

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4251529号
(P4251529)

(45) 発行日 平成21年4月8日 (2009.4.8)

(24) 登録日 平成21年1月30日 (2009.1.30)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 S 5/343 (2006.01)

G 1 1 B 7/125 (2006.01)

HO 1 S 5/343 6 1 O

G 1 1 B 7/125 A

請求項の数 6 (全 49 頁)

(21) 出願番号	特願2002-31791 (P2002-31791)	(73) 特許権者	000005049
(22) 出願日	平成14年2月8日 (2002.2.8)		シャープ株式会社
(65) 公開番号	特開2002-319744 (P2002-319744A)		大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号
(43) 公開日	平成14年10月31日 (2002.10.31)	(74) 代理人	100078282
審査請求日	平成16年6月17日 (2004.6.17)		弁理士 山本 秀策
審査番号	不服2007-31720 (P2007-31720/J1)	(74) 代理人	100062409
審査請求日	平成19年11月22日 (2007.11.22)		弁理士 安村 高明
(31) 優先権主張番号	特願2001-37759 (P2001-37759)	(74) 代理人	100107489
(32) 優先日	平成13年2月14日 (2001.2.14)		弁理士 大塩 竹志
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	山崎 幸生
			大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号
			シャープ株式会社内
		(72) 発明者	伊藤 茂穂
			大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号
			シャープ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子およびそれを用いた光学式情報再生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

窒化物半導体基板と、
該窒化物半導体基板の上側に設けられた窒化物半導体からなる第1導電型クラッド層と、
該第1導電型クラッド層の上側に設けられた窒化物半導体からなる活性層と、
該活性層の上側に設けられた窒化物半導体からなる第2導電型クラッド層と、
該第2導電型クラッド層の上側に設けられた第2導電型コンタクト層とを備え、
該第2導電型コンタクト層は、レーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有し、
レーザ発振波長に対して透明な材料からなり、
前記第1導電型クラッド層および前記第2導電型クラッド層は、レーザ発振モードの等価屈折率よりも低い屈折率を有する層を総膜厚0.4 μm以上含むと共に、レーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有する層を含まないか、または1層もしくは2層以上からなる層を各々層厚0 μmより大で0.02 μm以下で含む、連続した層からなり、
前記第2導電型クラッド層は、前記活性層に近い主面側から、互いに組成が異なる第1の第2導電型クラッド層と第2の第2導電型クラッド層と第3の第2導電型クラッド層とを少なくともこの順に含み、
前記第1の第2導電型クラッド層と前記第2の第2導電型クラッド層と前記第3の第2導電型クラッド層とは、いずれも、レーザ発振モードの等価屈折率よりも低い屈折率を有する材料からなり、

前記第2の第2導電型クラッド層は、前記第1の第2導電型クラッド層および前記第3の第2導電型クラッド層に比べて、低い屈折率を有し、

前記第3の第2導電型クラッド層の前記活性層側主面と前記活性層の前記第2導電型クラッド層側主面との層厚方向の間隔が、 $0.34\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、

前記第2の第2導電型クラッド層の前記活性層側主面と前記活性層の前記第2導電型クラッド層側主面との層厚方向の間隔が、 $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $0.24\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、

前記第2の第2導電型クラッド層は、層厚が $0.02\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $0.15\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項2】

前記第2導電型クラッド層側に水平方向光閉じ込めリッジ構造が設けられていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

10

【請求項3】

前記水平方向光閉じ込めリッジ構造の側面を覆って、第1導電型または高抵抗の埋め込み層が設けられ、該埋め込み層は、前記第2の第2導電型クラッド層と概略等しい屈折率を有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項4】

前記埋め込み層は、前記第2の第2導電型クラッド層と概略等しい屈折率を有する TiO_2 、 ZrO_2 、 HfO_2 、 CeO_2 、 In_2O_3 、 Nd_2O_3 、 Sb_2O_3 、 SnO_2 、 Ta_2O_5 、 ZnO 、 ZnMgCdSSe のいずれかからなることを特徴とする請求項3に記載の窒化物半導体レーザ素子。

20

【請求項5】

前記第1の第2導電型クラッド層と前記第2の第2導電型クラッド層と前記第3の第2導電型クラッド層とは、少なくとも AlGaN からなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項6】

情報記録面を有する光ディスクに照射されたレーザ光の反射光を変換することにより、該光ディスクに記録された記録情報を再生する光学式情報再生装置であって、

請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の窒化物半導体レーザ素子を光源として用いることを特徴とする光学式情報再生装置。

【発明の詳細な説明】

30

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、窒化物半導体を用いた半導体レーザ素子およびそれを用いた光学式情報再生装置に関し、特に、動作電力が低く、出射光の縦横比（楕円率）が1に近い窒化物半導体レーザ素子およびそれを用いた光学式情報再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

GaN 、 InN 、 AlN およびそれらの混晶半導体に代表される窒化物系半導体材料により、青色から紫外領域で発光する半導体レーザ素子が試作されており、例えばアブライド＝フィジックス＝レターズ69号4056-4058ページ（Shuji Nakamura et al.: Appl. Phys. Lett., vol. 69 (1996) pp. 4056-4058）に報告されている。

40

【0003】

図17は、従来の半導体レーザ素子の一例として、波長 410 nm で発振する窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な要部断面図である。この半導体レーザ素子は、 n 型 GaN 層171（膜厚 $3\text{ }\mu\text{m}$ ）、 n 型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ バッファ層172（膜厚 $300\text{ }\text{\AA}$ ）、 n 型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ クラッド層173（膜厚 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ ）、 n 型 GaN 光導波層174（膜厚 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ ）、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ / n 型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 3重量子井戸活性層175（膜厚各 $40\text{ }\text{\AA}$ ）、 p 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層176（膜厚 $200\text{ }\text{\AA}$ ）、 p 型 GaN 光

50

導波層 177 (膜厚 $0.1\ \mu\text{m}$)、p 型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ クラッド層 178 (膜厚 $0.5\ \mu\text{m}$) および p 型 GaN コンタクト層 179 (膜厚 $0.2\ \mu\text{m}$) が順次積層形成されている。さらに、活性層 175 の上部構造の一部を、p 型クラッド層 178 に到達するまでエッチングすることにより、幅 $2\ \mu\text{m}$ のストライプ状リッジ (凸) 構造が形成されている。p 型光導波層 177 の平坦部上とストライプ状凸構造部の側面を覆って絶縁層 180 が設けられ、また、これらの上には電極 181 が形成されている。この半導体レーザ素子は、活性層および光導波層がクラッド層に挟まれた導波構造を有しており、活性層で発生した光は、この導波構造内に閉じ込められて、レーザ発振動作を生じる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述した従来の半導体レーザ素子では、以下に示すような問題が生じる。

【0005】

本願発明者らが上記構造の半導体レーザ素子を作製したところ、得られた FFP (ファーフールドパターン) は垂直方向の半値全角 $= 18^\circ$ 、水平方向の半値全角 $= 8^\circ$ であり、楕円率 (半値全角の垂直方向と水平方向の比) が 2 以上の楕円形状となっていた。このため、スポット内のパワー密度が下がってレーザの必要動作電力が高くなったり、光学式情報再生装置に用いた場合に高密度記録された情報の読み出しができない等の問題が生じる。

【0006】

そこで、通常、光学式情報再生装置においては、この楕円ビームを円形ビームに成形する手段として、図 18 に示すように、2 個の三角プリズムを用いる等の方法が採られている。図 18 は、従来の光学式情報再生装置の構成を示す模式図である。但し、この図では煩雑になるのを避けるため、説明の都合上で不要な部品は省略して示している。この図において、1001 は基台、1002 は基台 1001 上に設置された従来の半導体レーザ素子、1003 はカップリングレンズ、1004 は成形プリズム、1005 はビームスプリッタ、1006 はディスク、1007 は光検出器である。この装置では、成形プリズム 1004 が楕円ビームを円形ビームに成形する役割を果たしている。このように、従来の半導体レーザ素子を用いた場合には、光学式情報再生装置の大型化やコスト増大を招く。

【0007】

従って、半導体レーザ素子の動作電力を増加させることなく、かつ、楕円率を改善することが必要となる。しかし、動作電力と FFP の半値全角を各々独立して制御することは、以下に述べる理由により容易ではない。

【0008】

楕円率改善の手法としては、 α を減少させる方法がある。そのためには、垂直方向の光閉じ込めを弱くする必要があり、最も有効な手段としては p 型 / n 型クラッド層の Al 混晶比を増加させることにより、屈折率を減少させるという方法が挙げられる。しかし、いずれの手法を用いても、垂直方向の光閉じ込めが弱くなるため、レーザ発振を生ずる閾値電流が上昇し、半導体レーザ素子の動作電力の増大を招いてしまう。

【0009】

楕円率改善のもう一つの手法としては、 β を増加させる方法がある。そのためには、水平方向の光閉じ込めを強くする必要があり、リッジ高さを増加させるか、埋め込み層の材料屈折率を小さくするか、といった方法が挙げられる。しかし、水平方向の光閉じ込めを強くすると、高次横モードを生じ易いという別の問題が生じる。すなわち、高次横モードのレーザ発振を十分抑制しつつ、かつ、水平方向の光閉じ込めを十分強くするというトレードオフの関係から、水平方向の光閉じ込めの度合いはほぼ一意に定まる。よって、 β を増加させるには限度があり、 $6^\circ \sim 10^\circ$ の範囲を超えて大きくさせることはできない。

【0010】

以上のように、従来の半導体レーザ素子によれば、窒化物半導体の屈折率や膜厚を変化させるのみでは、動作電力を増加させることなく、FFP 半値全角を改善することはできな

10

20

30

40

50

かった。そのため、従来の半導体レーザ素子を用いた光学式情報再生装置のさらなる小型化および低消費電力化を妨げていた。

【0011】

本発明は、このような従来技術の課題を解決するべくなされたものであり、動作電力を増加させることなく、楕円率を改善した窒化物半導体レーザ素子を提供し、より小型化および低消費電力化された光学式情報再生装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明の窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板と、該窒化物半導体基板の上側に設けられた窒化物半導体からなる第1導電型クラッド層と、該第1導電型クラッド層の上側に設けられた窒化物半導体からなる活性層と、該活性層の上側に設けられた窒化物半導体からなる第2導電型クラッド層と、該第2導電型クラッド層の上側に設けられた第2導電型コンタクト層とを備え、該第2導電型コンタクト層は、レーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有し、レーザ発振波長に対して透明な材料からなり、前記第1導電型クラッド層および前記第2導電型クラッド層は、レーザ発振モードの等価屈折率よりも低い屈折率を有する層を総膜厚0.4 μm以上含むと共に、レーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有する層を含まないか、または1層もしくは2層以上からなる層を各々層厚0 μmより大で0.02 μm以下で含む、連続した層からなり、前記第2導電型クラッド層は、前記活性層に近い主面側から、互いに組成が異なる第1の第2導電型クラッド層と第2の第2導電型クラッド層と第3の第2導電型クラッド層とを少なくともこの順に含み、前記第1の第2導電型クラッド層と前記第2の第2導電型クラッド層と前記第3の第2導電型クラッド層とは、いずれも、レーザ発振モードの等価屈折率よりも低い屈折率を有する材料からなり、前記第2の第2導電型クラッド層は、前記第1の第2導電型クラッド層および前記第3の第2導電型クラッド層に比べて、低い屈折率を有し、前記第3の第2導電型クラッド層の前記活性層側主面と前記活性層の前記第2導電型クラッド層側主面との層厚方向の間隔が、0.34 μm以下であり、前記第2の第2導電型クラッド層の前記活性層側主面と前記活性層の前記第2導電型クラッド層側主面との層厚方向の間隔が、0.05 μm以上0.24 μm以下であり、前記第2の第2導電型クラッド層は、層厚が0.02 μm以上0.15 μm以下であることを特徴とし、そのことにより上記目的が達成される。

【0016】

好ましくは、前記第2導電型クラッド層側に水平方向光閉じ込めリッジ構造が設けられている。

【0017】

好ましくは、前記水平方向光閉じ込めリッジ構造の側面を覆って、第1導電型または高抵抗の埋め込み層が設けられ、該埋め込み層は、前記第2の第2導電型クラッド層と概略等しい屈折率を有する。

【0018】

好ましくは、前記埋め込み層は、前記第2の第2導電型クラッド層と概略等しい屈折率を有するTiO₂、ZrO₂、HfO₂、CeO₂、In₂O₃、Nd₂O₃、Sb₂O₃、SnO₂、Ta₂O₅、ZnO、ZnMgCdSSeのいずれかからなる。

【0019】

好ましくは、前記第1の第2導電型クラッド層と前記第2の第2導電型クラッド層と前記第3の第2導電型クラッド層とは、少なくともAlGaInからなる。

【0024】

また、本発明は、情報記録面を有する光ディスクに照射されたレーザ光の反射光を変換することにより、該光ディスクに記録された記録情報を再生する光学式情報再生装置であって、前記窒化物半導体レーザ素子を光源として用いることを特徴とする。

【0039】

なお、本明細書において、垂直方向とは窒化物半導体層の層厚方向を表し、水平方向とは

10

20

30

40

50

窒化物半導体層の主面に平行で、かつ、ストライプの長さ方向に垂直な方向を表すものとする。

【 0 0 4 0 】

【 発明の実施の形態 】

以下に、本発明の実施に形態について、図 1 ~ 図 1 6 を参照しながら説明する。

【 0 0 4 1 】

図 1 は、本発明の一実施形態である窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この半導体レーザ素子は、活性層 1 7 を、各々 n 型と p 型の窒化物半導体からなる n 型クラッド層 1 5 と p 型クラッド層 2 6 で挟んだ構造を有している。p 型クラッド層 2 6 は、層厚方向に互いに屈折率が異なる 2 層以上の層（ここでは 2 層）から構成され、活性層 1 7 に近い第 1 の p 型クラッド層 2 0 の屈折率が、活性層からより遠い第 2 の p 型クラッド層 2 1 の屈折率に比べて小さくなっている。

10

【 0 0 4 2 】

この半導体レーザ素子において、半導体レーザ素子発振モードの垂直方向閉じ込め層として主に機能しているのは、第 2 の p 型クラッド層 2 1 である。さらに、これよりも屈折率が低い第 1 の p 型クラッド層 2 0 が存在することにより、以下に説明するような効果が得られる。なお、以下の説明では、上記第 1 の p 型クラッド層 2 0 に相当する層、すなわち、p 型クラッド層中で屈折率が低くなっている層を低屈折率層と称する。

【 0 0 4 3 】

楕円率改善のためには、水平方向 F F P の半値全角 θ_{FFP} を大きくする方法が考えられる。しかし、水平方向のストライプ内閉じ込め係数 Γ_{FFP} と水平方向 F F P の半値全角 θ_{FFP} は、互いに 1 対 1 の関係にあり、一方が決定されると他方も自ずと決定されるため、 Γ_{FFP} を大きくすると θ_{FFP} も増大する。そして、 Γ_{FFP} が大きくなりすぎると、高次の横モードがレーザ発振しやすくなるため、実用上 $\Gamma_{FFP} \sim 0.90$ 、 $\theta_{FFP} \sim 8$ 度となるように、設計することが通常行われている。また、 Γ_{FFP} および θ_{FFP} は、 Γ_{FFP} および θ_{FFP} と独立して設計することが可能である。よって、図 1 に示したクラッド層の残し膜厚 d およびストライプ幅 W を調節して、 $\Gamma_{FFP} = 0.85 \sim 0.95$ 、 $\theta_{FFP} = 6$ 度 ~ 10 度となるように、より理想的には $\Gamma_{FFP} \sim 0.90$ 、 $\theta_{FFP} \sim 8$ 度となるように作製される。従って、本発明にあっては、垂直方向の活性層閉じ込め係数 Γ_{FFP} を減少させることなく、垂直方向 F F P の半値全角 θ_{FFP} を減少させることが目的となる。

20

30

【 0 0 4 4 】

そこで、本発明にあっては、窒化物半導体からなる p 型クラッド層中に低屈折率層（第 1 の p 型クラッド層）を挿入している。以下に、p 型クラッド層中に低屈折率層を挿入することにより、レーザ発振モードの垂直方向光強度分布に与える作用について説明する。

1 p 型クラッド層中に低屈折率層を挿入したことにより、p 型クラッド層と活性層との屈折率差が大きくなる。これにより、活性層におけるレーザ発振モードの相対光強度が大きくなる方向に働くことになる。一方、2 p 型クラッド層中に低屈折率層を挿入したことにより、レーザ発振光が垂直方向に広がる領域全体の平均屈折率が減少する。このため、レーザ発振光が影響を受ける屈折率 n_{eq} が小さくなり、低屈折率層を除く p 型クラッド層部分の屈折率 n_{clad} との差が小さくなる。クラッド層内における光強度分布の膜厚方向（x 方向とする）の変化の度合い K は、波長 λ を用いて、

40

$$K = \exp \left(- 2 \sqrt{x} \right) \\ = 2 \sqrt{x} / \left(n_{eq}^2 - n_{clad}^2 \right)^{1/2}$$

で表されることが、スラブ導波路における通常の電界分布計算から導かれる。ここでは、屈折率 n_{eq} と n_{clad} との差が小さくなることから、 K が減少する方向に作用するため、レーザ発振モードの垂直方向光強度分布の裾となる低屈折率層を除く p 型クラッド層の存在する領域付近における相対光強度が増大する。この結果、活性層におけるレーザ発振モードの相対光強度が減少する方向に働くことになる。

【 0 0 4 5 】

このように、p 型クラッド層中に低屈折率層を挿入することにより、上記 1 および

50

2 の互いに相反する作用が働く。このため、p型クラッド層中に低屈折率層を挿入しても、活性層におけるレーザ発振モードの垂直方向における相対光強度はほとんど変化しない。一方、p型クラッド層中に低屈折率層を挿入することにより、レーザ発振モードの垂直方向光強度分布が、活性層側から低屈折率層に近づくにつれて急激に立ち下がるような形状になり、半値全幅は増大する。ここで、FFPは光強度分布のフーリエ変換パターンであるので、垂直方向FFPの半値全角は減少する。

【0046】

従って、p型クラッド層中に低屈折率層を挿入することにより、レーザ発振モードの垂直方向の相対光強度の変化、すなわち、閾値電流密度の変化を抑制しつつ、垂直方向FFPの半値全角を減少させることができ、出射光の楕円率改善を図ることが可能となる。

10

【0047】

さらに、本発明の実施の形態においては、第2のp型クラッド層の屈折率が第1のp型クラッド層の屈折率に比べて高くなっている。通常、p型クラッド層はp型AlGaInで構成されるので、第2のp型クラッド層の方が第1のp型クラッド層に比べてAl混晶比が小さくなる。一方、窒化物半導体特有の問題として、p型AlGaInはAl混晶比が大きいほど、抵抗率が增大するという問題がある。特に、窒化物半導体レーザ素子においては、光導波路を構成するためのストライプ状リッジ構造の幅が、他の材料系を用いた半導体レーザ素子に比べて狭く設計されるため、駆動電圧の上昇という問題が他の材料系を用いた半導体レーザ素子に比べて重要である。従って、本実施の形態の窒化物半導体レーザ素子においては、第2のp型クラッド層のAl混晶比が小さいため、抵抗率を小さくして半導体レーザ素子の駆動電圧を低減させるという効果を有する。

20

【0048】

本明細書において、p型クラッド層/n型クラッド層とは、レーザ発振モードの等価屈折率よりも低い屈折率を有する層を総膜厚0.4μm以上含むと共に、レーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有する層を含まないか、または1層もしくは2層以上からなる層を各々層厚0μmより大で0.02μm以下含む、連続した層状領域を指している。

【0049】

レーザ発振モードの等価屈折率よりも低い屈折率を有する層を総膜厚0.4μm以上含むのは、レーザ発振モードの垂直方向光閉じ込めを実現するために必要な最小の膜厚が0.4μmだからである。また、0.02μm以下の層厚を有するレーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有する層を含んでいても良い理由は、これらがp型クラッド層/n型クラッド層中に含まれていても、p型クラッド層/n型クラッド層の総膜厚に対して十分薄く、レーザ発振モードの垂直方向電界分布に与える影響が小さいためである。

30

【0050】

レーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有する層（例えばIn_qGa_{1-q}N、0<q<1からなる層）は、p型クラッド層またはn型クラッド層中に含まれないことが望ましい。その理由は、レーザ発振モードがそのような層に引き込まれて、垂直方向FFPにおけるリップルの原因となり易いからである。

【0051】

本発明の実施の形態において、第1のp型クラッド層20および第2のp型クラッド層21は、共にp型クラッド層26の一部であり、共にレーザ発振モードの等価屈折率よりも小さい屈折率を有している。

40

【0052】

半導体レーザ素子を構成するためには、垂直方向におけるレーザ発振モードの光閉じ込めは必須であり、このため、第2のp型クラッド層21はレーザ発振モードの等価屈折率よりも小さい屈折率を有している必要がある。

【0053】

また、第1のp型クラッド層20がレーザ発振モードの等価屈折率よりも大きな屈折率を有する材料からなる場合、この層は上記p型クラッド層の定義から、p型クラッド層26

50

に含まれないことになり、本発明の範囲を逸脱するものとなる。実際に、このような半導体レーザ素子を作製すると、第1のp型クラッド層20がp型クラッド層26の活性層17側主面に接して形成されている場合、従来の半導体レーザ素子に比べて活性層閉じ込め係数は小さくなり、垂直方向FFP半値全角は増大してしまい、本発明の目的を達成することができなくなる。さらに、第1のp型クラッド層20がp型クラッド層26中に挿入され、かつ、p型クラッド層26の活性層17側主面から0.05 μm以下を隔てて形成されている場合、第1のp型クラッド層20に光が閉じ込められるようになり、レーザ発振モードの垂直方向FFPが複峰的形状となる。このため、半導体レーザ素子を光学式情報再生装置に用いた場合、半導体レーザ素子の出射光をレンズで集光したスポットが2点以上となって、大きな問題が生じる。従って、第1のp型クラッド層20も、レーザ発振モードの等価屈折率よりも小さい屈折率を有する必要がある。

10

【0054】

レーザ発振モードの等価屈折率は、スラブ導波路における通常の電界分布計算により求めることができ、例えばジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス84号1196-1203ページ(M. J. Bergmann and H. C. Casey, Jr.: J. Appl. Phys. vol. 84 (1998) pp. 1196-1203)を参照することができる。また、電界分布計算におけるパラメータである、発振波長[nm]における各材料の屈折率nは、以下のようにして求められる。ここで、発振波長は300[nm]~800[nm]の範囲とすることができる。

【0055】

20

まず、各材料のパラメータEg[eV]が下記式で与えられる。In_sGa_{1-s}N(0<s<1)に対しては、

$$E_g = E_{g1}[s] = 3.42(1-s) + 2.65s - 3.94s(1-s)$$

Al_tGa_{1-t}N(0<t<1)に対しては、

$$E_g = E_{g2}[t] = 3.42(1-t) + 6.2t - 1.057t(1-t)$$

In_sAl_tGa_{1-s-t}N(0<s<1、0<t<1)に対しては、

$$E_g = \{sE_{g1}[s+t] + tE_{g2}[s+t]\} / (s+t)$$

これにより、屈折率は

$$p[\quad] = 1 / [1 / - (E_g - 3.42) / 1239.852]$$

として、

p[] > 360.7のとき、

$$n(p[\quad]) = [4.3663801 + p^2 / (p^2 - 295.2^2)]^{0.5}$$

p[] < 360.7のとき、

$$n(p[\quad]) = c_0 + c_1q + c_2q^2 + c_3q^3 + c_4q^4$$

$$q = p[\quad] - 360$$

$$c_0 = 2.718$$

$$c_1 = 9.976e-3$$

$$c_2 = 3.005e-4$$

$$c_3 = 4.584e-6$$

$$c_4 = 2.596e-8$$

40

である。

【0056】

本明細書において、レーザ発振モードの等価屈折率及び垂直方向光強度分布I(x)は、ストライプ内の垂直構造において、ここに規定されたパラメータを用いて、通常の電界分布計算により計算されるものである。

【0057】

また、本明細書において、垂直方向の活性層閉じ込め係数は、垂直方向の電界分布計算により求めた、レーザ発振モードの垂直方向光強度分布をI(x)とし、垂直方向位置座標x軸上において半導体レーザ素子の井戸層が占める領域をcとして

【0058】

50

【数 1】

$$\Gamma_{\perp} = \frac{\int_c I(x) dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} I(x) dx}$$

【0059】

10

によって定義される量とする。

【0060】

さらに、本明細書において、水平方向のストライプ内閉じ込め係数は、レーザ発振モードの水平方向光強度分布を $I(y)$ とし、水平方向位置座標 y 軸上において半導体レーザ素子のストライプ（リッジ上面の幅とリッジ底面の幅との平均値 W ）が占める領域を $|y| \leq W/2$ として

【0061】

【数 2】

$$\Gamma_{\parallel} = \frac{\int_{-W/2}^{W/2} I(y) dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} I(y) dy}$$

20

【0062】

によって定義される量とする。

【0063】

ここで、レーザ発振モードの水平方向光強度分布 $I(y)$ は、ここに規定されたパラメータを用いて、（ストライプ内の垂直構造から計算される等価屈折率 + 0.002）に相当する屈折率を有し、ストライプ幅に相当する層厚を有する層が、（ストライプ外の垂直構造から計算される等価屈折率）に等しい屈折率を有する層で挟まれた 3 層構造内で、再度スラブ導波路における水平方向電界分布計算を実施することにより計算されるものである。0.002 という数値は、水平方向光強度分布の計算結果が実際の半導体レーザ素子における水平方向強度分布と一致するように加えられる、補正係数である。

30

【0064】

本発明の実施の形態において、レーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有し、レーザ発振波長に対して透明な材料からなる p 型コンタクト層を、少なくとも p 型クラッド層における活性層から遠い側に形成してもよい。

40

【0065】

窒化物半導体を含む半導体レーザ素子においては、正電極と窒化物半導体層との間における接触抵抗を抑制するために、従来から p 型 GaN からなる p 型コンタクト層が正電極と接触して形成される。ここで、p 型 GaN 層が薄い場合には、p 型 GaN 層がレーザ発振波長に対して透明であるため、p 型レーザ発振モードが正電極により吸収損失を受け、閾値電流密度が上昇し、動作電力の増大を招く。また、p 型 GaN 層が厚い場合には、p 型 GaN の屈折率がレーザ発振モードの等価屈折率に比べて高いため、レーザ発振モードの p 型 GaN 層への染み出しが生じ、閾値電流密度の上昇または遠視野像におけるリップルの原因となる。これに対して、本発明においては、第 2 の p 型クラッド層がレーザ発振モードを活性層に閉じ込める役割を果たすので、上記問題を解決することができる。

50

【0066】

本発明の実施の形態において、低屈折率層は、p型クラッド層26中のどこにあってもよい。例えばp型クラッド層26の活性層17側主面に接して形成してもよく、またはp型クラッド層26中に挿入された形で形成してもよい。但し、第2のp型クラッド層21と活性層17との距離は、層厚方向に $0.34\mu\text{m}$ 以下とする。これは、レーザ発振モードの垂直方向閉じ込め層としての役割を果たしているのが第2のp型クラッド層21であり、この層と活性層17との距離が大きすぎると、低屈折率層である第1のp型クラッド層20が垂直方向閉じ込め層として働いて、本発明の効果が得られなくなるためである。

【0067】

さらに、低屈折率層（第1のp型クラッド層20）と活性層17との距離が、層厚方向に $0.24\mu\text{m}$ 以下であるのが望ましい。これは、低屈折率層がp型クラッド層26内に挿入されている場合に、低屈折率層と活性層17との間に存在する光導波層の厚さが $0.24\mu\text{m}$ より大きいと、レーザ発振モードに対する低屈折率層からの影響が弱くなり、本発明の効果が小さくなるためである。また、低屈折率層がp型クラッド層26の活性層17側主面に接して形成されている場合には、光導波層の膜厚が $0.24\mu\text{m}$ より大きくなり、レーザ発振モードの活性層閉じ込め係数が小さくなるためである。

10

【0068】

さらに、低屈折率層（第1のp型クラッド層20）と活性層17との距離が、層厚方向に $0.05\mu\text{m}$ 以上であるのが望ましい。低屈折率層が活性層17に近づきすぎると、p側へのレーザ発振モードが低屈折率層の影響を強く受けることになり、低屈折率層の存在によりn側への染み出しが大きくなる。この場合、活性層閉じ込め係数を減少させることなく、を減少させるという本発明の効果が弱くなる。このため、低屈折率層は活性層17から $0.05\mu\text{m}$ 以上隔てて形成するのが望ましい。

20

【0069】

さらに、低屈折率層は、層厚が $0.02\mu\text{m}$ 以上 $0.15\mu\text{m}$ 以下であるのが望ましい。低屈折率層の層厚が $0.02\mu\text{m}$ より薄い場合には、レーザ発振モードに対する低屈折率層からの影響が弱くなるためである。また、低屈折率層の層厚が $0.15\mu\text{m}$ を超える場合には、低屈折率層によりレーザ発振モードの垂直方向閉じ込めがなされることになり、レーザ発振モードに対する第2のp型クラッド層21から受ける影響が弱くなって、p型クラッド層26を少なくとも2層以上の構造にすることによる本発明の効果が弱くなるためである。

30

【0070】

さらに、低屈折率層は、p型クラッド層26における活性層17側主面に接して設けられているのが最も望ましい。これは、低屈折率層がレーザ発振モードに与える影響が最も大きくなるからである。

【0071】

本発明の実施の形態において、p型クラッド層26/n型クラッド層15中や、p型クラッド層26/n型クラッド層15における活性層17に近い側に、レーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有する、層厚 $0.02\mu\text{m}$ 以下の層が配置されていても良いが、これは必須の構成ではない。例えば、p型クラッド層/n型クラッド層中に、Ga_{0.5}N_{0.5}やAl_{0.5}Ga_{0.5}NやIn_{0.5}Ga_{0.5}N等の低温成長により形成されたバッファ層が挿入されることがあるが、これらは層厚が $0.02\mu\text{m}$ 以下であり、レーザ発振モードに与える影響は極めて小さい。

40

【0072】

本発明の実施の形態において、p型クラッド層26/n型クラッド層15のAl混晶比が層厚方向に概略連続的に変化していてもよい。このような半導体レーザ素子は、活性層に近づくにつれて屈折率が減少していく領域が存在すれば、本発明の範囲に含まれ、本発明の効果をすることができる。この領域の膜厚は、 $0.02\mu\text{m}$ 以上 $0.2\mu\text{m}$ 以下であるのが望ましく、特に、 $0.05\mu\text{m}$ 以上 $0.1\mu\text{m}$ 以下であるのが望ましい。

【0073】

50

本発明の実施の形態において、p型クラッド層26 / n型クラッド層15および低屈折率層（第1のp型クラッド層20）は、互いに組成の異なる2種類以上の薄層（層厚0.02 μm未満）を繰り返し成長させた超格子層により構成されていてもよい。この超格子層が以下の条件を満たしていれば、本発明の範囲に含まれ、本発明の効果を得ることができる。すなわち、超格子の繰り返し周期1回分の平均屈折率を有する均一組成の層に置き換えて考え、超格子構造を有する低屈折率層の平均屈折率が、活性層17からより遠い位置にあるp型クラッド層26 / n型クラッド層15の平均屈折率よりも高い領域が存在すれば、本発明の範囲に含まれるものとする。

【0074】

本発明の実施の形態において、p型クラッド層26は、活性層17に対して水平方向光閉じ込めストライプ状リッジ構造が形成されている側に配置されている。しかし、反対側に配置されていても、本発明の効果は得られる。但し、p型クラッド層26を活性層17に対して水平方向光閉じ込めストライプ構造が形成されている側に配置した方が、結晶性の良い半導体レーザ素子を形成し易いことから、より望ましい。

【0075】

本発明の実施の形態において、水平方向光閉じ込めストライプ構造はn側に配置されていても本発明の範囲に含まれ、また、低屈折率層がn型クラッド層15内に配置されていてもよい。さらに、低屈折率層がp型クラッド層26およびn型クラッド層15の両方に設けられている構造も本発明の範囲に含まれる。この場合には、本発明の効果がさらに増し、レーザ発振モードの垂直方向の活性層閉じ込め係数を抑制しつつ、さらにを減少させる効果を奏する。

【0076】

本発明の実施の形態において、水平方向光閉じ込めストライプ構造は、リッジ形状ストライプ導波路であり、第1のp型クラッド層20までエッチングすることにより形成されたものであるのが望ましい。この場合、第1のp型クラッド層20は平坦部とストライプ状凸構造部とを有しており、そのストライプ状凸構造部の上側概略全面に、少なくとも第2のp型クラッド層21が形成された構造となる。図1は、水平方向光閉じ込めの最適な状態である、 $\theta = 6^\circ \sim 10^\circ$ を形成するための大まかな位置を表している。

【0077】

本発明の実施の形態において、p型半導体層26を低屈折率層（第1のp型クラッド層20）までエッチングすることにより光導波路を構成するストライプ状リッジ構造を形成し、低屈折率層と概略等しい屈折率を有する材料を埋め込む構造も、本発明の範囲に含まれる。この場合、第1のp型クラッド層20における平坦部の上面と、ストライプ状凸構造の側面と、第2のp型クラッド層21の側面とを覆って、n型または高抵抗の埋め込み層が設けられた構造となる。この場合には、エッチング深さのばらつきにより半導体レーザ素子の特性に与える影響がほぼ皆無となり、半導体レーザ素子の製造歩留まり向上という効果を奏する。具体的な埋め込み層材料としては、低屈折率層と同じ組成のInGaAlN系半導体が望ましい。なお、Inを含むと、埋め込み層内にInが均一に広がらず、偏析し易くなるため、さらに望ましくは、埋め込み層及び低屈折率層が共にAlGaInからなり、両者のAl混晶比差が、0.04以下であることが好ましい。

【0078】

本発明の実施の形態において、p型クラッド層26 / n型クラッド層15の外側に、各々p型クラッド層 / n型クラッド層よりも屈折率の高い層が配置されている構造は、本発明の必須条件ではない。例えば、p型コンタクト層 / n型コンタクト層やバッファ層等の層が、p型クラッド層 / n型クラッド層の外側に設けられることがあるが、これらはレーザ発振モードの等価屈折率よりも高い屈折率を有する材料からなり、層厚が0.02 μm以上である。これらの層は、本明細書においてはp型クラッド層 / n型クラッド層の一部に含まれず、また、これらの層はp型クラッド層 / n型クラッド層の活性層側主面から0.4 μm以上隔てて形成されているため、レーザ発振モードにほとんど影響を与えず、本発明の効果には影響を与えない。

10

20

30

40

50

【0079】

本発明の光学式情報再生装置は、このように構成された本発明の半導体レーザ素子を搭載したものである。これにより、従来の光学式情報再生装置に比べて、搭載している半導体レーザ素子の楕円率が1に近づいているため、光学式情報再生装置の必要部品である、ビーム形状成形を目的とした三角プリズム等の光学部品を省略できる。よって、光学式情報再生装置の小型化および省電力化を図ることができる。

【0080】

以下に、具体的な実施形態により本発明を詳細に説明するが、本発明は以下の実施形態に限定されるものではない。

【0081】

10

(実施形態1)

本実施形態では、p型クラッド層が2層構造であって、活性層側の層の方が屈折率が低い構成について説明する。図2は、実施形態1の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

【0082】

この半導体レーザ素子は、n型Ga_{1-r}Nからなる基板11(膜厚30μm~300μm)、Ga_{1-r}Nからなる低温成長バッファ層12(膜厚0~10μm)、n型Ga_{1-r}N層13(膜厚0.1μm~10μm)、n型In_rGa_{1-r}N(0<r<0.2)からなるn型バッファ層14(膜厚0~200nm)、n型Al_xGa_{1-x}N(0.05<x<0.2)からなるn型クラッド層15(膜厚0.4μm以上)、n型Ga_{1-v}Nからなるn側光導波層16(膜厚0~0.15μm)、In_wGa_{1-w}N(v<w<0.2)井戸層とn型In_vGa_{1-v}N(0<v<w)障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層17(発振波長370nm~430nm、総膜厚5nm~60nm)、p型Al_zGa_{1-z}N(0<z<0.3)からなるp型キャリアブロック層18(膜厚0~0.04μm、好ましくは0~0.02μm)、p型Ga_{1-y1}Nからなるp側光導波層19(膜厚0.05μm~0.15μm)、p型Al_{y1}Ga_{1-y1}N(y2<y1<0.2)からなる第1のp型クラッド層20(膜厚0.02μm~0.15μm)、p型Al_{y2}Ga_{1-y2}N(0<y2<y1)からなる第2のp型クラッド層21(膜厚(0.4μm-第1のp型クラッド層の層厚)以上)およびp型Ga_{1-y2}Nからなるp型コンタクト層22(膜厚0.01μm~10μm)の各窒化物半導体層が形成されている。

20

30

【0083】

窒化物半導体層のp側から、第1のp型クラッド層20までエッチングを施すことによりリッジ構造が形成されており、半導体レーザ素子の導波路部分のストライプを構成している。さらに、エッチングされた領域の概略全面に絶縁膜23が形成されている。正電極24はp型コンタクト層22の一部露出した面上の全面を含む、絶縁膜23の概略全面に形成されている。一方、負電極25は、n型基板11の2主面のうち、窒化物半導体層が形成されている側と対向する面側に、概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

【0084】

40

本実施形態の窒化物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。初めに、(0001)C面を結晶成長用面とするn型Ga_{1-r}Nからなる基板11(膜厚30μm~300μm)を洗浄し、この基板をMOCVD装置内に導入してH₂雰囲気の中で約1100℃の高温でクリーニングを行う。

【0085】

次に、降温して、キャリアガスとして水素(H₂)を10l/min流しながらSiH₄を10nmol/min導入し、600℃でNH₃とトリメチルガリウムを各々5l/minと20mol/min導入して、厚み0~10μm以下(例えば100nm)のn型Ga_{1-r}Nからなる低温成長バッファ層12を成長する。ここでは、n型Ga_{1-r}Nからなる低温成長バッファ層の成膜方法を説明したが、n型Ga_{1-r}Nに限らず、SiH₄の導入量を0mo

50

1 / minとしたGa_{0.9}Nでもよく、さらに、AlやInを含むAlGaInNを少なくとも含む膜を用いても何ら問題は生じない。Alを含む場合には、トリメチルアルミニウム(TMA)を成膜時に適量導入し、Inを含む場合にはトリメチルインジウム(TMI)を成膜時に適量導入すればよい。

【0086】

続いて、N₂とNH₃を各々5 l / min流しながら約1050 °Cまで昇温する。温度が上がってからキャリアガスをN₂からH₂に代えて、TMGを100 μmol / minとSiH₄を10 nmol / min導入して、n型Ga_{0.9}N層13を厚み0.1 μm ~ 10 μm (例えば約4 μm) 成長する。

【0087】

その後、TMGおよびSiH₄の供給を停止して、キャリアガスをH₂からN₂に代えて、約800 °Cまで降温後、TMGの流量を15 μmol / minに調整し、SiH₄を10 nmol / min導入して、TMIを一定量流しながら、n型In_rGa_{1-r}N (例えばr = 0.07) からなるn型バッファ層14を厚み0 ~ 200 nm (例えば約50 nm) 成長する。

【0088】

次に、TMI、TMG、SiH₄の供給を停止して、再び1050 °Cまで昇温し、キャリアガスを再びN₂からH₂に代えて、TMGの流量を50 μmol / minに調整し、TMAを一定量導入して、SiH₄を10 nmol / min流しながら、n型Al_xGa_{1-x}N (例えばx = 0.1) からなるn型クラッド層15を厚み0.4 μm以上 (例えば1 μm) 成長する。

【0089】

続いて、TMAの供給を停止し、TMGの流量を100 μmol / minに調整して、n型Ga_{0.9}Nからなるn側光導波層16を厚み0 ~ 0.15 μm (例えば100 nm) 成長する。なお、n側光導波層16は、ノンドープ光導波層としてもよい。

【0090】

その後、TMGの供給を停止して、キャリアガスを再びH₂からN₂に代えて、700 °Cまで降温し、インジウム原料であるTIを一定量と、TGMを15 μmol / min導入し、n型In_vGa_{1-v}N (例えばv = 0.023) 障壁層を成長する。その後、TMIの供給をある一定量まで増加し、In_wGa_{1-w}N (例えばw = 0.070) 井戸層を成長する。この障壁層と井戸層との交互積層多層構造 (障壁層 / 井戸層 / ... / 井戸層 / 障壁層) からなる多重量子井戸活性層17を成長する。ここで、障壁層および井戸層を構成するInGa_{0.9}Nの混晶比および膜厚は、発光波長が370 nm ~ 430 nmの範囲になるように設計する。また、成長時に導入するTMIの流量は、その設計値に等しいIn組成の膜が得られるように調節する。井戸層の層数は2 ~ 6が望ましく、特に、3が望ましい。なお、井戸層および障壁層はいずれも、ノンドープでもSi等のドーパントを含むn型であってもよい。

【0091】

次に、TMIおよびTMGの供給を停止して、再び1050 °Cまで昇温し、キャリアガスを再びN₂からH₂に代えて、TMGを50 μmol / minとTMAを適量導入し、p型ドーピング原料であるビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)を10 nmol / min流して、厚み0 ~ 40 nm (例えば18 nm) のp型Al_zGa_{1-z}N (例えばz = 0.2) キャリアブロック層18を成長する。なお、キャリアブロック層は、ノンドープキャリアブロック層であってもよい。このキャリアブロック層は、半導体レーザ素子を駆動するために電流を印加した際に、活性層に注入された電子がp型半導体層側にオーバーシュートするのを防ぐ役割を有する。また、キャリアブロック層は、活性層からIII族元素が蒸発するのを防止する蒸発防止層としても機能する。

【0092】

続いて、TMAの供給を停止し、TMGの流量を100 μmol / minに調整して、p型Ga_{0.9}Nからなるp側光導波層19を厚み0.05 μm ~ 0.15 μm (例えば0.1 μm) 成長する。

10

20

30

40

50

m) 成長する。なお、p 側光導波層 19 は、ノンドープ光導波層であってもよい。

【0093】

その後、TMG の流量を $50 \mu\text{mol}/\text{min}$ に調整し、TMA を一定量導入して、p 型 $\text{Al}_{y_1}\text{Ga}_{1-y_1}\text{N}$ (例えば $y_1 = 0.20$) からなる第 1 の p 型クラッド層 20 を厚み $0.02 \mu\text{m} \sim 0.15 \mu\text{m}$ (例えば $0.1 \mu\text{m}$) 成長する。

【0094】

次に、TMA の供給量を変化させて一定量導入し、p 型 $\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2}\text{N}$ (例えば $y_2 = 0.05$) からなる第 2 の p 型クラッド層 21 を、p 型クラッド層の総膜厚が $0.4 \mu\text{m}$ 以上となるように (例えば第 2 の p 型クラッド層 21 の層厚を $1.0 \mu\text{m}$) 成長する。

【0095】

続いて、TMG の流量を $100 \mu\text{mol}/\text{min}$ に調整し、TMA の供給を停止して、Ga N からなる p 型コンタクト層 22 を厚み $0.01 \mu\text{m} \sim 1.0 \mu\text{m}$ (例えば $0.2 \mu\text{m}$) 成長して発光素子構造の成長を終了する。成長終了後、TMG および Cp_2Mg の供給を停止して降温し、室温で MOCVD 装置から取り出す。

【0096】

その後、フォトリソグラフィ技術および反応性イオンエッチング技術を用いて、p 型 Ga N コンタクト層 22 を $1 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ (例えば $2 \mu\text{m}$) 幅のストライプ状に残して、第 1 の p 型クラッド層 20 までエッチングを行い、光導波路を構成するためのストライプ状リッジ構造を形成する。このとき、エッチングされた領域における第 1 の p 型クラッド層 20 の残し膜厚は、水平方向 FFP の半値全角 $\theta = 6^\circ \sim 10^\circ$ の範囲内 (例えば 8°) となるように調節する。

【0097】

次に、フォトリソグラフィ技術を用いて、p 型 Ga N コンタクト層 22 が電極 24 と接触する部分を除いて絶縁膜 23 を形成する。

【0098】

その後、p 型コンタクト層 22 上および絶縁膜 23 の概略全面に正電極 24 を形成する。正電極材料としては、例えば Au / Ni または Au / Pd を用いることができる。また、n 型基板 11 裏面の概略全面に負電極 25 を形成する。負電極材料としては、例えば Al / Ti または Au / W を用いることができる。

【0099】

次に、ウェハーをへき開して共振器ミラーとなる端面を作製し、図 2 に示す窒化物半導体レーザ素子が完成する。本実施形態の半導体レーザ素子は、p 型クラッド層を 2 層とし、互いに Al 混晶比が異なるものを設ける以外は、定法の半導体レーザ素子の製造方法と同様に作製することができる。

【0100】

図 3 ~ 図 5 は、測定結果を縦軸にとって、様々な構造パラメータを従来の半導体レーザ素子構造から変化させた場合の変化を示すものである。

【0101】

図 3 において、点 30 は、図 17 に示す従来構造の半導体レーザ素子における垂直方向の活性層閉じ込め係数 Γ と、垂直方向 FFP の半値全角 θ を示している。また、曲線 31 は、従来構造の半導体レーザ素子において、p 型クラッド層の Al 混晶比を 0.02 から 0.3 まで変化させた場合について、 Γ と θ が変化する様子を示す曲線であり、図中、左下から右上方向に変化している。図 17 に示す従来構造の半導体レーザ素子において、p 型クラッド層の Al 混晶比は 0.05 である。曲線 31 から、p 型クラッド層の Al 混晶比を減少させて Γ を減少させると、 θ も同時に減少してしまうことが分かる。これは、閾値電流密度の上昇、すなわち動作電力 W_{op} の上昇を招くことになる。

【0102】

これに対して、曲線 32 は、本実施形態の半導体レーザ素子において、p 型クラッド層 (第 1 の p 型クラッド層 (低屈折率層)) の Al 混晶比を 0.05 から 0.30 まで変化させた場合について、 Γ と θ が変化する様子を示す曲線であり、図中、上から下方向に

10

20

30

40

50

変化している。曲線 3 2 から、p 型クラッド層中に A 1 混晶比の高い層、すなわち低屈折率層（第 1 の p 型クラッド層）を挿入したことにより、を減少させることなく、を減少させることができることを、読み取ることができる。従って、本実施形態では、閾値電流密度および動作電力を上昇させることなく、楕円率を改善させることができる。

【0103】

図 4 は、本実施形態の半導体レーザ素子において、低屈折率層（第 1 の p 型クラッド層）の A 1 混晶比を 0.05 から 0.30 まで変化させた場合について、とが変化する様子を示す図であり、図中、上から下方向に変化している。この図 4 において、点 3 0 は図 3 と同様に従来構造の半導体レーザ素子におけるとを示している。また、曲線 4 1、4 2、4 3、4 4 は低屈折率層の層厚を各々 0.02 μm 、0.05 μm 、0.1 μm 、0.15 μm としたときの曲線を示している。

10

【0104】

低屈折率層の層厚が 0.15 μm より大きくなると、すなわち、第 2 の p 型クラッド層と活性層との距離が 0.34 μm 以上となると、レーザ発振モードが第 2 の p 型クラッド層に対してインセンシティブとなるため、本発明の効果が無くなる。よって、第 2 の p 型クラッド層と活性層の距離は、0.34 μm 以下とするのが望ましい。なお、この第 2 の p 型クラッド層と活性層との距離 0.34 μm は、低屈折率層の厚さ（0.15 μm ）+ p 型光導波層の厚さ（0.15 μm ）+ p 型キャリアブロック層の厚さ（0.04 μm ）により求めたものである。

【0105】

20

また、低屈折率層の層厚が 0.02 μm 未満の場合には、レーザ発振モードに与える影響が小さいため、低屈折率層の A 1 混晶比を増加させても、とに与える影響が小さくなるため、本発明の効果が小さくなる。従って、低屈折率層の層厚は 0.02 μm 以上 0.15 μm 以下が望ましく、特に、0.05 μm 以上 0.1 μm 以下が望ましい。

【0106】

図 5 は、本実施形態の半導体レーザ素子において、低屈折率層（第 1 の p 型クラッド層）の A 1 混晶比を 0.05 から 0.30 まで変化させた場合について、とが変化する様子を示す図であり、図中、上から下方向に変化している。この図 5 において、点 3 0 は図 3 および図 4 と同様に従来構造の半導体レーザ素子におけるとを示している。また、曲線 5 1 ~ 5 5 は、本実施形態において、活性層と低屈折率層を、各々 0.05 μm 、0.08 μm 、0.10 μm 、0.15 μm 、0.20 μm の距離を隔てて形成したときの曲線を示している。ここで、活性層と低屈折率層の距離の変更は、図 1 に示す半導体レーザ素子の構造において、p 型光導波層の膜厚を変化させることにより行っている。

30

【0107】

なお、図 5 においては、活性層と低屈折率層との距離に、p 型キャリアブロック層の層厚を含めていないが、この p 型キャリアブロック層の層厚は 0.04 μm 以下であれば、図 5 の結果が大きく変化することはなかった。

【0108】

活性層と低屈折率層の距離が 0.05 μm 未満になると、低屈折率層の A 1 混晶比が増加するのに対しての減少が顕著になっている。これは、低屈折率層が活性層に近づきすぎると、レーザ発振モードが低屈折率層の影響を強く受けるようになり、低屈折率層の存在によりレーザ発振モードの n 側への染み出しが大きくなるからである。このため、を減少させることなくを減少させるという本発明の効果が弱くなる。従って、低屈折率層は活性層から 0.05 μm 以上の距離を隔てて形成するのが望ましい。

40

【0109】

一方、活性層と低屈折率層の距離が 0.20 μm より大きくなると、低屈折率層の A 1 混晶比が増加するのに対してがほとんど変化しない。これは、活性層と低屈折率層の距離が大きくなると、レーザ発振モードが受ける低屈折率層の影響が小さくなるからである。このため、を減少させることなくを減少させるという本発明の効果が弱くなる

50

。従って、低屈折率層は、p型キャリアブロック層の層暑も考慮すると、活性層から0.24 μm以下の距離を隔てて形成するのが望ましい。

【0110】

図19は、p型クラッド層の必要最少膜厚を示す図であり、横軸に第2のp型クラッド層のAl混晶比を、縦軸に必要なp型クラッド層の必要最少膜厚を表している。曲線190よりも下の領域は、正電極によりレーザ発振光が受ける吸収が 10 cm^{-1} 以上となる条件を表しており、半導体レーザ素子として機能するためには曲線190よりも上の領域に含まれるように設計する必要がある。第2のp型クラッド層のAl混晶比は通常0.05以上で設計されるため、少なくとも厚さ0.4 μm以上であればよいことが分かる。また、曲線191よりも下の領域では、正電極によりレーザ発振光の広がりが抑制され、p型クラッド層の厚さが無限大のときに比べて が増大してしまう領域である。従って、本発明による効果を十分に発揮するためには、曲線191よりも上の領域に含まれるように設計することが望ましい。本実施の形態においては、第2のp型クラッド層がAl混晶比0.05において厚さ1 μmに設けられているので、望ましい状態になっている。

10

【0111】

図19より、第2のp型クラッド層のAl混晶比が0.03未満と小さな値になると、第2のp型クラッド層の必要膜厚が急激に増大する。このため、第2のp型クラッド層のAl混晶比は、少なくとも0.03以上は必要である。

【0112】

また、図24は、本実施形態の半導体レーザ素子において、低屈折率層（第1のp型クラッド層）のAl混晶比を、第2のp型クラッド層と等しい値から0.30まで変化させた場合に、 と が変化する様子を示しており、図中、概略縦軸に沿った変位が示されている。曲線241～245は、本実施形態において、第2のp型クラッド層のAl混晶比を、それぞれ、0.03、0.05、0.10、0.15としたときの変位を示している。

20

【0113】

図より、第2のp型クラッド層が0.10より大きくなると、 と とで表される座標上において、 の減少に伴って も減少する変化が見られるようになり、従来の半導体レーザにおける曲線31（図3参照）と類似の挙動を示すことになり、本発明の効果が得られないことが判る。このため、本発明の効果をを得るためには、第2のp型クラッド層のAl混晶比は、多い場合でも、0.10以下とする必要がある。

30

【0114】

以上説明した図3～図5および図19、図24は、レーザ発振波長や本発明の必須構成要素ではない構造パラメータが変化しても、特性は大きく変らなかった。

【0115】

なお、本発明の半導体レーザ素子において、n型クラッド層のAl混晶比は、光導波路構造の対称性を鑑みて、第1のp型クラッド層におけるAl混晶比と、第2のp型クラッド層におけるAl混晶比の間の値を取るのが望ましい。本実施の形態においては、第1のp型クラッド層におけるAl混晶比が0.20、第2のp型クラッド層におけるAl混晶比が0.05に対して、n型クラッド層のAl混晶比は0.10となっており、望ましい値になっている。

40

【0116】

本実施形態の半導体レーザ素子では、第1のp型クラッド層および第2のp型クラッド層は共にp型クラッド層の一部であり、共にレーザ発振モードの等価屈折率よりも低い屈折率を有している。

【0117】

以上のように構成された本実施形態のレーザは、閾値電流密度が 1.2 kA/cm^2 でレーザ発振を生じ、FFPの半値全角は垂直方向で $= 13.5$ 度、水平方向で $= 8.2$ 度であり、楕円率 $/ = 1.6$ であった。これは、従来構造の半導体レーザ素子に比べて大きく改善しているものであり、本発明による効果が得られていることが分か

50

る。

【0118】

なお、本実施形態では、基板としてn型Ga_{0.99}N基板を用いたが、他の基板を用いてもよく、例えばサファイア(Al₂O₃)、スピネル111面(MgAl₂O₄)、SiC、MgO、Si、ZnO等の単結晶からなる基板であってもよい。

【0119】

(実施形態2)

本実施形態では、サファイア基板を用いた構成について説明する。図7は、実施形態2の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

10

【0120】

この半導体レーザ素子は、サファイア(0001)面からなる基板70(膜厚30μm~300μm)、Ga_{0.99}Nからなる低温成長バッファ層12(膜厚0~10μm)、n型Ga_{0.99}Nからなるn型コンタクト層71(膜厚0.1μm~10μm)、n型In_rGa_{1-r}N(0<r<0.2)からなるn型バッファ層14(膜厚0~200nm)、n型Al_xGa_{1-x}N(0.05<x<0.2)からなるn型クラッド層15(膜厚0.4μm以上)、n型Ga_{0.99}Nからなるn側光導波層16(膜厚0~0.15μm)、In_wGa_{1-w}N(v<w<0.2)井戸層とn型In_vGa_{1-v}N(0<v<w)障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層17(発振波長370nm~430nm、総膜厚5nm~60nm)、p型Al_zGa_{1-z}N(0<z<0.3)からなるp型キャリアブロック層18(膜厚0~0.04μm、好ましくは0~0.02μm)、p型Ga_{0.99}Nからなるp側光導波層19(膜厚0.05μm~0.15μm)、p型Al_{y1}Ga_{1-y1}N(y₂<y₁<0.2)からなる第1のp型クラッド層20(膜厚0.02μm~0.15μm)、p型Al_{y2}Ga_{1-y2}N(0<y₂<y₁)からなる第2のp型クラッド層21(膜厚(0.4μm-第1のp型クラッド層の層厚)以上)およびp型Ga_{0.99}Nからなるp型コンタクト層22(膜厚0.01μm~10μm)の各窒化物半導体層が形成されている。

20

【0121】

窒化物半導体層のp側から、第1のp型クラッド層20までエッチングを施すことによりリッジ構造が形成されており、半導体レーザ素子の導波路部分のストライプを構成している。さらに、ストライプを含む幅数十μm~数百μmのストライプ状メサを形成するべく、n型コンタクト層71が露出するまでエッチングされている。メサ上において、導波路部分のストライプを除く概略全面に絶縁膜23が形成されている。正電極24はp型コンタクト層22の一部露出した面上の全面を含む、メサ上の概略全面に形成されている。一方、負電極25は、n型コンタクト層71が露出した領域上の概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

30

【0122】

本実施形態の半導体レーザ素子は、サファイア基板を用いていること、メサが形成されていることおよび負電極が正電極と同じ側の面に形成されていることを除けば、実施形態1と同様の構造である。

【0123】

本実施形態の半導体レーザ素子は、基板をサファイアにすること、および光導波路を構成するためのストライプ状リッジ構造を形成後、定法のフォトリソグラフィ技術および反応性イオンエッチング技術によりメサを形成する工程を行う以外は、実施形態1の半導体レーザ素子の製造方法と同様に作製することができる。

40

【0124】

以上のように構成された本実施形態の半導体レーザ素子による効果および特性は、実施形態1の半導体レーザ素子と同様であった。

【0125】

(実施形態3)

本実施形態では、低屈折率層をp型クラッド層内に挿入して、p型クラッド層の活性層側

50

主面から隔てて形成した構成について説明する。図 8 は、実施形態 3 の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

【0126】

この半導体レーザ素子は、 n 型 GaN からなる基板 11 (膜厚 $30\ \mu m \sim 300\ \mu m$)、 GaN からなる低温成長バッファ層 12 (膜厚 $0 \sim 10\ \mu m$)、 n 型 GaN 層 13 (膜厚 $0.1\ \mu m \sim 10\ \mu m$)、 n 型 $In_rGa_{1-r}N$ ($0 < r < 0.2$) からなる n 型バッファ層 14 (膜厚 $0 \sim 200\ nm$)、 n 型 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0.05 < x < 0.2$) からなる n 型クラッド層 15 (膜厚 $0.4\ \mu m$ 以上)、 n 型 GaN からなる n 側光導波層 16 (膜厚 $0 \sim 0.15\ \mu m$)、 $In_wGa_{1-w}N$ ($v < w < 0.2$) 井戸層と n 型 $In_vGa_{1-v}N$ ($0 < v < w$) 障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層 17 (発振波長 $370\ nm \sim 430\ nm$ 、総膜厚 $5\ nm \sim 60\ nm$)、 p 型 $Al_zGa_{1-z}N$ ($0 < z < 0.3$) からなる p 型キャリアブロック層 18 (膜厚 $0 \sim 0.04\ \mu m$ 、好ましくは $0 \sim 0.02\ \mu m$)、 p 型 GaN からなる p 側光導波層 19 (膜厚 $0.05\ \mu m \sim 0.15\ \mu m$)、 p 型 $Al_{y3}Ga_{1-y3}N$ ($0 < y3 < y1$) からなる第 3 の p 型クラッド層 81 (膜厚 $0.02\ \mu m \sim 0.15\ \mu m$)、 p 型 $Al_{y1}Ga_{1-y1}N$ ($y3 < y1$) からなる第 1 の p 型クラッド層 82 (膜厚 $0.02\ \mu m \sim 0.15\ \mu m$)、 p 型 $Al_{y2}Ga_{1-y2}N$ ($y2 \sim y3 < y1$) からなる第 2 の p 型クラッド層 83 (膜厚 ($0.4\ \mu m$ - 第 3 の p 型クラッド層の層厚 - 第 1 の p 型クラッド層の層厚)) および p 型 GaN からなる p 型コンタクト層 22 (膜厚 $0.01\ \mu m \sim 10\ \mu m$) の各窒化物半導体層が形成されている。

【0127】

窒化物半導体層の p 側から、第 3 の p 型クラッド層 81 までエッチングを施すことによりリッジ構造が形成されており、半導体レーザ素子の導波路部分のストライプを構成している。さらに、エッチングされた領域の概略全面に絶縁膜 23 が形成されている。正電極 24 は p 型コンタクト層 22 の一部露出した面上の全面を含む、絶縁膜 23 の概略全面に形成されている。一方、負電極 25 は、 n 型基板 11 の 2 主面のうち、窒化物半導体層が形成されている側と対向する面側に、概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

【0128】

本実施形態の窒化物半導体レーザ素子の製造方法は、 p 型クラッド層が互いに異なる 3 層からなっているため、その工程を追加する以外は実施形態 1 の半導体レーザ素子の製造方法と同様に行うことができる。

【0129】

本実施形態の半導体レーザ素子では、 p 型クラッド層が 3 層からなっており、第 3 の p 型クラッド層 81 と第 2 の p 型クラッド層 83 の Al 混晶比が概略同じで、これらの層に比べて第 1 の p 型クラッド層 82 の Al 混晶比が大きくなっている。これにより、低屈折率層が p 型クラッド層中に含まれ、かつ、 p 型クラッド層の活性層側主面から隔てた位置に形成された構成となっている。

【0130】

図 6 は、本実施形態の半導体レーザ素子において、低屈折率層 (第 1 の p 型クラッド層) の Al 混晶比を 0.05 から 0.30 まで変化させた場合について、 α と β が変化する様子を示す図であり、図中、上から下方向に変化している。この図 6 において、点 30 は図 3 ~ 図 5 と同様に従来構造の半導体レーザ素子における α と β を示している。また、曲線 61、62、63 は、 p 型クラッド層の活性層側主面と低屈折率層を、各々 0 、 $0.02\ \mu m$ 、 $0.05\ \mu m$ の距離を隔てて p 型クラッド層内に形成したときの曲線を示している。すなわち、ここでは p 型クラッド層中に低屈折率層が挿入された場合を示しており、 p 型クラッド層の活性層側主面と活性層の距離は $0.1\ \mu m$ に固定している。なお、図 6 の関係は、 p 型クラッド層の活性層側主面と活性層の距離を $0.05\ \mu m \sim 0.19\ \mu m$ の範囲で変化させても殆ど変わらなかった。

【0131】

低屈折率層が p 型クラッド層の活性層側主面から隔てられた距離が大きくなるほど、低屈折率層の影響が小さくなり、特に、 $0.05 \mu\text{m}$ より大きくなると、すなわち低屈折率層と活性層との距離が $0.24 \mu\text{m}$ より大きくなると、低屈折率層が p 型クラッド層中に挿入されても はほとんど減少しない。このため、楕円率改善という本発明の効果が弱くなる。従って、低屈折率層は p 型クラッド層の活性層側主面から $0.05 \mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて形成されていること、すなわち低屈折率層と活性層との距離が $0.24 \mu\text{m}$ 以下であることが望ましく、さらには低屈折率層が p 型クラッド層の活性層側主面に接して形成されていることが望ましい。なお、この低屈折率層と活性層との距離 $0.24 \mu\text{m}$ は、p 型クラッド層の厚さ (p 型クラッド層の活性層側主面と低屈折率層との距離) ($0.05 \mu\text{m}$) + p 型光導波層の厚さ ($0.15 \mu\text{m}$) + p 型キャリアブロック層の厚さ ($0.04 \mu\text{m}$) により求めたものである。

10

【0132】

本実施形態において、低屈折率層の位置は、p 型クラッド層内に設けられていればどの位置にあってもよいが、第 2 の p 型クラッド層と活性層との距離は $0.34 \mu\text{m}$ 以下とする。さらに、低屈折率層は、p 型クラッド層内の活性層側主面に近い位置に配置するのが望ましい。さらに望ましくは、低屈折率層を、p 型クラッド層内に挿入し、かつ、p 型クラッド層の活性層側主面から $0.05 \mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて、すなわち活性層から $0.24 \mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて形成する。さらに、望ましくは、低屈折率層は活性層から $0.05 \mu\text{m}$ 以上の距離を隔てて形成する。また、低屈折率層の層厚は、 $0.02 \mu\text{m}$ 以上 $0.15 \mu\text{m}$ 以下であるのが望ましい。

20

【0133】

本実施形態の半導体レーザ素子では、第 1 の p 型クラッド層 ~ 第 3 の p 型クラッド層は共に p 型クラッド層の一部であり、共にレーザ発振モードの等価屈折率より低い屈折率を有している。

【0134】

以上のように構成された本実施形態の半導体レーザ素子による効果および特性は、実施形態 1 の半導体レーザ素子と同様であった。

【0135】

なお、本実施形態では、基板として n 型 GaN 基板を用いたが、他の基板を用いてもよく、例えばサファイア (Al_2O_3)、スピネル 111 面 (MgAl_2O_4)、SiC、MgO、Si、ZnO 等の単結晶からなる基板であってもよい。

30

【0136】

(実施形態 4)

本実施形態では、p 型クラッド層に InGa_{1-x}N または GaN を含む、 $0.02 \mu\text{m}$ 以下の層を挿入した構成について説明する。図 9 は、実施形態 4 の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

【0137】

この半導体レーザ素子は、n 型 GaN からなる基板 11 (膜厚 $30 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$)、GaN からなる低温成長バッファ層 12 (膜厚 $0 \sim 10 \mu\text{m}$)、n 型 GaN 層 13 (膜厚 $0.1 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$)、n 型 $\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ ($0 < r < 0.2$) からなる n 型バッファ層 14 (膜厚 $0 \sim 200 \text{nm}$)、n 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.05 < x < 0.2$) からなる n 型クラッド層 15 (膜厚 $0.4 \mu\text{m}$ 以上)、n 型 GaN からなる n 側光導波層 16 (膜厚 $0 \sim 0.15 \mu\text{m}$)、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($v < w < 0.2$) 井戸層と n 型 $\text{In}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$ ($0 < v < w$) 障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層 17 (発振波長 $370 \text{nm} \sim 430 \text{nm}$ 、総膜厚 $5 \text{nm} \sim 60 \text{nm}$)、p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 0.3$) からなる p 型キャリアブロック層 18 (膜厚 $0 \sim 0.04 \mu\text{m}$ 、好ましくは $0 \sim 0.02 \mu\text{m}$)、p 型 GaN からなる p 側光導波層 19 (膜厚 $0.05 \mu\text{m} \sim 0.15 \mu\text{m}$)、p 型 $\text{Al}_{y1}\text{Ga}_{1-y1}\text{N}$ ($y_2 < y_1$) からなる第 1 の p 型クラッド層 20 (膜厚 $0.02 \mu\text{m} \sim 0.15 \mu\text{m}$)、p 型 GaN 層 91 (膜厚 $0 \sim 0.02 \mu\text{m}$)、p 型 Al_{y2}

40

50

$Ga_{1-y_2}N$ ($0 < y_2 < y_1$) からなる第2のp型クラッド層21 (膜厚 ($0.4 \mu m$ - 第1のp型クラッド層の層厚) 以上) およびp型GaNからなるp型コンタクト層22 (膜厚 $0.01 \mu m \sim 10 \mu m$) の窒化物半導体層が形成されている。

【0138】

窒化物半導体層のp側から、第1のp型クラッド層までエッチングを施すことによりリッジ構造が形成されており、半導体レーザ素子の導波路部分のストライプを構成している。さらに、エッチングされた領域の概略全面に絶縁膜23が形成されている。正電極24はp型コンタクト層22の一部露出した面上の全面を含む、絶縁膜23の概略全面に形成されている。一方、負電極25は、n型基板11の2主面のうち、窒化物半導体層が形成されている側と対向する面側に、概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

10

【0139】

本実施形態の窒化物半導体レーザ素子の製造方法は、p側光導波層の成長中に、第1のp型クラッド層を挿入する工程を追加する以外は実施形態1の半導体レーザ素子の製造方法と同様に行うことができる。

【0140】

本実施形態の半導体レーザ素子では、低屈折率層がp側光導波層内に挿入された構造になっている。しかし、本明細書におけるp型クラッド層の定義から、第1のp型クラッド層～p型GaN層～第2のp型クラッド層の連続した3層が、p型クラッド層となる。p型GaN層は膜厚 $0.02 \mu m$ 以下であるため、レーザ発振モードの垂直方向電界分布に与える影響は小さく、本発明の効果は失われない。

20

【0141】

本実施形態において、低屈折率層の位置は、p側光導波層内に設けられていればどの位置にあってもよいが、第2のp型クラッド層と活性層との距離は $0.34 \mu m$ 以下とする。さらに、本実施形態に限っては、低屈折率層を活性層から距離をより大きく隔てて形成するほど望ましい。これは、上述した図5から、低屈折率層と活性層の距離が短くなる本実施形態では、低屈折率層を挿入することにより が減少するからである。さらに望ましくは、活性層から $0.05 \mu m$ 以上 $0.24 \mu m$ 以下の距離を隔てて形成する。また、低屈折率層の層厚は、 $0.02 \mu m$ 以上 $0.15 \mu m$ 以下であるのが望ましい。

【0142】

30

以上のように構成された本実施形態の半導体レーザ素子による効果および特性は、実施形態1の半導体レーザ素子と同様であった。

【0143】

なお、本実施形態では、基板としてn型GaN基板を用いたが、他の基板を用いてもよく、例えばサファイア (Al_2O_3)、スピネル111面 ($MgAl_2O_4$)、SiC、MgO、Si、ZnO等の単結晶からなる基板であってもよい。

【0144】

(実施形態5)

本実施形態では、n型クラッド層にInGaNまたはGaNを含む、 $0.02 \mu m$ 以下の層を挿入した構成について説明する。図10は、実施形態5の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

40

【0145】

この半導体レーザ素子は、n型GaNからなる基板11 (膜厚 $30 \mu m \sim 300 \mu m$)、GaNからなる低温成長バッファ層12 (膜厚 $0 \sim 10 \mu m$)、n型GaN層13 (膜厚 $0.1 \mu m \sim 10 \mu m$)、n型 $In_rGa_{1-r}N$ ($0 < r < 0.2$) からなるn型バッファ層14 (膜厚 $0 \sim 200 nm$)、n型 $Al_{x_1}Ga_{1-x_1}N$ ($0.05 < x_1 < 0.2$) からなるn型クラッド層101、n型 $In_sGa_{1-s}N$ ($0 < s < 1$) からなるn型バッファ層102 (膜厚 $0 \sim 0.02 \mu m$)、n型 $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ ($0.05 < x_2 < 0.2$) からなるn型クラッド層103 (第1のn型クラッド層、n型バッファ層および第2のクラ

50

ッド層の総膜厚が $0.8\mu\text{m}$ 以上、第1の n 型クラッド層101の膜厚が $0.4\mu\text{m}$ 以上、第2の n 型クラッド層の膜厚が 0.4 以上)、 n 型 GaIn からなる n 側光導波層16(膜厚 $0\sim 0.15\mu\text{m}$)、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($v < w \leq 0.2$)井戸層と n 型 $\text{In}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$ ($0 < v < w$)障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層17(発振波長 $370\text{nm}\sim 430\text{nm}$ 、総膜厚 $5\text{nm}\sim 60\text{nm}$)、 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z \leq 0.3$)からなる p 型キャリアブロック層18(膜厚 $0\sim 0.04\mu\text{m}$ 、好ましくは $0\sim 0.02\mu\text{m}$)、 p 型 GaIn からなる p 側光導波層19(膜厚 $0.05\mu\text{m}\sim 0.15\mu\text{m}$)、 p 型 $\text{Al}_{y1}\text{Ga}_{1-y1}\text{N}$ ($y_2 < y_1 < 0.2$)からなる第1の p 型クラッド層20(膜厚 $0.02\mu\text{m}\sim 0.15\mu\text{m}$)、 p 型 $\text{Al}_{y2}\text{Ga}_{1-y2}\text{N}$ ($0 < y_2 < y_1$)からなる第2の p 型クラッド層21(膜厚($0.4\mu\text{m}$ -第1の p 型クラッド層の層厚)以上)および p 型 GaIn からなる p 型コンタクト層22(膜厚 $0.01\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$)の各窒化物半導体層が形成されている。

10

【0146】

窒化物半導体層の p 側から、第1の p 型クラッド層までエッチングを施すことによりリッジ構造が形成されており、半導体レーザ素子の導波路部分のストライプを構成している。さらに、エッチングされた領域の概略全面に絶縁膜23が形成されている。正電極24は p 型コンタクト層22の一部露出した面上の全面を含む、絶縁膜23の概略全面に形成されている。一方、負電極25は、 n 型基板11の2主面のうち、窒化物半導体層が形成されている側と対向する面側に、概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

20

【0147】

本実施形態の窒化物半導体レーザ素子の製造方法は、 n 側クラッド層の成長中に、一旦TMGおよびTMAの供給を停止して、キャリアガスを H_2 から N_2 に代えて、約 800 まで降温後、TMGを $15\mu\text{mol}/\text{min}$ に調整し、TMIを一定量流しながら SiH_4 を $10\text{nmol}/\text{min}$ 流して、 n 型 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s \leq 1$)からなる n 型バッファ層を厚み $0\sim 0.02\mu\text{m}$ に成長する工程を追加する以外は実施形態1の半導体レーザ素子の製造方法と同様に行うことができる。

【0148】

本実施形態の半導体レーザ素子では、実施形態1の半導体レーザ素子の構造に加えて、 n 型 $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s \leq 1$)からなる膜厚 $0\sim 0.02\mu\text{m}$ の n 型バッファ層が n 型クラッド層内に挿入された構造になっている。一般に、 AlN と GaIn は格子定数差が大きいため、これらの混晶である AlGaIn からなる n 型クラッド層を、 n 型 GaIn 層上に $0.8\mu\text{m}$ 以上と厚く形成すると、表面に多数のクラックを生じるという問題がある。しかし、本実施形態では、 n 型バッファ層を介して n 型クラッド層を多段成長することにより、 n 型クラッド層の総膜厚を大きくすることができる。また、挿入される n 型バッファ層は、膜厚が $0.02\mu\text{m}$ 以下と小さいため、レーザ発振モードの垂直方向電界分布に与える影響は小さく、本発明の効果は失われない。

30

【0149】

以上のように構成された本実施形態の半導体レーザ素子による効果および特性は、実施形態1の半導体レーザ素子に比べて、わずかに閾値電流密度が減少し、 $1.1\text{kA}/\text{cm}^2$ でレーザ発振を生じ、垂直方向FFPでわずかに生じていたリップルが皆無であった。これは、 n 型クラッド層中に n 型バッファ層を挿入し、 n 型 AlGaIn 層を多段成長したことにより、 n 型クラッド層の総膜厚を $0.8\mu\text{m}$ 以上と厚く形成することができたため、レーザ発振モードの垂直方向光閉じ込め効果が向上したことによる。

40

【0150】

なお、本実施形態では、基板として n 型 GaIn 基板を用いたが、他の基板を用いてもよく、例えばサファイア(Al_2O_3)、スピネル111面(MgAl_2O_4)、 SiC 、 MgO 、 Si 、 ZnO 等の単結晶からなる基板であってもよい。

【0151】

さらに、本実施形態において、低屈折率層は、 p 型クラッド層の活性層側主面に接するよ

50

うに形成したが、p型クラッド層内に挿入され、p型クラッド層の活性層側主面から隔てられた位置に形成してもよい。但し、第2のp型クラッド層と活性層との距離は $0.34\mu\text{m}$ 以下とする。さらに、低屈折率層は、p型クラッド層内の活性層側主面に近い位置に配置するのが望ましい。さらに望ましくは、低屈折率層を、p型クラッド層内に挿入し、かつ、p型クラッド層の活性層側主面から $0.05\mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて、すなわち活性層から $0.24\mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて形成する。さらに、望ましくは、低屈折率層は活性層から $0.05\mu\text{m}$ 以上の距離を隔てて形成する。また、低屈折率層の層厚は、 $0.02\mu\text{m}$ 以上 $0.15\mu\text{m}$ 以下であるのが望ましい。さらに、p型クラッド層内に、 $0.02\mu\text{m}$ 以下の層厚で等価屈折率よりも高い屈折率を有する材料からなる層が形成されていてもよい。

10

【0152】

(実施形態6)

本実施形態では、p型クラッド層をグレーデッド層とした構成について説明する。図11(a)は、実施形態6の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

【0153】

この半導体レーザ素子は、n型Ga_{1-x}Nからなる基板11(膜厚 $30\mu\text{m} \sim 300\mu\text{m}$)、Ga_{1-x}Nからなる低温成長バッファ層12(膜厚 $0 \sim 10\mu\text{m}$)、n型Ga_{1-x}N層13(膜厚 $0.1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$)、n型In_rGa_{1-r}N($0 < r < 0.2$)からなるn型バッファ層14(膜厚 $0 \sim 200\text{nm}$)、n型Al_xGa_{1-x}N($0.05 < x < 0.2$)からなるn型クラッド層15(膜厚 $0.4\mu\text{m}$ 以上)、n型Ga_{1-x}Nからなるn側光導波層16(膜厚 $0 \sim 0.15\mu\text{m}$)、In_wGa_{1-w}N($0 < w < 0.2$)井戸層とn型In_vGa_{1-v}N($0 < v < 0.2$)障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層17(発振波長 $370\text{nm} \sim 430\text{nm}$ 、総膜厚 $5\text{nm} \sim 60\text{nm}$)、p型Al_zGa_{1-z}N($0 < z < 0.3$)からなるp型キャリアブロック層18(膜厚 $0 \sim 0.04\mu\text{m}$ 、好ましくは $0 \sim 0.02\mu\text{m}$)、p型Ga_{1-x}Nからなるp側光導波層19(膜厚 $0.05\mu\text{m} \sim 0.15\mu\text{m}$)、p型Al_{y1}Ga_{1-y1}N($0 < y1 < 0.2$)からなり、層厚増加方向に従ってAl混晶比が概略連続的に減少している第1のp型クラッド層111(膜厚 $0.02\mu\text{m} \sim 0.15\mu\text{m}$)、p型Al_{y2}Ga_{1-y2}N($0 < y2 < 0.2$)からなり、層厚増加方向に従ってAl混晶比が概略連続的に増加している第2のp型クラッド層112(膜厚 $(0.4\mu\text{m} - \text{第1のp型クラッド層の層厚})$ 以上)およびp型Ga_{1-x}Nからなるp型コンタクト層22(膜厚 $0.01\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$)の各窒化物半導体層が形成されている。

20

30

【0154】

窒化物半導体層のp側から、第1のp型クラッド層までエッチングを施すことによりリッジ構造が形成されており、半導体レーザ素子の導波路部分のストライプを構成している。さらに、エッチングされた領域の概略全面に絶縁膜23が形成されている。正電極24はp型コンタクト層22の一部露出した面上の全面を含む、絶縁膜23の概略全面に形成されている。一方、負電極25は、n型基板11の2主面のうち、窒化物半導体層が形成されている側と対向する面側に、概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

40

【0155】

本実施形態の窒化物半導体レーザ素子の製造方法は、第1のp型クラッド層成長時に概略連続的にAl混晶比を層厚増加方向に対して減少させていく工程と、第2のp型クラッド層成長時に概略連続的にAl混晶比を層厚増加方向に対して増加させていく工程を追加する以外は実施形態1の半導体レーザ素子の製造方法と同様に行うことができる。

【0156】

本実施形態の半導体レーザ素子では、第1のp型クラッド層および第2のp型クラッド層において、Al混晶比が概略的に変化している。図11(b)は本実施形態のレーザにおける第1のp型クラッド層および第2のp型クラッド層近傍における屈折率分布を表した

50

ものである。縦軸は垂直方向位置を表し、上方向が層厚増加方向を表している。また、横軸は屈折率を表し、右方向が屈折率が高くなる方向を表している。この図において、19はp側光導波層内の位置、111は第1のp型クラッド層内の位置、112は第2のp型クラッド層内の位置、22はp型コンタクト層内の位置を表している。

【0157】

この図11(b)から分かるように、本実施形態の半導体レーザ素子においては、p型クラッド層111、112中に、活性層に近づくにつれて屈折率が減少していく領域が存在している。p型クラッド層中にこのような構造を有している半導体レーザ素子は、本発明の範囲に含まれ、本発明による効果が発生する。本実施形態においては、p型クラッド層中で活性層に近づくにつれて屈折率が減少している領域を第1のp型クラッド層（低屈折率層）と考えることにより、図3～図6と同様の傾向となる。

10

【0158】

本実施形態において、活性層に近づくにつれて屈折率が減少していく領域（低屈折率層）は、p型クラッド層内に設けられていればどの位置にあってもよい。但し、第2のp型クラッド層（本実施形態では、活性層から見て、上記領域よりも遠い側の主面に接している層）と活性層との距離は0.34 μm以下とする。さらに、活性層に近づくにつれて屈折率が減少していく領域（低屈折率層）を、p型クラッド層の活性層側主面から0.05 μm以下の距離を隔てて、すなわち活性層から0.24 μm以下の距離を隔てて形成し、さらに、望ましくは活性層から0.05 μm以上の距離を隔てて形成する。また、同領域（低屈折率層）の層厚は、0.02 μm以上0.15 μm以下であるのが望ましい。

20

【0159】

以上のように構成された本実施形態の半導体レーザ素子による効果および特性は、実施形態1の半導体レーザ素子と同様であった。

【0160】

なお、本実施形態では、基板としてn型Ga_{0.9}N基板を用いたが、他の基板を用いてもよく、例えばサファイア（Al₂O₃）、スピネル111面（MgAl₂O₄）、SiC、MgO、Si、ZnO等の単結晶からなる基板であってもよい。

【0161】

また、本実施形態において、低屈折率層をp型クラッド層の活性層側主面に接するように形成したが、p型クラッド層内に挿入され、p型クラッド層の活性層側主面から隔てた位置に形成してもよい。また、p型クラッド層内に0.02 μm以下の層厚で等価屈折率よりも高い屈折率を有する材料からなる層が形成されていてもよい。さらに、p型クラッド層/n型クラッド層内に0.02 μm以下のInGa_{1-x}NまたはGa_{0.9}Nを含む層が形成されていてもよい。

30

【0162】

（実施形態7）

本実施形態では、クラッド層を超格子層とした構成について説明する。図12(a)は、実施形態7の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

【0163】

この半導体レーザ素子は、n型Ga_{0.9}Nからなる基板11（膜厚30 μm～300 μm）、Ga_{0.9}Nからなる低温成長バッファ層12（膜厚0～10 μm）、n型Ga_{0.9}N層13（膜厚0.1 μm～10 μm）、n型In_rGa_{1-r}N（0 ≤ r ≤ 0.2）からなるn型バッファ層14（膜厚0～200 nm）、図12(c)に示すようにn型Ga_{0.9}N層121（膜厚0～200 オングストローム）とノンドープAl_pGa_{1-p}N（0 ≤ p ≤ 0.2）層122（膜厚0～200 オングストローム）とを交互に積層した超格子構造からなるn型超格子クラッド層123（膜厚0.8 μm以上）、n型Ga_{0.9}Nからなるn側光導波層16（膜厚0～0.15 μm）、In_wGa_{1-w}N（v < w ≤ 0.2）井戸層とn型In_vGa_{1-v}N（0 ≤ v < w）障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層17（発振波長370 nm～430 nm、総膜厚5 nm～60 nm）、p型Al_zGa_{1-z}N（0 < z

40

50

0.3) からなる p 型キャリアブロック層 18 (膜厚 0 ~ 0.04 μm 、好ましくは 0 ~ 0.02 μm)、p 型 GaN からなる p 側光導波層 19 (膜厚 0.05 μm ~ 0.15 μm)、図 12 (b) に示すように p 型 GaN 層 124 (膜厚 0 ~ 200 オングストローム) とノンドープ Al GaN 層 125 (膜厚 0 ~ 200 オングストローム) とを交互に積層した超格子構造からなる第 1 の p 型超格子クラッド層 126 (平均混晶比 $q : r < q$ 、膜厚 0.02 μm ~ 0.15 μm)、p 型 GaN 層 127 (膜厚 0 ~ 200 オングストローム) とノンドープ Al GaN 層 128 (膜厚 0 ~ 200 オングストローム) とを交互に積層した超格子構造からなる第 2 の p 型超格子クラッド層 129 (平均混晶比 $r : 0 < r < q$ 、膜厚 (0.8 μm - 第 1 の p 型クラッド層の層厚) 以上) および p 型 GaN からなる p 型コンタクト層 22 (膜厚 0.01 μm ~ 10 μm) の各窒化物半導体層が形成されている。

10

【0164】

窒化物半導体層の p 側から、第 1 の p 型クラッド層までエッチングを施すことによりリッジ構造が形成されており、半導体レーザ素子の導波路部分のストライプを構成している。さらに、エッチングされた領域の概略全面に絶縁膜 23 が形成されている。正電極 24 は p 型コンタクト層 22 の一部露出した面上の全面を含む、絶縁膜 23 の概略全面に形成されている。一方、負電極 25 は、n 型基板 11 の 2 主面のうち、窒化物半導体層が形成されている側と対向する面側に、概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

【0165】

20

本実施形態の窒化物半導体レーザ素子の製造方法は、実施形態 1 の半導体レーザ素子の製造方法において、n 型クラッド層、第 1 の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層を製造する工程を、n 型超格子クラッド層、第 1 の p 型超格子クラッド層および第 2 の p 型超格子クラッド層を製造する工程に置き換えればよい。超格子クラッド層を構成する各層の成長方法は定法であるので、ここでは説明を省略する。

【0166】

本実施形態の半導体レーザ素子では、n 型クラッド層、第 1 の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層が超格子構造となっている。これにより、実施形態 1 の半導体レーザ素子により得られる効果に加えて、さらにクラッド層の層抵抗を減少させ、素子の駆動電圧を低減させることができる。さらに、超格子構造としたことにより、クラッド層を厚膜化

30

【0167】

本実施形態の半導体レーザ素子においては、n 型超格子クラッド層、第 1 の p 型超格子クラッド層および第 2 の p 型超格子クラッド層の屈折率は、各々各層を構成している、互いに組成の異なる 2 層以上の屈折率を平均して求めた平均屈折率を用いる。このように各超格子クラッド層の平均屈折率を採用した場合、図 3 ~ 図 6 と同様に適用することができる。

【0168】

以上のように構成された本実施形態の半導体レーザ素子を駆動させたところ、1.1 kA / cm^2 でレーザ発振を生じ、実施形態 1 の半導体レーザ素子では垂直方向 FFP でわずかに生じていたリップルが皆無であった。これは、各超格子クラッド層を設けたことにより、各クラッド層の総膜厚を 0.8 μm 以上と厚く形成することにより発生する結晶欠陥が減少したことによる。また、本実施形態のレーザの駆動電力は僅かに減少し、実施形態 1 半導体レーザ素子では 10 mW 出力時の駆動電力が 0.3 W であったのに対して、本実施形態の半導体レーザ素子では 0.2 W であった。これは、半導体レーザ素子の閾値電流が低下したことと、駆動電圧が低減できたことによる。

40

【0169】

なお、本実施形態では、基板として n 型 GaN 基板を用いたが、他の基板を用いてもよく、例えばサファイア (Al_2O_3)、スピネル 111 面 (MgAl_2O_4)、SiC、MgO、Si、ZnO 等の単結晶からなる基板であってもよい。

50

【0170】

本実施形態において、低屈折率層はp型クラッド層の活性層側主面に接するように形成したが、p型クラッド層内に挿入され、p型クラッド層の活性層側主面から隔てた位置に形成してもよい。また、p型クラッド層内に $0.02\mu\text{m}$ 以下の層厚で、等価屈折率より高い屈折率を有する材料からなる層が設けられていてもよい。但し、第2のp型クラッド層と活性層との距離は $0.34\mu\text{m}$ 以下とするのが望ましい。さらに、低屈折率層はp型クラッド層内の活性層側主面に近い位置に形成されているほど望ましい。さらに望ましくは、低屈折率層をp型クラッド層内に挿入し、p型クラッド層の活性層側主面から $0.05\mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて、すなわち活性層から $0.24\mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて形成する。さらに望ましくは、低屈折率層を活性層から $0.05\mu\text{m}$ 以上の距離を隔てて形成する。また、低屈折率層の層厚は、 $0.02\mu\text{m}$ 以上 $0.15\mu\text{m}$ 以下であるのが望ましい。

10

【0171】

さらに、p型クラッド層/n型クラッド層内に $0.02\mu\text{m}$ 以下のInGa_{1-r}NまたはGa_{1-r}Nを含む層が形成されていてもよい。

【0172】

また、本実施形態において、各クラッド層を全て超格子構造としたが、このうちの一部は単一組成の層としてもよい。また、各クラッド層の超格子を構成している、互いに組成の異なる2層を、n型(またはp型)Ga_{1-r}N層とノンドープAlGa_{1-r}N層としたが、他の組み合わせでもよい。その際の各クラッド層の屈折率は、超格子構造を構成している構成材料の屈折率の平均値を考えればよく、その値が所望の値となるように、構成材料のAl組成を調節すればよい。

20

【0173】

また、本実施形態において、各クラッド層を構成する超格子構造は、組成の異なる2種以上の交互積層構造からなる超格子構造としたが、組成が層厚増加方向に概略連続的に変化するように構成された超格子構造を用いてもよい。この場合には、隣り合う互いに組成の異なる半導体層の平均屈折率を、その位置における屈折率とすることにより、本実施形態と同様に考えることができる。

【0174】

(実施形態8)

本実施形態では、n型半導体層側にストライプ状リッジ構造を有し、n型クラッド層が2層構造であって、活性層側の層の方が屈折率が低い構成について説明する。図13は、実施形態8の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

30

【0175】

この半導体レーザ素子は、n型Ga_{1-r}Nからなる基板11(膜厚 $30\mu\text{m} \sim 300\mu\text{m}$)、Ga_{1-r}Nからなる低温成長バッファ層12(膜厚 $0 \sim 10\mu\text{m}$)、n型Ga_{1-r}N層13(膜厚 $0.1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$)、n型In_rGa_{1-r}N($0 < r < 0.2$)からなるn型バッファ層14(膜厚 $0 \sim 200\text{nm}$)、n型Al_{x2}Ga_{1-x2}N($x2 < x1$)からなる第2のn型クラッド層131(膜厚($0.4\mu\text{m}$ - 第1のp型クラッド層の層厚)以上)、n型Al_{x1}Ga_{1-x1}N($0.05 < x2 < x1$)からなる第1のn型クラッド層132(膜厚 $0.02\mu\text{m} \sim 0.15\mu\text{m}$)、n型Ga_{1-r}Nからなるn側光導波層16(膜厚 $0.05\mu\text{m} \sim 0.15\mu\text{m}$)、In_wGa_{1-w}N($v < w < 0.2$)井戸層とn型In_vGa_{1-v}N($0 < v < w$)障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層17(発振波長 $370\text{nm} \sim 430\text{nm}$ 、総膜厚 $5\text{nm} \sim 60\text{nm}$)、p型Al_zGa_{1-z}N($0 < z < 0.3$)からなるp型キャリアブロック層18(膜厚 $0 \sim 0.04\mu\text{m}$ 、好ましくは $0 \sim 0.02\mu\text{m}$)、p型Ga_{1-r}Nからなるp側光導波層19(膜厚 $0 \sim 0.15\mu\text{m}$)、p型Al_yGa_{1-y}N($0.05 < y < 0.2$)からなるp型クラッド層133(膜厚 $0.4\mu\text{m}$ 以上)、およびp型Ga_{1-r}Nからなるp型コンタクト層22(膜厚 $0.01\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$)の各窒化物半導体層が形成されている。

40

【0176】

50

窒化物半導体層のn側には、n型Ga_{0.9}N_{0.1}層13上部にストライプ形状の窪みがエッチングにより形成され、第2のn型クラッド層131がその窪み内に、n型バッファ層14を介して成長され、その上に概略全面に残りの半導体層が積層されている。正電極24はp型コンタクト層22上の概略全面に形成されている。一方、負電極25は、n型基板11の2主面のうち、窒化物半導体層が形成されている側と対向する面側に、概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

【0177】

本実施形態の窒化物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。基板11上に低温成長バッファ層12およびn型Ga_{0.9}N_{0.1}層13を成長する過程は、実施形態1と同様であるため、ここでは説明を省略する。

10

【0178】

低温成長バッファ層12およびn型Ga_{0.9}N_{0.1}層13の成長後、各材料ガスの供給を停止して降温し、室温でMOCVD装置からウェハを取り出す。次に、定法のフォトリソグラフィ技術およびウェットエッチング技術を用いて、ストライプ形状を除くn型Ga_{0.9}N_{0.1}層13上の概略全面にマスクを形成する。マスク材料としては、例えばSiO₂等を用いるのが望ましい。さらに、ドライエッチング技術を用いてマスクを除く部分にストライプ形状の窪みを形成する。

【0179】

次に、再度ウェハをMOCVD装置内に導入し、実施形態1と同様の過程を経て、n型バッファ層14および第2のn型クラッド層131を積層する。

20

【0180】

次に、再度ウェハをMOCVD装置から取り出し、ウェットエッチング技術によりマスクを除去する。そして、再度ウェハをMOCVD装置内に導入し、第1のn型クラッド層132およびその他の半導体層を実施形態1と同様に積層する。

【0181】

その後、p型コンタクト層22上の概略全面に正電極24を形成する。正電極材料としては、例えばAu/NiまたはAu/Pdを用いることができる。また、n型基板11裏面の概略全面に負電極25を形成する。負電極材料としては、例えばAl/TiまたはAu/Wを用いることができる。

【0182】

次に、ウェハをへき開いて共振器ミラーとなる端面を作製し、図13に示す窒化物半導体レーザ素子が完成する。

30

【0183】

本実施形態の半導体レーザ素子では、水平方向光閉じ込めストライプ構造が、n型半導体側に形成され、さらに、低屈折率層(第1のn型クラッド層132)がn型クラッド層内に形成されている。この構造では、正電極と半導体層との接触面積が増大し、正電極の接触抵抗を大幅に減少して、半導体レーザ素子の駆動電圧を減少させることができる。

【0184】

以上のように構成された本実施形態のレーザにおいても、本発明の効果は得られ、その特性は図3～図6に示したものと同様であった。本実施形態の半導体レーザ素子は、閾値電流密度が1.2kA/cm²でレーザ発振を生じ、出力10mW時の動作電力は0.2Wであった。

40

【0185】

なお、本実施形態では、基板としてn型Ga_{0.9}N_{0.1}基板を用いたが、他の基板を用いてもよく、例えばサファイア(Al₂O₃)、スピネル111面(MgAl₂O₄)、SiC、MgO、Si、ZnO等の単結晶からなる基板であってもよい。

【0186】

本実施形態において、低屈折率層はn型クラッド層の活性層側主面に接するように形成したが、n型クラッド層内に挿入され、n型クラッド層の活性層側主面から隔てた位置に形成してもよい。また、n型クラッド層内に0.02μm以下の層厚で、等価屈折率より高

50

い屈折率を有する材料からなる層が設けられていてもよい。但し、第2のn型クラッド層と活性層との距離は $0.34\text{ }\mu\text{m}$ 以下とする。さらに、低屈折率層はn型クラッド層内の活性層側主面に近い位置に形成されているほど望ましい。さらに望ましくは、低屈折率層をn型クラッド層内に挿入し、n型クラッド層の活性層側主面から $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて、すなわち活性層から $0.24\text{ }\mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて形成する。さらに望ましくは、低屈折率層を活性層から $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 以上の距離を隔てて形成する。また、低屈折率層の層厚は、 $0.02\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $0.15\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるのが望ましい。

【0187】

さらに、p型クラッド層/n型クラッド層内に $0.02\text{ }\mu\text{m}$ 以下のInGa_rNまたはGa_rNを含む層が形成されていてもよい。

10

【0188】

また、本実施形態において、各クラッド層を単結晶材料で構成したが、一部または全部が超格子構造であってもよく、またはAl組成が層厚増加方向に概略連続的に変化する構造であってもよい。

【0189】

(実施形態9)

本実施形態では、p型半導体層側およびn型半導体層側の両方に、2層構造であって、活性層側の層の方が屈折率が低いクラッド層を設けた構成について説明する。図14は、実施形態9の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

20

【0190】

この半導体レーザ素子は、n型Ga_rNからなる基板11(膜厚 $30\text{ }\mu\text{m} \sim 300\text{ }\mu\text{m}$)、Ga_rNからなる低温成長バッファ層12(膜厚 $0 \sim 10\text{ }\mu\text{m}$)、n型Ga_rN層13(膜厚 $0.1\text{ }\mu\text{m} \sim 10\text{ }\mu\text{m}$)、n型In_rGa_{1-r}N($0 < r < 0.02$)からなるn型バッファ層14(膜厚 $0 \sim 200\text{ nm}$)、n型Al_{x2}Ga_{1-x2}N($x2 < x1$)からなる第2のn型クラッド層131(膜厚($0.4\text{ }\mu\text{m}$ - 第1のp型クラッド層の層厚)以上)、n型Al_{x1}Ga_{1-x1}N($0.05 < x2 < x1$)からなる第1のn型クラッド層132(膜厚 $0.02\text{ }\mu\text{m} \sim 0.15\text{ }\mu\text{m}$)、n型Ga_rNからなるn側光導波層16(膜厚 $0.05\text{ }\mu\text{m} \sim 0.15\text{ }\mu\text{m}$)、In_wGa_{1-w}N($v < w < 0.2$)井戸層とn型In_vGa_{1-v}N($0 < v < w$)障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層17(発振波長 $370\text{ nm} \sim 430\text{ nm}$ 、総膜厚 $5\text{ nm} \sim 60\text{ nm}$)、p型Al_zGa_{1-z}N($0 < z < 0.03$)からなるp型キャリアブロック層18(膜厚 $0 \sim 0.04\text{ }\mu\text{m}$ 、好ましくは $0 \sim 0.02\text{ }\mu\text{m}$)、p型Ga_rNからなるp側光導波層19(膜厚 $0.05\text{ }\mu\text{m} \sim 0.15\text{ }\mu\text{m}$)、p型Al_{y1}Ga_{1-y1}N($y2 < y1 < 0.2$)からなる第1のp型クラッド層20(膜厚 $0.02\text{ }\mu\text{m} \sim 0.15\text{ }\mu\text{m}$)、p型Al_{y2}Ga_{1-y2}N($0 < y2 < y1$)からなる第2のp型クラッド層21(膜厚($0.4\text{ }\mu\text{m}$ - 第1のp型クラッド層の層厚)およびp型Ga_rNからなるp型コンタクト層22(膜厚 $0.01\text{ }\mu\text{m} \sim 10\text{ }\mu\text{m}$)の各窒化物半導体層が形成されている。

30

【0191】

窒化物半導体層のp側から、第1のp型クラッド層までエッチングを施すことによりリッジ構造が形成されており、半導体レーザ素子の導波路部分のストライプを構成している。さらに、エッチングされた領域の概略全面に絶縁膜23が形成されている。正電極24はp型コンタクト層22の一部露出した面上の全面を含む、絶縁膜23の概略全面に形成されている。一方、負電極25は、n型基板11の2主面のうち、窒化物半導体層が形成されている側と対向する面側に、概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

40

【0192】

本実施形態の窒化物半導体レーザ素子の製造方法は、実施形態1の半導体レーザ素子の製造方法において、n型クラッド層を作製する際に、互いに組成の異なる第2のn型クラッド層と第1のn型クラッド層を定法に従って作製する以外は、実施形態1の半導体レーザ

50

素子の製造方法と同じである。

【0193】

本実施形態の半導体レーザ素子では、p型クラッド層とn型クラッド層の両方に、低屈折率層が設けられた構造となっている。これにより、本発明の効果がさらに大きくなり、垂直方向の活性層閉じ込め係数を抑制しつつ、さらに を減少させる効果を奏する。

【0194】

以上のように構成された本実施形態の半導体レーザ素子においては、閾値電流密度 1.2 kA/cm^2 でレーザ発振を生じ、垂直方向 FFP 半値全角は 11° 度で楕円率 1.4 とほぼ円形に近い FFP が得られた。

【0195】

なお、本実施形態では、基板としてn型GaN基板を用いたが、他の基板を用いてもよく、例えばサファイア (Al_2O_3)、スピネル111面 (MgAl_2O_4)、SiC、MgO、Si、ZnO等の単結晶からなる基板であってもよい。

【0196】

本実施形態において、低屈折率層はp型クラッド層およびn型クラッド層の活性層側主面に接するように形成したが、p型クラッド層およびn型クラッド層内に挿入され、p型クラッド層およびn型クラッド層の活性層側主面から隔てた位置に形成してもよい。また、p型クラッド層およびn型クラッド層内に $0.02 \mu\text{m}$ 以下の層厚で、等価屈折率より高い屈折率を有する材料からなる層が設けられていてもよい。但し、第2のp型クラッド層と活性層との距離、および第2のn型クラッド層と活性層との距離は $0.34 \mu\text{m}$ 以下とする。さらに、低屈折率層はp型クラッド層およびn型クラッド層内の活性層側主面に近い位置に形成されているほど望ましい。さらに望ましくは、低屈折率層をp型クラッド層およびn型クラッド層内に挿入し、p型クラッド層およびn型クラッド層の活性層側主面から $0.05 \mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて、すなわち活性層から $0.24 \mu\text{m}$ 以下の距離を隔てて形成する。さらに望ましくは、低屈折率層を活性層から $0.05 \mu\text{m}$ 以上の距離を隔てて形成する。また、低屈折率層の層厚は、 $0.02 \mu\text{m}$ 以上 $0.15 \mu\text{m}$ 以下であるのが望ましい。

【0197】

さらに、p型クラッド層/n型クラッド層内に $0.02 \mu\text{m}$ 以下のInGaNまたはGaNを含む層が形成されていてもよい。

【0198】

また、本実施形態において、p型クラッド層/n型クラッド層を単結晶材料で構成したが、一部または全部が超格子構造であってもよく、またはAl組成が層厚増加方向に概略連続的に変化する構造であってもよい。

【0199】

(実施形態10)

本実施形態では、リッジの側壁を第1のp型クラッド層と近い屈折率を有する材料で埋め込んだ構成について説明する。図15は、実施形態10の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。この図は、窒化物半導体レーザ素子の導波路部分における共振器に垂直な断面を示している。

【0200】

この半導体レーザ素子は、n型GaNからなる基板11(膜厚 $30 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$)、GaNからなる低温成長バッファ層12(膜厚 $0 \sim 10 \mu\text{m}$)、n型GaN層13(膜厚 $0.1 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$)、n型 $\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ ($0 < r < 0.2$) からなるn型バッファ層14(膜厚 $0 \sim 200 \text{ nm}$)、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.05 < x < 0.2$) からなるn型クラッド層15(膜厚 $0.4 \mu\text{m}$ 以上)、n型GaNからなるn側光導波層16(膜厚 $0 \sim 0.15 \mu\text{m}$)、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($v < w < 0.2$) 井戸層とn型 $\text{In}_v\text{Ga}_{1-v}\text{N}$ ($0 < v < w$) 障壁層とを交互に積層した多重量子井戸構造からなる活性層17(発振波長 $370 \text{ nm} \sim 430 \text{ nm}$ 、総膜厚 $5 \text{ nm} \sim 60 \text{ nm}$)、p型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 0.3$) からなるp型キャリアブロック層18(膜厚 $0 \sim 0.04 \mu\text{m}$ 、好ましくは $0 \sim$

10

20

30

40

50

0.02 μm)、p型Ga_{1-y₁}Nからなるp側光導波層19(膜厚0.05 μm ~0.15 μm)、p型Al_{y₁}Ga_{1-y₁}N($y_2 < y_1 < 0.2$)からなる第1のp型クラッド層20(膜厚0.02 μm ~0.15 μm)、p型Al_{y₂}Ga_{1-y₂}N($0 < y_2 < y_1$)からなる第2のp型クラッド層21(膜厚(0.4 μm -第1のp型クラッド層の層厚)およびp型Ga_{1-y₂}Nからなるp型コンタクト層22(膜厚0.01 μm ~10 μm)の各窒化物半導体層が形成されている。

【0201】

窒化物半導体層のp側から、第1のp型クラッド層までエッチングを施すことによりリッジ構造が形成されており、半導体レーザ素子の導波路部分のストライプを構成している。さらに、エッチングされた領域の概略全面に、n型Al_{y₃}Ga_{1-y₃}N($0.05 < y_3 < 0.2$)からなる埋め込み層151が形成されている。正電極24はp型コンタクト層22の一部露出した面上の全面を含む、埋め込み層151の概略全面に形成されている。一方、負電極25は、n型基板11の2主面のうち、窒化物半導体層が形成されている側と対向する面側に、概略全面に形成されている。ストライプの両端面はミラーとして作用し、光共振器を構成している。

【0202】

本実施形態の窒化物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。基板11上にp型コンタクト層22を形成する工程までは、実施形態1と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0203】

p型コンタクト層22の成長後、フォトリソグラフィ技術およびウェットエッチング技術を用いて、光導波路を構成するためのストライプ形状のマスクをp型コンタクト層22上に形成する。

【0204】

次に、反応性イオンエッチング技術を用いて、p型コンタクト層22を1 μm ~4 μm (例えば2 μm)幅のストライプ状に残して第1のp型クラッド層20までエッチングを行い、光導波路を構成するためのストライプを形成する。

【0205】

次に、マスクを除去せずに、再度ウェハをMOCVD装置内に導入する。そして、約750℃まで昇温し、キャリアガスH₂を流しながら、TMG供給量を50 $\mu\text{mol/min}$ に調節してTMAを一定量導入し、SiH₄を10 nmol/min 流しながら、n型AlGa_{1-y₃}N(例えばAl混晶比は第1のp型クラッド層と同じ)からなる埋め込み層151を、エッチングされた領域の全面に形成する。次に、供給ガスを全て停止後、降温して、室温にてウェハをMOCVD装置から取り出す。

【0206】

続いて、ウェットエッチング技術によりマスクを除去し、p型コンタクト層22上の概略全面と埋め込み層151上の概略全面に正電極24を形成する。正電極材料としては、例えばAu/NiまたはAu/Pdを用いることができる。また、n型基板11裏面の概略全面に負電極25を形成する。負電極材料としては、例えばAl/TiまたはAu/Wを用いることができる。

【0207】

次に、ウェハをへき開して共振器ミラーとなる端面を作製し、図14に示す窒化物半導体レーザ素子が完成する。

【0208】

本実施形態の半導体レーザ素子では、埋め込み材料として、第1のp型クラッド層と概略同じ屈折率を有する材料を用いている。従来の半導体レーザ素子および実施形態1の半導体レーザ素子において、光導波路を構成するストライプを形成する際に、反応性イオンエッチングの深さを十分な精度で制御することは困難であり、 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 程度の作製誤差が生じる。その結果、作製された半導体レーザ素子は、水平方向FFPの半値全角に ± 2 度程度のばらつきを生じるため、半導体レーザ素子の歩留まり低下という問題がある。

【0209】

これに対して、本実施形態の半導体レーザ素子では、第1のp型クラッド層まで反応性イオンエッチングによりエッチングを行い、第1のp型クラッド層と概略同じ屈折率を有する材料で埋め込み層を構成することにより、エッチング深さの作製誤差が半導体レーザ素子の特性に与える影響を無くすることができる。

【0210】

本実施形態の半導体レーザ素子では、エッチング底面を、第1のp型クラッド層内に留める必要があるが、第1のp型クラッド層の厚さを $0.1\mu\text{m}$ 以上に設定することによって、エッチング底面の位置に対して、深さ方向に $\pm 0.05\mu\text{m}$ の範囲内で作製誤差を許容することができる。さらに、エッチング技術の向上によって、エッチング底面の作製誤差を低減することが可能であれば、必要とされる第1のp型クラッド層の厚さをさらに小さく設定することができる。但し、およびに与える影響を十分なものにするためには、第1のp型クラッド層の層厚の好ましい厚さは、 $0.02\mu\text{m}$ 以上 $0.15\mu\text{m}$ 以下が望ましい。

10

【0211】

以下に、本実施形態の半導体レーザ素子における、第1のp型クラッド層および第2のp型クラッド層のAl混晶比の設計例について、図20～図23を用いて説明する。

【0212】

図20は、本実施形態の半導体レーザ素子において、第1のp型クラッド層の厚さが $0.02\mu\text{m}$ のときに、第1のp型クラッド層と第2のp型クラッド層におけるAl混晶比を、それぞれ縦軸と横軸にとって示したものであり、方向の活性層閉じ込め係数 および水平方向のストライプ内閉じ込め係数 に関する等高線をプロットしたものである。

20

【0213】

ここでは、第1のp型クラッド層および第2のp型クラッド層のAl混晶比を除く他の構造パラメータは、実施形態1において最も好ましい値に設定されているものとして、図20の関係を算出している。

【0214】

図20において、曲線202、203および204は、第1のp型クラッド層の厚さが $0.02\mu\text{m}$ のときに、水平方向のストライプ内閉じ込め係数 が、それぞれ 0.85 、 0.90 および 0.95 となる点をプロットしたものである。高次横モードのレーザ発振を抑制するために、は $0.85\sim 0.95$ の範囲内に設定することが望ましく、 0.90 付近に設定することがさらに望ましい。を上記範囲内に設定するためには、第1のp型クラッド層および第2のp型クラッド層のAl混晶比が曲線202よりも左上の領域内にあることが望ましく、特に、曲線203よりも左側の領域内にあることが望ましい。

30

【0215】

また、図19に示すように、第2のp型クラッド層のAl混晶比が 0.04 未満になると、必要とされる第2のp型クラッド層の層厚が増加するため、第2のp型クラッド層の混晶比は 0.04 以上であることが望ましい。さらに、AlGaInの第2のp型クラッド層のAl混晶比が 0.15 を超えると、急激に第2のp型クラッド層の層抵抗が増加するため、第2のp型クラッド層のAl混晶比は 0.15 以下であることが望ましい。

40

【0216】

また、本実施形態において、第1のp型クラッド層のAl混晶比は、水平方向の等価屈折率差を設けるために、第2のp型クラッド層のAl混晶比よりも大きくしておく必要があるが、この条件は、図20に示すように、水平方向のストライプ内閉じ込め係数 が 0.85 以上であれば、常に成立している。さらに、第1のp型クラッド層のAl混晶比が 0.30 を超えると、急激に第1のp型クラッド層の層抵抗が増加するため、第1のp型クラッド層のAl混晶比は 0.30 以下であることが望ましい。ここで、第1のp型クラッド層は、第2のp型クラッド層に比べて薄層であるため、第2のp型クラッド層よりも上限が高くなっている。

50

【0217】

図20において、曲線205および206は、第1のp型クラッド層の厚さが0.02 μmであるときに、垂直方向の活性層閉じ込め係数が、それぞれ0.033および0.037となる点をプロットしたものである。本実施形態のレーザにおいて、p型クラッド層を、p型クラッド層と総膜厚が同じで、n型クラッド層と同じAl混晶比を有するp型クラッド層に置き換えた構造、すなわち従来の半導体レーザ素子の構造を想定すると、垂直方向の活性層閉じ込め係数は0.037となる。この値を基準として、垂直方向の活性層閉じ込め係数を相対値で表すと、曲線205および206は、それぞれ（相対値）が90%および100%となる点をプロットしたものとなる。

【0218】

垂直方向の活性層閉じ込め係数は大きいほど望ましいが、この値を大きくしようとした場合、必要とされる第1のp型クラッド層および第2のp型クラッド層のAl混晶比が大きくなるため、AlGaInとGaInの格子定数差に起因するクラックが生じ易くなって、素子の信頼性および良品歩留まりが低下する。これを防ぐため、（相対値）は90%～105%の範囲内に設定することが望ましい。

【0219】

また、上述したように、第2のp型クラッド層のAl混晶比は0.04以上0.15以下であることが望ましく、第1のp型クラッド層のAl混晶比は、第2のp型クラッド層のAl混晶比よりも大きく、0.30以下であることが望ましい。図20に示すように、この範囲内であれば、常に（相対値）105%が満たされている。

【0220】

ここで、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 とすると、曲線202は近似的に

$$y_2 = 0.0036 + 0.90169 \times y_1$$

と表され、曲線203は近似的に

$$y_2 = -0.0099995 + 1.095 \times y_1 - 2.5833 \times y_1^2 + 5.9997 \times y_1^3 - 6.6663 \times y_1^4$$

と表され、曲線204は近似的に

$$y_2 = -0.008 + 0.74333 \times y_1 - 2.2 \times y_1^2 + 2.6667 \times y_1^3 - 0.000044879 \times y_1^4$$

と表される。また、曲線205は近似的に

$$y_2 = 0.046185 \times y_1^{(-0.11622)}$$

と表され、曲線206は近似的に

$$y_2 = 0.078855 \times y_1^{(-0.12984)}$$

と表される。

【0221】

図21は、本実施形態の半導体レーザ素子において、第1のp型クラッド層の厚さが0.05 μmのときに、第1のp型クラッド層と第2のp型クラッド層におけるAl混晶比を、それぞれ縦軸と横軸にとって示したものであり、垂直方向の活性層閉じ込め係数および水平方向のストライプ内閉じ込め係数に関する等高線をプロットしたものである。

【0222】

ここでは、第1のp型クラッド層および第2のp型クラッド層のAl混晶比を除く他の構造パラメータは、実施形態1において最も好ましい値に設定されているものとして図21の関係を算出している。

【0223】

図21において、曲線212、213および214は、第1のp型クラッド層の厚さが0.05 μmのときに、水平方向のストライプ内閉じ込め係数が、それぞれ0.85、0.90および0.95となる点をプロットしたものである。高次横モードのレーザ発振を抑制するために、は0.85～0.95の範囲内に設定することが望ましく、0.90付近に設定することがさらに望ましい。を上記範囲内に設定するためには、第1

10

20

30

40

50

の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比が曲線 2 1 2 よりも左上の領域内にあり、かつ、曲線 2 1 4 よりも右下の領域内にあることが望ましく、特に、曲線 2 1 3 の近傍にあることが望ましい。

【 0 2 2 4 】

また、図 2 0 の説明において述べたように、第 2 の p 型クラッド層の混晶比は 0 . 0 4 以上 0 . 1 5 以下であることが望ましく、第 1 の p 型クラッド層の A l 混晶比は第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比よりも大きく、0 . 3 0 以下であることが望ましい。

【 0 2 2 5 】

図 2 1 において、曲線 2 1 5、2 1 6 および 2 1 7 は、第 1 の p 型クラッド層の厚さが 0 . 0 5 μ m であるときに、垂直方向の活性層閉じ込め係数 が、それぞれ 0 . 0 3 3、0 . 0 3 7 および 0 . 0 3 9 となる点をプロットしたものである。図 2 0 と同様に、垂直方向の活性層閉じ込め係数を相対値で表すと、曲線 2 1 5、2 1 6 および 2 1 7 は、それぞれ (相対値) が 9 0 %、1 0 0 % および 1 0 5 % となる点をプロットしたものとなる。

【 0 2 2 6 】

垂直方向の活性層閉じ込め係数は大きいほど望ましいが、この値を大きくしようとした場合、必要とされる第 1 の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比が大きくなるため、A l G a N と G a N の格子定数差に起因するクラックが生じ易くなって、素子の信頼性および良品歩留まりが低下する。これを防ぐため、(相対値) は 9 0 % ~ 1 0 5 % の範囲内に設定することが望ましい。

【 0 2 2 7 】

ここで、第 1 の p 型クラッド層の A l 混晶比 y_1 、第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比 y_2 とすると、曲線 2 1 2 は近似的に

$$y_2 = 0 . 0 0 8 6 + 0 . 8 9 \times y_1$$

と表され、曲線 2 1 3 は近似的に

$$y_2 = 0 . 0 0 5 0 0 0 2 + 0 . 7 \times y_1 + 0 . 3 6 6 7 \times y_1^2 - 8 . 0 0 0 1 \times y_1^3 + 1 3 . 3 3 3 \times y_1^4$$

と表され、曲線 2 1 4 は近似的に

$$y_2 = - 0 . 5 5 7 + 1 1 . 1 2 8 \times y_1 - 7 5 . 5 8 3 \times y_1^2 + 2 2 4 . 6 7 \times y_1^3 - 2 4 6 . 6 7 \times y_1^4$$

と表される。また、曲線 2 1 5 は近似的に

$$y_2 = 0 . 0 3 0 8 5 1 \times y_1^2 (- 0 . 2 7 4 4 2)$$

と表され、曲線 2 1 6 は近似的に

$$y_2 = 0 . 0 4 8 1 5 7 \times y_1^2 (- 0 . 3 4 9 2 7)$$

と表され、曲線 2 1 7 は近似的に

$$y_2 = 0 . 0 9 4 2 3 4 \times y_1^2 (- 0 . 3 5 1 1 9)$$

と表される。

【 0 2 2 8 】

図 2 2 は、本実施形態の半導体レーザ素子において、第 1 の p 型クラッド層の厚さが 0 . 1 0 μ m のときに、第 1 の p 型クラッド層と第 2 の p 型クラッド層における A l 混晶比を、それぞれ縦軸と横軸にとって示したものであり、方向の活性層閉じ込め係数 および水平方向のストライプ内閉じ込め係数 に関する等高線をプロットしたものである。

【 0 2 2 9 】

ここでは、第 1 の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比を除く他の構造パラメータは、実施形態 1 において最も好ましい値に設定されているものとして図 2 2 の関係を算出している。

【 0 2 3 0 】

図 2 2 において、曲線 2 2 2 および 2 2 3 は、第 1 の p 型クラッド層の厚さが 0 . 1 0 μ m のときに、水平方向のストライプ内閉じ込め係数 が、それぞれ 0 . 8 5 および 0 . 9 0 となる点をプロットしたものである。高次横モードのレーザ発振を抑制するために、

は 0.85 ~ 0.95 の範囲内に設定することが望ましく、0.90 付近に設定することがさらに望ましい。 を上記範囲内に設定するためには、第 1 の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層の A1 混晶比が曲線 222 よりも左上の領域内にあることが望ましく、特に、曲線 223 の近傍にあることが望ましい。

【0231】

また、図 20 の説明において述べたように、第 2 の p 型クラッド層の混晶比は 0.04 以上 0.15 以下であることが望ましく、第 1 の p 型クラッド層の A1 混晶比は第 2 の p 型クラッド層の A1 混晶比よりも大きく、0.30 以下であることが望ましい。図 22 に示すように、この範囲内であれば、常に 0.95 が満たされている。

【0232】

図 22 において、曲線 224、225 および 226 は、第 1 の p 型クラッド層の厚さが 0.10 μm であるときに、垂直方向の活性層閉じ込め係数 が、それぞれ 0.033、0.037 および 0.039 となる点をプロットしたものである。図 20 と同様に、垂直方向の活性層閉じ込め係数 を相対値で表すと、曲線 224、225 および 226 は、それぞれ (相対値) が 90%、100% および 105% となる点をプロットしたものとなる。

【0233】

垂直方向の活性層閉じ込め係数 は大きいほど望ましいが、この値を大きくしようとした場合、必要とされる第 1 の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層の A1 混晶比が大きくなるため、A1 GaN と GaN の格子定数差に起因するクラックが生じ易くなって、素子の信頼性および良品歩留まりが低下する。これを防ぐため、(相対値) は 90% ~ 105% の範囲内に設定することが望ましい。

【0234】

ここで、第 1 の p 型クラッド層の A1 混晶比 y_1 、第 2 の p 型クラッド層の A1 混晶比 y_2 とすると、曲線 222 は近似的に

$$y_2 = 0.017974 + 0.90169 \times y_1$$

と表され、曲線 223 は近似的に

$$y_2 = -0.016415 + 1.3098 \times y_1 - 6.8072 \times y_1^2 + 14.144 \times y_1^3 + 10.773 \times y_1^4$$

と表され、曲線 224 は近似的に

$$y_2 = 0.016137 \times y_1^{(-0.76812)}$$

と表され、曲線 225 は近似的に

$$y_2 = 0.018854 \times y_1^{(-0.76812)}$$

と表され、曲線 226 は近似的に

$$y_2 = 0.031792 \times y_1^{(-0.95084)}$$

と表される。

【0235】

図 23 は、本実施形態の半導体レーザ素子において、第 1 の p 型クラッド層の厚さが 0.15 μm のときに、第 1 の p 型クラッド層と第 2 の p 型クラッド層における A1 混晶比を、それぞれ縦軸と横軸にとって示したものであり、 方向の活性層閉じ込め係数 および水平方向のストライプ内閉じ込め係数 に関する等高線をプロットしたものである。

【0236】

ここでは、第 1 の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層の A1 混晶比を除く他の構造パラメータは、実施形態 1 において最も好ましい値に設定されているものとして図 23 の関係を算出している。

【0237】

図 23 において、曲線 232 および 233 は、第 1 の p 型クラッド層の厚さが 0.10 μm のときに、水平方向のストライプ内閉じ込め係数 が、それぞれ 0.85 および 0.90 となる点をプロットしたものである。高次横モードのレーザ発振を抑制するために、は 0.85 ~ 0.95 の範囲内に設定することが望ましく、0.90 付近に設定する

10

20

30

40

50

ことがさらに望ましい。 を上記範囲内に設定するためには、第 1 の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比が曲線 2 3 2 よりも左上の領域内にあることが望ましく、特に、曲線 2 3 3 の近傍にあることが望ましい。

【 0 2 3 8 】

また、図 2 0 の説明において述べたように、第 2 の p 型クラッド層の混晶比は 0 . 0 4 以上 0 . 1 5 以下であることが望ましく、第 1 の p 型クラッド層の A l 混晶比は第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比よりも大きく、 0 . 3 0 以下であることが望ましい。図 2 3 に示すように、この範囲内であれば、常に 0 . 9 5 が満たされている。

【 0 2 3 9 】

図 2 3 において、曲線 2 3 5 および 2 3 6 は、第 1 の p 型クラッド層の厚さが 0 . 1 5 μ m であるときに、垂直方向の活性層閉じ込め係数 が、それぞれ 0 . 0 3 7 および 0 . 0 3 9 となる点をプロットしたものである。図 2 0 と同様に、垂直方向の活性層閉じ込め係数 を相対値で表すと、曲線 2 3 5 および 2 3 6 は、それぞれ (相対値) が 1 0 0 % および 1 0 5 % となる点をプロットしたものとなる。

【 0 2 4 0 】

垂直方向の活性層閉じ込め係数 は大きいほど望ましいが、この値を大きくしようとした場合、必要とされる第 1 の p 型クラッド層および第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比が大きくなるため、A l G a N と G a N の格子定数差に起因するクラックが生じ易くなって、素子の信頼性および良品歩留まりが低下する。これを防ぐため、(相対値) は 9 0 % ~ 1 0 5 % の範囲内に設定することが望ましい。

【 0 2 4 1 】

また、図 2 0 の説明において述べたように、第 2 の p 型クラッド層の混晶比は 0 . 0 4 以上 0 . 1 5 以下であることが望ましく、第 1 の p 型クラッド層の A l 混晶比は第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比よりも大きく、 0 . 3 0 以下であることが望ましい。図 2 3 に示すように、この範囲内であれば、常に (相対値) 9 0 % が満たされている。

【 0 2 4 2 】

ここで、第 1 の p 型クラッド層の A l 混晶比 y_1 、第 2 の p 型クラッド層の A l 混晶比 y_2 とすると、曲線 2 3 2 は近似的に

$$y_2 = -0.010417 + 1.1914 \times y_1 - 1.5286 \times y_1^2 - 3.9518 \times y_1^3 + 6.3332 \times y_1^4$$

と表され、曲線 2 3 3 は近似的に

$$y_2 = -0.053801 + 2.8079 \times y_1 - 2.9349 \times y_1^2 + 1.3753 \times y_1^3 - 2.5358 \times y_1^4$$

と表され、曲線 2 3 5 は近似的に

$$y_2 = 0.0094661 \times y_1^{(-0.99455)}$$

と表され、曲線 2 3 6 は近似的に

$$y_2 = 0.0096716 \times y_1^{(-1.5633)}$$

と表される。

【 0 2 4 3 】

ところで、 に比べて、 の方が半導体レーザ素子の閾値電流に与える影響は大きい。ストライプ内における活性層のバルク利得を g 、ストライプ外における活性層のバルク吸収を、共振器損失を 0 とすると、レーザの発振条件は

【 0 2 4 4 】

【数 3】

$$\Gamma_{\perp}(\Gamma_{\parallel}g - (1 - \Gamma_{\parallel})\alpha) = \alpha_0$$

10

20

30

40

【 0 2 4 5 】

となる。ここで、説明を簡単にするために、 g の注入電流依存性として線形利得を仮定すると、

【 0 2 4 6 】

【数 4】

$$g = \beta \left(\frac{J_{th} \eta}{d_l} - J_0 \right)$$

10

【 0 2 4 7 】

と表すことができる。なお、上記式において、 J_0 は定数であり、 d_l は井戸総の層膜厚であり、 η は自然放出光の結合効率である。これを用いることによって、閾値電流密度 J_{th} は、

【 0 2 4 8 】

【数 5】

$$J_{th} = \frac{d_l}{\eta} \left(J_0 + \frac{\alpha_0}{\Gamma_{\perp} \Gamma_{\parallel} \beta} + \left(\frac{1}{\Gamma_{\parallel}} - 1 \right) \cdot \frac{\alpha}{\beta} \right)$$

20

【 0 2 4 9 】

と表すことができる。

【 0 2 5 0 】

上記式において、 α が減少すると、第 2 項のみが増大して J_{th} が増加するが、 α_0 が減少すると、第 2 項に加えて第 3 項も J_{th} の増加に寄与する。通常、共振器損失 J_0 は数十 cm^{-1} のオーダーであるのに対して、ストライプ外における活性層のバルク吸収 α は数千～数万 cm^{-1} のオーダーであることから、第 3 項の寄与は大きい。このため、 α に比べて、 α_0 の方が半導体レーザ素子の閾値電流に与える影響が大きくなるのである。従って、本実施形態の半導体レーザ素子を設計する際には、 α_0 よりも、 α が減少しないことを重視して設計を行うのが望ましい。

30

【 0 2 5 1 】

以上のことを考慮して、本実施形態の半導体レーザ素子では、まず、 α_0 が 0.85 以上 0.95 以下であることが望ましい。これを満たす条件として、

(1) 第 1 の p 型クラッド層の層厚 d [μm] が 0.02 $\leq d \leq$ 0.05 である場合には、第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比 y_1 、第 2 の p 型クラッド層の Al 混晶比 y_2 が、図 20 に示す曲線 202 と図 21 に示す曲線 214 に挟まれた領域にあることが望ましいことから、

40

$$\begin{aligned} & -0.557 + 1.1128 \times y_1 - 75.583 \times y_1^2 \\ & + 224.67 \times y_1^3 - 246.67 \times y_1^4 \leq y_2 \\ & 0.0036 + 0.90169 \times y_1, \text{ かつ、} \end{aligned}$$

$$y_2 < y_1 \leq 0.30, \text{ かつ、} 0.04 \leq y_2 \leq 0.15$$

を満たすことが望ましい。さらに望ましくは、第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比 y_1 、第 2 の p 型クラッド層の Al 混晶比 y_2 が、図 20 に示す曲線 204 と図 21 に示す曲線 212 に挟まれた領域にあることから、

$$-0.008 + 0.74333 \times y_1 - 2.2 \times y_1^2$$

50

$+ 2.6667 \times y_1^3 - 0.000044879 \times y_1^4 - y_2$
 $0.0086 + 0.89 \times y_1$ 、かつ、
 $y_2 < y_1 - 0.30$ 、かつ、 $0.04 - y_2 - 0.15$
 を満たすことが望ましい。

【0252】

また、(2)第1のp型クラッド層の層厚 d [μm] が $0.05 \leq d \leq 0.10$ である場合には、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図21に示す曲線212よりも左上の領域にあることが望ましいことから、
 $y_2 = 0.0086 + 0.89 \times y_1$ 、かつ、
 $y_2 < y_1 - 0.30$ 、かつ、 $0.04 - y_2 - 0.15$
 を満たすことが望ましい。さらに望ましくは、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図22に示す曲線222と図21に示す曲線214に挟まれた領域にあることから、

$- 0.557 + 11.128 \times y_1 - 75.583 \times y_1^2$
 $+ 224.67 \times y_1^3 - 246.67 \times y_1^4 - y_2$
 $0.017974 + 0.90169 \times y_1$ 、かつ、
 $y_2 < y_1 - 0.30$ 、かつ、 $0.04 - y_2 - 0.15$
 を満たすことが望ましい。

【0253】

また、(3)第1のp型クラッド層の層厚 d [μm] が $0.10 \leq d \leq 0.15$ である場合には、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図22に示す曲線222よりも左上の領域にあることが望ましいことから、
 $y_2 = 0.017974 + 0.90169 \times y_1$ 、かつ、
 $y_2 < y_1 - 0.30$ 、かつ、 $0.04 - y_2 - 0.15$
 を満たすことが望ましい。さらに望ましくは、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図23に示す曲線232よりも左上の領域にあることから、

$y_2 = - 0.053801 + 2.8079 \times y_1 - 29.349 \times y_1^2$
 $+ 137.53 \times y_1^3 - 253.58 \times y_1^4$ 、かつ、
 $y_2 < y_1 - 0.30$ 、かつ、 $0.04 - y_2 - 0.15$
 を満たすことが望ましい。

【0254】

また、本実施形態の半導体レーザ素子では、 α が従来構造と同等の値、すなわち、(相対値)が90%以上105%以下であることが望ましい。これを満たす条件として、(1)第1のp型クラッド層の層厚 d [μm] が $0.02 \leq d \leq 0.05$ である場合には、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図21に示す曲線215よりも右上の領域にあることが望ましいことから、

$0.030851 \times y_1^{(-0.27442)} - y_2$ 、かつ、
 $y_2 < y_1 - 0.30$ 、かつ、 $0.04 - y_2 - 0.15$

を満たすことが望ましい。さらに望ましくは、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図20に示す曲線205と図21に示す曲線217に挟まれた領域にあることから、

$0.046185 \times y_1^{(-0.11622)} - y_2$
 $0.094234 \times y_1^{(-0.35119)}$ 、かつ、
 $y_2 < y_1 - 0.30$ 、かつ、 $0.04 - y_2 - 0.15$
 を満たすことが望ましい。

【0255】

また、(2)第1のp型クラッド層の層厚 d [μm] が $0.05 \leq d \leq 0.10$ である場合には、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図22に示す曲線224と図21に示す曲線217とに挟まれた領域内にあること

10

20

30

40

50

が望ましいことから、

$$0.016137 \times y_1^{(-0.52323)} y_2$$

$$0.094234 \times y_1^{(-0.35119)}, \text{かつ、}$$

$$y_2 < y_1 \quad 0.30, \text{かつ、} 0.04 \quad y_2 \quad 0.15$$

を満たすことが望ましい。さらに望ましくは、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図21に示す曲線215と図22に示す曲線226に挟まれた領域にあることから、

$$0.030851 \times y_1^{(-0.27442)} y_2$$

$$0.031792 \times y_1^{(-0.95084)}, \text{かつ、}$$

$$y_2 < y_1 \quad 0.30, \text{かつ、} 0.04 \quad y_2 \quad 0.15$$

を満たすことが望ましい。

【0256】

また、(3)第1のp型クラッド層の層厚 d [μm]が $0.10 \leq d \leq 0.15$ である場合には、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図22に示す曲線226よりも左下の領域にあることが望ましいことから、

$$y_2 \leq 0.031792 \times y_1^{(-0.95084)}, \text{かつ、}$$

$$y_2 < y_1 \quad 0.30, \text{かつ、} 0.04 \quad y_2 \quad 0.15$$

を満たすことが望ましい。さらに望ましくは、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 、第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 が、図22に示す曲線224と図23に示す曲線236に挟まれた領域にあることから、

$$0.016137 \times y_1^{(-0.52323)} y_2$$

$$0.0096716 \times y_1^{(-1.5633)}, \text{かつ、}$$

$$y_2 < y_1 \quad 0.30, \text{かつ、} 0.04 \quad y_2 \quad 0.15$$

を満たすことが望ましい。

【0257】

さらに、およびの両方を考慮して、一般的なエッチング技術、すなわちエッチング底面の位置ばらつきが $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 程度であると想定した場合、第1のp型クラッド層の層厚 d [μm]、第1のp型クラッド層のAl混晶比 y_1 および第2のp型クラッド層のAl混晶比 y_2 は、図22に斜線部で示すように、

$$0.05 \leq d \leq 0.15, \text{かつ、}$$

$$0.04 \leq y_1 \leq 0.08, \text{かつ、}$$

$$0.10 \leq y_2 \leq 0.20$$

の範囲内に設定されていることが望ましい。

【0258】

なお、図20～図23の関係は、他の構造パラメータおよびレーザ発振波長が実施形態の範囲内で変化しても、ほとんど変化しなかった。また、図20～図23の関係は、実施形態8のようにn型クラッド層を2層構造として活性層側の層を低屈折率とした場合にも同様であり、実施形態9のようにp型クラッド層およびn型クラッド層の両方を2層構造として活性層側の層を低屈折率層とした場合にも同様であった。

【0259】

本実施形態の半導体レーザ素子においては、水平方向FFPの半値全角 $\theta = 6^\circ \sim 10^\circ$ となるように、ストライプ幅で調節することになる。例えば、図14に示した本実施形態の半導体レーザ素子において、 $x = 0.10$ 、 $y_1 = 0.15$ 、 $y_2 = 0.05$ 、p側光導波層/n側光導波層厚さを各 $0.1 \mu\text{m}$ とした場合には、ストライプ幅を $2 \mu\text{m}$ としたときに、 $\theta = 8^\circ$ となる。各半導体層の組成を変化させた場合には、水平方向FFPの半値全角が所望の値となるように、一度ストライプ幅を設定すれば、移行は同様に作製することにより、水平方向FFP半値全角のばらつきが非常に少ない、歩留まりの高い半導体レーザ素子を作製することができるようになる。また、ストライプ幅の作製においては、 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 程度の作製誤差が生じるが、ストライプ幅の作製誤差はエッチング深さの作製誤差に比べて、に与える影響が十分小さいため、特性のばらつきに与える影響

10

20

30

40

50

を十分小さくして、半導体レーザ素子の作製歩留まりを向上させることができる。

【0260】

以上のように構成された本実施形態の半導体レーザ素子による効果および特性は、実施形態1の半導体レーザ素子と同様であった。

【0261】

なお、本実施形態では、基板としてn型Ga_{0.99}N基板を用いたが、他の基板を用いてもよく、例えばサファイア(Al₂O₃)、スピネル111面(MgAl₂O₄)、SiC、MgO、Si、ZnO等の単結晶からなる基板であってもよい。

【0262】

本実施形態において、低屈折率層はp型クラッド層の活性層側主面に接するように形成したが、p型クラッド層内に挿入され、p型クラッド層の活性層側主面から隔てた位置に形成してもよい。また、p型クラッド層内に0.02μm以下の層厚で、等価屈折率より高い屈折率を有する材料からなる層が設けられていてもよい。但し、第2のp型クラッド層と活性層との距離は0.34μm以下とする。さらに、低屈折率層はp型クラッド層内の活性層側主面に近い位置に形成されているほど望ましい。さらに望ましくは、低屈折率層をp型クラッド層内に挿入し、p型クラッド層の活性層側主面から0.05μm以下の距離を隔てて、すなわち活性層から0.24μm以下の距離を隔てて形成する。さらに望ましくは、低屈折率層を活性層から0.05μm以上の距離を隔てて形成する。また、低屈折率層の層厚は、0.02μm以上0.15μm以下であるのが望ましい。

【0263】

さらに、p型クラッド層/n型クラッド層内に0.02μm以下のInGa_{0.99}NまたはGa_{0.99}Nを含む層が形成されていてもよい。

【0264】

また、本実施形態において、p型クラッド層/n型クラッド層を単結晶材料で構成したが、一部または全部が超格子構造であってもよく、またはAl組成が層厚増加方向に概略連続的に変化する構造であってもよい。

【0265】

さらに、本実施形態において、埋め込み層の材料として、第1のp型クラッド層と同じAl組成を有するn型Al_{0.99}Ga_{0.01}Nを用いたが、ノンドープであってもよく、または、第1のp型クラッド層と概略同じAl組成を有するn型ノンドープAl_{0.99}Ga_{0.01}Nであってもよい。さらに、第1のp型クラッド層と概略同じ屈折率を有する絶縁体(例えばTiO₂、ZrO₂、HfO₂、CeO₂、In₂O₃、Nd₂O₃、Sb₂O₃、SnO₂、Ta₂O₅、ZnO、ZnMgCdSSe化合物半導体等)であってもよい。また、単一組成の物質でなくともよく、例えば組成の異なる2層以上の交互積層構造(但し、各層厚は0.02μm以下)からなる埋め込み層としてもよい。その場合には、平均屈折率が第1のp型クラッド層と概略同じ屈折率を有するように、構成材料の組成を調節すればよい。

【0266】

(実施形態11)

本実施形態では、本発明の光学情報再生装置の例について説明する。図16は本発明の一実施形態である光学情報再生装置の構成を説明するための模式図である。但し、この図においては煩雑さを避けるため、説明の都合上で不要な部品については省略して示している。

【0267】

この光学情報再生装置は、基台161、基台161上に設置された本発明の半導体レーザ素子162、カップリングレンズ163、ビームスプリッタ165、ディスク166、および集光された光を検出する光検出器167からなる。この光学式情報再生装置において、半導体レーザ素子162から出射したレーザ光は、カップリングレンズ163により平行光または平行に近い光に変換され、ビームスプリッタ165を透過してディスク166の情報記録面に集光される。ディスク166の情報記録面には、凹凸、磁気変調または屈折率変調によりビット情報が書き込まれている。集光されたレーザ光は、そこで反射され

10

20

30

40

50

てビームスプリッタ 165 により分岐され、光検出器 167 に集光される。光検出器 167 では、光学的に検出された信号を電気的信号に変換して記録情報の読み取りが行われる。

【0268】

本実施形態の光学式情報再生装置においては、従来技術では円形ビームに成形するために必要であった成形プリズムを省略することができ、装置の小型化を図ることができる。

【0269】

また、成形プリズムを用いた従来の光学式情報再生装置では、成形プリズムを光が透過する際に、成形プリズムへの入射面において同時に反射光を生じ、これがレーザー光の強度損失を招いていた。一方、光検出器で検出可能な光の強度は一定であるため、この強度損失を補うために、半導体レーザー素子の駆動電力の上昇を招いていた。これに対して、本実施形態の光学式情報再生装置においては、この成形プリズムを省略することができるので、半導体レーザー素子の必要駆動電力を低減することができる。

【0270】

以上、本発明の実施の形態について説明を行ったが、本発明はこれらに限られるものではない。上記実施の形態では n 型 GaN からなる低温成長バッファ層を設けたが、n 型 GaN に限らず、SiH₄ の導入量を 0 mol とした GaN でもよく、さらに、Al や In を含む AlGaInN を少なくとも含む膜を用いても何等问题は生じない。さらに、低温成長バッファ層は本発明の必要構成要素ではないため、設けなくてもよい。

【0271】

また、上記実施の形態では、n 型 In_rGa_{1-r}N からなる n 型バッファ層を設けたが、他の材料を用いてもよい。さらに、n 型バッファ層は本発明の必要構成要素ではないため、設けなくてもよい。

【0272】

また、上記実施の形態では、n 型 GaN 層、n 側光導波層、p 型キャリアブロック層、p 側光導波層を設けたが、他の窒化物半導体からなる層に置き換えてもよい。さらに、これらの層は本発明の必要構成要素ではないため、いずれかを省略した構成でもよい。

【0273】

また、上記実施の形態では、水平方向光閉じ込めのためのストライプ状リッジ構造を形成する際に、第 1 の p 型クラッド層までエッチングを行ったが、半導体レーザー素子を構成する各窒化物半導体層の組成の組み合わせによっては、第 2 の p 型クラッド層または p 側光導波層までエッチングしてリッジ形状を形成した構造であってもよく、水平方向 FFP の半値全角が 6 度 ~ 10 度となるように形成すればよい。

【0274】

さらに、上記各実施形態において、各半導体層は上記材料に限定されるわけではなく、Al_xIn_yGa_{1-x-y}N (0 < x, y < 1) の他、その III 族元素の一部 (20 % 程度以下) を B、Cr、V、Ti、Nb、Ta、Zr、Sc、Tl、Gd、La 等の他の元素によって置換した六方晶構造の結晶、その N 元素の一部 (20 % 程度以下) を P、As、Sb 等の他の元素によって置換した六方晶構造の結晶等であってもよく、さらに、六方晶構造の結晶からなる多層構造中の一部に、異なる結晶材料からなる層が混入されていてもよい。さらに、各半導体層中に、B、Al、In、Tl、P、As、Sb、Be、Mg、Cd、Zn、C、Si、Ge、Sn、O、S、Se、Te、H、Sc、Cu、Fe、Ti、V、Cr、Y、Zr、Nb、ランタノイド等が添加されていてもよい。

【0275】

また、各実施形態における半導体層は、安定に成長させることが可能な六方晶構造の結晶であることが望ましいが、これに限定されるものではない。

【0276】

【発明の効果】

以上詳述したように、請求項 1 乃至請求項 12 のいずれかに記載の本発明によれば、垂直方向光閉じ込め係数の減少を抑制しつつ、垂直方向 FFP 半値全角を減少させることがで

10

20

30

40

50

きる。よって、駆動電力の上昇を抑制しつつ、出射光の楕円率を改善した窒化物半導体レーザ素子を提供することができる。

【0277】

また、請求項13または請求項14に記載の本発明によれば、上記効果に加えて、垂直方向FFPや駆動電力のばらつきを抑制し、歩留まりの向上した窒化物半導体レーザ素子を提供することができる。

【0278】

請求項15～請求項18に記載の本発明によれば、クラッド層にAlGaInを含む場合に、垂直方向の活性層閉じ込め係数および水平方向のストライプ内閉じ込め係数を望ましい値にして、駆動電流を増大させることなく、素子の信頼性および良品歩留まりの低下を防ぐことができる、窒化物半導体レーザ素子を提供することができる。

10

【0279】

さらに、請求項19に記載の本発明によれば、従来の光学式情報再生装置に比べて小型化かつ低消費電力化を図った光学式情報再生装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態である窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図2】実施形態1の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図3】レーザ発振モードの垂直方向の活性層閉じ込め係数の計算結果を横軸に、垂直方向のFFP半値全角の測定結果を縦軸に取り、窒化物半導体レーザ素子の構造パラメータを従来の半導体レーザ素子構造から変化させた場合の変化を示す図である。

20

【図4】実施形態1の半導体レーザ素子において、低屈折率層のAl混晶比を0.05から0.30まで変化させたときの、レーザ発振モードの垂直方向の活性層閉じ込め係数と垂直方向のFFP半値全角の変化を示す図であり、低屈折率層の層厚が各々0.02μm、0.05μm、0.1μm、0.2μmである場合を表す。

【図5】実施形態1の半導体レーザ素子において、低屈折率層のAl混晶比を0.05から0.30まで変化させたときの、レーザ発振モードの垂直方向の活性層閉じ込め係数と垂直方向のFFP半値全角の変化を示す図であり、低屈折率層が活性層から各々0.1μm、0.08μm、0.05μmの距離を隔てて形成された場合を表す。

【図6】実施形態3の半導体レーザ素子において、低屈折率層のAl混晶比を0.05から0.30まで変化させたときの、レーザ発振モードの垂直方向の活性層閉じ込め係数と垂直方向のFFP半値全角の変化を示す図であり、低屈折率層がp型クラッド層の活性層側主面から各々0、0.02μm、0.05μmの距離を隔てて形成された場合を表す。

30

【図7】実施形態2の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図8】実施形態3の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図9】実施形態4の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図10】実施形態5の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図11】(a)は実施形態6の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、(b)は第1のp型クラッド層および第2のp型クラッド層近傍における屈折率分布を表す図である。

40

【図12】(a)は実施形態7の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、(b)はp型クラッド層の構成を表す図であり、(c)はn型クラッド層の構成を表す図である。

【図13】実施形態8の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図14】実施形態9の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図15】実施形態10の窒化物半導体レーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。

【図16】実施形態11の光学式情報再生装置の構成を示す模式図である。

【図17】半導体レーザ素子の構造を示す模式的な要部断面図である。

【図18】従来の光学式情報再生装置の構成を示す模式図である。

50

【図 19】第 2 の p 型クラッド層の Al 混晶比と p 型クラッド層の必要最少膜厚との関係を示す図である。

【図 20】実施形態 10 の半導体レーザ素子において、第 1 の p 型クラッド層の厚さが $0.02\ \mu\text{m}$ のとき、第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比および第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比をそれぞれ縦軸および横軸にとって、レーザ発振モードの垂直方向の活性層閉じ込め係数 および水平方向のストライプ内閉じ込め係数 に関する等高線をプロットした図である。

【図 21】実施形態 10 の半導体レーザ素子において、第 1 の p 型クラッド層の厚さが $0.05\ \mu\text{m}$ のとき、第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比および第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比をそれぞれ縦軸および横軸にとって、レーザ発振モードの垂直方向の活性層閉じ込め係数 および水平方向のストライプ内閉じ込め係数 に関する等高線をプロットした図である。

【図 22】実施形態 10 の半導体レーザ素子において、第 1 の p 型クラッド層の厚さが $0.10\ \mu\text{m}$ のとき、第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比および第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比をそれぞれ縦軸および横軸にとって、レーザ発振モードの垂直方向の活性層閉じ込め係数 および水平方向のストライプ内閉じ込め係数 に関する等高線をプロットした図である。

【図 23】実施形態 10 の半導体レーザ素子において、第 1 の p 型クラッド層の厚さが $0.15\ \mu\text{m}$ のとき、第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比および第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比をそれぞれ縦軸および横軸にとって、レーザ発振モードの垂直方向の活性層閉じ込め係数 および水平方向のストライプ内閉じ込め係数 に関する等高線をプロットした図である。

【図 24】実施形態 1 の半導体レーザ素子において、第 1 の p 型クラッド層の Al 混晶比を、第 2 の p 型クラッド層と等しい値から 0.30 まで変化させた場合に、縦軸に 、横軸に をとって、これらの関係をプロットした図である。

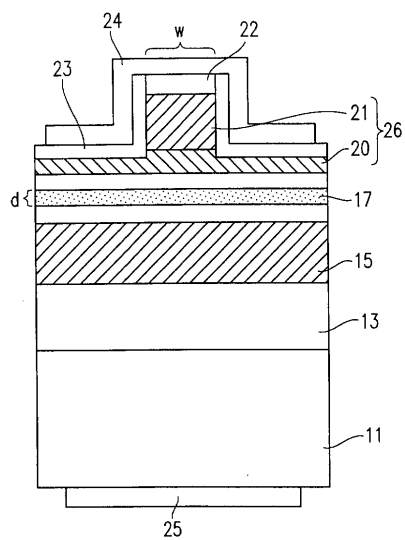
【符号の説明】

- | | | |
|---|--|----|
| 1 1 | 基板 | |
| 1 2 | 低温バッファ層 | |
| 1 3 | n 型 GaN 層 | |
| 1 4 | n 型クラッド層 | 30 |
| 1 5 | n 型クラッド層 | |
| 1 6 | n 側光導波層 | |
| 1 7 | 活性層 | |
| 1 8 | p 型キャリアブロック層 | |
| 1 9 | p 側光導波層 | |
| 2 0 | 第 1 の p 型クラッド層 | |
| 2 1 | 第 2 の p 型クラッド層 | |
| 2 2 | p 型コンタクト層 | |
| 2 3 | 絶縁層 | |
| 2 4 | 正電極 | 40 |
| 2 5 | 負電極 | |
| 2 6 | p 型クラッド層 | |
| 3 0 | 従来構造の半導体レーザ素子における と | |
| 3 1 | 従来構造の半導体レーザ素子において、p 型クラッド層の Al 混晶比を 0.02 から 0.3 まで変化させたときに と が変化する様子を示す曲線 | |
| 3 2、4 1、4 2、4 3、4 4、5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、6 1、6 2、6 3 | 実施形態の半導体レーザ素子において、第 1 の p 型クラッド層（低屈折率層）の Al 混晶比を 0.02 から 0.3 まで変化させたときに と が変化する様子を示す曲線 | |
| 7 0 | 基板 | |
| 7 1 | n 型コンタクト層 | 50 |

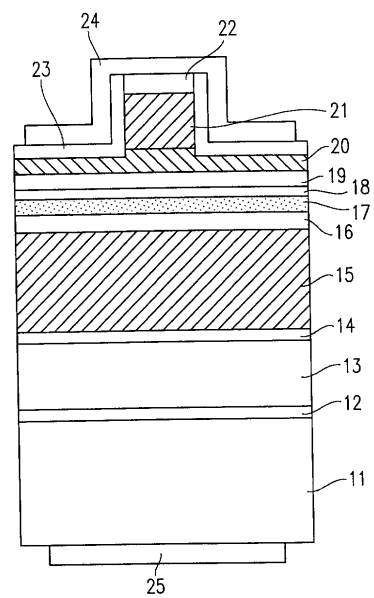
8 1	第 3 の p 型クラッド層	
8 2	第 1 の p 型クラッド層	
8 3	第 2 の p 型クラッド層	
9 1	p 型 G a N 層	
1 0 1	第 1 の n 型クラッド層	
1 0 2	n 型バッファ層	
1 0 3	第 2 の n 型クラッド層	
1 1 1	層厚増加方向に従って A l 混晶比が概略連続的に減少している第 1 の p 型クラッド層	
1 1 2	層厚増加方向に従って A l 混晶比が概略連続的に増加している第 2 の p 型クラッド層	10
1 2 1	n 型 G a N 層	
1 2 2	ノンドープ A l G a N 層	
1 2 3	n 型超格子クラッド層	
1 2 4	p 型 G a N 層	
1 2 5	ノンドープ A l G a N 層	
1 2 6	第 1 の p 型超格子クラッド層	
1 2 7	p 型 G a N 層	
1 2 8	ノンドープ A l G a N 層	
1 2 9	第 2 の p 型超格子クラッド層	20
1 3 1	第 2 の n 型クラッド層	
1 3 2	第 1 の n 型クラッド層	
1 3 3	p 型クラッド層	
1 5 1	埋め込み層	
1 6 1	基台	
1 6 2	本発明の窒化物半導体レーザ素子	
1 6 3	カップリングレンズ	
1 6 5	ビームスプリッタ	
1 6 6	ディスク	
1 6 7	光検出器	30
1 7 1	n 型 G a N 層	
1 7 2	n 型バッファ層	
1 7 3	n 型クラッド層	
1 7 4	n 側光導波層	
1 7 5	活性層	
1 7 6	p 型 A l G a N 層	
1 7 7	p 側光導波層	
1 7 8	p 型クラッド層	
1 7 9	p 型コンタクト層	
1 8 0	絶縁膜	40
1 8 1	電極	
1 9 0	正電極でレーザ発振光が受ける吸収が 10 cm^{-1} 以上となる境界を示す曲線	
1 9 1	正電極でレーザ発振光の広がり抑制され、p 型クラッド層の厚さが無限大のときに比べて が増大してしまう境界を示す曲線	
2 0 2、2 1 2、2 2 2、2 3 2	= 0 . 8 5 を示す曲線	
2 0 3、2 1 3、2 2 3、2 3 3	= 0 . 9 0 を示す曲線	
2 0 4、2 1 4	= 0 . 9 5 を示す曲線	
2 0 5、2 1 5、2 2 4	(相対値) = 9 0 % を示す曲線	
2 0 6、2 1 6、2 2 5、2 3 5	(相対値) = 1 0 0 % を示す曲線	
2 0 7、2 1 7、2 2 6、2 3 6	(相対値) = 1 0 0 % を示す曲線	50

- 1 0 0 1 基台
- 1 0 0 2 従来の半導体レーザ素子
- 1 0 0 3 カップリングレンズ
- 1 0 0 4 成形プリズム
- 1 0 0 5 ビームスプリッタ
- 1 0 0 6 ディスク
- 1 0 0 7 光検出器

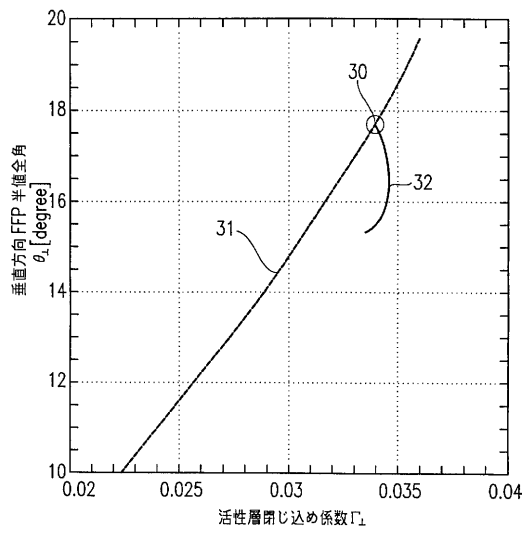
【図 1】



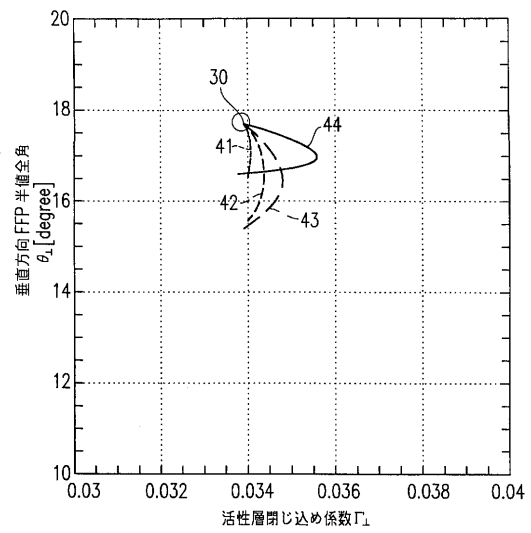
【図 2】



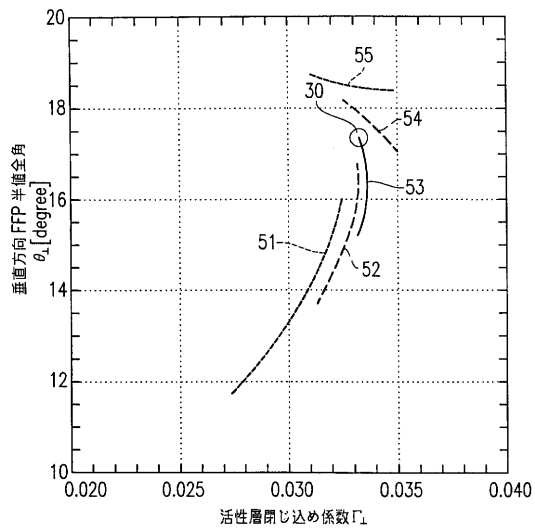
【図 3】



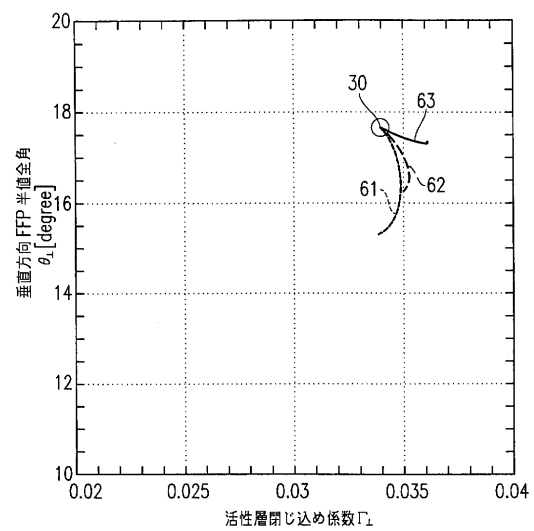
【図 4】



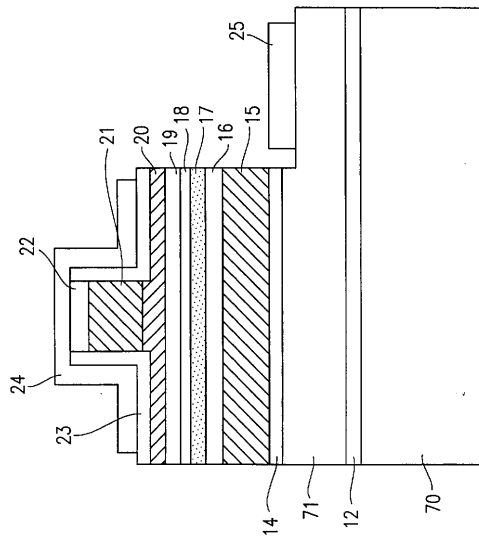
【図 5】



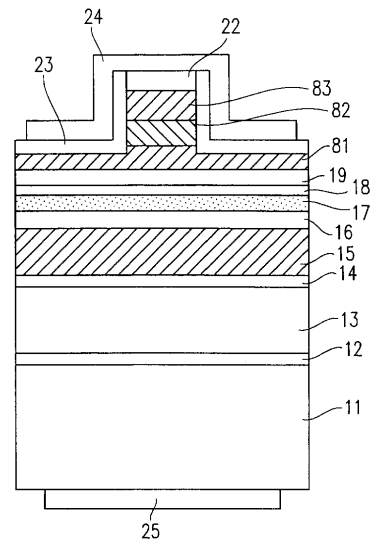
【図 6】



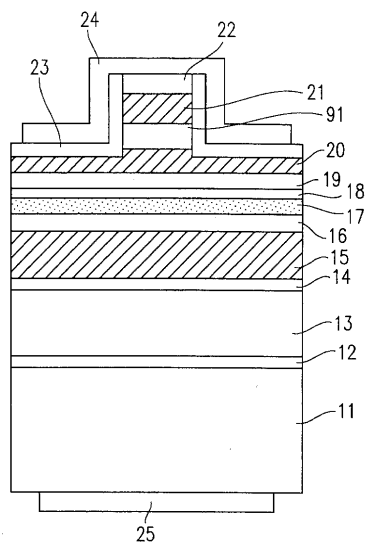
【図 7】



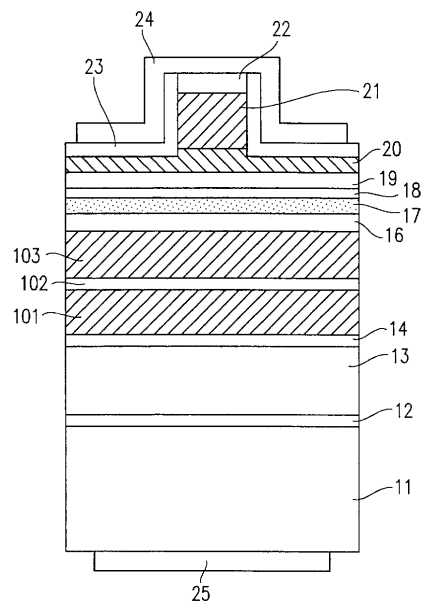
【図 8】



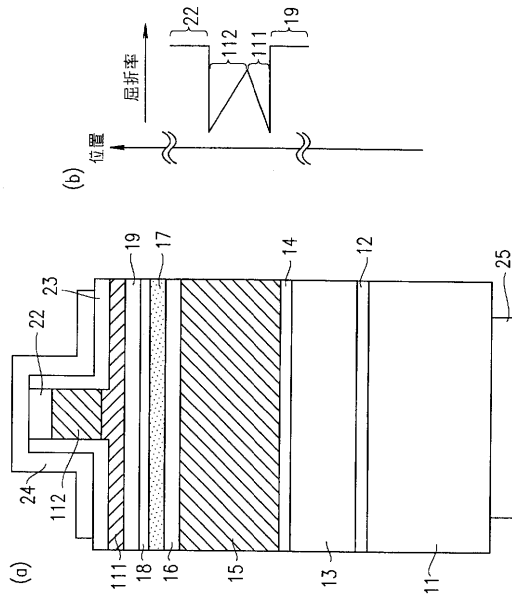
【図 9】



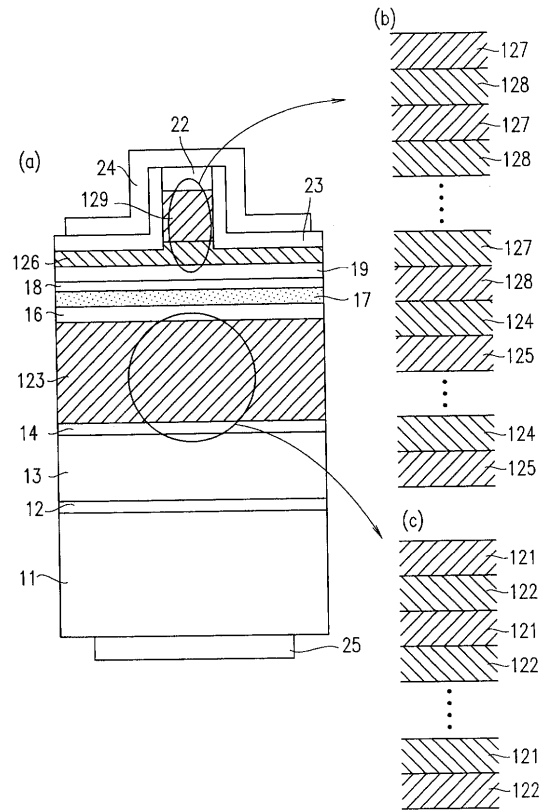
【図 10】



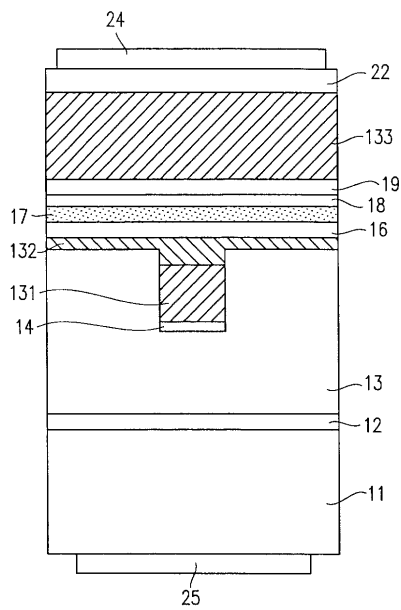
【図 1 1】



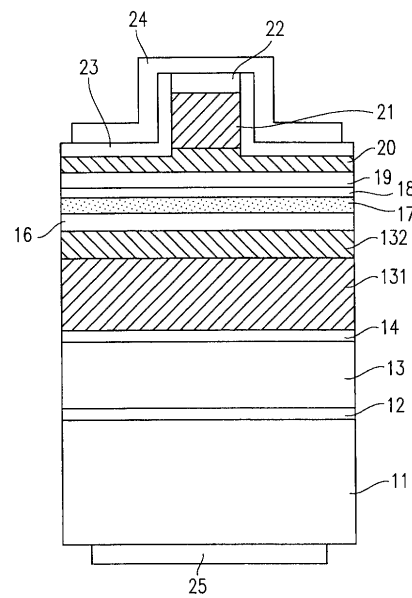
【図 1 2】



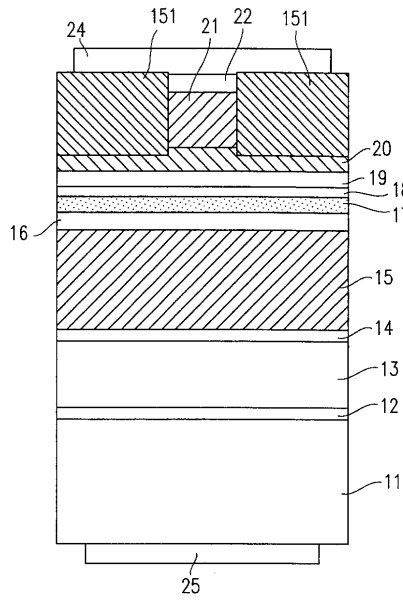
【図 1 3】



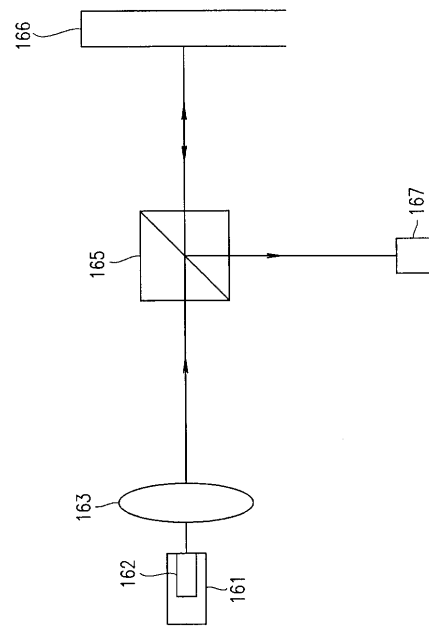
【図 1 4】



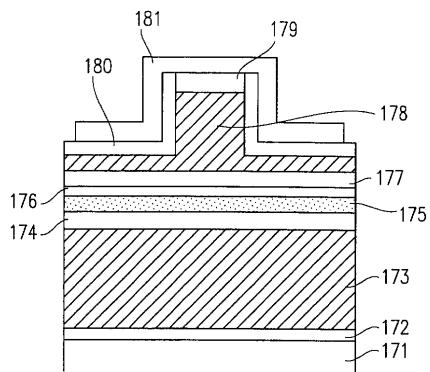
【図 15】



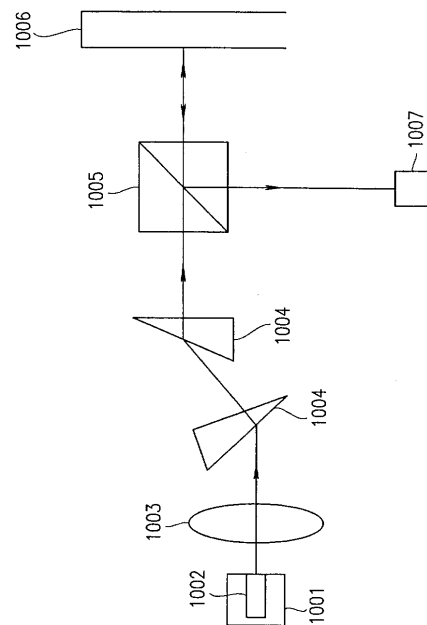
【図 16】



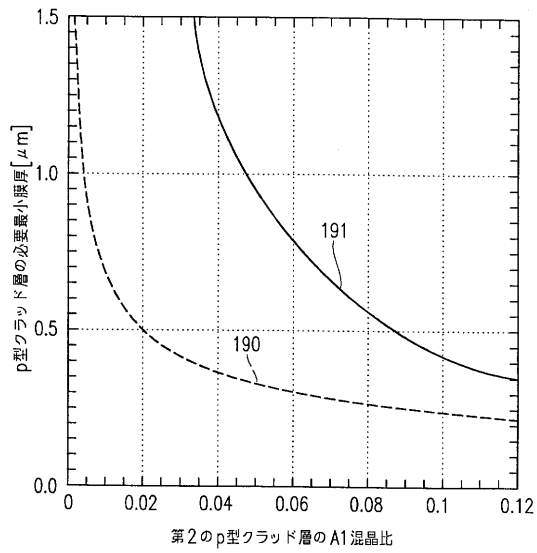
【図 17】



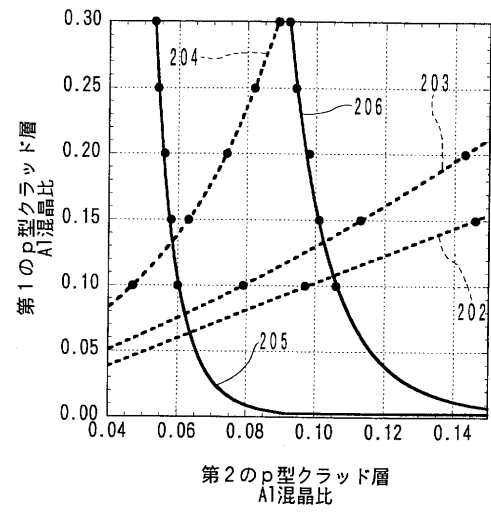
【図 18】



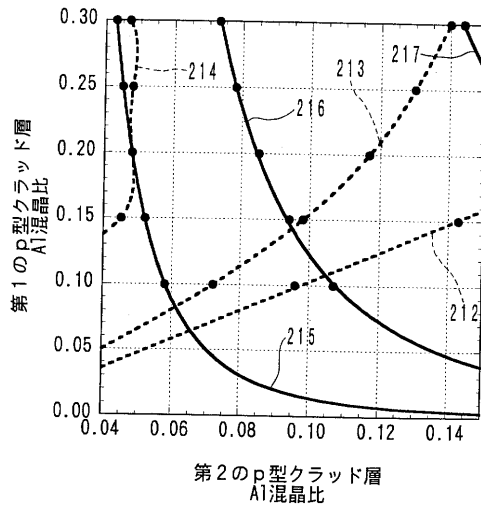
【図 19】



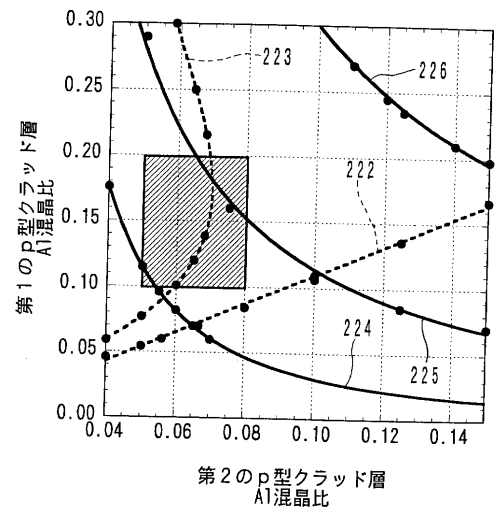
【図 20】



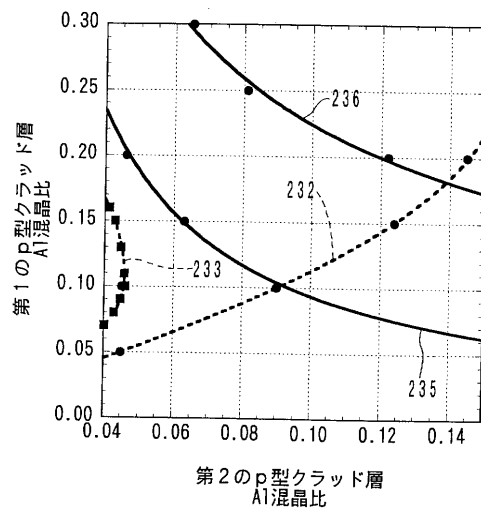
【図 21】



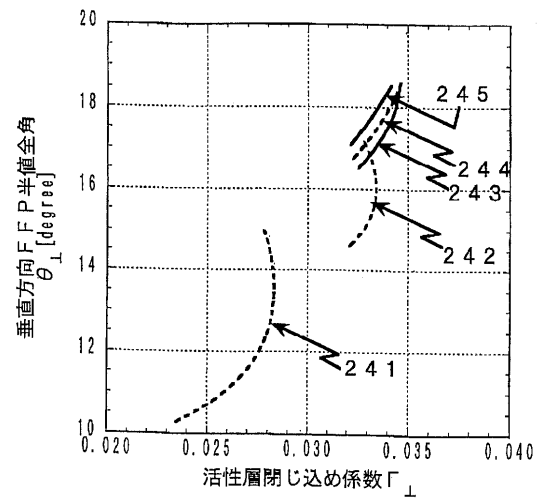
【図 22】



【図 23】



【図 24】



フロントページの続き

合議体

審判長 吉野 公夫

審判官 岩本 勉

審判官 稲積 義登

(56)参考文献 特開平 0 5 - 2 5 1 8 1 3 (J P , A)
特開平 1 1 - 3 4 0 5 8 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01S 5/00-5/50

H01L 33/00