

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5975457号
(P5975457)

(45) 発行日 平成28年8月23日(2016.8.23)

(24) 登録日 平成28年7月29日(2016.7.29)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 29/84 (2006.01) H O 1 L 29/84 Z

請求項の数 7 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2011-122592 (P2011-122592)	(73) 特許権者	503360115
(22) 出願日	平成23年5月31日 (2011.5.31)		国立研究開発法人科学技術振興機構
(65) 公開番号	特開2012-253082 (P2012-253082A)		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(43) 公開日	平成24年12月20日 (2012.12.20)	(73) 特許権者	592216384
審査請求日	平成26年5月8日 (2014.5.8)		兵庫県
			兵庫県神戸市中央区下山手通5丁目10番1号
		(74) 代理人	100127203
			弁理士 奈良 泰宏
		(72) 発明者	笠井 一夫
			兵庫県姫路市書写2167 兵庫県立大学 大学院工学研究科内
		(72) 発明者	伊賀 友樹
			兵庫県姫路市書写2167 兵庫県立大学 大学院工学研究科内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元構造体及びセンサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の基板と、
前記第1の基板の一方の面に形成された絶縁体層と、
前記絶縁体層において前記第1の基板が形成されている側の面と反対側の面に形成された第2の基板とを備え、
前記絶縁体層は多孔層として形成されており、
前記絶縁体層の厚さが、10 μmよりも大きいことを特徴とする三次元構造体。

【請求項2】

第1の基板と、
前記第1の基板の一方の面に形成された絶縁体層と、
前記絶縁体層において前記第1の基板が形成されている側の面と反対側の面に形成された第2の基板とを備え、
前記絶縁体層の厚さが、1 μmよりも大きいものであり、
前記絶縁体層は多孔層として形成されており、
前記多孔層における各孔の積層方向に対する断面形状が、多角形状又は円形状であることを特徴とする三次元構造体。

【請求項3】

前記多角形状が、三角形、四角形状、及び、六角形状のいずれかであることを特徴とする請求項2に記載の三次元構造体。

【請求項 4】

前記第 1 の基板と前記第 2 の基板とで前記孔のそれぞれを真空状態で封止していることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の三次元構造体。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の三次元構造体、可動電極層、及び、固定電極層を備えたセンサであって、

前記第 2 の基板が、

外部からの加速度に応じて弾性変形可能な梁部と、該梁部を介して前記絶縁体層に支持された錘部とを有し、前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に前記可動電極層が形成された可動部と、

10

前記可動部と所定間隔をおいて対向する位置に設けられ、前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に前記固定電極層が形成された固定部とを備え、

前記絶縁体層の積層方向を Z 軸とした際、前記絶縁体層が、

前記可動部及び前記可動電極層を X、Y、Z 軸方向へ移動可能とする凹状のキャビティを備えていることを特徴とするセンサ。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の三次元構造体、発熱用ヒータ、及び、前記発熱用ヒータを挟んで流体の上流側及び下流側にそれぞれ配置された一对の測温体を備えたセンサであって、

前記絶縁体層が、

20

前記第 2 の基板が形成されている側の面に形成された凹状のキャビティを備え、

前記第 2 の基板が、

前記キャビティの開口端を覆う位置に形成され、前記キャビティが形成されている側の面と反対側の面に前記発熱用ヒータが配置される橋架部を備え、

前記測温体のそれぞれが、前記第 2 の基板において前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に配置されるとともに、

前記三次元構造体の積層方向から見た場合に、前記橋架部の内側に配置された温接点と、前記橋架部よりも外側に配置された冷接点とを備えていることを特徴とするセンサ。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の三次元構造体、半導体材料からなる蓋部材、第 1

30

の固定電極層、及び、第 2 の固定電極層を備えたセンサであって、

前記絶縁体層が、

前記第 2 の基板が形成されている側の面に形成された凹状のキャビティを備え、

前記第 2 の基板が、

前記キャビティの開口端を覆う位置に形成された橋架部を備え、

前記蓋部材が、

前記第 2 の基板における前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面において凹状に形成され、且つ、前記三次元構造体の積層方向から見た場合に、少なくとも前記橋架部の全体を覆うように配置されるとともに、少なくとも外部と連通する連通孔を有しており、

40

前記第 1 の固定電極層が、

前記蓋部材において前記第 2 の基板が形成されている側の面と反対側の面に形成され、

前記第 2 の固定電極層が、

前記第 2 の基板において前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に形成されるとともに、前記三次元構造体の積層方向から見た場合に、前記蓋部材よりも外側に配置されていることを特徴とするセンサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、三次元構造体、及び、該三次元構造体を用いたセンサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、下記特許文献1に代表されるように、ハードマスクを用いることなく作製できる構造体の製造方法が公知となっている。なお、この特許文献1に開示されている構造体の製造方法は、無機SOG(Spin-on glass)をマスクとして用いて、有機SOGをエッチングできるという特質、つまり、焼成すれば、酸化ケイ素となりうる2つの材料のエッチングレート比が異なるという特質、を利用して有機SOGを加工し、高温で焼成することにより、酸化ケイ素(SiXOY)、例えば、SiO₂を有する構造体を形成するというものである。より具体的には、下記特許文献1の図1(a)に示されるように、基板100の上に、有機SOGからなる第一の層110が形成され、その上にパターンニングされた無機SOGからなる第二の層120が形成される。次に、下記特許文献1の図1(b)に示されるように、無機SOGからなる第二の層120をマスクとして、有機SOGからなる第一の層110のエッチングが行なわれる。最後に、下記特許文献1の図1(c)に示されるように、有機SOGからなる第一の層110と、無機SOGからなる第二の層120とを焼成して、酸化ケイ素200(例えば、SiO₂)を有した構造体が製造されている。なお、下記特許文献1には、この酸化ケイ素200、つまり、酸化膜用SOGの膜厚についての具体的な数値は示されていない。

10

【0003】

ただし、市販の酸化膜用SOG(東京応化工業(株)製 OCD-T7(商品名)、アドピュクSiO₂ 700(商品名))では、酸化膜用SOGの最大膜厚が、それぞれ、0.5μm、0.12μmとなっていることから、無機SOG及び有機SOGを用いて製造可能な酸化膜用SOG膜厚の最大膜厚は1μmが限界と考えられる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2008-78617号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記特許文献1の酸化膜用SOG(酸化ケイ素200)上に、電極を含むセンサデバイスを設けた場合、ベースとなる基板100で発生する寄生容量(素子構造に寄生して存在する意図しない静電容量)がセンサ感度を低下させる要因となる。したがって、センサデバイスと基板100とを電氣的に切り離す必要がある。

30

【0006】

センサデバイスと基板100とを電氣的に切り離す手段として、比誘電率がシリコンより小さく、絶縁耐力の大きい酸化膜でセンサデバイスと基板100とを切り離すことができるが、電氣的な結合を少なくするためには酸化膜の厚さを厚くする必要がある。しかしながら、酸化膜の成膜には高温の条件が必要であり、高温で成膜し、室温に戻した場合、シリコン(Si)と酸化膜(SiO₂)との線膨張率の差により、全体で反りが生じてしまう場合がある。これにより、センサを構成する構造物に歪みなどが生じることがあり、センサ感度の低下につながるという問題がある。

40

【0007】

そこで、本発明の目的は、センサデバイスと基板との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができるとともに、センサデバイスと基板との電氣的な結合を切り離すことによるセンサデバイスと基板との間の電気絶縁性を従来よりも向上することのできる三次元構造体、及び、該三次元構造体を用いたセンサを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

(1) 本発明の三次元構造体は、第1の基板と、前記第1の基板の一方の面に形成され

50

た絶縁体層と、前記絶縁体層において前記第1の基板が形成されている側の面と反対側の面に形成された第2の基板とを備え、前記絶縁体層は多孔層として形成されており、前記絶縁体層の厚さが、10 μmよりも大きいことを特徴とするものである。

【0009】

上記(1)の構成によれば、絶縁体層を多孔層として形成し、絶縁体層の厚さを、従来の酸化膜用SOGで限界と考えられる最大膜厚10 μmよりも大きくすることで、第2の基板において絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に電極を含むセンサデバイスを設けた場合に、センサデバイスと第1の基板との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができる。

10

【0010】

更に、上記(1)の構成によれば、第2の基板において絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に電極を含むセンサデバイスを設けた場合に、絶縁体層によって、センサデバイスと第1の基板との電気的な結合を切り離すことができるため、センサデバイスと第1の基板との間の電気絶縁性を従来よりも向上させることができる。

【0011】

なお、本発明中の「絶縁体層の厚さ」は、20 μm以上であることがさらに好ましい。本発明の三次元構造体において、絶縁体層の厚さを20 μm以上とした場合には、実用上、寄生容量がないとみなして使用することが可能な場合がある。

20

【0012】

(2) 本発明の三次元構造体は、第1の基板と、前記第1の基板の一方の面に形成された絶縁体層と、前記絶縁体層において前記第1の基板が形成されている側の面と反対側の面に形成された第2の基板とを備え、前記絶縁体層の厚さが、1 μmよりも大きいものであり、前記絶縁体層は多孔層として形成されており、前記多孔層における各孔の積層方向に対する断面形状が、多角形状又は円形状であってよい。

【0013】

上記(2)の構成によれば、絶縁体層の厚さを、従来の酸化膜用SOGで限界と考えられる最大膜厚1 μmよりも大きくすることで、第2の基板において絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に電極を含むセンサデバイスを設けた場合に、センサデバイスと第1の基板との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができる。また、第2の基板において絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に電極を含むセンサデバイスを設けた場合に、絶縁体層によって、センサデバイスと第1の基板との電気的な結合を切り離すことができるため、センサデバイスと第1の基板との間の電気絶縁性を従来よりも向上させることができる。さらに、多孔層における各孔の積層方向に対する断面形状が、多角形状又は円形状である構造とすることで、第1の基板又は第2の基板と、多孔層との接触面積を小さくしつつ、多孔層の強度を確保した状態で、第1の基板又は第2の基板と、多孔層との熱膨張率の差による構造体全体の反りを抑制することができる。これにより、三次元構造体への局所的な応力集中を抑制することができる。

30

40

【0014】

(3) 上記(2)の三次元構造体においては、前記多角形状は、三角形状、四角形状、及び、六角形状のいずれかであることが好ましい。

【0015】

上記(3)の構成によれば、三次元構造体の用途又は使用状況に応じて、より具体的には、第1の基板又は第2の基板と、多孔層との接触面積を小さくする度合い等に応じて、多孔層の孔を種々の形状に形成することができる。

50

【 0 0 1 6 】

(4) 上記 (2) 又は (3) の三次元構造体においては、前記第 1 の基板と前記第 2 の基板とで前記孔のそれぞれを真空状態で封止していることが好ましい。

【 0 0 1 7 】

上記 (4) の構成によれば、第 1 の基板と第 2 の基板とで孔のそれぞれを真空状態で封止することによって、外部からの熱伝達経路を断つことができ、三次元構造体の断熱性又は耐熱性を確保することができる。

【 0 0 1 8 】

なお、本発明の三次元構造体を MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) フローセンサに適用した場合、より具体的には、多孔層において第 2 の基板が形成されている側の面にキャビティを形成し、該キャビティの開口端に第 2 の基板を介して測温体 (サーマピル) を配置したような場合には、多孔層の各孔、より具体的には、各孔と第 2 の基板とで囲まれた空間の断熱性を向上させることができ、上記キャビティと三次元構造体の外部との熱伝達経路がより確実に断たれることで、測温体の測温精度を向上させることができる点で特に有効である。

【 0 0 1 9 】

なお、本発明中の「真空状態で封止する」とは、例えば、三次元構造体の製造過程において、多孔層が形成された第 1 の基板と、第 2 の基板の前駆体層との位置を合わせた状態でチャンバー内に配置し、チャンバー内を例えば 10^{-3} Pa 以下の減圧状態で維持することが含まれる。

【 0 0 2 0 】

(5) 本発明のセンサは、上記 (1) ~ (4) のいずれかの三次元構造体、可動電極層、及び、固定電極層を備えたセンサであって、前記第 2 の基板が、外部からの加速度に応じて弾性変形可能な梁部と、該梁部を介して前記絶縁体層に支持された錘部とを有し、前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に前記可動電極層が形成された可動部と、前記可動部と所定間隔をおいて対向する位置に設けられ、前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に前記固定電極層が形成された固定部とを備え、前記絶縁体層の積層方向を Z 軸とした際、前記絶縁体層が、前記可動部及び前記可動電極層を X、Y、Z 軸方向へ移動可能とする凹状のキャビティを備えていることを特徴とするものである。なお、例えば、前記センサに検知部を設け、前記可動部及び前記可動電極層に外部から加速度が作用した場合に、前記可動電極層と前記固定電極層との間に発生する静電容量の変化に基づいて、前記可動部と前記固定電極層とに作用した加速度の大きさ及び方向を検知するようにしてもよい。

【 0 0 2 1 】

上記 (5) の構成によれば、絶縁体層の厚さを、従来の酸化膜用 SOG で限界と考えられる最大膜厚 $1 \mu\text{m}$ よりも大きくすることで、第 2 の基板の可動部及び固定部において絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面にそれぞれ可動電極層及び固定電極層を形成した場合に、可動電極層及び固定電極層と、第 1 の基板との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができる。これにより、センサの感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、センサとしての検知精度を従来よりも向上させることができる。

【 0 0 2 2 】

更に、上記 (5) の構成によれば、第 2 の基板 (可動部及び固定部) と絶縁体層とによって、可動部において絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に形成された可動電極層、及び、固定部において絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に形成された固定電極層と、第 1 の基板との電気的な結合を切り離すことができるため、固定電極層及び可動電極層と、第 1 の基板との間の電気絶縁性を従来よりも向上させることができる。これにより、センサの感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、センサとしての検知精度を従来よりも向上させることができる。

【 0 0 2 3 】

なお、本発明中の「固定電極層及び可動電極層」とは、例えば、その一部が櫛歯状に形成された固定電極層及び可動電極層が含まれる。

【0024】

(6) 本発明のセンサは、上記(1)~(4)のいずれかの三次元構造体、発熱用ヒータ、及び、前記発熱用ヒータを挟んで流体の上流側及び下流側にそれぞれ配置された一对の測温体を備えたセンサであって、前記絶縁体層が、前記第2の基板が形成されている側の面に形成された凹状のキャビティを備え、前記第2の基板が、前記キャビティの開口端を覆う位置に形成され、前記キャビティ側の面と反対側の面に前記発熱用ヒータが配置される橋架部を備え、前記測温体のそれぞれが、前記第2の基板において前記絶縁体層側の面と反対側の面に配置されるとともに、前記三次元構造体の積層方向から見た場合に、前記橋架部の内側に配置された温接点と、前記橋架部よりも外側に配置された冷接点とを備えていることを特徴とするものである。なお、例えば、前記センサに検知部を設け、上流側から下流側に向けて流体が移動した場合に、上流側の測温体の温接点が冷却されて降温し、一方、流体によって運ばれる熱で下流側の測温体の温接点が温度上昇する特性を利用して、検知部が、測温体の測温結果に基づいて、流体の流量を検知するようにしてもよい。

10

【0025】

上記の構成(6)によれば、絶縁体層の厚さを、従来の酸化膜用SOGで限界と考えられる最大膜厚1 μ mよりも大きくすることで、第2の基板において絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に一对の測温体を配置した場合に、各測温体と、第1の基板との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができる。これにより、センサの感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、センサとしての検知精度を従来よりも向上させることができる。

20

【0026】

更に、上記(6)の構成によれば、第2の基板と絶縁体層とによって、各測温体と、第1の基板との電気的な結合を切り離すことができるため、各測温体と、第1の基板との間の電気絶縁性を従来よりも向上させることができる。これにより、センサの感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、センサとしての検知精度を従来よりも向上させることができる。

【0027】

加えて、上記(6)の構成によれば、第1の基板と第2の基板とで多孔層の孔のそれぞれ、及び、キャビティを真空状態で封止することによって、各孔及びキャビティの断熱部としての性能を向上させることができる。この結果、第1の基板と第2の基板との熱伝達経路を断つことにより、各測温体へのセンサ全体の取り付け部からの熱伝達が防がれ、センサとしての検知精度を向上させることができる。

30

【0028】

(7) 本発明のセンサは、上記(1)~(4)のいずれかの三次元構造体、半導体材料からなる蓋部材、第1の固定電極層、及び、第2の固定電極層を備えたセンサであって、前記絶縁体層が、前記第2の基板が形成されている側の面に形成された凹状のキャビティを備え、前記第2の基板が、前記キャビティの開口端を覆う位置に形成された橋架部を備え、前記蓋部材が、前記第2の基板における前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面において凹状に形成され、且つ、前記三次元構造体の積層方向から見た場合に、少なくとも前記橋架部の全体を覆うように配置されるとともに、少なくとも外部と連通する連通孔を有しており、前記第1の固定電極層が、前記蓋部材において前記第2の基板が形成されている側の面と反対側の面に形成され、前記第2の固定電極層が、前記第2の基板において前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に形成されるとともに、前記三次元構造体の積層方向から見た場合に、前記蓋部材よりも外側に配置されていることを特徴とするものである。なお、例えば、前記センサに検知部を設け、前記錘部に外部からの圧力が作用した場合に、前記第1の固定電極層と前記第2の固定電極層との間に発生する静電容量の変化に基づいて、前記橋架部に加わった圧力値を検知するようにしてもよい

40

50

。

【0029】

上記(7)の構成によれば、絶縁体層の厚さを、従来の酸化膜用SOGで限界と考えられる最大膜厚 $1\mu\text{m}$ よりも大きくすることで、蓋部材において前記第2の基板が形成されている側の面と反対側の面、及び、第2の基板において前記絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に、それぞれ、第1の固定電極層及び第2の固定電極層を形成した場合に、第1の固定電極層及び第2の固定電極層と、第1の基板との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができる。これにより、センサの感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、センサとしての検知精度を従来よりも向上させることができる。

10

【0030】

更に、上記(7)の構成によれば、第2の基板と絶縁体層とによって、蓋部材において第2の基板が形成されている側の面と反対側の面に形成された第1の固定電極層、及び、第2の基板において絶縁体層が形成されている側の面と反対側の面に形成された第2の固定電極層と、第1の基板との電気的な結合を切り離すことができるため、第1の固定電極層及び第2の固定電極層と、第1の基板との間の電気絶縁性を従来よりも向上させることができる。これにより、センサの感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、センサとしての検知精度を従来よりも向上させることができる。

【0031】

なお、本発明中の「キャビティの開口端を覆う」とは、キャビティ内を外気に対して気密状態に保つこと、を意味する。

20

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】本発明の第1実施形態に係る三次元構造体の概略図であって、(a)が上視図、(b)が(a)のA-A線の矢視断面図である。

【図2】三次元構造体の製造方法の一例を示す図である。

【図3】三次元構造体の製造工程で使用するフォトマスクのマスクパターンの一例を示す上視図である。

【図4】前駆体層にドライエッチングを実施した状態を示すSEM(顕微鏡写真)写真である。

30

【図5】本発明の第2実施形態に係るセンサの概略図であって、(a)が斜視図、(b)が電極パッドと検知部との接続関係を示すブロック図である。

【図6】本発明の第2実施形態に係るセンサの概略図であって、(a)が上視図、(b)が(a)のB-B線の矢視断面図である。

【図7】センサの製造方法の一例を示す図である。

【図8】本発明の第3実施形態に係るセンサの概略図であって、(a)が上視図、(b)が(a)のC-C線の矢視断面図、(c)が電極パッドと検知部との接続関係を示すブロック図である。

【図9】本発明の第4実施形態に係るセンサの概略図であって、(a)が上視図、(b)が(a)のD-D線の矢視断面図である。

40

【図10】三次元構造体の製造工程で使用するマスクパターンの別の一例を示す上視図である。

【発明を実施するための形態】

【0033】

<第1実施形態>

以下、図1～図4を参照しながら、本発明の第1実施形態に係る三次元構造体について説明する。

【0034】

(第1実施形態に係る三次元構造体の構成)

図1(a)、(b)に示すように、三次元構造体100は、第1の基板1と、多孔層(

50

絶縁体層) 2 と、第 2 の基板 3 と、を備えているものである。なお、図 1 (a) においては、説明の都合上、多孔層 2 の外形を第 2 の基板 3 において多孔層 2 が形成されている側の面と反対側の面から透視した仮想線 (点線) によって表している。

【 0 0 3 5 】

第 1 の基板 1 は、ケイ素などの半導体からなるものである。

【 0 0 3 6 】

多孔層 2 は、二酸化ケイ素などの絶縁体からなる層であり、第 1 の基板 1 の一方の面に形成されているものである。また、多孔層 2 は、ハニカム構造 (Honeycomb)、つまり、正六角形状の孔 2 a を複数個並べた蜂の巣状の構造を有しているものである。また、多孔層 2 の厚さは、1 μm よりも大きくなっている。なお、多孔層 2 の厚さは、3 μm 以上であることがより好ましく、20 μm 以上であることがさらに好ましい。

10

【 0 0 3 7 】

第 2 の基板 3 は、ケイ素などの半導体からなるものであり、多孔層 2 において第 1 の基板 1 が形成されている側の面と反対側の面に形成されているものである。

【 0 0 3 8 】

(第 1 実施形態に係る三次元構造体の製造方法)

次に、三次元構造体 1 0 0 の製造方法の一例について、図 2 ~ 図 4 を用いて説明する。

【 0 0 3 9 】

まず、ベースとなるケイ素からなる板状材料 (例えば、シリコンウェハ) を第 1 の基板 1 の前駆体層 4 として準備する (図 2 (a) 参照) 。

20

【 0 0 4 0 】

次に、前駆体層 4 の一方の面にハニカム状のドライエッチングを行い、第 1 の基板 1 を作成する (図 2 (b) 参照) 。この工程では、まず、フォトマスクを製作する。このフォトマスクのマスクパターンは、図 3 に示すように、上記ハニカム構造を有している。正六角形状の孔の各辺の長さは 10 . 4 μm の寸法を有しており、孔において互いに対向する内壁面間の距離は 18 μm の寸法を有しており、互いに隣り合う孔の辺と辺との間の距離、つまり、残しパターン (ハニカム構造の枠) の幅厚は 2 μm の寸法を有している。

【 0 0 4 1 】

次に、前駆体層 4 の一方の面にフォトレジストを塗布し、露光により現像液への溶解性が変化するフォトレジストの特性に基づき、フォトレジスタにフォトマスクの画像を転写する。続いて、ドライエッチングに用いる第 1 のガスとして、 SF_6 (6 フッ化硫黄) で深さ方向へのドライエッチング (以下、エッチステップ) と、第 2 のガスとして、フッ素系の C_4F_8 (クタフルオロシクロブタン) で重合物 (CF_2)_n による側壁面の保護 (以下、デポステップ) を行い、エッチステップとデポステップとを交互に繰り返してボッシュプロセスのドライエッチングを行う。ここでは、ハニカム構造において互いに隣り合う孔の間隔 (幅厚) が 2 μm となるように維持しつつ、前駆体層 4 を所定の深さまでエッチングする。なお、以下に、エッチステップ及びデポステップの各レシピ (1) , (2) を示す。

30

【 0 0 4 2 】

(1) エッチステップ - コイル電源 ; 1500 W、エッチステップ時間 ; 1 . 5 秒、 SF_6 (6 フッ化硫黄) の流量 ; 400 s c c m (standard cc/min)、エッチステップ時の圧力 ; 5 P a、プラテン電源 ; 70 W (d u t y 10 %、100 H z)

40

(2) デポステップ - コイル電源 ; 1500 W、デポステップ時間 ; 1 . 5 秒、 C_4F_8 (クタフルオロシクロブタン) の流量 ; 400 s c c m (standard cc/min)、デポステップ時の圧力 ; 10 P a、プラテン電源 ; 0 W

なお、上記 s c c m (standard

cc/min) は、1 気圧、0 に換算した場合の流量を示している。

【 0 0 4 3 】

なお、上記各レシピ (1) , (2) で、前駆体層 4 にドライエッチングを実施した状態を示す S E M 写真を下記の図 4 に示す。図 4 に示すように、ハニカム構造において互いに

50

隣り合う孔間の間隔（幅厚）は均一な $2 \mu\text{m}$ の寸法を有している。

【0044】

なお、ボッシュプロセスでのエッチング量の面内分布はマスクパターンのサイズにより異なるが、通常 $1 \sim 5\%$ の誤差範囲内に収めることが可能であり、本製造工程では、 3% の誤差となった。また、前駆体層 4 に対する深さ方向のエッチング量の限度とてしては、残しパターンの幅等により異なるが、アスペクト比（深さ方向のエッチング量と残しパターン幅の比）を 20 以上に確保することが可能である。つまり、残しパターン幅が $2 \mu\text{m}$ の場合であれば、深さ方向のエッチング量（残しパターンの高さ）を $40 \mu\text{m}$ 以上確保することが可能である。また、残しパターン幅の寸法、及び、アスペクト比等を考慮すれば、上記レシピ（1）、（2）以外にも、コイル電源； $1000\text{W} \sim 2500\text{W}$ 、エッチステップ時間又はデポステップ時間； $1 \text{秒} \sim 8 \text{秒}$ 、エッチステップ時又はデポステップ時の圧力； $3 \text{Pa} \sim 15 \text{Pa}$ 、プラテン電源； $15\text{W} \sim 150\text{W}$ （*duty* $5\% \sim 30\%$ 、 $60 \text{Hz} \sim 100 \text{Hz}$ ）でのレシピを使用できる。

10

【0045】

続いて、第 1 の基板 1 の一方の面に熱酸化処理を施す（図 2（c）参照）。この熱酸化は、ウェット酸化で、例えば 1000 の温度条件下で 300 分間実施される。これにより、図 1（b）に示す多孔層 2 が第 1 の基板 1 の一方の面に形成される。

【0046】

そして、多孔層 2 と、第 2 の基板 3 の前駆体層 5 とを直接接合する（図 2（d）参照）。この接合は、多孔層 2 において第 1 の基板 1 が形成されている側の接合面と前駆体層 5 の一方の接合面とに、硫酸過水洗浄で水酸基を付着し、多孔層 2 と前駆体層 5 の各接合面を合わせ、表面間引力により接合する。また、この接合は、真空中での真空封止又は大気中での大気圧封止による加圧処理、及び、 $200 \sim 1000$ の温度条件下での加熱処理によって行われる。より具体的に、多孔層 2 の孔 2 a 内を真空状態で封止する場合には、多孔層 2 が形成された第 1 の基板 1 と、前駆体層 5 とをチャンパー（不図示）内に配置するとともに、チャンパー内を 10^{-3}Pa 以下の減圧状態とし、多孔層 2 の孔 2 a 内を大気圧で封止する場合には、多孔層 2 が形成された第 1 の基板 1 と、前駆体層 5 とをチャンパー内に配置するとともに、チャンパー内に窒素を $0 \sim 0.15 \text{MPa}$ の加圧により導入し、 400 の温度条件下、及び、 2MPa の圧力条件下で、 30 分間、多孔層 2 が形成された第 1 の基板 1 と、前駆体層 5 と、を加熱した後に、チャンパー内から取り出し、次に、大気雰囲気中で、 1000 の温度条件下で、 30 分の加熱処理が行われる。なお、加熱処理は、大気圧雰囲気下で実施する場合に限らず、真空炉を用いて実施可能である。

20

30

【0047】

最後に、前駆体層 5 において多孔層 2 が形成されている側の面と反対側の面に C M P（*chemical Mechanical Polishing*）等による研磨加工を施し、前駆体層 5 の不要な厚さ部分を取り除くことにより、第 2 の基板 3 を作成する（図 2（e）参照）。

【0048】

上記構成によれば、多孔層 2 の厚さを、従来の酸化膜用 S O G で限界と考えられる最大膜厚 $1 \mu\text{m}$ よりも大きくすることで、第 2 の基板 3 において多孔層 2 が形成されている側の面と反対側の面に電極を含むセンサデバイスを設けた場合に、センサデバイスと第 1 の基板 1 との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができる。

40

【0049】

上記構成によれば、第 2 の基板 3 において多孔層 2 が形成されている側の面と反対側の面に電極を含むセンサデバイスを設けた場合に、第 2 の基板 3 と多孔層 2 とによって、センサデバイスと第 1 の基板 1 との電気的な結合を切り離すことができるため、センサデバイスと第 1 の基板 1 との間の電気絶縁性を従来よりも向上させることができる。

【0050】

また、多孔層 2 における各孔 2 a の積層方向に対する断面形状が、正六角形状の孔 2 a

50

を複数個並べた蜂の巣状の形状（ハニカム形状）を有することで、第1の基板1又は第2の基板3と、多孔層2との接触面積を小さくしつつ、多孔層2の強度を確保した状態で、第1の基板1又は第2の基板3と、多孔層2との熱膨張率の差による三次元構造体100全体の反りを抑制することができる。これにより、三次元構造体100への局所的な応力集中を抑制することができる。

【0051】

また、多孔層2においてハニカム構造の枠を構成する残しパターンの面積を小さくでき、残しパターンの高さを大きくすることで、第1の基板1と第2の基板3とが大気圧（又は真空）の空間（孔2a）を介して向かい合う容積を大きくできるので、寄生容量低減の面からも有効である。

10

【0052】

また、三次元構造体100の製造プロセスにおいて、多孔層2が形成された第1の基板1と、第2の基板3の前駆体層5とをチャンバー内に配置するとともに、チャンバー内を 10^{-3} Pa以下の減圧状態とすることにより、第1の基板1と第2の基板3とで孔2aのそれぞれを真空状態で封止することができるため、外部からの熱伝達経路を断つことができ、三次元構造体100の断熱性又は耐熱性を確保することができる。

【0053】

また、通常、前駆体層4の加工はリソグラフィ又は酸化膜エッチングという方法がとられる。酸化膜エッチングとして、フッ素系の溶液によるウェットエッチングが用いられるが、等方的なエッチングであるため、マスク下にサイドエッチが入り、設計されたマスクパターンよりも寸法が小さくなり、前駆体層4にマスクパターン通りの形状を再現できず、再現性、転写性、及び、制御性に乏しく、前駆体層4の残しパターン幅を小さくできない。また、前駆体層4に対するエッチングの深さが深くなるに連れて、垂直エッチング深さ $\times 0.6 \sim 0.8$ の大きさのサイドエッチが入り、この点からも、深さ方向のエッチング量が制限され、残しパターンの高さを大きくできない。更に、塩素系のガスを使ったドライエッチングによる別の方法もあるが、この方法ではある程度の異方性エッチングが可能であるが、選択性のあるマスクがなく、選択比が低いいため、マスクの断面プロフィール通りのエッチング形状となってしまう、垂直方向のエッチングが難しい。また、選択比が小さいので、当然深掘りは不可能である。また、上記の両方法ともに、前駆体層4の面内におけるエッチング量の分布も良くない。この点、本実施形態の上記レシピ（1）、（2）に基づいて、エッチステップとデポステップとを交互に繰り返してボッシュプロセスのドライエッチングによれば、高アスペクト比、残しパターン幅の微細化、パターン転写の精度、パターンの再現性、及び、制御性の全ての点で上記両方法よりも優れた前駆体層4の加工を実現できる。

20

30

【0054】

<第2実施形態>

次に、図5～図7を用いて、本発明の第2実施形態に係るセンサについて説明する。なお、第1実施形態の部位1～3と、本実施形態の部位201～203とは、順に同様のものであるので、説明を省略することがある。

【0055】

（第2実施形態に係る静電容量型センサの構成）

本実施形態に係る静電容量型センサ1000は、図5に示すように、第1実施形態と同様の三次元構造体200と、固定電極層204と、可動電極層205と、検知部206とを備えているものである。

40

【0056】

多孔層（絶縁体層）202は、図6（b）に示すように、上記孔2aと同様の孔202aを複数個並べた蜂の巣状の構造（ハニカム構造）を有しているものである。また、多孔層202は、図6（b）に示すように、第1の基板201において多孔層202が形成されている側の面に達する凹状のキャビティ202bを有しているものである。これにより、第2の基板203の後述する錘部207aは、図5（a）及び図6（a）、（b）に示

50

すX, Y, Z軸方向への移動が可能となっている。なお、Z軸方向は、三次元構造体200(多孔層202)の積層方向を示している。

【0057】

第2の基板203は、図5(a)に示すように、可動部207と、この可動部207と対向する位置にY軸方向に沿って所定間隔をおいて配置された一对の固定部208とを有して構成されている。

【0058】

可動部207は、図5(a)に示すように、矩形棒状をなす錘部207aと、この錘部207aの両端部からX軸方向に細長い矩形棒状に延びるとともに、錘部207aに作用した外部からの加速度に応じて弾性変形可能な4つの梁部207bと、各梁部207bの端部に形成された柱状のアンカ部207cと、錘部207aの両端部からY軸方向に夫々櫛歯状に延びる各8本の細幅状の櫛歯部207dと、を有して構成されている。図5(a)に示すように、可動部207においては、錘部207aが各梁部207bとアンカ部207cとによって多孔層202に支持された所謂両持ち状に浮いた状態となっている。

10

【0059】

固定部208は、図5(a)に示すように、上記錘部207aの両端部からY軸方向に所定間隔をおいて位置する一对の細長い矩形棒状の基部208aと、一对の基部208aそれぞれの端部からY軸方向(内部側)に櫛歯状に延びる9本の細幅の櫛歯部208bとを有して構成されている。これらの櫛歯部208bは、上記各櫛歯部207dとX軸方向に所定間隔をおいて互いに隣り合って設けられている。

20

【0060】

なお、本実施形態では、可動部207が、錘部207aの両端部からY軸方向に夫々櫛歯状に延びる各8本の櫛歯部207dを有し、固定部208が、一对の基部208aそれぞれの端部からY軸方向(内部側)に延びる9本の櫛歯部208bを有する例について述べたが、櫛歯部207d及び櫛歯部208bの本数は、静電容量型センサ1000で必要とされる感度に応じて適宜変更できる。ここで、変形例として、可動部207が、錘部207aの両端部からY軸方向に夫々櫛歯状に延びる各7本以下、又は、各9本以上の櫛歯部207dを有していてもよく、固定部208が、一对の基部208aそれぞれの端部からY軸方向(内部側)に延びる8本以下、又は、10本以上の櫛歯部208bを有していてもよい。

30

【0061】

固定電極層204は、Al、Cu、又はPtなどの金属からなる層であり、図5(a)に示すように、各固定部208において多孔層202が形成されている側の面と反対側の面に形成されているものである。固定電極層204は、図6(a)に示すように、上記基部208aにおいて多孔層202が形成されている側の面と反対側の面に形成された電極配線用の電極パッド204aと、上記櫛歯部208bに対応する位置に形成された櫛歯電極部204bと、を有している。

【0062】

可動電極層205は、Al、Cu、又はPtなどの金属からなる層であり、図5(a)に示すように、可動部207において多孔層202が形成されている側の面と反対側の面に形成されている。可動電極層205は、図6(a)に示すように、上記アンカ部207cにおいて多孔層202が形成されている側の面と反対側の面に形成された電極配線用の電極パッド205aと、上記櫛歯部207dにおいて多孔層202が形成されている側の面と反対側の面に形成された櫛歯電極部205bと、を有している。

40

【0063】

なお、上記の電極パッド204a、205aは、平面的に四角形状に形成されるものでもよく、これ以外にも、例えば、三角形等が多角形状若しくは円形状及び楕円形状等、種々の形状に形成できる。

【0064】

検知部206は、図5(b)に示すように、上記各電極パッド204a、205aに接続

50

されており、錘部 207a に外部からの加速度が作用した場合に、可動部 207 及び可動電極層 205 の X、Y、Z 軸方向への移動に応じて、櫛歯電極部 204b、205b の間に発生する静電容量の変化に基づいて、錘部 207a に作用した加速度の大きさ及び方向を検知するものである。検知部 206 は、静電容量の変化を電圧変化に変換して所定の出力に増幅するための容量 - 電圧変換部、フィルタ、及び、信号増幅部等が接続された構造を有しており、静電容量の変化を加速度の大きさ及び方向として取得することができる。

【0065】

次に、静電容量型センサ 1000 の動作について説明する。静電容量型センサ 1000 では、櫛歯電極部 204b、205b の間にコンデンサが形成され、これらのコンデンサの静電容量が、錘部 207a に外部からの加速度が作用した場合に、可動部 207 及び可動電極層 205 の X、Y、Z 軸方向への移動に基づく櫛歯電極部 205b の変位に応じて差動的に変化することになり、静電容量の変化を、錘部 207a に作用した加速度の大きさ及び方向として取得することができるものである。

10

【0066】

(第2実施形態に係る静電容量型センサの製造方法)

次に、静電容量型センサ 1000 の製造方法の一例について、図7を用いて説明する。

【0067】

まず、第2の基板 203 において多孔層 202 が形成されている側の面と反対側の面に、アルミニウム (A1) からなる固定電極層 204 及び可動電極層 205 の前駆体層 209 を蒸着又はスパッタ法などの方法を用いて形成する (図7(a)参照)。なお、図7(a)において、キャビティ 202b (図7(d)参照) のすぐ脇にある多孔層 202 の側壁部は、略中央部分にキャビティ 202b を形成するために、他の側壁部よりも横幅が予め厚くなっている。

20

【0068】

次に、前駆体層 209 において第2の基板 203 が形成されている側の面と反対側の面にレジスト (図示せず) などのマスクパターンを形成した後、ウェットエッチング処理し、前駆体層 209 を固定電極層 204 及び可動電極層 205 の形状にパターニングする (図7(b)参照)。これにより、固定電極層 204 及び可動電極層 205 が形成される。

【0069】

続いて、第2の基板 203 において多孔層 202 が形成されている側の面と反対側の面側からの DEEP REACTIVE ION ETCHING (Deep Reactive Ion Etching) によって、第2の基板 203 に可動部 207 及び固定部 208 を形成する (図7(c)参照)。

30

【0070】

最後に、可動部 207 の櫛歯部 207d と固定部 208 の櫛歯部 208b との間 (可動電極層 205 の櫛歯電極部 205b と固定電極層 204 の櫛歯電極部 204b との間) に形成された隙間を利用したエッチングによって、多孔層 202 の略中央部分を除去する (図7(d)参照)。これにより、多孔層 202 の略中央部分に凹状のキャビティ 202b が形成される。

【0071】

上記構成によれば、多孔層 202 の厚さを、従来の酸化膜用 SOG で限界と考えられる最大膜厚 1 μm よりも大きくすることで、第2の基板 203 の可動部 207 及び固定部 208 において多孔層 202 が形成されている側の面と反対側の面にそれぞれ可動電極層 205 及び固定電極層 204 を形成した場合に、可動電極層 205 及び固定電極層 204 と、第1の基板 201 との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができる。これにより、静電容量型センサ 1000 のセンサ感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、静電容量型センサ 1000 としての検知精度を従来よりも向上させることができる。

40

【0072】

上記構成によれば、第2の基板 203 と多孔層 202 とによって、固定電極層 204 及び可動電極層 205 と、第1の基板 201 との電気的な結合を切り離すことができるため、

50

固定電極層 204 及び可動電極層 205 と、第 1 の基板 201 との間の電気絶縁性を従来よりも向上させることができる。これにより、静電容量型センサ 1000 のセンサ感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、静電容量型センサ 1000 としての検知精度を従来よりも向上させることができる。

【0073】

< 第 3 実施形態 >

次に、図 8 を用いて、本発明の第 3 実施形態に係るセンサについて説明する。なお、第 1 実施形態の部位 1 ~ 3 と、本実施形態の部位 301 ~ 303 とは、順に同様のものである。説明を省略することがある。なお、図 8 (a) は、保護膜 308 を除去して、発熱用ヒータ 304 及びサーモパイル 305 , 306 を露出させた状態を示している。また、図 8 (a) 中の矢印は、流体の流れる方向を示している。なお、図 8 (a) においては、説明の都合上、キャビティ 302 b の外形を第 2 の基板 303 において多孔層 302 が形成されている側の面と反対側の面から透視した仮想線（一点鎖線）によって表している。

【0074】

(第 3 実施形態に係る MEMS フローセンサの構成)

本実施形態に係る MEMS フローセンサ 2000 は、図 8 に示すように、第 1 実施形態と同様の三次元構造体 300 と、発熱用ヒータ 304 と、一对のサーモパイル（測温体）305 , 306 と、検知部 307 とを備えているものである。

【0075】

多孔層（絶縁体層）302 は、図 8 (b) に示すように、上記孔 2 a と同様の孔 302 a を複数個並べた蜂の巣状の構造（ハニカム構造）を有しているものである。多孔層 302 の孔 302 a 内は、 10^{-3} Pa 以下の減圧状態で真空封止されている。これにより、各孔 302 a の内部、より具体的に、各孔 302 a と第 2 の基板 203 とで囲まれた空間は、キャビティ 302 b と三次元構造体 300 の外部との熱伝達経路を断つ断熱部としての役割を有するものである。また、多孔層 302 は、図 8 (b) に示すように、第 2 の基板 303 が形成されている側の面に形成された凹状のキャビティ 302 b を有しているものである。キャビティ 302 b は、第 1 の基板 301 の側から第 2 の基板 303 の側に向かうに連れて幅が広がる台形状に形成されているものである。

【0076】

第 2 の基板 303 は、キャビティ 302 b の開口端を覆う位置に形成され、キャビティ 302 b が形成されている側の面と反対側の面に形成された薄膜状の橋架部 303 a を有しているものである。橋架部 303 a は、キャビティ 302 b によって多孔層 302 と断熱されている。

【0077】

発熱用ヒータ 304 は、ポリシリコンなどの多結晶シリコンからなるものであって、図 8 (a) に示すように、その一端部が橋架部 303 a の略中央部に配置されている。

【0078】

サーモパイル 305 , 306 は、例えばポリシリコン / アルミニウムからなる熱電対によって構成されており、図 8 (a) に示すように、第 2 の基板 303 において多孔層 302 が形成されている側の面と反対側の面に配置されている。サーモパイル 305 , 306 は、発熱用ヒータ 304 を挟むようにして、流体の上流側と下流側の対称な位置にそれぞれ配置されている。サーモパイル 305 , 306 は、橋架部 303 a の縁を横切るようにして配置されたポリシリコンからなる第 1 の細線 305 a , 306 a と、アルミニウムからなる第 2 の細線 305 b , 306 b とを有しているものである。図 8 (a) に示すように、第 1 の細線 305 a , 306 a 及び第 2 の細線 305 b , 306 b は、交互かつ平行に配線されている。

【0079】

サーモパイル 305 は、図 8 (a) に示すように、橋架部 303 a の内側において第 1 の細線 305 a と第 2 の細線 305 b との接続点として構成された温接点 305 c と、橋架

10

20

30

40

50

部 303a の外側において第 1 の細線 305a と第 2 の細線 305b との接続点として構成された冷接点 305d とを有しているものである。同様に、サーモパイル 306 は、図 8(a) に示すように、橋架部 303a の内側において第 1 の細線 306a と第 2 の細線 306b との接続点として構成された温接点 306c と、橋架部 303a の外側において第 1 の細線 306a と第 2 の細線 306b との接続点として構成された冷接点 306d とを有しているものである。つまり、図 8(a) に示すように、三次元構造体 300 の積層方向から見た場合に、温接点 305c, 306c は、橋架部 303a (キャビティ 302b) の内側に配置されており、冷接点 305d, 306d は、橋架部 303a (キャビティ 302b) よりも外側に配置されている。これにより、温接点 305c, 306c は、薄膜状の橋架部 303a においてキャビティ 302b が形成されている側の面と反対側の面に配置されているので、熱容量が小さく、流体に触れると敏感に温度が変化するが、冷接点 305d, 306d は、第 2 の基板 303 の橋架部 303a を除く厚膜部分において多孔層 302 が形成されている側の面と反対側の面に配置されているので、流体と接触しても温度が変化し難くなっている。

10

【0080】

発熱用ヒータ 304 及び第 1 の細線 305a, 306a には、 1.0×10^{19} (ions/cm³) の燐 (P) がドーピングされているものである。また、発熱用ヒータ 304 及びサーモパイル 305, 306 は、保護膜 308 で覆われているものである。また、図 8(a) ~ (c) 中の各符号 309 ~ 311 は、それぞれ、発熱用ヒータ 304 及びサーモパイル 305, 306 を検知部 307 に電気配線を介して接続するための電極パッドを示している。

20

【0081】

検知部 307 は、電極パッド 309 ~ 311 を介して発熱用ヒータ 304 及びサーモパイル 305, 306 のそれぞれと接続されており、発熱用ヒータ 304 に電流を流して発熱させながら、流体の移動に応じたサーモパイル 305, 306 の出力電圧値の変化に基づき、流体の流量を検知するものである。

【0082】

次に、MEMS フローセンサ 2000 の動作について説明する。MEMS フローセンサ 2000 では、流体の流れていない無風時には、サーモパイル 305 の出力電圧とサーモパイル 306 の出力電圧とは等しいが、図 8(a) の矢印方向に、上流側から下流側に向けて流体が移動した場合、上流側のサーモパイル 305 の温接点 305c は冷却されて降温し、出力電圧が小さくなる。一方、流体によって運ばれる熱で下流側のサーモパイル 306 の温接点 306c は温度上昇し、出力電圧が大きくなる。従って、検知部 307 は、サーモパイル 305, 306 の出力電圧値の変化に基づき、サーモパイル 305, 306 の計測温度を演算することで、流体の流量を検知することができるものである。

30

【0083】

上記構成によれば、多孔層 302 の厚さを、従来の酸化膜用 SOG で限界と考えられる最大膜厚 1 μm よりも大きくすることで、第 2 の基板 303 において多孔層 302 が形成されている側の面と反対側の面にサーモパイル 305, 306 を配置した場合に、第 2 の細線 305b, 306b と、第 1 の基板 301 との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができる。これにより、MEMS フローセンサ 2000 のセンサ感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、MEMS フローセンサ 2000 としての検知精度を従来よりも向上させることができる。

40

【0084】

上記構成によれば、第 2 の基板 303 と多孔層 302 とによって、第 2 の細線 305b, 306b と、第 1 の基板 301 との電気的な結合を切り離すことができるため、第 2 の細線 305b, 306b と、第 1 の基板 301 との間の電気絶縁性を従来よりも向上させることができる。これにより、MEMS フローセンサ 2000 のセンサ感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、MEMS フローセンサ 2000 としての検知精度を従来よりも向上させることができる。

50

【 0 0 8 5 】

上記構成によれば、多孔層 3 0 2 の孔 3 0 2 a 内が、 10^{-3} Pa 以下の減圧状態で真空封止されているため、各孔 3 0 2 a の断熱部としての性能を向上させることができる。これにより、キャビティ 3 0 2 b と三次元構造体 3 0 0 の外部との熱伝達経路をより確実に断つことができ、サーモパイル 3 0 5、3 0 6 の出力電圧値の精度を向上させることができる点で特に有効である。

【 0 0 8 6 】

< 第 4 実施形態 >

次に、図 9 を用いて、本発明の第 4 実施形態に係るセンサについて説明する。なお、第 1 実施形態の部位 1 ~ 3 と、本実施形態の部位 4 0 1 ~ 4 0 3 とは、順に同様のものである。10
このため、説明を省略することがある。なお、図 9 (a) においては、説明の都合上、キャビティ 4 0 2 b の外形を第 2 の基板 4 0 3 において多孔層 4 0 2 が形成されている側の面と反対側の面から透視した仮想線 (点線) によって表している。同様に、図 9 (a) においては、説明の都合上、蓋部材 4 0 4 の各内壁面 4 0 4 b を蓋部材 4 0 4 において第 1 の固定電極層 4 0 5 が形成されている側の面から透視した仮想線 (破線) によって表している。

【 0 0 8 7 】

(第 4 実施形態に係る静電容量型センサの構成)

本実施形態に係る静電容量型センサ 3 0 0 0 は、図 9 (a) , (b) に示すように、第 1 実施形態と同様の三次元構造体 4 0 0 と、蓋部材 4 0 4 と、第 1 の固定電極層 4 0 5 と 20
、第 2 の固定電極層 4 0 6 と、検知部 4 0 7 とを備えているものである。

【 0 0 8 8 】

多孔層 (絶縁体層) 4 0 2 は、図 9 (b) に示すように、上記孔 2 a と同様の孔 4 0 2 a を複数個並べた蜂の巣状の構造 (ハニカム構造) を有しているものである。また、多孔層 4 0 2 は、図 9 (b) に示すように、第 2 の基板 4 0 3 が形成されている側の面に形成された凹状のキャビティ 4 0 2 b を有しているものである。各孔 4 0 2 a 及びキャビティ 4 0 2 b は、第 1 の基板 4 0 1 と第 2 の基板 4 0 3 とによって気密状態で封止されており、各孔 4 0 2 a 及びキャビティ 4 0 2 b と、第 2 の基板 4 0 3 とで囲まれた各空間内は、蓋部材 4 0 4 に印加された圧力の検出に適した雰囲気環境 (気密状態) で維持されている。 30

【 0 0 8 9 】

第 2 の基板 4 0 3 は、図 9 (b) に示すように、一様な厚さの薄膜状に加工された平板として形成されている。また、第 2 の基板 4 0 3 は、図 9 (a) 中に点線で示すキャビティ 4 0 2 b と同じ位置に形成された略中央部分 (以下、橋架部という) を有しているものである。そして、該橋架部によって、キャビティ 4 0 2 b の開口端が覆われている。ここで、「キャビティ 4 0 2 b の開口端を覆う」とは、キャビティ 4 0 2 b 内を外気に対して気密状態に保つこと、を意味する。

【 0 0 9 0 】

蓋部材 4 0 4 は、ケイ素などの半導体材料からなるものであり、図 9 (a) , (b) に示すように、第 2 の基板 4 0 3 において多孔層 4 0 2 が形成されている側と反対側の面において凹状に形成されているものである。図 9 (a) に示すように、蓋部材 4 0 4 は、三次元構造体 4 0 0 の積層方向から見た場合に、少なくとも橋架部 (キャビティ 4 0 2 b) の全体を覆うように配置されているものである。また、図 9 (b) に示すように、蓋部材 4 0 4 の内部には、外部に連通するとともに、三次元構造体 4 0 0 の積層方向に対して垂直方向に延びる略直方体状の連通孔 4 0 4 a が形成されている。これにより、連通孔 4 0 4 a の内部は、外気圧と等しい圧力で維持されている。また、図 9 (b) に示すように、蓋部材 4 0 4 において連通孔 4 0 4 a を両側から挟むようにして対向する一对の内壁面 4 0 4 b は、キャビティ 4 0 2 b よりも外側に設けられている。これにより、橋架部は、連通孔 4 0 4 a の内部において、蓋部材 4 0 4 に妨げられることなく、三次元構造体 4 0 0 の積層方向に沿う方向に移動可能となっている。 40
50

【0091】

第1の固定電極層405は、Al、Cu、又はPtなどの金属からなる層であり、図9(b)に示すように、蓋部材404において第2の基板403が形成されている側の面と反対側の面に形成されている。

【0092】

第2の固定電極層406は、Al、Cu、又はPtなどの金属からなる層であり、図9(b)に示すように、第2の基板403において多孔層402が形成されている側の面と反対側の面に形成されている。また、図9(a)に示すように、第2の固定電極層406は、三次元構造体400の積層方向から見た場合に、蓋部材404よりも外側に配置されている

10

【0093】

検知部407は、図9(b)に示すように、第1の固定電極層405及び第2の固定電極層406に接続されており、連通孔404aの内部圧力(外気圧)とキャビティ402aの内部圧力との圧力差に基づく圧力変動に応じて、橋架部が三次元構造体400の積層方向に沿ってキャビティ402aに近づく側に凹み、或いは、キャビティ402aから離れる側に凸状に膨らむことに伴い、蓋部材404と橋架部との距離が変化した際に、第1の固定電極層405と第2の固定電極層406との間に発生する静電容量の変化に基づいて、橋架部に作用した圧力値を検知するものである。検知部407は、静電容量の変化を電圧変化に変換して所定の出力に増幅するための容量-電圧変換部、フィルタ、及び、信号増幅部等が接続された構造を有しており、静電容量の変化を圧力値として取得することができる。

20

【0094】

次に、静電容量型センサ3000の動作について説明する。静電容量型センサ3000では、第1の固定電極層405と第2の固定電極層406との間にコンデンサが形成され、このコンデンサの静電容量が、連通孔404aの内部圧力(外気圧)とキャビティ402aの内部圧力との圧力差に起因した橋架部の変位に応じて、差動的に変化することになり、静電容量の変化を、橋架部に作用した圧力値として取得することができるものである。

【0095】

上記構成によれば、多孔層402の厚さを、従来の酸化膜用SOGで限界と考えられる最大膜厚1 μ mよりも大きくすることで、蓋部材404において第2の基板403が形成されている側の面と反対側の面、及び、第2の基板403において多孔層402が形成されている側の面と反対側の面に、それぞれ、第1の固定電極層405及び第2の固定電極層406を形成した場合に、第1の固定電極層405及び第2の固定電極層406と、第1の基板401との間に発生する寄生容量を従来よりも抑制することができる。これにより、静電容量型センサ3000のセンサ感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、静電容量型センサ3000としての検知精度を従来よりも向上させることができる。

30

【0096】

更に、上記構成によれば、第2の基板403と多孔層402とによって、蓋部材404において第2の基板403が形成されている側の面と反対側の面に形成された第1の固定電極層405、及び、第2の基板403において多孔層402が形成されている側の面と反対側の面に形成された第2の固定電極層406と、第1の基板401との電気的な結合を切り離すことができるため、第1の固定電極層405及び第2の固定電極層406と、第1の基板401との間の電気絶縁性を従来よりも向上させることができる。これにより、静電容量型センサ3000のセンサ感度を低下させる要因となる寄生容量による影響を従来よりも抑制でき、静電容量型センサ3000としての検知精度を従来よりも向上させることができる。

40

【0097】

なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。例えば、第1実

50

施形態において、正六角形状の孔を複数個並べたハニカム構造を有するフォトマスクのマスクパターン（図3参照）に代えて、図10に示す各マスクパターンのいずれかを三次元構造体の製造工程で使用してもよい。これにより、三次元構造体の用途又は使用状況に応じて、より具体的には、第1の基板1又は第2の基板3と、多孔層2との接触面積を小さくする度合い等に応じて、多孔層2の孔を種々の形状に形成することができる。なお、図10(a)は、正方形（正四角形）状の孔を複数個並べた構造を有するフォトマスクのマスクパターンを示している。また、図10(b)は、正三角形の孔を複数個並べた構造を有するフォトマスクのマスクパターンを示している。また、図10(c)は、真円形状の孔を複数個並べた構造を有するフォトマスクのマスクパターンを示している。

【0098】

また、図10(d)は、長方形の孔を複数個並べた構造を有するフォトマスクのマスクパターンを示している。このマスクパターンを使用した前駆体層4の加工によれば、第1の基板1において絶縁体層2が形成される側の面において、シリコンとして残る凸部分と、シリコンが掘られるトレンチ部分とが予め定められた比率で左右方向に連続的に並んだ凹凸状のトレンチ構造を形成することができる。なお、凸部分の幅（＝トレンチライン）と、トレンチ部分の幅（＝スペース）との比は、後の熱酸化工程（図2(c)参照）が可能ないように、例えば、1：1.1としておくことが好ましい。

【0099】

また、第2実施形態では、可動電極層205と、この可動電極層205と対向する位置にY軸方向に沿って所定間隔をおいて配置された一対の固定電極層204との組み合わせによる3つの部位からなる櫛歯型電極層を用いて静電容量型センサ1000を構成する例について述べたが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、一対の可動電極層と固定電極層、つまり、2つの部位からなる電極層を用いて静電容量型センサを構成できる。これにより、部品点数を減らすことができ、静電容量型センサの製造コストを低減できる。

【0100】

また、第2実施形態では、図7(a)～(d)に示す各工程を順に行うことにより、静電容量型センサ1000を製造する例について述べたが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、以下の工程(1)～(5)、つまり、(1)第1の基板201に多孔層層202を形成する工程、(2)多孔層202及び第1の基板201の略中央部分にキャビティを貫通エッチングで形成する工程、(3)多孔層202に第2の基板203を接合する工程、(4)第2の基板203に固定電極層204及び可動電極層205を形成する工程、(5)第2の基板203を櫛歯形状にエッチングする工程、を順に行うことによっても静電容量型センサを製造できる。これにより、第1の基板201の略中央部分を貫通させることで、静電容量型センサ全体の軽量化（コンパクト化）を図ることができる。

【0101】

また、第3実施形態では、三次元構造体300をMEMSフローセンサ2000に適用する例について述べたが、本発明はこれに限定されるものではなく、三次元構造体300を、検出対象の温度分布を画像化して表示する赤外線イメージセンサ等に適用してもよい。

【0102】

なお、上記各実施形態における三次元構造体は、センサにだけでなく、微小なアクチュエータの一部に使用することも可能であるととも、その他の微小なデバイスの一部に用いることが可能である。

【符号の説明】

【0103】

- | | |
|-------------------|-----------|
| 1、201、301、401 | 第1の基板 |
| 2、202、302、402 | 多孔層（絶縁体層） |
| 2a、202a、302a、402a | 孔 |
| 3、203、303、403 | 第2の基板 |

10

20

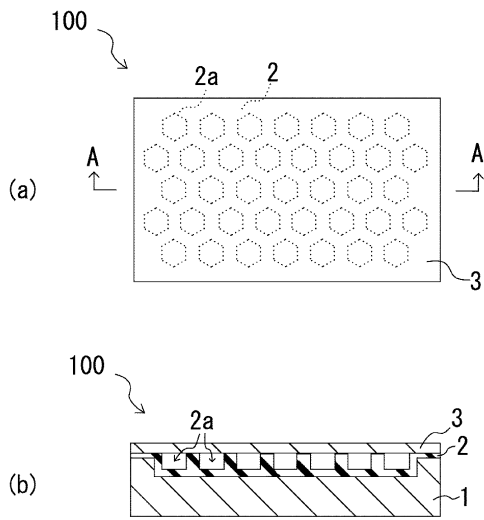
30

40

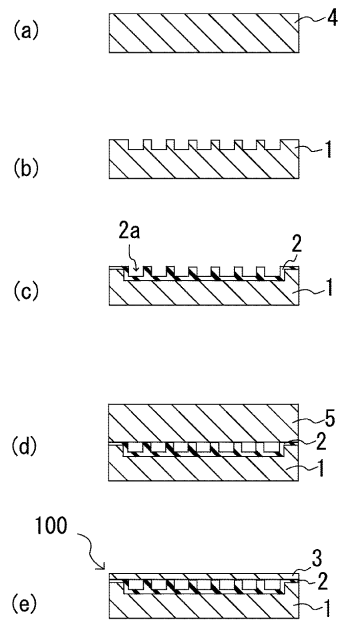
50

4、5、209	前駆体層	
100、200、300、400	三次元構造体	
202b、302b、402b	キャビティ	
204	固定電極層	
204a、205a、309～311	電極パッド	
204b、205b	櫛歯電極部	
205	可動電極層	
206、307、407	検知部	
207	可動部	
207	錘部	10
207b	梁部	
207c	アンカ部	
207d、208b	櫛歯部	
208	固定部	
208a	基部	
303a	橋架部	
304	発熱用ヒータ	
305、306	サーモパイル(測温体)	
305a、305b	第1の細線	
305c、306c	温接点	20
305d、306d	冷接点	
306a、306b	第2の細線	
308	保護膜	
404	蓋部材	
404a	連通孔	
404b	内壁面	
405	第1の固定電極層	
406	第2の固定電極層	
1000、3000	静電容量型センサ(センサ)	
2000	MEMSフローセンサ(センサ)	30

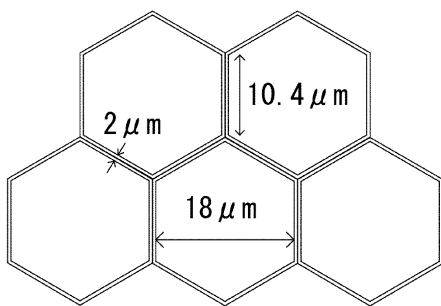
【図1】



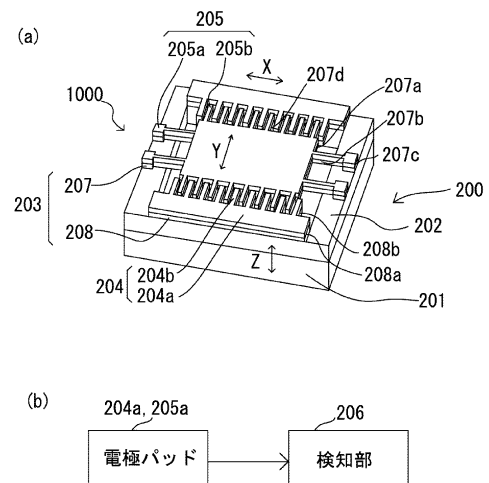
【図2】



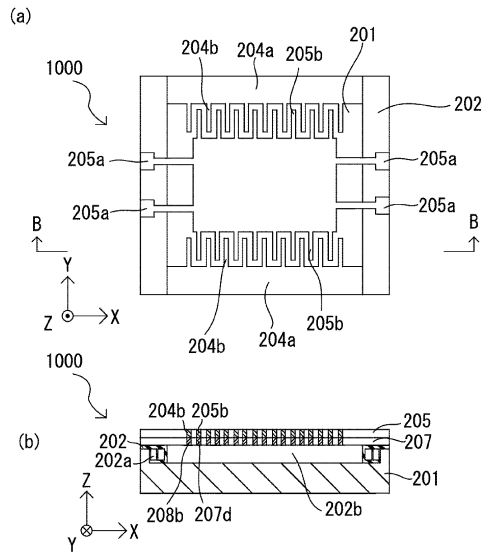
【図3】



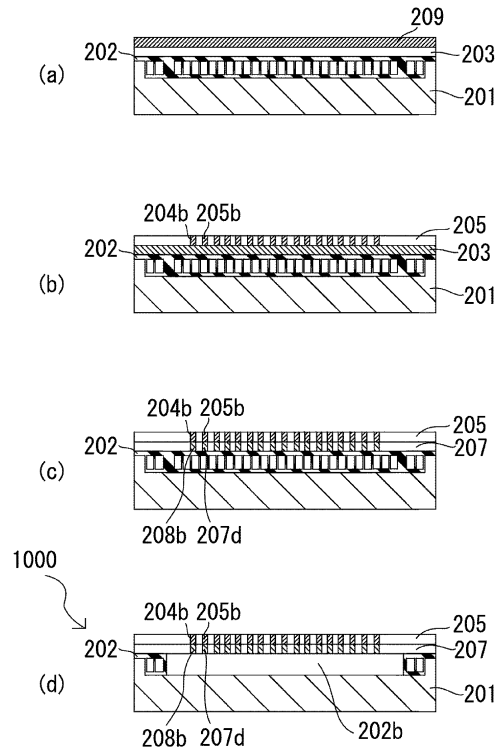
【図5】



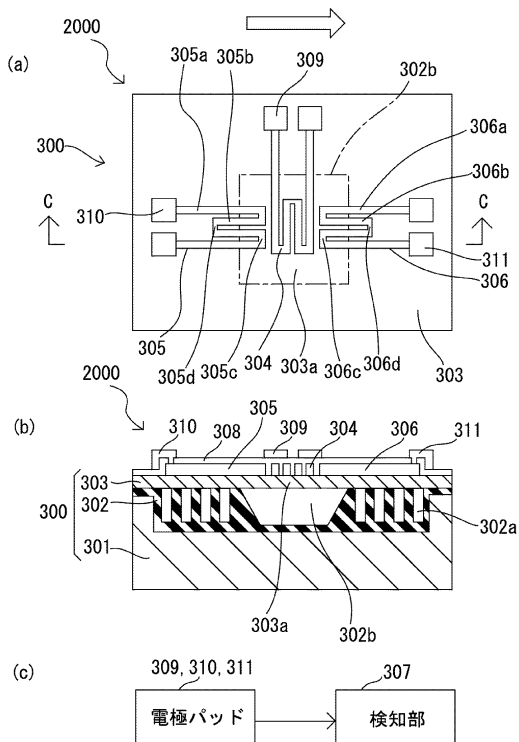
【図6】



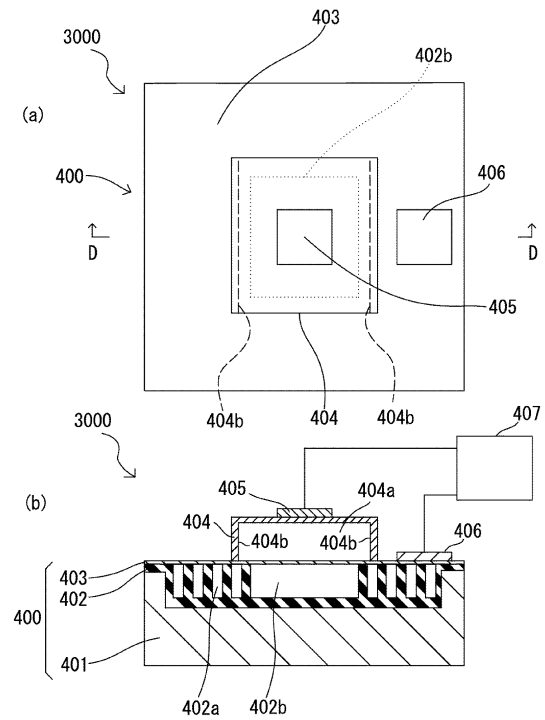
【図7】



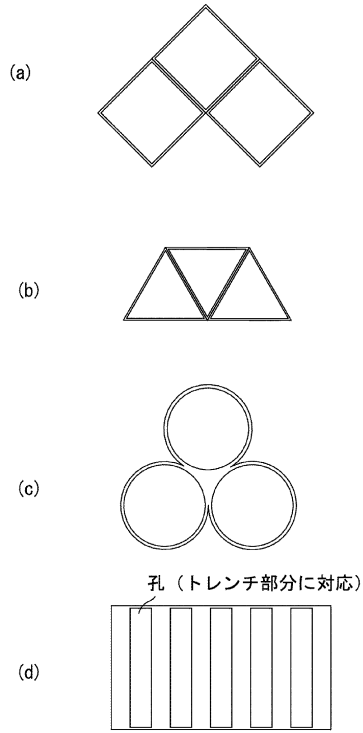
【図8】



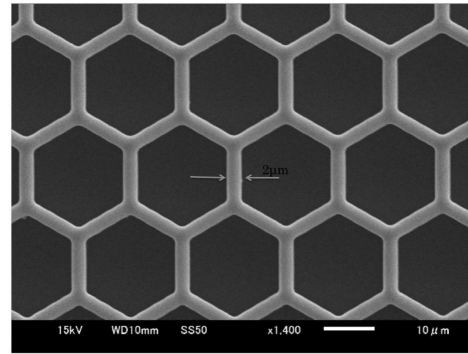
【図9】



【 図 10 】



【 図 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 樋口 行平
兵庫県姫路市書写 2 1 6 7 兵庫県立大学大学院工学研究科内
- (72)発明者 前中 一介
兵庫県姫路市書写 2 1 6 7 兵庫県立大学大学院工学研究科内

審査官 上田 智志

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

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 L 2 9 / 8 4
G 0 1 L 9 / 0 0