

(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
2018年4月12日(12.04.2018)



(10) 国際公開番号

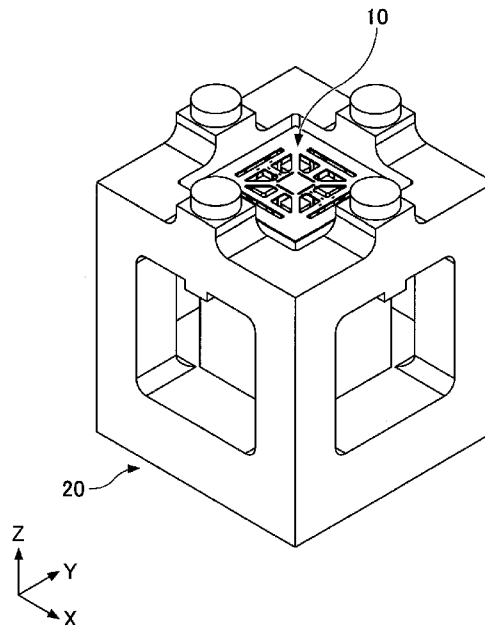
WO 2018/066557 A1

- (51) 国際特許分類:
G01L 5/16 (2006.01) *G01L 1/22* (2006.01) LTD.) [JP/JP]; 〒2068567 東京都多摩市鶴牧
2丁目1番地2 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/035973 (72) 発明者; および
- (22) 国際出願日: 2017年10月3日(03.10.2017) (71) 出願人 (US についてのみ): 山口 真也
(**YAMAGUCHI, Shinya**) [JP/JP]; 〒2068567 東
京都多摩市鶴牧2丁目1番地2 ミツ
ミ電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (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: (74) 代理人: 伊東 忠重, 外(**ITOH, Tadashige** et al.);
特願 2016-199486 2016年10月7日(07.10.2016) JP 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1
特願 2017-086966 2017年4月26日(26.04.2017) JP 番1号 丸の内 M Y P L A Z A (明治安
田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).
- (71) 出願人(US を除く全ての指定国について): ミツ
ミ電機株式会社 (**MITSUMI ELECTRIC CO.,** (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, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) Title: SENSOR CHIP, STRAIN INDUCING BODY, AND FORCE SENSOR DEVICE

(54) 発明の名称: センサチップ、起歪体、力覚センサ装置

[図2]



(57) Abstract: This sensor chip comprises: a base plate; first supporting portions disposed at four corners of the base plate; a second supporting portion disposed at the center of the base plate; first detection beams linking the first supporting portions that are adjacent to one another; second detection beams which are provided between each of the first detection beams and the second supporting portion, parallel to each of the first detection beams; third detection beams which link the first detection beams and the second detection beams in the groups of first detection beams and second detection

[続葉有]



WO 2018/066557 A1

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
 DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
 HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
 KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
 MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, 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,
 SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
 UG, US, UZ, VC, VN, 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))

beams that are provided parallel to one another; and a plurality of strain detecting elements disposed at force application points to which a force is applied, disposed at the points of intersection of the first detection beams and the third detection beams, and at prescribed positions on the first detection beams, the second detection beams and the third detection beams. Displacement in a Z-axis direction, which is the thickness direction of the base plate, is detected on the basis of deformation of at least the third detection beams, and displacement in an X-axis direction and a Y-axis direction orthogonal to the Z-axis direction is detected on the basis of deformation of at least one of either the first detection beams or the second detection beams.

(57) 要約: 基板と、前記基板の四隅に配置された第1の支持部と、前記基板の中央に配置された第2の支持部と、隣接する前記第1の支持部同士を連結する第1の検知用梁と、各々の前記第1の検知用梁と前記第2の支持部との間に、各々の前記第1の検知用梁に平行に設けられた第2の検知用梁と、平行に設けられた前記第1の検知用梁及び前記第2の検知用梁の組において、前記第1の検知用梁と前記第2の検知用梁とを連結する第3の検知用梁と、各々の前記第1の検知用梁と各々の前記第3の検知用梁との交点に配置された、力が印加される力点と、前記第1の検知用梁、前記第2の検知用梁、及び前記第3の検知用梁の所定位置に配置された複数の歪検出素子と、を有するセンサチップであって、前記基板の厚さ方向であるZ軸方向の変位は、少なくとも前記第3の検知用梁の変形に基づいて検知し、前記Z軸方向に直交するX軸方向及びY軸方向の変位は、前記第1の検知用梁又は前記第2の検知用梁の少なくとも一方の変形に基づいて検知する。

明 細 書

発明の名称： センサチップ、起歪体、力覚センサ装置

技術分野

[0001] 本発明は、センサチップ、起歪体、力覚センサ装置に関する。

背景技術

[0002] 従来より、金属からなる起歪体に複数の歪ゲージを貼り付け、外力が印加された際の歪みを電気信号に変換することで多軸の力を検出する力覚センサ装置が知られている。しかし、この力覚センサ装置は、歪ゲージを1枚ずつ手作業によって貼り付ける必要から、精度や生産性に問題があり、構造上小型化することが困難であった。

[0003] 一方、歪ゲージを歪み検出用のMEMSのセンサチップに置き換えることで、貼り合わせ精度の問題を解消し、かつ小型化を実現する力覚センサ装置が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第4011345号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、上記の力覚センサ装置では、センサチップの複数の歪み素子からの出力を演算（信号処理）して6軸出力を得る必要があり、簡易な方法で多軸出力を得ることができなかった。

[0006] 本発明は、上記の点に鑑みてなされたもので、簡易な方法で多軸の変位を検知して出力可能なセンサチップを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本センサチップ（10）は、力点に印加された力または変位の向きに応じた、所定の梁に配置された複数の歪検出素子の出力の変化に基づいて、所定の軸方向の変位を最大で6軸検知するセンサチップであって、基板と、前記

基板の四隅に配置された第1の支持部（11a～11d）と、前記基板の中央に配置された第2の支持部（11e）と、隣接する前記第1の支持部（11a～11d）同士を連結する第1の検知用梁（13a、13d、13g、13j）と、各々の前記第1の検知用梁（13a、13d、13g、13j）と前記第2の支持部（11e）との間に、各々の前記第1の検知用梁（13a、13d、13g、13j）に平行に設けられた第2の検知用梁（13b、13e、13h、13k）と、平行に設けられた前記第1の検知用梁（13a、13d、13g、13j）及び前記第2の検知用梁（13b、13e、13h、13k）の組において、前記第1の検知用梁（13a、13d、13g、13j）と前記第2の検知用梁（13b、13e、13h、13k）とを連結する第3の検知用梁（13c、13f、13i、13l）と、各々の前記第1の検知用梁（13a、13d、13g、13j）と各々の前記第3の検知用梁（13c、13f、13i、13l）との交点に配置された、力が印加される力点（14a～14d）と、前記第1の検知用梁（13a、13d、13g、13j）、前記第2の検知用梁（13b、13e、13h、13k）、及び前記第3の検知用梁（13f、13l）の所定位置に配置された複数の歪検出素子（ $M \times R 1 \sim M \times R 4$ 、 $My R 1 \sim My R 4$ 、 $Mz R 1 \sim Mz R 4$ 、 $Fx R 1 \sim Fx R 4$ 、 $Fy R 1 \sim Fy R 4$ 、 $Fz R 1 \sim Fz R 4$ ）と、を有し、前記基板の厚さ方向であるZ軸方向の変位は、少なくとも前記第3の検知用梁（13f、13l）の変形に基づいて検知し、前記Z軸方向に直交するX軸方向及びY軸方向の変位は、前記第1の検知用梁（13a、13d、13g、13j）又は前記第2の検知用梁（13b、13e、13h、13k）の少なくとも一方の変形に基づいて検知することを要件とする。

[0008] なお、上記括弧内の参照符号は、理解を容易にするために付したものであり、一例にすぎず、図示の態様に限定されるものではない。

発明の効果

[0009] 開示の技術によれば、簡易な方法で多軸の変位を検知して出力可能なセン

サチップを提供できる。

図面の簡単な説明

- [0010] [図1]第1の実施の形態に係る力覚センサ装置を例示する斜視図である。
- [図2]第1の実施の形態に係る力覚センサ装置のセンサチップ及び起歪体を例示する斜視図である。
- [図3A]センサチップ10をZ軸方向上側から見た図(その1)である。
- [図3B]センサチップ10をZ軸方向上側から見た図(その2)である。
- [図4A]センサチップ10をZ軸方向下側から見た図(その1)である。
- [図4B]センサチップ10をZ軸方向下側から見た図(その2)である。
- [図5]各軸にかかる力及びモーメントを示す符号を説明する図である。
- [図6]センサチップ10のピエゾ抵抗素子の配置を例示する図である。
- [図7]センサチップ10における電極配置と配線を例示する図である。
- [図8]センサチップ10の温度センサを例示する拡大平面図である。
- [図9]起歪体20を例示する斜視図である。
- [図10A]起歪体20を例示する図(その1)である。
- [図10B]起歪体20を例示する図(その2)である。
- [図11A]力覚センサ装置1の製造工程を例示する図(その1)である。
- [図11B]力覚センサ装置1の製造工程を例示する図(その2)である。
- [図12A]力覚センサ装置1の製造工程を例示する図(その3)である。
- [図12B]力覚センサ装置1の製造工程を例示する図(その4)である。
- [図13A]力覚センサ装置1の製造工程を例示する図(その5)である。
- [図13B]力覚センサ装置1の製造工程を例示する図(その6)である。
- [図14]起歪体に力及びモーメントを印加した際の変形(歪)についてのシミュレーション結果(その1)である。
- [図15]起歪体に力及びモーメントを印加した際の変形(歪)についてのシミュレーション結果(その2)である。
- [図16A]図14及び図15の力及びモーメントを印加した際にセンサチップ10に発生する応力についてのシミュレーション結果(その1)である。

[図16B]図14及び図15の力及びモーメントを印加した際にセンサチップ10に発生する応力についてのシミュレーション結果（その2）である。

[図17A]図14及び図15の力及びモーメントを印加した際にセンサチップ10に発生する応力についてのシミュレーション結果（その3）である。

[図17B]図14及び図15の力及びモーメントを印加した際にセンサチップ10に発生する応力についてのシミュレーション結果（その4）である。

[図18A]図14及び図15の力及びモーメントを印加した際にセンサチップ10に発生する応力についてのシミュレーション結果（その5）である。

[図18B]図14及び図15の力及びモーメントを印加した際にセンサチップ10に発生する応力についてのシミュレーション結果（その6）である。

[図19]第1の実施の形態の変形例1に係る力覚センサ装置を例示する斜視図である。

[図20A]第1の実施の形態の変形例1に係る力覚センサ装置を例示する図（その1）である。

[図20B]第1の実施の形態の変形例1に係る力覚センサ装置を例示する図（その2）である。

[図21A]センサチップ50をZ軸方向上側から見た図（その1）である。

[図21B]センサチップ50をZ軸方向上側から見た図（その2）である。

[図22]センサチップ50のpiezo抵抗素子の配置を例示する図である。

[図23A]第1の実施の形態の変形例3に係る力覚センサ装置を例示する斜視図（その1）である。

[図23B]第1の実施の形態の変形例3に係る力覚センサ装置を例示する斜視図（その2）である。

[図23C]第1の実施の形態の変形例3に係る力覚センサ装置を例示する斜視図（その3）である。

[図24A]第1の実施の形態の変形例4に係る力覚センサ装置を例示する斜視図（その1）である。

[図24B]第1の実施の形態の変形例4に係る力覚センサ装置を例示する斜視図

(その2)である。

[図25A]センサチップ110をZ軸方向上側から見た図(その1)である。

[図25B]センサチップ110をZ軸方向上側から見た図(その2)である。

[図26A]センサチップ110をZ軸方向下側から見た図(その1)である。

[図26B]センサチップ110をZ軸方向下側から見た図(その2)である。

[図27]センサチップ110のpiezo抵抗素子の配置を例示する図である。

[図28A]センサチップ110における耐荷重の改善について説明する図(その1)である。

[図28B]センサチップ110における耐荷重の改善について説明する図(その2)である。

[図29]センサチップ110における耐荷重の改善について説明する図(その3)である。

[図30A]センサチップ110における耐荷重の改善について説明する図(その4)である。

[図30B]センサチップ110における耐荷重の改善について説明する図(その5)である。

[図31]センサチップ110における耐荷重の改善について説明する図(その6)である。

[図32A]センサチップ110における感度の向上について説明する図(その1)である。

[図32B]センサチップ110における感度の向上について説明する図(その2)である。

[図32C]センサチップ110における感度の向上について説明する図(その3)である。

[図33]センサチップ110における他軸特性の改善について説明する図(その1)である。

[図34A]センサチップ110における他軸特性の改善について説明する図(その2)である。

[図34B]センサチップ110における他軸特性の改善について説明する図（その3）である。

[図35A]力及びモーメントを印加した際にセンサチップ110に発生する応力についてのシミュレーション結果（その1）である。

[図35B]力及びモーメントを印加した際にセンサチップ110に発生する応力についてのシミュレーション結果（その2）である。

[図36A]力及びモーメントを印加した際にセンサチップ110に発生する応力についてのシミュレーション結果（その3）である。

[図36B]力及びモーメントを印加した際にセンサチップ110に発生する応力についてのシミュレーション結果（その4）である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照して発明を実施するための形態について説明する。各図面において、同一構成部分には同一符号を付し、重複した説明を省略する場合がある。

[0012] <第1の実施の形態>

（力覚センサ装置1の概略構成）

図1は、第1の実施の形態に係る力覚センサ装置を例示する斜視図である。図2は、第1の実施の形態に係る力覚センサ装置のセンサチップ及び起歪体を例示する斜視図である。図1及び図2を参照するに、力覚センサ装置1は、センサチップ10と、起歪体20と、入出力基板30とを有している。力覚センサ装置1は、例えば、工作機械等に使用されるロボットの腕や指等に搭載される多軸の力覚センサ装置である。

[0013] センサチップ10は、起歪体20の上面側に、起歪体20から突出しないように接着されている。又、起歪体20の上面及び側面に、センサチップ10に対して信号の入出力を行う入出力基板30の一端側が接着されている。センサチップ10と入出力基板30の各電極31とは、ボンディングワイヤ等（図示せず）により、電氣的に接続されている。入出力基板30の他端側には、力覚センサ装置1と接続される制御装置等との電氣的な入出力が可能

な端子（図示せず）が配列されている。

[0014] なお、本実施の形態では、便宜上、力覚センサ装置 1 において、起歪体 20 の入出力基板 30 が設けられた側を上側又は一方の側、その反対側を下側又は他方の側とする。又、各部位の起歪体 20 の入出力基板 30 が設けられた側の面を一方の面又は上面、その反対側の面を他方の面又は下面とする。但し、力覚センサ装置 1 は天地逆の状態を用いることができ、又は任意の角度で配置することができる。又、平面視とは対象物をセンサチップ 10 の上面の法線方向（Z 軸方向）から視ることを指し、平面形状とは対象物をセンサチップ 10 の上面の法線方向（Z 軸方向）から視た形状を指すものとする。

[0015] （センサチップ 10）

図 3 A は、センサチップ 10 を Z 軸方向上側から視た斜視図であり、図 3 B は、センサチップ 10 を Z 軸方向上側から視た平面図である。図 4 A は、センサチップ 10 を Z 軸方向下側から視た斜視図であり、図 4 B は、センサチップ 10 を Z 軸方向下側から視た底面図である。図 4 B において、便宜上、同一高さの面を同一の梨地模様で示している。なお、センサチップ 10 の上面の一辺に平行な方向を X 軸方向、垂直な方向を Y 軸方向、センサチップ 10 の厚さ方向（センサチップ 10 の上面の法線方向）を Z 軸方向としている。X 軸方向、Y 軸方向、及び Z 軸方向は、互いに直交している。

[0016] 図 3 A、図 3 B、図 4 A、及び図 4 B に示すセンサチップ 10 は、1 チップで最大 6 軸を検知できる MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）センサチップであり、SOI（Silicon On Insulator）基板等の半導体基板から形成されている。センサチップ 10 の平面形状は、例えば、 $3000\ \mu\text{m}$ 角程度の正方形とすることができる。

[0017] センサチップ 10 は、柱状の 5 つの支持部 11 a ~ 11 e を備えている。支持部 11 a ~ 11 e の平面形状は、例えば、 $500\ \mu\text{m}$ 角程度の正方形とすることができる。第 1 の支持部である支持部 11 a ~ 11 d は、センサチップ 10 の四隅に配置されている。第 2 の支持部である支持部 11 e は、支

持部 1 1 a ~ 1 1 d の中央に配置されている。

[0018] 支持部 1 1 a ~ 1 1 e は、例えば、SOI 基板の活性層、BOX 層、及び支持層から形成することができ、それぞれの厚さは、例えば、500 μ m 程度とすることができる。

[0019] 支持部 1 1 a と支持部 1 1 b との間には、支持部 1 1 a と支持部 1 1 b とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、構造を補強するための補強用梁 1 2 a が設けられている。支持部 1 1 b と支持部 1 1 c との間には、支持部 1 1 b と支持部 1 1 c とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、構造を補強するための補強用梁 1 2 b が設けられている。

[0020] 支持部 1 1 c と支持部 1 1 d との間には、支持部 1 1 c と支持部 1 1 d とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、構造を補強するための補強用梁 1 2 c が設けられている。支持部 1 1 d と支持部 1 1 a との間には、支持部 1 1 d と支持部 1 1 a とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、構造を補強するための補強用梁 1 2 d が設けられている。

[0021] 言い換えれば、第 1 の補強用梁である 4 つの補強用梁 1 2 a、1 2 b、1 2 c、及び 1 2 d が枠状に形成され、各補強用梁の交点をなす角部が、支持部 1 1 b、1 1 c、1 1 d、1 1 a となる。

[0022] 支持部 1 1 a の内側の角部と、それに対向する支持部 1 1 e の角部とは、構造を補強するための補強用梁 1 2 e により連結されている。支持部 1 1 b の内側の角部と、それに対向する支持部 1 1 e の角部とは、構造を補強するための補強用梁 1 2 f により連結されている。

[0023] 支持部 1 1 c の内側の角部と、それに対向する支持部 1 1 e の角部とは、構造を補強するための補強用梁 1 2 g により連結されている。支持部 1 1 d の内側の角部と、それに対向する支持部 1 1 e の角部とは、構造を補強するための補強用梁 1 2 h により連結されている。第 2 の補強用梁である補強用梁 1 2 e ~ 1 2 h は、X 軸方向（Y 軸方向）に対して斜めに配置されている。

。つまり、補強用梁12e~12hは、補強用梁12a、12b、12c、及び12dと非平行に配置されている。

[0024] 補強用梁12a~12hは、例えば、SOI基板の活性層、BOX層、及び支持層から形成することができる。補強用梁12a~12hの太さ（短手方向の幅）は、例えば、140 μ m程度とすることができる。補強用梁12a~12hのそれぞれの上面は、支持部11a~11eの上面と略面一である。

[0025] これに対して、補強用梁12a~12hのそれぞれの下面は、支持部11a~11eの下面及び力点14a~14dの下面よりも数10 μ m程度上面側に窪んでいる。これは、センサチップ10を起歪体20に接着したときに、補強用梁12a~12hの下面が起歪体20の対向する面と接しないようにするためである。

[0026] このように、歪を検知するための検知用梁とは別に、検知用梁よりも厚く形成した剛性の強い補強用梁を配置することで、センサチップ10全体の剛性を高めることができる。これにより、入力に対して検知用梁以外が変形しづらくなるため、良好なセンサ特性を得ることができる。

[0027] 支持部11aと支持部11bとの間の補強用梁12aの内側には、補強用梁12aと所定間隔を空けて平行に、支持部11aと支持部11bとに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、歪を検知するための検知用梁13aが設けられている。

[0028] 検知用梁13aと支持部11eとの間には、検知用梁13a及び支持部11eと所定間隔を空けて検知用梁13aと平行に、検知用梁13bが設けられている。検知用梁13bは、補強用梁12eの支持部11e側の端部と補強用梁12fの支持部11e側の端部とを連結している。

[0029] 検知用梁13aの長手方向の略中央部と、それに対向する検知用梁13bの長手方向の略中央部とは、検知用梁13a及び検知用梁13bと直交するように配置された、歪を検知するための検知用梁13cにより連結されている。

- [0030] 支持部 1 1 b と支持部 1 1 c との間の補強用梁 1 2 b の内側には、補強用梁 1 2 b と所定間隔を空けて平行に、支持部 1 1 b と支持部 1 1 c とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、歪を検知するための検知用梁 1 3 d が設けられている。
- [0031] 検知用梁 1 3 d と支持部 1 1 e との間には、検知用梁 1 3 d 及び支持部 1 1 e と所定間隔を空けて検知用梁 1 3 d と平行に、検知用梁 1 3 e が設けられている。検知用梁 1 3 e は、補強用梁 1 2 f の支持部 1 1 e 側の端部と補強用梁 1 2 g の支持部 1 1 e 側の端部とを連結している。
- [0032] 検知用梁 1 3 d の長手方向の略中央部と、それに対向する検知用梁 1 3 e の長手方向の略中央部とは、検知用梁 1 3 d 及び検知用梁 1 3 e と直交するように配置された、歪を検知するための検知用梁 1 3 f により連結されている。
- [0033] 支持部 1 1 c と支持部 1 1 d との間の補強用梁 1 2 c の内側には、補強用梁 1 2 c と所定間隔を空けて平行に、支持部 1 1 c と支持部 1 1 d とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、歪を検知するための検知用梁 1 3 g が設けられている。
- [0034] 検知用梁 1 3 g と支持部 1 1 e との間には、検知用梁 1 3 g 及び支持部 1 1 e と所定間隔を空けて検知用梁 1 3 g と平行に、検知用梁 1 3 h が設けられている。検知用梁 1 3 h は、補強用梁 1 2 g の支持部 1 1 e 側の端部と補強用梁 1 2 h の支持部 1 1 e 側の端部とを連結している。
- [0035] 検知用梁 1 3 g の長手方向の略中央部と、それに対向する検知用梁 1 3 h の長手方向の略中央部とは、検知用梁 1 3 g 及び検知用梁 1 3 h と直交するように配置された、歪を検知するための検知用梁 1 3 i により連結されている。
- [0036] 支持部 1 1 d と支持部 1 1 a との間の補強用梁 1 2 d の内側には、補強用梁 1 2 d と所定間隔を空けて平行に、支持部 1 1 d と支持部 1 1 a とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、歪を検知するための検知用梁 1 3 j が設けられている。

- [0037] 検知用梁 1 3 j と支持部 1 1 e との間には、検知用梁 1 3 j 及び支持部 1 1 e と所定間隔を空けて検知用梁 1 3 j と平行に、検知用梁 1 3 k が設けられている。検知用梁 1 3 k は、補強用梁 1 2 h の支持部 1 1 e 側の端部と補強用梁 1 2 e の支持部 1 1 e 側の端部とを連結している。
- [0038] 検知用梁 1 3 j の長手方向の略中央部と、それに対向する検知用梁 1 3 k の長手方向の略中央部とは、検知用梁 1 3 j 及び検知用梁 1 3 k と直交するように配置された、歪を検知するための検知用梁 1 3 l により連結されている。
- [0039] 検知用梁 1 3 a ~ 1 3 l は、支持部 1 1 a ~ 1 1 e の厚さ方向の上端側に設けられ、例えば、SOI 基板の活性層から形成することができる。検知用梁 1 3 a ~ 1 3 l の太さ（短手方向の幅）は、例えば、75 μm 程度とすることができる。検知用梁 1 3 a ~ 1 3 l のそれぞれの上面は、支持部 1 1 a ~ 1 1 e の上面と略面一である。検知用梁 1 3 a ~ 1 3 l のそれぞれの厚さは、例えば、50 μm 程度とすることができる。
- [0040] 検知用梁 1 3 a の長手方向の中央部の下面側（検知用梁 1 3 a と検知用梁 1 3 c との交点）には、力点 1 4 a が設けられている。検知用梁 1 3 a、1 3 b、及び 1 3 c と力点 1 4 a とにより、1 組の検知ブロックをなしている。
- [0041] 検知用梁 1 3 d の長手方向の中央部の下面側（検知用梁 1 3 d と検知用梁 1 3 f との交点）には、力点 1 4 b が設けられている。検知用梁 1 3 d、1 3 e、及び 1 3 f と力点 1 4 b とにより、1 組の検知ブロックをなしている。
- [0042] 検知用梁 1 3 g の長手方向の中央部の下面側（検知用梁 1 3 g と検知用梁 1 3 i との交点）には、力点 1 4 c が設けられている。検知用梁 1 3 g、1 3 h、及び 1 3 i と力点 1 4 c とにより、1 組の検知ブロックをなしている。
- [0043] 検知用梁 1 3 j の長手方向の中央部の下面側（検知用梁 1 3 j と検知用梁 1 3 l との交点）には、力点 1 4 d が設けられている。検知用梁 1 3 j、1

3 k、及び1 3 lと力点1 4 dとにより、1組の検知ブロックをなしている。

[0044] 力点1 4 a～1 4 dは、外力が印加される箇所であり、例えば、S O I基板のBOX層及び支持層から形成することができる。力点1 4 a～1 4 dのそれぞれの下面は、支持部1 1 a～1 1 eの下面と略面一である。

[0045] このように、力または変位を4つの力点1 4 a～1 4 dから取り入れることで、力の種類毎に異なる梁の変形が得られるため、6軸の分離性が良いセンサを実現することができる。

[0046] なお、センサチップ1 0において、応力集中を抑制する観点から、内角を形成する部分はR状とすることが好ましい。

[0047] 図5は、各軸にかかる力及びモーメントを示す符号を説明する図である。図5に示すように、X軸方向の力を F_x 、Y軸方向の力を F_y 、Z軸方向の力を F_z とする。又、X軸を軸として回転させるモーメントを M_x 、Y軸を軸として回転させるモーメントを M_y 、Z軸を軸として回転させるモーメントを M_z とする。

[0048] 図6は、センサチップ1 0の piezo抵抗素子の配置を例示する図である。4つ力点1 4 a～1 4 dに対応する各検知ブロックの所定位置には、piezo抵抗素子が配置されている。

[0049] 具体的には、図3 A、図3 B、及び図6を参照すると、力点1 4 aに対応する検知ブロックにおいて、piezo抵抗素子 $M_x R_3$ 及び $M_x R_4$ は、検知用梁1 3 aを長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁1 3 cを長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、piezo抵抗素子 $F_y R_3$ 及び $F_y R_4$ は、検知用梁1 3 bを長手方向に二等分する線よりも検知用梁1 3 a側であって、かつ、検知用梁1 3 cを長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0050] 又、力点1 4 bに対応する検知ブロックにおいて、piezo抵抗素子 $M_y R_3$ 及び $M_y R_4$ は、検知用梁1 3 dを長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁1 3 fを長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置

されている。又、ピエゾ抵抗素子 $F \times R 3$ 及び $F \times R 4$ は、検知用梁 1 3 e を長手方向に二等分する線よりも検知用梁 1 3 d 側であって、かつ、検知用梁 1 3 f を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0051] 又、 $M z R 3$ 及び $M z R 4$ は、検知用梁 1 3 f を短手方向に二等分する線よりも検知用梁 1 3 e 側であって、かつ、検知用梁 1 3 f を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、 $F z R 3$ 及び $F z R 4$ は、検知用梁 1 3 f を長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁 1 3 f を短手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0052] 又、力点 1 4 c に対応する検知ブロックにおいて、ピエゾ抵抗素子 $M \times R 1$ 及び $M \times R 2$ は、検知用梁 1 3 g を長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁 1 3 i を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、ピエゾ抵抗素子 $F y R 1$ 及び $F y R 2$ は、検知用梁 1 3 h を長手方向に二等分する線よりも検知用梁 1 3 g 側であって、かつ、検知用梁 1 3 i を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0053] 又、力点 1 4 d に対応する検知ブロックにおいて、ピエゾ抵抗素子 $M y R 1$ 及び $M y R 2$ は、検知用梁 1 3 j を長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁 1 3 l を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、ピエゾ抵抗素子 $F \times R 1$ 及び $F \times R 2$ は、検知用梁 1 3 k を長手方向に二等分する線よりも検知用梁 1 3 j 側であって、かつ、検知用梁 1 3 l を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0054] 又、 $M z R 1$ 及び $M z R 2$ は、検知用梁 1 3 l を短手方向に二等分する線よりも検知用梁 1 3 k 側であって、かつ、検知用梁 1 3 l を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、 $F z R 1$ 及び $F z R 2$ は、検知用梁 1 3 l を長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁 1 3 l を短手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0055] ここで、ピエゾ抵抗素子 $F \times R 1 \sim F \times R 4$ は力 $F x$ を検出し、ピエゾ抵抗素子 $F y R 1 \sim F y R 4$ は力 $F y$ を検出し、ピエゾ抵抗素子 $F z R 1 \sim F z R 4$ は力 $F z$ を検出する。又、ピエゾ抵抗素子 $M \times R 1 \sim M \times R 4$ はモー

メント M_x を検出し、ピエゾ抵抗素子 $M_y R_1 \sim M_y R_4$ はモーメント M_y を検出し、ピエゾ抵抗素子 $M_z R_1 \sim M_z R_4$ はモーメント M_z を検出する。

[0056] このように、センサチップ10では、各検知ブロックに複数のピエゾ抵抗素子を分けて配置している。これにより、力点14a~14dに印加（伝達）された力または変位の向き（軸方向）に応じた、所定の梁に配置された複数のピエゾ抵抗素子の出力の変化に基づいて、所定の軸方向の変位を最大で6軸検知することができる。

[0057] 具体的には、センサチップ10において、Z軸方向の変位（ M_x 、 M_y 、 F_z ）は、所定の検知用梁の変形に基づいて検知することができる。すなわち、X軸方向及びY軸方向のモーメント（ M_x 、 M_y ）は、第1の検知用梁である検知用梁13a、13d、13g、及び13jの変形に基づいて検知することができる。又、Z軸方向の力（ F_z ）は、第3の検知用梁である検知用梁13f及び13lの変形に基づいて検知することができる。

[0058] 又、センサチップ10において、X軸方向及びY軸方向の変位（ F_x 、 F_y 、 M_z ）は、所定の検知用梁の変形に基づいて検知することができる。すなわち、X軸方向及びY軸方向の力（ F_x 、 F_y ）は、第2の検知用梁である検知用梁13b、13e、13h、及び13kの変形に基づいて検知することができる。又、Z軸方向のモーメント（ M_z ）は、第3の検知用梁である検知用梁13f及び13lの変形に基づいて検知することができる。

[0059] 各検知用梁の厚みと幅を可変することで、検出感度の均一化や、検出感度の向上等の調整を図ることができる。

[0060] 但し、ピエゾ抵抗素子の数を減らし、5軸以下の所定の軸方向の変位を検知するセンサチップとすることも可能である。

[0061] 図7は、センサチップ10における電極配置と配線を例示する図であり、センサチップ10をZ軸方向上側から視た平面図である。図7に示すように、センサチップ10は、電気信号を取り出すための複数の電極15を有している。各電極15は、力点14a~14dに力が印加された際の歪みが最も

少ない、センサチップ10の支持部11a~11dの上面に配置されている。各ピエゾ抵抗素子から電極15までの配線16は、各補強用梁上及び各検知用梁上を適宜引き回すことができる。

[0062] このように、各補強用梁は、必要に応じて配線を引き出す際の迂回路としても利用できるため、検知用梁とは別に補強用梁を配置することで、配線設計の自由度を向上することができる。これにより、各ピエゾ抵抗素子を、より理想的な位置に配置することが可能となる。

[0063] 図8は、センサチップ10の温度センサを例示する拡大平面図である。図7及び図8に示すように、センサチップ10は、歪み検出用に用いるピエゾ抵抗素子に温度補正を行うための温度センサ17を備えている。温度センサ17は、4つのピエゾ抵抗素子TR1、TR2、TR3、及びTR4がブリッジ接続された構成である。

[0064] ピエゾ抵抗素子TR1、TR2、TR3、及びTR4のうち、対向する2つは歪み検出用に用いるピエゾ抵抗素子M×R1等と同一特性とされている。又、ピエゾ抵抗素子TR1、TR2、TR3、及びTR4のうち、対向する他の2つは、不純物半導体により不純物濃度を変えることで、ピエゾ抵抗素子M×R1等と異なる特性とされている。これにより、温度変化によりブリッジのバランスが崩れるため、温度検出が可能となる。

[0065] なお、歪み検出用に用いるピエゾ抵抗素子(M×R1等)は、全て、センサチップ10を構成する半導体基板(シリコン等)の結晶方位に水平又は垂直に配置されている。これにより、同じ歪みに対して、より大きな抵抗の変化を得ることができ、印加される力及びモーメントの測定精度を向上させることが可能となる。

[0066] これに対して、温度センサ17を構成するピエゾ抵抗素子TR1、TR2、TR3、及びTR4は、センサチップ10を構成する半導体基板(シリコン等)の結晶方位に対して45度傾けて配置されている。これにより、応力に対する抵抗変化を低減できるため、温度変化のみを精度よく検知できる。

[0067] 又、温度センサ17は、力点14a~14dに力が印加された際の歪みが

最も少ない、センサチップ10の支持部11aの上面に配置されている。これにより、応力に対する抵抗変化をいっそう低減できる。

[0068] なお、ピエゾ抵抗素子は、本発明にかかる歪検出素子の代表的な一例である。

[0069] (起歪体20)

図9は、起歪体20を例示する斜視図である。図10Aは、起歪体20を例示する平面図であり、図10Bは、図10AのA-A線に沿う断面斜視図である。図10Aにおいて、便宜上、同一高さの面を同一の梨地模様で示している。

[0070] 図9、図10A、及び図10Bに示すように、起歪体20において、土台21上の四隅には、第1の柱である4本の柱22a~22dが配置され、隣接する柱同士を連結する第1の梁である4本の梁23a~23dが枠状に設けられている。又、土台21上の中央には、第2の柱である柱22eが配置されている。柱22eは、センサチップ10を固定するための柱であり、柱22a~22dよりも太くて短く形成されている。なお、センサチップ10は、柱22a~22dの上面から突出しないように、柱22e上に固定される。

[0071] 起歪体20の概略形状は、例えば、縦5000 μ m程度、横5000 μ m程度、高さ7000 μ m程度の直方体状とすることができる。柱22a~22dの横断面形状は、例えば、1000 μ m角程度の正方形とすることができる。柱22eの横断面形状は、例えば、2000 μ m角程度の正方形とすることができる。

[0072] 梁23a~23dのそれぞれの上面の長手方向の中央部には、梁23a~23dの長手方向の中央部から上方に突起する突起部が設けられ、突起部上に、例えば円柱状の入力部24a~24dが設けられている。入力部24a~24dは外部から力が印加される部分であり、入力部24a~24dに力が印加されると、それに応じて梁23a~23d及び柱22a~22dが変形する。

- [0073] なお、柱22eは、印加された力により変形する梁23a～23dや、印加された力により変形する柱22a～22dとは分離されているため、入力部24a～24dに力が印加されても可動することはない（印加された力により変形しない）。
- [0074] このように、4つの入力部24a～24dを設けることで、例えば1つの入力部の構造と比較して、梁23a～23dの耐荷重を向上することができる。
- [0075] 柱22eの上面の四隅には第3の柱である4本の柱25a～25dが配置され、柱22eの上面の中央部には第4の柱である柱25eが配置されている。柱25a～25eは、同一の高さに形成されている。
- [0076] すなわち、柱25a～25eのそれぞれの上面は、同一平面上に位置している。柱25a～25eのそれぞれの上面は、センサチップ10の下面と接着される接合部となる。柱25a～25eは印加された力により変形する梁23a～23dや、印加された力により変形する柱22a～22dとは分離されているため、入力部24a～24dに力が印加されても可動することはない（印加された力により変形しない）。
- [0077] 梁23a～23dのそれぞれの内側面の長手方向の中央部には、梁23a～23dのそれぞれの内側面から水平方向内側に突出する梁26a～26dが設けられている。梁26a～26dは、梁23a～23dや柱22a～22dの変形をセンサチップ10に伝達する第2の梁である。又、梁26a～26dのそれぞれの上面の先端側には、梁26a～26dのそれぞれの上面の先端側から上方に突起する突起部27a～27dが設けられている。
- [0078] 突起部27a～27dは、同一の高さに形成されている。すなわち、突起部27a～27dのそれぞれの上面は、同一平面上に位置している。突起部27a～27dのそれぞれの上面は、センサチップ10の下面と接着される接合部となる。梁26a～26d及び突起部27a～27dは、可動部となる梁23a～23dと連結されているため、入力部24a～24dに力が印加されると、それに応じて変形する。

[0079] なお、入力部 24 a～24 d に力が印加されていない状態では、柱 25 a～25 e のそれぞれの上面と、突起部 27 a～27 d のそれぞれの上面とは、同一平面上に位置している。

[0080] 起歪体 20 において、土台 21、柱 22 a～22 e、梁 23 a～23 d、入力部 24 a～24 d、柱 25 a～25 e、梁 26 a～26 d、及び突起部 27 a～27 d の各部位は、剛性を確保しかつ精度良く作製する観点から、一体に形成されていることが好ましい。起歪体 20 の材料としては、例えば、SUS（ステンレス鋼）等の硬質な金属材料を用いることができる。中でも、特に硬質で機械的強度の高い SUS 630 を用いることが好ましい。

[0081] このように、センサチップ 10 と同様に、起歪体 20 も柱と梁とを備えた構造とすることで、印加される力によって 6 軸それぞれで異なる変形を示すため、6 軸の分離性が良い変形をセンサチップ 10 に伝えることができる。

[0082] すなわち、起歪体 20 の入力部 24 a～24 d に印加された力を、柱 22 a～22 d、梁 23 a～23 d、及び梁 26 a～26 d を介してセンサチップ 10 に伝達し、センサチップ 10 で変位を検知する。そして、センサチップ 10 において、1 つの軸につき 1 個ずつ形成されたブリッジ回路から各軸の出力を得ることができる。

[0083] なお、起歪体 20 において、応力集中を抑制する観点から、内角を形成する部分は R 状とすることが好ましい。

[0084] （力覚センサ装置 1 の製造工程）

図 11 A～図 13 B は、力覚センサ装置 1 の製造工程を例示する図である。まず、図 11 A に示すように、起歪体 20 を作製する。起歪体 20 は、例えば、成形や切削、ワイヤ放電等により一体に形成することができる。起歪体 20 の材料としては、例えば、SUS（ステンレス鋼）等の硬質な金属材料を用いることができる。中でも、特に硬質で機械的強度の高い SUS 630 を用いることが好ましい。起歪体 20 を成形により作製する場合には、例えば、金属粒子とバインダーとなる樹脂とを金型に入れて成形し、その後、焼結して樹脂を蒸発させることで、金属からなる起歪体 20 を作製できる。

- [0085] 次に、図11Bに示す工程では、柱25a～25eの上面、及び突起部27a～27dの上面に接着剤41を塗布する。接着剤41としては、例えば、エポキシ系の接着剤等を用いることができる。外部から印加される力に対する耐力の点から、接着剤41はヤング率1GPa以上で厚さ20 μ m以下であることが好ましい。
- [0086] 次に、図12Aに示す工程では、センサチップ10を作製する。センサチップ10は、例えば、SOI基板を準備し、準備した基板にエッチング加工（例えば、反応性イオンエッチング等）等を施す周知の方法により作製できる。又、電極や配線は、例えば、基板の表面にスパッタ法等により銅等の金属膜を成膜後、金属膜をフォトリソグラフィによってパターニングすることにより作製できる。
- [0087] 次に、図12Bに示す工程では、センサチップ10の下面が柱25a～25eの上面、及び突起部27a～27dの上面に塗布された接着剤41と接するように、センサチップ10を起歪体20内に加圧しながら配置する。そして、接着剤41を所定温度に加熱して硬化させる。これにより、センサチップ10が起歪体20内に固定される。具体的には、センサチップ10の支持部11a～11dが各々柱25a～25e上に固定され、支持部11eが柱25e上に固定され、力点14a～14dが各々突起部27a～27d上に固定される。
- [0088] 次に、図13Aに示す工程では、柱22a～22dの上面に、接着剤42を塗布する。接着剤42としては、例えば、エポキシ系の接着剤等を用いることができる。なお、接着剤42は、入出力基板30を起歪体20上に固定するためのものであり、外部から力が印加されないため、汎用の接着剤を用いることができる。
- [0089] 次に、図13Bに示す工程では、入出力基板30を準備し、入出力基板30の下面が柱22a～22dの上面に塗布された接着剤42と接するように、入出力基板30を起歪体20上に配置する。そして、入出力基板30を起歪体20側に加圧しながら接着剤42を所定温度に加熱して硬化させる。こ

れにより、入出力基板30が起歪体20に固定される。

[0090] なお、入出力基板30は、センサチップ10及び入力部24a~24dを露出するように起歪体20に固定される。入出力基板30の各電極31は、入力部24a~24dに力が印加された際の歪みが最も少ない、起歪体20の柱22a~22d上に配置することが好ましい。

[0091] その後、入出力基板30の起歪体20から水平方向にはみ出した部分（入力端子側を除く）を、起歪体20の側面側に折り曲げる。そして、入出力基板30とセンサチップ10の対応する部分をボンディングワイヤ等（図示せず）により電氣的に接続する。これにより、図1に示す力覚センサ装置1が完成する。

[0092] このように、力覚センサ装置1は、センサチップ10、起歪体20、及び入出力基板30の3部品のみで作製できるため、組み立てが容易であり、かつ位置合わせ箇所も最低限で済むため、実装起因による精度の劣化を抑制できる。

[0093] 又、起歪体20において、センサチップ10との接続箇所（柱25a~25eの上面、及び突起部27a~27dの上面）は全て同一平面にあるため、起歪体20に対するセンサチップ10の位置合わせが1度で済み、起歪体20にセンサチップ10を実装することが容易である。

[0094] （応力のシミュレーション）

図14及び図15は、起歪体20に力及びモーメントを印加した際の変形（歪）についてのシミュレーション結果である。力及びモーメントは、起歪体20の入力部24a~24d（図9等参照）から印加した。又、図16A~図18Bは、図14及び図15の力及びモーメントを印加した際にセンサチップ10に発生する応力についてのシミュレーション結果である。図16A~図18Bにおいて、引張の垂直応力を『+』、圧縮の垂直応力を『-』で示している。

[0095] X軸に沿ってX1からX2の方向に力 F_x が印加された場合は、起歪体20は図14に示すように変形し、センサチップ10には図16Aのような応

力が発生する。具体的には、力 F_x の印加により、検知用梁13k及び13eが力 F_x の方向に歪む。

[0096] ここで、 piezo抵抗素子 $F_x R_1$ 及び $F_x R_2$ は、検知用梁13kの長手方向の中心よりもX1側に位置しているため、引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。一方、 piezo抵抗素子 $F_x R_3$ 及び $F_x R_4$ は、検知用梁13eの長手方向の中心よりもX2側に位置しているため、圧縮の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、 piezo抵抗素子 $F_x R_1 \sim F_x R_4$ のバランスが崩れるため、図16Aに示すブリッジ回路から電圧が出力され、力 F_x を検出することができる。

[0097] なお、検知用梁13d及び13jも力 F_x の方向に歪むが、 piezo抵抗素子 $M_y R_1$ 及び $M_y R_2$ 、並びに piezo抵抗素子 $M_y R_3$ 及び $M_y R_4$ の位置では、ほとんど応力が生じないか、或いは同方向の応力が生じる。そのため、ブリッジのバランスが維持され、図18Aに示すモーメント M_y のブリッジ回路からは電圧は出力されない。

[0098] Y軸に沿ってY1からY2の方向に力 F_y が印加された場合は、センサチップ10には図16Bのような応力が発生する。具体的には、力 F_y の印加により、検知用梁13b及び13hが力 F_y の方向に歪む。

[0099] ここで、 piezo抵抗素子 $F_y R_3$ 及び $F_y R_4$ は、検知用梁13bの長手方向の中心よりもY1側に位置しているため、引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。一方、 piezo抵抗素子 $F_y R_1$ 及び $F_y R_2$ は、検知用梁13hの長手方向の中心よりもY2側に位置しているため、圧縮の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、 piezo抵抗素子 $F_y R_1 \sim F_y R_4$ のバランスが崩れるため、図16Bに示すブリッジ回路から電圧が出力され、力 F_y を検出することができる。

[0100] なお、モーメント M_y と同様の理由により、図17Bに示すモーメント M_x のブリッジ回路からは電圧は出力されない。

[0101] Z軸に沿ってZ2からZ1の方向に力 F_z が印加された場合は、起歪体20は図14に示すように変形し、センサチップ10には図17Aのような応

力が発生する。具体的には、力 F_z の印加により、検知用梁13a、13b、13g、13h、13d、13e、13j、13k、13c、13f、13l、及び13iが力 F_z の方向に歪む。

[0102] ここで、 piezo抵抗素子 $F_z R_1$ 及び $F_z R_4$ には引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。又、 piezo抵抗素子 $F_z R_2$ 及び $F_z R_3$ には圧縮の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、 piezo抵抗素子 $F_z R_1 \sim F_z R_4$ のバランスが崩れるため、図17Aに示すブリッジ回路により、力 F_z を検出することができる。

[0103] なお、上記と同様の理由により、図16Aに示す力 F_x のブリッジ回路、図16Bに示す力 F_y のブリッジ回路、図17Bに示すモーメント M_x のブリッジ回路、及び図18Aに示すモーメント M_y のブリッジ回路、図18Bに示すモーメント M_z のブリッジ回路からは電圧は出力されない。

[0104] X軸を回転軸として $Y_2 - Z_2 - Y_1$ の方向にモーメント M_x が印加された場合は、センサチップ10には図17Bのような応力が発生する。具体的には、モーメント M_x の印加により、検知用梁13g及び13aがモーメント M_x の方向に歪む。そのため、 piezo抵抗素子 $M_x R_1$ 及び $M_x R_2$ には引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。又、 piezo抵抗素子 $M_x R_3$ 及び $M_x R_4$ には圧縮の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、 piezo抵抗素子 $M_x R_1 \sim M_x R_4$ のバランスが崩れるため、図17Bに示すブリッジ回路により、モーメント M_x を検出することができる。

[0105] なお、上記と同様の理由により、図16Bに示す力 F_y のブリッジ回路からは電圧は出力されない。

[0106] Y軸を回転軸として $X_1 - Z_2 - X_2$ の方向にモーメント M_y が印加された場合は、起歪体20は図15に示すように変形し、センサチップ10には図18Aのような応力が発生する。具体的には、モーメント M_y の印加により、検知用梁13j及び13dがモーメント M_y の方向に歪む。

[0107] ここで、 piezo抵抗素子 $M_y R_1$ 及び $M_y R_2$ には引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。又、 piezo抵抗素子 $M_y R_3$ 及び $M_y R_4$ には圧縮

の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、ピエゾ抵抗素子 $M_y R_1 \sim M_y R_4$ のバランスが崩れるため、図18Aに示すブリッジ回路により、モーメント M_y を検出することができる。

[0108] なお、上記と同様の理由により、図16Aに示す力 F_x のブリッジ回路からは電圧は出力されない。

[0109] Z軸を回転軸として $X_2 - Y_2 - X_1$ の方向にモーメント M_z が印加された場合は、起歪体20は図15に示すように変形し、センサチップ10には図18Bのような応力が発生する。具体的には、モーメント M_z の印加により、検知用梁13a、13b、13g、13h、13d、13e、13j、13k、13c、13f、13l、及び13iがモーメント M_z の方向に歪む。

[0110] ここで、ピエゾ抵抗素子 $M_z R_1$ 及び $M_z R_4$ には引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。又、ピエゾ抵抗素子 $M_z R_2$ 及び $M_z R_3$ には圧縮の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、ピエゾ抵抗素子 $M_z R_1 \sim M_z R_4$ のバランスが崩れるため、図18Bに示すブリッジ回路により、モーメント M_z を検出することができる。

[0111] なお、上記と同様の理由により、図16Aに示す力 F_x のブリッジ回路、図16Bに示す力 F_y のブリッジ回路、図17Bに示すモーメント M_x のブリッジ回路、図18Aに示すモーメント M_y のブリッジ回路からは電圧は出力されない。

[0112] このように、センサチップ10では、力点に変位（力又はモーメント）が入力されると、入力に応じた曲げ及び捩れの応力が所定の検知用梁に発生する。発生した応力により検知用梁の所定位置に配置されたピエゾ抵抗素子の抵抗値が変化し、センサチップ10に形成された各ブリッジ回路からの出力電圧を電極15から得ることができる。更に、電極15の出力電圧は、入出力基板30を経由して外部で得ることができる。

[0113] 又、センサチップ10では、1つの軸につき1個のブリッジ回路が形成されているため、出力の合成を伴わずに各軸の出力を得ることができる。これ

により、複雑な計算や信号処理を必要としない簡易な方法で多軸の変位を検知して出力可能となる。

[0114] 又、 piezo抵抗素子を入力の種類により異なる検知用梁に分けて配置している。これにより、該当する検知用梁の剛性（厚みや幅）を変更することで、任意の軸の感度を独立して調整することができる。

[0115] なお、本明細書における、『平行』、『垂直』、『直交』、『同一平面』等の文言は、厳密な意味での『平行』、『垂直』、『直交』、『同一平面』等のみでなく、実質的に『平行』、『垂直』、『直交』、『同一平面』等である場合も含むものとする。すなわち、本実施の形態の作用及び効果が得られる範囲でバラツキがある態様も含むものとする。

[0116] 〈第1の実施の形態の変形例1〉

第1の実施の形態の変形例1では、受力板を備えた力覚センサ装置の例を示す。なお、第1の実施の形態の変形例1において、既に説明した実施の形態と同一構成部についての説明は省略する場合がある。

[0117] 図19は、第1の実施の形態の変形例1に係る力覚センサ装置を例示する斜視図である。図20Aは、第1の実施の形態の変形例1に係る力覚センサ装置を例示する平面図であり、図20Bは、図20AのB-B線に沿う断面図である。図19、図20A、及び図20Bを参照するに、力覚センサ装置1Aは、起歪体20の入力部24a~24d上に受力板40を設けた点が力覚センサ装置1と相違する。

[0118] 受力板40の下面側には4つ凹部40xが設けられている。又、受力板40の上面側の、各々の凹部40xと平面視で略重複する位置に、4つの凹部40yが設けられている。4つの凹部40xは各々起歪体20の入力部24a~24dを覆うように配置され、各々の凹部40xの底面は入力部24a~24dの上面と接している。

[0119] このような構造により、受力板40と起歪体20とを位置決めすることができる。又、凹部40yは、力覚センサ装置1Aをロボット等に取り付ける際の位置決め用いることができる。

- [0120] 受力板40の材料としては、例えば、SUS（ステンレス鋼）630等を用いることができる。受力板40は、例えば、起歪体20に溶接、接着、ねじ止め等により固定することができる。
- [0121] このように、受力板40を設けることで、受力板40を介して起歪体20の入力部24a～24dに外部から力を入力することができる。
- [0122] 〈第1の実施の形態の変形例2〉
第1の実施の形態の変形例2では、第1の実施の形態とは異なるセンサチップの例を示す。なお、第1の実施の形態の変形例2において、既に説明した実施の形態と同一構成部についての説明は省略する場合がある。
- [0123] 図21Aは、センサチップ50をZ軸方向上側から見た平面図であり、図21Bは、センサチップ50をZ軸方向下側から見た底面図である。図21Bにおいて、便宜上、同一高さの面を同一の梨地模様で示している。
- [0124] 図21A及び図21Bに示すセンサチップ50は、センサチップ10と同様に、1チップで最大6軸を検知できるMEMSセンサチップであり、SOI基板等から作製することができる。センサチップ50の平面形状は、例えば、3000 μ m角程度の正方形とすることができる。力覚センサ装置1において、センサチップ10に代えて、センサチップ50を用いることができる。
- [0125] センサチップ50は、柱状の5つの支持部51a～51eを備えている。支持部51a～51eの平面形状は、例えば、500 μ m角程度の正方形とすることができる。第1の支持部である支持部51a～51dは、センサチップ50の四隅に配置されている。第2の支持部である支持部51eは、支持部51a～51dの中央に配置されている。
- [0126] 支持部51a～51eは、例えば、SOI基板の活性層、BOX層、及び支持層から形成することができ、それぞれの厚さは、例えば、500 μ m程度とすることができる。
- [0127] 支持部51aと支持部51bとの間には、支持部51aと支持部51bとに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、構造を補強するた

めの補強用梁52aが設けられている。支持部51bと支持部51cとの間には、支持部51bと支持部51cとに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、構造を補強するための補強用梁52bが設けられている。

[0128] 支持部51cと支持部51dとの間には、支持部51cと支持部51dとに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、構造を補強するための補強用梁52cが設けられている。支持部51dと支持部51aとの間には、支持部51dと支持部51aとに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、構造を補強するための補強用梁52dが設けられている。

[0129] 言い換えれば、第1の補強用梁である4つの補強用梁52a、52b、52c、及び52dが枠状に形成され、各補強用梁の交点をなす角部が、支持部51b、51c、51d、51aとなる。

[0130] 補強用梁52a～52dは、例えば、SOI基板の活性層、BOX層、及び支持層から形成することができる。補強用梁52a～52dの太さ（短手方向の幅）は、例えば、30 μ m程度とすることができる。補強用梁52a～52dのそれぞれの上面は、支持部51a～51eの上面と略面一である。

[0131] これに対して、補強用梁52a～52dのそれぞれの下面は、支持部51a～51eの下面及び力点54a～54dの下面よりも数10 μ m程度上面側に窪んでいる。これは、センサチップ50を起歪体20に接着したときに、補強用梁52a～52dの下面が起歪体20の対向する面と接しないようにするためである。

[0132] このように、歪を検知するための検知用梁とは別に、検知用梁よりも厚く形成した剛性の強い補強用梁を配置することで、センサチップ50全体の剛性を高めることができる。これにより、入力に対して検知用梁以外が変形しづらくなるため、良好なセンサ特性を得ることができる。

[0133] 支持部51aと支持部51bとの間の補強用梁52aの内側には、補強用

梁 5 2 a と所定間隔を空けて平行に、支持部 5 1 a と支持部 5 1 b とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、歪を検知するための検知用梁 5 3 a が設けられている。

[0134] 検知用梁 5 3 a と支持部 5 1 e との間には、検知用梁 5 3 a 及び支持部 5 1 e と所定間隔を空けて、長手方向が検知用梁 5 3 a と平行な枠状の検知用梁 5 3 b が設けられている。検知用梁 5 3 b は、検知用梁 5 3 a の長手方向の略中央部と、それに対向する支持部 5 1 e の 1 辺の略中央部との間を連結する、検知用梁 5 3 a の長手方向に対して略垂直方向に伸びる検知用梁 5 3 c の長手方向の略中央部に保持されている。

[0135] 支持部 5 1 b と支持部 5 1 c との間補強用梁 5 2 b の内側には、補強用梁 5 2 b と所定間隔を空けて平行に、支持部 5 1 b と支持部 5 1 c とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、歪を検知するための検知用梁 5 3 d が設けられている。

[0136] 検知用梁 5 3 d と支持部 5 1 e との間には、検知用梁 5 3 d 及び支持部 5 1 e と所定間隔を空けて、長手方向が検知用梁 5 3 d と平行な枠状の検知用梁 5 3 e が設けられている。検知用梁 5 3 e は、検知用梁 5 3 d の長手方向の略中央部と、それに対向する支持部 5 1 e の 1 辺の略中央部との間を連結する、検知用梁 5 3 d の長手方向に対して略垂直方向に伸びる検知用梁 5 3 f の長手方向の略中央部に保持されている。

[0137] 支持部 5 1 c と支持部 5 1 d との間補強用梁 5 2 c の内側には、補強用梁 5 2 c と所定間隔を空けて平行に、支持部 5 1 c と支持部 5 1 d とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、歪を検知するための検知用梁 5 3 g が設けられている。

[0138] 検知用梁 5 3 g と支持部 5 1 e との間には、検知用梁 5 3 g 及び支持部 5 1 e と所定間隔を空けて、長手方向が検知用梁 5 3 g と平行な枠状の検知用梁 5 3 h が設けられている。検知用梁 5 3 h は、検知用梁 5 3 g の長手方向の略中央部と、それに対向する支持部 5 1 e の 1 辺の略中央部との間を連結する、検知用梁 5 3 g の長手方向に対して略垂直方向に伸びる検知用梁 5 3

i の長手方向の略中央部に保持されている。

[0139] 支持部 5 1 d と支持部 5 1 a との間の補強用梁 5 2 d の内側には、補強用梁 5 2 d と所定間隔を空けて平行に、支持部 5 1 d と支持部 5 1 a とに両端を固定された（隣接する支持部同士を連結する）、歪を検知するための検知用梁 5 3 j が設けられている。

[0140] 検知用梁 5 3 j と支持部 5 1 e との間には、検知用梁 5 3 j 及び支持部 5 1 e と所定間隔を空けて、長手方向が検知用梁 5 3 j と平行な枠状の検知用梁 5 3 k が設けられている。検知用梁 5 3 k は、検知用梁 5 3 j の長手方向の略中央部と、それに対向する支持部 5 1 e の 1 辺の略中央部との間を連結する、検知用梁 5 3 j の長手方向に対して略垂直方向に伸びる検知用梁 5 3 l の長手方向の略中央部に保持されている。

[0141] 検知用梁 5 3 a ~ 5 3 l は、支持部 5 1 a ~ 5 1 e の厚さ方向の上端側に設けられ、例えば、SOI 基板の活性層から形成することができる。検知用梁 5 3 a ~ 5 3 l の太さ（短手方向の幅）は、例えば、150 μm 程度とすることができる。検知用梁 5 3 a ~ 5 3 l のそれぞれの上面は、支持部 5 1 a ~ 5 1 e の上面と略面一である。検知用梁 5 3 a ~ 5 3 l のそれぞれの厚さは、例えば、50 μm 程度とすることができる。

[0142] 検知用梁 5 3 a の長手方向の中央部の下面側（検知用梁 5 3 a と検知用梁 5 3 c との交点）には、力点 5 4 a が設けられている。検知用梁 5 3 a、5 3 b、及び 5 3 c と力点 5 4 a とにより、1 組の検知ブロックをなしている。

[0143] 検知用梁 5 3 d の長手方向の中央部の下面側（検知用梁 5 3 d と検知用梁 5 3 f との交点）には、力点 5 4 b が設けられている。検知用梁 5 3 d、5 3 e、及び 5 3 f と力点 5 4 b とにより、1 組の検知ブロックをなしている。

[0144] 検知用梁 5 3 g の長手方向の中央部の下面側（検知用梁 5 3 g と検知用梁 5 3 i との交点）には、力点 5 4 c が設けられている。検知用梁 5 3 g、5 3 h、及び 5 3 i と力点 5 4 c とにより、1 組の検知ブロックをなしている。

- 。
- [0145] 検知用梁53jの長手方向の中央部の下面側（検知用梁53jと検知用梁53lとの交点）には、力点54dが設けられている。検知用梁53j、53k、及び53lと力点54dとにより、1組の検知ブロックをなしている。
- 。
- [0146] 力点54a～54dは、外力が印加される箇所であり、例えば、SOI基板のBOX層及び支持層から形成することができる。力点54a～54dのそれぞれの下面は、支持部51a～51eの下面と略面一である。
- [0147] このように、力を4つの力点54a～54dから取り入れることで、力の種類毎に異なる梁の変形が得られるため、6軸の分離性が良いセンサを実現することができる。
- [0148] 図22は、センサチップ50のpiezo抵抗素子の配置を例示する図である。4つ力点54a～54dに対応する各検知ブロックの所定位置には、piezo抵抗素子配置されている。
- [0149] 具体的には、図21A、図21B、及び図22を参照すると、力点54aに対応する検知ブロックにおいて、piezo抵抗素子MxR3及びMxR4は、検知用梁53aを長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁53cを長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、piezo抵抗素子FyR3及びFyR4は、枠状の検知用梁53bの開口部よりも検知用梁53a側であって、かつ、検知用梁53cを長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。
- [0150] 又、力点54bに対応する検知ブロックにおいて、piezo抵抗素子MyR3及びMyR4は、検知用梁53dを長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁53fを長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、piezo抵抗素子FxR3及びFxR4は、枠状の検知用梁53eの開口部よりも検知用梁53d側であって、かつ、検知用梁53fを長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。
- [0151] 又、MzR3及びMzR4は、検知用梁53eよりも支持部51e側であ

って、かつ、検知用梁 5 3 f を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、 $F_z R 3$ 及び $F_z R 4$ は、検知用梁 5 3 f を長手方向に二等分する線上であって、かつ、枠状の検知用梁 5 3 e の開口部を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0152] 又、力点 5 4 c に対応する検知ブロックにおいて、 piezo 抵抗素子 $M_x R 1$ 及び $M_x R 2$ は、検知用梁 5 3 g を長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁 5 3 i を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、 piezo 抵抗素子 $F_y R 1$ 及び $F_y R 2$ は、枠状の検知用梁 5 3 h の開口部よりも検知用梁 5 3 g 側であって、かつ、検知用梁 5 3 i を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0153] 又、力点 5 4 d に対応する検知ブロックにおいて、 piezo 抵抗素子 $M_y R 1$ 及び $M_y R 2$ は、検知用梁 5 3 j を長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁 5 3 l を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、 piezo 抵抗素子 $F_x R 1$ 及び $F_x R 2$ は、枠状の検知用梁 1 3 k の開口部よりも検知用梁 5 3 j 側であって、かつ、検知用梁 5 3 l を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0154] 又、 $M_z R 1$ 及び $M_z R 2$ は、検知用梁 5 3 k よりも支持部 5 1 e 側であって、かつ、検知用梁 5 3 l を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、 $F_z R 1$ 及び $F_z R 2$ は、検知用梁 5 3 l を長手方向に二等分する線上であって、かつ、枠状の検知用梁 5 3 k の開口部を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0155] このように、センサチップ 5 0 では、センサチップ 1 0 と同様に、各検知ブロックに複数の piezo 抵抗素子を分けて配置している。これにより、センサチップ 1 0 と同様に、力点 5 4 a ~ 5 4 d に印加（伝達）された力の向き（軸方向）に応じた、所定の梁に配置された複数の piezo 抵抗素子の出力の変化に基づいて、所定の軸方向の変位を最大で 6 軸検知することができる。

[0156] 〈第 1 の実施の形態の変形例 3〉

第 1 の実施の形態の変形例 3 では、起歪体を用いない力覚センサ装置の例

を示す。なお、第1の実施の形態の変形例3において、既に説明した実施の形態と同一構成部についての説明は省略する場合がある。

[0157] 図23A～図23Cは、第1の実施の形態の変形例3に係る力覚センサ装置を例示する斜視図である。図23A～図23Cを参照するに、力覚センサ装置1Bは、センサチップ10と、受力板60と、パッケージ70とを有している。センサチップ10上に受力板60が接合され、センサチップ10はパッケージ70内に保持されている。受力板60は、例えば、ガラスにより形成することができる。パッケージ70は、例えば、セラミックスにより形成することができる。

[0158] 受力板60は、略円形状の本体61と、本体61の下面側に設けられた4つの突起部61a、61b、61c、及び61dとを有している。突起部61aは、検知用梁13aの上面の、力点14aに対応する領域と接している。突起部61bは、検知用梁13jの上面の、力点14dに対応する領域と接している。突起部61cは、検知用梁13gの上面の、力点14cに対応する領域と接している。突起部61dは、検知用梁13dの上面の、力点14bに対応する領域と接している。

[0159] 力覚センサ装置1Bでは、図23A～図23Cのような構成とすることで、起歪体を用いずに、受力板60を介してセンサチップ10に外力を印加することができる。

[0160] なお、力覚センサ装置1Bは、センサチップ10の完成後に受力板60を接合する製造プロセスとしてもよいし、以下のような製造プロセスとしてもよい。すなわち、センサチップ10が形成されたダイシング前のセンサチップウェハに対して、受力板60となるガラスウェハ（センサチップウェハと同サイズ）を陽極接合する。そして、陽極接合されたセンサチップウェハとガラスウェハを同時にダイシングすることで、センサチップ10と受力板60を同時に形成することができる。

[0161] 〈第1の実施の形態の変形例4〉

第1の実施の形態の変形例4では、起歪体を用いない力覚センサ装置の他

の例を示す。なお、第1の実施の形態の変形例4において、既に説明した実施の形態と同一構成部についての説明は省略する場合がある。

[0162] 図24A及び図24Bは、第1の実施の形態の変形例4に係る力覚センサ装置を例示する斜視図である。図24A及び図24Bを参照するに、力覚センサ装置1Cは、センサチップ10と、柱構造部80とを有している。センサチップ10は柱構造部80上に接着されている。柱構造部80は、例えば、シリコン、ガラス、金属等により形成することができる。

[0163] 柱構造部80は、土台81と、土台81上に略等間隔で配置された9本の柱82a～82iとを有している。柱82a、82c、82e、及び82gは、土台81の四隅に配置されている。柱82iは、土台81の中央に配置されている。柱82bは、柱82aと柱82cとの間に配置されている。柱82dは、柱82cと柱82eとの間に配置されている。柱82fは、柱82eと柱82gとの間に配置されている。柱82hは、柱82gと柱82aとの間に配置されている。

[0164] 力覚センサ装置1Cでは、図24A及び図24Bのような構成とすることで、起歪体を用いずに、センサチップ10に直接外力を印加することができる。なお、力覚センサ装置1Bと同様に、センサチップ10上に受力板60を設けてもよい。

[0165] なお、力覚センサ装置1Cは、センサチップ10の完成後に柱構造部80を接合する製造プロセスとしてもよいし、以下のような製造プロセスとしてもよい。すなわち、センサチップ10が形成されたダイシング前のセンサチップウェハに対して、柱構造部80となるガラスウェハ又はシリコンウェハ（センサチップウェハと同サイズ）を陽極接合する。そして、陽極接合されたセンサチップウェハとガラスウェハ又はシリコンウェハを同時にダイシングすることで、センサチップ10と柱構造部80を同時に形成することができる。

[0166] 又、力覚センサ装置は、図23A～図23Cに示す受力板60と図24A及び図24Bに示す柱構造部80の両方を備える構成としてもよい。この場

合、例えば、センサチップ10が形成されるセンサチップウェハの一方の面側に受力板60となるガラスウェハを陽極接合し、他方の面側に柱構造部80となるガラスウェハ又はシリコンウェハを陽極接合する。そして、陽極接合後に、受力板60や柱構造部80となるガラスウェハ又はシリコンウェハでセンサチップウェハを挟み込んだ状態でダイシングすることで、受力板60、センサチップ10、柱構造部80を同時に形成することができる。

[0167] 〈第1の実施の形態の変形例5〉

第1の実施の形態の変形例5では、第1の実施の形態とは異なるセンサチップの他の例を示す。なお、第1の実施の形態の変形例5において、既に説明した実施の形態と同一構成部についての説明は省略する場合がある。

[0168] 図25Aは、センサチップ110をZ軸方向上側から見た斜視図であり、図25Bは、センサチップ110をZ軸方向上側から見た平面図である。図26Aは、センサチップ110をZ軸方向下側から見た斜視図であり、図26Bは、センサチップ110をZ軸方向下側から見た底面図である。図26Bにおいて、便宜上、同一高さの面を同一の梨地模様で示している。

[0169] 図25A、図25B、図26A、及び図26Bに示すセンサチップ110は、センサチップ10と同様に、1チップで最大6軸を検知できるMEMSセンサチップであり、SOI基板等の半導体基板から形成されている。センサチップ110の平面形状は、例えば、3000 μ m角程度の正方形とすることができる。

[0170] センサチップ110の基本的な梁構造は、センサチップ10と同様である。センサチップ110の支持部111a~111eは、センサチップ10の支持部11a~11eに相当する。

[0171] 同様に、センサチップ110の補強用梁112a~112hは、センサチップ10の補強用梁12a~12hに相当する。同様に、センサチップ110の検知用梁113a~113lは、センサチップ10の検知用梁13a~13lに相当する。同様に、センサチップ110の力点114a~114dは、センサチップ10の力点14a~14dに相当する。

[0172] センサチップ110では、第1の検知用梁（検知用梁113a、113d、113g、及び113j）、並びに、第2の検知用梁（検知用梁113b、113e、113h、及び113k）の幅は、第3の検知用梁（検知用梁113c、113f、113i、及び113l）の幅よりも狭くなっている。

[0173] 又、第1の検知用梁（検知用梁113a、113d、113g、及び113j）、並びに、第2の検知用梁（検知用梁113b、113e、113h、及び113k）の長さは、第3の検知用梁（検知用梁113c、113f、113i、及び113l）の長さよりも長くなっている。

[0174] 又、図25A及び図25Bを図3A及び図3Bと比較すると、センサチップ110とセンサチップ10では、検知用梁の幅や長さが異なっていることがわかる。例えば、検知用梁113aは、検知用梁13aと比べて幅が狭くなり（0.67倍程度）、長さが長くなっている（1.36倍程度）。同様に、検知用梁113d、113g、及び113jは、検知用梁13d、13g、及び13jと比べて幅が狭くなり（0.67倍程度）、長さが長くなっている（1.36倍程度）。

[0175] 又、検知用梁113bは、検知用梁13bと比べて最細部の幅が狭くなり（0.47倍程度）、長さが長くなっている（2.9倍程度）。同様に、検知用梁113e、113h、及び113kは、検知用梁13e、13h、及び13kと比べて最細部の幅が狭くなり（0.47倍程度）、長さが長くなっている（2.9倍程度）。但し、検知用梁113b、113e、113h、及び113kにおいて、他の梁との接続部分は、強度を維持するために最細部よりも太めに形成されている。

[0176] 又、検知用梁113cは、検知用梁13cと比べて長さが短くなっている（0.5倍程度）。検知用梁113cは、検知用梁13cと比べて平均的な幅は同程度であるが、支持部111e側に向かって徐々に縮幅する部分を有する点で相違する。同様に、検知用梁113f、113i、及び113lは、検知用梁13f、13i、及び13lと比べて長さが短くなっている（0

、5倍程度)。検知用梁13f、13i、及び13lは、検知用梁13cと比べて平均的な幅は同程度であるが、支持部111e側に向かって徐々に縮幅する部分を有する点で相違する。

[0177] 又、検知用梁113c、113f、113i、及び113lを短くして、検知用梁113b、113e、113h、及び113kを検知用梁113a、113d、113g、及び113jに近づけたことにより、支持部111eの面積が支持部11eの面積よりも大きくなっている。

[0178] 以上の相違点により、同じ歪（変位）が入力されたときに、検知用梁113a、113d、113g、及び113jは検知用梁13a、13d、13g、及び13jよりも梁に発生する応力を減少させ、検知用梁113b、113e、113h、及び113kは検知用梁13b、13e、13h、及び13kよりも梁に発生する応力を減少させることが可能となる。

[0179] これにより、大きな歪（変位）が入力されたときに、検知用梁113a、113d、113g、及び113jの耐荷重を検知用梁13a、13d、13g、及び13jの耐荷重よりも大きくすることができる。又、検知用梁113b、113e、113h、及び113kの耐荷重を検知用梁13b、13e、13h、及び13kの耐荷重よりも大きくすることができる。

[0180] 特に、検知用梁113c、113f、113i、及び113lを短くして、検知用梁113b、113e、113h、及び113kを検知用梁113a、113d、113g、及び113jに近づけた効果が大きい。これにより、検知用梁113b、113e、113h、及び113kを検知用梁13b、13e、13h、及び13kと比べて大幅に細く長くできたため、弓なりに撓みやすくなって応力集中を緩和でき、検知用梁113b、113e、113h、及び113kの耐荷重を大幅に向上することができる。

[0181] 図27は、センサチップ110のピエゾ抵抗素子の配置を例示する図である。図25A、図25B、及び図27を参照すると、力点14aに対応する検知ブロックにおいて、ピエゾ抵抗素子M×R3及びM×R4は、検知用梁113aを長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁113aの

検知用梁 1 1 3 c に近い領域において検知用梁 1 1 3 c を長手方向（Y 方向）に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、 piezo 抵抗素子 $F_y R_3$ 及び $F_y R_4$ は、検知用梁 1 1 3 a を長手方向に二等分する線よりも補強用梁 1 1 2 a 側であって、かつ、検知用梁 1 1 3 a の検知用梁 1 1 3 c から遠い領域において検知用梁 1 1 3 c を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0182] 又、力点 1 4 b に対応する検知ブロックにおいて、piezo 抵抗素子 $M_y R_3$ 及び $M_y R_4$ は、検知用梁 1 1 3 d を長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁 1 1 3 d の検知用梁 1 1 3 f に近い領域において検知用梁 1 1 3 f を長手方向（X 方向）に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、piezo 抵抗素子 $F_x R_3$ 及び $F_x R_4$ は、検知用梁 1 1 3 d を長手方向に二等分する線よりも補強用梁 1 1 2 b 側であって、かつ、検知用梁 1 1 3 d の検知用梁 1 1 3 f から遠い領域において検知用梁 1 1 3 f を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0183] 又、piezo 抵抗素子 $M_z R_3$ 及び $M_z R_4$ は、検知用梁 1 1 3 d を長手方向に二等分する線よりも検知用梁 1 1 3 f 側であって、かつ、検知用梁 1 1 3 d の検知用梁 1 1 3 f に近い領域において検知用梁 1 1 3 f を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。piezo 抵抗素子 $F_z R_2$ 及び $F_z R_3$ は、検知用梁 1 1 3 e を長手方向に二等分する線よりも支持部 1 1 1 e 側であって、かつ、検知用梁 1 1 3 e の検知用梁 1 1 3 f に近い領域において検知用梁 1 1 3 f を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0184] 又、力点 1 4 c に対応する検知ブロックにおいて、piezo 抵抗素子 $M_x R_1$ 及び $M_x R_2$ は、検知用梁 1 1 3 g を長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁 1 1 3 g の検知用梁 1 1 3 i に近い領域において検知用梁 1 1 3 i を長手方向（Y 方向）に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、piezo 抵抗素子 $F_y R_1$ 及び $F_y R_2$ は、検知用梁 1 1 3 g を長手方向に二等分する線よりも補強用梁 1 1 2 c 側であって、かつ、検知

用梁 1 1 3 g の検知用梁 1 1 3 i から遠い領域において検知用梁 1 1 3 i を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0185] 又、力点 1 4 d に対応する検知ブロックにおいて、 piezo 抵抗素子 $M_y R_1$ 及び $M_y R_2$ は、検知用梁 1 1 3 j を長手方向に二等分する線上であって、かつ、検知用梁 1 1 3 j の検知用梁 1 1 3 l に近い領域において検知用梁 1 1 3 l を長手方向（X 方向）に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。又、 piezo 抵抗素子 $F_x R_1$ 及び $F_x R_2$ は、検知用梁 1 1 3 j を長手方向に二等分する線よりも補強用梁 1 1 2 d 側であって、かつ、検知用梁 1 1 3 j の検知用梁 1 1 3 l から遠い領域において検知用梁 1 1 3 l を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0186] 又、 piezo 抵抗素子 $M_z R_1$ 及び $M_z R_2$ は、検知用梁 1 1 3 j を長手方向に二等分する線よりも検知用梁 1 1 3 k 側であって、かつ、検知用梁 1 1 3 j の検知用梁 1 1 3 l に近い領域において検知用梁 1 1 3 l を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。 piezo 抵抗素子 $F_z R_1$ 及び $F_z R_4$ は、検知用梁 1 1 3 k を長手方向に二等分する線よりも支持部 1 1 1 e 側であって、かつ、検知用梁 1 1 3 k の検知用梁 1 1 3 l から遠い領域において検知用梁 1 1 3 l を長手方向に二等分する線に対して対称な位置に配置されている。

[0187] このように、センサチップ 1 1 0 では、センサチップ 1 0 と同様に、各検知ブロックに複数の piezo 抵抗素子を分けて配置している。これにより、センサチップ 1 0 と同様に、力点 1 1 4 a ~ 1 1 4 d に印加（伝達）された力の向き（軸方向）に応じた、所定の梁に配置された複数の piezo 抵抗素子の抵抗の変化に基づいて、所定の軸方向の変位を最大で 6 軸検知することができる。

[0188] なお、センサチップ 1 1 0 では、歪の検出に用いる piezo 抵抗素子以外にも、ダミーの piezo 抵抗素子が配置されている。ダミーの piezo 抵抗素子は、歪の検出に用いる piezo 抵抗素子も含めた全ての piezo 抵抗素子が、支持部 1 1 1 e の中心に対して点対称となるように配置されている。

- [0189] 図28A～図31は、センサチップ110における耐荷重の改善について説明する図である。図28Aは、センサチップ10においてX軸方向の力 F_x を印加したときの応力発生分布のシミュレーション結果であり、右図は左図の破線部を拡大したものである。図28Bは、センサチップ110においてX軸方向の力 F_x を印加したときの応力発生分布のシミュレーション結果であり、右図は左図の破線部を拡大したものである。
- [0190] 図28Aに示すように、センサチップ10では、短くて撓みにくい検知用梁13kが応力集中部となっている。図28Bに示すように、センサチップ110では、検知用梁113kを検知用梁13kと比べて細く長くしている。合わせて、検知用梁113jを検知用梁13jと比べて細く長くしている。
- [0191] 以上は、検知用梁113kと検知用梁13k及び検知用梁113jと検知用梁13jについて説明したが、検知用梁113aと検知用梁13a及び検知用梁113bと検知用梁13b、検知用梁113dと検知用梁13d及び検知用梁113eと検知用梁13e、検知用梁113gと検知用梁13g及び検知用梁113hと検知用梁13hについても同様である。
- [0192] 図29に示す検知用梁113jの長さ L_1 と検知用梁113kの長さ L_2 との比（検知用梁113a、113d、113gの長さとの比も同様）、及び検知用梁113kの平均幅 W_2 と検知用梁113jの平均幅 W_1 との比（検知用梁113b、113e、113hの平均幅と検知用梁113a、113d、113gの平均幅との比も同様）を調整することで、検知用梁に発生する最大応力をセンサチップ10と同等以下にすることができる。
- [0193] 図30Aは、センサチップ10において図28Aに示す応力集中部に発生する最大応力を100としたときの、センサチップ110の応力集中部に発生する最大応力を、 L_2/L_1 をパラメータとしてシミュレーションした結果である。図30Aにおいて、横軸が L_2/L_1 、縦軸が応力である。図30Bは、図30Aにおいて L_2/L_1 が0.36以上0.82以下のプロットにつ

いて、 W_1/W_2 と L_2/L_1 との関係を示したものである。図30Bにおいて、横軸が W_1/W_2 、縦軸が L_2/L_1 である。

[0194] 図30A及び図30Bに示すように、 L_2/L_1 を0.36以上0.82以下とし、 W_1/W_2 を5.3以上37.7以下とすることで、センサチップ110において、検知用梁に発生する最大応力をセンサチップ10と同等以下にすることができる。

[0195] このように、センサチップ110において、 W_1/W_2 と L_2/L_1 との関係を選択して剛性を下げること、検知用梁に発生する最大応力を低減することが可能となり、センサチップ110の耐荷重をセンサチップ10よりも向上できる。 W_1/W_2 と L_2/L_1 との関係を選択することで、例えば、図31に示すように、センサチップ110では、センサチップ10と比べて耐荷重を大幅に向上することができる（図31の例では約11倍）。

[0196] 図32A及び図32Bは、センサチップ110における感度の向上について説明する図である。図32A及び図32Bに示すように、センサチップ110では、センサチップ10とは異なり、短くしたことで応力に対する変形が小さくなった検知用梁113l（破線部）にはピエゾ抵抗素子を配置せず、検知用梁113j及び113kの応力が最大になる位置の近傍にピエゾ抵抗素子を配置している。検知用梁113c、113f、及び113iについても同様である。

[0197] その結果、図32Cのシミュレーション結果に示すように、センサチップ110では、センサチップ10よりも効率よく応力を取り込むことが可能となり、感度（同じ応力に対するピエゾ抵抗素子の抵抗変化）が向上する。

[0198] すなわち、センサチップ110では、短くしたことで応力に対する変形が小さくなった検知用梁113c、113f、113i、及び113lにはピエゾ抵抗素子を配置していない。その代り、検知用梁113c、113f、113i、及び113lよりも細くて長く、弓なりに撓みやすい検知用梁113a、113d、113g、及び113j、並びに検知用梁113b、113e、113h、及び113kの応力が最大になる位置の近傍にピエゾ抵

抗素子を配置している。その結果、センサチップ110では、効率よく応力を取り込むことが可能となり、感度（同じ応力に対するピエゾ抵抗素子の抵抗変化）を向上することができる。

[0199] なお、図29に示す検知用梁113j（検知用梁113a、113d、113gについても同様）のB側の梁幅をA側の梁幅の75～80%の幅に設定し、A側からB側に向けて先細る形状とすることで、センサ感度を向上させつつ、耐荷重を維持することができる。B側の梁幅がA側の梁幅の75%以下になると、耐荷重が悪化し破損しやすくなる。又、B側の梁幅がA側の梁幅の80%以上になるとセンサ感度が悪くなる。

[0200] 図33、図34A、及び図34Bは、センサチップ110における他軸干渉（力とモーメントとの分離性）の改善について説明する図である。図33に示すようにセンサチップ110においてX軸方向の力 F_x を印加したシミュレーションを行った結果、図34Aに示すような他軸特性が得られた。図34Bはセンサチップ10においてX軸方向の力 F_x を印加したシミュレーションを行った結果得られた他軸特性である。

[0201] 図34Aと図34Bとを比較すると、図34Bに示すセンサチップ10では力 F_x を印加したときにモーメント M_y の成分が出現しているが、図34Aに示すセンサチップ110では力 F_x を印加したときには、モーメント M_y の成分を含めた他軸成分は略ゼロとなっている。

[0202] 図34Bでモーメント M_y の成分が出現している理由は、センサチップ10の検知用梁13b、13e、13h、及び13kが太く短いため横方向に変形し難い分、検知用梁13a、13d、13g、及び13jが上下方向に変形したためと考えられる。

[0203] これに対して、センサチップ110の検知用梁113b、113e、113h、及び113kはセンサチップ10の検知用梁13b、13e、13h、及び13kより細く長いため、厚みに対して横方向（ F_x 、 F_y ）や捻じれ方向（ M_x 、 M_y ）の変形が容易となり、検知用梁113a、113d、113g、及び113jが上下方向に変形しなくなる。その結果、図34A

に示すように、モーメント M_y の成分が出現しなくなり、並進方向の力とモーメントとの分離性（すなわち、他軸特性）が向上したものと考えられる。

[0204] （応力のシミュレーション）

図35A、図35B、図36A、及び図36Bは、力及びモーメントを印加した際にセンサチップ110に発生する応力についてのシミュレーション結果である。図35A、図35B、図36A、及び図36Bにおいて、引張の垂直応力を『+』、圧縮の垂直応力を『-』で示している。

[0205] X軸に沿ってX1からX2の方向に力 F_x が印加された場合は、センサチップ110には図35Aのような応力が発生する。具体的には、力 F_x の印加により、検知用梁113d及び113jが力 F_x の方向に歪む。

[0206] ここで、 piezo抵抗素子 $F_x R_1$ 及び $F_x R_2$ は、検知用梁113dの長手方向の中心よりもX1側に位置しているため、引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。一方、 piezo抵抗素子 $F_x R_3$ 及び $F_x R_4$ は、検知用梁113jの長手方向の中心よりもX2側に位置しているため、圧縮の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、 piezo抵抗素子 $F_x R_1 \sim F_x R_4$ のバランスが崩れるため、図35Aに示すブリッジ回路から電圧が出力され、力 F_x を検出することができる。力 F_y についても同様である。

[0207] Z軸に沿ってZ2からZ1の方向（センサチップ110の表面側から裏面側）に力 F_z が印加された場合は、センサチップ110には図35Bのような応力が発生する。具体的には、力 F_z の印加により、検知用梁113a、113b、113g、113h、113d、113e、113j、113k、113c、113f、113l、及び113iが力 F_z の方向に歪む。

[0208] ここで、 piezo抵抗素子 $F_z R_1$ 及び $F_z R_4$ には引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。又、 piezo抵抗素子 $F_z R_2$ 及び $F_z R_3$ には圧縮の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、 piezo抵抗素子 $F_z R_1 \sim F_z R_4$ のバランスが崩れるため、図35Bに示すブリッジ回路により、力 F_z を検出することができる。

[0209] Y軸を回転軸としてX1-Z2-X2の方向にモーメント M_y が印加され

た場合は、センサチップ110には図36Aのような応力が発生する。具体的には、モーメント M_y の印加により、検知用梁113d及び113jがモーメント M_y の方向に歪む。

[0210] ここで、 piezo抵抗素子 $M_y R_1$ 及び $M_y R_2$ には引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。又、 piezo抵抗素子 $M_y R_3$ 及び $M_y R_4$ には圧縮の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、 piezo抵抗素子 $M_y R_1 \sim M_y R_4$ のバランスが崩れるため、図36Aに示すブリッジ回路により、モーメント M_y を検出することができる。

[0211] Z軸を回転軸として $X_2 - Y_2 - X_1$ の方向にモーメント M_z が印加された場合は、センサチップ110には図36Bのような応力が発生する。具体的には、モーメント M_z の印加により、検知用梁113a、113b、113g、113h、113d、113e、113j、113k、113c、113f、113l、及び113iがモーメント M_z の方向に歪む。

[0212] ここで、 piezo抵抗素子 $M_z R_1$ 及び $M_z R_4$ には引張の垂直応力が発生して抵抗値が増加する。又、 piezo抵抗素子 $M_z R_2$ 及び $M_z R_3$ には圧縮の垂直応力が発生して抵抗値が減少する。これにより、 piezo抵抗素子 $M_z R_1 \sim M_z R_4$ のバランスが崩れるため、図36Bに示すブリッジ回路により、モーメント M_z を検出することができる。

[0213] このように、センサチップ110では、力点に変位（力又はモーメント）が入力されると、入力に応じた曲げ及び振れの応力が所定の検知用梁に発生する。発生した応力により検知用梁の所定位置に配置された piezo抵抗素子の抵抗値が変化し、センサチップ110に形成された各ブリッジ回路からの出力電圧を電極15から得ることができる。更に、電極15の出力電圧は、入出力基板30を経由して外部で得ることができる。

[0214] 又、センサチップ110では、1つの軸につき1個のブリッジ回路が形成されているため、出力の合成を伴わずに各軸の出力を得ることができる。これにより、複雑な計算や信号処理を必要としない簡易な方法で多軸の変位を検知して出力可能となる。

- [0215] 又、ピエゾ抵抗素子を入力の種類により異なる検知用梁に分けて配置している。これにより、該当する検知用梁の剛性（厚みや幅）を変更することで、任意の軸の感度を独立して調整することができる。
- [0216] 以上、好ましい実施の形態について詳説したが、上述した実施の形態に制限されることはなく、特許請求の範囲に記載された範囲を逸脱することなく、上述した実施の形態に種々の変形及び置換を加えることができる。
- [0217] 本国際出願は2016年10月7日に出願した日本国特許出願2016-199486号、及び2017年4月26日に出願した日本国特許出願2017-086966号に基づく優先権を主張するものであり、日本国特許出願2016-199486号、及び日本国特許出願2017-086966号の全内容を本国際出願に援用する。

符号の説明

- [0218] 1、1A、1B、1C 力覚センサ装置
10、50、110 センサチップ
11a~11e、51a~51e、111a~111e 支持部
12a~12h、52a~52d、112a~112h 補強用梁
13a~13l、53a~53l、113a~113l 検知用梁
14a~14d、54a~54d、114a~114d 力点
15 電極
16 配線
17 温度センサ
20 起歪体
21、81 土台
22a~22e、25a~25d、82a~82i 柱
23a~23d、26a~26d 梁
24a~24d 入力部
27a~27d、61a~61d 突起部
30 入出力基板

- 40、60 受力板
- 40x、40y 凹部
- 41、42 接着剤
- 70 パッケージ
- 80 柱構造部

請求の範囲

[請求項1]

力点に印加された力または変位の向きに応じた、所定の梁に配置された複数の歪検出素子の出力の変化に基づいて、所定の軸方向の変位を最大で6軸検知するセンサチップであって、

基板と、

前記基板の四隅に配置された第1の支持部と、

前記基板の中央に配置された第2の支持部と、

隣接する前記第1の支持部同士を連結する第1の検知用梁と、

各々の前記第1の検知用梁と前記第2の支持部との間に、各々の前記第1の検知用梁に平行に設けられた第2の検知用梁と、

平行に設けられた前記第1の検知用梁及び前記第2の検知用梁の組において、前記第1の検知用梁と前記第2の検知用梁とを連結する第3の検知用梁と、

各々の前記第1の検知用梁と各々の前記第3の検知用梁との交点に配置された、力が印加される力点と、

前記第1の検知用梁、前記第2の検知用梁、及び前記第3の検知用梁の所定位置に配置された複数の歪検出素子と、を有し、

前記基板の厚さ方向であるZ軸方向の変位は、少なくとも前記第3の検知用梁の変形に基づいて検知し、

前記Z軸方向に直交するX軸方向及びY軸方向の変位は、前記第1の検知用梁又は前記第2の検知用梁の少なくとも一方の変形に基づいて検知することを特徴とするセンサチップ。

[請求項2]

力点に印加された力または変位の向きに応じた、所定の梁に配置された複数の歪検出素子の出力の変化に基づいて、所定の軸方向の変位を最大で6軸検知するセンサチップであって、

基板と、

前記基板の四隅に配置された第1の支持部と、

前記基板の中央に配置された第2の支持部と、

隣接する前記第1の支持部同士を連結する第1の検知用梁と、
各々の前記第1の検知用梁と前記第2の支持部との間に、各々の前記第1の検知用梁に平行に設けられた第2の検知用梁と、
平行に設けられた前記第1の検知用梁及び前記第2の検知用梁の組において、前記第1の検知用梁と前記第2の検知用梁とを連結する第3の検知用梁と、
各々の前記第1の検知用梁と各々の前記第3の検知用梁との交点に配置された、力が印加される力点と、
前記第1の検知用梁及び前記第2の検知用梁の所定位置に配置された複数の歪検出素子と、を有し、
前記基板の厚さ方向であるZ軸方向の変位は、前記第1の検知用梁又は前記第2の検知用梁の変形に基づいて検知し、
前記Z軸方向に直交するX軸方向及びY軸方向の変位は、前記第1の検知用梁の変形に基づいて検知することを特徴とするセンサチップ。

[請求項3] 前記第1の検知用梁に、前記X軸方向のモーメント及び前記Y軸方向のモーメントを検知する歪検出素子を配置し、
前記第2の検知用梁に、前記X軸方向の力及び前記Y軸方向の力を検知する歪検出素子を配置し、
前記第3の検知用梁に、前記Z軸方向のモーメント及び前記Z軸方向の力を検知する歪検出素子を配置したことを特徴とする請求項1に記載のセンサチップ。

[請求項4] 前記第1の検知用梁に、前記X軸方向のモーメント、前記Y軸方向のモーメント、前記X軸方向の力、前記Y軸方向の力、及び前記Z軸方向のモーメントを検知する歪検出素子を配置し、
前記第2の検知用梁に、前記Z軸方向の力を検知する歪検出素子を配置したことを特徴とする請求項2に記載のセンサチップ。

[請求項5] 前記第1の検知用梁及び前記第2の検知用梁の幅は、前記第3の検

知用梁の幅よりも狭く、

前記第 1 の検知用梁及び前記第 2 の検知用梁の長さは、前記第 3 の検知用梁の長さよりも長いことを特徴とする請求項 2 に記載のセンサチップ。

[請求項6]

前記第 1 の検知用梁の外側に前記第 1 の検知用梁と平行に設けられた、隣接する前記第 1 の支持部同士を連結する第 1 の補強用梁と、

前記第 1 の支持部と前記第 2 の支持部とを連結する第 2 の補強用梁と、を有し、

前記第 2 の補強用梁は、前記第 1 の補強用梁と非平行に配置され、

前記第 1 の補強用梁及び前記第 2 の補強用梁は、前記第 1 の検知用梁、前記第 2 の検知用梁、及び前記第 3 の検知用梁よりも厚く形成され、

前記第 2 の検知用梁は、隣接する前記第 2 の補強用梁の前記第 2 の支持部側の端部同士を連結していることを特徴とする請求項 1 に記載のセンサチップ。

[請求項7]

前記第 1 の検知用梁、前記第 2 の検知用梁、及び前記第 3 の検知用梁は、前記第 1 の支持部及び前記第 2 の支持部の厚さ方向の上端側に設けられ、

前記第 1 の支持部及び前記第 2 の支持部の厚さ方向の下端側において、前記第 1 の支持部の下面、前記第 2 の支持部の下面、及び前記力点の下面は面一であり、

前記下端側において、前記第 1 の補強用梁の下面及び前記第 2 の補強用梁の下面は、前記第 1 の支持部の下面、前記第 2 の支持部の下面、及び前記力点の下面よりも前記上端側に窪んでいることを特徴とする請求項 6 に記載のセンサチップ。

[請求項8]

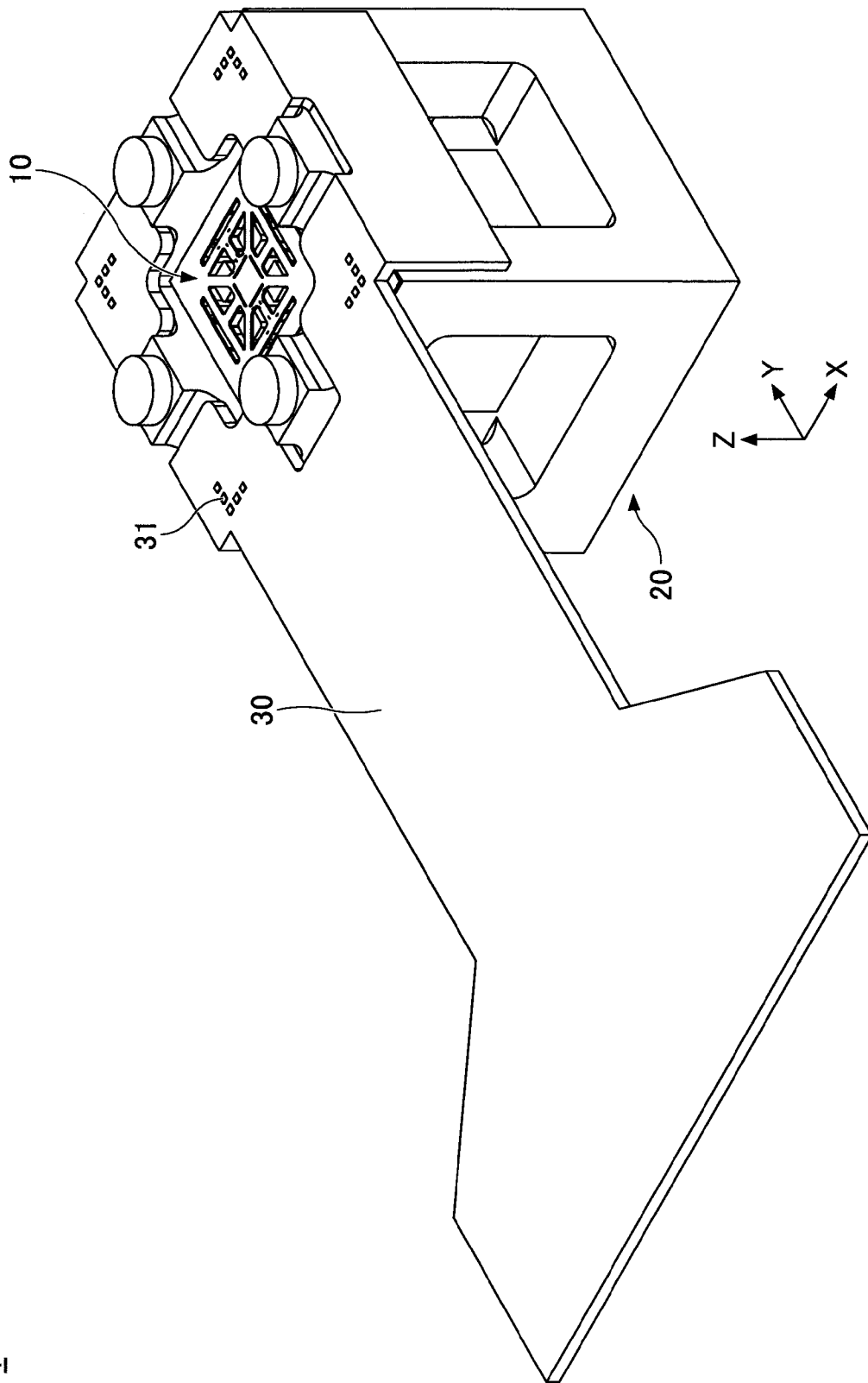
前記第 1 の補強用梁及び前記第 2 の補強用梁の一方又は双方の上面に、配線が形成されていることを特徴とする請求項 6 に記載のセンサチップ。

- [請求項9] 前記第1の支持部の上面に、前記配線と接続された電極が配置されていることを特徴とする請求項8に記載のセンサチップ。
- [請求項10] 前記センサチップは半導体基板から形成され、
歪検出素子と不純物半導体により構成された温度センサを有し、
前記温度センサを構成する前記歪検出素子と、変位検知用の前記歪検出素子とは、前記半導体基板の結晶方位に対して異なる方向に配置されていることを特徴とする請求項1に記載のセンサチップ。
- [請求項11] 前記第1の支持部の上面に、前記温度センサが配置されていることを特徴とする請求項10に記載のセンサチップ。
- [請求項12] 所定の軸方向の変位を検知するセンサチップと接着される起歪体であって、
四隅に配置された、印加された力により変形する第1の柱と、
中央に配置された、印加された力により変形しない第2の柱と、
隣接する前記第1の柱同士を連結する、印加された力により変形する4つの第1の梁と、
各々の前記第1の梁の内側面から水平方向内側に突出する、前記第1の柱及び前記第1の梁の変形を前記センサチップに伝達する第2の梁と、
各々の前記第1の梁の長手方向の中央部から上方に突起する、力が印加される4つの入力部と、を有することを特徴とする起歪体。
- [請求項13] 前記第2の柱の一方の面の四隅に設けられた第3の柱と、
前記第2の柱の一方の面の中央に設けられた第4の柱と、を有することを特徴とする請求項12に記載の起歪体。
- [請求項14] 前記第2の梁は、各々の前記第1の梁の長手方向の中央部の内側面から水平方向内側に突出することを特徴とする請求項13に記載の起歪体。
- [請求項15] 各々の前記第2の梁の先端側に、上方に突起して前記センサチップと接する突起部が設けられていることを特徴とする請求項13に記載

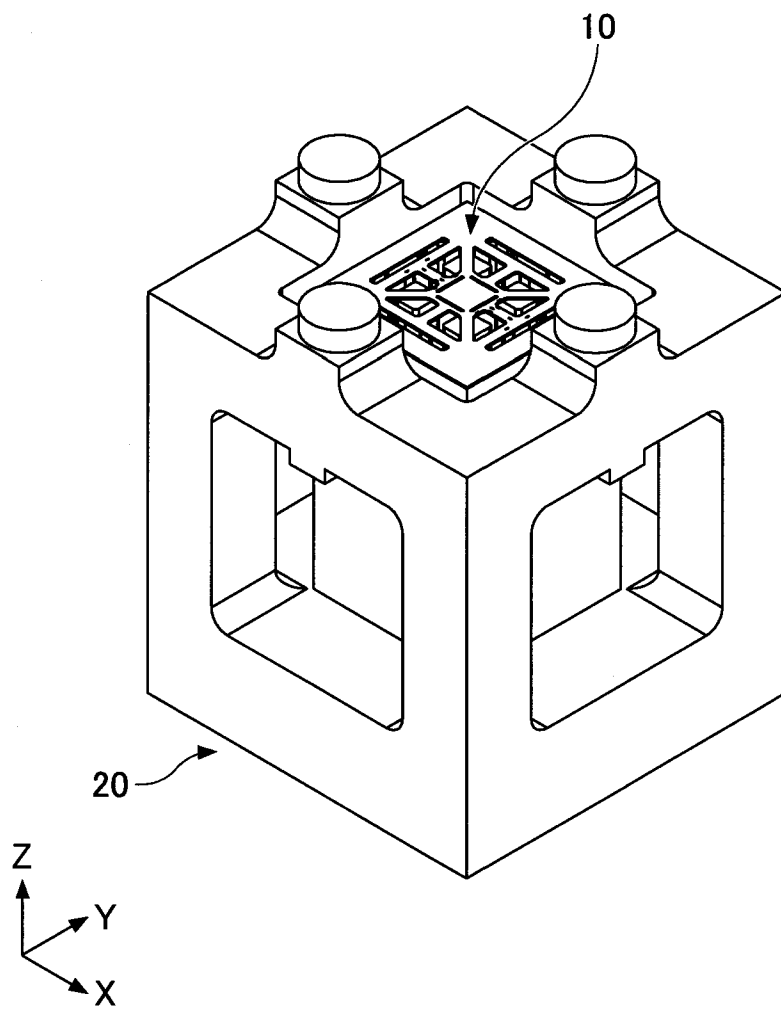
の起歪体。

- [請求項16] 請求項1に記載のセンサチップと、請求項13に記載の起歪体と、を有する力覚センサ装置であって、
前記センサチップの前記第1の支持部が、前記起歪体の前記第3の柱上に固定され、
前記センサチップの前記第2の支持部が、前記起歪体の前記第4の柱上に固定され、
前記センサチップの前記力点が、前記起歪体の前記第2の梁の先端側に固定されていることを特徴とする力覚センサ装置。
- [請求項17] 前記センサチップは、前記第1の柱の上面から突出しないように、前記起歪体に固定されていることを特徴とする請求項16に記載の力覚センサ装置。
- [請求項18] 前記センサチップに対して信号の入出力を行う入出力基板を有し、
前記入出力基板は、電極が前記第1の柱上に配置されるように前記起歪体に接着されていることを特徴とする請求項16に記載の力覚センサ装置。
- [請求項19] 前記入出力基板の電極が形成されている領域の裏面は、樹脂により、前記第1の柱に接着されていることを特徴とする請求項18に記載の力覚センサ装置。
- [請求項20] 4つの前記入力部上に受力板を設けたことを特徴とする請求項16に記載の力覚センサ装置。
- [請求項21] 前記受力板には4つの凹部が設けられ、
前記受力板は、各々の前記凹部が前記入力部を覆うことで前記起歪体と位置決めされることを特徴とする請求項20に記載の力覚センサ装置。

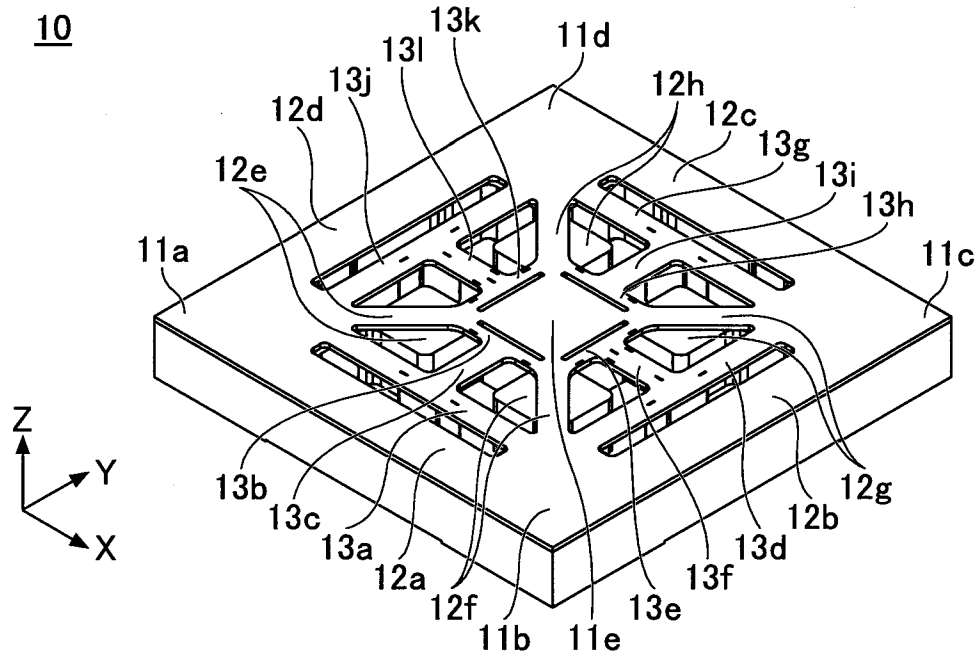
[図1]



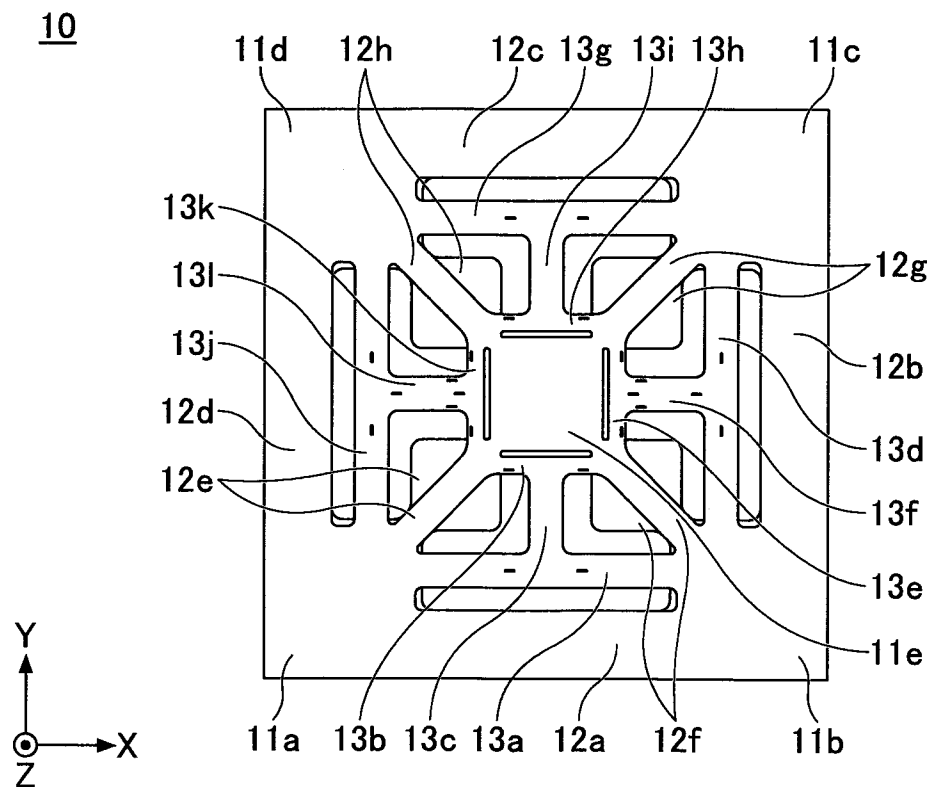
[図2]



[図3A]

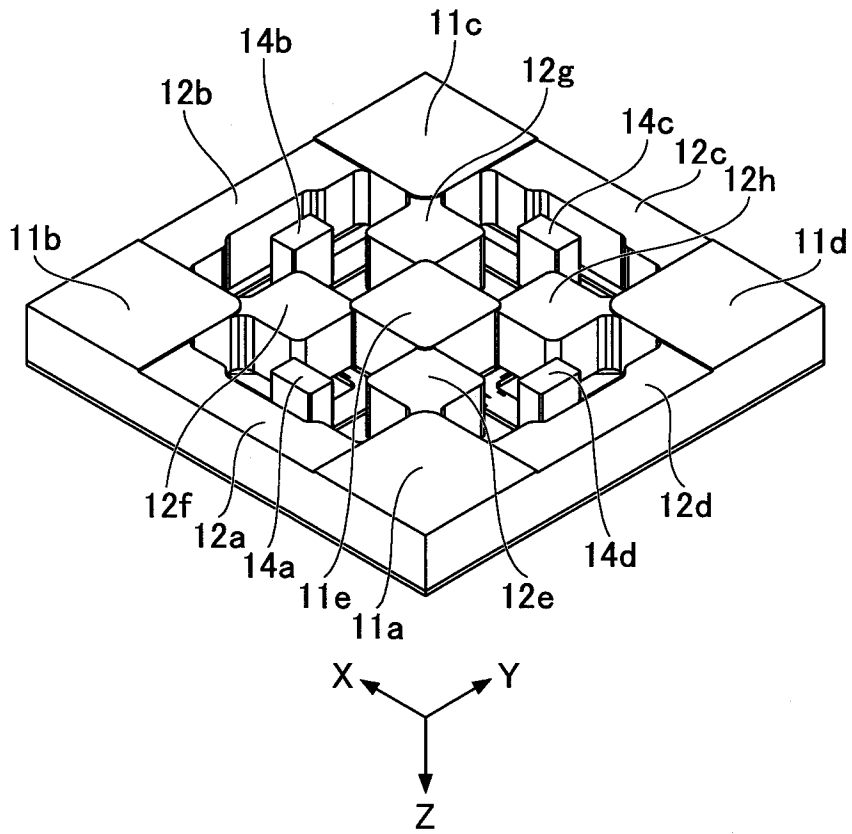


[図3B]

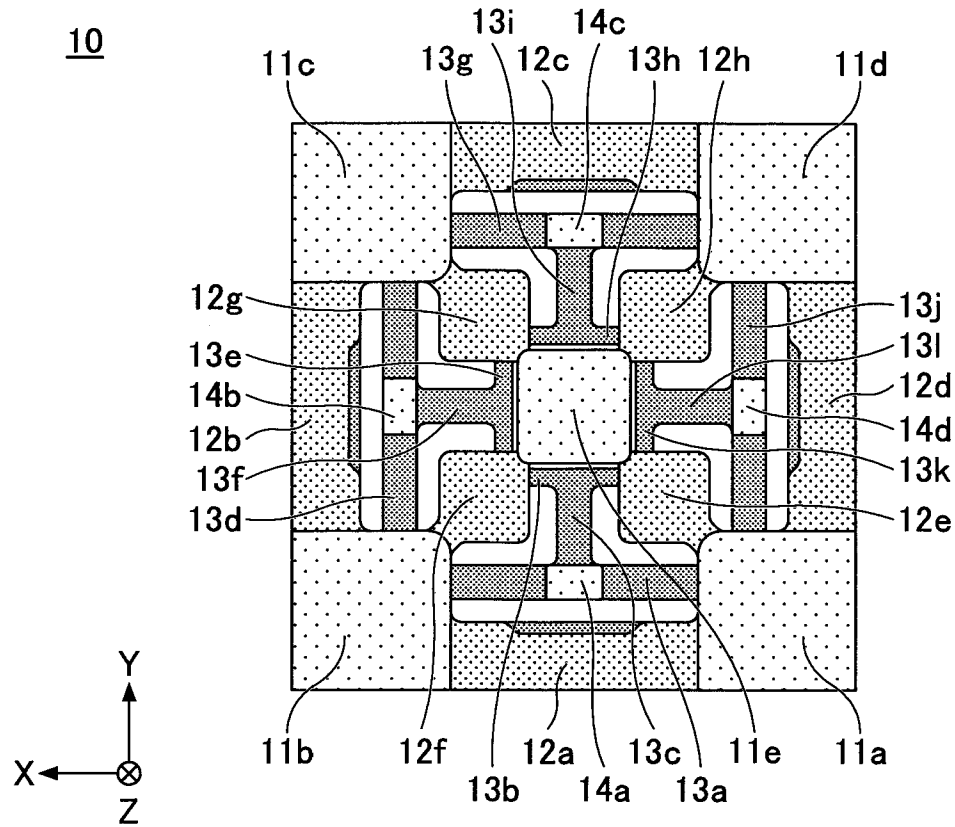


[図4A]

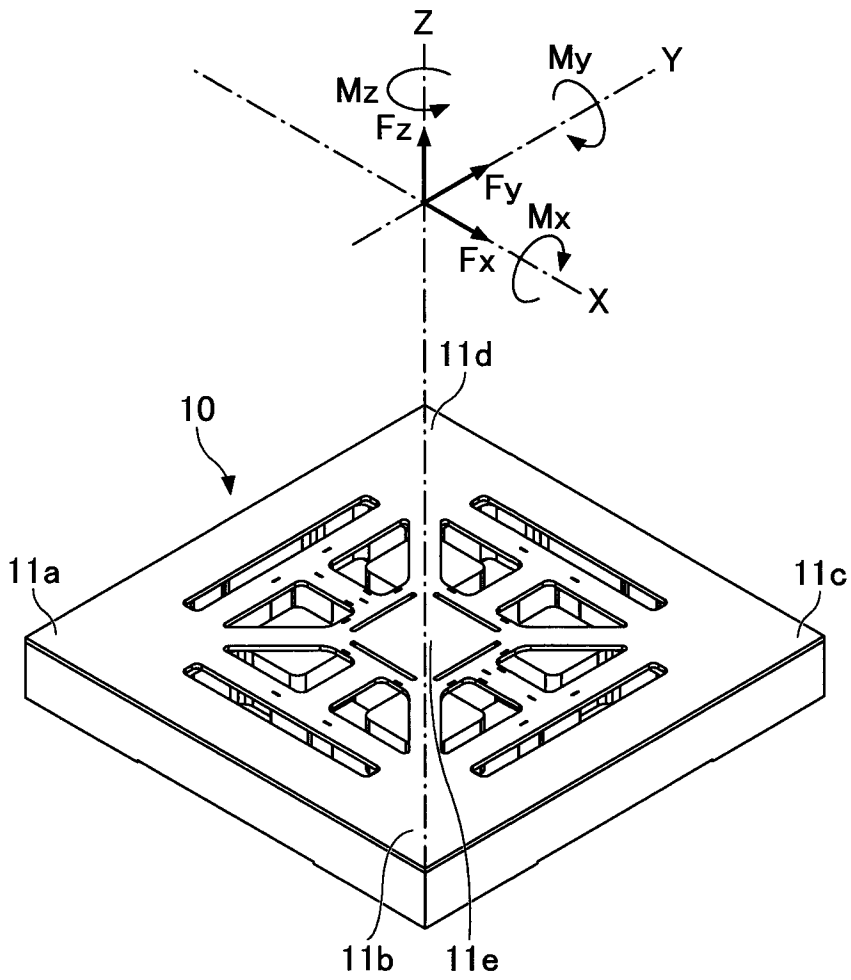
10



[図4B]

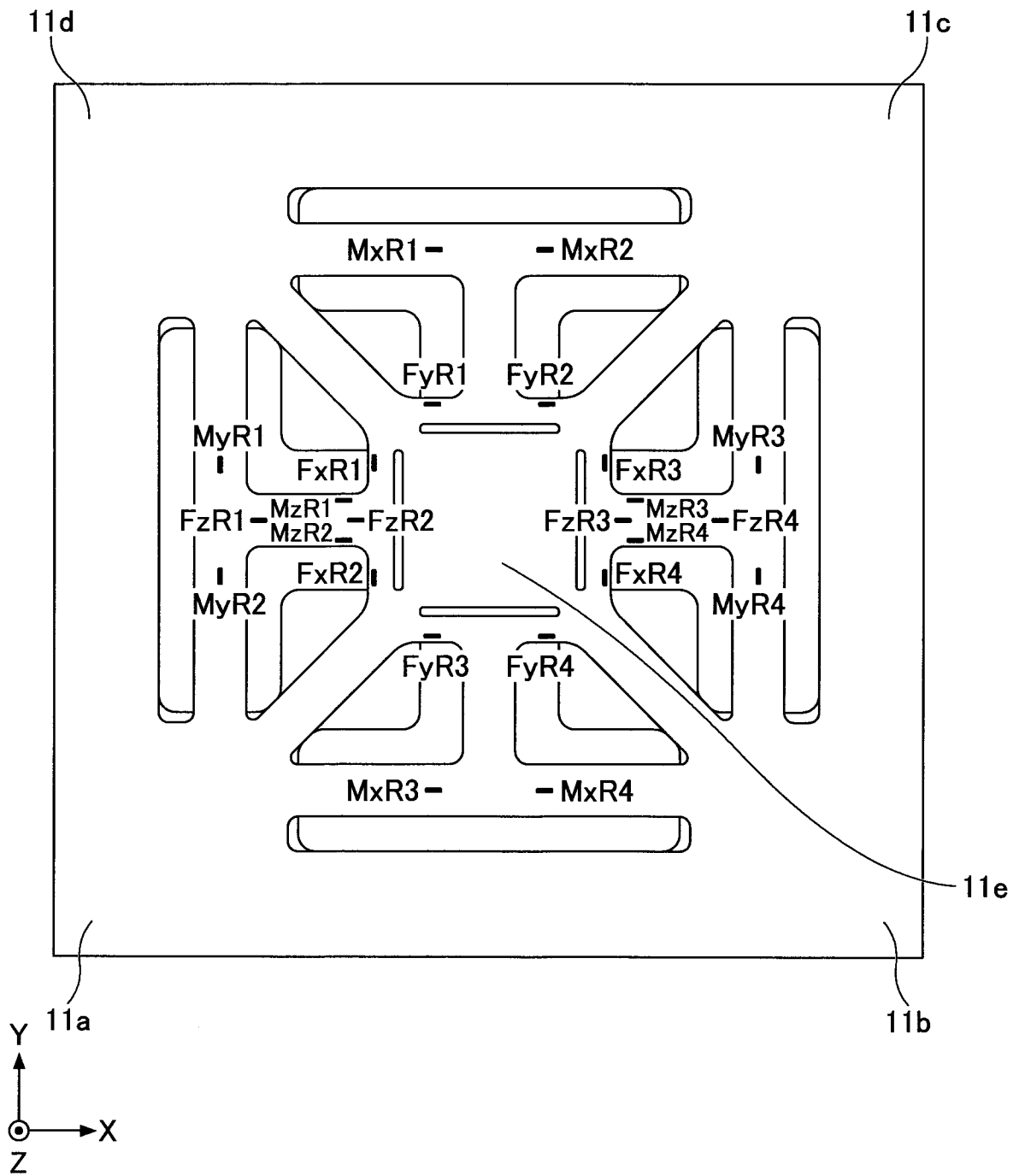


[図5]

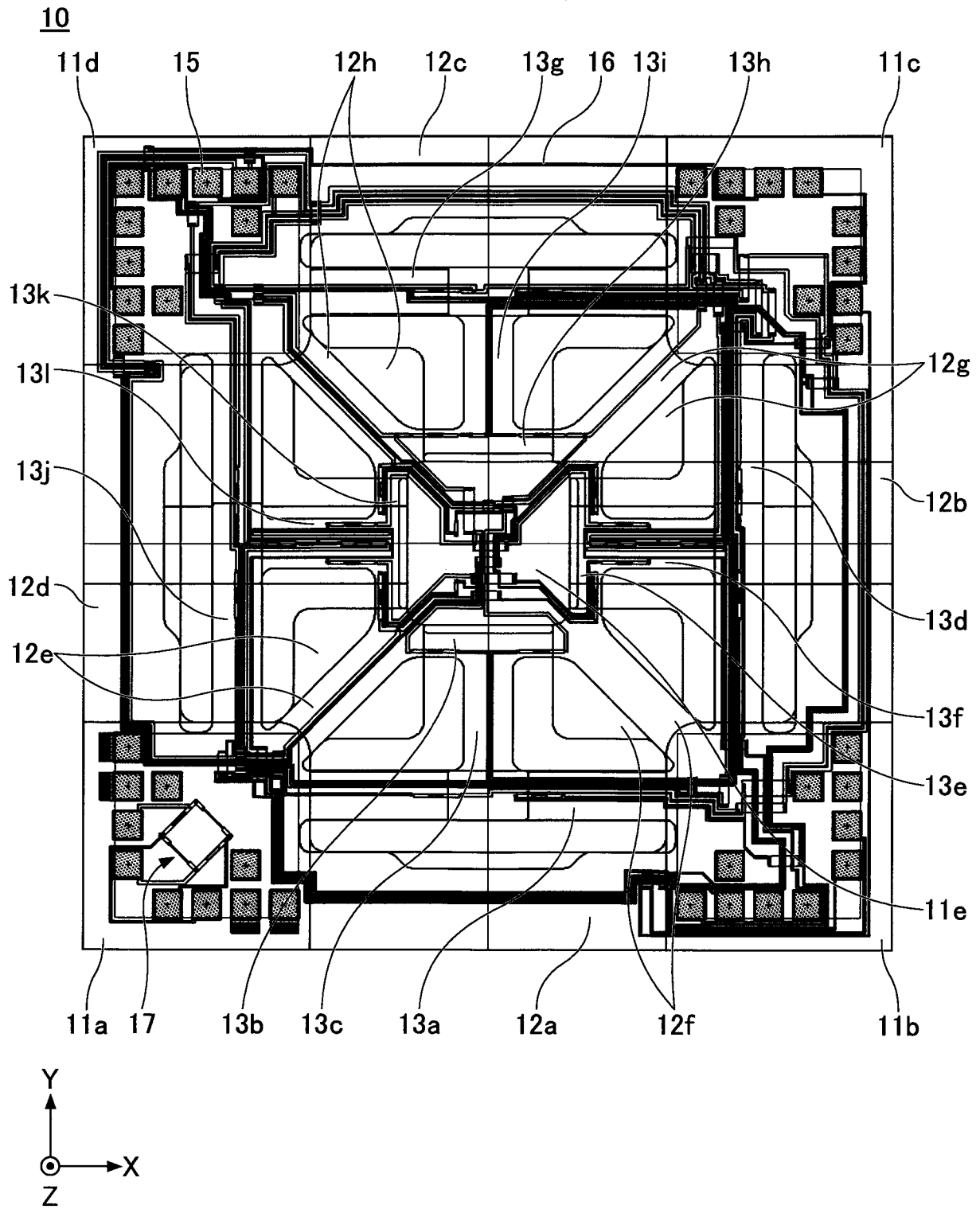


[図6]

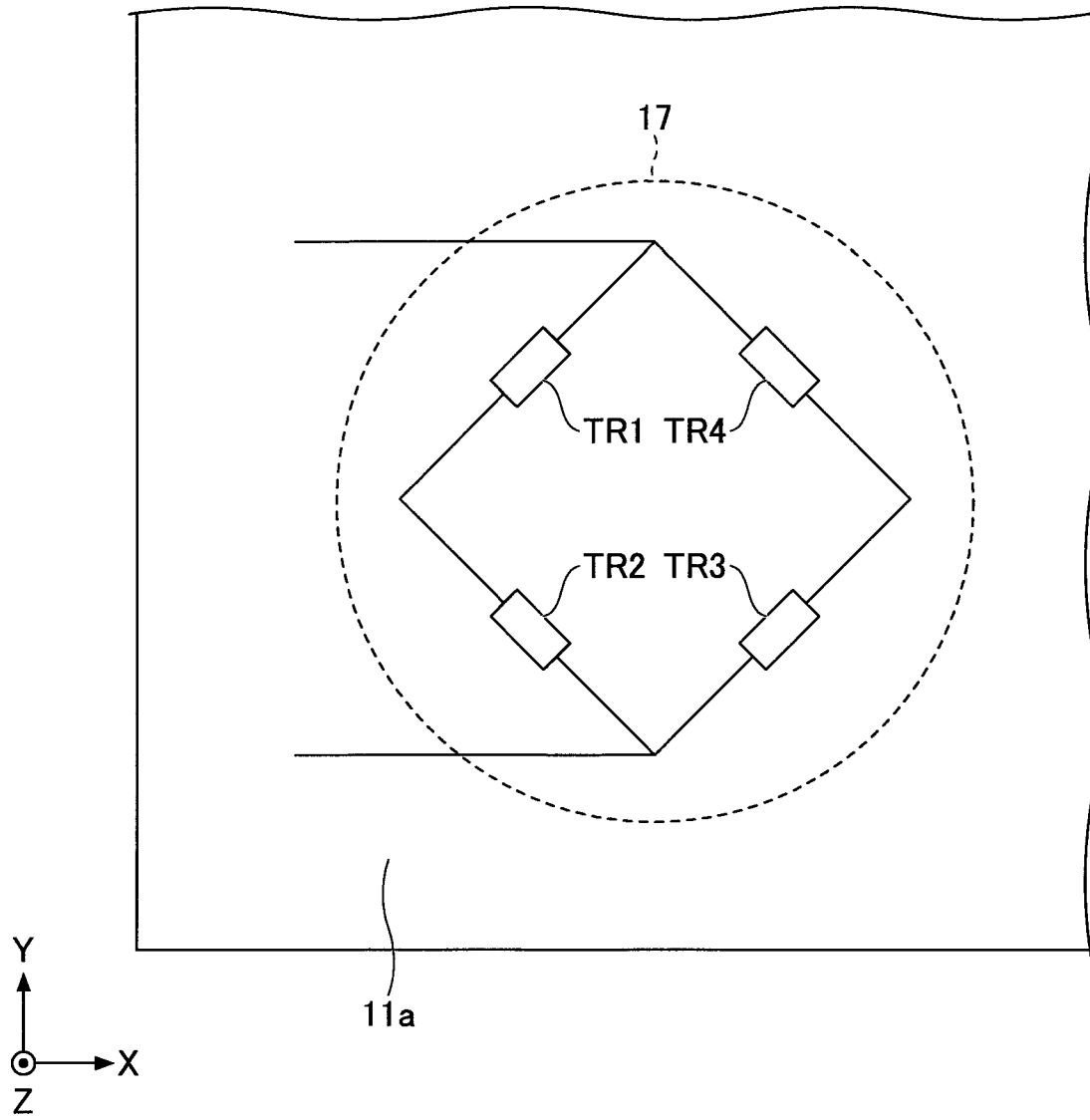
10



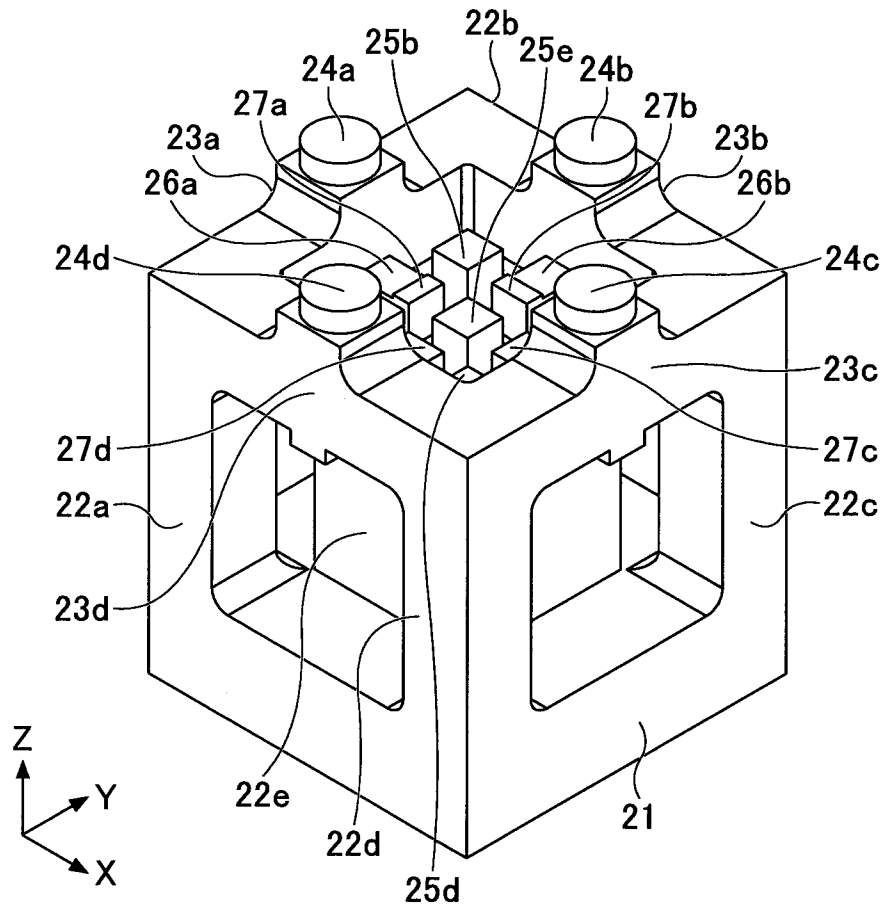
[図7]



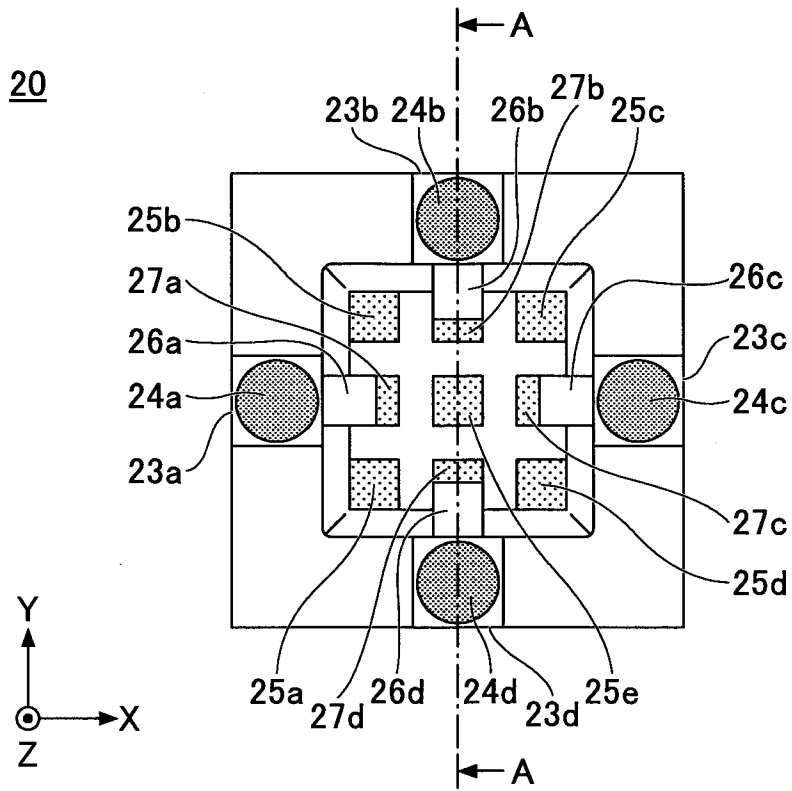
[図8]



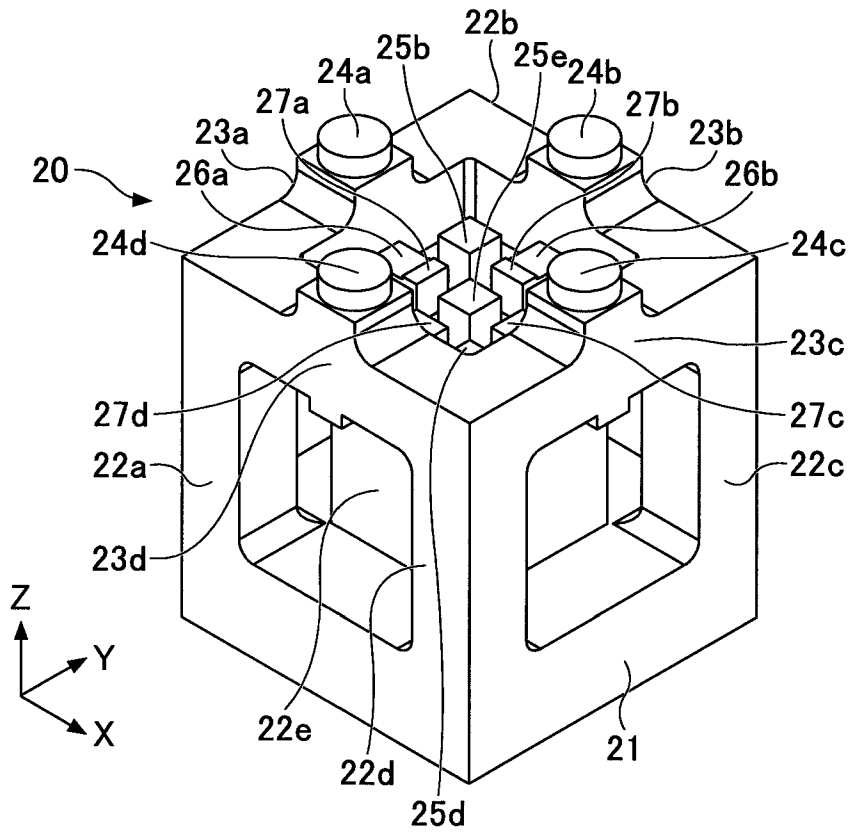
[図9]

20

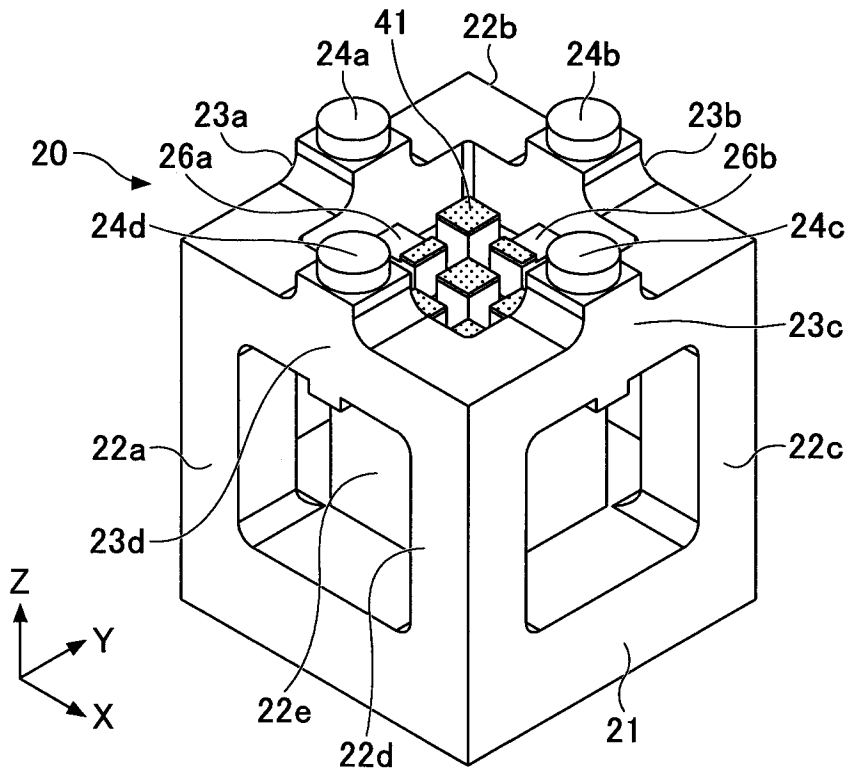
[図10A]



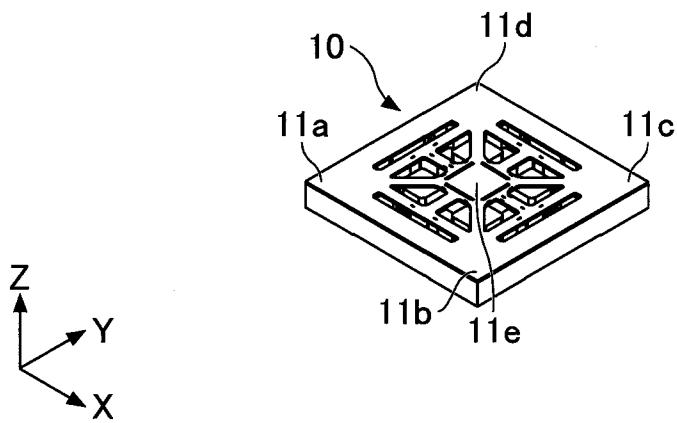
[図11A]



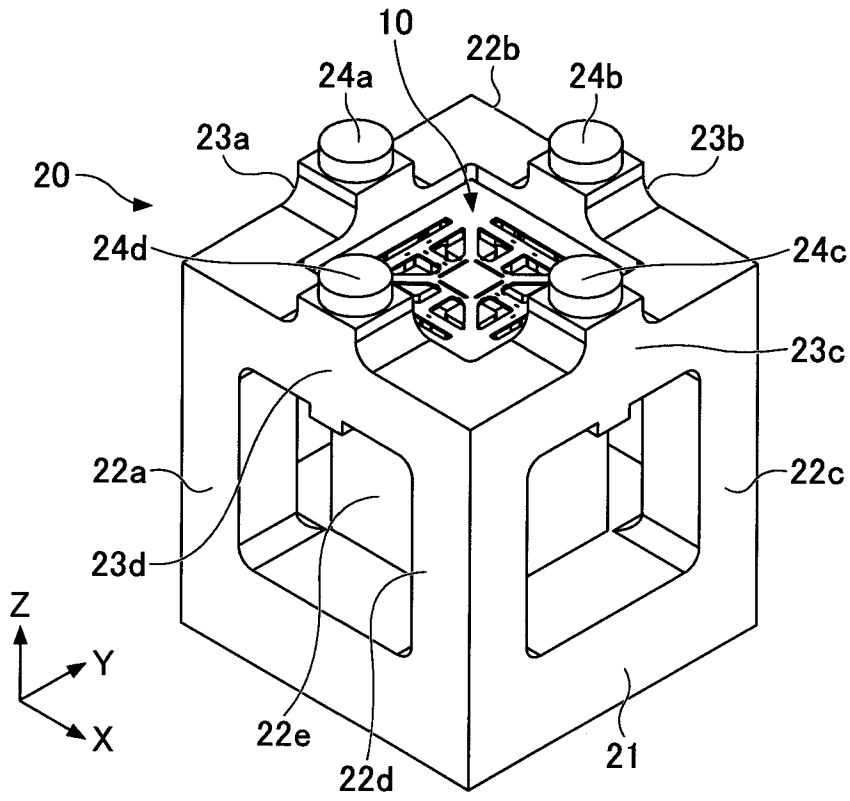
[図11B]



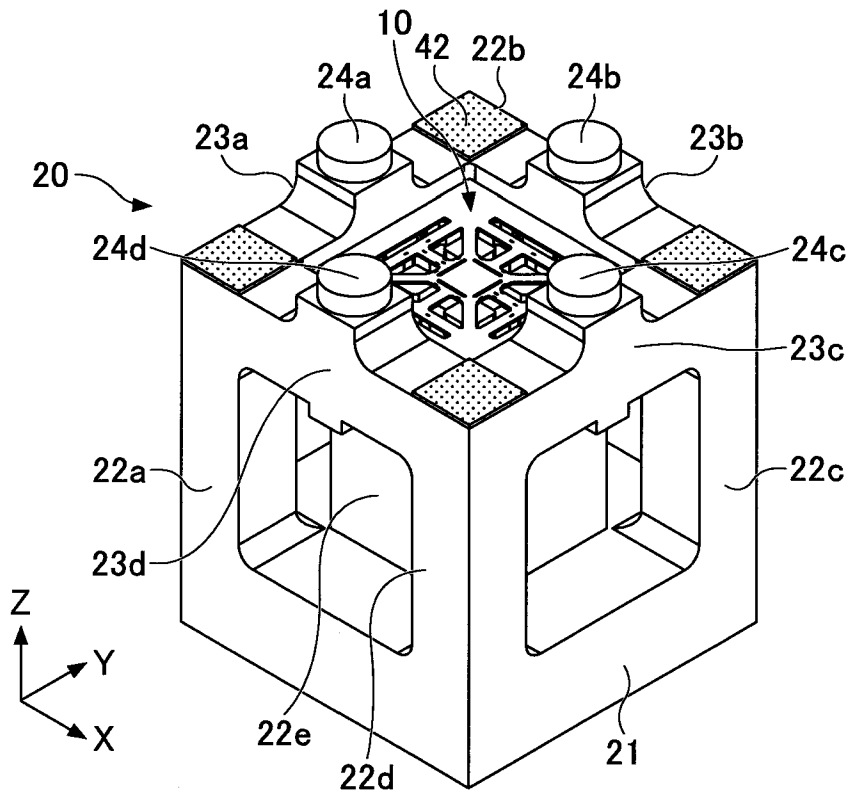
[図12A]



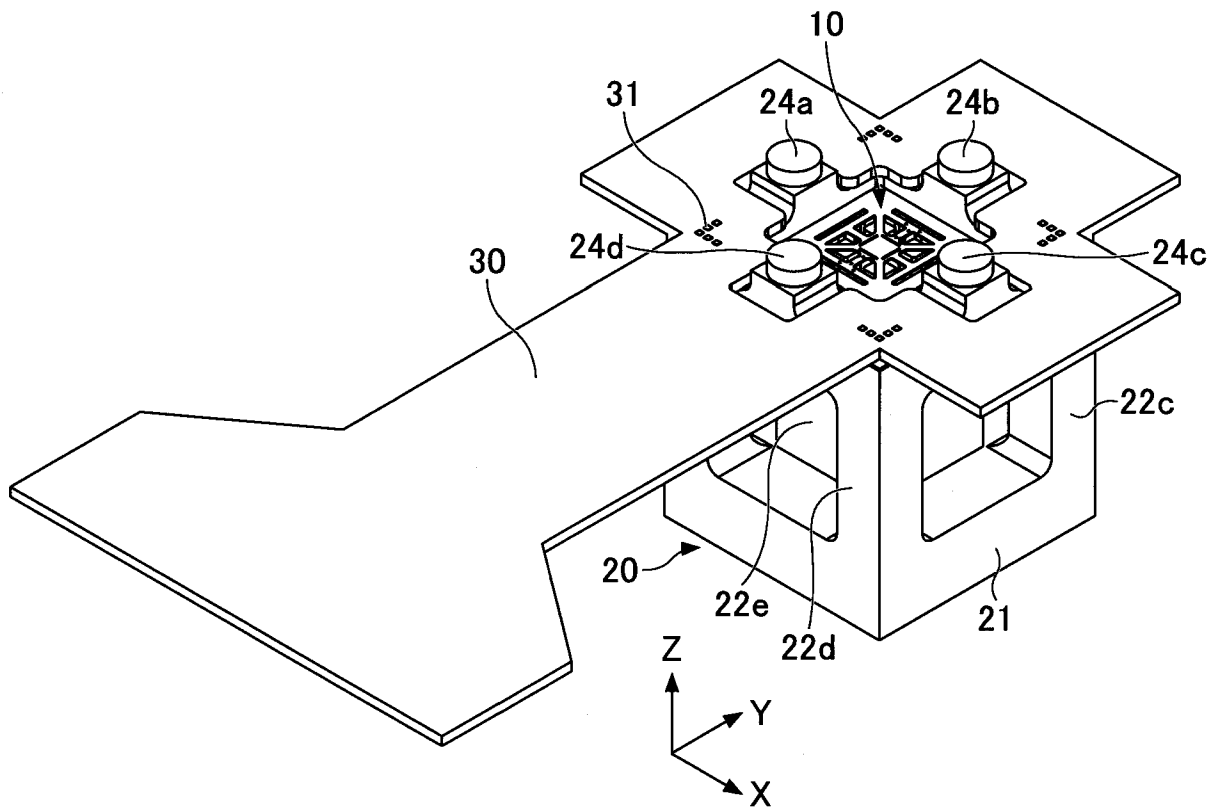
[図12B]



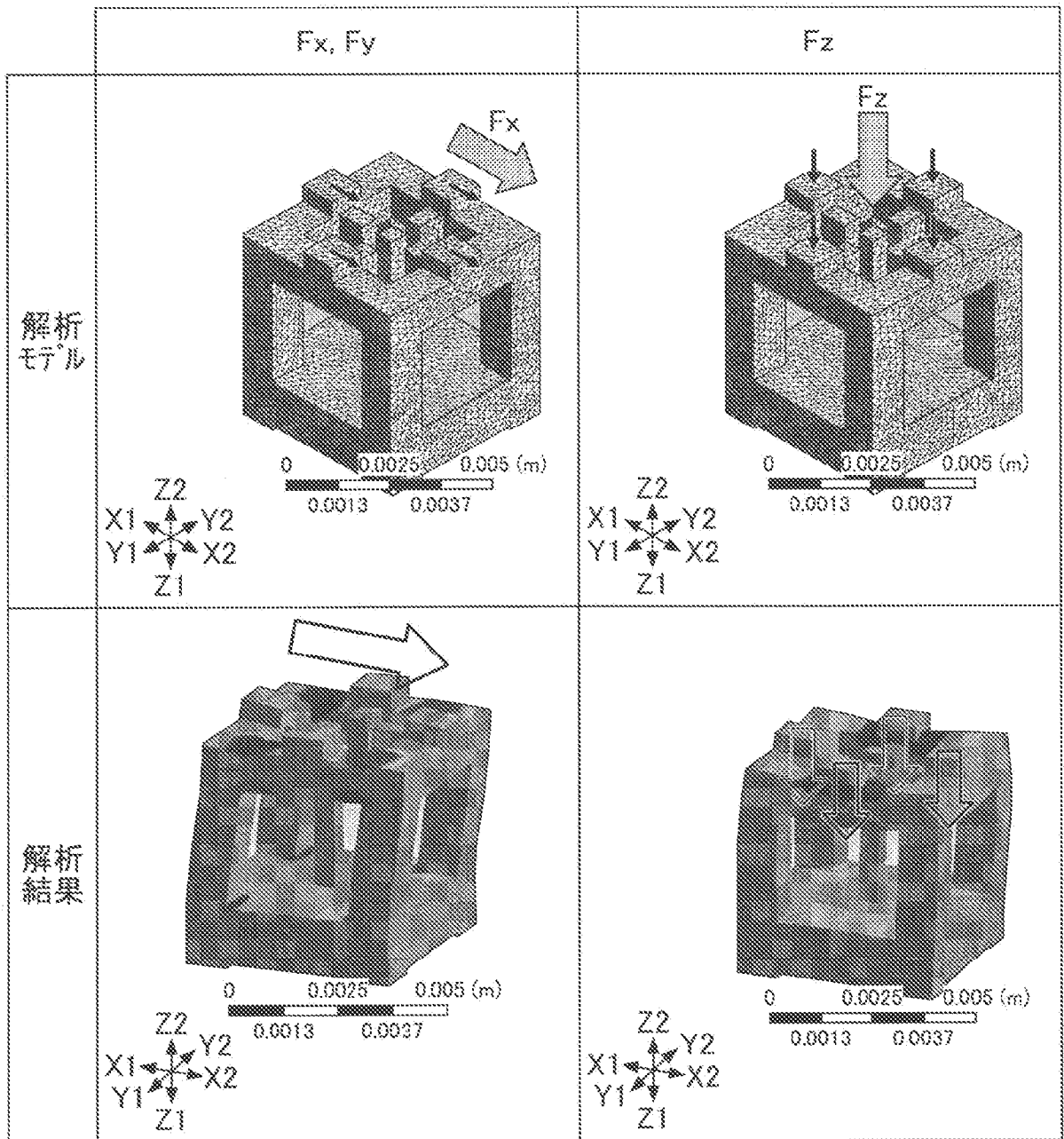
[図13A]



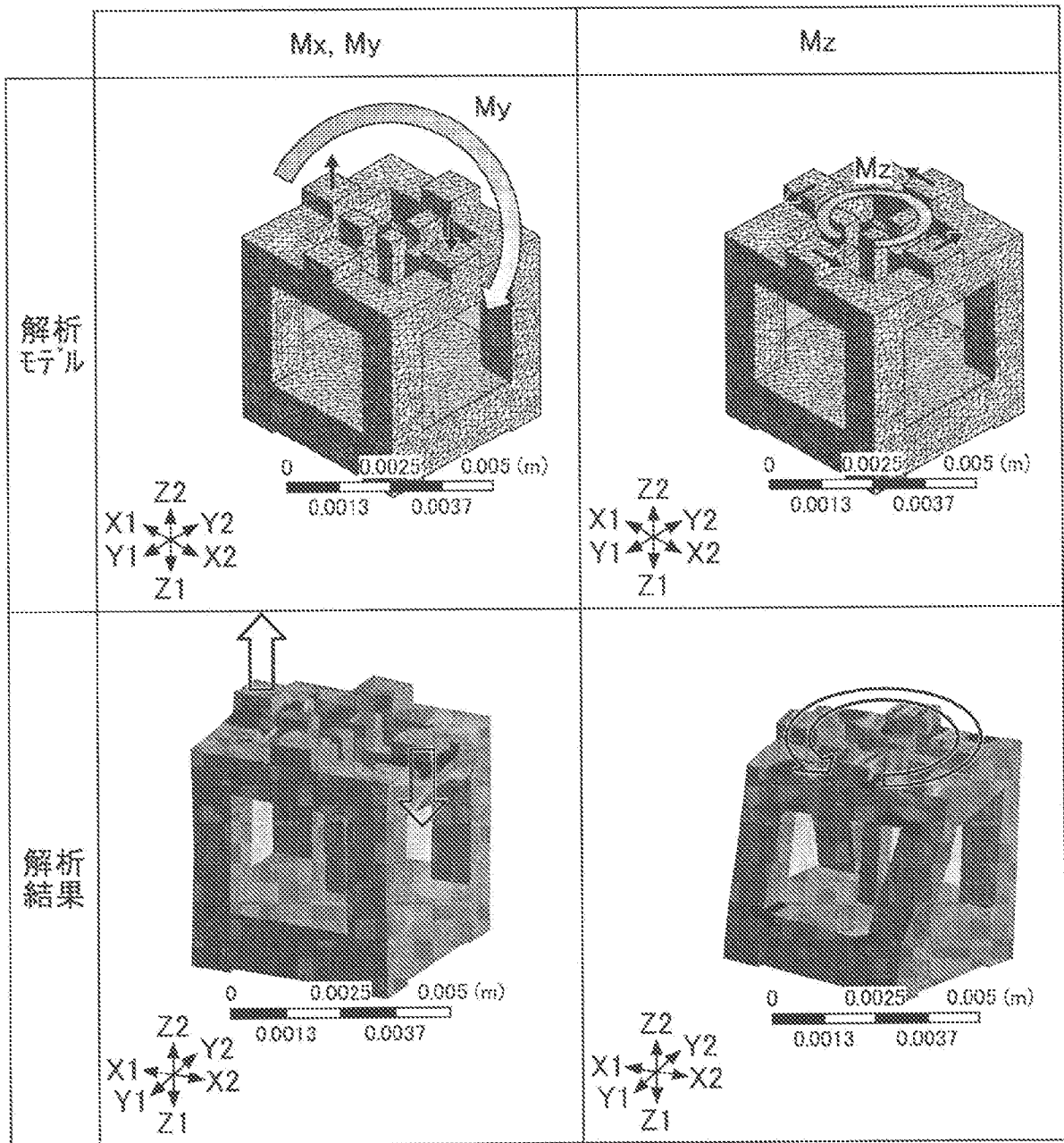
[図13B]



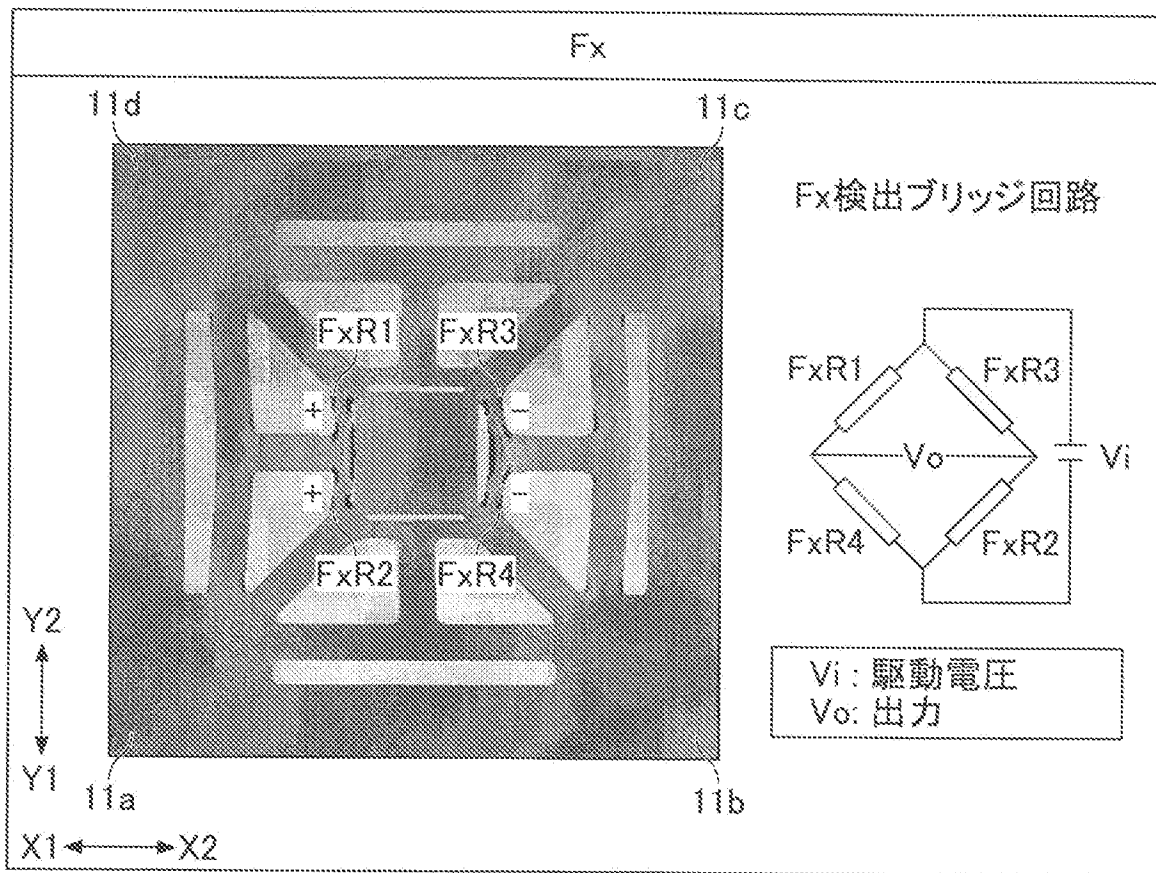
[図14]



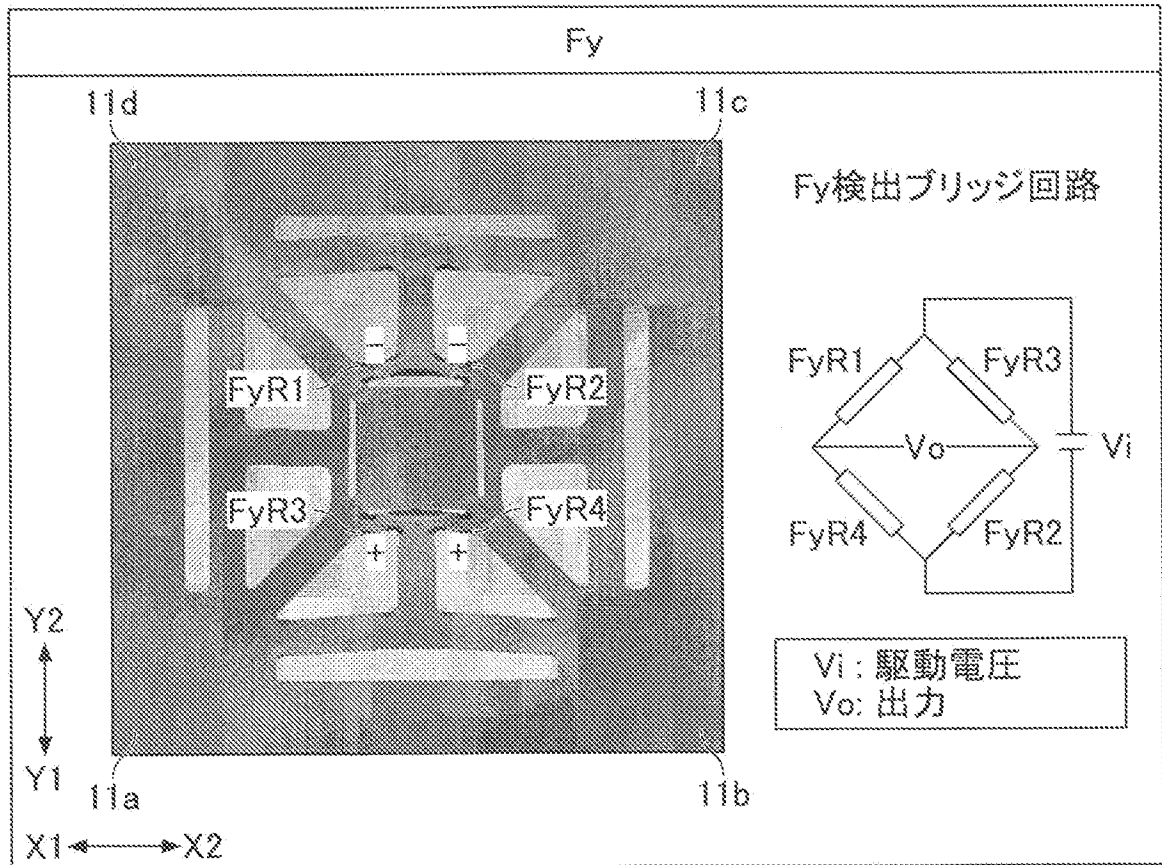
[図15]



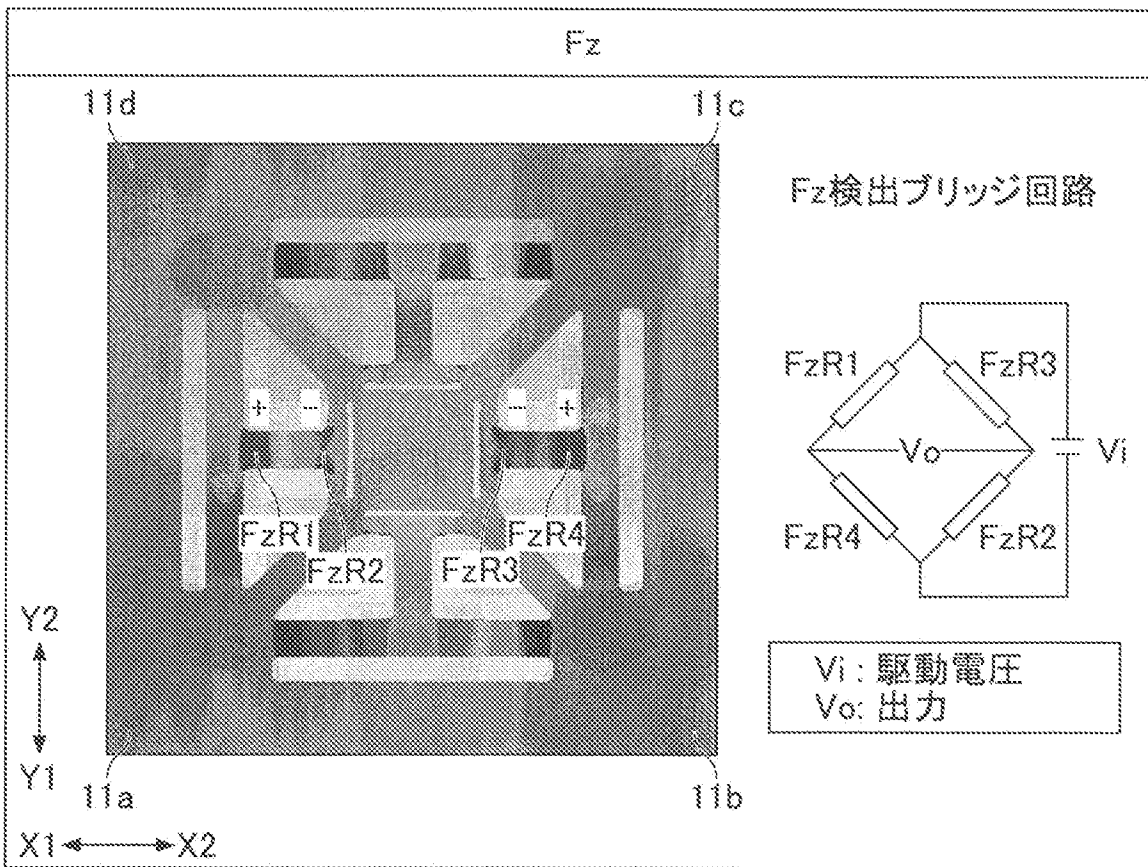
[図16A]



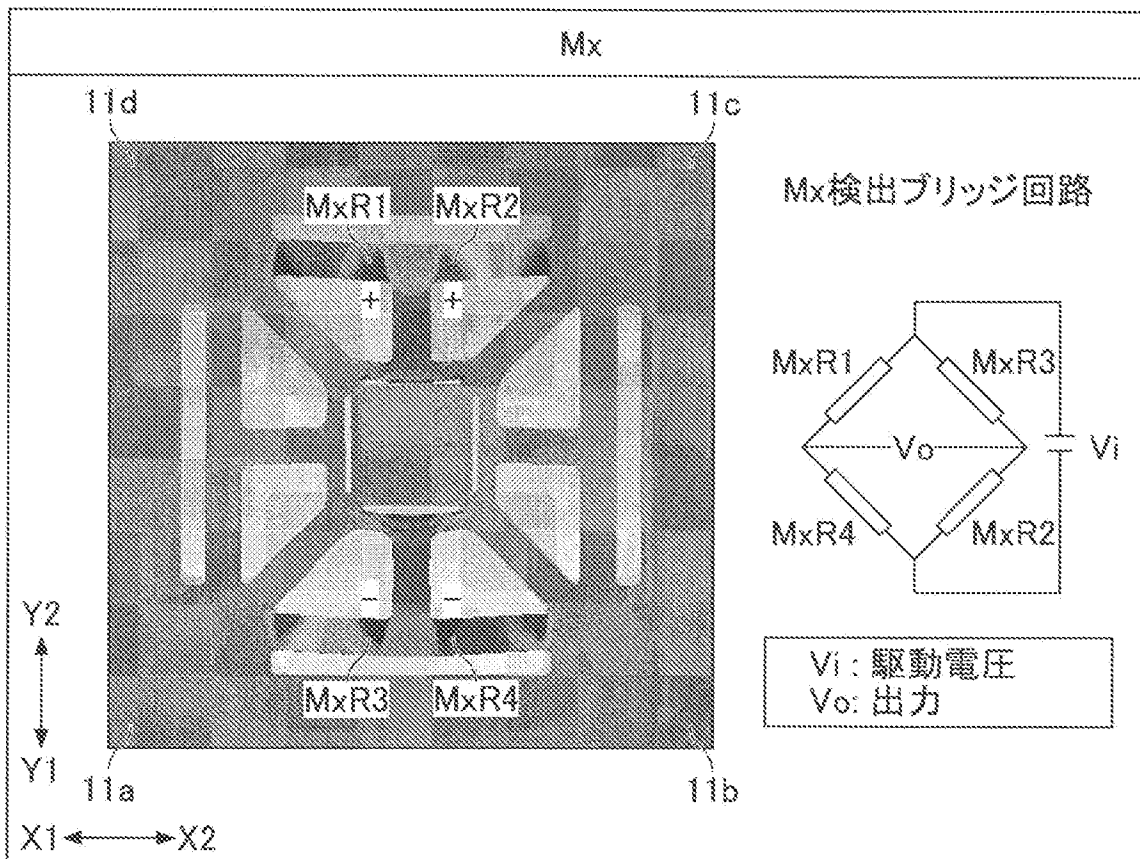
[図16B]



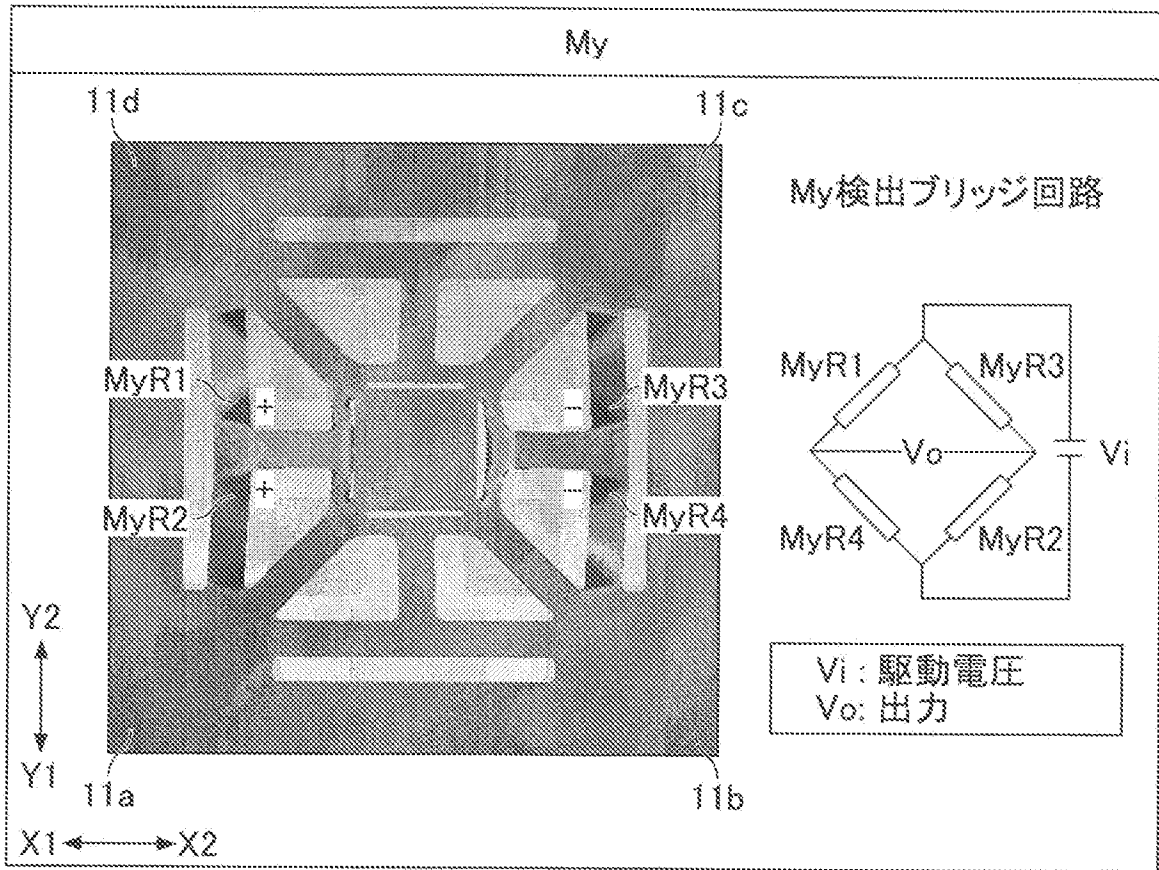
[図17A]



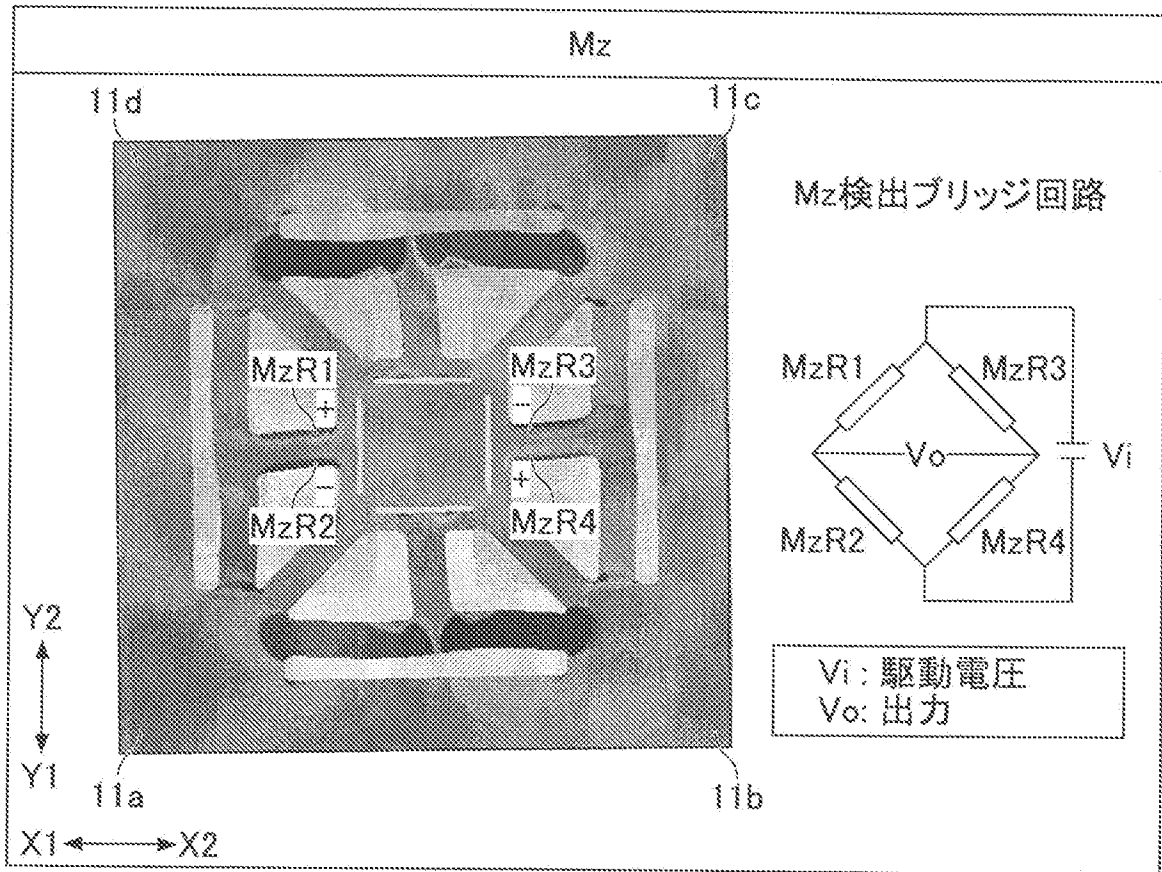
[図17B]



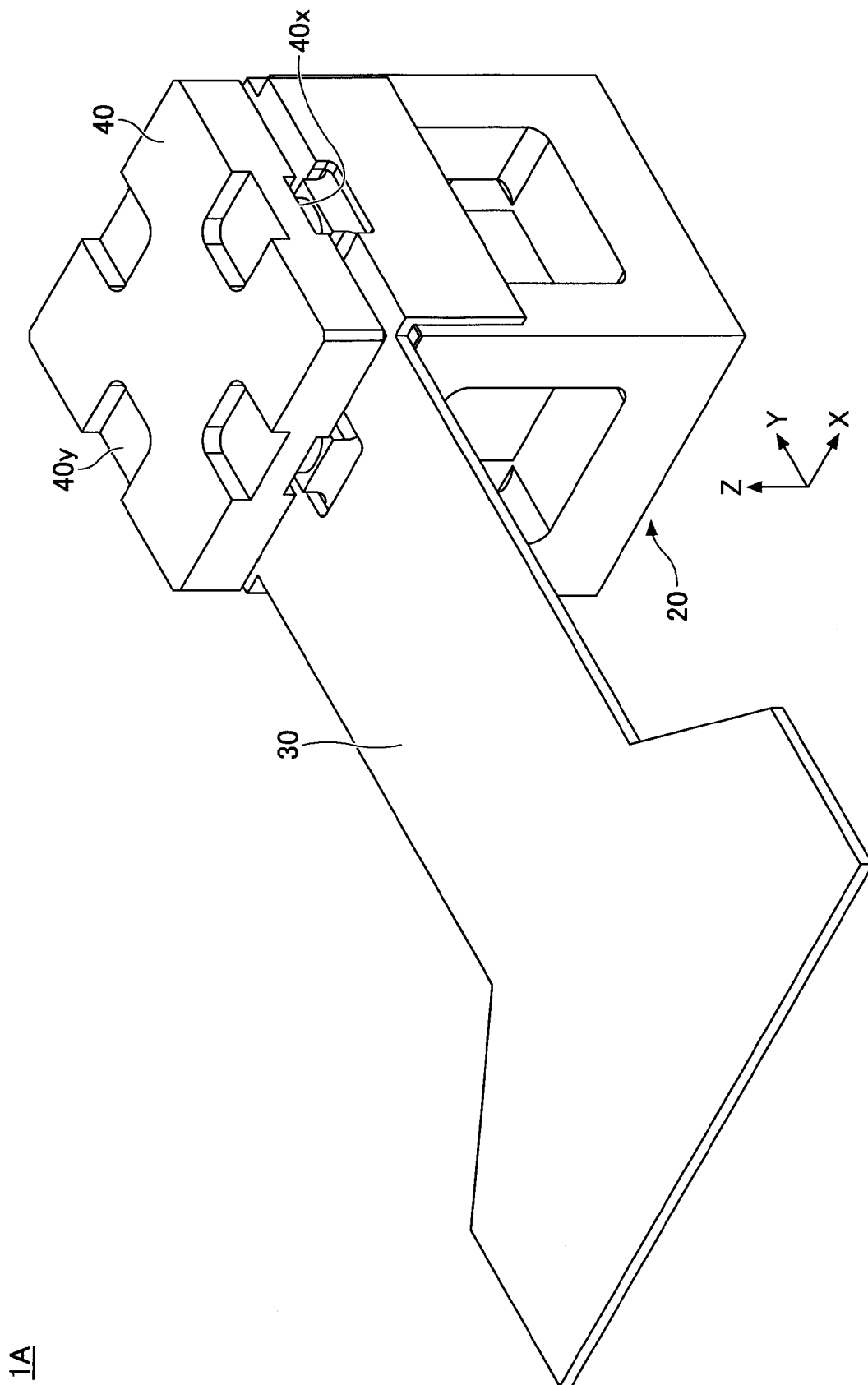
[図18A]



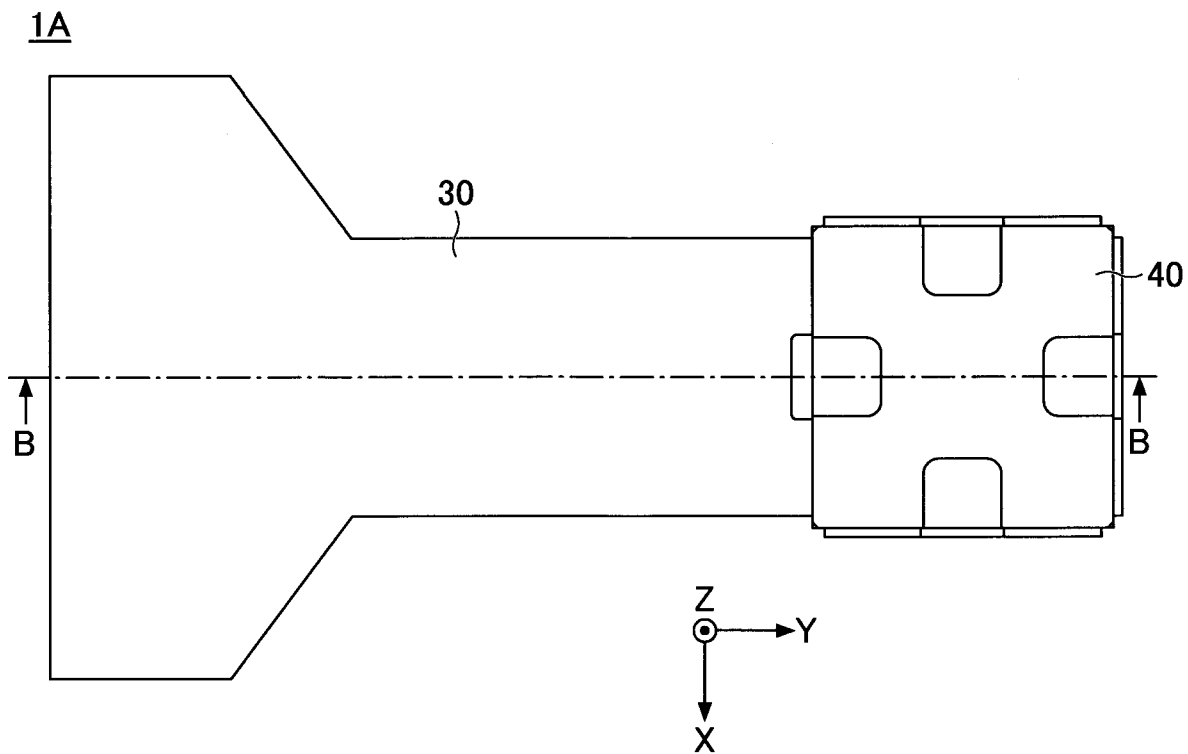
[図18B]



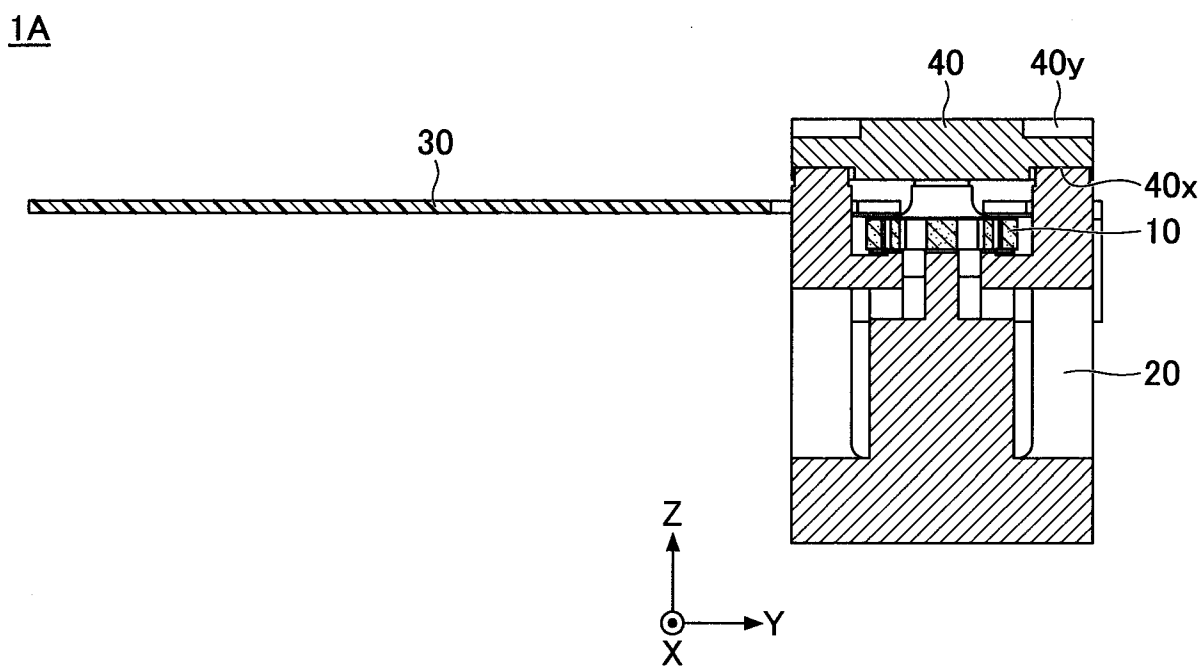
[図19]



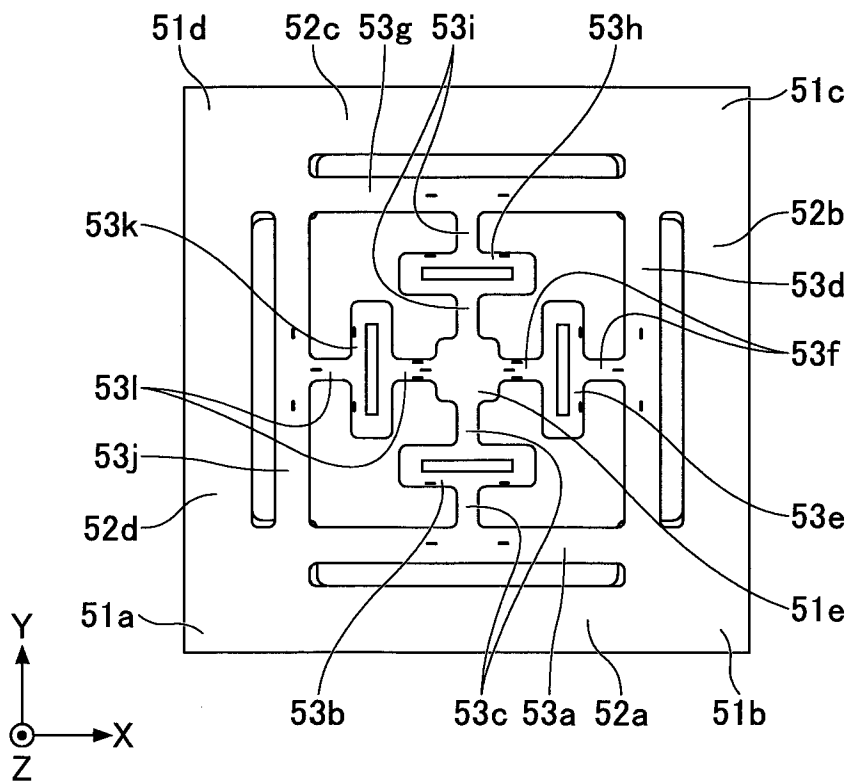
[図20A]



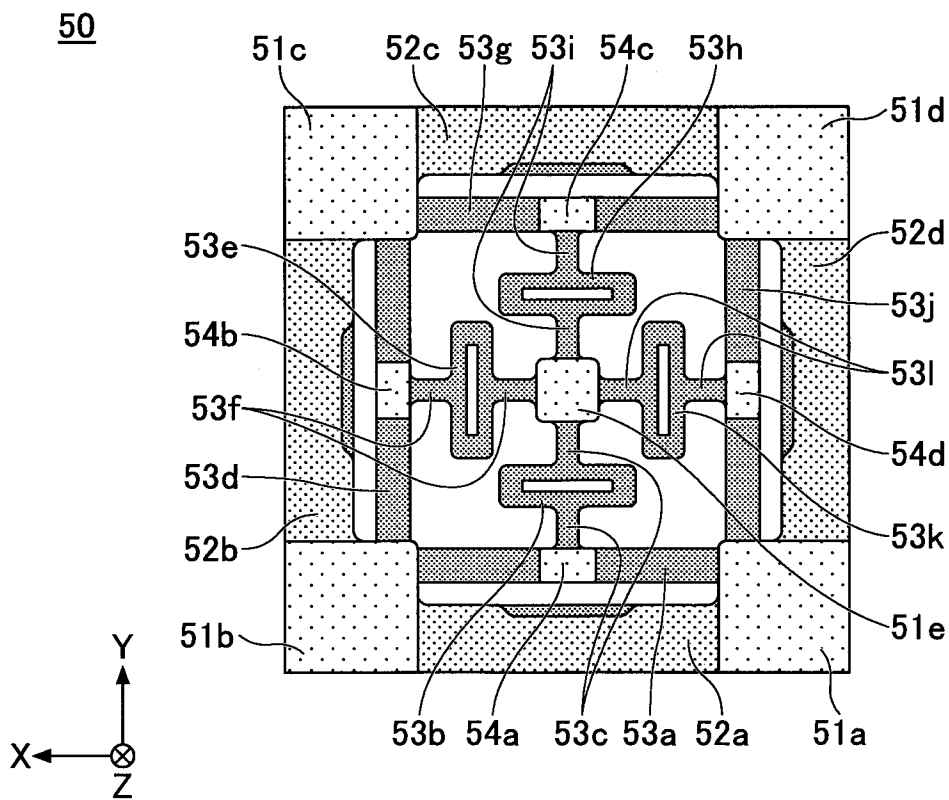
[図20B]



[図21A]

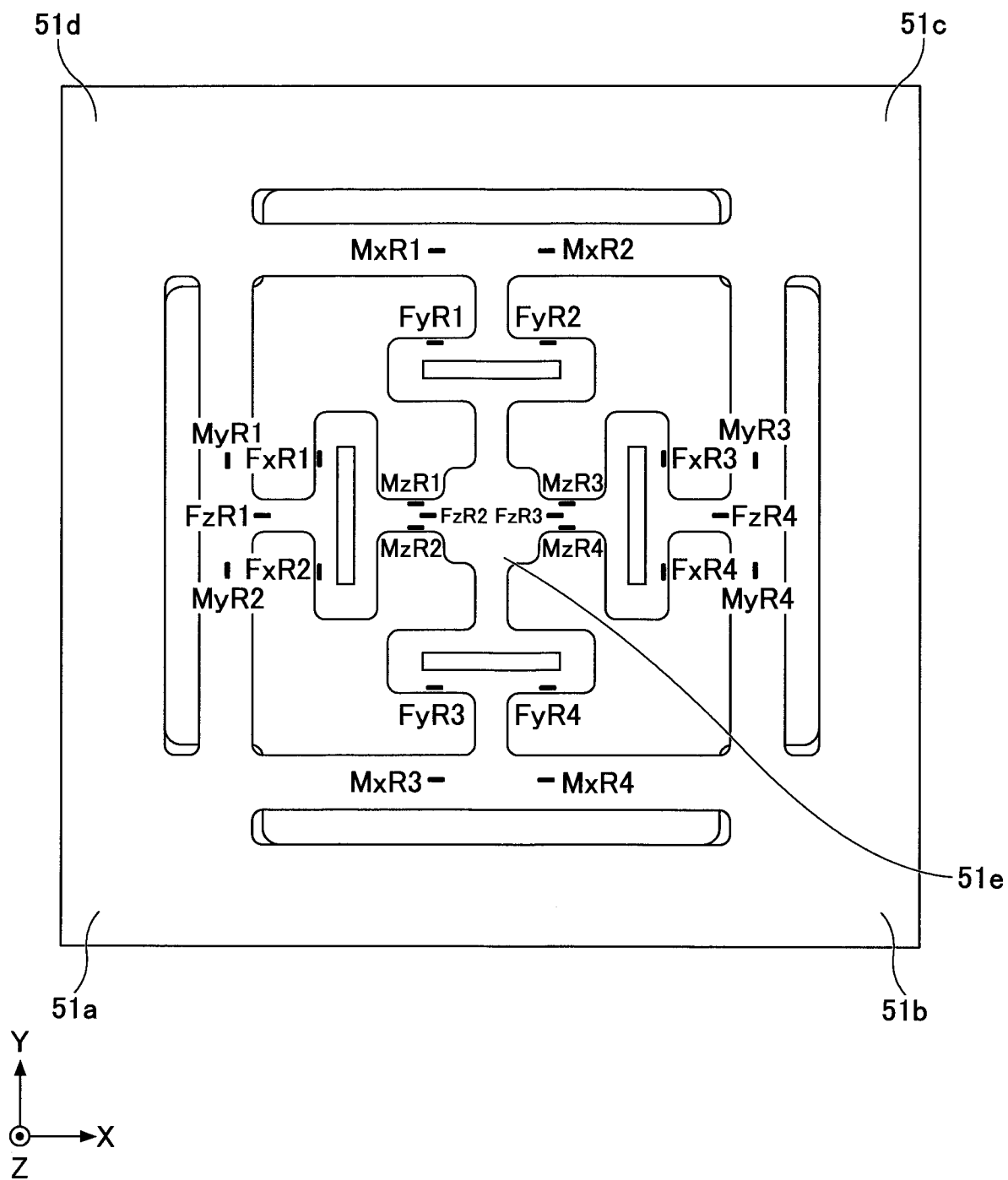
50

[図21B]

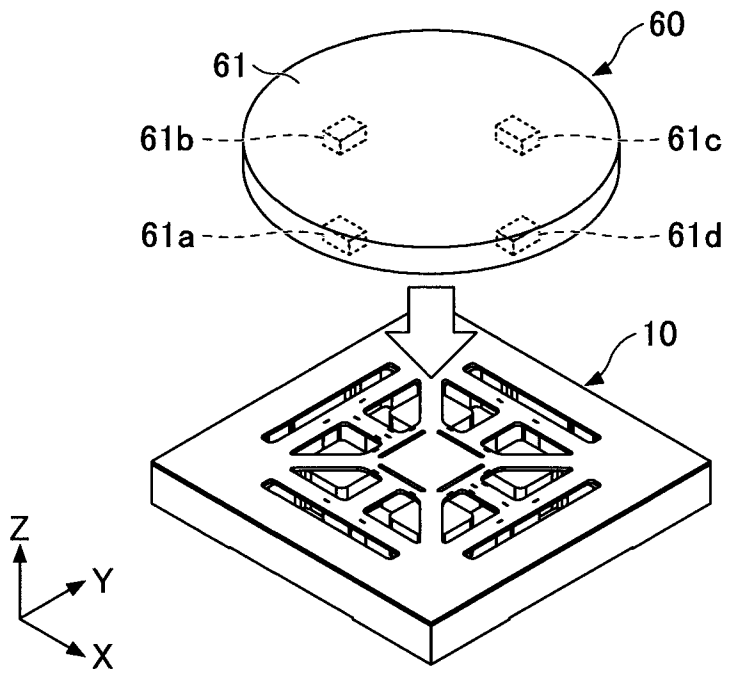


[図22]

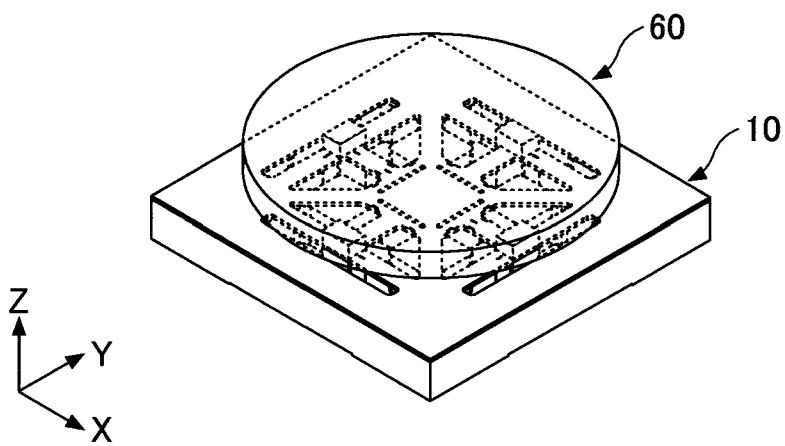
50



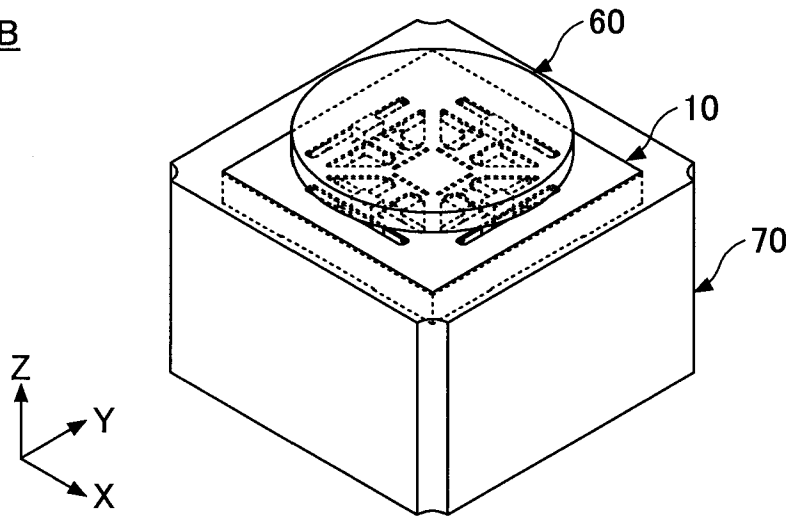
[図23A]



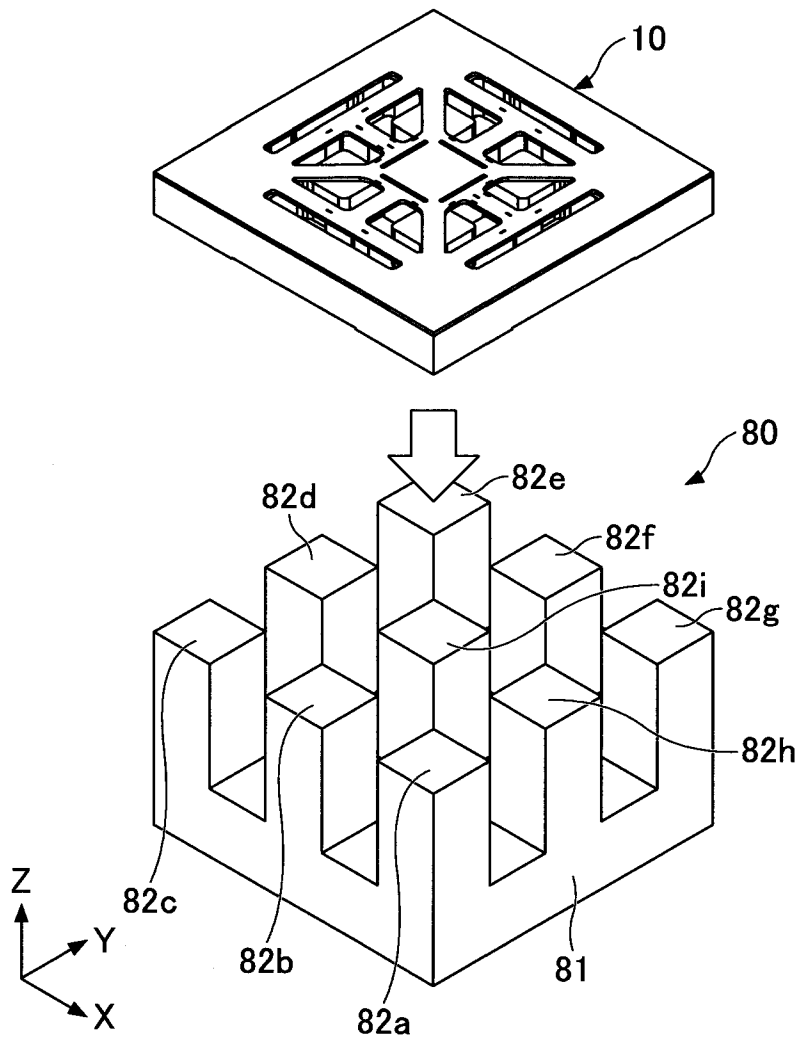
[図23B]



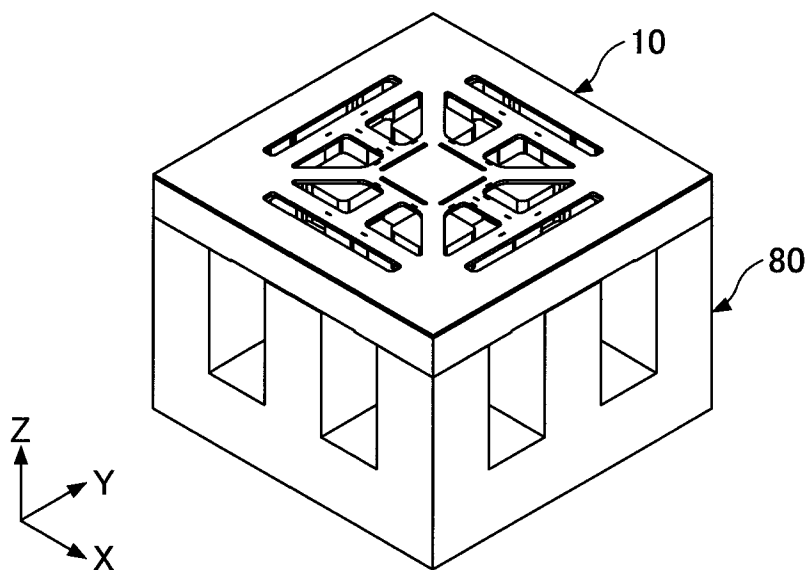
[図23C]

1B

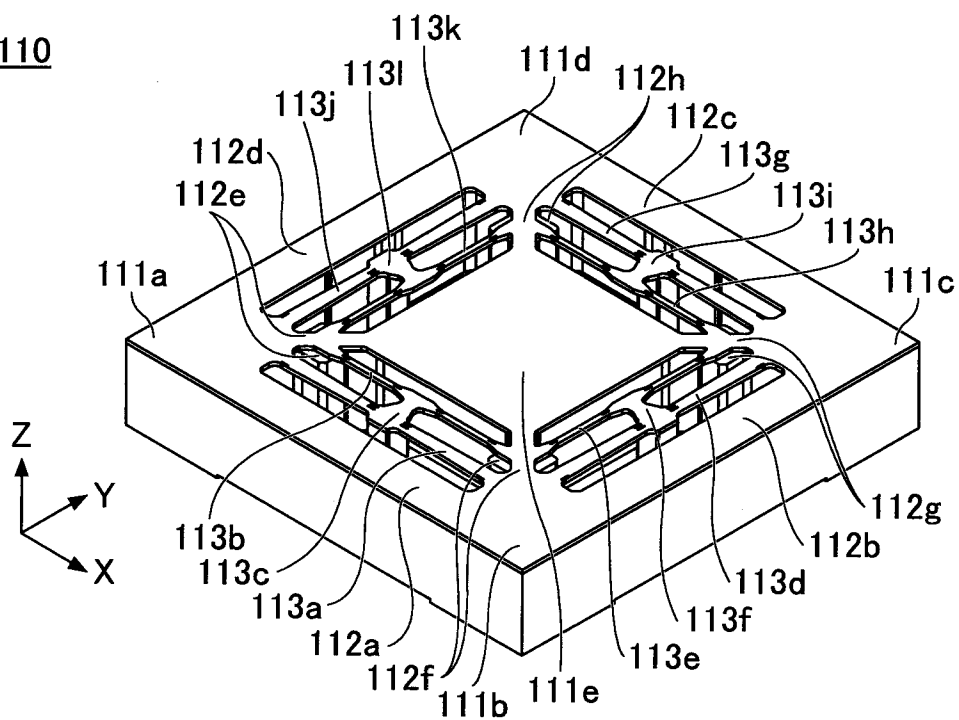
[図24A]



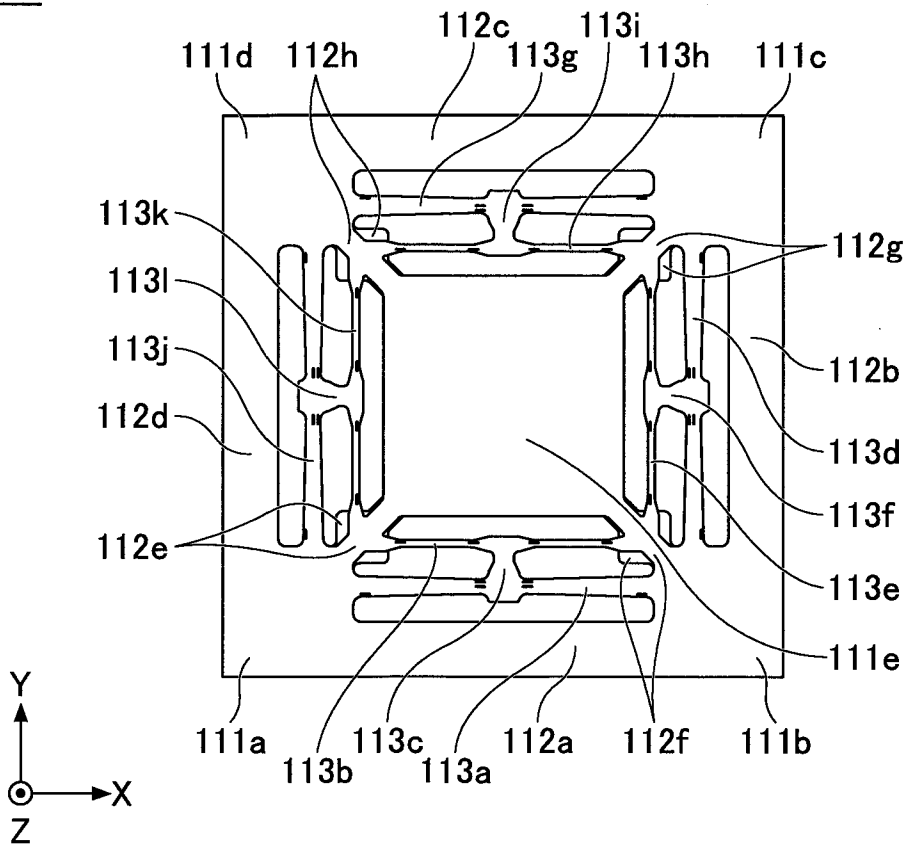
[図24B]

1C

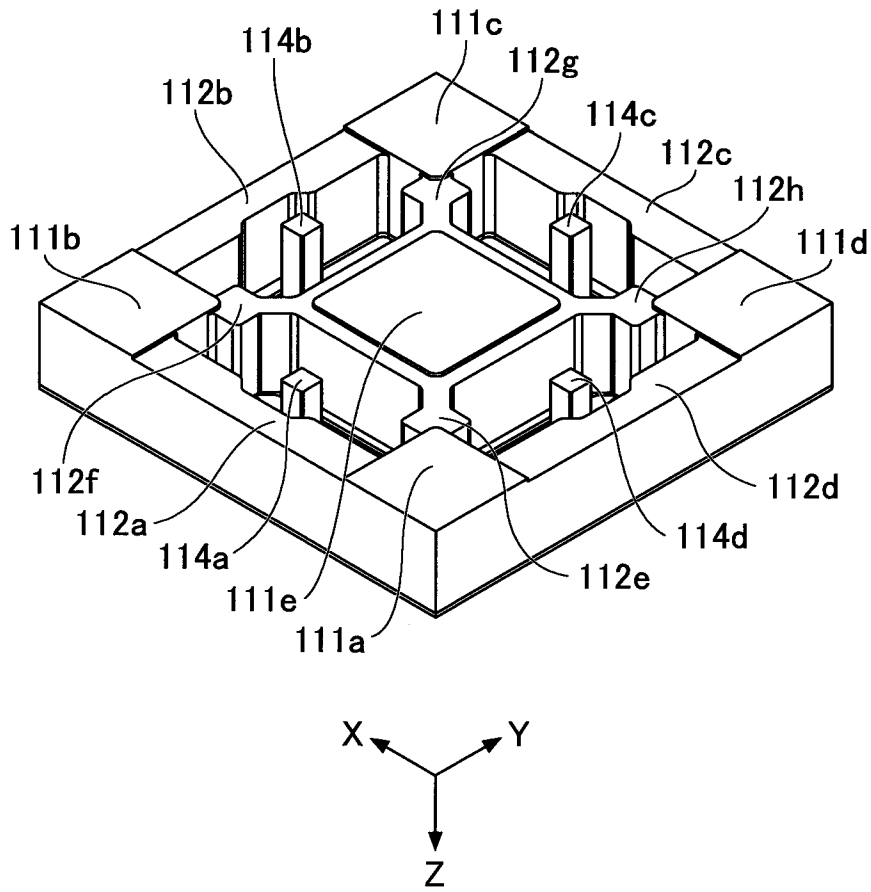
[図25A]

110

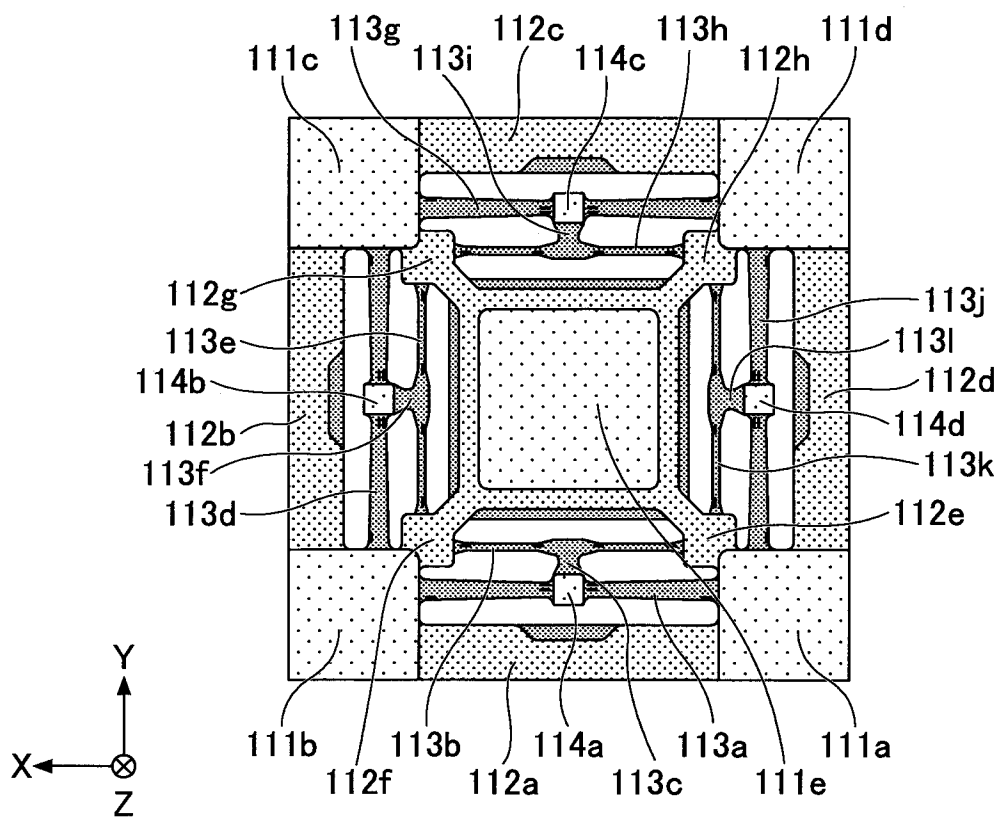
[図25B]

110

[図26A]

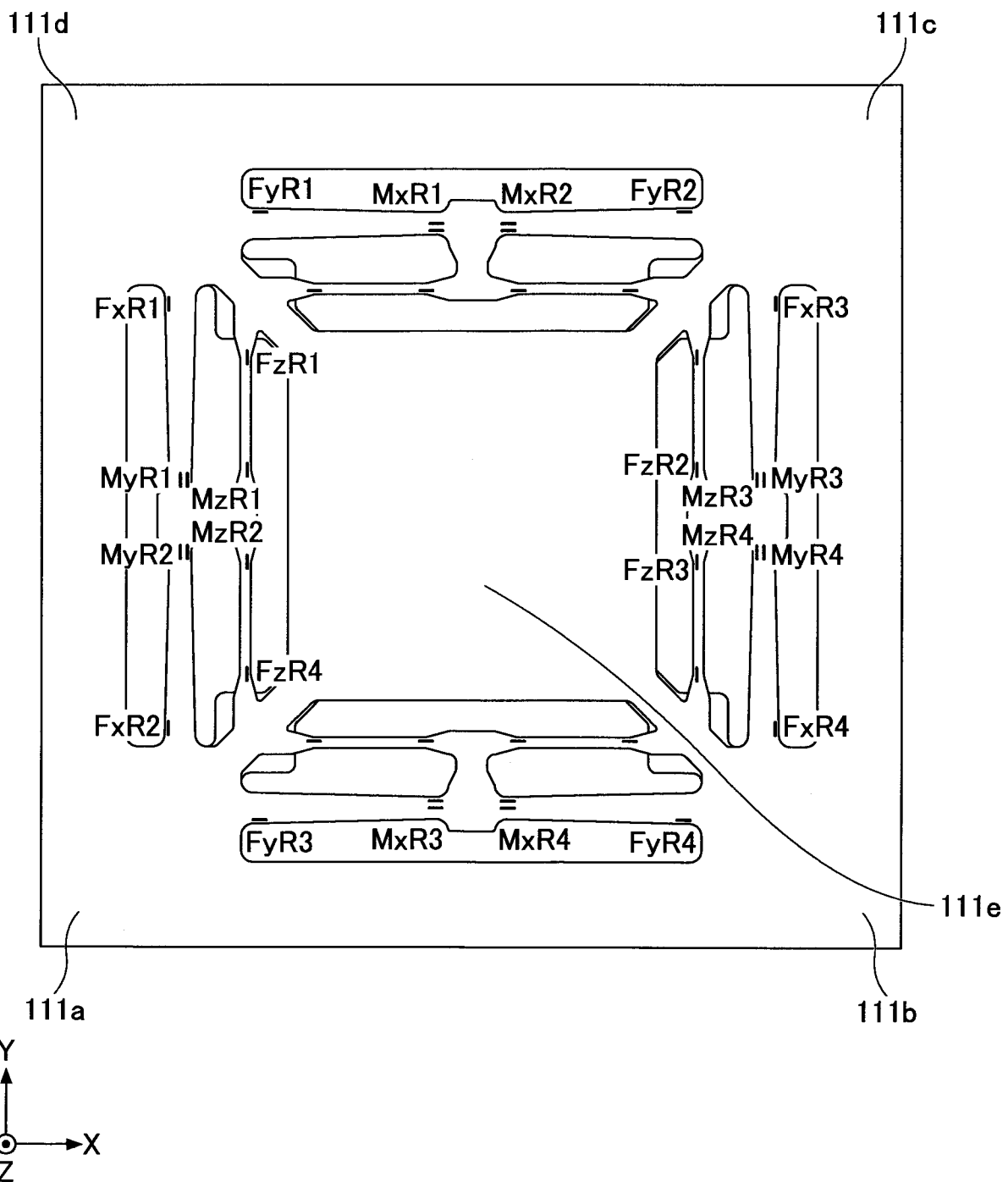
110

[図26B]

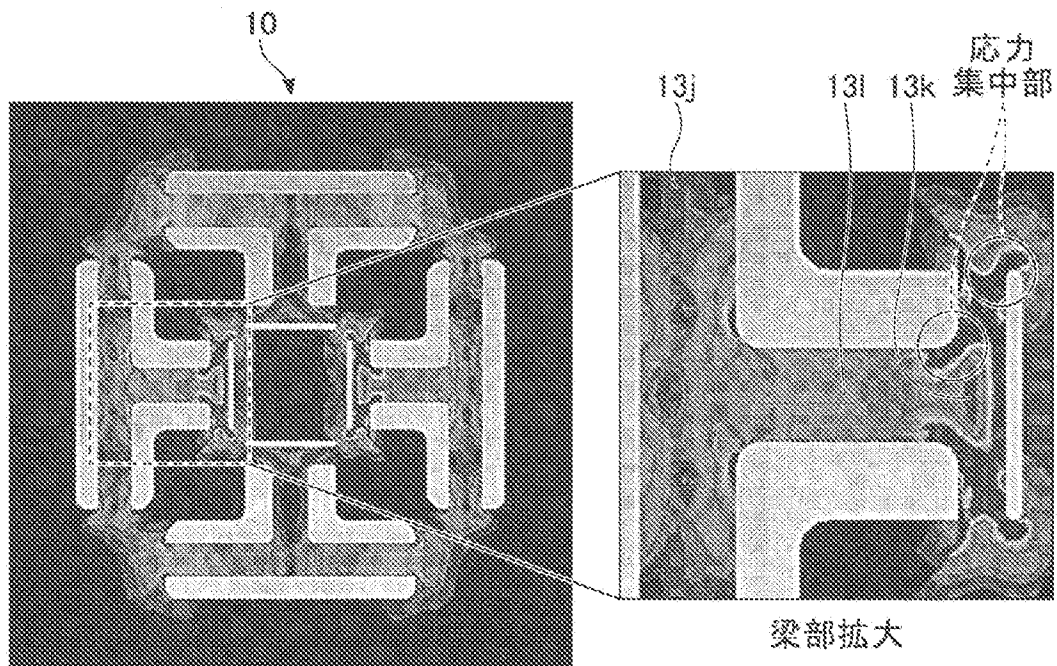
110

[図27]

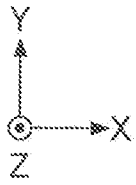
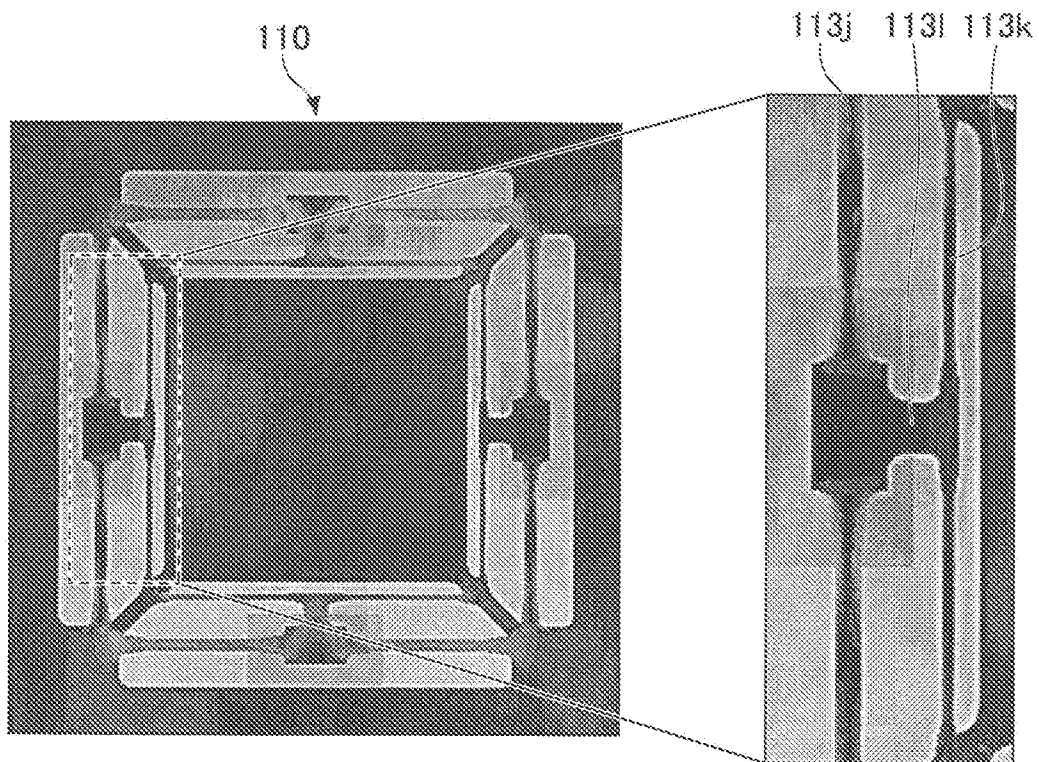
110



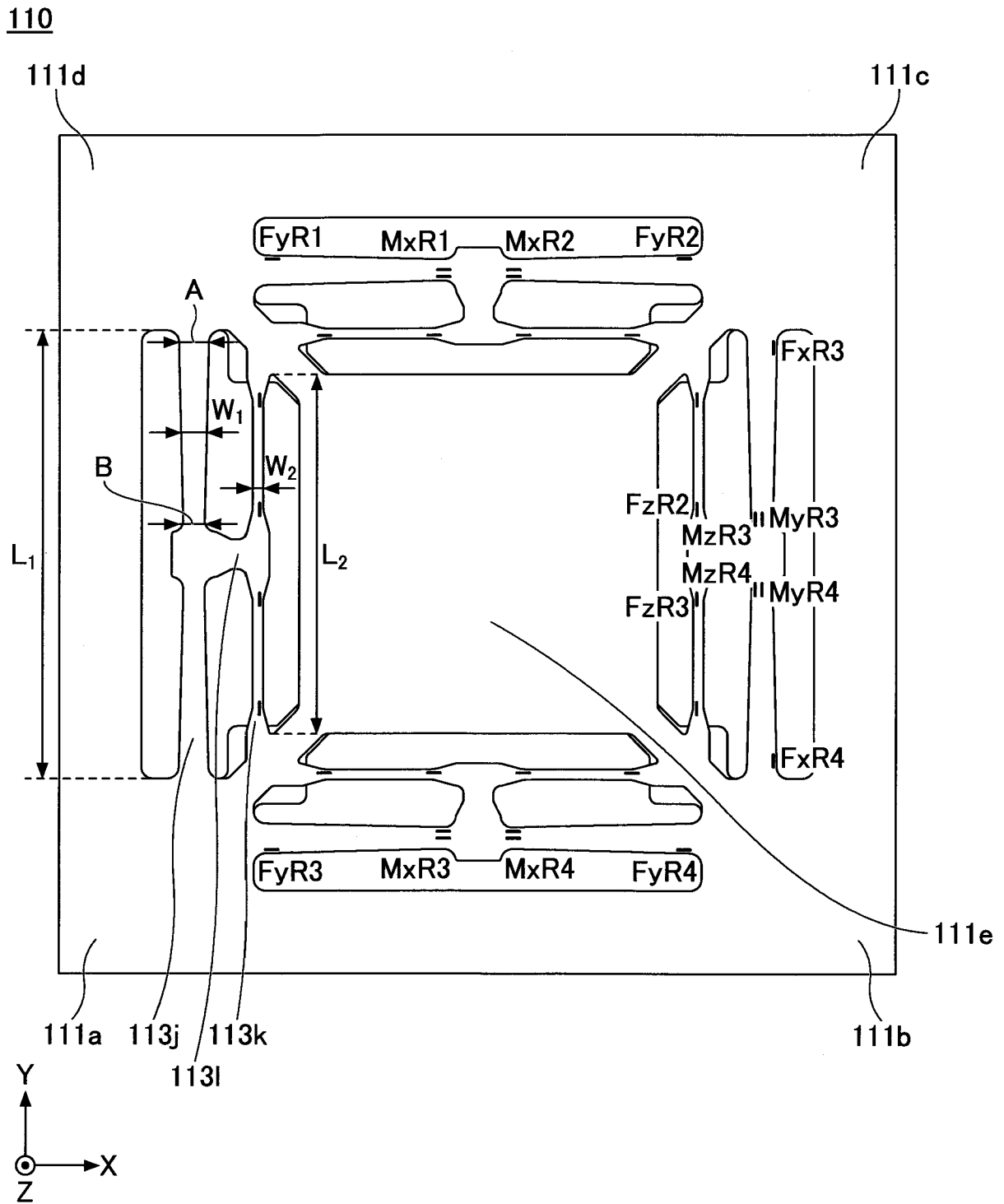
[図28A]



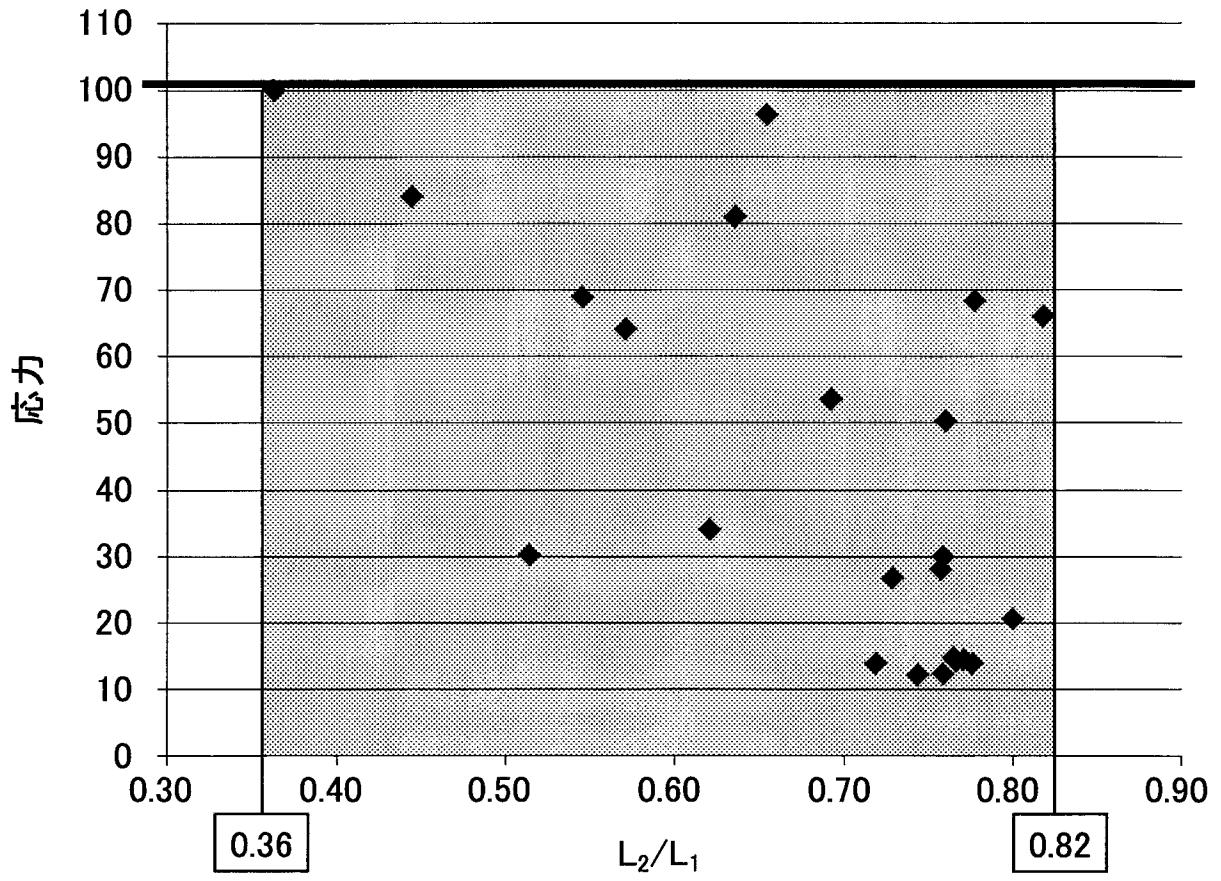
[図28B]



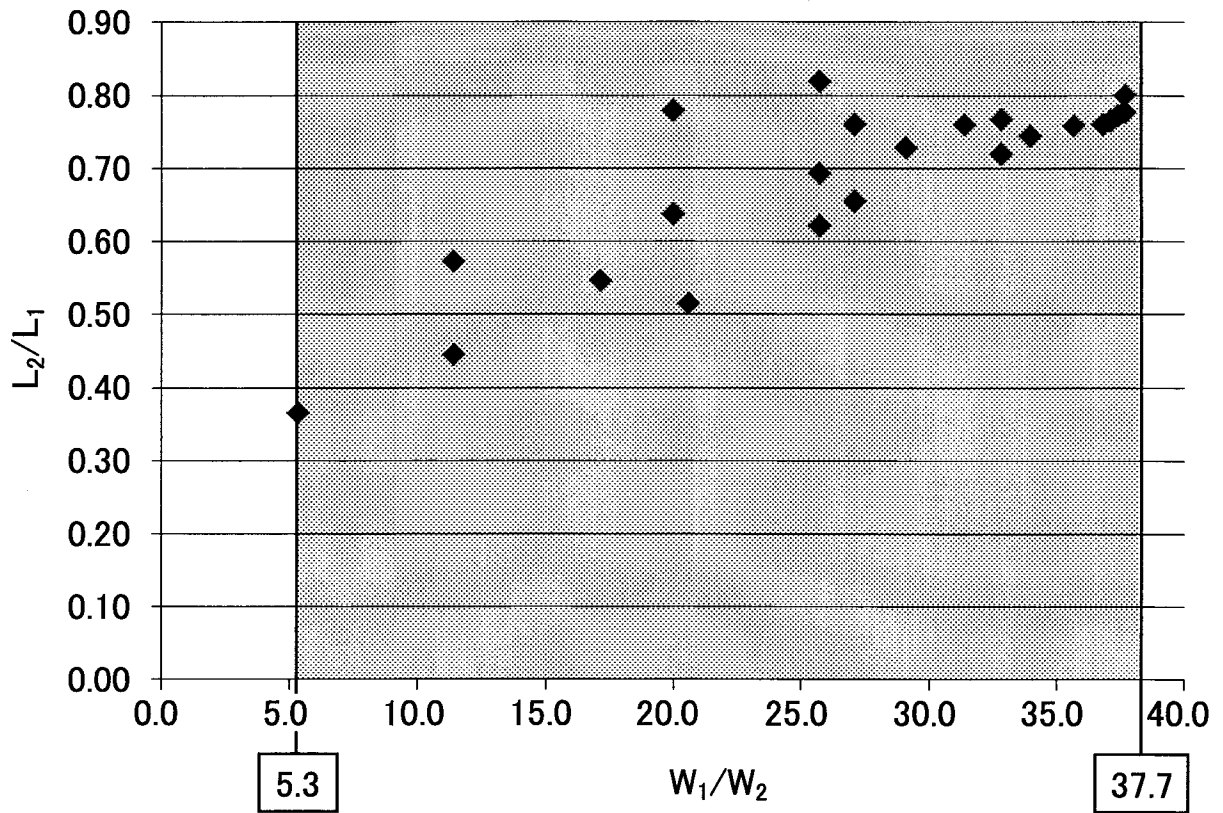
[図29]



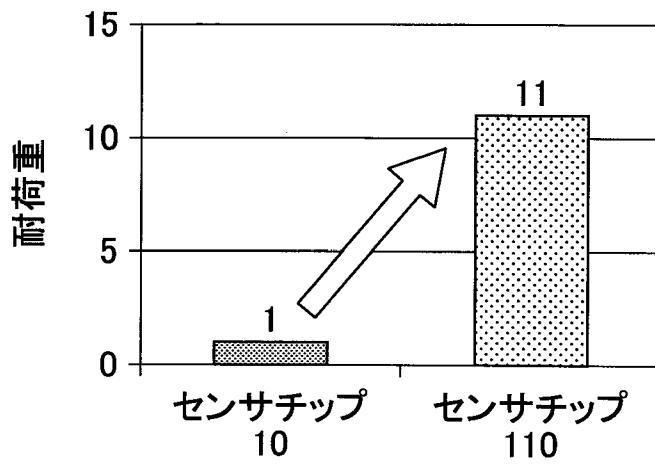
[図30A]



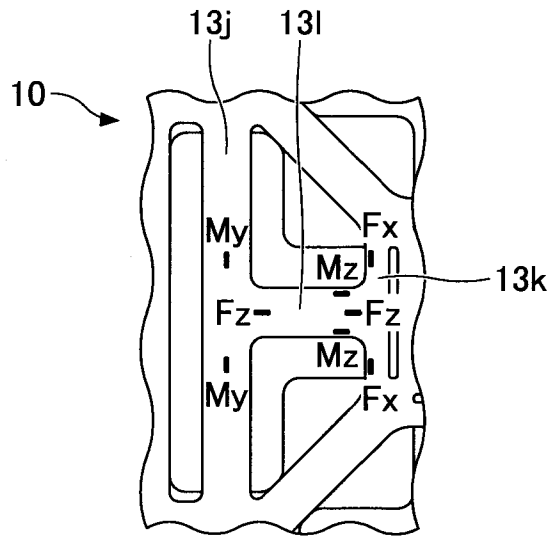
[図30B]



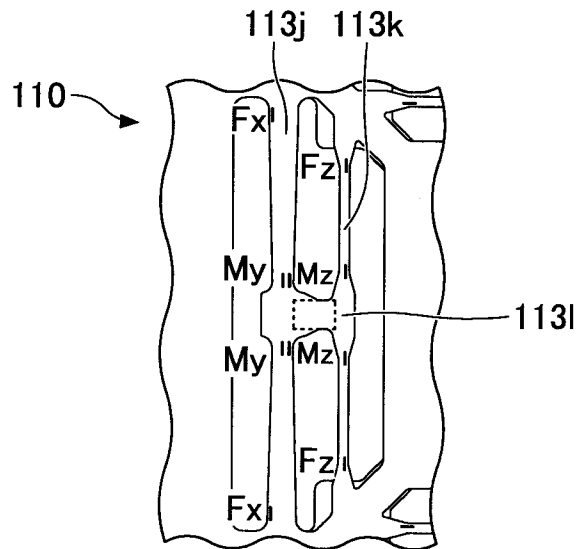
[図31]



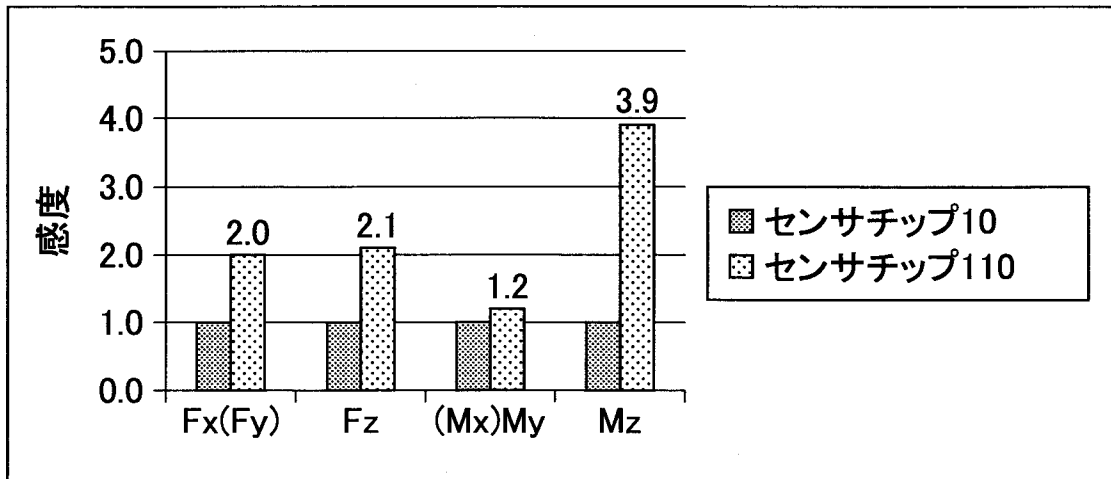
[図32A]



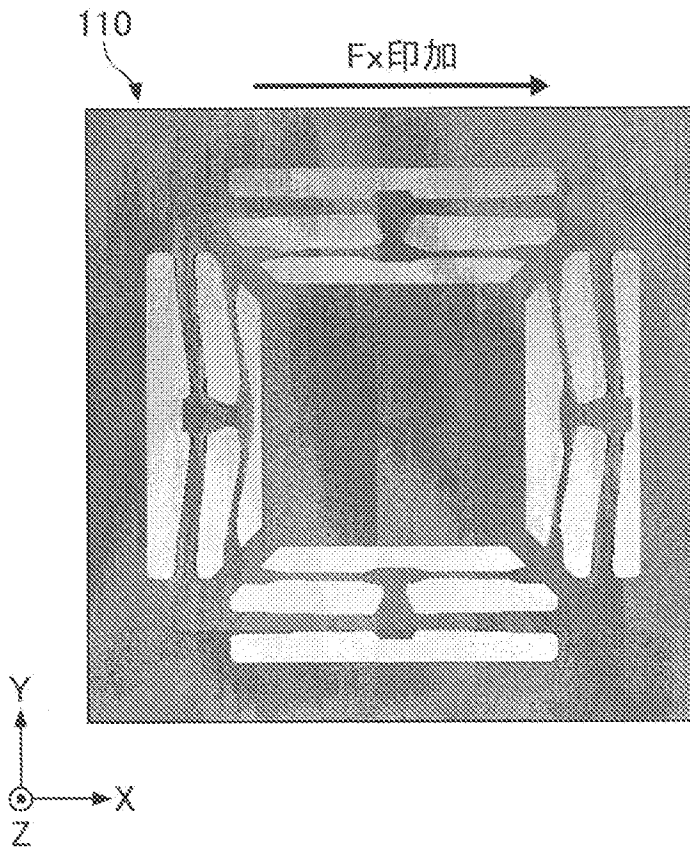
[図32B]



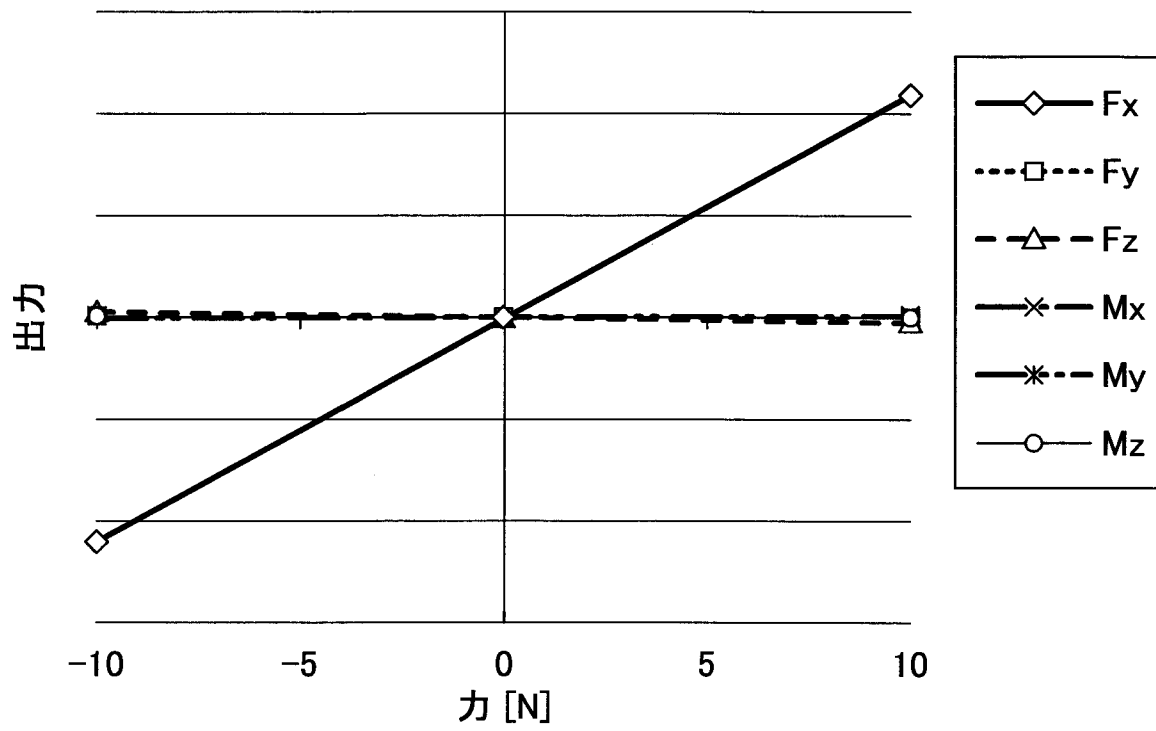
[図32C]



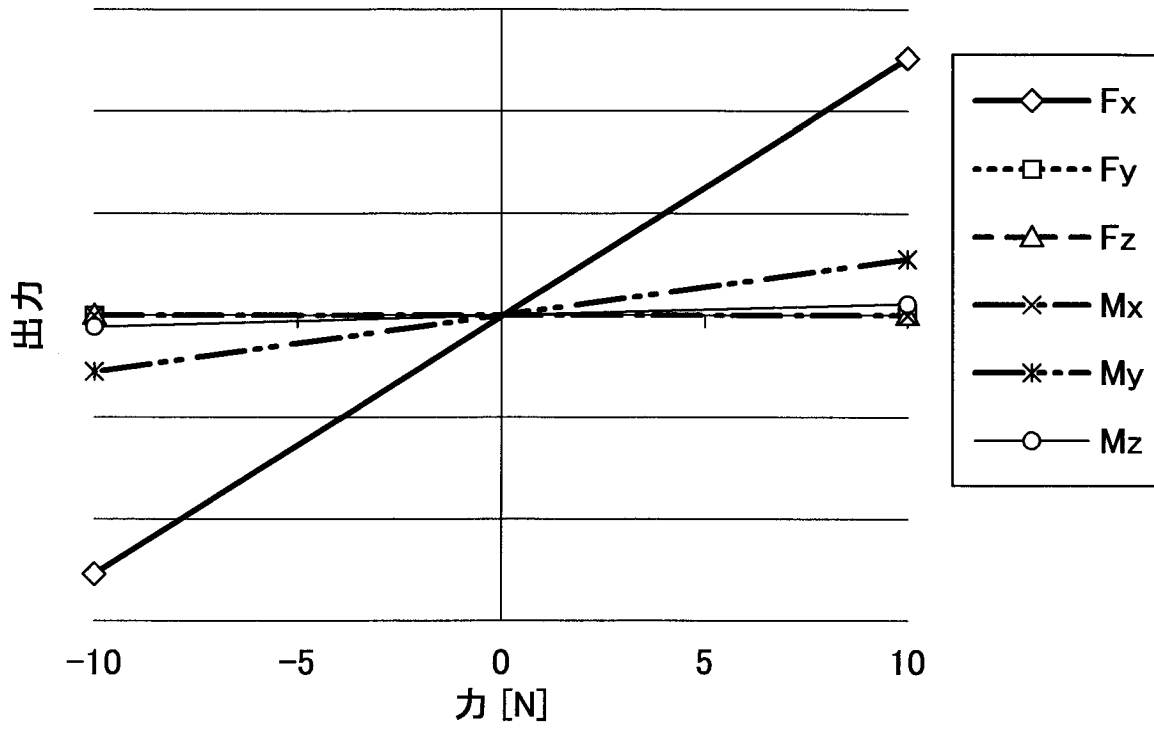
[図33]



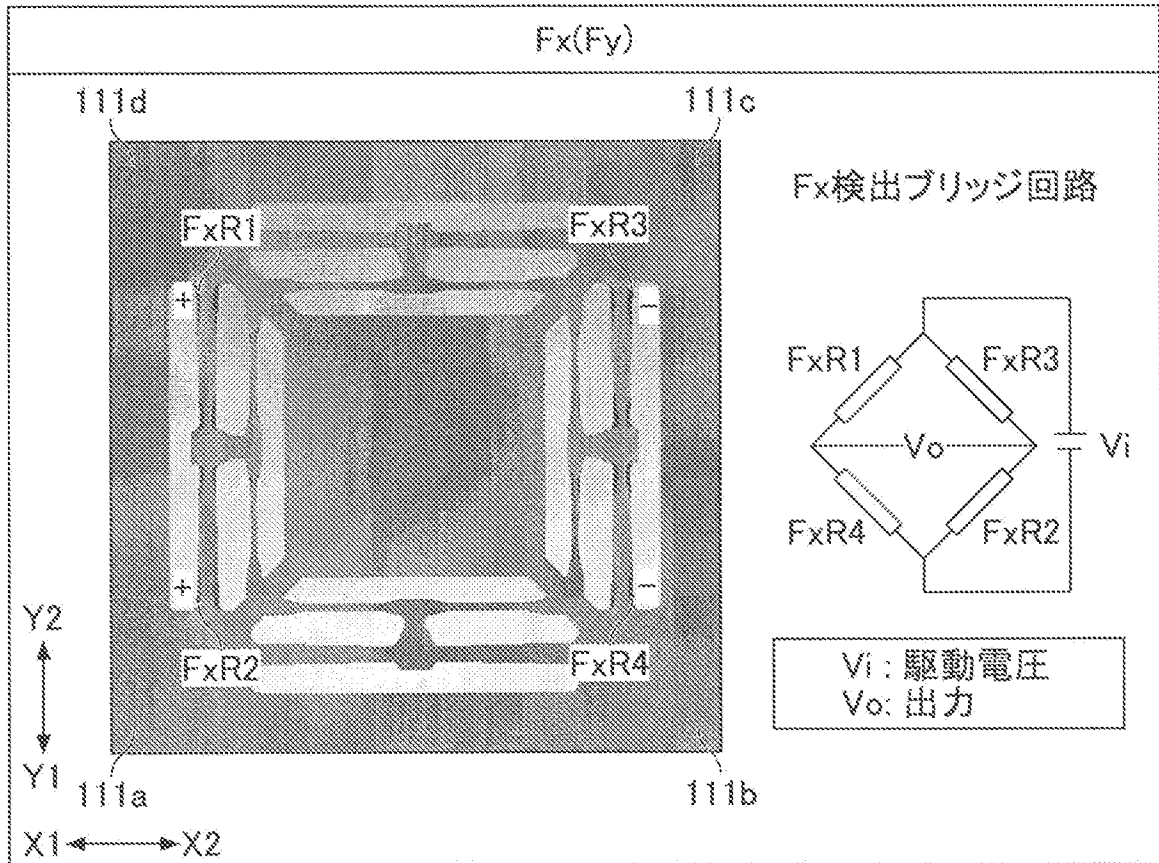
[図34A]



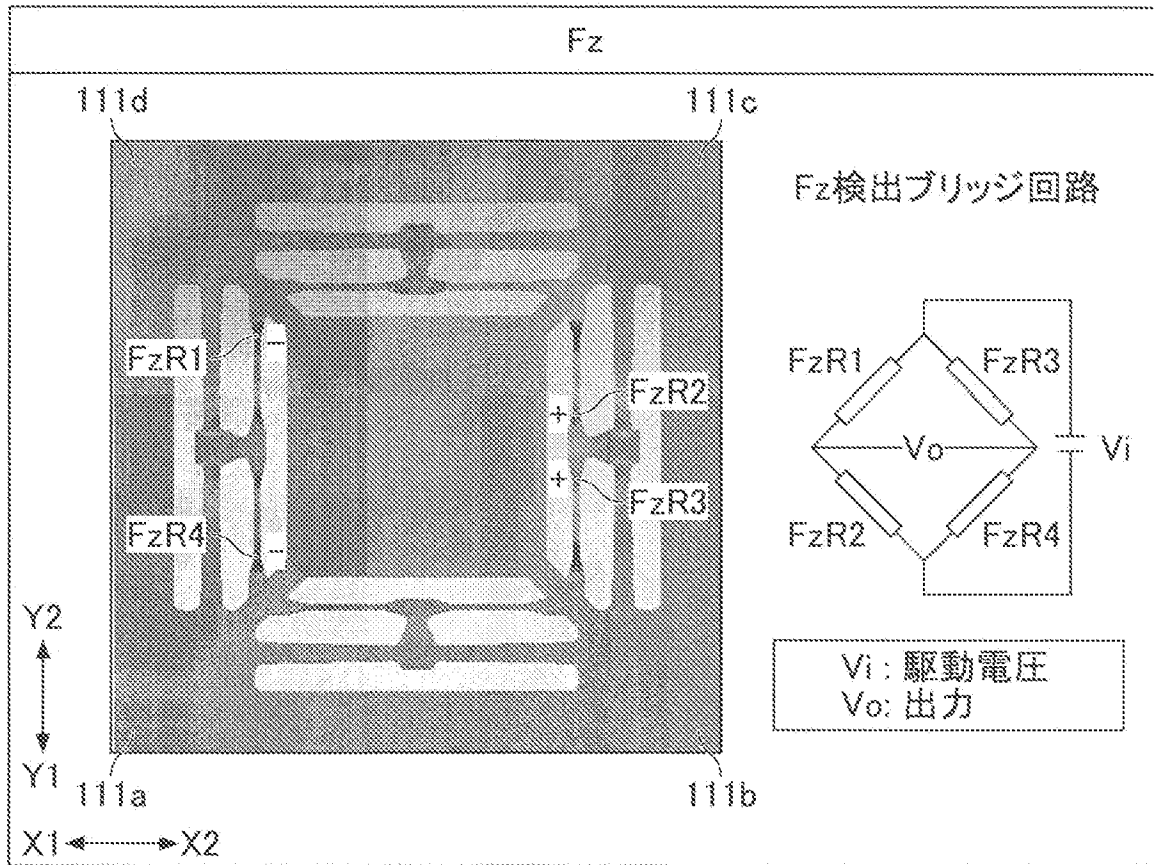
[図34B]



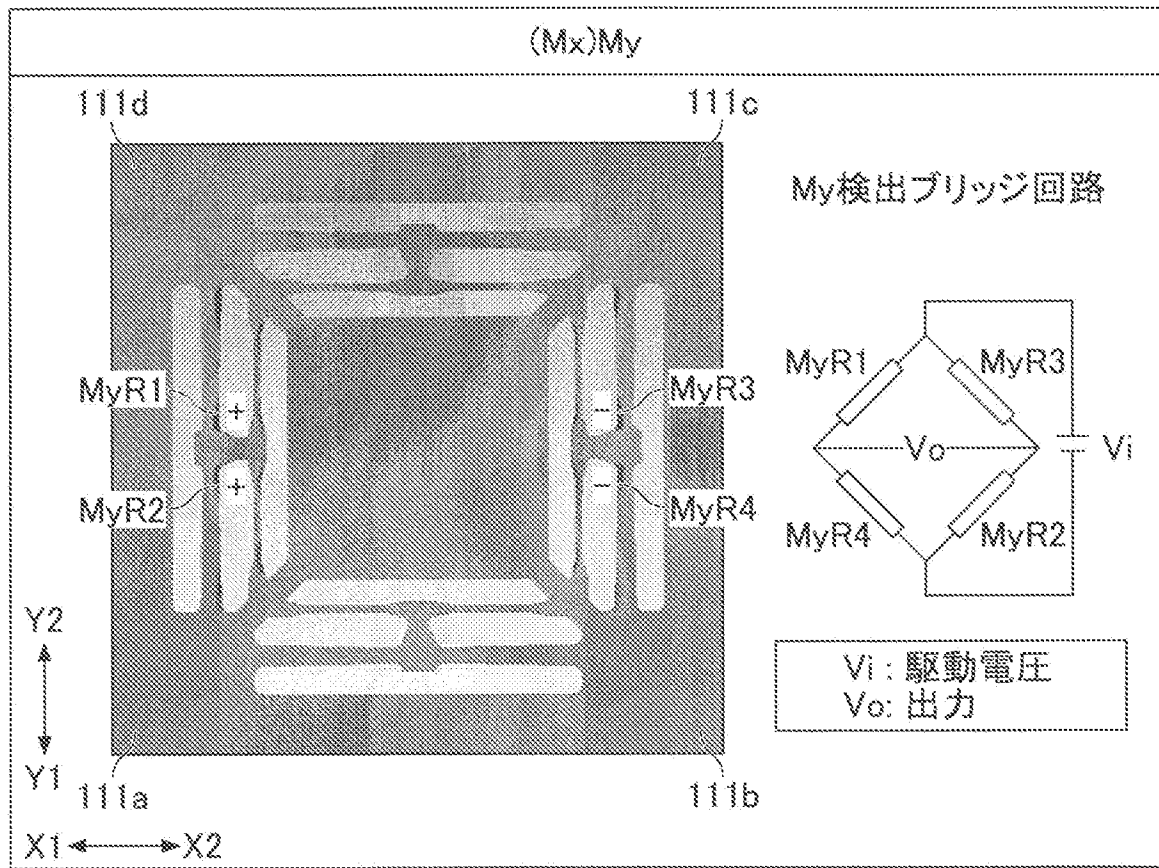
[図35A]



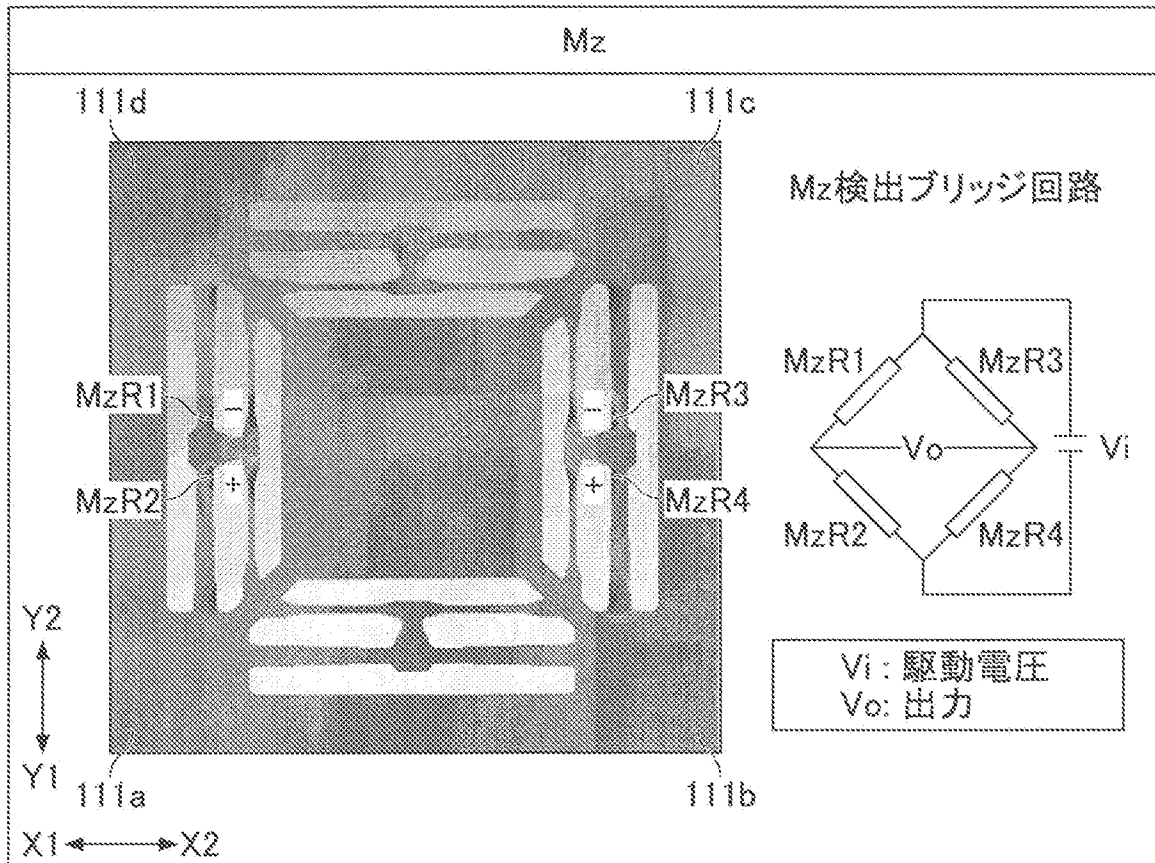
[図35B]



[図36A]



[図36B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/035973

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01L5/16(2006.01)i, G01L1/22(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)
G01L5/16, G01L1/22, B81B3/00, H01L29/84

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	JP 2013-2942 A (Honda Motor Co., Ltd.), 07 January 2013 (07.01.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-21
A	JP 2007-298471 A (Honda Motor Co., Ltd.), 15 November 2007 (15.11.2007), entire text; all drawings & US 2007/0266797 A1 & EP 1852688 A2 & AT 485498 T	1-21
A	JP 2001-331271 A (Alps Electric Co., Ltd.), 30 November 2001 (30.11.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-21

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 01 November 2017 (01.11.17)	Date of mailing of the international search report 14 November 2017 (14.11.17)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/035973

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5526700 A (AKEEL Hadi A.), 18 June 1996 (18.06.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-21

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01L5/16(2006.01)i, G01L1/22(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. G01L5/16, G01L1/22, B81B3/00, H01L29/84

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
A	JP 2013-2942 A（本田技研工業株式会社） 2013.01.07, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-21
A	JP 2007-298471 A（本田技研工業株式会社） 2007.11.15, 全文, 全図 & US 2007/0266797 A1 & EP 1852688 A2 & AT 485498 T	1-21
A	JP 2001-331271 A（アルプス電気株式会社） 2001.11.30, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-21

☑ 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

01.11.2017

国際調査報告の発送日

14.11.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

公文代 康祐

2 F

4741

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 請求項の番号
A	US 5526700 A (AKEEL Hadi A.) 1996.06.18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-21