

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7406487号
(P7406487)

(45)発行日 令和5年12月27日(2023.12.27)

(24)登録日 令和5年12月19日(2023.12.19)

(51)国際特許分類 F I
H 0 1 S 5/343(2006.01) H 0 1 S 5/343

請求項の数 22 (全27頁)

(21)出願番号	特願2020-532304(P2020-532304)	(73)特許権者	520133916 ヌヴォンテクノロジージャパン株式会社 京都府長岡京市神足焼町1番地
(86)(22)出願日	令和1年7月16日(2019.7.16)	(74)代理人	100109210 弁理士 新居 広守
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/027857	(74)代理人	100137235 弁理士 寺谷 英作
(87)国際公開番号	WO2020/022116	(74)代理人	100131417 弁理士 道坂 伸一
(87)国際公開日	令和2年1月30日(2020.1.30)	(72)発明者	中谷 東吾 日本国京都府長岡京市神足焼町1番地 ヌヴォンテクノロジージャパン株式会社 社内
審査請求日	令和4年7月12日(2022.7.12)	(72)発明者	畑 雅幸
(31)優先権主張番号	特願2018-141109(P2018-141109)		
(32)優先日	平成30年7月27日(2018.7.27)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体レーザ素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

n型半導体基板の上方に配置されたn型クラッド層と、
前記n型クラッド層の上方に配置された活性層と、
前記活性層の上方に配置されたp型クラッド層とを備え、
前記活性層は、井戸層と障壁層とを有し、
前記障壁層のエネルギーバンドギャップは、前記n型クラッド層のエネルギーバンドギャップより大きく、

前記障壁層の屈折率は、前記n型クラッド層の屈折率より大きく、

前記n型クラッド層は $A l_{x1} G a_{1-x1-y1} I n_{y1} A s_{1-z1} P_{z1}$ を含み、

前記障壁層は $A l_{x2} G a_{1-x2-y2} I n_{y2} A s_{1-z2} P_{z2}$ を含み、
 $z1 > z2$ である

半導体レーザ素子。

【請求項2】

前記n型クラッド層は $A l_{x1} G a_{1-x1-y1} I n_{y1} P$ を含み、

前記障壁層は $A l_{x2} G a_{1-x2-y2} I n_{y2} A s$ を含む

請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】

$x1 < x2$ である

請求項2に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 4】

前記 n 型半導体基板は GaAs を含む

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記 n 型クラッド層と前記活性層との間に配置され、前記 n 型クラッド層より屈折率が大きい n 側光ガイド層を備える

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記 n 側光ガイド層は、 $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 層を含む

請求項 5 に記載の半導体レーザ素子。

10

【請求項 7】

前記 n 型クラッド層と前記活性層との間に配置され、前記 n 型クラッド層よりエネルギーバンドギャップが大きい正孔障壁層を備える

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 8】

前記 n 型クラッド層と前記活性層との間に配置され、前記 n 型クラッド層より屈折率が大きい n 側光ガイド層を備える

請求項 7 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 9】

前記正孔障壁層の膜厚は、前記 n 側光ガイド層の膜厚より薄い

請求項 8 に記載の半導体レーザ素子。

20

【請求項 10】

前記正孔障壁層は、前記 n 側光ガイド層と前記活性層との間に配置される

請求項 8 又は 9 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 11】

前記正孔障壁層は、前記 n 型クラッド層と前記 n 側光ガイド層との間に配置される

請求項 8 又は 9 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 12】

前記正孔障壁層は、前記障壁層よりエネルギーバンドギャップが大きい

請求項 8 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

30

【請求項 13】

前記正孔障壁層は、AlGaInP 系の半導体からなる

請求項 8 ~ 12 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 14】

前記 p 型クラッド層のエネルギーバンドギャップは、前記障壁層のエネルギーバンドギャップより大きい

請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 15】

前記 p 型クラッド層は、前記活性層に近い側から、p 型第 1 クラッド層と p 型第 2 クラッド層とを順次備え、

前記 p 型第 1 クラッド層の Al 組成は、前記 p 型第 2 クラッド層の Al 組成より低い

請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

40

【請求項 16】

前記 n 型クラッド層のエネルギーバンドギャップは、前記 n 型半導体基板のエネルギーバンドギャップより大きい

請求項 1 ~ 15 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 17】

前記 p 型クラッド層の上方に配置される p 型コンタクト層と、

前記 p 型クラッド層と、前記 p 型コンタクト層との間に配置され、Al 組成が積層方向において徐々に変化するグレーディッド中間層とを備える

50

請求項 1 ~ 1.6 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 18】

前記 n 型半導体基板と前記 n 型クラッド層との間に配置されるバッファ層を備え、

前記バッファ層は、 $Al_xGa_{1-x}As$ を含む

請求項 1 ~ 1.7 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 19】

前記バッファ層は、 Al 組成が積層方向において徐々に変化するグレーディッドバッファ層を含む

請求項 1.8 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 20】

前記 p 型クラッド層と前記活性層との間に配置され、前記 p 型クラッド層よりエネルギーバンドギャップが大きい電子障壁層を備える

請求項 1 ~ 1.9 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 21】

前記井戸層は $InGaAs$ 系の半導体からなる

請求項 1 ~ 2.0 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 22】

前記 n 型クラッド層と前記障壁層とのエネルギーバンドギャップ差は、 $0.056 eV$ 以上 $0.072 eV$ 以下である

請求項 1 ~ 2.1 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、半導体レーザ素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、小型かつ高出力の光源として半導体レーザ素子が知られている（例えば、特許文献 1 など参照）。このような半導体レーザ素子の設計においては、消費電力低減などのために、動作電圧の低減が求められている。特許文献 1 に記載された半導体レーザ素子においては、動作電圧低減のために、活性層を構成する障壁層の方が n 型クラッド層よりエネルギーバンドギャップが大きくなるように設定している。これにより、活性層と n 型クラッド層との界面で発生し得るスパイク状のヘテロ障壁を低減することで、動作電圧の上昇を抑制しようとしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】国際公開第 2002/21578 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、 $AlGaAs$ 系半導体では、エネルギーバンドギャップを大きくすると屈折率は小さくなり、逆にエネルギーバンドギャップを小さくすると屈折率は大きくなるという関係が知られている。

【0005】

したがって、活性層と n 型クラッド層との界面のスパイク状のヘテロ障壁を低減するために、活性層のエネルギーバンドギャップを n 型クラッド層のエネルギーバンドギャップより大きくすると、n 型クラッド層の屈折率が活性層の屈折率より大きくなる。これにより、活性層への光閉じ込め効果が低下するため、発光特性が悪化する。

【0006】

本開示は、このような課題を解決するためになされたものであり、低動作電圧と、高い

10

20

30

40

50

光閉じ込め効果とを両立できる半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本開示に係る半導体レーザ素子は、n型半導体基板の上方に配置されたn型クラッド層と、前記n型クラッド層の上方に配置された活性層と、前記活性層の上方に配置されたp型クラッド層とを備え、前記活性層は、井戸層と障壁層とを有し、前記障壁層のエネルギーバンドギャップは、前記n型クラッド層のエネルギーバンドギャップより大きく、前記障壁層の屈折率は、前記n型クラッド層の屈折率より大きい。

【0008】

また、本開示に係る半導体レーザ素子において、前記n型クラッド層は $Al_{x_1}Ga_{1-x_1}In_{y_1}As_{1-z_1}P_{z_1}$ を含み、前記障壁層は $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}In_{y_2}As_{1-z_2}P_{z_2}$ を含み、 $z_1 > z_2$ であってもよい。

【0009】

また、本開示に係る半導体レーザ素子において、前記n型クラッド層は $Al_{x_1}Ga_{1-x_1}In_{y_1}P$ を含み、前記障壁層は $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}In_{y_2}As$ を含んでもよい。

【0010】

また、本開示に係る半導体レーザ素子において、 $x_1 < x_2$ であってもよい。

【0011】

また、本開示に係る半導体レーザ素子において、前記n型半導体基板は $GaAs$ を含んでもよい。

【0012】

また、本開示に係る半導体レーザ素子において、前記n型クラッド層と前記活性層との間に配置され、前記n型クラッド層より屈折率が大きいn側光ガイド層を備えてもよい。

【0013】

また、本開示に係る半導体レーザ素子において、前記n型クラッド層と前記活性層との間に配置され、前記n型クラッド層よりエネルギーバンドギャップが大きい正孔障壁層を備えてもよい。

【0014】

また、本開示に係る半導体レーザ素子において、前記p型クラッド層のエネルギーバンドギャップは、前記障壁層のエネルギーバンドギャップより大きくてもよい。

【0015】

また、本開示に係る半導体レーザ素子において、前記n型クラッド層のエネルギーバンドギャップは、前記n型半導体基板のエネルギーバンドギャップより大きくてもよい。

【発明の効果】

【0016】

本開示によれば、低動作電圧と、高い光閉じ込め効果とを両立できる半導体レーザ素子を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の外観を模式的に示す斜視図である。

【図2】図2は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の構成を模式的に示す第1の断面図である。

【図3】図3は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の構成を模式的に示す第2の断面図である。

【図4】図4は、図3の一部拡大図である。

【図5】図5は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子の半導体層形成工程の概要を示す基板の模式的な断面図である。

【図6A】図6Aは、実施の形態1に係る基板及び半導体層の模式的な断面図である。

10

20

30

40

50

【図 6 B】図 6 B は、実施の形態 1 に係る窓領域の形成方法を示す基板及び半導体層の模式的な断面図である。

【図 7】図 7 は、実施の形態 1 に係る導波路形成工程の概要を示す基板の模式的な断面図である。

【図 8】図 8 は、実施の形態 1 に係る第 1 の保護膜形成工程の概要を示す基板の模式的な断面図である。

【図 9】図 9 は、AlGaInP 系及び AlGaAs 系の半導体の屈折率と Al 組成との関係を示すグラフである。

【図 10】図 10 は、AlGaInP 系及び AlGaAs 系の半導体のエネルギーバンドギャップと Al 組成との関係を示すグラフである。

10

【図 11】図 11 は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造（バンドダイアグラム）及び屈折率分布を示す図である。

【図 12】図 12 は、実施の形態 1 の変形例 1 に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。

【図 13】図 13 は、実施の形態 1 の変形例 2 に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。

【図 14】図 14 は、実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。

【図 15】図 15 は、実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。

【図 16】図 16 は、実施の形態 3 に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。

20

【図 17】図 17 は、実施の形態 3 に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。

【図 18】図 18 は、実施の形態 4 に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。

【図 19】図 19 は、実施の形態 4 に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。

【図 20】図 20 は、実施の形態 5 に係る半導体レーザ素子の導波路形状を示す上面図である。

【図 21】図 21 は、実施の形態 5 に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。

【図 22】図 22 は、実施の形態 5 に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。

30

【図 23】図 23 は、実施の形態 6 に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。

【図 24】図 24 は、実施の形態 6 に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本開示の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下に説明する実施の形態は、いずれも本開示の一具体例を示すものである。したがって、以下の実施の形態で示される、数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、並びに、ステップ（工程）及びステップの順序などは、一例であって本開示を限定する主旨ではない。よって、以下の実施の形態における構成要素のうち、本開示の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

40

【0019】

また、各図は、模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。したがって、各図において縮尺などは必ずしも一致していない。各図において、実質的に同一の構成に対しては同一の符号を付しており、重複する説明は省略又は簡略化する。

【0020】

また、本明細書において、「上方」及び「下方」という用語は、絶対的な空間認識における上方向（鉛直上方）及び下方向（鉛直下方）を指すものではなく、積層構成における積層順を基に相対的な位置関係により規定される用語として用いる。また、「上方」及び

50

「下方」という用語は、2つの構成要素が互いに間隔をあけて配置されて2つの構成要素の間に別の構成要素が存在する場合のみならず、2つの構成要素が互いに接する状態で配置される場合にも適用される。

【0021】

(実施の形態1)

実施の形態1に係る半導体レーザ素子について説明する。

【0022】

[1-1.全体構成]

まず、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の全体構成について図1～図4を用いて説明する。

10

【0023】

図1は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子14の外観を模式的に示す斜視図である。図2は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子14の構成を模式的に示す第1の断面図である。図2には、図1のII-II断面の導波路WG付近の拡大図が示される。図3は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子14の構成を模式的に示す第2の断面図である。図3には、図1のIII-III断面が示される。図4は、図3の一部拡大図である。図4には、図3の破線枠IV部分の拡大図が示される。

【0024】

図2に示されるように、半導体レーザ素子14は、チップ状基板24と、チップ状基板24の第1の面P1上に配置された、半導体層100とを備える素子である。

20

【0025】

チップ状基板24は、半導体レーザ素子14の半導体層100が積層される基板である。本実施の形態では、チップ状基板24は、GaAsを含むn型半導体基板であり、より詳しくは、面方位が(100)面から(011)面方向に向かって10度傾斜しているn-GaAs基板である。第1の面P1の面方位は、(011)面方向に向かって10度傾斜した10度オフされた(100)面である。

【0026】

半導体層100は、チップ状基板24側から順に積層されたn型層を含む第1半導体層30、活性層40、及び、p型層を含む第2半導体層50を有する。本実施の形態では、半導体層100は、主に、チップ状基板24の上方に配置されたn型クラッド層32と、n型クラッド層32の上方に配置された活性層40と、活性層40の上方に配置されたp型クラッド層とを有する。

30

【0027】

図3に示されるように、半導体レーザ素子14は、半導体層100上に配置されたp側下部電極151及びp側上部電極152と、チップ状基板24の半導体層100が配置されていない側の面に配置されたn側電極160とを有する。

【0028】

また、半導体レーザ素子14の半導体層100は、半導体層100の層内方向に形成された導波路WGを有する。本実施の形態では、半導体層100には、リッジ構造を用いた導波路WGが形成されている。導波路WGは、図1に示されるように、第1の方向に延びる。

40

【0029】

また、図3に示されるように、半導体レーザ素子14の第1の方向の両端面は、劈開端面121である。二つの劈開端面121は、半導体レーザ素子14の共振器面として機能し、反射率制御膜として機能する第2の保護膜132F及び132Rが形成されている。第2の保護膜132F及び132Rは、それぞれ共振器のフロント側(レーザ光が主として出射する端面側)及びリア側の反射率制御膜として機能するだけでなく、劈開端面121を保護する機能も有する。

【0030】

また、図3及び図4に示されるように、半導体層100は、導波路WGの両端に形成さ

50

れた窓領域 80 を有する。本実施の形態では、共振器面として機能する二つの劈開端面 121 の各々の近傍に、活性層 40 における光吸収が抑制される窓領域 80 が形成されている。

【0031】

また、本実施の形態では、共振器長は、 $280\ \mu\text{m}$ である。ここで、半導体レーザ素子 14 の共振器長を $300\ \mu\text{m}$ 以下とすることで、導波路 WG の窓領域 80 以外の領域の割合を低減できるため、飽和光出力を低減できる。したがって、半導体レーザ素子 14 における端面破壊を抑制できる。

【0032】

以下、半導体レーザ素子 14 の各構成要素について説明する。

10

【0033】

チップ状基板 24 は、チップ状に分断された基板であり、半導体層 100 が積層される。チップ状基板 24 の構成は、 n 型半導体基板であれば特に限定されない。本実施の形態では、上述のとおりチップ状基板 24 は、 n -GaAs 基板である。

【0034】

第 1 半導体層 30 は、 n 型層を含む半導体層である。本実施の形態では、図 2 に示されるように、第 1 半導体層 30 は、 n 型バッファ層 31 と、 n 型クラッド層 32 と、 n 側光ガイド層 33 とを含む。 n 型バッファ層 31 は、膜厚 $0.4\ \mu\text{m}$ の n -GaAs 層である。 n 型クラッド層 32 は $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{In}_{y_1}\text{As}_{1-z_1}\text{P}_{z_1}$ を含む。本実施の形態では、 n 型クラッド層 32 は、膜厚 $4.7\ \mu\text{m}$ の n - $(\text{Al}_{0.16}\text{Ga}_{0.84})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。 n 側光ガイド層 33 は、膜厚 $0.09\ \mu\text{m}$ の $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。

20

【0035】

活性層 40 は、半導体レーザ素子 14 の発光部を形成する層である。活性層 40 は、井戸層と障壁層とを有する。障壁層は $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{In}_{y_2}\text{As}_{1-z_2}\text{P}_{z_2}$ を含む。

【0036】

本実施の形態では、活性層 40 は、 n 側光ガイド層 33 側より、膜厚 $0.03\ \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ を含む障壁層と、膜厚 $0.0065\ \mu\text{m}$ の GaAs を含む井戸層と、膜厚 $0.004\ \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ を含む障壁層と、膜厚 $0.0065\ \mu\text{m}$ の GaAs を含む井戸層と、膜厚 $0.021\ \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ を含む障壁層とを含む多重量子井戸活性層である。

30

【0037】

第 2 半導体層 50 は、 p 型層を含む半導体層である。本実施の形態では、図 2 に示されるように、第 2 半導体層 50 は、 p 側光ガイド層 51 と、 p 型第 1 クラッド層 52 と、 p 型第 2 クラッド層 53 と、 p 型第 3 クラッド層 54 と、 p 型中間層 55 と、 p 型コンタクト層 56 とを含む。

【0038】

p 側光ガイド層 51 は、膜厚 $0.07\ \mu\text{m}$ の $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。

【0039】

p 型第 1 クラッド層 52 は、膜厚 $0.17\ \mu\text{m}$ の p - $(\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。 p 型第 2 クラッド層 53 は、膜厚 $0.4\ \mu\text{m}$ の p - $(\text{Al}_{0.60}\text{Ga}_{0.40})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。 p 型第 3 クラッド層 54 は、膜厚 $0.6\ \mu\text{m}$ の p - $(\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。なお、 p 型第 1 クラッド層 52、 p 型第 2 クラッド層 53 及び p 型第 3 クラッド層 54 は、それぞれ本実施の形態に係る p 型クラッド層の一例である。

40

【0040】

p 型中間層 55 は、膜厚 $0.106\ \mu\text{m}$ の p - $(\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。 p 型中間層 55 の Al 組成は、 p 型第 3 クラッド層 54 よりも低い。 p 型コンタクト層 56 は、膜厚 $0.23\ \mu\text{m}$ の p - GaAs 層である。

50

【 0 0 4 1 】

なお、上述した n 型クラッド層 3 2 及び p 型クラッド層を含むクラッド層とは、半導体層 1 0 0 の積層方向に光を閉じ込める機能を有する層であり、積層方向に閉じ込められる光に対する実効屈折率より低い屈折率を有し、かつ、 $0.1 \mu\text{m}$ より厚い膜厚を有する層である。

【 0 0 4 2 】

第 1 の保護膜 1 3 1 は、図 2 に示されるように導波路 WG を形成するリッジの上部の一部及び側面、溝 TR、両脇の平坦部とに形成される。リッジの上部において、第 1 の保護膜 1 3 1 はリッジ上部を露出する開口部を有しており、図 4 に示されるように、窓領域 8 0 を含む劈開端面 1 2 1 付近は第 1 の保護膜 1 3 1 に覆われている。第 1 の保護膜 1 3 1 は、誘電膜であれば、特に限定されず、 SiO_2 、 SiN 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 Al_2O_3 、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 などを用いることができる。本実施の形態では、第 1 の保護膜 1 3 1 は、膜厚約 180 nm の SiN 膜である。

10

【 0 0 4 3 】

図 2 ~ 図 4 に示される p 側下部電極 1 5 1 は、パターニングされた金属膜であり、本実施の形態では、半導体層 1 0 0 側から順に積層された膜厚約 50 nm の Ti 膜、膜厚約 150 nm の Pt 膜、及び、膜厚約 50 nm の Au 膜を含む。p 側下部電極 1 5 1 は、第 1 の保護膜 1 3 1 の開口部内で p 型コンタクト層 5 6 と接続する。

【 0 0 4 4 】

図 3 に示される p 側上部電極 1 5 2 は、本実施の形態では、 $2.0 \mu\text{m}$ 以上 $5.0 \mu\text{m}$ 以下の膜厚の Au 膜である。

20

【 0 0 4 5 】

図 3 に示される n 側電極 1 6 0 は、本実施の形態では、チップ状基板 2 4 側から順に積層された膜厚 90 nm の AuGe 膜、膜厚 20 nm の Ni 膜、膜厚 50 nm の Au 膜、膜厚 100 nm の Ti 膜、膜厚 50 nm の Pt 膜、膜厚 50 nm の Ti 膜、膜厚 100 nm の Pt 膜、及び、膜厚 500 nm の Au 膜を含む。

【 0 0 4 6 】

本実施の形態では、フロント側に用いられる第 2 の保護膜 1 3 2 F は、劈開端面 1 2 1 側から、膜厚 50 nm の Al_2O_3 膜及び膜厚 55 nm の Ta_2O_5 膜の組み合わせを 1 回又は複数回積層した誘電体多層膜である。また、リア側に用いられる第 2 の保護膜 1 3 2 R は、劈開端面 1 2 1 側から、膜厚 $\lambda/8 n_A$ の Al_2O_3 膜、膜厚 $\lambda/8 n_S$ の SiO_2 膜、膜厚 $\lambda/4 n_T$ の Ta_2O_5 膜を順次積層した後、さらに、膜厚 $\lambda/4 n_S$ の SiO_2 膜と膜厚 $\lambda/4 n_T$ の Ta_2O_5 膜との組み合わせを複数回積層した誘電体多層膜である。なお、 λ は、半導体レーザ素子 1 4 の発振波長を示し、 n_A 、 n_T 、 n_S はそれぞれ、 Al_2O_3 膜、 Ta_2O_5 膜、 SiO_2 膜の波長 λ の光に対する屈折率を示す。本実施の形態では、 λ は、約 860 nm であり、劈開端面 1 2 1 側から膜厚 65 nm の Al_2O_3 膜、膜厚 74 nm の SiO_2 膜、膜厚 102 nm の Ta_2O_5 膜を順次積層した後、さらに、膜厚 147 nm の SiO_2 膜と膜厚 102 nm の Ta_2O_5 膜との組み合わせを複数回積層している。

30

【 0 0 4 7 】

窓領域 8 0 は、 Zn などの窓領域形成用不純物の拡散によって形成される。窓領域 8 0 は、窓領域形成用不純物を半導体レーザ素子 1 4 の共振器面近傍に拡散させることにより、活性層 4 0 の量子井戸構造を無秩序化させ、活性層 4 0 のエネルギーバンドギャップを拡大させた領域である。エネルギーバンドギャップを拡大させることで、レーザ発振した光に対する吸収の少ない窓領域 8 0 を形成できる。これにより、半導体レーザ素子 1 4 の端面での溶融破壊を低減できるため、高い信頼性を有する半導体レーザ素子 1 4 を実現できる。

40

【 0 0 4 8 】

[1 - 2 . 半導体レーザ素子の製造方法]

次に、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の製造方法について説明する。本実施の形

50

態では、半導体レーザ素子の一例として上述した半導体レーザ素子の製造方法の各工程について説明する。

【0049】

[1 - 2 - 1 . 半導体層形成工程]

本実施の形態に係る半導体層形成工程について図面を用いて説明する。図5は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の半導体層形成工程の概要を示す基板20の模式的な断面図である。

【0050】

図5に示されるように、まず、第1の面P1及び第2の面P2を有する基板20を用意し、基板20の第1の面P1に、活性層40を含む半導体層100を形成する。半導体層100を構成する各層は、例えば、有機金属気相成長法(MOCVD)によって積層される。本実施の形態では、半導体層100として、基板20側から順に、n型層を含む第1半導体層30、活性層40、及び、p型層を含む第2半導体層50が形成される。

10

【0051】

続いて、本実施の形態では、半導体レーザ素子の共振器面近傍の領域にいわゆる窓領域を形成する。以下、窓領域の形成方法について、図6A及び図6Bを用いて説明する。図6Aは、本実施の形態に係る基板20及び半導体層100の模式的な断面図である。図6Bは、本実施の形態に係る窓領域80の形成方法を示す基板20及び半導体層100の模式的な断面図である。図6A及び図6Bには、基板20及び半導体層100の第1の方向に沿った断面が示されている。

20

【0052】

例えば、図6Bに示されるように、第2半導体層50に含まれるp型コンタクト層上にZnを熱拡散させることによって窓領域80を形成してもよい。具体的には、p型コンタクト層の上方に、拡散源となるZnO膜、及びZnが蒸発するのを抑制するSiN膜やSiO膜を順次形成し、熱処理によりZnを半導体レーザ素子の共振器面近傍に拡散させることにより、活性層40のエネルギーバンドギャップを拡大させる。これにより、活性層40における光吸収が抑制される窓領域80を形成できる。このような窓領域80を形成することで、半導体レーザ素子14の共振器面近傍における劣化を抑制できる。

【0053】

[1 - 2 - 2 . 導波路形成工程]

次に、導波路形成工程について図面を用いて説明する。図7は、本実施の形態に係る導波路形成工程の概要を示す基板20の模式的な断面図である。

30

【0054】

図7に示されるように、基板20に形成された第2半導体層50に複数対の溝TRを図7の紙面に垂直な方向に形成することにより、一对の溝TRの間に形成されたリッジを用いた導波路WGを形成する。このように、半導体層100には、第1の方向に延びる複数の導波路WGが形成される。導波路WGの幅は、例えば、3µm程度である。

【0055】

導波路WGの形成方法は、特に限定されない。本実施の形態では、リッジを形成するために、フォトリソグラフィ技術を用いてSiO₂などでマスクを形成する。続いて、ドライエッチングなどの非選択的エッチングにより溝TRの形成、つまり、リッジの形成を行う。このとき、ドライエッチングは、p型コンタクト層、p型中間層、p型第3クラッド層、p型第2クラッド層に対して行い、p型第2クラッド層は完全に除去せずに途中まで除去する。

40

【0056】

次に、SiO₂などの保護膜をリッジが形成された半導体層100の上面全体に形成する。

【0057】

次に、ドライエッチングにより、溝TRの底部のみSiO₂保護膜を除去する。このとき、リッジ側壁とリッジ上部は保護膜によって覆われている。

50

【 0 0 5 8 】

続いて、ウェットエッチングなどの選択的エッチングにより、p型第2クラッド層を完全に除去する。これにより、溝TRの底部にはp型第1クラッド層が露出することになる。以上のように、半導体層100に導波路WGを形成することができる。

【 0 0 5 9 】

ここで、本実施の形態で採用し得る上記ドライエッチング技術は、異方性のプラズマエッチングであればよい。ドライエッチングとして、例えば、誘導結合型プラズマ（以下ICP）又は電子・サイクロトロン・レゾナンス（以下ECR）プラズマを用いた方法などが挙げられる。

【 0 0 6 0 】

また、エッチングガスとしては、SiCl₄とArとの混合ガスなどが用いられるが、SiCl₄の代わりに、塩素ガス、三塩化ホウ素ガスなどを用いてもよい。

【 0 0 6 1 】

本実施の形態では、ドライエッチング技術はICP法で、エッチングガスとしてSiCl₄とArとの混合ガスを用いている。エッチング条件として、混合ガス中のSiCl₄の体積含有率は5～12%、半導体基板を設置する下部電極の温度は150～200、チャンパー内圧力は0.1Pa～1Pa、下部電極のバイアスパワーは50W～150W、ICPパワーは200W～300Wとすることができるが、これに限るものではなく、適宜選定すればよい。

【 0 0 6 2 】

[1 - 2 - 3 . 第1の保護膜形成工程]

次に、第1の保護膜形成工程について図8を用いて説明する。

【 0 0 6 3 】

図8は、本実施の形態に係る第1の保護膜形成工程の概要を示す基板20の模式的な断面図である。図8は、図7に示される破線枠VIIの内部における第1の保護膜形成工程を示す拡大図である。図8に示されるように、第1の保護膜131は、リッジの上部の一部以外の半導体層100に形成される。第1の保護膜131が形成されないリッジの上部の一部は後に形成されるp側下部電極と接続される領域となる。

【 0 0 6 4 】

第1の保護膜131の形成方法は、特に限定されない。本実施の形態では、リッジの上部の一部及び側面、溝TR、両脇の平坦部に、SiNからなる第1の保護膜131を約180nm成膜する。

【 0 0 6 5 】

[1 - 2 - 4 . 電極形成工程]

次に、電極形成工程について説明する。本工程で形成される電極は、本実施の形態に係る製造方法によって製造される半導体レーザ素子に電力を供給するためのp側電極、n側電極などである。

【 0 0 6 6 】

p側下部電極151は、リッジの上部、及び溝TRを含む半導体層100の上部に形成される。また、p側下部電極151の上にp側上部電極152が形成される。p側下部電極151は、リッジ上に設けられた第1の保護膜131の開口部を介して第2半導体層50と接続される。

【 0 0 6 7 】

p側下部電極151及びp側上部電極152の構成及び形成方法は、特に限定されない。本実施の形態では、フォトリソグラフィによりレジストでマスクし、ウェットエッチングによる前処理の後、蒸着法にてTi膜、Pt膜、及び、Au膜を順次成膜する。

【 0 0 6 8 】

次に、フォトリソグラフィによりp側上部電極152用のパターンをレジストマスクで形成し、電界めっき法により2.0μm以上5.0μm以下の膜厚のAu膜を成膜する。次にリフトオフ法によりレジストを除去することによって、パターンニングされたp側上

10

20

30

40

50

部電極 152 を形成する。

【0069】

次に、基板 20 の第 2 の面 P2 から p 側上部電極 152 までの厚みが約 100 μm になるまで基板 20 を研磨する（研磨工程は不図示）。続いて、フォトリソグラフィにより第 2 の面 P2 にレジストマスクを形成し、ウェットエッチングによる前処理の後、蒸着法にて、AuGe 膜、Ni 膜、Au 膜、Ti 膜、Pt 膜、Ti 膜、Pt 膜、及び、Au 膜を順次成膜する。続いてリフトオフ法によりレジストを除去することによってパターンニングされた n 側電極 160 を形成する。

【0070】

以上の工程により、半導体層 100 積層された基板 20 が形成される。

10

【0071】

[1 - 2 - 5 . 劈開工程]

次に、劈開工程について図面を用いて説明する。本工程では、上述した工程によって形成された半導体層 100 が積層された基板 20 を、半導体レーザ素子の共振器面に相当する面で劈開する。つまり、図 3 に示されるように、窓領域 80 が共振器面に配置されるように、基板 20 を劈開する。本実施の形態では、半導体レーザ素子 14 の共振器長が 300 μm 以下となるように劈開する。これにより、半導体層 100 が形成されたバー状の基板を形成できる。

【0072】

[1 - 2 - 6 . 第 2 の保護膜形成工程]

次に、第 2 の保護膜形成工程について説明する。本工程では、上記劈開工程において形成した劈開端面 121 に、ECR 化学気相蒸着法などで、第 2 の保護膜を形成する。なお第 2 の保護膜 132 F 及び 132 R の構成及び形成方法は、特に限定されない。

20

【0073】

第 2 の保護膜における光の反射率は、フロント側の第 2 の保護膜 132 F で 30% 程度、リア側の第 2 の保護膜で 90% 以上である。さらに、上記工程で形成されたバー状の基板をチップ状に分割することで、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 を形成できる。

【0074】

[1 - 3 . 半導体レーザ素子の作用及び効果]

次に、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 の作用及び効果について説明する。

30

【0075】

AlGaInP 系及び AlGaAs 系の半導体の屈折率及びエネルギーバンドギャップについて図 9 及び図 10 を用いて説明する。図 9 は、 $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 系及び $Al_xGa_{1-x}As$ 系の半導体の屈折率と Al 組成 x との関係を示すグラフである。図 10 は、 $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 系及び $Al_xGa_{1-x}As$ 系の半導体のエネルギーバンドギャップと Al 組成 x との関係を示すグラフである。図 9 及び図 10 に示されるように、AlGaInP 系及び AlGaAs 系のいずれの半導体においても、屈折率が増大するほど、エネルギーバンドギャップが減少することがわかる。したがって、クラッド層及び障壁層を共に AlGaInP 系で形成した場合や、クラッド層及び障壁層を共に AlGaAs 系で形成した場合には、障壁層のエネルギーバンドギャップをクラッド層のエネルギーバンドギャップより大きくすると、いずれの場合にも、障壁層の屈折率がクラッド層の屈折率より小さくなる。一方、障壁層を $Al_{x_2}Ga_{1-x_2}As$ で形成し、クラッド層を $(Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{0.5}In_{0.5}P$ で形成することで、障壁層のエネルギーバンドギャップを、クラッド層のエネルギーバンドギャップより大きく、かつ、障壁層の屈折率を、n 型クラッド層の屈折率より大きくできる場合があることがわかる。

40

【0076】

本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、AlGaInP 系及び AlGaAs 系の半導体層を含む。本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 のエネルギーバンド構造及び屈折率分布について、図 11 を用いて説明する。図 11 は、本実施の形態に係る半導体レーザ

50

素子 14 のエネルギーバンド構造（バンドダイアグラム）及び屈折率分布を示す図である。
【0077】

本実施の形態の半導体レーザ素子 14 の構造とすることで、障壁層 41、43 及び 45 のエネルギーバンドギャップを、n 型クラッド層 32 のエネルギーバンドギャップより大きく、かつ、障壁層 41、43 及び 45 の屈折率を、n 型クラッド層 32 の屈折率より大きくすることが可能となる。このとき、n 型クラッド層 32 は $A_{1-x_1-y_1}In_{y_1}As_{1-z_1}P_{z_1}$ を含み、障壁層 41、43 及び 45 は $A_{1-x_2}Ga_{1-x_2-y_2}In_{y_2}As_{1-z_2}P_{z_2}$ を含み、 $z_1 > z_2$ である。また、 $z_1 = 1$ 、 $z_2 = 0$ であってもよいし、 $z_1 = 1$ 、 $z_2 = 0$ であり、かつ、 $x_1 < x_2$ であってもよい。

【0078】

本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 の層構造によれば、 $A_{1-x}GaAs$ を含む障壁層 41、43 及び 45 のエネルギーバンドギャップ（2.042 eV）は、n 型クラッド層 32 のエネルギーバンドギャップ（1.970 eV）より大きい。また、n 型クラッド層 32 の伝導帯の位置が、障壁層 41、43 及び 45 の伝導帯の位置より低い。したがって、半導体レーザ素子 14 の伝導帯のエネルギーは、障壁層 41、43 及び 45 で最も高くなり、n 型クラッド層 32、チップ状基板 24 の順に低くなる。このようなバンド構造により、チップ状基板 24 から注入された電子は、最小の電圧で活性層 40 に到達することが可能となる。したがって、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 によれば、動作電圧を低減できる。また、図 11 に示されるように、障壁層 41、43 及び 45 の屈折率（3.211）は、n 型クラッド層 32 の屈折率（3.208）より大きい。これにより、井戸層 42 及び 44 で生成した光を効率よく活性層 40 に閉じ込めることが可能となるため、発光効率を高めることができる。

【0079】

また、本実施の形態では、チップ状基板 24 は、 $GaAs$ を含む。このため、 $A_{1-x_1-y_1}In_{y_1}As_{1-z_1}P_{z_1}$ を含む n 型クラッド層 32 のエネルギーバンドギャップは、チップ状基板 24 のエネルギーバンドギャップより大きい。これにより、チップ状基板 24 の伝導帯のエネルギーを低減できるため、チップ状基板 24 と n 型クラッド層 32 と間のヘテロ障壁を抑制できる。したがって、より確実に半導体レーザ素子 14 の動作電圧を低減できる。

【0080】

また、本実施の形態では、p 型クラッド層（p 型第 1 クラッド層 52、p 型第 2 クラッド層 53 及び p 型第 3 クラッド層 54）のエネルギーバンドギャップは、障壁層のエネルギーバンドギャップより大きい。これにより、活性層 40 からの p 型クラッド層への電子の漏れを抑制できるため、活性層 40 への電子の閉じ込め効果を高めることができる。したがって、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 では、高温動作時においても高い発光効率を得られる。

【0081】

また、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 は、n 型クラッド層 32 と活性層 40 との間に配置され、n 型クラッド層 32 より屈折率が大きい n 側光ガイド層 33 を備える。これにより、活性層 40 への光閉じ込め効果を高めることができる。

【0082】

以上のように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子 14 によれば、低動作電圧と、高い光閉じ込め効果とを両立できる。

【0083】

[1-4 . 変形例 1]

次に、実施の形態 1 の変形例 1 に係る半導体レーザ素子について説明する。本変形例に係る半導体レーザ素子は、正孔障壁層及び電子障壁層を備える点において、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 14 と相違し、その他の点において一致する。以下、本変形例に係る半導体レーザ素子について、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 14 との相違点を中心に図 12 を用いて説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 4 】

図 1 2 は、本変形例に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。本変形例に係る半導体レーザ素子は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 に加えて、さらに、正孔障壁層 9 1 及び電子障壁層 9 2 を備える。

【 0 0 8 5 】

本変形例に係る半導体レーザ素子は、n 型クラッド層 3 2 と活性層 4 0 との間に配置され、n 型クラッド層 3 2 よりエネルギーバンドギャップが大きい正孔障壁層 9 1 を備える。図 1 2 に示される例では、半導体レーザ素子は、n 側光ガイド層 3 3 と活性層 4 0 との間に正孔障壁層 9 1 を備える。正孔障壁層 9 1 は、膜厚 0 . 0 5 μm の n - (A l 0 . 4 G a 0 . 6) 0 . 5 I n 0 . 5 P を含む。正孔障壁層 9 1 は、第 1 半導体層 3 0 に含まれる。正孔障壁層 9 1 は A l 0 . 5 9 G a 0 . 4 1 A s からなる障壁層 4 1、4 3 及び 4 5 よりエネルギーバンドギャップが大きく、かつ、積層方向に閉じ込められる光分布に影響を与えない程度の膜厚を有する。正孔障壁層 9 1 の膜厚は、例えば 0 . 1 μm 以下であり、n 側光ガイド層 3 3 より薄くてもよい。

10

【 0 0 8 6 】

このように、n 側光ガイド層 3 3 と活性層 4 0 との間にエネルギーバンドギャップの大きい正孔障壁層 9 1 を設けることで、活性層 4 0 から n 側光ガイド層 3 3 への正孔の漏れを抑制し、活性層 4 0 への正孔閉じ込め効果を高めることができる。その結果、高温動作時においても高い発光効率を得ることができる。

【 0 0 8 7 】

本変形例に係る半導体レーザ素子は、p 型クラッド層と活性層 4 0 との間に配置され、p 型クラッド層よりエネルギーバンドギャップが大きい電子障壁層 9 2 を備える。図 1 2 に示される例では、半導体レーザ素子は、p 側光ガイド層 5 1 と活性層 4 0 との間に電子障壁層 9 2 を備える。電子障壁層 9 2 は、膜厚 0 . 0 5 μm の p - (A l 0 . 6 G a 0 . 4) 0 . 5 I n 0 . 5 P を含む。電子障壁層 9 2 は、第 2 半導体層 5 0 に含まれる。電子障壁層 9 2 は A l 0 . 5 9 G a 0 . 4 1 A s からなる障壁層 4 1、4 3 及び 4 5 よりエネルギーバンドギャップが大きく、かつ、積層方向に閉じ込められる光分布に影響を与えない程度の膜厚を有する。電子障壁層 9 2 の膜厚は、例えば 0 . 1 μm 以下であり、p 側光ガイド層 5 1 より薄くてもよい。

20

【 0 0 8 8 】

このように、p 側光ガイド層 5 1 と活性層 4 0 との間にエネルギーバンドギャップの大きい電子障壁層 9 2 を設けることで、活性層 4 0 から p 側光ガイド層 5 1 への電子の漏れを抑制し、活性層 4 0 へのキャリア閉じ込め効果を高めることができる。その結果、高温動作時においても高い発光効率を得ることができる。

30

【 0 0 8 9 】

なお、本変形例に係る半導体レーザ素子において、p 型クラッド層、電子障壁層 9 2、p 側光ガイド層 5 1 及び n 側光ガイド層 3 3 は、A l G a A s を含んでもよい。

【 0 0 9 0 】

[1 - 5 . 変形例 2]

次に、実施の形態 1 の変形例 2 に係る半導体レーザ素子について説明する。本変形例に係る半導体レーザ素子は、正孔障壁層の配置において、実施の形態 1 の変形例 1 に係る半導体レーザ素子と相違し、その他の点において一致する。以下、本変形例に係る半導体レーザ素子について、実施の形態 1 の変形例 1 に係る半導体レーザ素子との相違点を中心に図 1 3 を用いて説明する。

40

【 0 0 9 1 】

図 1 3 は、本変形例に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。図 1 3 に示されるように、本変形例に係る半導体レーザ素子においては、正孔障壁層 9 1 は、n 型クラッド層 3 2 と n 側光ガイド層 3 3 との間に配置される。

【 0 0 9 2 】

本変形例に係る正孔障壁層 9 1 は、n 型クラッド層 3 2 よりエネルギーバンドギャップ

50

が大きく、かつ、電子が容易にトンネルできる程度の膜厚を有してもよい。正孔障壁層 91 の膜厚は、例えば、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下であり、 n 側光ガイド層 33 より薄くてもよい。

【0093】

このように、 n 型クラッド層 32 と n 側光ガイド層 33 との間にエネルギーバンドギャップの大きい正孔障壁層 91 を設けることで、 n 側光ガイド層 33 から n 型クラッド層 32 への正孔の漏れを抑制し、活性層 40 への正孔の閉じ込め効果を高めることができる。

【0094】

変形例 1、2 に係る半導体レーザ素子において、正孔障壁層が AlGaAs を含んでもよいが、変形例 1、2 のように、正孔障壁層が AlGaInP からなることによって、荷電子帯の障壁を高くし、伝導帯の障壁を低くすることができる。これにより、活性層 40 への正孔の閉じ込め効果をより高めると同時に、活性層 40 への電子の注入を容易にすることができる。

10

【0095】

なお、変形例 1、2 に係る半導体レーザ素子において、 p 型クラッド層、電子障壁層 92、 p 側光ガイド層 51 及び n 側光ガイド層 33 は、 AlGaAs を含んでもよい。

【0096】

(実施の形態 2)

実施の形態 2 に係る半導体レーザ素子について説明する。本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、主に活性層の構成において、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 14 と相違する。以下、本実施の形態に係る半導体レーザ素子について、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 14 との相違点を中心に図 14 及び図 15 を用いて説明する。

20

【0097】

図 14 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。図 15 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。図 15 に示されるように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 14 と同様に、チップ状基板 224 と、第 1 半導体層 230 と、活性層 240 と、第 2 半導体層 250 とを備える。第 1 半導体層 230 は、 n 型バッファ層 231 と、 n 型クラッド層 232 と、 n 側光ガイド層 233 とを有する。活性層 240 は、井戸層 242 及び 244 と、障壁層 241、243 及び 245 とを有する。第 2 半導体層 250 は、 p 側光ガイド層 251 と、 p 型第 1 クラッド層 252 と、 p 型第 2 クラッド層 253 と、 p 型第 3 クラッド層 254 と、 p 型中間層 255 と、 p 型コンタクト層 256 とを有する。

30

【0098】

また本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、障壁層 241、井戸層 242 及び 244、並びに、 n 型クラッド層 232 の構成において、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子と相違する。

【0099】

本実施の形態に係る障壁層 241 は、膜厚 $0.024 \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 層である。井戸層 242 及び 244 は、膜厚 $0.0055 \mu\text{m}$ の $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{As}$ 層である。 n 型クラッド層 232 は、膜厚 $4.7 \mu\text{m}$ の $n - (\text{Al}_{0.17}\text{Ga}_{0.83})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。

40

【0100】

本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、このような活性層 240 を備えることにより、発振波長 830nm 以上 860nm 以下での TE モード発振を実現できる。

【0101】

また、本実施の形態に係る半導体レーザ素子においても、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 14 と同様に、障壁層 241、243 及び 245 のエネルギーバンドギャップ (2.042eV) は、 n 型クラッド層 232 のエネルギーバンドギャップ (1.976eV) より大きく、障壁層 241、243 及び 245 の屈折率 (3.211) は、 n 型クラッド層 232 の屈折率 (3.204) より大きい。このため、本実施の形態に係る半導体

50

レーザ素子は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 と同様の効果を奏することができる。

【0102】

(実施の形態 3)

実施の形態 3 に係る半導体レーザ素子について説明する。本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、主に活性層の構成において、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 と相違する。本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、TMモード発振を実現できる。以下、本実施の形態に係る半導体レーザ素子について、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 との相違点を中心に図 1 6 及び図 1 7 を用いて説明する。

【0103】

図 1 6 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。図 1 7 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。図 1 7 に示されるように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 と同様に、チップ状基板 3 2 4 と、第 1 半導体層 3 3 0 と、活性層 3 4 0 と、第 2 半導体層 3 5 0 とを備える。第 1 半導体層 3 3 0 は、n 型バッファ層 3 3 1 と、n 型クラッド層 3 3 2 と、n 側光ガイド層 3 3 3 とを有する。活性層 3 4 0 は、井戸層 3 4 2、3 4 4 及び 3 4 6 と、障壁層 3 4 1、3 4 3、3 4 5 及び 3 4 7 とを有する。第 2 半導体層 3 5 0 は、p 側光ガイド層 3 5 1 と、p 型第 1 クラッド層 3 5 2 と、p 型第 2 クラッド層 3 5 3 と、p 型第 3 クラッド層 3 5 4 と、p 型中間層 3 5 5 と、p 型コンタクト層 3 5 6 とを有する。

【0104】

以上のように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、障壁層 3 4 1、3 4 3、3 4 5 及び 3 4 7 及び井戸層 3 4 2、3 4 4 及び 3 4 6 の構成と、n 型クラッド層 3 3 2 及び p 型第 1 クラッド層 3 5 2 の構成において実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 と相違する。

【0105】

本実施の形態に係る活性層 3 4 0 においては、障壁層 3 4 1、3 4 3、3 4 5 及び 3 4 7 及び井戸層 3 4 2、3 4 4 及び 3 4 6 の層数が、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 より多い。また、各井戸層を形成する材料が、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 と相違する。本実施の形態に係る障壁層 3 4 1 は、膜厚 $0.04 \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 層である。障壁層 3 4 3 は、膜厚 $0.008 \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 層である。障壁層 3 4 3 及び障壁層 3 4 5 は、膜厚 $0.008 \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 層である。障壁層 3 4 7 は、膜厚 $0.021 \mu\text{m}$ の $\text{Al}_{0.59}\text{Ga}_{0.41}\text{As}$ 層である。井戸層 3 4 2、3 4 4 及び 3 4 6 は、膜厚 $0.0065 \mu\text{m}$ の $\text{GaAs}_{0.84}\text{P}_{0.16}$ 層である。

【0106】

n 型クラッド層 3 3 2 は、膜厚 $4.7 \mu\text{m}$ の $n - (\text{Al}_{0.19}\text{Ga}_{0.81})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。p 型第 1 クラッド層 3 5 2 は、膜厚 $0.16 \mu\text{m}$ の $n - (\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。

【0107】

本実施の形態に係る半導体レーザ素子においても、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 と同様に、障壁層 3 4 1、3 4 3、3 4 5 及び 3 4 7 のエネルギーバンドギャップ (2.042 eV) は、n 型クラッド層 3 3 2 のエネルギーバンドギャップ (1.986 eV) より大きく、障壁層 3 4 1、3 4 3、3 4 5 及び 3 4 7 の屈折率 (3.211) は、n 型クラッド層 3 3 2 の屈折率 (3.198) より大きい。このため、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 と同様の効果を奏することができる。

【0108】

(実施の形態 4)

実施の形態 4 に係る半導体レーザ素子について説明する。本実施の形態に係る半導体レ

10

20

30

40

50

ーザ素子は、グレーディッドバッファ層及びグレーディッド中間層を有する点において、実施の形態1に係る半導体レーザ素子14と相違する。以下、本実施の形態に係る半導体レーザ素子について、実施の形態1に係る半導体レーザ素子14との相違点を中心に図18及び図19を用いて説明する。

【0109】

また、本実施の形態4では、共振器長は、 $260\ \mu\text{m}$ である。ここで、半導体レーザ素子14の共振器長を $260\ \mu\text{m}$ とすることで、導波路WGの窓領域80以外の領域の割合を低減できるため、飽和光出力を低減できる。したがって、半導体レーザ素子14における端面破壊を抑制できる。

【0110】

図18は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。図19は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。図19に示されるように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、実施の形態1に係る半導体レーザ素子14と同様に、チップ状基板424と、第1半導体層430と、活性層440と、第2半導体層450とを備える。第1半導体層430は、n型バッファ層431と、グレーディッドバッファ層434と、n型クラッド層432と、n側光ガイド層433とを有する。活性層440は、井戸層442及び444と、障壁層441、443及び445とを有する。第2半導体層450は、p側光ガイド層451と、p型第1クラッド層452と、p型第2クラッド層453と、p型第3クラッド層454と、p型中間層455と、グレーディッド中間層457と、p型コンタクト層456とを有する。

【0111】

本実施の形態に係るグレーディッドバッファ層434は、膜厚 $0.075\ \mu\text{m}$ の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層であり、Al組成が積層方向において徐々に変化する。具体的には、n型バッファ層431との境界面からn型クラッド層432との境界面にかけて、 $x=0.05$ から $x=0.35$ までグレーディッドバッファ層434のAl組成が徐々に変化する。これにより、チップ状基板424とn型クラッド層432との間に生じるスパイク状のヘテロ障壁を平滑化できる。したがって、半導体レーザ素子の動作電圧を低減できる。

【0112】

また、本実施の形態に係るグレーディッド中間層457は、膜厚 $0.05\ \mu\text{m}$ の $\text{p-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 層であり、Al組成が積層方向において徐々に変化する。具体的には、p型中間層455との境界面からp型コンタクト層456との境界面にかけて、 $x=0.55$ から $x=0.05$ までグレーディッド中間層457のAl組成が徐々に変化する。これにより、p型中間層455とp型コンタクト層456との間に生じるスパイク状のヘテロ障壁を平滑化できる。したがって、半導体レーザ素子の動作電圧を低減できる。

【0113】

本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、n側光ガイド層433及びp側光ガイド層451の構成においても、実施の形態1に係る半導体レーザ素子と相違する。本実施の形態に係るn側光ガイド層433は、膜厚 $0.09\ \mu\text{m}$ の $(\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ である。なお、n側光ガイド層433のAl組成は、積層方向において徐々に変化してもよい。例えば、n側光ガイド層433は、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層であって、n型クラッド層432との境界面から活性層440との境界面にかけて、 $x=0.18$ から $x=0.02$ までAl組成が徐々に変化してもよい。

【0114】

本実施の形態に係るp側光ガイド層451は、膜厚 $0.07\ \mu\text{m}$ の $(\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層である。なお、p側光ガイド層451のAl組成は、積層方向において徐々に変化してもよい。例えば、p側光ガイド層451は、 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層であって、活性層440との境界面からp型第1クラッド層452との境界面にかけて、 $x=0.02$ から $x=0.30$ までAl組成が徐々に変化してもよい。

【0115】

10

20

30

40

50

本実施の形態に係る半導体レーザ素子においても、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 と同様に、障壁層 4 4 1、4 4 3 及び 4 4 5 のエネルギーバンドギャップ (2 . 0 4 2 e V) は、n 型クラッド層 4 3 2 のエネルギーバンドギャップ (1 . 9 8 1 e V) より大きく、障壁層 4 4 1、4 4 3 及び 4 4 5 の屈折率 (3 . 2 1 1) は、n 型クラッド層 4 3 2 の屈折率 (3 . 2 0 1) より大きい。このため、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、実施の形態 1 に係る半導体レーザ素子 1 4 と同様の効果を奏することができる。

【 0 1 1 6 】

(実施の形態 5)

実施の形態 5 に係る半導体レーザ素子について説明する。本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、主に導波路形状と活性層の構成とにおいて、実施の形態 4 に係る半導体レーザ素子と相違する。本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、発振波長 9 8 0 n m を実現する。以下、本実施の形態に係る半導体レーザ素子について、実施の形態 4 に係る半導体レーザ素子との相違点を中心に説明する。

【 0 1 1 7 】

まず、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の導波路形状について図 2 0 を用いて説明する。図 2 0 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の導波路形状を示す上面図である。図 2 0 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の p 側上部電極側から見た導波路 W G を示す。なお、本実施の形態では、共振器長は、2 5 0 0 μ m である。

【 0 1 1 8 】

図 2 0 に示されるように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の導波路 W G は、フロント側 (出射側) からリア側に向かって、第一の領域 R 1 から第五の領域 R 5 により構成される。まず、第一の領域 R 1 は、長さ (つまり、共振方向における長さ) が 1 0 0 0 μ m であって、導波路幅 (つまり、共振方向と垂直であって、チップ状基板 5 2 4 の主面に平行な方向の寸法) は 4 . 5 μ m で一定である。第二の領域 R 2 は、長さが 3 2 0 μ m で、導波路幅は第一の領域 R 1 側から第三の領域 R 3 側に向かって (つまり、フロント側からリア側に向かって) 4 . 5 μ m から 2 . 0 μ m に連続的に狭くなる。第三の領域 R 3 は、長さが 8 0 0 μ m で、導波路幅は 2 . 0 μ m で一定である。第四の領域 R 4 は、長さが 3 2 0 μ m で、導波路幅は第三の領域 R 3 側から第五の領域 R 5 側に向かって (つまり、フロント側からリア側に向かって) 2 . 0 μ m から 4 . 5 μ m に連続的に広がる。第五の領域 R 5 は、長さが 6 0 μ m で、導波路幅は 4 . 5 μ m で一定である。

【 0 1 1 9 】

このように導波路 W G のフロント側の導波路幅を広くすることで、電流注入量を増やすことができるため、高い光出力を得ることができる。さらに、フロント側とリア側との間に、横高次モード光をカットオフできる導波路幅の領域 (第三の領域 R 3) を設けることでシングルモード動作が可能となる。さらに導波路幅 4 . 5 μ m の領域と導波路幅 2 . 0 μ m の領域とを、3 2 0 μ m の長さの導波路幅が連続的に変化する領域によって接続することで、導波路幅が変化することによるレーザ光の伝播損失を低減することが可能となる。

【 0 1 2 0 】

従って、高出力動作可能な、シングルモード半導体レーザ素子を得ることができる。

【 0 1 2 1 】

次に、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の活性層の構成について、図 2 1 及び図 2 2 を用いて説明する。図 2 1 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。図 2 2 は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。図 2 2 に示されるように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、実施の形態 4 に係る半導体レーザ素子と同様に、チップ状基板 5 2 4 と、第 1 半導体層 5 3 0 と、活性層 5 4 0 と、第 2 半導体層 5 5 0 とを備える。第 1 半導体層 5 3 0 は、n 型バッファ層 5 3 1 と、グレーディッドバッファ層 5 3 4 と、n 型クラッド層 5 3 2 と、n 側光ガイド層 5 3 3 とを有する。活性層 5 4 0 は、井戸層 5 4 2 及び 5 4 4 と、障壁層 5 4 1、5 4 3 及び 5 4 5 とを有する。第 2 半導体層 5 5 0 は、p 側光ガイド層 5 5 1 と、p 型第 1 クラッド層 5 5 2 と、p 型第 2 クラッド層 5 5 3 と、p 型第 3 クラッド層

10

20

30

40

50

554と、p型中間層555と、グレーディッド中間層557と、p型コンタクト層556とを有する。

【0122】

また本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、活性層540、n側光ガイド層533、p側光ガイド層551及びp型第1クラッド層552の構成において、実施の形態4に係る半導体レーザ素子と相違する。

【0123】

本実施の形態に係る活性層540の井戸層542及び544は、膜厚0.008 μ mのIn_{0.17}Ga_{0.83}As層である。障壁層541は、膜厚0.03 μ mのAl_{0.59}Ga_{0.41}As層である。障壁層543は、膜厚0.007 μ mのAl_{0.59}Ga_{0.41}As層である。障壁層545は、膜厚0.021 μ mのAl_{0.59}Ga_{0.41}As層である。本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、このような活性層540を備えることにより、発振波長980nmを実現できる。

10

【0124】

本実施の形態に係るn側光ガイド層533は、膜厚0.085 μ mの(A_{10.04}Ga_{0.96})_{0.5}In_{0.5}P層である。なお、n側光ガイド層533のAl組成は、実施の形態4に係るn側光ガイド層433と同様に積層方向において徐々に変化してもよい。

【0125】

本実施の形態に係るp側光ガイド層551は、膜厚0.13 μ mの(A_{10.04}Ga_{0.96})_{0.5}In_{0.5}P層である。なお、p側光ガイド層451のAl組成は、実施の形態4に係るp側光ガイド層451と同様に積層方向において徐々に変化してもよい。

20

【0126】

本実施の形態に係るp型第1クラッド層552は、膜厚0.20 μ mのp-(A_{10.30}Ga_{0.70})_{0.5}In_{0.5}P層である。

【0127】

本実施の形態に係る半導体レーザ素子においても、実施の形態4に係る半導体レーザ素子と同様に、障壁層541、543及び545のエネルギーバンドギャップ(2.042eV)は、n型クラッド層532のエネルギーバンドギャップ(1.973eV)より大きく、障壁層541、543及び545の屈折率(3.211)は、n型クラッド層532の屈折率(3.206)より大きい。このため、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、実施の形態4に係る半導体レーザ素子と同様の効果を奏することができる。

30

【0128】

(実施の形態6)

実施の形態6に係る半導体レーザ素子について説明する。本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、p型第1クラッド層、p側光ガイド層、障壁層、n側光ガイド層及びn型クラッド層の構成において、実施の形態4に係る半導体レーザ素子と相違し、その他の構成において一致する。以下、本実施の形態に係る半導体レーザ素子について、実施の形態4に係る半導体レーザ素子との相違点を中心に図23及び図24を用いて説明する。

【0129】

図23は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子の層構造を示す表である。図24は、本実施の形態に係る半導体レーザ素子のエネルギーバンド構造及び屈折率分布を示す図である。図24に示されるように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、実施の形態4に係る半導体レーザ素子と同様に、チップ状基板624と、第1半導体層630と、活性層640と、第2半導体層650とを備える。第1半導体層630は、n型バッファ層631と、グレーディッドバッファ層634と、n型クラッド層632と、n側光ガイド層633とを有する。活性層640は、井戸層642及び644と、障壁層641、643及び645とを有する。第2半導体層650は、p側光ガイド層651と、p型第1クラッド層652と、p型第2クラッド層653と、p型第3クラッド層654と、p型中間層655と、グレーディッド中間層657と、p型コンタクト層656とを有する。

40

【0130】

50

図 2 3 に示されるように、本実施の形態に係る p 型第 1 クラッド層 6 5 2 は、 $p - (Al_{0.29}Ga_{0.71})_{0.5}In_{0.5}P$ 層であり、実施の形態 4 に係る p 型第 1 クラッド層 4 5 2 より、Al 組成が低い。これにより、p 型第 1 クラッド層 6 5 2 の屈折率を実施の形態 4 に係る p 型第 1 クラッド層 4 5 2 の屈折率より高くすることができるため、活性層 6 4 0 への光閉じ込め効果を高めることができる。p 型第 1 クラッド層 6 5 2 の Al 組成は、例えば、p 型第 2 クラッド層 6 5 3 及び p 型第 3 クラッド層 6 5 4 の Al 組成より低くてもよい。これにより、上記光閉じ込め効果が奏される。

【0131】

本実施の形態に係る p 側光ガイド層 6 5 1 の膜厚は、 $0.13 \mu m$ であり、実施の形態 4 に係る p 側光ガイド層 4 5 1 の膜厚より大きい。これにより、光分布の積層方向における中央部を活性層 6 4 0 に近づけることができるため、活性層 6 4 0 への光閉じ込め効果をさらに高めることができる。

【0132】

本実施の形態に係る活性層 6 4 0 の障壁層のうち、最も第 1 半導体層 6 3 0 に近い障壁層 6 4 1 の膜厚は、 $0.02 \mu m$ であり、実施の形態 4 に係る障壁層 4 4 1 の膜厚より小さい。また、本実施の形態に係る n 側光ガイド層 6 3 3 の膜厚は、 $0.05 \mu m$ であり、実施の形態 4 に係る n 側光ガイド層 4 3 3 の膜厚より小さい。また、本実施の形態に係る n 型クラッド層 6 3 2 の膜厚は、 $3.2 \mu m$ であり、実施の形態 4 に係る n 型クラッド層 4 3 2 の膜厚より小さい。以上のように、活性層 6 4 0 の第 1 半導体層 6 3 0 側の障壁層 6 4 1 及び第 1 半導体層 6 3 0 の各層の膜厚を小さくすることにより、活性層 6 4 0 の積層方向における中央部とチップ状基板 6 2 4 との距離と低減できるため、光分布の裾野部分のうちチップ状基板 6 2 4 に位置する部分を増大させることができる。ここで、チップ状基板 6 2 4 の不純物濃度は、n 型クラッド層 6 3 2 などより高いため、チップ状基板 6 2 4 における光損失は大きい。ここで、この光分布には横基本モード光のほか、横高次モード光が含まれる場合がある。横高次モード光は横基本モード光より実効屈折率が小さいため、光分布はチップ状基板 6 2 4 方向に広がる。したがって、本実施の形態に係る半導体レーザ素子では、実施の形態 4 に係る半導体レーザ素子より、横高次モード光のチップ状基板 6 2 4 における損失が増大するため、横高次モード光を減衰させることができる。これにより、横高次モード光に起因する光出力の不安定性、及び、光放射分布形状の不安定性を抑制できる。

【0133】

また、本実施の形態に係る n 型クラッド層 6 3 2 は、 $n - (Al_{0.155}Ga_{0.845})_{0.5}In_{0.5}P$ 層であり、実施の形態 4 に係る n 型クラッド層 4 3 2 より、Al 組成が低い。これにより、n 型クラッド層 6 3 2 の屈折率を実施の形態 4 に係る n 型クラッド層 4 3 2 の屈折率より高くすることができるため、活性層 6 4 0 への光閉じ込め効果をより一層高めることができる。

【0134】

以上のように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子によれば、実施の形態 4 に係る半導体レーザ素子より、活性層 6 4 0 への光閉じ込め効果が高め、かつ、横高次モード光を低減することができる。

【0135】

(変形例など)

以上、本開示に係る半導体レーザ素子等について、実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、上記の実施の形態に限定されるものではない。

【0136】

例えば、実施の形態に対して当業者が思いつく各種変形を施して得られる形態や、本開示の趣旨を逸脱しない範囲で各実施の形態における構成要素及び機能を任意に組み合わせることで実現される形態も本開示に含まれる。

【0137】

また、上記各実施の形態及びその変形例に係る半導体レーザ素子においては、リッジ構

10

20

30

40

50

造を用いて導波路を形成したが、導波路を形成するための手段は、これに限定されず、埋め込み型構造などを使用してもよい。

【産業上の利用可能性】

【0138】

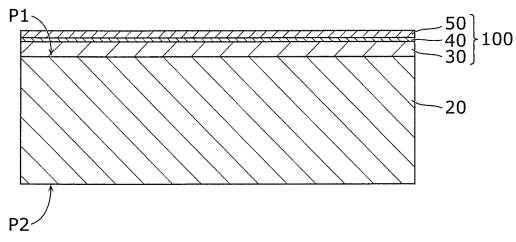
本開示に係る半導体レーザ素子は、消費電力の抑制が求められる各種光源において特に利用可能である。

【符号の説明】

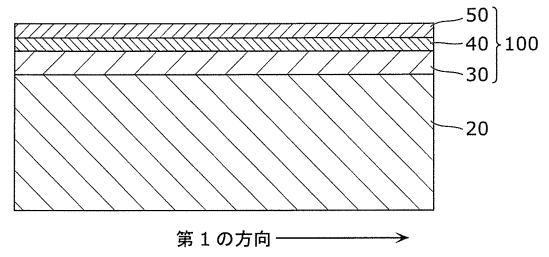
【0139】

14	半導体レーザ素子	
20	基板	10
24、224、324、424、524、624	チップ状基板	
30、230、330、430、530、630	第1半導体層	
31、231、331、431、531、631	n型バッファ層	
32、232、332、432、532、632	n型クラッド層	
33、233、333、433、533、633	n側光ガイド層	
40、240、340、440、540、640	活性層	
41、43、45、241、243、245、341、343、345、347、441、443、445、541、543、545、641、643、645	障壁層	
42、44、242、244、342、344、346、442、444、542、544、642、644	井戸層	20
50、250、350、450、550、650	第2半導体層	
51、251、351、451、551、651	p側光ガイド層	
52、252、352、452、552、652	p型第1クラッド層	
53、253、353、453、553、653	p型第2クラッド層	
54、254、354、454、554、654	p型第3クラッド層	
55、255、355、455、555、655	p型中間層	
56、256、356、456、556、656	p型コンタクト層	
80	窓領域	
91	正孔障壁層	
92	電子障壁層	30
100	半導体層	
121	劈開端面	
131	第1の保護膜	
132 F、132 R	第2の保護膜	
151	p側下部電極	
152	p側上部電極	
160	n側電極	
434、534、634	グレーデッドバッファ層	
457、557、657	グレーデッド中間層	
P1	第1の面	40
P2	第2の面	
R1	第一の領域	
R2	第二の領域	
R3	第三の領域	
R4	第四の領域	
R5	第五の領域	
TR	溝	
WG	導波路	

【図 5】

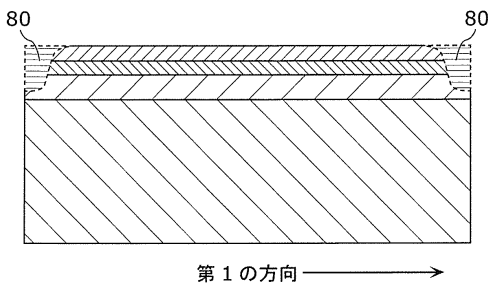


【図 6 A】

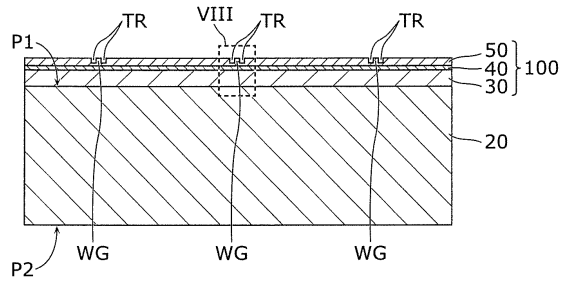


10

【図 6 B】

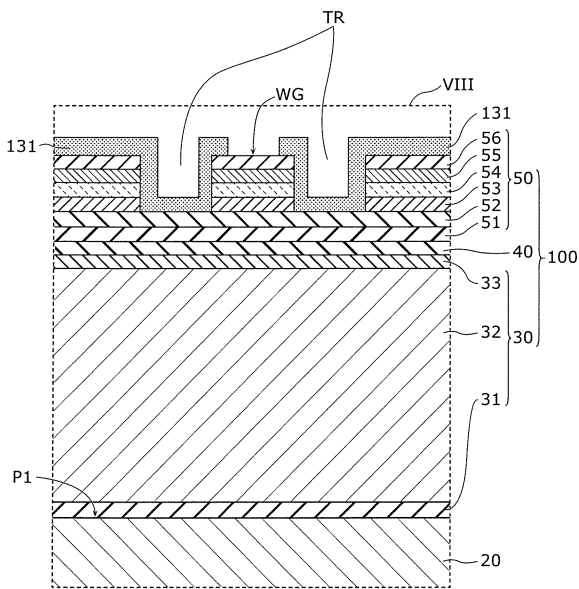


【図 7】

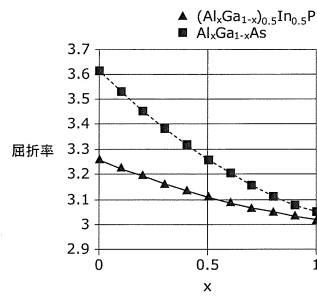


20

【図 8】



【図 9】

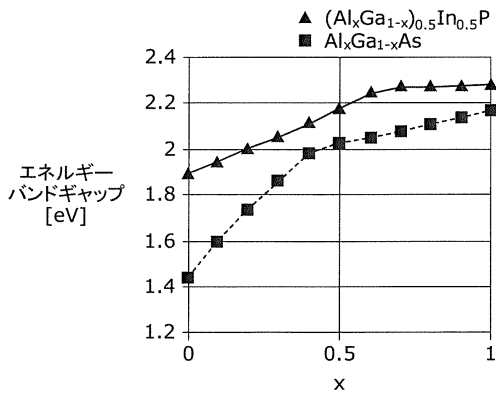


30

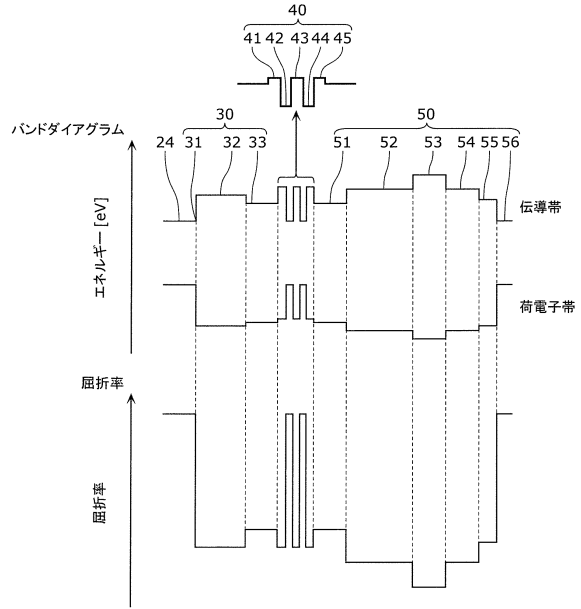
40

50

【図 1 0】



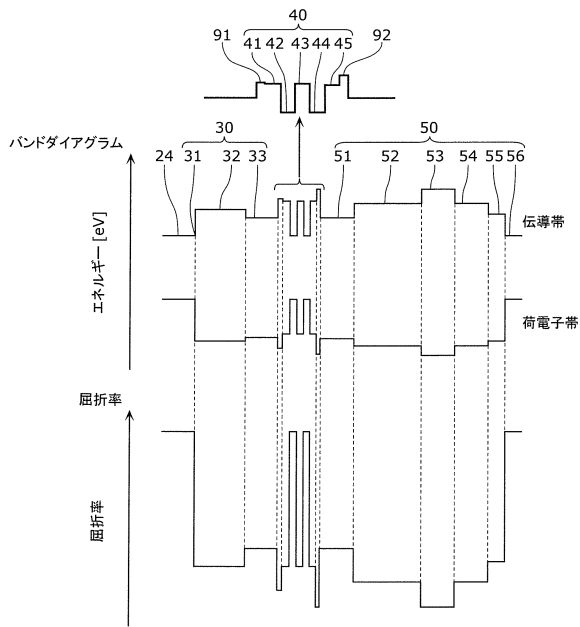
【図 1 1】



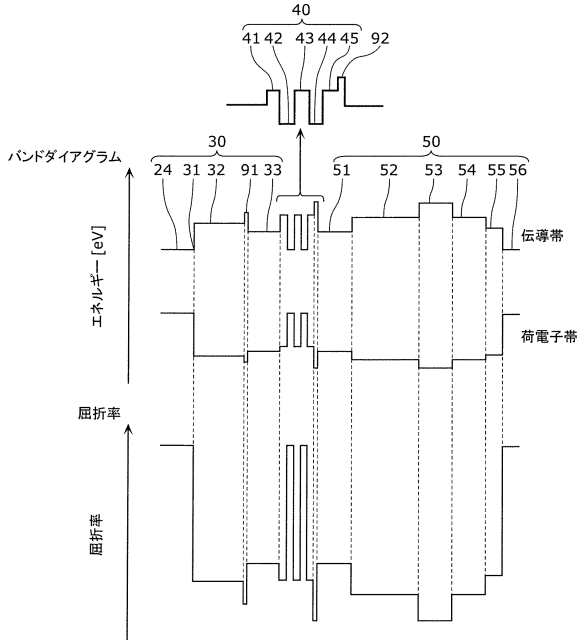
10

20

【図 1 2】



【図 1 3】



30

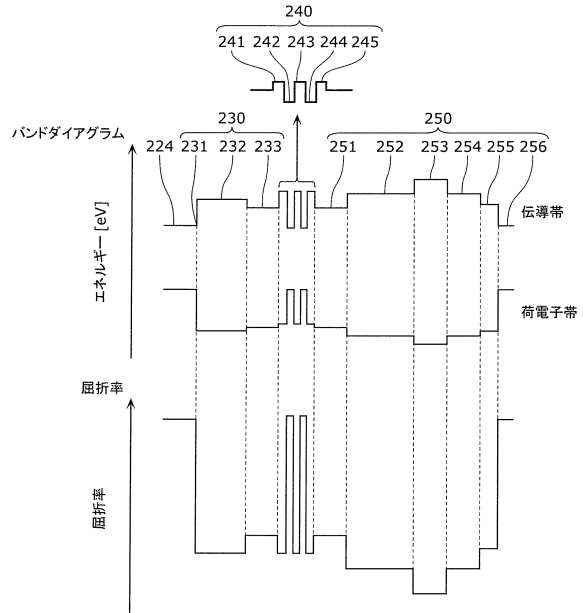
40

50

【図 1 4】

層構造	組成	膜厚 (μm)
p型コンタクト層256	p-GaAs	0.23
p型中間層255	p-(Al _{0.1} Ga _{0.9}) _{0.5} In _{0.5} P	0.106
p型第3クラッド層254	p-(Al _{0.3} Ga _{0.7}) _{0.5} In _{0.5} P	0.6
p型第2クラッド層253	p-(Al _{0.6} Ga _{0.4}) _{0.5} In _{0.5} P	0.4
p型第1クラッド層252	p-(Al _{0.3} Ga _{0.7}) _{0.5} In _{0.5} P	0.18
p側光ガイド層251	Ga _{0.5} In _{0.5} P	0.07
障壁層245	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.021
井戸層244	In _{0.03} Ga _{0.97} As	0.0055
障壁層243	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.004
井戸層242	In _{0.03} Ga _{0.97} As	0.0055
障壁層241	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.024
n側光ガイド層233	Ga _{0.5} In _{0.5} P	0.09
n型クラッド層232	n-(Al _{0.17} Ga _{0.83}) _{0.5} In _{0.5} P	4.7
n型バッファ層231	n-GaAs	0.4
チップ状基板224	n-GaAs	-

【図 1 5】



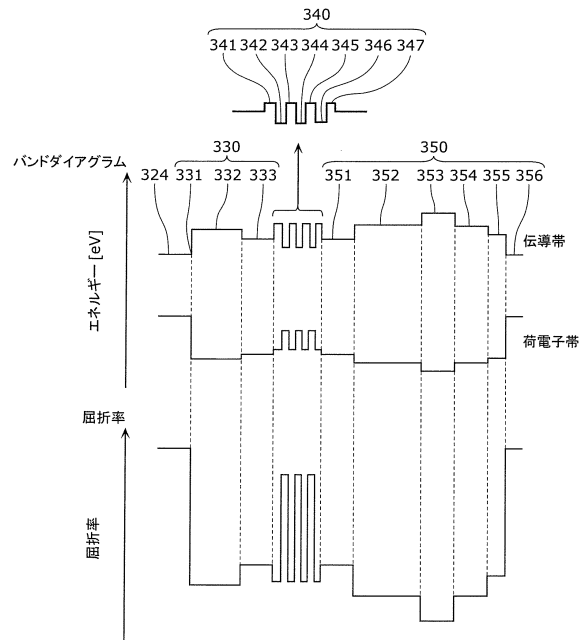
10

20

【図 1 6】

層構造	組成	膜厚 (μm)
p型コンタクト層356	p-GaAs	0.23
p型中間層355	p-(Al _{0.1} Ga _{0.9}) _{0.5} In _{0.5} P	0.106
p型第3クラッド層354	p-(Al _{0.3} Ga _{0.7}) _{0.5} In _{0.5} P	0.6
p型第2クラッド層353	p-(Al _{0.6} Ga _{0.4}) _{0.5} In _{0.5} P	0.4
p型第1クラッド層352	p-(Al _{0.3} Ga _{0.7}) _{0.5} In _{0.5} P	0.16
p側光ガイド層351	Ga _{0.5} In _{0.5} P	0.07
障壁層347	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.021
井戸層346	GaAs _{0.84} P _{0.16}	0.0065
障壁層345	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.008
井戸層344	GaAs _{0.84} P _{0.16}	0.0065
障壁層343	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.008
井戸層342	GaAs _{0.84} P _{0.16}	0.0065
障壁層341	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.04
n側光ガイド層333	Ga _{0.5} In _{0.5} P	0.09
n型クラッド層332	n-(Al _{0.19} Ga _{0.81}) _{0.5} In _{0.5} P	4.7
n型バッファ層331	n-GaAs	0.4
チップ状基板324	n-GaAs	-

【図 1 7】



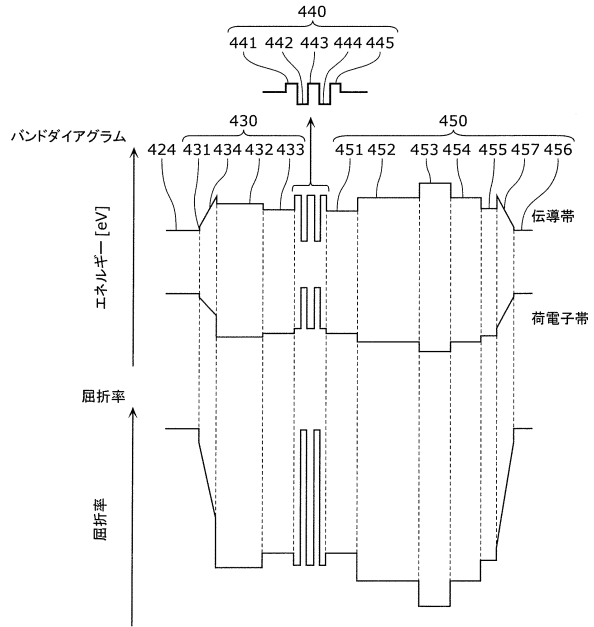
30

40

【図 18】

層構造	組成	膜厚 (μm)
p型コンタクト層456	p-GaAs	0.23
グレーテッド中間層457	p-Al _x Ga _{1-x} As (x=0.55~0.05)	0.05
p型中間層455	p-(Al _{0.1} Ga _{0.9}) _{0.5} In _{0.5} P	0.106
p型第3クラッド層454	p-(Al _{0.3} Ga _{0.7}) _{0.5} In _{0.5} P	0.6
p型第2クラッド層453	p-(Al _{0.6} Ga _{0.4}) _{0.5} In _{0.5} P	0.4
p型第1クラッド層452	p-(Al _{0.3} Ga _{0.7}) _{0.5} In _{0.5} P	0.17
p側光ガイド層451	(Al _{0.04} Ga _{0.96}) _{0.5} In _{0.5} P	0.07
障壁層445	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.021
井戸層444	GaAs	0.0065
障壁層443	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.004
井戸層442	GaAs	0.0065
障壁層441	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.03
n側光ガイド層433	(Al _{0.04} Ga _{0.96}) _{0.5} In _{0.5} P	0.09
n型クラッド層432	n-(Al _{0.18} Ga _{0.82}) _{0.5} In _{0.5} P	4.7
グレーテッドバッファ層434	n-Al _x Ga _{1-x} As (x=0.05~0.35)	0.075
n型バッファ層431	n-GaAs	0.4
チップ状基板424	n-GaAs	-

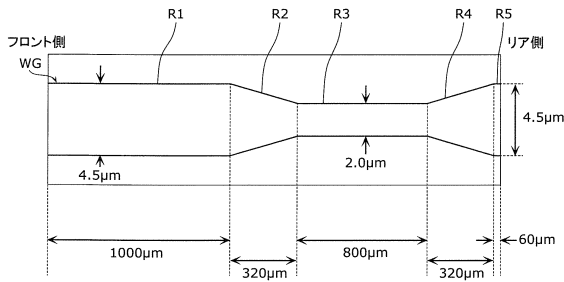
【図 19】



10

20

【図 20】



【図 21】

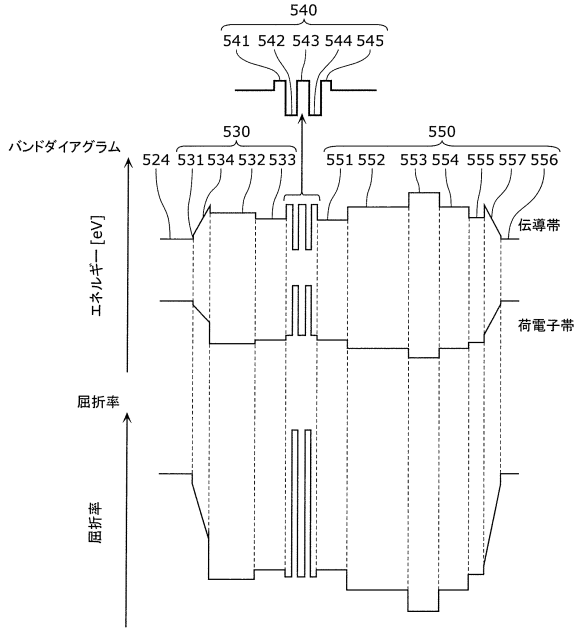
層構造	組成	膜厚 (μm)
p型コンタクト層556	p-GaAs	0.23
グレーテッド中間層557	p-Al _x Ga _{1-x} As (x=0.55~0.05)	0.05
p型中間層555	p-(Al _{0.1} Ga _{0.9}) _{0.5} In _{0.5} P	0.106
p型第3クラッド層554	p-(Al _{0.3} Ga _{0.7}) _{0.5} In _{0.5} P	0.6
p型第2クラッド層553	p-(Al _{0.6} Ga _{0.4}) _{0.5} In _{0.5} P	0.4
p型第1クラッド層552	p-(Al _{0.3} Ga _{0.7}) _{0.5} In _{0.5} P	0.20
p側光ガイド層551	(Al _{0.04} Ga _{0.96}) _{0.5} In _{0.5} P	0.13
障壁層545	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.021
井戸層544	In _{0.17} Ga _{0.83} As	0.008
障壁層543	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.007
井戸層542	In _{0.17} Ga _{0.83} As	0.008
障壁層541	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.03
n側光ガイド層533	(Al _{0.04} Ga _{0.96}) _{0.5} In _{0.5} P	0.085
n型クラッド層532	n-(Al _{0.165} Ga _{0.835}) _{0.5} In _{0.5} P	4.7
グレーテッドバッファ層534	n-Al _x Ga _{1-x} As (x=0.05~0.35)	0.075
n型バッファ層531	n-GaAs	0.4
チップ状基板524	n-GaAs	-

30

40

50

【図 2 2】



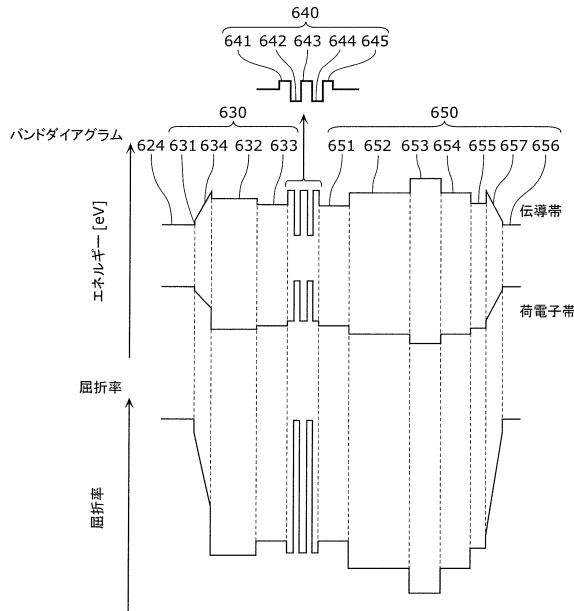
【図 2 3】

層構造	組成	膜厚 (μm)
p型コンタクト層656	p-GaAs	0.23
グレーデッド中間層657	p-Al _x Ga _{1-x} As (x=0.55~0.05)	0.05
p型中間層655	p-(Al _{0.1} Ga _{0.9}) _{0.5} In _{0.5} P	0.106
p型第3クラッド層654	p-(Al _{0.3} Ga _{0.7}) _{0.5} In _{0.5} P	0.6
p型第2クラッド層653	p-(Al _{0.6} Ga _{0.4}) _{0.5} In _{0.5} P	0.4
p型第1クラッド層652	p-(Al _{0.29} Ga _{0.71}) _{0.5} In _{0.5} P	0.17
p側光ガイド層651	(Al _{0.04} Ga _{0.96}) _{0.5} In _{0.5} P	0.13
障壁層645	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.021
井戸層644	GaAs	0.0065
障壁層643	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.004
井戸層642	GaAs	0.0065
障壁層641	Al _{0.59} Ga _{0.41} As	0.02
n側光ガイド層633	(Al _{0.04} Ga _{0.96}) _{0.5} In _{0.5} P	0.05
n型クラッド層632	n-(Al _{0.155} Ga _{0.845}) _{0.5} In _{0.5} P	3.2
グレーデッドバッファ層634	n-Al _x Ga _{1-x} As (x=0.05~0.35)	0.075
n型バッファ層631	n-GaAs	0.4
チップ状基板624	n-GaAs	-

10

20

【図 2 4】



30

40

50

フロントページの続き

日本国京都府長岡京市神足焼町1番地 ヌヴォトンテクノロジージャパン株式会社内

審査官 小濱 健太

(56)参考文献 特開2014-212186(JP,A)

特開2006-186250(JP,A)

国際公開第02/021578(WO,A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50