

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6511368号
(P6511368)

(45) 発行日 令和1年5月15日 (2019.5.15)

(24) 登録日 平成31年4月12日 (2019.4.12)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 L 9/00 (2006.01)

HO 1 L 29/84 (2006.01)

B 8 1 B 3/00 (2006.01)

GO 1 L 9/00 3 O 5 A

HO 1 L 29/84 Z

B 8 1 B 3/00

請求項の数 7 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2015-171862 (P2015-171862)	(73) 特許権者	000006666
(22) 出願日	平成27年9月1日 (2015.9.1)		アズビル株式会社
(65) 公開番号	特開2017-49086 (P2017-49086A)		東京都千代田区丸の内2丁目7番3号
(43) 公開日	平成29年3月9日 (2017.3.9)	(74) 代理人	100064621
審査請求日	平成30年3月27日 (2018.3.27)		弁理士 山川 政樹
		(74) 代理人	100098394
			弁理士 山川 茂樹
		(72) 発明者	添田 将
			東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 ア
			ズビル株式会社内
		(72) 発明者	石原 卓也
			東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 ア
			ズビル株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微細機械装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

絶縁体からなる基板と、
前記基板の上に支持部によって支持されて可動領域で前記基板と離間して配置され、前記可動領域で前記基板の方向に変位可能とされた絶縁体からなる可動部と、
前記可動領域で向かい合う前記基板および前記可動部の少なくとも一方の面に形成された凸部と、
前記可動領域で向かい合う前記基板および前記可動部の各々の表面に形成された電極と、
前記凸部が形成されている領域で向かい合う前記基板側の面および前記可動部側の面に設けられた導電体とを備え、
前記基板側の面および前記可動部側の面に設けられた導電体の少なくとも一方は、その導電体が設けられている前記基板あるいは前記可動部の表面に形成されている電極に間隙を設けて周囲を囲まれた独立導電体とされ、
前記独立導電体の周囲を囲む前記間隙は、表面抵抗が帯電防止レベルとされた帯電防止層とされていることを特徴とする微細機械装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載された微細機械装置において、
前記基板側の面および前記可動部側の面に設けられた導電体のうち少なくとも前記凸部

が形成されている側の面に設けられた導電体は、
ビッカース硬さ 400 MPa 以上の材料とされている
ことを特徴とする微細機械装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載された微細機械装置において、
前記基板側の面および前記可動部側の面に設けられた導電体は、
異なる材料とされている
ことを特徴とする微細機械装置。

【請求項 4】

請求項 1 ～ 3 の何れか 1 項に記載された微細機械装置において、
前記帯電防止層の表面抵抗は、 $10^9 \sim 10^{14}$ / とされている
ことを特徴とする微細機械装置。

10

【請求項 5】

請求項 1 ～ 3 の何れか 1 項に記載された微細機械装置において、
前記独立導電体とこの独立導電体の周囲を囲む前記電極との間に形成される抵抗を R 、
前記独立導電体とこの独立導電体の周囲を囲む前記電極との間に形成される容量を C 、
前記抵抗 R と前記容量 C との積を時定数 RC 、前記可動領域で向かい合う前記基板および前
記可動部の各々の表面に形成された前記電極間に動作時に印加される交流電圧の振動周期
を T とした時、前記時定数 RC が前記交流電圧の振動周期 T より大きくなるような値とし
て前記帯電防止層の表面抵抗が設定されている
ことを特徴とする微細機械装置。

20

【請求項 6】

請求項 1 ～ 5 の何れか 1 項に記載された微細機械装置において、
前記絶縁体は、サファイアである
ことを特徴とする微細機械装置。

【請求項 7】

請求項 1 ～ 5 の何れか 1 項に記載された微細機械装置において、
前記絶縁体は、アルミナセラミックスである
ことを特徴とする微細機械装置。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

この発明は、微細な可動部を備える微細機械装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、スイッチやセンサにおいて機械的な動作で機能を発揮する微細機械装置を用いる
MEMS (Micro Electro Mechanical System) が重要視されている。MEMS は、既に
圧力センサや加速度センサとして使用され、LSI とともに重要な部品となってきた。
MEMS は、薄膜形成技術、フォトリソグラフィ技術、および各種のエッチング技術
を用いた微細加工により、微細な可動構造体を備える立体的な構造を有している。

40

【0003】

例えば、静電容量式の圧力センサでは、図 8 A に示すように、圧力によって変位する微
細なダイアフラム (可動部) 401 を、基板 402 の上に離間して支持部 403 で支持し
て配置している。基板 402 とダイアフラム 401 との間には空隙 404 が存在し、空隙
404 に面した箇所のそれぞれに電極 (不図示) を対向して配置し、容量を形成する。

【0004】

被測定媒体の圧力は、図 8 B に示すように、ダイアフラム 401 の容量を形成する面と
は反対側の面に印加され、この圧力印加でダイアフラム 401 が変形する。この変化に対
応して上記電極間の距離が変化し、この変化に対応して電極間の容量が変化してセンサ出
力となる。空隙が真空ならば、この圧力センサは絶対圧を計測することができる。

50

【 0 0 0 5 】

このような微細機械装置では、計測電圧に起因するプルイン現象が発生することが知られている。一般に、ある距離において平行に対向する2枚の電極間に電圧が掛かると、距離の二乗に反比例する引力（電圧起因の引力）が発生する。この為、上述した静電容量式の圧力センサにおいて、圧力が印加されたときにより変形したダイアフラム401が基板402に極めて近い距離まで近づくと、ダイアフラム401と基板402との間の距離が極端に狭くなるので、電圧起因の引力が大きくなり、強く引きつけられて着底する（プルイン）。

【 0 0 0 6 】

ここで、着底した途端に電極間は短絡するので電圧起因の引力は働くなり、ダイアフラム401が基板402より離脱する。ところが、離脱した直後は再び電圧起因の引力が加わるために強く引きつけられて、再び着底する。電極間の距離が極めて小さい場合には、このような着底と離脱とが繰り返されるものとなる。

10

【 0 0 0 7 】

静電容量式の圧力センサの場合、容量を計測する為に電圧を印加する必要があり、これに伴う電圧起因の引力の影響を受けてプルイン現象が起き、結果として上述した着底と離脱とが繰り返され、センサの出力はダイアフラムが受けた圧力とは無関係に不安定になってしまう。このプルイン現象は、小型で電極間の距離が小さく、さらに基材や電極上の接触部表面がなめらかなMEMSセンサで顕著に起きる。

【 0 0 0 8 】

20

また、上記微細機械装置では、上述した着底などの可動部の一部の基板への接触で、これらが接合し、弾性力による反発では可動部が元に戻らなくなる場合がある（特許文献1, 2, 3, 4, 5, 6参照）。この現象はスティッキングや固着などと呼ばれ、微細機械装置において問題となっている。

【 0 0 0 9 】

例えば、静電容量式の隔膜真空計のように大気圧より小さな圧力を計測する圧力センサは、搬送・取り付け時やメンテナンス時に大気に曝されるため、計測範囲以上の過大な圧力が印加される状況が頻繁に発生する。このように過大な圧力が印加されると、受圧したダイアフラム401は、図8Cに示すように、実使用範囲を超えて大きく撓み、ダイアフラム401の一部が、基板402に接触（着底）してしまう。

30

【 0 0 1 0 】

ダイアフラム401の厚みおよび変形領域の大きさ、また、ダイアフラム401の材料などの設計パラメータによって、上述した着底の状態は異なるが、多くの場合、着底によりスティッキングが発生する。特に、前述したプルイン現象を抑制するために、接触箇所では電極が形成されていない構成とした場合に、スティッキングが顕著に発生する。これは、プルイン現象防止のために電極を形成していない領域では、着底時に、ダイアフラム401および基板402を構成する材料同士が直接接触するためと考えられる。

【 0 0 1 1 】

スティッキングが発生すると、圧力を除去してもダイアフラム401が復帰せず、あたかも圧力が印加されているかのような出力を出してしまい、測定のエラーを招くことになる。特に、表面荒さ（ R_z ）が0.1～数nmと極めて平坦な基材から作製する微細機械装置では、大きな問題となっている。また、隔膜真空計の場合、基板と可動部との間が真空状態に維持されるので、よりスティッキングが発生し易い傾向にある。

40

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 2 】

【 特許文献 1 】 特表平 1 0 - 5 1 2 6 7 5 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開平 1 1 - 3 4 0 4 7 7 号 公 報

【 特許文献 3 】 特開 2 0 0 0 - 0 4 0 8 3 0 号 公 報

【 特許文献 4 】 特開 2 0 0 0 - 1 9 6 1 0 6 号 公 報

50

【特許文献5】特開2002-299640号公報

【特許文献6】特開2007-078439号公報

【特許文献7】特許第3668935号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

従来の微細機械装置では、上述したような電圧に起因するブルイン現象とスティッキング現象を防止するために、接触箇所では電極が形成されていない構成とする一方、可動部もしくは基板の少なくとも一方の向かい合う面に、突起などの微細な構造を形成して接触面積を減らして接触力を抑制するようにしている。

10

【0014】

具体的には、よく知られた半導体装置の製造技術を用い、微細機械装置を構成しているシリコンなどの半導体や石英などの基材に、微小な突起を形成している。例えば、公知のリソグラフィ技術およびエッチング技術によるパターニングで、半導体や石英などの基材に数 μm 程度の大きさの突起を形成するようにしている。なお、本明細書でいう基材とは、基板および可動部を総称する部材のことを言う。

【0015】

しかしながら、突起により接触面積を少なくするスティッキング対策は、ある程度有効ではあるが、特に圧力センサの場合、過大圧印加時に大きな応力がかかるので、小さい突起ではダイアフラムや基板の破壊につながる。一方、これを防ぐために突起を大きくすると、接触面積を大きくすることになり、対策の効果そのものが得られない。このように、突起によるスティッキング防止対策は、突起の部分における接触面の大きさを厳密に管理しなければならず、管理が複雑となる。

20

【0016】

また、隔膜真空計では、使用する環境に対応させて耐酸性や耐熱性を持たせるために、サファイアなどの結晶材料やアルミナセラミックスなどの材料が用いられる。このような高い絶縁性を有する材料では、シリコンやガラスなどの場合と比較してスティッキングがより発生しやすい。

【0017】

すなわち、初期には帯電していない絶縁抵抗の大きな基板および可動部が繰り返し接触することにより、接触帯電が起きて表面に静電気が発生する。これらの静電気は基材の絶縁抵抗が大きく、且つ接触する雰囲気も真空中で逃げ場がないために接触を繰り返す度に蓄積され、基板と可動部との間に静電引力を発生させてスティッキングを生じると考えられる。

30

【0018】

特に、ダイアフラムが薄い構造になると、数 μm 程度の大きさの突起ではスティッキングに対する有効な対策とはならない。このような接触帯電の発生を抑えるためには、接触する面積自体をさらに減らすことが有効な対策である。このため、例えばサブ μm 以下のサイズの微小凹凸を形成することが考えられるが、サファイアやアルミナセラミックスなどの材料は、高い機械的強度や高い耐食性、耐薬品性を有している反面、シリコンやガラスなどの材料よりも加工がしにくく、サブ μm 以下のサイズの微細加工は極めて困難である。

40

【0019】

なお、表面を安定化させる表面被膜によりスティッキングを防止する技術もあるが、この場合、表面被覆に有機材料が使われることが多く、高温環境で用いられる場合や、ダイアフラムと基板との間の空間を真空にする構成では使用できない。

【0020】

また、サブ μm 以下の凹凸構造を形成する従来技術は、一般的に2通り考えられる。1つはサンドブラスト等の表面を機械的に荒らす手法であるが、粗さをコントロールすることが難しい上に基材の破壊起点を形成することになり、可動部を備える圧力センサに採用

50

するにはリスクが大きい。もう1つは、半導体製造プロセスで用いられているステッパや電子線描画露光装置を利用する方法であるが、真空計の使用用途や条件によっては、例えば可動部の厚みが厚く計測する圧力のレンジが高いセンサなどのように数nm～数100nmの凹凸は不要なものもあることを考慮すると、工程や装置について凹凸が不要のものと共通化できる割合が低下し、製造コストや生産管理という点で不利になる。その上、製造時やセンサ使用の初期においてはスティッキングが発生しないが、使用が長期間に渡ると発生するという厄介なことも多々起きている。

【0021】

また、突起などの表面を絶縁体で終端する場合は帯電し易くなるため、接触部をまとめて同電位にするというような方法もある（例えば、特許文献7参照）。しかし、接触部をまとめて同電位にする方法では、回路等の電氣的な切替操作を含む電圧駆動回路を必要とし、デバイスそのものの課題解決とはならない。さらに、シリコンおよび酸化シリコンを念頭に置いたもので、より絶縁性の高い材料に対してはそのまま適用しづらい。

【0022】

このようなことから、特に、サファイアやアルミナセラミックスなどのような高い絶縁性の基材を用いた微細機械装置では、有効なスティッキング防止策を取りづらい状況にあった。

【0023】

本発明は、このような課題を解決するためになされたもので、高い絶縁性の基材を用いた微細機械装置において有効なスティッキング防止策を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0024】

このような目的を達成するために本発明は、絶縁体からなる基板と、基板の上に支持部によって支持されて可動領域で基板と離間して配置され、可動領域で基板の方向に変位可能とされた絶縁体からなる可動部と、可動領域で向かい合う基板および可動部の少なくとも一方の面に形成された凸部と、可動領域で向かい合う基板および可動部の各々の表面に形成された電極と、凸部が形成されている領域で向かい合う基板側の面および可動部側の面に設けられた導電体とを備え、基板側の面および可動部側の面に設けられた導電体の少なくとも一方は、その導電体が設けられている基板あるいは可動部の表面に形成されている電極に間隙を設けて周囲を囲まれた独立導電体とされ、独立導電体の周囲を囲む間隙は、表面抵抗が帯電防止レベルとされた帯電防止層とされていることを特徴とする。

【0025】

本発明では、凸部が形成されている領域で向かい合う基板側の面および可動部側の面に導電体を設け、基板側の面および可動部側の面に設けられた導電体の少なくとも一方を、その導電体が設けられている基板あるいは可動部の表面に形成されている電極に間隙を設けて周囲を囲まれた独立導電体とする。そして、この独立導電体の周囲を囲む間隙を表面抵抗が帯電防止レベル（例えば、 $10^9 \sim 10^{14} \Omega$ ）とされた帯電防止層とする。

【0026】

本発明では、独立導電体の周囲を囲む間隙を帯電防止層とすることにより、この帯電防止層を介して独立導電体とこの独立導電体の周囲を囲む電極とが接続される。これにより、接触帯電による電荷が生じたとしても、その電荷を帯電防止層を通して周囲の電極へ逃がすようにして、スティッキングを防止することが可能となる。また、独立導電体の電位を周囲の電極の電位に追従させずに、プルイン現象を発生させないようにすることも可能となる。

【0027】

本発明において、独立導電体とこの独立導電体の周囲を囲む電極との間に形成される抵抗をR、独立導電体とこの独立導電体の周囲を囲む電極との間に形成される容量をC、抵抗Rと容量Cとの積を時定数RC、可動領域で向かい合う基板および可動部の各々の表面に形成された電極間に動作時に印加される交流電圧の振動周期をTとした時、時定数RCが交流電圧の振動周期Tより大きくなるような値として帯電防止層の表面抵抗を設定する

10

20

30

40

50

ようにすることが望ましい。

【 0 0 2 8 】

本発明において、基板側の面および可動部側の面に設けられた導電体のうち少なくとも凸部が形成されている側の面に設けられた導電体は、凸部を形成している材料により近い硬さの材料とすることが望ましい。これにより、凸部が導電体に食い込んで塑性変形や固着が生じたりすることがなく、耐久性や再現性を高めることができるようになる。

【 0 0 2 9 】

また、本発明において、基板側の面および可動部側の面に設けられた導電体は、異なる材料とすることが望ましい。これにより、分子間結合を生じにくくし、導電体同士が直接接合されてしまうことを防止することが可能となる。

10

【発明の効果】

【 0 0 3 0 】

本発明によれば、基板側の面および可動部側の面に設けられた導電体の少なくとも一方を、その導電体が設けられている基板あるいは可動部の表面に形成されている電極に間隙を設けて周囲を囲まれた独立導電体とし、独立導電体の周囲を囲む間隙を表面抵抗が帯電防止レベルとされた帯電防止層とするようにしたので、高い絶縁性の基材を用いた微細機械装置において有効なスティッキング防止策を得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 1 】

【図 1 A】図 1 A は、本発明の実施の形態における微細機械装置の構成例を示す断面図である。

20

【図 1 B】図 1 B は、本発明の実施の形態における微細機械装置の一部構成例を示す断面図である。

【図 2】図 2 は、本発明の実施の形態における微細機械装置の基板上の凸部が形成された領域を上から見た図である。

【図 3】図 3 は、本発明の実施の形態における微細機械装置の動作状態を説明する図である。

【図 4】図 4 は、本発明の実施の形態における他の微細機械装置の一部構成例を示す断面図である。

【図 5】図 5 は、本発明の実施の形態における他の微細機械装置の一部構成例を示す断面図である。

30

【図 6】図 6 は、本発明の実施の形態における他の微細機械装置の一部構成例を示す断面図である。

【図 7】図 7 は、本発明の実施の形態における他の微細機械装置の構成例を示す断面図である。

【図 8 A】図 8 A は、圧力センサの一部構成を示す断面斜視図である。

【図 8 B】図 8 B は、圧力センサの一部構成を示す断面斜視図である。

【図 8 C】図 8 C は、圧力センサの一部構成を示す断面斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 3 2 】

40

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。図 1 A は、本発明の実施の形態における微細機械装置の構成例を示す断面図である。また、図 1 B は、本発明の実施の形態における微細機械装置の一部構成例を示す断面図である。図 1 B は、図 1 A の一部を拡大して示している。

【 0 0 3 3 】

この微細機械装置 1 0 0 (1 0 0 A) は、絶縁体からなる基板 1 0 1 と、基板 1 0 1 の上に支持部 1 0 2 によって支持されて可動領域 1 2 1 で基板 1 0 1 と離間して配置され、可動領域 1 2 1 で基板 1 0 1 の方向に変位可能とされた絶縁体からなる可動部 1 0 3 とを備える。可動部 1 0 3 は、支持部 1 0 2 に固定されている。基板 1 0 1 および可動部 1 0 3 は高い絶縁性を有し、その絶縁レベルは 10^{14} / よりも大きい。

50

【 0 0 3 4 】

この微細機械装置 1 0 0 A において、可動領域 1 2 1 で向かい合う基板 1 0 1 および可動部 1 0 3 の基板 1 0 1 側の面 1 0 1 a には、複数の凸部 1 0 4 が形成されている。凸部 1 0 4 は、例えば、平面視円形とされた柱であり、直径が 1 ~ 数 1 0 μ m とされている。この例において、隣り合う凸部 1 0 4 の間隔 L は、例えば 0 . 5 mm 程度とされている。

【 0 0 3 5 】

また、可動領域 1 2 1 で向かい合う基板 1 0 1 および可動部 1 0 3 の各々の面（表面）1 0 1 a , 1 0 3 a には、電極 1 0 5 , 電極 1 0 6 が形成されている。すなわち、基板 1 0 1 側の面 1 0 1 a に電極 1 0 5 が形成され、可動部 1 0 3 側の面 1 0 3 a に電極 1 0 6 が形成されている。

10

【 0 0 3 6 】

この微細機械装置 1 0 0 A は、例えば、可動部 1 0 3 がダイヤフラムである圧力センサである。例えば、基板 1 0 1 および可動部 1 0 3 は、サファイアから構成されている。受圧した可動部 1 0 3 が基板 1 0 1 の方向に変位することにより、可動領域 1 2 1 における電極 1 0 5 と電極 1 0 6 との間隔が変化し、容量が変化する。この容量変化により可動部 1 0 3 が受圧した圧力を測定する。電極形成領域が真空とされていれば、絶対圧力が測定可能な圧力センサとして用いることができる。

【 0 0 3 7 】

この微細機械装置 1 0 0 A は、凸部 1 0 4 が形成されている領域 1 2 2 毎に、この凸部 1 0 4 が形成されている領域 1 2 2 で向かい合う基板 1 0 1 側の面 1 0 1 a および可動部 1 0 3 側の面 1 0 3 a に導電体 1 0 7 (1 0 7 a) および 1 0 8 (1 0 8 a) が設けられている。

20

【 0 0 3 8 】

基板 1 0 1 側の面 1 0 1 a に設けられた導電体 1 0 7 は、図 2 に基板 1 0 1 上の凸部 1 0 4 が形成されている領域（以下、凸部形成領域と呼ぶ）1 2 2 を上から見た図を示すように、基板 1 0 1 の面 1 0 1 a に形成されている電極 1 0 5 に間隙 h を設けて周囲を囲まれた独立した導電体とされている。この独立した導電体 1 0 7 は凸部 1 0 4 の全てを覆っている。以下、この導電体 1 0 7 を独立導電体と呼ぶ。

【 0 0 3 9 】

これに対し、可動部 1 0 3 側の面 1 0 3 a に設けられた導電体 1 0 8 は、可動部 1 0 3 の面 1 0 3 a に形成されている電極 1 0 6 の一部とされている。すなわち、本実施の形態では、可動部 1 0 3 側の電極 1 0 6 が形成された領域のうち、基板 1 0 1 側の独立導電体 1 0 7 に対向する領域を導電体 1 0 8 と呼んでいる。

30

【 0 0 4 0 】

本実施の形態において、独立導電体 1 0 7 および導電体 1 0 8 の表面抵抗は 10^9 / 以下の電気伝導レベルとされているが、独立導電体 1 0 7 と導電体 1 0 8 とは同じ材料ではなく、異なる材料で形成されている。

【 0 0 4 1 】

また、本実施の形態において、独立導電体 1 0 7 は凸部 1 0 4 を形成している材料、すなわち基板 1 0 1 の材料であるサファイアにより近い硬さの材料とされている。この例ではビッカース硬さが 4 0 0 MPa 以上の材料が用いられている。例えば、W , Mo , Ti , Fe , Ni , Cu , Nb , Ta , Cr , Ga , Ir , Rh , Ru , V , Pd , Zr 等の材料が用いられている。なお、導電体 1 0 8 についても、ビッカース硬さが 4 0 0 MPa 以上の材料を用いるようにしてもよい。

40

【 0 0 4 2 】

基板 1 0 1 において、独立導電体 1 0 7 の周囲を囲む間隙（リング状の間隙）h は、表面抵抗が帯電防止レベルとされた帯電防止層 1 0 9 とされている。すなわち、間隙 h の表面の抵抗値を帯電防止レベルを保つように、間隙 h のサイズや間隙 h 内の材料を決定し配置することにより、帯電防止層 1 0 9 が形成されている。本実施の形態において、帯電防止層 1 0 9 の表面抵抗は、 $10^9 \sim 10^{14}$ / とされている。

50

【0043】

このような帯電防止層109は、例えば、スパッタ、蒸着、CVD（Chemical Vapor Deposition）、ALD（Atomic Layer Deposition）等の成膜方法およびパターニングにより、独立導電体107の周囲を囲む間隙hのみに抵抗がやや低い膜を形成することによって作成することができる。この場合、帯電防止層109を形成する材料としては、基板101及び可動部103を構成する絶縁体よりも抵抗が低い材料を用いるものとする。具体的な材料として、SiC、Siなどの半導体、チタン酸化物、インジウム酸化物、亜鉛酸化物、錫酸化物、ルテニウム酸化物、ジルコニア酸化物等の酸化物、窒化アルミニウム、窒化チタン、窒化シリコン、炭化チタン等の窒化物あるいは炭化物等が挙げられる。

【0044】

また、帯電防止層109は、イオン注入を実施し、表面抵抗を下げることによっても作成することが可能である。この場合の材料として、鉄、ニッケル、金、銀、ホウ素、銅、クロム、セリウム、テルビウム、マンガン、リン、フッ素、アルゴン等が挙げられる。

【0045】

また、帯電防止層109は、金属を成膜後に高温で熱拡散させた後に余分な金属を化学的・物理的に除去し、表面の抵抗を下げることによっても作成することが可能である。この場合、拡散させる金属は、チタン、ニオブ、タンタル、ニッケル、鉄、クロム、マンガン等が挙げられる。

【0046】

また、帯電防止層109は、原子層オーダの厚さの酸化金属層から構成してもよい。例えば、モリブデン酸化物、タングステンの酸化物などより構成した原子層オーダの厚さの酸化金属層から帯電防止層109を構成すれば良い。酸化モリブデンや酸化タングステンは、サファイアなどと比較して蒸気圧が低い。この材料を、サファイアからなる基板101と共に同一の炉内で900 程度に加熱することで上記酸化金属を蒸発（昇華）させれば、基板101の表面に原子層オーダの厚さの上記酸化金属層が形成できる。

【0047】

この微細機械装置100Aによれば、受圧した可動部103が実使用範囲を超えて大きく撓むと、可動部103の一部の面103aが、基板101の凸部104の上面に着底する。この状態において、可動部103の面103aに設けられている導電体108は、基板101の凸部104の上面に設けられている独立導電体107に接触する。これにより、接触帯電による電荷が生じたとしても、その電荷を帯電防止層109を通して周囲の電極105へ逃がすようにして、スティッキングを防止することが可能となる。また、独立導電体107の電位を周囲の電極105の電位に追従させずに、ブルイン現象を発生させないようにすることも可能となる。その理由については後述する。

【0048】

また、本実施の形態では、独立導電体107と導電体108とが異なる材料とされていることから、独立導電体107と導電体108とが直接接合されてしまうことを防ぐことができる。すなわち、独立導電体107と導電体108とが同じ材料であった場合、真空中で独立導電体107と導電体108とが接触すると、独立導電体107と導電体108との分子間結合が生じ、接合されてしまうことがある。本実施の形態では、独立導電体107と導電体108とを異なる材料としているので、このような分子間結合が生じにくく、独立導電体107と導電体108とが直接接合されてしまうことを防ぐことができる。

【0049】

また、本実施の形態では、独立導電体107が凸部104を形成している材料により近い硬さの材料とされているので、独立導電体107と導電体108との接触が繰り返されても、凸部104が独立導電体107に食い込んで塑性変形や固着が生じたりすることがなく、耐久性や再現性を高めることができる。

【0050】

ここで、本発明に至った経緯について説明する。まず、前述したように、可動領域121で向かい合う基板101の面101aおよび可動部103の面103aにおいて、各々

10

20

30

40

50

の全域に電極が形成されていると、着底時にこれらが接触して問題となる。すなわち、ブルイン現象による着底と離脱とが繰り返され、問題となる。この問題を解消するために、接触箇所には電極を配置しない状態とすることが考えられる。しかしながら、電極が形成されていない箇所では基板 101 の面 101a と可動部 103 の面 103a とが直接接触することになる。

【0051】

絶縁抵抗の大きな基板 101 と可動部 103 との接触が繰り返し発生すると、接触帯電が起きて表面に静電気が発生する。これらの静電気は、基板 101 および可動部 103 の絶縁抵抗が大きく、且つ接触する雰囲気も真空中で逃げ場がないために接触を繰り返す度に蓄積される。この結果、基板 101 と可動部 103 との間に静電引力が発生し、スティッキングが生じるようになる。

10

【0052】

このような接触帯電の発生を抑えるためには、接触する面積自体を減らすことが有効な対策である。このために、凸部 104 を形成し、着底時の接触面積を小さくしている。しかしながら、サファイアなどの絶縁材料では、よく知られているように、数 μm 程度のパターンである凸部 104 の形成は容易に実施できるが、nm レベルの微細加工が極めて困難である。従って、容易に実現できる凸部 104 の寸法は、数 μm 単位となる。ところが、数 μm 程度の大きさの凸部 104 だけでは、上述した静電気によるスティッキングに対して有効な対策とならない。

【0053】

20

これに対し、着底時に接触する箇所を導電体 107, 108 とすることにより、接触帯電を生じにくくする。しかし、導電体 107 を導電体 108 と同様に電極 105 の一部とすると、電極が形成されている状態と同じであり、電極 105 と電極 106 との間の接続を発生させ、ブルイン現象が発生し、問題となる。

【0054】

これに対し、本実施の形態では、導電体 107 を独立導電体とし、この独立導電体 107 の周囲を囲む間隙 h を帯電防止層 109 とし、この帯電防止層 109 を介して独立導電体 107 と周囲の電極 105 とを接続する構成としているので、接触帯電が生じたとしても、その接触帯電による電荷を帯電防止層 109 を通して電極 105 へ逃がすようにして、スティッキングを防止することができる。また、独立導電体 107 の電位を周囲の電極 105 の電位に追従させずに、ブルイン現象を発生させないようにすることができる。

30

【0055】

すなわち、本実施の形態では、帯電防止層 109 の表面抵抗を $10^9 \sim 10^{14} \Omega$ としている。この帯電防止層 109 の表面抵抗は、独立導電体 107 とこの独立導電体 107 の周囲を囲む電極 105 との間に形成される抵抗を R、独立導電体 107 とこの独立導電体 107 の周囲を囲む電極 105 との間に形成される容量を C、抵抗 R と容量 C との積を時定数 RC、可動領域 121 で向かい合う基板 101 および可動部 103 の各々の表面（面 101a, 103b）に形成された電極 105, 106 に動作時に印加される交流電圧の振動周期を T（振動数 f の逆数）とした時、時定数 RC が交流電圧の振動周期 T より大きくなるような値（ $RC > T$ ）として設定されている。

40

【0056】

この帯電防止層 109 における時定数 RC について図 3 を用いてより具体的に説明する。図 3 は、微細機械装置 100A の可動部 103 が基板 101 に着底している状態の一部を示す断面図である。図 3 において、微細機械装置 100A は、可動部 103 がダイアフラムである圧力センサであり、動作時に印加される計測電圧が交流であるものとする。

【0057】

図 3 に示すように、着底した瞬間の、電極 106 すなわち導電体 108 の電位を 0 とし、電極 105 の電位を $V_0 \sin(2\pi f t)$ であるとする。この場合、導電体 108 に接触した凸部 104 上の独立導電体 107 の電位も当然 0 であるが、同じ面にある電極 105 との間の抵抗が小さすぎると、可動部 103 が基板 101 より離脱した時、独立導電

50

体 107 の電位が電極 105 の電位に追従してすぐに $V_0 \sin(2\pi f t)$ となり、電位 0 の導電体 108 との間で電位差が発生する。このため、電圧に起因する引力が発生し、プルイン現象による着底と離脱とが繰り返されてしまう。

【0058】

これに対し、独立導電体 107 とこの独立導電体 107 の周囲を囲む電極 105 との間に形成される抵抗を R 、独立導電体 107 とこの独立導電体 107 の周囲を囲む電極 105 との間に形成される容量を C とすると、独立導電体 107 と交流が印加されている電極 105 との間は、単なる 1 次フィルタ (RC 回路) とみなせる。従って、電極 105 に印加される交流の振動数 f に対して定義される RC 回路の遮断周波数 $1/(2\pi RC)$ が十分小さければ、独立導電体 107 の電位は、周辺の電極 105 の電位に追従せず、導電体 108 との間で電位差が発生しない。この結果、電圧に起因する引力は発生せず、すなわちプルイン現象は発生せず、着底と離脱との繰り返しを防止できる。

【0059】

一方、接触により発生する静電気による帯電の拡散は直流であるから、初期に帯電した電荷を Q_0 とすると、この電荷は、帯電防止層 109 を通して電極 105 へ逃げ、 $Q_0 \exp(-t/RC)$ のように減衰する。時定数 RC が圧力センサの応答速度よりも十分小さければ、帯電原因のスティッキングは起きないが、一般的には独立導電体 107 の表面抵抗が $10^9 \Omega$ 以下ならば帯電はし難く、帯電が生じたとしても静電気は帯電防止層 109 を通して速やかに除去される。このように、スティッキングおよびプルイン現象による異常を回避するため、独立導電体 107 とこの独立導電体 107 の周囲を囲む電極 105 との間の抵抗 R は、下限を遮断周波数、上限を帯電防止のために制限すれば良いことになる。

【0060】

なお、上述した実施の形態では、可動部 103 側の面 103a に形成されている電極 106 の一部を可動部 103 側の導電体 108 としたが、例えば図 4 に示すように、可動部 103 側の面 103a に形成されている電極 106 とは別の導電体 108 (108b) を設けるようにしてもよい。

【0061】

また、図 5 に示すように、基板 101 側の独立導電体 107 と同様に、可動部 103 側にも独立導電体 108 (108c) を設け、この独立導電体 108c の周囲を帯電防止層 110 で囲むようにしてもよい。

【0062】

また、図 6 に示すように、基板 101 側の導電体 107 (107b) を基板 101 側の面 101a に形成されている電極 105 の一部とし、可動部 103 側に独立導電体 108 (108c) を設け、この独立導電体 108c の周囲を帯電防止層 110 で囲むようにしてもよい。

【0063】

また、上述した実施の形態では、基板 101 側に凸部 104 を設けるようにしたが、図 7 に示す微細機械装置 100 (100B) のように、可動領域 121 で向かい合う可動部 103 側の面 103a に凸部 104 を形成し、上述と同様の構成を採用するようにしてもよい。また、可動領域 121 で向かい合う基板 101 側の面 101a と可動部 103 側の面 103a の両方に凸部 104 を形成し、上述と同様の構成を採用するようにしてもよい。

【0064】

また、上述した実施の形態では、基板 101 および可動部 103 を構成する絶縁材料をサファイア (単結晶サファイア) としたが、アルミナセラミックス (多結晶アルミナセラミックス) としてもよい。また、サファイアやアルミナセラミックスと同等の絶縁性を保有する絶縁材料ならば、炭化シリコン、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化ジルコニウム、酸化イットリウム、コーライト ($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$)、ムライト ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)、ステアタイト ($MgO \cdot SiO_2$)、フォルステライト (

10

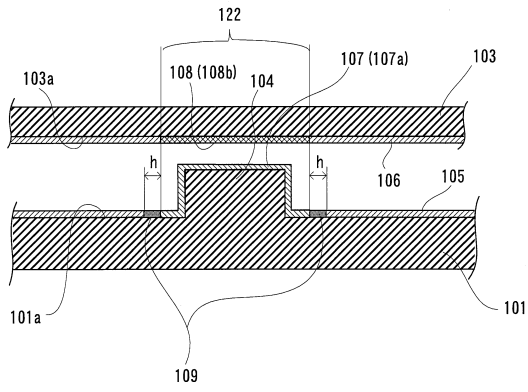
20

30

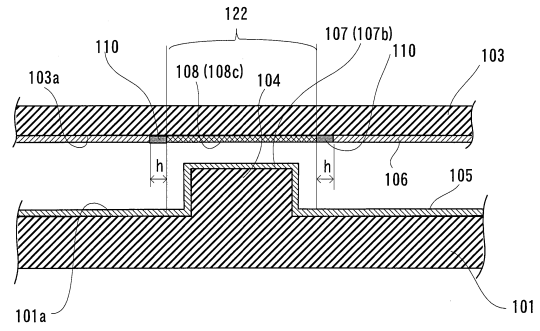
40

50

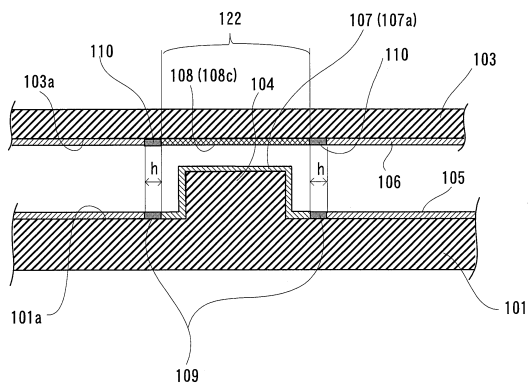
【図 4】



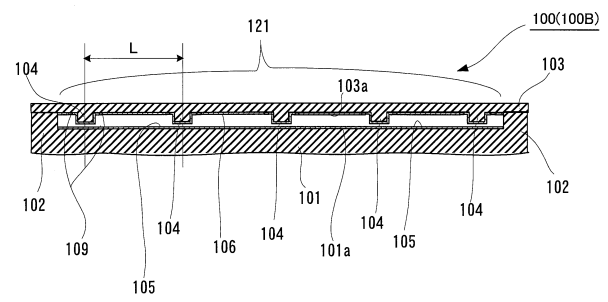
【図 6】



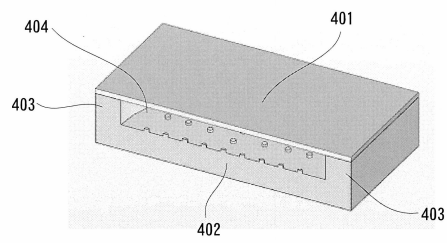
【図 5】



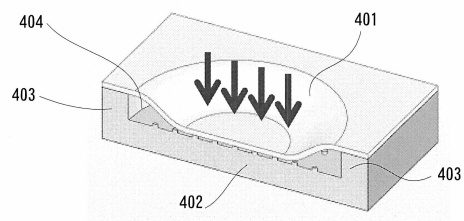
【図 7】



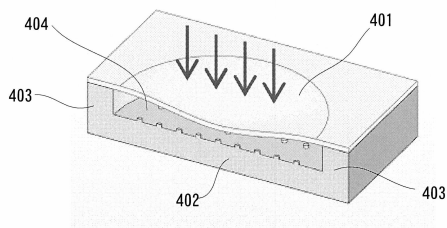
【図 8 A】



【図 8 C】



【図 8 B】



フロントページの続き

- (72)発明者 関根 正志
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 アズビル株式会社内
- (72)発明者 栃木 偉伸
東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 アズビル株式会社内

審査官 大森 努

- (56)参考文献 特開2004-233107(JP, A)
特開平06-265428(JP, A)
特開平08-015068(JP, A)
特開2008-225363(JP, A)
米国特許出願公開第2005/0262947(US, A1)
特開2014-224739(JP, A)
米国特許出願公開第2014/0353774(US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|---------|---|
| G 0 1 L | 7 / 0 0 - 2 3 / 3 2 , 2 7 / 0 0 - 2 7 / 0 2 , |
| H 0 1 L | 2 9 / 8 4 , |
| B 8 1 B | 3 / 0 0 |