

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2023-84658
(P2023-84658A)

(43)公開日 令和5年6月19日(2023.6.19)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 S 5/028(2006.01)	H 0 1 S 5/028	5 F 1 7 3
H 0 1 S 5/343(2006.01)	H 0 1 S 5/343 6 1 0	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全18頁)

(21)出願番号 特願2022-152414(P2022-152414)	(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4 9 1 番地 1 0 0
(22)出願日 令和4年9月26日(2022.9.26)	
(31)優先権主張番号 特願2021-198292(P2021-198292)	(74)代理人 110000202 弁理士法人新樹グローバル・アイピー
(32)優先日 令和3年12月7日(2021.12.7)	(72)発明者 森住 知典 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
(33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	(72)発明者 森藤 瑛之 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 AA01 AF03 AH22 AL02 AL13 AL14 AP05 AP32 AP33 AP78 AR68

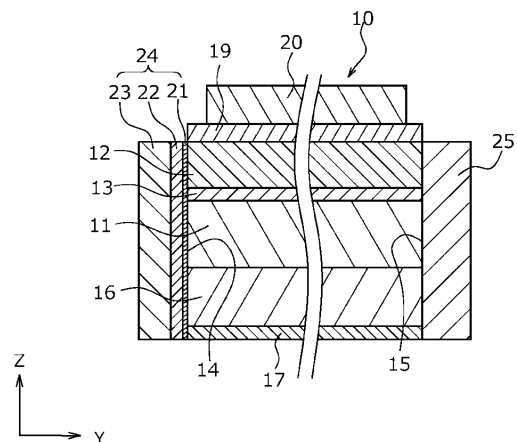
(54)【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子

(57)【要約】

【課題】端面損傷の発生を抑制した窒化物半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

【解決手段】第1導電型の第1窒化物半導体層と、該第1導電型とは異なる導電型である第2導電型の第2窒化物半導体層と、前記第1窒化物半導体層と前記第2窒化物半導体層との間に配置される活性層と、該活性層の前記第2窒化物半導体層の側の面と交わる光出射側端面及び光反射側端面と、前記光出射側端面に設けられた保護膜とを備え、該保護膜は、前記光出射側端面の側から順に、アルミニウム及び/又はガリウムと酸素とを含む結晶性の第1膜と、窒化膜からなる結晶性の第2膜と、アルミニウムと酸素とを含む第3膜とを備える窒化物半導体レーザ素子。

【選択図】図1C



10

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 導電型の第 1 窒化物半導体層と、該第 1 導電型とは異なる導電型である第 2 導電型の第 2 窒化物半導体層と、前記第 1 窒化物半導体層と前記第 2 窒化物半導体層との間に配置される活性層と、該活性層の前記第 2 窒化物半導体層の側の面と交わる光出射側端面及び光反射側端面と、前記光出射側端面に設けられた保護膜とを備え、

該保護膜は、前記光出射側端面の側から順に、アルミニウム及び / 又はガリウムと酸素とを含む結晶性の第 1 膜と、窒化膜からなる結晶性の第 2 膜と、アルミニウムと酸素とを含む第 3 膜とを備える窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 2】

前記第 1 膜がアルミニウムを含む酸化膜である請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 3】

前記第 3 膜がアルミニウムを含む酸化膜である請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 4】

前記第 2 膜が AlN からなる膜である請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記第 1 膜の厚さが 10 nm 未満である請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記第 3 膜の厚さが前記第 1 膜の厚さの 3 倍以上である請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 7】

前記第 1 膜及び前記第 2 膜が、前記第 3 膜よりも薄い請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 8】

前記第 1 膜は、絶縁膜からなる請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 9】

前記第 3 膜は、アモルファス構造の膜又はアモルファス構造と結晶構造とを含む膜である請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 10】

前記第 2 膜の前記活性層と隣り合う領域における結晶の軸配向は、前記第 2 膜の前記第 1 窒化物半導体層と隣り合う領域及び / 又は前記第 2 窒化物半導体層と隣り合う領域における結晶の軸配向と同じである請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 11】

前記保護膜は、前記第 3 膜の前記第 2 膜とは反対の側に設けられた第 4 膜を備え、

前記第 4 膜の厚さは、前記第 3 膜の厚さよりも大きい請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 12】

前記保護膜は第 1 保護膜であり、

前記窒化物半導体レーザ素子は、前記光反射側端面に設けられた第 2 保護膜を備え、

前記第 2 保護膜は、前記光反射側端面と接触して配置されている第 1 部分と、前記第 1 部分と接触して配置されている第 2 部分と、を有し、

前記第 1 部分は、屈折率が相対的に低い膜と高い膜とを有する多層構造であり、

前記第 2 部分は、高屈折率膜と低屈折率膜とが交互に配置されてなる請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 13】

前記第 1 部分は、前記光反射側端面の側から順に、アルミニウム及び / 又はガリウムと酸素とを含む結晶性の第 5 膜と、窒化膜からなる結晶性の第 6 膜と、アルミニウムと酸素とを含む第 7 膜とを備える請求項 12 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

10

20

30

40

50

【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関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体レーザなどを励起光源として備え、この励起光源から出射された励起光を利用して照明などを行う発光装置が種々提案されている。

このような発光装置において、共振器面に形成される保護膜の剥離を防止した窒化物系半導体レーザ素子が提案されている（特許文献1）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2009-99959号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

一方、特に高出力が求められる半導体レーザにおいて、端面損傷（COD：catastrophic optical damage）が高出力化の限界要因のひとつとして挙げられている。このような限界を克服した、つまり、端面損傷の発生を抑制した、より高出力及び高性能の半導体レーザ素子が求められている。

20

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一実施形態の窒化物半導体レーザ素子は、第1導電型の第1窒化物半導体層と、該第1導電型とは異なる導電型である第2導電型の第2窒化物半導体層と、前記第1窒化物半導体層と前記第2窒化物半導体層との間に配置される活性層と、該活性層の前記第2窒化物半導体層の側の面と交わる光出射側端面及び光反射側端面と、前記光出射側端面に設けられた保護膜とを備え、

該保護膜は、前記光出射側端面の側から順に、アルミニウム及び/又はガリウムと酸素とを含む結晶性の第1膜と、窒化膜からなる結晶性の第2膜と、アルミニウムと酸素とを含む第3膜とを備える。

30

【発明の効果】

【0006】

本発明の一実施形態によれば、端面損傷の発生を抑制した窒化物半導体レーザ素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1A】本発明の一実施形態の窒化物半導体レーザ素子の斜視図である。

【図1B】図1Aの正面図である。

【図1C】図1AのIC-IC線断面図である。

40

【図2】保護膜及びその付近の高分解能透過電子顕微鏡像である。

【図3A】第3膜の電子線回折像である。

【図3B】第2膜の電子線回折像である。

【図3C】第1膜の電子線回折像である。

【図3D】窒化物半導体積層体の電子線回折像である。

【図4】本発明の窒化物半導体レーザ素子の別の例を示す断面図である。

【図5】光出射側端面の側の保護膜の別の例を示す部分拡大図である。

【図6】光反射側端面の側の保護膜の一例を示す部分拡大図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

50

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。ただし、以下に示す実施形態は、本発明の技術思想を具体化するための方法を例示するものであって、本発明を以下の実施形態に特定するものではない。さらに以下の説明において、同一の名称、符号については同一もしくは同質の部材を示しており、詳細説明を適宜省略する。

【0009】

本実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子（以下、半導体レーザ素子と記載することがある）を、図1A～図1Cに示す。図1Aは、本実施形態の窒化物半導体レーザ素子の斜視図である。図1Bは、図1Aの正面図である。図1Cは、図1AのIC-IC線断面図である。図1A及び図1Bにおいて、保護膜24及び保護膜25は省略している。

窒化物半導体レーザ素子10は、端面発光レーザ素子である。窒化物半導体レーザ素子10は、第1窒化物半導体層11と、第2窒化物半導体層12と、第1窒化物半導体層11と第2窒化物半導体層12との間に配置される活性層13と、保護膜24とを備える。第1窒化物半導体層11、活性層13及び第2窒化物半導体層12は、活性層13の第2窒化物半導体層12の側の面と交わる面として、光出射側端面14及び光反射側端面15を有する。第1窒化物半導体層11、活性層13及び第2窒化物半導体層12を含む積層体を、窒化物半導体積層体と記載することがある。

保護膜24は、光出射側端面14に設けられている。保護膜24は、光出射側端面14の側から順に、アルミニウム及び/又はガリウムと酸素とを含む第1膜21と、窒化膜からなる第2膜22と、アルミニウムと酸素とを含む第3膜23とを備える。第1膜21及び第2膜22は結晶性の膜である。

このような構成を備えることにより、窒化物半導体レーザ素子10の端面損傷の発生を抑制することができる。この効果が得られる理由としては次のことが考えられる。まず、保護膜24における第1膜21が酸素を含む膜であるために、駆動時に抵抗が変化しにくく、抵抗の低下を避けることができる。また、第3膜23が酸素を含む膜であることにより、第3膜23の酸化を抑制することができる。さらに、窒化膜である第2膜22が、第1膜21と第3膜23との間に存在するために、第2膜22が大気中又は雰囲気中の酸素と反応して酸化し、膨張することを抑制することができる。第1膜21が結晶性の膜であるために、第2膜22を結晶性の膜として形成しやすく、また、第1膜21と窒化物半導体積層体の端面との酸化反応が起こりにくい。そして、第2膜22が結晶性の膜であるために、酸素に対するバリア膜として機能させることができ、第3膜23又は窒化物半導体レーザ素子10の外からの酸素による光出射側端面14の酸化を抑制することができる。これらの結果、端面損傷(COD)の発生を有効に低減することができると考えられる。端面損傷の発生を低減することにより、窒化物半導体レーザ素子10の長寿命化を図ることが可能となる。このような効果は、特に高出力の窒化物半導体レーザ素子10において顕著である。

高出力の窒化物半導体レーザ素子10は、例えば、光密度が 2 MW/cm^2 以上の素子である。窒化物半導体レーザ素子10の光密度は 200 MW/cm^2 以下であってもよい。高出力の窒化物半導体レーザ素子10は、例えば、横モードがマルチモードの場合に出力が 1 W 以上の素子であり、 5 W 以上の素子であってもよい。高出力の窒化物半導体レーザ素子10は、例えば、横モードがシングルモードの場合に出力が 0.1 W 以上の素子である。窒化物半導体レーザ素子10の出力は 3 W 以下であってもよい。

【0010】

（第1窒化物半導体層11、活性層13、第2窒化物半導体層12）

第1窒化物半導体層11、活性層13及び第2窒化物半導体層12はこの順に積層されている。これらの半導体層を含む窒化物半導体積層体は、基板16上に形成することができる。

第1窒化物半導体層11は、第1導電型を示し、第2窒化物半導体層12は、第2導電型を示す。第1導電型としては、n型又はp型のいずれでもよい。第2導電型は、第1導電型と異なる導電型を意味する。第1窒化物半導体層11、活性層13及び第2窒化物半導体層12は、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$, $0 < x + y < 1$)が

らなる半導体層によって形成することができる。第1室化物半導体層11及び第2室化物半導体層12は、n型不純物として、Si、Ge等のいずれか1つ以上を含有してもよい。第1室化物半導体層11及び第2室化物半導体層12は、p型不純物として、Mg、Zn等のいずれか1つ以上を含有してもよい。不純物は、例えば、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲で含有することができる。第1室化物半導体層11及び第2室化物半導体層12には、アンドープ層が含まれていてもよい。アンドープ層とは、n型又はp型を示す不純物が意図的にドーピングされていない層を指す。アンドープ層は、二次イオン質量分析法(SIMS)等の分析結果において検出限界を越えない不純物濃度であるか、不純物濃度が $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満である層であってもよい。第1室化物半導体層11及び第2室化物半導体層12は、いずれも半導体層を1層のみ有していてもよいが、2層以上有していることが好ましい。

第1室化物半導体層11、活性層13及び第2室化物半導体層12によって形成される半導体レーザの発振ピーク波長は、200nm以上700nm以下が挙げられる。

【0011】

(第1室化物半導体層11)

第1室化物半導体層11は、GaN、InGaN、AlGaN等の窒化物半導体からなる多層構造とすることができる。第1室化物半導体層11としては、第1室化物半導体層11が基板16上に形成される場合、下地層、クラッド層、クラック防止層、中間層、光ガイド層等を有するものが挙げられる。これら以外の半導体層を含んでいてもよい。

【0012】

(活性層13)

活性層13は、量子井戸構造を有する。活性層13は、多重量子井戸構造又は単一量子井戸構造のいずれでもよい。

活性層13は、GaN、InGaN等の窒化物半導体からなる多層構造とすることができる。活性層13が多重量子井戸構造である場合、第1室化物半導体層11側から順に、井戸層、中間障壁層、井戸層を含むものが挙げられる。複数の井戸層及び複数の中間障壁層を有していてもよい。井戸層は例えばInGaN層である。中間障壁層は、例えばInGaN層またはGaN層である。活性層13は、例えばアンドープ層である。

活性層13は、得たい窒化物半導体レーザ素子の発振波長に応じて、その組成を適宜調整することができる。例えば、井戸層を、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 等からなる層とすることができる。In組成比xは、0.01から0.50の範囲から選択することができる。これによって、半導体レーザの発振ピーク波長を、360nmから700nmの範囲に設定することができる。井戸層は、GaN又はAlGaNからなる層であってもよい。

【0013】

(第2室化物半導体層12)

第2室化物半導体層12は、GaN、InGaN、AlGaN等の窒化物半導体からなる多層構造とすることができる。第2室化物半導体層12としては、クラッド層、光ガイド層等を有するものが挙げられる。これら以外の半導体層を含んでいてもよい。

端面発光レーザ素子を構成する限り、第2室化物半導体層12の表面、つまり上面は、リッジ12aを有していてもよいし、第2室化物半導体層12の中に、当該分野で公知の電流狭窄層が配置されていてもよい。例えば、第2室化物半導体層12がp型の半導体層であり、その上面にリッジ12aが形成されている。第2室化物半導体層12がn型の半導体層であってもよい。

リッジ12aは、光導波路領域として機能するものであり、その幅は1µm以上30µm以下が挙げられる。リッジ12aの幅は、窒化物半導体レーザ素子10を高出力で駆動する場合には、1.5µm以上500µm以下とすることができる。リッジ12aの高さは、0.1µm以上2µm以下が挙げられる。第2室化物半導体層12を構成する層の厚さ、材料等を調整することにより、光閉じ込めの程度を適宜調整することができる。リッジ12aは、共振器方向の長さが200µm以上5000µm以下とすることができる。リッジ12aは、共振器方向においてすべて同じ幅でなくてもよいし、その側面が垂直で

10

20

30

40

50

あっても、テーパ状であってもよい。この場合のテーパ角は45度以上90度未満が挙げられる。

【0014】

第1窒化物半導体層11、活性層13及び第2窒化物半導体層12は、それぞれ、積層面の結晶面は特に限定されず、C面{0001}、M面{1-100}、A面{11-20}、R面{1-102}のいずれでもよく、これら以外の面であってもよい。例えば、第2窒化物半導体層12の上面はC面である。なお、結晶面及び方向を表す場合に、結晶学の記法によれば1の逆方向は1の上にバーを記載するところを、便宜上「-1」と表記する。また、個別方位は[]、集合方位は<>、個別面は()、集合面は{ }でそれぞれ示す。

【0015】

(光出射側端面14及び光反射側端面15)

光出射側端面14及び光反射側端面15は、活性層13の光導波路領域又はNFP(ニア・フィールド・パターン)に対応する領域の両側の光出射面14a及び光反射面を少なくとも含む半導体層の端面である。光出射側端面14及び光反射側端面15は、第1窒化物半導体層11、活性層13及び第2窒化物半導体層12の積層面(図1AのX-Y面)に対して交差する面である。光出射側端面14及び光反射側端面15は、半導体層の積層方向(図1Aの矢印Zの方向)に対して傾斜していてもよいが、平行であることが好ましい。また、半導体層の積層面(図1AのX-Y面)に対して垂直に交わっていることが好ましい。光出射側端面14及び光反射側端面15は、互いに対向する面であり、平行に配置していることが好ましい。光出射側端面14と光反射側端面15との間に共振器が形成されている。ここでの平行は、±5度以内の差を含む。ここでの垂直は、±5度以内の差を含む。

光出射側端面14及び光反射側端面15は、M面{1-100}、A面{11-20}、C面{0001}、R面{1-102}のいずれでもよく、これ以外の面であってもよい。例えば、光出射側端面14はM面である。光出射側端面14及び光反射側端面15がM面である場合、劈開によってこれらの面を得てもよい。劈開は、例えば、レーザ加工によって凹部を形成した後、押圧することによって行うことができる。レーザ加工の走査方向と劈開の進行方向は同じでもよく異なってもよい。光出射側端面14は、厳密なM面でなくてもよい。

【0016】

(保護膜24)

保護膜24(第1保護膜)は、光出射側端面14上において、光出射側端面14の側から順に、アルミニウム及び/又はガリウムと酸素とを含む第1膜21と、窒化膜からなる第2膜22と、アルミニウムと酸素とを含む第3膜23とを備える。第1膜21及び第2膜22は結晶性の膜である。

光出射側端面14に設けられた保護膜24は、半導体層に形成された共振器面を被覆するものであるが、必ずしも光出射側端面14の全面を被覆しなくてもよい。保護膜24は、少なくとも、共振器面の光導波路領域又はNFPに対応する領域、つまり、活性層13及びその上下層の一部に及ぶ領域の端面である光出射面14aを被覆する。保護膜24は、光出射側端面14の全面を被覆してもよい。保護膜24の一部が、共振器面以外の面、例えば、半導体層の上面、側面等に配置されていてもよい。保護膜24を構成する第1膜21、第2膜22及び第3膜23は、それぞれ、窒化物半導体レーザ素子10の発振波長に対して透光性の材料で形成される。

【0017】

(第1膜21)

第1膜21は、光出射側端面14に接触して配置されている膜である。「接触」とは、第1膜21が共振器面に直接接触しているのみならず、本発明の効果を有する程度に、共振器面に薄膜が形成された上に第1膜21が形成されていてもよい。例えば、共振器面への前処理、成膜開始時の雰囲気等により形成された薄膜が存在してもよい。このような薄

10

20

30

40

50

膜の厚さは、例えば第1膜21の厚さ未満である。このような薄膜の厚さは、例えば3 nm以下であってもよく、1 nm以下であってもよい。このような薄膜は、例えばガリウム(Ga)と酸素(O)を含む。

第1膜21は、アルミニウム(Al)を含む酸化膜、Gaを含む酸化膜、AlとGaを含む酸化膜のいずれかであってもよい。Alを含む酸化膜としては、酸化アルミニウムからなる膜が挙げられ、例えば Al_2O_3 からなる膜である。Gaを含む酸化膜としては、酸化ガリウムからなる膜が挙げられ、例えば Ga_2O_3 からなる膜である。AlとGaを含む酸化膜としては、酸化アルミニウムガリウムからなる膜が挙げられ、例えばAlGaOからなる膜である。このような膜とすることで、半導体レーザ素子の駆動時に抵抗の変化を抑制することができる。また、第1膜21がAlを含む酸化膜であることにより、結晶性を有する膜を容易に形成することができる。第1膜21は、例えば Al_2O_3 からなる膜である。第1膜21は、絶縁膜であってもよい。

第1膜21は、結晶性を有する膜(単結晶、多結晶等)である。単結晶は、材料中で格子定数の変動がほとんどなく、格子面傾斜がほとんどない。つまり、材料中で原子配列が規則的に並び、長距離的な秩序が保たれている。多結晶とは、多数の微小な単結晶、つまり微結晶から構成されている。このような膜の結晶性は、電子線による回折像によって判定することができる。膜に電子線を入射することによって、格子定数の大きさ及び面方向に対応して、電子線回折像が表れる。例えば、単結晶の場合は、規則正しく回折点が並んで観察される。多結晶の場合は、微結晶から構成されるため、それぞれの格子面の向きがそろっておらず、回折点が複雑に合わさった状態で見られたり、デバイリングが見られたりする。一方、アモルファスの場合、原子配列が長距離に周期的な構造をもたないため、電子線回折が起こらない。従って、回折像に回折点がない状態で観察される。電子線回折像の観察は、膜が形成されている端面に対して膜の断面が露出するように切断し、電子線を当てて行うことができる。結晶性が異なることは、例えば、透過型電子顕微鏡(TEM)、走査透過電子顕微鏡(STEM)、走査型電子顕微鏡(SEM)等による断面観察、酸又はアルカリ溶液等の適当なエッチャントでのエッチングレートの差異からも確認することができる。高分解能透過電子顕微鏡法(high-resolution transmission electron microscopy: HRTEM)による像によって、原子配列を確認してもよい。

【0018】

図2に、保護膜24及びその付近の高分解能透過電子顕微鏡像の例を示す。図2の図中右下の線は5 nmを示す線である。図2に示す窒化物半導体積層体は活性層13を含む。図3Aは、図2のAで示す円における電子線回折像であり、第3膜23の電子線回折像である。図3Bは、図2のBで示す円における電子線回折像であり、第2膜22の電子線回折像である。図3Cは、図2のCで示す円における電子線回折像であり、第1膜21の電子線回折像である。図3Dは、図2のDで示す円における電子線回折像であり、窒化物半導体積層体の電子線回折像である。図3Cから、第1膜21は結晶質であり、すなわち第1膜21は結晶性を有する膜であることが確認された。

【0019】

第1膜21の結晶構造としては、例えば、立方晶系、正方晶系又は六方晶系等が挙げられる。第1膜21の材料、結晶性、配向性等は、第1膜21を形成する光出射側端面14の材料、結晶性、配向性等に応じて選択することができる。結晶性を有する膜としては、単結晶及び/又は多結晶を一部に含む膜、又は、単結晶及び/又は多結晶のみにより構成される膜が挙げられる。つまり、第1膜21は、必ずしも厳密に単結晶又は多結晶となっていなくてもよく、これらに近い結晶構造又はこれらの結晶構造の特性を示す程度の結晶構造を有しているものであってもよい。第1膜21は、光導波路領域又はNFPに対応する領域と、活性層13の側面側、第1窒化物半導体層11及び第2窒化物半導体層12の厚さ方向における活性層13から遠い側との間で結晶性が異なってもよい。第1膜21は、光導波路領域又はNFPに対応する領域において、厚さ方向では、実質的に全域において結晶性であることが好ましい。厚さ方向において実質的に全域とは、隣接する膜等との間におけるそれらの境界が判別し難い領域を除いた残りの領域の全体を指す。例えば

、第1膜21は、多結晶を少なくとも一部に含む膜である。第1膜21は、活性層13の主面に対して交差し且つ光出射側端面14に対して交差する方向（例えば、それぞれ垂直に交差する方向）に切断した断面の観察において、活性層13と隣り合う領域の半分以上が多結晶で構成されている膜であってよい。

第1膜21の厚さは、1nm以上100nm以下が挙げられ、1nm以上50nm以下が好ましく、1nm以上10nm以下がより好ましい。第1膜21の厚さが小さいほど、結晶性の良好な膜として形成し易い傾向がある。第1膜21の厚さは、5nm以上又は6nm以上とすることができ、8nm以上であってもよい。第1膜21の厚さが5nm以上であることにより、窒化物半導体レーザ素子10のさらなる長寿命化が可能である。これは、第2膜22の結晶性が向上するためと考えられる。第1膜21の厚さは、50nm以下、20nm以下、10nm以下又は10nm未満であってもよい。例えば、第1膜21の厚さは、5nm以上10nm以下とすることができる。第1膜21の厚さは、10nm未満であってもよく、5nm以上10nm未満であってもよい。第1膜21の厚さとは、活性層13の主面と平行な方向における長さを指す。第2膜22の厚さ及び第3膜23の厚さについても同様に、活性層13の主面と平行な方向における長さを指す。

10

20

30

40

50

【0020】

第1膜21は、当該分野で公知の方法によって形成することができる。例えば、パルススパッタ法、電子サイクロトロン共鳴（Electron Cyclotron Resonance：ECR）スパッタ法、マグネトロンスパッタ法、イオンビームアシスト蒸着法、レーザアブレーション法、化学気相蒸着（chemical vapor deposition：CVD）法又はこれらの方法の2種以上を組み合わせる方法を用いることができる。あるいはこれらの方法と、全体又は部分的な前処理を組み合わせてもよい。前処理としては、例えば、不活性ガス（Ar、He、Xe等）又はプラズマの照射、酸素もしくはオゾンガスの照射、酸化処理（熱処理）、露光処理のいずれか1種以上を用いることができる。

第1膜21は、なかでも、パルススパッタ法またはECRスパッタ法によって成膜することが好ましい。例えば、ECRスパッタ装置を用いて成膜することができる。これにより、第1膜21を良好な結晶性の膜として得ることができる。第1膜21を、ECRスパッタ装置を用いて形成する場合、形成時の酸素流量は $1.33 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{ s}$ 以上が好ましい。第1膜21を形成する前に前処理を行ってもよい。前処理としては、光出射側端面14を酸素プラズマで処理することが挙げられる。パルススパッタ法としては、酸化物のターゲットを用いる方法、非酸化物のターゲットを用いて酸素ガス又はプラズマ等を照射しながら又は酸素雰囲気中で間欠的にスパッタする方法等が挙げられる。ECRスパッタ法は、パルススパッタ法よりも、成膜時の温度を低くすることができる傾向がある。これによって、後述する電極の特性劣化を抑制することができる。

【0021】

このように、第1膜21を、酸素を含む膜として、光出射側端面14に接触させて形成することにより、窒化物半導体レーザ素子10を駆動させた場合に、抵抗の変化を抑制することができる。また、第1膜21を、結晶性の膜として形成することにより、第2膜22を結晶性の膜として形成し易い。また、第1膜21の厚さが比較的小さいこと、例えば第3膜23より薄いことにより、光出射側端面14において、窒化物半導体レーザ素子10の駆動時に、駆動による熱に起因する応力を緩和することができる。また、光出射側端面14と保護膜24との密着性を向上させることができる。

【0022】

（第2膜22）

第2膜22は、第1膜21に接触して配置されている膜である。第2膜22は、窒化膜である。窒化膜としては、具体的には、AlN、GaN、AlGaN等からなる膜が挙げられる。なかでも、AlN膜が好ましい。AlN膜はECRスパッタ法により形成することができるため、例えば、第1膜21と第2膜22を共にECRスパッタ装置を用いて形成することができる。第1膜21と第2膜22は、連続して成長させることができる。

第2膜22は結晶性を有する膜である。これにより、酸素のバリア膜としての作用を効

果的に果たすことができる。第2膜22の配向としては、厚さ方向において、M軸 $\langle 1 - 1 0 0 \rangle$ 、A軸 $\langle 1 1 - 2 0 \rangle$ 、C軸 $\langle 0 0 0 1 \rangle$ 及びR軸 $\langle 1 - 1 0 2 \rangle$ 配向のいずれかであってよく、これ以外の配向であってもよい。例えば、窒化物半導体積層体のM軸に対して第2膜22がC軸配向している。この場合、窒化物半導体積層体のM軸と第2膜22のC軸が平行である。第2膜22の活性層13と隣り合う領域における結晶の軸配向は、第2膜22の第1窒化物半導体層11と隣り合う領域及び/又は第2窒化物半導体層12と隣り合う領域における結晶の軸配向と同じであってよい。これにより、第2膜22を良好な結晶性で形成し易い。例えば、第2膜22において、活性層13と隣り合う領域と、第1窒化物半導体層11及び/又は第2窒化物半導体層12と隣り合う領域とは共にC軸配向している。例えば、第2膜22の活性層13と隣り合う領域におけるC軸と、第2膜22の第1窒化物半導体層11及び/又は第2窒化物半導体層12と隣り合う領域のC軸とは、平行である。第2膜22の特定の層(例えば活性層13)と隣り合う領域とは、第2膜22のうち、その層の一方の主面を延長した延長面(仮想面)と他方の主面を延長した延長面(仮想面)とに挟まれた領域を指す。第2膜22は、その全体に亘って、結晶の軸配向が同じであってよい。第2膜22の各領域の結晶性は、活性層13の主面に対して交差する方向(例えば垂直な方向)に切断した断面を用いて評価することができる。

第2膜22の厚さは、5nm以上500nm以下が挙げられ、5nm以上200nm以下であってもよく、5nm以上100nm以下であってもよく、5nm以上50nm以下であってもよい。第2膜22をこのような範囲の厚さとすることにより、結晶性の良好な膜を得ることができ、酸素のバリア膜としての作用を効果的に果たすことができる。第2膜22の厚さが50nm以下であることで、クラックの発生を抑制しやすいと考えられる。保護膜24の反射率を調整するために、第2膜22の厚さは50nmより大きくてもよい。

第2膜22は、スパッタ法、ECRスパッタ法等の公知の方法によって成膜することができる。スパッタ法としては、窒化物のターゲットを用いる方法、非窒化物のターゲットを用いて窒素ガス又はプラズマ等を照射しながら又は窒素雰囲気中でスパッタする方法等が挙げられる。

図2に示す第2膜22の例について、図3Bから、第2膜22は結晶質であり、すなわち第2膜22は結晶性を有する膜であることが確認された。

【0023】

(第3膜23)

第3膜23は、第2膜22に接触して配置されている膜である。第3膜23は、AlとOを含む膜である。第3膜23は、Alを含む酸化膜又はAlを含む酸窒化膜であってよい。第3膜23は、酸化アルミニウムからなる膜であってよい。このような膜とすることで、第3膜23が酸化することを抑制することができるため、窒化物半導体積層体に酸素が到達する可能性を低減することができる。Alを含む酸化膜は、Alを含む酸窒化膜よりも、窒化物半導体レーザ素子10の駆動時に第3膜23の酸化が進行しにくいと考えられる。その結果、窒化物半導体レーザ素子10のさらなる長寿命化を図ることが可能となる。第3膜23は、例えば Al_2O_3 からなる膜である。

【0024】

第3膜23は、結晶性を有する膜であってもよいし、アモルファス構造を含む膜であってもよい。アモルファス構造は、結晶における原子配列のような周期的構造をもたないもの、つまり原子配列が不規則、長距離秩序がないものを意味する。第3膜23は、アモルファス構造の膜又はアモルファス構造と結晶構造とを含む膜であることが好ましく、なかでもアモルファス構造のみからなる膜であることが好ましい。これにより、第3膜23の厚さを第1膜21及び/又は第2膜22の厚さよりも大きくし易い。また、窒化物半導体レーザ素子10の駆動によって、第3膜23の一部、例えば、活性層13側の一部が結晶性を有する膜となってもよい。これにより、窒化物半導体レーザ素子10のさらなる長寿命化を図ることができると考えられる。例えば第3膜23が Al_2O_3 からなる膜である場合に、このような結晶化が生じ得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 5 】

第3膜23の厚さは、第1膜21の厚さよりも厚いことが好ましい。第3膜23の厚さは、第2膜22の厚さよりも薄くてもよいが、厚いことが好ましい。第3膜23の厚さは、第1膜21の厚さの3倍以上が挙げられ、10倍以上であってもよい。第3膜23の厚さは、10nm以上1000nm以下が好ましく、50nm以上500nm以下がより好ましい。第3膜23をこのような範囲の厚さとすることにより、保護膜24としての総厚さを増大させることができるために、窒化物半導体レーザ素子10の外からの酸素が保護膜24を通過して窒化物半導体積層体に到達する可能性を低減することが可能である。これにより、長寿命化に有利に作用させることができると考えられる。特に、第1膜21及び第2膜22がそれらの機能を果たすために第3膜23よりも薄い膜として形成された場合に、より顕著な効果を得ることができる。第3膜23の厚さは、 $(\lambda / 2 n_3) \times 2$ の $\pm 25\%$ の範囲内の厚さとしてよい。 λ は窒化物半導体レーザ素子10の発振波長であり、 n_3 は発振波長 λ における第3膜23の屈折率である。これにより、第3膜23の厚さをそれより小さくする場合と比較して、窒化物半導体レーザ素子10の長寿命化が可能となる。これは、保護膜24の厚さを大きくすることにより、窒化物半導体レーザ素子10の内部から進行する破壊が保護膜24の外表面に到達するまでの時間を長くできるためと考えられる。図4に示すように、保護膜24の一部は窒化物半導体積層体の上面側および/または下面側に設けられていてもよい。図4は、窒化物半導体レーザ素子10の別の例を示す断面図である。このように保護膜24を設けることにより、窒化物半導体積層体の上面側および/または下面側において保護膜24の厚みの分だけ破壊が窒化物半導体レーザ素子10の外表面に到達するまでの距離を長くすることができると考えられる。したがって、窒化物半導体レーザ素子10の長寿命化が可能である。

10

20

【 0 0 2 6 】

保護膜24は、第3膜23の外側に設けられた他の膜をさらに含んでいてもよい。これにより、保護膜24の厚さを大きくし、窒化物半導体レーザ素子10の長寿命化を図ってもよい。図5に示すように、保護膜24は、第3膜23の外側に設けられた第4膜26を有してよい。図5は、光出射側端面14の側の保護膜24の別の例を示す部分拡大図である。第4膜26は、第3膜23の第2膜22とは反対の側に設けられている。第4膜26の厚さは、第3膜23の厚さよりも大きくてよい。第4膜26を設けることで、設けない場合と比較して、窒化物半導体レーザ素子10の内部から進行する破壊が保護膜24の外表面に到達するまでの距離を長くすることができる。第4膜26の発振波長 λ における屈折率は、第3膜23の発振波長 λ における屈折率よりも小さくてよい。例えば、第3膜23の厚さを $\lambda / 2 n_3$ の $\pm 20\%$ の範囲内の厚さとし、第4膜26の厚さを $\lambda / 2 n_4$ の $\pm 5\%$ の範囲内の厚さとすることができる。 n_4 は発振波長 λ における第4膜26の屈折率である。第4膜26としては、例えば酸化シリコン(例えば SiO_2)からなる膜が挙げられる。これにより、光吸収による初期特性の悪化や発熱を抑えることができるという利点がある。保護膜24の最も外側に位置する膜が第3膜23であってもよい。保護膜24において、第2膜22と第3膜23との間に他の膜が配置されていてもよい。

30

第3膜23は、スパッタ法、ECRスパッタ法等の公知の方法によって形成することができる。例えば、ECRスパッタ装置を用いて形成することができる。第1膜21及び第3膜23をECRスパッタ装置を用いて形成する場合、第3膜23の形成時の酸素流量は、第1膜21の形成時の酸素流量よりも少ない。これにより、第1膜21を結晶性の膜として形成し、第3膜23をアモルファス構造の膜として形成することができる。

40

図2に示す第3膜23の例について、図3Aから、第3膜23は非晶質であり、すなわち第3膜23はアモルファス構造の膜であることが確認された。

【 0 0 2 7 】

このような構成を備えることにより、窒化物半導体レーザ素子10の端面損傷の発生を抑制することができ、窒化物半導体レーザ素子10の長寿命化を図ることが可能となる。

【 0 0 2 8 】

(保護膜 2 5)

50

光反射側端面 15 には、保護膜 25 (第 2 保護膜) が設けられている。保護膜 25 は、光出射側端面 14 側の保護膜 24 と異なる又は同じ膜構造を有する。窒化物半導体レーザー素子 10 の発振波長に対する保護膜 25 の反射率は、窒化物半導体レーザー素子 10 の発振波長に対する保護膜 24 の反射率よりも高い。

光反射側端面 15 側の保護膜 25 は、上述した第 1 膜 21、第 2 膜 22 及び第 3 膜 23 の多層膜と同じ膜を有してもよい。保護膜 25 は、Si、Mg、Al、Hf、Nb、Zr、Sc、Ta、Ga、Zn、Y、B、Ti 等の酸化物 (特に、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Nb_2O_5 、 TiO_2 、 ZrO_2 等)、窒化物 (特に、AlN、AlGaIn、BN 等) 又はフッ化物及びこれらの 2 種以上の組み合わせ等による膜であってもよい。第 1 膜 21、第 2 膜 22 及び第 3 膜 23 の多層膜と同じ膜を形成する場合、光出射側端面 14 側の保護膜 24 とは、異なる厚さ等で形成してもよい。保護膜 25 は、窒化物半導体レーザー素子 10 の発振波長に対して透光性の材料及び / 又は反射する材料により形成されることが好ましい。保護膜 25 は、単層であってもよいし、多層であってもよい。

10

【0029】

例えば、光反射側端面 15 上の保護膜 25 としては、Si の酸化物と Zr の酸化物との積層膜、Al の酸化物と Zr の酸化物との積層膜、Si の酸化物と Ti の酸化物との積層膜、Al の酸化物と Si の酸化物と Zr の酸化物との積層膜、Si の酸化物と Ta の酸化物と Al の酸化物との積層膜等が挙げられる。所望の反射率に合わせて適宜その積層周期等を調整することができる。

このような保護膜 25 の厚さは、特に限定されるものではなく、例えば、100 nm 以上 4000 nm 以下、さらに、300 nm 以上 3000 nm 以下、500 nm 以上 2000 nm 以下が挙げられる。例えば、保護膜 25 の厚さは保護膜 24 の厚さよりも大きい。

20

【0030】

保護膜 25 は、例えば、多層膜である。多層膜は、屈折率が相対的に低い膜と高い膜とを交互に積層した構造を有することができる。多層膜のうち光反射側端面 15 と接する膜は、屈折率が相対的に低い膜であってもよく、屈折率が相対的に高い膜であってもよい。図 6 に示すように、保護膜 25 は、光反射側端面 15 と接触して配置されている第 1 部分 25 a と、第 1 部分 25 a と接触して配置されている第 2 部分 25 b と、を有することができる。図 6 は、光反射側端面 15 側の保護膜 25 の一例を示す部分拡大図である。保護膜 25 の厚さは、 $\lambda/4n$ の奇数倍の $\pm 5\%$ であることが好ましく、 $\lambda/4n$ の奇数倍であることがさらに好ましい。これにより、窒化物半導体レーザー素子 10 を駆動した際に光反射側端面 15 で発生する光学損傷の発生確率を低減することができる。なお、 λ は窒化物半導体レーザー素子 10 の発振波長であり、 n は発振波長 λ における各膜の屈折率である。保護膜 25 における厚さとは、活性層 13 の主面と平行な方向における長さを指す。第 2 部分 25 b は、高屈折率膜 25 4 と低屈折率膜 25 5 とが交互に配置されてなる。第 1 部分 25 a は、1 以上の膜からなる。第 1 部分 25 a における第 2 部分 25 b と接する膜は、高屈折率膜 25 4 および低屈折率膜 25 5 のいずれの屈折率とも異なる屈折率を有する。第 1 部分 25 a と第 2 部分 25 b とを組み合わせることで、第 1 部分 25 a と第 2 部分 25 b との界面で光を反射させることができ、保護膜 25 の反射率を向上させることができる。これにより、窒化物半導体レーザー素子 10 の光出力を向上させることができる。光反射側端面 15 から第 1 部分 25 a と第 2 部分 25 b との界面までの距離は、50 nm 以上 200 nm 以下であることが好ましい。これにより、保護膜 25 の反射率をより向上させることができ、窒化物半導体レーザー素子 10 の光出力をより向上させることができる。なお、ここでの距離とは最短距離を指す。保護膜 25 は、第 1 部分 25 a と第 2 部分 25 b のみから構成されてもよく、さらに別の膜を有していてもよい。

30

40

【0031】

第 1 部分 25 a は、屈折率が相対的に低い膜と高い膜とを有する多層構造であることが好ましい。これにより、保護膜 25 の反射率をさらに向上させることができる。例えば、第 1 部分 25 a における屈折率が相対的に低い膜と第 2 部分 25 b の高屈折率膜 25 4 とが接する。もしくは、第 1 部分 25 a における屈折率が相対的に高い膜と第 2 部分 25 b

50

の低屈折率膜 255 とが接していてもよい。第 2 部分 25b のうち第 1 部分 25a と接する膜は、第 1 部分 25a のうち第 2 部分 25b と接する膜の屈折率よりも高い屈折率を有する膜であることが好ましく、第 1 部分 25a を構成するいずれの膜の屈折率よりも高い屈折率を有する膜であることがより好ましい。これにより、保護膜 25 の反射率をさらに向上させることができる。第 2 部分 25b の低屈折率膜 255 は、例えばシリコン酸化膜（例えば SiO_2 膜）とすることができる。第 2 部分 25b の高屈折率膜 254 は、例えばタンタル酸化膜（例えば Ta_2O_5 ）とすることができる。

【0032】

第 1 部分 25a は、第 5 膜 251、第 6 膜 252 及び第 7 膜 253 を有してよい。第 1 部分 25a は、光反射側端面 15 の側から順に、アルミニウム及び / 又はガリウムと酸素を含む結晶性の第 5 膜 251 と、窒化膜からなる結晶性の第 6 膜 252 と、アルミニウムと酸素を含む第 7 膜 253 とを有してよい。第 5 膜 251 は、第 1 膜 21 について述べた材料、厚さ、形成方法などを採用することができる。第 6 膜 252 は、第 2 膜 22 について述べた材料、厚さ、形成方法などを採用することができる。第 7 膜 253 は、第 3 膜 23 について述べた材料、厚さ、形成方法などを採用することができる。第 1 部分 25a は光反射側端面 15 と接する部分であるので、このような第 5 膜 251、第 6 膜 252 及び第 7 膜 253 を有することにより、保護膜 24 と同様の効果を期待できる。第 5 膜 251 は、光反射側端面 15 と接触して配置してよい。第 5 膜 251、第 6 膜 252 及び第 7 膜 253 の厚さは、それぞれ、 $\lambda/4n$ 以下であってよい。これにより、第 1 部分 25a と第 2 部分 25b との界面を光反射側端面 15 の比較的近くに配置することができ、保護膜 25 の反射率をより向上させることができ、窒化物半導体レーザ素子 10 の光出力をより向上させることができる。例えば、第 1 部分 25a は、第 5 膜 251、第 6 膜 252 及び第 7 膜 253 のみからなる。

【0033】

（基板 16）

基板 16 は、絶縁性基板であってもよいし、導電性基板であってもよい。基板 16 としては、例えば GaN 等からなる窒化物半導体基板を用いることができる。基板 16 の半導体層形成面である第 1 主面は、C 面、R 面、M 面等が挙げられ、例えば C 面である。第 1 主面及び / 又は第 1 主面の反対側の第 2 主面に 0° 以上 10° 以下のオフ角を有していてもよい。基板 16 の厚さは、 $10\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \text{mm}$ 以下が挙げられる。

【0034】

（埋込膜 18、第 1 電極 17、第 2 電極 19、パッド電極 20）

窒化物半導体レーザ素子 10 は、第 2 窒化物半導体層 12 の上面、例えば、リッジ 12a の側面とリッジ 12a の側面から連続する第 2 窒化物半導体層 12 の上面に埋込膜 18 を設けることができる。

埋込膜 18 は、第 2 窒化物半導体層 12 よりも屈折率が小さな材料によって形成されていることが好ましい。埋込膜 18 は、Zr、Si、V、Hf、Ta、Al、Ce、In、Sb、Zn 等の酸化物、窒化物、酸化窒化物等の絶縁膜の単層膜又は多層膜が挙げられる。埋込膜 18 は、第 1 膜 21 の成膜方法として例示した当該分野で公知の方法によって形成することができる。

【0035】

第 1 窒化物半導体層 11 の下面、例えば、基板 16 がある場合には、基板 16 の下面に第 1 電極 17 を設けることができる。基板 16 が半導体基板である場合は、基板 16 は第 1 窒化物半導体層 11 と同じ導電性を有する。第 1 電極 17 は、例えば、基板 16 の下面のほぼ全域に設けられる。

第 2 窒化物半導体層 12 の上面、例えば、リッジ 12a の上面には、第 2 電極 19 を設けることができ、さらにその上にパッド電極 20 を設けることができる。

第 1 電極 17 及び第 2 電極 19 は、Ni、Rh、Cr、Au、W、Pt、Ti、Al、Pd 等の金属又は合金、Zn、In、Sn から選択される少なくとも 1 種を含む導電性酸化物等の単層膜又は多層膜によって形成することができる。導電性酸化物の例としては、

10

20

30

40

50

ITO (Indium Tin Oxide)、IZO (Indium Zinc Oxide)、GZO (Gallium-doped Zinc Oxide) 等が挙げられる。電極の厚さは、通常、半導体レーザ素子の電極として機能し得る厚さであればよい。例えば、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以上 $2\ \mu\text{m}$ 以下が挙げられる。

【0036】

第1電極17及び第2電極19は、窒化物半導体積層体の第1主面側と第2主面側にそれぞれ設けられていてもよく、第1主面側または第2主面側のいずれか一方に両方が設けられていてもよい。

埋込膜18、第1電極17、第2電極19、パッド電極20は、上述した保護膜24と離間していてもよいし、接していてもよい。埋込膜18、第1電極17、第2電極19、パッド電極20は、保護膜24を被覆していてもよく、保護膜24に被覆されていてもよい。埋込膜18及び第2電極19は、保護膜24に被覆されていることが好ましい。これにより、埋込膜18及び第2電極19の剥がれを抑制することができる。

10

【0037】

(実施例)

図1A～図1Cに示す半導体レーザ素子として、発振波長のピークが $445\ \text{nm}$ 程度の窒化ガリウム系の半導体レーザ素子を作製した。

半導体レーザ素子となるエピタキシャルウエハの作製にはMOCVD装置を用いた。原料には、トリメチルガリウム(TMG)、トリエチルガリウム(TEG)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TMI)、アンモニア(NH₃)、シランガス、ビス(シクロペンタジエニル)マグネシウム(Cp₂Mg)を適宜用いた。

20

C面を成長面とするn型GaN基板(基板16)上に、第1窒化物半導体層11としてn側半導体層と、活性層13と、第2窒化物半導体層12としてp側半導体層とを成長させ、p側半導体層の表面に、共振器長に平行な方向における長さが $1200\ \mu\text{m}$ のストライプ状のリッジ12aを形成した。

次いで、p側半導体層の上の表面に第2電極19としてITO($200\ \text{nm}$)からなるp電極を形成し、リッジ12aの側面及びその外側のp側半導体層の上面に、SiO₂からなる埋込膜18を形成した。埋込膜18は、その一部がp電極を部分的に覆うように形成した。

p電極上に連続して、Ni($8\ \text{nm}$)/Pd($200\ \text{nm}$)/Au($400\ \text{nm}$)/Pt($200\ \text{nm}$)/Au($700\ \text{nm}$)で、パッド電極20を形成した。

30

その後、基板16を、厚さが $80\ \mu\text{m}$ になるように第1窒化物半導体層11の成長面と反対側の面から研磨し、研磨した面に、第1電極17としてTi($8\ \text{nm}$)/Pt($100\ \text{nm}$)/Au($300\ \text{nm}$)よりなるn電極を形成した。続いて、基板16のn電極の形成面側からバー状に劈開し、劈開面を共振器面、つまり、光出射側端面14及び光反射側端面15とした。

得られたバーの光出射側端面14及び光反射側端面15を、ECRスパッタ装置を用いて、酸素プラズマに晒して表面処理を行った。この際、例えば、O₂の流量を $3.33 \times 10^{-7}\ \text{m}^3/\text{s}$ とし、マイクロ波 $500\ \text{W}$ にて、10分間処理した。

その後、光出射側端面14に、Alターゲットを用い、Arの流量が $5 \times 10^{-7}\ \text{m}^3/\text{s}$ 、酸素の流量が $1.67 \times 10^{-7}\ \text{m}^3/\text{s}$ 、マイクロ波 $500\ \text{W}$ で、Al₂O₃からなる第1膜21を形成した。酸素ガスを窒素ガスに変更して、同様に、第2膜22を形成し、続いて、窒素ガスを酸素ガスに変更して、同様に、第3膜23を形成することにより、保護膜24を形成した。実施例1、2及び比較例の半導体レーザ素子において、第1膜21、第2膜22及び第3膜23は、それぞれ表1に示す厚さで形成した。実施例1、2及び比較例の半導体レーザ素子において、保護膜24の反射率はいずれも15%程度だった。第1膜21の形成時の酸素流量は $1.67 \times 10^{-7}\ \text{m}^3/\text{s}$ とし、第3膜23の形成時の酸素流量は $8.33 \times 10^{-8}\ \text{m}^3/\text{s}$ とした。光反射側端面15には、SiO₂とTa₂O₅とを交互に複数積層した多層構造を含む保護膜25を形成した。

40

その後、劈開面に垂直な方向でバーを切断することで、窒化物半導体レーザ素子10と

50

した。

【表 1】

	実施例 1	実施例 2	比較例
第 1 膜	Al ₂ O ₃ :5nm	Al ₂ O ₃ :5nm	Al ₂ O ₃ :5nm
第 2 膜	AlN:5nm	AlN:16.7nm	—
第 3 膜	Al ₂ O ₃ :142.7nm	Al ₂ O ₃ :117.6nm	Al ₂ O ₃ :147.4nm

実施例 1、2 及び比較例の半導体レーザ素子をそれぞれ 7 個作製し、光密度：約 3.6 MW/cm²にて約 4 か月連続発振させることにより、ライフ試験を行い、頓死個数を測定した。 10

その結果、実施例 1 では 3 個、実施例 2 では 0 個、比較例では 5 個であった。

【0038】

このような結果から、第 1 膜 21、第 2 膜 22 及び第 3 膜 23 を備えることにより、窒化物半導体レーザ素子 10 の端面損傷の発生を抑制することができることが確認された。また、これにより、窒化物半導体レーザ素子 10 の長寿命化を図ることが可能となることが確認された。

【0039】

本明細書でこれまで説明してきた内容を通し、以下の技術事項が開示される。

(項 1) 第 1 導電型の第 1 窒化物半導体層と、該第 1 導電型とは異なる導電型である第 2 導電型の第 2 窒化物半導体層と、前記第 1 窒化物半導体層と前記第 2 窒化物半導体層との間に配置される活性層と、該活性層の前記第 2 窒化物半導体層の側の面と交わる光出射側端面及び光反射側端面と、前記光出射側端面に設けられた保護膜とを備え、 20

該保護膜は、前記光出射側端面の側から順に、アルミニウム及び / 又はガリウムと酸素とを含む結晶性の第 1 膜と、窒化膜からなる結晶性の第 2 膜と、アルミニウムと酸素とを含む第 3 膜とを備える窒化物半導体レーザ素子。

(項 2) 前記第 1 膜がアルミニウムを含む酸化膜である項 1 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

(項 3) 前記第 3 膜がアルミニウムを含む酸化膜である項 1 又は 2 に記載の窒化物半導体レーザ素子。 30

(項 4) 前記第 2 膜が AlN からなる膜である項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

(項 5) 前記第 1 膜の厚さが 10 nm 未満である項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

(項 6) 前記第 3 膜の厚さが前記第 1 膜の厚さの 3 倍以上である項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

(項 7) 前記第 1 膜及び前記第 2 膜が、前記第 3 膜よりも薄い項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

(項 8) 前記第 1 膜は、絶縁膜からなる項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。 40

(項 9) 前記第 3 膜は、アモルファス構造の膜又はアモルファス構造と結晶構造とを含む膜である項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

(項 10) 前記第 2 膜の前記活性層と隣り合う領域における結晶の軸配向は、前記第 2 膜の前記第 1 窒化物半導体層と隣り合う領域及び / 又は前記第 2 窒化物半導体層と隣り合う領域における結晶の軸配向と同じである項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

(項 11) 前記保護膜は、前記第 3 膜の前記第 2 膜とは反対の側に設けられた第 4 膜を備え、

前記第 4 膜の厚さは、前記第 3 膜の厚さよりも大きい項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。 50

(項 1 2) 前記保護膜は第 1 保護膜であり、

前記窒化物半導体レーザ素子は、前記光反射側端面に設けられた第 2 保護膜を備え、

前記第 2 保護膜は、前記光反射側端面と接触して配置されている第 1 部分と、前記第 1 部分と接触して配置されている第 2 部分と、を有し、

前記第 1 部分は、屈折率が相対的に低い膜と高い膜とを有する多層構造であり、

前記第 2 部分は、高屈折率膜と低屈折率膜とが交互に配置されてなる項 1 ~ 1 1 のいずれか一項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

(項 1 3) 前記第 1 部分は、前記光反射側端面の側から順に、アルミニウム及び/又はガリウムと酸素とを含む結晶性の第 5 膜と、窒化膜からなる結晶性の第 6 膜と、アルミニウムと酸素とを含む第 7 膜とを備える項 1 2 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

10

【符号の説明】

【0040】

10 窒化物半導体レーザ素子

11 第 1 窒化物半導体層

12 第 2 窒化物半導体層

12 a リッジ

13 活性層

14 光出射側端面

14 a 光出射面

15 光反射側端面

20

16 基板

17 第 1 電極

18 埋込膜

19 第 2 電極

20 パッド電極

24、25 保護膜

21 第 1 膜

22 第 2 膜

23 第 3 膜

26 第 4 膜

30

25 a 第 1 部分

25 b 第 2 部分

25 1 第 5 膜

25 2 第 6 膜

25 3 第 7 膜

25 4 高屈折率膜

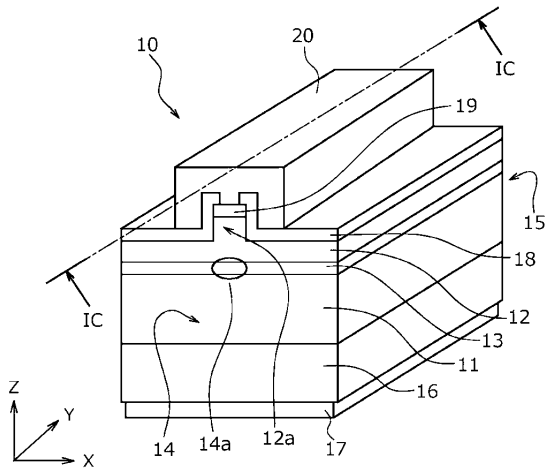
25 5 低屈折率膜

40

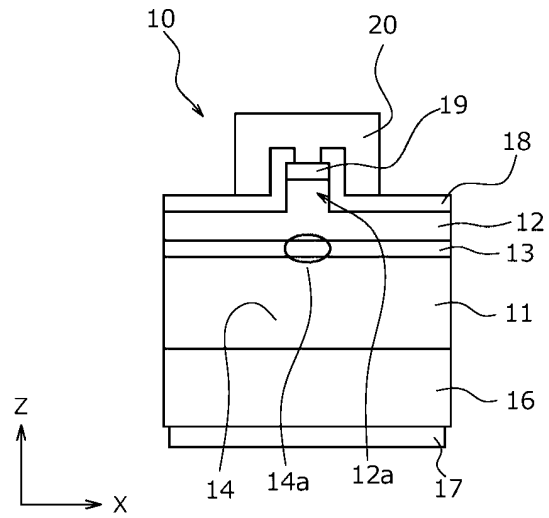
50

【図面】

【図 1 A】

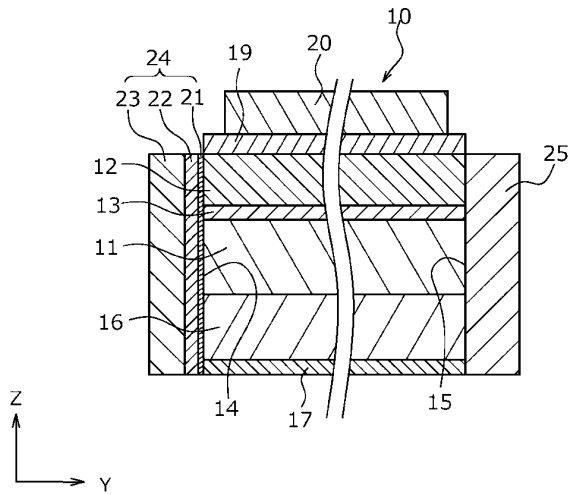


【図 1 B】

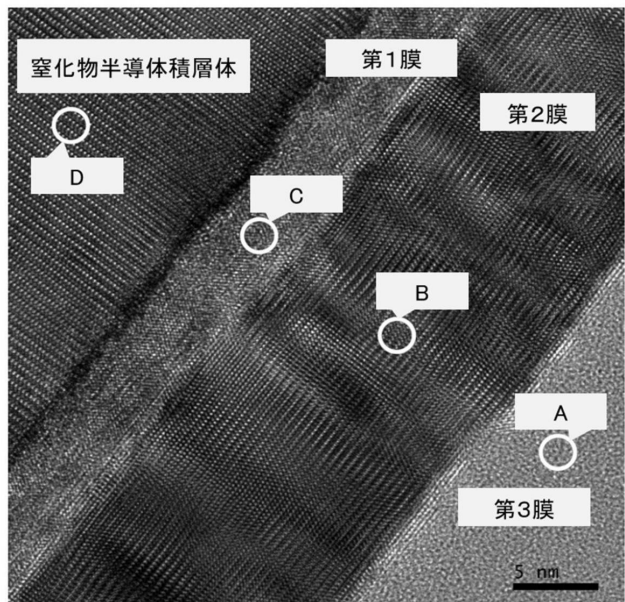


10

【図 1 C】



【図 2】



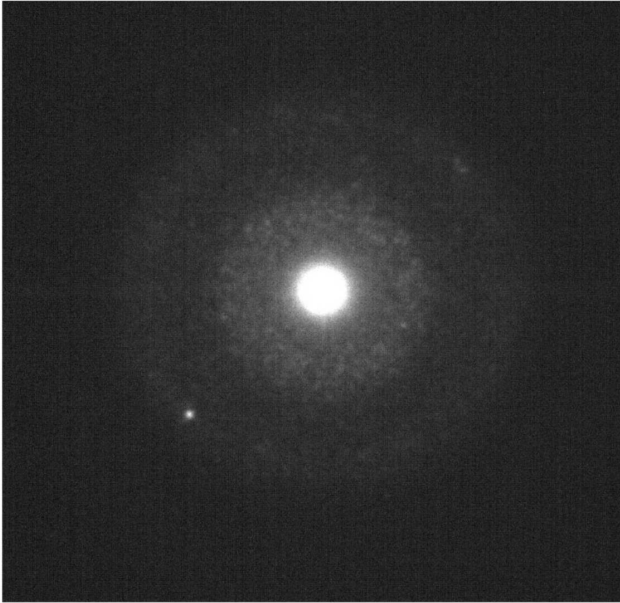
20

30

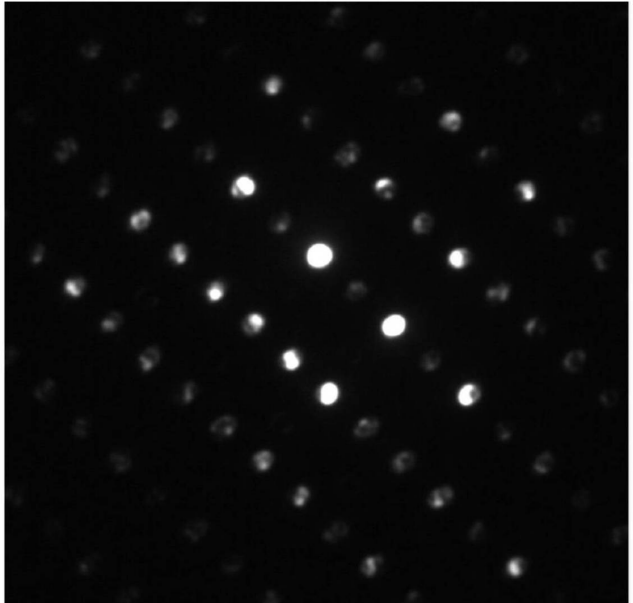
40

50

【 図 3 A 】

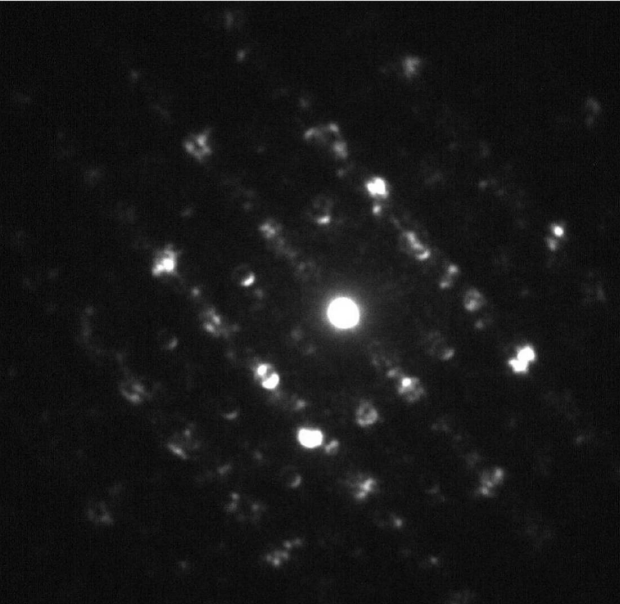


【 図 3 B 】

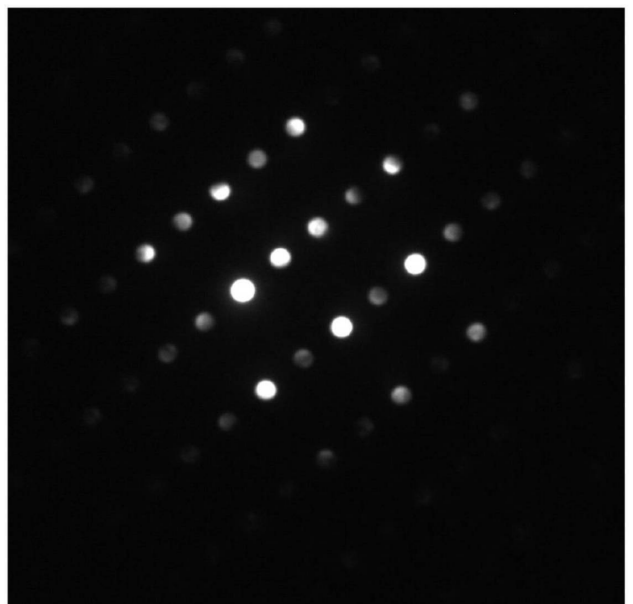


10

【 図 3 C 】



【 図 3 D 】



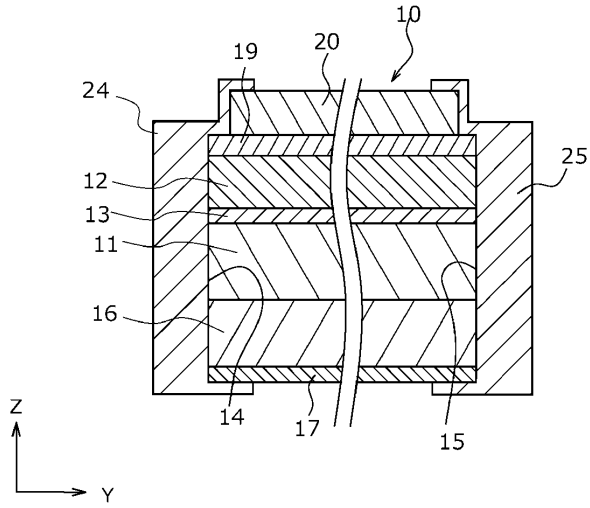
20

30

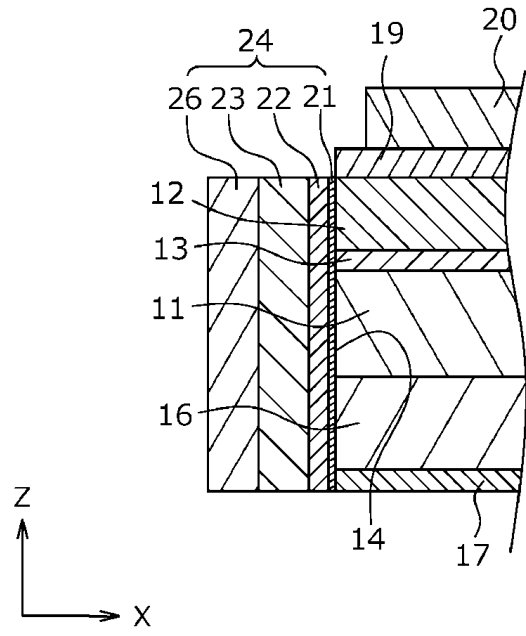
40

50

【 図 4 】



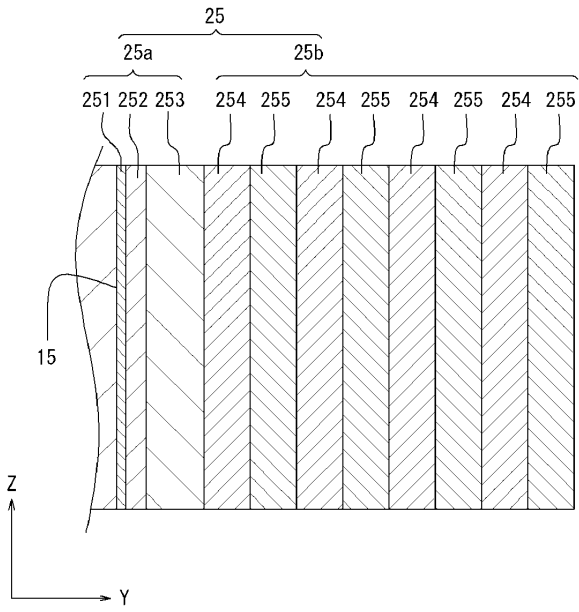
【 図 5 】



10

20

【 図 6 】



30

40

50