

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5145637号
(P5145637)

(45) 発行日 平成25年2月20日(2013.2.20)

(24) 登録日 平成24年12月7日(2012.12.7)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 C 19/5663 (2012.01)

G O 1 C 19/56 1 6 3

G O 1 C 19/5656 (2012.01)

G O 1 C 19/56 1 5 6

H O 1 L 41/08 (2006.01)

H O 1 L 41/08 Z

H O 1 L 41/22 (2013.01)

H O 1 L 41/22 Z

H O 1 L 41/18 (2006.01)

H O 1 L 41/18 1 O 1 Z

請求項の数 13 (全 48 頁)

(21) 出願番号 特願2005-380330 (P2005-380330)
 (22) 出願日 平成17年12月28日(2005.12.28)
 (65) 公開番号 特開2007-24862 (P2007-24862A)
 (43) 公開日 平成19年2月1日(2007.2.1)
 審査請求日 平成20年12月25日(2008.12.25)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-106717 (P2005-106717)
 (32) 優先日 平成17年3月4日(2005.3.4)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-176870 (P2005-176870)
 (32) 優先日 平成17年6月16日(2005.6.16)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-176871 (P2005-176871)
 (32) 優先日 平成17年6月16日(2005.6.16)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000002185
 ソニー株式会社
 東京都港区港南1丁目7番1号
 (74) 代理人 100104215
 弁理士 大森 純一
 (74) 代理人 100117330
 弁理士 折居 章
 (72) 発明者 稲熊 輝往
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ
 ニー株式会社内
 (72) 発明者 高橋 和夫
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ
 ニー株式会社内

前置審査

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動型ジャイロセンサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

一方の面のみに圧電膜、駆動電極及び一対の検出電極が形成された断面形状が略直角四辺形のシリコンからなる振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子と、この振動型ジャイロセンサ素子が実装される支持基板とを備え、

前記振動型ジャイロセンサ素子は、前記振動子の前記一方の面側を前記支持基板側に向けて実装されるとともに、前記振動子の前記支持基板に向けて実装される前記一方の面以外の領域のみを、当該振動子の振動特性調整用の凹部が形成される被加工領域としている振動型ジャイロセンサ。

【請求項2】

請求項1に記載の振動型ジャイロセンサであって、

前記凹部は、前記振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整するための凹部である

振動型ジャイロセンサ。

【請求項3】

請求項1に記載の振動型ジャイロセンサであって、

前記凹部は、前記一対の検出電極から出力される信号差を調整するための凹部である振動型ジャイロセンサ。

【請求項4】

請求項1に記載の振動型ジャイロセンサであって、

前記凹部は、前記振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整するとともに、前記一对の検出電極から出力される信号差を調整するための凹部である振動型ジャイロセンサ。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の振動型ジャイロセンサであって、
前記被加工領域は、前記一方の面と対向する面である
振動型ジャイロセンサ。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の振動型ジャイロセンサであって、
前記被加工領域は、前記一方の面と対向する面と前記一方の面に隣接する側面との間の
稜線部である
振動型ジャイロセンサ。 10

【請求項 7】

請求項 1 に記載の振動型ジャイロセンサであって、
前記被加工領域は、前記一方の面に隣接する側面である
振動型ジャイロセンサ。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の振動型ジャイロセンサであって、
前記凹部は、異なる位置に複数形成されている
振動型ジャイロセンサ。 20

【請求項 9】

請求項 1 に記載の振動型ジャイロセンサであって、
前記凹部は、複数のスポット状の凹部がそれぞれ重ならないようにステップ状に加工されている
振動型ジャイロセンサ。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の振動型ジャイロセンサであって、
前記凹部は、前記振動子の共振周波数を調整するための凹部である
振動型ジャイロセンサ。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の振動型ジャイロセンサであって、
前記被加工領域の少なくとも一部は溶融されて平滑面とされている
振動型ジャイロセンサ。 30

【請求項 12】

請求項 1 に記載の振動型ジャイロセンサであって、
前記振動子の前記一方の面と対向する面と前記一方の面に隣接する側面との間の稜線部
が湾曲形成されている
振動型ジャイロセンサ。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の振動型ジャイロセンサであって、
前記振動子の根元部の両側部が湾曲形成されている
振動型ジャイロセンサ。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、ビデオカメラの手振れ検知やバーチャルリアリティ装置における動作検知、カーナビゲーションシステムにおける方向検知などに用いられる角速度センサに関し、更に詳しくは、片持ち梁の振動子を有する小型の振動型ジャイロセンサ及びその調整方法に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

従来より、民生用の角速度センサとしては、片持ち梁の振動子を所定の共振周波数で振動させておき、角速度の影響によって生じるコリオリ力を圧電素子などで検出することによって角速度を検出する、いわゆる振動型のジャイロセンサが広く用いられている。

【 0 0 0 3 】

振動型ジャイロセンサは、単純な機構、短い起動時間、安価で製造可能といった利点を有しており、例えば、ビデオカメラ、バーチャルリアリティ装置、カーナビゲーションシステムなどの電子機器に搭載され、それぞれ手振れ検知、動作検知、方向検知などをする際のセンサとして活用されている。

【 0 0 0 4 】

従来の振動型ジャイロセンサは、振動子が適宜の圧電材料を機械加工によって切り出して所定の形状に整形して製作されていた。振動型ジャイロセンサとしては、搭載される本体機器の小型軽量化、多機能高性能化に伴って、更なる小型化や高性能化が要求されているが、機械加工による加工精度の限界によって小型で高精度の振動子を作製することが困難であった。

【 0 0 0 5 】

そこで、近年、半導体プロセスに適用される薄膜技術を用いて、シリコン基板上に圧電薄膜層を挟んで一对の電極層を積層形成することによって、片持ち梁形状の振動素子を備えたものが提案されている（例えば特許文献1参照）。かかる振動型ジャイロセンサは、小型薄型化が図られることによって、他用途のセンサ等と組み合わせて複合化や高機能化が図られる。

【 0 0 0 6 】

ところで、振動型ジャイロセンサの振動子の多くは四角柱形状であるが、機械加工による形成にせよ、薄膜工程による形成方法にせよ、完全な対称状態で作製することは困難である。このため、振動子はその中心線に対して非対称となる。非対称形状となった振動子を振動させた場合、振動状態は振動子中心線から外れて支持基板に対し垂直な方向に振動せず、傾いた斜めの振動となる。振動子が傾いて振動した場合、振動子上に対称に形成された一对の検出電極から発生する信号の大きさも変化してしまい特性が安定しない。

【 0 0 0 7 】

そこで従来では、作製した振動子の表面を研磨して非対称形状の振動子の質量バランスを調整したり（特許文献2参照）、支持基板に対する振動子の拘束位置で振動特性を調整する方法が知られている（特許文献3参照）。

【 0 0 0 8 】

【特許文献1】特開平7 - 113643号公報

【特許文献2】特開2000 - 65579号公報

【特許文献3】特開2001 - 330440号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、上述した従来の振動型ジャイロセンサの調整方法では、半導体製造プロセスを用いて作製される微細かつ小型の振動型ジャイロセンサに適用することは非常に困難である。

【 0 0 1 0 】

また、微細かつ小型に作製された振動型ジャイロセンサの振動調整の際に、振動子表面に形成された圧電膜や各種電極膜を損傷させてしまい、安定した圧電特性が得られなくなるおそれがある。更に、振動子の振動特性調整を目的として行った振動子表面への加工によって、振動子自体の強度が低下して耐久性を劣化させてしまうおそれもある。

【 0 0 1 1 】

本発明は上述の問題に鑑みてなされ、安定した特性と高い強度を確保して振動子の振動特性を調整することができる振動型ジャイロセンサ及びその調整方法を提供することを課

10

20

30

40

50

題とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

以上の課題を解決するに当たり、本発明は、一方の面に圧電膜、駆動電極及び一对の検出電極が形成された片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子と、この振動型ジャイロセンサ素子が実装される支持基板とを備えた振動型ジャイロセンサにおいて、振動型ジャイロセンサ素子は、振動子の上記一方の面側を支持基板側に向けて実装されているとともに、振動子の上記一方の面以外の領域を、当該振動子の振動特性調整用の凹部が形成された被加工領域としている。

【0013】

また、本発明は、一方の面に圧電膜、駆動電極及び一对の検出電極が形成された片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子が、支持基板に実装されてなる振動型ジャイロセンサの調整方法であって、振動子の上記一方の面側を支持基板側に向けて、振動型ジャイロセンサ素子を支持基板に実装する工程と、振動子の上記一方の面以外の被加工領域に対してレーザー加工を施して振動子の振動特性を調整する工程とを有する。

【0014】

以上のように、本発明では、振動型ジャイロセンサ素子とその振動子の上記一方の面が支持基板側に向くように実装したときに、例えば、当該素子の上面側に臨む振動子の面を被加工領域としてレーザー加工し振動特性調整用の凹部を形成する。当該凹部は振動子の形状非対称性に起因する振動特性を所定の振動モードに矯正できる位置に形成される。

【0015】

ここで、振動子の上記被加工領域は、支持基板に実装された振動型ジャイロセンサ素子の上面側又は側方側に臨んでいるので、レーザーの照射による振動特性の調整を容易に行うことができる。また、支持基板に実装した後に振動子の振動特性の調整を行うようにしているので、実装前後における振動特性の変動を回避できるとともに、実装後の特性を判断しながら素子を個別に使用範囲内に調整することが可能となる。

【0016】

また、上記被加工領域は、圧電膜等が形成される上記一方の面と対向する面及び側面、あるいはこれら面の稜線部等が該当する。従って、これらの領域は、上記一方の面と離間した領域であるので、レーザー加工時に発生する熱により圧電膜の特性が変化したり、分極状態が変化する等の影響を最大限回避することができる。

【0017】

安定した角速度センサの特性を得るためには、振動子の形状バラツキによる縦横の共振周波数の周波数差と、共振時の左右検出信号の波形の振幅と位相を一致させる必要がある。本発明では、調整前にこの周波数差と検出信号の波形の差をモニターしその値によって加工する位置を決定する。

【0018】

具体的に、縦共振状態で発振させた状態で検出信号から動作周波数を読み取りこれを縦共振周波数とする。また、一对の検出信号を読み取り二つの信号差を差分信号とする。次に、横共振状態で発振させた状態で検出信号から動作周波数を読み取りこれを横共振周波数とし、これと縦共振周波数との差を離調度とする。そして、離調度と差分信号が目標値に達するまでこれを繰り返す。

【0019】

調整する効果の度合いは加工する位置によって決定され、振動子の根元から先端に向けて周波数差、検出信号バランスとともに変化量が小さくなるので、根元を加工することで粗調整、先端を加工することで微調整と使い分けることができる。また、レーザー加工を行う位置とレーザー加工により削る深さを制限することで、落下衝撃に対する振動子の強度や耐久性を確保することができる。

【発明の効果】

【0020】

以上述べたように、本発明によれば、支持基板に実装した振動型ジャイロセンサ素子の振動子に対して、圧電膜等が形成される面以外の領域を被加工領域として振動特性調整用の凹部を形成するようにしているので、素子実装後において個々に振動特性を調整することが可能であるとともに、調整時における圧電膜の特性変化を回避することができる。

【0021】

また、振動特性の調整を、振動子の圧電膜等が形成されていない面側に対するレーザー加工を施すことで実現しているので、半導体製造プロセスで作製される小型の振動型ジャイロセンサ素子の安定した素子特性と外部衝撃に対する耐久性を確保しながら、微細な調整作業を精度よくかつ容易に行うことが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。なお勿論、本発明は以下の実施の形態に限定されることなく、本発明の技術的思想に基づいて種々の変形が可能である。

【0023】

(第1の実施の形態)

図1A、Bは、本発明の実施の形態による振動型ジャイロセンサ素子100を示しており、Aは振動型ジャイロセンサ素子100の全体を示す外観斜視図、Bは振動型ジャイロセンサ素子100の振動子110のみを拡大して示す斜視図である。この振動型ジャイロセンサ素子100は、図1A、Bに示すように、シリコン単結晶基板から切り出された、いわゆる片持ち梁形状の振動子110を備えている。この振動子110は、長手方向に対して垂直な平面で切断したときの断面形状が直角四辺形となる四角柱状に形成されている。

【0024】

この振動型ジャイロセンサ素子100は、そのおおよその大きさとして、素子厚み t_1 が $300\mu\text{m}$ 、素子長さ t_2 が 3mm 、素子幅 t_3 が 1mm である。また、実際に振動する振動梁すなわち振動子110の大きさとして、振動梁厚み t_4 を $100\mu\text{m}$ 、振動梁長さ t_5 を 2.5mm 、振動梁幅 t_6 を $100\mu\text{m}$ とした。この形状で振動梁を振動させた場合の共振周波数はおよそ 40kHz 前後となる。以上の数値は一例であり、使用する周波数、目標とする素子の大きさにより任意に設定可能である。

【0025】

振動型ジャイロセンサ素子100は、支持基板20(図3参照)上に実装されて使用される。この支持基板20と対向する側の素子100の実装面(底面)を図2に示す。

【0026】

振動子110の表面には、基準電極104a、圧電体105aが順に積層されている。圧電体105aの上には、駆動電極106aと一对の検出電極106b、106cとが振動子110の長手方向に沿って互いに平行にかつ接触しないように各々形成されている。駆動電極106a、検出電極106b、106cおよび基準電極104aには、それぞれ配線接続端子101A、101B、101C、101Dが設けられている。

【0027】

圧電体105aは、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)などの圧電セラミックスや、水晶、 LaTaO_3 などの圧電単結晶などからなる圧電膜である。基準電極104a、駆動電極106a及び検出電極106b、106cは、金属電極あるいは導電性酸化物電極等からなる。

【0028】

図3は支持基板20上に振動型ジャイロセンサ素子100が実装されてなる角速度センサ(振動型ジャイロセンサ)150の要部斜視図である。振動型ジャイロセンサ素子100は、図2を参照して説明した実装面を下向きにして支持基板20上に実装されている。本実施の形態では、振動型ジャイロセンサ素子100の配線接続端子101A~101Dに各々金バンプを形成し、これら金バンプを介して各配線接続端子101A~101Dを

10

20

30

40

50

支持基板 20 上のランド 21A ~ 21D に接合している。

【0029】

振動型ジャイロセンサ素子 100 の振動子 110 は、基準電極 104a、圧電体 105a、駆動電極 106a 及び検出電極 106b, 106c が積層形成された表面（振動子の一方の面）側を支持基板 20 側に向けられる。このため、振動子 110 の表面と対向する面、即ち圧電体及び各種電極膜が形成されていない振動子 110 の裏面 110b 側が、図 3 において上方側に臨んでいる。なお、支持基板 20 の振動子 110 と対向する部位には、支持基板 20 の表面に対する振動子 110 の垂直方向の振動動作を適正に行わせるための凹部（ニゲ）22 が所定の範囲及び深さで形成されている。

【0030】

後述するように、振動子 110 の外形形状は、シリコン基板に対する反応性イオンエッチング（RIE）加工によって形成される。このとき、エッチング条件やウェーハ位置等に応じて、振動子 110 の形状が振動方向に関して左右対称にならない場合がある。この場合、振動子 110 の重心位置は左右何れか一方側に偏倚して質量バランスが崩れ、支持基板 20 に対して垂直方向に振動せずに、質量が小さい側に傾いて斜め方向に振動する。この場合、左右の検出電極 106b, 106c から出力される検出信号に大きな信号差が発生し、適正な角速度検出が不可能となる。

【0031】

そこで、本実施の形態では、作製した振動型ジャイロセンサ素子 100 を支持基板 20 へ実装した後、個々の素子について、振動子 110 の振動状態を図 3 に示す垂直振動モードに矯正するべく、後述するような手法を用いて振動子 110 の裏面 110b 側にレーザービームを照射し凹部 80 を形成する。これにより、振動子 110 の質量バランスを調整して最適な振動モードに矯正することができる。なお、振動子 110 の表面（裏面 110b）に隣接する側面にレーザービームを照射して上記凹部を形成することによっても同様な効果を得ることができる。

【0032】

ここで、振動子 110 の裏面 110b 側が、支持基板 20 に実装された振動型ジャイロセンサ素子 100 の上面側に臨んでいるので、レーザーの照射による振動特性の調整を容易に行うことができる。また、支持基板 20 に実装した後に振動子 110 の振動特性の調整を行うようにしているので、実装前後における振動特性の変動を回避できるとともに、実装後の特性を判断しながら素子を個別に使用範囲内に調整することが可能となる。

【0033】

また、振動調整用のレーザー加工領域は、圧電膜 105a 等が形成された振動子 110 の表面と離間した面であるので、レーザー加工時に発生する熱により圧電膜の特性が変化したり、分極状態が変化する等の影響を最大限回避することができる。また、振動子 110 の表面を支持基板 20 に対向するように素子の底面側に向けさせることで、外部から侵入する熱や光等の外乱による影響を受け難くして、安定した素子特性を維持することが可能となる。

【0034】

一方、シリコン基板には、その表面に極めて微細な凹凸やマイクロクラック等が存在している。上述のように振動子 110 の外形は、シリコン基板に対する RIE 加工によって形成される。この際に、振動子 110 の裏面 110b 側とその両側の稜線部位にプラズマの流れにより微細な筋状の凹凸も生じる。これらの微細な凹凸やクラックについては、図 4A に示すように微細凹凸部 127 と総称する。なお、図では凹凸部 127 をやや誇張して示している。

【0035】

振動型ジャイロセンサ素子 100 においては、例えば振動動作時に大きな衝撃等が付加されると、振動子 110 の裏面 110b やその稜線部位に存在する微細凹凸部 127 に応力が集中し、振動子 110 にクラックが生じたり破損等が発生するおそれがある。

【0036】

10

20

30

40

50

そこで本実施の形態では、振動子 1 1 0 の稜線部位や裏面 1 1 0 b あるいは側面に対してレーザー照射を行ってシリコン基板の表面を溶融させ、図 4 B に示すように面取り部 1 3 0 あるいは溶融面 1 3 4 を形成することによって微細凹凸部 1 2 7 を除去するようにしている。これにより、振動子 1 1 0 に外部負荷が加えられた場合にも、微細凹凸部 1 2 7 における応力集中が抑制されるようになり、振動子 1 1 0 の機械的強度の向上を図ることができる。

【 0 0 3 7 】

なお、これら面取り部 1 3 0 や溶融面 1 3 4 の形成は、振動子 1 1 0 の振動特性の調整工程の前に行われると共に、当該調整工程で使用されるレーザー装置が共用される。レーザー装置を共用することで、精密な研磨処理等の機械加工を施すことなく面取り部 1 3 0 あるいは溶融面 1 3 4 を簡易に形成することが可能である。勿論、面取り部 1 3 0 や溶融面 1 3 4 の形成に用いられるレーザー装置は、上記調整工程で使用されるレーザー装置と共用される場合に限らず、別個のものでもよい。

【 0 0 3 8 】

以上のように構成される振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 は、図 5 に示す I C 回路 4 0 に接続されることで動作し、角速度に応じて発生するコリオリ力を検出する角速度センサ（振動型ジャイロセンサ）として機能する。I C 回路 4 0 は、振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 が実装される支持基板 2 0（図 3）上に同時に搭載された I C 回路素子や他の電子部品で構成される。

【 0 0 3 9 】

I C 回路 4 0 は、加算回路 4 1 と、増幅回路 4 2 と、移相回路（phase-shift circuit）4 3 と、A G C（Auto Gain Controller）4 4 と、差動増幅回路 4 5 と、同期検波回路 4 6 と、平滑回路 4 7 とを備えている。

【 0 0 4 0 】

振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 の一対の検出電極 1 0 6 b , 1 0 6 c は、それぞれ加算回路 4 1 と差動増幅回路 4 5 とに接続される。また、振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 の駆動電極 1 0 6 a は、A G C 4 4 の出力端と接続される。

【 0 0 4 1 】

この角速度センサでは、加算回路 4 1、増幅回路 4 2、移相回路 4 3、A G C 4 4 及び振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 によって、いわゆる移相発振回路が構成されている。そして、この移相発振回路によって、振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 の基準電極 1 0 4 a と駆動電極 1 0 6 a との間に電圧が印加され、振動子 1 1 0 を自励振動させる。振動子 1 1 0 の振動方向は、当該振動子 1 1 0 の厚み方向となる。

【 0 0 4 2 】

また、この角速度センサでは、一対の検出電極 1 0 6 b , 1 0 6 c が加算回路 4 1 および差動増幅回路 4 5 に接続され、差動増幅回路 4 5 の出力端が同期検波回路 4 6 に接続され、この同期検波回路 4 6 が平滑回路 4 7 に接続されており、これらと圧電体 1 0 5 a とで、振動子 1 1 0 の角速度を検出する検出部として機能する。

【 0 0 4 3 】

すなわち、振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 の振動子 1 1 0 を上述した移相発振回路で自励振動させている際に、振動子 1 1 0 の長手方向のまわりに角速度が生じると、コリオリ力により振動子 1 1 0 の振動方向が変化する。この場合、検出電極 1 0 6 b , 1 0 6 c の一方の出力は増加し、他方の出力は減少する。何れかの出力あるいは両出力の変化量を I C 回路 4 0 により検出測定して、振動子 1 1 0 の長手方向のまわりの入力角速度を検出する。

【 0 0 4 4 】

次に、以上のように構成される本実施の形態の振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 の一製造例を説明する。図 6 は、振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 の製造方法を説明する主要工程フローである。

[基板準備工程]

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

まず、図 7 A , B に示すような S i 基板 1 を用意する。基板 1 の大きさは、所有する薄膜プロセスのラインに応じて任意に設定され、本実施の形態では直径が 4 インチのウェーハを用いた。基板 1 の厚みは、作業性やコストにより決定されるが、最終的に振動子の厚み以上であればよく、本実施の形態では $300\text{ }\mu\text{m}$ の厚みとした。

【 0 0 4 6 】

この S i 基板 1 の両面には、異方性湿式エッチングの際の保護マスクとなる熱酸化膜 (S i O₂ 膜) 2 A , 2 B を形成しておく。熱酸化膜 2 A , 2 B の膜厚は任意であるが、本実施の形態では $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 程度とした。また、S i 基板 1 に関しては N 型を採用しているが、その選択は任意である。S i 基板 1 の方位面は、図 7 A で示す基板広口面が (1 0 0) 方位面、基板 1 の断面となる図 7 B の面が (1 1 0) 面となるように基板の切り出しが行われている。

【 0 0 4 7 】

[ダイアフラム形成工程]

次に、図 8 A , B に示すように、基板 1 の裏面の熱酸化膜 2 B の一部を除去するために、除去する部分を開口部とするレジストパターン膜 3 を形成する。このレジストパターン膜 3 の形成方法は、通常の半導体薄膜形成プロセスで用いられるフォトリソグラフィー技術を用いている。レジスト材は、例えば東京応化社製 O F P R - 8 6 0 0 を用いたが、種類はこれに限られない。フォトリソグラフィーの工程は、レジスト材塗布・プレベーク・露光・現像という一般的に薄膜工程で用いられる技術であり、ここでは詳細は省略する。また、この後のプロセスにおいてもフォトリソグラフィー技術を用いているが、特殊な使用方法を除き一般的な工程に関しては省略する。

【 0 0 4 8 】

図 8 A で示す開口部のそれぞれが 1 つの素子となる。開口部の形状は最終的な梁形状と基板 1 の厚み、および梁形状 (振動子 1 1 0) を形成する際のエッチング幅 (図 3 0 及び図 3 1 において符示する t_7) で決定される。エッチング幅 t_7 については後述するが、ここでは $200\text{ }\mu\text{m}$ とした。

【 0 0 4 9 】

開口部の幅方向 (ダイアフラム幅 t_9) に関して、必要となる幅は、まず振動梁幅 t_6 + エッチング幅 $t_7 \times 2$ (左右分) である。さらに、基板 1 の厚みが $300\text{ }\mu\text{m}$ で振動梁厚みが $100\text{ }\mu\text{m}$ であり、後述するが湿式エッチングの方法で基板厚み $300\text{ }\mu\text{m}$ を振動梁厚み $100\text{ }\mu\text{m}$ まで削る場合、図 1 1 に示すようにダイアフラム深さ t_{10} は $200\text{ }\mu\text{m}$ であり、このとき $1 = 55^\circ$ の角度をもって削られる特徴がある。このためその分の幅 : $t_{10} \times 1 / \tan 55^\circ = 140\text{ }\mu\text{m}$ 、を左右分足しておく必要がある。結局ダイアフラム幅 $t_9 = t_6 + t_7 \times 2 + 140 \times 2 = 100 + 200 \times 2 + 140 \times 2 = 780\text{ }\mu\text{m}$ となる。同様にダイアフラム長 $t_8 = \text{振動梁長 } t_5 + \text{梁空間隔 } t_7 + 140 \times 2 = 2500 + 200 + 140 \times 2 = 2980\text{ }\mu\text{m}$ となる。

【 0 0 5 0 】

次に、図 9 A , B に示すように、上記の開口部分に相当する部分の熱酸化膜 2 B を除去する。除去の方法はイオンエッチング等の物理的エッチングでも湿式エッチングでも構わないが、基板 1 の界面の平滑性を考慮すると熱酸化膜 2 B のみが除去される湿式エッチングが好適である。本実施の形態では湿式エッチングの薬液としてフッ化アンモニウムを用いた。ただし、湿式エッチングの場合長時間エッチングを行うと開口部分の側面からエッチングが進行するいわゆるサイドエッチングが大きくなるため、熱酸化膜 2 B の開口部分のみが除去された時点でエッチングを終了させる必要がある。

【 0 0 5 1 】

次に、図 1 0 A , B および図 1 1 に示すように、開口部分として露出した基板 1 に対して湿式エッチングを施すことにより、開口部分の基板 1 の厚みを所望の振動梁厚 t_4 になるまで削る。本実施の形態では S i である基板 1 をエッチングするため T M A H (水酸化テトラメチルアンモニウム) 2 0 % 溶液を用いている。この際、液温度を 80°C に保持し

10

20

30

40

50

浸漬エッチングを行っている。

【 0 0 5 2 】

図 1 1 は図 1 0 B の W 部分を拡大して示したものである。上記の条件でエッチング量（ダイヤフラム深さ） t_{10} を $200\ \mu\text{m}$ とするために、およそ 6 時間のエッチングを行った。また、このエッチングにより開口部分の基板 1 の形状は、図 1 1 に示すように端部が湿式エッチング角度 $1 (= 55^\circ)$ を持って形成される。また、このような湿式エッチング薬液として TMAH 以外に KOH（水酸化カリウム）や EDP（エチレンジアミン - ピロカテコール - 水）溶液等が使用できるが、本実施の形態では熱酸化膜 2 A , 2 B とのエッチングレートの選択比がより大きくなる TMAH を採用した。

【 0 0 5 3 】

ところで、本実施の形態では振動梁厚みになるまでの基板研削に Si の特徴を活かした湿式エッチングを採用しているが、研削の方法は任意でありこの方法に限定されるものではない。

【 0 0 5 4 】

上記の方法により上記開口部分の中にダイヤフラムが形成される。湿式エッチングにより残されたダイヤフラム厚み t_{11} が最終的に振動梁厚み t_4 と等しくなる。

【 0 0 5 5 】

なお、以降の説明では、図 1 0 A , B に W で示した 1 つの素子を拡大して説明する。また、図では説明をわかり易くするため、実際の寸法比とは異なる場合もある。また、図 1 2 A , B に示すように、今後は上記までに形成したダイヤフラムの開口部および熱酸化膜 2 B を下方にして説明する。

【 0 0 5 6 】

[電極膜形成工程]

次に、図 1 2 A , B に示すように下層電極膜 4、圧電膜 5、上部電極膜 6 を形成する。下層電極膜 4 は、圧電膜の特性を向上させるために、下地膜として Ti（チタン）膜（膜厚 $50\ \text{nm}$ 以下、例えば $20\ \text{nm}$ ）とこの Ti 膜の上に形成した Pt（白金）膜（膜厚 $100\ \text{nm}$ ）とからなる積層膜とした。なお、Pt 以外に Au や Rh（ロジウム）、Re（レニウム）等の他の金属膜が適用可能であり、Ti 以外に Ta（タンタル）等も適用可能である。

【 0 0 5 7 】

下層電極膜 4 の形成工程では、まず、マグネトロンスパッタ装置で Ti を $20\ \text{nm}$ 成膜し、上記 Ti 上に Pt を $100\ \text{nm}$ 成膜した。Ti 及び Pt は、ガス圧 $0.5\ \text{Pa}$ でそれぞれ $1\ \text{kW}$ 及び $0.5\ \text{kW}$ の RF（Radio Frequency）パワー（高周波電力）で成膜した。チタン酸ジルコン酸鉛の下地膜として、Pt 膜が使われているが、その密着性を高めることを目的として Ti が成膜される。

【 0 0 5 8 】

次いで、圧電膜 5 を形成する。圧電膜 5 の形成工程では、マグネトロンスパッタ装置で $\text{Pb}1.02(\text{Zr}0.53\text{Ti}0.47)\text{O}_3$ の酸化物ターゲットを用い、常温、酸素ガス圧を $0.2 \sim 3\ \text{Pa}$ 、RF パワー $0.1 \sim 5\ \text{kW}$ の条件で圧電膜 5 を $1.4\ \mu\text{m}$ 成膜した。なお、圧電膜 5 の形成方法の詳細については後述する。

【 0 0 5 9 】

そして、上部電極膜 6 の形成工程では、上述のようにして形成された圧電膜 5 の表面に Pt を $200\ \text{nm}$ 成膜した。上記 Pt はマグネトロンスパッタ装置でガス圧 $0.5\ \text{Pa}$ 、RF パワー $0.5\ \text{kW}$ の条件で成膜した。

【 0 0 6 0 】

[電極膜加工工程]

次に、図 1 3 A , B に示すように、成膜した上部電極膜 6 を所定形状に加工する。上部電極膜 6 は図 1 3 A で示すように 3 つの部分に分かれる。その中の中心が振動梁を駆動させる動力を発生させるための駆動電極（6 a）であり、その左右にコリオリ力を検出するための検出電極（6 b , 6 c）が設置される。駆動電極の幅方向中心が振動梁の中心と一

10

20

30

40

50

致し、左右の検出電極は対称に形成される。上部電極膜 6 の直線部分の端部には配線接続部分が設けられている。

【 0 0 6 1 】

本実施の形態では駆動電極幅 t_{13} を $50\ \mu\text{m}$ 、検出電極幅 t_{14} を $10\ \mu\text{m}$ 、上部電極長 t_{12} を $2\ \text{mm}$ 、駆動電極 6 a と検出電極 6 b , 6 c の間は $5\ \mu\text{m}$ とした。この大きさに関しては任意であるが、最終的な振動梁の大きさの範囲内に納める必要がある。また、後述する配線パターンとの接続部分に関しての形状も任意であり、本実施の形態では接続部幅 t_{16} を $50\ \mu\text{m}$ 、接続部長 t_{15} を $50\ \mu\text{m}$ とした。

【 0 0 6 2 】

上部電極膜 6 の加工方法としては、フォトリソグラフィー技術を用いて所望のレジストパターン膜を形成した後、イオンエッチングにより不要部分の上部電極膜 6 を除去した。上部電極膜 6 の加工方法に関しては特に限定されるものではない。

【 0 0 6 3 】

次に、図 1 4 A , B に示すように、圧電膜 5 を所定形状に加工する。圧電膜 5 は上部電極膜 6 を完全に覆う形であれば、形状は任意である。本実施の形態では圧電膜長 t_{17} を $2.2\ \text{mm}$ 、圧電膜幅 t_{18} を $90\ \mu\text{m}$ とした。ここで、圧電膜幅の中心を振動梁の中心と一致させる。圧電膜幅 t_{18} は振動梁の幅 t_4 以下の幅である必要がある。また、上部電極膜 6 の外周より $5\ \mu\text{m}$ の幅を持たせて圧電膜 5 を加工した。この幅に関しては素子全体の形状サイズにより任意に設定される。

【 0 0 6 4 】

圧電膜 5 の加工方法としては、フォトリソグラフィー技術を用いて圧電部形状のレジストパターン膜を形成した後、本実施の形態ではフッ硝酸溶液による湿式エッチングにより除去した。除去の方法に関しては任意であり、物理的なイオンエッチングによる除去や、化学的に R I E (Reactive Ion Etching) により除去する方法が考えられる。

【 0 0 6 5 】

次に、図 1 5 A、B に示すように、下層電極膜 4 を所定形状に加工する。この下層電極膜 4 は圧電膜 5 を完全に覆う形であれば形状は任意である。本実施の形態では下層電極長 t_{19} を $2.3\ \text{mm}$ 、下層電極幅 t_{20} を $94\ \mu\text{m}$ とした。ここで、下層電極幅の中心は振動梁の中心と一致させる。下層電極幅 t_{20} は振動梁の幅 t_4 以下の幅である必要がある。また、圧電膜 5 の外周より $5\ \mu\text{m}$ の幅を持たせて下層電極膜 4 を加工した。この幅に関しては素子全体の形状サイズにより任意に設定される。また、下層電極膜 4 に対して外部との電気的接合を図るため、図 1 5 A に示すように下層電極接合部分 4 A を設ける。下層電極接合部 4 A は、この後配線パターンで引き出せる面積を確保する必要があり、下層電極接合部長 t_{21} を $200\ \mu\text{m}$ 、下層電極接合部幅 t_{22} を $100\ \mu\text{m}$ とした。

【 0 0 6 6 】

以上の下層電極膜 4 の加工方法としては、フォトリソグラフィー技術を用いて下層電極部形状のレジストパターン膜を形成した後、イオンエッチングにより不要部分を除去した。この加工方法に関しても任意であり、イオンエッチングに限定されるものではない。

【 0 0 6 7 】

[配線膜形成工程]

次に、図 1 6 及び図 1 7 に示すように、配線下地膜 7 を形成する。この目的は、後述する配線膜 9 の密着性を確保するためである。配線下地膜 7 は絶縁材料が前提となる。配線下地膜 7 は振動子上、各電極接続部 6 a , 6 b , 6 c、振動子周辺のエッチング領域以外に成膜されていれば、その形状は任意である。本実施の形態では電極膜の密着性向上も兼ねて、上部電極膜 6、下層電極膜 4 のそれぞれと配線下地膜 7 を $5\ \mu\text{m}$ の重なりを持たせることとした。

【 0 0 6 8 】

配線下地膜 7 の形成方法は、フォトリソグラフィー技術により所望の形状を開口部とするレジストパターン膜を形成した後、配線電極膜をスパッタリングにより成膜し、不要部分に付着したスパッタリング膜をレジストパターン膜の除去と同時に除去するいわゆる

10

20

30

40

50

リフトオフの手法を用いた。材料はアルミナを選定し、75 nm堆積させた。ただし、この配線下地膜7の材料および形成方法は任意であり、上記の形成方法および材料に限定されるものではない。

【0069】

次に、図18および図19に示すように、電極接続部6a, 6b, 6cに平坦化レジスト膜8を設置する。この平坦化レジスト膜8は後述する配線膜9と上部電極膜6との電気的接続を円滑に行うことが目的である。配線膜9と上部電極膜6を物理的に接合する際に、圧電膜5と下層電極膜4の端部を通過せざるを得ないが、圧電膜5に関しては本実施の形態では湿式エッチングにより形成しておりその端部は逆テーパないしはほぼ垂直状態となっており平坦化レジスト膜8を設置せずに配線を行うとその端部で断線するおそれがある。また、下層電極膜4が露出しているため平坦化レジスト膜により絶縁をとらないと電氣的に短絡してしまう。以上の観点から平坦化レジスト膜8を設置している。

10

【0070】

平坦化レジスト膜8の形状は、後述する配線膜9を覆う形であれば任意であり、本実施の形態では平坦化レジスト膜幅 t_{23} を200 μm 、平坦化レジスト膜長 t_{24} を50 μm とした。

【0071】

平坦化レジスト膜8の形成方法はフォトリソグラフィー技術によりレジスト膜を所望の形状にパターニングを行った後、280~300 程度の熱処理を加えることでパターニングを行ったレジスト膜を硬化させる。この際、本実施の形態ではレジスト膜の厚みを2 μm 程度としたが、この厚みに関しては圧電膜5、下層電極膜4の厚みに応じて変化させ、およそ両者の厚みの合計以上の厚みをもたせることが望ましい。

20

【0072】

本実施の形態では上記平坦化レジスト膜8として感光性レジスト膜を用いているが、この材料に関してはこれに限定されるものではない。上記の目的に合う非導電性の材料であればその形成方法も含めて任意である。

【0073】

次に、図20及び図21に示すように、上部電極膜6と外部との接続を図るために配線膜9を形成する。これは外部との電氣的接続を容易にするためであり、配線膜9は平坦化レジスト膜8の上面を通り上部電極膜6の接合部に接続される。上部電極接続部6a, 6b, 6cの形状は任意であるが、電氣的な接触抵抗を減少させるため、5 μm 四方以上の大きさが望ましい。また本実施の形態では外部との電氣的接続に関してはAuバンプのフリップチップによる接合方法を前提としているため、図20のように各電極に対して電極パッド101A, 101B, 101C, 101Dを形成することでAuバンプ領域を確保している。

30

【0074】

電極パッド101A, 101B, 101C, 101DはAuバンプの形成が可能な面積が必要であり、本実施の形態では電極パッド部長 t_{25} を120 μm 、電極パッド幅 t_{26} を120 μm とした。また、上部電極膜6である駆動電極6aおよび左右の検出電極6b, 6c、下層電極膜4の4つに対してそれぞれ外部との電氣的な接合が必要となるため、配線膜9に関してもこれら4つに対して独立していることが必要であり、電極パッド101A, 101B, 101C, 101Dの位置については素子エリアAR内にあることが前提である。

40

【0075】

また、この工程において同時に分極レール111, 112も形成する。本実施の形態の振動子は、最終的に分極して圧電特性を安定化させるが、その分極作業を効率化するために同列の素子をまとめて行うことにしている。この同時分極を行うためには電圧印加側、GND側の配線を事前に形成しておく必要があり、ここでは、図22のように各分極レール111, 112として横一直線に形成している。この時点では素子とレールは独立しているが、後述するCu配線11の形成で電圧印加側とGND側の配線が接続される。

50

【 0 0 7 6 】

配線膜 9 の形成方法は、フォトリソグラフィー技術により所望の形状を開口部とするレジストパターン膜を形成した後、配線電極膜をスパッタリングにより成膜し、不要な部分に付着したスパッタリングした膜をレジスト膜の除去と同時に除去するいわゆるリフトオフの手法により形成した。配線膜の材料としては付着力を向上させるため Ti を 20 nm 堆積させた後、電気抵抗が低く低コストの Cu を 300 nm 堆積し、その後 Au バンプとの接合を容易にするため Au を 500 nm 堆積させた。ただし、この配線膜の材料および形成方法は任意であり上記の形成方法および材料に限定されるものではない。

【 0 0 7 7 】

[絶縁保護膜形成工程]

次に、図 2 3 及び図 2 4 に示すように、振動梁上および配線上に絶縁保護膜 1 0 を形成する。この目的は、湿度などの外的要因による電極間リークを防止すること、また、電極膜の酸化を防止することである。振動子上保護膜幅 t_{27} は下層電極幅 t_{20} よりも広く、振動梁幅 t_6 より狭いことが条件であり、本実施の形態では t_{27} を $98\text{ }\mu\text{m}$ とした。振動子上保護膜長 t_{28} は下層電極長 t_{19} よりも広く、振動子長さ t_5 より狭いことが条件であり、本実施の形態では t_{28} を 1.95 mm とした。配線膜 9 上の保護膜 1 0 は、全体を覆うパターンであるが、 Au バンプを行う電極パッド 4 箇所、及び Cu 配線 1 1 との接続部 4 箇所においては、選択的に保護膜が付かないようにする必要がある。

【 0 0 7 8 】

保護膜 1 0 の形成方法は、フォトリソグラフィー技術により所望の形状を開口部とするレジストパターン膜を形成した後、保護膜をスパッタリングにより成膜し、不要な部分に付着したスパッタリング膜をレジスト膜の除去と同時に除去するいわゆるリフトオフ法の手法により形成した。保護膜 1 0 の材料としては、付着力を向上させるため Al_2O_3 を 50 nm 堆積させた後、絶縁性の高い SiO_2 を 750 nm 堆積し、最上層にはその後の振動梁形成時のレジスト密着性を向上させるために Al_2O_3 を 50 nm 堆積させた。絶縁保護膜として機能する SiO_2 は、少なくとも上部電極の厚みの 2 倍以上は必要であるが、 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の厚みになるとリフトオフ時にバリが発生しやすくなるため、本実施の形態では 750 nm としている。また、 SiO_2 成膜時は膜密度を高めるため、 Ar 圧を放電限界の下限である 0.4 Pa で行った。

【 0 0 7 9 】

次に、図 2 5 及び図 2 6 に示すように Cu 配線 1 1 を形成する。 Cu 配線 1 1 は上部電極膜 6 の駆動電極 6 a、左右の検出電極 6 b、6 c を電圧印加側のレール 1 1 1 に、下層電極 4 を GND 側のレール 1 1 2 にそれぞれ接続する。 Cu 配線 1 1 は、図 2 7 に示すようにすべての素子で同様に接続を行う。この配線を Cu にする理由は、分極後に湿式エッチングで容易に溶解し、素子にダメージを与えることなく再度素子を独立することができるためである。そのため、素子にダメージを与えることなく容易に消失させることができる導電体であれば、材料は任意である。配線幅 t_{29} (図 2 9) は分極時の導通を確保するため、 $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上が望ましい。

【 0 0 8 0 】

Cu 配線 1 1 の形成方法は、フォトリソグラフィー技術により所望の形状を開口部とするレジストパターン膜を形成した後、 Cu をスパッタリングにより成膜し、不要な部分に付着したスパッタリング膜をレジスト膜の除去と同時に除去するいわゆるリフトオフの手法により形成した。 Cu 膜厚は分極時の導通を確保するため、 400 nm とした。この配線膜の形成方法は任意であり上記の形成方法に限定されるものではない。

【 0 0 8 1 】

次に、図 2 8 に示すように裏面ストッパー膜 1 2 を形成する。この目的は、後述の振動梁形成で貫通エッチングをした際、最下面のプラズマ集中によるエッジ形状不良を防止するためである。本実施の形態では裏面全面に SiO_2 を 500 nm 、スパッタリングにより形成した。

【 0 0 8 2 】

〔振動梁形成工程〕

次に、図 29、図 30 及び図 31 に示すように梁空間を除去して振動梁を形成する。図 30 は図 29 の Y Y' の断面図、図 31 は図 29 の X X' の断面図である。

【0083】

梁空間の形成方法は、貫通部 13 を開口部とするレジストパターン膜をフォトリソグラフィ技術により形成し、熱酸化膜 2A をイオンエッチングにより除去した後、基板 1 を貫通するまでエッチングする。熱酸化膜 2A の除去に関しては湿式エッチングでも可能であるが、サイドエッチングによる寸法誤差を考慮するとイオンエッチングが好適である。

【0084】

また基板 1 の Si を貫通させるためには本実施の形態では振動梁厚み t_{14} (ダイヤフラム厚み t_{11}) が $100\mu\text{m}$ であり、この量をエッチング除去する必要がある。通常のイオンエッチング等ではレジスト膜との選択比がとれない上に垂直な壁面として残すことは困難である。本実施の形態では、ICP (Inductively Coupled Plasma: 誘導結合型プラズマ) を備えた装置に、エッチングと側壁保護膜成膜を繰り返す Bosch プロセス (エッチング時 SF₆、成膜時 C₄F₈ ガス) を用いることで、垂直な側壁面をもつ振動梁の形成を行った。この垂直に Si 材料を研削する技術は一般的に確立されており、本実施の形態でも市販されている装置により行っている。ただし、梁空間の除去の方法に関しては任意であり、上記の方法に限定されるものではない。エッチング幅 t_7 は ICP でエッチング可能な幅が必要であり、本実施の形態では $200\mu\text{m}$ とした。また、Cu 配線 11、貫通させないようにする。

【0085】

ICP でエッチング完了後は、裏面ストッパー膜 12 を除去する。除去方法は任意であるが、本実施の形態ではフッ化アンモニウムによる湿式エッチングにより除去した。この時ストッパー膜 12 を除去する前に、貫通パターンのレジストを除去してしまうと、絶縁保護膜 10 が消失してしまうため、ストッパー膜除去後にレジストを除去することとする。ストッパー膜 12、レジスト除去後を図 32 ~ 図 34 に示す。

【0086】

〔分極処理工程〕

次に、図 35A、B に示す素子に、圧電特性を安定にさせるための分極処理を施す。同列の素子をまとめて分極するため、印加側パッド、GND 側パッドを介して外部電源に接続する。接続の方法、分極方法は任意であるが、本実施の形態ではワイヤボンディングで外部電源に接続して、分極処理を施した。

【0087】

次に、図 36A、B に示すように、分極処理後に不要となった Cu 配線 11 を除去する。Cu 配線 11 を残したまま素子切断を行うと、切断面で Cu 配線 11 と基板 1 が電氣的にリークするため、化学的に除去することが望ましい。本実施の形態では素子にダメージを与えないために、メルテックス社製エンストリップ溶液を用いて湿式エッチングを行って Cu 配線 11 を消失させた。

【0088】

このように、振動型ジャイロセンサ素子 100 を薄膜プロセスで形成し、上記薄膜プロセスで形成された薄膜の配線を通して複数個一度に分極処理を行うことによって、大量の薄膜ジャイロを安価に、且つ安定に形成できる。

【0089】

なお、Cu 配線 11 の除去は上述のウェットエッチングによる溶解除去に限られない。後述する素子切断工程では、素子を Cu 配線 11 に沿って切断するため、ダイサーで素子を分断する際に Cu 配線 11 を研削除去するようにしてもよい。この場合、Cu 配線 11 の形成幅 t_{29} は切断砥石幅以下であることが条件となる。本実施の形態では、砥石幅が $40\mu\text{m}$ のダイサーを用いて素子を分断するため、配線 11 の形成幅 t_{29} は $20\mu\text{m}$ 以上 $40\mu\text{m}$ 以下とする必要がある。 $20\mu\text{m}$ 未満では分極電圧印加時に抵抗により発熱して配線 11 が溶断するおそれがある。 $40\mu\text{m}$ を超えると砥石幅よりも大きくなって分断

10

20

30

40

50

後に素子に残存するからである。

【 0 0 9 0 】

[金バンプ形成工程]

次に、図 3 7 A , B に示すように、フリップチップを行うための A u バンプ 1 4 を形成する。A u バンプ 1 4 は 4 箇所の電極パッド上に形成する。

【 0 0 9 1 】

[切断工程]

次に、図 3 8 A , B に示すように、基板 1 上に圧電薄膜センサとして形成された 1 5 個の振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 を個々に分断する。分断時は C u 配線ブリッジ部の幅 3 2 μ m 以上の砥石で切断する必要があり、本実施の形態では幅 4 0 μ m の砥石でダイシングによりカッティングした。図 3 8 B のように素子サイズに従って切断線 L 1 ~ L 3 に沿って切断する。この場合の切断線 L 1 , L 2 は C u 配線ブリッジ部上を切断することが条件となるが、これにより貫通部 1 3 と切断面で分断された図 3 9 に示す圧電薄膜センサとして振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 が完成し、図 3 8 B に示す C 部が不要部分となる。

【 0 0 9 2 】

[実装工程]

そして、個々に分断した振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 は、例えば図 4 0 に示すように、フリップチップの手法で I C 基板等の支持基板に実装される。I C 基板は素子の配置に合わせて電氣的結線が完了するようにあらかじめ設計されている。図 4 0 の例では、振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 を X 方向及び Y 方向に 1 つずつ実装することにより、2 個の振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 A , 1 0 0 B を備える二軸の角速度センサ 1 5 0 としている。

【 0 0 9 3 】

この角速度センサ 1 5 0 は、図 4 1 に示すように、素子および回路と外部との接触をなくするためカバー材 1 5 により気密に密閉かつ保護されている。カバー材 1 5 の材料は任意であるが外部ノイズの影響を考慮して、金属などシールドの効果のあるものが望ましい。また、カバー材 1 5 は振動梁の振動を妨げない形状とされている。

【 0 0 9 4 】

[調整工程]

ここで、本実施の形態における振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 は、上記 I C P を用いた R I E によって振動子の外形加工を行っているが、その中心線上に対し、基板内の全素子が完全に左右対称に形成できるとは限らない。

【 0 0 9 5 】

このため例えば図 4 2 A , B に示すように振動子の断面形状が台形形状となった場合、本来の振動子圧電膜形成面に対して垂直な上下振動からずれて、振動子中心線上から見て質量が小さい側に傾いた振動状態となる。上記振動状態が傾いた場合、縦共振周波数で振動させると振動子上の中心線に対して左右対称に形成された検出電極からの出力の大きさは、傾いた側の検出信号の方が大きくなり、逆側の検出信号が小さくなる。このため、左右の検出信号に差が生じてしまう。

【 0 0 9 6 】

本実施の形態では、この現象の対処法として、個々に分断した振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 について、振動子 1 1 0 の中心線上からみて質量の大きい側をレーザー加工により研削して、左右のバランスを対称とすることにより、垂直な振動状態に矯正する調整工程を実施する。

【 0 0 9 7 】

具体的な調整方法として、振動子 1 1 0 自体の断面形状の詳細を観察することは困難であるが、縦共振周波数で振動子 1 1 0 を振動させた場合の左右検出信号の大きさを比較して、その小さい側の振動子の一部をレーザー加工により削り取って凹部を設けることにより、調整を行う。

【 0 0 9 8 】

調整工程は、調整前に、図 4 3 A に示すように、発振回路 7 1 の発振出力 G 0 を駆動電極 1 0 6 a に印加することによって振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 を縦共振状態で駆動させる。調整工程は、一对の検出電極 1 0 6 b , 1 0 6 c から得る検出信号 G a , G b を加算回路 7 2 によって加算し、その加算信号を発振回路 7 1 に帰還させる。そして、検出電極 1 0 6 b , 1 0 6 c から得る検出信号 G a , G b に基づいて、発振回路 7 1 の発振周波数を縦共振周波数 f_0 として測定するとともに検出信号 G a , G b の差を差分信号として測定する。

【 0 0 9 9 】

また、調整工程は、図 4 3 B に示すように、発振回路 7 1 の発振出力 G 1 を検出電極 1 0 6 b に印加することによって振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 を横共振状態で駆動させる。そして、検出電極 1 0 6 c から得る検出信号 G b - 1 を発振回路 7 1 に帰還させるとともに、検出信号 G b - 1 に基づいて、発振回路 7 1 の発振周波数を横共振周波数 f_1 として測定する。さらに、調整工程は、図 4 3 C に示すように、発振回路 7 1 の発振出力 G 2 を検出電極 1 0 6 c に印加することによって振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 を横共振状態で駆動させる。そして、検出電極 1 0 6 b から得る検出信号 G a - 2 を発振回路 7 1 に帰還させるとともに、検出信号 G a - 2 に基づいて、発振回路 7 1 の発振周波数を横共振周波数 f_2 として測定する。

【 0 1 0 0 】

なお、横共振周波数は、一方の検出信号 G b - 1 から得る横共振周波数 f_1 と他方の検出信号 G a - 2 から得る横共振周波数 f_2 とは等しいことから、検出電極 1 0 6 b , 1 0 6 c のいずれか一方の接続状態で行うようにすればよい。

【 0 1 0 1 】

上述した各測定によって得た縦共振周波数 f_0 と横共振周波数 f_1 , f_2 の周波数差を離調度とし、離調度が所定の範囲であるか否かを判定する。また、調整工程は、振動子を縦共振周波数で振動させたときに検出電極 1 0 6 b , 1 0 6 c から検出される差分信号が所定の範囲であるか否かを判定する。上述した離調度や差分信号の判定結果に基づいて、その大きさから振動子に対する調整加工位置を決定しレーザ照射を行って一部を研削して調整を行う。調整工程は、以下同様の測定・レーザ加工を、離調度と差分信号とが目標値に達するまで施す。

【 0 1 0 2 】

レーザ加工により削り取って振動子に凹部 8 0 を設ける被加工領域は、圧電膜や各種電極膜が形成される振動子の表面以外の領域とされ、図 3 に示したように振動子 1 1 0 の裏面 1 1 0 b や側面、振動子 1 1 0 の先端面、あるいは図 4 4 に示すように振動子 1 1 0 の裏面 1 1 0 b と側面の境界となる稜線部分が該当する。なお、振動子 1 1 0 の表面とその側面との間の稜線部も上記被加工領域に含めることができる。この場合、当該表面側の稜線部と圧電膜の形成領域との間が一定以上離れているなど、凹部のレーザ加工時に振動子表面の圧電膜が影響を受けないことが必要である。離調度調整用の凹部及び / 又は差分信号 (バランス) 調整用の凹部の数は単数に限らず複数も含まれる。凹部を複数形成する例では、調整の効果を確認しながら凹部の形成位置や形成数を逐次変化させることで、最終的に目標値にまで調整していくことができる。

【 0 1 0 3 】

レーザ加工により調整する効果の度合いは、加工する位置及び範囲によって決定される。図 4 4 に示すように、振動子 1 1 0 の稜線部分に対して先端側から根元側に向けて凹部 8 0 を設ける加工位置をそれぞれ A , B , C とした場合、振動子 1 1 0 の根元から先端に向けて離調度、検出信号バランスともに変化量が小さくなるので、根元側を加工することで粗調整、先端側を加工することで微調整と使い分けることができる。ここで「レーザ加工量」は、深さ方向の加工量と振動子長手向の加工量の総計である。従って、加工深さが浅くても加工範囲が広くなれば加工量は大となり、同様に、加工範囲が狭くても加工深さが深くなれば加工量は大となる。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 4 】

図 4 5 は、凹部 8 0 を設ける加工位置 A , B , C におけるレーザー加工量とバランスの変化量 $[(G a / G b) d b]$ の関係を示している。また、図 4 6 は、サンプル 1 , 2 , 3 について初期状態によって凹部 8 0 を設ける位置 A , B , C を決定してレーザー加工を施して、バランスを目標値まで調整した場合のバランス $[(G a / G b) d b]$ の変化状態を示している。

【 0 1 0 5 】

レーザー加工により一部を削り取って凹部 8 0 を設ける加工位置は、振動子拘束端部付近が最も効果が大きくなるが、形状量は任意である。削り取る量は、左右の検出信号を比較して調整すればよい。

10

【 0 1 0 6 】

次に、レーザー加工により振動子 1 1 0 の裏面中央部分（中心軸線上）を削り取り、図 4 7 に示すように、振動子 1 1 0 の先端側から根元側に向けて凹部 8 0 を設ける加工位置をそれぞれ A 0 , B 0 , C 0 とした場合の、各加工位置 A 0 , B 0 , C 0 におけるレーザー加工量と離調度の変化量 $[H z]$ の関係を図 4 8 に示す。加工位置が根元側に近いほど離調度の変化量は大きくなる。また、各加工位置 A 0 , B 0 , C 0 におけるレーザー加工量とバランスの変化量 $[(G a / G b) d b]$ の関係を図 4 9 に示す。加工位置に関係なくバランスは変化しない $((G a / G b) = 1)$ 。さらに、図 5 0 は、サンプル 1 , 2 , 3 について初期状態によって加工位置 A 0 , B 0 , C 0 を決定してレーザー加工を施して、離調度を目標値まで調整した場合の変化を示している。

20

【 0 1 0 7 】

さらに、レーザーで調整を行った振動子 1 1 0 を、振幅 1 0 0 μm まで振動させたときに、レーザー加工した部分で振動子 1 1 0 が折れるか否かを実験した結果を図 5 1 に示す。

【 0 1 0 8 】

図 5 1 において、三角のプロットは振幅が 1 0 0 μm に満たない時点で振動子がレーザー加工部を起点として破壊してしまったことを意味する。この図 5 1 に示す実験結果より、振動子の根元付近に深い加工を施すほど、振動子 1 1 0 は破壊しやすくなっていることがわかる。

【 0 1 0 9 】

30

次に、何も加工を行っていない振動子、図 5 1 の三角プロット範囲でレーザー加工を施した振動子、図 5 1 の丸プロットで示した範囲内でレーザー加工を施した振動子について、実際に振動子 1 1 0 を実装したジャイロセンサを 2 0 0 g の剛体に貼り付け落下させたときの振動子 1 1 0 が折れる高さを集計したヒストグラムをそれぞれ図 5 2、図 5 3、図 5 4 に示す。

【 0 1 1 0 】

何も加工を行っていない振動子では、図 5 2 に示すように、1 5 0 c m 程度の高さで破壊し、1 0 0 μm 角柱の振動子のシリコン強度がこの程度であるのに対し、図 5 1 の三角プロット範囲でレーザー加工を施したものでは、図 5 3 に示すように、5 0 c m 程度の高さで振動子 1 1 0 は破壊されており、外部衝撃に対する強度が半減している。また、その破壊が起きている場所はレーザー加工を施した場所を基点としている。

40

【 0 1 1 1 】

これに対し、図 5 1 の丸プロットで示した範囲内でレーザー加工を施した振動子 1 1 0 では、図 5 4 に示すように、1 5 0 c m 程度の高さまで強度は保たれ、加工を施していない振動子と同等の強度が得られている。

【 0 1 1 2 】

さらにこの場合、振動子 1 1 0 の破壊が起きる場所はレーザー加工を施した場所ではなく振動子 1 1 0 に最も応力の集中する根元から破壊が起きており、この実施の形態における大きさの振動子 1 1 0 を用いる限り、これ以上の強度を望めない強度のところで破壊していることを示している。

50

【 0 1 1 3 】

また、レーザー加工の研削痕を連続したものでなく図 5 5 に示すスポット状でかつそれぞれのスポットが重ならないステップ状とした場合には、図 5 6 に示すように、 $100\mu\text{m}$ 以内で振動子 1 1 0 の破壊が起きる領域が狭くなり、図 5 1 と比較して同じ場所でのレーザー加工の深さを深くしても、破壊が起きない。すなわち、連続した加工よりも、ステップ状の加工の方が振動子 1 1 0 の強度が強いことを意味している。

【 0 1 1 4 】

しかしながら、振動子 1 1 0 の根元から $100\mu\text{m}$ 以下の場所へのレーザー加工は非常にシビアで、上記のステップ状の加工を施しても破壊振幅強度はほとんど変わらず、この部分はレーザー加工に対して極端に強度が弱くなっていると考えられる。このため振動子 1 1 0 の根元から $100\mu\text{m}$ 以内の範囲にはレーザー加工を施さないことが望ましい。

10

【 0 1 1 5 】

上記の結果から、振動子 1 1 0 に対するレーザー加工は振動子 1 1 0 の根元から $100\mu\text{m}$ 以内には加工を施さず、また、根元から離れるに従い加工深さを増していくことが理想的であり、この条件で加工を行った場合、振動子 1 1 0 の強度は加工を施さない場合と同程度となる。ここで、振幅 $100\mu\text{m}$ で振れた時の振動子根元に加わる応力は、およそ 0.5GPa 程度である。

【 0 1 1 6 】

なお、実際は振動子の大きさ設計で許容されるレーザー加工の位置と深さは異なるため、実際に使用する形状で、上記の試験を行い振動子が加工した部分を起点として破壊が起きない範囲で加工を施すことになる。

20

【 0 1 1 7 】

また、レーザー加工により振動子 1 1 0 の裏面中央部分（中心軸線上）からずれた位置を削り取り、図 5 7 に示すように、中央側から外側に向けて加工位置を A 1 , B 1 , C 1 とした場合の、各加工位置 A 1 , B 1 , C 1 におけるレーザー加工量と離調度の変化量 $[Hz]$ の関係を図 5 8 に示す。加工位置に関係なく離調度は変化しない。但し、振動子長手方向にある程度の距離加工した場合、離調度は変化する。この場合、各加工位置における離調度の変化量は A 1 , B 1 , C 1 とともに同一となる。また、各加工位置 A 1 , B 1 , C 1 におけるレーザー加工量とバランスの変化量 $[(Ga/Gb)db]$ の関係を図 5 9 に示す。中央部分から外側に向かうほどバランス変化量は大きくなる。

30

【 0 1 1 8 】

さらに、各加工位置 A 1 , C 1 におけるレーザー加工による離調度及びバランスの変化状態を図 6 0 に示し、また、加工位置 B 1 におけるレーザー加工による離調度及びバランスの変化状態を図 6 1 に示す。この例は、離調度及び左右検出信号バランスの調整を共通の凹部で同時に行うことができることを示している。すなわち、離調度調整用の凹部を第 1 の凹部、バランス調整用の凹部を第 2 の凹部としたときに、これら第 1 , 第 2 の凹部を共通の凹部で形成することで、離調度及びバランスの調整を同時に行うことができるようになる。この方法によれば、離調度とバランスの調整を同時に行えるので、調整工程の作業時間の短縮を図ることができるとともに、凹部の形成数を減らして振動子の機械的強度の低下を抑制することができる。

40

【 0 1 1 9 】

離調度調整及びバランス調整用の凹部 8 0 の形状は、図 5 7 に示したようなライン状に限らず、図 5 5 に示したようなスポット状の凹部をステップ状に複数形成してもよい。凹部 8 0 をスポット状に形成することで、上述したように振動子の機械的強度を高めることができるほか、加工位置や加工量の選定範囲を広げられるので精度の高い調整が可能となる。また、凹部 8 0 の被加工領域を例えば振動子 1 1 0 の側面とすることで、バランス調整だけでなく、離調度の調整も同時に行うことが可能である。勿論、被加工領域はひとつの面又は部位に限らず、例えば振動子の裏面と側面と稜線部の少なくともひとつに凹部を形成することで振動特性の調整を行うようにしてもよい。なお、凹部 8 0 をスポット状に複数形成する例は、上述した離調度及びバランスの双方に共通な凹部の形成に限らず、離

50

調度調整用凹部のみ又はバランス調整用凹部のみに適用することができる。

【 0 1 2 0 】

本実施の形態によれば、上述のごとく傾いて振動している振動子 1 1 0 においても、矯正して理想的な垂直状態の振動となり、縦共振周波数での左右の検出信号の大きさが同一となるように制御調整ができる。すなわち、このように、振動子 1 1 0 の形成不良に伴う、周波数差かつ縦共振周波数における左右検出信号の信号出力のばらつきを矯正することによって、安定した特性をもつジャイロセンサを容易に提供することができる。また、加工位置を変えて調整することにより加工回数が減り、調整時間が短縮される。また、加工回数を減らすことにより、信頼性の高い、角速度振動子が作製できる。さらに、調整の手順をアルゴリズム化することにより自動調整機の作製が可能になり生産性が向上する。

10

【 0 1 2 1 】

(第 2 の実施の形態)

上述したように、本発明に係る振動型ジャイロセンサの調整方法においては、図 3 に示したように、支持基板 2 0 に実装した振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 に対して、目標とする振動特性が得られる程度に振動子 1 1 0 の裏面 1 1 0 b 側をレーザー加工する。

【 0 1 2 2 】

振動子 1 1 0 の調整項目は主として 2 つあり、1 つは縦共振周波数と横共振周波数の周波数差を調整すること、もう 1 つは左右検出信号を揃えることである。周波数差の調整はデバイスの感度を向上させ、左右検出信号の調整はデバイスのノイズ低減に寄与する。

【 0 1 2 3 】

20

上述の第 1 の実施の形態では、振動子 1 1 0 を縦共振周波数で振動させた場合の左右の検出信号の大きさを比較して、その小さい側の振動子の一部をレーザー加工により削り取って凹部を設けることにより、振動子 1 1 0 を垂直方向の振動モードに調整していた。これを別の表現で説明すると、動作周波数 (縦共振周波数) のみに着目して左右検出信号の振幅と位相を合わせていき、これら左右の検出信号が揃ったとき、振動子 1 1 0 は垂直方向の振動モードに矯正されたものとみなしていた。

【 0 1 2 4 】

図 6 2 A に示すように振動子 1 1 0 が斜め方向に振動している場合、左右の検出信号差が生じる ($G_a < G_b$)。図 6 2 B は、差分信号 ($G_a - G_b$) (単位 dBm) の周波数特性を示しており、この場合は横共振周波数 F_h で相当のピークが現れる。 F_v は縦共振周波数で振動子 1 1 0 の動作周波数に相当する。上述の第 1 の実施の形態では、動作周波数 (縦共振周波数 F_v) のみに着目し、そのピークレベルを低下できる位置を選択して振動子 1 1 0 の裏面 1 1 0 b にレーザーを照射して凹部を形成 (以下、レーザートリミングという。) していた。これにより、振動子 1 1 0 の振動モードは、図 6 3 A に示すように垂直方向に矯正されて左右の検出信号差が低下し、図 6 3 B に示すように F_v 位置のみならず F_h 位置においても検出信号差レベルが最小とされる。

30

【 0 1 2 5 】

しかしながら、図 6 3 B に示すように振動モードを垂直方向に矯正することで検出信号差が低下するのは、垂直方向に振動する振動子から出力される左右検出信号が元々同等である場合に限られる。つまり、検出信号を出力する検出電極は振動子表面の圧電膜上に積層形成されているため、振動子製造プロセスの過程で何らかの理由により当該圧電膜が左右で非対称に形成される場合がある。これは、一枚のシリコン基板から複数の振動子を同時に作製しているため、ウェーハ (基板) 位置によって例えば圧電膜の成膜過程で膜厚や組成等に変動が生じることが主な原因である。

40

【 0 1 2 6 】

したがって、上述のように本来的に左右の検出信号に差が生じている振動子は、動作周波数 (縦共振周波数 F_v) を基準としたレーザートリミングを施しても、図 6 3 C に示すように横共振周波数 F_h のピークレベルを低下させることができなくなる。このような振動子を用いて振動型ジャイロセンサを構成すると、外部から侵入するノイズの影響を受け易くなり、結果的にセンサ出力が劣化する。このセンサ出力の劣化メカニズムについて以

50

下説明する。

【0127】

本実施の形態の振動型ジャイロセンサは、図64に示すように、振動子110の駆動電極106aにIC回路40のG0端子が接続されることで周波数F0の駆動信号が印加される。また、一方の検出電極106bはIC回路40のGa端子に接続されて検出信号Vgaを出力するとともに、他方の検出電極106cはIC回路40のGb端子に接続されて検出信号Vgbを出力する。IC回路40において、自励発振回路30は図5を参照して説明した加算回路41、増幅回路42、移相回路43及びAGC44によって構成される。また、第1演算回路31は図5の差動増幅回路45に相当し、第2演算回路32は図5の同期検波回路46及び平滑回路47に相当する。

10

【0128】

振動子110は入力信号Vg0を印加されて振動し、左右の検出電極106b, 106cからそれぞれ検出信号Vga, Vgbを出力する。これらの検出信号は第1演算回路31においてAM変調されて差分信号(Vga - Vgb)が生成される。この差分信号は第2演算回路32において直流変換されて出力され、振動子110に作用する角速度が検出される。このとき、周波数Faをもつ外乱ノイズが振動子110の入力信号にのると、その外乱周波数Faを含んだ入力信号($F0 \pm Fa$)で振動子110が振動し、その検出信号の差分信号(Vga - Vgb)に $F0 \pm Fa$ の周波数成分が含まれる。その結果、第2演算回路32からは外乱信号Faが重畳した出力信号が出力されることになる。

【0129】

20

以上のように、振動子110の振動特性が、 $F0 \pm Fa$ 成分を励起しやすい状態である場合、センサ出力は当該ノイズの影響を大きく受けて、角速度の検出精度を劣化させてしまう(抑圧比を悪化させてしまう)。振動子110の振動特性が $F0 \pm Fa$ 成分を励起しやすい状態である場合とは、動作周波数(縦共振周波数Fv)付近前後2~300Hz付近に動作周波数以外の周波数帯域にピークをもつ状態を意味する。通常、角速度センサに用いられる振動子は、特性を確保するため、縦共振周波数Fv付近に横共振周波数Fhが設定される。これら縦共振周波数Fvと横共振周波数Fhの周波数差が離調度であり、この離調度付近の周波数をもつ外乱ノイズの飛び込みによってセンサ出力は影響を受けやすくなる。

【0130】

30

そこで本実施の形態では、横共振周波数(Fh)での駆動時に振動子110から出力される左右検出信号の差分信号が最小となるように振動子110の振動特性を矯正する。すなわち、振動子110の振動特性を調整する際、図65A, Bに示すように横共振周波数Fhのピークレベルに着目し、この横共振周波数Fhのピークレベルが最小となるように振動子110をレーザトリミングする。具体的には、振動子110を横共振周波数で振動させたときに検出電極106b, 106cから検出される差分信号が所定の範囲であるか否かを判定する。この差分信号の判定結果に基づいて、その大きさから振動子に対する調整加工位置を決定しレーザ照射を行って一部を研削して調整を行う。これらの測定・レーザ加工を目標値に達するまで施す。

【0131】

40

以上のように本実施の形態によれば、定常動作時の振動方向(垂直方向)以外の周波数で共振しないように振動子の振動特性を調整し、振動特性の安定化を図るようにしている。その結果、離調度付近の外乱ノイズ(本例では50Hzや100Hzなど)が入力信号に飛び込んでも検出信号に与える影響が少なくなり、ノイズに対するセンサ出力の信号比(SN比)を高め、外乱に強い振動型ジャイロセンサを得ることができる。

【0132】

また、圧電膜の膜特性の左右非対称性に起因して垂直モードで振動する振動子の左右検出信号に信号差が生じている場合でも、上述したような横共振周波数Fhのピークレベルを低下させる調整処理を施すことで、離調度調整及び左右検出信号の調整のほか、外乱対策をも同時に行うことが可能となるので、生産性、歩留まり及び品質の向上を図ることが

50

できる。

【 0 1 3 3 】

(第 3 の実施の形態)

上述してきたように、本発明に係る振動型ジャイロセンサは、共通の支持基板上に同一構成の振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 A , 1 0 0 B を異なる軸方向に向けて実装することで、2 軸方向の角速度をそれぞれ検出できるようにしている (図 4 0 参照) 。また、この振動型ジャイロセンサは、同一支持基板上に I C チップ等の電子部品が実装されているとともに、各種センサ部品や電子装置等が搭載された本体機器の内部にセッティングされる。したがって、一对の振動型ジャイロセンサ素子間、同一支持基板上の I C 部品等の部品間、更には本体機器内の他の電子装置との間におけるクロストークによる影響を回避して、センサ出力の精度向上を高める必要がある。

10

【 0 1 3 4 】

一方、本発明に係る振動型ジャイロセンサの調整方法は、支持基板 2 0 の上に実装された振動型ジャイロセンサ素子 1 0 0 について、その振動子 1 1 0 の裏面 1 1 0 b 側をレーザートリミングすることで離調度や検出信号の調整を行うようにしている。この調整工程において、振動型ジャイロセンサ素子の共振周波数を任意の周波数に調整できれば、振動型ジャイロセンサ相互間や他の電子部品あるいは電子装置との間におけるクロストークを回避することが可能となる。

【 0 1 3 5 】

そこで、本実施の形態では、振動子 1 1 0 の振動特性の調整工程において、当該振動子 1 1 0 の離調度及び検出信号バランスといった各種振動特性の調整の後、振動子 1 1 0 に同様なレーザートリミングを施して縦横の共振周波数の調整を行うようにしている。

20

【 0 1 3 6 】

振動子 1 1 0 は片持ち梁形状の振動子であるので、振動周波数は下記の式で示されるように、梁の長さの 2 乗に反比例する。式中、 f_n は片持ち梁の共振周波数、 E はヤング率、 I は梁の断面 2 次モーメント、 ρ は密度、 A は梁の断面積、 L は梁の長さ、 k は比例係数である。これにより、振動子 1 1 0 の先端部分をレーザートリミングして、梁の剛性及び実効的な長さを減じることにより、梁の共振周波数を増加させることができる。

【 0 1 3 7 】

【 数 1 】

30

$$f_n = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A L^4}} = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \frac{1}{L^2}$$

40

【 0 1 3 8 】

一方、当該共振周波数の調整の際、先に調整された離調度が変動することは避けなければならない。図 6 6 は、レーザー加工深さ 1 1 μ m、梁長さ 1 . 9 mm の場合における梁の加工位置と共振周波数及び離調度の変化を測定して得られた各点のデータのプロット図 (グラフ) である。梁の根元 (振動子の基端部位) から 1 . 6 mm 以上 (振動子の全長の 4 / 5 以上) 離れた位置をレーザー加工することで、離調度 (9 3 H z) を変化させることなく共振周波数を増加させることができる。

【 0 1 3 9 】

以上の結果から、図 6 7 に示すように、振動子 1 1 0 の裏面 1 1 0 b 側においてその根

50

元部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置を共振周波数調整用のレーザー加工凹部90の形成領域とし、これ以外の領域を離調度調整用及び左右検出信号のバランス調整用のレーザー加工凹部80の形成領域とする。これにより、離調度を変動させることなく振動子110の共振周波数を本体機器内部のクロストークの影響が少ない周波数帯域に任意に調整することができる。凹部90の形成数は単数に限らず複数でもよい。なお、凹部90の加工位置は振動子の軸線上に限らず軸線上からずれた位置でも構わない。また、凹部90の加工位置は振動子110の裏面110bに限らず、振動子110の先端面であってもよい。更に、凹部90の形成によって共振周波数の調整のみならず、例えば振動子の中心軸線に関して右側又は左側にずれた位置に凹部90を形成するなど、加工位置によって左右検出信号のバランス調整を行うことも可能である。

10

【0140】

なお、一对の振動型ジャイロセンサ素子間のクロストークを回避するためには、各々の共振周波数を少なくとも1kHz以上離すのが好適である。

【0141】

(第4の実施の形態)

上述の第1の実施の形態において、シリコン基板1に対して振動子110の外形を切り抜く貫通部13(図29~図31)の形成工程では、ICP-RIE(誘導結合型プラズマ反応性イオンエッチング)法が用いられている。この方法は、シリコン基板1に対して垂直かつ高アスペクト比で溝加工を行える点で非常に優れている。

【0142】

20

ところが、シリコン基板1の大きさ(ウェーハ径)が大きくなると、図68Aに模式的に示すように、基板上の全ての振動子110の両側面を理想的な垂直壁で対称に形成することが困難となり、プラズマ処理室内のガス流分布やプラズマ分布等により、特に基板外周部において図68Bに模式的に示すように、振動子110が左右非対称な形状になる場合がある。

【0143】

振動子110の振動方向は、左右対称な形状であれば理想的な垂直方向の振動モードとなり(図68A)、振動子110の表面に形成された左右の検出電極106b, 106cから出力される検出信号も差がなくバランスがとれた状態となる。しかしながら、振動子110が左右非対称な形状の場合、左右の検出電極106b, 106cから出力される検出信号が各々異なりバランスがとれない状態となる(図68B)。左右の検出信号が異なると、振動子110に作用する回転方向の角速度の検知量が異なってしまうたり、右方向の回転角速度の感度と左方向の回転角速度の感度とが互いに異なる等の不具合が生じてしまう。

30

【0144】

一方、上述したように、左右検出信号のバランスを調整するため、振動型ジャイロセンサ素子100の形成後に振動子110の所定領域をレーザー照射にて研削することが行われている。しかしながら、この方法のみでは検出信号のバランスをとるようになると調整時間が長くなってしまう。また、レーザー照射で調整できる左右検出信号の差はおよそ30%であるため、調整前の検出信号差がこれよりも大きいと製品として利用できなくなり生産性の向上が図れなくなる。

40

【0145】

そこで、本実施の形態では、上述の調整工程による作業時間を短くでき良品率を高めることを目的として、後述するように、振動子110の外形形状を形成するエッチング工程の際、貫通部13の底部に臨む振動子110の稜線部が湾曲形状に加工されるまでエッチング加工を過剰に行うようにしている。

【0146】

図69Aに示すように、振動子110の外形を切り抜くようにして形成される平面視コ字状の貫通部13は、シリコン基板1上に形成された熱酸化膜2Aをマスクとするシリコン基板1へのエッチング加工により形成される。このエッチング処理は、加工深さが振動

50

子 1 1 0 の形成厚に相当する深さに達した時点で終了される。このとき、シリコン基板 1 の反対側面に形成された裏面ストッパー膜 1 2 が加工量を制限する。

【 0 1 4 7 】

ところで、この貫通部 1 3 の形成工程において、加工される溝の底部が裏面ストッパー膜 1 2 に達した後も更にエッチング処理を継続させる（以下、オーバーエッチングともいう。）と、図 6 9 B に模式的に示すように、裏面ストッパー膜 1 2 上の電荷あるいはエッチャントの溜まり（図 6 9 B において「E」で符示）の影響により、エッチング方向が貫通部 1 3 の底部側方に向けられる。これにより、図 6 9 B に示すように、振動子 1 1 0 の下端稜線部が研削されてテーパ状あるいは湾曲状に形成される。

【 0 1 4 8 】

なお、この現象は「ノッチ」とも呼ばれ、通常のプロセスではなるべく生じないようにエッチング条件が管理される。ノッチ現象は、貫通部 1 3 の傾きが大きいほど、裏面ストッパー層 1 2 とのなす角が鋭角となる稜線部側に顕著に現れる。ここで、図 6 9 A は振動子 1 1 0 の長手方向から見た断面図、図 6 9 B は振動子 1 1 0 の長手方向に対して垂直な方向から見た要部断面図である。

【 0 1 4 9 】

本実施の形態では、貫通部 1 3 の形成時のオーバーエッチングに起因するノッチ現象を利用して、振動子 1 1 0 の形状の左右非対称性に起因する振動モードの傾きを緩和するようにしている。

【 0 1 5 0 】

図 6 8 B に示したように、左右非対称な形状を有する振動子 1 1 0 において、通常のエッチング加工（非オーバーエッチング）で形成された振動子 1 1 0 の振動モードに比べて、図 7 0 B に示すように上述したオーバーエッチングで形成された振動子 1 1 0 の振動モードの方が、より垂直方向の振動モードに近くなる。これは、ノッチ現象により湾曲状にエッチングされた振動子 1 1 0 の左右の稜線部 1 1 0 V L , 1 1 0 V R のうち鋭角な方の稜線部 2 3 V L の被加工量が多くなる結果、左右の非対称性が緩和されて振動子 1 1 0 の左右重量のバランスが改善されることで、振動モードがより垂直方向に矯正されることに依る。

【 0 1 5 1 】

一方、図 6 8 A に示したように、左右対称な形状を有する振動子 1 1 0 においても同様に、オーバーエッチングで貫通部 1 3 が形成された場合、図 7 0 A に示すように当該振動子 1 1 0 の左右の稜線部 1 1 0 V L , 1 1 0 V R はともにノッチ現象により湾曲状に形成されることになる。しかし、この場合は稜線部 1 1 0 V L , 1 1 0 V R の被加工量がほぼ同一であるため、形状の左右対称性が損なわれることはなく、非オーバーエッチング時の振動モードと同様に垂直モードが維持される。

【 0 1 5 2 】

なお、説明の理解容易のため図 6 8 及び図 7 0 では振動子 1 1 0 の上下を逆に描いており、実際の振動子は、検出電極 1 0 6 b , 1 0 6 c や駆動電極 1 0 6 a が形成される振動子 1 1 0 の表面側を下に向けて振動する。

【 0 1 5 3 】

オーバーエッチング処理は、例えばエッチング時間で管理することができ、処理時間を非オーバーエッチング時よりも長く設定すればよい。ノッチ現象を利用した振動子 1 1 0 の稜線部 1 1 0 V L , 1 1 0 V R の端部からの被加工量は、振動子の大きさや形状、駆動周波数等の仕様に応じて適宜設定可能である。なお上述の第 1 実施形態で説明した素子形状例においては、5 μ m 以上である。但し、被加工量が大き過ぎると振動子自体の強度が減少するため、好適には 2 0 μ m 以下とする。

【 0 1 5 4 】

以上のように、本実施の形態によれば、元々左右対称形状に形成され振動モードも理想的な振動子においては、振動子 1 1 0 の下端稜線部にテーパ状あるいは湾曲状のノッチが現れても理想的な振動モードが保たれる。また、当初形状が左右非対称に形成されてい

10

20

30

40

50

たがために振動モードも斜めに振動していた振動子も、この振動子の下端稜線部に現れるノッチで非対称性が緩和され振動モードが垂直方向に近くなる。このため、従来調整不良となっていたアンバランスな振動モードで振動する振動子も、レーザー照射による調整工程での調整が可能な領域に入ることにより、生産歩留まりの向上を図ることができる。

【0155】

なお、本発明者らが確認したところによれば、1枚のシリコン基板から作製された複数の振動型ジャイロセンサ素子において、調整工程前における左右の検出信号差が30%未満となる素子の良品率（歩留まり）は、従来では約43%であったのに対し、本実施の形態によれば約87%と倍増させることができた。

【0156】

（第5の実施の形態）

上述の第1の実施の形態において、シリコン基板1に対して振動子110の外形を切り抜く貫通部13の形成工程では、ICP-RIE法が用いられている。この方法は、シリコン基板1に対して垂直かつ高アスペクト比で溝加工を行える点で非常に優れている。

【0157】

一般にエッチング法で直線的な溝を加工する場合、溝の端部が精度よく直角（溝幅方向の側面と溝長さ方向の側面との間が直角）に形成されずに、湾曲した形状となることが多い。したがって、貫通部13の形成工程の際、図71に示すように、振動子110の両側面と素子100の基台部間の境界部分に相当する振動子根元部110R1、110R2がともに平面的に見て湾曲した形状となる。

【0158】

ところが、このような振動子根元部110R1、110R2は左右で非対称な形状になり易い。図72Aに示すように、振動子110の振動方向は左右が対称な形状であれば理想的な垂直方向の振動モードとなり、振動子110の表面に形成された検出電極106b、106cからの検出信号も左右で差がなくバランスがとれている。これに対して、上述したように振動子根元部110R1、110R2が左右非対称な形となった場合、図72Bに示すように振動子110の振動方向が斜めの振動モードとなってしまう。

【0159】

このような斜めの振動モードをもつ振動子の場合、その左右の検出電極106b、106cからの検出信号はバランスがとれない状態となる。左右の検出信号が異なると、振動子110に作用する回転方向の角速度の検知量が異なってしまうたり、右方向の回転角速度の感度と左方向の回転角速度の感度とが互いに異なる等の不具合が生じてしまう。

【0160】

一方、上述したように、左右検出信号のバランスを調整するため、素子100の形成後の振動子110の所定領域をレーザー照射にて研削することが行われている。しかしながら、この方法のみで検出信号のバランスをとるようにすると調整時間が長くなってしまう。また、レーザー照射で調整できる左右信号の差はおよそ30%程度であるため、調整前の検出信号差がこれよりも大きいと製品として利用できなくなり生産性の向上が図れなくなる。

【0161】

そこで、本実施の形態では、上述の調整工程による作業時間を短くでき良品率を高めることを目的として、後述するように、振動子110の外形形状を形成するエッチング工程の際、貫通部13の両端部13A、13B（図73参照）を外側に向けてテーパ状あるいは湾曲状に形成するようにしている。

【0162】

図73は、外形溝形成工程におけるシリコン基板1の概略平面図であり、貫通部13は振動子110の外形を囲むコ字状に形成され、貫通部13の両端部13A、13Bは振動子110の外側に向けて湾曲状に形成されている。貫通部13の形成は、シリコン基板1上の熱酸化膜2Aをマスクとするエッチング加工で形成される（このとき圧電膜や上部電極膜、端子やリード等の配線パターンは保護膜で覆われている）。そこで、この熱酸化膜

10

20

30

40

50

2 Aのパターニングの際に、貫通部 1 3 の形成領域に対応するコ字状開口の両端部を図 7 3 に示すように湾曲して形成する。

【 0 1 6 3 】

その結果、貫通部 1 3 の両端部 1 3 A , 1 3 B はシリコン酸化膜 2 A の開口形状に対応して湾曲形状に形成されることになる。そして、図 7 4 に示すように、振動子根元部 1 1 0 R 1 , 1 1 0 R 2 の形状の左右対称性が良くなり、ほぼ同一形状とすることができる。これにより、振動子 1 1 0 の垂直な振動モードを確保でき、検出信号のバランスを高めることが可能となる。

【 0 1 6 4 】

図 7 5 A ~ 図 7 5 C は、振動子根元部 1 1 0 R 2 (1 1 0 R 1) の平面視形成例を示している。図 7 5 A は一定曲率の円形状又は楕円形状に振動子根元部 1 1 0 R 2 を形成した例を示しており、図 7 5 B は傾斜角の異なるテーパ状に振動子根元部 1 1 0 R 2 を形成した例を示している。また、図 7 5 C は素子 1 0 0 の基台部に対する傾斜角が順次小さくなる複数の傾斜面で振動子根元部 1 1 0 R 2 を形成した例を示している。

【 0 1 6 5 】

なお、振動子根元部 1 1 0 R 1 , 1 1 0 R 2 の形状は上記の例に限定されず、振動子 1 1 0 の外側に向かって漸次形成幅が大となるように振動子根元部 1 1 0 R 1 , 1 1 0 R 2 がテーパ状あるいは湾曲状に形成されていればよい。また、振動子根元部 1 1 0 R 1 , 1 1 0 R 2 の曲率半径は任意に設定可能であり、例えば 5 μ m とされる。

【 0 1 6 6 】

以上のように、本実施の形態によれば、貫通部 1 3 の両端部 1 3 A , 1 3 B を当初から湾曲状にパターン形成し、振動子根元部 1 1 0 R 1 , 1 1 0 R 2 を湾曲形成させるようにしているので、振動子 1 1 0 の形状を左右ほぼ対称に形成して振動モードを理想的な垂直モードに保つことができる。このため、従来調整不良となっていたアンバランスな振動モードで振動する素子も、レーザー照射による調整工程での調整が可能な領域に入ることにより、生産歩留まりの向上を図ることができる。

【 0 1 6 7 】

なお、本発明者らが確認したところによれば、1 枚のシリコン基板から作製された複数の素子において、調整工程前における左右の検出信号差が 3 0 % 未満となる素子の良品率（歩留まり）は、従来では 3 8 % であったのに対し、本実施の形態によれば約 8 2 % と著しく向上させることができた。なお、このときの振動子根元部の形成曲率半径は 2 0 μ m とした。

【 0 1 6 8 】

以上のように本明細書に開示した振動型ジャイロセンサ素子及びその製造方法は、その他に以下の構成を備えている。

1 . 片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子であって、

前記振動子には、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整するための単数又は複数の第 1 の凹部と、当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の第 2 の凹部が形成されていることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子。

2 . 前記第 1 , 第 2 の凹部は共通の単数又は複数の凹部からなる上記 1 . に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

3 . 前記振動子的一方の面には、圧電膜、駆動電極及び一对の検出電極が形成されており、前記第 1 , 第 2 の凹部は、前記一方の面以外の領域に形成されている上記 1 . に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

4 . 前記振動子の先端側には、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の第 3 の凹部が形成されている上記 1 . に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

5 . 前記第 3 の凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の 4 / 5 以上離れた位置に形成されている上記 4 . に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

6 . 片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子であって、

前記振動子には、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整し、かつ当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の凹部が形成されていることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子。

7. 前記振動子の一方の面には、圧電膜、駆動電極及び一对の検出電極が形成されており、前記凹部は、前記一方の面以外の領域に形成されている上記6.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

8. 前記振動子の先端側には、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の凹部が形成されている上記6.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

9. 前記凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置に形成されている上記8.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

10

10. 片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子であって、
前記振動子には、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整するための単数又は複数の第1の凹部と、当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の第2の凹部とが形成されており、
前記第2の凹部は、当該振動子を横共振周波数で振動させたときの前記信号差が最小となる位置に形成されていることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子。

11. 前記第1, 第2の凹部は共通の単数又は複数の凹部からなる上記10.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

12. 前記振動子の一方の面には、圧電膜、駆動電極及び一对の検出電極が形成されており、前記第1, 第2の凹部は、前記一方の面以外の領域に形成されている上記10.に記載の振動型ジャイロセンサ素子

20

13. 前記振動子の先端側には、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の第3の凹部が形成されている上記10.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

14. 前記第3の凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置に形成されている上記13.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

15. 片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子であって、
前記振動子には、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整し、かつ当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の凹部が形成されており、
前記凹部は、当該振動子を横共振周波数で振動させたときの前記信号差が最小となる位置に形成されていることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子。

30

16. 前記振動子の一方の面には、圧電膜、駆動電極及び一对の検出電極が形成されており、前記凹部は、前記一方の面以外の領域に形成されている上記15.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

17. 前記振動子の先端側には、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の凹部が形成されている上記15.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

18. 前記凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置に形成されている上記17.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

19. 片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子であって、
前記振動子には、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の凹部が形成されていることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子。

40

20. 前記振動子には、当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の凹部が形成されている上記19.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

21. 前記振動子には、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整するための単数又は複数の凹部が形成されている上記19.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

22. 前記振動子には、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整し、かつ当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の凹部が形成されている上記19.に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

50

23．片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子の製造方法であって、前記振動子に、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整するための単数又は複数の第1の凹部を形成する工程と、当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の第2の凹部を形成する工程とを有し、

前記第2の凹部は、当該振動子を縦共振周波数で振動させたときの前記信号差が最小となる位置に形成されることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

24．前記周波数差及び前記信号差を測定した後、前記第1、第2の凹部を形成する工程を複数回繰り返して行う上記23．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

25．前記第1の凹部と前記第2の凹部とを共通の単数又は複数の凹部で形成する上記23．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

26．前記振動子の先端側に、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の第3の凹部を形成する工程を有する上記23．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

27．前記第3の凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置に形成される上記26．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

28．片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子の製造方法であって、前記振動子に、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整し、かつ当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の凹部を形成する工程を有し、

前記凹部は、当該振動子を縦共振周波数で振動させたときの前記信号差が最小となる位置に形成されることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

29．前記周波数差及び前記信号差を測定した後、前記凹部を形成する工程を複数回繰り返して行う上記28．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

30．前記振動子の先端側に、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の凹部を形成する工程を有する上記28．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

31．前記凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置に形成される上記30．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

32．片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子の製造方法であって、前記振動子に、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整するための単数又は複数の第1の凹部を形成する工程と、当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の第2の凹部を形成する工程とを有し、

前記第2の凹部は、当該振動子を横共振周波数で振動させたときの前記信号差が最小となる位置に形成されることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

33．前記周波数差及び前記信号差を測定した後、前記第1、第2の凹部を形成する工程を複数回繰り返して行う上記32．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

34．前記第1の凹部と前記第2の凹部とを共通の単数又は複数の凹部で形成する上記32．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

35．前記振動子の先端側に、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の第3の凹部を形成する工程を有する上記32．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

36．前記第3の凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置に形成される上記35．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

37．片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子の製造方法であって、前記振動子に、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整し、かつ当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の凹部を形成する工程を有し、

前記凹部は、当該振動子を横共振周波数で振動させたときの前記信号差が最小となる位

10

20

30

40

50

置に形成されることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

38．前記周波数差及び前記信号差を測定した後、前記凹部を形成する工程を複数回繰り返して行う上記37．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

39．前記振動子の先端側に、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の凹部を形成する工程を有する上記37．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

40．前記凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置に形成される上記39．に記載の振動型ジャイロセンサ素子の製造方法。

41．片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子であって、
前記振動子には、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整するための単数又は複数の第1の凹部と、当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の第2の凹部とが形成されており、

前記第2の凹部は、当該振動子を縦共振周波数で振動させたときの前記信号差が最小となる位置に形成されていることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子。

42．前記第1、第2の凹部は共通の単数又は複数の凹部からなる上記41．に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

43．前記振動子の一方の面には、圧電膜、駆動電極及び一对の検出電極が形成されており、前記第1、第2の凹部は、前記一方の面以外の領域に形成されている上記41．に記載の振動型ジャイロセンサ素子

44．前記振動子の先端側には、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の第3の凹部が形成されている上記41．に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

45．前記第3の凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置に形成されている上記44．に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

46．片持ち梁形状の振動子を有する振動型ジャイロセンサ素子であって、
前記振動子には、当該振動子の縦共振周波数と横共振周波数との周波数差を調整し、かつ当該振動子上に設けられた一对の検出電極から出力される信号差を調整するための単数又は複数の凹部が形成されており、

前記凹部は、当該振動子を縦共振周波数で振動させたときの前記信号差が最小となる位置に形成されていることを特徴とする振動型ジャイロセンサ素子。

47．前記振動子の一方の面には、圧電膜、駆動電極及び一对の検出電極が形成されており、前記凹部は、前記一方の面以外の領域に形成されている上記46．に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

48．前記振動子の先端側には、当該振動子の共振周波数を調整するための単数又は複数の凹部が形成されている上記46．に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

49．前記凹部は、前記振動子の基端部位より当該振動子の全長の4/5以上離れた位置に形成されている上記48．に記載の振動型ジャイロセンサ素子。

【図面の簡単な説明】

【0169】

【図1】本発明の第1の実施の形態において説明する振動型ジャイロセンサ素子の概略斜視図である。

【図2】上記振動型ジャイロセンサ素子の概略底面図である。

【図3】上記振動型ジャイロセンサ素子が支持基板に実装されている状態を示す概略斜視図である。

【図4】上記振動型ジャイロセンサ素子の振動子に形成される面取り部及び溶融面の形成工程の説明図である。

【図5】上記振動型ジャイロセンサ素子の駆動検出回路の構成を示すブロック図である。

【図6】上記振動型ジャイロセンサ素子の製造方法を説明する主要工程フロー図である。

【図7】上記振動型ジャイロセンサ素子の製造工程を説明する図であり、Aは単結晶シリコン基板の平面図、BはAのX-X'線断面図である。

【図8】上記基板に熱酸化膜を除去した様子を示す図であり、Aは平面図、BはAのX-X

10

20

30

40

50

’線断面図である。

【図 9】上記基板の熱酸化膜を除去した様子を示す図であり、A は平面図、B は A の X X ’線断面図である。

【図 10】上記基板に異方性エッチングを施した様子を示す図であり、A は平面図、B は A の X X ’線断面図である。

【図 11】上記基板の図 10 B に示す W 部の拡大図である。

【図 12】下層電極膜、圧電膜、上部電極膜が形成された上記基板の様子を拡大して示す図であり、A は平面図、B は A の X X ’線断面図である。

【図 13】駆動電極、検出電極が形成された上記基板の様子を拡大して示す図であり、A は平面図、B は A の X X ’線断面図である。

10

【図 14】圧電膜が形成された上記基板の様子を拡大して示す図であり、A は平面図、B は A の X X ’線断面図である。

【図 15】下層電極膜が形成された上記基板の様子を拡大して示す図であり、A は平面図、B は A の X X ’線断面図である。

【図 16】配線下地膜が形成された上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 17】図 16 における Y Y ’線断面図である。

【図 18】平坦化レジスト膜が形成された上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 19】図 18 の Y Y ’線断面図である。

【図 20】配線接続端子が形成された上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 21】図 20 の Y Y ’線断面図である。

20

【図 22】分極ルールが形成された上記基板全体の様子を示す平面図である。

【図 23】絶縁保護膜が形成された上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 24】図 23 の Y Y ’線断面図である。

【図 25】C u 配線が形成された上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 26】図 25 の Y Y ’線断面図である。

【図 27】C u 配線が形成された上記基板全体の平面図である。

【図 28】上記基板に裏面ストッパー膜を形成した様子を示す上記基板の断面図である。

【図 29】梁空間を除去して振動梁が形成された上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 30】図 29 の Y Y ’線断面図である。

30

【図 31】図 29 の X X ’線断面図である。

【図 32】ストッパー層を除去した上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 33】図 32 の Y Y ’線断面図である。

【図 34】図 32 の X X ’線断面図である。

【図 35】圧電特性を安定にさせるための分極処理を施す工程を示す図であり、A は基板全体の平面図、B は上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 36】分極処理後に不要になった C u 配線を除去した様子を示す図であり、A は基板全体の平面図、B は上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 37】フリップチップ実装を行うための A u パンプが形成された様子を示す図であり、A は基板全体の平面図、B は上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

40

【図 38】圧電薄膜センサとして形成された振動型ジャイロセンサ素子を個々に分断する際の分断線を示した図であり、A は基板全体の平面図、B は上記基板の様子を拡大して示す平面図である。

【図 39】圧電薄膜センサとして形成された振動型ジャイロセンサ素子の平面図である。

【図 40】振動型ジャイロセンサ素子を I C 基板上に実装した様子を示す概略斜視図である。

【図 41】振動型ジャイロセンサ素子を備える角速度センサにカバー材を取り付けた様子を示す平面図である。

【図 42】振動子の左右の形状対称性と振動モードとの関係を説明する図であり、A は振動子の形状が左右対称な状態での振動モードを示し、B は振動子の形状が左右非対称な状

50

態での振動モードを示している。

【図 4 3】振動型ジャイロセンサの調整工程の説明図である。

【図 4 4】レーザー加工を施す加工位置の例を示す模式的な平面図である。

【図 4 5】各加工位置におけるレーザー加工量と信号バランスの変化量との関係を示す特性図である。

【図 4 6】各サンプルについて初期状態によって加工位置を決定してレーザー加工を施して、バランスを目標値まで調整した場合のバランスの変化状態を示す特性図である。

【図 4 7】レーザー加工を振動子裏面中央部分に施す加工位置を示す模式的な平面図である。

【図 4 8】各加工位置におけるレーザー加工量と離調度の変化量との関係を示す特性図である。 10

【図 4 9】各加工位置におけるレーザー加工量とバランスの変化量との関係を示す特性図である。

【図 5 0】各サンプルについて初期状態によって加工位置を決定してレーザー加工を施して、離調度を目標値まで調整した場合の離調度の変化状態を示す特性図である。

【図 5 1】レーザーで調整を行った振動子、振幅 100 μm まで振動させたときに、レーザー加工した部分で振動子が折れるか否かを実験した結果を示す図である。

【図 5 2】何も加工を行っていない振動子を実装したジャイロセンサを 200 g の剛体に貼り付け落下させたときの振動子が折れる高さを集計したヒストグラムである。

【図 5 3】図 5 1 の三角プロット範囲でレーザー加工を施した振動子を実装したジャイロセンサを 200 g の剛体に貼り付け落下させたときの振動子が折れる高さを集計したヒストグラムである。 20

【図 5 4】図 5 1 の丸プロットで示した範囲内でレーザー加工を施した振動子を実装したジャイロセンサを 200 g の剛体に貼り付け落下させたときの振動子が折れる高さを集計したヒストグラムである。

【図 5 5】レーザー加工の研削痕を連続したものでなくスポット状でかつそれぞれのスポットが重ならないステップ状とした振動子を示す図である。

【図 5 6】研削痕をステップ状とした振動子を実装したジャイロセンサを 200 g の剛体に貼り付け落下させたときの振動子が折れる高さを集計したヒストグラムである。

【図 5 7】レーザー加工を振動子裏面中央部分からずらして施す加工位置を示す模式的な平面図である。 30

【図 5 8】各加工位置におけるレーザー加工量と離調度の変化量との関係を示す特性図である。

【図 5 9】各加工位置におけるレーザー加工量とバランスの変化量との関係を示す特性図である。

【図 6 0】各加工位置におけるレーザー加工による離調度及びバランスの変化状態を示す特性図である。

【図 6 1】各加工位置におけるレーザー加工による離調度及びバランスの変化状態を示す特性図である。

【図 6 2】本発明の第 2 の実施の形態において説明する振動子の振動特性の一例を示す図であり、A は振動子の正面図、B はその周波数特性図である。 40

【図 6 3】図 6 2 に示した振動子の調整工程を説明する図であり、A は振動子の正面図、B はその周波数特性図、C は調整後の振動子が有する問題点を説明する周波数特性図である。

【図 6 4】振動子を駆動する駆動検出回路の機能ブロック図である。

【図 6 5】本発明の第 2 の実施の形態の作用を説明する図であり、A は振動子の正面図、B はその周波数特性図である。

【図 6 6】本発明の第 3 の実施の形態において説明するレーザー加工位置と共振周波数及び離調度との関係を示す特性図である。

【図 6 7】離調度調整用のレーザー加工位置と共振周波数調整用のレーザー加工位置を模 50

式的に示す振動子裏面の平面図である。

【図 6 8】振動子の左右形状対称性と振動モードとの関係を説明する図であり、A は振動子の形状が左右対称な状態での振動モードを示し、B は振動子の形状が左右非対称な状態での振動モードを示している。

【図 6 9】振動子の外形を切り抜く貫通部 1 3 の形成工程を説明する図であり、A は振動子長手方向から見た要部断面図、B は振動子長手方向と直交する方向から見た貫通部の要部断面図である。

【図 7 0】本発明の第 4 の実施の形態の作用を説明する図であり、A は振動子の形状が左右対称な状態での振動モードを示し、B は振動子の形状が左右非対称な状態での振動モードを示している。

10

【図 7 1】振動子の基端部位（根元部）の形状を模式的に示す振動型ジャイロセンサ素子の要部平面図である。

【図 7 2】振動子の根元部の形状の左右対称性と振動モードとの関係を説明する図であり、A は振動子の根元部の形状が左右対称な状態での振動モードを示し、B は振動子の根元部の形状が左右非対称な状態での振動モードを示している。

【図 7 3】本発明の第 5 の実施の形態を説明する貫通部の形成工程を示す要部平面図である。

【図 7 4】本発明の第 5 の実施の形態の作用を説明する素子の要部平面図である。

【図 7 5】振動子の根元部の形状の形成例を説明する図である。

20

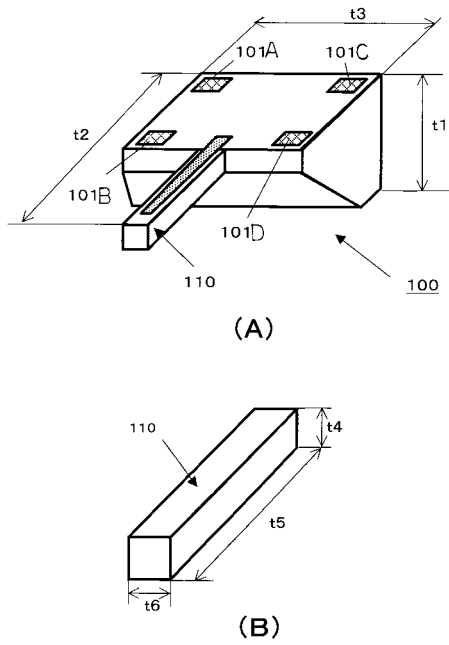
【符号の説明】

【0 1 7 0】

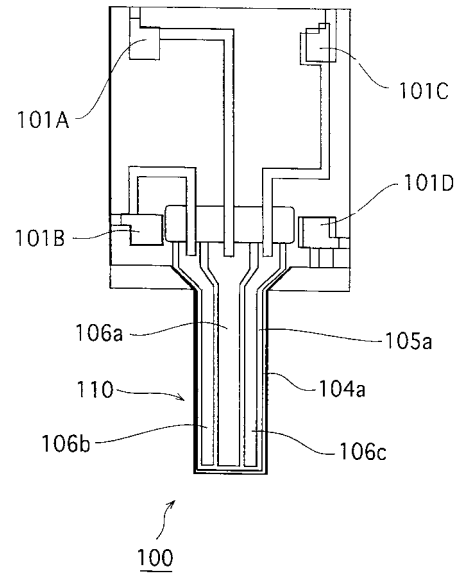
1 ... 基板、2 A , 2 B ... 熱酸化膜、3 ... レジストパターン膜、4 ... 下層下地膜、5 ... 圧電膜、6 ... 上部電極膜、7 ... 配線下地膜、8 ... 平坦化レジスト膜、9 ... 配線膜、1 0 ... 絶縁保護膜、1 1 ... C u 配線、1 2 ... 裏面ストッパー膜、1 3 ... 貫通部、1 4 ... A u パンプ、1 5 ... カバー材、4 0 ... I C 回路、4 1 ... 加算回路、4 2 ... 増幅回路、4 3 ... 移相回路、4 4 ... A G C、4 5 ... 差動増幅回路、4 6 ... 同期検波回路、4 7 ... 平滑回路、8 0 ... 離調度調整用の凹部、9 0 ... 共振周波数調整用の凹部、1 0 0 ... 振動型ジャイロセンサ素子、1 0 1 A ~ 1 0 1 D ... 電極パッド、1 0 4 a ... 基準電極、1 0 5 a ... 圧電体、1 0 6 a ... 駆動電極、1 0 6 b , 1 0 6 c ... 検出電極、1 1 0 ... 振動子、1 1 1 , 1 1 2 ... 分極レベル、1 5 0 ... 角速度センサ、L 1 ~ L 3 ... 分極線、F h ... 横共振周波数、F v ... 縦共振周波数

30

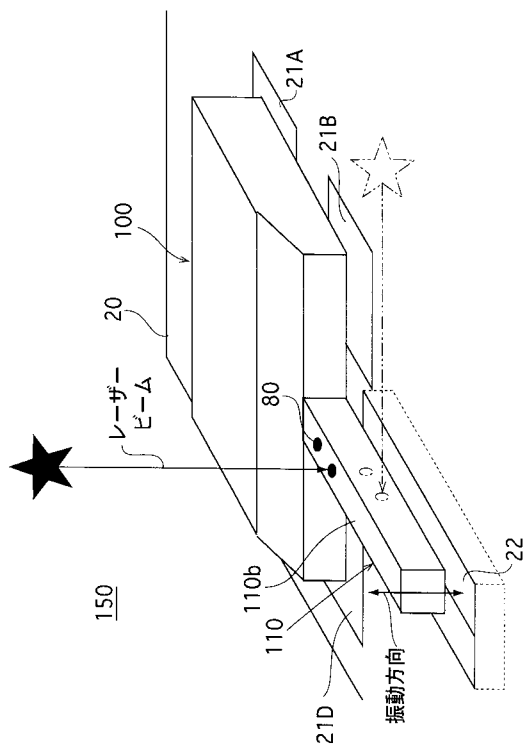
【図 1】



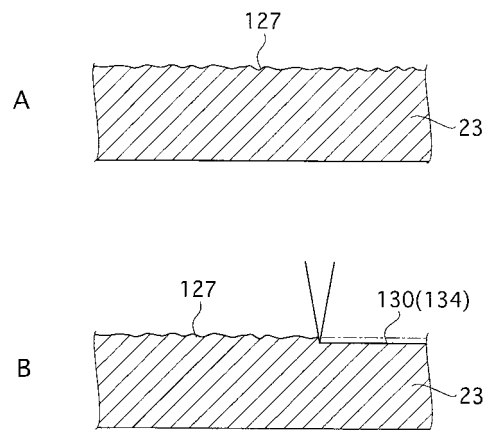
【図 2】



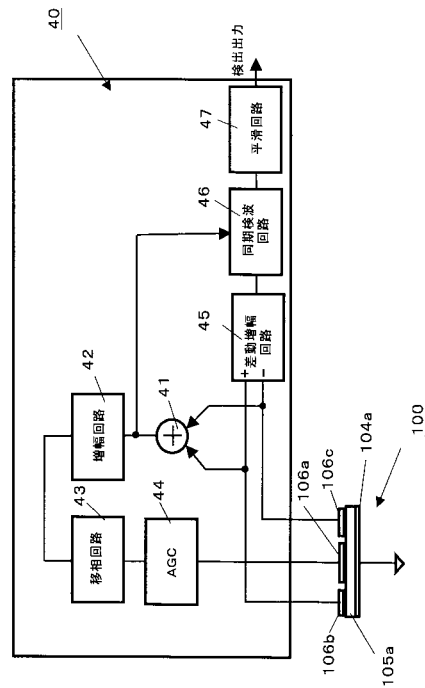
【図 3】



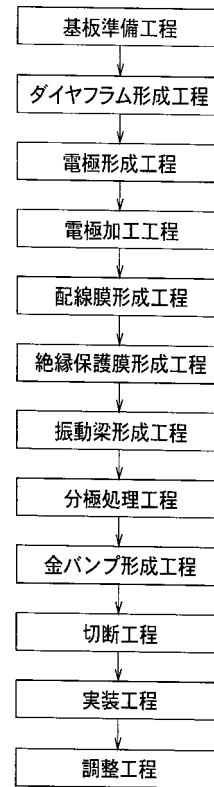
【図 4】



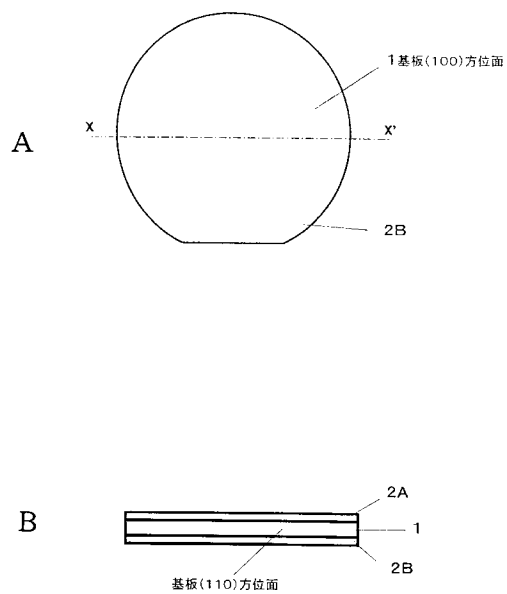
【図 5】



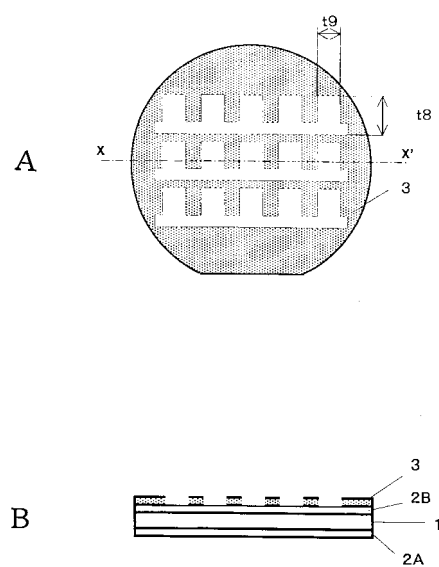
【図 6】



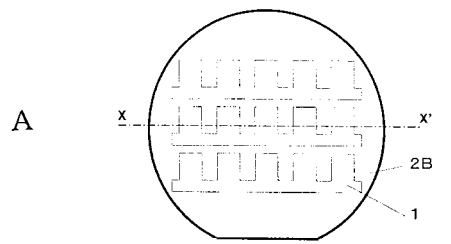
【図 7】



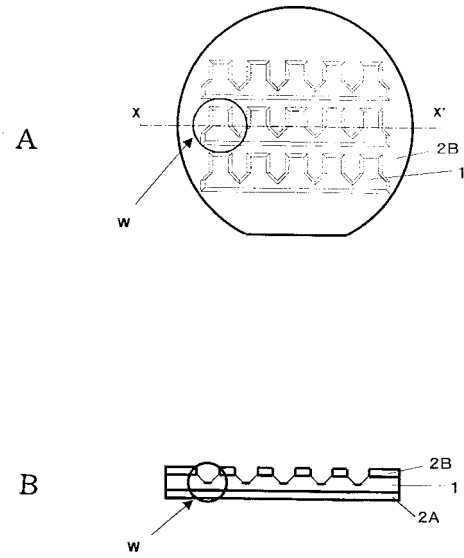
【図 8】



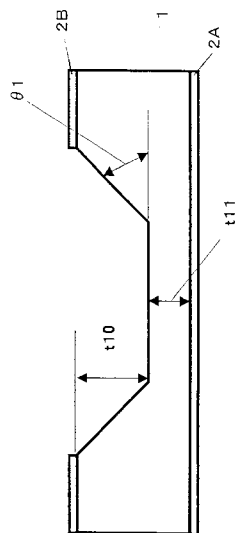
【図 9】



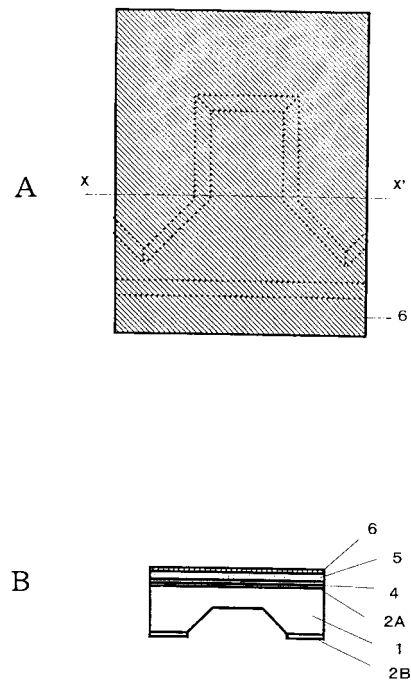
【図 10】



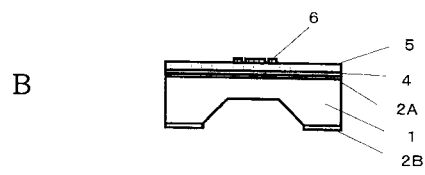
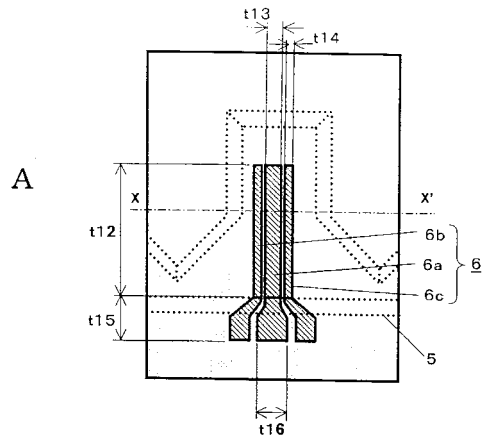
【図 11】



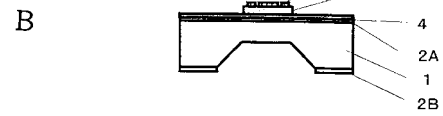
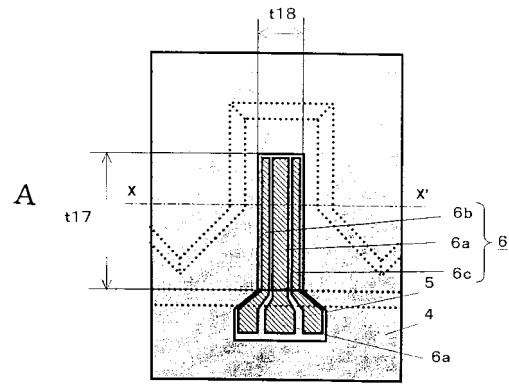
【図 12】



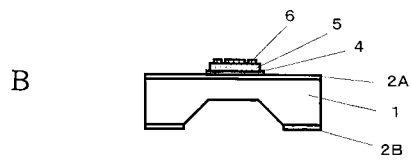
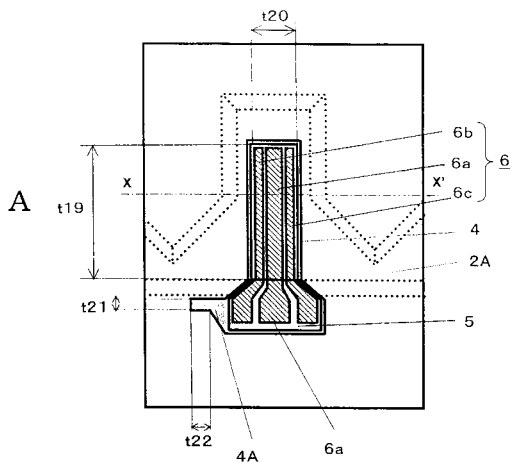
【図 13】



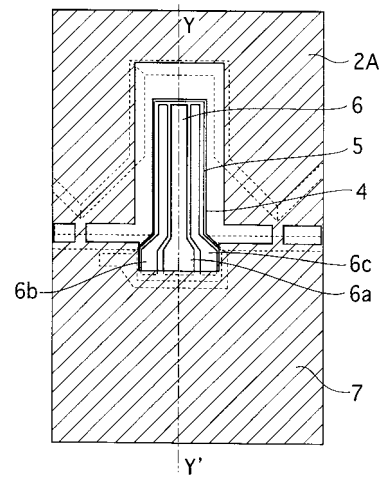
【図 14】



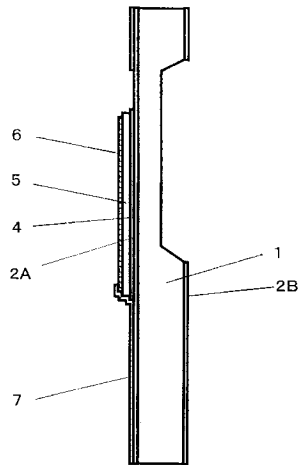
【図 15】



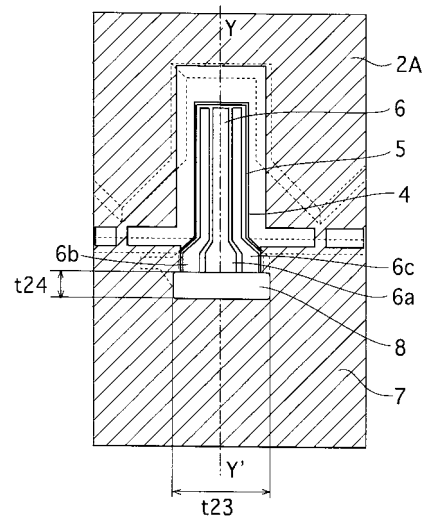
【図 16】



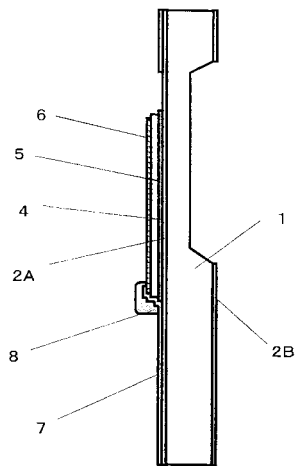
【図 17】



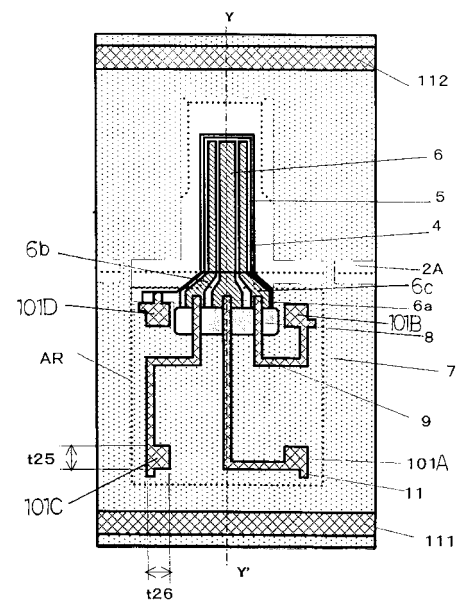
【図 18】



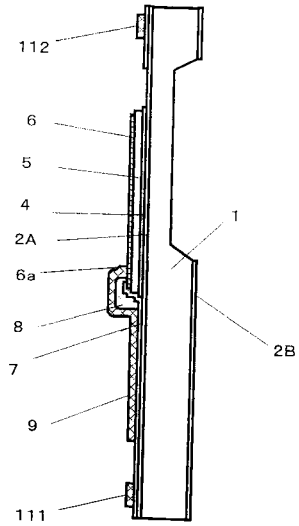
【図 19】



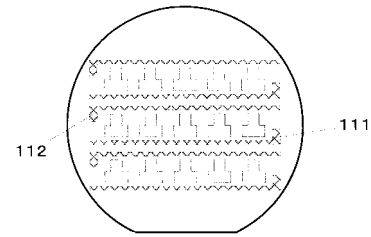
【図 20】



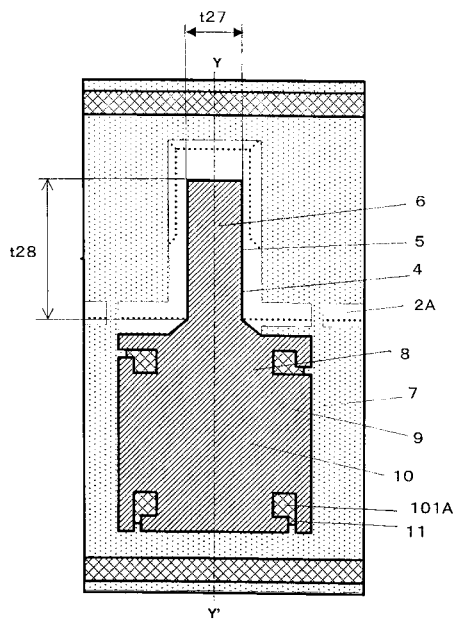
【図 2 1】



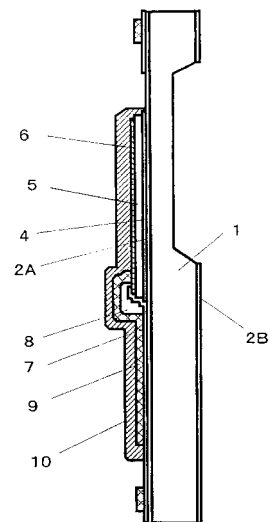
【図 2 2】



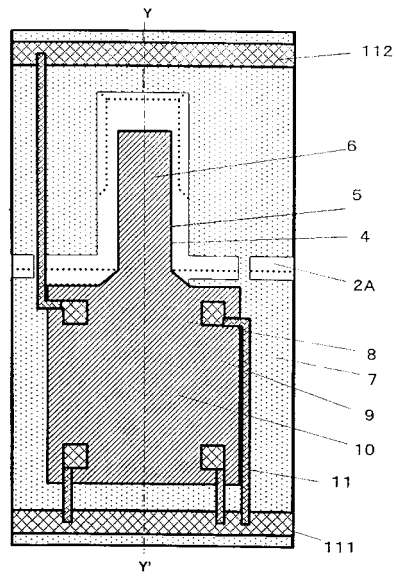
【図 2 3】



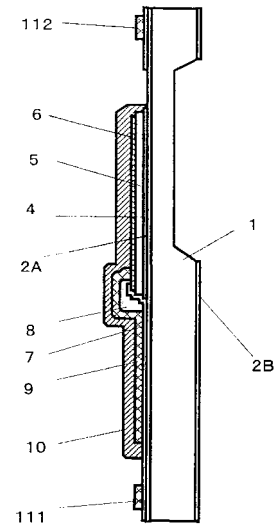
【図 2 4】



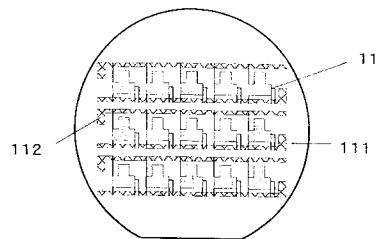
【図 25】



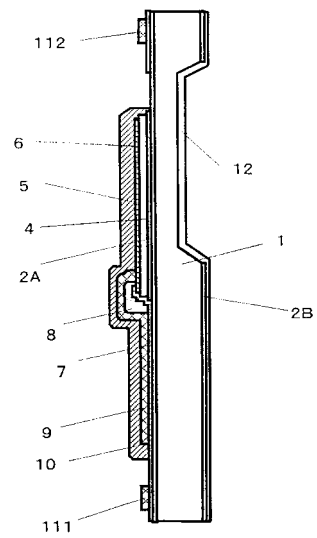
【図 26】



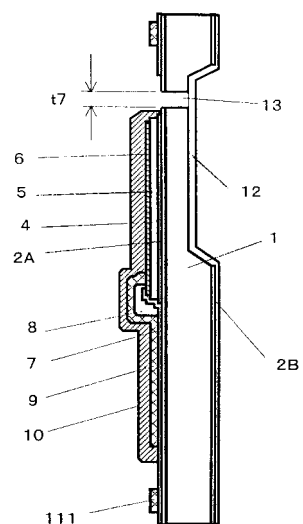
【図 27】



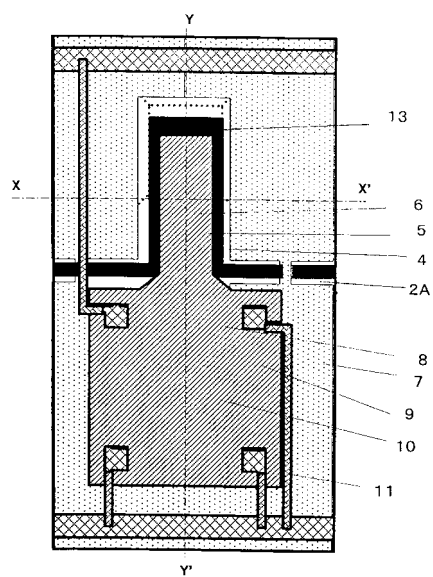
【図 28】



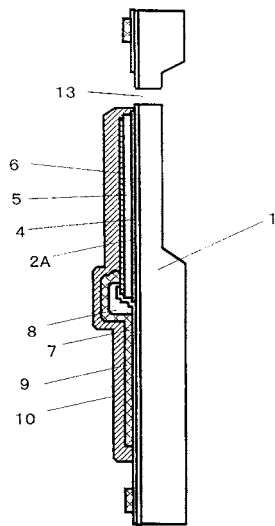
【 図 3 0 】



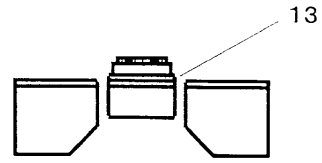
【 図 3 2 】



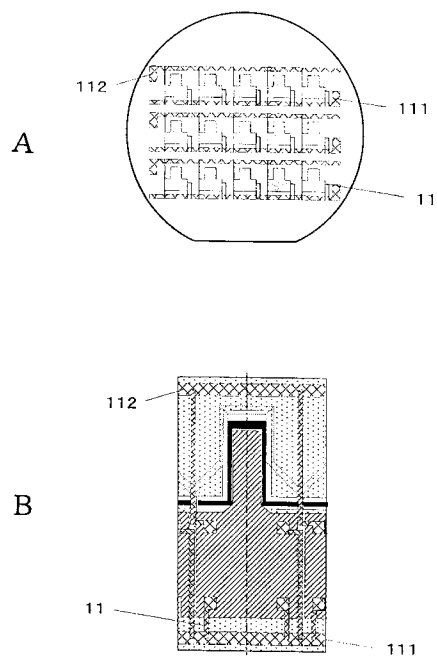
【図 3 3】



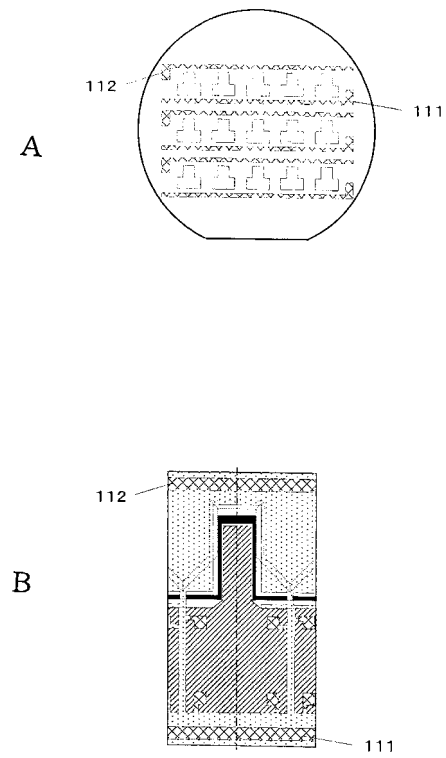
【図 3 4】



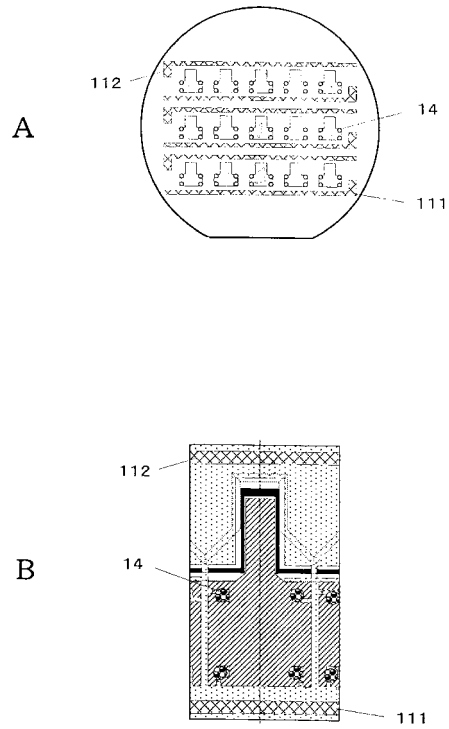
【図 3 5】



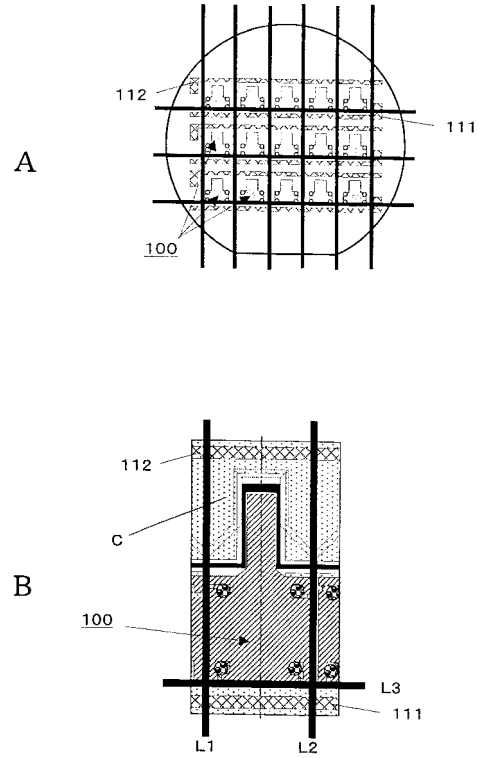
【図 3 6】



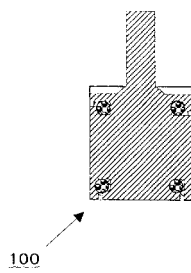
【図 37】



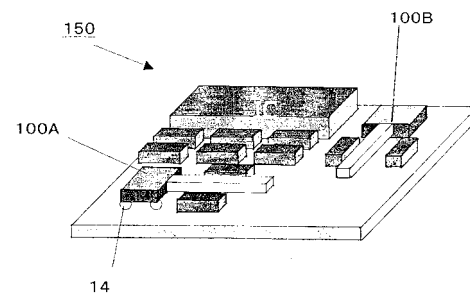
【図 38】



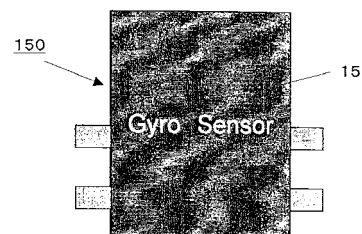
【図 39】



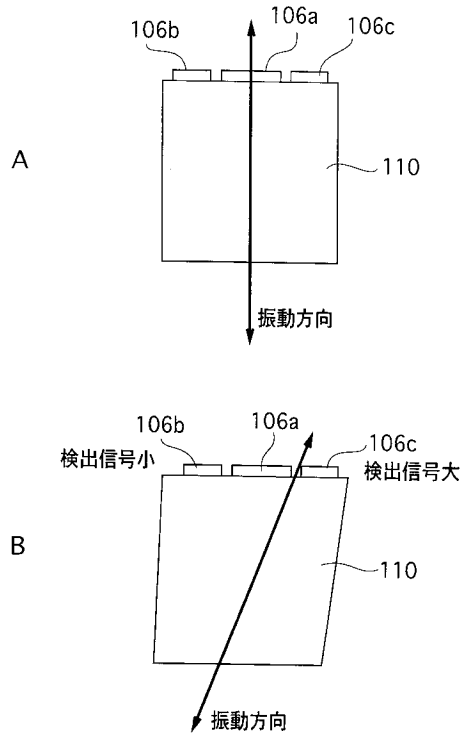
【図 40】



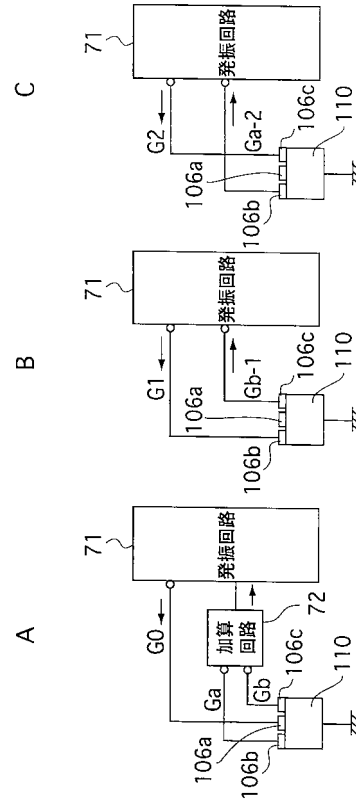
【図 41】



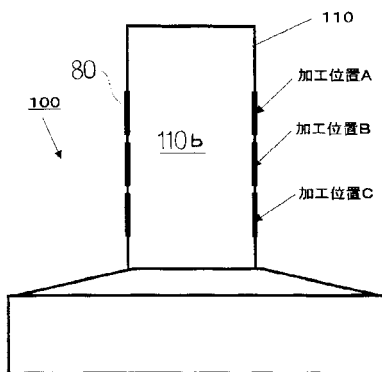
【図 4 2】



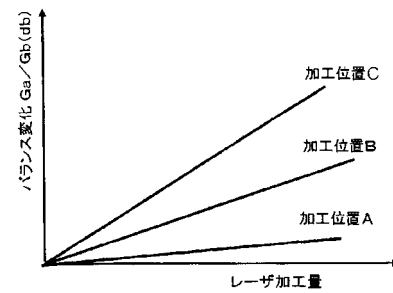
【図 4 3】



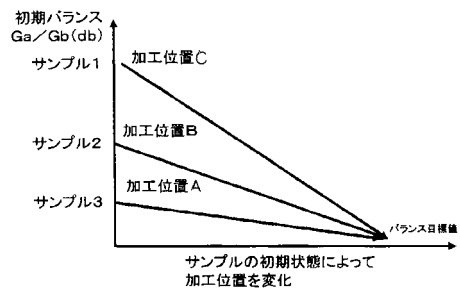
【図 4 4】



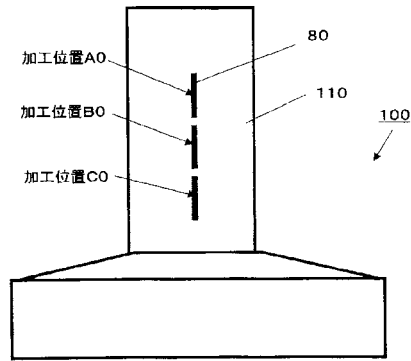
【図 4 5】



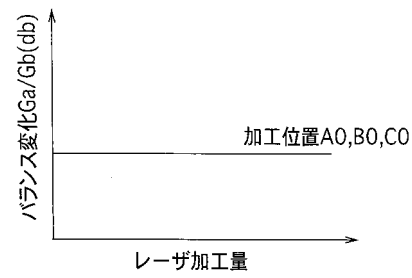
【図 4 6】



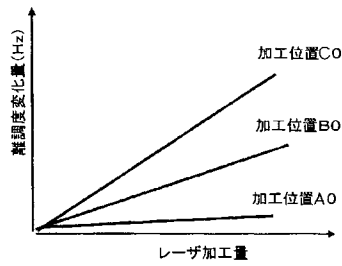
【図 47】



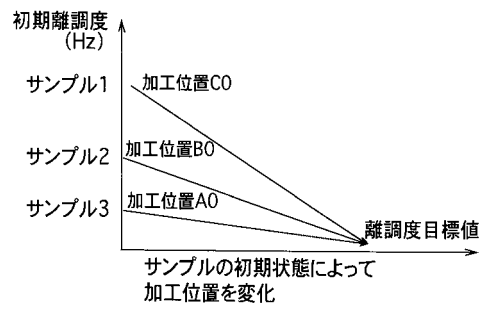
【図 49】



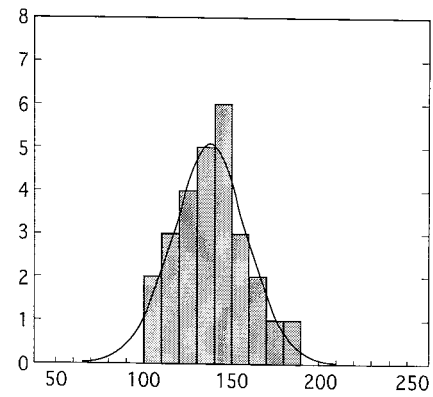
【図 48】



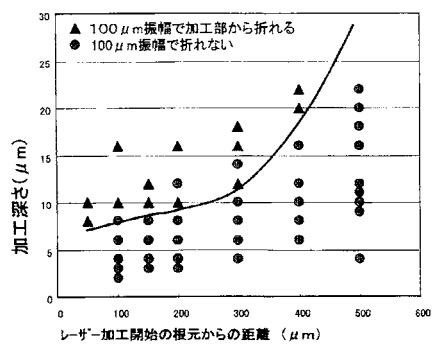
【図 50】



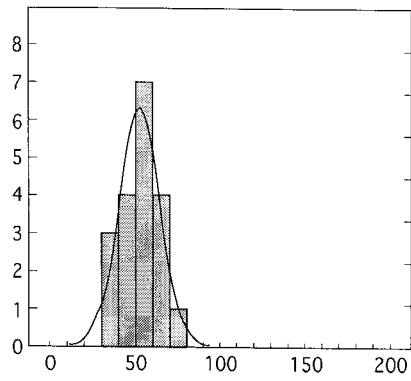
【図 52】



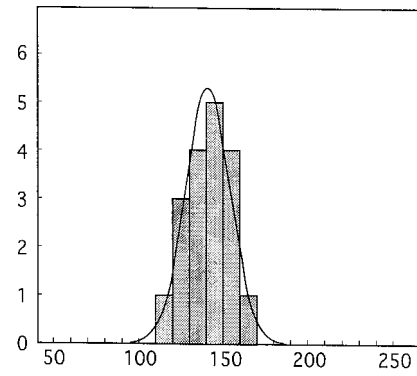
【図 51】



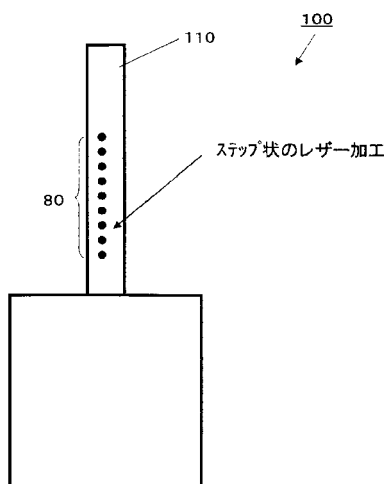
【図 5 3】



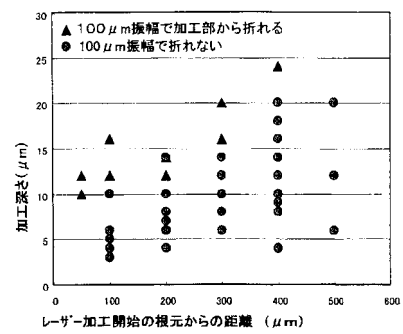
【図 5 4】



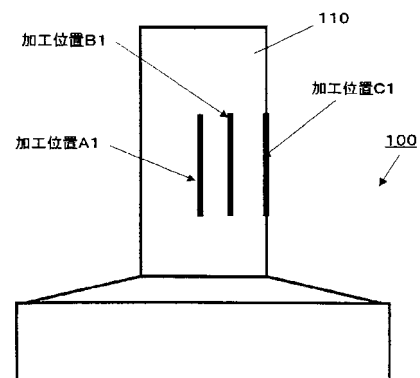
【図 5 5】



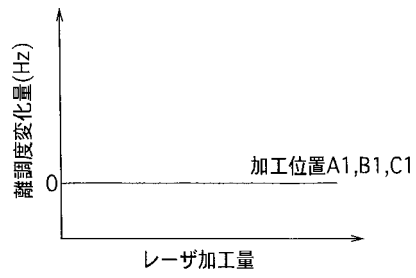
【図 5 6】



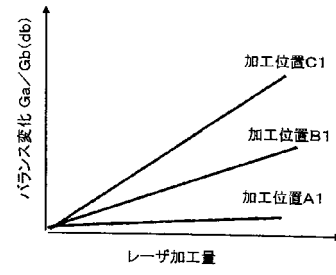
【図 5 7】



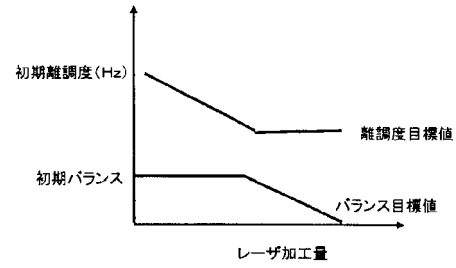
【図 58】



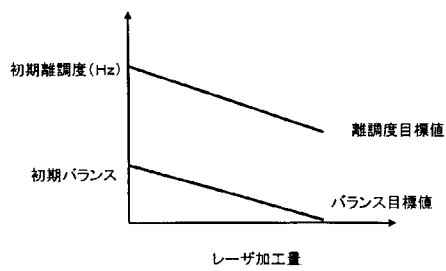
【図 59】



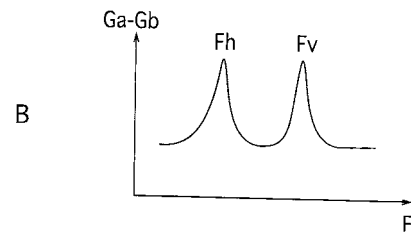
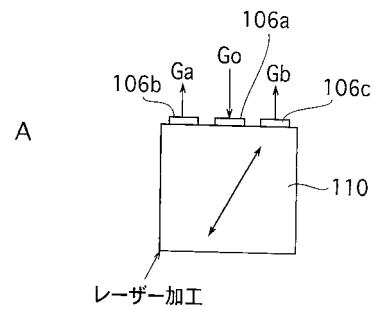
【図 60】



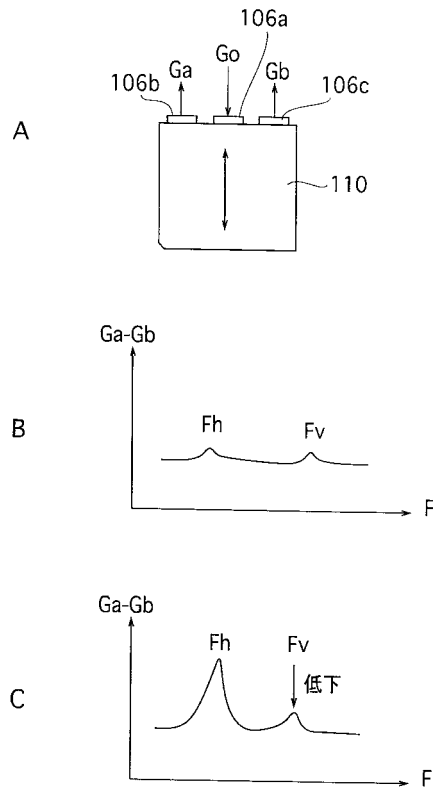
【図 61】



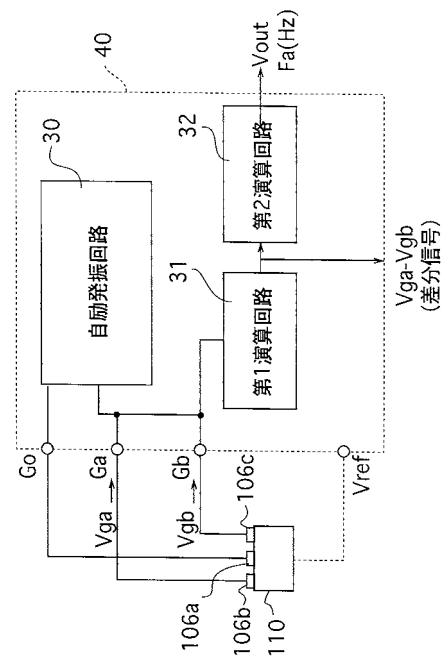
【図 62】



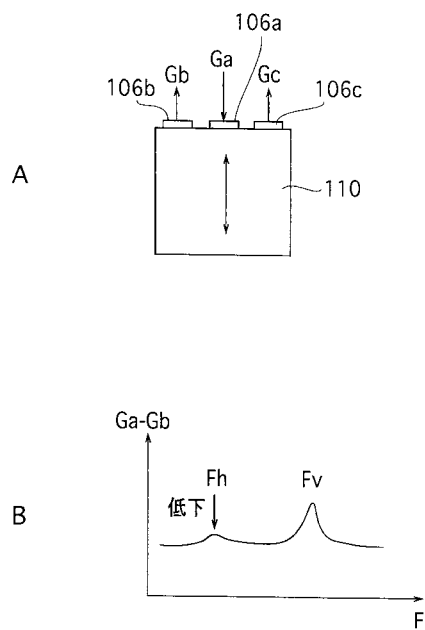
【図 6 3】



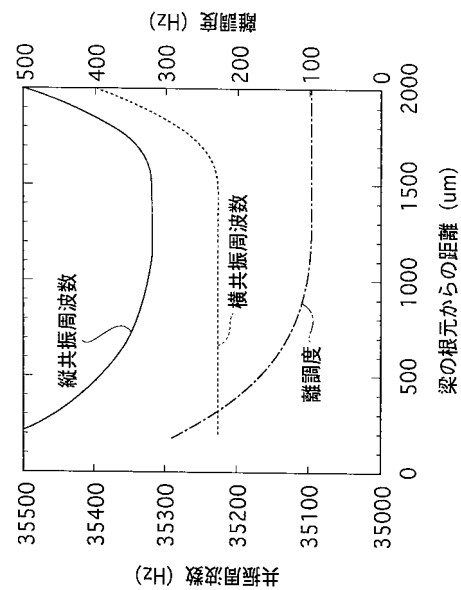
【図 6 4】



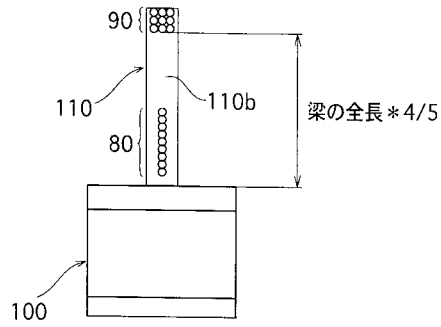
【図 6 5】



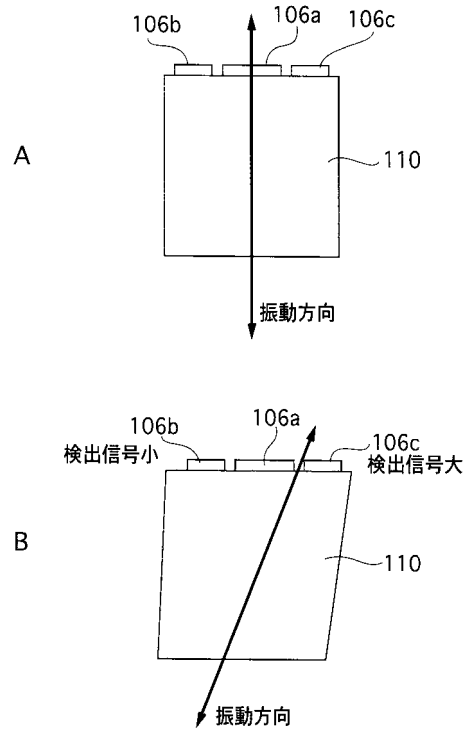
【図 6 6】



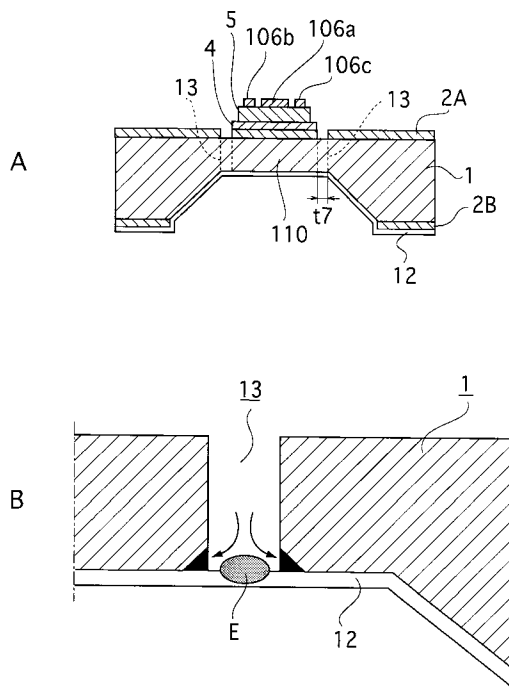
【図 67】



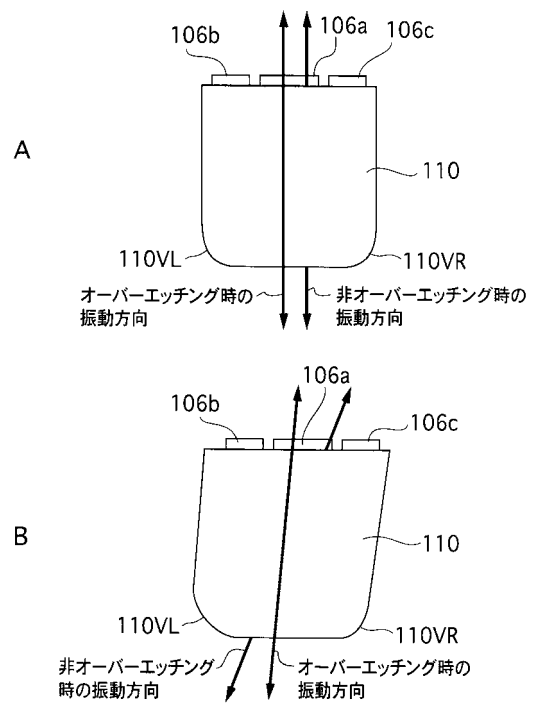
【図 68】



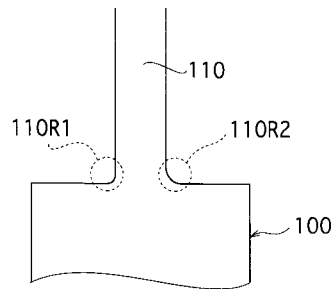
【図 69】



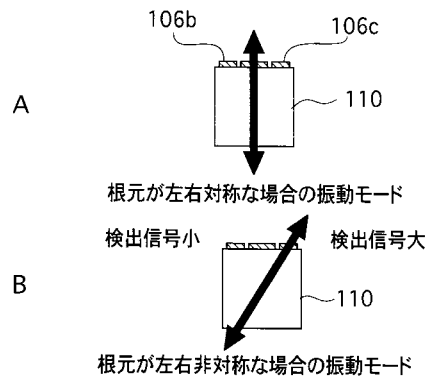
【図 70】



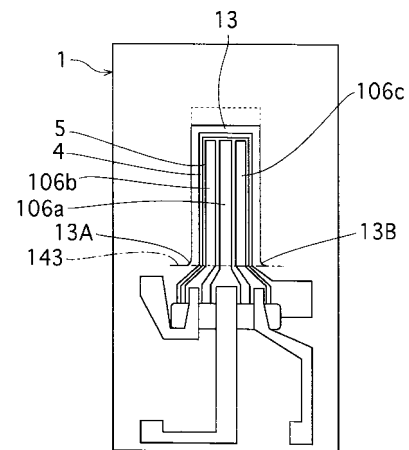
【図 7 1】



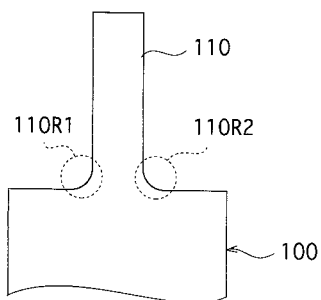
【図 7 2】



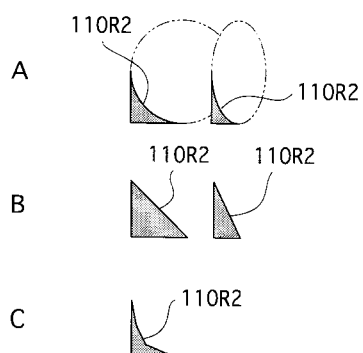
【図 7 3】



【図 7 4】



【図 7 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 相澤 学
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 鈴木 浩二
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 佐々木 伸
宮城県登米郡中田町宝江新井田字加賀野境30番地 ソニー宮城株式会社内
- (72)発明者 中塩 栄治
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

審査官 岸 智史

- (56)参考文献 特開平10-019574(JP,A)
特開平06-289043(JP,A)
特開平09-126783(JP,A)
特開2002-368564(JP,A)
特開2000-337880(JP,A)
特開平09-089571(JP,A)
特開2000-292175(JP,A)
特開2000-055666(JP,A)
特開平07-113643(JP,A)
特開平04-315056(JP,A)
特開平10-153430(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| G01C | 19/56 |
| H01L | 41/08 |
| H01L | 41/18 |