

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-228384

(P2011-228384A)

(43) 公開日 平成23年11月10日(2011.11.10)

(51) Int.Cl.  
H01S 5/10 (2006.01)

F I  
H01S 5/10

テーマコード (参考)  
5F173

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2010-94877 (P2010-94877)  
(22) 出願日 平成22年4月16日 (2010.4.16)

(71) 出願人 000006013  
三菱電機株式会社  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号  
(74) 代理人 100088672  
弁理士 吉竹 英俊  
(74) 代理人 100088845  
弁理士 有田 貴弘  
(72) 発明者 後藤田 光伸  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三  
菱電機株式会社内  
Fターム(参考) 5F173 AB23 AB30

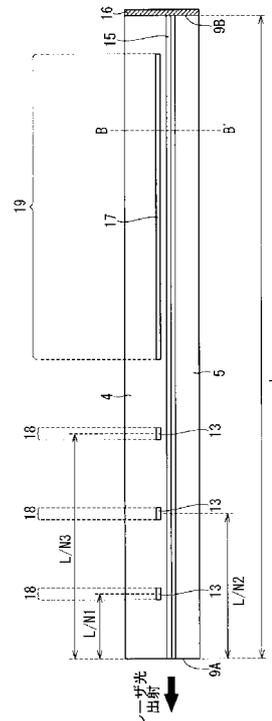
(54) 【発明の名称】 半導体レーザ

(57) 【要約】

【課題】 簡便な製造プロセスで安価に作製でき、信頼性および特性の再現性の高い、半導体レーザを提供する。

【解決手段】 本発明に係る半導体レーザでは、共振器内に、屈折率を変化させることが可能な屈折率変調領域 18 (または、利得を変化させることが可能な利得変調領域 31) と、マッハツェンダー結合器が形成された垂直結合領域 19 とを、備えている。ここで、屈折率変調領域は、一方の反射鏡端面 9A から、(共振器長 L) / (2 以上の整数) を満たす、位置に形成されている。

【選択図】 図 2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

共振器長だけ隔てて形成された、一对の反射鏡端面を有する共振器と、  
前記一对の反射鏡端面間に渡って形成される、活性層を含む第一の光導波層と、  
屈折率を変化させることが可能な、前記共振器内に形成される屈折率変調領域と、  
前記共振器内に形成され、前記屈折率変調領域と重複しない、垂直結合領域とを、備えており、

前記屈折率変調領域は、

一方の前記反射鏡端面から、 $(\text{前記共振器長}) / (2 \text{ 以上の整数})$  を満たす、前記共振器内に形成されており、

前記垂直結合領域には、

前記第一の光導波層と、前記第一の光導波層と離隔して形成された第二の光導波層とから成るマッハツェンダー結合器が形成されている、

ことを特徴とする半導体レーザ。

**【請求項 2】**

前記屈折率変調領域は、

複数である、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

**【請求項 3】**

前記屈折率変調領域には、

前記第一の光導波層と離隔して、前記第二の光導波層より長さの短い第三の光導波層が、形成されている、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

**【請求項 4】**

前記第二の光導波層と前記第三の光導波層とは、  
同層位置に形成されている、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の半導体レーザ。

**【請求項 5】**

前記屈折率変調領域における前記第一の光導波層の膜厚は、

前記垂直結合領域における前記第一の光導波層の膜厚と、異なる、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

**【請求項 6】**

共振器長だけ隔てて形成された、一对の反射鏡端面を有する共振器と、

前記一对の反射鏡端面間に渡って形成される、活性層を含む第一光導波層と、

利得を変化させることが可能な、前記共振器内に形成される利得変調領域と、

前記共振器内に形成され、前記利得変調領域と重複しない、垂直結合領域とを、備えており、

前記利得変調領域は、

一方の前記反射鏡端面から、 $(\text{前記共振器長}) / (2 \text{ 以上の整数})$  を満たす、前記共振器内に形成されており、

前記垂直結合領域には、

前記第一の光導波層と、前記第一の光導波層と離隔して形成された第二の光導波層とから成るマッハツェンダー結合器が形成されている、

ことを特徴とする半導体レーザ。

**【請求項 7】**

前記利得変調領域は、

複数である、

ことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体レーザ。

**【請求項 8】**

前記利得変調領域には、

10

20

30

40

50

前記第一の光導波層と離隔して、前記第二の光導波層より長さが短く、導波光を吸収する組成を有する第三の光導波層が、形成されている、  
ことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体レーザ。

【請求項 9】

前記利得変調領域における、前記第一の光導波層内の前記活性層の膜厚は、  
前記垂直結合領域における、前記第一の光導波層内の前記活性層の膜厚と、異なる、  
ことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体レーザ。

【請求項 10】

前記第二の光導波層の少なくとも一方の端部は、  
一方の前記反射鏡端面から、(前記共振器長) / (2 以上の整数) を満たす位置に、形  
成されている、  
ことを特徴とする請求項 1 または請求項 6 に記載の半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、光ファイバー通信技術で用いることができる半導体レーザに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来の単一モード半導体レーザとしては、活性層又は受動光導波層の近傍に回折格子を  
設け、その周期に対応する特定の波長で発振する、分布帰還型 (DFB: Distributed  
Feedback) 半導体レーザや、分布ブラッグ反射型 (DBR: Distributed  
Bragg Reflector) 半導体レーザなどが代表的な方式である。これらの半導体レーザは、単一モードの指標であるサイドモード抑圧比 (SMSR: Side  
Mode Suppression Ratio) が 30 dB 以上あって、高  
速直接変調の際にもモード跳びが起こりにくいことから、長距離伝送に適している。

【0003】

また、リッジ導波路形状のファブリ・ペロー型 (FP: Fabry - Perot) 半導  
体レーザに関する技術も、既に存在する (特許文献 1 参照)。

【0004】

当該特許文献 1 に係る半導体レーザでは、リッジ頂上から活性層近傍まで深く掘りこん  
だスロット (エッチング溝) を複数設け、単一モード性を DFB レーザ並みに高められて  
いる。なお、当該特許文献 1 に係る半導体レーザを、以下、離散モード半導体レーザと称  
する。

【0005】

当該離散モード半導体レーザでは、活性層と光閉じ込め層とから成る光導波層は、上ク  
ラッド層および下クラッド層により、挟まれている。また、リッジ導波路の最上部の電極  
直下には、コンタクト層が形成され、スロットと呼ばれるエッチング溝も形成されている  
。当該離散モード半導体レーザの発振は、通常の FP 型半導体レーザと同様に、基本的  
には両端の劈開端面による帰還で実現される。

【0006】

FP 型半導体レーザにおいては、共振器長  $L$  に逆比例する間隔 の縦モードが多数存  
在する。導波路の中の光は、スロットのない部分では非摂動モードを取り、スロットのあ  
る部分では屈折率の減少の影響を受けた摂動モードに変化する。このためスロット部分で  
は、両モード間の不整合に起因するわずかな反射が発生して、縦モード利得が周期的な変  
調を受ける。

【0007】

例えば、端面からのスロットの距離が共振器長  $L / N$  ( $N$ : 整数) の場合、ほぼ  $N$  本お  
きに縦モードが選択される事になる。しがたって、スロットの数や位置を適切に選んで組  
み合わせる事により、単一モード性の高い半導体レーザを得る事ができ、FP 型半導体レ

ーザは、DFBレーザに比べて、作製プロセスを大幅に簡略化できる。

【0008】

ただし、当該FP型半導体レーザにおいて、良好な単一モード性を確保するためには、多数（約20箇所）のスロットを非周期的に配置する等の複雑な設計を行う必要がある（非特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】国際公開第2006/024674号

【非特許文献】

10

【0010】

【非特許文献1】Simon Osbourne他、「Design of Single-Mode and Two-Color Fabry-Perot Lasers With Patterned Refractive Index」、IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics、Vol. 13、No. 5、pp1157-1163

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

従来のDFBレーザやDBRレーザなどの単一モード半導体レーザでは、電子ビーム露光や干渉露光を用いて回折格子を形成する必要がある。このため、複数回のエピタキシャル成長工程を含む複雑な作製プロセスが必要であり、一般のFP型半導体レーザに比べると、DFBレーザやDBRレーザは、作製工程のスループットが低下する。

20

【0012】

また、DFBレーザやDBRレーザは、端面からの反射位相に依存して、発振波長に関する歩留りも発生する。したがって、DFBレーザやDBRレーザは、低コスト化が困難であった。

【0013】

一方、離散モード半導体レーザでは、スロット領域での反射量や散乱損失は、エッチング深さで決まる。このため、エッチング量を精密に制御する必要があると共に、エッチング側壁や底面を確実に保護膜で覆う必要があり、当該離散モード半導体レーザは、作製プロセスの再現性や安定性に課題が残っていた（換言すれば、特性が安定している半導体レーザの再現性に課題があった）。

30

【0014】

また、離散モード半導体レーザでは、多数のスロットが存在する。このため、離散モード半導体レーザは、エッチング溝部での損失の発生による出力低下や長期通電使用時の信頼性が懸念されていた。

【0015】

そこで、本発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、簡便な製造プロセスで安価に作製でき、信頼性および特性の再現性の高い、半導体レーザを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記の目的を達成するために、本発明に係る半導体レーザは、共振器長だけ隔てて形成された、一对の反射鏡端面を有する共振器と、前記一对の反射鏡端面間に渡って形成される、活性層を含む第一の光導波層と、屈折率を変化させることが可能な、前記共振器内に形成される屈折率変調領域と、前記共振器内に形成され、前記屈折率変調領域と重複しない、垂直結合領域とを、備えており、前記屈折率変調領域は、一方の前記反射鏡端面から、（前記共振器長）/（2以上の整数）を満たす、前記共振器内に形成されており、前記垂直結合領域には、前記第一の光導波層と、前記第一の光導波層と離隔して形成された第

50

二の光導波層とから成るマッハツェンダー結合器が形成されている。

【0017】

または、本発明に係る半導体レーザは、共振器長だけ隔てて形成された、一对の反射鏡端面を有する共振器と、前記一对の反射鏡端面間に渡って形成される、活性層を含む第一光導波層と、利得を変化させることが可能な、前記共振器内に形成される利得変調領域と、前記共振器内に形成され、前記利得変調領域と重複しない、垂直結合領域とを、備えており、前記利得変調領域は、一方の前記反射鏡端面から、(前記共振器長)/(2以上の整数)を満たす、前記共振器内に形成されており、前記垂直結合領域には、前記第一の光導波層と、前記第一の光導波層と離隔して形成された第二の光導波層とから成るマッハツェンダー結合器が形成されている。

10

【発明の効果】

【0018】

本発明に係る半導体レーザは、屈折率を変化させることが可能な、共振器内に形成される屈折率変調領域(または、利得を変化させることが可能な、共振器内に形成される利得変調領域)および、マッハツェンダー結合器が形成される垂直結合領域とを、備えている。ここで、屈折率変調領域は、一方の反射鏡端面から、(共振器長L)/(2以上の整数)を満たす、位置に形成されている。

【0019】

したがって、簡便な製造プロセスで安価に作製でき、信頼性および特性の再現性の高い、半導体レーザを提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】半導体レーザの共振器を、光出射側から見たときの構成を示す正面図である。

【図2】実施の形態1に係る半導体レーザにおける共振器の構成を示す断面図である。

【図3】実施の形態1に係る半導体レーザにおける共振器の、他の断面構成を示す断面図である。

【図4】垂直マッハツェンダー結合器の動作を説明するための断面図である。

【図5】垂直マッハツェンダー結合器の透過スペクトルを示す図である。

【図6】屈折率変調領域におけるモード変調を説明するための図である。

【図7】活性層の利得スペクトルおよび垂直マッハツェンダー結合器のフィルタ特性を示す図である。

30

【図8】実施の形態1に係る共振器全体における、スペクトル特性を説明するための図である。

【図9】実施の形態2に係る半導体レーザにおける共振器の構成を示す断面図である。

【図10】実施の形態2に係る半導体レーザにおける共振器の構成を示す断面図である。

【図11】実施の形態2に係る半導体レーザにおける共振器の構成を示す断面図である。

【図12】実施の形態3に係る半導体レーザにおける共振器の構成を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、この発明をその実施の形態を示す図面に基づいて具体的に説明する。

40

【0022】

<実施の形態1>

図1は、本実施の形態に係る単一モード半導体レーザの素子の概略構成を示す、正面図である。また、図2は、当該半導体レーザの構成を示す断面図である。ここで、図1は、図2において、光出力側から見た正面図である。また、図2は、図1のA-A'断面で見た断面図である。なお、図面簡略化のため、上下の電極および配線の図示は、省略している。

【0023】

当該半導体レーザの材料系としては、長波光通信で一般的なInP(リン化インジウム)基板上の、InGaAsP(インジウムガリウムヒ素リン)やInAlGaAs(イン

50

ジウムアルミニウムガリウムヒ素)などが採用できる。なお、本実施の形態では、 $n$ 型の  $InP$  基板上的  $InGaAsP$  光導波層の例で記述する。

【0024】

図1に示すように、活性層1を挟み込むように、光閉じ込め層2が形成されている。当該活性層1および光閉じ込め層2により、第一の光導波層15が構成されている。ここで、当該第一の光導波層15は、 $InGaAsP$  から構成されている。

【0025】

また、図1に示すように、第一の光導波層15は、上クラッド層4と下クラッド層5とにより、挟まれている。ここで、上クラッド層4は、 $p$ 型の  $InP$  から成り、下クラッド層5は、 $n$ 型の  $InP$  から成る。なお、本実施の形態では、下クラッド層4は、 $n$ 型の  $InP$  基板と一体のものとして扱っている。

10

【0026】

また、図1に示すように、活性層1を含む第一の光導波層15の両側面には、 $p$ 型および  $n$ 型の  $InP$  を組み合わせた、電流ブロック層14が形成されている。また、上クラッド層4の上面には、コンタクト層7が形成されている。なお、図2では、当該コンタクト層7の図示は省略している。

【0027】

当該図1の構成から分かるように、本実施の形態に係る半導体レーザは、埋め込み導波路構造を構成している。

【0028】

図2は、半導体レーザの共振器の構成を示す断面図であると把握できる。

20

【0029】

図2に示すように、共振器は、共振器長 $L$ だけ隔てて形成された、一对の劈開端面(反射鏡端面と把握できる)9A, 9Bを有する。ここで、共振器の前方(つまり、光出力側)は、劈開端面9Aのみであるが、共振器の後方(光非出力側)においては、劈開端面9Bに、出力を高める目的で高反射コート16が形成されている。

【0030】

また、図2に示すように、共振器内には、活性層1を含む第一の光導波層15が、共振器長 $L$ (換言すれば、一对の劈開端面9A, 9B間)に渡って形成されている。

【0031】

また、図2に示すように、共振器内には、屈折率を変化させることが可能な領域である屈折率変調領域18と、屈折率変調領域18とは重複しない垂直結合領域19とが存在する。

30

【0032】

垂直結合領域19には、垂直方向のマッハツェンダー結合器が形成されている。換言すれば、垂直方向のマッハツェンダー結合器が形成されている共振器内の領域が、垂直結合領域19である。

【0033】

当該垂直方向のマッハツェンダー結合器は、第一の光導波層15と、当該第一の光導波層15と離隔して形成された第二の光導波層17とから成る。第二の光導波層17は、活性層を有さず、 $InGaAsP$  から成る。また、第二の光導波層17は、上クラッド層4内において、第一の光導波層15の延設方向と平行に、形成されている。第一の光導波層15と第二の導波層17との間には、 $InP$  から成る上クラッド層4の一部が存在する。つまり、垂直方向のマッハツェンダー結合器は、第一の光導波層15、上クラッド層4および第二の光導波層17が当該順に積層した構成から成る。なお、第二の光導波層17は、活性層1からの発光を吸収しない組成のバンドギャップ波長を有する。

40

【0034】

ここで、第一の光導波層15と同様、第二の光導波層17内を導波光は往来する。つまり、第二の光導波層17の図2の左右方向の長さは、当該導波光の往来が可能となるだけの長さが必要である。

50

## 【0035】

屈折率変調領域18には、第三の光導波層13が形成されている。換言すれば、第三の光導波層13が形成されている共振器内の領域が、屈折率変調領域18である。当該第三の光導波層13の存在により、共振器内における導波光の屈折率を変調させることができる。

## 【0036】

第三の光導波層13は、第一の光導波層15と離隔して形成されている。第三の光導波層13は、活性層を有さず、InGaAsPから成る。また、第三の光導波層13は、上クラッド層4内において、第一の光導波層15の延設方向と平行に、形成されている。また、図2の構成では、第二の光導波層17と第三の光導波層13とは、上クラッド層4内の同層位置（つまり、上クラッド層4内において、同じ深さ位置）に形成されている。第一の光導波層15と第三の導波層13との間には、InPから成る上クラッド層4の一部が存在する。なお、第三の光導波層13は、活性層1からの発光を吸収しない組成のバンドギャップ波長を有する。

10

## 【0037】

また、本実施の形態では、屈折率変調領域18は、一方の劈開端面から、（共振器長L）/（2以上の整数）を満たす、共振器内に形成されている。屈折率変調領域18は、一つのみでも良いが、複数存する場合には、各屈折率変調領域18は、一方の劈開端面からそれぞれ、（共振器長L）/（2以上の整数）だけ、離隔している。

## 【0038】

図2に例示する構成では、一つ目の屈折率変調領域18は、一方の劈開端面9Aから、L/N1だけ離れた位置に形成されている。また、二つ目の屈折率変調領域18は、一方の劈開端面9Aから、L/N2だけ離れた位置に形成されている。また、三つ目の屈折率変調領域18は、一方の劈開端面9Aから、L/N3だけ離れた位置に形成されている。ここで、N1, N2, N3は、2以上の異なる値の整数である。

20

## 【0039】

なお、各屈折率変調領域18に存する各第三の光導波層13の長さの中心が、各々、一方の劈開端面9Aから、L/N1, L/N2, L/N3に位置している。当該L/N1, L/N2, L/N3は、屈折率変調位置と称する。換言すれば、各屈折率変調領域18の図2の左右方向における幅の中心位置が、屈折率変調位置に位置する。

30

## 【0040】

ここで、第二の光導波層17とは異なり、第三の光導波層13内において導波光の往来は乱される。つまり、第三の光導波層13の図2の左右方向の長さは、当該導波光の往来が可能とならないように、十分に短く設定する必要がある。このことから分かるように、図2の左右方向における屈折率変調領域18の領域長は、図2の左右方向における垂直結合領域19の領域長より、十分に短い。換言すると、図2の左右方向における第三の光導波層13の長さは、図2の左右方向における第二の導波層17の長さより、十分に短い。図2の構成は、第二の導波層17と第三の導波層13とは、長さのみが相違するのみで、同じ構成を有する。

## 【0041】

なお、垂直結合領域19（換言すれば、第二の光導波層17）の少なくとも一つの端部は、一方の劈開端面9Aから、（共振器長L）/（2以上の整数）を満たす位置に、形成されていることが望ましい。図2の構成例では、第二の光導波層17は、第三の光導波層13よりも、他方の劈開端面9B側に形成されている。

40

## 【0042】

第二の光導波層17および第三の光導波層13は、次のようにして形成できる。

## 【0043】

InPから成る上クラッド層4の一部を形成した状態で、InGaAsPの光導波層を作成し、当該光導波層の所定の部分をエッチングする。その後、InPで埋め込み成長することにより、上クラッド層4内の同層位置に、第二の光導波層17および第三の光導波

50

層 13 が形成される。

【0044】

当該形成方法から分かるように、第一の光導波路 15 と光導波層（第二の光導波層 17 および第三の光導波層 13）の間隔、および、光導波層（第二の光導波層 17 および第三の光導波層 13）の膜厚は、エピタキシャル成長によって予め設定される。さらに、第二の光導波層 17 の長さおよび第三の光導波層 13 の長さは、フォトリソグラフィで決まる。

【0045】

したがって、本実施の形態に係る半導体レーザでは、反射量を極めて精度よく制御できる。さらに、エッチング最表面が大気にさらされる事もないので、本実施の形態に係る半導体レーザは、長期信頼性にも優れている。つまり、簡便な製造プロセスで安価に作製でき、信頼性および特性の再現性の高い、半導体レーザを提供することができる。

10

【0046】

また、屈折率変調領域 18 を複数、各屈折率変調位置に設けることにより、安定した単一モードの半導体レーザを提供することができる。

【0047】

また、長さの短い第三の光導波層 13 を設けることにより、屈折率変調領域 18 を形成している。したがって、簡単で制御が容易な製造プロセス（エッチング処理）により、当該屈折率変調領域 18 を共振器内に設定できる。

【0048】

また、第二の光導波層 17 と第三の光導波層 13 とは、上クラッド層 4 内において、同層位置に形成されている。したがって、光導電層を所定のパターンにエッチングすることにより、同時に、第二の光導波層 17 と第三の光導波層 13 を作成することが可能となる。

20

【0049】

図 3 は、垂直結合領域 19 の断面構成を示す断面図である。具体的に、当該図 3 は、図 2 の B - B' 断面の断面図である。なお、図 3 では、図 2 で図示を省略していたコンタクト層 7 が図示されている。

【0050】

図 3 において、第一の光導波層 15 の膜厚、第二の光導波層 17 の膜厚、および第一の光導波層 15 と第二の光導波層 17 との間に存する上クラッド層 4 の膜厚は、図 3 の上下方向のモード結合が存在する屈折率分布となるように設計されている。たとえば、第一の光導波層 15 と第二の光導波層 17 の膜厚は各々、0.2 ミクロン前後であり、第一の光導波層 15 と第二の光導波層 17 の幅（図 3 の左右方向の寸法）は各々、1 ミクロン前後である。また、第一の光導波層 15 と第二の光導波層 17 との間に存する上クラッド層 4 の膜厚は、約 0.3 ミクロンである。

30

【0051】

次に、図 4, 5 を用いて、垂直マッハツェンダー結合器の動作について説明する。

【0052】

図 4 は、垂直結合領域 19 付近での導波モードの関係を示している。図 5 は、垂直マッハツェンダー結合器による波長選択の原理を説明する図である。具体的に、図 5 は、垂直マッハツェンダー結合器の透過スペクトルを示す図である。

40

【0053】

共振器内における第二の光導波層 17 が形成されていない領域では、第一の光導波層 15 にのみ入射モード 20 が存在している。当該入射モード 20 は、入射側境界面 21 において、偶モード 22（モード屈折率  $n_R$ ）と奇モード 23（モード屈折率  $n_S$ ）に分解される。

【0054】

前記 2 つのモード屈折率の差が  $n$ 、光の波長が  $\lambda$  であるとき、垂直結合領域 19 の領域長  $L_f$  を、 $M \times \lambda / n$ 、に選ぶとする。ここで、 $M$  は整数であり、前記式において、

50

比例係数は省略している。領域長  $L_f$  を前記のように選ぶと、垂直マッハツェンダー結合器で、偶モード 22 と奇モード 23 との干渉動作を行った後、出射側境界面 25 において、偶モード 22 と奇モード 23 とが高効率に結合し、第一の光導波路 15 の出射モード 26 が形成される。

【0055】

図 5 に示すように、垂直マッハツェンダー結合器の透過スペクトル 27 は、よく知られているように、波長軸上で周期的な透過ピークを有しており、透過ピーク間隔 (FSR) 28 は、領域長  $L_f$  に逆比例する。本実施の形態では、透過ピーク間隔 28 が半導体レーザの活性層 1 の利得帯域幅と同程度になるように、領域長  $L_f$  を選んでおり、 $\lambda = 1.5 \mu\text{m}$ 、 $M = 10$ 、 $n = 0.1$  とすると、領域長  $L_f = 150 \mu\text{m}$  のとき、透過ピーク間隔 28 は、75 nm となる。

10

【0056】

次に、図 6 を用いて、屈折率変調領域 18 におけるモードの変調効果について説明する。

【0057】

なお、図 6 の説明に際して、屈折率変調位置  $L/N_1$ 、 $L/N_2$ 、 $L/N_3$  は各々、 $L/8$ 、 $L/6$ 、 $L/4$  とする。図 6 の最上段は、屈折率変調位置 =  $L/8$  における変調スペクトルを示す図であり、図 6 の 2 段目は、屈折率変調位置 =  $L/6$  における変調スペクトルを示す図であり、図 6 の 3 段目は、屈折率変調位置 =  $L/4$  における変調スペクトルを示す図であり、図 6 の最下段は、図 6 の 1、2、3 段の各変調スペクトルを合成した変調スペクトルを示す図である。

20

【0058】

例えば典型的な共振器長  $L$  として  $300 \mu\text{m}$  を採用すると、長波帯での縦モード間隔は、約 1 nm である。屈折率変調位置 =  $L/8$ 、 $L/6$ 、 $L/4$  での三つのスペクトルを組み合わせた場合、各々元の縦モード間隔の 8 倍、6 倍、4 倍でモード利得が変調される。ここで、各屈折率変調領域 18 の長さ  $L_d$  は、垂直マッハツェンダー結合器で  $M = 1$  に相当する、 $L_d = 15 \mu\text{m}$  以下 (例えば  $10 \mu\text{m}$ ) に選ばばよい。ある基準波長に対して、これらの効果をかけ合わせると、図 6 の最下段に示したような変調スペクトルが得られ、変調ピーク間隔 29 (= 約 24 nm) おきに強く変調されて、発振しやすいモードが存在することになる。

30

【0059】

一方、図 7 の上段に示すように、活性層 1 の利得帯域幅 30 は典型的には  $50 \sim 100 \text{ nm}$  であり、着目している中心波長以外にこれらの複数の変調ピーク波長においても同時発振する可能性がある。また単一モード発振する場合でも、SMSR が 30 dB に到達しない、あるいは温度の変動に伴い発振波長が大きく変動するなど、波長安定性が十分でない場合がある。

【0060】

そこで、前述のように垂直結合領域 19 の FSR が、図 7 の下段のように、半導体レーザの活性層 1 の利得帯域幅と同程度になるように、上記  $L_f$  を選ぶ。これにより、フィルタ効果により、図 8 に示すように、共振器全体において完全に一つのモードでのみ発振する事が可能になる。

40

【0061】

このように、通常の共振器長の素子で、DFB-LD と同程度の SMSR や波長安定性が得られる。また、多数のスロット領域を必要とする、従来 of 離散モード半導体レーザに比べ、必要な屈折率変調領域 18 の数が少なく済むので損失が少なく、高出力化に適している。

【0062】

本実施の形態に係る半導体レーザによれば、共振器内の縦モード利得が少数の屈折率変調領域 18 の作用で周期的に変調を受けると共に、活性層 1 の利得帯域幅と同程度の FSR に選ばれた垂直結合領域 19 における波長選択を行うことができる。これにより、回折

50

格子を形成する必要もなく、単一モード性および信頼性に優れた半導体レーザを安価に実現できる。

【0063】

なお、垂直結合領域19（第二の光導波層17）の少なくとも一つの端部を、一方の劈開端面9Aから、（共振器長L）/（2以上の整数）の位置（例えばL/2）に設定しておけば、さらに屈折率変調効果を加算する事ができる。

【0064】

<実施の形態2>

実施の形態1では、作製プロセスをなるべく単純化するため、屈折率変調領域18における第三の光導波層13と、垂直結合領域19における第二の光導波層17とを、同時に加工して作製している。しかし、第三の光導波層13と第二の光導波層17とは、同時に作成し、上クラッド層3内の同層位置に形成することに限定されることはない。

10

【0065】

たとえば、第三の光導波層13と第二の光導波層17とを、別工程で作成しても良い。当該別工程を採用した場合は、図9に示すように、上クラッド層4における第三の光導波層13の形成位置と、上クラッド層4における第二の光導波層17の形成位置とは、必ずしも同層とはならない。

【0066】

また、実施の形態1では、屈折率を変調させるために、屈折率変調領域18に第三の光導波層13が形成されていた。ここで、各屈折率変調領域18の中心位置は、（共振器長L）/（2以上の整数）の位置である。

20

【0067】

これに対して、当該第三の光導波層13を省略し、当該屈折率変調領域18に対応する位置の第一の光導波層15の膜厚を、変化させた構成を採用してもよい。

【0068】

図10の構成では、当該屈折率変調領域18における第一の光導波層15の膜厚は、他の領域（たとえば、垂直結合領域19）における第一の光導波層15の膜厚より、厚くなっている。

【0069】

図11の構成では、当該屈折率変調領域18における第一の光導波層15の膜厚は、他の領域（たとえば、垂直結合領域19）における第一の光導波層15の膜厚より、薄くなっている。

30

【0070】

なお、図10、11において、屈折率変調領域18における第一の光導波層15の膜厚が変化している領域（図10、11の左右方向における当該膜厚変化領域の幅）の中心位置が、（共振器長L）/（2以上の整数）である。

【0071】

また、図10、11の構成では、第一の光導波層15の膜厚を変化させるのみで、活性層1の膜厚は変化させない。

【0072】

このように、屈折率変調領域18における第一の光導波層15の膜厚を変化させることにより、第三の光導波層13を省略しても、当該屈折率変調領域18において光の屈折率を変調させることが可能と成る。

40

【0073】

<実施の形態3>

実施の形態1、2では、共振器内において、屈折率の変化が可能な屈折率変調領域18を設けた。本実施の形態では、当該屈折率変調領域18の代わりに、共振器内において、利得の変化が可能な利得変調領域を設けることを特徴とする。屈折率変調領域18が、利得変調領域に変更されている以外の構成は、実施の形態1の構成と同様である。具体的には、下記の通りである。

50

## 【0074】

本実施の形態においても、当該半導体レーザの材料系としては、長波光通信で一般的なInP基板上の、InGaAsPやInAlGaAsなどが採用できる。なお、本実施の形態においても、n型のInP基板上のInGaAsP光導波層の例で記述する。

## 【0075】

図1（当該図1は、後述する図12の光出力側から見た正面図でもある）で示したように、本実施の形態においても、活性層1を挟み込むように、光閉じ込め層2が形成されている。当該活性層1および光閉じ込め層2により、第一の光導波層15が構成されている。ここで、当該第一の光導波層15は、InGaAsPから構成されている。

## 【0076】

また、図1で示したように、第一の光導波層15は、上クラッド層4と下クラッド層5とにより、挟まれている。ここで、上クラッド層4は、p型のInPから成り、下クラッド層5は、n型のInPから成る。なお、本実施の形態においても、下クラッド層4は、n型のInP基板と一体のものとして扱っている。

## 【0077】

また、図1で示したように、活性層1を含む第一の光導波層15の両側面には、p型およびn型のInPを組み合わせた、電流ブロック層14が形成されている。また、上クラッド層4の上面には、コンタクト層7が形成されている。なお、後述する図12では、当該コンタクト層7の図示は省略している。

## 【0078】

上記構成から分かるように、本実施の形態に係る半導体レーザは、埋め込み導波路構造を構成している。

## 【0079】

図12は、本実施の形態に係る半導体レーザの共振器の構成を示す断面図である。

## 【0080】

図12に示すように、共振器は、共振器長Lだけ隔てて形成された、一对の劈開端面（反射鏡端面と把握できる）9A, 9Bを有する。ここで、共振器の前方（つまり、光出力側）は、劈開端面9Aのみであるが、共振器の後方（光非出力側）においては、劈開端面9Bに、出力を高める目的で高反射コート16が形成されている。

## 【0081】

また、図12に示すように、共振器内には、活性層1を含む第一の光導波層15が、共振器長L（換言すれば、一对の劈開端面9A, 9B間）に渡って形成されている。

## 【0082】

また、本実施の形態では、図12に示すように、共振器内には、利得を変化させることが可能な領域である利得変調領域31と、当該利得変調領域31とは重複しない垂直結合領域19とが存在する。

## 【0083】

垂直結合領域19には、実施の形態1と同様に、垂直方向のマッハツェンダー結合器が形成されている。換言すれば、垂直方向のマッハツェンダー結合器が形成されている共振器内の領域が、垂直結合領域19である。

## 【0084】

当該垂直方向のマッハツェンダー結合器は、第一の光導波層15と、当該第一の光導波層15と離隔して形成された第二の光導波層17とから成る。第二の光導波層17は、活性層を有さず、InGaAsPから成る。また、第二の光導波層17は、上クラッド層4内において、第一の光導波層15の延設方向と平行に、形成されている。第一の光導波層15と第二の導波層17との間には、InPから成る上クラッド層4の一部が存在する。つまり、垂直方向のマッハツェンダー結合器は、第一の光導波層15、上クラッド層4および第二の光導波層17が当該順に積層した構成から成る。なお、第二の光導波層17は、活性層1からの発光を吸収しない組成のバンドギャップ波長を有する。

## 【0085】

10

20

30

40

50

ここで、第一の光導波層 15 と同様、第二の光導波層 17 内を導波光は往来する。つまり、第二の光導波層 17 の図 12 の左右方向の長さは、当該導波光の往来が可能となるだけの長さが必要である。

【0086】

これに対して、利得変調領域 31 には、第三の光導波層 33 が形成されている。換言すれば、第三の光導波層 33 が形成されている共振器内の領域が、利得変調領域 31 である。当該第三の光導波層 33 の存在により、共振器内における導波光の利得を変調させることができる。

【0087】

第三の光導波層 33 は、第一の光導波層 15 と離隔して形成されている。第三の光導波層 33 は、導波光を吸収する組成を有しており、当該第三の光導波層 33 において、損失を付加する。たとえば、本実施の形態に係る第三の光導波層 33 は、第一の光導波層 15 と同じ構成である。つまり、当該第三の光導波層 33 は、活性層を含む構成であり、InGaAsP から成る。

【0088】

また、第三の光導波層 33 は、上クラッド層 4 内において、第一の光導波層 15 の延設方向と平行に、形成されている。また、図 12 の構成では、第二の光導波層 17 と第三の光導波層 33 とは、上クラッド層 4 内において、異なる深さ位置（つまり、上クラッド層 4 内において、異層位置）に形成されている。第一の光導波層 15 と第三の導波層 33 との間には、InP から成る上クラッド層 4 の一部が存在する。

【0089】

また、本実施の形態では、利得変調領域 31 は、一方の劈開端面から、（共振器長  $L$ ）/（2 以上の整数）を満たす、共振器内に形成されている。利得変調領域 31 は、一つのみでも良いが、複数存する場合には、各利得変調領域 31 は、一方の劈開端面からそれぞれ、（共振器長  $L$ ）/（2 以上の整数）だけ、離隔している。

【0090】

図 12 に例示する構成では、一つ目の利得変調領域 31 は、一方の劈開端面 9A から、 $L/N_1$  だけ離れた位置に形成されている。また、二つ目の利得変調領域 31 は、一方の劈開端面 9A から、 $L/N_2$  だけ離れた位置に形成されている。また、三つ目の利得変調領域 31 は、一方の劈開端面 9A から、 $L/N_3$  だけ離れた位置に形成されている。ここで、 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$  は、2 以上の異なる値の整数である。

【0091】

なお、各利得変調領域 31 に存する各第三の光導波層 33 の長さの中心が、各々、一方の劈開端面 9A から、 $L/N_1$ 、 $L/N_2$ 、 $L/N_3$  に位置している。当該  $L/N_1$ 、 $L/N_2$ 、 $L/N_3$  は、利得変調位置と称する。換言すれば、各利得変調領域 31 の図 12 の左右方向における幅の中心位置が、利得変調位置に位置する。

【0092】

ここで、第二の光導波層 17 とは異なり、第三の光導波層 33 内において導波光の往来は乱される。つまり、第三の光導波層 33 の図 12 の左右方向の長さは、当該導波光の往来が可能とならないように、十分に短く設定する必要がある。このことから分かるように、図 12 の左右方向における利得変調領域 31 の領域長は、図 12 の左右方向における垂直結合領域 19 の領域長より、十分に短い。換言すると、図 12 の左右方向における第三の光導波層 33 の長さは、図 12 の左右方向における第二の導波層 17 の長さより、十分に短い。

【0093】

なお、本実施の形態においても、垂直結合領域 19（換言すれば、第二の光導波層 17）の少なくとも一つの端部は、一方の劈開端面 9A から、（共振器長  $L$ ）/（2 以上の整数）を満たす位置に、形成されていることが望ましい。図 12 の構成例では、第二の光導波層 17 は、第三の光導波層 33 よりも、他方の劈開端面 9B 側に形成されている。

【0094】

10

20

30

40

50

図12に示す第二の導波層17および第三の導波層33は、下記の工程により形成される。

【0095】

InPから成る上クラッド層4の一部を形成した状態で、第三の光導波層33となる第一の層を形成し、当該第一の層に対して1回のフォトリソグラフィ工程を行う(第三の光導波層33作成)。その後、InPの埋め込み成長を行い、次に、第二の光導波層17となる第二の層を形成し、当該第二の層に対して2回のフォトリソグラフィ工程を行う(第二の導波層17作成)。その後、InPの埋め込み成長を行う。

【0096】

当該形成方法から分かるように、各光導波路15, 17, 33の間隔、第二の光導波層17の膜厚、および第三の光導波層33の膜厚は、エピタキシャル成長によって予め設定される。さらに、第二の光導波層17の長さおよび第三の光導波層33の長さは、フォトリソグラフィで決まる。

【0097】

したがって、本実施の形態に係る半導体レーザでは、反射量を極めて精度よく制御できる。さらに、エッチング最表面が大気にさらされる事もないので、本実施の形態に係る半導体レーザは、長期信頼性にも優れている。つまり、簡便な製造プロセスで安価に作製でき、信頼性および特性の再現性の高い、半導体レーザを提供することができる。

【0098】

また、利得変調領域31を複数、各利得変調位置に設けることにより、安定した単一モードの半導体レーザを提供することができる。

【0099】

また、長さの短い第三の光導波層33を設けることにより、利得変調領域31を形成している。したがって、簡単で制御が容易な製造プロセス(エッチング処理)により、当該利得変調領域31を共振器内に設定できる。

【0100】

なお、本実施の形態においても、第一の光導波層15の膜厚、第二の光導波層17の膜厚、および第一の光導波層15と第二の光導波層17との間に存する上クラッド層4の膜厚は、上下方向のモード結合が存在する屈折率分布となるように設計されている。

【0101】

なお、本実施の形態においても垂直結合領域19のFSRが、半導体レーザの活性層1の利得帯域幅と同程度になるように、上記Lfを選ぶ。これにより、フィルタ効果により、共振器全体において完全に一つのモードでのみ発振する事が可能になる。このように、通常の共振器長の素子で、DFB-LDと同程度のSMSRや波長安定性が得られる。また、多数のスロット領域を必要とする、従来 of 離散モード半導体レーザに比べ、必要な利得変調領域31の数が少なく済むので損失が少なく、高出力化に適している。

【0102】

本実施の形態に係る半導体レーザによれば、共振器内の縦モード利得が少数の利得変調領域31の作用で周期的に変調を受けると共に、活性層1の利得帯域幅と同程度のFSRに選ばれた垂直結合領域19における波長選択を行うことができる。これにより、回折格子を形成する必要もなく、単一モード性および信頼性に優れた半導体レーザを安価に実現できる。

【0103】

なお、垂直結合領域19(第二の光導波層17)の少なくとも一つの端部を、一方の劈開端面9Aから、(共振器長L)/(2以上の整数)の位置(例えばL/2)に設定しておけば、さらに屈折率変調効果を加算する事ができる。

【0104】

<実施の形態4>

実施の形態3では、利得を変調させるために、利得変調領域31に第三の光導波層33が形成されていた。ここで、各利得変調領域31の中心位置は、(共振器長L)/(2以

10

20

30

40

50

上の整数)の位置である。

【0105】

これに対して、当該第三の光導波層33を省略し、当該利得変調領域31に対応する位置の第一の光導波層15内の活性層1の膜厚を、変化させた構成を採用してもよい。

【0106】

たとえば、当該利得変調領域31における第一の光導波層15内の活性層1の膜厚を、他の領域(たとえば、垂直結合領域19)における第一の光導波層15内の活性層1の膜厚より、厚くする。または、当該利得変調領域31における第一の光導波層15内の活性層1の膜厚を、他の領域(たとえば、垂直結合領域19)における第一の光導波層15内の活性層1の膜厚より、薄くする。

10

【0107】

なお、本実施の形態においても、利得変調領域31における活性層1の膜厚が変化している領域の中心位置が、(共振器長L)/(2以上の整数)である。

【0108】

なお、本実施の形態では、実施の形態2と異なり、第一の光導波層15内の活性層1の膜厚を変化させる必要がある。当該活性層1の膜厚の増減は、当該活性層1の体積の増減を同視でき、活性層1における導波光の吸収に変化をもたらすことができ、利得を変化させることが可能となる。

【0109】

このように、利得変調領域31における活性層1の膜厚を変化させることにより、第三の光導波層33を省略しても、当該利得変調領域31において光の利得を変調させることが可能と成る。

20

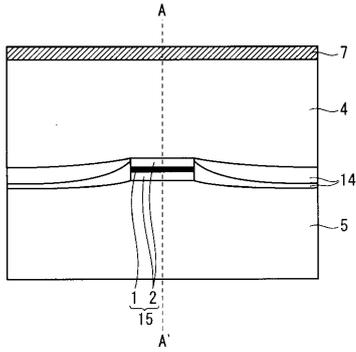
【符号の説明】

【0110】

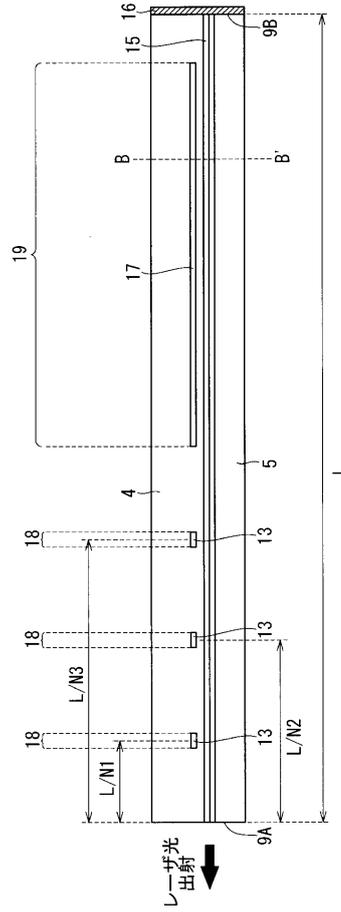
1 活性層、2 光閉じ込め層、4 上クラッド層、5 下クラッド層、7 コンタクト層、9 A 一方の劈開端面、9 B 他方の劈開端面、13, 33 第三の光導波層、14 電流ブロック領域、15 第一の光導波層、16 高反射コート、17 第二の光導波層、18 屈折率変調領域、19 垂直結合領域、20 入射モード、21 入射側境界面、22 偶モード、23 奇モード、25 出射側境界面、26 出射モード、27 透過スペクトル、28 透過ピーク間隔、29 変調ピーク間隔、30 利得帯域幅、31 利得変調領域、L 共振器長、Lf 結合領域長。

30

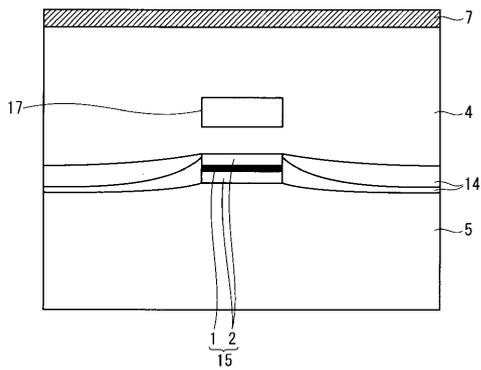
【 図 1 】



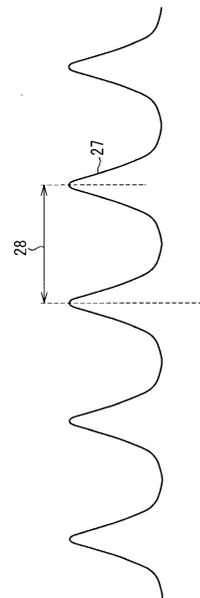
【 図 2 】



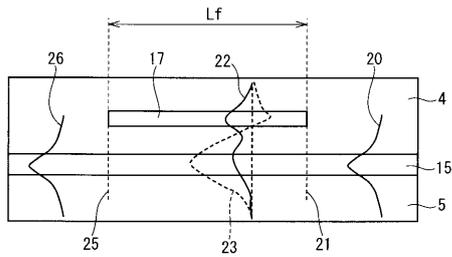
【 図 3 】



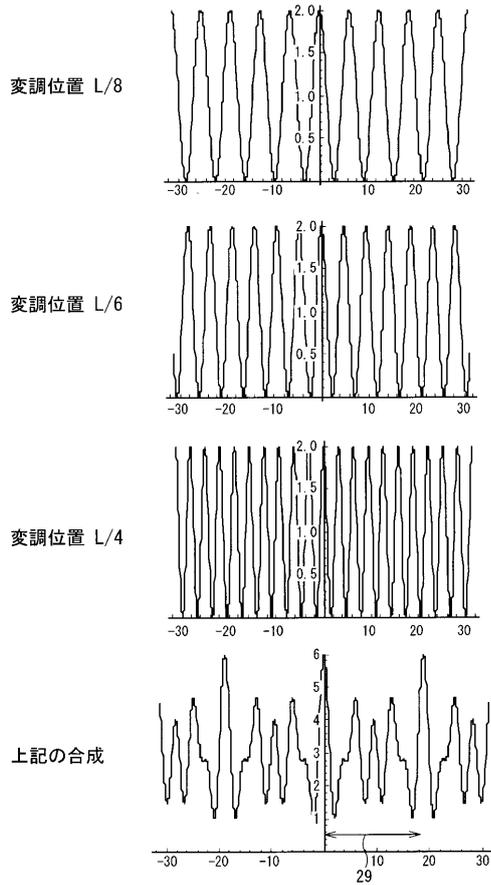
【 図 5 】



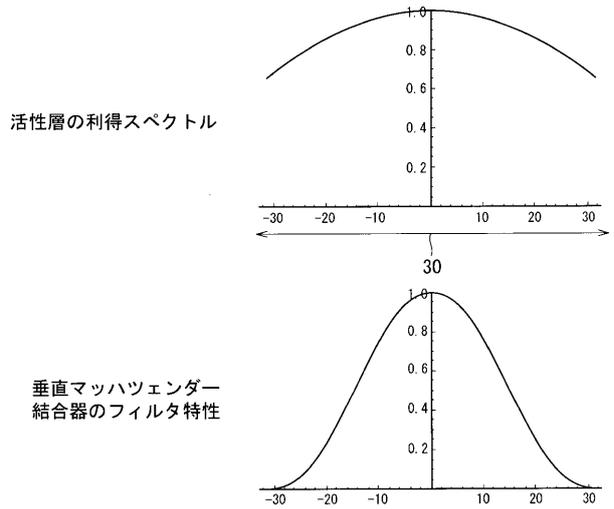
【 図 4 】



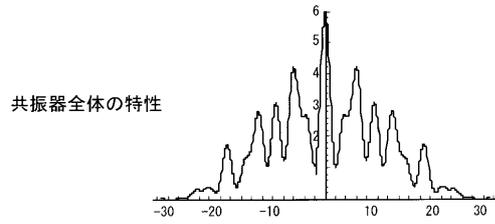
【 図 6 】



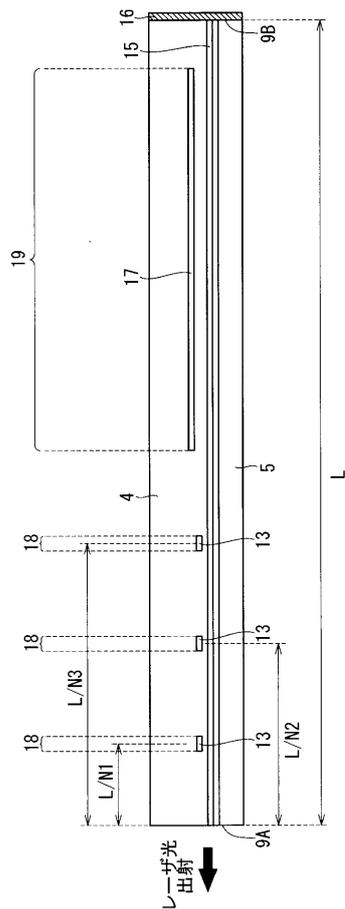
【 図 7 】



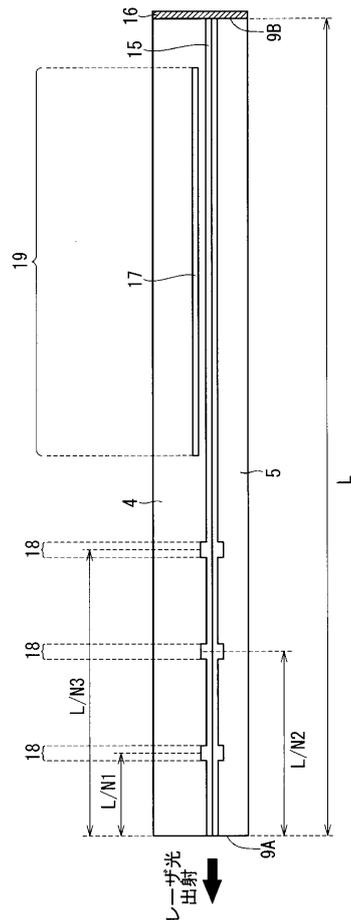
【 図 8 】



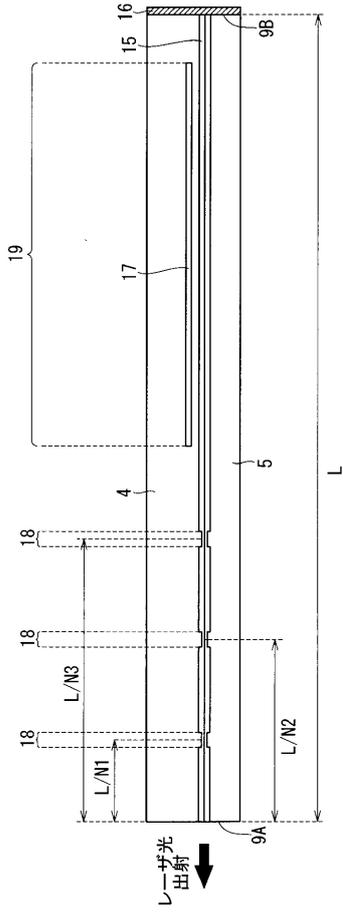
【 図 9 】



【 図 10 】



【図 1 1】



【図 1 2】

