

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4456310号  
(P4456310)

(45) 発行日 平成22年4月28日(2010.4.28)

(24) 登録日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(51) Int.Cl. F 1  
G 0 2 B 26/08 (2006.01) G 0 2 B 26/08 E

請求項の数 11 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2001-516008 (P2001-516008)	(73) 特許権者	500333408
(86) (22) 出願日	平成12年8月1日(2000.8.1)		エーデーシー・テレコミュニケーションズ
(65) 公表番号	特表2003-506755 (P2003-506755A)		・インコーポレーテッド
(43) 公表日	平成15年2月18日(2003.2.18)		アメリカ合衆国 55344-2252
(86) 国際出願番号	PCT/US2000/040532		ミネソタ、エデン・プレイリー、テクノロ
(87) 国際公開番号	W02001/011411		ジー・ドライブ 13625
(87) 国際公開日	平成13年2月15日(2001.2.15)	(74) 代理人	100067356
審査請求日	平成19年5月24日(2007.5.24)		弁理士 下田 容一郎
(31) 優先権主張番号	09/372,265	(74) 代理人	100094020
(32) 優先日	平成11年8月11日(1999.8.11)		弁理士 田宮 寛祉
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ナン・ツァン
			アメリカ合衆国 55344 ミネソタ、
			エデン・プレイリー、ヴァレー・ビュー・
			ロード 14255、アパートメント 2
			06

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微小電気機械光スイッチ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上にミラーを形成する方法であって、

前記基板の第 1 領域と、該第 1 領域の両側方にそれぞれ隣接する前記基板の 2 つの側方領域とを被覆するパターンニングされたマスキング層を前記基板上に形成し、

前記パターンニングされたマスキング層を用いて前記基板の被覆されていない部分を除去して、前記第 1 基板領域内に第 1 隆起構造を残すと共に、該第 1 隆起構造に隣接する各側方基板領域上に 2 つの犠牲隆起構造を残し、

前記第 1 隆起構造を無傷のまま残す一方で、前記犠牲隆起構造を選択的に除去し、

前記第 1 隆起構造の側壁上に反射面を形成することを含む方法。

10

【請求項 2】

前記パターンニングされたマスキング装置が、前記第 1 領域及び前記側方領域各々の間に約 10 ~ 30 ミクロンの幅を有する開口を形成することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記基板の被覆されていない部分を除去して前記第 1 隆起構造を残すことが、前記第 1 領域及び前記犠牲隆起構造各々の間に約 10 ~ 30 ミクロンの幅を有するギャップを形成することを含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記基板の被覆されていない部分を除去することが、30 nm rms 又はそれ以下の表面荒さを有する前記第 1 隆起構造を形成することを含む、請求項 3 に記載の方法。

20

## 【請求項 5】

前記基板の被覆されていない部分を除去することが、少なくとも  $90^\circ \pm 0.6^\circ$  の垂直性を有する前記第 1 隆起構造の側壁を残すことを含む、請求項 4 に記載の方法。

## 【請求項 6】

前記基板の被覆されていない部分を除去することが、前記第 1 隆起構造及び前記犠牲隆起構造各々の間に 75 ミクロン或はそれ以下の深さを有するトレンチを形成することを含む、請求項 5 に記載の方法。

## 【請求項 7】

前記パターンニングされたマスキング層を形成することが、前記基板上に同一のフォトリソ材から成る多数の層をデポジットすることを含む、請求項 1 に記載の方法。

10

## 【請求項 8】

前記パターンニングされたマスキング層を形成することが、前記 2 つの側方領域の各々を取り囲む基板領域を露出する前記パターンニングされたマスキング層内に開口を形成することを含む、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 9】

前記基板が、当該基板の外側面に対して当該基板内に埋め込まれた絶縁層を含み、前記基板の被覆されていない部分を除去することが、前記 2 つの側方領域を取り囲む露出された基板領域を除去して、前記第 1 隆起構造から絶縁された前記絶縁層上に前記犠牲隆起構造を残し、そして、前記犠牲隆起構造を選択的に除去することが、前記犠牲隆起構造下方から前記絶縁層を除去し、それによって前記犠牲隆起構造を前記基板から解放することを含む、請求項 8 に記載の方法。

20

## 【請求項 10】

前記犠牲隆起構造を選択的に除去することが、前記基板によって規定されたトレンチ内に前記第 1 隆起構造を残すことを含む、請求項 9 に記載の方法。

## 【請求項 11】

埋め込み絶縁層を有する基板上に光スイッチを形成する方法であって、  
前記基板上に、同一のフォトリソ材から成る多数の層を含む複合フォトリソ層を形成し、

アセトンを用いて前記フォトリソ層の部分を除去して、ミラー壁、アクチュエータ櫛、アクチュエータ・ビーム、並びに、犠牲壁が形成されることになる前記基板の複数の領域を選択的にマスクするパターンニングされたフォトリソ層を形成し、

30

前記パターンニングされたマスキング層を用いて前記基板の露出部分を前記絶縁層までエッチングして、前記ミラー壁、アクチュエータ櫛、アクチュエータ・ビーム、並びに、前記ミラー壁の第 1 及び第 2 側壁に少なくとも沿って配置された犠牲壁を残し、

前記ミラー壁、アクチュエータ・ビーム、可動櫛、並びに、犠牲壁の下方の前記絶縁層の部分を除去して、前記ミラー壁、アクチュエータ・ビーム、可動櫛、並びに、犠牲壁を前記基板から解放し、

前記犠牲壁を除去して、トレンチ内に配置された前記ミラー壁を残し、

前記ミラー壁の側面上に反射面を形成することを含む方法。

## 【発明の詳細な説明】

40

## 【0001】

(技術分野)

本発明は、一般的には、光スイッチに関し、より詳細には微小電気機械光スイッチとそうした光スイッチを製造する方法とに関する。

## 【0002】

(背景技術)

比較的最近のテクノロジーは今や微小電気機械システム(MEMS)を半導体基板、典型的にはシリコン基板上に製作させることを可能としている。これら微小電気機械システムは、ミクロン・オーダーのサイズを典型的には有して、共通基板上に他の電気回路と集積され得る。その結果として、微小電気機械システムは多数の研究分野にわたる多数の適用

50

例にそれらの道を見出してきている。例示的なMEMS適用例は、例えば、光スイッチング、慣性若しくは圧力センサ、並びに、生体臨床医学的装置を含む。

【0003】

MEMSに基づく又はMEMSベースの光スイッチは、ファイバ等の複数の光導波路の間で光波を切り替えるために、様々な適用例に用いられる。本MEMSベース光スイッチは基板の平面内で或は該基板の法線方向で動作できる。例えば垂直ミラーを用いる平面内光スイッチは、C. Marxer等の「Vertical Mirrors Fabricated By Reactive Ion Etching for Fiber Optical Switching Applications」、Proceedings IEEE, The Tenth Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, An Investigation of Micro Structures, Sensors, Actuators, Machines and Robots (Cat. No. 97CH46021), IEEE 1997, pp.49-54に開示されている。このMarxerの光スイッチは二重楕形駆動アクチュエータと結合された金属被覆シリコン・ミラーを含む。これらの2つの楕形アクチュエータは反対方向に作動して、光ファイバ間の光路内にそのミラーを押し入れ、そして、その光路からそのミラーを引き出すように為す。Marxerの光スイッチは、側壁不動態技術を伴う誘導結合プラズマエッチングのテクノロジーを用いて単一ステップで製作される。

10

【0004】

Marxerのスイッチは多数の制約が関わっている。例えばその二重楕形アクチュエータは拡張位置及び格納位置の双方で電力を必要とする。電力が無ければ、ミラーは不都合にもファイバ間の中途に横たわる。加えて、Marxerの製作技術は $89.3^\circ$ の垂直性の壁と36ナノメートル(nm) rms(二乗平均化)の表面荒さを提供し、これら特性の各々を改善する余地はある。酸化物マスク及び超音波マスク除去に依存する従来のDRIE(深い反応イオンエッチング)及びフォトリソグラフィの技術も、MEMS構造に対して有害な影響を及ぼす。例えばこれらのフォトリソグラフィ技術は、しばしば、複数の構造間に屑を残す。よって光スイッチにおける改善が望まれている。

20

【0005】

(発明の開示)

本発明は改善された特性を有するMEMSベースの光スイッチを提供すると共に、それを製造する方法を提供する。本発明の一実施例に従えば、光スイッチが提供され、基板上に取り付けられた静止状態の楕、該静止状態楕と交互配置された可動楕、並びに、前記基板及び前記可動楕の間に連結されたビーム構造、並びに、前記アクチュエータと結合されたミラーを備える。この光スイッチは、前記基板上に配置された、第1導波路チャネル対及び第2導波路チャネル対を更に含む。前記ミラーは、前記導波路チャネル間に介在される拡張位置と前記導波路チャネルから離間される格納位置との間に移動させられることができる。前記2つの楕は、前記ビーム構造を偏向できると共に、前記ミラーを前記拡張位置或は前記格納位置の内的一方へ移動させることができる力を付与し、前記ビーム構造は、前記2つの楕の間に力の付与がない場合に、前記拡張位置或は前記格納位置の内の方へ前記ミラーを戻す。

30

【0006】

本発明の別の実施例に従えば、基板上にミラーを形成する方法が提供される。この方法は、前記基板の第1領域と、該第1領域の両側方にそれぞれ隣接する前記基板の2つの側方領域とを被覆するパターンニングされたマスク層を前記基板上に形成することを含む。前記パターンニングされたマスク層を形成した後、前記基板の被覆されていない部分は前記パターンニングされたマスク層を用いて除去されて、前記第1基板領域内に第1隆起構造を形成すると共に、該第1隆起構造に隣接する各側方基板領域内に犠牲隆起構造を形成する。前記犠牲隆起構造は次いで選択的に除去される一方で、前記第1隆起構造を無傷のまま残し、反射面が該第1隆起構造上に形成される。

40

【0007】

本発明の別の実施例に従えば、基板上における楕形ドライブ・アクチュエータ用の楕を形成する方法が提供される。この方法は、前記基板上に同一のフォトレジスト材から成る多数の層を形成して複合フォトレジスト層を形成することを含む。このフォトレジスト材は

50

、例えば、フォトレジスト S 1 8 1 8 であることが可能である。前記複合フォトレジスト層の形成後、該フォトレジスト層はパターンングされ、現像されて、交互配置されたマスクング・パターンを有するパターンングされたフォトレジスト層を形成する。この交互配置されたマスクング・パターンを用いて、前記基板の部分は除去されて交互配置された櫛を形成する。前記多数の層を形成するプロセスは、例えば、前記フォトレジスト材の各層をデポジットし、そのデポジット後にそれらの層を加熱することを含み得る。S 1 8 1 8 等のフォトレジスト材から成る多数の層の使用は、例えば、結果としての構造の表面荒さ及び清浄度を他のタイプのマスクング層と比較して高めることができる。

#### 【 0 0 0 8 】

本発明の以上の概要は、本発明の図示された各実施例或はそれぞれの具現化例を記載することが意図されていない。図面や以下に続く詳細な説明はこれら実施例をより詳細に実証する。

10

#### 【 0 0 0 9 】

本発明は、添付図面と関連してその様々な実施例の以下の詳細な説明を考慮してより完全に理解され得る。

本発明は様々な変更及び代替形態に応じやすく、その細目は例えば図面中に図示され、詳細に説明される。しかしながら理解して頂きたいことは、この発明を記載された特定の実施例に限定されることが意図されていないことである。逆に、特許請求の範囲によって規定された本発明の精神及び範囲内に入る全ての変更、均等物、並びに、代替物の全てを包含することが意図されている。

20

#### 【 0 0 1 0 】

( 発明を実施するための最良の形態 )

本発明は、全般的には、垂直ミラーを用いた微小電気機械光スイッチに関する。本発明は、ミラー及び櫛フィン等々の垂直構成要素に依存する M E M S ベースの光スイッチに特に適合する。本発明はそうしたことに限定されることがない一方で、本発明の様々な局面の理解は以下に提供される各種の例の理解を通じて獲得されるであろう。

#### 【 0 0 1 1 】

図 1 は、本発明に従った模範的な光スイッチの上面図を示している。以降に更に議論するように、光スイッチ 1 0 0 の特徴の全ては全般的には基板の上方層に存する。図示の明瞭化のため、光スイッチ 1 0 0 は同尺では描かれていない。光スイッチは全般的にはミラー 1 0 2 を含み、光導波路 1 0 5 ( 図 1 での破線で示されている ) の間に介在させられた拡張位置 ( 例えば図 1 ) とそれら光導波路から隔てられた格納位置 ( 例えば図 2 ) との間でそのミラー 1 0 2 を移動することができるアクチュエータ 1 0 4 と結合されている。この例示実施例において、ミラー 1 0 2 は拡張位置に横たわると、光波はミラー 1 0 2 で反射して導波路 1 0 5 a 及び 1 0 5 b 間と導波路 1 0 5 c 及び 1 0 5 d 間とをそれぞれ結合し、対向する導波路 1 0 5 a 及び 1 0 5 d 間と導波路 1 0 5 b 及び 1 0 5 c 間とを伝播又は伝導することがない。ミラー 1 0 2 が格納位置に横たわると、切り替え又はスイッチングが生じて、光波が導波路 1 0 5 a 及び 1 0 5 d 間と導波路 1 0 5 b 及び 1 0 5 c 間とをそれぞれ結合し、ミラー 1 0 2 で反射されない。ここで使用されるように、用語「導波路」は光を伝播する例えば光ファイバ等のあらゆる媒体を包含することが意図されている。

30

40

#### 【 0 0 1 2 】

ミラー 1 0 2 は典型的にはトレンチ又は溝 1 1 2 内に配置される。このトレンチ 1 1 2 は、典型的には、動作中、ミラー 1 0 2 が当該トレンチ 1 1 2 の側壁と接触することを防止するに十分な幅を有する。典型的には、トレンチ幅 ( 側壁から側壁まで ) は、多くの適用例において 4 0 ミクロンから 5 0 ミクロンまでの範囲である。ミラー 1 0 2 は、典型的には、アクチュエータ 1 0 4 と結合させる長寸のベース支持体 1 1 6 に搭載されて、各側に反射被膜を有する細い壁 1 1 4 を含む。ミラー壁 1 1 4 は多くの適用例において約 2 ~ 5 ミクロン厚み或は幅を有し得る。これで、多くの場合、細い側壁とトレンチ側壁との間に約 2 0 ~ 2 5 ミクロンの空隙を残存させる。長寸ベース支持体 1 1 6 は、典型的には、動作中にミラー 1 0 2 を安定化させるために、壁 1 1 4 よりも幅広である。この例示実施例

50

において、支持構造 118 は、ベース面 120 とミラー 102 に対するベース支持体 116 とに対して角度をもって走る複数ラインを有する格子造り構造である。支持構造 118 は、有益にも、ミラー 102 がその拡張位置及び格納位置の間でスイッチングすると該ミラー 102 に付加的な安定性を提供する。

#### 【0013】

ミラー壁 114 は、典型的には、従来通りに形成された垂直ミラーと比べて比較的平滑であると共に垂直な両側壁を含む。例えば、ミラー壁 114 の側壁は、典型的には表面荒さ  $30\text{ nm rms}$  或はそれ以下であると共に、 $90^\circ \pm 0.6^\circ$  或はそれより良好の垂直性（例えば、 $90^\circ \pm 0.5^\circ$ 、 $90^\circ \pm 0.4^\circ$ 、 $90^\circ \pm 0.3^\circ$ 、或は、それより良好な角度）を有する。そうした特性を具備する側壁を形成する技術は以下により詳細に議論される。理解して頂けるように、ミラー壁 114 の増大された垂直性及び低減された表面荒さは従来の光スイッチと比較して光スイッチ 100 の伝播特性を向上するものである。

10

#### 【0014】

図示されたアクチュエータ 104 はミラー 102 を格納位置へ移動する力を付与できるドライブ機構 122 と、力の付与中に偏向すると共に、ドライブ機構 122 による力の付与がない場合にミラーを拡張位置へ戻すビーム構造 124 とを含む。ビーム構造 124 は典型的にはスプリングのように作用し、両方の櫛の間力が有る場合に偏向し、力がない場合に元の位置へ戻る。図示の実施例において、ビーム構造 124 はミラーが拡張位置に横たわっている際にゼロ・エネルギーを蓄える。この例示実施例におけるドライブ機構 122 は単一櫛形ドライブであり、それは可動櫛 110 と交互配置された静止状態の櫛 108 を含んで、アクチュエータ 104 を駆動する力を提供し、よってミラー 102 はその拡張位置及び格納位置の間に駆動する。ミラー 102 のその拡張位置及び格納位置間の長手方向変位は、典型的には、 $40 \sim 70$  ミクロンまでの範囲にわたり、そして、図示の実施例では約  $55$  ミクロンである。

20

#### 【0015】

櫛フィンガー各々は、典型的には、 $2 \sim 4$  ミクロンまでの範囲にわたる幅  $w$  を有し、この例示実施例では約  $3$  ミクロンの幅  $w$  を有する。2つの櫛 108 及び 110 は稠密に隔たっている。例えば、隣接する櫛フィンガー間のギャップ  $g$  は、典型的には、 $2 \sim 4$  ミクロンまでの範囲であり、この例示実施例では約  $3$  ミクロンである。図示の実施例において、個々別々のフィンガーは相対的に垂直性（例えば、少なくとも  $90^\circ \pm 0.6^\circ$  の垂直性）と平滑性（ $30\text{ nm rms}$  或はそれ以下の表面荒さ）の側壁とを有する。フィンガーの平滑性は交互配置された櫛の稠密な実装形態を許容する。これは構造のサイズを所与の付与力用に縮小又は小型化させることを可能としている。従ってこれは、スイッチング速度を維持或は低減する一方でより小さなスイッチの開発を可能としている。各フィンガーの長さ  $l$ 、2つの櫛 108 及び 110 の間で力がない場合の（図 1 に示されるような）部分的重ね合わせ  $\circ$ 、並びに、各櫛 108、110 のフィンガー数は、典型的には、これら 2つの櫛 108 及び 110 の間にわたる所望力と、ミラー 102 の拡張位置及び格納位置間の所望移動距離とを考慮して選択される。この例示実施例において、フィンガーは  $90 \sim 110$  ミクロンまでの範囲にわたる長さ  $l$  を有し、両櫛は  $20 \sim 30$  ミクロンの部分的重ね合わせ  $\circ$  を有する。各櫛 108、110 のフィンガー数は変更できると共に、多くの適用例に対して  $120 \sim 160$  の範囲にわたることができる。

30

40

#### 【0016】

図示のビーム構造 124 はアクチュエータ 104 の両側の二重屈曲ビーム 126 を含む。この模範実施例での二重屈曲ビーム 126 は対称的であるので、一方のみが以下の議論で説明される。二重屈曲ビーム 126 は固定基板構造 130 に結着された第 1 内側ビーム 128 と第 1 及び第 2 の外側ビーム 132、134 とを含む。第 1 外側ビーム 132 はその一方端部でその他のビーム端と結合し、その他方端でアクチュエータ・ベース面 120 と結合している。第 2 外側ビーム 134 はその一方端でその他のビーム端と結合し、その他方端で可動櫛 108 と結合している。固定基板構造 130 の下方には、埋め込み絶縁層が

50

残存し、この構造を基板に固定している。ビーム 1 3 2 及び 1 3 4 と末端ピース 1 3 6 はその絶縁層から解放されており、それら構成が移動可能な櫛と共に移動することを可能としている。動作中、屈曲ビーム 1 2 6 はスプリングとして作用し、ミラー 1 0 2 がその格納位置へ移動させられる際に偏向し、櫛 1 0 8 及び 1 1 0 間に力がない場合にミラー 1 0 2 を拡張位置へ戻す。同尺で描かれていないが、各ビーム 1 2 6 の長さ（ミラー 1 0 2 と整合された軸線からビームの外側端までを測定した場合）は、多くの適用例において 7 0 0 ~ 1 0 0 0 ミクロンの範囲にわたり得る。

#### 【 0 0 1 7 】

好都合にも、ビーム構造 1 2 4 の 1 つ或はそれ以上の構成（例えば、内側ビーム 1 2 8、外側ビーム 1 3 2 及び 1 3 4、並びに / 或は、末端ピース 1 3 6）は相対的に垂直な側壁と平滑な面とを有する。例えば、その側壁の垂直性は  $90^\circ \pm 0.6^\circ$  或はそれより良好であると共に、 $30 \text{ nm rms}$  の表面荒さを伴う。ビームの相対的に垂直で且つ平滑な側壁を形成するための技術は以下に議論されることになる。側壁の垂直性を増大し且つ表面荒さを減少することによって、ビーム構造 1 2 4 の強度は従来のビーム構造と比較して増大され得る。これは、例えば、ビーム構造の寿命の増大、ビームの偏向距離の増大、並びに / 或は、ビーム構造サイズの低減を可能とする。図示された実施例において、ビームのこうした改善構成は単一櫛形ドライブ・アクチュエータを具備する相対的に小型な光スイッチの形成、相対的に大きなミラー変位、並びに、短いスイッチング速度を可能とする。

#### 【 0 0 1 8 】

図示の単一櫛側ドライブ・アクチュエータは種々の長所を提供する一方で、留意して頂きたいことは、図示のアクチュエータが例示的目的で提供されており、それに限定されないことである。他のアクチュエータ・タイプも本発明の実施例に使用され得る。例えば、二重櫛形ドライブを有するアクチュエータが使用され得る。対向構成状態で単一櫛側ドライブを有するアクチュエータも使用され得る。例えば、単一櫛形ドライブ・アクチュエータは櫛駆動が力を付与してミラーを拡張させるように構成されて、ビーム構造がそのミラーを格納位置へ戻す。ビーム構造も種々の実施例間で変更可能であり、図示の二重ビーム構造に限定されない。例えば、異なる二重ビーム構造、或は、単一ビーム構造等の他のタイプの構造が利用可能である。

#### 【 0 0 1 9 】

図 8 は、本発明に係る 1 つの特定実施例に従った例示的な導波路及び導波路チャネル構成の上面図を示している。この例は光ファイバ導波路を参照したものであるが、本発明はこの例に限定されることはない。

#### 【 0 0 2 0 】

この例示の実施例における光ファイバ 8 1 0 の各々は、ビーズ製レンズ 8 4 0 までテーパ状となった側壁 8 3 0 を伴う端部 8 2 0 を含む。このテーパ状側壁 8 3 0 はチャネル 8 6 0 の 1 つ或はそれ以上のフランジ 8 5 0 と都合よく整合又は整列して、ファイバ 8 1 0 のチャネル 8 6 0 内への整合を促進補助している。テーパ状側壁 8 3 0 は、各ファイバ 8 1 0 の端部 8 2 0 におけるレンズ 8 4 0 がミラー 8 7 0 とより密接となって横たわることを可能としている。テーパ状側壁 8 3 0 及びビーズ製レンズ 8 4 0 によって、各レンズ 8 4 0 からミラー 8 7 0 までの距離は 1 0 ~ 3 0 ミクロンまでの範囲にわたり得て、この例示実施例では約 2 0 ミクロンである。ビーズ製レンズ 8 4 0 も伝播された光波を集束することもできる。その集束された光とミラー 8 7 0 への密接した近さとの結果、光伝播損失は劇的に減少させられ得る。

#### 【 0 0 2 1 】

ビーズ製レンズを具備するテーパ状ファイバを形成する 1 つの模範的な方法は、ファイバを融解温度まで加熱し、ファイバをテーパ状に引き抜いて、その引き抜かれたファイバに両テーパ状端部を形成するように添え継ぎすることを含む。添え継ぎの後、それら両テーパ状端部はビーズ化して集束レンズを形成する。ビーズ化端部は更に磨かれ得る。

#### 【 0 0 2 2 】

図1及び図2に戻ると、動作において電圧差が2つの櫛108及び110の間に印加され、よってそれら2つの櫛108及び110が相互に引き合っテミラー102を、ファイバ間のその拡張位置からそれらファイバから離間したその格納位置まで引き込む。稠密に実装され且つ平滑な櫛フィンガーは、0.2~1ミリ秒の間に、その拡張位置から格納位置の間にミラーを切り替える又はスイッチングする力を付与できる。有益にも、アクチュエータの構成はミラーが横切り方向へ殆ど偏向されることなく相対的に長い距離を変位させられることを可能とする。例えば格子支持構造及び屈曲ビーム構造は双方ともにミラーの横切り偏向及び共鳴を低減する役割を果たす。これはスイッチの光伝播特性を更に増大する役割を果たす。

#### 【0023】

図3A乃至図3F、及び図4で参照されるように、以上に議論された光スイッチ等の光スイッチを製作する模範的なプロセスを説明する。図示の簡略化のために、図3A乃至図3Fに描かれた断面図は、先に議論された細い壁114等の垂直ミラー壁を形成するために使用される基板の断面図と対応する。

#### 【0024】

この例示的プロセスにおいて、マスクキング層303は基板301上に形成される。基板301は、典型的には、シリコン等の半導体材料から形成されており、当該基板301を上方部304及び下方部306に分離する埋め込み絶縁層302を含む。この埋め込み絶縁層302は、例えば、二酸化珪素等の酸化物層であり得る。上方基板304の深さは例えば約75ミクロンであり得る。光スイッチ構造は絶縁層302上方の基板301の上方部304に形成される。

#### 【0025】

マスクキング層303は引き続き基板エッチング中に基板の種々の部分を保護するために設けられており、典型的にはそうするに十分な厚みを有する。この図示のプロセスにおいて、マスクキング層303は同一のフォトレジスト材である二重層から形成されている。フォトレジスト材は例えばS1818であり得る。二重フォトレジスト層が好都合であり得る一方、マスクキング層303は、既知の技術を用いて、酸化物及びフォトレジストを含む任意の適切なマスクング材から形成され得る。結果としての構造は図3Aに示されている。

#### 【0026】

二重フォトレジスト層303は、典型的には、基板301上に形成された第1フォトレジスト装置305aと、該第1フォトレジスト層305a上に形成されると共に、該第1フォトレジスト層305aと同一材料から形成された第2フォトレジスト層305bとを含む。各層305a、305bはその最大定格厚みまで形成される。特定のフォトレジストの最大定格厚みは、典型的には、フォトレジスト製造業者によって提供され、表面平面性の指定された度合いを提供するフォトレジスト材の最大厚みと対応している。S1818の場合、この厚みは約2ミクロンである。

#### 【0027】

典型的には、フォトレジスト材の第1層305aはデポジット又は堆積され、フォトレジスト材から成る第2層305bのデポジション又は堆積及び加熱に先行して加熱される。S1818から成る二重層の使用は、相対的には厚いフォトレジスト層の微細パターンングを可能とする。これは、次いで、基板内に微細構成を形成するために下側に横たわる基板の深いエッチングを可能としている。S1818フォトレジストは有益な方法で除去も可能である。二重フォトレジスト層形成の更なる詳細及び長所は、本願と同時に出願された「Method of Etching a Wafer Layer Using Multiple Layers of the Same Photoresistant Material and Structure Formed Thereby」と題された米国特許出願第09/372,428号(代理人整理番号:No.2316.1020US01)に見出すことが可能であり、引用することでその内容をここに合体させる。

#### 【0028】

二重フォトレジスト層303の種々の部分は除去されて、図3Bに図示されるようにパターンングされたフォトレジスト層309を形成する。フォトレジスト層303の種々の部

10

20

30

40

50

分の除去は、フォトリソグラフィ技術を用いて為され得る。特にS 1 8 1 8 フォトレジストを使用する際、例えば種々のフォトレジスト層部分は超音波の補助なしにアセトンを用いて除去され得る。基板3 0 1の種々の露出部分は引き続き製作において除去されることになる。パターニングされたマスク層3 0 9は、基板除去の後に残存することになる基板3 0 1の種々の部分を被覆する。これら基板3 0 1の残存部分は、典型的には、結果としての光スイッチの各種構成を形成する(例えば、ミラー壁、トレンチ側壁、導波路チャネル、アクチュエータ櫛、並びに、ビーム等々)。

#### 【0029】

先に記したように、図3 A乃至図3 Eに図示された断面はミラー壁の形成を示している。この場合、パターニングされたマスク層3 0 9は基板3 0 1の第1領域3 1 1 aを被覆する部分3 1 1と、該第1領域3 1 1の各側に隣接する基板の側方領域3 1 3 aを被覆する2つの側方領域3 1 3とを含む。フォトレジスト層3 0 9の側壁3 1 5は、内部にミラーが形成されることになるトレンチの両エッジを画成するために使用される。マスク部分3 1 1が設けられて、第1領域3 1 1 a内にミラー壁を形成する。側方マスク構造3 1 3は、内部に犠牲壁が形成される領域3 1 3 aを被覆する。

10

#### 【0030】

マスク構造3 1 3はエッチング中に基板の露出部分を制限する役割を果たし、領域3 1 1 aのミラー構造における壁の垂直性を増大する。マスク部分3 1 1及び各側方マスク部分3 1 3の間の距離又はギャップは、領域3 1 1 a内における結果としてのミラー構造の垂直性を最適化するように選択される。10~30ミクロのギャップ距離が多くの適用例において適切である。20ミクロのギャップ距離は以下に議論する除去プロセスと共に特に良好に作動する。そうした犠牲壁の長所に関するより詳細に議論は、本願と同時に出版された「Method of Etching a Wafer Layer Using a Sacrificial Wall and Structure Formed Thereby」と題された米国特許出願第09/372,700号(代理人整理番号: No. 2316.1021US01)に見出すことが可能であり、引用することでその内容をここに合体させる。

20

#### 【0031】

例えば図4は、マスク層のパターニング後における光スイッチの上面図を示している。陰影領域はパターニングされたマスク層4 0 2を表し、開放領域は下側に横たわる基板4 0 4の露出部分を示している。このパターニングされたマスク層4 0 2は、例えばミラー壁及び外側ビーム等の光スイッチ構成の回りに犠牲壁を形成するために提供されるマスク部分4 0 6を含む。マスク部分4 0 6下方の種々の基板領域は、以下に議論されるように、基板4 0 4の開放領域をエッチングした後に除去されることになる。犠牲壁マスク4 0 6の使用は、以下に留意されるように、ミラー壁及びビーム等の隣接構造の垂直エッチングを促進補助する。

30

#### 【0032】

然るべき位置にあるパターニングされたマスク層3 0 9によって、基板3 0 1の種々の露出部分は図3 Cに図示されるように除去される。この除去プロセスは深い反応イオンエッチング(DRIE)を用いて実行される。一実施例において、標準BOSCH DRIEプロセスが使用される。このプロセスは典型的には以下の条件の下で3ステップ・プロセスが実行される。

40

圧力: 15 mトル

He流量: 7.45 sccm (標準立方センチメートル/秒)

#### 【0033】

ステップ1で、 $C_4F_8$  200 (70 sccm)、 $SF_6$  200 (0.5 sccm)、並びに、アルゴン(40 sccm)が4秒間流される。ステップ2で、 $C_4F_8$  200 (0.5 sccm)、 $SF_6$  200 (100 sccm)、並びに、アルゴン(40 sccm)が5秒間流される。代替実施例において、第1及び第2ステップに対するフロー時間は増大され(例えば、5秒まで及び4秒までのそれぞれ)、第3ステップに対するフロー時間は減少される(例えば3秒まで)。この代替実施例は、有益には、標準BOSCH BRIE

50

プロセスよりもより垂直な側壁を提供する。

【0034】

除去プロセスは、典型的には、埋め込み絶縁層302に選択的なエッチャント（腐食液）を用い、それによってこの層上でのエッチング・プロセスを停止する。側壁構造321及びマスク313の結果、マスク311下方の隆起構造319が相対的に垂直な側壁320を伴って形成される。図示の実施例における側壁320は、典型的には、垂直性（例えば、 $90^\circ \pm 0.5^\circ$ 、 $90^\circ \pm 0.4^\circ$ 、 $90^\circ \pm 0.3^\circ$ 、或は、それより良好な角度）を有する。この手法も相対的に平滑な側壁を伴う隆起構成319を残す。例えばこのプロセスを用いて、側壁の表面荒さは $30 \text{ nm rms}$ 或はそれ以下であり得る。

【0035】

フォトレジストは図3Dに図示されるように除去される。これは先に記したようにアセトンを用いて為され得る。超音波の補助なしにアセトンを用いることによって、フォトレジストは、アクチュエータ櫛、ミラー、並びに、屈曲ビーム等の壊れやすい構造を損傷することなしに除去され得る。このようにしてアセトンを用いることでも、例えば、基板からより効果的に破片等を除去できる。フォトレジスト除去に追隨して、埋め込み絶縁層302の種々の部分が除去される。この絶縁層302は、典型的には、緩衝絶縁エッチ（例えば、10対1の塩酸対水の溶液）を用いて除去される。このプロセス中、このエッチャントは絶縁層302の露出部分を、該絶縁層302上に形成されたシリコン構造下方の絶縁層302の種々の部分と共に除去する。理解して頂きたいことは、相対的に細いシリコン構造（例えば、ミラー壁、アクチュエータ・ビーム、櫛フィンガー等々）下方の下側に横たわる絶縁層302は充分に除去されて、これら構造を基板301から分離する。より厚い構成（例えば、ビームに対する固定支持体130、静止櫛110のベース部109等）の下方における絶縁層302は無傷のまま残存し、それによってこれら構成を基板301に固定する。これは、ミラー、ビーム、並びに、可動櫛等の各種構造が移動することを可能とする。

【0036】

除去プロセスは、典型的には、図3Eに示されるように、エッチャント322内に基板301を浸すことによって実行される。このプロセス中、犠牲層321下方の絶縁層302は除去され、犠牲壁321はエッチング溶液322内へ落下する。これはスイッチの他の部分（例えば固定ビーム構造130等）の下側に横たわる基板/絶縁層によって支持される第1隆起構成319（ミラー壁）を残す。ミラー319はトレンチ323の2つの側壁間に形成される。結果としての構造は図3Fに示されている。

【0037】

犠牲側壁マスクの形成と組み合わされた同一材料から成る二重フォトレジスト層の使用は、平滑表面を伴う相対的に深く薄い垂直構造の形成を可能とする。これらの構造は、例えば、ミラー、アクチュエータの櫛フィンガー、並びに/或は、ビーム構造のビーム等に使用され得る。これら技術を用いることで、隆起構造の垂直性は、 $30 \text{ nm rms}$ 或はそれ以下の表面荒さを伴って、少なくとも $90^\circ \pm 0.6^\circ$ であり得る。

【0038】

理解して頂きたいことは、後処理中、ミラー壁は反射面を形成すべく反射性金属で被覆される。ミラー壁の改善された垂直性及び低減された表面荒さの結果として、反射面は増大された垂直性及び低減された荒さを有する。これは分散を低減すると共に、スイッチの光学的特性を改善する。後処理中、金属も典型的には2つの櫛上にデポジットされて、それら櫛に対する電極を提供する。これら金属デポジションは例えば既知技術を用いて実行され得る。ウェハーは、典型的には、基板に導電性を提供すると共に電圧差を両櫛間に印加させる処理に先行して硼素ドーピングが行われる。

【0039】

図5は、先のプロセスに従って形成された模範的な垂直構造を図示している。この断面図は、ミラー或はビーム構造のビーム等の垂直構成の断面を表している。垂直構造500は、 $90^\circ \pm 0.6^\circ$ 或はそれより良好な（基板の水平面504と側壁502の平面506

10

20

30

40

50

との間の角度 によって表される)垂直性と、30ナノメートル r m s 或はそれ以下の表面荒さを伴う側壁502を有する。

【0040】

図6及び図7は、2つの異なる技術を用いて形成されたアクチュエータの櫛を图示している。図6は、S1818から成る二重フォトレジスト層を用いて形成された櫛を图示しており、除去プロセスは先に議論したように超音波よりもむしろアセトンに依存している。図7は、対照的に、酸化物から形成されたパターンニングされたマスキング層を用いた類似の構成の形成を图示している。理解して頂けるように、本プロセスを用いて形成された櫛フィンガーは低減された表面荒さとより多くの画成された構成とを有する。図6の櫛フィンガーもフィンガー間のより少ない屑に関連されている。各種の屑はアクチュエータの櫛を短絡すると共にデバイス性能を劣化するので、これは製品歩留まり及びデバイス性能を更に増大する。

10

【0041】

図9は、本発明の更なる実施例に従った、MEMS光スイッチを含むスイッチ・パッケージを图示している。例示的なパッケージ900は2×2光スイッチ920を収容するハウジング910を含む。このスイッチ920は、例えば、先の図1及び図2に图示されたスイッチと同様であり得る。4つの光ファイバ930がスイッチ920から延出すると共に、ハウジング910から外側へ延出している。これらファイバ930は、例えば、スイッチ930を他のネットワーク構成要素と相互接続し得る。图示されていないが、ファイバ930は典型的には基板ボディに形成されたチャンネル内を走っている。導電性リード線940はスイッチ930の櫛から、典型的には電源へ延在している。留意されることは、このパッケージが例示目的で提供され且つ限定的ではないことである。数多くのタイプのスイッチ・パッケージが本発明の範囲内に入る。例えば、スイッチ・パッケージは(例えば、ハウジングの外側)外部制御回路、或は、(例えば、ハウジング内、そして、幾つの場合にはスイッチと同一基板上)内部制御回路を含んで提供され得る。更には、この模範的なパッケージは2×2スイッチを描いているが、本発明はそれに限定されない。数多くの異なるタイプのスイッチ・パッケージ、例えば4×4、8×8、16×16マトリックス・スイッチ等のスイッチ・パッケージが、例えばカスケード状スイッチによって形成され得る。また、1×Nスイッチが先に記した光スイッチで具現化され得る。

20

【0042】

先に記したように、本発明は多数の異なる光スイッチの製作に適用可能である。従って、本発明は先に記載された特定例に限定されると考えられるべきではなく、むしろ特許請求の範囲に明確に述べられたような本発明の全ての局面を包含するものと理解されるべきである。様々な変更、均等プロセスは、本発明が適用され得る多数の構造と共に、本発明が向けられた業界における当業者であればこの明細書の吟味に及んで容易に明らかとなるであろう。請求項は、そうした変更及びデバイスを包含することが意図されている。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、本発明の一実施例に従った拡張位置で示された模範的な光スイッチの上面図を图示している。

【図2】 図2は、本発明の一実施例に従った格納位置で示された模範的な光スイッチの上面図を图示している。

40

【図3】 図3A乃至図3Fは、本発明の一実施例に従った模範的なプロセスを图示している。

【図4】 図4は、本発明の別の実施例に従った、製作中における光スイッチの模範的な上面図を图示している。

【図5】 図5は、本発明の更に別の実施例に従った、模範的なミラーの断面図を图示している。

【図6】 図6は、本発明の一実施例に従って形成されたアクチュエータ櫛の斜視図である。

【図7】 図7は、酸化物マスクを用いて形成されたアクチュエータ櫛の斜視図である。

50

【図 8】 図 8 は、本発明の一実施例に従った例示的な導波路の上面図である。

【図 9】 図 9 は、本発明の一実施例に従った切断された部分を具備する模範的なスイッチ・パッケージの斜視図である。

【図 1】

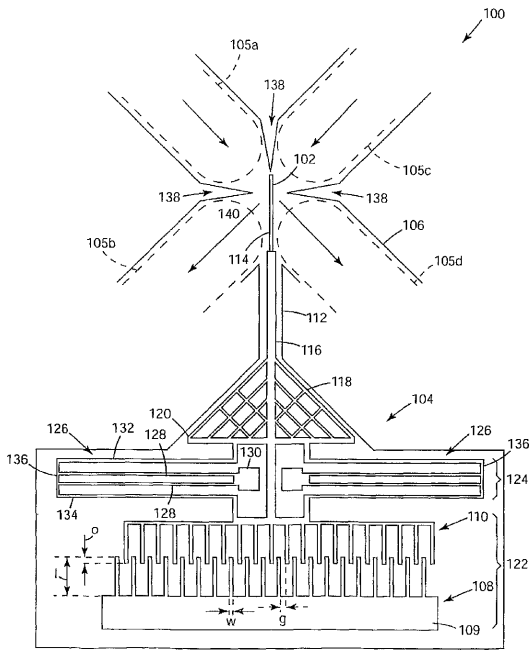


Fig. 1

【図 2】

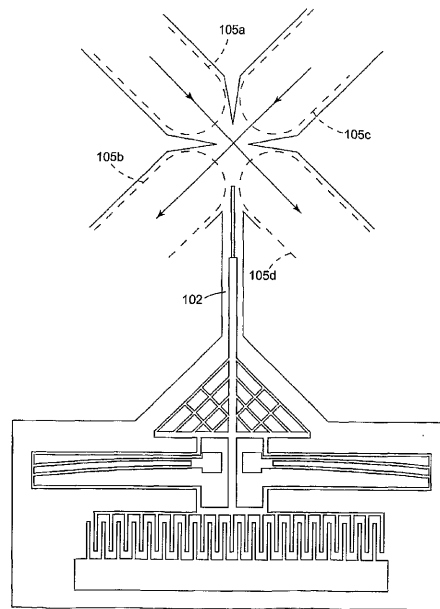
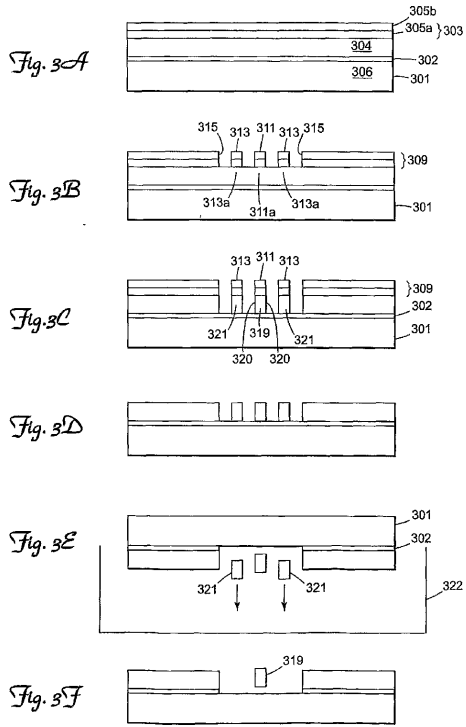
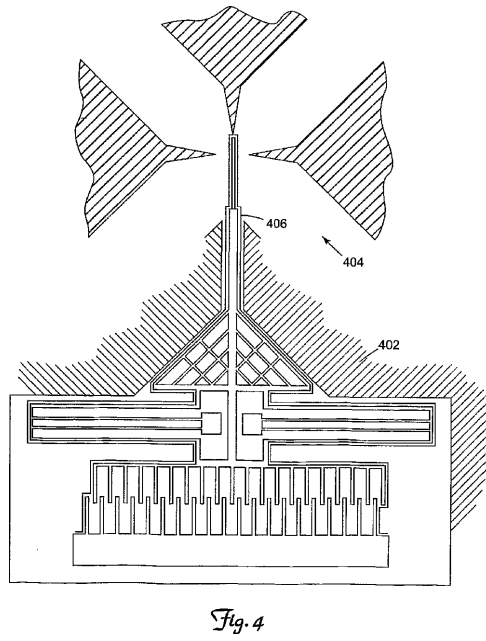


Fig. 2

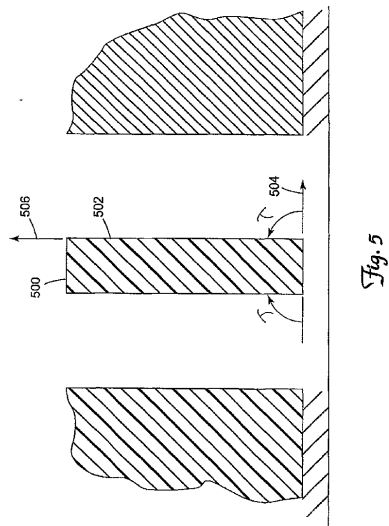
【 図 3 】



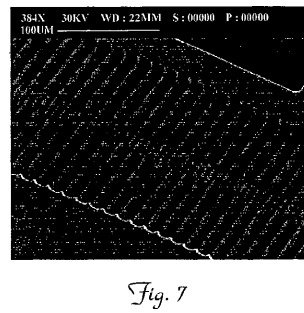
【 図 4 】



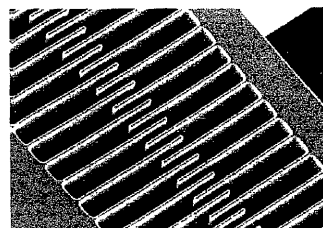
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 6 】



【 図 8 】

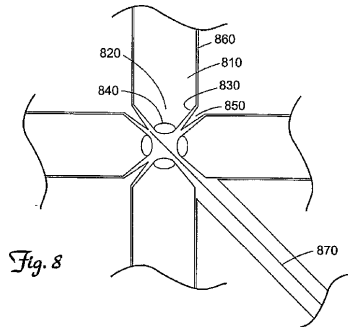
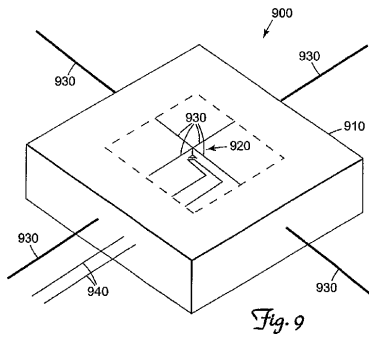


Fig. 6

Fig. 7

Fig. 8

【 図 9 】



フロントページの続き

審査官 吉田 英一

- (56)参考文献 特開2000-028935(JP,A)  
国際公開第98/012589(WO,A1)  
米国特許第05375033(US,A)  
米国特許第05393375(US,A)  
特表平08-506857(JP,A)  
米国特許第05290400(US,A)  
独国特許出願公開第04221918(DE,A1)  
米国特許第04269648(US,A)  
特開平01-224709(JP,A)  
特開昭53-084738(JP,A)  
W. -H. Juan and S. W. Pang, High-Aspect-Ratio Si Vertical Micromirror Arrays for Optical Switching, JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, 1998年 6月, Vol. 7, No. 2, p. 207 - 213  
Cornel Marxer, Christian Thio, Marc-Alexia Gretillat, Nicolaas F. de Rooij, Rainer Battig, Oliver Anthamatten, Bernd Valk, and Paul Vogel, Vertical Mirrors Fabricated by Deep Reactive Ion Etching for Fiber-Optic Switching Applications, JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, 1997年 9月, Vol. 6, No. 3, p. 277 - 285  
R. R. A. Syms, B. M. Hardcastle and R. A. Lawes, Bulk micromachined silicon comb-drive electrostatic actuators with diode isolation, Sensors and Actuators A: Physical, 1997年 9月, Vol. 63, No. 1, p. 61 - 67  
W. Hunziker, E. Bolz and H. Melchior, ELLIPTICALLY LENSED POLARISATION MAINTAINING FIBRES, ELECTRONICS LETTERS, 1992年 8月13日, Vol. 28, No. 17, p. 1654 - 1656

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 26/08