

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5871458号  
(P5871458)

(45) 発行日 平成28年3月1日(2016.3.1)

(24) 登録日 平成28年1月22日(2016.1.22)

(51) Int.Cl.

H01S 5/183 (2006.01)

F 1

H01S 5/183

請求項の数 8 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2010-246317 (P2010-246317)  
 (22) 出願日 平成22年11月2日 (2010.11.2)  
 (65) 公開番号 特開2012-99647 (P2012-99647A)  
 (43) 公開日 平成24年5月24日 (2012.5.24)  
 審査請求日 平成25年10月31日 (2013.10.31)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100094112  
 弁理士 岡部 譲  
 (74) 代理人 100096943  
 弁理士 白井 伸一  
 (74) 代理人 100101498  
 弁理士 越智 隆夫  
 (74) 代理人 100107401  
 弁理士 高橋 誠一郎  
 (74) 代理人 100106183  
 弁理士 吉澤 弘司  
 (74) 代理人 100128668  
 弁理士 斎藤 正巳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】垂直共振器型面発光レーザ、画像形成装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板上に、共振器を構成する一对の反射鏡と、前記一对の反射鏡の間に配置された第1の活性層と、を有する垂直共振器型面発光レーザであって、

前記共振器が、

共振波長が 1、前記第1の活性層の前記 1 での光閉じ込め係数が 1、前記第1の活性層の前記 1 での利得が  $g_1$  ( $g_1 > 0$ ) である第1の縦モードと、

前記第1の縦モードの隣の縦モードであって、共振波長が 2、前記第1の活性層の前記 2 での光閉じ込め係数が 2、前記第1の活性層の前記 2 での利得が  $g_2$  ( $g_2 > 0$ ) である第2の縦モードと、

前記第1の縦モードの隣の、前記第2の縦モードと異なる縦モードであって、共振波長が 3、前記第1の活性層の前記 3 での光閉じ込め係数が 3、前記第1の活性層の前記 3 での利得が  $g_3$  ( $g_2 > g_3$ ) である第3の縦モードと、による縦多モードを生じうる構造を有し、

前記第1の活性層の位置が、

前記第1の縦モードの定在波の腹の位置 A と、前記位置 A に最も近い前記第2の縦モードの定在波の節の位置 B 側の前記位置 A に最も近い前記第1の縦モードの定在波の節の位置 C と、の間にあって、

前記位置 A と、前記位置 A に対して前記位置 B 側にあり、1 / 2 が前記位置 A での 1 / 2 と等しくなる位置 D と、の間にあって、

10

20

前記位置 B と、前記位置 A と前記位置 B の中心位置であり、前記位置 C と前記位置 D よりも前記位置 A 側にある位置 E と、の間にあって、

$1 g_1 > 2 g_2$  と、 $1 g_1 > 3 g_3$  と、を満たす位置であり、

前記第 1 の縦モードによる単一縦モード発振が可能に構成されていることを特徴とする垂直共振器型面発光レーザ。

#### 【請求項 2】

前記共振器は、6 以上の共振器長を有することを特徴とする請求項 1 に記載の垂直共振器型面発光レーザ。

#### 【請求項 3】

前記  $g_1$  と前記  $g_2$  が、 $g_2 > g_1$  を満たすことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の垂直共振器型面発光レーザ。10

#### 【請求項 4】

前記一対の反射鏡の間に、前記第 1 の活性層以外に第 2 の活性層を有していることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の垂直共振器型面発光レーザ。

#### 【請求項 5】

前記第 2 の縦モードにおける前記第 2 の活性層の前記 2 での利得を  $g'_2$ 、前記第 3 の縦モードにおける前記第 2 の活性層の前記 3 での利得を  $g'_3$  とすると、 $g'_2 < g'_3$  を満たすことを特徴とする請求項 4 に記載の垂直共振器型面発光レーザ。

#### 【請求項 6】

前記第 1 の縦モードにおける前記第 2 の活性層の前記 1 での利得を  $g'_1$ 、前記第 1 の縦モードにおける前記第 2 の活性層の前記 1 での光閉じ込め係数を  $\beta'_1$ 、前記第 2 の縦モードにおける前記第 2 の活性層の前記 2 での光閉じ込め係数を  $\beta'_2$ 、前記第 3 の縦モードにおける前記第 2 の活性層の前記 3 での光閉じ込め係数を  $\beta'_3$  とすると、前記第 2 の活性層の位置が、

前記位置 A とは異なる前記第 1 の縦モードの定在波の腹の位置 A' と、前記位置 A' に最も近い前記第 3 の縦モードの定在波の節の位置 H' 側の前記位置 A' に最も近い前記第 1 の縦モードの定在波の節の位置 I' と、の間にあって、

前記位置 A' と、 $I' / H' / J'$  が前記位置 A' での  $I' / H' / J'$  と等しくなる位置 J' と、の間にあって、

$' 1 g'_1 > ' 2 g'_2$  と、 $' 1 g'_1 > ' 3 g'_3$  と、を満たす位置であることを特徴とする請求項 5 に記載の垂直共振器型面発光レーザ。30

#### 【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の垂直共振器型面発光レーザと、

前記垂直共振器型面発光レーザから出力されるレーザ光を反射して走査するための光偏向器と、

を有することを特徴とする画像形成装置。

#### 【請求項 8】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の垂直共振器型面発光レーザと、

前記垂直共振器型面発光レーザから出力される光により静電潜像が形成される感光体と、40

を有することを特徴とする画像形成装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は垂直共振器型面発光レーザ、及び垂直共振器型面発光レーザを用いた画像形成装置に関する。

##### 【背景技術】

##### 【0002】

垂直共振器型面発光レーザ (VCSEL : Vertical Cavity Surface Emitting Laser) は半導体基板に対して垂直方向に光を取り出す

ことができるため、二次元アレイを容易に形成することができる。

面発光レーザアレイは様々な産業上への応用が期待されており、例えば、高密度な二次元レーザアレイを利用すると、高速で高精細な電子写真システム等への応用が可能となる。電子写真プロセスでは感光ドラム上に安定かつ微小さなレーザスポットの形成が必要であるため、単一横モードや単一縦モードの安定動作がレーザ特性として必要である。

面発光レーザでは素子内部に選択酸化による電流狭窄構造を設けることにより活性層の発光領域を制限し、単一横モード化を行う方法がある。

しかし、この方法だけで単一横モード発振をさせようとすると、酸化狭窄径を  $3 \mu\text{m}$  程度まで小さくしなければならず、酸化狭窄径を小さくすると発光領域が小さくなるため、大きなレーザ出力を得ることが難しい。

10

### 【0003】

そのため、より大きな酸化狭窄径のもとで、単一横モード化を行う方法の一つとして、特許文献1では共振器を長くすることにより高次横モードの回折損を基本横モードの回折損よりも増大させ、高出力で単一横モード発振可能な面発光レーザが提案されている。

一般的な面発光レーザでよく用いられる共振器の光学的膜厚は1波長または2波長程度である。例えば、非特許文献1で用いられている  $980 \text{ nm}$  帯のレーザでは、通常、1波長共振器における共振器の物理的長さは  $0.3 \mu\text{m}$  程度である。これに対して、上記非特許文献1では共振器長を長くするために、共振器内に  $2 \sim 8 \mu\text{m}$  のスペーサ層を導入することによって、酸化狭窄径が  $7 \mu\text{m}$  でも単一横モード発振を達成している。

なお、活性層の利得を大きくするために定在波の腹に活性層を位置することにより、しきい値電流の低下や効率の向上を図ることについて、非特許文献2に示されている。

20

### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0004】

#### 【特許文献1】特開2009-147302号公報

#### 【非特許文献】

#### 【0005】

【非特許文献1】H. J. Unold et al., IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 12, No. 8, Aug. 2000, p. 939 - 941

30

【非特許文献2】S. W. Corzine et al., Photo. Tech. Lett., Vol. 1, No. 3, 1989, p. 52 - 54

### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

しかしながら、上記特許文献1のものでは、高出力で単一横モード発振を実現するため共振器を長くすることにより、縦多モード発振や縦モードホッピングが生じる恐れがあり、単一縦モードの安定動作を達成する上で、必ずしも満足の得られるものではない。

通常の1波長共振器の面発光レーザでは、縦モード間隔は  $50 \text{ nm}$  以上と大きいため、単一縦モード発振が達成される。

40

一方、上記非特許文献1のように共振器内に  $2 \sim 8 \mu\text{m}$  のスペーサ層を導入し共振器長を長くすると、縦モード間隔が  $10 \text{ nm}$  程度まで小さくなってしまう。

このように縦モード間隔が小さくなると、図13のように利得スペクトル1510と複数の縦モード1520、1530、1540の共振波長が重なってしまうことから、縦多モード発振、あるいは縦モードホッピングが生じてしまう恐れがある。

#### 【0007】

本発明は、上記課題に鑑み、高出力による単一横モード発振のため長共振器化することで縦モード間隔が狭くなり、縦多モード発振や縦モードホッピングが生じる際でも、安定した単一縦モード発振が可能となる垂直共振器型面発光レーザの提供を目的とする。

また、上記垂直共振器型面発光レーザを用いた画像形成装置の提供を目的とする。

50

**【課題を解決するための手段】**

**【0008】**

本発明の垂直共振器型面発光レーザは、基板上に、共振器を構成する一対の反射鏡と、前記一対の反射鏡の間に配置された第1の活性層と、を有する垂直共振器型面発光レーザであって、

前記共振器が、

共振波長が 1、前記第1の活性層の前記 1での光閉じ込め係数が 1、前記第1の活性層の前記 1での利得が  $g_1 ( g_1 > 0 )$  である第1の縦モードと、

前記第1の縦モードの隣の縦モードであって、共振波長が 2、前記第1の活性層の前記 2での光閉じ込め係数が 2、前記第1の活性層の前記 2 での利得が  $g_2 ( g_2 > 0 )$  である第2の縦モードと、

前記第1の縦モードの隣の、前記第2の縦モードと異なる縦モードであって、共振波長が 3、前記第1の活性層の前記 3 での光閉じ込め係数が 3、前記第1の活性層の前記 3 での利得が  $g_3 ( g_2 > g_3 )$  である第3の縦モードと、による縦多モードを生じうる構造を有し、

前記第1の活性層の位置が、前記第1の縦モードの定在波の腹の位置とは異なっており、

前記第1の縦モードによる単一縦モード発振が可能に構成されていることを特徴とする。

また、本発明の画像形成装置は、上記した垂直共振器型面発光レーザと、前記垂直共振器型面発光レーザから出力されるレーザ光を反射して走査するための光偏向器と、を有することを特徴とする。

また、本発明の画像形成装置は、上記した垂直共振器型面発光レーザと、前記垂直共振器型面発光レーザから出力される光により静電潜像が形成される感光体と、を有することを特徴とする。

10

20

30

**【発明の効果】**

**【0009】**

本発明によれば、高出力による単一横モード発振のため長共振器化することで縦モード間隔が狭くなり、縦多モード発振や縦モードホッピングが生じる際でも、安定した単一縦モード発振が可能となる垂直共振器型面発光レーザを実現することができる。

また、上記垂直共振器型面発光レーザを用いた画像形成装置を実現することができる。

**【図面の簡単な説明】**

**【0010】**

【図1】本発明の実施形態における面発光レーザの各縦モードの定在波の強度分布と活性層の位置の関係を説明する図。

【図2】本発明の実施形態1における面発光レーザの作製方法による面発光レーザの構成例を説明する断面模式図。

【図3】本発明の実施形態1における面発光レーザの層構成を説明する模式図。

40

【図4】本発明の実施形態1における面発光レーザの各縦モードと利得スペクトルの関係を説明する図。

【図5】本発明の実施形態1における面発光レーザの各縦モードの定在波の強度分布と活性層の位置の関係を説明する図。

【図6】本発明の実施形態1における面発光レーザの活性層の位置  $x'$  と  $g_1 ( x' )$  と  $g_2 ( x' )$  の関係を説明する図。

【図7】本発明の実施形態2における面発光レーザの各縦モードと利得スペクトルの関係を説明する図。

【図8】本発明の実施形態2における面発光レーザの各縦モードの定在波の強度分布と活性層の位置の関係を説明する図。

50

【図9】本発明の実施形態2における面発光レーザの活性層の位置 $x'$ と各縦モードにおける $(x')g$ の比の関係を説明する図。

【図10】本発明の実施形態3における面発光レーザの層構成を説明する模式図。

【図11】本発明の実施形態3における面発光レーザの各縦モードと利得スペクトルの関係を説明する図。

【図12】本発明の実施形態3における面発光レーザの各縦モードの定在波の強度分布と活性層の位置の関係を説明する図。

【図13】先行技術の課題を説明するため、面発光レーザの各縦モードと利得スペクトルの関係を示す図。

#### 【発明を実施するための形態】

10

#### 【0011】

本発明は、高出力による単一横モード発振のため長共振器化することにより、縦多モードや縦モードホッピングを生じる恐れのある構造のもとで、つぎのような面発光レーザの構成を探ることによって、安定した単一縦モード発振を可能としたものである。

すなわち、通常は第1の縦モードの定在波の腹の位置に置く活性層を、定在波の腹からずらして置く。

これにより、波長1で発振する垂直共振器型面発光レーザにおいて、共振波長1である第1の縦モードに隣接する第2、第3の縦モードのうち、活性層の利得が大きい第2の縦モードが発振することを抑制し、単一縦モード発振を得ることが可能となる。

なお、活性層の位置は、誘導増幅を起こす層の中心とし、複数存在する場合にはそれらの重心となる位置とする。

例えば、バルクの活性層ならその中心、複数の量子井戸や量子ドットでは各量子井戸の中心の重心となる位置を活性層位置とする。

#### 【0012】

20

以下、その実施形態について、図1を用いて説明する。

図1は本実施形態における各縦モードの定在波の強度分布と活性層の位置を示す図である。

図1において、110は第1の縦モード、120は第2の縦モード、130は第3の縦モードである。

また、140は活性層、150は位置A、160は位置B、170は位置C、180は位置Dである。

第1の縦モード110、第2の縦モード120、第3の縦モード130はそれぞれ共振波長を1、2、3、活性層の利得を $g_1$ 、 $g_2$ 、 $g_3$ 、定在波により決まる活性層への光閉じ込め係数を1、2、3とする。

ここで、第2の縦モード120、第3の縦モード130に関して、 $g_2 > g_3$ とする。

ここで、活性層の利得 $g$ とは、活性層を起源とする利得スペクトルにおける各共振波長での利得である。

また、定在波により決まる光閉じ込め係数とは、上下多層膜反射鏡により構成された共振器内で形成される定在波の強度分布と活性層構造および活性層位置で決まる活性層へ閉じ込められる光の割合とする。

なお、以下に記載する $g$ との値はそれぞれのピーク値が1となるように規格化している。

#### 【0013】

40

図1に示すように、活性層140は、第1の縦モード110の定在波の腹である150で示す位置Aと、

位置Aから最も近い第2の縦モード120の節である160で示す位置B側の最も近い第1の縦モード110の定在波の節である170で示す位置C間にあって、1/2が上記位置Aでの1/2と等しくなる位置である180で示す位置Dの間に位置する。

#### 【0014】

150で示す位置Aと位置Dの間では、150で示す位置Aに活性層140を置くとき

50

よりも  $1 / 2$  は大きくなるため、第 2 の縦モード 120 の発振が抑制できる。さらに、活性層 140 は 150 に示す位置 A と 180 に示す位置 D の間で、かつ、 $\lambda$  と  $g$  の積が第 1 の縦モードが第 2、第 3 の縦モードよりも大きくなる図 1 の 190 に示す範囲内に置くことで、単一縦モード発振することが可能となる。

すなわち、図 1 の 190 に示す範囲内である  $1g1 > 2g2$ 、 $1g1 > 3g3$  を満たす範囲内に置くことで、第 2 の縦モード 120 の発振を抑制し、かつ、第 1 の縦モード 110 が単一縦モード発振することが可能となる。

上記本発明の垂直共振器型面発光レーザを、レーザ光を反射して走査する光偏向器により偏向された光により静電潜像を形成する感光体を備えた画像形成装置に適用することにより、信頼性の高い画像形成装置を実現することができる。

以下に、本発明の実施形態 1 から実施形態 3 について説明する。

#### 【0015】

##### [実施形態 1]

実施形態 1 として、本発明を適用した垂直共振器型面発光レーザの構成例について、図 4 を用いて説明する。

図 4 に、本実施形態における垂直共振器型面発光レーザ（以下、面発光レーザと記す）の各縦モードと利得スペクトルの関係を示す。

ここで、第 1 の縦モード 410 の共振波長  $\lambda_1$  と第 2 縦モード 420 の共振波長  $\lambda_2$  の関係は、 $\lambda_2 < \lambda_1$  とする。図 4 では  $g_3 = 0$  となっているが、 $\lambda_2 < \lambda_1$ 、 $g_1 > 0$ 、 $g_2 > 0$  を満たしていればよい。

活性層は、波長  $\lambda_1$  で発振し、波長  $\lambda_1$  と活性層により決まる利得スペクトルのピーク波長  $\lambda_g$  の差がデチューニング量 ( $= \lambda_1 - \lambda_g$ ) となる利得スペクトルを有する。

ここで、利得スペクトルは関数  $g(y)$  となる。

第 1 の縦モード 410、第 2 の縦モード 420、第 3 の縦モード 430 が縦モード間隔  $N$  となるような共振器構造を有し、共振器長  $M \times N$  である。

このとき、 $\lambda_1$  と  $N$  と  $g(y)$  の関係が  $g_1 > 0$ 、 $g_2 > 0$ 、 $g_2 > g_3$  を満たす。

$\lambda_2 < \lambda_1$  のように設計することで、自己発熱や環境温度で活性層の温度が上昇したときに、利得スペクトルが長波長側に変位するため、 $\lambda_1$  は利得を大きく得ることができる。

#### 【0016】

第 2 の縦モードの発振を抑制し、かつ、第 1 の縦モードが単一縦モード発振するために置く活性層の位置は、位置 A と位置 D の間、かつ、 $\lambda$  と  $g$  の積が第 1 の縦モードが第 2、第 3 の縦モードよりも大きくなる範囲である。すなわち、 $1(0) / 2(0) < 1(x') / 2(x')$ 、かつ、 $1g1 > 2g2$ 、 $1g1 > 3g3$  を満たす位置となる。

ここで、 $\lambda_1$  は上部多層膜反射鏡の光の染み込みを考慮した上部多層膜反射鏡の実効共振器端を基準として基板方向を正としたときの距離  $x$  の関数である。

また、 $1(x')$  は上部多層膜反射鏡の実効共振器端からの定在波の腹の数を  $N'$  個目、 $N'$  個目の定在波の腹の位置を基準として基板方向を正としたときの距離  $x'$  の関数である。ここで、

$$x = x' + \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda}{2n}$$

#### 【0017】

である。 $n$  は実効屈折率とする。

$g_1$ 、 $g_2$ 、 $g_3$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $1(x')$ 、 $2(x')$  は  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $g(y)$  により表すことができるため、上記関係は以下の式 1、式 2、式 3 で表すことができる。

ここで、 $\lambda_2 < \lambda_1$  より、 $N = 1 - N'$ 、 $N = 1 + N'$  である。

10

20

30

40

50

以下の式1～式3を満たす位置に活性層を置くことで、第2の縦モードの発振を抑制し、かつ、第1の縦モードが単一縦モード発振することが可能となる。

$$\frac{g1}{g2} = \frac{g(\Delta\lambda)}{g(\Delta\lambda - \Delta\lambda N)} > \frac{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi}{(\lambda l - \Delta\lambda N)/n} x \right\}}{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi}{\lambda l/n} x \right\}} = \frac{\Gamma_2}{\Gamma_1} \quad \text{式1}$$

10

$$\frac{g1}{g3} = \frac{g(\Delta\lambda)}{g(\Delta\lambda + \Delta\lambda N)} > \frac{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi}{(\lambda l + \Delta\lambda N)/n} x \right\}}{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi}{\lambda l/n} x \right\}} = \frac{\Gamma_3}{\Gamma_1} \quad \text{式2}$$

20

$$\frac{\Gamma_1(0)}{\Gamma_2(0)} = \frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l)/n} \left\{ \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l - \Delta\lambda N)/n} \left\{ \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]} < \frac{\Gamma_1(x')}{\Gamma_2(x')} \quad \text{式3}$$

30

40

### 【 0 0 1 8 】

図5に、上記式1～式3を満たす活性層位置の範囲を説明するために、各縦モードの定在波の強度分布と活性層の位置を示す。

ここでは、 $\Gamma_2 < \Gamma_1$ 、かつ、非特許文献1と同様にスペーサ層をn型の下部多層膜反射鏡と活性層の間に位置しているために、第1の縦モード510、第2の縦モード520、第3の縦モード530の関係は図5のようになる。

図5において、第1の縦モード510のN'個目の定在波の腹の位置である550で示す位置Aとし、該550で示す位置Aを $x' = 0$ とする。

$x'$ は550で示す位置Aを基準として、基板310方向を正の方向としたときの活性層の位置とする。

50

ここで、 $N'$  は定在波の数を  $N$  としたときに  $N' < N / 2$  である。

上記位置 A と、上記位置 A から最も近い第 2 の縦モード 520 の節の位置である 560 で示す位置 B 側の最も近い第 1 の縦モード 510 の定在波の節を、570 で示す位置 C とする。

上記位置 A と、上記位置 C の間にあり、かつ、式 3 の左辺と右辺が等しくなる位置、すなわち、上記位置 A での  $1 / 2$  と等しくなる  $1 / 2$  の位置を、580 で示す位置 D とする。

上記位置 A と上記位置 B の中心を、565 で示す位置 E とする。

#### 【0019】

ここで、層構成を決定し、 $1$ 、 $N$ 、 $N'$  を定めると、上記各位置  $x'$  は以下のように決定される。 10

550 で示す位置 A は  $x' = 0$  である。

550 で示す位置 B は  $x' = b$  であり、 $b$  は次式となる。

$$b = \frac{\lambda l - \Delta \lambda N}{2n} \times N' - \frac{\lambda l}{2n} \times \left( N' - \frac{1}{2} \right)$$

#### 【0020】

570 で示す位置 C は  $x' = c$  であり、 $c = 1 / 4 n$  となる。 20

580 で示す位置 D は  $x' = d$  であり、次式を満たす  $d$  となる。

$$\frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l) / n} \left\{ d + \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l - \Delta \lambda N) / n} \left\{ d + \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]} = \frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l) / n} \left\{ \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l - \Delta \lambda N) / n} \left\{ \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}$$

#### 【0021】

565 で示す位置 E は  $x' = e$  であり、 $e = b / 2$  となる。

550 で示す位置 A と、580 で示す位置 D の間に活性層 540 を置くことで、第 2 の縦モードの発振を抑制し、かつ、第 1 の縦モードが単一縦モード発振することが可能となる。

好ましくは、550 で示す位置 A と、560 で示す位置 Bとの間に活性層 540 を置くことで、より効果を得ることができる。

さらに好ましくは、上記 565 で示す位置 E と、560 で示す位置 B との間に活性層 540 を置くことで、より効果を得ることができる。 40

上記効果を示すため、図 6 に、 $x'$  の位置と、 $1(x')$  g1 /  $2(x')$  g2 との関係を示す。ここでは、 $1$ 、 $N$ 、 $g(y)$ 、 $N'$  に下記で示す具体的な値を用いている。

すなわち、 $1 = 680 \text{ nm}$ 、 $= 5 \text{ nm}$ 、 $N = 14 \text{ nm}$ 、 $N' = 14$ 、

$$g(y) = -1.82 * 10^{-4} y^4 - 5.70 * 10^{-4} y^3 - 7.88 * 10^{-3} y^2 + 9.52 * 10^{-4} y + 1 \quad \text{式4}$$

#### 【0022】

を用いる。

このとき、 $2 < 1$ で、 $g_1 = 0.73$ 、 $g_2 = 0.65$ 、 $g_3 = 0$ となっている。

この条件では、 $g_3 = 0$ も満たしていることになる。

なお、式4の $g(y)$ は、赤色レーザの利得スペクトルを具体的な関数として、非特許文献3( J. A. Lott et al., Appl. Phys. Lett., Vol. 63, No. 25, 20 Dec. 1993, p. 3485 - 3487)のFig. 5を参照にし、注入キャリア密度として $n = 4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の利得スペクトル形状を4次関数近似したもので定義している。

ここで、 $y$ は利得スペクトルのピーク波長  $g$  が  $g = 0$  となる位置を  $y = 0$  としている。

また、上記非特許文献3の活性層は 10 nm の GaInP 量子井戸層で AlGaInP のバリア層で挟んでいるものである。

#### 【0023】

図6において、活性層540を550で示す位置Aと580で示す位置Dの間、すなわち、 $0 < x' < 33.1$ に置くことで、第2の縦モード520の発振を抑制できる。

また、 $1(x')g_1 / 2(x')g_2$  の極大値をとる活性層の位置は 560 で示す位置B、すなわち、 $x' = b$  であり、ここでは  $b = 21.8 \text{ nm}$  である。

$1(x')g_1 / 2(x')g_2$  の値は、位置Aから位置Bまでは単調増加、位置Bから位置Dまでは単調減少するために、位置Eと位置Bの間では上記効果をより強く得ることができる。

また、 $1(x')g_1 / 2(x')g_2$  の極大値は位置Bであるため、第2の縦モードのみを考慮すればよいときに、位置Bに活性層540を置くと第1の縦モードが安定して単一縦モード化する効果が最大となる。

いずれの範囲に対しても、 $1g_1 > 2g_2$  と  $1g_1 > 3g_3$ 、すなわち、式1と式2を満たすこと必要である。

#### 【0024】

図3を用いて、上記効果を得る本実施形態における面発光レーザの層構成を説明する。本実施形態の面発光レーザは基板310上に下部多層膜反射鏡320、スペーサ層330、下部クラッド層340、第1の活性層350(以下活性層350)、上部クラッド層360、上部多層膜反射鏡370が積層されている。

なお、下部クラッド層340、活性層350、上部クラッド層360を第1の領域380とする。

下部多層膜反射鏡320、および、上部多層膜反射鏡370は、低屈折率層と高屈折率層が交互に積層されており、各層の光学的厚さはレーザの発振波長を  $\lambda$  とすると  $\lambda/4$  である。

上記効果を得る図3の具体的材料、層構成、活性層位置について波長 680 nm の赤色面発光レーザについて以下に示す。

基板310はn型GaAs基板を用い、下部多層膜反射鏡320はn型AlAs/Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asの60層ペア、上部多層膜反射鏡370はp型Al<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>As/Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Asの38層ペアで形成されている。また、各層は  $1/4$  の光学的厚さで積層されている。

活性層350にはGa<sub>0.43</sub>In<sub>0.57</sub>P/Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.25</sub>In<sub>0.5</sub>Pの多重量子井戸を用いる。

Ga<sub>0.43</sub>In<sub>0.57</sub>P/Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.25</sub>In<sub>0.5</sub>P多重量子井戸350の量子井戸数は3個であり、量子井戸の3個の真ん中の量子井戸の中心が活性層の位置となる。

また、下部クラッド層340はn型AlGaInP、上部クラッド層360はp型AlGaInPを用いる。

活性層540の位置の具体例として、上記層構成で560で示す位置B、すなわち、第1の縦モード510の定在波の腹から 21.8 nm 基板側にずらした位置に活性層540を置く。

### 【0025】

そのときの膜構成と膜厚は以下のようになる。

A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P上部クラッド層360は67.6nmであり、

活性層350は、上層からA<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P(42nm)/Ga<sub>0.43</sub>In<sub>0.57</sub>P(6.5nm)/A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P(5.5nm)/Ga<sub>0.43</sub>In<sub>0.57</sub>P(6.5nm)/A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P(42nm)の多重量子井戸であり、

A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P下部クラッド層340は24.0nmである。

ここで、活性層350の上層から2つ目のGa<sub>0.43</sub>In<sub>0.57</sub>P層が3.25nmの位置が活性層位置である。

10

通常のように、第1の縦モードの定在波の腹の550で示す位置Aに活性層540を置くときは、上記膜構成のA<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P上部クラッド層360とA<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P下部クラッド層340は45.8nmである。

550で示す位置Aから21.8nm基板側に活性層540をずらしているため、A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P上部クラッド層360は67.6nm、A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P下部クラッド層340は24.0nmとなる。

スペーサ層330はn型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As層を用い、膜厚は2.18μmとする。

上下の多層膜反射鏡で挟まれた共振器長、すなわち、スペーサ層330から上部クラッド層360の総厚は上下の多層膜反射鏡での反射鏡内への光の染み込みである実効反射鏡長を考慮した実効共振器長とN、実効屈折率nで決定する。

20

ここでは、N=14nmから実効反射鏡長を考慮すると、共振器長は12となるため、下部クラッド層340、活性層350、上部クラッド層360で1、スペーサ層330で11となるように設けている。

なお、N'=14は実効反射鏡長と上部クラッド層360、活性層350から決定している。

### 【0026】

上記層構成が式4、 $x' = 680\text{ nm}$ 、 $b = 5\text{ nm}$ 、 $N = 14\text{ nm}$ 、 $N' = 14$ を満たすため、活性層540の位置と図5の各位置を以下のように決定できる。

550(位置A)は $x' = 0\text{ nm}$ ,

30

560(位置B)は $b = 21.8\text{ nm}$ ,

570(位置C)は $c = 51.5\text{ nm}$ ,

580(位置D)は $d = 33.1\text{ nm}$ ,

565(位置E)は $e = 10.9\text{ nm}$ となる。

これより、上記構成では活性層位置を前述のように $0 < x' < 33.1$ に置くことで、第2の縦モード520の発振を抑制できる。上記範囲は式1、式2も満たしているため、第1の縦モードの単一縦モード発振が実現できる。

### 【0027】

本実施形態のように、 $g_3 = 0$ を満たしているか、第3の縦モードを考慮する必要がないほど $g_3$ が小さいときに位置Bに活性層を置くと、第1の縦モードが安定して単一縦モード化する効果が最大となる。

40

なお、ここでは活性層540の位置を560で示す位置Bに置いたが、550で示す位置Aから570で示す位置Cへ向かうにつれ、1の値は減少するため、十分に第2の縦モードの発振を抑制できている場合にはつぎのような位置に活性層を置いてもよい。

例えば、565で示す位置E、ここでは $x' = 10.9\text{ nm}$ 、や、565で示す位置Eと560で示す位置Bの間に活性層を置いてもよい。

### 【0028】

図2を用いて、本発明の実施形態1における面発光レーザの作製方法による面発光レーザの構成例を説明する。

本実施形態の面発光レーザの作製方法においては、つぎのようにして基板上に、下部多層

50

膜反射鏡、上部多層膜反射鏡、これらの間に配置された第1の活性層を含む複数の半導体層が積層され、波長1で発振する垂直共振器型面発光レーザを作製する。

まず、基板210上に、下部多層膜反射鏡220からコンタクト層290までを順次成長させる。

例えば、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法により、下部多層膜反射鏡220、スペーサ層230、下部クラッド層240、活性層250、上部クラッド層260、上部多層膜反射鏡270、コンタクト層290、を成長させる。

次に、上記の各層が積層されたウエハを一般的な半導体リソグラフィー法および半導体エッチング、ここではドライエッ칭により下部クラッド層240の上部まで除去することで、メサ構造を形成する。メサ構造の直径は、例えば、 $26\text{ }\mu\text{m}$ である。  
10

電流狭窄部280は、例えば、選択酸化法や、プロトン打ち込みにより形成される。

選択酸化法による電流狭窄部280の形成では例えばAlAs層やAl組成の高いAl0.98Ga0.02As層を上部多層膜反射鏡270内に設けて、高温水蒸気雰囲気中で選択酸化することで電流狭窄構造を形成し、必要な領域のみに電流を注入できるようにする。

このときの電流狭窄径は例えば $5\text{ }\mu\text{m}$ である。

#### 【0029】

次に、メサ構造を覆うように絶縁膜295を成膜し、メサ上部の一部の絶縁膜295を除去する。絶縁膜295の成膜は、例えばSiO<sub>2</sub>膜を、例えばプラズマCVD法により行う。絶縁膜295の除去は、例えばバッファードフッ酸で行う。  
20

次に、例えば真空蒸着法およびリソグラフィー法を用いて上部電極202、および、下部電極201を成膜する。上部電極202は、例えばTi/Auであり、下部電極201は、例えばAuGe/Auである。

上部電極202に接するコンタクト層290は例えばGaAsを用いる。

なお、必要であれば面発光レーザ200を300程度でアニール処理を行っても良い。

なお、上記形成方法や半導体材料、電極材料、誘電体材料などは実施形態で開示したものに限るものではなく、本発明の主旨を外れないものであれば、他の方法、材料を利用することも可能である。

例えば、基板310はp型GaAs基板を用いてもよく、その場合、下部多層膜反射鏡320はp型半導体、上部多層膜反射鏡370はn型半導体となる。  
30

下部多層膜反射鏡320と上部多層膜反射鏡370のペア数は必要な反射率に応じて適宜変更してもよい。

#### 【0030】

また、下部多層膜反射鏡320と上部多層膜反射鏡370を構成する材料は高屈折率層と低屈折率層を適正に配置すれば上記材料以外の材料を用いてもよく、各層の間に組成傾斜層を設けるなどしてもよい。

スペーサ層330は、活性層350と下部多層膜反射鏡320の間に設けている。

しかし、スペーサ層330は、活性層350と上部多層膜反射鏡370の間に設けてもよい。また、スペーサ層330は、活性層350と下部多層膜反射鏡320の間、および、活性層350と上部多層膜反射鏡370の間の両方に設けてもよい。  
40

ドーピングによってp型の多層膜反射鏡はn型の多層膜反射鏡に比べて光の吸収が多くなる。そのため、スペーサ層330は光の吸収が少ないn型の多層膜反射鏡が設けられている側に配置することが望ましい。

すなわち、図3のように、下部多層膜反射鏡320はn型である場合、スペーサ層330は、活性層350と下部多層膜反射鏡320の間に設ける方が望ましい。

#### 【0031】

スペーサ層330では、上記特許文献1に示されるAlAs/Al0.5Ga0.5Asとが/2の光学的膜厚で積層されている構成を用いてもよい。膜厚に関しても適宜変更してもよい。  
50

スペーサ層 330 の膜厚は下部多層膜反射鏡 320 と上部多層膜反射鏡 370 で挟まれたスペーサ層 330、下部クラッド層 340、活性層 350、上部クラッド層 360 で構成される共振器長が単一横モード制御に有効である厚さ以上が望ましい。

例えば、 $6 \mu\text{m}$  以上であることが好ましく、これは上記非特許文献 1 においてスペーサ層 2  $\mu\text{m}$  で効果が得られており、共振器長が 6 程度と考えられるためである。

活性層では  $\text{Ga}_{0.43}\text{In}_{0.57}\text{P} / \text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.25}\text{In}_{0.5}\text{P}$  の多重量子井戸数は 1 個や 4 個でもよく、組成比もこれに限られたものではない。量子井戸構造に限られたものではなく、バルク材や量子ドットを用いてもよい。

また、 $2 < 1$  を満たしていれば、 $1, \dots, N$  なども適宜変更してよく、それに対応した層構造を用いてよい。10

### 【0032】

また、ここでは第 1 の領域 380 内に活性層は 1 つであったが、ここでの活性層を 2 つ以上の周期利得構造にしてもよい。

すなわち、第 1 の領域内に第 1 の活性層以外の第 2 の活性層を設けてもよい。第 2 の活性層は第 1 の活性層と同じ構成でもよいし、異なる構成でもよい。

ここで、第 1 の活性層、第 2 の活性層とは活性層内の多重量子井戸一つではなく、多重量子井戸構造を一つの塊としたものを言い、各活性層は活性層間スペーサ層で区切られている。

多重量子井戸構造を塊とするのは、できる限り各量子井戸を最適値に近づけるために、各量子井戸間隔は小さくする。例えば 5 nm 程度まで近づける。20

一方、活性層間スペーサ層は各量子井戸の重心を考慮すると例えば、 $1/2 \times \sim 1/8 \times$  程度の膜厚となる。

このように、周期利得構造を用いることで利得の増加を見込むことができる。

### 【0033】

#### 〔実施形態 2〕

実施形態 2 として、波長 780 nm の赤外面発光レーザについて説明する。

本実施形態では、実施形態 1 と異なり  $2 > 1, g_1 > 0, g_2 > 0, g_3 > 0$  を満たす構成となる。

本実施形態では、実施形態 1 と下部多層膜反射鏡から上部多層膜反射鏡までの具体的な層構成は異なるものの、実施形態 1 と面発光レーザの作製方法や基本的な層構成は同じであるため、例えば、作製方法や基板、電極に関する記述は省略する。30

### 【0034】

図 7 に、本実施形態における面発光レーザの各縦モードと利得スペクトルの関係を示す。

第 1 の縦モード 710、第 2 の縦モード 720、第 3 の縦モード 730 に関する活性層の利得  $g_1, g_2, g_3$  と  $N, g(y)$  の関係図を示す。

ここで第 1 の縦モード 710 の共振波長  $1$  と、第 2 縦モード 720 の共振波長  $2$  の関係は、 $2 > 1$  とする。図 7 では  $g_2 > g_1$  となっているが、 $g_2 < g_1$  となっていてもよい。

$2 > 1$  のように設計することで、自己発熱や環境温度で活性層の温度が上昇し利得スペクトルが長波長側に変位したときに、3 の利得が減少するためにより安定した状態をとる。40

第 2 の縦モードの発振を抑制し、かつ、第 1 の縦モードが単一縦モード発振するために置く活性層の位置は、

実施形態 1 と同様に  $1(0) / 2(0) < 1(x') / 2(x')$ 、かつ、 $1g_1 > 2g_2, 1g_1 > 3g_3$  を満たす位置、すなわち、以下の式 5、式 6、式 7 を満たす位置となる。

実施形態 1 と異なり  $2 > 1$  より、 $2 = 1 + N, 3 = 1 - N$  である。

$$\frac{g1}{g2} = \frac{g(\Delta\lambda)}{g(\Delta\lambda + \Delta\lambda N)} > \frac{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi}{(\lambda l + \Delta\lambda N)/n} x \right\}}{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi}{\lambda l/n} x \right\}} = \frac{\Gamma 2}{\Gamma 1} \quad \text{式 5}$$

10

$$\frac{g1}{g3} = \frac{g(\Delta\lambda)}{g(\Delta\lambda - \Delta\lambda N)} > \frac{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi}{(\lambda l - \Delta\lambda N)/n} x \right\}}{\sin^2 \left\{ \frac{2\pi}{\lambda l/n} x \right\}} = \frac{\Gamma 3}{\Gamma 1} \quad \text{式 6}$$

20

$$\frac{\Gamma 1(0)}{\Gamma 2(0)} = \frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l)/n} \left\{ \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l + \Delta\lambda N)/n} \left\{ \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]} < \frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l)/n} \left\{ x' + \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l + \Delta\lambda N)/n} \left\{ x' + \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]} = \frac{\Gamma 1(x')}{\Gamma 2(x')} \quad \text{式 7}$$

30

## 【 0 0 3 5 】

図 8 に、上記式 5 ~ 式 7 を満たす活性層位置の範囲を説明するために、各縦モードの定在波の強度分布と活性層の位置を示す。

40

ここでは、 $2 > 1$ 、かつ、非特許文献 1 と同様にスペーサ層を n 型の下部多層膜反射鏡と活性層の間に位置しているために、第 1 の縦モード 8 1 0、第 2 の縦モード 8 2 0、第 3 の縦モード 8 3 0 の関係は実施形態 1 と異なり図 8 のようになる。

図 8において、第 1 の縦モード 8 1 0 の  $N'$  個目の定在波の腹の位置を 8 5 0 で示す位置 A とし、該位置 A を  $x' = 0$  とする。

$x'$  は 8 5 0 で示す位置 A を基準として、基板 3 1 0 方向を正の方向としたときの活性層の位置とする。

8 5 0 で示す位置 A と、該位置 A から最も近い第 2 の縦モード 8 2 0 の節である 8 6 0 で示す位置 B 側の最も近い第 1 の縦モード 8 1 0 の定在波の節を、8 7 0 で示す位置 C とす

50

る。

850で示す位置Aと、870で示す位置Cの間にあり、かつ、式7の左辺と右辺が等しくなる位置、すなわち、850で示す位置Aでの $1/x = 2$ と等しくなる $1/x$ の位置を880で示す位置Dとする。

850で示す位置Aと860で示す位置Bの間にあって $2g_2 = 3g_3$ となる位置を、875で示す位置Fとする。

850で示す位置Aと875で示す位置Fの中心を、885で示す位置Gとする。

ここで、層構成を決定し、 $1, \dots, N, N'$ を定めると、上記各位置 $x'$ は以下のように決定する。

850で示す位置Aは $x' = 0$ である。

860で示す位置Bは $x' = b$ であり、 $b$ は次式となる。

$$b = \frac{\lambda_1 + \Delta\lambda N}{2n} \times (N' - 1) - \frac{\lambda_1}{2n} \times \left( N' - \frac{1}{2} \right)$$

### 【0036】

870で示す位置Cは $x' = c$ であり、 $c = -1/4n$ となる。

875で示す位置Fは $x' = f$ であり、次式を満たす $f$ となる。

$$\frac{\Gamma_3}{\Gamma_2} = \frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda_1 - \Delta\lambda N)/n} \left\{ f + \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda_1}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda_1 + \Delta\lambda N)/n} \left\{ f + \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda_1}{2n} \right\} \right]} = \frac{g(\Delta\lambda + \Delta\lambda N)}{g(\Delta\lambda - \Delta\lambda N)} = \frac{g_2}{g_3}$$

### 【0037】

885で示す位置Gは $x' = g$ であり、 $g = f/2$ となる。

850で示す位置Aと、880で示す位置Dの間に活性層840を置くことで、第2の縦モードの発振を抑制し、かつ、第1の縦モードが単一縦モード発振することが可能となる。

好ましくは、850で示す位置Aと、860で示す位置Bとの間に活性層840を置くことで、より効果を得ることができる。

さらに好ましくは、850で示す位置Aと、875で示す位置Fとの間に活性層840を置くことで、より効果を得ることができる。

さらに好ましくは、885で示す位置Gと、875で示す位置Fとの間に活性層840を置くことで、より効果を得ることができる。

### 【0038】

本実施形態では実施形態1と異なり第2の縦モードのみでなく第3の縦モードに関しても縦モードの抑制効果を考慮する。

図9に、 $x'$ の位置と、 $1(x')g_1 / 2(x')g_2, 1(x')g_1 / 3(x')g_3$ との関係を示す。

ここでは、 $1, \dots, N, g(y), N'$ には下記で示す具体的な値を用いている。

$2 > 1, g_1 = 0, g_2 = 0, g_3 = 0$ を満たす値として、 $1 = 780 \text{ nm}, = -10 \text{ nm}, N = 15 \text{ nm}, N' = 10,$

$$g(y) = 6.70 \times 10^{-8} y^5 + 1.95 \times 10^{-6} y^4 - 5.56 \times 10^{-5} y^3 - 2.82 \times 10^{-3} y^2 + 3.71 \times 10^{-4} y + 1 \quad \text{式8}$$

10

20

30

40

50

## 【0039】

を用いる。

このとき、 $2 > 1$ で、 $g_1 = 0.78$ 、 $g_2 = 0.93$ 、 $g_3 = 0.21$ となる。

この条件では、 $g_2 > g_1$ を満たしていることになる。

なお、式8の $g(y)$ は波長780nmの利得スペクトル形状として、5次関数近似したものである。

## 【0040】

図9において、活性層840を850で示す位置Aと880で示す位置Dの間、すなわち、 $-47.8 < x' < 0$ に置くことで、第2の縦モード520の発振を抑制できる。

$1(x')g_1 / 2(x')g_2$ は、位置Aから位置Bまでは単調増加、860で示す位置Bから880で示す位置Dまでは単調減少である。 10

一方、 $1(x')g_1 / 3(x')g_3$ は、850で示す位置Aから860で示す位置Dまでは単調減少である。

そのため、 $1(x')g_1 / 2(x')g_3$ と  $1(x')g_1 / 3(x')g_3$ が交わる位置を有する場合がある。

その位置が第2の縦モードと第3の縦モードの双方を考慮した際に、第1の縦モードが最も安定して单一縦モード発振する位置である。すなわち、875で示す位置Fで、ここでは、 $f = -19.5\text{ nm}$ である。

よって、858で示す位置Gから位置Fの間では上記効果をより強く得ることができる。

ここで、いずれの範囲に対しても、 $1g_1 > 2g_2$ と  $1g_1 > 3g_3$ 、すなわち、式6と式7を満たすこと必要である。 20

本実施形態では、式6で $x'$ の範囲は下限が $-42.4 < x' < 0$ であるため、本実施形態での活性層位置の範囲は $-42.4 < x' < 0$ となる。この範囲が図8の範囲890である。

## 【0041】

ここで、本発明に係る実施形態における面発光レーザの層構成の構成例を説明するための断面模式図を示すが、基本的な層構成は実施形態1と変わらないため、図3と同じ符号を用いる。

上記関係を満たす図3の具体的な材料、層構成、活性層位置について波長780nmの赤外面発光レーザについて以下に示す。 30

n型GaAs基板310上に、

n型のAlAs/A10.3Ga0.7As下部多層膜反射鏡320、

n型のAl0.3Ga0.7As層スペーサ層330、

n型のAl0.6Ga0.4As下部クラッド層340、

Al0.12Ga0.88As/Al0.3Ga0.7As多重量子井戸活性層350、

p型のAl0.6Ga0.4As上部クラッド層360、

p型のAl0.3Ga0.7As/Al0.9Ga0.1As上部多層膜反射鏡370、を積層している。

AlAs/Al0.3Ga0.7As下部多層膜反射鏡320は40ペア、Al0.3Ga0.7As/Al0.9Ga0.1As上部多層膜反射鏡370は24ペア、Al0.12Ga0.88As/Al0.3Ga0.7As多重量子井戸活性層350は量子井戸3個である。量子井戸の3個の真ん中の量子井戸の中心を活性層の位置としている。 40

## 【0042】

活性層位置840の具体例として、上記層構成で875で示す位置F、すなわち、第1の縦モード810の定在波の腹である850で示す位置Aから19.5nm基板側と逆方向にずらした位置に活性層840を置く。

そのときの膜構成と膜厚は以下のようになる。

Al0.6Ga0.4As上部クラッド層360を32.5nm

活性層350は上層からAl0.3Ga0.7As(42nm)/Al0.12Ga0.88As(8nm)/Al0.3Ga0.7As(10nm)/Al0.12Ga0.8 50

8 A s ( 8 nm ) / A 1 0 . 3 G a 0 . 7 A s ( 1 0 nm ) / A 1 0 . 1 2 G a 0 . 8 8  
A s ( 8 nm ) / A 1 0 . 3 G a 0 . 7 A s ( 4 2 nm ) ,  
A 1 0 . 6 G a 0 . 4 A s 下部クラッド層 3 4 0 を 7 1 . 5 nm とする。

#### 【 0 0 4 3 】

ここで、活性層 8 5 0 の上層から 2 つ目の A 1 0 . 1 2 G a 0 . 8 8 A s 層が 4 nm の位置を活性層位置としている。

通常のように、第 1 の縦モードの定在波の腹である 8 5 0 で示す位置 A に活性層 8 4 0 を置くときは、上記膜構成の A 1 0 . 6 G a 0 . 4 A s 上部クラッド層 3 6 0 と A 1 0 . 6 G a 0 . 4 A s 下部クラッド層 3 4 0 は 5 2 . 0 nm である。上記位置 A から 1 9 . 5 nm 基板側と逆方向に活性層 8 4 0 をずらしているため、A 1 0 . 6 G a 0 . 4 A s 上部クラッド層 3 6 0 を 3 2 . 5 nm 、 A 1 0 . 6 G a 0 . 4 A s 下部クラッド層 3 4 0 を 7 1 . 5 nm となる。  
10

スペーサ層 3 3 0 は n 型 A 1 0 . 3 G a 0 . 7 A s 層を用い、膜厚は 4 . 0 6  $\mu$ m とする。  
。

ここでは、 N = 1 5 nm から実効反射鏡長を考慮すると、共振器長は 1 9 となるため、下部クラッド層 3 4 0 、活性層 3 5 0 、上部クラッド層 3 6 0 で 1 、スペーサ層 3 3 0 で 1 8 となるように設けている。

#### 【 0 0 4 4 】

なお、 N ' = 1 0 は実効反射鏡長と上部クラッド層 3 6 0 、活性層 3 5 0 から決定している。  
20

上記層構成が式 8 、  $1 = 7 8 0 \text{ nm}$  、  $= - 1 0 \text{ nm}$  、  $N = 1 5 \text{ nm}$  、  $N' = 1 0$  を満たすため、活性層位置 8 4 0 と図 8 の各位置を以下のように決定できる。

8 5 0 ( 位置 A ) は  $x' = 0 \text{ nm}$  、

8 6 0 ( 位置 B ) は  $b = - 3 8 . 6 \text{ nm}$  、

8 7 0 ( 位置 C ) は  $c = - 5 9 . 1 \text{ nm}$  、

8 8 0 ( 位置 D ) は  $d = - 4 7 . 8 \text{ nm}$  、

8 7 5 ( 位置 F ) は  $f = - 1 9 . 5 \text{ nm}$  、

8 8 5 ( 位置 G ) は  $g = - 9 . 7 \text{ nm}$  、

となる。

#### 【 0 0 4 5 】

これより、上記構成では活性層位置を前述のように  $- 4 7 . 8 < x' < 0$  に置くことで、第 2 の縦モード 5 2 0 の発振を抑制できる。  
30

上記範囲は式 5 、式 7 は満たしているが、式 6 で  $x'$  の範囲は下限が  $- 4 2 . 4 < x'$  0 であるため、本実施形態での活性層位置の範囲は  $- 4 2 . 4 < x' < 0$  となる。

なお、式 6 は第 1 の縦モードの  $g$  が第 3 の縦モードの  $g$  より大きくなる条件である。ここでは、  $g_2 > g_1$  を満たしており、第 2 の縦モードの利得が第 1 の縦モードの利得より大きい場合にも、式 5 、式 6 、式 7 を満たす範囲では第 1 の縦モードの単一縦モード発振を実現できる。

本実施形態のように、第 2 の縦モードと第 3 の縦モードの双方を考慮した際に 8 7 5 で示す位置 F に活性層 8 4 0 を置くと、第 1 の縦モードが安定して単一縦モード化する効果が最大となる。  
40

なお、ここでは活性層 8 4 0 を 8 7 5 で示す位置 F に置いたが、上記範囲では効果があるため、例えば 8 8 5 で示す位置 G と 8 7 5 で示す位置 F の間に活性層 8 4 0 を置いてよい。

#### 【 0 0 4 6 】

なお、上記形成方法や半導体材料、電極材料、誘電体材料などは実施形態で開示したものに限るものではなく、本発明の主旨を外れないものであれば、他の方法、材料を利用することも可能である。

また、上記 2 つの実施形態では波長 6 8 0 nm と波長 7 8 0 nm の面発光レーザの例として、発光材料に GaInP 、 AlGaAs を説明したが、波長、材料ともにこれらに限る  
50

ものでない。

A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>N、A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>P、A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>I<sub>n</sub>A<sub>s</sub>P、A<sub>1</sub>G<sub>a</sub>A<sub>s</sub>S<sub>b</sub>などの発光材料を用いてもよい。

それに応じて、上下多層膜反射鏡や上下クラッド層、スペーサ層などの材料も適切な材料を用いてよい。

また、本実施形態においても実施形態1で記述したように、活性層を2つ以上の周期利得構造にしてもよい。

#### 【0047】

##### [実施形態3]

実施形態3として、実施形態1の第1の領域内の活性層を1つでなく活性層を複数用いる周期利得構造を適用した例について説明する。 10

すなわち、本実施形態では第1の活性層以外に第2の活性層が存在する。ここでは、第1の領域内に、第1の活性層、第2の活性層を設けている。

本実施形態における面発光レーザの層構成を説明するための断面模式図を図10に示す。図10では、第1の領域が、下部クラッド層1040、下部活性層1050、活性層間スペーサ層1053、上部活性層1055、上部クラッド層1060で形成されている。

ここでは、上部活性層1055を第1の活性層、下部活性層1050を第2の活性層とする。

上部活性層1055は実施形態1と同様に共振波長1で、利得g1、光閉じ込め係数1、共振波長2で利得g2、光閉じ込め係数2、共振波長3で利得g3、光閉じ込め係数3である。ここで $2 < 1$ 、 $g_2 > g_3$ である。 20

一方、下部活性層1050は共振波長1で、利得g'1、光閉じ込め係数'1、共振波長2で利得g'2、光閉じ込め係数'2、共振波長3で利得g'3、光閉じ込め係数'3である。ここで、 $g'2 < g'3$ である。

また、上部活性層1055に関して、共振波長1と利得スペクトルのピーク波長gの差が、利得スペクトルは関数g(y)となる。

一方、下部活性層1050に関して、共振波長1と利得スペクトルのピーク波長g'の差が、利得スペクトルは関数g'(y)となる。

その他、利得や縦モードの定義は、実施形態1に準ずるものとし、下部活性層1050に関しては「」を符号に付加することで表記する。 30

活性層の位置は、上部活性層1055の活性層中心が第1の縦モードの定在波のN'個目の腹、下部活性層1050の活性層中心が第1の縦モードの定在波の(N'+1)個目の腹に通常は置くものとする。

本実施形態では、 $2 < 1$ 、 $g_2 > g_3$ 、 $g'2 < g'3$ を満たす構成となる。

ここでの、 $g'2 < g'3$ とは実施形態2の $2 > 1$ のときの $g_2 > g_3$ と同意である。

#### 【0048】

図11に、本実施形態における面発光レーザの各縦モードと利得スペクトルの関係を示す。

上部、下部活性層に関して、共振波長1、2、3、と利得g1、g2、g3、g'1、g'2、g'3と $1, 2, 3, N, g(y), g'(y)$ の関係図を示す。 40

ここで、 $2 < 1$ 、 $g_2 > g_3$ 、 $g'2 < g'3$ 、 $g_1 = 0$ 、 $g_2 = 0$ 、 $g'_1 = 0$ 、 $g'_3 = 0$ である。

#### 【0049】

また、第2の縦モードの発振を抑制し、かつ、第1の縦モードが単一縦モード発振するために置く活性層の位置は、上部活性層に関しては、 $1(0)/2(0) < 1(x')$ 、 $2(x')$ 、かつ、 $1g_1 > 2g_2$ 、 $1g_1 > 3g_3$ を満たす位置である。

一方、下部活性層に関しては、 $1'(0)/3(0) < 1(x'')/3(x'')$ 、かつ、 $1g'_1 > 2g'_2$ 、 $1g'_1 > 3g'_3$ を満たす 50

位置である。

なお、 $x'$ は上部多層膜反射鏡の実効共振器端から( $N' + 1$ )個目の定在波の腹の位置を基準として基板方向を正としたときの距離 $x'$ の関数とする。

上部活性層に対しては式1、式2、式3を、下部活性層に対しては式5、式6、式7を満たす位置となる。

#### 【0050】

図12に、本実施形態の効果を満たす上部、下部活性層位置の範囲を説明するために、各縦モードの定在波の強度分布と上部、下部活性層の位置を示す。

各定在波は共振波長1である第1の縦モード1210、共振波長2である第2の縦モード1220、共振波長3である第3の縦モード1230のものである。 10

図12において、第1の縦モード1210の $N'$ 個目の定在波の腹を1250で示す位置Aとし、該位置Aを $x' = 0$ とする。

$x'$ は位置Aを基準として、基板1010方向を正の方向としたときの活性層の位置とする。

第1の縦モード1210の( $N' + 1$ )個目の定在波の腹を1252で示す位置A' とし、該位置A'を $x' = a'$ とする。

#### 【0051】

実施形態1と実施形態2に準じて、以下のように各位置を決定する。

図12において、1250で示す位置Aと、該位置Aから最も近い第2の縦モード1220の節である1260で示す位置B側の最も近い第1の縦モード1210の定在波の節である1270で示す位置Cとする。 20

上記1250で示す位置Aと、上記1270で示す位置Cの間にあり、上記1250で示す位置Aでの1/2と等しくなる1/2の位置を、1280で示す位置Dとする。

上部活性層1240の位置の範囲1290は上記1250で示す位置Aと上記1280で示す位置Dの間、かつ、1g1>2g2と1g1>3g3を満たす範囲である。

1252で示す位置A' と、1252で示す位置A' から最も近い第3の縦モード1230の節である1262で示す位置H' 側の最も近い第1の縦モード1210の定在波の節を、1272で示す位置I' とする。

図12では1270で示す位置Cと1272で示す位置I' は同じとなる。 30

1252で示す位置A' と、1272で示す位置I' の間にあり、1252で示す位置A' での'1/'3と等しくなる'1/'3の位置を、1282で示す位置J' とする。

上記位置A' と1282で示す位置J' の間にあって'2g'2='3g'3となる位置を1275で示す位置K' とする。

下部活性層位置1242の範囲1292は1252で示す上記位置A' と上記位置J' の間、かつ、'1g'1>'2g'2と'1g'1>'3g'3を満たす範囲である。

#### 【0052】

ここで、層構成を決定し、1、'1'、'N'、N'を定めると、上記各位置x'は以下のように決定する。 40

1250で示す位置Aは $x' = 0$ である。

1260で示す位置Bは $x' = b$ であり、bは次式となる。

$$b = \frac{\lambda_1 - \Delta\lambda N}{2n} \times N' - \frac{\lambda_1}{2n} \times \left( N' - \frac{1}{2} \right)$$

#### 【0053】

1270で示す位置Cは $x' = c$ であり、 $c = 1/4n$ となる。 50

1 2 8 0 で示す位置 D は  $x' = d$  であり、次式を満たす  $d$  となる。

$$\frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l)/n} \left\{ d + \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l - \Delta \lambda N)/n} \left\{ d + \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]} = \frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l)/n} \left\{ \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l - \Delta \lambda N)/n} \left\{ \left( N' - \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]} \quad 10$$

## 【0054】

1 2 5 2 で示す位置 A' は  $x' = a'$  であり、 $a' = 1 / 2 n$  となる。

1 2 6 2 で示す位置 H' は  $x' = a' + h'$  であり、 $h'$  は次式となる。

$$h' = -\frac{\lambda l - \Delta \lambda N}{2n} \times (N' + 1) + \frac{\lambda l}{2n} \times \left( N' + \frac{1}{2} \right)$$

20

## 【0055】

1 2 7 2 で示す位置 I' は  $x' = a' + i'$  であり、 $i' = -1 / 4 n$  となる。1 2 8  
2 で示す位置 J' は  $x' = a' + j'$  であり、次式を満たす  $j'$  となる。

$$\frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l)/n} \left\{ j' + \left( N' + \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l + \Delta \lambda N)/n} \left\{ j' + \left( N' + \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]} = \frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l)/n} \left\{ \left( N' + \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l + \Delta \lambda N)/n} \left\{ \left( N' + \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]} \quad 30$$

## 【0056】

1 2 7 5 で示す位置 K' は  $x' = a' + k'$  であり、次式を満たす  $k'$  となる。

$$\frac{\Gamma'3}{\Gamma'2} = \frac{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l + \Delta \lambda N)/n} \left\{ k' + \left( N' + \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]}{\sin^2 \left[ \frac{2\pi}{(\lambda l - \Delta \lambda N)/n} \left\{ k' + \left( N' + \frac{1}{2} \right) \times \frac{\lambda l}{2n} \right\} \right]} = \frac{g(\Delta \lambda' - \Delta \lambda N)}{g(\Delta \lambda' + \Delta \lambda N)} = \frac{g'2}{g'3} \quad 40$$

## 【0057】

ここで、 $g2 > g3$ 、 $g'2 < g'3$  を満たす構造として、 $1$ 、 $\dots$ 、 $\dots$ 、  
 $N$ 、 $g(y)$ 、 $g'(y)$ 、 $N'$  に下記で示す具体的な値を示す。

50

$1 = 680 \text{ nm}$ 、 $= 5 \text{ nm}$ 、 $= -5 \text{ nm}$ 、 $N = 15 \text{ nm}$ 、 $N' = 14$ 、  
 $g(y) = g'(y)$  で、式4を用いる。

$$g(y) = -1.82 * 10^{-4} y^4 - 5.70 * 10^{-4} y^3 - 7.88 * 10^{-3} y^2 + 9.52 * 10^{-4} y + 1 \quad \text{式4}$$

### 【0058】

このとき、 $g_2 > g_3$ 、 $g'_2 < g'_3$  で、 $g_1 = 0.73$ 、 $g_2 = 0.86$ 、 $g_3 = 0$ 、 $g'_1 = 0.86$ 、 $g'_2 = 0.22$ 、 $g'_3 = 0.73$  となる。上記構成では上部活性層1240の位置を $0 < x' < 33.1$ 、下部活性層1242の位置を $63.5 < x' < 103.0$ に置くことで、各活性層の第2の縦モードの発振を抑制できる。  
10

上記範囲は、 $1g_1 > 2g_2$ 、 $1g_1 > 3g_3$  と  $1g'_1 > 2g'_2$ 、 $1g'_1 > 3g'_3$  を満たしているため、第1の縦モードの単一縦モード発振を実現できる。

### 【0059】

ここで、上記関係を満たす図10の具体的な材料、層構成、活性層位置を波長 $680 \text{ nm}$ の赤色面発光レーザについて以下に示す。

活性層を2つとした周期利得構造を行い、各活性層には多重量子井戸構造を用いる。

実施形態1と同様な層構成となっているため、ここでは、スペーサ層1030、下部クラッド層1040、下部活性層1050、活性層間スペーサ層1053、上部活性層1055、上部クラッド層1060についてのみ記す。  
20

各層はそれぞれ

n型のAl0.5Ga0.5As層スペーサ層1030、

n型のAlGaInP下部クラッド層1040、

Ga<sub>0.38</sub>In<sub>0.62</sub>P / Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.25</sub>In<sub>0.5</sub>P 下部多重量子井戸活性層1050、

アンドープのAlGaInP活性層間スペーサ層1053、

Ga<sub>0.43</sub>In<sub>0.57</sub>P / Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.25</sub>In<sub>0.5</sub>P 上部多重量子井戸活性層1055、

p型のAlGaInP上部クラッド層1060、

とする。

上部多重量子井戸活性層1055、下部多重量子井戸活性層1050は量子井戸3個である。それぞれ量子井戸の3個の真ん中の量子井戸の中心を活性層の位置としている。  
30

### 【0060】

上部活性層1240の位置と下部活性層1242の位置の具体例として、上記層構成で上部活性層1240は1260で示す位置B、すなわち、第1の縦モード1210のN'個目の定在波の腹である1250で示す位置Aから30.3nm基板側にずらした位置に活性層1240を置く。

### 【0061】

一方、下部活性層1242は1275で示す位置K'、すなわち、第1の縦モード1210の(N'+1)個目の定在波の腹である1252で示す位置A'から11.8nm基板と逆側にずらした位置に活性層1242を置く。

そのときの膜構成と膜厚は以下のようになる。  
40

AlGaInP上部クラッド層1060は76.1nm、

上部活性層1055は上層からAlGaInP(42nm) / Ga<sub>0.43</sub>In<sub>0.57</sub>P(6.5nm) / AlGaInP(5.5nm) / Ga<sub>0.43</sub>In<sub>0.57</sub>P(6.5nm) / AlGaInP(5.5nm) / Ga<sub>0.43</sub>In<sub>0.57</sub>P(6.5nm)、

AlGaInP活性層間スペーサ層1053は30.4nm、

下部活性層1050は上層からGa<sub>0.38</sub>In<sub>0.62</sub>P(6.5nm) / AlGaInP(5.5nm) / Ga<sub>0.38</sub>In<sub>0.62</sub>P(6.5nm) / AlGaInP(42nm) / Ga<sub>0.38</sub>In<sub>0.62</sub>P(6.5nm)、

AlGaInP下部クラッド層1040は57.6nm、

となる。  
50

## 【0062】

通常のように、第1の縦モードのN'個目の定在波の腹の上記位置Aに活性層1240を置くときは、上記膜構成のAlGaNP上部クラッド層1060とAlGaNP下部クラッド層1040は45.8nmである。

位置A1250から30.3nm基板側に上部活性層1240をずらし、1252で示す位置A'から11.8nm基板と逆側に下部活性層1242をずらしている。

そのため、AlGaNP上部クラッド層1060は76.1nm、AlGaNP下部クラッド層1040は57.6nm、AlGaNP活性層間スペーサ層1053は30.4nmとなる。

スペーサ層1030はn型Al0.5Ga0.5As層を用い、膜厚は4.06μmとする。10

ここでは、N=10nmから実効反射鏡長を考慮すると、共振器長は22となる。そこで、上部クラッド層1060から上部活性層1055の中心までの総厚が0.5、上部活性層1055の中心から下部活性層1050の中心までの総厚が0.5となるよう設けている。

また、下部活性層1050の中心から下部クラッド層までの総厚が0.5、スペーサ層1030は20.5となるように設けている。

なお、N'=10は実効反射鏡長と上部クラッド層1060、上部活性層1055から決定している。

【0063】20

上記層構成より、図12の各位置および条件を満たす上部活性層位置1240と下部活性層位置1242を以下のように決定できる。

1250(位置A)はx'=0nm、

1260(位置B)はb=30.3nm、

1270(位置C)はc=51.5nm、

1280(位置D)はd=33.1nm、

1250(位置A')はx'=a'=103.0nm、

1260(位置H')はh'=-30.3nm、x'=a'+h'=72.7nm、

1270(位置I')はi'=-51.5nm、x'=a'+i'=51.5nm、

1280(位置J')はj'=-39.5nm、x'=a'+j'=63.5nm、30

1275(位置K')はk'=-11.8nm、x'=a'+k'=91.2nm、

となる。

## 【0064】

これより、上記構成では前述のように、上部活性層1240の位置を0<x'<33.1、下部活性層1242の位置を63.5<x'<103.0に置くことで、各活性層の第2の縦モードの発振を抑制できる。

上記範囲は、1g1>2g2、1g1>3g3と'1g'1>'2g'2、'1g'1>'3g'3を満たしているため、第1の縦モードの単一縦モード発振を実現できる。

なお、ここでは上部活性層1240を1260で示す位置B、下部活性層1242を位置K'に置いたが、活性層位置はそこに限られたことではなく、上記範囲で内の任意の位置に置いてもよい。40

このように活性層を2つにし、g2>g3、g'2<g'3、を満たすように利得スペクトルのピーク波長をずらすことで、各活性層で第1の縦モードに隣接する縦モードそれぞれを抑制できるため、より安定した単一縦モードの実現が可能となる。

また、図11からもわかるように、例えば、温度変化により利得スペクトルが短波長あるいは長波長側に変化した際に、活性層が1つである場合と比べて温度変化に対する第1の縦モードの利得を大きく得ることのできる範囲が広くなる。

しかし、活性層位置をずらすことなくこれを行うと、第1の縦モード以外の縦モードも発振しやすくなってしまう。

一方、活性層位置を上記方法でずらすことによって、第1の縦モード以外の発振を抑制し、かつ、第1の縦モードの利得を大きく得ることのできる範囲を広くできる。

#### 【0065】

ここでは、周期利得構造で、 $g_2 < g_1$ 、 $g_2 > g_3$ 、 $g'_2 < g'_3$ の場合を説明したが、 $g_2 > g_1$ 、 $g_2 > g_3$ 、 $g'_2 < g'_3$ となっていてもよい。その場合、上部活性層は基板方向と逆側に、下部活性層は基板方向にずれることとなる。

また、 $g_1$ 、 $g_2$ 、 $g_3$ や、活性層のずらし量は適当な値を用いてよい。

本実施形態では、実施形態1と第1の領域内の構造が多少異なるものの、実施形態1と面発光レーザの作製方法や基本的な層構成は同じであるため、例えば、作製方法や基板、電極に関する記述は省略する。

なお、本発明は上記形成方法や半導体材料、電極材料、誘電体材料などは実施形態で開示したものに限られるものではなく、本発明の主旨を外れないものであれば、他の方法、材料を利用することも可能である。

10

#### 【符号の説明】

#### 【0066】

110：第1の縦モード

120：第2の縦モード

130：第3の縦モード

140：活性層

150：位置A（第1の縦モードの腹）

20

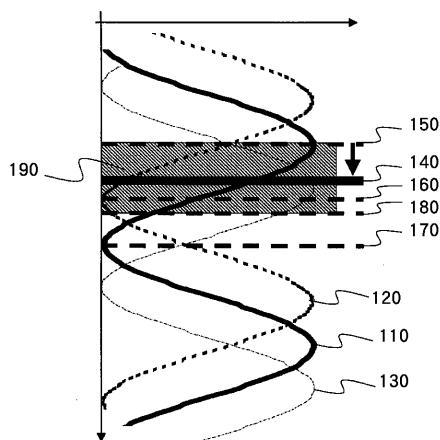
160：位置B（第2の縦モードの節）

170：位置C（第1の縦モードの節）

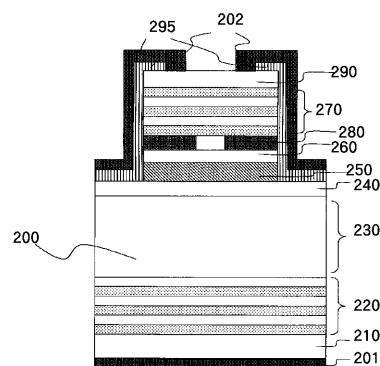
180：位置D（位置Aでの1 / 2と等しくなる位置）

190： $g_1 > g_2$ 、 $g_1 > g_3$ を満たす範囲

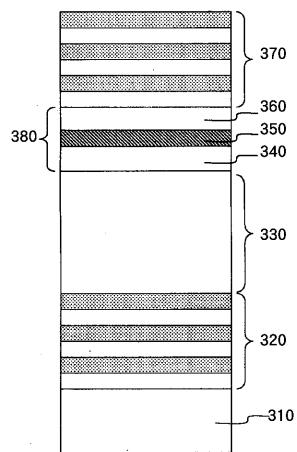
【図1】



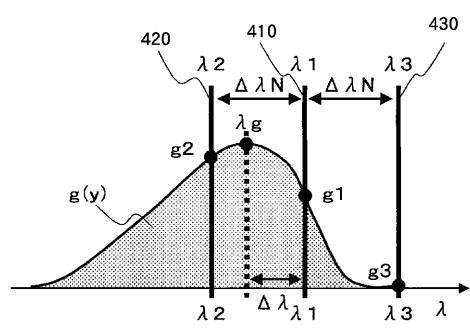
【図2】



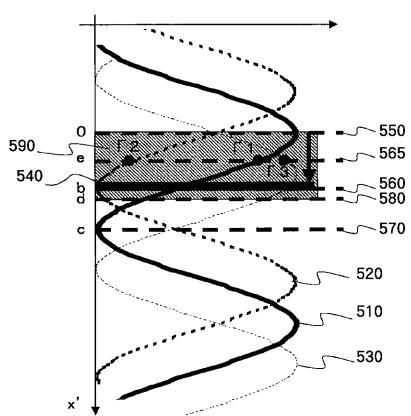
【図3】



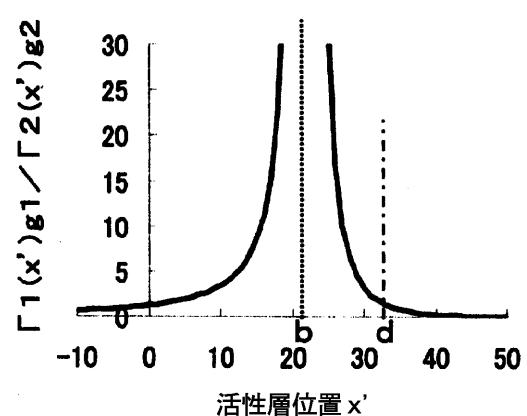
【図4】



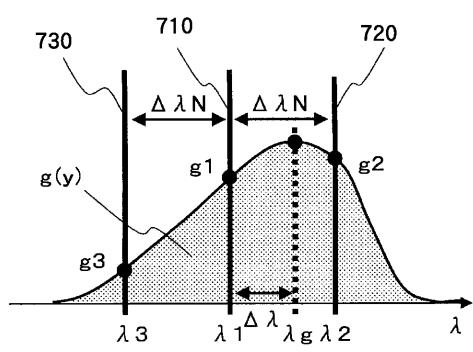
【図5】



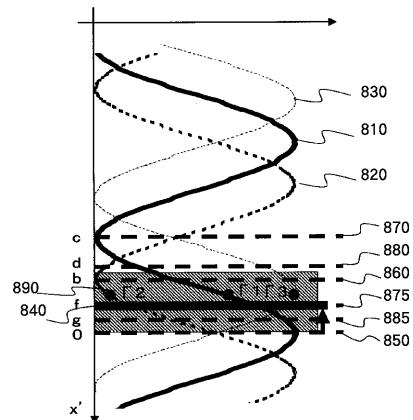
【図6】



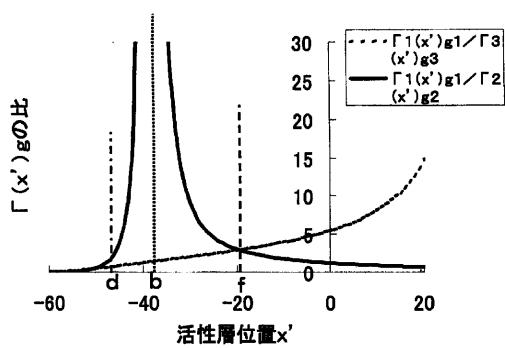
【図7】



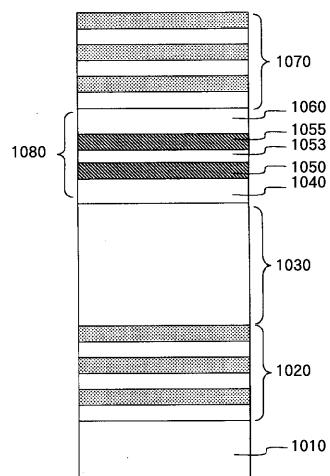
【図8】



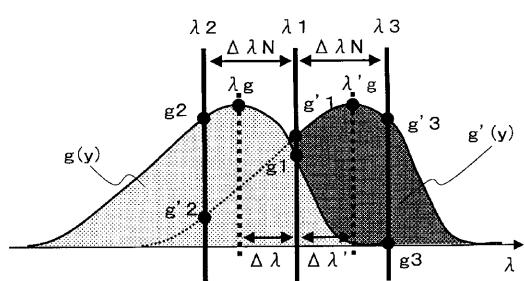
【図9】



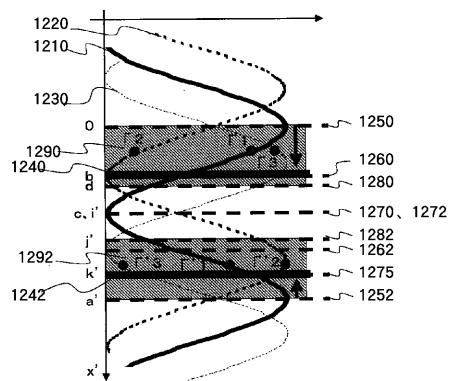
【図10】



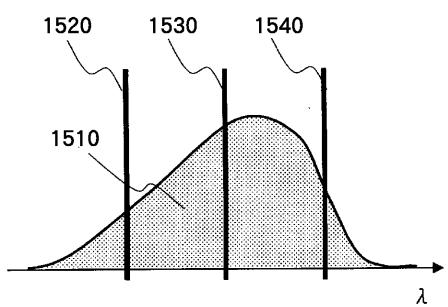
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100134393  
弁理士 木村 克彦  
(74)代理人 100174230  
弁理士 田中 尚文  
(72)発明者 松鶴 利光  
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  
(72)発明者 内田 武志  
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 佐藤 秀樹

(56)参考文献 特開2009-152553(JP,A)  
特開2007-158347(JP,A)  
特開2003-133639(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01S 5/00 - 5/50