

(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
2015年12月23日(23.12.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/194479 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 19/5769 (2012.01) H01L 29/84 (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/067042
- (22) 国際出願日: 2015年6月12日(12.06.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-125472 2014年6月18日(18.06.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 植屋 夕輝(UEYA, Yuki); 〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内 Shizuoka (JP). 岡見 威(OKAMI, Tsuyoshi); 〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内 Shizuoka (JP). 松岡 潤弥(MATSUOKA, Junya); 〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内 Shizuoka (JP). 溝田 崇(MIZOTA, Takashi); 〒4350015 静岡県浜松市東区子安町311番地の3 三栄ハイテックス株式会社内 Shizuoka (JP).

辻 信昭(TSUJI, Nobuaki); 〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマハ株式会社内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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.

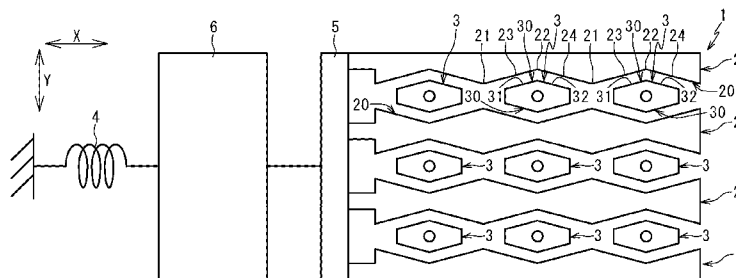
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[続葉有]

(54) Title: RESONANCE-FREQUENCY ADJUSTMENT MODULE AND MEMS SENSOR

(54) 発明の名称: 共振周波数調整モジュール及びMEMSセンサ

【図1】
FIG. 1



(57) Abstract: This resonance-frequency adjustment module (1), which constitutes a MEMS sensor that detects angular velocity, comprises movable electrodes (2), a plurality of fixed electrodes (3), and an elastic body (4). The movable electrodes (2), which are provided so as to be able to move, extend in a given movement direction (X). The fixed electrodes (3) are arrayed in the movement direction (X) of the movable electrodes (2). The elastic body (4) supports the movable electrodes (2) such that same can move in the aforementioned movement direction (X). The surfaces (20) of the movable electrodes (2) that face the fixed electrodes (3) have convex sections (21) and concave sections (22) that are laid out in an alternating manner in the movement direction (X), and each fixed electrode (3) is provided so as to face a single convex section (21) or concave section (22) of each adjacent movable electrode (2).

(57) 要約: 角速度を検出するMEMSセンサを構成する共振周波数調整モジュール(1)は、移動可能に配設され、移動方向(X)に延在する可動電極(2)と、可動電極(2)の移動方向(X)に沿って配列する複数の固定電極(3)と、可動電極(2)を移動方向(X)に移動可能に支持する弾性体(4)とを備える。可動電極(2)の複数の固定電極(3)との対向面(20)は、移動方向(X)に交互に配列する山部(21)及び谷部(22)を有し、複数の固定電極(3)の各々は、可動電極(2)の1つの山部(21)又は谷部(22)に対向するよう配設される。

WO 2015/194479 A1

MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, 添付公開書類:
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, — 國際調查報告 (條約第 21 條(3))
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

明 細 書

発明の名称：共振周波数調整モジュール及びMEMSセンサ

技術分野

[0001] 本発明は、共振周波数調整モジュール及びMEMSセンサに関する。

背景技術

[0002] 近年、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) と呼ばれる半導体製造技術を利用して形成した微細な機械要素を有する装置が開発されており、被測定体の角速度を検出するジャイロセンサや加速度センサとして実現されている。

[0003] 例えば、上述のジャイロセンサは、X-Y方向に延在する基板上にX方向に振動可能に支持される振動駆動モジュール、この振動駆動モジュールに接続される移動体、この移動体にY方向に弾性移動可能に支持されY方向の移動量を検出する静電容量変化検出モジュール等を備えている。

[0004] このようなジャイロセンサは、振動駆動モジュールによって移動体及び移動体に支持されている静電容量変化検出モジュールの可動電極をX方向に常時往復移動させておき、ジャイロセンサがX-Y平面に垂直なZ方向の軸を中心に回転したときに可動電極に作用するコリオリ力を可動電極のY方向の移動として検出する。静電容量変化検出モジュールの可動電極は、ジャイロセンサの角速度（又は回転速度）により作用するコリオリ力だけでなく、ジャイロセンサのY方向の加速度によっても移動する。そこで、2つの静電容量変化検出モジュールの可動電極の移動の差分をとることでジャイロセンサに加えられたY方向の加速度を相殺し、ジャイロセンサのX-Y平面上の向きの変化のみを検出する（例えば特開2013-96952号公報参照）。

[0005] また、ジャイロセンサは、移動体をX方向に移動可能に支持する弾性体を備えている。そして、移動体及び静電容量変化検出モジュールのX方向の振動は、この弾性体のばね定数と質量とによって決まる共振周波数によって規制される。このため、弾性体のばね定数を調整し、共振周波数をコントロー

ルできるように、電氣的ばね構造を有する共振周波数調整モジュールが提案されている。このような共振周波数調整モジュールとしては、図5に示すように、電圧差を調整可能な対向する一对の電極52, 53を有する共振周波数調整モジュール51が提案されている(従来例1)。また、図6に示すように、一对の櫛歯状の電極62, 63が互いに嵌り込むよう配設された共振周波数調整モジュール61も提案されている(従来例2)。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1: 特開2013-96952号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかし、従来例1の共振周波数調整モジュール51を空気が存在する状態で使用すると、一对の電極52, 53が近接する方向に移動した際に、電極52, 53間の空間の空気が圧縮される。このため、従来例1の共振周波数調整モジュール51は、空気の圧縮による空気抵抗(damping)が大きく、Q値(Quality Factor)が減少して振幅が低下するという不都合があると共に、移動が大きくなると電極52, 53同士の距離が近くなり過ぎいわゆるPull-inするという不都合がある。特に、従来例1の共振周波数調整モジュール51において、ばね定数の調整範囲を大きくするには静電容量を大きくする必要があり、このためには電極52, 53を大きくする又は数を増やすことを要するが、この場合、上述のような空気抵抗によるQ値の減少が顕著となる。

[0008] また、従来例2の共振周波数調整モジュール61では、可動電極62の移動に影響せず所定のばね定数を得るべく、一方の櫛歯状の電極63が階段状に設けられており、Pull-inの不都合が生じ難いが、ばね定数及び静電容量を大きくするためには、電極62, 63を大きくすること、又は電極62, 63の個数を増やすことを要し、これにより共振周波数調整モジュール

ル61が大きくなってしまい、面積効率が悪い。

[0009] 本発明は、上述のような事情に基づいてなされたものであり、面積効率が高く空気抵抗が小さい共振周波数調整モジュール及びMEMSセンサを提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明に基づく共振周波数調整モジュールは、角速度を検出するMEMSセンサを構成するものであって、移動可能に配設され、移動方向に延在する可動電極と、上記可動電極の上記移動方向に沿って配列する複数の固定電極と、上記可動電極を上記移動方向に移動可能に支持する弾性体とを備える。上記可動電極の上記複数の固定電極との対向面は、上記移動方向に交互に配列する山部及び谷部を有し、上記複数の固定電極の各々は、上記可動電極の1つの山部又は谷部に対向するよう配設される。

[0011] 上記本発明に基づく共振周波数調整モジュールは、可動電極の固定電極との対向面が移動方向に交互に配列する山部及び谷部を有し、各固定電極が可動電極の1つの山部又は谷部に対向するよう配設される。つまり、固定電極は、可動電極の対向面のうち、移動方向に対して異なる方向に傾斜する2つの領域に対向するため、可動電極の移動により、一方の領域における対向面の間隔が増大し、他方の領域における対向面の間隔が減少する。これにより、可動電極と固定電極との間に作用する静電引力は、可動電極を移動方向にさらに移動させる向きに作用し、かつ移動量が大きいほどその力が大きくなる。従って、上記本発明に基づく共振周波数調整モジュールは、弾性体の復元力を部分的に相殺して可動電極の共振周波数を調整することができると共に、従来の櫛歯状のもの比べて面積効率が低い。

[0012] また、上記本発明に基づく共振周波数調整モジュールは、可動電極及び固定電極の対向面が移動方向に対して傾斜しているため、可動電極の移動による対向面間の体積変化が小さく、比較的空気抵抗が小さい。

[0013] また、上記本発明に基づく共振周波数調整モジュールは、各固定電極が、可動電極の1つの山部又は谷部に対向するので、固定電極の対向面の変曲点

が一カ所だけであり、可動電極との間の電気的特性が平行平板に近いものとなるので、可動電極の移動量に対する可動電極及び固定電極間の静電引力の線形性が比較的高くなる。

[0014] 上記本発明に基づく共振周波数調整モジュールにあつては、上記山部及び上記谷部が略一定のピッチで形成されているとともに、上記山部又は上記谷部の平均ピッチと上記複数の固定電極の上記移動方向の平均長さとの差が、上記移動方向における上記可動電極と上記複数の固定電極との間の平均距離の0.5倍以上1.2倍以下であることが好ましい。このように、山部又は谷部の平均ピッチと複数の固定電極の移動方向の平均長さとの差が上記範囲内であることによって、可動電極の移動量に対する可動電極及び固定電極間の静電引力の線形性をより向上できる。なお、「山部及び谷部が略一定のピッチ」とは、山部の頂点間距離及び谷部の谷底点間距離のばらつきが10%以内であることをいう。

[0015] 上記本発明に基づく共振周波数調整モジュールにあつては、上記複数の固定電極の各々が、上記可動電極の上記谷部に対向するとよい。このように固定電極が可動電極の谷部に対向することにより、固定電極の移動方向の中央部での幅を極大化できるので、固定電極の固定及び配線が容易となる。

[0016] 上記本発明に基づく共振周波数調整モジュールにあつては、上記可動電極の上記対向面の上記移動方向に対する平均傾斜角が、2度以上12度以下であることが好ましい。このように、可動電極の対向面の移動方向に対する平均傾斜角を上記範囲内とすることにより、比較的大きなストローク（振幅）が得られる。

[0017] 本発明に基づくMEMSセンサは、上記本発明に基づく共振周波数調整モジュールを備える。

[0018] 上記本発明に基づくMEMSセンサは、高い面積効率と、小さい空気抵抗と、高い線形性とを備える上記本発明に基づく共振周波数調整モジュールを備えるため、小型で信頼性が高い。

発明の効果

[0019] 以上のように、上記本発明に基づく共振周波数調整モジュール及びMEMSセンサは、面積効率が高く空気抵抗が小さい。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の第1実施形態における共振周波数調整モジュールを示す模式図である。

[図2]本発明の第2実施形態における共振周波数調整モジュールを示す模式図である。

[図3]本発明の第3実施形態における共振周波数調整モジュールを示す模式図である。

[図4]本発明の第4実施形態における共振周波数調整モジュールを示す模式図である。

[図5]従来例1に係る共振周波数調整モジュールを示す模式図である。

[図6]従来例2に係る共振周波数調整モジュールを示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、適宜図面を参照しつつ、本発明の実施形態について詳説する。

[第1実施形態]

図1に示す共振周波数調整モジュール1は、角速度を検出するMEMSセンサを構成する共振周波数調整モジュールである。当該共振周波数調整モジュール1は、移動可能に配設され、移動方向(X方向)に延在する複数の可動電極2と、この可動電極2の移動方向Xに沿って配列する複数の固定電極3と、可動電極2を移動方向Xに移動可能に支持する弾性体4とを主に備える。

[0022] 可動電極2の固定電極3との対向面20は、略一定のピッチ及び傾斜角で移動方向Xに交互に配列する山部21及び谷部22を有する。換言すると、対向面20は、移動方向Xに対して一方側に傾斜(法線が紙面右側に傾斜)する第1傾斜部23と他方側に傾斜(法線が紙面左側に傾斜)する第2傾斜部24とを交互に有する。複数の固定電極3は、それぞれ可動電極2の1つの谷部22に対向するよう配設される。固定電極3の可動電極2との対向面

- 30は、可動電極2の対向面20の第1傾斜部23に対向する第1傾斜部31と第2傾斜部24に対向する第2傾斜部32とを有する。
- [0023] 複数の可動電極2は、移動方向Xに直交するY方向に配列されており、Y方向内側の可動電極2は、山部21及び谷部22を有する対向面20をY方向両側に備える。Y方向に並ぶこれら複数の可動電極2の山部21及び谷部22は、移動方向Xの中心位置が一致している。
- [0024] 各固定電極3は、複数の可動電極2の間にそれぞれ一列に配列されている。つまり、固定電極3は、Y方向に複数列配設されている。また、各固定電極3は、Y方向両側に可動電極2の1つの谷部22に対向する対向面30を有し、移動方向Xに対称な形状を有している。
- [0025] 当該共振周波数調整モジュール1において、可動電極2は、支持部材5により一体に保持され、弾性体4を介してMEMSセンサの移動体（不図示）に固定される。一方、固定電極3は、MEMSセンサの基板（不図示）に不動に固定される。なお、図1には、当該共振周波数調整モジュール1の可動電極2を含む移動部分の質量を概念的に表した錘6を図示する。
- [0026] 当該共振周波数調整モジュール1は、可動電極2と固定電極3とに電位差を与えることにより、可動電極2と固定電極3との対向面20、30間に静電引力（クーロン力）が作用するため、この電位差を調節することで当該共振周波数調整モジュール1の見かけ上のばね定数を調節することができる。
- [0027] 可動電極2及び固定電極3の材質は、特に限定されないが、例えばシリコンを用いることができる。
- [0028] 可動電極2及び固定電極3の平均厚さ（図1における紙面奥行方向の寸法）としては、特に限定されないが、例えば20 μ m以上50 μ m以下とすることができる。また、可動電極2及び固定電極3の平均厚さは、製造プロセスが許容する範囲でさらに小さくしてもよい。
- [0029] 可動電極2及び固定電極3の形成方法は、特に限定されないが、例えば板状の材料の表面にフォトリソグラフィ技術によってレジストパターンを形成し、選択的にエッチングする方法を適用することができる。

[0030] 可動電極 2 の対向面 20 及び固定電極 3 の対向面 30 の、可動電極 2 の移動方向 X に対する平均傾斜角の下限としては、2 度が好ましく、4 度がより好ましい。一方、可動電極 2 の対向面 20 及び固定電極 3 の対向面 30 の、可動電極 2 の移動方向 X に対する平均傾斜角の上限としては、12 度が好ましく、8 度がより好ましい。可動電極 2 の対向面 20 及び固定電極 3 の対向面 30 の、可動電極 2 の移動方向 X に対する平均傾斜角が上記下限に満たない場合、可動電極の移動量に対する対向面 20, 30 間の距離の変化が小さく、当該共振周波数調整モジュール 1 の面積効率が低くなるおそれがある。また、可動電極 2 の対向面 20 及び固定電極 3 の対向面 30 の、可動電極 2 の移動方向 X に対する平均傾斜角が上記上限を超える場合、可動電極 2 の可動範囲が狭くなり、当該共振周波数調整モジュール 1 の振幅が不十分となるおそれがある。

[0031] 山部 21 及び谷部 22 の各々の平均ピッチ（山部 21 の平均間隔及び谷部 22 の平均間隔）の下限としては、可動電極 2 の基準位置からの使用上の最大移動量の 1.5 倍が好ましく、2 倍がより好ましい。一方、山部 21 及び谷部 22 の平均ピッチの上限としては、可動電極 2 の基準位置からの使用上の最大移動量の 4 倍が好ましく、3 倍がより好ましい。山部 21 及び谷部 22 の各々の平均ピッチが上記下限に満たない場合、対向面 20, 30 間の間隔の変化率が大きくなり、可動電極 2 の移動量に対する可動電極 2 及び固定電極 3 間の静電引力の線形性が不十分となるおそれがある。また、山部 21 及び谷部 22 の各々の平均ピッチが上記上限を超える場合、当該共振周波数調整モジュール 1 が不必要に大きくなるおそれがある。

[0032] 可動電極 2 の対向面 20 と固定電極 3 の対向面 30 との平均間隔の下限としては、 $0.5 \mu\text{m}$ が好ましく、 $1 \mu\text{m}$ がより好ましい。一方、可動電極 2 の対向面 20 と固定電極 3 の対向面 30 との平均間隔の上限としては、 $3 \mu\text{m}$ が好ましく、 $2.5 \mu\text{m}$ がより好ましい。可動電極 2 の対向面 20 と固定電極 3 の対向面 30 との平均間隔が上記下限に満たない場合、可動電極 2 の対向面 20 の第 1 傾斜部 23 と固定電極 3 の対向面 30 の第 1 傾斜部 31 と

の間隔や可動電極 2 の対向面 2 0 の第 2 傾斜部 2 4 と固定電極 3 の対向面 3 0 の第 2 傾斜部 3 2 との間隔の変化率が大きくなり、可動電極 2 の移動量に対する静電引力の線形性が不十分となるおそれがある。また、可動電極 2 の対向面 2 0 と固定電極 3 の対向面 3 0 との平均間隔が上記上限を超える場合、静電引力が小さくなり、当該共振周波数調整モジュール 1 の面積効率が小さくなるおそれがある。なお、対向面 2 0 と対向面 3 0 との「平均間隔」とは、対向面 2 0 の法線と対向面 3 0 の法線との二等分線方向の距離の平均を意味する。

[0033] 可動電極 2 の対向面 2 0 の山部 2 1 又は谷部 2 2 の平均ピッチと複数の固定電極 3 の移動方向 X の平均長さとの差の下限としては、移動方向 X における可動電極 2 と複数の固定電極 3 との間の平均距離の 0.5 倍が好ましく、0.6 倍がより好ましい。一方、可動電極 2 の対向面 2 0 の山部 2 1 又は谷部 2 2 の平均ピッチと複数の固定電極 3 の移動方向 X の平均長さとの差の上限としては、移動方向 X における可動電極 2 と複数の固定電極 3 との間の平均距離の 1.2 倍が好ましく、1.0 倍がより好ましい。可動電極 2 の対向面 2 0 の山部 2 1 又は谷部 2 2 の平均ピッチと複数の固定電極 3 の移動方向 X の平均長さとの差が上記下限に満たない場合、可動電極 2 が基準位置（移動量ゼロ）にある状態で固定電極 3 に対向しない可動電極 2 の対向面 2 0 の山部 2 1 又は谷部 2 2 の影響により、可動電極 2 の移動量に対する静電引力の線形性が不十分となるおそれがある。また、可動電極 2 の対向面 2 0 の山部 2 1 又は谷部 2 2 の平均ピッチと複数の固定電極 3 の移動方向 X の平均長さとの差が上記上限を超える場合、静電引力が小さくなり、当該共振周波数調整モジュール 1 の面積効率が小さくなるおそれがある。

[0034] <利点>

本実施形態における共振周波数調整モジュール 1 は、可動電極 2 の対向面 2 0 が移動方向 X に交互に配列する山部 2 1 及び谷部 2 2 を有し、各固定電極 3 が可動電極 2 の 1 つの谷部 2 2 に対向するよう配設されるので、可動電極 2 の移動により、第 1 傾斜部 2 3, 3 1 間の距離及び第 2 傾斜部 2 4, 3

2間の距離の一方が増大し、他方が減少する。これにより、可動電極2と固定電極3との間に作用する静電引力は、可動電極2を移動方向Xにさらに移動させる方向に作用し、かつ移動量が大きいほどその力が大きくなる。従って、当該共振周波数調整モジュール1は、弾性体4の復元力を部分的に相殺して見かけ上のばね定数を変化させて、可動電極2を含む錘6の共振周波数を調整することができる。また、当該共振周波数調整モジュール1は、従来の櫛歯状のものとは比べて面積効率が低い。

[0035] また、当該共振周波数調整モジュール1は、可動電極2及び固定電極3の対向面20、30が移動方向Xに対して傾斜しているため、可動電極の移動による対向面20、30間の体積変化が小さく、空気抵抗が小さい。

[0036] また、当該共振周波数調整モジュール1は、各固定電極3が、可動電極2の1つの谷部22に対向するので、固定電極3の対向面30の変曲点が一カ所だけであり、可動電極2との間の電気的特性が平行平板に近いものとなるため、可動電極2の移動量に対する可動電極2及び固定電極3間の静電引力の線形性が比較的高くなる。

[0037] また、固定電極3が可動電極2の谷部22に対向することによって、固定電極3の移動方向Xの中央部での幅を極大化できるので、例えばビアホールによる固定電極3の固定及び配線が容易となる。

[0038] <ジャイロセンサ>

続いて、本発明の一実施形態に係るジャイロセンサ(MEMSセンサ)について説明する。

[0039] 当該共振周波数調整モジュール1は、上述のようにジャイロセンサ(MEMSセンサ)に用いられる。このジャイロセンサは、例えばX-Y方向に延在する基板上にX方向に移動可能に支持されX方向に並ぶ2つの移動体と、Y方向に検出用可動電極が移動可能なように移動体に支持された2つの静電容量変化検出モジュールと、移動体をX方向に往復移動させる振動駆動モジュールとを備える構成とすることができる。そして、当該共振周波数調整モジュール1は、固定電極3が上記基板に固定され、可動電極2が上記移動体

に固定される。

[0040] 当該共振周波数調整モジュール1にあっては、可動電極2と固定電極3との電位差を調整することで、見かけ上のばね定数を所望の値に調整できる。このため、移動体及び静電容量変化検出モジュールの共振周波数を容易かつ確実にコントロールすることができる。

[0041] [第2実施形態]

図2に示す共振周波数調整モジュール1aは、角速度を検出するMEMSセンサを構成する共振周波数調整モジュールである。当該共振周波数調整モジュール1aは、移動可能に配設され、移動方向(X方向)に延在する複数の可動電極2aと、この可動電極2aの移動方向Xに沿って配列する複数の固定電極3aと、可動電極2aを移動方向Xに移動可能に支持する弾性体4とを主に備える。

[0042] 可動電極2aの固定電極3aとの対向面20は、略一定のピッチ及び傾斜角で移動方向Xに交互に配列する山部21及び谷部22を有する。複数の固定電極3aは、それぞれ可動電極2の山部21に対向するよう配設される。固定電極3aの可動電極2aとの対向面30は、可動電極2aの対向面20の第1傾斜部23に対向する第1傾斜部31と、第1傾斜部23と反対側に傾斜する第2傾斜部24に対向する第2傾斜部32とを有する。この固定電極3aは、移動方向Xの中央部に向かってこの移動方向Xに直交するY方向の幅が狭くなっている。

[0043] 当該共振周波数調整モジュール1aにおいて、可動電極2aは、支持部材5により一体に保持され、弾性体4を介してMEMSセンサの移動体(不図示)に固定される。一方、固定電極3aは、MEMSセンサの基板(不図示)に不動に固定される。なお、図2には、当該共振周波数調整モジュール1aの可動電極2aを含む移動部分の質量を概念的に表した錘6を図示する。

[0044] 当該共振周波数調整モジュール1aは、可動電極2aと固定電極3aとに電位差を与えることにより、可動電極2aと固定電極3aとの対向面20, 30間に静電引力(クーロン力)が作用するため、この電位差を調節するこ

とで当該共振周波数調整モジュール 1 a の見かけ上のばね定数を調節することができる。

[0045] 図 2 に示す共振周波数調整モジュール 1 a における可動電極 2 a 及び固定電極 3 a の材質や製造方法は、図 1 に示す共振周波数調整モジュール 1 における可動電極 2 及び固定電極 3 の材質や製造方法と同様である。

[0046] [第 3 実施形態]

図 3 に示す共振周波数調整モジュール 1 b は、角速度を検出する MEMS センサを構成する共振周波数調整モジュールである。当該共振周波数調整モジュール 1 b は、移動可能に配設され、移動方向 (X 方向) に延在する複数の可動電極 2 b と、この可動電極 2 b の移動方向 X に沿って配列する複数の固定電極 3, 3 a と、可動電極 2 b を移動方向 X に移動可能に支持する弾性体 4 とを主に備える。

[0047] 図 3 に示す共振周波数調整モジュール 1 b において、可動電極 2 b の固定電極 3, 3 a との対向面 2 0 は、略一定のピッチ及び傾斜角で移動方向 X に交互に配列する山部 2 1 及び谷部 2 2 を有する。この可動電極 2 b は、移動方向 X に直交する Y 方向に山部 2 1 と谷部 2 2 とが背中合わせに配置されることで、一定幅でジグザグに折れ曲がったような平面形状を有する。また、これらの可動電極 2 b は、隣り合う可動電極 2 b 同士が山部 2 1 及び谷部 2 2 を対向させるよう互い違いに配置されている。

[0048] 図 3 に示す共振周波数調整モジュール 1 b は、可動電極 2 b の対向面 2 0 の谷部 2 2 に対向するよう列をなして配列される複数の第 1 固定電極 3 と、可動電極 2 b の固定電極 3 と Y 方向反対側の対向面 2 0 の山部 2 1 に対向するよう列をなして配列される複数の第 2 固定電極 3 a とを有する。つまり、第 1 固定電極 3 と第 2 固定電極 3 a とは、一列おきに配列されている。図 3 に示す共振周波数調整モジュール 1 b の第 1 固定電極 3 は、図 1 に示す共振周波数調整モジュール 1 における固定電極 3 と同様の形状を有する。図 3 に示す共振周波数調整モジュール 1 b の第 2 固定電極 3 a は、図 2 に示す共振周波数調整モジュール 1 a における固定電極 3 a と同様の形状を有する。

[0049] 当該共振周波数調整モジュール1 bにおいて、可動電極2 bは、支持部材5により一体に保持され、弾性体4を介してMEMSセンサの移動体（不図示）に固定される。一方、固定電極3、3 aは、MEMSセンサの基板（不図示）に不動に固定される。なお、図3には、当該共振周波数調整モジュール1 bの可動電極2 bを含む移動部分の質量を概念的に表した錘6を図示する。

[0050] 当該共振周波数調整モジュール1 bは、可動電極2 bと固定電極3、3 aとに電位差を与えることにより、可動電極2 bと固定電極3、3 aとの対向面2 0、3 0間に静電引力（クーロン力）が作用するため、この電位差を調節することで当該共振周波数調整モジュール1 bの見かけ上のばね定数を調節することができる。

[0051] 図3に示す共振周波数調整モジュール1 bにおける可動電極2 bの材質や製造方法は、図1に示す共振周波数調整モジュール1における可動電極2の材質や製造方法と同様である。

[0052] [第4実施形態]

図4に示す共振周波数調整モジュール1 cは、角速度を検出するMEMSセンサを構成する共振周波数調整モジュールである。当該共振周波数調整モジュール1 cは、移動可能に配設され、移動方向（X方向）に延在する複数の可動電極2 bと、この可動電極2 bの移動方向Xに沿って配列する複数の固定電極3と、可動電極2 bを移動方向Xに移動可能に支持する弾性体4とを主に備える。

[0053] 図4に示す共振周波数調整モジュール1 cにおける可動電極2 bは、図3に示す共振周波数調整モジュール1 bにおける可動電極2 bと同様の形状及び配置を有する。また、図4に示す共振周波数調整モジュール1 cにおける固定電極3は、図1に示す共振周波数調整モジュール1における固定電極3と同様の形状を有する。

[0054] 図4に示す共振周波数調整モジュール1 cにおいて、固定電極3は、いずれも可動電極2 bの凹部2 2に対向するよう、複数の可動電極2 bの間にそ

れぞれ一列ずつ配列されている。このため、固定電極 3 の移動方向 X の配置は、可動電極 2 b の形状に合わせて、移動方向 X の位置が一行おきに 2 分の 1 ピッチずつずらされている。

[0055] 当該共振周波数調整モジュール 1 c において、可動電極 2 b は、支持部材 5 により一体に保持され、弾性体 4 を介して MEMS センサの移動体（不図示）に固定される。一方、固定電極 3 は、MEMS センサの基板（不図示）に不動に固定される。なお、図 4 には、当該共振周波数調整モジュール 1 c の可動電極 2 b を含む移動部分の質量を概念的に表した錘 6 を図示する。

[0056] 当該共振周波数調整モジュール 1 c は、可動電極 2 b と固定電極 3 とに電位差を与えることにより、可動電極 2 b と固定電極 3 との対向面 20, 30 間に静電引力（クーロン力）が作用するため、この電位差を調節することで当該共振周波数調整モジュール 1 c の見かけ上のばね定数を調節することができる。

[0057] [その他の実施形態]

上記各実施形態は、本発明の構成を限定するものではない。従って、上記各実施形態は、本明細書の記載及び技術常識に基づいて上記各実施形態における各部の構成要素の省略、置換又は追加が可能であり、それらはすべて本発明の範囲に属するものと解釈されるべきである。

[0058] 上記各実施形態における共振周波数調整モジュールにおいて、可動電極及び固定電極の列数及び固定電極の列内の個数は任意に変更可能である。また、可動電極の両側に固定電極が配列されるようにしてもよい。

[0059] また、上記各実施形態における共振周波数調整モジュールにおいて、可動電極及び固定電極の対向面は、平面に限られず、曲面であってもよい。

実施例

[0060] 以下、実施例に基づき本発明について詳述するが、この実施例の記載に基づいて本発明が限定的に解釈されるものではない。

[0061] 上記第 1 実施形態の形状を有する共振周波数調整モジュールの可動電極及び固定電極のモデル No. 1 及び No. 2 をシミュレーター上でモデリング

し、発生する静電引力をシミュレーションにより確認した。

[0062] モデルN o. 1 及びN o. 2 は、次の表 1 に示す形状とした。なお、各モデルは、3本の可動電極と、この3本の可動電極の間にそれぞれ3つずつ2列に配列する合計6個の固定電極とを有するものとしてモデリングした。

[0063] (モデルN o. 1)

具体的には、モデルN o. 1 は、可動電極及び固定電極の対向面の移動方向Xに対する角度を6.04度で一定とし、可動電極及び固定電極の対向面間の間隔(上記「平均間隔」)を2.1 μm で一定とし、山部(及び谷部)のピッチを40 μm で一定とし、固定電極の移動方向Xの長さを24 μm で一定とした。対向面の傾斜角及び対向面間の間隔から導出される可動電極及び固定電極の対向面間の移動方向Xの平均距離は、20 μm である。また、モデルN o. 1 の山部のピッチと固定電極の移動方向Xの長さとの差は、移動方向Xにおける可動電極と複数の固定電極との間の平均距離の0.8倍である。

[0064] (モデルN o. 2)

モデルN o. 2 は、可動電極及び固定電極の対向面の移動方向Xに対する角度を4.60度で一定とし、可動電極及び固定電極の対向面間の間隔を1.6 μm で一定とし、山部(及び谷部)のピッチを40 μm で一定とし、固定電極の移動方向Xの長さを24 μm で一定とした。対向面の傾斜角及び対向面間の間隔から導出される可動電極及び固定電極の対向面間の移動方向Xの平均距離は、20 μm である。また、モデルN o. 2 の山部のピッチと固定電極の移動方向Xの長さとの差は、移動方向Xにおける可動電極と複数の固定電極との間の平均距離の0.8倍である。

[0065]

[表1]

	No.1	No.2
対向面角度 (度)	6.04	4.60
対向面間隔 (μm)	2.1	1.6
移動方向間隔 [A] (μm)	20	20
山部ピッチ [B] (μm)	40	40
固定電極長さ [C] (μm)	24	24
[(B-C) / A]	0.8	0.8
単位構造面積 (m^2)	753.1	704.5

[0066] これらのモデルNo. 1及びNo. 2について、可動部材の移動量と可動電極及び固定電極間の静電引力との関係をシミュレートした結果を次の表2に示す。なお、静電引力の線形性は、移動量ゼロの近傍における静電引力の変化率が不変であると仮定した場合にそれぞれの移動量で予想される静電引力に対する百分率で示す。

[0067] [表2]

移動量 (μm)	線形性 (%)	
	No.1	No.2
0	100	100
2	102	103
4	103	104
6	105	107
8	101	102
10	90	90
12	92	92

[0068] このように、可動電極の固定電極との対向面が移動方向に交互に配列する山部及び谷部を有し、複数の固定電極を可動電極の山部に対向するよう配設したモデルNo. 1及びNo. 2は、可動電極の移動量が12 μm までの範囲において、この移動量に対する静電引力の比（見かけ上のばね定数）の変化が±10%以内の高い線形性を有していることが確認された。

[0069] 今回開示した上記実施形態および実施例はすべての点で例示であって、制限的なものではない。本発明の技術的範囲は請求の範囲によって画定され、また請求の範囲の記載と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含むものである。

産業上の利用可能性

[0070] 本発明に係る共振周波数調整モジュールは、角速度を検出するMEMSセンサに好適に利用できる。

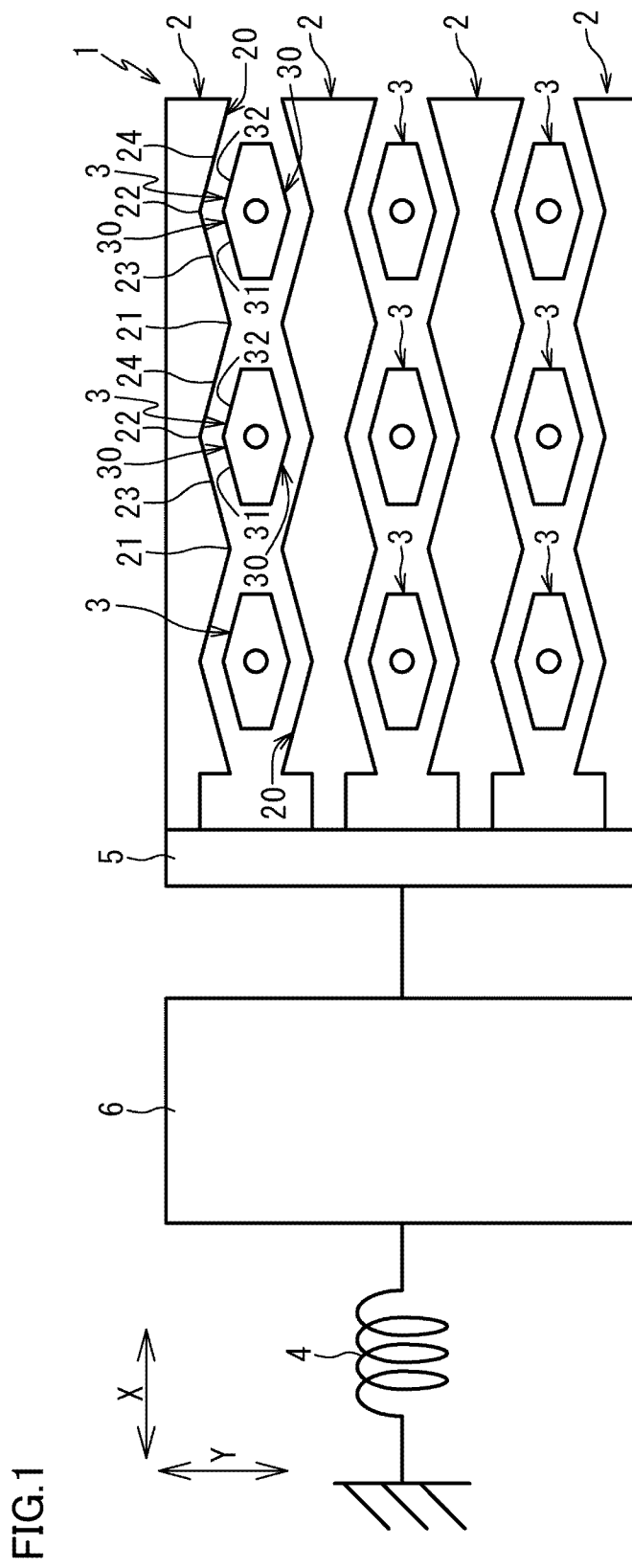
符号の説明

[0071] 1, 1 a, 1 b, 1 c 共振周波数調整モジュール、2, 2 a, 2 b 可動電極、20 対向面、21 山部、22 谷部、23 第1傾斜部、24 第2傾斜部、3, 3 a 固定電極、30 対向面、31 第1傾斜部、32 第2傾斜部、4 弾性体、5 支持部材、6 錘、X 移動方向。

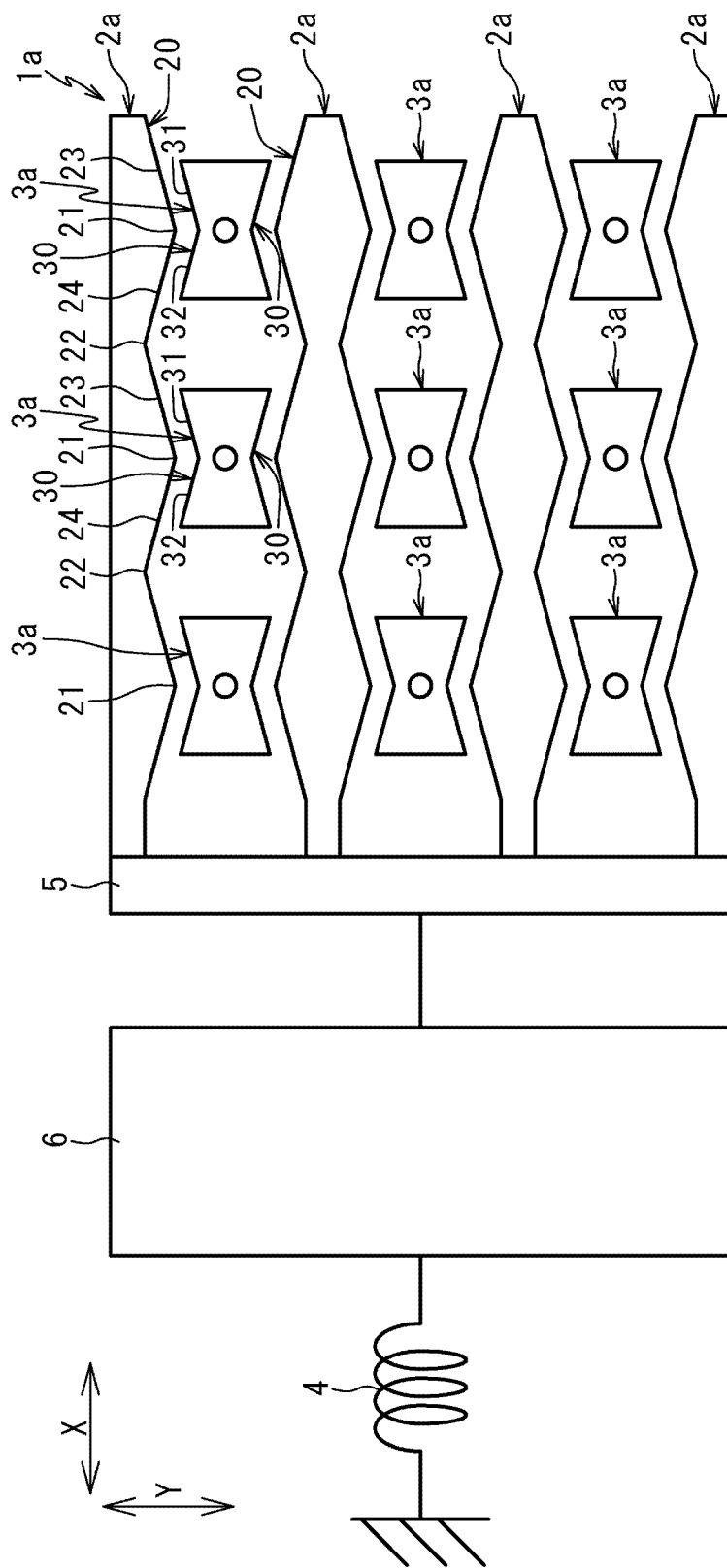
請求の範囲

- [請求項1] 角速度を検出するMEMSセンサを構成する共振周波数調整モジュールであって、
- 移動可能に配設され、移動方向に延在する可動電極と、
- 前記可動電極の前記移動方向に沿って配列する複数の固定電極と、
- 前記可動電極を前記移動方向に移動可能に支持する弾性体とを備え、
- 前記可動電極の前記複数の固定電極との対向面が、前記移動方向に交互に配列する山部及び谷部を有し、
- 前記複数の固定電極の各々が、前記可動電極の1つの山部又は谷部に対向するよう配設される、共振周波数調整モジュール。
- [請求項2] 前記山部及び前記谷部が略一定のピッチで形成され、
- 前記山部又は前記谷部の平均ピッチと前記複数の固定電極の前記移動方向の平均長さとの差が、前記移動方向における前記可動電極と前記複数の固定電極との間の平均距離の0.5倍以上1.2倍以下である、請求項1に記載の共振周波数調整モジュール。
- [請求項3] 前記複数の固定電極の各々が、前記可動電極の前記谷部に対向する、請求項1又は2に記載の共振周波数調整モジュール。
- [請求項4] 前記可動電極の前記対向面の前記移動方向に対する平均傾斜角が、2度以上12度以下である、請求項1から3のいずれか1項に記載の共振周波数調整モジュール。
- [請求項5] 請求項1から4のいずれか1項に記載の共振周波数調整モジュールを備える、MEMSセンサ。

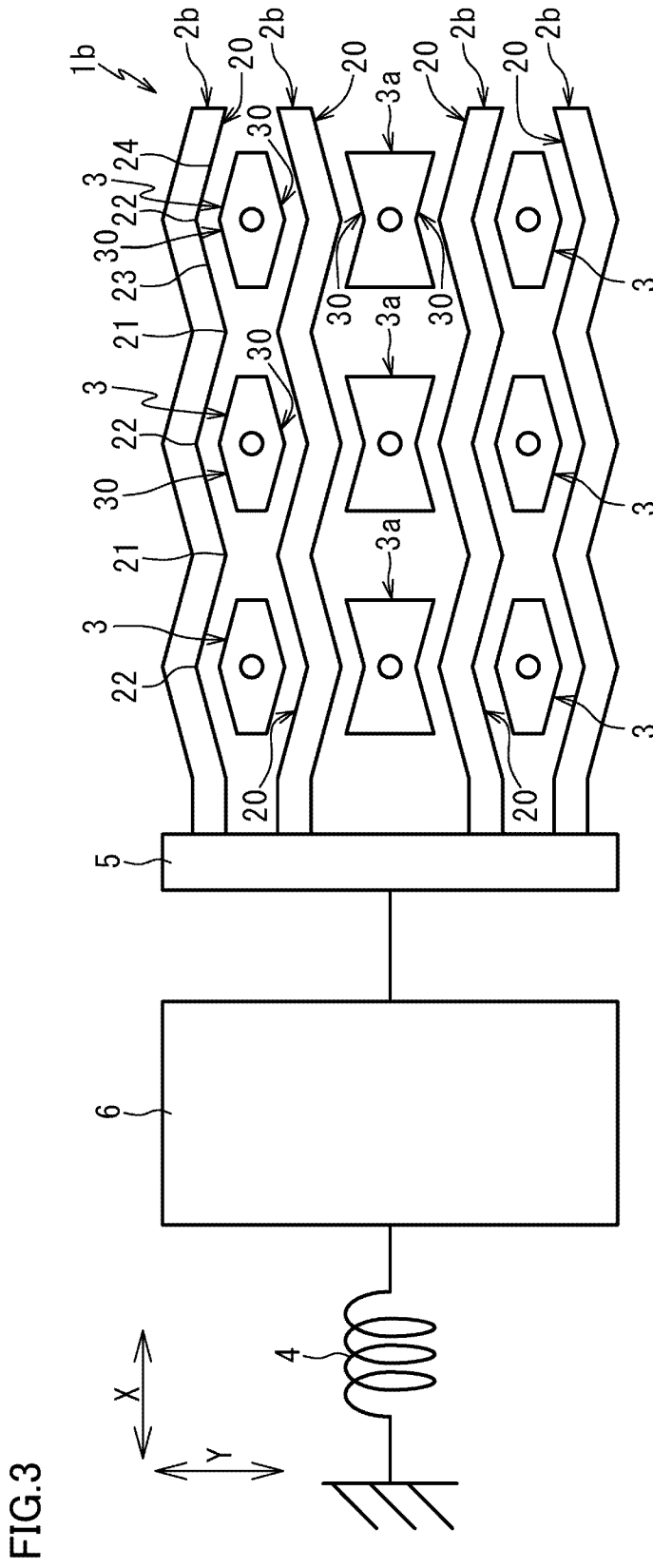
[図1]



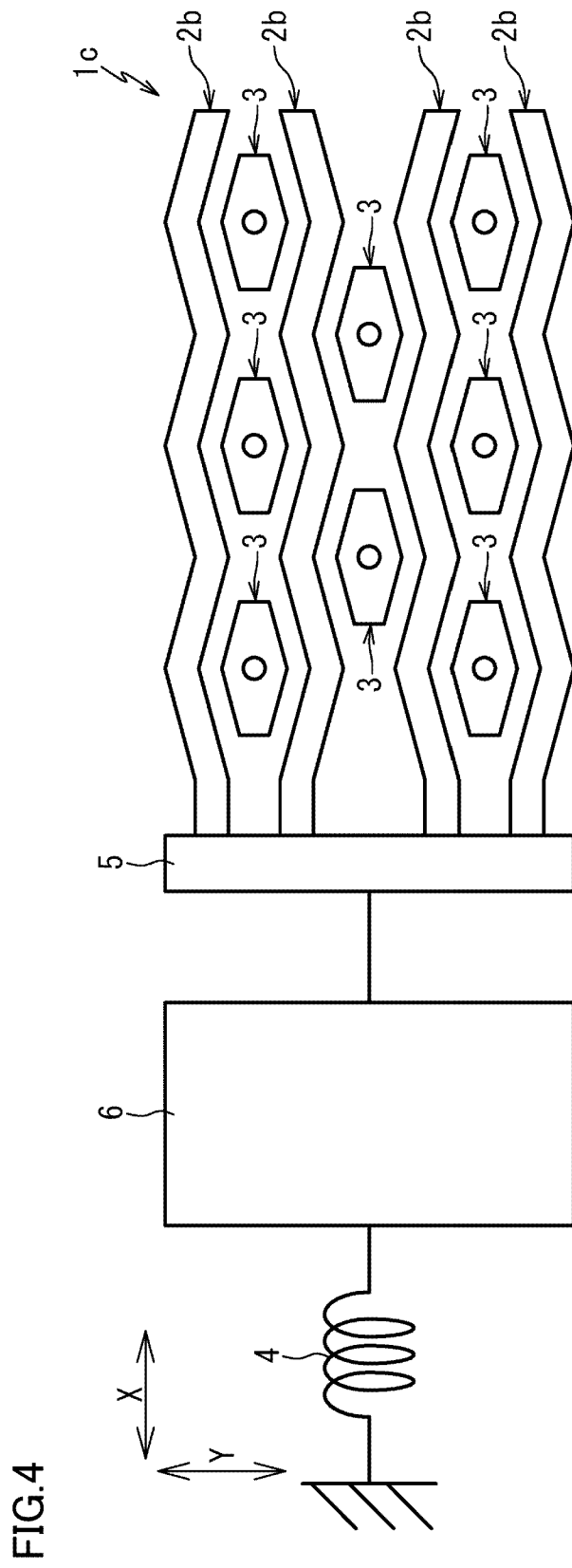
[FIG. 2]



[図3]

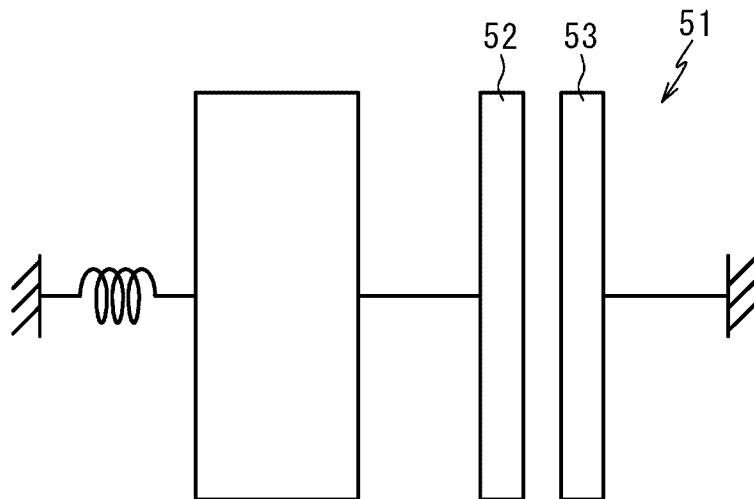


[図4]



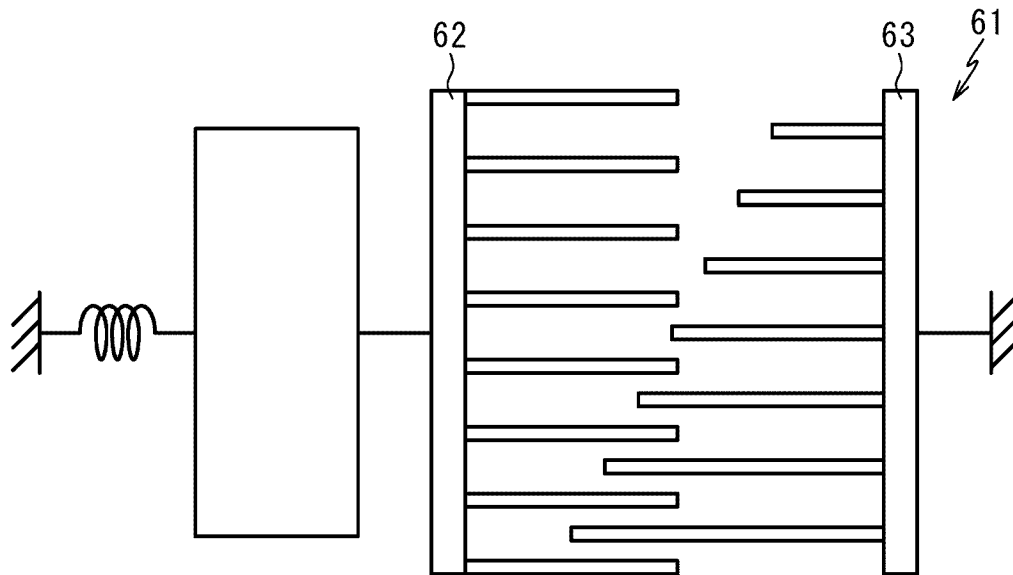
[図5]

FIG.5



[図6]

FIG.6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/067042

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01C19/5769(2012.01)i, B81B3/00(2006.01)i, H01L29/84(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)
G01C19/56-5783

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 9-178494 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 11 July 1997 (11.07.1997), paragraphs [0002], [0018] to [0028]; fig. 1 & US 5780948 A & DE 19643182 A1 & KR 10-0363247 B1	1-5
Y	JP 11-257970 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 24 September 1999 (24.09.1999), paragraphs [0044], [0081] to [0085]; fig. 1, 8 & US 6240780 B1 & EP 943893 A1	1-5
Y	JP 2009-75135 A (Wacoh, Co., Ltd.), 09 April 2009 (09.04.2009), paragraphs [0139], [0143]; fig. 28 (Family: none)	1-5

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 04 August 2015 (04.08.15)	Date of mailing of the international search report 11 August 2015 (11.08.15)
--	---

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/JP2015/067042

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-97710 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 07 April 2000 (07.04.2000), paragraphs [0006], [0007], [0022] to [0038]; fig. 1, 3 (Family: none)	1-5
A	JP 9-243374 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 19 September 1997 (19.09.1997), paragraphs [0072], [0085] to [0089]; fig. 6 & US 6070463 A & EP 795737 A1	1-5
A	JP 2009-271052 A (Honeywell International Inc.), 19 November 2009 (19.11.2009), paragraph [0040]; fig. 11 & US 2009/0320591 A1 & EP 2071284 A2 & KR 10-2009-0063079 A	1-5
A	JP 2004-347475 A (Denso Corp.), 09 December 2004 (09.12.2004), entire text; all drawings & US 2004/0231421 A1 & DE 102004023207 A	1-5
A	JP 2004-233088 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 19 August 2004 (19.08.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 2001-27529 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 30 January 2001 (30.01.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01C19/5769(2012.01)i, B81B3/00(2006.01)i, H01L29/84(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. G01C19/56-5783		
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 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015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 9-178494 A (三星電子株式会社) 1997.07.11, 段落【0002】、【0018】 - 【0028】、第1図 & US 5780948 A & DE 19643182 A1 & KR 10-0363247 B1	1-5
Y	JP 11-257970 A (株式会社村田製作所) 1999.09.24, 段落【0044】、 【0081】 - 【0085】、第1図、第8図 & US 6240780 B1 & EP 943893 A1	1-5
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input 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、一般的な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 04.08.2015	国際調査報告の発送日 11.08.2015	
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) 梶田 真也 電話番号 03-3581-1101 内線 3258	2S 3303

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
Y	JP 2009-75135 A (株式会社ワコー) 2009. 04. 09, 段落【0139】 , 【0143】 , 第 28 図 (ファミリーなし)	1 - 5
A	JP 2000-97710 A (株式会社村田製作所) 2000. 04. 07, 段落【0006】 , 【0007】 , 【0022】 - 【0038】 , 第 1 図, 第 3 図 (ファミリーなし)	1 - 5
A	JP 9-243374 A (株式会社村田製作所) 1997. 09. 19, 段落【0072】 , 【0085】 - 【0089】 , 第 6 図 & US 6070463 A & EP 795737 A1	1 - 5
A	JP 2009-271052 A (ハネウエル・インターナショナル・インコーポ レーテッド) 2009. 11. 19, 段落【0040】 , 第 11 図 & US 2009/0320591 A1 & EP 2071284 A2 & KR 10-2009-0063079 A	1 - 5
A	JP 2004-347475 A (株式会社デンソー) 2004. 12. 09, 全文, 全図 & US 2004/0231421 A1 & DE 102004023207 A	1 - 5
A	JP 2004-233088 A (株式会社村田製作所) 2004. 08. 19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 5
A	JP 2001-27529 A (松下電器産業株式会社) 2001. 01. 30, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 5