

MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE,
PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称： 加速度センサ

技術分野

[0001] 本開示は、加速度センサに関する。

背景技術

[0002] 物体に作用する加速度を計測するための加速度センサは、たとえば物体の姿勢や動き、振動状態などを把握するために広く用いられている。また、加速度センサには、小型化の要請が強い。このような要請に応えるべく、いわゆるMEMS (Micro Electro Mechanical System) の技術を用いて加速度センサの小型化が図られている。たとえば、特許文献1には、MEMS技術を用いた静電容量型の加速度センサが開示されている。

[0003] また、加速度センサには、高い加速度を検出できるように、検出可能な加速度の範囲を広くすること、また、加速度変化が高い周波数で生じても検出できるように、広帯域化することも要請されている。この2つの特性を向上させるには、加速度センサの可動部分の振動の共振周波数を高くする必要がある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2019-49434号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本開示の目的は、加速度センサの可動部分の振動の共振周波数を高くすることができる加速度センサを提供することである。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一実施形態は、空洞が内部に形成された半導体基板と、前記空洞に対して浮いた状態で前記半導体基板に支持された固定電極を含む固定構造と、前記空洞に対して浮いた状態で前記半導体基板に弾性構造を介して支持

され、前記固定電極に対して変位する可動電極を含む可動構造とを含み、前記弾性構造は、前記半導体基板に支持される第1端部と、前記可動構造に接続される第2端部と、前記第1端部と前記第2端部とを接続する中間部とを含み、前記中間部の少なくとも一部に直線状に延びた直線部分を有し、前記直線部分が、当該直線部分の延びる方向に互いに平行に延びた複数の直線フレームを備えている、加速度センサを提供する。

[0007] この構成では、加速度センサの可動部分の振動の共振周波数を高くすることができる。

[0008] 本開示における上述の、またはさらに他の目的、特徴および効果は、添付図面を参照して次に述べる実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、本開示の一実施形態に係る加速度センサを示す図解的な平面図である。

[図2]図2は、主としてX軸センサを示す図解的な平面図である。

[図3]図3は、図2の要部拡大平面図である。

[図4]図4は、図3のIV-IV線に沿う図解的な拡大断面図である。

[図5A]図5Aは、図3に示されるX軸センサに用いられているバネ部を示す図解的な拡大平面図である。

[図5B]図5Bは、バネ部の第1変形例を示す図解的な拡大平面図である。

[図5C]図5Cは、バネ部の第2変形例を示す図解的な拡大平面図である。

[図5D]図5Dは、図6に示される参考例に係るX軸センサに用いられているバネ部を示す図解的な拡大平面図である。

[図6]図6は、X軸センサの参考例を示す図解的な要部拡大平面図である。

[図7A]図7Aは、本実施形態のX軸センサにおける振動の周波数と振幅との関係を示すグラフである。

[図7B]図7Bは、参考例に係るX軸センサにおける振動の周波数と振幅との関係を示すグラフである。

[図8]図8は、X軸センサの変形例を示す図解的な平面図である。

[図9A]図9Aは、変形例に係るX軸センサに用いられているバネ部を示す図解的な拡大平面図である。

[図9B]図9Bは、バネ部の参考例を示す図解的な拡大平面図である。

[図10]図10は、Z軸センサを示す図解的な平面図である。

[図11A]図11Aは、図10の要部拡大平面図である。

[図11B]図11Bは、Z軸センサの参考例を示す要部拡大平面図である。

[図12]図12は、Z軸方向の加速度が作用している場合におけるZ軸センサの固定電極および可動電極のZ軸方向の位置関係と、Z軸方向の加速度が作用した場合におけるZ軸センサの固定電極と可動電極のZ軸方向の位置関係を示す模式図である。

[図13A]図13Aは、本実施形態のZ軸センサにおける振動の周波数と振幅との関係を示すグラフである。

[図13B]図13Bは、参考例に係るZ軸センサにおける振動の周波数と振幅との関係を示すグラフである。

[図14]図14は、Z軸センサの変形例を示す図解的な平面図である。

発明を実施するための形態

[0010] [本開示の実施形態の説明]

本開示の一実施形態は、空洞が内部に形成された半導体基板と、前記空洞に対して浮いた状態で前記半導体基板に支持された固定電極を含む固定構造と、前記空洞に対して浮いた状態で前記半導体基板に弾性構造を介して支持され、前記固定電極に対して変位する可動電極を含む可動構造とを含み、前記弾性構造は、前記半導体基板に支持される第1端部と、前記可動構造に接続される第2端部と、前記第1端部と前記第2端部とを接続する中間部とを含み、前記中間部の少なくとも一部に直線状に延びた直線部分を有し、前記直線部分が、当該直線部分の延びる方向に互いに平行に延びた複数の直線フレームを備えている、加速度センサを提供する。

[0011] この構成では、加速度センサの可動部分の振動の共振周波数を高くすることができる。

- [0012] 本開示の一実施形態では、前記直線部分は、当該直線部分に含まれる前記複数の直線フレーム間に架設された複数の補強フレームを含む。
- [0013] 本開示の一実施形態では、前記直線部分は、当該直線部分に含まれる前記複数の直線フレーム間に、当該直線フレームに沿って三角形の空間が繰り返されるように、前記複数の直線フレーム間に架設された複数の補強フレームを含む。
- [0014] 本開示の一実施形態では、前記直線部分は、互いに平行に延びた第1直線部分および第2直線部分と、前記第1直線部分および前記第2直線部分の一端どうしを連結する第3直線部分とを含む。
- [0015] 本開示の一実施形態では、前記第1直線部分、前記第2直線部分および前記第3直線部分は、それぞれ、それらに含まれている前記複数の直線フレーム間に架設された少なくとも1つの補強フレームを含む。
- [0016] 本開示の一実施形態では、前記直線部分が、前記可動電極の延びる方向に対して平行な直線部分を含む。
- [0017] 本開示の一実施形態では、前記固定電極が、所定の第1方向に間隔をおいて、前記第1方向と直交する第2方向に互いに平行に延びた一对の固定電極を含み、前記可動電極が、前記一对の固定電極の間に配置され、前記第1方向に間隔をおいて、前記第2方向に互いに平行に延びた1対の可動電極を含む。
- [0018] 本開示の一実施形態では、前記固定電極が、平面視において、櫛歯状に形成された複数の固定電極を含み、前記可動電極が、平面視において、櫛歯状に形成された複数の可動電極対を含み、前記複数の可動電極対は、前記複数の固定電極に対して、接触しないで噛み合うように配置されており、前記各可動電極対は、当該可動電極対の両側の前記固定電極にそれぞれ対向し、かつ互いに平行に延びた2つの前記可動電極を含む。
- [0019] 本開示の一実施形態では、前記固定電極の横断面形状および前記可動電極の横断面形状が、上下方向に細長い四角形状である。
- [0020] 本開示の一実施形態では、前記弾性構造は、1つ前記直線部分と、前記直

線部分の一端に接続されたテーパ部分とを含み、当該直線部分は、互いに平行な2つの前記直線フレームからなり、前記テーパ部分は、該2つの前記直線フレームの一端部のそれぞれから、互いの間隔が徐々に広がるように、当該2つの前記直線フレームに対して斜め外方に延びた2本の接続フレームからなる。

[0021] 本開示の一実施形態では、前記直線部分が、前記可動電極の延びる方向に対して平行であるか、または、前記半導体基板の表面に沿う方向であって、前記可動電極の延びる方向と直交する方向に対して平行である。

[0022] 本開示の一実施形態では、前記固定電極が、平面視において、櫛歯状に形成された複数の固定電極を含み、前記可動電極が、平面視において、櫛歯状に形成された複数の可動電極を含み、前記複数の可動電極は、前記複数の固定電極に対して、接触しないで噛み合うように配置されている。

[0023] 本開示の一実施形態では、前記固定電極の横断面形状および前記可動電極の横断面形状が、上下方向に細長い四角形状である。

[0024] 本開示の一実施形態では、前記固定電極および前記可動電極のうちのいずれか一方は、他方に対して下方にずれた状態に配置されている。

[0025] [本開示の実施形態の詳細な説明]

以下では、本開示の実施の形態を、添付図面を参照して詳細に説明する。

[0026] [1] 加速度センサの全体構成

図1は、本開示の一実施形態に係る加速度センサを示す図解的な平面図である。

[0027] 説明の便宜上、以下では、図1～図4に示した+X方向、-X方向、+Y方向、-Y方向、+Z方向および-Z方向を用いることがある。+X方向は、平面視において、半導体基板2の表面に沿う所定方向であり、+Y方向は、平面視において半導体基板2の表面に沿う方向であって、+X方向に直交する方向である。+Z方向は、半導体基板2の厚さに沿う方向であって、+X方向および+Y方向に直交する方向である。

[0028] -X方向は、+X方向と反対方向である。-Y方向は、+Y方向と反対

の方向である。−Z方向は、+Z方向と反対の方向である。+X方向および−X方向を総称するときには「X軸方向」という。+Y方向および−Y方向を総称するときには「Y軸方向」という。+Z方向および−Z方向を総称するときには「Z軸方向」という。

[0029] 加速度センサ1は、平面視四角形状の半導体基板2と、半導体基板2の中央部に配置されたセンサ部3と、半導体基板2におけるセンサ部3の側方に配置された電極パッド4とを含んでいる。加速度センサ1は、静電容量型加速度センサである。半導体基板2は、平面視でX軸方向に平行な2辺とY軸方向に平行な2辺とを有する四角形状を有している。

[0030] センサ部3は、三次元空間において直交する3つの軸に沿う方向に作用する加速度をそれぞれ検出するセンサとして、X軸センサ5、Y軸センサ6およびZ軸センサ7を有している。X軸センサ5は、X軸方向に作用する加速度を検出するためのものである。Y軸センサ6は、Y軸方向の加速度を検出するためのものである。Z軸センサ7は、Z軸方向の加速度を検出するためのものである。

[0031] 半導体基板2は、導電性シリコン基板（たとえば、 $5\ \Omega \cdot m \sim 500\ \Omega \cdot m$ の抵抗率を有する低抵抗基板）からなる。この半導体基板2は、内部に空洞10（図4参照）を有しており、空洞10を表面側から区画する天面を有する半導体基板2の上壁（表層部）11にX軸センサ5、Y軸センサ6およびZ軸センサ7が形成されている。

[0032] つまり、X軸センサ5、Y軸センサ6およびZ軸センサ7は半導体基板2の一部からなり、空洞10を裏面側から区画する底面を有する半導体基板2の底壁12（図4参照）に対して浮いた状態で支持されている。

[0033] X軸センサ5およびY軸センサ6は、X軸方向に間隔を空けて互いに隣接して配置されている。X軸センサ5およびY軸センサ6のそれぞれを取り囲むように、2つのZ軸センサ7が配置されている。この実施形態では、Y軸センサ6は、X軸センサ5を平面視で 90° 回転させたものとほぼ同様の構成を有している。

[0034] これら3つのセンサ5～7は、たとえばシリコン基板からなる蓋8が半導体基板2の表面に接合されることにより、蓋8により覆われて密閉されている。

[0035] 電極パッド4は、外部の電子部品に接続されて、各センサ5～7に信号を入力したり、各センサ5～7から信号を出力したりするものであり、必要数（図1では、9つ）設けられている。外部の電子部品は、たとえば、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 素子である。

[0036] [2] X軸センサ5

図2は、主としてX軸センサを示す図解的な平面図である。図3は、図2の要部拡大平面図である。図4は、図3のIV-IV線に沿う図解的な拡大断面図である。図5Aは、図3のバネ部を示す図解的な拡大平面図である。

[0037] X軸センサ5とZ軸センサ7との間には、X軸センサ5を浮いた状態に支持するための支持部14が形成されている。支持部14は、半導体基板2の空洞10を横側から区画する側面を有する一側壁15の上部から、Z軸センサ7を横切ってX軸センサ5へ向かって延びる支持ベース部16と、X軸センサ5を取り囲む環状部17とを一体的に含んでいる。支持部14は、半導体基板2の底壁12から浮いた状態で、半導体基板2の一側壁15に支持されている。

[0038] 支持ベース部16は、平面視でY軸方向に長い四角形状である。環状部17は、平面視で矩形環状であり、-Y側の第1枠部17A、-X側の第2枠部17B、+Y側の第3枠部17Cおよび+X側の第4枠部17Dを含む。ただし、第1枠部17Aは、長さ中央部で分断されている。第2枠部17Bの長さ中央部が、支持ベース部16に連結されている。X軸センサ5は、環状部17の内側に配置され、環状部17に支持されている。

[0039] X軸センサ5は、空洞10内に設けられた支持部14に固定された固定構造21と、固定構造21に対して振動可能に保持された可動構造22とを有している。固定構造21および可動構造22は、同じ厚さで形成されている。

- [0040] 固定構造 21 は、固定ベース部 23 と、複数の固定電極 24 とを含む。
- [0041] 固定ベース部 23 は、第 1 枠部 17A の内側壁に沿って X 軸方向に延びており、支持部 14 に固定されている。固定ベース部 23 は、互いに平行に延びる複数（この実施形態では 2 本）のメインフレームと、複数のメインフレーム間に架設された複数のサブフレームとを含む、平面視梯子状の骨組み構造を有している。
- [0042] 複数の固定電極 24 は、固定ベース部 23 の内側壁に櫛歯状に形成されている。複数の固定電極 24 は、X 軸方向に等間隔を空けて、互いに平行に配置されている。つまり、複数の固定電極 24 は、固定ベース部 23 から +Y 方向に延びている。
- [0043] 可動構造 22 は、可動ベース部 26 と、複数の可動電極部 27 とを含む。
- [0044] 可動ベース部 26 は、第 3 枠部 17C の内側壁に沿って X 軸方向に延びている。可動ベース部 26 の両端が、X 軸方向に沿って伸縮自在なバネ部 25 を介して固定ベース部 23 に接続されている。バネ部 25 は、本発明の「弾性構造」の一例である。
- [0045] 可動ベース部 26 は、X 軸方向に平行に延びる複数（この実施形態では 5 本）のメインフレーム 26A と、複数のメインフレーム 26A 間に架設された複数のサブフレーム 26B とを含む、平面視格子状の骨組み構造を有している。
- [0046] 複数の可動電極部 27 は可動ベース部 26 の内側壁に櫛歯状に形成されている。複数の可動電極部 27 は、X 軸方向に等間隔を空けて互いに平行に配置されている。複数の可動電極部 27 は、可動ベース部 26 から、互いに隣接する固定電極 24 間に向かって延びている。つまり、櫛歯状の可動電極部 27 は、櫛歯状の固定電極 24 に対して、固定電極 24 と接触しないで噛み合うように配置されている。
- [0047] 各可動電極部 27 は、可動ベース部 26 内の隣合う一対のサブフレーム 26B の -Y 側端それぞれから -Y 方向に互いに平行に延びた第 1 可動電極 27A および第 2 可動電極 27B と、それらを連結する複数の連結部 27C と

を含む。各連結部 27C の長さ中間部は、酸化シリコン (SiO_2) からなる第 1 隔離結合部 (絶縁層) 91 によって構成されている。これにより、第 1 可動電極 27A と第 2 可動電極 27B とは電氣的に絶縁されている。

[0048] 可動電極部 27 に含まれている第 1 可動電極 27A および第 2 可動電極 27B は、本発明の「可動電極対」の一例である。

[0049] 固定電極 24 および可動電極 27A, 27B の横断面形状は、図 4 に示されるように、Z 軸方向に細長い四角形状である。言い換えれば、固定電極 24 および可動電極 27A, 27B は、厚さ方向が X 軸方向である板状である。

[0050] 以下において、第 1 可動電極 27A が接続されたサブフレームを、「第 1 可動サブフレーム 26Ba」といい、第 2 可動電極 27B が接続されたサブフレームを、「第 2 可動サブフレーム 26Bb」という場合がある。

[0051] メインフレーム 26A における、隣接する 2 つのサブフレーム 26B を連結している部分の長さ中間部は、酸化シリコンからなる第 2 隔離結合部 (絶縁層) 92 によって構成されている。したがって、各サブフレーム 26B は、他のサブフレーム 26B から電氣的に絶縁されている。第 1 隔離結合部 91 および第 2 隔離結合部 92 によって、各可動電極 27A, 27B は、他の可動電極 27A, 27B から電氣的に絶縁されている。

[0052] 第 1 可動電極 27A は、第 2 可動電極 27B に対して -X 側に配置されている。X 軸方向の加速度が作用していない状態では、第 1 可動電極 27A とこれに隣接する固定電極 24 との間隔は、第 2 可動電極 27B とこれに隣接する固定電極 24 との間隔に等しい。

[0053] -X 側に配置されたバネ部 25 および +Y 側に配置されたバネ部 25 の -Y 側端部は、長さ中間部が酸化シリコンからなる第 3 隔離結合部 (絶縁層) 93 によって構成されている連結フレームを介して、固定ベース部 23 に機械的に接続されている。したがって、固定ベース部 23 とバネ部 25 とは、電氣的に絶縁されている。

[0054] -X 側に配置されたバネ部 25 の +Y 側端は、最も -X 側にある第 1 可動

サブフレーム 26Ba に機械的および電氣的に接続されている。+X 側に配置されたバネ部 25 の +Y 側端は、最も +X 側にある第 2 可動サブフレーム 26Bb に機械的および電氣的に接続されている。これらのバネ部 25 は、可動ベース部 26 を X 軸方向に移動可能に支持するバネとして機能するとともに、導電経路としても機能する。

[0055] 固定構造 21 および可動構造 22 を含む半導体基板 2 の表面には、図示しない絶縁膜が形成されている。当該絶縁膜の表面には、図示しない複数の配線が形成されている。複数の配線は、複数の固定電極 24 を固定電極用の電極パッド 4 に電氣的に接続するための第 1 配線、複数の第 1 可動電極 27A を第 1 可動電極用の電極パッド 4 に電氣的に接続するための第 2 配線、複数の第 2 可動電極 27B を第 2 可動電極用の電極パッド 4 に電氣的に接続するための第 3 配線を含む。

[0056] 第 2 配線は、複数の第 1 可動サブフレーム 26Ba を互いに電氣的に接続するための配線および -X 側のバネ部 25 を第 1 可動電極用の電極パッド 4 に電氣的に接続するための配線を含む。第 3 配線は、複数の第 2 可動サブフレーム 26Bb を互いに電氣的に接続するための配線および +X 側のバネ部 25 を第 2 可動電極用の電極パッド 4 に電氣的に接続するための配線を含む。

[0057] 本実施形態においては、X 軸センサ 5 の X 軸方向および Y 軸方向の長さは、例えば 300 μm 程度である。X 軸センサ 5 の +Z 側表面から半導体基板 2 の底壁 12 (図 4 参照) の内面 (+Z 側表面) までの Z 軸方向長さは、例えば 50 μm 程度である。X 軸センサ 5 の +Z 側表面から半導体基板 2 の底壁 12 の外面 (-Z 側表面) までの Z 軸方向長さは、例えば 200 μm ~ 300 μm 程度である。また、固定電極 24、第 1 可動電極 27A および第 2 可動電極 27B の Z 軸方向の長さは、例えば 15 μm ~ 30 μm 程度である。

[0058] X 軸センサ 5 では、X 軸方向の加速度が作用した場合、2 つのバネ部 25 に支持された可動ベース部 26 が X 軸方向に振動する。これにより、可動ベ

ース部26から延びる第1可動電極27Aおよび第2可動電極27Bも、互いに隣接する2つの固定電極24の間で、X軸方向に振動する。可動ベース部26が+X方向に移動した場合、第1可動電極27Aは隣接する固定電極24から離れた位置に移動し、第2可動電極27Bは隣接する固定電極24に近づく位置に移動する。逆に、可動ベース部26が-X方向に移動した場合、第1可動電極27Aは隣接する固定電極24に近づく位置に移動し、第2可動電極27Bは隣接する固定電極24から離れた位置に移動する。

[0059] これにより、第1可動電極27Aとそれに隣接する固定電極24との対向距離 d_1 および第2可動電極27Bとそれに隣接する固定電極24との対向距離 d_2 とが変化する。そして、対向距離 d_1 の変化に起因する第1可動電極27A／固定電極24間の静電容量 C_1 の変化および対向距離 d_2 の変化に起因する第2可動電極27B／固定電極24間の静電容量 C_2 の変化を検出することによって、X軸方向の加速度が検出される。

[0060] 図3および図5Aを参照して、-X側のバネ部25は、Y軸方向に延びた直線部分30から構成されている。直線部分30は、Y軸方向に平行に延びた2本の直線フレーム31と、当該直線フレーム31間に架設された複数の補強フレーム32を含む。補強フレーム32は、2本の直線フレーム31の-Y方向端どうしを連結する第1補強フレーム32Aと、2本の直線フレーム31の+Y方向端どうしを連結する第2補強フレーム32Bと、2本の直線フレーム31の長さ方向中間部どうしを連結する複数の第3補強フレーム32Cとを含む。

[0061] 第1補強フレーム32Aの+X側端には、+X方向に延びた第1接続部33が連結されている。第2補強フレーム32Bの+X側端には、+X方向に延びた第2接続部34が連結されている。バネ部25（直線部分30）の-Y側端は、第1接続部33を介して固定ベース部23に機械的に接続されている。バネ部25（直線部分30）の+Y側端は、第2接続部34を介して第1可動サブフレーム26Baに機械的および電氣的に接続されている。

[0062] +X側に配置されたバネ部25は、-X側のバネ部25と+X側のバネ部

25との間の中央を通りかつY軸方向に延びる直線に対して、-X側のバネ部25と線対称の平面形状を有している。したがって、+X側のバネ部25においては、第1補強フレーム32Aの-X側端に、-X方向に延びた第1接続部33が連結され、第2補強フレーム32Bの-X側端に、-X方向に延びた第2接続部34が連結されている。+X側のバネ部25（直線部分30）の-Y側端は、第1接続部33を介して固定ベース部23に機械的に接続されている。+X側のバネ部25（直線部分30）の+Y側端は、第2接続部34を介して第2可動サブフレーム26Bbに機械的および電氣的に接続されている。

[0063] 図6は、X軸センサの参考例を示す図解的な要部拡大平面図である。図6において、前述の図3の各部に対応する部分には、図3と同じ符号を付して示す。図5Dは、図6に示される参考例に係るX軸センサに用いられているバネ部を示す図解的な拡大平面図である。

[0064] 参考例に係るX軸センサ105に用いられている-X側のバネ部125は、Y軸方向に延びた1本の直線フレームからなる直線部分131から構成されている。直線部分131の-Y方向端には、直線部分131の-Y方向端から+X方向に延びる第1接続部132が連結されている。直線部分131の+Y方向端には、直線部分131の+Y方向端から+X方向に延びた後、-Y方向に延びる平面視鉤形の第2接続部133が連結されている。バネ部125（直線部分131）の-Y側端は、第1接続部132を介して固定ベース部23に機械的に接続される。バネ部125（直線部分131）の+Y側端は、第2接続部133を介して第2可動サブフレーム26Bbに機械的および電氣的に接続される。

[0065] +X側に配置されるバネ部125は、-X側のバネ部125と-X側のバネ部125との間の中央を通りかつY軸方向に延びる直線に対して、-X側のバネ部125と線対称の平面形状を有している。+X側のバネ部125においては、1本の直線フレームからなる直線部分131の-Y側端に、-X方向に延びた第1接続部132が連結され、直線部分131の+Y側端に、

−X方向に延びた後、−Y方向に延びた平面視鉤形の第2接続部133が連結されている。+X側のバネ部125(直線部分131)の−Y側端は、第1接続部132を介して固定ベース部23に機械的に接続される。+X側のバネ部125(直線部分131)の+Y側端は、第2接続部133を介して第1可動サブフレーム26Baに機械的および電氣的に接続される。

[0066] バネ部に用いられるフレーム(直線フレーム)の幅には制限がある。このため、本実施形態におけるX軸センサ5に用いられるバネ部25では、参考例に係るX軸センサ105のバネ部125に比べて、直線部分30の幅を大きくすることができる。つまり、バネ部25の直線部分30の幅W1(図5A参照)を、バネ部125の直線部分131の幅W2(図5D参照)よりも大きくすることができる。これにより、X軸センサ5の可動部分の共振周波数を高めることができる。これにより、検出可能な加速度の範囲をより広くすることができる。

[0067] 図7Aは、本実施形態のX軸センサ5における振動の周波数と振幅との関係を示すグラフである。図7Bは、参考例に係るX軸センサ105における振動の周波数と振幅との関係を示すグラフである。

[0068] 図7Aおよび図7Bから、本実施形態のX軸センサ5では、参考例に係るX軸センサ105に比べて可動部分の共振周波数を高めることができることがわかる。

[0069] 図5Bは、−X側に配置されるバネ部の第1変形例を示す図解的な平面図である。

[0070] 図5Bに示される−X側のバネ部25Aは、Y軸方向に平行に延びた直線部分30Aからなる。直線部分30Aは、Y軸方向に平行に延びた2本の直線フレーム31と、直線フレーム31の−Y側端どうしを連結する第1補強フレーム32Aと、直線フレーム31の+Y側端どうしを連結する第2補強フレーム32Bとを含む。さらに、直線部分30Aは、2本の直線フレーム31間に、直線フレーム31に沿って三角形の空間が繰り返されるように、直線フレーム31を補強する第3補強フレーム32Dを含む。

- [0071] 第1補強フレーム32Aの+X側端には、+X方向に延びた第1接続部33が連結されている。第2補強フレーム32Bの+X側端には、+X方向に延びた第2接続部34が連結されている。バネ部25A（直線部分30A）の-Y側端は、第1接続部33を介して固定ベース部23に機械的に接続される。バネ部25A（直線部分30A）の+Y側端は、第2接続部34を介して第1可動サブフレーム26Baに機械的および電氣的に接続される。
- [0072] なお、+X側に配置されたバネ部25Aは、-X側のバネ部25Aと+X側のバネ部25Aとの間の中央を通りかつY軸方向に延びる直線に対して、-X側のバネ部25Aと線対称の平面形状を有している。したがって、+X側のバネ部25Aにおいては、第1補強フレーム32Aの-X側端に、-X方向に延びた第1接続部33が連結され、第2補強フレーム32Bの-X側端に、-X方向に延びた第2接続部34が連結される。+X側のバネ部25A（直線部分30A）の-Y側端は、第1接続部33を介して固定ベース部23に機械的に接続される。+X側のバネ部25A（直線部分30A）の+Y側端は、第2接続部34を介して第2可動サブフレーム26Bbに機械的および電氣的に接続される。
- [0073] 図5Cは、-X側に配置されるバネ部の第2変形例を示す図解的な平面図である。
- [0074] 図5Cに示される-X側のバネ部25Bは、Y軸方向に平行に延びた直線部分30Bからなる。直線部分30Bは、Y軸方向に平行に延びた3本の直線フレーム31と、直線フレーム31間に架設された複数の補強フレーム32とを含む。補強フレーム32は、3本の直線フレーム31の-Y方向端どうしを連結する第1補強フレーム32Aと、3本の直線フレーム31の+Y方向端どうしを連結する第2補強フレーム32Bと、3本の直線フレーム31の長さ方向中間部どうしを連結する複数の第3補強フレーム32Cとを含む。
- [0075] 第1補強フレーム32Aの+X側端には、+X方向に延びた第1接続部33が連結されている。第2補強フレーム32Bの+X側端には、+X方向に

延びた第2接続部34が連結されている。バネ部25B（直線部分30B）の-Y側端は、第1接続部33を介して固定ベース部23に機械的に連結される。バネ部25B（直線部分30B）の+Y側端は、第2接続部34を介して第1可動サブフレーム26Baに機械的および電氣的に接続される。

[0076] +X側に配置されたバネ部25Bは、-X側のバネ部25Bと+X側のバネ部25Bとの間の中央を通りかつY軸方向に延びる直線に対して、-X側のバネ部25Bと線対称の平面形状を有している。したがって、+X側のバネ部25Bにおいては、第1補強フレーム32Aの-X側端に、-X方向に延びた第1接続部33が連結され、第2補強フレーム32Bの-X側端に、-X方向に延びた第2接続部34が連結される。+X側のバネ部25B（直線部分30B）の-Y側端は、第1接続部33を介して固定ベース部23に機械的に接続される。+X側のバネ部25B（直線部分30B）の+Y側端は、第2接続部34を介して第2可動サブフレーム26Bbに機械的および電氣的に接続される。

[0077] [3] Y軸センサ6

Y軸センサ6は、X軸センサ5を平面視で90°回転させたものとはほぼ同様の構成なので、詳細な説明を省略する。Y軸センサ6においては、固定電極24、第1可動電極27Aおよび第2可動電極27Bが、それぞれX軸方向に延びており、Y軸方向の加速度が作用した場合に可動ベース部26がY軸方向に振動する。これにより、第1可動電極27Aおよび第2可動電極27Bも、互いに隣接する2つの固定電極24の間で、Y軸方向に振動する。したがって、第1可動電極27Aと隣接する固定電極24とからなるコンデンサの静電容量と、第2可動電極27Bと隣接する固定電極24とからなるコンデンサの静電容量の変化を電氣的に検出することで、Y軸方向に作用する加速度を検出することができる。

[0078] [4] X軸センサの変形例

図8は、X軸センサの変形例を示す図解的な平面図である。

[0079] X軸センサ5Aは、半導体基板2に固定された固定構造21と、固定構造

2 1 に対して振動可能に保持された可動構造 2 2 とを有している。固定構造 2 1 および可動構造 2 2 は、同じ厚さで形成されている。固定構造 2 1 および可動構造 2 2 は、半導体基板 2 の底壁から浮いた状態で、半導体基板 2 に支持されている。

- [0080] 固定構造 2 1 は、固定ベース部 2 3 と、複数の固定電極 2 4 とを含む。
- [0081] 固定ベース部 2 3 は、平面視で四角環状であり、X 軸センサ 5 A の配置領域の周縁部を巡るように配置されている。固定ベース部 2 3 は、- Y 側の第 1 枠部 2 3 A、- X 側の第 2 枠部 2 3 B、+ Y 側の第 3 枠部 2 3 C および - X 側の第 4 枠部 2 3 D とを含む。第 2 枠部 2 3 B の長さ中央部および第 4 枠部 2 3 D の長さ中央部が、半導体基板 2 に支持されている。
- [0082] 固定ベース部 2 3 の各枠部 2 3 A ~ 2 3 D は、互いに平行に延びる複数（図 8 の例では 2 本）のメインフレームと、複数のメインフレーム間に架設された複数のサブフレームとを含む、平面視梯子状の骨組み構造を有している。
- [0083] 複数の固定電極 2 4 は、第 1 枠部 2 3 A の内側壁に櫛歯状に形成された複数の第 1 固定電極 2 4 A と、第 3 枠部 2 3 C の内側壁に櫛歯状に形成された複数の第 2 固定電極 2 4 B とを含む。
- [0084] 複数の第 1 固定電極 2 4 A は、第 1 枠部 2 3 A から、X 軸センサ 5 A の配置領域の Y 軸方向中央部付近まで延びている。複数の第 2 固定電極 2 4 B は、第 3 枠部 2 3 C から、X 軸センサ 5 A の配置領域の Y 軸方向中央部付近まで延びている。複数の第 1 固定電極 2 4 A は、第 1 枠部 2 3 A から、X 軸方向に等間隔を空けて、+ Y 方向に互いに平行に延びている。複数の第 2 固定電極 2 4 B は、第 3 枠部 2 3 C から、X 軸方向に等間隔を空けて、- Y 方向に互いに平行に延びている。
- [0085] 可動構造 2 2 は、可動ベース部 2 6 と、複数の可動電極部 2 7 とを含む。
- [0086] 可動ベース部 2 6 は、X 軸センサ 5 A の配置領域の Y 軸方向中央部において X 軸方向に延びており、その両端が X 軸方向に伸縮自在なバネ部 2 8 を介して固定ベース部 2 3 に固定されている。バネ部 2 8 は、本発明の「弾性構造」の一例である。

- [0087] 可動ベース部26は、X軸方向に平行に延びる複数（この実施形態では4本）のフレームからなり、その両端がバネ部28に接続されている。バネ部28は、可動ベース部26の両端に2つずつ設けられている。
- [0088] 複数の可動電極部27は、可動ベース部26の両側壁それぞれに櫛歯状に形成されている。複数の可動電極部27は、可動ベース部26を横切って、互いに隣接する第1固定電極24A間および互いに隣接する第2固定電極24B間に向かって延びている。
- [0089] つまり、可動ベース部26から-Y側に延びた櫛歯状の可動電極部27は、櫛歯状の第1固定電極24Aに対して、第1固定電極24Aに接触しないで噛み合うように配置されている。一方、可動ベース部26から+Y側に延びた櫛歯状の可動電極部27は、櫛歯状の第2固定電極24Bに対して、第2固定電極24Bに接触しないで噛み合うように配置されている。
- [0090] 各可動電極部27は、X軸方向に間隔をおいてY軸方向に互いに平行に延びた第1可動電極27Aおよび第2可動電極27Bと、それらを連結する複数の連結部27Cとを含む。各連結部27Cの長さ中間部は、酸化シリコンからなる隔離結合部（図示略）によって構成されている。
- [0091] 可動電極部27に含まれている第1可動電極27Aおよび第2可動電極27Bは、本発明の「可動電極対」の一例である。
- [0092] 第1可動電極27Aは、第2可動電極27Bに対して-X側に配置されている。X軸方向の加速度が作用していない状態では、第1可動電極27Aとこれに隣接する第1固定電極24Aまたは第2固定電極24Bとの間隔は、第2可動電極27Bとこれに隣接する第1固定電極24Aまたは第2固定電極24Bとの間隔に等しい。
- [0093] 各第1可動電極27Aは、可動ベース部26において、他の第1可動電極27Aおよび第2可動電極27Bから電氣的に絶縁されている。各第2可動電極27Bは、可動ベース部26において、他の第2可動電極27Bおよび第1可動電極27Aから電氣的に絶縁されている。
- [0094] -X側に配置された2つのバネ部28は、可動ベース部26において、最

も−X側に配置された第1可動電極27Aに接続されている。+X側に配置された2つのバネ部28は、可動ベース部26において、最も+X側に配置された第2可動電極27Bに接続されている。4つのバネ部28は、可動ベース部26をX軸方向に移動可能に支持するバネとして機能するとともに、導電経路としても機能する。

[0095] 固定構造21および可動構造22を含む半導体基板2の表面には、図示しない絶縁膜が形成されている。当該絶縁膜の表面には、図示しない配線が形成されている。配線は、複数の第1固定電極24Aおよび複数の第2固定電極24Bを固定電極用の電極パッド4に電気的に接続するための第1配線、複数の第1可動電極27Aを第1可動電極用の電極パッド4に電気的に接続するための第2配線、複数の第2可動電極27Bを第2可動電極用の電極パッド4に電気的に接続するための第3配線を含む。

[0096] X軸センサ5Aでは、X軸方向の加速度が作用した場合、4つのバネ部28に支持された可動ベース部26がX軸方向に振動する。これにより、可動ベース部26から延びる第1可動電極27Aおよび第2可動電極27Bも、互いに隣接する2つの第1固定電極24Aの間および互いに隣接する2つの第2固定電極24Bの間で、X軸方向に振動する。

[0097] 第1可動電極27Aとそれに隣接する第1固定電極24Aおよび第2固定電極24Bとの間の静電容量の変化および第2可動電極27Bとそれに隣接する第1固定電極24Aおよび第2固定電極24Bとの間の静電容量の変化を検出することによって、X軸方向の加速度が検出される。

[0098] 図9Aは、−X側において+Y側に配置されたバネ部28を示す図解的な平面図である。

[0099] 図8および図9Aを参照して、バネ部28は、平面視で、下方に向かって開口する縦長U字形状を有している。具体的には、バネ部28は、平面視において、Y軸方向に延びた第1直線部分28Bと、第1直線部分28Bの+X側に間隔をおいて配され、第1直線部分28Bに平行に延びた第2直線部分28Dと、第1直線部分28Bおよび第2直線部分28Dの+Y方向端部

どうしを連結する第3直線部分（連結部分）28Cと含む。バネ部28は、さらに、第1直線部分28Bの-Y側端から-X方向に延びた第1接続部28Aと、第2直線部分28Dの-Y側端から+X方向に延びた第2接続部28Eとを含む。

[0100] 第1接続部28A、第1直線部分28B、第3接続部分28C、第2直線部分28Dおよび第2接続部28Eは、それぞれ、互いに平行に延びた2本の直線フレーム35とを含む。第1直線部分28B、第3接続部分28Cおよび第2直線部分28Dにおいては、直線フレーム35間に架設された1または複数の補強フレーム36を含む。

[0101] バネ部28の第1端部（第1直線部分28Bの-Y側端部）は、第1接続部28Aを介して、固定ベース部23の第2枠部23Bに機械的に接続されている。バネ部28の第2端部（第2直線部分28Dの-Y側端部）は、第2接続部28Eを介して、可動ベース部26に機械的および電氣的に接続されている。

[0102] -X側において-Y側に配置されたバネ部28は、-X側の+Y側のバネ部28と-X側の-Y側のバネ部28との間の中央を通りかつX軸方向に延びる直線に対して、-X側の+Y側のバネ部28と線対称の平面形状を有している。当該バネ部28の第1端部（第1直線部分28Bの+Y側端部）は、第1接続部28Aを介して、固定ベース部23の第2枠部23Bに機械的に接続されている。当該バネ部28の第2端部（第2直線部分28Dの+Y側端部）は、当該第2接続部28Eを介して、可動ベース部26に機械的および電氣的に接続されている。

[0103] +X側の2つのバネ部28は、-X側の2つのバネ部28と+X側の2つのバネ部28との間の中央を通りかつY軸方向に延びる直線に対して、-X側の2つのバネ部28と線対称の平面形状を有している。

[0104] 図9Bは、-X側において+Y側に配置されるバネ部の参考例を示す図解的な平面図である。

[0105] 参考例のバネ部128は、全体的な形状は、図9Aのバネ部28と同様に

、第1接続部128Aと、第1直線部分128Bと、第3直線部分（連結部分）128Cと、第2直線部分128Dと、第2接続部128Eとからなる。しかし、参考例のバネ部128は、これらの各部128A～128Eは、それぞれ1本の直線フレーム135から構成されている。

[0106] バネ部に用いられるフレーム（直線フレーム）の幅には制限がある。このため、変形例に係るX軸センサ5Aに用いられるバネ部28では、参考例のバネ部128に比べて、直線部分28B～28Dの幅を大きくすることができる。つまり、バネ部28の直線部分28B～28Dの幅を、バネ部128の直線部分128B～128Dの幅よりも大きくすることができる。これにより、変形例に係るX軸センサ5Aでは、参考例のバネ部128が用いられたX軸センサに比べて、可動部分の共振周波数を高めることができる。これにより、検出可能な加速度の範囲をより広くすることができる。

[0107] [5] Z軸センサ

次に、図2、図4および図10～図12を参照して、Z軸センサの構成を説明する。

[0108] 図10は、Z軸センサを示す図解的な平面図である。図11Aは、図10の要部拡大平面図である。

[0109] 半導体基板2は、上述したように、内部に空洞10（図4参照）を有している。半導体基板2の表面部には、X軸センサ5およびY軸センサ6のそれぞれを取り囲むように、半導体基板2の底壁12（図4参照）に対して浮いた状態で支持部14に支持されたZ軸センサ7が配置されている。

[0110] Z軸センサ7は、空洞10内に設けられた支持部14（支持ベース部16）に固定された固定構造51と、固定構造51に対して振動可能に保持された可動構造52とを有している。固定構造51および可動構造52は、同じ厚さで形成されている。

[0111] 図10に示されるZ軸センサ7では、固定構造51がX軸センサ5（より具体的には、前述した支持部14の環状部17）を取り囲むように配置されており、この固定構造51をさらに取り囲むように、可動構造52が配置さ

れている。固定構造 5 1 および可動構造 5 2 は、支持ベース部 1 6 の - Y 側の側壁および + Y 側の側壁に一体的に接続されている。

[0112] なお、Y 軸センサ 6 を取り囲むように配置された Z 軸センサ 7 は、図示しないが、可動構造 5 2 が Y 軸センサ 6 を取り囲むように配置されており、この可動構造 5 2 をさらに取り囲むように、固定構造 5 1 が配置されている。

[0113] 図 1 0 に戻り、固定構造 5 1 は、支持ベース部 1 6 に固定された平面視四角環状の固定ベース部 5 3 を含む。固定ベース部 5 3 は、- Y 側の枠部、- X 側の枠部、+ Y 側の枠部および + X 側の枠部を含む。固定構造 5 1 は、さらに、固定ベース部 5 3 の + X 側枠部に設けられた固定電極構造を含む。

[0114] 固定ベース部 5 3 の各枠部は、互いに平行に延びる複数の直線状のメインフレームと、複数のメインフレーム間に架設された複数のサブフレームとを含む、平面視梯子状の骨組み構造を有している。

[0115] 固定電極構造は、複数の固定基幹部 5 5 と、複数の固定電極 5 6 とを含む。複数の固定基幹部 5 5 は、固定ベース部 5 3 の + X 側枠部の外側壁に櫛歯状に配列されている。複数の固定基幹部 5 5 は、固定ベース部 5 3 の + X 側枠部から、Y 軸方向に等間隔を空けて、+ X 方向に互いに平行に延びている。

[0116] 複数の固定電極 5 6 は、各固定基幹部 5 5 の両側壁それぞれに櫛歯状に形成されている。櫛歯状の固定電極 5 6 は、固定基幹部 5 5 の両側壁から、それぞれ、X 軸方向に等間隔を空けて、Y 軸方向に互いに平行に延びている。

[0117] 可動構造 5 2 は、平面視四角環状の可動ベース部 5 7 を含む。可動ベース部 5 7 は、- Y 側の枠部（- Y 側直線部分）、- X 側の枠部（- X 側直線部分）、+ Y 側の枠部（+ Y 側直線部分）および + X 側の枠部（+ X 側直線部分）を含む。ただし、可動ベース部 5 7 の - X 側の枠部（- X 側直線部分）は、固定ベース部 5 3 の - X 側の枠部に連結されているので、可動ベース部 5 7 の - X 側の枠部（- X 側直線部分）を固定ベース部 5 3 の一部として見做すこともできる。その場合には、可動ベース部 5 7 は、前記 - Y 側直線部分と、前記 + Y 側直線部分と、それらの + X 側端どうしを連結する前記 + X

側直線部分とから構成されることになる。

- [0118] 可動構造52は、さらに、可動ベース部57の+X側枠部（+X側直線部分）、-Y側枠部（-Y側直線部分）の+X側端部および+Y側枠部（+Y側直線部分）の+X側端部に形成された可動電極構造とを含む。
- [0119] 可動電極構造は、複数の可動基幹部59と、複数の可動電極60とを含む。複数の可動基幹部59は、可動ベース部57の+X側枠部の内側壁に櫛歯状に形成されている。複数の可動基幹部59は、可動ベース部57の+X側枠部から、互いに隣接する固定基幹部55の間に向かって延びている。つまり、櫛歯状の可動基幹部59は、櫛歯状の固定基幹部55に対して、固定基幹部55に接触しないで噛み合うように配置されている。
- [0120] 複数の可動電極60は、可動基幹部59の両側壁に櫛歯状に形成された複数の第1可動電極60Aと、可動ベース部57の-Y側枠部の内側壁に櫛歯状に形成された第2可動電極60Bと、可動ベース部57の+Y側枠部の内側壁に櫛歯状に形成された第3可動電極60Cとを含む。
- [0121] 複数の第1可動電極60Aは、可動基幹部59の両側壁から、互いに隣接する固定電極56間に向かって延びている。複数の第2可動電極60Bは、可動ベース部57の-Y側枠部から、互いに隣接する固定電極56間に向かって延びている。複数の第3可動電極60Cは、可動ベース部57の+Y側枠部から、互いに隣接する固定電極56間に向かって延びている。
- [0122] つまり、複数の可動電極60（60A～60C）は、Y軸方向に延びている。櫛歯状の可動電極60は、櫛歯状の固定電極56に対して、固定電極24と接触しないで噛み合うように配置されている。
- [0123] 可動ベース部57の各枠部は、互いに平行に延びる複数の直線状のメインフレームと、複数のメインフレーム間に架設された複数のサブフレームとを含む、平面視梯子状の骨組み構造を有している。可動ベース部57の-X側枠部の-Y側端部と、可動ベース部57の-Y側枠部の-X側端部とは、-Y側のバネ部61を介して連結されている。同様に、可動ベース部57の-X側枠部の+Y側端部と、可動ベース部57の+Y側枠部の-X側端部とは

、+Y側のバネ部61を介して連結されている。バネ部61は、本発明の「弾性構造」の一例である。

[0124] +Y側のバネ部61は、図10および図11Aに示されるように、Y軸方向に延びる直線部分61Aと、直線部分61Aの-Y側端に形成されたテーパ部分61Bとからなる。

[0125] 直線部分61Aは、Y軸方向に互いに平行に延びる2つの直線フレーム62からなる。テーパ部分61Bは、2つの直線フレーム62の-Y側端それぞれから、互いの間隔が徐々に広がるように、2つの直線フレーム62に対して斜め外方に延びた2本の傾斜フレーム63からなる。

[0126] バネ部61の第1端部（テーパ部分61Bの-Y側端部）は、可動ベース部57の-X側枠部を介して支持ベース部16に支持されている。バネ部61の第2端部（直線部分61Aの+Y側端部）は、可動ベース部57の+Y側枠部の-X側端部に機械的および電氣的に接続されている。

[0127] -Y側のバネ部61は、+Y側のバネ部61と-Y側のバネ部61との間の中央を通り、X軸方向に延びる直線に対して、+Y側のバネ部61と線対称の平面形状を有している。-Y側のバネ部61は、Y軸方向に延びる直線部分61Aと、直線部分61Aの+Y側端に形成されたテーパ部分61Bとからなる。

[0128] 直線部分61Aは、Y軸方向に互いに平行に延びる2つの直線フレーム62からなる。テーパ部分61Bは、2つの直線フレーム62の+Y側端それぞれから、互いの間隔が徐々に広がるように、2つの直線フレーム62に対して斜め外方に延びた2本の傾斜フレーム63からなる。

[0129] -Y側のバネ部61の第1端部（テーパ部分61Bの+Y側端部）は、可動ベース部57の-X側枠部を介して支持ベース部16に支持されている。-Y側のバネ部61の第2端部（直線部分61Aの-Y側端部）は、可動ベース部57の-Y側枠部の-X側端部に機械的および電氣的に接続されている。2つのバネ部61は、可動電極60をZ軸方向に移動可能にするためのバネとして機能する。

- [0130] すなわち、このZ軸センサ7では、バネ部61が弾性的に歪み、可動ベース部57があたかも振り子であるかのように、バネ部61を支点として半導体基板2の底壁12（図4参照）に対して近づく方向および離れる方向に振動することによって、固定電極56に櫛歯状に噛み合った可動電極60がZ軸方向に振動する。
- [0131] Z軸センサ7に対してZ軸方向の加速度が作用した場合、可動電極60がZ軸方向に振動する。これにより、可動電極60と固定電極56との対向面の重なる領域の面積が変化する。当該面積の変化による静電容量の変化を電気的に検出することで、Z軸方向に作用する加速度を検出することができる。
- [0132] 以下において、X軸センサ5を取り囲むように配置されたZ軸センサ7を「第1Z軸センサ7A」といい、Y軸センサ6を取り囲むように配置されたZ軸センサ7を、「第2Z軸センサ7B」という場合がある。
- [0133] この実施形態では、第1Z軸センサ7Aにおいては、可動構造52の内側に配置された固定構造51は、固定ベース部53の表面に形成された図示しないシリコン酸化膜の影響により、固定電極構造が-Z側に垂れるように反っている。
- [0134] 一方、第2Z軸センサ7Bにおいては、固定構造51の内側に配置された可動構造52は、可動ベース部の表面に形成された図示しないシリコン酸化膜の影響により、可動電極構造が-Z側に垂れるように反っている。
- [0135] 図12は、Z軸方向の加速度が作用していない場合におけるZ軸センサの固定電極および可動電極のZ軸方向の位置関係と、Z軸方向の加速度が作用した場合におけるZ軸センサの固定電極と可動電極のZ軸方向の位置関係を示す模式図である。図12においては、固定電極をFで表し、可動電極をMで表している。
- [0136] 図12の左上は、第1Z軸センサ7Aにおいて、加速度センサ1に対してZ軸方向の加速度が作用していない場合の固定電極Fと可動電極MとのZ軸方向の位置関係を示している。

- [0137] 図12の右上は、第2 Z軸センサ7 Bにおいて、加速度センサ1に対して Z軸方向の加速度が作用していない場合の固定電極 F と可動電極 M との Z 軸方向の位置関係を示している。
- [0138] 図12の左下は、加速度センサ1に対して + Z 方向の加速度が作用した場合の第1 Z軸センサ7 Aの固定電極 F と可動電極 M との Z 軸方向の位置関係を示している。
- [0139] 図12の右下は、加速度センサ1に対して + Z 方向の加速度が作用した場合の第2 Z軸センサ7 Bの固定電極 F と可動電極 M との Z 軸方向の位置関係を示している。
- [0140] 加速度センサ1に対して + Z 方向の加速度が作用していない場合、第1 Z軸センサ7 Aにおいては、固定電極 F が、可動電極 M に対して - Z 側にずれた位置に配置されている。一方、第2 Z軸センサ7 Bにおいては、可動電極 M が、固定電極 F に対して - Z 側にずれた位置に配置されている。
- [0141] 加速度センサ1に対して + Z 方向の加速度が作用した場合には、図12に示すように、可動電極 M が固定電極 F に対して、 - Z 方向に移動する。これにより、第1 Z軸センサ7 Aにおいては、固定電極 F / 可動電極 M 間の静電容量 C_1 が増加し、第2 Z軸センサ7 Bにおいては、固定電極 F / 可動電極 M 間の静電容量 C_2 が減少する。
- [0142] 一方、加速度センサ1に対して - Z 方向の加速度が作用した場合には、可動電極 M が固定電極 F に対して、 + Z 方向に移動する。これにより、第1 Z軸センサ7 Aにおいては、固定電極 F / 可動電極 M 間の静電容量 C_1 が減少し、第2 Z軸センサ7 Bにおいては、固定電極 F / 可動電極 M 間の静電容量 C_2 が増加する。
- [0143] 第1 Z軸センサ7 Aにおける固定電極 F / 可動電極 M 間の静電容量 C_1 の変化および第2 Z軸センサ7 Bにおける固定電極 F / 可動電極 M 間の静電容量 C_2 の変化を検出することによって、Z軸方向の加速度が検出される。
- [0144] 図11 B は、Z軸センサの参考例を示す要部拡大平面図である。図11 B において、前述の図11 Aの各部に対応する部分には、図11 Aの符号と同

じ符号を付して示す。

- [0145] 図11Bに示されるZ軸センサ107は、前述のZ軸センサ7と同様な構造を有しているが、バネ部およびその近傍の構造が前述のZ軸センサ7と異なっている。可動ベース部57の-X側枠部は、1本のメインフレームから構成されている。可動ベース部57の-X側枠部の+Y側端部は、+Y側のバネ部161を介して可動ベース部57の+Y側枠部に連結され、可動ベース部57の-X側枠部の-Y側端部は、バネ部161と同様な構成の-Y側のバネ部161を介して可動ベース部57の-Y側枠部に連結されている。
- [0146] +Y側のバネ部161は、Y軸方向に延びた1本の直線フレームからなる直線部分162から構成されている。バネ部161の第1端部（直線部分162の-Y側端部）は、可動ベース部57の-X側枠部を介して支持ベース部16に支持される。バネ部161の第2端部（直線部分162の+Y側端部）は、可動ベース部57の+Y側枠部に機械的および電氣的に接続される。
- [0147] -Y側のバネ部161は、+Y側のバネ部161と-Y側のバネ部161との間の中央を通り、X軸方向に延びる直線に対して、+Y側のバネ部161と線対称の平面形状を有している。-Y側のバネ部161は、Y軸方向に延びた1本の直線フレームからなる直線部分162から構成されている。-Y側のバネ部161の第1端部（直線部分162の+Y側端部）は、可動ベース部57の-X側枠部を介して支持ベース部16に支持される。バネ部161の第2端部（直線部分162の-Y側端部）は、可動ベース部57の-Y側枠部に機械的および電氣的に接続される。
- [0148] バネ部に用いられるフレームの幅には制限がある。このため、本実施形態におけるZ軸センサ7に用いられるバネ部61では、参考例のZ軸センサ107に用いられるバネ部161に比べて、直線部分61Aの幅を大きくすることができる。つまり、バネ部61の直線部分61Aの幅を、バネ部161の直線部分162の幅よりも大きくすることができる。これにより、本実施形態におけるZ軸センサ7では、参考例のZ軸センサ107に比べて、可動

部分の共振周波数を高めることができる。これにより、検出可能な加速度の範囲をより広くすることができる。

[0149] 図13Aは、本実施形態のZ軸センサ7における振動の周波数と振幅との関係を示すグラフである。図13Bは、参考例に係るZ軸センサ107における振動の周波数と振幅との関係を示すグラフである。

[0150] 図13Aおよび図13Bから、本実施形態のZ軸センサ7では、参考例に係るZ軸センサ107に比べて可動部分の共振周波数を高めることができることがわかる。

[0151] 図14は、Z軸センサの変形例を示す図解的な平面図である。図14において、前述の図10に対応する各部には図10と同じ符号を付して示す。

[0152] 図14のZ軸センサ7Aでは、固定電極構造および可動電極構造の構成が、図10のZ軸センサ7と異なっている。

[0153] 図14のZ軸センサ7Aでは、固定電極構造は、固定ベース部53の+X側枠部の外側壁に櫛歯状に形成された複数の固定電極56からなる。複数の固定電極56は、固定ベース部53の+X側枠部から、Y軸方向に等間隔を空けて、+X方向に互いに平行に延びている。

[0154] 図14のZ軸センサ7Aでは、可動電極構造は、可動ベース部57の+X側枠部の内側壁に櫛歯状に形成された複数の可動電極60からなる。複数の可動電極60は、可動ベース部57の+X側枠部から、互いに隣接する固定電極56の間に向かって延びている。櫛歯状の可動電極60は、櫛歯状の固定電極56に対して、固定電極56に接触しないで噛み合うように配置されている。

[0155] 本開示の実施形態について詳細に説明してきたが、これらは本開示の技術的内容を明らかにするために用いられた具体例に過ぎず、本開示はこれらの具体例に限定して解釈されるべきではなく、本開示の範囲は添付の請求の範囲によってのみ限定される。

[0156] この出願は、2021年6月16日に日本国特許庁に提出された特願2021-100295号に対応しており、それらの出願の全開示はここに引用

により組み込まれるものとする。

符号の説明

- [0157]
- 1 加速度センサ
 - 2 半導体基板
 - 3 センサ部
 - 4 電極パッド
 - 5, 5 A X軸センサ
 - 6 Y軸センサ
 - 7, 7 A Z軸センサ
 - 8 蓋
 - 10 空洞
 - 11 上壁
 - 12 底壁
 - 14 支持部
 - 15 一側壁
 - 16 支持ベース部
 - 17 環状部
 - 17 A～17 D 第1～第4 枠部
 - 21 固定構造
 - 22 可動構造
 - 23 固定ベース部
 - 23 A～23 D 第1～第4 枠部
 - 24 固定電極
 - 24 A 第1 固定電極
 - 24 B 第2 固定電極
 - 25, 25 A, 25 B バネ部
 - 26 可動ベース部
 - 26 A メインフレーム

- 26B サブフレーム
- 26Ba 第1可動サブフレーム
- 26Bb 第2可動サブフレーム
- 27 可動電極部
- 27A 第1可動電極
- 27B 第2可動電極
- 27C 連結部
- 28 バネ部
- 28A 第1接続部
- 28B 第1直線部分
- 28C 第3直線部分（連結部分）
- 28D 第2直線部分
- 28E 第2接続部
- 31 直線フレーム
- 32, 32A~32D 補強フレーム
- 33 第1接続部
- 34 第2接続部
- 35 直線フレーム
- 36 補強フレーム
- 51 固定構造
- 52 可動構造
- 53 固定ベース部
- 55 固定基幹部
- 56 固定電極
- 57 可動ベース部
- 59 可動基幹部
- 60, 60A~60C 可動電極
- 61 バネ部

- 6 1 A 直線部分
- 6 1 B テーパー部分
- 6 2 直線フレーム
- 6 3 傾斜フレーム
- 9 1 ~ 9 3 隔離結合部
- 1 0 5 X軸センサの参考例
- 1 0 7 Z軸センサの参考例
- 1 2 8 バネ部
 - 1 2 8 A 第1 接続部
 - 1 2 8 B 第1 直線部分
 - 1 2 8 C 第3 直線部分 (連結部分)
 - 1 2 8 D 第2 直線部分
 - 1 2 8 E 第2 接続部
- 1 3 1 直線部分
- 1 3 2 第1 接続部
- 1 3 3 第2 接続部
- 1 3 5 直線フレーム
- 1 6 1 バネ部
- 1 6 2 直線部分

請求の範囲

- [請求項1] 空洞が内部に形成された半導体基板と、
前記空洞に対して浮いた状態で前記半導体基板に支持された固定電極を含む固定構造と、
前記空洞に対して浮いた状態で前記半導体基板に弾性構造を介して支持され、前記固定電極に対して変位する可動電極を含む可動構造とを含み、
前記弾性構造は、前記半導体基板に支持される第1端部と、前記可動構造に接続される第2端部と、前記第1端部と前記第2端部とを接続する中間部とを含み、
前記中間部の少なくとも一部に直線状に延びた直線部分を有し、前記直線部分が、当該直線部分の延びる方向に互いに平行に延びた複数の直線フレームを備えている、加速度センサ。
- [請求項2] 前記直線部分は、当該直線部分に含まれる前記複数の直線フレーム間に架設された複数の補強フレームを含む、請求項1に記載の加速度センサ。
- [請求項3] 前記直線部分は、当該直線部分に含まれる前記複数の直線フレーム間に、当該直線フレームに沿って三角形の空間が繰り返されるように、前記複数の直線フレーム間に架設された複数の補強フレームを含む、請求項1に記載の加速度センサ。
- [請求項4] 前記直線部分は、
互いに平行に延びた第1直線部分および第2直線部分と、
前記第1直線部分および前記第2直線部分の一端どうしを連結する第3直線部分とを含む、請求項1に記載の加速度センサ。
- [請求項5] 前記第1直線部分、前記第2直線部分および前記第3直線部分は、それぞれ、それらに含まれている前記複数の直線フレーム間に架設された少なくとも1つの補強フレームを含む、請求項4に記載の加速度センサ。

- [請求項6] 前記直線部分が、前記可動電極の延びる方向に対して平行な直線部分を含む、請求項1～5のいずれか一項に記載の加速度センサ。
- [請求項7] 前記固定電極が、所定の第1方向に間隔をおいて、前記第1方向と直交する第2方向に互いに平行に延びた一对の固定電極を含み、
前記可動電極が、前記一对の固定電極の間に配置され、前記第1方向に間隔をおいて、前記第2方向に互いに平行に延びた1対の可動電極を含む、請求項1～6のいずれか一項に記載の加速度センサ。
- [請求項8] 前記固定電極が、平面視において、櫛歯状に形成された複数の固定電極を含み、
前記可動電極が、平面視において、櫛歯状に形成された複数の可動電極対を含み、
前記複数の可動電極対は、前記複数の固定電極に対して、接触しないで噛み合うように配置されており、
前記各可動電極対は、当該可動電極対の両側の前記固定電極にそれぞれ対向し、かつ互いに平行に延びた2つの前記可動電極を含む、請求項1～6のいずれか一項に記載の加速度センサ。
- [請求項9] 前記固定電極の横断面形状および前記可動電極の横断面形状が、上下方向に細長い四角形状である、請求項7または8に記載の加速度センサ。
- [請求項10] 前記弾性構造は、
1つ前記直線部分と、
前記直線部分の一端に接続されたテーパ部分とを含み、
当該直線部分は、互いに平行な2つの前記直線フレームからなり、
前記テーパ部分は、該2つの前記直線フレームの一端部のそれぞれから、互いの間隔が徐々に広がるように、当該2つの前記直線フレームに対して斜め外方に延びた2本の接続フレームからなる、請求項1に記載の加速度センサ。
- [請求項11] 前記直線部分が、前記可動電極の延びる方向に対して平行であるか

、または、前記半導体基板の表面に沿う方向であって、前記可動電極の延びる方向と直交する方向に対して平行である、請求項 10 に記載の加速度センサ。

[請求項12] 前記固定電極が、平面視において、櫛歯状に形成された複数の固定電極を含み、

前記可動電極が、平面視において、櫛歯状に形成された複数の可動電極を含み、

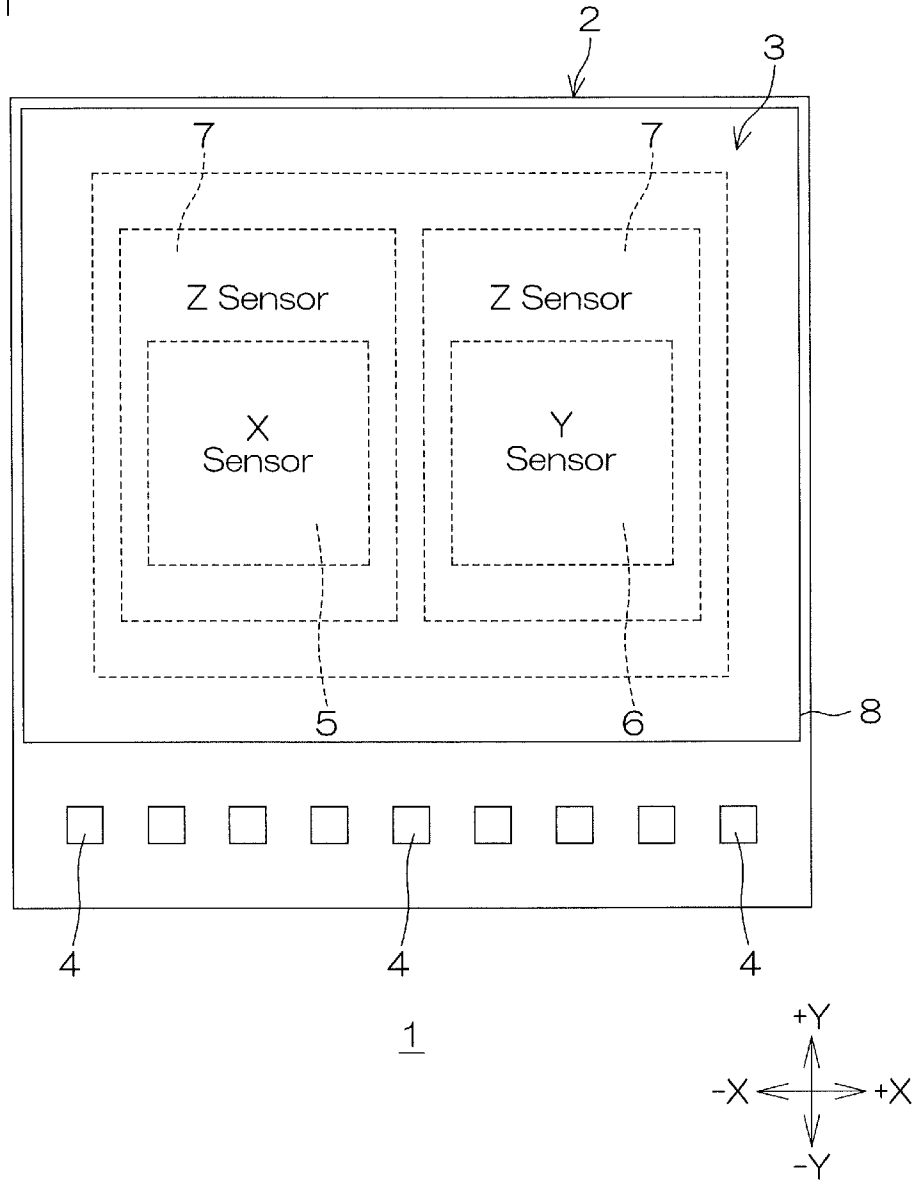
前記複数の可動電極は、前記複数の固定電極に対して、接触しないで噛み合うように配置されている、請求項 10 または 11 に記載の加速度センサ。

[請求項13] 前記固定電極の横断面形状および前記可動電極の横断面形状が、上下方向に細長い四角形状である、請求項 12 に記載の加速度センサ。

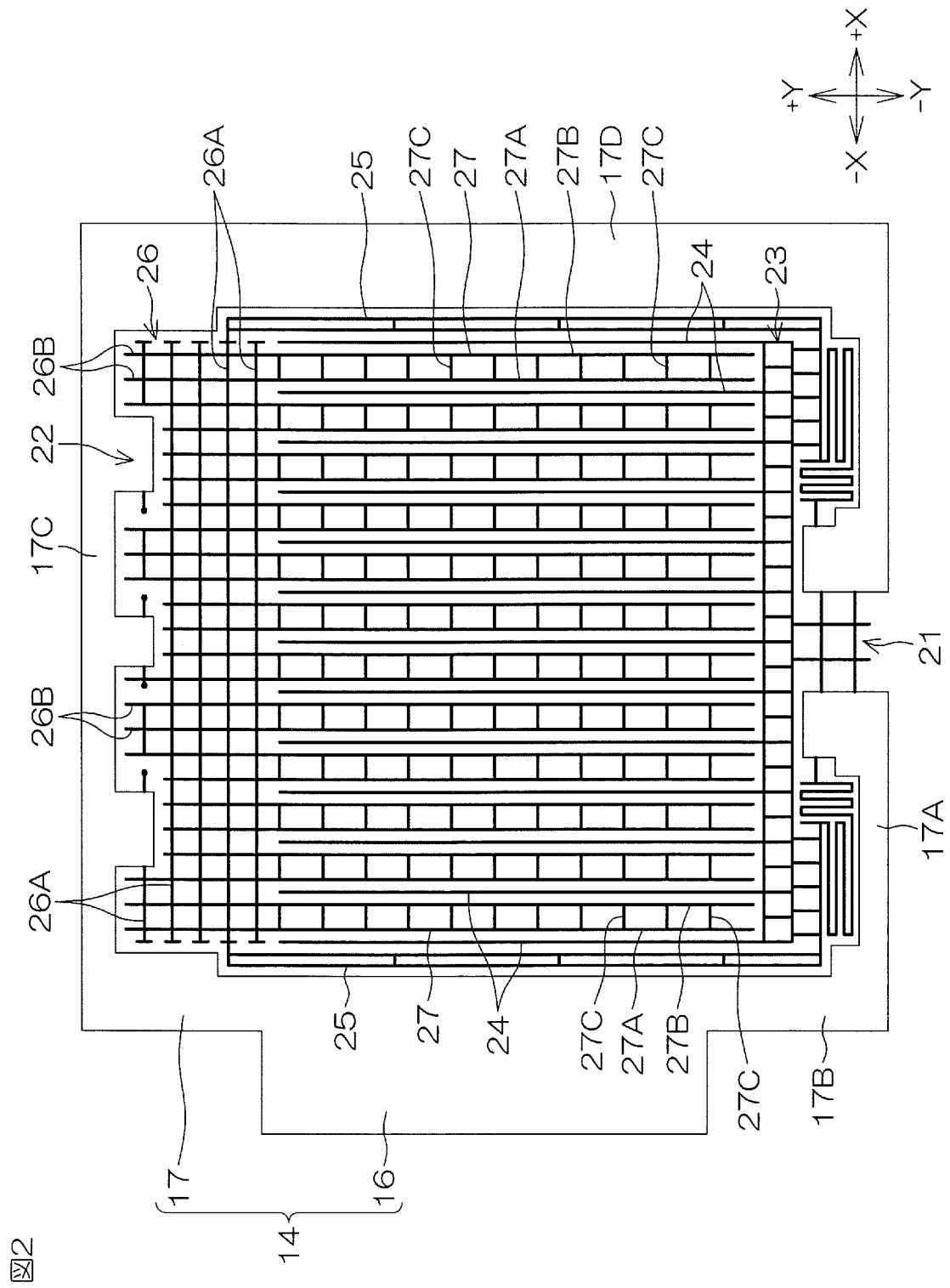
[請求項14] 前記固定電極および前記可動電極のうちのいずれか一方は、他方に対して下方にずれた状態に配置されている、請求項 13 に記載の加速度センサ。

[図1]

図1

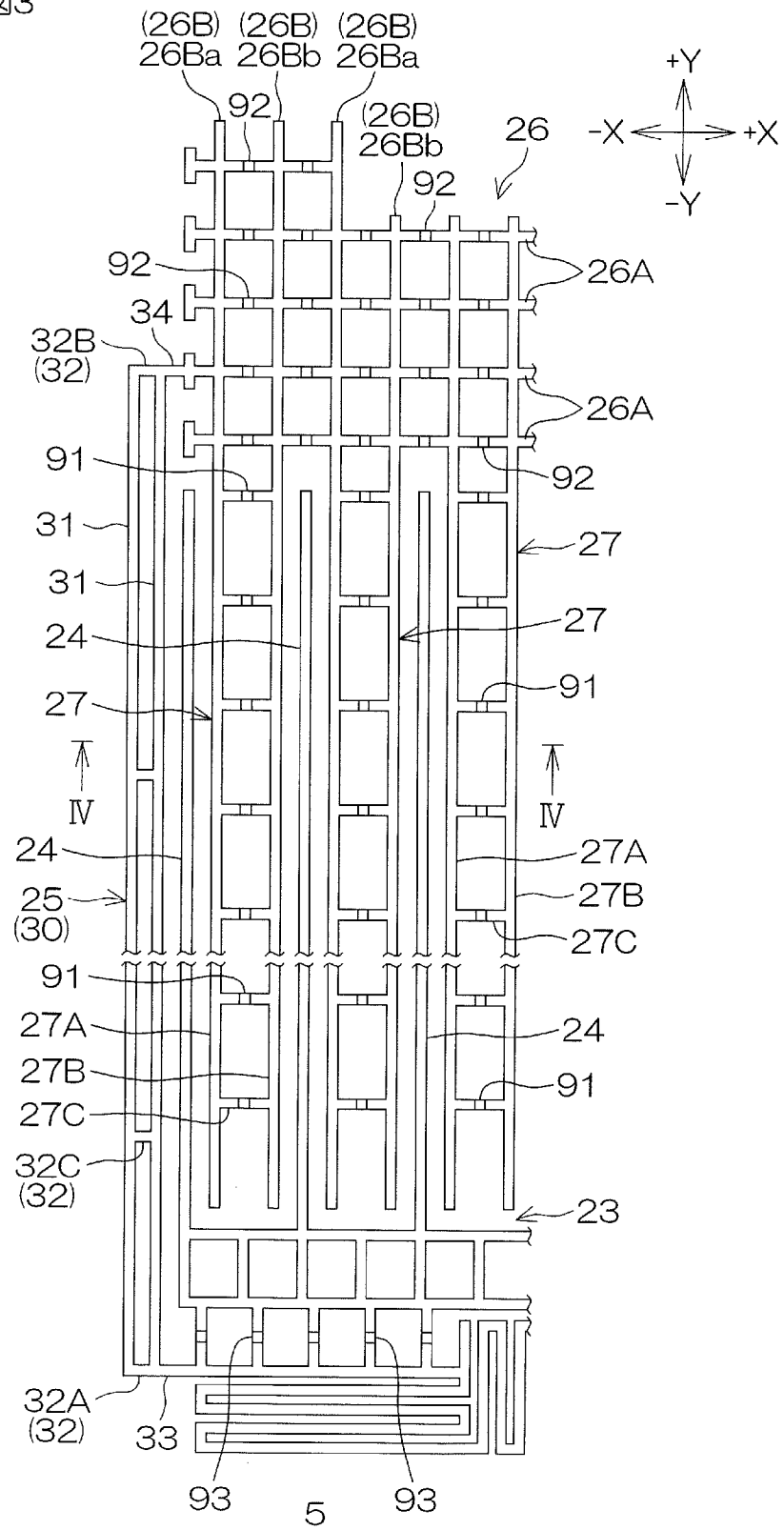


[図2]

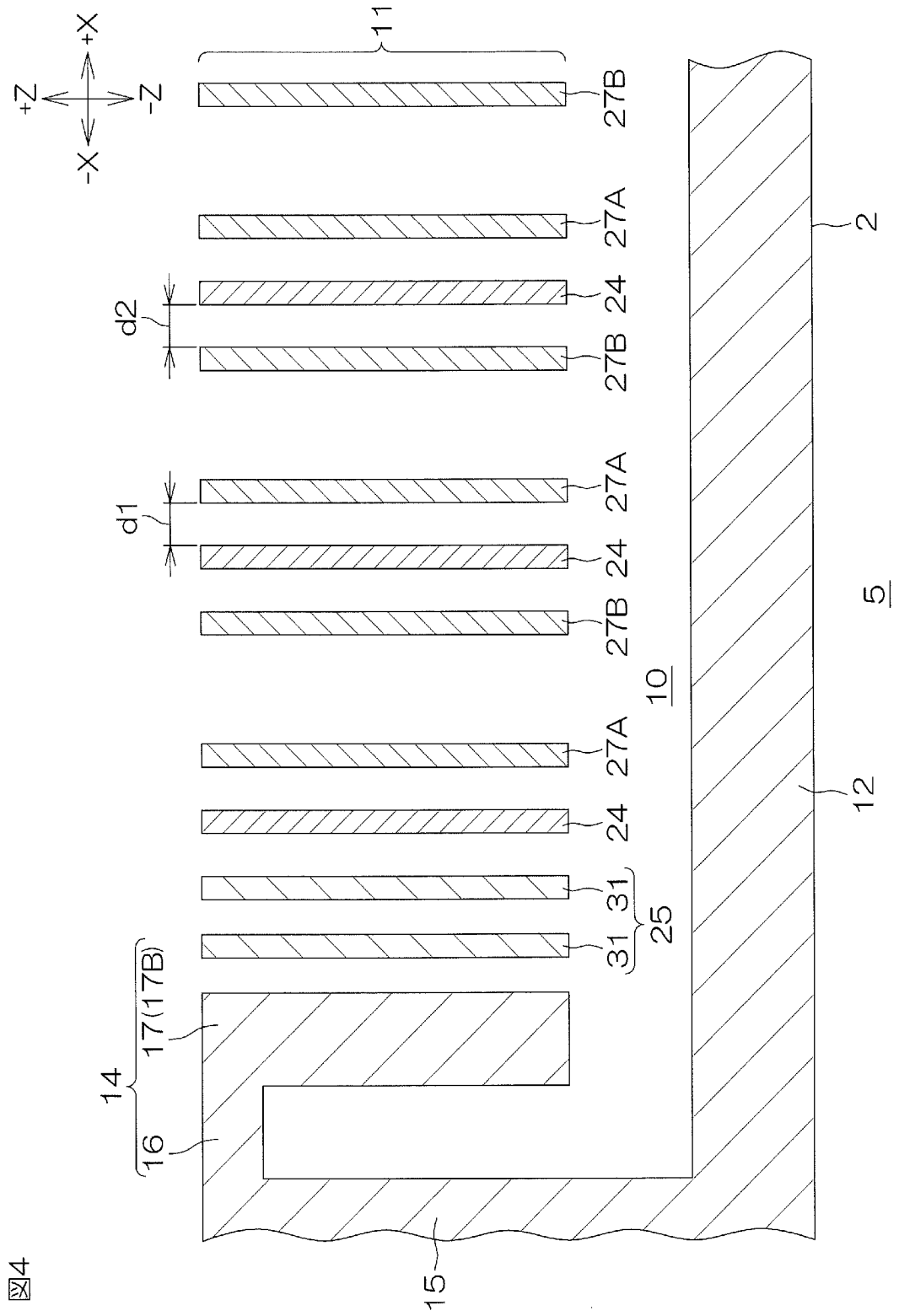


[図3]

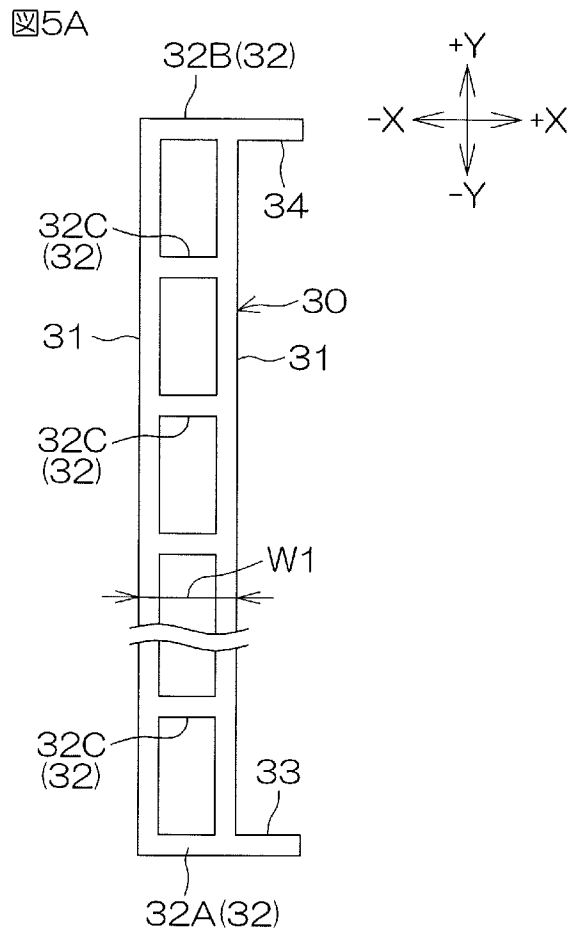
図3



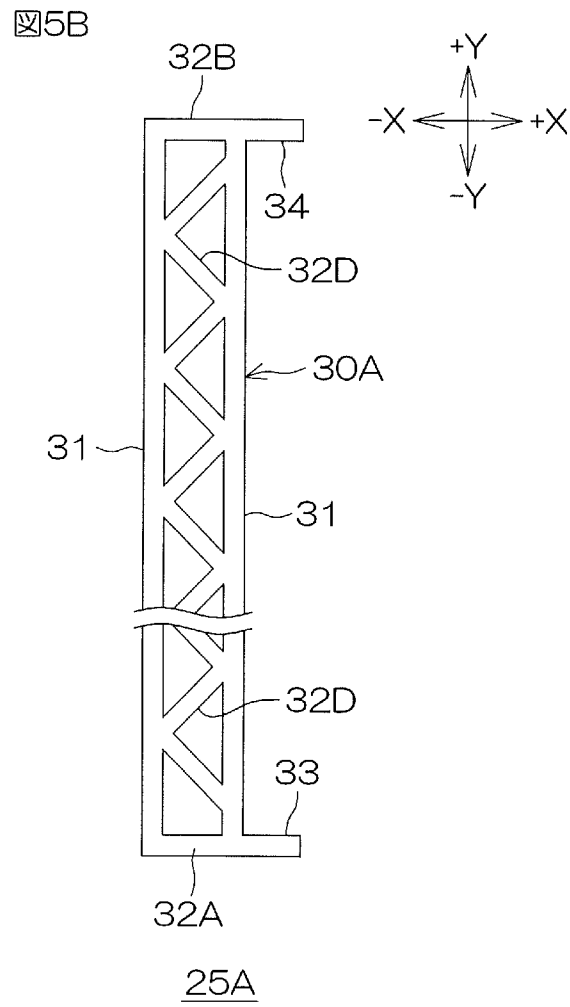
[図4]



[図5A]

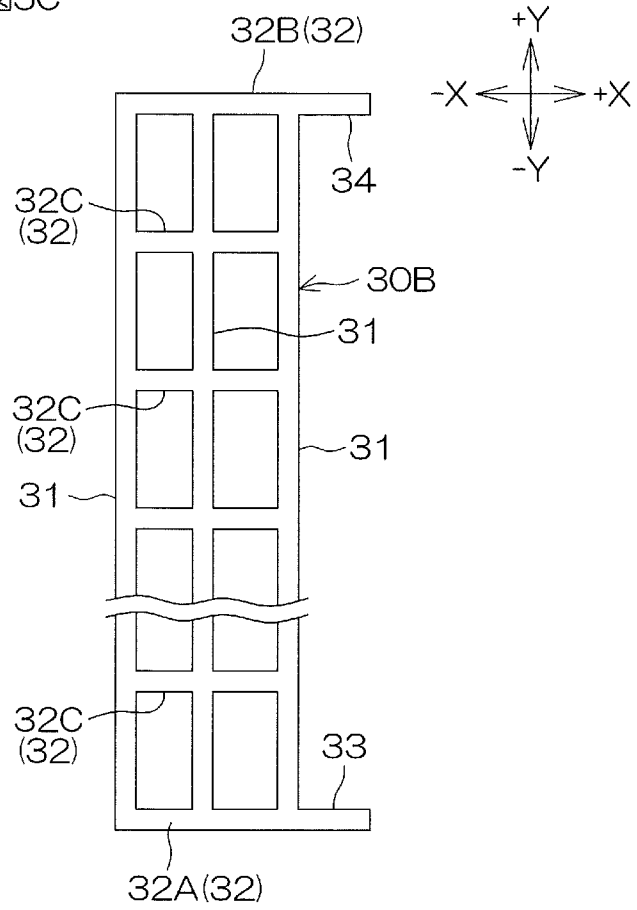


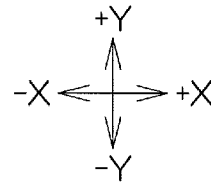
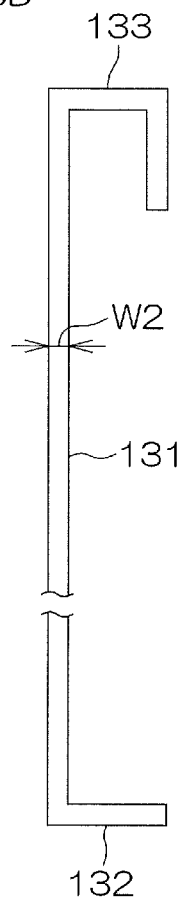
[図5B]



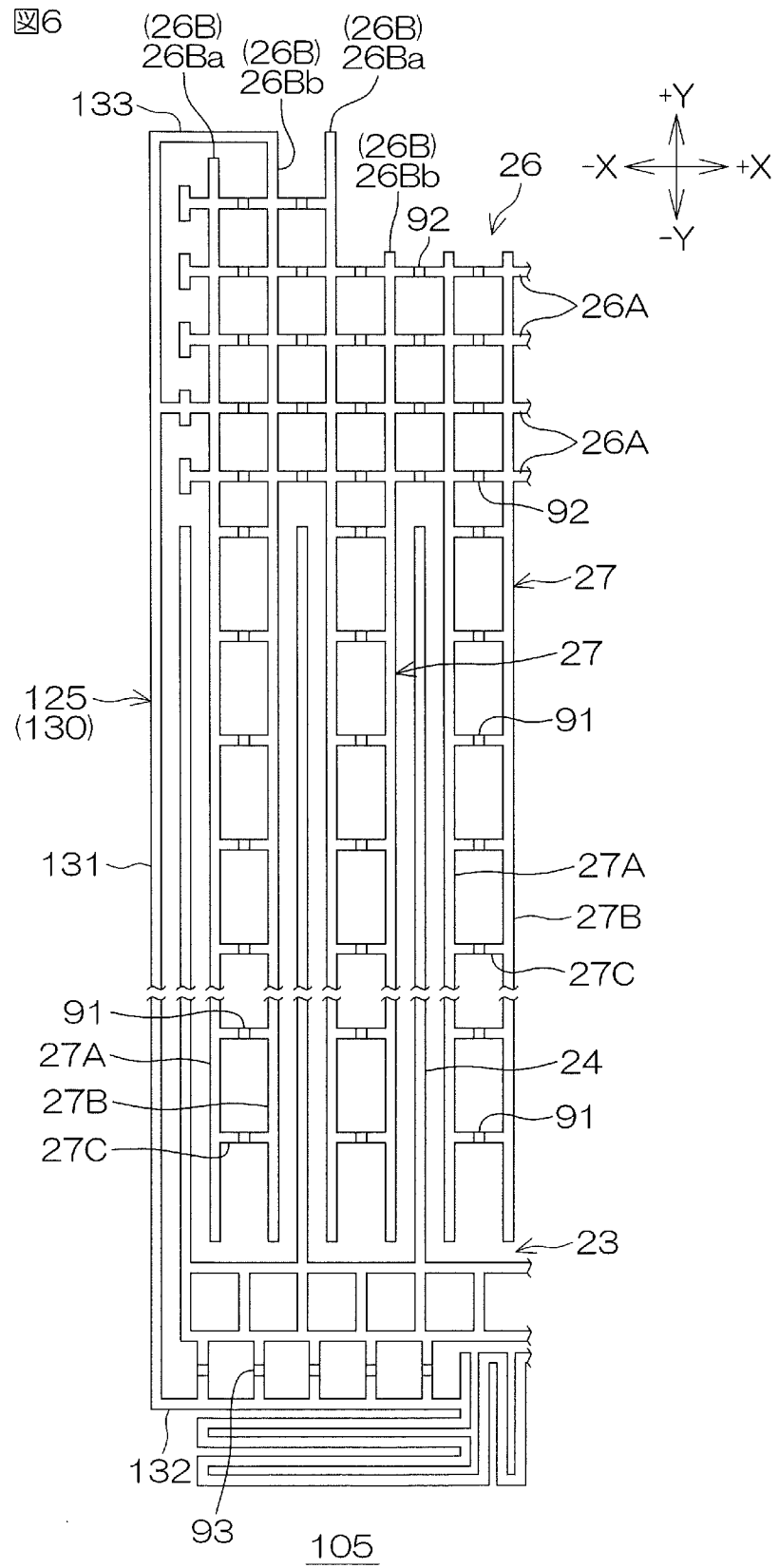
[図5C]

図5C

25B

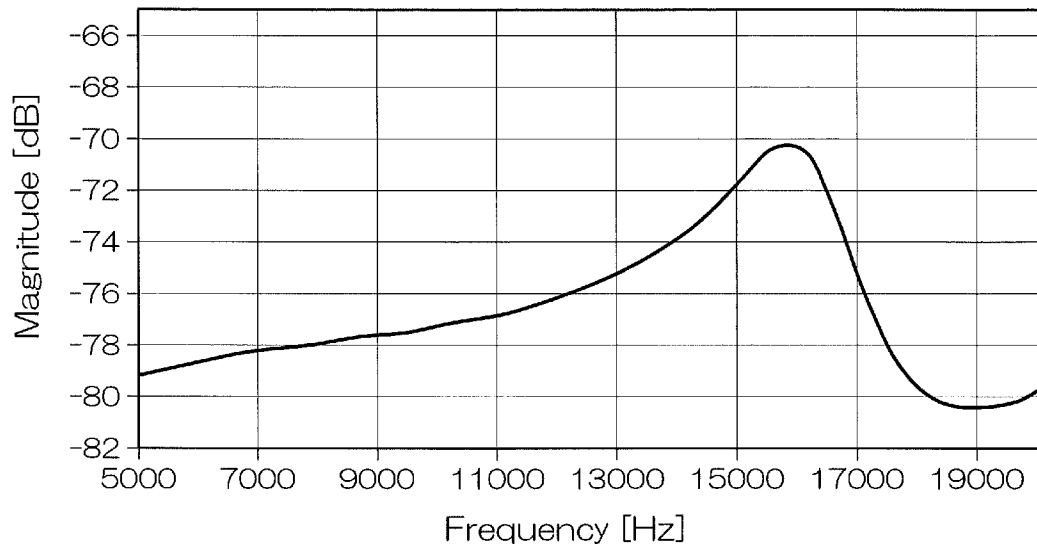
[5D]5D125

[図6]



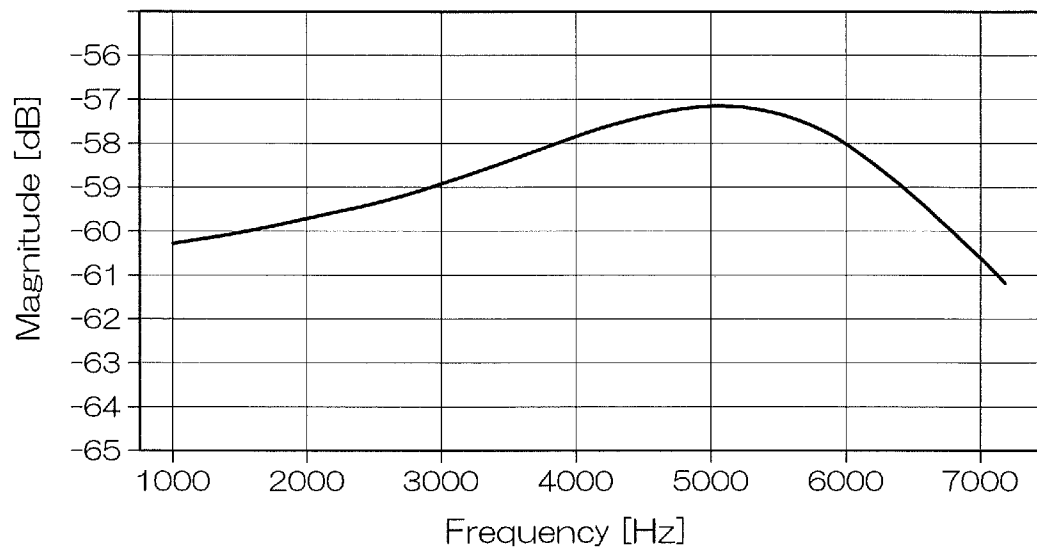
[図7A]

図7A

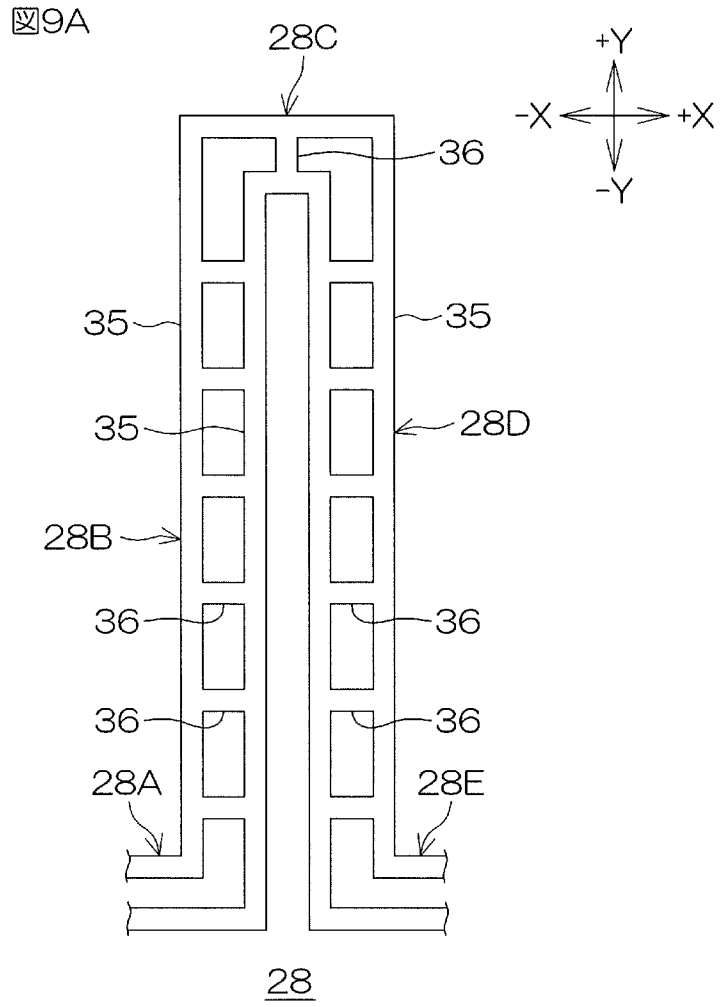


[図7B]

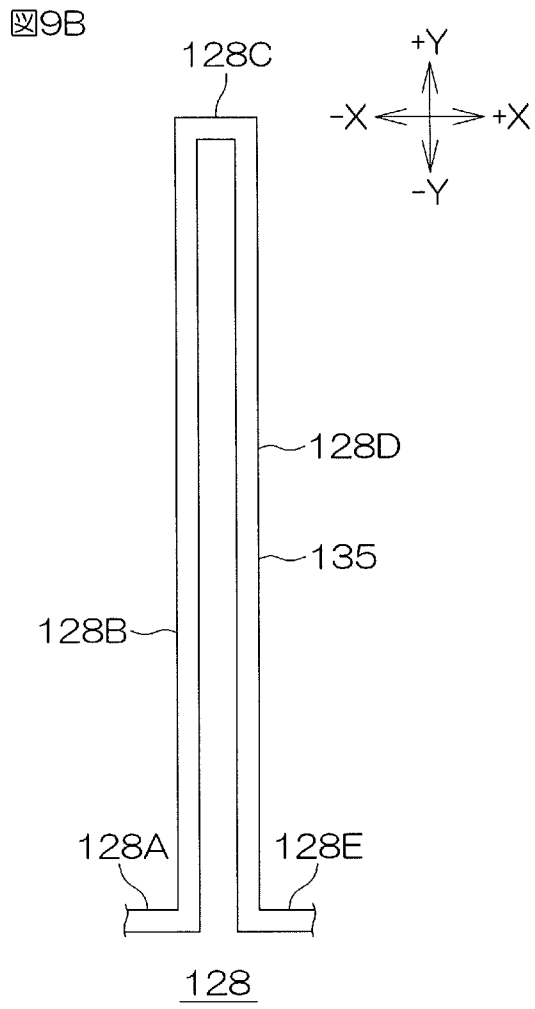
図7B



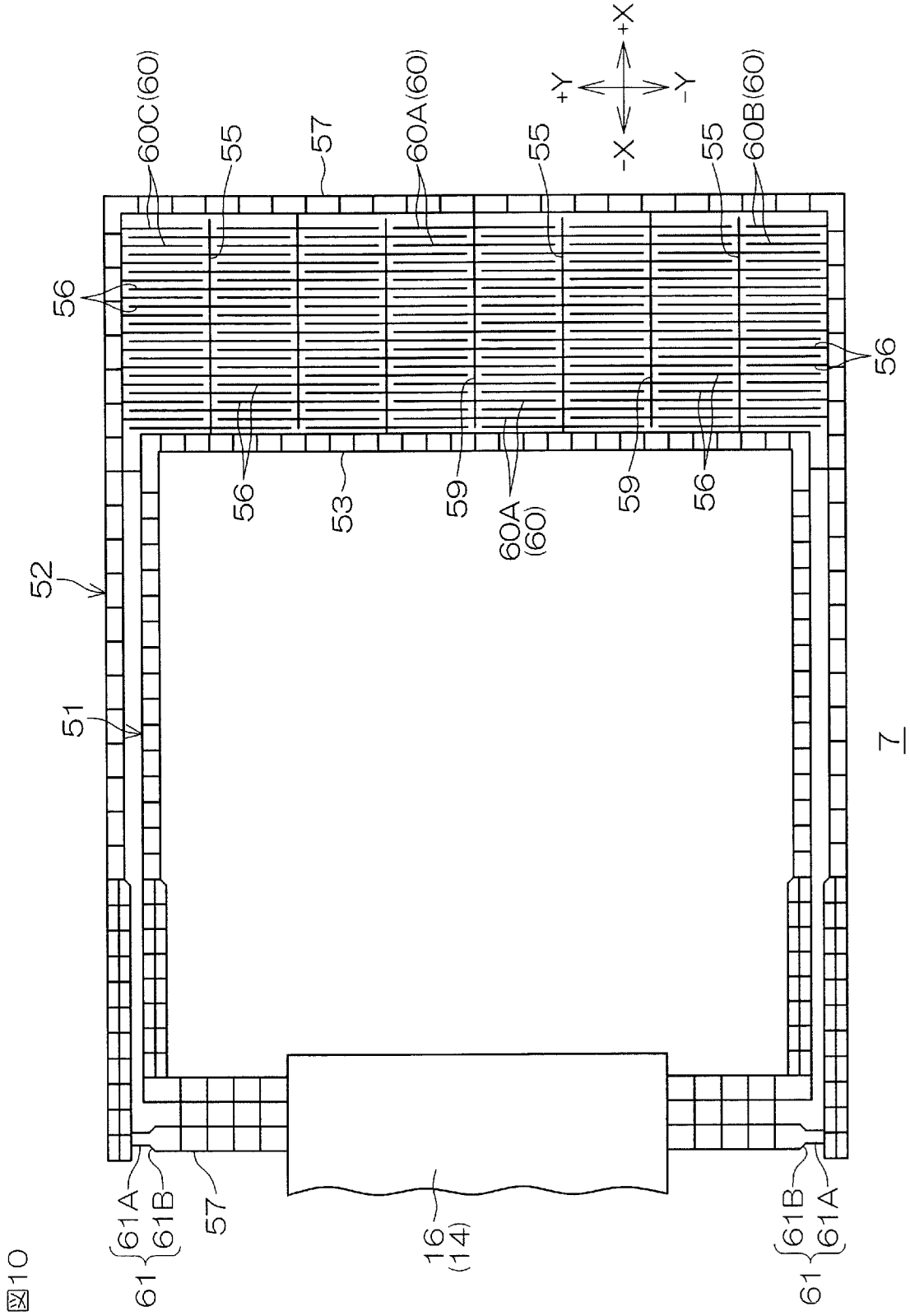
[9A]



[9B]

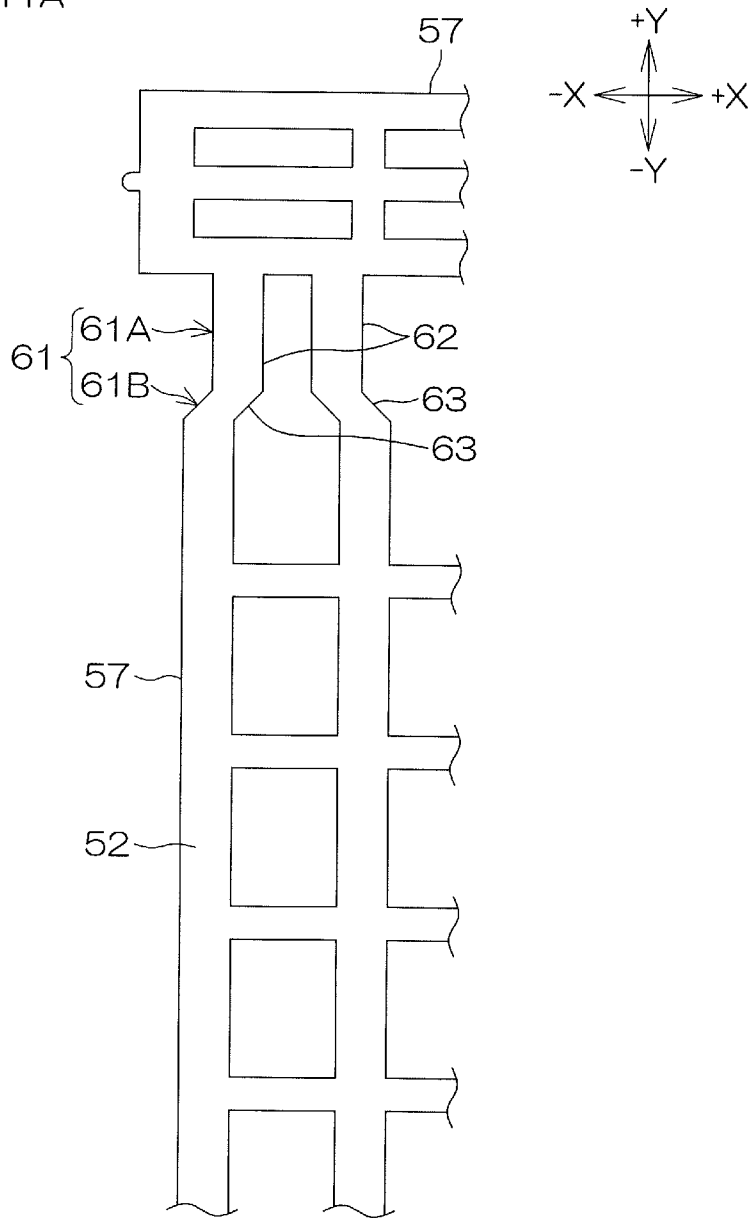



[図10]




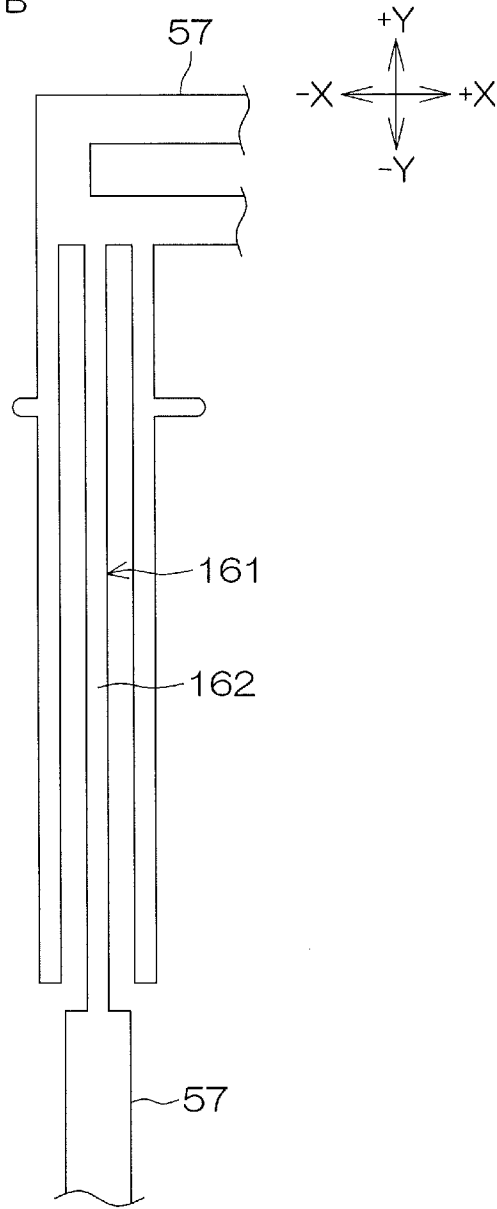
[図11A]

図11A



[11B]

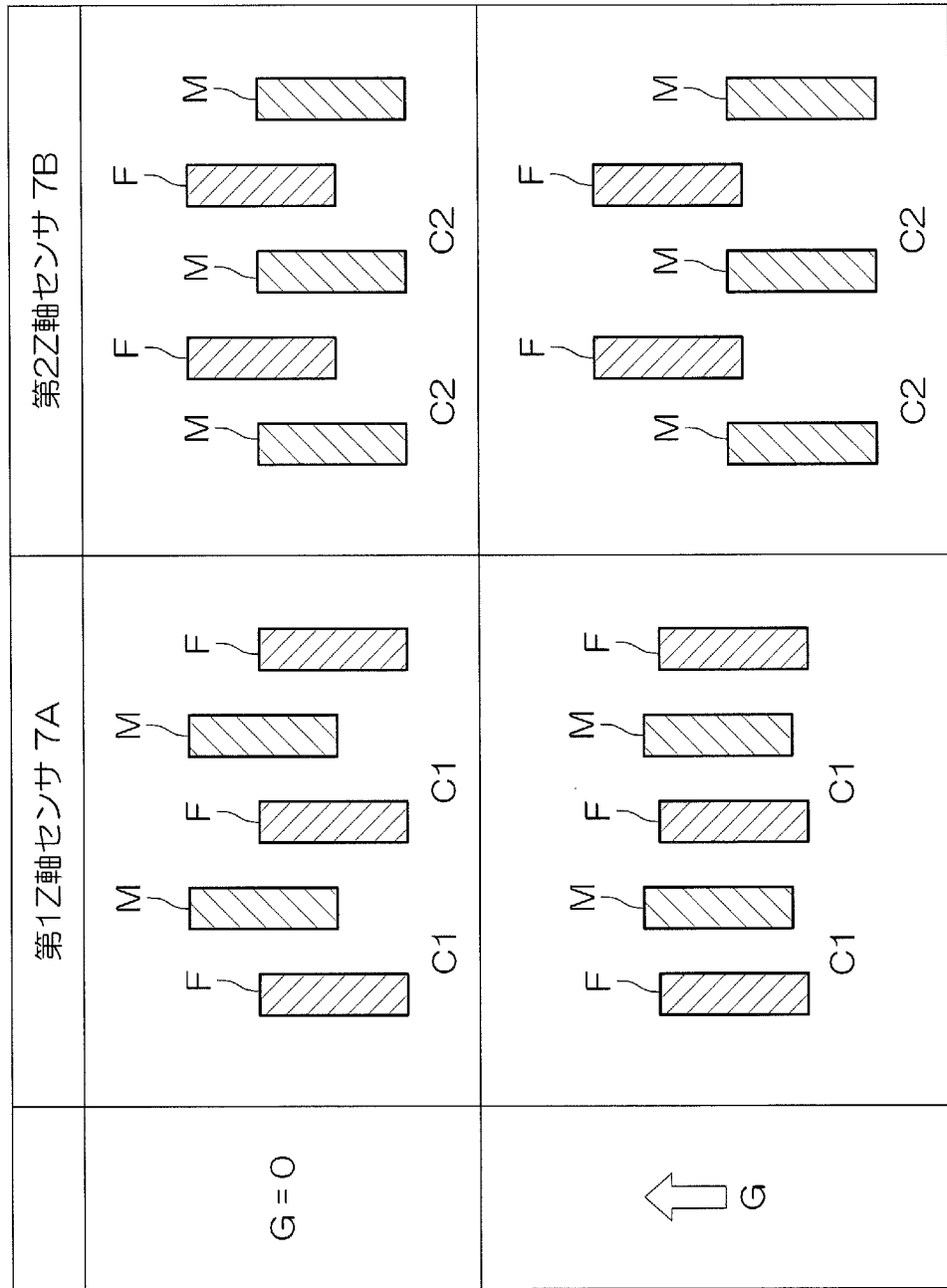
11B



107

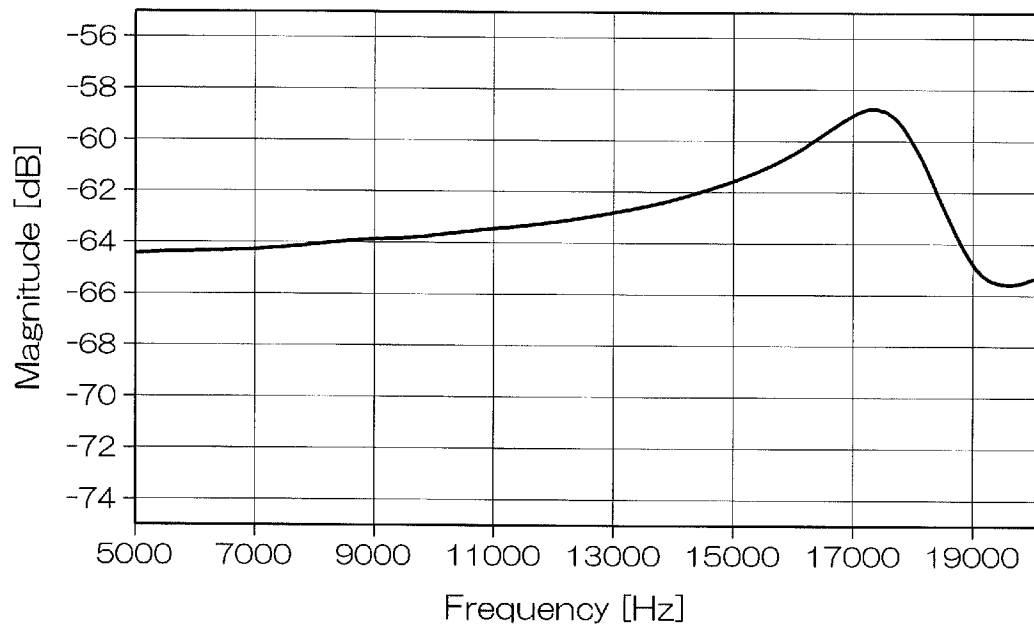
[図12]

図12



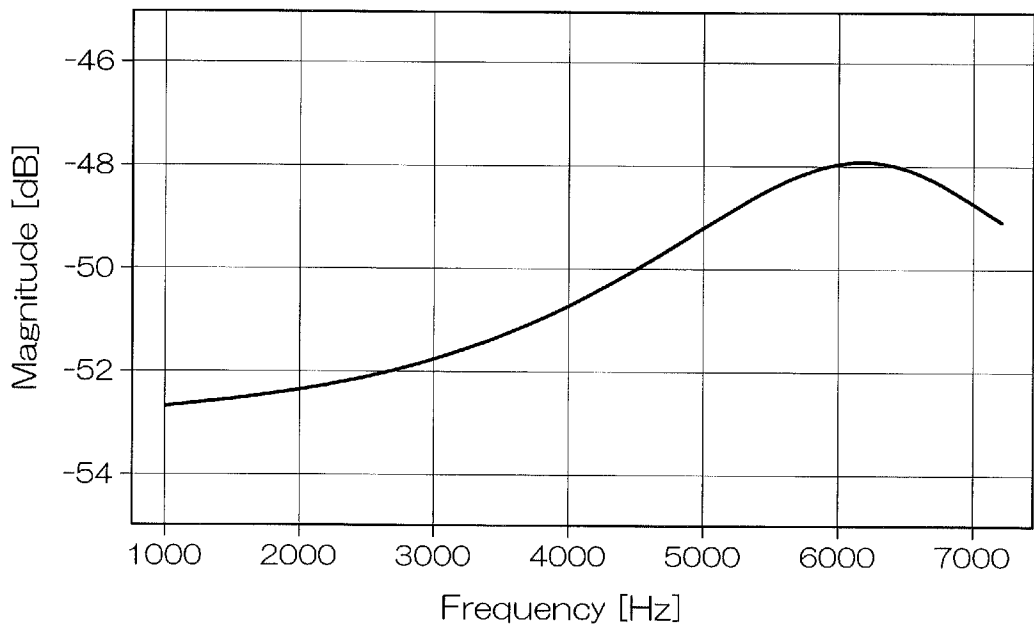
[図13A]

図13A

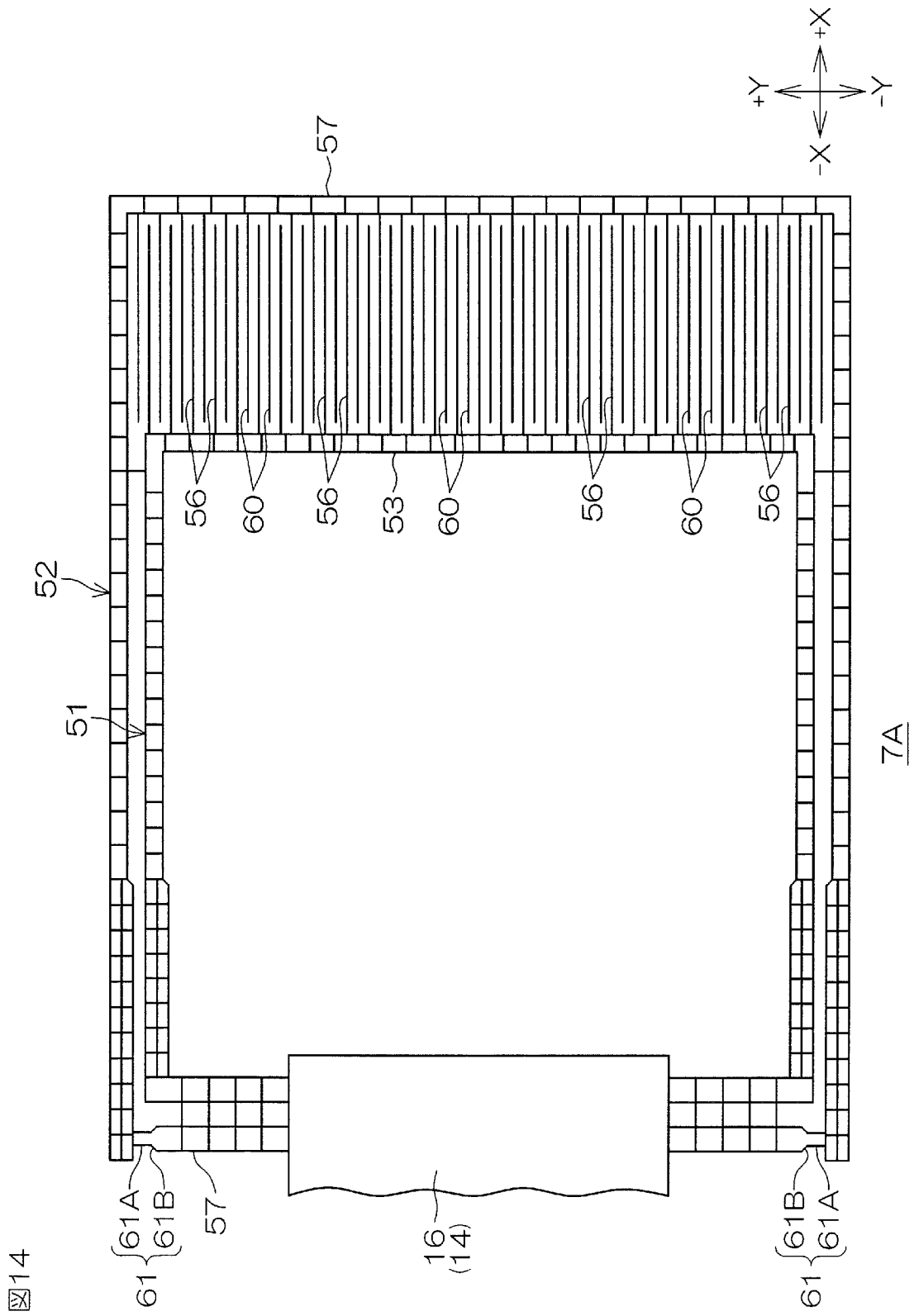


[図13B]

図13B



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/021988

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G01P 15/125</i> (2006.01)i; <i>G01P 15/08</i> (2006.01)i; <i>G01P 15/18</i> (2013.01)i FI: G01P15/125 Z; G01P15/18; G01P15/08 101A		
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) G01P15/00-15/18		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
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.
Y	JP 2019-49434 A (ROHM CO., LTD.) 28 March 2019 (2019-03-28) paragraphs [0026]-[0038], fig. 1-4	1-9
Y	JP 2010-210424 A (PANASONIC ELECTRIC WORKS CO., LTD.) 24 September 2010 (2010-09-24) paragraphs [0016]-[0022], fig. 1-2	1-9
A	JP 2005-527384 A (HEWLETT-PACKARD CO.) 15 September 2005 (2005-09-15) paragraphs [0024]-[0025], fig. 8	3
A	EP 0877255 A1 (TMS TECHNOLOGIES, INC.) 11 November 1998 (1998-11-11) entire text, all drawings	1-14
A	CN 101089625 A (SHANGHAI JIAOTONG UNIV.) 19 December 2007 (2007-12-19) entire text, all drawings	1-14
A	JP 2021-53714 A (SEIKO EPSON CORP.) 08 April 2021 (2021-04-08) entire text, all drawings	1-14
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 02 August 2022		Date of mailing of the international search report 16 August 2022
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/021988

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2019-49434	A	28 March 2019	(Family: none)	
JP	2010-210424	A	24 September 2010	(Family: none)	
JP	2005-527384	A	15 September 2005	AU 2002321901	A
				CN 1564779	A
				EP 1429991	A2
				KR 10-2004-0021690	A
				TW 222425	B
				US 2003/0032215	A1
				paragraphs [0043]-[0044], fig. 8	
				WO 2003/014009	A2
EP	0877255	A1	11 November 1998	(Family: none)	
CN	101089625	A	19 December 2007	(Family: none)	
JP	2021-53714	A	08 April 2021	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01P 15/125(2006.01)i; G01P 15/08(2006.01)i; G01P 15/18(2013.01)i FI: G01P15/125 Z; G01P15/18; G01P15/08 101A		
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）） G01P15/00-15/18 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 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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 請求項の番号
Y	JP 2019-49434 A (ローム株式会社) 28.03.2019 (2019-03-28) [0026]-[0038], 図1-4	1-9
Y	JP 2010-210424 A (パナソニック電工株式会社) 24.09.2010 (2010-09-24) [0016]-[0022], 図1-2	1-9
A	JP 2005-527384 A (ヒューレット・パッカート・カンパニー) 15.09.2005 (2005-09-15) [0024]-[0025], 図8	3
A	EP 0877255 A1 (TMS TECHNOLOGIES, INC.) 11.11.1998 (1998-11-11) 全文, 全図	1-14
A	CN 101089625 A (SHANGHAI JIAOTONG UNIV.) 19.12.2007 (2007-12-19) 全文, 全図	1-14
A	JP 2021-53714 A (セイコーエプソン株式会社) 08.04.2021 (2021-04-08) 全文, 全図	1-14
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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抵触するものではなく、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	02.08.2022	国際調査報告の発送日 16.08.2022
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 岡田 卓弥 2F 9206 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/021988

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2019-49434 A	28.03.2019	(ファミリーなし)	
JP 2010-210424 A	24.09.2010	(ファミリーなし)	
JP 2005-527384 A	15.09.2005	AU 2002321901 A CN 1564779 A EP 1429991 A2 KR 10-2004-0021690 A TW 222425 B US 2003/0032215 A1 [0043]-[0044], FIG. 8 WO 2003/014009 A2	
EP 0877255 A1	11.11.1998	(ファミリーなし)	
CN 101089625 A	19.12.2007	(ファミリーなし)	
JP 2021-53714 A	08.04.2021	(ファミリーなし)	