

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2012-524295  
(P2012-524295A)

(43) 公表日 平成24年10月11日(2012.10.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO2B 26/00 (2006.01)</b>	GO2B 26/00	2H042
<b>GO2B 5/122 (2006.01)</b>	GO2B 5/122	2H141
<b>GO2B 5/08 (2006.01)</b>	GO2B 5/08	C

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2012-505979 (P2012-505979)  
 (86) (22) 出願日 平成22年4月16日 (2010. 4. 16)  
 (85) 翻訳文提出日 平成23年12月12日 (2011. 12. 12)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2010/031467  
 (87) 国際公開番号 W02010/121185  
 (87) 国際公開日 平成22年10月21日 (2010. 10. 21)  
 (31) 優先権主張番号 61/170, 536  
 (32) 優先日 平成21年4月17日 (2009. 4. 17)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 511248294  
 シーウェア システムズ  
 S I - W A R E S Y S T E M S  
 アメリカ合衆国 94104 カリフォル  
 ニア州 サンフランシスコ カリフォルニ  
 ア ストリート 555  
 (74) 代理人 110000246  
 特許業務法人OFH特許事務所  
 (72) 発明者 メダット、モスタファ  
 エジプト国 11351 カイロ ヘリオ  
 ポリス バガット ストリート 16  
 (72) 発明者 サダニイ、バサム・エー  
 エジプト国 11371 カイロ ナスル  
 シティ ゾーン 1 ゲハード ストリ  
 ート 7

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光MEMS用途のためのオプトメカニカル光路遅延乗算器

(57) 【要約】

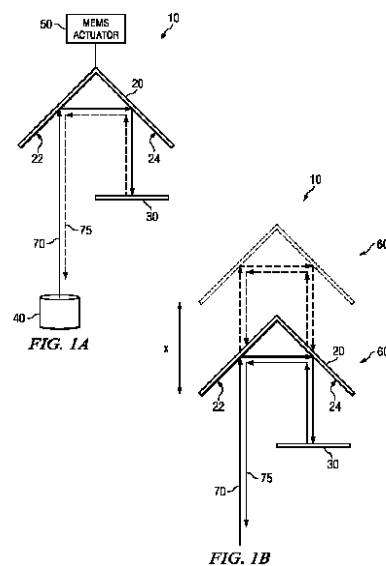
【課題】

光学MEMSデバイスにおいて、所定の機械変位に対し非常に長い光路差を発生させる。

【解決手段】

光学微小電気機械システム(MEMS)デバイスは、光路遅延乗算器を提供する。MEMSデバイスは、可動コーナー・キューブ反射板と、固定ミラーと、MEMSアクチュエータとを含む。可動コーナー・キューブ反射板は、入射ビームを受信して、入射ビームを固定ミラーに向かって、全体として180度の角度で反射するように光学的に結合されている。固定ミラーは、入射ビームの逆方向経路に沿って可動コーナー・キューブ反射板に向かって後方に反射ビームを反射するよう光学的に結合されている。MEMSアクチュエータは、可動コーナー・キューブ反射板に結合されており、可動コーナー・キューブ反射板に変位を発生させて光路長を増大する。

【選択図】 図1A



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

光路遅延乗算器を提供する光学微小電気機械システム（MEMS）デバイスであって、基板と、

前記基板の上に形成された可動コーナー・キューブ反射板であって、当該コーナー・キューブ反射板の第1のエッジで入射ビームを受信するよう光学的に結合され、当該コーナー・キューブ反射板の第2のエッジから入射ビームを反射する可動コーナー・キューブ反射板と、

前記基板上に形成された固定ミラーであって、前記可動コーナー・キューブ反射板から反射された入射ビームを受信するよう光学的に結合され、当該入射ビームを、当該入射ビームの逆方向経路に沿って前記可動コーナー・キューブ反射板に向けて後方に反射して、反射ビームを生成する固定ミラーと、

前記基板上に形成されたMEMSアクチュエータであって、前記可動コーナー・キューブ反射板に結合され、前記固定ミラーの平面に対し垂直な方向に前記可動コーナー・キューブ反射板の変位を発生させて、前記反射ビームの光路長を延長させるMEMSアクチュエータと、

を備えるMEMSデバイス。

**【請求項 2】**

前記固定ミラーは、入射ビームの方向に直角に方向付けられた平面ミラーである、請求項1に記載のMEMSデバイス。

**【請求項 3】**

前記可動コーナー・キューブ反射板の第1の位置と前記可動コーナー・キューブ反射板の第2の位置との間の光路差は、前記第1の位置と第2の位置との間の前記可動コーナー・キューブ反射板の変位の4倍である、請求項1に記載のMEMSデバイス。

**【請求項 4】**

前記可動コーナー・キューブ反射板は、コーナー・キューブ反射板の可動アレイを含み、前記固定ミラーは、入射ビームに平行に反射ビームが生成されるようにコーナー・キューブ反射板の可動アレイからずらして配置された固定ミラーのアレイを含む、請求項1に記載のMEMSデバイス。

**【請求項 5】**

前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第1の位置と前記可動アレイ・コーナー・キューブ反射板の第2の位置との間の光路差は、前記第1の位置と前記第2の位置との間における前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの変位に、前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイ内のコーナー・キューブ反射板の個数の4倍に2を加算した値を乗じて得られる値に等しい、請求項4に記載のMEMSデバイス。

**【請求項 6】**

前記固定ミラーのアレイ内の各固定ミラーは、コーナー・キューブ反射板であって、当該コーナー・キューブ反射板は、一方のエッジにより前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイ内の第1の対応するコーナー・キューブ反射板から入射ビームを受信し、他方のエッジにより前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイ内の第2の対応するコーナー・キューブ反射板に向けて反射ビームを反射するよう結合されている、

請求項4に記載のMEMSデバイス。

**【請求項 7】**

前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの端部に結合され、前記固定ミラーのアレイ内の前記コーナー・キューブ反射板のうちの最後の1つから入射ビームを受信し、前記固定ミラーのアレイ内の前記コーナー・キューブ反射板のうちの最後の1つに向けて、後方に反射ビームを反射して逆方向経路に沿って反射ビームを方向づけるよう光学的に結合された、平面ミラーをさらに備える、

請求項6に記載のMEMSデバイス。

**【請求項 8】**

前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイと前記平面ミラーとの間に結合された第 1 の小型コーナー・キューブ・ミラーと、

前記平面ミラーが結合された前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの端部とは反対側の端部で前記固定ミラーのアレイに結合された、第 2 の小型コーナー・キューブ・ミラーと、

をさらに備え、

前記第 1 及び第 2 の各小型コーナー・キューブ・ミラーの各寸法は、前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイ内の各コーナー・キューブ反射板及び前記固定ミラーのアレイ内の各固定ミラーの各寸法よりも小さい、

請求項 7 に記載の MEMS デバイス。

10

【請求項 9】

前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第 1 の位置と前記可動アレイ・コーナー・キューブ反射板の第 2 の位置との間の光路差は、入射ビームが前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイ及び前記固定ミラーのアレイの中を周回する回数に等しい倍率によって増大され、

この周回回数は、前記第 1 の小型コーナー・キューブ・ミラー及び前記第 2 の小型コーナー・キューブ・ミラーの寸法と入射ビームのスポットサイズとに基づいている、

請求項 8 に記載の MEMS デバイス。

【請求項 10】

前記 MEMS デバイスは、フーリエ変換分光計又はマイケルソン干渉計であり、前記固定ミラーのアレイは、固定ミラーの第 1 のアレイであり、

20

固定ミラーの第 2 のアレイと、

検出器と、

入射ビームを受信して当該入射ビームを第 1 の入射ビームと第 2 の入射ビームとに分割するよう光学的に結合されたビームスプリッタであって、前記第 1 の入射ビームを、前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの中の最初のコーナー・キューブ反射板に向けて方向づけて、第 1 の順方向及び逆方向経路に沿って前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第 1 の側面と前記固定ミラーの第 1 のアレイとの間で反射させ、前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの中の最初のコーナー・キューブ反射板から第 1 の反射ビームとして出力させるビームスプリッタと、

30

前記第 2 の入射ビームを受信して前記固定ミラーの第 2 のアレイの中の最初の固定ミラーに向けて前記第 2 の入射ビームを反射するよう光学的に結合された補助ミラーであって、前記第 2 の入射ビームを第 2 の順方向及び逆方向経路に沿って前記第 2 の固定ミラーのアレイと前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第 2 の側面との間で反射させ、前記固定ミラーの第 2 のアレイの中の最初の固定ミラーから第 2 の反射ビームとして出力させる補助ミラーと、

をさらに備え、

前記補助ミラーは、さらに、前記第 2 の反射ビームを受信して前記ビームスプリッタに向けて前記第 2 の反射ビームを反射するよう光学的に結合されており、

前記ビームスプリッタは、さらに、前記第 1 の反射ビームを受信して前記第 1 の反射ビームと前記第 2 の反射ビームとを合成するよう光学的に結合され、前記検出器に向けて合成ビームを生成する、

40

請求項 4 に記載の MEMS デバイス。

【請求項 11】

前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第 1 の位置と前記可動アレイ・コーナー・キューブ反射板の第 2 の位置との間の光路差は、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置との間における前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの変位に、前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイ内のコーナー・キューブ反射板の個数の 4 倍に 2 を加算した値を 2 倍して乗じて得られる値に等しい、請求項 10 に記載の MEMS デバイス。

【請求項 12】

50

前記コーナー・キューブ反射板のアレイ内の各コーナー・キューブ反射板は、角度90度ないし120度を有し、前記固定ミラーのアレイ内の各固定ミラーは、対応する角度を有している、請求項4に記載のMEMSデバイス。

【請求項13】

前記角度は、約110度である、請求項12に記載のMEMSデバイス。

【請求項14】

前記固定ミラーのアレイ及び前記MEMSアクチュエータは、深堀反応性イオンエッチング・プロセスを用いて作製され、前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイは、異方性アルカリ・ウェット・エッチング・プロセスを用いて作製される、請求項12に記載のMEMSデバイス。

10

【請求項15】

前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの中の最初のコーナー・キューブ反射板に向けて入射ビームを方向付ける光源をさらに備える、請求項4に記載のMEMSデバイス。

【請求項16】

前記第1のエッジ及び前記第2のエッジは、互いに直交し、

前記可動コーナー・キューブ反射板は、さらに、前記第1のエッジ及び前記第2のエッジに垂直である第3のエッジを含み、前記第3のエッジは前記基板を含んでおり、

前記第1のエッジ及び前記第2のエッジは空隙によって前記基板から分離されて運動可能に構成されており、前記第3のエッジは静止した状態を保つよう構成されている、請求項1に記載のMEMSデバイス。

20

【請求項17】

前記入射ビームは、前記基板の平面に平行ではない、請求項17に記載のMEMSデバイス。

【請求項18】

前記入射ビームは、前記基板の平面に平行である、請求項1に記載のMEMSデバイス。

【請求項19】

光路遅延乗算器を提供する微小電気機械システム(MEMS)として作製されるマイケルソン干渉計であって、

30

固定ミラーの第1のアレイ及び第2のアレイと、

前記固定ミラーの第1のアレイと第2のアレイとの間のエリア内で、前記固定ミラーの第1のアレイ及び第2のアレイの平面に直交する方向に移動可能なコーナー・キューブ反射板の可動アレイと、

検出器と、

入射ビームを受信して当該入射ビームを第1の入射ビームと第2の入射ビームとに分割するよう光学的に結合されたビームスプリッタであって、前記第1の入射ビームを、前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの中の最初のコーナー・キューブ反射板に向けて方向付けて、第1の順方向及び逆方向経路に沿って前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第1の側面と前記固定ミラーの第1のアレイとの間で反射させ、前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの中の最初のコーナー・キューブ反射板から第1の反射ビームとして出力させるビームスプリッタと、

40

前記第2の入射ビームを受信して前記固定ミラーの第2のアレイの中の最初の固定ミラーに向けて前記第2の入射ビームを反射するよう光学的に結合された補助ミラーであって、前記第2の入射ビームを第2の順方向及び逆方向経路に沿って前記第2の固定アレイミラーと前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第2の側面との間で反射させ、前記固定ミラーの第2のアレイの中の最初の固定ミラーから第2の反射ビームとして出力させる補助ミラーと、

を備え、

前記補助ミラーは、さらに、前記第2の反射ビームを受信して前記ビームスプリッタに

50

向けて前記第 2 の反射ビームを反射するよう光学的に結合されており、

前記ビームスプリッタは、さらに、前記第 1 の反射ビームを受信して前記第 1 の反射ビームと前記第 2 の反射ビームとを合成するよう光学的に結合され、前記検出器に向けて合成ビームを生成する、

マイケルソン干渉計。

【請求項 20】

前記入射ビームを前記ビームスプリッタに向けて方向付ける光源をさらに備える、請求項 19 に記載のマイケルソン干渉計。

【請求項 21】

前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第 1 の位置と前記可動アレイ・コーナー・キューブ反射板の第 2 の位置との間の光路差は、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置との間における前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイの変位に、前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイ内のコーナー・キューブ反射板の個数の 4 倍に 2 を加算した値を 2 倍して乗じて得られる値に等しい、請求項 19 に記載のマイケルソン干渉計。

10

【請求項 22】

前記コーナー・キューブ反射板の可動アレイに結合され、前記可動コーナー・キューブ反射板のアレイに変位を発生させる MEMS アクチュエータをさらに備える、請求項 19 に記載のマイケルソン干渉計。

【請求項 23】

光路遅延乗算器を提供する光学微小電気機械システム (MEMS) デバイスを作製する方法であって、

20

上面及び下面を有するシリコン・オン・インシュレータ (SOI) ウェハを準備するステップと、

可動コーナー・キューブ反射板であって当該コーナー・キューブ反射板の 1 つのエッジで入射ビームを受信するよう光学的に結合され、当該コーナー・キューブ反射板の他のエッジから当該入射ビームを反射する可動コーナー・キューブ反射板と、前記コーナー・キューブ反射板から前記入射ビームを受信するよう光学的に結合され、前記入射ビームの逆方向経路に沿って前記可動コーナー・キューブ反射板に向かって後方に前記入射ビームを反射して反射ビームを生成する固定ミラーと、前記可動コーナー・キューブ反射板に結合され、前記固定ミラーの平面に対し垂直な方向に前記可動コーナー・キューブ反射板の変位を発生させて前記反射ビームの光路長を延長させる MEMS アクチュエータと、を SOI ウェハの上面内にフォトリソグラフィ的に画定するステップと、

30

深掘反応性イオンエッチング・プロセスを用いて、前記 SOI ウェハの前記上面と前記 SOI ウェハの前記下面との間をエッチングして、前記固定ミラー及び前記 MEMS アクチュエータを形成するステップと、

異方性アルカリ・ウェット・エッチング・プロセスを用いて、前記 SOI ウェハの前記上面と前記 SOI ウェハの前記下面との間をエッチングして、前記可動コーナー・キューブ反射板を形成するステップと、

を含む方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、光学 MEMS (Micro Electro-Mechanical System) に係わり、特に、MEMS テクノロジーを使用する光路遅延乗算器装置に関する。

【背景技術】

【0002】

微小電気機械システム (MEMS) とは、微細加工テクノロジーにより共通のシリコン基板上に、機械要素と、センサと、アクチュエータと、エレクトロニクス (電子機器) とを集積化したものを意味する。例えば、マイクロエレクトロニクスは、通常、集積回路 (IC) プロセスを使用して作製されるが、マイクロメカニカル部品は、当該プロセスと同

50

様のマイクロ機械加工プロセスを用いて、シリコンウェハの一部を選択的にエッチング除去したり新しい構造層を付加することにより機械部品及び電気機械部品を形成して作製される。MEMSデバイスは、低コストで、バッチ生産が可能であり、標準的なマイクロエレクトロニクスと互換性を持つことから、分光測定、形状測定、環境センシング、屈折率測定（又は材料認識）、その他のセンサ用途に適した魅力的な候補である。さらに、MEMSデバイスはサイズが小さいので、モバイルデバイスやハンドヘルドデバイスにMEMSデバイスを一体的に組み込むことができる。

#### 【0003】

近年、MEMSデバイスは、機械的な距離をこれと等価なより長い光学距離に変換することによって、大きな光学変位を必要とする多くの光学用途で利用されている。例えば、MEMSテクノロジーは、多くのフーリエ変換分光計及びマイケルソン干渉計において十分な分解能を提供できる。他の例として、MEMSデバイスは、種々の光コヒーレンストモグラフィ（Optical Coherence Tomography、OCT）用途において十分なスキャン深さを生成することができる。さらに、MEMSデバイスを用いて、移動可能なMEMSミラーにより光ビームの作動距離（working distance）を操作することにより、動的な集光動作を実現することもできる。

#### 【0004】

特に分光計の分野では、近赤外（NIR、near infra-red）の1500nm付近において約50nmの分解能（ $220\text{ cm}^{-1}$ ）を達成するシリコンMEMSフーリエ変換分光計が導入されている。さらに、2～13.5 $\mu\text{m}$ のスペクトル範囲で用いられるMEMSベースのフーリエ変換IR（Fourier transform-IR）分光計も提案されている。このようなIR分光計において目標とされる分解能は $10\text{ cm}^{-1}$ であり、これにはおよそ0.5mmのミラー移動が必要となる。しかし、将来のMEMSベースのフーリエ変換分光計では、より高い分解能が必要となる。このようなより高い分解能を達成するには、光路差すなわち光路遅延を増大する必要がある。残念ながら、このような光路遅延の増大は、既存の小型MEMSデバイスが有する小さな機械的変位とは相いれないものである。

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0005】

したがって、所定の機械的変位に対し非常に長い光路差の達成を可能にする光学MEMSデバイスが必要とされている。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0006】

本発明の実施形態は、光路遅延乗算器を提供する光学微小電気機械システム（MEMS）デバイスである。MEMSデバイスは、可動コーナー・キューブ反射板と、固定ミラーと、MEMSアクチュエータとを含む。可動コーナー・キューブ反射板は、当該コーナー・キューブ反射板の一方のエッジで入射ビームを受信するよう光学的に結合され、コーナー・キューブ反射板の他方のエッジから入射ビームを反射する。固定ミラーは、可動コーナー・キューブ反射板から反射された入射ビームを受信するように光学的に結合され、当該入射ビームを、当該入射ビームの逆方向経路に沿って可動コーナー・キューブ反射板に向けて後方に反射して、反射ビームを生成する。MEMSアクチュエータは、可動コーナー・キューブ反射板に結合され、固定ミラーの平面に対し垂直な方向に可動コーナー・キューブ反射板の変位を発生させて、反射ビームの光路長を延長する。

#### 【0007】

一実施形態では、可動コーナー・キューブ反射板の第1の位置と可動コーナー・キューブ反射板の第2の位置との間の光路差は、第1の位置と第2の位置との間の可動コーナー・キューブ反射板の変位の4倍である。

#### 【0008】

さらなる実施形態では、可動コーナー・キューブ反射板は、コーナー・キューブ反射板の可動アレイを含み、固定ミラーは、入射ビームに平行に反射ビームが生成されるように

10

20

30

40

50

コーナー・キューブ反射板の可動アレイからずらして配置 (offset) された、固定ミラーのアレイを含む。さらに、固定ミラーのアレイ内の各固定ミラーは、コーナー・キューブ反射板とすることができ、該コーナー・キューブ反射板は、一方のエッジによりコーナー・キューブ反射板の可動アレイ内の第1の対応するコーナー・キューブ反射板から入射ビームを受信し、他方のエッジによりコーナー・キューブ反射板の可動アレイ内の第2の対応するコーナー・キューブ反射板に向けて反射ビームを反射するよう結合させることができる。さらに、コーナー・キューブ反射板の可動アレイの端部に平面ミラーを結合し、当該平面ミラーは、固定ミラーのアレイ内のコーナー・キューブ反射板のうちの最後の1つから入射ビームを受信し、固定ミラーのアレイ内のコーナー・キューブ反射板のうちの最後の1つに向けて、後方に反射ビームを反射して逆方向経路に沿って反射ビームを方向づけるよう光学的に結合されたものとして行うことができる。

10

**【0009】**

本実施形態では、コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第1の位置と可動アレイ・コーナー・キューブ反射板の第2の位置との間の光路差は、第1の位置と第2の位置との間におけるコーナー・キューブ反射板の可動アレイの変位に、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ内のコーナー・キューブ反射板の個数の4倍に2を加算した値を乗じて得られる値に等しい。

**【0010】**

さらに他の実施形態では、光学MEMSデバイスは、コーナー・キューブ反射板の可動アレイと平面ミラーとの間に結合された第1の小型コーナー・キューブ・ミラーと、上記平面ミラーが結合されたコーナー・キューブ反射板の可動アレイの端部とは反対側の端部で固定ミラーのアレイに結合された、第2の小型コーナー・キューブ・ミラーとをさらに含む。第1及び第2の各小型コーナー・キューブ・ミラーの寸法は、コーナー・キューブ反射板の可動アレイおよび固定アレイに用いられている各コーナー・キューブ反射板の寸法よりも小さい。本実施形態では、コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第1の位置と可動アレイ・コーナー・キューブ反射板の第2の位置との間の光路差は、入射ビームがコーナー・キューブ反射板の可動アレイ及び固定ミラーのアレイの中を周回する回数に等しい倍率で増大され、この周回回数は、第1及び第2の小型コーナー・キューブ・ミラーの寸法と入射ビームのスポットサイズとに基づいている。

20

**【0011】**

本発明の実施形態は、さらに、光路遅延乗算器を備えた微小電気機械システム (MEMS) として作製されたマイケルソン干渉計を提供する。干渉計は、固定ミラーの第1のアレイ及び第2のアレイと、固定ミラーの第1のアレイと第2のアレイの平面に直交する方向に、当該固定ミラーの第1のアレイと第2のアレイとの間のエリア内で移動可能に構成されたコーナー・キューブ反射板の可動アレイと、検出器と、ビームスプリッタと、補助ミラーとを含む。

30

**【0012】**

ビームスプリッタは、入射ビームを受信して、当該入射ビームを第1の入射ビームと第2の入射ビームとに分割するよう光学的に結合されている。第1の入射ビームは、コーナー・キューブ反射板の可動アレイの中の最初のコーナー・キューブ反射板に向けて方向づけられ、第1の順方向及び逆方向経路に沿ってコーナー・キューブ反射板の可動アレイの第1の側面と固定ミラーの第1のアレイとの間で反射され、コーナー・キューブ反射板の可動アレイの中の最初のコーナー・キューブ反射板から当該ビームスプリッタへ向かって戻る第1の反射ビームとして出力される。

40

**【0013】**

補助ミラーは、第2の入射ビームを受信して固定ミラーの第2のアレイの中の最初の固定ミラーに向けて第2の入射ビームを反射するよう光学的に結合されており、第2の入射ビームを第2の順方向及び逆方向経路に沿って第2の固定ミラーのアレイとコーナー・キューブ反射板の可動アレイの第2の側面との間で反射させ、固定ミラーの第2のアレイの中の最初の固定ミラーから第2の反射ビームとして出力させる。

50

補助ミラーは、さらに、第2の反射ビームを受信し、ビームスプリッタに向けて第2の反射ビームを反射するように光学的に結合されている。ビームスプリッタは、さらに、第1の反射ビームと第2の反射ビームとを合成するように光学的に結合されており、検出器に向けて合成ビームを生成する。

【0014】

本実施形態では、コーナー・キューブ反射板の可動アレイの第1の位置と可動アレイ・コーナー・キューブ反射板の第2の位置との間の光路差は、第1の位置と第2の位置との間におけるコーナー・キューブ反射板の可動アレイの変位に、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ内のコーナー・キューブ反射板の個数の4倍に2を加算した値を2倍して乗じて得られる値に等しい。

【0015】

本発明の実施形態は、さらに、光路遅延乗算器を提供する光学微小電気機械システム(MEMS)デバイスを作製する方法を提供する。この方法は、上面及び下面を有するシリコン・オン・インシュレータ(SOI)ウェハを準備するステップと、SOIウェハの上面内に、可動コーナー・キューブ反射板であって当該コーナー・キューブ反射板の1つのエッジで入射ビームを受信するよう光学的に結合され、当該コーナー・キューブ反射板の他のエッジから当該入射ビームを反射する可動コーナー・キューブ反射板と、コーナー・キューブ反射板から入射ビームを受信するよう光学的に結合され、入射ビームの逆方向経路に沿って可動コーナー・キューブ反射板に向かって後方に入射ビームを反射して反射ビームを生成する固定ミラーと、可動コーナー・キューブ反射板に結合され、固定ミラーの平面に対し垂直な方向に可動コーナー・キューブ反射板の変位を発生させて反射ビームの光路長を延長させるMEMSアクチュエータと、をフォトリソグラフィ的に画定するステップとを含む。この方法は、深堀反応性イオンエッチング・プロセスを用いてSOIウェハの上面とSOIウェハの下面との間をエッチングし、固定ミラーとMEMSアクチュエータとを形成するステップと、異方性アルカリ・ウェット・エッチング・プロセスを使用してSOIウェハの上面とSOIウェハの下面との間をエッチングして、可動コーナー・キューブ反射板を形成するステップとをさらに含む。

【0016】

本発明のより完全な理解は、添付図面と併せて利用されるときに以下の詳細な説明を参照して達成されることができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1A】本発明の実施形態に係る光路遅延乗算器を提供する光学MEMSデバイスの一例を示す図である。

【図1B】本発明の実施形態に係る光学MEMSデバイスの運動の一例を示す図である。

【図1C】本発明の実施形態に係る光学MEMSデバイスの一例の斜視図である。

【図2】本発明の実施形態に係る、光路遅延乗算器を提供する、他の光学MEMSデバイスの一例を示す図である。

【図3】本発明の実施形態に係る光学MEMSデバイスの一例の平面図である。

【図4】本発明の実施形態に係る、光路遅延乗算器を提供する、さらに他の光学MEMSデバイスの一例を示す図である。

【図5】本発明の実施形態に係る、MEMS光路遅延乗算器を実施するマイケルソン干渉計の一例を示す図である。

【図6A】本発明の実施形態に係る、光路遅延乗算器を提供するさらに他の光学MEMSデバイスの一例を示す図である。

【図6B】本発明の実施形態に係る、光路遅延乗算器を提供するさらに他の光学MEMSデバイスの一例を示す図である。

【図7A】本発明の実施形態に係る、光学MEMSデバイスの作製方法の作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図7B】本発明の実施形態に係る、光学MEMSデバイスの作製方法の作製プロセスス

10

20

30

40

50



ステップの一例を示す図である。

【図 7 C】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製方法の作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 7 D】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製方法の作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 7 E】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製方法の作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 7 F】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製方法の作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 7 G】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製方法の作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 7 H】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製方法の作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 7 I】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製方法の作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 7 J】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製方法の作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 8 A】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの他の作製方法の、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 8 B】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの他の作製方法の、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 8 C】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの他の作製方法の、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 8 D】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの他の作製方法の、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 8 E】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの他の作製方法の、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 9 A】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製に用いるシャドーマスクを作製するための、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 9 B】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製に用いるシャドーマスクを作製するための、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 9 C】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製に用いるシャドーマスクを作製するための、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 9 D】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製に用いるシャドーマスクを作製するための、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 9 E】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製に用いるシャドーマスクを作製するための、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【図 9 F】本発明の実施形態に係る、光学 MEMS デバイスの作製に用いるシャドーマスクを作製するための、作製プロセスステップの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明の実施形態による光学 MEMS デバイスは、MEMS 移動ミラーの小さな機械的変位により、大きな光路遅延（光路差）を実現する。MEMS 移動ミラーは、所望の延長された光路差を実現するように配置されたコーナー・キューブ反射板を含む。この光学 MEMS デバイスを用いることにより、MEMS FTIR 分光計の解像度範囲を既存の方法に比べて桁違いに高くして、従来の高解像度の実験計測用分光計に匹敵させることが可能である。本光学 MEMS デバイスを用いて、光コヒーレンストモグラフィ（OCT）用途においてスキャン深さ測定範囲を増大することもできる。さらに、本光学 MEMS デバイスは、小さな物理的変位で大きな光路距離を実現しなければならないその他の MEMS 用途にも使用することができる。

10

20

30

40

50

## 【0019】

図1Aには、本発明の実施形態に係る光学微小電気機械システム(MEMS)デバイスの一例が示されている。本光学MEMSデバイス10は、図7ないし9を用いて後述するように、例えば、1回のリソグラフィステップと標準的なメタライゼーションによる従来型のMEMSテクノロジーを用いて作製することができる。

## 【0020】

光学MEMSデバイス10は、可動反射板20と、固定ミラー30と、光源40と、MEMSアクチュエータ50とを含む。光源40は、例えば、レーザ光源、コリメートLED(collimated LED)、光ファイバ、又は、その他のタイプの光源とすることができる。光源40は、可視光、赤外線(Infra Red、IR)、紫外線(Ultra Violet、UV)、X線、又は、マイクロ波放射を生成するものとしてもよい。MEMSアクチュエータ50は、静電櫛形駆動アクチュエータ又はその他のタイプのMEMSアクチュエータとすることができる。図1Aに示された可動反射板20は、互いに直角に配置された2台のミラーを含むコーナー・キューブ反射板であり、両ミラーに直交する平面内のいずれかの方向から入射するビームは、その方向が全体として180度変化するように反射される。しかし、他の実施形態では、可動反射板20は、図6A及び6Bを用いて後述するように、互いに対し異なる角度で設置された2台のミラーを含むものとしてもよい。

10

## 【0021】

可動反射板20は、光源40から入射ビーム70を受信し、入射ビーム70を180度反射するように光学的に結合されている。より具体的には、可動反射板20は、コーナー・キューブ反射板20の一方のエッジ22で入射ビーム70を受信し、コーナー・キューブ反射板20の他方のエッジ24から固定ミラー30に向けて当該入射ビームを反射する。固定ミラー30は、図1では、入射ビーム70の方向に対し直交する方向に設けられた平面ミラーとして示されている。固定ミラー30は、入射ビームを反射して可動反射板20の方向へ戻し、入射ビーム70の逆方向経路に沿って伝搬する反射ビーム75を生成する。MEMSアクチュエータ50は、固定ミラー30の面に垂直な方向に可動反射板20の変位を発生させて、反射ビーム75の光路長を延長する。

20

## 【0022】

例えば、図1Bに示されるように、コーナー・キューブ反射板20が入射ビーム70と平行な方向に距離xだけ機械的に変位したとき、2本の光路(すなわち、コーナー・キューブ反射板が最初の位置60aにあるときと、コーナー・キューブ反射板が別の位置60bにあるとき)の間の光路差は、xをコーナー・キューブ反射板20の機械的変位とすれば、4xである。よって、1台のキューブ反射板20を用いることで、MEMSデバイスにおいて通常使用される従来型の平面ミラーの光路差の2倍の光路差を得ることができる。

30

## 【0023】

光路遅延乗算器を備えた光学MEMSデバイスの一例を示す斜視図を、図1Cに示す。図1Cから分かるように、可動反射板20及び固定ミラー30は、それぞれ基板80上に作製されている。固定ミラー30は、基板80の埋込酸化物(buried oxide、BOX)層82の上であり、空隙86は、可動反射板20が基板80の表面上でスライドできるように、基板80を可動反射板20から分離する。メタライゼーション層84は、基板80と、可動コーナー・キューブ反射板20の第1及び第2のエッジ22及び24と、これに対向する固定ミラー30のエッジとを覆っている。

40

## 【0024】

入射ビームにおける傾斜角(tilt angle)又は剪断角(shear angle)を補償し、反射板の角度にかかわらず反射ビームが入射ビームに対し平行に逆進することを確実にするため、図1Cにおけるコーナー・キューブ反射板20は、3個の垂直なエッジ、すなわち、2つの移動エッジ22及び24と、第3の反射板エッジとして機能するメタライズド基板25とを含んでいる。3つのコーナー・キューブ反射板エッジ22、24及び25は、図7ないし9を用いて後述されるように、すべてが1ステップで形成され、メタライズされ

50

るが、2つの移動エッジ22及び24だけが一体となって移動し、基板エッジ25は、固定された状態を保つ。このように、アレイ状コーナー・キューブ反射板20は、入射光ビームが基板80の平面に平行である場合には図示されたように位置決めすることができるし、第3のエッジ25により入射ビームの剪断 (shear) 及び傾斜 (tilt) を補償しようとするときは、これと異なる態様で配置することもできる。

#### 【0025】

図2では、可動反射板20として、1台のコーナー・キューブ反射板を使用する代わりに、コーナー・キューブ反射板のアレイ100が設けられている。さらに、固定ミラー30として、1台の平面ミラーを使用する代わりに、固定ミラーのアレイ110が設けられている。固定ミラーのアレイ110は、反射ビーム75が入射ビーム70に対して平行となるように、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ100からずらして配置 (offset) されている。より具体的には、固定ミラーのアレイ110内の各固定ミラーもコーナー・キューブ反射板であり、その一方のエッジにより、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ100内の第1のコーナー・キューブ反射板から入射/反射ビームを受信し、他方のエッジにより、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ100内の第1のコーナー・キューブ反射板に隣接する第2のコーナー・キューブ反射板に向けて入射/反射ビームを反射するように結合されている。コーナー・キューブ反射板の可動アレイ100内の各コーナー・キューブ反射板は、追加的な4倍の光路差を生成する。

#### 【0026】

さらに、平面ミラー105が、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ100の端部に結合されており、当該平面ミラー105は、固定ミラーのアレイ110の中の最後の固定ミラーから入射ビーム70を受信し、固定ミラーのアレイ110の中の最後の固定ミラーに向かって逆方向に反射ビーム75を反射させるよう光学的に結合され、入射ビーム70の逆方向経路に沿って反射ビームを伝搬させる。これにより、平面ミラー105からの反射によって、付加的な2xが、光路差 (OPD) 又は光路遅延に加算される。一般に、N個のコーナー・キューブ反射板のアレイが機械的変位xだけ移動した場合、OPDは次式で与えられる。

#### 【数1】

$$OPD = (4N + 2) x \quad (\text{式1})$$

例えば、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ100の移動距離 (x) が約100 μmであり、アレイ100の中に4個のコーナー・キューブ反射板が存在する場合、(第1の位置60a及び第2の位置60bでの) 2本のビーム間のOPDは1.8mmであり、これは光学分解能5.55 cm<sup>-1</sup>に対応する。

#### 【0027】

図3は、本発明の実施形態に係る光学MEMSデバイスの一例を示す平面図である。図3では、MEMSアクチュエータ50は、可動反射板20に連結された静電櫛形駆動アクチュエータである。可動反射板20は、コーナー・キューブ反射板のアレイ100と、当該コーナー・キューブ反射板のアレイ100の端部に結合された固定ミラー105とを含む。固定ミラー30は、可動アレイ100からずらして配置 (offset) された固定ミラー (コーナー・キューブ反射板でもある) のアレイ110を含んでおり、これにより、入射ビーム70は、順方向及び逆方向経路に沿ってアレイ100と110とで反射され、アレイ100及び110の入口から反射ビーム75として出力される。MEMSアクチュエータ50は、入射ビーム70から離れる方向に (すなわち、入射ビームに平行で、かつ、固定アレイ100の平面に垂直な方向に) 可動アレイ100の全体の変位を発生させ、その結果、反射ビーム75の光路長を増大させる。このように、MEMSアクチュエータ50の運動が、反射ビーム75の光路遅延を、数桁増大させることとなる。

#### 【0028】

図4は、光路遅延を一桁増大することのできる他の光学MEMSデバイスの一例を示す図である。図4では、2台の小型コーナー・キューブ・ミラー120及び125が可動コ

10

20

30

40

50

ーナー・キューブ・アレイ 100 及び固定コーナー・キューブ・アレイ 110 の、相対向する側の端部に付加されている。より具体的には、第 1 の小型コーナー・キューブ・ミラー 120 は、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ 100 と平面ミラー 105 との間に結合され、第 2 の小型コーナー・キューブ・ミラー 125 は、平面ミラー 105 が結合されているコーナー・キューブ反射板の可動アレイ 100 の端部とは反対側の、固定ミラーのアレイ 110 の端部に結合されている。第 1 及び第 2 の小型コーナー・キューブ・ミラー 120、125 の寸法（すなわち、各エッジの長さ）は、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ 100 内および固定ミラーのアレイ 110 内の各コーナー・キューブ反射板の各寸法よりも小さい。

#### 【0029】

小型コーナー・キューブ反射板 120 及び 125 は、入射ビームを、本構造体の内部（すなわち、可動反射板 100 と固定反射板 110 との間）で周回させて平面ミラー 105 まで案内し、入射ビームと同じ経路をたどって逆方向に伝搬する反射ビームを生成する。図 4 では、入射ビームは、3 回周回した後、平面ミラー 105 に衝突して後方に反射される。小型コーナー・キューブ反射板 120 及び 125 を追加したことにより、ビームの周回数を M とすれば、光路距離は M 倍となる。ここで、M は、2 個の小型コーナー・キューブ反射板 120 及び 125 の寸法とビーム・スポット・サイズとによって決定される。

#### 【0030】

図 5 は、本発明の実施形態に係る MEMS 光路遅延乗算器を備えたマイケルソン干渉計 200 の一例を示す図である。図 5 では、干渉計の 2 個のミラーは結合され、2 個の固定ミラー 30a 及び 30b を備えた一つの構造体となっており、この構造体は、2 つの固定コーナー・キューブ・アレイと、可動コーナー・キューブ・アレイである 1 個の可動反射板 20 とを有している。

#### 【0031】

干渉計 200 は、移動ミラー 20 の運動により、一方の干渉計アームに光路増加が、他方の干渉計アームに同量の光路減少が、発生するように設計されている。例えば、可動反射板 20 が固定ミラー 30a から遠ざかるにつれて、この可動反射板と当該固定ミラーとの間の光路長は増加し、可動反射板 20 と固定ミラー 30b との間の光路長は減少する。この構成体は、単一のコーナー・キューブ・アレイにより得られる光路差に比べ、光路差を 2 倍に増大する。例えば、図 5 に示された干渉計 200 の光路差（OPD）は、

#### 【数 2】

$$OPD = 2(4N + 2)x \quad (\text{式 2})$$

と表現することができる。この式は、前述の例と同じ条件、すなわち、4 個のコーナー・キューブ反射板を含み、アクチュエータ運動が  $100 \mu\text{m}$  である場合には、この干渉計 200 が  $3.6 \text{ mm}$  の光路差を発生することを意味する。この光路差は、干渉計分解能  $2.77 \text{ cm}^{-1}$  に相当する。

#### 【0032】

干渉計 200 の細部を参照すると、本マイケルソン干渉計は、光源 210 と、ビームスプリッタ 220 と、補助ミラー 230 と、検出器 240 と、可動反射板 20（コーナー・キューブ反射板の可動アレイ）と、2 台の固定ミラー 30a 及び 30b（固定ミラーのアレイ）とを含む。動作の一例として、ビームスプリッタ 220 は、光源 210 から入射ビーム 70 を受信し、入射ビーム 70 を第 1 の入射ビーム 70a と第 2 の入射ビーム 70b とに分割するように光学的に結合されている。第 1 の入射ビーム 70a は、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ 20 のうちの最初のコーナー・キューブ反射板に向かい、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ 20 の第 1 の側面 26 と固定ミラーの第 1 のアレイ 30a との間を、第 1 の順方向及び逆方向経路に沿って反射された後、第 1 の反射ビーム 75a として、コーナー・キューブ反射板の可動アレイ 20 のうちの最初のコーナー・キューブ反射板からビームスプリッタ 220 に向かって出力される。

#### 【0033】

補助ミラー 230 は、第 2 の入射ビーム 70b を受信し、当該第 2 の入射ビームを固定

10

20

30

40

50

ミラーの第2のレイ30b内の最初の固定ミラーに向けて反射するよう光学的に結合されており、これにより、反射された第2の入射ビームは、固定ミラーの第2のレイ30bとコーナー・キューブ反射板の可動レイ20の第2の側面28との間で、第2の順方向及び逆方向経路に沿って反射され、固定ミラーの第2のレイ30bのうちの最初の固定ミラーから第2の反射ビーム75bとして出力される。補助ミラー230は、さらに、第2の反射ビーム75bを受信し、当該第2の反射ビームをビームスプリッタ220に向けて反射するように光学的に結合されている。ビームスプリッタ220は、第1の反射ビーム75aと第2の反射ビーム75bとを分割し、合成された第1及び第2の反射ビームを検出器240に向けて伝搬させる。

【0034】

図5はマイケルソン干渉計に関するものであるが、他の実施形態として、同様の構造を用いてフーリエ変換分光計その他の種類の光学装置を実施できるものと理解すべきである。

【0035】

図6A及び6Bは、本発明の実施形態に係る光路遅延乗算を備えた、さらに他の光学MEMSデバイスの一例を示している。図6A及び6Bでは、移動ミラー20及び固定ミラー30は、それぞれ、図2に示したような反射板のレイ100及び110を含む。ただし、レイ100及び110内の反射板は、コーナー・キューブ反射板ではない。しかも、これらの反射板は、それぞれ、反射板の2つのエッジの間の角度が直角ではない。図6Aに示したように、各反射板の2つのエッジ間の角度は、109.47度である。

【0036】

図6Bに示すように、反射板は、例えば、図8Aないし8Eを用いて後述するように、SOIウェハの(110)デバイス層300の異方性アルカリ・ウェット・エッチングを用いて作製することができる。このエッチングは、垂直異方性エッチングを行えるだけでなく、デバイス層の<111>平面310に滑らかな表面を形成する。ウェット・エッチングの結果として、反射板の角度は、<111>垂直平面310間の角度に起因して約109.47°となる。

【0037】

反射ビームは、やはり入力ビーム70に対し平行な経路に沿って反射されるので、コーナー・キューブ状ミラーからの2回の連続的な反射サイクルにより、移動ミラー20と固定ミラー30とは、上記と同様の態様で動作する。ただし、ビーム経路遅延又は光路差(OPD)を与える式は、<111>平面角度に起因したビームの非直交経路を含むように、僅かに修正する必要がある。

【0038】

次に、図7ないし9には、本発明の実施形態に係る、光路遅延乗算器を備えた光学MEMSデバイスを作製するための、作製プロセスの一例が示されている。図7Aないし7Jは、作製プロセスの第1の例を示す。本作製プロセスでは、コーナー・キューブ反射板と、固定ミラーと、ビームスプリッタと、MEMSアクチュエータと、機械的スプリングとを含む集積デバイスが作製される。

【0039】

図7Aでは、アルミニウム・スパッタリング・ステップがSOIウェハ(層400ないし420)に対して実行され、アルミニウム層430を形成する。このアルミニウム層430は、図7Eに示すように、後続するDRIEを用いたSOIウェハの上部シリコン層420についてのエッチングのためのマスクとして機能する。図7Bでは、フォトレジスト材料440がアルミニウム層の上にスピン塗布される。図7Cでは、MEMSデバイスを形成するためのリソグラフィステップが実行される。移動反射板及び固定ミラーと静電アクチュエータとを形成するには、1回のリソグラフィステップを行えば十分である。フォトレジスト材料440のリソグラフィパターンは、図7Dに示されるように、アルミニウム層に対する塩素プラズマエッチングによりアルミニウムマスク430に転写される。その後、図7Eに示すように、DRIEを、SOIの酸化物エッチストップ層410に達

10

20

30

40

50

するまで、ウェハに適用する。

次に、図7Fに示すように、Aluエッチを用いて、残りのアルミニウムマスク430を除去する。

【0040】

図7Iに示すように、MEMSアクチュエータ及び可動反射板のような移動構造体は、HFを使用して埋込SiO<sub>2</sub>層410をエッチングすることによって分離される。一方、固定構造体は、その下にSiO<sub>2</sub>エリアがより広く存在するため分離されない。

【0041】

図7Jでは、シャドーマスク470を用いて、マイクロミラーと反射面の選択的メタライゼーション460と、垂直コーナー・キューブ・エッジの下にある基板のメタライジング（これにより、当該部分をコーナー・キューブ・ミラーの第3のエッジとして機能させることができる）と、接続パッドの作成が行われる。図7Jに示されるように、シャドーマスク470はSOI基板400ないし420の上に設置され、Cr/Au 460が上部シリコン層420の望ましい部分に選択的にスパッタリングされる。

10

【0042】

（図7Eに示された）DRIEエッチングにボッシュプロセスを使用する実施形態では、ボッシュプロセスの周期的性質に起因してミラー表面が粗くなる場合がある。このため、図7Gに示すように、表面に薄い酸化膜層450を成長させ、次に、図7Hに示すように、構造体剥離前にHFを用いてこの薄い酸化膜層を取り除くことは、より滑らかなミラー表面の確保に役立つ場合がある。しかし、図7Eにおいて極低温DRIEプロセスが用いられる場合には、より滑らかな表面がエッチング後に直接的に得られるので、図7G及び7Hに示されたプロセスステップは不要であろう。さらに、このプロセスは、極低温ではフォトレジスト材料とシリコンとの間により高い選択性を持つ傾向があるので、図7Aに示されたアルミニウムマスクが不要となる場合もある。

20

【0043】

図8Aないし8Eは、本発明の実施形態に係る光学MEMSデバイスを作製する他の方法の作製プロセスステップの一例を示す。図8Aは、固定ミラーとMEMSデバイスの静電アクチュエータとを形成するリソグラフィステップと、図7Aないし7Fを用いて上述した、SOIウェハの酸化膜エッチストップ層410に達するまでの上部シリコン層420に対するDRIEエッチングとを行った後の、構成を示している。図8Bでは、ハードマスク層480が（例えば、酸化によって）ウェハに形成されている。このハードマスク層480は、図8Cに示す後続のアルカリ・ウェット・エッチング（例えば、KOHエッチング）ステップの際にコーナー・キューブ反射板を画定する。

30

【0044】

図8Cに示すウェット・エッチング・プロセスの後、図6A及び6Bに示す大きな角度の付いた移動反射板と固定反射板とが形成される。その後、図8Dに示すように、HFを用いて埋込SiO<sub>2</sub>層410をエッチングすることにより、アクチュエータや移動反射板などの移動構造体が分離される。一方、固定構造体は、その下にSiO<sub>2</sub>層のエリアがより広く存在するため、分離されない。図8Eでは、シャドーマスク470を用いて、移動ミラー及び固定ミラーの選択的メタライゼーション460と、垂直コーナー・キューブ・エッジの下にある基板のメタライジング（これにより、当該部分はコーナー・キューブ反射板の第3のエッジとして機能する）と、接続パッドの作成が行われる。この作製プロセスは、2回のエッチングステップと、保護及びリソグラフィのための追加のステップとを必要とするが、これにより、コーナー・キューブ状ミラーの滑らかさと垂直度とが確実に実現され、ビームが構造体の中を伝搬する間に受ける、複数回の反射に起因する光損失が、最小限に抑えられる。

40

【0045】

シャドーマスクを作成するプロセスの一例を、図9Aないし9Fに示す。図7E及び図8Dを用いて上述したように、シャドーマスクは、ミラーに対する適切なメタライゼーションを確実に実行し、かつ、他の表面部分がメタライゼーションから保護されるように、

50

ウェハの選択的メタライゼーションを行うため使用される。図9Aに示すように、シャドーマスクを作成するため、まず、金属層510が、例えばアルミニウム・スパッタリングにより、シリコンウェハ500上に形成される。次に、図9Bでは、フォトリソ材料520及び530がウェハ500の両面にスピン塗布される。上部フォトリソ材料520はリソグラフィのために使用され、下部フォトリソ材料530はエッチストップとして機能する。

【0046】

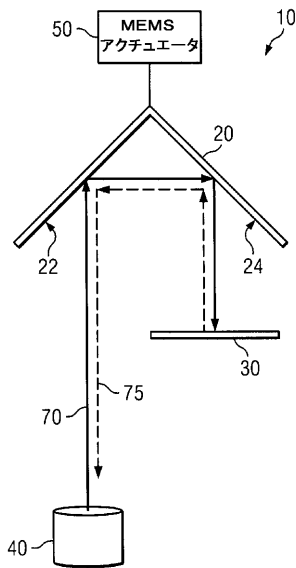
続いて、図9Cに示すように、上部層520に対してリソグラフィが行われ、その後に、図9Dに示すようにアルミニウム層510に対する塩素プラズマエッチングが行われる。図9Eでは、DRIEを使用して、シリコンウェハ500内部へのエッチングが、ウェハ500下部のフォトリソ材料530に達するまで実行される。最後に、図9Fに示すように、ウェハの上部及び下部のフォトリソ材料520及び530が除去されて、シャドーマスクが完成する。

【0047】

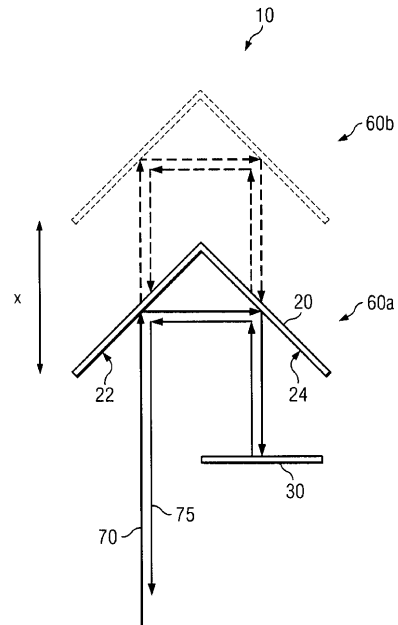
当業者によって認識されるように、本願において記載された革新的な概念は、広範囲の用途に亘って変形され、変更される可能性がある。したがって、特許主題の範囲は、記載された特定の例示のいずれにも限定されるべきではなく、請求項に記載された事項によって定められる。

10

【図1A】



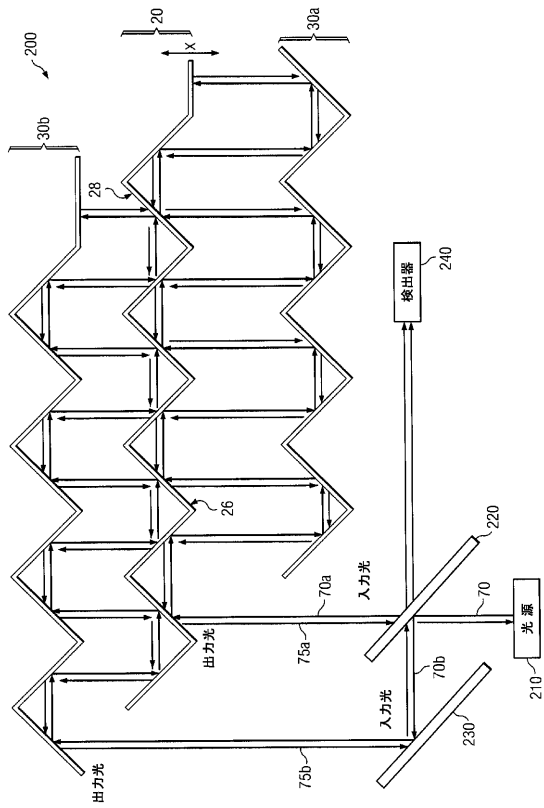
【図1B】



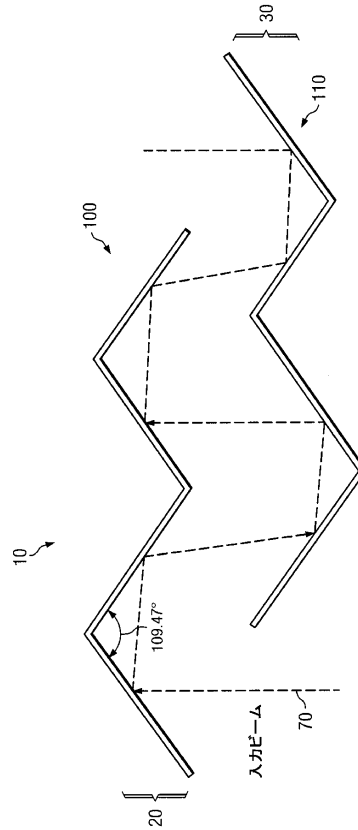




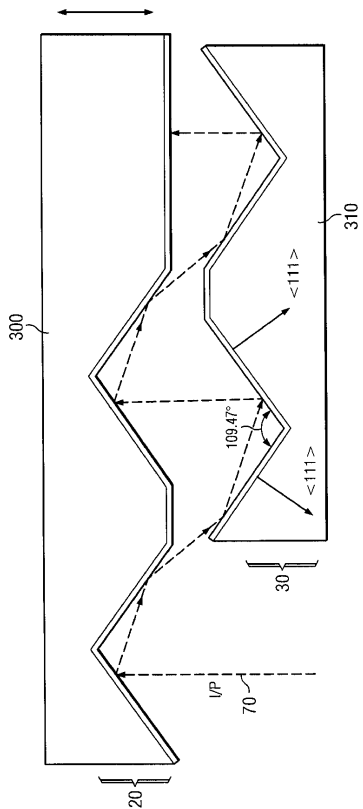
【 図 5 】



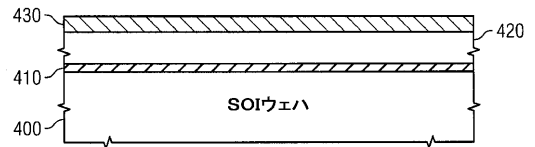
【 図 6 A 】



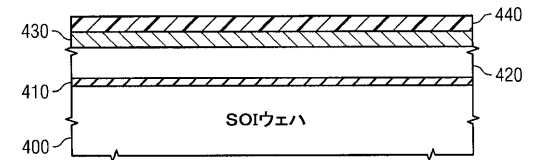
【 図 6 B 】



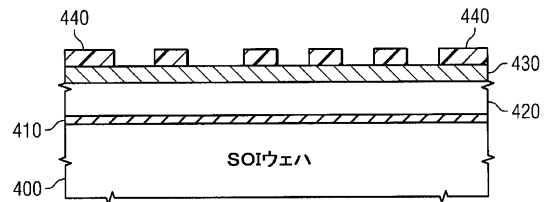
【 図 7 A 】



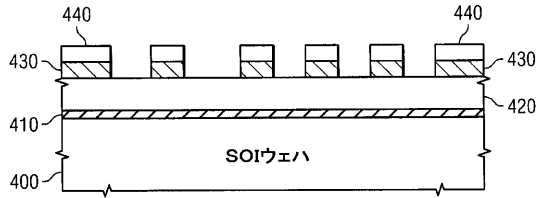
【 図 7 B 】



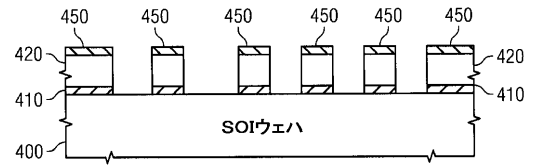
【 図 7 C 】



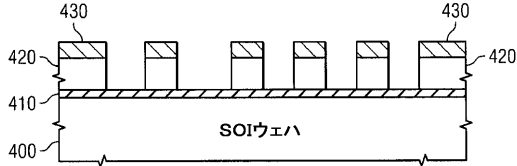
【図 7 D】



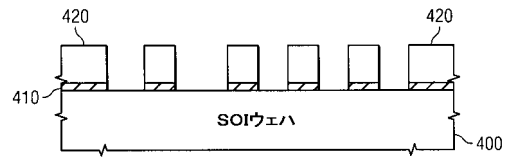
【図 7 G】



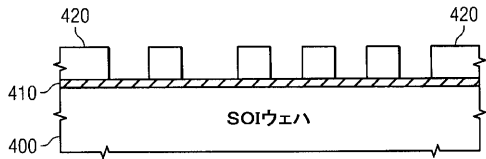
【図 7 E】



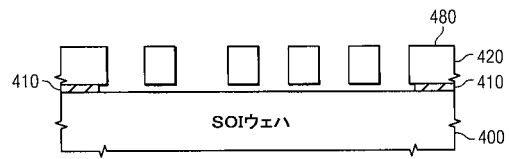
【図 7 H】



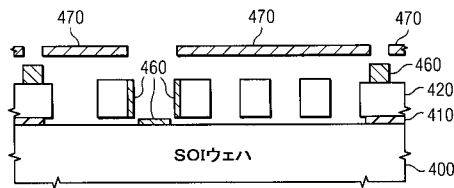
【図 7 F】



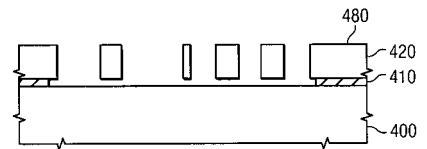
【図 7 I】



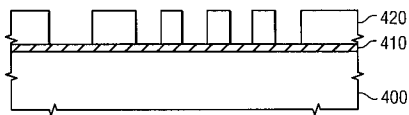
【図 7 J】



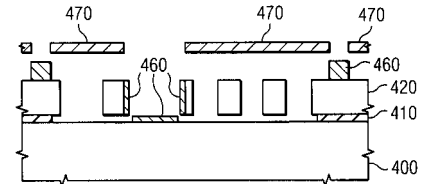
【図 8 D】



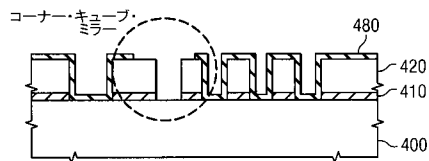
【図 8 A】



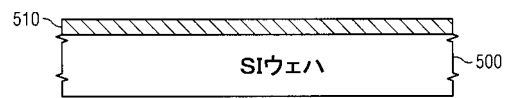
【図 8 E】



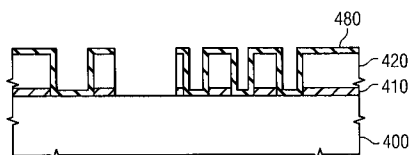
【図 8 B】



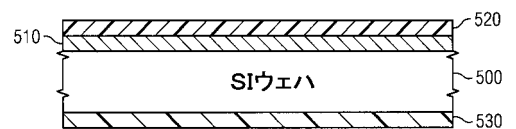
【図 9 A】



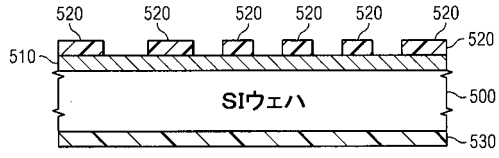
【図 8 C】



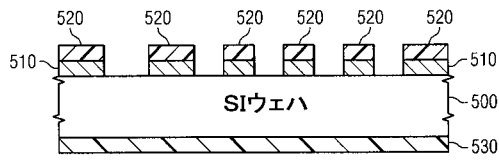
【図 9 B】



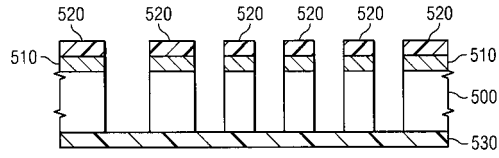
【 図 9 C 】



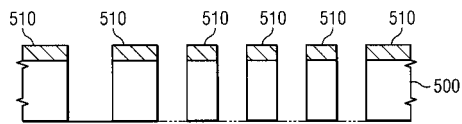
【 図 9 D 】



【 図 9 E 】



【 図 9 F 】



## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2010/031467
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. G02B5/124 G02B17/02 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2003/227681 A1 (CURRIE MARC [US]) 11 December 2003 (2003-12-11)	1-7, 10-13, 15-22
A	* abstract paragraph [0033] - paragraph [0034] figures 3,5	8,9,14, 23
Y	EP 1 099 972 A2 (LUCENT TECHNOLOGIES INC [US]) 16 May 2001 (2001-05-16)	1-7, 10-13, 15-18
A	* abstract; figures 1a,1b	8,9,14, 19-23
	----- -/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		*I* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search  5 July 2010		Date of mailing of the international search report  16/07/2010
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Seibert, Joachim

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2010/031467

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	MANZARDO O ET AL: "MINIATURIZED TIME-SCANNING FOURIER TRANSFORM SPECTROMETER BASED ON SILICON TECHNOLOGY" OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, US, vol. 24, no. 23, 1 December 1999 (1999-12-01), pages 1705-1707, XP000903973 ISSN: 0146-9592	19-22
A	the whole document	1-18,23
A	WO 03/054595 A1 (PROXIMION FIBER OPTICS AB [SE]; NYHOLM LEIF [SE]; SAHLGREN BENGT [SE]) 3 July 2003 (2003-07-03) page 10, line 14 - line 30 figures 1,2	1-23
A	JP 59 198417 A (NIPPON ELECTRIC CO) 10 November 1984 (1984-11-10) figure 1	1-23
A	US 7 342 664 B1 (RADZISZEWSKI JULIUSZ GEORGE [US]) 11 March 2008 (2008-03-11) * abstract; figures	10,19-22
A	DE 10 2006 002460 A1 (CHROMASENS GMBH [DE]) 19 July 2007 (2007-07-19) figures 1-3	1-23
A	US 2 966 090 A (RAGNAR SCHOLDSTROM KARL OTTO) 27 December 1960 (1960-12-27) figure	1-23
A	US 4 973 160 A (TAKIGUCHI YOSHIHIRO [US] ET AL) 27 November 1990 (1990-11-27) figures 2,3	1-23

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2010/031467

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003227681	A1	11-12-2003	NONE
EP 1099972	A2	16-05-2001	CA 2323914 A1 10-05-2001 DE 60035396 T2 06-03-2008 JP 2001208988 A 03-08-2001 US 6356377 B1 12-03-2002
WO 03054595	A1	03-07-2003	AU 2002366934 A1 09-07-2003
JP 59198417	A	10-11-1984	NONE
US 7342664	B1	11-03-2008	NONE
DE 102006002460	A1	19-07-2007	NONE
US 2966090	A	27-12-1960	NONE
US 4973160	A	27-11-1990	NONE

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 カリル、ディア・エー・エム

エジプト国 11371 カイロ ファースト ゾーン マディナ ナスル フロム アバス  
エー1 - アカド ストリート アラム ストリート 5

(72)発明者 モルタダ、バセム

エジプト国 11371 カイロ ナスル シティ イムテダッド ラムシス2 ストリート 2  
92

Fターム(参考) 2H042 DA02 DC02 EA02 EA03 EA14 EA15

2H141 MA23 MB25 MB62 MC07 MD02 MD05 MD39 ME09 ME24 ME25

ME28 MF10 MZ19 MZ26