

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3710329号
(P3710329)

(45) 発行日 平成17年10月26日(2005.10.26)

(24) 登録日 平成17年8月19日(2005.8.19)

(51) Int.Cl.⁷H 0 1 S 5/16
H 0 1 S 5/223

F I

H 0 1 S 5/16
H 0 1 S 5/223

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平11-188139
 (22) 出願日 平成11年7月1日(1999.7.1)
 (65) 公開番号 特開2001-15859(P2001-15859A)
 (43) 公開日 平成13年1月19日(2001.1.19)
 審査請求日 平成14年1月11日(2002.1.11)

(73) 特許権者 000005049
 シャープ株式会社
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
 (74) 代理人 100078282
 弁理士 山本 秀策
 (72) 発明者 斉藤 肇
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
 シャープ株式会社内

審査官 道祖土 新吾

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1導電型の基板の上に、少なくとも第1導電型の第1クラッド層、量子井戸活性層、第2導電型の第2クラッド層、第2導電型の第3クラッド層および第2導電型のキャップ層を順次成長させる工程と、

該第3クラッド層および該キャップ層を共振器方向のリッジストライプ状に加工する工程と、

該リッジストライプの両側面、および該リッジストライプ上にわたって第1導電型の電流ブロック層を成長させる工程と、

該電流ブロック層上に、該リッジストライプと略直交する方向のストライプ状 SiO₂ 膜を形成する工程と、

次いで、アニールにより該 SiO₂ 膜直下の該量子井戸活性層部分を選択的に無秩序化する工程と、

次いで、該ストライプ状 SiO₂ 膜をマスクとして、リッジストライプ上における該 SiO₂ 膜が設けられた領域以外の前記電流ブロック層を除去して、前記キャップ層部分を露出させる工程と、

その後、少なくとも光出射端面が該量子井戸活性層の無秩序化領域を含むように共振器を形成する工程と

を含む半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項2】

前記 SiO_2 膜をスパッタリング法により形成する請求項 1 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 3】

前記 SiO_2 膜をレジストマスクを用いたリフトオフ法によりストライプ状に形成する請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、共振器端面およびその近傍に窓構造領域を設けて高出力動作時の特性を向上させた半導体レーザ素子およびその製造方法に関する。

10

【0002】

【従来の技術】

従来、高出力動作時における半導体レーザ素子の共振器端面の破壊、いわゆる COD (Catastrophic Optical Damage) レベルを向上させるために、例えば特開平 9-23037 号公報には図 9 に示すような窓構造を有する半導体レーザ素子が開示されている。

【0003】

この図 9 において、(a) は光出射端面を含む斜視図であり、(b) は (a) の I I a - I I a' 線における導波路の断面図であり、(c) は (a) の I I b - I I b' 線における層厚方向の断面図である。

20

【0004】

図 9 において、1 は n 型 GaAs 基板、2 は n 型 AlGaAs 第 1 クラッド層、3 は量子井戸活性層、4 a は p 型 AlGaAs 第 2 クラッド層、4 b は p 型 AlGaAs 第 3 クラッド層、5 は p 型 GaAs コンタクト層、6 (斜線部) は空孔拡散領域、8 (斜線部) はプロトン注入領域、9 は n 側電極、10 は p 側電極、20 はレーザ共振器の光出射端面、3 a は活性層 3 のレーザ発光に寄与する活性領域、3 b は活性層 3 の光出射端面 20 およびその近傍に形成された窓構造領域である。

【0005】

この半導体レーザ素子の製造について、図 10 を用いて説明する。

【0006】

30

まず、図 10 (a) に示すように、n 型 GaAs 基板 1 上に n 型 AlGaAs 第 1 クラッド層 2、量子井戸活性層 3 および p 型 AlGaAs 第 2 クラッド層 4 a を順次エピタキシャル成長する。

【0007】

次に、図 10 (b) に示すように、第 2 クラッド層 4 a 表面を SiO_2 膜 16 で覆い、レーザ共振器端面に達しない長さでレーザ共振器方向に延びるストライプ状開口部 16 a を形成する。

【0008】

続いて、このウエハを As 雰囲気下において 800℃ 以上の温度でアニールすると、 SiO_2 膜 16 がそれに接する第 2 クラッド層 4 a 表面から Ga 原子を吸収し、第 2 クラッド層 4 a 中に Ga 空孔を生じさせる。さらに、この空孔がアニールによって結晶内部に拡散し、量子井戸活性層に達すると量子井戸構造を無秩序化させる。無秩序化した活性層領域では実効的な禁制帯幅が広がるため、発振レーザ光に対して透明な窓構造領域として機能する。

40

【0009】

その後、 SiO_2 膜 16 を除去し、図 10 (c) に示すように、第 2 クラッド層層 4 a 上に p 型 AlGaAs 第 3 クラッド層 4 b および p 型 GaAs コンタクト層 5 を順次エピタキシャル再成長する。

【0010】

次に、コンタクト層 5 上にレジスト膜を形成し、フォトリソグラフィ技術によって上記 S

50

i O₂膜のストライプ状開口部16aと同じ領域に図10(d)に示すようなストライプ状レジスト17を形成する。そして、このレジスト17をマスクとしてコンタクト層5の上方からプロトン注入を行って電流ブロック層となる高抵抗領域8を形成する。

【0011】

最後に、GaAs基板1側にn側電極9、コンタクト層5上にp側電極10を形成し、ウェハを劈開することにより共振器端面を形成して図9に示した半導体レーザ素子を得る。

【0012】

上記公報には、この従来の半導体レーザ素子によれば、イオン注入によって活性層を無秩序化する場合に比べて、窓構造を備えた半導体レーザ素子が本来有する高光出力動作を可能にできると共に端面破壊レベルを高くして高信頼性を得ることができる旨が記載されている。

10

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の半導体レーザ素子の製造方法には、以下のような問題点がある。

【0014】

窓構造領域を形成後にSiO₂膜を除去すると、窓構造領域と活性領域の境界を判別することができない。よって、電流ブロック層を形成する際にプロトン注入マスクとなるレジスト領域と窓構造領域とを位置合わせするために、別途位置合わせ用のマーキング工程等を行う必要がある。

20

【0015】

さらに、活性領域がレーザ端面に達したり、窓構造領域とプロトン領域にずれが生じると、半導体レーザ素子の信頼性や諸特性が悪化するため、上記位置合わせには高い精度が要求される。

【0016】

このような理由から、上記従来の半導体レーザ素子構造では、工程数の増加や精度保持に高い技術が要求され、半導体レーザ素子の量産時に歩留りを高くすることができないという問題があった。

【0017】

本発明はこのような従来技術の課題を解決すべくなされたものであり、高出力動作時の信頼性に優れ、高い歩留りで作製することができる窓構造の半導体レーザ素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

30

【0018】

【課題を解決するための手段】

本発明の半導体レーザ素子の製造方法は、第1導電型の基板上に、少なくとも第1導電型の第1クラッド層、量子井戸活性層、第2導電型の第2クラッド層、第2導電型の第3クラッド層および第2導電型のキャップ層を順次成長させる工程と、該第3クラッド層および該キャップ層を共振器方向のリッジストライプ状に加工する工程と、該リッジストライプの両側面、および該リッジストライプ上にわたって第1導電型の電流ブロック層を成長させる工程と、該電流ブロック層上に、該リッジストライプと略直交する方向のストライプ状SiO₂膜を形成する工程と、次いで、アニールにより該SiO₂膜直下の該量子井戸活性層部分を選択的に無秩序化する工程と、次いで、該ストライプ状SiO₂膜をマスクとして、リッジストライプ上における該SiO₂膜が設けられた領域以外の前記電流ブロック層を除去して、前記キャップ層部分を露出させる工程と、その後、少なくとも光出射端面が該量子井戸活性層の無秩序化領域を含むように共振器を形成する工程とを含む。

40

前記SiO₂膜をスパッタリング法により形成するのが好ましい。

前記SiO₂膜をレジストマスクを用いたリフトオフ法によりストライプ状に形成するのが好ましい。

【0019】

50

前記量子井戸活性層を構成する全井戸層厚が50 nm以下であるのが好ましい。

【0020】

前記第3クラッド層の層厚が1.0 μm以上1.5 μm以下であるのが好ましい。

【0021】

前記電流ブロック層のドーパントがSiであり、そのキャリア濃度が $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好ましい。

【0022】

前記端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に設けられた電流ブロック層は、共振器方向の長さが10 μm以上60 μm以下であるのが好ましい。

【0023】

前記端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に設けられた電流ブロック層は、層厚が0.5 μm以上1.5 μm以下であるのが好ましい。

【0027】

以下、本発明の作用について説明する。

【0028】

本発明にあっては、光出射端面およびその近傍に量子井戸活性層を無秩序化した窓構造領域を有しているので、高出力動作時に端面での光吸収が抑制されて端面劣化を防ぐことができる。さらに、共振器端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に第1導電型の電流ブロック層を備えているので、導波路部で端面への電流注入を防いで端面破壊レベルを向上させることができる。このリッジストライプは第2導電型の第3クラッド層で構成され、さらに第2導電型のキャップ層を有していてもよい。

【0029】

この半導体レーザ素子は、例えば共振器端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に電流非注入領域を形成するためのマスクとしてSiO₂膜を用いれば、このSiO₂膜によって量子井戸活性層の無秩序化領域を形成することができる。よって、両領域の位置合わせ工程等を行わなくても、セルフアラインで電流非注入領域と窓構造領域とを形成することができる。

【0030】

上記量子井戸活性層を構成する全井戸層厚が50 nm以下であれば、全井戸層を均一に無秩序化させることが可能である。

【0031】

さらに、第3クラッド層の層厚が1.5 μm以下であれば、量子井戸活性層とSiO₂マスクとの距離が短いので、全井戸層を均一に無秩序化させることが可能である。さらに、第3クラッド層の層厚が1 μm以上であれば、高出力動作時にも光出力が飽和しないので好ましい。

【0032】

上記電流ブロック層のドーパントとしてSiを用いれば、空孔の拡散を促進させて確実に無秩序化させることが可能である。さらに、電流ブロック層のキャリア濃度が $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上であれば、量子井戸活性層を均一に無秩序化させることが可能であり、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であれば、Si自身の異常拡散による特性悪化を防ぐことが可能である。

【0033】

上記端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に設けられた電流ブロック層は、共振器方向の長さが10 μm以上60 μm以下であれば、十分な窓効果を保持することができる。

【0034】

さらに、端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に設けられた電流ブロック層の層厚が0.5 μm以上であれば、コンタクト層を形成した後もその電流ブロック層部分を容易に確認可能である。さらに、その電流ブロック層部分が1.5 μm以下であれば、再成長後にリッジストライプ状部分を露出させるためのエッチング除去工程が容易であり、量産時の歩留りが向上する。

10

20

30

40

50

【0035】

本発明の半導体レーザ素子の製造方法にあつては、レーザ構造およびリッジストライプ形成し、基板全面に電流ブロック層を成長させた後、電流通路となるキャップ層を露出させる際に、リッジストライプと略直交する方向のストライプ状 SiO_2 膜を形成してこの SiO_2 膜と直交していないキャップ層部分を露出させている。この SiO_2 膜は共振器端面およびその近傍に電流ブロック層を残して電流非注入領域を形成するためのエッチングマスクとして役割を有すると共に、 SiO_2 膜直下の量子井戸活性層部分を選択的に無秩序化させる役割も有している。従つて、電流非注入領域と量子井戸活性層の無秩序化領域とを、両領域の位置合わせ工程等を行わなくても、セルフアラインで形成することが可能である。

10

【0036】

上記 SiO_2 膜をスパッタリング法によって形成することにより、無秩序化に必要なGa空孔を確実に生じさせることができるので好ましい。

【0037】

さらに、上記 SiO_2 膜をレジストマスクを用いたリフトオフ法によってストライプ状に形成することにより、後工程での活性領域の構造変化を抑制することができ、信頼性が向上するので好ましい。

【0038】

【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。

20

【0039】

(実施形態1)

図1に本実施形態の半導体レーザ素子の構造を示す。(a)は光出射端面を含む斜視図であり、(b)は(a)のIa-Ia'線における導波路の断面図であり、(c)は(a)のIb-Ib'線における層厚方向の断面図である。

【0040】

この半導体レーザ素子は、n-GaAs基板1上に、n-Al_{0.5}Ga_{0.5}As第1クラッド層102、ノンドープ量子井戸活性層103、p-Al_{0.5}Ga_{0.5}As第2クラッド層104およびp-GaAsエッチング停止層105が設けられている。

【0041】

その上にp-Al_{0.5}Ga_{0.5}As第3クラッド層106およびp-GaAsキャップ層107で構成されたリッジストライプ109が設けられ、リッジストライプ109の側面はn-Al_{0.7}Ga_{0.3}As電流ブロック層110で埋め込まれている。共振器の光出射端面120およびその近傍ではキャップ層107上にも電流ブロック層110が設けられて電流非注入領域115が構成され、共振器内部および光非出射端面121にはこのような電流非注入領域115を有していない。その上に電流ブロック層110および電流ブロック層が設けられていないリッジストライプ109上にわたってp-GaAsコンタクト層116が設けられてその上にp型電極117が設けられ、基板101側にはn型電極118が設けられている。

30

【0042】

さらに、光出射端面120およびその近傍の量子井戸活性層103は、電流非注入領域115の下方に、無秩序化により実効的な禁制帯幅が広がった窓構造領域112を有している。

40

【0043】

なお、図1(c)において、キャップ層107が図1(a)の形状と異なるのは、エッチングを行った際に多少侵食されるためである。また、図1(c)において、キャップ層107を点線で示しているのは、キャップ層107とコンタクト層116とが同じ材料および導電型であり、機能的にも視角的にも分離できないからである。

【0044】

この半導体レーザ素子は、例えば以下のようにして作製することができる。

50

【0045】

まず、 n -GaAs基板101を成長装置内にセットして第1回目の結晶成長により、図2(a)に示すようにキャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で厚さ $1.0 \mu\text{m}$ の n - $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 第1クラッド層102、ノンドープ量子井戸活性層103、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で厚さ $0.17 \mu\text{m}$ の p - $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 第2クラッド層104、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で厚さ $0.003 \mu\text{m}$ の p -GaAsエッチング停止層105、キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で厚さ $1.2 \mu\text{m}$ の p - $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 第3クラッド層106およびキャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で厚さ $0.7 \mu\text{m}$ の p -GaAsキャップ層107を順次成長させる。

【0046】

10

このとき、ノンドープ量子井戸活性層103として、図3に示すような厚さ $0.01 \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 量子井戸層130、厚さ $0.005 \mu\text{m}$ の2層の $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 障壁層131および厚さ $0.03 \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 光ガイド層132からなる3重量子井戸構造を形成する。

【0047】

次に、上記半導体層が形成された基板を成長装置から取り出し、公知のフォトリソグラフィ技術を用いてキャップ層107上に図2(b)に示すようなストライプ状のレジストマスク108を形成する。そして、公知の選択エッチング技術を用いてエッチング停止層105に達するように第3クラッド層106およびキャップ層107をリッジストライプ109状に加工する。本実施形態では、硫酸と過酸化水素水の混合溶液を用いて第3クラッド層106の途中までエッチングし、その後、GaAsに対して選択性を有するフッ化水素酸を用いてGaAsからなるエッチング停止層105で深さ方向のエッチングを停止させた。このときのリッジ幅はエッチング停止層105との界面において $2 \mu\text{m} \sim 3 \mu\text{m}$ となるように調整した。

20

【0048】

続いて、レジストマスクを除去し、基板を再度成長装置内にセットして第2回目の結晶成長により、図2(c)に示すようにキャリア濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で厚さ $1.0 \mu\text{m}$ の n - $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ 電流ブロック層110を成長させる。

【0049】

その後、基板を再度成長装置から取り出し、図2(d)に示すように、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の SiO_2 ストライプ111をリッジストライプ109と直交するように形成する。このときの SiO_2 ストライプ111の共振器方向の長さは $40 \mu\text{m}$ とし、ストライプ間隔はレーザ共振器長と同じ $800 \mu\text{m}$ とした。

30

【0050】

次に、この基板をAs雰囲気下において 800°C で5分間アニールする。このアニール中に、 SiO_2 ストライプ111直下の n - AlGaAs 結晶表面からGa原子が吸収され、 n - AlGaAs 結晶内部にGa空孔が生成される。このGa空孔は拡散定数が大きいため、直ちに基板方向に拡散し、量子井戸活性層103に達すると量子井戸構造を無秩序化させる。これにより、図2(e)に示すように、 SiO_2 ストライプ111直下以外の量子井戸活性領域よりも実効的な禁制帯幅が広い窓構造領域112が形成される。

40

【0051】

続いて、図2(f)に示すように、レジストマスク113および SiO_2 ストライプ111をマスクとして、レジスト開口部114から露出した電流ブロック層110をキャップ層107に達するまでエッチング除去する。本実施形態では、硫酸と過酸化水素水の混合溶液を用いて時間制御でエッチングを行った。この工程により、 SiO_2 ストライプ111直下の電流ブロック層110は電流非注入領域115として残される。その後、図2(g)に示すように、レジストマスク113および SiO_2 ストライプ111を除去する。

【0052】

次に、基板を再度成長装置内にセットして第3回目の結晶成長により、図2(h)に示すようにキャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で厚さ $2.0 \mu\text{m}$ の p -GaAsコンタクト層11

50

6を成長させる。

【0053】

その後、コンタクト層116の上面および基板101の下面に各々オーミック電極117、118を形成し、ウエハを劈開して共振器長を800 μ mに調整する。このとき、劈開位置が電流非注入領域115を含むように共振器を形成する。

【0054】

最後に、劈開された両端面120、121にコーティング膜を形成する。本実施形態では光出射端面120に反射率15%の Al_2O_3 膜を形成し、光非出射端面121に反射率90%の Al_2O_3 膜を形成した。以上により図1に示した本実施形態の半導体レーザ素子が得られる。

10

【0055】

このように、本実施形態の半導体レーザ素子は、 SiO_2 ストライプ111によって、光出射端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に残した電流ブロック層110による電流非注入領域115と、量子井戸活性層103の無秩序化による窓構造領域112とがセルフアラインで形成される。従って、両領域を別工程で作製する従来の半導体レーザ素子と比べて、両領域の位置合わせ等の工程を必要とせず、また、位置ずれによる特性不良等も生じない。

【0056】

さらに、電流非注入領域115はその他の平坦部に比べて電流ブロック層110の層厚分だけ表面が高くなっており、MOCVD法やMBE法によるコンタクト層116の形成後
もその段差が存在する。従って、劈開によるレーザ共振器形成の際に、劈開位置が電流非
注入領域115を含むように共振器を形成するのが容易である。このとき、端面およびそ
の近傍のリッジストライプ上部分に設けられた電流ブロック層の層厚が0.1 μ m以上で
あればその機能を十分に果たすことができるが、コンタクト層116の形成後に段差確認
を容易にするためには、0.5 μ m以上であるのが好ましい。また、2回目の結晶成長後
にキャップ層107上に成長される電流非注入領域115以外の電流ブロック層110部分
を歩留まり良くエッチング除去するためには、電流ブロック層の層厚が1.5 μ m以下
であるのが好ましい。

20

【0057】

次に、量子井戸活性層103中の量子井戸層130の層数と層厚を変化させて本実施形態
の半導体レーザ素子を作製し、全量子井戸層厚と半導体レーザ素子のCODレベルとの関
係を調べた結果を図4に示す。このときの量子井戸層130のAl組成比はレーザ発振波
長が780nmとなるように調整した。

30

【0058】

この図4から、層数によらず、全量子井戸層厚が50nmを超えるとCODレベルが低下
することがわかる。この理由としては、全量子井戸層厚が50nmを超えると全ての量子
井戸層が均一に無秩序化されず、レーザ光を吸収してCODに至ることが考えられる。従
って、本発明の半導体レーザ素子において、全量子井戸層厚は50nm以下であるのが好
ましいことがわかる。

【0059】

次に、p-AlGaAs第3クラッド層106の層厚を変化させて本実施形態の半導体レ
ーザ素子を作製し、第3クラッド層の層厚と半導体レーザ素子のCODレベルとの関係を
調べた結果を図5に示す。

40

【0060】

この図5から、第3クラッド層106の層厚が1.0 μ m未満ではキャップ層107によ
る光吸収のために光出力が飽和し、CODに至らなかった。一方、第3クラッド層106
の層厚が1.5 μ mを超えるとCODレベルが低下した。この理由としては、Ga空孔の
発生源である SiO_2 ストライプ111から量子井戸活性層103との距離が長くなるた
めに量子井戸層が均一に無秩序化されず、レーザ光を吸収してCODに至ることが考えら
れる。従って、本発明の半導体レーザ素子において、第3クラッド層の層厚は1.0 μ m

50

以上で、かつ、 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましいことがわかる。

【0061】

次に、 $n\text{-AlGaAs}$ 電流ブロック層110のドーパントおよびキャリア濃度を変化させて本実施形態の半導体レーザ素子を作製し、電流ブロック層のドーパント種およびキャリア濃度と半導体レーザ素子のCODレベルとの関係を調べた結果を図6に示す。このときのドーパントとしてはSiおよびSeを用いた。

【0062】

この図6から、ドーパントとしてSeを用いるよりもSiを用いる方がCODレベルが高くなることがわかる。この理由としては以下のことが考えられる。Siは両性種であるのでIII族およびV族のいずれの格子位置にも入るが、このSi(III)とSi(V)の対は電気的に中性であるため、価電状態を変えることなく結晶格子内を容易に移動することができる。これにより、Ga空孔の拡散を助長する働きがあると推察され、確実に無秩序化を生じさせることができると考えられる。

10

【0063】

さらに、図6から、電流ブロック層のキャリア濃度については $7\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 以上でCODレベルが急激に高くなることがわかる。この理由は、 $7\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 未満ではSi(III)とSi(V)の対を作りにくいので、Ga空孔の拡散による無秩序化が助長されないためであると考えられる。一方、キャリア濃度が $5\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ を超えるとキャリア濃度が高すぎるため、 $p\text{-AlGaAs}$ 第2クラッド層104の n 型化や $p\text{-n}$ 接合位置のシフト等が生じ、良好なレーザ特性が得られなかった。従って、本発明の半導体レーザ素子において、電流ブロック層のキャリア濃度が $7\times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 以上 $5\times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以下であるのが好ましいことがわかる。

20

【0064】

次に、光出射端面120およびその近傍に形成した電流ブロック層110による電流非注入領域115の共振器方向の長さを変化させて本実施形態の半導体レーザ素子を作製し、電流非注入領域115の長さと半導体レーザ素子のCODレベルおよび動作電圧との関係を調べた結果を図7に示す。

【0065】

この図7から、電流非注入領域115の共振器方向の長さが $10\text{ }\mu\text{m}$ 未満では十分な端面非注入効果が得られず、CODレベルが低下することがわかる。一方、電流非注入領域115の共振器方向の長さが $60\text{ }\mu\text{m}$ を超えると、CODレベルは高いが、電流通路が狭くなるために動作電圧が増大した。従って、本発明の半導体レーザ素子において、電流非注入領域115の共振器方向の長さは $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $60\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのが好ましいことがわかる。

30

【0066】

(実施形態2)

本実施形態では、 SiO_2 ストライプ111をスパッタリング法、プラズマCVD法および電子ビーム蒸着法によって各々形成し、CODレベルを比較した。その他の構造および作製方法は実施形態1と同様にした。

【0067】

下記表1に各 SiO_2 膜形成方法によるCODレベルを示す。

40

【0068】

【表1】

SiO ₂ 膜形成方法	CODレベル [mW]
スパッタリング法	300
プラズマCVD法	250
電子ビーム蒸着法	200

【0069】

10

この表1から、スパッタリング法によってSiO₂膜を形成した半導体レーザ素子が最もCODレベルが高いことがわかる。

【0070】

この理由は、スパッタリング法によるSiO₂膜は下地への密着性に優れており、Ga空孔の生成と拡散を生じ易いためであると考えられる。従って、本発明の半導体レーザ素子において、SiO₂膜をスパッタリング法により形成するのが好ましいことがわかる。

【0071】

(実施形態3)

本実施形態では、SiO₂ストライプ111を形成する際に、ストライプと反対のパターンのレジスト膜を予め形成してその上にSiO₂膜を形成した後、不要なSiO₂膜部分をレジスト共に除去する、いわゆる「リフトオフ法」によって非注入領域分を形成して半導体レーザ素子を作製した。さらに、比較のためにSiO₂膜を全面に形成した後でレジストストライプを形成し、エッチングによってSiO₂ストライプ111を形成して半導体レーザ素子を作製した。その他の構造および作製方法は実施形態1と同様にした。

20

【0072】

図8に、両半導体レーザ素子について、1000時間の寿命試験を行ったエージング結果を示す。なお、寿命試験は動作温度60℃、レーザ出力120mWの連続駆動条件で行った。

【0073】

通常、エージング寿命が1000時間以上であれば使用上問題は生じない。図8に示すように、エッチング法によってSiO₂膜をストライプ加工した半導体レーザ素子においてもこの基準を満たしているが、リフトオフ法によってSiO₂膜を加工した半導体レーザ素子はさらに長寿命であることがわかる。

30

【0074】

この理由としては、以下のようなことが考えられる。SiO₂ストライプ111の下にGa空孔が生成されるのは主としてアニール処理を行った後であるが、アニール処理前であってもSiO₂膜が接しているAlGaAs界面においてはSiO₂膜形成時の温度や衝撃によって若干のGa空孔が生成される。リフトオフ法を用いる場合には、無秩序化領域以外は予めマスクされているので、SiO₂膜によるGa空孔生成が起こらない。従って、その後のアニール処理を経ても量子井戸活性層の構造変化が起こらないためであると考えられる。従って、本発明の半導体レーザ素子において、SiO₂膜をレジストマスクを用いたリフトオフ法によりストライプ状に加工するのが好ましいことがわかる。

40

【0075】

なお、上記実施形態1～実施形態3では、光出射端面およびその近傍に窓構造領域と電流非注入領域を設けたが、光出射端面と光非出射端面側の両方に窓構造領域と電流非注入領域を設けてもよい。

【0076】

さらに、上記実施形態では多重量子井戸活性層の例について説明したが、単一量子井戸活性層に対しても同様に本発明は適用可能である。また、半導体層の材料としてはAlGaAs系材料を用いたが、赤色レーザ材料として用いられるInGaP系材料およびInG

50

a A l P系材料、通信用長波長レーザ材呂うとして用いられる I n G a A s 系材料および I n G a A s P系材料等の他の材料系を用いることもできる。さらに、第1導電型として n 型、第2導電型として p 型の半導体層を成長させた半導体レーザ素子、および第1導電型として p 型、第2導電型として n 型の半導体層を成長させた半導体レーザ素子のいずれについても本発明は適用可能である。但し、G a 空孔の拡散を助長するためには電流ブロック層のドーパントとして S i を用いるのが好ましく、この S i は n 型ドーパントであるので、第1導電型として n 型の半導体層を成長させるのが好ましい。

【0077】

本発明の半導体レーザ素子の製造工程において、成長法としては M O C V D 法や M B E 法等を用いることができる。

【0078】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明の半導体レーザ素子によれば、光出射端面およびその近傍に量子井戸活性層を無秩序化した窓構造領域を有しているので、高出力動作時に導波路端面での光吸収を抑制して端面劣化を防ぐことができる。さらに、共振器端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に第1導電型の電流ブロック層を備えているので、導波路部で端面への電流注入を防いで端面破壊レベルを向上させることができる。

【0079】

この半導体レーザ素子の製造においては、電流ブロック層による電流非注入領域を形成するためのマスクとして、量子井戸活性層に無秩序化領域を形成するための S i O₂ マスクを用いることができるので、両領域の位置合わせ工程等を付け加えることなく、セルフアラインで電流非注入領域と窓構造領域とを形成することができる。よって、所望の窓構造を備えた半導体レーザ素子の製造工程を簡素化して高歩留まりで作製することができる。

【0080】

さらに、量子井戸活性層を構成する全井戸層厚を 50 nm 以下とすることにより、全井戸層を均一に無秩序化させることができる。よって、窓構造を備えた半導体レーザ素子をさらに高歩留まりで作製することができる。

【0081】

さらに、第3クラッド層の厚みを 1 μm 以上 1 μm 以下にすることにより、光出力の飽和を防ぐと共に量子井戸活性層の無秩序化を均一にすることができる。よって、高出力時の特性に優れた窓構造の半導体レーザ素子を高歩留まりで作製することができる。

【0082】

さらに、電流ブロック層のドーパントとして S i を用いることにより、空孔の拡散を促進させて確実に無秩序化を生じさせることができる。また、電流ブロック層の S i キャリア濃度を $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下にすることにより、量子井戸活性層を均一に無秩序化させると共に S i 自身の異常拡散による特性悪化を防ぐことができる。よって、特性に優れた窓構造の半導体レーザ素子を高歩留まりで作製することができる。

【0083】

さらに、端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に設けた電流ブロック層の共振器方向の長さを 10 μm 以上 60 μm 以下にすることにより、動作電圧上昇を抑えると共に十分な窓効果を保持することができる。よって、信頼性に優れた窓構造の半導体レーザ素子を得ることができる。

【0084】

さらに、端面およびその近傍のリッジストライプ上部分に設けた電流ブロック層の層厚を 0.5 μm 以上 1.0 μm 以下にすれば、コンタクト層を形成した後でもその電流ブロック層部分を容易に確認できるので、無秩序化領域を確認することができ、しかも、再成長後のエッチング除去工程が容易である。よって、所望の窓構造を備えた半導体レーザ素子を高歩留まりで作製することができる。

【0085】

本発明の半導体レーザ素子の製造方法によれば、電流非注入領域と量子井戸活性層の無秩

10

20

30

40

50

序化領域とを、両領域の位置合わせ工程等を行わなくても、セルフアラインで形成することができる。よって、所望の窓構造を有する半導体レーザ素子を高歩留まりで作製することができる。

【0086】

さらに、この SiO_2 膜をスパッタリング法によって形成することにより、量子井戸活性層の無秩序化に必要なGa空孔を確実に生じさせることができる。よって、信頼性に優れた窓構造の半導体レーザ素子を得ることができる。

【0087】

さらに、ストライプ状の SiO_2 膜をレジストマスクを用いたリフトオフ法によって形成することにより、後工程での活性領域の構造変化を抑制することができ、信頼性を向上させることができる。よって、信頼性に優れた窓構造の半導体レーザ素子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施形態の半導体レーザ素子の構造を示す図であり、(a)は光出射端面を含む斜視図であり、(b)は(a)のI a - I a'線における導波路の断面図であり、(c)は(a)のI b - I b'線における層厚方向の断面図である。

【図2】実施形態1の半導体レーザ素子の製造工程を説明するための図であり、(a)は断面図、(b)～(h)は斜視図である。

【図3】実施形態1の半導体レーザ素子における量子井戸活性層のAl組成プロファイルを示す図である。

【図4】実施形態1の半導体レーザ素子における全量子井戸層厚とCODレベルとの関係を示す図である。

【図5】実施形態1の半導体レーザ素子におけるp-AlGaAs第3クラッド層厚とCODレベルとの関係を示す図である。

【図6】実施形態1の半導体レーザ素子におけるn-AlGaAs電流ブロック層のキャリア濃度とCODレベルとの関係を示す図である。

【図7】実施形態1の半導体レーザ素子における電流非注入領域の長さとCODレベルとの関係を示す図である。

【図8】実施形態3の半導体レーザ素子におけるエージング結果を示す図である。

【図9】従来の窓構造の半導体レーザ素子の構造を示す図であり、(a)は光出射端面を含む斜視図であり、(b)は(a)のI I a - I I a'線における導波路の断面図であり、(c)は(a)のI I b - I I b'線における層厚方向の断面図である。

【図10】従来の窓構造の半導体レーザ素子の製造工程を説明するための図であり、(a)は断面図、(b)～(d)は斜視図である。

【符号の説明】

- 101 基板
- 102 第1クラッド層
- 103 量子井戸活性層
- 104 第2クラッド層
- 105 エッチング停止層
- 106 第3クラッド層
- 107 キャップ層
- 108 ストライプ状レジストマスク
- 109 リッジストライプ
- 110 電流ブロック層
- 111 SiO_2 ストライプ
- 112 窓構造領域
- 113 レジストマスク
- 114 開口部
- 115 電流非注入領域

10

20

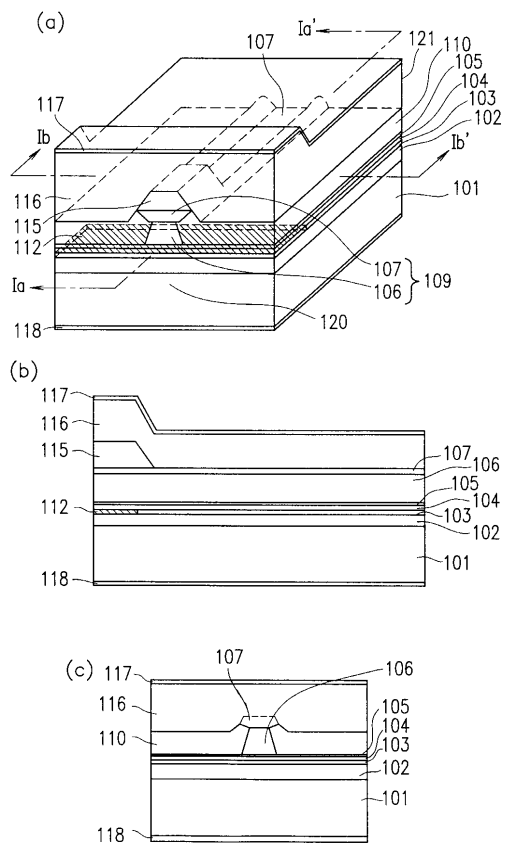
30

40

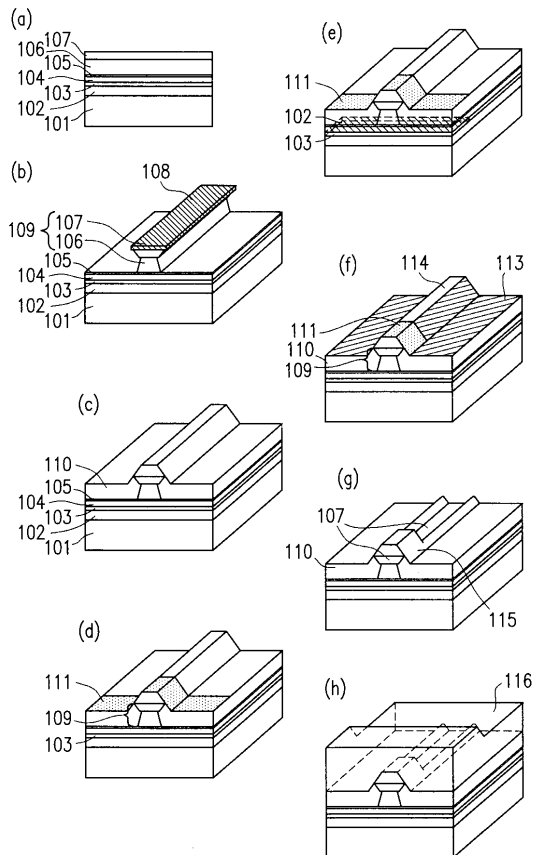
50

- 116 コンタクト層
- 117 p型電極
- 118 n型電極
- 120 光出射端面
- 121 光非出射端面
- 130 量子井戸層
- 131 障壁層
- 132 光ガイド層

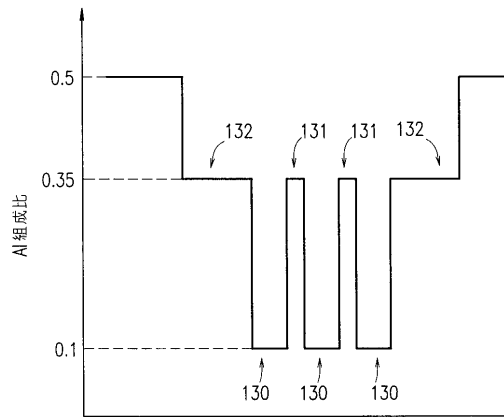
【図 1】



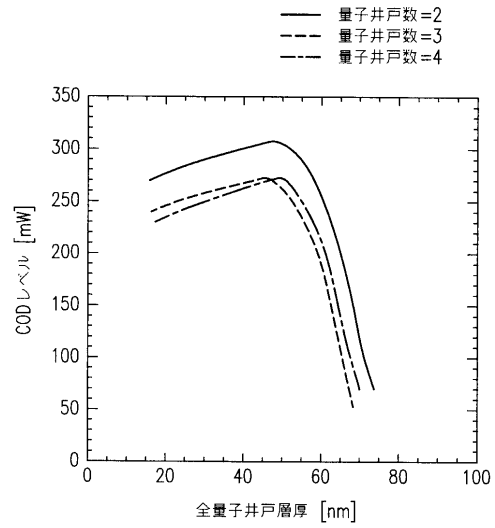
【図 2】



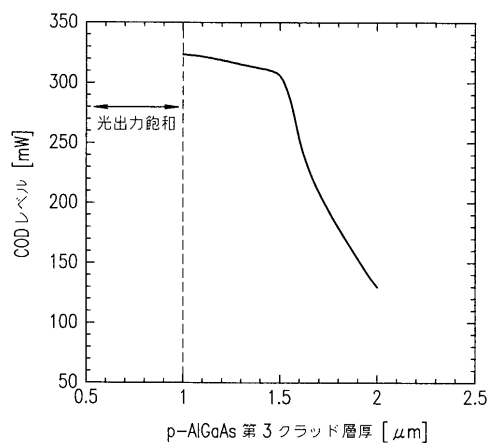
【図 3】



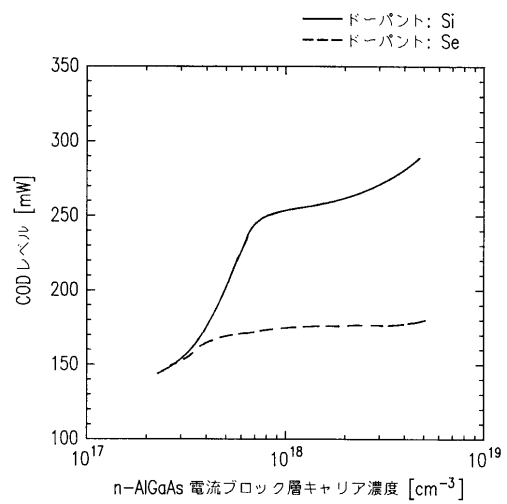
【図 4】



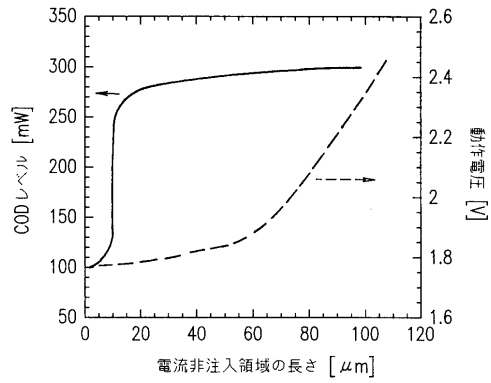
【図 5】



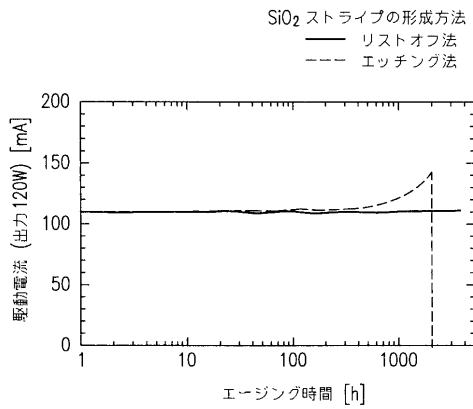
【図 6】



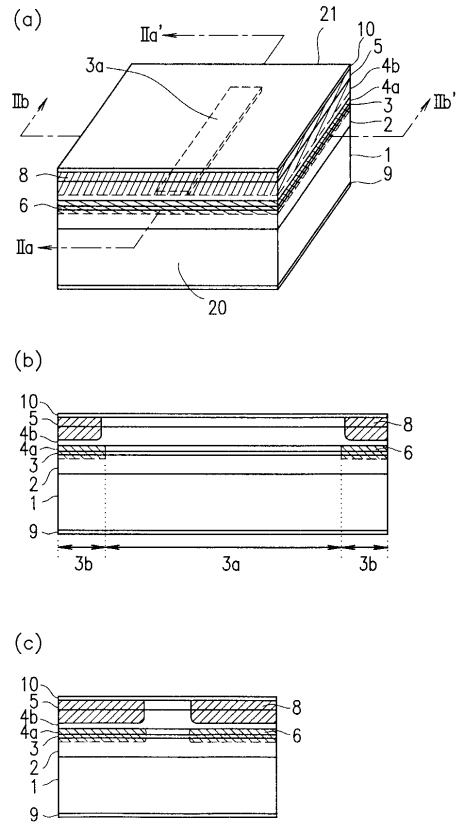
【図 7】



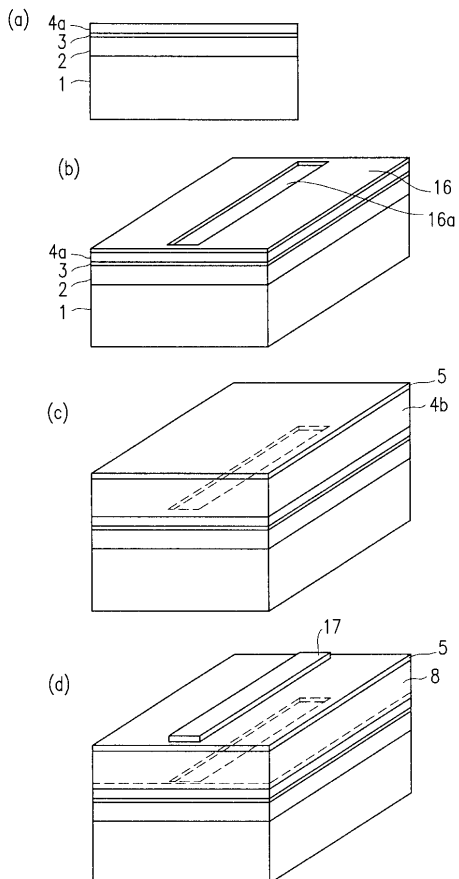
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭63-166284 (JP, A)
特開昭62-229892 (JP, A)
特開平11-168256 (JP, A)
特開平11-112077 (JP, A)
特開平11-068217 (JP, A)
特開平10-270806 (JP, A)
特開平09-326526 (JP, A)
特開平09-199784 (JP, A)
特開平09-186396 (JP, A)
特開平09-023037 (JP, A)
特開平08-242033 (JP, A)
特開平05-235476 (JP, A)
特開平05-167186 (JP, A)
特開平04-147685 (JP, A)
特開平04-105384 (JP, A)
特開平04-103187 (JP, A)
特開平01-194488 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01S 5/00-5/50