

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3652454号

(P3652454)

(45) 発行日 平成17年5月25日(2005.5.25)

(24) 登録日 平成17年3月4日(2005.3.4)

(51) Int. Cl.⁷

H01S 5/227

F I

H01S 5/227

請求項の数 4 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平8-256240	(73) 特許権者	000005223
(22) 出願日	平成8年9月27日(1996.9.27)		富士通株式会社
(65) 公開番号	特開平10-107367		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(43) 公開日	平成10年4月24日(1998.4.24)	(74) 代理人	100091672
審査請求日	平成14年8月15日(2002.8.15)		弁理士 岡本 啓三
		(72) 発明者	渡辺 孝幸
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	藤井 卓也
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	山本 剛之
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

(100)面を有する半導体基板と、該半導体基板上に形成された活性層を含む活性層メサ領域と、該活性層メサ領域を挟む電流狭窄領域と、前記両方の領域を被覆するクラッド層とを有する半導体レーザにおいて、

前記電流狭窄領域の最上層のn型電流阻止層の側壁は(111)B面を有し、該側壁の間のクラッド層のZn濃度は、前記電流阻止層上部のクラッド層のZn濃度より低く、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上を含有するInP層からなることを特徴とする半導体レーザ。

【請求項2】

前記活性層から横方向に延びるスポットサイズ変換器を有することを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ。 10

【請求項3】

(100)面を有する半導体基板と、該半導体基板上の活性層を含む活性層メサ領域と、最上層のn型電流阻止層の側壁が(111)B面となっている、前記活性層メサ領域を挟む電流狭窄領域と、前記活性層メサ領域上であって前記側壁に挟まれた領域及び前記電流狭窄領域を被覆するクラッド層とを有する半導体レーザの製造方法において、

前記クラッド層は、600以下の成長温度でZnをドーブしながらInP層を成長させることを特徴とする半導体レーザの製造方法。

【請求項4】

前記活性層から横方向に延びるスポットサイズ変換器を有することを特徴とする請求項 20

3 記載の半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体レーザ及びその製造方法に関し、より詳しくは、電流狭窄層を有する平坦化埋込みレーザ及びその製造方法に関する。

平坦化埋込みレーザは、その効率のよい電流狭窄構造から、低閾値、高効率のレーザ発振を達成でき、また寄生容量が小さいことから高速変調動作を期待できる。光通信用レーザとして重要である。

【0002】

【従来の技術】

従来の平坦化埋込みレーザの一例として用いられた半絶縁性電流狭窄層を有する平坦化埋込みレーザ (Semi Insulated Planar Buried Heterostructure Laser: SIPBHレーザ) の構造を図11(a), (b)に示す。p側電極72より注入された電流は、広いp-InGaAsPコンタクト層70、p-InPクラッド層69を透過した後、n-InP電流阻止層68a, 68b、Fe-InP電流狭窄層67a, 67bからなる電流狭窄領域202a, 202bによって狭窄され、電流狭窄領域202a, 202bの間の活性層63を含む活性層メサ領域201を流れる。ここで電流狭窄領域202a, 202b上部に、広いクラッド層69及びコンタクト層70を有し、電流の通流面積が広いことから、直列抵抗を低減できる。このことは、レーザ駆動電力を低減するのに重要である。

【0003】

このような構造は、有機金属気相成長法 (MOVPE法) で3回連続成長することにより作成される。

まず、(100)面方位を有するn-InP基板61を用意する。(100)面を用いるのは、へき開により垂直な出射端面を容易に得ることができること、再成長したエピ層の結晶性が良好なこと等の利点があるためである。

【0004】

一回目成長で、n-InP基板61上にn-InPバッファ層62、InGaAsP活性層63、p-InPクラッド層64及びp-InGaAsPキャップ層65を形成する。

次に、p-InGaAsPキャップ層65の中央部に形成したSiO₂膜91をマスクとして、下の多層65~62をメサエッチングし、活性層63を含む活性層メサ領域201aを形成する。

【0005】

次いで、図10(a)に示すように、メサエッチングに用いたSiO₂膜91を選択成長のマスクとして使い、2回目成長で、活性層メサ領域201aの両側にFe-InP電流狭窄層67a, 67b及びn-InP電流阻止層68a, 68bを形成する。このとき、n-InP電流阻止層68a, 68bの活性層メサ領域201aに面した側の側壁では、(111)B面が成長停止面となり、(111)B面が出ている、傾斜した側壁となる。

【0006】

そして、最後に、図10(b)に示すように、SiO₂膜91のマスク及びp-InGaAsPキャップ層65を除去した後、図10(c)に示すように、3回目成長で、p-InPクラッド層69を形成し、さらに、図11に示すように、p-InGaAsPコンタクト層70を形成する。このとき、成長速度1.5µm/h以上で良好な表面ホモロジを得るために、p-InPクラッド層69の成長を通常成長温度620以上で行う。また、p-InPクラッド層69を成長すると、2回目成長で生じた(111)B面上への成長となるために、n-InP電流阻止層68a, 68bに挟まれた活性層メサ領域201の直上部では(111)B面成長となる。一方、活性層メサ領域201から十分に離れたn-InP電流阻止層68a, 68bの直上部では(100)面成長となる。

【0007】

その後、p-InGaAsPコンタクト層70上に絶縁膜71のコンタクトホールを通してp側電

10

20

30

40

50

極 7 2 を形成し、さらに n-InP 基板 6 1 の裏面に n 側電極 7 3 を形成すると、半導体レーザが完成する。

上記半導体レーザでは、注入電流を活性層に集中して流す電流狭窄構造の特徴を有効に生かすため、リーク電流を極力抑制する必要がある。例えば、通常使用される駆動電流 3 0 m A 以下の場合に、リーク電流を 1 5 % 以下に抑制することが望ましい。

【 0 0 0 8 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記半導体レーザでは、活性層の両脇の電流狭窄領域 2 0 2 a , 2 0 2 b を流れるリーク電流が増加するという問題がある。例えば、駆動電流 3 0 m A で 2 5 % 以上のリーク電流が生じる場合がある。

その原因調査によると、3 回目成長の p-InP クラッド層 6 9 は、n-InP 電流阻止層 6 8 a , 6 8 b に挟まれる A 部では、n-InP 電流阻止層 6 8 a , 6 8 b の直上部 (B 部) に比べて p ドーパント濃度が低濃度になっていることが分かった。例えば、固溶限界となる濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で Zn を p-InP クラッド層 6 9 にドーピングしても、A 部では Zn 濃度が凡そ $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となっている。

【 0 0 0 9 】

このように、活性層メサ領域 2 0 1 の直上部 (A 部) が低濃度になると、その部分では n-InP 電流阻止層 6 8 a , 6 8 b によって特に電流通流面積が小さいため、直列抵抗が増大し、活性層メサ領域 2 0 1 に加わる電圧が増加する。その結果、p 側電極 7 2 から注入した電流は、活性層メサ領域 2 0 1 を流れるよりも電流狭窄領域 2 0 2 a , 2 0 2 b の方を

【 0 0 1 0 】

さらに、S I P B H 構造で、かつスポットサイズ変換器を集積したレーザの場合、次のような問題が生じる。即ち、この構造は活性層を含む利得領域と導波路領域が共振器方向に隣接して設けられ、p 側電極は利得領域の上部にのみ形成される。活性層メサ領域直上部が低濃度になると、活性層メサ領域に加わる電圧が増加するため、注入電流は導波路領域に広がり、発光再結合に寄与しなくなる。

【 0 0 1 1 】

本発明は、上記の従来例の問題点に鑑みて創作されたものであり、活性層を含む活性層メサ領域直上部の p 型クラッド層の Zn 濃度の低下を抑制して電流狭窄領域及び導波路領域を流れるリーク電流を低減することができる半導体レーザ及びその製造方法を提供するものである。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

上記課題は、第 1 の発明である、(1 0 0) 面を有する半導体基板と、該半導体基板上に形成された活性層を含む活性層メサ領域と、該活性層メサ領域を挟む電流狭窄領域と、前記両方の領域を被覆するクラッド層とを有する半導体レーザにおいて、前記電流狭窄領域の最上層の n 型電流阻止層の側壁は (1 1 1) B 面を有し、該側壁の間のクラッド層の Zn 濃度は、前記電流阻止層上部のクラッド層の Zn 濃度より低く、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上を含有する InP 層からなることを特徴とする半導体レーザによって解決され、

第 2 の発明である、前記活性層から横方向に延びるスポットサイズ変換器を有することを特徴とする第 1 の発明に記載の半導体レーザによって解決され、

第 3 の発明である、(1 0 0) 面を有する半導体基板と、該半導体基板上の活性層を含む活性層メサ領域と、最上層の n 型電流阻止層の側壁が (1 1 1) B 面となっている、前記活性層メサ領域を挟む電流狭窄領域と、前記活性層メサ領域上であって前記側壁に挟まれた領域及び前記電流狭窄領域を被覆するクラッド層とを有する半導体レーザの製造方法において、前記クラッド層は、6 0 0 以下の成長温度で Zn をドーピングしながら InP 層を成長させることを特徴とする半導体レーザの製造方法によって解決され、

第 4 の発明である、前記活性層から横方向に延びるスポットサイズ変換器を有することを特徴とする第 3 の発明に記載の半導体レーザの製造方法によって解決される。

10

20

30

40

50

【0013】

従来例のSIPBH構造の半導体レーザで活性層メサ領域201の直上部(A部)が低濃度になる原因は以下のように説明することができる。即ち、InP結晶成長において、(111)B面と(100)面とで、Znの取り込まれ量が異なること、特に成長温度が620以上では、(111)B面でのZnの取り込まれ率が(100)面に比べて非常に低いことが挙げられる。例えば、成長温度620では、(100)面でZnの固溶限界である $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ でドーピングしたとしても、(111)B面では凡そ $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ となる。

【0014】

本願発明者は、(100)面方位の半導体基板を用いて電流狭窄領域を有する半導体レーザを作成することを前提条件として、活性層を含む活性層メサ領域の直上部(A部)のZn濃度を上げる方法を調査した。調査によれば、(100)面でのZnの取り込まれ量に対する(111)B面でのZnの取り込まれ量の比率が成長温度に依存し、かつその比率は低温になるほど高くなることを見いだした。その結果を図3に示す。従って、活性層メサ領域の直上部(A部)のZnの濃度を上げるためには、成長温度を低くすればよい。

10

【0015】

一方、低閾値及び高効率とするために、動作電流30mA以下で、リーク電流比率15%以下となるようなA部でのZn濃度条件をシミュレーションにより求めると、図2に示すように、Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上が必要であることが分かった。

ところで、(100)面を有するInPでは、Znの固溶限界は $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。従って、(111)B面でのZn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上とするためには、Zn取り込まれ量の面方位依存性が0.25以上、即ち、図3により、成長温度600以下とする必要がある。これにより、図2に示すように、A部でのZn濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の場合にリーク電流比率を15%程度に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の場合に8%程度に、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の場合に5%程度にそれぞれ低減することができる。

20

【0016】

また、SIPBH構造で、かつスポットサイズ変換器を集積したレーザに本発明を適用した場合に特に有効である。この構造では、活性層を含む利得領域と導波路領域とが共振器方向に隣接して設けられ、p側電極は利得領域の上部にのみ形成される。これにより、注入電流は大部分活性層に集中して流れ、発光再結合が生じる。活性層を含む活性層メサ領域の直上部のp型クラッド層の抵抗が低く抑制されることにより、p側電極から活性層メサ領域に注入される電流が導波路部及び電流狭窄領域に広がるのを抑制することができるため、閾値電流の低減、効率の向上を図ることができる。

30

【0017】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。

(1) 本願発明者による調査及びシミュレーション

図2は、本願発明者がシミュレーションにより求めた、注入した全電流(I_T)に対するリーク電流比率(I_L / I_T)の変化の様子を示す特性図である。縦軸は線形目盛りで表されたリーク電流比率(I_L / I_T)を示し、横軸は線形目盛りで表された全注入電流(I_T) (mA)を示す。

40

【0018】

図1及び図9の断面構造を持つ半導体レーザをモデルとしている。活性層を含む活性層メサ領域の直上部でのZn濃度をパラメータとし、Zn濃度として1, 2, 5×10^{17} , 1×10^{18} , $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の5条件を採っている。また、電流狭窄領域の直上部でのZn濃度を $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ としている。

低閾値及び高効率とするために、動作電流30mA以下で、リーク電流比率15%以下となるようなA部でのZn濃度条件は、図2より、Zn濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが分かる。

【0019】

50

これにより、図2に示すように、A部でのZn濃度が $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の場合にリーク電流比率を15%程度に、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の場合に8%程度に、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の場合に5%程度にそれぞれ低減することができる。

図3は、本発明の実施の形態に係る半導体レーザの製造方法における、成長温度に対するp型InP層へのZn取り込まれ量の面方位依存比率 R_{Zn} について示す特性図である。

【0020】

図3に本願発明者が実験により取得した結果を示す。横軸は線形目盛りで表した成長温度()を示し、縦軸は線形目盛りで表した、(100)面の成長層へのZnの取り込まれ量に対する(111)B面の成長層へのZnの取り込まれ量の面方位依存比率 R_{Zn} を示す。

10

結果によれば、図3に示すように、今まで用いられてきた成長温度620 °では、(111)B面の成長層へのZnの取り込まれ量は(100)面の成長層へのZnの取り込まれ量の10%程度と低い。この場合、InP層の格子点に入り得るZnの濃度限界、即ちInP層へのZnの固溶限界は凡そ $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるため、(111)B面の成長層のZn濃度は $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度と極めて低くなる。

【0021】

これに対して、成長温度600 °ではZnの取り込まれ面方位依存比率は25%程度となり、成長温度が低下するにしたがって増加する。即ち、成長温度590 °では50%となり、成長温度580 °では75~80%となり、成長温度570 °では1.2倍程度となり、成長温度560 °では1.7倍程度になる。

20

実験によれば、図1の構造においては、閾値電流が増大せず、効率が大きく低下しないような、活性層メサ領域直上部における(111)B成長面のInP層中のZn濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上、好ましくは $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上がよい。従って、(100)面を有するInP層へのZnの固溶限界を凡そ $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とすると、成長温度600 °以下、好ましくは成長温度590 °以下が適切である。

【0022】

なお、成長温度の低下により再成長エピ層の結晶性が悪化する心配があるが、成長速度を低下させることにより、それを改善することが可能である。例えば、成長温度620 °で成長速度 $2 \mu\text{m/h}$ であったものを、ガス流量を低くすることにより成長温度590 °で成長速度 $1 \mu\text{m/h}$ 程度とする。

30

(2) 本発明の第1の実施の形態

図7(a)は本発明の第1の実施の形態に係る、電流狭窄構造を有するSIPBHテーパーレーザを示す斜視図である。図1は図7(a)のI-I線断面図であり、図7(b)は図7(a)のII-II線断面図である。

【0023】

図7(a)及び図1に示すように、注入電流の大部分が流れる活性層部分を含む活性層メサ領域101と、活性層メサ領域101の両側に形成された電流狭窄領域102a, 102bとを有する。電流狭窄領域102a, 102bへのキャリアのリークが抑制されるため、注入された電流は活性層メサ領域101に集中して流れる。

【0024】

活性層メサ領域101では、(100)面、又は(100)面から $\pm 10^\circ$ 以内、好ましくは $\pm 5^\circ$ 以内で傾けた結晶面を有するn-InP基板1上に、Si濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚約 $0.2 \mu\text{m}$ のn-InPパuffers層2と、アンドープ、層厚約 $0.3 \mu\text{m}$ の $1.3 \mu\text{m}$ 組成のInGaAsP活性層3と、Zn濃度 $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚約 $0.7 \mu\text{m}$ のp-InPクラッド層4とが積層されている。

40

【0025】

また、電流狭窄領域102a, 102bでは、n-InP基板1上に、Fe濃度 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚約 $2 \mu\text{m}$ のFe-InP電流狭窄層7a, 7bと、Si濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚約 $0.3 \mu\text{m}$ のn-InP電流阻止層8a, 8bとが積層されている。Fe-InP電流狭窄層7a, 7bではFe原子がディープレベルを形成しており、その抵抗を大きくしている。また

50

、n-InP 電流阻止層 8 a , 8 b は、その上のクラッド層 9 から Fe-InP 電流狭窄層 7 a , 7 b に正孔が注入されないようにするために設けられている。

【0026】

さらに、活性層メサ領域 101 及び電流狭窄領域 102 a , 102 b の上部全体に、Zn 濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 層厚約 $1.5 \mu\text{m}$ の p-InP クラッド層 9 と、Zn 濃度 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 層厚約 $0.5 \mu\text{m}$ の p-InGaAsP コンタクト層 10 とが積層されている。ここで、p-InP クラッド層 9 の Zn 濃度は、活性層メサ領域 101 の直上部 (A 部) で $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となっており、電流狭窄領域 102 a , 102 b の直上部 (B 部) で $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となっている。

【0027】

また、図 7 (a) , (b) に示すように、SIPBH テーパーレーザは、活性層 3 に共振器方向で隣接するテーパ導波路 (スポットサイズ変換器) 6 を設けた構造を有する。テーパ導波路 6 は、活性層 3 組成より短波の、即ちバンド端の広い組成を有し、レーザ光を吸収しないで出射端面に導く。導波路は出射端面に向けて層厚が薄くなり、光閉じ込め率が減少する。従って、出射端面に向けて光スポットサイズが大きくなり、光ファイバとの結合が良好となる。p 側電極 12 は活性層 3 上方にのみ被着される。これにより、注入電流は活性層 3 にのみ集中して流れ、発光再結合が生じる。活性層 3 より出たレーザ光はテーパ導波路 6 で吸収されることなく出射端面に導かれ、そこから出射される。このとき、p-InP クラッド層 9 の Zn 濃度が高く、抵抗が低いと、p 側電極 12 より活性層メサ領域 101 に注入された電流は、テーパ導波路 6 領域に広がらずに大部分が活性層 3 に流れる。これにより、閾値電流の低減及び効率の向上を図ることができる。

【0028】

次に、上記 SIPBH テーパーレーザの製造方法について図面を参照しながら説明する。図 4 (a) ~ (c) , 図 5 (a) ~ (c) は図 7 (a) の I - I 線断面図である。図 6 (a) , (b) は作成途中の半導体レーザを示す斜視図である。図 7 (a) は完成した半導体レーザを示す斜視図であり、図 7 (b) は図 7 (a) の II-II 線断面図である。

【0029】

全ての半導体層の成膜方法として有機金属気相成長法 (MOCVD 法) を用いる。

まず、図 4 (a) に示すように、(100) 面、又は (100) 面から $\pm 10^\circ$ 以内、好ましくは $\pm 5^\circ$ 以内で傾けた面方位を有する Si ドープの n-InP 基板 1 a 上に間隔をおいて一対の選択成長マスク 51 a を形成したものを用意し、その上に、Si 濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 層厚約 $0.2 \mu\text{m}$ の n-InP 層 2 a と、アンドープ、層厚約 $0.3 \mu\text{m}$ で、 $1.3 \mu\text{m}$ 組成の InGaAsP 層 3 a と、Zn 濃度 $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 層厚約 $0.7 \mu\text{m}$ の p-InP 層 4 a と、Zn ドープ、 $1.1 \mu\text{m}$ 組成の p-InGaAsP キャップ層 5 a とを成長する。

【0030】

このとき、図 6 (a) に示すように、各層はマスク 51 a に挟まれた領域では一定膜厚となり、その他の領域ではマスク 51 a が形成された側から徐々に膜厚が薄くなる。そして、InGaAsP 層 3 a と隣接する InGaAsP 層 6 a がテーパ導波路となる。

さらに、p-InGaAsP キャップ層 5 a 上の中央部にパターンングにより幅約 $1.5 \mu\text{m}$ の帯状の SiO₂ 膜からなるマスク 51 b を形成する。このとき、p-InGaAsP キャップ層 5 a はマスク 51 b を除去する際のエッチャントから下部層を保護するために形成される。従って、キャップ層 5 a はこの機能有するものであれば、材料を自由に選べる。

【0031】

次に、図 4 (b) に示すように、マスク 51 b に従って、p-InGaAsP キャップ層 5 a 、p-InP 層 4 a 、InGaAsP 層 3 a 、及び n-InP 層 2 a をエッチングする。このとき、多少オーバエッチングを行い、n-InP 基板 1 a の表層を少しエッチングする。これにより、p-InGaAsP キャップ層 5 、p-InP クラッド層 4 、InGaAsP 活性層 3 、及び n-InP バッファ層 2 からなるメサ部 101 a が形成される。

【0032】

次いで、図 4 (c) に示すように、濃度 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ で Fe をドープしながら、In

10

20

30

40

50

Pを成長し、層厚約 $2\ \mu\text{m}$ のFe-InP電流狭窄層7a, 7bを形成する。このとき、InPはマスク51b上には成長せず、マスク51bの両側部のn-InP基板1上にはのみ成長する。この場合、成長したInP層7a, 7bの面方位はn-InP基板1の面方位に従って(100)面、又は(100)面から $\pm 10^\circ$ 以内、好ましくは $\pm 5^\circ$ 以内で傾いた面方位を有する。続いて、濃度 $3 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ でSiをドーピングしながら、InPを成長し、層厚約 $0.3\ \mu\text{m}$ のn-InP電流阻止層8a, 8bを形成する。このとき、マスク51b側では、マスク51b上を原料ガスが濃度拡散により横方向に流れていくため、成長速度が増加する。そして、(111)B面が成長停止面となり、マスク51b側のn-InP電流阻止層8a, 8bの側壁は(111)B面を有し、傾斜する。一方、マスク51bと離れたn-InP電流阻止層8a, 8bの平坦部では下層の結晶方位に従って(100)面方位を有する。これにより、図6(b)に示すように、マスク51bの両側に電流狭窄領域102a, 102bが形成される。幅Wの領域が活性層3及び活性層3に隣接するテーパ導波路6となる。

10

【0033】

次に、図5(a)に示すように、マスク51bとキャップ層5を除去し、p-InPクラッド層4を表出する。これにより、p-InPクラッド層4、InGaAsP活性層3、及びn-InPバッファ層2からなる活性層メサ領域101が形成される。

続いて、図5(b)に示すように、(100)面を有するInP層でのZn濃度が $2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ となるようにZnをドーピングしながら、InP層9a~9dを成長し、層厚約 $1.5\ \mu\text{m}$ のp-InPクラッド層9を形成する。このとき、(100)面と(111)B面とでZn濃度に大きな差が生じないように、成長温度を 600°C 以下、好ましくは 590°C 以下とする。これにより、p-InPクラッド層9のZn濃度は、活性層メサ領域101の直上部(A部)で $1 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ となり、電流狭窄領域102a, 102bの直上部(B部)で $2 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ となる。

20

【0034】

次いで、図5(c), 図7(a), (b)に示すように、p-InPクラッド層9の成長温度と同じ成長温度で、濃度 $7 \times 10^{18}\ \text{cm}^{-3}$ でZnをドーピングしながら、InGaAsPを成長し、層厚約 $0.5\ \mu\text{m}$ のp-InGaAsPコンタクト層10を形成する。

その後、n-InP基板1の裏面にn側電極13を形成する。続いて、p-InGaAsPコンタクト層10表面に絶縁膜11を形成し、続いてコンタクトホールを形成した後、コンタクトホールを通してp-InGaAsPコンタクト層10と接触するp側電極12を形成する。

30

【0035】

以上のように、図5(b)の工程において、(100)面と(111)B面とでp-InPクラッド層9へのZnの取り込まれ面方位依存比率に大きな差が生じないように、成長温度を 600°C 以下、好ましくは 590°C 以下としている。これにより、(111)B面を有するp-InPクラッド層9におけるZnの取り込まれ面方位依存比率が向上するため、主電流が通過する活性層メサ領域101の直上部(A部)でp-InPクラッド層9のZn濃度の低下を抑制することができる。

【0036】

これにより、電流狭窄領域102a, 102bと比べて活性層メサ領域101の抵抗が低下するため、p側電極12とn側電極13間に流れる電流は主電流として活性層メサ領域101の方により集中して流れるようになり、電流狭窄領域102a, 102bの方に迂回するリーク電流が減少する。従って、閾値電流の低減及び効率の向上を図ることができる。

40

【0037】

(3)本発明の第2の実施の形態

図8は、本発明の第2の実施の形態に係る半導体レーザの構造について示す断面図である。

図1の半導体レーザと異なるところは、図8に示すように、FeをドーピングしたInP電流狭窄層7a, 7bの代わりに、Znをドーピングしたp-InP電流狭窄層21a, 21bを用いた

50

ことである。この場合、電流狭窄領域 103a, 103b は pnpn のサイリスタ素子構造を有し、電流狭窄メカニズムは図 1 の場合と異なる。即ち、電子の流れと正孔の流れはそれぞれの pn 接合の電位障壁により抑制される。

【0038】

この場合、半導体レーザを作成するため、図 4 (c) の工程で、濃度 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ で Zn をドーピングしながら、InP を成長し、層厚約 $1 \mu\text{m}$ の Zn-InP 電流狭窄層 21a, 21b を形成する。これ以外の作成工程及び作成条件は、第 1 の実施の形態で説明した工程及び条件と同一である。

以上のように、第 2 の実施の形態でも、p-InP クラッド層 9 を形成する際、(100) 面と (111) B 面とで Zn 濃度に大きな差が生じないように、成長温度を 600 以下、好ましくは 590 以下とする。これにより、p-InP クラッド層 9 の Zn 濃度は、活性層メサ領域 101 の直上部で $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となり、電流狭窄領域 103a, 103b の直上部で $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となる。

10

【0039】

これにより、電流狭窄領域 103a, 103b と比べて活性層メサ領域 101 の抵抗が低下するため、p 側電極 12 と n 側電極 13 間に流れる電流は活性層メサ領域 101 の方により集中して流れるようになり、電流狭窄領域 103a, 103b の方に迂回するリーク電流が減少する。従って、閾値電流の低減及び効率の向上を図ることができる。

【0040】

なお、第 2 の実施の形態で説明した本発明の構成は、電流狭窄構造を有する SIPBH テーパーレーザのみならず、電流狭窄構造を有する他の構造の半導体レーザにも適用可能である。

20

(4) 本発明の第 3 の実施の形態

図 9 は、本発明の第 3 の実施の形態に係る半導体レーザの構造について示す断面図である。

【0041】

第 1 の実施の形態に係る半導体レーザ (図 7 (b) 参照) と異なるところは、図 9 に示すように、テーパ導波路 6 を形成せず、すべて活性層 22 としていることである。コンタクト層 23 及び p 側電極 24 は活性層 22 上方共振方向全長にわたって形成されている。n-InP バッファ層 2 と活性層 22 と p-InP クラッド層 4 とが活性層メサ領域 104 を構成する。なお、電流狭窄層は第 1 又は第 2 の実施の形態と同じ構造のものいずれでも用いることができる。

30

【0042】

この場合、半導体レーザを作成するため、図 6 (a) の工程で、マスク 51a を形成せずに、n-InP 基板全面に n-InP バッファ層 2 を成長し、層厚約 $0.3 \mu\text{m}$ 一定膜厚の InGaAsP 活性層 22 を形成する。これ以外の作成工程及び作成条件は、第 1 の実施の形態で説明した工程と及び条件と同一である。

以上のように、第 3 の実施の形態でも、p-InP クラッド層 9 を形成する際、(100) 面と (111) B 面とで Zn 濃度に大きな差が生じないように、成長温度を 600 以下、好ましくは 590 以下とする。これにより、p-InP クラッド層 9 の Zn 濃度は、活性層メサ領域 104 の直上部で $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となり、電流狭窄領域の直上部で $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ となる。

40

【0043】

これにより、電流狭窄領域と比べて活性層メサ領域 104 の抵抗が低下するため、p 側電極 24 と n 側電極 13 間に流れる電流は活性層メサ領域 104 の方により集中して流れるようになり、電流狭窄領域の方に迂回するリーク電流が減少する。従って、閾値電流の低減及び効率の向上を図ることができる。

【0044】

【発明の効果】

以上のように、本発明に係る半導体レーザにおいては、電流狭窄領域に挟まれた活性層を

50

含む活性層メサ領域の直上部でのクラッド層のZn濃度を $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ としているので、動作電流30mA以下で、リーク電流比率15%以下に低減することができる。これにより、閾値電流の低減、効率の向上を図ることができる。

【0045】

また、本発明に係る半導体レーザの製造方法においては、活性層メサ領域と電流狭窄領域を被覆するクラッド層を、600以下の成長温度でZnをドーピングしながらInP層を成長することにより形成している。

従って、InP層のZn取り込まれ量の面方位依存比率は0.25以上となる。(100)面を有するInP混晶のZnの固溶限界 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を考慮すると、電流狭窄領域の(111)B面の側壁に挟まれた活性層メサ領域の直上部でのクラッド層のZn濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上となるため、動作電流30mA以下で、リーク電流比率を15%以下に低減することができ、閾値電流の低減、効率の向上を図ることができる。

10

【0046】

また、SIPBH構造で、かつスポットサイズ変換器を持つレーザに本発明を適用した場合に特に有効である。活性層を含む活性層メサ領域の直上部のp-InPクラッド層の抵抗が低く抑制されることにより、p側電極から活性層部分に注入される電流が導波路部及び電流狭窄領域に広がるのを抑制することができるため、閾値電流の低減、効率の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体レーザについて示す断面図である。

20

【図2】図2は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体レーザのリーク電流のZn濃度依存性について示す特性図である。

【図3】図3は、本発明の実施の形態に係る半導体レーザの作成方法における、成長温度に対するInP混晶へのZnの取り込まれ量の面方位依存比率について示す特性図である。

【図4】図4(a)~(c)は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体レーザの作成方法について示す断面図(その1)である。

【図5】図5(a)~(c)は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体レーザの作成方法について示す断面図(その2)である。

30

【図6】図6(a),(b)は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体レーザの作成方法について示す斜視図(その1)である。

【図7】図7(a)は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体レーザの作成方法について示す斜視図(その2)であり、図7(b)は図7(a)のII-II線断面図である。

【図8】図8は、本発明の第2の実施の形態に係る半導体レーザについて示す断面図である。

【図9】図9は、本発明の第3の実施の形態に係る半導体レーザについて示す断面図である。

【図10】図10(a)~(c)は、従来例に係る半導体レーザの作成方法について示す断面図(その1)である。

40

【図11】図11(a),(b)は、従来例に係る半導体レーザの作成方法について示す断面図(その2)である。

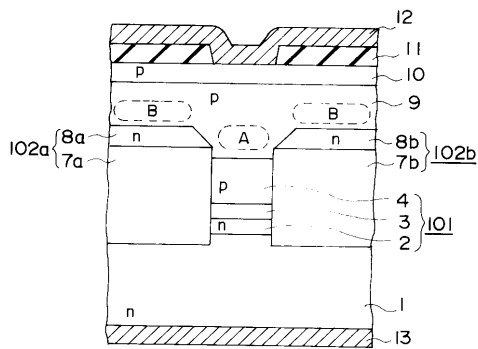
【符号の説明】

- 1, 1a n-InP 基板、
- 2 n-InP バッファ層、
- 2a n-InP 層、
- 3, 22 InGaAsP 活性層、
- 3a, 6a InGaAsP 層、
- 4, 9, 9a~9d p-InP クラッド層、
- 4a p-InP 層、

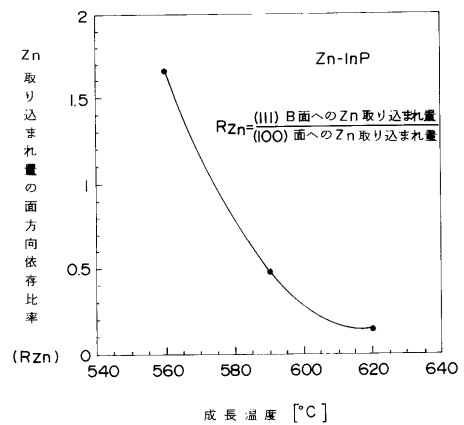
50

- 5, 5a p-InGaAsP キャップ層、
- 6 テーパ導波路、
- 7a, 7b Fe-InP電流狭窄層、
- 8a, 8b n-InP 電流阻止層、
- 10, 23 p-InGaAsP コンタクト層、
- 11 絶縁膜、
- 12, 24 p側電極、
- 13 n側電極、
- 21a, 21b p-InP 電流狭窄層、
- 51a, 51b マスク、
- 101, 104 活性層メサ領域、
- 101a メサ部、
- 102a, 102b, 103a, 103b 電流狭窄領域。

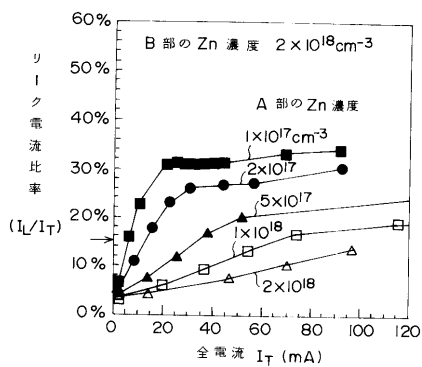
【図1】



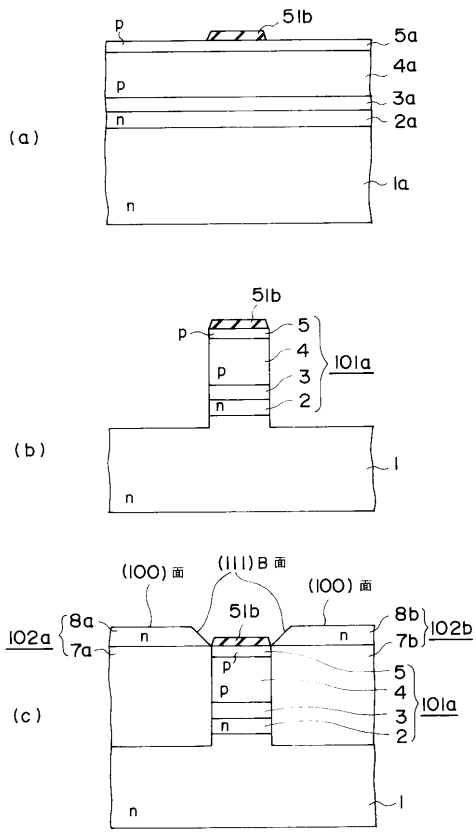
【図3】



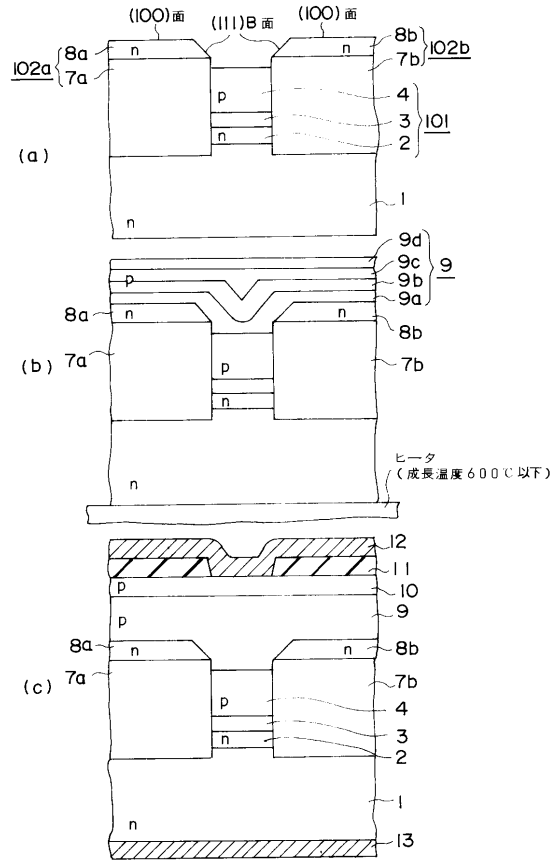
【図2】



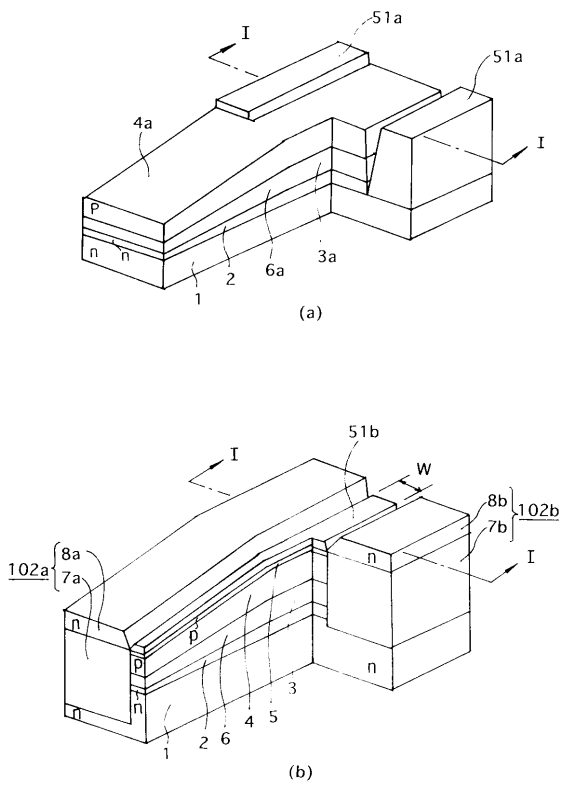
【 図 4 】



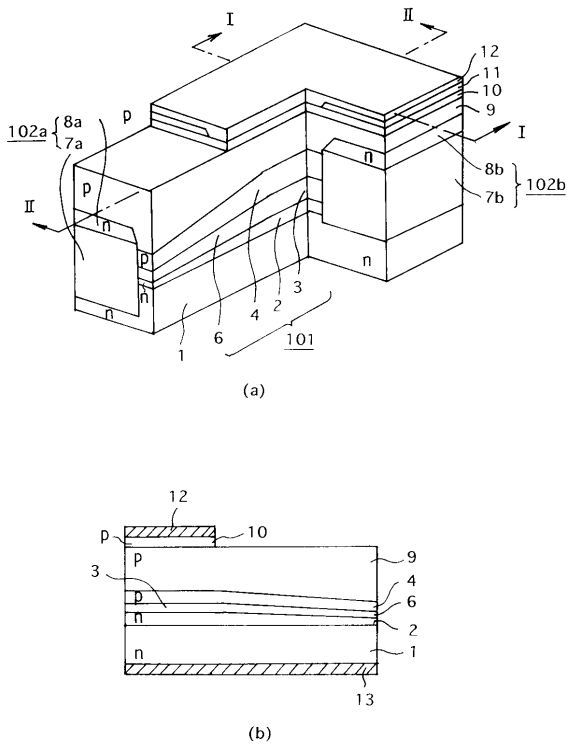
【 図 5 】



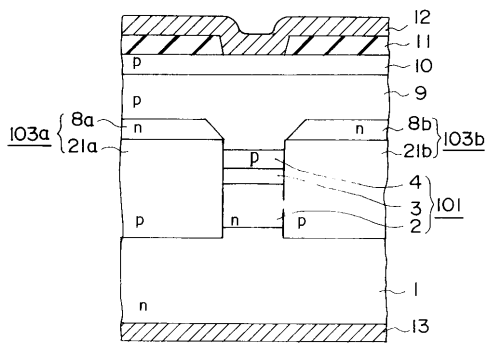
【 図 6 】



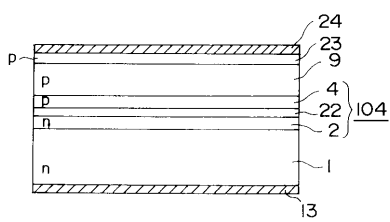
【 図 7 】



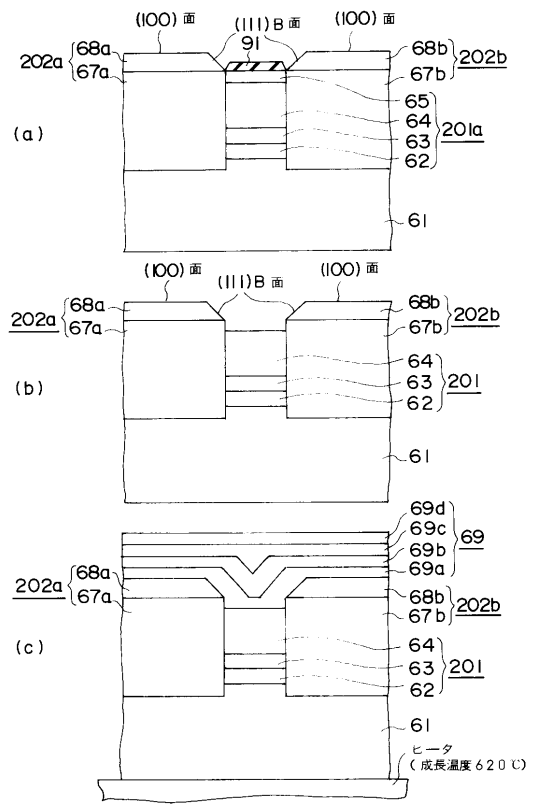
【 図 8 】



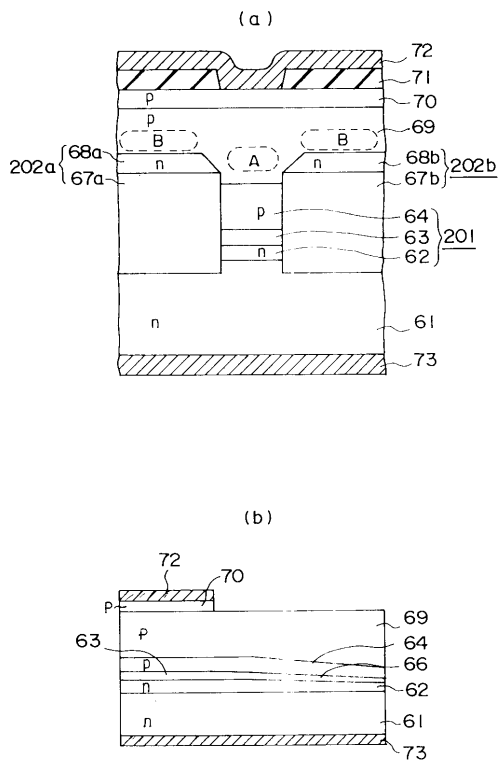
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

(72)発明者 石川 務

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

審査官 古田 敦浩

(56)参考文献 特開平08-097509(JP,A)

特開平01-189185(JP,A)

特開平01-218083(JP,A)

特開平07-283490(JP,A)

特開平08-023139(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01S 5/00-5/50

H01L 33/00