

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5090929号
(P5090929)

(45) 発行日 平成24年12月5日(2012.12.5)

(24) 登録日 平成24年9月21日(2012.9.21)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 P	15/125	(2006.01)	GO 1 P	15/125	Z
GO 1 P	15/08	(2006.01)	GO 1 P	15/08	P
B 8 1 B	3/00	(2006.01)	B 8 1 B	3/00	
B 8 1 C	3/00	(2006.01)	B 8 1 C	3/00	
GO 1 C	19/5769	(2012.01)	GO 1 C	19/56	269

請求項の数 11 (全 32 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-552187 (P2007-552187)
 (86) (22) 出願日 平成18年1月12日 (2006.1.12)
 (65) 公表番号 特表2008-528968 (P2008-528968A)
 (43) 公表日 平成20年7月31日 (2008.7.31)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2006/001276
 (87) 國際公開番号 WO2006/078564
 (87) 國際公開日 平成18年7月27日 (2006.7.27)
 審査請求日 平成20年9月26日 (2008.9.26)
 (31) 優先権主張番号 11/040,208
 (32) 優先日 平成17年1月21日 (2005.1.21)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 500575824
 ハネウェル・インターナショナル・インコ
 ーポレーテッド
 アメリカ合衆国ニュージャージー州079
 62-2245, モーリスタウン, コロン
 ピア・ロード 101, ピー・オー・ボッ
 クス 2245
 (74) 代理人 100140109
 弁理士 小野 新次郎
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰
 (74) 代理人 100080137
 弁理士 千葉 昭男
 (74) 代理人 100096013
 弁理士 富田 博行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】高性能MEMS実装アキテクチャ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

超小型電気機械システム(MEMS)慣性デバイスであって、シリコン・オン・オキサイドウェーハ(16a)の活性層(22a)に形成された機構(10)であって、少なくとも1つの機構アンカー(28)によって構造的に支持された1つまたは複数のセンサ機械特徴(24)で構造化された機構(10)と、

シリコン・オン・オキサイドウェーハ(16b)で形成され、誘電体層(18b)によって半導体ハンドル層(20b)から隔離された半導体活性層(22b)を有する第1のカバープレート(12)と、前記第1のカバープレート活性層(22b)は、前記センサ機械特徴(24)と協働するように構造化された1つまたは複数の内部カバープレート特徴(31)および前記機構アンカー(28)と協働するように構造化されたカバープレート・アンカー(30)で構造化されており、前記第1のカバープレート・ハンドル層(20b)は、このハンドル層(20b)を通じて前記カバープレート・アンカー(28)と一直線に並んで延びる穴特徴(34)で構造化されており、さらに、前記第1のカバープレート誘電体層(18b)は、前記カバープレート・アンカー(30)と前記穴特徴(34)の間に封止を形成する、誘電体材料でできた途切れのないリム(40)で構造化され、さらに前記カバープレート穴特徴(34)に近く、かつこの穴特徴(34)と一直線に並んだ前記カバープレート・アンカー(30)の表面(38)を露出させており、さらに、前記機構アンカー(28)と前記カバープレート・アンカー(30)の間に形成された

10

20

結合、を特徴とする超小型電気機械システム（MEMS）慣性デバイス。

【請求項 2】

前記カバープレート穴特徴（34）が、逆ピラミッド形を有して構造化されていることをさらに特徴とする、請求項1に記載の慣性デバイス。

【請求項 3】

フレーム（26）が、前記1つまたは複数のセンサ機械特徴（24）および前記機構アンカー（28）を囲繞して前記機構活性層（22a）に形成され、さらに、前記第1のカバープレート活性層（22b）に形成された相補的なフレーム（32）に結合されていることをさらに特徴とする、請求項2に記載の慣性デバイス。

【請求項 4】

導電コネクタ（114）が、前記カバープレート・アンカー（30）と前記内部カバープレート特徴（31）の1つとの間で前記第1のカバープレート活性層に形成され、第2のカバープレート・アンカー（30）が前記第1のカバープレート活性層（22b）に形成されていることをさらに特徴とする、請求項3に記載の慣性デバイス。

【請求項 5】

第2のカバープレート（14）が、誘電体層（18c）で半導体ハンドル層（20c）から隔離された半導体活性層（22c）を有するシリコン・オン・オキサイドウェーハ（16c）で形成され、前記第2のカバープレート活性層（22c）は、前記センサ機械特徴（24）と協働するように構造化された1つまたは複数の内部カバープレート特徴（41）と、前記機構活性層（22a）に形成された前記フレーム（26）に対して相補的な、前記第1のカバープレート・フレーム（32）の反対側でこのフレーム（26）に結合されるフレーム（44）と、で構造化していることをさらに特徴とする、請求項3に記載の慣性デバイス。

【請求項 6】

前記第2のカバープレート（14）が、前記センサ機械特徴（24）と協働するように構造化された1つまたは複数の内部カバープレート特徴（41）および前記機構アンカー（28）と協働するように構造化されたカバープレート・アンカー（42）で構造化される前記第2のカバープレート活性層（22c）を含んで前記第1のカバープレート（12）と実質的に同じに構造化され、前記第2のカバープレート・ハンドル層（20c）は、このハンドル層（20c）を通って前記カバープレート・アンカー（42）と一直線に並んで延びる穴特徴（46）で構造化されており、さらに、前記第2のカバープレート誘電体層（18）は、前記カバープレート・アンカー（42）と前記穴特徴（46）の間に封止を形成する、誘電体材料でできた途切れのないリム（52）で構造化され、さらに前記カバープレート穴特徴（46）に近くかつこの穴特徴（46）と一直線に並んだ前記カバープレート・アンカー（42）の表面（50）を露出させており、さらに、

結合が、前記機構アンカー（28）と前記第2のカバープレート活性層（22c）に形成された前記アンカー（42）との間に形成されること、をさらに特徴とする、請求項5に記載の慣性デバイス。

【請求項 7】

前記機構（10）の面内の放射方向膨張に対して順応性のあるフランジ（29）が、前記センサ機械特徴（24）および前記機構アンカー（28）を囲繞して前記フレーム（26）に結合していることをさらに特徴とする、請求項6に記載の慣性デバイス。

【請求項 8】

前記機構（10）の前記1つまたは複数のセンサ機械特徴（24）、および前記第1および第2のカバープレート活性層（22b、22c）の各々に形成された前記1つまたは複数の内部カバープレート特徴（31、41）が、静電加速度計（100）を形成するように構造化していることをさらに特徴とする、請求項6に記載の慣性デバイス。

【請求項 9】

前記機構（10）の前記1つまたは複数のセンサ機械特徴（24）、および前記第1および第2のカバープレート活性層（22b、22c）の各々に形成された前記1つまたは

10

20

30

40

50

複数の内部カバープレート特徴（31、41）が、コリオリ・レートジャイロスコープ（400）を形成するように構造化されていることをさらに特徴とする、請求項6に記載の慣性デバイス。

【請求項10】

前記穴特徴（34、36）が前記機構（10）の両面に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の慣性デバイス。

【請求項11】

超小型電気機械システム（MEMS）慣性デバイスを形成する方法であって、

半導体材料ハンドル層（20a）と半導体材料活性層（22a）の間に誘電体材料層（18a）を有する第1のシリコン・オン・オキサイドウェーハ（16a）の前記半導体材料活性層（22a）に、1つまたは複数の機構アンカー（28）で構造的に支持された1つまたは複数のセンサ機械特徴（24）を形成するステップと、

半導体材料ハンドル層（20b）と半導体材料活性層（22b）の間に誘電体材料層（18b）を有する第2のシリコン・オン・オキサイドウェーハ（16b）の前記半導体材料活性層（22b）に、慣性デバイス（1）を形成するために前記センサ機械特徴（24）と協働するように構造化された1つまたは複数の内部カバープレート特徴（31）および前記機構アンカー（28）と協働するように構造化された1つまたは複数のカバープレート・アンカー（30）を形成するステップと、

前記第2のシリコン・オン・オキサイドウェーハ（16b）の前記カバープレート半導体材料ハンドル層（20b）に、このハンドル層（20b）を通って前記カバープレート・アンカー（28）の1つと一直線に並んで延びる穴特徴（34）を形成するステップと、

前記第2のシリコン・オン・オキサイドウェーハ（16b）の前記カバープレート誘電体材料層（18b）に、前記カバープレート・アンカー（30）と前記穴特徴（34）の間でそのアンカー（30）と一直線に並んだ誘電体材料の途切れのないリム（40）を形成し、前記穴特徴（34）に近接し、一直線に並んだ前記カバープレート・アンカー（30）の表面（38）をさらに露出させるステップと、

前記内部カバープレート特徴（31）が前記センサ機械特徴（24）と協働するように前記センサ機械特徴（24）に対して位置付けされた状態で、前記カバープレート誘電体およびハンドル層（18b、20b）の反対側の前記協働カバープレート・アンカー（30）の表面（22b'）に前記機構アンカー（28）の第1の表面（22a'）を結合するステップと、

前記第1のシリコン・オン・オキサイドウェーハ（16a）の前記半導体材料ハンドル層（20a）および誘電体材料層（18a）を除去するステップと、を特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、微細機械加工センサデバイスおよび方法に関し、より詳細には、シリコン・オン・インシュレータ（SOI）アーキテクチャを使用する微細機械加工加速度計に関する。

【背景技術】

【0002】

超小型電子機械システム、すなわち「MEMS」デバイスは、一般によく知られている。最も一般的な形では、MEMSは、同じ環境の中に、すなわちシリコンチップ上に集積化された機械微細構造、超小型センサ、超小型アクチュエータ、および電子回路から成る。MEMSは、固体変換器、すなわちセンサおよびアクチュエータの分野における実現技術である。微細製作技術は、デバイスの大きなアレイの製作を可能にし、このデバイスは、個々には簡単な仕事を行うが、組み合わさって複雑な機能を達成することができる。現在の用途には、加速度計、圧力センサ、化学センサ、および流量センサ、超小型光学部品、光スキャナ、および流体ポンプがある。例えば、1つの微細機械加工技術は、シリコン

10

20

30

40

50

のボディを所望のパターンでマスクし、次に、シリコンのマスクされていない部分を除去するようにシリコンを深くエッティングする。結果として得られた3次元シリコン構造は、撓部で吊るされたブルーフ・マスを含む加速度計などの小型機械力感知デバイスとして機能する。

【0003】

現在最先端技術のMEMS加速度計デバイスは、例えば、米国特許第6,294,400号および米国特許第6,308,569号で説明されている。一般によく知られているように、現在のMEMS加速度計デバイスは、与えられたアーキテクチャの設計ルールの範囲内で製作することができる構造を得るために、「最良実施」の設計原理を犠牲にするアーキテクチャに依拠している。しかし、現在MEMS加速度計および他のデバイスのアーキテクチャは、達成可能な性能のレベルを制限している。10

【0004】

従来技術のデバイスのいくつかの一般的な限界には、いくつかは熱伝導率の悪い、熱膨張係数の異なる複数の異なる材料を含んだ機械ダイスタック(die stack)がある。一般に、現在の最先端技術の加速度計デバイスの機械部分を形成するダイスタックは、複数の材料を含む。異なる材料は、各々異なる熱膨張係数を有し、その結果として、温度にわたって異なる材料間に膨張差が生じる。この膨張差は、加速度計の生出力データの温度感度の原因であり、この温度感度のために、デバイスの高い性能が望ましい場合には、加速度計の中かより上のシステムレベルかのどちらかで温度補償が行われることが必要になる。また、この膨張差のために、接合された異なる材料の界面近くに大きな残留応力が存在するようになる。接合プロセスは高温で行われるので、この大きな残留応力が現れることがある。もしくは、デバイスの動作温度範囲にわたって、膨張差によって大きな残留応力が生じる。いずれの場合にも、シリコンおよび二酸化珪素のような推定「弾性」材料でも、微小レベルでは粘弾性である。したがって、残留応力は、時間が経つにつれてデバイス出力の不安定性として現れる寸法不安定性を促進する。例えば、米国特許第6,294,400号および米国特許第6,308,569号に示された現在の最先端技術のMEMS加速度計デバイスは、ブルーフ・マス・アンカーまたは他のクリティカルな機械特徴と直接接触した酸化物層を設けている。この酸化物層は、ブルーフ・マスに自由に直接作用する不安定な寸法条件である。20

【0005】

従来技術のデバイスの他の一般的な限界は、MEMS加速度計デバイスの複数の異なる材料のうちの1つまたは複数の熱伝導率が悪いことである。例えば、硼珪酸ガラス基板は、ブルーフ・マスが固定される板として使用されることが多い。硼珪酸ガラスの熱伝導率は、シリコンに比べて非常に悪い。したがって、過渡的な熱条件の間に起こるような熱勾配にさらされたとき、硼珪酸ガラス基板に比較的大きな機械的歪みが生成される。この比較的大きな機械的歪みは、過渡現象の時間依存性のために容易に補償されないことがある加速度計エラーを促進する。30

【0006】

また、多くの従来技術のデバイスは、対称性を欠いている。例えば、ブルーフ・マスは、ただ1つの基板プレートに固定されることが多く、デバイスの反対側に鏡像カウンタプレートを備えていない。非対称デバイスは、次の組立レベルでシャーシに取り付けられたとき、機構の反りまたは「椀状変形」をもたらす熱的および機械的力およびモーメントを受けやすい。結果として生じた機構の反りまたは椀状変形は、多くの加速度計誤りを促進する。40

【0007】

一般的な最先端技術の加速度計デバイスは、ウェーハレベルで密封封止されない。むしろ、大抵のMEMSデバイスは、リードなしチップキャリア(LCC)などのもっと高い組立レベルで封止される。このようにウェーハレベルでデバイスを封止しないことで、汚染が重要な信頼性の問題を引き起こすようになり、汚染の無いデバイスを保証するために、実装および組立の追加の層が必要になる。50

【 0 0 0 8 】

一般的な最先端技術のMEMS加速度計デバイスは、アクチュエータおよび／またはセンサ・ダイスタックとこれが取り付けられるシャーシの間に応力解放を含まない。ダイスタックを次の組立レベルに応じて直接堅く接合することで、結果として、シャーシがダイスタックに与える力およびモーメントのためにダイスタックの歪みが生じる。

【 0 0 0 9 】

一般的な最先端技術のMEMS加速度計デバイスの他の限界は、多くのMEMS加速度計デバイスのダイスタック構造が、余り堅くないことである。順応性のあるダイスタックによって、外部源によって与えられた力およびモーメントが加速度計の出力データにエラーを生じさせるようになる。

10

【 0 0 1 0 】

一般的な最先端技術のMEMS加速度計デバイスのさらに他の限界は、大抵の現在MEMS加速度計デバイスが、アクチュエータおよび／またはセンサの中に、およびアクチュエータおよび／またはセンサから外に電気信号を伝えるためだけにダイのある面積を費していることである。全体的なダイスペースは、コスト制限か大きさ制限かのどちらかによって制限されることが多いので、電気信号を伝えるためだけにダイ面積を割り当てることで、加速度計ブルーフ・マスの物理的な大きさが犠牲にされることになる。結果として得られたより小さなブルーフ・マスは、性能低下の直接原因である。

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】**

20

【 0 0 1 1 】

したがって、一般的な最先端技術のMEMS加速度計および他のデバイスのこれらおよび他の限界を克服するデバイスおよび方法が望ましい。

【課題を解決するための手段】**【 0 0 1 2 】**

本発明は、シリコン・オン・オキサイド(SOI)ウェーハのバルク機械加工および融着接合に基づいたセンサ・アーキテクチャの装置および方法であり、このセンサ構造は、静電加速度計またはレートジャイロ・デバイスなどの対称でほぼ完全シリコンの密封封止超小型電気機械システム(MEMS)デバイスを実現して、従来技術の多くの限界を克服する。本発明のアーキテクチャは、能動半導体層に形成されたデバイスセンサ機構と、各々薄い酸化物層で隔離された比較的厚いハンドル部分と比較的薄い能動部分を有する一対のシリコン・カバープレートとを含み、このカバープレートの活性層はデバイスセンサ機構の対向する面に結合されている。

30

【 0 0 1 3 】

本発明は、このように、SOIバルク機械加工プロセスによって製作された簡単で新規な高性能MEMS加速度計またはレートジャイロを提供する。加速度計は、決められた軸に沿った直線加速を測定し、一方で、レートジャイロは、与えられた軸のまわりの回転速度を測定する。両デバイスは、運動を監視するように使用される。互いに適切に方向付けされた3つの各型のデバイスは、物体が空間を動くときにその物体の運動を完全に測定するのに十分であることがある。

40

【 0 0 1 4 】

本発明のMEMS加速度計、レートジャイロ、および他のMEMSデバイスは、全てSOIウェーハから製作された3層ダイスタックで実現される。これらの3つの部分は、機構ダイと、この機構をサンドイッチ状に挟む2つのカバープレートである。様々な実施形態によれば、本発明のMEMSデバイスは、静電加速度計の異なる2つの型、検出される加速の軸が機構層の面内にあるIPA(面内加速度計)と感知軸が機構層に垂直であるOPA(面外加速度計)として実現される。これらのデバイスの全ては、開ループ計器か閉ループ計器かのどちらかとして動作するように設計される。閉ループか開ループかの選択には、総計器コストおよび性能に関する多くの暗示があるが、本発明で説明される有利点は両方に当てはまる。例えば、一方は開ループで他方は閉ループの本発明で説明されるよ

50

うに実装された 2 つの非常に似た I P A は、入力 / 出力信号の数および特定の構造特徴の量だけが異なる。しかし、全体的なデバイス・アーキテクチャは同じである。

【 0 0 1 5 】

本発明に従った M E M S デバイスの機構層は、撓部の付いた可動プルーフ・マス、および、例えば静電面内加速度計（ I P A ）の固定櫛歯などの固定構造を含む。機構ダイの外側縁部で、一体の機械方向分離特徴のある随意の取付けフランジが、 L C C または回路基板などの次の組立レベルに応じてダイスタックを接合する手段を提供する。

【 0 0 1 6 】

機構をサンドイッチ状に挟む 2 つのカバープレートは、実質的に同一で、いくつかの機能を実現する。2 つのカバープレートは、封止された機構空洞を形成するように機構に結合する。2 つのカバープレートは、異なる動作電気信号を分離する手段を提供する。例えば、2 以上の異なる動作信号が一般的な M E M S デバイスで使用され、動作信号の正確な数はデバイス設計の関数である。カバープレートは、1 つまたは複数のアンカー点でプルーフ・マスを構造的に支持し、また、 I P A デバイスの固定櫛歯などの協働内部カバープレート特徴も支持する。 O P A デバイスでは、カバープレートの協働内部カバープレート特徴は、感知領域および、閉ループ設計で使用される場合には、駆動領域を含む。

【 0 0 1 7 】

理想的には、「最良実施」に従って、 M E M S 加速度計または他のデバイスは、完全に純粋バルク材料から製作される。実際的な理由のために、これは可能でない。例えば、センサデバイスの異なる部分間の電気的分離が、機能性のために必要である。しかし、本発明は、できるだけ忠実に専用シリコン概念に固執し、性能に及ぼす影響を最小限にするやり方で分離を作るように誘電体材料を利用する。本発明は、ほとんど完全にシリコンのダイスタックを形成することおよび溶融結合構造を利用することを含んだいくつかの M E M S デバイスの「最良実施」を可能にする。非シリコン材料は、各カバープレートの非常に薄い約 2 ミクロンの S i O ₂ 層に限られ、この薄い S i O ₂ 層は、電気的分離を実現し、また製作中にエッチング停止としても動作する。この S i O ₂ は、2 つのカバープレートの活性層によってデバイスセンサ機構と直接接触しなくなっている。したがって、 S i O ₂ は、厚くて堅いシリコンで上および下を囲まれ、その結果、そうでなければ S i O ₂ が M E M S デバイスの安定性に及ぼすかまもしれないどんな影響も軽減されるようになる。対照的に、従来技術のデバイスは、デバイスセンサ機構に直ぐ隣接して S i O ₂ 層を配置している。

【 0 0 1 8 】

その上、低膨張係数および高い熱伝導率を有する強くて堅い材料が、加速度計を含んだ多くの M E M S デバイスにとって理想的である。本発明で使用される材料のシリコンは、これらの目標を満たし、標準 I C ファンドリプロセスを使用してバルク微細機械加工することができる。

【 0 0 1 9 】

本発明のダイスタックのアーキテクチャは、 S i O ₂ 分離層を除いて純粋シリコンに限られ、これによって、本発明のダイスタックは構造的に非常に堅くなり、このことで、今度は、取付けフランジを介してダイスタックの外側に加えられる力の効果が減少する。

【 0 0 2 0 】

方向性取付けフランジおよびダイスタックと使用者の取付け面の間の分離器は、加速度計のプルーフ・マスを外力から隔離する。シリコンとシャーシ材料との間の膨張差のためにダイスタックに加わる放射方向応力は、 M E M S 加速度計デバイスを含んだ M E M S デバイスのエラー源である。本発明の方向性取付けフランジの分離部分の中の枝角は、放射方向の膨張に対して順応性があるが、ダイスタックの面内および面外並進および回転に対しては堅固である。放射方向コンプライアンスは、取付けフランジを介してダイスタックに入る力の大きさを減少させる。本発明の一実施形態によれば、方向性取付けフランジは、機構層と一体的に製作される。もしくは、方向性取付けフランジは、組立ステップで接着剤または他の結合方法でダイスタックに接合される別個の部品として製作される。

10

20

30

40

50

【0021】

他のMEMSデバイスの「最良実施」は、その中間面に関するダイス STACK の対称性であり、このことは、共通モードエラー相殺を最大限に利用することを保証している。対称性によって、共通モードエラーが相殺するようになる。高度の対称性は、温度感度を大きく減少させ、バイアスの長期安定性、スケールファクタ、軸位置合わせ不良、振動整流、および加速度計に共通の他のエラーを改善することが知られている。

【0022】

他のMEMSデバイスの「最良実施」は、MEMSデバイスの密封封止であり、この密封封止は、2つのカバープレートを機構に接合してデバイスセンサ機構を含む封止された機構空洞を形成することによって、本発明で実現される。

10

【0023】

本発明で実現される他のMEMSデバイスの「最良実施」は、デバイス動作電気入力および出力信号へのワイヤボンディングアクセスを可能にするために、カバープレート外側ハンドル層に開口を形成することである。各入力および出力信号は、MEMSデバイスの上部か下部かどちらかのカバープレートを通してアクセスされる。信号へのそのようなプレート通しアクセスは、様々な取付け方法およびインターフェース方法を可能にする。場合によっては、導電トレースが開口の壁に堆積され、表面のパッドに接続され、このパッドがより簡単なワイヤボンディングまたはフリップチップ組立を可能にする。さらに、デバイスセンサ機構または協働内部カバープレート特徴の複数の部分が、同じ信号を伝える場合、場合によっては、同じ信号のための複数のワイヤボンディング、またはフリップチップパッドが回避されるように、これらの部分は、カバープレートの1つの中で内部的に接続される。

20

【0024】

デバイスセンサ機構は、SOIの能動半導体層に形成され、デバイスセンサ機構は、可動プルーフ・マスだけでなく、1つまたは複数のアンカー部分および他の固定部分で形成される。場合によっては、また、連続した縁フレームまたはリムが、機構の他の部分を囲繞して能動半導体層に形成される。

【0025】

各カバープレートの活性層は、デバイスセンサ機構に整合したパターンでエッチバックされて、能動半導体材料のパッドが1つまたは複数のアンカー部分の各々に向き合って設けられ、さらに、存在すれば、機構層に形成された連続した縁フレームまたはリムに向かい合って、能動半導体材料の連続した縁フレームまたはリムが設けられる。一方または両方のカバープレートの外側ハンドル層がエッティングされ、その結果、機構層に形成されたアンカー部分のパターンに整合されたパターンの穴が生じる。カバープレート・ハンドル層のその穴は、酸化物層を通して延びて、カバープレート内部活性層を露出させている。

30

【0026】

カバープレートは、可動加速度計プルーフ・マスおよびそれの関連した固定感知および/または駆動電極を密封するように、デバイスセンサ機構の両側に接合される。センサの安定性に及ぼす影響を最小限にするように位置付けされた各カバープレートの酸化物層は、信号間の電気的分離とプルーフ・マスおよび固定電極の構造的な支持との両方を可能にする。サポートする電子回路と内部電極の間の電気接続は、カバープレートの外側の層すなわち「ハンドル」層にエッティングされた穴特徴を介している。この穴特徴の位置は、一般に、デバイスの機械特徴の輪郭の範囲内にある。したがって、全体的なダイ面積およびトレース長さは共に最小限に保たれる。

40

【0027】

本発明の一態様によれば、金またはアルミニウム・ボンディングパッドが、カバープレート・ハンドル層の穴を通して露出されたカバープレート活性層の部分に堆積される。デバイス入力または出力信号を伝えるためにデバイスセンサ機構に形成された信号トレースへのアクセスを実現するボンディングパッドに、ワイヤボンディング接続が行われる。

【0028】

50

本発明の他の態様によれば、フリップチップ組立のために、穴特徴を通して露出されたカバープレート活性層の部分からカバープレート・ハンドル層外面のスタッダードバンプに金属トレースが導かれる。異なる信号間の短絡を防止するために、金属が付けられる領域のハンドル層シリコンに絶縁体が堆積される。

【0029】

本発明の一態様によれば、3つの直交軸での測定のために、デバイスセンサ機構は、並進用と回転用の両方のブルーフ・マスを含む。本発明の他の態様によれば、同じダイスタック内の2つのブルーフ・マスが、2軸測定を実現する。同じダイスタック内の複数のブルーフ・マスは、加速度計かレートジャイロかのどちらかに応用可能である。

【0030】

本発明の上記の態様および付隨的な有利点の多くは、添付の図面に関連して解釈される以下の詳細な説明を参照してより適切に理解されるようになるので、いっそう容易に理解されるようになる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

図において、同様な数字は同様な要素を示す。

図は、シリコン・オン・インシユレータ(SOI)ウェーハのバルク機械加工および融着接合に基づいてセンサ・アキテクチャを製作する本発明の方法を示し、この方法は、開ループモードか閉ループモードかのどちらかで動作する静電加速度計またはコリオリ・レートジャイロ・デバイスなどの対称でほぼ完全シリコンの密封封止超小型電子機械システム(MEMS)慣性デバイス1を製造する。

【0032】

本発明のアキテクチャは、デバイスセンサ機構10と、このデバイスセンサ機構10の対向する面に結合された第1および第2のシリコン・カバープレート12、14を含む。デバイスセンサ機構10およびシリコン・カバープレート12、14は、一般に商業的に入手可能なタイプの様々なSOIウェーハエレメントで形成される。各ウェーハエレメントは、約0.5から2.0ミクロンの厚さを有する埋込み誘電体層を含み、この埋込み誘電体層は、両方とも半導体材料でできた比較的厚い「ハンドル」層と比較的薄い「能動」層の間に、サンドイッチ状に挟まれている。誘電体層の材料は、関連した下にある半導体材料層に熱的に成長させられた酸化物、窒化物か他の絶縁体かのどちらかであってもよい。誘電体層と、ハンドル層および活性層の各々との間の接合は、本質的に密封である。

【0033】

図1は、半導体ハンドル層20aと活性層22aの間に誘電体層18aを有する機構SOIウェーハエレメント16aにデバイスセンサ機構10を製作することを示す断面図である。従来のMEMS製作手順に従って、デバイスセンサ機構10は、RIE(反応性イオンエッティング)プロセスかDRIE(深い反応性イオンエッティング)プロセスかのどちら等の知られたドライエッティング・プロセスによって、機構SOIウェーハエレメント16aに形成される。そのようなプロセスには、例えば、「BOSCH」および「ALCATEL」として商業的に知られている深いトレンチのシリコンドライエッティング・プロセスがある。RIEおよびDRIEプロセスは、両方とも、エッティングされた基板の結晶方位に関係なく、エッティングされた特徴の実質的に垂直な側壁を得る。それによって、いっそう小型のMEMSデバイスが生じ、これによって、今度は、いっそう多くのデバイスが1ウェーハ当たりに製作されるようになって、相当なコスト面の利点がもたらされる。機構活性層22aの厚さは、ここでは議論されない設計基準の関数として選ばれが、本発明は、厚さ50μmだけでなく100μmの機構能動半導体層22aを有する機構SOIウェーハエレメント16aを使用して、首尾よく実施された。デバイスセンサ機構10は、機構SOIウェーハエレメント16aの活性層22aを完全に通してエッティングすることによって形成される。本発明を実施する際に、適切なアクチュエータおよび/またはセンサ機械特徴24および、場合によっては、連続した縁フレームまたはリム26は、下にある酸化物層18aまで通してエッティングすることによって、機構SOIウェーハエレメン

10

20

30

40

50

ト 16 a の活性層 22 a に露出される。機械特徴 24 を露出させるためのエッティングと同時に、エッティングは、選ばれた数の機構アンカー 28 を機構活性層 22 a に適切なパターンで露出させる。機構アンカー 28 は、機械特徴 24 を構造的に支持するが、場合によっては、構造的に支持された機械特徴 24 から機械的に分離されている。

【 0 0 3 4 】

分離フランジ 29 は、場合によっては、機械特徴 24 の外の機構活性層 22 a の周縁部表面に沿って設けられる。縁フレーム 26 が存在する場合には、分離フランジ 29 は、分離フランジ 29 の外周縁面 26 a に結合される。本発明の一実施形態によれば、分離フランジ 29 は、場合によっては、縁フレーム 26 と一緒に機構活性層 22 a に形成される。もしくは、分離フランジ 29 は、場合によっては、R I E か D R I E などの知られたドライエッティング・プロセスで別個の S O I ウェーハエレメントの活性層に機構活性層 22 a から切り離して形成され、続いて、適切なウェットエッティングを用いてその別個の S O I ウェーハハンドル層からその部品が浮かされる。その後で、分離フランジ 29 は、デバイスセンサ機構 10 の縁フレーム 26 に中間面で接合される。別個の分離フランジ 29 は、接着か他の結合方法かのどちらかを使用して縁フレーム 26 に接合される。

【 0 0 3 5 】

図 2 は、半導体ハンドル層 20 b と活性層 22 b の間に誘電体層 18 b を有する第 1 のカバープレート S O I ウェーハエレメント 16 b に第 1 のシリコン・カバープレート 12 を製作することを示す断面図であり、活性層 22 b は、協働する内部カバープレート特徴 31 のパターンを露出させるように下の酸化物層 18 b まで通してエッティングされる。協働内部カバープレート特徴 31 は、機構アンカー 28 と一緒に構造化されたパターンで分布された、活性層 22 b に露出された 1 つまたは複数のカバープレート・アンカー 30 を含む。カバープレート・アンカー 30 の数は、機構 10 に形成された機構アンカー 28 の数に整合するように選ばれ、また、カバープレート・アンカー 30 は、機構アンカー 28 に整合するパターンで位置付けられている。

【 0 0 3 6 】

協働内部カバープレート特徴 31 は、場合によっては、機構 10 を密封封止するために機構縁フレーム 26 と一緒に位置付けされた連続した縁フレームまたはリム 32 を含む。例えば、カバープレート活性層 22 b は、場合によっては、下の酸化物層 18 b まで通して同時にエッティングされて、第 1 のカバープレート S O I ウェーハエレメント 16 b の活性層 22 b に連続した縁フレーム 32 が露出され、この縁フレーム 32 は、カバープレート活性層 22 b の全深さなわち厚さであり、縁フレーム 26 に結合するために機構 10 と一緒にカバープレート 12 の周囲に沿って位置付けされている。その上、第 1 のカバープレート S O I ウェーハエレメント 16 b のハンドル層 20 b に、カバープレート・アンカー 30 の各々と一直線に並んで、穴 34 が形成される。

【 0 0 3 7 】

活性層 22 b のカバープレート・アンカー 30 および縁リム 32 の特徴、およびカバープレート S O I ウェーハのハンドル層 20 b の穴特徴 34 は、R I E プロセスか D R I E プロセスかのどちらかを使用して形成することができる。しかし、本発明の一実施形態によれば、少なくとも穴特徴 34 は、真っ直ぐではなく傾斜した側壁を有する逆ピラミッド形として形成される。例えば、水酸化カリウム (KOH) のような従来のウェットエッティング溶液が使用されるとき、エッティングプロセスの異方性はシリコン層の結晶学的面に沿って進み、R I E プロセスおよび D R I E プロセスを使用することで結果として生じる真っ直ぐな側壁とは対照的に、傾斜した側壁が生じる。場合によっては、カバープレート・アンカー 30 および縁リム 32 の特徴は、また、従来のウェットエッティング・プロセスを使用して形成される。

【 0 0 3 8 】

その後で、この目的のために適切な従来のエッティングプロセスを使用して、カバー誘電体層 18 b の一部が、半導体ハンドル層 20 b および活性層 22 b の以前のエッティングに

10

20

30

40

50

よって露出された領域でエッティングされ、その結果、カバープレート・アンカー30と縁リム32の間に露出された誘電体材料が除去されるようになる。穴特徴34のエッティングによって半導体材料のハンドル層20bに露出された誘電体材料もまた除去され、これによって、各穴特徴34の底と関連したカバープレート・アンカー30の内面38との間にチャネル36が露出される。

【0039】

穴特徴34の各々は、誘電体層18bに隣接した穴特徴34の少なくとも底に、かつ関連したカバープレート・アンカー30の周囲の範囲内に、関連したカバープレート・アンカー30よりも小さな断面積で形成される。その結果として、誘電体層18bに露出されたチャネル36は、関連したカバープレート・アンカー30の境界の範囲内にある。従来のエッティングプロセスでは、一般に、ハンドル層20bと活性層22aのカバープレート・アンカー30とに接した穴特徴34でマスクされた領域の誘電体層18bにアンダーカットが生じるが、誘電体層18bのエッティングは、実質的に、マスク特徴の輪郭に従っている。したがって、穴特徴34の各々と関連したカバープレート・アンカー30の間のマスクされた誘電体層18bの部分は、実質的に、完全な状態のままである。より大きな関連したカバープレート・アンカー30の輪郭の範囲内により小さな断面の穴特徴34を一直線に並べることで、誘電体材料の連続した縁フレームまたはリム40が、より小さな断面の穴特徴34の各々のまわりに、関連したカバープレート・アンカー30の周囲に保持されるようになる。各穴特徴34の底のチャネル36および関連したカバープレート・アンカー30の内面38は、誘電体材料の結果として生じた縁リム40の範囲内に含まれている。誘電体材料の縁リム40は、ハンドル層20bと異なるカバープレート・アンカー30の各々の内面38との間の完全な封止である。したがって、誘電体材料の縁リム40は、穴特徴34の各々で、第1のカバープレートS0Iウェーハエレメント16bのハンドル層20bと活性層22bの間の密封封止を実現する。

【0040】

同様に、ハンドル層20bと縁リム32の間のマスクされた誘電体層18bの部分は、縁リム32の領域でカバープレート12の周囲に沿って、第1のカバープレートS0Iウェーハエレメント16bのハンドル層20bと活性層22bの間の密封封止を実現する。

【0041】

図3は、デバイスセンサ機構10の第1のシリコン・カバープレート12への移動を示す断面図である。したがって、機構S0Iウェーハエレメント16aの活性層22aの第1の表面22a'は、第1のカバープレート活性層22bの露出表面22b'に接合される。例えば、機構活性層22aおよび第1のカバープレート活性層22bの表面22a'と22b'は、融着か共晶結合かのいずれかで接合され、これらの両方とも接合部に密封封止を生成する。場合によっては、ガラスフリットまたは接着剤などの他の従来の接合方法が使用される。機構S0Iウェーハエレメント16aの活性層22aに形成された機構アンカー28は、第1のカバープレートS0Iウェーハエレメント16bの活性層22bに形成された合わせカバープレート・アンカー30に融着されるか、共晶結合される。結合された機構アンカー28とカバープレート・アンカー30は、カバープレート・アンカー30を介して機構アンカー28を第1のカバープレート12に直接結合することによって、機構機械特徴24を構造的に支持する。結合された機構アンカー28とカバープレート・アンカー30は、同時に、機構活性層22aの半導体材料とカバープレート活性層22bの半導体材料との間に連続した電気信号経路を実現する。

【0042】

存在する場合には、機構活性層22aの連続した縁フレーム26部分は、機構アンカー28とカバープレート・アンカー30の結合と同時に、第1のカバープレート活性層22bの合わせ連続縁リム32に融着されるか、共晶結合される。融着された連続縁フレーム26およびリム32によって、デバイスセンサ機構10が第1のカバープレート12に密封封止されるようになる。

【0043】

10

20

30

40

50

図4は、機構S O Iウェーハエレメント16aのハンドル層20aおよび誘電体層18aから離されたデバイスセンサ機構10を示す断面図である。機構ハンドル層20bおよび誘電体層18bは、当技術分野で知られているような適切な従来のエッティング方法によって除去される。その結果として、デバイスセンサ機構10は、第1のカバープレート12に付着されたままの状態であり、カバープレート・アンカー30に結合された機構アンカー28によって構造的に支持されている。存在する場合には、デバイスセンサ機構10の縁フレーム26部分は、カバープレート12の縁リム32部分で支持されたままの状態である。

【0044】

図5は、第1のカバープレート12の製作と同様に、第2のカバープレートS O Iウェーハエレメント16cに第2のシリコン・カバープレート14の製作を示す断面図である。第2のカバープレートS O Iウェーハエレメント16cは、半導体ハンドル層20cと活性層22cの間に誘電体層18cを含み、活性層22cは、協働内部カバープレート特徴41のパターンを露出させるように下の酸化物層18cまで通してエッティングされている。活性層22cに露出し、機構アンカー28と協働するように構造化された整合するパターンで分布したいくつのかバープレート・アンカー42を、協働内部カバープレート特徴41は、含んでいる。もしくは、活性層22cは、カバープレート・アンカー42が残らないで活性層22cの他の部分と一緒に除去されるように、完全にエッティングされる。

【0045】

協働内部カバープレート特徴41は、場合によっては、機構10を密封封止するために機構縁フレーム26と協働するように大きさが作られ、位置付けされた連続した縁フレームまたはリム44を活性層22cに含む。例えば、第2のカバープレートS O Iウェーハエレメント16cのカバープレート活性層22cは、カバープレート活性層22cの全深さなわち厚さであり、縁フレーム26に結合するために機構10と協働するようにカバープレート14の周囲に沿って位置付けされている。

【0046】

場合によっては、第2のカバープレートS O Iウェーハエレメント16cのハンドル層20cに、第2のカバープレート・アンカー42の各々と一直線に並んで、穴46が、エッティングされる。各穴特徴46は、関連したカバープレート・アンカー42よりも小さな断面で、誘電体層18cに隣接した穴特徴46の少なくとも底に、および関連したカバープレート・アンカー42の周囲の範囲内に形成される。

【0047】

第2のカバープレート・アンカー42と縁リム44の間に露出された誘電体材料は、この目的に適切な従来のエッティングプロセスを使用して、半導体ハンドル層20cおよび活性層22cをエッティングすることによって除去される。半導体材料のカバープレート・ハンドル層20cの穴特徴46をエッティングすることによって露出された誘電体材料もまた除去され、これによって、各穴特徴46の底と、関連したカバープレート・アンカー42の内面50との間にチャネル48が露出される。その結果、第2のカバープレート誘電体層18cに露出されたチャネル48は、関連したカバープレート・アンカー42の境界の範囲内にある。

【0048】

穴特徴46の各々と、関連したカバープレート・アンカー42との間のマスクされた誘電体層18cの部分は、実質的に、完全な状態のままである。より大きな関連したカバープレート・アンカー42の輪郭の範囲内により小さな断面の穴特徴46を一直線に並べることで、誘電体材料の連続した縁フレームまたはリム52が、より小さな断面の穴特徴46の各々のまわりの関連したカバープレート・アンカー42の周囲に保持されるようになる。各穴特徴46の底のチャネル48および関連したカバープレート・アンカー42の内面50は、誘電体材料の結果として生じた縁リム52の範囲内に含まれている。誘電体材料の縁リム52は、ハンドル層20cと異なるカバープレート・アンカー42の各々の内

10

20

30

40

50

面 5 0 との間の完全な封止であり、この封止は、穴特徴 4 6 の各々に、第 2 のカバープレート・ハンドル層 2 0 c と活性層 2 2 c の間の密封封止を実現している。

【 0 0 4 9 】

同様に、ハンドル層 2 0 c と縁リム 4 4 でマスクされた誘電体層 1 8 c の部分は、縁リム 4 4 の領域に第 2 のカバープレート 1 4 の周囲に沿って、第 2 のカバープレート・ハンドル層 2 0 b と活性層 2 2 b の間の密封封止を実現する。

【 0 0 5 0 】

図 6 は、第 1 のカバープレート 1 2 の反対側の機構 S O I ウェーハエレメント 1 6 a の活性層 2 2 a に第 2 のシリコン・カバープレート 1 4 の接合を示す断面図である。したがって、第 1 の表面 2 2 a ' の反対側の機構 S O I ウェーハエレメント 1 6 a の活性層 2 2 a の第 2 の表面 2 2 a " は、第 2 のカバープレート活性層 2 2 c の露出表面 2 2 c ' に接合される。例えば、機構活性層 2 2 a および第 2 のカバープレート活性層 2 2 c の表面 2 2 a " と 2 2 c ' は、融着または共晶結合によって接合されて、接合部に密封封止を生成する。第 1 のカバープレート・アンカー 3 0 と第 2 のカバープレート・アンカー 4 2 の間のそれぞれの誘電体層 1 8 b および 1 8 c の縁リム 4 0 、 5 2 は、連続した周縁カバープレート・リム 3 2 、 4 2 と組み合わさって動作して、第 1 および第 2 のカバープレート 1 2 、 1 4 のハンドル層 2 0 b 、 2 0 c の異なる穴特徴 3 4 、 4 6 を通過する粒子汚染に対してデバイスセンサ機構 1 0 の機械特徴 2 4 を封止する。したがって、デバイスセンサ機構 1 0 の連続した周縁フレーム 2 6 が第 1 および第 2 のカバープレート 1 2 、 1 4 の合わせ連続周縁リム 3 2 、 5 2 と一緒に存在している場合、デバイスセンサ機構 1 0 の機械特徴 2 4 は、第 2 のカバープレート 1 4 の露出された活性層表面 2 2 c ' がデバイス機構活性層 2 2 a の第 2 の表面 2 2 a " と接触したとき、粒子汚染に対して完全に封止される。

10

【 0 0 5 1 】

デバイスセンサ機構 1 0 の機械特徴 2 4 は、組立体が溶融温度に達すると密封封止される。例えば、機構活性層 2 2 a および第 2 のカバープレート活性層 2 2 c は、融着か共晶結合かのどちらかによって密封封止の状態に接合される。本発明の一実施形態によれば、機構アンカー 2 8 は、場合によっては、合わせ第 2 のカバープレート・アンカー 4 2 に融着または共晶結合される。結合された場合、機構アンカー 2 8 およびカバープレート・アンカー 4 2 は、カバープレート・アンカー 4 2 を通して機構アンカー 2 8 を第 2 のカバープレート 1 4 に直接結合することによって、機構機械特徴 2 4 を構造的に支持する。結合された機構アンカー 2 8 とカバープレート・アンカー 4 2 は、機構活性層 2 2 a の半導体材料と第 2 のカバープレート活性層 2 2 c の半導体材料の間に連続した電気信号経路を同時に実現する。

20

【 0 0 5 2 】

存在する場合、機構活性層 2 2 a の連続した周縁フレーム 2 6 部分は、機構アンカー 2 8 とカバープレート・アンカー 4 2 の結合と同時に、第 2 のカバープレート活性層 2 2 c の合わせ連続周縁リム 5 2 に融着または共晶結合される。連続した縁機構フレーム 2 6 を連続した周縁カバープレート・リム 3 2 、 4 2 の各々と融着することで、デバイスセンサ機構 1 0 は第 1 のカバープレート 1 2 と第 2 のカバープレート 1 4 の間に密封封止されるようになる。第 1 のカバープレート・アンカー 3 0 および第 2 のカバープレート・アンカー 4 2 の内面 3 6 、 5 0 を囲繞する誘電体層 1 8 c の縁リム 4 0 、 5 2 は、連続した周縁カバープレート・リム 3 2 、 4 2 と組み合わさって動作して、デバイスセンサ機構 1 0 の機械特徴 2 4 が完全に密封封止されることを保証する。

30

【 0 0 5 3 】

図 7 は、第 1 および第 2 のカバープレート 1 2 、 1 4 のそれぞれの穴特徴 3 4 、 4 6 の底に露出された第 1 および第 2 のカバープレート・アンカー 3 0 、 4 2 の内面 3 6 、 5 0 に 1 つまたは複数のワイヤボンディングパッド 5 4 、 5 6 を付けることを示す断面図である。例えば、ワイヤボンディングパッド 5 4 、 5 6 は、知られた適切な金属堆積プロセスを使用してアンカー表面 3 6 、 5 0 に堆積された金パッドである。ワイヤボンディングパッド 5 4 、 5 6 は、本質的に、堆積プロセスの工程によって、対応するカバープレート・

40

50

アンカー 30、42 に電気的に結合される。ワイヤボンディングパッド 54、56 は、誘電体層 18b、18c によって行われる電気遮断によって、第 1 および第 2 のカバーブレート 12、14 のハンドル層 20b、20c から電気的に分離されており、これらの誘電体層 18b、18c は、また、アンカー 30、42 と、対応するハンドル層 20b、20c との間の電気的分離を実現する。穴特徴 34、46 でマスクされた領域で誘電体層 18b、18c のアンダーカットが少ないと、ワイヤボンディングパッド 54、56 が、隣接した穴特徴 34、46 に橋絡しないことを保証するのに役立つ。ワイヤボンディングパッド 54、56 は、後のワイヤボンディングのためのパッドを提供し、一方で、関連した穴特徴 34、46 は、ワイヤボンディングプロセスを達成するためにワイヤボンディングパッド 54、56 にアクセスすることを実現する。

10

【0054】

場合によっては、熱成長酸化物または窒化物の層などの追加の絶縁体材料 58 が、上部カバーブレート穴特徴 46 の内壁表面 60 に設けられ、この絶縁体材料 58 の上に、金トレースなどの導電トレース 62 が、第 2 のカバーブレート・アンカー 42 の表面 50 と電気的に接触して堆積され、導電トレース部分 64 が、上部カバーブレート・ハンドル層 20c の外面 20c' または下部カバーブレート・ハンドル層 20b の外面 20b' の上に延びている。金または半田スタッドバンプなどの適切な大きさのスタッドバンプ 66 が、従来のフリップチップ組立プロセスの組合せ機械・電気結合のための表面伝導トレース部分 64 に形成される。フリップチップ組立は、当技術分野で十分によく知られているので、さらなる説明を必要としない。

20

【0055】

図 8 は、1つまたは複数の異なるワイヤボンディングパッド 54、56 に機械的にワイヤボンディングされた金ワイヤなどの1つまたは複数の導電性ワイヤ 68 を示す断面図である。融着密封封止されたほぼ完全シリコンのMEMS デバイス 1 の動作のために、電気入力および出力信号が、ワイヤ 68 を介して、デバイスセンサ機構 10 の中へ、またデバイスセンサ機構 10 の中から外へ伝えられる。MEMS デバイスのダイスタックは、試験の準備ができている。

20

【0056】

図 9 は、図 8 に示された、組み立てられた融着密封封止ほぼ完全シリコンのMEMS デバイス 1 の1つの側を示す透視図であり（はっきりさせるために、分離フランジ 29 は取り除かれている）、ワイヤ 68 がワイヤボンディングパッド 54 に機械的ワイヤボンディングされている。機械的にワイヤボンディングされたワイヤ 68 は、内部デバイス入力および出力信号を外部電子回路に接続するために使用される。もしくは、図 8 に示されるように、導電性トレース 62 が、穴特徴 34、46 の内壁表面 60 に沿って上へ上部または下部外面 20c'、20b' の方に、フリップチップ組立用のスタッドバンプ 66 まで延びている。

30

【0057】

本発明は、同じ環境の中に、すなわちシリコンチップ上に集積化された機械微細構造、超小型センサ、超小型アクチュエータ、および電子回路を有する他のMEMS デバイスで実施可能である。実施例によって、限定することなく、2つの異なるMEMS デバイスが図に示されている。一方は面内加速度計 (IPA) であり、他方は面外加速度計 (OPA) である。静電 IPA デバイスは、当技術分野でよく知られ、1つの例が、2003年10月23日にMark H. Eskridge の名前で出願された「Out of Plane Compensation Suspension for an Accelerometer」という名称の米国特許出願第10/696,323号に開示されており、この出願は、参照して本明細書に組み込まれる。静電 IPA は、加えられた力に比例する容量出力を有する機械容量読出し力変換器を使用する。計器フレームに固定された櫛歯と、撓部で吊るされた並進ブルーフ・マスの協働櫛歯との間にキャパシタが形成される。特定の軸に沿ってブルーフ・マスに加えられた力が、フレームに対してブルーフ・マスの並進変位を引き起こし、これが、キャパシタの容量出力を変える。ブルーフ・マスに

40

50

加えられる力は、結果として生じた容量の変化を測定することによって定量化される。そのような静電IPAは、ブルーフ・マス、懸垂撓部、および固定計器フレームワークで形成された機械的構造と、キャパシタ電極、電流供給接続、およびキャパシタ回路を形成する外部回路を備える電気構造との組合せである。本発明の静電IPAでは、並進ブルーフ・マスの入力軸および感知および駆動櫛歯部分全ては、サンドイッチ状のデバイスダイスタックの中心のデバイス機構層10の中に含まれている。2つのカバープレート12、14は、デバイス機構層10を捕獲支持している。

【0058】

静電OPAデバイスは、当技術分野でよく知られており、その1つの例は、2003年2月18日にAiwu YueおよびRonald B:Leonardsonの名前で出願された「MEMS Enhanced Capacitive Pick off and Electrostatic Rebalance Electrode Placement」という名称の許可された米国特許出願第10/368,160号に開示されており、この出願は、参照して本明細書に組み込まれる。静電OPAは、対向するカバープレートの各々に形成された静止電極を有する異なる組のキャパシタを形成する可撓懸垂振子ブルーフ・マスを使用する。加速度変化に応答した振子ブルーフ・マスの動きは、静止電極に対する振子ブルーフ・マスの位置を変化させ、それによって、ピックオフ・キャパシタンスの変化を生じさせる。このピックオフ・キャパシタンスの変化は、加速度を表示するものである。閉ループデバイスでは、対向するカバープレート間の基準位置まで振子ブルーフ・マスを駆動し、かつそこに振子ブルーフ・マスを維持するために、静電再平衡用の一組のキャパシタが、振子ブルーフ・マスと静止帰還電極の間に形成される。本発明の静電OPAでは、機械特徴24は、デバイス機構層10の中に含まれた振子ブルーフ・マスを含み、感知および駆動領域がカバープレート12、14上に存在している。一般に、この発明で説明された性能の改善は、IPA型およびOPA型加速度計とレートジャイロ・デバイスの両方に当てはまり、製作方法は実質的に同一である。

【0059】

図10は、簡単な感知・駆動櫛型加速度計として構成された本発明に従った簡単な静電IPAダイスタック100として、実施例によって限定することなく具体化された本発明のMEMSデバイス1の透視分解組立図である。この簡単な実施例は、特許請求される発明を限定することなく本発明を説明するためのものである。例示のIPAダイスタック100は、機構SOIウェーハエレメント16aの活性層22aに形成されたデバイスセンサ機構10と、カバープレートSOIウェーハエレメント16b、16cの活性層22b、22cに形成された協働内部カバープレート特徴31、41とを含む。例示のデバイスセンサ機構10は、同じく機構活性層22aに形成された連続縁フレーム26で囲繞された機構活性層22aに形成されたデバイス機械特徴24を含む。機構アンカー28は、IPA機械特徴24を構造的に支持するために機構活性層22aに設けられている。簡単な実施例のIPA100では、機械特徴24は、4つの櫛部102、104、106、108を含む。最初の2つの櫛部102、104は、カバープレート・アンカー30の異なる対に融着または共晶結合することによって、第1のカバープレート12に固定されている。カバープレート・アンカー30の他の対は、1つまたは複数の機構アンカー28を介して並進ブルーフ・マス110を支持している。ブルーフ・マス110は、場合によっては、機構ウェーハエレメント16aの面内で並進するように、ブルーフ・マス110とこれを支持する機構アンカー28の間の機構活性層22aに形成された1つまたは複数の撓部112で機械的に吊るされている。閉ループIPAデバイス100では、固定櫛部102、104のどれも、感知出力か駆動入力かのどちらかのために動作する。IPAデバイス100は、場合によっては、他の多くの可能な構成のどれかで構造化される。例えば、開ループIPA構成では、櫛部102、104、106、108の全ては、ピックオフ部または感知出力部として動作する。

【0060】

図11は、組立後の簡単な実施例のIPAダイスタック100の一部の透視拡大であり

10

20

30

40

50

、第1および第2のカバープレート12、14のカバープレート・アンカー30に結合された簡単なデバイスセンサ機構10の固定櫛部を示す。櫛部102、104の各々は、下および上からカバープレート12、14で支持され、櫛部102、104の各々は、活性層22b、22cをそれぞれのカバープレート12、14のハンドル層20b、20cから隔離する誘電体層18b、18cのSiO₂材料で電気的に分離されている。穴特徴34、46は、それぞれのカバープレート12、14に開口を設け、これらの開口は、後で機械結合ワイヤ68またはスタッドバンプ66によって電気接続を行うことができるよう10に、カバープレート・アンカー30、42に隣接し一直線に並んだ活性層22b、22cを露出させている。したがって、固定櫛部102は、両側すなわち上と下から支持されているが、一方で、カバープレート・アンカー30、42の各々のまわり保持された誘電体材料のそれぞれの縁リム40、52によって、カバープレート12、14およびIPA機械特徴24の他のものから電気的に分離された状態になっている。図示されるように、IPA機械特徴24は、第1および第2のカバープレート12、14のカバープレート・アンカー30、42によって構造的に支持されている。

【0061】

穴特徴34、46およびチャネル36、48は、第1および第2のカバープレート12、14のカバープレート・アンカー30、42の内面38、50へのアクセスをそれぞれ実現する。後の工程で、ワイヤボンディングパッド54、56は、穴特徴34、46およびチャネル36、48を通して、カバープレート・アンカーの内面38、50に堆積される。穴特徴34、46およびチャネル36、48は、また、後の工程でワイヤボンディングのためのアクセスを実現する。もしくは、追加の絶縁体材料58および導電トレース62が、カバープレート・アンカー30、42(図示された)のカバープレート・アンカー内面38、50(図示された)の一方または両方から内壁面60を登って、さらに下部または上部(図示された)カバープレート・ハンドル層20b、20cの外面20b'、20c'(図示された)の上まで間に堆積される。スタッドバンプ66が形成された後で、IPAダイスタック100は、従来のフリップチップ組立プロセスでボンディングする準備ができている。

【0062】

図12は、本明細書で説明されるように、機構SOIウェーハエレメント16aの活性層22aに形成され連続縁フレーム26で囲繞されたIPA機械特徴24を有する簡単な実施例のIPAダイスタック100の簡単なデバイスセンサ機構10の透視図である。図示のように、ブルーフ・マス110は、ブルーフ・マス110とこれを支持する機構アンカー28の間の機構活性層22aに形成された一対の撓部112の上に、機構ウェーハエレメント16aの面内で並進するように機械的に吊るされている。機構アンカー28は、カバープレート・アンカー30、42に整合するパターンで位置付けされている。

【0063】

図13は、第1と第2のカバープレート12、14の両方を示す透視図であり、第1および第2のカバープレート12、14の一方の内部または活性層22b、22cに形成された協働内部カバープレート特徴31、41を含んでいる。協働内部カバープレート特徴31、41は、簡単な実施例のIPAダイスタック100の簡単なデバイスセンサ機構10の内部電気部分間にいくつかの導電コネクタ114を含む。電気接続は、場合によって、2以上のカバープレート・アンカー30、42と組み合わせて1つまたは複数の導電コネクタ114を使用して、第1の下部カバープレート12および第2の上部カバープレート14の一方か両方かに作られる。2以上のカバープレート・アンカー30、42は、機構活性層22aの第1の表面22a'、と第1のカバープレート活性層22bの表面22b'との間の界面の融着または共晶結合接合部および第2の能動表面22a"と第2のカバープレート活性層表面22c'の間の界面の結合接合部によって、IPAデバイス機械特徴24の部分に結合されている。コネクタ114は、第1および第2のカバープレート活性層22b、22cの半導体材料で形成され、したがって、それによって相互接続された異なるカバープレート・アンカー30、42の間に導電経路を実現する。融着または共晶

10

20

30

40

50

結合接合部は、異なるカバープレート・アンカー 30、42 と機構活性層 22a の間に導電経路を実現する。したがって、コネクタ 114 は、コネクタ 114 で相互接続された異なるカバープレート・アンカー 30、42 に結合された IPA デバイス機構特徴 24 の異なる部分間で電気信号を伝えるように構造化されている。異なるコネクタ 114 とそれによって相互接続された異なるカバープレート・アンカー 30、42 は、物理的な隔離と、コネクタ 114 およびカバープレート・アンカー 30、42 を半導体カバープレート・ハンドル層 20b、20c から分離する誘電体材料の層 18b、18c によって、カバープレート活性層 22b、22c の他の部分から分離されている。したがって、コネクタ 114 は、そうでなければ物理的な隔離および誘電体層 18b、18c によって互いに電気的に分離されているデバイス機械特徴 24 の異なる部分間で電気信号を分路する手段を提供する。例えば、コネクタ 114 の 1 つは、IPA デバイス機械特徴 24 の 2 つの部分の間で共通信号を伝えるように、異なる固定櫛部 102、104 に融着または共晶結合された一対のカバープレート・アンカー 30、42 を電気的に相互接続することによって、デバイス機構活性層 22a の固定櫛部 102、104 を電気的に相互接続する。したがって、複数の固定櫛部 102、104 などのデバイス機械特徴 24 の複数の部分が同じ共通信号を伝えるとき、それらの部分は、カバープレート 12、14 の一方の中で、デバイス 100 に内部で電気的に相互接続される。同じ共通信号を伝えるデバイス機械特徴 24 の異なる部分のカバープレート 12、14 の電気的内部相互接続のさらなる有利点は、ただ 1 つのワイヤボンディングが、全ての異なる部分のために共通信号を伝えることができるこことである。したがって、同じ信号用の多数のワイヤボンドが回避される。

10

20

【0064】

場合によっては、デバイス機械特徴 24 の複数の異なる部分で共有される共通信号にアクセスするために、ただ 1 つの穴特徴 34 または 46 だけが設けられる。したがって、コネクタ 114 によって共通信号を伝えるように結合されたカバープレート・アンカー 30、42 の 1 つと一直線に並んだ 1 つの穴特徴 34 または 46 が、カバープレート 12 または 14 に形成される。しかし、場合によっては、デバイス 100 に対称性を与るために、共通信号を伝えるようにコネクタ 114 で結合されるカバープレート・アンカー 30 または 42 の各々と一直線に並んだ追加の穴特徴 34 または 46 が、カバープレート 12 または 14 に形成される。もしくは、コネクタ 114 によってデバイス機械特徴 24 の異なる部分に伝えられる共通信号は、機構の内部にある型のものであり、すなわち入力信号または出力信号でなく、その結果、ワイヤボンディングまたは他の入力 / 出力信号担体は不要になる。そのような例では、共通信号は、関連したカバープレート・アンカー 30 または 42 のどれかにアクセスするための穴特徴 34 または 46 を設けることなく、カバープレート 12 または 14 のハンドル層 20b または 20c の中に完全に伝えられる。したがって、1 つまたは複数のカバープレート・アンカー 30 または 42 は、関連した穴特徴 34 または 46 なしに、カバープレート・ハンドル層 20b または 20c に設けられてもよい。

30

【0065】

デバイス機械特徴 24 の複数の部分の間で共通信号を伝えるのと同時に、コネクタ 114 は、異なるコネクタ 114 間の物理的な隔離および誘電体層 18b または 18c によって、デバイス 100 の中の異なる電気信号を分離する手段を実現する。異なる電気信号の数は、デバイス設計に依存する。しかし、そのようなデバイスには、一般に、2 から 8 の異なる信号がある。

40

【0066】

コネクタ 114 は、カバープレート 12 または 14 の活性層 22b または 22c' に形成された協働内部カバープレート特徴 31 または 41 の大部分の完成表面 22b' または 22c' より下に引っ込んで作られ、すなわちセットバックされている。実施例によって、限定することなしに、カバープレート・エッティングプロセスを停止し、さらに選ばれたカバープレート・アンカー 30 または 42 間の選ばれた経路に沿って活性層 22b または 22c の部分をマスクすることによって、コネクタ 114 は、活性層表面 22b' または

50

22c'より下に引っ込めて作られた、すなわちセットバックされたカバープレート活性層22bまたは22cに形成されている。したがって、引っ込みまたはセットバックは、カバープレート・エッティングプロセスの中間段階で設けられ、コネクタ114は、下の酸化物層18bまたは18cまで通した継続されたエッティングによって、選ばれた経路に沿って活性層22bまたは22cに露出される。したがって、コネクタ114は、カバープレート・アンカー30または42の活性層表面22b'または22c'およびカバープレート12または14の縁リム32または44より下に引っ込めて作られ、すなわちセットバックされており、これによって、コネクタ114は、関連したカバープレート・アンカー30または42を通したもの除いて、デバイス機械特徴24から物理的電気的に分離される。

10

【0067】

図14は、2つのカバープレート12、14の間にサンドイッチ状に挟まれた機構層10を有する簡単な振子加速度計として構成された、本発明に従った簡単な静電OPA(面外加速度計)ダイスタック200として、実施例によって限定することなく具体化された本発明のMEMSデバイス1の透視分解組立図である。この簡単な実施例は、特許請求された発明を限定することなく、本発明を説明するためのものである。例示のOPAダイスタック200は、機構SOIウェーハエレメント16aの活性層22aに形成されたデバイスセンサ機構10と、カバープレートSOIウェーハエレメント16b、16cの活性層22b、22cに形成された協働内部カバープレート特徴31、41とを含む。例示のデバイスセンサ機構10は、連続縁フレーム26で囲繞されたOPAデバイス200の機械特徴24を含む。機構アンカー28は、OPA機械特徴24を構造的に支持するために機構活性層22aに設けられている。簡単な実施例のOPA200では、機械特徴24は、静止フレーム214から1つまたは複数の撓部212によって撓み可能に吊るされた可撓懸垂振子ブルーフ・マス210を含む。静止フレーム214は、それぞれのカバープレート・アンカー30、42に融着または共晶結合することによって一方または両方のカバープレート12、14に固定された1つまたは複数の機構アンカー28を含む。1つまたは複数の入力および出力電気信号が、機構アンカー28を介して、振子ブルーフ・マス210と1つまたは複数のカバープレート・アンカー30、42の間で伝えられる。

20

【0068】

閉ループOPAデバイス200では、ブルーフ・マス210は、第1の、すなわち下部カバープレート12の内部または活性層22bに形成された協働内部カバープレート特徴31の一部として固定励起帰還電極板216a、216bに整合されている。

30

【0069】

第2の、すなわち上部カバープレート活性層22cの整合電極板で協働内部カバープレート特徴41の一部として鏡映される固定電極板216a、216bは、協働内部カバープレート特徴31、41の大部分の完成表面22b'または22c'より下に引っ込めて作られ、すなわちセットバックされており、この協働内部カバープレート特徴31、41は、デバイスセンサ機構10の面に対して垂直な成分を有する加速度入力に応答したブルーフ・マス210の面外運動のためのスペースを実現するように、それぞれのカバープレート12、14の活性層22b、22cに形成されている。実施例によって、限定することなく、カバープレート・エッティングプロセスを停止し、電極板216a、216bの領域の活性層22b、22cの部分をマスクすることによって、活性層表面22b'、22c'より下に僅かに、例えば3ミクロン、引っ込めて作られた、すなわちセットバックされたカバープレート活性層22b、22cの一方または両方に、固定電極板216a、216bが形成される。したがって、この引っ込みすなわちセットバックは、カバープレート・エッティングプロセスの初期に設けられ、電極板216a、216bは、下の酸化物層18bまたは18cまで通した継続されたエッティングによって、ブルーフ・マス210の反対側の活性層22b、22cに露出されている。したがって、電極板216a、216bは、カバープレート・アンカー30、42の活性層表面22b'、22c'およびそれぞれのカバープレート12、14の縁リム32、44より下に僅かに引っ込めて作られ、

40

50

すなわちセットバックされており、これによって、電極板 216a、216b は、それぞれのカバープレート活性層 22b、22c の残りのものから物理的に分離されている。

【0070】

協働内部カバープレート特徴 31 および 41 の固定電極板 216a、216b は、刺激信号および静電再平衡信号をそれぞれ受け取るための励起電極および帰還電極として動作する。もしくは、固定電極板 216a、216b は、励起信号に重畠された帰還信号を有する単一の電極板に組み合わされる。OPA デバイス 200 は、場合によっては、多くの他の可能な構成のどれかで構造化される。例えば、開ループ OPA 構成では、固定電極板 216a、216b は、単一のピックオフ部すなわち感知出力部として組み合わされ、動作する。

10

【0071】

1つの実施例では、カバープレート 12 の固定電極板 216a、216b は、カバープレート活性層 22b の半導体材料に協働内部カバープレート特徴 31、41 の一部として形成された異なる導電コネクタ 114 によって、異なるカバープレート・アンカー 30 に電気的に結合される。したがって、コネクタ 114 は、カバープレート活性層 22b の異なる内部電気部分間の分離された導電経路を実現し、同時に、異なる内部電気部分を異なるカバープレート・アンカー 30 に接続することによって入力信号および出力信号へのアクセスを実現する。異なるカバープレート・アンカー 30 の信号へのアクセスは、本明細書で述べられるように、関連した穴特徴 34 で実現される。

20

【0072】

本発明の一実施形態によれば、カバープレート 12、14 の間で電気信号を伝えるために、1つまたは複数の分路アンカー 220 が、機構 SOI ウェーハエレメント 16a の半導体活性層 22a に、協働内部カバープレート特徴 31、41 の一部として設けられる。例えば、1つまたは複数の分路アンカー 220 は、機構アンカー 28 と物理的に同時に同じやり方で機構活性層 22a に形成されるが、ただ異なることは、分路アンカー 220 がデバイス 200 の動作機械特徴 24 から分離されることであり、このことが、同時に、相互の電気的分離を実現している。各分路アンカー 220 は、融着または共晶結合によって協働内部カバープレート特徴 31、41 の整合カバープレート・アンカー 30、42 に結合されるとき、カバープレート 12、14 の間で入力または出力電気信号を伝えるように動作する。したがって、電気入力および出力信号は、カバープレート 12、14 の整合カバープレート・アンカー 30、42 間に結合された半導体分路アンカー 220 を通した伝導によって、上部カバープレート 14 の異なる穴特徴 46 を通して、下部カバープレート 12 へ、また下部カバープレート 12 から伝えられる。したがって、下部カバープレート 12 の電気信号は、上部カバープレート 14 の穴特徴 46 を通してアクセス可能であるが、デバイス 200 の中間面に関してデバイス対称性を実現するために、整合穴特徴 30 は、場合によっては、下部電極 12 の分路アンカー 220 の各自のところに形成される。

30

【0073】

開ループ OPA デバイスでは、各々第 1 のカバープレート 12 のカバープレート・アンカー 30 および第 2 のカバープレート 14 のカバープレート・アンカー 42 と組み合わせて機構分路アンカー 220 で形成された 2 つのアンカー柱 222 (図 15 に示される) が、励起信号を、各カバープレート電極 216a、216b の 1 つに伝える。穴特徴 34、46 が第 1 と第 2 のカバープレート・アンカー 30、42 の両方のために形成されると、励起信号は、第 1 か第 2 かのどちらかのカバープレート 12、14 に入力される。開ループデバイスでは、各カバープレート 12、14 に対して 2 つのアンカー柱 222 の 4 つのアンカー柱 222 が設けられて、一方が感知信号を伝え他方が駆動信号を伝える。これらのアンカー柱 222 のうちの 2 つでは、全アンカー柱 222 が信号を反対側のカバープレートに伝えるために使用される。場合によっては、カバープレート 12、14 のアンカー柱 222 および協働穴特徴 34、46 は、プルーフ・マス中心線 CL に関して、およびデバイス 200 の中間面に関してデバイス対称性を実現するように互いに相対して設けら

40

50

れる。

【0074】

図15は、組立後の簡単な実施例のOPAダイスタック200の一部の透視拡大であり、静止フレーム214に形成された1つまたは複数の機構アンカー28によって第1および第2のカバープレート12、14のカバープレート・アンカー30に結合された簡単なOPAデバイスセンサ機構10の可撓能懸垂振子プルーフ・マス210を示している。振子プルーフ・マス210は、カバー・アンカー30、42によって下および上からカバープレート12、14で支持され、さらに振子プルーフ・マス210は、カバー・アンカー30、42をそれぞれのカバープレート12、14のハンドル層20b、20cから隔離する誘電体層18b、18cのSiO₂材料で電気的に分離されている。

10

【0075】

穴特徴34、46は、それぞれのカバープレート12、14に開口を実現し、その開口は、後で機械ボンディングされたワイヤ68またはスタッドバンプ66を介して電気接続を行うことができるよう、それぞれのカバー・アンカー30、42に隣接しかつ一直線に並んだ活性層22b、22cを露出させている。したがって、プルーフ・マス静止フレーム214は、両側から、すなわち上と下から支持されているが、一方で、この静止フレーム214は、カバープレート・アンカー30、42の各々のまわりに保持された誘電体材料のそれぞれの縁リム40、52によって、カバープレート12、14およびOPA機械特徴24の他のものから電気的に分離された状態になっている。図示のように、OPA機械特徴24は、第1および第2のカバープレート12、14のカバープレート・アンカー30、42によって構造的に支持されている。

20

【0076】

穴特徴34、46およびチャネル36、48は、第1および第2のカバープレート12、14のカバープレート・アンカー30、42の内面38、50へのアクセスをそれぞれ実現する。後の工程で、ワイヤボンディングパッド54、56が、穴特徴34、46およびチャネル36、48を通して、カバープレート・アンカー内面38、50に堆積される。穴特徴34、46およびチャネル36、48は、また、後の工程でワイヤボンディングのためのアクセスを実現する。もしくは、追加の絶縁体材料58および導電トレース62が、カバープレート・アンカー30または42(図示された)のカバープレート・アンカー内面38または50(図示された)から内壁面60を登って下部または上部(図示された)カバープレート・ハンドル層20b、20c(図示された)の外面20b'、20c'(図示された)の上までの間に堆積される。スタッドバンプ66が形成された後で、OPAダイスタック200は、従来のフリップチップ組立プロセスでボンディングする準備ができている。

30

【0077】

図16は、本発明で説明されるように、機構SOIウェーハエレメント16aの活性層22aに形成され連続縁フレーム26で囲繞されたOPA機械特徴24を有する簡単な実施例のOPAダイスタック200の簡単なデバイスセンサ機構10の透視図である。図示のように、プルーフ・マス110は、プルーフ・マス210とこれを支持する1つまたは複数の機構アンカー28との間の機構活性層22aに形成された一対の撓部212で、機構ウェーハエレメント16aの面外の回転に対して静止フレーム214から機械的に吊るされている。1つまたは複数の機構アンカー28は、カバープレート・アンカー30、42に整合するパターンで位置付けられている。

40

【0078】

簡単な実施例のOPAダイスタック200の簡単なデバイスセンサ機構10は、また、OPAデバイス200の動作中に駆動信号および感知信号を伝えるためにアンカー柱222に組み合わされた1つまたは複数の導電分路アンカー220を両方とも含む。分路アンカー220、および縁フレーム26だけでなくプルーフ・マス210、撓部212、フレーム214、および機構アンカー28も含んだ簡単なOPAデバイスセンサ機構10の全ての機械特徴24、および縁フレーム26は、機構活性層22aの実質的に同一の全厚さ

50

で形成されている。したがって、融着または共晶結合によって接合されたとき、縁フレーム 26 だけでなく機構アンカー 28 および分路アンカー 220 も、カバープレート活性層 22b、22c の表面 22b'、22c' に接触して、密封封止を作る。

【0079】

図 17 は、第 1 と第 2 のカバープレート 12、14 の両方を示す透視図であり、それぞれの第 1 および第 2 のカバープレート 12、14 の内部または活性層 22b、22c に形成された協働内部カバープレート特徴 31、41 を含んでいる。協働内部カバープレート特徴 31、41 は、簡単な実施例の OPA ダイスタック 200 のカバープレート活性層 22b、22c の内部電気部分間にいくつかの導電コネクタ 114 を含む。電気接続は、場合によっては、カバープレート活性層 22b、22c の固定電極板 216a、216b の各々をカバープレート・アンカー 30、42 の異なるものに電気的に相互接続するために協働内部カバープレート特徴 31、41 の一部として形成された 1 つまたは複数の導電コネクタ 114 を使用して、第 1 の下部カバープレート 12 および第 2 の上部カバープレート 14 の一方か両方が行われる。コネクタ 114 は、カバープレート活性層 22b、22c の半導体材料で形成され、したがって、これによって相互接続された電極板 216a、216b と異なるカバープレート・アンカー 30、42 との間に導電経路を実現する。

【0080】

したがって、コネクタ 114 は、コネクタ 114 で異なるカバープレート・アンカー 30、42 に相互接続された、OPA デバイス・カバープレート活性層 22b、22c の異なる部分間で電気信号を伝えるように構造化される。それによって相互接続されたカバープレート活性層 22b、22c の異なるコネクタ 114 と異なる部分は、物理的な隔離と、コネクタ 114、固定電極板 216a、216b およびカバープレート・アンカー 30、42 を半導体カバープレート・ハンドル層 20b、20c のそれから分離する誘電体材料の層 18b、18c によって、カバープレート活性層 22b、22c の他の部分から分離されている。したがって、コネクタ 114 は、そうでなければそれぞれのカバープレート誘電体層 18b、18c によって電気的に分離されている電極板 216a、216b への、またこれらの電極板 216a、216b からの電気信号を分路する手段を提供する。例えば、電極板 216a と OPA デバイス 200 の外のカバープレート内面 38、50 の間に電気信号を伝えるために、コネクタ 114 の 1 つが、カバープレート・アンカー 30、42 の 1 つへの電気的相互接続によって電極板 216a の 1 つへの電気的なアクセスを実現する。電極板 216b とカバープレート・アンカー内面 38、50 の間の電気信号を分路するために、コネクタ 114 の別のものが、カバープレート・アンカー 30、42 の 1 つに電気的に相互接続して他方の電極板 216b への電気的アクセスを実現する。場合によっては、各電極板 216a、216b にアクセスするために、ただ 1 つの穴特徴 34 または 46 だけが設けられる。したがって、各電極板 216a、216b がカバープレート・アンカー 30、42 の信号にアクセスするために、それぞれのカバープレート 12 または 14 に 1 つの穴特徴 34 または 46 が形成される。しかし、場合によっては、デバイス 200 に対称性を与えるために、コネクタ 114 で結合されたそれぞれのカバープレート・アンカー 42 または 30 の各々と一直線に並んだ追加の穴特徴 34 または 46 が、反対側のカバープレート 12 または 14 に形成される。

【0081】

本発明の一実施形態によれば、カバープレート・アンカー 30、42 および関連した穴特徴 34、46 は、1 つまたは複数の機構分路アンカー 220 の各々に整合した位置で、それぞれのカバープレート 12、14 に形成される。

【0082】

図 18 は、それぞれの穴特徴 34、46 と一直線に合わされた関連したカバープレート・アンカー 30、42 の内面 38、50 を露出させるために、それぞれの穴特徴 34、46 がその中に形成されている第 1 と第 2 のカバープレート 12、14 の両方のハンドル層 20b、20c の外面 20b'、20c' を示す透視図である。

【0083】

10

20

30

40

50

図19は、2つのIPA310、312と1つのOPA314が、単一の第1すなわち下部カバープレート12と単一の第2すなわち上部カバープレート14との間にサンドイッチ状に挟まれた単一のデバイスセンサ機構10に配列された、本発明の一実施形態に従った簡単な3軸MEMS加速度計デバイス300として、実施例によって限定することなしに具体化された本発明のMEMSデバイス1の透視図である。はっきりさせるために、上部カバープレート14は省略されている。簡単な実施例は、特許請求される発明を限定することなく本発明を説明するためのものである。2つのIPA310、312およびOPA314は、場合によって、本明細書で説明された型の開ループデバイスか閉ループデバイスかのどちらかとして構成される。2つのIPA310、312およびOPA314は、互いに直交する軸X、Y、Zに沿って動作するように単一の機構活性層22aに配列されている。実施例によって、限定することなく、2つのIPA310、312は、それぞれの互いに直交するX、Y軸に沿って動作するように構成され、一方で、OPA314は、互いに直交するZ軸に沿って動作するように構成されている。図19は、実施例によって、限定することなく、2つのIPA310、312およびOPA314の多くの随意の配列のうちのただ1つを示す。

【0084】

2つのIPA310、312およびOPA314は、実施例によって、限定することなく、本明細書で図示され詳細に説明された簡単な例示の型のものである。3軸MEMS加速度計デバイス300の単一のデバイスセンサ機構10は、2組のIPA機械特徴24aおよび24bとただ1組のOPA機械特徴24cを含み、全て単一機構SOIウェーハエレメント16aの活性層22aに形成されている。

【0085】

2つの例示のIPA310、312は、本明細書で説明された簡単な感知・駆動櫛型静電IPA100の型の独立した静電IPAダイスタックである。したがって、それぞれの例示のIPA310、312のIPA機械特徴24a、24bは、4つの櫛部102、104、106、108を含み、2つの櫛部102、104は、カバープレート・アンカー30、42の異なる対に融着または共晶結合することによって、第1と第2のカバープレート12、14の一方または両方に固定されている。また、IPA機械特徴24a、24bは、1つまたは複数の撓部112によって対の機構アンカー28から吊るされた並進ブルーフ・マス110を含み、これらの機構アンカー28は、本明細書で説明されるよう²⁰に、他の対のカバープレート・アンカー30、42への結合を介してカバープレート12、14の一方または両方に対して支持されている。

【0086】

例示のOPA314は、本明細書で説明された簡単な振子型静電OPAダイスタック200の型の静電OPAダイスタックである。したがって、例示のOPA314のOPA機械特徴24cは、1つまたは複数の撓部212によって静止フレーム214から撓み可能に吊るされた振子ブルーフ・マス210を含み、この静止フレーム214は、本明細書で説明されたように、それぞれのカバープレート・アンカー30、42に融着または共晶結合することによって、カバープレート12、14の一方または両方に固定された少なくとも1つの機構アンカー28を含んでいる。本発明の一実施形態によれば、OPA機械特徴24cは、本明細書で説明されたように、対向するカバープレート12、14間で電気信号を伝える分路アンカー220をアンカー柱222に含んでいる。

【0087】

例示の3軸MEMS加速度計デバイス300のカバープレート12、14は、それぞれのカバープレートSOIウェーハエレメント16b、16cの活性層22b、22cに形成されたそれぞれの協働内部カバープレート特徴31、41を含む。内部カバープレート特徴31、41は、それぞれの例示のIPA310、312の機械特徴24a、24bおよび例示のOPA314の機械特徴24cと協働するように構成され、配列されている。したがって、それぞれのカバープレート12、14の内部カバープレート特徴31、41は、本明細書で説明されるように、IPAデバイス機械特徴24a、24bの異なる部分⁴⁰

間で共通信号を伝える導電コネクタ 114 だけでなくそれぞれの例示の I P A 310、312 の固定櫛部 102、104 および並進ブルーフ・マス 110 とも協働するように、本明細書で説明されるように構造化され配列された 2 組のカバープレート・アンカー 30、42 を含む。

【 0 0 8 8 】

内部カバープレート特徴 31、41 は、また、入力および出力電気信号を O P A ブルーフ・マス 210 に、また O P A ブルーフ・マス 210 から伝えるために 1 つまたは複数の機構フレームアンカー 28 と協働するように、本明細書で説明されるように構造化され配列されたカバープレート・アンカー 30、42 だけでなく、O P A ブルーフ・マス 210 の内側部分 210a および外側部分 210b に整合された固定電極板 216a、216b 10 も含む。内部カバープレート特徴 31、41 は、また、固定電極板 216a、216b と分路アンカー 220 に関連したカバープレート・アンカー 30、42 との間に信号を伝える導電コネクタ 114 だけでなく、カバープレート 12、14 間で電気信号を伝えるアンカー柱 222 の中の 1 つまたは複数の分路アンカー 220 と協働するように本明細書で説明されるように構造化され、配列されたカバープレート・アンカー 30、42 も含む。内部カバープレート特徴 31、41 は、また、デバイス 200 の中間面に関して対称性を与えるようにアンカー柱 222 と協働するように、本明細書で説明されるように構造化され、配列されたカバープレート・アンカー 30、42 を含む。

【 0 0 8 9 】

穴特徴 34、46 は、1 つまたは複数のカバープレート・アンカー 30、42 と直線に並んで第 1 および第 2 のカバープレート 12、14 のハンドル層 20b、20c に形成される。ワイヤボンディングパッド 54、56 が、それぞれの穴特徴 34、46 の底に露出された第 1 および第 2 のカバープレート・アンカー 30、42 の内面 36、50 に堆積される。もしくは、本明細書で説明されるように、本明細書で説明されたように、追加の絶縁体材料 58 が、上部カバープレート穴特徴 46 の内壁面 60 に設けられ、さらに、その上に、第 2 のカバープレート・アンカー 42 の表面 50 に電気的に接触し、かつ上部カバープレート・ハンドル層 20c の外面 20c' の上に延びる導電トレース部分 64 を有する導電トレース 62 が堆積され、その外面 20c' に、従来のフリップチップ組立プロセスでボンディングするために、スタッドバンプ 66 が形成される。

【 0 0 9 0 】

本発明の一実施形態によれば、3 軸 M E M S 加速度計デバイス 300 の單一デバイスセンサ機構 10 は、本明細書で開示されるように、機構 S O I ウェーハエレメント 16a の活性層 22a に露出された連続縁フレームまたはリム 26 を含む。縁フレーム 26 は、デバイスセンサ機構 10 の周縁に沿って設けられ、I P A および O P A 機械特徴 24a、24b、24c を完全に囲繞している。デバイスセンサ機構 10 を密封封止するために、整合縁フレーム 32、44 が、カバープレート 12、14 の活性層 22b、22c に形成されている。場合によっては、分離フランジ 29 が、I P A および O P A 機械特徴 24a、24b、24c の外の機構活性層 22a の周縁面に沿って設けられる。分離フランジ 29 は、縁フレーム 26 の外周縁面 26a に結合されている。

【 0 0 9 1 】

図 20 は、面内運動と面外運動の両方のために吊るされた一対の静電櫛駆動加速度計デバイスで形成された簡単な M E M S コリオリ・レートジャイロスコープすなわち「ジャイロ」デバイス 400 として、実施例によって、限定することなく具体化された本発明の M E M S デバイス 1 の平面図である。本発明の一実施形態によれば、簡単な M E M S コリオリ・レートジャイロ・デバイス 400 の機械特徴 24 は、單一の第 1 すなわち下部カバープレート 12 と單一の第 2 すなわち上部カバープレート 14 の間にサンドイッチ状に挟まれた單一デバイスセンサ機構 10 に配列された 2 つの対称配列並進ブルーフ・マス 410a、410b を含む。はっきりさせるために、上部カバープレート 14 は省略されている。簡単な実施例は、特許請求される発明を限定することなく本発明を説明するためのものである。ブルーフ・マス 410a、410b は、面内運動と面外運動の両方のために撓部 50

412で吊るされている。カバープレート12、14の活性層22b、22cに形成された協働内部カバープレート特徴31、41は、固定静電モータ櫛駆動部414、416および固定静電モータ櫛ピックオフ418を含む。カバープレート12、14に対してブルーフ・マス410a、410bを支持し、かつ入力および出力信号を伝えるために、一対の機構アンカー28が、ブルーフ・マス410a、410bの間に配列されている。これらの機構アンカー28は、本明細書で説明されるように、それぞれのカバープレート・アンカー30、42で一方または両方のカバープレート12、14に固定されている。

【0092】

機構層10の底面および上面に接合されたカバープレート12、14は、各々、2つのピックオフ領域420a、420bを有し、それぞれの1つが、ブルーフ・マス410a、410bの各々に向き合っている。対向するカバー12、14の対角線上の各対の領域420a、420bは、電気的に結合されている。簡単なMEMSコリオリ・レートジャイロ・デバイス400の出力信号は、これらの2つの容量の対の差に比例する。この出力信号は、角速度を示すように復調される。

【0093】

簡単に言えば、モータ部は、2つのブルーフ・マスが約20kHz程度の高い共振周波数で反対の面内並進運動で振動し続けるようにする。面内並進、すなわち入力軸のまわりの回転がない場合、ブルーフ・マス410a、410bは、面外運動を経験しないので、キャパシタンス差、すなわち2つの容量の対の間の差はゼロのままである。MEMSコリオリ・レートジャイロ・デバイス400が、回転速度を経験するとき、面外コリオリ加速度がデバイス400に誘起され、これが2つのブルーフ・マス410a、410bを位相のずれた状態にし、その結果、揺動運動が回転入力軸のまわりにモータ周波数で誘起されるようになる。この揺動運動で生成された交流キャパシタンス差は、回転速度に正比例する。本明細書で説明された型のコリオリベースのレートジャイロは、場によって、開ループモードか閉ループモードかのどちらかで動作させられる。

【0094】

例示のMEMSコリオリ・レートジャイロ・デバイス400のカバープレート12、14は、それぞれのカバープレートSOIウェーハエлемент16b、16cの活性層22b、22cに形成されたそれぞれの協働内部カバープレート特徴31、41を含む。内部カバープレート特徴31、41は、コリオリ・レートジャイロ機構層10の機械特徴24と協働するように構成され、配列されている。したがって、それぞれのカバープレート12、14の内部カバープレート特徴31、41は、2つのピックオフ領域420a、420bだけでなく、固定モータ駆動部414、416および固定モータピックオフ418と協働するように、本明細書で説明されるように構造化され配列されたカバープレート・アンカー30、42も含む。内部カバープレート特徴31、41は、また、ブルーフ・マス410a、410bに、またブルーフ・マス410a、410bから電気信号を伝えるために、機構アンカー28と協働するように、本明細書で説明されるように構造化され配列されたカバープレート・アンカー30、42を含む。

【0095】

穴特徴34、46が、カバープレート・アンカー30、42と一直線に並んで、第1および第2のカバープレート12、14のハンドル層20b、20cに形成される。ワイヤボンディングパッド54、56が、それぞれの穴特徴34、46の底に露出された第1および第2のカバープレート・アンカー30、42の内面36、50に堆積される。もしくは、追加の絶縁体材料58が上部カバープレート穴特徴46の内壁面60に提供され、さらに、その上に、第2のカバープレート・アンカー42の表面50と電気的に接触し、かつ上部カバープレート・ハンドル層20cの外面20c'の上に延びる導電トレース部64を有する導電トレース62が堆積され、その外面20c'に、従来のフリップチップ組立プロセスでボンディングするために、スタッドバンプ66が形成されている。

【0096】

本発明の一実施形態によれば、MEMSコリオリ・レートジャイロ・デバイス400の

10

20

30

40

50

デバイスセンサ機構 10 は、本明細書で開示されるように、機構 S O I ウェーハエレメント 16 a の活性層 22 a に露出された連続縁フレームまたはリム 26 を含む。縁フレーム 26 は、デバイスセンサ機構 10 の周縁に沿って設けられ、コリオリ・レートジャイロ機械特徴 24 を完全に囲繞している。デバイスセンサ機構 10 を密封封止するために、整合縁フレーム 32、44 が、カバープレート 12、14 の活性層 22 b、22 c に形成されている。場合によっては、分離フランジ 29 が、コリオリ・レートジャイロ機械特徴 24 の外の機構活性層 22 a の周縁面に沿って設けられる。分離フランジ 29 は、縁フレーム 26 の外周縁面 26 a に結合されている。

【 0 0 9 7 】

図 21 は、機械特徴 24 の外の機構活性層 22 a の周縁面に沿って設けられ、機構活性層 22 a の外周縁面 26 a から延びる本発明の分離フランジ 29 を有する本発明の M E M S デバイス 1 の透視図である。分離フランジ 29 は、縁フレーム 26 と一体的に機構活性層 22 a に形成されるか、もしくは、分離フランジ 29 は、機構活性層 22 a から切り離して、別個の S O I ウェーハエレメントの活性層に形成され、中間面のデバイスセンサ機構 10 の縁フレーム 26 に接合されるか、のどちらかである。10

【 0 0 9 8 】

図 22 は、M E M S デバイス 1 の機械特徴 24 および残りのものから切り離して示された分離フランジ 29 の透視図であり、参照のためにデバイスセンサ機構 10 の縁フレーム 26 だけを含んでいる。分離フランジ 29 は、エラー源である可能性がある外力から本発明の M E M S デバイス 1 を絶縁する。例えば、本明細書で説明された型の I P A または O P A では、ダイスタック部品のシリコンとシャーシの材料の間の膨張差のためにダイスタック 100、200、300 に加えられる放射方向応力が、加速度計エラーの知られている源である。20

【 0 0 9 9 】

分離フランジ 29 は、加速度などのシャーシへの入力を測定するために、次のレベルの組立て L C C または回路基板などのシャーシに取り付けるための連続した外側縁フレームまたはリム 510 を含む。分離フランジ 29 の外側縁フレーム 510 は、各々一対の枝角 514、516 を有するいくつかの撓部 512 でデバイス機構縁フレーム 26 に結合され、その枝角は、機構活性層 22 a のデバイスセンサ機構 10 の面内の放射方向膨張に対して順応性があるが、面内並進と面外並進の両方および回転に対して堅固である。この放射方向膨張コンプライアンスは、外側縁フレーム 510 から M E M S デバイス 1 に入る力を大きさを減少させるが、一方で、その並進および回転耐性は、外側縁フレーム 510 が取り付けられているシャーシに加わる加速度入力などの外部入力を M E M S デバイス 1 が経験することを保証する。30

【 0 1 0 0 】

各撓部 512 の枝角 514、516 は、機構活性層 22 a の全厚さ、または、場合によっては、機構活性層 22 a と別個の S O I ウェーハエレメントの活性層の全厚さで形成されている。枝角 514、516 の各々は、断面は比較的薄いが、機構活性層 22 a の面内で、機構活性層 22 a の外周縁面 26 a および、存在すれば、デバイスセンサ機構 10 の縁フレーム 26 と実質的に平行な軸に沿って細長いものとして、実施例によって、限定することなく、具体化される。枝角 514、516 は、間隔を開けて平行でかつ同一広がりを持つ対であり、内側の枝角 514 は機構活性層 22 a の外周縁面 26 a により近く配列され、外側枝角 516 は分離フランジ 29 の外側縁フレーム 510 により近く配列されている。内側および外側枝角 514、516 は、それぞれの第 1 の端 514 a、516 a で、枝角 514、516 に比べて短くて堅い機械結合器 518、520 によって、それぞれの隣接した機構外周縁面 26 a および分離フランジ外側縁フレーム 510 に結合されている。機械結合器 518、520 は、それぞれの隣接した機構外周縁面 26 a および分離フランジ外側縁フレーム 510 に対する機構活性層 22 a 面内の放射方向の動きに備えて枝角 514、516 の間に間隔を開けるだけ十分に長い。他の比較的短くて堅い機械結合器 332 が、機械結合器 518、520 の反対側のそれぞれの第 2 の端 514 b、516 b に接合される。40

で、内側および外側枝角 514、516 を互いに結合している。比較的短くて堅い機械結合器 332 は、機構活性層 22a 面内の互いに対する放射方向の動きに備えて枝角 514、516 の間に間隔を開けるだけ十分に長い。

【0101】

場合によっては、1つまたは複数の撓部 512 が、デバイスセンサ機構 10 の各縁に沿って、逆向き、すなわち対向する向きに配列される。例えば、撓部 512 は対称的に配列され、デバイス中心線 Cy および Cx の相対する側の撓部 512 は反対方向を向いている。撓部 512 の他の配列も考えられる。枝角 514、516 の相対的な長さ L および断面厚さ T および機械結合器 518、520 および 332 の厚さと共に、撓部 512 の数および配列は、全て、MEMS デバイス 1 の意図された動作範囲、感度および他の性能パラメータ、および振動および加速度の動作環境、並びに他の動作環境の考慮すべき事項の関数として決定される。10

【0102】

本発明の一実施形態によれば、外側縁フレーム 510 および撓部 512 を含んだ分離フランジ 29 の全体は、デバイスセンサ機構 10 の機構縁フレーム 26、デバイス機械特徴 24、および残りのものと一緒に機構活性層 22a に一体的に形成される。

【0103】

図 23 は、1つの撓部 512 の拡大透視図であり、枝角 514、516 が、比較的細長く機構外周縁面 26a および外側縁フレーム 510 に実質的に平行に延びる長さ L と、機構活性層 22a の完成厚さ T と一致した幅 W を有するものとして具体化されていることを示している。本明細書で述べたように、枝角 514、516 は、枝角長さ L 並びに他の性能パラメータおよび動作環境の考慮すべき事項の関数として選ばれる断面厚さ T を有する。また、本明細書で述べたように、機械結合器 518、520、および 332 は、全て、枝角 514、516 に比べて短くて堅い。20

【0104】

本発明の好ましい実施形態を例示し説明したが、本発明の趣旨および範囲から逸脱することなくそれらの実施形態に様々な変更がなされることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【0105】

【図 1】機構 SOI ウェーハエレメントで本発明のデバイスセンサ機構を製作することを示す断面図である。30

【図 2】第 1 のカバープレート SOI ウェーハエレメントで本発明の第 1 のシリコン・カバープレートを製作することを示す断面図である。

【図 3】本発明のデバイスセンサ機構を本発明の第 1 のシリコン・カバープレートに移すことを示す断面図である。

【図 4】機構 SOI ハンドル・ウェーハエレメントから離された本発明のデバイスセンサ機構を示す断面図である。

【図 5】第 2 のカバープレート SOI ウェーハエレメントで本発明の第 2 のシリコン・カバープレートを製作することを示す断面図である。

【図 6】本発明の第 1 のカバープレートの反対側の本発明の機構エレメントと本発明の第 2 のシリコン・カバープレートを接合することを示す断面図である。40

【図 7】本発明の第 1 および第 2 のカバープレートの本発明のそれぞれの穴特徴の底に露出された本発明の第 1 および第 2 のカバープレート・アンカーの内面に、1つまたは複数のワイヤボンディングパッドを付けることを示す断面図である。

【図 8】図 7 に示された1つまたは複数の異なるワイヤボンディングパッドにボンディングされた1つまたは複数の導電ワイヤを示す断面図である。

【図 9】はっきりさせるために分離フランジが取り除かれた図 8 に示すような、本発明の組立済み融着密封封止ほぼ完全シリコン MEMS デバイスの1つの側を示す透視図である。

【図 10】簡単な静電 IPA ダイスタックとして、実施例によって限定することなく具体50

化された本発明のMEMSデバイスを示す透視分解組立図である。

【図11】組立後の本発明の簡単な実施例のIPA(面内加速度計)ダイスタックの一部を示す透視拡大である。

【図12】機構SOIウェーハエレメントの活性層に形成され、IPA機械特徴が連続した縁フレームで囲繞されている本発明の簡単な実施例のIPAダイスタックの簡単なデバイスセンサ機構を示す透視図である。

【図13】本発明の第1と第2のカバープレートの両方を示す透視図であり、それぞれの第1および第2のカバープレートの内部または活性層に形成された協働内部カバープレート特徴を含んでいる。

【図14】本発明に従った簡単な静電OPA(面外加速度計)ダイスタックとして、実施例によって限定することなく具体化された本発明のMEMSデバイスを示す透視分解組立図である。 10

【図15】組立後の本発明の簡単な実施例のOPAダイスタックの一部を示す透視拡大である。

【図16】機構SOIウェーハエレメントの活性層に形成され、OPA機械特徴が連続縁フレームで囲繞されている本発明の簡単な実施例のOPAダイスタックの簡単なデバイスセンサ機構を示す透視図である。

【図17】本発明の第1と第2のカバープレートの両方を示す透視図であり、それぞれの第1および第2のカバープレートの内部または活性層に形成された協働内部カバープレート特徴を含んでいる。 20

【図18】本発明のそれぞれの穴特徴が本発明の関連したカバープレート・アンカーの内面と一直線に合わされて形成されている第1と第2のカバープレートの両方のハンドル層の外面を示す透視図である。

【図19】本発明の一実施形態によれば簡単な3軸MEMS加速度計デバイスとして実施例によって限定することなく具体化された本発明のMEMSデバイスを示す透視図であり、2つのIPAと1つのOPAが、単一の第1すなわち下部カバープレートと単一の第2すなわち上部カバープレートの間にサンドイッチ状に挟まれた單一デバイスセンサ機構の中に配列されている。

【図20】簡単なMEMSコリオリ・レートジャイロスコープすなわち「ジャイロ」デバイスとして、実施例によって限定することなく具体化された本発明のMEMSデバイスを示す平面図である。 30

【図21】本発明のMEMSデバイスを示す透視図であり、本発明の分離フランジが、機械特徴の外の機構活性層の周縁面に沿って設けられ、機構活性層の外周縁面から延びている。

【図22】MEMSデバイスの機械特徴および残りのものから切り離して示された本発明の分離フランジを示す透視図である。

【図23】本発明の分離フランジの1つの撓部を示す拡大透視図であり、機構外周縁面および外側縁フレームと平行に延びる比較的細長い枝角を示す。

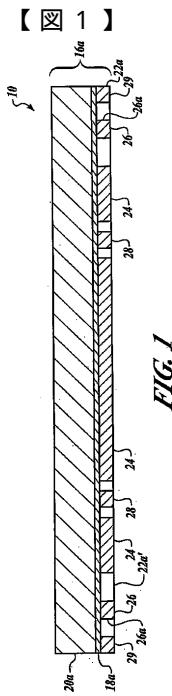


FIG. 1

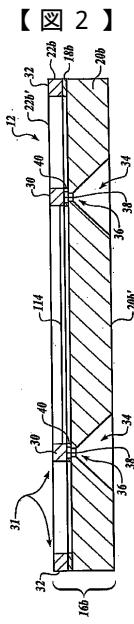


FIG. 2

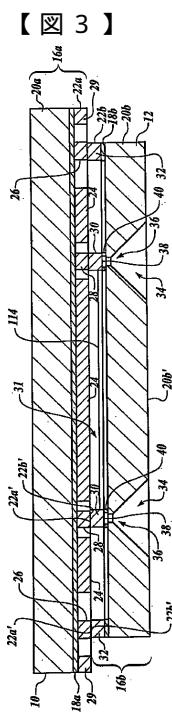


FIG. 3

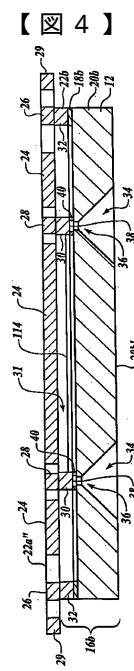


FIG. 4

【図5】

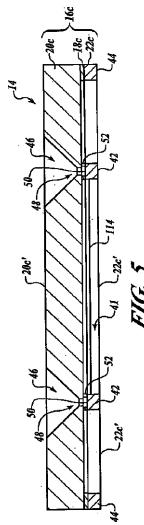


FIG. 5

【図6】

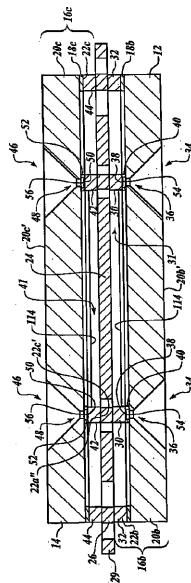


FIG. 6

【図7】

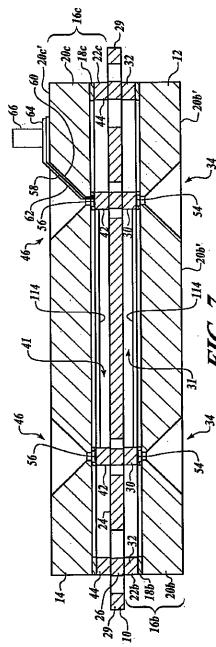


FIG. 7

【図8】

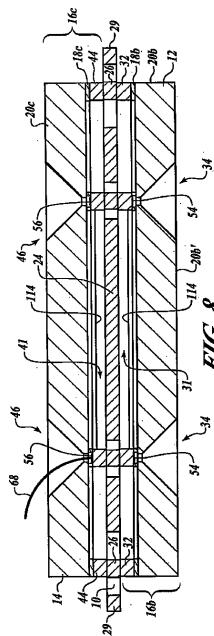


FIG. 8

【 図 9 】

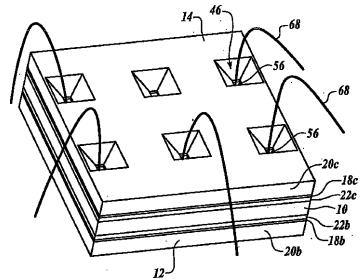


FIG. 9

【図 10】

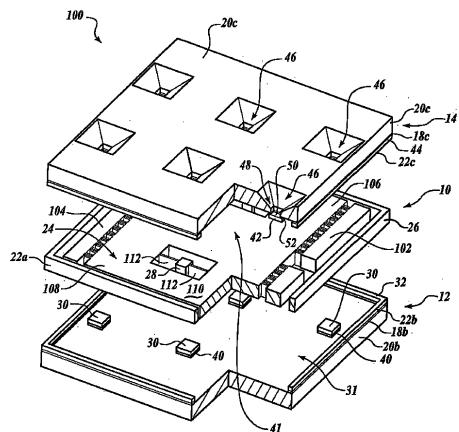


FIG. 10

【図13】

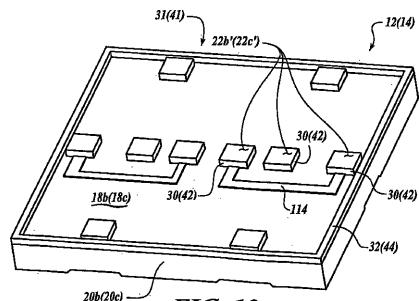


FIG. 13

【図14】

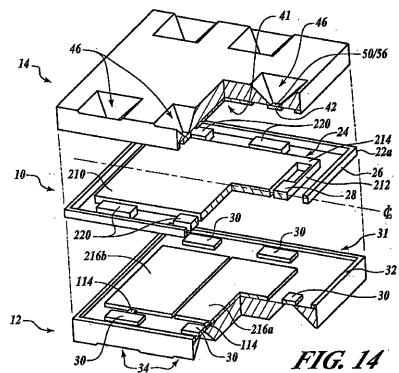


FIG. 14

【 図 1 1 】

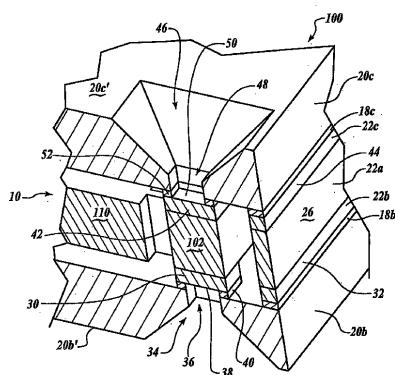


FIG. 11

【 図 1 2 】

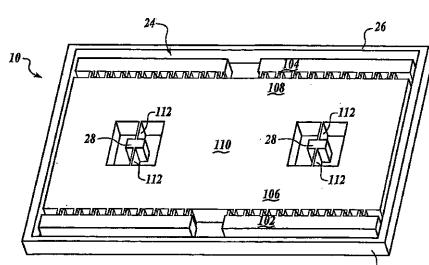


FIG. 12

【 図 1 5 】

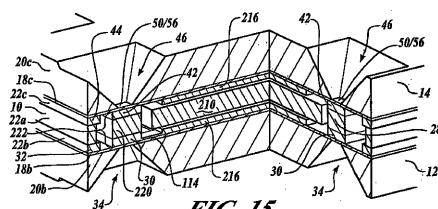


FIG. 15

【 図 1 6 】

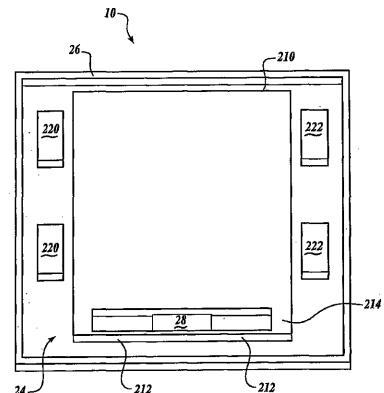


FIG. 16

【図 17】

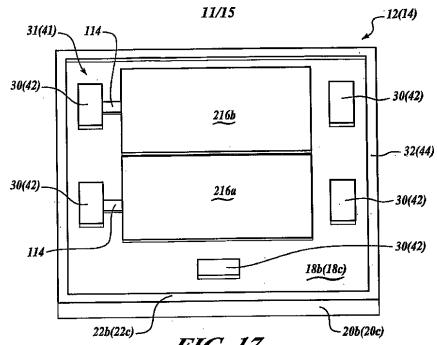


FIG. 17

【図 18】

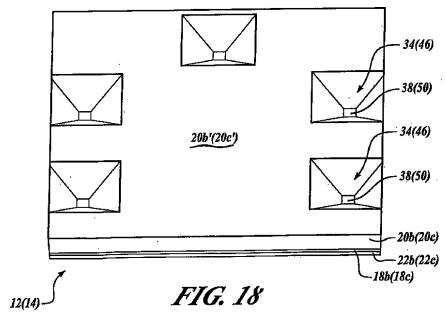


FIG. 18

【図 19】

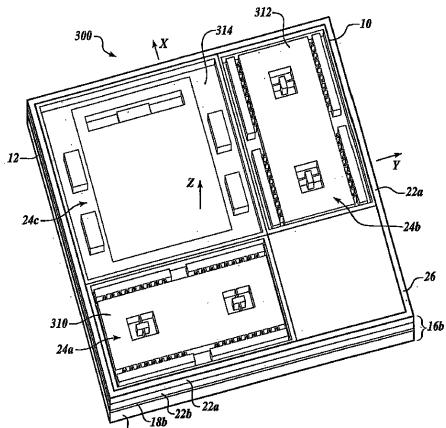
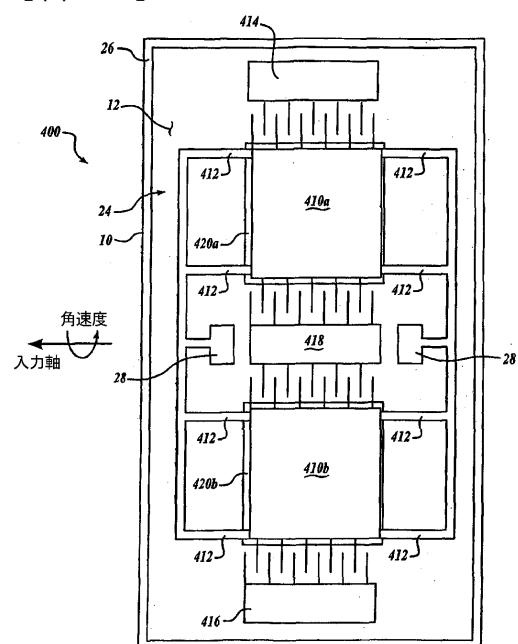


FIG. 19

【図 20】



【図 21】

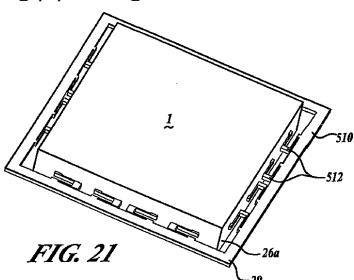


FIG. 21

【図 22】

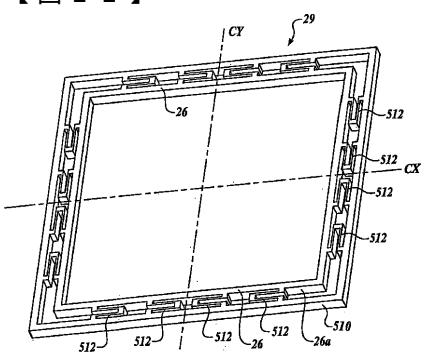


FIG. 22

【図23】

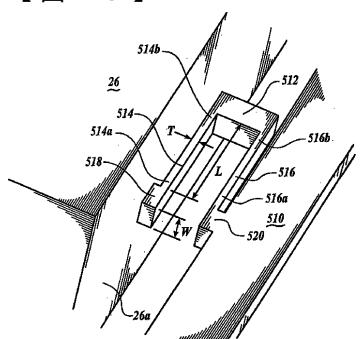


FIG. 23

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 01 L 29/84 (2006.01) H 01 L 29/84 Z

(74)代理人 100101373

弁理士 竹内 茂雄

(72)発明者 ラフォンド, ピーター・エイチ

アメリカ合衆国ワシントン州98052, レッドモンド, ワンハンドレッドアンドフィフティナイ
ンス・アベニュー・ノースイースト 4812

(72)発明者 リヤンジョン, ユ

アメリカ合衆国ワシントン州98053, レッドモンド, トウハンドレッドアンドトウエンティフ
ィフス・テラス・ノースイースト 10112

審査官 繢山 浩二

(56)参考文献 特開2003-294451(JP, A)

特開2003-287551(JP, A)

特表2002-521695(JP, A)

特開2004-311951(JP, A)

米国特許第05381300(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01P 15/125

B81B 3/00

B81C 3/00

G01C 19/5769

G01P 15/08

H01L 29/84