

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7095498号

(P7095498)

(45)発行日 令和4年7月5日(2022.7.5)

(24)登録日 令和4年6月27日(2022.6.27)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 S 5/183(2006.01)

H 0 1 S 5/183

C 3 0 B 25/18 (2006.01)

C 3 0 B 25/18

C 3 0 B 29/40 (2006.01)

C 3 0 B 29/40

H 0 1 L 21/365 (2006.01)

H 0 1 L 21/365

請求項の数 7 (全19頁)

(21)出願番号 特願2018-163390(P2018-163390)

(22)出願日 平成30年8月31日(2018.8.31)

(65)公開番号 特開2020-35964(P2020-35964A)

(43)公開日 令和2年3月5日(2020.3.5)

審査請求日 令和3年2月22日(2021.2.22)

(73)特許権者 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3

号

(74)代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹

(74)代理人 100113435

弁理士 黒木 義樹

(74)代理人 100136722

弁理士 高 木 邦夫

(74)代理人 100174399

弁理士 寺澤 正太郎

(74)代理人 100108257

弁理士 近藤 伊知良

(72)発明者 藤井 慧

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 垂直共振型面発光レーザ、垂直共振型面発光レーザを作製する方法

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

垂直共振型面発光レーザであって、

一又は複数の  $\text{AlGaInAs}$  井戸層及び一又は複数の  $\text{AlGaAs}$  障壁層を有する量子井戸構造を備える活性層と、

炭素ドーパントを含む上部積層領域と、

前記活性層及び前記上部積層領域を含むポストを搭載する基板と、

を備え、

前記活性層は、前記上部積層領域と前記基板との間に設けられ、

前記量子井戸構造は、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以下の炭素濃度を有し、

前記上部積層領域は、前記活性層から離れた位置にインジウムのパイルアップ層を含む、

垂直共振型面発光レーザ。

## 【請求項 2】

前記基板上に設けられた下部積層領域を更に備え、

前記下部積層領域は、分布ブラッグ反射器のための下部積層体と、前記下部積層体と前記活性層との間に設けられた下部スペーサ層とを含み、

前記下部積層領域は、III族構成元素としてアルミニウム及びガリウムの少なくともいずれかを含みインジウムを含まないIII-V化合物半導体を備え、

前記上部積層領域は、分布ブラッグ反射器のための上部積層体と、前記上部積層体と前記活性層との間に設けられた上部スペーサ層とを含む、請求項 1 に記載された垂直共振型面

発光レーザ。

【請求項 3】

垂直共振型面発光レーザを作製する方法であって、  
構成元素として Ga 及び As を含む III - V 化合物半導体を備える基板を成長炉に配置する工程と、

III 族原料及び V 族原料を前記成長炉に供給して、第 1 半導体を成長する工程と、  
前記第 1 半導体を成長した後に前記 III 族原料を前記成長炉に供給することなく半導体の成長を中断する工程と、

前記半導体の成長を中断した後に、炭素ドーパント、III 族原料及び V 族原料を前記成長炉に供給して、第 2 半導体を成長する工程と、  
を備え、

第 1 半導体を成長する前記工程は、前記 III 族原料からのインジウムを III 族構成元素として含む第 1 化合物半導体層を有する活性層を前記基板上に成長し、

第 2 半導体を成長する前記工程は、炭素ドーパントを含む第 2 化合物半導体層を有する上部半導体積層を前記基板上に形成し、

前記活性層は、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以下の炭素濃度を有し、

前記活性層は、一又は複数の AlGaInAs 井戸層及び一又は複数の AlGaAs 障壁層を有する量子井戸構造を備え、

前記上部半導体積層は、前記活性層から離れた位置にインジウムのパイルアップ層を含む、垂直共振型面発光レーザを作製する方法。

【請求項 4】

前記第 1 半導体は、第 1 基板温度で成長され、

前記第 2 半導体は、第 2 基板温度で成長され、

前記第 2 基板温度は、前記第 1 基板温度より高く、

半導体の成長を中断する前記工程は、前記第 1 基板温度から前記第 2 基板温度へ温度の変更を行う、請求項 3 に記載された垂直共振型面発光レーザを作製する方法。

【請求項 5】

第 1 半導体を成長する前記工程では、ドーパントを供給しない、請求項 3 又は請求項 4 に記載された垂直共振型面発光レーザを作製する方法。

【請求項 6】

第 1 半導体を成長する前記工程では、前記 III 族原料がトリメチルインジウムを含む、請求項 3 から請求項 5 のいずれか一項に記載された垂直共振型面発光レーザを作製する方法。

【請求項 7】

前記第 1 半導体は、摂氏  $570 \sim 620$  度の基板温度で成長される、請求項 3 から請求項 6 のいずれか一項に記載された垂直共振型面発光レーザを作製する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、垂直共振型面発光レーザ、及び垂直共振型面発光レーザを作製する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 は、発光ダイオードを開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2008 - 108964 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

特許文献1の発光ダイオードは、 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ 下部クラッド層及び $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.5}In_{0.5}P$ 井戸層、 $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ 障壁層を含む多重量子井戸構造の活性層又は $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.5}In_{0.5}P$ からなるバルク活性層、 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.5}In_{0.5}P$ 上部クラッド層、並びにGaP電流拡散層を含む。

## 【0005】

本発明の一側面は、低い炭素濃度の活性層を有する垂直共振型面発光レーザを提供することを目的とする。

## 【0006】

本発明の別の側面は、活性層に低い炭素濃度を提供できる垂直共振型面発光レーザを作製する方法を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

本発明の一側面に係る垂直共振型面発光レーザは、III族構成元素としてインジウムを含むIII-V化合物半導体を備える一又は複数の井戸層を有する量子井戸構造を備える活性層と、炭素ドーパントを含む上部積層領域と、前記活性層及び前記上部積層領域を含むポストを搭載する基板と、を備え、前記活性層は、前記上部積層領域と前記基板との間に設けられ、前記量子井戸構造は、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の炭素濃度を有し、前記上部積層領域は、前記活性層から離れた位置にインジウムのパイルアップを含む。

## 【0008】

本発明の別の側面に係る垂直共振型面発光レーザを作製する方法は、(a)構成元素としてGa及びAsを含むIII-V化合物半導体を備える基板を成長炉に配置する工程と、(b)III族原料及びV族原料を前記成長炉に供給して、第1半導体を成長する工程と、(c)前記第1半導体を成長した後に前記III族原料を前記成長炉に供給することなく半導体の成長を中断する工程と、(d)前記半導体の成長を中断した後に、炭素ドーパント、III族原料及びV族原料を前記成長炉に供給して、第2半導体を成長する工程と、を備え、第1半導体を成長する前記工程は、前記III族原料からのインジウムをIII族元素として含む第1化合物半導体層を有する活性層を前記基板上に成長し、第2半導体を成長する前記工程は、炭素ドーパントを含む第2化合物半導体層を有する上部半導体積層を前記基板上に形成する。

## 【0009】

本発明の上記の目的および他の目的、特徴、並びに利点は、添付図面を参照して進められる本発明の好適な実施の形態の以下の詳細な記述から、より容易に明らかになる。

## 【発明の効果】

## 【0010】

以上説明したように、本発明の一側面によれば、低い炭素濃度の活性層を有する垂直共振型面発光レーザが提供される。本発明の別の側面によれば、活性層に低い炭素濃度を提供できる垂直共振型面発光レーザを作製する方法が提供される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0011】

【図1】図1は、本実施形態に係る垂直共振型面発光レーザを示す一部破断図である。

【図2】図2は、エピタキシャル成長における温度プロファイル及びガス切り替えシーケンスを示す図面である。

【図3】図3は、本実施形態に係る垂直共振型面発光レーザを作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

【図4】図4は、本実施形態に係る垂直共振型面発光レーザを作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

【図5】図5は、本実施形態に係る垂直共振型面発光レーザを作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

10

20

30

40

50

【図 6】図 6 は、本実施形態に係る垂直共振型面発光レーザを作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

【図 7】図 7 は、実施例に係る垂直共振型面発光レーザのエピ構造におけるインジウムの SIMS プロファイルを示す図面である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

いくつかの具体例を説明する。

【0013】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザは、(a) III 族構成元素としてインジウムを含む III-V 化合物半導体を備える一又は複数の井戸層を有する量子井戸構造を備える活性層と、(b) 炭素ドーパントを含む上部積層領域と、(c) 前記活性層及び前記上部積層領域を含むポストを搭載する基板と、を備え、前記活性層は、前記上部積層領域と前記基板との間に設けられ、前記量子井戸構造は、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以下の炭素濃度を有し、前記上部積層領域は、前記活性層から離れた位置にインジウムのパイルアップを含む。

【0014】

垂直共振型面発光レーザによれば、上部積層領域には、活性層から離れた位置にインジウムのパイルアップ層を提供する。パイルアップ層は、炭素ドーパントを含む上部積層領域から製造中に活性層に拡散する炭素ドーパントを低減する構造を垂直共振型面発光レーザに提供できる。

【0015】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザは、前記基板上に設けられた下部積層領域を更に備え、前記下部積層領域は、分布ブラッグ反射器のための下部積層体と、前記下部積層体と前記活性層との間に設けられた下部スペーサ層とを含み、前記下部積層領域は、III 族構成元素としてアルミニウム及びガリウムの少なくともいずれかを含みインジウムを含まない III-V 化合物半導体を備え、前記上部積層領域は、分布ブラッグ反射器のための上部積層体と、前記上部積層体と前記活性層との間に設けられた上部スペーサ層とを含む。

【0016】

垂直共振型面発光レーザによれば、上部積層領域は、上部積層体と上部スペーサ層との界面を含む領域にインジウムのパイルアップ層を有することができる。

【0017】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザでは、前記量子井戸構造は、AlGaInAs 井戸層及び AlGaAs 障壁層を含む。

【0018】

垂直共振型面発光レーザによれば、AlGaInAs 井戸層及び AlGaAs 障壁層を含む活性層において、良好な発光特性が得られる。

【0019】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザを作製する方法は、(a) 構成元素として Ga 及び As を含む III-V 化合物半導体を備える基板を成長炉に配置する工程と、(b) III 族原料及び V 族原料を前記成長炉に供給して、第 1 半導体を成長する工程と、(c) 前記第 1 半導体を成長した後前記 III 族原料を前記成長炉に供給することなく半導体の成長を中断する工程と、(d) 前記半導体の成長を中断した後、炭素ドーパント、III 族原料及び V 族原料を前記成長炉に供給して、第 2 半導体を成長する工程と、を備え、第 1 半導体を成長する前記工程は、前記 III 族原料からのインジウムを III 族元素として含む第 1 化合物半導体層を有する活性層を前記基板上に成長し、第 2 半導体を成長する前記工程は、炭素ドーパントを含む第 2 化合物半導体層を有する上部半導体積層を前記基板上に形成する。

【0020】

垂直共振型面発光レーザを作製する方法によれば、成長炉に供給された原料ガス (III 族原料及び V 族原料) の III 族原料からのインジウムを III 族元素として含む第 1 化合物半導体層を基板上に成長すると共に、V 族原料を成長炉に供給すると共に III 族原

10

20

30

40

50

料を成長炉に供給することなく半導体の成長を中断する。成長中断により、半導体表面が改質される。成長炉内において改質された表面上に上部半導体積層を形成する。改質の際に、インジウム原子がⅢ族構成元素として半導体表面に取り込まれる。

#### 【0021】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザを作製する方法では、前記第1半導体は、第1基板温度で成長され、前記第2半導体は、第2基板温度で成長され、前記第2基板温度は、前記第1基板温度より高く、半導体の成長を中断する前記工程は、前記第1基板温度から前記第2基板温度へ温度の変更を行う。

#### 【0022】

垂直共振型面発光レーザを作製する方法によれば、成長中断の際に、基板温度を変更するようにしてもよい。

#### 【0023】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザを作製する方法では、前記活性層は、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の炭素濃度を有する。

#### 【0024】

垂直共振型面発光レーザを作製する方法によれば、成長中断における改質の際に、半導体表面にインジウムのパイルアップ領域を形成できて、このパイルアップ領域が、引き続き成長において供給される炭素が活性層に拡散することを低減できる。

#### 【0025】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続いて、添付図面を参照しながら、垂直共振型面発光レーザ、及び垂直共振型面発光レーザを作製する方法に係る本発明の実施形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。

#### 【0026】

図1は、本実施形態に係る垂直共振型面発光レーザを示す一部破断図である。垂直共振型面発光レーザ11は、基板13、活性層19、及び上部積層領域23を含む。基板13は、ポスト15を搭載し、ポスト15は、活性層19及び上部積層領域23を含む。活性層19は、上部積層領域23と基板13との間に設けられる。上部積層領域23は、炭素ドーパントを含む。活性層19は、量子井戸構造MQWを備え、量子井戸構造MQWは、一又は複数の井戸層19aを有する。井戸層19aは、Ⅲ族構成元素としてインジウムを含むⅢ-V化合物半導体を備える。量子井戸構造MQWは、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の炭素濃度を有する。上部積層領域23は、活性層19から離れた位置にインジウムの堆積物、具体的にはパイルアップ領域を含む。

#### 【0027】

垂直共振型面発光レーザ11によれば、上部積層領域23には、活性層19から離れた位置にインジウムのパイルアップ層PUINPを提供する。パイルアップ層PUINPは、炭素ドーパントを含む上部積層領域23から製造中に活性層19に拡散する炭素ドーパントを低減する構造を垂直共振型面発光レーザ11に提供できる。

#### 【0028】

垂直共振型面発光レーザ11は、上部積層領域23に加えて、下部積層領域33を更に備え、活性層19は、上部積層領域23と下部積層領域33との間に設けられる。上部積層領域23は、分布ブラッグ反射器のための上部積層体(25, 27, 29)と、上部スペーサ層21とを含む。上部スペーサ層21は、上部積層体(25, 27, 29)と活性層19との間に設けられる。垂直共振型面発光レーザ11によれば、上部積層領域23は、上部積層体(25, 27, 29)と上部スペーサ層21との界面を含む領域にインジウムのパイルアップ層PUINPを有することができる。

#### 【0029】

基板13は主面13aを有し、主面13aは、構成元素としてGa及びAsを含むⅢ-V化合物半導体を備える。垂直共振型面発光レーザ11は、基板13の主面13a上に設けられたポスト15を含む。基板13及びポスト15は、第1軸Ax1の方向に配列さ

10

20

30

40

50

れる。ポスト15は、上面15a及び側面15bを含む。図1を参照すると、ポスト15は、円柱形状を有するように描かれているが、ポスト15の形状は、これに限定されない。

【0030】

垂直共振型面発光レーザ11では、ポスト15は、活性層19及び上部スペーサ層21を更に含むことができ、上部スペーサ層21は、構成元素としてGa及びAsを含むIII-V化合物半導体を備える。上部スペーサ層21は、AlGaAsといった、III族元素としてGa及びAl並びにV族元素としてAsを含むIII-V化合物半導体を備えることができる。

【0031】

ポスト15は、下部スペーサ層17を含む。下部スペーサ層17は、構成元素としてGa及びAsを含むIII-V化合物半導体を備え、下部スペーサ層17は、AlGaAsといったIII族元素としてGa及びAl並びにV族元素としてAsを含むIII-V化合物半導体を備えることができる。

10

【0032】

活性層19の量子井戸構造MQWは、井戸層19aに加えて、一又は複数の障壁層19bを含む。量子井戸構造MQWでは、井戸層19a及び障壁層19bが第1軸Ax1の方向に交互に配列される。井戸層19aは、III族元素としてインジウム(In)を含むIII-V化合物半導体を備え、このIII-V化合物半導体は、III族元素としてアルミニウム(Al)及びガリウム(Ga)を含むIII-V化合物半導体を備えることができる。障壁層19bは、III族元素としてアルミニウム(Al)及びガリウム(Ga)を含むIII-V化合物半導体を備える。井戸層19a及び障壁層19bのIII-V化合物半導体は、V族元素として窒素(N)を含まず、またV族元素としてヒ素(As)を含むことができる。活性層19の半導体は、閃亜鉛鉱の結晶構造を有する。

20

【0033】

量子井戸構造MQWは、例えばAlGaInAs井戸層及びAlGaAs障壁層を含むことができる。垂直共振型面発光レーザ11によれば、量子井戸構造MQWに低い炭素濃度を与えて、良好な発光特性を提供できる。

【0034】

活性層19は下部スペーサ層17上に設けられ、上部スペーサ層21は活性層19上に設けられる。下部スペーサ層17及び上部スペーサ層21は、井戸層19aのバンドギャップより大きいバンドギャップを有する。

30

【0035】

活性層19は、上部積層領域23と下部積層領域33との間に設けられ、また下部スペーサ層17と上部スペーサ層21との間に位置する。本実施例では、基板13、下部積層領域33、活性層19、及び上部積層領域23は、第1軸Ax1の方向に配列される。

【0036】

本実施例では、下部スペーサ層17は、活性層19における最下層の井戸層19aに接触を成して、第1界面41aを形成する。下部積層領域33は、下部スペーサ層17に接触を成して、第2界面41bを形成する。

【0037】

本実施例では、上部スペーサ層21は、活性層19における最上層の井戸層19aに接触を成して、第3界面41cを形成する。上部スペーサ層21は、第2上部積層体29に接触を成して、第4界面41dを形成する。

40

【0038】

下部積層領域33は、基板13上に設けられる。下部積層領域33は、分布ブラッグ反射器のための下部積層体(35, 37, 39)と、下部スペーサ層17とを含む。下部スペーサ層17は、下部積層体(35, 37, 39)と活性層19との間に設けられる。下部積層領域33は、III族構成元素としてIII族元素としてアルミニウム及びガリウムの少なくともいずれかを含みインジウムを含まないIII-V化合物半導体を備える。

【0039】

50

活性層 19 は、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以下の炭素濃度を有することがよい。活性層 19 の炭素濃度は、例えば二次イオン質量分析 (SIMS) 法により測定され、活性層 19 の全体にわたる平均値であることができる。

#### 【0040】

上部積層領域 23 は、電流狭窄構造 25 を含むことができ、電流狭窄構造 25 は、Al 含有の III-V 族半導体の導電領域 25a と、III-V 族半導体の構成元素を含む酸化物の絶縁領域 25b とを含む。具体的には、上部積層領域 23 は、上部スペーサ層 21、上部分布ブラッグ反射器のための第 1 上部積層体 27 及び第 2 上部積層体 29、並びに電流狭窄構造 25 を含み、必要な場合には、上部積層領域 23 の上面を提供する上部コンタクト層 31 を含むことができる。

10

#### 【0041】

本実施例では、ポスト 15 は、下部スペーサ層 17 と基板 13 との間に設けられた下部積層領域 33 の一部、具体的には、下部分布ブラッグ反射器の一部を構成する第 1 下部積層体 35 を含む。下部積層領域 33 は、第 1 下部積層体 35 に加えて、第 2 下部積層体 37 を更に含むことができ、必要な場合には、下部コンタクト層 39 を含むことができる。下部コンタクト層 39 は、第 1 下部積層体 35 と第 2 下部積層体 37 との間に位置する。

#### 【0042】

本実施例では、垂直共振型面発光レーザ 11 は、溝 43 及びテラス 45 を含み、溝 43 は、ポスト 15 をテラス 45 から隔置して、ポスト 15 を規定する。テラス 45 は、ポスト 15 と実質的に同じ半導体積層構造を有する。ポスト 15 は、下部コンタクト層 39 の上部分を含み、下部分は、ポスト 15 外において基板 13 の主面上に設けられる。下部コンタクト層 39 の下部分は、溝 43 の底面を規定する。

20

#### 【0043】

垂直共振型面発光レーザ 11 は、ポスト 15、溝 43 及びテラス 45 の表面を覆う保護膜 47 を更に備え、保護膜 47 は、例えば SiON、SiN といったシリコン系無機絶縁膜を含む。垂直共振型面発光レーザ 11 は、上部電極 49a 及び下部電極 49b を含み、保護膜 47 は、第 1 開口 47a 及び第 2 開口 47b を含む。本実施例では、第 1 開口 47a は、例えばポスト 15 の上面に位置し、第 2 開口 47b は、例えば溝 43 の底面に位置する。上部電極 49a 及び下部電極 49b は、それぞれ、第 1 開口 47a 及び第 2 開口 47b を介して上部コンタクト層 31 及び下部コンタクト層 39 に接触を成す。

30

#### 【0044】

本実施例では、上部積層領域 23 は、上部分布ブラッグ反射器のための第 1 上部積層体 27 及び第 2 上部積層体 29 を含む。具体的には、第 1 上部積層体 27 は、分布ブラッグ反射を可能にするように交互に配列された第 1 上部層 27a 及び第 2 上部層 27b を含む。第 1 上部層 27a 及び第 2 上部層 27b の屈折率は、互いに異なり、屈折率の違いは、例えば第 1 上部層 27a と第 2 上部層 27b との間のアルミニウム組成に因る。

#### 【0045】

第 1 上部積層体 27 の第 1 上部層 27a の各々は、III 族元素として Al 及び Ga を含む第 1 半導体領域と、この第 1 半導体領域を囲む第 1 絶縁体領域とを含み、この第 1 絶縁体領域は、第 1 半導体領域の構成元素の酸化物からなる。この酸化物は、ポスト 15 の側面 15b からポスト 15 の内側に向けて延在して、第 1 半導体領域に到達する。第 1 上部積層体 27 の第 2 上部層 27b は、III 族元素として Al 及び Ga を含む第 2 半導体領域と、この第 2 半導体領域を囲む第 2 絶縁体領域とを含み、この第 2 絶縁体領域は、第 2 半導体領域の構成元素の酸化物からなる。この酸化物は、ポスト 15 の側面 15b からポスト 15 の内側に向けて延在して、第 2 半導体領域に到達する。第 1 半導体領域に到達する酸化物の奥行き及び第 2 半導体領域に到達する酸化物の奥行きは、第 1 半導体領域及び第 2 半導体領域の Al 組成に関連しており、本実施例では、第 1 半導体領域の Al 組成は、第 2 半導体領域の Al 組成より大きい。

40

#### 【0046】

第 2 上部積層体 29 は、分布ブラッグ反射を可能にするように交互に配列された第 1 上部

50

層 2 9 a 及び第 2 上部層 2 9 b を含む。第 1 上部層 2 9 a 及び第 2 上部層 2 9 b の屈折率は、互いに異なり、屈折率の違いは、例えば第 1 上部層 2 9 a と第 2 上部層 2 9 b との間のアルミニウム組成に因る。

【 0 0 4 7 】

第 2 上部積層体 2 9 の第 1 上部層 2 9 a の各々は、Ⅲ族元素として Al 及び Ga を含む第 1 半導体領域と、この第 1 半導体領域を囲む第 1 絶縁体領域とを含み、この第 1 絶縁体領域は、第 1 半導体領域の構成元素の酸化物からなる。この酸化物は、ポスト 1 5 の側面 1 5 b からポスト 1 5 の内側に向けて延在して、第 1 半導体領域に到達する。第 2 上部積層体 2 9 の第 2 上部層 2 9 b は、Ⅲ族元素として Al 及び Ga を含む第 2 半導体領域と、この第 2 半導体領域を囲む第 2 絶縁体領域とを含み、この第 2 絶縁体領域は、第 2 半導体領域の構成元素の酸化物からなる。この酸化物は、ポスト 1 5 の側面 1 5 b からポスト 1 5 の内側に向けて延在して、第 2 半導体領域に到達する。第 1 半導体領域に到達する酸化物の奥行き及び第 2 半導体領域に到達する酸化物の奥行きは、第 1 半導体領域及び第 2 半導体領域の Al 組成に関連しており、本実施例では、第 1 半導体領域の Al 組成は、第 2 半導体領域の Al 組成より大きい。

10

【 0 0 4 8 】

電流狭窄構造 2 5 の導電領域 2 5 a は、第 1 上部層 2 7 a の第 1 半導体領域の Al 組成及び第 1 上部層 2 9 a の第 1 半導体領域の Al 組成より大きな Al 組成を有する。

【 0 0 4 9 】

本実施例では、下部積層領域 3 3 は、下部分布ブラッグ反射器のための第 1 下部積層体 3 5 及び第 2 下部積層体 3 7 を含む。具体的には、第 1 下部積層体 3 5 は、分布ブラッグ反射を可能にするように交互に配列された第 1 下部層 3 5 a 及び第 2 下部層 3 5 b を含む。第 1 下部層 3 5 a 及び第 2 下部層 3 5 b の屈折率は、互いに異なり、屈折率の違いは、例えば第 1 下部層 3 5 a と第 2 下部層 3 5 b との間のアルミニウム組成に因る。

20

【 0 0 5 0 】

第 1 下部積層体 3 5 の第 1 下部層 3 5 a の各々は、Ⅲ族元素として Al 及び Ga を含む第 1 半導体領域を含み、可能な場合には、この第 1 半導体領域を囲む第 1 絶縁体領域を更に含み、この第 1 絶縁体領域は、第 1 半導体領域の構成元素の酸化物からなる。この酸化物は、ポスト 1 5 の側面 1 5 b からポスト 1 5 の内側に向けて延在して、第 1 半導体領域に到達する。第 1 下部積層体 3 5 の第 2 下部層 3 5 b は、Ⅲ族元素として Al 及び Ga を含む第 2 半導体領域を含み、可能な場合には、この第 2 半導体領域を囲む第 2 絶縁体領域を更に含み、この第 2 絶縁体領域は、第 2 半導体領域の構成元素の酸化物からなる。この酸化物は、ポスト 1 5 の側面 1 5 b からポスト 1 5 の内側に向けて延在して、第 2 半導体領域に到達する。第 1 半導体領域に到達する酸化物の奥行き及び第 2 半導体領域に到達する酸化物の奥行きは、第 1 半導体領域及び第 2 半導体領域の Al 組成に関連しており、本実施例では、第 1 半導体領域の Al 組成は、第 2 半導体領域の Al 組成より大きい。

30

【 0 0 5 1 】

第 2 下部積層体 3 7 は、分布ブラッグ反射を可能にするように交互に配列された第 1 下部層 3 7 a 及び第 2 下部層 3 7 b を含む。第 1 下部層 3 7 a 及び第 2 下部層 3 7 b の屈折率は、互いに異なり、屈折率の違いは、第 1 下部層 3 7 a と第 2 下部層 3 7 b との間のアルミニウム組成に因る。第 2 下部積層体 3 7 の第 1 下部層 3 7 a の各々は、Ⅲ族元素として Al 及び Ga を含む第 1 半導体領域を含む。第 2 下部積層体 3 7 の第 2 下部層 3 7 b は、Ⅲ族元素として Al 及び Ga を含む第 2 半導体領域を含む。本実施例では、第 1 半導体領域の Al 組成は、第 2 半導体領域の Al 組成より大きい。

40

【 0 0 5 2 】

垂直共振型面発光レーザ 1 1 の具体例。

基板 1 3 : 微傾斜のオフ GaAs 基板。

基板 1 3 の主面 1 3 a は、GaAs の ( 0 0 1 ) 面を基準にして < 1 1 0 > 方向に傾斜する。

下部積層領域 3 3 の第 1 下部積層体 3 5 及び第 2 下部積層体 3 7 。

50



第1下部層37a / 第2下部層37b : アンダーブの  $\text{Al}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As} / \text{Al}(y)\text{Ga}(1-y)\text{As}$  の交互積層、(組成:  $0.8 < x < 1$ 、 $0.1 < y < 0.3$ )。

下部コンタクト層39 : Siドープn型  $\text{AlGaAs}$ 。

第1下部層35a / 第2下部層35b : Siドープの  $\text{Al}(x)\text{Ga}(1-x)\text{As} / \text{Al}(y)\text{Ga}(1-y)\text{As}$  の交互積層、(組成:  $0.8 < x < 1$ 、 $0.1 < y < 0.3$ )。

第1下部積層体35及び第2下部積層体37の積層数: 合計で25周期。

下部スペーサ層17 : アンダーブとして成長される  $\text{Al}(z)\text{Ga}(1-z)\text{As}$  層 ( $0.1 < z < 0.4$ )、厚さ5 ~ 25 nm。

活性層19の量子井戸構造MQW。

井戸層19a / 障壁層19b : アンダーブの  $\text{AlGaInAs}$  井戸層 /  $\text{AlGaAs}$  バリア層。

井戸層19a : Al組成0.01 ~ 0.08、In組成0.08 ~ 0.18、膜厚2 ~ 7 nm。

障壁層19b : Al組成0.1 ~ 0.4、膜厚5 ~ 9 nm。

活性層19において  $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以下の炭素濃度は、良好な品質を提供できる。

活性層19の炭素濃度は、二次イオン質量分析(SIMS)法による深さ方向の分析により測定される。炭素濃度は、SIMSの炭素濃度プロファイルを活性層19にわたって平均する。

上部スペーサ層21 : アンダーブとして成長される  $\text{Al}(z)\text{Ga}(1-z)\text{As}$  層 (組成:  $0.1 < z < 0.4$ )、厚さ5 ~ 25 nm。

電流狭窄構造25。

導電領域25a :  $\text{AlAs}$  又は  $\text{AlGaAs}$  (0.98のAl組成)。

絶縁領域25b : アルミニウム酸化物、ガリウム酸化物。

上部積層領域23の第1上部積層体27及び第2上部積層体29。

炭素ドーパント濃度:  $5 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。

第1上部層27a / 第2上部層27b : Cドープの  $\text{Al}(u)\text{Ga}(1-u)\text{As} / \text{CドープのAl}(v)\text{Ga}(1-v)\text{As}$  の交互積層、(組成:  $0.8 < u < 1$ 、 $0.1 < v < 0.3$ )

第1上部層29a / 第2上部層29b : Cドープの  $\text{Al}(u)\text{Ga}(1-u)\text{As} / \text{CドープのAl}(v)\text{Ga}(1-v)\text{As}$  の交互積層、(組成:  $0.8 < u < 1$ 、 $0.1 < v < 0.3$ )

第1上部積層体27及び第2上部積層体29の積層数: 合計で23周期。

上部コンタクト層31 : Cドープp型  $\text{AlGaAs}$ 。

p - 電極(49a) : Ti / Pt。

n - 電極(49b) : 例えばAu / Ge / Ni。

#### 【0053】

図2 ~ 図6を参照しながら、垂直共振型面発光レーザを作製する方法を説明する。図2は、エピタキシャル成長における温度プロファイル及びガス切り替えシーケンスを示す図面である。図3 ~ 図6は、本実施形態に係る垂直共振型面発光レーザを作製する方法における主要な工程を模式的に示す図面である。

#### 【0054】

図2を参照すると、エピタキシャル成長は、昇温P1RD、下部積層の成長P2RD、成長中断P3RD、中間積層(スペーサ領域及び活性層)の成長P4RD、成長中断P5RD、上部積層の成長P6RD、及び降温P7RDの期間を含む。結晶成長では、例えば以下の原料を用いることができる。Al原料は、トリメチルアルミニウム(TMAI)を含み、Ga原料は、トリメチルガリウム(TMGA)を含み、In原料は、トリメチルインジウム(TMI)を含み、ヒ素原料は、アルシン(AsH<sub>3</sub>)を含む。n導電性を付与するドーパントガスは、シラン(SiH<sub>4</sub>)を含む。p導電性を付与するドーパントガス

10

20

30

40

50

は、四臭化炭素 (CBr<sub>4</sub>) を含む。

【0055】

成長のための基板 51、具体的には、構成元素として Ga 及び As を含む III-V 化合物半導体を備える基板 51 を準備する。図 3 の (a) 部に示されるように、基板 51 を成長炉 10a に配置する。本実施例では、成長のための基板 51 として、例えば GaAs ウエハを準備する。成長炉 10a では、有機金属気相成長が可能である。

【0056】

図 3 の (a) 部に示されるように、昇温 P1RD の期間において、下部積層 53 の成長のための基板温度 (T<sub>2</sub>) に到達するように、成長炉 10a のステージ温度 (以下、「基板温度」として参照される) を上昇させる。本実施例では、下部積層 53 は、下部積層領域 33 のための半導体層、具体的には、第 1 下部積層体 35、下部コンタクト層 39 及び第 2 下部積層体 37 のための半導体層 (53a、53b、53c) を含む。基板温度がターゲット温度に到達した後に、下部積層の成長 P2RD の期間では、有機金属材料を含む原料を備える成膜ガスを成長炉 10a に供給することを時刻 t<sub>1</sub> に開始すると共に、下部積層 53 を完成できる時刻 t<sub>2</sub> において成長炉 10a において成膜を停止するようにガスを切り替える。

10

【0057】

下部積層 53 は、例えば GaAs 層及び / 又は AlGaAs の半導体層を含む。

成長条件の例示。

半導体結晶成長のための基板温度：摂氏 670 ~ 750 度。

20

V 族原料と III 族原料の供給量比：V / III 比 = 100 ~ 160。

インジウム原料を供給しない。

成長速度：0.4 ~ 0.7 nm / 秒。

これに従った基板温度で、下部分布ブラッグ反射器のための半導体層を含む下部積層 53 を基板 51 の主面 51a 上に成長する。

【0058】

図 3 の (b) 部に示されるように、成長中断 P3RD の期間 (時刻 t<sub>2</sub> ~ t<sub>3</sub>) において、下部積層 53 上に中間積層 57 を成長するための準備を行う。本実施例では、摂氏 670 度以上の成長温度 (T<sub>2</sub>) から基板温度を下げて、摂氏 620 度以下の基板温度 (T<sub>4</sub>) を成長炉 10a に提供する。成長中断において、III 族有機金属原料を成長炉 10a に供給することなく、成長炉 10a にヒ素原料 (V 族原料) を供給して、ヒ素雰囲気を形成する。

30

雰囲気ガス：V 族原料のアルシン。

温度変更率：10 ~ 30 度 / 分。

成長中断の時間：3 ~ 20 分。

この成長中断 P3RD の期間では、成長温度より低い温度のヒ素雰囲気に、下部積層 53 の表面 (例えば Al(y)Ga(1-y)As (組成：0.1 < y < 0.3)) が曝される。

【0059】

中間積層 (スペーサ領域及び活性層) の成長 P4RD の期間 (時刻 t<sub>3</sub> ~ t<sub>4</sub>) では、基板温度の降下により到達したターゲット温度において、有機金属原料を含む成膜ガスを成長炉 10a に供給することを時刻 t<sub>3</sub> に開始して中間積層 57 を成長すると共に、成膜ガスを成長炉 10a に供給することを時刻 t<sub>4</sub> に停止して中間積層 57 の成長を完了する。中間積層 57 は、上部スペーサ層 21、活性層 19 (井戸層 19a 及び障壁層 19b) 及び下部スペーサ層 17 のための半導体層 (57a、57b、57c) を含む。成長中断 P3RD の期間における温度の降下により、低い基板温度における結晶成長が可能になっている。

40

【0060】

具体的には、図 4 の (a) 部に示されるように、成長中断の結果として与えられた基板温度において、下部スペーサ層 17 のための半導体層 (57c) を成長するための有機金属原料を含む原料ガスを成長炉 10a に供給して、下部積層 53 の表面上にアンドープの A

50

1 GaAs層を成長する。低い基板温度は、下部積層53の成長に比べて原子のマイグレーションを制限する。半導体層(57c)は、例えば厚さ5~25nmのアンドープのAl(z)Ga(1-z)As層(組成:  $0.1 < z < 0.4$ )層である。

半導体層(57c)の成長条件の例示。

成長に用いる原料: TMAI、TMGa、AsH<sub>3</sub>、ドーパントを供給しない。

成長のための基板温度: 摂氏570~620度。

V族原料とIII族原料の供給量比: V/III比 = 100~160。

成長速度: 0.4~0.7nm/秒。

半導体層(57c)は、下地の下部積層53と界面(41b)を形成する。下部積層53は、成長中断中に、成長温度より低い温度のヒ素雰囲気中に曝されている。半導体層(57c)は、本実施例では全体にわたる平均で $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の炭素濃度を含む。

10

【0061】

基板温度を変更することなく、本実施例では、半導体層(57c)上に井戸層のための半導体を成長すること、井戸層のための半導体層上に障壁層のための半導体を成長すること、及び障壁層のための半導体層上に井戸層のための半導体を成長することを繰り返して、活性層19の量子井戸構造MQWのための半導体積層(57b)を成長する。

半導体積層(57b)の成長条件の例示。

成長に用いる原料: TMAI、TMGa、TMIn、AsH<sub>3</sub>、ドーパントを供給しない。

成長のための基板温度: 摂氏570~620度。

V族原料とIII族原料の供給量比: V/III比 = 100~160。

20

成長速度: 0.4~0.7nm/秒。

井戸層19aのための半導体層: Al組成0.01~0.08、In組成0.08~0.18、膜厚2~7nm。

障壁層19bのための半導体層: Al組成0.1~0.4、膜厚5~9nm。

半導体積層(57b)は、下地の半導体層(57c)と界面を形成する。良好な発光強度を得るために、半導体積層(57)は、本実施例では、井戸層及び障壁層の全体にわたる平均で $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の炭素濃度を含むことがよい。

【0062】

井戸層の成長の際に、インジウム原料を成長炉10aに供給する。インジウム原料及びインジウム原料からのインジウム(「インジウム堆積物PIN」として参照する)が、成長炉10aのチャンバ堀壁に堆積する。

30

【0063】

基板温度を変更することなく、上部スペーサ層21のための半導体層(57a)を成長するための有機金属原料を含む原料ガスを成長炉10aに供給して、半導体積層(57b)上にアンドープAlGaAs層を成長する。低い基板温度は、半導体層(57c)の成長と同様に原子のマイグレーションを制限する。半導体層(57a)は、例えば5~25nm厚のアンドープのAl(z)Ga(1-z)As層( $0.1 < z < 0.4$ )層である。

半導体層(57a)の成長条件の例示。

成長に用いる原料: TMAI、TMGa、AsH<sub>3</sub>、ドーパントを供給しない。

成長のための基板温度: 摂氏570~620度。

40

V族原料とIII族原料の供給量比: V/III比 = 100~160。

成長速度: 0.4~0.7nm/秒。

【0064】

上記の説明から理解されるように、III族原料及びV族原料を成長炉10aに供給して、下部積層53上に第1半導体を基板51上に成長する。第1半導体を成長する工程では、III族原料からのインジウムをIII族元素として含む第1化合物半導体層を基板51上に成長する。

【0065】

具体的には、中間積層(スペーサ領域及び活性層)の成長は、有機金属原料を含む成膜ガスを成長炉10aに供給して、III族元素としてInを含まずIII族元素としてAl

50

を含む第1化合物半導体層を摂氏620度以下の基板温度で成長すること、及び有機金属原料を含む成膜ガスを成長炉10aに供給して、III族元素としてInを含む第2化合物半導体層を摂氏620度以下の基板温度で成長することを行うことによって提供される。

【0066】

第1化合物半導体層を成長した後にIII族原料を成長炉10aに供給することなく半導体の成長を中断する。

【0067】

具体的には、時刻t4において中間積層57の成長を完了した後に、図4の(b)部に示されるように、成長中断PRDの期間において、中間積層57上に上部積層59を成長するための準備を行う。本実施例では、摂氏590度以下の成長温度から基板温度を上げて、摂氏670度以上の基板温度(T6)を成長炉10aにおいて提供する。成長中断において、III族有機金属原料を成長炉10aに供給することなく、成長炉10aにヒ素原料を供給して、ヒ素雰囲気を形成する。

雰囲気ガス：V族原料のアルシン。

温度変更率：10～30度/分。

成長中断の時間：3～20分。

【0068】

成長炉10aのチャンバ壁に堆積したインジウム堆積物PINが、成長中断中に、中間積層57の表面に堆積して、インジウムがIII-V化合物半導体の表面(具体的には、アンドープAlGaAs表面)に取り込まれる。取り込まれたIn量に応じて、引き続き成長において供給される炭素ドーパントが中間積層57を拡散して活性層に到達することを妨げる。実施例1～3の結果から理解されるように、0.01%程度のIn組成においても発光強度の改善に影響する。

【0069】

半導体の成長を中断した後に、炭素ドーパント、III族原料及びV族原料を成長炉10aに供給して、第2半導体を成長する。第2半導体を成長する工程は、上部半導体積層を基板51上に形成する。

【0070】

具体的には、基板温度の上昇によりターゲット温度に到達した後に、図5の(a)部に示されるように、インジウム堆積物(PUI NP)を含む下地、例えば僅かなインジウムを含むAlGaInAs上に、上部積層(第1上部積層体27、電流狭窄構造25、第2上部積層体29及び上部コンタクト層31)の成長PRDの間では、有機金属原料を含む成膜ガスを成長炉10aに供給することを時刻t5に開始して、上部積層59を成長すると共に、上部積層59を完成できる時刻t6に成長炉10aにおいて成膜を停止するようにガスを切り替える。上部積層59は、上部コンタクト層31、第1上部積層体27、電流狭窄構造25、及び第2上部積層体29のための半導体層(59a、59b、59c、59d)を含む。本実施例では、上部積層59は、例えばGaAs層及び/又はAlGaAsの半導体層を含む。半導体層59bは、高アルミニウム含有のIII-V化合物半導体からなる。

成長条件の例示。

半導体結晶成長のための基板温度：摂氏670～750度。

成長に用いる原料：TMAl、TMGa、AsH<sub>3</sub>、炭素ドーパントガスのCBr<sub>4</sub>。

V族原料とIII族原料の供給量比：V/III比=100～160。

成長速度：0.4～0.7nm/秒。

これに従って、上部分布ブラッグ反射器のための半導体層を含む上部積層59を中間積層57上に成長する。

【0071】

これらの工程により、エピタキシャル基板EPを完成させる。

【0072】

製造方法の記述から理解されるように、第1半導体及び第2半導体は、それぞれ、第1基

10

20

30

40

50

板温度及び第2基板温度で成長される。第2基板温度は、第1基板温度より高い。第1基板温度及び第2基板温度の一方から他方への変化中に半導体の成長中断を行う。

【0073】

垂直共振型面発光レーザを作製する方法によれば、成長炉10aに供給された原料ガス（III族原料及びV族原料）のIII族原料からのインジウムをIII族元素として含む第1化合物半導体層を基板上に成長する。V族原料を成長炉に供給すると共にIII族原料を成長炉に供給することなく半導体の成長を中断する。成長中断により、半導体表面が改質される。成長炉内において改質された表面上に上部半導体積層を形成する。改質の際に、インジウム原子が堆積してインジウムレイヤーが下地半導体表面の一部又は全体に形成される。

10

【0074】

垂直共振型面発光レーザを作製する方法によれば、成長中断における改質の際に、半導体表面にインジウムのパイルアップ領域（PUINP）を形成できて、このパイルアップ領域（PUINP）が、引き続く成長において供給される炭素の拡散を低減できる。活性層のための半導体層を含む中間積層57は、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下の炭素濃度を有する。

【0075】

図5の（b）部に示されるように、エピタキシャル基板EPの主面上に、ポストの形状を規定するマスクM1を形成すると共に、マスクM1を用いてエピタキシャル基板EPをエッチングする。エッチングは、例えばドライエッチングを含む。第1基板生産物SP1は、半導体ポスト61、半導体テラス63、及び半導体ポスト61を半導体テラス63から隔置する溝65を含む。半導体ポスト61は、下部コンタクト層39のための半導体層（53b）内に位置する底を有する。エッチングの後にマスクM1を除去して、第1基板生産物SP1を得る。

20

【0076】

図6の（a）部に示されるように、第1基板生産物SP1を酸化炉10bに配置すると共に、酸化雰囲気（例えば摂氏350度の水蒸気）に第1基板生産物SP1を曝して、第1基板生産物SP1内の高アルミニウム含有のIII-V化合物半導体の半導体層59cから電流狭窄構造25を形成する。酸化炉10bにおける処理により、第1基板生産物SP1から第2基板生産物SP2を得る。

【0077】

図6の（b）部に示されるように、第2基板生産物SP2上に、第1開口67a及び第2開口67bを有する保護膜67を形成すると共に、第1電極69a及び第2電極69bを保護膜上に形成する。

30

【0078】

これらの工程により、垂直共振型面発光レーザ11が提供される。

【0079】

3つの実施例を説明する。

【0080】

（実施例1）

図7の（a）部及び（b）部は、実施例1に係る垂直共振型面発光レーザのエピ構造におけるインジウムのSIMSプロファイルPFを示す図面である。理解を容易にするために、図7の（a）部及び（b）部には、図1に付された参照符合を付してエピ構造を垂直共振型面発光レーザ11に対応付ける。

40

【0081】

図7の（a）部を参照すると、下部積層体の下部スペーサ層から活性層の最初の井戸層までのエピ範囲におけるインジウム組成を示す。破線ITR1PTは、エピ成長における成長中断をエピ構造において示す。本実施例では、成長中断に際して、基板温度を降下させている。

【0082】

図7の（b）部を参照すると、活性層の最終の井戸層から上部積層体の上部スペーサ層ま

50

でのエピ範囲におけるインジウム組成を示す。破線 I T R 2 P T は、エピ成長における成長中断をエピ構造において示す。本実施例では、成長中断に際して、基板温度を上昇させる。下部積層体及び上部積層体は、摂氏 720 度で成長され、下部スペーサ層 17、上部スペーサ層 21 及び活性層 19 は、摂氏 620 度で成長される。破線 I T R 1 P T 及び破線 I T R 2 P T で示される成長中断の期間は、15 分間である。

【0083】

両方の S I M S プロファイル P F を比較すると、活性層 19 を成長した後における成長中断において、インジウムのパイルアップ層 ( P U I N P ) が形成される。この実施例に係る実験及び他の実験から、インジウムのパイルアップ層 ( P U I N P ) のピークインジウム組成は、0.01% 以上である。

10

【0084】

垂直共振型面発光型半導体レーザは、G a A s 基板と、G a A s 基板上に設けられた下部分布ブラッグ反射部と、下部分布ブラッグ反射部に設けられた上部分布ブラッグ反射部とを備える。下部分布ブラッグ反射部と上部分布ブラッグ反射部との間には、活性層が設けられる。下部分布ブラッグ反射部は第 1 の下部分布ブラッグ反射と第 2 の下部分布ブラッグ反射からなり、第 1 の下部分布ブラッグ反射と第 2 の下部分布ブラッグ反射の間には、A l G a A s からなる下部コンタクト層が設けられている。上部分布ブラッグ反射部の上には、A l G a A s からなる上部コンタクト層が設けられている。

【0085】

活性層と下部分布ブラッグ反射部との間には、A l G a A s からなる第 1 のスペーサ層が設けられており、活性層と上部分布ブラッグ反射部との間には、A l G a A s からなる第 2 のスペーサ層が設けられる。

20

【0086】

上部分布ブラッグ反射部には、電流を閉じ込めるための電流狭窄層が設けられている。電流狭窄層は、電流を通過させるための半導体部分と、この半導体部分を取り囲む環状の絶縁体部分とを備える。半導体部分は例えば p 型 A l G a A s からなり、半導体部分は例えば p 型 A l G a A s の酸化物からなる。

【0087】

下部分布ブラッグ反射部では、S i ドープされた第 1 の n 型 A l x G a 1 - x A s ( 0.8 < x < 1 ) 層と、第 2 の n 型 A l y G a 1 - y A s ( 0.1 < y < 0.3 ) 層とが交互に 25 層積層されている。第 1 及び第 2 の A l G a A s の成長には、T M A l 、T M G a 、A s H 3 を用い、摂氏 670 ~ 720 度の成長温度で成長を行う事が好適である。なお、下部分布ブラッグ反射部の n 型ドーパントとして S i をドープする場合、その原料ガスとしてはシラン ( S i H 4 ) を用いることが好適である。

30

【0088】

第 1 及び第 2 のスペーサ層の厚さは、5 ~ 25 nm であることができ、スペーサ層の A l 組成は 10 ~ 40 % である。第 1 及び第 2 のスペーサ層の成長には、T M A l 、T M G a 、A s H 3 を用い、摂氏 570 度 ~ 620 度の成長温度で成長を行う。

【0089】

活性層は、多重量子井戸構造を有する。活性層は、A l G a I n A s 量子井戸層及び A l G a A s バリア層からなる量子井戸構造 M Q W を有するとよい。A l G a I n A s 量子井戸層の A l 組成は 1 ~ 8 % 、I n 組成は 8 ~ 18 % とし、膜厚は 2 ~ 7 nm とすることがよい。A l G a A s 障壁層の A l 組成は 10 ~ 40 % とし、膜厚は 5 ~ 9 nm である。活性層の成長には、T M A l 、T M G a 、T M I n 、A s H 3 を用い、摂氏 570 ~ 620 度の成長温度で成長を行う事が好適である。

40

【0090】

上部分布ブラッグ反射部は、25 層の C ドープ第 1 の p 型 A l G a A s 層及び C ドープ第 2 の p 型 A l G a A s 層を含み、第 1 の p 型 A l G a A s 層及び第 2 の p 型 A l G a A s 層は交互に積層される。第 1 及び第 2 の A l G a A s の成長には、T M A l 、T M G a 、A s H 3 を用い、摂氏 670 ~ 720 度の成長温度で成長を行うことがよい。上部分布ブ

50

ラッグ反射部の p 型ドーパントの炭素 ( C ) を添加には、四臭化炭素 ( C B r 4 ) を用いる。

#### 【 0 0 9 1 】

下部分布ブラッグ反射部と第 1 のスペーサ層の間、及び第 2 のスペーサ層と上部分布ブラッグ反射部の間において成長中断を行い、基板温度の昇降温を行う。成長中断中は I I I 族原料の供給を停止し、I I I 族原料無しで V 族原料の A s H 3 を供給している。

#### 【 0 0 9 2 】

実施例 1 では、摂氏 7 2 0 度の成長温度で分布ブラッグ反射部を成長すると共に、摂氏 6 2 0 度の成長温度で活性層を成長する。これらの成長の間に、1 5 分間の成長中断を行う。成長中断において、基板温度を傾斜をもって変化させる。活性層付近の S I M S 分析結果は、第 2 のスペーサ層と上部分布ブラッグ反射部との間の上部の中断界面において 0 . 0 9 % のピーク濃度の I n 堆積物、ここではプロファイルの形状に従って例えば「パイルアップ層 ( P U I N P ) 」として参照する。しかしながら、下部分布ブラッグ反射部と第 1 のスペーサ層の間の下部の中断界面には I n プロファイルは単調な変化を示す。上側の I n パイルアップ層 ( P U I N P ) は、以下のように形成される。活性層成長中に供給された I n 原子又はインジウム原料が、例えば成長炉のチャンバ壁に付着すると共に、供給停止後に成長中断中にチャンバ壁から半導体表面に到達して、パイルアップ層 ( P U I N P ) になる。

#### 【 0 0 9 3 】

##### ( 実施例 2 )

活性層及び上部スペーサ層の結晶成長における第 1 成長温度、上部積層体の第 2 成長温度、並びに成長中断の時間のエピ成長条件に関して、異なる成長中断時間の 4 種類のデバイス構造 D 1 ~ D 4 を作製する。例えば「3 E + 1 6」の表示は、 $3 \times 10^{+16}$  を示す。

構造：第 1 成長温度、第 2 成長温度、成長中断、ピーク I n 組成、炭素濃度。

D 1 : 摂氏 6 2 0 度、摂氏 7 2 0 度、0 分間、0 . 0 1 % 未満、3 E + 1 6。

D 2 : 摂氏 6 2 0 度、摂氏 7 2 0 度、3 分間、約 0 . 0 1 %、2 E + 1 6。

D 3 : 摂氏 6 2 0 度、摂氏 7 2 0 度、9 分間、0 . 0 3 %、1 E + 1 6 未満。

D 4 : 摂氏 6 2 0 度、摂氏 7 2 0 度、1 5 分間、0 . 0 9 %、1 E + 1 6 未満。

#### 【 0 0 9 4 】

実施例 2 では、4 種の中断時間を変化させて作製されたデバイス構造において、上部スペーサ層と上部積層体との界面における I n 濃度及び活性層の炭素濃度を測定する。3 分以上の中断時間により活性層の炭素濃度が下がり、0 . 0 1 % 以上の I n の堆積層が形成される。また、9 分以上の中断時間により、0 . 0 3 % 以上の I n の堆積層が形成される。さらに、1 5 分以上の中断時間により、0 . 0 9 % 以上の I n の堆積層が形成される。活性層の炭素濃度が  $1 \text{ E} + 16 \text{ cm}^{-3}$  以下となり、S I M S 法による炭素の検出下限を下回る。

#### 【 0 0 9 5 】

##### ( 実施例 3 )

活性層及び上部スペーサ層の結晶成長における第 1 成長温度、上部積層体の第 2 成長温度、並びに成長中断の時間のエピ成長条件に関して、異なる第 2 成長温度の 3 種類のデバイス構造 D 5 ~ D 7 を作製する。

構造：第 1 成長温度、第 2 成長温度、成長中断、ピーク I n 組成、炭素濃度。

D 5 : 摂氏 6 2 0 度、摂氏 6 7 0 度、1 5 分間、0 . 1 0 %、1 E + 1 6 未満。

D 6 : 摂氏 6 2 0 度、摂氏 7 2 0 度、1 5 分間、0 . 0 9 %、1 E + 1 6 未満。

D 7 : 摂氏 6 2 0 度、摂氏 7 7 0 度、1 5 分間、0 . 0 1 % 未満、5 E + 1 6。

#### 【 0 0 9 6 】

実施例 3 では、3 種の第 2 成長温度を変化させて作製されたデバイス構造において、上部スペーサ層と上部積層体との界面における I n 濃度及び活性層の炭素濃度を測定する。摂氏 6 7 0 度以上で摂氏 7 7 0 度未満の第 2 成長温度により活性層の炭素濃度が下がり、0 . 0 9 % 以上の I n の堆積層が形成される。また、摂氏 6 7 0 度以上で摂氏 7 2 0 度以下

10

20

30

40

50

の第2成長温度により、 $0.09 \sim 0.10\%$ のInの堆積層が形成される。活性層の炭素濃度が $1 \text{ E} + 16 \text{ cm}^{-3}$ 以下となり、SIMS法による炭素の検出下限を下回る。

【0097】

これらの実施例において、上記のデバイス構造における発光強度の測定によれば、デバイス構造D2～D6において、活性層の低い炭素濃度は良好な発光特性を提供できる。これらのデバイス構造は、デバイス構造D1、D7に比べて優れる発光特性を示す。デバイス構造D3～D6の発光特性は、デバイス構造D2より優れた発光特性を示す。

【0098】

実施例3では、上部積層体（分布ブラッグ反射）の成長温度を変化させたデバイス構造において、上部スペーサ層と上部積層体との界面におけるIn濃度及び活性層の炭素濃度を測定する。分布ブラッグ反射の成長温度を摂氏720度以下であるとき、SIMSプロファイルに現れるInパイルアップ層が形成される。活性層の炭素濃度が $1 \text{ E} + 16 \text{ cm}^{-3}$ 以下となり、SIMS法による炭素の検出下限を下回る。

10

【0099】

これらの実施例における実験及び他の実験によれば、垂直共振型面発光レーザは、摂氏570～620度の範囲である活性層及び上部スペーサ層の成長温度、摂氏670～720度の範囲である炭素添加上部積層体の成長温度、及び3～15分の範囲である成長中断時間において、発光強度の改善を示す。

【0100】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更権利を請求する。

20

【産業上の利用可能性】

【0101】

以上説明したように、本実施形態によれば、低い炭素濃度の活性層を有する垂直共振型面発光レーザが提供される。本実施形態によれば、活性層に低い炭素濃度を提供できる垂直共振型面発光レーザを作製する方法が提供される。

【符号の説明】

30

【0102】

13...基板、15...ポスト、17...下部スペーサ層、19...活性層、19a...井戸層、19b...障壁層、21...上部スペーサ層、23...上部積層領域、25...電流狭窄構造、27...第1上部積層体、29...第2上部積層体、31...上部コンタクト層、33...下部積層領域、35...第1下部積層体、37...第2下部積層体、39...下部コンタクト層。

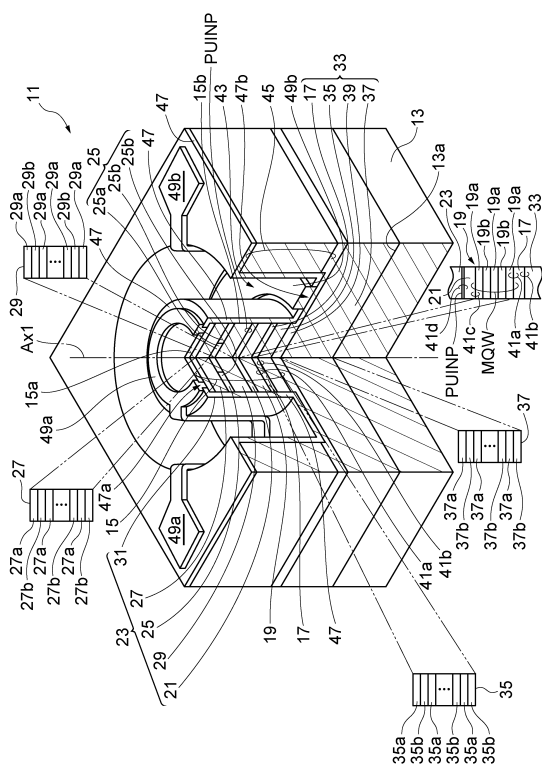
40

50

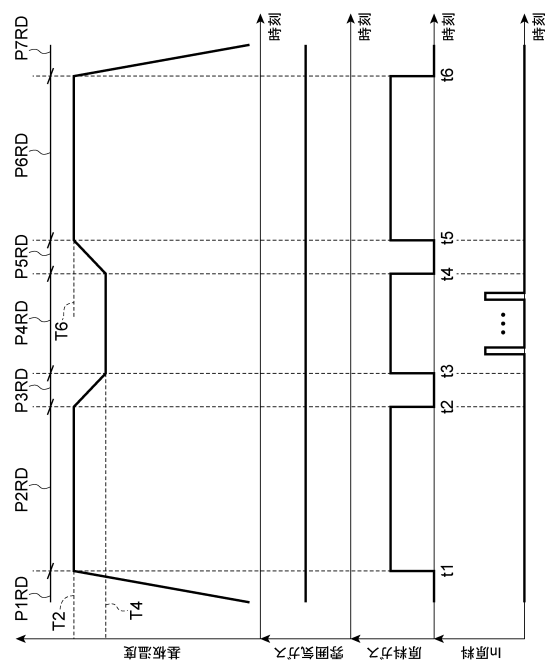


【図面】

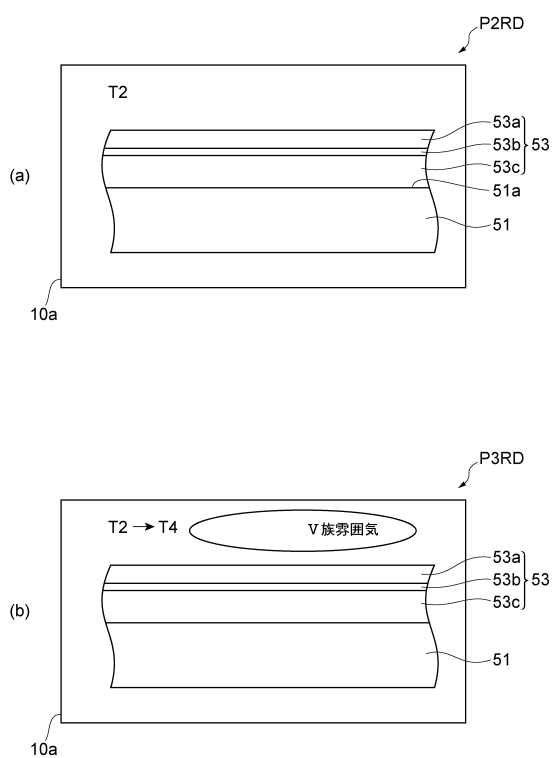
【 図 1 】



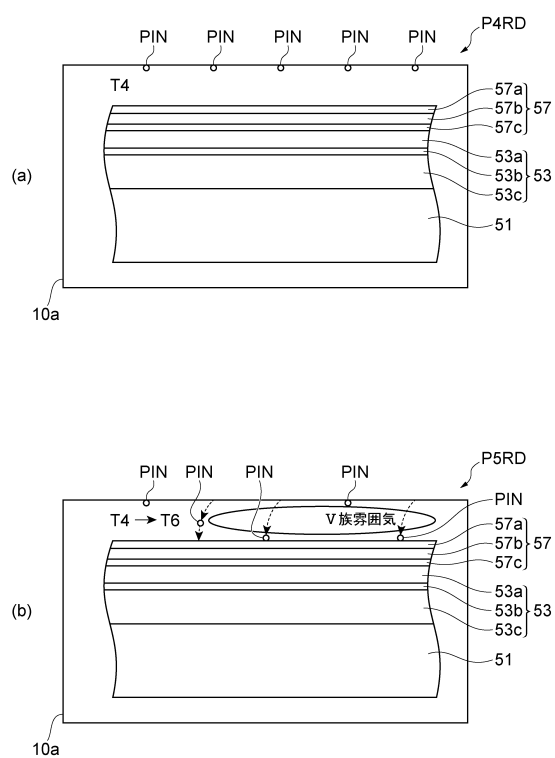
【圖 2】



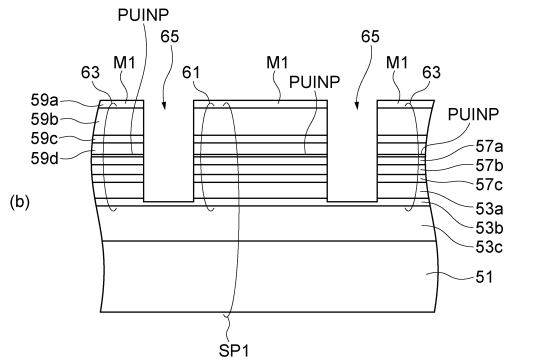
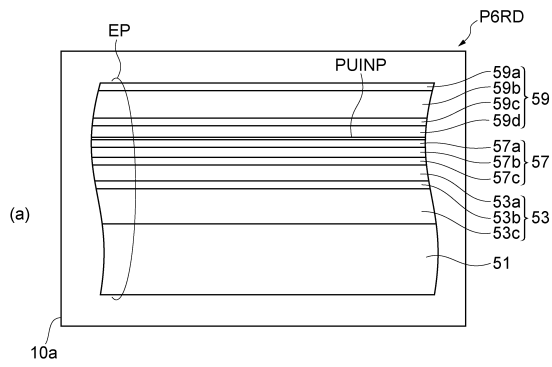
【 図 3 】



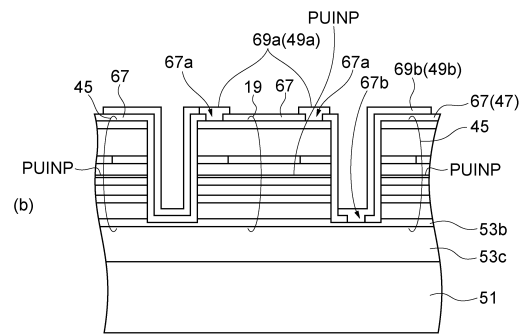
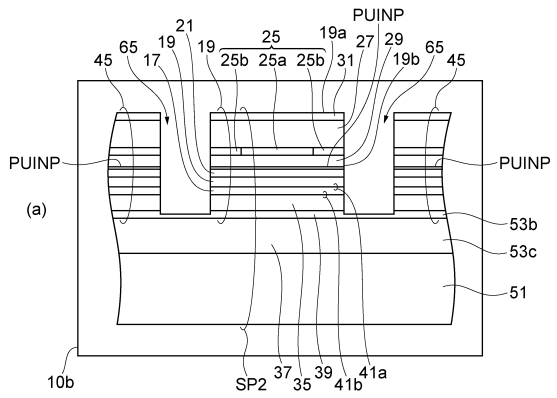
【圖 4】



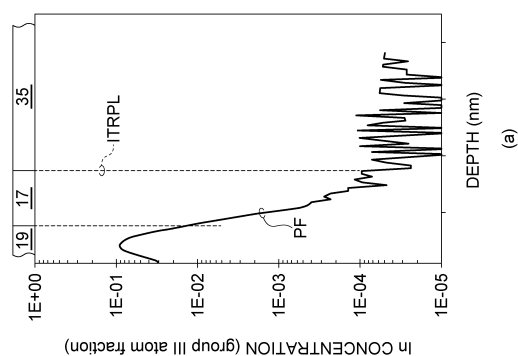
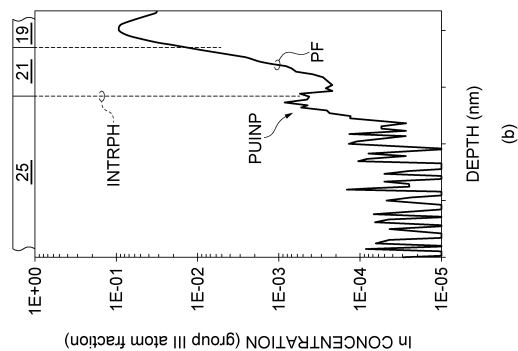
【 図 5 】



【 図 6 】



【圖 7】



## フロントページの続き

- 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内  
(72)発明者 住友 隆道  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内  
(72)発明者 有方 卓  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 住友電気工業株式会社内  
審査官 高椋 健司  
(56)参考文献 米国特許第 0 5 4 9 3 5 7 7 ( U S , A )  
特開 2 0 0 6 - 1 2 0 7 6 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 3 3 2 2 5 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 2 6 7 5 5 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 5 - 3 5 4 0 6 1 ( J P , A )  
特開 2 0 1 1 - 1 1 9 3 7 4 ( J P , A )  
特開 2 0 0 8 - 1 0 8 9 6 4 ( J P , A )  
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0