

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5497746号
(P5497746)

(45) 発行日 平成26年5月21日(2014.5.21)

(24) 登録日 平成26年3月14日(2014.3.14)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 C 19/5769 (2012.01) GO 1 C 19/56 2 6 9
GO 1 P 15/08 (2006.01) GO 1 P 15/08 P

請求項の数 16 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2011-509166 (P2011-509166)	(73) 特許権者	000005108
(86) (22) 出願日	平成21年4月17日 (2009.4.17)		株式会社日立製作所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2009/057800		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(87) 国際公開番号	W02010/119573	(74) 代理人	100080001
(87) 国際公開日	平成22年10月21日 (2010.10.21)		弁理士 筒井 大和
審査請求日	平成23年10月7日 (2011.10.7)	(72) 発明者	山中 聖子
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内
		(72) 発明者	鄭 希元
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内
		(72) 発明者	服部 孝司
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 慣性センサおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
 該基板上に形成された可動部分と、
 該可動部分を覆うように封止するキャップ部材と、
 を有する慣性センサであって、
 前記キャップ部材の前記可動部分側にガス発生材料を塗布したことを特徴とする慣性センサ。

【請求項 2】

請求項 1 記載の慣性センサにおいて、
平面視において、前記ガス発生材料の塗布領域は、前記可動部分の領域を内包していることを特徴とする慣性センサ。

【請求項 3】

請求項 1 記載の慣性センサにおいて、
 前記ガス発生材料を加熱することにより、前記可動部分が可動する空間を、大気圧よりも高い圧力にしたことを特徴とする慣性センサ。

【請求項 4】

請求項 3 記載の慣性センサにおいて、
 前記空間内の圧力は、大気圧以上 5 . 1 気圧以下であることを特徴とする慣性センサ。

【請求項 5】

請求項 1 記載の慣性センサにおいて、
前記ガス発生材料は、ターシャリープトキシカルボニルオキシ体保有体であることを特徴とする慣性センサ。

【請求項 6】

角速度センサと加速度センサが一体化されている慣性センサであって、
前記角速度センサの可動部分及び前記加速度センサの可動部分を同一の基板上に形成し

、
前記 2 つの可動部分を覆うように封止するキャップ部材を有し、
前記キャップ部材の前記加速度センサに相当する部分側にだけガス発生材料を塗布したことを特徴とする慣性センサ。

10

【請求項 7】

請求項 6 記載の慣性センサにおいて、
前記ガス発生材料を加熱することにより、前記加速度センサの可動部分が可動する第 1 の空間の圧力を、前記角速度センサの可動部分が可動する第 2 の空間の圧力よりも高くしたことを特徴とする慣性センサ。

【請求項 8】

請求項 7 記載の慣性センサにおいて、
前記第 1 の空間の圧力は、大気圧以上 5.1 気圧以下であることを特徴とする慣性センサ。

【請求項 9】

請求項 6 記載の慣性センサにおいて、
前記ガス発生材料は、ターシャリープトキシカルボニルオキシ体保有体であることを特徴とする慣性センサ。

20

【請求項 10】

基板上に可動部分を形成する工程と、
前記可動部分を覆うキャップであって、該キャップに凹部を形成する工程と、
前記凹部にガス発生材料を塗布する工程と、
前記基板上に前記キャップを接合する工程と、
前記ガス発生材料を加熱する工程とを含むことを特徴とする慣性センサの製造方法。

【請求項 11】

請求項 10 記載の慣性センサの製造方法において、
平面視において、前記ガス発生材料の塗布領域は、前記可動部分の領域を内包していることを特徴とする慣性センサの製造方法。

30

【請求項 12】

基板上に角速度を計測する第 1 の可動部分と、加速度を計測する第 2 の可動部分を形成する工程と、
前記第 1 の可動部分と第 2 の可動部分を覆うキャップであって、該キャップに前記第 1 の可動部分と前記第 2 の可動部分に相当する凹部を形成する工程と、
前記第 2 の可動部分にガス発生材料を塗布する工程と、
前記基板上に前記キャップを接合する工程と、
前記ガス発生材料を加熱する工程とを含むことを特徴とする慣性センサの製造方法。

40

【請求項 13】

互いに直交する 2 つの加速度センサが一体化されている慣性センサであって、
前記 2 つの加速度センサの可動部分を同一の基板上に形成し、
前記可動部分を覆うように封止するキャップ部材を有し、
前記キャップ部材の前記 2 つの加速度センサの一方に相当する部分側にだけガス発生材料を塗布したことを特徴とする慣性センサ。

【請求項 14】

請求項 13 記載の慣性センサにおいて、
前記ガス発生材料を加熱することにより、前記 2 つの加速度センサの一方の可動部分が

50

可動する第1の空間の圧力を、前記2つの加速度センサの他方の可動部分が可動する第2の空間の圧力よりも高くしたことを特徴とする慣性センサ。

【請求項15】

請求項14記載の慣性センサにおいて、

前記第1の空間の圧力は、大気圧以上5.1気圧以下であることを特徴とする慣性センサ。

【請求項16】

請求項13記載の慣性センサにおいて、

前記ガス発生材料は、ターシャリープトキシカルボニルオキシ体保有体であることを特徴とする慣性センサ。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術で作られた半導体物理量センサに関し、特に、静電容量変化を検出に用いる慣性センサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

センサ市場の普及と製品種類の多様化に伴い、複数種類のセンサを組み合わせ、周辺環境の記録や人の運動姿勢や車両の走行状態などを検知する機会が増えている。また、センサが利用される場面の多様化に伴い、従来では想定しえなかった温度環境、振動ノイズ環境、電磁ノイズ環境などの劣悪条件の下でセンサが利用される機会も増えている。

20

【0003】

可動構造を有するセンサには様々なタイプのものがあり、例えば、広く知られている慣性センサとして加速度センサや角速度センサ(振動ジャイロ)がある。2種類以上のセンサを利用する場合を考慮し、角速度センサと加速度センサを一体化したパッケージで提供する複合型慣性センサが提案されている。例えば、特許文献1や特許文献2には角速度センサと加速度センサを組み合わせた複合型慣性センサの例が示されている。同一基板上に角速度センサと加速度センサを設けているため、低コストで、慣性センサ間のアライメント精度を高く、かつ少ない占有面積にて複合型慣性センサのチップを提供できる。

【0004】

30

角速度センサは振動体と振動体内部に設けられるコリオリ素子とを有し、この振動体がある一定の周波数で駆動振動しているときに角速度が加わるとコリオリ力が発生し、振動体の内部に設けられているコリオリ素子が振動体の振動方向と直交する方向に変位する。このコリオリ力によるコリオリ素子の変位量を検知することで、角速度を検出することができる。このとき、振動体の駆動振動の速度が速いほどコリオリ力が大きくなるので、角速度センサの検出感度を向上させるためには、角速度センサの振動体を高周波で、かつ、大きな振幅で振動させる必要がある。

【0005】

しかし、マイクロマシニング技術で形成した微細な振動体は、空気のダンピングの影響を大きく受ける。ダンピングは振動体の速度に比例して発生する力なので、高い圧力下では、速度の速い状態、つまり、高周波および大きな振幅をもった状態で振動体を振動させようとすると、空気によるダンピングの影響が大きくなり、振動体を高周波および大きな振幅をもった状態で振動させることができなくなる。この結果、角速度センサ検出感度を著しく悪化させることになる。つまり、角速度センサは流体による粘性抵抗を受けにくい低い圧力で気密封止することが望ましい。角速度センサを低い圧力の状態で気密封止することにより、振動体に与えるダンピングの影響を低減することができる。このため、角速度センサの振動体を高周波および大きな振幅で振動させることが可能となり、角速度の検出感度を向上させることができる。

40

【0006】

しかし、上記の角速度センサと一体化したパッケージで提供される加速度センサまでも

50

低い圧力の状態に配置してしまうと、加速度センサの可動体が非常に振動しやすい状態となってしまう。通常、加速度センサに加速度が印加されていない場合、加速度センサの可動体は静止状態であることが望まれる。ところが、加速度センサの可動体を低い圧力の状態に配置すると、周辺流体の粘性抵抗を十分に受けられず外部の振動ノイズに対してまでも敏感に変位してしまうため、たとえ、加速度が印加されていない状態であっても、可動体に変位することになる。つまり、加速度センサの可動体は、あまり敏感に反応することも加速度センサの検出感度を向上する観点からは望ましくないのである。

【0007】

そこで、角速度センサと加速度センサを有する慣性センサとして、特許文献1や特許文献2に示すような構成と製造方法をとることが考えられる。

10

【0008】

さらに、特許文献3に記載された気密封止パッケージでは、パッケージ内部の圧力調整部材にレーザ光を照射することにより、パッケージ内の圧力を調整するものが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2002-5950号公報

【特許文献2】特表2008-501535号公報

【特許文献3】特開2008-182103号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、特許文献1、特許文献2に記載された慣性センサは、通気穴を通して、加速度センサの置かれた空間を通気孔外部の圧力とバランスした後に、通気孔の封止工程を経て形成される。慣性センサが実際に使用される温度よりも高い温度で通気孔の封止工程を施すことが通常であり、よって、慣性センサの封止工程製造装置の内部圧力よりも、加速度センサの置かれた空間の圧力が高くなることはない。よって、慣性センサの封止工程製造装置の内部圧力は、大気圧より高くすることは難しく、つまり、周辺流体による粘性抵抗効果を得るための圧力、特に大気圧より高い圧力の状態に加速度センサの置かれた空間を封止することは難しかった。

30

【0011】

また、特許文献1、特許文献2に記載された慣性センサでは、加速度センサの置かれた空間にダンピング剤である流体を注入するための通気穴が設けられていた。この通気穴を製造過程で封止したとしても、異種材料の密着で気密封止しているため、センサを長期間利用するにあたっては流体リークの可能性があり、センサ性能の長期安定性に問題があった。また、通気穴は完全封止されてリークが生じていなかったとしても、経時劣化や温度履歴により異種材料の境界面に歪みが生じる可能性があり、機械的強度の信頼性に問題があった。

【0012】

40

又、特許文献3に記載された気密封止パッケージではレーザ光の照射用の窓を設けたり、レーザ光を照射したりするため、複雑な追加工が必要となるなどの問題があった。

【0013】

本発明の目的は、加速度センサなどの慣性センサの置かれた空間を封止工程中の圧力よりも高くでき、信頼性及び生産性を向上できる慣性センサ及びその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

基板と、該基板上に形成された可動部分と、該可動部分を覆うように封止するキャップ部材と、を有する慣性センサであって、前記キャップの前記可動部分側にガス発生材料を

50

塗布したことを特徴とする慣性センサとすることで解決される。

【0015】

さらに、前記ガス発生材料を加熱することにより、前記可動部分が可動する空間を、大気圧よりも高い圧力にしたことを特徴とする慣性センサとすることができる。

【0016】

さらに、前記空間内の圧力は、大気圧以上5.1気圧以下であることを特徴とする慣性センサとすることができる。

【0017】

さらに、前記ガス発生材料は、ターシャリーブトキシカルボニルオキシ体保有体であることを特徴とする慣性センサとすることができる。

10

【0018】

さらに、角速度センサと加速度センサが一体化されている慣性センサであって、前記角速度センサの可動部分及び前記加速度センサの可動部分を同一の基板上に形成し、前記2つの可動部分を覆うように封止するキャップ部材を有し、前記キャップ部材の前記加速度センサに相当する部分側にだけガス発生材料を塗布したことを特徴とする慣性センサとすることができる。

【0019】

さらに、前記ガス発生材料を加熱することにより、前記加速度センサの可動部分が可動する第1の空間の圧力を、前記角速度センサの可動部分が可動する第2の空間の圧力よりも高くしたことを特徴とする慣性センサとすることができる。

20

【0020】

さらに、前記第1の空間の圧力は、大気圧以上5.1気圧以下であることを特徴とする慣性センサとすることができる。

【0021】

さらに、前記ガス発生材料は、ターシャリーブトキシカルボニルオキシ体保有体であることを特徴とする慣性センサとすることができる。

【0022】

さらに、基板上に可動部分を形成する工程と、前記可動部分を覆うキャップであって、該キャップに凹部を形成する工程と、前記凹部にガス発生材料を塗布する工程と、前記基板上に前記キャップを接合する工程と、前記ガス発生材料を加熱する工程と、を含むことを特徴とする慣性センサの製造方法が考えられる。

30

【0023】

さらに、基板上に角速度を計測する第1の可動部分と、加速度を計測する第2の可動部分を形成する工程と、前記第1の可動部分と第2の可動部分を覆うキャップであって、該キャップに前記第1の可動部分と前記第2の可動部分に相当する凹部を形成する工程と、前記第2の可動部分にガス発生材料を塗布する工程と、前記基板上に前記キャップを接合する工程と、前記ガス発生材料を加熱する工程と、を含むことを特徴とする慣性センサの製造方法とすることができる。

【0024】

さらに、互いに直交する2つの加速度センサが一体化されている慣性センサであって、前記2つの加速度センサの可動部分を同一の基板上に形成し、前記可動部分を覆うように封止するキャップ部材を有し、前記キャップ部材の前記2つの加速度センサの一方に相当する部分側にだけガス発生材料を塗布したことを特徴とする慣性センサとすることができる。

40

【0025】

さらに、前記ガス発生材料を加熱することにより、前記2つの加速度センサの一方の可動部分が可動する第1の空間の圧力を、前記2つの加速度センサの他方の可動部分が可動する第2の空間の圧力よりも高くしたことを特徴とする慣性センサとすることができる。

【0026】

さらに、前記第1の空間の圧力は、大気圧以上5.1気圧以下であることを特徴とする

50

慣性センサとすることができる。

【0027】

さらに、前記ガス発生材料は、ターシャリーブトキシカルボニルオキシ体保有体であることを特徴とする慣性センサとすることができる。

【発明の効果】

【0028】

加速度センサなどの慣性センサの置かれた空間を封止工程中の圧力よりも高くでき、信頼性及び生産性を向上できる慣性センサ及びその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】本発明を適用した複合型慣性センサの側面断面図。

【図2】本発明を適用した複合型慣性センサの平面図。

【図3】ガス発生材料の加熱による組成質量の変化を表すグラフ。

【図4】ガス発生材料 t B O C 体保有体の熱分解反応図。

【図5】本発明を適用した内部圧力調整用ガス発生材料を備えた複合慣性センサの製造工程フロー図。

【図6】本発明を適用した内部圧力調整用ガス発生材料を備えた複合慣性センサの製造工程フロー図。

【図7】本発明を適用した内部圧力調整用ガス発生材料を備えた複合慣性センサの製造工程フロー図。

【図8】空間の目的圧力とガス発生材料のモル量の関係を表すグラフ。

【図9】400 Pa の圧力下に置かれた加速度センサと、 2.0×10^5 Pa の圧力下に置かれた加速度センサの周波数特性を表すグラフ。

【図10】本発明を適用した複合型慣性センサの側面断面図。

【図11】本発明を適用した複合型慣性センサの平面図。

【図12】本発明を適用した内部圧力調整用ガス発生材料を備えた複合慣性センサの製造工程フロー図。

【図13】本発明を適用した内部圧力調整用ガス発生材料を備えた複合慣性センサの製造工程フロー図。

【図14】5000 Pa の圧力下に置かれた加速度センサと、 3.0×10^5 Pa の圧力下に置かれた加速度センサの周波数特性を表すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0030】

(実施の形態1)

実施例1では、角速度センサが置かれた空間を400 Paに、加速度センサが置かれた空間を 2×10^5 Pa (= 2気圧)に、それぞれ封止した複合型慣性センサを1チップ上に形成するための製造方法と構成と効果について記載する。

【0031】

(構成)図1と図2に本発明を適用した、SOI (Silicon On Insulator) - MEMS 技術を用いた角速度センサと加速度センサから成る複合型慣性センサの構成を示す。図1は複合型慣性センサの側面断面図、図2は平面図である。ハンドリング用の基板301と埋め込み酸化膜 (Buried Oxide : Box) 層302とSOI層303から成るSOI基板上に、角速度センサ308と、加速度センサ309と、チップ裏面から電気的な信号を取り出すため基板貫通型のメタル配線306が形成されている。角速度センサの置かれた空間311と加速度センサの置かれた空間312はキャップ部材310により分離されて、それぞれが気密封止されている。エネルギーを加えることでガスを発生する材料313を、加速度センサの置かれた空間内部312に設置しておき、気密封止後に、ガス発生材料313に熱エネルギーを加え、加速度センサの置かれた空間内部にガスを発生させ、加速度センサの置かれた空間内部の圧力を上昇する。

【0032】

10

20

30

40

50

ここに記載したガス発生材料とは、熱エネルギーを加えることで自分自身が化学的に分解し、分解後の反応生成物の一部がセンサの使用目的温度範囲において気体分子となり、周辺の圧力を上昇させる機能を有するものである。このような化学的に分解反応するガス発生材料を用いると、エネルギーを加えることで、気体 - 液体の変化や、気体 - 固体の変化といった物質の相変化や、気体分子の固体表面への吸着や乖離といった物理的反応とは異なる効果が得られる。つまり、空間内部の圧力を初期圧力よりも高くすることや、空間内部の気体分子の熱平衡状態を打ち破るような圧力へ上昇させることができる。このとき、発生する気体分子は周辺の物質と物理的・化学的に反応しない不活性ガスであることが望ましい。また、空間内部の圧力は、大気圧以上 5 . 1 気圧以下であることが望ましい。

【 0 0 3 3 】

本実施例のガス発生材料として、例えば熱現像型レジストのモノマー材料であるターシャリープトキシカルボニルオキシ (t B O C) 体保有体を利用する例を記載する。この材料を室温から徐々に加熱すると、t B O C 熱分解曲線である図 3 に示すように温度 T 1 で第一段階目の熱分解反応が起こる。t B O C 化学反応式は図 4 に示すように、t B O C 保有体が、樹脂と炭酸ガスと低分子量アルケンに分解する反応である。T 1 で起きる熱分解反応は不可逆な分解反応であり、温度 T 1 を超えるとほとんど全ての構成分子で分解反応が起きる。温度 T 1 は t B O C 保有体の修飾基で調整可能であるが、おおむね 1 5 0 ~ 3 0 0 である。この材料を T 1 よりさらに加熱すると、図 3 に示すように温度 T 2 で第二段階目の熱分解反応が起こる。これは T 1 で熱分解した t B O C 保有体の反応生成物である樹脂の熱分解反応であり、温度 T 2 は t B O C 保有体の修飾基で調整可能であるが、おおむね 4 0 0 以上である。よって、角速度センサと加速度センサから成る複合型慣性センサに於いて、t B O C 体保有体をガス発生材料として加速度センサの置かれた空間内部にだけ設置しておき、気密封止後に、T 1 以上 T 2 以下の温度でセンサ全体を加熱すれば、加速度センサの置かれた空間内部でのみ炭酸ガス分子を生成することができる。反応後に生成する炭酸ガスの分子数は図 4 に示した化学反応式のモル量に比例するため、ガス発生材料の設置量を調整することで、加過熱後に加速度センサの置かれた空間の圧力を調整することができる。

【 0 0 3 4 】

尚、熱現像型レジストのモノマー材料である t B O C 体保有体を利用する場合、ガス発生材料に加えるエネルギーは熱エネルギーであり、角速度センサと加速度センサの置かれた空間を気密封止する製造工程後に、センサ全体を加熱することで、加速度センサの置かれた空間内部の圧力を上昇することができる。

【 0 0 3 5 】

(製造法) 次に本発明を適用した複合型慣性センサの製造方法を図 5 ~ 図 7 を用いて説明する。

【 0 0 3 6 】

(基板とキャップ加工) まず、基板 3 0 1 と B O X 酸化膜 3 0 2 と S O I 活性層 3 0 3 から成る S O I 基板上に、表面、裏面の両側からシリコン単結晶の深堀エッチング技術によってウエハ貫通孔 3 0 5 を形成し (図 5 (a))、加工した孔の表面を絶縁膜で電氣的に保護した後にメタル材料を埋め込み、チップ裏面から電氣的な信号を取り出すため基板貫通型のメタル配線 3 0 6 を形成する (図 5 (b))。その後、S O I 活性層 3 0 3 にホトレジスト 3 0 7 を塗布しセンサの慣性体構造をホトリソグラフィ技術によって転写し、シリコン単結晶の深堀エッチング技術によって S O I 活性層 3 0 3 に構造を形成する (図 5 (c))。

【 0 0 3 7 】

塗布したホトレジスト 3 0 7 をアッシングで除去し (図 6 (a))、更に構造体下部の B O X 酸化膜 3 0 2 をエッチングで除去して、角速度センサ 3 0 8 と、加速度センサ 3 0 9 の可動構造を形成した基板 3 0 1 を得る (図 6 (b))。一方で、ガラスもしくは単結晶シリコンもしくは樹脂で形成されたキャップ部材 3 1 0 には、角速度センサが置かれる空間と加速度センサが置かれるための空間を、化学的もしくは物理的なエッチング方法を

10

20

30

40

50

用いて形成する。加速度センサが置かれる空間を形成した後に、キャップ部材 310 の加速度センサの置かれる空間に相当する場所にガス発生材料 313 を滴下法、もしくはスピコート法を用いて付着させる (図 6 (c))。

【0038】

(材料の設置量) このとき、ガス発生材料 313 の付着量は次のように決める。チップ上で加速度センサが占有する面積を $1.0 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$ 、キャップ部材 310 の空間深さを $100 \text{ }\mu\text{m}$ 、センサ下部の空間を成す BOX 酸化膜 302 の厚さを $2.0 \text{ }\mu\text{m}$ とすると、加速度センサが置かれる空間の体積 V はおよそ $1.0 \times 10^{-10} \text{ m}^3$ である。角速度センサの置かれた空間の圧力は温度 300 K (室温付近) で 400 Pa となるように封止するので、加速度センサの置かれた空間の初期圧力 P_0 もガス発生材料の加熱調圧前には温度 300 K (室温付近) で 400 Pa である。よって、加速度センサの置かれた空間にあらかじめ存在する気体の分子量 n_0 は、気体定数 $R (= 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{m} / \text{K} / \text{mol})$ を用い、理想気体の状態方程式により、

$$n_0 = P_0 V / (RT) = 1.6 \times 10^{-14} [\text{mol}] \quad (1)$$

で表せる。更に、加速度センサの置かれた空間の目的圧力 P_1 が $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2 気圧) の場合、発生ガスの必要モル量 n は、理想気体のシャルルの法則より (2) (3) 式から算出できて、

$$n_0 / P_0 = (n_0 + n) / P_1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} n &= (P_1 / P_0 - 1) n_0 = (P_1 / P_0 - 1) (P_0 V / (RT)) \\ &= 8.0 \times 10^{-12} [\text{mol}] \quad (3) \end{aligned}$$

と表せる。tBOC 体保有体の熱分解反応は、化学量論的には図 4 で示す反応式に従うので、高分子鎖 $n = 1$ の tBOC 体保有体 1 モルに対して、1 モルの炭酸ガスが生成すると解釈できる。つまり、ガス発生材料である tBOC 体保有体のモル量は、発生する炭酸ガスのモル量 n に等しい。尚、初期圧力 P_0 をそれぞれ 400 Pa 、 $1.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ 、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の三通りとしたとき、本実施例で作成している加速度センサの置かれた空間の目的圧力 P_1 と、目的圧力 P_1 を達成するのに必要な tBOC 体保有体のモル量 n は、図 8 に示すグラフで表される関係があり、 n を変えることで目的圧力 P_1 は自由に設定することが出来る。

【0039】

(tBOC 保有体の必要モル量) 目的圧力 P_1 を $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2 気圧) とするのに必要な $n = 8.0 \times 10^{-12} [\text{mol}]$ の tBOC 体保有体を含むガス発生材料は、以下のようにして得る。比重 0.88 の酢酸ブチルを溶媒として、重量モル濃度 1% の tBOC 体保有体の溶液を作る。重量モル濃度 1% の tBOC 体保有体の酢酸ブチル溶液を、厚さ 200 nm でキャップ部材の加速度センサが置かれる領域 (面積 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$) に設置すると、溶液中に含まれる tBOC 体保有体のモル数は $8.0 \times 10^{-12} [\text{mol}]$ であり、これを加熱分解して得られる炭酸ガスのモル量は、 $8.0 \times 10^{-12} [\text{mol}]$ となる。尚、酢酸ブチルを溶媒として tBOC 体保有体の溶液とした場合、滴下法、もしくはスピコート法にてキャップ部材に塗布した後、酢酸ブチルの沸点 (126) 以上でプリベークを実施すると、フィルム膜状態となった tBOC 体保有体をキャップ部材へ安定に付着させることが出来る。

【0040】

(接合と裏面配線) 次に、角速度センサ 308 と加速度センサ 309 の可動構造を形成した基板 301 と、加速度センサの置かれた空間にガス発生材料が付着しているキャップ部材 310 を、角速度センサの検出精度が十分に得られる 400 Pa 以下の圧力で接合する。角加速度センサの置かれた空間も、加速度センサの置かれた空間も、センサチップの

10

20

30

40

50

外部と通じて気体分子のやりとりを行って圧力変化が生じないように気密封止する。接合の方法は、キャップ部材が樹脂である場合には接着剤を用いた方法や、キャップ部材が単結晶シリコンもしくはガラスである場合には陽極接合法を用いる。接合時の材料界面からの脱ガス成分を見込んで、目的圧力より低い圧力で封止する。接合封止直後、角速度センサの置かれた空間 3 1 1 と、加速度センサの置かれた空間 3 1 2 の圧力は同じである（図 7（a））。この後、チップ裏面から電気的な信号を取り出すため基板貫通型のメタル配線 3 0 6 へ接続するための、ワイヤボンディング用のパッド 3 1 6 を形成する（図 7（b））。

【 0 0 4 1 】

（調圧手順）キャップ部材と基板との接合後、センサ全体を加熱する。このときの加熱温度は、ガス発生材料 3 1 3 が第一段階目の熱分解反応を示す温度以上で、第二段階目の熱分解反応を示す温度以下であれば良い。具体的には、ガス発生材料が熱現像型レジストのモノマー材料である t B O C 体保有体である場合、第一段階目の熱分解反応温度 T 1 はおよそ 1 5 0 ~ 2 5 0 であり、第二段階目の熱分解反応温度 T 2 はおよそ 4 0 0 以上であるから、センサ全体を加熱する温度を 1 5 0 ~ 4 0 0 に設定すれば良い。ガス発生材料の熱分解反応後には、加速度センサの置かれた空間内 3 1 2 には残留物質 3 1 5 と炭酸ガス分子 3 1 4 が存在する（図 7（c））。炭酸ガスの沸点は - 7 8 . 5 / 1 気圧であり、よって - 7 8 . 5 より高い温度において、加速度センサの置かれた空間 3 1 2 の圧力を、発生した炭酸ガスの分子による分圧分だけ高くすることが出来る。角速度センサの置かれた空間にはガス発生材料がないので、センサ全体を加熱することで角速度センサの置かれた空間壁の材料表面からの脱ガス反応以外は起こりえない。つまり、角速度センサの置かれた空間の圧力は、センサ全体を加熱することでほとんど変動しない。

【 0 0 4 2 】

このようにセンサの気密封止工程後に加熱の工程を加えることで、ガス発生材料の設置された加速度センサの置かれた空間内 3 1 2 は、角速度センサの置かれた空間 3 1 1 に比べて高い圧力で気密封止することが出来る。この場合、ダンピング剤を注入するための通気穴のない構成で複合型慣性センサを封止することが出来るため、機械的な強度やセンサ性能の長期安定性を確保した振動ノイズ影響を受けにくい加速度センサ、もしくは複合型慣性センサを得られる。

【 0 0 4 3 】

尚、4 0 0 P a の圧力下に置かれた加速度センサと、 $2 . 0 \times 1 0 ^ 5$ P a（2 気圧）に置かれた加速度センサの、振動ノイズ影響の受けにくさは、具体的に以下のように算出できる。

【 0 0 4 4 】

M E M S デバイスにおける空気粘性抵抗効果は、連続流体の古典的な解析手法であるナビエーストークス（N a v i e r - S t o k e s）方程式と連続方程式を拡張して近似的に定式化できる。本実施例ではセンサ慣性体に付随するクシ歯型の検出電極の持つ突起構造が空気粘性抵抗効果を受ける主要原因であり、スクイズ型の空気粘性抵抗係数 C は、

$$C = 9 6 \quad e_{f f} L W^3 / (\quad g^3) \quad (4)$$

$$e_{f f} = / (1 + 9 . 6 3 8 K_n^{-1} \cdot 10^9) \quad (5)$$

$$K_n = / L_c = k_B T / ((2) d_{g a s} P L_c) \quad (6)$$

と表される。但し、l は突起構造の長さ、w は突起構造の幅、g は突起構造間の距離（ギャップ）、 $e_{f f}$ は周辺気体の粘性の実効値、 $e_{f f}$ は周辺気体の粘性定数、 K_n はクヌッセン数、 λ は周辺気体の平均自由行程、L は流れ場の代表長さであり突起構造間の距離に相当する長さ、 k_B はボルツマン定数、T は絶対温度、 $d_{g a s}$ は周辺気体の分子の直径、P は周辺気体の圧力である。よって、まったく同じ構造の加速度センサが、4 0 0 P a

10

20

30

40

50

と $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2気圧) の2つの圧力下に置かれている場合、空気粘性抵抗係数 C の値は(4)式より102倍、 $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2気圧) に置かれているものに比べて、 400 Pa に置かれている加速度センサのほうが、大きい。

【0045】

またMEMSデバイスのQ値と、減衰定数 γ と、機械カットオフ周波数 f_c の関係は、 m をセンサの慣性質量、 k を慣性体の主軸方向の剛性定数とした場合に、

$$Q = 1 / (2 \gamma) = (mk) / C \quad (7)$$

$$(f_c / f_0)^2 = -(\gamma - 1) + ((\gamma - 1)^2 + 1) \quad (8)$$

10

と表せる。加速度センサの固有振動数 f_0 が 3000 Hz 、 $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2気圧) における減衰定数が50のとき、 400 Pa の圧力下に置かれた加速度センサと、 $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2気圧) に置かれた加速度センサの周波数特性は図9のように表せ、カットオフ周波数 f_c とQ値は表1のようになる。

【0046】

【表1】

表1.加速度センサの特性比較

空間の圧力P	$2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$	400 Pa
固有振動数 f_0	3000Hz	
カットオフ周波数 f_c	303Hz	3832Hz
Q値	0.01	1.02

20

【0047】

表1より、 $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2気圧) に置かれている加速度センサはカットオフ周波数 f_c が 303 Hz の機械的なフィルターとなる。よって、機械的なカットオフ周波数 f_c が 3832 Hz の 400 Pa に置かれている加速度センサに比べて、高周波振動ノイズの影響を受けにくいフィルタリング特性となる。測定したい周波数よりも高い周波数帯域の信号は、電気的な信号処理によって除去する方法も考えられるが、センサ慣性体が機械的に動作を許容される範囲を超えて動作するとセンサが誤出力する可能性もあるため、本質的にはセンサ慣性体は振動ノイズから動作影響を受けにくいほうが望ましい。

30

【0048】

尚、実施例では加速度センサの置かれた空間を $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2気圧) としたが、慣性センサの使用される温度領域(通常用途では $-30 \sim 80$ 、車載用途の場合は $-40 \sim 125$) で発生ガスの二酸化炭素が液化しない範囲で、空間内部圧力の調整が可能である。二酸化炭素の相図における三重点 (-56.6 、 $5.2 \times 10^5 \text{ Pa}$) を目安とし、調整後の圧力の上限值は $5.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ (5.1気圧) 程度が望ましい。

40

【0049】

また、実施例では角速度センサと加速度センサから構成される複合型慣性センサであって、加速度センサの置かれる空間とセンサ外部と気体を媒介して圧力をバランスする通気孔のあるものについての構成と製造方法を述べたが、角速度センサと加速度センサから構成される複合型慣性センサであって、角速度センサの置かれる空間とセンサ外部と気体を媒介して圧力をバランスする通気孔のあるものについて本発明を適用し、加速度センサの置かれる封止空間にガス発生材料を設置しても、振動ノイズに影響を受けにくい慣性センサを得る効果がある。

50

【0050】

尚、実施例では角速度センサと加速度センサから構成される複合型慣性センサに関する構成と製造方法を述べたが、加速度センサ単体に本発明を適用しても、振動ノイズに影響を受けにくい慣性センサを得る効果がある。

【0051】

(実施の形態2)

実施例2では、2個の加速度センサを同一チップ上に形成し、それぞれを5000Pa、 3.0×10^5 Paと異なる圧力の空間中に封止して、段階的に振動ノイズに影響を受けにくい加速度センサを得るための製造方法と構成と効果について記載する。

【0052】

(構成)図10と図11に本発明を適用した、SOI-MEMS技術を用いた加速度センサ2個から成る複合型慣性センサの構成を示す。図10は複合型慣性センサの側面断面図で図11はその平面図である。ハンドリング用の基板500とBOX酸化膜層502とSOI層504から成るSOI基板の上に、x軸加速度センサ506が形成されている。ここでは同じ構造の加速度センサ(y軸加速度センサ507)が、基板上で互いに90度の角度で配置されている。図11のx軸方向を検出軸に持つ加速度センサ(今後はこれをx軸加速度センサと呼ぶ)の置かれた空間510と図11のy軸方向を検出軸に持つ加速度センサ(今後はこれをy軸加速度センサと呼ぶ)の置かれた空間511は、キャップ部材508により分離されて、それぞれが気密封止されている。エネルギーを加えることでガス発生材料512を、y軸加速度センサの置かれた空間511に設置しておき、気密封止後に、ガス発生材料512に熱エネルギーを加え、空間511内部にガスを発生させ、y軸加速度センサの置かれた空間内部の圧力を上昇する。

【0053】

ここに記載したガス発生材料とは、熱エネルギーを加えることで自分自身が化学的に分解し、分解後の反応生成物の一部がセンサの使用目的温度範囲において気体分子となり、周辺の圧力を上昇させる機能を有するものである。このような化学的に分解反応するガス発生材料を用いると、エネルギーを加えることで、気体-液体の変化や、気体-固体の変化といった物質の相変化や、気体分子の固体表面への吸着や乖離といった物理的反応とは異なる効果が得られる。つまり、空間内部の圧力を初期圧力よりも高くすることや、空間内部の気体分子の熱平衡状態を打ち破るような圧力へ上昇させることができる。このとき、発生する気体分子は周辺の物質と物理的・化学的に反応しない不活性ガスであることが望ましい。

【0054】

本実施例のガス発生材料として、例えば熱現像型レジストのモノマー材料であるターシャリープトキシカルボニルオキシ(tBOC)体保有体を利用する例を記載する。この材料を室温から徐々に加熱すると、図3に示すように温度T1で第一段階目の熱分解反応が起こる。その反応式は図4に示すように、tBOC保有体が、樹脂と炭酸ガスと低分子量アルケンに分解する反応である。T1で起きる熱分解反応は不可逆な分解反応であり、温度T1を超えるとほとんど全ての構成分子で分解反応が起きる。温度T1はtBOC保有体の修飾基で調整可能であるが、おおむね150~300である。この材料をT1よりさらに加熱すると、図3に示すように温度T2で第二段階目の熱分解反応が起こる。これはT1で熱分解したtBOC保有体の反応生成物である樹脂の熱分解反応であり、温度T2はtBOC保有体の修飾基で調整可能であるが、おおむね400以上である。よって、角速度センサと加速度センサから成る複合型慣性センサに於いて、tBOC体保有体をガス発生材料として加速度センサの置かれた空間内部にだけ設置しておき、気密封止後に、T1以上T2以下の温度でセンサ全体を加熱すれば、加速度センサの置かれた空間内部でのみ炭酸ガス分子を生成することができる。反応後に生成する炭酸ガスの分子数は図4に示した化学反応式のモル量に比例するため、ガス発生材料の設置量を調整することで、加過熱後に加速度センサの置かれた空間の圧力を調整することができる。

【0055】

(製造法)次に本発明を適用した複合型慣性センサの製造方法を図12～図13を用いて説明する。

【0056】

(基板とキャップ加工)まず、基板500とBOX酸化膜502とSOI活性層504から成るSOI基板上の、SOI活性層504に、ホトレジスト516を塗布しセンサの慣性体構造をホトリソグラフィ技術によって転写する(図12(a))。次に、基板500とBOX酸化膜502とSOI活性層504から成るSOI基板上に、センサの慣性体構造をシリコン単結晶の深堀エッチング技術によって形成し(図12(b))、構造体下部のBOX酸化膜502をエッチングで除去して、二個の加速度センサの可動構造であるx軸加速度センサ506、y軸加速度センサ507を形成した基板500を得る(図12(c))。一方で、ガラスもしくは単結晶シリコンもしくは樹脂で形成されたキャップ部材508には、二個の加速度センサが置かれるための空間を、化学的もしくは物理的なエッチング方法を用いて形成する。加速度センサが置かれる空間を形成した後に、キャップ部材508の加速度センサの置かれる空間に相当する場所にガス発生材料512を滴下法、もしくはスピコート法を用いて付着させる(図13(a))。

【0057】

(材料の設置量)このとき、ガス発生材料512の付着量は次のように決める。チップ上でそれぞれの加速度センサが占有する面積を $1.0\text{mm} \times 1.0\text{mm}$ 、キャップ部材512の空間深さを $100\mu\text{m}$ 、センサ下部の空間を成すBOX酸化膜502の厚さを $2.0\mu\text{m}$ とすると、それぞれの加速度センサが置かれる空間の体積Vはおよそ $1.0 \times 10^{-10}\text{m}^3$ である。x軸加速度センサの置かれた空間の圧力は温度 300K (室温付近)で 5000Pa となるように封止するので、y軸加速度センサの置かれた空間の初期圧力 P_0 もガス発生材料の加熱調圧前には温度 300K (室温付近)で 5000Pa である。よって、y軸加速度センサの置かれた空間にあらかじめ存在する気体の分子量 n_0 は、気体定数 $R(=8.31 \times 10^3\text{Pa} \cdot \text{m} / \text{K} / \text{mol})$ を用い、理想気体の状態方程式により、

$$n_0 = P_0 V / (RT) = 2.0 \times 10^{-13} [\text{mol}] \quad (1)$$

で表せる。更に、y軸加速度センサの置かれた空間の目的圧力 P_1 が $3.0 \times 10^5\text{Pa}$ (3気圧)の場合、発生ガスの必要モル量 n は、理想気体のシャルルの法則より(2)(3)式から算出できて、

$$n_0 / P_0 = (n_0 + n) / P_1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} n &= (P_1 / P_0 - 1) n_0 = (P_1 / P_0 - 1) (P_0 V / (RT)) \\ &= 1.2 \times 10^{-11} [\text{mol}] \quad (3) \end{aligned}$$

と表せる。tBOC体保有体の熱分解反応は、化学量論的には図4で示す反応式に従うので、高分子鎖 $n=1$ のtBOC体保有体1モルに対して、1モルの炭酸ガスが生成すると解釈できる。つまり、ガス発生材料であるtBOC体保有体のモル量は、発生する炭酸ガスのモル量 n に等しい。

【0058】

尚、y軸加速度センサの置かれた空間の圧力 P_1 は大気圧以上 5.1 気圧以下であることが望ましい。

【0059】

(tBOC保有体の必要モル量)目的圧力 P_1 を $3.0 \times 10^5\text{Pa}$ (3気圧)とするのに必要な $n=1.2 \times 10^{-11} [\text{mol}]$ のtBOC体保有体を含むガス発生材料は、以下のようにして得る。比重 0.88 の酢酸ブチルを溶媒として、重量モル濃度 1% のtBOC体保有体の溶液を作る。重量モル濃度 1% のtBOC体保有体の酢酸ブチル溶

液を、厚さ300nmでキャップ部材のy軸加速度センサが置かれる領域(面積1mm×1mm)に設置すると、溶液中に含まれるtBOC体保有体のモル数は 1.2×10^{-11} [mol]であり、これを加熱分解して得られる炭酸ガスのモル量は、 1.2×10^{-11} [mol]となる。尚、酢酸ブチルを溶媒としてtBOC体保有体の溶液とした場合、滴下法、もしくはスピコート法にてキャップ部材に塗布した後、酢酸ブチルの沸点(126)以上でプリベークを実施すると、フィルム膜状態となったtBOC体保有体をキャップ部材へ安定に付着させることが出来る。

【0060】

(接合と裏面配線)次に、x軸加速度センサ506とy軸加速度センサ507の可動構造を形成した基板500と、y軸加速度センサの置かれた空間にガス発生材料が付着しているキャップ部材508を、x軸加速度センサの検出精度が十分に得られる5000Pa以下の圧力で接合する。x軸加速度センサの置かれた空間も、y軸加速度センサの置かれた空間も、センサチップの外部と通じて気体分子のやりとりを行って圧力変化が生じないように気密封止する。接合の方法は、キャップ部材が樹脂である場合には接着剤を用いた方法や、キャップ部材が単結晶シリコンもしくはガラスである場合には陽極接合法を用いる。接合時の材料界面からの脱ガス成分を見込んで、目的圧力より低い圧力で封止する。接合封止直後、x軸加速度センサの置かれた空間510と、y軸加速度センサの置かれた空間511の圧力は同じである(図13(b))。

【0061】

(調圧手順)キャップ部材と基板との接合後、センサ全体を加熱する。このときの加熱温度は、ガス発生材料512が第一段階目の熱分解反応を示す温度以上で、第二段階目の熱分解反応を示す温度以下であれば良い。具体的には、ガス発生材料が熱現像型レジストのモノマー材料であるtBOC体保有体である場合、第一段階目の熱分解反応温度T1はおおよそ150~250であり、第二段階目の熱分解反応温度T2はおおよそ400以上であるから、センサ全体を加熱する温度を150~400に設定すれば良い。ガス発生材料の熱分解反応後には、y軸加速度センサの置かれた空間内511には残留物質520と炭酸ガス分子が存在する(図13(c))。炭酸ガスの沸点は-78.5/1気圧であり、よって-78.5より高い温度において、y軸加速度センサの置かれた空間511の圧力を、発生した炭酸ガスの分子による分圧分だけ高くすることが出来る。x軸加速度センサの置かれた空間にはガス発生材料がないので、センサ全体を加熱することでx軸加速度センサの置かれた空間壁の材料表面からの脱ガス反応以外は起こりえない。つまり、x軸加速度センサの置かれた空間の圧力は、センサ全体を加熱することでほとんど変動しない。

【0062】

このようにセンサの気密封止工程後に加熱の工程を加えることで、ガス発生材料の設置されたy軸加速度センサの置かれた空間内511は、x軸加速度センサの置かれた空間510に比べて高い圧力で気密封止することが出来る。この場合、ダンプ剤を注入するための通気穴のない構成で複合型慣性センサを封止することが出来るため、機械的な強度やセンサ性能の長期安定性を確保した振動ノイズ影響を受けにくい加速度センサ、もしくは複合型慣性センサを得られる。

【0063】

尚、5000Paの圧力下に置かれたx軸加速度センサと、 3.0×10^5 Pa(3気圧)に置かれたy軸加速度センサの、振動ノイズ影響の受けにくさは、実施例1に示した方法を用いて以下のように算出できる。

【0064】

x軸加速度センサ、y軸加速度センサの固有振動数 f_0 がともに4000Hz、 3.0×10^5 Pa(3気圧)における減衰定数が50のとき、5000Paの圧力下に置かれたx軸加速度センサと、 3.0×10^5 Pa(3気圧)に置かれたy軸加速度センサの周波数特性は図14のように表せ、カットオフ周波数 f_c とQ値は表2のようになる。

【0065】

10

20

30

40

50

【表 2】

表2.加速度センサの特性比較

空間の圧力P	3.0 × 10 ⁵ Pa	5000Pa
固有振動数f ₀	4000Hz	
カットオフ周波数f _c	404Hz	1076Hz
Q値	0.01	0.06

10

【 0 0 6 6 】

表 2 より、 $3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (3 気圧) に置かれている y 軸加速度センサはカットオフ周波数 f_c が 404 Hz の機械的なフィルターとなる。よって、機械的なカットオフ周波数 f_c が 1076 Hz の 5000 Pa に置かれている x 軸加速度センサに比べて、高周波振動ノイズの影響を受けにくいフィルタリング特性となる。測定したい周波数よりも高い周波数帯域の信号は、電気的な信号処理によって除去する方法も考えられるが、センサ慣性体が機械的に動作を許容される範囲を超えて動作するとセンサが誤出力する可能性もあるため、本質的にはセンサ慣性体は振動ノイズから動作影響を受けにくいほうが望ましい。

20

【 0 0 6 7 】

例えば、この実施例に記載された加速度センサを自動車に搭載した場合に、x 軸加速度センサでは傾斜を計る (周波数帯域は狭く DC 測定でよいもの) ことにし、y 軸加速度センサでは動きを検出 (周波数帯域が広いもの) するセンサにすることにより、振動ノイズの大きな環境にある場合、圧力を変える、すなわち x 軸加速度センサ内の圧力を高くすると、測定要求を満たしながらも、精度の高いセンサとすることができる。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 8 】

本発明は、角速度センサや加速度センサを備える慣性センサに幅広く利用することができる。

30

【符号の説明】

【 0 0 6 9 】

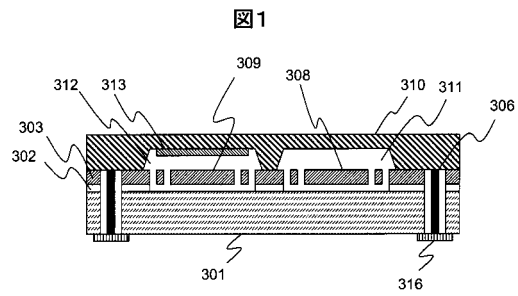
- 301 基板
- 302 BOX 酸化膜
- 303 SOI 層
- 304 シリコン酸化膜
- 305 貫通孔
- 306 メタル配線
- 307 ホトレジスト
- 308 角速度センサ
- 309 加速度センサ
- 310 キャップ部材
- 311 角速度センサ用空間
- 312 加速度センサ用空間
- 313 ガス発生材料
- 314 ガス分子
- 315 ガス脱後の生成物
- 316 パッド

40

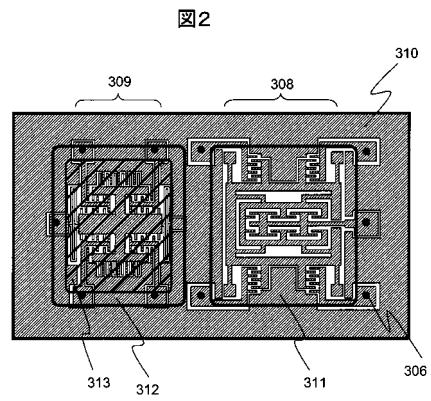
50

- 500 基板
- 502 B O X 酸化膜
- 504 S O I 層
- 506 x 軸加速度センサ
- 507 y 軸加速度センサ
- 508 キャップ部材
- 510 x 軸加速度センサ用空間
- 511 y 軸加速度センサ用空間
- 512 ガス発生材料
- 514 パッド
- 516 ホトレジスト
- 520 ガス発生後の生成物

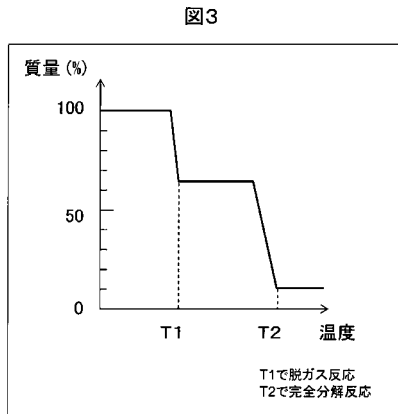
【 図 1 】



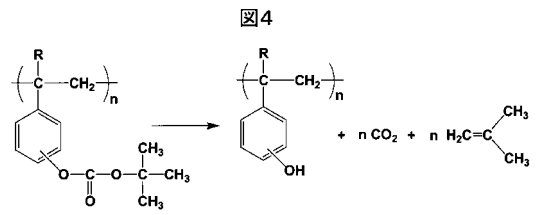
【 図 2 】



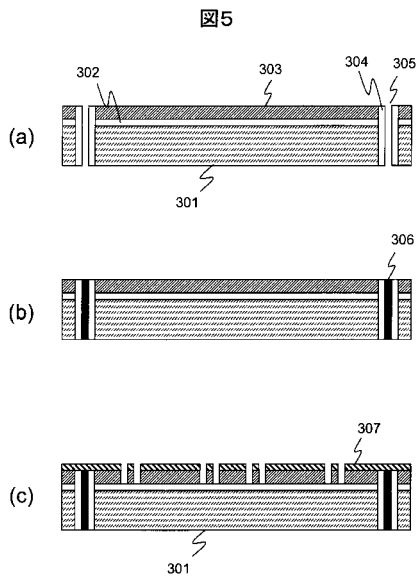
【 図 3 】



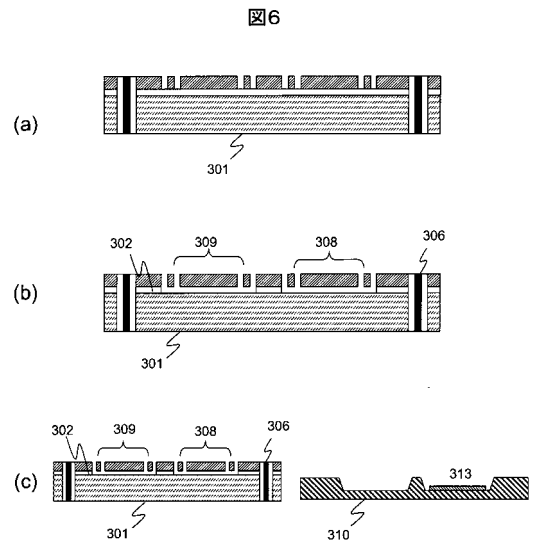
【 図 4 】



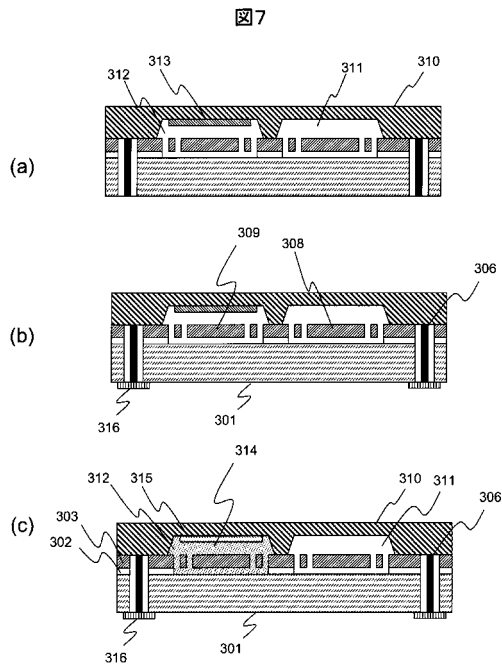
【 図 5 】



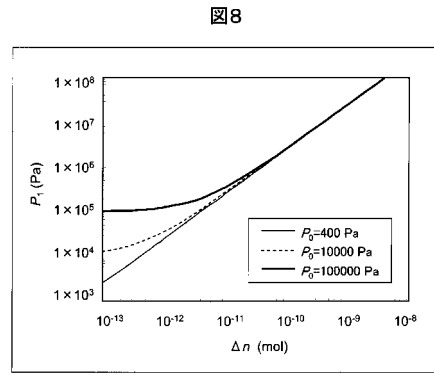
【 図 6 】



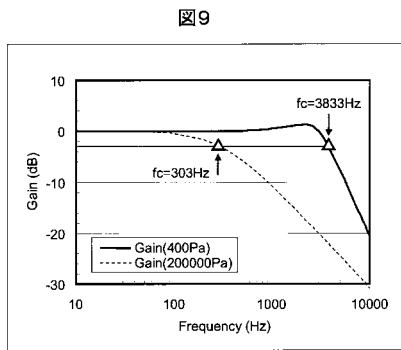
【 図 7 】



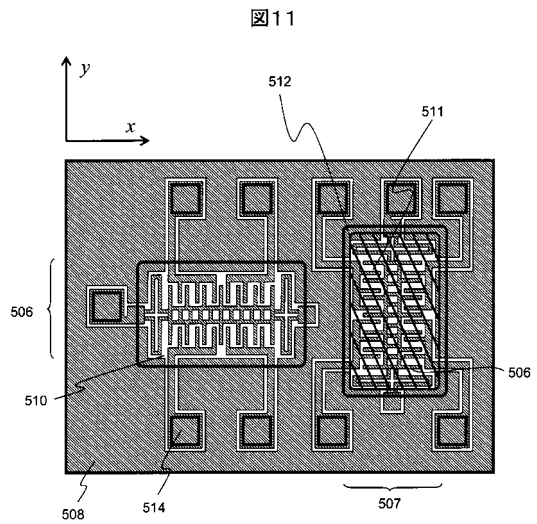
【 図 8 】



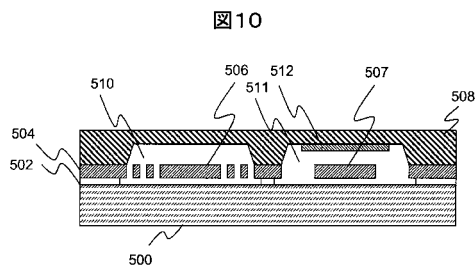
【 図 9 】



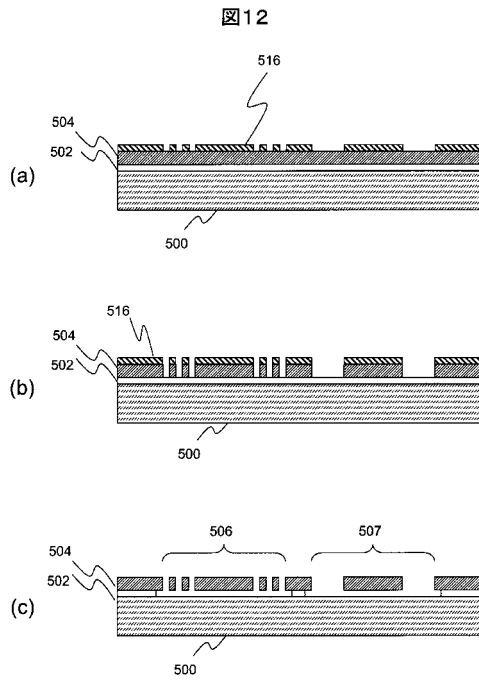
【 図 1 1 】



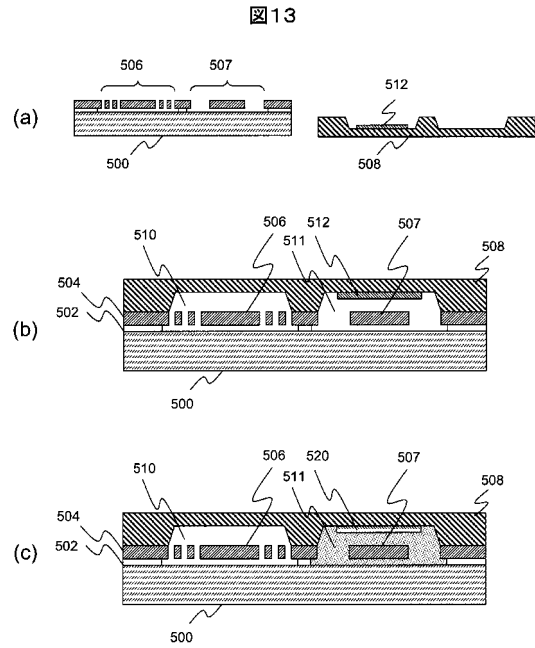
【 図 1 0 】



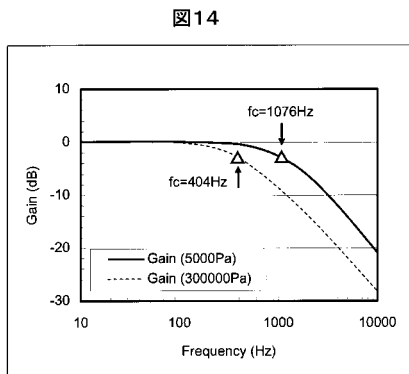
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 後藤 康

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

審査官 岸 智史

(56)参考文献 特開2010-141088(JP,A)
国際公開第2007/113325(WO,A1)
特開2007-059736(JP,A)
特開2008-182103(JP,A)
特開2002-005950(JP,A)
特表2008-501535(JP,A)
特開2000-100984(JP,A)
特開2007-214315(JP,A)
特開2007-012728(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01P 15/00 - 15/18
G01C 19/56
H01L 29/84