用においては通常大きな値を持っている。そのため、電極 101 の変位により静電容量が変化した場合、直流電圧 E_p も変化する。また、平行平板電極の静電容量 C_0 と抵抗 R_0 とによる時定数も相当に大きな値となるため、マイクロフォンとして使用する周波数範囲では電荷の移動はほとんど行われな

20

【0025】

このとき電気系の基本式において、

$$e = -R_0 i \quad \dots (19)$$

とでき、また、次式 (20) が成り立つので、式 (19)、(20) を式 (18) に代入することにより次式 (21) が得られる。この等価回路は図 6 のように書き表すことができる。

30

$$v = j\omega \cdot x \quad \dots (20)$$

【数 9】

【数 9】

$$e = -\frac{\frac{A}{C_0} x}{1 + \frac{1}{j\omega C_0 R_0}} \quad \dots (21)$$

40

【0026】

式 (20) で示されるような出力電圧は、マイクロフォン 1 に形成された 8 つの振動ユニット 2 のそれぞれから得られる。そして、振動ユニット 2 の数を多くするほど合計の出力は大きくなり、より高感度なマイクロフォンを得ることができる。従来のマイクロフォンでは、振動板および固定電極をウェハ基板に対して平行に形成しているので、振動板および固定電極の面積は、支持部等を形成する関係上、ウェハ基板面積よりもかなり小さくなる。

【0027】

50

一方、本実施の形態のマイクロフォン1では、振動板21および固定電極22をウェハ基板に対して垂直方向に形成しているため、振動ユニット2の個数を増やすことで、振動板21および固定電極22の面積を容易に大きくすることができる。そのため、従来のマイクロフォンよりも静電容量を大きくすることができ、より感度の良いマイクロフォンが可能となる。また、下部Si層30を厚くすることで、各振動板21および固定電極22の面積をより大きくすることができ、静電容量のさらなる拡大を図ることができる。

【0028】

ところで、図1に示すマイクロフォン1においては、8つの振動ユニット2は、振動板21の延在方向が放射方向となるように、円形状に配置されている。そのため、振動板21の法線方向にある音源からの音により敏感に反応しやすい。例えば、振動ユニット2-1の場合には、振動板21の法線はx方向を向いているので、x方向からの音、特にxマイナス方向からの音に対して振動しやすい。逆に、振動板ユニット2-5の場合には、振動板21が固定電極22に対してxプラス側に配置されているので、xプラス方向からの音に対して振動しやすい。また、振動ユニット2-3の場合、振動板21の法線はy方向を向いているので、y方向からの音、特にyプラス方向からの音に対して振動しやすい。

【0029】

このように、8つの振動ユニット2は、それぞれ指向方向が異なっており、音源の方向に応じて、各々の振動ユニット2の出力電圧が異なる。すなわち、マイクロフォン1は、各方向からの音をより高感度に検出することができるとともに、各振動ユニット2の出力電圧を比較することで、音源方向を特定することもできる。

【0030】

各振動ユニット2は、図7に示すように電圧 E_0 の電源に並列接続される。各振動ユニット2の固定電極21には抵抗 R_0 が直列にそれぞれ設けられている。抵抗 R_0 の電圧 $e_A \sim e_H$ は、音源方向特定部3の電圧検出回路300によって検出する。各電圧 $e_A \sim e_H$ は、式(21)の静電容量 C_0 を各静電容量 $C_{A0}, \sim C_{H0}$ で置き換えることにより得ることができる。各固定電極22の容量変化や変化の周期はこれらの電圧 $e_A \sim e_H$ に反映されるため、方向特定回路201では、これらの電圧 $e_A \sim e_H$ に基づいて音源の方向を特定する。

【0031】

例えば、図1の中央支持部32に関して対称な位置にある一対の振動ユニット2毎に出力電圧を比較する。仮に、振動ユニット2-1, 2-5のペアからの出力電圧が、他のペアからの出力電圧よりも大きい場合には、x方向(プラス方向またはマイナス方向)に音源があると判定できる。さらに、振動ユニット2-1の出力と振動ユニット2-5の出力とを比較し、振動ユニット2-1の出力の方が大きい場合には、xマイナス方向に音源があると判定することができる。

【0032】

次に、図1に示したマイクロフォンの製造工程について、図8~12を参照して説明する。以下では、図1に示したマイクロフォン1の内の、振動ユニット2の部分を中心に説明する。また、弾性部23bの形状については、図3(a)に示す構造とした場合を例に説明する。

【0033】

まず、図8(a)に示す工程(a)では、下部Si層30, SiO₂層20, 上部Si層10の3層構成を成すSOIウェハ100を準備する。各層30, 20, 10の厚さは、例えば、順に500 μ m, 1 μ m, 25 μ mのように設定される。図8(b)の工程(b)では、上部Si層10の表面にレジスト41を塗布する。レジスト41は、例えば、スピncerターにより3000rpm, 30secの条件で塗布され、90℃, 5minの条件でバークされる。

【0034】

図8(c)に示す工程(c)では、支持軸21aの四隅部分に対応したパターン15を有するマスクを用いて、レジスト41に対して紫外線露光を4.0sec行い、現像を1

10

20

30

40

50

． 5 m i n 行って、パターン 1 5 部分のレジスト 4 1 を除去する。その後、I C P - R I E (inductively coupled plasma - reactive ion etching) により、パターン 1 5 部分の上部 S i 層 1 0 をエッチングし、S i O₂ 層 2 0 の面を露出させる。これは、図 2 に示す振動板 2 1 と支持軸 2 1 a との間の S i O₂ 層 2 0 が最終的に残って、振動板 2 1 と支持軸 2 1 a とを一体状態とするために行うものである。なお、図示しないが、固定電極 2 2 と梁 2 4 との間の S i O₂ 層 2 0 に関しても、同様の処置が採用される。

【0035】

I C P - R I E は、0 . 0 5 ~ 1 P a の比較的低い圧力で、高密度プラズマ中のプロセスガスのイオンと試料表面との化学反応を利用して試料をエッチングするものであり、異方性の高いエッチング加工ができる。プロセスガスとしては、C C l₂ F₂ あるいは C F₄ 等の酸化性ガスが用いられる。

10

【0036】

図 8 (d) に示す工程 (d) では、硫酸過水 (H₂ S O₄ + H₂ O₂) により 9 0 ° C - 5 m i n 洗浄してレジスト 4 1 を除去し、強フッ酸により露出している S i O₂ 層 2 0 をエッチング除去する。その後、L P C V D (low pressure chemical vapor deposition) により、多結晶シリコン膜 4 0 を 6 0 0 n m 堆積させる。図 8 (d) は、L P C V D 処理後の基板断面を示す図であり、図 8 (c) の D 2 - D 2 断面に対応する断面を示したものである。パターン 1 5 部分の S i 層 1 0 および S i O₂ 層 2 0 にはエッチングにより溝が形成されており、その溝内の表面にも多結晶シリコン膜 4 0 が形成されている。

【0037】

20

L P C V D は、1 0 ~ 1 0³ P a の減圧下で試料を加熱し、熱エネルギーによる気相化学反応で試料表面に膜を生成させる成膜方法である。この方法は、膜の着き回りに優れ、均一な膜厚が得られるという長所がある。多結晶シリコンの成膜では、プロセスガスとして S i C l₄ + H₂ あるいは S i H₄ が用いられる。多結晶シリコン膜 4 0 を成膜するのは、支持軸 3 2 1 と振動板 3 2 との結合を強化するためである。さらに、結合位置にコンタクトホールを設けておき、多結晶シリコン膜を成膜すれば、アンカー効果が期待できる。

【0038】

多結晶シリコン膜 4 0 の成膜後に、O C D レジストをスピナーにより 4 0 0 0 r p m , 3 0 s e c の条件で塗布し、1 5 0 ° C , 3 0 m i n の条件でベークした後に、1 0 0 0 ° C , 3 0 m i n の条件でリン (P) の熱拡散処理を行う。多結晶シリコン膜 4 0 へのリン (P) の熱拡散により、多結晶シリコン膜 4 0 の電気抵抗は小さくなる。熱拡散処理の後に、B H F 液により 5 m i n 洗浄し、O C D レジストを除去する。

30

【0039】

図 9 に示す工程 (e) では、厚膜レジストによるレジストパターン 4 2 を形成する。レジストパターン 4 2 は、梁 2 3 , 2 4 に相当する形状を有している。厚膜レジストは、スピナーにより 2 0 0 0 r p m , 2 5 s e c の条件で塗布され、その後、1 1 0 ° C , 1 0 m i n の条件でベークされる。そして、紫外線露光を 6 0 s e c 行い、現像を 2 m i n 行うことにより図 9 (a) に示すようなレジストパターン 4 2 が形成される。図 9 (b) は D 3 - D 3 断面図である。

40

【0040】

図 1 0 に示す工程 (f) では、I C P - R I E により、上部 S i 層 1 0 と多結晶シリコン膜 4 0 をエッチングする。その結果、振動板 2 1 に関しては、梁 2 3 、弾性部 2 3 b および支持軸 2 1 a に対応する部分が形成される。また、固定電極 2 1 に関しては、梁 2 4 に対応する部分が形成される。なお、図 1 0 の上側に示した振動板 2 1 に関する断面図は、図 9 の D 3 - D 3 断面に対応する断面図であって、図 1 0 では弾性部 2 3 b に対応する部分は図示されていない。以下、同様である。

【0041】

図 1 1 に示す工程 (g) では、硫酸過水により 9 0 ° C - 5 m i n 洗浄して厚膜レジスト 4 2 を除去する。最表面には多結晶シリコン膜 4 0 が残る。その後、工程 (f) でエッチ

50

ングした側の面を保護するために、表面側に再び厚膜レジスト（保護用レジスト）を塗布し、バークする（図12（a）参照）。

【0042】

上記の一連の工程でマイクロフォン1の上側の構造が一通り完成し、次に、下側の構造を作製する。図12（a）の工程（h）では、真空蒸着により下部Si層30にアルミニウム（Al）層31を厚さ0.1μm形成する。図12（b）の工程（i）では、Al層31の表面にレジストをスピナーにより、3000rpm、30secの条件で塗布する。そして、90℃、5minの条件でバークした後、紫外線露光を4.0sec、現像を1.5min行って、レジストパターン43を形成する。

【0043】

図13はレジストパターン43を示す図である。レジストパターン43には、振動板21に対応するパターン、固定電極22に対応するパターン、ベース31に対応するパターン、中央支持部32に対応するパターンおよび支柱33に対応するパターンが形成されている。

【0044】

図12（c）の工程（j）では、混酸P液（ $H_3PO_4 + HNO_3 + CH_3COOH + H_2O_2$ ）に2min浸漬することにより、Al層31にパターン形成のためのエッチングを行い、さらに、RIE、すなわち酸素ガスを用いたアッシングにより、レジスト43を除去する。

【0045】

図14（a）の工程（k）では、ICP-RIEによりAl層31をマスクとして下部Si層30をSiO₂層20までエッチングする。これにより、下部Si層30により、振動板21、固定電極22、ベース31、中央支持部32および支柱33が形成される。図14（b）に示す工程（l）では、硫酸過水により90℃-5min洗浄した後、強フッ酸により不要なSiO₂層20を除去する。これにより、振動板21と梁23との間のSiO₂層20が除去され、振動板21が梁23から完全に分離される。最後に、電極パッド23c、24cを含む梁23、24等の上面にAl金属層50を形成する。

【0046】

なお、前述したように、振動板21に関する断面図は、図9のD3-D3断面に対応する断面図なので、弾性部23bの部分については図示してきなかったが、図14（c）の破線で示すように、支持軸21aと梁23との間に弾性部23bが形成されている。

【0047】

図15は、振動ユニット2の配置に関する他の例を示す図である。図1に示した配置では、振動板21の延在方向が放射方向となるように各振動ユニット2を円形状に配置したが、図15（a）に示す配置例では、振動板21の延在方向を放射方向に対して斜めに傾けた。図15（b）に示す配置例では、平行に配列した3つの振動板ユニット2を1つのユニット群とし、4つのユニット群を十字状に配置した。

【0048】

図15（c）に示すマイクロフォン1の場合には、図15（a）に示すユニット群を1つだけ形成した。この場合、y方向に指向性を有するマイクロフォンとなる。なお、各振動ユニット2の振動板21の延在方向が全て同じ方向なので、図15（a）や図15（b）に示した配置例のように音源方向を特定することは難しい。

【0049】

なお、本実施の形態では、垂直に配置されて振動板21の中央部分を弾性支持するようにしているので、音源の方向に応じて振動板21の法線が音源方向を向くように自動的に傾く（後述する図18（a）を参照）。そのため、音源の音波をより効率的に受けることができると共に、マイクロフォン全体の向きを変えてやらなくとも、音源の位置に合わせて自動的に指向方向の調整を行うことができる。

【0050】

－第2の実施の形態－

10

20

30

40

50

図16, 17は、本発明によるマイクロフォンの第2の実施の形態を示す図である。図16はマイクロフォン1の平面図であり、振動板および固定電極が基板面に平行な振動ユニット7が基板中央に配置され、振動ユニット7の周囲に4つの振動ユニット2が配置されている。図7はD1-D1断面図であり、振動ユニット7の断面を示す。

【0051】

振動ユニット7は特許文献1に記載されているものと同様の形成であり、下部Si層30により形成される円形の振動板72と、扇形をした4つの固定電極13A~13Dを備えている。ベース31には、円形開口711が貫通するように形成されている。ベース31の上面側には、円形開口711上に架け渡されるように4本のブリッジ11が十字状に配置されている。

10

【0052】

各ブリッジ11の一端は、ベース31上に固定されている。各ブリッジ11の他端には、それぞれ弾性部12が設けられている。各弾性部12は、ブリッジ11と振動板72に設けられた支持軸321との間を弾性的に連結している。弾性部12は、図3に示す弾性部23bと同様の構造をしており、弾性部12の場合には、基板面に対して垂直方向に撓みやすい構造となっている。支持軸321は振動板72の中央から垂直に突出するように形成されている。その結果、ブリッジ11は、振動板72を懸架するような形態でその中心部分を弾性的に支持している。

【0053】

ベース31の上面には、開口711の上面を覆うように4つの固定電極13A~13Dが設けられている。各固定電極13A~13Dは中心角が90度の扇形をしており、配線部131および端子部132が各々設けられている。ブリッジ11および固定電極13A~13DはSOI基板の上部Si層10で形成されており、上部Si層10の上面には多結晶シリコン膜40およびアルミ膜50が順に形成されている。なお、振動ユニット7の部分の加工方法については、特許文献1等に記載されていて周知であるので、ここでは説明を省略する。

20

【0054】

ダイアフラムである振動板72は音圧を受けると振動し、固定電極13A~13Dと振動板72との間のギャップが音波の周期に従って変化する。また、支持軸321とブリッジ11とが弾性部12によって連結されているため、音圧によって振動板72に外力が加わると弾性部12が撓むことになる。例えば、音源がマイクロフォン1の軸方向（すなわち、円形開口711の軸方向）にある場合には、各弾性部12がほぼ均等に撓んで振動板72全体がマイクロフォン1の軸方向（すなわち、円形開口711の軸方向）に平行状態で変位（振動）することになる。各固定電極13A~13Dと振動板72との間の静電容量は、振動板72の振動や変位に応じて変化する。

30

【0055】

図16のマイクロフォン1では、従来型の振動ユニット7の周囲の基板スペースに垂直型の振動ユニット2を形成し、振動板の面積、すなわち静電容量の増加を図っている。それにより、従来型とほぼ同一の基板面積であっても静電容量をより大きくすることができ、マイクロフォンの高感度化を図ることができる。また、振動板21の延在方向がx方向であるユニット2と、延在方向がy方向であるユニット2とをそれぞれ設けたので、x方向およびy方向からの音波に対する感度が向上すると共に、音源の特定性能がより向上する。

40

【0056】

なお、図16, 17に示した例では、弾性部12を支持軸321の近傍に配置したが、ブリッジ11の支持軸321から離れた位置に配置しても良い。この場合には、振動板72が斜めに傾き難くなって音源方向の特定が困難となるが、垂直型の振動ユニット2を設けることで、感度向上と共に音源方向の特定が可能になる。

【0057】

－第3の実施の形態－

50

図18、19は、本発明によるマイクロフォンの第3の実施の形態を説明する図である。上述した振動ユニット2では、振動板21の中央部分を弾性支持しているのので、図18(a)に示すように、音源が振動板21の法線に対して斜め方向にある場合、振動板21上の位置によって音源からの音波の到達時間や音圧が違うことから、振動板21の法線が音源方向を向くように振動板21が傾く。そして、傾いた状態で音波の出力に応じて振動板21が振動することになる。

【0058】

そこで、図19に示す振動ユニットでは、固定電極を2つに分割した。すなわち、振動板21に対向するように、一对の固定電極82a、82bが形成されている、固定電極82aは中央支持部32に設けられた梁84aにより支持され、固定電極82bはベース31に設けられた春84bにより支持されている。梁84a、84bには、それぞれ電極パッド84cが形成されている。振動板21側の構成は、前述した振動ユニット2の場合と同様である。

【0059】

このように、振動板21に対して分割された2つの固定電極82a、82bを設けると、図18(b)のように斜め方向に音源がある場合に、振動板21の傾きのために音源に近い固定電極82aの方がギャップが狭くなる。そのため、固定電極82a側の方が、静電容量が大きくなる。図20は、図7と同様のブロック図であり、各固定電極82a、82bに接続された抵抗 R_0 の電圧 e_a 、 e_b を検出して比較することにより、固定電極82aと振動板21との間の静電容量と、固定電極82bと振動板21との間の静電容量との比を求めることができる。この静電容量の比から、音源方向を特定することができる。すなわち、図19のように固定電極を分割することにより、1つの振動ユニットをマイクロフォンに設けるだけで音源方向を特定することができる。

【0060】

－第4の実施の形態－

上述した実施の形態のようなマイクロフォンの場合、振動板と固定電極とのギャップをより狭く設定することにより、より感度を向上させることができる。しかし、上述した実施の形態に示す構成の場合、加工可能なギャップ寸法はエッチングプロセスによって決まってしまう。そこで、第4の実施の形態では、ギャップ寸法が可変な構成を振動ユニットに設けた。

【0061】

図21に示す振動ユニット9において、固定電極および振動板に関する構成は、図19に示すものと同様である。弾性部23bの構造は、幅の狭い梁、すなわち、図3(a)に示すような梁231を、2本並べて設けた構造となっている。振動ユニット9では、振動板21を固定電極84a、84b側に移動してギャップを調整するために、固定櫛歯電極91と可動櫛歯電極92とから成る櫛歯アクチュエータを備えている。

【0062】

電極パッド91c、92cを介して櫛歯アクチュエータに電圧を印加し、固定櫛歯電極91と可動櫛歯電極92との間に電位差を与えると、固定櫛歯電極91に対して可動櫛歯電極92が移動する。可動櫛歯92と振動板21の支持軸21aとは連結部93によって連結されており、可動櫛歯92が固定櫛歯91の方へと引き寄せられるように電圧を印加すると、振動板21と固定電極82a、82bとのギャップが狭くなる。その結果、静電容量が大きくなって、マイクロフォンとしての感度が向上する。振動板21と固定電極82a、82bとのギャップをどの程度に調整するかは、櫛歯アクチュエータに印加する電圧を調整することで行われる。なお、可動櫛歯電極92と振動板21とは同電位に設定され、電極パッド84c、95c間に電圧を印加することで、固定電極82a、82bに静電容量測定用の電圧が印加される。固定電極82a、82b側には、図20に示した抵抗 R_0 が設けられており、抵抗 R_0 の電圧を検出することで静電容量の変化が検出される。

【0063】

第4の実施の形態では、ギャップ寸法を調整する機構として櫛歯型の静電アクチュエー

10

20

30

40

50

タを例示したが、櫛歯型に限らず適用することができる。さらに、静電アクチュエータに限らず、例えば熱アクチュエータを調整機構として用いても良い。熱アクチュエータでは、電流による熱でバイモルフが変形することを利用してアクチュエータ機能を持たせるようにしている。

【0064】

上述した実施の形態によれば、以下のような作用効果を奏することができる。

(1) 本発明によるマイクロフォンでは、図2に示すように、ベース31の開口311上に架け渡されている梁23と、弾性部23bを介して梁23により弾性支持され、開口311内にてベース31の基板面に対して垂直に配置されている振動板21と、開口311上に架け渡されている梁24により支持され、開口311内にて振動板21に隙間を介して対向配置されている固定電極22とを備えている。そのため、振動ユニット2の形成に必要とされる基板面積に対して、振動板21および固定電極22の面積をより大きくすることが可能となる。その結果、マイクロフォンの小型化を図りつつ、感度向上を図ることができる。

10

【0065】

(2) 図19に示すように、固定電極を、梁84a、84bによって各々支持された2つの固定電極82a、82bに分割することにより、各固定電極82a、82bに関する静電容量を比較することにより、振動板21の傾き、すなわち音源の方向を特定することができる。

20

【0066】

(3) 振動板と固定電極との隙間の最小寸法は、エッチング処理で加工可能なアスペクト比によって決まってしまうため、エッチング深さが深くなるほど隙間が大きくならざるを得ない。しかし、図21に示すように、振動板21と固定電極82a、82bとの隙間を調整する隙間調整機構(固定櫛歯電極91、可動櫛歯電極92)を設けることで、隙間をより小さくして感度向上を図ることができる。

【0067】

(4) 図1に示すように、複数の振動ユニット2を、各振動板21の法線方向が異なるように複数配置することにより、音源方向の特定が可能になる。

【0068】

(5) 図16に示すように、従来の基板面に平行に振動板と固定電極とを形成したマイクロフォンにおいて、基板周辺部の空きスペースに垂直型の振動ユニット2を形成することにより、マイクロフォンが大きくなるのを極力抑えつつ、静電容量の増大、すなわち感度向上を図ることができる。

30

【0069】

以上の説明はあくまで一例であり、本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施形態の構成に何ら限定されるものではない。さらに、上述した実施形態と変形例の一つ、もしくは複数の組み合わせることも可能である。また、変形例をどのように組み合わせることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0070】

40

【図1】第1の実施の形態のマイクロフォンを示す図であり、(a)は平面図、(b)はB-B断面図である。

【図2】振動ユニット2を説明する図であり、(a)は平面図、(b)はA1-A1断面図、(c)はA2-A2断面図、(d)はA3-A3断面図である。

【図3】弾性部23bの具体例を示す図であり、(a)は第1の例、(b)は第2の例である。

【図4】平行平板型マイクロフォンの基本式導出を説明する図である。

【図5】出力電圧を説明する図である。

【図6】図5の等価回路を示す図である。

【図7】音源方向特定を説明するブロック図である。

50

【図 8】 製造工程の工程 (a) ~ (d) を説明する図である。

【図 9】 製造工程の工程 (e) を説明する図である。

【図 10】 製造工程の工程 (f) を説明する図である。

【図 11】 製造工程の工程 (g) を説明する図である。

【図 12】 製造工程の工程 (h) ~ (j) を説明する図である。

【図 13】 レジストパターン 43 を示す図である。

【図 14】 製造工程の工程 (k) ~ (m) を説明する図である。

【図 15】 振動ユニット 2 の配置に関する他の例を示す図である。

【図 16】 本発明によるマイクロフォンの第 2 の実施の形態を示す図である。

【図 17】 図 16 の D1-D1 断面図である。

【図 18】 音源方向による振動板 32 の傾き発生を説明する図であり、(a) は振動ユニット 2 の場合を示し、(b) は固定電極を 2 分割した場合を示す。

【図 19】 第 3 の実施の形態における振動ユニットを示す図であり、(a) は平面図、(b) は C1-C1 断面図、(b) は C2-C2 断面図である。

【図 20】 音源方向特定を説明するブロック図である。

【図 21】 本発明によるマイクロフォンの第 4 の実施の形態を示す図であり、(a) は平面図、(b) は裏面側から見た図である。

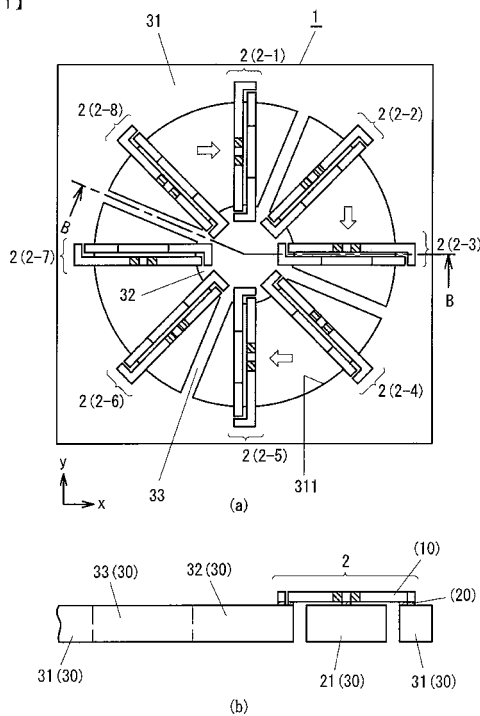
【符号の説明】

【0071】

1: マイクロフォン、2, 9: 振動ユニット、3: 音源方向特定部、11: ブリッジ、12, 23b: 弾性部、13A~13D, 22, 23A~23D, 82a, 82b: 固定電極、21, 72: 振動板、23, 24, 84a, 84b: 梁、31: ベース、91: 固定櫛歯電極、92: 可動櫛歯電極、300: 電圧検出回路、301: 方向特定回路、232, 233, 322, 323: 櫛歯電極、311, 711: 開口、

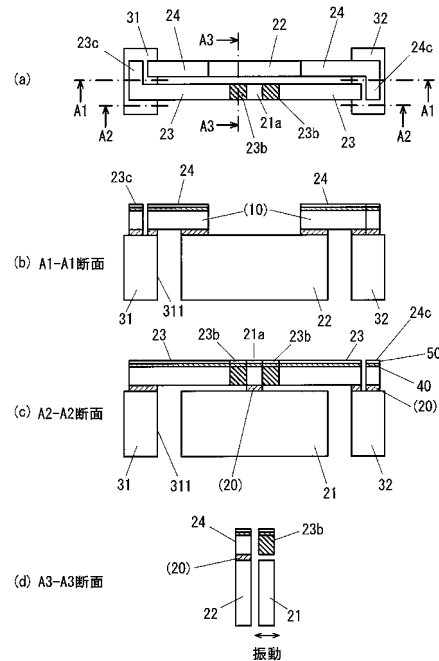
【図 1】

【図 1】



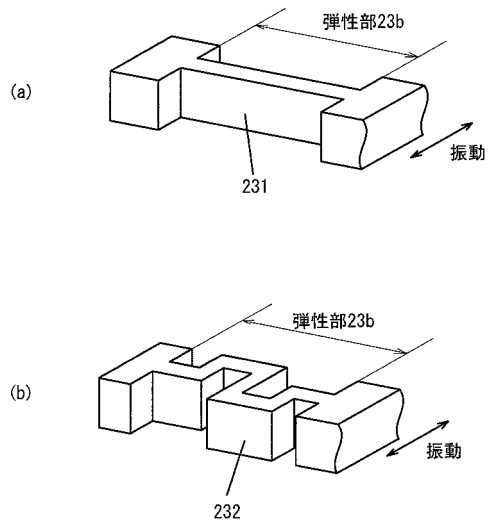
【図 2】

【図 2】



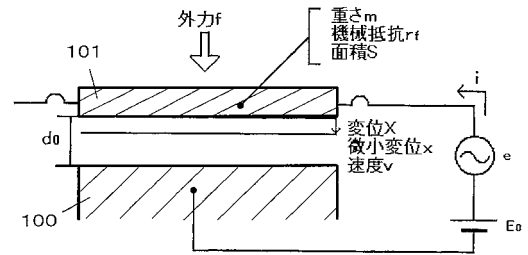
【図 3】

【図 3】



【図 4】

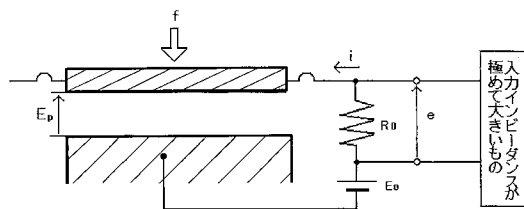
【図4】



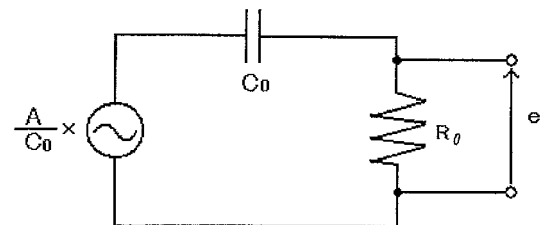
【図 5】

【図 6】

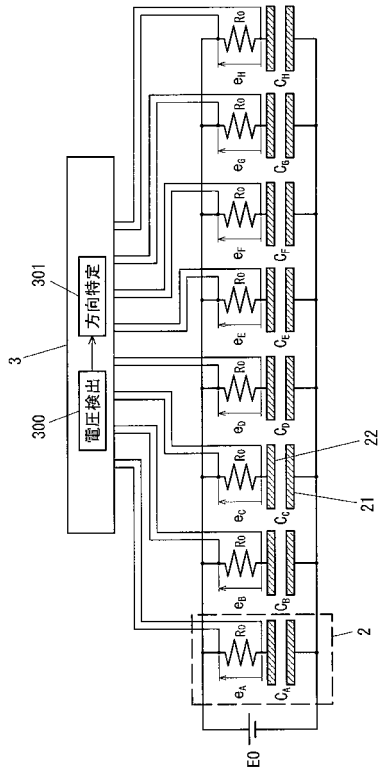
【図5】



【図6】



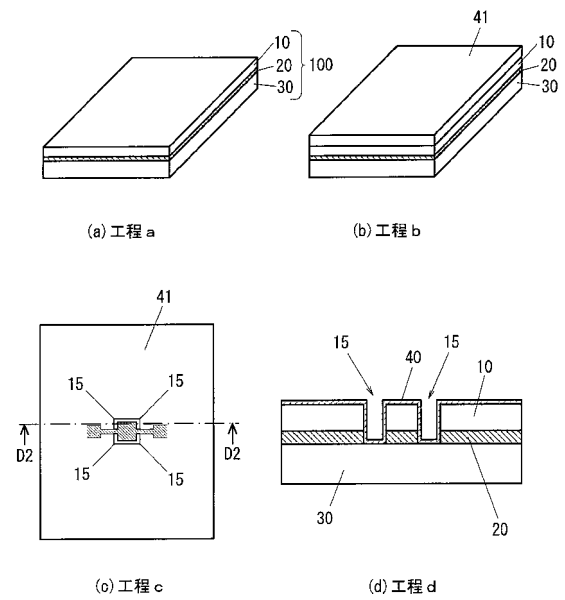
【图 7】



【图7】

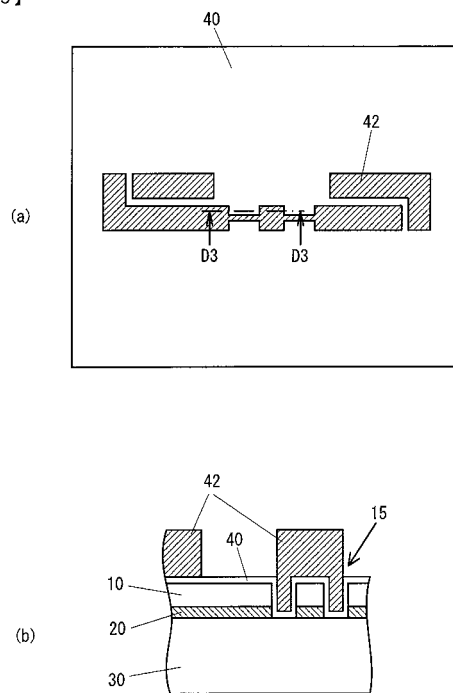
【图 8】

【圖8】



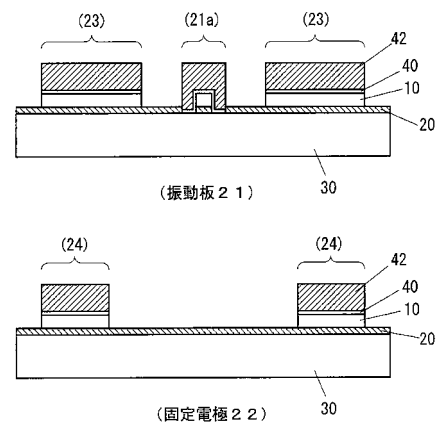
【图 9】

【圖9】



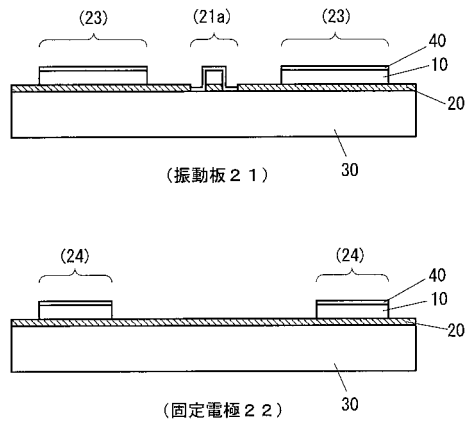
【図 10】

【図 10】



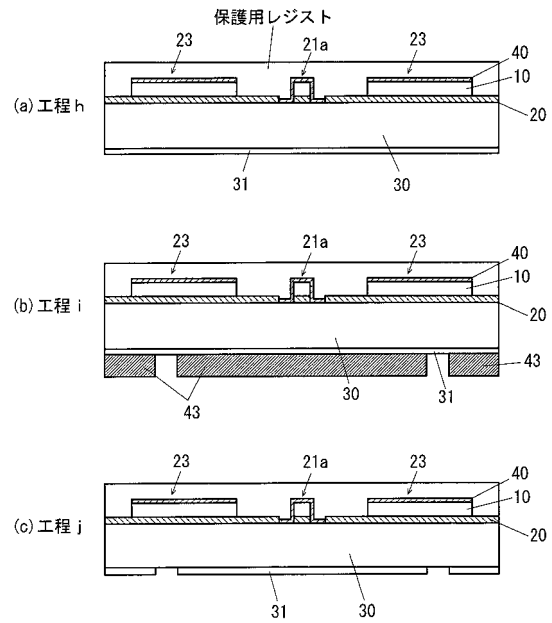
【図 1 1】

【図 1 1】



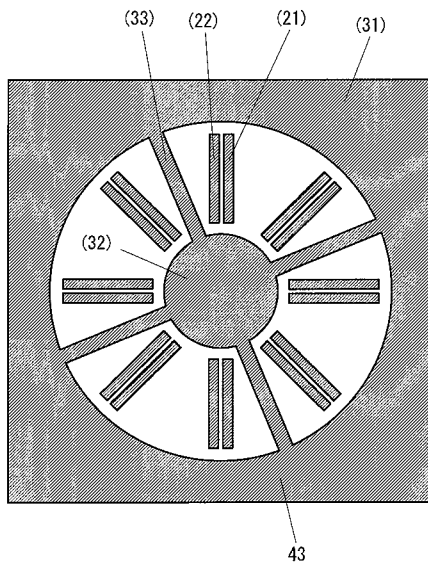
【図 1 2】

【図 1 2】



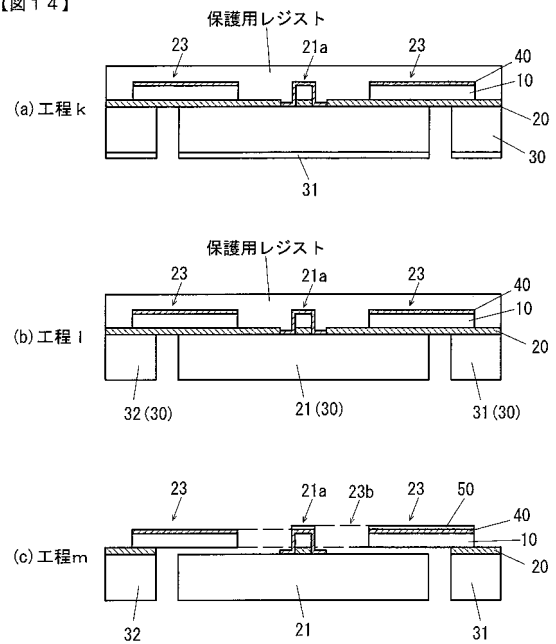
【図 1 3】

【図 1 3】



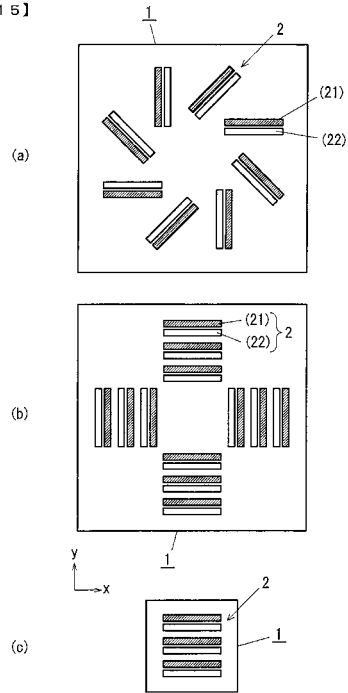
【図 1 4】

【図 1 4】



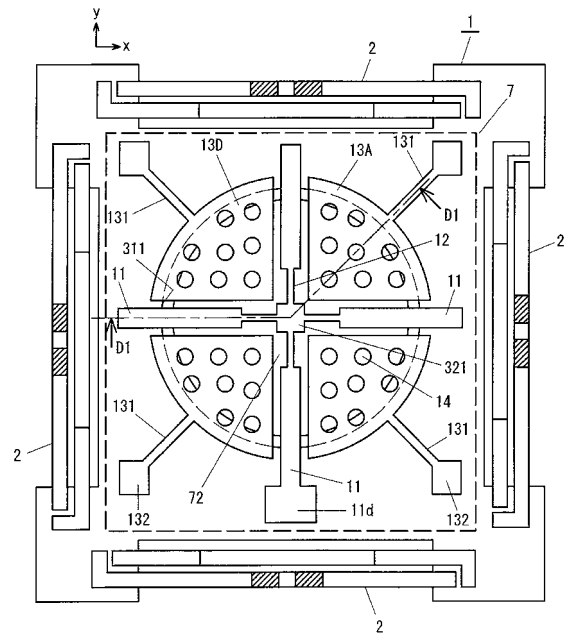
【図 15】

【図 15】



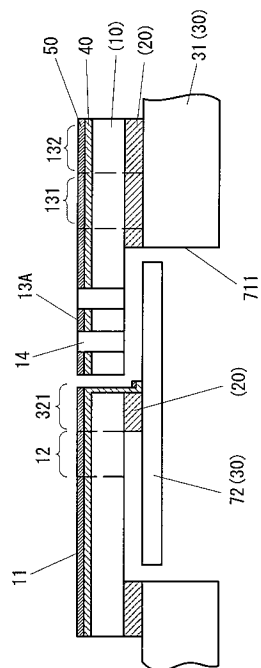
【図 16】

【図 16】



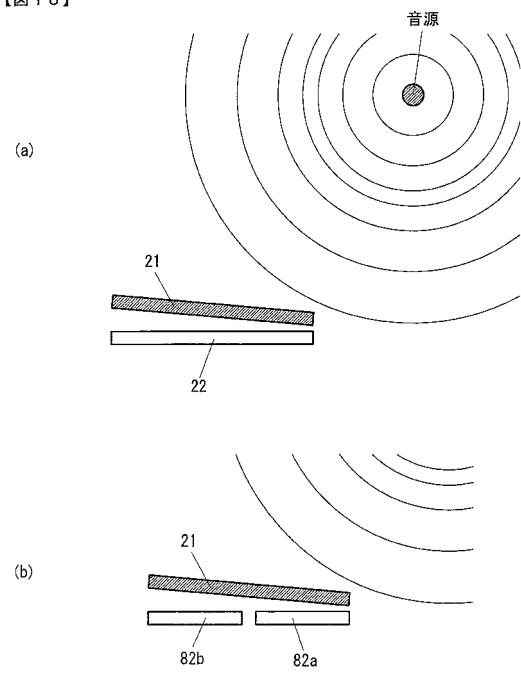
【図 17】

【図 17】



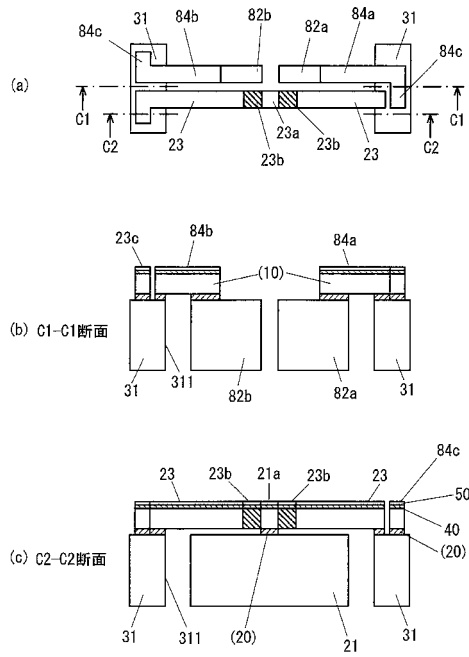
【図 18】

【図 18】



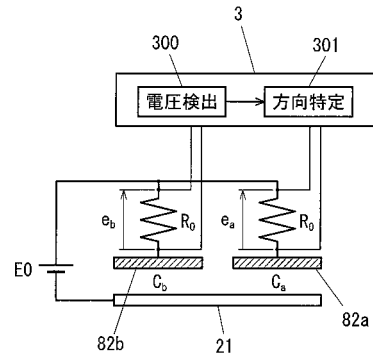
【図 19】

【図 19】



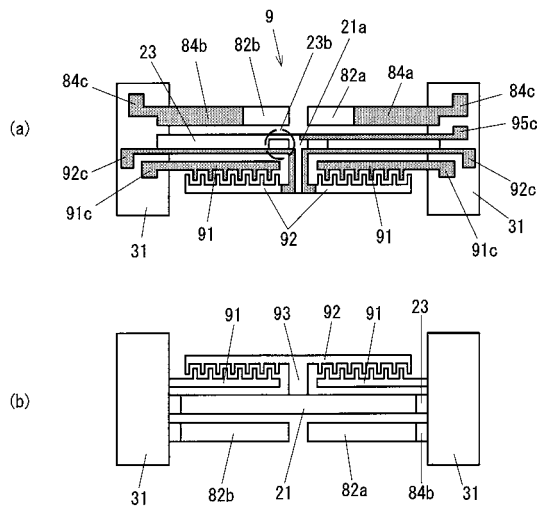
【図 20】

【図 20】



【図 21】

【図 21】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2008-259062 (JP, A)
特開2008-259061 (JP, A)
特開2008-252847 (JP, A)
特開2005-88187 (JP, A)
特開2007-174165 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04R 19/04
H01L 29/84