

(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2020-17573

(P2020-17573A)

(43) 公開日 令和2年1月30日(2020.1.30)

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

H O 1 S 5/183 (2006.01)

H O 1 S 5/183

5 F 1 7 3

H O 1 S 5/343 (2006.01)

H O 1 S 5/343

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2018-137901 (P2018-137901)
 (22) 出願日 平成30年7月23日 (2018. 7. 23)

(71) 出願人 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33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

最終頁に続く

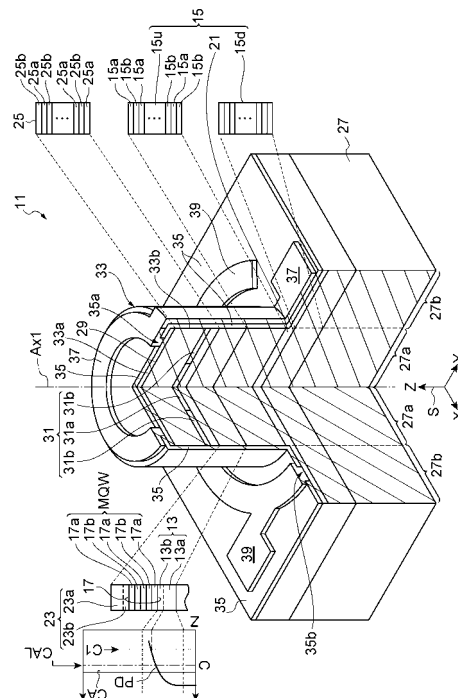
(54) 【発明の名称】 垂直共振型面発光レーザ

(57) 【要約】

【課題】経時的な発光特性変動を低減できる垂直共振型面発光レーザを提供する。

【解決手段】垂直共振型面発光レーザは、量子井戸構造の活性層と、第1分布ブラッグ反射器のための第1積層体と、活性層と第1積層体との間に設けられた第1スペーサ領域を備え、量子井戸構造の障壁層は、ⅢⅢⅢ族構成元素としてアルミニウムを含む第1化合物半導体を含み、第1スペーサ領域は、第1化合物半導体よりも大きいアルミニウム組成を有する第2化合物半導体を含み、第1積層体、第1スペーサ領域の第1部分、第1スペーサ領域の第2部分、及び活性層は、第1軸の方向に順に配列され、第1積層体における第1ドーパントの濃度は、第1スペーサ領域の第1部分における第1ドーパントの濃度より大きく、第1スペーサ領域の第1部分における第1ドーパントの濃度は、第1スペーサ領域の第2部分における第1ドーパントの濃度より大きい。

【選択図】図1



【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、
井戸層及び障壁層を含む量子井戸構造を有する活性層と、
第 1 分布ブラッグ反射器のための第 1 積層体と、
前記活性層と前記第 1 積層体との間に設けられた第 1 スペーサ領域と、
を備え、

前記障壁層は、III 族構成元素としてアルミニウムを含む第 1 化合物半導体を含み、
前記第 1 スペーサ領域は、前記第 1 化合物半導体よりも大きいアルミニウム組成を有する第 2 化合物半導体を含み、

前記第 1 スペーサ領域は、第 1 部分及び第 2 部分を含み、

前記第 1 積層体、前記第 1 スペーサ領域の前記第 1 部分、前記第 1 スペーサ領域の前記第 2 部分、及び前記活性層は、第 1 軸の方向に順に配列され、

前記第 1 スペーサ領域の前記第 1 部分及び前記第 1 積層体は、第 1 ドーパントを含み、
前記第 1 スペーサ領域の前記第 1 部分は、前記第 1 積層体から前記第 1 スペーサ領域の前記第 2 部分まで設けられ、

前記第 1 スペーサ領域の前記第 2 部分は、前記活性層から前記第 1 スペーサ領域の前記第 1 部分まで設けられ、

前記第 1 積層体における前記第 1 ドーパントの濃度は、前記第 1 スペーサ領域の前記第 1 部分における前記第 1 ドーパントの濃度より大きく、

前記第 1 スペーサ領域の前記第 1 部分における前記第 1 ドーパントの濃度は、前記第 1 スペーサ領域の前記第 2 部分における前記第 1 ドーパントの濃度より大きい、垂直共振型面発光レーザ。

【請求項 2】

前記第 2 化合物半導体は、0.35 以上のアルミニウム組成を有し、

前記第 1 積層体は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の n 型ドーパントを含み、

前記活性層と前記第 1 積層体との間隔は、前記第 1 軸の方向に 10 ナノメートル以上である、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】

前記第 1 ドーパントの濃度は、前記第 1 スペーサ領域の前記第 1 部分において $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であり、

前記第 1 スペーサ領域の前記第 2 部分の前記第 1 ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満である、請求項 1 又は請求項 2 に記載された垂直共振型面発光レーザ。

【請求項 4】

前記第 1 ドーパントの濃度は、前記活性層において $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であり、
前記量子井戸構造は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As} / \text{In}_{1-y}\text{Ga}_y\text{As}$ を含み、ここで $0 < y < 0.5$ である、請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載された垂直共振型面発光レーザ。

【請求項 5】

前記第 1 ドーパントの濃度は、前記活性層において $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であり、
前記量子井戸構造は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As} / \text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{As}$ を含み、ここで、 $0 < u < 0.5$ 、 $0 < v < 0.2$ である、請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載された垂直共振型面発光レーザ。

【請求項 6】

基板と、
第 2 分布ブラッグ反射器のための第 2 積層体と、
前記活性層と前記第 2 積層体との間に設けられた第 2 スペーサ領域と、
を備え、

前記第 1 スペーサ領域及び前記第 1 積層体は、前記基板と前記活性層との間に設けられ、

、

10

20

30

40

50

前記活性層は、前記第 1 積層体と前記第 2 積層体との間に設けられ、

前記第 2 積層体、前記第 2 スペースの前記第 1 部分、前記第 2 スペース領域の前記第 2 部分、及び前記活性層は、前記第 1 軸の方向に順に配列される、請求項 1 ~ 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。

【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、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】

10

【0002】

特許文献 1 は、垂直共振型面発光レーザを開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2007 - 142375 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

垂直共振型面発光レーザの用途、例えば光通信は、垂直共振型面発光レーザに高速変調及び低しきい値を求める。発明者の知見によれば、垂直共振型面発光レーザの中には、光強度において時間の経過に伴って変動を示すものがある。光強度における経時変動を低減することが望まれている。

20

【0005】

本発明の一側面は、経時的な発光特性の変動を低減でき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。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面に係る垂直共振型面発光レーザは、井戸層及び障壁層を含む量子井戸構造を有する活性層と、第 1 分布ブラッグ反射器のための第 1 積層体と、前記活性層と前記第 1 積層体との間に設けられた第 1 スペース領域と、を備え、前記障壁層は、III 族構成元素としてアルミニウムを含む第 1 化合物半導体を含み、前記第 1 スペース領域は、前記第 1 化合物半導体よりも大きいアルミニウム組成を有する第 2 化合物半導体を含み、前記第 1 スペース領域は、第 1 部分及び第 2 部分を含み、前記第 1 積層体、前記第 1 スペース領域の前記第 1 部分、前記第 1 スペース領域の前記第 2 部分、及び前記活性層は、第 1 軸の方向に順に配列され、前記第 1 スペース領域の前記第 1 部分及び前記第 1 積層体は、第 1 ドーパントを含み、前記第 1 スペース領域の前記第 1 部分は、前記第 1 積層体から前記第 1 スペース領域の前記第 2 部分まで設けられ、前記第 1 スペース領域の前記第 2 部分は、前記活性層から前記第 1 スペース領域の前記第 1 部分まで設けられ、前記第 1 積層体における前記第 1 ドーパントの濃度は、前記第 1 スペース領域の前記第 1 部分における前記第 1 ドーパントの濃度より大きく、前記第 1 スペース領域の前記第 1 部分における前記第 1 ドーパントの濃度は、前記第 1 スペース領域の前記第 2 部分における前記第 1 ドーパントの濃度より大きい。

30

40

【0007】

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】

【0008】

以上説明したように、発明の一側面によれば、経時的な発光特性の変動を低減できる垂直共振型面発光レーザが提供される。

50

【図面の簡単な説明】

【0009】

【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模式的に示す一部破断図である。

【図2】図2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。

10

【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。

【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における第1積層体、互いに異なるアルミニウム組成のスペーサ領域、及び活性層における3つのドーパント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】

【0010】

いくつかの具体例を説明する。

20

【0011】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザは、(a)井戸層及び障壁層を含む量子井戸構造を有する活性層と、(b)第1分布ブラッグ反射器のための第1積層体と、(c)前記活性層と前記第1積層体との間に設けられたスペーサ領域と、を備え、前記障壁層は、III族構成元素としてアルミニウムを含む第1化合物半導体を含み、前記第1スペーサ領域は、前記第1化合物半導体よりも大きいアルミニウム組成を有する第2化合物半導体を含み、前記第1スペーサ領域は、第1部分及び第2部分を含み、前記第1積層体、前記第1スペーサ領域の前記第1部分、前記第1スペーサ領域の前記第2部分、及び前記活性層は、第1軸の方向に順に配列され、前記第1スペーサ領域の前記第1部分及び前記第1積層体は、第1ドーパントを含み、前記第1スペーサ領域の前記第1部分は、前記第1積層体から前記第1スペーサ領域の前記第2部分まで設けられ、前記第1スペーサ領域の前記第2部分は、前記活性層から前記第1スペーサ領域の前記第1部分まで設けられ、前記第1積層体における前記第1ドーパントの濃度は、前記第1スペーサ領域の前記第1部分における前記第1ドーパントの濃度より大きく、前記第1スペーサ領域の前記第1部分における前記第1ドーパントの濃度は、前記第1スペーサ領域の前記第2部分における前記第1ドーパントの濃度より大きい。

30

【0012】

垂直共振型面発光レーザによれば、活性層と第1積層体との間に設けられた第1スペーサ領域が、第1部分及び第2部分を含む。第1部分及び第2部分は、III族構成元素としてアルミニウムを含む化合物半導体を含み、この化合物半導体は、活性層の障壁層のアルミニウム組成よりも大きなアルミニウム組成を有する。第1積層体は第1スペーサ領域の第1部分に接触を成し、活性層は第1スペーサ領域の第2部分に接触を成す。

40

【0013】

具体的には、大きなアルミニウム組成を第1部分に提供する第1スペーサ領域は、製造中の熱処理により、第1積層体から拡散により第1スペーサ領域の第1部分に来るドーパント量を低減できる。大きなアルミニウム組成を第2部分に提供する第1スペーサ領域によれば、製造中の拡散により第1積層体から活性層にドーパントが到達しにくい構造を提供できる。第1スペーサ領域において、第2部分におけるドーパント濃度が第1部分におけるドーパント濃度より小さい。

【0014】

50

活性層におけるドーパントは、非常に低く、例えば検出下限より小さくできる。第2部分の低いドーパント濃度によれば、拡散したドーパントに起因する非発光中心の生成は、活性層において非常に低い。また、第1積層体から第1スペーサ領域の第2部分への経路におけるドーパされた第1部分（第1スペーサ領域の第2部分のドーパント濃度より大きく第1積層体のドーパント濃度より小さいドーパント濃度を有する第1部分）を第1積層体から活性層へのキャリア経路に提供できる。

【0015】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザでは、前記第2化合物半導体は、0.35以上のアルミニウム組成を有し、前記第1積層体は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上のn型ドーパントを含み、前記活性層と前記第1積層体との間隔は、前記第1軸の方向に10ナノメートル以上である。

10

【0016】

垂直共振型面発光レーザによれば、第1スペーサ領域は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高いn型ドーパント濃度を有する第1積層体を活性層から隔てる。垂直共振型面発光レーザの作製において第1積層体のための半導体層を成長した後に、第1積層体より上に位置する半導体領域が成長される。第1積層体のための半導体層は、その成長の後に、第1積層体上に半導体領域を成長する際に熱を受ける。この熱エネルギーの総量は、第1積層体の層構造ではなく第1積層体より上側に位置する半導体層の総厚に依存する。互いに異なるn型ドーパント濃度の第1部分及び第2部分を含む第1スペーサ領域によれば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の領域から製造中に拡散してくることにより第1積層体から活性層にドーパントが到達することを妨げて、活性層におけるドーパントは、非常に低く、例えば検出下限より小さくできる。

20

【0017】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザでは、前記第1ドーパントの濃度は、前記第1スペーサ領域の前記第1部分において $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であり、前記第1スペーサ領域の前記第2部分の前記第1ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満である。

【0018】

垂直共振型面発光レーザによれば、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上の第1ドーパント濃度を有する第1部分、及び $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満の第1ドーパント濃度を有する第2部分は、第1積層体から活性層への方向に単調に変化するドーパントプロファイルを有する。

30

【0019】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザでは、前記第1ドーパントの濃度は、前記活性層において $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であり、前記量子井戸構造は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As} / \text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ を含み、ここで $0.05 < y < 0.5$ である。

【0020】

垂直共振型面発光レーザによれば、上記の量子井戸構造において、ドーパント拡散に起因した非発光中心の生成が低減される。

【0021】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザでは、前記第1ドーパントの濃度は、前記活性層において $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であり、前記量子井戸構造は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As} / \text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{As}$ を含み、ここで、 $0.05 < u < 0.5$ 及び $0 < v < 0.2$ である。

40

【0022】

垂直共振型面発光レーザによれば、上記の量子井戸構造において、ドーパント拡散に起因した非発光中心の生成が低減される。

【0023】

具体例に係る垂直共振型面発光レーザは、基板と、第2分布ブラッグ反射器のための第2積層体と、前記活性層と前記第2積層体との間に設けられた第2スペーサ領域と、を備え、前記第1スペーサ領域及び前記第1積層体は、前記基板と前記活性層との間に設けら

50

れ、前記活性層は、前記第 1 積層体と前記第 2 積層体との間に設けられ、前記第 2 積層体、前記第 2 スペース領域の前記第 1 部分、前記第 2 中間領域の前記第 2 部分、及び前記活性層は、前記第 1 軸の方向に順に配列される。

【0024】

垂直共振型面発光レーザによれば、第 1 スペース領域及び第 1 積層体が基板と活性層との間に設けられて、当該垂直共振型面発光レーザの成膜において、第 1 スペース領域及び第 1 積層体の成長後に、第 2 スペース領域及び第 2 積層体を含む上部領域の成長期間における高温に曝される。

【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実施の形態を説明する。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模式的に示す一部破断図である。図 1 には、直交座標系 S が示されており、Z 軸は第 1 軸 A x 1 の方向に向いている。垂直共振型面発光レーザ 11 は、第 1 スペース領域 13、第 1 積層体 15、及び活性層 17 を備える。第 1 スペース領域 13 は、第 1 積層体 15 と活性層 17 との間に設けられる。

【0027】

第 1 スペース領域 13 は、第 1 部分 13 a 及び第 2 部分 13 b を含む。第 1 積層体 15、第 1 スペース領域 13 の第 1 部分 13 a、第 1 スペース領域 13 の第 2 部分 13 b、及び活性層 17 は、第 1 軸 A x 1 の方向に順に配列される。第 1 スペース領域 13 において、第 1 部分 13 a は、第 1 積層体 15 から第 2 部分 13 b まで延在し、第 2 部分 13 b は、活性層 17 から第 1 部分 13 a まで延在する。

【0028】

活性層 17 は量子井戸構造 MQW を有し、量子井戸構造 MQW は、複数の井戸層 17 a 及び又は複数の障壁層 17 b を含む。井戸層 17 a 及び障壁層 17 b が、第 1 軸 A x 1 の方向に交互に配列される。

【0029】

井戸層 17 a 及び障壁層 17 b の各々は、III 族及び V 族の構成元素を含む化合物半導体を備える。第 1 スペース領域 13 は、障壁層 17 b の化合物半導体よりも大きいアルミニウム組成を有する化合物半導体を含む。

【0030】

第 1 スペース領域 13 の第 1 部分 13 a は、第 1 ドーパントを含み、第 1 積層体 15 は、第 1 ドーパントを含む。ドーパントは、半導体に導電性を付与できる。第 1 積層体 15 における第 1 ドーパントの濃度は、第 1 スペース領域 13 の第 1 部分 13 a における第 1 ドーパントの濃度より大きく、第 1 スペース領域 13 の第 1 部分 13 a における第 1 ドーパントの濃度は、第 1 スペース領域 13 の第 2 部分 13 b における第 1 ドーパントの濃度より大きい。

【0031】

第 1 積層体 15 は、第 1 分布ブラッグ反射器のために設けられ、具体的には第 1 半導体層 15 a 及び第 2 半導体層 15 b を含み、第 1 半導体層 15 a 及び第 2 半導体層 15 b は、第 1 分布ブラッグ反射器を構成するように交互に配列される。

【0032】

垂直共振型面発光レーザ 11 によれば、第 1 積層体 15 と活性層 17 との間に設けられた第 1 スペース領域 13 が、第 1 部分 13 a 及び第 2 部分 13 b を含む。第 1 部分 13 a 及び第 2 部分 13 b は、III 族構成元素としてアルミニウムを含む化合物半導体を含み、この化合物半導体は、活性層 17 の障壁層 17 b のアルミニウム組成よりも大きなアルミニウム組成を有する。第 1 スペース領域 13 において、第 1 部分 13 a は、第 1 積層体 15 から第 2 部分 13 b に到達する。第 2 部分 13 b は、活性層 17 から第 1 部分 13 a

10

20

30

40

50

に到達する。

【0033】

具体的には、大きなアルミニウム組成を第1部分13aに提供する第1スペーサ領域13は、製造中の熱処理により、第1積層体15から拡散により第1スペーサ領域13の第1部分13aに来るドーパント量を低減できる。大きなアルミニウム組成を第2部分13bに提供する第1スペーサ領域13によれば、製造中の拡散により第1積層体15から活性層17にドーパントが到達しにくい構造を提供できる。第1スペーサ領域13において、第2部分13bにおけるドーパント濃度が第1部分13aにおけるドーパント濃度より小さい。

【0034】

活性層17におけるドーパントは、非常に低く、例えば検出下限より小さくできる。第2部分13bの低いドーパント濃度によれば、拡散したドーパントに起因する非発光中心の生成は、活性層17において非常に低い。また、第1積層体15から第1スペーサ領域13の第2部分13bへの経路におけるドーパントされた第1部分13a(第1スペーサ領域13の第2部分13bのドーパント濃度より大きく第1積層体15のドーパント濃度より小さいドーパント濃度を有する第1部分13a)を第1積層体15から活性層17へのキャリア経路に提供できる。

【0035】

第1積層体15は、例えばn型ドーパントを含むことができ、n型ドーパントの濃度は、例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることができる。第1積層体15のn型ドーパントは、例えば $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。垂直共振型面発光レーザ11によれば、第1スペーサ領域13は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高いn型ドーパント濃度を有する第1積層体15を活性層17から隔てる。

【0036】

垂直共振型面発光レーザ11の作製において第1積層体15のための半導体層を成長した後に、第1積層体15より上に位置する半導体領域が成長される。第1積層体15の半導体は、その成長の後に、第1積層体15上に半導体領域を成長する際に熱を受ける。この熱エネルギーの総量は、第1積層体15の層構造ではなく第1積層体15より上側に位置する層構造の総厚に依存する。互いに異なるn型ドーパント濃度の第1部分13a及び第2部分13bを含む第1スペーサ領域13によれば、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上のドーパントの第1積層体15から製造中のドーパント拡散により活性層17にドーパントが到達することを妨げて、活性層17におけるドーパントを非常に低く、例えば検出下限より小さくできる。第2部分13bの低いドーパント濃度によれば、拡散したドーパントに起因する非発光中心の生成は、活性層17において実質的に生じない。

【0037】

垂直共振型面発光レーザ11によれば、第1ドーパント濃度は、高いドーパントの第1積層体15から第1スペーサ領域13の第1部分13a及び第2部分13bにおいて第1積層体15から活性層17へ方向に単調に変化する部分を有するドーパントプロファイル(例えば、図1に示されるドーパントプロファイルPD)によって示される。

【0038】

垂直共振型面発光レーザ11は下部コンタクト層21を更に備える。本実施例では、第1積層体15は、下部コンタクト層21を含む。本実施例では、第1積層体15は、上部積層部15u及び下部積層部15dを含み、下部コンタクト層21は、上部積層部15uと下部積層部15dとの間に向けられる。第1積層体15の上部積層部15uと下部積層部15dの各々は、第1分布ブラッグ反射器のために設けられ、第1半導体層15a及び第2半導体層15bを含み、第1半導体層15a及び第2半導体層15bは、第1分布ブラッグ反射器を構成するように交互に配列される。

【0039】

第1スペーサ領域13の第1部分13aは、例えば $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上のドーパント濃度を有し、第2部分13bは、例えば $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満の第1ドーパント

10

20

30

40

50

濃度を有する。図 1 においては、符合「C1」は例えば $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のドーパントレベルを示す。実質的に単一組成の第 1 スペース領域 13 では、ドーパントプロファイル PD は、第 1 スペース領域 13 において単調に減少する部分を有する。具体的には、ドーパントプロファイル PD によって表されるドーパント濃度は、例えば第 1 スペース領域 13 の第 1 部分 13a において第 1 積層体 15 と第 1 スペース領域 13 との境界における値から単調に減少すると共に、第 1 部分 13a と第 2 部分 13b との境界において $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満のドーパント濃度に到達することがある。第 1 部分 13a 及び第 2 部分 13b は、例えば同じ厚さを有するようにしてもよい。

【0040】

高いアルミニウム組成（例えば 0.50 より大きいアルミニウム組成）の半導体（例えば、AlGaAs）は、酸化の発生、高バンドギャップ、及び高比抵抗を半導体デバイスにもたらす。これらの観点から、スペース領域（13、23）は、0.30 以上であり 0.50 以下のアルミニウム組成を有することがよい。

【0041】

本実施例では、第 1 積層体 15 と活性層 17 との間隔は、第 1 軸 A x 1 の方向に 5 ナノメートル以上であり、第 1 スペース領域 13 は、第 1 積層体 15 と活性層 17 との間を埋める。間隔が小さすぎると、活性層の非発光中心の濃度を低くできない。また、間隔が小さいと、デバイスの発光強度に影響する。

【0042】

第 1 積層体 15 と活性層 17 との間隔は、第 1 軸 A x 1 の方向に 20 ナノメートル以下であり、第 1 スペース領域 13 は、第 1 積層体 15 と活性層 17 との間を埋める。間隔が大きすぎると下部コンタクト層と活性層との間の導電性が低く（抵抗が高く）なり、高速の変調が得られにくくなる。間隔の上限は、導電性を十分確保できる。

【0043】

また、第 1 積層体 15 から活性層 17 へ流れるキャリアに、第 1 積層体 15 から第 1 スペース領域 13 の第 2 部分 13b への経路における第 1 部分 13a（ $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ より大きいドーパント濃度の第 1 部分 13a）が提供される。二つの分布ブラッグ反射器を実現する厚い積層体を含む垂直共振型面発光レーザ 11 において、下部コンタクト層 21 と活性層 17 との間に位置する第 1 部分 13a 及び第 2 部分 13b を含む第 1 スペース領域 13 は、活性層 17 の近傍におけるドーパント分布が高速変調性能を制限することを避けることができる。

【0044】

垂直共振型面発光レーザ 11 によれば、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上の第 1 ドーパント濃度を有する第 1 部分 13a、及び $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満の第 1 ドーパントの濃度を有する第 2 部分 13b の少なくとも一部は、第 1 積層体 15 から活性層 17 への方向に単調に変化するドーパントプロファイルを有する。スペース領域における単調減少のドーパントプロファイルは、活性層近くの部分に低いドーパント濃度を可能にし、活性層から離れた部分に高いドーパント濃度を可能にして、スペース領域に低抵抗を提供できる。

【0045】

第 1 ドーパントは、例えばシリコン（Si）、硫黄（S）及びテルル（Te）を包含する。或いは、第 1 ドーパントは、例えば亜鉛（Zn）、ベリリウム（Be）、マグネシウム（Mg）、及び炭素（C）を包含することができ。

【0046】

活性層 17 の量子井戸構造 MQW は、例えば GaAs / AlGaAs、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ / $\text{In}_{1-y}\text{Ga}_y\text{As}$ 、及び / 又は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ / $\text{In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{As}$ 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、上記の量子井戸構造 MQW において、ドーパント拡散に起因した非発光中心の生成が低減される。

【0047】

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ / GaAs を含む量子井戸構造 MQW では、具体的には、以下の関係が満たされる： $0.2 < X < 0.5$ 。X の範囲は、量子井戸の発光効率を十分にする

10

20

30

40

50

。

【0048】

$Al_xGa_{1-x}As/In_{1-y}Ga_yAs$ を含む量子井戸構造MQWでは、具体的には、以下の関係が満たされる： $0.2 < X < 0.5$ 、 $0.05 < Y < 0.5$ 。Xの範囲は、量子井戸の発光効率を十分に作る。

【0049】

また、 $Al_xGa_{1-x}As/In_uAl_vGa_{1-u-v}As$ を含む量子井戸構造MQWでは、具体的には、以下の関係が満たされる： $0.05 < U < 0.5$ 、 $0 < V < 0.2$ 、 $0.2 < X < 0.5$ 。井戸層のAlとInの範囲（U、V）は所望の発振波長を得るためである。

【0050】

これらの組成の量子井戸構造MQWにおいて、第1ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であって、拡散したドーパントに起因する非発光中心の生成が活性層17において低減される。

【0051】

垂直共振型面発光レーザ11は、第2スペーサ領域23及び第2積層体25を更に備える。第2積層体25は、第2分布ブラッグ反射器のために設けられ、具体的には第1半導体層25a及び第2半導体層25bを含み、第1半導体層25a及び第2半導体層25bは、第2分布ブラッグ反射器を構成するように交互に配列される。第2スペーサ領域23は、活性層17と第2積層体25との間に設けられる。第2積層体25、第2スペーサ領域23、及び活性層17は、第1軸Ax1の方向に順に配列される。活性層17は、第1スペーサ領域13と第2スペーサ領域23との間に設けられる。第2積層体25は、第1ドーパントと逆導電型の第2ドーパントを含み、ドーパントは、半導体に導電性を付与できる。第2スペーサ領域23は、第2ドーパントを含むことができる。

【0052】

第2積層体25は、例えばp型ドーパントを含むことができ、p型ドーパントは例えば $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることができる。第2積層体25のp型ドーパントは、例えば $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。垂直共振型面発光レーザ11によれば、第2スペーサ領域23は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高いp型ドーパント濃度を有する第2積層体25を活性層17から隔てる。

【0053】

垂直共振型面発光レーザ11は、p型ドーパントを含む第2積層体25に替えて、n型ドーパントを含む第2積層体25を含むことができ、この垂直共振型面発光レーザ11は、n型ドーパントを含む第1積層体15に替えて、p型ドーパントを含む第1積層体15を含む。

【0054】

可能な場合には、第2スペーサ領域23が、第1部分23a及び第2部分23bを含み、第1部分23a及び第2部分23bは第2積層体25と活性層17との間に設けられる。詳細には、第2積層体25、第2スペーサ領域23の第1部分23a、第2スペーサ領域23の第2部分23b、及び活性層17は、第1軸Ax1の方向に順に配列される。第2スペーサ領域23において、第1部分23aは、第2積層体25から第2部分23bに到達するように設けられ、第2部分23bは、活性層17から第1部分23aに到達するように設けられる。第2スペーサ領域23において、第2部分23bにおけるドーパント濃度が第1部分23aにおけるドーパント濃度より小さく、また第2ドーパントの濃度が活性層17において $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満である。第2ドーパントは、第2スペーサ領域23及び第2積層体25において、第1スペーサ領域13及び第1積層体15における第1ドーパントに類似のドーパントプロファイルを有することができる。第2ドーパントは、例えば亜鉛（Zn）、ベリリウム（Be）、マグネシウム（Mg）、及び炭素（C）を包含する。或いは、第2ドーパントは、例えばシリコン（Si）、硫黄（S）及びテルル（Te）を包含する。

10

20

30

40

50

【0055】

第2スペーサ領域23では、第1部分23aは、例えば $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上の第2ドーパント濃度を有し、第2部分23bは、例えば $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満の第2ドーパント濃度を有する。第2スペーサ領域23におけるドーパントプロファイルによって表されるドーパント濃度は、具体的には、第2スペーサ領域23の第1部分23aにおいて第1積層体15と第2スペーサ領域23との境界における値から単調に減少すると共に第2部分23bにおいて $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満のドーパント濃度に到達することがある。実質的に単一組成の第2スペーサ領域23におけるドーパントプロファイルは、ドーパントプロファイルPDと同様に、第2スペーサ領域23において単調に減少する部分を有する。

10

【0056】

また、第2積層体25から第2スペーサ領域23の第2部分23bへの経路において、第1部分23a($1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ より大きいドーパント濃度の第1部分23a)が第2積層体25から活性層17へ流れるキャリアに提供される。二つの分布ブラッグ反射器を実現する厚い積層体(15、25)を含む垂直共振型面発光レーザ11において、活性層17と上部コンタクト層29との間に位置する第1部分23a及び第2部分23bを含む第2スペーサ領域23は、活性層17の近傍におけるドーパント分布が高速変調性能を制限することを避けることができる。

【0057】

本実施例では、第2積層体25と活性層17との間隔は、第1軸A×1の方向に5ナノメートル以上であり、第2スペーサ領域23は、第2積層体25と活性層17との間を埋める。この下限値は活性層で発生した光の活性層近傍への閉じ込めを十分大きくするためである。また、第2積層体25と活性層17との間隔は、第1軸A×1の方向に20ナノメートル以下であり、第2スペーサ領域23は、第2積層体25と活性層17との間を埋める。この上限値は第2積層体25と活性層17との間の導電性を十分確保し高速変調性能を得るためである。

20

【0058】

また、垂直共振型面発光レーザ11は、上部コンタクト層29を更に備える。本実施例では、第2積層体25は、上部コンタクト層29を搭載する。垂直共振型面発光レーザ11は、電流狭窄構造31を更に備える。本実施例では、第2積層体25は、電流狭窄構造31をその内部に含む。電流狭窄構造31は、具体的には、電流アパーチャ領域31a及び電流ブロック領域31bを含む。電流ブロック領域31bが電流アパーチャ領域31aを囲んで、第2積層体25を流れるキャリアは、電流ブロック領域31bを流れることなく電流アパーチャ領域31aを流れる。電流アパーチャ領域31aは、III-V化合物半導体を備え、電流ブロック領域31bは、III-V化合物半導体の構成元素の酸化物を備える。

30

【0059】

本実施例では、第1スペーサ領域13の第2部分13bは、活性層17の最外の井戸層17aから第1部分13aに到達するように設けられる。また、第2スペーサ領域23の第2部分23bは、活性層17の最外の井戸層17aから第1部分23aに到達するように設けられる。

40

【0060】

活性層17は、第1積層体15と第2積層体25との間に設けられ、垂直共振型面発光レーザ11の光共振器は、第1積層体15及び第2積層体25を含む。

【0061】

垂直共振型面発光レーザ11は、基板27を更に備えることができる。第1スペーサ領域13及び第1積層体15は、基板27と活性層17との間に設けられる。基板27は、例えばGaAs、GaP、GaSb、InP、InAs、AlSb、又はAlAsを含む。

【0062】

50

垂直共振型面発光レーザ 11 は、ポスト構造 33 を有する。ポスト構造 33 は、基板 27 の第 1 領域 27a 上に設けられ、第 1 積層体 15 の下部積層部 15d 及び下部コンタクト層 21 の下部分は、基板 27 の第 2 領域 27b 上に設けられる。第 2 領域 27b は第 1 領域 27a を囲む。ポスト構造 33 は、上面 33a 及び側面 33b を有する。本実施例では、ポスト構造 33 は、上部コンタクト層 29、第 2 積層体 25、第 2 スペーサ領域 23、活性層 17、第 1 スペーサ領域 13、第 1 積層体 15 の上部積層部 15u、及び下部コンタクト層 21 の上部分を含む。

【0063】

垂直共振型面発光レーザ 11 は、絶縁性保護膜 35、上部電極 37、及び下部電極 39 を含む。絶縁性保護膜 35 は、ポスト構造 33 の上面 33a 及び側面 33b、並びに下部コンタクト層 21 の下部分の表面を覆う。上部電極 37 及び下部電極 39 は、それぞれ、上部コンタクト層 29 及び下部コンタクト層 21 に接続される。絶縁性保護膜 35 は、ポスト構造 33 の上面 33a に位置する第 1 開口 35a、及び基板 27 の第 2 領域 27b 上に位置する第 2 開口 35b を有する。上部電極 37 及び下部電極 39 は、それぞれ、第 1 開口 35a 及び第 2 開口 35b を介して、上部コンタクト層 29 及び下部コンタクト層 21 に接触を成す。

10

【0064】

垂直共振型面発光レーザ 11 の一例。

基板 27：(100) 面の GaAs 半導体基板。

下部コンタクト層 21：n 型 GaAs、厚さ 100 ~ 800 nm。

20

第 1 積層体 15。

上部積層部 15u：n 型 GaAs / n 型 AlGaAs 超格子。

n 型 GaAs：厚さ 40 ~ 90 nm。

n 型 AlGaAs：厚さ 40 ~ 90 nm。

超格子構造の厚さ：400 ~ 5400 nm。

積層数：5 ~ 30。

下部積層部 15d：i 型 GaAs / i 型 AlGaAs 超格子。

i 型 GaAs：厚さ 40 ~ 90 nm。

i 型 AlGaAs：厚さ 40 ~ 90 nm。

超格子構造の厚さ：1600 ~ 5200 nm。

30

積層数：20 ~ 40。

第 1 スペーサ領域 13：AlGaAs、厚さ 5 ~ 20 nm。

活性層 17：GaAs / AlGaAs 量子井戸構造、InGaAs / AlGaAs 量子井戸構造、又は AlInGaAs / AlGaAs 量子井戸構造。

量子井戸構造の厚さ：10 ~ 80 nm。

第 2 スペーサ領域 23：AlGaAs、厚さ 5 ~ 20 nm。

第 2 積層体 25：p 型 GaAs / p 型 AlGaAs 超格子。

積層数：5 ~ 30。

p 型 GaAs：厚さ 40 ~ 90 nm。

p 型 AlGaAs：厚さ 40 ~ 90 nm。

40

超格子構造の厚さ：400 ~ 5400 nm。

電流狭窄構造 31。

電流アパーチャ領域 31a：AlGaAs、厚さ 10 ~ 50 nm、Al 組成 0.9 ~ 0.96。

電流ブロック領域 31b：III 族構成元素の酸化物、具体的にはアルミニウム酸化物及びガリウム酸化物。

上部コンタクト層 29：p 型 GaAs 又は p 型 AlGaAs、厚さ 100 ~ 300 nm。

絶縁性保護膜 35：シリコン系無機絶縁膜、例えばシリコン酸化物、又はシリコン酸窒化膜。

上部電極 37：AuGeNi。

50

下部電極 39 : AuGeNi。

【0065】

図1においては、符合「CAL」は、第1スペーサ領域13のアルミニウム組成0.35のレベルを示す。また、符合「C1」は、例えば $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のドーパントレベルを示す。実質的に単一組成の第1スペーサ領域13では、ドーパントプロファイルPDは、第1スペーサ領域13において単調に減少する部分を有する。具体的には、ドーパントプロファイルPDによって表されるドーパント濃度は、例えば第1スペーサ領域13の第1部分13aにおいて第1積層体15と第1スペーサ領域13との境界における値から単調に減少すると共に第2部分13bにおいて $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満のドーパント濃度に到達することがある。

10

【0066】

図2～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2～図5の各々は、一素子区画のエリアを示す。図5は、図6に示されたV-V線に沿って取られた断面を示す。図2～図5は、図6に示された断面線における工程を模式的に示す。図2～図6を参照しながら、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を説明する。引き続き説明において、理解を容易にするために、図1に示された参照符合を用いる。

【0067】

結晶成長のために基板27を準備する。準備した基板27を成長炉10aに配置する。図2の(a)部に示されるように、工程S101では、基板27上に半導体積層51を成長する。半導体積層51は、基板27の主面27c上に成長される。この成長は、例えば有機金属気相成長法及び/又は分子線エピタキシー法によって行われる。

20

【0068】

具体的には、半導体積層51は、第1分布ブラッグ反射器のための第1半導体積層51a、第1スペーサ領域のための第1半導体層51b、活性層のための第3半導体積層51c、第2スペーサ領域のための第2半導体層51d、第2分布ブラッグ反射器のための第2半導体積層体51e、及び上部コンタクト層29のための第3半導体層51fを含む。結晶成長により、基板27の主面27c上に、第1半導体積層51a、第1半導体層51b、第3半導体積層51c、第2半導体層51d、第2半導体積層体51e、及び第3半導体層51fが順に成長される。活性層のための第3半導体積層51cは、摂氏600度の温度で成長され、第1分布ブラッグ反射器のための第1半導体積層51a、第1スペーサ領域のための第1半導体層51b、第2スペーサ領域のための第2半導体層51d、第2分布ブラッグ反射器のための第2半導体積層体51e、及びコンタクト層のための第3半導体層51fは、摂氏700度の温度で成長される。

30

【0069】

第1半導体積層51aは、第1積層体15の下部積層部15d、下部コンタクト層21及び第1積層体15の上部積層部15uのための半導体層を含み、第2半導体積層体51eは、第2積層体25及び電流狭窄構造のための半導体層51gを含む。下部コンタクト層21及び第1積層体15の上部積層部15uのための半導体層は、例えばn型ドーパントを供給しながら成長され、第2積層体25及び上部コンタクト層29のための半導体層は、例えばp型ドーパントを供給しながら成長される。第1積層体15の下部積層部15d、第1半導体層51b、活性層のための第3半導体積層51c、及び第2半導体層51dは、n型ドーパント及びp型ドーパントを供給することなく、アンドープ半導体として成長される。

40

【0070】

エピタキシャル基板EPでは、第1スペーサ領域のための第1半導体層51b及び第2スペーサ領域のための第2半導体層51dは、図2の(b)部に示されるようなアルミニウムプロファイルを有する。

【0071】

エピタキシャル基板EPは、図2の(c)部に示されるようなp型及びn型ドーパント

50

プロファイルを有する。スペーサ領域のための第 1 半導体層 5 1 b 及び第 2 半導体層 5 1 d は、熱拡散により供給されたドーパントを含む。しかし、活性層のための第 3 半導体積層 5 1 c は実質的にアンドープに保たれている。この工程により、第 1 スペーサ領域 1 3 における第 1 部分 1 3 a 及び第 2 部分 1 3 b が形成される。必要な場合には、所望の電気的特性を得るために、エピ成長無しの熱処理を行うことができる（例えば、摂氏 6 0 0 度で、処理時間 9 0 分または 1 0 5 分）。

【 0 0 7 2 】

エピタキシャル基板 E P の加工から、半導体ポストを有する基板生産物を形成する。図 3 に示されるように、工程 S 1 0 2 では、改質されたエピタキシャル基板 E P 上にマスク M 1 を形成する。マスク M 1 は、例えばシリコン系無機絶縁膜にフォトリソグラフィ及びエッチングを適用して作製される。マスク M 1 は、垂直共振型面発光レーザ 1 1 のポストを規定するパターンを有する。

【 0 0 7 3 】

マスク M 1 を形成した後に、エピタキシャル基板 E P をエッチング装置 1 0 c に配置する。マスク M 1 を用いて半導体積層 5 1 をエッチングにより加工して、半導体ポスト 5 3 を有する第 1 基板生産物 S P 1 を形成する。第 1 基板生産物 S P 1 の半導体ポスト 5 3 は、下部コンタクト層 2 1 のための半導体層内に位置する下端を有する。第 1 積層体 1 5 の上部積層部 1 5 u のための第 1 半導体積層 5 1 a はエッチングされて、半導体ポスト 5 3 内に形成される一方で、第 1 積層体 1 5 の下部積層部 1 5 d のための第 1 半導体積層 5 1 a はエッチングされない。半導体ポスト 5 3 は、基板 2 7 の第 1 領域 2 7 a 上に設けられ、第 1 積層体 1 5 の下部積層部 1 5 d のための第 1 半導体積層 5 1 a 及び下部コンタクト層 2 1 の下部分は、基板 2 7 の第 2 領域 2 7 b 上に設けられる。

【 0 0 7 4 】

エッチング工程は、ドライエッチング及び / 又はウエットエッチングを用いることができる。

【 0 0 7 5 】

エッチングの後に、マスク M 1 を除去する。半導体ポスト 5 3 は、エッチングされた第 1 半導体積層 5 1 a の一部、エッチングされた第 1 半導体層 5 1 b、エッチングされた第 3 半導体積層 5 1 c、エッチングされた第 2 半導体層 5 1 d、エッチングされた第 2 半導体積層体 5 1 e、及びエッチングされた第 3 半導体層 5 1 f を含む。半導体ポスト 5 3 の中央部分は、電流狭窄構造のための半導体層 5 1 g を除いて、垂直共振型面発光レーザ 1 1 のポスト構造 3 3 内の半導体と実質的に同じ層構造を有する。理解を容易にするために、引き続き説明においては、可能な場合は、図 1 に付された参照符合を用いる。具体的には、半導体ポスト 5 3 は、下部コンタクト層 2 1 の上部分、第 1 積層体 1 5 の上部積層部 1 5 u、第 1 スペーサ領域 1 3、活性層 1 7、第 2 スペーサ領域 2 3、第 2 積層体 2 5、及び上部コンタクト層 2 9 を備える。第 2 積層体 2 5 は、電流狭窄構造のための半導体層 5 1 g を含む。

【 0 0 7 6 】

マスク M 1 を除去した後に、第 1 基板生産物 S P 1 の半導体ポスト 5 3 に電流狭窄構造を形成する。図 4 に示されるように、工程 S 1 0 3 では、第 1 基板生産物 S P 1 を酸化炉 1 0 d に配置すると共に、酸化炉 1 0 d に酸化雰囲気形成する。酸化雰囲気に半導体ポスト 5 3 を曝して、第 2 基板生産物 S P 2 を形成する。第 2 基板生産物 S P 2 は、ポスト 5 5 を含み、ポスト 5 5 は電流狭窄構造 5 7 (3 1) を有する。本実施例では、酸化雰囲気は、高温のスチーム（例えば、摂氏 4 0 0 度）を含む。高温のスチーム中において、構成元素に A l を含む半導体層は、半導体ポスト 5 3 の側面から A l 組成に応じて酸化されていき、特に A l 組成の高い半導体層 5 1 g、具体的には A l G a A s (A l 組成 0 . 9 ~ 0 . 9 6、厚さ 1 0 ~ 5 0 n m) が半導体ポストのうち最も酸化されやすい。電流狭窄構造 5 7 (3 1) は、ポスト 5 5 の内部の電流アパーチャ 5 7 a (3 1 a) と、ポスト 5 5 の内部の外側に位置する電流ブロック 5 7 b (3 1 b) とを含む。電流ブロック 5 7 b は、ポスト 5 5 の側面に沿って延在して、電流アパーチャ 5 7 a (3 1 a) を囲む。電流

アパーチャ 57a (31a) は、元の半導体、具体的には AlGaAs (Al 組成 0.9 ~ 0.96) からなり、電流ブロック 57b は、元の半導体の酸化物、具体的には Al 酸化物及び Ga 酸化物からなる。電流狭窄構造 57 (31) を形成した後に、第 2 基板生産物 SP2 を酸化炉 10d から取り出す。

【0077】

ポスト 55 は、下部コンタクト層 21 の上部分、第 1 積層体 15 の上部積層部 15u、第 1 スペース領域 13、活性層 17、第 2 スペース領域 23、第 2 積層体 25、及び上部コンタクト層 29 を備える。第 2 積層体 25 は、電流狭窄構造 31 (57) を含む。第 1 スペース領域 13 の第 1 部分 13a 及び第 2 部分 13b におけるドーパント濃度は、エピ成長により形成されたプロファイルを維持する。

10

【0078】

電流狭窄構造 31 を形成した後に、第 2 基板生産物 SP2 上に電極及びパッシベーション膜を形成する。図 5 及び図 6 に示されるように、工程 S104 では、基板 27 の第 1 領域 27a 上のポスト 55 の上面及び側面上、並びに基板 27 の第 2 領域 27b 上の第 1 半導体積層 51a 及び下部コンタクト層 21 の下部分上にパッシベーション膜 59 のための絶縁膜を気相成長法で形成する。パッシベーション膜 59 は、例えば SiN を含むことができる。パッシベーション膜 59 は、第 1 領域 27a 上のポスト 55 の上面に位置する第 1 開口 59a、及び第 2 領域 27b 上の第 1 半導体積層 51a 及び下部コンタクト層 21 の下部分の上面上に位置する第 2 開口 59b を有する。

20

【0079】

パッシベーション膜 59 を形成した後に、フォトリソグラフィ及び気相成長により第 1 電極 61a 及び第 2 電極 61b を形成する。第 1 電極 61a 及び第 2 電極 61b は、それぞれ、パッシベーション膜 59 の第 1 開口 59a 及び第 2 開口 59b を通して上部コンタクト層 29 及び下部コンタクト層 21 に接触を成す。

【0080】

図 2 ~ 図 6 に示された工程により作製された生産物をダイシングにより分割して、垂直共振型面発光レーザ 11 の半導体チップを得る。

【0081】

上記の作製方法による垂直共振型面発光レーザ 11 によれば、活性層 17 と第 1 積層体 15 との間に設けられた第 1 スペース領域 13 が、第 1 部分 13a 及び第 2 部分 13b を含む。第 1 スペース領域 13 において、第 1 部分 13a は、第 1 積層体 15 から第 2 部分 13b に到達するように設けられ、第 2 部分 13b は、活性層 17 から第 1 部分 13a に到達するように設けられる。第 1 部分 13a の第 1 ドーパントの濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であり、また、第 2 部分 13b は、第 1 ドーパントが存在する場合には、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 未満の濃度を有する。活性層 17 と第 1 部分 13a との間に位置する第 2 部分 13b を含む第 1 スペース領域 13 によれば、ドーパントが製造中の拡散により第 1 積層体 15 から活性層 17 に到達することを妨げて、活性層 17 におけるドーパントを非常に低く、例えば検出下限より小さくできる。第 2 部分 13b の低いドーパント濃度によれば、拡散したドーパントに起因する非発光中心の生成は、活性層 17 において実質的に生じない。また、第 1 積層体 15 から第 1 スペース領域 13 の第 2 部分 13b への経路における第 1 部分 13a (第 2 部分 13b より高いドーパント濃度の第 1 部分 13a) を第 1 積層体 15 から活性層 17 に流れるキャリアに提供できる。

30

40

【0082】

(実施例)

図 7 は、光通信用の面発光レーザにおける第 1 積層体 15、第 1 スペース領域 13 及び活性層 17 における n 型ドーパントプロファイルを示す。横軸は、第 1 軸 Ax1 の方向上の座標を示し、縦軸は、n 型 (シリコン) ドーパント濃度を示す。図 7 において、ドーパント濃度の表記、例えば「 $1 \cdot E + 18$ 」は 1×10^{18} を表す。デバイス D1、D2、D3 は、スペース領域のアルミニウム組成を除いて他は同じエピ構造のエピタキシャル基板を用いて作製された垂直共振型面発光レーザである。第 1 スペース領域 13 の厚さが 20

50

nmであり、第1積層体15のn型ドーパント濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。また、デバイスD1、D2、D3は、図7に示されるn型ドーパントプロファイルを有する。

【0083】

具体的には、第1スペーサ領域13のためのAlGaAsのアルミニウム組成は、第1積層体15からのn型ドーパントに関して、エピ成長時におけるn型ドーパントガスの供給シーケンスによって規定される設計上のn型ドーパントプロファイルと、実際のn型ドーパントプロファイルとの違いを小さくできる。具体的には、大きなアルミニウム組成は、n型ドーパントの拡散を抑制するように働く。

【0084】

第1スペーサ領域13の厚さ(5~15nm)及びアルミニウム組成(0.30~0.40)を有する垂直共振型面発光レーザに、高温(例えば摂氏100度)で定電流を流して、発光強度を測定して、その変動を測定する。

AlGaAsの厚さ、アルミニウム組成、達成レベル。

15ナノメートル、0.30、第1レベル達成(0.3以上のAl組成及び15nm以上のスペーサ領域厚)。

15ナノメートル、0.35、第2レベル達成(0.35以上のAl組成及び15nm以上のスペーサ領域厚)。

15ナノメートル、0.40、第2レベル達成(0.4以上のAl組成及び15nm以上のスペーサ領域厚)。

10ナノメートル、0.30、第1レベル未達。

10ナノメートル、0.35、第2レベル達成(0.35以上のAl組成及び10nm以上のスペーサ領域厚)。

10ナノメートル、0.40、第2レベル達成(0.4以上のAl組成及び10nm以上のスペーサ領域厚)。

5ナノメートル、0.30、第1レベル未達。

5ナノメートル、0.35、第1レベル達成(0.35以上のAl組成及び5nm以上のスペーサ領域厚)。

5ナノメートル、0.40、第1レベル達成(0.4以上のAl組成及び5nm以上のスペーサ領域厚)。

試験デバイスが発光強度が所定のレベルに低下する時間において、第2レベルは、第1レベルより長い。

【0085】

本実施例では、第1積層体15と活性層17との間隔は、第1軸Ax1の方向に5、10、15ナノメートルであり、第1スペーサ領域13は、第1積層体15と活性層17との間を埋める。間隔が小さすぎると、ドーパントが製造中に拡散して活性層に届く。第1積層体15と活性層17との間隔は、第1軸Ax1の方向に20ナノメートル以下であり、第1スペーサ領域13は、第1積層体15と活性層17との間を埋める。間隔が大きすぎると、下部コンタクト層と活性層との間の導電性が低く(抵抗が高くなる)。

【0086】

発明者の実験によれば、p型(亜鉛(Zn)、ベリリウム(Be)、マグネシウム(Mg)、及び炭素(C))ドーパントを含むスペーサ領域においても、第1スペーサ領域13と同様の知見が得られる。

【0087】

本実施形態によれば、経時的な発光特性の変動を低減できると共にデバイスの直列抵抗の上昇を小さくできる垂直共振型面発光レーザ及びそのデバイスを作製する方法を提供できる。

【0088】

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

10

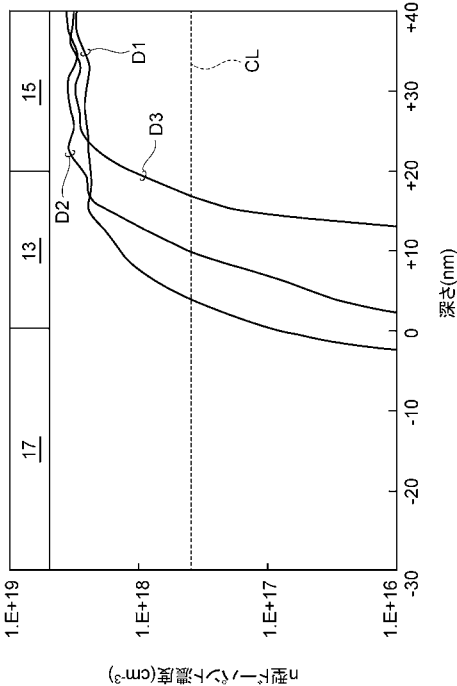
20

30

40

50

【 図 7 】



フロントページの続き

- (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
- (72)発明者 吉本 晋
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 藤井 慧
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
- F ターム(参考) 5F173 AC03 AC13 AC35 AC42 AC52 AF38 AG24 AH02 AJ12 AJ45
AP53 AR13 AR79