

(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2004-103679

(P2004-103679A)

(43) 公開日 平成16年4月2日(2004.4.2)

(51) Int.Cl.⁷

H01S 5/223

F I

H01S 5/223

テーマコード (参考)

5F073

審査請求 未請求 請求項の数 24 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2002-260865 (P2002-260865)

(22) 出願日 平成14年9月6日(2002.9.6)

(71) 出願人 000005968

三菱化学株式会社

東京都港区芝五丁目33番8号

(74) 代理人 110000109

特許業務法人特許事務所サイクス

(72) 発明者 堀江 秀善

茨城県牛久市東端穴町1000番地 三菱

化学株式会社内

Fターム(参考) 5F073 AA03 AA21 AA45 AA74 BA02

BA09 CA07 CB02 CB14 DA05

DA23 EA24 EA28

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子および半導体発光素子モジュール

(57) 【要約】

【課題】半導体レーザの主要な特性を極端に悪化させることなくFFP_vの半値全幅を実効的に低減させ、光ファイバー、レンズで構成された光学系などと半導体レーザの良好な結合を実現し、かつ、半導体レーザそのものの高出力動作特性も向上させること。

【解決手段】第一導電型である基板上に、第一導電型第一クラッド層、第一導電型第二クラッド層、第一光ガイド層、活性層構造、第二光ガイド層、第二導電型第二クラッド層、第二導電型第一クラッド層の順に積層された構造(各層の平均屈折率は順に n_{n1} 、 n_{n2} 、 n_{ng} 、 n_a 、 n_{pg} 、 n_{p2} 、 n_{p1})を有しており、 $n_{n2} < n_{n1} < n_{ng} < n_a$ かつ $n_{p2} < n_{p1} < n_{pg} < n_a$ などの特定の条件を満たすように設計した半導体発光素子。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一導電型である基板上に、平均屈折率が n_{n1} で厚みが t_{n1} (nm) である第一導電型第一クラッド層、平均屈折率が n_{n2} で厚みが t_{n2} (nm) である第一導電型第二クラッド層、平均屈折率が n_{ng} で厚みが t_{ng} (nm) である第一光ガイド層、平均屈折率が n_a で総厚が t_a (nm) である活性層構造、平均屈折率が n_{pg} で厚みが t_{pg} (nm) である第二光ガイド層、平均屈折率が n_{p2} で厚みが t_{p2} (nm) である第二導電型第二クラッド層、平均屈折率が n_{p1} で厚みが t_{p1} (nm) である第二導電型第一クラッド層の順に積層された構造を有する発光波長 λ (nm) の半導体発光素子において

10

波数 k 、 V_n 、 V_p 、 R_n および R_p を(式1)のように定義するとき、(式2)の各関係を満足することを特徴とする半導体発光素子。

【数 1】

$$k = 2\pi/\lambda$$

$$V_n = k/2 \times (t_a + t_{ng} + t_{pg}) \times (n_{ng}^2 - n_{n1}^2)^{1/2}$$

$$V_p = k/2 \times (t_a + t_{ng} + t_{pg}) \times (n_{pg}^2 - n_{p1}^2)^{1/2}$$

$$R_n = t_{n2}/t_{ng}$$

$$R_p = t_{p2}/t_{pg}$$

(式1)

20

【数 2】

$$n_{n2} < n_{n1} < n_{ng} < n_a$$

$$n_{p2} < n_{p1} < n_{pg} < n_a$$

$$0.35 < V_n < 0.75$$

$$0.35 < V_p < 0.75$$

$$0.3 < R_n < 0.7$$

$$0.3 < R_p < 0.7$$

(式2)

30

【請求項 2】

請求項 1 に記載の半導体発光素子において、以下の式を満たすことを特徴とする半導体発光素子。

【数 3】

$$0.4 < V_n < 0.6$$

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の半導体発光素子において、以下の式を満たすことを特徴とする半導体発光素子。

40

【数 4】

$$0.4 < V_p < 0.6$$

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子において、以下の式を満たすことを特徴とする半導体発光素子。

【数 5】

$$0.35 < R_n < 0.55$$

【請求項 5】

50

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子において、以下の式を満たすことを特徴とする半導体発光素子。

【数 6】

$$0.35 < R_p < 0.55$$

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子において、以下の式を満たすことを特徴とする半導体発光素子。

【数 7】

$$n_{n1} = n_{p1}$$

$$n_{n2} = n_{p2}$$

$$n_{ng} = n_{pg}$$

$$V_p = V_n$$

$$R_n = R_p$$

10

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子において、以下の式を満たすことを特徴とする半導体発光素子。

20

【数 8】

$$40 \text{ nm} < t_{ng} < 100 \text{ nm}$$

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子において、以下の式を満たすことを特徴とする半導体発光素子。

【数 9】

$$40 \text{ nm} < t_{pg} < 100 \text{ nm}$$

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、基板が GaAs からなり、第一導電型第一クラッド層、第一導電型第二クラッド層、第二導電型第二クラッド層、第二導電型第一クラッド層の少なくとも一部が Al、Ga および As を含むことを特徴とする半導体発光素子。

30

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、基板が GaAs からなり、第一導電型第一クラッド層、第一導電型第二クラッド層、第二導電型第二クラッド層、第二導電型第一クラッド層の少なくとも一部が In、Ga および P を含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、第一導電型第一クラッド層および第二導電型第一クラッド層が共に $Al_x Ga_{1-x} As$ 系材料からなり、当該 2 層の Al 組成 x が以下の式を満たすことを特徴とする半導体発光素子。

40

【数 10】

$$0.15 < x < 0.25$$

【請求項 12】

請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、第一導電型第二クラッド層および第二導電型第二クラッド層がともに、 $Al_s Ga_{1-s} As$ 系材料からなり、当該 2 層の Al 組成 s が以下の式を満たすことを特徴とする半導体発光素子。

50

【数 1 1】

$$0.3 < s < 0.45$$

【請求項 1 3】

請求項 1 ~ 1 2 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、少なくとも一方の導電型を示す第一クラッド層と第二クラッド層の間に、そのバンドギャップが第一クラッド層側では第一クラッド層に接近しており、また第二クラッド層側では第二クラッド層に接近している遷移層を有することを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 1 4】

請求項 1 ~ 1 3 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、第一光ガイド層および第二光ガイド層がともに GaAs であることを特徴とする半導体発光素子。 10

【請求項 1 5】

請求項 1 ~ 1 4 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、活性層構造が歪み量子井戸層を含み、当該量子井戸層が In、Ga および As を含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 1 6】

請求項 1 ~ 1 5 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、活性層構造内の障壁層が基板と同じ第一導電型である部分を含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載の半導体発光素子であって、障壁層内のドーパントが Si であることを特徴とする半導体発光素子。 20

【請求項 1 8】

請求項 1 ~ 1 7 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、第一導電型第一クラッド層と第二導電型第一クラッド層の内の少なくとも一方のドーピングレベルが、それぞれの層内で一様でないことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 1 9】

請求項 1 ~ 1 8 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、第一の導電型が n 型で、第二の導電型が p 型であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2 0】

請求項 1 ~ 1 9 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子であって、第二導電型第一クラッド層が第二導電型上側第一クラッド層と第二導電型下側第一クラッド層の二層に分かれ、第二導電型上側第一クラッド層と電流ブロック層とで電流注入領域を形成し、さらにコンタクト層を具備することを特徴とする半導体発光素子。 30

【請求項 2 1】

請求項 1 ~ 2 0 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子において、半導体発光素子が半導体レーザであることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 記載の半導体レーザが単一横モード発振する半導体レーザであることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2 3】

請求項 1 ~ 2 2 のいずれか 1 項に記載の半導体発光素子と、当該半導体発光素子の光の出射端側に光ファイバーを具備することを特徴とする半導体発光素子モジュール。 40

【請求項 2 4】

請求項 2 3 に記載の半導体発光素子モジュールであって、光ファイバーの先端が集光効果を有し、かつ、半導体発光素子の前端面と直接光学的に結合する様に加工されていることを特徴とする半導体発光素子モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体発光素子に関するものである。本発明は、光ファイバー増幅器用励起光源 50

や光情報処理用の光源、医療用半導体レーザ等のように、光学系との高い結合効率が望まれる場合に好適に利用することができる。

【0002】

【従来の技術】

近年における光情報処理技術、光通信技術の進展には枚挙に暇がない。

例えば、通信分野においては、今後の情報通信（IT）時代に対応する大容量の光ファイバー伝送路とともに、その伝送方式に対する柔軟性を持つ信号増幅用のアンプとして、 Er^{3+} 等の希土類をドープした光ファイバー増幅器（EDFA）の研究が各方面で盛んに行なわれている。そして、EDFAのコンポーネントとして不可欠な要素である、高効率な励起光源用の半導体レーザの開発が待たれている。

10

【0003】

EDFA応用に供することのできる励起光源の発振波長は、原理的に800nm、980nm、1480nmの3種類存在する。このうち増幅器の特性から見れば980nmでの励起が、利得やノイズ等を考慮すると最も望ましいことが知られている。このような980nmの発振波長を有する半導体レーザ（LD）は、励起光源として高出力でありながら長寿命であるという相反する特性を満たすことが要求されている。さらに、光増幅器用の励起光源は光ファイバーと良好な結合を実現することも必須であるために、一般に、単一横モード発振することが望まれ、半導体レーザから出射される光の遠視野像（far field pattern: FFP）は基板に垂直な方向（縦方向）と基板に平行な方向（横方向）の縦横比が1に近く、さらに放射角の絶対値も狭いことが望まれる。

20

【0004】

一方通信分野への応用以外でも、半導体レーザには、SHG光源、レーザプリンタ用の熱源としての応用、医療分野における各種応用があり、これらの分野でも多くの場合半導体レーザから出射された光は各種光学系と結合される場合が多く、その縦方向、横方向のFFPの絶対値が狭いことと、その縦横比が1に近いことは非常に重要な特性となっている。

【0005】

縦方向に関して基本モードのみの伝播が許容されている設計を有する半導体レーザにおいて、その光閉じ込めは縦方向と横方向では極端に異なっている。横方向の光閉じ込めはその電流注入領域の幅が数 μm から数百 μm であり、また、導波路構造も同程度の寸法であって、発振波長に比べて比較的広いため、端面近傍の発光パターン（近視野像：near field pattern: NFP）に対して、出射される光の横方向のFFP（ FFP_H ）には回折の効果が比較的少ないのが一般的である。これに対して、縦方向の光閉じ込めは発振波長よりも極端に薄い活性層構造により実現されるため、出射される光の縦方向のFFP（ FFP_V ）には極端な回折の効果が現れ、その半値全幅は FFP_H よりも広くなるのが普通である。このため、外部の光学系との結合特性を向上させるためには、 FFP_V の実効的な半値全幅を狭くすることが望まれる。

30

【0006】

また、このような半導体レーザが実現されれば、結果として縦方向のNFP（ NFP_V ）のサイズが拡大することとなるため、端面における光密度が低下し、半導体レーザの高出力動作特性も改善できることが期待される。

40

非特許文献1で議論されている通り、 FFP_V は活性層あるいは光ガイド層の厚みに依存することが知られている。しかし、これらの厚みを単に薄くする方法で FFP_V が狭い半導体レーザを実現しても、その他の素子特性が悪化してしまう等の問題があった。

【非特許文献1】H. C. Casey, Jr., M. B. Panish 著 Heterostructure lasers (Academic press, 1978) のChapter 2

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、前記の従来技術の問題点を解決することを課題とした。

50

具体的には、本発明は、半導体レーザの主要な特性を極端に悪化させることなく FFP_v の半値全幅を実効的に低減させ、光ファイバー、レンズで構成された光学系などと半導体レーザの良好な結合を実現し、かつ、半導体レーザそのものの高出力動作特性も向上させることを解決すべき課題とした。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは前記課題を解決するために鋭意検討を進めた結果、特定の条件を満たす半導体発光素子が非常にすぐれた光学系との結合を実現でき、また、高出力動作に適していることを見出し、本発明に到達した。

【0009】

すなわち本発明は、第一導電型である基板上に、平均屈折率が n_{n1} で厚みが t_{n1} (nm) である第一導電型第一クラッド層、平均屈折率が n_{n2} で厚みが t_{n2} (nm) である第一導電型第二クラッド層、平均屈折率が n_{ng} で厚みが t_{ng} (nm) である第一光ガイド層、平均屈折率が n_a で総厚が t_a (nm) である活性層構造、平均屈折率が n_{pg} で厚みが t_{pg} (nm) である第二光ガイド層、平均屈折率が n_{p2} で厚みが t_{p2} (nm) である第二導電型第二クラッド層、平均屈折率が n_{p1} で厚みが t_{p1} (nm) である第二導電型第一クラッド層の順に積層された構造を有する発光波長 λ (nm) の半導体発光素子において、波数 k 、 V_n 、 V_p 、 R_n および R_p を(式1)のように定義するとき、(式2)の各関係を満足することを特徴とする半導体発光素子を提供する。

【数12】

$$\begin{aligned} k &= 2\pi / \lambda \\ V_n &= k / 2 \times (t_a + t_{ng} + t_{pg}) \times (n_{ng}^2 - n_{n1}^2)^{1/2} \\ V_p &= k / 2 \times (t_a + t_{ng} + t_{pg}) \times (n_{pg}^2 - n_{p1}^2)^{1/2} \\ R_n &= t_{n2} / t_{ng} \\ R_p &= t_{p2} / t_{pg} \end{aligned} \quad (\text{式1})$$

【数13】

$$\begin{aligned} n_{n2} &< n_{n1} < n_{ng} < n_a \\ n_{p2} &< n_{p1} < n_{pg} < n_a \\ 0.35 &< V_n < 0.75 \\ 0.35 &< V_p < 0.75 \\ 0.3 &< R_n < 0.7 \\ 0.3 &< R_p < 0.7 \end{aligned} \quad (\text{式2})$$

【0010】

本発明の半導体発光素子は、以下の少なくとも1つの式を満たすことが好ましい。

【数14】

$$\begin{aligned} 0.4 &< V_n < 0.6 \\ 0.4 &< V_p < 0.6 \\ 0.35 &< R_n < 0.55 \\ 0.35 &< R_p < 0.55 \\ 40 \text{ nm} &< t_{ng} < 100 \text{ nm} \\ 40 \text{ nm} &< t_{pg} < 100 \text{ nm} \end{aligned}$$

【0011】

また、本発明の半導体発光素子は、以下の式をすべて満たすことが好ましい。

【数15】

$$\begin{aligned} n_{n1} &= n_{p1} \\ n_{n2} &= n_{p2} \\ n_{ng} &= n_{pg} \\ V_p &= V_n \\ R_n &= R_p \end{aligned}$$

【0012】

10

20

30

40

50

本発明の半導体発光素子の好ましい態様として、基板がGaAsからなり、第一導電型第一クラッド層、第一導電型第二クラッド層、第二導電型第二クラッド層、第二導電型第一クラッド層の少なくとも一部がAl、GaおよびAsを含む態様；基板がGaAsからなり、第一導電型第一クラッド層、第一導電型第二クラッド層、第二導電型第二クラッド層、第二導電型第一クラッド層の少なくとも一部がIn、GaおよびPを含む態様；第一導電型第一クラッド層および第二導電型第一クラッド層が共に $Al_xGa_{1-x}As$ 系材料からなり、当該2層のAl組成xが $0.15 < x < 0.25$ を満たす態様；第一導電型第二クラッド層および第二導電型第二クラッド層がともに、 $Al_sGa_{1-s}As$ 系材料からなり、当該2層のAl組成sが $0.3 < s < 0.45$ を満たす態様；少なくとも一方の導電型を示す第一クラッド層と第二クラッド層の間に、そのバンドギャップが第一クラッド層側では第一クラッド層に接近しており、また第二クラッド層側では第二クラッド層に接近している遷移層を有する態様；第一光ガイド層および第二光ガイド層がともにGaAsである態様；活性層構造が歪み量子井戸層を含み、当該量子井戸層がIn、GaおよびAsを含む態様；活性層構造内の障壁層が基板と同じ第一導電型である部分を含む態様；障壁層内のドーパントがSiである態様；第一導電型第一クラッド層と第二導電型第一クラッド層の内の少なくとも一方のドーピングレベルが、それぞれの層内で一様でない態様；第一の導電型がn型で、第二の導電型がp型である態様；第二導電型第一クラッド層が第二導電型上側第一クラッド層と第二導電型下側第一クラッド層の二層に分かれ、第二導電型上側第一クラッド層と電流ブロック層とで電流注入領域を形成し、さらにコンタクト層を具備する態様；半導体発光素子が半導体レーザーである態様；単一横モード発振する半導体レーザーである態様を挙げることができる。

【0013】

本発明は、前記の半導体発光素子と、当該半導体発光素子の光の出射端側に光ファイバーを具備することを特徴とする半導体発光素子モジュールも提供する。当該光ファイバーの先端は、集光効果を有し、かつ、半導体発光素子の前端面と直接光学的に結合するように加工されていることが好ましい。

【0014】

【発明の実施の形態】

まず、本明細書で使用しているいくつかの表記について説明する。

本明細書において「A層の上に形成されたB層」という表現は、A層の上面にB層の底面が接するようにB層が形成されている場合と、A層の上面に1以上の層が形成されさらにその層の上にB層が形成されている場合の両方を含むものである。また、A層の上面とB層の底面が部分的に接していて、その他の部分ではA層とB層の間に1以上の層が存在している場合も、前記表現に含まれる。具体的な態様については、以下の各層の説明と実施例の具体例から明らかである。

【0015】

また、単一の機能を複数の層で発現させる場合などにおいては、これを単一の名称で示すことがあるが、この場合における屈折率などは平均の屈折率をもってこれを定義することとする。例えば、クラッド層がm個の層からなり、そのn番目の層の屈折率が n_n 、厚みを t_n (nm)とすると、このクラッド層の平均屈折率 n_{mean} は以下の式により定義されるものとする。

【数16】

$$n_{mean} = \frac{n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots + n_m t_m}{t_1 + t_2 + \dots + t_m}$$

【0016】

また、本明細書では、図1下側に図示されるように、基板に垂直な方向を縦方向と定義し、基板に水平な方向を横方向と定義する。

【0017】

本明細書において「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値を下限值および上限値として含む範囲を意味する。また、本明細書に添付する図面は、本発明の構造を把握しやすくするために、敢えて寸法を変えている部分があるが、実際の寸法は本明細書に記載されているとおりである。

【0018】

本発明の半導体発光素子は、第一導電型である基板上に、第一導電型第一クラッド層、第一導電型第二クラッド層、第一光ガイド層、活性層構造、第二光ガイド層、第二導電型第二クラッド層、第二導電型第一クラッド層の順に積層された構造を有する。

【0019】

以下において、本発明の半導体発光素子の好ましい構成例およびその製造法について具体的に説明する。

先ず、本発明の半導体発光素子の主たる特徴を、図1に示すLDを参照しながら説明する。図1左には各層構造により実現される屈折率の縦方向の空間分布を示し、また図1下には本図中で使用する方向の呼び方を示した。

【0020】

図1は、 n 型基板(101)上に、 $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ からなる厚み t_{n1} (nm)の n 型第一クラッド層(102)、 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ からなる厚み t_n (nm)の n 型第二クラッド層(103)、アンドープ $GaAs$ からなる厚み t_{ng} (nm)の第一光ガイド層(104)、厚み t_a (nm)の活性層構造(105)、アンドープ $GaAs$ からなる厚み t_{pg} (nm)の第二光ガイド層(106)、 $Al_{0.47}Ga_{0.53}As$ からなる厚み t_{p2} (nm)の p 型第二クラッド層(107)、 $Al_{0.23}Ga_{0.77}As$ からなる厚み t_{p1} (nm)の p 型第一クラッド層(108)を有しており、さらに電極(111)との接触抵抗を下げるためのコンタクト層(109)、また横方向に対して電流注入領域を限定するための SiN 層(110)と、さらに、 p 側電極(111)、 n 側電極(112)より構成されているブロードエリア型LDである。本発明の半導体発光素子は、 n 型第一クラッド層(102)と p 型第一クラッド層(108)などの対をなす層が対称であってもかまわないが、ここでは非対称の場合について説明する。

【0021】

また活性層構造(105)は、基板(101)側から、厚み5nmの $GaAs$ 障壁(バリア)層(121)、厚み6nmの $In_{0.16}Ga_{0.84}As$ 歪み量子井戸層(122)、厚み8nmの $GaAs$ 障壁層(123)、厚み6nmの $In_{0.16}Ga_{0.84}As$ 歪み量子井戸層(124)、厚み5nmの $GaAs$ 障壁層(125)が積層された構造を有している歪み二重量子井戸構造であり、その発振波長は λ (nm)である。

【0022】

本発明においては、半導体レーザの素子内の導波機構の基礎となる活性層構造(105)に対する縦方向の閉じ込めは、活性層構造(105)の上下に位置する $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ の n 型第一クラッド層(102)、 $Al_{0.23}Ga_{0.77}As$ の p 型第一クラッド層(108)と、活性層構造(105)を含む2つの $GaAs$ 光ガイド層(104, 106)との間の屈折率差によって実現するものである。 $GaAs$ の基板(101)を採用し、格子整合性の観点から第一クラッド層(102)を $Al_xGa_{1-x}As$ で構成する場合には、 Al 組成 x は0.4よりも小さいことが好ましく、0.3より小さいことがより好ましく、0.2よりも小さいことがさらに好ましい。このようにして、半導体レーザ全体を構成する層の中で基板(101)とコンタクト層(109)を除いて最も厚いクラッド層の Al 組成を下げることによって、素子全体の熱抵抗を下げる事が可能であり、高出力動作に適した構造とすることができる。また、 $GaAs$ の基板(101)を採用する場合には、格子整合性の観点からは、 n 型第一クラッド層(102)に $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ を適応することも可能である。さらに、第一クラッド層(102, 108)は単一の材料から構成される必要はなく、光に対しては単一の層と等価に作用す

10

20

30

40

50

るような、複数の層から構成されてもかまわない。この場合、光はこれら複数の層の平均的な屈折率によって制御されることとなる。

【0023】

第一クラッド層(102, 108)の厚み t_{n1} (nm), t_{p1} (nm)は、その層の活性層構造(105)側から離れる方向に対して光を十分に減衰させる必要があることから、発振波長 λ (nm)に対して以下の式を満たすことが好ましい。

【数17】

$$\lambda < t_{n1} \quad \lambda < t_{p1}$$

特に980nm帯LDなどの様に、基板(101)が発振波長に対して透明であり、かつn型第一クラッド層(102)およびn型第二クラッド層(103)よりも屈折率の大きい場合には、クラッド層(102, 103)から基板(101)側にもれ出した光が基板中を伝播することから、基板モードがLD本来のモードに重畳することが知られている。これを抑制するためには、n型第一クラッド層(102)の厚みを波長に対して厚くしておくことが望ましい。

【0024】

また、活性層構造(105)近傍において縦方向の導波構造を実現するためには、第二光ガイド層(106)、第一光ガイド層(104)とも第一クラッド層(102, 108)よりも屈折率の大きな材料で構成される必要がある。基板(101)がGaAsであって、クラッド層(102, 103, 107, 108)をAlGaAs系材料で構成する場合には、光ガイド層(104, 106)もAlGaAs系材料で構成することが望ましい。また、そのAl組成は0.4よりも小さいことが好ましく、0.2より小さいことがより好ましく、0.1よりも小さいことがさらに好ましい。また最も望ましいのはAlを含まないGaAsを用いる場合である。特に信頼性の観点から、Alを含まない光ガイド層(104, 106)が望まれる。一方基板(101)がGaAsである場合には、格子整合性の観点とAlを構成元素として含まない観点からIn_{0.49}Ga_{0.51}Pを選択することもできる。

【0025】

本発明で言う活性層構造(105)とは、量子効果が顕著になるほどに薄い薄膜からなる量子井戸を含む活性層構造を指し、例えば、光ガイド層に障壁層としての役割を担わせた単層の量子井戸活性層(Single Quantum Well: SQW)である場合がある。また、多くの場合においては当該量子井戸層の両側には、量子井戸層よりも大きなバンドギャップを有する障壁層が具備されることから、同じSQW構造でも障壁層、量子井戸層、障壁層と積層された場合もあり得る。さらに、図1に示すように、活性層構造が、基板(101)側から障壁層(121)、量子井戸層(122)、障壁層(123)、量子井戸層(124)、障壁層(125)と積層されたいわゆる二重量子井戸構造(Strained Double Quantum Well: S-DQW)であっても良い。さらに、量子井戸層を3層以上多重に用いた多重量子井戸構造が用いられる場合もある。また、量子井戸層には意図的に歪みが導入される場合もあり、例えば、しきい値を低下させるために圧縮性の応力を内在させることなどが広く行われている。また、本発明で好ましく応用される900nm~1350nm程度の波長を有する半導体レーザにおいては、GaAs基板上にIn、GaおよびAsを含み基板に格子整合しない歪み量子井戸層を含むことで実現させるのが望ましい。

【0026】

本発明においては第一クラッド層(102, 108)と光ガイド層(104, 106)、活性層構造(105)から計算される以下の2つの値が、所望の範囲となっていることが必須である。具体的には本説明の半導体発光素子においては、n側第一クラッド層(102)が、実際に存在するn側にだけでなく、p側第一クラッド層(108)に変わってp側においても存在するものとして計算される V_n が、 $0.35 < V_n < 0.75$ を満たし、かつ、これとは独立に、p側第一クラッド層(108)が、実際に存在するp側にだけでなく、n側第一クラッド層(102)に変わってn側においても存在すると仮定し

10

20

30

40

50

て計算される V_p が $0.35 < V_n < 0.75$ を満たすことに特徴がある。ここで、 V_n と V_p はそれぞれ以下の式により定義され (k は波数で $2\pi/\lambda$)、以下に説明する物理的な意味を持たせるものである。

【数 18】

$$V_n = k/2 \times (t_a + t_{ng} + t_{pg}) \times (n_{ng}^2 - n_{n1}^2)^{1/2}$$

$$V_p = k/2 \times (t_a + t_{ng} + t_{pg}) \times (n_{pg}^2 - n_{p1}^2)^{1/2}$$

【0027】

活性層構造 (105) と光ガイド層 (104, 106) など、クラッド層 (102, 103, 107, 108) に対して屈折率が相対的に高いことから導波機能を発現する。ここで、 V_n と V_p は、第一クラッド層 (102, 108) と光ガイド層 (104, 106) の屈折率差も考慮した上で、導波機能を有する層の全ての厚みを、素子の発振波長で一種規格化したものである。すなわち、 V_n と V_p は活性層近傍における光の閉じ込めを規定する指標であるとも言える。ここで、前記の V_n と V_p の定義において、活性層構造の平均的屈折率が含まれていないのは、本発明の活性層構造 (105) が基本的に量子井戸構造を有するためにその厚みが発振波長に対して十分に薄く、導波機能を記述する上では光ガイド層 (104, 106) と第一クラッド層 (102, 108) の屈折率の差が主たる要素となるからである。この観点で活性層構造を構成する障壁層、特に活性層構造の最外層となる障壁層 (121, 125) の厚みが極端に厚く設定され、導波機能が無視できない場合には、これを光ガイド層の厚みと考えるものとする。

【0028】

発光素子の構造が縦方向に非対称である場合には、 V_n と V_p はそれぞれ異なる値となるが、共に 0.35 よりも大きく、かつ 0.75 よりも小さいことが必須である。また縦方向に対称な構造である場合には $V_n = V_p$ であるが、この場合においても V_n と V_p は共に 0.35 よりも大きく、かつ 0.75 よりも小さいことが必須である。

また、 V_n は $0.4 < V_n < 0.6$ である場合がさらに望ましく、同様に V_p は $0.4 < V_p < 0.6$ である場合がさらに望ましい。これら範囲は、後述する第二クラッド層 (103, 107) による反導波的な要素とのバランスの上で、半導体発光素子の特性を悪化させることなく、素子の FFP_v を狭めるため必要な要件である。

【0029】

通常 SCH (Separated Confinement Hetero-structure) 構造においては、前記第一クラッド層 (102, 108) と光ガイド層 (104, 106) は直接的に接しているが、本発明においてはこれらの層の間に第二クラッド層 (103, 107) を有しているという特徴がある。この層は光ガイド層 (104, 106)、さらには第一クラッド層 (102, 108) よりも屈折率が低く設定されなければならない。

この結果、図 1 左に示される通り、第二クラッド層 (103, 107) は、屈折率としては最も小さい値を有する層となる。図 1 左では、 n の下に記載される矢印の向きは屈折率が大きくなる方向を意味する。また、伝導帯側の電子に対しては (またここには示されていないが荷電子帯のホールに対しても)、第二クラッド層 (103, 107) は障壁となる機能を有する。図 1 左の E_g の上に記載される矢印の向きは電子に対してポテンシャルが大きくなる方向を意味する。

【0030】

第二クラッド層 (103, 107) は、このため、次に述べる通り、縦方向の光閉じ込めに関して非常に重要な機能を有している。この第二クラッド層 (103, 107) は光ガイド層 (104, 106) よりも、また、第一クラッド層 (102, 108) よりも屈折率が低くなる様に選択されるため、この相対的な屈折率の関係から、第二クラッド層 (103, 107) は、その外側、すなわち第一クラッド層 (102, 108) 側とまた光ガイド層 (104, 106) 側の両側に光の分布を押しやる機能を発現する。このため、第一クラッド層 (102, 108) 側に適度に分布が広げられた NFPP_v の成分は、比較的狭い FFP_v を実現することに寄与する。すなわち、第二クラッド層 (103, 107)

の反導波的な特性が適度に作用する場合には、半導体レーザの特性を悪化させることなく比較的狭いFFPを実現することが可能となる。

【0031】

ここで、本発明において重要な点は、活性層近傍における導波的な機能が $0.35 < V_n < 0.75$ と $0.35 < V_p < 0.75$ を満たす様に選択され、かつ、第二クラッド層(103, 107)によって発現される反導波的な機能が次に示す2つの要件を満たすことである。1つは、n側第二クラッド層(103)の第一ガイド層(104)に対する相対的な厚み t_{n2} / t_{ng} が $0.3 < R_n < 0.7$ であることであり、もうひとつはp側第二クラッド層(107)の第二ガイド層(106)に対する相対的な厚み t_{p2} / t_{pg} が $0.3 < R_p < 0.7$ であることである。すなわち、これら後者2つの要件の上限は半導体レーザ内に作り付けられる縦方向の導波構造が、全体として反導波とならないために必須であり、下限は実効的にFFP_Vの幅を狭くするために必要な厚みを示すものである。

10

さらに、これら第二クラッド層(103, 107)の光ガイド層(104, 106)に対する相対的な厚みは $0.35 < R_n < 0.55$ を満たし、また、 $0.35 < R_p < 0.55$ を満たす様に選択することがより望ましい。

【0032】

第二クラッド層(103, 107)が有するもう一つの機能は、高温でLD駆動を駆動している場合、あるいは高出力動作中でLDの自己発熱によって活性層の温度が相当に上がってしまう場合などに $In_{0.16}Ga_{0.84}As$ 歪み量子井戸層(122, 124)から第一クラッド層(102, 108)中へキャリアが熱的な漏れ出し(オーバーフロー)をするのを抑制することである。本構造においては、図1に示される様に活性層構造(105)側から光ガイド層(104, 106)を通して第一クラッド層(102, 108)側にもれ出すキャリアから見て、光ガイド層(104, 106)と第一クラッド層(102, 108)の間の障壁の高さよりも第二クラッド層(103, 107)の障壁が高いために、キャリアのオーバーフローを抑制する観点でも望ましい。しかし、極端に大きな障壁は第一クラッド層(102, 108)側から活性層構造(105)側へ注入されるキャリアに対して、その注入を阻害してしまうことから第一クラッド層(102, 108)と第二クラッド層(103, 107)のバンドギャップの差は $0.05\text{ eV} \sim 0.45\text{ eV}$ 程度であることが望ましく、 $0.1\text{ eV} \sim 0.3\text{ eV}$ 程度であることがより望ましい。

20

30

【0033】

また、この観点ではn側第二クラッド層(103)、p側第二クラッド層(107)を、屈折率は同程度である異種材料で構成することも望ましい。ここで例示した様にn側第二クラッド層(103)に用いた $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ と、p側第二クラッド層(107)に用いた $Al_{0.47}Ga_{0.53}As$ は、 980 nm においてほぼ同程度の屈折率(それぞれ、 3.259 と 3.268)であるが、活性層構造(105)の最外層である $GaAs$ 障壁層(121, 125)または光ガイド層(104, 106)である $GaAs$ に対してバンドオフセットが形成される状態は大きく異なっている。 $Al_{0.47}Ga_{0.53}As$ においては $GaAs$ に対して伝導帯側に障壁の $70 \sim 80\%$ 程度が配分され则认为されているが、 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ においては逆に荷電子帯側に 60% 程度の障壁が配分され则认为されている。このため、キャリアのオーバーフローを抑制するためには、第二クラッド層(103, 107)として、n側には $InGaP$ 系材料を、p側には $AlGaAs$ 系材料を用いることが望ましい。

40

【0034】

さらに第二クラッド層(103, 107)によってキャリアオーバーフローを抑制するためには、第二クラッド層(103, 107)は活性層構造(105)から極端に離れて位置することは望ましくなく、この結果として光ガイド層(104, 106)の厚み t_{ng} と t_{pg} は、その絶対値として $40\text{ nm} < t_{ng} < 100\text{ nm}$ 、 $40\text{ nm} < t_{pg} < 100\text{ nm}$ であることが望ましい。

【0035】

50

次に、本発明の半導体発光素子の一例である単一横モード動作可能な半導体レーザに関して図2を参照しながら説明する。図2は、本発明の半導体レーザにおけるエピタキシャル構造の一例として埋め込みストライプ型の半導体レーザの構成を示した概略断面図である。

【0036】

この半導体レーザは第一導電型基板(1)上に形成され、屈折率導波構造を有し、第二導電型第一クラッド層が第二導電型上側第一クラッド(10)と第二導電型下側第一クラッド(9)の二層に分かれ、この第二導電型上側第一クラッド層(10)と電流ブロック層(11)/キャップ層(12)とで電流閉じ込めと光閉じ込めを共に実現し、さらに電極(14)との接触抵抗を下げるためのコンタクト層(13)を有する半導体レーザである。この種のレーザは光通信に用いられる光ファイバー増幅器用の光源や、情報処理用の大規模光磁気メモリーのピックアップ光源、医療用高出力半導体レーザとして用いられ、層構成や使用材料等を適宜選択することによって、さらに様々な用途へ応用することもできる。

10

【0037】

基板(1)としては、半導体基板であればGaAs、InP、GaP、GaN等、また誘電体基板であればAlO_x等を使用することができる。基板(1)はいわゆるジャスト基板だけではなく、エピタキシャル成長の際の結晶性を向上させる観点から、いわゆるオフ基板(misoriented substrate)の使用も可能である。オフ基板は、ステップフローモードでの良好な結晶成長を促進する効果を有しており、広く使用されている。オフ基板は0.5度から2度程度の傾斜を持つものが広く用いられるが、後述する量子井戸構造を構成する材料系によっては傾斜を10度前後にすることもできる。

20

【0038】

基板(1)は、MBEあるいはMOCVD等の結晶成長技術を利用して半導体レーザを製造するために、あらかじめ化学エッチングや熱処理等を施しておいてもよい。使用する基板(1)の厚みは通常350μm程度のものであり、素子作製のプロセス中の機械的強度が確保されるようにするのが普通であり、半導体発光素子の端面を形成するために、プロセス途中で100μm程度に薄くポリッシングされるのが普通である。

【0039】

バッファ層(2)は、基板バルク結晶の不完全性を緩和し、結晶軸を同一にしたエピタキシャル薄膜の形成を容易にするために設けることが好ましい。バッファ層(2)は、基板(1)と同一の化合物で構成するのが好ましく、基板(1)がGaAsの場合は通常、GaAsが使用され、基板(1)がInPである場合にはInPが使用される。しかし、超格子層をバッファ層(2)に使用することも広く行われており、同一の化合物で形成されずGaAs基板上では、例えば、AlGaAs/GaAsの超格子構造が使用される場合もある。またバッファ層(2)の組成を徐々に層内で変化させることもできる。一方、誘電体基板を用いた場合には必ずしも基板と同一の物質ではなく、その所望の発振波長、デバイス全体の構造から、適宜、基板と異なった材料が選ばれる場合もある。

30

【0040】

第一導電型第一クラッド層(3)は各種材料によって構成することが可能であって、実現したい発振波長によって選択される活性層構造(6)、あるいは基板(1)等に合わせて適宜選択される。例えば本発明をGaAs基板(1)上で実現した場合には、AlGaAs系材料、InGaP系材料、AlGaInP系材料などを使用することが可能であって、また、例えばInP基板上で実現した場合にはInGaAsP系材料などを使用することができる。

40

【0041】

また、特にAlGaAs系材料を用いた場合には、素子全体の熱抵抗を下げ、高出力動作に適した構造とするために、第一導電型第一クラッド層(3)のAl組成は0.40未満であることが好ましく、0.3以下であることがより好ましく、0.2以下であることがさらに好ましい。また、第一導電型第一クラッド層(3)の厚み t_{n1} (nm)は、活性

50

層構造(6)から離れる方向に対して光を十分に減衰させる必要があることから、発振波長 λ (nm)よりも大きくすることが好ましい。

【0042】

また前記の様に、第一導電型第一クラッド層(3)にAlGaAsを用い、かつAl組成を低く設定した場合においてはドーパントの活性化率を高くできる効果も期待できる。特に第一導電型がn型でありSiをドーパントとする場合などにおいて、MBE法によって結晶成長をすることを想定すると、N. Chand et al., Physical review B vol. 30 (1984) P. 4481にある通り、Siドナーのイオン化エネルギーはAl組成に大きく依存することが知られており、低Al組成のAlGaAsにおいてはドーピングレベルを比較的少なめに設定しても十分に抵抗の小さい層を形成することができるために非常に望ましい。よって、第一導電型第一クラッド層(3)のドーピングレベルは $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であることが望ましい。また、より望ましくは $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であることが望ましい。

10

さらにドーピングは第一導電型第一クラッド層(3)内で一様に行われる必要はなく、基板(1)側ほど高く、また活性層構造(6)に近い側ほど低く設定されることが望ましい。これは光密度の高い部分において自由電子による吸収を抑制するために有効な方法である。

【0043】

第一導電型第二クラッド層(4)は各種材料によって構成することが可能であって、実現したい発振波長によって選択される活性層構造(6)、あるいは基板(1)等に合わせて適宜選択される。例えば本発明をGaAs基板上で実現した場合には、AlGaAs系材料、InGaP系材料、AlGaInP系材料などを使用することが可能であって、また、例えばInP基板上で実現した場合にはInGaAsP系材料などを使用することができる。

20

【0044】

また、第一導電型第二クラッド層(4)をAlGaAs系材料で構成した場合は、そのAl組成は0.5未満であることが好ましい。また、第一導電型第二クラッド層(4)のAl組成は、隣接する第一導電型第一クラッド層(3)のAl組成と第一光ガイド層(5)のAl組成よりも大きくする。このような構成を採用することによって、第一導電型第二クラッド層(4)は最も屈折率が小さな層となり、伝導帯側の電子や荷電子帯のホールに対して障壁となる機能を持つことになる。また、第一導電型第二クラッド層(4)のAl組成と、第一導電型第一クラッド層(3)のAl組成との差は、0.08より大きくすることが望ましい。これによって、活性層構造(6)から第一導電型第一クラッド層(3)へキャリアがオーバーフローするのを第一導電型第二クラッド層(4)が十分に抑制することができる。ただし、第一導電型第一クラッド層(3)から活性層構造(6)へのキャリア注入を過度に阻害しないように、これら2つの層のAl組成の差は0.4未満にしておくことが好ましい。

30

【0045】

第一導電型第二クラッド層(4)の厚み t_{n2} (nm)は、第一光ガイド層(5)の厚み t_{ng} (nm)よりも小さい。このような構成を採用することによって、極端な発振しきい値の増大、スロープ効率の低下、駆動電流の増大を回避することができる。本発明では t_{n2}/t_{ng} を0.3より大きくするため、適度な縦方向のNFP拡大効果を得ることができる。また、第一導電型第二クラッド層(4)の厚み t_{n2} は、10nmよりも厚く、100nmよりも薄いことが好ましい。第一導電型第二クラッド層(4)の厚み t_{n2} が10nm以下であると光学的な効果が薄れる場合があり、逆に100nm以上であると光閉じ込めが極端に弱くなってLDが発振しなくなる場合がある。

40

【0046】

また第一導電型第二クラッド層(4)をAlGaAs系材料で構成した場合には、本発明のLD構造の中でAl組成が比較的高くなるために、ドーパントのドーピングレベ

50

ルは第一導電型第一クラッド層(3)と比較して高く設定することが望ましい。特に第一導電型がn型でありSiをドーパントとする場合などにおいて、MBE法によって結晶成長をすることを想定すると、そのドーピングレベルは $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であることが望ましく、 $4.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であることがより望ましい。第一導電型第一クラッド層(3)と第一導電型第二クラッド層(4)のバンドギャップの差は $0.05 \text{ eV} \sim 0.45 \text{ eV}$ 程度であることが望ましく、 $0.1 \text{ eV} \sim 0.3 \text{ eV}$ 程度であることがより望ましい。

【0047】

本発明においては、第一導電型第二クラッド層(4)と第二導電型第二クラッド層(8)とを、互いに屈折率が同程度である異種材料で構成することも好ましい。キャリアのオーバーフローを抑制するためには、第一導電型第二クラッド層(4)をInGaP系材料で構成し、第二導電型第二クラッド層(8)をAlGaAs系材料で構成することが望ましい。例えば、前記の $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ と $\text{Al}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ の組み合わせを例示することができる。

10

【0048】

本発明では、上で定義される V_n が、 $0.35 < V_n < 0.75$ を満たすように選択される。また、第一導電型第二クラッド層(4)の第一ガイド層(5)に対する相対的な厚み t_{n2} / t_{ng} である R_n が $0.3 < R_n < 0.7$ を満たすように選択され、 $0.35 < R_n < 0.55$ を満たすように選択されることが好ましい。上限は半導体レーザ内に作り付けられる縦方向の導波構造が、全体として反導波とならないために必須であり、下限は実効的にFFP_vの幅を狭くするために必要な厚みを示すものである。

20

【0049】

図2には示されていないが、第一導電型第一クラッド層(3)と第一導電型第二クラッド層(4)の間には、基板(1)との格子整合性等の観点、あるいは逆に意図的に導入する歪みの観点などから適宜選択されたAlGaAs系、InGaP系等の材料からなり、そのバンドギャップが第一導電型第一クラッド層(3)側では、第一導電型第一クラッド層(3)に接近しており、また第一導電型第二クラッド層(4)側では第一導電型第二クラッド層(4)に接近している様な層を挿入することも可能である。この様な遷移層は第一導電型第一クラッド層(3)側から第一導電型第二クラッド層(4)を通じて活性層構造(6)にキャリアを注入する際の電気抵抗を低減できるために非常に好ましい。

30

【0050】

第一導電型第二クラッド層(4)上の第一光ガイド層(5)は、各種材料によって構成することが可能であって、実現したい発振波長によって選択される活性層構造(6)、あるいは基板(1)等に合わせて適宜選択される。例えば本発明をGaAs基板上で実現した場合には、AlGaAs系材料、InGaP系材料、AlGaInP系材料などを使用することが可能であって、また、例えばInP基板上で実現した場合にはInGaAsP系材料などを使用することができる。

【0051】

第一光ガイド層(5)をAlGaAs系材料で構成する場合、光閉じ込めを実現するために、第一光ガイド層(5)は第一導電型第一クラッド層(3)よりAl組成の小さな材料で構成する必要がある。具体的には、第一光ガイド層(5)のAl組成は0.4よりも小さいことが好ましく、0.2よりも小さいことがより好ましく、0.1よりも小さいことがさらに好ましい。また最も望ましいのはAlを含まないGaAsを用いる場合である。特に信頼性の観点から、Alを含まない光ガイド層が望まれる。

40

【0052】

また第一光ガイド層(5)の厚み t_{ng} (nm)は、第一導電型第二クラッド層(4)にその機能を十分に発揮させるために、以下の式を満たすことが好ましい。

【数19】

$$0.5 \times [\lambda / (4 \times n_{ng})] \text{ nm} < t_{ng} < 1.5 \times [\lambda / (4 \times n_{ng})] \text{ nm}$$

50

上式において、 n_{ng} は第一光ガイド層 (5) の屈折率である。第一光ガイド層 (5) の厚み t_{ng} を上式の上限未満にすることによって、特に第一導電型第二クラッド層 (4) のキャリアのオーバーフロー抑制効果を十分に発揮させるとともに、キンクレベルの低下等を有効に回避することができる。また、第一光ガイド層 (5) の厚み t_{ng} を上式の下限より大きくすることによって、第一導電型第二クラッド層 (4) の反導波的な特性が過度にならないようにすることができる。

【0053】

特に AlGaAs 系材料によって第一光ガイド層 (5) を構成した場合においては、AlGaAs からなる厚み t_{ng} の第一光ガイド層 (5) はかならずしも単一の Al 組成を有する層である必要はなく、第一光ガイド層 (5) の中で Al 組成を変化させることも可能である。このように第一光ガイド層 (5) の中で Al 組成の異なる領域が存在する場合の屈折率は平均的な屈折率をもって第一光ガイド層 (5) の屈折率と考えることができる。

【0054】

第一光ガイド層 (5) の導電型は p 型、n 型、あるいはアンドープであっても本発明の効果は変わらない。

【0055】

上記の事情は活性層構造 (6) の上に位置する第二光ガイド層 (7) においても同様である。

【0056】

本発明における活性層構造 (6) とは、量子効果が顕著になるほどに薄い薄膜からなる量子井戸を含む構造を指し、例えば、単層の量子井戸活性層 (Single Quantum Well: SQW) である場合、あるいは、2つの量子井戸間の分離、結合のために具備される障壁層を具備し、量子井戸層、障壁層、量子井戸層と積層された二重量子井戸構造 (Double Quantum Well: DQW)、さらに3つ以上の量子井戸層とそれぞれの量子井戸を適度に分離する障壁層からなる構造を有する多重量子井戸構造であっても良い。量子井戸層には意図的に歪みが導入される場合もあり、例えば、しきい値を低下させるために圧縮性の応力を内在させることなどが広く行われている。また、本発明で好ましく応用される $900\text{ nm} \sim 1350\text{ nm}$ 程度の波長を有する半導体レーザにあっては、GaAs 基板上に In、Ga および As を含み基板に格子整合しない歪み量子井戸層を含むことで実現されるのが望ましい。

【0057】

歪み量子井戸層の具体的な材料としては、InGaAs、GaInNAs 等を挙げることができる。歪みを有する量子井戸層は、その歪みの効果によって光学利得の増大等を期待することができる。このため第一クラッド層 (3, 9, 10) と活性層構造 (6) の間が、適度に弱い縦方向の光閉じ込めであっても、十分な LD 特性を実現できる。このため、歪み量子井戸層は本発明においては望ましい。

【0058】

障壁層 (21, 23, 25) の導電型は p 型、n 型、あるいはアンドープであっても本発明の効果は変わらないが、障壁層 (21, 23, 25) は n 型の導電型を示す部分を有することが望ましい。このような状況においては、障壁層 (21, 23, 25) から電子が活性層構造 (6) 内の量子井戸層 (22, 24) に供給されることから LD の利得特性を効果的に広帯域化することができて望ましい。このような素子は後述する様にグレーティングファイバー等の外部共振器によって効果的に発振波長を固定化することができる。また、この際に n 型のドーパントは Si であることが望ましい。さらに、Si の様な n 型のドーパントが障壁層内に一様にドーピングされているのではなく、歪み量子井戸層 (22, 24) 等の他の層との界面近傍にはドーピングが施されず、障壁層 (21, 23, 25) の中心付近に選択的にドーピングされていることが最も望ましい。

【0059】

第二導電型第二クラッド層 (8) は、各種材料によって構成することが可能であって、実現したい発振波長によって選択される活性層構造 (6)、あるいは基板 (1) 等に合わせ

て適宜選択される。例えば本発明をGaAs基板上で実現した場合には、AlGaAs系材料、InGaP系材料、AlGaInP系材料などを使用することが可能であって、また、例えばInP基板上で実現した場合にはInGaAsP系材料などを使用することができる。

【0060】

第二導電型第二クラッド層(8)をAlGaAs系材料を用いて構成する場合には、そのAl組成は0.5未満であることが好ましい。第二導電型第二クラッド層(8)のAl組成は、隣接する第二導電型下側第一クラッド層(9)のAl組成と第二光ガイド層(7)のAl組成よりも大きくなければならない。このような構成を採用することによって、第二導電型第二クラッド層(8)は最も屈折率が小さな層となり、伝導帯側の電子や荷電子帯のホールに対して障壁となる機能を持つことになる。また、第二導電型第二クラッド層(8)のAl組成と、第二導電型下側第一クラッド層(9)のAl組成との差は、0.08より大きくすることが好ましい。これによって、活性層構造(6)から第二導電型下側第一クラッド層(9)へキャリアがオーバーフローするのを第二導電型第二クラッド層(8)が十分に抑制することができる。ただし、第二導電型下側第一クラッド層(9)から活性層構造(6)へのキャリア注入を過度に阻害しないように、Al組成の差は0.4未満にしておくことが好ましい。

【0061】

第二導電型第二クラッド層(8)の厚み t_{p2} (nm)は、第二光ガイド層(7)の厚み t_{pg} (nm)よりも薄くする。このような構成を採用することによって、極端な発振しきい値の増大、スロープ効率の低下、駆動電流の増大を回避することができる。本発明では t_{p2}/t_{pg} を0.3より大きく設定することによって、適度な縦方向のNFP拡大効果を得ることができる。また、第二導電型第二クラッド層(8)の厚み t_{p2} は、10nmよりも厚く、100nmよりも薄いことが好ましい。第二導電型第二クラッド層(8)の厚み t_{p2} が10nm以下であると光学的な効果が薄れる場合があり、逆に100nm以上であると光閉じ込めが極端に弱くなってLDが発振しなくなる場合がある。

【0062】

第二導電型第二クラッド層(8)は、必ずしも第一導電型第二クラッド層(4)と同じ屈折率、同じ厚み、同じ材料で構成される必要はないが、縦方向のビームの対称性を確保するためには、光学的に等価である屈折率を有し、かつ同じ厚みであることが望ましい。ただし、前記のように、第一導電型第二クラッド層(4)と第二導電型第二クラッド層(8)とを、互いに屈折率が同程度である異種材料で構成することも好ましい。

【0063】

特に第二導電型がp型でありBeをドーパントとする場合などにおいて、MBE法によって結晶成長をすることを想定すると、そのドーピングレベルは $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ~ $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であることが望ましく、 $4.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ~ $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であることがより望ましい。

【0064】

本発明では、上で定義される V_p が、 $0.35 < V_p < 0.75$ を満たすように選択される。また、第二導電型第二クラッド層(8)の第二ガイド層(7)に対する相対的な厚み t_{p2}/t_{pg} である R_p が $0.3 < R_p < 0.7$ を満たすように選択され、 $0.35 < R_p < 0.55$ を満たすように選択されることが好ましい。上限は半導体レーザ内に作り付けられる縦方向の導波構造が、全体として反導波とならないために必須であり、下限は実効的にFFP_vの幅を狭くするために必要な厚みを示すものである。

【0065】

図2には示されていないが、第二導電型第二クラッド層(8)と第二導電型下側第一クラッド層(9)の間には、基板との格子整合性等の観点、あるいは逆に意図的に導入する歪みの観点などから適宜選択されたAlGaAs系、InGaP系等の材料からなり、そのバンドギャップが第二導電型第二クラッド層(8)側では、第二導電型第二クラッド層(8)に接近しており、また第二導電型下側第一クラッド層(9)側では第二導電型下側第

ークラッド層(9)に接近している様な層を挿入することも可能である。この様な遷移層は第二導電型第一クラッド層(9, 10)側から第二導電型第二クラッド層(8)を通じて活性層構造(6)にキャリアを注入する際の電気抵抗を低減できるために非常に好ましい。

【0066】

第二導電型第一クラッド層は、図2の態様では、第二導電型下側第一クラッド層(9)と第二導電型上側第一クラッド層(10)の二層に別れている。この場合には素子作製を容易にするために、これら二層の間にエッチング停止層を有していてもかまわない。

【0067】

第二導電型第一クラッド層(9, 10)の材料は、前記の第二導電型第二クラッド層(8)と同様に選択することができる。特に第二導電型第一クラッド層(9, 10)の材料としてAlGaAs系材料を用いた場合には、素子全体の熱抵抗を下げ、高出力動作に適した構造とするために、第二導電型第一クラッド層(9, 10)のAl組成は0.40未満であることが好ましく、0.3以下であることがより好ましく、0.2以下であることがさらに好ましい。また、第二導電型下側第一クラッド層(9)と第二導電型上側第一クラッド層(10)の総厚みは、活性層構造(6)から離れる方向に対して光を十分に減衰させる必要があることから、発振波長 λ よりも大きくすることが好ましい。

【0068】

第二導電型下側第一クラッド層(9)の厚みは、活性層構造(6)への電流注入経路が、電流の横方向への広がりによって極端に広くならないようにするために、10nm~200nm程度であることが望ましい。またより望ましくは20nm~70nm程度であることが望ましい。

【0069】

また、第二導電型下側第一クラッド層(9)また第二導電型上側第一クラッド層(10)のドーピングレベルは $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であることが望ましく、 $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であることがより望ましい。

さらにドーピングは第二導電型下側第一クラッド層(9)また第二導電型上側第一クラッド層(10)内で一様に行われる必要はなく、活性層構造(6)から離れるほど高く、また活性層構造(6)に近づくほど低く設定されることが望ましい。これは光密度の高い部分において自由電子による吸収を抑制するために有効な方法である。

【0070】

第二導電型上側第一クラッド層(10)はその側面に形成されている電流ブロック層(11)とともに、電流閉じ込めと横方向の光閉じ込めの2つの機能を実現する。これは本発明を単一横モード動作するLDに適応する時に望ましい構成である。このために、横方向に対する電流閉じ込めの観点では、電流ブロック層(11)の導電型は第一導電型かあるいはアンドープとすることが好ましい。また、横方向の光閉じ込めの観点、特に屈折率導波を基礎とした導波路としての特性を満足するためには、電流ブロック層(11)は第二導電型第一クラッド層(9, 10)よりも小さな屈折率を有する材料で形成される。また、横方向の光閉じ込めを、いわゆるロスガイド型にすることも可能であって、この場合には、電流ブロック層(11)を構成する材料の実効的なバンドギャップが発振波長を吸収する様にすることで、横方向の光閉じ込めが実現可能である。

【0071】

また、本発明では電流ブロック層を構成する材料は、基板(1)、活性層構造(6)、あるいはどのような横方向の導波構造とするかによって適宜選択することが可能である。例えば、第二導電型第一クラッド層(9, 10)とともに、電流ブロック層(10)もAlGaAs系材料で形成し、それぞれ $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{As}$ 、 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{As}$ とした場合には、そのAl組成を $x_2 > x_1$ にすることで実屈折率導波構造が実現できる。実屈折率導波型であり、単一横モード動作する半導体レーザを作製する場合においては、電流ブロック層(11)と第二導電型上側第一クラッド層(10)との屈折率差によって主

に規定される横方向の有効屈折率差は 10^{-3} のオーダーであることが望ましい。さらには電流注入路の幅であって、かつ、導波路の幅に相当する、第二導電型上側第一クラッド層(10)と第二導電型下側第一クラッド層(9)が接する部分の横方向の幅Wは、LDを単一横モード動作させる観点では、紙面に垂直な共振器方向に誤差の範囲で一様であって、その幅は $6\mu\text{m}$ 以下であることが望ましく、より望ましくは $3\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。しかし、高出力動作と単一横モード動作の両立を目指すためには、必ずしも共振器方向に一様な導波路である必要はなく、半導体レーザの主たる光の出射方向である前端面側においては、その導波路の幅を相対的に広くして高出力動作に適する様にし、一方、後端面側においてはその導波路の幅を狭くして、単一横モード動作可能である様にすることが望ましい。また、このような場合においては、一方の発光点近傍における電流注入路の幅を W_{exp} 、素子中の最も狭い電流注入路の幅 W_{std} とした場合に以下の式を満たすことが好ましい。

10

【数20】

$$1.5 < W_{\text{exp}} / W_{\text{std}} < 5.0$$

さらに、以下の式を満たすことがより好ましい。

【数21】

$$2.5 < W_{\text{exp}} / W_{\text{std}} < 3.5$$

【0072】

本発明の半導体発光素子は、前記の(式2)で示した条件を満たすことを特徴とする。これら条件を逸脱した場合においては半導体レーザの各種特性を悪化させることなくFFP_vの半値全幅を狭めることができなくなってしまう。例えば、 V_n および V_p が0.35以下であって、かつ R_n および R_p が0.7以上である場合においては、半導体レーザ全体の縦方向の導波機能が弱くなりすぎるため、素子の発振しきい値電流の上昇、スロープ効率の低下等が発生する。また極端な場合においては導波機能そのものが失われてしまい、素子が発振しないこともある。一方、 V_n および V_p が0.75以上であって、かつ、 R_n および R_p が0.3以下である場合には、素子の縦方向の導波機能そのものが過度になり、FFP_vが非常に広いものとなり、外部の光学系との良好な結合が実現できなくなってしまう。またこのような状況においては、端面における光密度も過度に高くなるため、高出力動作にも適さないなどの弊害が発生することとなり、望ましくない。

20

【0073】

キャップ層(12)は、第1回目の成長において電流ブロック層(11)の保護層として用いられると同時に第二導電型上側第一クラッド層(10)の成長を容易にするために用いられ、素子構造を得る前に、一部または全て除去される。

30

【0074】

第二導電型上側第一クラッド層(10)の上には、電極(14)との接触抵抗率を下げるため等の目的で、コンタクト層(13)を設けるのが好ましい。コンタクト層(13)は、通常、GaAs材料にて構成される。この層は、通常電極(14)との接触抵抗率を低くするためにキャリア濃度を他の層より高くする。また導電型は第二導電型である

【0075】

半導体レーザを構成する各層の厚みは、それぞれの層の機能を効果的に奏する範囲内で適宜選択される。

40

【0076】

また本発明の半導体発光素子においては、第一導電型はn型であることが望ましく、第二導電型はp型であることが望ましい。これはn型の基板の方が良質である場合が多いからである。

【0077】

図5に示す半導体レーザは、さらに電極(14)および(15)を形成することにより作製される。エピタキシャル層側電極(14)は、例えば第二導電型がp型の場合、コンタクト層(12)表面にTi/Pt/Auを順次に蒸着した後、合金化処理することによって形成される。一方、基板側電極(15)は基板(1)表面に形成され、第一導電型がn

50

型の場合、例えばAuGe/Ni/Auを基板(1)表面に順に蒸着した後、合金化処理することによって形成される。

【0078】

製造した半導体ウエハーには、光の出射面である端面を形成する。端面は共振器を構成する鏡となる。好ましくは、劈開により端面を形成する。劈開は広く用いられる方法であり、劈開によって形成される端面は使用する基板の方位によって異なる。例えば、好適に利用されるnominally(100)と結晶学的に等価な面をもつ基板を使用して端面発光型レーザ等の素子を形成する際には、(110)もしくはこれと結晶学的に等価な面が共振器を形成する面となる。一方、オフ基板を使用するときには、傾斜させた方向と共振器方向の関係によっては端面が共振器方向と90度にならない場合もある。例えば(100)基板から、(1-10)方向に向けて角度を2度傾けた基板(1)を使用した場合には端面も2度傾くことになる。

10

【0079】

劈開によって素子の共振器長も決定される。一般に共振器長は長い方が高出力動作に適するが、本発明が適応される半導体レーザにおいては、これは600 μ m以上あることが望ましい。またさらに望ましくは900 μ m~3000 μ mであることが望ましい。このように共振器長の上限があるのは、極端に長い共振器長を有する半導体レーザは、逆に、しきい値電流の上昇、効率の低下等、特性劣化をきたす恐れがあるからである。

【0080】

本発明では、露出した半導体端面上に、誘電体、または誘電体および半導体の組合せからなるコーティング層(16, 17)を形成するのが好ましい。コーティング層(16, 17)は、主に半導体レーザからの光の取り出し効率を上げる目的と、端面の保護という2つの目的のために形成される。また、素子からの光出力を片側の端面から効率良く取り出すためには、発振波長に対して反射率の低い(例えば反射率10%以下)コーティング層(16)を主たる光の出射方向である前端面に施し、また、発振波長に対して反射率の高い(例えば80%以上)のコーティング層(17)をもう一方の後端面に施す非対称コーティングを行うのが望ましい。これは、単に素子の高出力化を進めるだけでは無く、波長安定化のために使用されるグレーティングファイバーなどの外部共振器から戻ってくる光を積極的にレーザ内部に取り込み、波長の安定化を促進する点でも非常に重要である。また、これらの目的のためには前端面の反射率は5%、より望ましくは2.5%以下である

20

30

【0081】

コーティング層(16, 17)には、さまざまな材料を用いることができる。例えば、AlOx、TiOx、SiOx、SiN、SiおよびZnSからなる群から選ばれる1種または2種以上の組合せを用いることが好ましい。低反射率のコーティング層としてはAlOx、TiOx、SiOx等が、また高反射率のコーティング層としてはAlOx/Siの多層膜、TiOx/SiOxの多層膜等が用いられる。それぞれの膜厚を調節することによって、所望の反射率を実現することができる。しかし、一般に低反射率のコーティング層とするAlOx、TiOx、SiOx等の膜厚は、その波長 λ での屈折率の実数部分をnとして $\lambda/4n$ 近傍になるように調整するのが一般的である。また、高反射多層膜の場合も、膜を構成する各材料が $\lambda/4n$ 近傍になるように調整するのが一般的である。

40

【0082】

コーティングが終了したレーザバーを再度劈開することによって、各素子を分離し、半導体レーザとすることができる。

【0083】

このようにして製造した半導体レーザを始めとする本発明の半導体発光素子の光の出射端側に光ファイバーを設置して、半導体発光素子モジュールを形成することができる。光ファイバーの先端は、集光効果を示し、かつ、半導体発光素子の前端面と直接光学的に結合するように加工されていることが好ましい。

【0084】

50

半導体レーザを始めとする本発明の半導体発光素子に対して波長の安定化を図るために、外部に波長選択性のある鏡を準備し、外部共振器と本発明の半導体発光素子を結合させることが望ましい。特にファイバグレーティングを用いて外部共振器を形成させることが望ましい。またこの場合には、半導体レーザの他にファイバグレーティング、温度安定化用のクーラ等を内蔵した半導体発光素子モジュールを形成することも可能である。ファイバグレーティングはその目的に応じて中心波長、反射あるいは透過帯域、ファイバグレーティングが有する半導体発光素子側への光の反射率等を適宜選択可能である。特に前記ファイバグレーティングの半導体発光素子側への光の反射率が半導体発光素子の発光波長において2～15%、好ましくは5～10%であり、かつ、その反射帯域が中心波長に対して0.1～5.0nm、好ましくは0.5～1.5nmであることが望ましい。

10

【0085】

【実施例】

以下に実施例を挙げて本発明をさらに具体的に説明する。以下の実施例に示す材料、濃度、厚み、操作手順等は、本発明の精神から逸脱しない限り適宜変更することができる。したがって、本発明の範囲は以下の実施例に示す具体例に制限されるものではない。

【0086】

<実施例1>

図2にその光の出射方向からの断面図が示されている半導体レーザを以下の手順で作製した。

まず、キャリア濃度 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型GaAs基板(1)の(100)面上に、MBE法にて、バッファ層(2)として厚み $0.5 \mu\text{m}$ でキャリア濃度 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型GaAs層(980nmにおける屈折率は3.525)；第一導電型第一クラッド層(3)として厚み $2.3 \mu\text{m}$ で、キャリア濃度が基板側から $1.3 \mu\text{m}$ は $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上 $1 \mu\text{m}$ は $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であるSiドープn型 $\text{Al}_{0.19}\text{Ga}_{0.81}\text{As}$ 層(980nmにおける屈折率は3.422)；第一導電型二クラッド層(4)として厚みが35nmでキャリア濃度が $8.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 層(980nmにおける屈折率は3.307)；第一光ガイド層(5)として、厚みが80nmで、基板側から40nmはSiのドーピングレベルが $2.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上40nmはアンドープであるGaAs層(980nmにおける屈折率は3.525)；活性層構造(6)として、厚み5nmでキャリア濃度が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型GaAs障壁層(但し量子井戸層側1nmはアンドープ)、厚み6nmのアンドープ $\text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{As}$ 歪み量子井戸層、厚み8nmでキャリア濃度が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型GaAs障壁層(但し両量子井戸層側1nmはアンドープ)、厚み6nmのアンドープ $\text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{As}$ 歪み量子井戸層、厚み5nmで、キャリア濃度が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型GaAs障壁層(但し量子井戸層側1nmはアンドープ)の5層からなる活性層構造；第二光ガイド層(7)として、厚みが80nmで、基板側から40nmはアンドープで、その上40nmはBeのドーピングレベルが $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であるGaAs層(980nmにおける屈折率は3.525)；第二導電型二クラッド層(8)として厚みが35nmでキャリア濃度が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のBeドープp型 $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ 層(980nmにおける屈折率は3.307)；第二導電型下側第一クラッド層(9)として厚み25nmで、キャリア濃度が $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のBeドープp型 $\text{Al}_{0.19}\text{Ga}_{0.81}\text{As}$ 層(980nmにおける屈折率は3.422)；電流ブロック層(11)として厚み $0.3 \mu\text{m}$ でキャリア濃度 $4.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型 $\text{Al}_{0.23}\text{Ga}_{0.77}\text{As}$ 層(980nmにおける屈折率は3.401)；キャップ層(12)として厚み10nmでキャリア濃度 $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型GaAs層を順次積層した。

20

30

40

【0087】

最上層の電流注入領域部分を除く部分に窒化シリコンのマスクを設けた。このとき、窒化

50

シリコンマスクの開口部の幅は $1.5 \mu\text{m}$ とした。これをマスクとして 20 で 105 秒間エッチングを行い、電流注入領域部分のキャップ層 (12) と電流ブロック層 (11) を除去した。エッチング剤は、リン酸 (85 重量%)、過酸化水素 (30 重量% 水溶液) および水を体積比 1 : 1 : 30 で混合した混合液を使用した。

【0088】

その後、MOCVD 法にて、第二導電型上側第一クラッド層 (10) として厚み $2.3 \mu\text{m}$ で、キャリア濃度が基板 (1) 側から $1 \mu\text{m}$ は $4.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上の $1.3 \mu\text{m}$ は $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である Zn ドープ p 型 $\text{Al}_{0.19}\text{Ga}_{0.81}\text{As}$ 層 (980 nm) における屈折率は 3.422 ; コンタクト層 (13) として厚み $3.0 \mu\text{m}$ で、キャリア濃度が基板 (1) 側から $2.7 \mu\text{m}$ は $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上の $0.3 \mu\text{m}$ は $7.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である Zn ドープ GaAs 層を再成長した。

10

【0089】

この素子における V_n は 0.515222 であり、 V_p は 0.515222 であった。また、 R_n は 0.4375 であり、 R_p も 0.4375 であった。

【0090】

素子作製においては、さらに、エピタキシャル層側 (p 側) 電極 (14) として Ti / Pt / Au を、それぞれ 70 nm / 70 nm / 80 nm だけ蒸着し、また、基板 (1) をポリッシングした後には、基板側 (n 側) 電極 (15) として AuGeNi / Au をそれぞれ 150 nm / 80 nm だけ蒸着し、その後、400 で合金化を 5 分間行って半導体レーザ用のウェハーを完成させた。

20

なお、完成した半導体レーザの電流注入領域の幅 W は $2.2 \mu\text{m}$ であった。

【0091】

続いて、大気中で、共振器長 $1600 \mu\text{m}$ のレーザバーの状態に劈開して (110) 面を露出させ、 AlOx 膜を発振波長 980 nm において前端面の反射率が 2.5 % になるように 165 nm 製膜し、コーティング層 (16) を形成した。さらに後端面側の処理を行うために、厚み 170 nm の AlOx 層 / 厚み 60 nm のアモルファス Si 層 / 厚み 170 nm の AlOx 層 / 厚み 60 nm のアモルファス Si 層の 4 層からなるコーティング層 (17) を形成し、反射率 92 % の後端面を作製した。

【0092】

作製した素子の 25 における電流光出力特性においては、しきい値電流は 29.8 mA、スロープ効率は 0.92 W / A、キンクレベルは 622 mW であった。また素子の最大光出力 773 mW であった。

30

また 450 mW 光出力時における FFP_V の半値全幅は 24.1 度であり、 FFP_H の半値全幅は 8.5 度であった。なお、450 mW 出力時における素子の発振波長は 984 nm であった。

【0093】

この素子を用いて、その素子の前端面側に先端が楔型をしたファイバーレンズを有するグレーティング付の光ファイバーを実装し、バタフライ型のパッケージを有する半導体レーザモジュールを作製した。このグレーティングファイバーの反射中心は 982 nm であり、その反射率は 3 % であった。25 において、ファイバー端から出射される光に対して、しきい値電流 25.3 mA、スロープ効率 0.76 mW / mA であった。結合効率は約 82.6 % と良好であった。

40

【0094】

< 実施例 2 >

図 2 にその光の出射方向からの断面図が示されている半導体レーザを以下の手順で作製した。

まず、キャリア濃度 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の n 型 GaAs 基板 (1) の (100) 面上に、MOCVD 法にて、バッファ層 (2) として厚み $0.5 \mu\text{m}$ でキャリア濃度 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 GaAs 層 (980 nm) における屈折率は 3.52

50

5) ; 第一導電型第一クラッド層 (3) として厚み $2.3 \mu\text{m}$ で、キャリア濃度が基板側から $1.3 \mu\text{m}$ は $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上 $1 \mu\text{m}$ は $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である Si ドープ n 型 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 層 (980 nm における屈折率は 3.390) ; 第一導電型二クラッド層 (4) として厚みが 40 nm でキャリア濃度が $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ (980 nm における屈折率は 3.279) ; 第一光ガイド層 (5) として、厚みが 80 nm で、基板側から 40 nm は Si のドーピングレベルが $2.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上 40 nm はアンドープである GaAs 層 (980 nm における屈折率は 3.525) ; 活性層構造 (6) として、厚み 5 nm でキャリア濃度が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 GaAs 障壁層 (但し量子井戸層側 1 nm はアンドープ)、厚み 6 nm のアンドープ In_{0.16}Ga_{0.84}As 歪み量子井戸層、厚み 8 nm でキャリア濃度が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 GaAs 障壁層 (但し両量子井戸層側 1 nm はアンドープ)、厚み 6 nm のアンドープ In_{0.16}Ga_{0.84}As 歪み量子井戸層、厚み 5 nm で、キャリア濃度が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 GaAs 障壁層 (但し量子井戸層側 1 nm はアンドープ) の 5 層からなる活性層構造 ; 第二光ガイド層 (7) として、厚みが 80 nm で、基板側から 40 nm はアンドープで、その上 40 nm は Be のドーピングレベルが $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である GaAs 層 (980 nm における屈折率は 3.525) ; 第二導電型二クラッド層 (8) として厚みが 40 nm でキャリア濃度が $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の Zn ドープ p 型 $\text{Al}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{As}$ (980 nm における屈折率は 3.279) ; 第二導電型下側第一クラッド層 (9) として厚み 25 nm で、キャリア濃度が $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の Zn ドープ p 型 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 層 (980 nm における屈折率は 3.390) ; 電流ブロック層 (11) として厚み $0.3 \mu\text{m}$ でキャリア濃度 $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 $\text{Al}_{0.275}\text{Ga}_{0.725}\text{As}$ 層 (980 nm における屈折率は 3.376) ; キャップ層 (12) として厚み 10 nm でキャリア濃度 $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 GaAs 層を順次積層した。

【0095】

最上層の電流注入領域部分を除く部分に窒化シリコンのマスクを設けた。このとき、窒化シリコンマスクの開口部の幅は $1.5 \mu\text{m}$ とした。これをマスクとして 20 で 97 秒間エッチングを行い、電流注入領域部分のキャップ層と電流ブロック層を除去した。エッチング剤は、リン酸 (85 重量%)、過酸化水素 (30 重量% 水溶液) および水を体積比 1 : 1 : 30 で混合した混合液を使用した。

【0096】

その後、引き続き MOCVD 法にて、第二導電型上側第一クラッド層 (10) として厚み $2.3 \mu\text{m}$ で、キャリア濃度が基板 (1) 側から $1 \mu\text{m}$ は $4.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上の $1.3 \mu\text{m}$ は $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である Zn ドープ p 型 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 層 (980 nm における屈折率は 3.390) ; コンタクト層 (13) として厚み $3.0 \mu\text{m}$ で、キャリア濃度が基板 (1) 側から $2.7 \mu\text{m}$ は $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上の $0.3 \mu\text{m}$ は $6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である Zn ドープ GaAs 層を再成長した。

【0097】

この素子における V_n は 0.588492 であり、 V_p は 0.588492 であった。また、 R_n は 0.5 であり、 R_p も 0.5 であった。

【0098】

さらに、エピタキシャル層側 (p 側) 電極 (14) として Ti / Pt / Au を、それぞれ 70 nm / 70 nm / 80 nm だけ蒸着し、また、基板 (1) をポリッシングした後には、基板側 (n 側) 電極 (15) として AuGeNi / Au をそれぞれ 150 nm / 80 nm だけ蒸着し、その後、400 で合金化を 5 分間行って半導体レーザ用のウエハーを完成させた。

なお、完成した半導体レーザの電流注入領域の幅 W は $2.3 \mu\text{m}$ であった。

10

20

30

40

50

【0099】

続いて、大気中で、共振器長 $1600\mu\text{m}$ のレーザバーの状態に劈開して(110)面を露出させ、 AlOx 膜を発振波長 980nm において前端面の反射率が2.5%になるように 165nm 製膜し、コーティング層(16)を形成した。さらに後端面側の処理を行うために、厚み 170nm の AlOx 層/厚み 60nm のアモルファス Si 層/厚み 170nm の AlOx 層/厚み 60nm のアモルファス Si 層の4層からなるコーティング層(17)を形成し、反射率92%の後端面を作製した。

【0100】

作製した素子の25における電流光出力特性においては、しきい値電流は 27.3mA 、スロープ効率は 0.93W/A 、キンクレベルは 603mW であった。また素子の最大光出力は 728mW であった。 10

また 450mW 光出力時における縦方向FFPの半値全幅は 23.1 度であり、横方向FFPの半値全幅は 8.7 度であった。なお、 450mW 出力時における素子の発振波長は 983nm であった。

【0101】

この素子を用いて、その素子の前端面側に先端が楔型をしたファイバーレンズを有するグレーティング付の光ファイバーを実装し、バタフライ型のパッケージを有する半導体レーザモジュールを作製した。このグレーティングファイバーの反射中心は 982nm であり、その反射率は3%であった。25において、ファイバー端から出射される光に対して、しきい値電流 21.6mA 、スロープ効率は 0.78mW/mA であった。結合効率は約 20 83.8% と良好であった。

【0102】

<実施例3>

実施例2に記載の半導体レーザにおいて、第一導電型ニクラッド層(4)を厚みが 30nm である $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ (980nm における屈折率は 3.259)に変更した以外は、実施例1と同様に半導体レーザを作製した。

この素子における V_n は 0.588492 であり、 V_p は 0.588492 であった。また、 R_n は 0.375 であり、 R_p は 0.5 であった。

【0103】

作製した素子の25における電流光出力特性においては、しきい値電流は 26.5mA 、スロープ効率は 0.94W/A 、キンクレベルは 582mW であった。また、素子の最大光出力は 699mW であった。 30

また 450mW 光出力時における縦方向FFPの半値全幅は 23.8 度であり、横方向FFPの半値全幅は 8.8 度であった。 450mW 出力時における素子の発振波長は 983nm であった。

【0104】

<実施例4>

第一導電型第一クラッド層(3)、第二導電型下側第一クラッド層(9)、第二導電型上側第一クラッド層(10)を $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ に変更し、また、両光ガイド層(5,7)を厚み 34nm のアンダーブ GaAs に変更し、また、第一導電型ニクラッド層(4)、第二導電型ニクラッド層(8)を厚み 23nm の $\text{Al}_{0.58}\text{Ga}_{0.42}\text{As}$ 層に変更し、また、電流ブロック層(11)を $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 層に変更し、また、電流ブロック層(11)のエッチング時間を 100 秒に変更した以外は、実施例1と同様に半導体レーザを作製した。 40

この素子における V_n は 0.422089 であり、 V_p は 0.422089 であった。また、 R_n は 0.67647 であり、 R_p も 0.67647 であった。

【0105】

作製した素子の25における電流光出力特性においては、しきい値電流は 28.3mA 、スロープ効率は 0.92W/A 、キンクレベルは 580mW であった。また、素子の最大光出力は 685mW であった。 50

また 450 mW 光出力時における縦方向 FFP の半値全幅は 24.1 度であり、横方向 FFP の半値全幅は 9.0 度であった。なお、450 mW 出力時における素子の発振波長は 985 nm であった。

【0106】

この素子を用いて、実施例 1 と同様のバタフライ型のパッケージを有する半導体レーザモジュールを作製した。25 において、ファイバー端から出射される光に対して、しきい値電流 23.9 mA、スロープ効率 0.74 mW/mA であった。結合効率は約 80.4 % であった。

【0107】

< 比較例 1 >

実施例 1 記載の半導体レーザにおいて、第一光ガイド層 (5)、第二光ガイド層 (7) とともにその厚みを 32.5 nm とし、すべてアンドープとした以外は実施例 1 記載の半導体レーザと同様に素子を作製した。

この素子における V_n は 0.257015 であり、 V_p も 0.257015 であった。また、 R_n は 1.0770 であり、 R_p も 1.0770 であった。

作製した素子のしきい値電流は 45.7 mA、スロープ効率は 0.62 W/A、キンクレベルは 403 mW と実施例 1 に及ばなかった。また素子の最大光出力も 495 mW と実施例 1 と比較して低かった。450 mW で測定した縦方向 FFP の半値全幅は 15.1 度であり、活性層近傍における光閉じ込めが十分でないことが疑われた。横方向 FFP の半値全幅は 8.2 度であった。また素子の発振波長は 985.5 nm であった。

【0108】

< 比較例 2 >

第一光ガイド層 (5)、第二光ガイド層 (7) とともにその厚みを 85 nm とし、全て Si のドーピングレベルを $1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とし、また第一導電型第一クラッド層 (3)、第二導電型下側第一クラッド層 (9)、第二導電型上側第一クラッド層 (10) とともに $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ (980 nm における屈折率は 3.307) とし、また、第一導電型第二クラッド層 (4)、第二導電型第二クラッド層 (8) とともにその厚みが 25 nm である $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{As}$ (980 nm における屈折率は 3.167) とした以外は、実施例 1 記載の半導体レーザと同様に素子を作製した。

【0109】

この素子における V_n は 0.782449 であり、 V_p も 0.782449 であった。また、 R_n は 0.2941 であり、 R_p も 0.2941 であった。

作製した素子のしきい値電流は 23.6 mA、スロープ効率は 0.98 W/A と良好であったが、素子は電流を注入していくと光出力が 580 mW に達した時点で破壊し、活性層近傍における光閉じ込めが過度であったことが疑われた。

【0110】

【発明の効果】

本発明によれば、半導体レーザの主要な特性を極端に悪化させることなく FFP_v の半値全幅を実効的に低減させ、光ファイバー、レンズで構成された光学系などと半導体レーザの良好な結合を実現し、かつ、半導体レーザそのものの高出力動作特性も向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の半導体発光素子の一態様を光の出射方向から見た断面図である。

【図 2】本発明の半導体発光素子の別の態様を光の出射方向から見た断面図である。

【図 3】本発明の半導体発光素子の一態様を示す斜視図である。

【符号の説明】

- 101 n 型基板
- 102 n 型第一クラッド層
- 103 n 型第二クラッド層
- 104 第一光ガイド層

10

20

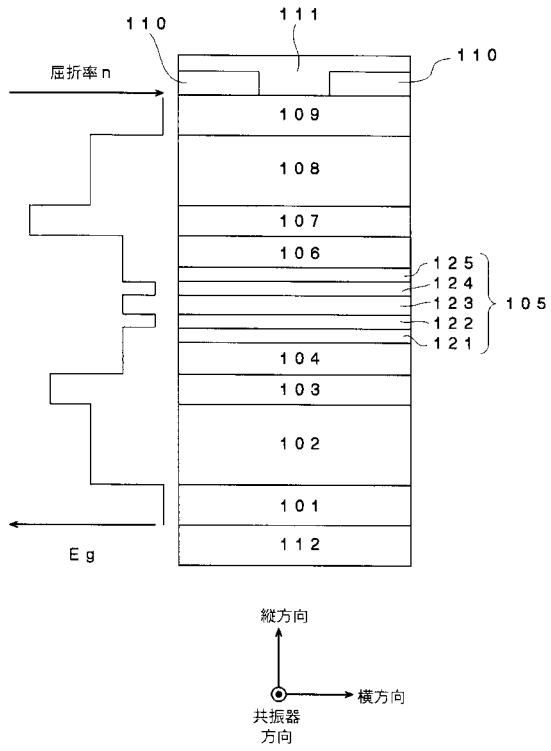
30

40

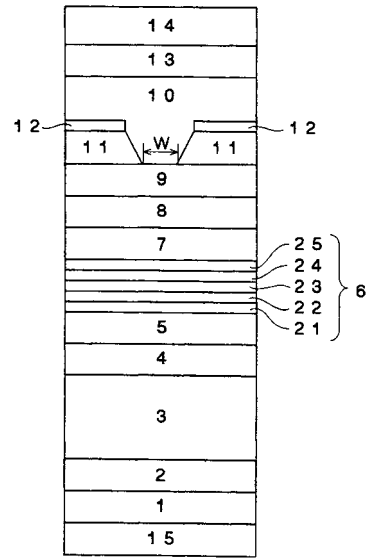
50

1 0 5	活性層構造	
1 0 6	第二光ガイド層	
1 0 7	p 型第二クラッド層	
1 0 8	p 型第一クラッド層	
1 0 9	コンタクト層	
1 1 0	S i N 層	
1 1 1	p 側電極	
1 1 2	n 側電極	
1 2 1、1 2 3、1 2 5	障壁層	
1 2 2、1 2 4	歪み量子井戸層	10
1	第一導電型基板	
2	バッファ層	
3	第一導電型第一クラッド層	
4	第一導電型第二クラッド層	
5	第一光ガイド層	
6	活性層構造	
7	第二光ガイド層	
8	第二導電型第二クラッド層	
9	第二導電型下側第一クラッド層	
1 0	第二導電型上側第一クラッド層	20
1 1	電流ブロック層	
1 2	キャップ層	
1 3	コンタクト層	
1 4	エピタキシャル層側電極	
1 5	基板側電極	
1 6、1 7	コーティング層	
2 1、2 3、2 5	障壁層	
2 2、2 4	歪み量子井戸層	

【図 1】



【図 2】



【図 3】

