

(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
2013 年 3 月 7 日(07.03.2013)



(10) 国際公開番号

WO 2013/030907 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 19/56 (2012.01) *G01B 7/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/069333
- (22) 国際出願日: 2011 年 8 月 26 日(26.08.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): トヨタ自動車株式会社 (TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 成田 勝俊 (NARITA, Katsutoshi) [JP/JP]; 〒4718571 愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 伊東 忠彦 (ITO, Tadahiko); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号 丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 1 6 階 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, 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, 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 (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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

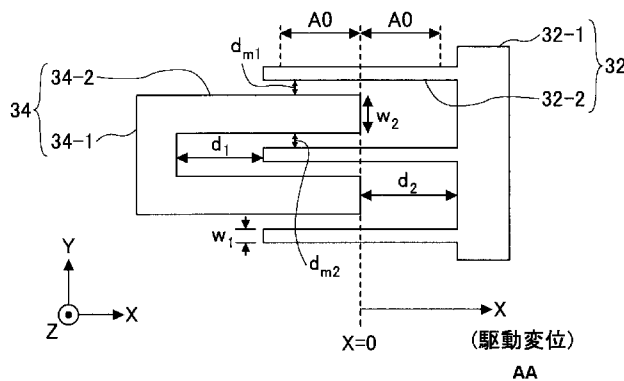
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: DISPLACEMENT MONITORING ELECTRODE STRUCTURE

(54) 発明の名称: 変位量モニタ電極の構造

[図2]



AA Drive displacement

(57) Abstract: In order to keep the amplitude of a detection mass to be a certain target amplitude even if the relative relationship between a fixed electrode and a movable electrode is changed, a displacement monitoring electrode structure of the present invention is characterized in that: at least one linear change region and one nonlinear change region are present, the linear change region being a region in which the variation of the capacitance between the fixed electrode and the movable electrode changes linearly as the movable electrode is displaced in a predetermined axial direction, the nonlinear change region being a region in which the variation of the capacitance changes nonlinearly; a characteristic is included in which the sensitivity of the variation of the capacitance with respect to the displacement of the movable electrode in the predetermined axial direction in the nonlinear change region is large in comparison with the sensitivity of the variation in the linear change region; and the target capacitance variation of the capacitance obtained when the displacement of the movable electrode in the predetermined axial direction reaches a target displacement corresponding to the target amplitude of the detection mass is set in the nonlinear change region.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2013/030907 A1

本発明の変位量モニタ電極の構造は、固定電極と可動電極との相対的な関係が変化しても、検出マスの振幅を一定の目標振幅に保つうえで、可動電極の所定軸方向への変位に伴って、固定電極と可動電極との間の静電容量の変化量が直線的に変化する直線変化領域と、静電容量の変化量が非直線的に変化する非直線変化領域と、が少なくとも一つずつ存在し、非直線変化領域における可動電極の所定軸方向への変位量に対する静電容量の変化量の変化感度が、直線変化領域における変化感度に比べて大きくなる特性を含み、かつ、可動電極の所定軸方向への変位が検出マスの目標振幅に対応する目標変位量に達するときの静電容量の目標容量変化量が非直線変化領域に設定されるようにする。

明 細 書

発明の名称 : 変位量モニタ電極の構造

技術分野

[0001] 本発明は、変位量モニタ電極の構造に係り、特に、基板に対して固定される固定電極と、基板に対して平行な所定軸方向に変位し得る可動電極と、が互いの電極指同士が噛み合うように対向配置され、固定電極と可動電極との間の静電容量の変化量に基づいて目標振幅で駆動させるべき検出マスの変位量をモニタする変位量モニタ電極の構造に関する。

背景技術

[0002] 従来、角速度センサなどを構成し、検出マスを一定の目標振幅で駆動振動させるべくその変位量をモニタする変位量モニタ電極の構造が知られている（例えば、特許文献1参照）。変位量モニタ電極は、櫛歯状の固定電極と櫛歯状の可動電極とを備えている。固定電極は、基部及び該基部から基板に対して平行な所定軸方向に延びる電極指からなり、基板に対して固定されている。また、可動電極は、基部及び該基部から基板に対して平行な所定軸方向に延びる電極指からなり、基板に対して所定軸方向に変位し得る。かかる変位量モニタ電極において、可動電極が基板に対して所定軸方向に変位すると、固定電極と可動電極との間の静電容量が変化する。この際、静電容量の変化量は、可動電極の変位量に応じたものとなる。そして、この静電容量の変化量に基づいて検出マスの変位量（振幅）がモニタされ、その検出マスが目標振幅で駆動するように制御される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2008-170455号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、固定電極と可動電極との間の静電容量の変化量は、一般的に検

出マスの振幅に応じて直線的に変化するが、その検出マスの振幅だけでなく、固定電極と可動電極とのギャップや対向面積によっても変化する。具体的には、応力変化や寸法バラツキなどに起因してそのギャップ又は対向面積が変化すると、その変化に応じた分だけ可動電極の変位量に対する静電容量の変化量の感度（傾き）が変化する。この場合、検出マスが目標振幅で駆動されるとき（すなわち可動電極の変位がその目標振幅に対応する目標変位量に達するとき）の上記の静電容量の目標容量変化量が、静電容量の変化量が可動電極の変位量に対して直線的に変化する直線変化領域に設定されている構成では、モニタ電極の組み立て時に加わる応力や温度変化、寸法バラツキなどに起因して固定電極と可動電極とのギャップや対向面積が所望のものに一致していないと、静電容量の変化量が目標容量変化量に達したときに可動電極の変位量が目標変位量に合致しない事態が生じるため、検出マスの振幅を一定の目標振幅に保つことが困難となる。

[0005] 本発明は、上述の点に鑑みてなされたものであり、固定電極と可動電極との相対的な関係が変化しても、検出マスの振幅を一定の目標振幅に保つことが可能な変位量モニタ電極の構造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] 上記の目的は、それぞれ基部及び該基部から基板に対して平行な所定軸方向に延びる電極指からなる櫛歯状の、前記基板に対して固定される固定電極と、前記所定軸方向に変位し得る可動電極と、が互いの前記電極指同士が噛み合うように対向配置され、前記固定電極と前記可動電極との間の静電容量の変化量に基づいて目標振幅で駆動させるべき検出マスの変位量をモニタする変位量モニタ電極の構造であって、前記可動電極の前記所定軸方向への変位に伴って、前記静電容量の変化量が直線的に変化する直線変化領域と、前記静電容量の変化量が非直線的に変化する非直線変化領域と、が少なくとも一つずつ存在し、前記非直線変化領域における前記可動電極の前記所定軸方向への変位量に対する前記静電容量の変化量の変化感度が、前記直線変化領域における前記変化感度に比べて大きくなる特性を含み、かつ、前記可動電

極の前記所定軸方向への変位が前記目標振幅に対応する目標変位量に達するときの前記静電容量の目標容量変化量が前記非直線変化領域に設定される変位量モニタ電極の構造により達成される。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、固定電極と可動電極との相対的な関係が変化しても、検出マスの振幅を一定の目標振幅に保つことができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]本発明の第1実施例である変位量モニタ電極の構造を採用するセンサの構成図である。

[図2]本実施例の変位量モニタ電極の上面図である。

[図3]本実施例の変位量モニタ電極の断面図である。

[図4]応力変化により変形した場合の変位量モニタ電極の断面図である。

[図5]変位量モニタ電極の寸法バラツキなどに応じて変化する、可動電極の駆動変位量 x と固定電極と可動電極との間の静電容量変化量 ΔC との関係を表した図である。

[図6]本実施例の変位量モニタ電極における、可動電極の駆動変位量 x と固定電極と可動電極との間の静電容量変化量 ΔC との関係を表した図である。

[図7]本発明の変形例の変位量モニタ電極の上面図である。

[図8]本発明の変形例の変位量モニタ電極の上面図である。

[図9]本発明の変形例の変位量モニタ電極の上面図である。

[図10]本発明の変形例の変位量モニタ電極の上面図である。

[図11]本発明の変形例の変位量モニタ電極の斜視図である。

[図12A]図11に示す変位量モニタ電極の側面図である。

[図12B]図11に示す変位量モニタ電極の上面図である。

[図13]本発明の変形例の変位量モニタ電極の斜視図である。

[図14A]図13に示す変位量モニタ電極の側面図である。

[図14B]図13に示す変位量モニタ電極の上面図である。

[図15]本発明の変形例の変位量モニタ電極の斜視図である。

[図16]本発明の変形例の変位量モニタ電極の斜視図である。

[図17]本発明の変形例の変位量モニタ電極の斜視図である。

[図18A]図 1 7 に示す変位量モニタ電極の側面図である。

[図18B]図 1 7 に示す変位量モニタ電極の上面図である。

[図19]図 1 7 に示す変位量モニタ電極における、可動電極の駆動変位量 x と固定電極と可動電極との間の静電容量変化量 ΔC との関係を表した図である。

[図20]本発明の第 2 実施例である変位量モニタ電極の上面図である。

[図21]本実施例の変位量モニタ電極における、可動電極の駆動変位量 x と固定電極と可動電極との間の静電容量変化量 ΔC との関係を表した図である。

[図22]本発明の変形例の変位量モニタ電極の上面図である。

[図23]本発明の変形例の変位量モニタ電極の上面図である。

[図24]本発明の変形例の変位量モニタ電極の上面図である。

[図25]本発明の変形例の変位量モニタ電極の上面図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面を用いて、本発明に係る変位量モニタ電極の構造の具体的な実施形態について説明する。

実施例 1

[0010] 図 1 は、本発明の第 1 実施例である変位量モニタ電極 10 の構造を採用するセンサ 12 の構成図を示す。本実施例のセンサ 12 は、例えば車両などに搭載される $X-Y$ 平面に垂直な Z 軸回りに生じる角速度を検出するための角速度センサである。センサ 12 は、シリコンなどの半導体基板 14 上に形成されており、半導体基板 14 の表面に微細加工によるエッチングを施すことにより形成される。

[0011] センサ 12 は、互いに等しい質量を有する一対の構造体 16, 18 と、半導体基板 14 上で構造体 16, 18 を X 軸方向に励振駆動するための駆動電極 20-1, 20-2, 22-1, 22-2 と、半導体基板 14 上で構造体 16, 18 に生じる Y 軸方向の振動（振幅）を検出するための検出電極 24

− 1, 24 − 2, 26 − 1, 26 − 2 と、半導体基板 14 上で構造体 16, 18 の X 軸方向への駆動変位量をモニタするための変位量モニタ電極 28 − 1, 28 − 2, 30 − 1, 30 − 2 と、を有している。構造体 16, 18 は、絶縁層を形成する半導体基板 14 の表面から所定距離だけ浮いた状態でその半導体基板 14 上で互いに対称位置に配置されている。以下、変位量モニタ電極 28 − 1, 28 − 2, 30 − 1, 30 − 2 を纏める場合は、変位量モニタ電極 10 とする。

[0012] 駆動電極 20 − 1, 20 − 2, 22 − 1, 22 − 2 及び検出電極 24 − 1, 24 − 2, 26 − 1, 26 − 2 はそれぞれ、半導体基板 14 に対して固定される固定電極と、半導体基板 14 に対して X 軸方向又は Y 軸方向に可動する可動電極と、からなる。これらの固定電極は、パッドを介して信号処理部に接続されている。また、これらの可動電極は、構造体 16, 18 の一部を構成している。

[0013] 駆動電極 20 − 1, 20 − 2, 22 − 1, 22 − 2 はそれぞれ、固定電極への駆動電圧の印加によって固定電極と可動電極との間に静電引力を作用させることにより構造体 16, 18 を半導体基板 14 に対して X 軸方向に駆動させるための電極である。また、検出電極部 24 − 1, 24 − 2, 26 − 1, 26 − 2 はそれぞれ、構造体 16, 18 の Y 軸方向の変位に伴う固定電極と可動電極との間の静電容量の変化を検出することにより構造体 16, 18 の半導体基板 14 に対する Y 軸方向の振動を検出するための電極である。

[0014] 具体的には、駆動電極 20 − 1, 20 − 2, 22 − 1, 22 − 2 はそれぞれ、固定電極に構造体 16, 18 の共振周波数にほぼ等しい周波数の駆動電圧が印加されることで固定電極と可動電極との間に静電引力を作用させて、その構造体 16, 18 をその構造体 16, 18 の共振周波数にほぼ等しい周波数で X 軸方向に一定振幅で励振駆動する駆動力を発生させる。尚、駆動電極 20 − 1 と駆動電極 20 − 2 とは互いに同相で駆動力を発生させかつ駆動電極 22 − 1 と駆動電極 22 − 2 とは互いに同相で駆動力を発生させる一方、駆動電極 20 − 1, 20 − 2 と駆動電極 22 − 1, 22 − 2 とは互いに逆

相で駆動力を発生させる。

[0015] また、検出電極 24-1, 24-2, 26-1, 26-2 ではそれぞれ、構造体 16, 18 に半導体基板 14 に対して Y 軸方向に加わる振動変位に応じて、固定電極と可動電極との間で静電容量変化が生じる。尚、検出電極 24-1, 24-2 での静電容量変化と検出電極 26-1, 26-2 での静電容量変化とは、互いに逆相である。検出電極 24-1, 24-2, 26-1, 26-2 の静電容量変化は、構造体 16, 18 の Y 軸方向への振動変位量がゼロである場合は略ゼロであって、構造体 16, 18 の Y 軸方向への振動変位量が大きいほど大きくなる。検出電極 24-1, 24-2, 26-1, 26-2 の固定電極はそれぞれ、固定電極と可動電極との間の静電容量変化を検出変位信号として信号処理回路へ出力する。この信号処理回路は、各検出電極 24-1, 24-2, 26-1, 26-2 からの検出変位信号を処理することにより、構造体 16, 18 の Y 軸方向への振動変位量を検出し、そして、その振動変位量に基づいて Z 軸回りに生じる角速度を検出する。

[0016] 次に、本実施例のセンサ 12 の動作について説明する。

[0017] X 軸及び Y 軸の双方に直交する Z 軸回りの角速度の検出が行われる場合、センサ 12 において、駆動電極 20-1, 20-2, 22-1, 22-2 が励振駆動される。具体的には、構造体 16, 18 の共振周波数にほぼ等しい周波数を有する駆動電圧が駆動電極 20-1, 20-2, 22-1, 22-2 の固定電極に印加される。かかる駆動電圧が印加されると、駆動電極 20-1, 20-2, 22-1, 22-2 それぞれにおいて固定電極と可動電極との間に構造体 16, 18 を X 軸方向に励振駆動する駆動力が発生することで、構造体 16, 18 が互いに逆相で共振周波数にほぼ等しい周波数で X 軸方向に一定振幅で励振駆動される。

[0018] 構造体 16, 18 が上記の如く X 軸方向に励振駆動されている状態で Z 軸回りの角速度が発生していない場合は、構造体 16, 18 にコリオリ力が作用しない。この場合は、検出電極 24-1, 24-2, 26-1, 26-2 が Y 軸方向に振動変位せず、検出電極 24-1, 24-2, 26-1, 26

－ 2 の固定電極と可動電極との間に静電容量変化が生じないので、検出電極 24－1，24－2，26－1，26－2 から出力される検出変位信号は、構造体 16，18 の Y 軸方向の振幅が略ゼロであることを表す信号となる。

[0019] 一方、構造体 16，18 が上記の如く X 軸方向に励振駆動されている状態で Z 軸回りの角速度が発生した場合は、構造体 16，18 にコリオリ力が作用する。この場合は、かかるコリオリ力の作用により検出電極 24－1，24－2，26－1，26－2 が Y 軸方向に振動変位して、検出電極 24－1，24－2，26－1，26－2 の固定電極と可動電極との間に静電容量変化が生じる。かかる静電容量変化が生じると、検出電極 24－1，24－2，26－1，26－2 から出力される検出変位信号は、構造体 16，18 の Y 軸方向の振幅が発生している角速度の大きさを表す信号となる。構造体 16，18 は、コリオリ力が作用した際に Y 軸方向に関し互いに逆相で振動変位する。従って、センサ 12 によれば、対象に Z 軸周りに生じている角速度を検出することができる。

[0020] 図 2 は、本実施例の変位量モニタ電極 10 の上面図を示す。また、図 3 は、本実施例の変位量モニタ電極 10 の断面図を示す。

[0021] 変位量モニタ電極 10 は、半導体基板 14 に対して固定される固定電極 32 と、半導体基板 14 に対して X 軸方向に可動する可動電極 34 と、からなる。固定電極 32 は、パッドを介して信号処理部に接続されている。また、可動電極 34 は、構造体 16，18 の一部を構成している。変位量モニタ電極 10 は、構造体 16，18 の X 軸方向の変位に伴う固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量の変化を検出することにより構造体 16，18 の半導体基板 14 に対する X 軸方向の駆動変位量をモニタするための電極である。

[0022] 固定電極 32 及び可動電極 34 はそれぞれ、櫛歯状に形成されており、比較的幅広に延設された基部 32－1，34－1、及び、基部 32－1，34－1 から半導体基板 14 に対して平行な X 軸方向に延びる電極指 32－2，34－2 からなる。電極指 32－2，34－2 はそれぞれ、断面四角状に形

成されており、基部 32-1, 34-1 との接続部から先端まで同じ断面積（Y 軸方向において同じ幅 w_1 , w_2 かつ Z 軸方向において同じ厚さ T_1 , T_2 ）を有している。電極指 32-2, 34-2 は、一つの基部 32-1, 34-1 に対して互いに平行に等間隔を空けて Y 軸方向に複数本並んで設けられている。固定電極 32 及び可動電極 34 は、基部 32-1, 34-1 同士が X 軸方向において対向し、かつ、電極指 32-2, 34-2 同士が Y 軸方向において対向して噛み合うように配置されている。

[0023] 固定電極 32 のすべての電極指 32-2 は、Y 軸方向において同一幅 w_1 を有し、Z 軸方向において同一厚さ T_1 を有し、かつ X 軸方向において同一長さを有するように形成されている。また、可動電極 34 のすべての電極指 34-2 は、Y 軸方向において同一幅 w_2 を有し、Z 軸方向において同一厚さ T_2 を有し、かつ X 軸方向において同一長さを有するように形成されている。

[0024] 可動電極 34 が X 軸方向に可動していない場合は、固定電極 32 の電極指 32-2 の先端と可動電極 34 の基部 34-1 との間に、X 軸方向においてギャップ d_1 が空いていると共に、固定電極 32 の基部 32-1 と可動電極 34 の電極指 34-2 の先端との間に、X 軸方向においてギャップ d_2 が空いている。

[0025] 可動電極 34 の各電極指 34-2 は、固定電極 32 の 2 つの電極指 32-2 の間に進入するように配置されている。固定電極 32 の電極指 32-2 と可動電極 34 の電極指 34-2 との間には、Y 軸方向においてギャップ d_m が空いている。尚、電極指 34-2 は、2 つの電極指 32-2 の間の中央位置に配置されるようにしてもよいが、何れかの電極指 32-2 に偏って配置されるようにしてもよい。電極指 34-2 が何れかの電極指 32-2 に偏って配置される場合は、電極指 34-2 の Y 軸方向両側に、互いに異なるギャップ d_{m1} , d_{m2} が形成される。一方、電極指 34-2 が 2 つの電極指 32-2 の間の中央位置に配置される場合は、電極指 34-2 の Y 軸方向両側に互いに同じギャップ d_{m1} , d_{m2} が形成される。

[0026] また、電極指 3 2 - 2 と電極指 3 4 - 2 とが厚さ方向すなわち Z 軸方向において重なる部位における厚さ（すなわち電極指 3 2 - 2 の側壁と電極指 3 4 - 2 の側壁とが Z 軸方向において対向する部位における高さ）は T_m である。尚、この厚さ T_m は、上記したギャップ d_{m1} 側の値（ T_{m1} ）と d_{m2} 側の値（ T_{m2} ）とで異なるものであってもよい。ただ、 $T_1 = T_2 = T_m$ （すなわち、 $T_1 = T_2 = T_{m1} = T_{m2}$ ）が成立するものとするのが好適である。

[0027] 上記した構造を有する変位量モニタ電極 1 0 においては、構造体 1 6, 1 8 が X 軸方向に励振駆動されると、その励振駆動に伴って可動電極 3 4 が X 軸方向に変位する。この場合、可動電極 3 4 の変位に応じて、固定電極 3 2 と可動電極 3 4 との間で静電容量変化が生じる。尚、変位量モニタ電極 2 8 - 1, 2 8 - 2 での静電容量変化と変位量モニタ電極 3 0 - 1, 3 0 - 2 の静電容量変化とは、互いに逆相である。変位量モニタ電極 1 0 の静電容量変化は、構造体 1 6, 1 8 の X 軸方向への駆動変位量が大きいほど大きくなる。

[0028] 変位量モニタ電極 1 0 の固定電極はそれぞれ、固定電極 3 2 と可動電極 3 4 との間の静電容量変化を駆動変位量モニタ信号として信号処理回路へ出力する。この信号処理回路は、各変位量モニタ電極 1 0 からの駆動変位量モニタ信号を処理することにより、構造体 1 6, 1 8 の X 軸方向への駆動変位量をモニタする。そして、その駆動変位量に基づいて構造体 1 6, 1 8 が X 軸方向に一定振幅で励振駆動されるように駆動電極 2 0 - 1, 2 0 - 2 への印加駆動電圧を制御する。

[0029] ところで、センサ 1 2 において Z 軸回りの角速度を精度良く検出するためには、検出マスとしての構造体 1 6, 1 8 を X 軸方向に励振駆動する振幅を常に一定に保つことが必要である。そして、構造体 1 6, 1 8 の X 軸方向への駆動振幅を一定に保つためには、変位量モニタ電極 1 0 の固定電極 3 2 と可動電極 3 4 との間の容量変化量を一定に維持することが一般的であり、その容量変化量が一定に維持されるように駆動電極 2 0 - 1, 2 0 - 2 への印

加駆動電圧を制御すること、具体的には、上記の容量変化量が目標の容量変化量に達した時点で構造体 16, 18 の駆動変位量が目標変位量（目標振幅）に達したとして駆動制御を行うことが適切である。

[0030] 図 4 は、応力変化により変形した場合の変位量モニタ電極 10 の断面図を示す。また、図 5 は、変位量モニタ電極 10 の応力変化や寸法バラツキなどに応じて変化する、構造体 16, 18 すなわち可動電極 34 の駆動変位量 x と固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量変化量 ΔC との関係（傾き）を表した図を示す。尚、可動電極 34 が X 軸方向に可動していない場合に可動電極 34 の電極指 34-2 の先端が位置する駆動変位量 x を“0”とし、その電極指 34-2 の先端が固定電極 32 の基部 32-1 に近づく側を $x > 0$ とし、その電極指 34-2 の先端が固定電極 32 の基部 32-1 に遠ざかる側を $x < 0$ とする。

[0031] しかし、固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量変化量 ΔC は、構造体 16, 18 の駆動変位量 x だけでなく、固定電極 32 と可動電極 34 とのギャップや対向面積によっても変化する。すなわち、上記した駆動変位量 x と静電容量変化量 ΔC との関係が上記のギャップや対向面積に応じて変化する。

[0032] 可動電極 34 の電極指 34-2 が固定電極 32 の 2 つの電極指 32-2 間に進入しているが、その進入量があまり多くない場合は、固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量変化は、電極指 32-2, 34-2 同士の間でのみ生ずる。この場合、固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量変化量 ΔC は、可動電極 34 の駆動変位量 x に対して直線的に変化する（直線変化領域）。一方、可動電極 34 の電極指 34-2 が固定電極 32 の 2 つの電極指 32-2 間に進入する進入量が多くなると、固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量変化は、電極指 32-2, 34-2 同士の間だけでなく、基部 32-1 と電極指 34-2 の先端との間及び電極指 32-2 の先端と基部 34-1 との間でも生ずる。この場合、固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量変化量 ΔC は、可動電極 34 の駆動変位量 x に対して非直線

的に変化する（非直線変化領域）。

[0033] 図5に示す如く、可動電極34が構造体16, 18の目標振幅に対応する目標変位量A0に達するときの固定電極32と可動電極34との間の目標容量変化量C0が上記の直線変化領域に設定されている構成では、変位量モニタ電極10の応力変化や寸法バラツキなどに起因して固定電極32と可動電極34とのギャップや対向面積が所望のものから大きく乖離すると、静電容量変化量ΔCが目標容量変化量C0に達したときに可動電極34の駆動変位量xが目標変位量A0から大きく乖離する事態が生じるため、構造体16, 18の振幅を一定の目標振幅に保つことが困難となる。

[0034] 図6は、本実施例の変位量モニタ電極10における、構造体16, 18すなわち可動電極34の駆動変位量xと固定電極32と可動電極34との間の静電容量変化量ΔCとの関係を表した図を示す。

[0035] 固定電極32と可動電極34との間の静電容量変化量ΔCは、次式(1)に従って算出される。但し、固定電極32と可動電極34との間の誘電率をεとし、変位量モニタ電極10の電極対向数（具体的には、可動電極34における電極指34-2の本数）をNとする。尚、(1)式の右辺は、第1項及び第2項が直線変化領域を表し、第3項及び第4項が非直線変化領域を表すものとなる。

[0036] [数1]

$$\Delta C = \frac{\varepsilon \cdot T_{m1} \cdot N}{d_{m1}} \cdot x + \frac{\varepsilon \cdot T_{m2} \cdot N}{d_{m2}} \cdot x + \frac{\varepsilon \cdot w_1 \cdot T_1 \cdot N}{d_1(d_1 - x)} \cdot x + \frac{\varepsilon \cdot w_2 \cdot T_2 \cdot N}{d_2(d_2 - x)} \cdot x \quad \dots(1)$$

本実施例において、変位量モニタ電極10は、下記の条件が満たされるように構成されている。すなわち、変位量モニタ電極10において、可動電極34が構造体16, 18の目標振幅に対応する目標変位量A0で駆動変位さ

れる過程で、可動電極 3 4 の駆動変位量 x と静電容量変化量 ΔC との関係は、その静電容量変化量 ΔC が可動電極 3 4 の駆動変位に伴って直線的に変化する直線変化領域と、非直線的に変化する非直線変化領域と、を有する。また、この非直線変化領域における可動電極 3 4 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度（傾き）は、直線変化領域における可動電極 3 4 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度（傾き）に比べて大きくなる特性を含むように設定されている。更に、可動電極 3 4 が上記の目標変位量 A_0 に達するときの固定電極 3 2 と可動電極 3 4 との間の目標容量変化量 C_0 は、変化感度が直線変化領域のものよりも大きい上記の非直線変化領域に設定されている。

[0037] 具体的には、変位量モニタ電極 1 0 の構造は、次式（2）に示す条件式を満たす寸法に設定されている。但し、固定電極 3 2 の電極指 3 2-2 の厚さ T_1 と可動電極 3 4 の電極指 3 4-2 の厚さ T_2 とが部位によらず一定値であり、かつ、電極指 3 2-2 と電極指 3 4-2 とが Z 軸方向において重なる部位における厚さ T_{m1} 、 T_{m2} がそれらの T_1 、 T_2 に一致する場合は、 $T_1 = T_2 = T_{m1} = T_{m2}$ が成立するので、次式（3）に示す条件式を満たす寸法に設定されていけばよい。

[0038] [数2]

$$\frac{T_{m1}}{d_{m1}} + \frac{T_{m2}}{d_{m2}} \leq \frac{w_1 \cdot T_1}{d_1(d_1 - A_0)} + \frac{w_2 \cdot T_2}{d_2(d_2 - A_0)} \quad \dots(2)$$

[0039]

[数3]

$$\frac{1}{d_{m1}} + \frac{1}{d_{m2}} \leq \frac{w_1}{d_1(d_1 - A_0)} + \frac{w_2}{d_2(d_2 - A_0)} \quad \dots(3)$$

かかる変位量モニタ電極 10 の構造においては、目標容量変化量 C_0 が直線変化領域に設定される構造などに比べて、可動電極 34 が目標変位量 A_0 近傍に達したときのその駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度が高くなると共に、また、可動電極 34 が目標変位量 A_0 に達した後、その可動電極 34 の電極指 34-2 の先端が更に固定電極 32 の基部 32-1 に近づく側へ変位しようとする、その変位に従って、その駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度が高くなる。このため、変位量モニタ電極 10 の応力変化や寸法バラツキなどに応じて固定電極 32 と可動電極 34 とのギャップや対向面積が変化しても、固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量変化量 ΔC が目標容量変化量 C_0 に達するときの可動電極 34 の駆動変位量 x のバラツキが低減される。

[0040] 従って、本実施例の変位量モニタ電極 10 の構造によれば、静電容量変化量 ΔC が目標容量変化量 C_0 に達したときに可動電極 34 の駆動変位量 x が目標変位量 A_0 から大きく乖離するのを抑制することができるので、固定電極 32 と可動電極 34 との相対的な関係が変化しても、構造体 16, 18 の振幅を一定の目標振幅にできるだけ保つことが可能となっている。この点、組み立て応力や温度変化などの外乱要因や寸法バラツキなどの製造要因に対するロバスト性を向上させることができ、歩留まり率の改善や良品率の向上を図ることができる。

[0041] 尚、上記の第 1 実施例においては、構造体 16, 18 が請求の範囲に記載した「検出マス」に、X 軸方向が請求の範囲に記載した「所定軸方向」に、Y 軸方向が請求の範囲に記載した「垂直方向」に、 $w_1 \cdot T_1$ が請求の範囲

に記載した「一の前記固定電極当たりの前記電極指が前記可動電極の前記基部に面する面積」及び「S 1」に、 $w_2 \cdot T_2$ が請求の範囲に記載した「一の前記可動電極当たりの前記電極指が前記固定電極の前記基部に面する面積」及び「S 2」に、それぞれ相当している。

[0042] ところで、上記の第1実施例においては、固定電極32及び可動電極34の電極指32-2, 34-2がそれぞれ、断面四角状に形成されており、基部32-1, 34-1との接続部から先端まで同じ断面積を有するものとしたが、本発明はこれに限定されるものではなく、固定電極32及び可動電極34の電極指32-2, 34-2をZ軸方向から見て図7に示す如くT字型に形成し又は図8に示す如くL字型に形成することとしてもよい。すなわち、固定電極32及び可動電極34の電極指32-2, 34-2の先端のY軸方向における幅 w_1 , w_2 を他の部位のY軸方向における幅よりも大きくすることとしてもよい。尚、この場合、電極指32-2, 34-2の先端の幅 w_1 及び幅 w_2 のうち少なくとも何れか一方を大きくすることとすればよい。

[0043] かかる変形例の構造においては、固定電極32及び可動電極34の電極指32-2, 34-2の先端が可動電極34及び固定電極32の基部34-1, 32-1に面する面積を拡大することができるので、上記(2)及び(3)の条件式を成立させ易くすることができると共に、非直線変化領域における可動電極34の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度を高めることができる。

[0044] また、上記の変形例に代えて、固定電極32及び可動電極34の電極指32-2, 34-2をZ軸方向から見て棒状とし、基部32-1, 34-1との接続部から先端近傍までは同じ断面積を有するものとしたうえで、それらの電極指32-2, 34-2の先端の形状及びその先端に対向する基部34-1, 32-1の形状を図9に示す如く傾斜したもの又は図10に示す如く丸型にしたものとしてもよい。

[0045] すなわち、電極指32-2, 34-2の先端と基部34-1, 32-1と

が互いに面する面積（すなわち、 $X-Y$ 平面内において両者が面する全長）を、電極指 32-2, 34-2 の他の部位の断面積（すなわち、 Y 軸方向の幅）よりも大きくすることとしてもよい。尚、この場合、電極指 32-2 の先端と基部 34-1 との対向面積及び基部 32-1 と電極指 34-2 の先端との対向面積のうち少なくとも何れか一方を大きくすることとすればよい。また、図 9 に示す如く電極指 32-2, 34-2 の先端の形状を凸状としかつ基部 34-1, 32-1 の形状を凹状とすることとしてもよいが、逆に、電極指 32-2, 34-2 の先端の形状を凹状としかつ基部 34-1, 32-1 の形状を凸状とすることとしてもよい。

[0046] かかる変形例の構造においては、固定電極 32 及び可動電極 34 の電極指 32-2, 34-2 の先端が可動電極 34 及び固定電極 32 の基部 34-1, 32-1 に面する面積を拡大することができるので、上記 (2) 及び (3) の条件式を成立させ易くすることができると共に、非直線変化領域における可動電極 34 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度を高めることができる。また、固定電極 32 及び可動電極 34 の電極指 32-2, 34-2 間の Y 軸方向におけるギャップ距離 d_m が大きくなるのを回避することができるので、半導体基板 14 上において変位量モニタ電極 10 が占有する面積が増大するのを防止することができる。

[0047] また、上記の第 1 実施例においては、固定電極 32 の電極指 32-2 の Z 軸方向における厚さ T_1 及び可動電極 34 の電極指 34-2 の Z 軸方向における厚さ T_2 をそれぞれ、基部 32-1, 34-1 との接続部から先端まで同じものであるとしたが、本発明はこれに限定されるものではなく、固定電極 32 及び可動電極 34 の電極指 32-2, 34-2 を Y 軸方向から見て図 11、図 12 A、及び図 12 B に示す如く T 字型に形成し又は図 13、図 14 A、及び図 14 B に示す如く L 字型に形成することとしてもよい。すなわち、固定電極 32 及び可動電極 34 の電極指 32-2, 34-2 の先端の Z 軸方向における厚さ T_1 , T_2 を他の部位の Z 軸方向における厚さよりも大きくすること、又は、固定電極 32 及び可動電極 34 の電極指 32-2 と電

極指 34-2 とが Z 軸方向において重なる部位における厚さ T_m （すなわち、 T_{m1} 及び T_{m2} ）を小さくすることとしてもよい。尚、この場合、先端の厚さ T_1 、 T_2 のうち少なくとも何れか一方を大きくすることとすればよい。

[0048] かかる変形例の構造においては、固定電極 32 及び可動電極 34 の電極指 32-2、34-2 の先端が可動電極 34 及び固定電極 32 の基部 34-1、32-1 に面する面積を拡大することができるので、上記（2）及び（3）の条件式を成立させ易くすることができると共に、非直線変化領域における可動電極 34 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度を高めることができる。また、固定電極 32 及び可動電極 34 の電極指 32-2、34-2 同士が面する面積を縮小することができるので、直線変化領域における可動電極 34 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度を下げることができる。従って、固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量変化量 ΔC が目標容量変化量 C_0 に達するときの可動電極 34 の駆動変位量 x のバラツキを低減することができるので、組み立て応力や温度変化などの外乱要因や寸法バラツキなどの製造要因に対するロバスト性を向上させることができる。

[0049] また、上記の変形例に代えて、固定電極 32 及び可動電極 34 の電極指 32-2、34-2 を Y 軸方向から見て棒状とし、基部 32-1、34-1 との接続部から先端近傍までは同じ断面積を有するものとしたうえで、それらの電極指 32-2、34-2 の先端の形状及びその先端に対向する基部 34-1、32-1 の形状を図 15 に示す如く丸型にしたもの又は図 16 に示す如く傾斜したものとしてもよい。

[0050] すなわち、電極指 32-2、34-2 の先端と基部 34-1、32-1 とが互いに面する面積（すなわち、 $X-Z$ 平面内において両者が面する全長）を、電極指 32-2、34-2 の他の部位の断面積（すなわち、Z 軸方向の幅）よりも大きくすることとしてもよい。尚、この場合、電極指 32-2 の先端と基部 34-1 との対向面積及び基部 32-1 と電極指 34-2 の先端

との対向面積のうち少なくとも何れか一方を大きくすることとすればよい。
また、図 1 5 及び図 1 6 に示す如く電極指 3 2 - 2, 3 4 - 2 の先端の形状を凸状としかつ基部 3 4 - 1, 3 2 - 1 の形状を凹状とすることに限らず、電極指 3 2 - 2, 3 4 - 2 の先端の形状を凹状としかつ基部 3 4 - 1, 3 2 - 1 の形状を凸状とすることとしてもよい。

[0051] かかる変形例の構造においては、固定電極 3 2 及び可動電極 3 4 の電極指 3 2 - 2, 3 4 - 2 の先端が可動電極 3 4 及び固定電極 3 2 の基部 3 4 - 1, 3 2 - 1 に面する面積を拡大することができるので、上記 (2) 及び (3) の条件式を成立させ易くすることができると共に、非直線変化領域における可動電極 3 4 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度を高めることができる。また、固定電極 3 2 及び可動電極 3 4 の Z 軸方向における最大厚さが大きくなるのを回避することができるので、半導体基板 1 4 上において変位量モニタ電極 1 0 が占有する容積が増大するのを防止することができる。

[0052] また、上記の第 1 実施例においては、固定電極 3 2 及び可動電極 3 4 の電極指 3 2 - 2 と電極指 3 4 - 2 とが Z 軸方向において重なる部位における厚さ T_m (すなわち、 T_{m1} 及び T_{m2}) を、電極指 3 2 - 2, 3 4 - 2 の Z 軸方向における厚さ T_1 , T_2 に一致させるものとしたが、本発明はこれに限定されるものではなく、その厚さ T_m (すなわち、 T_{m1} 及び T_{m2}) を厚さ T_1 , T_2 よりも小さくすることとしてもよいし、また、図 1 7、図 1 8 A、及び図 1 8 B に示す如く電極指 3 2 - 2 と電極指 3 4 - 2 とを先端以外で重ならないように配置することとしてもよい。尚、この変形例を、上記の第 1 実施例や上記の変形例に適用することとしてもよい。

[0053] かかる変形例の構造においては、直線変化領域における可動電極 3 4 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度を小さくすることができ、可動電極 3 4 の駆動変位に対する静電容量変化量 ΔC の変化が抑えられるので、静電容量変化量 ΔC が目標容量変化量 C_0 に達するときの可動電極 3 4 の駆動変位量 x のバラツキを低減することができる。この点、組み立て応

力や温度変化などの外乱要因や寸法バラツキなどの製造要因に対するロバスト性を向上させることができ、歩留まり率の改善や良品率の向上を図ることができる。

[0054] 特に、固定電極 3 2 と可動電極 3 4 とが X 軸方向に直交する Y 軸方向において電極指 3 2 - 2, 3 4 - 2 同士が対向しないように配置された構造（具体的には、電極指 3 2 - 2 と電極指 3 4 - 2 とを先端以外で重ならないように配置した構造）においては、図 1 9 に示す如く、直線変化領域における可動電極 3 4 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度を略ゼロとすることができるので、上記の効果を顕著に得ることが可能である。尚、このように電極指 3 2 - 2 と電極指 3 4 - 2 とを先端以外で重ならないように配置した場合、変位量モニタ電極 1 0 の構造は、次式（4）に示す条件式を満たす寸法に設定されていればよい。

[0055] [数4]

$$0 \leq \frac{w_1 \cdot T_1}{d_1(d_1 - A_0)} + \frac{w_2 \cdot T_2}{d_2(d_2 - A_0)} \quad \dots(4)$$

実施例 2

[0056] 図 2 0 は、本発明の第 2 実施例である変位量モニタ電極 1 0 0 の上面図を示す。尚、図 2 0 において、上記図 2 に示す構成と同一の構成部分については、同一の符号を付してその説明を省略又は簡略する。また、図 2 1 は、本実施例の変位量モニタ電極 1 0 0 における、構造体 1 6, 1 8 すなわち可動電極 3 4 の駆動変位量 x と固定電極 3 2 と可動電極 3 4 との間の静電容量変化量 ΔC との関係を表した図を示す。

[0057] 本実施例の変位量モニタ電極 1 0 0 は、固定電極 3 2 と可動電極 3 4 とからなる。固定電極 3 2 及び可動電極 3 4 はそれぞれ、櫛歯状に形成されており、比較的幅広に延設された基部 3 2 - 1, 3 4 - 1、及び、基部 3 2 - 1

、 34-1 から半導体基板 14 に対して平行な X 軸方向に延びる電極指 32-2、34-2 からなる。電極指 32-2、34-2 はそれぞれ、断面四角状に形成されており、基部 32-1、34-1 との接続部から先端まで同じ断面積（Y 軸方向において同じ幅 w_1 、 w_2 かつ Z 軸方向において同じ厚さ T_1 、 T_2 ）を有している。

[0058] 固定電極 32 において、可動電極 34 の電極指 34-2 の先端に X 軸方向において対向する基部 32-1 の表面には誘電材料 102-1 が、また、各電極指 32-2 の先端の表面には誘電材料 102-2 が、それぞれ配設されている。また、可動電極 34 において、固定電極 32 の電極指 32-2 の先端に X 軸方向において対向する基部 34-1 の表面には誘電材料 104-1 が、また、各電極指 34-2 の先端の表面には誘電材料 104-2 が、それぞれ配設されている。

[0059] 誘電材料 102-1、102-2、104-1、104-2 はそれぞれ、絶縁性の高い材料又は低ヤング率若しくは粘性を有する材料により構成されており、例えばシリコンを熱酸化することで容易に堆積可能な SiO_2 膜（酸化絶縁膜）やレジスト材料などの有機材料などを利用して製造されるものとしてもよい。尚、誘電材料 102-1、102-2、104-1、104-2 はそれぞれ、空気（厳密には真空）の比誘電率“1”よりも大きい比誘電率 ϵ_r を有し、かつ、X 軸方向において所定厚さ d_ϵ を有している。

[0060] 可動電極 34 が X 軸方向に可動していない場合は、固定電極 32 の電極指 32-2 の先端に取り付けられた誘電材料 102-2 と可動電極 34 の基部 34-1 に取り付けられた誘電材料 104-1 との間に、X 軸方向においてギャップ d_1 が空いていると共に、固定電極 32 の基部 32-1 に取り付けられた誘電材料 102-1 と可動電極 34 の電極指 34-2 の先端に取り付けられた誘電材料 104-2 との間に、X 軸方向においてギャップ d_2 が空いている。尚、固定電極 32 の電極指 32-2 と可動電極 34 の電極指 34-2 との間には、Y 軸方向においてギャップ d_{m1} 、 d_{m2} が空いている。

[0061] また、電極指 32-2 と電極指 34-2 とが厚さ方向すなわち Z 軸方向に

において重なる部位における厚さ（すなわち電極指 32-2 の側壁と電極指 34-2 の側壁とが Z 軸方向において対向する部位における高さ）は T_m である。尚、この厚さ T_m は、上記したギャップ d_{m1} 側（ T_{m1} ）と d_{m2} 側（ T_{m2} ）とで異なるものであってもよい。ただ、 $T_1 = T_2 = T_m$ （ $= T_{m1} = T_{m2}$ ）が成立するものとするのが好適である。

[0062] 本実施例において、変位量モニタ電極 100 は、下記の条件が満たされるように構成されている。すなわち、変位量モニタ電極 100 において、可動電極 34 が構造体 16, 18 の目標振幅に対応する目標変位量 A_0 で駆動変位される過程で、可動電極 34 の駆動変位量 x と静電容量変化量 ΔC との関係は、その静電容量変化量 ΔC が可動電極 34 の駆動変位に伴って直線的に変化する直線変化領域と、非直線的に変化する非直線変化領域と、を有する。また、この非直線変化領域における可動電極 34 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度（傾き）は、直線変化領域における可動電極 34 の駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度（傾き）に比べて大きくなる特性を含むように設定されている。更に、可動電極 34 が上記の目標変位量 A_0 に達するときの固定電極 32 と可動電極 34 との間の目標容量変化量 C_0 は、変化感度が直線変化領域のものよりも大きい上記の非直線変化領域に設定されている。

[0063] 具体的には、変位量モニタ電極 100 の構造は、次式（5）に示す条件式を満たす寸法に設定されている。但し、固定電極 32 の電極指 32-2 の厚さ T_1 と可動電極 34 の電極指 34-2 の厚さ T_2 とが部位によらず一定値であり、かつ、電極指 32-2 と電極指 34-2 とが Z 軸方向において重なる部位における厚さ T_{m1} , T_{m2} がそれらの T_1 , T_2 に一致する場合は、 $T_1 = T_2 = T_{m1} = T_{m2}$ が成立するので、次式（6）に示す条件式を満たす寸法に設定されていればよい。

[0064]

[数5]

$$\frac{T_{m1}}{d_{m1}} + \frac{T_{m2}}{d_{m2}} \leq \frac{\epsilon_r \cdot w_1 \cdot T_1}{(d_1 - 2 \cdot d_e)(d_1 - 2 \cdot d_e - A_0)} + \frac{\epsilon_r \cdot w_2 \cdot T_2}{(d_2 - 2 \cdot d_e)(d_2 - 2 \cdot d_e - A_0)} \quad \dots(5)$$

[0065] [数6]

$$\frac{1}{d_{m1}} + \frac{1}{d_{m2}} \leq \frac{\epsilon_r \cdot w_1}{(d_1 - 2 \cdot d_e)(d_1 - 2 \cdot d_e - A_0)} + \frac{\epsilon_r \cdot w_2}{(d_2 - 2 \cdot d_e)(d_2 - 2 \cdot d_e - A_0)} \quad \dots(6)$$

かかる変位量モニタ電極 100 の構造においては、目標容量変化量 C0 が直線変化領域に設定される構造などに比べて、可動電極 34 が目標変位量 A0 近傍に達したときのその駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度が高くなると共に、また、可動電極 34 が目標変位量 A0 に達した後、その可動電極 34 の電極指 34-2 の先端が更に固定電極 32 の基部 32-1 に近づく側へ変位しようとする、その変位に従って、その駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度が高くなる。更に、誘電材料 102-1, 102-2, 104-1, 104-2 がそれぞれ空気（厳密には真空）の比誘電率 “1” よりも大きい比誘電率 εr を有するので、その誘電材料 102-1, 102-2, 104-1, 104-2 の分だけ駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度が高くなる。

[0066] このため、変位量モニタ電極 100 の応力変化や寸法バラツキなどに応じて固定電極 32 と可動電極 34 とのギャップや対向面積が変化しても、固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量変化量 ΔC が目標容量変化量 C0 に達するときの可動電極 34 の駆動変位量 x のバラツキが更に低減される。従って、本実施例の変位量モニタ電極 100 の構造によれば、上記第 1 実施例の変位量モニタ電極 100 の構造に比べて更に顕著な効果を得ることがで

きる。

[0067] また、変位量モニタ電極 100 において、誘電材料 102-1, 102-2, 104-1, 104-2 がそれぞれ絶縁性の高い材料により構成されている場合は、製造バラツキや制御バラツキ、外部からの過大応力印加などに起因して可動電極 34 が固定電極 32 に衝突したときに、誘電材料 102-1, 102-2, 104-1, 104-2 の存在により両電極 32, 34 が導通することは回避されるので、固定電極 32 と可動電極 34 との間の静電容量の変化を精度よく検出することができ、構造体 16, 18 を半導体基板 14 に対して X 軸方向へ励振駆動させるうえでの誤動作を防止することができる。

[0068] 更に、変位量モニタ電極 100 において、誘電材料 102-1, 102-2, 104-1, 104-2 がそれぞれ低ヤング率若しくは粘性を有する材料により構成されている場合は、製造バラツキや制御バラツキ、外部からの過大応力印加などに起因して可動電極 34 が固定電極 32 に衝突したときに、誘電材料 102-1, 102-2, 104-1, 104-2 の存在により両電極 32, 34 に加わる衝撃は吸収されるので、固定電極 32 及び可動電極 34 の破損を防止することができる。

[0069] ところで、上記の第 2 実施例においては、固定電極 32 及び可動電極 34 の双方それぞれにおいて、基部 32-1, 34-1 の表面及び電極指 32-2, 34-2 の先端の表面の双方に誘電材料 102-1, 102-2, 104-1, 104-2 を配置することとした。しかし、本発明はこれに限定されるものではなく、図 22 に示す如く、固定電極 32 及び可動電極 34 の双方それぞれにおいて、電極指 32-2, 34-2 の先端の表面にのみ誘電材料 102-2, 104-2 を配置することとしてもよい。

[0070] かかる変形例の変位量モニタ電極の構造は、次式 (7) に示す条件式を満たす寸法に設定されている。但し、固定電極 32 の電極指 32-2 の厚さ T_1 と可動電極 34 の電極指 34-2 の厚さ T_2 とが部位によらず一定値であり、かつ、電極指 32-2 と電極指 34-2 とが Z 軸方向において重なる部

位における厚さ T_{m1} 、 T_{m2} がそれらの T_1 、 T_2 に一致する場合は、 $T_1 = T_2 = T_{m1} = T_{m2}$ が成立するので、次式 (8) に示す条件式を満たす寸法に設定されていればよい。

[0071] [数7]

$$\frac{T_{m1}}{d_{m1}} + \frac{T_{m2}}{d_{m2}} \leq \frac{\epsilon_r \cdot w_1 \cdot T_1}{(d_1 - d_\epsilon)(d_1 - d_\epsilon - A_0)} + \frac{\epsilon_r \cdot w_2 \cdot T_2}{(d_2 - d_\epsilon)(d_2 - d_\epsilon - A_0)} \quad \dots(7)$$

[0072] [数8]

$$\frac{1}{d_{m1}} + \frac{1}{d_{m2}} \leq \frac{\epsilon_r \cdot w_1}{(d_1 - d_\epsilon)(d_1 - d_\epsilon - A_0)} + \frac{\epsilon_r \cdot w_2}{(d_2 - d_\epsilon)(d_2 - d_\epsilon - A_0)} \quad \dots(8)$$

かかる変形例の変位量モニタ電極の構造においては、目標容量変化量 C_0 が直線変化領域に設定される構造などに比べて、可動電極 34 が目標変位量 A_0 近傍に達したときのその駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度が高くなると共に、また、可動電極 34 が目標変位量 A_0 に達した後、その可動電極 34 の電極指 34-2 の先端が更に固定電極 32 の基部 32-1 に近づく側へ変位しようとする、その変位に従って、その駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度が高くなる。更に、誘電材料 102-2、104-2 がそれぞれ空気（厳密には真空）の比誘電率 “1” よりも大きい比誘電率 ϵ_r を有するので、その誘電材料 102-2、104-2 の分だけ駆動変位量 x に対する静電容量変化量 ΔC の変化感度が高くなる。従って、かかる変形例の構造においても、上記第 1 実施例の変位量モニタ電極 100 の構造に比べて更に顕著な効果を得ることができる。

[0073] また、図 23 に示す如く、固定電極 32 及び可動電極 34 の双方それぞれ

において、基部 32-1, 34-1 の表面にのみ誘電材料 102-1, 104-1 を配置することとしてもよい。かかる変形例の変位量モニタ電極の構造も、次式 (7) 又は (8) に示す条件式を満たす寸法に設定されていればよい。

[0074] また、図 24 に示す如く、可動電極 34 のみににおいて基部 34-1 の表面及び電極指 34-2 の先端の表面の双方に誘電材料 104-1, 104-2 を配置することとしてもよいし、更に、図 25 に示す如く、固定電極 32 のみににおいて基部 32-1 の表面及び電極指 32-2 の先端の表面の双方に誘電材料 102-1, 102-2 を配置することとしてもよい。これらの変形例の変位量モニタ電極の構造も、次式 (7) 又は (8) に示す条件式を満たす寸法に設定されていればよい。

[0075] また、上記の第 2 実施例においては、固定電極 32 の誘電材料 102 及び可動電極 34 の誘電材料 104 が、X 軸方向において互いに同じ所定厚さ d_ε を有するものとしたが、本発明はこれに限定されるものではなく、両誘電材料 102, 104 が X 軸方向において互いに異なる厚さ $d_{\varepsilon 1}$, $d_{\varepsilon 2}$ を有するものとしてもよい。また同様に、固定電極 32 の誘電材料 102 及び可動電極 34 の誘電材料 104 が、互いに同じ比誘電率 ε_r を有するものとしたが、本発明はこれに限定されるものではなく、両誘電材料 102, 104 が互いに異なる比誘電率 $\varepsilon_{r 1}$, $\varepsilon_{r 2}$ を有するものとしてもよい。

[0076] また、上記の第 2 実施例においては、上記の第 1 実施例で示す構成に適用することとしているが、図 7 ~ 図 18 に示す変形例で示す構成に適用することとしてもよい。

[0077] 更に、上記の第 1 及び第 2 実施例においては、変位量モニタ電極 10, 100 を、角速度を検出するための角速度センサ 12 に搭載するものとしたが、本発明はこれに限定されるものではなく、構造体の駆動変位量をモニタするものであれば他のセンサに搭載することとしてもよい。

符号の説明

[0078] 10, 28-1, 28-2, 30-1, 30-2, 100 変位量モニタ

電極

1 4 半導体基板

1 6, 1 8 構造体

3 2 固定電極

3 4 可動電極

3 2 - 1, 3 4 - 1 基部

3 2 - 2, 3 4 - 2 電極指

1 0 2 - 1, 1 0 2 - 2, 1 0 4 - 1, 1 0 4 - 2 誘電材料

請求の範囲

[請求項1]

それぞれ基部及び該基部から基板に対して平行な所定軸方向に延びる電極指からなる櫛歯状の、前記基板に対して固定される固定電極と、前記所定軸方向に変位し得る可動電極と、が互いの前記電極指同士が噛み合うように配置され、前記固定電極と前記可動電極との間の静電容量の変化量に基づいて目標振幅で駆動させるべき検出マスの変位量をモニタする変位量モニタ電極の構造であって、

前記可動電極の前記所定軸方向への変位に伴って、前記静電容量の変化量が直線的に変化する直線変化領域と、前記静電容量の変化量が非直線的に変化する非直線変化領域と、が少なくとも一つずつ存在し、

前記非直線変化領域における前記可動電極の前記所定軸方向への変位量に対する前記静電容量の変化量の変化感度が、前記直線変化領域における前記変化感度に比べて大きくなる特性を含み、かつ、

前記可動電極の前記所定軸方向への変位が前記目標振幅に対応する目標変位量に達するときの前記静電容量の目標容量変化量が前記非直線変化領域に設定されることを特徴とする変位量モニタ電極の構造。

[請求項2]

前記目標変位量を A_0 とし、前記固定電極の前記電極指と前記可動電極の前記電極指とが前記所定軸方向に直交する垂直方向において離間する離間距離を d_{m1} 、 d_{m2} とし、前記固定電極と前記可動電極との前記電極指同士が離間して対向する部位における厚さを T_{m1} 、 T_{m2} とし、一の前記固定電極当たりの前記電極指が前記可動電極の前記基部に面する面積を S_1 とし、一の前記可動電極当たりの前記電極指が前記固定電極の前記基部に面する面積を S_2 とし、前記可動電極の前記基部と前記固定電極の前記電極指の先端との距離を d_1 とし、かつ、前記固定電極の前記基部と前記可動電極の前記電極指の先端との距離を d_2 とした場合、以下に示す条件式 (A) を満たすことを特徴とする請求項 1 記載の変位量モニタ電極の構造。

$$\frac{T_{m1}}{d_{m1}} + \frac{T_{m2}}{d_{m2}} \leq \frac{S_1}{d_1(d_1 - A_0)} + \frac{S_2}{d_2(d_2 - A_0)} \quad \dots(A)$$

[請求項3] 前記固定電極の前記電極指の厚さと前記可動電極の前記電極指の厚さとが部位によらず一定値であり、前記 T_{m1} 、 T_{m2} が該電極指自体の厚さに一致し、前記固定電極の前記電極指が前記可動電極の前記基部に面する幅の長さを w_1 とし、かつ、前記可動電極の前記電極指が前記固定電極の前記基部に面する幅の長さを w_2 とした場合、以下に示す条件式 (B) を満たすことを特徴とする請求項 2 記載の変位量モニタ電極の構造。

$$\frac{1}{d_{m1}} + \frac{1}{d_{m2}} \leq \frac{w_1}{d_1(d_1 - A_0)} + \frac{w_2}{d_2(d_2 - A_0)} \quad \dots(B)$$

[請求項4] 前記固定電極と前記可動電極とが前記所定軸方向に直交する垂直方向において前記電極指同士が対向しないように配置された場合、以下に示す条件式 (C) を満たすことを特徴とする請求項 2 記載の変位量モニタ電極の構造。

$$0 \leq \frac{S_1}{d_1(d_1 - A_0)} + \frac{S_2}{d_2(d_2 - A_0)} \quad \dots(C)$$

[請求項5] 前記固定電極及び前記可動電極の少なくとも一方の前記電極指は、前記可動電極又は前記固定電極の前記基部に面する先端の面積が該先

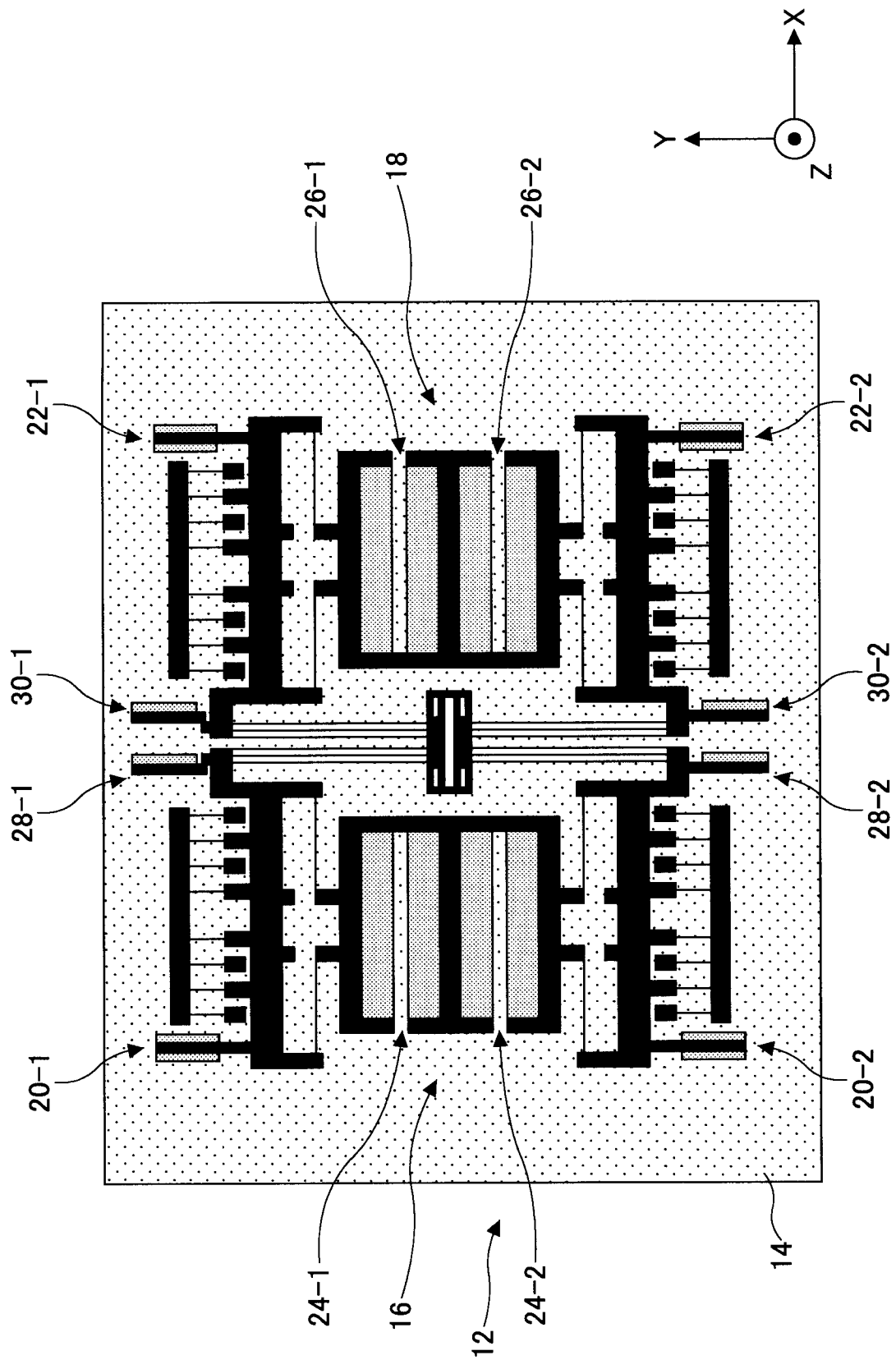
端以外の部位の断面積に比べて大きくなるように形成されていることを特徴とする請求項 1、2、及び 4 の何れか一項記載の変位量モニタ電極の構造。

[請求項 6] 前記固定電極及び前記可動電極の少なくとも一方の、前記電極指の先端及び前記基部の少なくとも一方の表面に誘電材料を配置したことを特徴とする請求項 1 又は 5 記載の変位量モニタ電極の構造。

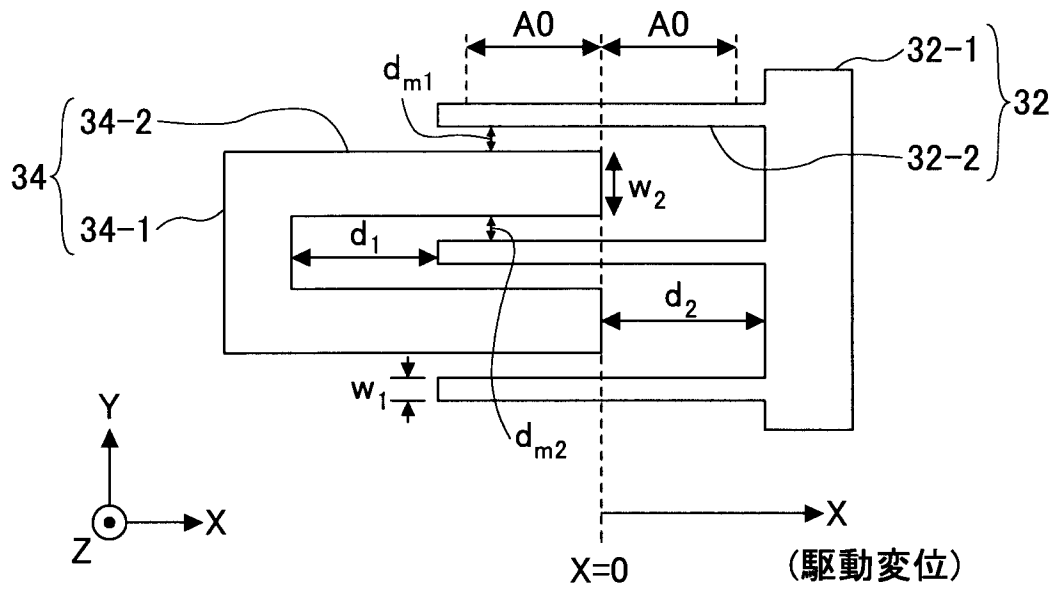
[請求項 7] 前記目標変位量を A_0 とし、前記固定電極の前記電極指と前記可動電極の前記電極指とが前記所定軸方向に直交する垂直方向において離間する離間距離を d_{m1} 、 d_{m2} とし、前記固定電極と前記可動電極との前記電極指同士が離間して対向する部位における厚さを T_{m1} 、 T_{m2} とし、一の前記固定電極当たりの前記電極指が前記可動電極の前記基部に面する面積を S_1 とし、一の前記可動電極当たりの前記電極指が前記固定電極の前記基部に面する面積を S_2 とし、前記可動電極の前記基部と前記固定電極の前記電極指の先端との距離を d_1 とし、前記固定電極の前記基部と前記可動電極の前記電極指の先端との距離を d_2 とし、かつ、前記固定電極及び前記可動電極それぞれの前記電極指の先端及び前記基部それぞれの表面に厚さ d_ε かつ比誘電率 ε_r の誘電材料を配置した場合、以下に示す条件式 (D) を満たすことを特徴とする請求項 6 記載の変位量モニタ電極の構造。

$$\frac{T_{m1}}{d_{m1}} + \frac{T_{m2}}{d_{m2}} \leq \frac{\varepsilon_r \cdot S_1}{(d_1 - 2 \cdot d_\varepsilon)(d_1 - 2 \cdot d_\varepsilon - A_0)} + \frac{\varepsilon_r \cdot S_2}{(d_2 - 2 \cdot d_\varepsilon)(d_2 - 2 \cdot d_\varepsilon - A_0)} \quad \dots(D)$$

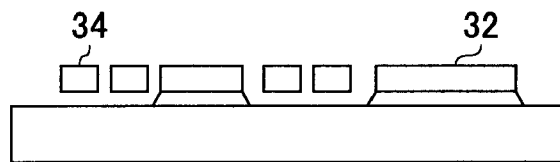
[図1]



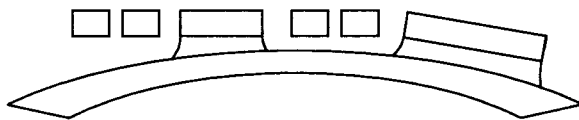
[図2]



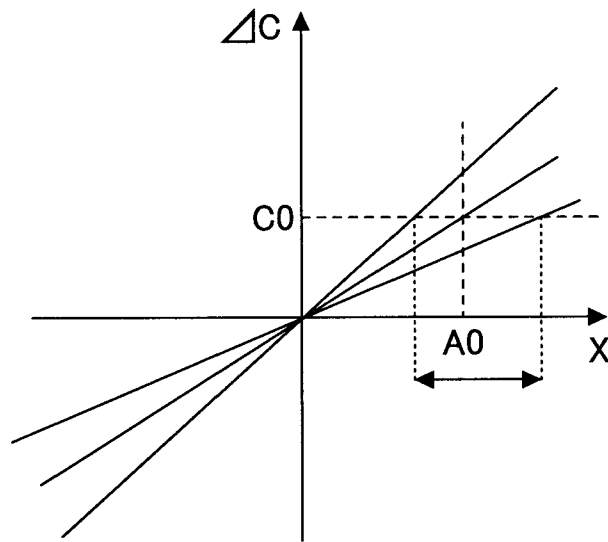
[図3]



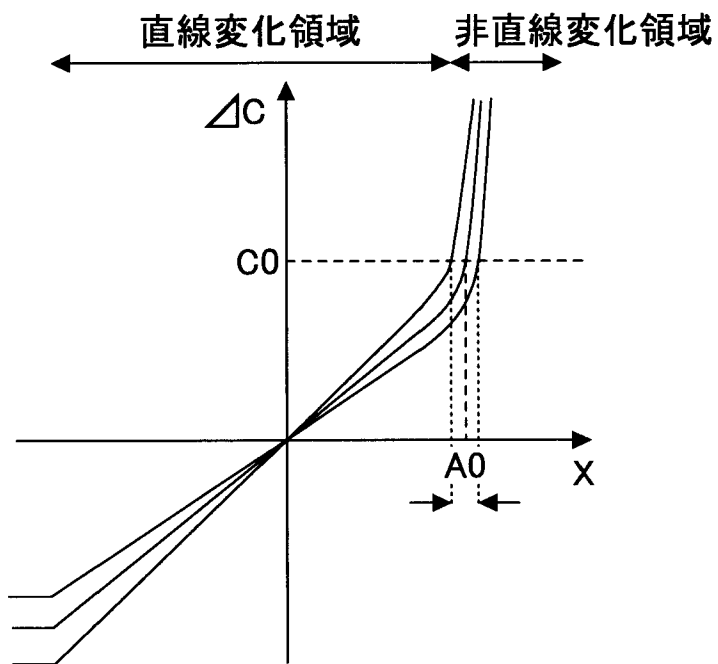
[図4]



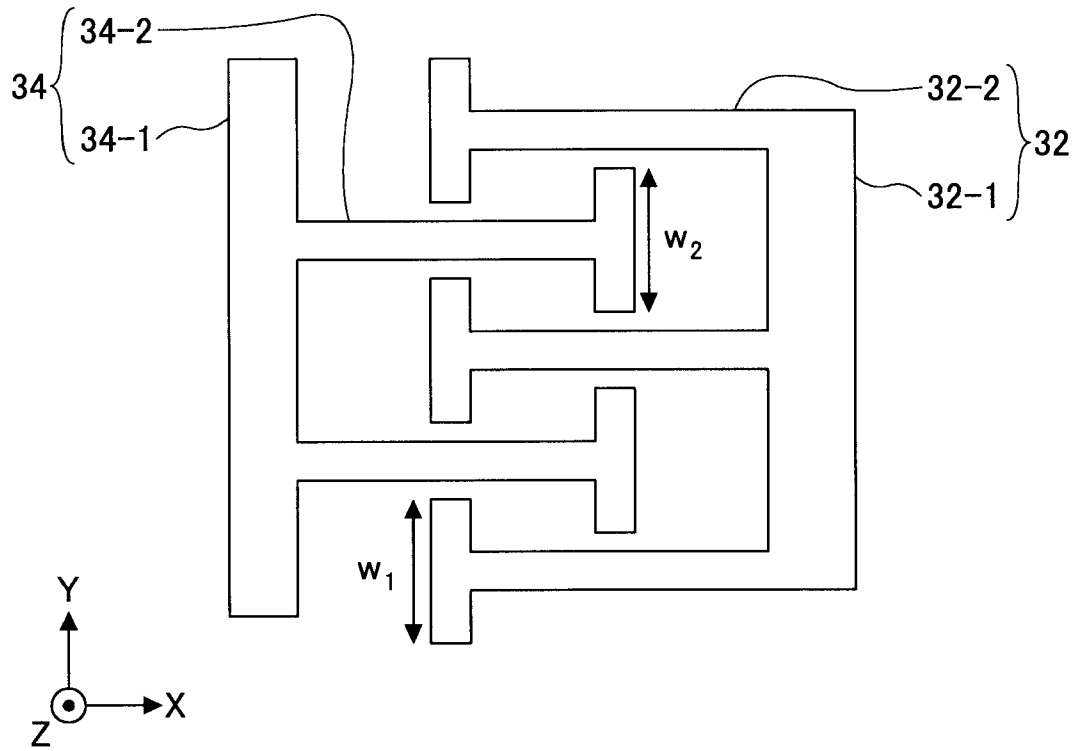
[図5]



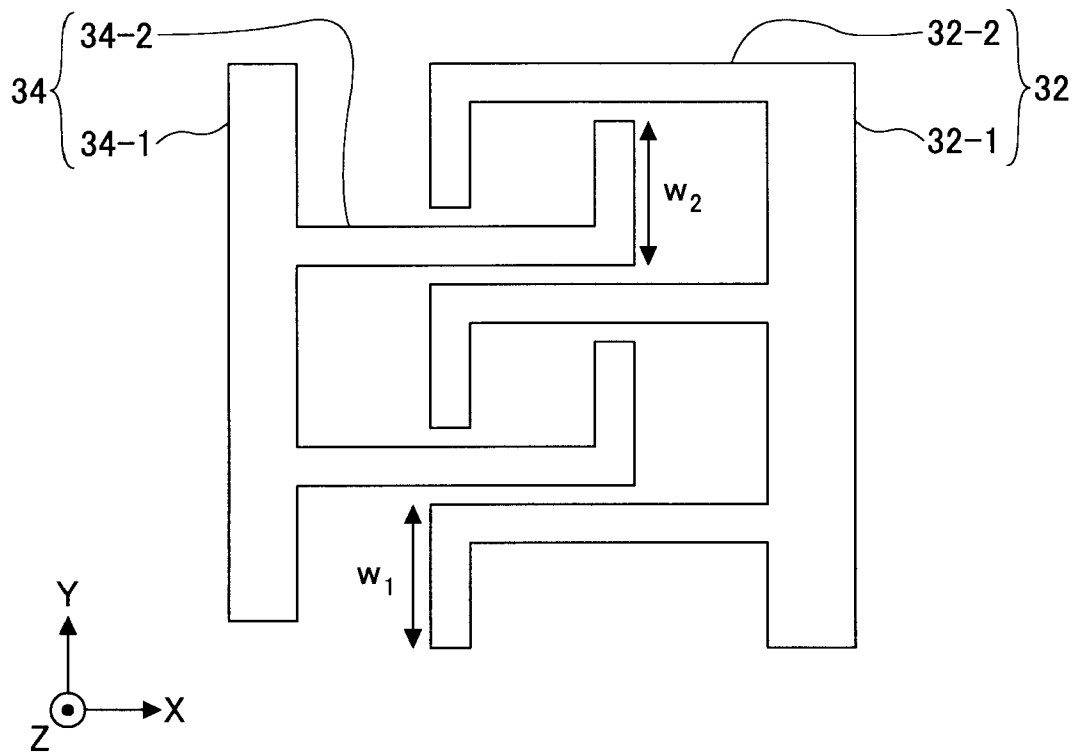
[図6]



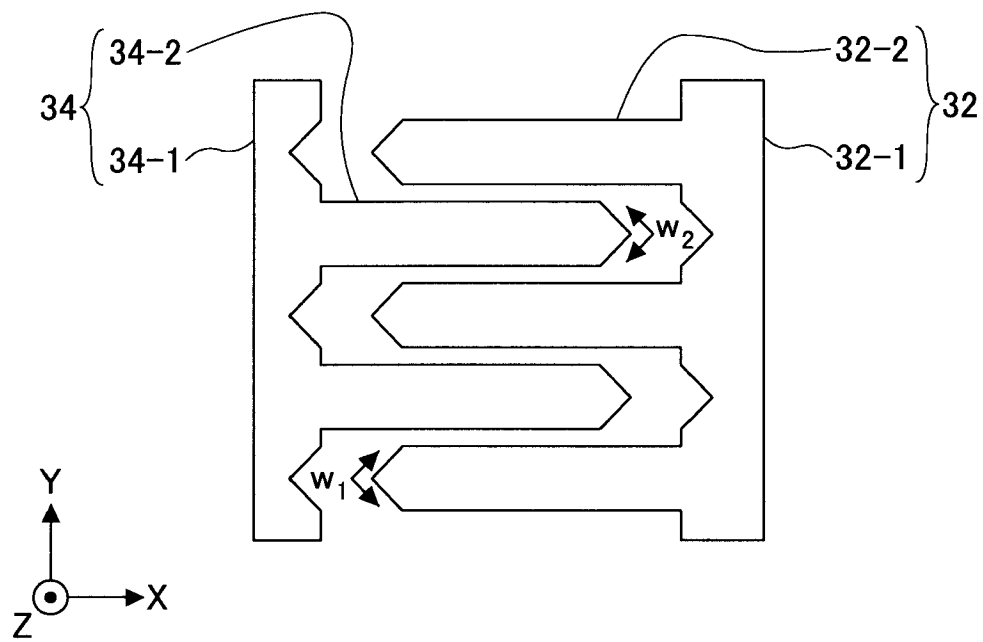
[図7]



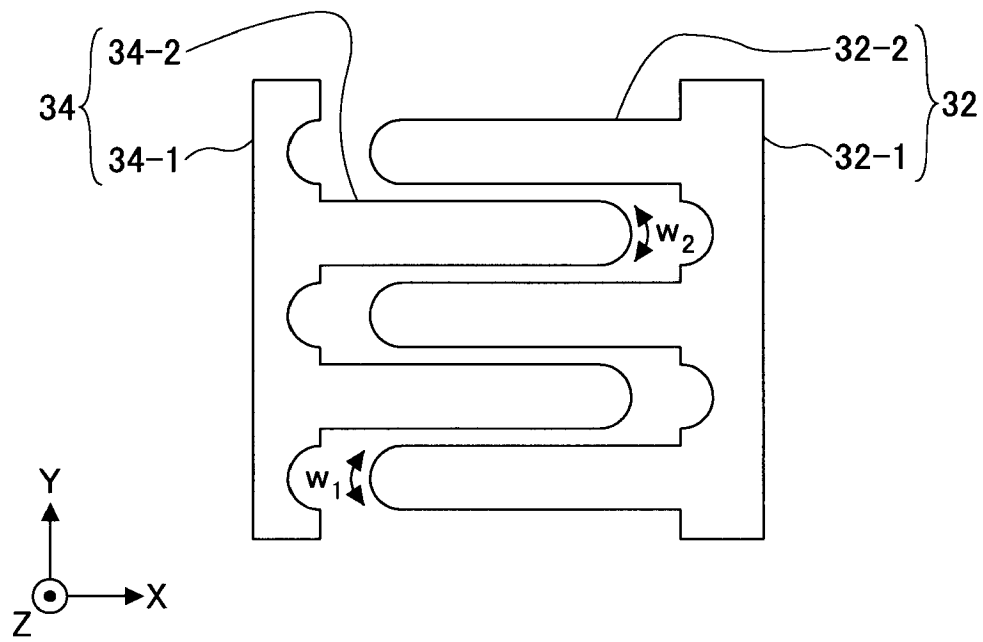
[図8]



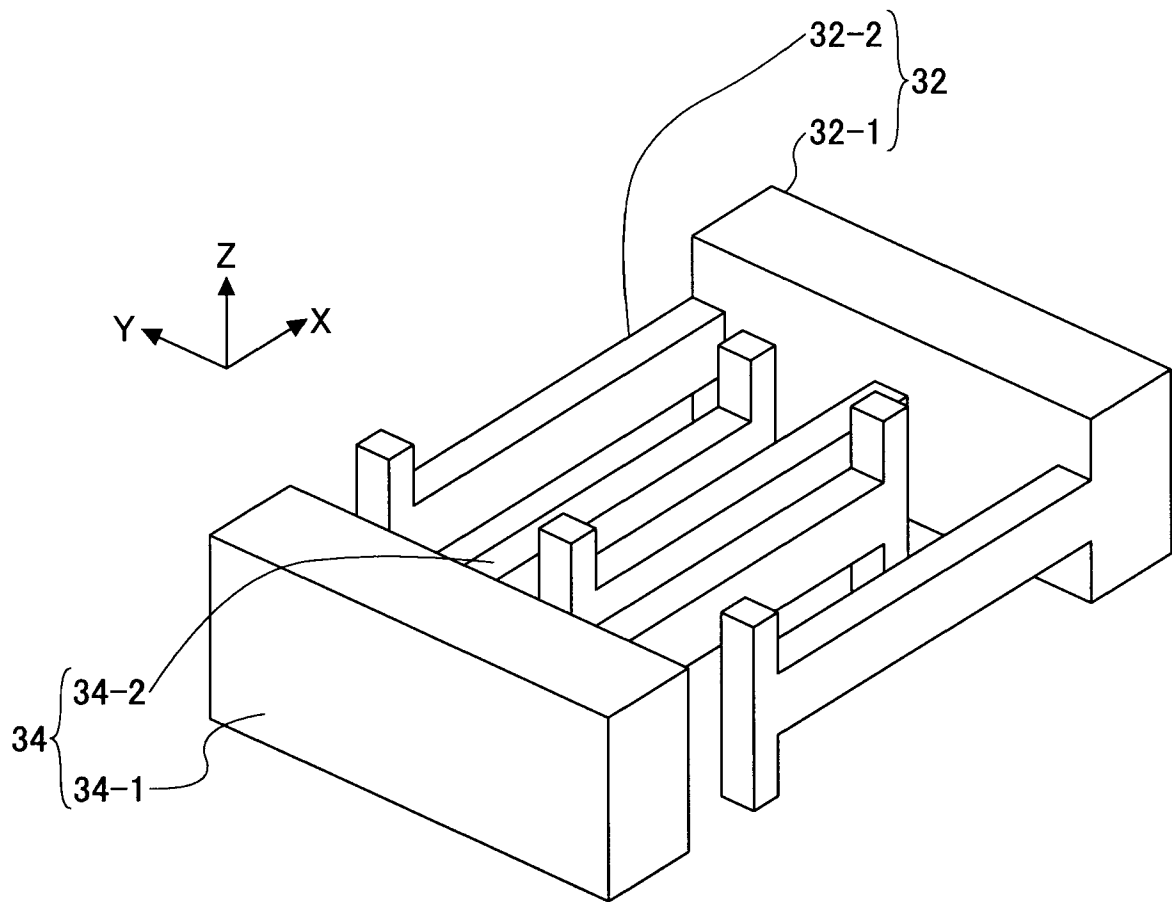
[図9]



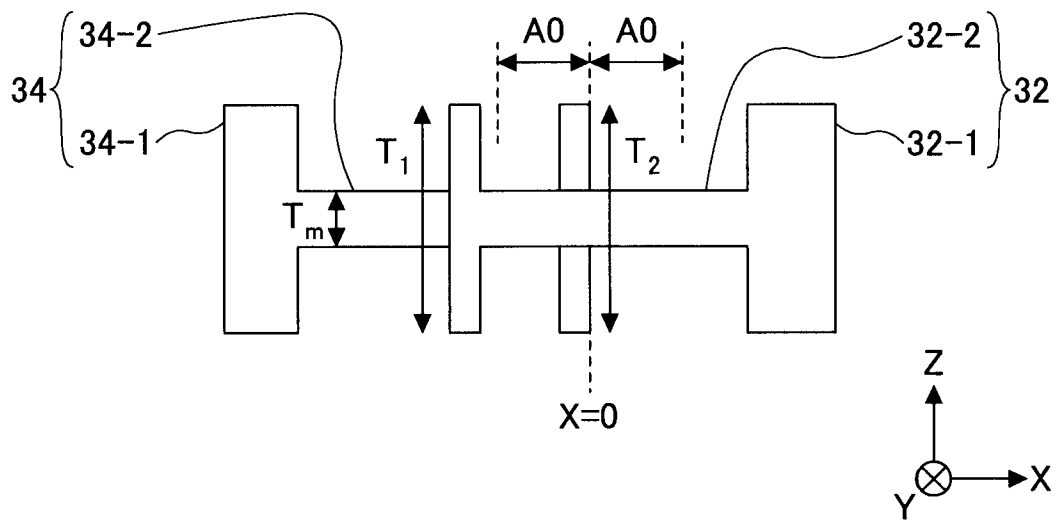
[図10]



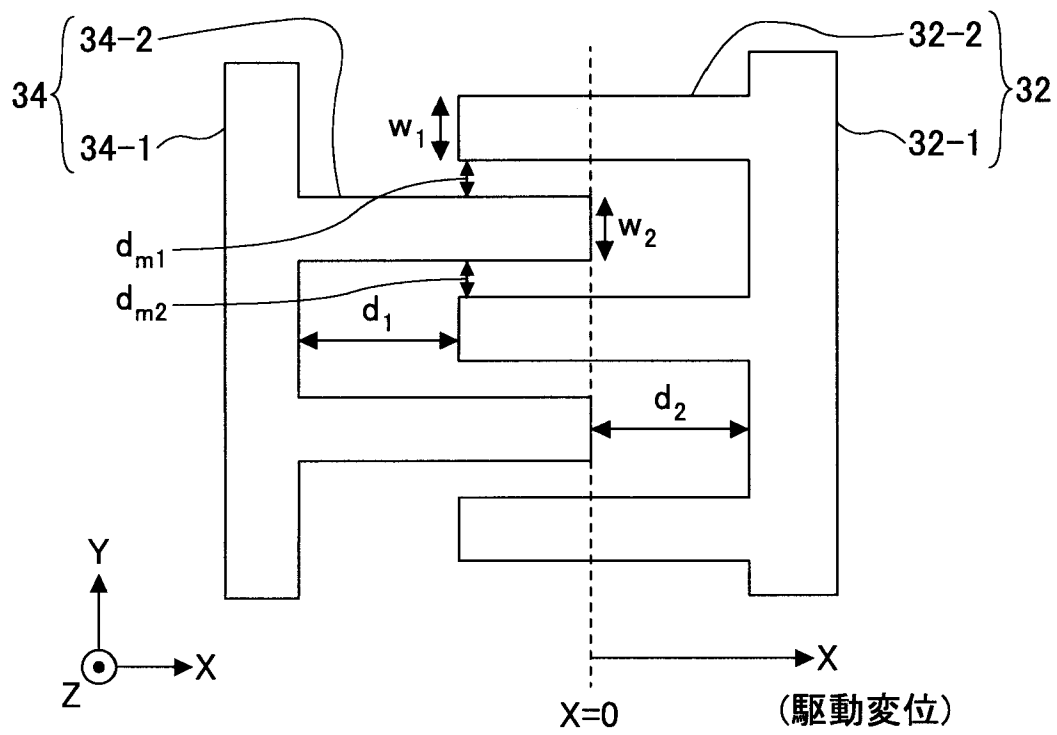
[図11]



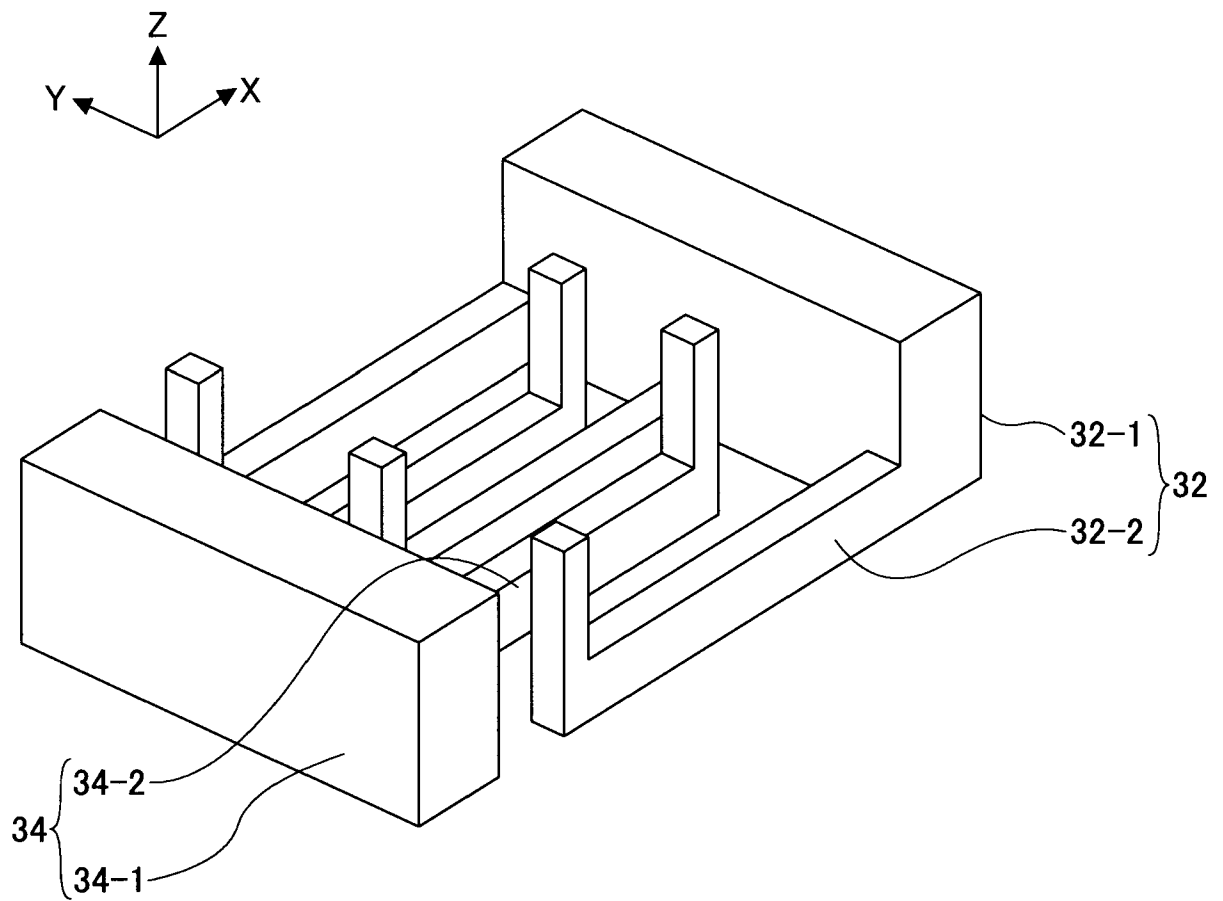
[図12A]



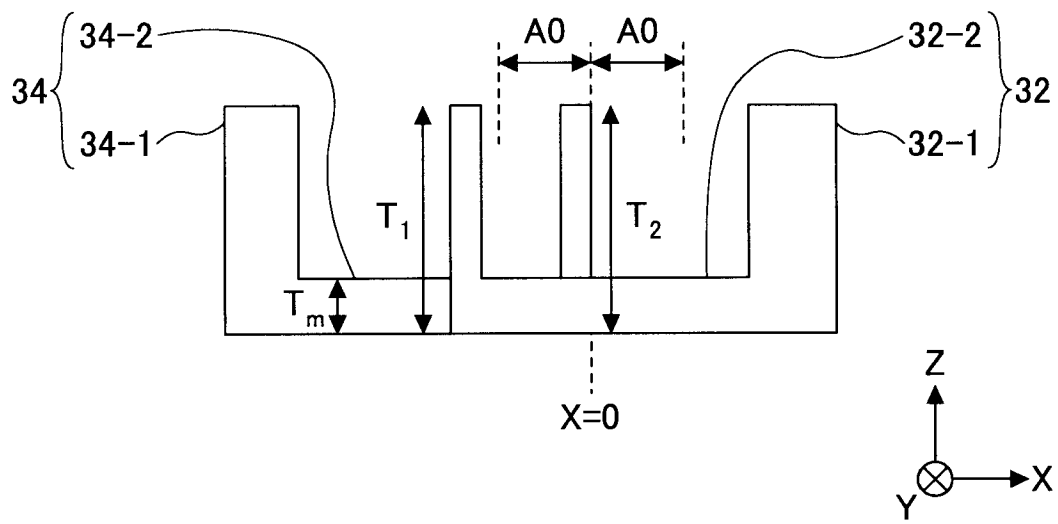
[図12B]



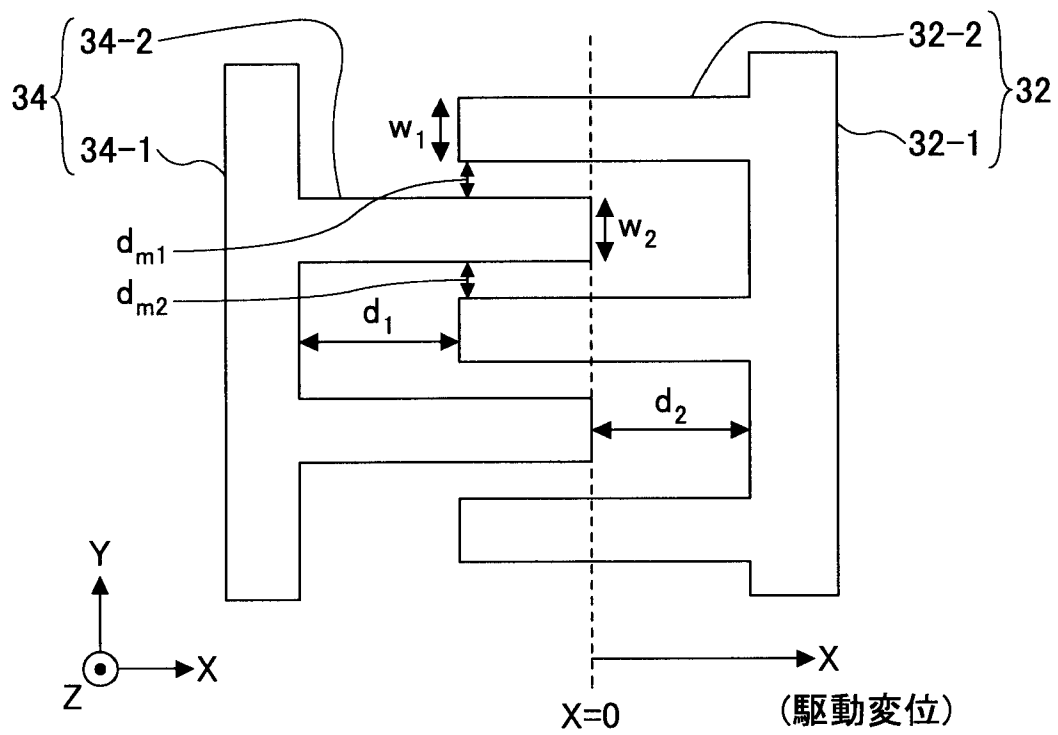
[図13]



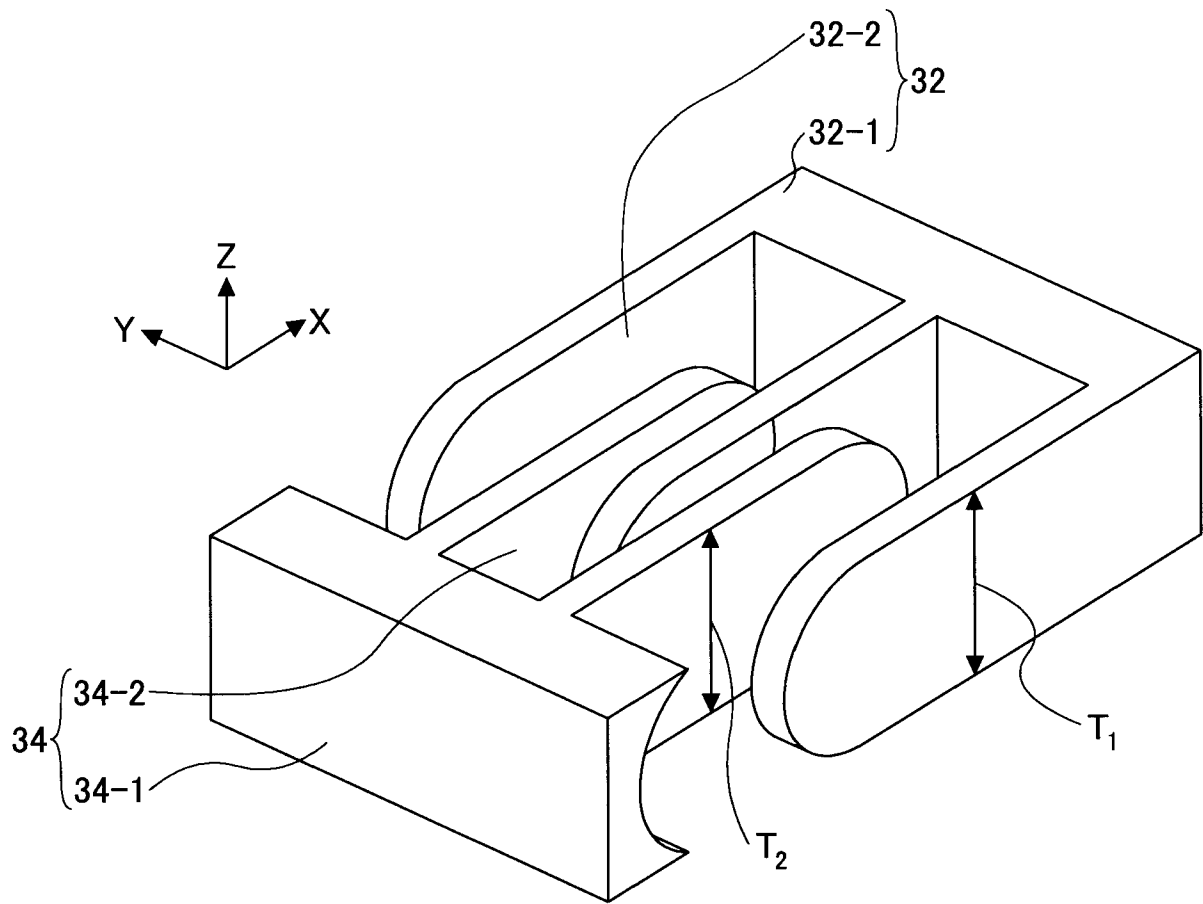
[図14A]



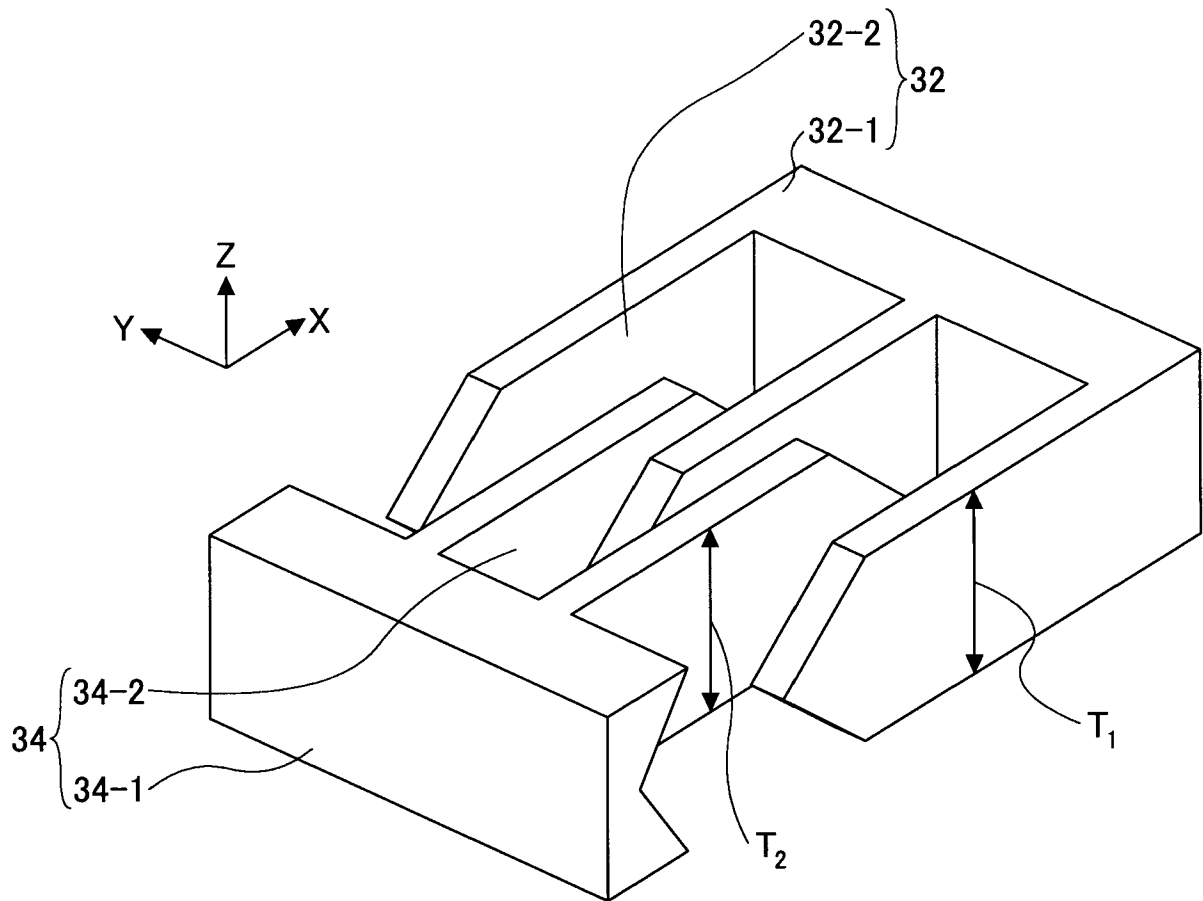
[図14B]



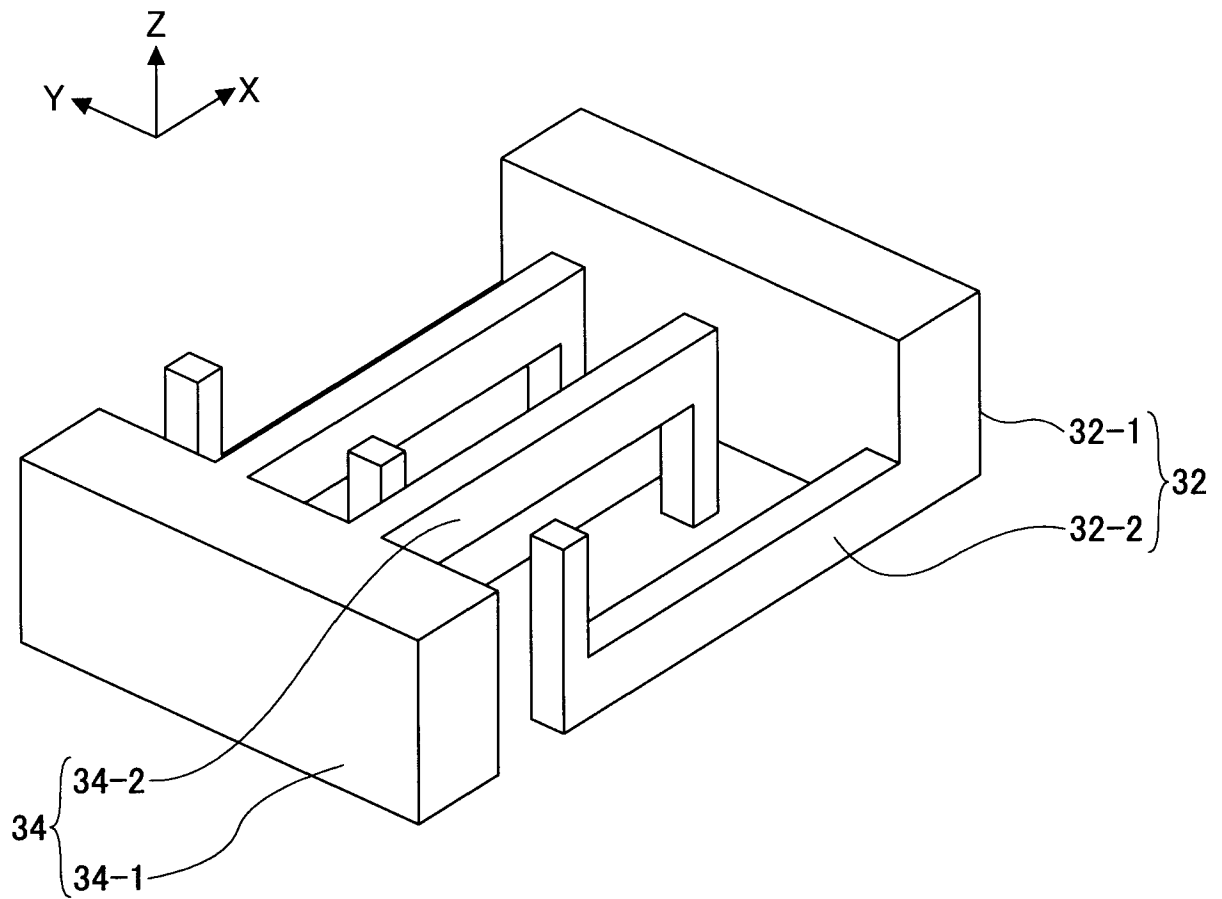
[図15]



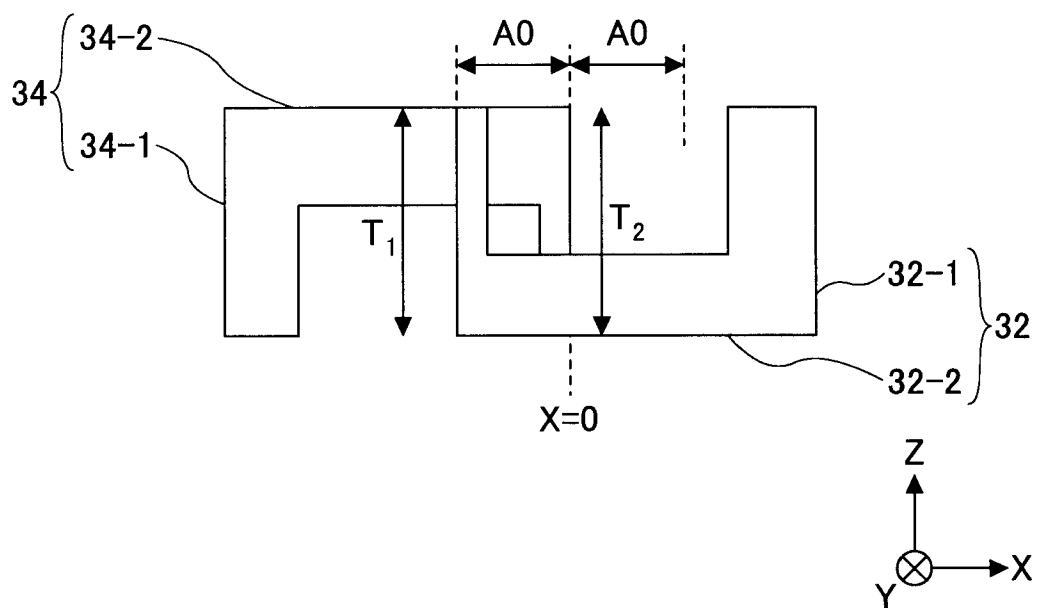
[図16]



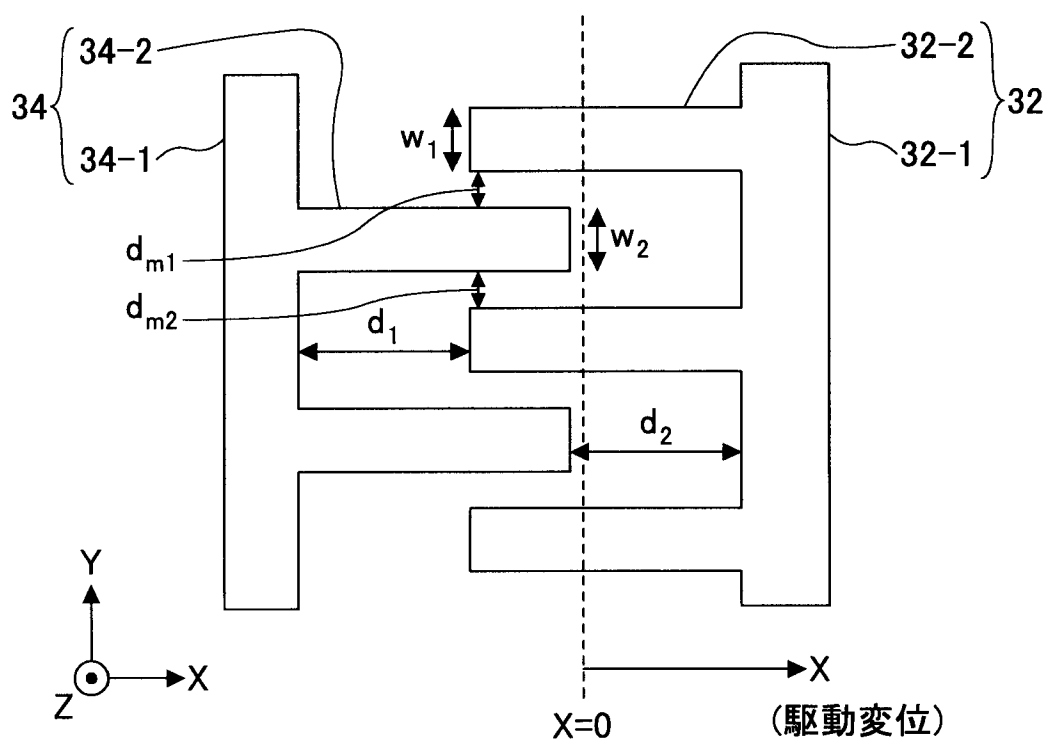
[図17]



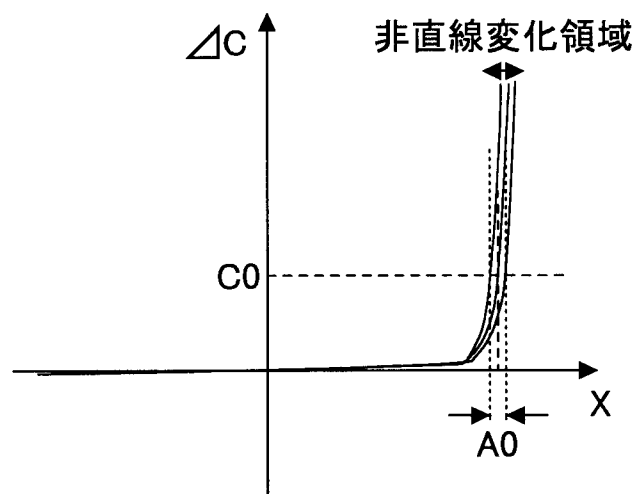
[図18A]



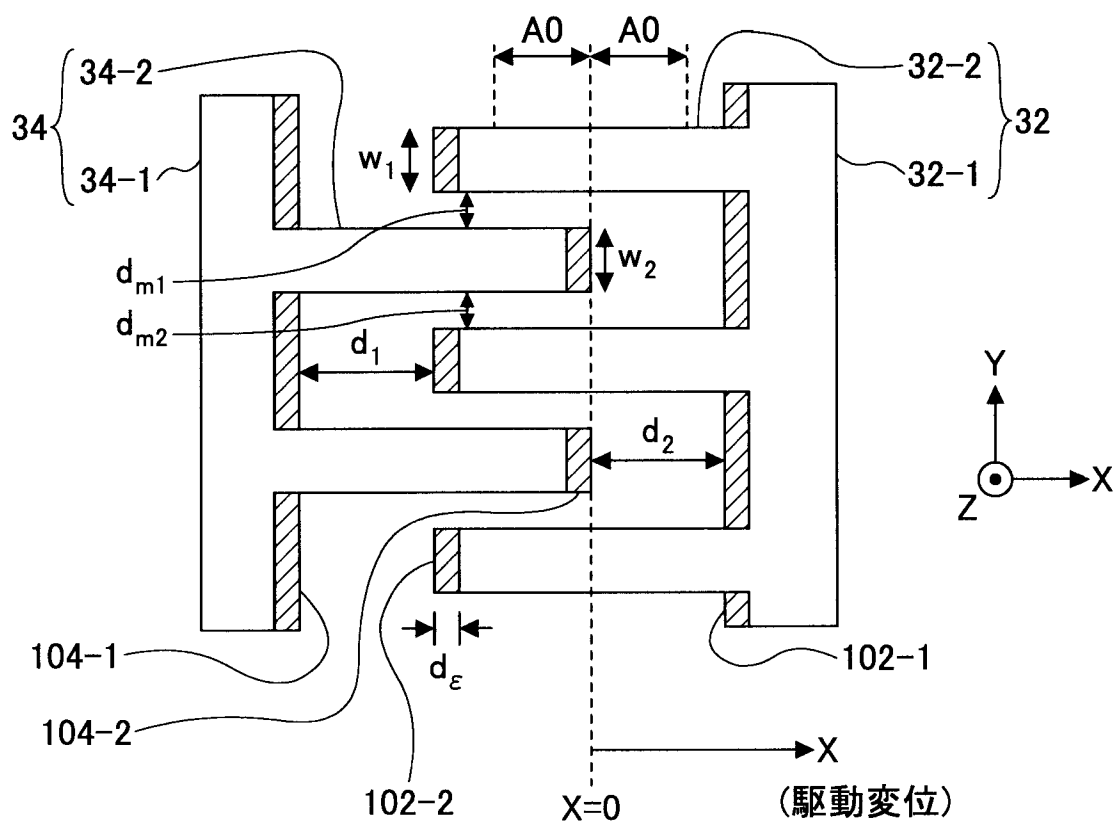
[図18B]



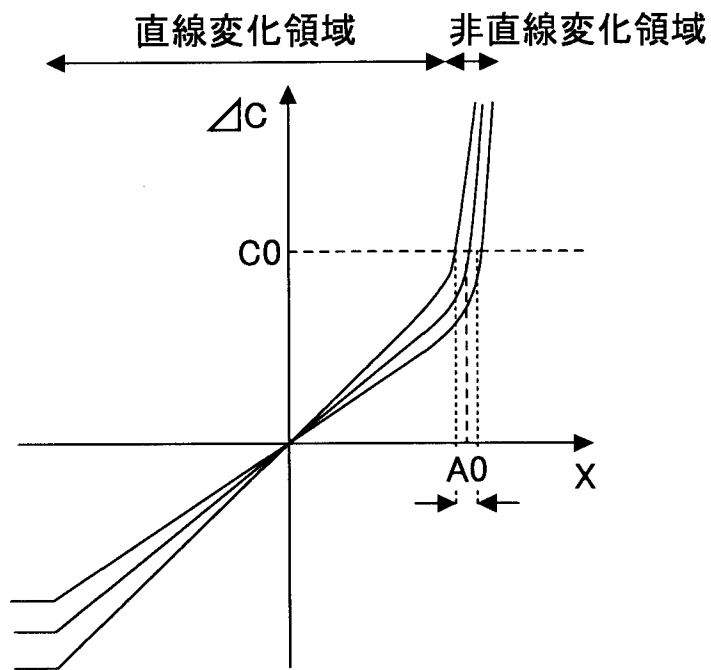
[図19]



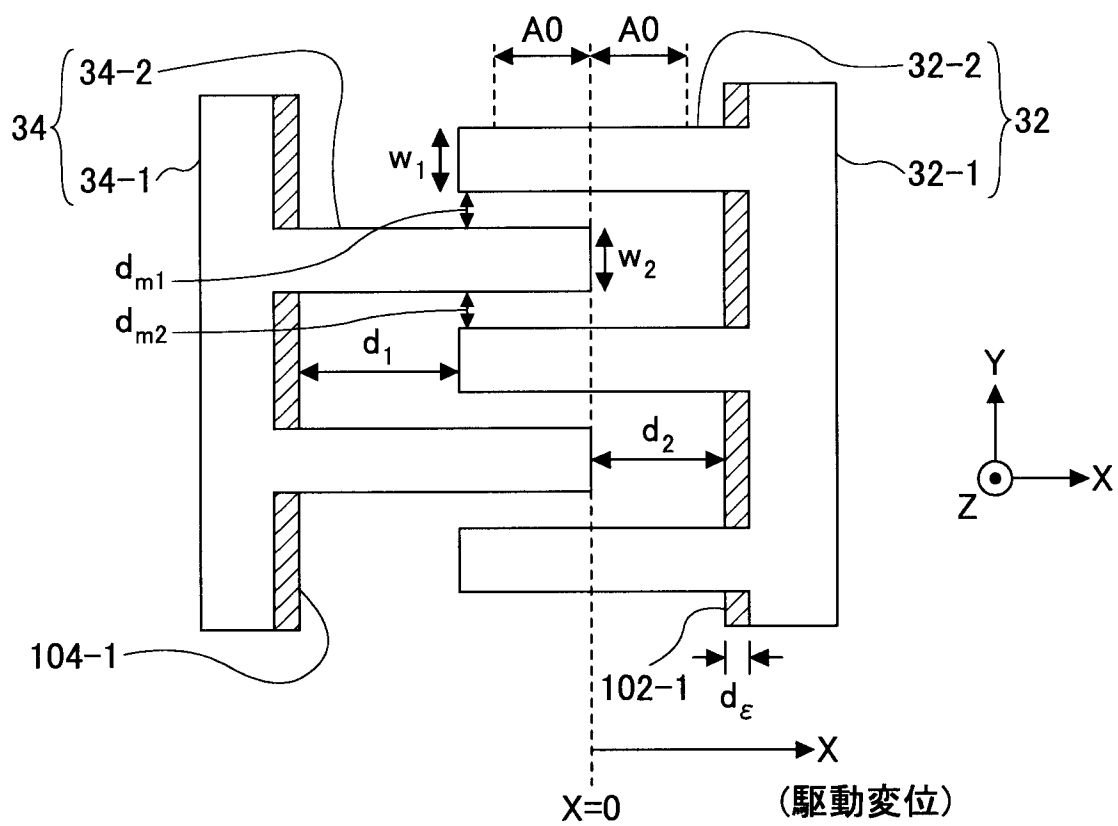
[図20]



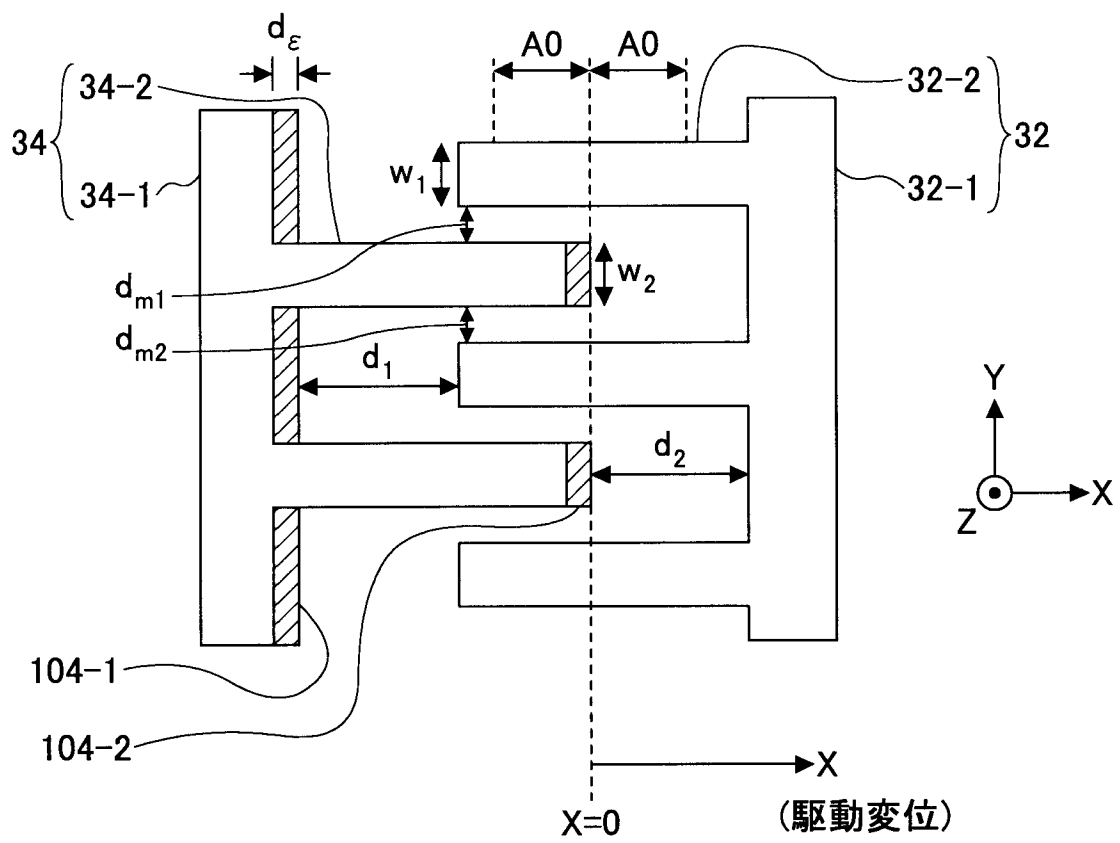
[図21]



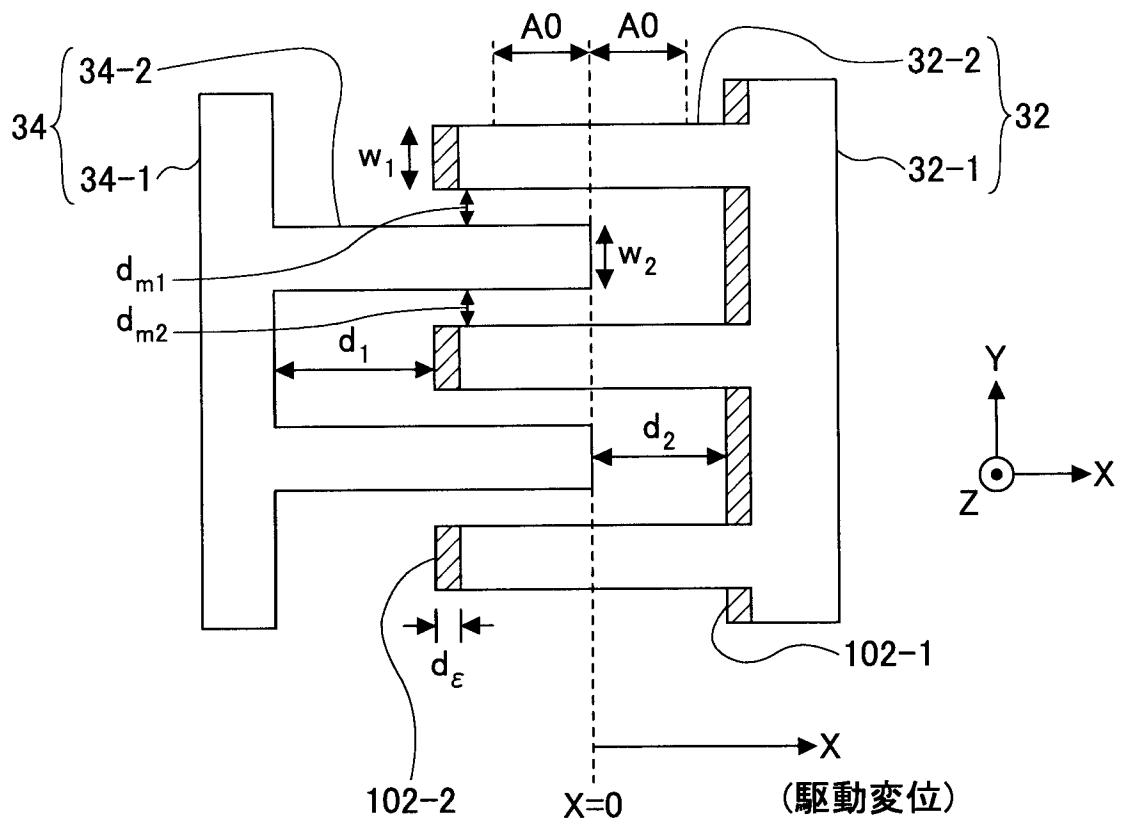
[図23]



[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/069333

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C19/56(2006.01) i, G01B7/00(2006.01) n

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, G01B7/00

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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 2001-227954 A (Toyota Motor Corp.), 24 August 2001 (24.08.2001), entire text; all drawings & US 2001/0013253 A1 & GB 2364387 A & DE 10106840 A	1-7
A	JP 2000-55670 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 25 February 2000 (25.02.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 10-504386 A (Siemens AG.), 28 April 1998 (28.04.1998), entire text; all drawings & US 5827980 A & EP 776466 A & WO 1996/005491 A1	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
21 September, 2011 (21.09.11)

Date of mailing of the international search report
04 October, 2011 (04.10.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/069333

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 2001-50704 A (Nireco Corp.), 23 February 2001 (23.02.2001), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 11-190635 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 13 July 1999 (13.07.1999), entire text; all drawings & US 5945599 A	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. G01C19/56(2006.01)i, G01B7/00(2006.01)n

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（I P C））

Int.Cl. G01C19/56, G01B7/00

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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 2001-227954 A（トヨタ自動車株式会社）2001.08.24, 全文, 全図 & US 2001/0013253 A1 & GB 2364387 A & DE 10106840 A	1 - 7
A	JP 2000-55670 A（株式会社豊田中央研究所）2000.02.25, 全文, 全図（ファミリーなし）	1 - 7
A	JP 10-504386 A（シーメンス アクチエンゲゼルシャフト） 1998.04.28, 全文, 全図 & US 5827980 A & EP 776466 A & WO 1996/005491 A1	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。

* 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

2 1 . 0 9 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

0 4 . 1 0 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

小野寺 麻美子

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

2 S

9 5 0 5

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 2001-50704 A (株式会社ニレコ) 2001.02.23, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 7
A	JP 11-190635 A (株式会社豊田中央研究所) 1999.07.13, 全文, 全図 & US 5945599 A	1 - 7