

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3580827号
(P3580827)

(45) 発行日 平成16年10月27日(2004.10.27)

(24) 登録日 平成16年7月30日(2004.7.30)

(51) Int. Cl.⁷

F I

G O 1 F 1/28

G O 1 F 1/28

C

G O 1 F 1/32

G O 1 F 1/32

M

請求項の数 18 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-526261
 (86) (22) 出願日 平成9年1月21日(1997.1.21)
 (65) 公表番号 特表2000-504412(P2000-504412A)
 (43) 公表日 平成12年4月11日(2000.4.11)
 (86) 国際出願番号 PCT/US1997/000875
 (87) 国際公開番号 WO1997/026527
 (87) 国際公開日 平成9年7月24日(1997.7.24)
 審査請求日 平成14年12月11日(2002.12.11)
 (31) 優先権主張番号 60/010,386
 (32) 優先日 平成8年1月22日(1996.1.22)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者
 カイロス・インク
 アメリカ合衆国カリフォルニア州9505
 4サンタ・クララ、ミッション・カレッ
 ジ・ブルバード2305
 (74) 代理人
 弁理士 恩田 博宣
 (74) 代理人
 弁理士 恩田 誠
 (72) 発明者
 ニューカーマンズ、アーモンド、ビー
 アメリカ合衆国カリフォルニア州9430
 3パロ・アルト、アービュタス・アヴェニ
 ュー3510

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微細加工製作シリコン羽根型マイクロ流量計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

流量計を流れる流体の流量を感知する微細加工製作羽根型流量計であって、
 枠と、

該枠に接合されるとともに同枠によって支持された羽根と、

前記枠と前記羽根の間にそれぞれ共通軸に沿って配置され、前記羽根を枠内に支持する対
 向振りバーと、該振りバーは前記羽根に外力が加わらないときには前記羽根を静止位置に
 置き、および前記羽根に力が加わったときに前記羽根を前記共通軸の周りの回転させるこ
 とによって振られて同羽根を前記静止位置から撓み可能とさせることと、

該羽根に当たり且つ羽根の周りを流れる流体により生じた静止位置からの羽根の撓みを感 10
 知する撓み感知手段とを具備し、

上記枠、振りバー、羽根及び撓み感知手段の全ては、微細加工により、基体の半導体単結
 晶シリコン層に集積して一体に加工製作される、微細加工製作羽根型流量計。

【請求項2】

前記撓み感知手段は、前記振りバーの少なくとも一つに配置され、前記羽根の静止位置か
 らの撓みを表す振れ信号を発生する構成を特徴とする請求項1に記載の流量計。

【請求項3】

前記撓み感知手段は、

そのうちの一对が前記共通軸と実質的に平行な線に沿って配置される少なくとも4個の電
 氣的オーム接点と、

前記オーム接点のうちの第 1 の対を結ぶ線に対して直角を向いている同オーム接点の第 2 の対から前記検れ信号が感知される間に、前記第 1 の対のオーム接点に跨って電流を加える手段とを備える、請求項 2 に記載の流量計。

【請求項 4】

前記オーム接点の対に跨って交流電流が加えられ、前記検れ信号が該交流の包絡線となっている、請求項 3 に記載の流量計。

【請求項 5】

前記基体は [100] 結晶方向と [110] 結晶方向を有するシリコン材料であり、前記検りバーが n 型シリコン層の [110] 結晶方向に向いている、請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 6】

前記基体は [100] 結晶方向と [110] 結晶方向を有するシリコン材料であり、前記検りバーは p 型シリコン層の [100] 結晶方向に向いている、請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 7】

前記単結晶シリコン層は Simox ウェーハである、請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 8】

前記単結晶シリコン層は絶縁体上にシリコンを形成したウェーハ内にある、請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 9】

前記検りバーが丸みを帯びた角をもって前記枠に接合されている、請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 10】

前記検りバーが丸みを帯びた角をもって前記羽根に接合されている、請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 11】

前記検りバーには炭化珪素又は窒化珪素の層が形成されている、請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 12】

前記検りバーは、前記枠と羽根の間に配置され該羽根を枠内に支持する少なくとも一つの撓み体を備え、羽根の静止位置からの撓みが該撓み体を撓ませる、請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 13】

前記撓み感知手段は、前記撓み体に配置され該撓み体の応力に応答して電気信号を発生する少なくとも一つの圧電抵抗を備える、請求項 12 に記載の流量計。

【請求項 14】

前記撓み感知手段は更に、流量計に配置された少なくとも更に三つの圧電抵抗を備え、全圧電抵抗の中の 4 個はホイートストーンブリッジを形成するように相互接続される、請求項 13 に記載の流量計。

【請求項 15】

前記枠は前記羽根を囲繞する、請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 16】

前記羽根は枠より実質的に薄い請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 17】

前記羽根の中心の周りの質量はエッチングにより殆どが除かれる請求項 1 に記載の流量計。

【請求項 18】

前記羽根の中心の周りの質量はエッチングにより完全に除かれ、羽根が枠形状となる請求項 1 に記載の流量計。

【発明の詳細な説明】

発明の分野

本発明は流体流測定分野に、特に、数十～数百マイクロリットル/分 ($\mu\text{l}/\text{min}$)

10

20

30

40

50

の流量を測定できる小型流量計に関する。

背景技術

多くの分野において、少ない流体流の測定は極めて重要である。特に生物、医療科学、分析計測、医薬物質の送分の分野では、線量分析又は滴定される液体又は気体の何れかを問わず微量の流体の測定は共通の問題である。測定されるべき流量は、しばしば殆どナノリットルの範囲である。特に医療検査では、汚染を避けるため流量計は使い捨て自在で、従って廉価であることがしばしば望ましい。絶対精度測定は必ずしも必要ではないが、正確で反復可能な測定が必要である。これ等の用途の多くでは、より小さく小型化した通常の流量計は実現不可能である。例えば、圧力測定原理を用いる流量計は具現化が極めて困難になる。

10

1993年、フロリダ州フォート・ローダーデールで開催されたIEEEマイクロ電子機械システム会議の会報に掲載のGass,V.,van der Schoot,B.H.及びde Rooij,N.F.による「抵抗力測定に基づくマイクロ流センサによるナノ流体の処理」と題する、IEEEカタログNo.93CH3265-6と指定の論文(以下Gass論文)には、5~500マイクロリットル/分(ml/min)の流量範囲で動作するマイクロ流センサが記載されている。Gass論文に記載されているマイクロ流センサは、ホイートストーンブリッジを形成するように配置されたピエゾ抵抗を運ぶ片持ち梁を用いるものである。層流状態ではレイノルズ数が低いと、片持ち梁の両側の液体の圧力差は無視できる。しかしながら、片持ち梁の自由端を流れる液体は、液体中の粘性剪断により梁の端部に流れ随伴抵抗を生じ、梁を曲げ、ホイートストーンブリッジを形成するピエゾ抵抗に応力を加える。

20

発明の開示

本発明の目的は、微量流体流を測定する流量計を提供することにある。

本発明の他の目的は、微量流体流を測定する廉価な流量計を提供することにある。

本発明の他の目的は、微量流体流を測定する、製造が簡単な流量計を提供することにある。

本発明の他の目的は、微量流体流を測定する、製造が経済的である流量計を提供することにある。

本発明の他の目的は、微量流体流を測定する簡単な流量計を提供することにある。

本発明の他の目的は、微量流体流を測定する、信頼性のある流量計を提供することにある。

30

本発明は、極少流を測定する、微細加工により製作されたモノリシック(一体)シリコン羽根型マイクロ流量計である。この流量計は、蝶番が内側に突き出た外枠(フレーム)を備える。蝶番により枠に接合され、枠から支持される羽根(ペーン)は、外力が加わらなければ静止位置にあるように配置される。この蝶番は、流量計を流れる流体等の羽根に加えられるトルクにより羽根が静止位置から撓むのを許容する。流量計はまた、羽根の静止位置からの撓みを検知する撓み感知手段を備える。枠、蝶番、羽根及び撓み感知手段は全て、基体の半導体単結晶シリコン層に一体に集積して加工製作される。

この流量計の好ましい実施例においては、共通軸に沿って整列され、一直線となって羽根を枠内に支持する、対向する振りバーにより蝶番が形成される。振りバーは羽根を枠内に支持し、振りバーの共通軸の周りに回転せしめる。この実施例において、撓み感知手段は振りバーの少なくとも一つに一体化・集積され、羽根の静止位置からの撓みを表す撓れ信号を発生する。振りバーに一体化・集積されたセンサは、廉価で、極めて高感度である。この流量計の他の実施例は撓み体(撓み)蝶番を用い、その撓みはピエゾ抵抗ブリッジにより感知される。何れの実施例においても、羽根に衝突する流体、即ち羽根に対する動的又は流れ圧力が、羽根を振りバーの共通軸の周りに強制回転させるか、撓み蝶番を屈撓させる。

40

これ等及び他の特徴、目的及び利点は、添付する図面を参照して記述される以下の好ましい実施例の詳細な記載から、当業者に理解され、明らかになる。

【図面の簡単な説明】

図1aは、羽根を枠内に支持し、センサを振りバーに一体化・集積せしめる振りバー蝶番を

50

用いる微細加工製作羽根型流量計の好ましい実施例を例示する平面図である。

図1bは、図1aの線1b - 1bに沿って取られた、挟りバーに一体化・集積された挟りバー蝶番及びセンサを用いる流量計の好ましい実施例を示す高さ断面図である。

図2aは、入り口と出口が対称形状に設けられた微細加工製作流量計の代替的实施例を示す平面図である。

図2bは、図2aの線2b - 2bに沿って取られた、流量計の同代替的实施例を示す高さ断面図である。

図3は、図1aの線3 - 3に沿って取られた、挟りバーに一体化・集積された4端子挟れセンサを示す平面図である。

図4aは、エッチングの幾何学的配置により適合する、流量計挟りバー蝶番及び羽根の代替的实施例を示す平面図である。 10

図4bは、図4aの線4b - 4bに沿って取られた、流量計挟りバー蝶番及び羽根の同代替的实施例を示す高さ断面図である。

図5aは、ピエゾ抵抗ブリッジ装置を組み込んだ中央撓み体（撓み）蝶番が羽根を支持し、その撓みを感知する流量計の実施例を示す平面図である。

図5bは、図5aの線5b - 5bに沿って取られた、中央撓み蝶番にピエゾ抵抗ブリッジを組み込む流量計の同実施例を示す高さ断面図である。

図5cは、図5aの線5c - 5cに沿って取られた、中央撓み蝶番にピエゾ抵抗ブリッジを組み込む流量計の同実施例を示す高さ断面図である。

図6aは、撓み蝶番の少なくとも一つに曲げ測定のパiez抵抗ブリッジ装置を組み込んだ、離間する一対の撓み蝶番を有する流量計の代替的实施例を示す平面図である。 20

図6bは、図6aの線6b - 6bに沿って取られた、ピエゾ抵抗ブリッジ装置を組み込む、離間した一対の撓み蝶番をもつ流量計の同実施例を示す高さ断面図である。

図6cは、図6aの線6c - 6cに沿って取られた、ピエゾ抵抗ブリッジ装置を組み込む、離間した一対の撓み蝶番をもつ流量計の同実施例を示す高さ断面図である。

図7は、流量計がその中央に支持される大径管を用い、それにより力帰還技術を用い大容積流の流量を測定できるようにした流量計の該大径管の断面図である。

図8は、図7に示された大容積流流量計に用いられる力帰還技術により流量を直接測定できる、図5aに図示の中央撓み蝶番流量計の代替的实施例を示す平面図である。

図9は、図1a、1b;4a;5a、5b、5c;6b及び6cにそれぞれ示された流量計の何れをも組み込める「渦流発生型」流量計の断面図である。 30

図10aは、羽根が中央取付柱を囲む代替的实施例羽根型流量計の平面図である。

図9bは、図10aの線10b - 10bに沿って取られた、羽根が中央取付柱を囲む同代替的实施例羽根型流量計の断面図である。

図11は、羽根が中央取付柱を囲み大容積流の流量を感知できるようにした同代替的实施例の断面図である。

好ましい実施例の詳細な記載

図1a及び1bは、一般参照符号20により参照された微細加工製作流量計の好ましい実施例を例示する。流量計20は外枠（フレーム）22を備え、それから内側に一対の対向する挟りバー24が突出する。挟りバー24は共通軸26に沿って一直線となって整列し、羽根28を図1bに示された静止位置に支持する。間隙32は羽根28を、挟りバー24が羽根28を枠22に接合するところを除いて、囲繞する枠22から隔てる。羽根は、挟りバー24の共通軸26に関して対称形状になっている。しかしながら、原理的には挟りバー24は図1aに示されたように羽根28の一縁に位置付けられる必要はなく、より対称的に位置付けられてもよい。一般に、羽根28と枠22の間の間隙32はできるだけ小さくされ、流量計の感度の遺漏及び喪失を回避する。数ミクロン程度まで狭い間隙32は、微細加工を用いて容易に加工製作される。蝶番として作用する挟りバー24は羽根28を枠22内に支持し、枠22に対して挟りバー24の共通軸26の周りに回転せしめる。

枠22、挟りバー24及び羽根28は全て、基体ウェーハの半導体単結晶シリコン層から一体に加工製作される。共通[100]配向シリコンウェーハを用いるとき、挟りバー24は好まし 50

くは〔100〕結晶方向又は〔110〕結晶方向に配向される（向き付けられる）。羽根28に対する振りバー24の物理的特性は、「微細加工製作振りスキャナー」と題し1993年10月18日に出願された米国特許出願第08/139,397号に記載されている。これにより、羽根28はトルクが加えられると共通軸26の周りに確実に回転する。流量計20は一般に、上記特許出願に記載されたようなSimox又は接着ウェーハ等のSiO₂（絶縁体上シリコン）型シリコンウェーハを用いて加工製作される。かかる基体により、流量計の加工プロセスにおける自然エッチ停止、羽根28の良好な画成度、及び流量計20の機械化に必須な応力の無い単結晶振りバー24が得られる。反応性イオンエッチング又は湿式エッチングを用い、羽根28を画成することができる。振りバー24と羽根28の中央部34は、上記特許出願に記載されてスキャナー加工製作と同様、SOI上上部シリコンウェーハから成る。羽根28は基体の全厚みから成形
10

することができる。即ち、異方性エッチングにより基体の裏側からこのシリコン本体を除去し、羽根28の中央部34の周囲を取りまくピラミッド形状の箱状強化枠36を残すようにする。

振りバー24の少なくとも一つは振りセンサ42を運び、その4端子形式のものが図3に詳細に示されている。振りバー42は、何れも本出願の発明者により出願された、上記特許出願と1996年2月6日付けで交付の「一体化センサを備えたモノリシックシリコンレートジャイロ」と題する米国特許第5,488,862号に記載されている。これ等の特許出願と交付特許の両者を、茲に引用により挿入する。

上記出願と特許に記載されているように、振りバー24の配向（向き付け）は、センサの活性材料がp型シリコンであれば、〔100〕方向に沿い、活性振れセンサ材料がn型であれば〔110〕方向に沿う。振れセンサ42は、振りバー24内の拡散又は植え込み領域44に位置付けられる。振りセンサ42は好ましくは、植え込み領域44とオーム接触し且つそれ以外のところでは振りバー24及び枠22から絶縁された二対の金属センサリード46a及び46bを有する。センサリード46a及び46bは、図示されない個々の振りセンサパッド内の枠22上で終端する。振りセンサパッドを用いることにより、センサリード46a及び46bを図示しない外部リードに曲げ加工又は半田付けすることができる。電流を一对のリード46aを通して振りセンサ42に流し、センサ電圧を一对のリード46b間で測定する。植え込み領域44は、電流が振りバー24の振れを最適に感知するのに用いられるように、振りバー24の最上面への電流を制限する。リード46bに跨って現れるセンサ出力電圧はリード46a間を流れる電流に比例し、枠22に対して振りバー24の共通軸26の周りに回る羽根28の回転位置に比例する。振りセンサ42は、マイクロラジアン程度の極小回転を解像（感度限界内で感知）でき、周知のように熱的に補償される。
20

振りバー24は、その表面層を炭化珪素又は窒化珪素に転化することにより硬化してもよい。振れセンサ42はまた、要すれば、酸化物又は窒化物或はポリマーで被覆し流体から電気的に絶縁されるようにしてもよい。振れセンサ42が下敷きシリコン支持体で部分的に重ねられると、酸化物が振れセンサ42の下から横に優先的に溶け出し振りバー24を自由回転させる。液体と共に用いるときは、流量計20はガス閉じ込みを避けるため湿潤剤で被覆するとよい。流量計20はまた、蝶番を下にして垂直方向に動作されるようにしてもよい。流量計20を強く向き付けると、気体泡の閉じ込みがある場合その除去を助ける。
30

再度図1a及び1bに関し、流量計20は、シリコン又はガラスから成ってよい支持ベース52に結合、接着又は他の手段で取り付けることができる。支持ベース52は、流量計20を流れる流体が加える圧力により羽根28が撓むとき羽根28を収容するのに充分大きい空洞54を備える。その一つを図1bに示す、一つ又は二つ以上のポート56は流体を流量計20から排出する。振れセンサ42のセンサリード46a及び46bは、枠22と対向する支持ベース52の間を通るようにしてよい。原理的に、支持ベース52はプラスチック材料等、枠22への取付に適したどんな材料から構成してもよい。このように、支持ベース52はシリコンから成る必要はない。
40

流量計20の動作は、原理的に、巨視的（通常の大きさの）羽根型流量計と同一である。流体の流れが無いとき、羽根28は撓まず、振れセンサ42からの出力電圧は零である。図1bに矢印58で表された流体流が流量計20を通るとき、羽根28は空洞54内に下向きに撓み、それ
50

により振りバー24の共通軸26の周りに回転する。その結果、捩れセンサ42はリード46b上に、流体が流量計20を流れる速さに関係する出力電圧を発生する。捩れセンサ42が発生する出力信号は必ずしも流量に線形に関係しない。その関係は独特である。振りバー24内の捩れセンサ42は極めて感動が高いので、極めて良好な感度限界と反復性が得られる。リード46b上の捩れセンサ42からの出力信号は、双極である。即ち、捩れセンサ42の出力信号は、羽根28が空洞54内へ撓むのではなく空洞54から離れるように撓むとき、反転する。交流（AC）電流をリード46aに跨って流し、捩れセンサ42がリード46b上に発生する電気信号が加えられるACの変調包絡線となり、それによりどんな直流（DC）オフセットを除くようにすることができる。ACが捩れセンサに加えられると、リード46bにある変調AC信号は、羽根28が空洞54に向かってではなく空洞54から離れる向きに撓むとき、位相を反転する。捩れセンサ42に直流（DC）又は交流（AC）の何れが加えられるかによらず、羽根28が両方向に撓む場合の流体流量と捩れセンサ42が発生する出力信号との間の関係は必ずしも同一ではない。

10

図2a及び2bはそれぞれ、流量計20の若干異なる実施例の平面図と高さ断面図を示す。図2a及び2b中、図1a及び1bに図示の流量計20と共通する要素は、プライム記号「'」で区別された同一参照番号で表されている。図2a及び2bに示された実施例は、異方性エッチングによりシリコンから容易に加工製作される。ここでも、枠22'を標準的なシリコン接合技術により支持ベース52'に取り付けても、或は両者を単に接着して取り付けてもよい。

羽根28と振りバー24の代替的構成が図4a及び4bに、流量計20の代替的实施例に対して示されている。図4a及び4b中、図1a及び1bに図示の流量計20と共通する要素は、二重プライム記号「''」で区別された同一参照番号で表されている。図4a及び4bに示された振りバー24''は、振りバー24''の両方が羽根28''の一縁に沿って或程度の距離だけ延びていると云う意味で、リエントラントである。羽根28''と捩れセンサ42''を含む振りバー24''のこの形状がここでは、枠22''内の単純矩形領域にはまっている。羽根28''及び振りバー24''のこの構成は、支持ベース52に用いることができる異方性エッチングの幾何学的配置により適合する。前記のものと同様、極めて良好で高感度の動作に対しては、枠22''と羽根28''の間の間隙32''を実現可能な程度まで狭くなる。羽根28''は、羽根28''の中央部34''の周囲を囲むピラミッド形状強化枠36''を備えても、備えなくてもよく、或は羽根28''は図示しないウェーハ基体の全厚みに等しくしてもよい。

20

図5、5b及び5cは流量計20の他の代替的实施例を示す。図5aは、5b及び5c中、図1a及び1bに図示の流量計20と共通する要素は、三重プライム記号「'''」で区別された同一参照番号で表されている。図5a、5b及び5cに示された実施例では、羽根28'''は撓み体（撓み）蝶番72により枠22'''に取り付けられている。撓み蝶番72は、振りバー24のように捩れると云うよりは単に曲がる。曲がりにより生ずる撓み蝶番72内の応力は、図5a、5b及び5cに示された流量計20'''では、周知の4端子ピエゾ抵抗ホイートストーンブリッジにより感知される。従って、流量計20'''は、撓み蝶番72上に位置付けられた少なくとも一つのピエゾ抵抗74aと流量計20'''上の他のところに位置付けられた三つの補償ピエゾ抵抗74b、74c及び74dを備える。ピエゾ抵抗74a～74dは枠22'''上で相互接続され、ホイートストーンブリッジを形成する。撓み蝶番72の曲がりによるピエゾ抵抗74aの伸縮がホイートストーンブリッジの不均衡をもたらす。尚、流量計20'''は補強枠36'''を含んでも、含まなくてのよい。

30

40

図6a、6b及び6cは、図5a、5b及び5cに示された流量計20'''の代替的实施例を示す。図6a、6b及び6c中、図5a、5b及び5cに図示の流量計20'''と共通する要素は、四重プライム記号「''''」で区別された同一参照番号で表されている。図6a、6b及び6cに示された流量計20''''は、図5a、5b及び5cに示された実施例の中央撓み蝶番72を、羽根28''''を枠22''''に取り付ける、二つの対称位置に置かれた撓み蝶番72''''で置き換えている。ここでも、撓み蝶番72''''の少なくとも一つがピエゾ抵抗74a''''を運び、流量計20''''はピエゾ抵抗74b''''、74c''''及び74d''''を運ぶ。両撓み蝶番72''''はピエゾ抵抗74a''''を含んでもよく、ピエゾ抵抗74a''''の対を組み合わせると寄生効果が相殺される。流量計20''''がピエゾ抵抗を一つ又は二つの何れを備えるかによらず、ピエゾ抵抗74a''''は撓み蝶番72''''の曲がりにより撓み蝶番72''''に発生される応力に応答して電気信号を発生する。図5a、5b及び5cに示された流量計20'''の実施例と

50

同様、圧電抵抗74a~74dは相互接続されてホイートストーンブリッジを形成し、羽根28は補強棒36を含んでも、省略してもよい。

図7は、流量計20を大径外部管82の中央に支持し、それにより流量計20が大容積流を測定できるようにしたものを示す。外部管82を流れる流体の殆どは流量計20を側路し、流量計20に跨る圧力が撓み力を羽根28に加える。図7に示された流量計20が用いられる場合、羽根28は好ましくは不平衡静止位置に維持される。これは例えば、棒22に永久磁石86を取り付け、コイル84を羽根28上に形成して永久磁石86が発生する磁場内におき、電流をコイルに供給することにより行うことができる。図7に示された検知センサ42の（又は撓み蝶番72の圧電抵抗74a~74dにより形成されるホイートストーンブリッジの）出力信号は、流量計20の外部に設けた帰還回路に供給され、流量計20の力帰還動作モードを設定する。力帰還動作モードは、羽根28をその非撓み静止位置に維持する。かかる力帰還モードで動作すると、コイル84を流れる電流により流量計20を流れる流体の流量が測定される。

図8は、外部管82を省き、微小流量を測定するのに力帰還原理を用いるようにした、図5a、5b及び5cに示された流量計20の代替的实施例を示す。図8中、図5a、5b及び5cに図示の流量計20と共通する要素は、五重プライム記号「'''」で区別された同一参照番号で表されている。図8に示されたこの流量計の代替的实施例20'''では、羽根28'''と棒22'''の間の間隙32'''は意図的に拡大され、流量計20'''を流れる流体の通路を提供する。図7に示された流量計20と同様、羽根28'''は、永久磁石86'''が発生する磁場とコイル84'''を流れる電流の結果生ずる力により、流動流体の静圧に抗して、その非撓み静止位置に維持される。圧電抵抗74a~74dからの信号は、コイル84'''に電流を供給して羽根28'''をその非撓み静止位置に維持する外部帰還回路に供給される。図8に示された流量計20'''は、撓み蝶番72'''を用いるが、勿論、検知バー24も一緒に加工製作されるようにしてもよい。流量計20'''を通して間隙32'''を流れる流体によりかなりの力が羽根28'''に加えられる場合、永久磁石を羽根28'''に設け、流量計20'''の外部に設けた電磁石が発生する磁場を用い羽根28'''をその非撓み静止位置に維持するようにする。羽根28'''の大きさを間隙32'''に対して調整し、流量計20'''を流れる流体により羽根28'''に加えられる力を永久磁石と電磁石が羽根28'''に加える力と釣り合わせる。

以上、二つの異なる種の微細加工製作型流量計、即ち可動羽根28を支持する検知バー24を用いるものと、可動羽根28を支持する撓み蝶番72を用いるものが記載された。両種の流量計に関し、移動羽根28は流量計20を流れる流体を妨げるように向き付けられるものとして記載された。このように流体流の少なくとも一部を妨げると、羽根28にそれが検知バー24を撓めるか、又はそれが撓み蝶番を曲げるようにする力が加わり、それにより電気信号が検知センサ42か、又は圧電抵抗74a~74dに発生する。流量計20が用いられる特定の用途により、羽根28又は間隙32の特定寸法、即ち最小及び最大流量の予定範囲に亘って流量を正確に測定する信号を検知センサ42又は圧電抵抗74a~74dが発生するように流量計20を製作するためかかる特定寸法を選ぶことが必要になる。また、或種の用途では、流量計20を流れる流体に応答する羽根28の移動が流体流量に僅かに影響を及ぼし、流量計20に跨って非線形の流量対圧力関係を生ずる。

羽根28が流量計20を流れる流体を妨げる向き付けに加えて、流量計20には、羽根28が流動流体に実質的に平行に向けられると云う他の向き付けがある。羽根28が流動流体に実質的に平行に向けられると、流量計20は所謂「渦流発生（渦離脱）型」（vortex shedding）流量計として作動できる。図9は、かかる「渦離脱」型流量計を示す断面略図で、管92が流路94を定め、流路94内に渦発生急崖96が流量計20の上流に位置付けられているのが分かる。かかる構成において、流量計20は、流体が渦発生急崖96の下流にカルマン渦を形成するのに充分高いレイノルズ数で渦発生急崖を流れるとき、この流体により離脱（発生）される（shed）渦を検出することにより、流体流量を測定する。かかる流量計では、渦離脱（発生）速度は流体流量に直接比例する。実際問題としてこれが意味するところは、流れに浸漬された物体は流量に直接比例する周波数の振動入力を受けると云うことである。羽根28の最も感度が高い向き付けは、共通軸26を流れる流体に平行な面に置き、羽根の動きが流れる流体と直角になるようにするものである。このように向き付けられる

10

20

30

40

50

と、振りセンサ42又はピエゾ抵抗74a~74dにより発生される信号は流体流量に比例する周波数をもつ。かかる向き付けでは、羽根28は流れる流体内の渦にตอบสนองして移動するが、流体の流れに顕著には影響しない。流量計20に対するこの向き付けの利点は、羽根28を含む流量計20に流量計20を通る流体流を妨げさせることが実行不可能な場合、又は線形性の理由で羽根28に流体流量により向き付けを変えさせるのが望ましくない場合に、流量の測定が可能になることである。

周波数の関数として振りセンサ42又はピエゾ抵抗74a~74dの出力信号の大きさに大きな変化が生ずるのを回避するため、渦発生型流量計として用いられる流量計20は好ましくは、共通軸26の周りに生ずる発振の共振周波数を通常の動作で予測される渦周波数より大幅に高くする。補強枠36の周りの羽根28の回転の共振周波数を越える周波数では、振りセンサ42又はピエゾ抵抗74a~74dからの出力信号は周波数の増大とともに急激に低下する一方、この共振周波数以下では、同出力の振幅は実質的に一定である。しかしながら、流量計20を「渦発生」様式で動作すると、振りセンサ42又はピエゾ抵抗74a~74dが発生する出力信号に対する流量測定の感度が低下する。渦発生の周波数は流体流量に比例するので、振りセンサ42又はピエゾ抵抗74a~74dからの出力信号の周波数は流動計20を通る真の流体流量を表す。

振りセンサ42又はピエゾ抵抗74a~74d発生出力信号の振幅からのこの流体流量の独立性は、流量計20に対する「渦発生」感知向き付けの基本的利点の一つである。振りセンサ42又はピエゾ抵抗74a~74dからの出力信号の振幅は、出力信号の周波数、即ち流体流量の感知限界に有害に影響せずに極めて有意に変化することがある。このことは、流量計20を種々の用途に適合させるのに大きな柔軟性をもたらす。例えば、ピエゾ74a~74dの抵抗が撓み蝶番72の曲がりとは無関係に温度と共に変化することがある。多くの用途において、ピエゾ抵抗74a~74dを温度変化に対して補償する、又は出力信号の振幅が流体流量を測定する場合に温度を一定に保持することが必要である。「渦発生」構成では、出力信号の周波数をその振幅とは独立して測定できるので、出力信号の振幅はさほど重要ではない。従って、「渦発生」構成では温度変化は流量測定の精度に有意に影響しない。温度補償又は温度調節の必要が少なくなり、或いは無くなると、ピエゾ抵抗74a~74dから出力信号を測定するのに用いられるシステムのコストにかなりの差がでてくる。

図10a及び10bは、中央柱102が囲繞する羽根を支えるようにした、流量計20の好適度がより低い代替的实施例を示す。図10a及び10b中、図1a及び1bに図示の流量計20と共通する要素は六重プライム記号""により区別された同一参照番号で表されている。図10に示された代替的实施例では、中央柱102から外側に延びる振りバー24""が、中央柱102を囲繞し共通軸26""の周りに回転する羽根28""を支持している。図10に示されているように、矢印58""で表された、支持ベース52""を通して流れる流体は羽根28""に当たる。図10a及び10bは代替的实施例流量計20""が振りバー24""を用いて羽根28""を支持するように示しているが、羽根28""を図5a、5b及び5c又は図6a、6b及び6cにそれぞれ示されたピエゾ抵抗74a~74dを備える撓み蝶番72の一方又は両方で支持してもよい。

図11は、中央柱102が支持する囲繞羽根を大容積流の流量測定に適するようにした、好適度がより低い流量計20の実施例を示す。図11中、図10a及び10bに図示の流量計20と共通する要素は七重プライム記号""により区別された同一参照番号で表されている。図11に示された実施例では、支持ベース52""は、流れの多くが羽根28""の周りを通過できるようにした大径管104内に流量計20""を支持している。

産業の適用性

流量計20は容易に詰まらない。羽根28の面積は、数十平方ミクロンから一センチメートル或はそれ以上の範囲で容易に変更できる。かかる大面積をもつ羽根28の厚みは、前記特許及び特許出願に記載されたようなウェーハの厚みでよからう。振りバー24の厚みは上部S01層の厚みにより設定され、振りバー24の幅及び長さは、感知されるべき流量に応じて、数ミクロンから数百ミクロンの範囲でよい。流量計20は図5bに二頭矢印で表された厚みtをもってよく、それは50から500ミクロンの範囲、より普通には100から500ミクロンの範囲とする。流量計20の厚みは1.0mmまで薄く、要すれば更に薄くてよい。羽根28の厚み

10

20

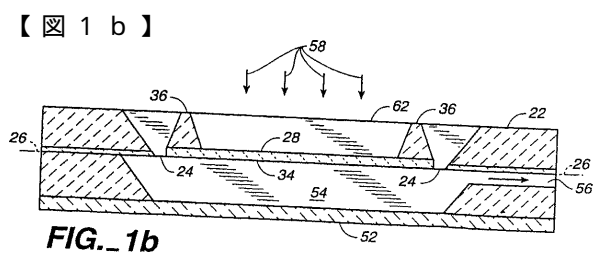
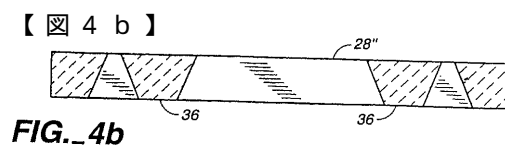
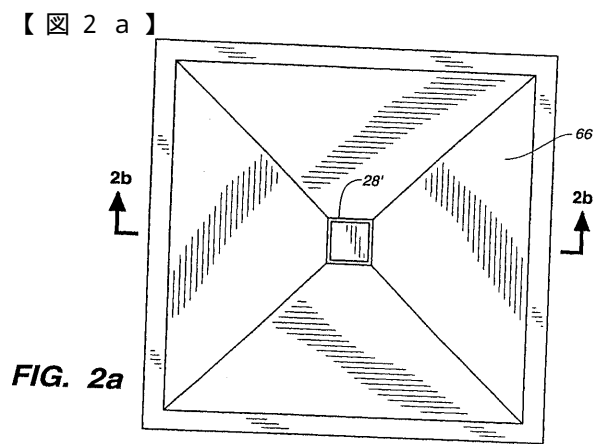
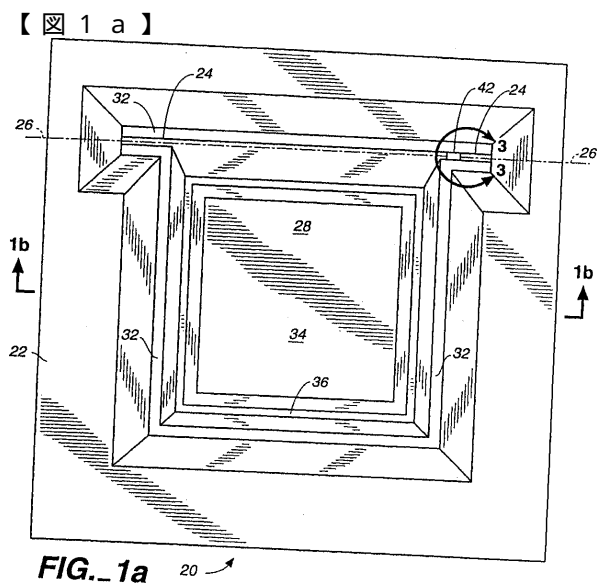
30

40

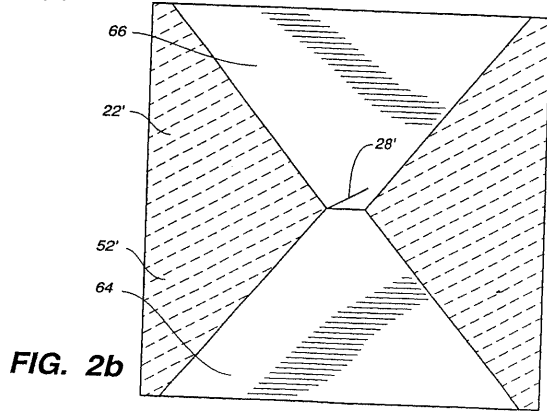
50

は張りバー24（即ちSOI基体の上部シリコン層）の厚さ、全ウェーハ厚みと等しくてよく、或は補強枠36として形成されてもよい。これは剛性を与え、しかも羽根28に質量を少なくする。

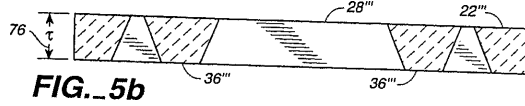
以上本発明を現在の処好ましい実施例に付いて述べてきたが、かかる開示は純粹に例示的であり、限定的に解釈されるべきでないものと理解されるべきである。従って、発明の精神と範囲を逸脱することなく、種々の変更、修正及び／又は代替が疑いもなく、以上の開示を読了した当業者に示唆されるであろう。従って、以下に記述する請求項は本発明の真の精神及び範囲に入る全ての変更、修正又は代替を包括するものと解釈されるべきと意図するものである。



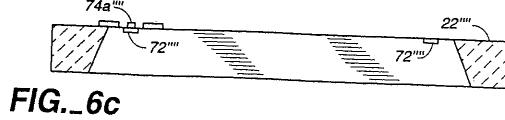
【図 2 b】



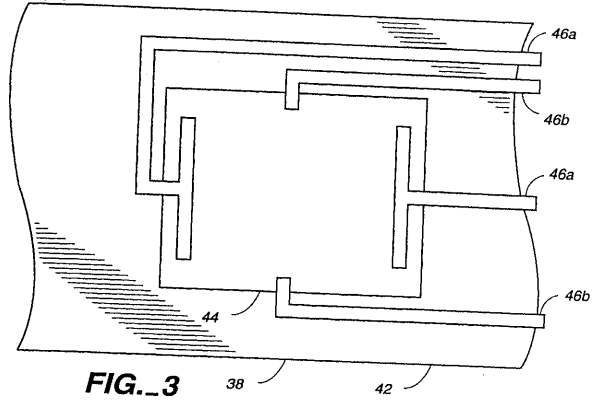
【図 5 b】



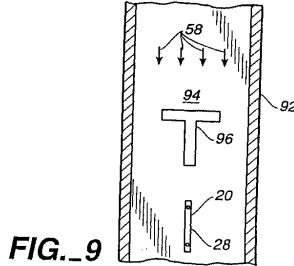
【図 6 c】



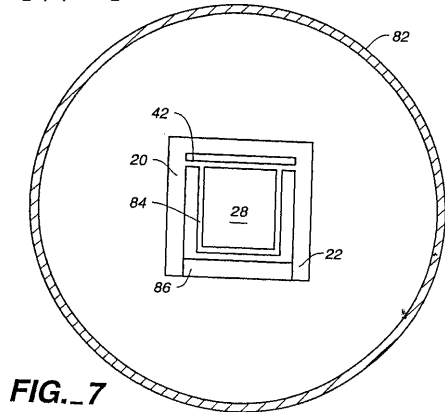
【図 3】



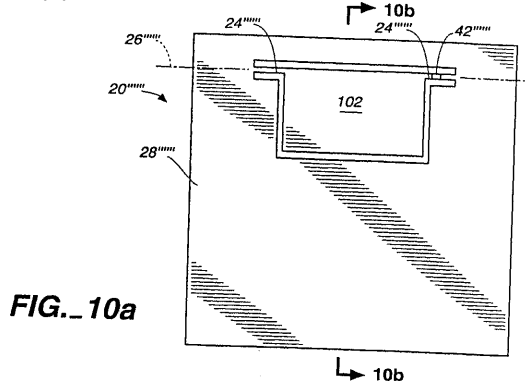
【図 9】



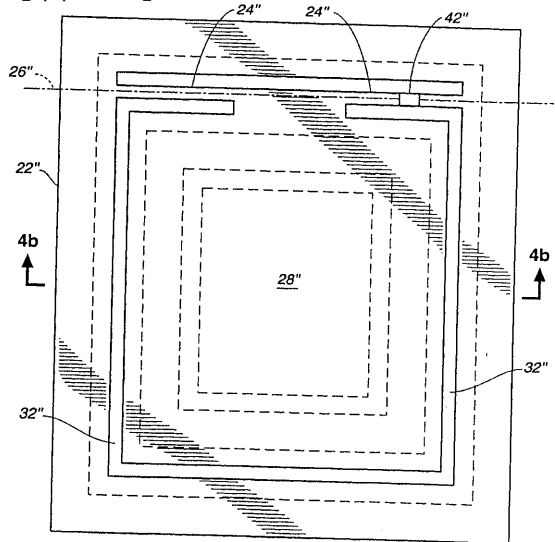
【図 7】



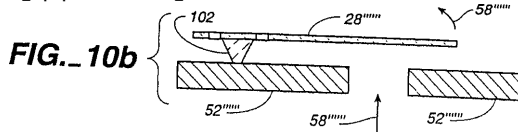
【図 10 a】



【図 4 a】



【図 10 b】



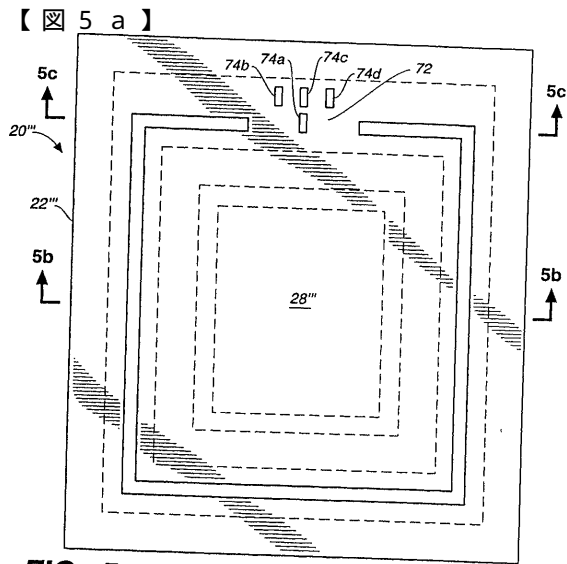


FIG._5a

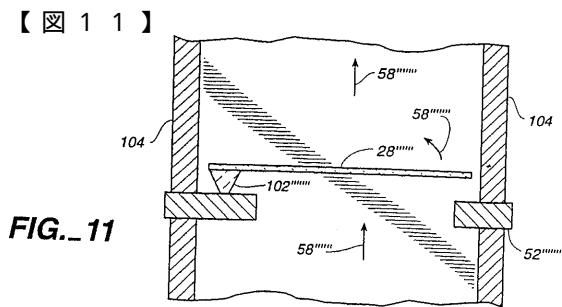


FIG._11

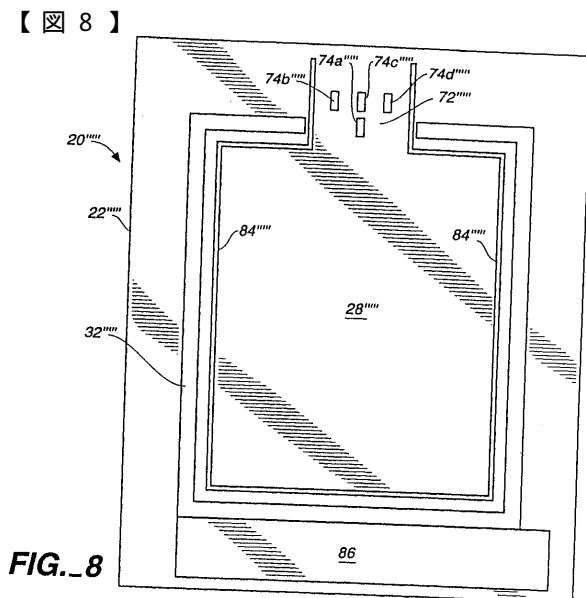


FIG._8

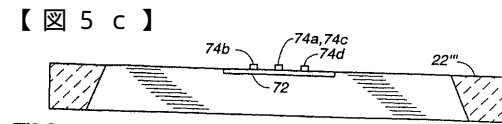


FIG._5c

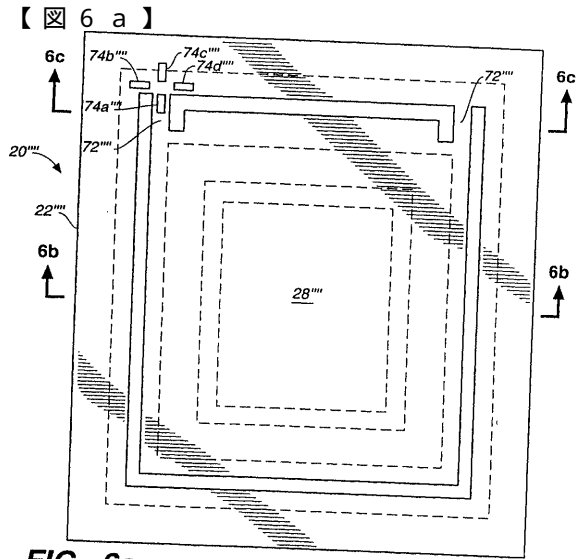


FIG._6a



FIG._6b

フロントページの続き

(72)発明者 スレーター、ティモシー、ジー
アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 4 1 2 2 サン・フランシスコ、アービング・ストリート 1 0 3
2

審査官 森口 正治

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