

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4561072号  
(P4561072)

(45) 発行日 平成22年10月13日(2010.10.13)

(24) 登録日 平成22年8月6日(2010.8.6)

(51) Int.Cl.

H01L 21/82 (2006.01)

F 1

H01L 21/82

W

請求項の数 11 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2003-339156 (P2003-339156)  
 (22) 出願日 平成15年9月30日 (2003.9.30)  
 (65) 公開番号 特開2005-109071 (P2005-109071A)  
 (43) 公開日 平成17年4月21日 (2005.4.21)  
 審査請求日 平成17年12月15日 (2005.12.15)

(73) 特許権者 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 (74) 代理人 100100310  
 弁理士 井上 学  
 (72) 発明者 後藤 康  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (72) 発明者 町田 俊太郎  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (72) 発明者 横山 夏樹  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】MEMSスイッチを有する半導体装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

第1の固定電極と、第1の固定接点と、第1の可動電極と、可動接点とを有し、キャパシタの電極を構成する前記第1の固定電極と前記第1の可動電極との電位差を制御することにより前記第1の固定接点と前記可動接点の接触／非接触を制御可能な第1のMEMSスイッチと、

第2の固定電極と、第2の固定接点と、第2の可動電極とを有し、キャパシタの電極を構成する前記第2の固定電極と前記第2の可動電極との電位差を制御することにより前記第2の固定接点と前記第2の可動電極の接触／非接触を制御可能な第2のMEMSスイッチとを有し、

前記第2の固定接点が前記第1の可動電極又は前記第1の固定電極に接続され、前記第2の固定接点と前記第2の可動電極とを接触させた後に非接触とすることにより、前記第2の固定接点から供給される電荷を、前記第1の可動電極又は前記第1の固定電極に蓄積し、前記第1の固定接点と前記可動接点の接触を保持することを特徴とする半導体装置。

## 【請求項2】

前記第1の固定接点及び前記可動接点がスイッチング対象の回路に接続されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

## 【請求項3】

前記第1のMEMSスイッチが、更に、第3の固定接点を有し、

前記第1の固定接点及び前記第3の固定接点がスイッチング対象の回路に接続され、

前記第1の固定電極と前記第1の可動電極の間に電位差を与えることにより、前記可動接点が前記第1の固定接点及び前記第3の固定接点に接触し、前記第1の固定接点と前記第3の固定接点間が導通状態となることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

**【請求項4】**

前記第2の固定接点が前記第1の可動電極に接続され

前記第1の固定電極、前記第2の固定電極及び前記第2の可動電極が電位供給回路に接続され、

前記第1のMEMSスイッチのオン動作時、オン状態の保持時及びオフ動作時に、前記第1の固定電極に接地電位が供給され、

前記第2の固定電極に接地電位、前記第2の可動電極に第1の電位を供給することにより、前記第1のMEMSスイッチをオン動作させ、

10

その後、前記第2の可動電極に接地電位を供給することにより、前記第1のMEMSスイッチをオン状態に保持し、

その後、前記第2の可動電極に接地電位、前記第2の固定電極に前記第1の電位を供給することにより、前記第1のMEMSスイッチをオフ動作させることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

**【請求項5】**

更に、第3の固定電極と、第3の固定接点と、第3の可動電極とを有し、キャパシタの電極を構成する前記第3の固定電極と前記第3の可動電極との電位差を制御することにより

20

前記第3の固定接点と前記第3の可動電極の接触／非接触を制御可能な第3のMEMSスイッチを有し、

前記第2の固定接点が前記第1の可動電極に接続され、前記第3の固定接点が前記第1の固定電極に接続されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

**【請求項6】**

前記第2の固定電極、前記第3の固定電極、前記第2の可動電極、前記第3の可動電極が電位供給回路に接続され、

前記第2の固定電極及び前記第3の可動電極に第1の電位、前記第2の可動電極及び前記第3の固定電極に第2の電位を供給することにより、前記第1のMEMSスイッチをオン動作させ、

30

その後、前記第2の可動電極及び前記第3の固定電極に前記第1の電位を供給することにより、前記第1のMEMSスイッチをオン状態に保持し、

その後、前記第2の可動電極に前記第1の電位、前記第2の固定電極に前記第2の電位を供給することにより、前記第1のMEMSスイッチをオフ動作させることを特徴とする請求項5に記載の半導体装置。

**【請求項7】**

第1の固定電極と、第1の固定接点と、第1の可動電極と、第1の可動接点とを有し、キャパシタの電極を構成する前記第1の固定電極と前記第1の可動電極との電位差を制御することにより前記第1の固定接点と前記第1の可動接点の接触／非接触を制御可能な第1のMEMSスイッチと、

40

第2の固定電極と、第2の固定接点と、第2の可動電極と、第2の可動接点とを有し、キャパシタの電極を構成する前記第2の固定電極と前記第2の可動電極との電位差を制御することにより前記第2の固定接点と前記第2の可動接点の接触／非接触を制御可能な第2のMEMSスイッチとを有し、

前記第2の固定接点が前記第1の可動電極又は前記第1の固定電極に接続され、前記第2の固定接点と前記第2の可動電極とを接触させた後に非接触とすることにより、前記第2の固定接点から供給される電荷を、前記第1の可動電極又は前記第1の固定電極に蓄積し、前記第1の固定接点と前記可動接点の接触を保持することを特徴とする半導体装置。

**【請求項8】**

前記第1の固定接点及び前記第1の可動接点がスイッチング対象の回路に接続されている

50

ことを特徴とする請求項 7 に記載の半導体装置。

**【請求項 9】**

前記第 1 の M E M S スイッチが、更に、第 3 の固定接点を有し、

前記第 1 の固定接点及び前記第 3 の固定接点がスイッチング対象の回路に接続され、

前記第 1 の固定電極と前記第 1 の可動電極の間に電位差を与えることにより、前記第 1 の可動接点が前記第 1 の固定接点及び前記第 3 の固定接点に接触し、前記第 1 の固定接点と前記第 3 の固定接点間が導通状態となることを特徴とする請求項 7 に記載の半導体装置。

**【請求項 10】**

更に、第 3 の固定電極と、第 3 の固定接点と、第 3 の可動電極と、第 3 の可動接点とを有し、キャパシタの電極を構成する前記第 3 の固定電極と前記第 3 の可動電極との電位差を制御することにより前記第 3 の固定接点と前記第 3 の可動接点の接触 / 非接触を制御可能な第 3 の M E M S スイッチとを有し、

10

前記第 2 の固定接点が前記第 1 の可動電極に接続され、前記第 3 の固定接点が前記第 1 の固定電極に接続されていることを特徴とする請求項 7 に記載の半導体装置。

**【請求項 11】**

更に、前記第 2 の M E M S スイッチが第 4 の固定接点を、前記第 3 の M E M S スイッチが第 5 の固定接点を、夫々有し、

前記第 2 の M E M S スイッチのオン動作により、前記第 2 の固定接点と前記第 4 の固定接点とが前記第 2 の可動接点を介して短絡され、

20

前記第 3 の M E M S スイッチのオン動作により、前記第 3 の固定接点と前記第 5 の固定接点とが前記第 3 の可動接点を介して短絡され、

前記第 2 の固定電極、前記第 2 の可動電極、前記第 3 の固定電極、前記第 3 の可動電極、前記第 4 の固定接点、前記第 5 の固定接点が電位供給回路に接続され、

第 1 の M E M S スイッチがオンし得る電位差を前記第 4 の固定接点と前記第 5 の固定接点に供給し、前記第 2 の M E M S スイッチ及び前記第 3 の M E M S スイッチの各々をオンさせることにより、前記第 1 の M E M S スイッチをオン動作させ、

その後、前記第 2 の M E M S スイッチ及び前記第 3 の M E M S スイッチの各々をオフさせることにより、前記第 1 の M E M S スイッチをオン状態に保持し、

その後、第 1 の M E M S スイッチがオフし得る電位差を前記第 4 の固定接点と前記第 5 の固定接点に供給し、前記第 2 の M E M S スイッチ及び前記第 3 の M E M S スイッチの各々をオンさせることにより、前記第 1 の M E M S スイッチをオフ動作させることを特徴とする請求項 10 に記載の半導体装置。

30

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0 0 0 1】**

本発明は、静電力を駆動力にして機械的に動作する M E M S (Micro Electro Mechanical System) スイッチを有する半導体装置に関し、特に、M E M S スイッチに外部電源を停止してもスイッチの O N 、若しくは、O F F の情報を保持する機能をもたせてなる半導体装置に関する。

40

**【背景技術】**

**【0 0 0 2】**

微細加工技術の進歩により、現在では、1 3 0 n m から 9 0 n m の半導体デバイスが生産されている。また、半導体製造装置の進歩により、ウェハサイズも直径 2 0 0 m m から 3 0 0 m m へと移行しつつある。このような、1 3 0 n m 以下の設計ルールで 3 0 0 m m 径ウェハを用いる製造においては、一度に大量のチップが生産される。このとき、セルベース I C などでシステム L S I を開発できるのは、大量消費が期待できるユーザに限られる。少量・多品種ユーザにとってマスク代や試作・開発コストの上昇により、セル・ベース I C の開発の採算がとれなくなる可能性が高い。

これらの用途に向け、F P G A などのプログラマブル・ロジックとマイコンを 1 チップ化したリコンフィグアラブル・ロジック（または、リコンフィグアラブル・プロセッサ）の

50

開発がされている。これを用いることで、ユーザは自分で定義した機能をプログラマブル・ロジックへコンフィギュレーションすることで、カスタムLSIを瞬時に、簡単に実現できる。

プログラムに合わせてコンフィギュレーションを実現する部分にFPGAが用いられる。このFPGA部分は、例えば、4入力のルックアップテーブルとフリップフロップを組み合わせたものが1セルとなる。パワーON時にユーザプログラムを書き込んだフラッシュメモリ等のROMからコンフィギュレーションデータを転送し、各セルのフリップフロップの動作を確定させ、コンフィギュレーションデータを完了したことを制御レジスタに設定した後、論理動作を開始する。この構成では、コンフィギュレーションデータ即ちユーザプログラムをセルのフリップフロップ動作として記憶させるため、外部電源を停止した際にロジック状態が保持されない。10

このようなリコンフィギュアラブル・ロジックを通信機器や民生用モバイル機器向けLSIに適用する検討も進められている。特に、民生用モバイル機器向けLSIに用いる場合、チップサイズの縮小と低消費電力化がキーとなる。

そのために、我々はフリップフロップの代わりにラッチ機能を有するMEMSスイッチを用いる検討を進めてきた。MEMSスイッチは、機械的に接点をON、OFFさせるため、ON抵抗～0、OFF抵抗～の理想的なスイッチである。MEMSスイッチにラッチ機能をもたせたいわゆるバイステーブルMEMSスイッチを用いれば、電圧保持回路を省略できることに加え、スイッチ保持時に電力が不要となるため、消費電力の低減が図れる。20

加えて、回路ブロック毎の電源をダイナミックにON-OFFすることも可能である。従来もMOSトランジスタで電源管理を行う試みはなされてきたが、回路ブロックに流れる電流値に合わせ、トランジスタのチャネル幅を大きくする必要があり、全回路ブロックを対象に電源管理を行うとチップサイズも大きくなってしまった。これに対し、MEMSスイッチでは、金属接点に流れる電流値を大きくできることと、トランジスタと異なってSi基板表面ではなく配線層の中に作製することが可能であるため、チップサイズを大きくする必要がない。

これらMEMSスイッチのラッチ機構について、いろいろな取り組みがなされてきた。例えば、特許文献1（特開2001-176369号公報）では、図15に示すように、ラッチ用に磁性材料を適用している。このスイッチは可動電極13の表面の電気接点14と、可動電極13と対向する固定電極18表面の電気接点16を接触させることでONとなる。ここでは、基板11上に形成した可動電極13の上面に磁性材料15を配置し、それと対向する固定電極18の表面にも磁性材料17を配置している。可動電極13の下側に離間して配置したコイル12によって、可動電極上面の磁性材料15に磁化を与え、その磁力をスイッチのON状態の保持力に用いるものである。30

また、特許文献2（特開平9-63293号公報）では、図16に示すように、ダイアフラム23をラッチとして用い、上に凸状態をOFF、下に凸状態で基板21に形成された下部電極22と接触し、ONとなるメモリセル（MEMSスイッチ）を実現する方法が明記されている。

その他、熱駆動を用いて機械的なラッチを実現する方法や、機械的な構造を工夫してラッチを実現する方法などが提案されている。40

#### 【0003】

【特許文献1】特開2001-176369号公報

#### 【0004】

【特許文献2】特開平9-63293号公報

#### 【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【0005】

これらの公知例は概ね、磁性材料のような新材料を導入するか、デバイス表面に複雑な構造体を形成することで、ラッチ機能を実現するものである。新材料を用いる場合、特に50

磁性材料では、従来の半導体デバイスでは汚染物質として扱ってきた材料を導入することになり、コンタミネーションの管理や特別な洗浄を追加する必要がある。また、複雑な構造体を形成する場合、従来の半導体デバイスと並行してウェハ上に作製するためには、プロセスを複雑にする可能性が高い。

そのため、磁性材料などのような新材料を用いずに、簡単な構造でラッチ機能を有するMEMSスイッチを実現することが課題である。

#### 【課題を解決するための手段】

##### 【0006】

本発明では、2つ以上のMEMSスイッチを組み合わせて、外部電源をオフしてもMEMSスイッチ自体のON状態、もしくはOFF状態を保持する機能を与える。MEMSスイッチにはホットスイッチとコールドスイッチと呼ばれる2種類のスイッチがある。ホットスイッチとは、可動電極と可動接点が同電位、即ち、可動電極本体が可動接点も兼ね電気信号の経路となるものである。一方、コールドスイッチでは可動電極と可動接点が絶縁されており、可動電極の駆動と、伝達すべき電気信号は独立して制御できる。

10

##### 【0007】

本発明では、2つのMEMSスイッチを直列に接続し、そのうち後段のスイッチをコールドスイッチとする。該コールドスイッチのスイッチ端子（可動接点）を保持するために、コールドスイッチ本体（可動電極）と、可動電極と対向する様に配置された固定電極によりキャパシタを構成し、該コールドスイッチの前段のMEMSスイッチを介して該キャパシタに電荷を蓄積し、該電荷により生じるキャパシタの各電極（可動電極・固定電極）間の引力を該コールドスイッチの駆動力とする。前段のMEMSスイッチを介して行う該キャパシタの充放電により、充電時には該コールドスイッチがオン、放電時には該コールドスイッチがオフ動作を行う。

20

#### 【発明の効果】

##### 【0008】

以上に説明したように、本発明によれば、2つ以上のMEMSスイッチを組み合わせ、かつ、末端のMEMSスイッチをコールドスイッチとし、該コールドスイッチの可動電極と固定電極間に電荷を蓄積させることで、MEMSスイッチにラッチ機構を与えることができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

30

##### 【0009】

#### <実施形態1>

本発明のMEMSスイッチの第1の実施形態について、図1を用いて説明する。図1(a)は本発明のMEMSスイッチ部の断面構造、図1(b)はMEMSスイッチの平面図である。図1(a)は図1(b)のD-D'における断面構造に相当する。該MEMSスイッチは2つのスイッチで構成されている。本実施形態では前段のスイッチS1をホットスイッチ、後段のスイッチS2をコールドスイッチで作製している。

ホットスイッチS1では、キャパシタの2つの電極となる可動電極116、固定電極118の間に電位差を与えたときに、可動電極116が固定電極118に引きつけられ固定接点120に短絡し、ON動作となる。後段のコールドスイッチS2では、可動電極117と可動接点109との間に絶縁膜110が挟まれている。ホットスイッチと同様に、キャパシタの2つの電極となる可動電極117と固定電極119の間に電位差を与えると、可動電極117が固定電極119に引きつけられることになるが、可動接点109が可動電極117と絶縁されているので、可動接点109で2つの固定接点（配線）Y1、Y2を短絡させて、信号を伝達することになる。この動作を図1(b)の平面図と図1(c)のタイミングチャートで説明する。

40

##### 【0010】

スイッチS2をON動作させるときは、スイッチS1の可動電極端子A2を+Vcc、スイッチS1の固定電極端子A1をGND、スイッチS2の固定電極端子B1をGNDとする。スイッチS1の可動電極116と固定電極118の電位差が|Vcc|となり、ス

50

イッチS1はON状態となって可動電極116と固定接点120とが短絡される。スイッチS1がON状態でA2が+Vccとなっているので、スイッチS2の可動電極117の電位B2も+Vccとなり、スイッチS2の可動電極117と固定電極119間の電位差も|Vcc|となり、スイッチS2もON状態となる。このとき、スイッチS2の可動接点109が2つの配線端子（固定接点）Y1, Y2間にショートしY1=Y2となる。その後、スイッチS1の可動電極端子A2をGNDにすると、スイッチS1はOFF状態となるが、スイッチS2の可動電極117には電荷が蓄積されているため、スイッチS2の固定電極119との間の電位差を維持することができ、スイッチS2はON状態を保持する。

## 【0011】

10

実際には、図1(c)に記載したように、スイッチS1をOFFする際に、スイッチS2の可動電極117と固定電極119間に蓄積された電荷は一部放電されてしまう。この放電電荷量が多いと、スイッチS2の可動電極117と固定電極119との電位差の低下が大きくなり、スイッチS2のON状態を保持できなくなる。そのため、スイッチS2のキャパシタの電極サイズをスイッチS1に比べて大きくし、蓄積電荷量を多くした。また、スイッチS1をOFF動作させると、スイッチS2の上下電極間隔（可動電極-固定電極間隔）は狭くなっているため、多少電位が低下してもON状態を保持することは可能である。

## 【0012】

20

次に、スイッチS1の固定電極端子A1を+Vccとすると、スイッチS1の可動電極116と固定電極118間の電位差は|Vcc|となり、スイッチS1はON状態となって可動電極116と固定接点120とが短絡する。この時、スイッチS1の可動電極端子A2がGNDであるため、スイッチS2の可動電極117の電位B2もGNDとなり、スイッチS2の固定電極119と同電位になるため、スイッチS2のキャパシタに蓄積された電荷は放電され、スイッチS2はOFF状態となる。

図1(a)に示したように、ホットスイッチS1の各端子A1, A2には電位供給回路C1のMOSトランジスタT1が接続される。同様に、コールドスイッチS2の固定接点端子Y1, Y2にも、スイッチング対象回路C2のMOSトランジスタT2が接続される。

## 【0013】

30

ホットスイッチS1を介さずにコールドスイッチS2のON-OFF制御をMOSトランジスタのスイッチ動作で実現することも理論的上は出きるが、現実的にはMOSトランジスタではOFF時のリーク電流により、コールドスイッチS2の蓄積電荷が徐々に放電されてON状態の保持が不可能である。そのため、本発明では物理的に電位供給回路を切り離すことができるMEMSスイッチS1を用いることで、ON状態の保持を確実に実行可能なものとしている。

また、上述の説明では、コールドスイッチS2の固定電極B1をGNDとし、可動電極B2に+Vccを与えることで、キャパシタの各電極間の電位差を|Vcc|としたが、固定電極B1に+Vcc、可動電極B2にGNDを与えることによって、各電極間の電位差を|Vcc|としてもスイッチS2のON動作、ON状態保持は可能である。この場合には、固定電極B1を電位供給回路C1に直接接続すると電位供給回路C1のMOSトランジスタのOFF時のリーク電流によってスイッチS2のON状態保持が不可能となってしまうため、図1(a), (b)でスイッチS2の可動電極117に接続されているスイッチS1の固定接点120をスイッチS2の固定電極119に接続する。

40

## 【0014】

なお、上述のコールドスイッチS2では、スイッチング対象回路C2に繋がる2つの固定接点Y1, Y2を設け、可動接点109で各固定接点Y1, Y2間に短絡させるものとなっているが、図2に示すようにコールドスイッチS2の固定接点を1つとし、固定接点Y2と可動接点Y1をスイッチング対象回路C2に接続することも可能である。但し、図2のコールドスイッチS2では固定接点の電気的引出しのためにコールドスイッチS2の可動部の重心と駆動力中心のアンバランスが発生する為、コールドスイッチの設計上は図

50

1 ( b ) のコールドスイッチ S 2 の如き構成の方が好ましい。

次に、本実施形態の M E M S スイッチの製造方法を説明する。

図 3 ( a ) は電位供給回路 C 1 , スイッチング対象回路 C 2 のトランジスタを形成したウェハの上層に M E M S スイッチを形成する途中の工程を示したものである。尚、スイッチング対象回路部は図示を省略している。層間絶縁膜 1 0 1 内に下層配線 1 0 2 が埋め込まれている。この下層配線 1 0 2 がプラグ 1 0 3 を介してトランジスタ T 1 に接続されている。層間絶縁膜 1 0 1 のキャップ膜 1 0 4 として S i N を堆積し、S i N 1 0 4 と層間絶縁膜 1 0 1 を開口してプラグ 1 0 3 を埋込、平坦化した後にスイッチの固定電極や固定接点となる下層導電膜 1 0 5 を堆積する。ここでは、p o l y - S i を用いた。その上にホトリソ工程により、固定電極や固定接点のパターンをレジスト 1 0 0 に転写する。このレジストをマスクに p o l y - S i をエッ칭し、レジストを除去する ( 図 3 ( b ) ) 。 10

#### 【 0 0 1 5 】

表面を洗浄した後、スイッチのギャップとなる犠牲膜 1 0 6 としてプラズマ T E O S を堆積し、スイッチの固定接点に対向するところを開口したパターンをホトリソ工程を通してレジスト 1 0 7 に転写したのが図 3 ( c ) である。

このレジストをマスクに犠牲膜に窪み 1 0 8 を形成し、レジストを除去した状態が図 3 ( d ) である。この窪み 1 0 8 を形成せずにスイッチの可動電極、可動接点を形成することもできるが、可動電極 1 1 6 , 可動接点 1 0 9 の固定接点 1 2 0 , 1 0 5 と接触させる部分を凸形状にした方がスイッチの信頼性は高くなる。

引き続き、表面を洗浄し、可動接点となる導電膜 9 9 として p o l y - S i を堆積し、コールドスイッチ S 2 側の可動接点部にのみレジストパターン 9 8 をホトリソ工程により形成した ( 図 4 ( a ) ) 。 20

これをマスクに電極端子 1 0 9 をパターニングし、レジスト 9 8 を除去したものが図 4 ( b ) である。

#### 【 0 0 1 6 】

次に、コールドスイッチ S 2 の可動接点である電極端子 1 0 9 と犠牲層 1 0 6 の表面に絶縁膜 1 1 0 を堆積し、更に、コールドスイッチ S 2 の電極端子 1 0 9 を覆うようにレジストパターン 1 1 1 を形成したものが図 4 ( c ) である。本実施形態ではこの絶縁膜 1 1 0 にアルミナを用いた。

絶縁膜 1 1 0 をドライエッティング除去し、レジスト 1 1 1 を除去した状態が図 4 ( d ) である。 30

さらに、洗浄工程を通し、ホトリソ工程で可動電極の接続口をレジストパターン 1 1 2 で形成したものが図 5 ( a ) である。

このレジスト 1 1 2 をマスクに犠牲層 1 0 6 をエッ칭し、下層導電膜 1 0 5 の表面まで開口 1 1 3 し、レジスト 1 1 2 を除去した状態が図 5 ( b ) である。

この開口部 1 1 3 と犠牲層 1 0 6 の表面にスイッチの可動電極として導電膜 1 1 4 を堆積し、可動電極のパターンをレジスト 1 1 5 に転写したものが図 5 ( c ) である。本実施形態では、可動電極材料を p o l y - S i とした。

このレジストパターン 1 1 5 をマスクに可動電極となる導電膜 1 1 4 をエッ칭し、レジスト 1 1 5 を除去し ( 図 5 ( d ) ) 、ホットスイッチとコールドスイッチの可動電極 1 1 6 , 1 1 7 部分を形成する。 40

#### 【 0 0 1 7 】

その後、犠牲層 1 0 6 をウェット除去し、乾燥させて図 1 ( a ) のスイッチ構造が完成する。本実施形態では、犠牲層 1 0 6 の除去にはフッ酸水溶液を用いた。ウェットエッチ後に水洗を行うため、そのまま乾燥させると、水の表面張力により、可動電極 1 1 6 , 1 1 7 が固定電極 1 1 8 , 1 1 9 と固着してしまうため、水洗後にメタノール洗浄を行い、最終的には、炭酸ガスの超臨界乾燥を行った。

また、図には示していないが、スイッチ構造を形成した後、ガラスやセラミックで上部を封止し、外部環境と隔離する。この際に封止内部は不活性ガスを封入するか、減圧状態にすることが望ましい。

## 【0018】

図6はスイッチの平面図の例である。図6(a)は図3(b)まで工程を進めた段階の平面図である。下部導電膜105のパターニングを行った状態に相当している。図6(b)は図5(b)の工程まで進んだ状態の平面図であり、コールドスイッチS2の電極端子(可動接点)109と、下部導電膜1105と可動電極を接続するための開口113と、下部導電膜105との配置関係を示している。図6(c)は更に可動接点109と、下部導電膜105と、開口113と、可動電極116, 117の配置関係を示した図である。開口113内部は可動電極材料のpolycrystalline siliconが埋め込まれている。この図はホットスイッチS1とコールドスイッチS2を各1つずつ使用して作製したラッチ機能付きMEMSスイッチの平面図となり、その動作については、図1を用いて前記した。

10

## &lt;実施形態2&gt;

この他に、ホットスイッチを2つ使用し、コールドスイッチのラッチ機能を実現した本発明の第2の実施形態について説明する。

製造プロセスは、図3～図5と同様である。スイッチの平面図を図7に示す。前述したように、本実施形態においても、ONまたはOFF状態を保持させるためのスイッチ(図7ではS3)のキャパシタの電極サイズは、前段のスイッチ(図7ではS1, S2)のキャパシタの電極サイズよりも大きくする方が望ましい。但し、図7では同じサイズで示している。この場合でも、スイッチのON電位を|Vcc|に比べて小さくすることで安定した動作ができる。図7(a)は図3(b)まで工程を進めた段階の平面図である。下部導電膜105のパターニングを行った状態に相当している。図7(b)は図5(b)の工程まで進んだ状態の平面図であり、コールドスイッチS3の電極端子(可動接点)109と、下部導電膜105と可動電極を接続するための開口113と、下部導電膜105との配置関係を示している。図7(c)は更に可動接点109と、下部導電膜105と、開口113と、可動電極116, 117の配置関係を示した図である。開口113内部は可動電極材料のpolycrystalline siliconが埋め込まれている。

20

## 【0019】

ホットスイッチS1, S2と、コールドスイッチS3を用いた、ラッチ機能付きMEMSスイッチの動作は図8のタイミングチャートで行った。ホットスイッチS1の可動電極端子A2をGNDとし、固定電極端子A1を+Vccに設定すると、スイッチS1はON状態となり、コールドスイッチS3の固定電極の電位C1がGND電位となる。ホットスイッチS2の方は、固定電極端子B1をGNDとし、可動電極端子B2を+Vccに設定し、スイッチS2をON状態にすると、コールドスイッチS3の可動電極117の電位C2が+Vccに設定される。この状態で、コールドスイッチS3の可動電極C1と固定電極C2間には|Vcc|の電位差が生じるため、コールドスイッチS3がON状態になり、可動接点109を介して信号端子(固定接点)Y1とY2がショートされ、Y1=Y2となる。

30

この状態から固定電極端子A1及び可動電極端子B2をGND電位に切換えてホットスイッチS1, S2をOFFしても、コールドスイッチS3の可動電極C1と固定電極C2間には電荷が蓄積されるため、静電引力が働き続け、コールドスイッチS3はON状態を保持することが出来る。この場合も、実際にはホットスイッチS1, S2をOFFする際に、コールドスイッチS3の可動電極C2の電荷が一部放電され、可動電極C1-固定電極C2の電位差は|Vcc|より低くなるが、スイッチのON電位を保持することは出来ている。

40

## 【0020】

コールドスイッチS3をOFFする場合は、スイッチS1の固定電極端子A1に+Vcc、可動電極端子A2をGND、スイッチS2の固定電極端子B1に+Vcc、可動電極端子B2をGNDとすることで、各ホットスイッチS1, S2をON状態にするが、コールドスイッチS3の固定電極C1と可動電極C2ともにGND電位となるため、蓄積された電荷が放電され、コールドスイッチS3はOFF状態となる。尚、コールドスイッチS3がオンを保持している状態において固定電極C1はGND電位となっている為、図8中

50

の破線に示すように必ずしもホットスイッチ S 1 を ON 状態としなくても、ホットスイッチ S 2 のみを上記電圧印加条件で ON させることによってもコールドスイッチ S 3 を OFF することができる。

#### 【 0 0 2 1 】

上述の第 1 の実施形態は、2つのスイッチで構成しているため本実施形態より面積を縮小することができる。これに対して、本実施の形態では、コールドスイッチ S 3 のオン状態の保持時に固定電極をも完全なフローティングとするので、上述の第 1 の実施形態よりもコールドスイッチ S 3 の ON 状態の保持をより確実なものとすることができます。

尚、本実施の形態においても、コールドスイッチ S 3 を、図 2 に示すコールドスイッチ S 2 のように固定接点を 1 つとし、固定接点と可動接点をスイッチング対象回路に接続する構成とすることが可能である。

10

#### < 実施形態 3 >

第 1 , 第 2 の実施形態で、ホットスイッチとコールドスイッチを組み合わせて作製したラッチ機能付き M E M S スイッチについて説明したが、同様の機能をコールドスイッチの組合せでも実現できる。その本発明の第 3 の実施形態を以下説明する。

図 9 は 3 つのコールドスイッチ S 1 , S 2 , S 3 を用いてラッチ機能付き M E M S スイッチを構成した例である。( b ) に平面図を示す。( a ) の断面構造図は平面図( b )の D - D' 断面を示している。( c ) がラッチ機能を示すタイミングチャート図である。本構成では、スイッチ S 3 をラッチ機能付きスイッチとし、スイッチ S 3 が ON 状態のときには、可動接点 215 を介して 2 つの信号端子( 固定接点 ) Y 1 と Y 2 をショート( Y 1 = Y 2 ) とし、スイッチ S 3 が OFF 状態のときに信号端子 Y 1 と Y 2 は切離し状態となる。このコールドスイッチを直列に接続した M E M S スイッチの製造方法については後述する。図 9 ( a ) に示したように、コールドスイッチ S 1 ~ S 3 の可動電極 220 と電極端子( 可動接点 ) 212 は絶縁膜 215 で電気的に絶縁されている。固定電極 221 と可動電極 220 の電位差が | Vcc | 以上のときに、該電極間の静電力によりスイッチが ON となる様に設計した。スイッチの動作は以下の通りである。

20

#### 【 0 0 2 2 】

スイッチ S 1 の固定電極端子 A 1 を GND 、可動電極端子 A 2 を +Vcc に設定すると、スイッチ S 1 は ON 状態となり、スイッチ S 1 先端の可動接点 212 が端子 X 1 とスイッチ S 3 の固定電極端子 C 1 を接続して同電位とする。端子 X 1 は GND に設定されているので、スイッチ S 3 の固定電極 221 も GND に設定される。スイッチ S 2 についても、固定電極端子 B 1 を GND 、可動電極端子 B 2 を +Vcc に設定することで、ON 状態となり、スイッチ S 2 先端の可動接点 212 が、スイッチ S 3 の可動電極端子 C 2 を端子 X 2 とショートさせ、両者を同電位にする。この状態で、端子 X 2 を +Vcc に設定すると、スイッチ S 3 の可動電極 220 と固定電極 221 間に | Vcc | の電位差が生じるためスイッチ S 3 が ON 状態となり、スイッチ S 3 先端の可動接点 212 が信号端子( 固定接点 ) Y 1 と Y 2 をショートさせる。

30

この状態から、スイッチ S 1 の可動電極端子 A 2 とスイッチ S 2 の可動電極端子 B 2 を GND に設定し、スイッチ S 1 およびスイッチ S 2 を OFF 状態にしても、スイッチ S 3 の可動電極 220 - 固定電極 221 間には電荷が蓄積されているため、静電力は維持され、スイッチ S 3 の ON 状態を保持することができる。尚、スイッチ S 3 が ON の保持状態となった後に、端子 X 1 は GND 電位に設定する。

40

#### 【 0 0 2 3 】

本実施形態では、コールドスイッチでスイッチ S 1 , S 2 を構成したため、スイッチ S 1 , S 2 を OFF するときに、スイッチ S 3 から蓄積電荷の放電がない。そのため前述したホットスイッチとコールドスイッチとの組合せの第 1 , 第 2 の実施形態に比べて、ON 状態保持の信頼性の高いスイッチを作製することができる。

スイッチ S 3 を OFF する場合は、スイッチ S 1 の可動電極端子 A 2 とスイッチ S 2 の可動電極端子 B 2 を各々 +Vcc に、スイッチ S 1 の固定電極端子 A 1 とスイッチ S 2 の固定電極端子 B 1 を各々 GND に設定し、スイッチ S 1 とスイッチ S 2 を ON 状態とする。

50

さらに、端子 X 2 を G N D に設定すれば、スイッチ S 3 の可動電極 2 2 0 - 固定電極 2 2 1 間に蓄積された電荷が放電される。これにより、スイッチ S 3 の可動電極 2 2 0 - 固定電極 2 2 1 間の静電力がなくなり、スイッチ S 3 は O F F になる。

#### 【 0 0 2 4 】

図 9 ( c ) のタイミングチャートでは、スイッチ S 3 を O N 状態にする際に、端子 X 1 ( 固定電極端子 C 1 ) の設定電位を G N D とし、端子 X 2 ( 可動電極端子 C 2 ) の設定電位を + V c c としているが、図 9 ( c ) 中に点線で示すように、各端子 X 1 , X 2 ( 固定電極端子 C 1 , 可動電極端子 C 2 ) の設定電位を逆にしてもよい。さらに、各端子 X 1 , X 2 ( 固定電極端子 C 1 , 可動電極端子 C 2 ) の設定電位は、G N D や + V c c でなくとも端子 X 1 ( 固定電極端子 C 1 ) と端子 X 2 ( 可動電極端子 C 2 ) の電位差が | V c c | 以上となる電位としてやればよい。なお、この点は、スイッチ S 1 , S 2 を O N 状態にする際も同様である。10

また、スイッチ S 3 を O F F 状態とする際に、端子 X 1 ( 固定電極端子 C 1 ) 及び端子 X 2 ( 可動電極端子 C 2 ) の設定電位を G N D としているが、必ずしも両者を G N D とする必要はなく、端子 X 1 ( 固定電極端子 C 1 ) と端子 X 2 ( 可動電極端子 C 2 ) の電位差を | V c c | 未満となるような電位を両者に設定すればよい。但し、端子 X 1 ( 固定電極端子 C 1 ) 及び端子 X 2 ( 可動電極端子 C 2 ) の設定電位を同じ電位とすることにより、O F F 状態の確実性を高めることができる。なお、この点は、スイッチ S 1 , S 2 を O F F 状態にする際も同様である。

#### 【 0 0 2 5 】

20

図 9 ( a ) のコールドスイッチを用いたラッチ機能付き M E M S スイッチの製造方法を説明する。図 3 ( d ) までは、ホットスイッチとコールドスイッチの組合せの場合と同様である。

この後、表面を洗浄し、可動接点となる導電膜 2 1 0 を堆積する。本実施形態でも導電膜として p o l y - S i を用いた。ホトリソ工程で各コールドスイッチの可動接点部にレジストパターン 2 1 1 を形成し(図 1 0 ( a ))、これをマスクに電極端子 2 1 2 をパターニングし、レジストを除去する(図 1 0 ( b ))。

#### 【 0 0 2 6 】

続いて、表面に絶縁膜 2 1 3 としてアルミナを堆積し、コールドスイッチの可動接点である電極端子 2 1 2 を覆うようにレジストパターン 2 1 4 を形成したものが図 1 0 ( c ) である。30

該アルミナ絶縁膜 2 1 3 をドライエッティング除去し、レジスト 2 1 4 を除去した状態が図 1 0 ( d ) である。この状態では電極端子(可動接点) 2 1 2 はアルミナ絶縁膜 2 1 5 に覆われている。

さらに、洗浄工程を通し、ホトリソ工程で可動電極の接続口をレジストパターン 2 1 6 で形成し(図 1 1 ( a ))、このレジスト 2 1 6 をマスクに犠牲層 2 0 7 をエッティングし、下層導電膜 2 0 5 の表面まで開口 2 1 7 し、レジスト 2 1 6 を除去した状態が図 1 1 ( b ) である。

この表面にスイッチの可動電極となる導電膜 2 1 8 として p o l y - S i を堆積し、可動電極のパターンをレジスト 2 1 9 に転写したものが図 1 1 ( c ) である。40

このレジストパターン 2 1 9 をマスクに可動電極となる導電膜 2 1 8 をエッティングし、レジスト 2 1 9 を除去し(図 1 1 ( d ))、各コールドスイッチの可動電極部分 2 2 0 を形成する。

#### 【 0 0 2 7 】

その後、犠牲層 2 0 7 をウェット除去し、乾燥させて図 9 ( a ) のスイッチ構造が完成する。

本実施形態では M E M S スイッチを何れもコールドスイッチとしている為、各々の構成は同一のものとすることができます、スイッチング特性の設計が容易となるという効果も有している。なお、上述の第 1 , 第 2 の実施形態では、本実施形態におけるスイッチ S 3 の可動電極 2 2 0 , 固定電極 2 2 1 に電位を供給するための図 1 0 ( b ) の端子 X 1 , X 2 を作50

りこむ必要が無いため、本実施形態に較べ小面積にて実現できるという効果がある。

< 実施形態 4 >

本発明では、MEMSスイッチの可動電極と固定電極の間に電荷を蓄積し、その電荷を保持することで、両電極間の静電力を維持し、スイッチのON状態を維持することを特徴としている。ここまで説明した各実施形態では、スイッチの動作環境として、減圧環境か、不活性ガス封入した環境としているが、スイッチをON状態で保持する場合、電極表面に微弱なリーク電流が流れ、蓄積電荷量を劣化させる可能性がある。

この対策として、固定電極、可動電極表面を絶縁膜で被覆することが効果的である。その本発明の第4の実施形態を以下説明する。

図12(a)は図3(b)と同工程を示す図で、層間絶縁膜表面にSiN膜304を堆積し、poly-Si下層電極305を形成した状態を表している。  
10

図12(b)に示すように、この表面に、アルミナ絶縁膜306を堆積し、スイッチの可動接点が接触する部分に相当するところを開口したレジストパターン307をホトリソ工程で形成する。ここで堆積したアルミナ絶縁膜306が各スイッチの固定電極表面を被覆し、表面リーク電流を抑制する。

【0028】

レジストパターン307をマスクに、絶縁膜306をエッチングして開口部308を形成し、レジスト307を除去した状態が図12(c)である。

表面を洗浄した後、スイッチのギャップとなる犠牲膜309としてプラズマTEOSを堆積し、スイッチの可動接点形成部に相当するところを開口したパターンをホトリソ工程を通してレジスト310に転写したのが図12(d)である。  
20

このレジストをマスクに犠牲膜に窪み311を形成し、レジストを除去した状態が図13(a)である。

この後、表面を洗浄し、可動接点となる導電膜312を堆積する。本実施形態でも導電膜としてpoly-Siを用いた。ホトリソ工程で各コールドスイッチの可動接点部にレジストパターン313を形成した(図13(b))。

これをマスクにスイッチの可動接点である電極端子314をパターニングし、レジスト313を除去する(図13(c))。

【0029】

続いて、表面に絶縁膜315としてアルミナを堆積し、ホトリソ工程で可動電極の接続口をレジストパターン316で形成し(図13(d))、このレジスト316をマスクにアルミナ絶縁膜315、犠牲層309、下層電極表面のアルミナ絶縁膜306を連続エッチングし、下層導電膜305の表面まで開口317し、レジスト316を除去した状態が図14(a)である。  
30

この表面にスイッチの可動電極となる導電膜318としてpoly-Siを堆積し、可動電極のパターンをレジスト319に転写したものが図14(b)である。

このレジストパターン319をマスクに可動電極となる導電膜318とその下のアルミナ絶縁膜315をエッチングし、レジスト319を除去し(図14(c))、各コールドスイッチの可動電極部分320を形成する。

【0030】

その後、犠牲層309をウェット除去し、乾燥させて図14(d)のスイッチ構造が完成する。

本実施形態では、固定電極などの下層電極305の表面をアルミナ306で覆い、かつ、可動電極320下側表面をアルミナ315で覆っているため、スイッチをON状態で保持した場合の可動電極-固定電極間の表面リーク電流を低減し、スイッチの信頼性を高くすることができる。

但し、可動電極320のpoly-Siと下側表面のアルミナ315が積層しているため、膜の応力制御に注意し、可動電極320の反りを抑制する必要がある。そのため、固定電極表面のみを絶縁膜306で被覆するのが最適である。

本実施形態は上述の各実施形態と組合せることによって、ON状態保持の信頼性を更に確  
50

実なものとすることができます。

**【図面の簡単な説明】**

**【0031】**

【図1】本発明の第1の実施形態におけるラッチ機能付きMEMSスイッチを説明する図である。(a)はスイッチの断面構造であり、(b)はスイッチの平面図、(c)はスイッチの動作を示すタイミングチャートである。

【図2】本発明の第1の実施形態におけるラッチ機能付きMEMSスイッチの変形例を示す図である。

【図3】(a)～(d)本発明の第1の実施形態におけるMEMSスイッチの製造工程の一部を示した断面工程図である。 10

【図4】(a)～(d)本発明の第1の実施形態におけるMEMSスイッチの製造工程の一部を示した断面工程図である。

【図5】(a)～(d)本発明の第1の実施形態におけるMEMSスイッチの製造工程の一部を示した断面工程図である。

【図6】(a)～(c)本発明の第1の実施形態におけるMEMSスイッチの平面図である。

【図7】(a)～(c)本発明の第2の実施形態におけるMEMSスイッチの平面図である。

【図8】本発明の第2の実施形態におけるラッチ機能付きMEMSスイッチの動作を説明するタイミングチャート図である。 20

【図9】本発明の第3の実施形態におけるラッチ機能付きMEMSスイッチを説明する図である。(a)はスイッチの断面構造であり、(b)はスイッチの平面図、(c)はスイッチの動作を示すタイミングチャートである。

【図10】(a)～(d)本発明の第3の実施形態におけるMEMSスイッチの製造工程の一部を示した断面工程図である。

【図11】(a)～(d)本発明の第3の実施形態におけるMEMSスイッチの製造工程の一部を示した断面工程図である。

【図12】(a)～(d)本発明の第4の実施形態におけるMEMSスイッチの製造工程の一部を示した断面工程図である。

【図13】(a)～(d)本発明の第4の実施形態におけるMEMSスイッチの製造工程の一部を示した断面工程図である。 30

【図14】(a)～(d)本発明の第4の実施形態におけるMEMSスイッチの製造工程の一部を示した断面工程図である。

【図15】第1の従来技術におけるラッチ機能付きMEMSスイッチの断面構造図である。

。

【図16】第2の従来技術におけるラッチ機能付きMEMSスイッチの断面構造図である。

。

**【符号の説明】**

**【0032】**

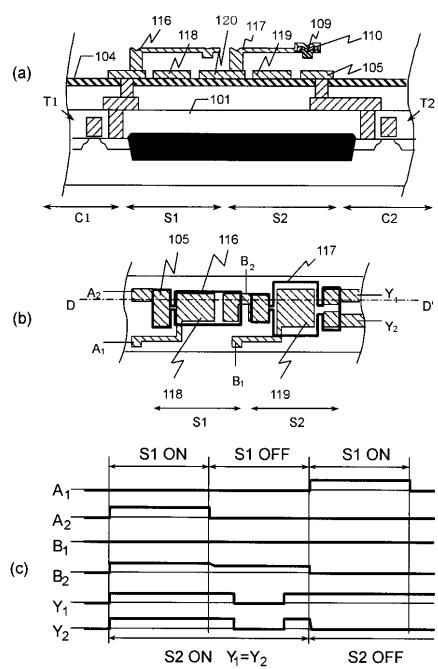
11…従来技術における基板、12…コイル、13…可動電極、14…可動電極表面の電気接点、15…可動電極表面の磁性材料、16…固定電極表面の電気接点、17固定電極表面の磁性材料、18…固定電極、21…従来技術における基板、22…下部電極、23…ダイアフラム、101…層間絶縁膜、102…下層配線、103…プラグ、104…層間絶縁膜のキャップ膜、105…下層導電膜、106…犠牲膜、107…レジスト、108…犠牲層表面の凹パターン、109…電極端子パターン、110…絶縁膜、111…レジスト、112…レジスト、113…可動電極固定部用の開口パターン、114…導電膜、115…レジスト、116…ホットスイッチ可動電極、117…コールドスイッチ可動電極、118…ホットスイッチ固定電極、119…コールドスイッチ固定電極、205…下層電極、207…犠牲層、210…導電膜、211…レジスト、212…電極端子パターン、213…絶縁膜、214…レジスト、215…電極端子被覆絶縁膜、216…レジ 40

50

スト、217…可動電極固定部用の開口パターン、218…導電膜、219…レジスト、220…可動電極、221…固定電極、304…層間絶縁膜のキャップ膜、305…下層導電膜、306…絶縁膜、307…レジスト、308…開口部、309…犠牲膜、310…レジスト、311…犠牲膜表面の凹パターン、312…導電膜、313…レジスト、314…電極端子パターン、315…絶縁膜、316…レジスト、317…可動電極固定部用の開口パターン、318…導電膜、319…レジスト、320…可動電極。

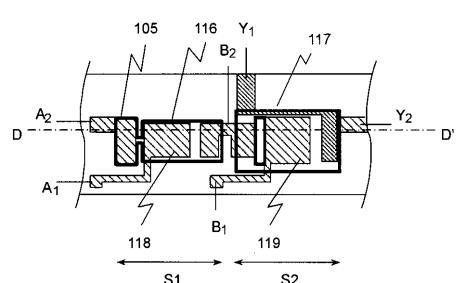
【図1】

図1



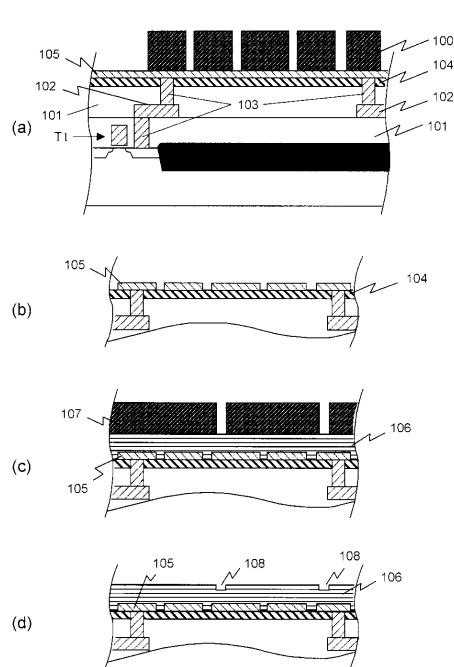
【図2】

図2



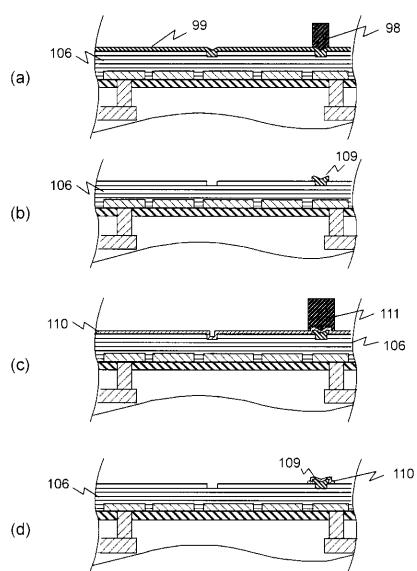
【図3】

図3



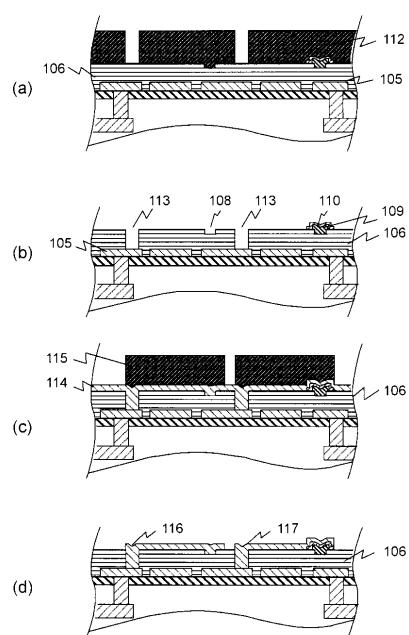
【図4】

図4



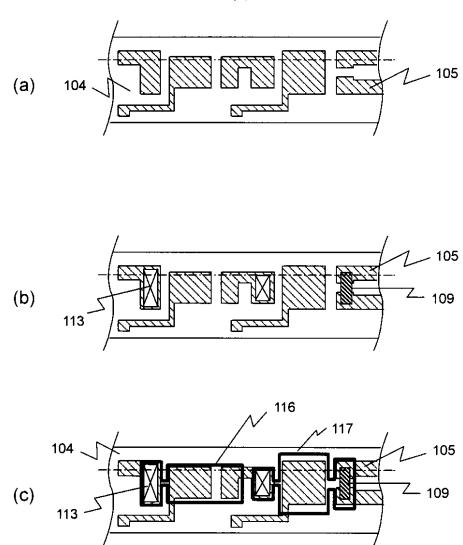
【図5】

図5



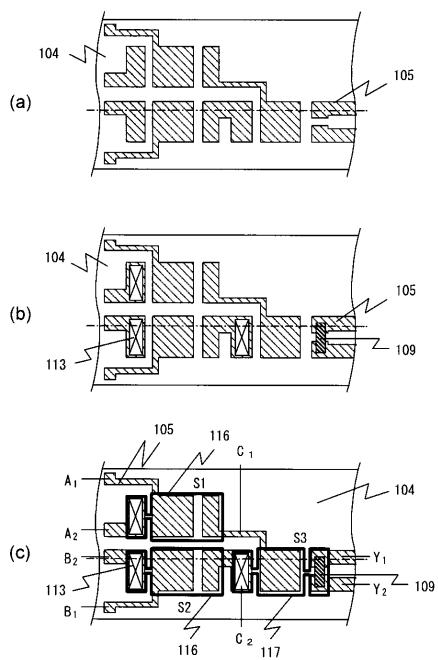
【図6】

図6



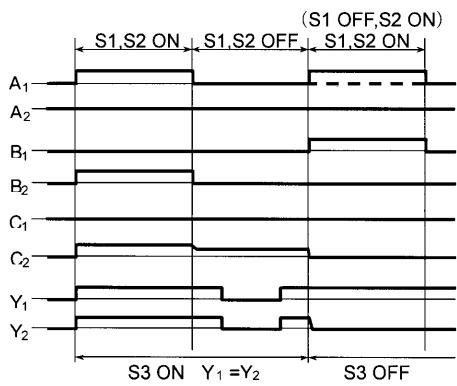
【図7】

図7



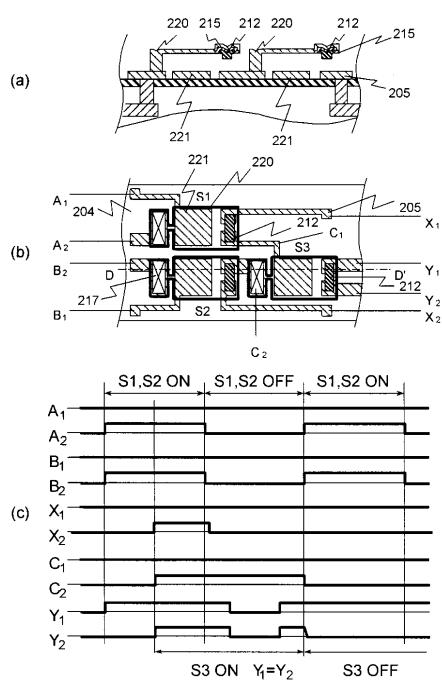
【図8】

図8



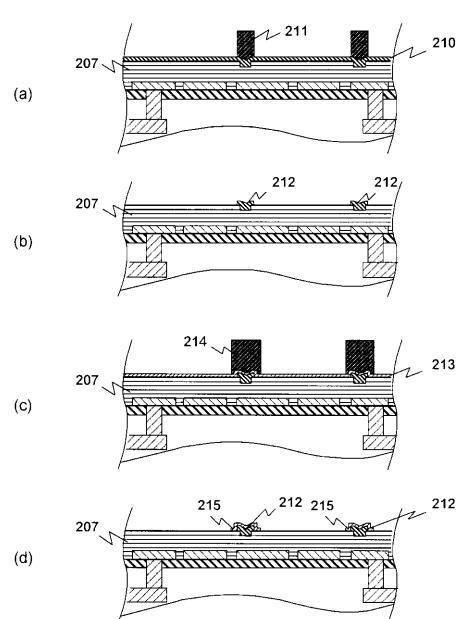
【図9】

図9



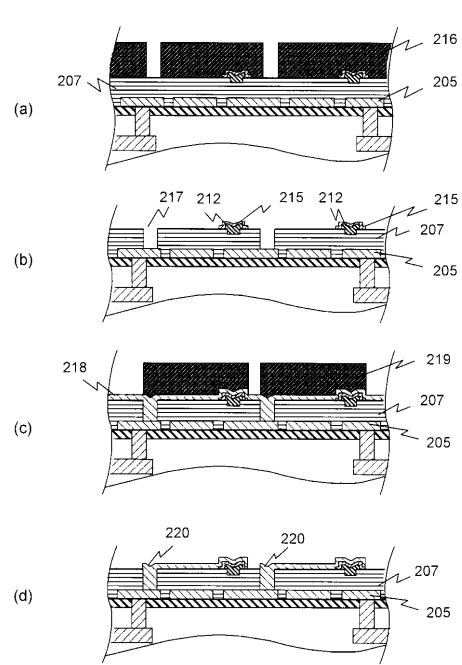
【図10】

図10



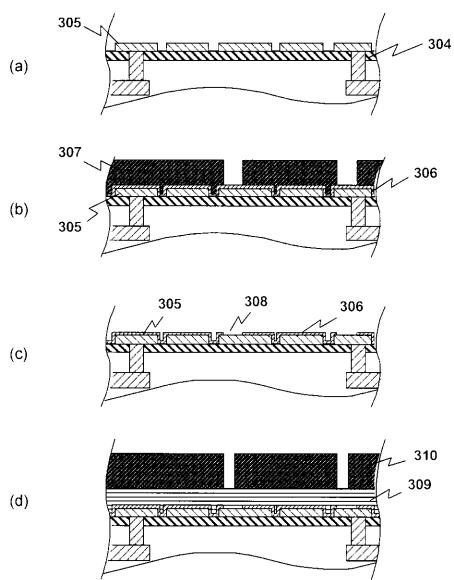
【図11】

図11



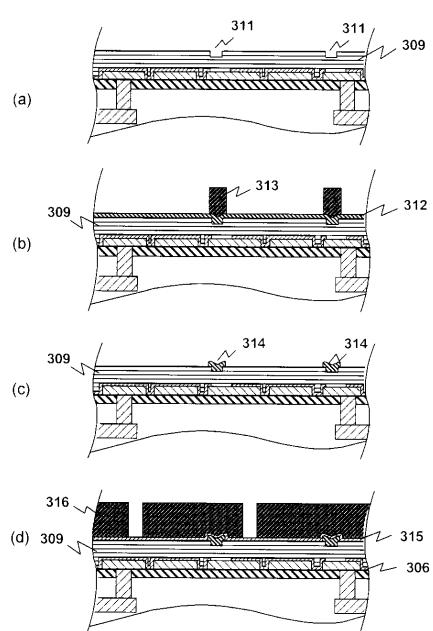
【図12】

図12



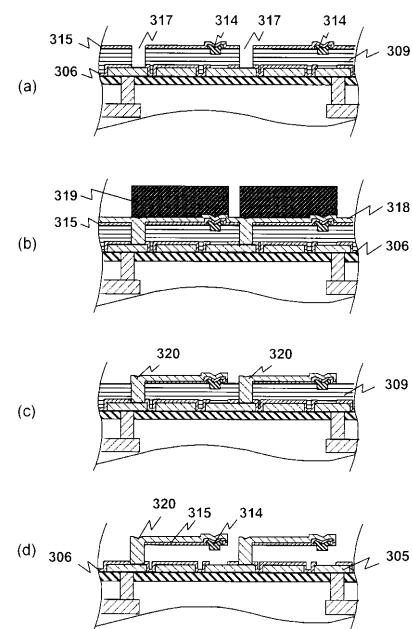
【図13】

図13



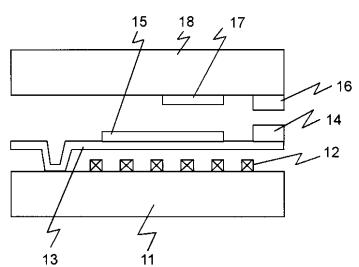
【図14】

図14



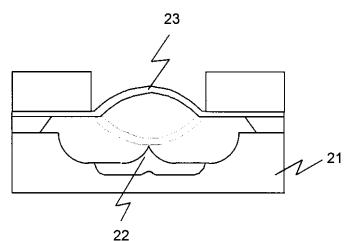
## 【図15】

図15



## 【図16】

図16



---

フロントページの続き

審査官 棚田 一也

(56)参考文献 特開平11-204013(JP,A)  
特開平09-199376(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/82