

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3729270号
(P3729270)

(45) 発行日 平成17年12月21日(2005.12.21)

(24) 登録日 平成17年10月14日(2005.10.14)

(51) Int. Cl.⁷

F I

H O 1 S 5/183

H O 1 S 5/183

H O 1 L 31/00

H O 1 L 31/00

B

請求項の数 21 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-3056 (P2004-3056)</p> <p>(22) 出願日 平成16年1月8日(2004.1.8)</p> <p>(65) 公開番号 特開2005-197513 (P2005-197513A)</p> <p>(43) 公開日 平成17年7月21日(2005.7.21)</p> <p>審査請求日 平成16年10月18日(2004.10.18)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号</p> <p>(74) 代理人 100090479 弁理士 井上 一</p> <p>(74) 代理人 100090387 弁理士 布施 行夫</p> <p>(74) 代理人 100090398 弁理士 大淵 美千栄</p> <p>(72) 発明者 金子 剛 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内</p> <p>審査官 土屋 知久</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) 【発明の名称】 光素子およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板の上方に、該基板側から配置された、第1ミラーと、活性層と、第2ミラーと、を含む面発光型半導体レーザと、

前記面発光型半導体レーザの上方に、該面発光型半導体レーザ側から配置された、第1コンタクト層と、光吸収層と、第2コンタクト層と、を含む光検出素子と、を含み、

前記第2ミラーと前記第1コンタクト層との間に分離層を有し、

前記分離層は、AlGaAs層からなり、

前記第2ミラーは、AlGaAs層を側面から酸化することにより得られる電流狭窄層を有し、

前記分離層のAl組成は、前記電流狭窄層のためのAlGaAs層のAl組成より小さい、光素子。

【請求項2】

請求項1において、

前記第2ミラーの最上層および前記第1コンタクト層は、それぞれAlGaAs層からなり、

前記分離層のAl組成は、前記第2ミラーの最上層のAl組成より大きく、前記第1コンタクト層のAl組成よりも大きい、光素子。

【請求項3】

請求項1または2において、

前記分離層のA1組成は、0.3以上である、光素子。

【請求項4】

請求項1～3のいずれかにおいて、

前記光吸収層および前記第2コンタクト層は、それぞれAlGaAs層からなり、

前記分離層のA1組成は、前記光吸収層のA1組成より大きく、前記第2コンタクト層のA1組成よりも大きい、光素子。

【請求項5】

請求項1～4のいずれかにおいて、

前記分離層のA1組成は、0.95未満である、光素子。

【請求項6】

請求項1～5のいずれかにおいて、

前記分離層の光学的膜厚は、前記面発光型半導体レーザの設計波長が λ である場合、 $\lambda/4$ の奇数倍である、光素子。

【請求項7】

請求項1～6のいずれかにおいて、

前記光検出素子の全体の光学的膜厚は、前記面発光型半導体レーザの設計波長が λ である場合、 $\lambda/4$ の奇数倍である、光素子。

【請求項8】

請求項1～7のいずれかにおいて、

前記基板または前記第1ミラーと電氣的に接続された第1電極と、

前記第2ミラーと電氣的に接続された第2電極と、

前記第1コンタクト層と電氣的に接続された第3電極と、

前記第2コンタクト層と電氣的に接続された第4電極と、を含み、

前記第2電極と前記第3電極は、電氣的に接続されている、光素子。

【請求項9】

請求項8において、

前記第2ミラーはp型半導体層からなり、前記第2電極は白金を含む、光素子。

【請求項10】

請求項8において、

前記第1コンタクト層はp型半導体層からなり、前記第3電極は白金を含む、光素子。

【請求項11】

面発光型半導体レーザおよび光検出素子を含む光素子の製造方法において、

前記基板の上方に、少なくとも、第1ミラー、活性層、第2ミラー、分離層、第1コンタクト層、光吸収層、および第2コンタクト層を構成するための半導体層を積層する工程と、

前記半導体層をエッチングすることにより第2コンタクト層および光吸収層を形成する工程と、

前記半導体層を、第1エッチャントを用いてエッチングすることにより、第1コンタクト層を形成する工程と、

前記半導体層を、第2エッチャントを用いてエッチングすることにより、前記分離層を形成する工程と、

前記半導体層をエッチングすることにより、少なくとも前記第2ミラーの一部を含む柱状部を形成する工程と、

前記第2ミラー内のAlGaAs層を側面から酸化して、電流狭窄層を形成する工程と、を含み、

前記第1エッチャントに対する前記分離層のエッチングレートは、前記第1エッチャントに対する前記第1コンタクト層のエッチングレートより小さく、

前記第2エッチャントに対する前記分離層のエッチングレートは、前記第2エッチャントに対する前記第2ミラーの最上層のエッチングレートより大きく、

前記分離層は、AlGaAs層からなり、

10

20

30

40

50

前記分離層の Al 組成は、前記電流狭窄層のための AlGaAs 層の Al 組成より小さい、光素子の製造方法。

【請求項 12】

請求項 11 において、

前記第 2 ミラーの最上層および前記第 1 コンタクト層は、AlGaAs 層からなり、前記分離層の Al 組成は、前記第 2 ミラーの最上層の Al 組成より大きく、前記第 1 コンタクト層の Al 組成よりも大きい、光素子の製造方法。

【請求項 13】

請求項 11 または 12 において、

前記分離層の Al 組成は、0.3 以上である、光素子の製造方法。

10

【請求項 14】

請求項 11 ~ 13 のいずれかにおいて、

前記光吸収層および前記第 2 コンタクト層は、それぞれ AlGaAs 層からなり、前記分離層の Al 組成は、前記光吸収層の Al 組成より大きく、前記第 2 コンタクト層の Al 組成よりも大きい、光素子の製造方法。

【請求項 15】

請求項 11 ~ 14 のいずれかにおいて、

前記分離層の Al 組成は、0.95 未満である、光素子の製造方法。

【請求項 16】

請求項 11 ~ 15 のいずれかにおいて、

前記分離層の光学的膜厚は、前記面発光型半導体レーザの設計波長が λ である場合、 $\lambda/4$ の奇数倍となるように形成する、光素子の製造方法。

20

【請求項 17】

請求項 11 ~ 16 のいずれかにおいて、

前記光検出素子の全体の光学的膜厚は、前記面発光型半導体レーザの設計波長が λ である場合、 $\lambda/4$ の奇数倍となるように形成する、光素子の製造方法。

【請求項 18】

請求項 11 ~ 17 のいずれかにおいて、

前記基板または前記第 1 ミラーと電気的に接続するように第 1 電極を形成する工程と、前記第 2 ミラーと電気的に接続するように第 2 電極を形成する工程と、前記第 1 コンタクト層と電気的に接続するように第 3 電極を形成する工程と、前記第 2 コンタクト層と電気的に接続するように第 4 電極を形成する工程と、を含み、前記第 2 電極と前記第 3 電極とを、電気的に接続されるように形成する、光素子の製造方法。

30

【請求項 19】

請求項 18 において、

前記第 1 電極を形成する工程と、前記第 3 電極を形成する工程とは、同一のプロセスで行われ、

前記第 2 電極を形成する工程と、前記第 4 電極を形成する工程とは、同一のプロセスで行われる、光素子の製造方法。

40

【請求項 20】

請求項 18 または 19 において、

前記第 2 ミラーは p 型半導体層からなり、前記第 2 電極は白金を含む、光素子の製造方法。

【請求項 21】

請求項 18 または 19 において、

前記第 1 コンタクト層は p 型半導体層からなり、前記第 3 電極は白金を含む、光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、光素子およびその製造方法に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

面発光型半導体レーザは、環境温度により光出力が変動するという特性を有する。このため、面発光型半導体レーザを用いた光モジュールにおいては、面発光型半導体レーザから出射されるレーザ光の一部を検出して光出力値をモニタするための光検出機能が備えられている場合がある。たとえば、面発光型半導体レーザ上にフォトダイオード等の光検出素子を設けることにより、面発光型半導体レーザから出射されるレーザ光の一部を同一素子内でモニタすることができる（例えば、特許文献 1 参照）。

10

【 特許文献 1 】 特開平 1 0 - 1 3 5 5 6 8 号公報

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 3 】

本発明の目的は、高い精度で加工することが可能な、面発光型半導体レーザと光検出素子とを含む光素子およびその製造方法を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 4 】

本発明にかかる光素子は、

基板の上方に、該基板側から配置された、第 1 ミラーと、活性層と、第 2 ミラーと、を含む面発光型半導体レーザと、

20

前記面発光型半導体レーザの上方に、該面発光型半導体レーザ側から配置された、第 1 コンタクト層と、光吸収層と、第 2 コンタクト層と、を含む光検出素子と、を含み、

前記第 2 ミラーと前記第 1 コンタクト層との間に分離層を有する。

【 0 0 0 5 】

本発明にかかる光素子において、特定のもの（以下、「A」という）の上方に他の特定のもの（以下、「B」という）が形成されるとは、A上に直接、Bが形成される場合と、A上の他のものを介して、Bが形成される場合と、を含む。このことは、本発明にかかる光素子の製造方法においても同様である。

【 0 0 0 6 】

本発明にかかる光素子において、

前記分離層、前記第 2 ミラーの最上層、および前記第 1 コンタクト層は、それぞれ AlGaAs 層からなり、

30

前記分離層の Al 組成は、前記第 2 ミラーの最上層の Al 組成より大きく、前記第 1 コンタクト層の Al 組成よりも大きいことができる。

【 0 0 0 7 】

本発明にかかる光素子およびその製造方法において、AlGaAs 層の Al 組成とは、ガリウム (Ga) に対するアルミニウム (Al) の組成である。本発明にかかる光素子およびその製造方法において、AlGaAs 層の Al 組成は、0 から 1 までである。すなわち、AlGaAs 層は、GaAs 層 (Al 組成が 0 の場合) および AlAs 層 (Al 組成が 1 の場合) を含む。

40

【 0 0 0 8 】

本発明にかかる光素子において、

前記分離層の Al 組成は、0.3 以上であることができる。

【 0 0 0 9 】

本発明にかかる光素子において、

前記光吸収層および前記第 2 コンタクト層は、それぞれ AlGaAs 層からなり、

前記分離層の Al 組成は、前記光吸収層の Al 組成より大きく、前記第 2 コンタクト層の Al 組成よりも大きいことができる。

【 0 0 1 0 】

50

本発明にかかる光素子において、
前記第2ミラーは、AlGaAs層を側面から酸化することにより得られる電流狭窄層を有し、
前記分離層のAl組成は、前記電流狭窄層のためのAlGaAs層のAl組成より小さいことができる。

【0011】

本発明にかかる光素子において、
前記分離層のAl組成は、0.95未満であることができる。

【0012】

本発明にかかる光素子において、
前記分離層の光学的膜厚は、前記面発光型半導体レーザの設計波長が λ である場合、
 $\lambda/4$ の奇数倍であることができる。

10

【0013】

本発明にかかる光素子およびその製造方法において、設計波長とは、前記面発光型半導体レーザにおいて生じる光のうち強度が最大である光の波長をいう。

【0014】

また、本発明にかかる光素子およびその製造方法において、光学的膜厚とは、層の実際の膜厚に、該層を構成する物質の屈折率を乗じて得られる値をいう。

【0015】

本発明にかかる光素子において、
前記光検出素子の全体の光学的膜厚は、前記面発光型半導体レーザの設計波長が λ である場合、
 $\lambda/4$ の奇数倍であることができる。

20

【0016】

本発明にかかる光素子において、
前記基板または前記第1ミラーと電氣的に接続された第1電極と、
前記第2ミラーと電氣的に接続された第2電極と、
前記第1コンタクト層と電氣的に接続された第3電極と、
前記第2コンタクト層と電氣的に接続された第4電極と、を含み、
前記第2電極と前記第3電極は、電氣的に接続されていることができる。

【0017】

本発明にかかる光素子において、
前記第2ミラーはp型半導体層からなり、前記第2電極は白金を含むことができる。

30

【0018】

本発明にかかる光素子において、
前記第1コンタクト層はp型半導体層からなり、前記第3電極は白金を含むことができる。

【0019】

本発明にかかる光素子の製造方法は、
面発光型半導体レーザおよび光検出素子を含む光素子の製造方法において、
前記基板の上方に、少なくとも、第1ミラー、活性層、第2ミラー、分離層、第1コン
タクト層、光吸収層、および第2コンタクト層を構成するための半導体層を積層する工程
と、
前記半導体層をエッチングすることにより第2コンタクト層および光吸収層を形成する
工程と、
前記半導体層を、第1エッチャントを用いてエッチングすることにより、第1コンタク
ト層を形成する工程と、
前記半導体層を、第2エッチャントを用いてエッチングすることにより、前記分離層を
形成する工程と、
前記半導体層をエッチングすることにより、少なくとも前記第2ミラーの一部を含む柱
状部を形成する工程と、を含み、

40

50

前記第1エッチャントに対する前記分離層のエッチングレートは、前記第1エッチャントに対する前記第1コンタクト層のエッチングレートより小さく、

前記第2エッチャントに対する前記分離層のエッチングレートは、前記第2エッチャントに対する前記第2ミラーの最上層のエッチングレートより大きい。

【0020】

この光素子の製造方法によれば、前記第1コンタクト層をエッチングする工程において、前記第1コンタクト層の下に前記分離層が存在することにより、この前記分離層がエッチングストップとして機能するので、前記第1コンタクト層のエッチングを高い精度で正確かつ容易に行うことができる。

【0021】

この光素子の製造方法によれば、前記分離層をエッチングする工程において、前記分離層の下に前記第2ミラーの前記最上層が存在することにより、この前記第2ミラーの前記最上層がエッチングストップ層として機能するので、前記第2ミラーの前記最上層の上面を高い精度で正確かつ容易に露出させることができる。

10

【0022】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記分離層、前記第2ミラーの最上層、および前記第1コンタクト層は、それぞれAlGaAs層からなり、

前記分離層のAl組成は、前記第2ミラーの最上層のAl組成より大きく、前記第1コンタクト層のAl組成よりも大きいことができる。

20

【0023】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記分離層のAl組成は、0.3以上であることができる。

【0024】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記光吸収層および前記第2コンタクト層は、それぞれAlGaAs層からなり、

前記分離層のAl組成は、前記光吸収層のAl組成より大きく、前記第2コンタクト層のAl組成よりも大きいことができる。

【0025】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記第2ミラー内のAlGaAs層を側面から酸化して、電流狭窄層を形成する工程を含み、

前記分離層のAl組成は、前記電流狭窄層のためのAlGaAs層のAl組成より小さいことができる。

30

【0026】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記分離層のAl組成は、0.95未満であることができる。

【0027】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記分離層の光学的膜厚は、前記面発光型半導体レーザの設計波長が λ である場合、 $\lambda/4$ の奇数倍となるように形成することができる。

40

【0028】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記光検出素子の全体の光学的膜厚は、前記面発光型半導体レーザの設計波長が λ である場合、 $\lambda/4$ の奇数倍となるように形成することができる。

【0029】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記基板または前記第1ミラーと電氣的に接続するように第1電極を形成する工程と、前記第2ミラーと電氣的に接続するように第2電極を形成する工程と、

前記第1コンタクト層と電氣的に接続するように第3電極を形成する工程と、

50

前記第2コンタクト層と電氣的に接続するように第4電極を形成する工程と、を含み、前記第2電極と前記第3電極とを、電氣的に接続されるように形成することができる。

【0030】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記第1電極を形成する工程と、前記第3電極を形成する工程とは、同一のプロセスで行われ、

前記第2電極を形成する工程と、前記第4電極を形成する工程とは、同一のプロセスで行われることができる。

【0031】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記第2ミラーはp型半導体層からなり、前記第2電極は白金を含むことができる。

10

【0032】

本発明にかかる光素子の製造方法において、

前記第1コンタクト層はp型半導体層からなり、前記第3電極は白金を含むことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0034】

1. 光素子の構造

20

図1および図2は、本発明を適用した実施の形態に係る光素子100を模式的に示す断面図である。また、図3は、図1および図2に示す光素子100を模式的に示す平面図である。なお、図1は、図3のA-A線における断面を示す図であり、図2は、図3のB-B線における断面を示す図である。

【0035】

本実施の形態にかかる光素子100は、図1に示すように、面発光型半導体レーザ140と、分離層20と、光検出素子120と、を含む。

【0036】

以下、面発光型半導体レーザ140、分離層20、光検出素子120、および全体の構成について説明する。

30

【0037】

1-1. 面発光型半導体レーザ

面発光型半導体レーザ140は、半導体基板（本実施形態ではn型GaAs基板）101上に設けられている。この面発光型半導体レーザ140は垂直共振器を有する。また、この面発光型半導体レーザ140は、柱状の半導体堆積体（以下「柱状部」とする）130を含むことができる。

【0038】

面発光型半導体レーザ140は、例えば、n型 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層とn型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 層とを交互に積層した40ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「第1ミラー」という）102と、GaAsウエル層と $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ バリア層からなり、ウエル層が3層で構成される量子井戸構造を含む活性層103と、p型 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層とp型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 層とを交互に積層した25ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「第2ミラー」という）104と、が順次積層されて構成されている。なお、第2ミラー104の最上層14は、Al組成の小さい方、すなわちp型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 層となるように構成されている。第1ミラー102、活性層103、および第2ミラー104を構成する各層の組成および層数はこれに限定されるわけではない。なお、第2ミラー104の最上層14のAl組成は、0.3未満であることが好ましい。この理由については、後述する。

40

【0039】

第2ミラー104は、たとえば炭素(C)がドーピングされることによりp型にされ、

50

第1ミラー102は、たとえばケイ素(Si)がドーピングされることによりn型にされている。したがって、p型の第2ミラー104、不純物がドーピングされていない活性層103、およびn型の第1ミラー102により、pinダイオードが形成される。

【0040】

また、面発光型半導体レーザ140のうち、第2ミラー104から第1ミラー102の途中にかけての部分が、第2ミラー104の上面104aからみて円形の形状にエッチングされて柱状部130が形成されている。なお、本実施の形態では、柱状部130の平面形状を円形としたが、この形状は任意の形状をとることができる。

【0041】

また、主として柱状部130を取り囲むように第1絶縁層30が形成されている。第1絶縁層30は、第1ミラー102の上に形成されている。さらに、第1絶縁層30は、後述する第2電極109の引き出し部109bおよびパッド部109cの下に形成されている。さらに、第1絶縁層30は、後述する第2絶縁層40の下に形成されている。

10

【0042】

さらに、第2ミラー104を構成する層のうち活性層103に近い領域に、AlGaAs層を側面から酸化することにより得られる電流狭窄層105が形成されている。この電流狭窄層105はリング状に形成されている。すなわち、この電流狭窄層105は、図1および図2に示す半導体基板101の表面101aと平行な面で切断した場合における断面形状が、柱状部130の平面形状の円形と同心の円のリング状である。

【0043】

20

また、面発光型半導体レーザ140には第1電極107および第2電極109が設けられている。この第1電極107および第2電極109は、面発光型半導体レーザ140を駆動するために使用される。

【0044】

具体的には、図1に示すように、第1電極107は、第1ミラー102の上面102a上に設けられている。第1電極107は、図3に示すように、リング状の平面形状を有する。すなわち、第1電極107は主として柱状部130を取り囲むように設けられている。言い換えれば、柱状部130は第1電極107の内側に設けられている。

【0045】

第2電極109は、面発光型半導体レーザ140の上面104a上に設けられている。第2電極109は、図3に示すように、リング状の平面形状を有する接続部109aと、直線状の平面形状を有する引き出し部109bと、円状の平面形状を有するパッド部109cと、を有する。第2電極109は、接続部109aにおいて第2ミラー104と電気的に接続されている。第2電極109の引き出し部109bは、接続部109aとパッド部109cとを接続している。第2電極のパッド部109cは、電極パッドとして用いることができる。第2電極109の接続部109aは、主として後述する分離層20を取り囲むように設けられている。言い換えれば、分離層20は第2電極109の内側に設けられている。

30

【0046】

なお、本実施の形態では、第1電極107が第1ミラー102上に設けられている場合

40

【0047】

第1電極107は、例えば金(Au)とゲルマニウム(Ge)の合金と、金(Au)との積層膜からなる。また、第2電極109は、例えば白金(Pt)、チタン(Ti)および金(Au)の積層膜からなる。第1電極107と第2電極109とによって活性層103に電流が注入される。なお、第1電極107および第2電極109を形成するための材料は、前述したものに限定されるわけではなく、例えば金(Au)と亜鉛(Zn)との合金などが利用可能である。

【0048】

1 - 2 . 分離層

50

本実施の形態の光素子 100 においては、面発光型半導体レーザ 140 上に分離層 20 が形成されている。すなわち、分離層 20 は、面発光型半導体レーザ 140 と後述する光検出素子 120 との間に設けられている。具体的には、図 1 および図 2 に示すように、分離層 20 は、第 2 ミラー 104 上に形成されている。すなわち、分離層 20 は、第 2 ミラー 104 と後述する第 1 コンタクト層 111 との間に設けられている。

【0049】

分離層 20 の平面形状は円形である。図示の例では、分離層 20 の平面形状は、第 1 コンタクト層 111 の平面形状と同じである。分離層 20 の平面形状は、第 1 コンタクト層 111 の平面形状よりも大きく形成することもできる。分離層 20 については、後述する光素子の製造方法の項にてさらに詳細に説明する。

10

【0050】

1-3. 光検出素子

光検出素子 120 は分離層 20 上に設けられている。本実施の形態の光素子 100 においては、光検出素子 120 の上面はレーザ光の出射面 108 を含んでいる。

【0051】

また、光検出素子 120 は第 1 コンタクト層 111 と、光吸収層 112 と、第 2 コンタクト層 113 と、を含む。第 1 コンタクト層 111 は分離層 20 上に設けられ、光吸収層 112 は第 1 コンタクト層 111 上に設けられ、第 2 コンタクト層 113 は光吸収層 112 上に設けられている。第 1 コンタクト層 111 の平面形状は、光吸収層 112 および第 2 コンタクト層 113 の平面形状よりも大きく形成されている（図 1 および図 2 参照）。第 2 コンタクト層 113 および光吸収層 112 は、柱状の半導体堆積体を構成する。

20

【0052】

第 1 コンタクト層 111 は例えば n 型 GaAs 層からなり、光吸収層 112 は例えば不純物が導入されていない GaAs 層からなり、第 2 コンタクト層 113 は例えば p 型 GaAs 層からなることができる。具体的には、第 1 コンタクト層 111 は、たとえばケイ素 (Si) がドーピングされることにより n 型にされ、第 2 コンタクト層 113 は、たとえば炭素 (C) がドーピングされることにより p 型にされている。したがって、p 型の第 2 コンタクト層 113、不純物がドーピングされていない光吸収層 112、および n 型の第 1 コンタクト層 111 により、pin ダイオードが形成される。

【0053】

光検出素子 120 には、第 3 電極 116 および第 4 電極 110 が設けられている。この第 3 電極 116 および第 4 電極 110 は光検出素子 120 を駆動させるために使用される。具体的には、図 1 および図 2 に示すように、第 3 電極 116 は、第 1 コンタクト層 111 を覆うように形成されている。第 3 電極 116 の一部は、上述の第 2 電極 109 上に形成されている。すなわち、第 3 電極 116 と第 2 電極 109 とは、電氣的に接続されている。図 3 に示すように、第 3 電極 116 はリング状の平面形状を有する。すなわち、第 3 電極 116 は主として第 1 コンタクト層 111 および第 2 絶縁層 40 を取り囲むように設けられている。言い換えれば、第 1 コンタクト層 111 および第 2 絶縁層 40 は、第 3 電極 116 の内側に設けられている。

30

【0054】

第 4 電極 110 は、図 3 に示すように、リング状の平面形状を有する接続部 110a と、直線状の平面形状を有する引き出し部 110b と、円状の平面形状を有するパッド部 110c と、を有する。第 4 電極 110 は、接続部 110a において第 2 コンタクト層 113 と電氣的に接続されている。第 4 電極 110 の引き出し部 110b は、接続部 110a とパッド部 110c とを接続している。第 4 電極のパッド部 110c は、電極パッドとして用いることができる。第 4 電極 110 は光検出素子 120 の上面上（第 2 コンタクト層 113 上）に設けられている。第 4 電極 110 には開口部 114 が設けられており、この開口部 114 によって第 2 コンタクト層 113 の上面の一部が露出する。この露出した面が、レーザ光の出射面 108 である。したがって、開口部 114 の平面形状および大きさを適宜設定することにより、出射面 108 の形状および大きさを適宜設定することができ

40

50

る。本実施の形態においては、図3に示すように、出射面108が円形である場合を示す。

【0055】

また、本実施の形態の光素子100においては、第3電極116は第1電極107と同じ材質にて形成することができ、第4電極110は第2電極109と同じ材質にて形成することができる。

【0056】

また、主として光吸収層112および第2コンタクト層113を取り囲むように第2絶縁層40が形成されている。第2絶縁層40は、図1～図3に示すように、第1コンタクト層111、第2ミラー104、および第1絶縁層30の上に形成されている。さらに、
10

【0057】

1-4. 全体の構成

本実施の形態の光素子100においては、面発光型半導体レーザ140のn型第1ミラー102およびp型第2ミラー104、ならびに光検出素子120のn型第1コンタクト層111およびp型第2コンタクト層113から、全体としてnpnp構造が構成される。

【0058】

光検出素子120は、面発光型半導体レーザ140で生じた光の出力をモニタする機能を有する。具体的には、光検出素子120は、面発光型半導体レーザ140で生じた光を電流に変換する。この電流の値によって、面発光型半導体レーザ140で生じた光の出力が検知される。
20

【0059】

より具体的には、光検出素子120において、面発光型半導体レーザ140により生じた光の一部が光吸収層112にて吸収され、この吸収された光によって、光吸収層112において光励起が生じ、電子および正孔が生じる。そして、素子外部から印加された電界により、電子は第3電極116に、正孔は第4電極110にそれぞれ移動する。その結果、光検出素子120において、第1コンタクト層111から第2コンタクト層113の方向に電流が生じる。
30

【0060】

また、面発光型半導体レーザ140の光出力は、主として面発光型半導体レーザ140に印加するバイアス電圧によって決定される。特に、面発光型半導体レーザ140の光出力は、面発光型半導体レーザ140の周囲温度や面発光型半導体レーザ140の寿命によって大きく変化する。このため、面発光型半導体レーザ140において所定の光出力を維持することが必要である。

【0061】

本実施の形態にかかる光素子100では、面発光型半導体レーザ140の光出力をモニタし、光検出素子120にて発生した電流の値に基づいて面発光型半導体レーザ140に印加する電圧値を調整することによって、面発光型半導体レーザ140内を流れる電流の値を調整することができる。したがって、面発光型半導体レーザ140において所定の光出力を維持することができる。面発光型半導体レーザ140の光出力を面発光型半導体レーザ140に印加する電圧値にフィードバックする制御は、外部電子回路(駆動回路; 図示せず)を用いて実施することができる。
40

【0062】

2. 光素子の動作

本実施の形態の光素子100の一般的な動作を以下に示す。なお、下記の光素子100の駆動方法は一例であり、本発明の趣旨を逸脱しない限り、種々の変更が可能である。

【0063】

まず、第1電極107と第2電極109とで、pinダイオードに順方向の電圧を印加
50

すると、面発光型半導体レーザ 140 の活性層 103 において、電子と正孔との再結合が起こり、前記再結合による発光が生じる。そこで生じた光が第 2 ミラー 104 と第 1 ミラー 102 との間を往復する際に誘導放出が起こり、光の強度が増幅される。光利得が光損失を上まわると、レーザ発振が起こり、第 2 ミラー 104 の上面 104 a からレーザ光が出射し、分離層 20 へと入射する。次いで、前記レーザ光は、光検出素子 120 の第 1 コンタクト層 111 へと入射する。

【0064】

次に、光検出素子 120 において、第 1 コンタクト層 111 に入射した光は、次に光吸収層 112 に入射する。この入射光の一部が光吸収層 112 にて吸収される結果、光吸収層 112 において光励起が生じ、電子および正孔が生じる。そして、素子外部から印加された電界により、電子は第 3 電極 116 に、正孔は第 4 電極 110 にそれぞれ移動する。その結果、光検出素子 120 において、第 1 コンタクト層 111 から第 2 コンタクト層 113 の方向に電流（光電流）が生じる。この電流の値を測定することにより、面発光型半導体レーザ 140 の光出力を検知することができる。

【0065】

3. 光素子の製造方法

次に、本発明を適用した実施の形態の光素子 100 の製造方法の一例について、図 4 ~ 図 13 を用いて説明する。図 4 ~ 図 13 は、図 1 ~ 図 3 に示す光素子 100 の一製造工程を模式的に示す断面図であり、それぞれ図 1 に示す断面図に対応している。

【0066】

(1) まず、n 型 GaAs 層からなる半導体基板 101 の表面 101 a に、組成を変調させながらエピタキシャル成長させることにより、図 4 に示すように、半導体多層膜 150 が形成される。ここで、半導体多層膜 150 は例えば、n 型 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層と n 型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 層とを交互に積層した 40 ペアの第 1 ミラー 102、GaAs ウェル層と $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ バリア層からなり、ウェル層が 3 層で構成される量子井戸構造を含む活性層 103、p 型 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層と p 型 $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 層とを交互に積層した 25 ペアの第 2 ミラー 104、不純物がドーピングされていない $AlGaAs$ 層からなる分離層 20、n 型 GaAs 層からなる第 1 コンタクト層 111、不純物がドーピングされていない GaAs 層からなる光吸収層 112、および p 型 GaAs 層からなる第 2 コンタクト層 113 からなる。これらの層を順に半導体基板 101 上に積層させることにより、半導体多層膜 150 が形成される。なお、分離層 20 は、p 型または n 型 $AlGaAs$ 層からなることもできる。

【0067】

分離層 20 は、後述する第 2 エッチャントに対するエッチングレートが、第 2 エッチャントに対する第 2 ミラー 104 の最上層 14 のエッチングレートよりも大きいものを用いることができる。具体的には、たとえば分離層 20 は、第 2 ミラー 104 の最上層 14 の Al 組成より大きな Al 組成を有する $AlGaAs$ 層からなることができる。言い換えるならば、第 2 ミラー 104 を成長させる際に、第 2 ミラー 104 の最上層 14 は、Al 組成が分離層 20 の Al 組成より小さい $AlGaAs$ 層に形成される。より具体的には、たとえば第 2 ミラー 104 の最上層 14 の Al 組成が 0.3 未満であり、分離層 20 の Al 組成が 0.3 以上であるように、第 2 ミラー 104 の最上層 14 および分離層 20 を形成することが望ましい。

【0068】

分離層 20 は、後述する第 1 エッチャントに対するエッチングレートが、第 1 エッチャントに対する第 1 コンタクト層 111 のエッチングレートよりも小さいものを用いることができる。具体的には、たとえば分離層 20 は、第 1 コンタクト層 111 の Al 組成より大きな Al 組成を有する $AlGaAs$ 層からなることができる。言い換えるならば、第 1 コンタクト層 111 を成長させる際に、第 1 コンタクト層 111 は、Al 組成が分離層の Al 組成より小さな $AlGaAs$ 層（GaAs 層を含む）に形成される。より具体的には、たとえば第 1 コンタクト層 111 の Al 組成が 0.3 未満であり、分離層 20 の Al 組

10

20

30

40

50

成が0.3以上であるように、第1コンタクト層111および分離層20を形成することが望ましい。

【0069】

なお、第2ミラー104を成長させる際に、活性層103近傍の少なくとも1層は、後に酸化され、電流狭窄層105となる層に形成される(図9参照)。具体的には、電流狭窄層105となる層は、Al組成が分離層20のAl組成より大きなAlGaAs層(AlAs層を含む)に形成される。言い換えるならば、分離層20は、Al組成が電流狭窄層105となる層より小さなAlGaAs層に形成することができる。これにより、後述する電流狭窄層105を形成する酸化工程において(図9参照)、分離層20は酸化されないようにすることができる。より具体的には、たとえば電流狭窄層105となる層のAl組成が0.95以上であり、分離層20のAl組成が0.95未満であるように、電流狭窄層105となる層および分離層20を形成することが望ましい。

10

【0070】

分離層20の光学的膜厚は、面発光型半導体レーザ140(図1および図2参照)の設計波長がである場合、たとえば、 $\lambda/4$ の奇数倍とすることができる。

【0071】

また、第1コンタクト層111、光吸収層112、および第2コンタクト層113の光学的膜厚の総和、すなわち、光検出素子120(図1および図2参照)の全体の光学的膜厚は、たとえば、 $\lambda/4$ の奇数倍とすることができる。その結果、光検出素子120全体は、分布反射型ミラーとして機能することができる。すなわち、面発光型半導体レーザ140における活性層103の上方において、光検出素子120全体が、分布反射型ミラーとして機能することができる。したがって、面発光型半導体レーザ140の特性に悪影響を及ぼすことなく、光検出素子120は分布反射型ミラーとして機能することができる。

20

【0072】

また、後の工程において第2電極109が形成された際に、第2ミラー104のうち少なくとも第2電極109と接する部分の近傍は、キャリア密度を高くすることにより、第2電極109とのオーム性接触をとりやすくしておくのが望ましい。同様に、第1コンタクト層111のうち少なくとも第3電極116と接する部分の近傍は、キャリア密度を高くすることにより、第3電極116とのオーム性接触をとりやすくしておくのが望ましい。

30

【0073】

エピタキシャル成長を行う際の温度は、成長方法や原料、半導体基板101の種類、あるいは形成する半導体多層膜150の種類、厚さ、およびキャリア密度によって適宜決定されるが、一般に、450~800であるのが好ましい。また、エピタキシャル成長を行う際の所要時間も、温度と同様に適宜決定される。また、エピタキシャル成長させる方法としては、有機金属気相成長(MOVPE: Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy)法や、MBE法(Molecular Beam Epitaxy)法、あるいはLPE法(Liquid Phase Epitaxy)を用いることができる。

【0074】

(2)次に、第2コンタクト層113および光吸収層112を所定の形状にパターニングする(図5参照)。

40

【0075】

まず、半導体多層膜150上にレジスト(図示せず)を塗布した後、リソグラフィ法により該レジストをパターニングすることにより、所定のパターンのレジスト層R1が形成される。

【0076】

ついで、レジスト層R1をマスクとして、例えばドライエッチング法により、第2コンタクト層113および光吸収層112をエッチングする。これにより、第2コンタクト層113と、第2コンタクト層113と同じ平面形状を有する光吸収層112と、が形成さ

50

れる。第2コンタクト層113および光吸収層112は、柱状の半導体堆積体を構成する。その後、レジスト層R1が除去される。

【0077】

(3)次いで、第1コンタクト層111を所定の形状にパターニングする(図6参照)。具体的には、まず、第1コンタクト層111上にレジスト(図示せず)を塗布した後、リソグラフィ法により該レジストをパターニングすることにより、所定のパターンのレジスト層R2が形成される。

【0078】

次いで、レジスト層R2をマスクとして、第1コンタクト層111を第1エッチャントによりエッチングする。このとき、第1コンタクト層111の下には分離層20が配置されており、分離層20がエッチングストップ層として機能するため、第1コンタクト層111のエッチングを、分離層20が露出した時点で、正確かつ容易に止めることができる。具体的には、以下のとおりである。

【0079】

分離層20は、上述したように、第1エッチャントに対するエッチングレートが、第1エッチャントに対する第1コンタクト層111のエッチングレートよりも小さなものを用いることができる。すなわち、まず、第1コンタクト層111は、大きなエッチングレートで分離層20が露出するまでエッチングされる。そして分離層20が露出する。

【0080】

分離層20のエッチングレートは第1コンタクト層111のエッチングレートよりも小さい。言い換えるならば、分離層20は第1コンタクト層111に比べエッチングされにくい。したがって、分離層20が露出した時点で、第1エッチャントによるエッチングは起こりにくくなるので、その時点でエッチングを止めることは容易である。すなわち、第1コンタクト層111のエッチングを、分離層20が露出した時点で、正確かつ容易に止めることができる。

【0081】

より具体的には、たとえば分離層20は、第1コンタクト層111のAl組成より大きなAl組成を有するAlGaAs層からなることができる。そして、Al組成の大きなAlGaAs層のエッチングレートが小さく、Al組成の小さなAlGaAs層のエッチングレートが大きいような第1エッチャントを選択することができる。言い換えるならば、Al組成の小さなAlGaAs層を選択的にエッチングする第1エッチャントを選択することができる。これにより、第1エッチャントに対する分離層20のエッチングレートを、第1エッチャントに対する第1コンタクト層111のエッチングレートよりも小さくすることができる。

【0082】

上述したように、分離層20のAl組成は0.3以上であり、かつ第1コンタクト層111のAl組成は0.3未満であることが望ましい。この場合には、第1エッチャントとして、たとえばアンモニアと過酸化水素と水との混合溶液を用いることができる。たとえばアンモニアと過酸化水素と水との混合比率は、1:10:150程度のものを用いることができるが、特にこの混合比率は限定されず、適宜決定される。

【0083】

これにより、図6に示すように、光検出素子120が形成される。この光検出素子120は、第2コンタクト層113、光吸収層112および第1コンタクト層111を含む。また、第1コンタクト層111の平面形状は、第2コンタクト層113および光吸収層112の平面形状よりも大きく形成することができる。

【0084】

上記工程では、第2コンタクト層113および光吸収層112をパターニングした後、第1コンタクト層111をパターニングする場合について説明したが、第1コンタクト層111をパターニングした後、第2コンタクト層113および光吸収層112をパターニングしてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 5 】

(4) 次に、分離層 20 を所定の形状にパターニングする(図 7 参照)。具体的には、上述のレジスト層 R 2 をマスクとして、分離層 20 を第 2 エッチャントによりエッチングする。このとき、分離層 20 の下には、第 2 ミラー 104 の最上層 14 が配置されており、第 2 ミラー 104 の最上層 14 がエッチングストップ層として機能するため、分離層 20 のエッチングを、第 2 ミラー 104 の最上層 14 が露出した時点で、正確かつ容易に止めることができる。具体的には、以下のとおりである。

【 0 0 8 6 】

分離層 20 は、上述したように、第 2 エッチャントに対するエッチングレートが、第 2 エッチャントに対する第 2 ミラー 104 の最上層 14 のエッチングレートよりも大きなものを用いることができる。すなわち、まず、分離層 20 は、大きなエッチングレートで第 2 ミラー 104 の最上層 14 が露出するまでエッチングされる。そして第 2 ミラー 104 の最上層 14 が露出する。

【 0 0 8 7 】

第 2 ミラー 104 の最上層 14 のエッチングレートは分離層 20 のエッチングレートよりも小さい。言い換えるならば、第 2 ミラー 104 の最上層 14 は分離層 20 に比べエッチングされにくい。したがって、第 2 ミラー 104 の最上層 14 が露出した時点で、第 2 エッチャントによるエッチングは起こりにくくなるので、その時点でエッチングを止めることは容易である。すなわち、分離層 20 のエッチングを、第 2 ミラー 104 の最上層 14 が露出した時点で、正確かつ容易に止めることができる。

【 0 0 8 8 】

より具体的には、たとえば分離層 20 は、第 2 ミラー 104 の最上層 14 の A 1 組成より大きな A 1 組成を有する A 1 G a A s 層からなることができる。そして、A 1 組成の大きな A 1 G a A s 層のエッチングレートが大きく、A 1 組成の小さな A 1 G a A s 層のエッチングレートが小さいような第 2 エッチャントを選択することができる。言い換えるならば、A 1 組成の大きな A 1 G a A s 層を選択的にエッチングする第 2 エッチャントを選択することができる。これにより、第 2 エッチャントに対する分離層 20 のエッチングレートを、第 2 エッチャントに対する第 2 ミラー 104 の最上層 14 のエッチングレートよりも大きくすることができる。

【 0 0 8 9 】

上述したように、分離層 20 の A 1 組成は 0 . 3 以上であり、かつ第 2 ミラー 104 の最上層 14 の A 1 組成は 0 . 3 未満であることが望ましい。この場合には、第 2 エッチャントとして、たとえばフッ酸を用いることができる。このフッ酸の濃度は、たとえば 0 . 1 % 程度であるが、特に限定されず、適宜決定される。

【 0 0 9 0 】

これにより、図 7 に示すように、パターニングされた分離層 20 が形成される。その後、レジスト層 R 2 が除去される。図示の例では、分離層 20 の平面形状は、第 1 コンタクト層 111 の平面形状と同じとなるように形成したが、分離層 20 の平面形状は、第 1 コンタクト層 111 の平面形状よりも大きく形成することができる。具体的には、上述の分離層 20 のパターニングに用いたレジスト層 R 2 を、レジスト層 R 2 よりも平面形状の大きな他のレジスト層を用いて、分離層 20 をパターニングすることができる。

【 0 0 9 1 】

(5) 次いで、パターニングにより、柱状部 130 を含む面発光型半導体レーザ 140 が形成される(図 8 参照)。具体的には、まず、第 2 ミラー 104 上にレジスト(図示せず)を塗布した後、リソグラフィ法により該レジストをパターニングすることにより、所定のパターンのレジスト層 R 3 が形成される。次いで、レジスト層 R 3 をマスクとして、例えばドライエッチング法により、第 2 ミラー 104、活性層 103、および第 1 ミラー 102 の一部をエッチングする。これにより、図 8 に示すように、柱状部 130 が形成される。

【 0 0 9 2 】

以上の工程により、半導体基板 101 上に、柱状部 130 を含む垂直共振器（面発光型半導体レーザ 140）が形成される。すなわち、面発光型半導体レーザ 140 と、分離層 20 と、光検出素子 120 との積層体が形成される。その後、レジスト層 R3 が除去される。

【0093】

なお、本実施の形態においては前述したように、光検出素子 120 および分離層 20 をまず形成した後に柱状部 130 を形成する場合について説明したが、柱状部 130 を形成した後に光検出素子 120 および分離層 20 を形成してもよい。

【0094】

(6) 続いて、例えば 400 程度の水蒸気雰囲気中に、上記工程によって柱状部 130 が形成された半導体基板 101 を投入することにより、前述の第 2 ミラー 104 中の A1 組成が高い層を側面から酸化して、電流狭窄層 105 が形成される（図 9 参照）。上述したように、この工程において、分離層 20 は酸化されないようにすることができる。

【0095】

酸化レートは、炉の温度、水蒸気の供給量、酸化すべき層の A1 組成および膜厚に依存する。酸化により形成される電流狭窄層を備えた面発光レーザでは、駆動する際に、電流狭窄層が形成されていない部分（酸化されていない部分）のみに電流が流れる。したがって、酸化によって電流狭窄層を形成する工程において、形成する電流狭窄層 105 の範囲を制御することにより、電流密度の制御が可能となる。

【0096】

また、面発光型半導体レーザ 140 から出射する光の大部分が第 1 コンタクト層 111 に入射するように、電流狭窄層 105 の径を調整することが望ましい。

【0097】

(7) 次に、図 10 に示すように、第 1 ミラー 102 上であって、柱状部 130 の周囲に、第 1 絶縁層 30 を形成する。第 1 絶縁層 30 は、第 2 絶縁層 40 に比べ、厚膜化が容易なものをを用いることができる。たとえば第 1 絶縁層 30 は、熱または光等のエネルギーによって硬化可能な液体材料（例えば紫外線硬化型樹脂や熱硬化型樹脂の前駆体）を硬化させることにより得られるものをを用いることができる。紫外線硬化型樹脂としては、例えば紫外線硬化型のアクリル系樹脂およびエポキシ系樹脂が挙げられる。また、熱硬化型樹脂としては、熱硬化型のポリイミド系樹脂等が例示できる。

【0098】

ここでは、第 1 絶縁層 30 を形成するための材料として、ポリイミド系樹脂の前駆体を用いた場合について述べる。まず、たとえばスピコート法を用いて前駆体（ポリイミド系樹脂の前駆体）を、半導体基板 101 上に塗布して、前駆体層を形成する。なお、前記前駆体層の形成方法としては、前述したスピコート法のほか、ディッピング法、スプレーコート法、液滴吐出法等の公知技術が利用できる。

【0099】

次いで、この半導体基板 101 を、たとえばホットプレート等を用いて加熱して溶媒を除去した後、たとえば 350 程度の炉に入れて、前駆体層をイミド化させることにより、ほぼ完全に硬化したポリイミド系樹脂層を形成する。続いて、図 10 に示すように、ポリイミド系樹脂層を公知のリソグラフィ技術を用いてパターンニングすることにより、第 1 絶縁層 30 を形成する。パターンニングの際に用いられるエッチング方法としては、ドライエッチング法などを用いることができる。ドライエッチングは、たとえば酸素またはアルゴンなどのプラズマにより行うことができる。

【0100】

なお、上述の第 1 絶縁層 30 の形成方法では、ポリイミド系樹脂の前駆体層を硬化した後、パターンニングを行う例について示したが、ポリイミド系樹脂の前駆体層を硬化する前に、パターンニングを行うこともできる。このパターンニングの際に用いられるエッチング方法としては、ウェットエッチング法などを用いることができる。ウェットエッチングは、たとえばアルカリ溶液または有機溶液などにより行うことができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 1 】

(8) 次に、図 1 1 に示すように、第 1 コンタクト層 1 1 1 上であって、光吸収層 1 1 2 および第 2 コンタクト層 1 1 3 の周囲に、第 2 絶縁層 4 0 を形成する。第 2 絶縁層 4 0 は、第 1 絶縁層 3 0 に比べ、微細加工が容易なものをを用いることができる。たとえば第 2 絶縁層 4 0 は、酸化シリコン膜や窒化シリコン膜などの無機系の誘電体膜を用いることができる。第 2 絶縁層 4 0 の形成方法は、具体的には以下の通りである。

【 0 1 0 2 】

まず、面発光型半導体レーザ 1 4 0 および光検出素子 1 2 0 の形成された半導体基板 1 0 1 上の全面に絶縁層 (図示せず) を形成する。この絶縁層は、たとえばプラズマ C V D 法などにより形成することができる。次に、この絶縁層を公知のリソグラフィ技術を用いてパターニングすることにより、第 2 絶縁層 4 0 を形成する。第 2 絶縁層 4 0 のパターニングは、上述したように第 1 絶縁層 3 0 に比べ、微細に行うことが可能である。このパターニングの際に用いられるエッチング方法としては、ドライエッチング法またはウェットエッチング法などを用いることができる。ドライエッチングは、たとえばフッ素ラジカル含有のプラズマにより行うことができる。ウェットエッチングは、たとえばフッ酸により行うことができる。

【 0 1 0 3 】

(9) 次いで、第 2 ミラー 1 0 4 の上面 1 0 4 a 上に第 2 電極 1 0 9 が形成され、光検出素子 1 2 0 の上面 (第 2 コンタクト層 1 1 3 の上面 1 1 3 a) 上に第 4 電極 1 1 0 が形成される (図 1 2 参照) 。

【 0 1 0 4 】

まず、第 2 電極 1 0 9 および第 4 電極 1 1 0 を形成する前に、必要に応じて、プラズマ処理法等を用いて、第 2 ミラー 1 0 4 の上面 1 0 4 a および第 2 コンタクト層 1 1 3 の上面 1 1 3 a を洗浄する。これにより、より安定した特性の素子を形成することができる。

【 0 1 0 5 】

次いで、例えば真空蒸着法により、たとえば白金 (P t) 、チタン (T i) および金 (A u) の積層膜 (図示せず) を形成する。次いで、リフトオフ法により、所定の位置以外の積層膜を除去することにより、第 2 電極 1 0 9 および第 4 電極 1 1 0 が形成される。この際、第 2 コンタクト層 1 1 3 の上面 1 1 3 a に、前記積層膜が形成されていない部分が形成される。この部分が開口部 1 1 4 となり、開口部 1 1 4 によって、第 2 コンタクト層 1 1 3 の上面 1 1 3 a の一部が露出する。この露出した面がレーザ光の出射面 1 0 8 となる。

【 0 1 0 6 】

上述のように第 2 電極 1 0 9 は少なくとも白金 (P t) を含むことができる。第 2 電極 1 0 9 は、たとえば金 (A u) と亜鉛 (Z n) の合金を用いることもできるが、好ましいのは、第 2 電極 1 0 9 が白金を含む場合である。その理由は以下の通りである。

【 0 1 0 7 】

本実施の形態にかかる光素子 1 0 0 によれば、第 2 電極 1 0 9 は、p 型の第 2 ミラー 1 0 4 と接触している (図 1 および図 2 参照) 。第 2 電極 1 0 9 に亜鉛 (Z n) が含まれていると、亜鉛は白金に比べ熱拡散量が大きいため、後述するアニール処理工程において、亜鉛は p 型の第 2 ミラー 1 0 4 中を拡散して、隣接する n 型の第 1 コンタクト層 1 1 1 にまで到達する可能性がある。亜鉛は、G a A s 層からなる第 1 コンタクト層 1 1 1 において、p 型のドーパントであるため、n 型の第 1 コンタクト層 1 1 1 を p 型に変質させてしまう可能性がある。その結果、光検出素子 1 2 0 における p i n 構造が破壊されてしまう場合がある。これに対し、白金は、亜鉛に比べ、熱拡散量が小さいので、n 型の第 1 コンタクト層 1 1 1 を p 型に変質させるのを防止することができる。

【 0 1 0 8 】

なお、上記工程において、リフトオフ法のかわりにドライエッチング法またはウェットエッチング法を用いることもできる。また、上記工程において、真空蒸着法のかわりにスパッタ法を用いることもできる。また、前記工程においては、第 2 電極 1 0 9 および第 4

10

20

30

40

50

電極 110 を同時にパターニングしているが、第 2 電極 109 および第 4 電極 110 を個々に形成してもかまわない。

【0109】

(10) 次に、同様の方法で、例えば金 (Au) とゲルマニウム (Ge) の合金と金 (Au) との積層膜をパターニングすることで、面発光型半導体レーザ 140 の第 1 ミラー 102 上に第 1 電極 107 が形成され、光検出素子 120 の第 1 コンタクト層 111 上に第 3 電極 116 が形成される (図 13 参照)。第 1 電極 107 および第 3 電極 116 は、同時にパターニングして形成してもよいし、あるいは第 1 電極 107 および第 3 電極 116 は、個々に形成してもかまわない。

【0110】

(11) 次いで、アニール処理を行う。アニール処理の温度は電極材料に依存する。本実施形態で用いる電極材料の場合は、通常 400 前後で行う。以上の工程により、第 1 ~ 第 4 電極 107、109、110、116 が形成される。

【0111】

以上の工程により、図 1 ~ 図 3 に示すように、本実施の形態の光素子 100 が得られる。

【0112】

4. 作用・効果

本実施の形態にかかる光素子 100 およびその製造方法は、以下に示す作用および効果を有する。

【0113】

本実施の形態にかかる光素子 100 の製造方法によれば、第 1 コンタクト層 111 をエッチングする工程において、第 1 コンタクト層 111 の下に分離層 20 が存在することにより、この分離層 20 がエッチングストップとして機能するので、第 1 コンタクト層 111 のエッチングを高い精度で正確かつ容易に行うことができる。

【0114】

本実施の形態にかかる光素子 100 によれば、第 1 コンタクト層 111 の Al 組成は、分離層 20 の Al 組成よりも小さい。したがって、第 1 コンタクト層 111 の Al 組成を小さくすることができるので、第 1 コンタクト層 111 と第 3 電極 116 とのオーミックコンタクトを容易に得ることができる。上述したように、第 1 コンタクト層 111 の Al 組成は、0.3 未満であることが望ましい。第 1 コンタクト層 111 の Al 組成が 0.3 未満であることによって、第 1 コンタクト層 111 と第 3 電極 116 とのオーミックコンタクトをより良好に得ることができる。

【0115】

本実施の形態にかかる光素子 100 の製造方法によれば、分離層 20 をエッチングする工程において、分離層 20 の下に第 2 ミラー 104 の最上層 14 が存在することにより、この第 2 ミラー 104 の最上層 14 がエッチングストップ層として機能するので、第 2 ミラー 104 の最上層 14 の上面を高い精度で正確かつ容易に露出させることができる。

【0116】

本実施の形態にかかる光素子 100 によれば、第 2 ミラー 104 の最上層 14 の Al 組成は、分離層 20 の Al 組成よりも小さい。したがって、第 2 ミラー 104 の最上層 14 の Al 組成を小さくすることができるので、第 2 ミラー 104 の最上層 14 と第 2 電極 109 とのオーミックコンタクトを容易に得ることができる。上述したように、第 2 ミラー 104 の最上層 14 の Al 組成は、0.3 未満であることが望ましい。第 2 ミラー 104 の最上層 14 の Al 組成が 0.3 未満であることによって、第 2 ミラー 104 の最上層 14 と第 2 電極 109 とのオーミックコンタクトをより良好に得ることができる。

【0117】

本実施の形態にかかる光素子 100 によれば、分離層 20 の Al 組成は、第 2 ミラー 104 の最上層 14 の Al 組成より大きく、第 1 コンタクト層 111 の Al 組成よりも大きい。言い換えるならば、第 2 ミラー 104 の最上層 14 上には、第 2 ミラー 104 の最上

10

20

30

40

50

層14のA1組成よりも大きなA1組成を有する分離層20が形成されている。そして、その分離層20上には、該分離層20のA1組成よりも小さなA1組成を有する第1コンタクト層111が形成されている。このようにA1組成の異なる層を積層することによって、この積層膜(第2ミラー104の最上層14、分離層20、および第1コンタクト層111)を、ミラーとして用いることができる。すなわち、面発光型半導体レーザ140の特性に悪影響を与えることなく、分離層20および第1コンタクト層111をミラーとして用いることができ、デバイスの設計自由度を高めることが可能となる。

【0118】

本実施の形態にかかる光素子100によれば、分離層20の光学的膜厚を、 $\lambda/4$ の奇数倍とすることによって、分離層20は分布反射型ミラーとして機能することができる。すなわち、面発光型半導体レーザ140における第2ミラー104および分離層20が、活性層103の上方において、分布反射型ミラーとして機能することができる。したがって、面発光型半導体レーザ140の特性に悪影響を及ぼすことなく、分離層20は分布反射型ミラーとして機能することができる。

10

【0119】

本実施の形態にかかる光素子100によれば、柱状部130の周囲に第1絶縁層30が形成されている。第1絶縁層30は、第2絶縁層40に比べ、厚膜化が容易である。第1絶縁層30を厚く形成することによって、面発光型半導体レーザ140における寄生容量を低減することができる。その結果、面発光型半導体レーザ140の高速駆動が可能となる。

20

【0120】

本実施の形態にかかる光素子100によれば、光吸収層112および第2コンタクト層113の周囲に第2絶縁層40が形成されている。第2絶縁層40は、第1絶縁層30に比べ、微細加工が容易である。第2絶縁層40を微細加工することによって、光検出素子120における微細かつ複雑な構造を有する電極を絶縁することができる。

【0121】

本実施の形態にかかる光素子100の製造方法によれば、第1絶縁層30を形成する工程と、第2絶縁層40を形成する工程とを別々に行っている。そのため、上述のような作用効果を奏する第1絶縁層30および第2絶縁層40を有する光素子100を形成することができる。

30

【0122】

本実施の形態にかかる光素子100によれば、分離層20を酸化されないように形成することができる。すなわち、本実施の形態にかかる光素子100の製造方法における電流狭窄層105を形成するための酸化工程において、分離層20を酸化されないように形成することができる。分離層20が酸化されないことによって、酸化による強度の低下を防ぐことができる。また、分離層20が酸化されないことによって、酸化による屈折率の低下などを防ぐことができる。その結果、分離層20がミラーとして機能する際における反射率等に悪影響を与えることを防ぐことができる。

【0123】

本実施の形態にかかる光素子100によれば、面発光型半導体レーザ140の光出力の一部を光検出素子120でモニタして駆動回路にフィードバックすることで、温度等による出力変動を補正することができるため、安定した光出力を得ることができる。

40

【0124】

以上、本発明の好適な実施の形態について述べたが、本発明はこれらに限定されず、各種の態様を取りうる。たとえば、図14に示すように、第2電極109と第3電極116は、接続電極117を用いて接続されることができる。具体的には、接続電極117は、第2電極109の上面と接しており、かつ第3電極116の上面および側面と接している。接続電極117としては、たとえば金などを用いることができるが、特に限定されず、公知の金属、合金、あるいはそれらの積層膜を用いることができる。なお、図14は、図1に示す断面図に対応している。

50

【 0 1 2 5 】

また、上述の実施の形態では、第2電極109の上面の一部を覆うように第3電極116が形成されている例について述べたが、たとえば、図15に示すように、第3電極116の上面の一部および側面を覆うように第2電極109を形成することもできる。なお、図15は、図1に示す断面図に対応している。

【 0 1 2 6 】

また、たとえば、上記実施の形態において、各半導体層におけるp型とn型とを入れ替えても本発明の趣旨を逸脱するものではない。この場合、面発光型半導体レーザ140のp型第1ミラー102およびn型第2ミラー104、ならびに光検出素子120のp型第1コンタクト層111およびn型第2コンタクト層113から、全体としてpnpn構造を構成することができる。なお、この場合には、上述の第2電極109および第3電極116の材料を入れ替えることができる。すなわち、具体的には、n型の第2ミラー104と接する第2電極109は、金(Au)とゲルマニウム(Ge)の合金と金(Au)との積層膜などを用いることができ、p型の第1コンタクト層111と接する第3電極116は、白金(Pt)を含むものなどを用いることができる。

【 0 1 2 7 】

また、上述の実施の形態では、第1絶縁膜30と第2絶縁膜40とを別の材料で個々に形成する例について述べたが、たとえば、これらを同一の材料で同時に形成することもできる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 2 8 】

【 図 1 】 実施の形態に係る光素子を模式的に示す断面図。

【 図 2 】 実施の形態に係る光素子を模式的に示す断面図。

【 図 3 】 実施の形態に係る光素子を模式的に示す平面図。

【 図 4 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 5 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 6 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 7 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 8 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 9 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 1 0 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 1 1 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 1 2 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 1 3 】 実施の形態に係る光素子の製造方法を模式的に示す断面図。

【 図 1 4 】 実施の形態に係る光素子を模式的に示す断面図。

【 図 1 5 】 実施の形態に係る光素子を模式的に示す断面図。

【 符号の説明 】

【 0 1 2 9 】

14 最上層、20 分離層、30 第1絶縁層、40 第2絶縁層、100 光素子、
101 基板、102 第1ミラー、103 活性層、104 第2ミラー、105 電
流狭窄層、107 第1電極、108 出射面、109 第2電極、110 第4電極、
111 第1コンタクト層、112 光吸収層、113 第2コンタクト層、114 開
口部、116 第3電極、117 接続電極、120 光検出素子、130 柱状部、1
40 面発光型半導体レーザ

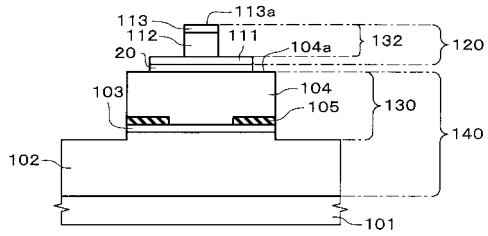
10

20

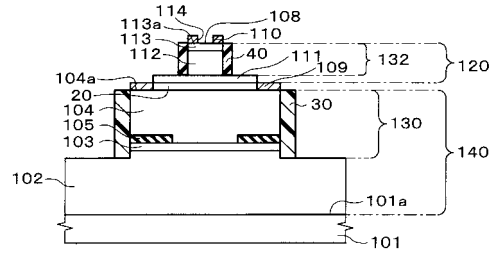
30

40

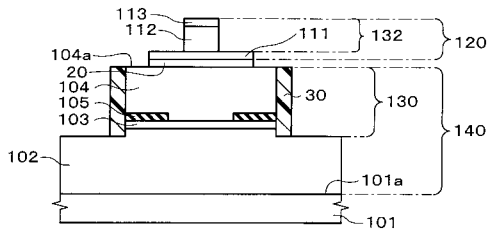
【図 9】



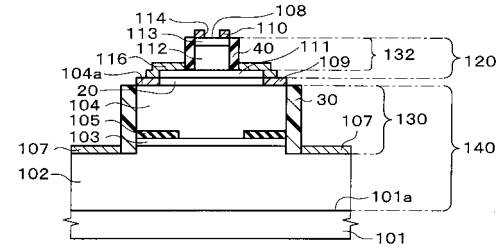
【図 12】



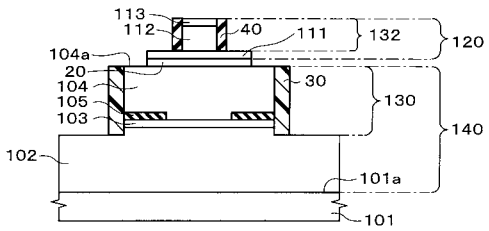
【図 10】



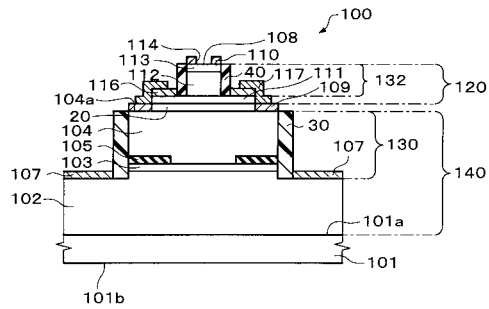
【図 13】



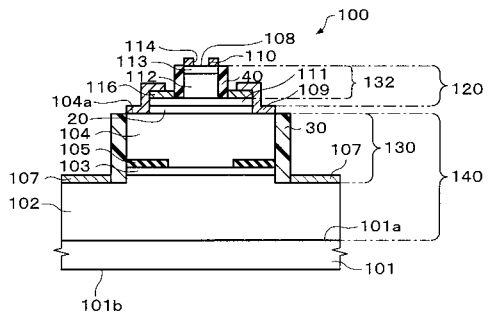
【図 11】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-183444(JP,A)
特表2002-504754(JP,A)
特開2002-33553(JP,A)
特開平11-4046(JP,A)
特開2002-208755(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 31/00 - 31/392
H01L 31/00 - 31/10
H01S 5/00 - 5/50