

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7069742号

(P7069742)

(45)発行日 令和4年5月18日(2022.5.18)

(24)登録日 令和4年5月10日(2022.5.10)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 J 49/06 (2006.01)

H 0 1 J

49/06

2 0 0

H 0 1 J 49/42 (2006.01)

H 0 1 J

49/42

1 0 0

G 0 1 N 27/624 (2021.01)

G 0 1 N

27/624

請求項の数 9 (全31頁)

(21)出願番号	特願2018-8544(P2018-8544)	(73)特許権者	000006747
(22)出願日	平成30年1月23日(2018.1.23)		株式会社リコー
(65)公開番号	特開2019-129015(P2019-129015 A)	(72)発明者	丹 国広
(43)公開日	令和1年8月1日(2019.8.1)		東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株
審査請求日	令和2年10月23日(2020.10.23)	(72)発明者	窪田 進一
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株
		(72)発明者	氏本 勝也
			東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株
		審査官	後藤 大思

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 イオンフィルタ、イオン検出装置及びイオンフィルタの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

支持層と、

前記支持層上に積層された絶縁層と、

前記絶縁層上に積層され、積層方向に直交する面内で互いの複数の 歯が噛み合うように

対向して配置された第 1 及び第 2 の 形電極を含む電極層と、を備え、

隣り合う前記第 1 の 形電極の前記 歯と前記第 2 の 形電極の前記 歯との間の隙間の

少なくとも一部に対応する前記絶縁層及び前記支持層の領域が存在せず、前記積層方向に

イオンが通過することができる通路が形成され、

前記電極層の少なくとも一部は、前記第 1 の 形電極の少なくとも一部と、前記第 2 の

形電極の少なくとも一部と、前記第 1 の 形電極に導通する部分と、前記第 2 の 形電極

に導通する部分と、の少なくとも 1 つを含み、前記少なくとも一部に対応する前記支持層

の領域が存在せず、

前記第 1 及び第 2 の 形電極それぞれは、前記複数の 歯を連結する連結部を有し、

前記支持層の、前記第 1 及び第 2 の 形電極の少なくとも一方の前記連結部に対応する領

域の少なくとも一部が存在せず、

前記複数の 歯の少なくとも一部に対応する前記絶縁層及び前記支持層の領域が存在する

リブ部を有することを特徴とするイオンフィルタ。

【請求項 2】

前記電極層は、前記第 1 の 形電極に導通し、配線が接続される第 1 の電極パッド及び前

記第 2 の 形電極に導通し、配線が接続される第 2 の電極パッドの少なくとも一方を含み、前記支持層の、前記第 1 及び第 2 の電極パッドの前記少なくとも一方に対応する領域の少なくとも一部が存在しないことを特徴とする請求項 1 に記載のイオンフィルタ。

【請求項 3】

前記支持層の、前記第 1 及び第 2 の 形電極の少なくとも一方の前記複数の 歯の先端部に対応する領域が存在することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のイオンフィルタ。

【請求項 4】

前記支持層と前記絶縁層と前記電極層とが、SOI (SOI: Silicon On Insulator) 基板を用いて作製されていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のイオンフィルタ。

10

【請求項 5】

被測定分子をイオン化するイオン発生器と、
前記イオン発生器からのイオンを選別する請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載のイオンフィルタと、
前記イオンフィルタで選別されたイオンを検出する検出器と、を備えるイオン検出装置。

【請求項 6】

前記イオンフィルタは電池で駆動されることを特徴とする請求項 5 に記載のイオン検出装置。

【請求項 7】

支持層と絶縁層と電極層とが積層された基板を用いたイオンフィルタの製造方法であって、
前記電極層に、積層方向に直交する面内で互いの複数の 歯が噛み合うように対向して配置された第 1 及び第 2 の 形電極を形成する工程と、
隣り合う前記第 1 の 形電極の前記 歯と前記第 2 の 形電極の前記 歯との間の隙間の少なくとも一部に対応する前記絶縁層及び前記支持層の領域を除去して、前記積層方向にイオンが通過することができる通路を形成する工程と、
前記第 1 の 形電極の少なくとも一部と、前記第 2 の 形電極の少なくとも一部と、前記第 1 の 形電極に導通する部分と、前記第 2 の 形電極に導通する部分と、の少なくとも 1 つを含む前記電極層の少なくとも一部に対応する前記支持層の領域を除去する工程と、
前記第 1 及び第 2 の 形電極それぞれは、前記複数の 歯を連結する連結部を有し、前記支持層の、前記第 1 及び第 2 の 形電極の少なくとも一方の前記連結部に対応する領域の少なくとも一部を除去する工程と、
前記複数の 歯の少なくとも一部に対応する前記絶縁層及び前記支持層の領域を除去せずリブ状に残す工程と、を含むイオンフィルタの製造方法。

20

30

【請求項 8】

前記基板は、SOI (SOI: Silicon On Insulator) 基板であることを特徴とする請求項 7 に記載のイオンフィルタの製造方法。

【請求項 9】

前記連結部と前記第 1 の電極パッドまたは前記第 2 の電極パッドとの間の部分に対応する前記絶縁層及び前記支持層の領域が存在するリブ部を有することを特徴とする請求項 2 に記載のイオンフィルタ。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、イオンフィルタ、イオン検出装置及びイオンフィルタの製造方法に係り、更に詳しくは、イオンを選別することができるイオンフィルタ、該イオンフィルタを備えるイオン検出装置、及びイオンを選別することができるイオンフィルタの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

気体や気化した化学物質を分析する方法の一つとして、電界非対称波形イオン移動度分光分析 (Field Asymmetric Ion Mobility Spectrometry)

50

entry : 以下では、「F A I M S」ともいう)と呼ばれる方法がある(例えば、特許文献1~3参照)。

【0003】

この方法は、イオン化された気体分子や化学物質(以下では、これらを総称して「化学物質等」ともいう)を、電極間に電圧が印加されるイオンフィルタに通して移動度の差によって選別し、検出器で検出することにより、該化学物質等を特定するものである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1~3に開示されたF A I M Sに用いられる従来の分析装置(以下では、「イオン検出装置」ともいう)が有するイオンフィルタでは、電極間に印加された電圧の波形鈍りを抑制することに関して改善の余地があった。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、支持層と、前記支持層上に積層された絶縁層と、前記絶縁層上に積層され、積層方向に直交する面内で互いの複数の歯が噛み合うように対向して配置された第1及び第2の形電極を含む電極層と、を備え、隣り合う前記第1の形電極の前記歯と前記第2の形電極の前記歯との間の隙間の少なくとも一部に対応する前記絶縁層及び前記支持層の領域が存在せず、前記積層方向にイオンが通過することができる通路が形成され、前記電極層の少なくとも一部は、前記第1の形電極の少なくとも一部と、前記第2の形電極の少なくとも一部と、前記第1の形電極に導通する部分と、前記第2の形電極に導通する部分と、の少なくとも1つを含み、前記少なくとも一部に対応する前記支持層の領域が存在せず、前記第1及び第2の形電極それぞれは、前記複数の歯を連結する連結部を有し、前記支持層の、前記第1及び第2の形電極の少なくとも一方の前記連結部に対応する領域の少なくとも一部が存在せず、前記複数の歯の少なくとも一部に対応する前記絶縁層及び前記支持層の領域が存在するリブ部を有することを特徴とするイオンフィルタである。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、電極間に印加された電圧の波形鈍りを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】一実施形態に係るイオン検出装置の概略構成図である。

【図2】イオンの移動度の電界強度依存性を説明するための図である。

【図3】イオンフィルタ部の電極間における3つのイオン(イオンA、イオンB、イオンC)の移動の軌跡を説明するための図(その1)である。

【図4】電極Aと電極Bとの間に発生させる電界波形を説明するための図である。

【図5】イオンフィルタ部の電極間における3つのイオン(イオンA、イオンB、イオンC)の移動の軌跡を説明するための図(その2)である。

【図6】一実施形態に係るイオンフィルタ部の斜視図である。

【図7】図7(A)は矩形信号を説明するための図であり、図7(B)は矩形信号が鈍った信号を説明するための図である。

【図8】対向する2つの歯電極間に形成されるコンデンサを説明するための図である。

【図9】図9(A)及び図9(B)は、それぞれ歯電極と支持層との間のキャパシタンスを説明するための図(その1)である。

【図10】歯電極と支持層との間のキャパシタンスを説明するための図(その2)である。

【図11】図11(A)~図11(C)は、それぞれ実施例1を説明するための図(その1)である。

【図12】図12(A)~図12(C)は、それぞれ実施例1を説明するための図(その

10

20

30

40

50

2)である。

【図13】実施例1における3つの電極を説明するための図である。

【図14】図14(A)～図14(D)は、それぞれ実施例1におけるイオンチャネル以外の部分で生じるキャパシタンスについて説明するための図である。

【図15】図15(A)～図15(C)は、それぞれ実施例2を説明するための図(その1)である。

【図16】図16(A)～図16(C)は、それぞれ実施例2を説明するための図(その2)である。

【図17】図17(A)～図17(C)は、それぞれ実施例3を説明するための図(その1)である。

10

【図18】図18(A)～図18(C)は、それぞれ実施例3を説明するための図(その2)である。

【図19】図19(A)～図19(C)は、それぞれ実施例4を説明するための図(その1)である。

【図20】図20(A)～図20(C)は、それぞれ実施例4を説明するための図(その2)である。

【図21】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その1)である。

【図22】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その2)である。

【図23】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その3)である。

【図24】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その4)である。

20

【図25】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その5)である。

【図26】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その6)である。

【図27】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その7)である。

【図28】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その8)である。

【図29】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その9)である。

【図30】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その10)である。

【図31】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その11)である。

【図32】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その12)である。

【図33】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その13)である。

【図34】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その14)である。

30

【図35】イオンフィルタ部の製造方法を説明するための図(その15)である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

「概要」

以下、本発明の一実施形態を図面に基づいて説明する。図1には、一実施形態に係るイオン検出装置10の概略構成が示されている。

【0009】

このイオン検出装置10は、イオン発生部100、イオンフィルタ部200、検出部600、及び制御部900などを備えている。なお、ここでは、XYZ3次元直交座標系を用い、被測定分子の進行方向を+Z方向とする。

40

【0010】

イオン発生部100は、被測定分子をイオン化する。イオンフィルタ部200は、イオン発生部100からのイオンを選別する。検出部600は、イオンフィルタ部200で選別されたイオンを検出する。制御部900は、装置全体を制御する。

【0011】

イオン検出装置10の基本的な検出原理について説明する。

【0012】

イオンフィルタ部200は、対向して配置された2つの電極(電極A、電極B)を有している。

【0013】

50

イオンは、電界 E の環境下では次の (1) 式で示される移動速度 V で移動する。ここで、 K は、該イオンの移動度である。

$$V = K \times E \quad \dots \dots (1)$$

【 0 0 1 4 】

ところで、イオンの移動度には電界強度依存性がある。そして、この電界強度依存性は、イオンの種類によって異なっている。図 2 には、一例として、種類が異なる 3 つのイオン (イオン A、イオン B、イオン C) における移動度の電界強度依存性が示されている。なお、図 2 では、分かりやすくするため、各イオンの移動度が電界強度 0 で等しくなるように正規化されている。

【 0 0 1 5 】

3 つのイオン (イオン A、イオン B、イオン C) の移動度は、電界強度が $9 \text{ kV} / \text{cm}$ 以下の低電界強度ではほぼ変化なしである。電界強度が約 $10 \text{ kV} / \text{cm}$ から増すにつれてイオンの種類固有の特性が移動度に現れる。イオン A の移動度は、電界強度が増加するに従って大きく増加し、 E_{max} で最大となる。イオン B の移動度は、イオン A よりも緩やかに増加する。イオン C の移動度は、緩やかに減少する。このように三者三様の特性を示している。イオンフィルタ部 200 は、低電界強度での移動度と高電界強度での移動度との違いを利用してイオンの選別を行う。

【 0 0 1 6 】

図 3 には、イオンフィルタ部 200 の電極間における 3 つのイオン (イオン A、イオン B、イオン C) の移動の軌跡が示されている。なお、ここでは、分かりやすくするため、便宜的に、電極 A 及び電極 B を導電体でできた平行平板としている。

【 0 0 1 7 】

電極 A と電極 B との間に発生する電界の波形を非対称電界波形とすることによって、任意のイオン (図 3 では、イオン B) のみを検出部 600 に到達させることができる。

【 0 0 1 8 】

図 4 には、電極 A と電極 B との間に発生させる電界波形の一例が示されている。この電界波形は、正の高電界 (E_{max}) と負の低電界 (E_{min}) を交互に繰り返している。そして、高電界の期間 (t_1) は低電界の期間 (t_2) よりも短く、 t_1 と t_2 の比は $1 : 3 \sim 1 : 5$ である。このように電界波形は、上下に関して非対称である。この非対称電界波形は、時間平均電界が零であり、次の (2) 式が成り立つように設定されている。

$$| E_{\text{max}} | \times t_1 = | E_{\text{min}} | \times t_2 \quad \dots \dots (2)$$

【 0 0 1 9 】

すなわち、図 4 における領域 A の面積と領域 B の面積が一致するように設定されている。

【 0 0 2 0 】

なお、以下では、次の (3) 式に示されるように、 $| E_{\text{max}} | \times t_1$ の値、及び $| E_{\text{min}} | \times t_2$ の値を β とする。

$$| E_{\text{max}} | \times t_1 = | E_{\text{min}} | \times t_2 = \beta \quad \dots \dots (3)$$

【 0 0 2 1 】

ところで、高電界の期間 (t_1) に、イオンが Y 軸方向に関して移動する速度 V_{up} は、次の (4) 式で示される。ここで、 $K (E_{\text{max}})$ は、高電界 (E_{max}) のときのイオンの移動度である。

$$V_{\text{up}} = K (E_{\text{max}}) \times | E_{\text{max}} | \quad \dots \dots (4)$$

【 0 0 2 2 】

例えば、 $| E_{\text{max}} |$ が約 $10 \text{ kV} / \text{cm}$ 以上の場合、3 つのイオン (イオン A、イオン B、イオン C) では、イオン毎に移動度が異なる (図 2 参照) ので、3 つのイオンの移動速度 V_{up} は三者三様に異なる。すなわち、図 5 に示されるように、高電界の期間 (t_1) では、3 つのイオンの移動軌跡の傾斜は互いに異なっている。

【 0 0 2 3 】

そして、高電界の期間 (t_1) に、イオンが Y 軸方向に関して移動した距離である変位 y_{up} (図 5 参照) は、次の (5) 式で示される。

10

20

30

40

50

$$y_{up} = V_{up} \times t_1 \dots\dots (5)$$

【0024】

一方、低電界の期間（ t_2 ）に、イオンがY軸方向に関して移動する速度 V_{down} は、次の（6）式で示される。ここで、 $K(E_{min})$ は、低電界（ E_{min} ）のときのイオンの移動度である。

$$V_{down} = -K(E_{min}) \times |E_{min}| \dots\dots (6)$$

【0025】

例えば、 $|E_{min}|$ が約 5 kV/cm 以下の場合、3つのイオン（イオンA、イオンB、イオンC）では、移動度がほぼ同一である（図2参照）ので、3つのイオンの移動速度 V_{down} はほぼ同一である。すなわち、図5に示されるように、低電界の期間（ t_2 ）では、3つのイオンの移動軌跡の傾斜はほぼ同じである。

10

【0026】

そして、低電界の期間（ t_2 ）に、イオンがY軸方向に関して移動した距離である変位 y_{down} （図5参照）は、次の（7）式で示される。

$$y_{down} = V_{down} \times t_2 \dots\dots (7)$$

【0027】

非対称電界波形の1周期（ T ）内では、イオンは、+Z方向に移動しつつ、期間 t_1 の間に+Y方向に移動し、期間 t_2 の間に-Y方向に移動する。

【0028】

そこで、図5に示されるように、ジグザグ運動を繰り返しながら電極Aに向かうもの（イオンA）と、ジグザグ運動を繰り返しながら電極Bに向かうもの（イオンC）と、+Y方向の変位と-Y方向の変位とが釣り合い、検出部に向かうもの（イオンB）とに分かれることとなる。

20

【0029】

ところで、非対称電界波形における1周期（ T ）での、イオンのY軸方向に関する平均変位 Δy_{RF} は、次の（8）式で表される。

$$\begin{aligned} \Delta y_{RF} &= y_{up} + y_{down} \\ &= K(E_{max}) \times |E_{max}| \times t_1 - K(E_{min}) \times |E_{min}| \times t_2 \dots\dots (8) \end{aligned}$$

【0030】

そして、上記（8）式は、上記（3）式を用いて次の（9）式のように表すことができる。

$$\Delta y_{RF} = \beta \{ K(E_{max}) - K(E_{min}) \} \dots\dots (9)$$

【0031】

ここで、 $K(E_{max}) - K(E_{min})$ を ΔK とおくと、上記（9）式は次の（10）式のように表される。

$$\Delta y_{RF} = \beta \Delta K \dots\dots (10)$$

【0032】

β は電極Aと電極Bとの間に印加される非対称電界で決まる定数である。そこで、非対称電界波形の1周期（ T ）あたりのイオンのY軸方向に関する変位は、低電界（ E_{min} ）での移動度と高電界（ E_{max} ）での移動度の差分である ΔK に依存する。

40

【0033】

キャリアガスだけがイオンをZ軸方向に移送させると仮定すると、イオンが電極Aと電極Bとの間に滞在しているときの、該イオンのY軸方向に関する変位 Y は、次の（11）式となる。ここで、 t_{res} は、イオンが電極Aと電極Bとの間に滞在している平均時間（平均イオン滞在時間）である。

【数1】

$$Y = \frac{\Delta y_{RF}}{(t_1 + t_2)} \times t_{res} = \frac{\beta \Delta K}{T} \times t_{res} \dots\dots (11)$$

50

【 0 0 3 4 】

平均イオン滞在時間 t_{res} は、次の (1 2) 式で表される。ここで、 A はイオンフィルタ部の断面積、 L は Z 軸方向に関する電極の長さ (電極深さ) (図 5 参照)、 Q はキャリアガスの容積流量である。 V はイオンフィルタ部の容積 ($= A L$) である。

【数 2】

$$t_{res} = \frac{AL}{Q} = \frac{V}{Q} \quad \dots\dots (12)$$

10

【 0 0 3 5 】

上記 (1 1) 式は、上記 (1 2) 式及び上記 (3) を用いて、次の (1 3) 式のように表すことができる。ここで、 D は非対称電界波形のデューティであり、 $D = t_1 / T$ である。

【数 3】

$$Y = \frac{\Delta K \times E_{max} \times V \times D}{Q} \quad \dots\dots (13)$$

【 0 0 3 6 】

非対称電界波形における高電界 E_{max} 、イオンフィルタ部の容積 V 、非対称電界波形のデューティ D 、及びキャリアガスの容積流量 Q について、すべてのイオン種に対して同一の値を用いると、上記 (1 3) 式から、変位 Y は、イオン種固有の低電界 (E_{min}) での移動度と高電界 (E_{max}) での移動度との差分 ΔK に比例することがわかる。

20

【 0 0 3 7 】

なお、図 5 ではイオン B のみが、変位 Y が最小であり、検出部 600 に到達することができるが、デューティ D を変化させることによってイオン B とは異なる ΔK を有するイオンを検出部 600 に到達させることができる。さらに、デューティ D を小刻みに変化させていくことで、 ΔK が異なる様々なイオンの有無や量を検出することができる。

【 0 0 3 8 】

また、イオン検出装置 10 において、 ΔK が異なる様々なイオン種を検出する方法として、非対称電界波形に低強度の DC 電界を重ねる方法がある。この方法によると、期間 t_1 及び期間 t_2 での Y 軸方向に関する変位量を変化させることができる。そこで、電極 A 又は電極 B に接触せずに検出部 600 に到達することができるイオン種を連続的に変えることができる。なお、非対称電界波形に重ねる DC 電界は補償電圧 (CV : *compensation voltages*) と呼ばれている。この方法では、補償電圧を掃引して ΔK が異なる様々なイオン種の有無や量を検出する。

30

【 0 0 3 9 】

ところで、検出部 600 に到達する前に電極 A 又は電極 B に接触したイオンは、中和されてイオンでなくなり検出されない。

40

【 0 0 4 0 】

なお、制御部 900 は、従来のイオン検出装置における制御部とほぼ同様であるため、ここでは制御部 900 の動作についての詳細な説明は省略する。

【 0 0 4 1 】

「詳細」

イオン検出装置 10 は、電界強度が 10 kV/cm 以上のときにイオン種によって移動度が異なることを利用してイオン検出を行なう。図 2 の例では、 E_{max} として、 20 kV 程度の電界強度を、イオンフィルタ部 200 における電極間に発生させることでイオン種を分別することになる。例えば、イオンフィルタ部 200 における電極間の距離を 1 mm (0.1 cm) とすると、 20 kV/cm の電界を発生させるために電極間に印加される

50

電圧 V_{max} は、次の (14) 式に示されるように 2 kV となる。

$$V_{max} = 20 \text{ kV} / \text{cm} \times 0.1 \text{ cm} = 2 \text{ kV} \dots\dots (14)$$

【0042】

イオン検出装置を設備として設置場所を固定して使用する場合は、AC電源が使用できるので電圧や消費電力に関して問題なかった。また、設置場所が確保できれば多少外形が大きくても問題になることはなかった。しかし、従来のイオン検出装置を電池駆動とし、可搬性のある小型装置として実現しようとする、数V～十数Vの電池電源から交流電圧 V_d として数十V～数百Vを発生させねばならず、昇圧回路や高耐圧部品の使用などが必要となり、機器の小型化と低消費電力化の障害となっていた。

【0043】

低い電圧で同じ電界強度を実現するためには、イオンフィルタ部における電極の間隔を小さくすれば良い。例えば、電極の間隔を $1 \mu\text{m}$ (0.0001 cm) にすると、 2 V の電圧で $20 \text{ kV} / \text{cm}$ の電界強度を実現することができる。

【0044】

ところで、特許文献1では、電極をLIGA(Lithographie Galvanoformung Abformung)プロセスで試作したことが記載されている。一方、本実施形態では、半導体製造で使用されているSOI(Silicon On Insulator)と呼ばれるウエハを使用して電極を実現している。

【0045】

電極の間隔と電極深さ L の比であるアスペクト比を一定に保ったまま電極の間隔を小さくすると、電極深さ L も小さくなるが構わない。例えば、電極の間隔が $100 \mu\text{m}$ 、電極深さ L が $1000 \mu\text{m}$ のアスペクト比10の従来例に対して、電極の間隔を $1 \mu\text{m}$ にし、アスペクト比10を維持すると電極深さ L は $10 \mu\text{m}$ となり、少ないエッチング量で済むこととなる。これは半導体製造で使われるディープ反応性イオンエッチング(DRIE: Deep Reactive Ion Etching)技術でシリコンをエッチングするのに十分可能な値である。

【0046】

また、電極として 歯電極を用い、2つの 歯電極を互いの 歯が交互に噛み合うように対向して配置する場合、ある決まったチップ面積においてイオンが通過する流路であるイオンチャネルの面積を大きくしようとすると、 歯の幅を可能な限り小さい値、例えば $1 \mu\text{m}$ にする必要がある。

【0047】

従来のイオンフィルタ部では、例えば、 歯の長さを $1000 \mu\text{m}$ とすると、 歯一本のアスペクト比は1000となり、応力や衝撃に対して非常に脆弱な形状となる。この場合、製造の際に必要なレジスト塗布、エッチングや搬送、洗浄といった工程では、 歯に力加わり、 歯が変形したり、隣の 歯と接触したり、接触したまま 歯同士が付着するいわゆるスティッキング現象が起こったり、最悪の場合は破壊されるおそれがあった。

【0048】

また、動作時には非対称電界波形を発生させるためのパルス信号が電極に印加される。その際に静電気力によって 歯が振動することもある。本実施形態は、以上の不都合点を解決するものである。

【0049】

図6には、本発明の一実施形態に係るイオンフィルタ部200が示されている。イオンフィルタ部200は、SOI(Silicon On Insulator)と呼ばれるウエハ基板を用いて製造される。このウエハ基板は、シリコン(Si)を主たる材料とし、LSI(大規模集積回路)の製造にも用いられるものである。なお、図6では、パッド電極部分が省略されている。また、図6では、各 歯電極における 歯の数をそれぞれ3個としているが、これは煩雑さを避けるため及び説明をわかりやすくするためであり、3個に限定されるものではない。

【0050】

10

20

30

40

50

イオンフィルタ部 200 は、電極層 201、BOX (Buried Oxide) 層 202、支持層 203 を有している。電極層 201 は、シリコン (Si) にあらかじめ磷 (P) やホウ素 (B) などの不純物をドーピングして電気抵抗を低く (電気伝導率を高く) した層である。BOX 層 202 は、シリコン酸化膜 (SiO_2) でできている絶縁膜であり、電気抵抗が非常に高い層である。支持層 203 は、シリコン (Si) でできた層である。なお、支持層 203 は、電気抵抗の高い方が寄生キャパシタンスの影響が少なくなるので好ましい。

【0051】

なお、ここでは、3つの層の積層方向を c 軸方向とし、該 c 軸方向に直交する方向を a 軸方向とし、c 軸方向及び a 軸方向のいずれにも直交する方向を b 軸方向とする。

10

【0052】

電極層 201 には、a b 平面内において 歯電極 211 と 歯電極 212 とが分離して形成されている。なお、歯電極 211 及び 歯電極 212 は、一部が BOX 層 202 と接している。BOX 層 202 は絶縁膜であるので、歯電極 211 と 歯電極 212 は電氣的に分離されていることになり、両者に異なる電圧を印加しても電流は流れない。BOX 層 202 は支持層 203 に接しており、歯電極 211 及び 歯電極 212 はその相対位置が固定されている。

【0053】

なお、図 6 では隠れているが、歯電極 211 と 歯電極 212 との隙間の一部に、その下の BOX 層 202 と支持層 203 が取り除かれ、イオンが c 軸方向に関して通過するための流路 (イオンチャネル) が形成されている。

20

【0054】

歯電極 211 及び 歯電極 212 は、一方の 歯電極を GND (グラウンド) とし、他方の 歯電極に補償電圧 (compensation voltages: CV) と呼ばれる DC 電圧と分散電圧 (dispersion fields: DF) と呼ばれる電圧パルスとが重畳された非対称電界波形信号が印加される。

【0055】

すなわち、イオンフィルタ部 200 には、駆動回路 (制御部 900 の一部) を介して非対称電界波形信号 (電圧信号) が印加される。そして、この駆動回路は出力インピーダンスを有している。また、非対称電界波形信号が印加されるとイオンフィルタ部 200 には負荷容量であるキャパシタンスが生じる。なお、以下では、便宜上、イオンフィルタ部 200 で生じるキャパシタンスを「イオンフィルタのキャパシタンス」ともいう。

30

【0056】

そこで、イオンフィルタ部 200 に印加される非対称電界波形信号の形状は、主に駆動回路の出力インピーダンスとイオンフィルタのキャパシタンスとによる時定数 τ で決定される。時定数 τ は、最終到達電圧の約 63% に達するまでの時間であり、次の (15) 式で表される。

$$\tau (\text{秒}) = \text{出力インピーダンス} (\Omega) \times \text{イオンフィルタのキャパシタンス} (F) \dots\dots (15)$$

【0057】

そのため、図 7 (A) に示されるような立ち上がり及び立ち下がりが鋭い理想的な矩形波形状の非対称電界波形信号を印加しようとしても、一例として図 7 (B) に示されるように、立ち上がり及び立ち下がりが鈍った形状の非対称電界波形信号が印加される場合がある。

40

【0058】

駆動回路の出力インピーダンスは、その大きさを完全に零にすることは困難であり、必ずある有限の値を有している。

【0059】

ここで、イオンフィルタのキャパシタンスを、対向する 歯電極 211 と 歯電極 212 との間のイオンチャネルとなる部分で生じるキャパシタンスと、それ以外で生じるキャパ

50

シタンスとに分けて考える。

【 0 0 6 0 】

非対称電界波形信号が印加されると、対向する 歯電極 2 1 1 と 歯電極 2 1 2 との間のイオンチャンネルとなる部分は、電氣的にコンデンサとなる（図 8 参照）。このコンデンサにおける誘電体は、分析対象のイオン化された気体である。なお、以下では、便宜上、このコンデンサのキャパシタンスを「イオンチャンネルのキャパシタンス」ともいう。そして、イオンチャンネルのキャパシタンスは、 歯の数や 2 つの 歯電極の間隔等によって決まるある値を持っている。例えば、2 つの 歯電極の間隔を小さく（狭く）すると、イオンチャンネルのキャパシタンスは増加する。

このため、時定数 τ を完全に零にすることは困難であり、図 7（B）に示されるような立ち上がり及び立ち下りの鈍りが大なり小なり生じてしまう。

10

【 0 0 6 1 】

ところで、前述した図 5 において、 y_{up} 及び y_{down} は、電極 A と電極 B の間隔 W に対して、 $y_{up} < W$ 、 $y_{down} < W$ の関係が必要である。仮に、 y_{up} 、 y_{down} が間隔 W と等しいかそれ以上になると、検出部 6 0 0 に到達すべきイオンも途中で電極 A あるいは電極 B に接触し、検出部 6 0 0 に辿り付く前に電荷を放出してしまいイオンフィルタの機能をなさなくなる。

【 0 0 6 2 】

電極 A と電極 B との間に印加される非対称電界波形信号の低電圧化を図るには、間隔 W を短くする必要がある。この場合に、 $y_{up} < W$ 、 $y_{down} < W$ の関係を維持するには、非対称電界波形信号におけるパルスの周期 T を短くする必要がある。換言すると、非対称電界波形信号の周波数を高くする必要がある。

20

【 0 0 6 3 】

そして、非対称電界波形信号の周波数が高くなると、信号波形の鈍りに対するイオンチャンネルのキャパシタンスの影響が大きくなる。極端になると、非対称電界波形信号における振幅が所望の電圧まで振幅されないおそれがある。図 7（B）で説明すると、電界が E_{max} に達する前に立ち下がってしまうおそれがある。

【 0 0 6 4 】

すなわち、イオン検出装置 1 0 の低電圧化を図るためには、イオンフィルタ部 2 0 0 における 2 つの 歯電極の間隔を短くすることが必要であるが、それは必然的に非対称電界波形信号の周波数を高くすること、及びイオンチャンネルのキャパシタンスを増加させることになる。これらは、どちらもイオンフィルタ部 2 0 0 に印加される非対称電界波形信号に対し、立ち上がり及び立ち下りの鈍りを増大させるように作用する。

30

【 0 0 6 5 】

次に、イオンチャンネル以外の部分で生じるキャパシタンスとして、 歯電極と支持層との間のキャパシタンスについて説明する。

【 0 0 6 6 】

図 9（A）は、イオンフィルタ部 2 0 0 の平面図であり、図 9（B）は、図 9（A）における C - C 断面図である。 歯電極 2 1 1 は、支持層 2 0 3 に対してキャパシタンス C_1 ができ上がっており、 歯電極 2 1 2 は、支持層 2 0 3 に対してキャパシタンス C_2 ができ上がっている。支持層 2 0 3 は、ある抵抗値 R_1 を有してキャパシタンス C_1 とキャパシタンス C_2 に接続されており、 歯電極 2 1 1 と 歯電極 2 1 2 との間にキャパシタンス成分を発生させている。

40

【 0 0 6 7 】

これが、前記イオンチャンネルのキャパシタンスに加算され、イオンフィルタ部 2 0 0 に印加される非対称電界波形信号における立ち上がり及び立ち下りをさらに鈍らせる原因となる。イオンチャンネルのキャパシタンスでは誘電体が気体であるので比誘電率はほぼ 1 であるが、キャパシタンス C_1 及びキャパシタンス C_2 では誘電体となる BOX 層 2 0 2 がシリコン酸化膜（ SiO_2 ）であり、その比誘電率は約 4 である。しかも、BOX 層 2 0 2 は通常 $0.5 \mu m$ 以下という薄い膜であるため、イオンチャンネル以外の部分で発生する

50

キャパシタンスは大きいものになってしまう。

【 0 0 6 8 】

ところで、2枚の電極間のキャパシタンス C (F) は次の (1 6) 式で表される。ここで、 ϵ_0 は真空の誘電率、すなわち 8.8542×10^{-12} (m - 3 k g - 1 s 4 A 2) であり、 ϵ は比誘電率 (空気 : 約 1、S i O 2 : 約 4) であり、 S は電極の面積 (m 2) であり、 d は電極間の距離 (m) である。

$$C = \epsilon_0 \times \epsilon \times S / d \quad \dots \dots (1 6)$$

【 0 0 6 9 】

イオンフィルタ部 2 0 0 では、 歯電極 2 1 1 及び 歯電極 2 1 2 の一方は G N D に接続され、他方に非対称電界波形信号が入力される。図 1 0 には、 歯電極 2 1 1 が G N D に 10
接続されている例が示されている。

【 0 0 7 0 】

また、支持層 2 0 3 が電氣的にどこにも接続されず、いわゆるフローティング状態であれば、イオンによる電荷が蓄積し高電圧となるおそれがある。そのため、図 1 0 に示されるように、支持層 2 0 3 は通常 G N D に接続されている。

【 0 0 7 1 】

図 1 0 の例では、 歯電極 2 1 2 と支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C_3 が生じる。そして、 歯電極 2 1 2 と支持層 2 0 3 とが向かい合っている面の面積を小さくすることによって、キャパシタンス C_3 を小さくすることができる。すなわち、イオンチャネル以外の部分で生じるキャパシタンスを減らすことができる。なお、 歯電極 2 1 1 は支持層 2 0 3 と同じ G N D に接続されているので、 歯電極 2 1 1 と支持層 2 0 3 との間に生じるキャパシタンスは問題にはならない。 20

【 0 0 7 2 】

そこで、イオンフィルタ部 2 0 0 に印加される非対称電界波形信号の鈍りが大きくて無視できない場合には、イオンチャネル以外の部分で生じるキャパシタンスを減らすのが好ましい。以下、イオンチャネルとなる部分で生じるキャパシタンスや、イオンチャネル以外の部分で生じるキャパシタンスが低減された構成を有するイオンフィルタ部 2 0 0 の実施例について説明する。

【 0 0 7 3 】

< 実施例 1 >

実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 が図 1 1 (A) ~ 図 1 2 (C) に示されている。図 1 1 (A) は、実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 の平面図であり、図 1 1 (B) は、図 1 1 (A) における A - A 断面図であり、図 1 1 (C) は、図 1 1 (A) における B - B 断面図である。図 1 2 (A) は、図 1 1 (A) における C - C 断面図であり、図 1 2 (B) は、図 1 1 (A) における D - D 断面図であり、図 1 2 (C) は、図 1 1 (A) における E - E 断面図である。 30

【 0 0 7 4 】

実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、 歯電極 2 1 1 及び 歯電極 2 1 2 への配線を最小限残して電極層 2 0 1 をエッチングしている。すなわち、 歯電極 2 1 1 及び 歯電極 2 1 2 を電極層 2 0 1 の周辺部と電氣的に分離し、 歯電極 2 1 1 及び 歯電極 2 1 2 の面積を最小限にしている。なお、図 1 1 (A) における符号 3 0 1 は、 歯電極 2 1 1 用の電極パッドであり、符号 3 0 2 は、 歯電極 2 1 2 用の電極パッドである。各電極パッドは、ワイヤボンディングやプローブピンを接触させるために設けられているが、この部分の面積も必要最小限の面積に留めるのが好ましい。 40

【 0 0 7 5 】

イオンフィルタ部 2 0 0 では、 歯電極 2 1 1 及び 歯電極 2 1 2 の一方は G N D に接続され、他方に非対称電界波形信号が入力される。図 1 3 には、実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 において、 歯電極 2 1 1 が G N D に接続され、 歯電極 2 1 2 に非対称電界波形信号が入力される場合が示されている。なお、逆に 歯電極 2 1 2 が G N D に接続され、 歯電極 2 1 1 に非対称電界波形信号が入力されても良い。 50

【 0 0 7 6 】

実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、電極層 2 0 1 は、その周辺部に、 歯電極 2 1 1 及び 歯電極 2 1 2 とは電氣的に分離されているリング状の額縁のような部分（以下では、「電極 2 1 3」ともいう）を有している。この電極 2 1 3 を仮にどこにも接続させずフローティング状態にしておくと、イオン検出時に電荷がチャージされ高電圧になってイオンフィルタの機能を損ねる可能性があるので、電極 2 1 3 は G N D に接続する（図 1 3 参照）。

【 0 0 7 7 】

図 1 1 (A) において、破線で囲まれた領域 P は、イオンチャネルとなる部分に対応する B O X 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3（隣り合う 歯 3 1 0 と 歯 3 2 0 の隙間に対応する B O X 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3）と、各 歯電極の 3 つの 歯それぞれの中間部（先端部及び基端部の双方を除く部分）に対応する B O X 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3 と、が取り除かれている領域である。

すなわち、実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、イオンが通過することができる通路であるイオンチャネルが領域 P に形成されており、かつ該領域 P にキャパシタンスが生じない。

なお、上記各 歯電極の 3 つの 歯それぞれの中間部に対応する B O X 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3 の少なくとも一部を残存させても良い。この場合、領域 P にキャパシタンスが生じるが、各 歯電極の 3 つの 歯それぞれの中間部を支持層 2 0 3 で支持することができ、後述する 歯の撓みや振動を抑制することができる。

【 0 0 7 8 】

ここで、各 歯電極は、複数の 歯及び該複数の 歯を連結する連結部を含む 形の電極である。

そこで、以下では、各 歯電極を「 形電極」とも呼ぶ。すなわち、以下では、 歯電極 2 1 1 を「 形電極 2 1 1」とも呼び、 歯電極 2 1 2 を「 形電極 2 1 2」とも呼ぶ。

【 0 0 7 9 】

図 1 1 (A) に示されるように、 形電極 2 1 1 は、複数（ここでは 3 つ）の 歯 3 1 0 と該複数の 歯 3 1 0 を連結する連結部 3 0 3（図 1 1 (A) の - b 側の幅広縦縞部分）とを含む。上記電極パッド 3 0 1（図 1 1 (A) の - b 側の幅狭縦縞部分）は、連結部 3 0 3 の - b 側に隣接し、該連結部 3 0 3 と電氣的に接続されている（導通している）。

【 0 0 8 0 】

形電極 2 1 2 は、複数（ここでは 3 つ）の 歯 3 2 0 と該複数の 歯 3 2 0 を連結する連結部 3 0 4（図 1 1 (A) の + b 側の幅広縦縞部分）とを含む。上記電極パッド 3 0 2（図 1 1 (A) の + b 側の幅狭縦縞部分）は、連結部 3 0 4 の + b 側に隣接し、該連結部 3 0 4 と電氣的に接続されている（導通している）

【 0 0 8 1 】

なお、各 形電極の 歯の数や形状や大きさは、適宜変更可能である。

また、各 形電極の連結部の形状や大きさは、適宜変更可能である。

また、2 つの連結部 3 0 3、3 0 4 の少なくとも一方が電極パッドの機能を兼ねる構成を採用しても良い。この場合には、2 つの電極パッド 3 0 1、3 0 2 のうち少なくとも一方を設けなくても良い。

【 0 0 8 2 】

実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 4 (A) ~ 図 1 4 (D) に示されるように、連結部 3 0 3 及び 3 つの 歯 3 1 0 の基端部（図 1 1 (A) の - b 側の大格子部分）の - b 側の部位と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 4 が生じ、3 つの 歯 3 2 0 の先端部（図 1 1 (A) の - b 側の小格子部分）及び 3 つの 歯 3 1 0 の基端部の + b 側の部位と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 5 が生じ、3 つの 歯 3 1 0 の先端部（図 1 1 (A) の + b 側の小格子部分）及び 3 つの 歯 3 2 0 の基端部（図 1 1 (A) の + b 側の大格子部分）の - b 側の部位と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 6 が生じ、連結部 3 0 4 及び 3 つの 歯 3 2 0 の基端部の + b 側の部位と、支持層 2 0 3 との間に

10

20

30

40

50

キャパシタンス C 7 が生じている。

【 0 0 8 3 】

また、実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 4 (B) に示されるように、電極パッド 3 0 1 と支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 8 が生じ、形電極 2 1 1 における電極パッド 3 0 1 と連結部 3 0 3 の間の領域 (図 1 1 (A) の - b 側の横縞部分) と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 9 が生じ、形電極 2 1 2 における電極パッド 3 0 2 と連結部 3 0 4 との間の領域 (図 1 1 (A) の + b 側の横縞部分) と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 1 0 が生じ、電極パッド 3 0 2 と支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 1 1 が生じている。

【 0 0 8 4 】

また、実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 4 (C) に示されるように、最も - a 側の歯 3 2 0 の一部 (該歯 3 2 0 の先端部及び基端部の双方を除く部分の - a 側の部位 (図 1 1 (A) の - a 側の斜格子部分) と支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 1 2 が生じている。

【 0 0 8 5 】

また、実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 4 (D) に示されるように、最も + a 側の歯 3 1 0 の一部 (該歯 3 1 0 の先端部及び基端部の双方を除く部分の + a 側の部位 (図 1 1 (A) の + a 側の斜格子部分) と支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 1 3 が生じている。

【 0 0 8 6 】

すなわち、キャパシタンス C 4、C 5、C 6、C 7、C 8、C 9、C 1 0、C 1 1、C 1 2、C 1 3 は、いずれもイオンチャネル以外の部分で生じるキャパシタンスである。

【 0 0 8 7 】

< 実施例 2 >

実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 が図 1 5 (A) ~ 図 1 5 (C)、図 1 6 (A) ~ 図 1 6 (C) に示されている。図 1 5 (A) は、実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 の平面図であり、図 1 5 (B) は、図 1 5 (A) における A - A 断面図であり、図 1 5 (C) は、図 1 5 (A) における B - B 断面図であり、図 1 6 (A) は、図 1 5 (A) における C - C 断面図であり、図 1 6 (B) は、図 1 5 (A) における D - D 断面図であり、図 1 6 (C) は、図 1 5 (A) における E - E 断面図である。

【 0 0 8 8 】

図 1 5 (A) において、破線で囲まれた領域 P は、イオンチャネルとなる部分に対応する BOX 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3 (隣り合う歯 3 1 0 と歯 3 2 0 の隙間に対応する BOX 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3) と、各形電極の 3 つの歯それぞれの中間部 (先端部及び基端部の双方を除く部分) に対応する BOX 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3 と、が取り除かれている領域である。

すなわち、実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、イオンが通過することができる通路であるイオンチャネルが領域 P に形成されており、かつ該領域 P にキャパシタンスが生じない。

なお、上記各形電極の 3 つの歯それぞれの中間部に対応する BOX 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3 の少なくとも一部を残存させても良い。この場合、領域 P にキャパシタンスが生じるが、各形電極の 3 つの歯それぞれの中間部を支持層 2 0 3 で支持することができ、後述する歯の撓みや振動を抑制することができる。

【 0 0 8 9 】

また、図 1 5 (A) において、破線で囲まれた領域 Q 1、Q 2、Q 3、Q 4 は、いずれもイオンチャネル以外の部分に対応する支持層 2 0 3 のみが取り除かれている領域である。

【 0 0 9 0 】

詳述すると、領域 Q 1 は、電極パッド 3 0 1 に対応する支持層 2 0 3 (電極パッド 3 0 1 の - c 側の支持層 2 0 3) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q 1 に上記キャパシタンス C 8 が生じない (図 1 4 (B)、図 1 6 (A) 参照)。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 1 】

領域 Q 2 は、電極パッド 3 0 2 に対応する支持層 2 0 3 (電極パッド 3 0 2 の - c 側の支持層 2 0 3) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q 2 に上記キャパシタンス C 1 1 が生じない (図 1 4 (B)、図 1 6 (A) 参照)。

【 0 0 9 2 】

領域 Q 3 は、連結部 3 0 3 及び 3 つの 歯 3 1 0 の基端部の - b 側の部位に対応する支持層 2 0 3 (連結部 3 0 3 及び該部位の - c 側の支持層 2 0 3) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q 3 に上記キャパシタンス C 4 が生じない (図 1 4 (B)、図 1 4 (D)、図 1 6 (A)、図 1 6 (C) 参照)。

【 0 0 9 3 】

領域 Q 4 は、連結部 3 0 4 及び 3 つの 歯 3 2 0 の基端部の + b 側の部位に対応する支持層 2 0 3 (連結部 3 0 4 及び該部位の - c 側の支持層 2 0 3) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q 4 に上記キャパシタンス C 7 が生じない (図 1 4 (A) ~ 図 1 4 (C)、図 1 5 (C)、図 1 6 (A)、図 1 6 (B) 参照)。

【 0 0 9 4 】

実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 5 (C) ~ 図 1 6 (C) に示されるように、3 つの 歯 3 2 0 の先端部及び 3 つの 歯 3 1 0 の基端部の + b 側の部位と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 5 が生じ、形電極 2 1 1 の 3 つの 歯 3 1 0 の先端部及び 3 つの 歯 3 2 0 の基端部の - b 側の部位、と支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 6 が生じている。

【 0 0 9 5 】

また、実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 6 (A) に示されるように、形電極 2 1 1 における電極パッド 3 0 1 と連結部 3 0 3 の間の領域と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 9 が生じ、形電極 2 1 2 における電極パッド 3 0 2 と連結部 3 0 4 との間の領域と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 1 0 が生じている。

【 0 0 9 6 】

また、実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 6 (B) に示されるように、最も - a 側の 歯 3 2 0 の一部 (該 歯 3 2 0 の先端部及び基端部の双方を除く部分の - a 側の部位、図 1 5 (A) 参照) と支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 1 2 が生じている。

【 0 0 9 7 】

また、実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 6 (C) に示されるように、最も + a 側の 歯 3 1 0 の一部 (該 歯 3 1 0 の先端部及び基端部の双方を除く部分の + a 側の部位、図 1 5 (A) 参照) と支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 1 3 が生じている。

【 0 0 9 8 】

すなわち、実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 で生じるキャパシタンス C 5、C 6、C 9、C 1 0、C 1 2、C 1 3 は、いずれもイオンチャネル以外の部分で生じるキャパシタンスである。

【 0 0 9 9 】

以上の説明から分かるように、実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 は、2 つの 形電極 2 1 1、2 1 2 と支持層 2 0 3 との間のキャパシタンスが、実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 に対して、キャパシタンス C 4、C 7、C 8、C 1 1 だけ低減されている。

【 0 1 0 0 】

ところで、イオンフィルタ部 2 0 0 において、形電極 2 1 1 及び 形電極 2 1 2 における 歯の先端部が自由に動ける状態にあると、製造時の薬液の対流による応力、重力、物理的振動、あるいは非対称電界波形信号による静電力などによって、歯が変形したり、振動したり、隣の歯と接触したり、隣接する歯同士が接触したまま付着するいわゆるスティッキング現象が起こったり、等の不都合が生じる。また、最悪の場合は、形電極が破壊されることもある。

【 0 1 0 1 】

実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、歯の先端部の - c 側に BOX 層 2 0 2 及び支

10

20

30

40

50

持層 203 のキャパシタンス C5、C6 が生じる部分がリブ状に残されている（図 15（C）や図 16（A）参照）。この場合は、歯の先端部がリブ部に固定され自由に動けなくなるため、歯がたわんだり、振動するのを抑制することができ、上述した不都合を抑制することができる。以下では、便宜上、リブ状に残されている BOX 層 202 と支持層 203 からなる部分を「リブ部」ともいう。

【0102】

また、実施例 2 のイオンフィルタ部 200 では、キャパシタンス C9、C10 が生じる部分もリブ状に残されている（図 16（A）参照）。このように各形電極の連結部と電極パッドとの間の部分の - c 側に BOX 層 202 及び支持層 203 を残すと、電極パッド及び連結部がたわんだり、振動するのを抑制できる。

10

【0103】

< 実施例 3 >

実施例 3 のイオンフィルタ部 200 が図 17（A）～図 17（C）、図 18（A）～図 18（C）に示されている。図 17（A）は、実施例 1 のイオンフィルタ部 200 の平面図であり、図 17（B）は、図 17（A）における A - A 断面図であり、図 17（C）は、図 17（A）における B - B 断面図であり、図 18（A）は、図 17（A）における C - C 断面図であり、図 18（B）は、図 17（A）における D - D 断面図であり、図 18（C）は、図 17（A）における E - E 断面図である。

【0104】

図 17（A）において、破線で囲まれた領域 P は、イオンチャネルとなる部分に対応する BOX 層 202 及び支持層 203（隣り合う歯 310 と歯 320 の隙間に対応する BOX 層 202 及び支持層 203）と、各形電極の 3 つの歯それぞれの中間部（先端部及び基端部の双方を除く部分）に対応する BOX 層 202 及び支持層 203 と、が取り除かれている領域である。

20

すなわち、実施例 3 のイオンフィルタ部 200 では、イオンが通過することができる通路であるイオンチャネルが領域 P に形成されており、かつ該領域 P にキャパシタンスが生じない。

なお、上記各形電極の 3 つの歯それぞれの中間部に対応する BOX 層 202 及び支持層 203 の少なくとも一部を残存させても良い。この場合、領域 P にキャパシタンスが生じるが、各形電極の 3 つの歯それぞれの中間部を支持層 203 で支持することができ、後述する歯の撓みや振動を抑制することができる。

30

【0105】

また、図 17（A）において、破線で囲まれた領域 Q1、Q2、Q3、Q4、Q5、Q6 は、いずれもイオンチャネル以外の部分に対応する支持層 203 のみが取り除かれている領域である。

【0106】

詳述すると、領域 Q1 は、電極パッド 301 に対応する支持層 203（電極パッド 301 の - c 側の支持層 203）が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q1 に上記キャパシタンス C8 が生じない（図 14（B）、図 18（A）参照）。

【0107】

領域 Q2 は、電極パッド 302 に対応する支持層 203（電極パッド 302 の - c 側の支持層 203）が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q2 に上記キャパシタンス C11 が生じない（図 14（B）、図 18（A）参照）。

40

【0108】

領域 Q3 は、連結部 303 及び 3 つの歯 310 の基端部の - b 側の部位に対応する支持層 203（連結部 303 及び該部位の - c 側の支持層 203）が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q3 に上記キャパシタンス C4 が生じない（図 14（B）、図 14（D）、図 18（A）、図 18（C）参照）。

【0109】

領域 Q4 は、連結部 304 及び 3 つの歯 320 の基端部の + b 側の部位に対応する支持

50

層 2 0 3 (連結部 3 0 4 及び該部位の - c 側の支持層 2 0 3) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q 4 に上記キャパシタンス C 7 が生じない (図 1 4 (A) ~ 図 1 4 (C) 、図 1 7 (C) 、図 1 8 (A) 、 1 8 (B) 参照) 。

【 0 1 1 0 】

領域 Q 5 は、最も - a 側の 歯 3 2 0 の一部 (該 歯 3 2 0 の先端部及び基端部の双方を除く部分の - a 側の部位、図 1 7 (A) 参照) に対応する支持層 2 0 3 (該部位の - c 側の支持層 2 0 3) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q 5 に上記キャパシタンス C 1 2 が生じない (図 1 4 (C) 、図 1 6 (B) 、図 1 8 (B) 参照) 。

【 0 1 1 1 】

領域 Q 6 は、最も + a 側の 歯 3 1 0 の一部 (該 歯 3 1 0 の先端部及び基端部の双方を除く部分の + a 側の部位、図 1 7 (A) 参照) に対応する支持層 2 0 3 (該部位の - c 側の支持層 2 0 3) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q 6 に上記キャパシタンス C 1 3 が生じない (図 1 4 (D) 、図 1 6 (C) 、図 1 8 (C) 参照) 。

【 0 1 1 2 】

実施例 3 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 7 (C) ~ 図 1 8 (C) に示されるように、3 つの 歯 3 2 0 の先端部及び 3 つの 歯 3 1 0 の基端部の + b 側の部位と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 5 が生じ、3 つの 歯 3 1 0 の先端部及び 3 つの 歯 3 2 0 の基端部の - b 側の部位と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 6 が生じている。

【 0 1 1 3 】

また、実施例 3 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、図 1 8 (A) に示されるように、形電極 2 1 1 における電極パッド 3 0 1 と連結部 3 0 3 の間の領域と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 9 が生じ、形電極 2 1 2 における電極パッド 3 0 2 と連結部 3 0 4 との間の領域と、支持層 2 0 3 との間にキャパシタンス C 1 0 が生じている。

【 0 1 1 4 】

すなわち、実施例 3 のイオンフィルタ部 2 0 0 で生じるキャパシタンス C 5 、 C 6 、 C 9 、 C 1 0 は、いずれもイオンチャネル以外の部分で生じるキャパシタンスである。

【 0 1 1 5 】

以上の説明から分かるように、実施例 3 のイオンフィルタ部 2 0 0 は、2 つの 形電極 2 1 1 、 2 1 2 と支持層 2 0 3 との間のキャパシタンスが、実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 に対して、キャパシタンス C 1 2 、 C 1 3 だけ低減されている。

【 0 1 1 6 】

実施例 3 のイオンフィルタ部 2 0 0 では、歯の先端部の - c 側に BOX 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3 のキャパシタンス C 5 、 C 6 が生じる部分がリブ状に残されており (図 1 7 (C) や図 1 8 (A) 参照) 、キャパシタンス C 9 、 C 1 0 がそれぞれ生じる部分もリブ状に残されている (図 1 8 (A) 参照) 。この場合も、上記実施例 2 と同様の効果が得られる。

【 0 1 1 7 】

< 実施例 4 >

実施例 4 のイオンフィルタ部 2 0 0 が図 1 9 (A) ~ 図 1 9 (C) 、図 2 0 (A) ~ 図 2 0 (C) に示されている。図 1 9 (A) は、実施例 1 のイオンフィルタ部 2 0 0 の平面図であり、図 1 9 (B) は、図 1 9 (A) における A - A 断面図であり、図 1 9 (C) は、図 1 9 (A) における B - B 断面図であり、図 2 0 (A) は、図 1 9 (A) における C - C 断面図であり、図 2 0 (B) は、図 1 9 (A) における D - D 断面図であり、図 2 0 (C) は、図 1 9 (A) における E - E 断面図である。

【 0 1 1 8 】

図 1 9 (A) において、破線で囲まれた領域 P は、イオンチャネルとなる部分に対応する BOX 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3 (隣り合う 歯 3 1 0 と 歯 3 2 0 の隙間に対応する BOX 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3) と、各 形電極の 3 つの 歯それぞれの中間部 (先端部及び基端部の双方を除く部分) に対応する BOX 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3 と、が取り除かれている領域である。

10

20

30

40

50

すなわち、実施例 4 のイオンフィルタ部 200 では、イオンが通過することができる通路であるイオンチャネルが領域 P に形成されており、かつ該領域 P にキャパシタンスが生じない。

なお、上記各 形電極の 3 つの 歯それぞれの中間部に対応する BOX 層 202 及び支持層 203 の少なくとも一部を残存させても良い。この場合、領域 P にキャパシタンスが生じるが、各 形電極の 3 つの 歯それぞれの中間部を支持層 203 で支持することができる、後述する 歯の撓みや振動を抑制することができる。

【0119】

また、図 19 (A) において、破線で囲まれた領域 Q1、Q2、Q3、Q4、Q5、Q6、Q7、Q8、Q9、Q10 は、いずれもイオンチャネル以外の部分に対応する支持層 203 のみが取り除かれている領域である。

10

【0120】

詳述すると、領域 Q1 は、電極パッド 301 に対応する支持層 203 (電極パッド 301 の -c 側の支持層 203) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q1 に上記キャパシタンス C8 が生じない (図 14 (B)、図 20 (A) 参照)。

【0121】

領域 Q2 は、電極パッド 302 に対応する支持層 203 (電極パッド 302 の -c 側の支持層 203) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q2 に上記キャパシタンス C11 が生じない (図 14 (B)、図 20 (A) 参照)。

【0122】

20

領域 Q3 は、連結部 303 及び 3 つの 歯 310 の基端部の -b 側の部位に対応する支持層 203 (連結部 303 及び該部位の -c 側の支持層 203) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q3 に上記キャパシタンス C4 が生じない (図 14 (B)、図 14 (D)、図 20 (A)、図 20 (C) 参照)。

【0123】

領域 Q4 は、連結部 304 及び 3 つの 歯 320 の基端部の +b 側の部位に対応する支持層 203 (連結部 304 及び該部位の -c 側の支持層 203) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q4 に上記キャパシタンス C7 が生じない (図 14 (A) ~ 図 14 (C)、図 19 (C)、図 20 (A)、20 (B) 参照)。

【0124】

30

領域 Q5 は、最も -a 側の 歯 320 の一部 (該 歯 320 の先端部及び基端部の双方を除く部分の -a 側の部位) に対応する支持層 203 (該部位の -c 側の支持層 203) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q5 に上記キャパシタンス C12 が生じない (図 14 (C)、図 16 (B)、図 20 (B) 参照)。

【0125】

領域 Q6 は、最も +a 側の 歯 310 の一部 (該 歯 310 の先端部及び基端部の双方を除く部分の +a 側の部位) に対応する支持層 203 (該部位の -c 側の支持層 203) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q6 に上記キャパシタンス C13 が生じない (図 14 (D)、図 16 (C)、図 20 (C) 参照)。

【0126】

40

領域 Q7 は、 形電極 211 における連結部 303 と電極パッド 301 の間の領域に対応する支持層 203 (該領域の -c 側の支持層 203) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q7 に上記キャパシタンス C9 が生じない (図 14 (B)、図 16 (A)、図 18 (A)、図 20 (A) 参照)。

【0127】

領域 Q8 は、 形電極 212 における連結部 304 と電極パッド 302 の間の領域に対応する支持層 203 (該領域の -c 側の支持層 203) が取り除かれている領域である。すなわち、領域 Q8 に上記キャパシタンス C10 が生じない (図 14 (B)、図 16 (A)、図 18 (A)、図 20 (A) 参照)。

【0128】

50

領域Q 9は、3つの 歯3 2 0の先端部及び3つの 歯3 1 0の基端部の+ b側の部位に対応する支持層2 0 3（該先端部及び該部位の- c側の支持層2 0 3）が取り除かれている領域である。すなわち、領域Q 9に上記キャパシタンスC 5が生じない（図1 7（C）～図1 8（C）、図1 9（C）～図2 0（C）参照）。

【0 1 2 9】

領域Q 1 0は、3つの 歯3 1 0の先端部及び3つの 歯3 2 0の基端部の- b側の部位に対応する支持層2 0 3（該先端部及び該部位の- c側の支持層2 0 3）が取り除かれている領域である。すなわち、領域Q 1 0に上記キャパシタンスC 6が生じない（図1 7（C）～図1 8（C）、図1 9（C）～図2 0（C）参照）。

【0 1 3 0】

以上の説明から分かるように、実施例4のイオンフィルタ部2 0 0は、2つの 形電極2 1 1、2 1 2と支持層2 0 3との間のキャパシタンスが、実施例3のイオンフィルタ部2 0 0に対して、キャパシタンスC 5、C 6、C 9、C 1 0だけ低減されている。

すなわち、実施例4のイオンフィルタ部2 0 0では、2つの 形電極2 1 1、2 1 2及び2つの電極パッド3 0 1、3 0 3に対応する支持層2 0 3が全て取り除かれているため、2つの 形電極2 1 1、2 1 2及び2つの電極パッド3 0 1、3 0 3と、支持層2 0 3との間のキャパシタンスを略零にできる。

【0 1 3 1】

ただし、実施例4では、実施例2、3のようなリブ部がないので、上述した不都合をある程度抑制するために、領域Q 9（C 5に対応）、Q 1 0（C 6に対応）、Q 7（C 9に対応）、Q 8（C 1 0に対応）の少なくとも1つにおいてリブ部を残しても良い。

【0 1 3 2】

以上説明した実施例1～実施例4のイオンフィルタ部2 0 0では、各領域Q n（nは1～1 0のいずれか）において支持層2 0 3のみが取り除かれているが、少なくとも1つの領域Q nにおいて支持層2 0 3とBOX層2 0 2の両方を取り除いても良い。

【0 1 3 3】

次に、イオンフィルタ部2 0 0の製造方法について説明する。

【0 1 3 4】

図2 1には、半導体製造に使用されるSOI（SOI：Silicon On Insulator）ウエハ基板の断面図が示されている。このウエハ基板は、電極層2 0 1、BOX層2 0 2、支持層2 0 3で構成されている。なお、実際は、支持層2 0 3は機械的強度を要求されるためBOX層2 0 2及び電極層2 0 1より厚みが大いだが、便宜上、小さく図示している。

【0 1 3 5】

（1）電極層2 0 1の上に、NSG（Nitride silicon glass）膜2 2 1を蒸着する（図2 2参照）。このNSG膜2 2 1は絶縁膜である。

（2）後工程で蒸着されるメタル層が電極層と電氣的に接続されるように、フォトリソグラフィ工程によってNSG膜をエッチングし2つのコンタクトホールを開ける（図2 3参照）。

（3）アルミニウムや金あるいは銅などの金属層2 2 2を蒸着する。

（4）フォトリソグラフィ工程によって、各コンタクトホールを覆う部分を残して、金属層2 2 2をエッチングで除去する（図2 4参照）。残された2つの金属層2 2 2の一方は電極層2 0 1に非対称電界波形信号を入力するための信号線が接続されるパッド電極となり、他方はGNDに接続されるパッド電極となる。これらのパッド電極には、ワイヤボンディングがなされたり、 bumpsが取り付けられたりする。

（5）パッド電極の開口部周囲を保護するために窒化保護膜2 2 3を形成する（図2 5参照）。

（6）フォトリソグリス2 2 4を全面に塗布する。

（7） 形電極構造をパターニングする（図2 6参照）。 形電極構造のパターン例が図2 7に示されている。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 6 】

ここでは、チップを個別化するエッチング部、チップを個別に切り離す部分（チップ同士の境界、半導体チップでのいわゆるダイシング領域）もエッチングされるようにパターンニングされている。形電極は、歯同士の間隔が狭く、歯の幅が薄いとダイシングの際の振動や流体から加わる圧力等によって容易に破壊されてしまう。そのため、本実施形態ではダイヤモンドブレードを使って削り出し、チップ化する従来の方法は採らず、ウエハ基板の裏表両面からエッチングすることによってチップ化する方法を採っている。

【 0 1 3 7 】

（ 8 ）電極層 2 0 1 を B O X 層 2 0 2 までエッチングし、形電極間の隙間を作る（図 2 8 参照）。このとき、チップ境界部のチップを個別化するエッチング部も同時にエッチングで取り除く。

10

（ 9 ）粘着剤 2 2 5 を用いてサポートウエハ 2 2 6 を貼り付ける（図 2 9 参照）。本実施形態では、ウエハ基板の裏表両面からエッチングすることによってチップを個別化するので、ばらばらにならないようにサポートウエハ 2 2 6 を貼り付ける。

（ 1 0 ）支持層 2 0 3 にフォトレジスト 2 2 7 を塗布し、支持層 2 0 3 を取り除く部分をパターンニングする（図 3 0 参照）。

【 0 1 3 8 】

なお、図 3 0 には、上記実施例 2 の場合が示されている。

【 0 1 3 9 】

（ 1 1 ）支持層 2 0 3 を B O X 層 2 0 2 までエッチングする（図 3 1 参照）。

20

（ 1 2 ）B O X 層 2 0 2 をエッチングしてイオンチャネル部を貫通させる（図 3 2 参照）。このとき、同時にチップの境界部分も除去され、チップが個別化される。

（ 1 3 ）支持層側のフォトレジスト 2 2 7 を除去する（図 3 3 参照）。

（ 1 4 ）サポートウエハ 2 2 6 を取り除く（図 3 4 参照）。

（ 1 5 ）電極層側のフォトレジスト 2 2 4 を除去する（図 3 5 参照）。これによって、イオンフィルタ部 2 0 0 となる。

なお、図 3 5 には、上記実施例 2 のイオンフィルタ部 2 0 0 が示されている。

【 0 1 4 0 】

また、上記実施例 1、3、4 のイオンフィルタ部 2 0 0 は、前述したイオンフィルタ部 2 0 0 の製造方法の工程（ 1 0 ）において、それぞれに対応した支持層 2 0 3 を取り除く部分をパターンニングすることにより、前述したイオンフィルタ部 2 0 0 の製造方法と同様な手順で製造することができる。

30

【 0 1 4 1 】

以上の説明から明らかなように、上記イオンフィルタ部 2 0 0 の製造方法において、本発明のイオンフィルタの製造方法が実施されている。

【 0 1 4 2 】

以上説明したように、本実施形態に係るイオンフィルタ部 2 0 0 （実施例 2 ～ 4 のイオンフィルタ部 2 0 0 ）は、支持層 2 0 3 と、該支持層 2 0 3 上に積層された B O X 層 2 0 2 （絶縁層）と、B O X 層 2 0 2 上に積層され、積層方向に直交する面内で互いの複数の歯が噛み合うように対向して配置された 2 つの形電極 2 1 1、2 1 2 （第 1 及び第 2 の形電極）を含む電極層 2 0 1 と、を備え隣り合う形電極 2 1 1 の歯 3 1 0 と形電極 2 1 2 の歯 3 2 0 との間の隙間に対応する B O X 層 2 0 2 及び支持層 2 0 3 の領域が存在せず（無く）、上記積層方向にイオンが通過することができる通路が形成され、電極層 2 0 1 の少なくとも一部に対応する支持層 2 0 3 の領域が存在しない（無い）ことを特徴とするイオンフィルタである。

40

形電

【 0 1 4 3 】

この場合、電極層 2 0 1 に対応する支持層 2 0 3 の少なくとも一部が存在しないので、電極層 2 0 1 と支持層 2 0 3 との間に生じるキャパシタンスを低減できる。

【 0 1 4 4 】

この結果、形電極 2 1 1、2 1 2 間（電極間）に印加された電圧の波形鈍りを抑制する

50

ことができる。

【 0 1 4 5 】

なお、上記積層方向にイオンが通過することができる通路は、要は、BOX層202及び支持層203の、隣り合う 歯310と 歯320との間の隙間の少なくとも一部に対応する領域が除去されて形成されれば良い。

【 0 1 4 6 】

なお、本実施形態では、イオンフィルタ部200を作製する際、支持層203とBOX層202と電極層201とを積層した後に、支持層203及びBOX層202の上記隙間に対応する領域（以下では「隙間対応領域」とも呼ぶ）、並びに電極層201の少なくとも一部に対応する支持層203の領域（電極層201と共にコンデンサを構成する領域（以下では「コンデンサ領域」とも呼ぶ））を除去しているが、これに限られない。

10

【 0 1 4 7 】

例えば、イオンフィルタ部200を作製する際、隙間対応領域及びコンデンサ領域が存在しない支持層203と、隙間対応領域が存在しないBOX層202と、電極層201とを積層しても良い。

【 0 1 4 8 】

例えば、イオンフィルタ部200を作製する際、隙間対応領域及びコンデンサ領域が存在しない支持層203と、隙間対応領域が存在するBOX層202と、電極層201とを積層した後、BOX層202の隙間対応領域を除去しても良い。

【 0 1 4 9 】

例えば、イオンフィルタ部200を作製する際、隙間対応領域及びコンデンサ領域が存在する支持層203と、隙間対応領域が存在しないBOX層202と、電極層201とを積層した後、支持層203の隙間対応領域及びコンデンサ領域を除去しても良い。

20

【 0 1 5 0 】

例えば、イオンフィルタ部200を作製する際、隙間対応領域が存在せず、かつコンデンサ領域が存在する支持層203と、隙間対応領域が存在しないBOX層202と、電極層201とを積層した後、支持層203のコンデンサ領域を除去しても良い。

【 0 1 5 1 】

例えば、イオンフィルタ部200を作製する際、隙間対応領域が存在せず、かつコンデンサ領域が存在する支持層203と、隙間対応領域が存在するBOX層202と、電極層201とを積層した後、支持層203のコンデンサ領域及びBOX層202の隙間対応領域を除去しても良い。

30

【 0 1 5 2 】

例えば、イオンフィルタ部200を作製する際、隙間対応領域が存在し、かつコンデンサ領域が存在しない支持層203と、隙間対応領域が存在するBOX層202と、電極層201とを積層した後、支持層203の隙間対応領域及びBOX層202の隙間対応領域を除去しても良い。

【 0 1 5 3 】

例えば、イオンフィルタ部200を作製する際、隙間対応領域が存在し、かつコンデンサ領域が存在しない支持層203と、隙間対応領域が存在しないBOX層202と、電極層201とを積層した後、支持層203の隙間対応領域を除去しても良い。

40

【 0 1 5 4 】

また、例えば電極層201が電極層213のような 形電極や電極パッドを取り囲む層を有しない場合、電極層201の全領域に対応する支持層203が存在しなくても良い。

【 0 1 5 5 】

また、電極層201の上記少なくとも一部は、 形電極211の複数の 歯310の少なくとも一部（少なくとも1つの 歯310の少なくとも一部）と、 形電極212の複数の 歯320の少なくとも一部（少なくとも1つの 歯320の少なくとも一部）と、形電極211の複数の 歯に導通する部分（連結部303や電極パッド301）と、 形電極212の複数の 歯に導通する部分（連結部304や電極パッド302）と、の少な

50

くとも１つを含むことが好ましい。これらは、電極層２０１のうち対応する支持層２０３との間でキャパシタンスを生じさせる部分であるため、これらの少なくとも１つに対応する支持層２０３が存在しないことが好ましいからである。

【０１５６】

また、実施例２～４のイオンフィルタ部２００では、形電極２１１、２１２は、それぞれ複数の歯を連結する連結部３０３、３０４を有し、支持層２０３の、２つの形電極２１１、２１２の連結部３０３、３０４に対応する領域が存在しない。なお、これに限らず、要は、支持層２０３の、２つの形電極２１１、２１２の連結部３０３、３０４の少なくとも一方に対応する領域の少なくとも一部が存在しないことが好ましい。

【０１５７】

また、実施例２～４のイオンフィルタ部２００では、電極層２０１は、形電極２１１に導通し、配線が接続される電極パッド３０１（第１の電極パッド）及び形電極２１２に導通し、配線が接続される電極パッド３０２（第２の電極パッド）を含み、支持層２０３の、２つの電極パッド３０１、３０２に対応する領域が存在しない。なお、これに限らず、要は、電極層２０１は、電極パッド３０１及び電極パッド３０２の少なくとも一方を含み、支持層２０３の、２つの電極パッド３０１、３０３の少なくとも一方に対応する領域の少なくとも一部が存在しないことが好ましい。

【０１５８】

また、実施例２、３のイオンフィルタ部２００では、支持層２０３の、形電極２１１、２１２の複数の歯の先端部に対応する領域が残存している。なお、これに限らず、要は、支持層２０３の、形電極２１１、２１２の少なくとも一方の複数の歯の先端部に対応する領域が存在していても良い。

【０１５９】

この場合、実施例２、３のイオンフィルタ部２００では、歯の変形や振動が抑制されることとなり、耐久性や信頼性の低下を招くことなく、電極の間隔及び電極の厚さを小さくすることが可能となる。そこで、イオンフィルタ部２００は、電池で駆動させることができる。

【０１６０】

また、ＢＯＸ層２０２の、支持層２０３が存在しない領域に対応する領域（例えば領域Ｑ１～Ｑ１０の少なくとも１つ）の少なくとも一部が存在しなくても良い。

【０１６１】

また、支持層２０３とＢＯＸ層２０２と電極層２０１とが、ＳＯＩ（ＳＯＩ：Silicon On Insulator）基板を用いて作製されている。

【０１６２】

また、電極層２０１は、不純物が注入されたシリコンからなっている。この場合は、歯電極の電気抵抗を低くして非対称電界波形信号の周波数応答性を向上させることができる。

【０１６３】

また、被測定分子をイオン化するイオン発生部１００（イオン発生器）と、イオン発生部１００からのイオンを選別するイオンフィルタ部２００（イオンフィルタ）と、該イオンフィルタ部２００で選別されたイオンを検出する検出部６００（検出器）と、を備えるイオン検出装置１０によれば、小型化及び低消費電力化を図ることができる。

【０１６４】

また、本実施形態に係るイオンフィルタ部２００の製造方法は、支持層２０３とＢＯＸ層２０２（絶縁層）と電極層２０１とが積層された基板を用いたイオンフィルタの製造する方法であって、電極層２０１に、積層方向に直交する面内で互いの複数の歯が噛み合うように対向して配置された２つの形電極２１１、２１２（第１及び第２の形電極）を形成する工程と、隣り合う形電極２１１の歯と形電極２１２の歯との間の隙間の少なくとも一部に対応するＢＯＸ層２０２及び支持層２０３の領域を除去して、積層方向にイオンが通過することができる通路を形成する工程と、電極層２０１の少なくとも一部に対応する支持層２０３の領域を除去する工程と、を含むイオンフィルタの製造方法であ

10

20

30

40

50

る。

【 0 1 6 5 】

この場合、電極層 2 0 1 に対応する支持層 2 0 3 の少なくとも一部が除去されるので、電極層 2 0 1 と支持層 2 0 3 との間に生じるキャパシタンスを低減できる。

【 0 1 6 6 】

この結果、形電極 2 1 1、2 1 2 間（電極間）に印加された電圧の波形鈍りを抑制することができる。

【 0 1 6 7 】

なお、上記実施形態において、電極層 2 0 1 が、金属がコーティングされたシリコンからなっているても良い。この場合は、形電極の表面が酸化してイオンフィルタ部の機能が損なわれることを防止したり、形電極の電気抵抗を低くして非対称電界波形信号の周波数応答性を向上させることができる。

10

【 0 1 6 8 】

また、上記実施形態では、イオンフィルタ部 2 0 0 が S O I (S O I : S i l i c o n O n I n s u l a t o r) ウエハ基板から製造される場合について説明したが、これに限定されるものではない。

【符号の説明】

【 0 1 6 9 】

1 0 ... イオン検出装置、1 0 0 ... イオン発生部（イオン発生器）、2 0 0 ... イオンフィルタ部（イオンフィルタ）、2 0 1 ... 電極層、2 0 2 ... B O X 層（絶縁層）、2 0 3 ... 支持層、2 1 1 ... 形電極（第 1 の形電極）、2 1 2 ... 形電極（第 2 の形電極）、2 1 3 ... 電極、2 2 1 ... N S G 膜、2 2 2 ... 金属層、2 2 3 ... 窒化保護膜、2 2 4 ... フォトレジスト、2 2 5 ... 粘着剤、2 2 6 ... サポートウエハ、2 2 7 ... フォトレジスト、3 0 1、3 0 2 ... 電極パッド、3 0 3、3 0 4 ... 連結部、3 1 0、3 2 0 ... 歯、6 0 0 ... 検出部（検出器）、9 0 0 ... 制御部。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 1 7 0 】

【文献】米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 0 2 8 1 9 6 号明細書

特許第 4 0 6 3 6 7 6 号公報

30

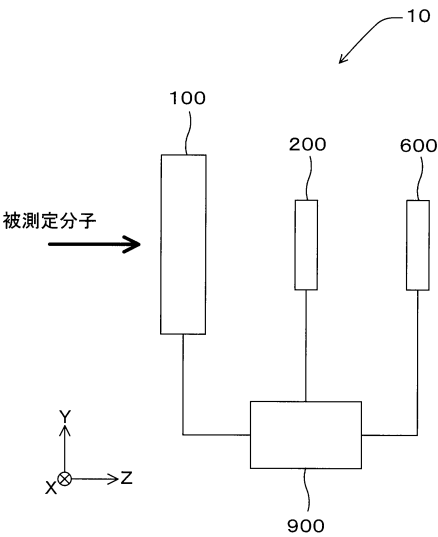
特許第 5 2 2 1 9 5 4 号公報

40

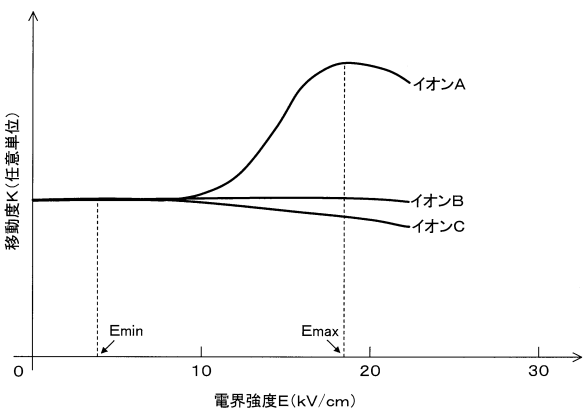
50

【図面】

【図 1】



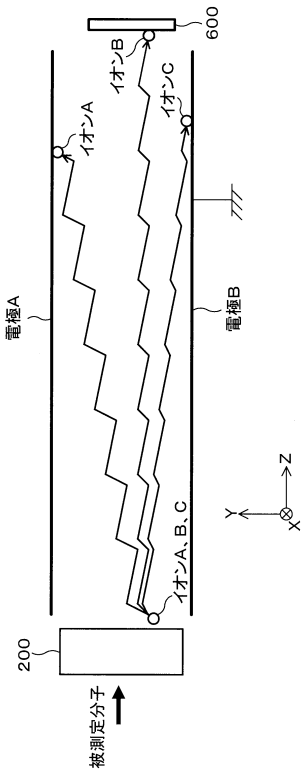
【図 2】



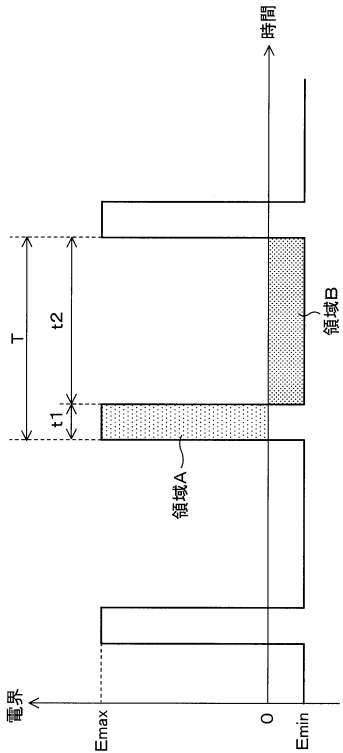
10

20

【図 3】



【図 4】

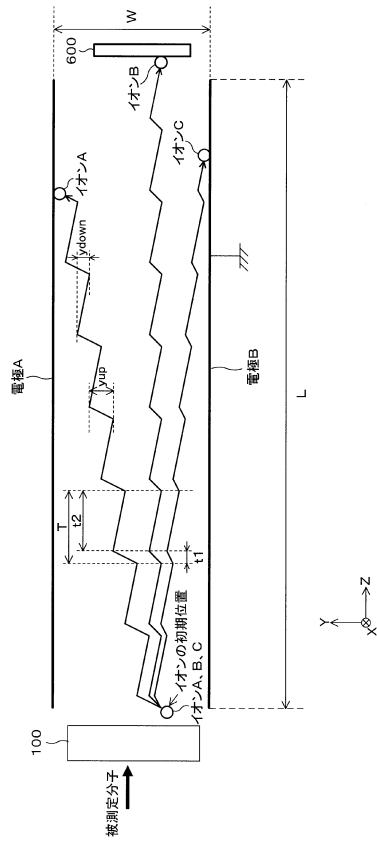


30

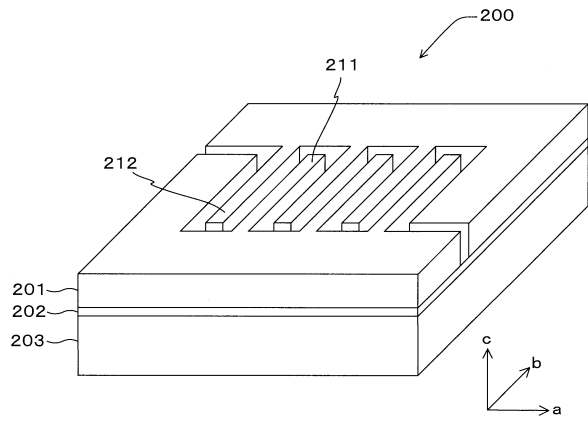
40

50

【 図 5 】



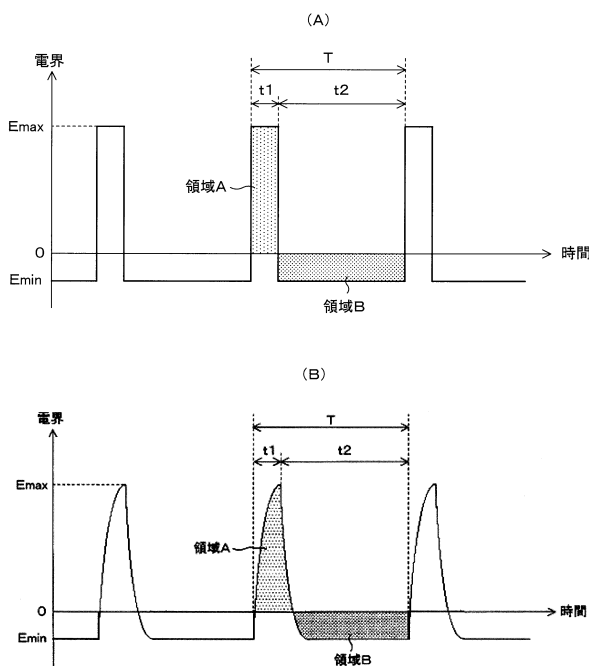
【 図 6 】



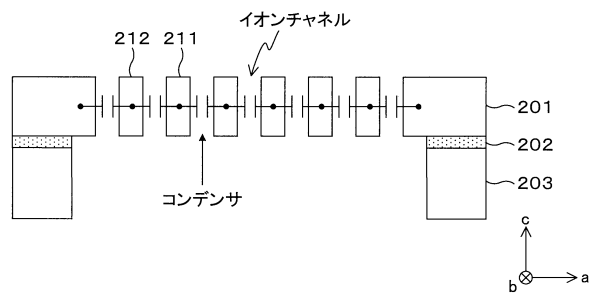
10

20

【圖 7】



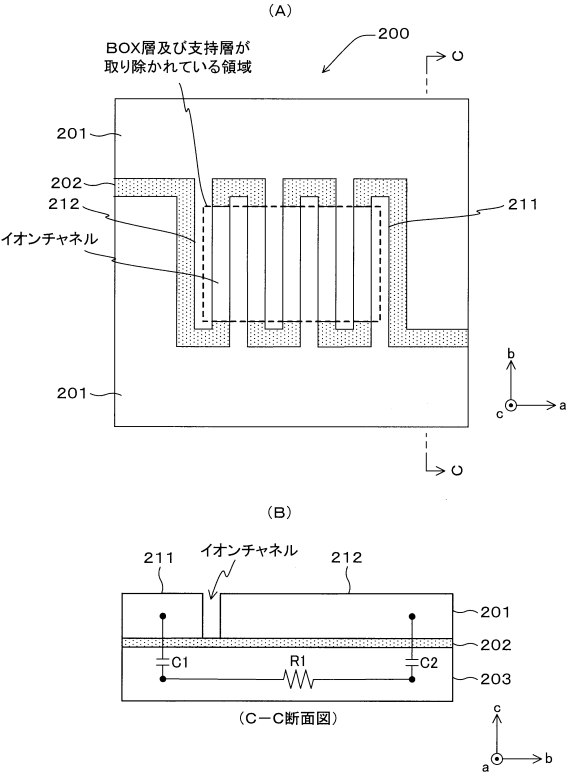
【圖 8】



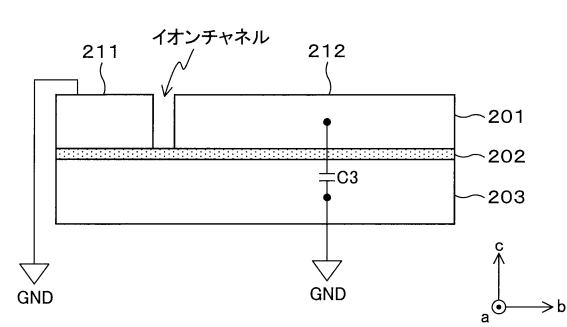
30

40

【図 9】



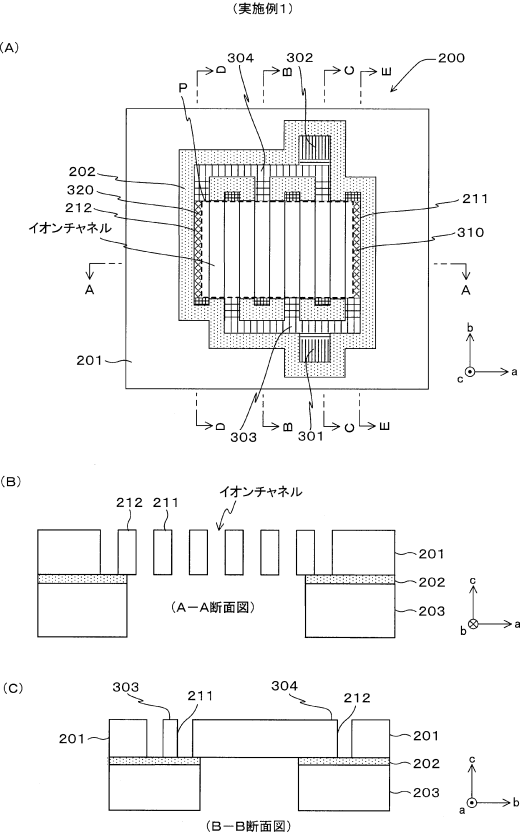
【図 10】



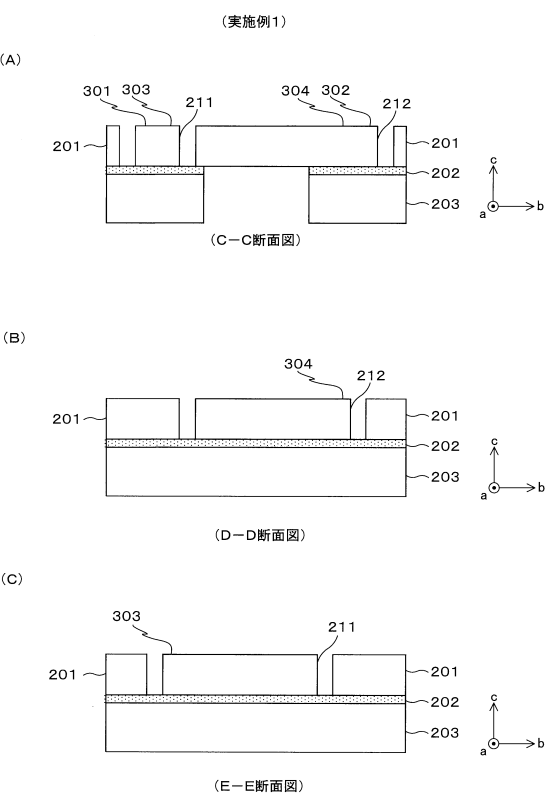
10

20

【図 11】



【図 12】

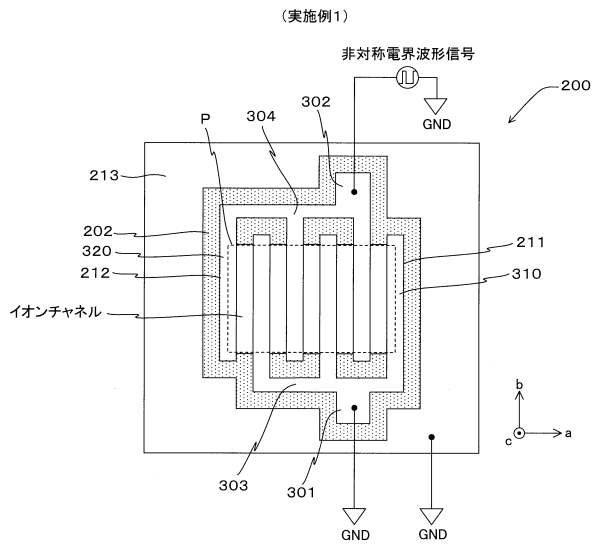


30

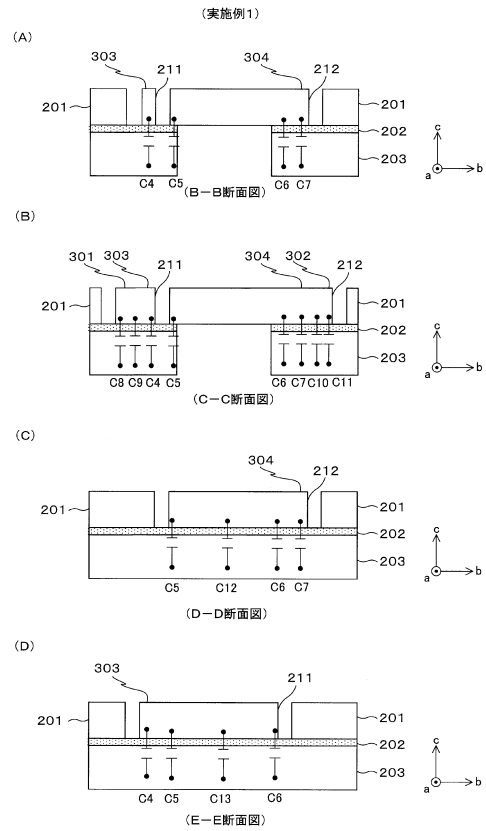
40

50

【図 13】



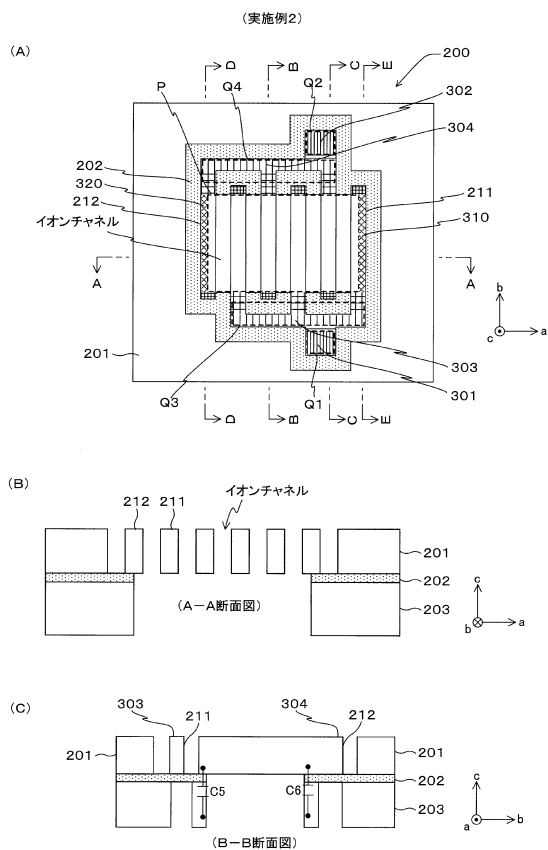
【図 14】



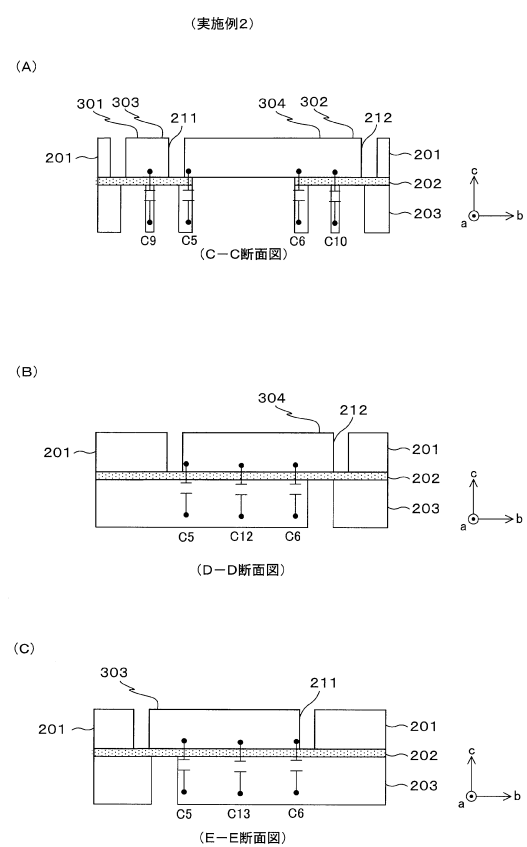
10

20

【図 15】



【図 16】

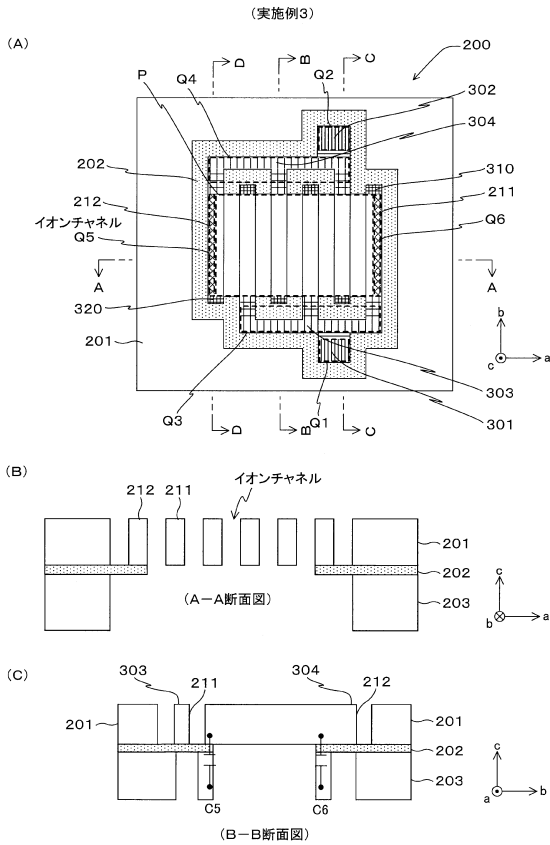


30

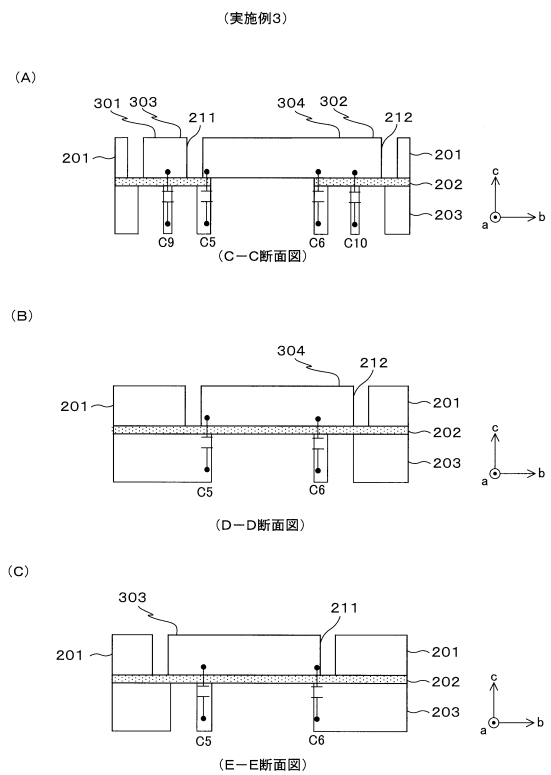
40

50

【図 17】



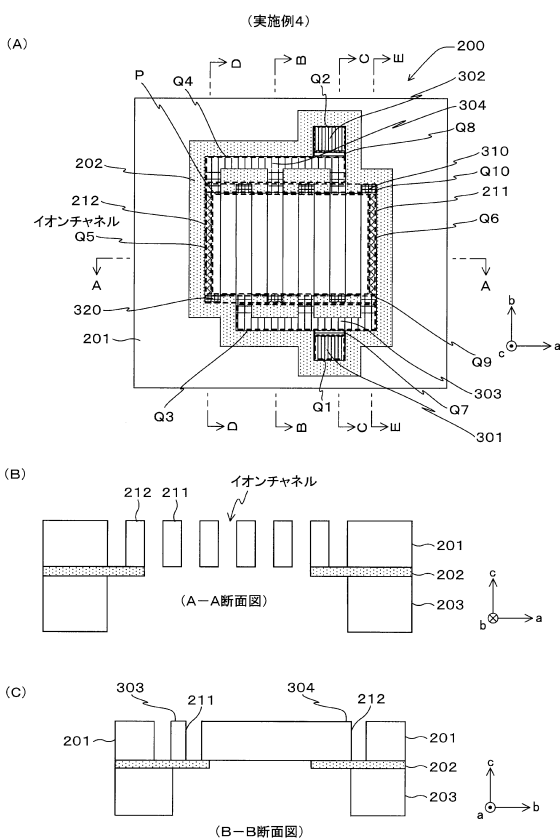
【図 18】



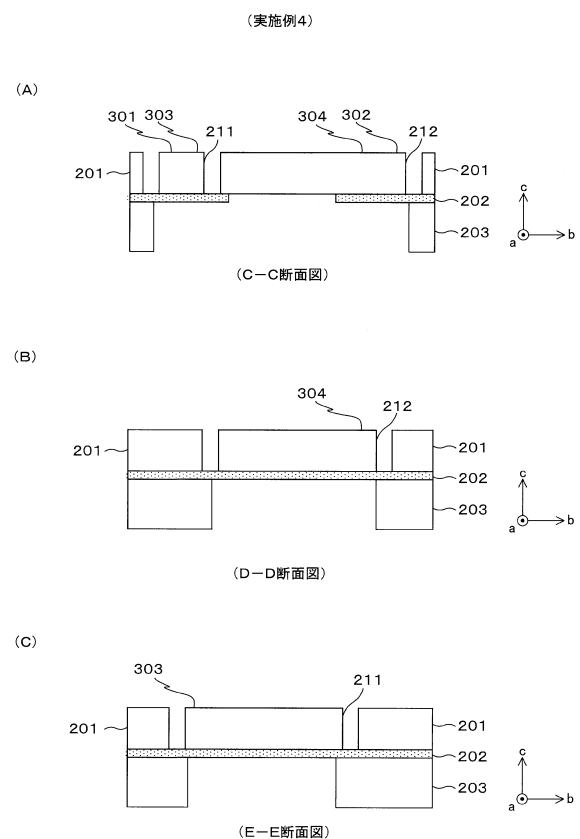
10

20

【図 19】



【図 20】

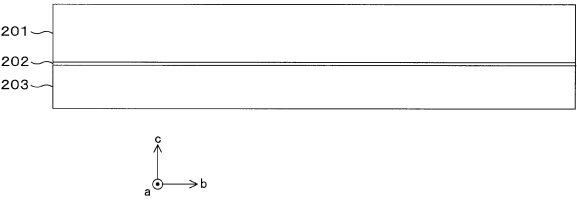


30

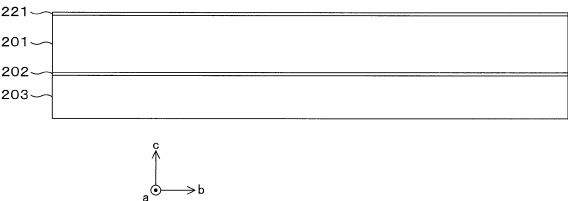
40

50

【図 2 1】

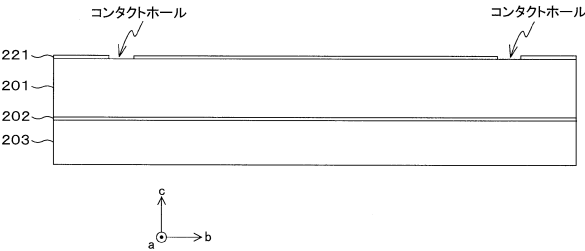


【図 2 2】

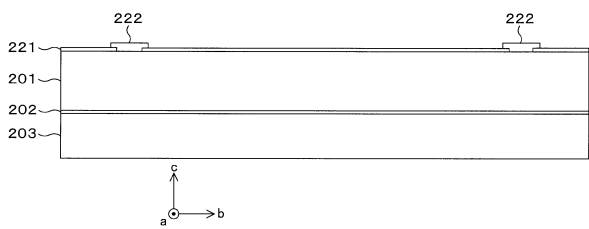


10

【図 2 3】

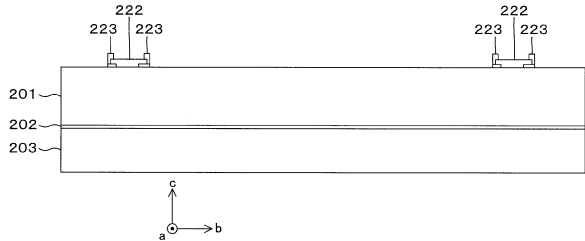


【図 2 4】

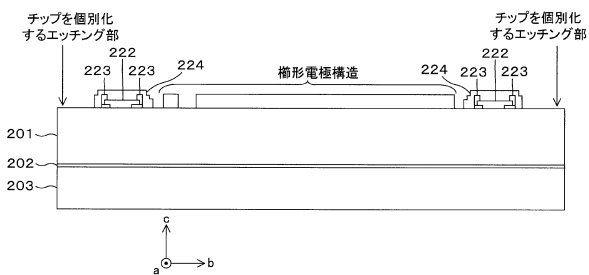


20

【図 2 5】



【図 2 6】

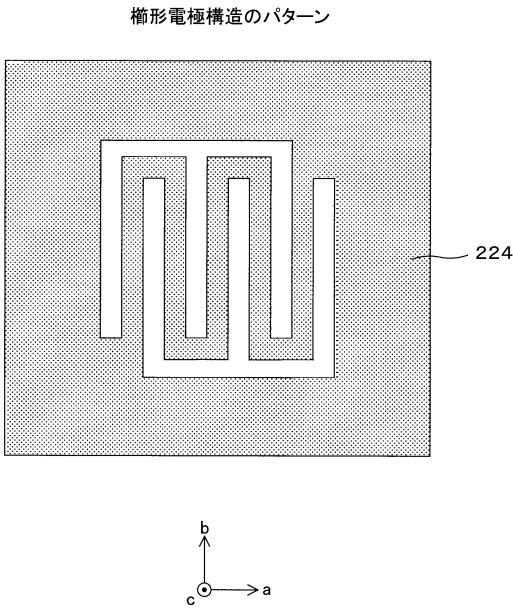


30

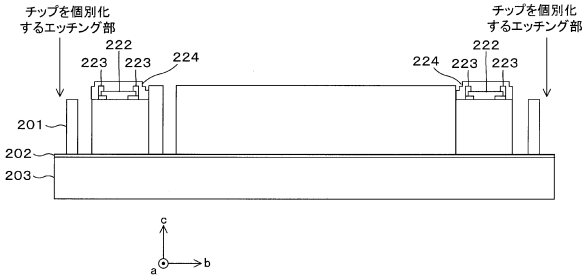
40

50

【図 27】



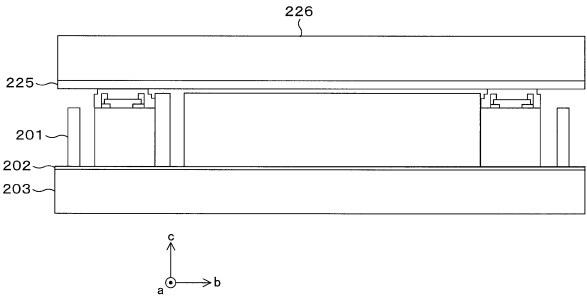
【図 28】



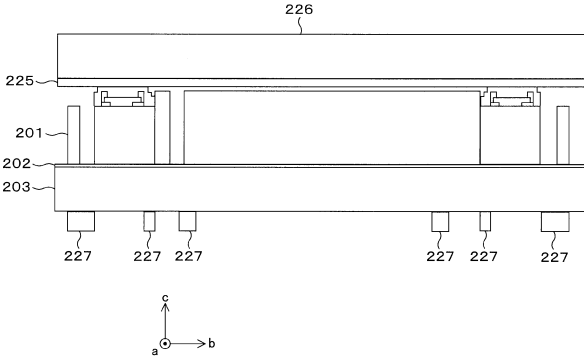
10

20

【図 29】



【図 30】

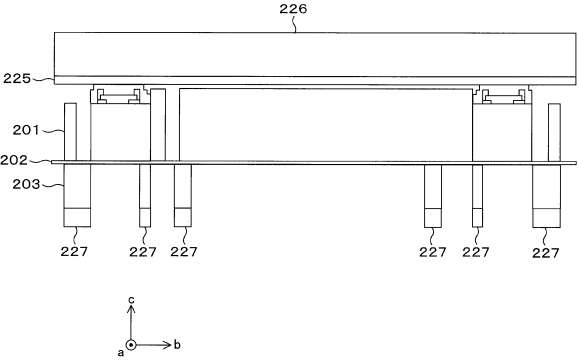


30

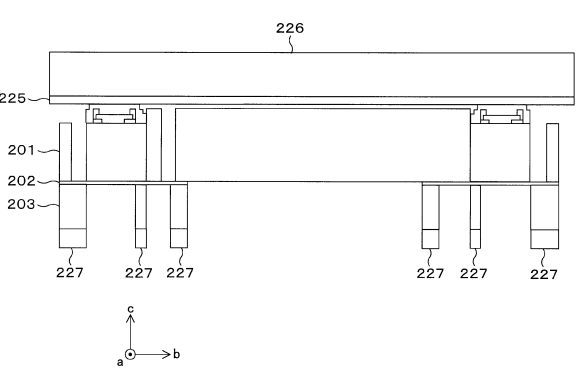
40

50

【図 3 1】

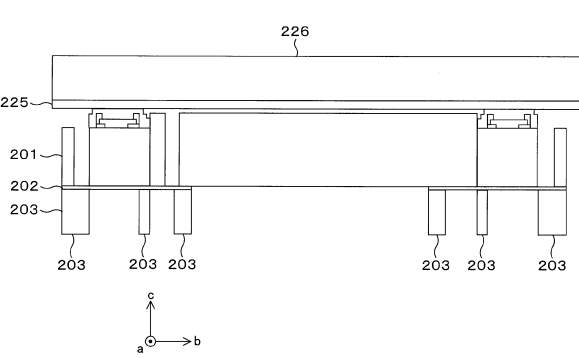


【図 3 2】

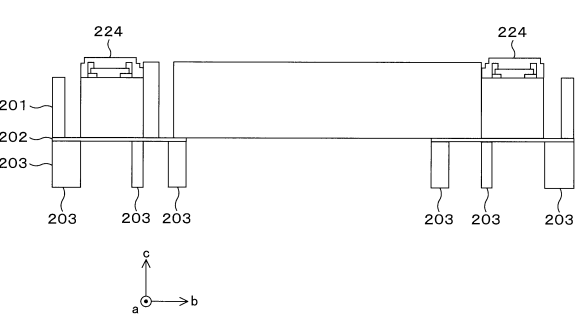


10

【図 3 3】

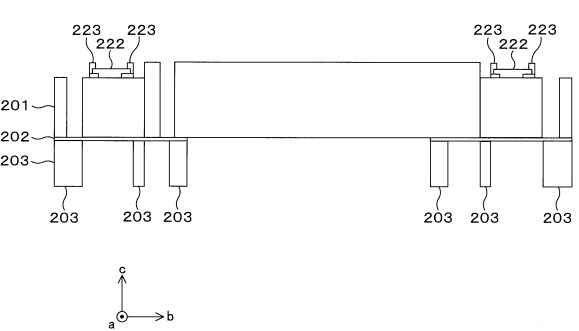


【図 3 4】



20

【図 3 5】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特表 2 0 0 8 - 5 0 8 6 9 3 (J P , A)
特表 2 0 1 2 - 5 2 5 6 9 8 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 0 2 5 6 7 9 (U S , A 1)
国際公開第 2 0 1 9 / 0 9 7 2 3 4 (W O , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 1 J 4 0 / 0 0 - 4 9 / 4 8
G 0 1 N 2 7 / 6 0 - 2 7 / 7 0
2 7 / 9 2