

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7396643号  
(P7396643)

(45)発行日 令和5年12月12日(2023.12.12)

(24)登録日 令和5年12月4日(2023.12.4)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 1 S	5/183(2006.01)	H 0 1 S	5/183
G 0 2 B	26/00 (2006.01)	G 0 2 B	26/00
B 8 1 B	3/00 (2006.01)	B 8 1 B	3/00

請求項の数 6 (全14頁)

(21)出願番号	特願2019-225090(P2019-225090)	(73)特許権者	301022471 国立研究開発法人情報通信研究機構 東京都小金井市貫井北町4-2-1
(22)出願日	令和1年12月13日(2019.12.13)	(74)代理人	110001807 弁理士法人磯野国際特許商標事務所
(65)公開番号	特開2021-97061(P2021-97061A)	(72)発明者	原 基揚 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内
(43)公開日	令和3年6月24日(2021.6.24)	(72)発明者	矢野 雄一郎 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内
審査請求日	令和4年11月21日(2022.11.21)	(72)発明者	梶田 雅稔 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内
(出願人による申告) 令和元年度、総務省、戦略的情報通信研究開発推進事業「原子スペクトルを利用した超高安定発振器チップに関する研究開発」、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願		(72)発明者	井戸 哲也 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波長可変面発光レーザ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1基板と、エアギャップを介して、前記第1基板と対向するように設けられた薄板基板と、可動用ギャップを介して、前記薄板基板と対向するように設けられた第2基板と、を備える波長可変面発光レーザであって、

前記第1基板は、前記第1基板の一方の平面に形成された第1反射層と、前記第1反射層に形成された活性層と、絶縁層を介して、前記活性層に形成された第1可動電極と、を備え、

前記薄板基板は、前記活性層と対向する平面に形成された第2反射層、を備え、

前記第2基板は、前記可動用ギャップと反対側の平面に形成された第2可動電極、を備え、

10

前記薄板基板及び前記第2反射層は、前記エアギャップ及び前記可動用ギャップの間に位置する一部領域が、前記第1可動電極に電圧が印加された場合に前記エアギャップ側に稼働し、前記第2可動電極に電圧が印加された場合に前記可動用ギャップ側に可動することを特徴とする波長可変面発光レーザ。

【請求項2】

前記第1可動電極は、

発光領域を中心として配置され、一方の端点と他方の端点とを接続させないように隙間が設けられた円弧状の可動電極本体部と、

前記可動電極本体部から周方向に延長された可動電極延長部と、

20

を有することを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変面発光レーザ。

【請求項 3】

前記第 1 可動電極は、

複数の前記可動電極本体部が、前記発光領域を中心として同心円状に形成され、

複数の前記可動電極本体部から延長された隙間が、前記発光領域から周方向に伸びる同一軸線上に位置し、

内周側の前記可動電極本体部に設けられた可動電極延長部が、絶縁膜を介して、外周側の前記可動電極本体部を跨ぐように形成されたことを特徴とする請求項 2 に記載の波長可変面発光レーザ。

【請求項 4】

前記第 1 基板の他方の平面に形成された第 1 発光電極と、

前記活性層の前記第 1 可動電極と同一平面に形成された第 2 発光電極と、をさらに備え、前記第 2 発光電極は、

最も内周側に位置する前記可動電極本体部と前記発光領域との間に形成された発光電極本体部と、

複数の前記可動電極本体部から延長された隙間を通過するように、前記発光電極本体部から周方向に延長された発光電極延長部と、

を有することを特徴とする請求項 3 に記載の波長可変面発光レーザ。

【請求項 5】

前記第 2 反射層は、前記エアギャップが位置する側の平面に凸部が形成されたことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の波長可変面発光レーザ。

【請求項 6】

前記活性層と前記第 2 反射層との間に前記エアギャップを形成するエアギャップ形成部と、

前記薄板基板と前記第 2 基板との間に前記可動用ギャップを形成する可動用ギャップ形成部と、

をさらに備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 の何れか一項に記載の波長可変面発光レーザ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長可変面発光レーザに関する。

【背景技術】

【0002】

垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL：Vertical Cavity Surface Emitting Laser）において、波長可変技術は、熱制御によるものと可動鏡を付加するものとの 2 種類に大別される。前者の熱制御による手法では、VCSEL の構成材料の温度特性を活用し、レーザ発振のための注入電流を増減させて、ジュール熱により波長を変化させている。この熱制御による手法では、波長を制御するために、冷却機構を付加するか、自然冷却を有効に活用できるように予熱を与える必要がある。熱制御による手法は、原子時計システムのように VCSEL を恒温環境で動作させる場合、その波長可変範囲が制限されることがある。

【0003】

後者の可動鏡を付加する手法では、反射膜を機械的に駆動することで、熱を用いずに波長を制御できる（特許文献 1 及び非特許文献 1）。特許文献 1 に記載の手法では、一方の多層ブラッグ反射膜と活性層とで構成されるハーフ VCSEL に、静電引力で可動（移動）する可動鏡を張り合わせることで、波長の制御を実現している。

【0004】

また、非特許文献 1 に記載の VCSEL 9 では、図 6 に示すように、多層ブラッグ反射膜 9 2 を活性層 1 0 2 から分離し、静電引力で多層ブラッグ反射膜 9 2 を光軸方向に可動

10

20

30

40

50

することで、波長の制御を実現している。なお、図6には、可動鏡駆動端子90, 94、絶縁層91, 95、犠牲層93、低屈折率化合物半導体96, 98, 100、高屈折率化合物半導体97、多重量子井戸構造(MQW: Multi Quantum Well)99、光閉じ込め層101、多層ブラッグ反射膜103、化合物基板104、電流注入端子105を図示した。また、低屈折率化合物半導体98, 100、MQW99及び活性層102を構成する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特許第4200431号

【非特許文献】

【0006】

【文献】M. C. Y. Huang et. al., " Monolithic Integrated Piezoelectric MEMS-Tunable VCSEL ", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics ,Vol.13(2), pp.374-380, 2007

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

前記した従来手法では、反射膜を一方向にしか可動できないため、波長可変範囲が狭いという問題があった。

【0008】

そこで、本発明は、波長可変範囲が広い波長可変面発光レーザを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

前記課題を解決するため、本発明に係る波長可変面発光レーザは、第1基板と、エアギャップを介して、前記第1基板と対向するように設けられた薄板基板と、可動用ギャップを介して、前記薄板基板と対向するように設けられた第2基板と、を備える波長可変面発光レーザであって、前記第1基板は、前記第1基板の一方の平面に形成された第1反射層と、前記第1反射層に形成された活性層と、絶縁層を介して、前記活性層に形成された第1可動電極と、を備え、前記薄板基板は、前記活性層と対向する平面に形成された第2反射層、を備え、前記第2基板は、前記可動用ギャップと反対側の平面に形成された第2可動電極、を備え、前記薄板基板及び前記第2反射層は、前記エアギャップ及び前記可動用ギャップの間に位置する一部領域が、前記第1可動電極に電圧が印加された場合に前記エアギャップ側に稼働し、前記第2可動電極に電圧が印加された場合に前記可動用ギャップ側に可動する構成とした。

【0010】

かかる構成によれば、第1可動電極に電圧が印加された場合、エアギャップ側への静電引力が発生し、第2可動電極に電圧が印加された場合、可動用ギャップ側への静電引力が発生し、これら静電引力により第2反射層が両方向に可動する。このように、波長可変面発光レーザによれば、第2反射層がエアギャップ側と可動用ギャップ側との両方向に可動するので、波長可変範囲を広くすることができる。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、波長可変範囲を広くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】第1実施形態に係る波長可変面発光レーザの断面図、及び、上方可動電極の正面図である。

【図2A】可動鏡がエアギャップ側に可動するときの説明図である。

【図2B】可動鏡が可動用ギャップ側に可動するときの説明図である。

10

20

30

40

50

【図3】第2実施形態に係る波長可変面発光レーザの断面図、及び、上方可動電極の正面図である。

【図4】第3実施形態に係る波長可変面発光レーザの断面図である。

【図5】第4実施形態に係る波長可変面発光レーザの断面図、及び、上方可動電極の正面図である。

【図6】従来のVCSELの断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。但し、以下に説明する形態は、本発明の技術思想を具体化するためのものであって、特定の記載がない限り、本発明を以下のものに限定しない。また、図面が示す部材の大きさや位置関係等は、説明を明確にするため、誇張していることがある。また、実施形態において、同一の手段には同一の符号を付し、説明を省略することがある。

【0014】

(第1実施形態)

[波長可変面発光レーザの構成]

図1を参照し、第1実施形態に係る波長可変面発光レーザ1の構成について説明する。

なお、水平方向をx軸、垂直方向をy軸、及び、奥行き方向をz軸として図示した。

【0015】

図1に示すように、波長可変面発光レーザ1は、レーザ光を下方向に出射する波長可変VCSELであり、上部基板(第1基板)11と、エアギャップG1を介して、上部基板11と対向するように設けられた薄板基板22と、可動用ギャップG2を介して、薄板基板22と対向するように設けられた下部基板(第2基板)24と、を備える。より具体的には、波長可変面発光レーザ1は、陽極側発光電極(第1発光電極)10と、上部基板11と、DBR層12と、活性層13と、絶縁層14と、上方可動電極15と、陰極側発光電極(第2発光電極)16と、エアギャップ形成部17と、可動電極端子18と、発光電極端子19と、可動鏡20と、基準電位端子21と、薄板基板22と、可動用ギャップ形成部23と、下部基板24と、下方可動電極(第2可動電極)25とを備える。

【0016】

陽極側発光電極10は、波長可変面発光レーザ1を発光させる電圧を印加する電極(+電極)である。また、陽極側発光電極10は、上部基板11の他方の平面(上側平面)に形成されている。この陽極側発光電極10としては、アルミ電極や銅電極を例示できる。

【0017】

上部基板11は、上側平面に陽極側発光電極10が形成され、下側平面にDBR層12が形成された基板である。この上部基板11としては、n型のInP(リン化インジウム)基板を例示できる。

【0018】

DBR層12は、上部基板11の一方の平面に形成された分布反射(Distributed Bragg Reflector)層である。例えば、DBR層12は、上部基板11における陽極側発光電極10と反対側の平面(下側平面)に形成されている。このDBR層12としては、n型のInP/InGaAs(インジウムガリウムヒ素)の多層膜、及び、GaAs(ガリウムヒ素)/AlAs(ヒ化アルミニウム)の多層膜を例示できる。

【0019】

活性層13は、DBR層12に形成された活性層である。例えば、活性層13は、DBR層12における上部基板11と反対側の平面(下側平面)に形成されている。この活性層13としては、多重量子井戸構造(MQW)の活性層を例示できる。

【0020】

絶縁層14は、活性層13におけるDBR層12と反対側の平面(下側平面)に形成された絶縁層である。また、絶縁層14は、波長可変面発光レーザ1の発光領域に重なる範囲に形成しない。この絶縁層14としては、アルミニウム酸化膜を例示できる。ここで

10

20

30

40

50

、活性層 13 及び絶縁層 14 の中央付近には光閉じ込め部材 13A が形成されており、活性層 13 の中央部が絶縁層 14 から露出している。光閉じ込め部材 13A は、発光領域に光電子を閉じ込めるものであり、例えば、SiO<sub>2</sub> で形成された円環状の部材である。

なお、発光領域とは、波長可変面発光レーザ 1 がレーザ光を発光（出射）する領域のことであり、例えば、水平方向及び奥行き方向の略中央に位置する。

#### 【0021】

上方可動電極 15 は、可動鏡 20 をエアギャップ G1 側（上方向）に可動させるための電極である。すなわち、上方可動電極 15 は、陰極側発光電極 16 に接触しないように、ハーフ VCSL 側（上部基板 11 側）に追加した電極である。ここで、上方可動電極 15 は、絶縁層 14 を介して、活性層 13 に形成されている。より具体的には、上方可動電極 15 は、絶縁層 14 における活性層 13 と反対側の平面（下側平面）に形成されている。この上方可動電極 15 としては、アルミ電極や銅電極を例示できる。

10

#### 【0022】

陰極側発光電極 16 は、波長可変面発光レーザ 1 を発光させるための電極であり、陽極側発光電極 10 と対になる電極（-電極）である。また、陰極側発光電極 16 は、活性層 13 における上方可動電極 15 と同一平面（例えば、絶縁層 14 の下側平面）に形成されている。この陰極側発光電極 16 としては、アルミ電極や銅電極を例示できる。

#### 【0023】

< 上側可動電極及び陰極側発光電極の詳細 >

以下、上方可動電極 15 及び陰極側発光電極 16 を詳細に説明する。

20

上方可動電極 15 及び陰極側発光電極 16 は、互いに接触しないように、垂直方向で同一高さ、かつ、水平方向及び奥行き方向で同一平面上に形成されている。

#### 【0024】

上方可動電極 15 は、平面視において、円弧状の可動電極本体部 15A と、可動電極延長部 15B とを有する。

可動電極本体部 15A は、発光領域を中心として、発光領域を囲むように配置されている。また、可動電極本体部 15A は、一方の端点 15C<sub>S</sub> と他方の端点 15C<sub>E</sub> とを接続させないように、隙間 15D が設けられている。つまり、可動電極本体部 15A は、周方向で所定の幅を有し、隙間 15D が左方向に設けられているので、逆 C 字状の形状になる。

30

可動電極延長部 15B は、可動電極本体部 15A から周方向（右方向）に延長されている。また、可動電極延長部 15B は、正方形状の端部を有し、この端部下面にエアギャップ形成部 17 が形成されている。

#### 【0025】

陰極側発光電極 16 は、平面視において、円状の発光電極本体部 16A と、発光電極延長部 16B とを有する。

発光電極本体部 16A は、可動電極本体部 15A と発光領域との間に形成されている。つまり、発光電極本体部 16A は、可動電極本体部 15A に囲われるように可動電極本体部 15A の内周側に位置している。また、発光電極本体部 16A は、発光領域に重なる範囲に形成しない。

40

発光電極延長部 16B は、可動電極本体部 15A に設けられた隙間 15D を通過するように、発光電極本体部 16A から周方向（左方向）に延長されている。また、発光電極延長部 16B は、正方形状の端部を有し、この端部下面にエアギャップ形成部 17 が形成されている。

#### 【0026】

図 1 上段に戻り、波長可変面発光レーザ 1 の説明を続ける。

エアギャップ形成部 17 は、活性層 13 と可動鏡 20 との間にエアギャップ G1 を形成するものであり、可動電極延長部 15B と可動電極端子 18 との間に設けられている。図 1 には 2 個のエアギャップ形成部 17 を図示した。このエアギャップ形成部 17 としては、半田を例示できる。

50

## 【 0 0 2 7 】

可動電極端子 1 8 は、可動鏡 2 0 の上側平面に形成された上方可動電極 1 5 の端子である。つまり、可動電極端子 1 8 は、エアギャップ形成部 1 7 を介して、可動電極延長部 1 5 B と電氣的に接続されている。この可動電極端子 1 8 としては、アルミ電極や銅電極を例示できる。

## 【 0 0 2 8 】

発光電極端子 1 9 は、可動鏡 2 0 の上側平面に形成された陰極側発光電極 1 6 の端子である。つまり、発光電極端子 1 9 は、エアギャップ形成部 1 7 を介して、発光電極延長部 1 6 B と電氣的に接続されている。この発光電極端子 1 9 としては、アルミ電極や銅電極を例示できる。

10

## 【 0 0 2 9 】

可動鏡 2 0 は、薄板基板 2 2 における活性層 1 3 と対向する平面（上側平面）に形成された反射層である。つまり、可動鏡 2 0 は、エアギャップ G 1 を介して、活性層 1 3 と対向するように薄板基板 2 2 に設けられている。また、可動鏡 2 0 は、後記する薄板基板 2 2 の一部領域と共に、エアギャップ G 1 側（上方向）及び可動用ギャップ G 2 側（下方向）に可動する。また、可動鏡 2 0 は、基準電位端子 2 1 を配置するための凹部を有する。この可動鏡 2 0 は、D B R 層 1 2 と同様の分布反射層（D B R 層）である。

なお、可動用ギャップ G 2 とは、エアギャップ G 1 との反対方向（下方向）に可動鏡 2 0 を可動させるための空間のことである。

## 【 0 0 3 0 】

基準電位端子 2 1 は、陽極側発光電極 1 0、上方可動電極 1 5 及び下方可動電極 2 5 に対して、基準電位（G N D）となる端子である。この基準電位端子 2 1 としては、アルミ電極や銅電極を例示できる。

20

## 【 0 0 3 1 】

薄板基板 2 2 は、エアギャップ G 1 を介して、上部基板 1 1 と対向するように設けられた基板である。また、薄板基板 2 2 は、エアギャップ G 1 側の平面（上側平面）に可動鏡 2 0 が形成されており、可動用ギャップ G 2 側の平面（下側平面）に可動用ギャップ形成部 2 3 が形成されている。また、薄板基板 2 2 は、エアギャップ G 1 及び可動用ギャップ G 2 の間に位置する一部領域が、エアギャップ G 1 側（上方向）及び可動用ギャップ G 2 側（下方向）に可動する。この薄板基板 2 2 としては、膜厚が 1 ミクロン程度の S i 基板を例示できる。

30

なお、可動鏡 2 0 及び薄板基板 2 2 は、少なくとも 5 0 0 ナノメートル程度の範囲が上下方向に可動すればよく、これら以外の領域が上下方向に可動してもよい。

## 【 0 0 3 2 】

可動用ギャップ形成部 2 3 は、薄板基板 2 2 と下部基板 2 4 との間に可動用ギャップ G 2 を形成するものであり、薄板基板 2 2 と下部基板 2 4 との間に設けられている。図 1 には 2 個の可動用ギャップ形成部 2 3 を図示した。この可動用ギャップ形成部 2 3 としては、S i O 2 で形成された形成層を例示できる。

## 【 0 0 3 3 】

下部基板 2 4 は、可動用ギャップ G 2 を介して、薄板基板 2 2 と対向するように設けられた基板である。また、下部基板 2 4 は、レーザ光の出射孔 が中央部に設けられている。なお、図 1 には下部基板 2 4 を 2 個図示したが、平面視においては、中央部に射出孔が形成された 1 枚の基板となる。また、下部基板 2 4 は、上側平面の左右に可動用ギャップ形成部 2 3 が形成され、下側平面の左右に下方可動電極 2 5 が形成されている。この下部基板 2 4 としては、n 型の S i 基板を例示できる。

40

## 【 0 0 3 4 】

下方可動電極 2 5 は、可動鏡 2 0 を可動用ギャップ G 2 側（下方向）に可動させるための電極である。また、下方可動電極 2 5 は、下部基板 2 4 における可動用ギャップ G 2 と反対側の平面（下側平面）に形成されている。この下方可動電極 2 5 としては、アルミ電極や銅電極を例示できる。

50

## 【 0 0 3 5 】

## &lt; レーザ光の出射 &gt;

以下、波長可変面発光レーザ 1 がレーザ光を出射する動作について詳細に説明する。

陽極側発光電極 1 0 と陰極側発光電極 1 6 ( 発光電極端子 1 9 ) との間に電圧を印加した場合を考える。この場合、波長可変面発光レーザ 1 では、絶縁層 1 4 が形成されていない発光領域 において、上部基板 1 1 と DBR 層 1 2 と活性層 1 3 とを通過し、陽極側発光電極 1 0 から陰極側発光電極 1 6 まで電流 ( 正孔 ) が流れる。一方、波長可変面発光レーザ 1 では、発光領域 において、陰極側発光電極 1 6 から陽極側発光電極 1 0 まで電子が流れる。

## 【 0 0 3 6 】

すると、波長可変面発光レーザ 1 では、正孔と電子との結合により発光領域 で発光し、DBR 層 1 2 と可動鏡 2 0 との間で形成される光共振器によって光増幅され、レーザ光を出射する。このとき、波長可変面発光レーザ 1 が出射するレーザ光の波長は、エアギャップ G 1 の幅に依存する。従って、波長可変面発光レーザ 1 では、エアギャップ G 1 の幅を変化させることで、レーザ光の波長を制御できる。

## 【 0 0 3 7 】

## &lt; レーザ光の波長制御 &gt;

図 2 を参照し、波長可変面発光レーザ 1 がレーザ光の波長を制御する動作について詳細に説明する。

図 2 A に示すように、上方可動電極 1 5 と基準電位端子 2 1 ( 図 1 ) との間に電圧を印加した場合を考える。この場合、波長可変面発光レーザ 1 では、薄板基板 2 2 及び可動鏡 2 0 と上方可動電極 1 5 との間に静電引力 F が発生し、薄板基板 2 2 及び可動鏡 2 0 がエアギャップ G 1 側 ( 上方向 ) に可動する。その結果、波長可変面発光レーザ 1 では、エアギャップ G 1 の幅 W が狭くなる。

## 【 0 0 3 8 】

図 2 B に示すように、下方可動電極 2 5 と基準電位端子 2 1 との間に電圧を印加した場合を考える。この場合、波長可変面発光レーザ 1 では、薄板基板 2 2 及び可動鏡 2 0 と下方可動電極 2 5 との間に静電引力 F が発生し、薄板基板 2 2 及び可動鏡 2 0 が可動用ギャップ G 2 側 ( 下方向 ) に可動する。その結果、波長可変面発光レーザ 1 では、エアギャップ G 1 の幅 W が広くなる。

このように、波長可変面発光レーザ 1 では、エアギャップ G 1 の幅 W を増減させることで、レーザ光の波長を制御することができる。

## 【 0 0 3 9 】

## [ 上方可動電極及び陰極側発光電極の製造方法 ]

波長可変面発光レーザ 1 は、フォトリソグラフィ、エッチング等の一般的な手法で製造することができる。例えば、DBR 層 1 2 及び活性層 1 3 は、有機金属気相成長法 ( MOCVD : Metal Organic Chemical Vapor Deposition ) 法により積層できる。また、上方可動電極 1 5 及び陰極側発光電極 1 6 の材料をスパッタ法で製膜した後、上方可動電極 1 5 及び陰極側発光電極 1 6 を示すパターンでマスクする。そして、マスク後の積層膜をエッチングすれば、上方可動電極 1 5 及び陰極側発光電極 1 6 を形成できる。

## 【 0 0 4 0 】

## [ 作用・効果 ]

以上のように、波長可変面発光レーザ 1 では、活性層 1 3 に近づける方向と活性層 1 3 から遠ざける方向とに可動鏡 2 0 を可動させるので、レーザ光の波長を正負に制御することができる。すなわち、波長可変面発光レーザ 1 では、可動鏡 2 0 がエアギャップ G 1 側と可動用ギャップ G 2 側との両方向に可動するので、エアギャップ G 1 の幅を増減させて、波長可変範囲を広くすることができる。

## 【 0 0 4 1 】

ここで、VCSEL は、ウェハープロセスで製造するチップ部品であるため、ウェハーマン内で発振波長にバラツキが発生し、その用途によって許容される発振波長のバラツキが

10

20

30

40

50

異なる。例えば、スマートフォンに搭載される顔認証用光源の用途であれば、±数10nmまで発振波長のバラツキが許容される。一方、原子時計システムの用途であれば、発振波長のバラツキの許容範囲が±数nmまで厳しくなり、部品選別による収率が低下し、製造コストの増大につながる。そこで、波長可変面発光レーザ1によれば、波長可変範囲が広いこと、発振波長のバラツキの中心値を設定値に一致させることが容易となり、製造コストを低下させることができる。

さらに、波長可変面発光レーザ1は、熱制御による手法ではないため、恒温環境で動作させる必要のある原子時計システムに容易に適用することができる。

さらに、波長可変面発光レーザ1は、上方可動電極15及び可動鏡20を別の工程で製造できるので、上方可動電極15に様々な工夫を施すことができる。

#### 【0042】

(第2実施形態)

[波長可変面発光レーザの構成]

図3を参照し、第2実施形態に係る波長可変面発光レーザ1Bの構成について、第1実施形態と異なる点を説明する。

波長可変面発光レーザ1Bでは、可動鏡20の撓みを平均化するため、上方可動電極35を複数に分割している。

#### 【0043】

図3に示すように、波長可変面発光レーザ1Bは、図1の上方可動電極15に代えて、上方可動電極35を備える。

なお、上方可動電極35以外の構成は、第1実施形態と同様のため、説明を省略する。

#### 【0044】

上方可動電極35は、可動電極本体部35A及び可動電極延長部35Bが複数組設けられたものである。本実施形態では、3組の可動電極本体部35A<sub>1</sub>～35A<sub>3</sub>及び可動電極延長部35B<sub>1</sub>～35B<sub>3</sub>が、内周側から外周側に順に設けられている。

なお、可動電極本体部35A及び可動電極延長部35Bは、2組又は4組以上であってもよい。

#### 【0045】

3層の可動電極本体部35A<sub>1</sub>～35A<sub>3</sub>は、発光領域を中心として同心円状に形成されている。また、隙間35Dは、可動電極本体部35A<sub>1</sub>～35A<sub>3</sub>の両端点を接続させないように、全ての可動電極本体部35A<sub>1</sub>～35A<sub>3</sub>に渡って、同一軸線上に設けられている。例えば、隙間35Dは、発光領域から周方向(左方向)に設けられている。

#### 【0046】

可動電極延長部35B<sub>1</sub>～35B<sub>3</sub>は、互いに接触しないように奥行き方向で異なる位置で、可動電極本体部35A<sub>1</sub>～35A<sub>3</sub>から周方向(右方向)に延長されている。また、可動電極延長部35B<sub>1</sub>～35B<sub>3</sub>は、正方形の端部を有し、この端部下面にエアギャップ形成部17が形成されている。ここで、内周側の可動電極本体部35A<sub>1</sub>に設けられた可動電極延長部35B<sub>1</sub>が、絶縁膜35E<sub>1</sub>を介して、外周側の可動電極本体部35A<sub>2</sub>、35A<sub>3</sub>を跨ぐように形成されている。このようにして、可動電極延長部35B<sub>1</sub>と可動電極本体部35A<sub>2</sub>、35A<sub>3</sub>とが電氣的に接触することを避けている。この可動電極延長部35B<sub>1</sub>と同様、内周側の可動電極延長部35B<sub>2</sub>は、絶縁膜35E<sub>2</sub>を介して、外周側の可動電極本体部35A<sub>3</sub>の表面に形成されている。

#### 【0047】

発光電極本体部16Aは、最も内周側の可動電極本体部35A<sub>1</sub>と発光領域との間に形成されている。つまり、発光電極本体部16Aは、可動電極本体部35A<sub>1</sub>に囲われるように可動電極本体部35A<sub>1</sub>の内周側に配置されている。

発光電極延長部16Bは、3層の可動電極本体部35A<sub>1</sub>～35A<sub>3</sub>に設けられた隙間35Dを通過するように、発光電極本体部16Aから周方向(左方向)に延長されている。また、発光電極延長部16Bは、正方形の端部を有し、この端部下面にエアギャップ形成部17が形成されている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 8 】

## [ 作用・効果 ]

以上のように、上方可動電極 3 5 は、3 組の可動電極本体部 3 5 A<sub>1</sub> ~ 3 5 A<sub>3</sub> 及び可動電極延長部 3 5 B<sub>1</sub> ~ 3 5 B<sub>3</sub> が互いに接触しないので、可動電極本体部 3 5 A<sub>1</sub> ~ 3 5 A<sub>3</sub> に異なる電圧を印加できる。また、可動鏡 2 0 と上方可動電極 3 5 との距離が短くなる程、静電引力が強くなるので、可動鏡 2 0 が可動したときの撓みは、可動鏡 2 0 の外周側よりも内周側の方が強くなる。そこで、可動鏡 2 0 を一様に可動させる（撓ませる）ためには、内周側から外周側に向かって、可動電極本体部 3 5 A<sub>1</sub> ~ 3 5 A<sub>3</sub> に印加する電圧を高すればよい。例えば、内周側の可動電極本体部 3 5 A<sub>1</sub> に印加する電圧を低く、外周側の可動電極本体部 3 5 A<sub>3</sub> に印加する電圧を高く、中間の可動電極本体部 3 5 A<sub>2</sub> に印加する電圧を両方の間とする。このように、波長可変面発光レーザ 1 B は、可動鏡 2 0 の撓みを平均化することができる。

10

なお、第 2 実施形態に係る波長可変面発光レーザ 1 B は、第 1 実施形態と同様の効果を奏することは言うまでもない。

## 【 0 0 4 9 】

## ( 第 3 実施形態 )

## [ 波長可変面発光レーザの構成 ]

図 4 を参照し、第 3 実施形態に係る波長可変面発光レーザ 1 C の構成について、第 1 実施形態と異なる点を説明する。

図 4 に示すように、波長可変面発光レーザ 1 C は、可動鏡 2 0 C に凸部 2 6 を設けたものである。

20

なお、可動鏡 2 0 C 以外の構成は、第 1 実施形態と同様のため、説明を省略する。

## 【 0 0 5 0 】

可動鏡 2 0 C は、エアギャップ G 1 が位置する側の平面に凸部 2 6 が形成されている。つまり、凸部 2 6 は、可動鏡 2 0 C の上側平面に設けられた微小な突起である。例えば、凸部 2 6 は、発光領域 に重ならないように左右に 3 個ずつ、計 6 個形成されている。

なお、凸部 2 6 の個数及び位置は、特に制限されない。また、凸部 2 6 の形状も制限されず、長方形状の他、台形状又は三角形状であってもよい。

## 【 0 0 5 1 】

なお、凸部 2 6 は、フォトリソグラフィ、エッチング等の一般的な手法で製造することができる。例えば、凸部 2 6 の材料となる SiO<sub>2</sub> を CVD 法で製膜する。次に、凸部 2 6 を示すパターンでマスクする。そして、マスク後の積層膜をエッチングすれば、凸部 2 6 を形成できる。

30

## 【 0 0 5 2 】

## [ 作用・効果 ]

以上のように、波長可変面発光レーザ 1 C では、可動鏡 2 0 C の上側平面に凸部 2 6 を設けたので、可動鏡 2 0 C が上方向に可動した際、可動鏡 2 0 C と上方可動電極 1 5 及び陰極側発光電極 1 6 との張り付きによる破損を抑制することができる。

なお、第 3 実施形態に係る波長可変面発光レーザ 1 C は、第 1 実施形態と同様の効果を奏することは言うまでもない。

40

## 【 0 0 5 3 】

なお、凸部 2 6 は、可動鏡 2 0 C の上側平面の代わりに、上方可動電極 1 5 及び陰極側発光電極 1 6 の下側平面に設けてもよい。

また、第 2 実施形態においても同様に凸部 2 6 を適用することができる。

## 【 0 0 5 4 】

## ( 第 4 実施形態 )

## [ 波長可変面発光レーザの構成 ]

図 5 を参照し、第 4 実施形態に係る波長可変面発光レーザ 1 D の構成について、第 1 実施形態と異なる点を説明する。

図 5 上段に示すように、波長可変面発光レーザ 1 D は、レーザ光を上方向に出射する波

50

長可変 VCSEL である。

【0055】

図5に示すように、図1の陽極側発光電極10、上部基板11、下部基板24及び下方可動電極25に代えて、陽極側発光電極10D、上部基板11D、下部基板24D及び下方可動電極25Dを備える。

なお、陽極側発光電極10D、上部基板11D、下部基板24D及び下方可動電極25D以外の構成は、第1実施形態と同様のため、説明を省略する。

【0056】

陽極側発光電極10D及び上部基板11Dは、レーザ光を妨害しないように発光領域の上側には形成されていない。例えば、上部基板11Dは、発光領域の上側に位置するDBR層12の平面が露出するように、逆台形状の出射孔が形成されている。また、陽極側発光電極10Dは、上部基板11Dの上側平面において、出射孔の左右に形成されている。他の点、陽極側発光電極10D及び上部基板11Dは、第1実施形態と同様のため、これ以上の説明を省略する。

10

【0057】

下部基板24D及び下方可動電極25Dは、中央部に形成されておらず、平板状となっている。他の点、下部基板24D及び下方可動電極25Dは、第1実施形態と同様のため、これ以上の説明を省略する。

【0058】

以上のように、波長可変面発光レーザ1Dは、上方出射の場合であっても、第1実施形態と同様に波長可変範囲を広くすることができる。

20

【0059】

(変形例)

以上、本発明の各実施形態を詳述してきたが、本発明は前記した各実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

前記した各実施形態では、薄板基板を単純な薄膜構造の例で説明したが、これに限定されない。例えば、より柔軟に可動するように、薄板基板をミアンダ状のスプリングで支持してもよい。

【0060】

なお、前記した各実施形態では、n型半導体の例で説明したが、本発明に係る波長可変面発光レーザは、p型半導体でも実現することができる。

30

また、波長可変面発光レーザの積層構造は、前記した各実施形態に制限されない。

また、上方可動電極の形状は、前記した各実施形態に制限されない。

【産業上の利用可能性】

【0061】

本発明は、様々な用途の半導体レーザとして利用することができる。特に、本発明は、安定、かつ、波長制御性に優れた性能が要求される原子時計に利用することができる。

【符号の説明】

【0062】

- 1 ~ 1D 波長可変面発光レーザ
- 10, 10D 陽極側発光電極(第1発光電極)
- 11, 11D 上部基板(第1基板)
- 12 DBR層(第1反射層)
- 13 活性層
- 13A 光閉じ込め部材
- 14 絶縁層
- 15 上方可動電極(第1可動電極)
- 15A 可動電極本体部
- 15B 可動電極延長部
- 16 陰極側発光電極(第2発光電極)

40

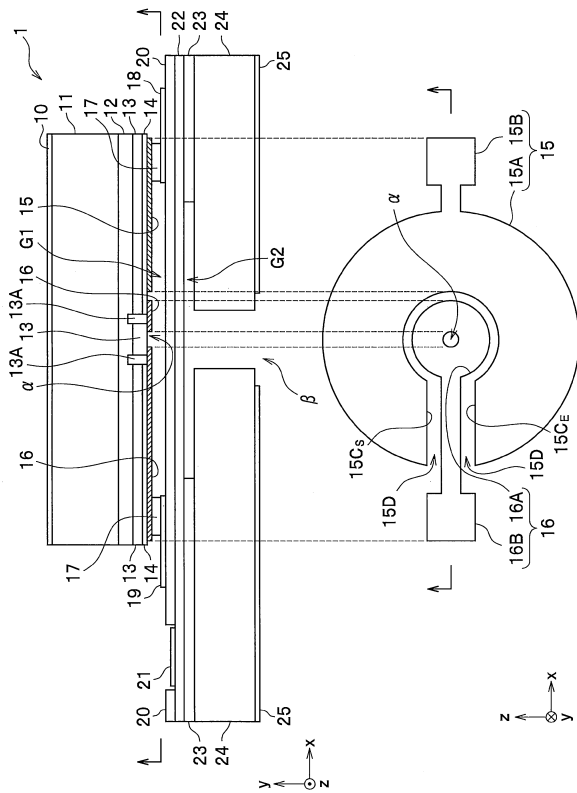
50

- 1 6 A 発光電極本体部
- 1 6 B 発光電極延長部
- 1 7 エアギャップ形成部
- 1 8 可動電極端子
- 1 9 発光電極端子
- 2 0 , 2 0 C 可動鏡 (第 2 反射層)
- 2 1 基準電位端子
- 2 2 薄板基板
- 2 3 可動用ギャップ形成部
- 2 4 , 2 4 D 下部基板 (第 2 基板)
- 2 5 , 2 5 D 下方可動電極 (第 2 可動電極)
- 2 6 凸部
- 3 5 上方可動電極 (第 1 可動電極)
- 3 5 A , 3 5 A<sub>1</sub> ~ 3 5 A<sub>3</sub> 可動電極本体部
- 3 5 B , 3 5 B<sub>1</sub> ~ 3 5 B<sub>3</sub> 可動電極延長部

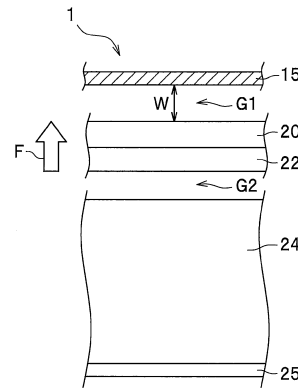
10

【図面】

【図 1】



【図 2 A】



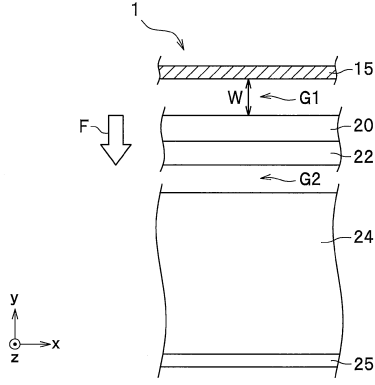
20

30

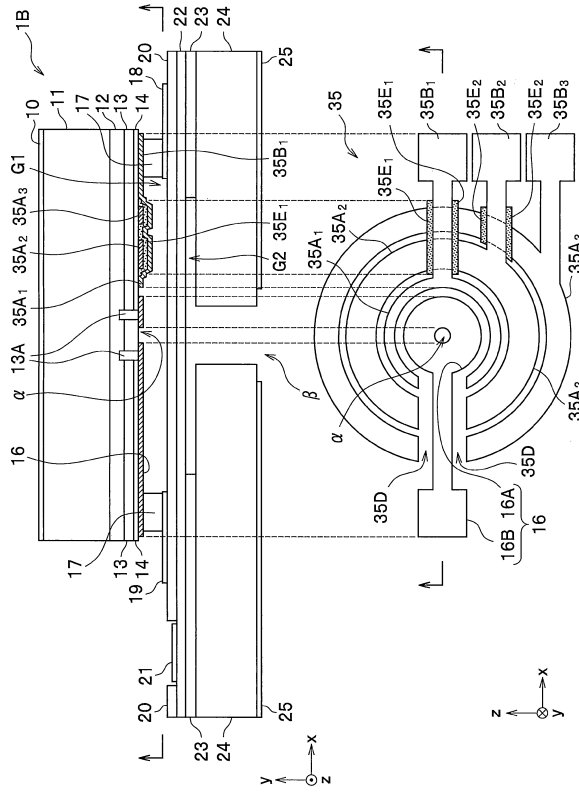
40

50

【図 2 B】



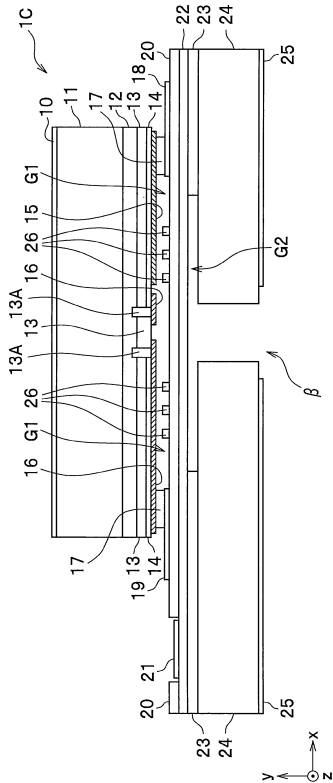
【図 3】



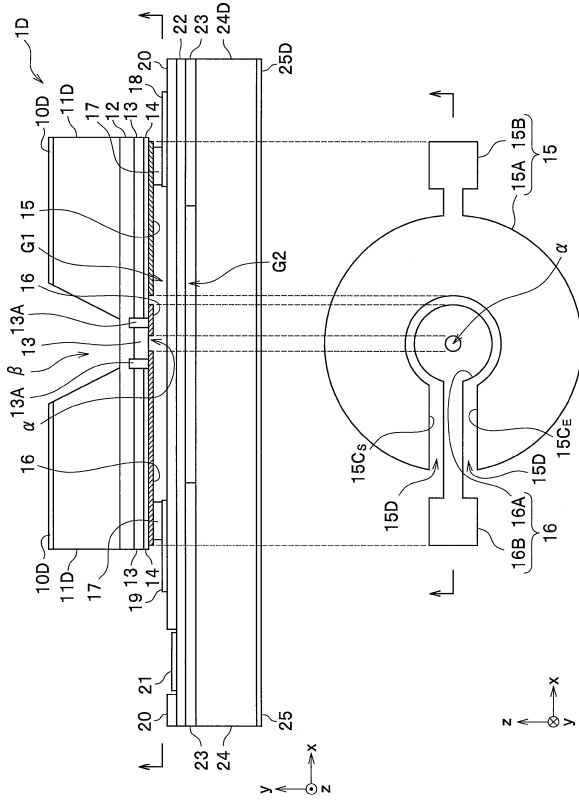
10

20

【図 4】



【図 5】

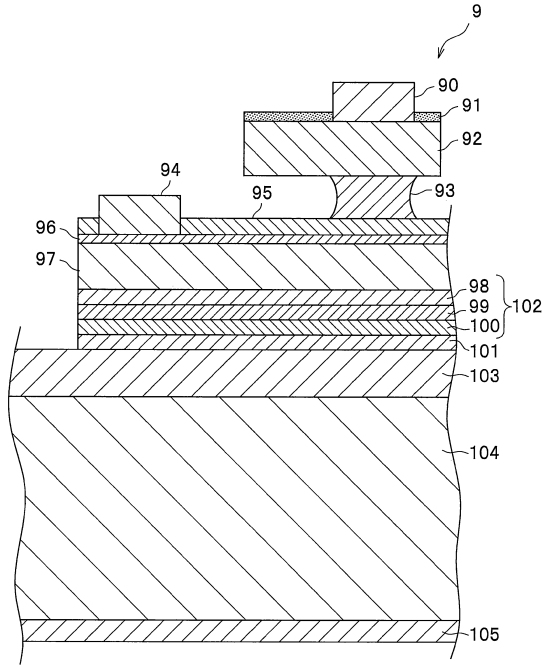


30

40

50

【 図 6 】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- 東京都小金井市貫井北町4 - 2 - 1 国立研究開発法人情報通信研究機構内  
(72)発明者 品田 聡
- 東京都小金井市貫井北町4 - 2 - 1 国立研究開発法人情報通信研究機構内  
(72)発明者 小野 崇人
- 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内  
(72)発明者 戸田 雅也
- 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内  
審査官 高椋 健司
- (56)参考文献 特開2004 - 281733 (JP, A)  
特開2005 - 223111 (JP, A)  
特表2016 - 523444 (JP, A)  
特開2009 - 170736 (JP, A)  
中国特許出願公開第109842017 (CN, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01S 5/00 - 5/50