

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6271967号
(P6271967)

(45) 発行日 平成30年1月31日(2018.1.31)

(24) 登録日 平成30年1月12日(2018.1.12)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 S 5/183 (2006.01)	H O 1 S 5/183
B 8 1 B 3/00 (2006.01)	B 8 1 B 3/00

請求項の数 17 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2013-242425 (P2013-242425)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成25年11月23日(2013.11.23)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2015-103634 (P2015-103634A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成27年6月4日(2015.6.4)	(74) 代理人	100086483
審査請求日	平成28年11月22日(2016.11.22)		弁理士 加藤 一男
		(72) 発明者	中西 宏一郎
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
		審査官	島田 英昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長可変光源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長可変光源であって、
少なくとも一方が可動反射部である一对の反射部と、
前記一对の反射部の間に設けられた活性層と、
前記可動反射部がその一部に形成され、支持部で支持されている梁と、を有し、
前記梁は、前記支持部と前記可動反射部との間に、前記梁の延伸方向と交差する方向に突出する羽根部を有し、
前記梁と前記羽根部とを含む可動部の前記延伸方向における重心が、前記支持部から前記可動反射部までの前記延伸方向の長さの半分未満の位置にあることを特徴とする波長可変光源。

【請求項2】

前記羽根部は、前記梁の変位方向と交差する面の面内方向に、駆動力が作用する面を有することを特徴とする請求項1に記載の波長可変光源。

【請求項3】

前記羽根部は、前記梁の変位方向と交差する面内の面積が、前記梁の延伸方向と交差する面内の面積よりも大きいことを特徴とする請求項1または2に記載の波長可変光源。

【請求項4】

前記重心が、前記支持部から前記可動反射部までの前記延伸方向の長さの25%以上40%以下の位置にあることを特徴とする請求項1から3の何れか1項に記載の波長可変光源

10

20

。

【請求項 5】

前記羽根部は前記支持部とは離間して配置されていることを特徴とする請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 6】

前記梁と対向して設けられた固定電極を有し、少なくとも前記羽根部が可動電極であり、前記固定電極と前記可動電極は、前記固定電極と前記可動電極との間に静電力が付与されるように構成されていることを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 7】

前記羽根部と前記梁は前記可動電極であることを特徴とする請求項 6 に記載の波長可変光源。

【請求項 8】

前記羽根部は、同一材料で前記梁と一体に形成されていることを特徴とする請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 9】

前記羽根部は、前記梁とは別体であることを特徴とする請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 10】

前記羽根部は、前記支持部から前記可動反射部までの前記延伸方向の長さの半分未満の位置にあることを特徴とする請求項 1 から 9 の何れか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 11】

前記梁と前記羽根部の接続部が、前記羽根部の前記延伸方向の長さより短いことを特徴とする請求項 1 から 10 の何れか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 12】

前記接続部の前記延伸方向の重心位置が、前記羽根部の前記延伸方向の重心位置と一致しないことを特徴とする請求項 11 に記載の波長可変光源。

【請求項 13】

前記活性層が半導体を有することを特徴とする請求項 1 から 12 の何れか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 14】

前記一对の反射部の少なくとも一方が Distributed - Bragg - Reflector を有することを特徴とする請求項 1 から 13 の何れか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 15】

前記一对の反射部の少なくとも一方が High - Contrast - Grating を有することを特徴とする請求項 1 から 13 の何れか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 16】

前記羽根部の前記面は、前記梁を挟んで前記延伸方向の両側に一对あることを特徴とする請求項 2 に記載の波長可変光源。

【請求項 17】

請求項 1 から 16 の何れか 1 項に記載の波長可変光源と、前記波長可変光源からの光を検体に照射して検体からの光を伝達させる検体測定部と、前記波長可変光源からの光を参照ミラーに照射して参照ミラーからの光を伝達させる参照部と、前記 2 つの光を干渉させる干渉部と、前記干渉部により得られた干渉光を検出する光検出部と、前記光検出部で検出された干渉光に基づいて画像処理を行う画像処理部と、を有することを特徴とする OCT 装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、波長可変光源、それを用いたOCT (Optical - Coherence - Tomography) 装置などに関する。特に、例えば、波長可変機構として、MEMS (Microelectromechanical - system) 機構によって反射鏡を可動させ、発振波長を変化させることが可能な波長可変光源などに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、医用画像診断の分野において、光干渉画像断層診断法 (OCT) と呼ばれる、近赤外線を用いた非侵襲・非接触の診断方法が研究されている。OCTでも、幾つかの手法が検討されているが、中でも周波数掃引光源を用いたOCT (Swept - Source - Optical - Coherence - Tomography、以下SS - OCT) が着目されている。SS - OCT用の波長可変光源としては、広い波長可変幅、狭いスペクトル線幅、高速動作のものが必要であり、非特許文献1では次のものが開示されている。即ち、垂直共振面発光レーザ (Vertical - Cavity - Surface - Emitting - Laser、以下VCSEL) の片側の反射鏡をMEMS技術による静電アクチュエータで動かし、共振器長を変化させて発振波長を可変させる構成である。

【0003】

上記非特許文献1で開示されている波長可変光源の静電アクチュエータによる可動部の構成を図5に示す。図5 (A) は上面図であり、図5 (B) は図5 (A) のD - D' 断面図である。波長可変光源は、図5に示す可動部とVCSEL基板 (不図示) によって構成され、VCSEL基板側の固定ミラー (不図示) と可動部側の可動鏡406との間隔を変化させる事で波長可変動作を行う。静電アクチュエータによる可動部はSOI (Silicon - On - Insulator) 基板414を用いて作製されている。400はSi基板、402はSiO₂層、404は梁の材料であるSi層である。誘電体層である可動鏡406は、Si層404で構成された梁412の上に形成されている。Si基板400と梁412に電圧を印加する事により、Si基板400と梁412の間のギャップ410を介して静電引力が働き、梁412がSi基板400側に引き寄せられるように撓み変形する。従って可動鏡406もSi基板400側に引き寄せられるため、不図示の固定ミラーとの間隔が変化し、VCSELの発振波長が変化する。発振光はSi基板400に形成された光取り出し穴408より出射される。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】 [Wavelength Modulation Over 500 kHz of Micromechanically Tunable InP - Based VCSELs With Si - MEMS Technology] IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL 15, NO. 3, MAY / JUNE 2009

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記構成の可動部の駆動電圧は、91Vから151Vと高い駆動電圧が必要である。上記非特許文献1では、可動部をSOIで構成しており、絶縁層として絶縁耐压の高いSiO₂ (SiO₂層402) を用いているため、駆動電圧に高い電圧を用いる事が出来る。しかし、可動部をVCSEL基板と一体的に構成する場合には、絶縁層としては基板と整合性の高い化合物半導体 (例えばGaAsなど) を使用するのが一般的であるが、これは、絶縁耐压がSiO₂と比較すると一桁程度落ちる。そのため、駆動電圧を高くする事が出来ない。

【0006】

駆動電圧を低下させるには梁を長くしたり、梁材料としてヤング率の低いものを使うなどしたりして梁の剛性を弱める手法が一般的であるが、梁の剛性を弱めると共振周波数が低

10

20

30

40

50

下してしまうということがある。本発明は、上記課題に鑑み、動作速度を低下させず且つ駆動電圧の低電圧化などが可能な波長可変光源、それを用いた装置を提供する事を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の波長可変光源は、少なくとも一方が可動反射部である一对の反射部と、前記一对の反射部の間に設けられた活性層と、前記可動反射部がその一部に形成され、支持部で支持されている梁と、を有する。前記梁は、前記支持部と前記可動反射部との間に、前記梁の延伸方向と交差する方向に突出する羽根部を有し、前記梁と前記羽根部とを含む可動部の前記延伸方向における重心が、前記支持部から前記可動反射部までの前記延伸方向の長さの半分未満の位置にある。

10

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、梁に作用する静電引力などの駆動力を増加させることができるので駆動電圧などの注入エネルギーの増加を抑制できる構成を容易に実現することができる。また、羽根部による質量の増加は梁の支持部側になる事、および羽根部による梁の剛性の増加により、動作速度の低下を防ぐ事が出来る構成を容易に実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の波長可変光源の一実施形態の構成を示す図。

20

【図2】本発明の実施例である波長可変光源の可動部分の構成を示す図。

【図3】本発明の実施例である波長可変光源の構成を示す断面図。

【図4】本発明の光源を用いた光干渉断層撮像装置の例を示す模式図。

【図5】従来の波長可変光源の可動部を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明は次のような特徴を有する。少なくとも一方が可動反射部である一对の反射部と、前記一对の反射部の間に設けられた活性層と、前記可動反射部がその一部に形成され、支持部で支持されている梁と、を有する。前記梁は、前記支持部と前記可動反射部との間に、前記梁の延伸方向と交差する方向に突出する羽根部を有している。例えば、支持部とは離間している羽根部は梁と同一材料で一体的に形成されていて、固定電極等の駆動力付与部から駆動力を受けて梁が動いて可動反射部の位置が変化する。勿論、羽根部を別体で形成して、梁に交差させて取り付ける構造とすることもできる。この場合、例えば、駆動力付与部から駆動力を受ける部分を、羽根部と梁との両者とするが、羽根部のみとすることもできる。羽根部の形状は、直線状、コの字状など種々の形状であり得る。また、羽根部の部分の重心を、支持部から延びた梁の延伸方向長さの半分未満の位置にすることもできる。

30

【0011】

以下に本発明による波長可変光源の一実施形態について説明する。図1は波長可変光源の一実施形態の構成を示す図であり、図1(A)は上面図であり、図1(B)は図1(A)のB-B'断面図である。本実施形態は、例えば半導体多層膜からなるDBR(Distributed Bragg Reflector)である固定ミラー層(固定反射部)124を有するVCSEL基板128と、該基板128上に構成された可動部130を備える。例えばTiO₂/SiO₂などの誘電体多層膜DBRである可動鏡(可動反射部)106と羽根部114とを有する梁112が、固定電極122上部にギャップ110だけ離れた状態で固定部120に支持されて、可動部130を構成している。可動部130は、梁部112および羽根部114が可動電極として機能しても良いし、羽根部114のみが可動電極として機能しても良い。梁112は弾性を有する材料からなり、可動反射部から支持部に向かって延伸して支持部で支持されている。羽根部は、支持部から延びる梁の延伸方向長さの半分未満の位置で梁の延伸方向と交差する方向に突出している。可動電極(梁)

40

50

112は絶縁層102により固定電極122から電氣的に分離されている。羽根部114は支持部120とは離間している。また、羽根部114は梁112と接続部116において繋がっている。本実施形態では、梁112と可動電極（羽根部）114と接続部116は同一材料で一体的に形成されている。

【0012】

以上の様に、本実施形態の波長可変光源は、駆動力付与部である固定電極122とこれに対向して設けられた可動電極を備える可動部130とを有するアクチュエータを備える。そして、可動部に設けられた可動反射部である可動鏡106、固定反射部である固定ミラー層124、可動反射部と前記固定反射部との間に設けられた光発生部を有する。本実施形態では、光発生部は固定電極122で示す領域の中に半導体層などで構成されている。光発生部で発生される電磁波の波長は、可動反射部の位置を変化させて変化させることができる。そして、梁の延伸方向における可動部130の重心が、支持部から（より正確には支持部の可動鏡106側の縁から）延びる梁の延伸方向の長さの半分未満の位置にある。

10

【0013】

次に図1の可変波長光源の動作について説明する。VCSEL基板128の、固定ミラー層124より可動鏡106寄りに形成されている光発生部である活性層（不図示）を励起する事により光を発生させる。励起手段は、光励起や電流注入による励起方法などを用いる事が出来る。発生した光は固定ミラー層124と可動鏡106によって構成される共振器中で増幅され、レーザ光126として出射される。波長可変動作について説明する。レーザ光126の波長は、固定ミラー層124と可動鏡106とで形成される共振器長によって決定され、固定ミラー層124と可動鏡106との間隔を変える事で波長を変える事が出来る。固定電極122と梁112及び羽根部114との間に電位差を与える事により、静電引力によって梁112がZ方向に変位し、可動鏡106と固定ミラー層124との距離が変化し、レーザ光126の波長が変化する。

20

【0014】

与える電位差をV、羽根部114の面積をS1、梁112の面積をS2とし、梁112及び可動電極（羽根部）114に作用する静電引力をFとすると、次の式（1）が成り立つ。

$$F = (S1 + S2) V^2 \quad (1)$$

30

式（1）より分かるように、梁112のみのときに比べ、羽根部の面積（S2）分、静電引力が増加する。一方、羽根部114が梁112に付加されている事で、梁112は剛性が増加して曲がりにくくなるが、羽根部114を支持部120から図中X方向に分離しておく事で可動部130の剛性の増加は抑制される。そのため、静電引力の増加の効果の方が優り、駆動電圧の低電圧化（注入エネルギーの増加の抑制）が達成できる。

【0015】

また、可動部130の重心の位置が梁112の先端になるべく近くなるように羽根部114を設けたほうが、モーメントが大きくなるため、低電圧化には有利である。しかしながら、可動部130の重心が梁112の先端近傍になる様に羽根部114を設けると、先端部の質量が増加する。先端部は最も変位が大きい所であり、ここの質量の増加は可動部130の共振周波数の大幅な低下をもたらす。しかし、可動部130の延伸方向の重心が、支持部120から延びる梁の長さLの半分未満の位置にくるように構成すると、質量増加の位置が変位の小さい所となる。そのため、周波数の低下を抑える事が出来ると共に梁の剛性が若干増加するため、可動部の変位の速度を落とすことなく駆動電圧の低電圧化を達成出来る。ここにおいて、羽根部114は可動鏡106より充分に重いので、結果的には、梁の延伸方向における可動部130の重心位置が、支持部120から梁長さLの半分未満の位置になる。

40

【0016】

可動部130の重心位置をほぼ梁長さLの半分未満の位置にする理由を説明する。構造の性能を表す指標として $(f * T * 2) / (f^2 + T^2)^{1/2}$ を定義する。ここで、f

50

は可動部の周波数、 T は可動部の可動反射部の変位量である。本発明者の考察によれば、上記構造の可動部130の重心位置が支持部120から梁長さ L の約25%~65%にあるときに、追加電極(可動電極114)が無い構造と比べて、この指標は大きくなって性能が高くなる。周波数に重きをおくと、支持部120から梁長さ L の約25%~40%の所が好ましいことが分かった。こうした結果を総合的に勘案すると、可動部130の重心位置をほぼ梁長さ L の半分未満の位置にすることが機能的に好ましく、支持部120から、梁長さ L の約25%以上40%以下の位置にすることが特に好ましい。

【0017】

図1では羽根部114が梁112に繋がる接続部116の梁の延伸方向の長さは可動電極(羽根部)114の梁の延伸方向の長さと同じであるが、例えば、接続部を短くしても良い。また、接続部116の梁の延伸方向の重心位置と可動電極(羽根部)114の梁の延伸方向の重心位置は一致させなくても良い。可動部130はVCSEL基板と一体的に形成しても良いし、別体で作製して接合してもよい。すなわち、後者の場合、波長可変光源を、固定反射部と光発生部を含むVCSEL基板と可動部を含む可動構造基板を接合して形成し、VCSEL基板と可動構造基板をAu-Au接合で接合する構成(後述の実施例を参照)などであってもよい。また、固定ミラー層124、又は可動鏡106、又はその両方は、半導体や誘電体のDBRを用いてもよい。或いは、例えばHigh-Contrast-Grating(以下HCGと略す)などを用いてもよい。特に、可動鏡にHCGを用いると軽量ですむため、高速化に有利である。さらに、可動鏡を駆動する方法は、静電力の他に電磁力を用いてもよい。例えば、羽根部と梁を磁性体で構成し、固定側の駆動力付与部を、磁性体とコイルを含む電磁石で構成してもよい。

【0018】

(実施例1)

以下、本発明の実施例1を説明する。本実施例においては可動部をSOI基板で形成し、VCSEL基板と接合して波長可変光源を形成している。図3に本実施例による波長可変光源の断面図を示す。図3中、309はVCSEL基板であり、活性層303、DBR固定ミラー層305を有する。312は可動構造基板であり、低抵抗Si基板200、SiO₂層202、低抵抗Si層204から構成されたSOI基板を用いて作製した。低抵抗Si基板200にはレーザ光314の取り出し穴208が形成されている。また、SiO₂層202を選択的にエッチングすることで低抵抗Si層204と低抵抗Si基板200の間にギャップ210を形成している。低抵抗Si層204上には、誘電体DBRによって可動鏡206が形成してある。VCSEL基板309と可動構造基板312は不図示の接合部によって接合されている。本実施例では、接合方法として次の方法を採用している。即ち、VCSEL基板309側および可動構造基板312側のそれぞれに所望の高さの絶縁層および密着層としてTi(厚さ5nm)を有するAu薄膜(厚さ100nm)を形成し、真空中で温度300℃、圧力5MPaの条件で接合している。

【0019】

次に可動構造基板312の詳細について図2を用いて説明する。この両持ち梁的な構造は、図1の如き片持ち梁の構造が可動鏡の周りに等角度間隔で配置されていると考えることができる。図2(A)、(B)は、それぞれ可動構造基板の上面図及びA-A'断面図である。低抵抗Si層204をパターンニングする事で梁212及び羽根部214を形成してある。222は固定電極であり、本実施例においては低抵抗Si基板200がその役目を兼ねている。支持部220は低抵抗Si層204及びSiO₂層202のエッチングされていない部分から構成されており、梁212を支持している。可動電極214は、図2(A)に示すように、接続部216の梁の延伸方向の重心位置が支持部220から梁長さ L の半分未満の位置になるように梁212に接続されている。上述した様に、結果的には、梁の延伸方向における可動部130の重心位置が支持部220から梁長さ L の半分未満の位置になる。可動鏡206はTiO₂とSiO₂を積層し、総計3μm厚さになるように構成されている。

【0020】

低抵抗Si基板200と低抵抗Si層204に電圧を印加する事により、梁212および羽根部214の固定電極222とギャップ210を挟んで対向する部分に静電引力が作用する。これにより、梁212が低抵抗Si基板200側に撓む様に変形し、可動鏡206が低抵抗Si基板200側に引き寄せられる。本実施例において用いたSOIは、低抵抗Si基板(厚300 μ m)、SiO₂層(厚2 μ m)、低抵抗Si層(厚2 μ m)の基板を用いている。また、梁長さL=200 μ m、光取り出し穴208の直径100 μ mとし、可動電極214と梁212の接続部216の梁の延伸方向の重心位置を支持部220より70 μ m、即ち、梁長さLの35%の位置とした。また、比較対象として可動電極214を設けない以外は本実施例と同じ構造のものを作製し、構造の共振周波数及び電圧と変位量を測定した。結果を表1に示す。

10

【0021】

表1

	共振周波数	225nm変位時の電圧
本実施例	78kHz	20V
比較対象	66kHz	25V

【0022】

表1に示すように、可動鏡206を225nm変位させるのに必要な電圧は、比較対象が25Vであったのに対し、本実施例では20Vと、20%の低電圧化を確認した。また、共振周波数も比較対象の66kHzに比べ、78kHzと、若干の向上が見られた。以上説明したように、本実施例によれば、支持部から分離して、接続部の梁延伸方向の重心位置が支持部から梁長さの半分未満の位置になるように可動電極を梁に設ける事により、動作速度を低下させずに駆動電圧を低下させる事が出来る。

20

【0023】

(実施例2)

実施例2では、本発明の光源を用いた光干渉断層撮像装置の例を説明する。図4は本実施例のOCT装置の模式図である。図4のOCT装置は、基本的に、次の要素で構成されている。光源部(1501等)、光源部からの出射光を検体に照射して検体からの反射光を伝達させる検体測定部(1507等)。出射光を参照ミラーに照射して参照ミラーからの反射光を伝達させる参照部(1502等)。2つの反射光を干渉させる干渉部(1503)。干渉部により得られた干渉光を検出する光検出部(1509等)。光検出部で検出された光に基づいて画像処理を行う(本実施例では、断層像を得る)画像処理部(1511)。

30

【0024】

以下、各構成要素を説明する。光源部は、波長可変光源1501と該波長可変光源を制御する光源制御部1512を有して構成され、波長可変光源1501は、光照射用の光ファイバ1510を介して、干渉部を構成するファイバカップラ1503に接続されている。干渉部のファイバカップラ1503は、波長可変光源1501の波長帯域でシングルモードのもので構成し、各種ファイバカップラは3dBカップラで構成されている。反射ミラー1504は、参照光光路用ファイバ1502に接続されて参照部を構成し、ファイバ1502は、ファイバカップラ1503に接続されている。

40

【0025】

検査光光路用ファイバ1505、照射光集光光学系1506、照射位置走査用ミラー1507により測定部が構成され、検査光光路用ファイバ1505は、ファイバカップラ1503に接続されている。ファイバカップラ1503では、検査物体(検体)1514の内部及び表面から発生した後方散乱光と参照部からの戻り光とが干渉して干渉光となる。光検出部は、受光用ファイバ1508とフォトディテクタ1509で構成され、ファイバカップラ1503で生ずる干渉光がフォトディテクタ1509に導かれる。フォトディテクタ1509で受光された光は信号処理装置1511にてスペクトル信号に変換され、さらにフーリエ変換を施すことで検査物体の奥行き情報を取得する。取得された奥行き情報は画像出力モニター1513に断層画像として表示される。

50

【 0 0 2 6 】

ここで、信号処理装置 1 5 1 1 は、パーソナルコンピュータ等で構成することができ、画像出力モニター 1 5 1 3 は、パーソナルコンピュータの表示画面等で構成できる。本実施例で特徴的であるのは光源部であり、波長可変光源 1 5 0 1 は光源制御装置 1 5 1 2 によりその発振波長や強度及びその時間変化が制御される。光源制御装置 1 5 1 2 は、照射位置走査用ミラー 1 5 0 7 の駆動信号等をも制御する信号処理装置 1 5 1 1 に接続され、走査用ミラー 1 5 0 7 の駆動と同期して波長可変光源 1 5 0 1 が制御される。例えば、実施例 1 で説明した光源装置を本実施例の波長可変光源 1 5 0 1 として用いると、この光源装置は広帯域を高速で波長掃引が可能であるため、奥行き分解能が高解像な断層画像情報を高速に取得可能である。この OCT 装置は、眼科、歯科、皮膚科等における断層画像撮影に有用である。

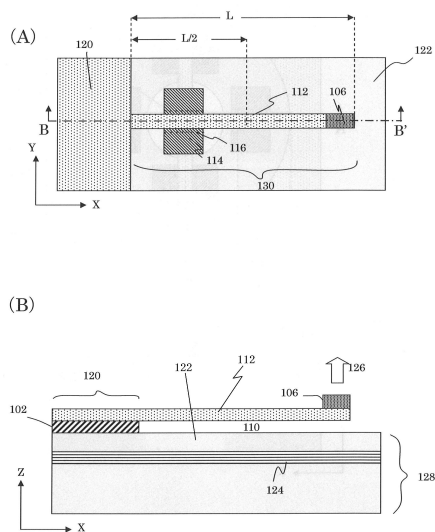
10

【 符号の説明 】

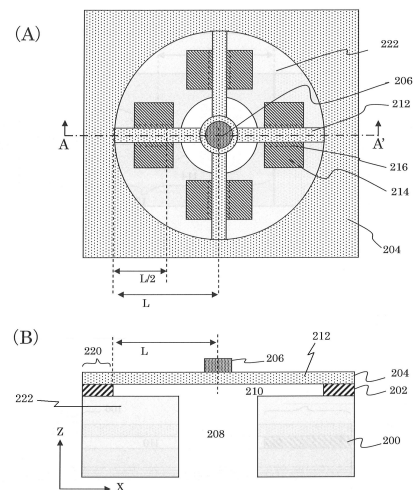
【 0 0 2 7 】

1 0 6 : 可動鏡 (可動反射部) 、 1 1 2 : 梁、 1 1 4 : 羽根部、 1 2 0 : 支持部、 1 2 2 : 固定電極 (駆動力付与部) 、 1 2 4 : 固定ミラー層 (固定反射部) 、 1 3 0 : 可動部、 3 0 3 : 活性層 (光発生部)

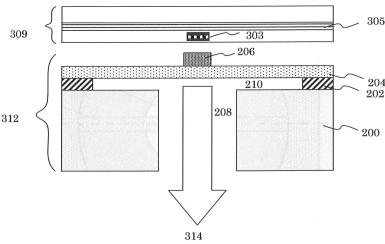
【 図 1 】



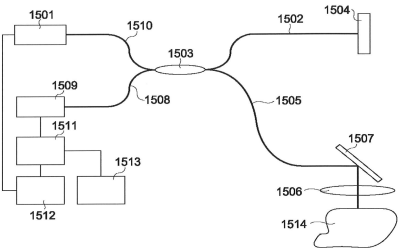
【 図 2 】



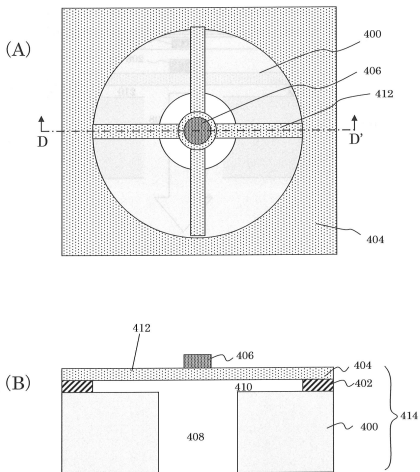
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-211032(JP,A)
特開2007-278868(JP,A)
特開2005-309099(JP,A)
米国特許出願公開第2011/0280269(US,A1)
特開2013-197574(JP,A)
特開2011-053520(JP,A)
特開2012-112777(JP,A)
米国特許出願公開第2008/0259971(US,A1)
特開2012-163664(JP,A)
米国特許第05629951(US,A)
特開2013-178235(JP,A)
米国特許出願公開第2007/0183643(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50
B81B 3/00
G01N21/17、21/39
G01N29/00
A61B10/00
A61B 1/00
G02B26/00