

(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.

H 0 1 L 21/82 (2006.01)

F I

H 0 1 L 21/82

W

請求項の数 11 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2003-339156 (P2003-339156)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成15年9月30日(2003.9.30)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2005-109071 (P2005-109071A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成17年4月21日(2005.4.21)	(74) 代理人	100100310
審査請求日	平成17年12月15日(2005.12.15)		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 M E M S 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 M E M S スイッチをオン動作させ、

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 M E M S 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 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 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 M E M S 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 M E M S スイッチをオン動作させ、

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 M E M S 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 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 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 M E M S 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、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 M E M S 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

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、  
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、  
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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

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。

【背景技術】

【0002】

微細加工技術の進歩により、現在では、130nm から 90nm 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 200mm から 300mm へと移行しつつある。このような、130nm 以下の設計ルールで 300mm 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 などではシステム 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はマスク代や試作・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ギュラブル・ロジック (または、リコンフィギュラブル・プロセッサ) の

10

20

30

40

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 L S I 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 F P G A が用いられる。この F P G A 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 R O M 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

このようなり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 L S I 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 L S I 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 M E M S スイッチを用いる検討を進めてきた。M E M S スイッチは、機械的に接点を O N 、 O F F させるため、O N 抵抗 ~ 0 、O F F 抵抗 ~ の理想的なスイッチである。M E M S 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 M E M S 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 O N - O F F することも可能である。従来も M O S 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、M E M S 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 S i 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 M E M S 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 2 0 0 1 - 1 7 6 3 6 9 号公報 ) では、図 1 5 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 1 3 の表面の電気接点 1 4 と、可動電極 1 3 と対向する固定電極 1 8 表面の電気接点 1 6 を接触させることで O N となる。ここでは、基板 1 1 上に形成した可動電極 1 3 の上面に磁性材料 1 5 を配置し、それと対向する固定電極 1 8 の表面にも磁性材料 1 7 を配置している。可動電極 1 3 の下側に離間して配置したコイル 1 2 によって、可動電極上面の磁性材料 1 5 に磁化を与え、その磁力をスイッチの O N 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 - 6 3 2 9 3 号公報 ) では、図 1 6 に示すように、ダイアフラム 2 3 をラッチとして用い、上に凸状態を O F F 、下に凸状態で基板 2 1 に形成された下部電極 2 2 と接触し、O N となるメモリセル ( M E M S 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

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 1 7 6 3 6 9 号公報

【 0 0 0 4 】

【特許文献 2】特開平 9 - 6 3 2 9 3 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

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、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と同電位、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。

【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と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。

【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】

【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。

【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

10

20

30

40

50

スイッチ  $S_1$  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  $S_1$  が ON 状態で  $A_2$  が  $+V_{cc}$  となっているので、スイッチ  $S_2$  の可動電極 117 の電位  $B_2$  も  $+V_{cc}$  となり、スイッチ  $S_2$  の可動電極 117 と固定電極 119 間の電位差も  $|V_{cc}|$  となり、スイッチ  $S_2$  も ON 状態となる。このとき、スイッチ  $S_2$  の可動接点 109 が 2 つの配線端子 (固定接点)  $Y_1$ ,  $Y_2$  間をショートし  $Y_1 = Y_2$  となる。その後、スイッチ  $S_1$  の可動電極端子  $A_2$  を GND にすると、スイッチ  $S_1$  は OFF 状態となるが、スイッチ  $S_2$  の可動電極 117 には電荷が蓄積されているため、スイッチ  $S_2$  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  $S_2$  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  $S_1$  を OFF する際に、スイッチ  $S_2$  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  $S_2$  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  $S_2$  の ON 状態を保持できなくなる。そのため、スイッチ  $S_2$  のキャパシタの電極サイズをスイッチ  $S_1$  に比べて大きくし、蓄積電荷量を多くした。また、スイッチ  $S_1$  を OFF 動作させるときには、スイッチ  $S_2$  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】

次に、スイッチ  $S_1$  の固定電極端子  $A_1$  を  $+V_{cc}$  とすると、スイッチ  $S_1$  の可動電極 116 と固定電極 118 間の電位差は  $|V_{cc}|$  となり、スイッチ  $S_1$  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  $S_1$  の可動電極端子  $A_2$  が GND であるため、スイッチ  $S_2$  の可動電極 117 の電位  $B_2$  も GND となり、スイッチ  $S_2$  の固定電極 119 と同電位になるため、スイッチ  $S_2$  のキャパシタに蓄積された電荷は放電され、スイッチ  $S_2$  は OFF 状態となる。

20

図 1 (a) に示したように、ホットスイッチ  $S_1$  の各端子  $A_1$ ,  $A_2$  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  $S_2$  の固定接点端子  $Y_1$ ,  $Y_2$  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】

ホットスイッチ  $S_1$  を介さずにコールドスイッチ  $S_2$  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には出きるが、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  $S_2$  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witch  $S_1$  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。

30

また、上述の説明では、コールドスイッチ  $S_2$  の固定電極 B1 を GND とし、可動電極 B2 に  $+V_{cc}$  を与えることで、キャパシタの各電極間の電位差を  $|V_{cc}|$  としたが、固定電極 B1 に  $+V_{cc}$ 、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  $|V_{cc}|$  としてもスイッチ  $S_2$  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  $S_2$  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  $S_2$  の可動電極 117 に接続されているスイッチ  $S_1$  の固定接点 120 をスイッチ  $S_2$  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  $S_2$  では、スイッチング対象回路 C2 に繋がる 2 つの固定接点  $Y_1$ ,  $Y_2$  を設け、可動接点 109 で各固定接点  $Y_1$ ,  $Y_2$  間を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  $S_2$  の固定接点を 1 つとし、固定接点  $Y_2$  と可動接点  $Y_1$  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  $S_2$  では固定接点の電氣的引出しのためにコールドスイッチ  $S_2$  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witch の製造方法を説明する。

図 3 ( a ) は電位供給回路 C 1 , スwitching 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witch を形成する途中の工程を示したものである。尚、switching 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 switch 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 をエッチングし、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、switch 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、switch 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 switch の可動電極、可動接点を形成することもあるが、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 switch 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 をパターンニングし、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 をドライエッチング除去し、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 をエッチングし、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 switch 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 をエッチングし、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 switch 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、switch 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。

50

## 【 0 0 1 8 】

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 1 0 5 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 S 2 の電極端子 ( 可動接点 ) 1 0 9 と、下部導電膜 1 1 0 5 と可動電極を接続するための開口 1 1 3 と、下部導電膜 1 0 5 との配置関係を示している。図 6 ( c ) は更に可動接点 1 0 9 と、下部導電膜 1 0 5 と、開口 1 1 3 と、可動電極 1 1 6 , 1 1 7 の配置関係を示した図である。開口 1 1 3 内部は可動電極材料の  $\text{poly-Si}$  が埋め込まれている。この図はホットスイッチ S 1 とコールドスイッチ S 2 を各 1 つずつ使用して作製したラッチ機能付き MEMS スwitch 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 S 3 ) のキャパシタの電極サイズは、前段のスイッチ ( 図 7 では S 1 , S 2 ) 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  $|V_{cc}|$  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 1 0 5 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 S 3 の電極端子 ( 可動接点 ) 1 0 9 と、下部導電膜 1 0 5 と可動電極を接続するための開口 1 1 3 と、下部導電膜 1 0 5 との配置関係を示している。図 7 ( c ) は更に可動接点 1 0 9 と、下部導電膜 1 0 5 と、開口 1 1 3 と、可動電極 1 1 6 , 1 1 7 の配置関係を示した図である。開口 1 1 3 内部は可動電極材料の  $\text{poly-Si}$  が埋め込まれている。

20

## 【 0 0 1 9 】

ホットスイッチ S 1 、 S 2 と、コールドスイッチ S 3 を用いた、ラッチ機能付き MEMS スwitch 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 S 1 の可動電極端子 A 2 を GND とし、固定電極端子 A 1 を  $+V_{cc}$  に設定すると、スイッチ S 1 は ON 状態となり、コールドスイッチ S 3 の固定電極の電位 C 1 が GND 電位となる。ホットスイッチ S 2 の方は、固定電極端子 B 1 を GND とし、可動電極端子 B 2 を  $+V_{cc}$  に設定し、スイッチ S 2 を ON 状態にすると、コールドスイッチ S 3 の可動電極 1 1 7 の電位 C 2 が  $+V_{cc}$  に設定される。この状態で、コールドスイッチ S 3 の可動電極 C 1 と固定電極 C 2 間には  $|V_{cc}|$  の電位差が生じるため、コールドスイッチ S 3 が ON 状態になり、可動接点 1 0 9 を介して信号端子 ( 固定接点 ) Y 1 と Y 2 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 A 1 及び可動電極端子 B 2 を GND 電位に切換えてホットスイッチ S 1 , S 2 を OFF しても、コールドスイッチ S 3 の可動電極 C 1 と固定電極 C 2 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 S 3 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 S 1 , S 2 を OFF する際に、コールドスイッチ S 3 の可動電極 C 2 の電荷が一部放電され、可動電極 C 1 - 固定電極 C 2 の電位差は  $|V_{cc}|$  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

## 【 0 0 2 0 】

コールドスイッチ S 3 を OFF する場合は、スイッチ S 1 の固定電極端子 A 1 に  $+V_{cc}$  、可動電極端子 A 2 を GND 、スイッチ S 2 の固定電極端子 B 1 に  $+V_{cc}$  、可動電極端子 B 2 を GND とすることで、各ホットスイッチ S 1 , S 2 を ON 状態にするが、コールドスイッチ S 3 の固定電極 C 1 と可動電極 C 2 とともに 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 S 3 は OFF 状態となる。尚、コールドスイッチ S 3 がオンを保持している状態において固定電極 C 1 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る。

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 MEMS 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 MEMS 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、可動接点 2 1 5 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 MEMS 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 2 2 0 と電極端子 ( 可動接点 ) 2 1 2 は絶縁膜 2 1 5 で電氣的に絶縁されている。固定電極 2 2 1 と可動電極 2 2 0 の電位差が  $|V_{cc}|$  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  $+V_{cc}$  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 2 1 2 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 2 2 1 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  $+V_{cc}$  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 2 1 2 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  $+V_{cc}$  に設定すると、スイッチ S 3 の可動電極 2 2 0 と固定電極 2 2 1 間に  $|V_{cc}|$  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 2 1 2 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 2 2 0 - 固定電極 2 2 1 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  $+V_{cc}$  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GND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OFFになる。

#### 【0024】

図9(c)のタイミングチャートでは、スイッチS 3をON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GNDとし、端子X 2(可動電極端子C 2)の設定電位を+Vcc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、GNDや+Vcc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|Vcc|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ON状態にする際も同様である。

10

また、スイッチS 3をOFF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GNDとしているが、必ずしも両者をGND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|Vcc|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、OFF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OFF状態にする際も同様である。

#### 【0025】

20

図9(a)のコールドスイッチを用いたラッチ機能付きMEMS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2 1 1を形成し(図10(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10(b))。

#### 【0026】

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10(c)である。

30

該アルミナ絶縁膜2 1 3をドライエッチング除去し、レジスト2 1 4を除去した状態が図10(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11(a))、このレジスト2 1 6をマスクに犠牲層2 0 7をエッチングし、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11(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poly-Si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11(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をエッチングし、レジスト2 1 9を除去し(図11(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。

#### 【0027】

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MEMS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、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10(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】

40

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る。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 1 】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態におけるラッチ機能付き M E M S 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 M E M S 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 M E M S 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 M E M S 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 M E M S 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 M E M S 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 M E M S 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 M E M S 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 M E M S 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 1 0】( a ) ~ ( d ) 本発明の第 3 の実施形態における M E M S 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 1 1】( a ) ~ ( d ) 本発明の第 3 の実施形態における M E M S 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 1 2】( a ) ~ ( d ) 本発明の第 4 の実施形態における M E M S 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 1 3】( a ) ~ ( d ) 本発明の第 4 の実施形態における M E M S 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 1 4】( a ) ~ ( d ) 本発明の第 4 の実施形態における M E M S 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 1 5】第 1 の従来技術におけるラッチ機能付き M E M S スイッチの断面構造図である。

【図 1 6】第 2 の従来技術におけるラッチ機能付き M E M S スイッチの断面構造図である。

【符号の説明】

【 0 0 3 2 】

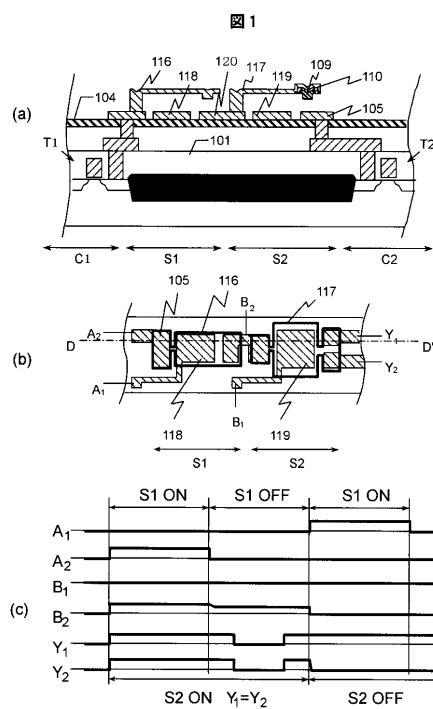
1 1 ... 従来技術における基板、1 2 ... コイル、1 3 ... 可動電極、1 4 ... 可動電極表面の電気接点、1 5 ... 可動電極表面の磁性材料、1 6 ... 固定電極表面の電気接点、1 7 固定電極表面の磁性材料、1 8 ... 固定電極、2 1 ... 従来技術における基板、2 2 ... 下部電極、2 3 ... ダイアフラム、1 0 1 ... 層間絶縁膜、1 0 2 ... 下層配線、1 0 3 ... プラグ、1 0 4 ... 層間絶縁膜のキャップ膜、1 0 5 ... 下層導電膜、1 0 6 ... 犠牲膜、1 0 7 ... レジスト、1 0 8 ... 犠牲層表面の凹パターン、1 0 9 ... 電極端子パターン、1 1 0 ... 絶縁膜、1 1 1 ... レジスト、1 1 2 ... レジスト、1 1 3 ... 可動電極固定部用の開口パターン、1 1 4 ... 導電膜、1 1 5 ... レジスト、1 1 6 ... ホットスイッチ可動電極、1 1 7 ... コールドスイッチ可動電極、1 1 8 ... ホットスイッチ固定電極、1 1 9 ... コールドスイッチ固定電極、2 0 5 ... 下層電極、2 0 7 ... 犠牲層、2 1 0 ... 導電膜、2 1 1 ... レジスト、2 1 2 ... 電極端子パターン、2 1 3 ... 絶縁膜、2 1 4 ... レジスト、2 1 5 ... 電極端子被覆絶縁膜、2 1 6 ... レジ

40

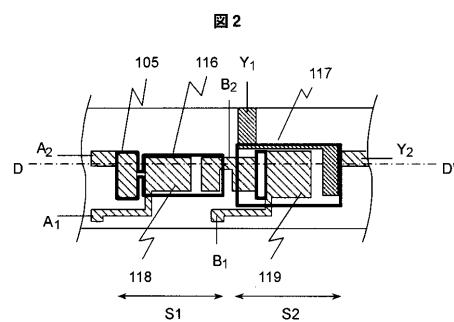
50

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...可動電極固定部の開口パターン、318...導電膜、319...レジスト、320...可動電極。

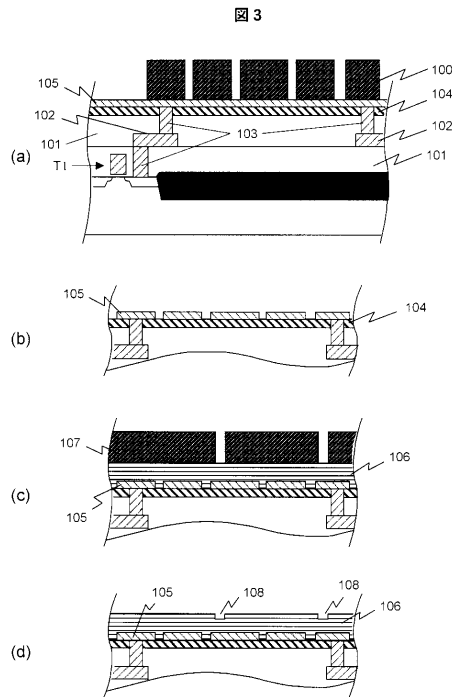
【図1】



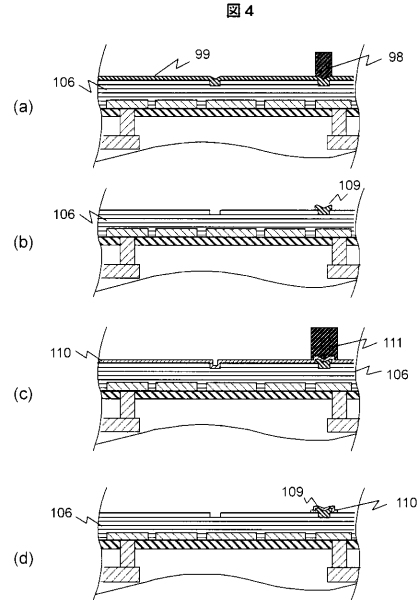
【図2】



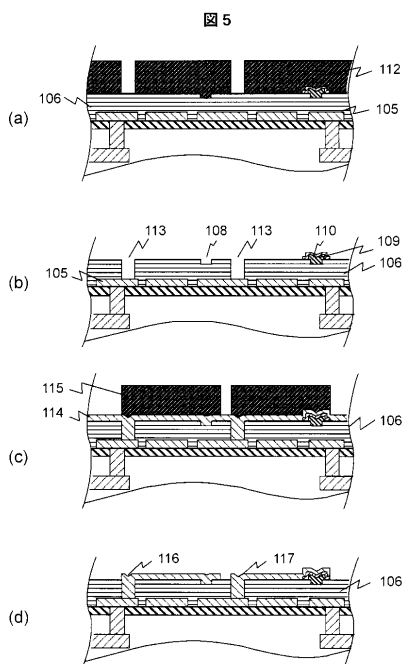
【図 3】



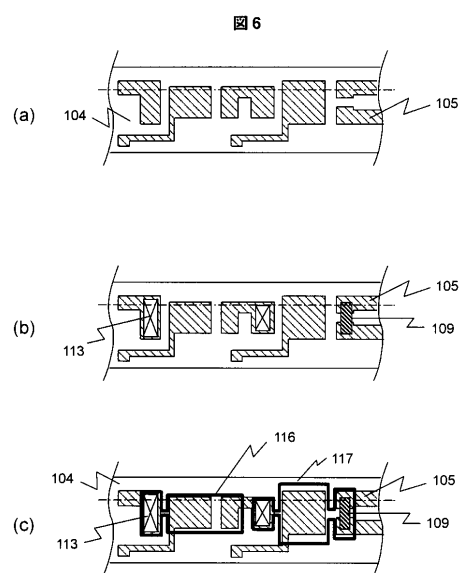
【図 4】



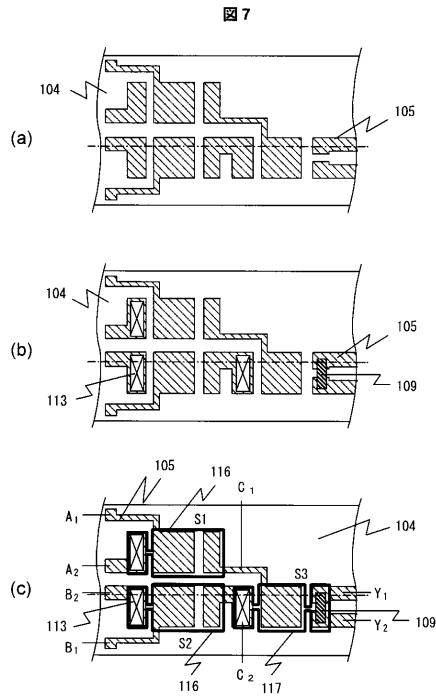
【図 5】



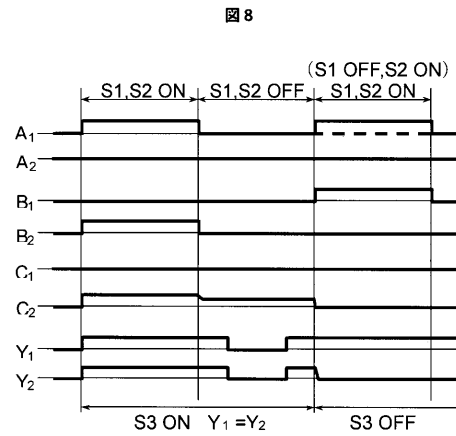
【図 6】



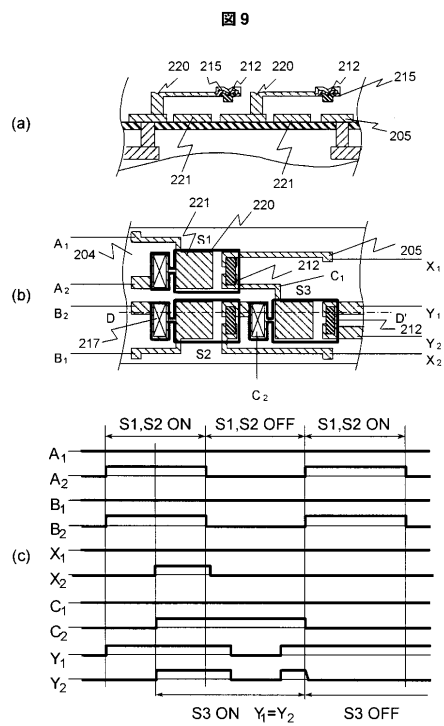
【圖 7】



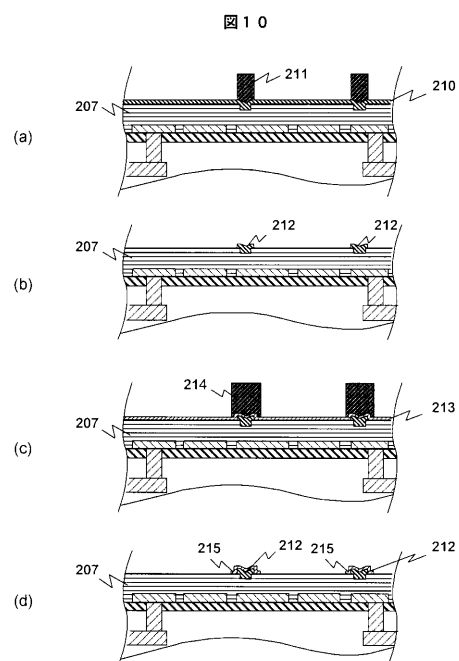
【 図 8 】



【圖 9】

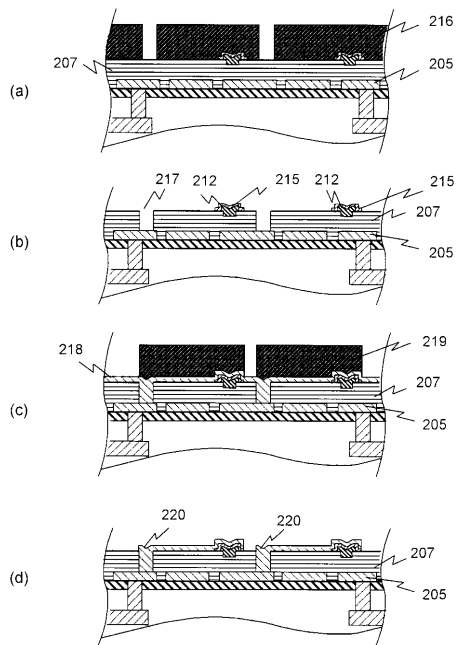


【 図 1 0 】



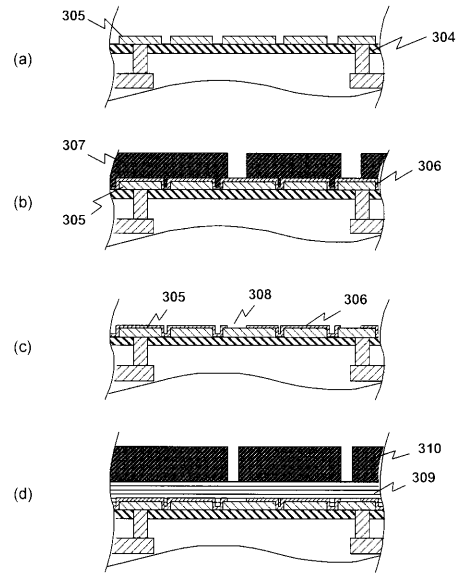
## 【図 1 1】

図 1 1



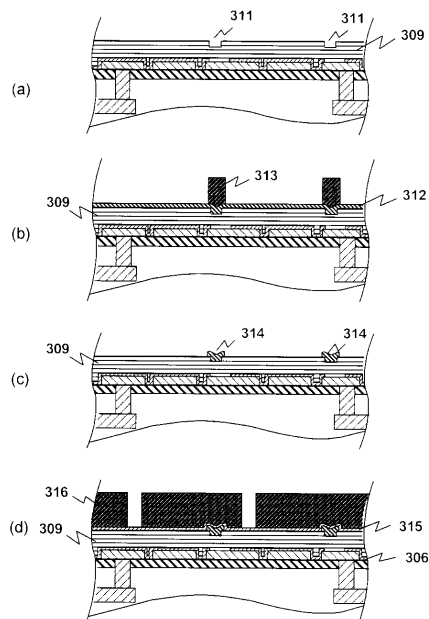
## 【図 1 2】

図 1 2



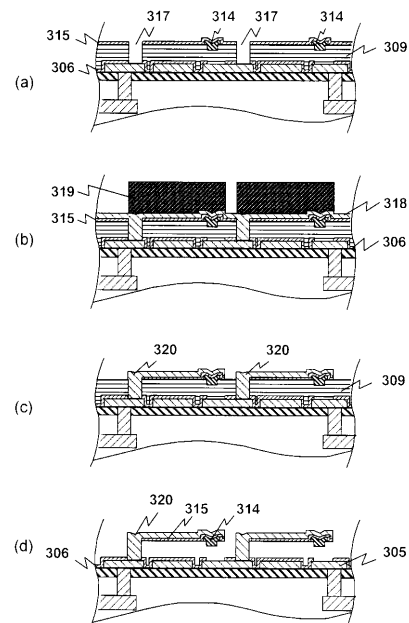
## 【図 1 3】

図 1 3



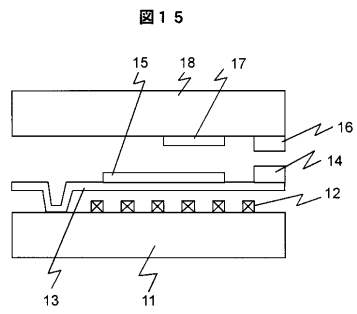
## 【図 1 4】

図 1 4

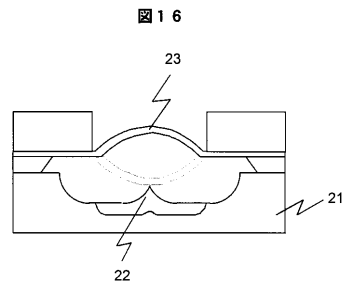




## 【図 15】



## 【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 1 1 - 2 0 4 0 1 3 ( J P , A )  
特開平 0 9 - 1 9 9 3 7 6 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 L 2 1 / 8 2