

(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
2009年12月10日(10.12.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/148156 A1

- (51) 国際特許分類:
G01L 1/10 (2006.01) H01L 29/84 (2006.01)
G01P 15/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/060364
- (22) 国際出願日: 2009年6月5日(05.06.2009)
- (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 2008-148657 2008年6月5日(05.06.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人静岡大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION SHIZUOKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒4228529 静岡県静岡市駿河区大谷836 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 橋口 原 (HASHIGUCHI Gen) [JP/JP]; 〒4328561 静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立大学法人静岡大学電子工学研究所内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目10番

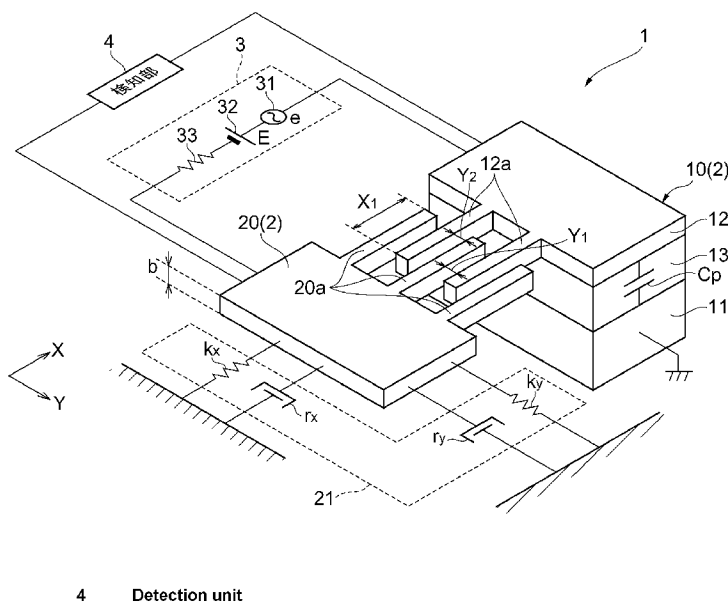
6号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

[続葉有]

(54) Title: DETECTION SENSOR
(54) 発明の名称: 検知センサ

[図1]



4 Detection unit

(57) Abstract: The objective is to detect an external force or acceleration with good sensitivity using a simple configuration. An external force detection sensor (1) is equipped with a comb tooth electrode (2) having a fixed electrode (10) having multiple fixed comb tooth parts (12a) and a movable electrode (20) having multiple movable comb tooth parts (20a) that can be inserted between the fixed comb tooth parts (12a), a power supply (3) connected to the fixed electrode (10) and the movable electrode (20) in order to vibrate the movable electrode (20) at a prescribed resonating frequency by using an electrostatic force relative for the fixed electrode (10), and a detection unit (4) that detects an external force based on changes in the electrical characteristics between the fixed electrode (10) and the movable electrode (20) when the movable electrode (20) is vibrated. For adjacent fixed comb tooth parts (12a) and a movable comb tooth part (20a) inserted between them, the space between one of the fixed comb tooth parts (12a) and the movable comb tooth part (20a) differs from the

space between the other fixed comb tooth part (12a) and the movable comb tooth part (20a).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2009/148156 A1



【課題】簡易な構成で外力または加速度を感度良く検知することを目的とする。【解決手段】外力検知センサ1は、複数の固定櫛歯部12aを有する固定電極10と、固定櫛歯部12a間に挿入された可動櫛歯部20aを複数有する可動電極20とを有する櫛歯電極2と、可動電極20を固定電極10に対する静電力により所定の共振周波数で振動させるために固定電極10と可動電極20とに接続される電源3と、可動電極20を振動させたときの固定電極10と可動電極20との間の電気特性の変化に基づいて外力を検知する検知部4と、を備え、隣り合う固定櫛歯部12a及びその間に挿入された可動櫛歯部20aについて、一方の固定櫛歯部12aと可動櫛歯部20aとの間隔が、他方の固定櫛歯部12aと可動櫛歯部20aとの間隔と異なる。

明 細 書

発明の名称： 検知センサ

技術分野

[0001] 本発明は、外力または加速度を検知する検知センサに関する。

背景技術

[0002] 外力または加速度を検知するセンサとして、例えば加速度センサや変位センサが挙げられる。このうち、加速度センサに関しては、可動マスの静的な変位を容量変化あるいは歪み抵抗方式で検知する手法が一般的である。例えば、下記特許文献1には、静電容量の変化により変位を検知する加速度センサが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平10-206457号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、静電アクチュエータにより静電容量変化を検知する場合には感度を向上させるための工夫が必要であり、歪み抵抗方式は装置の複雑化を招きやすい。

[0005] 本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、簡易な構成で外力または加速度を感度良く検知することが可能な検知センサ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

[0006] 本発明の検知センサは、複数の固定櫛歯部を有する固定電極と、固定櫛歯部間に挿入された可動櫛歯部を複数有する可動電極とを含む櫛歯電極と、可動電極を固定電極に対する静電力により所定の共振周波数で振動させるために固定電極と可動電極とに接続される電源と、可動電極を振動させたときの固定電極と可動電極との間の電気特性の変化に基づいて外力または加速度を

検知する検知手段と、を備え、隣り合う固定櫛歯部及びその間に挿入された可動櫛歯部について、一方の固定櫛歯部と該可動櫛歯部との間隔が、他方の固定櫛歯部と該可動櫛歯部との間隔と異なる。

- [0007] このような検知センサによれば、隣り合う固定櫛歯部とその間に挿入された可動櫛歯部について固定櫛歯部と可動櫛歯部との間隔が左右で異なるので、所定の共振周波数の静電力で可動電極を振動させると、外力が加えられたときに、固定電極と可動電極との間の電気特性が大きく変化する。したがって、この変化を検知することで外力または加速度を感度良く検知できる。また、装置の構成も簡単になる。
- [0008] 本発明の検知センサでは、電源が、可動電極を可動櫛歯部の配列方向に振動させる共振周波数の電力を与えることが好ましい。
- [0009] この場合、可動櫛歯部の配列方向に可動電極が振動するので、その配列方向に加えられた外力または加速度を特に感度良く検知できる。
- [0010] 本発明の検知センサでは、電源が、可動電極を可動櫛歯部の延伸方向に振動させる共振周波数の電力を与えることが好ましい。
- [0011] この場合、可動櫛歯部の延伸方向に可動電極が振動するので、その延伸方向に加えられた外力または加速度を特に感度良く検知できる。
- [0012] 本発明の検知センサでは、電源が、所定の周波数を、可動櫛歯部の配列方向に振動させる第1の共振周波数と可動櫛歯部の延伸方向に振動させる第2の共振周波数との間で切り替えることで可動電極の振動方向を変更し、可動電極が、第1の共振周波数では可動櫛歯部の配列方向に振動し、第2の共振周波数では可動櫛歯部の延伸方向に振動することが好ましい。
- [0013] この場合、可動櫛歯部の配列方向に可動電極が振動した場合にはその配列方向に加えられた外力または加速度を特に感度良く検知でき、可動櫛歯部の延伸方向に可動電極が振動した場合にはその延伸方向に加えられた外力または加速度を特に感度良く検知できる。そして、電源が共振周波数を切り替えることで可動電極の振動方向が変更されるので、検知したい外力または加速度の方向に応じて共振周波数を切り替えるだけで、外力または加速度を高感

度に検知できる。

[0014] 本発明の検知センサでは、電源が、可動電極を可動櫛歯部の配列方向に振動させる第1の共振周波数と、可動電極を可動櫛歯部の延伸方向に振動させる第2の共振周波数とを重畳した信号を発生することが好ましい。

[0015] この場合、可動電極を可動櫛歯部の配列方向に共振周波数で振動させ、可動電極を可動櫛歯部の延伸方向に共振周波数で振動させる。この場合、可動櫛歯部の配列方向と延伸方向とでは外力または加速度によって変化する共振周波数が各々異なるので、周波数切替を行わなくても、各方向の外力または加速度を別個に高感度に検知できる。

[0016] 本発明の検知センサでは、固定櫛歯部の延伸方向及び配列方向と直交する方向における該固定櫛歯部の長さ、可動櫛歯部の延伸方向及び配列方向と直交する方向における該可動櫛歯部の長さが異なり、電源が、可動電極を可動櫛歯部の延伸方向及び配列方向と直交する方向に振動させる共振周波数の電力を与えることが好ましい。

[0017] この場合、固定櫛歯部の延伸方向及び配列方向と直交する方向（高さ方向）における該固定櫛歯部の長さ、可動櫛歯部の延伸方向及び配列方向と直交する方向（高さ方向）における該可動櫛歯部の長さが異なるので、所定の共振周波数で可動電極を振動させたときの、固定電極と可動電極との間の電気特性を取得することで、高さ方向についても外力または加速度を検知できる。

[0018] 本発明の検知センサでは、電源が、共振周波数となる信号に直流バイアス信号を重畳して発生することが好ましい。

発明の効果

[0019] このような検知センサによれば、固定櫛歯部と可動櫛歯部との間隔を左右で異ならせることで、可動電極に共振周波数の静電力を与えた際の固定電極と可動電極との間の電気特性の変化により外力または加速度を検知できる。その結果、簡易な構成で外力または加速度を感度良く検知できる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]実施形態に係る外力検知センサの全体構成を模式的に示す斜視図である。

[図2] (a) ~ (c) は可動電極の振動の様子を示す写真である。

[図3]アドミタンスと周波数との関係を示すグラフである。

[図4]共振周波数と直流バイアスとの関係を示すグラフである。

[図5]アドミタンスカーブの解析値と実測値との比較を示すグラフである。

[図6]共振周波数の直流バイアス依存性に関する、解析値と実測値との比較を示すグラフである。

[図7]共振周波数と電圧感度との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を詳細に説明する。本実施形態では、本発明に係る検知センサを外力検知センサに適用する。なお、図面の説明において同一又は同等の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0022] 図1は実施形態に係る外力検知センサの全体構成を模式的に示す斜視図である。図2(a)~(c)は可動電極の振動の様子を示す写真である。図3はアドミタンスと周波数との関係を示すグラフである。図4は共振点と直流バイアスとの関係を示すグラフである。図5はアドミタンスカーブの解析値と実測値との比較を示すグラフである。図6は、共振点の直流バイアス依存性に関する、解析値と実測値との比較を示すグラフである。図7は共振点と電圧感度との関係を示すグラフである。

[0023] 外力検知センサ1は、櫛歯電極2、電源3及び検知部(検知手段)4を備えている。櫛歯電極2は、固定電極10及び可動電極20を有している。

[0024] 固定電極10は、下部シリコン層11と、上部シリコン層12と、これら上下のシリコン層に挟まれた絶縁層13とを含んで構成されている。上部シリコン層12は、凸状に突き出た固定櫛歯部12aを複数有している。

[0025] 可動電極20はシリコンにより形成されており、弾性支持部21により支持されている。可動電極20は凸状に突き出た可動櫛歯部20aを複数有し

ている。可動櫛歯部 20 a は、隣り合う固定櫛歯部 12 a の間に挿入されるように配置されている。すなわち、固定電極 10 の固定櫛歯部 12 a と可動電極 20 の可動櫛歯部 20 a とは、一定の隙間をおいて噛み合うように配置されている。その結果、固定電極 10（上部シリコン層 12）と可動電極 20 とは対向している。

[0026] 隣り合う固定櫛歯部 12 a 及びその間に挿入された可動櫛歯部 20 a についてみると、一方の固定櫛歯部 12 a と可動櫛歯部 20 a との間隔（図 1 における Y_1 ）は、他方の固定櫛歯部 12 a と可動櫛歯部 20 a との間隔（図 1 における Y_2 ）とは異なっている。

[0027] 電源 3 は、固定電極 10 に対して可動電極 20 を振動させるための装置であり、交流電源 31、直流電源 32 及び抵抗部 33 を含んで構成されている。電源 3 は、固定電極 10 と可動電極 20 とに接続されている。直流電源 32 によりバイアス電圧が固定電極 10 と可動電極 20 との間に印加され、交流電源 31 により交流電圧が重畳して印加されることで、固定電極 10 に対して可動電極 20 が振動する。電源 3 は、所定の共振周波数の静電力で可動電極 20 を特定の方向に振動させる。

[0028] 電源 3 による可動電極 20 の振動の様子を図 2 に示す。図 2（a）は可動電極 20 がまだ振動していない状態の写真である。図 2（b）は、或る特定の共振周波数（第 2 周波数）が与えられたことで可動櫛歯部 20 a（可動電極 20）が X 方向に振動している状態の写真である。図 2（c）は、第 2 周波数とは異なる特定の共振周波数（第 1 の共振周波数）が与えられたことで可動櫛歯部 20 a（可動電極 20）が Y 方向に振動している状態の写真である。ここで、X 方向とは、固定櫛歯部 12 a 及び可動櫛歯部 20 a の延伸方向であり、Y 方向とは、固定櫛歯部 12 a 及び可動櫛歯部 20 a の配列方向である。このように、電源 3 は共振周波数を切り替えることで可動電極 20 の振動方向を変更する。

[0029] 電源 3 は、可動電極 20 を Y 方向に振動させる第 1 の共振周波数と、可動電極 20 を X 方向に振動させる第 2 の共振周波数とが重畳した信号の静電力

で可動電極 20 を振動させてもよい。この場合、可動電極 20 は対角線方向に振動する。

[0030] 検知部 4 は、可動電極 20 を所定の共振周波数で振動させたときの固定電極 10 と可動電極 20 との間の電気特性の変化に基づいて外力を検知する部分である。なお、図 1 では、検知部 4 は固定電極 10 及び可動電極 20 と接続されているが、抵抗部 33 の両端に接続されてもよいし、電源 3 の両端に接続されてもよい。また、電源 3 と検知部 4 とを直列に接続してもよい。

[0031] ここで、検知部 4 による外力検知の原理を説明する。X 方向及び Y 方向を上述のように決めた場合には、直流電圧 E 及び交流電圧 e の印加によって振動する外力検知センサ 1 のラグランジアンは下記式 (1) で示される。

[数1]

$$L = \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 - \frac{1}{2}k_x(X+x)^2 - \frac{1}{2}k_y(Y+y)^2 - \frac{1}{2} \frac{(Q_0 + q)^2}{C(x, y) + C_p} \quad \dots(1)$$

[0032] ここで、X、Y は、直流電圧 E の印加による、可動櫛歯部 20 a の X、Y 方向への変位量である。x、y は、交流電圧 e の印加による、可動櫛歯部 20 a の X、Y 方向への変位量である。v_x、v_y は、それぞれ X 方向、Y 方向への移動速度である。m は可動電極 20 の質量である。k_x、k_y は、それぞれ可動電極 20 を支える弾性支持部 21 の X 方向、Y 方向のばね定数である。C(x, y) は、固定電極 10 と可動電極 20 との間の静電容量であり、C_p は下部シリコン層 11 と上部シリコン層 12 との間の浮遊容量である。また、Q₀、q は、それぞれ直流電圧、交流電圧の印加による電荷量を示す値である。

[0033] 固定櫛歯部 12 a 及び可動櫛歯部 20 a の本数 (櫛歯の本数) を n、各櫛歯部の高さ (図 1 における上下方向の長さ) を b とすると、静電容量 C(x, y) は下記式 (2) で示される。なお、ε₀ は真空の誘電率である。また、X₀ は X 方向に沿った固定櫛歯部 12 a と可動櫛歯部 20 a との初期間隔 (振動がないときの間隔) である。更に、Y₁ は、隣り合う固定櫛歯部 12 a 及びその間に挿入された可動櫛歯部 20 a における一方の固定櫛歯部 12 a と可

動櫛歯部 20a との初期間隔であり、 Y_2 は他方の固定櫛歯部 12a と可動櫛歯部 20a との初期間隔である。

[数2]

$$C(x, y) = n\epsilon_0 b (X_0 + X + x) \left(\frac{1}{Y_1 - Y - y} + \frac{1}{Y_2 + Y + y} \right) \quad \dots(2)$$

[0034] また、系のエネルギー散逸関数 F は、電流 i 及び速度 v_x , v_y の関数として次式 (3) で与えられる。なお、 r_f , R は、それぞれ機械抵抗、電気抵抗である。

[数3]

$$F = \frac{1}{2} r_f v_x^2 + \frac{1}{2} r_f v_y^2 + \frac{1}{2} R i^2 \quad \dots(3)$$

[0035] 機械座標系 (X 方向及び Y 方向)、及び電気座標系についてのラグランジュ運動方程式は、上記式 (1)、(2) を用いて次のように表される。ここで、 f_x , f_y は、それぞれ外力の X 成分、Y 成分である。

[数4]

$$f_x = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_x} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial v_x} \quad \dots(4)$$

[数5]

$$f_y = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_y} \right) - \frac{\partial L}{\partial y} + \frac{\partial F}{\partial v_y} \quad \dots(5)$$

[数6]

$$E + e = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} + \frac{\partial F}{\partial i} \quad \dots(6)$$

[0036] 上記ラグランジュ運動方程式 (4) ~ (6) を計算すると、外力検知センサ 1 の動作を表す下記運動方程式 (7) ~ (9) が得られる。なお、式 (9) における E_0 は直流バイアスである。

[数7]

$$f_x = m \frac{dv_x}{dt} + k_x(X+x) + r_x v_x - \frac{n\epsilon_0 b(Q_0 + q)^2}{2\{C(x,y) + C_p\}^2} \left[\frac{1}{Y_1 - Y - y} + \frac{1}{Y_2 + Y + y} \right] \dots(7)$$

[数8]

$$f_y = m \frac{dv_y}{dt} + k_y(Y+y) + r_y v_y - \frac{n\epsilon_0 b(Q_0 + q)^2 (X_0 + X + x)}{2\{C(x,y) + C_p\}^2} \left[\frac{1}{(Y_1 - Y - y)^2} + \frac{1}{(Y_2 + Y + y)^2} \right] \dots(8)$$

[数9]

$$E + e = \frac{Q_0}{C_0 + C_p} - \frac{C_0 E_0}{(C_0 + C_p)(X_0 + X)} x - \frac{C_0 E_0}{(C_0 + C_p)} \left[\frac{1}{Y_1 - Y} - \frac{1}{Y_2 + Y} \right] y + \frac{q}{C_0 + C_p} \dots(9)$$

[0037] ここで、変位 x , y 及び交流電圧 e が充分小さいと仮定して角周波数 ω での定常状態を考えると、上記式 (7) ~ (9) をテイラー展開してその1次項をとることにより、次の連立式 (10) が得られる。

[数10]

$$\begin{pmatrix} f_x \\ f_y \\ i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_x + j\omega m + \frac{k_x}{j\omega} & -G & -D \\ -G & j\omega m + r_y + \frac{k_y}{j\omega} - \frac{1}{j\omega C_y} & -B \\ D & B & j\omega(C_0 + C_p) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ e \end{pmatrix} \dots(10)$$

[0038] ここで、 C_0 は $e = 0$ での静電容量であり、次式 (11) で与えられる。

[数11]

$$C_0 = n\epsilon_0 b(X_0 + X) \left(\frac{1}{Y_1 - Y} + \frac{1}{Y_2 + Y} \right) \dots(11)$$

[0039] また、 D 、 B 、 G 、 C_y^* はそれぞれ下記式 (12) ~ (15) で与えられる。 D 、 B はそれぞれ X 方向、 Y 方向の電気機械結合係数であり、 G は X 方向 - Y 方向の機械振動の相互作用係数である。

[数12]

$$B = C_0 E_0 \left(\frac{1}{(Y_1 - Y)} - \frac{1}{(Y_2 + Y)} \right) \dots (12)$$

[数13]

$$D = \frac{C_0 E_0}{(X_0 + X)} \dots (13)$$

[数14]

$$G = \frac{n \varepsilon_0 b E_0^2}{2j\omega} \left\{ \frac{1}{(Y_1 - Y)^2} - \frac{1}{(Y_2 + Y)^2} \right\} \dots (14)$$

[数15]

$$\frac{1}{C_y^*} = C_0 E_0^2 \left\{ \left(\frac{1}{(Y_1 - Y)} - \frac{1}{(Y_2 + Y)} \right)^2 + \frac{1}{(Y_1 - Y)(Y_2 + Y)} \right\} \dots (15)$$

[0040] 式 (11) ~ (15) 中の X 、 Y は、上述したように、直流電圧 E の印加による、可動櫛歯部 $20a$ の X 、 Y 方向への変位量であるが、これは、式 (7) ~ (9) のテイラー展開の 0 次項として得られる下記連立方程式 (16)、(17) から導くことができる。

[数16]

$$0 = k_x X - \frac{n \varepsilon_0 b E_0^2}{2} \left(\frac{1}{Y_1 - Y} + \frac{1}{Y_2 + Y} \right) \dots (16)$$

[数17]

$$0 = k_y Y - \frac{C_0 E_0^2}{2} \left(\frac{1}{(Y_1 - Y)} - \frac{1}{(Y_2 + Y)} \right) \dots (17)$$

[0041] 上記式 (10) において $f_x = f_y = 0$ とした場合 (外力を 0 とした場合)

の、電気系からみたアドミタンスカーブ L_a を図 3 に示す。図 3 のグラフの縦軸、横軸は、それぞれアドミタンス (S)、周波数 (Hz) である。図 3 のアドミタンスカーブ L_a は、各パラメータを以下のように設定したときの解析結果である。

[0042] 可動電極 20 の質量 $m = 1.9 \times 10^{-6}$ (Kg)

X 方向ばね定数 $k_x = 111$ (N/m)

Y 方向ばね定数 $k_y = 51$ (N/m)

櫛歯の本数 $n = 1070$ (本)

X 方向における固定櫛歯部 12a と可動櫛歯部 20a との重なり $X_1 = 10$ (um)

隣り合う固定櫛歯部 12a 及びその間に挿入された可動櫛歯部 20a に関する、Y 方向における一方の固定櫛歯部 12a と可動櫛歯部 20a との間隔 $Y_1 = 2.5$ (um)

隣り合う固定櫛歯部 12a 及びその間に挿入された可動櫛歯部 20a に関する、Y 方向における他方の固定櫛歯部 12a と可動櫛歯部 20a との間隔 $Y_2 = 3.0$ (um)

X 方向の機械抵抗 $r_x = 4.0 \times 10^{-5}$ (Ns/m)

Y 方向の機械抵抗 $r_y = 1.0 \times 10^{-6}$ (Ns/m)

浮遊容量 $C_p = 4.65$ (pF)

直流バイアス $E_0 = 3$ V

[0043] 図 3 に示すように、櫛歯電極 2 は二つの共振点 (共振周波数) R_1 及び R_2 を持っている。ここで、 R_1 は可動電極 20 が Y 方向に振動する共振点 (第 1 の共振周波数、以下では「Y 方向の共振点」ともいう) であり、 R_2 は可動電極 20 が X 方向に振動する共振点 (第 2 の共振周波数、以下では「X 方向の共振点」ともいう) である。上記式 (10) ~ (14) において $Y_1 = Y_2$ 且つ $Y = 0$ とすると、B 及び G が 0 となり、X、Y 両方向の機械結合及び Y 方向の電気機械結合は生じないことになる。このことから、Y 方向の共振の発生は、 Y_1 と Y_2 とが異なることにより励起するといえる。

- [0044] したがって、所定の共振周波数で可動電極 20 を可動櫛歯部 20 a の延伸方向（X 方向）又は可動櫛歯部 20 a の配列方向（Y 方向）に振動させ、アドミタンスの変化を計測することで外力を検知できる。このために、検知部 4 は、アドミタンスを検知して位相の変化を測定するインピーダンスアナライザと、上記理論を適用した演算プログラムが組み込まれた演算装置を備えている。検知部 4 は、検知されたアドミタンスを演算装置に入力することで、外力の方向を算出し、算出結果を表示装置や他の演算装置（共に図示せず）に出力する。
- [0045] ところで、図 3 に示した Y 方向の共振点は直流バイアス E_0 に依存する。この依存関係を図 4 に示す。図 4 のグラフの左縦軸、右縦軸及び横軸は、それぞれ X 方向の共振周波数（Hz）、Y 方向の共振周波数（Hz）、直流バイアス（V）である。また、グラフ内の破線 L_x は X 方向の共振点の推移を示し、実線 L_y は Y 方向の共振点の推移を示している。Y 方向の共振点は直流バイアス E_0 の減少と共に増大する傾向にあり、 $E_0 = 0$ 、すなわち Y 方向のばね-質量系で決まる自由共振周波数に漸近している。一方、X 方向の共振点には顕著な直流バイアス依存性は認められない。
- [0046] Y 方向の直流バイアス依存性は、平行平板アクチュエータの特性に類似している。平行平板アクチュエータでは、二つの平行平板が引き合う力は平板間の間隔が小さくなると増大するため、電気系からみたイミタンスの共振周波数は直流バイアスを大きくすると小さくなることが知られている。櫛歯電極 2 の Y 方向の共振点も、これと同様の原理により、直流バイアスの増加と共に減少していくと考えられる。一方、X 方向の共振点が直流バイアスにより変化しないのは、X 方向の変位に対して固定電極 10 及び可動電極 20 の引き合う力が変化しないためである。
- [0047] このように、X 方向の共振周波数は直流バイアスにほとんど依存しないが、Y 方向の共振周波数は直流バイアスに依存する。したがって、直流バイアスを変化させることにより、X 方向と Y 方向とで共振周波数を一致させたり、X 及び Y 方向の共振周波数について一方を他方の定数倍にしたりすること

ができる。X及びY方向の共振周波数を同一または定数倍の関係にすれば、振動の軌道は楕円もしくはリサージュ図形状の定軌道となる。従来の一次元の往復運動を利用したMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) センサは、往復運動であるが故に可動電極の速度がゼロになる点があり外力の検知に不正確さを生じることがあった。これに対しこの実施形態を採用すれば、可動電極20は常に運動しているので速度がゼロになる点無く、よって効果的に外力を検知できる。この実施形態は、特にMEMSセンサをジャイロセンサとして用いたときに効果的である。

[0048] 図5, 6は、図3, 4で示す解析結果に、解析と同様の条件で行った実験結果を重ね合わせたグラフである。図5に関して、実線L_aは図3と同じアドミタンスカーブであり、白抜き四角印P_aはアドミタンスの実測値である。また、図6に関して、破線L_x及び実線L_yは図4と同じ共振点推移を示し、黒塗り四角印P_xはX方向の共振点の実測値であり、白抜き四角印P_yはY方向の共振点の実測値である。図5, 6に示すように、アドミタンスカーブ、及びX, Y方向の共振点の直流バイアス依存性に関する実験結果は、解析結果と非常に良く一致している。

[0049] 以上説明したように、本実施形態によれば、隣り合う固定歯部12aとその間に挿入された可動歯部20aについて固定歯部12aと可動歯部20aとの間隔が左右で異なるので、所定の共振周波数で可動電極20を振動させると、外力が加えられたときに固定電極10と可動電極20との間の電気特性（アドミタンス）が大きく変化する。したがって、この変化を検知することで外力を感度良く検知できる。また、外力検知センサ1の構成も簡単になる。

[0050] また、外力検知センサ1は、可動歯部20aの配列方向（Y方向）に可動電極20が振動した場合にはその配列方向に加えられた外力を特に感度良く検知でき、可動歯部20aの延伸方向（X方向）に可動電極20が振動した場合にはその延伸方向に加えられた外力を特に感度良く検知できる。

[0051] このことを図7のグラフで示す。このグラフの縦軸及び横軸はそれぞれ電

圧感度（ V/N ）、周波数（ Hz ）である。グラフ中の菱形印 M_x は可動櫛歯部20aの延伸方向（ X 方向）に外力が加えられた場合の電圧感度（インピーダンスアナライザの出力電圧値）を示し、正方形印 M_y は可動櫛歯部20aの配列方向（ Y 方向）に外力が加えられた場合の電圧感度を示す。破線 A_x で囲んだエリアは、可動電極20が X 方向に振動する共振点（ X 方向の共振点）付近を示し、破線 A_y で囲んだエリアは、可動電極20が Y 方向に振動する共振点（ Y 方向の共振点）付近を示している。なお、直流バイアス E_0 は5Vである。

- [0052] 図7から明らかなように、外力検知センサ1は、 X 方向及び Y 方向の共振点において、 X 方向及び Y 方向の外力を感度良く検知することができる。特に、外力検知センサ1は、 Y 方向の共振点付近 A_y では Y 方向に加えられた外力を非常に感度良く検知でき、 X 方向の共振点付近 A_x において X 方向に加えられた外力を非常に感度良く検知できる。したがって、電源3の共振周波数の切替により、検知したい外力の方向を高感度に検知できる。また、可動電極20を Y 方向に振動させる第1の共振周波数と、可動電極20を X 方向に振動させる第2の共振周波数とを重畳した静電力で可動電極20を振動させた場合には、電源3による周波数切替をすることなく、 X 方向又は Y 方向に加えられた外力を高感度に検知できる。
- [0053] X 方向と Y 方向とで共振周波数を少しだけずらして X 方向の共振運動を発生させた場合には、 Y 方向の変位があると急激に Y 方向の振幅が大きくなる。これを利用すれば、 Y 方向の検知感度が高いセンサを実現できる。
- [0054] 以上、本発明をその実施形態に基づいて詳細に説明した。しかし、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明は、その要旨を逸脱しない範囲で以下のような様々な変形が可能である。
- [0055] 上記実施形態では、外力検知センサ1は、 X 方向及び Y 方向（二次元空間）における外力を検知したが、 X 、 Y 、 Z 方向（三次元空間）における外力を検知してもよい。ここで、 Z 方向とは、固定櫛歯部（又は可動櫛歯部）の延伸方向及び配列方向と直交する方向である。この場合には、隣り合う固定

櫛歯部及びその間に挿入された可動櫛歯部について、一方の固定櫛歯部と可動櫛歯部との間隔と、他方の固定櫛歯部と可動櫛歯部との間隔とを異ならせると共に、Z方向において固定櫛歯部と可動櫛歯部とで長さを異ならせる。そして、X方向及びY方向の共振点と異なる共振周波数（第3の共振周波数）で可動電極をZ方向に振動させることで、X、Y方向の外力を感度良く検知すると共に、Z方向の外力を特に感度良く検知することが可能になる。

[0056] 上記実施形態では本発明に係る検知センサを外力検知センサに適用したが、加速度を検知するセンサに本発明を適用してもよい。

[0057] 本発明に係る検知センサの可動電極にプローブを付けて、プローブからの外力を検知する接触センサを実現することも可能である。このような接触センサは、例えば原子間力顕微鏡（Atomic Force Microscope：AFM）のプローブとして用いることができる。

符号の説明

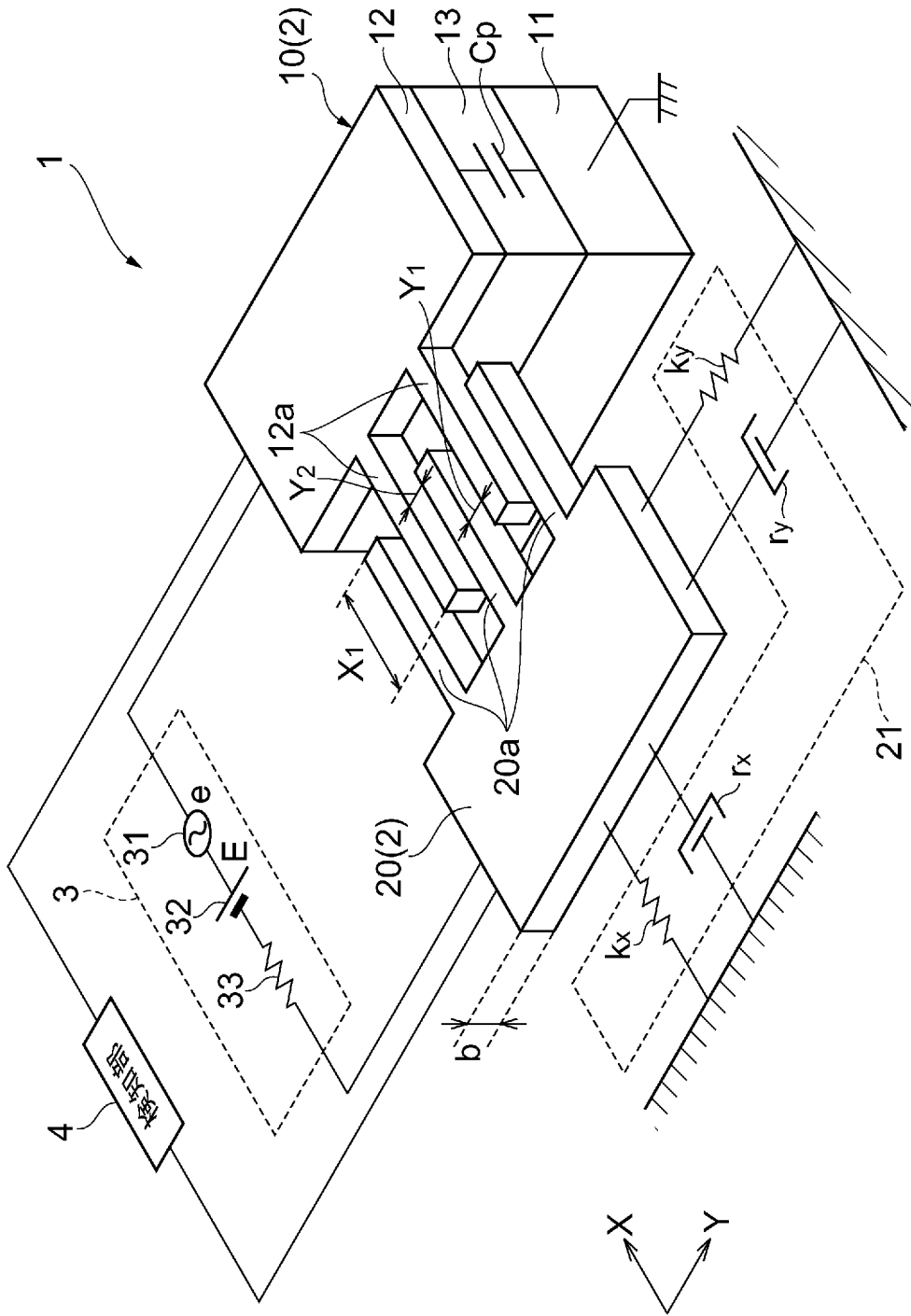
[0058] 1…外力検知センサ、2…櫛歯電極、3…電源、4…検知部（検知手段）、10…固定電極、12a…固定櫛歯部、20…可動電極、20a…可動櫛歯部。

請求の範囲

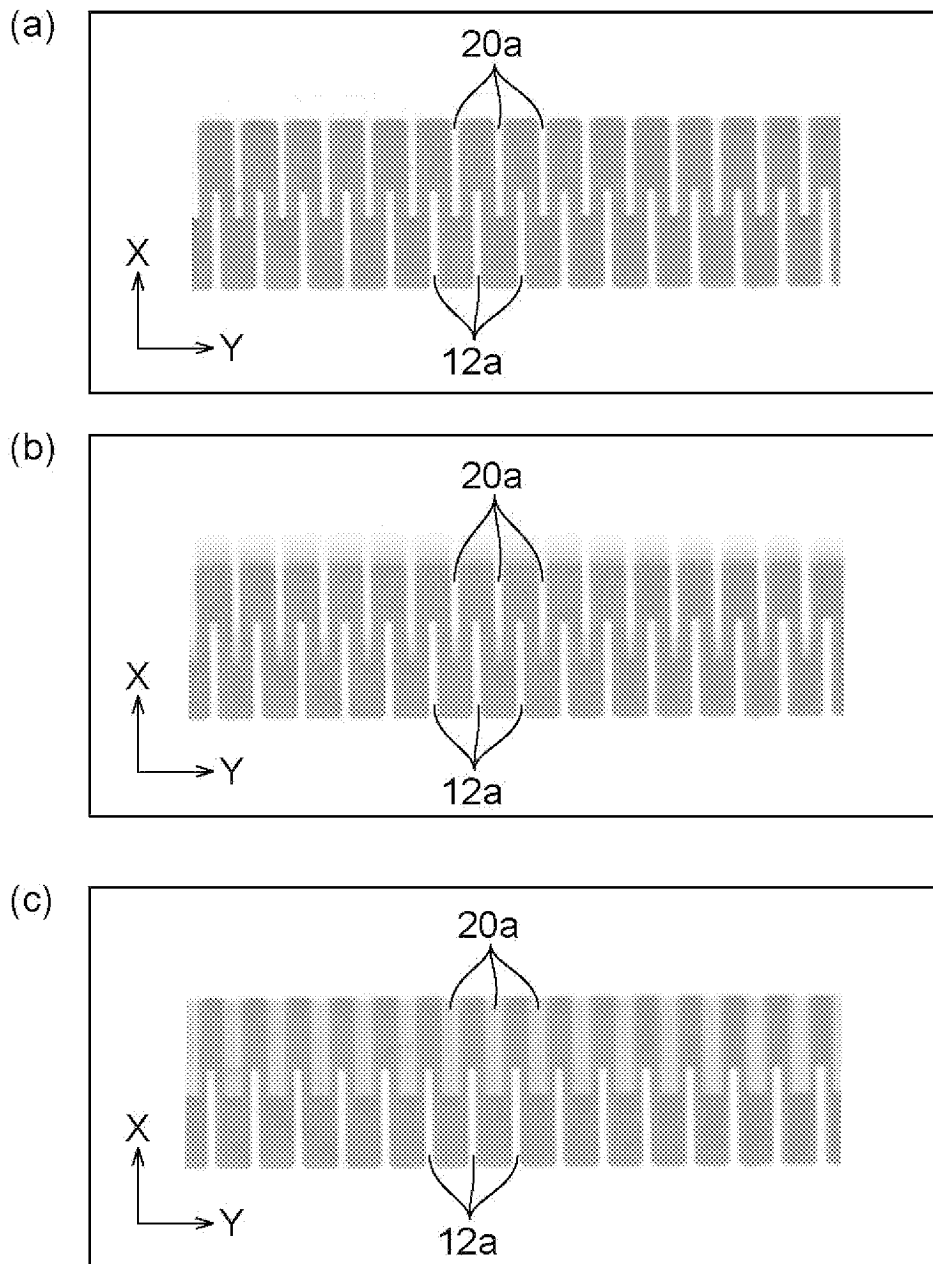
- [請求項1] 複数の固定櫛歯部を有する固定電極と、前記固定櫛歯部間に挿入された可動櫛歯部を複数有する可動電極とを含む櫛歯電極と、
- 前記可動電極を前記固定電極に対する静電力により所定の共振周波数で振動させるために前記固定電極と前記可動電極とに接続される電源と、
- 前記可動電極を振動させたときの前記固定電極と前記可動電極との間の電気特性の変化に基づいて外力または加速度を検知する検知手段と、
- を備え、
- 隣り合う前記固定櫛歯部及びその間に挿入された前記可動櫛歯部について、一方の固定櫛歯部と該可動櫛歯部との間隔が、他方の固定櫛歯部と該可動櫛歯部との間隔と異なる、
- 検知センサ。
- [請求項2] 前記電源が、前記可動電極を前記可動櫛歯部の配列方向に振動させる共振周波数の電力を与える、
- 請求項1に記載の検知センサ。
- [請求項3] 前記電源が、前記可動電極を前記可動櫛歯部の延伸方向に振動させる共振周波数の電力を与える、
- 請求項1に記載の検知センサ。
- [請求項4] 前記電源が、前記所定の周波数を、前記可動櫛歯部の配列方向に振動させる第1の共振周波数と前記可動櫛歯部の延伸方向に振動させる第2の共振周波数との間で切り替えることで前記可動電極の振動方向を変更し、
- 前記可動電極が、前記第1の共振周波数では前記可動櫛歯部の配列方向に振動し、前記第2の共振周波数では前記可動櫛歯部の延伸方向に振動する、
- 請求項1に記載の検知センサ。

- [請求項5] 前記電源が、前記可動電極を前記可動櫛歯部の配列方向に振動させる第1の共振周波数と、前記可動電極を前記可動櫛歯部の延伸方向に振動させる第2の共振周波数とを重畳した信号を発生する、
請求項1に記載の検知センサ。
- [請求項6] 前記固定櫛歯部の延伸方向及び配列方向と直交する方向における該固定櫛歯部の長さ、前記可動櫛歯部の延伸方向及び配列方向と直交する方向における該可動櫛歯部の長さとは異なり、
前記電源が、前記可動電極を前記可動櫛歯部の延伸方向及び配列方向と直交する方向に振動させる共振周波数の電力を与える、
請求項1～5のいずれか一項に記載の検知センサ。
- [請求項7] 前記電源が、前記共振周波数となる信号に直流バイアス信号を重畳して発生する、
請求項1～6のいずれか一項に記載の検知センサ。

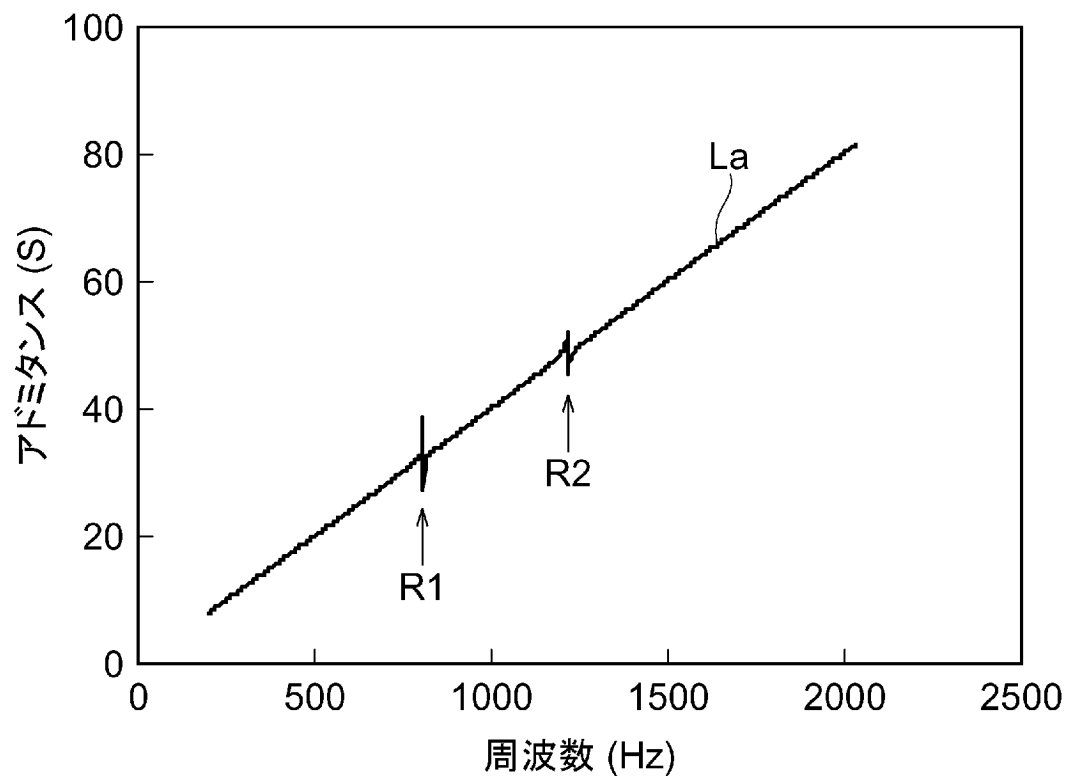
[図1]



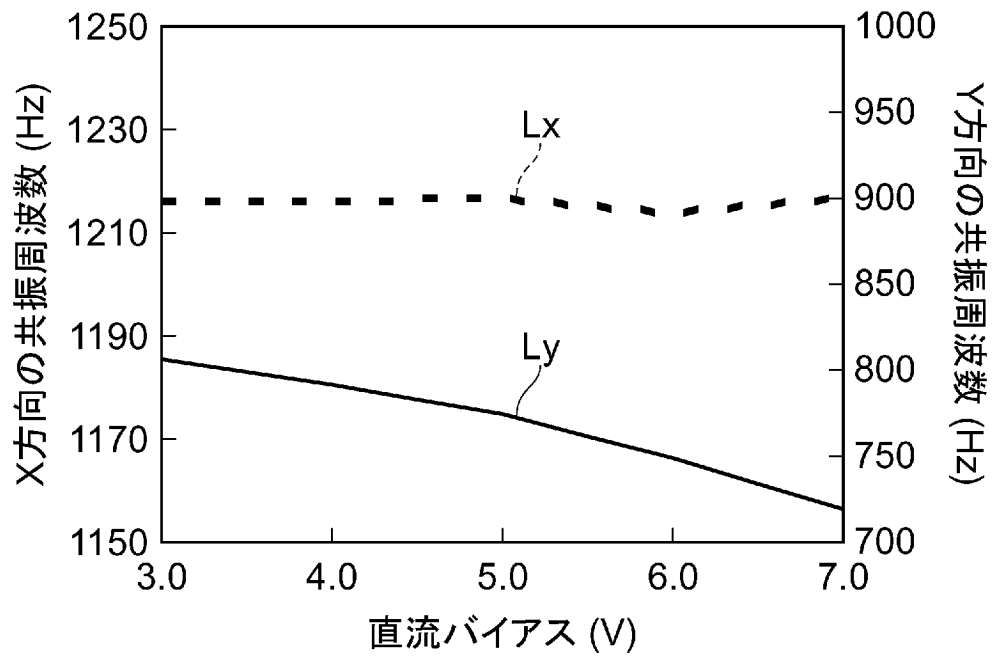
[図2]



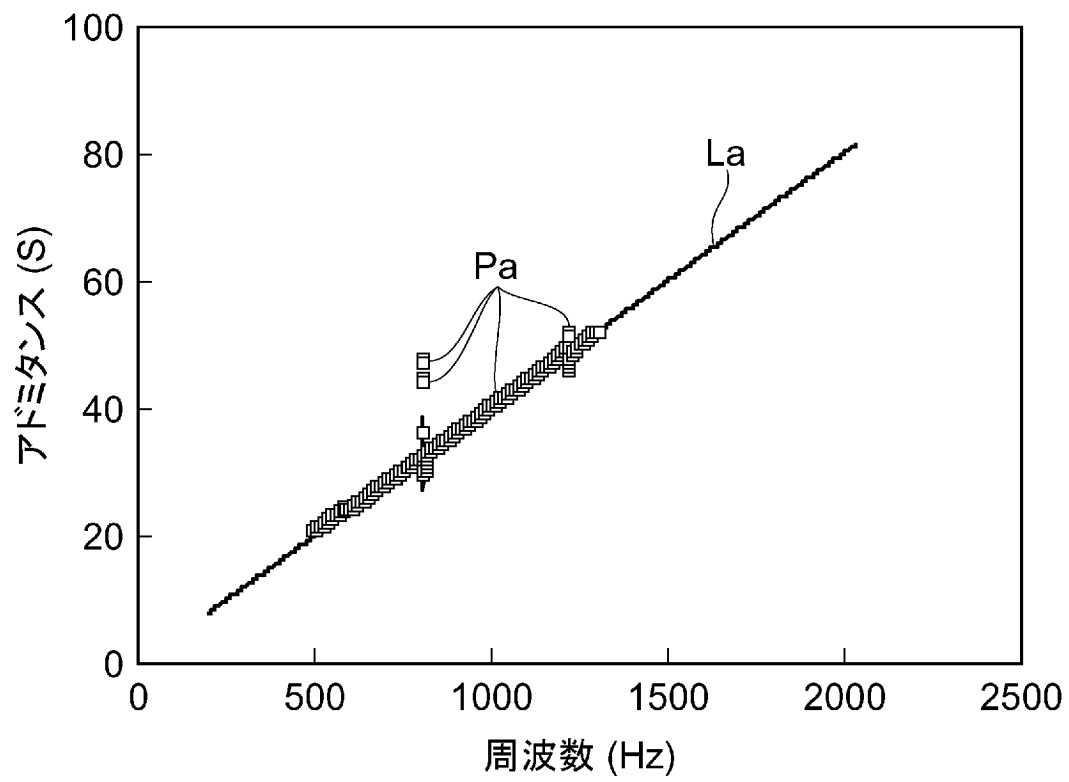
[図3]



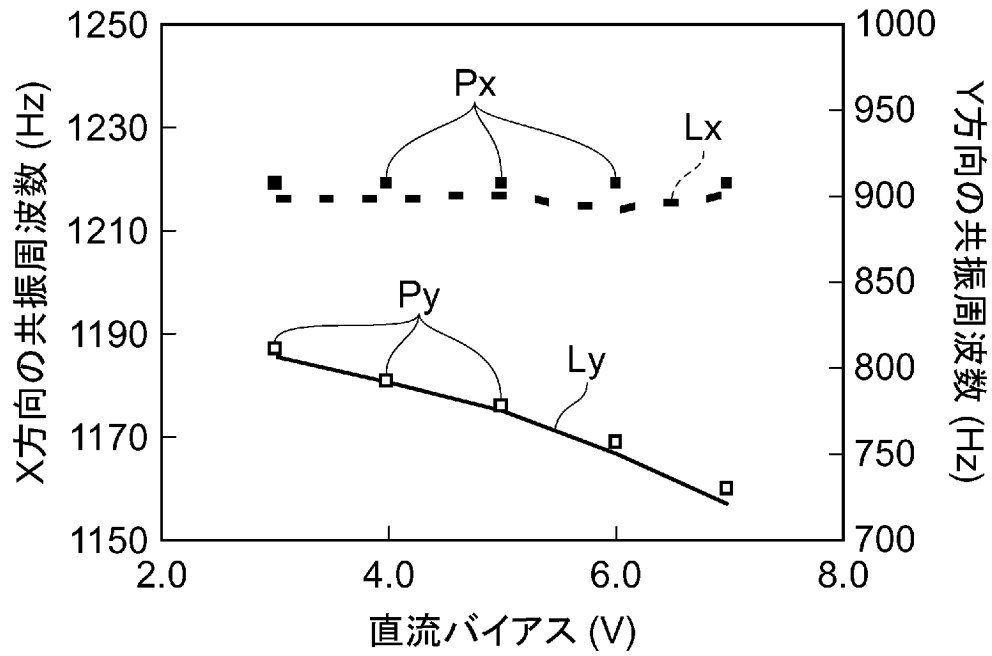
[図4]



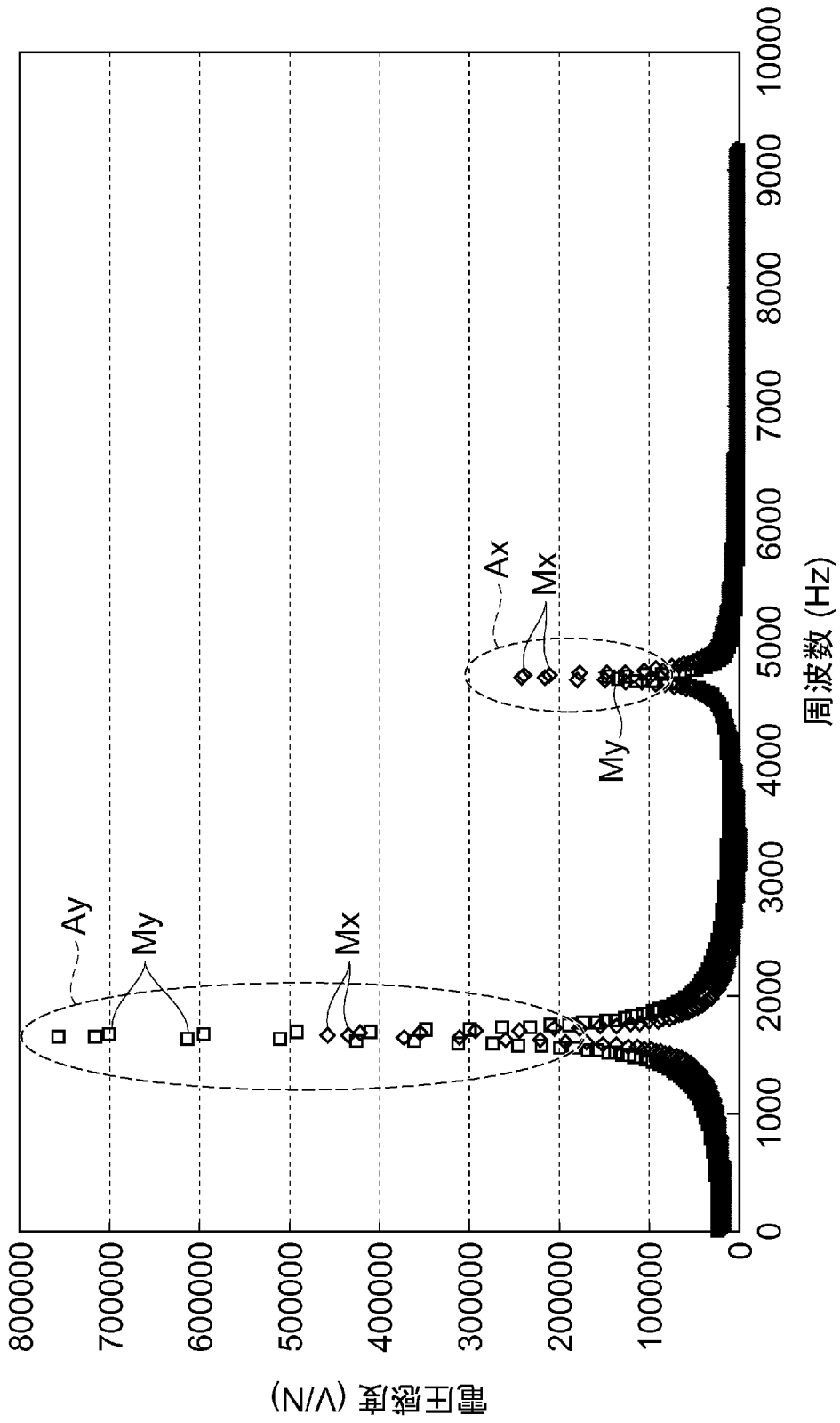
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. PCT/JP2009/060364
--

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 G01L1/10(2006.01)i, G01P15/10(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)
 G01L1/10, G01P15/10, G01P15/125, 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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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 2002-39759 A (Denso Corp.), 06 February, 2002 (06.02.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2000-131072 A (Toyota Motor Corp.), 12 May, 2000 (12.05.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2002-323323 A (Mitsubishi Electric Corp.), 08 November, 2002 (08.11.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-7

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 24 August, 2009 (24.08.09)	Date of mailing of the international search report 01 September, 2009 (01.09.09)
---	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/060364

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 9-79921 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 28 March, 1997 (28.03.97), Par. No. [0042]; Fig. 5 (Family: none)	1-7
A	JP 10-153429 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 09 June, 1998 (09.06.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01L1/10(2006.01)i, G01P15/10(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. G01L1/10, G01P15/10, G01P15/125, 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 1971-2009年
 日本国実用新案登録公報 1996-2009年
 日本国登録実用新案公報 1994-2009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 2002-39759 A (株式会社デンソー) 2002.02.06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2000-131072 A (トヨタ自動車株式会社) 2000.05.12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2002-323323 A (三菱電機株式会社) 2002.11.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7

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。

<p>* 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</p>	<p>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</p>
---	---

国際調査を完了した日 24.08.2009	国際調査報告の発送日 01.09.2009
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) 松浦 久夫 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	JP 9-79921 A (日産自動車株式会社) 1997.03.28, 【0042】, 第5図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 10-153429 A (株式会社村田製作所) 1998.06.09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7