

(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2月12日(12.02.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/019919 A1

- (51) 国際特許分類:
H02N 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/070072
- (22) 国際出願日: 2014年7月30日(30.07.2014)
- (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 2013-165166 2013年8月8日(08.08.2013) JP
- (71) 出願人: アオイ電子株式会社(AOI ELECTRONICS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒7618014 香川県高松市香西南町455番地の1 Kagawa (JP). 国立大学法人静岡大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION SHIZUOKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒4228539 静岡県静岡市駿河区大谷836 Shizuoka (JP). オムロン株式会社(OMRON CORPORATION) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 Kyoto (JP). 株式会社鷺宮製作所(SAGINOMIYA SEISAKUSHO, INC.) [JP/JP]; 〒1658907 東京都中野区若宮2丁目55番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 鈴木 雅人(SUZUKI, Masato); 〒7618014 香川県高松市香西南町455番地の1 アオイ

電子株式会社内 Kagawa (JP). 森 昭登(MORI, Akito); 〒7618014 香川県高松市香西南町455番地の1 アオイ電子株式会社内 Kagawa (JP). 橋口 原(HASHIGUCHI, Gen); 〒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大学院工学研究科内 Shizuoka (JP). 杉山 達彦(SUGIYAMA, Tatsuhiko); 〒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). 今本 浩史(IMAMOTO, Hiroshi); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 大場 正利(OBA, Masatoshi); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 三屋 裕幸(MITSUYA, Hiroyuki); 〒3501395 埼玉県狭山市笹井535 株式会社鷺宮製作所 狭山事業所内 Saitama (JP). 芦澤 久幸(ASHIZAWA, Hisayuki); 〒3501395 埼玉県狭山市笹井535 株式会社鷺宮製作所 狭山事業所内 Saitama (JP). 石橋 和徳(ISHIBASHI, Kazunori); 〒3501395 埼玉県狭山市笹井535 株式会社鷺宮製作所 狭山事業所内 Saitama (JP).

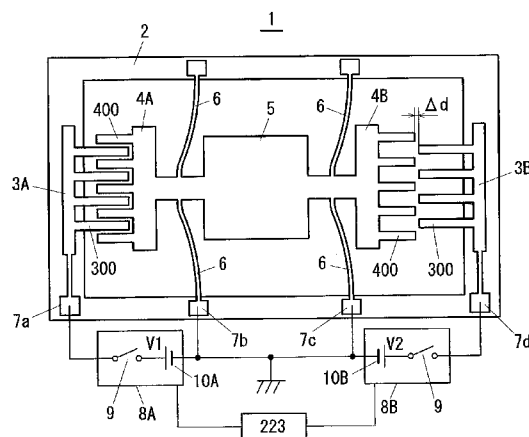
- (74) 代理人: 永井 冬紀(NAGAI, Fuyuki); 〒1000011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号 富国生命ビル 永井特許事務所 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: ACTUATOR, SHUTTER DEVICE, FLUID CONTROL DEVICE, SWITCH, AND TWO-DIMENSIONAL SCANNING SENSOR DEVICE

(54) 発明の名称: アクチュエータ、シャッター装置、流体制御装置、スイッチおよび2次元走査型センサ装置

【図1】



(57) Abstract: An actuator provided with an electrostatic driving mechanism provided with a fixed electrode and a movable electrode, a first movable part driven by the electrostatic driving mechanism, a first elastic support part for elastically supporting the first movable part, an electret formed on the fixed electrode and/or the movable electrode, and a drive controller for controlling the application of voltage to the electrostatic driving mechanism. The actuator is set with a plurality of stable states, in which the first movable part is positioned at a stable position at which the electrostatic force caused by the electret and the elastic force from the first elastic support part are balanced or at a stable position set near the stable position described above. Applying a voltage to the electrostatic driving mechanism makes it possible to move the first movable part from any stable position to another stable position.

(57) 要約:

[続葉有]



(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, LT, 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, 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:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

アクチュエータは、固定電極および可動電極を備える静電駆動機構と、静電駆動機構により駆動される第 1 可動部と、第 1 可動部を弾性支持する第 1 弾性支持部と、固定電極および可動電極の少なくとも一方に形成されたエレクトレットと、静電駆動機構への電圧印加を制御する駆動制御部と、を備える。アクチュエータには、エレクトレットに起因する静電力と第 1 弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置に、またはその近傍に設定された安定位置に、第 1 可動部が位置決めされる安定状態が複数設定されている。静電駆動機構に電圧を印加することにより、第 1 可動部を任意の安定位置から他の安定位置へ移動させることができる。

明 細 書

発明の名称：

アクチュエータ、シャッタ装置、流体制御装置、スイッチおよび２次元走査型センサ装置

技術分野

[0001] 本発明は、エレクトレットが形成された櫛歯電極を備えて複数の安定位置への移動が可能なアクチュエータ、そのアクチュエータを備えたシャッタ装置、流体制御装置、スイッチおよび２次元走査型センサ装置に関する。

背景技術

[0002] エレクトレットを備えて双安定構造のアクチュエータとしては、特許文献１に記載の技術が知られている。特許文献１に記載の静電リレーでは、シーソー運動可能な可動板を挟むように固定側駆動電極とエレクトレットが配置され、固定側駆動電極に電圧を印加することにより、可動板をシーソー運動させて接点のオンオフを行わせるようにしている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：日本国特開平５－２９７８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、可動板がシーソー運動する構成であるため、シーソー運動ができる程度の高さ方向空間が必要である。そのため、静電リレーの高さ寸法が大きくなるという欠点があった。また、可動板が形成された可動側基体を上側および下側の固定側基体で挟むように結合する構成であるため、正確な位置合わせが必要であると共に、工数が増えるという欠点もある。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明の第１の態様によると、アクチュエータは、固定電極および可動電

極を備える静電駆動機構と、可動電極が設けられて静電駆動機構により駆動される第1可動部と、固定電極に対して可動電極が面内でスライド移動可能なように、第1可動部を弾性支持する第1弾性支持部と、静電駆動機構の固定電極および可動電極の少なくとも一方に形成されたエレクトレットと、静電駆動機構への電圧印加を制御する駆動制御部と、を備える。アクチュエータには、エレクトレットに起因する静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置に、またはその近傍に設定された安定位置に、第1可動部が位置決めされる安定状態が複数設定されている。駆動制御部は、静電駆動機構に電圧を印加することにより該静電駆動機構の静電力を制御して任意の安定状態から他の安定状態へ変化させ、第1可動部を任意の安定位置から他の安定位置へ移動させる。

本発明の第2の態様によると、第1の態様のアクチュエータにおいて、静電駆動機構は、固定電極としての固定櫛歯電極および可動電極としての可動櫛歯電極を備える櫛歯駆動部を少なくとも有するとともに、固定櫛歯電極に対する可動櫛歯電極の挿入量が増加する方向とスライド移動の方向とが一致し、固定櫛歯電極および可動櫛歯電極の少なくとも一方に、エレクトレットが形成されていることが好ましい。

本発明の第3の態様によると、第2の態様のアクチュエータにおいて、静電駆動機構は、第1固定櫛歯電極、および該第1固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第1可動櫛歯電極を有する第1櫛歯駆動部と、第1固定櫛歯電極に対して間隔を空けて対向配置される第2固定櫛歯電極、および該第2固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第2可動櫛歯電極を有する第2櫛歯駆動部と、を備え、第1可動部は、第1固定櫛歯電極と第2固定櫛歯電極との間に配置されるとともに、第1可動櫛歯電極および第2可動櫛歯電極が設けられ、第1弾性支持部は、第1および第2固定櫛歯電極に対する第1および第2可動櫛歯電極の各挿入量が増加する方向にスライド移動可能なように第1可動部を弾性支持し、エレクトレットは、第1固定櫛歯電極および第1可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第1エレクトレットと、第2固定櫛歯電極

および第2可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第2エレクトレットと、を有し、複数の安定位置として、第2可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで第1可動櫛歯電極が第1固定櫛歯電極に吸引されて、第1エレクトレットに起因する第1静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第1安定位置と、第1可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで第2可動櫛歯電極が第2固定櫛歯電極に吸引されて、第2エレクトレットに起因する第2静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第2安定位置と、が設定され、駆動制御部は、第1櫛歯駆動部に第1静電力を弱める第1電圧を印加し、第1可動部を第1安定位置から第2安定位置へ移動させ、第2櫛歯駆動部に第2静電力を弱める第2電圧を印加し、第1可動部を第2安定位置から第1安定位置へ移動させる、ことが好ましい。

本発明の第4の態様によると、第2の態様のアクチュエータにおいて、静電駆動機構は、第1可動部のスライド方向であって、該第1可動部を挟むように固定櫛歯電極とは反対側に設けられた固定電極板と、固定電極板と対向配置され、第1可動部に設けられた可動電極板と、をさらに備え、エレクトレットは、固定櫛歯電極および可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第1エレクトレットと、対向配置された固定電極板および可動電極板の少なくとも一方に設けられた第2エレクトレットと、を備え、複数の安定位置として、可動櫛歯電極が固定櫛歯電極に挿入されるように吸引されて、第1エレクトレットに起因する第1静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第1安定位置と、固定櫛歯電極に対する可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで可動電極板が固定電極板側に吸引されて、第2エレクトレットに起因する第2静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第2安定位置と、が設定され、駆動制御部は、固定櫛歯電極と可動櫛歯電極との間に第1静電力を弱める第1電圧を印加して、第1可

動部を第1安定位置から第2安定位置へ移動させ、固定電極板と可動電極板との間に第2静電力を弱める第2電圧を印加して、第1可動部を第2安定位置から第1安定位置へ移動させる、ことが好ましい。

本発明の第5の態様によると、第2の態様のアクチュエータにおいて、複数の安定位置として、挿入量が正であって、エレクトレットに起因する静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第1安定位置と、挿入量がゼロであって、エレクトレットに起因する固定櫛歯電極のフリンジ電界による静電引力と弾性力とが釣り合い、かつ、第2電圧を印加時のフリンジ電界による静電力が弾性力よりも大きくなる安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第2安定位置と、が設定され、駆動制御部は、櫛歯駆動部の静電力を弱める第1電圧を印加して第1可動部を第1安定位置から第2安定位置へ駆動し、櫛歯駆動部の静電力を強める第2電圧を印加して第1可動部を第2安定位置から第1安定位置へ駆動する、ことが好ましい。

本発明の第6の態様によると、第3の態様のアクチュエータにおいて、第1静電力の大きさが第1可動櫛歯電極の挿入量に応じて複数段に変化し、第1安定位置と第2安定位置との間に、第1および第2静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う複数の中間安定位置が設定されるように、第1固定櫛歯電極または第1可動櫛歯電極の櫛歯形状が構成され、駆動制御部は、第1櫛歯駆動部および第2櫛歯駆動部の少なくとも一方の印加電圧を制御して、第1可動部を第1安定位置、第2安定位置および複数の中間安定位置のいずれかに移動させる、ことが好ましい。

本発明の第7の態様によると、第4の態様のアクチュエータにおいて、第1静電力の大きさが可動櫛歯電極の挿入量に応じて複数段に変化し、第1安定位置と第2安定位置との間に、第1および第2静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う複数の中間安定位置が設定されるように、固定櫛歯電極または可動櫛歯電極の櫛歯形状が構成され、駆動制御部は、第1可動部を複数の中間安定位置へ駆動するための複数の電圧が櫛歯駆動部に対して印加可

能である、ことが好ましい。

本発明の第8の態様によると、第5の態様のアクチュエータにおいて、エレクトレットに起因する静電力の大きさが可動櫛歯電極の挿入量に応じて複数段に変化し、第1安定位置と第2安定位置との間に、エレクトレットに起因する静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う複数の中間安定位置が設定されるように、固定櫛歯電極または可動櫛歯電極の櫛歯形状が構成され、駆動制御部は、第1可動部を複数の中間安定位置へ駆動するための複数の電圧が櫛歯駆動部に対して印加可能である、ことが好ましい。

本発明の第9の態様によると、第2の態様のアクチュエータにおいて、静電駆動機構は、第1固定櫛歯電極および第1可動櫛歯電極を有する第1櫛歯駆動部と、第2固定櫛歯電極および第2可動櫛歯電極を有する第2櫛歯駆動部とを備え、第1固定櫛歯電極および第2固定櫛歯電極は、間隔を空けて対向配置され、第1可動部は、第1固定櫛歯電極と第2固定櫛歯電極との間に配置され、かつ、第1固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合するように第1可動櫛歯電極が設けられるとともに、第2固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合するように第2可動櫛歯電極が設けられ、第1弾性支持部は、第1および第2可動櫛歯電極の各挿入量が増加する方向にスライド移動可能なように第1可動部を弾性支持し、エレクトレットは、第1固定櫛歯電極および第1可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第1エレクトレットと、第2固定櫛歯電極および第2可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第2エレクトレットと、を有し、複数の安定位置として、第1エレクトレットに起因する第1静電力と第2エレクトレットに起因する第2静電力と第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置が複数設定されるように、第1固定櫛歯電極または第1可動櫛歯電極の櫛歯形状は、第1静電力の大きさが第1可動電極の挿入量に応じて複数段に変化するよう構成され、駆動制御部は、第1櫛歯駆動部および第2櫛歯駆動部の少なくとも一方の印加電圧を制御して、第1可動部を複数の安定位置のいずれかに移動させる、ことが好ましい。

本発明の第10の態様によると、第6または9の態様のアクチュエータに

において、第1固定櫛歯電極または第1可動櫛歯電極は、長さが異なる複数種類の櫛歯群または櫛歯配列方向の櫛歯幅寸法が異なる複数種類の櫛歯群を備えている、ことが好ましい。

本発明の第11の態様によると、第7または8の態様のアクチュエータにおいて、固定櫛歯電極または可動櫛歯電極は、長さの異なる複数種類の櫛歯群または櫛歯配列方向の櫛歯幅寸法が異なる複数種類の櫛歯群を備えている、ことが好ましい。

本発明の第12の態様によると、第1乃至11のいずれか一態様のアクチュエータにおいて、静電駆動機構、第1可動部および第1弾性支持部のそれぞれは、同一シリコン基板を加工することにより形成されていることが好ましい。

本発明の第13の態様によると、第3の態様のアクチュエータにおいて、第1可動部に設けられ、該第1可動部の移動方向と交差する方向に間隔を空けて対向配置された第3固定櫛歯電極および第4固定櫛歯電極と、第3固定櫛歯電極と第4固定櫛歯電極との間に配置され、第3固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第3可動櫛歯電極、および第4固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第4可動櫛歯電極が設けられた第2可動部と、交差する方向にスライド移動可能なように第2可動部を第1可動部に対して弾性支持する第2弾性支持部と、をさらに備え、エレクトレットは、第3固定櫛歯電極および第3可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第3エレクトレットと、第4固定櫛歯電極および第4可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第4エレクトレットと、をさらに有し、複数の安定位置として、第4固定櫛歯電極に対する第4可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで第3可動櫛歯電極が第3固定櫛歯電極に吸引されて、第3エレクトレットに起因する第3静電力と第2弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第3安定位置と、第3固定櫛歯電極に対する第3可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで第4可動櫛歯電極が第4固定櫛歯電極に吸引されて、第4エレクトレットに起因する第4静電力と第2弾性支持部の

弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第4安定位置と、がさらに設定され、駆動制御部は、第3固定櫛歯電極と第3可動櫛歯電極との間に第3静電力を弱める第3電圧を印加し、第2可動部を第3安定位置から第4安定位置へ移動させ、第4固定櫛歯電極と第4可動櫛歯電極との間に第4静電力を弱める第4電圧を印加し、第2可動部を第4安定位置から第3安定位置へ移動させる、ことが好ましい。

本発明の第14の態様によると、第9の態様のアクチュエータにおいて、第1可動部に設けられ、該第1可動部の移動方向と交差する方向に間隔を空けて対向配置された第3固定櫛歯電極および第4固定櫛歯電極と、第3固定櫛歯電極と第4固定櫛歯電極との間に配置され、第3固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第3可動櫛歯電極、および第4固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第4可動櫛歯電極が設けられた第2可動部と、交差する方向に移動可能なように第2可動部を第1可動部に対して弾性支持する第2弾性支持部と、をさらに備え、エレクトレットは、第3固定櫛歯電極および第3可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第3エレクトレットと、第4固定櫛歯電極および第4可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第4エレクトレットと、をさらに有し、第3エレクトレットに起因する第3静電力と第4エレクトレットに起因する第4静電力と第2弾性支持部の弾性力とが釣り合う複数の第2安定位置が設定されるように、第3固定櫛歯電極または第3可動櫛歯電極の櫛歯形状は、第3静電力の大きさが第3可動電極の挿入量に応じて複数段に変化するように構成され、駆動制御部は、第3固定櫛歯電極と第3可動櫛歯電極との間の印加電圧、および第4固定櫛歯電極と第4可動櫛歯電極との間の印加電圧の少なくとも一方を制御して、第2可動部を複数の第2安定位置のいずれかに移動させる、ことが好ましい。

本発明の第15の態様によると、シャッタ装置は、第1乃至3のいずれか一態様のアクチュエータと、アクチュエータの第1可動部と一体に移動して光路に挿脱され、光源からの光を通過状態および非通過状態のいずれかに切替えるシャッタ部材と、を備え、第1可動部が複数の安定位置の内の第1安

定位置へ移動されると通過状態とされ、第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると非通過状態とされる。

本発明の第 16 の態様によると、シャッタ装置は、第 6 または 9 の態様のアクチュエータと、アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して光路に挿脱され、第 1 可動部が複数の安定位置のいずれに移動されるかに応じて光路遮蔽率の異なる遮蔽部材と、を備え、駆動制御部により印加電圧を制御して第 1 可動部を複数の安定位置に移動させて、通過光量を制御する。

本発明の第 17 の態様によると、流体制御装置は、第 1 乃至 3 のいずれか一態様のアクチュエータと、流路が形成された流路形成体と、アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して流路を開閉する弁体と、を備え、弁体は、第 1 可動部が複数の安定位置の内の第 1 安定位置へ移動されると流路を開き、第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると流路を閉じる。

本発明の第 18 の態様によると、流体制御装置は、複数の流路が形成された流路形成体と、複数の流路の各々に設けられた、第 1 乃至 3 のいずれか一態様のアクチュエータと、複数の流路毎に設けられ、該流路に対応するアクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して該流路を開閉する弁体と、を備え、複数の弁体の各々は、該弁体と一体に移動する第 1 可動部が複数の安定位置の内の第 1 安定位置へ移動されると流路を開き、第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると流路を閉じる。

本発明の第 19 の態様によると、第 17 または 18 の態様の流体制御装置において、流路は、入口側の第 1 流路と出口側の第 2 流路とを有し、流路に対応した弁体には、第 1 流路と第 2 流路とを連通する連通部と、第 1 および第 2 流路の一方を塞いで非連通状態とする遮蔽部とが形成されていることが好ましい。

本発明の第 20 の態様によると、流体制御装置は、第 1 流路および複数の第 2 流路が形成された流路形成体と、複数の第 2 流路の各々に設けられた、第 1 乃至 3 のいずれか一態様のアクチュエータと、複数の第 2 流路毎に設けられ、該第 2 流路に対応するアクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して

該第 2 流路と第 1 流路との連通および非連通を切り換える弁体と、を備え、複数の弁体の各々は、該弁体と一体に移動する第 1 可動部が複数の安定位置の内の第 1 安定位置へ移動されると対応する第 2 流路と第 1 流路とを連通状態とし、第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると対応する第 2 流路と第 1 流路とを非連通状態とする。

本発明の第 2 1 の態様によると、スイッチは、第 1 乃至 3 のいずれか一態様のアクチュエータと、高周波信号入力用の信号線が接続される第 1 接点と、入力された高周波信号を出力するための信号線が接続される第 2 接点と、アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して、第 1 接点と第 2 接点との間の導通および非導通を切り換える可動接点と、を備え、可動接点は、第 1 可動部が複数の安定位置の内の第 1 安定位置へ移動されると第 1 および第 2 接点間が導通とされ、第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると第 1 および第 2 接点間が非導通とされる。

本発明の第 2 2 の態様によると、スイッチは、第 1 乃至 3 のいずれか一態様のアクチュエータと、高周波信号入力用の第 1 信号線が接続される第 1 および第 2 接点と、入力された高周波信号を出力するための第 2 信号線が接続される第 3 接点と、入力された高周波信号を出力するための第 3 信号線が接続される第 4 接点と、アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して、第 1 および第 3 接点間の導通および非導通を切り換える第 1 可動接点と、アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して、第 2 および第 4 接点との導通および非導通を切り換える第 2 可動接点と、を備え、第 1 可動部が複数の安定位置の内の第 1 安定位置へ移動されると、第 1 および第 3 接点間が導通とされるとともに第 2 および第 4 接点間が非導通とされ、第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると、第 2 および第 4 接点間が導通とされるとともに第 1 および第 3 接点間が非導通とされる。

本発明の第 2 3 の態様によると、2 次元走査型センサ装置は、第 1 3 または 1 4 の態様のアクチュエータと、アクチュエータの第 2 可動部と一体に移動し、該第 2 可動部の移動範囲における物理量を検出するセンサと、を備え

、第1可動部および第2可動部の少なくとも一方を各々の安定位置に移動することにより、センサを二次元的に移動させて物理量の検出を行う。

発明の効果

[0006] 本発明では、可動部はエレクトレットの静電力により複数の安定位置に維持され、電圧印加により静電力を変えることで安定位置間を移動する。さらに、静電駆動機構の可動電極は、固定電極に対して面内でスライド移動する。その結果、省電力、薄型のアクチュエータ、シャッタ装置、流体制御装置、高周波スイッチおよび2次元走査型センサ装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、本発明に係るアクチュエータの第1の実施の形態を示す図である。

[図2]図2は、櫛歯300、400における帯電状態を模式的に示す図である。

[図3]図3は、変位 $x=0$ の状態を示す図である。

[図4]図4は、可動部5の変位 x と、可動部5に作用する力との関係を示す図である。

[図5]図5は、変位 $x=0$ から第1の安定位置へ可動部5を移動させる場合の動作説明図である。

[図6]図6は、第1の安定位置から第2の安定位置への変位を説明する図である。

[図7]図7は、弾性支持部6が座屈により撓んだ状態を示す図である。

[図8]図8は、座屈がある場合の変位と力との関係を示す図である。

[図9]図9は、形成方法の第1のステップを示す図である。

[図10]図10は、形成方法の第2のステップを示す図である。

[図11]図11は、形成方法の第3のステップを示す図である。

[図12]図12は、形成方法の第4のステップを示す図である。

[図13]図13は、形成方法の第5のステップを示す図である。

[図14]図14は、形成方法の第6のステップを示す図である。

[図15]図15は、形成方法の第7のステップを示す図である。

[図16]図16は、アクチュエータ1の斜視図である。

[図17]図17は、櫛歯300、400にエレクトレットを形成する方法を説明する図である。

[図18]図18は、帯電処理を説明する図である。

[図19]図19は、光シャッタを示す図である。

[図20]図20は、FSC方式におけるカラー化の概念を説明する図である。

[図21]図21は、第2実施例を示す図である。

[図22]図22は、弁体202と流路構造体204と示す図である。

[図23]図23は、第2実施例の変形例を示す図である。

[図24]図24は、三方切換弁210の平面図である。

[図25]図25は、三方切換弁210の切換動作を説明する図である。

[図26]図26は、流量制御弁220の正面側を示す図である。

[図27]図27は、流路構造体221の表面側を示す図である。

[図28]図28は、B-B断面を示す図である。

[図29]図29は、第5実施例を示す図である。

[図30]図30は、RFスイッチ230の一部を示す断面図である。

[図31]図31は、RFスイッチ230の導通状態を示す図である。

[図32]図32は、SPDT (Single Pole Double Throw) のRFスイッチ1とした場合の構成を示す図である。

[図33]図33は、接触位置の設定を説明する図である。

[図34]図34は、本発明に係るアクチュエータの第2の実施の形態を示す図である。

[図35]図35は、第2固定電極3Cおよび第2可動電極4Bの拡大図である。

[図36]図36は、 $V_1 = V_2 = 0$ の場合における、変位 x と可動部5に作用する力との関係を示す図である。

[図37]図37は、釣り合い位置C0にある可動部5を、釣り合い位置C1へ

移動する場合の説明図である。

[図38]図38は、釣り合い位置C1にある可動部5を、釣り合い位置C2へ移動する場合の説明図である。

[図39]図39は、位置C0にある可動部5の位置C2への移動を説明する図である。

[図40]図40は、位置C0にある可動部5の位置C3への移動を説明する図である。

[図41]図41は、位置C0にある可動部5の位置C4への移動を説明する図である。

[図42]図42は、位置C0にある可動部5を位置C5へ移動させる場合の、説明図である。

[図43]図43は、位置C5にある可動部5を位置C4へ移動させる場合の、説明図である。

[図44]図44は、位置C5にある可動部5を位置C3へ移動させる場合の、説明図である。

[図45]図45は、位置C5にある可動部5を位置C2へ移動させる場合の、説明図である。

[図46]図46は、位置C5にある可動部5を位置C1へ移動させる場合の、説明図である。

[図47]図47は、位置C5にある可動部5を位置C0へ移動させる場合の、説明図である。

[図48]図48は、複数の安定位置が得られる櫛歯形状の他の例を示す図である。

[図49]図49は、変位 x と弾性力 L_1 、静電力 L_2 、 L_3 およびトータルの力 L_4 を示す図である。

[図50]図50は、本発明に係るアクチュエータの第3の実施の形態を示す図である。

[図51]図51は、図50のアクチュエータ13において、 $V_1 = V_2 = 0$ の

場合における変位 x と可動部 5 に作用する力を示す図である。

[図52]図 5 2 は、 x y 平面における安定位置を示す図である。

[図53]図 5 3 は、2次元走査型赤外線検出装置 5 1 を示す図である。

[図54]図 5 4 は、三方切換弁の他の例を示す図である。

[図55]図 5 5 は、櫛歯型電極と平行平板型電極とを備えたアクチュエータ 1 1 0 A を示す図である。

[図56]図 5 6 は、アクチュエータ 1 1 0 A における、弾性力、電極板 3 D, 4 D による静電力、電極 3 B, 4 B による静電力およびトータルの力を示す図である。

[図57]図 5 7 は、アクチュエータ 1 1 0 A における、安定位置間の移動動作を説明する図である。

[図58]図 5 8 は、アクチュエータ 1 1 0 B を示す図である。

[図59]図 5 9 は、アクチュエータ 1 1 0 B における、弾性力、静電力およびトータルの力の変化を示す図である。

[図60]図 6 0 は、アクチュエータ 1 1 0 B において、可動部 5 を安定位置 C 2 から安定位置 C 1 に移動させる動作を説明する図である。

[図61]図 6 1 は、挿入量 $\neq 0$ の構成の場合のライン L 1, L 2, L 4 を示す図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、図を参照して本発明を実施するための形態について説明する。

ー第 1 の実施の形態ー

図 1 は、本発明に係るアクチュエータの第 1 の実施の形態を示す図であり、アクチュエータの概略構成を模式的に示したものである。アクチュエータ 1 は、ベース 2、第 1 固定電極 3 A、第 2 固定電極 3 B、第 1 可動電極 4 A、第 2 可動電極 4 B、可動部 5、弾性支持部 6、接続パッド部 7 a, 7 b, 7 c, 7 d、第 1 駆動部 8 A、第 2 駆動部 8 B、制御部 2 2 3 を備えている。

[0009] ベース 2 は矩形枠形状を有しているが、矩形枠形状に限定されない。第 1

固定電極 3 A は、ベース 2 の図示左側の辺に設けられている。一方、第 2 固定電極 3 B は、第 1 固定電極 3 A と対向配置されるようにベース 2 の図示右側の辺に設けられている。可動部 5 の左端には第 1 可動電極 4 A が設けられ、可動部 5 の右端には第 2 可動電極 4 B が設けられている。第 1 可動電極 4 A および第 2 可動電極 4 B が設けられた可動部 5 は、弾性支持部 6 によって弾性支持されている。各弾性支持部 6 の他端は、ベース 2 に固定されている。

[0010] 図 1 に示すように、第 1 固定電極 3 A および第 1 可動電極 4 A は櫛歯構造を有しており、第 1 固定電極 3 A には複数の櫛歯 300 が形成され、第 1 可動電極 4 A には複数の櫛歯 400 が形成されている。第 1 固定電極 3 A と第 1 可動電極 4 A とは、櫛歯 300 と櫛歯 400 とが互いに歯合するように配置されている。同様に、第 2 固定電極 3 B には複数の櫛歯 300 が形成され、第 2 可動電極 4 B には複数の櫛歯 400 が形成されている。第 2 固定電極 3 B と第 2 可動電極 4 B とは、櫛歯 300 と櫛歯 400 とが互いに歯合するように配置されている。

[0011] このように、第 1 固定電極 3 A と第 1 可動電極 4 A、また、第 2 固定電極 3 B と第 2 可動電極 4 B は、それぞれ櫛歯駆動部を構成しており、2 つの櫛歯駆動部によりアクチュエータ 1 における静電駆動機構が構成される。各櫛歯駆動部において、第 1 固定電極 3 A および第 2 固定電極 3 B は固定櫛歯電極を構成し、第 1 可動電極 4 A および第 2 可動電極 4 B は可動櫛歯電極を構成している。櫛歯電極とは、図 1 の第 1 固定電極 3 A や第 1 可動電極 4 A のように、複数の櫛歯 300、400 を並列配置したものであるが、本実施の形態では、櫛歯本数が最小の櫛歯駆動部としては、固定櫛歯電極および可動櫛歯電極の一方の電極に 2 つの櫛歯が形成され、その 2 つの櫛歯の間に挿入されるように他方の電極に 1 つの櫛歯が形成されている構成が対応する。このような構成であれば、以下に記載のような機能を有するアクチュエータを構成することができる。

[0012] 弾性支持された可動部 5 は、一对の可動電極 4 A、4 B と一体に図示左右

方向にスライド移動することができる。図1では図示を省略したが、歯合している櫛歯300、400の少なくとも一方には、櫛歯表面近傍にエレクトレットが形成されている。そのため、可動電極と固定電極とが歯合すると、すなわち、櫛歯300の間に櫛歯400が挿入された状態になると、静電力によって可動電極が固定電極側に引き込まれる。

[0013] 図2は、櫛歯300、400における帯電状態を模式的に示したものである。図2は、櫛歯400のエレクトレットELをプラスに帯電させ、櫛歯300のエレクトレットELをマイナスに帯電させた場合を示す。なお、一方の櫛歯のみにエレクトレットELを形成する場合においては、歯合している他方の櫛歯には、逆極性の電荷が誘起される。

[0014] 図1では、第1可動電極4Aが第1固定電極3Aに引き込まれた状態を示しており、反対側の第2可動電極4Bの櫛歯400の先端は第2固定電極3Bの櫛歯300間から完全に抜け出ている。そのときの櫛歯300の先端と櫛歯400の先端とのギャップ寸法は Δd である。後述するように、図1に示すアクチュエータ1の可動部5は、2つの安定位置の間でスライド移動される。図1は第1の安定位置を示している。第2の安定位置は、第2可動電極4Bが第2固定電極3Bに引き込まれた状態である。その場合には、第1可動電極4Aの櫛歯400の先端は櫛歯300間から完全に抜け出した状態となる。

[0015] 第1駆動部8Aは、第1固定電極3Aと第1可動電極4Aとの間に電圧を印加する装置であり、直列接続されたスイッチ9および直流電源10Aを備えている。図2に示したように、第1固定電極3Aおよび第1可動電極4Aの少なくとも一方に設けられているエレクトレットは、第1固定電極3Aに対して第1可動電極4Aが高電位となるように荷電されている。第1駆動部8Aのプラス側は第1固定電極3Aの接続パッド部7aに接続され、第1駆動部8Aのマイナス側は第1可動電極4Aの接続パッド部7bに接続されている。

[0016] 第2駆動部8Bは、第2固定電極3Bと第2可動電極4Bとの間に電圧を

印加する装置であり、直列接続されたスイッチ 9 および直流電源 10 B を備えている。第 2 固定電極 3 B および第 2 可動電極 4 B の少なくとも一方に設けられているエレクトレットは、第 2 固定電極 3 B に対して第 2 可動電極 4 B が高電位となるように荷電されている。第 2 駆動部 8 B のプラス側は第 2 固定電極 3 B の接続パッド部 7 d に接続され、第 2 駆動部 8 B のマイナス側は第 2 可動電極 4 B の接続パッド部 7 c に接続されている。第 1 駆動部 8 A および第 2 駆動部 8 B は、制御部 223 からの指令により、スイッチ 9 のオンオフや直流電圧 V_1 、 V_2 の電圧調整等を行う。

[0017] 次に、アクチュエータ 1 の動作について説明する。図 1 では、第 1 安定位置におけるアクチュエータ 1 を示したが、図 3 は、可動部 5 の変位 x が $x = 0$ の場合を示したものである。後述するように半導体基板を MEMS 加工技術により加工した際のアクチュエータ 1 は、理想的には図 3 に示すような状態、すなわち弾性支持部 6 が直線状になった状態に維持される。以下では、変位 x は、可動部 5 が $x = 0$ よりも右側に変位した場合を正とする。

[0018] 変位 $x = 0$ においては、弾性支持部 6 は左右どちらにも変形しておらず、弾性支持部 6 による図示左右方向の弾性力 f は $f = 0$ となっているとする。また、弾性力を変位 x の関数 $f(x)$ と表した場合、 $f(0) = 0$ 、 $x > 0$ の場合には $f(x) < 0$ 、 $x < 0$ の場合には $f(x) > 0$ であるとする。なお、力の正負は、力の向きが x 軸正方向の場合を正とした。以下では、弾性力 $f(x)$ が $f(x) = -kx$ で近似できるものとして説明する。 k はバネ定数である。

[0019] 図 3 に示すように、変位 $x = 0$ では、第 1 固定電極 3 A と第 1 可動電極 4 A、および第 2 固定電極 3 B と第 2 可動電極 4 B とは、それぞれ櫛歯 300、400 が歯合している。 $x = 0$ における櫛歯 300 と櫛歯 400 との間の挿入深さ d （以下では、 d のことを挿入量と呼ぶことにする）は、電極 3 A、4 A 側と電極 3 B、4 B 側とで等しく設定されていると仮定する。櫛歯 300 と櫛歯 400 とが挿入状態にある場合には、電極 3 A、4 A 側の静電力 $FL(V_1)$ 、および電極 3 B、4 B 側の静電力 $FR(V_2)$ は、次式 (1)、(2) で表される。なお、 V_1 は第 1 駆動部 8 A による印加電圧であり、 V_2 は第

2 駆動部 8 B による印加電圧であり、 ε_0 は真空の誘電率、 g は櫛歯 3 0 0, 4 0 0 間のギャップ寸法、 b は櫛歯の厚み寸法（図 3 の紙面に垂直な方向の寸法）、 V_e はエレクトレット E L による櫛歯間の電圧である。ここでは、電極 3 A, 4 A 側のエレクトレットによる櫛歯間電圧と、電極 3 B, 4 B 側のエレクトレットによる櫛歯間電圧とを同一であるとした。また、 N は、電極 3 A, 4 A 側および電極 3 B, 4 B 側の電極櫛歯の組数である。なお、 x 軸正方向の力を正とし、櫛歯 3 0 0 の厚み寸法と櫛歯 4 0 0 の厚み寸法とは等しいとした。

$$F_L(V1) = -N \varepsilon_0 b (V_e - V_1)^2 / g \quad \cdots (1)$$

$$F_R(V2) = N \varepsilon_0 b (V_e - V_2)^2 / g \quad \cdots (2)$$

[0020] 静電力 $F_L(V1)$, $F_R(V2)$ は、可動電極を固定電極側に引き込む方向に作用し、電圧差 $(V_e - V_1)$, $(V_e - V_2)$ が一定である限り挿入量 d に依らず一定である。そのため、 $V_1 = V_2 = 0$ の場合、すなわち第 1 および第 2 電源部 8 A, 8 B による電圧印加が行われていない場合、図 3 の状態では固定電極 3 A 側への静電力と第 2 固定電極側への静電力とが等しく、静電力と弾性力とが釣り合う中立位置 ($x = 0$) で釣り合い状態となっている。

[0021] 図 4 は、 $V_1 = V_2 = 0$ の場合の、可動部 5 の変位 x と可動部 5 に作用する力との関係を示す図であり、縦軸は力、横軸は変位 x である。図 4 において、ライン L 1 は弾性支持部 6 による弾性力 f を示している。上述したように、 $f(x) = -kx$ とする。ライン L 2 は、電極 3 A, 4 A のエレクトレット電圧 V_e による静電力 $F_L(0)$ を示している。中立位置 ($x = 0$) における電極 3 A, 4 A の挿入量は d なので、静電力 $F_L(0)$ は変位 x が $x < d$ の範囲において発生し、 $x \geq d$ においては電極 3 A, 4 A による静電力はゼロとなる。ライン L 3 は、電極 3 B, 4 B のエレクトレット電圧 V_e による静電力 $F_R(0)$ を示している。中立位置 ($x = 0$) における電極 3 B, 4 B の挿入量は d なので、静電力 $F_R(0)$ は $x > -d$ の範囲において発生し、 $x \leq -d$ においては電極 3 B, 4 B による静電力はゼロとなる。

[0022] 可動部 5 に作用するトータルの力は、静電力と弾性力とを合わせたもので

あり、破線で示すラインL 4となる。図4に示す例では、 $FR(0) = -FL(0)$ のように設定されているので、 $-d < x < d$ の範囲においては、正方向の静電力 $FR(0)$ と負方向の静電力 $FL(0)$ とが打ち消し合い、トータルの力は弾性力と等しくなる。そのため、変位 $x = 0$ が釣り合い位置となる。

[0023] 変位 x が $x \leq -d$ の範囲では、第2可動電極4 Bの櫛歯4 0 0は第2固定電極3 Bの櫛歯3 0 0間から抜け出て、挿入量がゼロとなる。そのため、可動部5には、静電力 $FL(0)$ と弾性力 $f(x) = -kx$ とを合わせた力が作用することになる。その結果、 $x \leq -d$ の範囲においては、ラインL 4は座標 $(-d, \Delta F)$ を通る傾き $-k$ の直線となる。 ΔF は次式(3)で表され、 $x = -d$ においてはマイナス値となる。

$$\Delta F = -f(-d) + FL(0) \quad \dots (3)$$

[0024] 図4に示す例では、 $x = -d$ において「(弾性力の大きさ) < (静電力の大きさ)」が成立するように設定されており、ラインL 4は $x = -d - \Delta d$ において横軸と交差する。すなわち、 $x = -d - \Delta d$ において弾性力と電極3 A, 4 Aによる静電力とが釣り合い、この変位 $x = -d - \Delta d$ において安定状態となる。以下では、変位 $x = -d - \Delta d$ を第1の安定位置と呼ぶことにする。なお、 $x = -d$ において「(弾性力の大きさ) $\geq$ (静電力の大きさ)」のように設定した場合、 $x < 0$ においてラインL 4は横軸と交差しないので、 $x < 0$ において安定状態は生じないことになる。

[0025] 一方、変位 x が $x \geq d$ の範囲では、第1可動電極4 Aの櫛歯4 0 0は第1固定電極3 Aの櫛歯3 0 0間から抜け出て、挿入量がゼロとなる。そのため、可動部5には、静電力 $FR(0)$ と弾性力 $f(x) = -kx$ とを合わせた力が作用することになる。 $x \geq d$ の範囲においては、ラインL 4は座標 $(d, \Delta F)$ を通る傾き $-k$ の直線となる。 ΔF は次式(4)で表される。

$$\Delta F = -f(d) + FR(0) \quad \dots (4)$$

[0026] ラインL 4は、 $x = d + \Delta d$ において横軸と交差する。すなわち、 $x = d + \Delta d$ において弾性力と電極3 B, 4 Bによる静電力とが釣り合い、この変位 $x = d + \Delta d$ において安定状態となる。以下では、変位 $x = d + \Delta d$ を第

2の安定位置と呼ぶことにする。なお、「(弾性力の大きさ) $\geq$ (静電力の大きさ)」のように設定した場合、 $x > 0$ においてラインL4は横軸と交差しないので、 $x > 0$ において安定状態は生じないことになる。

[0027] 本実施の形態では、可動部5を上述した第1の安定位置と第2の安定位置との間で移動させる。そのため、初期状態として、図3に示す中立位置($x = 0$)から第1の安定位置または第2の安定位置へと可動部5を移動させておく必要がある。図5は、図3に示す中立位置($x = 0$)から第1の安定位置へ可動部5を移動させる場合の、動作説明図である。この場合、右側の電極3B, 4Bに直流電源10Bの印加電圧 V_2 を印加して、図5に示すように $-d - \Delta d < x \leq 0$ におけるトータルの力が負となるようにする。直流電源10Bの電圧 V_2 は、 $V_{20} < V_2 \leq V_e$ のように設定される。電圧 V_{20} はエレクトレットによる電圧 V_e と逆極性の電圧であり、「 $FL(0) + FR(V_{20}) - k d = 0$ 」を成り立たせる電圧である。このような電圧 V_2 を印加すると、領域 $x > -d$ におけるラインL3, L4は、 $FR(0) - FR(V_2)$ だけ下方に移動する。その結果、釣り合い位置は $x = -d - \Delta d$ に変化し、可動部5は $x = 0$ から $x = -d - \Delta d$ (第1の安定位置)へ移動する。その後、電圧 V_2 の印加を停止すると、トータルの力を示すラインL4は、図4に示した状態に戻る。すなわち、アクチュエータ1は図1に示す状態となる。

[0028] 次に、図4に示す第1の安定位置($x = -d - \Delta d$)から、 $x = d + \Delta d$ の第2の安定位置へ変位させる場合について説明する。この場合、 $-d - \Delta d \leq x \leq d + \Delta d$ の範囲においてトータルの力(ラインL4)が正となるように、直流電源10Aによる外部電圧 V_1 を電極3A, 4Aに印加する。電圧 V_1 はエレクトレットによる電圧 V_e と逆極性の電圧であり、 $V_{10} < V_1 \leq V_e$ のように設定される。電圧 V_{10} は、「 $FL(V_{10}) + FR(0) - k d = 0$ 」を満たす。電圧 V_1 を印加すると、トータルの力を示すラインL4は、図6に示すように上方に移動し、可動部5は $x = -d - \Delta d$ から $x = d + \Delta d$ へ移動する。その後、 $V_1 = 0$ とすると、トータルの力を示すラインL4は、図4に示した状態に戻る。

[0029] なお、上述した説明では、弾性支持部 6 の弾性力が $f(x) = -kx$ で表せる場合を例に説明した。しかしながら、後述するように半導体基板を MEMS 加工技術により加工してアクチュエータ 1 を形成した場合、弾性支持部 6 に内部応力が生じ、実際には単純な弾性変形として扱えない場合がある。具体的には、圧縮応力が生じて、いわゆる座屈が生じた状態となる。そのため、加工後の静電力が無い状態においては座屈により弾性支持部 6 は撓み、可動部 5 は、図 3 に示した変位 $x = 0$ の状態から右側に xz または左側に $-xz$ だけ若干偏った状態となっている。 xz 、 $-xz$ は座屈による変位である。

[0030] 図 7 は、弾性支持部 6 が座屈により撓んだ状態を示す。なお、この状態においても、左側の電極 3 A, 4 A も右側の電極 3 B, 4 B も挿入状態となっているとする。このように座屈が生じた場合の弾性支持部 6 による力 $f(x)$ は複雑になるが、単純に $x > xz$ 、 $x < -xz$ では変位に比例すると仮定し、座屈領域 $-xz \leq x \leq xz$ の力の変化を直線で表すと、図 8 のライン L 5 のようになる。その結果、トータルの力はライン L 4 のようになり、電圧 V_1 、 V_2 を印加しない場合には黒丸（4 箇所）の位置で釣り合うことになる。

[0031] 図 7 に示す座屈状態から図 1 に示す第 1 の安定位置へ可動部 5 を移動させるには、右側の電極 3 B, 4 B に電圧 V_2 を印加する。例えば、 $V_2 = V_e$ とすると $F_R(V_2) = 0$ となるので、静電力 $F_L(0)$ によって可動部 5 は左側に移動する。静電力 $F_L(0)$ は、変位 $x = -d$ において $-F_L(0) > f(-d)$ となるように設定されるので、右側の電極 3 B, 4 B における挿入量がゼロとなった後も左側へ移動する。そして、図 1 に示すように、 $x = -d - \Delta d$ において、静電力と弾性力とが釣り合う。この状態は、スイッチ 9 をオフして印加電圧をゼロに戻しても、維持される。

[0032] 次に、図 1 に示す第 1 の安定位置から第 2 の安定位置に可動部 5 を移動させる場合には、左側の電極 3 A, 4 A に電圧 $V_1 = V_e$ を印加する。その結果、左側に吸引していた静電力が $F_L(V_1) = 0$ となり、可動部 5 は弾性力により右側に移動する。

[0033] なお、弾性支持部 6 による力は $x < -xz$ においては正方向（右方向）に作

用するが、図7の座屈状態（変位 $x = -x_z$ ）から変位 $x = 0$ までの範囲では、座屈によって負方向に力が作用する。また、変位 $x = 0$ から右側に座屈した状態（変位 $= x_z$ ）までの範囲では、座屈によって正方向に力が作用する。変位 $x = x_z$ からさらに右側に変位すると、負方向の力が作用する。

[0034] ところで、可動部5が第1の安定位置から右側に移動した場合、図7の座屈状態となる前に、右側の電極3B、4Bは挿入状態となる。そのため、変位 x が $x = -x_z$ となる前に正方向の静電力 $F_R(0)$ が作用することになる。ここでは、正方向の静電力 $F_R(0)$ は $-x_z < x < 0$ における負方向の座屈力よりも大きく設定されているので、座屈力に抗しながら $x = 0$ まで移動する。変位が $x = 0$ を越えた瞬間に、可動部5は、弾性支持部6の右側への座屈によって変位 $= x_z$ の位置まで一気に移動する。その後、可動部5はさらに右側に移動し、弾性支持部6の弾性力と静電力 $F_R(0)$ とが釣り合う位置まで移動する。なお、詳細は省略するが、第2の安定位置から第1の安定位置へ移動させる場合には、上述の場合とは逆に、右側の電極3B、4Bに電圧 V_2 を印加すれば良い。

[0035] 図4に示したように、弾性支持部6による弾性力 f が $f = -kx$ で表せる場合には、変位 $x = 0$ が安定位置となったが、座屈が生じる場合には図8に示すように安定位置が4箇所存在することになる。上述した説明では、このような場合であっても外側の安定位置（ $x = d + \Delta d$ と $x = -d - \Delta d$ ）の間で可動部5を移動させるようにしたが、内側の安定位置（ $x = x_z$ と $x = -x_z$ ）間で可動部5を移動させるようにしても良い。なお、アクチュエータ1をMEMS加工技術で形成する際に、最初から図7に示すような形状に形成しても良い。この場合には、必ず座屈が存在することになる。

[0036] （アクチュエータ1の形成方法）

次に、アクチュエータ1の形成方法の一例を、図9～16を参照して説明する。なお、図9～16では、図1に示すアクチュエータ1のほぼ左側半分を示している。図1に示すアクチュエータ1は、例えば、SOI (Silicon on Insulator) 基板を用いて、一般的なMEMS加工技術により形成される。S

ＯＩ基板は、上部Ｓｉ層３３、ＳｉＯ₂層３２および下部Ｓｉ層３１で構成され、２枚のＳｉ単結晶板の一方にＳｉＯ₂層を形成し、そのＳｉＯ₂層を挟むように接合したものである。なお、Ｓｉ基板では接続パッド部となる部分の金属への密着性向上や、導電性の改善のために、適宜ドーピングを行ったものが用いられる場合がある。このドーピングは、Ｐ型、Ｎ型いずれの特性であっても本件の発明においては問題はない。

[0037] 図９に示す第１のステップでは、ＣＶＤを用いてＳｉ層３３の上に窒化膜（Ｓｉ₃Ｎ₄）３４を成膜する。図１０に示す第２のステップでは、窒化膜３４の上に、レジストを塗布し、フォトリソを用いて電極３Ａ、４Ａの接続パッド部７ａ、７ｂ形成用のレジストパターン３５Ａ、３５Ｂを形成する。その後、第３のステップでＲＩＥ等（例えば、ＩＣＰ－ＲＩＥ）を用いて基板表側からエッチングし、レジストパターン３５Ａ、３５Ｂが形成された部分以外の窒化膜３４を除去する（図１１）。

[0038] 図１２に示す第４のステップでは、図１１に示す基板の上に、レジストを塗布し、フォトリソを用いて電極３Ａ、４Ａ、可動部５および弾性支持部６を形成するためのレジストパターン３６ａ、３６ｂ、３６ｃ、３６ｄを形成する。

[0039] 図１３に示す第５のステップでは、ＲＩＥ等を用いてＳｉ層３３をエッチングし、その後、レジストパターン３６ａ～３６ｄを除去する。その結果、ＳｉＯ₂層３２上に、電極３Ａ、４Ａ、可動部５および弾性支持部６が形成される。

[0040] 図１４に示す第６のステップでは、基板の裏側、すなわち、Ｓｉ層３１上にベース部形成用レジストパターン４０を形成する。次いで、図１５に示す第７のステップでは、ＲＩＥ等を用いてＳｉ層３１をエッチングし、ベース２を形成する。その後、露出しているＳｉＯ₂層３２を、緩衝フッ化水素溶液を用いてエッチングすることにより、図１６に示すようなアクチュエータ１が完成する。

[0041] （エレクトレットの形成方法）

櫛歯300, 400へのエレクトレットの形成方法としては、例えば、日本国特開2013-13256号公報に記載の方法（Bias-Temperature法：B-T法）を応用すれば良い。図17、図18は、櫛歯300, 400にエレクトレットを形成する方法を説明する図である。ここでは、Si層33から形成された櫛歯300, 400の表面にK⁺イオンを含むシリコン酸化膜（SiO₂）を形成し、これを帯電させることでエレクトレットとして用いる。

[0042] 図17において、試料165は、アクチュエータ1が形成された基板である。試料165が納められた酸化炉162には、KOH水溶液の蒸気を含む窒素ガスが供給される。このKOH水溶液の蒸気を含む窒素ガスは、純水にKOHを溶解したKOH水溶液164をホットバスで温め、窒素ガス（キャリアガス）161でバブリングすることにより得られる。ヒータ163により試料165を加熱するとシリコンが熱酸化され、櫛歯300, 400を構成するSi層31の表面に、K⁺イオンを含むSiO₂層が形成される。

[0043] 次いで、櫛歯400に形成された上記SiO₂層をプラスに帯電させるために、試料165を高温に加熱しつつ、櫛歯400と櫛歯300との間に電圧を印加する。図18は、帯電処理を説明する図であり、帯電処理時の櫛歯300, 400の一部を模式的に示したものである。なお、図18に示す例では、櫛歯400のエレクトレットをプラスに帯電させる場合を示しており、櫛歯400側を高電位側としている。

[0044] Si層33から形成された櫛歯300, 400の表面付近には、K⁺イオンを含むSiO₂層300K, 400Kが形成されている。K⁺イオンは、SiO₂層300K, 400Kの全体に分布している。このような状態において、加熱しながら図18に示すように電圧を印加するとK⁺イオンに電場による力が作用し、K⁺イオンは電場の方向に沿って移動する。その結果、櫛歯400のSiO₂層400Kにおいては、表面付近にK⁺イオンが分布してプラスに帯電する。一方、櫛歯300の場合は逆であって、SiO₂層300Kの表面付近がマイナスに帯電することになる。

[0045] なお、ここでは、エレクトレットを形成するためのイオンとしてK⁺イオン

を使用した例を説明したが、 K^+ イオン以外の正イオンであっても本発明によるエレクトレット構造を形成することができる。特に、イオン半径の大きいアルカリイオン（アルカリ金属のイオン、アルカリ土類金属のイオン）を用いると、エレクトレット形成後のイオン移動が少なく、従って表面電位の保持期間の長いエレクトレットとすることができる。この場合、上記で説明したウェット酸化においては、水酸化カリウム水溶液の代わりに、 K^+ イオン以外のアルカリイオンを含む水溶液を用いる。

[0046] 上述したように、本実施の形態では、アクチュエータ 1 は、第 2 固定電極 3 B に対する第 2 可動電極 4 B の挿入量がゼロとなる位置まで第 1 可動電極 4 A が第 1 固定電極 3 A に吸引されて、電極 3 A, 4 A のエレクトレットに起因する静電力と弾性支持部 6 の弾性力とが釣り合う点が第 1 の安定位置（ $x = -d - \Delta d$ ）に設定され、第 1 固定電極 3 A に対する第 1 可動電極 4 A の挿入量がゼロとなる位置まで第 2 可動電極 4 B が第 2 固定電極 3 B に吸引されて、電極 3 B, 4 B のエレクトレットに起因する静電力と弾性支持部 6 の弾性力とが釣り合う点が第 2 の安定位置（ $x = d + \Delta d$ ）に設定されている。そして、第 1 駆動部 8 A により第 1 固定電極 3 A と第 1 可動電極 4 A との間に静電力を弱める電圧 V_1 を印加すると、可動部 5 が第 1 の安定位置から第 2 の安定位置へ移動する。逆に、第 2 駆動部 8 B により第 2 固定電極 3 B と第 2 可動電極 4 B との間に静電力を弱める電圧 V_2 を印加すると、可動部 5 が第 2 の安定位置から第 1 の安定位置へ移動する。

[0047] このように、電極 3 A, 3 B, 4 A, 4 B は、SOI 基板の上部 Si 層 33（図 9 参照）から形成される。そのため、これらの電極が設けられた可動部 5 は、静電力によって上部 Si 層 33 と同一の面内で x 軸方向（図 1 参照）にスライド移動することになる。そのため、可動部 5 の移動量の大小に関係なく、双安定構造を有するアクチュエータの薄型化を図ることができる。さらに、本実施の形態のアクチュエータは、電極 3 A, 3 B, 4 A, 4 B および可動部 5 が上述のような平面配置される構造であるため、図 9～16 で説明したように、同一基板から MEMS 加工技術により容易に形成すること

ができる。その結果、特許文献１に記載のアクチュエータのように複数の基体を接合する必要がない。

[0048] なお、櫛歯電極の場合、固定側櫛歯に対して可動側櫛歯がスライド移動する構成となるが、固定電極および可動電極のように複数の櫛歯で構成される電極全体の動きから考えると、図１の×軸方向が可動電極の移動方向であり、この移動方向の電極３Ａ，４Ａ間の距離を電極間距離とみなすことができる。例えば、櫛歯３００の先端面と、電極４Ａにおいて櫛歯３００の先端面が対向する面との距離を、電極間距離とする。すなわち、櫛歯電極の場合も平行平板側の電極の場合と同様に、可動電極は電極間距離が変化する方向にスライド移動することになる。

[0049] なお、平行平板型の静電アクチュエータでは電極間距離が変化するように動くが、櫛歯型の静電アクチュエータでは、櫛歯の側壁で形成される電極の挿入量（櫛歯の挿入量）が変化するように動くので、櫛歯長さを長くして挿入量の範囲を広げることで、ストロークの大きなアクチュエータを容易に構成することができる。さらに、櫛歯構造とすることで、少ないスペースで電極面積（隣り合う櫛歯の対向する面の面積）を大きくすることが可能となり、平行平板型の静電アクチュエータ等に比べ、大きな静電力が可能となる。

[0050] さらに、静電吸引力は櫛歯３００、４００の少なくとも一方に形成されたエレクトレットによって発生し、第１および第２駆動部８Ａ，８Ｂによる電圧印加は、可動部５を２つの安定位置間で移動させる時にのみ行えば良い。すなわち、安定位置に保持するために電圧を印加する必要はない。そのため、変位状態（安定状態）を維持するために電圧を印加し続けるアクチュエータに比べて、省電力化を図ることができる。

[0051] 上述した実施形態では、可動部５の図示左右に櫛歯構造の電極３Ａ，４Ａと電極３Ｂ，４Ｂとを設けたが、図５５に示すアクチュエータ１１０Ａのように、片方の櫛歯形電極を平行平板型電極に置き換えても同様の双安定構造とすることができる。図５５では、可動部５の左側に、電極板３Ｄ，４Ｄで構成される平行平板型電極を設けた。電極板３Ｄはベース２に固定され、第

1 駆動部 8 A に接続されている。一方、電極板 4 D は可動部 5 に固定されており、可動部 5 と一体に図示左右方向にスライド移動する。それによってギャップ g_1 が変化する。電極板 3 D, 4 D の互いに対向する領域には、エレクトレットが形成されている。なお、電極板 3 D, 4 D のいずれか一方にエレクトレットを形成するようにしても良い。図示右側の電極 3 B, 4 B は図 1 に示した電極 3 B, 4 B と同様の構造を有しており、変位 $x = 0$ の時の挿入量は x_0 となっている。

[0052] 図 5 5 に示す電極板 3 D, 4 D も、電極 3 B, 4 B の場合と同様に、SOI 基板の上部 Si 層 3 3 (図 9 参照) から形成される。そのため、可動電極 3 B および電極板 3 D が設けられた可動部 5 は、静電力によって上部 Si 層 3 3 と同一の面内で x 軸方向 (図 5 5 参照) にスライド移動することになる。

[0053] 図 5 5 に示すアクチュエータ 1 1 0 A においても、変位 x の時の弾性支持部 6 の弾性力は、バネ定数を k として、 $-kx$ で近似することができる。また、櫛歯 3 0 0 と櫛歯 4 0 0 との挿入量がゼロとなる変位 ($x < -x_0$) においては、電極 3 B, 4 B の静電力はゼロとなり、平行平板型電極である電極板 3 D, 4 D の間の静電力のみが作用する。その静電力は次式 (5) で表される。式 (5) において V_{e1} はエレクトレットによる電圧である。 V_1 は第 1 駆動部 8 A により印加される電圧であり、 V_{e1} と逆極性であるため、静電力を弱める働きがある。そのため、 V_{e1} と等しい値の電圧 V_1 を印加すると、分子 = 0 となって静電力はゼロになる。なお、 A は電極板 3 D, 4 D の対向する面の面積 (電極面積) である。

$$-\varepsilon_0 A (V_{e1} - V_1)^2 / 2 (g_1 + x)^2 \quad \dots (5)$$

[0054] また、変位 ($-x_0 \leq x$) においては、式 (5) に示した電極板 3 D, 4 D の静電力に加えて、電極 3 B, 4 B による静電力が作用する。電極 3 B, 4 B による静電力は上述した式 (2) と同様に表せるので、変位 ($-x_0 \leq x$) においては、次式 (6) で表される静電力が働く。

$$N \varepsilon_0 b (V_{e2} - V_2)^2 / g_2 - \varepsilon_0 A (V_{e1} - V_1)^2 / 2 (g_1 + x)^2 \dots (6)$$

[0055] 図56は、印加電圧 V_1 、 V_2 がゼロの場合における、変位 x に対する、弾性力（ラインL1）、電極板3D、4Dによる静電力（ラインL2）、電極3B、4Bによる静電力（ラインL3）およびトータルの力（ラインL4）を示す図である。ラインL4が横軸と交差する点C1、C2は安定な釣り合い点となっている。すなわち、図55に示すアクチュエータ110Aは、双安定構造のアクチュエータになっている。

[0056] 図57は安定位置間の移動動作を説明する図であり、（a）は可動部5を安定位置C2から安定位置C1に移動させる場合を、（b）は安定位置C1から安定位置C2へ移動させる場合を示す。可動部5が安定位置C2にある場合には、 $x < -x_0$ なので、式（5）で $V_1 = 0$ とした場合の静電力が作用しており、その静電力と弾性力とが釣り合っていることになる。そこで、安定位置C2から安定位置C1に移動させる場合には、電極板3D、4Dに電圧 $V_1 = V_{e1}$ を印加し、式（5）で表される静電力をゼロにする。その結果、トータルの静電力（ラインL4）は、図57（a）の二点鎖線で示すものから破線で示すラインL4となり、可動部5には正方向（図55の右方向）の力が作用し、可動部5はラインL4と横軸が交差する白丸の位置まで移動する。その後、電圧 V_1 の印加を停止すると、トータルの力は二点鎖線で示すラインL4となるので、可動部5は白丸の位置から安定位置C1に移動することになる。

[0057] 一方、可動部5が安定位置C1にある場合には、式（6）で $V_1 = V_2 = 0$ とした場合の静電力が作用しており、その静電力と弾性力とが釣り合っていることになる。そこで、可動部5を安定位置C1から安定位置C2へ移動させる場合には、電極3B、4Bに電圧 $V_2 = V_{e2}$ を印加する。式（6）の第1項はゼロになるので、トータルの力は、弾性力と電極板3D、4Dのエレクトレットに起因する静電力の和となり、図57（b）の破線で示すラインL4のようになる。その結果、可動部5には負方向（図55の左方向）の力が作用し、可動部5は安定位置C2へ移動する。

[0058] 図1に示した実施形態では、可動部5の図示左右に櫛歯構造の電極3A、

4 Aと電極3 B, 4 Bとを設けて、可動部5を図示左右方向に移動させるようにした。しかし、図5 8に示すように、一組の櫛歯電極（第1固定電極3 A, 第1可動電極4 A）を用いる構造であっても、双安定構造のアクチュエータ1 1 0 Bとすることができる。

[0059] 図5 8（a）は、アクチュエータ1 1 0 Bの可動部5が図示左側の安定位置（第1の安定位置）にある場合を示しており、図5 8（b）は図示右側の安定位置（第2の安定位置）にある場合を示している。図5 8においては、第2駆動部8 Bは、マイナスの電圧（ $-V_2$ ）を可動電極4 Aに印加するように構成されている。なお、図5 8では、第1駆動部8 A、第2駆動部8 Bにおけるスイッチ9の図示を省略している。

[0060] 図5 9は、変位 x に対する、弾性支持部6による弾性力（ラインL 1）、印加電圧 V_1 がゼロの場合の静電力（ラインL 2）およびトータルの力（ラインL 4）の変化を示す図である。 Δd は、第2の安定位置における櫛歯3 0 0と櫛歯4 0 0とのギャップ寸法を示す（図5 8（b）参照）。印加電圧 V_1 がゼロの場合の静電力、すなわちエレクトレットによる静電力（ラインL 2）は、櫛歯3 0 0と櫛歯4 0 0とがオーバーラップしている場合（すなわち、櫛歯挿入状態）の静電力を表す直線部L 2 1と、櫛歯4 0 0が櫛歯3 0 0間から抜け出ている状態における静電力を表す曲線部L 2 2とから成る。

[0061] 上述した第1の実施の形態では説明を省略したが、櫛歯3 0 0の先端部においては、図5 8（b）のライン細線Fで示すようなフリンジ電界が、櫛歯3 0 0間からわずかに漏れ出ている。フリンジ電界Fは櫛歯3 0 0の先端から離れると急激に小さくなり、フリンジ電界による静電力L 2 2も、変位 $x = -\Delta d$ から変位 $x = 0$ にかけて急激に小さくなる。そのため、可動部5が変位 $x = 0$ からマイナス方向に移動すると、最初は静電力よりも弾性力の方が大きくトータルの力はプラスとなっているが、櫛歯4 0 0と櫛歯3 0 0とのギャップがゼロ（変位 $x = -\Delta d$ ）に近づくと、トータルの力がプラスからマイナスに変化する。すなわち、櫛歯4 0 0が櫛歯3 0 0間に引き込まれ

るような静電力が発生する。

[0062] 櫛歯400が櫛歯300間に挿入された状態となると、静電力は一定となるので、挿入量が大きくなるにつれて、トータルの力は直線状に上昇し、点C1において横軸とクロスする。図59に示すようにトータルの力を表すラインL4は3箇所横軸とクロスしているが、黒丸を付した点C1、C2が安定な釣り合い位置（安定位置）であって、ラインL4と横軸との交点は不安定な釣り合い点となる。すなわち、図58（a）は安定位置C1の状態を示しており、図58（b）は安定位置C2の状態を示している。

[0063] 図60は、可動部5を安定位置C2から安定位置C1に移動させる動作を説明する図である。まず、第2駆動部8Bのスイッチ9（不図示）を閉じて、可動電極4Aにマイナスの電圧（ $-V_2$ ）を印加する。そうすると、電極間電圧は、エレクトレット電圧にさらに電圧 V_2 が加算された値となるので、静電力は図59に示したラインL21はラインL23に変化し、ラインL22はラインL24に変化する。その結果、トータルの力を示すラインL4は、太い破線で示すように変位 $x=0$ から白丸印で示す変位までマイナスとなり、可動部5がマイナス方向に移動して櫛歯300間に櫛歯400が挿入される。その後、電圧（ $-V_2$ ）の印加を停止すると、ラインL1、L2、L4は図59に示す状態に戻り、可動部5は安定位置C1において釣り合い状態となる。

[0064] 逆に、安定位置C1から安定位置C2に可動部5を移動する場合には、第1駆動部8Aのスイッチ9（不図示）を閉じて、固定電極3Aに電圧 V_1 を印加する。この場合、電圧 V_1 はエレクトレット電圧と逆極性となるため、電圧 V_1 の印加により静電力を減少する。この場合、静電力 $F_L(V_1)$ が d 「 $-f(\Delta d) \leq F_L(V_1) < 0$ 」を満足するように V_1 を設定する。

[0065] 上述したように、本実施の形態では、静電駆動機構は、固定電極として固定櫛歯電極（例えば、第1固定電極3Aや第2固定電極3B）や電極板3Dを備え、可動電極として可動櫛歯電極（第1可動電極4Aや第2可動電極4B）や電極板4Dを備えている。上述したように、これらの固定電極および

可動電極は、同一の板状部材（例えば、図9に示したS O I基板の上部S i層33）から形成される。可動電極は、第1弾性支持部により弾性支持されている可動部5に設けられ、静電力によって、固定電極に対して面内でスライド移動することになる。本実施の形態では、固定電極および可動電極の少なくとも一方にエレクトレットを形成したことにより、エレクトレットに起因する静電力と前記第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置に、またはその近傍に設定された安定位置に、可動部5が位置決めされる安定状態を、アクチュエータに複数設定することができる。そして、静電駆動機構に電圧を印加することにより、可動部5を任意の安定位置から他の安定位置へ移動させることができる。

[0066] このように、本実施の形態のアクチュエータでは、可動部5を安定位置間で移動させるときだけ電圧を印加すれば良いので、静電駆動機構における省電力化を図ることができる。また、静電駆動機構の可動電極は面内でスライド移動するので、アクチュエータの薄型化を図ることができる。

[0067] 図1に示すように固定電極3A、3Bはベース2に固定され、可動電極4A、4Bは弾性支持部6を介してベース2に固定されている。図16に示したように、固定電極3Aおよび弾性支持部6は絶縁層であるS i O₂層32を介してベース2に固定されている。そのため、弾性支持部6とベース2、固定電極3Aとベース2はそれぞれ電氣的に絶縁されている。

[0068] また、図58に示すアクチュエータ110Bのように、静電駆動機構を、櫛歯型の第1固定電極3Aおよび第1可動電極4Aを備える櫛歯駆動部を少なくとも有する構成としても良い。この場合、第1固定電極3Aに対する第1可動電極4Aの挿入量が増加する方向と上述したスライド移動の方向とが一致し、第1固定電極3Aおよび第1可動電極4Aの少なくとも一方にエレクトレットが形成されている構成とする。櫛歯駆動部の場合、第1可動電極4Aは挿入量が増加する方向にスライド移動し、スライド位置によらず静電力が同じなので、安定位置間のストロークを大きく設定することができる。

[0069] また、図58に示すアクチュエータ110Bでは、エレクトレットは、固

定電極 3 A および可動電極 4 A の少なくとも一方に設けられる。アクチュエータ 110 B は、挿入量が正であって、エレクトレットに起因する静電力と弾性支持部 6 の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 1 安定位置と、挿入量がゼロであって、エレクトレットに起因する固定電極 3 A のフリンジ電界による静電引力と弾性力とが釣り合い、かつ、電圧印加時のフリンジ電界による静電力が弾性力よりも大きくなる安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 2 安定位置と、が設定可能となる。櫛歯駆動部の静電力を弱める電圧を印加すると可動部 5 は第 1 安定位置から第 2 安定位置へ移動し、櫛歯駆動部の静電力を強める電圧を印加すると可動部 5 は第 2 安定位置から第 1 安定位置へ移動する。

[0070] また、図 1 に示すように、静電駆動機構は、第 1 固定電極 3 A と、それに挿脱可能に歯合する第 1 可動電極 4 A を有する第 1 櫛歯駆動部と、第 1 固定電極 3 A に対して間隔を空けて対向配置される第 2 固定電極 3 B、およびそれに挿脱可能に歯合する第 2 可動電極 4 B を有する第 2 櫛歯駆動部とを備えるように構成されていても良い。第 1 可動電極 4 A および第 2 可動電極 4 B は可動部 5 に設けられており、その可動部 5 は、固定電極 3 A、3 B に対する可動電極 3 B、4 B の各挿入量が増加する方向にスライド移動可能なように、弾性支持部 6 により弾性支持されている。第 1 固定電極 3 A および第 1 可動電極 4 A の少なくとも一方、第 2 固定電極 3 B および第 2 可動電極 4 B の少なくとも一方には、エレクトレットが形成されている。その結果、アクチュエータは、第 2 可動電極 4 B の挿入量がゼロとなる位置まで第 1 可動電極 4 A が第 1 固定電極 3 A に吸引されて、エレクトレットに起因する静電力と弾性支持部 6 の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 1 安定位置と、第 1 可動電極 4 A の挿入量がゼロとなる位置まで第 2 可動電極 4 B が第 2 固定電極 3 B に吸引されて、エレクトレットに起因する静電力と弾性支持部 6 の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 2 安定位置と、を有する。

[0071] さらにまた、図 55 に示すように、静電駆動機構は、可動部 5 のスライド

方向であって、可動部 5 を挟むように固定電極 3 B とは反対側に設けられた固定側の電極板 3 D と、電極板 3 D と対向配置され、可動部 5 に設けられた可動側の電極板 4 D と、をさらに備える構成でも良い。エレクトレットは、固定電極 3 B および可動電極 4 B の少なくとも一方、対向配置された電極板 3 D、4 D の少なくとも一方に設けられている。このような構成とすることにより、アクチュエータは、可動電極 4 B が固定電極 3 B に挿入されるように吸引されて、エレクトレットに起因する静電力と弾性支持部 6 の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 1 安定位置と、固定電極 3 B に対する可動電極 4 B の挿入量がゼロとなる位置まで電極板 4 D が電極板 3 D 側に吸引されて、エレクトレットに起因する静電力と弾性支持部 6 の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 2 安定位置と、を有する。

[0072] 以下では、上述したアクチュエータ 1 を用いた装置の実施例について説明する。なお、アクチュエータ 1 に代えて、図 5 5 に示したアクチュエータ 1 1 0 A や図 5 8 に示したアクチュエータ 1 1 0 B を用いても良い。

(第 1 実施例)

図 1 9 は、上述したアクチュエータ 1 を光シャッタの駆動機構として適用した場合を示す。図 1 9 は、フィールド順次カラー (F S C) 方式のディスプレイの一画素を示したものであり、画素の概略構成を示す分解斜視図である。各画素 1 0 0 は、光シャッタ 1 0 1、バックライト 1 0 2、および開口 1 0 3 A が形成され遮光板 1 0 3 を備えている。

[0073] 光シャッタ 1 0 1 は、図 1 に示したアクチュエータ 1 の可動部 5 をシャッタ板 1 S としたものであり、その他の構造は図 1 に示した構造と同様である。光シャッタ 1 0 1 は、遮光板 1 0 3 を挟んでバックライト 1 0 2 と対向するように配置されている。シャッタ板 1 S には開口 1 0 0 A が形成されている。アクチュエータ 1 に設けられた 2 組の電極 3 A、4 A および電極 3 B、4 B (図 1 9 では省略) を駆動することにより、シャッタ板 1 S を図示左右方向 (矢印方向) に移動させることができる。なお、アクチュエータ 1 とし

ては図 1、7 のいずれに記載のものを用いても良い。シャッタ板 1 S は、実線で示す第 1 の安定位置と、二点鎖線で示す第 2 の安定位置とに移動させることができる。

[0074] シャッタ板 1 S を実線で示す第 1 の安定位置に位置決めすると、開口 1 O A が遮光板 1 O 3 の開口 1 O 3 A に対向する。一方、シャッタ板 1 S を二点差線で示すように第 2 の安定位置に移動すると、シャッタ板 1 S の非開口部が開口 1 O 3 A に対向する。バックライト 1 O 2 には、LED（不図示）からの R（赤）光、G（緑）光および B（青）光が入射される。シャッタ板 1 S が第 1 の安定位置に駆動されると光シャッタは開状態とされ、シャッタ板 1 S が第 2 の安定位置に駆動されると光シャッタは閉状態となる。FSC 方式では、R、G、B の LED が順次発光され、それに同期してシャッタ板 1 S の開閉動作が行われる。例えば、R 光が発光されたタイミングでシャッタ板 1 S を開くと、その画素に赤（R）色が表示されることになる。逆に、シャッタ板 1 S が閉じられると、その画素は非表示状態（すなわち、黒色表示に対応）となる。

[0075] 図 20 は、FSC 方式におけるカラー化の概念を説明する図である。図 20 は 4 つの画素 111～114 に関して示したものである。（b）は時刻 t_1 、 t_2 、 t_3 のそれぞれにおける各画素 111～114 のシャッタ開閉状態を示しており、符号 O は開状態、符号 S は閉状態を示す。（a）はシャッタ開閉状態に応じた時刻 $t_1 \sim t_3$ における表示状態を示す。（c）は時系列的な表示により再現されるカラー画像を示したものである。

[0076] 時刻 t_1 では、R 光がバックライト 1 O 2 に入射されると共に、画素 111、112 のシャッタ板 1 S が開状態とされる。その結果、各画素 111、112 には赤色（R）に表示される。一方、他の画素 113、114 のシャッタ板 1 S は閉状態となっており、非表示状態となっている。時刻 t_2 では、G 光がバックライト 1 O 2 に入射されると共に、画素 111、114 のシャッタ板 1 S が開状態とされる。その結果、画素 111、114 には緑色（G）が表示される。時刻 t_3 では、B 光がバックライト 1 O 2 に入射される

と共に、画素 1 1 1, 1 1 3 のシャッタ板 1 S が開状態とされる。その結果、画素 1 1 1, 1 1 3 には青色 (B) が表示される。

[0077] 短時間にこのような表示が行われると、残像効果により図 20 の (c) に示すようなカラー画像が視認される。すなわち、画素 1 1 1 は白色 (W) が表示されているように視認され、画素 1 1 2, 1 1 3, 1 1 4 にはそれぞれ赤色 (R)、緑色 (G)、青色 (B) が表示されているように視認される。

[0078] 上述したように、本実施例に記載のシャッタ装置では、可動部としてのシャッタ板 1 S はアクチュエータ 1 により 2 つの安定位置間で移動され、光路である開口 1 0 3 A に挿脱される。その結果、シャッタ板 1 S は、バックライト 1 0 2 からの光を通過状態および非通過状態のいずれかに切替える。上述したようにシャッタ板 1 S を駆動するアクチュエータを非常に薄くできるので、光シャッタ、および光シャッタを組み込んだ表示装置の厚さ寸法を抑制することができる。また、シャッタ駆動用のアクチュエータ 1 は、開閉の瞬間にのみ電圧を印加する構造であるため、低消費電力の光シャッタが可能となる。

[0079] (第 2 実施例)

図 2 1 は、本実施形態における第 2 の実施例を示す図である。図 2 1 は、小型の流体装置に用いられる流路切換弁の概略構成を示す図である。図 2 1 の流路切換弁 2 0 1 は、図 1 に示したアクチュエータ 1 の可動部 5 に弁体 2 0 2 が形成されており、その他の構造は図 1 に示したアクチュエータ 1 と同様である。弁体 2 0 2 の裏面側には、破線で示すような形状の溝 2 0 3 a が形成されている。弁体 2 0 2 の下部には流路構造体 2 0 4 が配置されている。アクチュエータ 1 のベース 2 は、流路構造体 2 0 4 の上面に固着される。図 2 1 に示すように弁体 2 0 2 を上述した第 1 の安定位置に移動すると、弁体 2 0 2 は閉位置に位置決めされ、逆に、弁体 2 0 2 を第 2 の安定位置に移動すると弁体 2 0 2 は開位置 (図 2 2 参照) に位置決めされる。

[0080] 図 2 2 は弁体 2 0 2 と流路構造体 2 0 4 と示す図であり、(a) は平面図、(b), (c) は A-A 断面図である。(a) において実線は弁体 2 0 2

が開位置にある場合を示しており、二点差線は弁体 202 が閉位置にある場合を示す。また、(b) は弁体 202 が開位置にある場合の断面図、(c) は弁体 202 が閉位置にある場合の断面図である。流路構造体 204 には独立した 2 つの流路 205, 206 が形成されており、流路 205 は流路構造体 204 の上面に形成された開口 205 a と連通しており、流路 206 は流路構造体 204 の上面に形成された開口 206 a に連通している。なお、(b) における矢印は流体の流れを示す。

[0081] 流路構造体 204 は例えばシリコンにより形成され、図示していないが、流路構造体 204 の上面には絶縁コーティング処理（例えば、酸化膜形成）が施されている。なお、弁体 202 と流路構造体 204 との隙間からの流体漏れを防止するために、流路構造体 204 には電圧が印加される。電圧印加による静電力により、弁体 202 は流路構造体 204 側に吸引される。

[0082] 上述したように弁体 202 の裏面側（流路構造体 204 と対向する側）には、連通路を構成する溝 203 a が形成されている。図 22 (a) の実線で示すようにアクチュエータ 1 により弁体 202 を開位置に移動すると、溝 203 a が開口 205 a, 206 a 上に位置決めされ（図 22 (b) 参照）、流路 205 と流路 206 とが連通して導通状態とされる。一方、図 22 (c) に示すように弁体 202 を閉位置に位置決めすると、流路 206 の開口 206 a は弁体 202 の下面 203 b によって塞がれ、非導通状態とされる。その結果、流路 205 と流路 206 とが弁体 202 によって遮断されることになる。なお、図 22 に示す例では、非導通状態時に開口 206 a が塞がれる構成としたが、開口 205 a が塞がれる構成としても良い。

[0083] 図 23 は、第 2 実施例の変形例を示す図である。図 22 に示す例では、流路構造体 204 に 2 つの流路 205, 206 を形成し、流路 205, 206 を弁体 202 の溝 203 a によって連通する導通状態と、弁体 202 の下面 203 b による非導通状態とで切替えた。一方、図 23 に示す変形例では、流路構造体 204 を貫通する流路 205 のみが形成され、弁体 202 には溝 203 a が形成されていない。図 23 (b) のように弁体 202 を第 2 の安

定位置に移動して、流路205の入口側開口205aを弁体202の下面203bで塞ぐことにより非導通状態とする。一方、図23(a)に示すように、弁体202を第1の安定位置に移動して開口205aを開放すると、導通状態となる。もちろん、流路205の出口側を開閉する構成としても構わない。

[0084] 以上のように、本実施例においては弁体および弁体駆動機構を薄くできるので、開閉弁全体の小型化を図ることができる。特に、弁体および駆動機構を半導体基板から一括で形成できるので、小型流体装置への適用に適している。

[0085] (第3実施例)

上述した第2実施例の流路切換弁はいわゆる開閉弁であったが、第3実施例ではアクチュエータを2組用いて三方切換弁とした。図24, 25は、アクチュエータ1を三方切換弁に適用した場合を説明する図である。図24は三方切換弁210の平面図である。三方切換弁210においては、2組のアクチュエータ1A, 1Bが流路構造体211上に設けられている。なお、駆動部8A, 8Bおよび制御部223は図示を省略した。三方切換弁210の場合も、アクチュエータ1A, 1Bが第1の安定位置とされるとそれぞれの弁体202は閉位置に位置決めされ、第2の安定位置とされるとそれぞれの弁体202は開位置に位置決めされる。図24では、いずれの弁体202も閉位置に位置決めされている。

[0086] 図25は、三方切換弁210の切換動作を説明する図であり、流路構造体211と2つの弁体202とを示す。流路構造体211には独立した3つの流路212, 213, 214が形成されている。流路212は途中で2つに分岐しており、各分岐流路の端部は流路構造体211の表面に設けられた開口212a, 212bに連通している。他の流路213, 214も、それぞれ流路構造体211の表面に設けられた開口213a, 214aに連通している。

[0087] 図25(a)は、アクチュエータ1Aの弁体202が閉位置に位置決めさ

れ、アクチュエータ 1 B の弁体 2 0 2 が開位置に位置決めされた場合を示す。この場合、流路 2 1 2 と流路 2 1 4 とが連通され、流路 2 1 2 と流路 2 1 3 との間は遮断される。一方、図 2 5 (b) に示す例では、アクチュエータ 1 A の弁体 2 0 2 が開位置に位置決めされ、アクチュエータ 1 B の弁体 2 0 2 が閉位置に位置決めされる。その結果、流路 2 1 2 と流路 2 1 3 とが連通され、流路 2 1 2 と流路 2 1 4 とは遮断される。

[0088] なお、上述した例では、2つの弁体 2 0 2 を2つのアクチュエータ 1 A, 1 B で駆動することで三方切換を行うようにしたが、図 5 4 のような一組のアクチュエータ 1 および弁体 2 0 2 によって切換えるようにしても良い。弁体 2 0 2 を図 5 4 (b) のように右側の安定位置へ移動すると、流路 2 0 7 と流路 2 0 6 とが弁体 2 0 2 の溝 2 0 3 a によって連通され、流路 2 0 5 の開口 2 0 5 a は弁体 2 0 2 の下面 2 0 3 b によって塞がれる。その結果、流路 2 0 7 から流路 2 0 6 へ流体が流れる。逆に、図 5 4 (c) に示すように弁体 2 0 2 を左側の安定位置へ移動すると、流路 2 0 7 と流路 2 0 5 とが溝 2 0 3 a によって連通され、流路 2 0 7 から流路 2 0 5 へ流体が流れる。

[0089] ところで、図 2 4, 2 5 の構成の場合、流路 2 1 2 から分岐した流路を3以上とし、各々の分岐流路にアクチュエータ 1 および弁体 2 0 2 を設けることで、多数の流路切換えを行う構成とすることができる。また、図 2 4 では、弁体 2 0 2 が設けられたアクチュエータを個別に設けたが、アクチュエータと弁体とのセットを一枚の基板上に複数形成することで、アクチュエータと弁体とのセットが複数形成された弁構造体を一括で形成することができる。

[0090] (第4実施例)

図 2 6 ~ 2 8 は、複数のアクチュエータを用いた流量制御弁 2 2 0 の一例を示す概略構成図である。図 2 6 は、流量制御弁 2 2 0 の正面側を示す図である。流路構造体 2 2 1 の表面側には複数のアクチュエータ 1 A a ~ 1 C e がマトリックス状に配置されている。各アクチュエータ 1 A a ~ 1 C e に設けられた第1および第2駆動部 8 A, 8 B は、制御部 2 2 3 によって制御さ

れる。

[0091] 図27は流路構造体221の表面側を示す図であって、各アクチュエータ1Aa～1Ceの位置を二点鎖線で示したものである。流路構造体221には、流体が供給される3つの流路222a～222cが形成されている。流路222aは、縦方向に並んだ5つのアクチュエータ1Aa～1Aeに対応して5つに分岐しており、分岐した各流路は、流路構造体221の表面側に形成された開口p11～p15に連通している。開口p11～p15に隣接するように、貫通孔q11～q15が形成されている。流路222bは、縦方向に並んだ5つのアクチュエータ1Ba～1Beに対応して5つに分岐しており、分岐した各流路は、流路構造体221の表面側に形成された開口p21～p25に連通している。開口p21～p25に隣接するように、貫通孔q21～q25が形成されている。流路222cは、縦方向に並んだ5つのアクチュエータ1Ca～1Ceに対応して5つに分岐しており、分岐した各流路は、流路構造体221の表面側に形成された開口p31～p35に連通している。開口p31～p35に隣接するように、貫通孔q31～q35が形成されている。

[0092] 図28は、図27のB-B断面を示したものである。流路構造体221はシリコンで形成され、その表面側には絶縁コーティング処理として酸化膜（酸化シリコン）221aが形成されている。図28に示す例では、アクチュエータ1Abおよび1Bbは弁体202が開位置に位置決めされ、アクチュエータ1Cbの弁体202は閉位置に位置決めされている。その結果、流路構造体221に供給された流体は、貫通孔q12, q22を介して流路構造体221の背面側から流出される。

[0093] 図26に示したように、流量制御弁220には15組のアクチュエータが設けられているので、15組のアクチュエータによる弁体202の開閉を個別に制御することで、一つの弁体202を開位置としたときの流量を1単位としたとき、1単位から15単位まで15段階で流量を制御することができる。また、15組のアクチュエータと弁体とのセットを、図9～図16に示

したような形成方法で一枚の基板から一括して形成することで、多数の弁体およびアクチュエータを備えた弁構造体を容易に形成することができる。

[0094] なお、本実施例の流量制御装置においても、図23に示したような弁構造を用いることができる。その構成の場合、流体は流路構造体の一方側から他方側へと流れる。

[0095] (第5実施例)

図29は第5実施例を示す図であり、上述したアクチュエータ1を、高周波信号の経路を切り替えるためのRFスイッチに適用したものである。図29は、本実施の形態のアクチュエータをSPST (Single Pole Single Throw) のRFスイッチに適用した場合の原理図である。なお、ここではRFスイッチに適用した場合について説明するが、RFスイッチに限らず一般的なスイッチやリレー等にも同様に適用することができる。

[0096] 図29に示すRFスイッチ230においては、ベース2には固定接点231、232が設けられている。固定接点231には入力側の信号線233が接続され、固定接点232には出力側の信号線234が接続されている。一方、可動部5には、固定接点231、232に対向する位置に可動接点235が設けられている。固定接点231、232とベース2との間、および、可動接点235と可動部5との間は、それぞれ絶縁されている。例えば、RFスイッチ230をSOI基板から形成する場合には、図30に示すように、固定接点231、232および可動接点235をSOI基板の下部Si層31から形成するようにしても良い。

[0097] 図29に示す状態においては、アクチュエータは第1可動電極4Aが第1固定電極3Aに吸引された第1の安定位置となっており、RFスイッチ230は開状態（非導通状態）となっている。そのため、信号線233から入力された信号は遮断され、出力側の信号線234からは信号が出力されない。

[0098] 一方、第1駆動部8Aのスイッチ9をオンして電極3A、4A間に電圧V1を印加すると、可動部5は右側に移動して図31に示す第2の安定位置となる。その結果、可動接点235が固定接点231、232に接触し、信号

線 2 3 3 に入力された信号は信号線 2 3 4 から出力されるようになる。前述したように、図 3 1 の状態になったならば、電圧 V 1 の印加は停止して良い。R F スイッチ 2 3 0 を再び開状態とするには、右側の電極 3 B, 4 B に電圧 V 2 を印加すれば良い。

[0099] 図 3 2 は、S P D T (Single Pole Double Throw) の R F スイッチ 2 4 0 とした場合の構成を示す。R F スイッチ 2 4 0 では、上述した固定接点 2 3 1, 2 3 2 および可動接点 2 3 5 に加えて、電極 3 A, 4 A 側に固定接点 2 3 6, 2 3 7 および可動接点 2 3 8 を設けた。入力側の信号線 2 3 3 は固定接点 2 3 1 および 2 3 6 に接続されている。また、固定接点 2 3 7 には出力用の信号線 2 3 9 が接続されている。すなわち、R F スイッチ 2 4 0 は、信号線 2 3 3 から入力された信号を、信号線 2 3 4 または信号線 2 3 9 から選択的に出力することができる構成となっている。

[0100] 図 3 2 では、アクチュエータの可動部 5 は第 1 の安定位置にあり、可動接点 2 3 8 は固定接点 2 3 6, 2 3 7 に接触している。信号線 2 3 3 に入力された信号は、信号線 2 3 9 から出力される。図 3 2 に示す状態において電極 3 A, 4 A に電圧 V 1 を印加すると、可動部 5 が右側に移動して第 2 の安定位置に位置決めされる。その結果、可動接点 2 3 8 は固定接点 2 3 6, 2 3 7 から離れ、可動接点 2 3 5 が固定接点 2 3 1, 2 3 2 に接触する。そのため、信号線 2 3 9 からの信号出力は停止し、信号線 2 3 4 から信号が出力される。再び図 3 2 の状態に戻すには、右側の電極 3 B, 4 B に電圧 V 2 を印加すれば良い。

[0101] なお、図 3 1 の構成において、可動接点 2 3 5 が固定接点 2 3 1, 2 3 2 と接触する位置を、図 3 3 に示すような変位 $\times 10$ に設定することで、可動接点 2 3 5 は F 10 の力で固定接点 2 3 1, 2 3 2 に押しつけられることになる。この場合、正方向の変位に関して変位 $\times 10$ までしか移動できない構造となっているので、すなわち、電圧 V 1, V 2 を印加しない状態でその位置が維持される構成なので、変位 $\times 10$ を右側における安定位置（第 2 の安定位置）とみなすことができる。図 3 2 に示す左側の安定位置についても同様に設定

することができる。

[0102] このように、2組の櫛歯電極を備え、2つの安定位置間で移動可能なRFスイッチ230、240においては、スイッチ切替時のみに電圧を印加すればよい。また、エレクトレットに起因する静電力によって、接点間の接触を確実に行わせることができる。さらに、櫛歯挿入方向のストロークを大きく構成することにより、接点間のギャップを大きくすることができる。

[0103] 従来、静電力を利用してスイッチングを行うRFスイッチとしては、平行平板型のアクチュエータを用いるものがある。その構成では、可動接点と固定接点との接触を維持するためには、昇圧回路を用いて数十Vの電圧を印加し続ける必要がある。一方、上述したRFスイッチ230、240では、エレクトレットが形成された櫛歯電極構造により形成される2つの安定位置をスイッチオン状態またはスイッチオフ状態としている。そのため、スイッチ切替時のみに電圧V1、V2を印加すれば良い。

[0104] 切替に必要な電圧V1、V2の大きさに関しても、図33に示すような構成とすることにより従来の印加電圧（数十V）よりも低くすることができる。すなわち、櫛歯構造電極とすることにより、平行平板型に比べて同一電極スペースでより大きな電極面積を得ることができる。そのため、エレクトレット電圧Veを上述した従来の印加電圧よりもより低くすることができる。さらに、図33においては、 $x = x_z$ におけるラインL4の高さは $FR(0)/2$ であるので、式(2)から、印加電圧V2はエレクトレット電圧Veの30%程度の大きさで良いことが分かる。すなわち、電圧V1、V2の大きさを、上述した従来の印加電圧よりも30%以下に小さくすることができる。その結果、昇圧回路を必要としない構成とすることが可能となる。

[0105] なお、小さな印加電圧で大きな移動距離が得られるという上記作用効果は、RFスイッチ230、240のみならず、上述および後述の全てのアクチュエータにおいて奏することができる。

[0106] また、従来の平行平板型の場合には、接点同士の固着（スティッキング）の発生や、接点を押圧する力の変化による接触抵抗の変化等が懸念される。

一方、本実施例においては、電極間ギャップが一定状態で櫛歯300間に櫛歯400が挿脱される構造であって、さらに、電圧 V_1 または V_2 を印加して反対側の電極の静電力により切換移動を行わせる構造なので、エレクトレットの静電力により接点は分離される。それにより、接点同士の固着が発生しにくい。なお、固着が発生した場合であっても、印加電圧 V_1 、 V_2 を V_e まで大きくすることで、可動接点を固定接点から分離させる力を大きくすることができる。また、接点における押圧力は、エレクトレット電圧 V_e の静電力と弾性力との差なので、押圧力変化の懸念も解消できる。

[0107] ー第2の実施の形態ー

図34は、本発明に係るアクチュエータの第2の実施の形態を示す図である。図34に示すアクチュエータ11は、右側に設けられた第2固定電極3Cの櫛歯300の形状が図1に示したアクチュエータ1と異なっている。その他の構造は、上述したアクチュエータ1と同様である。

[0108] 図35は、第2固定電極3Cおよび第2可動電極4Bの拡大図である。第2固定電極3Cの櫛歯は長さの異なる4種類の櫛歯300～303で構成されている。第1櫛歯300は、変位 $x=0$ における挿入量は d_2 である。これに対し、第2櫛歯301は第1櫛歯300よりも X_{r1} だけ短く、第3櫛歯302は第1櫛歯300よりも X_{r2} だけ短く、第4櫛歯303は第1櫛歯300よりも X_{r3} だけ短い。

[0109] なお、図34、35では、図示を簡略化するために各櫛歯300～303を一つしか記載していないが、実際には、各櫛歯300～303はそれぞれ複数形成されており、それらの本数を順に NR_1 、 NR_2 、 NR_3 、 NR_4 とする。同様に、第1固定櫛歯3Aにおける櫛歯300の数を NL とする。また、図34に示すように、電極3A、4Aおよび電極3C、4Bにおいて、櫛歯300と櫛歯400との間隔は g 、櫛歯300、400の厚み寸法は b とする。さらに、変位 $x=0$ における櫛歯400の先端と固定電極との間隔は、第1可動電極4Aでは SL 、第2可動電極4Bでは SR とする。

[0110] 次いで、図36～47を参照して、アクチュエータ11の動作について説

明する。図36は、第1駆動部8A、第2駆動部8Bによる電圧 V_1 、 V_2 が印加されていない場合における、変位 x と可動部5に作用する力との関係を示す図である。図4の場合と同様に、縦軸は力、横軸は変位 x である。ラインL1は弾性支持部6による弾性力、ラインL2は第1固定電極3Aと第1可動電極4Aとの間に作用する静電力である。ラインL3は第2固定電極3Cと第2可動電極4Bとの間に作用する静電力である。第2固定電極3Cは櫛歯300の長さが4種類であるため、ラインL3は変位 x に応じて階段状に変化する。破線で示すラインL4は、可動部5に作用するトータルの力を示す。

- [0111] $x \leq -d_2$ では、第2固定電極3Cの櫛歯300～303は全て櫛歯400間から抜け出ており挿入量=0となっているので、第2固定電極3Cと第2可動電極4Bとの間の静電力はゼロとなる。よって、トータルの力は、弾性力 $f(x) = -kx$ と静電力 $FL(0)$ との和になる。静電力 $FL(0)$ は次式(7)で表される。なお、 V_e はエレクトレットによる電圧である。ラインL4は黒丸C0の位置で横軸と交差し、その交差点において正方向の弾性力と負方向の静電力 $FL(0)$ とが釣り合う。

$$FL(0) = -NL \varepsilon_0 b V_e^2 / g \quad \cdots (7)$$

- [0112] $-d_2 < x \leq -d_2 + X_{r1}$ では、第1櫛歯300は挿入量 $\neq 0$ となり、第2櫛歯301、第3櫛歯302および第4櫛歯303は挿入量=0が維持される。そのため、第2固定電極3Cおよび第2可動電極4Bにおける静電力 $FR1(0)$ は次式(8)のようになる。よって、トータルの力は、弾性力 $f(x) = -kx$ と静電力 $FL(0)$ と静電力 $FR1(0)$ との和になる。ラインL4は黒丸C1の位置で横軸と交差し、その交差点において正方向の力(弾性力 $f(x) +$ 静電力 $FR1(0)$)と負方向の静電力 $FL(0)$ とが釣り合う。

$$FR1(0) = NR1 \varepsilon_0 b V_e^2 / g \quad \cdots (8)$$

- [0113] $-d_2 + X_{r1} < x \leq -d_2 + X_{r2}$ では、第1櫛歯300および第2櫛歯301は挿入量 $\neq 0$ となり、第3櫛歯302および第4櫛歯303は挿入量=0が維持される。そのため、第2固定電極3Cおよび第2可動電極4Bにお

ける静電力 $F_{R2}(0)$ は次式 (9) のようになる。よって、トータルの力は、弾性力 $f(x) = -kx$ と静電力 $F_L(0)$ と静電力 $F_{R2}(0)$ との和になる。ライン L 4 は黒丸 C 2 の位置で横軸と交差し、その交差点において正方向の静電力 $F_{R2}(0)$ と負方向の力 (弾性力 $f(x)$ + 静電力 $F_L(0)$) とが釣り合う。

$$F_{R2}(0) = (NR1 + NR2) \varepsilon_0 b V e^2 / g \quad \dots (9)$$

[0114] $-d_2 + X_{r2} < x \leq -d_2 + X_{r3}$ では、第 1 櫛歯 300、第 2 櫛歯 301 および第 3 櫛歯 302 は挿入量 $\neq 0$ となり、第 4 櫛歯 303 は挿入量 $= 0$ が維持される。そのため、第 2 固定電極 3C および第 2 可動電極 4B における静電力 $F_{R3}(0)$ は次式 (10) のようになる。よって、トータルの力は、弾性力 $f(x) = -kx$ と静電力 $F_L(0)$ と静電力 $F_{R3}(0)$ との和になる。ライン L 4 は黒丸 C 3 の位置で横軸と交差し、その交差点において正方向の静電力 $F_{R3}(0)$ と負方向の力 (弾性力 $f(x)$ + 静電力 $F_L(0)$) とが釣り合う。

$$F_{R3}(0) = (NR1 + NR2 + NR3) \varepsilon_0 b V e^2 / g \quad \dots (10)$$

[0115] $-d_2 + X_{r3} < x \leq d_1$ では、第 1 櫛歯 300、第 2 櫛歯 301、第 3 櫛歯 302 および第 4 櫛歯 303 の全てが挿入量 $\neq 0$ となる。そのため、第 2 固定電極 3C および第 2 可動電極 4B における静電力 $F_{R4}(0)$ は次式 (11) のようになる。よって、トータルの力は、弾性力 $f(x) = -kx$ と静電力 $F_L(0)$ と静電力 $F_{R4}(0)$ との和になる。ライン L 4 は黒丸 C 4 の位置で横軸と交差し、その交差点において正方向の静電力 $F_{R4}(0)$ と負方向の力 (弾性力 $f(x)$ + 静電力 $F_L(0)$) とが釣り合う。

$$F_{R4}(0) = (NR1 + NR2 + NR3 + NR4) \varepsilon_0 b V e^2 / g \quad \dots (11)$$

[0116] $d_1 \leq x$ では、第 1 固定電極 3A の櫛歯 300 の先端が第 1 可動電極 4A の櫛歯 400 間から抜け出て、挿入量がゼロになる。そのため、第 1 固定電極 3A および第 1 可動電極 4A における静電力 $F_L(0)$ はゼロとなり、トータルの力は、弾性力 $f(x) = -kx$ と静電力 $F_{R4}(0)$ との和になる。ライン L 4 は黒丸 C 5 の位置で横軸と交差し、その交差点において正方向の静電力 $F_{R4}(0)$ と負方向の弾性力 $f(x)$ とが釣り合う。

[0117] 図 36 に示すように、トータルの力 (ライン L 4) は、変位 $x = -d_2$ 、

$-d_2 + X_{r1}$ 、 $-d_2 + X_{r2}$ 、 $-d_2 + X_{r3}$ および d_1 において不連続に変化する。変化前の底部の値同士、および頂部の値同士を比較すると、変位 $x = -d_2$ 、 $-d_2 + X_{r1}$ 、 $-d_2 + X_{r2}$ 、 $-d_2 + X_{r3}$ および d_1 の順に小さくなっているが、このような関係となるように櫛歯300～303および櫛歯400の寸法や d_1 、 d_2 等を設定する。

[0118] 図37は、 $V_1 = V_2 = 0$ において釣り合い位置C0にある可動部5を、釣り合い位置C1へ移動する場合の説明図である。この場合、左側の電極3A、4Aに対して、変位 $x = -d_2$ におけるトータルの力($f(x) + FL(V_{11})$)が正となり、変位 $x = -d_2 + X_{r1}$ におけるトータルの力($f(x) + FL(V_{11}) + FR_1(0)$)が負となるような電圧 $V_1 = V_{11}$ を印加する。

[0119] それにより、図37(a)に示すように、 $x < d_1$ におけるラインL4は、 $\Delta = FL(V_{11}) - FL(0)$ の分だけ図示上方に移動する。その結果、白丸で示す釣り合い位置C0とラインL4が横軸と交差する黒丸の位置との間においては、トータルの力が正となり、可動部5は正方向に移動して黒丸の位置で釣り合う。その後、電圧 V_1 の印加を停止すると、図37(b)に示すように、ラインL4は図36の場合と同様の状態に戻り、可動部5は釣り合い位置C1まで移動する。

[0120] 図38は、図37(b)に示す釣り合い位置C1にある可動部5を、釣り合い位置C2へ移動する場合の説明図である。この場合、左側の電極3A、4Aに対して、変位 $x = -d_2 + X_{r1}$ におけるトータルの力($f(x) + FL(V_{12}) + FR_1(0)$)が正となり、変位 $x = -d_2 + X_{r2}$ におけるトータルの力($f(x) + FL(V_{12}) + FR_2(0)$)が負となるような電圧 $V_1 = V_{12}$ を印加する。

[0121] それにより、図38(a)に示すように、 $x < d_1$ におけるラインL4は、 $\Delta = FL(V_{12}) - FL(0)$ の分だけ図示上方に移動する。その結果、白丸で示す釣り合い位置C1とラインL4が横軸と交差する黒丸の位置との間においては、トータルの力が正となり、可動部5は正方向に移動して黒丸の位置で釣り合う。その後、電圧 V_1 の印加を停止すると、図38(b)に示すよう

に、ラインL 4は図3 6の場合と同様の状態に戻り、可動部5は釣り合い位置C 2まで移動する。

[0122] なお、図3 8では位置C 1から位置C 2に移動させる場合を示したが、図3 9は、位置C 0において印加電圧 $V_1 = V_{12}$ を印加して、位置C 0から位置C 2へ移動させる場合を示す。この場合、図3 9 (a)に示すように可動部5は位置C 0から黒丸の位置まで一気に移動する。その後、電圧 V_1 の印加を停止すると、可動部5は釣り合い位置C 2に移動する。

[0123] 図4 0は、位置C 0にある可動部5の位置C 3への移動を説明する図である。この場合、左側の電極3 A, 4 Aに対して、変位 $x = -d_2 + X_{r2}$ におけるトータルの力($f(x) + FL(V_{13}) + FR_2(0)$)が正となり、変位 $x = -d_2 + X_{r3}$ におけるトータルの力($f(x) + FL(V_{13}) + FR_3(0)$)が負となるような電圧 $V_1 = V_{13}$ を印加する。

[0124] それにより、図4 0 (a)に示すように、 $x < d_1$ におけるラインL 4は、差 $= FL(V_{13}) - FL(0)$ の分だけ図示上方に移動する。その結果、位置C 0とラインL 4が横軸と交差する黒丸の位置との間においては、トータルの力が正となり、可動部5は正方向に移動して黒丸の位置で釣り合う。その後、電圧 V_1 の印加を停止すると、図4 0 (b)に示すように、ラインL 4は図3 6の場合と同様の状態に戻り、可動部5は釣り合い位置C 3まで移動する。

[0125] 図4 1は、位置C 0にある可動部5の位置C 4への移動を説明する図である。この場合、左側の電極3 A, 4 Aに対して、変位 $x = -d_2 + X_{r3}$ におけるトータルの力($f(x) + FL(V_{14}) + FR_4(0)$)が正となり、変位 $x = d_1$ におけるトータルの力($f(x) + FL(V_{14}) + FR_3(0)$)が負となるような電圧 $V_1 = V_{14}$ を印加する。

[0126] それにより、図4 1 (a)に示すように、 $x < d_1$ におけるラインL 4は、差 $= FL(V_{14}) - FL(0)$ の分だけ図示上方に移動する。その結果、位置C 0とラインL 4が横軸と交差する黒丸の位置との間においては、トータルの力が正となり、可動部5は正方向に移動して黒丸の位置で釣り合う。その後、

電圧 V_1 の印加を停止すると、図 4 1 (b) に示すように、ライン L_4 は図 3 6 の場合と同様の状態に戻り、可動部 5 は釣り合い位置 C_4 まで移動する。

[0127] 図 4 2 は、位置 C_0 にある可動部 5 を位置 C_5 へ移動させる場合の、説明図である。この場合、左側の電極 3 A, 4 A に対して、変位 $x = d_1$ におけるトータルの力 ($f(x) + FL(V15) + FR4(0)$) が正となるような電圧 $V_1 = V15$ を印加する。それにより、図 4 2 (a) に示すように、 $x < d_1$ におけるライン L_4 は、差 $= FL(V15) - FL(0)$ の分だけ図示上方に移動する。その結果、位置 C_0 とライン L_4 が横軸と交差する位置 C_5 との間においては、トータルの力が正となり、可動部 5 は正方向に移動して位置 C_5 で釣り合う。その後、電圧 V_1 の印加を停止すると、図 4 1 (b) に示すように、ライン L_4 は図 3 6 の場合と同様の状態に戻る。

[0128] 図 4 3 は、位置 C_5 にある可動部 5 を位置 C_4 へ移動させる場合の、説明図である。この場合、右側の電極 3 C, 4 B に対して、変位 $x = d_1$ におけるトータルの力 ($f(x) + FR4(V21)$) が負となり、変位 $x = -d_2 + Xr3$ におけるトータルの力 ($f(x) + FL(0) + FR4(V21)$) が正となるような電圧 $V_2 = V21$ を印加する。

[0129] それにより、図 4 3 (a) に示すように、 $x > -d_2$ におけるライン L_4 は、差 $= FR(0) - FR(V21)$ の分だけ図示下方に移動する。その結果、位置 C_5 とライン L_4 が横軸と交差する黒丸の位置との間においては、トータルの力が負となり、可動部 5 は負方向に移動して黒丸の位置で釣り合う。その後、電圧 V_2 の印加を停止すると、図 4 3 (b) に示すように、ライン L_4 は図 3 6 の場合と同様の状態に戻り、可動部 5 は釣り合い位置 C_4 まで移動する。

[0130] 図 4 4 は、位置 C_5 にある可動部 5 を位置 C_3 へ移動させる場合の、説明図である。この場合、右側の電極 3 C, 4 B に対して、変位 $x = -d_2 + Xr3$ におけるトータルの力 ($f(x) + FL(0) + FR4(V22)$) が負となり、変位 $x = -d_2 + Xr2$ におけるトータルの力 ($f(x) + FL(0) + FR3(V22)$)

が正となるような電圧 $V_2 = V_{22}$ を印加する。

[0131] それにより、図 4 4 (a) に示すように、 $x > -d_2$ におけるライン L 4 は、 $\Delta = FR(0) - FR(V_{22})$ の分だけ図示下方に移動する。その結果、位置 C 5 とライン L 4 が横軸と交差する黒丸の位置との間においては、トータルの力が負となり、可動部 5 は負方向に移動して黒丸の位置で釣り合う。その後、電圧 V_2 の印加を停止すると、図 4 4 (b) に示すように、ライン L 4 は図 3 6 の場合と同様の状態に戻り、可動部 5 は釣り合い位置 C 3 まで移動する。

[0132] 図 4 5 は、位置 C 5 にある可動部 5 を位置 C 2 へ移動させる場合の、説明図である。この場合、右側の電極 3 C, 4 B に対して、変位 $x = -d_2 + X_{r2}$ におけるトータルの力 ($f(x) + FL(0) + FR_3(V_{23})$) が負となり、変位 $x = -d_2 + X_{r1}$ におけるトータルの力 ($f(x) + FL(0) + FR_2(V_{23})$) が正となるような電圧 $V_2 = V_{23}$ を印加する。

[0133] それにより、図 4 5 (a) に示すように、 $x > -d_2$ におけるライン L 4 は、 $\Delta = FR(0) - FR(V_{23})$ の分だけ図示下方に移動する。その結果、位置 C 5 とライン L 4 が横軸と交差する黒丸の位置との間においては、トータルの力が負となり、可動部 5 は負方向に移動して黒丸の位置で釣り合う。その後、電圧 V_2 の印加を停止すると、図 4 5 (b) に示すように、ライン L 4 は図 3 6 の場合と同様の状態に戻り、可動部 5 は釣り合い位置 C 2 まで移動する。

[0134] 図 4 6 は、位置 C 5 にある可動部 5 を位置 C 1 へ移動させる場合の、説明図である。この場合、右側の電極 3 C, 4 B に対して、変位 $x = -d_2 + X_{r1}$ におけるトータルの力 ($f(x) + FL(0) + FR_2(V_{24})$) が負となり、変位 $x = -d_2$ におけるトータルの力 ($f(x) + FL(0) + FR_1(V_{24})$) が正となるような電圧 $V_2 = V_{24}$ を印加する。

[0135] それにより、図 4 6 (a) に示すように、 $x > -d_2$ におけるライン L 4 は、 $\Delta = FR(0) - FR(V_{24})$ の分だけ図示下方に移動する。その結果、位置 C 5 とライン L 4 が横軸と交差する黒丸の位置との間においては、トータルの

力が負となり、可動部 5 は負方向に移動して黒丸の位置で釣り合う。その後、電圧 V_2 の印加を停止すると、図 4 6 (b) に示すように、ライン L 4 は図 3 6 の場合と同様の状態に戻り、可動部 5 は釣り合い位置 C 1 まで移動する。

[0136] 図 4 7 は、位置 C 5 にある可動部 5 を位置 C 0 へ移動させる場合の、説明図である。この場合、右側の電極 3 C, 4 B に対して、変位 $x = -d_2$ におけるトータルの力 ($f(x) + F_L(0) + F_{R2}(V_{25})$) が負となるような電圧 $V_2 = V_{25}$ を印加する。それにより、図 4 7 (a) に示すように、 $x > -d_2$ におけるライン L 4 は、差 $= F_R(0) - F_R(V_{25})$ の分だけ図示下方に移動する。その結果、位置 C 5 と位置 C 0 との間においては、トータルの力が負となり、可動部 5 は負方向に移動して位置 C 0 で釣り合う。その後、電圧 V_2 の印加を停止すると、図 4 7 (b) に示すように、ライン L 4 は図 3 6 の場合と同様の状態に戻る。

[0137] なお、図 4 3 ~ 4 7 の動作説明では、電極 3 C, 4 B に電圧 V_2 を印加して電極 3 C, 4 B 側の静電力を小さくすることで、可動部 5 を電極 3 A, 4 A 側により近い安定位置へ移動させた。しかし、電極 3 C, 4 B 側の静電力引力を小さくする代わりに、電極 3 A, 4 A 側にエレクトレットと同一極性の電圧 V_1 を印加して、電極 3 A, 4 A 側の静電力を大きくしても良い。その結果、図示方向の力が大きくなり、図 4 3 ~ 4 7 の場合と同様に、可動部 5 を電極 3 A, 4 A 側により近い安定位置へ移動させることができる。また、電極 3 C, 4 B と電極 3 A, 4 A の両方に電圧を同時に印加することでも、安定位置を移動させることができる。その場合には、電圧 V_1 , V_2 を移動に必要な電圧に調整する。

[0138] 上述の図 3 4 に示したアクチュエータ 1 1 では、第 2 固定電極 3 C に長さの異なる複数種類の櫛歯 3 0 0 ~ 3 0 3 を備えることで、複数の安定位置 C 0 ~ C 5 が得られるようにしたが、第 2 可動電極側の櫛歯を複数種類の長さにしても良い。さらに、複数の安定位置が得られる構成としてはこれに限らず、例えば図 4 8 に示すように、第 2 固定電極 3 C の櫛歯 3 0 0 の幅を先端

側から根元側にかけて階段状に変化させるようにしても良い。

[0139] 図48に示す例では、櫛歯300は幅の異なる先端部300a、中間部300bおよび底部300cから成る。先端部300aの幅寸法は w_1 、中間部300bの幅寸法は w_2 、底部300cの幅寸法は w_3 である（ $w_1 < w_2 < w_3$ ）。そのため、各幅 w_1 、 w_2 、 w_3 に対応した櫛歯間のギャップ寸法を g_{11} 、 g_{12} 、 g_{13} （ $g_{11} > g_{12} > g_{13}$ ）とすると、各変位 x における、電極3C、4Bの静電力（正方向）は、次式（12）～（15）のようになる。なお、NRは櫛歯の総数を示し、印加電圧 V_2 は停止した状態を考える。

$$x \leq -d_2$$

$$FR_0 = 0 \quad \dots (12)$$

$$-d_2 < x \leq -d_2 + X_{r1}$$

$$FR_1 = NR \varepsilon_0 b V e^2 / g_{11} \quad \dots (13)$$

$$-d_2 + X_{r1} < x \leq -d_2 + X_{r2}$$

$$FR_2 = NR \varepsilon_0 b V e^2 / g_{12} \quad \dots (14)$$

$$-d_2 + X_{r2} < x$$

$$FR_3 = NR \varepsilon_0 b V e^2 / g_{13} \quad \dots (15)$$

[0140] 図49は、変位 x と弾性力 L_1 、静電力 L_2 、 L_3 およびトータルの力 L_4 を示す図であり、静電力 L_3 の段数が図36の4段から3段に変更された以外は、図36に示したものと同様である。弾性力と静電力とが釣り合う安定位置は $C_0 \sim C_4$ の5箇所となる。安定位置間の移動動作は、段数が異なるだけで図36の場合と同様なので、ここでは説明を省略する。

[0141] なお、図36に示した例では、可動部5は、電極4A、4Bの櫛歯400が電極3A、3Cの櫛歯300から完全に抜き出た状態（挿入量＝0の状態）まで移動する構成としている。しかし、櫛歯形状を異ならせて複数の安定位置を形成する構成のアクチュエータの場合、挿入量≠0の状態を使用するような構成とすることも可能である。その場合、ライン L_1 、 L_2 、 L_4 は図61に示すような状況となる。挿入量≠0の構成の場合には、少なくとも

電圧 V_1 、 V_2 のいずれか一方を変化させることで、可動部 5 を、左方向および右方向のいずれの安定位置にも移動させることができる。ただし、電圧 V_1 、 V_2 は、エレクトレットと同一極性および逆極性のどちらも取り得るとする。もちろん、図 36 に示す構成であっても、C0、C5 で示す安定位置を使用しない構成に限定すれば、同様の動作をさせることができる。

[0142] 上述した図 34、35、48 に示す例では、可動部 5 の左右に設けられた一对の固定電極 3A、3C の一方（固定電極 3C）の櫛歯形状を図 35、48 のように構成することで、3 以上の安定位置が形成されるようにした。上述のように櫛歯形状を変えることで 3 以上の安定位置を形成する構成は、図 55 や図 58 に示したアクチュエータにも同様に適用することができる。

[0143] 以上説明したように、本実施の形態では、図 34 に示すアクチュエータ 11 のように、右側の電極 3C、4B は、第 2 固定電極 3C と第 2 可動電極 4B との間の静電力が、第 2 可動電極 4B の挿入量に応じて複数段に変化する構成となっている。そのため、第 1 の安定位置 C0 と第 2 の安定位置 C5 との間に、静電力と弾性力とが釣り合う複数の安定位置（第 1 中間安定位置）C1～C4 が設定される。第 1 駆動部 8A は、可動部 5 を第 2 の安定位置 C5 へ移動させるための電圧に加えて、可動部 5 を複数の安定位置 C1～C4 へ移動させるための複数の電圧が印加可能に構成されている。

[0144] このように、アクチュエータ 11 では、複数の安定位置間において可動部 5 を移動させることができる。そして、移動時のみに外部電圧 V_1 、 V_2 を印加すれば良く、エレクトレットによる静電力と弾性支持部 6 による弾性力との釣り合いによって、安定状態が維持される。応用例としては、例えば、センサを一次元方向に移動して検出を行う場合のアクチュエータとして用いることができる。

[0145] また、図 19 に示した光シャッタ 101 では、双安定構造のアクチュエータ 1 を用いることで光をオンオフする構成とした。しかし、アクチュエータ 1 に代えて、複数の安定位置間で可動部 5 を移動させることができるアクチュエータ 11 を用いることで、開口率の異なる複数の位置にシャッタ板 1S

を位置決めすることができる。すなわち、アクチュエータ 11 の電極 3 A, 4 A 間に印加される電圧を制御することで、シャッタ板 1 S を複数の位置に移動させることで、光シャッタの通過光量を制御することができる。

[0146] ー第 3 の実施の形態ー

図 50 は、本発明に係るアクチュエータの第 3 の実施の形態を示す図である。アクチュエータ 13 は、図 34 に示した複数の安定状態を有するアクチュエータを x 軸方向と y 軸方向の両方に関して備えたことにより、可動部 5 の 2 次元的な移動を可能としたものである。図 50 では制御部 223 の図示を省略した。なお、ここでは、図 34 のアクチュエータを用いて 2 次元走査型のアクチュエータとしたが、図 1, 48, 55 および 58 に示すアクチュエータを用いても良い。

[0147] アクチュエータ 13 は、可動部 5 を x 軸方向に駆動するための第 1 固定電極 3 A, 第 1 可動電極 4 A、第 2 固定電極 3 C および第 2 可動電極 4 B と、可動枠 15 を y 軸方向に駆動するための第 3 固定電極 13 A、第 3 可動電極 14 A、第 4 固定電極 13 C および第 4 可動電極 14 B とを備えている。可動部 5 は、弾性支持部 6 a により可動枠 15 に連結されている。すなわち、可動部 5 にとって可動枠 15 はベース部に相当するものであり、可動部 5 は可動枠 15 に対して x 方向に移動可能に設けられている。一方、可動枠 15 は、弾性支持部 6 b によりベース 2 に連結されており、ベース 2 に対して y 方向に移動可能に設けられている。

[0148] 第 1 固定電極 3 A, 第 1 可動電極 4 A、第 2 固定電極 3 C および第 2 可動電極 4 B の間の関係は、図 34 に記載した同一符号の電極の場合と同様の関係を有している。ただし、図 34 の構成では、第 2 固定電極 3 C には 4 種類の長さの櫛歯 300 ~ 303 が設けられていたが、図 50 の場合は 3 種類となっているので、後述するように x 方向変位に関する安定位置の数は 5 箇所となる。また、第 3 固定電極 13 A は第 1 固定電極 3 A と同一構造であり、第 3 可動電極 14 A は第 1 可動電極 4 A と同一構造であり、第 4 固定電極 13 C は第 2 固定電極 3 C と同一構造であり、第 4 可動電極 14 B は第 2 可動

電極 4 B と同一構造である。y 方向変位に関する安定位置の数も 5 箇所となる。

[0149] 第 1 固定電極 3 A および第 2 固定電極 3 C は、可動枠 1 5 の x 軸方向の辺に設けられている。一方、第 3 可動電極 1 4 A および第 4 可動電極 1 4 B は、可動枠 1 5 の y 軸方向の辺に設けられ、それぞれ櫛歯が外側を向くように配置されている。第 3 固定電極 1 3 A は、第 3 可動電極 1 4 A と歯合するようにベース 2 上に設けられている。第 4 固定電極 1 3 C は、第 4 可動電極 1 4 B と歯合するようにベース 2 上に設けられている。

[0150] 図 3 4 の構成の場合と同様に、電極 3 A, 4 A に対しては第 1 駆動部 8 A が設けられ、電極 3 C, 4 B に対しては第 2 駆動部 8 B が設けられている。さらに、本実施の形態では、電極 1 3 A, 1 4 A に対して第 3 駆動部 8 C が設けられ、電極 1 3 C, 1 4 B に対して第 4 駆動部 8 D が設けられている。なお、第 1 駆動部 8 A および第 3 駆動部 8 C による印加電圧は V 1、第 2 駆動部 8 B および第 4 駆動部 8 D による印加電圧は V 2 とする。また、可動枠 1 5 に設けられた電極 3 A, 3 C, 1 4 A, 1 4 B は、それぞれ絶縁部 1 5 a によって電氣的に絶縁されている。図 5 0 に示す例では、S O I 基板を加工して形成されたアクチュエータ 1 3 の可動枠 1 5 は、下部 S i 層 3 1 から形成された矩形枠上に、上部 S i 層 3 3 による電極 3 A, 3 C, 1 4 A, 1 4 B を形成したものであり、絶縁部 1 5 a は上部 S i 層 3 3 をエッチングして形成されたギャップによって構成されている。

[0151] 第 1 駆動部 8 A および第 4 駆動部 8 D のマイナス側はグラウンド電位とされると共に、第 4 可動電極 1 4 B の接続パッド部 7 b に接続されている。また、第 1 駆動部 8 A のプラス側は第 1 固定電極の接続パッド部 7 a に接続され、第 4 駆動部 8 D のプラス側は第 4 固定電極 1 3 C の接続パッド部 1 7 d に接続されている。第 2 駆動部 8 B および第 3 駆動部 8 C のマイナス側はグラウンド電位とされると共に、第 3 可動電極 1 4 A の接続パッド部 1 7 b に接続されている。また、第 2 駆動部 8 B のプラス側は第 2 固定電極 3 C の接続パッド部 7 d に接続され、第 3 駆動部 8 C のプラス側は第 3 固定電極 1 3 A の

接続パッド部 17a に接続されている。図 50 から分かるように、第 1 ～ 第 4 可動電極 4A, 4B, 14A, 14B はグランド電位となっている。

[0152] 図 51 は、第 1 駆動部 8A、第 2 駆動部 8B による電圧 V_1 , V_2 の印加が行われていない場合における、 x 方向の変位 x と可動部 5 に作用する力を示す図である。本実施の形態では、第 2 固定電極 3C の櫛歯の長さが 3 種類であるため、静電力と弾性力とが釣り合う安定位置は 5 箇所 ($C_0 \sim C_4$) となる。一方、電極 13A, 14A, 13C, 14B の構造は電極 3A, 4A, 3C, 4B と同一なので、 y 方向の変位 y と可動部 15 に作用する力は、図 51 と全く同様になる。そのため、アクチュエータ 13 における安定位置、すなわち可動部 5 の取り得る位置を x y 平面に図示すると、図 52 のようになる。可動部 5 は、 $C_{11} \sim C_{44}$ の 25 箇所に移動させることができる。

[0153] 図 53 は、アクチュエータ 13 を 2 次元走査型赤外線検出装置 51 に適用した場合を示す。図 53 に示す赤外線検出装置はいわゆるスマートアクチュエータと呼ばれるものであり、アクチュエータ 13 の可動部 5 に赤外線検出素子 52 が搭載されている。可動部 5 を図 52 に示す 25 箇所の安定位置に移動することで、赤外線検出素子 52 による 2 次元的な計測を可能にしている。例えば、 C_{04} , C_{14} , C_{24} , C_{34} , C_{44} , C_{02} , C_{12} , C_{22} , $\dots$, C_{31} , C_{41} , C_{00} , C_{10} , C_{20} , C_{30} , C_{40} のように、可動部 5 の位置を移動させる。なお、ここでは、赤外線検出素子 52 のような光検出センサを搭載した 2 次元走査型センサ装置について説明するが、光センサに限らず種々の物理量を検出するセンサに対しても同様に適用することができる。

[0154] 赤外線検出素子 52 としては、赤外線吸収帯が形成された受光部を、中空構造の基板に対して微細な梁で支持し、受光部の温度をサーモパイル等で検出する熱型赤外線センサ（例えば、特開 2001-28106 号公報等）や、誘電ボロメータ型赤外線センサなど、周知の赤外線センサを用いることができる。また、赤外線検出素子 52 は、アクチュエータ 13 の可動部 5 に直接形成しても良いし、アクチュエータ 13 とは別個に形成されたセンサチップを、可動部 5 上に搭載する構造であっても良い。なお、図 53 においては、

図50に示すアクチュエータ13と異なり、接続パッド部7bにはセンサ出力線53が接続されている。

[0155] 以上のように、本実施の形態のアクチュエータ13では、下側の電極13A、14Aおよび上側の電極13C、14Bによってy方向に移動される可動枠15に、可動枠15の移動方向と交差する方向(x方向)に間隔を空けて第1固定電極3Aおよび第2固定電極3Cが対向配置されている。そして、第1固定電極3Aと第2固定電極3Cとの間には、第1固定電極3Aに挿脱可能に歯合する第1可動電極4A、および第2固定電極3Cに挿脱可能に歯合する第2可動電極4Bが設けられた可動部5が、可動枠15に対してx方向に移動可能なように弾性支持部6aによって弾性支持されている。

[0156] さらに、アクチュエータ13は、第2固定電極3Cに対する第2可動電極4Bの挿入量がゼロとなる位置まで第1可動電極4Aが第1固定電極3Aに吸引されて、電極3A、4Aのエレクトレットによる静電力と弾性支持部6aの弾性力とが釣り合う第1の安定位置と、第1固定電極3Aに対する第1可動電極4Aの挿入量がゼロとなる位置まで第2可動電極4Bが第2固定電極3Cに吸引されて、電極3C、4Bのエレクトレットによる静電力と弾性支持部6aの弾性力とが釣り合う第2の安定位置と、を取るよう設定されている。そして、電極3A、4A間の静電力を弱めるように電圧V1を印加し、可動部5を第1の安定位置から第2の安定位置へ移動させる第1駆動部8Aと、電極3C、4Bと間の静電力を弱めるように電圧V2を印加し、可動部5を第2の安定位置から第1の安定位置へ移動させる第2駆動部8Bと、を備える。

[0157] その結果、可動部5を、二次元的に設定された複数の安定位置にスライド移動させることができる。本実施の形態では、4組の電極の構造を全て櫛歯電極とすることで、それらの構成が同一の平面上に配置され、薄型の2次元アクチュエータを構成することができる。また、そのような平面構造であるため、各電極および可動部5、可動枠15を同一の基板から形成することができ、加工工数が非常に少なく済む。

[0158] なお、図50に示す例では、電極3A、3C、4A、4B、13A、13C、14A、14Bの各櫛歯にエレクトレットを形成したが、歯合する電極の一方の電極の櫛歯のみにエレクトレットを形成するようにしても良い。また、図50のアクチュエータ13では、固定電極と可動電極との組み合わせとして、アクチュエータ11の電極3A、4Aおよび電極3C、4Bと同様の組み合わせをx方向およびy方向の両方に用いているが、xおよびy方向の一方を図1に記載のアクチュエータ1と同様の電極構成としても良いし、xおよびy方向の両方をアクチュエータ1と同様の電極構成としても良い。

[0159] また、図50に示す例では、可動部5の移動方向と可動枠15の移動方向とが直交する構成としたが、可動枠15の移動方向に対して斜め方向に可動部5が移動する構成とすることもできる。

[0160] 上述した各実施形態はそれぞれ単独に、あるいは組み合わせて用いても良い。それぞれの実施形態での効果を単独あるいは相乗して奏することができるからである。また、本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に何ら限定されるものではない。

[0161] 次の優先権基礎出願の開示内容は引用文としてここに組み込まれる。

日本国特許出願2013年第165166号（2013年8月8日出願）

符号の説明

[0162] 1、11、13、110A、110B、201：アクチュエータ、1S：シャッタ板、2：ベース、3A：第1固定電極、3B、3C：第2固定電極、3D、4D：電極板、4A：第1可動電極、4B：第2可動電極、5：可動部、6、6a、6b：弾性支持部、8A：第1駆動部、8B：第2駆動部、8C：第3駆動部、8D：第4駆動部、13A：第3固定電極、13C：第3固定電極、14A：第3可動電極、14B：第4固定電極、15：可動枠、51：2次元走査型赤外線検出装置、52：赤外線検出素子、101：光シャッタ、102：バックライト、103：遮光板、201：流路切換弁、202：弁体、203a：溝、204、211、221：流路構造体、205、206、212：流路、210：三方切換弁、220：流量制御弁、

223 : 制御部、230, 240 : RFスイッチ、300~303, 400
: 櫛歯、EL : エレクトレット

請求の範囲

[請求項1]

固定電極および可動電極を備える静電駆動機構と、
前記可動電極が設けられて前記静電駆動機構により駆動される第1可動部と、
前記固定電極に対して前記可動電極が面内でスライド移動可能なように、前記第1可動部を弾性支持する第1弾性支持部と、
前記静電駆動機構の前記固定電極および前記可動電極の少なくとも一方に形成されたエレクトレットと、
前記静電駆動機構への電圧印加を制御する駆動制御部と、を備えるアクチュエータであって、
前記アクチュエータには、前記エレクトレットに起因する静電力と前記第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置に、またはその近傍に設定された安定位置に、前記第1可動部が位置決めされる安定状態が複数設定されていて、
前記駆動制御部は、前記静電駆動機構に電圧を印加することにより該静電駆動機構の静電力を制御して任意の安定状態から他の安定状態へ変化させ、前記第1可動部を任意の安定位置から他の安定位置へ移動させる、アクチュエータ。

[請求項2]

請求項1に記載のアクチュエータにおいて、
前記静電駆動機構は、前記固定電極としての固定櫛歯電極および前記可動電極としての可動櫛歯電極を備える櫛歯駆動部を少なくとも有するとともに、前記固定櫛歯電極に対する前記可動櫛歯電極の挿入量が増加する方向と前記スライド移動の方向とが一致し、
前記固定櫛歯電極および前記可動櫛歯電極の少なくとも一方に、前記エレクトレットが形成されているアクチュエータ。

[請求項3]

請求項2に記載のアクチュエータにおいて、
前記静電駆動機構は、
第1固定櫛歯電極、および該第1固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合す

る第1可動櫛歯電極を有する第1櫛歯駆動部と、

前記第1固定櫛歯電極に対して間隔を空けて対向配置される第2固定櫛歯電極、および該第2固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第2可動櫛歯電極を有する第2櫛歯駆動部と、を備え、

第1可動部は、前記第1固定櫛歯電極と前記第2固定櫛歯電極との間に配置されるとともに、前記第1可動櫛歯電極および第2可動櫛歯電極が設けられ、

第1弾性支持部は、前記第1および第2固定櫛歯電極に対する前記第1および第2可動櫛歯電極の各挿入量が増加する方向にスライド移動可能なように前記第1可動部を弾性支持し、

前記エレクトレットは、前記第1固定櫛歯電極および前記第1可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第1エレクトレットと、前記第2固定櫛歯電極および前記第2可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第2エレクトレットと、を有し、

前記複数の安定位置として、

前記第2可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで前記第1可動櫛歯電極が前記第1固定櫛歯電極に吸引されて、前記第1エレクトレットに起因する第1静電力と前記第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第1安定位置と、

前記第1可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで前記第2可動櫛歯電極が前記第2固定櫛歯電極に吸引されて、前記第2エレクトレットに起因する第2静電力と前記第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第2安定位置と、が設定され、

前記駆動制御部は、

前記第1櫛歯駆動部に前記第1静電力を弱める第1電圧を印加し、前記第1可動部を前記第1安定位置から前記第2安定位置へ移動させ

、

前記第 2 櫛歯駆動部に前記第 2 静電力を弱める第 2 電圧を印加し、
前記第 1 可動部を前記第 2 安定位置から前記第 1 安定位置へ移動させる、アクチュエータ。

[請求項 4]

請求項 2 に記載のアクチュエータにおいて、

前記静電駆動機構は、

前記第 1 可動部のスライド方向であって、該第 1 可動部を挟むように前記固定櫛歯電極とは反対側に設けられた固定電極板と、

前記固定電極板と対向配置され、前記第 1 可動部に設けられた可動電極板と、をさらに備え、

前記エレクトレットは、前記固定櫛歯電極および前記可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第 1 エレクトレットと、対向配置された前記固定電極板および前記可動電極板の少なくとも一方に設けられた第 2 エレクトレットと、を備え、

前記複数の安定位置として、

前記可動櫛歯電極が前記固定櫛歯電極に挿入されるように吸引されて、前記第 1 エレクトレットに起因する第 1 静電力と前記第 1 弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 1 安定位置と、

前記固定櫛歯電極に対する前記可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで前記可動電極板が前記固定電極板側に吸引されて、前記第 2 エレクトレットに起因する第 2 静電力と前記第 1 弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 2 安定位置と、が設定され、

前記駆動制御部は、

前記固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極との間に前記第 1 静電力を弱める第 1 電圧を印加して、前記第 1 可動部を前記第 1 安定位置から前記第 2 安定位置へ移動させ、

前記固定電極板と前記可動電極板との間に前記第 2 静電力を弱める第 2 電圧を印加して、前記第 1 可動部を前記第 2 安定位置から前記第 1 安定位置へ移動させる、アクチュエータ。

[請求項5]

請求項 2 に記載のアクチュエータにおいて、

前記エレクトレットは、前記固定櫛歯電極および前記可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられ、

前記複数の安定位置として、

前記挿入量が正であって、前記エレクトレットに起因する静電力と前記第 1 弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 1 安定位置と、

前記挿入量がゼロであって、前記エレクトレットに起因する前記固定櫛歯電極のフリンジ電界による静電引力と前記弾性力とが釣り合い、かつ、前記第 2 電圧を印加時のフリンジ電界による静電力が前記弾性力よりも大きくなる安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第 2 安定位置と、が設定され、

前記駆動制御部は、前記櫛歯駆動部の静電力を弱める第 1 電圧を印加して前記第 1 可動部を前記第 1 安定位置から前記第 2 安定位置へ駆動し、前記櫛歯駆動部の静電力を強める第 2 電圧を印加して前記第 1 可動部を前記第 2 安定位置から前記第 1 安定位置へ駆動する、アクチュエータ。

[請求項6]

請求項 3 に記載のアクチュエータにおいて、

前記第 1 静電力の大きさが前記第 1 可動櫛歯電極の挿入量に応じて複数段に変化し、前記第 1 安定位置と前記第 2 安定位置との間に、前記第 1 および第 2 静電力と前記第 1 弾性支持部の弾性力とが釣り合う複数の第 1 中間安定位置が設定されるように、前記第 1 固定櫛歯電極または前記第 1 可動櫛歯電極の櫛歯形状が構成され、

前記駆動制御部は、前記第 1 櫛歯駆動部および前記第 2 櫛歯駆動部の少なくとも一方の印加電圧を制御して、前記第 1 可動部を前記第 1

安定位置、前記第2安定位置および前記複数の第1中間安定位置のいずれかに移動させる、アクチュエータ。

[請求項7]

請求項4に記載のアクチュエータにおいて、

前記第1静電力の大きさが前記可動櫛歯電極の挿入量に応じて複数段に変化し、前記第1安定位置と前記第2安定位置との間に、前記第1および第2静電力と前記第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う複数の中間安定位置が設定されるように、前記固定櫛歯電極または前記可動櫛歯電極の櫛歯形状が構成され、

前記駆動制御部は、前記第1可動部を前記複数の中間安定位置へ駆動するための複数の電圧が前記櫛歯駆動部に対して印加可能である、アクチュエータ。

[請求項8]

請求項5に記載のアクチュエータにおいて、

前記エレクトレットに起因する静電力の大きさが前記可動櫛歯電極の挿入量に応じて複数段に変化し、前記第1安定位置と前記第2安定位置との間に、前記エレクトレットに起因する静電力と前記第1弾性支持部の弾性力とが釣り合う複数の中間安定位置が設定されるように、前記固定櫛歯電極または前記可動櫛歯電極の櫛歯形状が構成され、

前記駆動制御部は、前記第1可動部を前記複数の中間安定位置へ駆動するための複数の電圧が前記櫛歯駆動部に対して印加可能である、アクチュエータ。

[請求項9]

請求項2に記載のアクチュエータにおいて、

前記静電駆動機構は、第1固定櫛歯電極および第1可動櫛歯電極を有する第1櫛歯駆動部と、第2固定櫛歯電極および第2可動櫛歯電極を有する第2櫛歯駆動部とを備え、

前記第1固定櫛歯電極および前記第2固定櫛歯電極は、間隔を空けて対向配置され、

前記第1可動部は、前記第1固定櫛歯電極と前記第2固定櫛歯電極との間に配置され、かつ、前記第1固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合す

るように前記第 1 可動櫛歯電極が設けられるとともに、前記第 2 固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合するように第 2 可動櫛歯電極が設けられ、

前記第 1 弾性支持部は、前記第 1 および第 2 可動櫛歯電極の各挿入量が増加する方向にスライド移動可能なように前記第 1 可動部を弾性支持し、

前記エレクトレットは、前記第 1 固定櫛歯電極および前記第 1 可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第 1 エレクトレットと、前記第 2 固定櫛歯電極および前記第 2 可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第 2 エレクトレットと、を有し、

前記複数の安定位置として、前記第 1 エレクトレットに起因する第 1 静電力と前記第 2 エレクトレットに起因する第 2 静電力と前記第 1 弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置が複数設定されるように、前記第 1 固定櫛歯電極または前記第 1 可動櫛歯電極の櫛歯形状は、前記第 1 静電力の大きさが前記第 1 可動電極の挿入量に応じて複数段に変化するように構成され、

前記駆動制御部は、前記第 1 櫛歯駆動部および前記第 2 櫛歯駆動部の少なくとも一方の印加電圧を制御して、前記第 1 可動部を前記複数の安定位置のいずれかに移動させる、アクチュエータ。

[請求項10] 請求項 6 または 9 に記載のアクチュエータにおいて、

前記第 1 固定櫛歯電極または前記第 1 可動櫛歯電極は、長さが異なる複数種類の櫛歯群または櫛歯配列方向の櫛歯幅寸法が異なる複数種類の櫛歯群を備えている、アクチュエータ。

[請求項11] 請求項 7 または 8 に記載のアクチュエータにおいて、

前記固定櫛歯電極または前記可動櫛歯電極は、長さの異なる複数種類の櫛歯群または櫛歯配列方向の櫛歯幅寸法が異なる複数種類の櫛歯群を備えている、アクチュエータ。

[請求項12] 請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載のアクチュエータにおいて、

前記静電駆動機構、前記第1可動部および前記第1弾性支持部のそれぞれは、同一シリコン基板を加工することにより形成されているアクチュエータ。

[請求項13]

請求項3に記載のアクチュエータにおいて、

前記第1可動部に設けられ、該第1可動部の移動方向と交差する方向に間隔を空けて対向配置された第3固定櫛歯電極および第4固定櫛歯電極と、

前記第3固定櫛歯電極と前記第4固定櫛歯電極との間に配置され、前記第3固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第3可動櫛歯電極、および前記第4固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第4可動櫛歯電極が設けられた第2可動部と、

前記交差する方向にスライド移動可能なように前記第2可動部を前記第1可動部に対して弾性支持する第2弾性支持部と、をさらに備え、

前記エレクトレットは、前記第3固定櫛歯電極および前記第3可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第3エレクトレットと、前記第4固定櫛歯電極および前記第4可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第4エレクトレットと、をさらに有し、

前記複数の安定位置として、

前記第4固定櫛歯電極に対する前記第4可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで前記第3可動櫛歯電極が前記第3固定櫛歯電極に吸引されて、前記第3エレクトレットに起因する第3静電力と前記第2弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定された安定位置である第3安定位置と、

前記第3固定櫛歯電極に対する前記第3可動櫛歯電極の挿入量がゼロとなる位置まで前記第4可動櫛歯電極が前記第4固定櫛歯電極に吸引されて、前記第4エレクトレットに起因する第4静電力と前記第2弾性支持部の弾性力とが釣り合う安定位置、またはその近傍に設定さ

れた安定位置である第4安定位置と、がさらに設定され、

前記駆動制御部は、

前記第3固定櫛歯電極と前記第3可動櫛歯電極との間に前記第3静電力を弱める第3電圧を印加し、前記第2可動部を前記第3安定位置から前記第4安定位置へ移動させ、

前記第4固定櫛歯電極と前記第4可動櫛歯電極との間に前記第4静電力を弱める第4電圧を印加し、前記第2可動部を前記第4安定位置から前記第3安定位置へ移動させる、アクチュエータ。

[請求項14]

請求項9に記載のアクチュエータにおいて、

前記第1可動部に設けられ、該第1可動部の移動方向と交差する方向に間隔を空けて対向配置された第3固定櫛歯電極および第4固定櫛歯電極と、

前記第3固定櫛歯電極と前記第4固定櫛歯電極との間に配置され、前記第3固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第3可動櫛歯電極、および前記第4固定櫛歯電極に挿脱可能に歯合する第4可動櫛歯電極が設けられた第2可動部と、

前記交差する方向に移動可能なように前記第2可動部を前記第1可動部に対して弾性支持する第2弾性支持部と、をさらに備え、

前記エレクトレットは、前記第3固定櫛歯電極および前記第3可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第3エレクトレットと、前記第4固定櫛歯電極および前記第4可動櫛歯電極の少なくとも一方に設けられた第4エレクトレットと、をさらに有し、

前記複数の安定位置として、前記第3エレクトレットに起因する第3静電力と前記第4エレクトレットに起因する第4静電力と前記第2弾性支持部の弾性力とが釣り合う複数の第2安定位置が設定されるように、前記第3固定櫛歯電極または前記第3可動櫛歯電極の櫛歯形状は、前記第3静電力の大きさが前記第3可動電極の挿入量に応じて複数段に変化するように構成され、

前記駆動制御部は、

前記第 3 固定櫛歯電極と前記第 3 可動櫛歯電極との間の印加電圧、および前記第 4 固定櫛歯電極と前記第 4 可動櫛歯電極との間の印加電圧の少なくとも一方を制御して、前記第 2 可動部を前記複数の第 2 安定位置のいずれかに移動させる、アクチュエータ。

[請求項15] 請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のアクチュエータと、
前記アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して光路に挿脱され、光源からの光を通過状態および非通過状態のいずれかに切替えるシャッタ部材と、を備え、

前記第 1 可動部が前記複数の安定位置の内の第 1 安定位置へ移動されると前記通過状態とされ、前記第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると前記非通過状態とされるシャッタ装置。

[請求項16] 請求項 6 または 9 に記載のアクチュエータと、
前記アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して光路に挿脱され、前記第 1 可動部が前記複数の安定位置のいずれに移動されるかに応じて光路遮蔽率の異なる遮蔽部材と、を備え、

前記駆動制御部により印加電圧を制御して前記第 1 可動部を前記複数の安定位置に移動させて、通過光量を制御するシャッタ装置。

[請求項17] 請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のアクチュエータと、
流路が形成された流路形成体と、
前記アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して前記流路を開閉する弁体と、を備え、

前記弁体は、前記第 1 可動部が前記複数の安定位置の内の第 1 安定位置へ移動されると前記流路を開き、前記第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると前記流路を閉じる流体制御装置。

[請求項18] 複数の流路が形成された流路形成体と、
前記複数の流路の各々に設けられた、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のアクチュエータと、

前記複数の流路毎に設けられ、該流路に対応する前記アクチュエータの第1可動部と一体に移動して該流路を開閉する弁体と、を備え、

前記複数の弁体の各々は、該弁体と一体に移動する前記第1可動部が前記複数の安定位置の内の第1安定位置へ移動されると前記流路を開き、前記第1可動部が他の第2安定位置へ移動されると前記流路を閉じる流体制御装置。

[請求項19]

請求項17または18に記載の流体制御装置において、

前記流路は、入口側の第1流路と出口側の第2流路とを有し、

前記流路に対応した前記弁体には、前記第1流路と前記第2流路とを連通する連通部と、前記第1および第2流路の一方を塞いで非連通状態とする遮蔽部とが形成されている流体制御装置。

[請求項20]

第1流路および複数の第2流路が形成された流路形成体と、

前記複数の第2流路の各々に設けられた、請求項1乃至3のいずれか一項に記載のアクチュエータと、

前記複数の第2流路毎に設けられ、該第2流路に対応する前記アクチュエータの第1可動部と一体に移動して該第2流路と前記第1流路との連通および非連通を切り換える弁体と、を備え、

前記複数の弁体の各々は、該弁体と一体に移動する前記第1可動部が前記複数の安定位置の内の第1安定位置へ移動されると対応する第2流路と前記第1流路とを連通状態とし、前記第1可動部が他の第2安定位置へ移動されると対応する第2流路と前記第1流路とを非連通状態とする流体制御装置。

[請求項21]

請求項1乃至3のいずれか一項に記載のアクチュエータと、

高周波信号入力用の信号線が接続される第1接点と、

入力された高周波信号を出力するための信号線が接続される第2接点と、

前記アクチュエータの第1可動部と一体に移動して、前記第1接点と前記第2接点との間の導通および非導通を切り換える可動接点と、

を備え、

前記可動接点は、前記第 1 可動部が前記複数の安定位置の内の第 1 安定位置へ移動されると前記第 1 および第 2 接点間が導通とされ、前記第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると前記第 1 および第 2 接点間が非導通とされるスイッチ。

[請求項22]

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のアクチュエータと、

高周波信号入力用の第 1 信号線が接続される第 1 および第 2 接点と

、

入力された高周波信号を出力するための第 2 信号線が接続される第 3 接点と、

入力された高周波信号を出力するための第 3 信号線が接続される第 4 接点と、

前記アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して、前記第 1 および第 3 接点間の導通および非導通を切り換える第 1 可動接点と、

前記アクチュエータの第 1 可動部と一体に移動して、前記第 2 および第 4 接点との導通および非導通を切り換える第 2 可動接点と、を備え、

前記第 1 可動部が前記複数の安定位置の内の第 1 安定位置へ移動されると、前記第 1 および第 3 接点間が導通とされるとともに前記第 2 および第 4 接点間が非導通とされ、

前記第 1 可動部が他の第 2 安定位置へ移動されると、前記第 2 および第 4 接点間が導通とされるとともに前記第 1 および第 3 接点間が非導通とされるスイッチ。

[請求項23]

請求項 1 3 または 1 4 に記載のアクチュエータと、

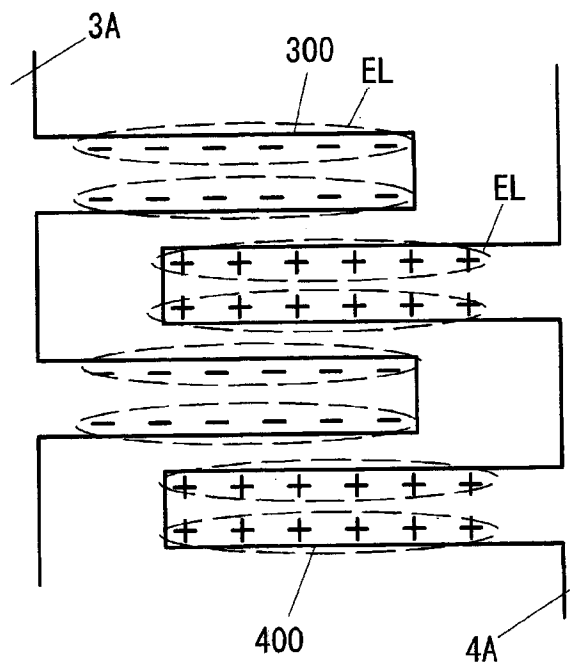
前記アクチュエータの前記第 2 可動部と一体に移動し、該第 2 可動部の移動範囲における物理量を検出するセンサと、を備え、

前記第 1 可動部および前記第 2 可動部の少なくとも一方を各々の安定位置に移動することにより、前記センサを二次元的に移動させて前

記物理量の検出を行う、2次元走査型センサ装置。

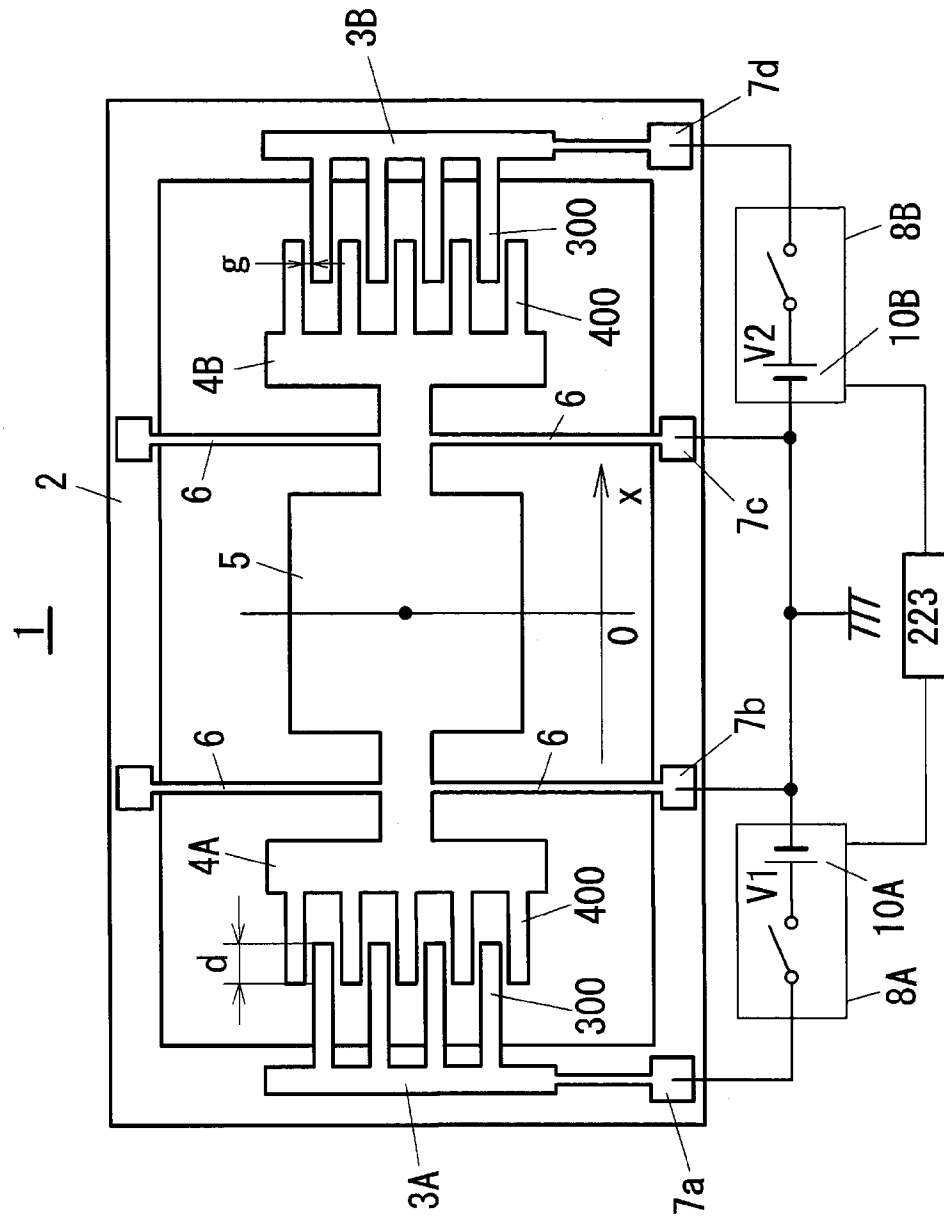
[図2]

【図 2】



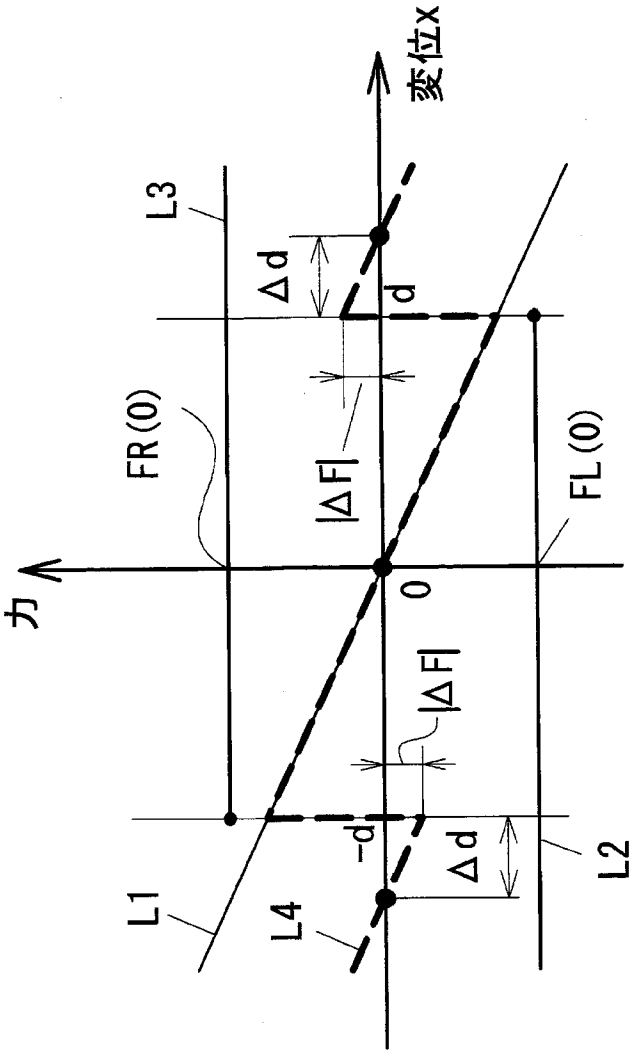
[図3]

【図3】



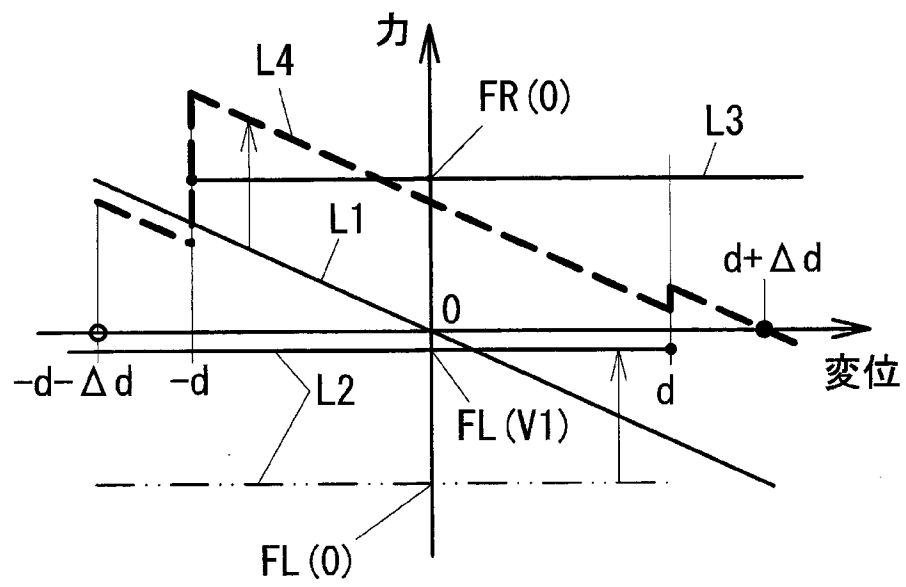
[図4]

【図4】

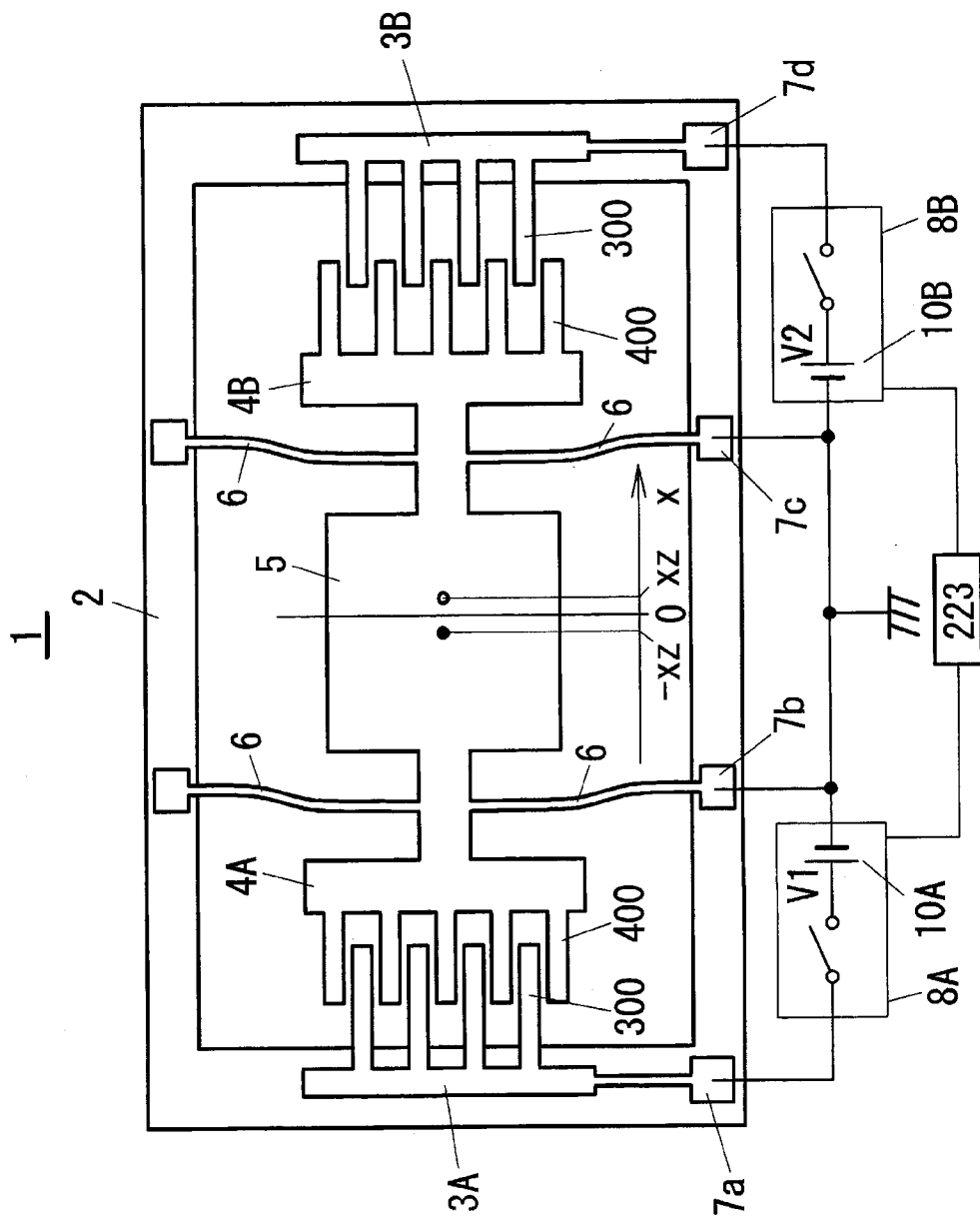


[図6]

【図6】

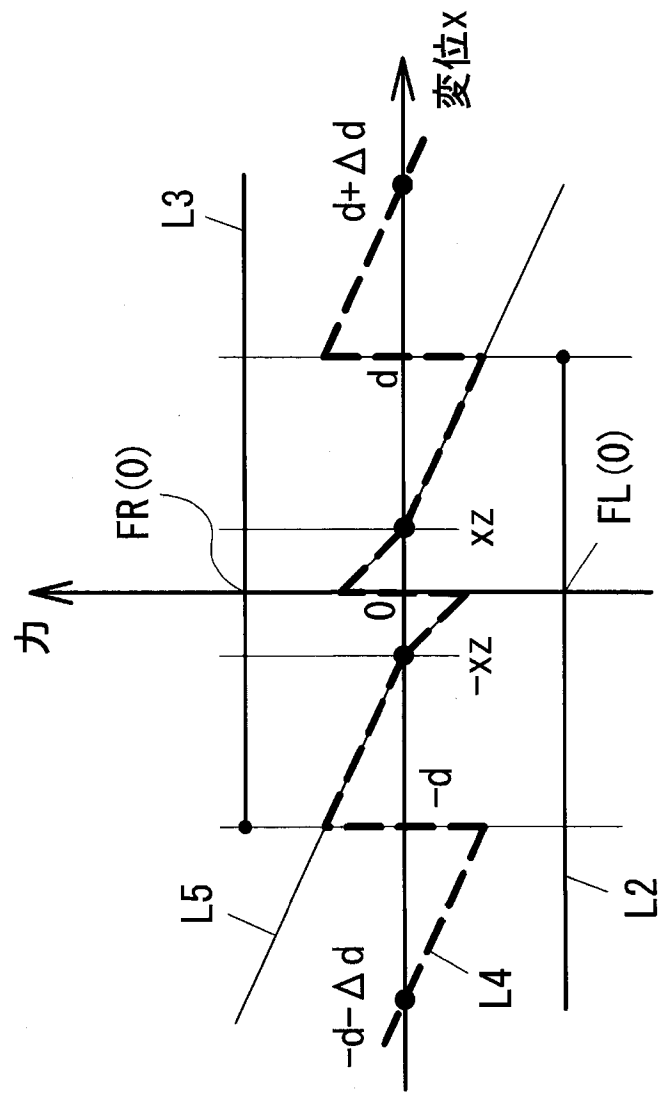


【図7】



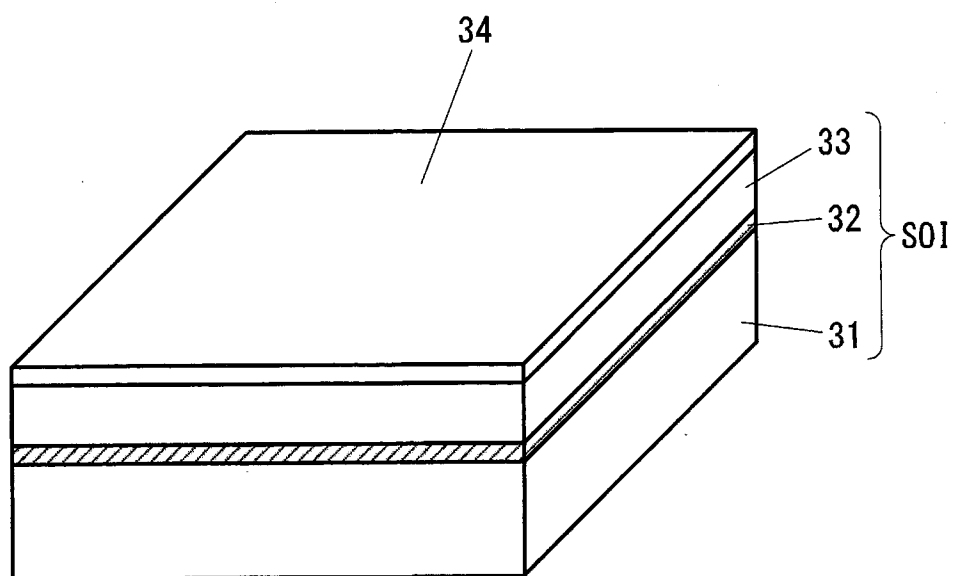
[図8]

【図8】



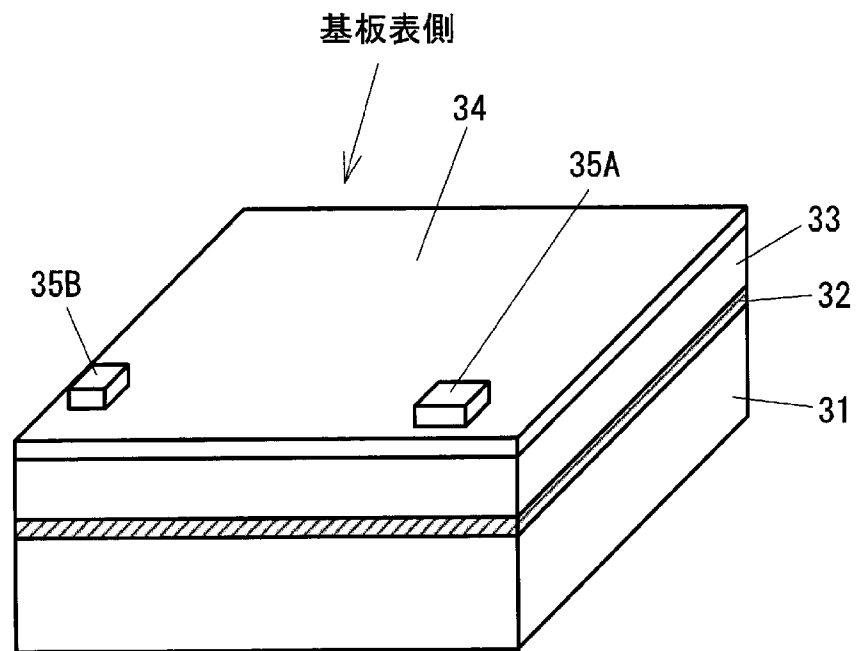
[図9]

【図9】



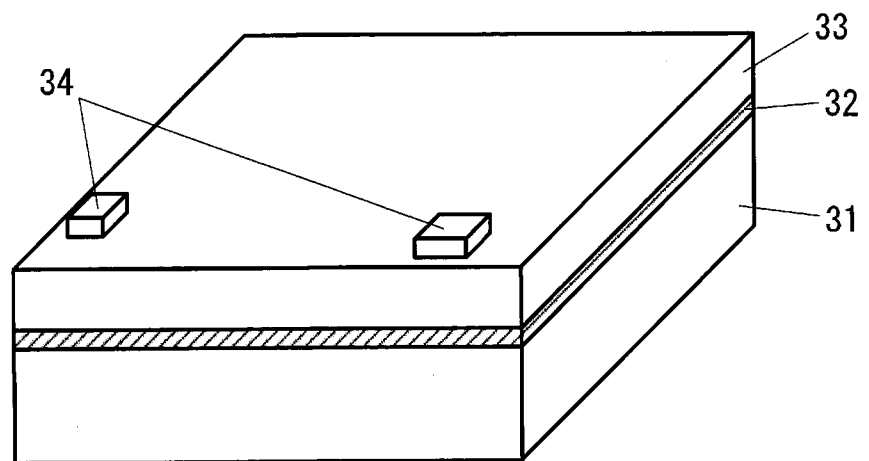
[図10]

【図 10】



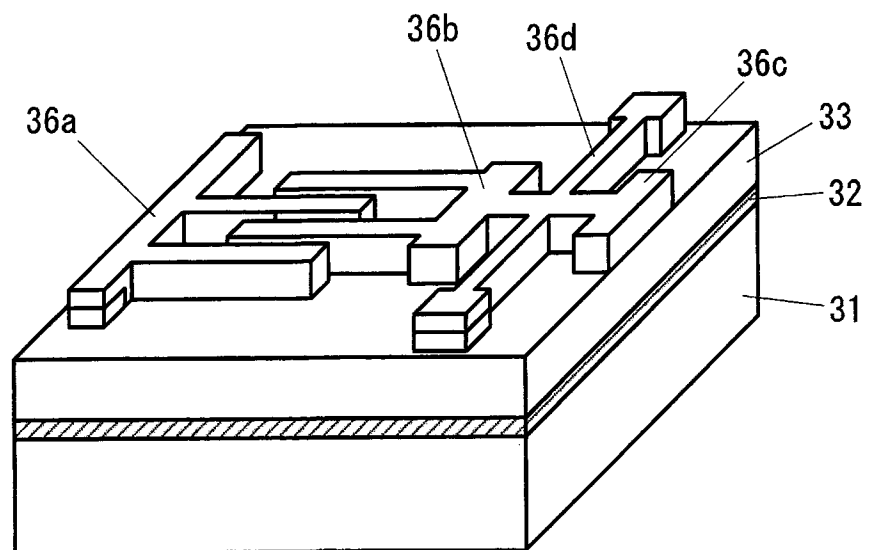
[図11]

【図 1 1】



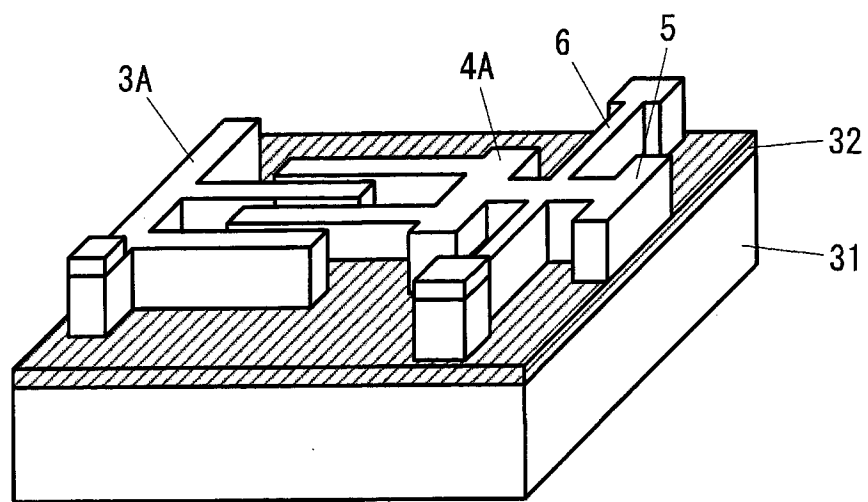
[図12]

【図 1 2】



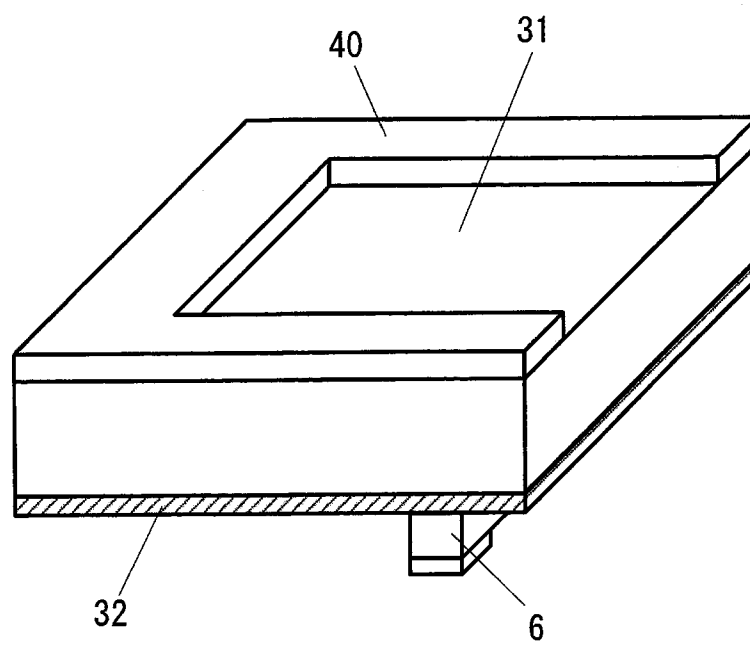
[図13]

【図 1 3】



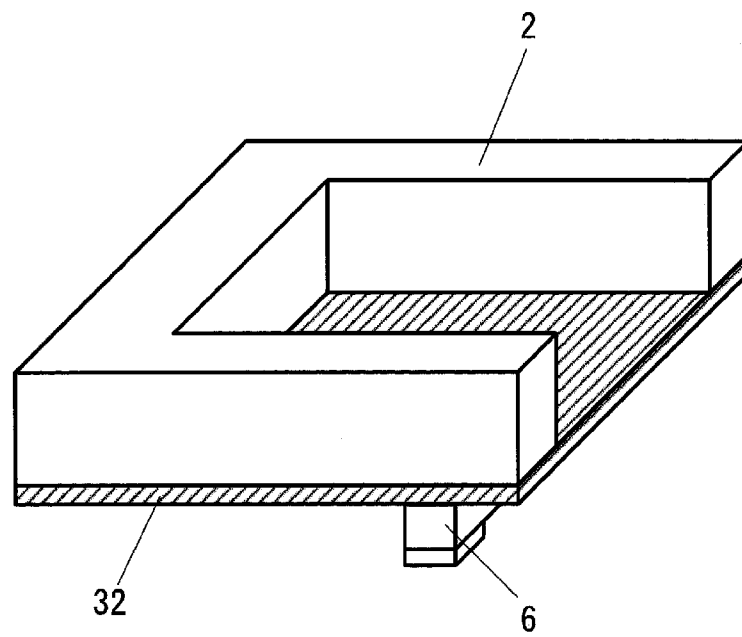
[図14]

【図 1 4】



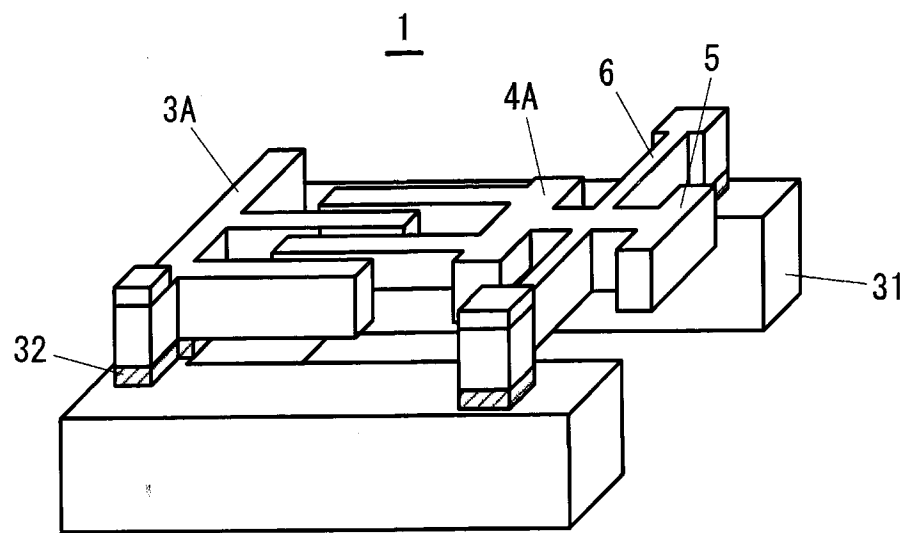
[図15]

【図 1 5】



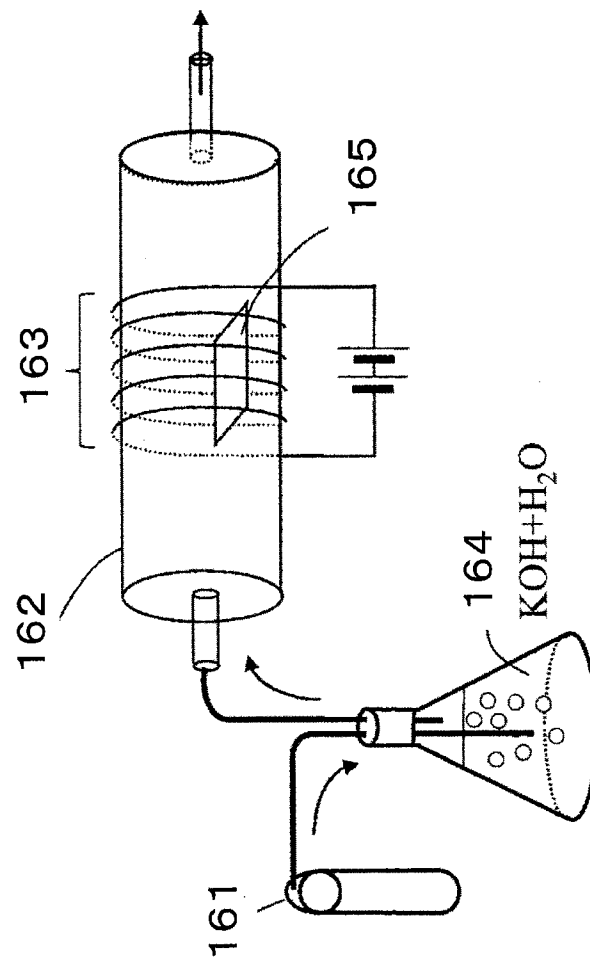
[図16]

【図 1 6】



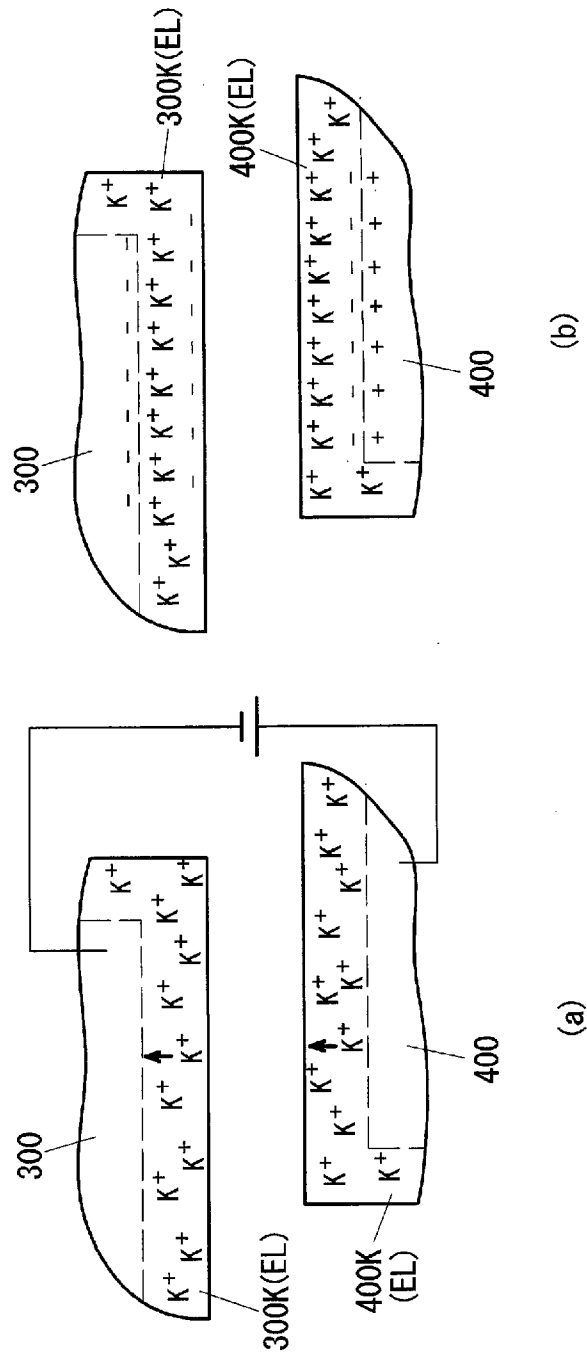
[図17]

【図17】



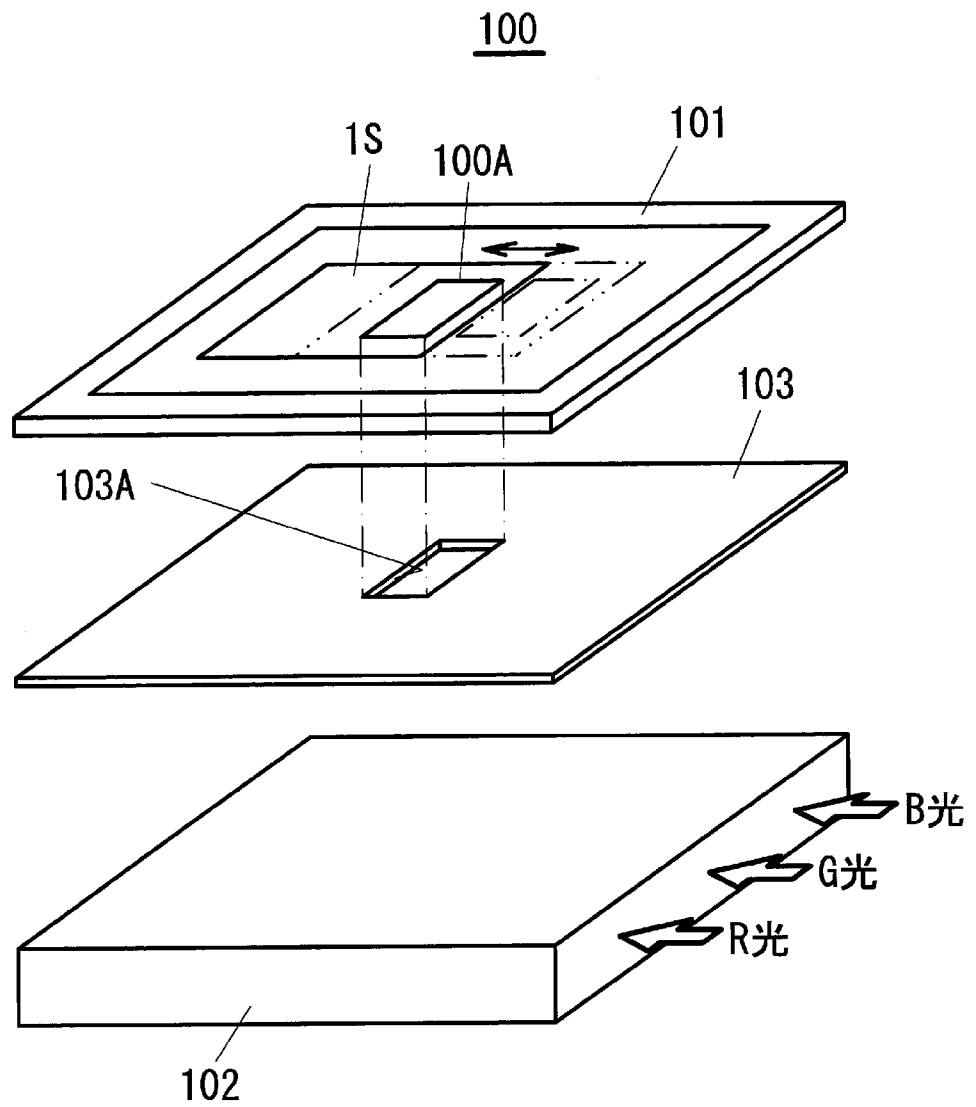
[図18]

【図18】



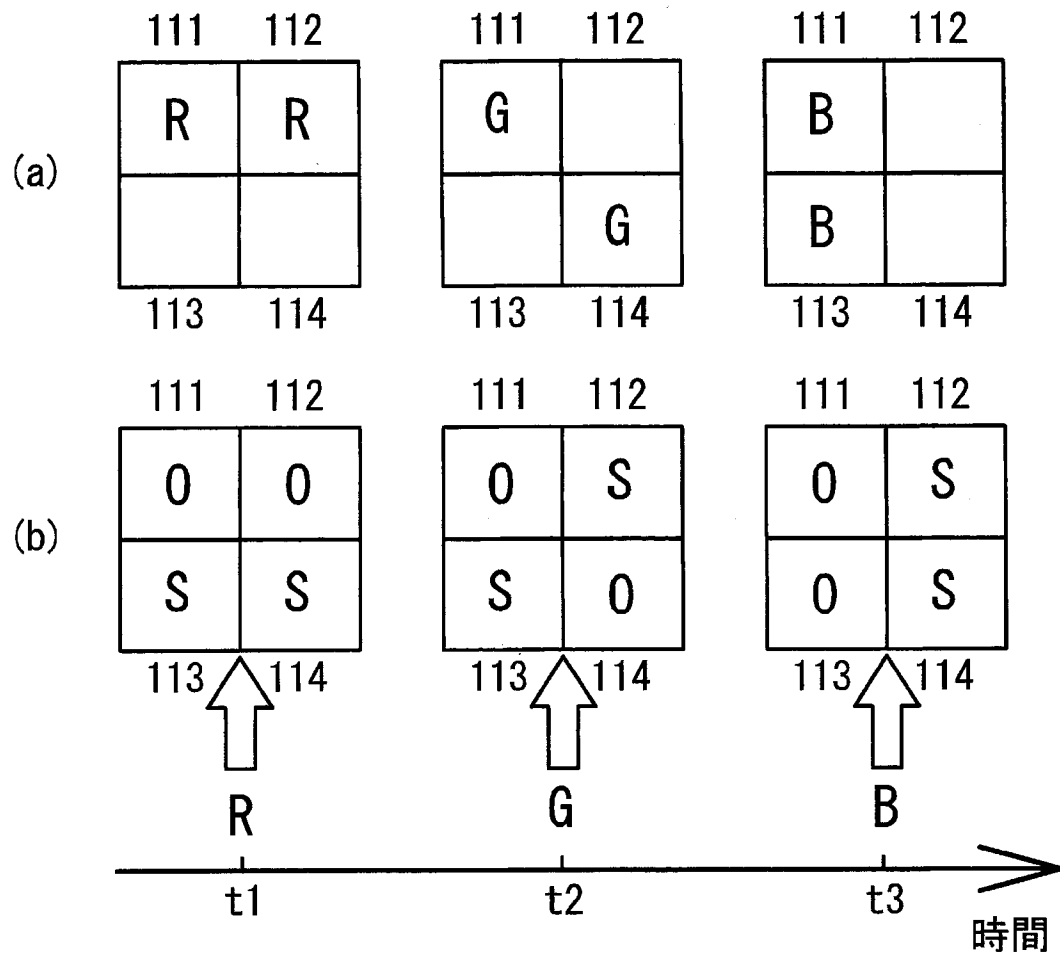
[図19]

【図 1 9】



[図20]

【図 20】

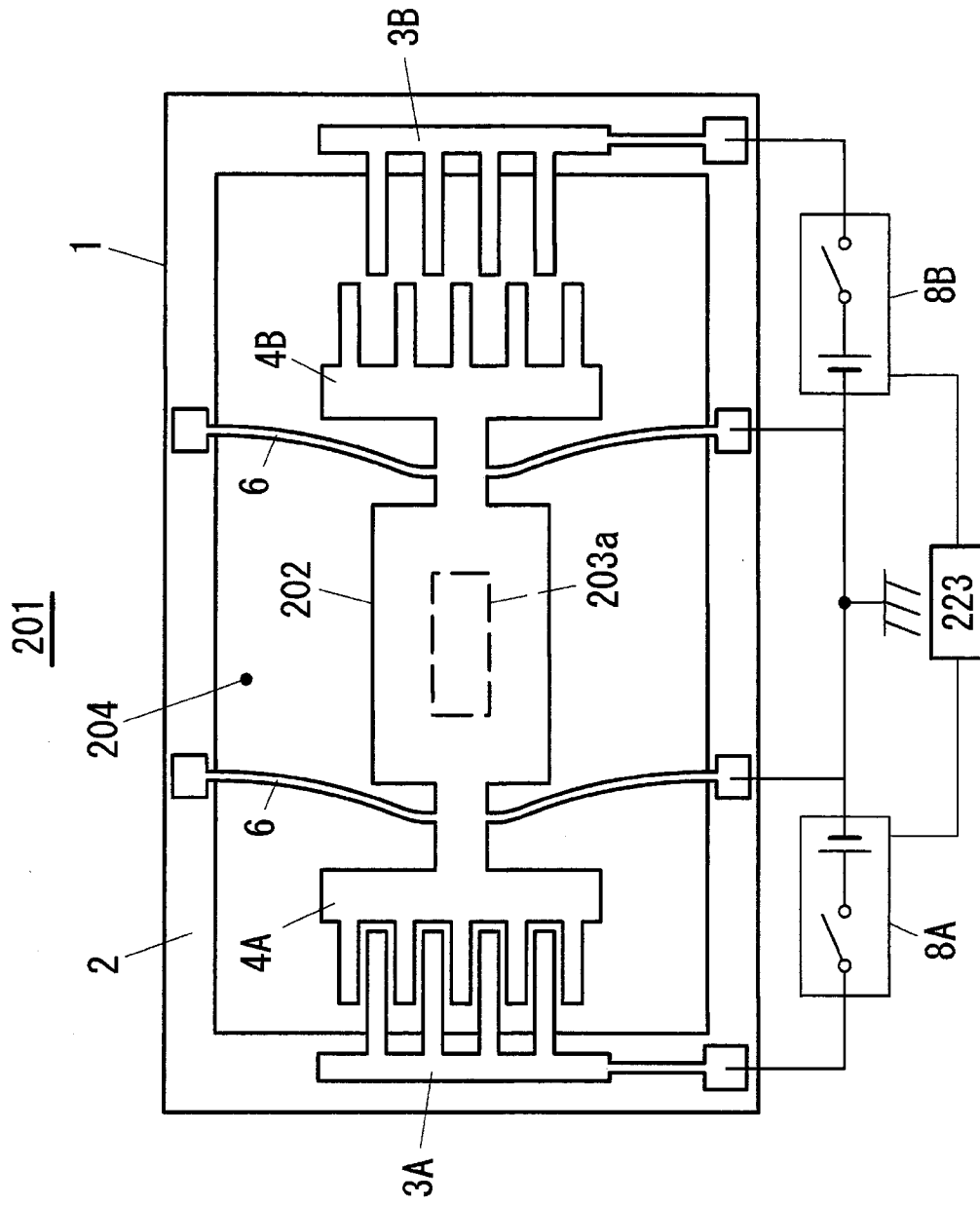


(c)

W	R
B	G

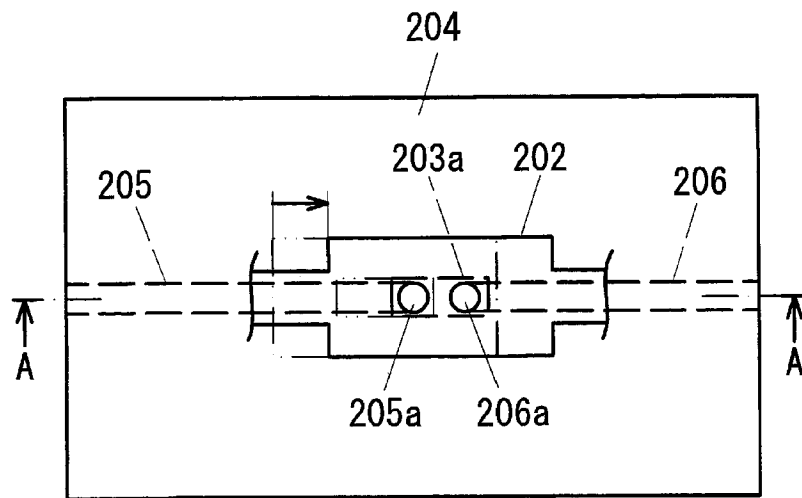
[図21]

【図21】

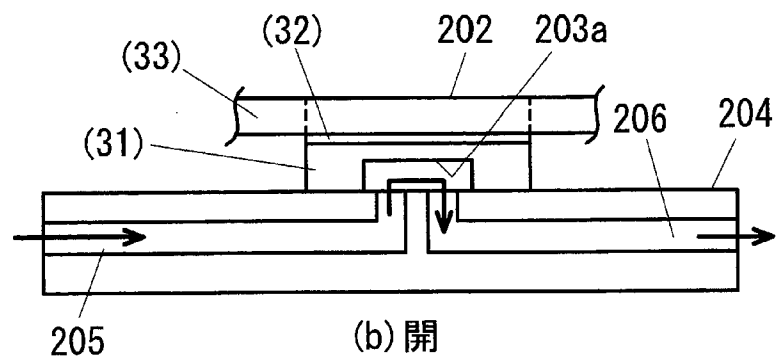


[図22]

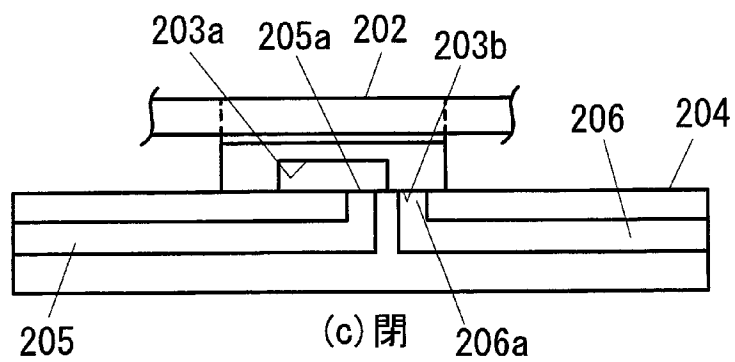
【図 2 2】



(a)



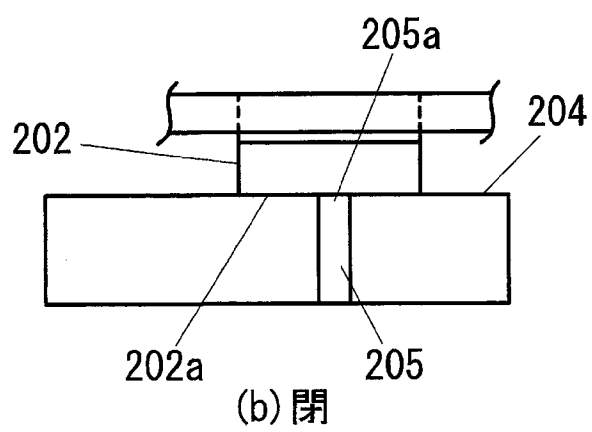
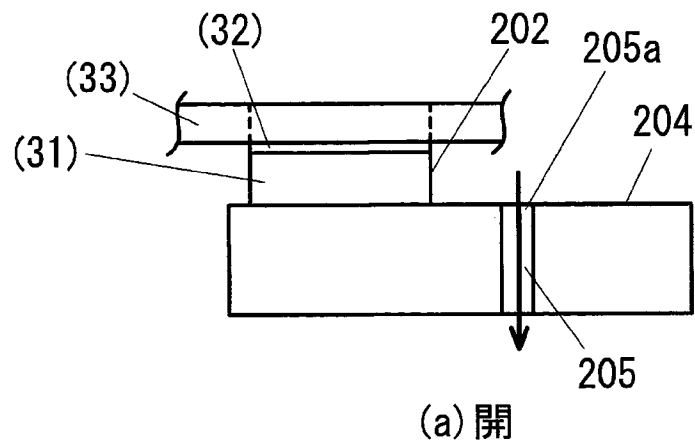
(b) 開



(c) 閉

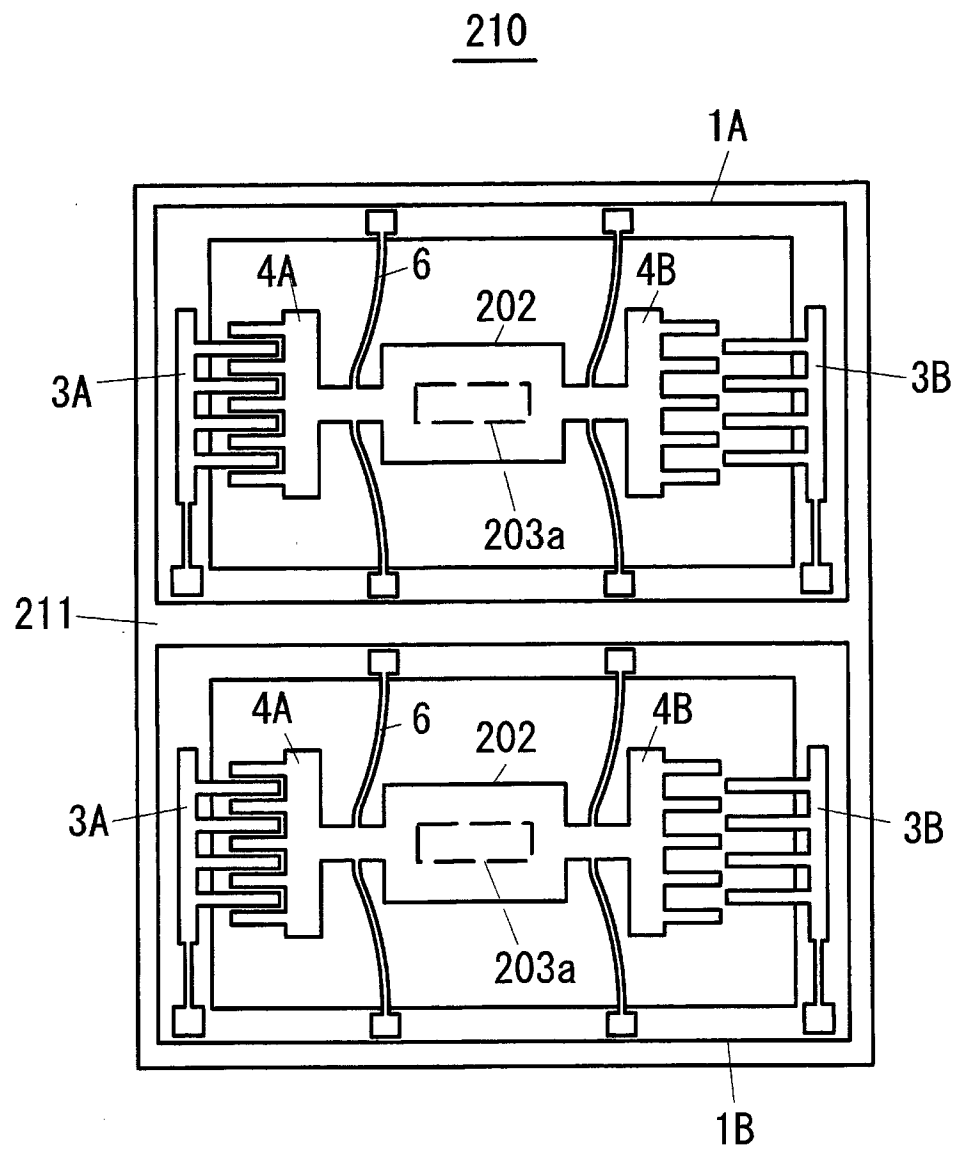
[図23]

【図 2 3】



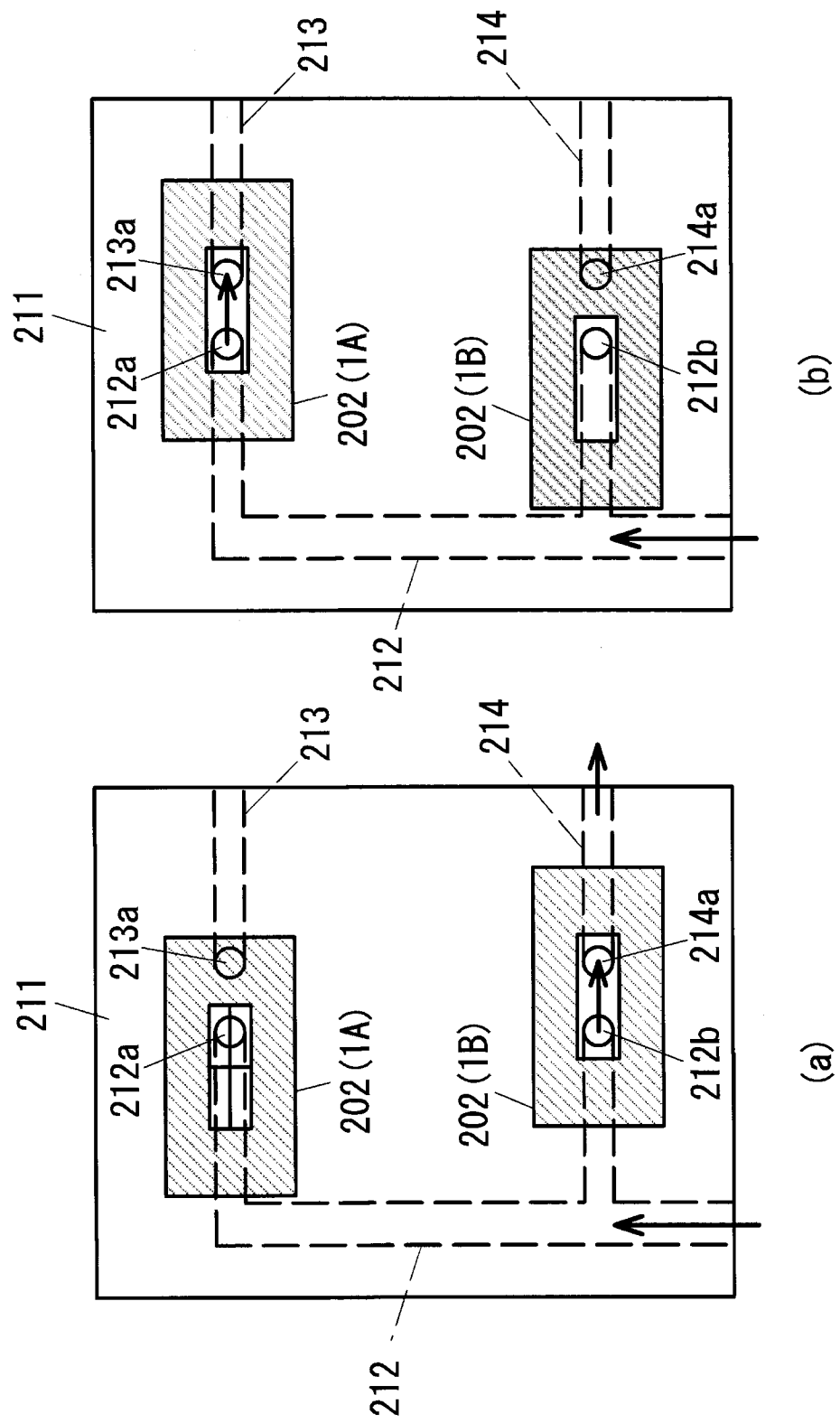
[図24]

【図 2 4】



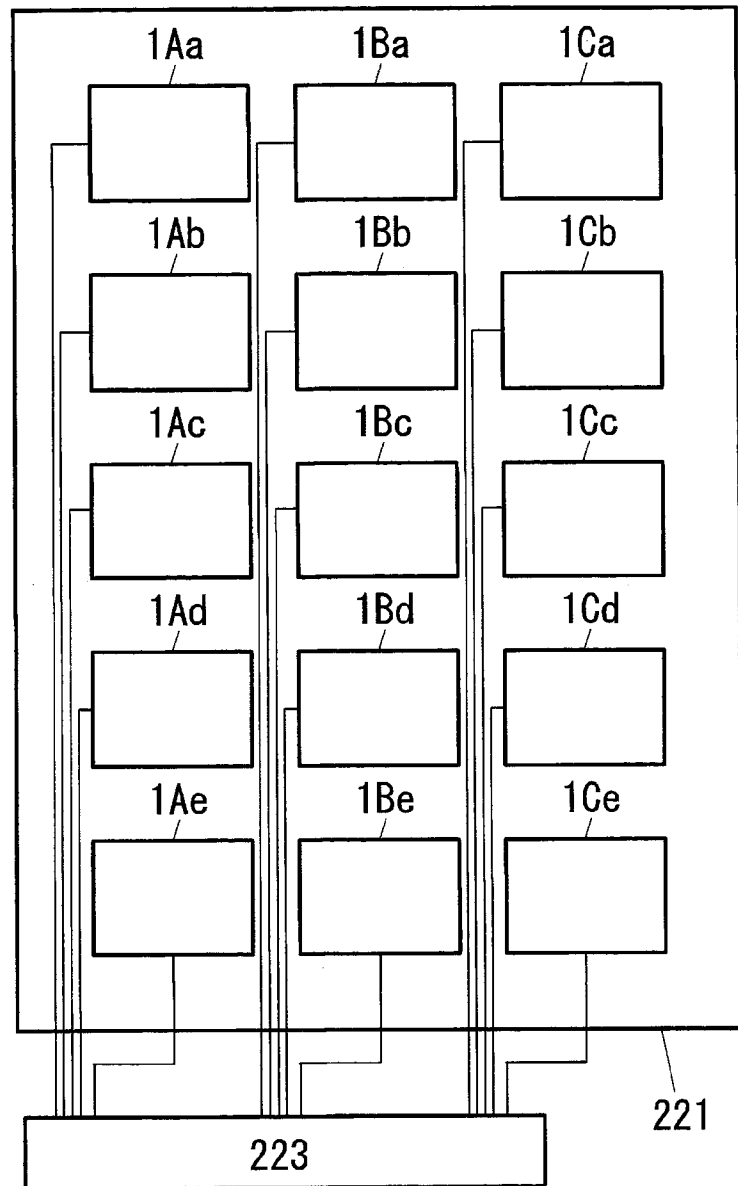
[図25]

【図25】



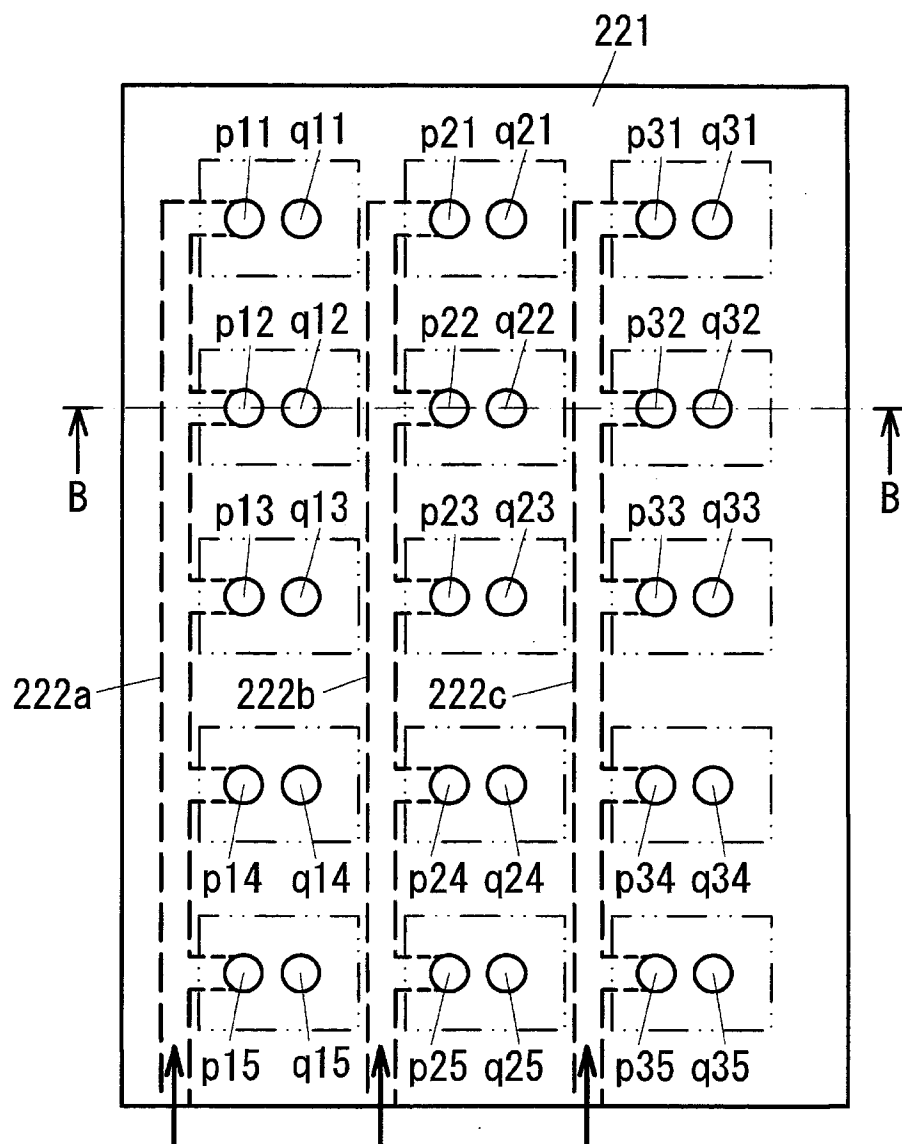
[図26]

【図 26】

220

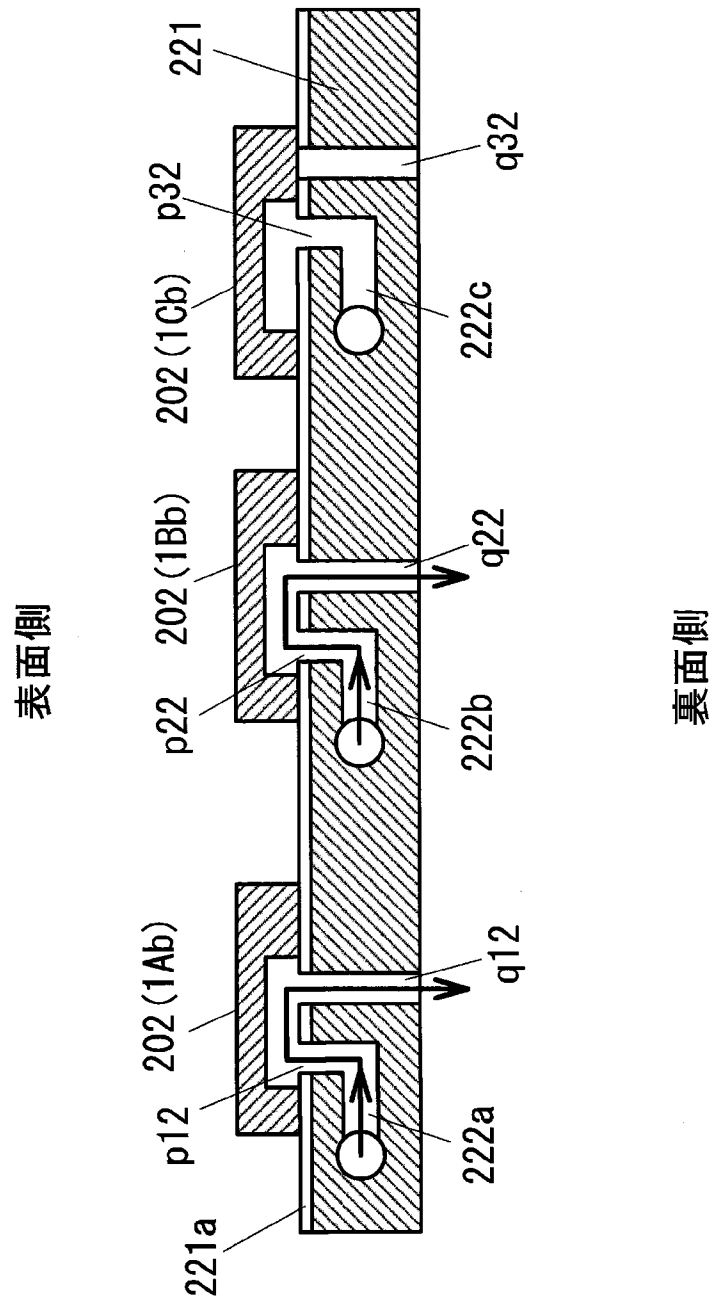
[図27]

【図 27】



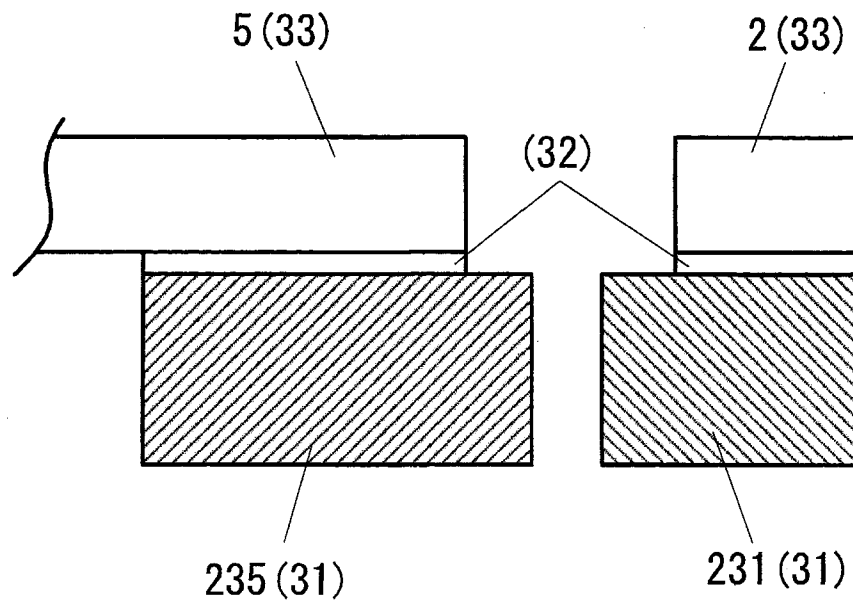
[図28]

【図28】



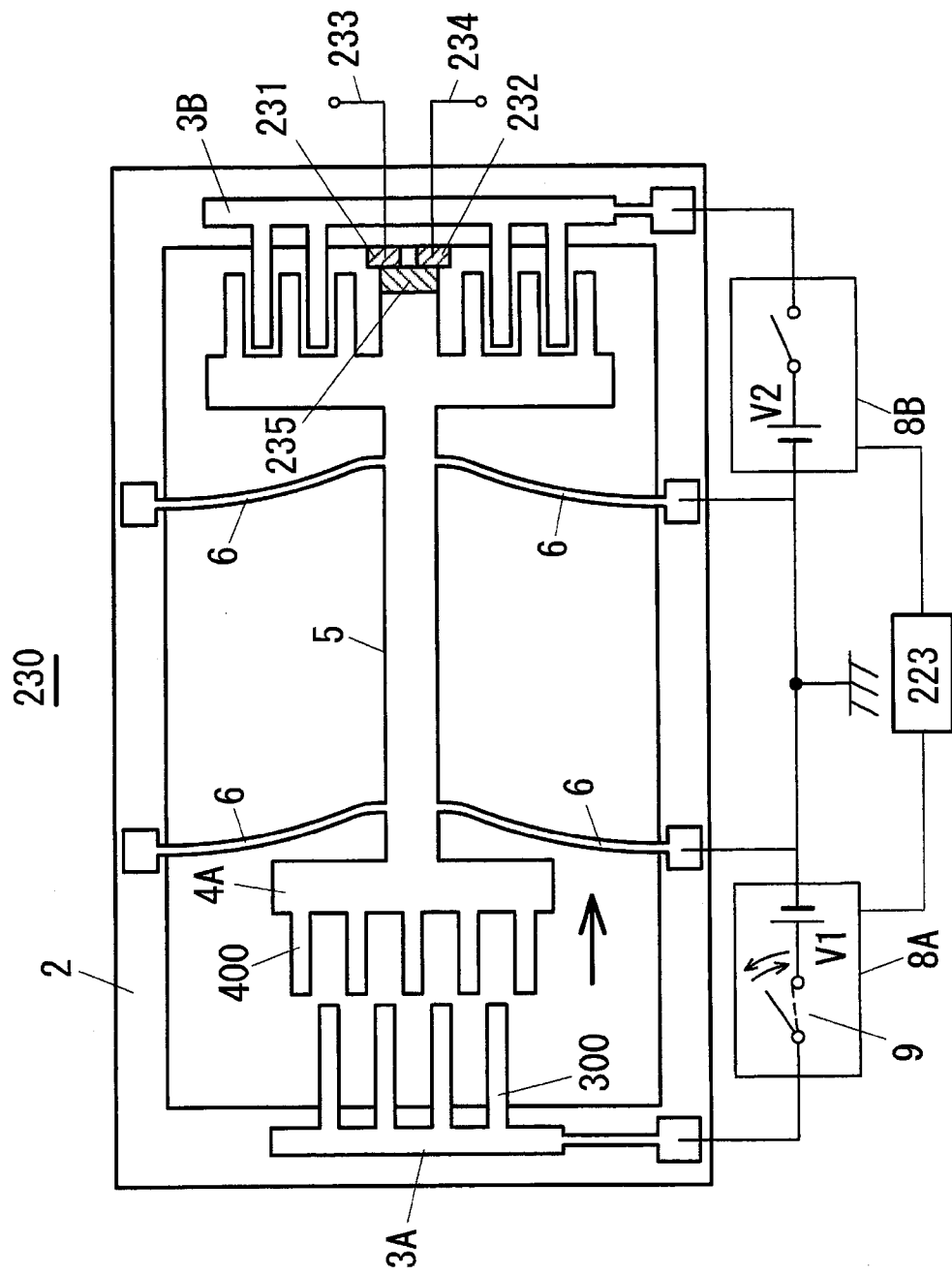
[図30]

【図 3 0】

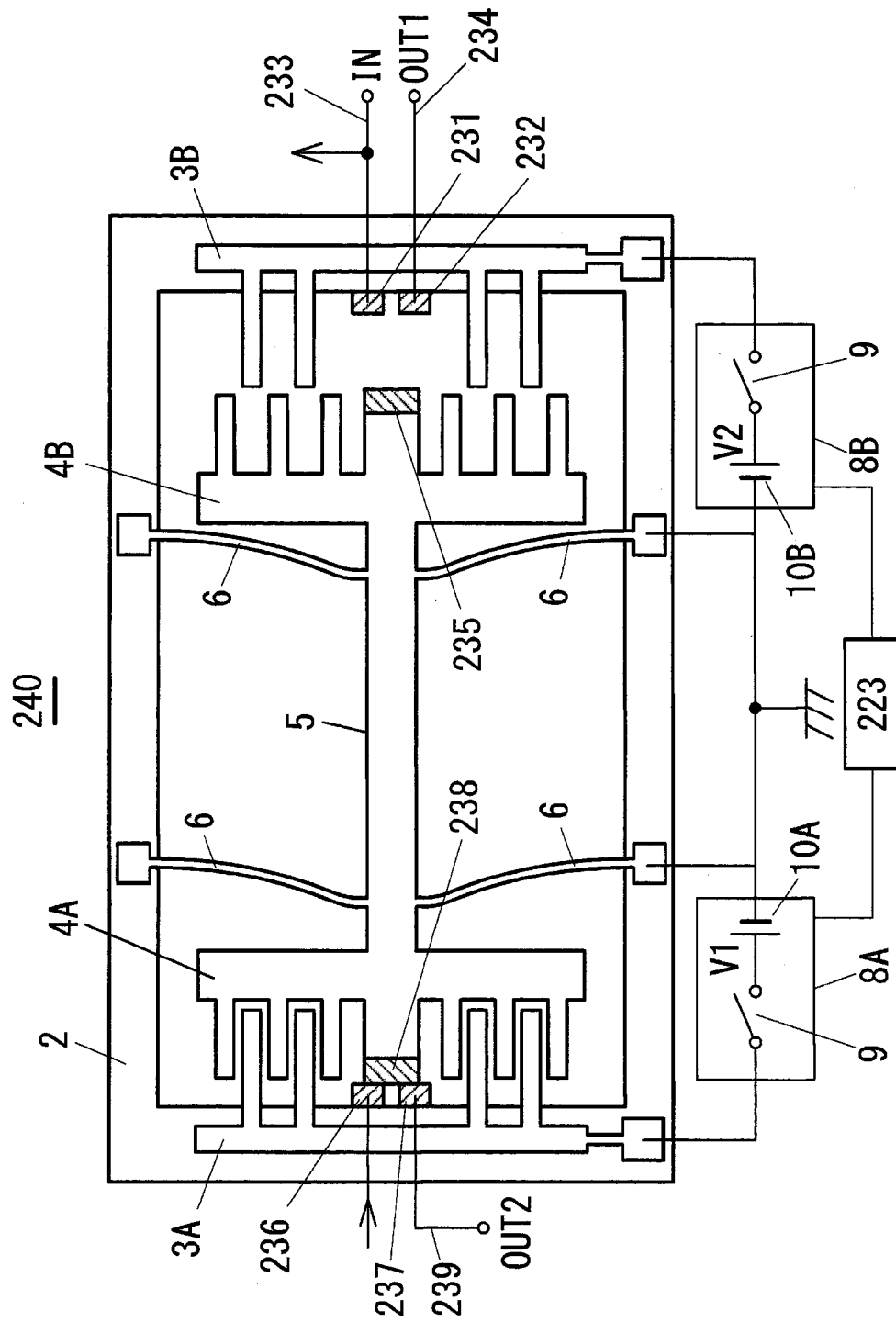


[図31]

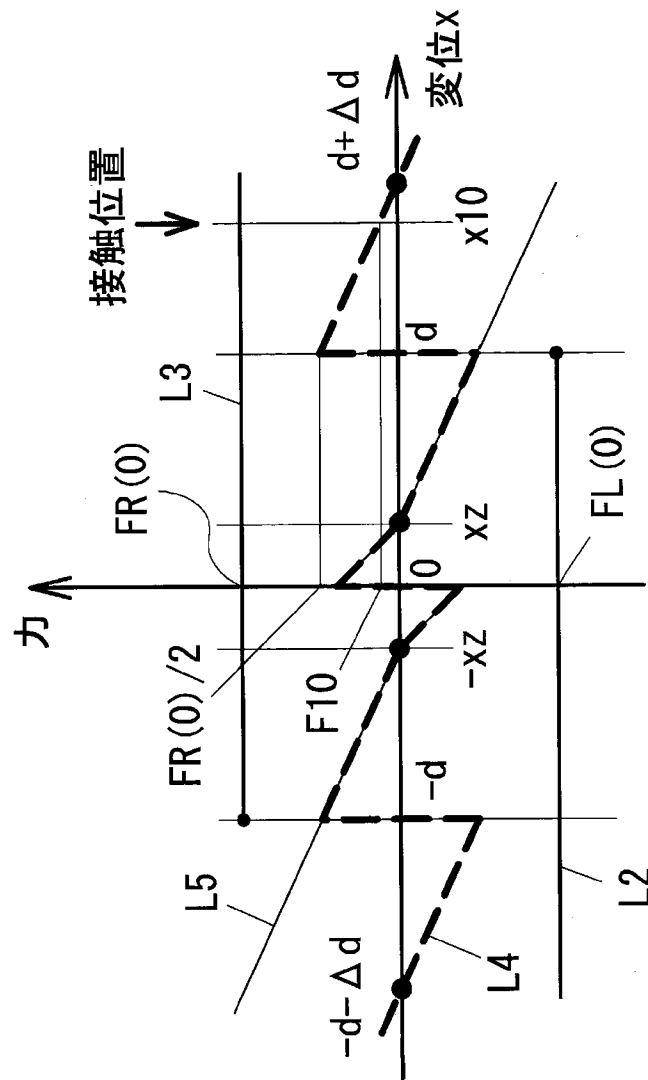
【図31】



【32】



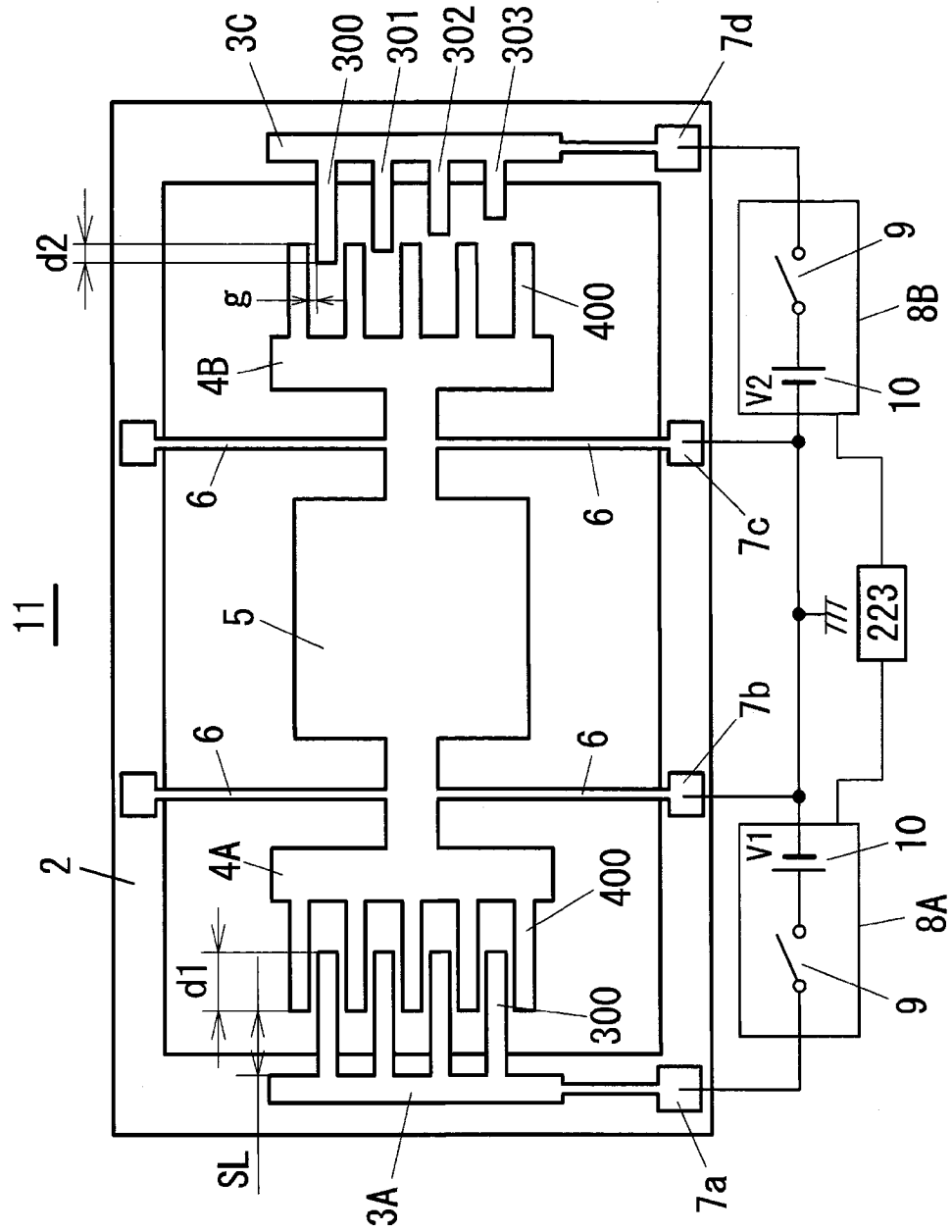
[図33]



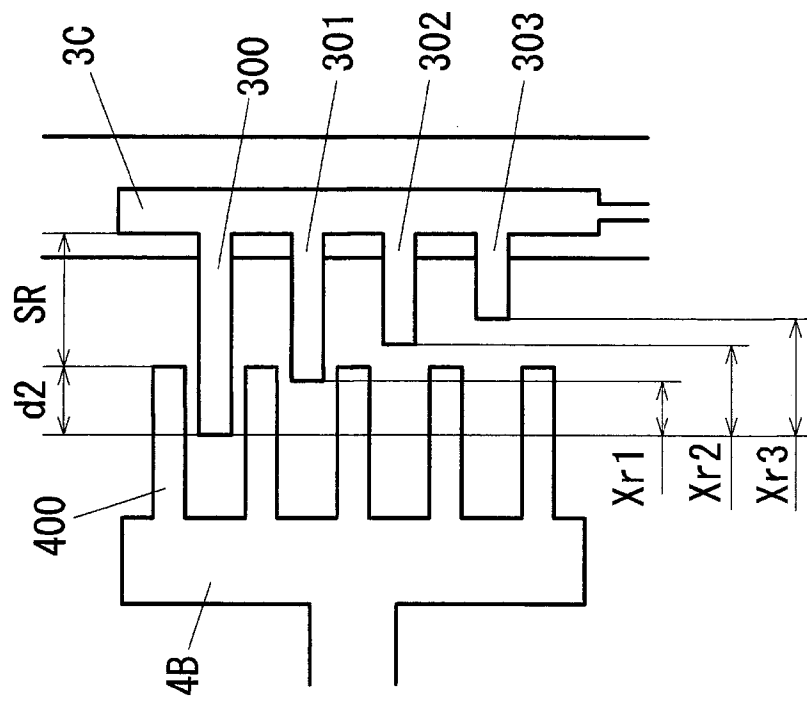
【図33】

[図34]

【図34】



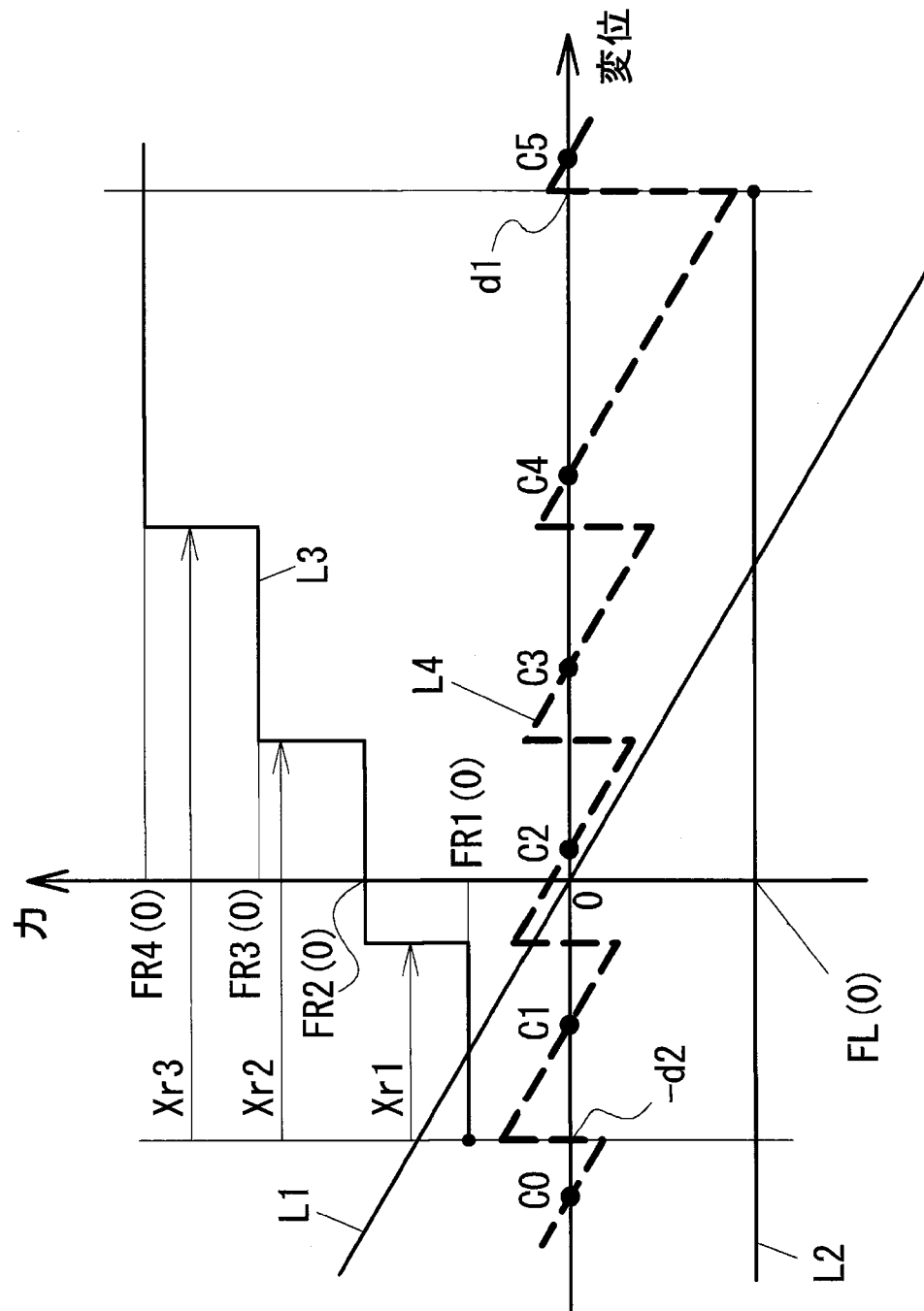
[図35]



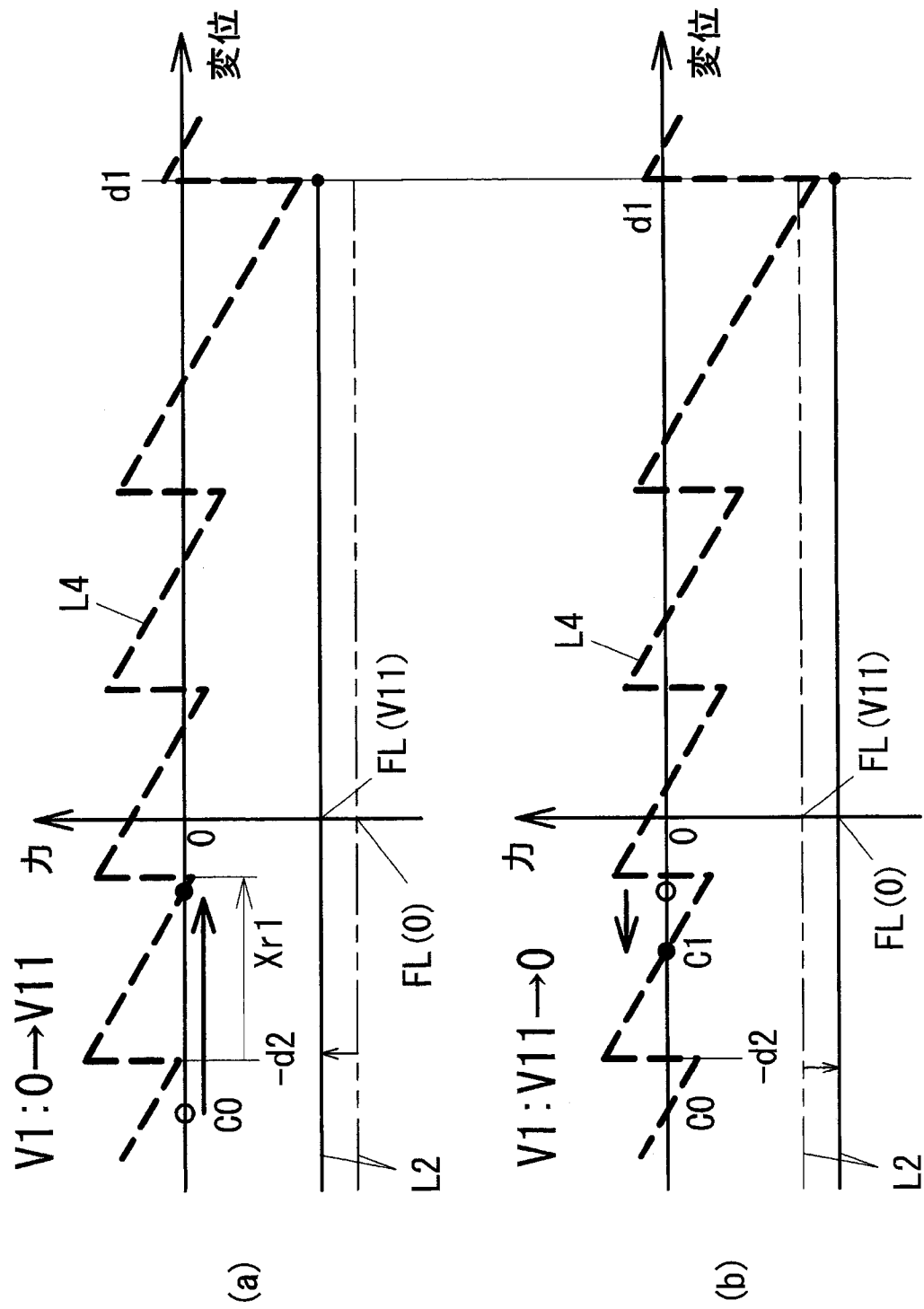
【図35】

[図36]

【図36】

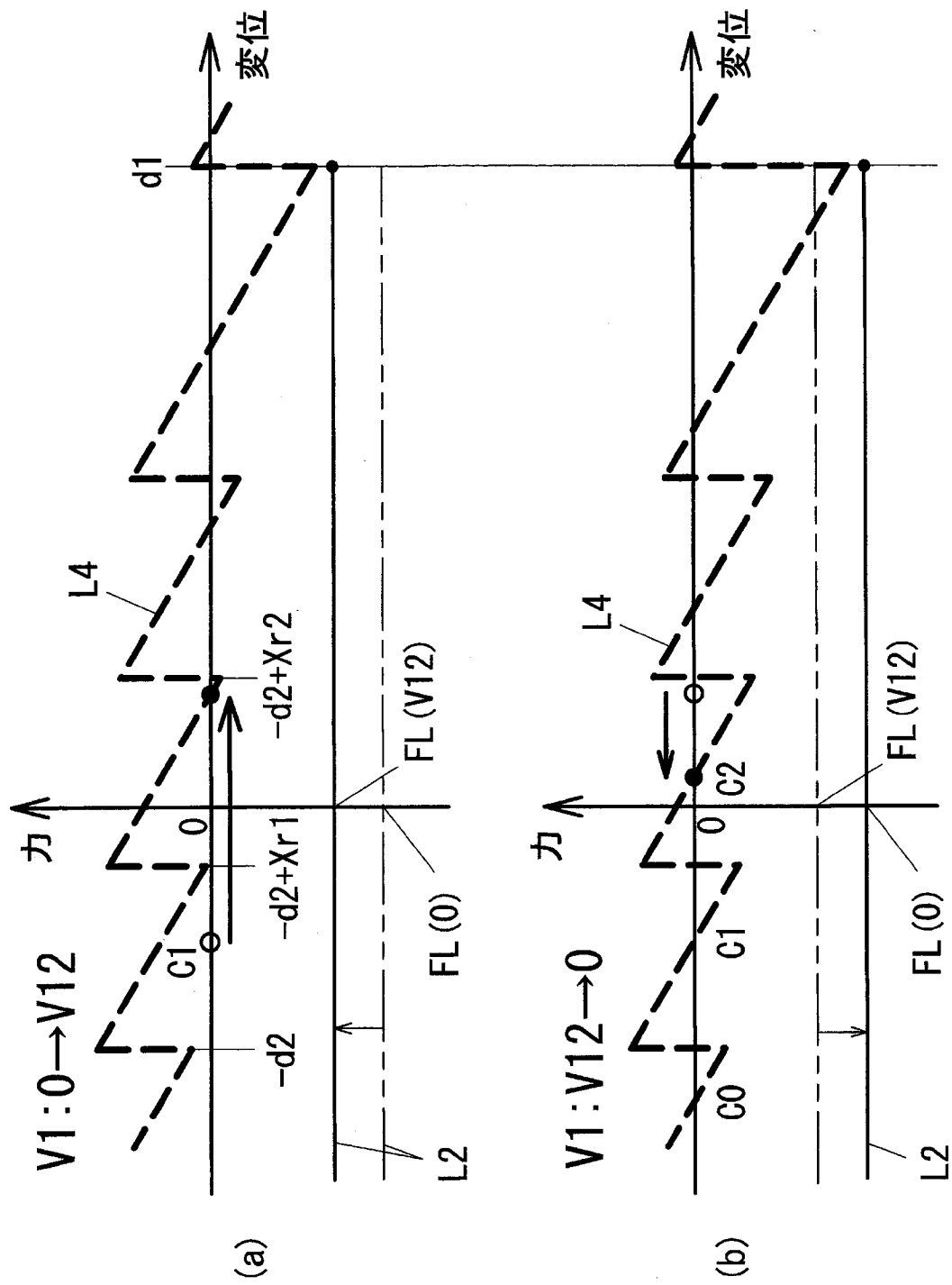


【図37】



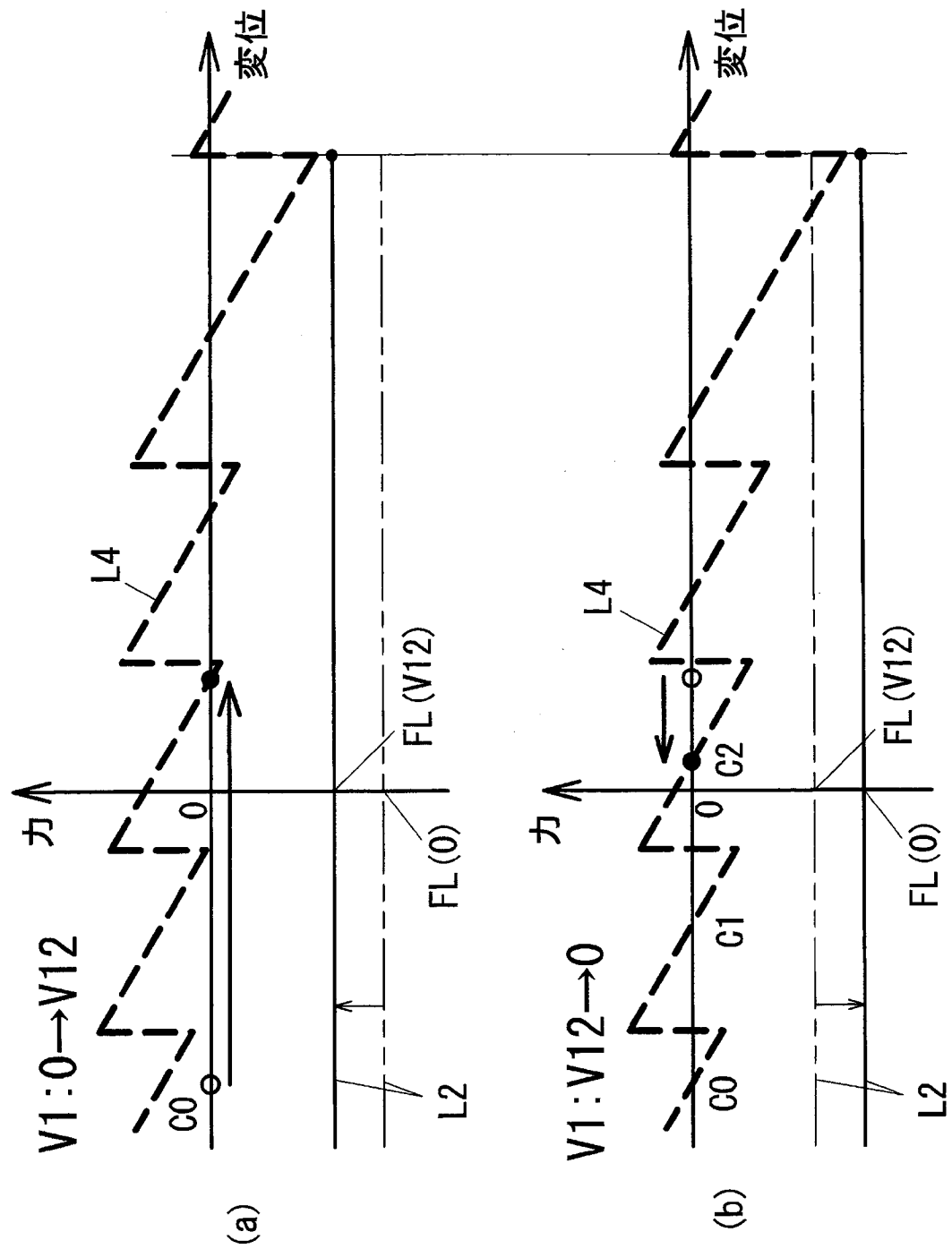
[図38]

【図38】

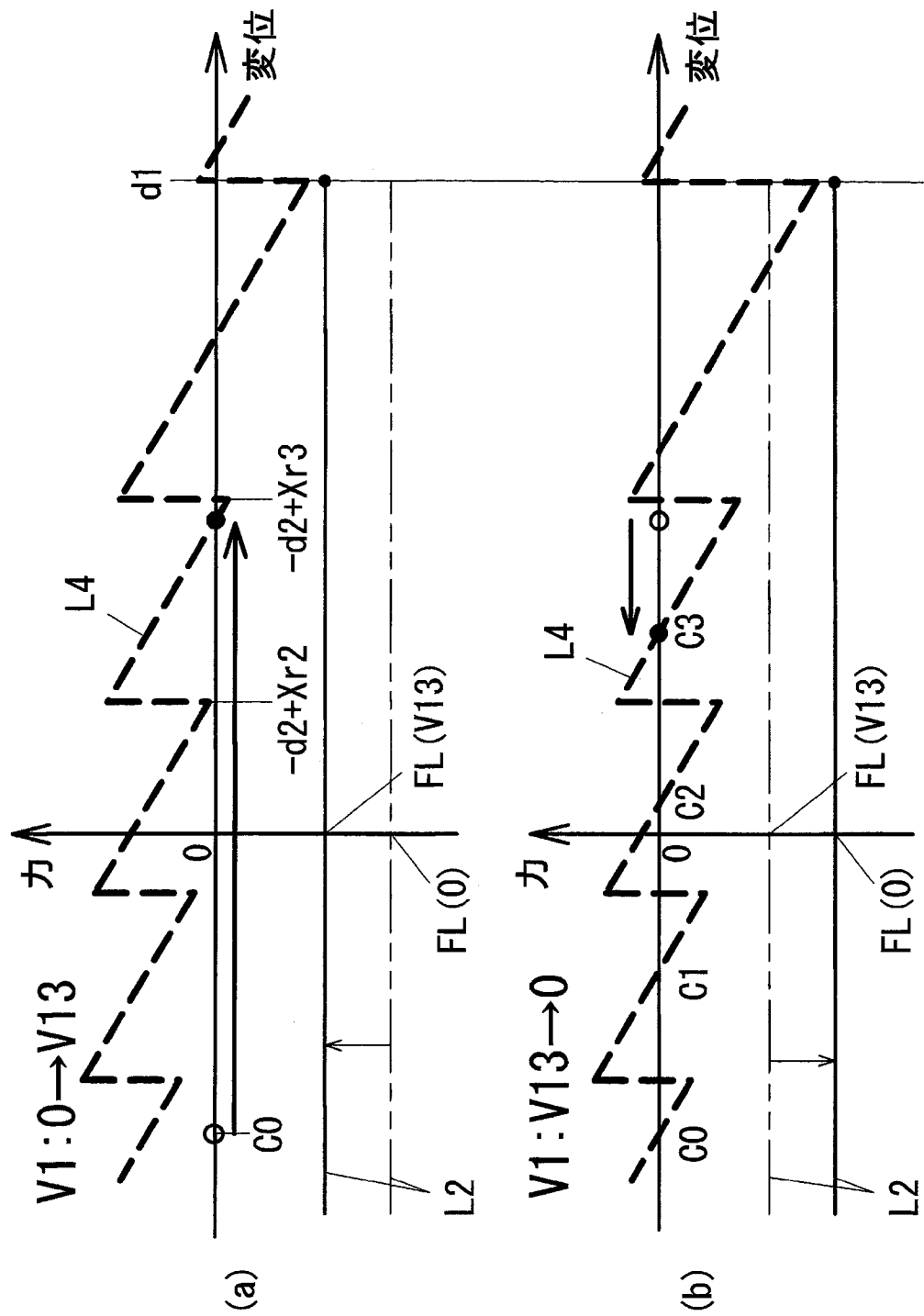


[図39]

【図39】

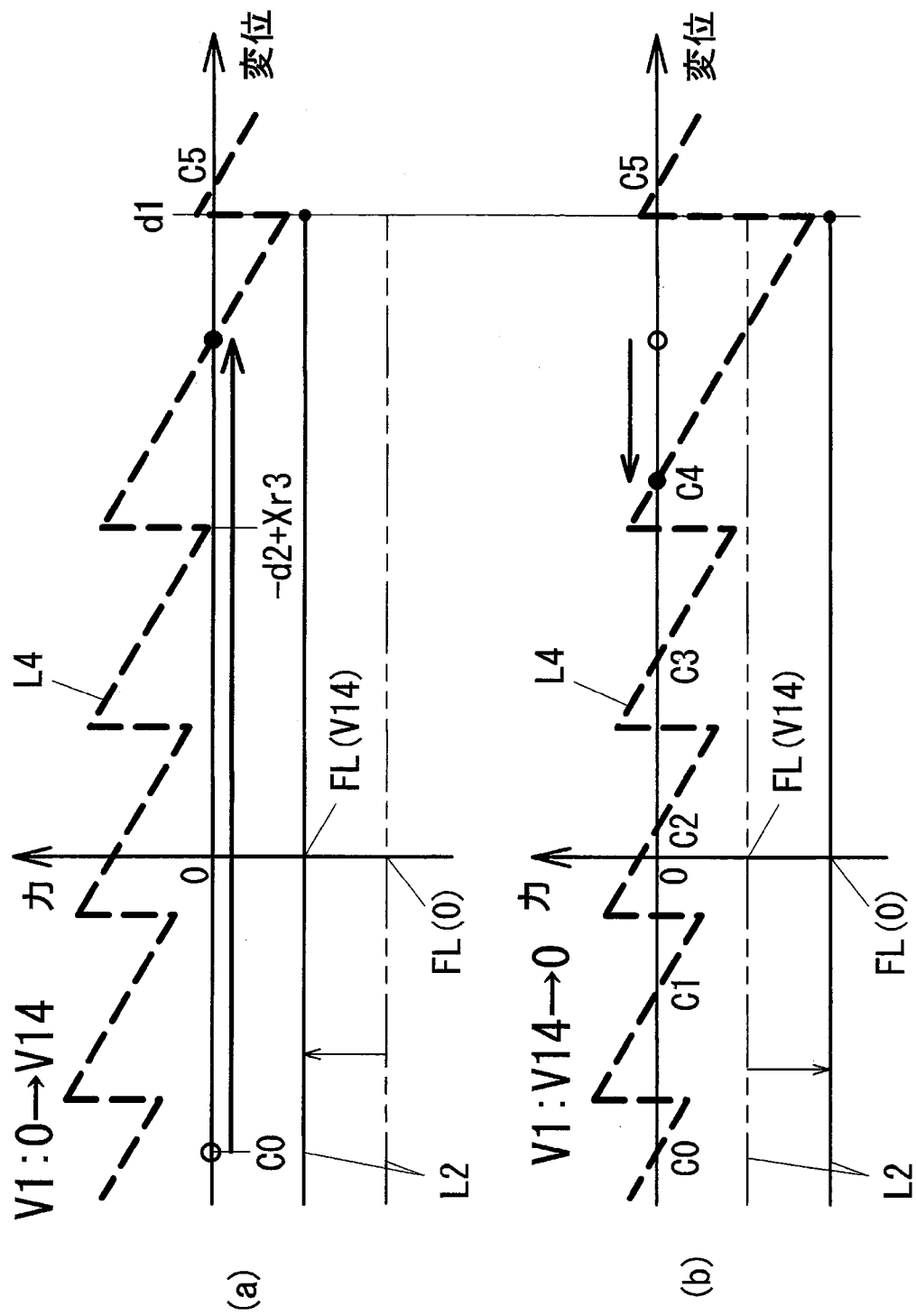


[図40]



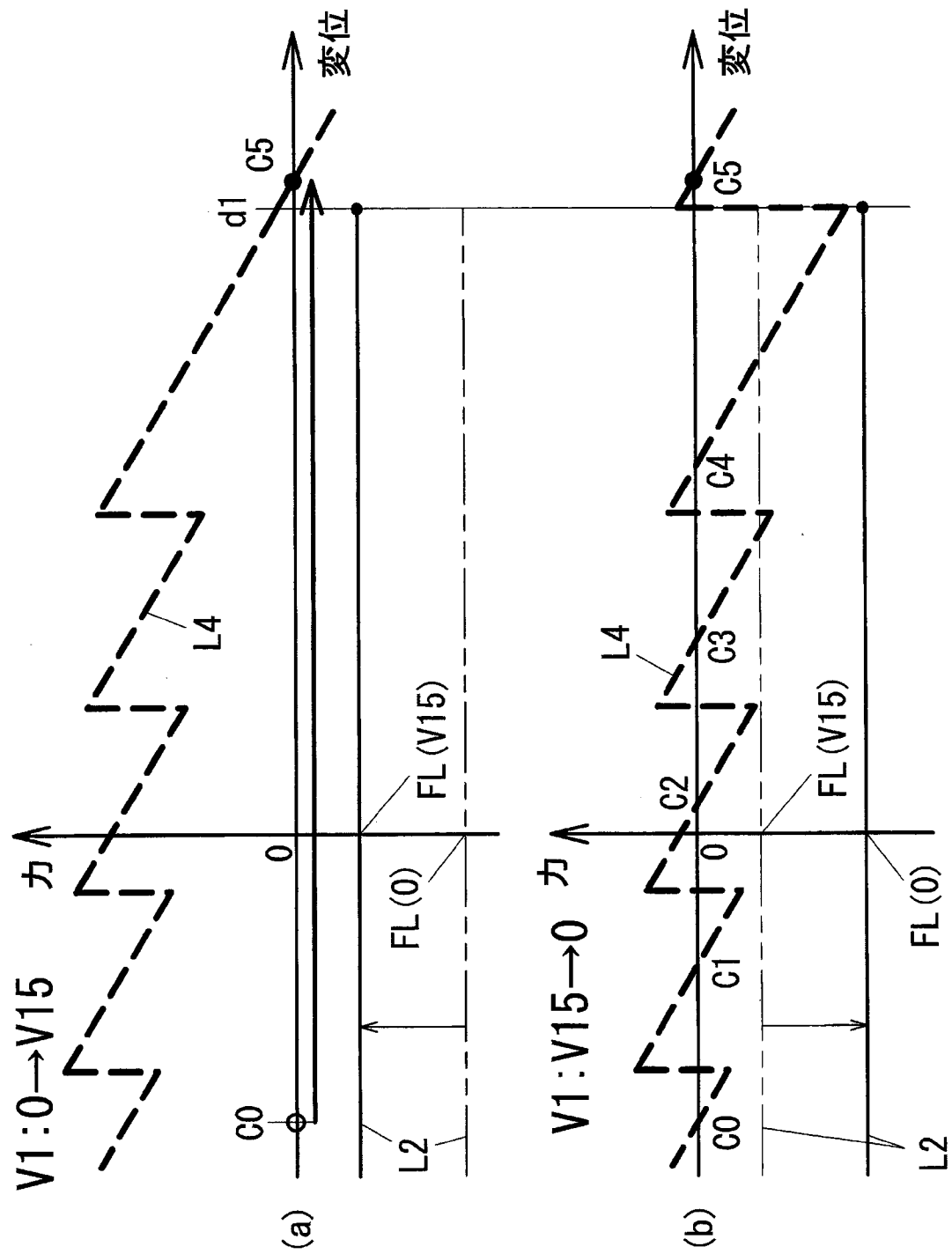
【図40】

[図41]



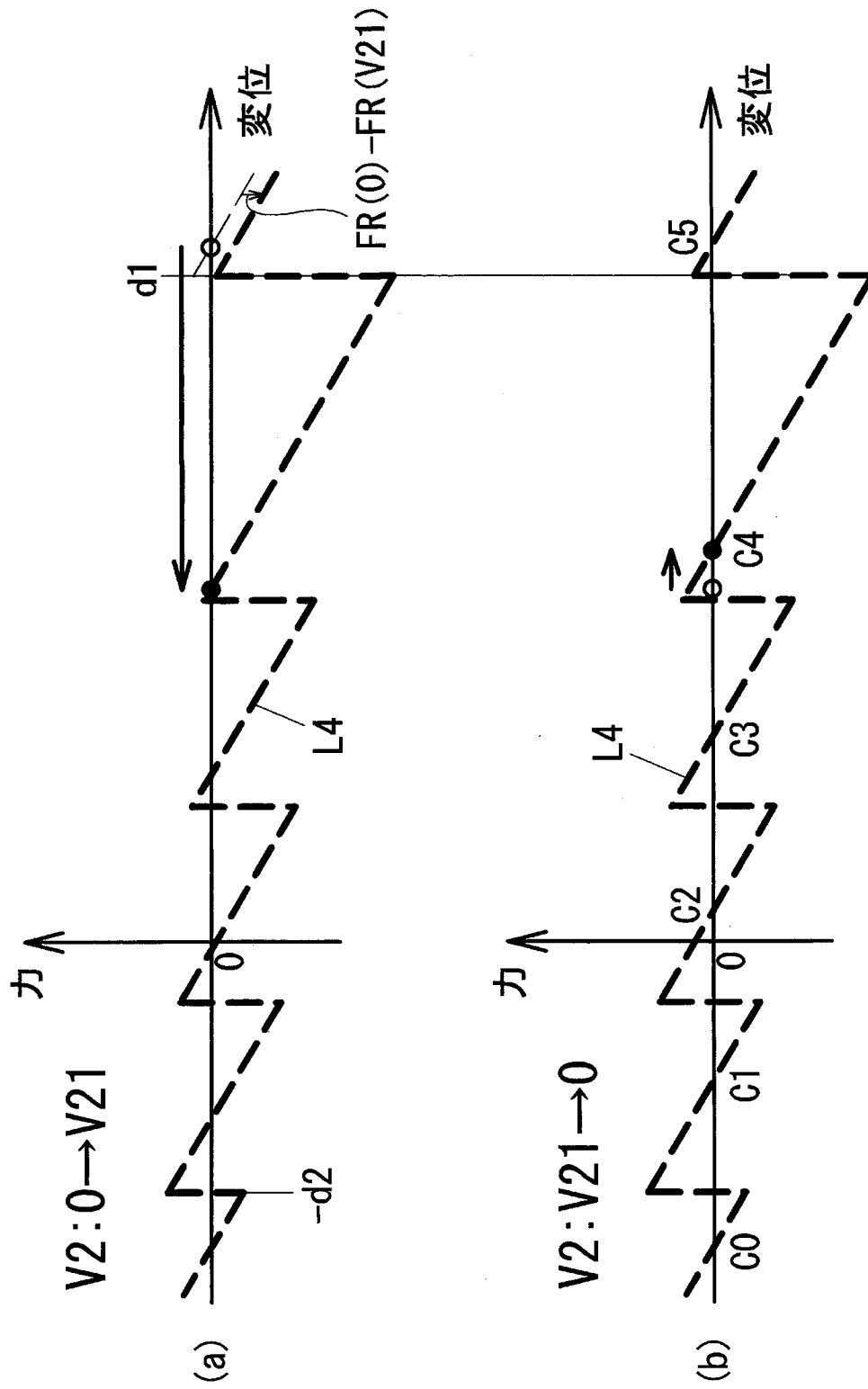
【図41】

[図42]



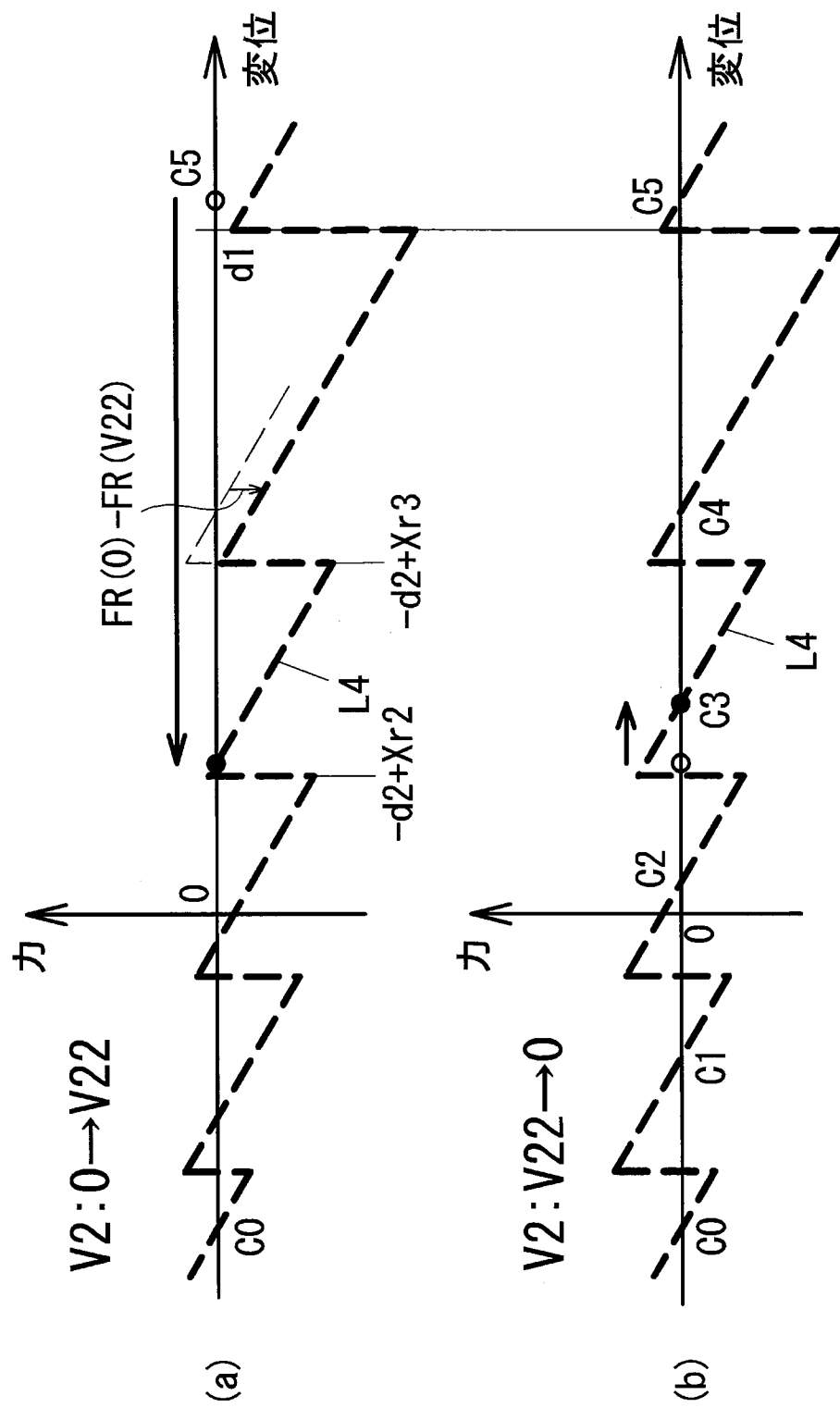
【図42】

【図43】



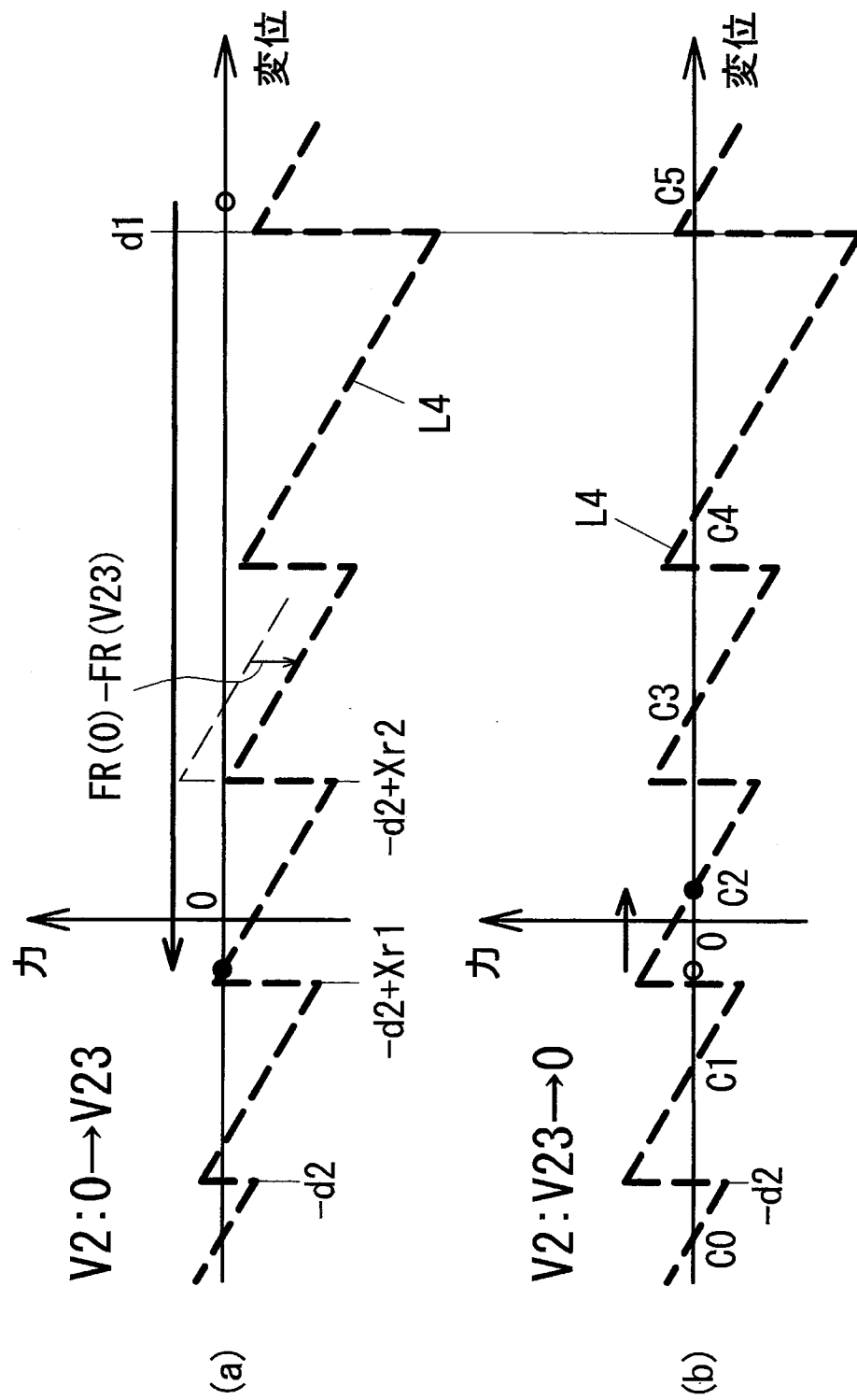
【図43】

[図44]



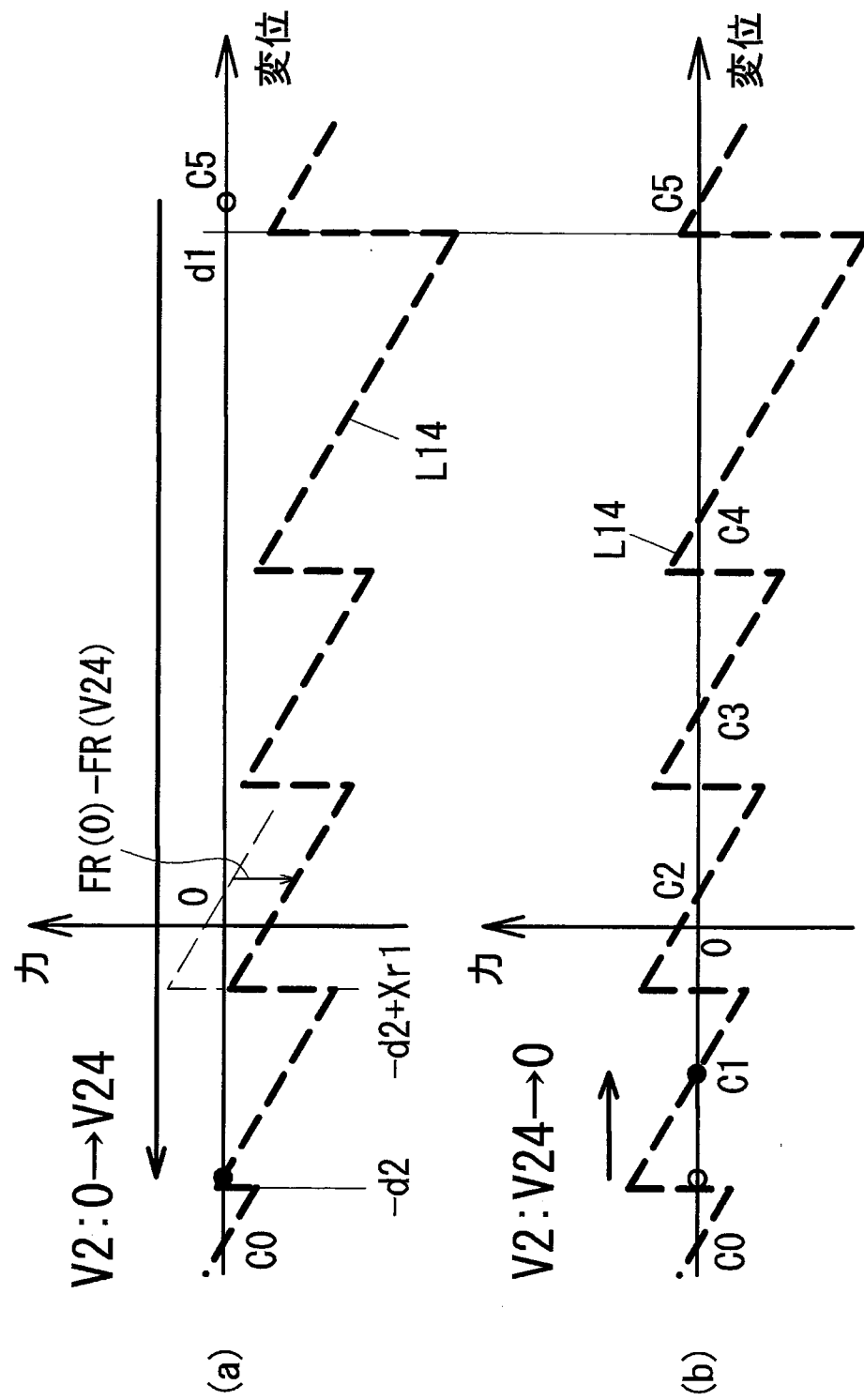
【図44】

[図45]



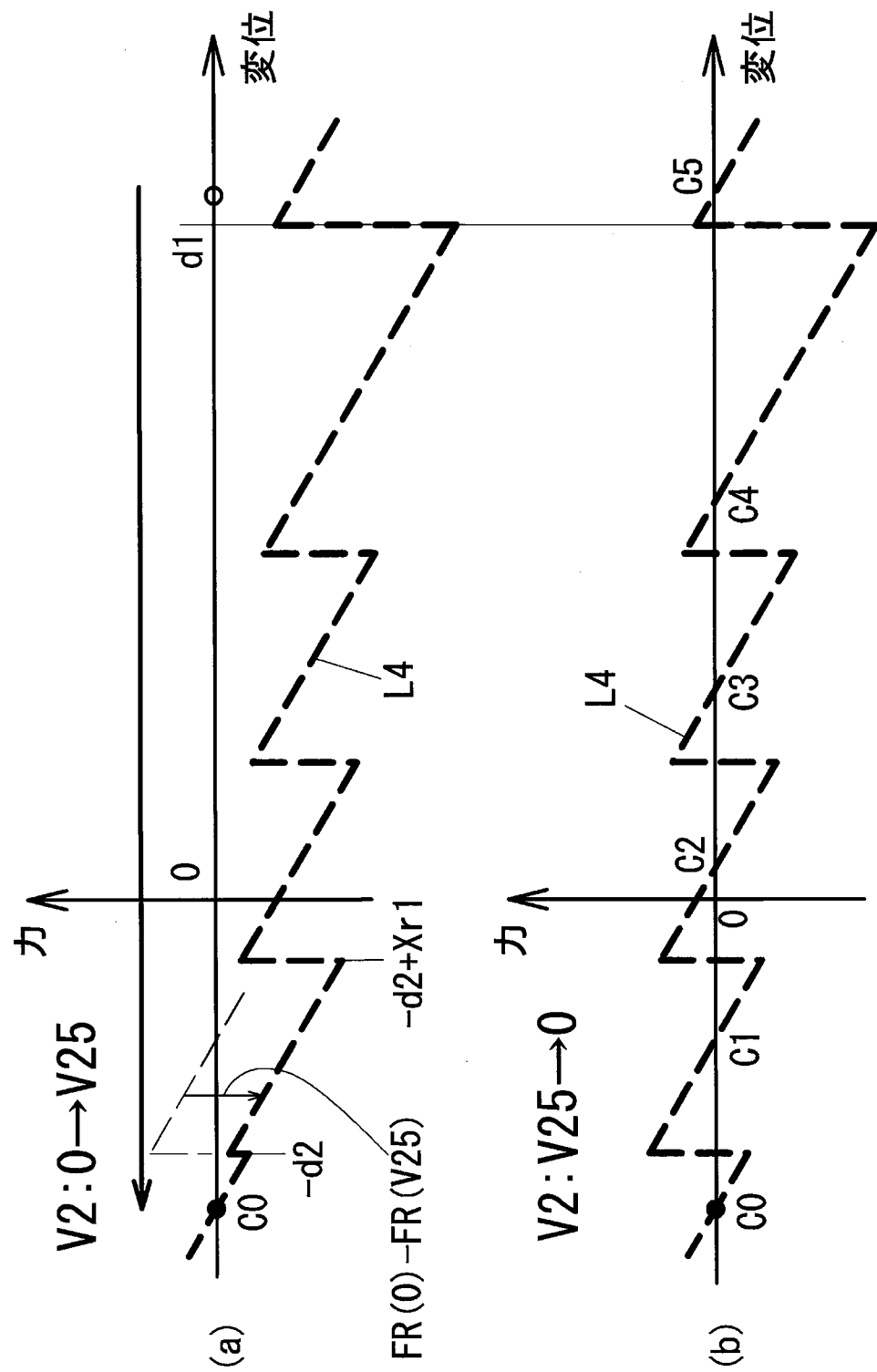
【図45】

[図46]



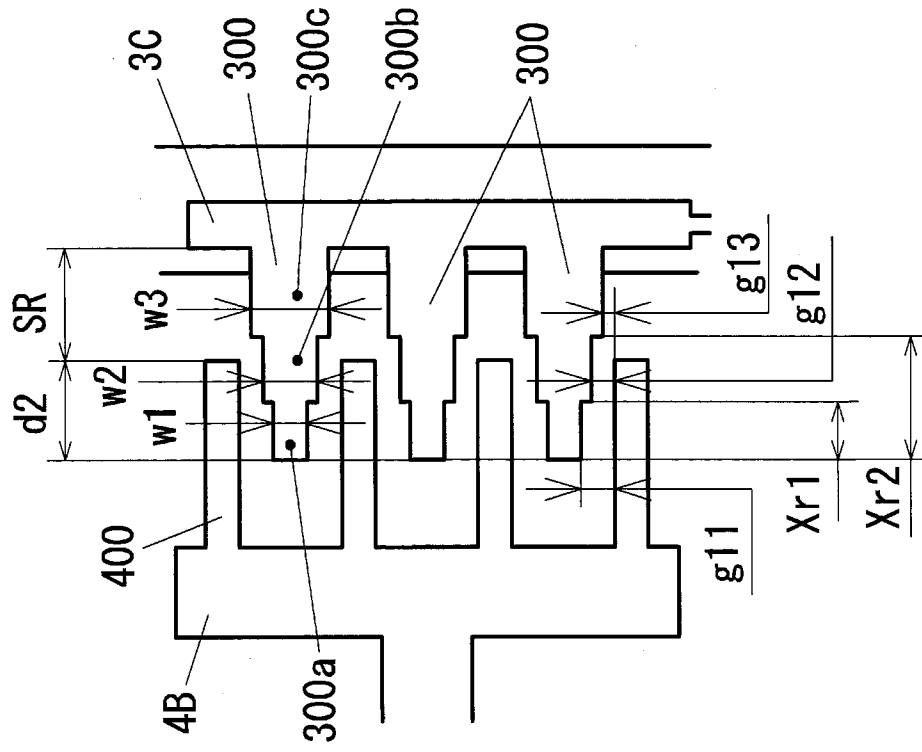
【図46】

[図47]



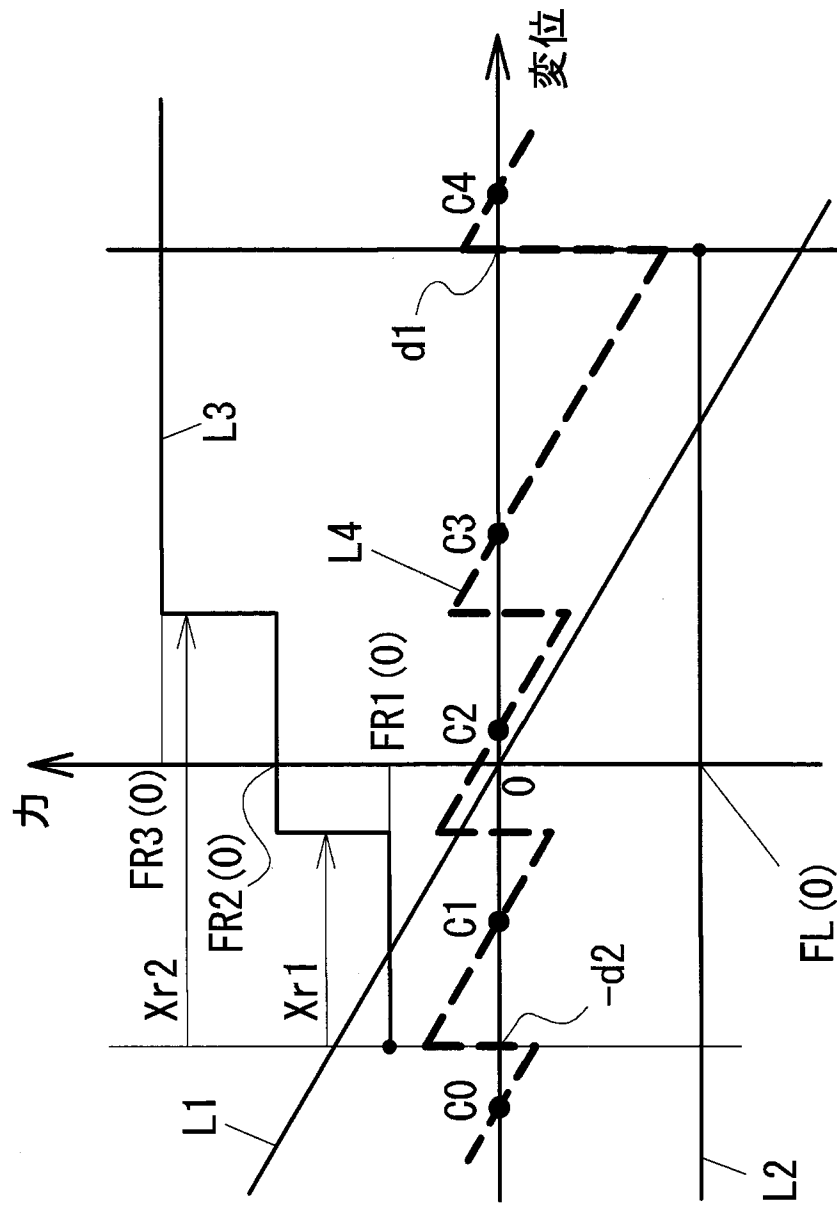
【図47】

[図48]



【図48】

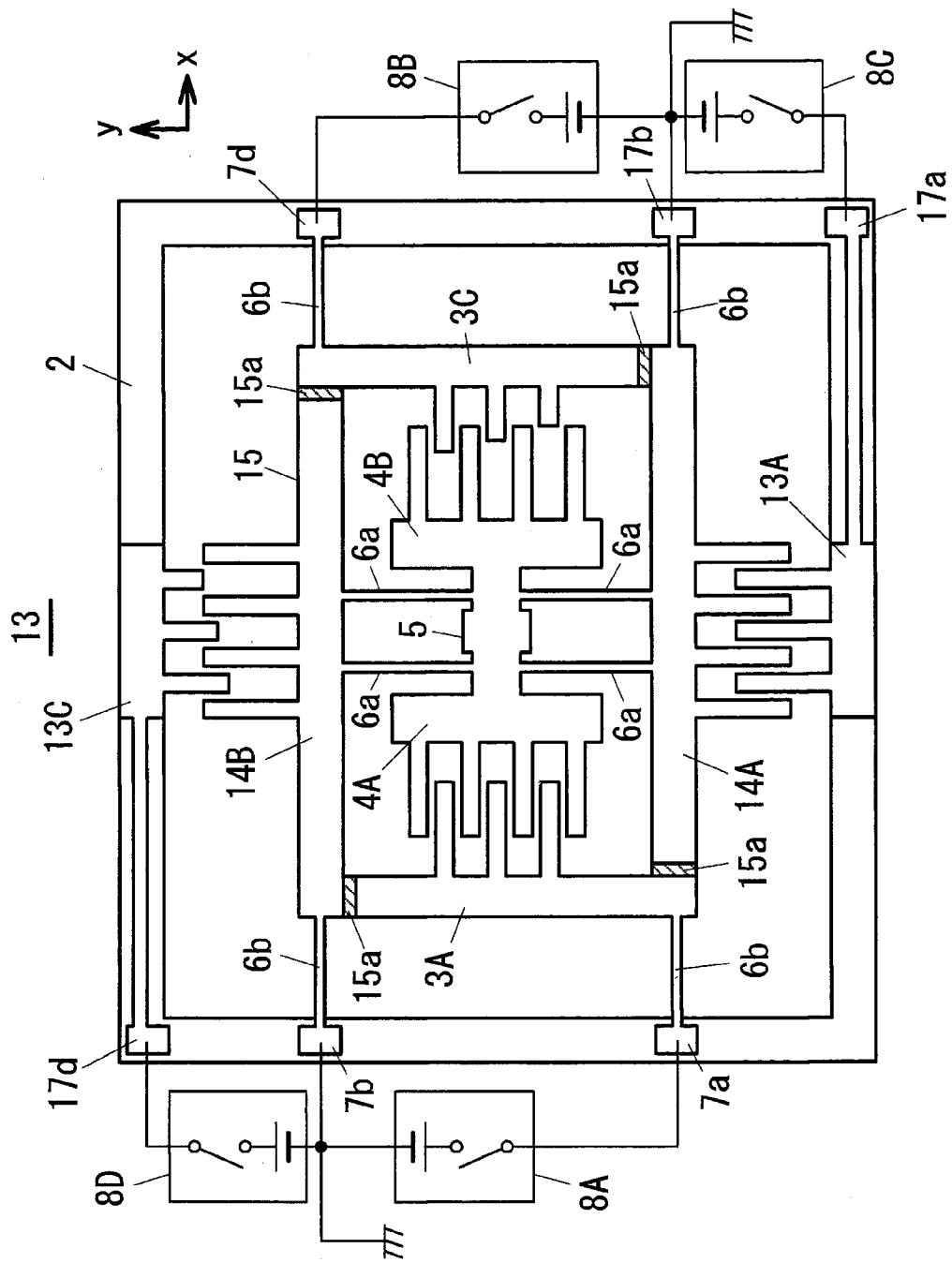
[図49]



【図49】

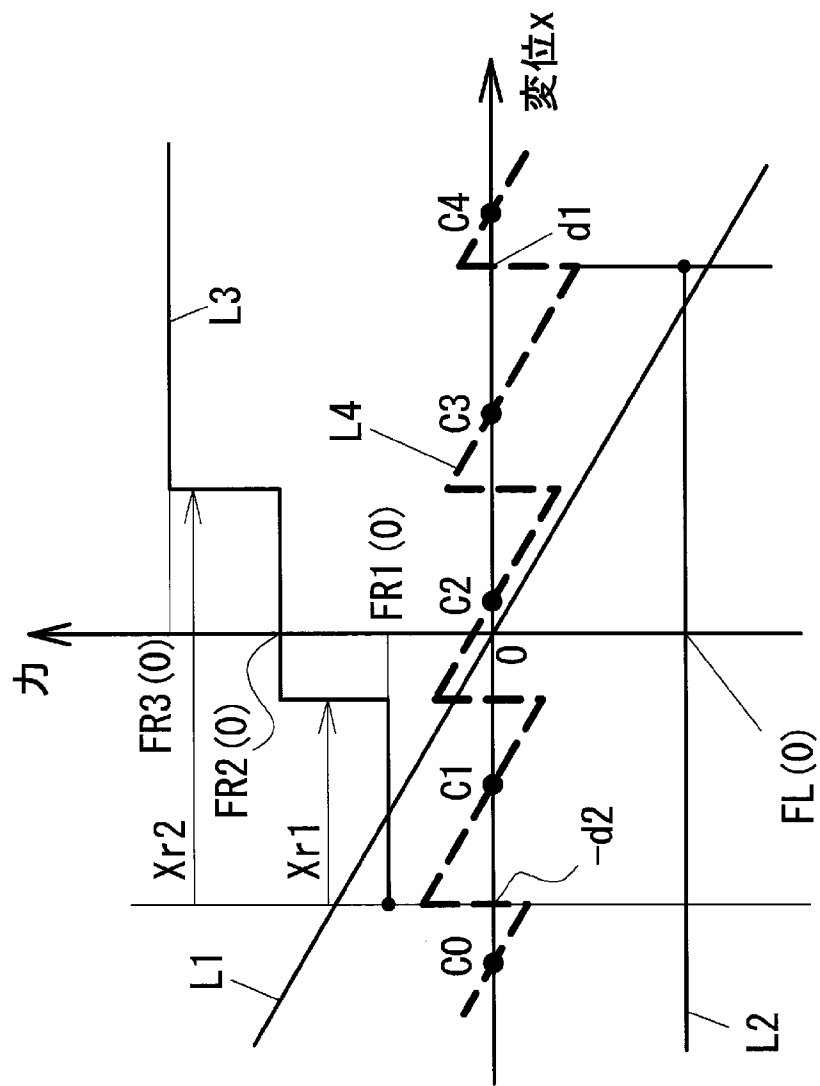
【図50】

【図50】

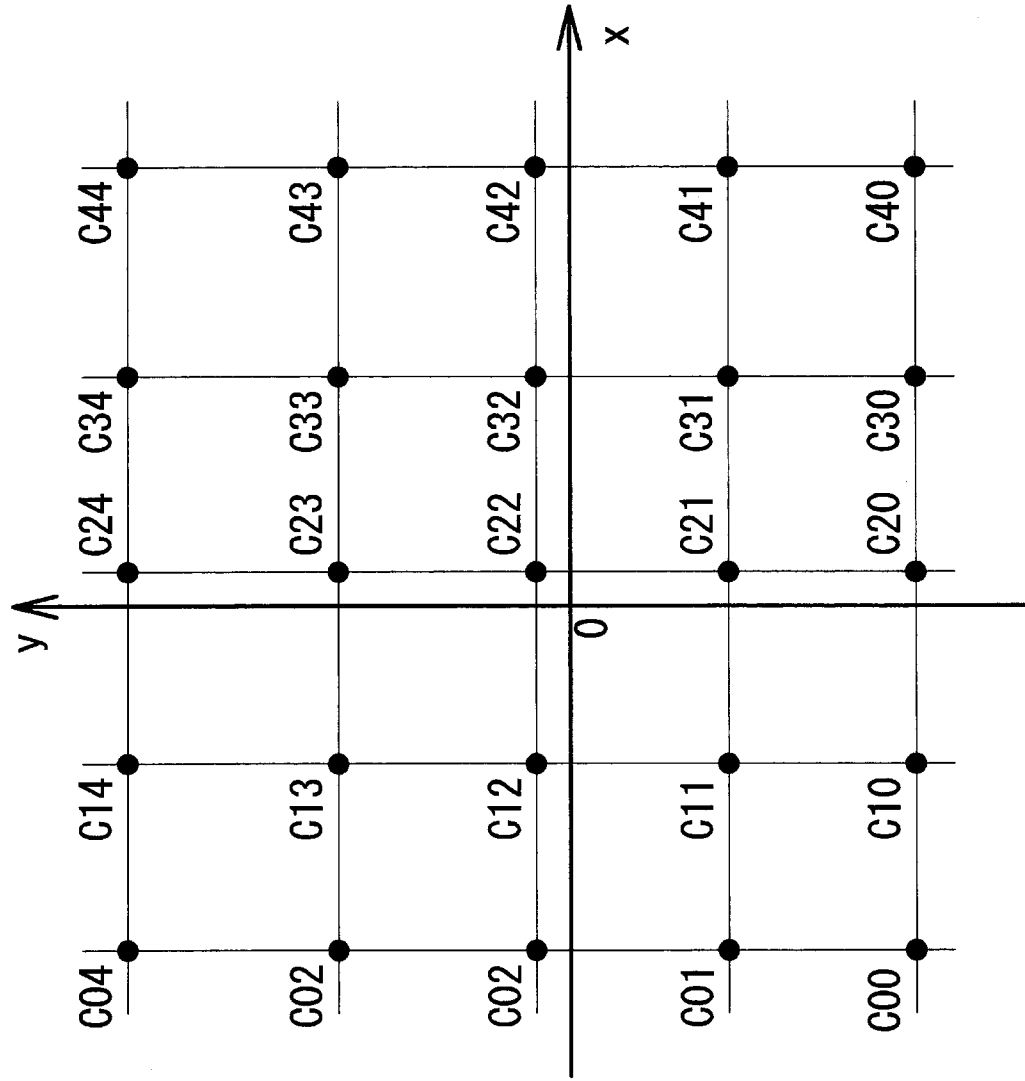


[図51]

【図51】

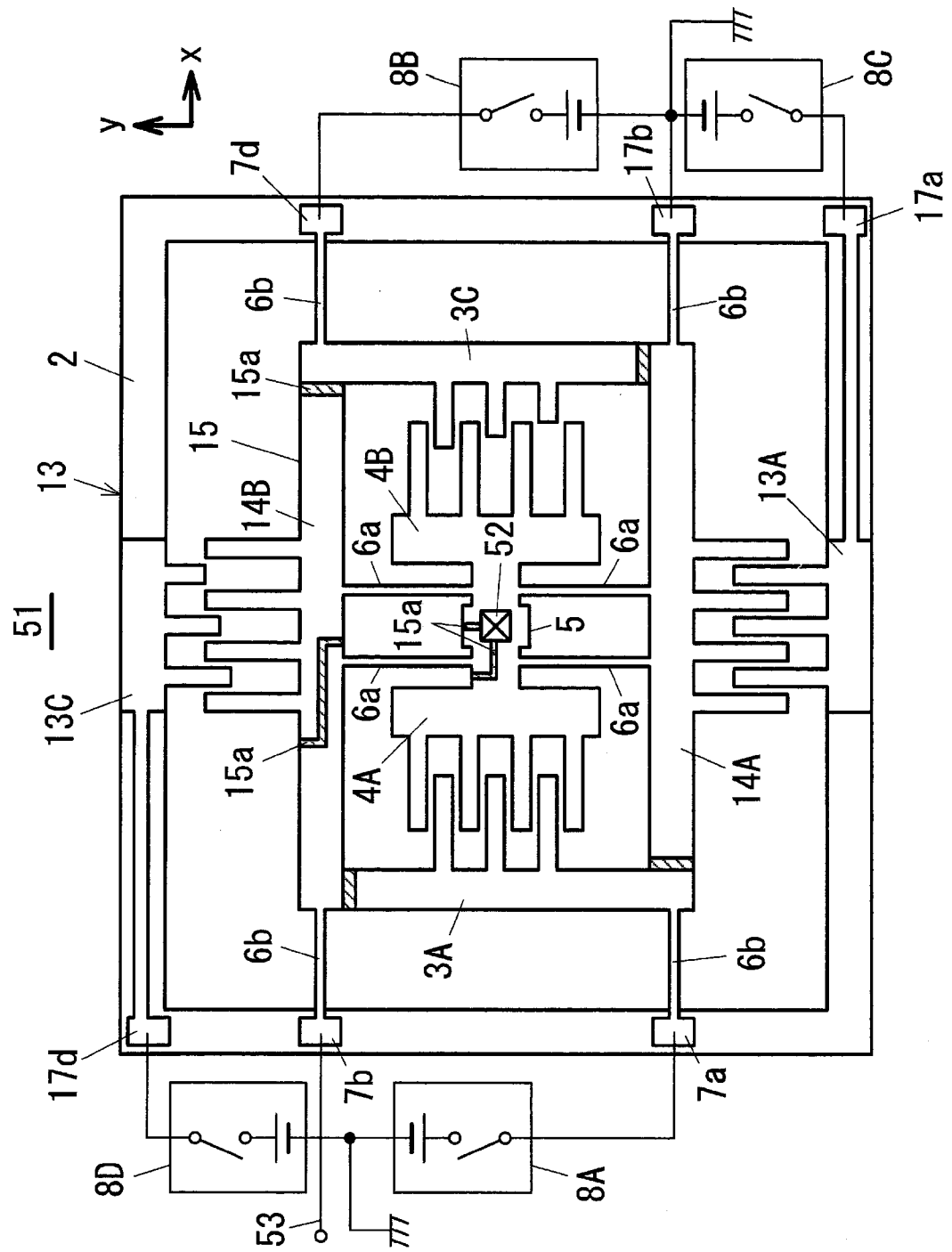


[図52]



【図52】

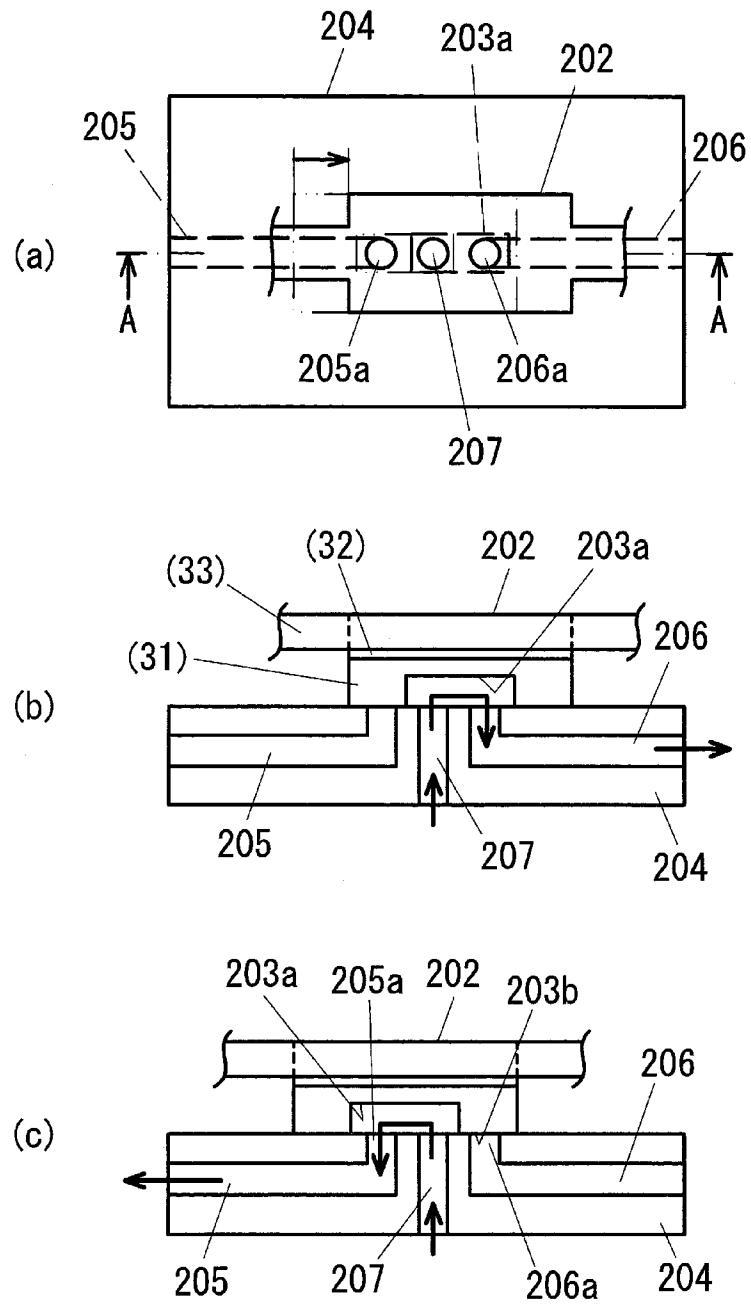
[図53]



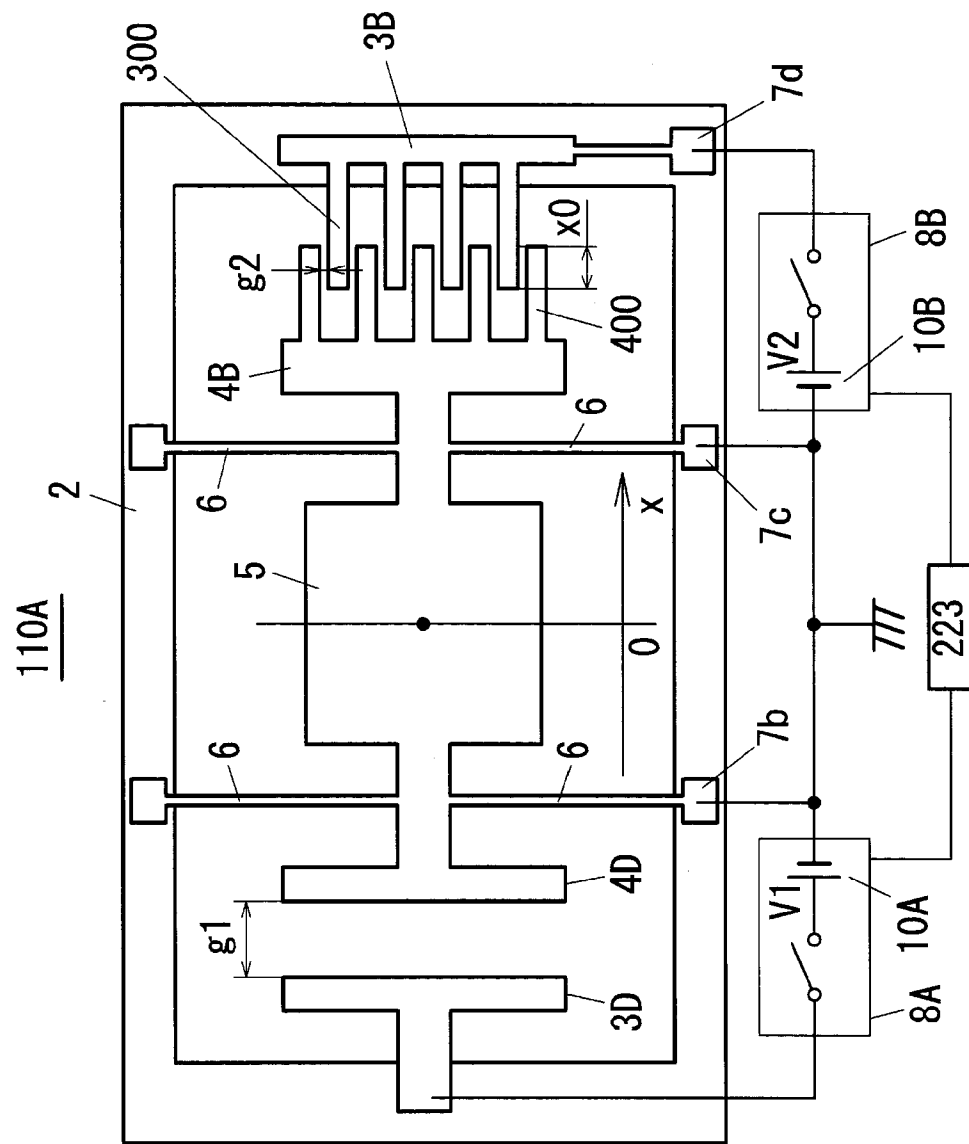
【図53】

[図54]

【図 5 4】

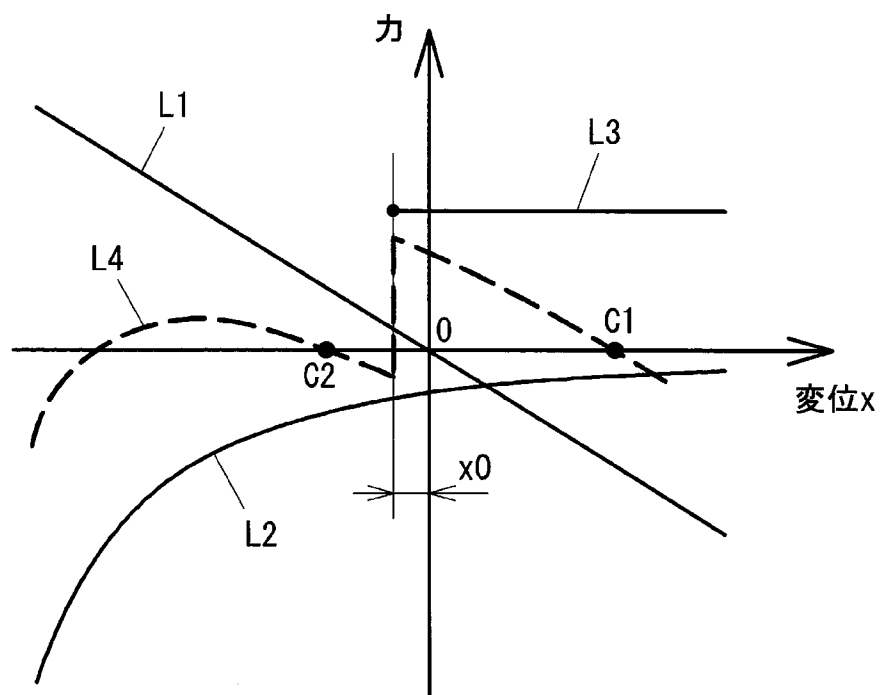


【55】



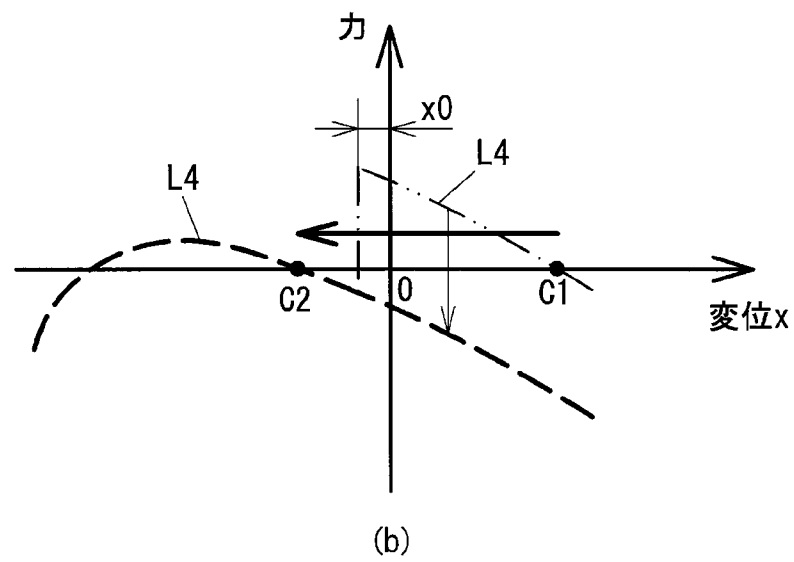
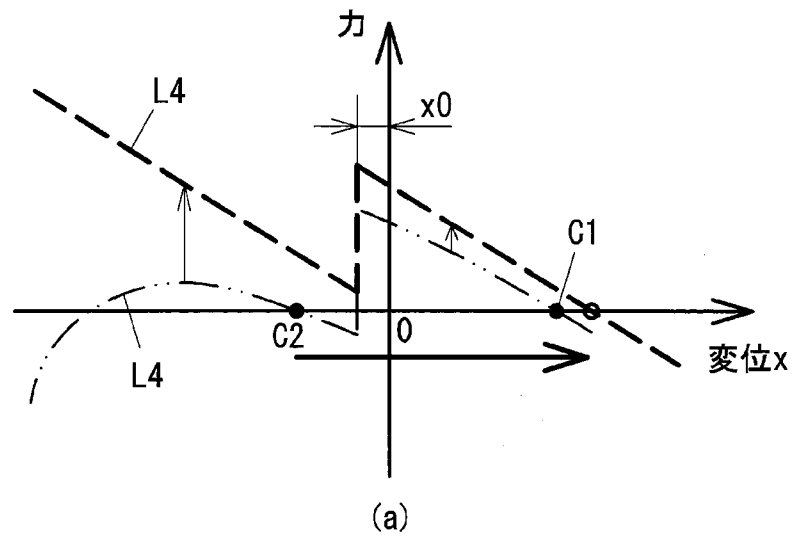
[図56]

【図 5 6】



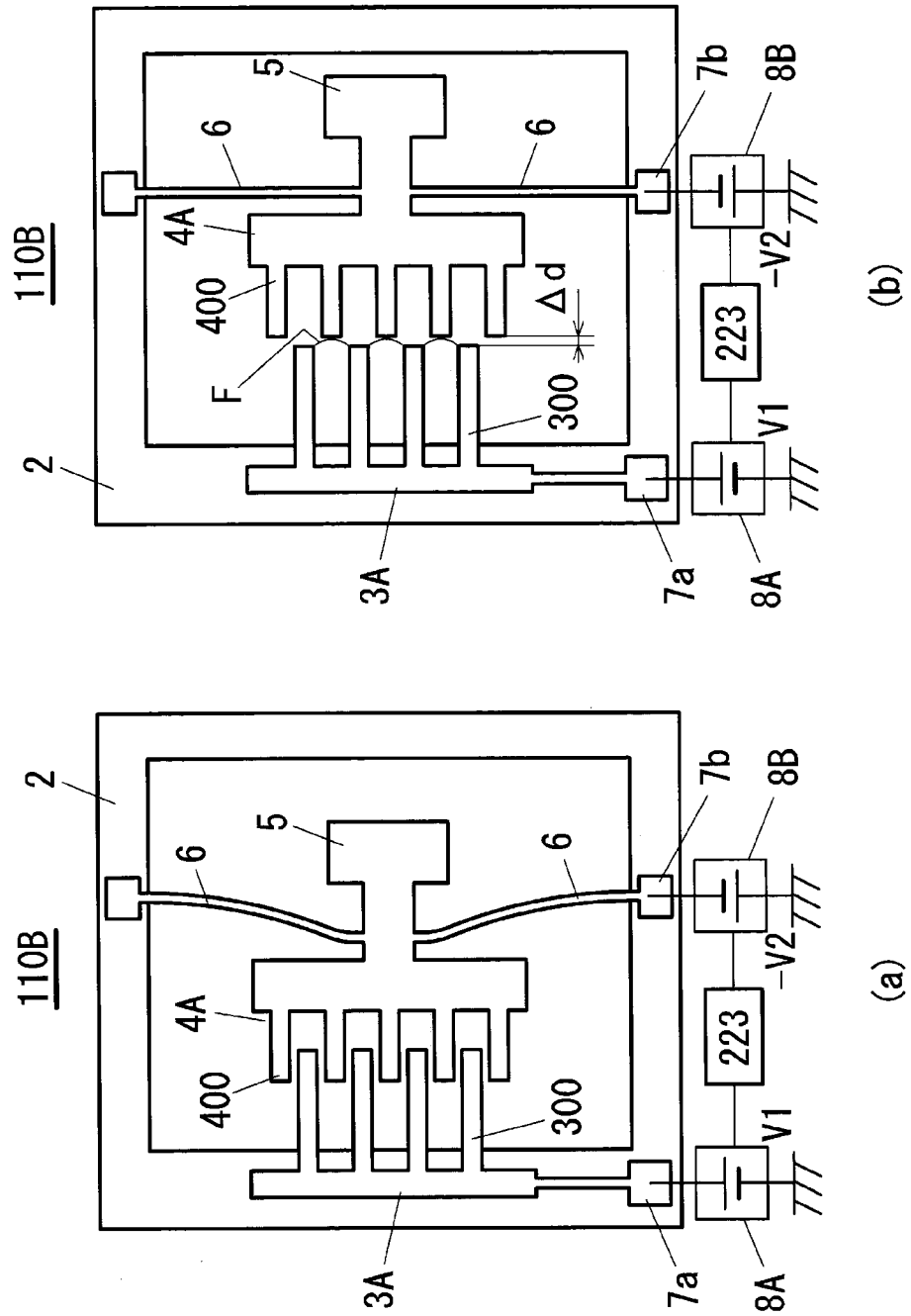
[図57]

【図57】



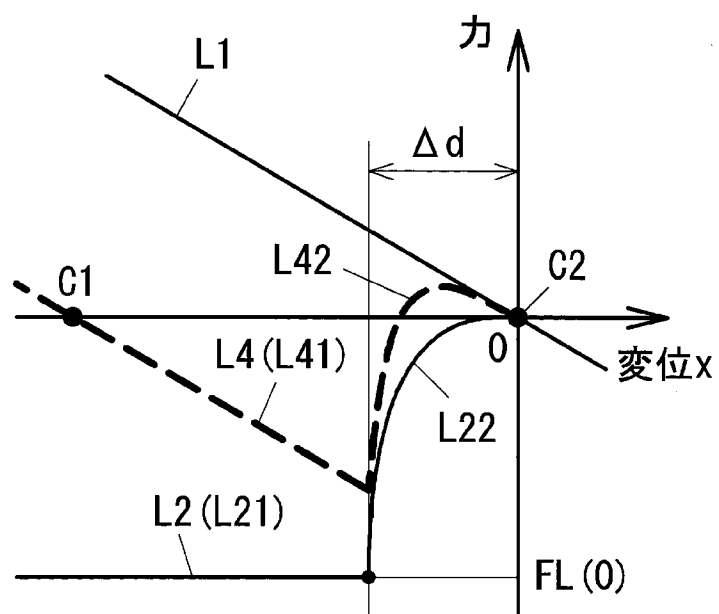
[図58]

【85】



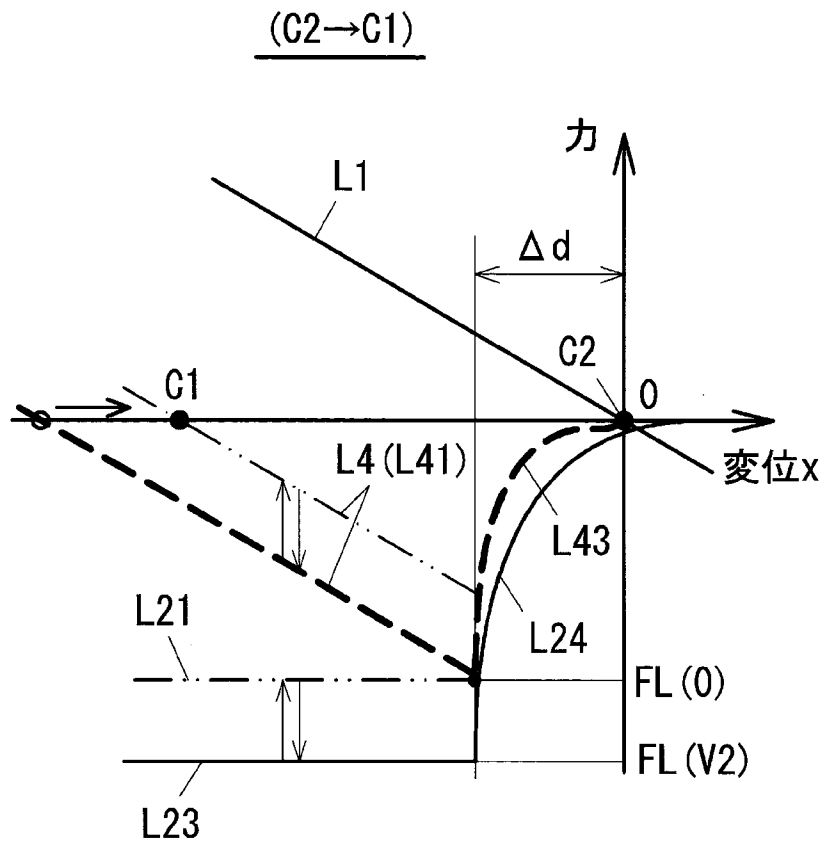
[図59]

【図 5 9】

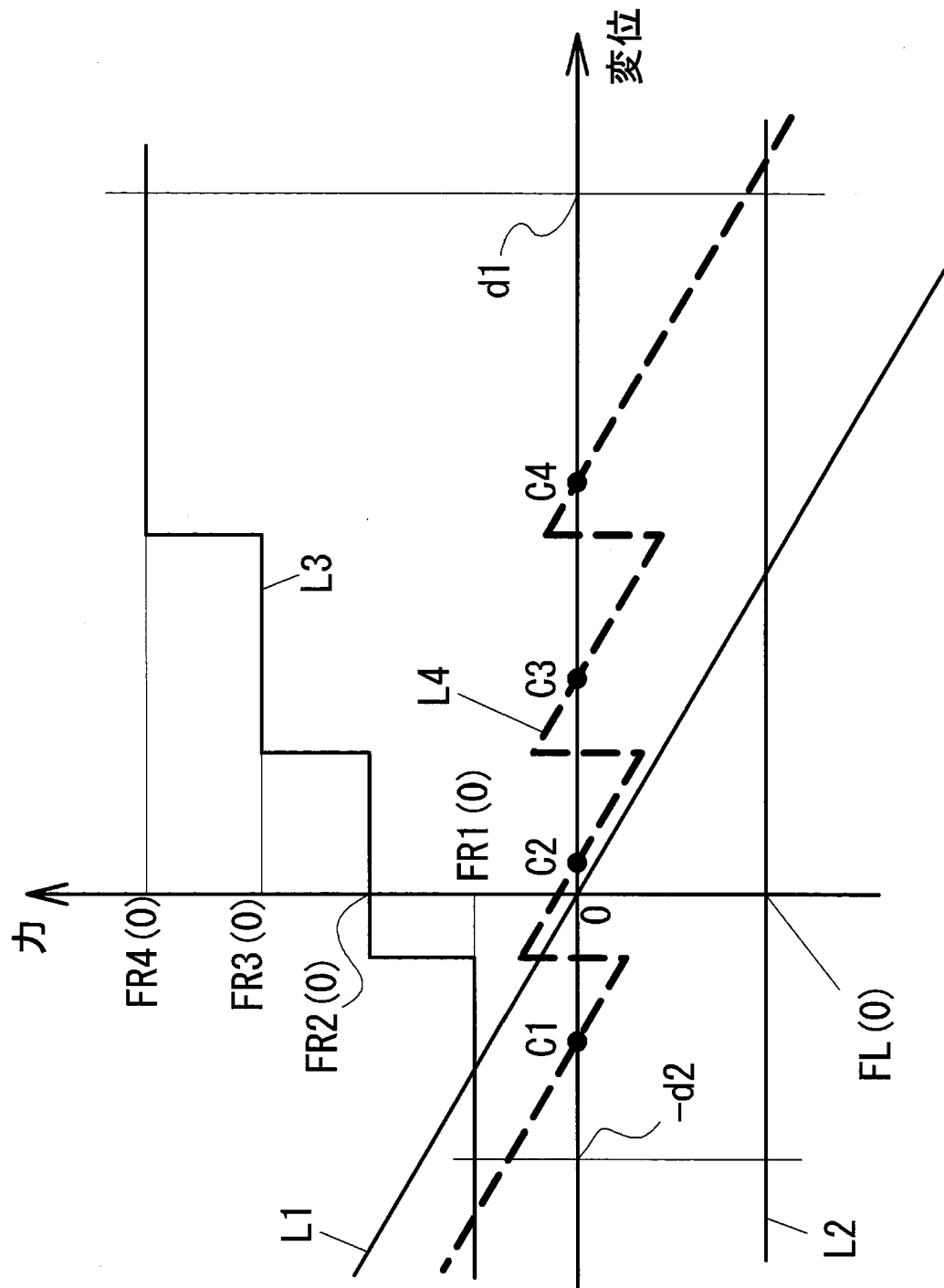


[図60]

【図 60】



【図61】



【図61】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/070072

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N1/00(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)

H02N1/00

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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 A	JP 2006-353081 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 28 December 2006 (28.12.2006), paragraphs [0020] to [0061]; fig. 3 to 6, 7C to 12 & US 2006/0284514 A1 & KR 10-2006-0131087 A & CN 1881004 A	1-5, 9-10, 12-23 6-8, 11
Y	JP 2006-78969 A (Olympus Corp.), 23 March 2006 (23.03.2006), paragraphs [0021] to [0043]; fig. 5 to 8 (Family: none)	1-5, 9-10, 12-23
Y	JP 2006-180450 A (The University of Tokyo), 06 July 2006 (06.07.2006), paragraphs [0016] to [0019]; fig. 1 to 2 & US 2006/0113862 A1	1-5, 9-10, 12-23

☒ 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
20 October, 2014 (20.10.14)

Date of mailing of the international search report
28 October, 2014 (28.10.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/070072

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2013-27143 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 04 February 2013 (04.02.2013), paragraphs [0011] to [0015]; fig. 1 (Family: none)	9-10, 14, 16, 23 6-8, 11
Y	JP 2005-335052 A (Samsung Electro-Mechanics Co., Ltd.), 08 December 2005 (08.12.2005), paragraphs [0045] to [0049]; fig. 5 & US 2005/0264131 A1 & KR 10-2005-0113415 A & CN 1702489 A	15-16
Y	JP 2012-57692 A (Shimadzu Corp.), 22 March 2012 (22.03.2012), paragraphs [0030] to [0043]; fig. 1 to 4 (Family: none)	17-20
Y	JP 2011-188182 A (Sony Corp.), 22 September 2011 (22.09.2011), paragraphs [0014] to [0025]; fig. 1 (Family: none)	21-22
Y	JP 5-272457 A (Terumo Corp.), 19 October 1993 (19.10.1993), paragraphs [0002] to [0003] & US 5362213 A & EP 0556622 A1	23
A	JP 2011-87384 A (The University of Tokyo), 28 April 2011 (28.04.2011), paragraphs [0015], [0026] to [0029]; fig. 4 (Family: none)	1-23
A	JP 2013-13256 A (AOI Electronics Co., Ltd.), 17 January 2013 (17.01.2013), paragraphs [0022] to [0023]; fig. 3 to 4 (Family: none)	1-23
A	JP 9-178494 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 11 July 1997 (11.07.1997), paragraphs [0018] to [0025], [0035] to [0037]; fig. 1, 4 & US 5780948 A & DE 19643182 A1 & KR 10-0363247 B1	6-11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02N1/00(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（I P C））

Int.Cl. H02N1/00

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 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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 A	JP 2006-353081 A（三星電子株式会社）2006. 12. 28, 【0020】-【0061】, 第 3-6, 7C-12 図 & US 2006/0284514 A1 & KR 10-2006-0131087 A & CN 1881004 A	1-5, 9-10, 12-23 6-8, 11
Y	JP 2006-78969 A（オリンパス株式会社）2006. 03. 23, 【0021】 - 【0043】, 第 5-8 図（ファミリーなし）	1-5, 9-10, 12-23
Y	JP 2006-180450 A（国立大学法人 東京大学）2006. 07. 06, 【0016】 - 【0019】, 第 1-2 図 & US 2006/0113862 A1	1-5, 9-10, 12-23

☒ 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 0 . 1 0 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 8 . 1 0 . 2 0 1 4

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）

西山 智宏

3 V

3 1 1 2

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 7

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 A	JP 2013-27143 A (日本電信電話株式会社) 2013. 02. 04, 【0011】 - 【0015】, 第 1 図 (ファミリーなし)	9-10, 14, 16, 23 6-8, 11
Y	JP 2005-335052 A (三星電機株式会社) 2005. 12. 08, 【0045】-【0049】, 第 5 図 & US 2005/0264131 A1 & KR 10-2005-0113415 A & CN 1702489 A	15-16
Y	JP 2012-57692 A (株式会社島津製作所) 2012. 03. 22, 【0030】 - 【0043】, 第 1-4 図 (ファミリーなし)	17-20
Y	JP 2011-188182 A (ソニー株式会社) 2011. 09. 22, 【0014】 - 【0025】, 第 1 図 (ファミリーなし)	21-22
Y	JP 5-272457 A (テルモ株式会社) 1993. 10. 19, 【0002】 - 【0003】 & US 5362213 A & EP 0556622 A1	23
A	JP 2011-87384 A (国立大学法人 東京大学) 2011. 04. 28, 【0015】, 【0026】 - 【0029】, 第 4 図 (ファミリーなし)	1-23
A	JP 2013-13256 A (アオイ電子株式会社) 2013. 01. 17, 【0022】 - 【0023】, 第 3-4 図 (ファミリーなし)	1-23
A	JP 9-178494 A (三星電子株式会社) 1997. 07. 11, 【0018】 - 【0025】, 【0035】 - 【0037】, 第 1, 4 図 & US 5780948 A & DE 19643182 A1 & KR 10-0363247 B1	6-11