

(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2016-502288  
(P2016-502288A)

(43) 公表日 平成28年1月21日(2016.1.21)

|                      |            |             |
|----------------------|------------|-------------|
| (51) Int.Cl.         | F I        | テーマコード (参考) |
| HO1S 5/022 (2006.01) | HO1S 5/022 | 5F173       |
| HO1S 5/183 (2006.01) | HO1S 5/183 |             |

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2015-549771 (P2015-549771)  
 (86) (22) 出願日 平成25年12月20日 (2013.12.20)  
 (85) 翻訳文提出日 平成27年8月18日 (2015.8.18)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2013/076866  
 (87) 国際公開番号 W02014/100564  
 (87) 国際公開日 平成26年6月26日 (2014.6.26)  
 (31) 優先権主張番号 13/723, 829  
 (32) 優先日 平成24年12月21日 (2012.12.21)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 506128400  
 アクサン・テクノロジーズ・インコーポ  
 レテッド  
 AXSUN TECHNOLOGIES,  
 INC.  
 アメリカ合衆国, マサチューセッツ州 O  
 1821, ビレリカ, フォーチュン ドラ  
 イブ 1  
 (74) 代理人 100087941  
 弁理士 杉本 修司  
 (74) 代理人 100086793  
 弁理士 野田 雅士  
 (74) 代理人 100112829  
 弁理士 堤 健郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 接合されたMEMS波長可変ミラーのVCSEL掃引光源を備えたOCTシステム

(57) 【要約】

【課題】MEMSミラーを活性領域に接合してなるMEMS波長可変VCSELを提供する。

【解決手段】MEMS波長可変VCSEL100は、光を増幅する複数の活性層118を有する活性領域基板112と、活性領域基板に取り付けられた光学膜素子210とを備える。光学膜素子210の光学膜212は、活性領域基板112から離れる方向に撓み変形してもよい。光学膜素子210の光学膜212は、湾曲状のミラー構造を有してもよい

【選択図】 図3

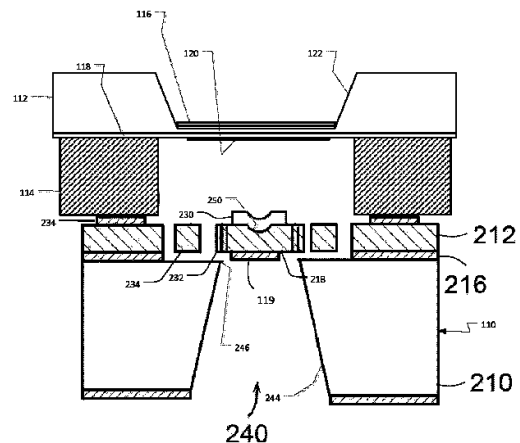


Fig. 3

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

光を増幅する活性層を有する活性領域基板と、  
前記活性領域基板に取り付けられた光学メンブレン素子と、  
を備える、MEMS波長可変VCSEL。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載のMEMS波長可変VCSELにおいて、さらに、  
前記活性領域基板を前記光学メンブレン素子から離隔させるスペーサ素子、  
を備える、MEMS波長可変VCSEL。

**【請求項 3】**

請求項 1 に記載のMEMS波長可変VCSELにおいて、前記活性領域基板が、さらに  
、リアミラーを有する、MEMS波長可変VCSEL。

**【請求項 4】**

請求項 3 に記載のMEMS波長可変VCSELにおいて、前記リアミラーが、前記活性  
領域基板内の層である、MEMS波長可変VCSEL。

**【請求項 5】**

請求項 3 に記載のMEMS波長可変VCSELにおいて、前記リアミラーが、前記活性  
領域基板に形成された光ポートに付着されている、MEMS波長可変VCSEL。

**【請求項 6】**

請求項 3 に記載のMEMS波長可変VCSELにおいて、前記リアミラーが、前記活性  
領域基板によって増幅された光の波長は反射し、ポンプレーザによって生成された光の波  
長は透過するダイクロイックミラーである、MEMS波長可変VCSEL。

**【請求項 7】**

請求項 1 に記載のMEMS波長可変VCSELにおいて、前記光学メンブレン素子が、  
基板層、メンブレンがパターン形成された素子層、および介在する絶縁層を有する、ME  
MS波長可変VCSEL。

**【請求項 8】**

請求項 7 に記載のMEMS波長可変VCSELにおいて、前記絶縁層が、静電キャピテ  
ィを画定する、MEMS波長可変VCSEL。

**【請求項 9】**

請求項 1 に記載のMEMS波長可変VCSELにおいて、前記光学メンブレン素子の光  
学メンブレンが、前記活性領域基板から離れる方向に撓み変形する、MEMS波長可変V  
CSEL。

**【請求項 10】**

請求項 1 に記載のMEMS波長可変VCSELにおいて、前記光学メンブレン素子の光  
学メンブレンが、湾曲状のミラー構造を有する、MEMS波長可変VCSEL。

**【請求項 11】**

MEMS波長可変VCSELを作製する方法であって、  
光を増幅する活性層を有する活性領域基板を用意する工程と、  
前記活性領域基板に光学メンブレン素子を接合する工程と、  
を含む、方法。

**【請求項 12】**

請求項 11 に記載の方法において、前記活性領域基板に前記光学メンブレン素子を接合  
する工程が、前記光学メンブレン素子を前記活性領域基板に熱圧着することを含む、方法  
。

**【請求項 13】**

請求項 11 に記載の方法において、前記活性領域基板に前記光学メンブレン素子を接合  
する工程が、前記光学メンブレン素子を前記活性領域基板にはんだ接合することを含む、  
方法。

**【請求項 14】**

10

20

30

40

50

V C S E L 掃引光源が集積化されたシステムであって、  
光学ベンチと、  
前記光学ベンチに設けられ、当該光学ベンチの上面と平行に伝播する掃引光信号を放射  
する M E M S 波長可変 V C S E L と、  
を備える、システム。

【請求項 15】

請求項 14 に記載のシステムにおいて、さらに、  
前記光学ベンチに固定され、前記掃引光信号を光ファイバに結合する集束レンズ、  
を備える、システム。

【請求項 16】

請求項 14 に記載のシステムにおいて、さらに、  
前記光学ベンチを収容する、密閉パッケージ、  
を備える、システム。

10

【請求項 17】

請求項 16 に記載のシステムにおいて、さらに、  
前記光学ベンチと前記密閉パッケージ内部との間に、当該光学ベンチの温度を制御する  
ように設けられた熱電冷却器、  
を備える、システム。

【請求項 18】

請求項 14 に記載のシステムにおいて、さらに、  
前記光学ベンチに設けられ、前記 M E M S 波長可変 V C S E L 内の活性層を光学的に励  
起するポンプ光を生成するレーザポンプ、  
を備える、システム。

20

【請求項 19】

請求項 18 に記載のシステムにおいて、さらに、  
前記レーザポンプと前記 M E M S 波長可変 V C S E L との間に位置し、戻り反射が前記  
レーザポンプに入るのを防止するアイソレータ、  
を備える、システム。

【請求項 20】

請求項 18 に記載のシステムにおいて、前記 M E M S 波長可変 V C S E L の一方の側面  
から前記掃引光信号が取り出され、当該 M E M S 波長可変 V C S E L の他方の側面に前記  
ポンプ光が結合する、システム。

30

【請求項 21】

請求項 18 に記載のシステムにおいて、前記掃引光信号が、前記 M E M S 波長可変 V C  
S E L の側面うち、前記ポンプ光が結合する側面と同一の側面から取り出される、システ  
ム。

【請求項 22】

請求項 14 に記載のシステムにおいて、さらに、  
前記光学ベンチに設けられ、前記掃引光信号を増幅する半導体光増幅器、  
を備える、システム。

40

【請求項 23】

請求項 22 に記載のシステムにおいて、さらに、  
前記半導体光増幅器の両側のそれぞれに 1 つずつ位置する、2 つのアイソレータ、  
を備える、システム。

【請求項 24】

請求項 23 に記載のシステムにおいて、前記半導体光増幅器から、増幅された前記掃引  
光信号が戻って、前記 M E M S 波長可変 V C S E L を通って伝播する、システム。

【請求項 25】

請求項 23 に記載のシステムにおいて、さらに、  
前記半導体光増幅器からの増幅された前記掃引光信号を、前記 M E M S 波長可変 V C S

50

E L に結合するように導く偏光ビームスプリッタ、  
を備える、システム。

【請求項 26】

請求項 14 に記載のシステムにおいて、前記 MEMS 波長可変 VCSEL が、電氣的に  
励起される、システム。

【請求項 27】

掃引光信号を参照アームと試料アームとに分割し、前記参照アームから戻る光信号と前  
記試料アームから戻る光信号とを結合して干渉信号を生成する干渉計と、

光を増幅する活性層を有する活性領域基板および当該活性領域基板に取り付けられた光  
学メンブレン素子を含み、前記掃引光信号を生成する MEMS 波長可変 VCSEL と、

前記干渉信号を検出する検出システムと、  
を備える、光コヒーレンス分析システム。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

【0001】

本願は、2012年12月21日付願の米国特許出願第13/723,829号の優先権を主張する。こ  
の米国特許出願の全教示内容は、参照をもって本明細書に取り入れたものとする。

【技術分野】

【0002】

本発明は、MEMS 波長可変 VCSEL に関する。

【背景技術】

【0003】

光コヒーレンス分析とは、参照波と試験波との干渉現象または試験波中の2つの部位間  
の干渉現象を利用して、距離および厚さの計測や試料（測定試料）の屈折率の計算を行う  
分析法である。技術化の一例として、高解像度断層画像撮影に用いられる光コヒーレンス  
トモグラフィ（OCT）が挙げられる。OCTは、例えば、生体組織の顕微鏡スケールの  
画像をリアルタイムで得るのに用いられる。試料（すなわち、物体）によって反射される  
ことで光波がどのように変化したのかについての情報に基づき、その試料の断層画像（す  
なわち、三次元ボリュームレンダリング画像）がコンピュータで生成される。

【0004】

OCTには様々な種類があるが、現時点ではフーリエ領域OCTが数多くの用途で最も  
優れた性能を発揮する。また、フーリエ領域手法のなかでも、掃引光源OCTが、バラン  
ス検出（平衡検出）および偏光ダイバーシティ検出が可能な点で、スペクトル符号化O  
CTなどの手法よりも明らかに有利である。それだけでなく、掃引光源OCTは、スペク  
トル符号化OCTで通常使用される安価な高速検出器アレイでは通用しない波長領域にお  
いても撮像が可能な点でも、スペクトル符号化OCTよりも有利である。

【0005】

掃引光源OCTでは、スペクトル成分を空間的分離で符号化するのではなく、時間で符  
号化する。具体的に述べると、連続する光波周波数サンプリング間隔ごとにスペクトルを  
除去又は生成し、このようにして再構成したものをフーリエ変換する。掃引光源で周波数  
を走査するので、光学系の構成が複雑にならずに済む。その反面、主な性能特性は、光源  
（特に、光源の周波数掃引レート（速度）およびチューニング精度）に大きく左右される  
ことになる。

【0006】

OCT用掃引光源を高速で周波数チューニング出来るか否か（すなわち、高い掃引レ  
ートを有するか否か）は、in-vivoイメージング（生体内画像撮影）を実施するうえ  
で特に重要となる。in-vivoイメージングでは、高速で画像を撮影することにより  
、動きに起因したアーチファクトを抑えると共に、検査（patient procedure）時間（len  
gth）を短縮することができ、さらには、解像度の向上にもつながり得る。

【0007】

10

20

30

40

50

従来、微小電気機械システム(MEMS)に基づく波長可変な垂直共振面発光レーザ(VCSSEL)(MEMS波長可変VCSSEL)が、電気通信用途に利用されてきた。VCSSELの波長可変機能により、1つのレーザでITU波長分割多重化グリッドのチャネルを多数カバーすることが出来る。

#### 【0008】

近年、このようなMEMS波長可変VCSSELを、掃引光源OCTシステムの掃引光源として利用する技術が提案されている。これには様々な利点がある。まず、光学キャビティの長さが短いことに加えて、低質量の撓み変形可能なMEMSメンブレンミラーを備えていることにより、高速な掃引速度を実現することができる。また、単一縦モード動作が可能のため、モードホップノイズに必ずしも影響されない。さらに、これらの特長が長いコヒーレンス長をもたらすので、深い場所の画像撮影(深部イメージング)も可能になる。

10

#### 【0009】

MEMS波長可変VCSSELには、例えば、インジウム燐(InP)系の量子井戸活性領域にガリウムヒ素(GaAs)系の酸化ミラーを接合したものをを用いたものがある。その活性領域の上方には、空隙を介して離間するようにして静電駆動型誘導体ミラーが架設されている。その空隙は、この誘導体ミラーの静電キャビティの一部を形成する役割も担っている。具体的に述べると、そのミラーは、前記活性領域上にモノリシックに作製されている。このデバイスは、980ナノメートル(nm)レーザによって光学的に励起(光励起)される。

20

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0010】

しかし、活性領域上に、MEMSに基づく静電駆動型誘導体ミラーをモノリシックに作製する構成には、数多くの問題が伴う。まず、MEMSミラーを作製するためのプロセスは、活性領域の化学的性質と相性が良くなければならない。さらに、これら活性領域とMEMSミラーとの間に延びる光学キャビティと、MEMSミラーの静電キャビティとで重なりが生じる。そのため、これら2つのキャビティの間でトレードオフが必要になる。すなわち、最適静電キャビティは、駆動電圧を抑えるために小さい(短い)ほうが望ましいのに対して、光学キャビティ空隙部分は波長可変機能を最大限に高めるために大きい(長い)ほうが望ましい。

30

#### 【0011】

さらなる問題として、上記のように光学キャビティと静電キャビティとの間に少なくともある程度の重なりが存在するので、MEMSミラーをチューニングする際には、当該ミラーが活性領域に向かう方向に引っ張られることになる。そのため、印加する電圧が大き過ぎると、このミラーが破断する可能性があり、場合によっては、このミラーが活性領域に付着してMEMS波長可変VCSSELを損傷又は破壊する恐れさえある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0012】

本発明は、同じくMEMS波長可変VCSSELに関するものであるが、MEMSミラーを活性領域に接合してなる点で従来とは異なる。これにより、レーザの光共振キャビティ外部に、これとは別の静電キャビティを設けることが出来る。また、このようなキャビティ構成により、MEMSミラーのチューニングを、当該ミラーを活性領域から離れる方向に引っ張って行うことが可能となる。さらに、MEMSミラーを活性領域に接合してなる構成のため、MEMSミラー作製に適用可能な技術範囲が大いに広がる。

40

#### 【0013】

概して述べると、本発明の一態様は、光を増幅する複数の活性層を有する活性領域基板と、前記活性領域基板に取り付けられた光学メンブレン素子とを備える、MEMS波長可変VCSSELに関する。

#### 【0014】

50

一部の実施形態では、前記活性領域基板を前記光学メンブレン素子から離隔させるスペーサ素子が使用される。さらに、前記活性領域基板は、リアミラーを有する。このリアミラーは、前記活性領域基板内の層であってもよく、または、前記活性領域基板に形成された光ポートに付着されたものでもあってよい。一例において、前記リアミラーは、前記活性領域基板によって増幅された光の波長は反射する一方、ポンプレーザによって生成された光の波長は透過するダイクロイックミラーである。

【0015】

本明細書の例では、前記光学メンブレン素子が、基板層、メンブレンがパターン形成された素子層、および介在する絶縁層を有する。そして、この絶縁層が、静電キャピティを画定し得る。結果として、前記光学メンブレン素子の光学メンブレンが、前記活性領域基板から離れる方向に撓み変形し得る。

10

【0016】

概して述べると、本発明の他の態様は、MEMS波長可変VCSELを作製する方法であって、光を増幅する複数の活性層を有する活性領域基板を用意する工程と、前記活性領域基板に光学メンブレン素子を接合する工程とを含む、方法に関する。

【0017】

一部の実施形態では、前記活性領域基板に前記光学メンブレン素子を接合する工程が、前記光学メンブレン素子を前記活性領域基板に熱圧着することを含む。他の例において、その工程は、前記光学メンブレン素子を前記活性領域基板にはんだ接合することを含む。

【0018】

概して述べると、本発明のさらなる他の態様は、VCSEL掃引光源が集積化されたシステムに関する。このシステムは、光学ベンチと、前記光学ベンチに設けられ、当該光学ベンチの上面と平行に伝播する掃引光信号を放射するMEMS波長可変VCSELとを備える。

20

【0019】

一部の実施形態では、集束レンズが前記光学ベンチに固定され、前記掃引光信号をファイバに結合する。そして、密閉パッケージが、前記光学ベンチを収容する。好ましくは、前記光学ベンチと前記密閉パッケージ内部との間に、当該光学ベンチの温度を制御するように熱電冷却器が設けられている。

【0020】

一例では、レーザポンプが前記光学ベンチに設けられ、前記MEMS波長可変VCSEL内の活性層を光学的に励起するポンプ光を生成する。好ましくは、前記レーザポンプと前記MEMS波長可変VCSELとの間に、戻り反射が前記レーザポンプに入るのを防止するアイソレータが使用される。他の例では、前記MEMS波長可変VCSELの一方の側面から前記掃引光信号が取り出され、当該MEMS波長可変VCSELの他方の側面に前記ポンプ光が結合する。代替例では、前記掃引光信号が、前記MEMS波長可変VCSELの側面のうち、前記ポンプ光が結合する側面と同一の側面から取り出される。

30

【0021】

一部の実施形態では、半導体光増幅器が前記光学ベンチに設けられ、前記掃引光信号を増幅する。典型的には、2つのアイソレータが、前記半導体光増幅器の両側のそれぞれに1つずつ位置する。

40

【0022】

一実施形態では、前記半導体光増幅器から、増幅された前記掃引光信号が戻って、前記MEMS波長可変VCSELを通して伝播する。この構成は、偏光ビームスプリッタを用いて実現可能である。

【0023】

さらなる他の例では、前記MEMS波長可変VCSELが、電氣的に励起される。

【0024】

概して述べると、本発明のさらなる他の態様は、掃引光信号を参照アームと試料アームとに分割し、前記参照アームから戻る光信号と前記試料アームから戻る光信号とを結合し

50

て干渉信号を生成する干渉計と、光を増幅する複数の活性層を有する活性領域基板および当該活性領域基板に取り付けられた光学メンブレン素子を含み、前記掃引光信号を生成するMEMS波長可変VCSELと、前記干渉信号を検出する検出システムとを備える、光コヒーレンス分析システムに関する。

【0025】

以下では、構成品／構成要素の構造および組合せに関する新規的な各種詳細も含め、本発明の前述した特徴、その他の特徴およびその他の利点を、添付の図面を参照しながら詳細に説明し、さらに、添付の特許請求の範囲に規定する。なお、本発明の実施形態として示す装置および方法は、あくまでも例示に過ぎず、本発明を限定するものではない。さらに、本発明の原理および特徴は、本発明の範囲を逸脱しない範疇の様々な実施形態に適用することができる。

10

【0026】

添付の図面では、異なる図をとおして、同じ参照符号は同じ構成品／構成要素を指すものとする。なお、図面は必ずしも縮尺どおりではなく、むしろ、本発明の原理を示すことに重点を置いている。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明にかかるMEMS波長可変VCSELの分解斜視図である。

【図2】MEMS波長可変VCSELの第1実施形態を示す概略断面図である。

【図3】MEMS波長可変VCSELの第2実施形態を示す概略断面図である。

20

【図4】MEMS波長可変VCSELの第3実施形態を示す概略断面図である。

【図5】Kミラー(K-mirror)を用いたレーザキャビティ構成を示す概略断面図である。

【図6】MEMS波長可変VCSELを用いた掃引光源であって、当該MEMS波長可変VCSELが活性領域基板で励起されてメンブレン素子側から光を放射する掃引光源を示す概略平面図である。

【図7】MEMS波長可変VCSELを用いた掃引光源であって、当該MEMS波長可変VCSELがメンブレン素子で励起されて活性領域基板側から光を放射する掃引光源を示す概略平面図である。

【図8】MEMS波長可変VCSELを用いた掃引光源であって、当該MEMS波長可変VCSELがメンブレン素子で励起されてメンブレン素子側から光を放射する掃引光源を示す概略平面図である。

30

【図9】MEMS波長可変VCSELを用いた掃引光源であって、当該MEMS波長可変VCSELに増幅段が組み込まれた掃引光源を示す概略平面図である。

【図10】MEMS波長可変VCSELを用いた掃引光源であって、当該MEMS波長可変VCSELに増幅段が組み込まれると共に、当該MEMS波長可変VCSELを自動追従型(self tracking)構成で使用する掃引光源を示す概略平面図である。

【図11】本発明にかかるMEMS波長可変VCSELを組み込んだOCTシステムの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

40

以下では、本発明を添付の図面を参照しながら詳細に説明する。図面には、本発明の例示的な実施形態および本発明を実施するための具体的なアプローチが示されている。ただし、本発明は多数の様々な形態で実施可能であり、本明細書で説明する実施形態のみに限定されると解釈すべきではない。本明細書で説明する実施形態は、むしろ、本発明を徹底的に且つ完全に開示して当業者が本発明の範囲を十分に理解できるようにするためのものである。

【0029】

本明細書において「および／または」という用語は、その文章中に挙げた少なくとも1つの構成／構成要素についてのあらゆる組合せを含む。また、本明細書において「含む」「備える」「有する」等の用語は、当該用語が修飾する特徴、要素、部品等の存在だけで

50

なく、それ以外の特徴、要素、部品等が少なくとも1つあるいはこれらの組合せが存在し得ることを意味する。さらに、ある構成/構成要素が別の構成/構成要素に「接続」又は「連結」される構成が説明又は図示されている場合、それは、別の構成/構成要素に直接「接続」又は「連結」される場合、さらには、何らかの構成/構成要素が介在する場合の両方を包含すると理解されたい。

**【0030】**

図1に、本発明の原理に従った構造を有するMEMS波長可変VCSEL100を示す。MEMS波長可変VCSEL100は光学メンブレン素子110を備え、光学メンブレン素子110は活性領域基板112に接合される。

**【0031】**

概して、MEMS波長可変VCSEL100では、スペーサ素子114が活性領域基板112をメンブレン素子110から離隔させることにより、MEMS波長可変VCSEL100のレーザキャビティを画定している。一般的な原則として、スペーサ素子114の厚みは約1マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )である。一部の例において、このスペーサ114の厚みは、光学キャビティの空隙部分を長くするために1マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )よりも長くされる。他の例において、このスペーサ114の厚みは、1マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )未満とされる。典型的に、スペーサ素子114、活性領域基板112およびメンブレン素子110は、金属接合法を用いて互いに接合される。金属接合法の例として、はんだ接合、熱圧着等が挙げられる。

**【0032】**

光学メンブレン素子110は、支持体として機能するハンドル材210を有する。好ましくは、ハンドル材210は、図示の素子の形状に切り出された(ダイシングされた)ウェーハ材である。例えば、このウェーハ材は、シリコンハンドルウェーハからのようなウェーハ材である。

**【0033】**

具体的に述べると、このハンドルウェーハ材210に、光学メンブレン(すなわち、素子層)212が付加される。この光学メンブレン層212に、メンブレン構造214が形成される。この具体例では、メンブレン層212をシリコンとしている。さらに、絶縁層216により、光学メンブレン層212とハンドルウェーハ材210とが互いに隔てられている。

**【0034】**

製造時には、絶縁層216が、メンブレン構造214をハンドルウェーハ材210から剥離するために部分的に除去される犠牲層/剥離層として機能する。この例では、メンブレン層212をシリコンウェーハから作製している。このシリコンウェーハが、高温および高圧下で絶縁層216に接合される。VCSELの動作時には、絶縁層216が、素子層212とハンドル材210とを電氣的に絶縁する。

**【0035】**

この実施形態では、メンブレン構造214が、本体部218を有する。デバイス100の光軸10は、本体部218と同軸で、且つメンブレン層212により定まる平面に直交するようにして当該本体部218を通過する。好ましくは、本体部218の直径は、300~600マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )である。この例では、本体部218の直径を、約500マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )としている。

**【0036】**

さらに、本体部218からは、線状部分(tether(連結部分))220が径方向に外側部222へと延びている。外側部222は、線状部分220が終了したところに、リング状の部分(リング)を有している。この実施形態では、線状部分のパターンとして、らせん状のパターンを使用している。

**【0037】**

メンブレン構造214には、光学的に湾曲した表面(光学曲面)250が設けられている。光学曲面250は光学的に凹形状の光学素子を形成しており、活性領域基板112と

10

20

30

40

50



協働して、曲線状のミラー付きのレーザキャビティを形成している。この例では、活性領域基板 112 が、平坦なミラー構造を有するものとされている。

【0038】

典型的に、メンブレン構造 214 の本体部 218 には、光学的なコーティングドット 230 が付着されている。具体的に述べると、このコーティングドット 230 は、前記光学素子の光学曲面 250 を覆っている（カバーしている）。好ましくは、この光学的なドット 230 は、反射誘電体ミラースタックである。一部の例において、光学的なドット 230 は、レーザ 100 によって生成されるレーザ光の波長については定められた反射率（例えば、1～10% など）を有すると共に、活性領域基板 112 における複数の活性層を光学的に励起するのに用いられる光の波長については透過するダイクロイックミラーフィルタである。他の例において、光学的なドット 230 は、反射性金属層（例えば、アルミニウム、金など）である。

10

【0039】

図示の実施形態において、メンブレン構造 214 作製時の人工産物は、エッチング孔（etchant hole）232 である。エッチング孔 232 は、剥離工程時にエッチング剤がメンブレン構造 214 の本体部 218 を通過するのを可能にし、絶縁層 216 の除去を支援する。

【0040】

図示の実施形態では、メンブレン素子 210 の近位側（proximal side（近接側））に、金属製のパッド 234 が付着されている。パッド 234 は、メンブレン素子 210 の近位側表面に、例えばスペーサ構造 114 をはんだ接合又は熱圧着するのに用いられる。

20

【0041】

この別体のスペーサ素子 114 は、そのようなスペーサ構造 114 をメンブレン素子 110 または活性領域基板 112 と一体形成してなるものとする実施形態では省略される。

【0042】

ボンダパッド（接合パッド）234 は、フィルタ 100 を例えばマイクロ光学ベンチに設置する際にも使用可能である。

【0043】

さらに、メンブレン層 212 との電氣的接続のための電極として用いられるメンブレン層ワイヤボンダパッド 334 が設けられている。また、ハンドルウェーハ材 210 と電氣的に接続するための電極として、ハンドルウェーハワイヤボンダパッド 336 が用いられる。具体的に述べると、メンブレン層ボンダパッド 334 は、メンブレン層 212 を電氣的に制御するためのワイヤボンドの位置である。具体的に述べると、ハンドルウェーハワイヤボンダパッド 336 は、ハンドルウェーハ材 210 に電氣的にアクセスするためのワイヤボンダパッドである。

30

【0044】

本発明において、活性領域基板 112 は、活性層 118 を有する。好ましくは、活性層 118 は、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造である。

【0045】

活性領域基板 112 の材料系は、所望のスペクトル動作範囲に基づき選択される。一般的な材料系は、III-V 族半導体材料に基づく材料系である。III-V 族半導体材料に基づく材料系には、二元系材料（例えば、GaN、GaAs、InP、GaSb、InAs など）、さらには、三元系合金、四元系合金および五元系合金（例えば、InGaN、InAlGaN、InGaP、AlGaAs、InGaAs、GaInNAs、GaInNAsSb、AlInGaAs、InGaAsP、AlGaAsSb、AlGaInAsSb、AlAsSb、InGaSb、InAsSb、InGaAsSb など）が含まれる。これらの材料系を合わせると、全部で約 400～2,000 ナノメートル（nm）の動作波長域、さらには、数マイクロメートル（ $\mu\text{m}$ ）波長にまで及びより長い波長域をサポートすることができる。典型的には、極めて広い帯域にわたって利得・スペクトル放射を実現するために半導体量子井戸利得領域や半導体量子ドット利得領域が用いられる。

40

50

## 【0046】

好ましい実施形態において、MEMS波長可変VCSEL100の偏光が、好ましくは制御され、少なくとも安定化されている。一般的に、この種のデバイスは、直線偏光を放射する円筒型共振器を備えている。光は典型的に複数の結晶方向に沿って偏光されるが、そのうちの1つの方向が他の方向よりも強いのが通例である。また、偏光方向は、レーザの電流レベルまたはポンピングレベルによって変化し得る。その挙動はヒステリシスを示す場合がある。一実施形態では、偏光選択性ミラーが使用される。他の例では、非円筒型共振器が使用される。さらなる他の実施形態では、電氣的に励起する際に非対称電流が注入される。さらなる他の例では、活性領域基板112が、特定の安定偏光軸に沿った偏光を安定化させるための非対称的な応力、歪み、熱流束又は光エネルギー分布をもたらす、トレンチまたは材料層を有する。

10

## 【0047】

前記レーザキャビティの他端は、活性領域基板112に形成されたリアミラー116によって形成されている。一例において、リアミラー116は、活性領域基板112内の層であって、光の一部（例えば、1～10%など）をキャビティ内に戻るように反射する屈折率不連続部を形成する層である。他の例において、リアミラー116は、光の90%超をレーザキャビティ内に戻るように反射する高反射層である。

## 【0048】

さらなる他の例において、リアミラー116は、レーザ100によって生成されるレーザ光の波長については定められた反射率（例えば、1～10%など）を有すると共に、活性領域基板112における複数の活性層を光学的に励起するのに用いられる光の波長については透過するダイクロイックミラーフィルタである。この構成によれば、活性領域基板112を、ポンプ光の入力ポートとして機能させることができる。

20

## 【0049】

図2に、MEMS波長可変VCSEL100の断面を概略的に示す。

## 【0050】

リフレクタ（反射体）230を出力リフレクタとして使用する場合、あるいは、監視を行えるようにする場合には、ハンドルウェーハ材210の遠位側からメンブレン構造214へと延びる光ポート240が設けられる。リフレクタ230をバックリフレクタとして使用する場合には、光ポート240を不要としても構わない。

30

## 【0051】

また、光ポート240が必要であるか否かは、MEMS波長可変VCSEL100が動作すべき光波長域に対するハンドルウェーハ材210の透過率にも依存する。典型的に、光ポート240を設けないならば、機能上ハンドルウェーハ材210の背面からの透過が要求される場合には、ハンドルウェーハ材210に対し、前記光軸に沿って反射防止（AR）コーティングを皮膜する必要がある。

## 【0052】

光学的に凹形状の表面250は、連続した曲率を有する表面、バイナリ素子の表面、またはフレネル構造の段状の曲率を有する表面として形成される。

## 【0053】

光ポート240は全体として内向き傾斜の側壁244を有し、当該側壁244はポート開口246を末端に有する。これにより、ハンドルウェーハ材210の遠位側から、メンブレン構造214の本体部218を見ることができる。好ましくは、光ポート240は、光学的なコーティング230及び光学面250と同軸である。一部の例では、本体部218の裏側に、ARコーティング119が皮膜されている。このARコーティング119は、レーザキャビティへのポンプ光の結合および/または当該キャビティ外へのレーザ光の結合を促すのに用いられる。さらなる他の例において、本体部218の裏側は、ポンプ光をレーザキャビティ内に戻るように反射する。

40

## 【0054】

絶縁層216の層厚が、静電キャビティの長さを決める。この例において、絶縁層21

50

6の層厚は、3.0～6.0マイクロメートル(μm)である。一般的な原則として、静電素子のチューニングは、静電キャビティの長さの1/3を超えてはならないとされる(1/3以下とされる)。したがって、一実施形態において、本体部218(そして、ミラー光学コーティング230も)、1～3マイクロメートル(μm)の撓み変形が可能とされる。

【0055】

図3に、MEMS波長可変VCSEL100の他の実施形態の断面を概略的に示す。

【0056】

この例では、活性領域基板112に形成されるリアミラー116が、リア光ポート122の底部に付着されている。この光ポート122は、活性領域基板112の背面に形成される。好ましくは、光ポート122には、平坦な底部が形成されている。この構成は、活性領域基板112をエッチストップ層(エッチング停止層)までエッチングすることにより実現される。

10

【0057】

この実施形態の利点は、リアミラー116を、活性領域基板112内の一体的な材料層として形成する必要がないことである。具体的に述べると、リアミラー116は、標準的な薄膜形成装置を用いて付着される(一具体例)か、あるいは、金属層として付着される。このように光ポート122を使用する構成には、リアミラー116の位置を、活性層118に近付けられるだけでなく、メンブレン構造214の本体部218に典型的に付着される光学的なコーティングドット230にも近付けられるという利点がある。これにより、リアミラー116と光学的なコーティングドット230との間に延びるレーザ光学キャビティの長さを短くすることができる。このような短い光学キャビティにより、モードホップノイズの低減又は除去が可能になると共に、レーザ100のポテンシャルチューニング速度を高速化することができる。

20

【0058】

図4に、MEMS波長可変VCSEL100のさらなる他の実施形態の断面を概略的に示す。

【0059】

この例でも、リアミラー116は、活性領域基板112に形成されてリア光学ポート122の底部に付着されている。

30

【0060】

電流源124が、活性領域基板112における活性層118を電氣的に励起するのに用いられる。具体的に述べると、電流源124は、活性領域118の両端間に電圧を生じさせる。この実施形態によれば、活性領域118を光学的に励起する必要がないので、ポンプ光をレーザキャビティ内へと結合させる構成に付随する複雑性の増加を避けることができる。

【0061】

図5に、空間的に制限された光学曲面250(あるいは、Kミラー)を用いたレーザキャビティ構成を示す。

【0062】

具体的に述べると、メンブレン構造214の本体部218に付着された光学曲面250が、レーザキャビティ内での低次の光空間モードの共振のみを優先的に支援するように空間的に制限されている。より具体的に述べると、図示の実施形態では、最も低次のモード126のみが曲面250の曲率範囲内に収まっている。

40

【0063】

このような共振器の基本動作の概要は、米国特許第7,327,772号に開示されている。なお、この米国特許の全教示内容は、参照をもって本明細書に取り入れたものとする。典型的に、このような共振器は、所望のモードのみを優先的に反射するようにミラー空間範囲が制限された湾曲状のミラーを利用する。典型的に、その所望のモードは、最も低次の空間モードのみとされる。このようなミラーは、Kミラーと称されることがある。

50

## 【 0 0 6 4 】

図 6 に、MEMS 波長可変 VCSEL 100 を組み込んだ掃引光源レーザシステム 400 を示す。

## 【 0 0 6 5 】

一般的に、レーザシステム 400 は、バタフライ型のパッケージ 410 内に收容される。このパッケージ 410 は、密閉シールされた環境をレーザシステム 400 の各種構成要素に提供する。典型的に、パッケージ 410 内には水分ゲッターが含まれる。また、一部の実施形態において、密閉パッケージ 410 内の雰囲気の一部は、ヘリウム、窒素等の不活性気体とされる。他の例では、パッケージ 410 内に密封される雰囲気に反応性成分が含まれる。一例において、この反応性成分は、酸素またはオゾンである。この構成の理由は、米国特許出願公開公報第 2012/0257210 号 (A1) に詳細に記載されている。なお、この米国特許出願公開公報の全教示内容は、参照をもって本明細書に取り入れたものとする。簡単に説明すると、酸素等の反応性成分は、パッケージ内に存在する有機物質と化学的に反応して二酸化炭素等のガスを発生させる。これにより、そのような有機物質がレーザの高温な光学的端面に付着することにより生じる、パッケージに起因した故障 (PIF) を回避することができる。

10

## 【 0 0 6 6 】

好ましい実施形態では、さらに、レーザシステム 400 の温度が制御される。この構成は、パッケージ 410 内部を周辺温度を超える温度に加熱するヒータを使用することにより実現可能である。好ましい実施形態では、熱電冷却器 412 が、バタフライ型のパッケージ 410 の底部に固定されている。この熱電冷却器 412 には、駆動電流が電極 414, 416 を介して供給される。

20

## 【 0 0 6 7 】

熱電冷却器 412 の上には、マイクロ光学ベンチ 420 が固定される。これにより、この光学ベンチ 420 に取り付けられたポンプレーザ等の各種能動素子から発生する熱を、熱電冷却器 412 を介してパッケージ 410 から取り除くことができる。

## 【 0 0 6 8 】

マイクロ光学ベンチ 420 の上側には、各種光学素子取り付けられている。具体的に述べると、この実施形態およびそれ以外の図示の実施形態において、これらの光学素子は、それらの光軸が光学ベンチ 420 の平坦な上面と平行になるように当該光学ベンチ 420 に設けられている。

30

## 【 0 0 6 9 】

詳細を述べると、図示の実施形態では、MEMS 波長可変 VCSEL 100 が、出力光信号をメンブレン素子 110 側から発生させる。好ましくは、MEMS 波長可変 VCSEL 100 は、ベンチ 420 の上に直接かつ直立するように取り付けられる。一具体例として、メンブレン素子 110 は、そのメンブレンがベンチ 420 の上面である平面に直交するように取り付けられる。この場合、活性領域基板 112 における活性層 118 の平面も、ベンチ 420 の上面である平面に直交することになる。

## 【 0 0 7 0 】

その結果、MEMS 波長可変 VCSEL 100 から出射した光は、ベンチ 420 の上面と平行な方向に伝播する。出射した光は、ベンチ 420 に取り付けられた出力レンズ 438 によってコリメートされて、光ファイバ 440 のうち、ベンチ 420 に固定されたファイバ端面へと結合される。この光ファイバは、ファイバフィードスルー 418 を介して密閉パッケージ 418 の側壁から引き出されている。

40

## 【 0 0 7 1 】

図示の例において、MEMS 波長可変 VCSEL 100 は、光学的に励起される。具体的に述べると、ポンプ周波数 (励起周波数) 域の光は、同じくベンチ 420 の上に取り付けられたレーザチップ 430 により生成される。レーザチップ 430 は、サブマウントに取り付けられることもある。この場合、そのサブマウントをベンチ 420 に接合する。一例において、レーザポンプチップ 430 は、980nm で動作する。レーザチップ 430

50

から出射されたポンプ光は、第1のポンプレズ432によってコリメートされる。コリメートされた光は、アイソレータ434を通過する。アイソレータ434から出射した光は、第2のポンプレズ436によってMEMS波長可変VCSEL100の活性領域基板112へと合焦される。図示の実施形態において、第1のポンプレズ432、アイソレータ434および第2のポンプレズ436は、ベンチ420に取り付けられている。

【0072】

図7に、レーザシステム400の他の実施形態を示す。この実施形態は、図6を参照しながら説明した実施形態とほぼ同一であるが、MEMS波長可変VCSEL100の向きが異なる点で相違する。具体的に述べると、MEMS波長可変VCSEL100は、出力光信号を活性領域基板112側から発生させる。MEMS波長可変VCSEL100から出射した光は、出力レンズ438によってコリメートされて、光ファイバ440のファイバ端面へと結合される。ただし、ポンプチップ430から出射された光は、メンブレン素子110側からMEMS波長可変VCSEL100に結合する。

10

【0073】

図8に、レーザシステム400のさらなる他の実施形態を示す。図示の詳細な実施形態では、MEMS波長可変VCSEL100で生成された掃引信号がメンブレン素子110側から外部へと結合され、かつ、ポンプレーザ430から出射された光がメンブレン素子110を通過してMEMS波長可変VCSEL100に結合する。

【0074】

当然ながら、一変形例として、MEMS波長可変VCSEL100の向きを逆にして、光が活性領域基板112を通過して外部から結合され、かつ、光が活性領域基板112側から外部へと結合されるようにすることも可能である。

20

【0075】

いずれの方法であっても、MEMS波長可変VCSEL100から出射した光は、コリメートレンズ442によってコリメートされた後、出力レンズ438に送光される。この出力レンズ438が、掃引光信号を光ファイバ440へと結合する。

【0076】

このように2つのリレーレンズ442, 438を使用する構成では、ポンプ光がコリメートされてビームスプリッタ/ビームコンバイナ素子444を透過する。一例において、スプリッタ/コンバイナ素子444は、偏光ビームスプリッタである。他の例において、スプリッタ/コンバイナ素子444は、波長分割多重フィルタ素子である。いずれの方法であっても、スプリッタ/コンバイナ素子444は、MEMS波長可変VCSEL100から出射した光を、その偏光または波長に基づいて透過させる。

30

【0077】

反対に、スプリッタ/コンバイナ素子444は、ポンプレーザ430によって生成された光の波長については反射する。結果として、ポンプレーザ430によって生成されて、第1のポンプレズ432によってコリメートされ、アイソレータ434を通過し、第2のポンプレズ436によってコリメートされ、折返しミラー446によって方向転換された光は、スプリッタ/コンバイナ素子444によって反射された後、コリメートレンズ442によって合焦されてMEMS波長可変VCSEL100へと結合する。

40

【0078】

したがって、この実施形態では、掃引光信号が、MEMS波長可変VCSEL100のうち、当該MEMS波長可変VCSEL100を光学的に励起する側と同じ側から取り出される。

【0079】

図9に、レーザシステム400のさらなる他の実施形態を示す。この実施形態は、図8に示した実施形態と、掃引光信号をMEMS波長可変VCSEL100の外部へと結合する構成、およびポンプレーザ430からの光をMEMS波長可変VCSEL100へと結合する構成については同じであるが、増幅段が組み込まれている点で相違する。

【0080】

50

詳細を述べると、スプリッタ/コンバイナ素子 444 を透過した掃引光信号が、第 1 の利得段レンズ 450 によってコリメートされて第 1 の利得段アイソレータ 452 に入射する。第 1 の利得段アイソレータ 452 から出射された光は、第 2 の利得段レンズ 454 454 によって合焦されて半導体光増幅器 (SOA) 456 へと結合する。

【0081】

この SOA 456 は、光学ベンチ 420 の上面に設けられる。多くの場合、サブマウントを介設させる。SOA 456 は、MEMS 波長可変 VCSEL 100 によって生成された掃引光信号を増幅して、増幅された信号を出力端面から放射し、この増幅された信号は第 3 の利得段レンズ 458 によってコリメートされる。この第 3 の利得段レンズ 458 は、その増幅された掃引光信号をコリメートし、この増幅・コリメートされた掃引光信号が第 2 の利得段アイソレータ 460 を通過する。最後に、出力レンズ 458 が、その増幅された掃引光信号を出力光ファイバ 440 へと結合する。

10

【0082】

図 10 に、レーザシステム 400 のさらなる他の実施形態を示す。この実施形態においても、増幅段が組み込まれている。ただし、この実施形態は、図 9 を参照しながら説明した実施形態と、MEMS 波長可変 VCSEL 100 をダブルパス (二回進入) の自動追従型 (double pass, self-tracking) 構成で実現している点で相違する。

【0083】

詳細を述べると、スプリッタ/コンバイナ素子 444 を透過した光が、第 1 の利得段アイソレータ 452 を通過して結合されだけでなく、偏光ビームスプリッタ 470 も透過する。図示の構成において、MEMS 波長可変 VCSEL 100 から放射された光は、その偏光方向により、偏光ビームスプリッタ 470 を透過直進することができる。

20

【0084】

先の実施形態と同じく、この光は SOA 456 へと結合され、第 2 の利得段アイソレータ 460 を通過する。この光は、第 4 の利得段レンズ 462 を通過した後、一連の折返しミラー 464, 466, 468 により、前記偏光ビームスプリッタ 470 へと戻って結合するように反射される。

【0085】

この実施形態での前記第 2 の利得段アイソレータ 460 は、さらに、1/2 波長板を含む。この 1/2 波長板は、SOA 456 によって増幅された前記掃引光信号の偏光方向を 90° 回転させる作用を有するように構成されている。このような偏光方向に設定された光は、偏光ビームスプリッタ 470 によって MEMS 波長可変 VCSEL 100 へと戻るように反射される。この光は、MEMS 波長可変 VCSEL 100 へと結合されて、活性領域基板 112 側から出射され、出力レンズ 438 によってコリメートされて光ファイバ 440 に入射する。

30

【0086】

この構成によれば、光が MEMS 波長可変 VCSEL 100 に戻ってフィルタリングされるため、SOA 456 からの増幅自然放出光を取り除くことができる。

【0087】

一例において、MEMS 波長可変 VCSEL 100 は、2 回目のパス (進入) 時に ASE (増幅自然放出光) を取り除くように、単一の偏光方向の光のみをレーザ発振する。

40

【0088】

図 11 に、掃引光信号の生成に MEMS 波長可変 VCSEL 100 を用いる、光コヒーレンス分析システム 12 (例えば、トモグラフィシステム) を示す。

【0089】

掃引光源システム 400 は、波長可変な光信号 (すなわち、掃引光信号) を生成する。この光信号は、光ファイバ 440 を介して干渉計 500 に伝送される。掃引光信号は、狭い帯域幅の出射で所与の走査帯域にわたって走査される。

【0090】

掃引光源システム 400 は、掃引光信号を生成して当該掃引光信号を 1 キロヘルツ (k

50

Hz) 超 ( よりも速い ) レートで少なくとも 1 つの走査帯域にわたって繰り返し走査する、概して高速チューニング向けシステムである。この実施形態において、掃引光源システム 400 は、20 kHz 超または 100 kHz 超の速度でチューニングする。極めて高速な実施形態では、マルチ掃引レート型の掃引光源システム 400 は、200 kHz 超または 500 kHz 超の速度でチューニングする。

#### 【0091】

典型的に、チューニング幅 ( すなわち、走査帯域幅 ) は、10 ナノメートル ( nm ) よりも広い。この実施形態において、好ましくは、チューニング幅は、50 ~ 150 ナノメートル ( nm ) である。しかし、一部の例では、より広いチューニング帯域幅も考えられる。また、前記狭い帯域幅の半値全幅 ( FWHM ) は、10 ギガヘルツ ( GHz ) 未満または 20 ギガヘルツ ( GHz ) 未満であってもよく、通常は 5 ギガヘルツ ( GHz ) 以下である。このような高いスペクトラル分解能は、光コヒーレンストモグラフィ法において長いコヒーレンス長を意味するので、試料における深い場所 ( 例えば、5 ミリメートル ( mm ) よりも大きい深さの場所など ) の画像撮影が可能になる。その一方で、そこまでの高性能が要求されない場合 ( 例えば、試料における 1 メートル ( mm ) 未満の深さの場所の OCT 画像撮影などの場合 ) には、前述したよりも広い FWHM パスバンド幅 ( 例えば、約 200 ギガヘルツ ( GHz ) 以下など ) でもよい場合がある。

10

#### 【0092】

チューニング速度は、「単位時間あたりの波長」で表すこともできる。一例として、チューニング帯域幅 ( すなわち、走査帯域幅 ) = 約 110 ナノメートル ( nm ) および走査レート = 100 キロヘルツ ( kHz ) で、略線形的なアップチューニングがデューティ比 = 60 % で行われるとすると、そのピーク掃引速度は、 $110 \text{ nm} \times 100 \text{ kHz} / 0.60 = 18,300 \text{ nm} / \text{ミリ秒} = 18.3 \text{ ナノメートル ( nm ) / マイクロ秒}$ 、あるいは、それを超える速度になる。他の例として、チューニング範囲 = 約 90 ナノメートル ( nm ) および走査レート = 50 キロヘルツ ( kHz ) で、略線形的なアップチューニングがデューティ比 = 50 % で行われるとすると、そのピーク掃引速度は、 $90 \text{ nm} \times 50 \text{ kHz} / 0.50 = 9,000 \text{ nm} / \text{ミリ秒} = 9.0 \text{ ナノメートル ( nm ) / マイクロ秒}$ 、あるいは、それを超える速度になる。チューニング帯域幅を狭くした他の例として、チューニング範囲 = 約 30 ナノメートル ( nm ) および走査レート = 2 キロヘルツ ( kHz ) で、略線形的なチューニングがデューティ比 = 80 %

20

30

#### 【0093】

したがって、本明細書における好ましい実施形態では、走査レートとしての掃引速度が、0.05 ナノメートル ( nm ) / マイクロ秒超、好ましくは 5 ナノメートル ( nm ) / マイクロ秒超である。より高速な用途では、走査レートとしての掃引速度が、10 ナノメートル ( nm ) / マイクロ秒超である。

#### 【0094】

コントローラ ( 制御手段 ) 590 が、フィルタ又はチューナブル素子 ( チューニング可能な素子 ) を駆動する駆動波形、すなわち DA 変換器 ( DAC ) 572 に供給される波形を生成する。これにより、チューナブル素子駆動信号 508 が生成され、増幅器 574 によって増幅され、掃引光源システム 400 に印加される。具体的に述べると、その信号は、メンブレン層ボンドパッド 334 とハンドルウェーハボンドパッド 336 とを介してメンブレン基板 110 の静電キャパシティに印加される静電駆動信号である。一例において、コントローラ 590 は、掃引光源システム 400 の周波数掃引を線形化するフィルタ駆動波形を記憶している。

40

#### 【0095】

クロックシステム 592 は、掃引光信号が所与の走査帯域 ( すなわち、チューニング帯域 ) にわたってチューニング ( すなわち、掃引 ) される間、k クロック信号を等間隔の光

50

周波数サンプリング間隔で生成する。掃引光源信号スプリッタ506は、掃引光信号の一部をクロックシステム592に供給する。

【0096】

図示の例では、マッハ＝ツェンダ型の干渉計500が、試料5からの光信号を分析するのに用いられる。掃引光源システム400の掃引光信号が、光ファイバ440を介して90/10光ファイバカプラ510（これは一具体例であり、別の構成のビームスプリッタ（カプラ）であってもよい）に伝送される。この掃引光信号は、光コヒーレンス分析システム12の参照アーム520と試料アーム512とに分割される。

【0097】

参照アーム520の光ファイバは、ファイバ端面524で終端する。一部の例において、この参照アームファイバ端面524から出射した光502Rは、レンズ526によってコリメートされた後、参照ミラー528で反射されて戻る。

【0098】

一例において、この参照ミラー528は、調節可能な光ファイバを有し、ミラーまでの距離を調節可能にする。この距離により、深さ方向の撮像範囲が決まり、言い換えれば、参照アーム520と試料アーム512との光路長差がゼロとなる試料5内の位置が決定する。この距離は、試料に対して使用するプローブおよび/または撮像する試料に応じて調節される。参照波ミラー528で反射された光は、参照アームサーキュレータ522に戻り、50/50ファイバカプラ等の干渉信号コンバイナ540へと方向付けられる。自由空間光学構成を採用するような他の例では、コンバイナ540が、部分反射ミラー/ビームスプリッタとされる。

【0099】

試料アーム512の光ファイバは、試料アームプローブ516で終端する。このプローブ516からは、掃引光信号502Sが試料5において収束するように出射される。試料5からの反射光は、試料アームサーキュレータ514に戻り、干渉信号コンバイナ540へと方向付けられる。

【0100】

干渉信号コンバイナ540では、参照アーム520からの光信号と試料アーム512からの光信号とが結合（又は混合）し、干渉信号を生成する。

【0101】

この干渉信号は、検出システム550によって検出される。具体的に述べると、図示の実施形態では、バランスド受信器が2つの検出器552を有しており、これら2つの検出器552が、ファイバカプラ540の各出力にそれぞれ対応している。バランスド受信器552から出力される電気形態の干渉信号は、増幅器554（例えば、トランスインピーダンス増幅器など）によって増幅される。

【0102】

検出システム550におけるデータ取得・処理システム555が、増幅器554からの干渉信号出力をサンプリングする。具体的に述べると、データ取得・処理システム555は、クロックシステム592から得られるkクロック信号を用いて、当該システムによるデータ取得を掃引光源システム400の周波数チューニングに同期させる。より具体的に述べると、データ取得・処理システム555は、kクロック信号に応答して前記干渉信号をサンプリングし、光周波数ドメイン（領域）で前記干渉信号の等間隔サンプルを生成する。

【0103】

試料5についての完全なデータの収集は、プローブ516からの集束したビームを試料5に対して直交x-y方式または円柱-z方式で空間的にラスタ走査を行うことによって実行される。各ポイントでのスペクトル応答は、掃引光源システム400の周波数チューニングにより発生する。このようにして収集したデータに対し、データ収集・処理システム555がフーリエ変換を実行することにより、試料5の二次元または三次元の断層画像を再構成することができる。この変換後のデータは、表示システム580によって表示

10

20

30

40

50



される。

【0104】

ある用途では、プローブ516を血管内に挿入することにより、動脈の内壁および静脈の内壁を走査する。別の例では、プローブ516に、他の分析手段、例えば、血管内超音波法（IVUS）、前方視IVUS（FLIVUS）、高密度焦点式超音波療法（HIFU）、感圧式ワイヤ、画像誘導治療装置等を設けてもよい。別の用途では、プローブ516が、患者（ヒト）又は動物における眼、歯又はその他の構造の、様々な部分を走査するのに使用される。

【0105】

本発明を、詳細に図示した好適な実施形態を参照しながら詳細に説明したが、当業者であれば、本発明の範囲から逸脱することなく構成および細部に様々な変更を施すことができ、そのような変更も添付の特許請求の範囲に包含される。

10

【図1】

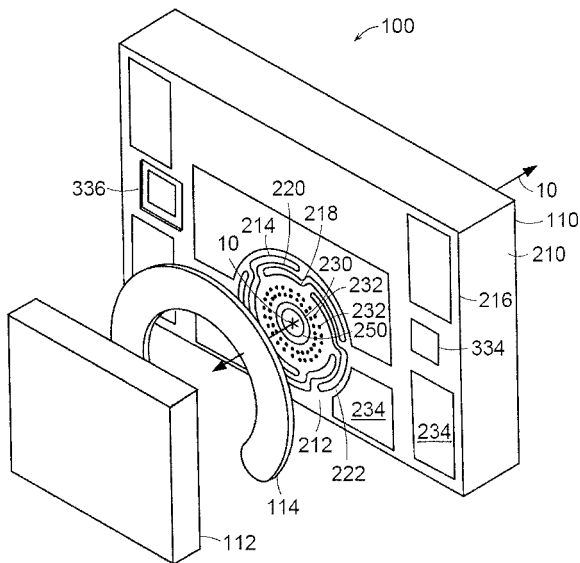


Fig. 1

【図2】

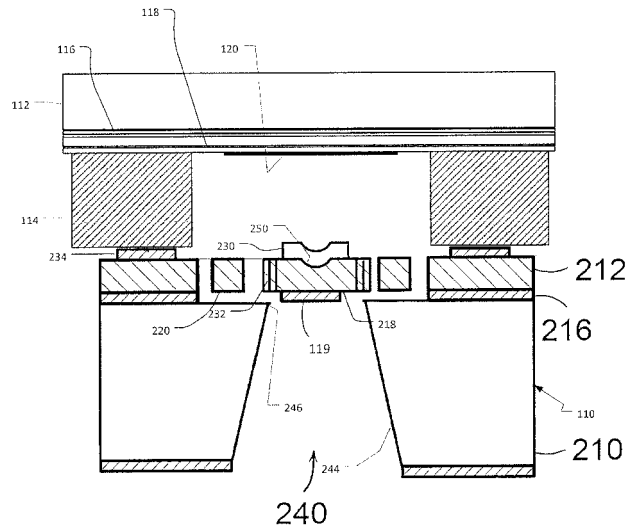


Fig. 2

【 図 3 】

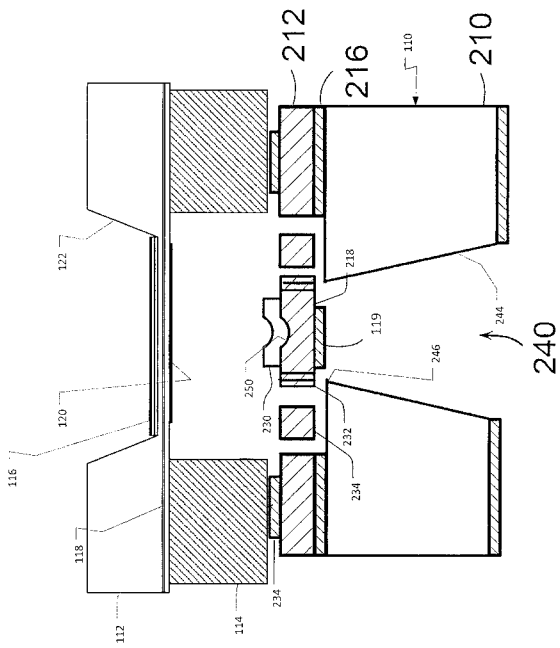


Fig. 3

【 図 4 】

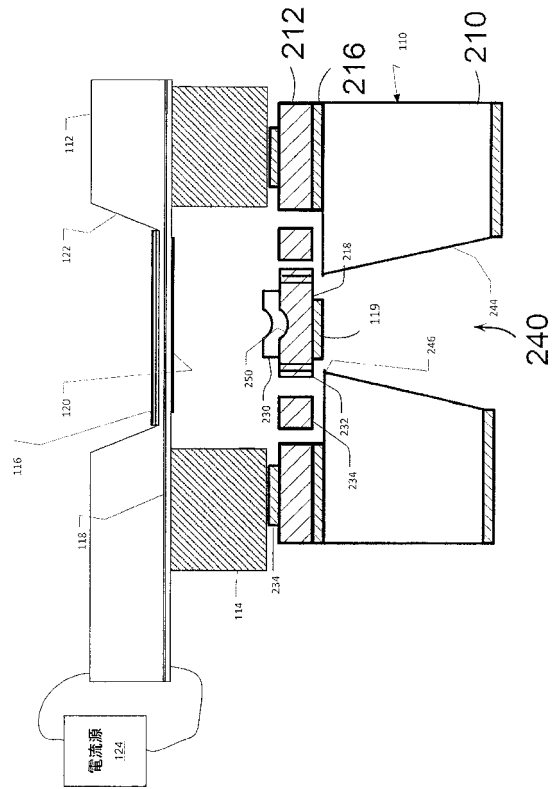


Fig. 4

【 図 5 】

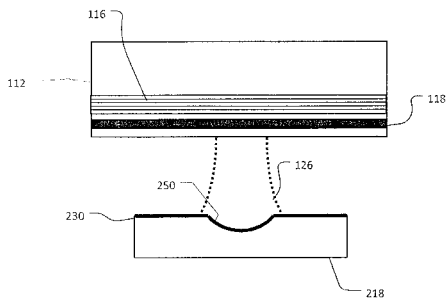


Fig. 5

【 図 6 】

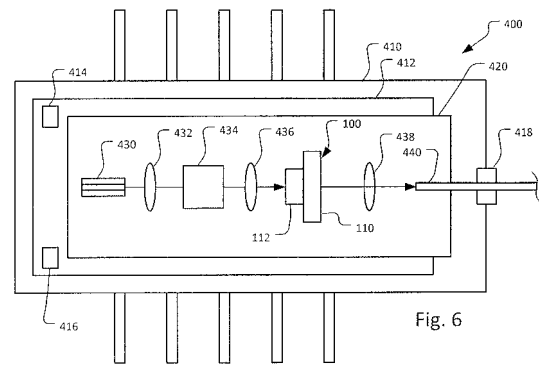


Fig. 6

【 図 7 】

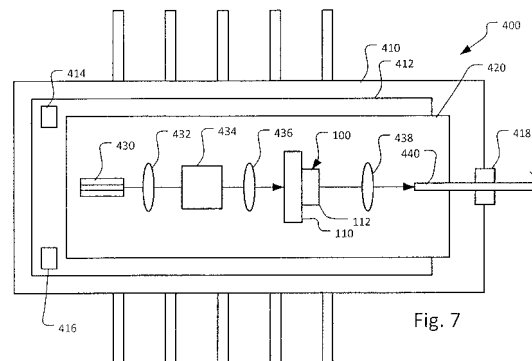


Fig. 7



## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

|   |
|---|
| International application No<br>PCT/US2013/076866 |
|---|

|  |   |  |
|--|---|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  |   |  |
| INV. H01S5/04  | H01S5/183   | H01S5/50 H01S5/022 H01S5/024   |
| ADD.   |   |  |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC  |   |  |
| B. FIELDS SEARCHED   |   |  |
| Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>H01S  |   |  |
| 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 practicable, search terms used)<br>EPO-Internal, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data  |   |  |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT   |   |  |
| Category*  | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No.  |
| X  | VAKSHOORI D ET AL: "2 mW CW singlemode operation of a tunable 1550 nm vertical cavity surface emitting laser with 50 nm tuning range",<br>ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 35, no. 11, 27 May 1999 (1999-05-27), pages 900-901, XP006012234,<br>ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/EL:19990661 | 1-5,10,<br>11  |
| Y  | -----<br>-/--   | 6-9,<br>12-26  |
| <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<br>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date<br>"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)<br>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means<br>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed |   | "T" 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<br>"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<br>"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<br>"&" document member of the same patent family |
| Date of the actual completion of the international search<br><br>29 April 2014   |   | Date of mailing of the international search report<br><br>14/05/2014   |
| Name and mailing address of the ISA/<br>European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016   |   | Authorized officer<br><br>Hervé, Denis   |

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2013/076866

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| Category*  | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
| X  | BURROUGHS S ET AL: "Complete polarization mode control of long-wavelength tunable vertical-cavity surface-emitting lasers over 65-nm tuning, up to 14-mW output power",<br>IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA, vol. 39, no. 9,<br>1 September 2003 (2003-09-01), pages 1037-1048, XP011100308,<br>ISSN: 0018-9197, DOI:<br>10.1109/JQE.2003.816110       | 1,3,6,11              |
| Y  | page 2, paragraph 2 - page 3; figure 1  | 6-9,<br>12-26         |
| X  | -----<br>US 6 661 830 B1 (REED MURRAY K [US] ET AL)<br>9 December 2003 (2003-12-09)   | 1,3,4,<br>7-9,11      |
| Y  | column 6, line 63 - column 7, line 36;<br>figures 1,25K   | 6-9,<br>12-26         |
| X  | -----<br>JAYARAMAN V ET AL: "Design and performance of broadly tunable, narrow line-width, high repetition rate 1310nm VCSELS for swept source optical coherence tomography",<br>PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING USA, vol. 8276, 26 January 2012 (2012-01-26), XP002723817,<br>ISSN: 0277-786X | 1,3,11,<br>27         |
| Y  | page 2 - page 3; figures 1,2  | 14-26                 |
| X  | -----<br>JAYARAMAN V ET AL: "High-sweep-rate 1310 nm MEMS-VCSEL with 150 nm continuous tuning range",<br>ELECTRONICS LETTERS IET UK, vol. 48, no. 14, 5 July 2012 (2012-07-05), pages 867-869, XP002723818,<br>ISSN: 0013-5194  | 1,3,11                |
| Y  | the whole document  | 14-27                 |
| Y  | -----<br>US 2012/257210 A1 (WHITNEY PETER S [US] ET AL) 11 October 2012 (2012-10-11)<br>paragraph [[0020]]; figure 1  | 14-27                 |
| Y  | -----<br>US 2009/290167 A1 (FLANDERS DALE C [US] ET AL) 26 November 2009 (2009-11-26)<br>paragraph [0039] - paragraph [0040];<br>figure 1   | 14-26                 |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2013/076866

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date            |
|--|------------------|-------------------------|-----------------------------|
| US 6661830                             | B1               | 09-12-2003              | US 6661830 B1 09-12-2003    |
|  |                  |                         | WO 2004038877 A2 06-05-2004 |
| -----                                  |                  |                         |                             |
| US 2012257210                          | A1               | 11-10-2012              | NONE                        |
| -----                                  |                  |                         |                             |
| US 2009290167                          | A1               | 26-11-2009              | EP 2286174 A2 23-02-2011    |
|  |                  |                         | JP 2011524003 A 25-08-2011  |
|  |                  |                         | US 2009290167 A1 26-11-2009 |
|  |                  |                         | US 2014016135 A1 16-01-2014 |
|  |                  |                         | WO 2009140614 A2 19-11-2009 |
| -----                                  |                  |                         |                             |

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(74)代理人 100144082

弁理士 林田 久美子

(74)代理人 100154771

弁理士 中田 健一

(74)代理人 100155963

弁理士 金子 大輔

(72)発明者 フランダース・デイル・シー

アメリカ合衆国, マサチューセッツ州 0 2 4 2 0 , レキシントン, プレストン ロード 1 5

(72)発明者 クズネツォフ・マーク・イー

アメリカ合衆国, マサチューセッツ州 0 2 4 2 1 , レキシントン, リンカーン ストリート 2  
3 9

(72)発明者 アティア・ワリッド・エー

アメリカ合衆国, マサチューセッツ州 0 2 4 2 1 , レキシントン, サイダー ミル レーン 2  
2

(72)発明者 ジョンソン・バートリー・シー

アメリカ合衆国, マサチューセッツ州 0 1 8 4 5 , ノース アンドーヴァー, サマー ストリート 3 9 9

Fターム(参考) 5F173 MA10 MB04 MC30 MD03 MD27 MD35 ME23 ME52 MF02 MF03

MF23 MF28 MF29 MF32 MF39 MF40