

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-340625

(P2005-340625A)

(43) 公開日 平成17年12月8日(2005.12.8)

(51) Int.Cl.⁷

H01S 5/028

H01S 5/343

F I

H01S 5/028

H01S 5/343

テーマコード (参考)

5 F 1 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2004-159463 (P2004-159463)

(22) 出願日 平成16年5月28日 (2004.5.28)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦

(74) 代理人 100091351

弁理士 河野 哲

(74) 代理人 100088683

弁理士 中村 誠

(74) 代理人 100108855

弁理士 蔵田 昌俊

(74) 代理人 100075672

弁理士 峰 隆司

(74) 代理人 100109830

弁理士 福原 淑弘

最終頁に続く

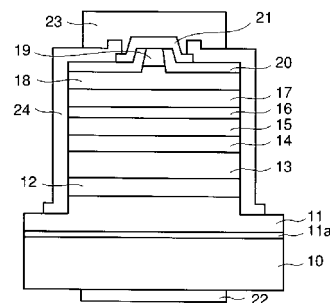
(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子

(57) 【要約】

【課題】 キンクを大幅に低減させ、高出力時の信頼性と低出力時の使い易さを両立させ得る大きなダイナミックレンジを有する窒化物半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 窒化物からなるn型半導体層11～14、活性層15およびp型半導体層16～19が積層された積層半導体層と、n型半導体層とp型半導体層で活性層を挟む導波路領域に対してほぼ垂直な端面に位置する出射側のレーザミラーおよび反射側のレーザミラーとを具備する窒化物半導体レーザ素子であって、活性層は、青紫色～緑色を含む波長領域内で発光が可能であり、フロント側のレーザミラーの反射率は60%以下である。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

窒化物半導体からなる第 1 導電型の半導体層、活性層および第 2 導電型の半導体層が積層された積層半導体層と、前記活性層と該活性層を挟む第 1 導電型の半導体層および第 2 導電型の半導体層からなるレーザ光の導波路領域に対してほぼ垂直な端面に位置するフロント側のレーザミラーおよびリア側のレーザミラーとを具備する窒化物半導体レーザ素子であって、前記活性層は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0.05 \leq x \leq 0.25$ 、 $0 \leq y \leq 0.95$ 、 $0.05 \leq x+y \leq 1$) であり、前記フロント側のレーザミラーの反射率は 60% 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】

前記フロント側のレーザミラーは、レーザ光に対する屈折率が互いに異なる第 1 の透光性膜および第 2 の透光性膜が前記導波路領域の一端面に積層されてなることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 3】

前記第 1 の透光性膜は ZrO_2 膜であり、前記第 2 の透光性膜は SiO_2 膜であり、前記第 1 の透光性膜と第 2 の透光性膜とからなるペアが 1.5 ~ 2.5 ペア積層されていることを特徴とする請求項 2 記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 4】

前記フロント側のレーザミラーは、前記導波路領域の一端面に第 1 の透光性膜からなる単層膜が形成されてなることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記第 1 の透光性膜は、 Al_2O_3 膜、 Nb_2O_5 膜、 HfO_x 膜、 MgO 膜、 Ta_2O_5 膜、 SiON 膜、 AlO_xN_y 膜、 GaO_x 膜のいずれか 1 つからなる単層膜であることを特徴とする請求項 4 記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記フロント側のレーザミラーの反射率は 20% 以下であることを特徴とする請求項 4 または 5 記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 7】

窒化物半導体からなる第 1 導電型の半導体層、活性層および第 2 導電型の半導体層が積層された積層半導体層と、前記活性層と該活性層を挟む第 1 導電型の半導体層および第 2 導電型の半導体層からなるレーザ光の導波路領域に対してほぼ垂直な端面に位置するフロント側のレーザミラーおよびリア側のレーザミラーとを具備する窒化物半導体レーザ素子であって、前記活性層は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0.05 \leq x \leq 0.25$ 、 $0 \leq y \leq 0.95$ 、 $0.05 \leq x+y \leq 1$) であり、前記フロント側のレーザミラーは、 Al_2O_3 膜、 Nb_2O_5 膜、 HfO_x 膜、 MgO 膜、 Ta_2O_5 膜、 SiON 膜、 AlO_xN_y 膜、 GaO_x 膜のいずれか 1 つからなる単層膜が前記導波路領域の一端面に形成されてなることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 8】

前記リア側レーザミラーは、前記導波路領域の一端面にレーザ光に対する屈折率が互いに異なる第 1 の透光性膜および第 2 の透光性膜が積層されてなり、当該リア側レーザミラーの反射率は 90% 以上であることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 9】

前記第 1 の透光性膜は ZrO_2 膜であり、前記第 2 の透光性膜は SiO_2 膜であり、前記第 1 の透光性膜と第 2 の透光性膜とからなるペアが 4.5 ~ 6.5 ペア積層されていることを特徴とする請求項 8 記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 10】

前記活性層は、青紫色 ~ 緑色を含む波長領域内で発光が可能であることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 11】

10

20

30

40

50

前記活性層は、光の波長換算で420nm以上、550nm以下のエネルギーバンドギャップを有することを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体レーザ素子に係り、特にレーザ発振時の発光出力の揺れ（キック）を軽減するための構造に関するもので、例えば光ディスク装置の光ヘッド用光源、LDディスプレイ、医療用光源、バイオ用光源、印刷用光源、光学モジュールなどに使用されるものである。

10

【背景技術】

【0002】

GaN系の窒化物レーザダイオード（LD）は、例えば光ディスクに高密度で情報を読み出し／書き込みを行う光源として有望とされている。例えば、発光波長が400nm帯（青紫色を含む380nm～420nm）の短波長LDは、次世代光ディスク用、次世代DVD用のピックアップ光源として有望視されている。また、発光波長が440nm帯（青色～緑色を含む420nm～550nm）の長波長LDは、画像表示を行うLDディスプレイ、医療用光源、バイオ、印刷用光源、光学モジュールなどとして有望視されている。上記LDには、LDのアレイを用いることができる。

【0003】

20

なお、一般に、LD共振器のレーザミラーとして誘電体多層膜を設ける点が特許文献1に開示されている。

【特許文献1】特開2003-86891号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本願発明者は、前記したような例えば400nm帯や440nm帯の窒化物半導体レーザ素子の製品化に際して、電流Iと発光出力Lとの関係（I-L特性）、特にレーザ発振時に発生する発光出力の揺れ（キック）について波長依存性を検討した。その結果、図8に示すように、波長が長くなるにつれてキックが次第に大きくなることが判明した。このようなキックが大きいと、半導体レーザ素子を連続発振で動作させる場合には問題にならないが、半導体レーザ素子をパルス発振で動作させたり、直接変調で高速動作させる場合に支障が生じる。

30

【0005】

さらに、本願発明者は、440nm帯の窒化物半導体レーザ素子のキックに関して実験を重ねた結果、キックは、発光出力の大きさ、レーザミラーの反射率に依存することを見出した。

【0006】

本発明は上記の知見によりなされたもので、キックを大幅に低減させることが可能になり、高出力時の信頼性と低出力時の使い易さを両立させ得る大きなダイナミックレンジを有する窒化物半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の窒化物半導体レーザ素子の第1の態様は、窒化物半導体からなる第1導電型の半導体層、活性層および第2導電型の半導体層が積層された積層半導体層と、前記活性層と該活性層を挟む第1導電型の半導体層および第2導電型の半導体層からなるレーザ光の導波路領域に対してほぼ垂直な端面に位置するフロント側のレーザミラーおよびリア側のレーザミラーを具備する窒化物半導体レーザ素子であって、前記活性層は、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ （ $0.05 \leq x \leq 0.25$ 、 $0 \leq y \leq 0.95$ 、 $0.05 \leq x+y \leq 1$ ）であり、前記フロント側のレーザミラーの反射率は60%以下であることを特徴とする

50

。ここで、フロント側のレーザミラーは、導波路領域の一端面に、レーザ光に対する屈折率が互いに異なる第1の透光性膜および第2の透光性膜が積層されてなる積層膜が形成される構造と、導波路領域の一端面に保護膜として第1の透光性膜からなる単層膜が形成される構造がある。フロント側のレーザミラーに積層膜を用いる場合、第1の透光性膜として ZrO_2 膜、第2の透光性膜として SiO_2 膜を用い、第1の透光性膜と第2の透光性膜を1.5～2.5ペア積層することで実現可能である。フロント側のレーザミラーに単層膜を用いる場合、第1の透光性膜として、 Al_2O_3 膜、 Nb_2O_5 膜、 HfO_x 膜、 MgO 膜、 Ta_2O_5 膜、 $SiON$ 膜、 AlO_xN_y 膜、 GaO_x 膜のいずれか1つを用いることで、フロント側のレーザミラーの反射率が20%以下となるように実現可能である。

10

【0008】

本発明の窒化物半導体レーザ素子の第2の態様は、窒化物半導体からなる第1導電型の半導体層、活性層および第2導電型の半導体層が積層された積層半導体層と、前記活性層と該活性層を挟む第1導電型の半導体層および第2導電型の半導体層からなるレーザ光の導波路領域に対してほぼ垂直な端面に位置するフロント側のレーザミラーおよびリア側のレーザミラーとを具備する窒化物半導体レーザ素子であって、前記活性層は、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0.05 \leq x \leq 0.25$, $0 \leq y \leq 0.95$, $0.05 \leq x+y \leq 1$)であり、前記フロント側のレーザミラーは、 Al_2O_3 膜、 Nb_2O_5 膜、 HfO_x 膜、 MgO 膜、 Ta_2O_5 膜、 $SiON$ 膜、 AlO_xN_y 膜、 GaO_x 膜のいずれか1つからなる単層膜が前記導波路領域の一端面に形成されてなることを特徴とする。

20

【0009】

なお、前記各態様において、リア側レーザミラーは、導波路領域の一端面に、レーザ光に対する屈折率が互いに異なる第1の透光性膜および第2の透光性膜を積層することで実現可能であり、リア側レーザミラーの反射率を90%以上とすることが好ましい。この場合、第1の透光性膜として ZrO_2 膜、第2の透光性膜として SiO_2 膜を用い、第1の透光性膜と第2の透光性膜を4.5～6.5ペア積層することで実現可能である。

【0010】

また、前記各態様において、活性層は、青紫色～緑色を含む波長領域の範囲内で発光が可能なものであり、光の波長換算で、420nm以上、550nm以下のエネルギーバンドギャップを有するものである。

30

【発明の効果】

【0011】

本発明の窒化物半導体レーザ素子の第1の態様によれば、青紫色～緑色を含む波長領域の範囲内で発光が可能な窒化物半導体レーザ素子において、フロント側のレーザミラーとして、レーザ光に対する屈折率が互いに異なる第1の透光性膜および第2の透光性膜を導波路領域の一端面に積層し、または、第1の透光性膜の単層膜を導波路領域の一端面に形成し、フロント側のレーザミラーの反射率を60%以下、好ましくは20%以下にすることによって、キルクを大幅に低減させることが可能になり、高出力時の信頼性と低出力時の使い易さを両立させ得る大きなダイナミックレンジを持たせることができる。

【0012】

40

本発明の窒化物半導体レーザ素子の第2の態様によれば、青紫色～緑色を含む波長領域の範囲内で発光が可能な窒化物半導体レーザ素子において、フロント側のレーザミラーとして、 Al_2O_3 膜、 Nb_2O_5 膜、 HfO_x 膜、 MgO 膜、 Ta_2O_5 膜、 $SiON$ 膜、 AlO_xN_y 膜、 GaO_x 膜のいずれか1つからなる単層膜を用いることによって、キルクを大幅に低減させることが可能になり、高出力時の信頼性と低出力時の使い易さを両立させ得る大きなダイナミックレンジを持たせることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

<第1の実施形態>

第1の実施形態の窒化物半導体レーザ素子は、光の波長換算で420nm以上、550

50

n m以下のエネルギーバンドギャップを有する活性層を含む積層半導体層と、レーザ光の導波路領域に対してほぼ垂直な端面に位置するフロント側レーザミラー（以下、出射側ミラーと記す）およびリア側レーザミラー（以下、反射側ミラーと記す）とを有する。ここで、活性層は、420 nm～550 nmの範囲内の青色、青緑色、緑色などの発光が可能な組成を有する。そして、出射側ミラーの反射率が60%以下、より好ましくは20%以下となるように構成され、反射側ミラーの反射率が60%以上、より好ましくは90%以上となるように構成されている。

【0014】

図1(a)は、第1の実施形態の窒化物半導体レーザ素子の一部であってレーザ光の共振方向に垂直な方向（共振面に平行な方向）に切断した際の断面構造の一例を模式的に示す。本例では、第1導電型をn型、第2導電型をp型で示している。

【0015】

図1(a)において、それぞれ窒化物半導体からなる第1導電型（n型）の半導体層、活性(Act)層15、第2導電型（p型）の半導体層は、基板（図示せず）上に積層成長された積層半導体層を形成している。

【0016】

n型の半導体層は、n側コンタクト層（n-Contact層）11、クラック防止層（Crack-Barrier層）12、n側クラッド層（n-Clad層）13、n側光ガイド層（n-Guide層）14が積層されている。p型の半導体層は、p側電子閉じ込め層（p-Cap層）16、p側光ガイド層（p-Guide層）17、p側クラッド層（p-Clad層）18、p側コンタクト層（p-Contact層）19が積層されている。

【0017】

なお、n側コンタクト層11は、前記積層半導体層を成長させるためにGa_{0.95}N_{0.05}系基板を用いた場合には、その一部を用いてもよい。また、p側コンタクト層19、p側クラッド層18およびp側光ガイド層17の一部は、約2 μmのストライプ幅を有するリッジストライプを形成するようにエッチングされている。リッジ形状とされることにより、Act層15の発光がリッジ下部に集中して、横モードが単一化し易く、閾値が低下し易い。

【0018】

本実施形態の窒化物半導体レーザ素子は、Act層15をn-Guide層14、p-Cap層16、p-Guide層17で挟んだ分離光閉じ込め型（SCH；Separate Confinement Heterostructure）構造を有する。このSCH構造は、Act層15よりバンドギャップの大きい光ガイド層をAct層15の両側に備えることで光の導波路を構成するものである。さらに、SCH構造の両側にn-Clad層13、p-Clad層18を有する。これらのn-Clad層13、p-Clad層18には、屈折率の低い窒化物半導体層を設けて光閉じ込め効果およびキャリア閉じ込め効果を持たせている。また、前記各層の間に応力緩衝層を有する構造としてもよい。

【0019】

なお、窒化物半導体レーザ素子の各半導体層を形成する窒化物半導体の一般式は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ （ $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq x+y \leq 1$ ）である。n型の窒化物半導体は、n型不純物として、Si、Ge、O等のいずれか1つ以上を含有している。p型の窒化物半導体は、p型不純物として、Mg、Zn等を含有している。

【0020】

前記Act層15は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ （ $0.05 \leq x \leq 0.25$ 、 $0 \leq y \leq 0.95$ 、 $0.05 \leq x+y \leq 1$ ）であり、Inの含有量を制御することで420 nmから470 nm、さらに550 nmまでの発光が可能である。Act層15は、多重量子井戸構造または単一量子井戸構造を有し、多重量子井戸構造で形成すると発光効率が向上する。多重量子井戸構造は、障壁層から始まり井戸層で終わっても、障壁層から始まり障壁層で終わっても、井戸層から始まり障壁層で終わっても、また井戸層から始まり井戸層で終わってもよい。好ましくは障壁層から始まり、井戸層と障壁層とのペアを2～8回繰り返してなるものであって、障壁層で終わる構成である。井戸層と障壁層とのペアを2～3回繰り返してなるものが閾値電流を低下させて寿命特性を向上させるのに好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 1 】

図 1 (b) は、図 1 (a) 中の Act 層 1 5 の断面構造の一例を模式的に示している。本例の Act 層 1 5 は、第 1 の障壁 (1st Barrier) 層 1 5 1、第 1 の井戸 (1st Well) 層 1 5 2、中間障壁 (Middle Barrier) 層 1 5 3、第 2 の井戸 (2nd Well) 層 1 5 4、最終障壁 (Last Barrier) 層 1 5 5 が積層された多重量子井戸構造を有する。

【 0 0 2 2 】

さらに、図 1 (a)、(b) 中には示されていないが、Act 層 1 5 とそれを挟む n 型の半導体層および p 型の半導体層からなるレーザ光の導波路領域に対して略垂直な端面に出射側ミラーおよび反射側ミラーが形成されており、各レーザミラーは導波路領域とともにレーザ共振器を形成している。レーザ光出力をモニターする場合には、モニター光を取り出す反射側ミラーはモニター側ミラーと称する。

10

【 0 0 2 3 】

導波路領域は、光を伝搬する領域であり、平面ストライプ状に形成される。ここで、伝搬された光がレーザ共振器で共振することにより増幅されてレーザ発振する。また、導波路領域に電流を効率良く注入することができるよう電流狭窄領域の断面形状は突状 (リッジ状) をしていることが好ましい。

【 0 0 2 4 】

前記各レーザミラーは、導波路領域の一端面側に、レーザ光に対する屈折率が互いに異なる少なくとも 2 種類の透光性膜が積層状態で所定のペア数だけ配置される場合と、1 種類の透光性膜 (例えば Al_2O_3 膜、 Nb_2O_5 膜、 HfO_x 膜のいずれか 1 つ) が配置される場合がある。この場合、各透光性膜は、それぞれの内部におけるレーザ光波長の $m/4n$ (n : 1 以上の整数, m : 奇数) の厚さを有し、導波路領域の一端面 (結晶劈開面) に接する透光性膜は、結晶劈開面の光学損傷を保護し、発光出力の劣化、寿命を改善する役割も有する。

20

【 0 0 2 5 】

さらに、図 1 (a)、(b) 中には示されていないが、p 側コンタクト層 1 9 の表面にオーミックにコンタクトするように第 1 電極 (p 電極、正電極) が形成され、n 側コンタクト層 1 1 に電氣的に接続されるように第 2 電極 (n 電極、負電極) が形成される。

【 0 0 2 6 】

上記 p 電極と導波路領域とを上面から見た場合の両者の平面的な配置関係は、図 7 (a) に示すように、p 電極 2 1 の一端が導波路領域の一端面 (結晶劈開面) A に一致している構造と、図 7 (b) に示すように、p 電極 2 1 の一端が導波路領域の一端面 (結晶劈開面) から $0.1 \sim 5 \mu m$ 程度離れている構造がある。p 電極 2 1 の一端が導波路領域の一端面 A に一致している構造は、p 電極 2 1 に Au を用いない場合に採用され、C O D (Catastrophic Optical Damage) レベルが向上する。この場合、p 電極 2 1 に Au を用いたとしても、その膜厚が薄い ($10 \sim 300 nm$ 程度) 場合には、C O D レベルが向上する。

30

【 0 0 2 7 】

これに対して、p 電極 2 1 の一端が導波路領域の一端面 A から離れている構造は、p 電極 2 1 に Au を用いることに制約を受けない。この場合、導波路領域において p 電極 2 1 の一端と導波路領域の一端面 A との間の部分は、キャリアが直接に注入されないので、吸収領域となってしまう、発熱によりバンドギャップが低下し、C O D により結晶破壊が発生し易い。しかし、図 7 (b) に示す構造は、前記したように p 電極 2 1 の一端が導波路領域の一端面 (結晶劈開面) から近い ($0.1 \sim 5 \mu m$ 程度離れている) ので、問題がなく、図 7 (a) に示す構造と同等の特性が得られる。

40

【 0 0 2 8 】

表 1 は、図 1 (a)、(b) に示した窒化物半導体レーザ素子の各層の膜厚、I n の混晶比 x あるいは Al の混晶比 y の最小値 (Minimum)、標準値、最大値 (Maximum) の一例を示している。(表 1)

膜厚		混晶比 (I n x または Al y)	
Minimum	Maximum	Minimum	Maximum

50

n-Contact	2 μ m	4 μ m	7.5 μ m	y=0.010	y=0.02	y=0.045	
Crack-Barrier	90 n m	150 n m	250 n m	x=0.014	x=0.03	x=0.06	
n-Clad	0.8 μ m	1.3 μ m	2.2 μ m	y=0.035	y=0.059	y=0.100	
n-Guide	200 n m	315 n m	520 n m	-	-	-	
1st Barrier	20 n m	40 n m	150 n m	x=0.02	x=0.04	x=0.075	
1st Well	1.7 n m	3 n m	6.7 n m	x=0.06	x=0.10	x=0.18	
Middle Barrier	8 n m	14 n m	24 n m	x=0.02	x=0.04	x=0.075	
2nd Well	1.7 n m	3 n m	6.7 n m	x=0.06	x=0.10	x=0.18	
Last Barrier	20 n m	40 n m	200 n m	x=0.02	x=0.04	x=0.075	10
p-Cap	5.3 n m	10 n m	18 n m	y=0.14	y=0.25	y=0.45	
p-Guide	200 n m	315 n m	520 n m	-	-	-	
p-Clad	270 n m	450 n m	750 n m	y=0.027	y=0.046	y=0.100	
p-Contact	6.7 n m	15 n m	30 n m	-	-	-	

表 1 において、Crack-Barrier 層、1st Barrier 層、1st Well 層、Middle Barrier 層、2nd Well 層および Last Barrier 層は In_x を含む層である。n-Contact 層、n-Clad 層、p-Cap 層および p-Clad 層は Al_y を含む層である。n-Guide 層、p-Guide 層および p-Contact 層は GaN 層である。

【0029】

Crack-Barrier 層は、膜厚が 130 ~ 170 nm、 In の混晶比 x が 0.02 ~ 0.04 である。1st Barrier 層および Last Barrier 層は、膜厚が 30 ~ 100 nm、 In の混晶比 x が 0.03 ~ 0.05 である。Middle Barrier 層は、膜厚が 12 ~ 16 nm、 In の混晶比 x が 0.03 ~ 0.05 である。1st Well 層および 2nd Well 層は、膜厚が 2.5 ~ 4.5 nm、 In の混晶比 x が 0.09 ~ 0.12 である。

【0030】

n-Contact 層は、膜厚が 3 ~ 5 μ m、 Al の混晶比 y が 0.015 ~ 0.03 である。n-Clad 層は、膜厚が 1.2 ~ 1.5 μ m、 Al の混晶比 y が 0.050 ~ 0.070 である。p-Cap 層は、膜厚が 8 ~ 12 nm、 Al の混晶比 y が 0.20 ~ 0.30 である。p-Clad 層は、膜厚が 400 ~ 500 nm、 Al の混晶比 y が 0.040 ~ 0.070 である。n-Guide 層および p-Guide 層は、膜厚が 300 ~ 350 nm であり、p-Contact 層は、膜厚が 10 ~ 20 nm である。

【0031】

図 2 (a)、(b) は、図 1 (a)、(b) に示した窒化物半導体レーザ素子のレーザミラーの断面構造の二例を模式的に示す。

【0032】

図 2 (a) に示すレーザミラーは、導波路領域の一端面側から順に、レーザ光に対して第 1 の屈折率 n_1 を有する第 1 の透光性膜 1 と、それよりも屈折率が相対的に低い第 2 の屈折率 n_2 を有する第 2 の透光性膜 2 とが積層されて形成されている。この場合、使用する透光性膜の材質に応じて、第 1 の透光性膜 1 と第 2 の透光性膜 2 とからなるペアが 1 ペア、あるいは 1.5 ~ 6.5 ペアだけ例えばスパッタ装置により交互に積層されている。第 1 の透光性膜 1 としては、 ZrO_2 (酸化ジルコニウム) 膜、 Al_2O_3 (アルミナ) 膜、 Nb_2O_5 (酸化ニオブ) 膜、 HfO_x 膜、 MgO 膜、 Ta_2O_5 膜、 $SiON$ 膜、 AlO_xN_y 膜、 GaO_x 膜などが挙げられ、第 2 の透光性膜 2 としては SiO_2 (酸化シリコン) 膜などが挙げられる。

【0033】

このような構造により、各透光性膜 1、2 の界面でレーザ光の反射と透過を繰り返すので、積層数を増すほど反射率は 100% に近付き、積層数を減らすと反射率は低下する。

図 2 (b) に示すレーザミラーは、導波路領域の一端面に、前述したような第 1 の透光性膜 1 からなる単層膜が形成されている。

【0034】

本実施形態では、出射側ミラーの反射率が75%以下、好ましくは60%以下、より好ましくは20%以下となるように構成されており、反射側ミラーの反射率が75%以上、好ましくは85%以上、より好ましくは90%以上となるように構成されている。

【0035】

表2は、図2に示したレーザミラーの第1の透光性膜1として ZrO_2 膜、 Nb_2O_5 膜、 Al_2O_3 膜のいずれか1つ、第2の透光性膜2として SiO_2 膜を用いた場合について、第1の透光性膜1と第2の透光性膜2の材質および膜厚と、第1の透光性膜と第2の透光性膜とからなるペアの数(Pair数)と、レーザミラーの反射率との関係を調べた結果の一例を示している。

【0036】

(表2)

タイプ	材質	膜厚	Pair数	反射率
(A)	SiO_2 / ZrO_2	73nm / 49nm	6.5 Pair	98.5%
(B)	SiO_2 / ZrO_2	73nm / 49nm	5.5 Pair	97 %
(C)	SiO_2 / ZrO_2	73nm / 49nm	4.5 Pair	93 %
(D)	SiO_2 / ZrO_2	73nm / 49nm	3.5 Pair	85 %
(E)	SiO_2 / ZrO_2	73nm / 49nm	2.5 Pair	71 %
(F)	SiO_2 / ZrO_2	73nm / 49nm	1.5 Pair	49 %
(G)	Nb_2O_5	89nm	単層	18 %
(H)	Al_2O_3	138nm	単層	18 %
(I)	Al_2O_3	167nm	単層	11 %
(J)	Al_2O_3	約69nm	単層	0 %
(K)	HfO_2	約52nm	単層	11 %

表2から分かるように、一例として、第1の透光性膜1として ZrO_2 膜(49nm)、第2の透光性膜2として SiO_2 膜(73nm)を用いる場合、透光性膜のPair数を4.5~6.5の範囲に設定することによって、レーザミラーの反射率を90%以上(例えば93~98.5%)に設定することが可能であり、Pair数を3.5に設定することによって、レーザミラーの反射率を85%、ペア数を1.5~2.5の範囲で設定することによって、反射率を75%以下(例えば49~71%)に設定することが可能である。

【0037】

他の例として、第1の透光性膜1として Nb_2O_5 膜(89nm)の単層膜を用いる場合、レーザミラーの反射率を18%に設定することが可能である。上記 Nb_2O_5 膜の膜厚を厚くしても、レーザミラーの反射率はあまり変化させることができない。なお、第2の透光性膜2として SiO_2 膜(73nm)を付加してもよい。

【0038】

さらに他の例として、第1の透光性膜1として Al_2O_3 膜(138nm)の単層膜を用いる場合、レーザミラーの反射率を18%に設定することが可能である。なお、第2の透光性膜2として SiO_2 膜(73nm)を付加してもよい。上記 Al_2O_3 膜の膜厚を変化させると、レーザミラーの反射率を18%~0%まで変化させることが可能である。例えば、第1の透光性膜1として Al_2O_3 膜(167nm)の単層膜を用いる場合、レーザミラーの反射率を11%に設定することが可能である。また、第1の透光性膜1として Al_2O_3 膜(約69nm)の単層膜を用いる場合、レーザミラーの反射率を0%に設定することが可能である。さらに他の例として、第1の透光性膜1として HfO_2 膜(約52nm)の単層膜を用いる場合、レーザミラーの反射率を11%に設定することが可能である。なお、前記第1の透光性膜1の単層膜は、出射端面の保護膜として用いることができる。

【0039】

表3は、図1(a)、(b)に示した窒化物半導体レーザ素子の出射側ミラーの透光性膜の材質およびPair数とモニター側ミラーの透光性膜の材質およびPair数との組み合わせ

10

20

30

40

50

について実現に適した数例を示している。

【0040】

(表3)

タイプ 出射側ミラーの材質 Pair数 モニター側ミラーの材質 Pair数

(1)	SiO ₂ / ZrO ₂	3.5 Pair	SiO ₂ / ZrO ₂	4.5 Pair
(2)	SiO ₂ / ZrO ₂	2.5 Pair	SiO ₂ / ZrO ₂	4.5 Pair
(3)	SiO ₂ / ZrO ₂	2.5 Pair	SiO ₂ / ZrO ₂	5.5 Pair
(4)	SiO ₂ / ZrO ₂	2.5 Pair	SiO ₂ / ZrO ₂	6.5 Pair
(5)	Al ₂ O ₃	単層	SiO ₂ / ZrO ₂	4.5 Pair
(6)	Al ₂ O ₃	単層	SiO ₂ / ZrO ₂	5.5 Pair
(7)	Al ₂ O ₃	単層	SiO ₂ / ZrO ₂	6.5 Pair

表3から分かるように、反射側ミラーとしてZrO₂膜/SiO₂膜からなるペアを4.5~6.5ペアの範囲に設定することによってその反射率を90%以上(例えば93~98.5%)に設定することが可能である。

【0041】

この場合、出射側ミラーとしてZrO₂膜とSiO₂膜からなるペアを1.5ペアに設定することによって、その反射率を60%以下(例えば49%)に設定することが可能である。

【0042】

また、出射側ミラーとしてNb₂O₅膜(またはAl₂O₃膜)の単層膜を用いることによってその反射率を20%以下(例えば18%)に設定することが可能である。なお、第2の透光性膜2としてSiO₂膜(73nm)を付加してもよい。

【0043】

図3(a)は、図1(a)、(b)に示した440nm帯の窒化物半導体レーザ素子について出射側ミラーの反射率を変えてI-L特性を測定した結果の一例を示す。図3(b)は、同図(a)の一部を取り出して拡大して示す特性図である。

【0044】

図3(a)、(b)から分かるように、出射側ミラーの反射率が85%の場合には、閾値電流が38mA程度であり、70mA程度の電流で発光出力10mW程度まで立ち上がる。出射側ミラーの反射率が71%の場合には、閾値電流が40mA程度であり、80mA程度の電流で発光出力25mW程度まで立ち上がる。出射側ミラーの反射率が49%の場合には、閾値電流が52mA程度であり、100mA程度の電流で発光出力50mW程度まで立ち上がる。出射側ミラーの反射率が18%の場合には、閾値電流が60mA程度であり、100mA程度の電流で発光出力60mW程度まで立ち上がる。

【0045】

図3(c)は、図1(a)、(b)に示した440nm帯の窒化物半導体レーザ素子について出射側ミラーの反射率を11%、0%にした場合のI-L特性を測定した結果の一例を示す。出射端面保護膜としてHfO₂膜(約52nm)の単層膜を用いた場合(出射側ミラーの反射率は11%)、130mA程度の電流で発光出力が急激に立ち上がる。また、出射端面保護膜としてAl₂O₃膜(約69nm)の単層膜を用いた場合(出射側ミラーの反射率は0%)、電流の増加につれて発光出力が緩やかに増加する。

【0046】

図4は、図1(a)、(b)に示した440nm帯の窒化物半導体レーザ素子について出射側ミラーの反射率とキンクとの関係を測定した結果の一例(実線)と、400nm帯の窒化物半導体レーザ素子について出射側ミラーの反射率とキンクとの関係を測定した結果の一例(点線)とを対比して示す。

【0047】

図4中に実線で示すように、出射側ミラーの反射率を85%から18%まで下げていく(発光出力を増加させていく)につれて、キンクが180程度から120程度まで大きく

10

20

30

40

50

低減（１５０％程度）し、出射側ミラーの反射率を６０％以下にするとキंकが１５０程度以下に低減し、出射側ミラーの反射率を２０％以下にするとキंकが１２０程度に低減することが判明した。つまり、４４０ｎｍ帯の窒化物半導体レーザ素子の出射側ミラーの反射率を６０％以下に低下させた場合には、キंकの波長依存性は従来よりも小さくなる

【００４８】

上記したように本実施形態の４４０ｎｍ帯の窒化物半導体レーザ素子によれば、出射側ミラーの反射率を低下させる（発光出力を増加させる）ことによってキंकを大幅に低減させることが可能になり、高出力時の信頼性と低出力時の使い易さを両立させ得る大きなダイナミックレンジを持たせることができる。したがって、例えば光ディスク装置の光ヘッド（ピックアップ）に搭載される半導体レーザ素子に適用してパルス電流により直接変調を行う用途とか、ＬＤディスプレイの高速走査を行うためにパルス電流により高速に直接変調を行う用途に好適である。

【００４９】

因みに、図４中に点線で示すように、４００ｎｍ帯の窒化物半導体レーザ素子では、出射側ミラーの反射率を８５％から１８％まで下げていくと、キंकは１１５程度から１０５程度まで低減する。つまり、４００ｎｍ帯の窒化物半導体レーザ素子では、４４０ｎｍ帯の窒化物半導体レーザ素子と比べて、キंकは出射側ミラーの反射率に依存する割合が低い。

【００５０】

以上述べたように、本実施形態の４４０ｎｍ帯の窒化物半導体レーザ素子の出射側ミラーの反射率を所定値以下に低下させるためには、出射側ミラーの透光性多層膜のペア数を減らしたり、出射側ミラーに透光性単層膜を用いたり、透光性膜の材質や膜厚を選定することが有効である。

【００５１】

以下、図１（ａ）に示した窒化物半導体レーザ素子の各構成要素について詳細に説明する。

【００５２】

窒化物半導体層を成長させるための基板は、単一の半導体のみから形成された単体基板であることが好ましいが、単体基板に半導体とは異なる異種材料（サファイア、ＳｉＣ、Ｓｉ、スピネル、ＳｉＯ_２、ＳｉＮ等）を全体的、または部分的に備えている導電性または絶縁性の基板を用いることも可能である。単体基板の半導体は、化合物半導体であって、Ⅲ-Ⅴ族化合物半導体、Ⅱ-ⅤⅠ族化合物半導体等である。具体例としては、ＧａＮ系化合物半導体、ＧａＡｓ系化合物半導体、ＺｎＯ系化合物半導体等がある。ＧａＮ系化合物半導体は、Ⅲ族元素であるＢ、Ｇａ、Ａｌ、Ｉｎ等とⅤ族元素であるＮとの化合物であるＧａＮ、ＡｌＮ、その他に３元や４元の混晶化合物であるＡｌＧａＮやＩｎＡｌＧａＮなどがあり、ｎ型不純物やｐ型不純物を含有するものを含む。

【００５３】

基板として窒化物半導体基板を用いれば、窒化物半導体層と格子不整合等の問題を生じない。また、第１の主面と第２の主面を有する導電性基板を用いる場合には、第１の主側に半導体層、電極が順に形成され、第２の主面側に電極が形成された対向電極構造を有する窒化物半導体レーザ素子を実現でき、大電流の投入が可能となり、高出力発振が可能となる。

【００５４】

窒化物半導体基板の作製方法には様々なものがある。例えば窒化物半導体と異なる材料の異種基板上に、ＥＬＯＧ（エピタキシャル横方向成長）法、選択成長法などにより、転位を低減させた窒化物半導体層を成長した後、成長基板として用いた異種基板を除去して、単体の窒化物半導体基板を取り出す。異種基板の除去方法としては、研磨、研削、エッチング、レーザ照射等を用いる。また、超臨界流体中で結晶育成させる水熱合成法、その他には高圧法、フラックス法で形成されるバルク単結晶を窒化物半導体基板として用いて

10

20

30

40

50

も良い。前記気相成長法とは、MOCVD（有機金属化学気相成長）法やHVPE（ハライド気相エピタキシャル成長）法等である。

【0055】

窒化物半導体基板の作製方法の一具体例を説明すると、サファイアやSiC、GaAs等の異種基板上に窒化物半導体からなるバッファ層を成長する。この時、バッファ層の成長温度は900以下とする。次に、異種基板上に窒化物半導体を50μm以上の厚膜で成長する。その後、異種基板を研磨、電磁波照射（エキシマレーザー照射等）、またはCMP（化学的機械研磨）等により除去することにより、窒化物半導体基板を得ることができる。この場合、窒化物半導体基板として、2軸結晶法による（0002）回折X線ロッキングカーブの半値幅（Full Width at Half Maximum）が100arcsec以下、好ましくは60arcsec以下のものを得ることができる。

【0056】

ここで、上記したように作製された窒化物半導体基板の成長面を第1の主面と称し、異種基板を除去することで露出した露出面側を第2の主面と称する。窒化物半導体基板の第1の主面は、C面、A面またはM面等の結晶成長面の他に、（000-1）面を有するものであってもよい。窒化物半導体基板の第2の主面は、（000-1）面であることが好ましく、その他には（0001）面を備えているものであってもよい。なお、本明細書において、面指数を表す括弧内のバー（-）は、後ろの数字の上に付すべきバーを表すものとする。また窒化物半導体基板の外周形状は特に限定されず、ウェハー状であっても、矩形状等であってもよい。

【0057】

窒化物半導体基板の一例として、転位が面内で周期的に分布しているもの、例えばOLOG法を用いて低転位密度領域と高転位密度領域が交互にストライプ状に形成されたものがある。このような窒化物半導体基板であれば内部に発生する応力を緩和させる作用が働くので、基板上に応力緩和層を形成することなく窒化物半導体素子を膜厚5μm以上で積層することが可能となる。前記OLOG法の具体例として、基板に凹凸を形成した後で窒化物半導体を再成長させる方法がある。前記低転位密度領域および高転位密度領域がストライプ状に形成されたものは、連続的に形成されている場合に限らず、破線状（間欠的）に形成されている場合を含む。前記低転位密度領域とは、単位面積当たりの転位数が $1 \times 10^7 / \text{cm}^2$ 以下、好ましくは $1 \times 10^6 / \text{cm}^2$ 以下である。前記高転位密度領域とは、前記低転位密度領域よりも転位密度が高い領域であればよい。これらの転位測定はCL観察やTEM観察等で行う。転位密度が $1 \times 10^6 / \text{cm}^2$ 以下、好ましくは $5 \times 10^5 / \text{cm}^2$ 以下の低転位領域の上部にリッジを形成した導波路領域を有する半導体レーザー素子は、寿命特性を向上させることができる。

【0058】

窒化物半導体基板の他の例として、第1の主面上に、第1のn型不純物を含有している第1の領域と、この第1の領域とは異なるn型不純物を含有している第2の領域とを有するものがある。このような異なるn型不純物を含有した第1の領域および第2の領域を形成するためには、窒化物半導体基板の作製時に、窒化物半導体基板の第1の主面にn型不純物をドーピングしながら窒化物半導体を成長させることで第1の領域を形成し、第1の領域以外の表面に第1の領域とは異なるn型不純物をイオン注入することで第2の領域を形成する。第2の領域の形成方法の他の例としては、窒化物半導体基板の表面に凹部を形成した後、この凹部を第1の領域とは異なるn型不純物をドーピングしながら再成長させる。

【0059】

また、窒化物半導体基板の表面にオフ角を形成したり、エッチング等で研削することで表面に新たに露出した面を形成してもよい。前記オフ角は、 0.02° 以上 90° 以下、好ましくは 0.05° 以上 5° 以下である。

【0060】

窒化物半導体基板に含有されているn型不純物の不純物濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ である。窒化物半導体基板の膜厚は、50μm以上1mm以下とするが、

好ましくは $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下とする。この範囲であれば、ウェハ上に窒化物半導体レーザ素子を形成した後に劈開を再現性よく実施することができる。また、窒化物半導体基板の膜厚が $50\text{ }\mu\text{m}$ 未満であれば、デバイス工程でのハンドリングが困難となる。

【0061】

窒化物半導体基板の第1の主面は、基板の表面をウェットエッチング、ドライエッチング、またはCMP処理をすることで、任意の凹凸部を形成することができる。ドライエッチングとしては、RIE（反応性イオンエッチング）、RIBE（反応性イオンビームエッチング）、ECR（電子サイクロトロン共鳴）、ICP（高周波誘導結合プラズマ）、FIB（収束イオンビーム）等がある。上記したように部分的に結晶成長面が異なる表面を有する窒化物半導体基板は、基板に発生する応力や歪みを解消するので好ましく、具体的には、第1の主面を（0001）面とし、その他には（0001）面と異なる結晶成長面である（000-1）面や（11-20）面、（10-15）面、（10-14）面、（11-24）面を有するものである。

10

【0062】

窒化物半導体基板の第2の主面は、少なくとも2以上の異なる結晶成長面を有し、具体的には、（000-1）面や（0001）面、（11-20）面、（10-15）面、（10-14）面、（11-24）面等を有することが好ましい。このような窒化物半導体基板であれば、基板上に成長させた窒化物半導体素子は、素子内にかかる応力を抑制しており、劈開時におけるダメージに耐えることが可能である。

【0063】

前記n側クラッド層13、p側クラッド層17は単一層構造、2層構造、または組成比が互いに異なる2層からなる超格子構造であっても構わない。n側クラッド層13の総膜厚としては $0.4\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ であり、p側クラッド層17の総膜厚としては $0.2\sim 8\text{ }\mu\text{m}$ であり、この範囲であると順方向電圧（Vf）を低減するために好ましい。また、n側クラッド層13、p側クラッド層17全体のAlの平均組成は、 $0.02\sim 0.1$ である。この値は、クラックの発生を抑制し、且つ、レーザ光導波路との屈折率差を得るのに好ましい。

20

【0064】

前記n型不純物のドーピング量は、 $1\times 10^{17}/\text{cm}^3\sim 5\times 10^{19}/\text{cm}^3$ である。n型不純物がこの範囲でドーピングされていると、抵抗率を低くでき、且つ、結晶性を損なわない。また、前記p型不純物のドーピング量は、 $1\times 10^{19}/\text{cm}^3\sim 1\times 10^{21}/\text{cm}^3$ である。p型不純物がこの範囲でドーピングされていると、結晶性を損なわない。

30

【0065】

前記n型不純物としてはSi、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr、Cd等が挙げられ、p型不純物としてはMgの他にBe、Zn、Mn、Ca、Sr等が挙げられる。不純物の濃度は、 $5\times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上 $1\times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下の範囲でドーピングされることが好ましい。不純物の濃度が $1\times 10^{21}/\text{cm}^3$ よりも多いと、窒化物半導体層の結晶性が悪くなって、出力が低下する傾向がある。これは変調ドーピングの場合も同様である。

【0066】

窒化物半導体基板上には下地層を介してn側クラッド層13を成長させることもできる。前記下地層は、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ （ $0\leq a\leq 0.5$ ）である。これにより、窒化物半導体層の表面上に発生する転位（貫通転位等）やピットを低減させることができる。前記下地層は単一層構造、または多層積層構造である。n側クラッド層13は単一層であれば、一般式は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0\leq x\leq 0.2$ ）であって、膜厚は $0.5\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ である。多層で成長させるには、超格子構造としては第1の層である $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0\leq x\leq 0.1$ ）と第2の層である $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ （ $0.01\leq y\leq 1$ ）との積層構造とする。

40

【0067】

窒化物半導体基板の第2の主面にn電極を形成する際、第2の主面にCVDやスパッタ、蒸着等により形成する。このn電極は、少なくともTi、Ni、Au、Pt、Al、P

50

d、W、Rh、Ag、Mo、V、Hf からなる群より選ばれる少なくとも1つを有する。
 n電極を多層構造とする場合には、多層構造の最上層はPtまたはAuであると、電極からの放熱性を向上させることが可能となるので好ましい。窒化物半導体基板の第2の主面に形成する電極の材料にこれらの材料を選択することによって、特に窒化物半導体からなる基板と電極とのオーミック特性が得られる。また、窒化物半導体からなる基板と電極との密着性も良くウェハーからバー化またはチップ化するための劈開工程で電極が剥がれることを抑制する効果を有する。n電極の膜厚としては1000nm以下、好ましくは600nm以下とする。n電極を多層構造とする場合には、具体的には第1の層をV、またはTi、Mo、W、Hf等とする。ここで、第1の層の膜厚は50nm以下とする。第1の層をWとすれば、30nm以下とすることが良好なオーミック特性を得ることができるので好ましい。第1の層をVとすれば、耐熱性が向上するので好ましい。ここで、Vの膜厚は5nm以上30nm以下、好ましくは7nm以上20nmとすることで良好なオーミック特性を得ることができる。

【0068】

前記n電極がTi/Alであれば膜厚は1000nm以下であって、例えば膜厚は10nm/500nmとなる。n電極として、窒化物半導体基板の第2の主面側からTi/Pt/Auの順に積層すれば膜厚は6nm/100nm/300nmである。n電極として、窒化物半導体基板の第2の主面側からTi/Mo/Pt/Auとすれば、例えばTi(6nm)/Mo(50nm)/Pt(100nm)/Au(210nm)となる。n電極として、Ti/Hf/Pt/Auとすれば、例えばTi(6nm)/Hf(6nm)/Pt(100nm)/Au(300nm)となり、Ti/Mo/Ti/Pt/Auとすれば、Ti(6nm)/Mo(50nm)/Ti(50nm)/Pt(100nm)/Au(210nm)の順に積層することができる。n電極として、W/Pt/Au、W/Al/W/Au等とすれば、上記特性を示す。n電極の多層構造の他の例として、窒化物半導体基板の第2の主面側からHf/Al、Ti/W/Pt/Au、Ti/Pd/Pt/Au、Pd/Pt/Au、Ti/W/Ti/Pt/Au、Mo/Pt/Au、Mo/Ti/Pt/Au、W/Pt/Au、V/Pt/Au、V/Mo/Pt/Au、V/W/Pt/Au、Cr/Pt/Au、Cr/Mo/Pt/Au、Cr/W/Pt/Au等がある。n電極22を形成した後、300℃以上でアニールしてもよい。

【0069】

n電極は、矩形状に形成される。n電極は、窒化物半導体基板の第2の主面側に、後工程である窒化物半導体基板をバー化するためのスクライプ工程においてスクライプラインとなる領域を除く範囲にパターン形成される。さらに、n電極上にそれと同様のパターン形状でメタライズ電極（省略可能）が形成されると、スクライプし易くなり、劈開性が向上する。メタライズ電極としてはTi-Pt-Au-(Au/Sn)、Ti-Pt-Au-(Au/Si)、Ti-Pt-Au-(Au/Ge)、Ti-Pt-Au-In、Au/Sn、In、Au/Si、Au/Ge等を用いることができる。

【0070】

また、窒化物半導体基板の第2の主面には段差を形成してもよい。段差を形成することで、第2の主面を(000-1)面とすれば、(000-1)面以外の傾斜面を露出することができる。例えば(000-1)面以外の面を意味する面指数等は一面に指定されず、(10-15)、(10-14)、(11-24)面等である。(000-1)面以外の傾斜面は、n極性を示す面における表面積の0.5%以上であることが好ましい。より好ましくは1%以上20%以下である。

【0071】

ここで、段差とは界面段差が0.1μm以上であって、段差形状はテーパ形状や逆テーパ形状である。また、段差の平面形状のパターンはストライプ状、格子状、島状、円状や多角形状、矩形状、くし形状、メッシュ形状から選ばれる凸部および/または凹部を有する。例えば、円状の凸部を形成すれば、円状凸部の直径幅は5μm以上とする。また、凹部溝部の幅は少なくとも3μm以上の領域を有すると電極の剥がれ等がなくなり好ま

しい。(000-1)面以外の傾斜面を露出するには、オフ角を $0.2 \sim 90^\circ$ の範囲で形成してもよい。窒化物半導体基板の第2の主面はn電極を形成する面であるので、(000-1)面、および(000-1)面以外の面を有することでオーミック特性を向上させることができる。これにより、信頼性の高い窒化物半導体レーザ素子が得られる。

【0072】

なお、本発明の実施に際し、窒化物半導体基板や窒化物半導体層はMOVPE(有機金属気相成長)法、MOCVD法、HVPE(ハライド気相成長)法、MBE(分子線気相成長)法等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。

【実施例】

【0073】

以下、本発明の窒化物半導体レーザ素子の実施例を数例示すが、本発明はこれらに限定されない。また、実施例の全図を通して同一部分には同一符号を付してその詳細な説明を省略する。

【0074】

[実施例1]

図5は、実施例1の440nm帯の窒化物半導体レーザ素子の断面構造を模式的に示す。ここでは、一対の電極がチップの上下両面に分離されて形成された対向電極構造を示している。

【0075】

実施例1の440nm帯の窒化物半導体レーザ素子は、光の波長換算で420nm以上、550nm以下のエネルギーバンドギャップを有する活性層を含むリッジ導波路構造と、導波路領域に対してほぼ垂直な端面に位置する出射側ミラーおよび反射側ミラーとを有する。

【0076】

この半導体レーザ素子の構造は、導電性を有する窒化物半導体基板(例えばGaN基板)10の第1の主面上に、窒化物半導体層として、n-Contact層11、Crack-Barrier層12、n-Clad層13、n-Guide層14、Act層15、p-Cap層16、p-Guide層17、p-Clad層18、p-Contact層19が積層成長により形成されている。n-Contact層11、Crack-Barrier層12、n-Clad層13、n-Guide層14はn型不純物がドーピングされており、p-Cap層16、p-Guide層17、p-Clad層18、p-Contact層19はp型不純物がドーピングされている。Act層15は、本例ではn型不純物がドーピングされている。

【0077】

p-Contact層19およびp-Cladp層18の上面部には、平面がストライプ状、断面が突状(リッジ状)の電流狭窄領域(リッジ部)が形成されており、このリッジ部を含む導波路領域に対して略垂直な端面に共振面が形成されている。なお、p-Guide層17の一部まで掘り下げてリッジ部を形成してもよい。

【0078】

そして、リッジ部の側面およびp-Cladp層18の表面を覆う埋め込み絶縁膜(例えば厚さ50nmの ZrO_2 膜)20と、リッジ部の上面にオーミックにコンタクトし、かつ、リッジ部の表面および埋め込み絶縁膜上の一部を覆うp電極21と、保護絶縁膜(例えば厚さ500nmの SiO_2 膜)24と、pパッド電極23が形成されている。保護絶縁膜24は、p電極21の側端部上から埋め込み絶縁膜20上、p型の半導体層18、17、16、活性層15、n型の半導体層14、13、12、11の各側面を覆うように形成されている。p電極21上から保護絶縁膜24の一部上まで覆うようにパッド電極23が形成されている。さらに、GaN基板10の第2の主面(裏面側)はラッピングおよび研磨が施され、所定の厚さに(放熱性を高めるために薄く)調整された後にn電極22が形成されている。

【0079】

本実施例1では、Act層15の両側にn-Guide層14、p-Guide層17を形成したSCH構造を有し、さらに、SCH構造の両側にn-Clad層13、p-Clad層18を有する。これら

10

20

30

40

50

のn-Clad層13、p-Clad層18として、屈折率の低い窒化物半導体層を設けて光閉じ込め機能およびキャリア閉じ込め効果を持たせている。なお、各層の間に応力緩衝層を有する構造としてもよい。

【0080】

Act層15は、例えば図1(b)に示したように、1st Barrier層151、1st Well層152、Middle Barrier層153、2nd Well層154、Last Barrier層155が積層された多重量子井戸構造を有する。

【0081】

表4は、図5に示した窒化物半導体レーザ素子の各層の膜厚、Inの混晶比 x あるいはAlの混晶比 y の一例を示している。

【0082】

(表4)

	膜厚	混晶比 (In $_x$ または Al $_y$)
n-Contact	4 μ m	y=0.02
Crack-Barrier	150 nm	x=0.03
n-Clad	1.3 μ m	y=0.059
n-Guide	315 nm	-
1st Barrier	40 nm	x=0.035
1st Well	3 nm	x=0.10
Middle Barrier	14 nm	x=0.035
2nd Well	3 nm	x=0.10
Last Barrier	40 nm	x=0.035
p-Cap	10 nm	y=0.25
p-Guide	315 nm	-
p-Clad	450 nm	y=0.046
p-Contact	15 nm	-

表4において、Crack-Barrier層、1st Barrier層、1st Well層、Middle Barrier層、2nd Well層およびLast Barrier層はIn $_x$ を含む層であり、n-Contact層、n-Clad層、p-Cap層およびp-Clad層はAl $_y$ を含む層である。n-Guide層、p-Guide層およびp-Contact層はGa $_N$ 層である。

【0083】

Crack-Barrier層は、膜厚が150 nm、Inの混晶比 x が0.03である。1st Barrier層およびLast Barrier層は、膜厚が40 nm、Inの混晶比 x が0.035である。Middle Barrier層は、膜厚が14 nm、Inの混晶比 x が0.035である。1st Well層および2nd Well層は、膜厚が3 nm、Inの混晶比 x が0.10である。

【0084】

n-Contact層は、膜厚が4 μ m、Alの混晶比 y が0.02である。n-Clad層は、膜厚が1.3 μ m、Alの混晶比 y が0.059である。p-Cap層は、膜厚が10 nm、Alの混晶比 y が0.25である。p-Clad層は、膜厚が450 nm、Alの混晶比 y が0.046である。n-Guide層およびp-Guide層は、膜厚が315 nmであり、p-Contact層は、膜厚が15 nmである。

【0085】

図5に示した窒化物半導体レーザ素子のレーザミラーの断面構造の一例は、図2(a)あるいは図2(b)を参照して前述したようなものである。本実施例1では、出射側ミラーは、導波路領域の一端面側から順に、レーザ光に対して第1の屈折率 n_1 を有する第1の透光性膜1と、それよりも屈折率が低い第2の屈折率 n_2 を有する第2の透光性膜2とが1.5ペアだけ積層されて形成されている。ここでは、表2中のタイプ(F)に示すように、第1の透光性膜1としてZrO $_2$ 膜(49 nm)、第2の透光性膜2としてSiO $_2$ 膜(73 nm)で形成している。この場合、表2を参照して前述したように出射側ミラ

10

20

30

40

50

ーの反射率は49%である。これに対して、反射側ミラーは、導波路領域の他端面側から順に、第1の透光性膜1と第2の透光性膜2とが4.5ペアだけ積層されて形成されている。ここでは、第1の透光性膜1として ZrO_2 膜(49nm)、第2の透光性膜2として SiO_2 膜(73nm)で形成している。この場合、表2を参照して前述したように反射側ミラーの反射率は93%である。

【0086】

本実施例1によれば、図3(a)、(b)を参照して前述したように、閾値電流が52mA程度、100mA程度の電流で発光出力50mW程度まで立ち上がるI-L特性を有する440nm帯の窒化物半導体レーザ素子が得られる。そして、図4を参照して前述したように、キンクが140程度まで低減するという効果が得られる。

10

【0087】

[実施例2]

窒化物半導体レーザ素子の実施例2は、前述した実施例1において、n-Clad層13およびp-Clad層18の混晶比と、n-Guide層14、p-Cap層16、p-Guide層17およびp-Clad層18の膜厚を変更し、その他は同様の条件で窒化物半導体レーザ素子を形成したものである。

【0088】

表5は、図5に示した窒化物半導体レーザ素子の各層の膜厚、Inの混晶比 x あるいはAlの混晶比 y の一例を示している。

【0089】

20

(表5)

	膜厚	混晶比(In x またはAl y)
n-Contact	4 μ m	$y=0.02$
Crack-Barrier	150 nm	$X=0.03$
n-Clad	1.3 μ m	$y=0.062$
n-Guide	330 nm	-
1st Barrier	40 nm	$X=0.035$
1st Well	3 nm	$X=0.10$
Middle Barrier	14 nm	$X=0.035$
2nd Well	3 nm	$X=0.10$
Last Barrier	40 nm	$X=0.035$
p-Cap	8 nm	$y=0.25$
p-Guide	330 nm	-
p-Clad	500 nm	$y=0.055$
p-Contact	15 nm	-

30

表5に示すように、Crack-Barrier層は、膜厚が150nm、Inの混晶比 x が0.03である。1st Barrier層およびLast Barrier層は、膜厚が40nm、Inの混晶比 x が0.035である。Middle Barrier層は、膜厚が14nm、Inの混晶比 x が0.035である。1st Well層および2nd Well層は、膜厚が3nm、Inの混晶比 x が0.10である。n-Contact層は、膜厚が4 μ m、Alの混晶比 y が0.02である。n-Clad層は、膜厚が1.3 μ m、Alの混晶比 y が0.062である。p-Cap層は、膜厚が8nm、Alの混晶比 y が0.25である。p-Clad層は、膜厚が500nm、Alの混晶比 y が0.055である。n-Guide層およびp-Guide層は、膜厚が330nmであり、p-Contact層は、膜厚が15nmである。

40

【0090】

本実施例2によっても、実施例1とほぼ同等の特性を有する窒化物半導体レーザ素子が得られる。

【0091】

[実施例3]

50

実施例 3 は、前述した実施例 1 あるいは実施例 2 において、出射側ミラーの第 1 の透光性膜 1 として表 2 中のタイプ (H) に示すように Al_2O_3 膜 (89 nm) を用い、その他は同様の条件で窒化物半導体レーザ素子を形成した (第 2 の透光性膜 2 は用いない) ものである。この場合、表 2 を参照して前述したように出射側ミラーの反射率は 18 % である。

【0092】

本実施例 3 によれば、実施例 1 よりも出射側ミラーの反射率が低く、発光出力が高く、図 3 (a)、(b) を参照して前述したように、閾値電流が 60 mA 程度、100 mA 程度の電流で発光出力 60 mW 程度まで立ち上がる I-L 特性を有する 440 nm 帯の窒化物半導体レーザ素子が得られる。そして、図 4 を参照して前述したように、キックが 120 程度まで大きく低減するという効果が得られる。

10

【0093】

なお、本実施例 3 において、出射側ミラーの第 1 の透光性膜 1 に対して、第 2 の透光性膜 2 として SiO_2 膜 (73 nm) を積層するように変更してもよい。

【0094】

[実施例 1 の半導体レーザ素子の製造方法]

(基板) MOCVD 反応装置内において、サファイアまたは GaAs 基板を配置して、温度を 500 にする。次に、トリエチルガリウム (TEG) 及び / 又はトリメチルガリウム (TMG)、アンモニア (NH_3) を用い、GaN よりなるバッファ層を 20 nm の膜厚で成長させる。バッファ層を成長した後、温度を 1050 にして、同じく GaN よりなる下地層を 4 μm の膜厚で成長させる。下地層を成長した後、ウェハーを反応容器から取り出し、この下地層の表面に、ストライプ状のフォトマスクを形成し、CVD 装置によりストライプ幅 10 ~ 300 μm 、ストライプ間隔 (窓部) 5 ~ 300 μm の SiO_2 よりなる保護膜を形成する。

20

【0095】

保護膜を形成した後、ウェハーを HVPE (ハイドライド気相成長法) 装置に移送し、原料に Ga メタル、HCl ガス、およびアンモニアを用い、n 型不純物として Si および / または O をドーピングしながら GaN よりなる窒化物半導体を 400 μm の膜厚で成長させる。このように HVPE 法で保護膜の上に窒化物半導体を成長させながら 100 μm 以上の GaN 厚膜を成長させると、結晶欠陥は二桁以上少なくなる。そして、異種基板等を研磨、研削、CMP またはレーザ照射等により剥離することで GaN 基板 10 が得られる。この GaN 基板 10 は、膜厚が 400 μm 程度であり、少なくとも導波路形成予定領域下においては転位密度が $5 \times 10^6 / cm^2$ 以下である。

30

【0096】

(n-Contact 層 11) 基板上に GaN 層を成長させる際、さらに、中間層 11a を成長させ、最上層には、1050 で TMA (トリメチルアルミニウム)、TEG 及び / 又は TMG、アンモニア、シランガスを用い、Si をドーブした $Al_{0.02}Ga_{0.98}N$ よりなる n-Contact 層 11 を成長させる。

【0097】

(Crack-Barrier 層 12) 次に、温度を 800 にして、原料ガスに TEG 及び / 又は TMG、TMI、アンモニア、シランガスを用い、Si をドーブした $In_{0.03}Ga_{0.97}N$ よりなる Crack-Barrier 層 12 を膜厚 150 nm となるように成長させる。

40

【0098】

(n-Clad 層 13) 次に、1050 で TMA、TEG 及び / 又は TMG、アンモニア、シランガスを用い、Si をドーブした $Al_{0.059}Ga_{0.941}N$ よりなる n-Clad 層 13 を膜厚 1.3 μm となるように成長させる。なお、この n-Clad 層 13 は超格子構造とすることもできる。

【0099】

(n-Guide 層 14) 次に、シランガスを止め、1050 でアンドープ GaN よりなる n-Guide 層 14 を膜厚 315 nm となるように成長させる。

50

【0100】

(Act 層15) 次に、TEG及び/又はTMG、TMI、アンモニア、シランガスを用いてAct 層15を成長させる。この際、温度を800 に保持して、まず、Siをドーブした $\text{In}_{0.035}\text{Ga}_{0.965}\text{N}$ よりなる1st Barrier 層151を膜厚40 nmとなるように成長させる。続いて、同一温度で、 $\text{In}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ よりなる1st Well層152を膜厚3 nmとなるように成長させる。このような障壁層と井戸層とを2回交互に積層する。この際、1st Well層152を成長させた後、Siをドーブした $\text{In}_{0.035}\text{Ga}_{0.965}\text{N}$ よりなるMiddle Barrier層153を膜厚14 nmとなるように成長させる。続いて、 $\text{In}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ よりなる2nd Well層154を膜厚3 nmとなるように成長させる。この後、Siをドーブした $\text{In}_{0.035}\text{Ga}_{0.965}\text{N}$ よりなるLast Barrier層155を膜厚40 nmとなるように成長させることにより、総膜厚100 nmの多重量子井戸構造のAct 層15を得る。

【0101】

(p-Cap 層16) 次に、温度を1050 に上げ、TEG及び/又はTMG、TMA、アンモニア、 Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgをドーブした $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ よりなるp-Cap 層16を膜厚10 nmとなるように成長させる。なお、このp-Cap 層16は省略可能である。

【0102】

(p-Guide 層17) 続いて、 Cp_2Mg 、TMAを止め、1050 で、前述したp-Cap 層16よりもバンドギャップエネルギーが小さいアンドープGaNよりなるp-Guide 層17を膜厚315 nmとなるように成長させる。

【0103】

(p-Clad層18) 続いて、1050 で、Mgをドーブした $\text{Al}_{0.046}\text{Ga}_{0.954}\text{N}$ よりなる層を膜厚2.5 nmだけ成長させ、続いて、 Cp_2Mg 、TMAを止め、アンドープGaNよりなる層を膜厚2.5 nmだけ成長させる。このようなペアを90回成長させ、総膜厚450 nmの超格子構造のp-Clad層18を成長させる。

【0104】

(p-Contact 19) 最後に、1050 で、p-Clad層18の上に、MgをドーブしたGaNよりなるp-Contact 層19を膜厚15 nmとなるように成長させる。

【0105】

反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェハーを反応容器内において、700 でアニーリングを行い、p型半導体層をさらに低抵抗化する。アニーリング後、ウェハーを反応容器から取り出す。

【0106】

次に、応力緩和の目的のために、n側半導体層をエッチングにより露出させる。n側半導体層の露出面は特に限定するものではないが、例えばContact 層11の一部まで露出する。この際、エッチングは、RIE法を用い、 Cl_2 、 CCl_4 、 SiCl_4 、 BCl_3 のような塩素系のガスによりエッチングする。そして、最上層のp-Contact 19の表面に SiO_2 等よりなる保護膜(図示せず)をストライプ状に形成する。この保護膜は、ストライプ状の電流狭窄領域であるリッジ部を形成するためのパターン形状をしており、この保護膜をマスクとしてRIE法でエッチングすることにより、ストライプ状のリッジ部を形成する。リッジストライプを形成する場合、特にAct 層15よりも上にあるAlを含むp型半導体層以上の層をリッジ形状とすることにより、Act 層15の発光がリッジ下部に集中して、横モードが単一化しやすく、閾値が低下し易い。リッジ部の幅は1.0 μm ~ 50.0 μm とする。リッジ部のストライプ方向の長さは300 μm ~ 1000 μm である。レーザ光をシングルモードとする場合には、リッジ部の幅は1.0 μm ~ 2.0 μm とするのが好ましい。リッジ部の幅を10 μm 以上とすれば、200 mW以上の出力が可能となる。リッジ部の高さは、p-Guide 層17を露出する範囲であればよい。その理由は、大電流を流す場合にはリッジ部以下では電流が急激に横方向に広がるので、リッジ部を形成するためのエッチング深さはp-Guide 層17までであるのが好ましい。

【0107】

次に、リッジ部の側面およびp-Clad層18の表面を保護するために埋め込み絶縁膜20で覆う。この埋め込み絶縁膜20は、窒化物半導体層よりも屈折率が小さく、絶縁性の材料から選ばれるものである。具体例としては、 ZrO_2 、 SiO_2 、その他にはV、Nb、Hf、Ta等の酸化物である。

【0108】

次に、p-Contact層19の表面にp電極21を形成する。好ましくは、p-Contact層19および埋め込み絶縁膜20の一部上にp電極21を多層構造で形成する。この際、p電極21を例えばNiとAuからなる2層構造とする場合には、先ず、p-Contact層19上にNiを5nm~20nmの膜厚で形成し、次に、Auを50nm~300nmの膜厚で形成する。また、p電極21を3層構造とする場合にはNi/Au/Pt、Ni/Au/Pd等があり、NiとAuは2層構造と同じ膜厚であればよく、最終層となるPtやPdは50nm~500nmである。なお、p電極21を形成する際、図7(a)、(b)に示したように、p電極の一端を導波路領域の一端面に一致させて形成する場合と、p電極の一端を導波路領域の一端面から少し離して形成する場合がある。

【0109】

上記したようにp電極21を形成した後、オーミックアニールを行う。詳細な条件としては、アニール温度を300以上、好ましくは500以上とする。また、アニールを行う雰囲気は、窒素および/または酸素を含有する条件とする。

【0110】

この後、p電極21の一部(側端部)上および埋め込み絶縁膜20上および前工程で露出した半導体層の側面に、 SiO_2 からなる保護絶縁膜24を0.5μmの膜厚となるようにスパッタリング成膜により形成する。

【0111】

次に、p電極21上および保護絶縁膜24の一部上にpパッド電極23を形成する。このpパッド電極23は、Ni、Ti、Au、Pt、Pd、W等の金属からなる積層体とすることが好ましく、例えばp電極21側からW/Pd/Au、またはNi/Ti/Auの順に連続して形成する。pパッド電極23の膜厚は特に限定されないが、最終層のAuの膜厚を100nm以上とする。pパッド電極23は、p電極21の表面積よりも広い面積で形成されており、放熱性が向上し、ワイヤーボンディングが容易になっている。また、pパッド電極23は、p電極21よりも膜厚が厚く形成されており、p電極21の剥がれを防止する役割も有する。その後、GaN基板10の第2の主面の一部または全面に、V(10nm)/Pt(200nm)/Au(300nm)よりなるn電極22を形成する。

【0112】

次に、上記したようにp電極21、n電極22およびpパッド電極23を形成したウェハーをリジストライブに垂直な方向でバー状に劈開する。ここで、共振面は、M面(1-100面、六角柱状の結晶の側面に相当する面)やA面(11-20面)である。ウェハーをバー状に分割する劈開方法としては、ブレードブレイク、ローラーブレイク、またはプレスブレイク等がある。

【0113】

この場合、ウェハーの分割工程を2段階で行うことによって、共振面を歩留まり良く形成することが好ましい。先ず、ウェハー状のGaN基板10の第1の主面側、または第2の主面側からスクライブにより予め劈開補助溝を形成する。劈開補助溝は、深さを10μmとし、共振面と平行方向に50μm、垂直方向に15μmの幅とし、ウェハーの全面、若しくはバーを形成するためにウェハーの両端に形成する。好ましくは、劈開補助溝をバーを形成する劈開方向に破線状に間隔をあけて形成する。これによって、劈開方向が屈曲することを抑制することができる。また、GaN基板10の第1の主面、および/または第2の主面に予め劈開補助溝を形成することで、容易にウェハーをバー状に劈開することができる。劈開補助溝をGaN基板10の第2の主面に有することによって、第2の主面

10

20

30

40

50

(裏面)に形成したn電極22の剥がれ防止効果がある。

【0114】

前記した劈開補助線を用いてGa₂N基板10のn電極22の形成面側からウェハーをバー状に劈開することによって、共振器長300～1000μmの共振器を作製した後、共振器の反射面側および/または出射面側にレーザミラーを形成する。レーザミラーは、SiO₂やZrO₂、TiO₂、Al₂O₃、Nb₂O₅等からなる誘電体積層膜である。レーザミラーは、共振面の反射面側および出射面側に形成することが好ましい。劈開によって形成された共振面であれば、再現性よく形成することができる。なお、出射面側のレーザミラーとして、Al₂O₃膜、Nb₂O₅膜、HfO_x膜、MgO膜、Ta₂O₅膜、SiON膜、AlO_xN_y膜、GaO_x膜のいずれか1つからなる単層膜を用いると、

10

【0115】

さらに、前記したようにバー状に劈開され、レーザミラーが形成された窒化物半導体基板を、リッジストライプに平行(p電極21に平行)な方向分割してチップ化する。このチップの形状は矩形状であって、矩形状の共振面の幅は500μm以下、好ましくは400μm以下とする。ここで、窒化物半導体レーザ素子の共振面側の左右の角には凹部溝を有する。凹部溝は、深さが10μmであって、共振面と平行方向に30μm、垂直方向に10μmの幅である。

【0116】

このように作製された窒化物半導体レーザ素子チップのn電極22側をヒートシンク上に設置し、p電極21にワイヤーボンディング接続を行い、室温でレーザ発振を試みたところ、発振波長435～465nm、閾値電流密度2.9kA/cm²において室温で良好な連続発振を示す。さらに、前記したように共振面を劈開により形成しても、劈開傷がなく、光出力が連続動作(CW)で50mW、動作温度が25℃の状態では寿命が1万時間と、特に寿命特性の良いレーザ素子を再現性良く製造することができる。

20

【0117】

このような特性を有する窒化物半導体レーザ素子は、光学モジュール、医療用、バイオ、印刷用、露光用等の光源として使用可能である。

【0118】

なお、前記pパッド電極23は、単にp電極21と電氣的に接続するだけでよい。パッド電極23は、p電極20よりも膜厚を厚くして、p電極21の剥離を防止すると共に、表面積をp電極21よりも大きくしてあるので、p電極21側でpパッド電極23にワイヤーボンディング接続を行うことを容易にすると共に、p電極21側をヒートシンク、サブマウントのような放熱体に接続する際に、接着面積を大きくして放熱性を向上させることが可能になる。

30

【0119】

[実施例4]

図6は、窒化物半導体レーザ素子の実施例4の断面構造の一例を模式的に示している。

【0120】

図6の窒化物半導体レーザ素子は、前述した実施例1の窒化物半導体レーザ素子と比べて、p電極21側をヒートシンクへの実装面とするために、pパッド電極23上に外部電極等と接続させるためのメタライズ層(パンプ)(図示せず)を形成したフェイスダウン構造を有する点が異なり、その他は同じである。ここで、pパッド電極23をメタライズ層と併用してもよい。メタライズ層は、Ag、Au、Sn、In、Bi、Cu、Zn等の材料からなる。基板として、Ga₂N基板10を用いることでフェイスダウン構造の窒化物半導体レーザ素子を再現性よく提供することができる。本実施例4によれば、放熱性がよく、信頼性が向上する。

40

【0121】

[実施例5]

窒化物半導体レーザ素子の実施例5は、Ga₂N基板10の第1の主面側にn電極22を

50

配設した（つまり、p電極21およびn電極22をチップの同一面側に配置した）ものである。この場合、前述した実施例1と比べて、n-Contact層11の一部を露出させるようにエッチングし、その露出上面の一部にn電極22を形成し、露出上面の残部に保護絶縁膜を形成している。p電極21とn電極22を同一面側に形成した後、ウェハーを研磨装置に移送し、ダイヤモンド研磨剤を用いて、GaN基板10の裏面をラッピングし、基板の厚さを100 μ mとする。この後、細かい研磨剤で1 μ mポリシングして基板裏面を鏡面状とする。このように基板の厚さを100 μ m以下に薄くすることによって、窒化物半導体レーザ素子の放熱性が高まる。この後、GaN基板10の研磨面側をスクライブして、リッジストライプに垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面に共振器長650 μ mの共振器を作製する。さらに、共振器面にSiO₂とZrO₂よりなる透光性積層膜を形成し、最後にリッジストライプに平行な方向で、バーを切断してLDチップとする。

10

【0122】

このように同一面側電極構造を有するLDチップを、ヒートシンク上にフェースアップ状態（GaN基板10がヒートシンクに対向した状態）で設置し、p電極21およびn電極22にそれぞれ金線よりなるワイヤーをボンディング接続する。このワイヤーボンディング時の位置は、リッジストライプの真上を避けてリッジストライプの位置から離れた位置とすることにより、リッジ部に衝撃を与えないので、リッジ部の結晶が破壊されることはない。

【0123】

[その他の実施例]

その他の実施例としては、前述した各実施例においてp-Contact層19上にのみp電極21を形成するように変更したものがあある。この構造によれば、埋め込み絶縁膜20とp電極21が密着していないので、埋め込み絶縁膜20とp電極21との界面でp電極21が剥がれることがなくなる。

20

【0124】

また、本発明は、前記したようなストライプ状のリッジ構造導波路を有する窒化物半導体レーザ素子とは構造を異にする電流狭窄層を有する窒化物半導体レーザ素子にも適用可能である。電流狭窄層とは、選択的に電流を流す機能を有する層であり、具体的な組成としてはAlNである。電流狭窄層はAct層15とp-Contact層19との間にあればよく、好ましくはp-Guide層17に形成されている。電流狭窄層同士の間隔は0.5 μ m～3 μ mである。電流狭窄層の膜厚は10nm～1 μ mである。

30

【図面の簡単な説明】

【0125】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る440nm帯の窒化物半導体レーザ素子の断面構造の一例を模式的に示す図。

【図2】図1の窒化物半導体レーザ素子のレーザミラーの断面構造の二例を模式的に示す図。

【図3】図1の窒化物半導体レーザ素子について出射側ミラーの反射率を変えてI-L特性を測定した結果の数例を示す特性図。

【図4】図1の窒化物半導体レーザ素子について出射側ミラーの反射率とキंकとの関係を測定した結果の一例と、400nm帯の窒化物半導体レーザ素子について出射側ミラーの反射率とキंकとの関係を測定した結果の一例とを対比して示す図。

40

【図5】本発明の実施例1に係る440nm帯の窒化物半導体レーザ素子の断面構造の一例を模式的に示す図。

【図6】本発明の実施例4に係る440nm帯の窒化物半導体レーザ素子の断面構造の一例を模式的に示す図。

【図7】図1の窒化物半導体レーザ素子のp電極と導波路領域とを上から見た場合の両者の平面的な配置関係について2通りを模式的に示す平面図。

【図8】窒化物半導体レーザ素子の波長が長くなるにつれてキंकが次第に大きくなる様子を示す図。

50

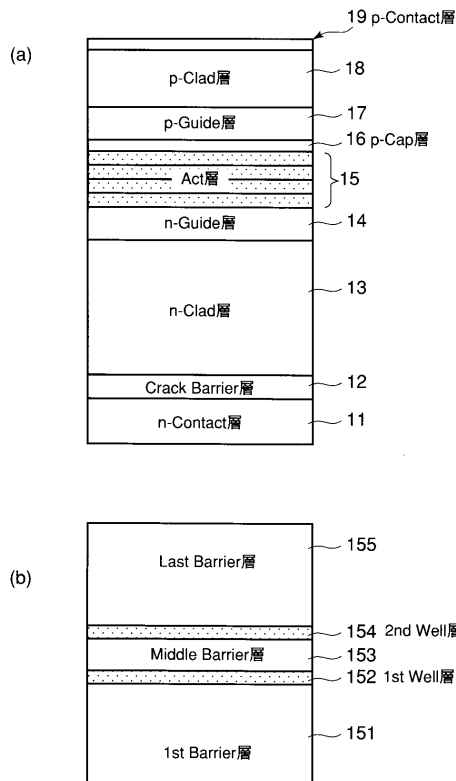
【符号の説明】

【0126】

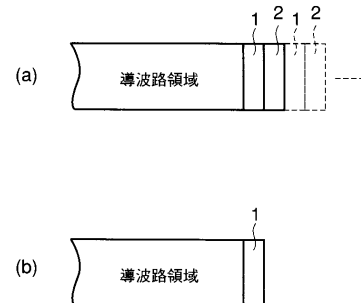
1 ... 第1の透光性膜、2 ... 第2の透光性膜、10 ... 窒化物半導体基板（GaN基板）、11 ... n側コンタクト層（n-Contact層）、12 ... クラックバリア層（Crack-Barrier層）、13 ... n側クラッド（n-Clad層）、14 ... n側光ガイド層（n-Guide層）、15 ... 活性層（Act層）、151 ... 第1の障壁層（1st Barrier層）、152 ... 第1の井戸層（1st Well層）、153 ... 中間障壁層（Middle Barrier層）、154 ... 第2の井戸層（2nd Well層）、155 ... 最終障壁層（Last Barrier層）、16 ... p側電子閉じ込め層（p-Cap層）、17 ... p側光ガイド層（p-Guide層）、18 ... p側クラッド層（p-Clad層）、19 ... p側コンタクト層（p-Contact層）、20 ... 埋め込み絶縁膜、21 ... 第1電極（n電極）、22 ... 第2電極（p電極）、23 ... パッド電極、24 ... 保護絶縁膜。

10

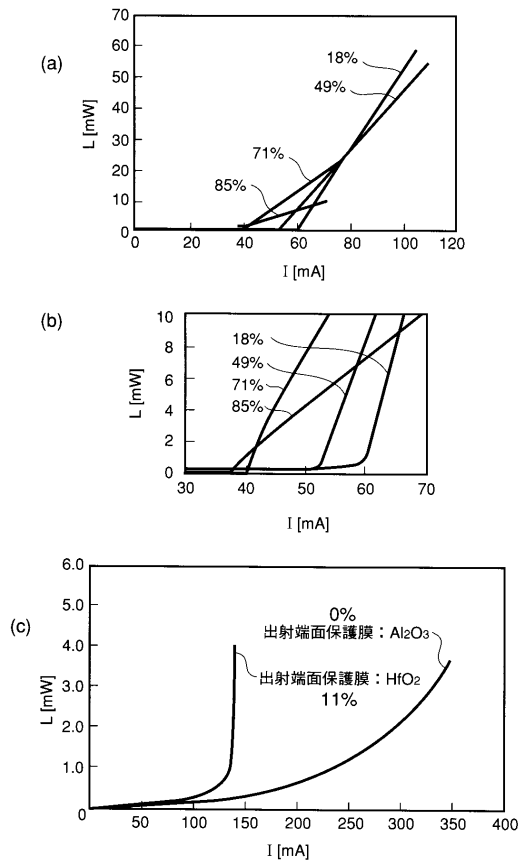
【図1】



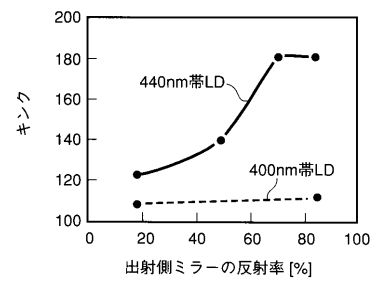
【図2】



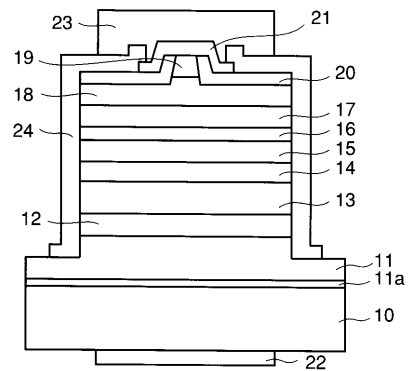
【図 3】



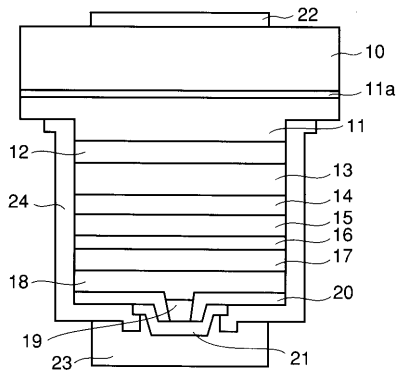
【図 4】



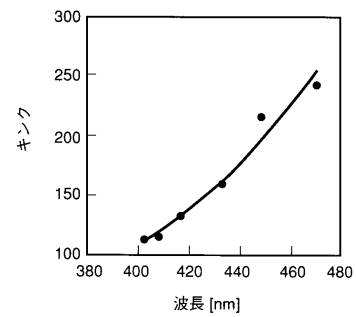
【図 5】



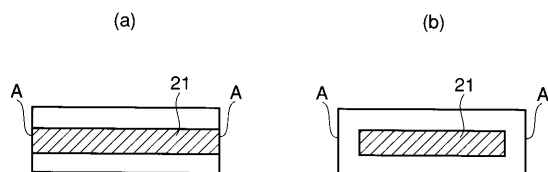
【図 6】



【図 8】



【図 7】



フロントページの続き

(74)代理人 100084618

弁理士 村松 貞男

(74)代理人 100092196

弁理士 橋本 良郎

(72)発明者 藤村 康史

徳島県阿南市上中町岡 4 9 1 番地 1 0 0 日亜化学工業株式会社内

Fターム(参考) 5F173 AA08 AG20 AH22 AL04 AL05 AL06 AL07 AL13 AP06 AR15