(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2007年11月8日 (08.11.2007)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2007/125961 A1

(51) 国際特許分類:
G01P 15/125 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2007/058960

(22) 国際出願日: 2007年4月25日 (25.04.2007)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2006-126873 2006年4月28日 (28.04.2006) JP
特願2006-126437 2006年4月28日 (28.04.2006) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電工株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS, LTD.) [JP/JP]; 〒5718686 大阪府門真市大字門真１０４８番地 Osaka (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 古久保 英一 (FURUKUBO, Eiichi). 若林 大介 (WAKABAYASHI, Daisuke). 宮島 久和 (MIYAJIMA, Hisakazu). 大渕 正夫 (OHBUCHI, Masao). 青木 亮 (AOKI, Ryo).

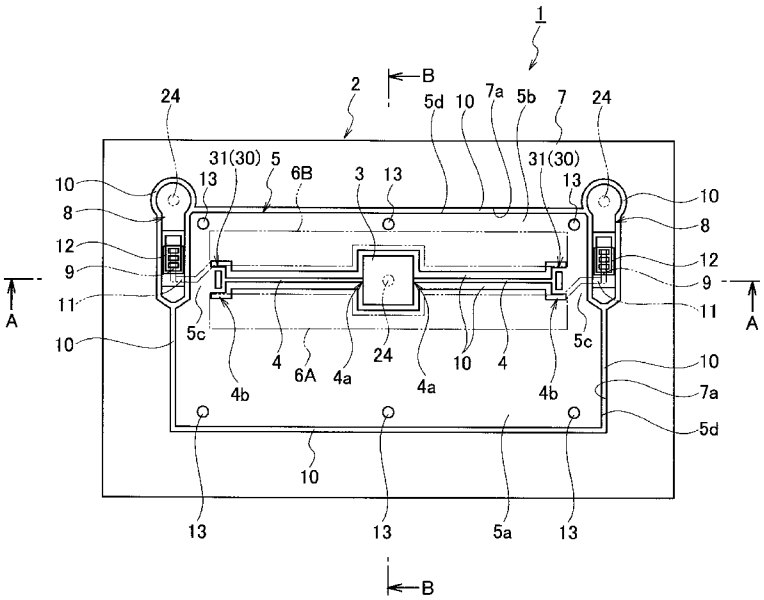
(74) 代理人: 三好 秀和, 外(MIYOSHI, Hidekazu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目２番８号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: CAPACITIVE SENSOR

(54) 発明の名称: 静電容量式センサ



(57) Abstract: Disclosed is a capacitive sensor (1) comprising a fixed electrode (6) and a movable electrode (5) movably supported by an anchor portion (3) via a beam (4). In this capacitive sensor (1), a sensing portion is constituted by arranging the fixed electrode (6) and the movable electrode (5) opposite to each other in such a manner that the electrodes are apart from each other, and the capacitive sensor (1) senses a certain physical quantity by sensing a capacitance corresponding to the distance between the electrodes. In this capacitive sensor (1), a stress relaxation portion (30) for releasing stress is provided on at least one of an end (4a) of the beam (4) to be connected to the anchor portion (3) and an end (4b) of the beam (4) to be connected to the movable electrode (5).

(57) 要約: 固定電極６と、アンカ部３にビーム部４を介して可動支持された可動電極５と、を備えるとともに、固定電極６と可動電極５とを間隙をもって相互に対向配置させて検出部が構成され、当該間隙の大きさに応じた静電容量を検出することで所定の物理量を検出する静電容量式センサ１において、ビーム部４のアンカ部３に接続される側の端部４ａおよび可動電極５に接続される側の端部

[続葉有]

WO 2007/125961 A1

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

４ｂのうち少なくともいずれか一方に、応力を緩和する応力緩和部３０を設けた。

明 細 書

静電容量式センサ

技術分野

[0001] 本発明は、固定電極と可動電極との間の静電容量を検出することにより所定の物理量を検出する静電容量式センサに関する。

背景技術

[0002] 従来より、固定部に弾性要素を介して可動電極が支持された構造を形成し、作用した外力等に応じて可動電極が固定電極に対して接離可能となるようにして、これら電極間の静電容量の変化を検出することで加速度や角速度等の種々の物理量を検出できるようにした静電容量式センサが知られている(特許文献1参照)。またこのような静電容量式センサとして、加速度などの物理量により変位する1個のマス部により、垂直軸方向の物理量を検出することができるように構成された静電容量式センサも知られている(特許文献2、特許文献3参照。)。

[0003] 特許文献1の静電容量式センサでは、弾性要素は、固定部から渦巻き状に伸びるビーム(梁)として形成されており、この弾性要素を介して固定部に可動支持された可動電極は、主として、センサ(半導体層)の表面に沿う方向に変位するように構成されている。また特許文献2、特許文献3の静電容量式センサは、非対称に形成されたマス部をアンカ部と呼ばれる固定部から水平方向へと対称に伸びたトーションビームにより質量バランスを崩すように支持し、垂直方向へと加わる物理量に応じたトーションビームのねじれによるマス部の位置変位により物理量を検出することができる。

[0004] また特許文献2では、このような静電容量式センサを、金属材料を加工することにより形成し、特許文献3では、公知の半導体プロセスを用いてシリコンなどの半導体基板を加工することにより形成している。特許文献3のように半導体プロセスによりシリコンを加工してデバイスを形成した場合、微細な加工が可能となるため、特許文献3のように金属材料を加工した場合より小型で精度の高い静電容量式センサとすることができる。

[0005] しかしながら、特許文献1のように、可動電極がビームを介して固定部に可動支持さ

れる構造では、可動電極の最大変位量や重さ、弾性要素としてのビームの形状、センサに作用する最大加速度等によって、ビームに生じる応力が変化することになるが、特にセンサの小型化やバネ定数の設定に伴って細長いビームを設ける場合等においては、ビームに生じる応力が大きくなりやすく、可動電極の変位量や重さ等のスペックを所望の値に設定しにくくなる場合があった。

[0006] また特許文献3で開示されている静電容量式センサは、単結晶シリコン基板を結晶異方性エッチングにより加工することで形成しているため、アンカ部をはじめ各部がテーパーを有する形状となり、デバイスサイズの大型化や可動電極の可動により生ずる部材の欠損、スティッキングなどを招来してしまうといった問題がある。また、結晶異方性エッチングにより加工した場合、ある程度の質量を有することで検出感度を向上させるようなマス部を形成することが困難であるといった問題もある。

[0007] そこで本発明は、上述した実情に鑑みて提案されたものであり、可動電極がビームを介して固定部に可動支持される静電容量式センサにおいて、ビームの応力を低減することを目的とする。また本発明は、検出感度を向上させるとともに、デバイスサイズの大型化や可動電極の可動により生ずる部材の欠損、スティッキングなどを回避することができる構造を有する静電容量式センサを提供することを目的とする。

特許文献1:特開2000－28634号公報

特許文献2:米国特許第4736629号明細書

特許文献3:米国特許第6000287号明細書

発明の開示

[0008] 本発明の第1の態様に係る静電容量式センサは、固定電極と、半導体層の固定部分にビームを介して可動支持された可動電極と、を備えるとともに、当該固定電極と可動電極とを間隙をもって相互に対向配置させて検出部が構成され、当該間隙の大きさに応じた静電容量を検出することで所定の物理量を検出する静電容量式センサにおいて、上記ビームの固定部分に接続される側の端部および可動電極に接続される側の端部のうち少なくともいずれか一方に、局所的な応力集中を緩和する応力緩和部を設けたことを特徴とする。

[0009] 本発明の第2の態様に係る静電容量式センサは、半導体層の固定部分にビーム部

を介して非対称な質量バランスとなるように可動支持され、前記半導体層の厚み方向の物理量の変位に応じて動作する第1可動電極と、前記半導体層を支持する支持基板上に形成された第1固定電極とを相互に間隙を介して対向配置し、前記第1可動電極と前記第1固定電極との間隙の大きさに応じて検出される静電容量に基づき物理量を検出する第1検出部を備える静電容量式センサにおいて、前記半導体層を単結晶シリコン層とし、前記単結晶シリコン層を垂直エッチング加工することで形成された前記固定部分、前記ビーム部、前記第1可動電極からなる当該第1可動電極の可動機構を備えることを特徴とする。

[0010] 本発明の第1の態様に係る静電容量式センサによれば、ビームにおいて応力が大きくなりやすい部分、すなわち、ビームの固定部分に接続される側の端部および可動電極に接続される側の端部のうち少なくともいずれか一方に、応力を緩和する応力緩和部を設けたため、ビームに生じる応力を低減することができる。

[0011] 本発明の第2の態様に係る静電容量式センサによれば、検出感度を向上させるとともに、デバイスサイズの大型化や可動電極の可動により生ずる部材の欠損、スティッキングなどを回避することを可能とする。また、垂直エッチング加工により可動機構を形成することで、一様な断面形状とすることができるため、他軸感度を大幅に低減することを可能とする。さらに、半導体層を単結晶シリコンとするため膜応力がなく容易な加工を可能とする。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の実施形態にかかる静電容量式センサの半導体層の平面図である。

[図2]図1のA－A線における静電容量式センサの断面図である。

[図3]図1のB－B線における静電容量式センサの断面図である。

[図4]本発明の実施形態にかかる静電容量式センサのビーム部の断面図（図2のC－C断面図）である。

[図5]本発明の実施形態にかかる静電容量式センサの可動電極が揺動する様子を示す模式図であって、(a)は揺動していない状態、(b)は一方側が固定電極に近付いた状態、(c)は他方側が固定電極に近付いた状態を示す図である。

[図6]本発明の実施形態にかかる静電容量式センサの半導体層の一部としての電位

取出部を示す拡大図であって、(a)は平面図、(b)は(a)のD－D断面図、(c)は組立前の状態を示す図である。

[図7]本発明の実施形態にかかる静電容量式センサの応力緩和部の各実施例を示す平面図((a)～(c))である。

[図8]本発明の実施形態にかかる静電容量式センサの応力緩和部の別の実施例を示す平面図((a)および(b))である。

[図9]本発明の第1の実施の形態として示す静電容量式センサの半導体層の構成について説明するための図である。

[図10]前記静電容量式センサの半導体層に形成する凹部について説明するための断面図である。

[図11]前記静電容量式センサの半導体層の凹部を結晶異方性エッチングにより形成した様子を示した断面図である。

[図12]前記静電容量式センサをSOI(Silicon On Insulator)基板を用いて形成することについて説明するための図である。

[図13]前記静電容量式センサの可動電極がねじれ動作をせずに垂直方向へと位置変位した様子を示した図である。

[図14]前記静電容量式センサの固定電極の設置位置について説明するための図である。

[図15]前記静電容量式センサの可動電極を動作させるねじれ動作の中心がずれることについて示した図である。

[図16]前記静電容量式センサの固定電極の形状について説明するための図である。

[図17]本発明の第2の実施の形態として示す静電容量式センサの半導体層の構成について説明するための図である。

[図18]前記静電容量式センサを図14に示すD－D線で切断した様子について説明するための断面図である。

[図19]前記静電容量式センサの水平方向検出部が備える検出部の詳細な構成について説明するための図である。

[図20]前記静電容量式センサの可動電極の別な形状について説明するための図である。

発明を実施するための最良の形態

[0013] 以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

[0014] 〔第1の実施形態〕

本発明の第1の実施形態となる静電容量式センサ1(以下、単にセンサ1と記す)は、図2に示すように、半導体基板を処理してなる半導体層2の表裏両側にガラス基板等の絶縁層20，21を陽極接合等によって接合して構成されている。半導体層2と絶縁層20，21との接合面には比較的浅い凹部22が形成され、半導体層2各部の絶縁性や可動電極5の動作性の確保が図られている。なお本実施形態では、半導体層2と絶縁層20との接合面については、半導体層2側に凹部22を設ける一方、半導体層2と絶縁層21との接合面については絶縁層21側に凹部22を設けている。

[0015] 絶縁層20の表面20a上には導体層23が成膜され、半導体層2の各部の電位を取得するための電極として用いられる。本実施形態では、絶縁層20にサンドブラスト加工等によって貫通孔24を形成して半導体層2の表面(絶縁層20側の表面)の一部を露出させておき、絶縁層20の表面上から貫通孔24の内周面上および半導体層2の表面(図2ではアンカ部3の表面)上にかけて電気的に接続された一連の導体層23を成膜するようにして、当該導体層23から半導体層2内の各部の電位を検出できるようにしてある。なお、絶縁層20の表面上は樹脂層(図示せず)によって被覆(モールド成形)するのが好適である。

[0016] そして図1～図3等に示すように、半導体基板に公知の半導体プロセスによって間隙10を形成することにより、半導体層2に、アンカ部3や、ビーム部4、可動電極5、フレーム部7、電位取出部8等が形成される。半導体層2は、図1に示すように、全体として平面視で略長方形状に形成されており、フレーム部7が、その半導体層2の四つの周縁(四辺)に沿って略一定幅で枠状に設けられている。

[0017] 間隙10は、反応性イオンエッチング(RIE:Reactive Ion Etching)などにより垂直エッチング加工をすることで、間隙10の側壁面を半導体層2の表面と垂直となるように形成される。このようにして、垂直エッチング加工により形成された間隙10の側壁面

同士は、互いに略平行に対向することになる。

[0018] 反応性イオンエッチングとしては、例えば、誘導結合型プラズマ(ICP:Inductively Coupled Plasma)を備えたエッチング装置によるICP加工を利用することができる。大板部5a、小板部5bは、それぞれ1枚の単結晶シリコン基板から形成されているため、小板部5bよりサイズの大きい大板部5aの質量が大きくなっている。

[0019] フレーム部7の内側には、半導体層2の平面視略中央位置よりフレーム部7の一長辺側(図1の上側)に僅かにずれた位置に、矩形断面(本実施形態では略正方形断面)を有する柱状のアンカ部3が設けられており、このアンカ部3のフレーム部7の短辺に対向する一対の側壁からビーム部4, 4がフレーム部7の長辺と略平行に延伸している。なお、本実施形態では、図2および図3に示すように、アンカ部3を絶縁層20のみに当接(接合)させているが、さらにもう一方の絶縁層21に当接(接合)させるようにしてもよい。

[0020] ビーム部4は、図4に示すような一定の矩形(略長方形)断面を有する梁として構成されている。全体的な大きさにもよるが、一例としては、半導体層2の厚み方向の高さhは10マイクロメートル以上(500マイクロメートル以下)、半導体層2の表面に沿う方向の幅wは数マイクロメートル(3～10マイクロメートル程度)とすることができる。そしてこのビーム部4は、一定の断面でフレーム部7の長辺に沿う方向に延伸し、アンカ部3側の端部4aに対して反対側となる端部4bが可動電極5に接続されている。

[0021] 可動電極5は、フレーム部7の内周面7aに間隙10をもって対向する平面視略矩形状の外周面5dを備えるとともに、アンカ部3およびビーム部4, 4の外側を間隙10をもって囲むように形成されている。すなわち、可動電極5は、図1に示すように、アンカ部3およびビーム部4, 4に対して、フレーム部7の一長辺側(図1の下側)には、間隙10を空けて略矩形状の大板部5aを備える一方、フレーム部7の他の長辺側(図1の上側)には、間隙10を空けて略矩形状の小板部5bを備えており、これら大板部5aと小板部5bとが、フレーム部7の短辺に沿う一対の接続部5c, 5cを介して相互に接続された形状となっている。そして、ビーム部4, 4はそれぞれ対応する接続部5c, 5cの略中央部に接続されている。なお、上記構成では、大板部5a、小板部5bはそれぞれ1枚の単結晶シリコン基板から形成されているため、小板部5bよりサイズの大きい

大板部5aの質量が大きくなっている。

[0022] このように可動電極5がセンサ1の固定部としてのアンカ部3にビーム部4，4を介して非対称な質量バランスで可動支持された構造は、半導体層2に適宜に間隙10を形成するとともに半導体層2および絶縁層20，21のうち少なくともいずれか一方に適宜に凹部22を形成することで得ることができる。よって、アンカ部3、ビーム部4，4、および可動電極5は、半導体層2の一部として一体に構成されており、それらアンカ部3、ビーム部4，4、および可動電極5の電位はほぼ等電位とみなすことができる。

[0023] ビーム部4，4は、フレーム部7に対して可動電極5を弾性的に可動支持するバネ要素として機能する。本実施形態では、図4に示すように、ビーム部4，4は、センサ1の厚み方向に長い断面（ビーム部4の延伸軸に垂直な断面）を有しているため、当該厚み方向には撓みにくく、また、可動電極5はビーム部4，4を挟んで相互に対向する質量の異なる大板部5aと小板部5bとを備えており、ビーム部4，4の両側での質量が異なっているため、センサ1に厚み方向の加速度が生じると、大板部5aおよび小板部5bに作用する慣性力の差によってビーム部4，4がねじられ、可動電極5はビーム部4，4を中心として揺動することになる。すなわち、本実施形態では、ビーム部4，4はねじりビーム（トーションビーム）として機能することになる。

[0024] そして本実施形態では、可動電極5の大板部5aおよび小板部5bのそれぞれに対向するように絶縁層20の下面20bに固定電極6A，6Bを設け、大板部5aと固定電極6Aとの間の静電容量、および小板部5bと固定電極6Bとの間の静電容量を検出することで、これら間隙の変化、ひいてはセンサ1の固定部に対する可動電極5の揺動姿勢の変化を検出することができるようになっている。

[0025] 図5の（a）は、可動電極5が揺動することなく絶縁層20の下面20bに対して平行な姿勢にある状態を示している。この状態では、大板部5aと固定電極6Aとの間の間隙25aの大きさと、小板部5bと固定電極6Bとの間の間隙25bの大きさとが等しくなるため、大板部5aおよび固定電極6Aの相互対向面積と、小板部5bおよび固定電極6Bの相互対向面積とを等しくしてある場合には、大板部5aと固定電極6Aとの間の静電容量と、小板部5bと固定電極6Bとの間の静電容量とは等しくなる。

[0026] 図5の（b）は、可動電極5が揺動して絶縁層20の下面20bに対して傾き、大板部5a

が固定電極6Aから離間するとともに、小板部5bが固定電極6Bに近接した状態を示している。この状態では、図5の(a)の状態に比べて、間隙25aは大きくなり、間隙25bは小さくなるから、大板部5aと固定電極6Aとの間の静電容量は小さくなり、小板部5bと固定電極6Bとの間の静電容量は大きくなる。

[0027] 図5の(c)は、可動電極5が揺動して絶縁層20の下面20bに対して傾き、大板部5aが固定電極6Aに近接するとともに、小板部5bが固定電極6Bから離間した状態を示している。この状態では、図5の(a)の状態に比べて、間隙25aは小さくなり、間隙25bは大きくなるから、大板部5aと固定電極6Aとの間の静電容量は大きくなり、小板部5bと固定電極6Bとの間の静電容量は小さくなる。

[0028] したがって、大板部5aと固定電極6Aとの間の間隙25aを検知ギャップとする静電容量と、小板部5bと固定電極6Bとの間の間隙25bを検知ギャップとする静電容量との差動出力から、C－V変換することで得られる電圧波形を求めセンサ1に加えられた種々の物理量(加速度や角加速度等)を検出することができる。

[0029] このような静電容量は、可動電極5および固定電極6A，6Bの電位から取得することができる。本実施形態では、図1および図2に示すように、アンカ部3上の絶縁層20には貫通孔24が形成されており、可動電極5の電位は、この貫通孔24の内面に形成した導体層23を介して取り出される。

[0030] 一方、固定電極6は、絶縁層20の下面20b上に略矩形状の導体層(例えばアルミニウム合金の層)として形成してある。固定電極6を成膜する工程では、固定電極6と一続きの導体層として、配線パターン11および端子部9も同時に成膜される。したがって、固定電極6の電位は、配線パターン11および端子部9、半導体層2に形成された電位取出部8、ならびに電位取出部8上の絶縁層20に形成された導体層23を介して取り出されるようになっている。

[0031] ここで、図6を参照して、電位取出部8の構成について説明する。図6(a)は、電位取出部8を拡大して示した図であり、図6(b)は、図6(a)に示すC－C線で切断した様子を示す断面図であり、図6(c)は、絶縁層20と半導体層2とを接合する前段における様子を示した断面図である。

[0032] 電位取出部8は、半導体層2に形成した間隙10や半導体層2または絶縁層21に形

成した凹部22によって、可動電極5やフレーム部7等の半導体層2の他の部分と絶縁され、略円柱状に形成されるパッド部8aと、パッド部8aからフレーム部7の短辺に沿って細長く伸びる台座部8bとを備えている。そして、この台座部8bの端子部9に対応する部分を切り欠くように平坦な底面8cを備える凹部26が形成されている。そして、この底面8c上には下敷層27（例えば、二酸化珪素（SiO_2）の層）が形成され、さらに、この下敷層27と隣接した位置にほぼ同じ高さの導体層28が形成されるとともに、下敷層27の上面から導体層28の上面にかけて、フレーム状の山部12aを連設してなる平面視で略梯子状の接点部12が形成される。このとき、導体層28および接点部12は、同一の導体材料（例えばアルミニウム合金等）による層として形成することができる。

[0033] ここで本実施形態では、図6の（c）に示すように、接点部12の山部12aを、半導体層2の上面2aより上に高さδhだけ突出するように高く形成し、これにより、半導体層2と絶縁層20との接合により、端子部9によって山部12aを押圧して塑性変形させて密着度を高め、山部12a（接点部12）と端子部9との間での接触および導通がより確実なものとなるようにしている。

[0034] なお図1に示すように、大板部5aおよび小板部5bの表面上の適宜位置にはストッパ13を設け、可動電極5と固定電極6A，6Bとが直接的に接触（衝突）して損傷するのを抑制するようになっているが、このストッパ13を下敷層27と同一材料として同じ工程で形成するようにすれば、これらを別途形成する場合に比べて製造の手間が減り、製造コストを低減することができる。

[0035] 次に、図7を参照して、ビーム部4，4の長手方向端部に設けられる応力緩和部30，30A，30Bについて説明する。

[0036] 図7の（a）は、本実施形態にかかる応力緩和部30の平面図である。この例では、ビーム部4が可動電極5の接続部5cに接続される側の端部に、平面視で矩形の枠状構造31を設けてある。具体的には、平面視でビーム部4の延伸方向に沿う短辺部32と当該延伸方向と直交する方向に伸びる長辺部33とを含む細長い枠状構造31を接続部5cに連設し、この枠状構造31の長手方向中央部にビーム部4の端部を接続してある。なお、接続部5cの端部と長辺部33とは一体化する一方、枠状構造31の高さ

は、ビーム部4と同じにしてある。かかる構造により、ビーム部4が接続部5cに直接に接続される場合に比べて、可動電極5の動作に伴って撓む領域を増大させることができるため、隅部(根元部分)4b, 5dにおける局所的な応力集中を緩和することができる。

[0037] かかる枠状構造31は、ビーム部4の延伸方向と垂直な方向に細長く形成してあるため、本実施形態のように、ビーム部4がその延伸軸を中心にねじられるねじりビームである場合には、長辺部33で撓み代を大きくとることができる分、特に有効となる。

[0038] 図7の(b)は、本実施形態の変形例にかかる応力緩和部30Aの平面図である。この例では、図7の(a)と同様の枠状構造31を、ビーム部4の延伸方向に複数段(この例では2段)並べて配置し、それら枠状構造31, 31間を、ビーム部4の延長線上に設けた接続片部34によって接続してある。この例では、枠状構造31を多重に設けた分、図7の(a)の例に比べてより一層応力を緩和することができる。

[0039] 図7の(c)は、本実施形態の別の変形例にかかる応力緩和部30Bの平面図である。この例では、ビーム部4と接続部5cとの間に、応力緩和部30Bとして、ビーム部4をその延伸方向と直交する方向に所定幅で反復的に複数回折り返した蛇行構造35を設けてある。このような蛇行構造35を設けることによっても、ビーム部4が接続部5cに直接に接続される場合に比べて、可動電極5の動作に伴って撓む領域が増大するため、隅部(根元部分)4b, 5dにおける局所的な応力集中を緩和することができる。

[0040] なお上記例では、いずれも、ビーム部4の可動電極5(の接続部5c)に接続される側の端部4bに応力緩和部30, 30A, 30Bを設けた例を示したが、これら応力緩和部30, 30A, 30Bは、ビーム部4の他方側の端部、すなわち、ビーム部4のアンカ部3に接続される側の端部4aにも同様に設けることができ、当該端部4aにおいて同様の効果を得ることができる。そして、ビーム部4の長手方向両端部に応力緩和部30, 30A, 30Bを設けるようにすれば、さらにビーム部4に生じる応力を低減することができる。なお、両端部で相異なる応力緩和部30, 30A, 30Bを設けてもよいし、これらを適宜に組み合わせて構成してもよい。

[0041] 以上の説明から明らかなように、本発明の第1の実施形態となるセンサ1によれば、ビーム部4のアンカ部3に接続される側の端部4aおよび可動電極5に接続される側の

端部4bのうち少なくともいずれか一方に、応力を緩和する応力緩和部30，30A，30Bを設けたため、ビーム部4に生じる応力を低減して耐久性を向上することができる上、可動電極5の変位量や重さ等のスペックの設定自由度を増大することができる。かかる応力緩和部30，30A，30Bは、ビーム部4のアンカ部3に接続される側の端部4aおよび可動電極5に接続される側の端部4bの双方に設けると、応力をより一層低減することができる。

[0042] このとき、応力緩和部30，30A，30Bは、一つの枠状構造31、枠状構造31を多段に含む構造、あるいは蛇行構造35として、容易に形成することができる。特に、ビーム部4をねじりビームとして用いる場合、応力緩和部30，30A，30Bを、本実施形態で例示したような、一つの枠状構造31、枠状構造31を多段に含む構造、あるいは蛇行構造35として構成すると、軸方向と直交する部分を比較的長く設けることができる分、ビーム部4（および応力緩和部30，30A，30B）の単位長さあたりの撓み量を小さくすることができて、より一層効果的な応力低減が可能となる。

[0043] また本実施形態では、ビーム部4の断面を略矩形断面とすることで、ビーム部4の曲がりやすい方向および曲がりにくい方向を規定して、可動電極5を所望のモードで動作させ、不本意なモードでの動作による不具合を抑制することができる。特に本実施形態のように、可動電極5を揺動させビーム部4をねじりビームとして構成する場合、図4に示すように、ビーム部4の延伸軸に垂直な断面形状について、センサ1の厚み方向の長さ（高さh）を、センサ1の表面に沿う方向の長さ（幅w）より長くすることで、可動電極5が全体的にセンサ1の厚み方向（図2の上下方向）に撓んで大板部5aおよび小板部5bともに固定電極6A，6B側に近接するように動作して検出精度が低下するのを抑制することができる。

[0044] なお本実施形態では、ビームをねじりビームとして用いる場合を例示したが、曲げビームとして用いる場合にも本発明は同様に実施することが可能であるし、渦巻き形状や折り返し形状など種々の形状のビームに対しても同様に実施可能である。また、枠状構造や蛇行構造のスペック（例えば枠状構造の段数や、蛇行構造の折り返し数、各部の大きさ、形状等）も種々に変形可能である。例えば、枠状構造を、図8のように、平面視で三角形状（例えば、正三角形状や二等辺三角形状）としてもよいし、(b)

のように、当該三角形状の単位枠をトラス状に多重に重ねてもよい。かかる構成によれば、平面視矩形状の枠状構造に比べて、応力集中をより一層低減することができる。

[0045] [第2の実施形態]

本発明の第2の実施形態となるセンサ1は、図9に示すように、ビーム部4，4の長手方向端部に応力緩和部30が設けられていない点が上記第1の実施形態となるセンサ1の構造と異なる。そして本実施形態では、凹部22は、図10(a)に示すように、半導体層2を絶縁層20に接合し、間隙10を形成する前段において、ウェットエッチングやドライエッチングといった種々のエッチング処理により形成しておく。このようにして半導体層2をエッチング処理により削り取ることにより凹部22を形成した後、図10(b)に示すようにガラス基板である絶縁層20を接合させ、垂直エッチング加工をすることで、図10(c)に示すような間隙10を形成する。なお、ストッパ13は、エッチング処理により凹部22を形成した後に、酸化膜やアルミニウム合金などで形成する。

[0046] このように、単結晶シリコン基板である半導体層2をエッチング処理することで、あらかじめ凹部22を形成し、凹部22が形成された面を支持基板となる絶縁層20に対向させて接合させると、エッチング処理に伴い生成されるエッチング残渣を良好に除去することができるため、可動電極5の揺動により絶縁層20とスティッキングしてしまうことを防止することができ、センサ1の品質を向上させることができる。

[0047] また、あらかじめ半導体層2に凹部22を形成してしまうことから、支持基板となる絶縁層20としてガラス基板などの絶縁基板を利用できるため、絶縁基板以外、例えば、可動電極5と同様のシリコン材料からなる基板などを利用した場合に発生する寄生容量を低減することができる。

[0048] さらに、エッチング処理により形成する凹部22は、凹部22の形状に応じたレジスト膜パターンを形成し、凹部22の深さに応じたエッチング時間のみを設定するだけで、容易に形成することができるという利点がある。また、絶縁層20としてガラス基板を利用できるため、鏡面となる単結晶シリコンで形成された可動電極5の揺動によるビーム部4のねじれ動作を光の反射として視認できるため外観検査を容易に行うことができる。

[0049] この凹部22は、図5を用いて説明した検知ギャップである大板部5aと固定電極6Aとの間の間隙25a、小板部5bと固定電極6Bとの間の間隙25bの検知ギャップ間の距離を規定することになる。静電容量をC、対向面積をS、検知ギャップ間の距離をd、誘電率をεとした場合の静電容量Cの基本式である“C＝εS／d ”からも分かるように、検知ギャップ間の距離は、高い精度で形成する必要がある。一般的には、このような半導体プロセスにより形成する静電容量式センサにおいては、製造プロセス中のスティッキングや、実使用時のスティッキングを防止するために検知ギャップ間の距離として3μm以上が必要となる。

[0050] そこで結晶方向にエッチング速度が依存する性質を利用した結晶異方性エッチングにて、凹部22を形成するとエッチング処理の管理が容易となるため、ばらつきが少なく非常に高い精度の検知ギャップとなる間隙25a、間隙25bを形成することができる。

[0051] 図11に、結晶異方性エッチングにより凹部22を形成した場合の、図9のA－A線で半導体層2を切断した様子を示す。図11の領域Pに示すように、アンカ部3、フレーム部7は、切り出した単結晶シリコン基板の結晶面に対して所定の角度の面方位となる面が現れることになる。

[0052] ところで、図6を用いて説明した電位取出部8において、台座部8bを切り欠くように形成された平坦な底面8cを備える凹部26も、凹部22を形成する際に結晶異方性エッチング処理により形成するようにする。この凹部26は、固定電極6の電位を取り出す電位取出部8において、端子部9と接点部12とを確実に接触して導通させるために高い精度で形成される必要がある。したがって、結晶異方性エッチングにより凹部22を形成するのに伴い、同じく結晶異方性エッチングにより凹部26を形成すると、ばらつきが少なく非常に高い精度の凹部26を形成することができる。

[0053] 上述したセンサ1のアンカ部3、ビーム部4、可動電極5などを、図12に示すようなシリコン支持基板41とシリコン活性層43との間に中間酸化膜42としてSiO_2を挿入した構造のSOI（Silicon On Insulator）基板40から形成することもできる。図12は、図9のB－B断面に相当する断面図である。

[0054] このSOI基板40を用いる場合、まず、垂直エッチング加工により図12（a）に示すよ

うに間隙10を形成し、犠牲層エッチングにより図12(b)に示すように中間酸化膜42を除去することで凹部22を形成する。つまり、シリコン活性層43が、上述した半導体層2に相当する。このように、SOI基板40を用いる場合、半導体層2と他の基板とを接合するという工程を一つ省略できるため、容易に形成することができるという利点がある。

[0055] 一方、犠牲層エッチングにより凹部22を形成するため、上述したように半導体層2を単結晶シリコン基板にて形成する際に、ガラス基板などの絶縁層20との接合の前段で凹部22をエッチング処理によりあらかじめ形成する場合と比較して、エッチング残渣の量が多くなってしまう可能性が高い。また、絶縁層20をガラス基板とすることができないため、上述したような効果を得ることができない。

[0056] ビーム部4は、センサ1の厚み方向に長い断面(ビーム部4の延伸軸に垂直な断面)を有しているため、当該厚み方向には撓みにくい形状となっている。またビーム部4は、図4に示すような一定の矩形(略長方形)断面を有する梁として構成されており、半導体層2の厚み方向に沿った厚みhが10μm以上とされる。この厚みhの下限値である10μmは、上述した検知ギャップの一般的な検知ギャップ間の距離である3μm以上に基づき算出された値である。このように、検知ギャップ間の距離を3μm以上とした場合、センサ1で検出された値を信号処理する信号処理回路の能力に基づく感度を確保するためには、所定の変位量だけ可動電極5を変位させる必要がある。

[0057] そこで、可動電極5の厚み、つまりビーム部4の厚みを検知ギャップ間の最低距離である3μmの約3倍である10μm以上とすることで、必要な感度を得るために充分な程度、可動電極5を変位させる質量を確保することができる。可動電極5の厚み、ビーム部4の厚みの上限値は、半導体層2を形成する単結晶シリコン基板の厚みに準じた、例えば、500μmなどとすることができる。

[0058] また図4に示すビーム部4の厚みhは、ビーム部4の幅wに対して3.16倍以上とする。例えば、垂直方向の加速度に応じてビーム部4がねじれることで可動電極5が正常に変位する場合、可動電極5は、半導体層2を支持する絶縁層20,21に接触したとしても線接触や点接触となる。しかしながら、過大な加速度が加わった場合には、図13に示すように可動電極5がz軸方向に、表面を水平に保ちながら変位して絶縁

層20，21に面接触し、スティッキングを起こしてしまう可能性がある。このようなz軸方向、つまり垂直方向への可動電極5の変位を防止するには、ねじれずにそのまま持ち上がってしまうモードを減らしてやる必要がある。

[0059] 具体的には、ビーム部4の垂直方向のたわみをビーム部4の水平方向のたわみの10分の1以下にすると、上述したようなねじれずにそのまま持ち上がってしまうモードを大幅に減らすことができる。そこで、断面2次モーメントに基づく最大たわみを算出し、ビーム部4の垂直方向のたわみが、ビーム部4の水平方向のたわみの10分の1以下となるように、ビーム部4の厚みhを決定すると、ビーム部4の厚みhは、ビーム部4の幅wに対して3．16（≒$10^{1/2}$）倍以上とする必要がある。

[0060] これにより、可動電極5が、ねじれずにそのまま持ち上がってしまうモードを大幅に減らすことができるため、可動電極5は、絶縁層20，21に面接触してスティッキングを起こすことなく、物理量に応じてビーム部4を中心とした良好なねじれ動作をすることができる。

[0061] 固定電極6A，6Bは、図14に示すように、可動電極5のねじれ動作の中心となるビーム部4を対称軸として上下対称となるように設けるのではなく、可動電極5の小板部5b側へとずらすように設けられている。

[0062] 図15（a），（b）に、図14に示す矢印L方向からセンサ1を見た場合の加速度Gを垂直下方より加える前後においてねじれ動作の中心がずれる様子を示す。このねじれ動作の中心がずれる現象は、マスとして機能する可動電極5を、大板部5a、小板部5bという質量の異なる部材をねじれ動作の中心となるビーム部4に対して非対称となるように形成していることに起因していると考えられる。

[0063] そこで、固定電極6A，6Bをビーム部4を対称軸とし対称に配置した状態を基準として、このようなねじれ動作の中心がずれる量を考慮し、図15（a）に示すように、固定電極6Aは、ビーム部4へと近付ける方向に、一方、固定電極6Bは、ビーム部4から遠ざける方向に、それぞれ絶縁層20の下面20bに設けるようにする。このとき、固定電極6A，6Bのずれ量、つまり、固定電極6A，6Bの絶縁層20の下面20bにおける設置位置は、センサ1で保証されている加速度の検知範囲に応じて決定される。

[0064] このように、物理量を加えた場合に変化する可動電極5のねじれ動作の中心位置

に応じて、固定電極6A，6Bの位置を決定すると、加えられる物理量に応じて検出される静電容量の直線性を高めることができるため精度よく物理量を検出することができる。

[0065] また、絶縁層20に設ける固定電極6と可動電極5との対向面積が増えれば、センサ1で検出する物理量の検出感度を上げることができるため、図16(a)に示すように、単純に可動電極5の大板部5a、小板部5bの長辺に沿った短冊形状とするのではなく、図16(b)に示すように、アンカ部3、ビーム部4を形成するにあたり設けた間隙10を避けながら、この間隙10の形状に沿うように固定電極6A，6Bを、大板部5a、小板部5bに対向する絶縁層20の下面20b上に形成して対向面積を稼ぐようにする。これにより、固定電極6A，6Bにより規定される可動電極5との対向面積を最大限確保することができるため、センサ1に加えられる物理量を非常に感度よく検出することができる。

[0066] 上述したように、本実施形態として示すセンサ1は、単結晶シリコン基板である半導体層2を垂直エッチング加工することでアンカ部3、ビーム部4、可動電極5からなる当該可動電極5の可動機構を形成している。したがって、充分な厚みがある半導体層2を用いて可動電極5を形成することができる。

[0067] これにより、可動電極5の質量を十分確保できることから、物理量に応じて大きく可動電極5が変位するため、静電容量の検出感度を向上させることができる。また、可動電極5の変位量が大きいことから検知ギャップを広く確保できるため可動電極5と、固定電極6が設けられた絶縁層20とのスティッキングの発生を防止することができる。

[0068] また、ICPを搭載したエッチング装置による垂直エッチング加工であることから、半導体層2を加工した加工面にテーパーが形成されるといったことがないため、デバイスサイズを小型化することができる。また、加工面にテーパーが形成されていないため、過大な物理量によりビーム部4と可動電極5とが接触したとしても必ず面接触となるため構造が欠けてしまうことなどを防止することができる。さらに、垂直エッチング加工されたエッチング面は、鏡面ではないため、面接触したとしてもスティッキングを発生してしまうこともない。

[0069] 垂直エッチング加工をした場合には、エッチング処理された部位の断面形状が上下においてほぼ対称形状となるため、検出方向である主軸方向に対する他軸方向に感度を発生してしまうことを回避することができる。さらに、本実施形態として示すセンサ1は、半導体層2を膜応力の少ない単結晶シリコン基板としているため容易な加工処理を実現することができる。

[0070] [第3の実施形態]

続いて、図17，図18を用いて、本発明の第3の実施形態として示すセンサ1の構成について説明する。第3の実施の形態として示すセンサ1は、上述した第2の実施の形態として示す半導体層2の厚み方向である垂直方向の物理量を検出するセンサ1に、さらに半導体層2の面方向である水平方向の物理量を検出することができるように構成したものである。

[0071] 図17は、センサ1の半導体層2を示した平面図である。図17に示すように、半導体層2は、半導体基板に公知の半導体プロセスにより間隙10を形成することで、垂直方向の物理量を検出する垂直方向検出部50Aと、水平方向の物理量を検出する水平方向検出部50Bと、これらを囲むフレーム部7とが形成されている。なお、垂直方向検出部50Aは、センサ1と全く同一の構成であるため、必要に応じて適宜説明をするものとし詳細な説明を省略する。

[0072] 間隙10は、第2の実施形態として示すセンサ1における間隙10と同様に、反応性イオンエッチングなどにより垂直エッチング加工をすることで、間隙10の側壁面を半導体層2の表面と垂直となるように形成される。このようにして、垂直エッチング加工により形成された間隙10の側壁面同士は、互いに略平行に対向することになる。反応性イオンエッチングとしては、例えば、誘導結合型プラズマを備えたエッチング装置によるICP加工を利用することができる。

[0073] 図17に示すように、水平方向検出部50Bの半導体層2は、支持部53、ビーム部54、可動電極55、固定電極56とが形成されている。

[0074] 図18は、図17のD－D線で半導体層2を切断するようにセンサ1を切断した様子を示した断面図である。図18に示すように、センサ1は、この半導体層2の表裏両面にガラス基板などの絶縁層20，21を、例えば、陽極接合などをして接合することで形成

される。これら半導体層2と絶縁層20，21との接合面には、比較的浅い凹部62が形成されており、半導体層2各部の絶縁性や可動電極55の動作性の確保が図られている。なお、本発明の第2の実施の形態では、水平方向検出部50Bの半導体層2と絶縁層20との接合面については、半導体層2側に凹部62を設ける一方、水平方向検出部50Bの半導体層2と絶縁層21との接合面については、絶縁層21側に凹部62を設けている。

[0075] 図17に示すように、支持部53は、可動電極55を介して可動電極55の長辺側にそれぞれ1つずつ設けられ、可動電極55の長辺に沿って平行に略一定幅で延設されている。このように設けられた1対の支持部53は、一方が他方に較べ細く長くなっている。

[0076] 各支持部53には、可動電極55に対向する側から、当該支持部53の長辺と平行に、かつ中途で蛇行するように折れ曲がりながら中心に向けて伸びるビーム部54が、それぞれ2本ずつ設けられている。図17に示すように、ビーム部4の他端は、可動電極55の隅部に接続されており、支持部53に対して可動電極55を弾性的に可動支持するバネ要素として機能する。

[0077] これにより、水平方向検出部50Bでは、可動電極55に対し、バネ要素としてのビーム部54、ビーム部54に接続された支持部53により支持される質量要素（マス）としての機能を与え、これらバネ要素と質量要素とによってバネ－マス系を構成している。このような水平方検出部50Bは、質量要素としての可動電極55の位置変位による可動電極55、固定電極56間の静電容量の変化を検出する。そして、水平方向検出部50Bは、検出された静電容量の変化をC－V変換することで得られる電圧波形からセンサ1に加えられた加速度を検出することができる。

[0078] 具体的には、この静電容量の変化は、可動電極55、固定電極56にそれぞれ形成された櫛歯状の複数の検出可動電極55a、検出固定電極56aからなる検出部58A，58B（以下、総称する場合は、単に検出部58と呼ぶ。）によって検出される。

[0079] 例えば、図17に示すY軸方向に加速度が与えられると、可動電極5がY軸方向に変位し、検出部58Aの検出可動電極55a、検出固定電極56aで検出される静電容量と、検出部58Bの検出可動電極55a、検出固定電極56aで検出される静電容量に

差が生じる。この静電容量の差からY軸方向の加速度を検出することができる。

[0080] 図17に示す固定電極56の隅部56b上には、絶縁層20をサンドブラスト加工等によって貫通させた貫通孔24を形成する。そして、貫通孔24を介して露出された半導体層2、貫通孔24の内周面、絶縁層20の表面20aにかけて金属薄膜などを成膜することで固定電極56の電位を絶縁層20上で取り出せるようにしている。なお、絶縁層20の表面上は、樹脂層(図示せず)によって被覆(モールド成形)するのが好適である。

[0081] 一方、可動電極55の電位は、当該可動電極55をビーム部54を介して支持する支持部53から取り出すようにする。図17に示す可動電極55に対して上側に配置された支持部53には、絶縁層20をサンドブラスト加工等によって貫通させた貫通孔を形成する。そして、貫通孔24を介して露出された半導体層2、貫通孔24の内周面、絶縁層20の表面20aにかけて金属薄膜などを成膜することで可動電極55の電位を絶縁層20上で取り出せるようにしている。

[0082] 続いて、図19に示す水平方向検出部50Bの検出部58を中心に可動電極55、固定電極56を拡大した平面図を用いて、検出部58の詳細な構成について説明をする。

[0083] 図19に示すように、可動電極55には、その中央部から固定電極56の電極支持部56cに向けてその辺と略垂直に細長く伸びる帯状の検出可動電極55aが形成されている。検出可動電極55aは、所定のピッチで、互いに平行となるように櫛歯状に複数形成される。また、各検出可動電極55aは、先端部が互いに平行に、同一の長さとなるように揃えられている。

[0084] 一方、固定電極56には、電極支持部56cから可動電極55の中央部に向けて、検出可動電極55aと平行に細長く伸びる帯状の検出固定電極56aが形成されている。検出固定電極56aは、上述した櫛歯状の複数の検出可動電極55aの間に、検出可動電極55aと1対1で平行に対向するように、所定のピッチ(例えば、検出可動電極55aと同一のピッチ)で櫛歯状に複数形成される。また、各検出固定電極56aは、検出可動電極55aに対応させて同一の長さとなるように揃えられ、検出可動電極55a、検出固定電極56a同士が相互に対向する対向面の対向面積をできるだけ広く確保できるようにしてある。

[0085] 図19に示すように、検出可動電極55a、検出固定電極56aを形成する上で設けられた間隙10は、一方側で狭い間隙10a、他方側で広い間隙10bとなっている。検出部58は、狭い側の間隙10aを検知ギャップ（電極ギャップ）として検出可動電極55a、検出固定電極56a間の静電容量を検出する。

[0086] なお、図17に示すように、可動電極55の表面上の適宜位置には、垂直方向検出部50Aの可動電極5に設けたストッパ13と全く同一のストッパ13を設け、可動電極55が絶縁層20に直接的に接触（衝突）して損傷するのを抑制するようになっているが、このストッパ13を電位取出部8の下敷層27と同一材料として同じ工程で形成するようにすれば、これらを別途形成する場合に比べて製造の手間が減り、製造コストを低減することができる。

[0087] ところで図17を用いて説明したように、水平方向検出部50Bでは、半導体層2と絶縁層20との接合面は、半導体層2側に凹部42を設けるようにしている。凹部42は、半導体層2を絶縁層20に接合し、間隙10を形成する前段において、ウェットエッチングやドライエッチングといった種々のエッチング処理により形成しておく。このようにして半導体層2をエッチング処理により削り取ることにより凹部52を形成した後、ガラス基板である絶縁層20を接合させ、垂直エッチング加工をすることで、間隙10を形成する。

[0088] このとき図18に示すように、垂直方向検出部50Aのアンカ部3、ビーム部4、可動電極5が形成された半導体層2の厚みh1と、水平方向検出部50Bのビーム部54、可動電極55、固定電極56が形成された半導体層2の厚みh2とを全て同一にする。このように、厚みh1と、厚みh2とを同一の厚さとすると、凹部62を形成する工程と、垂直方向検出部50Aにおいて検知ギャップを規定する凹部22を形成する工程とを同一工程にて形成することができる。また、厚みh1と、厚みh2とを同一の厚さとすると、間隙10を形成する際の垂直エッチング加工において、貫通エッチング量を一定に保つことができるためエッチング時間が同じになりオーバーエッチングを防止することができる。

[0089] また図17に示す垂直方向検出部50Aのビーム部4を形成するために貫通させる間隙10の幅w1と、図16に示す水平方向検出部50Bの検出部58の検知ギャップであ

る間隙10aの幅w2とを同一にする。このように、間隙10の幅w1と、間隙10aの幅w2とを同一の幅とすると、垂直エッチング加工時のエッチング速度を均一化することができる。したがって、垂直エッチング加工によるエッチング処理後に形成される各部位の形状ばらつきを大幅に低減させることができる。

[0090] 特に、垂直方向検出部50Aのビーム部4は、ねじれ動作を伴うため当該ビーム部4の幅のばらつきが検出感度に悪影響を与えてしまう。したがって、間隙10の幅w1と、間隙10aの幅w2とを同一の幅とし、形状ばらつきを低減させることで、垂直方向検出部50Aの検出感度を向上させることができる。

[0091] さらに図18に示す垂直方向検出部50Aのビーム部4の幅w3と、水平方向検出部50Bのビーム部54の幅w4とを同一にする。このように、ビーム部4の幅w3と、ビーム部54の幅w4とを同一の幅とすると、垂直エッチング加工をする際のオーバーエッチングの管理が容易になる。また、ビーム部4の幅w3と、ビーム部54の幅w4とを同一の幅とすると、半導体プロセスが終了した後に行われるデバイスの画像認識などによる外観検査を容易なものとすることができる。

[0092] 第3の実施形態として示すセンサ1は、図20に示すような構成とすることもできる。図20に示すセンサ1は、垂直方向検出部50Aの可動電極5を、水平方向検出部50Bを囲むような枠形状としている。具体的には、可動電極5の大板部5aを縮小し質量を減らし、この縮小した大板部5aから水平方向検出部50Bの固定電極56の電極支持部56cの長手方向に沿って平行に伸びる2本の腕部5dと、腕部5dとを接続する接続部5eによって水平方向検出部50Bが囲まれることになる。

[0093] このように、水平方向検出部50Bを囲むように可動電極5を形成すると、ねじれ動作の中心となるビーム部4から遠い質量成分である腕部5d、接続部5eにより慣性モーメントを稼ぐことができるため、大板部5aを縮小して質量を減らしたとしても充分な検出感度を確保、さらには検出感度を向上させることができる。また、垂直方向検出部50A、水平方向検出部50Bとを効率的に配置することができるため、センサ1を小型化することができるという利点もある。

[0094] このように本発明の第3の実施の形態として示すセンサ1は、同一の半導体層2に、半導体層2の厚み方向の物理量を検出する垂直方向検出部50Aと、半導体層2の

面方向の物理量を検出する水平方向検出部50Bとが、垂直エッチング加工により形成されている。例えば、それぞれ1軸方向の物理量を検出するセンサを単純に2つ配置するなどして互いに垂直な他軸方向の物理量を検出するようにしたセンサなどでは、実装時の位置ずれや、実装浮きなどにより2軸間の直角性を損なってしまうが、本発明の第3の実施の形態として示すセンサ1では、互いの検知軸の直角性を高い精度で確保できるため、非常に高い精度で双方の物理量を検出することができる。

[0095] また、同一のプロセスで垂直方向検出部50Aと、水平方向検出部50Bとを形成できるため、製造プロセスの削減から製造コストを低減することができるとともに、形状を小型化することもできる。また、垂直方向検出部50Aのアンカ部3、ビーム部4、可動電極5が形成された半導体層2の厚みh1と、水平方向検出部50Bのビーム部54、可動電極55、固定電極56が形成された半導体層2の厚みh2とを全て同一にしているため、製造されたセンサ1の垂直方向検出部50A、水平方向検出部50Bの感度などの特性にばらつきがあった場合には、単結晶シリコン基板を切り出す前の単結晶シリコンウェハそのものにばらつきが存在すると判断することができる。

[0096] したがって、製造されたセンサ1の性能から、単結晶シリコンウェハの製造ばらつきなどの特性をつかみやすく、単結晶シリコンウェハの製造プロセスに異常が発生した場合には迅速に発見することができ品質向上を実現できる。

[0097] また、垂直方向検出部50A、水平方向検出部50Bを一体で形成し、厚みを一定とすることで、全体的な重量バランスを確保できるため、垂直方向、水平方向の物理量を混在して検出するセンサでありながら、実装浮きを大幅に低減することができるため、他軸感度を向上させることができる。

[0098] なお、上述の実施の形態は本発明の一例である。このため、本発明は、上述の実施の形態に限定されることはなく、この実施の形態以外であっても、本発明に係る技術的思想を逸脱しない範囲であれば、設計等に応じて種々の変更が可能であることは勿論である。

産業上の利用可能性

[0099] 本発明は、固定電極と可動電極との間の静電容量を検出することにより所定の物理量を検出する静電容量式センサに適用することができる。

請求の範囲

[1] 固定電極と、半導体層の固定部分にビームを介して可動支持された可動電極と、を備えるとともに、当該固定電極と可動電極とを間隙をもって相互に対向配置させて検出部が構成され、当該間隙の大きさに応じた静電容量を検出することで所定の物理量を検出する静電容量式センサにおいて、前記ビームの固定部分に接続される側の端部および可動電極に接続される側の端部のうち少なくともいずれか一方に、局所的な応力集中を緩和する応力緩和部を設けたことを特徴とする静電容量式センサ。

[2] 前記応力緩和部を、前記ビームの固定部分に接続される側の端部および可動電極に接続される側の端部の双方に設けたことを特徴とする請求項1に記載の静電容量式センサ。

[3] 前記応力緩和部は、枠状構造を含むことを特徴とする請求項1または2に記載の静電容量式センサ。

[4] 前記応力緩和部は、蛇行構造を含むことを特徴とする請求項1または2に記載の静電容量式センサ。

[5] 前記ビームは、可動電極の動作に伴ってねじられる略矩形断面を有するねじりビームであることを特徴とする請求項1～4のうちいずれか一つに記載の静電容量式センサ。

[6] 前記可動電極は、前記ねじりビームを介して揺動可能に支持され、前記検出部は、揺動する可動電極の表面とそれに対向する固定電極の表面との間隙の大きさに応じた静電容量を検出することを特徴とする請求項5に記載の静電容量式センサ。

[7] 半導体層の固定部分にビーム部を介して非対称な質量バランスとなるように可動支持され、前記半導体層の厚み方向の物理量の変位に応じて動作する第1可動電極と、前記半導体層を支持する支持基板上に形成された第1固定電極とを相互に間隙を介して対向配置し、前記第1可動電極と前記第1固定電極との間隙の大きさに応じて検出される静電容量に基づき物理量を検出する第1検出部を備える静電容量式センサにおいて、前記半導体層を単結晶シリコン層とし、前記単結晶シリコン層を垂直エッチング加工することで形成された前記固定部分、前記ビーム部、前記第1可動電

極からなる当該第1可動電極の可動機構を備えることを特徴とする静電容量式センサ。

[8] 前記支持基板上に形成された前記第1固定電極と対向する領域を含む、前記半導体層の前記支持基板との対向面に凹部が形成されていることを特徴とする請求項7記載の静電容量式センサ。

[9] 前記凹部が結晶異方性エッチングにより形成されていることを特徴とする請求項8記載の静電容量式センサ。

[10] シリコン支持基板とシリコン活性層との間に中間酸化膜を挿入した構造のSOI(Silicon On Insulator)基板を用い、前記半導体層を前記SOI基板のシリコン活性層とすることを特徴とする請求項7記載の静電容量式センサ。

[11] 前記ビーム部の厚みが、当該ビーム部の幅よりも大きいことを特徴とする請求項7記載の静電容量式センサ。

[12] 前記第1可動電極の厚み、前記ビーム部の厚みがそれぞれ10μm以上であることを特徴とする請求項11記載の静電容量式センサ。

[13] 前記ビーム部の厚みが、当該ビーム部の幅の3．16倍以上であることを特徴とする請求項11記載の静電容量式センサ。

[14] 前記第1固定電極は、前記ビーム部を介して非対称な質量バランスとされた前記第1可動電極の質量の小さい部材である小板部と、質量の大きい部材である大板部にそれぞれ独立して対向配置され、さらに、前記小板部と対向する前記第1固定電極は、前記ビーム部から遠ざけるように配置され、前記大板部と対向する前記第1固定電極は、前記ビーム部に近付けるように前記支持基板上に配置されていることを特徴とする請求項7記載の静電容量式センサ。

[15] 前記第1固定電極は、前記ビーム部を介して非対称な質量バランスとされた前記第1可動電極の質量の小さい部材である小板部と、質量の大きい部材である大板部にそれぞれ独立して対向配置され、さらに、前記第1固定電極は、垂直エッチング加工によって前記固定部、前記ビーム部を形成するにあたり設けられた間隙と対向することを避けながら、一部が前記間隙の形状に沿うように前記支持基板上に形成されていることを特徴とする請求項7記載の静電容量式センサ。

[16] 前記半導体層の固定部分にビーム部を介して可動支持され、前記半導体層の面方向の物理量の変位に応じて動作する第2可動電極と、前記半導体層によって形成された第2固定電極とを相互に間隙を介して対向配置し、前記第2可動電極と前記第2可動電極との間隙の大きさに応じて検出される静電容量に基づき物理量を検出する第2検出部を備えることを特徴とする請求項7記載の静電容量式センサ。

[17] 前記第1検出部の半導体層の厚みと、前記第2検出部の半導体層の厚みとが略同一であることを特徴とする請求項16記載の静電容量式センサ。

[18] 前記第1検出部のビーム部の厚みと、前記第2検出部のビーム部の厚みが略同一であることを特徴とする請求項16記載の静電容量式センサ。

[19] 前記第1検出部のビーム部の幅と、前記第2検出部のビーム部の幅とが略同一であることを特徴とする請求項16記載の静電容量式センサ。

[20] 前記第1検出部の前記ビーム部を形成するにあたり垂直エッチング加工によって設けられた間隙と、前記第2検出部の第2可動電極と第2固定電極とを相互に対向配置させる際に設けた間隙とが略同一であることを特徴とする請求項16記載の静電容量式センサ。

[21] 前記第1検出部の前記第1可動電極は、前記第2検出部の周囲を囲む形状であることを特徴とする請求項16記載の静電容量式センサ。

[図1]

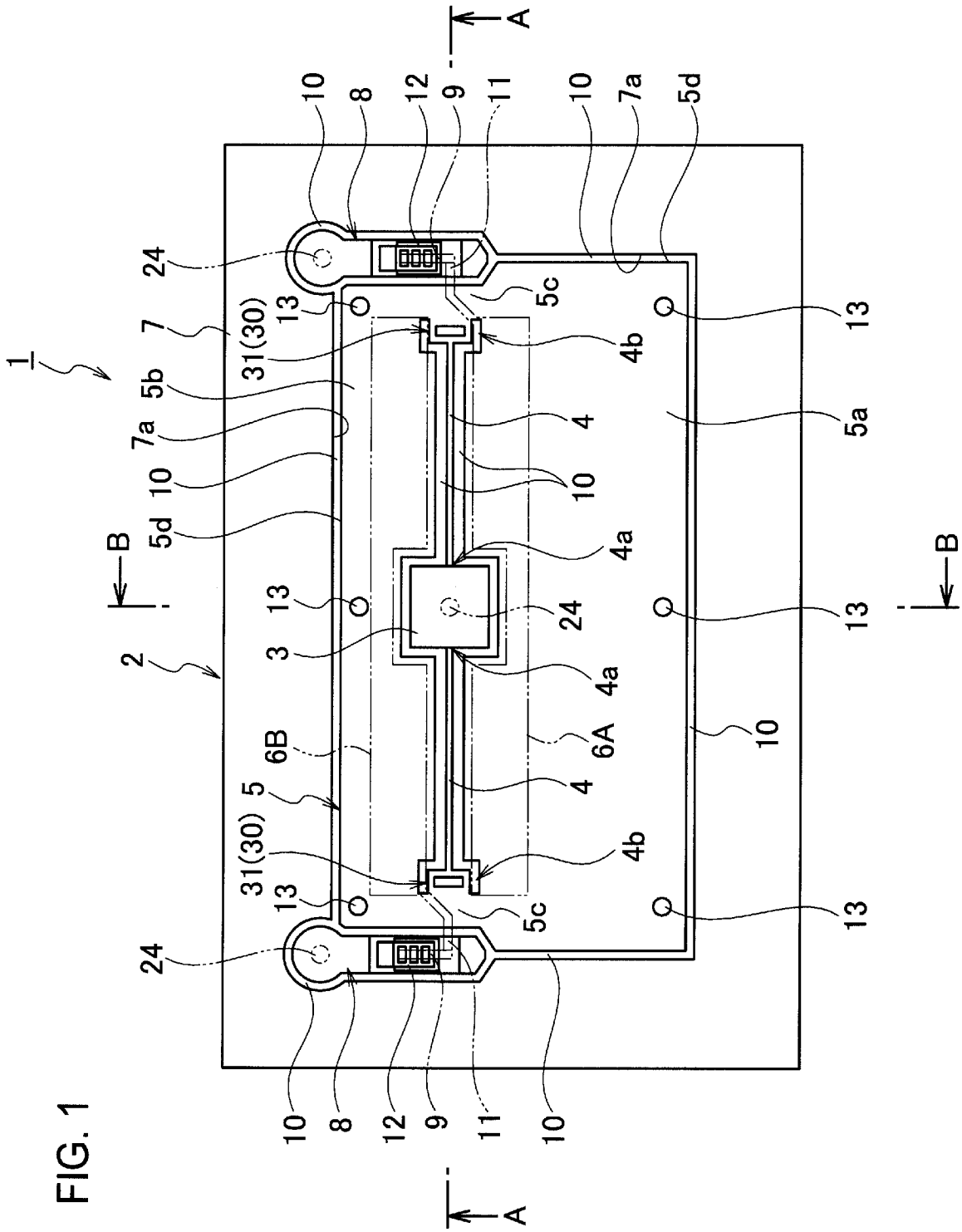
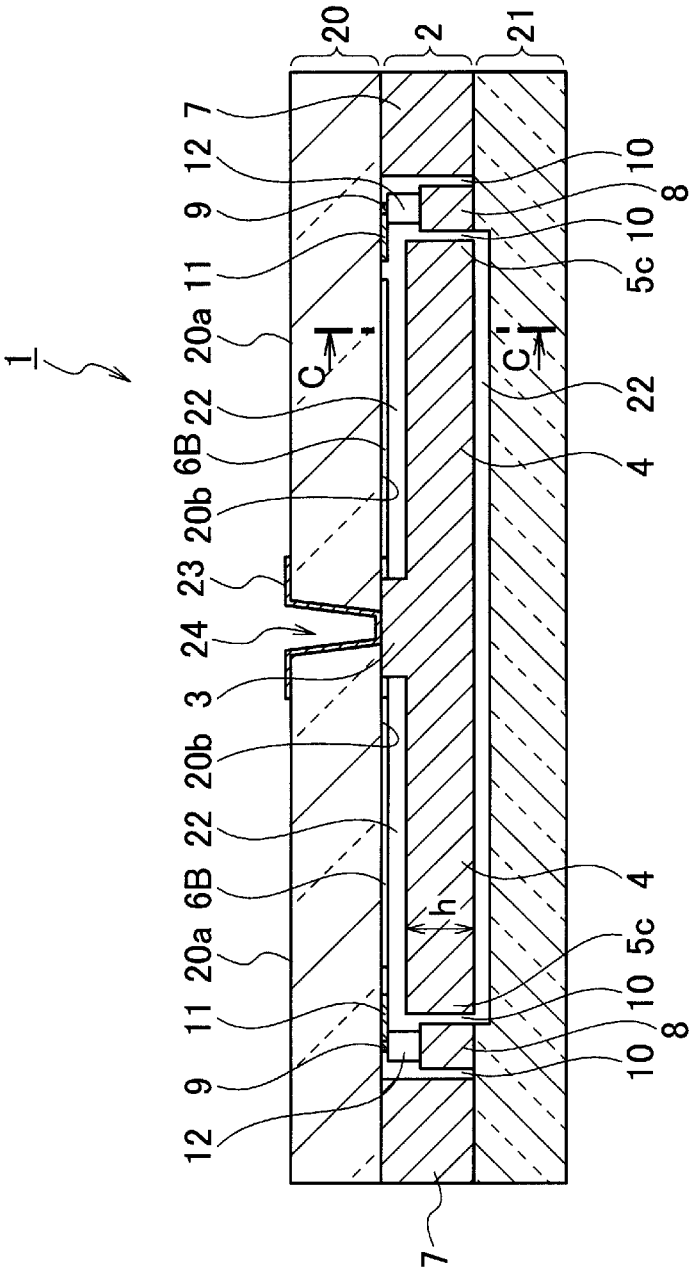


FIG. 1

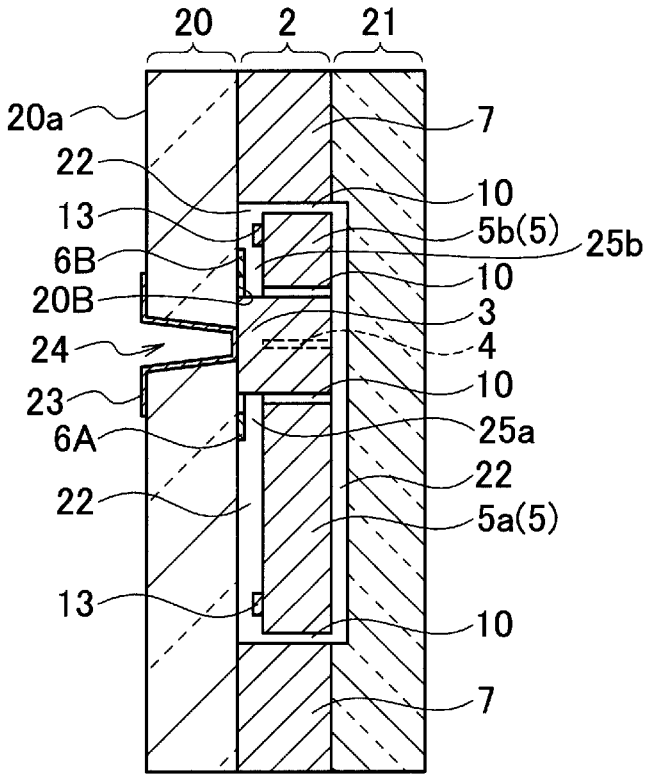
[図2]

FIG. 2


1
20
2
21
7
12
9
11
20a
22
6B
20b
23
24
3
20b
22
6B
20a
11
9
12
7
10
8
10
5c
C
C'
22
4
4
5c
10
8
10
h

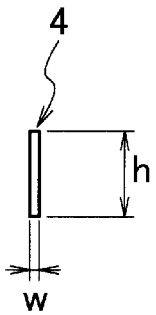
[図3]

FIG. 3



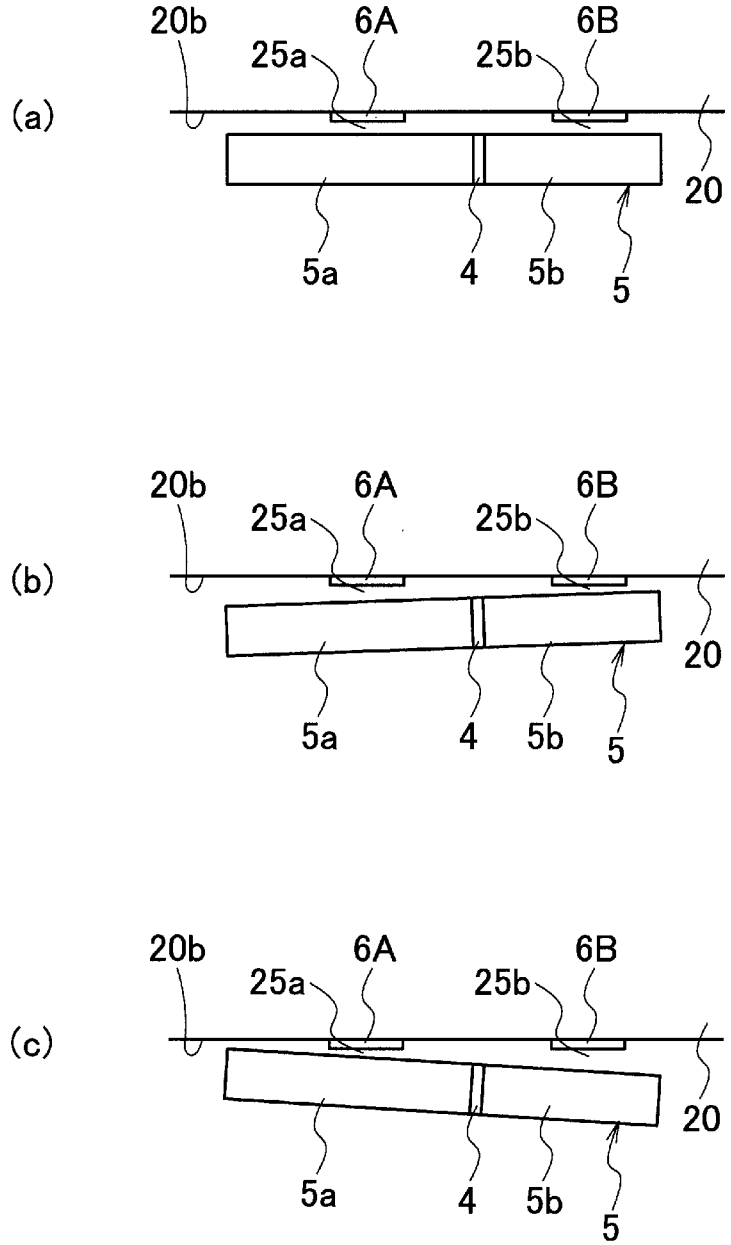
[図4]

FIG. 4



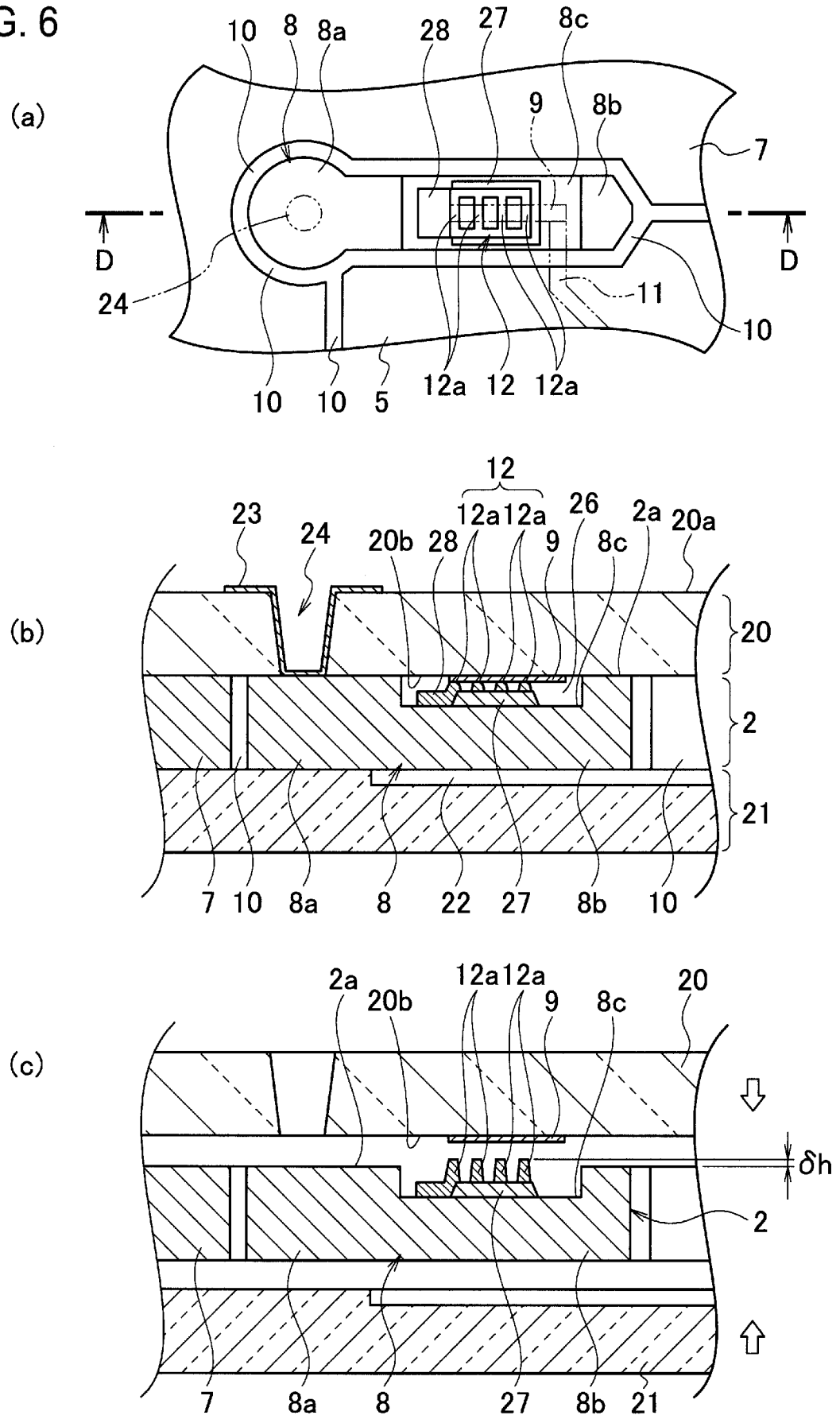
[図5]

FIG. 5


(a)
20b
6A
6B
25a
25b
20
5a
4
5b
5
(b)
20b
6A
6B
25a
25b
20
5a
4
5b
5
(c)
20b
6A
6B
25a
25b
20
5a
4
5b
5

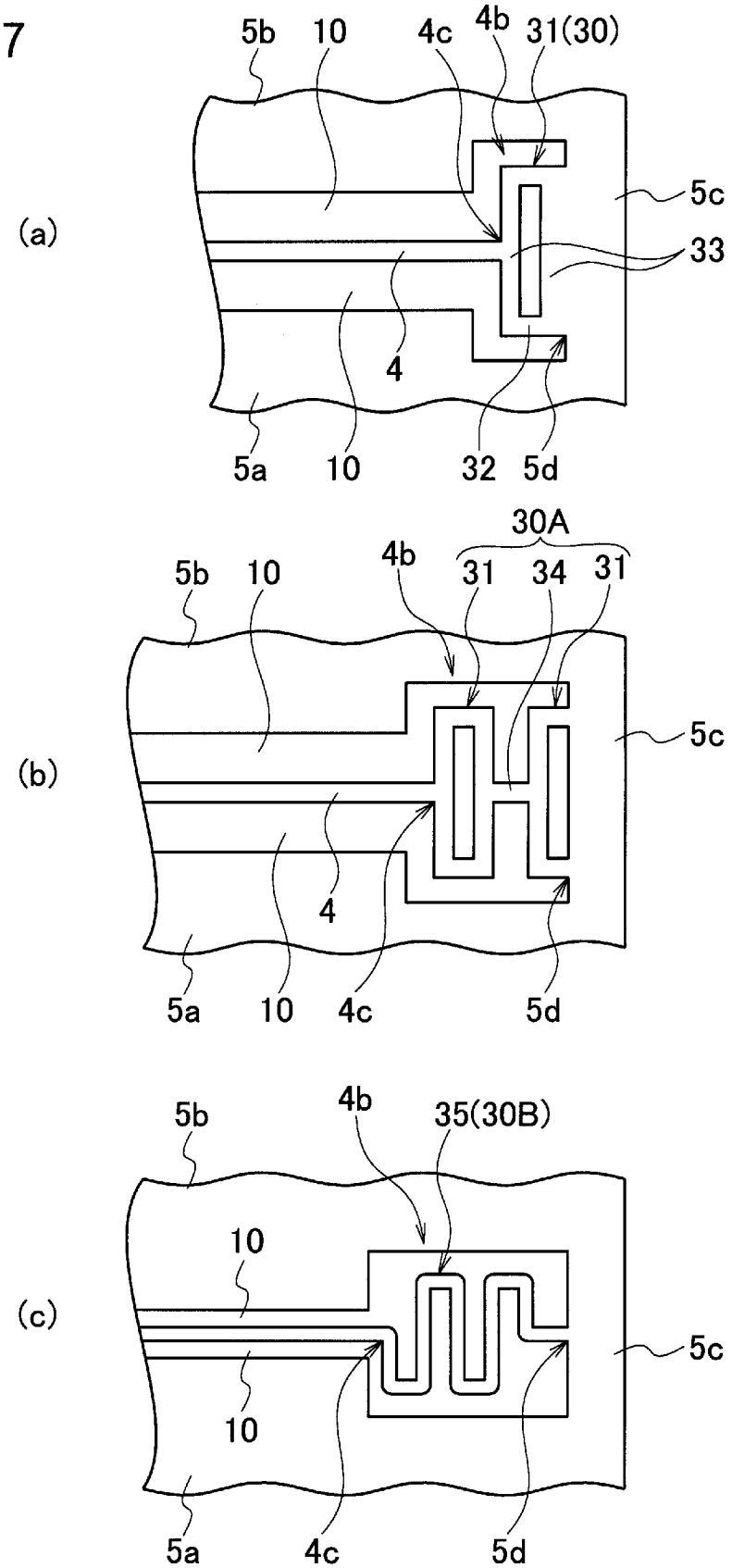
[図6]

FIG. 6


(a)
10
8
8a
28
27
8c
9
8b
7
D
D
24
11
10
10
10
5
12a
12
12a
(b)
12
23
24
20b
28
12a
12a
9
26
8c
2a
20a
20
2
21
7
10
8a
8
22
27
8b
10
(c)
2a
20b
12a
12a
9
8c
20
δh
2
7
8a
8
27
8b
21

[図7]

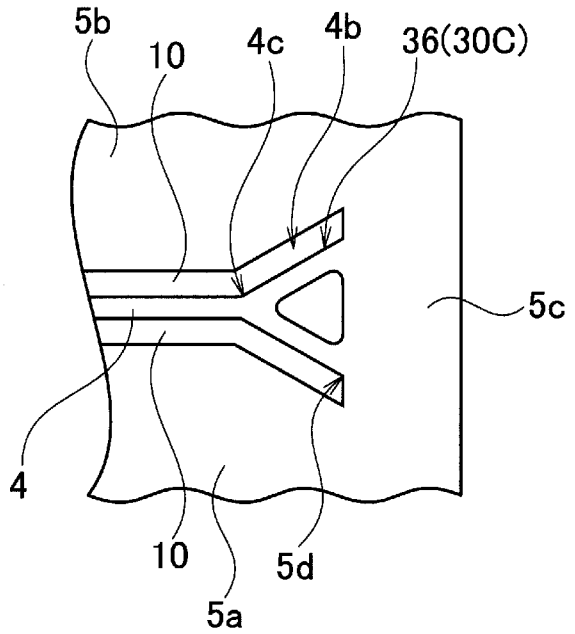
FIG. 7


(a)
5b
10
4c
4b
31(30)
5c
33
4
5a
10
32
5d
(b)
30A
5b
10
4b
31
34
31
5c
4
5a
10
4c
5d
(c)
5b
4b
35(30B)
10
5c
10
5a
4c
5d

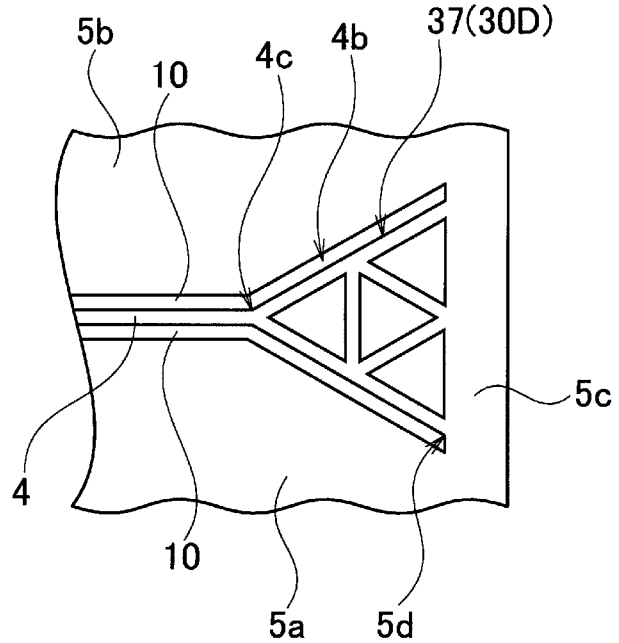
[図8]

FIG. 8

(a)



(b)



[図9]

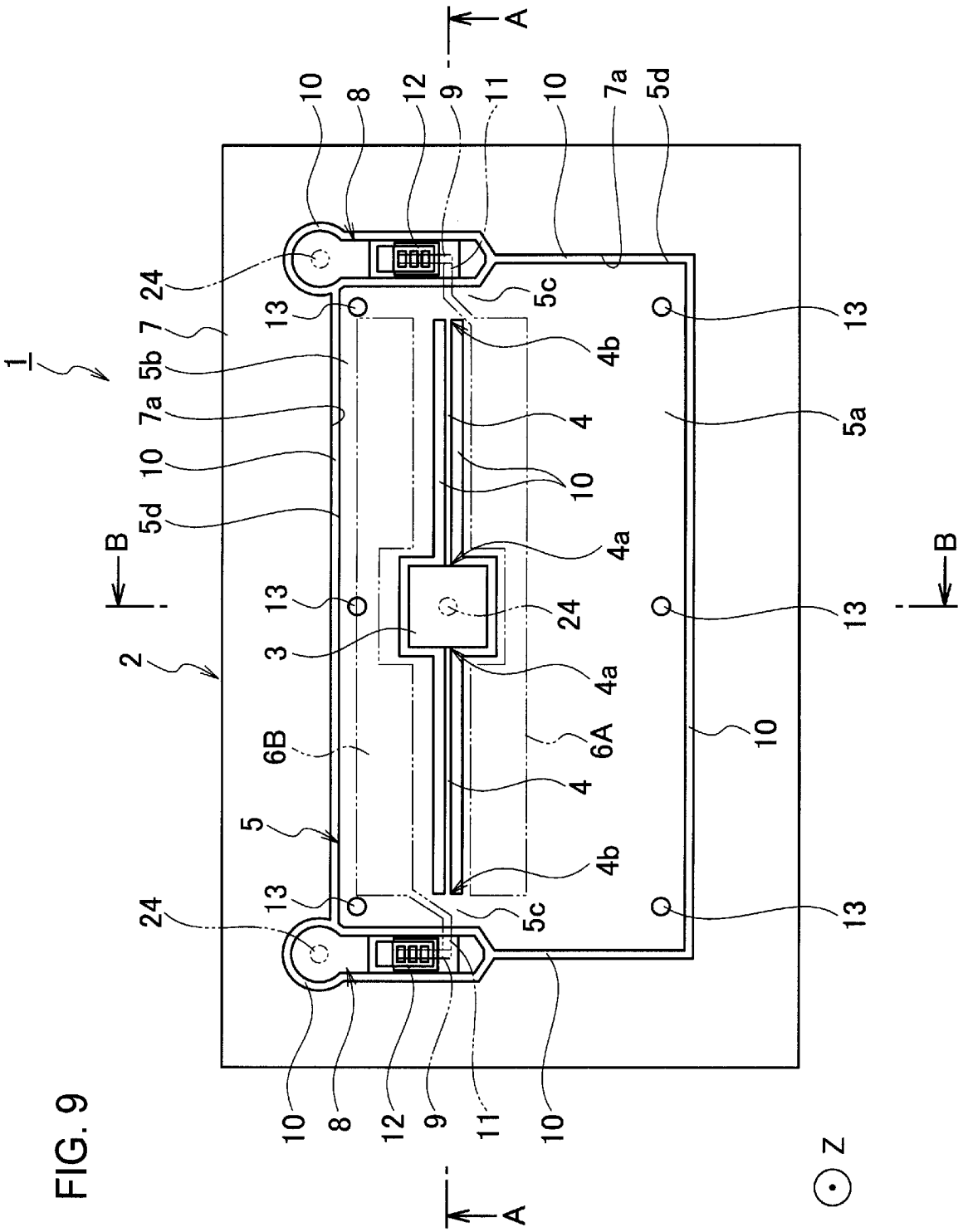
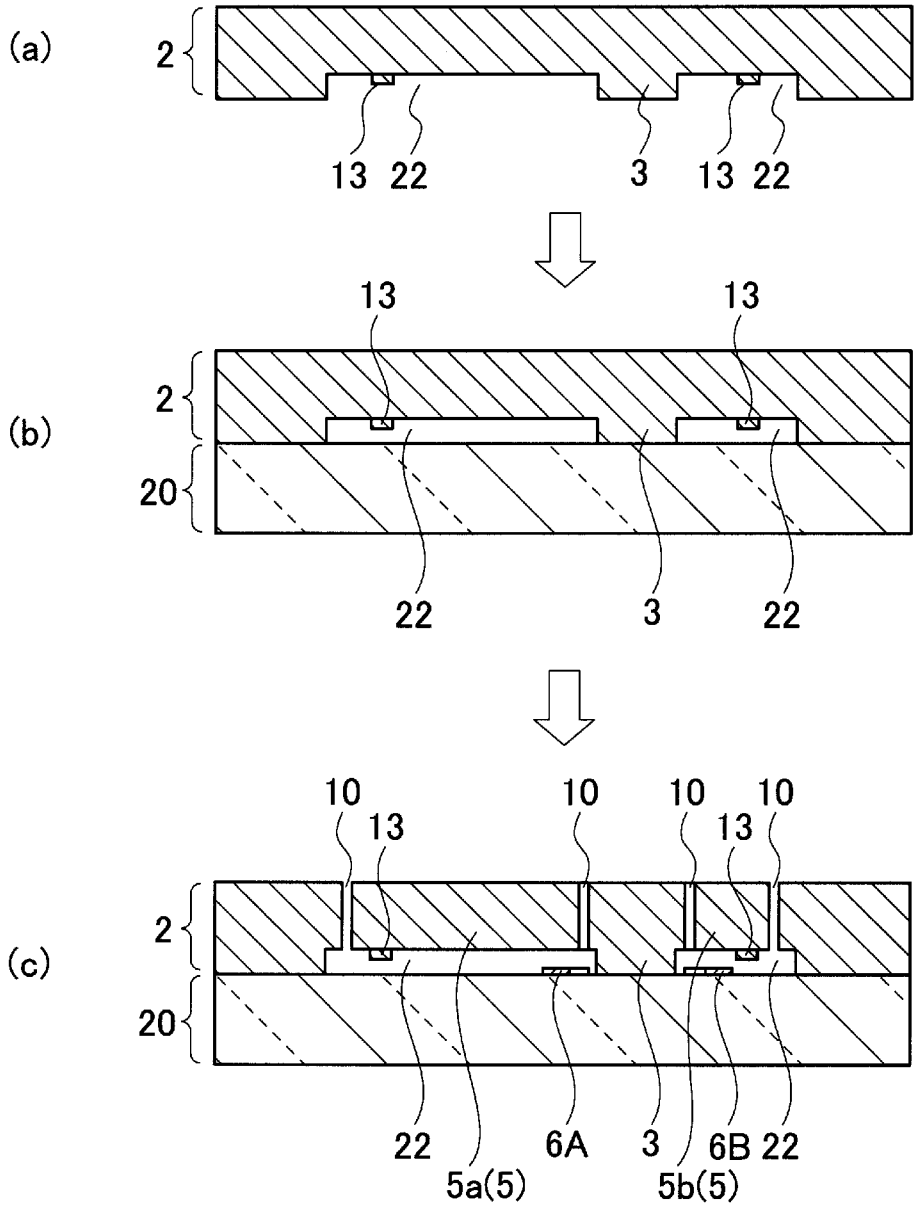


FIG. 9

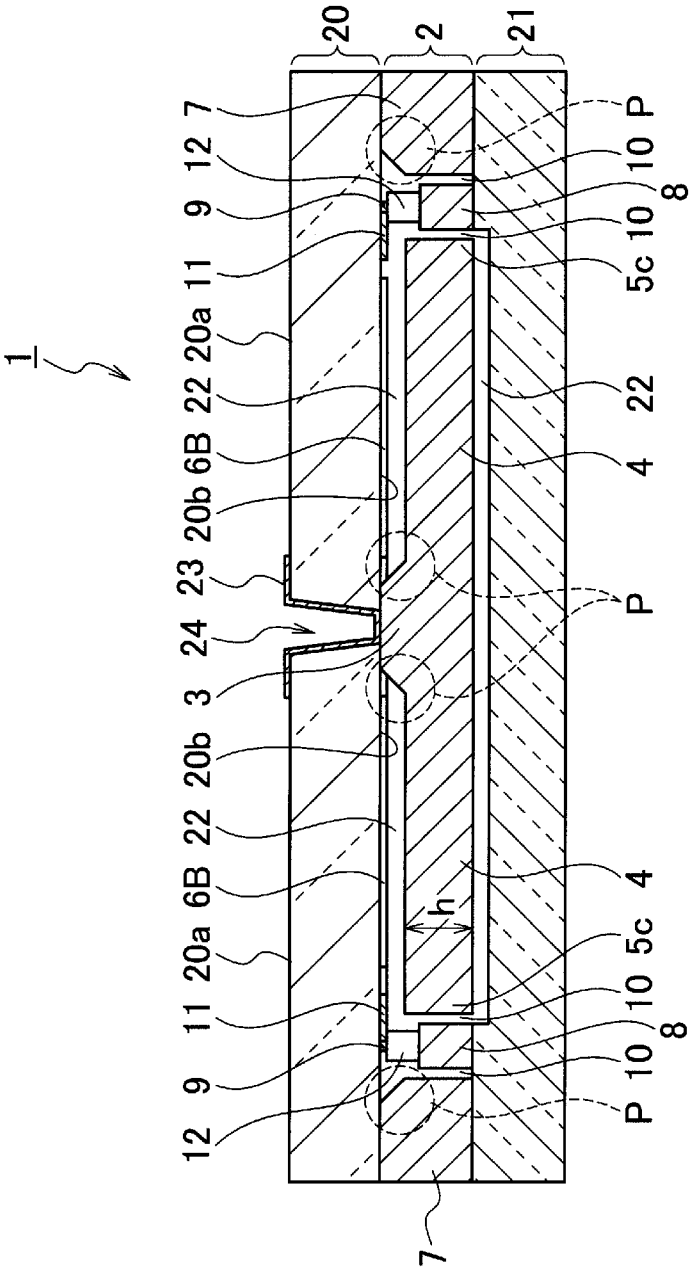
[図10]

FIG. 10


(a)
2
13
22
3
13
22
(b)
13
13
2
20
22
3
22
(c)
10
13
10
10
13
10
2
20
22
5a(5)
6A
3
5b(5)
6B
22

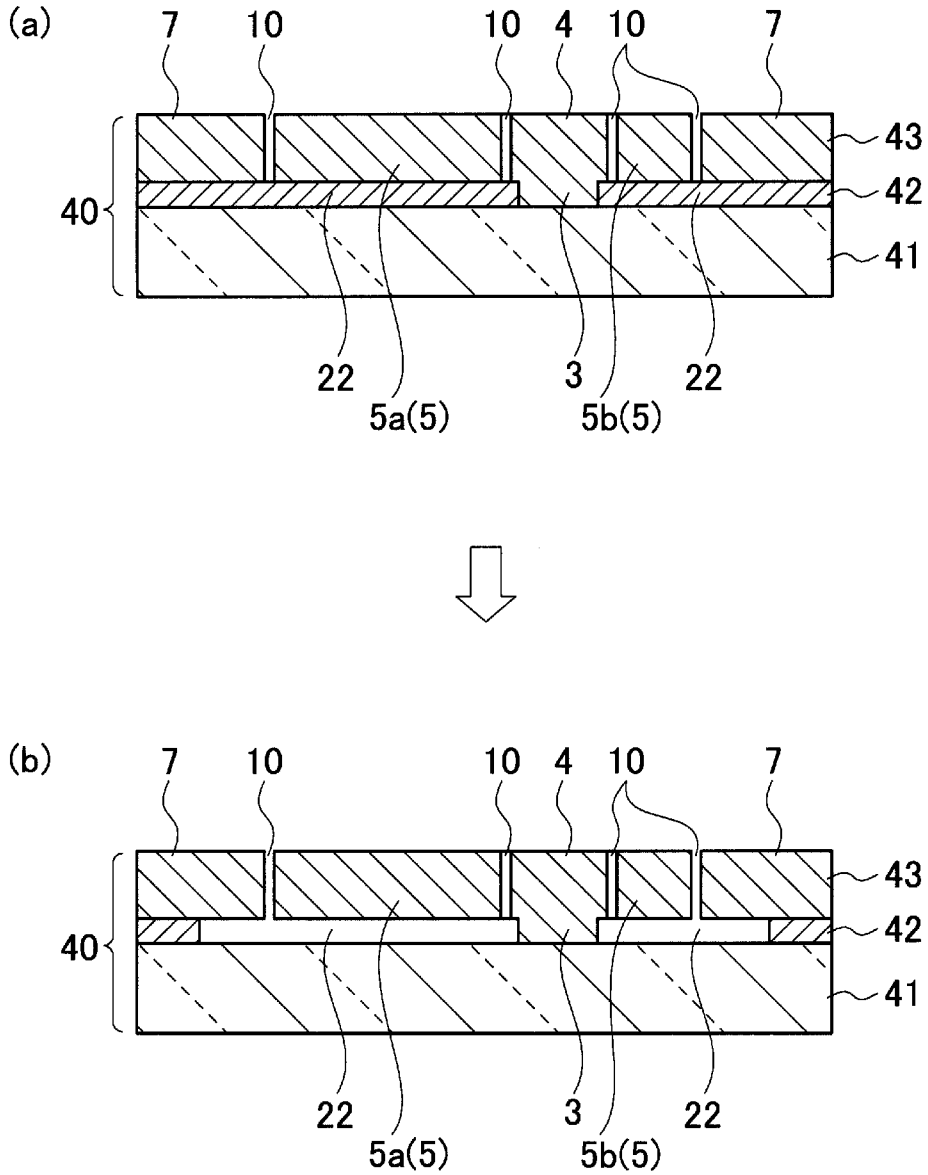
[図11]

FIG. 11


1
20
2
21
7
12
9
11
20a
22
6B
20b
23
24
3
20b
22
6B
20a
11
9
12
7
P
10
8
10
5c
22
4
P
4
5c
10
8
10
P
h

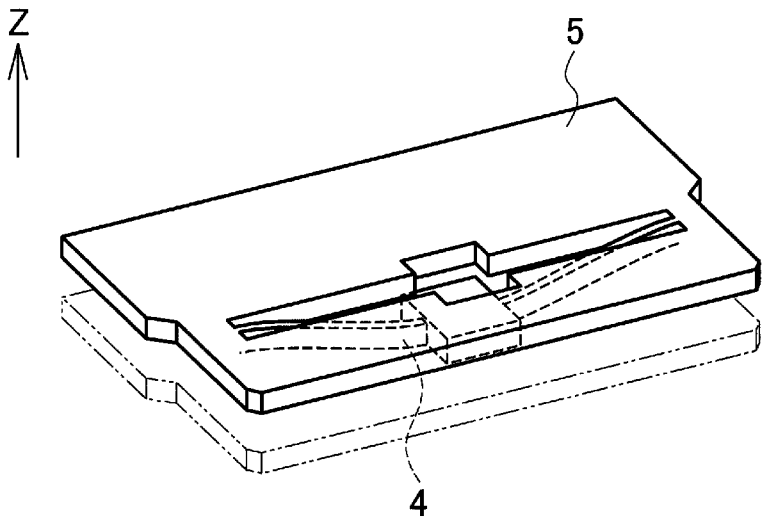
[図12]

FIG. 12


(a)
7
10
10
4
10
7
43
42
40
41
22
5a(5)
3
5b(5)
22
(b)
7
10
10
4
10
7
43
42
40
41
22
5a(5)
3
5b(5)
22

[図13]

FIG. 13



[図14]

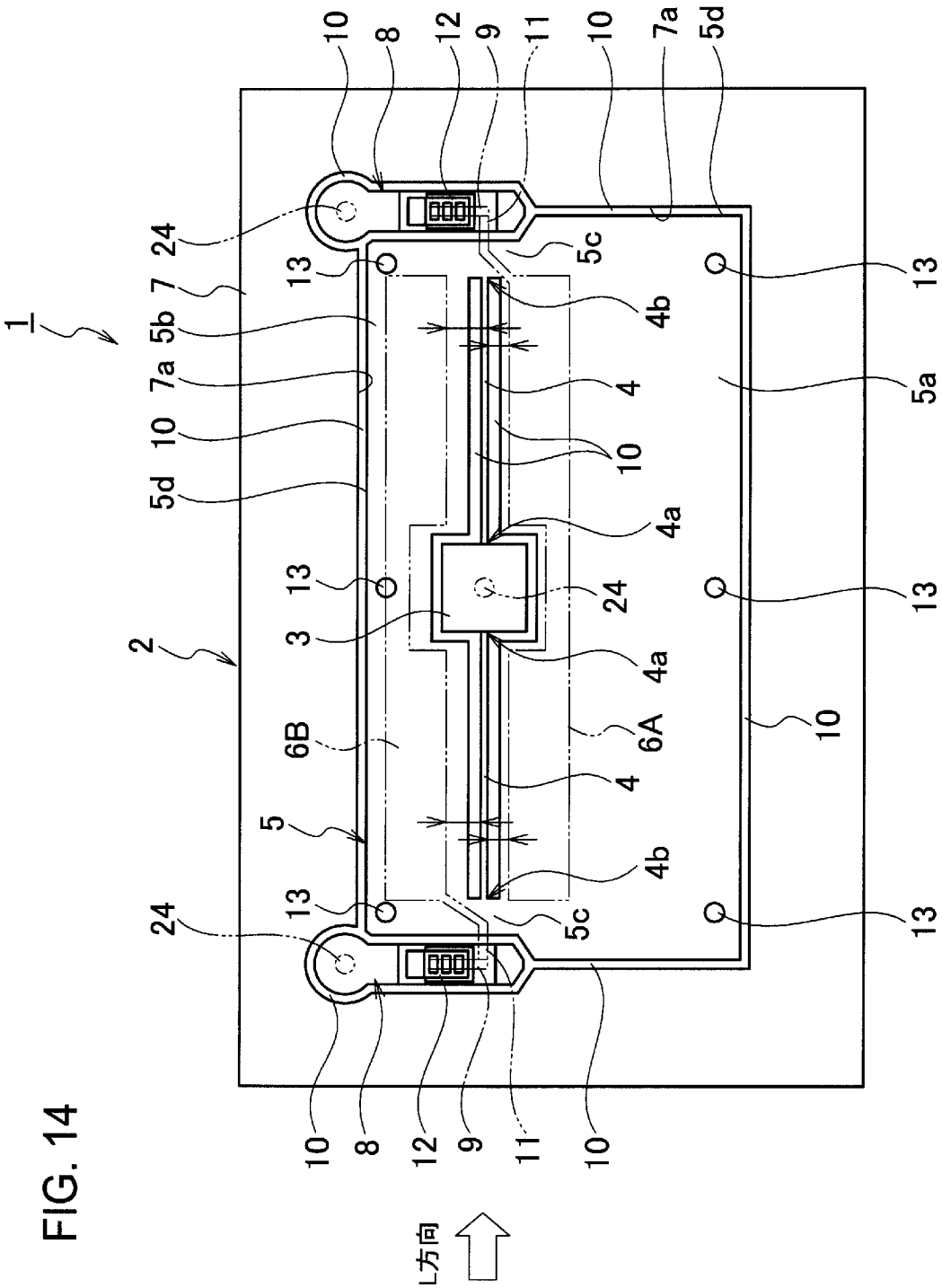
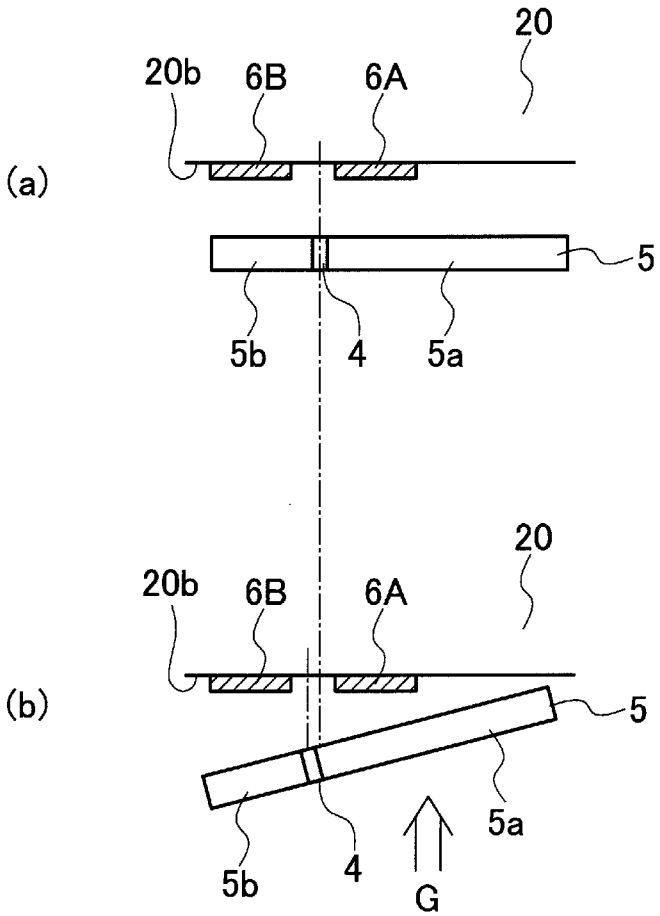


FIG. 14

[図15]

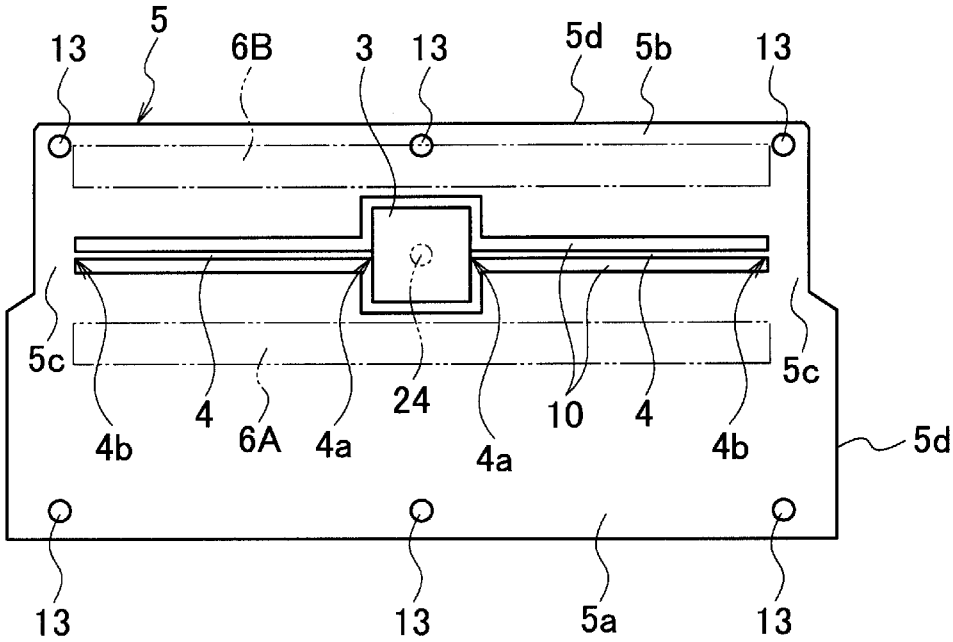
FIG. 15



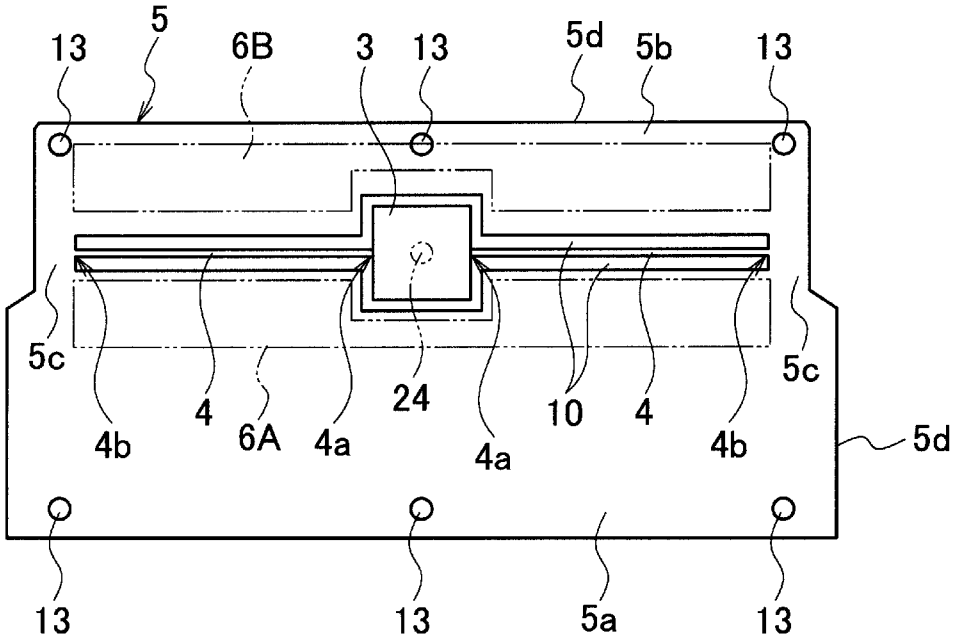
[図16]

FIG. 16

(a)


5
13
6B
3
13
5d
5b
13
5c
5c
4b
4
6A
4a
24
4a
10
4
4b
5d
13
13
5a
13

(b)


5
13
6B
3
13
5d
5b
13
5c
5c
4b
4
6A
4a
24
4a
10
4
4b
5d
13
13
5a
13

[図17]

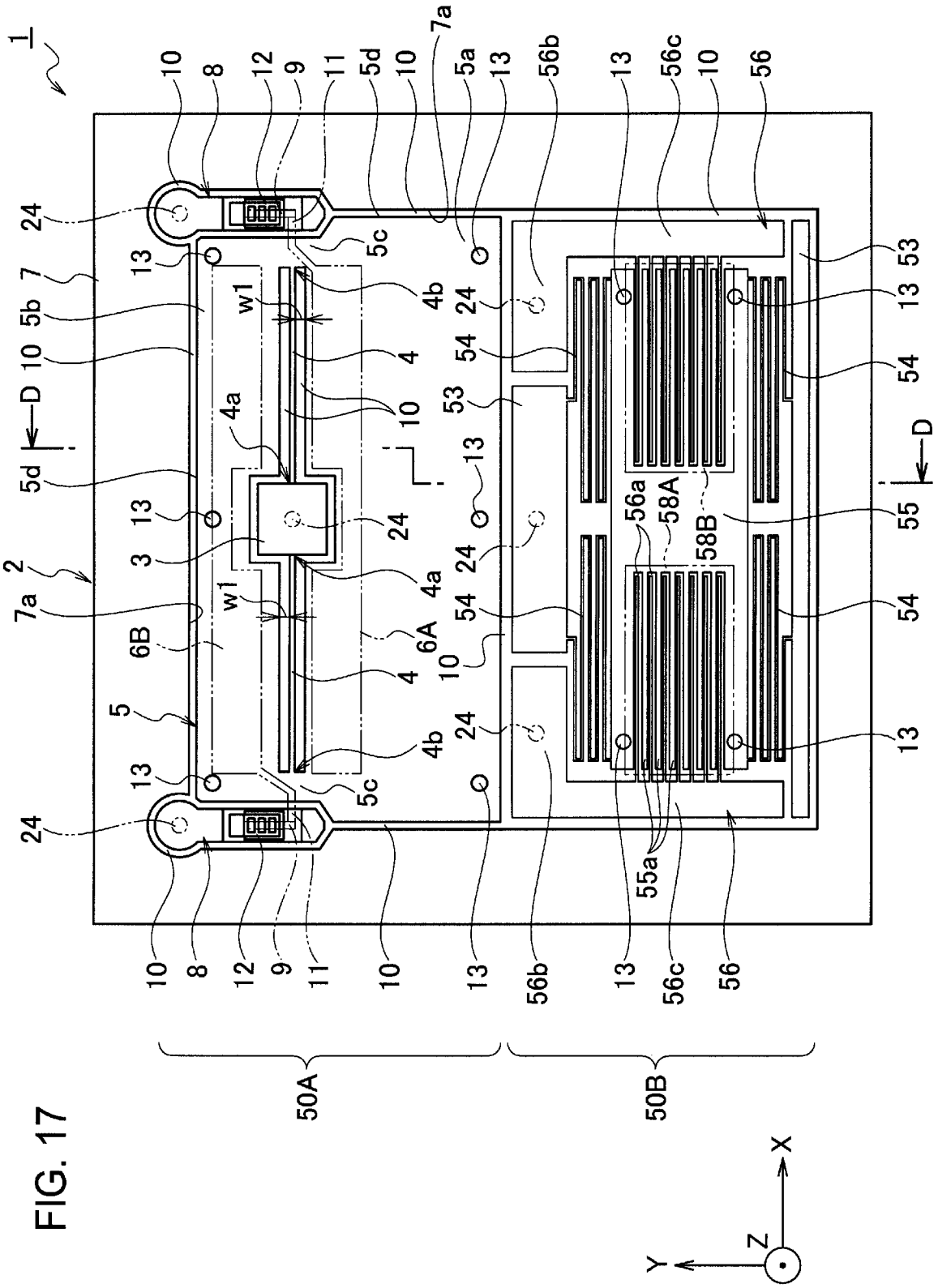
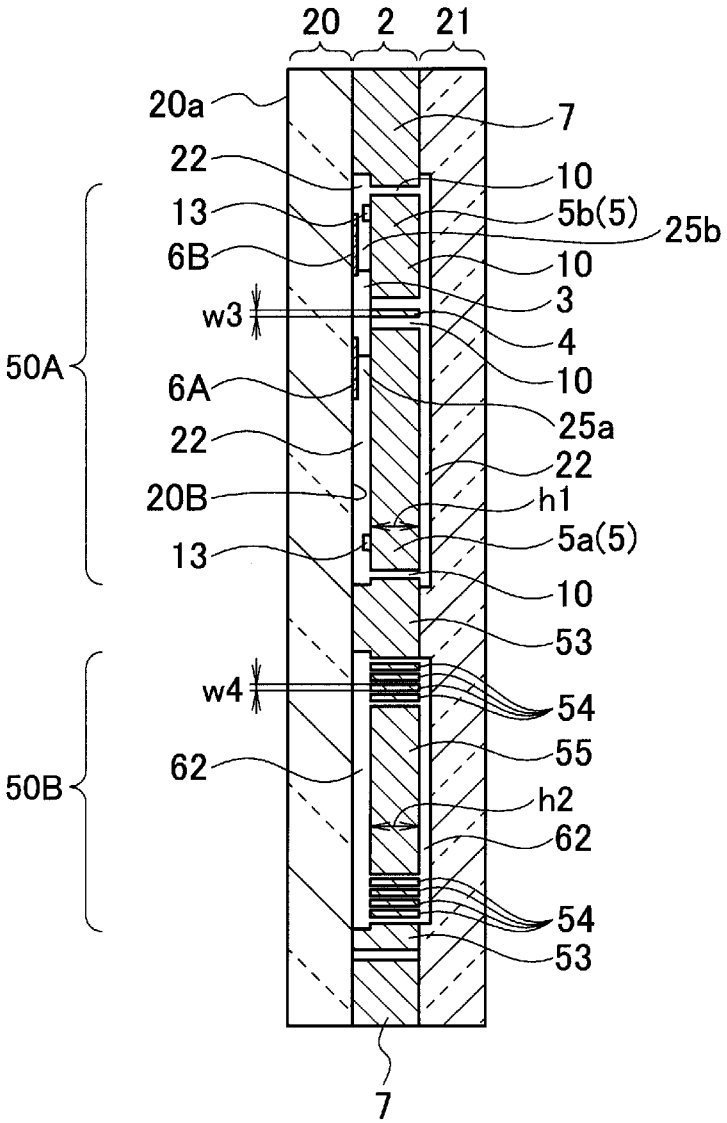

1
2
3
4
4a
4b
5
5a
5b
5c
5d
6A
6B
7
7a
8
9
10
11
12
13
24
w1
D
53
54
55
55a
56
56a
56b
56c
58A
58B
50A
50B
X
Y
Z

FIG. 17

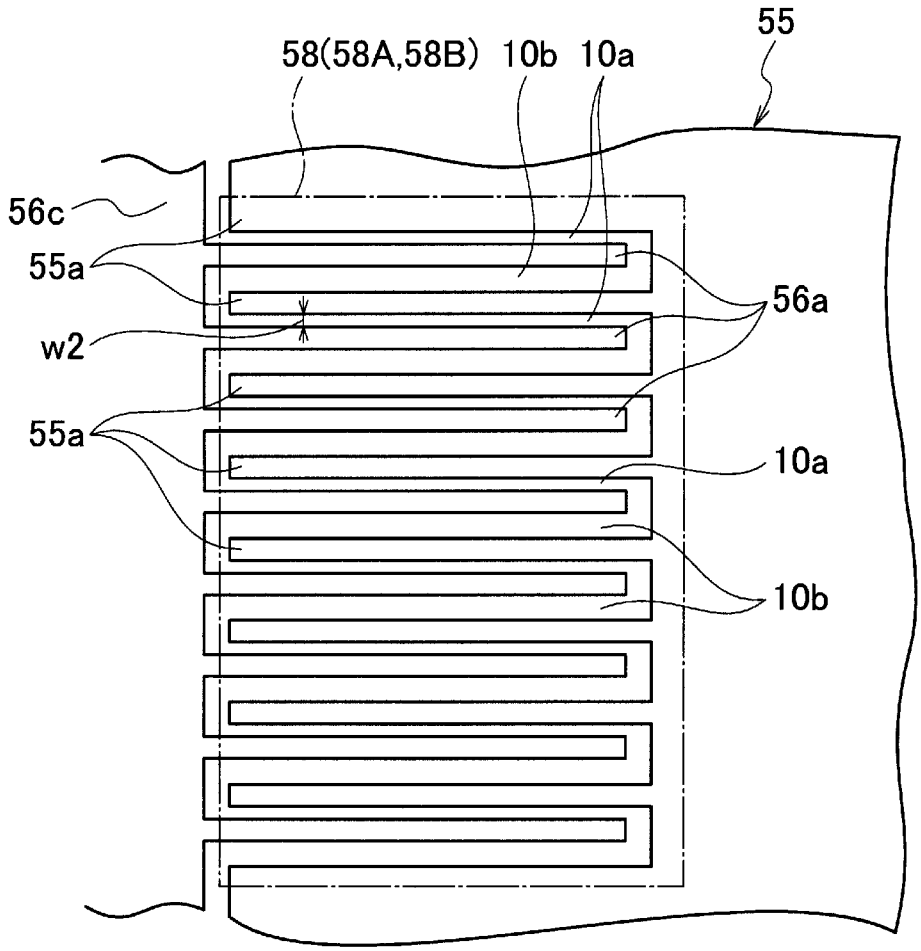
[図18]

FIG. 18


20
2
21
20a
7
22
10
13
5b(5)
25b
6B
10
w3
3
4
50A
6A
10
25a
22
22
20B
h1
13
5a(5)
10
53
w4
54
55
62
50B
h2
62
54
53
7

[図19]

FIG. 19



[図20]

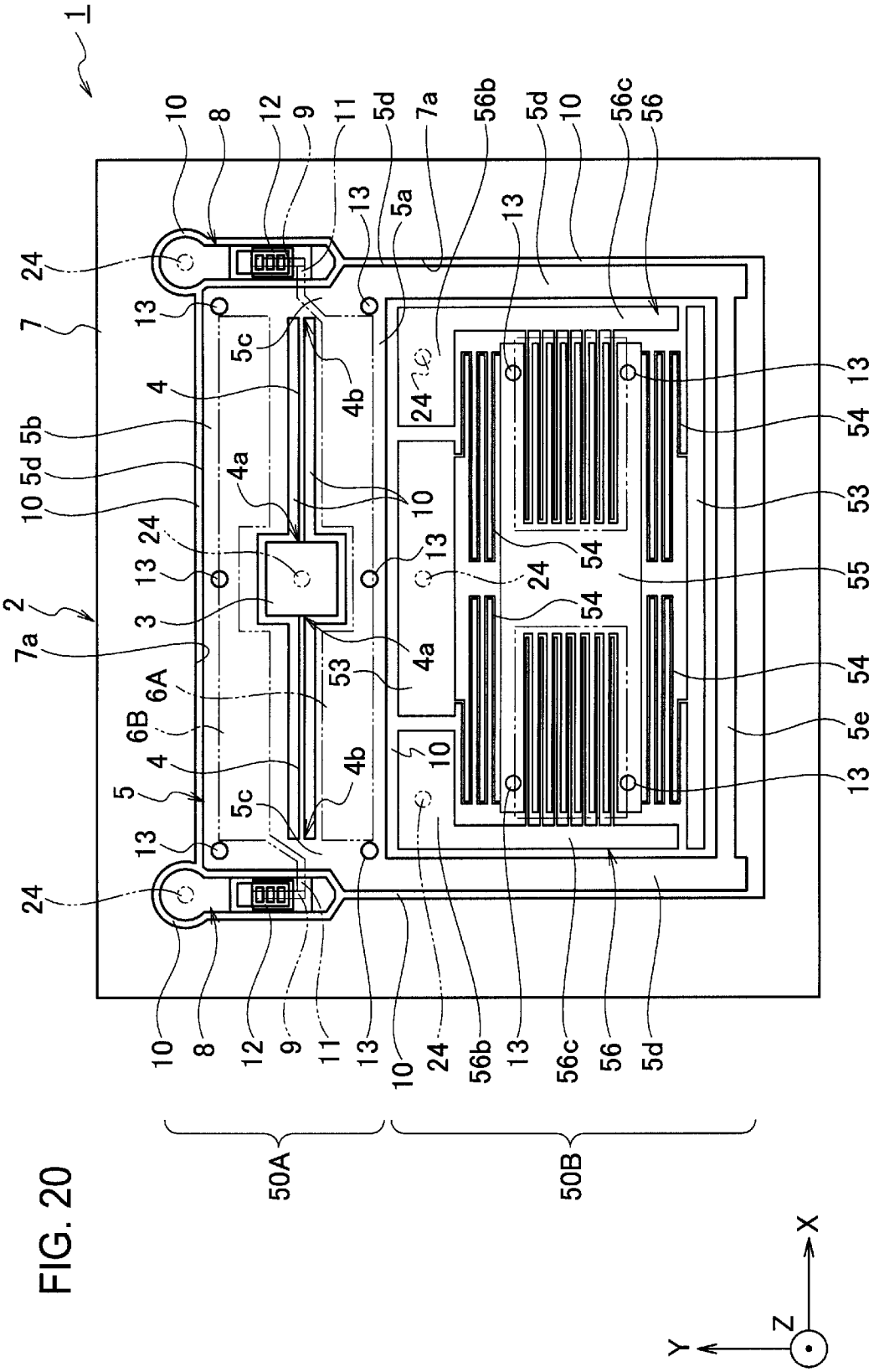

1
2
5
7
7a
6A
6B
3
4
4a
4b
5b
5c
5d
5e
8
9
10
11
12
13
24
50A
50B
53
54
55
56
56b
56c
X
Y
Z

FIG. 20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2007/058960

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01P15/125(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01P15/125

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 5220835 A (FORD MOTOR CO.), 22 June, 1993 (22.06.93), Figs. 2 to 7 (Family: none)	1-6 7-21
X Y	JP 58-10661 A (Centre Electronique Horloger S.A.), 21 January, 1983 (21.01.83), Full text & US 4483194 A1 & GB 2101336 A & DE 3223987 A & CH 642461 A	7-13 14-21
X Y	JP 2003-14778 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 15 January, 2003 (15.01.03), Full text & US 6739189 B2 & US 2002/158293 A1	7-13 14-21

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 30 July, 2007 (30.07.07)	Date of mailing of the international search report 07 August, 2007 (07.08.07)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2007/058960

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 9-512904 A (NEUKERMANS, Armand., P.), 22 December, 1997 (22.12.97), Full text & WO 95/24652 A1 & EP 767915 A & US 5488862 A1 & US 5629790 A1 & US 6044705 A1 & US 6426013 B1 & US 6467345 B1 & DE 69527714 T	7-21
Y	JP 9-189716 A (Temic Telefunken microelectronic GmbH), 22 July, 1997 (22.07.97), Full text & EP 773443 A1 & US 5905203 A1 & DE 2147337 T	7-21
Y	JP 8-178952 A (Zexel Corp.), 12 July, 1996 (12.07.96), Full text & US 6082197 A1 & DE 19547642 A1	7-21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2007/058960

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The "special technical feature" of the invention of claim 1 relates to a "stress relaxation portion", while the "special technical feature" of the invention of claim 7 relates to a movable mechanism of a first movable electrode which is composed of a "single crystal silicon layer". Since there is no technical relationship between these inventions involving one or more of the same or corresponding special technical features, these inventions are not considered so linked as to form a single general inventive concept.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

the

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee..

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００７／０５８９６０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01P15/125(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01P15/125

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００７年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
X	US 5220835 A(FORD MOTOR COMPANY),1993.06.22,FIG.2-7	1-6
Y	(ファミリーなし)	7-21
X	JP 58-10661 A(サートル・エレクトロニクス・オルロジユール・ソシエテ・アノニム),1983.01.21,全文	7-13
Y	& US 4483194 A1 & GB 2101336 A & DE 3223987 A & CH 642461 A	14-21
X	JP 2003-14778 A(三星電子株式会社),2003.01.15,全文	7-13
Y	& US 6739189 B2 & US 2002/158293 A1	14-21

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
３０．０７．２００７	０７．０８．２００７

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	２Ｆ	９６０５
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	越川　康弘 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６		

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Y	JP 9-512904 A(ニューカーマンズ、アーモンド、ピー), 1997.12.22, 全文 & WO 95/24652 A1 & EP 767915 A & US 5488862 A1 & US 5629790 A1 & US 6044705 A1 & US 6426013 B1 & US 6467345 B1 & DE 69527714 T	7-21
Y	JP 9-189716 A(テミツク・テレフンケン・マイクロエレクトロニツク・ゲゼルシヤフト・ミツト・ベシユレンクテル・ハフツング), 1997.07.22, 全文 & EP 773443 A1 & US 5905203 A1 & DE 2147337 T	7-21
Y	JP 8-178952 A(株式会社ゼクセル), 1996.07.12, 全文 & US 6082197 A1 & DE 19547642 A1	7-21

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、

２．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求の範囲＿＿＿＿＿＿＿＿ は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1に係る発明の「特別な技術的特徴」は［応力緩和部］に関し、請求の範囲7に係る発明の「特別な技術的特徴」は［単結晶シリコン層］で形成された第１可動電極の可動機構に関するものである。これらの発明は、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係にないから、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているものとは認められない。

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。

２．☑ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。

４．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☐ 追加調査手数料の納付を伴う異議申立てがなかった。