

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3616095号
(P3616095)

(45) 発行日 平成17年2月2日(2005.2.2)

(24) 登録日 平成16年11月12日(2004.11.12)

(51) Int. Cl.⁷

F I

GO 1 D 3/028
GO 1 L 1/10
GO 1 L 9/00
GO 1 P 15/12

GO 1 D 3/04 D
GO 1 L 1/10 A
GO 1 L 9/00 C
GO 1 P 15/12
GO 1 D 3/04 F

請求項の数 5 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平7-505245	(73) 特許権者	ハネウエル・インコーポレーテッド
(86) (22) 出願日	平成6年7月19日(1994.7.19)		アメリカ合衆国 55408 ミネソタ州
(65) 公表番号	特表平9-500726		・ミネアポリス・ハネウエル・プラザ(番地なし)
(43) 公表日	平成9年1月21日(1997.1.21)	(74) 代理人	弁理士 山川 政樹
(86) 国際出願番号	PCT/US1994/008066	(74) 代理人	弁理士 黒川 弘朗
(87) 国際公開番号	W01995/003533	(74) 代理人	弁理士 紺野 正幸
(87) 国際公開日	平成7年2月2日(1995.2.2)	(74) 代理人	弁理士 西山 修
審査請求日	平成13年5月8日(2001.5.8)	(74) 代理人	弁理士 鈴木 二郎
(31) 優先権主張番号	08/094,785		
(32) 優先日	平成5年7月20日(1993.7.20)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振型集積マイクロビームセンサの静圧補償

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

硬い第1の領域及びその第1の領域より柔らかく、第1のパラメータの変化にตอบสนองしてたわむ第2の領域を有する基板を備え、

上記第2の領域のたわみにตอบสนองして長さ方向に伸縮するように第2の領域に沿って設定される、互いに反対側の第1及び第2の端部が上記基板に対して固定された細長い第1振動子であって、伸縮によって第1の固有共振周波数が変化し、その第1の固有共振周波数が上記第1のパラメータ及び第2のパラメータの変化にตอบสนองして変化する第1振動子を備え、

上記第1のパラメータの変化に実質的に影響されることなく第2のパラメータの変化にตอบสนองして変化する第2の固有共振周波数を有する上記基板に固定された細長い第2振動子を備え、

上記第1及び第2の固有共振周波数を検出し、その第1及び第2の固有共振周波数に基づいて、第2のパラメータの影響を補償した第1のパラメータを表す出力を発生させる手段を備え、この手段には、上記第1の固有共振周波数の2乗と上記第2の固有共振周波数の2乗との比を得る手段、および、その比に基づいて上記出力を発生させる手段が含まれている、

ことを特徴とする検出デバイス。

【請求項2】

第1のパラメータの変化にตอบสนองしてたわむ可撓性のダイアフラム、及びそのダイアフラム

10

20

を取り囲みかつ支持する硬い周辺領域を有する基板と、
上記可撓性ダイヤフラムのたわみに応答して長さ方向に伸縮するよう、互いに反対側の第1及び第2の端部が上記周辺領域に近い前記ダイヤフラムの一側辺に沿って上記基板に固定された細長い第1振動子で、伸縮によって第1の固有共振周波数が変化する第1振動子と、

上記基板に関して固定されていて、第2のパラメータによって変化する第2の固有共振周波数を有する細長い第2振動子と、

上記第1及び第2の固有共振周波数を検出し、指示する手段と、

上記第1と第2の固有共振周波数を次式に従い関連付けるための2つの較正定数「a」及び「b」を記憶するための手段で、

$$f_1^2 - f_2^2 = a + b$$

式中、 f_1 は上記第1の固有共振周波数、 f_2 は上記第2の固有共振周波数、 a は上記第1振動子に加わる歪みである手段と、

を具備した温度補償型測定デバイス。

【請求項3】

半導体基板と、

半導体材料で形成され、第1の変条件の変化及び第2の変条件の変化によって変化する第1の固有共振周波数で振動するよう上記基板に対して固定された細長い第1振動子と

半導体材料で形成され、上記第2の変条件の変化に応答して変化するが、上記第1の変条件の変化に応答しては変化しない第2の固有共振周波数で振動するよう上記基板に対して固定された細長い第2振動子と、

上記第1の固有共振周波数を検出するとともに、第1の共振周波数に基づいて第1の周波数信号を発生させる第1共振周波数検出手段と、

上記第2の固有共振周波数を検出するとともに、第2の共振周波数に基づいて第2の周波数信号を発生させる第2周波数検出手段と、

上記第1及び第2の周波数信号を受け取って、上記第1の固有共振周波数の2乗と上記第2の固有共振周波数の2乗との比を得る手段と、

上記第1と第2の固有共振周波数の2乗の比に基づいて、上記第2の変条件の影響を補償した第1の変条件を表す出力を発生させる手段と、

を具備した検出デバイス。

【請求項4】

半導体ウェーハの複数のチップ上の複数の歪み応答性共振ビームを較正するためのプロセスであって、較正される全ての共振ビームの寸法及び残留応力が実質的に同じであり、共振ビームが、第1の変条件の変化及び第2の変条件の変化に応答して変化する第1の共振周波数を各々有する複数の第1の共振ビームを具備するプロセスにおいて、

上記共振ビームが、さらに、上記第2の変条件の変化に応答して変化するが、上記第1の変条件の変化に応答しては変化しない第2の共振周波数を各々有する複数の第2の共振ビームを具備し、

上記複数の各チップが、上記第1の共振ビームの少なくとも1つと、上記第2の共振ビームの少なくとも1つを含み、

上記半導体チップの選択された1つに第1のレベルの上記第1の変条件及び第1のレベルの上記第2の変条件を課し、これと同時に、上記第1の共振ビームの選択された1つ及び上記第2の共振ビームの選択された1つのそれぞれの共振周波数を測定して、上記の選択された第1の共振ビームの共振周波数を表す第1の周波数値及び上記の選択された第2の共振ビームの共振周波数を表す第2の周波数値を得るステップと、

上記の選択された半導体チップに第2のレベルの上記第1の変条件及び上記第1のレベルの上記第2の変条件を課し、これと同時に上記の選択された第1及び第2の共振ビーム

10

20

30

40

50

ムのそれぞれの共振周波数を測定して、上記の選択された第1の共振ビームの周波数を表す第3の周波数値及び上記第2の共振ビームの固有共振周波数を表す第4の周波数値を得るステップと、

上記第1、第2、第3及び第4の周波数値を用いて、下記方程式の2つの定数「a」及び「b」の解を求めるステップであって、

$$f_1^2$$

$$= a + b$$

$$f_2^2$$

式中f1は上記第1の共振ビームの固有共振周波数、f2は第2の共振ビームの固有共振周波数、は第1の共振ビームに加えられた歪みであるステップと、

を具備したプロセス。

【請求項5】

硬い第1の領域及びその第1の領域より柔らかく、第1のパラメータの変化にตอบสนองしてたわむ第2の領域を有する基板を備え、

上記第2の領域のたわみにตอบสนองして長さ方向に伸縮するように第2の領域に沿って設定される、互いに反対側の第1及び第2の端部が上記基板に対して固定された細長い第1振動子であって、伸縮によって第1の固有共振周波数が変化し、その第1の固有共振周波数が上記第1のパラメータ及び第2のパラメータの変化にตอบสนองして変化する第1振動子を備え、

上記第1のパラメータの変化に実質的に影響されることなく第2のパラメータの変化にตอบสนองして変化する第2の固有共振周波数を有する上記基板に固定された細長い第2振動子を備え、

上記第1及び第2の固有共振周波数を検出し、その第1及び第2の固有共振周波数に基づいて、第2のパラメータの影響を補償した第1のパラメータを表す出力を発生させる手段を備える、

ことを特徴とする検出デバイス。

【発明の詳細な説明】

発明の背景

本発明は、誘導歪みを利用して加速度、圧力、温度及びその他の変数を測定するためのトランスデューサに関し、より詳しくは、このようなデバイスにおいて温度補償及び静圧補償を行うための技術に関する。

高精度測定を行うためには、長年共振トランスデューサが用いられて来た。精密級加速度計及び圧力センサには、振動式トランスデューサが用いられて来た。これらのデバイスは、固有振動周波数（すなわち振動ビームまたは他の部材の共振周波数）はこれらの部材沿いの誘導歪みの関数であるという原理に基づいて動作する。より詳しく言うと、ビームを伸長させる張力は、その共振周波数を増加させるが、ビームを圧縮する力は固有振動周波数を減少させる。共振ゲージの周波数出力は、測定量を反映したデジタル指示値に容易に変換され、これにはカウンタと基準クロックさえあればよい。このように、この種のゲージは、簡単で信頼性に優れており、デジタル信号処理回路に対して比較的簡単なインタフェースを用いて高い感度が得られる。

この種のトランスデューサの中で特に実用的なトランスデューサの1つに、例えば「定電界中で駆動されるマイクロビームを用いた共振ゲージ (Resonant Gage with Microbeam Driven in Constant Electric Field)」という名称の米国特許第5,275,055号に開示された共振型集積マイクロビームセンサがあり、この特許は本願譲受人に譲渡されている。このセンサは、シリコン基板、両端がその基板に取り付けられたポリシリコンたわみビーム、基板と共にはたらいて密封した真空チャンバ中にわみビームを封入するポリシリコンの硬質カバーを有する。たわみビームの反対側には、一対のバイアス電極があって、たわみビームの周りに定電界を形成する。たわみビーム上には駆動電極があり、ビームを振動させるよう選択的に荷電される。また、たわみビーム上にはピエゾ抵抗素子があって、ビーム位置を示すと共に、駆動発振器へのフィードバックを行うために用いられる。

10

20

30

40

50

このように、たわみビームは、その固有共振周波数で振動しようとする。

このセンサは、それぞれ圧力変化及び加速度に応じたダイアフラムまたはたわみ部材のたわみによって伸長あるいは圧縮されるようにして圧力センサのダイアフラムまたは加速度計のたわみ部材に組付けることができる。このようなセンサは、これらの用途の多くにおいては十分であるが、温度や静圧のずれによる誤差が生じ易い。

共振センサの関連では、温度及びその他の条件の変動に関して補償を講じることは知られている。例えば、米国特許第4,535,638号（EerNisse他）には、水晶のような振動子を2つの周波数で振動するよう駆動し、これら2つの周波数がどちらも加えられた力の変化及び温度の変化によって変化する共振器トランスデューサシステムが開示されている。それらの周波数出力は、温度の影響に関する所定の補正係数を記憶したコンピュータによって

10

処理される。米国特許第4,598,381（Cucci）には、圧力補償型差圧センサが開示されている。この差圧センサでは、基準センサが比較的低い基準圧力を検出し、第2のセンサがこの比較的低い圧力とこれより高い第2の圧力との間の差圧を検出する。これらの圧力センサ及び温度センサの出力は、温度の影響に関する補正を行うようにプログラムされたコンピュータに供給される。このコンピュータは、温度センサ出力が供給されるアナログ-デジタル変換器を有する。

米国特許第4,765,188号（Krechmery他）には、圧力を検出するためのいくつかのピエゾ抵抗器ストレインゲージを有するダイアフラムを用いた圧力トランスデューサが開示されている。また、このダイアフラム上には、温度従属性の抵抗器も形成されている。この感温抵抗器の出力は、デジタル信号に変換されて、プログラム可能なリードオンリーメモリ（PROM）に供給される。PROMには、温度補償を行うための修正データが記憶されている。上記のような技術は実施可能であるが、補償データの記憶が必要であり、またアナログ-デジタル変換を必要とすることが多く、検出/補償回路がますます複雑になる結果、半

20

導体デバイス製造における困難が増大する。従って、本発明の目的は、補償用として設けるセンサにデジタル出力を発生させ、アナログ-デジタル変換の必要をなくした共振検出デバイスを提供することにある。

本発明のもう一つの目的は、第1の共振センサと補償用の少なくとも1つの第2の共振センサとを一つに組み込んだ測定デバイスを提供することにある。

本発明のさらにもう一つの目的は、補償用の1つまたは2つ以上の第2の共振センサのサイズ及び内部歪みが実質上同じで、コンピュータメモリに多数の補償値を記憶する必要がない簡単で確実な補償が達成される測定デバイスを提供することにある。

30

発明の概要

上記及びその他の目的を達成するため、本発明は、パラメータ測定デバイスを提供するものである。本発明の測定デバイスは、硬い第1の領域と、その第1の領域より柔らかい第2の領域とを有する半導体基板を具備する。細長い第1振動子が設けられ、その両側にある第1及び第2の端部は、この振動たわみ部材が第2の領域のたわみに応答して縦方向に伸長/圧縮可能なよう、第2の領域に対して固定されている。本発明のデバイスは、さらに、第1の領域に対して固定された細長い第2振動子を有し、この第2振動子の固有共振周波数は、第2のパラメータの変化に応答して変化するが、第1のパラメータの変化には

40

実質上影響されない。第1振動子は、その伸長に応じて固有共振周波数が増加し、収縮または圧縮に応じて固有共振周波数が低下する。第1振動子は第1のパラメータ及び第2のパラメータの変動に応答するのに対して、第2振動子は第2のパラメータの変動にのみ応答する。第1及び第2の各振動子は、各振動子の領域にかなり一様な定電界を発生させるための付随手段、基板に対する各振動子の相対位置を検出するための位置検出手段、及び各振動子の位置変化に応答して周期性の駆動電圧信号を発生させるための発振手段によって各々の共振周波数で駆動される。駆動電圧信号は、基板に対する各振動子の機械的周期振動を生じさせる。その発振手段は、位置信号周波数の変化に応答して駆動信号周波数を連続的に制御可能に調節し、これによって駆動信号を機械的振動の固有共振周波数に一致させる方向に調節する

50

。本発明の測定デバイスは、さらに、第1及び第2振動子の共振周波数出力を受け取り、第1振動子出力を第2のパラメータの変動に従属する周波数の部分を抽出するようにして第2振動子出力と結合することにより補償するための信号処理手段を有する。この補償の結果、第1の測定パラメータのみに従属する周波数出力が得られる。

本発明の一実施態様においては、第1及び第2振動子は、互いにサイズ、材料及び残留歪みを実質上同じである。この場合、第2振動子出力は基準周波数として用いられ、第1振動子周波数の2乗と第2振動子周波数の2乗の比が、加えられた歪みにより次式に従って変化する。

$$\frac{f_p^2}{f_s^2} = a + b \varepsilon$$

10

式中、 f_p は第1振動子周波数、 f_s は第2振動子周波数すなわち基準周波数、 ε は(第1たわみ部材に)加えられた歪み、 a 及び b は定数である。従って、第2のパラメータを一定に保って第1のパラメータの2つの異なる値における f_p 及び f_s を測定することによって(例えば、温度を一定に保って2つの異なる圧力で測定する)、定数 a 及び b を求めることができる。これらの定数がいったん求められたならば、これらの定数によって、第1たわみ部材の共振周波数により決まるその第1たわみ部材に加えられた歪みに基づいて補償された第1のパラメータの値を得ることができる。

測定中の第1及び第2のパラメータは、第1及び第2たわみビームの位置決定に重要な意味を持つ。例えば、パイレックスガラスまたは同様の材料の管の最上部にダイアフラムを取り付けた半導体チップを含む圧力変換器においては、ダイアフラムが比較的柔らかい第2の基板領域を形成し、ダイアフラムを取り囲むように管に取り付けられた硬いリムが比較的硬い第1の基板領域を形成する。第1振動子の好ましい位置は、ダイアフラムの周部であり、矩形のダイアフラムの縁部に対して直角に配置するが、あるいは円形のダイアフラムに対しては半径方向に配置する。第2振動素子、例えば温度検出マイクロビームは、パイレックス管の外側で、半導体チップの周部の近傍に配置することが好ましい。もう一つの第2振動子として、静圧検出マイクロビームを、静圧の影響が最大になるとされる半導体チップの周部に沿って配置することもできる。あるいは、差圧検出ダイアフラムより小さい第2のダイアフラムを、静圧センサ用のチップに作り込むこともできる。

20

適切な振動子位置を決定する際には、半導体チップの有限要素モデルを用いると効果的である。このような有限要素モデルは、約15psiの範囲の差圧または約1000psiの範囲の静圧に基づいて構築することができる。このように、本発明によれば、共振マイクロビームを用いて実質上温度及び静圧の影響なしに差圧及び加速度を検出するための簡単かつ確実な手段が得られる。

30

【図面の簡単な説明】

上記及びその他の本発明の特徴及び長所について、以下添付図面を参照してさらに詳細に説明する。

図1は、本発明により構成された圧力検出デバイスの縦断面図である。

図2は、上記圧力検出デバイスの上面図である。

図3は、図1の一部を示す拡大断面図である。

40

図4は、図3の線4-4に沿って切断した断面図である。

図5は、上記デバイスの共振ゲージ及び付随の発振器回路の概略回路図である。

図6乃至8は、本発明により構成された他のそれぞれ異なる圧力検出デバイスの上面図である。

図9及び10は、これらの圧力検出デバイスで用いる感圧半導体基板の有限要素モデルを示す概略斜視図である。

図11は、4つの共振マイクロビームセンサを用いた圧力検出デバイス用の信号処理システムを示す概略ブロック図である。

図12は、本発明により構成された加速度計の上面図である。

図13は、図12の線13-13に沿って切断した上記加速度計の拡大断面図である。図14は、図

50

13の線14 - 14に沿って切断した上記加速度計の断面図である。

実施形態の詳細な説明

添付図面を参照して説明すると、図1及び2には、圧力検出デバイス16が示されている。このデバイスは、かなり硬い周辺領域またはリム20及びそのリムに取り囲まれたダイアフラム22を含むシリコン基板またはベース18を有する。ダイアフラムは、各辺の長さが約4 ~ 150ミルの範囲のほぼ正方形である。ダイアフラムは、柔らかく薄く、例えば厚さ10 ~ 100マイクロメートルの範囲である。このように、ダイアフラムは、周辺領域より柔らかい基板領域を形成する。周辺リム20の底部は、パイレックス(商標)ガラスまたは、例えばセラミック、ムライト、プラスチックあるいはシリコン等の他の適切な材料の管24に熱電気によって接合されている。管24は、符号26で示す剛構造中に支持されている。この支持構造には、カバー28が固定されており、支持構造と共にチャンバ30を形成している。このように、圧力検出デバイス16は、チャンバ30と管24の内部との境界部に配置される。

圧力検出デバイス16の上、ダイアフラム22の周辺領域20の近くに感圧共振ストレインゲージ32が組付けられている。これとほぼ同様の共振ゲージ34が、検出デバイスの周辺領域20、より詳しくは、管24の環状面の範囲内の上側に取り付けられている。共振ゲージ34は、静圧の影響を最小限にするように管24に対して、管の半径方向に対して垂直方向に選択されて配置されている。従って、共振ゲージ34は、ダイアフラムのたわみに対しては応答を示さない。このように、ゲージ34は、圧力に起因するダイアフラムのたわみではなく、温度変化に応じたゲージ32の動作を補償するための基準として用いられる。ダイアフラム22は、図2に示すように、正方形であるが、必要ならば、例えば円形や矩形等、他の形状とすることもできる。円形または矩形のダイアフラムを形成するには、異方性エッチングを用いることができるが、正方形ダイアフラムを形成するには、等方性エッチング技術を用いればよい。

図3に示すように、共振ゲージ32は、細結晶粒の低引張歪みポリシリコン(多結晶シリコン)で形成された細長いビーム36を有する。ビーム36は、50 ~ 1000マイクロメートルの範囲、より好ましくは約200マイクロメートルの長さ、約1 ~ 3マイクロメートルの厚さ(図3の垂直方向)、及び約20 ~ 80マイクロメートルの幅を有する。符号38及び40で示すビームの両端部は、基板18(より詳しくはダイアフラム)とやはりポリシリコンで形成されたかなり硬いシェルまたはカバー42との間に固定されている。ビームの中間領域44は、カバー及び基板によって形成されるチャンバ46内で自由に振動することができる。

カバー42の表面部分には、上部バイアス電極48が(例えばイオン注入法によって)作り込まれ、ダイアフラム22の表面には、同様の下部バイアス電極50がチャンバ46の底部に沿って作り込まれている。ビーム36の上面の一部分に沿っては、駆動電極52が形成されている。ビームの上面に沿っては、piezo抵抗器54が形成され、このpiezo抵抗器は駆動電極52と同一平面内にあるが、駆動電極52から離間されているため、その電極と電氣的に絶縁されている。電極48及び50は、ビームの長さ方向または縦方向に関して駆動電極52から横方向に離間されている。駆動電極52は、これらのバイアス電極間におおよそ中心に位置する。

図4に示すように、ビーム36は、これより大きいポリシリコン薄膜56の一部として形成されており、そのビームの両側には、それぞれこれに沿って延びる縦ギャップ58及び60が形成されている。駆動電極52は、ほぼ矩形であるが、形状はそれほど重要ではない。piezo抵抗器54は、コンタクト領域62及び64と比較的薄い一対の分岐66及び68を有する。これらの分岐は、パッドからこれらの分岐を電氣的に結合する拡大部70に至るまで、ビームの中間領域に延び入っている。これらの分岐の電気インピーダンスは、拡大部70のインピーダンスより相当大きい。従って、パッド62と64の間の差電圧のほとんど全部がこれらの分岐の両端間に発生する。これは、拡大部70を所望の電圧レベルに維持するのに好都合に作用する。

圧力検出デバイス16は、ビーム36が振動する周波数に基づいて圧力差(すなわち、ダイアフラム22の両側の圧力P1とP2との差)を測定する。より詳しく言うと、ダイアフラム22は、異なる圧力P1及びP2に応じてたわむと、ビーム36に軸応力ないしは縦応力を発生させ、

10

20

30

40

50

ビーム沿いの歪みを変化させる。ダイヤフラムの下方へのたわみは、ビーム36を伸長させ、その固有周波数を増大させるよう作用する。逆に、ダイヤフラムの上方へのたわみは、ビームを収縮または圧縮し、共振周波数を低下させるよう作用する。

ビームの所要の振動を維持するために、周期振動する電圧レベルが駆動電極52に供給されるが、ビームの周囲の領域には実質的に一様な定電界が維持される。ビーム振動のより詳細な説明に関しては、前記米国特許第5,275,055号を参照のこと。 piezo抵抗器54は、ビーム位置と共に変化する検出器電圧を発生させることによって、基板及びカバー42に対するビーム36の各瞬間の相対位置を検出するための手段として機能する。

この検出器電圧は、周期性の駆動電圧信号を出力する発振器回路に入力として供給される。該駆動電圧信号は、ビーム36をその固有共振周波数において安定状態で振動させるよう駆動電極52に供給される。上に説明したような微視的サイズのポリシリコンビームの場合、共振周波数は通常200~500kHzの範囲になる。図5に全体的に符号72で示す発振器回路は、駆動信号の周波数をビーム36の固有共振周波数に一致させるよう間断なく調節するための閉ループを構成する。バイアス電極48及び50は、電圧レベル+V及び-Vのバイアスがそれぞれ与えられており、ビーム36の周り、より正確には駆動電極52の周りの領域に一様な定電界を作り出す。抵抗74と76は、ほぼ同じ抵抗値を有し、駆動電極をアースにバイアスする。ビーム36が機械的に振動するのに伴って、piezo抵抗器54は、検出器信号を発振器回路の増幅器78に入力として供給する。この検出器信号は、ビームの振動周波数と同じ周波数で振動する電圧である。自動利得制御回路80が設けられており、増幅器78にフィードバック信号を供給して、振動周波数における信号歪みを防止する。駆動電極52に供給される駆動電圧信号は、増幅器78の出力に基づく信号である。この発振器回路は、信号振幅をクランプして、ビームの振動を線形応答範囲内に制限するためのダイオード(図示省略)を含む。駆動振幅を所定範囲に維持するためには、当技術分野で周知の他の振幅制御手段を用いることもできる。

増幅器78の出力は、出力バッファ増幅器82に供給される。バッファ増幅器の出力は、クロック発振器86により制御されるデジタルカウンタ84に供給される。カウンタ84の出力は、歪み、圧力、あるいは振動するビーム36の共振周波数に影響を及ぼす他のパラメータのリアルタイム直接表示のためにデジタル回路(図示省略)に供給される。

上に述べたように、縦方向に加えられた外力にตอบสนองしてビーム36の長さ方向沿いの歪みが増加すると、ビームの固有共振周波数が変化する。ビームが歪みの変化にตอบสนองして別の異なる周波数で振動し始めると、その異なる周波数がpiezo抵抗器54で検出され、新しい周波数の検出器信号が増幅器78に供給される。増幅器78の出力は、駆動電圧信号の周波数を制御する。このように、駆動電圧信号周波数は、ビームの固有共振周波数に一致する方向に絶え間なく制御できるように調節される。実際には、共振周波数の本来の固有周波数に対する変化(f/f)は、歪み、すなわちビームの伸びの変化(l/l)の少なくとも600倍、最大1,500倍になるということが明らかになっている。このため、歪みのわずかな変化に対して、高い精度と感度が確保される。比較すると、従来の単結晶シリコンpiezo抵抗器のゲージファクタ(ゲージ率)は、通常約60乃至100の範囲である。このゲージファクタは、歪み(l/l)に対する抵抗(R/R)で測定される。

発振器回路についての詳細と基板及び共振ゲージの形成方法に関しては、前述の米国特許第5,275,055号を参照のこと。

再び図2において、共振ゲージ34は、共振ゲージ32と構造が同じであり、特にビーム36と実質上同じサイズでやはり細結晶粒の低引張歪みポリシリコンで形成された細長いたわみ部材またはビームを有するという点において、同じである。共振ゲージ34が有効かどうかは、圧力検出デバイス16上の位置設定によって決まる。より詳しく言うと、共振ゲージ34は、温度に起因する誤差を補償するような位置に配置すればよい。差圧は、この検出デバイスによって観測される第1のパラメータであり、差圧の変化は、ビームの変化に比べてはるかに大きい。しかしながら、ビームは、例えば温度のようなビームの密度及び弾性係数を変え得る第2のパラメータまたは条件の変化によっても影響される。

従って、ストレインゲージ34は、温度補償用に、すなわち温度の変化によって引き起こさ

10

20

30

40

50

れる共振周波数出力の誤差を排除または最小限にするために設けられている。最適温度補償を確保するため、共振ゲージ34は、ダイヤフラム22から離れたリム20上に配置されている。この位置は、本質的に差圧（ダイヤフラムのたわみ）や静圧（基板のたわみ）の変化の影響がない。このように、共振ゲージ32の検出器電圧出力は、温度及びダイヤフラム22のたわみによって影響されるが、共振ゲージ34の検出器電圧出力は、温度にだけ影響される。これらの各検出器電圧をカウンタに供給して、各カウンタ出力を処理することによって、実質上温度の影響による誤差がない補償された差圧を求めることができる。

その結果、差圧測定の精度が大幅に改善される。共振ゲージ32と34は実質上同じであるため、基板とこれらのゲージのビーム部材をモノリシックに形成することができ、機械的システリシス及び熱ヒステリシスを最小限にするとともに、基板で2つ以上の共振ゲージを支持することによりバッチ生産が容易になる。

図6は、符号94として破線で示す支持物に熱電気によって接合された矩形基板92を有するもう一つの実施形態の検出デバイス90を示す。符号96としてもう一つの破線で示す部分は、基板92内のほぼ中心に配置された矩形ダイヤフラムである。ダイヤフラム96の周縁部沿いには、ほぼゲージ32と同様にして、第1の共振ストレインゲージ98が取り付けられている。基板の硬い領域、より詳しくはダイヤフラムから離れた基板の角隅部に、温度補償用の第2の共振ストレインゲージ100が作り込まれている。

これらの共振ストレインゲージには、さらに静圧の変化による誤差が加わる。差圧は通常15のpsiのオーダであるが、静圧はこれより相当高くなり得、例えば約2,000psiである。この大きさの圧力は、基板の比較的硬い領域を弾性変形させるのに十分である。

静圧の影響を補償するための装置として、図7には、符号106の破線で示すパイレックス管に取り付けられた矩形基板104を有する差圧検出デバイス102が示されている。別の破線108は、基板中に形成された矩形ダイヤフラムの位置を示す。ダイヤフラムの周縁沿いには、第1の共振ストレインゲージ110が配置されている。基板上には、ダイヤフラムから離れた管106の面の真上の位置に第2の共振ストレインゲージ112が設けられている。第2の共振ゲージは、図示のように半径方向に配置することもできるし、接線方向に配置することもできる。いずれの場合も、この位置は、静圧によって高い応力が作用するように選択される。

図8は、中心部の第1ダイヤフラム118を有する矩形の半導体基板116が符号120の破線で示すパイレックス管に熱電気によって接合されたもう一つの実施形態の差圧検出デバイス114を示す。ダイヤフラムの周縁沿いには、第1の共振ストレインゲージ122が取り付けられている。別の比較的硬い基板の領域には、第1ダイヤフラム118より小さい第2ダイヤフラム124が作り込まれている。第2ダイヤフラムの周縁沿いには、第2の共振ストレインゲージ126が配置されている。第2ダイヤフラムは、基準圧力を供給する密閉キャピティの一部になっている。比較的高い感度が必要な場合は、静圧測定専用として第2ダイヤフラムを設けることがのぞましい。

図9及び10は、それぞれ15psiの垂直方向荷重差と1,000psiの静圧荷重が作用する基板18の有限要素モデルを示す。図9に示すように、ダイヤフラムの周縁付近、特にダイヤフラムの各側辺の中間部付近で最大のダイヤフラム応力が生じる。従って、第1の共振ストレインゲージの最適位置は、図2及び図6乃至8に示すような位置になる。

図10から明らかのように、基板は静圧が加わるとたわみを生じる。温度補償用の第2の共振ストレインゲージは、好ましくは管への取り付け点を越えた外側に配置する。逆に、静圧補償用の第2の共振ストレインゲージは、静圧による歪みの変化が最大となるパイレックス管への環状取り付け部に合わせて配置すべきである。

再び図8において、基板116には、もう一つの第1の共振ストレインゲージ128がダイヤフラム118の中心部に取り付けられている。ストレインゲージ122と同様に、ゲージ128は差圧測定用として設けられている。共振ゲージ122及び128を図9の有限要素モデルで考えると、ダイヤフラム10（P1はP2より大きい）の下方のたわみは共振ゲージ122のビームを伸長させ、共振ゲージ128のビームを圧縮するよう作用するということが明白である。逆に、ダイヤフラムの上方のたわみは、ゲージ122のビームを圧縮し、ゲージ128のビームを伸

10

20

30

40

50

長ささせる。共振ゲージ122及び128の各共振周波数信号出力を互いに減算すると、各共振ゲージの信号振幅をそれぞれ単独で扱う場合の約2倍の振幅の表示出力が得られ、それだけ高い精度が得られる。さらにもう一つの長所は、特に差圧が低いときに誤差の原因になる1次非線形効果が互いに大方相殺されることである。

図11は、温度補償及び静圧補償に基づいて差圧を正確に表す出力を得るための信号処理システム130の概略構成を示す。このシステムは、符号132、134、136及び138で示す4つの発振器回路を含む。これらの発振器は、基板のダイアフラム上の中心部に配置された第1の共振ゲージ、ダイアフラムの周縁部に配置された第1の共振ゲージ、基板の周縁部に配置された温度補償用第2ゲージ、及び基板のパイレックスガラス管への取り付け点に合わせて設けられた静圧補償用第2の共振ゲージ、のそれぞれの固有共振周波数を表す電圧出力を発生する。

10

デジタルカウンタ140、142、144及び146は、これらの各発振器出力を受け取って、それぞれ計数値を出力し、それらの各計数値をマイクロプロセッサ148に供給する。これには、周波数を測定するための他の周知の手段を用いることもできる。マイクロプロセッサ内では、第1の共振ゲージと関連した計数値が互いに減算され、第2の共振ゲージの共振周波数出力が、例えばプログラム可能リードオンリーメモリ(PROM)など、マイクロプロセッサにあらかじめ記憶されたパラメータに従って周知の方法により処理される。従って、マイクロプロセッサ148は、その出力として、温度及び静圧の変化にほとんど影響されない正確な差圧の指示値を発生する。

あるいは、温度補償に関しては、第1の共振ストレインゲージと第2の共振ストレインゲージをそれぞれのたわみビームが同寸法、同じ材料で、無荷重時に同じ内部歪みを生じるよう実質上同じに作ることによって、マイクロプロセッサ148に必要なプログラミングをかなり簡単化することができる。これは、共振マイクロビームの共振周波数の2乗は、下記の方程式を用いて密接に近似することができるためである。

20

$$f^2 = \frac{42Eh^2}{\rho L^4} \left[1 + \frac{2L^2}{7h} (\epsilon + \epsilon_0) \right]$$

式中、Eは弾性係数、 ρ は密度、hはビーム厚さ、Lはビーム長さ、 ϵ は検出歪数(例えば差圧に起因するダイアフラムのたわみ)によって引き起こされる歪み、 ϵ_0 は残留歪みである。残留歪みが温度の影響を受けないと仮定すると、細結晶粒ポリシリコンの場合、周波数は次式で与えられるものと正当に仮定することができる。

30

$$f = g(T) a (1 + b \epsilon_0 + b \epsilon)$$

式中、gはE/に等しく、温度に従属する。a及びbは、幾何学的パラメータのみに従属する定数である。すると、検出中の周波数 f_p (第1ゲージ)と基準周波数 f_s (第2ゲージ)との比は次式で与えられる。

$$f_p^2$$

$$= a + b \epsilon$$

$$f_s^2$$

これによって、印加歪みと結合した形の定数a及びbに基づいて、周波数の2乗比を求めることができる。従って、較正は、定数a及びbを決定する問題であり、これは同じ温度で、2つの互いに異なる圧力測定値における周波数測定値を読み取ることによって達成することができる。マイクロプロセッサ148は、広い範囲にわたる一連の共振周波数測定値ではなく、較正定数a及びbのみを記憶するだけでよい。

40

このために、単一の半導体ウェーハに作り込んだ複数のマイクロビームで、ビーム寸法が実質上同じであり、各マイクロビームの内部歪み値も実質上同じ場合においては、好都合な較正手段が可能である。特に、1つのビームについて較正された定数a及びbは、半導体ウェーハの全てのビームについて有効であると仮定される。

ここで、例えば、半導体ウェーハが複数の半導体チップから成り、その各チップがより硬い周辺領域に囲まれた円形または矩形のダイアフラムを含むものと仮定する。また、各チ

50

チップが差圧に応答するようダイアフラムに取り付けられた少なくとも1つのストレインゲージと、周辺領域に取り付けられた温度の変化に応答する少なくとも1つの第2マイクロビーム・ストレインゲージを含むものと仮定する。もちろん、この第1ストレインゲージは、低精度の検出用途の場合、温度変化にも応答する。これらの半導体チップの較正は、次のようにして行うことができる。

まず、選択された1つの半導体チップに所与の温度で第1のレベルの差圧を作用させる。第1の共振ビーム及び第2の共振ビームについて、それぞれの固有共振周波数を測定する。次に、その選択された半導体チップに、同じ温度で異なるレベルの差圧を作用させる。再び、第1及び第2の共振ビームの固有共振周波数を測定する。

次に、固有共振周波数の測定値を直ぐ上に記載した方程式に当て嵌め、定数「a」及び「b」について解を求める。このようにしていったん得られた定数a及びbは、記憶されて、以後、第1および第2の共振ビームのそれぞれの固有共振周波数の測定値に基づき印加歪みイプシロン()を計算する際に参照される。較正の対象となる全ての共振ビームは寸法及び残留応力が実質上同じになるよう作り込まれているので、定数a及びbはその選択されたチップばかりではなく、半導体ウェーハの他の全ての半導体チップに適用することができる。

図12乃至14は、半導体材料で形成された加速度計150を示す。この加速度計は、好ましくはシリコン製の第1の基板層152、基準体(proof mass)162を含む第2の基板層154、カバー層をなす第3の基板層156を有する。これらの各層は、全体で、比較的硬い周辺リム158を形成する。ポリシリコン層154には、カバー層156の外側の位置に周辺リムに沿って温度補償用の第2の共振ストレインゲージ160が形成されている。

図14に最も詳しく示すように、半導体基板層154は、基準体162を含み、その基準体は、8つの狭幅ブリッジまたはたわみ部材によって周辺リム158に対して支持されており、図には8つの中の2つのブリッジが符号164及び166で示してある。隣合う各一对の近接のブリッジ間には、基準体と周辺リムとの間にギャップが形成されている。これらのギャップのいくつかを、符号168で示してある。図13に示すように、164及び166の各ブリッジは、半導体基板層154に形成された上側及び下側の細い部分から成る。これらの細い部分は、たわむことによって、基準体162が基板152及びカバー層156に対して図13の垂直方向に変位できるようにする。このような基準体の変位は、加速度計に加速度が作用したとき発生する。

加速度計150は、基板層154上の164及び166の各ブリッジの位置にそれぞれ1つずつ形成された2つの第1の共振ストレインゲージ170及び172を含む。各第1の共振ゲージは、両端が支持され、加速時及び減速時にそれぞれの対応ブリッジのたわみによる誘導歪みに曝される。

これらの第1の共振ストレインゲージは、累加応答が得られるように選択された位置に配置される。より具体的には、共振ゲージ170は、対応するブリッジ164の外縁または外周部の方に取り付けられる。これに対して、共振ゲージ172は、ブリッジ166の内縁部の近傍に取り付けられる。その結果、加速時には、一方の共振ゲージに圧縮歪みが誘起されるのに対し、もう一方のゲージには引張歪みが誘起される。例えば、加速度計150が上向きの加速度(図13で見て)に曝されるときは常に、基準体162は、加速度計の他の部分に対して運動が遅れようとする。言い換えると、基準体は、カバー156及び基板152に対して相対的に下方に変位する。この下方変位は、共振ゲージ170に近いブリッジ164の上側の細い部分を伸長させる一方、共振ゲージ172に近いブリッジ166の上側の細い部分を収縮させるように作用する。これらの共振ゲージ170及び172の各共振周波数信号出力を互いに減算すると、各共振ゲージの信号振幅をそれぞれ単独で扱う場合に比べて約2倍の振幅の表示出力が得られ、それだけ高い精度が得られる。さらにもう一つの長所は、特に差圧が低いときに誤差の原因になる1次非線形効果が互いに大方相殺されることである。

第2の共振ストレインゲージ160は、基準体162及びブリッジから離れた位置において、周辺リムに沿って加速度計に作り込まれる。この位置において、第2の共振ゲージ160は、温度の影響に起因する誘導歪みが作用する状態に保たれる。同時に、第2ゲージ160は、

10

20

30

40

50

加速による影響がほとんどなく、特にブリッジのたわみに起因する誘導歪みがない。従って、第2の共振ゲージの検出器出力電圧を第1の共振ゲージ170及び172の検出器出力電圧と結合することによって、温度の影響を補償した出力を得ることができる。第2の共振ゲージ160は、望ましい場合、基準体162上でブリッジから離れた位置に作り込むことができるということは理解できよう。また、図示していないが、第1の共振ゲージ及び第2ゲージに関連する発振器回路は、実質上、上に差圧検出デバイスに関連して説明したような回路とすることができる。

このように、本発明によれば、2つ以上の共振マイクロビームセンサを半導体基板上にモノリシックに作り込んで、互いに協調させて使用し、例えば差圧または加速度のような第1の条件またはパラメータを測定する際に、より高い精度を確保することができる。精度は、1つまたは2つ以上の第2の共振マイクロビームセンサを、それらの各センサが例えば温度または静圧のような第2のパラメータまたは条件のみに応答する位置に設けることによって、さらに高くすることができる。いずれの場合も、第1または第2センサの位置は、1つまたは2つ以上のパラメータに対する応答の性質を決定するための基板の有限要素モデル法に基づいて決定される。温度補償用マイクロビームが第1の共振マイクロビームと同じサイズ、構成及び内部歪みを有する場合は、多数の補償値をPROMまたはその他のコンピュータメモリに記憶する代わりに、2つの定数を用いた簡単な較正方法を採用することができる。さらに、温度補償に関しては、温度補償用マイクロビームの片持支持取付けによって、センサの位置を厳密に選定する必要がなくなる。

10

【 図 1 】

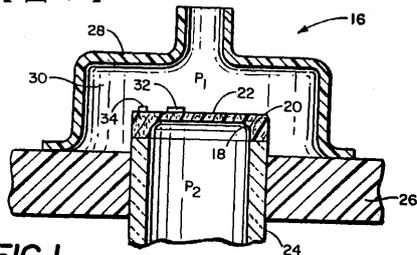


FIG. 1

【 図 2 】

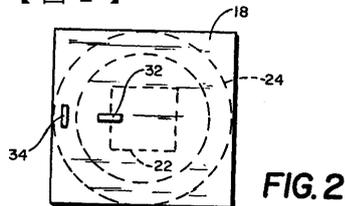


FIG. 2

【 図 3 】

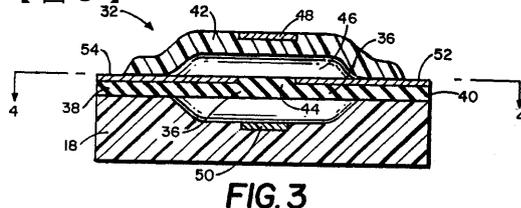


FIG. 3

【 図 4 】

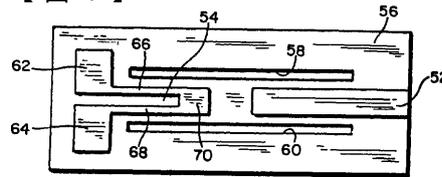


FIG. 4

【 図 5 】

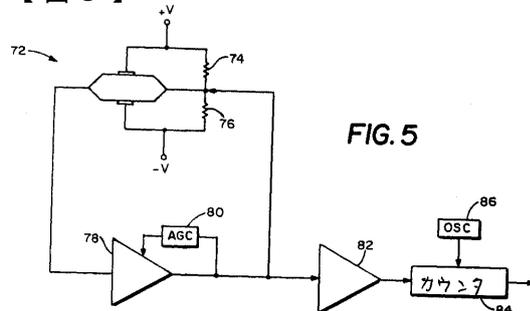


FIG. 5

【 図 6 】

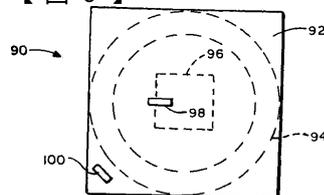
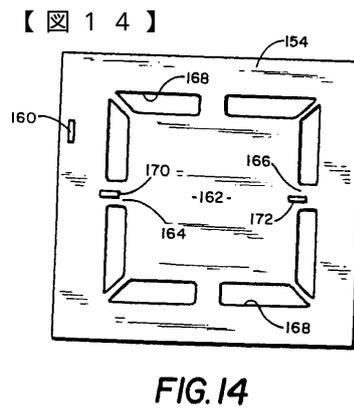
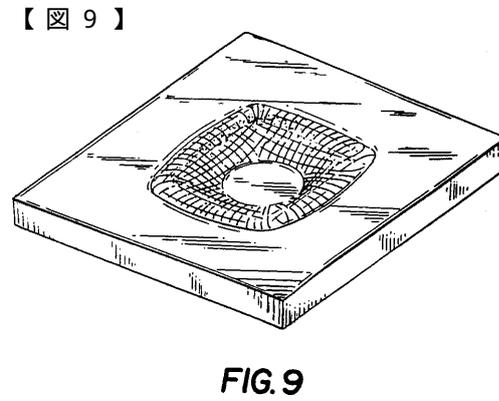
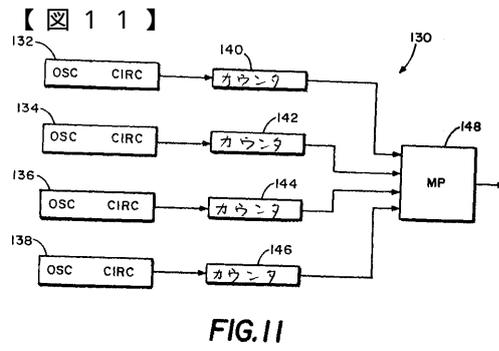
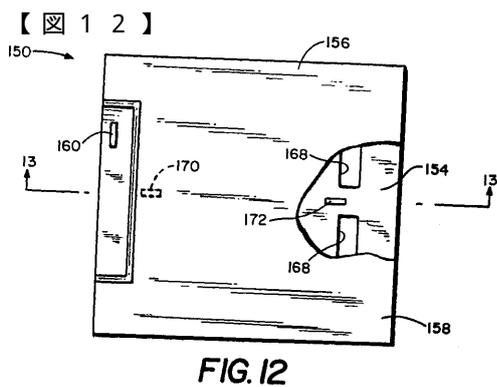
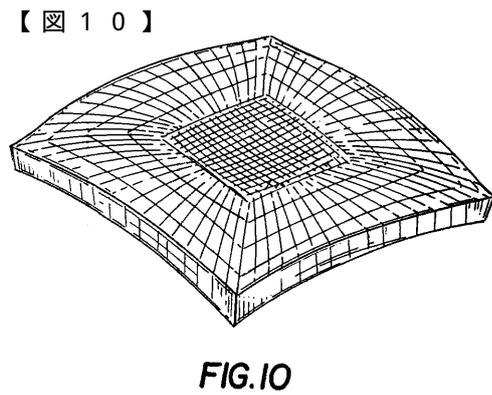
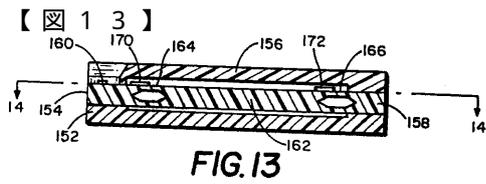
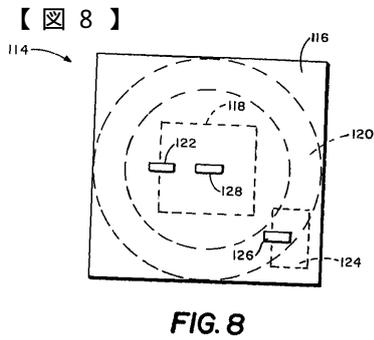
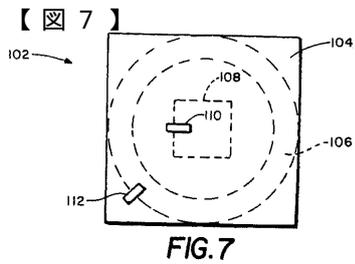


FIG. 6



フロントページの続き

(74)代理人

弁理士 山川 茂樹

(72)発明者 バーンズ, デビッド・ダブリュ

アメリカ合衆国 55419 ミネソタ州・ミネアポリス・ファースト アヴェニュー サウス・5
537

(72)発明者 ズーク, ジェイ・デビッド

アメリカ合衆国 55411 ミネソタ州・ミネアポリス・ノース シクス ストリート・250
9

審査官 榮永 雅夫

(56)参考文献 特表平03 - 501529 (JP, A)

西独国特許出願公開第4039846 (DE, A)

米国特許第5165289 (US, A)

米国特許第5275055 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G01D 3/028

G01L 1/10

G01L 9/00

G01P 15/12