

(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2004-103678

(P2004-103678A)

(43) 公開日 平成16年4月2日(2004.4.2)

(51) Int.Cl. ⁷		F I	テーマコード (参考)	
HO 1 S	5/20	HO 1 S	5/20	6 1 0
HO 1 S	5/022	HO 1 S	5/022	
HO 1 S	5/223	HO 1 S	5/223	
HO 1 S	5/343	HO 1 S	5/343	
審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 25 頁)				
(21) 出願番号	特願2002-260864 (P2002-260864)	(71) 出願人	000005968	
(22) 出願日	平成14年9月6日 (2002.9.6)		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 AA04 AA09 AA45 AA74 AB28	
			CA07 CB20 CB22 EA18 EA19	

(54) 【発明の名称】 半導体レーザおよび半導体レーザモジュール

(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、出射される光の縦方向の遠視野像の半値全幅を実効的に低減させ、光ファイバーとレンズで構成された光学系などと半導体レーザと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】第一導電型を示す基板上に、第一導電型第一クラッド層、第一導電型第二クラッド層、活性層構造、第二導電型第二クラッド層、第二導電型第一クラッド層をこの順に有しており、縦方向に関して基本モードの伝播のみが許容されている発振波長 λ (nm)の半導体レーザであって、当該半導体レーザから出射される光の放射パターンにおいて、基板に垂直な方向の遠視野像(F F P_V)の中に、最大強度が $I_{V \text{ m a i n}}$ である主ピークと、極大強度がそれぞれ $I_{V \text{ s u b -}}$ と $I_{V \text{ s u b +}}$ である2つの副ピークが存在するとともに、 $0 < I_{V \text{ s u b}} / I_{V \text{ m a i n}} < 0.5$ ($I_{V \text{ s u b}}$ は $I_{V \text{ s u b -}}$ と $I_{V \text{ s u b +}}$ のうち強度が大きい方)である半導体レーザ。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一導電型を示す基板上に、少なくとも、第一導電型第一クラッド層、第一導電型第二クラッド層、活性層構造、第二導電型第二クラッド層、第二導電型第一クラッド層をこの順に有しており、縦方向に関して基本モードの伝播のみが許容されている発振波長 λ (nm) の半導体レーザであって、

当該半導体レーザから出射される光の放射パターンにおいて、基板に垂直な方向の遠視野像 (FFP_V) の中に、最大強度が I_{Vmain} である主ピークと、極大強度がそれぞれ I_{Vsub-} と I_{Vsub+} である 2 つの副ピークが存在するとともに、以下の式を満たすことを特徴とする半導体レーザ。

10

【数 1】

$$0 < I_{Vsub}/I_{Vmain} < 0.5$$

(上式において、 I_{Vsub} は I_{Vsub-} と I_{Vsub+} のうち強度が大きい方を表す。)

【請求項 2】

請求項 1 記載の半導体レーザであって、主ピークが現れる角度を $P(I_{Vmain})$ 、極大強度が I_{Vsub-} と I_{Vsub+} である 2 つの副ピークが現れる角度をそれぞれ $P(I_{Vsub-})$ 、 $P(I_{Vsub+})$ とするとき、以下の式を満足することを特徴とする半導体レーザ。

20

【数 2】

$$|P(I_{Vmain}) - P(I_{Vsub-})| > 40 \text{ 度}$$

$$|P(I_{Vsub+}) - P(I_{Vmain})| > 40 \text{ 度}$$

$$|P(I_{Vsub+}) - P(I_{Vsub-})| > 80 \text{ 度}$$

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の半導体レーザであって、当該半導体レーザから出射される主ピークの放射パターンにおいて、基板に平行な方向の遠視野像 (FFP_H) の中に 1 つの極大値しか存在しないことを特徴とする半導体レーザ。

30

【請求項 4】

請求項 3 に記載の半導体レーザであって、基板に平行な方向の遠視野像 (FFP_H) の最大強度を I_{Hmain} 、当該最大強度を有するピークが現れる角度を $P(I_{Hmain})$ とするとき、以下の式を満足することを特徴とする半導体レーザ。

【数 3】

$$|P(I_{Vmain}) - P(I_{Hmain})| < 5 \text{ 度}$$

【請求項 5】

請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザであって、その発振波長 λ (nm) が以下の式を満たすことを特徴とする半導体レーザ。

40

【数 4】

$$900 \text{ nm} < \lambda < 1350 \text{ nm}$$

【請求項 6】

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザであって、素子内に複数の発光点を有しないことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 7】

請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザであって、第一導電型第一クラッド層の平均屈折率を N_{xn} 、第一導電型第二クラッド層の平均屈折率を N_{sn} 、活性層構造の平均的屈折率を N_a 、第二導電型第二クラッド層の屈折率 N_{sp} 、第二導電型第一クラッ

50

ド層の平均屈折率を N_{xp} とするとき、これら屈折率が以下の式を満たすことを特徴とする半導体レーザ。

【数 5】

$$\begin{aligned} N_{sn} &< N_{xn} < N_a \\ N_{sp} &< N_{xp} < N_a \end{aligned}$$

【請求項 8】

請求項 7 に記載の半導体レーザであって、活性層構造の少なくとも片側に光ガイド層を有し、この屈折率を N_g とするとき、各層の屈折率が以下の式を満たすことを特徴とする半導体レーザ。

10

【数 6】

$$\begin{aligned} N_{sn} &< N_{xn} < N_g < N_a \\ N_{sp} &< N_{xp} < N_g < N_a \end{aligned}$$

【請求項 9】

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザであって、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分が Al, Ga および As を含むことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 10】

20

請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザであって、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レーザ。

【請求項 11】

請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザであって、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レーザ

【請求項 12】

請求項 1 ～ 11 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザであって、第一導電型側が n 型で、第二導電型が p 型であることを特徴とする半導体レーザ。

30

【請求項 13】

請求項 1 ～ 12 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザと、当該半導体レーザ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レーザモジュール。

【請求項 14】

請求項 13 に記載の半導体レーザ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、半導体レーザ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レーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

40

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体レーザ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

50

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。

【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。

【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、すなわち、その縦方向の規格化周波数が $\pi/2$ 以下であ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 であって、導波路構造も同程度の寸法を有していることから、発振波長に比べて比較的広く、端面近傍の発光パターン(近視野像: near field pattern: NFPP)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。

【0006】

また、この様な半導体レーザが実現されれば、結果として縦方向のNFPP(NFPP_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されると考えられる。

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。

具体的には、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、光ファイバーとレンズで構成された光学系などと半導体レーザと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本発明の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、出射される光の放射パ

10

20

30

40

50

ターンにおいて、基板に垂直な方向の遠視野像（FFP_V）が特定の条件を満たす場合に優れた半導体レーザとなり得ることを見出し、本発明に到達した。

【0009】

すなわち本発明は、第一導電型を示す基板上に、少なくとも、第一導電型を示す第一クラッド層、第一導電型を示す第二クラッド層、活性層構造、基板と異なる導電型である第二導電型を示す第二クラッド層、第二導電型を示す第一クラッド層をこの順に有しており、縦方向に関して基本モードの伝播のみが許容されている発振波長 λ （nm）の半導体レーザであって、当該半導体レーザから出射される光の放射パターンにおいて、基板に垂直な方向の遠視野像（FFP_V）の中に、最大強度が $I_{V_{main}}$ である主ピークと、極大強度がそれぞれ $I_{V_{sub-}}$ と $I_{V_{sub+}}$ である2つの副ピークが存在するとともに、以下の式を満たすことを特徴とする半導体レーザを提供する。 10

【数7】

$0 < I_{V_{sub-}} / I_{V_{main}} < 0.5$
（上式において、 $I_{V_{sub}}$ は $I_{V_{sub-}}$ と $I_{V_{sub+}}$ のうち強度が大きい方を表す。）

【0010】

本発明の半導体レーザは、主ピークが現れる角度を $P(I_{V_{main}})$ 、極大強度が $I_{V_{sub-}}$ と $I_{V_{sub+}}$ である2つの副ピークが現れる角度をそれぞれ $P(I_{V_{sub-}})$ 、 $P(I_{V_{sub+}})$ とすると、以下の式を満足することが好ましい。

【数8】

$|P(I_{V_{main}}) - P(I_{V_{sub-}})| > 40 \text{ 度}$
 $|P(I_{V_{sub+}}) - P(I_{V_{main}})| > 40 \text{ 度}$
 $|P(I_{V_{sub+}}) - P(I_{V_{sub-}})| > 80 \text{ 度}$ 20

【0011】

本発明の半導体レーザは、当該半導体レーザから出射される主ピークの放射パターンにおいて、基板に平行な方向の遠視野像（FFP_H）の中に1つの極大値しか存在しないことが好ましい。また、基板に平行な方向の遠視野像（FFP_H）の最大強度を $I_{H_{main}}$ 、当該最大強度を有するピークが現れる角度を $P(I_{H_{main}})$ とすると、以下の式を満足することが好ましい。

【数9】

$|P(I_{V_{main}}) - P(I_{H_{main}})| < 5 \text{ 度}$ 30

【0012】

また、本発明の半導体レーザは、その発振波長 λ （nm）が以下の式を満たすことが好ましい。

【数10】

$900 \text{ nm} < \lambda < 1350 \text{ nm}$

【0013】

さらに、本発明の半導体レーザは、素子内に複数の発光点を有しないことが好ましい。また、第一導電型第一クラッド層の平均屈折率を N_{xn} 、第一導電型第二クラッド層の平均屈折率を N_{sn} 、活性層構造の平均的屈折率を N_a 、第二導電型第二クラッド層の屈折率 N_{sp} 、第二導電型第一クラッド層の平均屈折率を N_{xp} とすると、これら屈折率が以下の式を満たすことが好ましい。 40

【数11】

$N_{sn} < N_{xn} < N_a$
 $N_{sp} < N_{xp} < N_a$

【0014】

さらに、本発明の半導体レーザが活性層構造の少なくとも片側に光ガイド層を有し、この屈折率を N_g とすると、各層の屈折率は以下の式を満たすことが好ましい。

【数12】

$N_{sn} < N_{xn} < N_g < N_a$ 50

$$N_{s\ p} < N_{x\ p} < N_g < N_a$$

【0015】

本発明の半導体レーザは、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分がAl, GaおよびAsを含むことが好ましい。また、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を含むことが好ましい。さらに、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を含むことが好ましい。また、第一導電型側がn型で、第二導電型がp型であることが好ましい。

10

【0016】

本発明は、前記の半導体レーザと、当該半導体レーザ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レーザモジュールも提供する。

本発明の半導体レーザモジュールは、光ファイバーの先端が集光効果を有し、かつ、半導体レーザ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が好ましい。

【0017】

【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関して説明する。

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。

20

【0018】

また、FFPを記述する際の位置の定義は、本明細書においても通常の方法に従うものとする。これを図1を用いて説明する。先ず、基板に垂直な方向（縦方向）と水平な方向（横方向）にあって、互いに直行しあう2つの円を仮定する。さらに、これら2つの円の中心が素子構造上の発光中心Cとなる様にデバイスを配する。ここで、素子構造上の発光中心Cから物理的な鉛直方向に伸ばした直線が当該2つの円の弧と共に交わる点がFFPを記述する際の0度となる。すなわち、これを原点に、FFPを記述するための位置は、0度と素子構造上の発光中心をつなぐ直線が、それぞれの円弧上の点となす角度で定義される。図1は縦のFFPが+φ度、横のFFPが+θ度である位置を示したものである。これら角度で定義される位置の関数としてプロットされた光の強度分布が、FFPそのものである。なお、図中に示した+-の方向は相対的なものであって、一般には方向が逆であっても構わない。

30

【0019】

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値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。

40

【0020】

本発明の半導体レーザは、第一導電型を示す基板上に、少なくとも、第一導電型を示す第一クラッド層、第一導電型を示す第二クラッド層、活性層構造、基板と異なる導電型である第二導電型を示す第二クラッド層、第二導電型を示す第一クラッド層をこの順に有しており、縦方向に関して基本モードの伝播のみが許容されている。以下において、本発明の半導体レーザ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。

【0021】

先ず、本発明の半導体レーザの主たる特徴を、図2に示すLDを参照しながら説明する。図2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2下には

50

本図中で使用する方向の呼び方を示した。

【0022】

図2は、 n 型基板(101)上に、 $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ からなる厚み t_{xn} (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_{sn} (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_{gn} (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_{gp} (nm)の第二光ガイド層(106)、 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ からなる厚み t_{sp} (nm)の p 型第二クラッド層(107)、 $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ からなる厚み t_{xp} (nm)の p 型第一クラッド層(108)を有しており、さらに電極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 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を示すものである。本発明では、 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必ずしも対称である必要はないが、図2では同じ屈折率を有する材料で構成され、また厚みも以下の条件を満たしている。

【数13】

$$t_{xn} = t_{xp} = t_x$$

$$t_{sn} = t_{sp} = t_s$$

$$t_{gn} = t_{gp} = t_g$$

また活性層構造(105)は、基板(101)側から、厚み6nmの $In_{0.16}Ga_{0.84}As$ 歪み量子井戸層(121)、厚み8nmの $GaAs$ 障壁(バリア)層(122)、厚み6nmの $In_{0.16}Ga_{0.84}As$ 歪み量子井戸層(123)が積層された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。

【0023】

本発明においては、LDの光閉じ込めの基本となる活性層構造(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2つの $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ 第一クラッド層(102, 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。基板(101)が $GaAs$ であり、格子整合性の観点から第一クラッド層(102, 108)を $AlGaAs$ で構成する場合には、 Al 組成は0.4よりも小さいことが好ましく、0.3よりも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。これはLD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(102, 108)の Al 組成を下げることで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からである。また、第一クラッド層(102, 108)は、基板(101)が $GaAs$ である場合には $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 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、光に対して単一の層と等価に作用するような、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になる。

【0024】

第一クラッド層(102, 108)の厚み t_x (nm)は、その層の活性層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)に対して以下の関係を有することが好ましい。

【数14】

$$\lambda < t_x$$

特に980nm帯LDなどの様に、基板が発振波長に対して透明であり、かつ第一クラッド層(102, 108)および第二クラッド層(103, 107)よりも屈折率が高い場合には、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、第一クラッド層(102, 108)の厚みを波長に対して適切に

厚くしておくことが望ましい。

【0025】

また、光閉じ込めを実現するためには、光ガイド層（104，106）は第一クラッド層（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、光ガイド層（104，106）をAlGaAs系材料で構成する場合には、さらに光ガイド層（104，106）においてもその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。

【0026】

通常SCH（Separated Confinement Hetero-structure）構造をAlGaAs系材料で構成した場合においては、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）を有している点に特徴がある。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る必要がある。

【0027】

この結果、図2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2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2左のEg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。

【0028】

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、この存在によって、比較的狭いFFPを実現することが可能となる。さらに、この様に第二クラッド層（103，107）の反導波的な特性が適切に作用している場合には、素子のFFPには非常に特徴的な形状が現れる。一般的に縦方向に基本モードのみが伝播する様に設計されている半導体レーザ、すなわちその縦方向の規格化周波数が $\pi/2$ 以下である半導体レーザのFFP_Vは、ノイズの重畳、光の干渉パターン等の副次的な事例を除けば、図3に示される様に単峰性のピークとなる。しかし、本発明においては、図4に示される様に1つの主ピーク（強度が I_{Vmax} ）と2つの副ピーク（強度が I_{Vsub-} と I_{Vsub+} であり、強度の大きな一方を改めて I_{Vsub} とも記述する）が観測され、かつ、 $0 < I_{Vsub} / I_{Vmax} < 0.5$ を満たすことが特徴である。この副ピークは第二クラッド層（103，107）が光ガイド層（104，106）側に光を押しやることによって、比較的活性層に近い部分に集中させられたNFPP_Vの成分が、大きな回折を起こして発生するものである。このため、第二クラッド層（103，107）の存在は単に第一クラッド層（102，108）側に向けてNFPPの分布を広げるだけでは無く、半導体レーザに欠かすことができない活性層近傍における光の閉じ込めを保つ効果もある。そして本発明によれば、FFPを狭く（NFPPを広く）した際に発生するLDのしきい値上昇、スロープ効率の低下、駆動電流の上昇等の副作用なしにFFPを狭くすることが可能である。このためには、縦方向における光閉じ込めにおいて、活性層近傍に付近に集中させる度合い、すなわち、FFPに見ら

10

20

30

40

50

れる2つの副ピークの存在こそが非常に重要である。本発明においては、 $0 < I_{V\ sub} / I_{V\ main} < 0.5$ であることが必須であって、望ましくは $0 < I_{V\ sub} / I_{V\ main} < 0.3$ 、より望ましくは $0.05 < I_{V\ sub} / I_{V\ main} < 0.2$ である。これら指標は、第一クラッド層(102, 108)、第二クラッド層(103, 107)、光ガイド層(104, 106)、活性層構造(105)の(平均的)屈折率、あるいは厚みなどの、絶対的、また、相対的な関係で規定されるものである。例えば、極端に第二クラッド層(103, 107)の屈折率を下げる、あるいは厚みを増すこと、また光ガイド層(104, 106)の厚みを極端に薄くすることなどは、導波路が過度に反導波的になりLD構造中の縦方向の光閉じ込めがあまりに弱くなり過ぎ、結果として、極端な発振しきい値の増大、スロープ効率の低下、駆動電流の増大などを招く結果となり望ましくない。

10

【0029】

また、主ピークがあらわれる角度を $P(I_{V\ main})$ 、強度が $I_{V\ sub-}$ と $I_{V\ sub+}$ である2つの副ピークがあらわれる角度をそれぞれ $P(I_{V\ sub-})$ 、 $P(I_{V\ sub+})$ とすると、本発明においては、以下の関係を満たすことが望ましい。

【数15】

$$\begin{aligned} |P(I_{V\ main}) - P(I_{V\ sub-})| &> 40 \text{ 度} \\ |P(I_{V\ sub+}) - P(I_{V\ main})| &> 40 \text{ 度} \\ |P(I_{V\ sub+}) - P(I_{V\ sub-})| &> 80 \text{ 度} \end{aligned}$$

【0030】

これは、 NFP_V の成分の中で活性層近傍に集中される度合いを示す重要な指標であって、以下の関係を満たすことがより望ましい。

20

【数16】

$$\begin{aligned} |P(I_{V\ main}) - P(I_{V\ sub-})| &> 50 \text{ 度} \\ |P(I_{V\ sub+}) - P(I_{V\ main})| &> 50 \text{ 度} \\ |P(I_{V\ sub+}) - P(I_{V\ sub-})| &> 100 \text{ 度} \end{aligned}$$

【0031】

さらに望ましいのは、以下の関係を満たす場合である。

【数17】

$$\begin{aligned} 60 \text{ 度} &> |P(I_{V\ main}) - P(I_{V\ sub-})| > 55 \text{ 度} \\ 60 \text{ 度} &> |P(I_{V\ sub+}) - P(I_{V\ main})| > 55 \text{ 度} \\ 120 \text{ 度} &> |P(I_{V\ sub+}) - P(I_{V\ sub-})| > 110 \text{ 度} \end{aligned}$$

30

【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(121, 123)から第一クラッド層(102, 108)中へのキャリアの熱的な漏れ出し(オーバーフロー)を抑制する機能である。本構造においては、図2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、さらに望ましくは $0.1 \text{ eV} \sim 0.3 \text{ eV}$ 程度であることが望ましい。

40

【0033】

次に、本発明の半導体レーザの一例である単一横モード動作可能な半導体レーザについて図5を参照しながら説明する。図5は、本発明の半導体レーザにおけるエピタキシャル構

50

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。この半導体レーザは半導体基板（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層（１０）と第二導電型下側第一クラッド層（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。

【００３４】

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AlOx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～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。

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、半導体レーザ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。

【００３５】

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（１）と同一の物質ではなく、その所望の発光波長、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。

【００３６】

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。

【００３７】

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_{xn} （nm）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 （nm）よりも大きくすることが好ましい。

【００３８】

また前記の様に、第一導電型第一クラッド層（３）にAlGaAsを用いた場合には、 $Al_{x_n}Ga_{1-x_n}As$ 層のAl組成が、通常のSCH構造、あるいはGRIN-SCH構造を有するLDよりも低いため、ドーパントの活性化率を高くできる効果も期待できる

10

20

30

40

50

。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. Chandet 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。

【0039】

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。

【0040】

また、第一導電型第二クラッド層(4)をAlGaAs系材料で構成し、これを $\text{Al}_{s_n} \text{Ga}_{1-s_n} \text{As}$ とした場合は、そのAl組成 s_n 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より大きいことが望ましい。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。

【0041】

第一導電型第二クラッド層(4)の厚み t_{s_n} (nm)は、第一光ガイド層(5)の厚み t_{g_n} (nm)よりも小さいことが好ましい。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。適度な縦方向のNFP拡大効果を得るためには、 t_{s_n}/t_{g_n} が0.3より大きいことが好ましい。また、第一導電型第二クラッド層(4)の厚み t_{s_n} 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_{s_n} 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。

【0042】

また、第一導電型第二クラッド層(4)において、これをAlGaAs系材料で構成し、 $\text{Al}_{s_n} \text{Ga}_{1-s_n} \text{As}$ とした場合は、このAl組成 s_n が本発明のLD構造の中で比較的高いために、ドーパントのドーピングレベ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。

【0043】

10

20

30

40

50

ここで、前記の第一導電型第一クラッド層（３）の平均屈折率を N_{xn} 、第一導電型第二クラッド層（４）の平均屈折率を N_{sn} 、後述する活性層構造（６）の平均的屈折率を N_a とすると、これら屈折率が $N_{sn} < N_{xn} < N_a$ を満たすことが望ましい。これは完成した素子の FFP_V の中に本質的に３つの極大値が存在し、その強度が I_{Vmain} である最大値を有する主ピークと、その強度がそれぞれ I_{Vsub-} と I_{Vsub+} である極大値を有する２つの副ピークから構成されており、 $0 < I_{Vsub} / I_{Vmain} < 0.5$ を実現するための１つの手段である（ I_{Vsub} は I_{Vsub-} と I_{Vsub+} で強度の大きな方）。

【００４４】

図５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。

【００４５】

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。

【００４６】

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。

【００４７】

また第一光ガイド層（５）の厚み t_{gn} （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１８】

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

上式において、 N_{gn} 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_{gn} 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_{gn} 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）の反導波的特性が過度にならないようにすることができる。

【００４８】

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_{gn} 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。

【００４９】

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。

【００５０】

前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。

【００５１】

本発明で言う活性層構造（６）とは、量子効果の現れないほどに十分な膜厚を有する単層のバルク活性層である場合、あるいは、量子効果が顕著になるほどに薄い薄膜からなり、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、活性層構造が、図５に示されるように、基板（１）側から障壁層（２１）、量子井戸層（２２）、障壁層（２３）、量子井戸層（２４）、障壁層（２５）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、これら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は広く行われている。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。

【００５２】

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。

【００５３】

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。この様な状況においては、障壁層（２１，２３，２５）から電子が活性層構造内の量子井戸層（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（２１，２３，２５）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。

【００５４】

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。

【００５５】

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

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。

【００５６】

第二導電型第二クラッド層（８）の厚み t_{sp} (nm) は、第二光ガイド層（７）の厚み t_{gp} (nm) よりも小さいことが好ましい。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。適度な縦方向のＮＦＰ拡大効果を得るためには、 t_{sp}/t_{gp} が０．３より大きいことが好ましい。また、第二導電型第二クラッド層（８）の厚み t_{sp} 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_{sp} 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。

【００５７】

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。

【００５８】

また、活性層構造（６）の平均的屈折率を N_a 、第二導電型第二クラッド層（８）の屈折率 N_{sp} 、後述する第二導電型第一クラッド層（９，１０）の平均屈折率を N_{xp} とするとき、これら屈折率が $N_{sp} < N_{xp} < N_a$ を満たすことが望ましい。これは完成した素子のＦＦＰＶの中に存在する最大強度が I_{vmain} である主ピークと、極大強度がそれぞれ I_{vsu-} と I_{vsu+} である２つの副ピークについて、 $0 < I_{vsu-}/I_{vmain} < 0.5$ を実現するための１つの手段である（ I_{vsu} は I_{vsu-} と I_{vsu+} のうち強度が大きい方を表す）。

【００５９】

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。

【００６０】

図５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（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一クラッド層（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。

【００６１】

第二導電型第一クラッド層は、図５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。

【００６２】

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。

【００６３】

第二導電型下側第一クラッド層（９）の厚みは、活性層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、 $10\text{ nm} \sim 200\text{ nm}$ 程度であることが望ましい。またより望ましくは $20\text{ nm} \sim 70\text{ nm}$ 程度であることが望ましい。

【００６４】

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）で一様に行われる必要はなく、コンタクト層（１３）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。

【００６５】

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。この場合には、主ピークの放射パターンにおいて FFP_H は基本的に１つの極大値を持つこととなり、本発明において望ましい。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、主ピークの放射パターンにおいて横方向の FFP_H が基本的に１つの極大値を持つ様にできるため、本発明において望ましい。

【００６６】

また、本発明では電流ブロック層（１１）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（１１）も AlGaAs 系材料で形成し、それぞれ $\text{Al}_{x_p}\text{Ga}_{1-x_p}\text{As}$ 、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ であるとしたとき、その Al 組成を $z > x_p$ 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 $6\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが望ましく、より望ましくは $3\text{ }\mu\text{m}$ 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、この様な場合においては、一方の発光点近傍における電流注入路の幅を $W_{ex\ p}$ 、素子中の最も狭い電流注入路の幅 $W_{s\ t\ d}$ とした場合に以下の式を満たすことが好ましい。

【数 19】

$$1.5 < W_{ex\ p} / W_{s\ t\ d} < 5.0$$

さらに、以下の式を満たすことがより好ましい。

【数 20】

$$2.5 < W_{ex\ p} / W_{s\ t\ d} < 3.5$$

10

【0067】

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。

【0068】

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。

【0069】

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。

20

【0070】

また、本発明の半導体レーザにおいては、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。

【0071】

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 (13) 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 型の場合、例えば AuGe/Ni/Au を基板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。

30

【0072】

製造した半導体ウェハには、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 (1) 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。

40

【0073】

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 μm 以上あることが望ましい。またさらに望ましくは 900 μm ~ 3000 μm 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、大きい値電流の上昇、効率の低下等、特性劣化をきたす恐れがあるからである。

【0074】

50

本発明では、露出した半導体端面上に、図6に示すように、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%以下であることが好ましい。

【0075】

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。

【0076】

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。

【0077】

この様にして作製された素子、あるいは他の層をさらに有する素子においても、本発明を用いることで、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、そのFFPV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できる。言い換えると、第一クラッド層(3, 9, 10)、第二クラッド層(4, 8)、光ガイド層(5, 7)、活性層構造(6)等の屈折率、厚み等が適切に設定され、かつ、縦方向に関して基本モードの伝播のみが許容される様に規格化周波数が $\pi/2$ 以下である半導体レーザにおいては、当該半導体レーザから出射される光の放射パターンにおいて、FFPVの中に存在する最大強度が $I_{V_{main}}$ である主ピークと、極大強度がそれぞれ $I_{V_{sub-}}$ と $I_{V_{sub+}}$ である2つの副ピークについて、 $0 < I_{V_{sub-}}/I_{V_{main}} < 0.5$ を実現することができる($I_{V_{sub}}$ は $I_{V_{sub-}}$ と $I_{V_{sub+}}$ のうち強度が大きい方を表す)。本発明においては、 $0 < I_{V_{sub-}}/I_{V_{main}} < 0.5$ であることが必須であって、望ましくは $0 < I_{V_{sub-}}/I_{V_{main}} < 0.3$ 、より望ましくは $0.05 < I_{V_{sub-}}/I_{V_{main}} < 0.2$ である。これら指標は、第一クラッド層(3, 9, 10)、第二クラッド層(4, 8)、光ガイド層(5, 7)、活性層構造(6)の(平均的)屈折率、あるいは厚みなどの、絶対的、また、相対的な関係で規定されるものである。例えば、極端に第二クラッド層(4, 8)の屈折率を下げる、あるいは厚みを増すこと、また光ガイド層(5, 7)の厚みを極端に薄くすることなどは、導波路が過度に反導波的になりLD構造中の縦方向の光閉じ込めがあまりに弱くなり過ぎ、結果として、極端な発振しきい値の増大、スロープ効率の低下、駆動電流の増大などを招く結果となり望ましくない。

【0078】

また、本発明によって、第一クラッド層(3, 9, 10)、第二クラッド層(4, 8)、光ガイド層(5, 7)、活性層構造(6)等の屈折率、厚み等が非常に適切に設定され、かつ、縦方向に関して基本モードの伝播のみが許容されている半導体レーザにおいては、

1つの主ピークがあらわれる角度を $P(I_{V_{main}})$ 、強度が $I_{V_{sub-}}$ と $I_{V_{sub+}}$ である2つの副ピークがあらわれる角度をそれぞれ $P(I_{V_{sub-}})$ 、 $P(I_{V_{sub+}})$ とすると、以下の関係を満たすことが好ましい。より好ましい範囲は、前記の図2の説明における好ましい範囲と同じである。

【数21】

$$\begin{aligned} |P(I_{V_{main}}) - P(I_{V_{sub-}})| &> 40 \text{ 度} \\ |P(I_{V_{sub+}}) - P(I_{V_{main}})| &> 40 \text{ 度} \\ |P(I_{V_{sub+}}) - P(I_{V_{sub-}})| &> 80 \text{ 度} \end{aligned}$$

【0079】

また、この場合においても、前記の様な適切な縦方向の設計を実施しており、かつ実屈折率導波構造を有する結果として、 FFP_H の最大値を $I_{H_{main}}$ 、これがあらわれる角度を $P(I_{H_{main}})$ として、以下の関係も満たすことが最も望ましい。

【数22】

$$|P(I_{V_{main}}) - P(I_{H_{main}})| < 5 \text{ 度}$$

【0080】

本発明の半導体レーザに対して波長の安定化を図るためにレーザ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レーザ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臓した半導体レーザ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レーザ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レーザ側への光の反射率がレーザの発振波長において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。

【0081】

【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。

【0082】

<実施例1>

図5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；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；第一導電型二クラッド層(4)として厚みが 35 nm でキャリア濃度が $8.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型 $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}$ ；第一光ガイド層(5)として、厚みが 80 nm で、基板側から 35 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 45 nm はアンドープであるGaAs層；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 $\text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{As}$ 歪み量子井戸層、厚み 7 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 $\text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{As}$ 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80nmで、基板側から45nmはアンドープで、その上35nm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；第二導電型ニクラッド層（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ドーピング型In_{0.49}Ga_{0.51}P層；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ドーピング型Al_{0.19}Ga_{0.81}As層；電流ブロック層（11）として厚み0.3μmでキャリア濃度 $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiドーピング型Al_{0.23}Ga_{0.78}As層；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ドーピング型GaAs層を順次積層した。

【0083】

10

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1.5μm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。

【0084】

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2.3μmで、キャリア濃度が基板側から1μmは $4.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上の1.3μmは $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であるZnドーピング型Al_{0.19}Ga_{0.81}As層；コンタクト層（13）として厚み3.0μmで、キャリア濃度が基板側から2.7μmは $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上の0.3μmは $6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるZnドーピングGaAs層を再成長した。

20

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70nm/70nm/80nmだけ蒸着し、また、基板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150nm/80nm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2.2μmであった。

【0085】

続いて、大気中で、共振器長1600μm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（図6）。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。

30

【0086】

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29.9mA、スロープ効率は0.91W/A、キンクレベルは620mWであった。また電流を1.22A注入した際に最大光出力761mWであった。

また450mW光出力時におけるFFP_Vの半値全幅は23.5度であり、FFP_Hの半値全幅は8.5度であった。この際、図4に典型例が示されるように、FFP_Vには副ピーク、主ピーク、副ピークの順に3つのピークが確認され、それぞれのピークの位置は角度の順に、-54.6度、0.9度、55.3度であった。また主ピークの強度を1とした場合の相対的な強度は、角度順にそれぞれ、0.07、1、0.04であった。一方、FFP_Vの主ピーク部分のFFP_Hには1つのピークのみが確認され、そのピークの位置は-0.2度であった。なお、450mW出力時における素子の発振波長は984nmであった。

40

【0087】

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

50

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25.6mA、スロープ効率0.75mW/mAであった。結合効率は約82.4%と良好であった。

【0088】

<実施例2>

図5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0.5μmでキャリア濃度 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型GaAs層；第一導電型第一クラッド層(3)として厚み2.3μmで、キャリア濃度が基板側から1.3μmは $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上1μmは $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であるSiドープn型Al_{0.45}Ga_{0.55}As層；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 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型Al_{0.71}Ga_{0.29}As；第一光ガイド層(5)として、厚みが72nmで、基板側から32nm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Al_{0.26}Ga_{0.74}As層；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In_{0.16}Ga_{0.84}As歪み量子井戸層、厚み7nm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In_{0.16}Ga_{0.84}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72nmで、基板側から32nmはアンドープで、その上40nmはZnのドーピングレベルが $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であるAl_{0.26}Ga_{0.74}As層；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Znドープp型Al_{0.71}Ga_{0.29}As；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Znドープp型Al_{0.45}Ga_{0.55}As層；電流ブロック層(11)として厚み0.3μmでキャリア濃度 $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のSiドープn型Al_{0.49}Ga_{0.51}As層；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。

【0089】

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1.5μm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。

【0090】

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2.3μmで、キャリア濃度が基板側から1μmは $4.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上の1.3μmは $7.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であるZnドープp型Al_{0.45}Ga_{0.55}As層；コンタクト層(13)として厚み3.0μmで、キャリア濃度が基板側から2.7μmは $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、その上の0.3μmは $6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるZnドープGaAs層を再成長した。

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70nm/70nm/80nmだけ蒸着し、また、基板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150nm/80nm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

10

20

30

40

50

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。

【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 $980\ \text{nm}$ において前端面の反射率が 2.5% になるように $165\ \text{nm}$ 製膜し、コーティング層 (16) を形成した(図6)。さらに後端面側の処理を行うために、厚み $170\ \text{nm}$ の AlOx 層／厚み $60\ \text{nm}$ のアモルファス Si 層／厚み $170\ \text{nm}$ の AlOx 層／厚み $60\ \text{nm}$ 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°C における電流光出力特性においては、しきい値電流は $27.1\ \text{mA}$ 、スロープ効率は $0.94\ \text{W/A}$ 、キンクレベルは $580\ \text{mW}$ であった。また素子の最大光出力 $682\ \text{mW}$ であった。

【0093】

縦方向 FFP の半値全幅は 21.8 度であり、横方向 FFP の半値全幅は 8.7 度であった。この際、縦方向の FFP には、図4に典型例が示されるように、 FFP_V には副ピーク、主ピーク、副ピークの順に3つのピークが確認され、それぞれのピークの位置は角度の順に、 -53.5 度、 -0.2 度、 53.9 度であった。また主ピークの強度を1とした場合の相対的な強度は、角度順にそれぞれ 0.1 、 1 、 0.07 であった。一方、 FFP_V の主ピーク部分の FFP_H には1つの主ピークのみが確認され、そのピークの位置は 0.5 度であった。なお、 $450\ \text{mW}$ 出力時における素子の発振波長は $984\ \text{nm}$ であった。

【0094】

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 $982\ \text{nm}$ であり、その反射率は 3% であった。 25°C 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 $23.6\ \text{mA}$ 、スロープ効率 $0.78\ \text{mW/mA}$ であった。結合効率は約 82.9% と良好であった。

【0095】

<実施例3>

発振波長を $780\ \text{nm}$ 近傍に有するロスガイド型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 $1.0\ \mu\text{m}$ でキャリア濃度 $1.0 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 GaAs 層；第一導電型第一クラッド層(3)として厚み $1.5\ \mu\text{m}$ で、キャリア濃度が基板側から $1.0\ \mu\text{m}$ は $1.0 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ であり、その上 $0.5\ \mu\text{m}$ は $6.0 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ である Si ドープ n 型 $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ 層；第一導電型二クラッド層(4)として厚みが $25\ \text{nm}$ でキャリア濃度が $1.0 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層；活性層構造(6)として、厚み $100\ \text{nm}$ でアンドープである $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 単層のバルク活性層；第二導電型二クラッド層(8)として厚みが $25\ \text{nm}$ でキャリア濃度が $1.0 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ の Zn ドープ p 型 $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ 層；第二導電型下側第一クラッド層(9)として厚み $350\ \text{nm}$ で、キャリア濃度が $8.0 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ の Zn ドープ p 型 $\text{Al}_{0.55}\text{Ga}_{0.45}\text{As}$ 層；電流ブロック層(11)として厚み $0.7\ \mu\text{m}$ でキャリア濃度 $3.0 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ の Si ドープ n 型 GaAs 層を順次積層した。

【0096】

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 $1.2\ \mu\text{m}$ とした。これをマスクとして電流注入領域部分の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(3

10

20

30

40

50

0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。

【0097】

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 $1.15\mu\text{m}$ で、キャリア濃度が $1.4\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ であるZnドープp型Al_{0.55}Ga_{0.45}As層;コンタクト層(13)として厚み $7.0\mu\text{m}$ で、キャリア濃度が $7.0\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ であるZnドープGaAs層を再成長した。

さらに、エピタキシャル層側(p側)電極としてTi/Pt/Auを、それぞれ70nm/70nm/80nmだけ蒸着し、また、基板をポリッシングした後には、基板側(n側)電極としてAuGeNi/Auをそれぞれ150nm/80nm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。

なお、完成した半導体レーザの電流注入領域の幅Wは $3.2\mu\text{m}$ であった。

【0098】

続いて、大気中で、共振器長 $250\mu\text{m}$ 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780nmにおいて前後端面とも反射率が33%になるように製膜した。

【0099】

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43.5mA、スロープ効率は0.29W/Aであった。また、この素子の3mW出力時における縦方向FFPの半値全幅は22.8度であり、横方向FFPの半値全幅は8.7度であった。この際には縦方向のFFPには副ピーク、主ピーク、副ピークの順に3つのピークが確認された。また主ピークの強度を1とした場合の相対的な強度は、角度順にそれぞれ0.21、1、0.11であった。一方、FFP_Vの主ピーク部分のFFP_Hには1つのピークのみが確認され、そのピークの位置は0.7度であった。なお、3mW出力時における素子の発振波長は775nmであった。

【0100】

<比較例1>

第一光ガイド層(5)および第二光ガイド層(7)の厚みを40nm、また、その中のアンドープ領域を10nmとし、かつ、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)の厚みを共に50nmとした以外は、実施例1と同様にして半導体レーザを作製した。

しきい値電流は39.5mA、スロープ効率は0.70W/A、キンクレベルは485mWと、素子特性全般において実施例1に及ばなかった。素子の最大光出力も520mWと実施例1と比較して低かった。

また450mW光出力時における縦方向のFFPには、副ピーク、主ピーク、副ピークの順に3つのピークが確認され、それぞれのピークの位置は、角度の順に-55.8度、0.3度、57.6度であったが、主ピークの強度を1とした場合の相対的な強度は、角度順にそれぞれ、0.61、1.0、0.4であり、副ピークの強度は実施例1よりも非常に大きかった。なお、主ピーク部分に限ってみた縦方向のFFPの半値全幅は15.2度であり、横方向FFPの半値全幅は8.4度であった。なお、450mW出力時における素子の発振波長は992nmであった。

【0101】

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36.1mA、スロープ効率0.48mW/mAであった。結合効率は約68.6%と実施例1に及ばなかった。

【0102】

【発明の効果】

本発明の半導体レーザは、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、出射される光の縦方向の遠視野像の半値全幅を実効的に低減させ、光ファイバーとレンズで構成された光学系などと半導体レーザとの良好な結合を実現し、かつ、半導体レーザそのも

10

20

30

40

50

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】 F F P の位置の規定を説明する図である。

【図 2】 本発明の半導体レーザの一態様を光の出射方向から見た断面図である。

【図 3】 従来の半導体レーザの F F P_V を示す図である。

【図 4】 本発明の半導体レーザの F F P_V を示す図である。

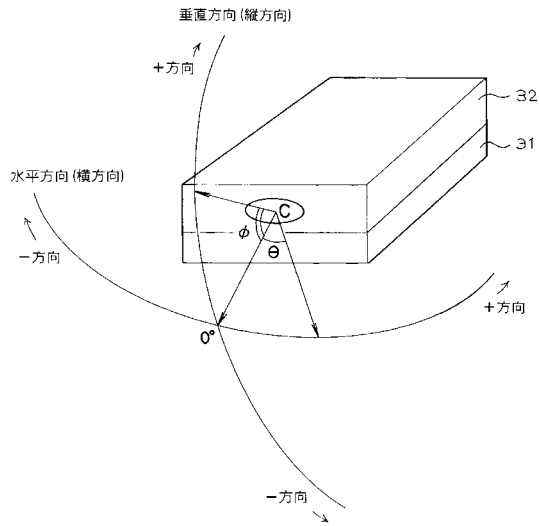
【図 5】 本発明の半導体レーザの一態様を光の出射方向から見た断面図である。

【図 6】 本発明の半導体レーザの一態様を示す斜視図である。

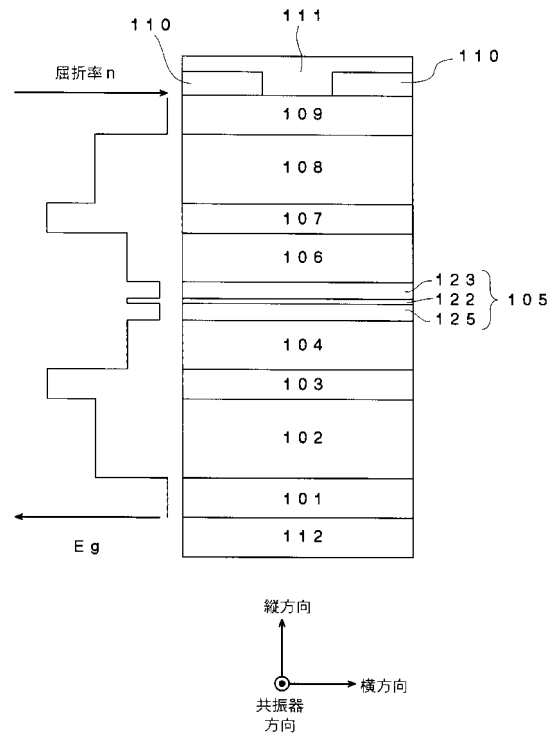
【符号の説明】

3 1	基板	10
3 2	素子構造	
1 0 1	n 型基板	
1 0 2	n 型第一クラッド層	
1 0 3	n 型第二クラッド層	
1 0 4	第一光ガイド層	
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	20
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	歪み量子井戸層	
1 2 2	障壁層	
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	30
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	
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	40
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	

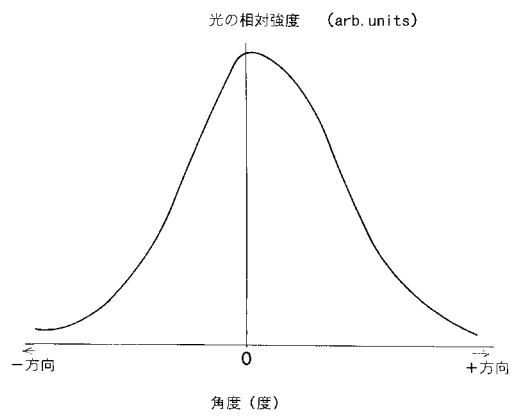
【図 1】



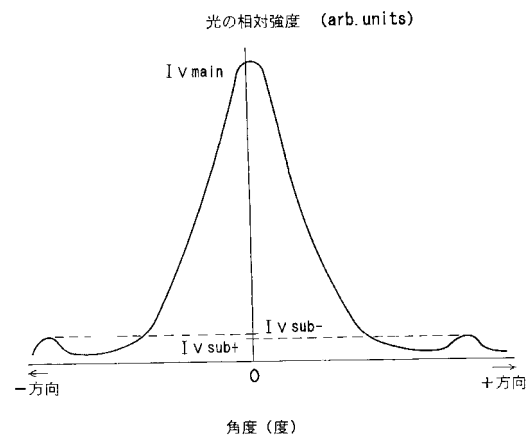
【図 2】



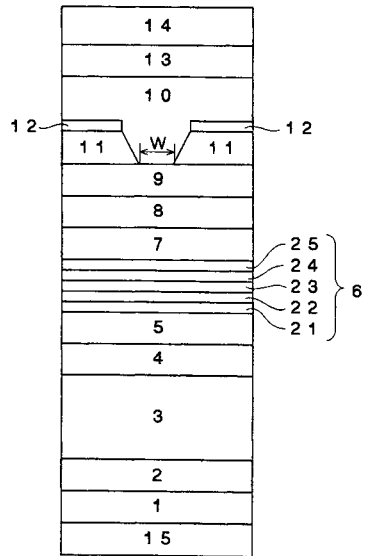
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

