

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-134370

(P2004-134370A)

(43) 公開日 平成16年4月30日(2004.4.30)

(51) Int. Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

H 0 1 H 59/00

H 0 1 H 59/00

B 8 1 B 3/00

B 8 1 B 3/00

H 0 1 H 47/22

H 0 1 H 47/22

D

H 0 1 H 53/02

H 0 1 H 53/02

H 0 1 P 1/10

H 0 1 P 1/10

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2003-192682 (P2003-192682)

(22) 出願日 平成15年7月7日(2003.7.7)

(31) 優先権主張番号 特願2002-217871 (P2002-217871)

(32) 優先日 平成14年7月26日(2002.7.26)

(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(74) 代理人 100097445

弁理士 岩橋 文雄

(74) 代理人 100103355

弁理士 坂口 智康

(74) 代理人 100109667

弁理士 内藤 浩樹

(72) 発明者 内藤 康幸

大阪府門真市大字門真1006番地 松下
電器産業株式会社内

(72) 発明者 中西 淑人

大阪府門真市大字門真1006番地 松下
電器産業株式会社内

最終頁に続く

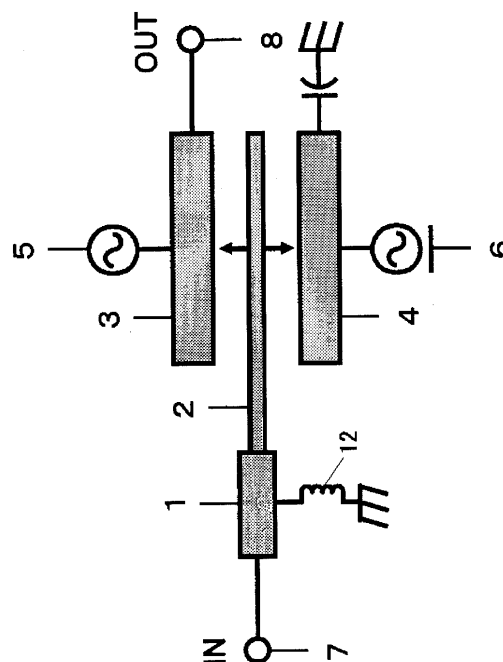
(54) 【発明の名称】 スイッチ

(57) 【要約】

【課題】 信号伝搬特性の向上、高速応答、低消費電力、低駆動電圧を実現した高性能スイッチ及びそれを用いた電子装置を提供する。

【解決手段】 信号を入力する入力ポート7に接続された可動体2と、外部からの信号を伝搬するための第1の電極3と、第1の電極3に接続され制御信号を発生する第1の制御電源5と、外部からの信号を遮断するための第2の電極4と、この第2の電極4に接続され制御信号を発生する第2の制御電源6とを備え、第1の制御電源5により第1の電極3に制御信号を与え、可動体2と第1の電極3に与えられた電位差、および可動体2と第2の電極4に与えられた電位差で発生する駆動力によって可動体2を変位させて第1の電極3または第2の電極4に吸着させる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

可動体を電極に吸着または離すことにより信号の伝搬経路を切り替えるスイッチにおいて、
信号を入力する入力ポートと、この入力ポートに接続された可動体と、前記信号を伝搬する第 1 の電極と、この第 1 の電極に接続され制御信号を発生する第 1 の制御電源と、前記信号を遮断する第 2 の電極と、この第 2 の電極に接続され制御信号を発生する第 2 の制御電源とを備え、
前記第 1 の制御電源により第 1 の電極に制御信号を与え、前記可動体と第 1 の電極に与えられた電位差、および前記可動体と第 2 の電極に与えられた電位差で発生する駆動力によって可動体を変位させ、前記第 1 の電極または第 2 の電極に吸着させることを特徴とするスイッチ。

10

【請求項 2】

前記可動体を常時励振させることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 3】

前記可動体は第 1 の電極および第 2 の電極に交互に変位することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 4】

前記可動体は、前記第 1 の電極および第 2 の電極から離れた所定の位置から励振させることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

20

【請求項 5】

前記可動体は、前記第 1 の電極または第 2 の電極に吸着された状態から励振させることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 6】

前記可動体を励振させる制御信号の周波数は、前記可動体の自己共振周波数であることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 7】

前記可動体を励振させる制御信号の周波数は、所望の応答速度より速い速度に対応した周波数であることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 8】

前記自己共振周波数は、所望の応答速度より速い速度に対応した周波数をもつようにしたことを特徴とする請求項 6 記載のスイッチ。

30

【請求項 9】

前記可動体を前記第 1 の電極または第 2 の電極に吸着された状態から励振させることにより、前記可動体を前記第 1 の電極または第 2 の電極から解放することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 10】

前記可動体を前記第 1 の電極または第 2 の電極に吸着された状態で前記制御信号をゼロにして前記可動体を前記第 1 の電極または第 2 の電極から解放した後、前記制御信号を所定の時間印加することを特徴とする請求項 9 記載のスイッチ。

40

【請求項 11】

請求項 1 から 10 のいずれかに記載のスイッチを複数個接続して一つのスイッチとすることを特徴とするスイッチ。

【請求項 12】

可動体を電極に吸着または離すことにより、信号の伝搬経路を切り替えるスイッチにおいて、
信号を入力する入力ポートと、入力ポートに接続された可動体と、信号を伝搬する電極と、この電極に接続され制御信号を発生する制御電源とを備え、
前記制御電源により可動体と電極に電流を流すことにより生じる引力または斥力のローレンツ力を駆動力として信号の伝搬経路を切り換えることを特徴とするスイッチ。

50

【請求項 13】

可動体および電極のいずれか一方を高抵抗とし、前記可動体と前記電極が引力で吸着している状態のとき、前記可動体または前記電極の極性を反転させた瞬間に、前記可動体と前記電極が同極性となり生ずる斥力を駆動力とすることを特徴とする請求項 1 または 12 記載のスイッチ。

【請求項 14】

可動体と電極間の電極上に形成する絶縁層として極性反転速度の比較的遅い高誘電体絶縁材料を使用し、前記可動体と前記電極が引力で吸着している状態のとき、前記可動体の極性を反転させた瞬間に前記可動体と前記絶縁層表面が同極性となり生ずる斥力を駆動力とすることを特徴とする請求項 1 または 12 記載のスイッチ。

10

【請求項 15】

前記制御電源からの制御信号が、前記可動体の応答時間より短時間のパルス型の力が可動体に加わるような信号であることを特徴とする請求項 1 または 12 記載のスイッチ。

【請求項 16】

スイッチまたはその近傍の温度を測定する温度計測手段を有し、前記温度計測手段で測定した温度に従って前記第 1 および第 2 の制御電源が発生する制御信号を異ならせることを特徴とする請求項 1 または 12 記載のスイッチ。

【請求項 17】

前記パルス型の力の印加時間は、可動体のオーバーシュートの大きさと前記応答時間の最適条件より、前記可動体が電極に急激に吸引されるプルインが起こる位置にまで前記可動体をオーバーシュートさせるパルス型の力の印加時間の約半分の長さであることを特徴とする請求項 16 記載のスイッチ。

20

【請求項 18】

前記最適条件は、オーバーシュートの大きさが約 $0.1 \mu\text{m}$ 以下、応答時間が約 $20 \mu\text{s}$ 以下であることを特徴とする請求項 17 記載のスイッチ。

【請求項 19】

オーバーシュートの方向と逆方向で、オーバーシュートの大きさに対応した力が交互に随時可動体に加わるように制御信号を与えることを特徴とする請求項 17 記載のスイッチ。

【請求項 20】

前記オーバーシュートの方向と逆方向で、オーバーシュートの大きさに対応した力が方向により非対称であることを特徴とする請求項 17 記載のスイッチ。

30

【請求項 21】

前記可動体が所定の位置を越えて変位するオーバーシュートの大きさに対応した一方方向の力が前記可動体に加わるように前記制御信号を制御することを特徴とする請求項 6 または 9 記載のスイッチ。

【請求項 22】

可動体と電極の接触界面が波型または矩形型である請求項 1 から 21 のいずれかに記載のスイッチ。

【請求項 23】

請求項 1 から 22 のいずれかに記載のスイッチを搭載した電子装置。

40

【請求項 24】

請求項 1、12 および 15 のいずれかに記載のスイッチにおける制御信号は、前記可動電極の位置に関する運動方程式から最適な信号を設定することを特徴とするスイッチの制御方法。

【請求項 25】

請求項 1、12 および 15 のいずれかに記載のスイッチにおける制御信号の電圧は、前記可動電極の持つポテンシャルと前記電圧で与えられる静電力によるポテンシャルの釣り合いにより設定されることを特徴とするスイッチの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

50

【発明の属する技術分野】

本発明は、電子回路等に用いられ可動体を電極に吸着または離すことにより、外部からの信号の伝搬経路を切り替えるスイッチに関する。

【0002】**【従来の技術】**

従来のRF-MEMSスイッチは、メンブレン状や棒状の可動体を両持ちや片持ちにし、それらを電極へ接触させたり離したりすることにより、信号の伝搬経路を切り替える機械スイッチである。メンブレンや可動体の駆動力源は静電気力のものが多いが、磁気力のものも発表されている。

【0003】

従来、大きさが数100 μ m程度の微細なスイッチとして、非特許文献1に記載されているものが知られている。図18に非特許文献1に記載されている従来のスイッチの構成を示す。図18(a)は、従来のスイッチの構成を示す断面図であり、図18(b)は、従来のスイッチの構成を示す平面図である。図18(a)は、図18(b)のA-A'線断面図である。このスイッチは、メンブレン上に、高周波信号が伝達される信号ライン101を形成し、当該信号ライン101の直下に制御電極103を設けている。

【0004】

制御電極103に直流電位を印加すると、メンブレンが制御電極103側に静電引力により引き付けられ、撓み、基板102上に形成されている接地電極104と接触することにより、メンブレンに形成されている信号ライン101は短絡状態となり、信号ライン101を流れる信号は減衰され、遮断される。

【0005】

これに対して、制御電極103に直流電位を印加しなければ、メンブレンは撓まず、当該メンブレン上の信号ライン101を流れる信号は、接地電極104から損失することなく、スイッチを通過する。

【0006】

また可動体の位置決めを制御する従来方法として、特許文献1に示されたものが知られている。この構成は、光路をマイクロスイッチで開閉することで、信号をON/OFFしている。光を通過するときは、振動板と平板間に電圧を印加して、静電力によりエレメントを持ち上げる。光を遮断するときは、電圧を0にして、静電力を解除し、振動版の持つばね力で元の位置に戻り、光をエレメントが遮断する。

【0007】

このとき、電圧を急激に印加もしくは0にすると、チャタリングと呼ばれる現象が生じ、エレメントが振動し、安定するまでに時間を要する。このため、制御電圧を印加する前に、予備電圧パルスと呼ばれる電圧を印加することで、チャタリングを防止している。安定条件は、予備パルス電圧の電圧V1とパルス幅 τ_1 、予備パルス電圧V2と本来の制御電圧までの間隔 τ_2 で決まる。仮に $V_1 = V_2$ 、 $\tau_1 = \tau_2$ とすると、 τ_1 は固有振動数の $1/6$ が境界条件となる。

【0008】**【非特許文献1】**

IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 11 No 8, August 2001 p 334

【特許文献1】

特開平2-7014号公報

【0009】**【発明が解決しようとする課題】**

非特許文献1におけるRF-MEMSスイッチの研究開発は、元来、軍事、航空宇宙用の用途を目的としたものが発端であり、如何にして信号伝搬特性の向上を図るかに研究開発の焦点が当てられていた。しかし、それが携帯情報端末等の民生用の用途となると、信号伝搬特性の向上は勿論のこと、耐久性、高速応答化、低消費電力化、低駆動電圧化、小型

10

20

30

40

50

化等の様々な条件を同時に満たした R F - M E M S スイッチの実現が求められる。

【 0 0 1 0 】

しかしながら、図 1 8 (a) に示す従来のスイッチ 1 0 0 においては、メンブレンを制御電極 1 0 3 側に引き付けるために必要となる直流電位の電圧は、約 3 0 V 以上となり、このような高電圧を必要とするスイッチ 1 0 0 を無線装置に組み込み難いという問題を有していた。

【 0 0 1 1 】

又、スイッチの高アイソレーション化を図るためには、可動体と電極との間のギャップを比較的広くすることが要求される。その場合、如何にして低い駆動電圧で、高速、大変位の可動体の駆動を可能とするかが問題となる。

10

【 0 0 1 2 】

又、例えば R F - M E M S スイッチにおいて、可動体を電極へ吸着した場合、駆動電圧を切り可動体に吸着力を与えていない状態にすると、可動体が可動体のもつバネ力で、電極から離れた所定の位置に戻るわけであるが、低駆動電圧で高速に可動体を電極に吸引させようとすると、可動体のバネ力を弱くする必要があるため、可動体の電極から離れた所定の位置に戻る応答速度が遅いという問題がある。

【 0 0 1 3 】

又、機械スイッチにおいて、電極に接触した状態の可動体を、アイソレーションが高く、可動体と電極の容量結合が起こらない、可動体の電極から離れた所定の位置に戻す場合において、可動体が所定の位置を越えて変位するオーバーシュートが問題となる。それは、可動体のオーバーシュートの大きさが大きい場合、信号の伝播経路である電極と可動体が容量結合を起こし、不正な信号の経路が形成されるからである。

20

【 0 0 1 4 】

一方、特許文献 1 におけるスイッチにおいては、スイッチの O N 時の容量を確保するためには、十分な結合面積が要求される。梁の幅を数 μm とした場合、梁の長さは数 1 0 0 μm オーダになる。このため幅が数 μm 、長さが数 1 0 0 μm の梁を片端のみで固定することは困難となり、梁を両端で固定した両持ち梁のほうがより安定する。

【 0 0 1 5 】

しかしながら、両端を固定した場合、基板と梁を形成している材料が異なれば、各材料の熱膨張係数の差から、内部応力が変化し、ばね定数が変化する。構造体の固有振動数は (式 1) に示すように、梁の質量とばね定数で決まるため、温度が変化すれば固有振動数が変化する。

30

【 0 0 1 6 】

チャタリングを防止するために、予備パルス電圧を印加しても、スイッチの温度が変化すれば、固有振動数が変化するため、最適な予備パルス電圧も変化する。

例えば室温で予備パルス電圧を最適化した場合、スイッチの温度が高くなれば、固有振動数が高くなり、室温と同じ予備パルス電圧では、チャタリングを防止することはできなくなる。

【 0 0 1 7 】

【 数 1 】

40

$$f=1/2\pi\sqrt{k/m} \quad (1)$$

【 0 0 1 8 】

これらの問題や要求から、スイッチの高速応答、低駆動電圧を実現し、且つ比較的広い可動体と電極との間のギャップを実現する方法、電極に吸着した可動体が、電極から離れた所定の位置に戻る応答速度の高速化を実現する駆動方式、可動体のオーバーシュートの大きさの制御法の実現が重要な課題である。

50

【 0 0 1 9 】

本発明の目的は、信号伝搬特性の向上、高速応答、低消費電力、低駆動電圧を実現した高性能スイッチ及びそれを用いた電子装置を提供することにある。

【 0 0 2 0 】

【課題を解決するための手段】

本発明のスイッチは、可動体を電極に吸着または離すことにより、外部からの信号の伝搬経路を切り替えるスイッチにおいて、外部からの信号を入力する入力ポートと、この入力ポートに接続された可動体と、外部からの信号を伝搬するための第1の電極と、この第1の電極に接続され制御信号を発生する第1の制御電源と、外部からの信号を遮断するための第2の電極と、この第2の電極に接続され制御信号を発生する第2の制御電源とを備え、第1の制御電源により第1の電極に制御信号を与え、可動体と第1の電極に与えられた電位差、および前記可動体と第2の電極に与えられた電位差で発生する駆動力によって可動体を変位させて第1の電極または第2の電極に吸着させることにより、信号伝搬特性の向上、高速応答、低消費電力、低駆動電圧が可能なスイッチを実現することができる。

【 0 0 2 1 】

【発明の実施の形態】

(実施の形態1)

図1に本発明の実施の形態1におけるスイッチ1の平面図を示す。ON側電極3にはON側制御電源5、OFF側電極4にはOFF側制御電源6が取り付けられている。スイッチがON時においては、可動体2はON側電極3に吸着された状態となり、入力ポート7より入力した信号は、可動体2、ON側電極3を介して出力ポート8へ伝搬し、スイッチがOFF時においては、可動体2はOFF側電極4に吸着された状態となり、入力ポート7より入力した信号は、可動体2、OFF側電極4を介して接地へ伝搬する仕組みになっている。

【 0 0 2 2 】

図2に本実施例1における制御信号と可動体2の位置の関係を示す。図2には、片側のON側電極3に与える制御信号を示す。ON側電極3とOFF側電極4に0Vを片側の端とした交流電圧の制御信号21を逆位相で与える。可動体2はインダクタ12を介して直流的に接地されており、可動体2とON側電極3、OFF側電極4との間に交互に与えられる電位差により生ずる静電気力により、可動体2がON側電極3、OFF側電極4へと交互に変位し、曲線22のように励振される。励振は可動体2の自己共振周波数の交流電圧制御信号で励振する。可動体2は、ON側電極3、OFF側電極4方向の自己共振モードで非常に大きな変位の振動が生じるよう設計、製作されており、自己共振周波数で励振することにより、より小さい電圧で大きな変位の振動が励起される機構になっている。

【 0 0 2 3 】

駆動方法は、図2に示す様に、可動体2を吸着させるON側電極3またはOFF側電極4の方向に静電気力が加わるよう交流電圧の制御信号21を時刻tにおいて一定電圧の直流電圧制御信号23に切り替える。この様に制御信号21を制御することにより、可動体2にON側電極3またはOFF側電極4方向への一定外力を加え、可動体2をON側電極3またはOFF側電極4に吸着させることにより、信号の伝搬経路を切り替える。

【 0 0 2 4 】

尚、可動体2の自己共振モード以外のモードにおいても、可動体2を励振させた場合に、スイッチングするのに十分な振動の変位、所望の応答速度を満たす振動の速度、低駆動電圧が得られる場合は、可動体2の自己共振周波数以外の周波数で励振、スイッチングが可能である。

【 0 0 2 5 】

又、交流電圧制御信号以外に、矩形波型等の他の制御信号を用いることも可能である。

【 0 0 2 6 】

又、本実施の形態1では、静電気力による可動体の励振駆動方式を示したが、磁気力等、他の駆動力を用いた励振駆動方式のスイッチの実現が可能である。

10

20

30

40

50

【0027】

本実施例1により、低い駆動電圧で、高速、大変位の可動体2の駆動を可能とし、可動体2とON側電極3、OFF側電極4との間のギャップを比較的広くすることができる。これは、スイッチの高アイソレーション化を可能とし、信号のON/OFF比の高い高性能なスイッチを実現する。

【0028】

又、可動体2は、所望の応答速度より速い振動速度に対応した自己共振周波数をもつよう設計、製作することにより、より高速な応答速度を実現する
尚、所望の応答速度より高速に可動体を常時励振させた状態から、可動体を電極に吸着させることにより、励振の周波数に対応した高速な応答速度の実現を可能とする。

10

【0029】

又、可動体が電極から離れた所定の位置から、可動体を所望の応答速度より高速に励振させることにより、高速な応答速度の実現を可能とする。

【0030】

又、可動体が電極に吸着された状態から、可動体を所望の応答速度より高速に励振させることにより、高速な応答速度の実現を可能とする。この時、可動体を励振させる周波数は、可動体が電極に吸着された状態での可動体の形状における自己共振周波数でもよい。

【0031】

又、可動体が電極に吸着された状態から可動体を励振させることにより、可動体を電極から解放させて、アイソレーションが高く、可動体と電極の容量結合が起こさずに、可動体を所定の位置に高速に戻すことができる。

20

【0032】

(実施の形態2)

図3に本発明の実施例2におけるスイッチの概略構成図を示す。無線機の無線部500は、送受切り替え部501、受信部502、局部発振器503、送信部504、制御部506、IF部505から構成される。送受切り替え部501は制御部506の制御信号に基づき、受信側および送信側に切り替えられる。

【0033】

受信をする場合、アンテナ端507から入力したRF信号は、送受切り替え部501を介して受信部502に信号が入力され、信号を増幅および周波数変換した後、IF端509からIF部505に出力される。信号を送信する場合はこの逆の動作を行い、IF部505から出力した信号はIF端508を介して、送信部504に入力され、周波数変換および増幅後、送受切り替え部501を通り、アンテナ端507から出力される。

30

【0034】

送受切り替え部501は低損失な素子が要求されるため、実施の形態1のスイッチを用いている。

【0035】

図4に送受切り替え部501の構成例を示す。送信端子523、受信端子524およびアンテナ端507の3つの端子と、スイッチ525～528の4つのスイッチで構成されており、受信端子524側に信号を通す場合は、スイッチ525、527をONし、スイッチ526、528はOFFする。送信端子523に信号を通す場合はスイッチ525、527をOFFし、スイッチ526、528をONする。この構成により、各スイッチ525～528の個々のアイソレーションが低くても、スイッチ525～528を組み合わせることで大きなアイソレーションが得られる。

40

【0036】

実施の形態1と同様にチャタリングを防止するために、単純な制御信号ではない制御信号が必要となる。図5を用いてスイッチ動作について説明する。図5(a)はOFF状態、図5(b)はON状態をそれぞれ示している。

【0037】

スイッチは、両端固定の2つの可動電極531と532で構成されており、各可動電極5

50

3 1、5 3 2 間に直流電位が印加されれば、静電力により可動電極 5 3 1、5 3 2 はひきつけ合い接触する。可動電極 5 3 1、5 3 2 は O F F 時に十分アイソレーションが得られかつ O N 時に低い電圧で駆動できるような間隔で配置されている。例えば各可動電極 5 3 1、5 3 2 の幅が $2 \mu\text{m}$ 、厚み $2 \mu\text{m}$ 、長さ $500 \mu\text{m}$ の場合、可動電極 5 3 1、5 3 2 間の間隔は $0.6 \mu\text{m}$ で十分である。なお、可動電極 5 3 1、5 3 2 は両方とも可動電極である必要はなくどちらか一方が可動であれば良い。

【0038】

O N 状態から O F F 状態に切り替える際には、制御電圧をゼロにして、可動電極 5 3 1、5 3 2 を開放し、O F F 状態に戻すが、このときチャタリングが生じて、可動電極 5 3 1、5 3 2 が固有振動数で振動しながら、初期状態に戻る。

10

【0039】

本実施例のように、両端を固定した可動電極 5 3 1、5 3 2 をスイッチに適用した場合、基板と梁を形成している材料が異なれば、熱膨張係数の差から内部応力が変化する。

【0040】

この関係を(式2)に示す。E はヤング率、 α は熱膨張係数の差、 Δt は温度変化を示している。仮に梁の材料を A l、基板を S i とした場合、 $E = 77 \text{ GPa}$ 、 $\alpha = 21 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ となる。温度が -20 から $+80$ まで変化した場合、内部応力は 160 MPa 変化し、固有振動数は図6に示すように、 30 kHz から 60 kHz まで変化する。

【0041】

20

【数2】

$$\Delta \sigma = E \Delta \alpha \Delta t \quad (2)$$

【0042】

一般的にフィードバック系を用いない制御方法では、制御信号のパラメータを梁の固有振動数に基づいて算出している。室温で最適化した制御信号を、全ての温度に用いれば、十分なチャタリング防止効果が得られず、場合によっては、チャタリングを増長することもある。

【0043】

30

このため本実施例2では、スイッチの温度に合わせて最適な制御信号を与えるために、送受切り替え部 5 0 1 の近傍またはその中に温度計測部 5 1 0 を設ける。この温度計測部 5 1 0 は周知の温度補償回路、例えば図7に示すようなトランジスタの温度特性を利用した単純な温度補償回路で構成することができる。温度計測部 5 1 0 として図7の温度補償回路を使用した場合に、その温度が -40 から $+80$ に変化した場合の出力電圧の様子を図8に示す。

【0044】

この温度計測部 5 1 0 の出力信号により、制御部 5 0 6 でスイッチの温度にあわせた制御信号を出力する。この場合、温度ごとに最適な制御信号のテーブルを予め記憶させておき、動作温度に応じて最適な信号を制御部 5 0 6 が出力すればよい。またアナログ回路で最適な信号を出力するような回路を設けてもよい。

40

【0045】

最適な制御信号は以下のように算出する。可動電極には、ばね力、静電力、さらにダンピング力が加わるために、(式3)に示すような運動方程式から時刻 t での可動体の位置 z が算出できる。 z は時刻 t での位置を示し、 b はダンピング係数、 k はばね定数、 F_e は(式4)で示される静電力を表す。 d は電極間距離、 S は電極面積、 g は電極間距離を示す。また運動方程式の初期条件は、時刻0で、速度0、位置がラッチ位置としている。

【0046】

【数3】

$$md^2z(t)/dt+b\left[1.2-z(t)/g\right]^{-3/2}dz(t)/dt+kz(t)-Fe=0 \quad (3)$$

【 0 0 4 7 】

【 数 4 】

$$Fe=1/2 \frac{\varepsilon S}{dd^2} V^2$$

(4)

10

$$Zz'[0]=z[0]=-g$$

【 0 0 4 8 】

この運動方程式は、非線形な運動方程式であるため、一般解ではなく数値解で求める必要がある。図9(a)は長さ500μm、可動体の幅、厚みがそれぞれ2μmで、固定電極とのギャップが0.6μmの場合の、室温での可動電極の動特性を算出したものである。ラッチされていた可動電極が、時刻0で、静電力が解放されて、梁のばね力だけで初期位置に戻る様子を示してある。このように単純に可動電極を開放した場合、梁は大きく振動しながら、初期位置に戻るが、振動が大きいと、電極間の距離が近づき、信号が電氣的に結合する。

20

【 0 0 4 9 】

そこで、本実施例では、単純に制御信号を0にするのではなく、制御信号を0にした後、再び制御信号をある時間の間だけ印加して可動電極の動特性を安定させる。

【 0 0 5 0 】

一般的に静電力で電極を駆動する場合、可動電極の線形制御範囲は、ギャップの1/3の間であることはよく知られており、例えばギャップが0.6μmの場合、線形制御範囲は0.2μmである。このため、電極の間隔が0.2μmになった場合に制御信号を印加する。

30

【 0 0 5 1 】

黒点で示した時刻t1に、線形制御範囲の0.2μmに達し、時刻t2で外れる。室温では、それぞれ時刻t1は4.5μs、t2は8.5μsとなる。

【 0 0 5 2 】

次に印加する電圧を算出する。ばね力の持つポテンシャルを全て印加した静電力で打ち消すように印加すると、(式5)に示すようなポテンシャルのつりあいから印加電圧を算出できる。バネの持つポテンシャルは左辺で示され、ばね定数kと変位量すなわち電極間の初期ギャップgで示される。また静電力によるポテンシャルは右辺で示され、εは誘電率、Vは印加電圧、dは電極間の距離、Sは電極面積、xは可動範囲を示す。静電力は線形範囲内のみで印加するため、たとえばgが0.6μmとすれば、dは0.4μmから0.6μm、xは0.2μmとなる。上記電極形状で室温の場合、印加電圧Vは10Vとなる。

40

【 0 0 5 3 】

【 数 5 】

$$1/2 kg^2 = \varepsilon \left[\frac{V}{dd} \right]^2 SX \quad (5)$$

50

【 0 0 5 4 】

時刻 t_1 から t_2 の間に、印加電圧 V を印加した場合の可動電極の動特性を図 9 (b) に曲線 1 0 1 で示す。比較のため電圧を印加しない場合を曲線 1 0 2 に示す。制御電圧を印加しない場合は、曲線 1 0 2 に見られるように可動電極はダンピングでエネルギーを消耗するまで固有振動数で振動を続けるが、制御電圧を印加した場合は、曲線 1 0 1 のように振動エネルギーは静電力で打ち消され可動電極が初期位置に素早くもどることができる。

【 0 0 5 5 】

次に温度変化により内部応力が変化した場合の可動電極の動特性を説明する。図 1 0 (a) はスイッチの温度が室温から 8 0 へ変化した状態において、室温で最適とした制御信号を印加した場合の可動電極の動特性を示す。曲線 1 1 1 は制御電圧を印加した場合、曲線 1 1 2 は制御電圧を印加しない場合を示す。スイッチの温度が室温から温度が 8 0 へ変化した場合、内部応力は 8 0 M P a 以上高くなるため、可動電極の固有振動数が変化し、室温で最適とした場合の制御信号を印加した場合、曲線 1 1 1 のように、明らかに可動電極がオーバーシュートした後に制御信号が印加されることになる。このため可動電極は、曲線 1 1 1 に示した制御信号を印加した場合と曲線 1 1 2 で示した制御信号を印加していない場合とで殆ど差が生じない特性となる。スイッチの温度がさらに変化して、可動電極の位置がマイナス側にあるときに制御電圧が印加されれば、チャタリングをより増長させることになる。

10

【 0 0 5 6 】

そこで、室温の場合と同様に、温度が高くなった場合の最適電圧を数式 5 により算出し、その電圧を可動電極に印加する。図 1 0 (b) にそのときの可動電極の動特性を示す。曲線 1 0 3 は印加制御電圧を印加した場合、曲線 1 0 4 は制御電圧を印加しない場合である。制御電圧を印加した場合は、図 9 (b) の室温の場合と同様に、振動エネルギーは静電力で打ち消され可動電極が初期位置に素早くもどることがわかる。

20

【 0 0 5 7 】

スイッチの温度が低くなった場合は、内部応力が低くなるためプルイン電圧が低くなる。このため、室温と同じ制御電圧を印加すれば、可動電極は初期位置に戻る前に制御電圧で固定電極側に引き込まれる。そこで、温度が低くなった場合の最適電圧を (式 5) により算出し、その電圧を可動電極に印加する。図 1 0 (c) にそのときの可動電極の動特性を示す。曲線 1 0 5 は印加制御電圧を印加した場合、曲線 1 0 6 は制御電圧を印加しない場合である。制御電圧を印加した場合は、図 9 (b) の室温の場合と同様に、振動エネルギーは静電力で打ち消され可動電極が初期位置に素早くもどることがわかる。

30

【 0 0 5 8 】

このように、温度に応じた最適な制御信号を印加することが重要である。本実施例は温度変化に対して最適な制御電圧を印加することが可能となる。

【 0 0 5 9 】

なお、以上の説明では、温度を計測して共振周波数の変化を算出しているが、測定する物理量は温度以外に共振周波数の変化を算出できるものであれば何でもよい。例えば、共振周波数の変化を直接読み取る方法、プルイン電圧の変化から共振周波数を算出する方法、電極間の容量変化から内部応力の変化を算出する方法、電極位置を直接計測する方法など種々方法が可能である。

40

【 0 0 6 0 】

(実施の形態 3)

スイッチの使用において、可動体を常時励振させた場合に、可動体の自己共振周期で信号が出力ポートに伝搬される問題がある。その問題を解決したスイッチとして、二つのスイッチを直列接続することにより、一つのスイッチとして用いる方法を示す。

【 0 0 6 1 】

図 1 1 に本発明の実施例 3 におけるスイッチ 1 の平面図を示す。スイッチ 1 a、スイッチ 1 b を直列に接続する。スイッチ 1 a は可動体 2 a、ON 側電極 3 a、OFF 側電極 4 a を備え、ON 側電極 3 a には ON 側制御電源 5 a、OFF 側電極 4 a には OFF 側制御電

50

源 6 a が接続されている。同様に、スイッチ 1 b は可動体 2 b、ON 側電極 3 b、OFF 側電極 4 b を備え、ON 側電極 3 b には ON 側制御電源 5 b、OFF 側電極 4 b には OFF 側制御電源 6 b が接続されている。

【0062】

スイッチ 1 a から可動体 2 a の自己共振周期で出力される信号を遮断するために、スイッチ 1 b をスイッチ 1 a と逆位相で駆動させる。すなわち、スイッチ 1 a の ON 側において出力された信号がスイッチ 1 b に到達時には、スイッチ 1 b は OFF 側になっており、スイッチ 1 a から出力された信号は、スイッチ 1 b の OFF 側電極 4 b の接地に伝搬される。スイッチ 1 a とスイッチ 1 b を逆位相で駆動するには、スイッチ 1 a の ON 側制御電源 5 a、OFF 側制御電源 6 a の制御信号と、スイッチ 1 b の ON 側制御電源 5 b、OFF 側制御電源 6 b の制御信号を逆位相にすれば良い。

10

【0063】

本実施例におけるスイッチは、スイッチ 1 a が ON 時には、信号を伝搬させるためスイッチ 1 b も ON にする必要がある。又、スイッチ 1 a が OFF 時には、アイソレーションをより高めるため、スイッチ 1 b も OFF 状態にしておく方が得策である。

【0064】

なお、ON 側制御電源 5 a、ON 側制御電源 5 b の制御信号が伝送線路に乗り、更に出力ポート 8 へ制御信号が伝搬される問題があるが、ON 側制御電源 5 a、ON 側制御電源 5 b の制御信号は逆位相であるため、スイッチ 1 a とスイッチ 1 b が十分近距離に配置されていれば、互いの信号は打ち消し合い問題はない。また、図 11 に示す様に、出力ポート 8 の前にハイパスフィルタ 13 を配置することにより、制御信号が出力ポート 8 へ伝搬されず、入力ポート 7 より入力された信号のみが出力ポート 8 へ伝搬されるようにすることができる。例えば、1 MHz の制御信号は遮断し、800 MHz ~ 6 GHz の信号は通過させるといった具合である。

20

【0065】

又、ON 側制御電源 5 a からスイッチ 1 b の可動体 2 b の接地へと直流電流が流れる問題があるが、これは図 11 に示す様に、スイッチ 1 a とスイッチ 1 b の間にコンデンサ 14 を直列接続すれば解決される。

【0066】

(実施の形態 4)

図 12 に本発明の実施例 4 におけるスイッチ 1 の平面図を示す。本実施例 4 はローレンツ力により駆動するもので、可動体 2 と電極 9 に同方向の駆動電流を流すことにより生じる斥力のローレンツ力を駆動力の一つとしており、可動体 2 を電極 9 から離れた所定の位置に戻す時のみ前記ローレンツ力による駆動力を与え、所定の位置に戻る応答速度の高速化を可能とする。電流は制御電源 10 により制御する。

30

【0067】

本駆動方式は、静電気力駆動方式、磁気力駆動方式、電磁気力駆動方式、圧電力駆動方式等の他の駆動方式と組み合わせたハイブリッド型駆動方式として使用することができ、より高性能なスイッチの実現を可能とする。例えば、静電気力により可動体 2 と電極 9 とを吸着させ、可動体 2 を所定の位置に戻す時のみ斥力のローレンツ力による駆動力を与える。静電気力駆動方式とローレンツ力駆動方式のハイブリッド型駆動方式が可能である。

40

【0068】

尚、可動体 2 と電極 9 に駆動電流を流すことにより生じる引力、斥力のローレンツ力を駆動力とし、信号の伝搬経路を切り替えることも可能である。二本の駆動電流の方向が逆方向であれば、可動体 2 と電極 9 との間に引力が働き、可動体 2 は電極 9 へ吸着される。又、駆動電流の方向が同方向であれば、可動体 2 と電極 9 との間に斥力が働き、可動体 2 は電極 9 から離れた所定の位置に戻る。電流は制御電源 10 により制御する。

【0069】

また、可動体 2 または電極 9 のどちらか一方に高抵抗材料を使用し、高抵抗材料の比較的遅い電荷移動度による極性反転速度を利用し、可動体 2 と電極 9 が引力で接触している状

50

態において、可動体 2 または電極 9 の極性を反転させた瞬間に、可動体 2 と電極 9 が同極性となって生ずる斥力を可動体 2 が所定の位置に戻る駆動力とすることが可能である。

【0070】

又、可動体 2 と電極 9 間の電極上に形成する絶縁層として極性反転速度の比較的遅い高誘電体絶縁材料を使用し、可動体 2 と電極 9 が引力で接触している状態において、可動体 2 の極性を反転させた瞬間に、可動体 2 と絶縁層表面が同極性となり生ずる斥力を可動体 2 が所定の位置に戻る駆動力とすることも可能である。

【0071】

これらの方法は、可動体が所定の位置に戻る応答速度の高速化を可能とする。

【0072】

10

(実施の形態 5)

機械スイッチにおいて、電極に接触した状態の可動体を、アイソレーションが高く、可動体と電極の容量結合が起こらない、可動体の電極から離れた所定の位置に戻す場合において、可動体が所定の位置を越えて変位するオーバーシュートが問題となる。それは、可動体のオーバーシュートの大きさが大きい場合、信号の伝播経路である電極と可動体が容量結合を起こし、不正な信号の経路が形成されるからである。実施例 5 はこの様な問題の解決するために、可動体のオーバーシュートの大きさを制御するものである。

【0073】

図 13 に実施例 5 におけるスイッチ 1 の平面図を示す。制御電源 10a、制御電源 10b により、可動体 2 と電極 9a、電極 9b との間に働く静電力を制御し、可動体 2 の駆動を制御する。 20

【0074】

図 14 により実施例 5 におけるスイッチ 1 の制御方法を説明する。図 14 (a) は制御信号 141 と可動体 2 の位置関係を示す。制御信号 141 を加えない場合、可動体 2 は曲線 142 のように振動してオーバーシュートを起こす。そこで、制御電源 10a、10b により制御信号 141 として応答時間より短時間のパルス型の信号を電極 9a、9b に接触した状態の可動体 2 に加えると、可動体 2 は曲線 143 のように短時間で電極 9a、9b から離れた所定の位置に戻すことができる。すなわち、制御信号 141 により可動体 2 への力の印加を短時間で止め、可動体 2 のオーバーシュートによる振動の振幅を軽減し、電極 9a、9b との容量結合を防ぐことができる。又、可動体 2 にパルス型の力を印加することにより、応答速度が制御前より速くなる利点がある。 30

【0075】

図 14 (b) は制御信号 141 のパルス幅を変化させたときの可動体 2 の位置と時間との関係の一例を示す。図 14 (b) において、可動体 2 の構造は幅 $5\mu\text{m}$ 、厚み $2.5\mu\text{m}$ 、長さ $500\mu\text{m}$ の柱状の梁とし、可動体 2 と電極 9a、9b 間のギャップは $0.6\mu\text{m}$ 、可動体 2 が戻る所定の位置は電極 9a、9b から $0.6\mu\text{m}$ の位置、パルス型の制御信号 141 の電圧は 7V の場合を示す。この状態において、可動体 2 へのパルス型の力の印加時間を変化させるために、制御信号 141 のパルス幅を $20\mu\text{s}$ 、 $15\mu\text{s}$ 、 $10\mu\text{s}$ 、 $6\mu\text{s}$ と変化させると、可動体 2 の位置は、パルス幅 $20\mu\text{s}$ では曲線 144 のように、パルス幅 $15\mu\text{s}$ では曲線 145 のように、パルス幅 $10\mu\text{s}$ では曲線 146 のように、パルス幅 $6\mu\text{s}$ では曲線 147 のように変化する。曲線 144 ~ 147 に見られるように、可動体 2 のオーバーシュートによる振動の振幅がパルス幅を小さくするにつれて小さくなると同時に、応答速度が遅くなることがわかる。オーバーシュートの大きさと応答時間の最適条件は、オーバーシュートの大きさが約 $0.1\mu\text{m}$ 以下、応答時間が約 $20\mu\text{s}$ 以下であり、それを満たすパルス幅は、プルインが起こるパルス幅 $21\mu\text{s}$ の約半分の時間である $10\mu\text{s}$ である。 40

【0076】

図 14 (c) は制御信号 141 の印加前と後の可動体 2 の位置と時間との関係の一例を示す。図 14 (c) において、可動体の構造は、幅 $5\mu\text{m}$ 、厚み $0.7\mu\text{m}$ 、長さ $500\mu\text{m}$ の柱状の梁であり、比較的バネ定数の小さい可動体である。制御信号の印加前は、可動 50

体 2 のバネ定数が小さいため、曲線 1 4 8 のように可動体 2 の電極 9 a、9 b から離れた所定の位置に戻る応答速度が遅いが、最適条件であるパルス幅 $10 \mu s$ の力を印加した制御後では、曲線 1 4 9 のように可動体の電極から離れた所定の位置に戻る応答速度が速くなり、且つオーバーシュートの大きさも小さくなる様可動体の変位を制御できることがわかる。

【0077】

(実施の形態 6)

つぎに、実施例 6 として、図 1 3 に示したスイッチにおける可動体のオーバーシュートの大きさを制御する他の制御方法を図 1 5 により説明する。図 1 5 (a) は片側の電極 9 a に与える制御信号 1 5 1 と可動体 2 の位置関係を示す。

10

制御信号 1 5 1 としてオーバーシュートの方向と逆方向で、オーバーシュートの大きさに対応したパルス信号を可動体 2 に加え、可動体 2 のオーバーシュートが大きくなるに連れ、より大きな制御信号 1 5 1 を与え、より強い力で電極 9 a から離れた所定の位置に可動体 2 を所定の位置に引き戻す。この場合、オーバーシュートによる可動体 2 の振動方向に応じて随時、力の印加方向を変える。曲線 1 5 2 および 1 5 3 を比較すると、制御信号 1 5 1 を与えないで可動体 2 のもつバネ力のみで可動体 2 が電極 9 a から離れた所定の位置に戻る場合の制御前の可動体の位置 (曲線 1 5 2) に比べ、制御信号 1 5 1 を与えた制御後の可動体の位置 (曲線 1 5 3) は、可動体 2 のオーバーシュートによる振動の振幅が小さくなっていることがわかる。

【0078】

20

図 1 5 (b) は制御信号 1 5 1 の印加前と後の可動体 2 の位置と時間との関係の一例を示す。図 1 5 (b) において、可動体 2 の構造は幅 $5 \mu m$ 、厚み $2.5 \mu m$ 、長さ $500 \mu m$ の柱状の梁であり、比較的バネ定数の大きい可動体である。可動体 2 と電極間 9 a、9 b のギャップは $0.6 \mu m$ 、可動体 2 が戻る所定の位置は電極 9 a、9 b から $0.6 \mu m$ の位置である。

【0079】

制御前は可動体 2 のバネ定数が大きいいため、曲線 1 5 4 のように所定の位置に戻る場合にオーバーシュートによる可動体 2 の振動が起きていることがわかる。そこで、電極 9 a、電極 9 b 側で 10 : 1 の非対称な力を交互に随時可動体 2 に加えるために制御信号 1 5 1 を印加すると、曲線 1 5 5 のようにオーバーシュートの大きさが小さくなり、且つ可動体 2 の所定の位置に戻る応答速度が速くなるように可動体 2 の変位を制御できることがわかる。又、可動体 2 に加える力をオーバーシュートの方向により非対称にすることにより、強い力で可動体 2 を所定の位置に引き戻し、オーバーシュートの大きさを軽減することができる。

30

【0080】

(実施の形態 7)

つぎに、実施例 7 として、図 1 3 に示したスイッチにおける可動体の一方方向のオーバーシュートの大きさを軽減する制御方法の実施例である。図 1 6 は制御信号 1 6 1 と可動体 2 の位置の図を示す。制御信号 1 6 1 を印加しない場合は、可動体 2 は曲線 1 6 2 のようにオーバーシュートする。そこで、曲線 1 6 1 のような制御信号、すなわち、軽減したいオーバーシュートの方向と逆方向で、オーバーシュートの大きさに対応した力が可動体に加わるように制御し、オーバーシュートによる可動体 2 の振動が減衰するにつれて制御信号 1 6 1 の大きさを小さくし、可動体 2 が電極 9 a、9 b から離れた所定の位置にほぼ戻った時点で制御信号 1 6 1 を切るような制御信号 1 4 1 を印加すると、可動体 2 は曲線 1 6 3 のように、可動体 2 に引力を加えた側とは逆側におけるオーバーシュートの大きさを軽減することができる。

40

【0081】

実施例 5 ~ 7 の制御信号により、可動体 2 のオーバーシュートの大きさの制御が可能となり、可動体 2 と電極 9 a、9 b の容量結合による不正な信号経路の形成を防ぐことが可能となる。又、可動体 2 が所定の位置に戻る応答速度を高速化することができる。

50

【0082】

なお、実施例5～7においては、静電気力による可動体の励振駆動方式を説明したが、磁気力等の他の駆動力を用いた励振駆動方式としてもよい。

【0083】

又、上記各駆動方式は、個別、又は、他の駆動方式も含めた複数の駆動方式を組み合わせたハイブリッド型駆動方式としてもよい。

【0084】

又、実施例5～7のスイッチは、垂直方向駆動型、水平方向駆動型等の任意の方向への可動体の駆動を行うスイッチへの利用が可能である。

【0085】

又、実施例5～7のスイッチは、SPDT、SPNTといった多出力ポート型のスイッチへの使用が可能である。

【0086】

又、実施例5～7のスイッチは各種電子装置への搭載が可能である。

【0087】

(実施の形態8)

図17は本発明におけるスイッチを製造する工程の一例を示す断面図である。図17(a)に示すように、まず、高抵抗シリコン基板201上に熱酸化することで、シリコン酸化膜202を300nmの膜厚で形成する。その後、シリコン窒化膜203を減圧CVD法を用いて200nmの膜厚で堆積する。更にシリコン酸化膜204を50nmの膜厚で減圧CVD法を用いて堆積する。

【0088】

つぎに、図17(b)のように、シリコン酸化膜204にフォトリソグからなる犠牲層を膜厚2μmでスピンコート、露光、現像したのち、ホットプレートで140～100分のベークを行うことで犠牲層205を形成する。

【0089】

つぎに、図17(c)に示すように、基板全面にAl₂O₃をスパッタにより2μmの膜厚で堆積し、所定の領域にレジストが残るようにフォトリソグによるパターン207の形成を行う。

【0090】

つぎに、図17(d)のように、フォトリソグによるパターン207をマスクとしてAl₂O₃のドライエッチングを行ってAl₂O₃による梁208を形成し、更に酸素プラズマによりフォトリソグによるパターン207および犠牲層205を除去する。その結果、基板表面のシリコン酸化膜204との間に間隙209を有する梁208が形成される。

【0091】

更に、図17(e)に示すように、梁208およびシリコン酸化膜204の全面にプラズマCVDによりシリコン窒化膜210を膜厚50nmで堆積することで、基板表面のシリコン酸化膜204上および梁208の周辺にシリコン窒化膜210が形成される。

【0092】

最後に、図17(f)に示すように、シリコン窒化膜210を異方性を有するドライエッチング法にて堆積膜厚以上の膜厚、例えば100nmでシリコン酸化膜204と選択比を有する条件でエッチバックすることで、梁208の上面はシリコン窒化膜210がなく側面にのみシリコン窒化膜211が残るように、一方基板表面のシリコン酸化膜204上は、梁208に対応した部分のみにシリコン窒化膜212が残留するように、エッチングを行なう。

【0093】

尚、本実施例では基板201として高抵抗シリコン基板を用いたが、通常のシリコン基板、化合物半導体基板、絶縁材料基板などを用いても良い。

【0094】

10

20

30

40

50

又、高抵抗シリコン基板 201 上に絶縁膜としてシリコン酸化膜 202、シリコン窒化膜 203、シリコン酸化膜 204 を形成したが、基板の抵抗が十分高い場合これら絶縁性膜の形成を省略しても良い。又、高抵抗シリコン基板 201 上にシリコン酸化膜 202、シリコン窒化膜 203、シリコン酸化膜 204 と 3 層構造の絶縁膜としたが、前記シリコン窒化膜 203 の膜厚が、梁上に堆積するシリコン窒化膜と比較して十分厚い膜厚、いわゆるエッチバック工程を経ても消失しない膜厚である場合、シリコン酸化膜 204 形成工程は省略することが可能である。

【0095】

尚、本実施例では梁 208 を形成する材料として Al2O6 を用いたが、他の金属材料 Mo、Ti、Au、Cu や、高濃度に不純物導入された半導体材料例えばアモルファスシリコン、導電性を有する高分子材料などを用いても良い。更に成膜方法としてスパッタを用いたが CVD 法、メッキ法などを用いて形成しても良い。

10

【0096】

なお、機械スイッチの可動体を静電気力にて電極に吸引、吸着させる場合、可動体と電極の接触界面を波型、もしくは矩形型等にしても良い。メッキ法にて可動体、電極を形成する場合、垂直方向にアスペクト比が高い可動体と電極間のギャップや、非常に狭い可動体と電極間のギャップを犠牲層 205 にて形成する必要がある。犠牲層 205 を波型や矩形型にすることにより、犠牲層 205 を立ち易くし、より精度の高い可動体と電極間の接触界面、ギャップを形成することができる。又、従来、矩形型の可動体と電極の接触界面では、凸部の角が削れて丸くなる、又は凹部の入り組んだ角が精度良く削れず犠牲層が残るという問題があったが、可動体と電極の接触界面を波型に丸くした構造により、犠牲層 205 のエッチングプロセスにおいて、一様に削れた精度の高い可動体と電極の接触界面、ギャップの形成を実現することができる。

20

【0097】

本実施例におけるスイッチは、可動体と電極との接触面積を増やしたことにより、可動体と電極間に働く静電気力を増大させ、同じ制御電圧でもより大きな静電気力が発生するエネルギー効率の高いスイッチであり、応答速度の高速化を実現する。

【0098】

以上の様に本発明は、スイッチの高速応答、低駆動電圧を実現し、且つ比較的広い可動体と電極との間のギャップを実現することができる。

30

【0099】

また、電極に吸着した可動体が電極から離れた所定の位置に戻る応答速度の高速化を実現し、さらに、可動体のオーバーシュートの大きさを制御することができる。

【0100】

また、大容量高速無線通信技術の確立に向けた、信号伝搬特性の向上、高速応答、低消費電力、低駆動電力を実現した高性能スイッチ及びそれを用いた電子装置を実現することが可能となる。

【0101】

【発明の効果】

以上の様に本発明は、スイッチの高速応答、低駆動電圧を実現し、且つ比較的広い可動体と電極との間のギャップを実現することができる。

40

【0102】

また、電極に吸着した可動体が電極から離れた所定の位置に戻る応答速度の高速化を実現し、さらに、可動体のオーバーシュートの大きさを制御することができる。

【0103】

また、大容量高速無線通信技術の確立に向けた、信号伝搬特性の向上、高速応答、低消費電力、低駆動電力を実現した高性能スイッチ及びそれを用いた電子装置を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の形態 1 におけるスイッチの概略構成を示す平面図

50

【図 2】本発明実施の形態 1 におけるスイッチの制御信号と可動体の位置を示す特性図

【図 3】本発明の実施の形態 2 におけるスイッチの概略構成を示す平面図

【図 4】本発明の実施の形態 2 におけるスイッチの送受切り替え部の構成例を示す回路図

【図 5】(a) 本発明の実施の形態 2 におけるスイッチのスイッチ OFF 時の動作を説明する概念図

(b) 本発明の実施の形態 2 におけるスイッチのスイッチ ON 時の動作を説明する概念図

【図 6】本発明の実施の形態 2 におけるスイッチに使用される梁の固有振動数の温度変化特性図

【図 7】本発明の実施の形態 2 におけるスイッチの温度計測部として使用される温度補償回路の一例を示す回路図

【図 8】図 7 における温度補償回路の温度を変化させたときの出力特性図

【図 9】(a) 本発明の実施の形態 2 におけるスイッチの室温での可動電極の動特性図

(b) 本発明の実施の形態 2 におけるスイッチの室温で最適な印加電圧を印加した場合の可動電極の動特性図

【図 10】(a) 本発明の実施の形態 2 におけるスイッチの高温での可動電極の動特性図

(b) 本発明の実施の形態 2 におけるスイッチの高温で最適な印加電圧を印加した場合の可動電極の動特性図

(c) 本発明の実施の形態 2 におけるスイッチの低温で最適な印加電圧を印加した場合の可動電極の動特性図

【図 11】本発明実施の形態 3 におけるスイッチの概略構成を示す平面図

【図 12】本発明実施の形態 4 におけるスイッチの概略構成を示す平面図

【図 13】本発明実施の形態 5 におけるスイッチの概略構成を示す平面図

【図 14】(a) 本発明実施の形態 5 における制御信号と可動体の位置を示す特性図

(b) 上記実施の形態 5 におけるオーバーシュートを示す特性図

(c) 上記実施の形態 5 における制御前後のオーバーシュートを示す特性図

【図 15】(a) 本発明実施の形態 6 における制御信号と可動体の位置を示す特性図

(b) 上記実施の形態 6 における制御前後のオーバーシュートを示す特性図

【図 16】本発明実施の形態 7 におけるスイッチの制御信号と可動体の位置を示す特性図

【図 17】(a) ~ (f) 本発明実施の形態 8 におけるスイッチの製造工程を説明する断面図

【図 18】(a) 従来のスイッチの構成を示す断面図

(b) 従来のスイッチの構成を示す平面図

【符号の説明】

1、1 a、1 b スイッチ

2、2 a、2 b 可動体

3、3 a、3 b ON 側電極

4、4 a、4 b OFF 側電極

5、5 a、5 b ON 側制御電源

6、6 a、6 b OFF 側制御電源

7 入力ポート

8 出力ポート

9、9 a、9 b 電極

10、10 a、10 b 制御電源

12 インダクタ

13 ハイパスフィルタ

14 コンデンサ

201 高抵抗シリコン基板

202 シリコン酸化膜

203 シリコン窒化膜

204 シリコン酸化膜

10

20

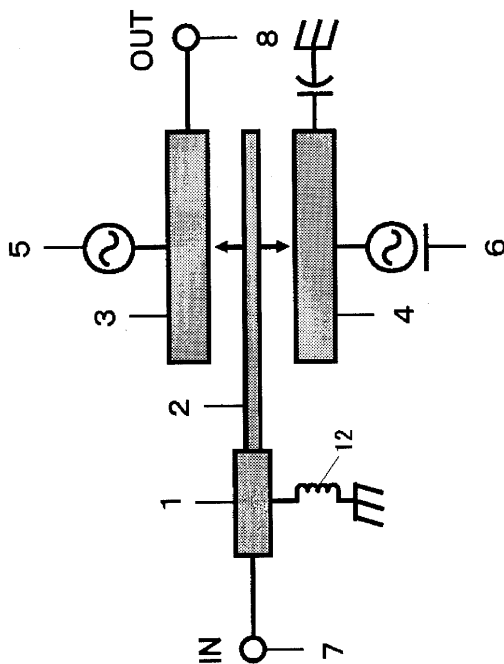
30

40

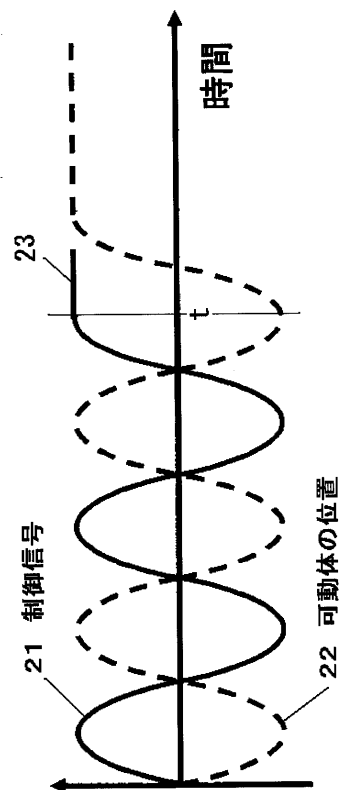
50

- 2 0 5 犠牲層
- 2 0 6 A l
- 2 0 7 フォトリソットによるパターン
- 2 0 8 梁
- 2 1 0 ~ 2 1 2 シリコン窒化膜
- 5 0 0 無線部
- 5 0 1 送受切り替え部
- 5 0 2 受信部
- 5 0 3 局部発振器
- 5 0 4 送信部
- 5 0 5 I F 部
- 5 0 6 制御部
- 5 0 7 アンテナ端
- 5 0 8 I F 端
- 5 1 0 温度計測部
- 5 2 3 送信端子
- 5 2 4 受信端子
- 5 2 5 ~ 5 2 8 スイッチ
- 5 3 1、5 3 2 可動電極

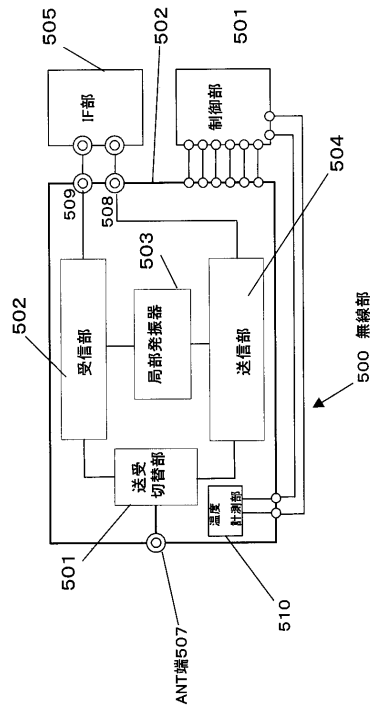
【図 1】



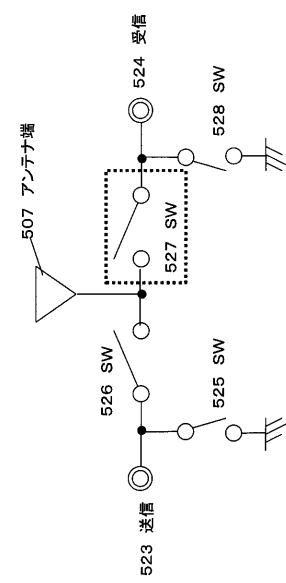
【図 2】



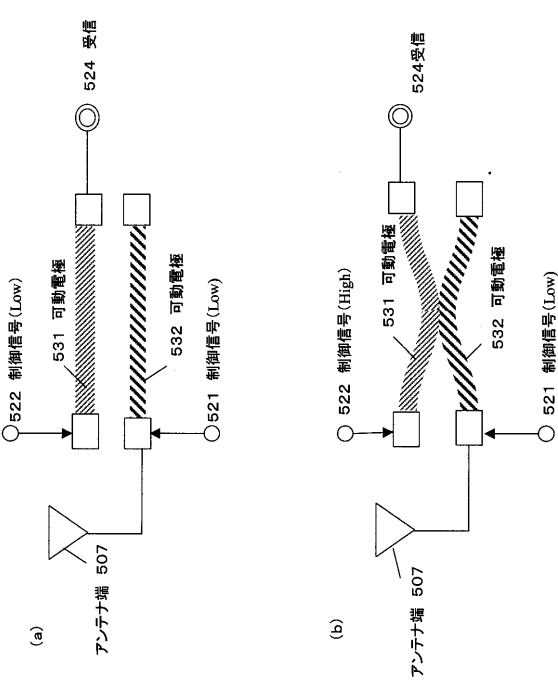
【図 3】



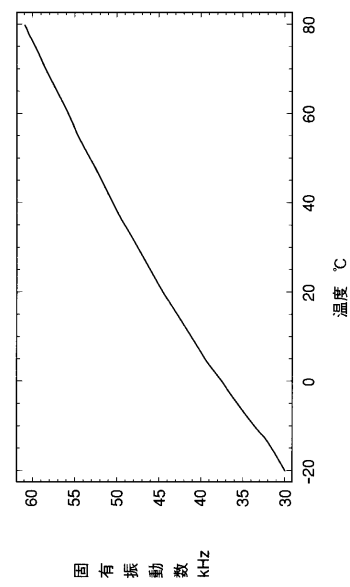
【図 4】



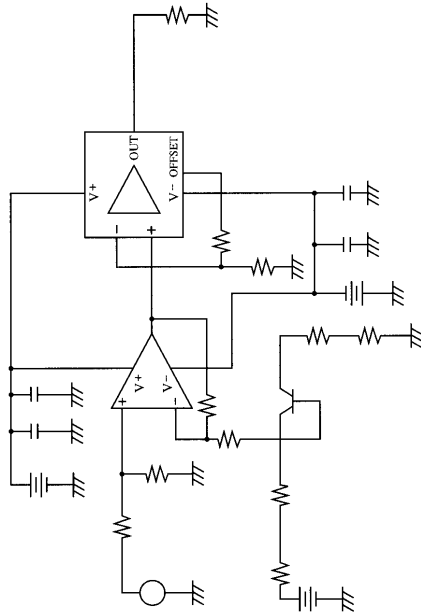
【図 5】



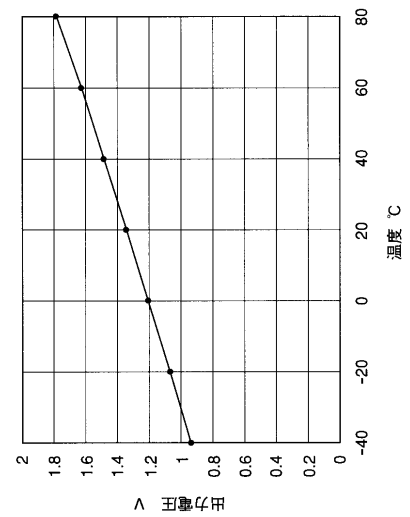
【図 6】



【図 7】

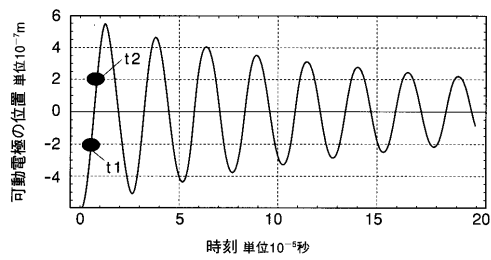


【図 8】

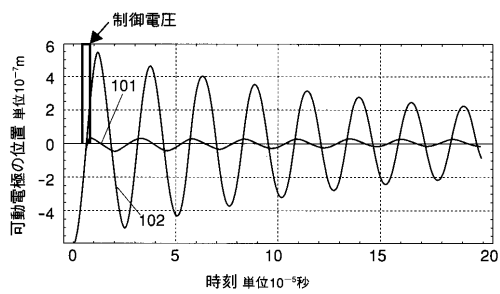


【図 9】

(a)

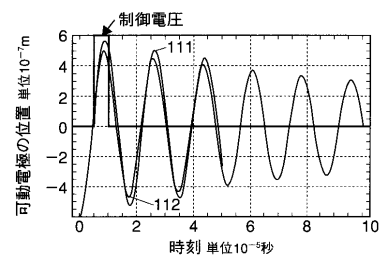


(b)

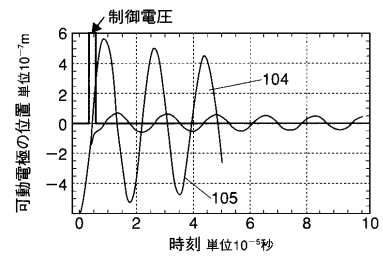


【図 10】

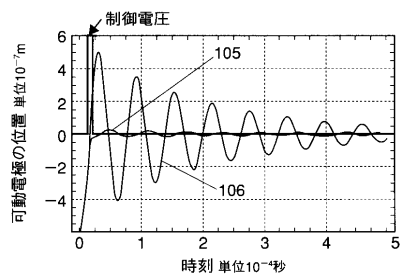
(a)



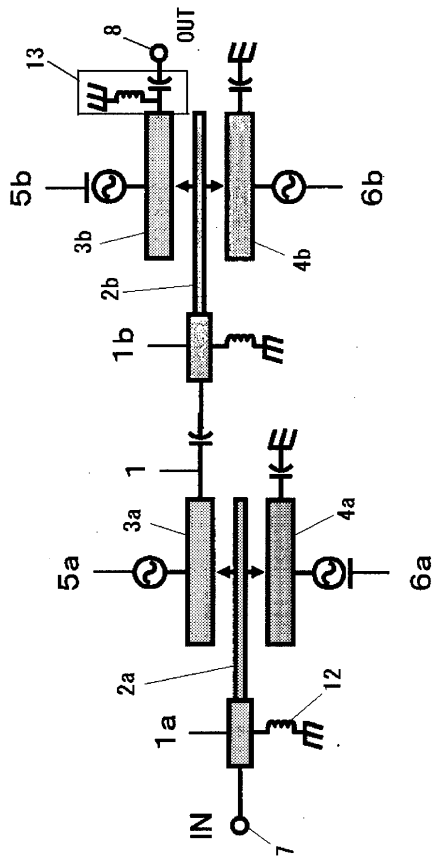
(b)



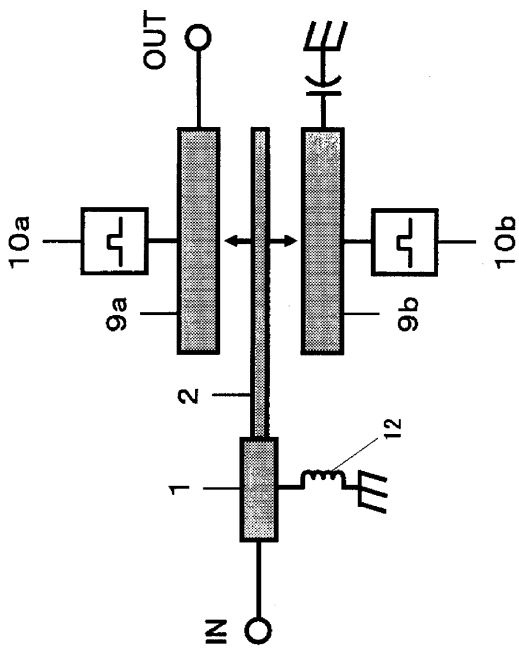
(c)



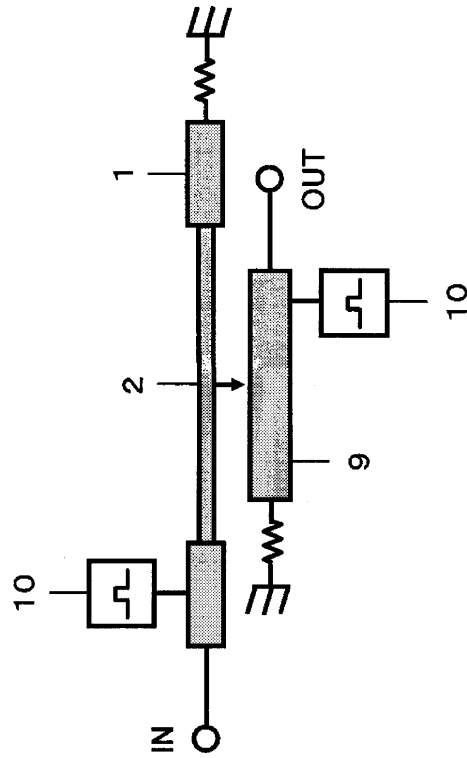
【図 1 1】



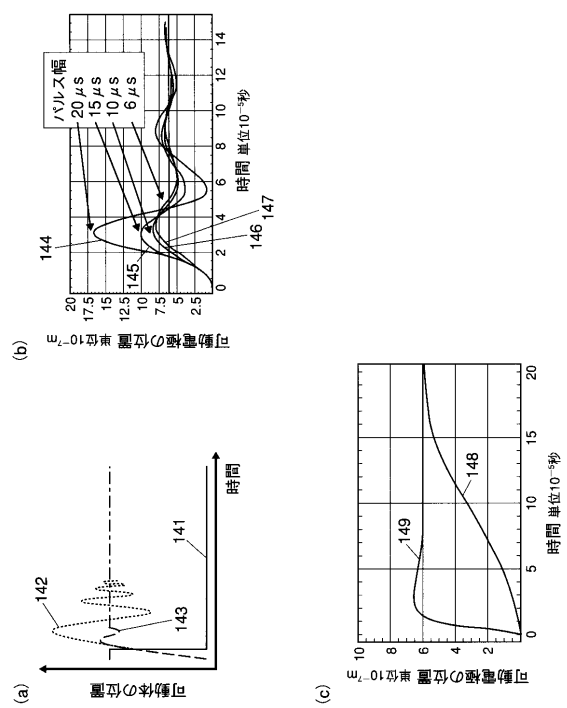
【図 1 3】



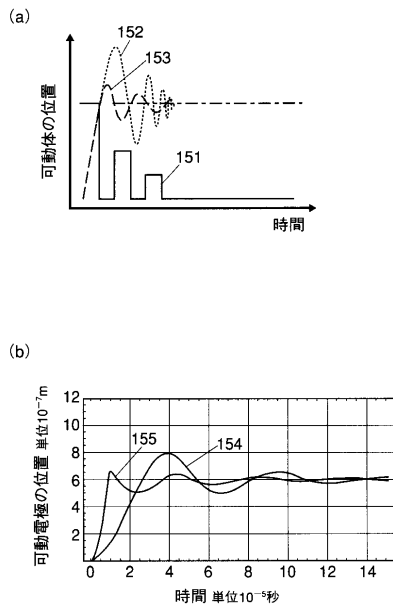
【図 1 2】



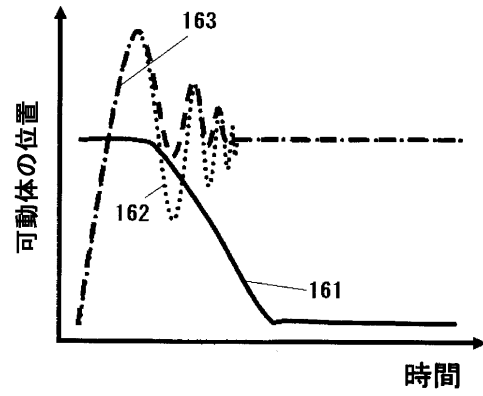
【図 1 4】



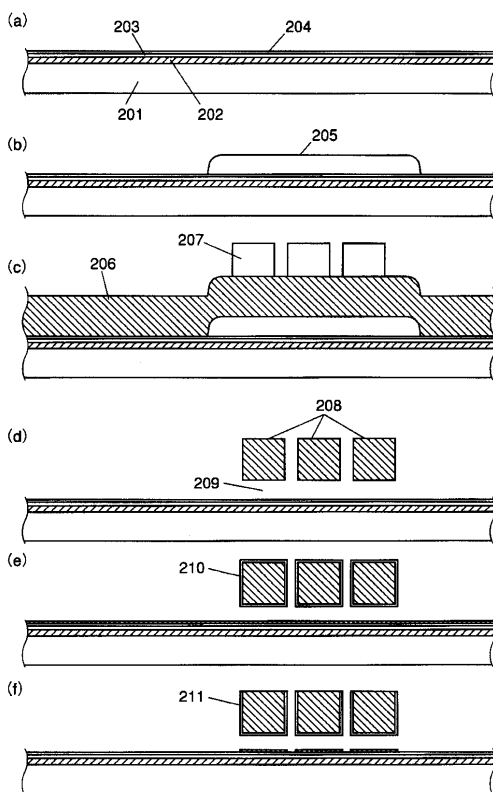
【図 15】



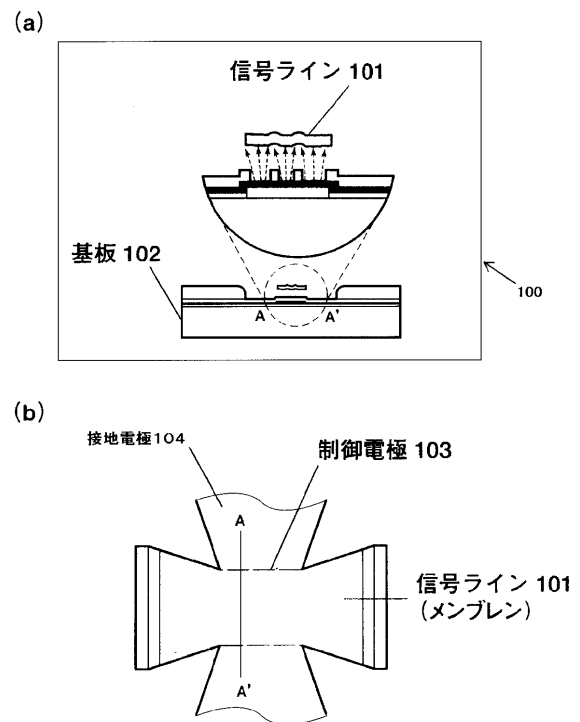
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(72)発明者 清水 紀智

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

(72)発明者 中村 邦彦

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内