

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3713019号

(P3713019)

(45) 発行日 平成17年11月2日(2005.11.2)

(24) 登録日 平成17年8月26日(2005.8.26)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

G O 1 C 19/56

G O 1 C 19/56

B 8 1 B 3/00

B 8 1 B 3/00

B 8 1 C 1/00

B 8 1 C 1/00

G O 1 P 9/04

G O 1 P 9/04

請求項の数 12 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2002-564435 (P2002-564435)  
 (86) (22) 出願日 平成14年1月30日(2002.1.30)  
 (65) 公表番号 特表2004-518964 (P2004-518964A)  
 (43) 公表日 平成16年6月24日(2004.6.24)  
 (86) 国際出願番号 PCT/KR2002/000135  
 (87) 国際公開番号 W02002/064497  
 (87) 国際公開日 平成14年8月22日(2002.8.22)  
 審査請求日 平成14年10月21日(2002.10.21)  
 (31) 優先権主張番号 2001/6695  
 (32) 優先日 平成13年2月12日(2001.2.12)  
 (33) 優先権主張国 韓国(KR)

(73) 特許権者 502361773  
 インテリマイクロンズ・カンパニー・リミ  
 テッド  
 大韓民国 ソウル 171-742 グワ  
 ナック-ク シリム-ドン(無番地) ソ  
 ウル・ナショナル・ユニバーシティ ビル  
 ディング 135-301  
 (73) 特許権者 502361795  
 キム, ヨン-クウェオン  
 大韓民国 ソウル 135-836 カン  
 ナム-ク デチ-ドン(無番地) スンキ  
 ユン・アパートメント 12-1105  
 (74) 代理人 100107308  
 弁理士 北村 修一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ジャイロスコープ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

固定されている駆動固定電極と、  
 前記駆動固定電極の対向電極であって、第1方向への変位が可能な駆動変位電極と、  
 前記駆動変位電極に連結されており、前記駆動変位電極の第1方向変位に沿って第1方向に変位し、角速度印加時に第2方向に変位する慣性質量体と、  
 前記慣性質量体に連結されており、前記慣性質量体の第2方向変位に沿って第2方向に変位することができる検出変位電極と、  
 前記検出変位電極の対向電極で、固定されている検出固定電極と、を含み、  
 前記駆動変位電極は第1方向に移動することができる折りたたみスプリングによって支持されており、前記検出変位電極は第2方向に移動できる折りたたみスプリングによって支持され、

前記駆動変位電極と前記慣性質量体とは第2方向に移動することができ、固定軸のない折りたたみスプリングによって連結されており、前記検出変位電極と前記慣性質量体とは第1方向に移動することができ、固定軸のない折りたたみスプリングによって連結されているジャイロスコープ。

【請求項2】

前記検出変位電極は前記慣性質量体を中心にして両側に二つが配置されており、前記二つの検出変位電極を連結するエッジジンバルをさらに含む請求項1に記載のジャイロスコープ。

10

20

## 【請求項 3】

前記慣性質量体の中心には孔が形成されており、前記孔の中心に位置して固定されている変位制限軸をさらに含む請求項 1 に記載のジャイロスコープ。

## 【請求項 4】

前記検出変位電極の両側に対称的に形成され、電気的スプリングの役割を果たして検出変位電極の共振周波数を変化させて検出感度を調節するチューニング電極をさらに含む請求項 1 に記載のジャイロスコープ。

## 【請求項 5】

前記検出変位電極と前記チューニング電極との互いに対向する面には夫々四角形凹凸が形成されており、前記検出変位電極の凹凸と前記チューニング電極の凹凸は互いに凸部は凸部同士に対向しており、凹部は凹部同士に対向するように配置されている請求項 4 に記載のジャイロスコープ。

10

## 【請求項 6】

前記駆動固定電極と前記駆動変位電極の対向する面及び前記検出固定電極と前記検出変位電極の対向する面には、互いに噛み合う形態に四角形凹凸が形成されている請求項 1 に記載のジャイロスコープ。

## 【請求項 7】

(a) シリコン基板とガラス基板とを正極接合する段階と、  
(b) 前記シリコン基板をエッチング及び研磨して特定の厚さに作る段階と、  
(c) 前記シリコン基板上に金属層を形成する段階と、  
(d) 前記金属層と前記シリコン基板とをフォトリソグラフィによりジャイロスコープパターンを有するシリコン構造体に形成する段階と、  
(e) 前記ガラス基板をエッチングし、前記シリコン構造体のうち複数の固定軸を除いた残りの部分をガラス基板から分離して、前記固定軸によって固定されている駆動固定電極と、前記駆動固定電極の対向電極であって、第 1 方向への変位が可能な駆動変位電極と、前記駆動変位電極に連結されており、前記駆動変位電極の第 1 方向変位に沿って第 1 方向に変位し、角速度印加時に第 2 方向に変位する慣性質量体と、前記慣性質量体に連結されており、前記慣性質量体の第 2 方向変位に沿って第 2 方向に変位することができる検出変位電極と、前記検出変位電極の対向電極で、前記固定軸によって固定されている検出固定電極と、を含み、前記駆動変位電極は第 1 方向に移動することができる折りたたみスプリングによって支持されており、前記検出変位電極は第 2 方向に移動できる折りたたみスプリングによって支持され、前記駆動変位電極と前記慣性質量体とは第 2 方向に移動することができ、前記固定軸のない折りたたみスプリングによって連結されており、前記検出変位電極と前記慣性質量体とは第 1 方向に移動することができ、前記固定軸のない折りたたみスプリングによって連結されているジャイロスコープ構造体を形成する段階と、  
(f) 前記ジャイロスコープ構造体をフリップチップボンディングして外部回路と連結する段階と、を含むジャイロスコープの製造方法。

20

30

## 【請求項 8】

(d) と (e) との間にシリコン基板とガラス基板をダイシングして個別素子単位に分離する段階をさらに含む請求項 7 に記載のジャイロスコープの製造方法。

40

## 【請求項 9】

(c) で形成される金属層は、Cr と Au の二重層である請求項 7 に記載のジャイロスコープの製造方法。

## 【請求項 10】

(e) でガラス基板は HF 溶液を使用してエッチングする請求項 7 に記載のジャイロスコープの製造方法。

## 【請求項 11】

前記 HF 溶液を利用して前記ガラス基板をエッチングする深さは 10  $\mu\text{m}$  以上にし、空気減衰を最少化して大気圧下で動作が可能になるようにする請求項 10 に記載のジャイロスコープの製造方法。

50

## 【請求項 12】

(b) でシリコン基板のエッチングは 80 の 36 wt.% の KOH 水溶液を使用して行う請求項 7 に記載のジャイロスコープの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

発明の背景

(a) 発明の属する技術分野

本発明は微細加工 (micromachining) 方法を利用して製造したジャイロスコープ及びその製造方法に関する。

## 【0002】

(b) 従来技術

微細加工を利用した様々な応用分野の中で、慣性センサ (Inertial sensor) への応用は早くから関心を集めた分野である。シリコンを材料として微細加工で製作された慣性センサは安価、大量生産、そして、集積化が可能であるという長所によって最近十年間商品化慣性センサを開発するための研究が活発に進められている。しかし、実際商品化が可能な水準のジャイロスコープが製作されて発表されたのは最近何年間かのことであって、まだ微細加工で製作されたジャイロスコープが商品化された例はない。商品化のためには広い動作範囲と共に、低い出力値を雑音と分離して選択的に検出して、高い感度を獲得することが必要であり、既存の半導体工程と完全に互換できる工程を利用したり、単純な工程を利用して低価格の素子を具現しなければならない。また、素子の信頼性及び高い収率もやはり保障されなければならない。

## 【0003】

Analog Devices Inc. (ADI) の場合、1998 年に 1 個当り \$30 のジャイロスコープを目標に表面微細加工工程を利用して真空中で動作する集積化ジャイロスコープの試作品を開発したが、当時、圧電素子を利用したジャイロスコープが自動車用の場合、\$15、カメラ用の場合、\$5 の非常に安い値段で市販されていたため、これらと競争するためには新たな接近方法が求められた。そのために、ADI は素子の小型化とパッケージ工程の最少化による低価格のジャイロスコープ開発に努力した。素子の小型化のために、全素子サイズのほとんどを占める回路部分を減らして、それにとまなう問題をジャイロスコープの機械部分を大きくすることにより解決し、全体的な素子のサイズは減らす方向を模索するようになった。また、機械部分が大きければ相対的に低い Q 値でも動作して、商品化のための二つの目標、つまり小さいサイズの素子と真空パッケージの削除を満足することができると考えられる。実際に真空パッケージをしなければならない素子の場合、一般的な IC 工程でのパッケージ工程が占める値段比率が 50% であるのに比べて 80% という大きな値段比率を占めているので、これを解決することが全素子の値段を低くするのに必要である。

## 【0004】

発明の要旨

本発明が目的とする技術的課題は、大気圧で動作できるジャイロスコープを提供することにある。

## 【0005】

本発明の他の技術的課題は、高い周波数で大きな駆動変位を有するジャイロスコープを提供することにある。

## 【0006】

本発明が解決しようとする他の技術的課題は、駆動モードと検出モード間の機械的干渉が排除されたジャイロスコープを提供することにある。

## 【0007】

本発明が解決しようとする他の技術的課題は、周波数チューニングがなくても高い感度を示すジャイロスコープを提供することにある。

## 【0008】

10

20

30

40

50

本発明が解決しようとする他の技術的課題は、ジャイロ스코ープの製造方法を単純化させることである。

【0009】

このような課題を解決するために本発明では、駆動変位電極と検出変位電極を慣性質量体と折りたたみスプリングを媒介として連結することにより駆動変位電極と検出変位電極との間の機械的干渉を排除する。

【0010】

具体的には、本発明の1態様としてのジャイロ스코ープは、固定されている駆動固定電極、駆動固定電極の対向電極で第1方向への変位が可能な駆動変位電極、駆動変位電極に連結されていて駆動変位電極の第1方向変位に沿って第1方向に変位し、角速度印加時に第2方向に変位する慣性質量体、慣性質量体に連結されていて慣性質量体の第2方向変位に沿って第2方向に変位することができる検出変位電極、及び、検出変位電極の対向電極で固定されている検出固定電極とを有する。

10

【0011】

この時、駆動変位電極は第1方向に移動できる折りたたみスプリングによって支持されており、検出変位電極は第2方向に移動できる折りたたみスプリングによって支持される。

【0012】

また、駆動変位電極と慣性質量体は第2方向に移動することができて固定軸のない折りたたみスプリングによって連結されており、検出変位電極と慣性質量体は第1方向に移動することができて固定軸のない折りたたみスプリングによって連結される。

20

【0013】

また、検出変位電極は慣性質量体を中心にして両側に二つが配置されており、ジャイロスコープは二つの検出変位電極を連結するエッジジンバルをさらに含むことができ、慣性質量体の中心には孔が形成されており、孔の中心に位置して固定されている変位制限軸をさらに含むことができる。

【0014】

また、検出変位電極の両側に対称的に形成されていて、電気的スプリングの役割を果たして検出変位電極の共振周波数を変化させて検出感度を調節するチューニング電極をさらに含むことができる。

【0015】

このようなジャイロスコープは、(a)シリコン基板とガラス基板を正極接合する段階、(b)前記シリコン基板をエッチング、研磨して特定の厚さに作る段階、(c)前記シリコン基板上に金属層を形成する段階、(d)前記金属層と前記シリコン基板をフォトリソグラフィ(photo lithography)によってジャイロスコープパターンを有するシリコン構造体を形成する段階、(e)前記ガラス基板をエッチングし、前記シリコン構造体のうち複数の固定軸を除いた残りの部分をガラス基板から分離して、前記固定軸によって固定されている駆動固定電極と、前記駆動固定電極の対向電極であって、第1方向への変位が可能な駆動変位電極と、前記駆動変位電極に連結されており、前記駆動変位電極の第1方向変位に沿って第1方向に変位し、角速度印加時に第2方向に変位する慣性質量体と、前記慣性質量体に連結されており、前記慣性質量体の第2方向変位に沿って第2方向に変位することができる検出変位電極と、前記検出変位電極の対向電極で、前記固定軸によって固定されている検出固定電極と、を含み、前記駆動変位電極は第1方向に移動することができる折りたたみスプリングによって支持されており、前記検出変位電極は第2方向に移動できる折りたたみスプリングによって支持され、前記駆動変位電極と前記慣性質量体とは第2方向に移動することができ、前記固定軸のない折りたたみスプリングによって連結されており、前記検出変位電極と前記慣性質量体とは第1方向に移動することができ、前記固定軸のない折りたたみスプリングによって連結されているジャイロスコープ構造体を形成する段階、(f)前記ジャイロスコープ構造体をフリップチップボンディングして外部回路と連結する段階を含む方法を使用して製作する。

30

40

【0016】

50

この時、(d)と(e)との間にシリコン基板とガラス基板をダイシングして個別素子単位に分離する段階をさらに含むことができる。

【0017】

(c)で形成する金属層はCrとAuの二重層であるのが好ましく、(e)でガラス基板はHF溶液を使用してエッチングされる。

【0018】

HF溶液を使用したガラス基板のエッチングの深さは10 μm以上にして空気減衰を最少にし、ジャイロスコープを大気圧下で作動可能にする。

【0019】

(b)でシリコン基板のエッチングは80 の36wt.%のKOH水溶液を使用して行うのが好ましい。

【0020】

図面の簡単な説明

本発明の実施例の詳細部分の構成について完全に理解するために、添付の図面を参照して説明する。

図1は、本発明の実施例によるジャイロスコープの斜視図である。

図2は、本発明の実施例によるジャイロスコープの平面図である。

図3は、図1の一部拡大図である。

図4は、本発明の実施例によって製造されたジャイロスコープの部分SEM写真である。

図5は、本発明の実施例によるジャイロスコープの駆動または検出スプリング部の拡大図である。

図6は、本発明の実施例によって製造されたジャイロスコープの駆動または検出スプリング部のSEM写真である。

図7は、本発明の実施例によるジャイロスコープの駆動または検出連結スプリング部の概念図である。

図8は、変位制限部による共振駆動及び検出変位グラフである。

図9(a)乃至図9(h)は、本発明の実施例によってジャイロスコープを製造する過程を示した図である。

【0021】

好適実施例の詳細説明

以下に、本発明の好ましい実施例について詳細な説明を示し、発明者の実施した最適な発明の実施の方法について示す。上述したように、本発明は、発明から逸脱しない限り多様に変形して実施することが可能であり、記載した説明及び図面に限定されるものではない。

【0022】

図1は本発明の実施例によるジャイロスコープの斜視図であり、図2は本発明の実施例によるジャイロスコープの平面図、図3は図1の一部拡大図であり、図4は本発明の実施例によって製造されたジャイロスコープの部分SEM(Scanning Electron Microscope)写真である。

【0023】

本発明の実施例によるジャイロスコープはガラス基板10とその上に形成されているシリコン構造体とを備える。ガラス基板10上部にはシリコン構造体を支持してシリコン構造体の固定軸を固定する支柱11、12、13が形成されている。

【0024】

シリコン構造体は、駆動部、検出部、多数のスプリング、チューニング(tuning)電極34及び変位制限軸33からなる。駆動部は、駆動固定電極26、駆動変位電極24及び慣性質量体23からなる。検出部は、検出固定電極25、検出変位電極22及びエッジジンバル(gimbal)21からなる。スプリングは、駆動変位電極24を振動させることができるように支持する駆動スプリング28、29、検出変位電極22とエッジジンバル21が振動できるように支持する検出スプリング27、30、駆動変位電極24と慣性質量体2

10

20

30

40

50

3 とを連結する駆動連結スプリング 3 1 と、検出変位電極 2 2 と慣性質量体 2 3 とを連結する検出連結スプリング 3 2 を備える。また、駆動スプリング 2 8、2 9 は、外部駆動スプリング 2 8 と内部駆動スプリング 2 9 とに区分され、検出スプリング 2 7、3 0 は夫々、外部検出スプリング 2 7 と内部検出スプリング 3 0 に区分される。

【0025】

以下、これら各要素の構造及び機能についてより詳細に説明する。

【0026】

まず、駆動部の駆動固定電極 2 6 は、ガラス基板 1 0 の支柱 1 2 によって固定されており、四角形凹凸形態の対向部を有する。駆動変位電極 2 4 は外部及び内部駆動スプリング 2 8、2 9 によって支持されていて東西方向（図 1 と図 2 のコンパス方向参照）にだけ移動することができ、四角形凹凸形態に形成されている対向部を有する。駆動固定電極 2 6 の対向部と駆動変位電極 2 4 の対向部とは互いに噛み合う形態に配置されている。外部及び内部駆動スプリング 2 8、2 9 はガラス基板 1 0 の支柱 1 3 によって固定されており、板スプリングが南北方向に長く配置されていて東西方向にだけ移動することができる。慣性質量体 2 3 は駆動連結スプリング 3 1 を通じて駆動変位電極 2 4 と連結されていて、駆動変位電極 2 4 が東西方向に振動すると、慣性質量体 2 3 は駆動変位電極 2 4 と共に振動するようになっている。この時、駆動連結スプリング 3 1 は固定軸がなく南北方向にだけ移動することができるため、駆動変位電極 2 4 の東西方向振動を慣性質量体 2 3 にそのまま伝達する。

【0027】

次に、検出部の検出固定電極 2 5 は、ガラス基板 1 0 の支柱 1 2 によって固定されており、四角形凹凸形態の対向部を有する。検出変位電極 2 2 は外部及び内部検出スプリング 2 7、3 0 によって支持されていて南北方向（図 1 と図 2 のコンパス方向参照）にだけ移動することができ、四角形凹凸形態に形成されている対向部を有する。検出固定電極 2 5 の対向部と検出変位電極 2 2 の対向部とは互いに噛み合う形態に配置されている。外部及び内部検出スプリング 2 7、3 0 はガラス基板 1 0 の支柱 1 3 によって固定されており、板スプリングが東西方向に長く配置されていて南北方向にだけ移動することができる。検出変位電極 2 2 は検出連結スプリング 3 2 を通じて慣性質量体 2 3 と連結されていて、慣性質量体 2 3 が南北方向に振動すると、検出変位電極 2 2 は慣性質量体 2 3 と共に振動するようになっている。この時、検出連結スプリング 3 2 は固定軸がなく東西方向にだけ移動することができるため、慣性質量体 2 3 の南北方向振動を検出変位電極 2 2 にそのまま伝達する。エッジジンバル 2 1 は駆動部と検出部全体を囲んでおり、慣性質量体 2 3 を中心にして南北両側に位置する検出変位電極 2 2 を一つに連結している。したがって、両検出変位電極 2 2 は同一な方向と変位をもって運動する。

【0028】

チューニング電極 3 4 は南北両検出変位電極 2 2 の東西両側に各々一つずつ 4 個が形成されており、ガラス基板 1 0 の支柱 1 1 によって固定されている。チューニング電極 3 4 の検出変位電極 2 2 と対向する面には四角形凹凸が形成されており、検出変位電極 2 2 にもチューニング電極 3 4 と対向する面には四角形凹凸が形成されている。検出変位電極 2 2 の四角形凹凸とチューニング電極 3 4 の四角形凹凸は互いに凸部は凸部同士に、凹部は凹部同士に対向している。

【0029】

変位制限軸 3 3 は慣性質量体 2 3 の中央部分に形成されている孔の中心に形成されており、慣性質量体が一定の量以上変位することを防止する役割を果たすもので、ガラス基板 1 0 の支柱（図示せず）によって固定されている。慣性質量体 2 3 が停止している状態では慣性質量体 2 3 と一定の間隔をおいて分離されている。

【0030】

このような構造のジャイロスコープの駆動及び検出方法について説明する。

【0031】

駆動固定電極 2 6 に電源を印加すると、駆動変位電極 2 4 は駆動固定電極 2 6 に印加され

10

20

30

40

50

る電源の周波数によって静電的に駆動されて東西方向に振動する。慣性質量体 2 3 も駆動変位電極 2 4 と同様に振動する。この状態でジャイロスコープが回転力を受けると、慣性質量体 2 3 は南北方向への力を受けて南北方向にも振動するようになる。慣性質量体 2 3 の南北方向振動は検出変位電極 2 2 にそのまま伝えられて検出変位電極 2 2 も同様に振動する。検出変位電極 2 2 が振動すれば、検出固定電極 2 5 と検出変位電極 2 2 との間に形成される静電容量が変化するが、この変化を検出して角速度を算出する。この時、チューニング電極 3 4 は電気的スプリングの役割を果たし、検出変位電極 2 5 の共振周波数を変化させて検出感度を調節する。変位制限軸 3 3 は慣性質量体 2 3 の駆動変位を一定の値に制限して広い周波数範囲で一定の変位を維持するようにする。これについては後述する。

10

#### 【 0 0 3 2 】

本発明の実施例に適用された駆動または検出スプリング 2 7、2 8、2 9、3 0 の構造について図 5 及び 6 を参考としてさらに詳細に説明する。

#### 【 0 0 3 3 】

図 5 は本発明の実施例によるジャイロスコープの駆動または検出スプリング部の概念図であり、図 6 は本発明の実施例によって製造されたジャイロスコープの駆動または検出スプリング部の SEM 写真である。

#### 【 0 0 3 4 】

駆動または検出スプリングは、固定軸 1、連結部 2、内側板 3 及び外側板 4 からなる。固定軸 1 はガラス基板 1 0 の支柱 1 3 によって固定されており、連結部 2 は内側板 3 と外側板 4 を連結している。内側板 3 は固定軸 1 と連結部 2 との間を連結しており、外側板 4 は連結部 2 と駆動または検出変位電極（駆動スプリングであるか検出スプリングであるかによって決定される）の間を連結している。このような構造のスプリングを折りたたみスプリング（folded spring）という。

20

#### 【 0 0 3 5 】

図 5 で、シリコン構造体の上に薄く表示されている層は金属層である。この金属層はジャイロスコープをフリップチップボンディング（flip chip bonding）するために形成する。図 1 乃至図 4 では図示を省略した。

#### 【 0 0 3 6 】

図 6 で、連結部 2 とその構造体の周辺に形成されている孔は、製造工程で構造体を空中に持ち上げるためにガラス基板をエッチングする時エッチング液を投入するためのものである。したがって、固定軸となる部分と幅の狭いスプリングの板 3、4 を除いては構造体の全ての部分に孔が形成されている。

30

#### 【 0 0 3 7 】

本発明の実施例に適用された駆動または検出連結スプリング 3 1、3 2 の構造について図 7 を参考としてさらに詳細に説明する。

#### 【 0 0 3 8 】

図 7 は本発明の実施例によるジャイロスコープの駆動または検出連結スプリング部の概念図である。

#### 【 0 0 3 9 】

連結スプリングは連結部 2、内側板 3 及び外部板 4 からなっていて、固定軸はない。連結部 2 は内側板 3 と外部板 4 とを連結しており、内側板 3 は駆動変位電極または検出変位電極（駆動連結スプリングであるか検出連結スプリングであるかによって決定される）に連結されており、外部板 4 は慣性質量体 2 3 に連結されている。

40

#### 【 0 0 4 0 】

次に、変位制限部の機能について説明する。

#### 【 0 0 4 1 】

図 8 は変位制限部による共振駆動及び検出変位グラフである。

#### 【 0 0 4 2 】

Q 値の高い共振構造物の場合、真空度及び周波数の変化による変位変化が非常に大きく、

50

これにより構造物の出力が変化するので、出力性能が外部の雑音（真空度や周波数変化）に非常に敏感となる短所が生じる。これを克服するために、本ジャイロスコープは、駆動変位を制限する機械的変位制限装置を慣性質量体中央部に形成する。これは慣性質量体をはじめとする駆動部の変位を一定の値に維持するようにし、広い周波数範囲でも一定の変位を維持するようにする。また、図 8 のように、既存のジャイロスコープの場合、工程上の誤差により駆動及び検出共振周波数の差が生じた場合、感度が低下することを防止するために共振周波数をチューニングしなければならないが、変位制限装置を採用した本ジャイロスコープの場合には、駆動変位が広い周波数範囲で一定に維持されて検出共振周波数範囲でも駆動変位が一定に維持されるので、別途のチューニングがなくても検出共振周波数で駆動することができる。

10

#### 【 0 0 4 3 】

以下、前記のような構造のジャイロスコープを製造する方法について説明する。

#### 【 0 0 4 4 】

図 9 ( a ) 乃至図 9 ( h ) は本発明の実施例によってジャイロスコープを製造する過程を順次に示した斜視図である。

#### 【 0 0 4 5 】

まず、図 9 ( a ) に示すように、低抵抗シリコンウエハ 2 0 と P y r e x # 7 7 4 0 などのガラス基板 1 0 に 3 8 0 ° で 8 0 0 V を 2 時間加えて正極接合する。

#### 【 0 0 4 6 】

次に、図 9 ( b ) に示すように、水酸化カリウム ( K O H ) 水溶液を使用してシリコンウエハ 2 0 をエッチングする。エッチング後、シリコンウエハ 2 0 の厚さは約 7 0 μ m 程度になるようにする。これは最終シリコン構造体の厚さである 5 0 μ m に C M P ( chemical mechanical polishing ) を通じて鏡面を作るための余裕分 2 0 μ m を勘案した厚さである。この時、エッチング液は 8 0 ° の 3 6 w t . % の K O H 水溶液であり、この時のエッチング速度は大略 0 . 9 3 μ m / m i n である。K O H エッチング後、シリコン表面にはヒルロック ( hillock ) 及びピットホール ( pithole ) が形成される。

20

#### 【 0 0 4 7 】

次に、図 9 ( c ) に示すように、C M P を通じてシリコンウエハ 2 0 の表面を鏡面になるように作る。

#### 【 0 0 4 8 】

次に、図 9 ( d ) に示すように、フリップチップボンディングのための電極を形成するために C r と A u を各々 2 0 0 nm と 3 0 0 0 nm の厚さで蒸着して C r / A u 層 4 0 を形成する。

30

#### 【 0 0 4 9 】

次に、図 9 ( e ) に示すように、C r / A u 層 4 0 上に酸化膜 ( 図示せず ) を蒸着して、その上に感光剤を塗布して、写真工程を行ってシリコン構造体パターンを定義するための感光剤パターン 5 0 を形成する。この時、感光剤パターンには、後にガラス基板をエッチングしてシリコン構造体を浮かべるために必要なエッチング液浸透用孔を形成するためのパターンが含まれている。

#### 【 0 0 5 0 】

次に、図 9 ( f ) に示すように、感光剤パターン 5 0 をエッチングマスクとして酸化膜をエッチングした後、感光剤パターン 5 0 と酸化膜パターンとをエッチングマスクとして反応性イオンエッチング ( R I E : reactive ion etching ) を進行してシリコン構造体パターンを形成する。シリコン構造体のパターンが形成されたシリコンウエハ 2 0 とガラス基板 1 0 は、ダイシング ( dicing ) して試片単位で分離する。

40

#### 【 0 0 5 1 】

次に、図 9 ( g ) に示すように、シリコン構造体 2 0 をガラス基板 1 0 から分離するために、4 9 % の H F 溶液でガラス基板 1 0 をエッチングする。この時、既述したように、固定軸とスプリングの板を除いたシリコン構造体 2 0 の全ての部分には孔が形成され、エッチング液がガラス基板 1 0 に到達できるようになっている。この時、構造物をガラス基板

50



から十分に浮かべて空気減衰 (damping) を最少化しなければ、大気圧下で駆動するジャイロスコープを製作することができず、HF 溶液を利用したガラスエッチングを利用すればガラス基板から  $10\text{ }\mu\text{m}$  以上浮かんでいる構造物を製作することができる。この時、構造物をガラス基板から十分に浮かべて空気減衰 (damping) を最少化しなければならない。約 8 分間ガラス基板 10 をエッチングすることにより、シリコン構造体 20 をガラス基板 10 から約  $50\text{ }\mu\text{m}$  浮かんでいるようにすることができる。

【0052】

最後に、図 9 (h) に示すように、ガラス基板 10、シリコン構造体 20 及び Cr / Au 層 40 からなるジャイロスコープ構造体 200 を配線のための電極構造物または PCB (printed circuit board) 基板 100 にフリップチップボンディングする。この時、ボンダ (bonder) 300 はジャイロスコープ構造体 200 の固定軸部分に接触する。

10

【0053】

上記ではシリコン構造体のパターニング時のエッチングマスクとして感光剤と酸化膜を使用した。感光剤だけを使用することもできる。

【0054】

以下、本発明のジャイロスコープの特徴について説明する。

【0055】

本発明によるジャイロスコープは非常に単純な工程に基づいて製作され、全工程でジャイロスコープ構造物を作るための写真エッチング工程は一回である。製作されたジャイロスコープは一つの構造物層だけを有するようになり、最終的にフリップチップボンディングを実行して回路部と連結される。

20

【0056】

ジャイロスコープ構造物の駆動部と検出部は、くし模様構造物を採用し、底面との間隔を大きくして空気減衰を最少化することによって、大気圧下でも高い Q 値を有するように設計した。これは既存のジャイロスコープ設計では考慮されなかった Q 値に対する数式を整理して、これに基づいて構造物の Q 値を予測して機械的な感度を最大限になるように設計したものである。この時、Q 値を予測するためにコウエッテフロー (Couette flow)、ストークスフロー (Stokes flow) とスクイズ減衰 (Squeeze damping) が考慮されている。

【0057】

また、最大限の感度を得るために、与えられたジャイロスコープ領域内に最大限の電極構造物を集積して、 $10\text{ }\mu\text{m}$  程度の大きな駆動変位を有するように設計しており、機械的な構造はジャイロスコープの機械的干渉を最少化して外部雑音に鈍感になるように設計されている。構造物の駆動及び検出周波数は外部雑音の影響を排除するために  $5\text{ kHz}$  より大きく設計し、駆動と検出周波数は帯域幅をひろめるために一致させず、 $50\text{ Hz}$  程度離れているように設計した。駆動及び検出周波数は各々  $7088\text{ Hz}$ 、 $7132\text{ Hz}$  であると予測された。

30

【0058】

また、本発明のジャイロスコープの場合、人為的に変位を制限する変位制限装置 (displacement limiter) がジャイロスコープについており、これは広い周波数範囲で駆動変位を一定に維持させて帯域幅をひろめて、チューニングの必要性を減らす役割を果たす。

40

【0059】

ジャイロスコープ構造物は基本的に 2 次元ステージ (2D stage、two dimensional stage) と同一の形態を有しており、同じ平面内で駆動モード及び検出モードが存在する。ジャイロスコープの感度は慣性質量 (inertial mass) が大きいほど増加するので、これを勘案して、全体的なジャイロスコープの質量を大きくしなければならない。また、駆動力及び検出感度を最大にするために、構造物内でくし模様の電極構造物の数を最大にし、機械的な干渉を最少化するためにエッジジンを採用した。全体的なジャイロスコープ構造物の大きさは  $8 \times 8\text{ [mm}^2\text{]}$  であり、密閉シーリング (hermetic sealing) のための外部フレームなどを考慮した全体大きさは  $10 \times 10\text{ [mm}^2\text{]}$  である。構造物としては既述したように機械的性質に優れた単結晶シリコンを使用し、構造物の厚さは  $50\text{ }\mu\text{m}$  に設計

50

した。また、ジャイロ스코ープ構造物は減衰を減らすためにガラス基板から 50  $\mu\text{m}$  浮かんでいる。

【0060】

前述したように、水平に振動する構造物の場合、Q 値を計算するためには減衰値を計算しなければならず、一般に知られた減衰係数及びそれを計算する式は次の通りである。

【0061】

【数1】

コウエッテフローの粘性減衰係数 (Viscous damping coefficient

$$\text{of Couette flow}) B_{\text{Couette}} = \mu \frac{A}{g}$$

10

【0062】

ここで g は空気層の厚さであり、A は球体の面積である。

【0063】

【数2】

ストークスフローの減衰定数 (Damping coefficient of Stokes flow)

20

$$B_{\text{Stokes}} = \mu \frac{A}{\delta}$$

【0064】

ここで、 $\delta$  は透過深さで

【0065】

【数3】

30

$$\delta(\omega) = \sqrt{\frac{2\nu}{\omega}}$$

【0066】

と定義され、A は構造体の面積である。

【0067】

【数4】

スクイズ減衰係数 (Squeeze damping coefficient)

40

$$B_{\text{Hagen}} = 7.2\mu l \left( \frac{h}{g} \right)^3$$

【0068】

ここで、g は両板の間の空気層の厚さ、l は構造体の重み合わせた長さ、h は構造体の高さである。

【0069】

50

【数 5】

$$Q_{factor} = \frac{\sqrt{K_{SYSTEM} M_{SYSTEM}}}{B} = \frac{\sqrt{K_{SYSTEM} M_{SYSTEM}}}{B_{Couette} + B_{Stokes} + B_{Hagen}}$$

ここで、 $\mu$  は空気の絶対粘度 ( $1.78 \times 10^{-5}$  [N・s / m<sup>2</sup>]) である。

10

【0070】

駆動部は426個のくし模様電極構造物を有し、6個の駆動用折りたたみスプリング (folded spring) 構造物を有する。スプリングの長さを192  $\mu$ mとした時、スプリング係数は2684であり、駆動共振周波数は8299 [Hz]で計算された。全体構造物の大きさを考慮して計算された大気圧でのQ factorは3565であり、駆動電圧を

【0071】

【数 6】

$$V(t) = v_d + v_s \cos \omega_{DRIVE} t = 15 + 3 \cos(2\pi \cdot f_{DRIVE} \cdot t) \quad [V]$$

20

とする時、駆動力と駆動変位は次の通りに計算される。

【0072】

【数 7】

駆動力  $F(t)$

$$= 4 \cdot \epsilon_0 \cdot N_{DRIVE} \cdot \frac{h}{g} \cdot v_d \cdot v_s \cdot \cos \omega_{DRIVE} t$$

$$= 6.789 \times 10^{-6} \cos \omega_{DRIVE} t \quad [N]$$

30

【0073】

【数 8】

$$\text{駆動変位 } x(t) = 4 \cdot \epsilon_0 \cdot N_{DRIVE} \cdot \frac{h}{g} \cdot v_d \cdot v_s \cdot \frac{Q_{DRIVE}}{K_{DRIVE}} \cdot \cos \omega_{DRIVE} t = 9.017 \cos \omega_{DRIVE} t \quad [\mu m]$$

【0074】

40

検出部は692個のくし模様電極構造物と6個の折りたたみスプリングを有する。スプリングの長さを157  $\mu$ mとした時、検出部の共振周波数は8269 [Hz]で、駆動共振周波数に比べて多少小さい値を有するように設計した。検出部のQ factorは3765と計算された。この時、入力角速度によって発生するコリオリ力とそれに伴う変位は次のように計算される。

【0075】

【数 9】

コリオリ力： $F_{\text{CORIOLIS}}$

$$= 2M_{\text{SHUTTLE}}V \cdot \Omega$$

$$= 2M_{\text{SHUTTLE}} \cdot 4\varepsilon_0 N_{\text{DRIVE}} \frac{h}{g} v_d v_s \frac{Q_{\text{DRIVE}}}{K_{\text{DRIVE}}} \omega_{\text{DRIVE}} \sin \omega_{\text{DRIVE}} t \cdot \Omega_{\text{rad}}$$

$$= 1.126 \times 10^{-8} \sin \omega_{\text{DRIVE}} t \cdot \Omega_{\text{deg}}$$

10

【 0 0 7 6 】

【 数 1 0 】

検出変位 $y$  (t)

$$= \frac{Q_{\text{SENSE}}}{K_{\text{SENSE}}} \cdot F_{\text{CORIOLIS}}$$

$$= 0.008 \sin \omega_{\text{SENSE}} t [\mu \text{m} (\text{deg} / \text{sec})]$$

20

【 0 0 7 7 】

したがって、ジャイロ스코ープの機械的感度は  $0.008 [\mu \text{m} (\text{deg} / \text{sec})]$  であり、電気的な感度は  $1.939 [\text{fF} / \text{deg} / \text{sec}]$  と計算された。

【 0 0 7 8 】

本発明によるジャイロ스코ープの製作には一つの構造物層を有する工程を採択しており、そのために、深い反応性イオンエッチング (Deep R I E) 工程とシリコン - ガラス正極接合工程を採択した。これを利用すると、一回のみの写真エッチング工程でジャイロスコープ構造物を製作することができ、電極基板及び P C B とのフリップチップボンディングによりジャイロスコープを完成することができる。

【 0 0 7 9 】

Deep R I E エッチングマスクとして用いられた酸化膜は、オックスフォードエッチャー (Oxford Etcher) での酸化膜パターニング工程でアンダーカット (undercut) が発生しており、これがシリコン構造物に反映され、最終的に、Deep R I E 後の構造物が設計した値より  $2 \mu \text{m}$  程度狭く製作された。製作されたシリコン構造物の厚さは  $44 \mu \text{m}$  であり、Deep R I E は 33 分間行った。シリコン構造物は 8 分間のガラスエッチング後、基板から完全にリリースされており、この時、基板と構造物との間隔は  $37 \mu \text{m}$  と測定された。

30

【 0 0 8 0 】

本発明によるジャイロスコープは 426 個の駆動電極と 692 個の検出電極を有し、駆動電極及び検出電極は慣性質量体によって機械的に分離された構造を有している。また、ジャイロスコープの慣性質量体の中央には変位を制限するための変位制限機があり、最大変位は  $15 \mu \text{m}$  に制限される。また、機械的干渉をより減らすためのジンバル構造物を全体素子郊外周辺に配置した。

40

【 0 0 8 1 】

製作された試片の性能を知るために、I R S C (半導体共同研究所) のプローブステーション (probe station) を利用して簡単な駆動性能を測定した。検出部の動作確認も駆動部と同様に電圧を印加して共振周波数及び共振点での最大変位を測定し、大略的な製作及び性能測定結果を表 1 に示す。

【 0 0 8 2 】

【 表 1 】

50

	くし 模様 電極 構造物	スプリング		厚さ ( $\mu\text{m}$ )	Q	変位 ( $\mu\text{m}$ )	周波 数 (Hz)
	幅 ( $\mu\text{m}$ )	長さ ( $\mu\text{m}$ )	幅 ( $\mu\text{m}$ )				
駆動							
設計値	5	192	5	44	3565	9.017*	8907
製造物	4.3	194	4.3	44	2327	4**	6563
検出							
設計値	5	165	5	44	3765	0.008/° /s	8863
製造物	4.3	167	4.3	44	2178	--	6523

10

【 0 0 8 3 】

ここで、\* 印は印加電圧に対して計算された変位

【 0 0 8 4 】

【 数 1 1 】

20

$$V(t) = 15 + 3\cos\omega_{drive}t \text{ [V]} \quad (\text{両方向})$$

を示し、\* \* 印は印加電圧に対して測定された変位

【 0 0 8 5 】

【 数 1 2 】

$$V(t) = 7.5 + 7.5\cos\omega_{drive}t \text{ [V]} \quad (\text{一方向})$$

【 0 0 8 6 】

30

を示す。

【 0 0 8 7 】

23個の試片に対して電圧を印加して共振周波数を測定した結果、20個の試片が駆動部、検出部または駆動部及び検出部の動作確認に成功した。共振周波数は駆動及び検出共に5500～6500Hzの範囲に幅広く分布していることが分かり、特に、5500～6000Hzの領域に集中していることが確認できた。また、駆動部及び検出部の共振が確認された試片の場合、二つの共振周波数の差は大略50Hzで一定であることが確認できた。駆動部及び検出部のうちどちらか一方向への共振だけが観察された試片、あるいは、共振周波数の差が大きな試片の場合、スプリング部が破損していたり一方向への接着が発生していることが確認された。

40

【 0 0 8 8 】

共振時の変位は前の表1のように実際の設計値より小さい値を示しており、これは単方向駆動による変位の減少、基板と構造物との間隔が設計より小さく製作されていることにより空気減衰が増加しQ値が減少したこと、及び、くし模様電極構造物のフッティング(floating)及びアンダーカット(undercut)によりくし模様電極間の間隔が増加したことによる原因があった。

【 0 0 8 9 】

また、人為的に駆動電圧を増加させて変位制限装置の効用性を確認した。変位が変位制限装置によって制限される場合、数百Hzの範囲内で最大制限変位である15 $\mu\text{m}$ の駆動変位が維持されることが確認でき、これは外部雑音に左右されず、広い帯域幅を有することが

50

できることも確認できる。

【0090】

本発明は新たな形態の静電力駆動型、静電容量検出型角速度センサを提示する。単結晶シリコン微細加工技術を利用し、サイズの大きいジャイロスコープ構造物が製作できるようにすることによって、大気圧で動作可能なジャイロスコープを提示し、これを製作するためにシリコン - ガラス接合技術、シリコンエッチング技術とフリップチップボンディング技術を利用する。これは、一回のフォトリソグラフィ工程でエッチング孔 (etch hole) を前面に有しているジャイロスコープ構造物を製作した後、追加的なフォトリソグラフィ工程なくガラスエッチングによって製作する非常に単純な工程である。特に、フリップチップボンディングを利用すれば、製作されたジャイロスコープ構造物をその他のパッケージ工程なく直ちに回路に集積化することができ、本ジャイロスコープは大気圧で動作可能であるので、既存のジャイロスコープが有している真空シーリング (sealing) 工程の問題点を解決することができる。

10

【0091】

構造物は、大気圧でも大きな感度を有するように最大限に多くの駆動及び検出電極と最大限に大きな慣性質量体を有し、外部雑音の影響を排除するために高い周波数で大きな駆動動作変位を有するように設計される。ジャイロスコープ構造物は同じ平面内で駆動モード及び検出モードが存在するので、既存のジャイロスコープが有していた機械的干渉を排除することができる動作原理を採択し、外部にジンバル構造物を設置して機械的干渉を最少化する。また、駆動変位を制限する変位制限装置を機械的に追加して、付加的な周波数チューニングをしなくてもよい感度を有するようにジャイロスコープを設計し、ジャイロスコープの動作帯域幅が増えるように設計する。

20

【0092】

製作されたジャイロスコープは大気圧下で動作可能であり、意図した通りに大気圧下で大きな感度を有する。

【0093】

以上、本発明の最も实际的且つ好ましい実施例について説明したが、本発明は上述された実施例に限定されるものではなく、発明の目的及び特許請求の範囲内で多様に変形して実施することが可能であり、これらも本発明の範囲に属する。

【0094】

30

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例によるジャイロスコープの斜視図である

【図2】本発明の実施例によるジャイロスコープの平面図である

【図3】図1の一部拡大図である

【図4】本発明の実施例によって製造されたジャイロスコープの部分SEM写真である

【図5】本発明の実施例によるジャイロスコープの駆動または検出スプリング部の拡大図である

【図6】本発明の実施例によって製造されたジャイロスコープの駆動または検出スプリング部のSEM写真である

【図7】本発明の実施例によるジャイロスコープの駆動または検出連結スプリング部の概念図である

40

【図8】変位制限部による共振駆動及び検出変位グラフである

【図9(a)】本発明の実施例によってジャイロスコープを製造する過程を示した図である

【図9(b)】本発明の実施例によってジャイロスコープを製造する過程を示した図である

【図9(c)】本発明の実施例によってジャイロスコープを製造する過程を示した図である

【図9(d)】本発明の実施例によってジャイロスコープを製造する過程を示した図である

50

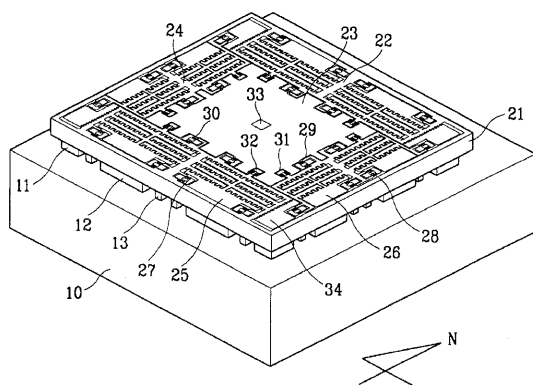
【図 9 ( e )】本発明の実施例によってジャイロ스코プを製造する過程を示した図である

【図 9 ( f )】本発明の実施例によってジャイロ스코プを製造する過程を示した図である

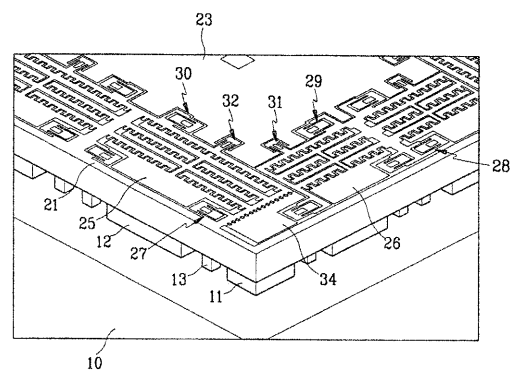
【図 9 ( g )】本発明の実施例によってジャイロ스코プを製造する過程を示した図である

【図 9 ( h )】本発明の実施例によってジャイロ스코プを製造する過程を示した図である

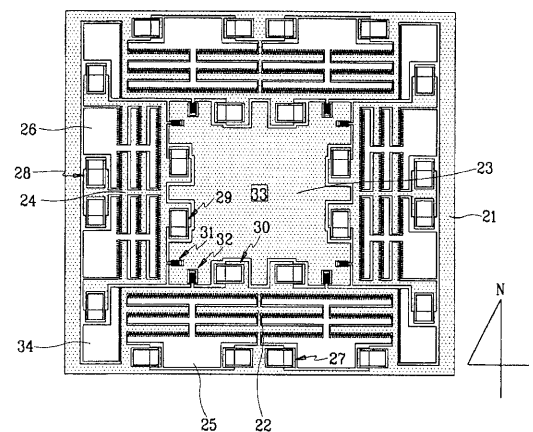
【図 1】



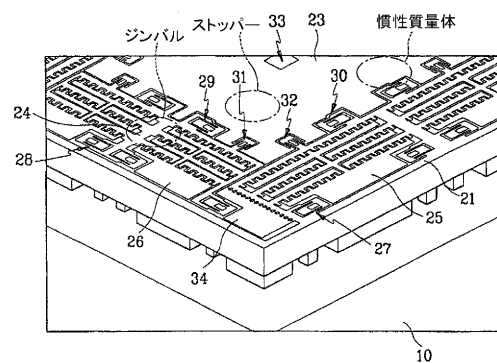
【図 3】

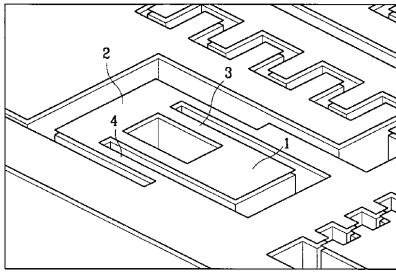
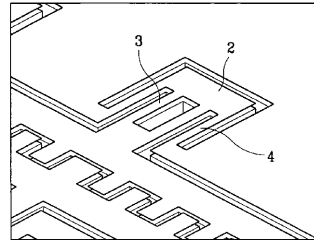
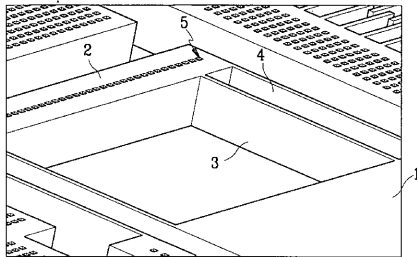


【図 2】

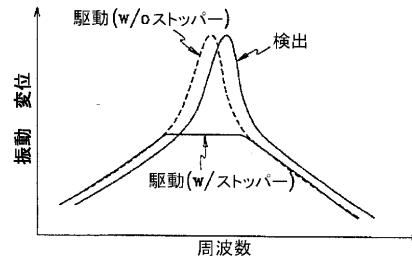
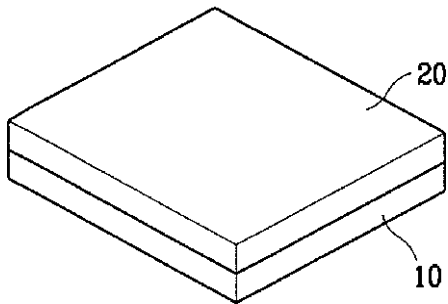
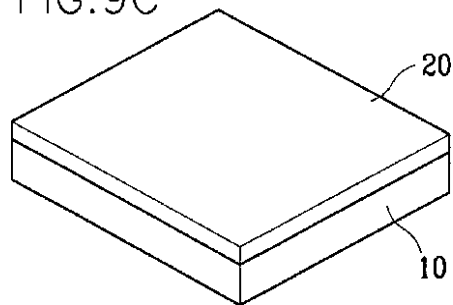
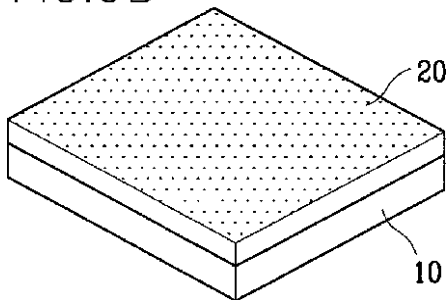
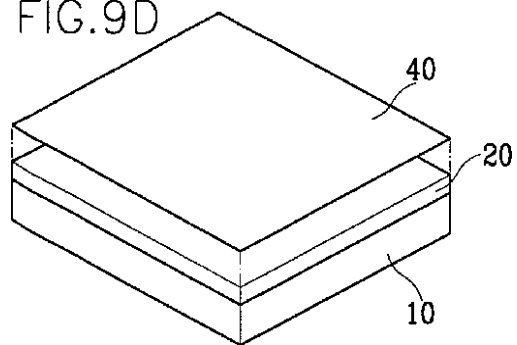


【図 4】

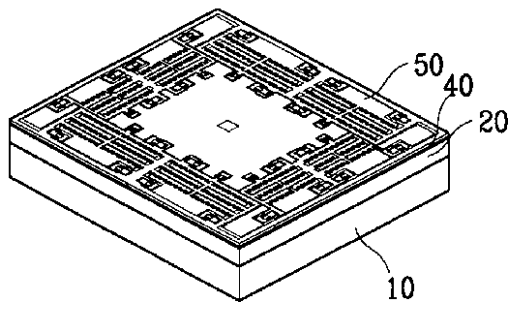
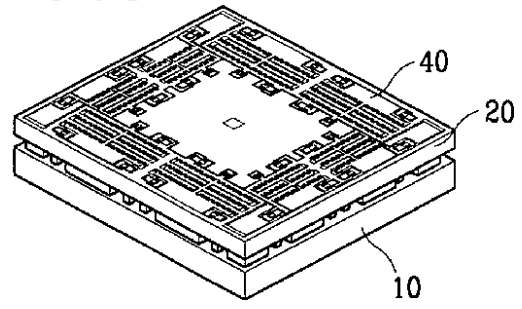
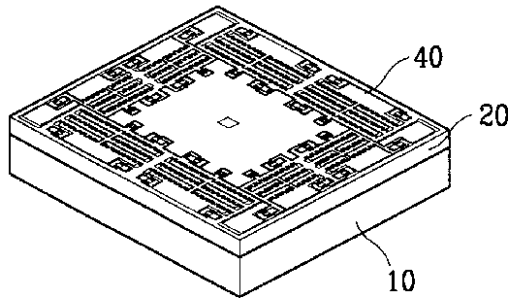
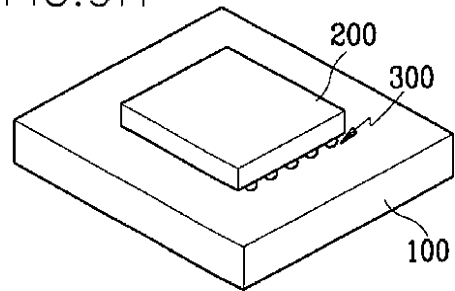


【図 5】  
FIG.5【図 7】  
FIG.7【図 6】  
FIG.6

【図 8】

【図 9 A】  
FIG.9A【図 9 C】  
FIG.9C【図 9 B】  
FIG.9B【図 9 D】  
FIG.9D



【図9E】  
FIG.9E【図9G】  
FIG.9G【図9F】  
FIG.9F【図9H】  
FIG.9H

---

フロントページの続き

(72)発明者 キム, ヨン クウェオン

大韓民国 ソウル 135 836 カンナム ク デチ ドン(無番地) スンキュン・アパートメント 12 1105

(72)発明者 キム, セン ヒョック

大韓民国 ソウル 122 051 ウンピョン ク カルヒュン ドン 267 1 ライフ・シティ・ビルディング 906

審査官 白石 光男

(56)参考文献 特開2000-180176(JP, A)

国際公開第97/045699(WO, A1)

特開2000-205862(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

G01P 9/04

G01C 19/56