

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7612050号  
(P7612050)

(45)発行日 令和7年1月10日(2025.1.10)

(24)登録日 令和6年12月26日(2024.12.26)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 1 S 5/227(2006.01) H 0 1 S 5/227  
H 0 1 S 5/12 (2021.01) H 0 1 S 5/12

請求項の数 23 (全37頁)

(21)出願番号	特願2023-564276(P2023-564276)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(86)(22)出願日	令和3年11月30日(2021.11.30)	(74)代理人	110002941 弁理士法人ばるも特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/043737	(72)発明者	中村 直幹 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開番号	WO2023/100214	(72)発明者	河原 弘幸 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
(87)国際公開日	令和5年6月8日(2023.6.8)	(72)発明者	松本 啓資 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和5年9月28日(2023.9.28)	(72)発明者	鈴木 涼子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体レーザ及び半導体レーザ製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

n型半導体基板に形成されたリッジ構造、前記リッジ構造の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層を備えた半導体レーザであって、前記リッジ構造は、活性層、前記活性層の前記n型半導体基板側に接するように形成されたn型クラッド層、前記活性層の前記n型半導体基板と反対側に接するように形成されたp型クラッド層を有し、  
前記埋込層は、  
前記リッジ構造の前記p型クラッド層及び前記活性層の両側面に接するp型半導体層と、半絶縁層とを有し、かつ前記リッジ構造の前記n型クラッド層の両側面における前記n型半導体基板側に他のp型半導体層を有しており、  
前記p型半導体層は、前記リッジ構造の前記n型クラッド層に接しておらず、  
前記リッジ構造の前記n型クラッド層の両側面における前記活性層側に、前記p型半導体層と前記他のp型半導体層とが分離された分離部が形成されており、  
前記分離部に前記半絶縁層が埋め込まれている、  
半導体レーザ。

10

【請求項2】

前記リッジ構造の前記n型クラッド層の両側面に前記半絶縁層が接している、請求項1記載の半導体レーザ。

【請求項3】

20

前記リッジ構造の各層の積層方向を z 方向とし、前記リッジ構造が延伸している延伸方向を y 方向とし、前記 z 方向及び y 方向に垂直な方向を x 方向とし、  
 前記リッジ構造は、リッジ本体部と、リッジ本体部の両側面から前記 x 方向に延伸したリッジ延伸部とを有し、  
 前記リッジ延伸部は、前記活性層が前記 x 方向に延伸した活性層延伸部であり、  
 前記 p 型半導体層は、前記 p 型クラッド層及び前記活性層の前記 x 方向の両側面と前記活性層延伸部の前記 n 型半導体基板と反対側の表面とに接しており、  
 前記分離部は、前記活性層延伸部の前記 n 型半導体基板側に形成されている、  
 請求項 1 記載の半導体レーザ。

【請求項 4】

n 型半導体基板に形成されたリッジ構造、前記リッジ構造の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層を備えた半導体レーザであって、  
 前記リッジ構造の各層の積層方向を z 方向とし、前記リッジ構造が延伸している延伸方向を y 方向とし、前記 z 方向及び y 方向に垂直な方向を x 方向とし、  
 前記リッジ構造は、  
活性層を含むリッジ中間層、前記リッジ中間層の前記 n 型半導体基板側に接するように形成された n 型クラッド層、前記リッジ中間層の前記 n 型半導体基板と反対側に接するように形成された p 型クラッド層を有し、

かつ、リッジ本体部と、リッジ本体部の両側面から前記 x 方向に延伸したリッジ延伸部とを有し、

前記リッジ中間層は、前記活性層、前記活性層の前記 n 型半導体基板側に形成された n 型クラッド層である中間層部 n 型クラッド層、前記中間層部 n 型クラッド層の前記 n 型半導体基板側に形成された延伸部土台層を有し、

前記リッジ延伸部は、前記リッジ中間層が前記 x 方向に延伸しており、

前記埋込層は、

前記リッジ構造の前記 p 型クラッド層及び前記リッジ中間層の前記 x 方向の両側面と前記リッジ延伸部の前記 n 型半導体基板と反対側の表面とに接する p 型半導体層と、前記リッジ構造の前記 n 型クラッド層の前記 x 方向の両側面における前記 n 型半導体基板側に他の p 型半導体と、半絶縁層とを有しており、

前記 p 型半導体層は、前記リッジ構造の前記 n 型クラッド層に接しておらず、

前記リッジ延伸部の前記 n 型半導体基板側に、前記 p 型半導体層と前記他の p 型半導体層とが分離された分離部が形成されており、

前記分離部に前記半絶縁層が埋め込まれている、

半導体レーザ。

【請求項 5】

前記リッジ構造の各層の積層方向を z 方向とし、前記リッジ構造が延伸している延伸方向を y 方向とし、前記 z 方向及び y 方向に垂直な方向を x 方向とし、  
 前記リッジ構造は、

前記 n 型クラッド層と前記活性層との間に形成された延伸部土台層を有し、

かつ、リッジ本体部と、リッジ本体部の両側面から前記 x 方向に延伸したリッジ延伸部とを有し、

前記リッジ延伸部は、前記延伸部土台層及び前記活性層が前記 x 方向に延伸しており、

前記 p 型半導体層は、前記 p 型クラッド層、前記延伸部土台層、及び前記活性層の前記 x 方向の両側面と、前記リッジ延伸部の前記 n 型半導体基板と反対側の表面とに接しており、

前記分離部は、前記リッジ延伸部の前記 n 型半導体基板側に形成されている、

請求項 1 記載の半導体レーザ。

【請求項 6】

前記延伸部土台層は、価電子帯のエネルギーレベルが前記 p 型半導体層の価電子帯のエネルギーレベルよりも高い、請求項 4 または 5 に記載の半導体レーザ。

【請求項 7】

10

20

30

40

50

前記延伸部土台層は、n型半導体層である、請求項6記載の半導体レーザ。

【請求項8】

前記延伸部土台層は、n型AlGaInAs層又はn型AlInAs層である、請求項7記載の半導体レーザ。

【請求項9】

n型半導体基板に形成されたリッジ構造、前記リッジ構造の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層を備えた半導体レーザであって、前記リッジ構造は、活性層、前記活性層の前記n型半導体基板側に接するように形成されたn型クラッド層、前記活性層の前記n型半導体基板と反対側に接するように形成されたp型クラッド層を有し、

10

前記埋込層は、

前記リッジ構造の前記n型クラッド層の両側面に接しており、かつ前記n型半導体基板側に形成された半絶縁層と、前記リッジ構造の前記p型クラッド層及び前記活性層の両側面に接しており、かつ前記半絶縁層の前記n型半導体基板と反対側の表面において前記リッジ構造から離れる方向に広がって形成されているp型半導体層と、他の半絶縁層とを有し、前記p型半導体層は、前記リッジ構造の前記n型クラッド層に接しておらず、前記p型半導体層における前記n型半導体基板と反対側の表面及びリッジ構造側の面を前記他の半絶縁層が覆っている、  
半導体レーザ。

【請求項10】

20

n型半導体基板に形成されたリッジ構造、前記リッジ構造の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層を備えた半導体レーザであって、前記リッジ構造は、活性層、前記活性層の前記n型半導体基板側に接するように形成されたn型クラッド層、前記活性層の前記n型半導体基板と反対側に接するように形成されたp型クラッド層を有し、

前記埋込層は、

前記リッジ構造の前記p型クラッド層及び前記活性層の両側面に接するp型半導体層と、半絶縁層と、アンドープ半導体層を有し、前記アンドープ半導体層は前記リッジ構造の前記n型クラッド層の両側面に接しており、前記p型半導体層は、亜鉛を含んでおり、かつ前記リッジ構造の前記n型クラッド層に接していない、  
半導体レーザ。

30

【請求項11】

前記リッジ構造は、前記n型クラッド層の前記n型半導体基板側に回折格子層を介して形成されたn型クラッド層である第一n型クラッド層を有している、  
請求項1から10のいずれか1項に記載の半導体レーザ。

【請求項12】

n型半導体基板に形成されたリッジ構造、前記リッジ構造の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層を備えた半導体レーザを製造する半導体レーザ製造方法であって、

40

前記埋込層は、p型半導体層、半絶縁層を有し、

前記リッジ構造は、

活性層を含むリッジ中間層、前記リッジ中間層の前記n型半導体基板側に接するように形成されたn型クラッド層を含むリッジ土台層、前記リッジ中間層の前記n型半導体基板と反対側に接するように形成されたp型クラッド層を有し、

前記リッジ土台層の前記n型クラッド層は前記リッジ中間層に接しており、

前記リッジ構造の各層の積層方向をz方向とし、前記リッジ構造が延伸している延伸方向をy方向とし、前記z方向及びy方向に垂直な方向をx方向とし、

前記n型半導体基板に、前記リッジ土台層、前記リッジ中間層、前記p型クラッド層を順次形成し、エッチングにより両側面が露出された、前記リッジ土台層、前記リッジ中間層

50

、前記 p 型クラッド層を有する前記リッジ構造を形成するリッジ構造形成工程と、  
 前記リッジ構造の両側面における前記リッジ中間層以外の層をエッチングし、前記リッジ  
 中間層において前記リッジ構造の両側面から前記 x 方向に延伸したリッジ延伸部を形成す  
 る延伸部形成工程と、  
 前記リッジ構造の両側面、前記リッジ延伸部の前記 n 型半導体基板と反対側の表面を覆う  
 ように前記 p 型半導体層を形成する p 型半導体層形成工程と、  
 前記 p 型半導体層の表面及び前記リッジ延伸部の前記 n 型半導体基板側の露出面を覆うよ  
 うに、前記半絶縁層を形成する半絶縁層形成工程と、  
 を含む、半導体レーザ製造方法。

【請求項 1 3】

前記リッジ中間層は、前記活性層のみからなっている、請求項 1 2 記載の半導体レーザ  
 製造方法。

【請求項 1 4】

前記リッジ中間層は、前記活性層の前記リッジ土台層側に延伸部土台層を含んでいる、  
 請求項 1 2 記載の半導体レーザ製造方法。

【請求項 1 5】

前記延伸部土台層と前記活性層との間に n 型クラッド層である中間層部 n 型クラッド層  
 を含んでいる、請求項 1 4 記載の半導体レーザ製造方法。

【請求項 1 6】

n 型半導体基板に形成された活性層を含むリッジ構造、前記リッジ構造の延伸方向に垂  
 直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層を備えた半導体レ  
 ーザを製造する半導体レーザ製造方法であって、  
 前記埋込層は、第一の半絶縁層、p 型半導体層、第二の半絶縁層を有し、  
 前記リッジ構造は、

前記活性層、前記活性層の前記 n 型半導体基板側に接するように形成された n 型クラッド  
 層を含むリッジ土台層、前記活性層の前記 n 型半導体基板と反対側に接するように形成さ  
 れた p 型クラッド層を有し、

前記リッジ土台層の前記 n 型クラッド層は前記活性層に接しており、

前記活性層の特定位置を、

前記活性層の前記 n 型半導体基板側である近方端の位置又は、  
 前記活性層の近方端よりも前記 n 型半導体基板側から遠方で前記活性層の量子井戸構造に  
 おける前記 n 型半導体基板側である近方端に至らない位置とし、  
 前記 n 型半導体基板に、前記リッジ土台層、前記活性層、p 型クラッド層を順次形成し、  
 エッチングにより両側面が露出された、前記リッジ土台層、前記活性層、前記 p 型クラ  
 ッド層を有する前記リッジ構造を形成するリッジ構造形成工程と、

前記リッジ構造における前記 n 型半導体基板側から前記活性層の前記特定位置までの両側  
 面を覆うように、前記第一の半絶縁層を形成する第一半絶縁層形成工程と、

前記第一の半絶縁層の表面及び前記リッジ構造の露出した前記活性層の前記特定位置から  
 前記 n 型半導体基板と反対側である遠方端までの両側面を覆うように、前記 p 型半導体層  
 を形成する p 型半導体層形成工程と、

前記 p 型半導体層を覆うように、前記第二の半絶縁層を形成する第二半絶縁層形成工程と、  
 を含む、半導体レーザ製造方法。

【請求項 1 7】

n 型半導体基板に形成された活性層を含むリッジ構造、前記リッジ構造の延伸方向に垂  
 直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層を備えた半導体レ  
 ーザを製造する半導体レーザ製造方法であって、  
 前記埋込層は、アンドープ半導体層、p 型半導体層、半絶縁層を有し、  
 前記リッジ構造は、

前記活性層、前記活性層の前記 n 型半導体基板側に接するように形成された n 型クラッド  
 層を含むリッジ土台層、前記活性層の前記 n 型半導体基板と反対側に接するように形成さ

10

20

30

40

50

れた p 型クラッド層を有し、

前記リッジ土台層の前記 n 型クラッド層は前記活性層に接しており、

前記活性層の特定位置を、

前記活性層の前記 n 型半導体基板側である近方端の位置又は、

前記活性層の近方端よりも前記 n 型半導体基板側から遠方で前記活性層の量子井戸構造における前記 n 型半導体基板側である近方端に至らない位置とし、

前記 n 型半導体基板に、前記リッジ土台層、前記活性層、p 型クラッド層を順次形成し、エッチングにより両側面が露出された、前記リッジ土台層、前記活性層、前記 p 型クラッド層を有する前記リッジ構造を形成するリッジ構造形成工程と、

前記リッジ構造の両側面を覆うように前記アンドープ半導体層を形成するアンドープ半導体層形成工程と、

10

前記アンドープ半導体層の表面を覆うように、前記半絶縁層を形成する半絶縁層形成工程と、

前記アンドープ半導体層における前記 n 型半導体基板と反対側である遠方端から前記活性層の前記特定位置までの領域に亜鉛を拡散させる亜鉛拡散工程と、

を含む、半導体レーザ製造方法。

【請求項 18】

前記亜鉛拡散工程において、

前記リッジ構造の前記 n 型半導体基板と反対側の表面及び前記埋込層の前記 n 型半導体基板と反対側の表面における前記アンドープ半導体層を包含する領域を露出させる開口を有する拡散防止膜が前記埋込層に配置されており、

20

前記開口を覆うように配置された酸化亜鉛膜から前記亜鉛を前記アンドープ半導体層及び前記 p 型クラッド層に拡散させる、請求項 17 記載の半導体レーザ製造方法。

【請求項 19】

前記亜鉛拡散工程において、

前記リッジ構造の前記 n 型半導体基板と反対側の表面及び前記埋込層の前記 n 型半導体基板と反対側の表面における前記アンドープ半導体層を包含する領域を露出させる開口を有する拡散防止膜が前記埋込層に配置されており、

前記開口から前記アンドープ半導体層及び前記 p 型クラッド層に前記亜鉛を気相拡散させる、請求項 17 記載の半導体レーザ製造方法。

30

【請求項 20】

前記亜鉛拡散工程において、

前記埋込層の前記 n 型半導体基板と反対側の表面における前記アンドープ半導体層を包含する領域を露出させる開口を有する拡散防止膜が前記埋込層及び前記リッジ構造の前記 n 型半導体基板と反対側の表面に配置されており、

前記開口を覆うように配置された酸化亜鉛膜から前記亜鉛を前記アンドープ半導体層に拡散させる、請求項 17 記載の半導体レーザ製造方法。

【請求項 21】

前記亜鉛拡散工程において、

前記埋込層の前記 n 型半導体基板と反対側の表面における前記アンドープ半導体層を包含する領域を露出させる開口を有する拡散防止膜が前記埋込層及び前記リッジ構造の前記 n 型半導体基板と反対側の表面に配置されており、

40

前記開口から前記アンドープ半導体層に前記亜鉛を気相拡散させる、請求項 17 記載の半導体レーザ製造方法。

【請求項 22】

前記リッジ土台層は、回折格子層及び前記 n 型クラッド層として第一 n 型クラッド層、第二 n 型クラッド層を有しており、

前記リッジ構造形成工程は、

前記 n 型半導体基板の表面に前記第一 n 型クラッド層、前記回折格子層、前記第二 n 型クラッド層を順次形成して前記リッジ土台層を形成し、その後前記活性層を含む前記リッジ

50

中間層、前記 p 型クラッド層を順次形成し、  
エッチングにより両側面が露出された、前記第一 n 型クラッド層、前記回折格子層、前記第二 n 型クラッド層、前記リッジ中間層、前記 p 型クラッド層を有する前記リッジ構造を形成する、

請求項 12 から 15 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ製造方法。

【請求項 23】

前記リッジ土台層は、回折格子層及び前記 n 型クラッド層として第一 n 型クラッド層、第二 n 型クラッド層を有しており、

前記リッジ構造形成工程は、

前記 n 型半導体基板の表面に前記第一 n 型クラッド層、前記回折格子層、前記第二 n 型クラッド層を順次形成して前記リッジ土台層を形成し、その後前記活性層、前記 p 型クラッド層を順次形成し、

10

エッチングにより両側面が露出された、前記第一 n 型クラッド層、前記回折格子層、前記第二 n 型クラッド層、前記活性層、前記 p 型クラッド層を有する前記リッジ構造を形成する、

請求項 16 から 21 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、半導体レーザ及び半導体レーザ製造方法に関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、順に積層された n 型 InP クラッド層 s3、活性層 s4、p 型 InP クラッド層 s5 を有するメサストライプ構造 s2 と、メサストライプ構造 s2 の両側に埋め込まれた埋込層 s7 とを備え、活性層 s4 は、井戸層と、炭素が添加されたバリア層とを有する多重量子井戸構造であり、埋込層 s7 は、順に積層された p 型 InP 層 s10 と、Fe ドープ InP 層 s11 と、n 型 InP 層 s12 とを有している光半導体装置が開示されている。メサストライプ構造 s2 における n 型 InP クラッド層 s3 及び p 型 InP クラッド層 s5 の側面は p 型 InP 層 s10 で覆われており、メサストライプ構造 s2 における活性層 s4 の側面は、p 型 InP 層 s10 に接しておらず、Fe ドープ InP 層 s11 が接している。なお、特許文献 1 で使用されている符号に「s」を付けて、本願明細書の符号と区別している。

30

【0003】

特許文献 1 の光半導体装置は、活性層 s4 のバリア層に炭素が添加された変調ドープ構造であり、p 型 InP 層 s10 から活性層 s4 へ p 型ドーパントである亜鉛 (Zn) が拡散することで変調ドープ構造が崩れないようにするために、活性層 s4 の側面が p 型 InP 層 s10 に接しておらず、鉄 (Fe) ドープ InP 層 s11 が接しているようにしていた。

【0004】

一般的には、活性層 s4 の側面は p 型 InP 層 s10 に接する構造が採用されている。この構造は特許文献 1 の図 8 に開示されている。特許文献 1 の図 8 に開示された光半導体装置 (比較例の光半導体装置) は、p 型 InP 層 s10 が p 型 InP クラッド層 s5 の側面に接しているので、p 型 InP クラッド層 s5 から活性層 s4 へ正孔電流を流し、n 型 InP クラッド層 s3 から活性層 s4 へ電子電流を流してレーザ光を発生させる際に、p 型 InP クラッド層 s5 から活性層 s4 に正孔が注入される前に側面の p 型 InP 層 s10 へ一部の正孔が漏れるため、活性層 s4 を通過しない無効電流が発生する問題がある。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開 2016-31970 号公報 (図 1)

50

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

特許文献1の光半導体装置は、活性層s4の側面にp型InP層s10が接しない構造を採用することで、活性層s4の側面がp型InP層s10に接する場合に変調ドープ構造が崩れることで、活性層s4におけるキャリア吸収、価電子帯間吸収による光損失が生じ、この光損失により光半導体装置の特性が悪化することを避けていた。

## 【0007】

一方で、p型InP層s10は、活性層s4に注入された電子電流が熱の影響によりオーバーフローし、活性層s4側面から外側に電子電流が漏れることを防ぐ役割、すなわち電子に対するエネルギー障壁の役割を持つ。特許文献1の光半導体装置では、活性層s4の側面にp型InP層s10が接しない構造であるため、電子電流に対するエネルギー障壁が不十分であり、特に高温動作時において電子オーバーフローが生じ、光出力特性の低下、高速動作特性の低下が懸念される。特に活性層s4の側面に接するFeドープInP層s11に、その周囲のp型InP層s10のドーパントである亜鉛(Zn)が拡散する場合があります、FeドープInP層s11が高抵抗半導体層或いは半絶縁半導体層として機能しなくなる場合に、性能低下が顕著になる。

## 【0008】

本願明細書に開示される技術は、活性層を通過しない無効電流を低減でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる半導体レーザを実現することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

本願明細書に開示される一例の半導体レーザは、n型半導体基板に形成されたリッジ構造、リッジ構造の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層を備えた半導体レーザである。リッジ構造は、活性層、活性層のn型半導体基板側に接するように形成されたn型クラッド層、活性層のn型半導体基板と反対側に接するように形成されたp型クラッド層を有している。埋込層は、リッジ構造のp型クラッド層及び活性層の両側面に接するp型半導体層と、半絶縁層とを有しており、かつリッジ構造のn型クラッド層の両側面におけるn型半導体基板側に他のp型半導体層を有しており、p型半導体層は、リッジ構造のn型クラッド層に接しておらず、リッジ構造のn型クラッド層の両側面における活性層側に、p型半導体層と他のp型半導体層とが分離された分離部が形成されており、分離部に半絶縁層が埋め込まれている。

## 【発明の効果】

## 【0010】

本願明細書に開示される一例の半導体レーザは、リッジ構造のp型クラッド層及び活性層の両側面に接するp型半導体層がリッジ構造のn型クラッド層に接していないので、活性層を通過しない無効電流を低減でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0011】

【図1】実施の形態1に係る半導体レーザの断面構造を示す図である。

【図2】図1の活性層周辺の拡大図である。

【図3】図1の活性層を示す図である。

【図4】比較例の活性層周辺の拡大図である。

【図5】実施の形態2に係る半導体レーザの断面構造を示す図である。

【図6】図5の活性層周辺の拡大図である。

【図7】実施の形態3に係る半導体レーザの断面構造を示す図である。

【図8】図7の半導体レーザの製造方法を示す図である。

【図9】図7の半導体レーザの製造方法を示す図である。

【図10】図7の半導体レーザの製造方法を示す図である。

【図11】図7の半導体レーザの製造方法を示す図である。

10

20

30

40

50

- 【図 1 2】図 7 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 1 3】図 7 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 1 4】実施の形態 4 に係る第一の半導体レーザの断面構造を示す図である。
- 【図 1 5】図 1 4 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 1 6】図 1 4 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 1 7】図 1 4 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 1 8】実施の形態 4 に係る第二の半導体レーザの断面構造を示す図である。
- 【図 1 9】実施の形態 4 に係る第三の半導体レーザの断面構造を示す図である。
- 【図 2 0】実施の形態 5 に係る半導体レーザの断面構造を示す図である。
- 【図 2 1】図 2 0 の活性層周辺の拡大図である。 10
- 【図 2 2】図 2 1 の延伸部土台層及び p 型半導体層のエネルギーバンドを示す図である。
- 【図 2 3】実施の形態 6 に係る半導体レーザの断面構造を示す図である。
- 【図 2 4】図 2 3 の活性層周辺の拡大図である。
- 【図 2 5】図 2 3 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 2 6】図 2 3 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 2 7】実施の形態 7 に係る半導体レーザの断面構造を示す図である。
- 【図 2 8】図 2 7 の活性層周辺の拡大図である。
- 【図 2 9】図 2 7 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 3 0】図 2 7 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 3 1】図 2 7 の半導体レーザの製造方法を示す図である。 20
- 【図 3 2】図 2 7 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 3 3】図 2 7 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 3 4】図 2 7 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 3 5】実施の形態 8 に係る半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 3 6】実施の形態 9 に係る半導体レーザの断面構造を示す図である。
- 【図 3 7】図 3 6 の活性層周辺の拡大図である。
- 【図 3 8】図 3 6 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 3 9】図 3 6 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 4 0】図 3 6 の半導体レーザの製造方法を示す図である。
- 【図 4 1】図 3 6 の半導体レーザの製造方法を示す図である。 30
- 【図 4 2】実施の形態 1 0 に係る半導体レーザの製造方法を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 2 】

実施の形態 1 .

図 1 は実施の形態 1 に係る半導体レーザの断面構造を示す図であり、図 2 は図 1 の活性層周辺の拡大図である。図 3 は図 1 の活性層を示す図であり、図 4 は比較例の活性層周辺の拡大図である。実施の形態 1 の半導体レーザ 1 0 0 は、n 型の InP 基板である n 型半導体基板 1 の表面に形成された n 型 InP の第一 n 型クラッド層 2 と、第一 n 型クラッド層 2 の一部、回折格子層 3、n 型 InP の第二 n 型クラッド層 4、活性層 5、p 型 InP の第一 p 型クラッド層 6 を有するリッジ構造 1 6 と、リッジ構造 1 6 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側面に形成された p 型 InP の p 型半導体層 7 a、7 b と、第二 n 型クラッド層 4 の一部の両側面及び p 型半導体層 7 a、7 b を覆う半絶縁層 8 と、半絶縁層 8 の表面に形成された n 型 InP のブロック層 9 と、ブロック層 9 の表面及び第一 p 型クラッド層 6 の表面に形成された p 型 InP の第二 p 型クラッド層 1 0 と、第二 p 型クラッド層 1 0 の表面に形成された p 型 InGaAs のコンタクト層 1 1 と、コンタクト層 1 1 の表面に形成されたアノード電極 5 1 と、n 型半導体基板 1 の表面と反対側である裏面に形成されたカソード電極 5 2 と、を備えている。p 型半導体層 7 a、7 b、半絶縁層 8、ブロック層 9 からなる半導体層は、リッジ構造 1 6 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層 1 3 である。図 1 に示した半導体レーザ 1 0 0 は、DFB-LD ( Distributed feedback laser ) 40

er diode) の例である。n型半導体基板 1 に垂直な方向を z 方向とし、リッジ構造 16 の z 方向に垂直な延伸方向を y 方向とし、z 方向及び y 方向に垂直な方向を x 方向とする。リッジ構造 16 を構成する、第一 n 型クラッド層 2、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4、活性層 5、第一 p 型クラッド層 6 は、z 方向正側に順次形成されている。リッジ構造 16 の x 方向の両側面、リッジ構造 16 の x 方向の側面は、適宜、リッジ構造 16 の両側面、リッジ構造 16 の側面と記載する。

#### 【0013】

p 型半導体層 7 a は、第一 n 型クラッド層 2 の z 方向正側の表面及びリッジ構造 16 の n 型半導体基板 1 側の側面に形成されている。p 型半導体層 7 b は、p 型半導体層 7 a と分離された分離部 17 を挟んでリッジ構造 16 の両側面における z 方向正側に形成されている。破線 54 a と破線 54 b との間がリッジ構造 16 の x 方向の領域 53 であり、破線 55 a と破線 55 b との間が分離部 17 である。分離部 17 では、半絶縁層 8 が第二 n 型クラッド層 4 の両側面すなわち x 方向の両側面に接している。

10

#### 【0014】

回折格子層 3 の材料は、InGaAsP などの InP より屈折率が大きい材料である。なお、半導体レーザ 100 が DFB-LD でない場合は、回折格子層 3 は形成されていない。活性層 5 は一般に、量子井戸 (Quantum well) 構造と SCH (Separate Confinement Heterostructure) 構造で構成される。図 3 では、井戸層 32 と障壁層 33 が交互に積層された量子井戸構造 35 と、量子井戸構造 35 の第二 n 型クラッド層 4 側に形成された光閉込層 31 と、第一 p 型クラッド層 6 側に形成された光閉込層 34 を備えた活性層 5 を示した。図 3 に示した活性層 5 の量子井戸構造 35 は、4 つの井戸層 32 と井戸層 32 の間に形成された 3 つの障壁層 33 を備えている。SCH 構造は、図 3 に示したように電子及び正孔を量子井戸構造 35 に閉じ込める層である光閉込層 31、34 を備えた構造である。井戸層 32、障壁層 33、光閉込層 31、34 の各材料は、例えば、AlGaInAs である。

20

#### 【0015】

p 型半導体層 7 b の n 型半導体基板 1 側の端は、活性層 5 の量子井戸構造 35 の開始界面すなわち第二 n 型クラッド層 4 側の光閉込層 31 とその表面に形成された井戸層 32 との界面よりも下側にあることが望ましい。分離部 17 を用いて表現すれば、分離部 17 の p 型半導体層 7 b 側の端は、活性層 5 の量子井戸構造 35 における n 型半導体基板 1 側の開始界面よりも下側すなわち n 型半導体基板 1 側にあることが望ましい。分離部 17 の z 方向の長さである分離長 L は、正孔電流を遮断するのに十分な長さであればよい。例えば、分離長 L は 0.2 μm 程度である。

30

#### 【0016】

リッジ構造 16 を形成する方法は、実施の形態 3 の半導体レーザ 100 を製造する製造方法で説明する。分離部 17 で分離された p 型半導体層 7 a、7 b は、例えば以下のように形成する。アルミニウム (Al) を含む化合物半導体を用いた活性層 5 の場合、活性層 5 の側面に酸化層ができることにより、活性層 5 の側面に p 型半導体層 7 a、7 b が成長しない。このため、図 4 に示した比較例の半導体レーザを製造する製造工程では、結晶成長炉内に塩化水素 (HCl) を添加して、活性層 5 の側面の酸化層を除去してから p 型半導体層 7 を成長させる。しかし、実施の形態 1 では、この塩化水素添加による酸化層除去を行わずに p 型半導体層 7 a、7 b を成長させる。これにより、p 型半導体層 7 a、7 b は活性層 5 の側面に接触しない構造にすることができる。p 型半導体層 7 a、7 b がリッジ構造 16 の両側面に形成された後に、塩化水素を添加して活性層 5 の側面に酸化層を除去し、その後、半絶縁層 8 を成長させて、埋込層 13 における p 型半導体層 7 a、7 b、半絶縁層 8 を形成する。この後の製造工程は、実施の形態 3 の製造工程と同様である。

40

#### 【0017】

半導体レーザ 100 を動作させてレーザ光を発生させるために、アノード電極 51 を介して正孔電流が半導体材料の半導体層すなわちコンタクト層 11、第二 p 型クラッド層 10、リッジ構造 16 における第一 p 型クラッド層 6、活性層 5 に注入され、カソード電極

50

5 2 を介して電子電流が n 型半導体基板 1 及びリッジ構造 1 6 の半導体層すなわち第一 n 型クラッド層 2、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4、活性層 5 に注入される。実施の形態 1 の半導体レーザ 1 0 0 は、活性層 5 において正孔 1 4 と電子 1 5 が再結合することで、レーザ光を発生させる。

【 0 0 1 8 】

コンタクト層 1 1、第二 p 型クラッド層 1 0 の多数キャリアである正孔 1 4 が活性層 5 側に移動し、正孔電流  $I_h$  が流れる。正孔電流  $I_h$  は、第一 p 型クラッド層 6 から活性層 5 に流れる主電流  $I_1$  と、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 7 b を経由して活性層 5 に流れる迂回電流  $I_2$  と、からなっている。迂回電流  $I_2$  は、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 7 b に漏れる正孔電流成分である。しかし、この迂回電流  $I_2$  は、半絶縁層 8 が存在する分離部 1 7 を流れることができず、p 型半導体層 7 b の価電子帯より低いエネルギーレベルにある活性層 5 の価電子帯方向へ流れるため、迂回電流  $I_2$  は活性層 5 へ注入される。

10

【 0 0 1 9 】

n 型半導体基板 1、第一 n 型クラッド層 2 の多数キャリアである電子 1 5 が活性層 5 側に移動し、電子電流  $I_e$  が流れる。電子電流  $I_e$  は、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4 を通過して活性層 5 に流れる。電子電流  $I_e$  は、活性層 5 の側面すなわち x 方向側面が p 型半導体層 7 b に接しており、p 型半導体層 7 b の導電帯のエネルギーレベルが活性層 5 の導電帯のエネルギーレベルより高いため、p 型半導体層 7 b が電子電流  $I_e$  に対するエネルギー障壁を形成しており、活性層 5 から半絶縁層 8 の方向すなわち x 方向に電子電流  $I_e$  がオーバーフローすることがない。よって、実施の形態 1 の半導体レーザ 1 0 0 は、特許文献 1 の光半導体装置と異なり、特に高温環境下においても半導体レーザの特性すなわち光出力特性、高速動作特性が悪化することがない。

20

【 0 0 2 0 】

また、分離部 1 7 では、第二 n 型クラッド層 4 と半絶縁層 8 とが接している。このとき、両者の接合によって形成されるエネルギー障壁により、半絶縁層 8 への電子電流  $I_e$  のオーバーフローは生じない。さらに、半絶縁層 8 が特に電子に対して高抵抗となるように、例えば鉄 (Fe) ドーピングの半絶縁層であれば、第二 n 型クラッド層 4 から半絶縁層 8 への電子電流  $I_e$  のオーバーフローの抑制性能がさらに向上する。

【 0 0 2 1 】

図 4 に示した比較例の半導体レーザにおける活性層周辺では、p 型半導体層 7 がリッジ構造の側面に分離部 1 7 が介在せずに形成されている。比較例の半導体レーザを駆動するための正孔電流  $I_h$  は、第一 p 型クラッド層 6 から活性層 5 に流れる主電流  $I_1$  と、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 7 を経由して第二 n 型クラッド層 4 及び第一 n 型クラッド層 2 に流れる迂回電流  $I_3$  と、からなっている。比較例の半導体レーザを駆動するための電子電流  $I_e$  は、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4 を通過して活性層 5 に流れる。比較例の半導体レーザは、実施の形態 1 の半導体レーザ 1 0 0 と同様に、活性層 5 において正孔 1 4 と電子 1 5 が再結合することで、レーザ光を発生させる。

30

【 0 0 2 2 】

比較例の半導体レーザは、正孔電流  $I_h$  の一部である迂回電流  $I_3$  が第一 p 型クラッド層 6 の x 方向側面から p 型半導体層 7 に漏れる。迂回電流  $I_3$  は活性層 5 に流れることなく、第二 n 型クラッド層 4 及び第一 n 型クラッド層 2 に流れるので、迂回電流  $I_3$  は活性層 5 を通過しない無効電流である。したがって、比較例の半導体レーザは、活性層 5 を通過しない無効電流があるので、実施の形態 1 の半導体レーザ 1 0 0 と異なり、半導体レーザの特性すなわち光出力特性、高速動作特性が悪化し、高出力で高速な半導体レーザが実現できない。

40

【 0 0 2 3 】

実施の形態 1 の半導体レーザ 1 0 0 は、比較例の半導体レーザと異なり、分離部 1 7 よりも n 型半導体基板 1 から離れて配置された p 型半導体層 7 b が活性層 5 における量子井戸構造 3 5 の x 方向側面を覆っているため、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 7 b

50

を經由した正孔電流  $I_h$  の一部である迂回電流  $I_2$  を活性層 5 に注入することができ、かつ電子電流  $I_e$  が活性層 5 からオーバーフローすることがない。このため、実施の形態 1 の半導体レーザ 100 は、活性層 5 を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

#### 【0024】

比較例の半導体レーザは、第一 p 型クラッド層 6 の x 方向側面と p 型半導体層 7 との接続している部分である p 型層接続部の面積が製造過程でばらつく。p 型層接続部の面積がばらつくと、p 型半導体層 7 へ漏れる正孔電流の量すなわち迂回電流  $I_3$  の量がばらつき、無効電流量がばらつく。このため、比較例の半導体レーザは、レーザ特性のばらつきも大きくなる。

10

#### 【0025】

実施の形態 1 の半導体レーザ 100 においても、第一 p 型クラッド層 6 の x 方向側面と p 型半導体層 7 b との接続している部分である p 型層接続部が存在する。この p 型層接続部は製造ばらつきの影響を受け、p 型層接続部の面積がばらつく。しかし、実施の形態 1 の半導体レーザ 100 では、p 型半導体層 7 b へ漏れた正孔電流  $I_h$  すなわち迂回電流  $I_2$  は活性層 5 へ注入されレーザ動作に寄与することから、p 型半導体層 7 b へ漏れた迂回電流  $I_2$  の多寡によって特性の変動は生じない。よって、実施の形態 1 の半導体レーザ 100 は、第一 p 型クラッド層 6 の x 方向側面と p 型半導体層 7 との接続している部分である p 型層接続部の製造ばらつきに対して特性変動を小さくすることができる。

#### 【0026】

以上のように、実施の形態 1 の半導体レーザ 100 は、n 型半導体基板 1 に形成されたリッジ構造 16、リッジ構造 16 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層 13 を備えた半導体レーザである。リッジ構造 16 は、n 型半導体基板 1 側から順次形成された n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を有している。埋込層 13 は、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 b と、半絶縁層 8 とを有しており、p 型半導体層 7 b は、リッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していない。実施の形態 1 の半導体レーザ 100 は、この構成により、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 b がリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していないので、活性層 5 を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

20

30

#### 【0027】

実施の形態 1 の半導体レーザ 100 は、埋込層 13 が、リッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面における n 型半導体基板 1 側に他の p 型半導体層 7 a を有していてもよい。この場合、リッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面における活性層 5 側に、p 型半導体層 7 b と他の p 型半導体層 7 a とが分離された分離部 17 が形成されており、分離部 17 に半絶縁層 8 が埋め込まれている。実施の形態 1 の半導体レーザ 100 は、この構成により、リッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面における n 型半導体基板 1 側に他の p 型半導体層 7 a があっても、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 b がリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していないので、活性層 5 を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

40

#### 【0028】

実施の形態 2 .

図 5 は実施の形態 2 に係る半導体レーザの断面構造を示す図であり、図 6 は図 5 の活性層周辺の拡大図である。実施の形態 2 の半導体レーザ 100 は、リッジ構造 16 の両側面において p 型半導体層 7 が第一 p 型クラッド層 6 及び活性層 5 に接しており、リッジ構造 16 の活性層 5 から n 型半導体基板 1 側の各層の両側面に p 型半導体層 7 が接していない

50

点で、実施の形態 1 の半導体レーザ 100 と異なる。図 5、図 6 では、リッジ構造 16 の両側面において、第一 p 型クラッド層 6 及び活性層 5 の特定位置までの両側面を、p 型半導体層 7 が覆っている例を示した。図 5、図 6 における特定位置は、活性層 5 における n 型半導体基板 1 側の近方端よりも n 型半導体基板 1 側から遠方で活性層 5 の量子井戸構造 35 における n 型半導体基板 1 側である近方端すなわち量子井戸構造 35 の開始界面に至らない位置であり、量子井戸構造 35 における n 型半導体基板 1 側である近方端を含む端すなわち活性層 5 の n 型半導体基板 1 側の光閉込層 31 の途中の位置である。p 型半導体層 7 は、活性層 5 の量子井戸構造 35 の両側面を覆っている。なお、活性層 5 の特定位置は、活性層 5 の n 型半導体基板 1 側である近方端の位置でもよい。実施の形態 1 の半導体レーザ 100 と異なる部分を主に説明する。

10

#### 【0029】

実施の形態 2 の半導体レーザ 100 は、リッジ構造 16 における n 型半導体基板 1 側の第一 n 型クラッド層 2、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4 の両側面に半絶縁層 8 が接している。実施の形態 2 の半導体レーザ 100 は、実施の形態 1 の半導体レーザ 100 と同様に、半導体レーザを駆動する際にコンタクト層 11、第二 p 型クラッド層 10 の多数キャリアである正孔 14 が活性層 5 側に移動し、正孔電流  $I_h$  が流れる。正孔電流  $I_h$  は、第一 p 型クラッド層 6 から活性層 5 に流れる主電流  $I_1$  と、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 7 を経由して活性層 5 に流れる迂回電流  $I_2$  と、からなっている。迂回電流  $I_2$  は、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 7 に漏れる正孔電流成分である。しかし、この迂回電流  $I_2$  は、半絶縁層 8 が存在する第二 n 型クラッド層 4 の側面を流れることができず、p 型半導体層 7 の価電子帯より低いエネルギーレベルにある活性層 5 の価電子帯方向へ流れるため、迂回電流  $I_2$  は活性層 5 へ注入される。

20

#### 【0030】

実施の形態 2 の半導体レーザ 100 は、リッジ構造 16 の活性層 5 から n 型半導体基板 1 側の各層の両側面に p 型半導体層 7 が接していない以外は実施の形態 1 の半導体レーザ 100 と同様なので、実施の形態 1 の半導体レーザ 100 と同様の効果を奏する。

#### 【0031】

以上のように、実施の形態 2 の半導体レーザ 100 は、n 型半導体基板 1 に形成されたリッジ構造 16、リッジ構造 16 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層 13 を備えた半導体レーザである。リッジ構造 16 は、n 型半導体基板 1 側から順次形成された n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を有している。埋込層 13 は、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 と、半絶縁層 8 とを有している。p 型半導体層 7 はリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接しておらず、半絶縁層 8 がリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面に接している。実施の形態 2 の半導体レーザ 100 は、この構成により、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 がリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していないので、活性層 5 を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

30

40

#### 【0032】

実施の形態 3 .

図 7 は、実施の形態 3 に係る半導体レーザの断面構造を示す図である。図 8 ~ 図 13 は、図 7 の半導体レーザの製造方法を示す図である。実施の形態 3 の半導体レーザ 100 は、リッジ構造 16 がリッジ本体部 63 とリッジ本体部 63 の両側面から x 方向に延伸したリッジ延伸部 64 とを有し、分離部 17 がリッジ延伸部 64 の n 型半導体基板 1 側に形成されている点で、実施の形態 1 の半導体レーザ 100 と異なる。実施の形態 1 の半導体レーザ 100 と異なる部分を主に説明する。

#### 【0033】

実施の形態 3 では、リッジ延伸部 64 が形成されるリッジ中間層 39 が活性層 5 である

50

例を説明する。実施の形態 1 では、リッジ構造 16 の両側面に分離部 17 を介在させて互いに分離された p 型半導体層 7a、p 型半導体層 7b を形成する方法例として、活性層 5 が Al を含む化合物半導体の場合を説明した。実施の形態 3 では、活性層 5 が Al を含まない場合でも容易に分離部 17 を介在させて互いに分離された p 型半導体層 7a、p 型半導体層 7b を形成する方法を説明する。

#### 【0034】

図 8 ~ 図 10 は、n 型半導体基板 1 に基本のリッジ構造 16 を形成するリッジ構造形成工程を説明する図である。図 11 は、基本のリッジ構造 16 の両側面におけるリッジ中間層 39 以外の層をエッチングし、リッジ中間層 39 においてリッジ構造 16 の両側面から x 方向に延伸したリッジ延伸部 64 を形成する延伸部形成工程を説明する図である。図 12 は、リッジ構造 16 の両側面と、リッジ延伸部 64 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面とを覆うように p 型半導体層 7a、7b を形成する p 型半導体層形成工程を説明する図である。図 13 は、p 型半導体層 7a、7b の表面及びリッジ延伸部 64 の n 型半導体基板 1 側の露出面を覆うように、半絶縁層 8 を形成する半絶縁層形成工程と、ブロック層 9 を形成する工程を説明する図である。

10

#### 【0035】

n 型半導体基板 1 の表面に、有機金属気相化学成長 (MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法を用いて、第一 n 型クラッド層 2、回折格子層 3、その上部すなわち z 方向正側の表面に第二 n 型クラッド層 4、活性層 5、第一 p 型クラッド層 6 を順次エピタキシャル成長させる、すなわちリッジ構造 16 の半導体層であるリッジ半導体層の各層を順次形成する (リッジ半導体層形成工程)。その上部すなわち z 方向正側の表面に SiO<sub>2</sub> 等の絶縁膜 18 を成膜する。図 7 に示した半導体レーザ 100 は、DFB-LD の例である。半導体レーザ 100 が DFB-LD でない場合は、回折格子層 3 は形成されない。

20

#### 【0036】

図 9 に示すように、絶縁膜 18 をエッチングにより加工して、基本のリッジ構造 16 を形成する部分を残す。絶縁膜 18 の加工は、一般的な半導体フォトリソグラフィ工程を用いて加工する。図 10 に示すように、絶縁膜 18 をマスクにして、第一 n 型クラッド層 2、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4、活性層 5、第一 p 型クラッド層 6 の各層をエッチングにより加工し、x 方向の両側面が露出された基本のリッジ構造 16 を形成する。図 10 に示した基本のリッジ構造 16 の x 方向の幅は、最終形状のリッジ構造 16 におけるリッジ本体部 63 及びリッジ本体部 63 の x 方向の両側から延伸したリッジ延伸部 64 を有するリッジ中間層 39 の x 方向の幅である。図 10 に示した基本のリッジ構造 16 を形成するリッジ構造形成工程は、最終形状のリッジ構造 16 の x 方向の最大幅を全ての両側面において有しているリッジ構造すなわち形成途中のリッジ構造 16 を形成する工程である。

30

#### 【0037】

次に、リッジ延伸部 64 を形成する延伸部形成工程を実行する。リッジ構造形成工程で形成された基本のリッジ構造 16 に対して、活性層 5 がエッチングされないエッチング液、ガス等を使用し、活性層 5 が活性層本体部 65 及び活性層本体部 65 の x 方向の両側から延伸した活性層延伸部 66 を有するように、すなわち活性層 5 においてリッジ本体部 63 の両側面から x 方向に延伸した活性層延伸部 66 が形成されるように、活性層 5 以外の各層をエッチングする。破線 54a と破線 56a との間及び破線 56b と破線 54b との間がリッジ延伸部 64 である。破線 56a と破線 56b との間がリッジ本体部 63 である。実施の形態 3 では、リッジ中間層 39 が活性層 5 のみなので、リッジ本体部 63 は活性層本体部 65 であり、リッジ延伸部 64 は活性層延伸部 66 でもある。延伸部形成工程において、基本のリッジ構造 16 の x 方向の両側面におけるリッジ中間層 39 以外の層がエッチングされる。活性層延伸部 66 における z 方向の n 型半導体基板 1 側の表面は、リッジ本体部 63 以外の第一 n 型クラッド層 2 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面に対向しており、活性層延伸部 66 は言わばひさしになっている。

40

50

## 【 0 0 3 8 】

活性層 5 の材料が  $\text{InGaAsP}$  又は  $\text{AlGaInAs}$  の場合は、例えば  $\text{InP}$  の層をエッチングする濃硫酸を使用することによって、活性層 5 を活性層本体部 6 5 及び活性層延伸部 6 6 を有する形状にすることができる。活性層 5 の材料が  $\text{AlGaInAs}$  の場合においては、 $\text{MOCVD}$  法で成膜する装置内において、塩化水素ガスを使用して  $\text{InP}$  の各層をエッチングすることによって、活性層 5 を活性層本体部 6 5 及び活性層延伸部 6 6 を有する形状にすることができる。なお、活性層 5 の活性層延伸部 6 6 における  $x$  方向の長さは、 $p$  型半導体層 7 を形成する際に、シャドウ効果が得られる長さとする。ここで、シャドウ効果とは、リッジ本体部 6 3 から延伸したリッジ延伸部 6 4 の  $n$  型半導体基板 1 側の面すなわち  $z$  方向負側の面に結晶成長に必要な材料ガスが十分供給されないため、リッジ延伸部 6 4 の  $z$  方向負側の面において結晶が成長しない効果のことである。

10

## 【 0 0 3 9 】

次に、図 1 2 に示すように、 $p$  型半導体層 7 を形成する  $p$  型半導体層形成工程を実行する。図 1 1 に示した最終形状のリッジ構造 1 6 に対して、 $\text{MOCVD}$  法によるエピタキシャル成長により、 $p$  型半導体層 7 a、7 b を結晶成長する。このとき、活性層 5 の活性層延伸部 6 6 がリッジ本体部 6 3 よりも  $x$  方向に延伸しているため、リッジ延伸部 6 4 である活性層延伸部 6 6 のシャドウ効果を利用し、 $p$  型半導体層 7 a、7 b をリッジ延伸部 6 4 になっている活性層延伸部 6 6 の  $n$  型半導体基板 1 側の面に成長しないようにすることができる。図 1 1 に示した最終形状のリッジ構造 1 6 に対して、 $p$  型半導体層形成工程を実行することで、リッジ構造 1 6 の両側面、リッジ延伸部 6 4 の  $n$  型半導体基板 1 と反対側の表面を覆うように  $p$  型半導体層 7 a、7 b を形成することでできる。つまり、 $p$  型半導体層 7 a と  $p$  型半導体層 7 b とは分離されているので、 $p$  型半導体層 7 a、7 b が形成されないリッジ延伸部 6 4 の  $n$  型半導体基板 1 側に、 $p$  型半導体層 7 a と  $p$  型半導体層 7 b とを分離する分離部 1 7 が形成できる。

20

## 【 0 0 4 0 】

$p$  型半導体層形成工程の後に、図 1 3 に示すように、半絶縁層 8 を形成する半絶縁層形成工程と、ブロック層 9 を形成する工程を実行する。図 1 2 に示した  $p$  型半導体層形成工程後の中間製造体に対して、半絶縁層 8、ブロック層 9 をエピタキシャル成長する、すなわち半絶縁層 8、ブロック層 9 を形成する。半絶縁層形成工程において、 $p$  型半導体層 7 a、7 b の表面及びリッジ延伸部 6 4 の  $n$  型半導体基板 1 側の露出面すなわちリッジ延伸部 6 4 の  $z$  方向負側の面を覆うように、半絶縁層 8 を形成する。その後、ブロック層 9 を半絶縁層 8 の表面に形成する。なお、半絶縁層形成工程、ブロック層 9 を形成する工程は、 $p$  型半導体層形成工程に連続して実行する。すなわち  $p$  型半導体層形成工程、半絶縁層形成工程、ブロック層 9 を形成する工程は、同一の装置で実行する。次に絶縁膜 1 8 をフッ酸、バッファードフッ酸等を用いて除去する。

30

## 【 0 0 4 1 】

絶縁膜 1 8 を除去した後に、エピタキシャル成長により、第二  $p$  型クラッド層 1 0 とコンタクト層 1 1 とを結晶成長する。ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 1 6 の表面に第二  $p$  型クラッド層 1 0 を形成し、第二  $p$  型クラッド層 1 0 の表面にコンタクト層 1 1 を形成する。この後、コンタクト層 1 1 に接するアノード電極 5 1 を形成し、 $n$  型半導体基板 1 の裏面すなわち  $z$  方向負側の面に接するカソード電極 5 2 を形成する。

40

## 【 0 0 4 2 】

実施の形態 3 では、リッジ構造 1 6 のリッジ中間層 3 9 におけるリッジ延伸部 6 4 の  $x$  方向の長さ、すなわち活性層 5 の活性層延伸部 6 6 の  $x$  方向の長さを適切に設定することで、複雑な工程を追加することなく、活性層延伸部 6 6 の  $z$  方向負側に  $p$  型半導体層 7 a と  $p$  型半導体層 7 b とを分離する分離部 1 7 を容易に形成することができる。活性層延伸部 6 6 の  $x$  方向の長さの適切な長さは、シャドウ効果が得られる長さである。実施の形態 3 の半導体レーザ 1 0 0 は、活性層 5 が  $\text{Al}$  を含まない場合でも、実施の形態 1 の半導体レーザ 1 0 0 と同様の構造、すなわちリッジ構造 1 6 の両側面に分離部 1 7 を介在させて互いに分離された  $p$  型半導体層 7 a、 $p$  型半導体層 7 b が形成された構造を製造すること

50

ができる。

【 0 0 4 3 】

以上のように、実施の形態 3 の半導体レーザ 1 0 0 は、n 型半導体基板 1 に形成されたリッジ構造 1 6、リッジ構造 1 6 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層 1 3 を備えた半導体レーザである。リッジ構造 1 6 は、n 型半導体基板 1 側から順次形成された n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を有している。埋込層 1 3 は、リッジ構造 1 6 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 b と、半絶縁層 8 とを有しており、p 型半導体層 7 b は、リッジ構造 1 6 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していない。埋込層 1 3 が、リッジ構造 1 6 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面における n 型半導体基板 1 側に他の p 型半導体層 7 a を有しており、リッジ構造 1 6 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面における活性層 5 側に、p 型半導体層 7 b と他の p 型半導体層 7 a とが分離された分離部 1 7 が形成されており、分離部 1 7 に半絶縁層 8 が埋め込まれている。リッジ構造 1 6 の各層の積層方向を z 方向とし、リッジ構造が延伸している延伸方向を y 方向とし、z 方向及び y 方向に垂直な方向を x 方向とする。リッジ構造 1 6 は、リッジ本体部 6 3 と、リッジ本体部 6 3 の両側面から x 方向に延伸したリッジ延伸部 6 4 とを有している。リッジ延伸部 6 4 は、活性層 5 が x 方向に延伸した活性層延伸部 6 6 である。p 型半導体層 7 b は、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の x 方向の両側面と活性層延伸部 6 6 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面とに接しており、分離部 1 7 は活性層延伸部 6 6 の n 型半導体基板 1 側に形成されている。実施の形態 3 の半導体レーザ 1 0 0 は、この構成により、リッジ構造 1 6 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面における n 型半導体基板 1 側に他の p 型半導体層 7 a があっても、リッジ構造 1 6 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 b がリッジ構造 1 6 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していないので、活性層 5 を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

【 0 0 4 4 】

実施の形態 3 の半導体レーザ 1 0 0 を製造する半導体レーザ製造方法は、n 型半導体基板 1 に形成されたリッジ構造 1 6、リッジ構造 1 6 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層 1 3 を備えた半導体レーザ 1 0 0 を製造する半導体レーザ製造方法である。埋込層 1 3 は、p 型半導体層 7 a、7 b、半絶縁層 8 を有している。リッジ構造 1 6 の各層の積層方向を z 方向とし、リッジ構造 1 6 が延伸している延伸方向を y 方向とし、z 方向及び y 方向に垂直な方向を x 方向とする。実施の形態 3 の半導体レーザ製造方法は、n 型半導体基板 1 に、n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5 を含むリッジ中間層 3 9、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を順次形成し、エッチングにより両側面が露出された、n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、リッジ中間層 3 9、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を有するリッジ構造 1 6 を形成するリッジ構造形成工程を含んでいる。更に実施の形態 3 の半導体レーザ製造方法は、リッジ構造形成工程を実行した後に、リッジ構造 1 6 の両側面におけるリッジ中間層 3 9 以外の層をエッチングし、リッジ中間層 3 9 においてリッジ構造 1 6 の両側面（加工後のリッジ本体部 6 3 の両側面）から x 方向に延伸したリッジ延伸部 6 4 を形成する延伸部形成工程を含んでいる。更に実施の形態 3 の半導体レーザ製造方法は、延伸部形成工程を実行した後に、リッジ構造 1 6 の両側面（リッジ本体部 6 3 及びリッジ延伸部 6 4 の両側面）、リッジ延伸部 6 4 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面を覆うように p 型半導体層 7 a、7 b を形成する p 型半導体層形成工程と、p 型半導体層 7 a、7 b の表面及びリッジ延伸部 6 4 の n 型半導体基板 1 側の露出面を覆うように、半絶縁層 8 を形成する半絶縁層形成工程と、を含んでいる。実施の形態 3 の半導体レーザ 1 0 0 を製造する半導体レーザ製造方法は、リッジ構造 1 6 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面における n 型半導体基板 1 側に p 型半導体層 7 a があっても、リッジ構造 1 6 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 b が

リッジ構造 16 の n 型クラッド層 ( 第二 n 型クラッド層 4 ) に接していない半導体レーザ 100 を製造することができる。したがって実施の形態 3 の半導体レーザ製造方法により製造された半導体レーザ 100 は、活性層 5 を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

#### 【 0045 】

実施の形態 4 .

図 14 は、実施の形態 4 に係る第一の半導体レーザの断面構造を示す図である。図 15 ~ 図 17 は、図 14 の半導体レーザの製造方法を示す図である。図 18 は実施の形態 4 に係る第二の半導体レーザの断面構造を示す図であり、図 19 は実施の形態 4 に係る第三の半導体レーザの断面構造を示す図である。実施の形態 4 の半導体レーザ 100 は、リッジ構造 16 におけるリッジ延伸部 64 のリッジ中間層 39 が延伸部土台層 21、活性層 5 を有している点で、実施の形態 3 の半導体レーザ 100 と異なる。実施の形態 3 の半導体レーザ 100 と異なる部分を主に説明する。

10

#### 【 0046 】

実施の形態 4 の第一及び第三の半導体レーザ 100 は、リッジ延伸部 64 のリッジ中間層 39 が延伸部土台層 21、第三 n 型クラッド層 20、活性層 5 を有している例である。実施の形態 4 の第二の半導体レーザ 100 は、リッジ延伸部 64 のリッジ中間層 39 が延伸部土台層 21、活性層 5 を有している例である。実施の形態 4 の第一の半導体レーザ 100 におけるリッジ構造 16 は、第二 n 型クラッド層 4 と活性層 5 との間に n 型半導体基板 1 側から順次形成された AlGaInAs 又は InGaAsP の延伸部土台層 21、n 型 InP の第三 n 型クラッド層 20 を有している。実施の形態 3 と同様に、活性層 5 の材料が InGaAsP 又は AlGaInAs の場合は、延伸部土台層 21 が活性層 5 と同じ材料なので、InP の層のエッチングレートよりも遅いエッチングレートとなる濃硫酸等のエッチング液を用いて、リッジ延伸部 64 を形成することができる。また、活性層 5 及び延伸部土台層 21 の材料が AlGaInAs の場合は、塩化水素ガスを用いて、リッジ延伸部 64 を形成することができる。活性層 5 と延伸部土台層 21 とに挟まれる第三 n 型クラッド層 20 を薄膜とすることで、第三 n 型クラッド層 20 はエッチングされず、図 15 のように第三 n 型クラッド層 20 をリッジ延伸部 64 の一部として残すことができる。第三 n 型クラッド層 20 の厚さは、最小膜厚が結晶格子以上であり、例えば 1 nm である。第三 n 型クラッド層 20 がエッチングされない膜厚は、使用するエッチング材料、エッチング時の半導体層表面の状態等に依存する。第三 n 型クラッド層 20 はリッジ延伸部 64 のエッチングによる形成によっても残存する膜厚であればよいので、第三 n 型クラッド層 20 を最大膜厚にする必要はない。なお、第三 n 型クラッド層 20 がエッチングされない最大膜厚は、確認を要する場合には実験によりエッチング後も残存する膜厚を確認する。

20

30

#### 【 0047 】

延伸部土台層 21 は、リッジ延伸部 64 を形成するためのエッチング液又はエッチングガスにエッチングされない材料であれば、AlGaInAs、InGaAsP 以外の材料であってもよい。また、リッジ中間層 39 は活性層 5 と延伸部土台層 21 とが直接接していてもよく、リッジ中間層 39 における活性層 5 と延伸部土台層 21 との x 方向の長さが異なってもよい。図 18 に示した実施の形態 4 の第二の半導体レーザ 100 は、リッジ中間層 39 は活性層 5 と延伸部土台層 21 とが直接接している例である。図 19 に示した実施の形態 4 の第三の半導体レーザ 100 は、リッジ中間層 39 における活性層 5 と延伸部土台層 21 との x 方向の長さが異なっている例である。図 19 では、延伸部土台層 21 が活性層 5 よりも短くなっている例を示した。実施の形態 4 の第一 ~ 第三の半導体レーザ 100 のいずれであっても、エッチングによってリッジ延伸部 64 を形成することができる。

40

#### 【 0048 】

リッジ中間層 39 が延伸部土台層 21、第三 n 型クラッド層 20、活性層 5 を有する場合は、リッジ半導体層形成工程において、第二 n 型クラッド層 4 の表面に延伸部土台層 21、第三 n 型クラッド層 20、活性層 5、第一 p 型クラッド層 6 を順次エピタキシャル成

50

長させて、リッジ構造 16 の半導体層であるリッジ半導体層の各層を形成する。リッジ中間層 39 が延伸部土台層 21、活性層 5 を有する場合は、リッジ半導体層形成工程において、第二 n 型クラッド層 4 の表面に延伸部土台層 21、活性層 5、第一 p 型クラッド層 6 を順次エピタキシャル成長させて、リッジ半導体層の各層を形成する。

#### 【0049】

リッジ構造形成工程において、絶縁膜 18 をマスクにして基本のリッジ構造 16 を形成し、延伸部形成工程において、基本のリッジ構造 16 に対してリッジ中間層 39 以外の層を x 方向からエッチングし、リッジ本体部 63 及びリッジ延伸部 64 を有するリッジ構造 16 を形成する。図 15 に、延伸部形成工程が終了した実施の形態 4 の第一の半導体レーザ 100 の中間製造体を示した。

10

#### 【0050】

p 型半導体層形成工程において、図 15 に示した最終形状のリッジ構造 16 に対して、リッジ構造 16 の両側面、リッジ延伸部 64 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面を覆うように p 型半導体層 7a、7b を形成する。図 16 に、p 型半導体層形成工程が終了した実施の形態 4 の第一の半導体レーザ 100 の中間製造体を示した。リッジ構造 16 はリッジ本体部 63 から延伸したリッジ延伸部 64 を有するので、シャドウ効果によりリッジ延伸部 64 の z 方向負側の面において p 型半導体層 7a と p 型半導体層 7b とを分離する分離部 17 を形成することができる。

#### 【0051】

半絶縁層形成工程において、図 16 に示した半導体レーザ 100 の中間製造体に対して半絶縁層 8 を形成し、その後のブロック層 9 を形成する工程において、半絶縁層 8 の表面にブロック層 9 を形成する。図 17 に、半絶縁層形成工程及びブロック層 9 を形成する工程が終了し、絶縁膜 18 が除去された実施の形態 4 の第一の半導体レーザ 100 の中間製造体を示した。

20

#### 【0052】

その後、実施の形態 3 で説明したように、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 16 の z 方向の表面に、第二 p 型クラッド層 10、コンタクト層 11 を形成する。具体的には、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 16 の表面に第二 p 型クラッド層 10 を形成し、第二 p 型クラッド層 10 の表面にコンタクト層 11 を形成する。この後、コンタクト層 11 に接するアノード電極 51 を形成し、n 型半導体基板 1 の裏面すなわち z 方向負側の面に接するカソード電極 52 を形成する。

30

#### 【0053】

実施の形態 4 の半導体レーザ 100 は、実施の形態 3 の半導体レーザ 100 と同様に、活性層 5 が A1 を含まない場合でも、実施の形態 1 の半導体レーザ 100 と同様の構造、すなわちリッジ構造 16 の両側面に分離部 17 を介在させて互いに分離された p 型半導体層 7a、p 型半導体層 7b が形成された構造を製造することができる。したがって、実施の形態 4 の半導体レーザ 100 は、図 4 に示した比較例の半導体レーザに比べ活性層 5 を通過しない無効電流を低減でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

#### 【0054】

実施の形態 4 の第一の半導体レーザ 100 は、活性層 5 と延伸部土台層 21 との間に第三 n 型クラッド層 20 があるので、p 型半導体層 7 を流れる正孔 14 の迂回電流 I2 は活性層 5 と共に第三 n 型クラッド層 20、延伸部土台層 21 に注入される。第三 n 型クラッド層 20、延伸部土台層 21 において、正孔 14 と電子 15 とが再結合する。なお、延伸部土台層 21 の価電子帯のエネルギーレベルは、後述するように p 型半導体層 7b の価電子帯のエネルギーレベルよりも高い。このため、延伸部土台層 21 と p 型半導体層 7b とのエネルギー障壁により、p 型半導体層 7b から延伸部土台層 21 に移動する正孔 14 の数は、p 型半導体層 7b から第三 n 型クラッド層 20 に移動する正孔 14 の数よりも極めて小さい。よって、実施の形態 4 の第一の半導体レーザ 100 は、実施の形態 3 の半導体レーザ 100 に比べ無効電流が多少生じるが、比較例の半導体レーザに比べ、無効電流を低減できる。

40

50

## 【 0 0 5 5 】

実施の形態 4 の第二の半導体レーザ 1 0 0 は、活性層 5 と延伸部土台層との間に第三 n 型クラッド層 2 0 がないので、実施の形態 4 の第一の半導体レーザ 1 0 0 よりも活性層 5 を通過しない無効電流を低減できる。

## 【 0 0 5 6 】

実施の形態 5 .

図 2 0 は、実施の形態 5 に係る半導体レーザの断面構造を示す図である。図 2 1 は図 2 0 の活性層周辺の拡大図であり、図 2 2 は図 2 1 の延伸部土台層及び p 型半導体層のエネルギーバンドを示す図である。実施の形態 5 の半導体レーザ 1 0 0 は、リッジ中間層 3 9 の延伸部土台層 2 1 a が実施の形態 4 の延伸部土台層 2 1 よりも、価電子帯のエネルギーレベルが p 型半導体層 7 b の価電子帯のエネルギーレベルに対して高い点で、実施の形態 4 の半導体レーザ 1 0 0 と異なる。実施の形態 4 の半導体レーザ 1 0 0 と異なる部分を主に説明する。

10

## 【 0 0 5 7 】

図 2 2 に示したエネルギーバンドは、図 2 1 に示した延伸部土台層 2 1 a の位置 A 1 と p 型半導体層 7 b の位置 A 2 との間のエネルギーバンドである。図 2 1 において、延伸部土台層 2 1 a のパターンは省略した。図 2 2 の横軸は位置であり、縦軸はエネルギー [ a . u . ( 任意単位 ) ] である。実線で記載した導電帯エネルギー 7 1 と価電子帯エネルギー 7 2 と共に、実施の形態 4 の延伸部土台層 2 1 における導電帯エネルギー 7 3、価電子帯エネルギー 7 4 を破線で示した。第三 n 型クラッド層 2 0 の導電帯エネルギー、価電子帯エネルギーは破線で示した導電帯エネルギー 7 3、価電子帯エネルギー 7 4 よりも高いエネルギーになり、すなわち図 2 2 において上側 ( y 軸正側 ) になり、第三 n 型クラッド層 2 0 と p 型半導体層 7 b とのエネルギー差であるエネルギー障壁は、延伸部土台層 2 1、2 1 a と p 型半導体層 7 b とのエネルギー障壁よりも小さい。p 型半導体層 7 b に漏れた正孔 1 4 の迂回電流 I 2 は、p 型半導体層 7 b の価電子帯側を流れる。このため、p 型半導体層 7 b からリッジ中間層 3 9 に流れる正孔 1 4 の迂回電流 I 2 は主に第三 n 型クラッド層 2 0 に流れる。

20

## 【 0 0 5 8 】

p 型半導体層 7 b に漏れた正孔 1 4 の迂回電流 I 2 が実施の形態 4 の延伸部土台層 2 1 に流れ込まないようにするためには、p 型半導体層 7 b の価電子帯のエネルギーレベルに対して、延伸部土台層 2 1 の価電子帯のエネルギーレベルを高める必要がある。なお、図 2 2 の y 軸正側が正孔 1 4 に対してエネルギーが小さい。これを実現するには、実施の形態 4 の延伸部土台層 2 1 を n 型高ドーピングの材料にしたり、実施の形態 4 の延伸部土台層 2 1 を p 型半導体層 7 b よりもバンドギャップの大きい n 型 Al In As 層に置き換えればよい。延伸部土台層 2 1 a は、n 型半導体層である n 型 Al Ga In As 層又は n 型 Al In As 層とする。

30

## 【 0 0 5 9 】

実施の形態 5 の半導体レーザ 1 0 0 は、リッジ中間層 3 9 の延伸部土台層 2 1 a における価電子帯のエネルギーレベルが実施の形態 4 の延伸部土台層 2 1 よりも高いので、p 型半導体層 7 b に対して実施の形態 4 の延伸部土台層 2 1 よりも高いエネルギー障壁が存在するため、正孔 1 4 が延伸部土台層 2 1 a に移動が低減され、延伸部土台層 2 1 a での電子 1 5 との再結合が減少する。このため、実施の形態 5 の半導体レーザ 1 0 0 は、実施の形態 4 の半導体レーザ 1 0 0 よりも、活性層 5 を通過しない無効電流を低減できる。

40

## 【 0 0 6 0 】

実施の形態 6 .

図 2 3 は実施の形態 6 に係る半導体レーザの断面構造を示す図であり、図 2 4 は図 2 3 の活性層周辺の拡大図である。図 2 5、図 2 6 は、図 2 3 の半導体レーザの製造方法を示す図である。実施の形態 6 の半導体レーザ 1 0 0 は、実施の形態 2 の半導体レーザ 1 0 0 の特徴構造、すなわちリッジ構造 1 6 の両側面において第一 p 型クラッド層 6 及び活性層 5 にのみ p 型半導体層 7 が接している構造を容易に実現できる半導体レーザである。実施

50

の形態 6 の半導体レーザ 100 は、埋込層 13 が半絶縁層 8、p 型半導体層 7、半絶縁層 22、ブロック層 9 を有しており、p 型半導体層 7 が半絶縁層 8 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面においてリッジ構造 16 から離れる方向に広がって形成されている点で、実施の形態 2 の半導体レーザ 100 と異なる。実施の形態 2 の半導体レーザ 100 と異なる部分を主に説明する。

#### 【0061】

実施の形態 6 の半導体レーザ 100 は、実施の形態 2 の半導体レーザ 100 と同様に、半導体レーザを駆動する際にコンタクト層 11、第二 p 型クラッド層 10 の多数キャリアである正孔 14 が活性層 5 側に移動し、正孔電流  $I_h$  が流れる。正孔電流  $I_h$  は、第一 p 型クラッド層 6 から活性層 5 に流れる主電流  $I_1$  と、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 7 を経由して活性層 5 に流れる迂回電流  $I_2$  と、からなっている。迂回電流  $I_2$  は、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 7 に漏れる正孔電流成分である。p 型半導体層 7 がリッジ構造 16 から離れる方向にすなわち x 方向に広がって部分において、p 型半導体層 7 が半絶縁層 8 及び半絶縁層 22 に挟まれており、半絶縁層 8 及び半絶縁層 22 には電子 15 が存在しないため正孔 14 と再結合することがない。したがって、この迂回電流  $I_2$  は、半絶縁層 8 が存在する第二 n 型クラッド層 4 の側面を流ることができず、p 型半導体層 7 の価電子帯より低いエネルギーレベルにある活性層 5 の価電子帯方向へ流れるため、迂回電流  $I_2$  は活性層 5 へ注入される。このため、実施の形態 6 の半導体レーザ 100 は、実施の形態 2 の半導体レーザ 100 と同様に、無効電流は生じない。

#### 【0062】

実施の形態 6 の半導体レーザ 100 を製造する半導体レーザ製造方法を説明する。リッジ構造 16 を形成するリッジ構造形成工程までは、実施の形態 3 で説明したリッジ構造形成工程までと同じである。実施の形態 6 の半導体レーザ 100 は、リッジ延伸部 64 はないので、リッジ構造形成工程の後に、リッジ構造 16 の両側面における n 型半導体基板 1 側に半絶縁層 8 を形成する第一半絶縁層形成工程を実行する。第一半絶縁層形成工程において、リッジ構造 16 における n 型半導体基板 1 側から活性層 5 の特定位置までの両側面を覆うように、半絶縁層 8 をエピタキシャル成長させて形成する。ここで、活性層 5 の特定位置は、活性層 5 の n 型半導体基板 1 側である近方端の位置（第一特定位置）又は、活性層 5 の近方端よりも n 型半導体基板 1 側から遠方で活性層 5 の量子井戸構造 35 における n 型半導体基板 1 側である近方端に至らない位置（第二特定位置）である。図 25 に、第一半絶縁層形成工程後の半導体レーザ 100 の中間製造体を示した。半絶縁層 8 のエピタキシャル成長条件を適切に設定することで、第一 n 型クラッド層 2 における z 方向正側の表面及びリッジ構造 16 の x 方向の両側面、回折格子層 3 及び第二 n 型クラッド層 4 における x 方向の両側面を覆うように半絶縁層 8 を形成することができ、リッジ構造 16 における n 型半導体基板 1 側から活性層 5 の特定位置までの両側面を覆うように半絶縁層 8 を形成することができる。

#### 【0063】

第一半絶縁層形成工程の後に、p 型半導体層 7 を形成する p 型半導体層形成工程、半絶縁層 22 を形成する第二半絶縁層形成工程を実行する。p 型半導体層形成工程において、半絶縁層 8 の表面及びリッジ構造 16 の露出した活性層 5 の特定位置から n 型半導体基板 1 と反対側である遠方端までの両側面を覆うように、p 型半導体層 7 をエピタキシャル成長させて形成する。第二半絶縁層形成工程において、p 型半導体層 7 を覆うように半絶縁層 22 をエピタキシャル成長させて形成する。

#### 【0064】

第二半絶縁層形成工程の後に、ブロック層 9 をエピタキシャル成長させて形成する。図 26 に、第二半絶縁層形成工程及びブロック層 9 の形成工程が終了した実施の形態 6 の半導体レーザ 100 の中間製造体を示した。

#### 【0065】

その後、実施の形態 3 で説明したように、絶縁膜 18 を除去し、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 16 の z 方向の表面に、第二 p 型クラッド層 10、コンタクト層 11 を形成

する。具体的には、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 16 の表面に第二 p 型クラッド層 10 を形成し、第二 p 型クラッド層 10 の表面にコンタクト層 11 を形成する。この後、コンタクト層 11 に接するアノード電極 51 を形成し、n 型半導体基板 1 の裏面すなわち z 方向負側の面に接するカソード電極 52 を形成する。

#### 【0066】

実施の形態 6 の半導体レーザ 100 は、p 型半導体層 7 が半絶縁層 8 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面においてリッジ構造 16 から離れる方向に広がっており、p 型半導体層 7 が半絶縁層 8 と半絶縁層 22 とに挟まれている以外は、実施の形態 2 の半導体レーザ 100 と同じなので、実施の形態 2 の半導体レーザ 100 と同様の効果を奏する。

#### 【0067】

なお、図 5 に示した実施の形態 2 の半導体レーザ 100 の製造方法は、例えば、実施の形態 6 の半導体レーザ 100 の製造方法における p 型半導体層形成工程の後に、半絶縁層 8 の z 方向正側の表面の p 型半導体層 7 をエッチングする工程を追加し、その後第二半絶縁層形成工程以降の工程を実行する。p 型半導体層 7 のエッチングは、半導体フォトリソグラフィ工程を用いて加工する。半絶縁層 8 と半絶縁層 22 とは一体となるので、一体となった半絶縁層 8 ということもできる。実施の形態 2 の半導体レーザ 100 の製造方法は、実施の形態 6 の半導体レーザ 100 の製造方法よりも複雑になっている。したがって、実施の形態 6 の半導体レーザ 100 は、実施の形態 2 の半導体レーザ 100 の特徴構造、すなわちリッジ構造 16 の両側面において第一 p 型クラッド層 6 及び活性層 5 にのみ p 型半導体層 7 が接している構造を容易に実現できる。

#### 【0068】

以上のように、実施の形態 6 の半導体レーザ 100 は、n 型半導体基板 1 に形成されたリッジ構造 16、リッジ構造 16 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層 13 を備えた半導体レーザである。リッジ構造 16 は、n 型半導体基板 1 側から順次形成された n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を有している。埋込層 13 は、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 と、半絶縁層 8 と、半絶縁層 22 とを有している。p 型半導体層 7 はリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接しておらず、半絶縁層 8 がリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面に接している。かつ、p 型半導体層 7 は、半絶縁層 8 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面においてリッジ構造 16 から離れる方向に広がって形成されている。p 型半導体層 7 における n 型半導体基板 1 と反対側の表面及びリッジ構造 16 側の面を半絶縁層 22 が覆っている。実施の形態 6 の半導体レーザ 100 は、この構成により、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 7 がリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していないので、活性層 5 を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

#### 【0069】

実施の形態 6 の半導体レーザ 100 を製造する半導体レーザ製造方法は、n 型半導体基板 1 に形成された活性層 5 を含むリッジ構造 16、リッジ構造 16 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層 13 を備えた半導体レーザ 100 を製造する半導体レーザ製造方法である。埋込層 13 は、第一の半絶縁層（半絶縁層 8）、p 型半導体層 7、第二の半絶縁層（半絶縁層 22）を有している。活性層の特定位置を、活性層 5 の n 型半導体基板 1 側である近方端の位置又は、活性層 5 の近方端よりも n 型半導体基板 1 側から遠方で活性層 5 の量子井戸構造 35 における n 型半導体基板 1 側である近方端に至らない位置とする。実施の形態 6 の半導体レーザ製造方法は、n 型半導体基板 1 に、n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を順次形成し、エッチングにより両側面が露出された、n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を有するリッジ構造 16 を形成するリッジ構造形成工程を含んでいる。更に実施の形態

10

20

30

40

50

6の半導体レーザ製造方法は、リッジ構造形成工程を実行した後に、リッジ構造16におけるn型半導体基板1側から活性層5の特定位置までの両側面を覆うように、第一の半絶縁層(半絶縁層8)を形成する第一半絶縁層形成工程と、第一の半絶縁層(半絶縁層8)の表面及びリッジ構造16の露出した活性層5の特定位置からn型半導体基板1と反対側である遠方端までの両側面を覆うように、p型半導体層7を形成するp型半導体層形成工程と、p型半導体層7を覆うように、第二の半絶縁層(半絶縁層22)を形成する第二半絶縁層形成工程と、を含んでいる。実施の形態6の半導体レーザ100を製造する半導体レーザ製造方法は、リッジ構造16のp型クラッド層(第一p型クラッド層6)及び活性層5の両側面に接するp型半導体層7がリッジ構造16のn型クラッド層(第二n型クラッド層4)に接していない半導体レーザ100を製造することができる。したがって実施

10

【0070】

実施の形態7.

図27は実施の形態7に係る半導体レーザの断面構造を示す図であり、図28は図27の活性層周辺の拡大図である。図29～図34は、図27の半導体レーザの製造方法を示す図である。実施の形態7の半導体レーザ100は、リッジ構造16の両側面においてp型半導体層40が第一p型クラッド層27及び活性層5に接しており、リッジ構造16の活性層5からn型半導体基板1側の各層の両側面にアンドープ半導体層23が接している半導体レーザの例である。実施の形態7の半導体レーザ100は、リッジ構造16の活性層5からn型半導体基板1側の各層の両側面にアンドープ半導体層23が接しており、リッジ構造16の活性層5のz方向正側に第一p型クラッド層27を有し、リッジ構造16の両側面側に亜鉛が拡散された半絶縁層42、亜鉛が拡散されたブロック層41を有する点で、実施の形態2の半導体レーザ100と異なる。図27、図28では、リッジ構造16の両側面において、第一p型クラッド層27及び活性層5の特定位置までの両側面を、p型半導体層40が覆っている例を示した。特定位置は実施の形態2で説明した通りである。実施の形態2の半導体レーザ100と異なる部分を主に説明する。

20

【0071】

p型半導体層40はInPのアンドープ半導体層23に亜鉛原子が拡散されてp型化した半導体層である。第一p型クラッド層27は、p型InPの第一p型クラッド層6に亜鉛が拡散されたp型クラッド層である。リッジ構造16の両側を覆う埋込層13は、アンドープ半導体層23、p型半導体層40、半絶縁層8、42、ブロック層9を有している。

30

【0072】

実施の形態7の半導体レーザ100は、実施の形態2の半導体レーザ100と同様に、半導体レーザを駆動する際にコンタクト層11、第二p型クラッド層10の多数キャリアである正孔14が活性層5側に移動し、正孔電流 $I_h$ が流れる。正孔電流 $I_h$ は、第一p型クラッド層27から活性層5に流れる主電流 $I_1$ と、第一p型クラッド層27からp型半導体層40を経由して活性層5に流れる迂回電流 $I_2$ と、からなっている。迂回電流 $I_2$ は、第一p型クラッド層27からp型半導体層40に漏れる正孔電流成分である。第一n型クラッド層2、回折格子層3、第二n型クラッド層4に接するアンドープ半導体層23が高抵抗であるため、迂回電流 $I_2$ は、アンドープ半導体層23を通過して第一n型クラッド層2、第二n型クラッド層4まで流ることができない。よって、実施の形態7の半導体レーザ100は、p型半導体層40に漏れた正孔電流が活性層5へ注入され、実施の形態2の半導体レーザ100と同様に、無効電流とならない。また、活性層5の側面に亜鉛の拡散によりp型化したp型半導体層40を接するようにすることで、活性層5から埋込層13への電子電流のオーバーフローを抑制することができる。

40

【0073】

実施の形態7の半導体レーザ100を製造する半導体レーザ製造方法を説明する。リッジ構造16を形成するリッジ構造形成工程までは、実施の形態3で説明したリッジ構造形成工程までと同じである。リッジ構造形成工程の後に、リッジ構造16の両側面を覆うよ

50

うにアンドープ半導体層 23 をエピタキシャル成長させて形成する（アンドープ半導体層形成工程）。アンドープ半導体層形成工程の後に、アンドープ半導体層 23 の表面を覆うように、半絶縁層 8 をエピタキシャル成長させて形成する（半絶縁層形成工程）。半絶縁層形成工程の後に、ブロック層 9 をエピタキシャル成長させて形成する。図 29 に、半絶縁層形成工程及びブロック層 9 の形成工程まで終了した実施の形態 7 の半導体レーザ 100 の中間製造体を示した。その後、図 30 に示すように、絶縁膜 18 を除去する。

#### 【0074】

次に、アンドープ半導体層 23 における n 型半導体基板 1 と反対側である遠方端から活性層 5 の特定位置までの領域に亜鉛を拡散させる亜鉛拡散工程を説明する。まず、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 16 の z 方向の表面に、SiO<sub>2</sub> 等の拡散防止膜 24 を成膜し、拡散防止膜 24 に活性層 5 と活性層 5 に接するアンドープ半導体層 23 を含む x 方向の幅を有する開口 25 を形成する。開口 25 は、半導体フォトリソグラフィ工程を用いて加工する。図 31 に、リッジ構造 16 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面及び埋込層 13 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面におけるアンドープ半導体層 23 を包含する領域を露出させる開口 25 を有する拡散防止膜 24 が、埋込層 13 に配置された実施の形態 7 の半導体レーザ 100 の中間製造体を示した。

#### 【0075】

次に、図 32 に示すように、拡散防止膜 24 と開口 25 により露出されたリッジ構造 16 の z 方向正側の表面及び埋込層 13 の表面に酸化亜鉛膜（ZnO 膜）26 を成膜する。

#### 【0076】

次に、図 32 に示した実施の形態 7 の半導体レーザ 100 の中間製造体を加熱処理する。開口 25 の領域で酸化亜鉛膜 26 に接する半導体層では、酸化亜鉛膜 26 中の亜鉛（Zn）原子が半導体層に拡散される。リッジ構造 16 における z 方向正側の n 型半導体基板 1 から最も離れた遠方端から活性層 5 の特定位置までの両側面に接するアンドープ半導体層 23 と第一 p 型クラッド層 6 とに亜鉛原子が拡散し p 型化する。すなわち、第一 p 型クラッド層 6 及び活性層 5 の z 方向正側端から特定位置までのリッジ構造 16 の両側面に接するアンドープ半導体層 23 に亜鉛原子が拡散し p 型化する。設定する熱処理条件は、開口 25 の領域におけるリッジ構造 16 に接する半導体層において、z 方向負側に向かって活性層 5 の特定位置まで亜鉛原子が拡散し、かつ、第一 n 型クラッド層 2、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4 に接するアンドープ半導体層 23 に亜鉛原子が拡散しない熱処理条件である。更に設定する熱処理条件は、開口 25 の領域におけるリッジ構造 16 において、第一 p 型クラッド層 6 に亜鉛原子が拡散し、活性層 5 に亜鉛原子が拡散しない熱処理条件である。第一 p 型クラッド層 6 は、亜鉛原子が拡散されて第一 p 型クラッド層 27 になる。また、開口 25 の領域の半導体層すなわちリッジ構造 16 側のブロック層 9 及び半絶縁層 8 においても亜鉛原子が拡散し p 型化する。この亜鉛が拡散されたブロック層 9、半絶縁層 8 が半絶縁層 42、ブロック層 41 である。

#### 【0077】

亜鉛拡散工程の加熱処理において、拡散防止膜 24 が覆っている部分については、酸化亜鉛膜 26 からの亜鉛原子は拡散防止膜 24 を拡散できないため、拡散防止膜 24 直下の半導体層に亜鉛原子は拡散しない。図 34 に、亜鉛拡散工程の加熱処理が終了した実施の形態 7 の半導体レーザ 100 の中間製造体を示した。

#### 【0078】

亜鉛拡散工程の後に、酸化亜鉛膜 26、拡散防止膜 24 を除去し、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 16 の z 方向の表面に、第二 p 型クラッド層 10、コンタクト層 11 を形成する。具体的には、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 16 の表面に第二 p 型クラッド層 10 を形成し、第二 p 型クラッド層 10 の表面にコンタクト層 11 を形成する。この後、コンタクト層 11 に接するアノード電極 51 を形成し、n 型半導体基板 1 の裏面すなわち z 方向負側の面に接するカソード電極 52 を形成する。

#### 【0079】

なお、亜鉛拡散によって、活性層 5 に接するアンドープ半導体層 23 が p 型化し、かつ

p型化したp型半導体層40のx方向の半絶縁層8がp型化しないように、図31の拡散防止膜24の開口25の幅は適宜調整される。

#### 【0080】

実施の形態7の半導体レーザ100は、前述した違い以外は、実施の形態2の半導体レーザ100と同じなので、実施の形態2の半導体レーザ100と同様の効果を奏する。

#### 【0081】

以上のように実施の形態7の半導体レーザ100は、n型半導体基板1に形成されたリッジ構造16、リッジ構造16の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層13を備えた半導体レーザである。リッジ構造16は、n型半導体基板1側から順次形成されたn型クラッド層(第二n型クラッド層4)、活性層5、p型クラッド層(第一p型クラッド層27)を有している。埋込層13は、リッジ構造16のp型クラッド層(第一p型クラッド層27)及び活性層5の両側面に接するp型半導体層40と、アンドープ半導体層23と、半絶縁層8とを有しており、p型半導体層40は、リッジ構造16のn型クラッド層(第二n型クラッド層4)に接していない。アンドープ半導体層23はリッジ構造16のn型クラッド層(第二n型クラッド層4)の両側面に接しており、p型半導体層40及びp型クラッド層(第一p型クラッド層27)は亜鉛を含んでいる。実施の形態7の半導体レーザ100は、この構成により、リッジ構造16のp型クラッド層(第一p型クラッド層27)及び活性層5の両側面に接するp型半導体層40がリッジ構造16のn型クラッド層(第二n型クラッド層4)に接していないので、活性層5を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

#### 【0082】

実施の形態7の半導体レーザ100を製造する半導体レーザ製造方法は、n型半導体基板1に形成された活性層5を含むリッジ構造16、リッジ構造16の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層13を備えた半導体レーザ100を製造する半導体レーザ製造方法である。埋込層13は、アンドープ半導体層23、p型半導体層40、半絶縁層8を有している。活性層の特定位置を、活性層5のn型半導体基板1側である近方端の位置又は、活性層5の近方端よりもn型半導体基板1側から遠方で活性層5の量子井戸構造35におけるn型半導体基板1側である近方端に至らない位置とする。実施の形態7の半導体レーザ製造方法は、n型半導体基板1に、n型クラッド層(第二n型クラッド層4)、活性層5、p型クラッド層(第一p型クラッド層6)を順次形成し、エッチングにより両側面が露出された、n型クラッド層(第二n型クラッド層4)、活性層5、p型クラッド層(第一p型クラッド層6)を有するリッジ構造16を形成するリッジ構造形成工程を含んでいる。更に実施の形態7の半導体レーザ製造方法は、リッジ構造形成工程を実行した後に、リッジ構造16の両側面を覆うようにアンドープ半導体層23を形成するアンドープ半導体層形成工程と、アンドープ半導体層23の表面を覆うように、半絶縁層8を形成する半絶縁層形成工程と、アンドープ半導体層23におけるn型半導体基板1と反対側である遠方端から活性層5の特定位置までの領域に亜鉛を拡散させ、p型クラッド層(第一p型クラッド層6)に亜鉛を拡散させる亜鉛拡散工程と、を含んでいる。実施の形態7の半導体レーザ100を製造する半導体レーザ製造方法は、リッジ構造16の亜鉛が拡散されたp型クラッド層(第一p型クラッド層27)及び活性層5の両側面に接するp型半導体層40がリッジ構造16のn型クラッド層(第二n型クラッド層4)に接していない半導体レーザ100を製造することができる。したがって実施の形態7の半導体レーザ製造方法により製造された半導体レーザ100は、活性層5を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

#### 【0083】

実施の形態8

図35は、実施の形態8に係る半導体レーザの製造方法を示す図である。実施の形態8の半導体レーザ100は、実施の形態7の半導体レーザ100と同じである。実施の形態8の半導体レーザ100を製造する半導体レーザ製造方法は、亜鉛拡散工程においてMOCVD法を用いた気相拡散により亜鉛を半導体層に拡散させる点で、実施の形態7の半導

体レーザ製造方法と異なる。実施の形態 7 の半導体レーザ製造方法と異なる部分を主に説明する。

#### 【0084】

亜鉛を拡散させる際の実施の形態 8 の半導体レーザ 100 の中間製造体は、図 3 1 に示した実施の形態 7 の半導体レーザ 100 の中間製造体と同じである。亜鉛を拡散させる際に、リッジ構造 16 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面及び埋込層 13 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面におけるアンドープ半導体層 23 を包含する領域を露出させる開口 25 を有する拡散防止膜 24 が、埋込層 13 に配置されている。この中間製造体を、MOCVD 法で成膜する装置内に入れ、ジメチル亜鉛 28 を装置内に導入する。装置内の圧力、温度を予め定められた条件に設定することにより、ジメチル亜鉛 28 を分解させ、開口 25 から亜鉛を半導体層中に気相拡散させる、すなわち開口 25 の領域における半導体層中に亜鉛を拡散させる。予め定められた圧力、温度の条件すなわち亜鉛拡散条件は、開口 25 の領域におけるリッジ構造 16 に接する半導体層が、z 方向負側に向かって活性層 5 の特定位置まで亜鉛が拡散し、かつ、第一 n 型クラッド層 2、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4 に接するアンドープ半導体層 23 に亜鉛が拡散しない条件である。更に亜鉛拡散条件は、開口 25 の領域におけるリッジ構造 16 において、第一 p 型クラッド層 6 に亜鉛原子が拡散し、活性層 5 に亜鉛原子が拡散しない条件である。

10

#### 【0085】

亜鉛拡散工程の後の工程は、実施の形態 7 の半導体レーザ製造方法と同じである。実施の形態 8 の半導体レーザ 100 は、実施の形態 7 の半導体レーザ 100 と同じなので、実施の形態 7 の半導体レーザ 100 と同じ効果を奏する。

20

#### 【0086】

実施の形態 9 .

図 3 6 は実施の形態 9 に係る半導体レーザの断面構造を示す図であり、図 3 7 は図 3 6 の活性層周辺の拡大図である。図 3 8 ~ 図 4 1 は、図 3 6 の半導体レーザの製造方法を示す図である。実施の形態 9 の半導体レーザ 100 は、活性層 5 の z 方向正側に第一 p 型クラッド層 6 が形成されている点で、実施の形態 7 の半導体レーザ 100 と異なる。図 3 6、図 3 7 では、リッジ構造 16 の両側面において、第一 p 型クラッド層 6 及び活性層 5 の特定位置までの両側面を、p 型半導体層 40 が覆っている例を示した。特定位置は実施の形態 2 で説明した通りである。実施の形態 7 の半導体レーザ 100 と異なる部分を主に説明する。

30

#### 【0087】

p 型半導体層 40 は I n P のアンドープ半導体層 23 に亜鉛原子が拡散されて p 型化した半導体層である。リッジ構造 16 の両側を覆う埋込層 13 は、アンドープ半導体層 23、p 型半導体層 40、半絶縁層 8、42、ブロック層 9 を有している。

#### 【0088】

実施の形態 9 の半導体レーザ 100 は、実施の形態 2 及び実施の形態 7 の半導体レーザ 100 と同様に、半導体レーザを駆動する際にコンタクト層 11、第二 p 型クラッド層 10 の多数キャリアである正孔 14 が活性層 5 側に移動し、正孔電流  $I_h$  が流れる。正孔電流  $I_h$  は、第一 p 型クラッド層 6 から活性層 5 に流れる主電流  $I_1$  と、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 40 を経由して活性層 5 に流れる迂回電流  $I_2$  と、からなっている。迂回電流  $I_2$  は、第一 p 型クラッド層 6 から p 型半導体層 40 に漏れる正孔電流成分である。第一 n 型クラッド層 2、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4 に接するアンドープ半導体層 23 が高抵抗であるため、迂回電流  $I_2$  は、アンドープ半導体層 23 を通過して第一 n 型クラッド層 2、第二 n 型クラッド層 4 まで流ることができない。よって、実施の形態 9 の半導体レーザ 100 は、p 型半導体層 40 に漏れた正孔電流は活性層 5 へ注入され、実施の形態 2 及び実施の形態 7 の半導体レーザ 100 と同様に、無効電流とならない。また、活性層 5 の側面に亜鉛の拡散により p 型化した p 型半導体層 40 を接するようにすることで、活性層 5 から埋込層 13 への電子電流のオーバーフローを抑制することができる。

40

50

## 【 0 0 8 9 】

実施の形態 9 の半導体レーザ 1 0 0 は、実施の形態 7 の半導体レーザ 1 0 0 に比べ、亜鉛が拡散する領域がアンドープ半導体層 2 3 を包含する部分に限定されているため、第一 p 型クラッド層 6 に亜鉛が拡散されず、亜鉛によるレーザ光の光吸収損失が抑制される。そのため、実施の形態 9 の半導体レーザ 1 0 0 は、実施の形態 7 の半導体レーザ 1 0 0 に比べ、高い光出力のレーザ光を出力できる。

## 【 0 0 9 0 】

実施の形態 9 の半導体レーザ 1 0 0 を製造する半導体レーザ製造方法を説明する。リッジ構造 1 6 を形成するリッジ構造形成工程、その後のアンドープ半導体層 2 3 を形成するアンドープ半導体層形成工程、半絶縁層 8 を形成する半絶縁層形成工程、ブロック層 9 を形成する工程は、実施の形態 7 の半導体レーザ製造方法と同じである。その後、図 3 0 に示すように絶縁膜 1 8 を除去した後に、亜鉛を半導体層に拡散させる亜鉛拡散工程を実行する。

10

## 【 0 0 9 1 】

図 3 8 に示すように、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 1 6 の z 方向の表面に、SiO<sub>2</sub> 等の拡散防止膜 2 4 を成膜し、拡散防止膜 2 4 に活性層 5 に接するアンドープ半導体層 2 3 を含む x 方向の幅を有する 2 つの開口 2 9 を形成する。開口 2 9 は、半導体フォトリソグラフィ工程を用いて加工する。図 3 8 に、埋込層 1 3 の n 型半導体基板 1 と反対側の表面におけるアンドープ半導体層 2 3 を包含する領域を露出させる開口 2 9 を有する拡散防止膜 2 4 が埋込層 1 3 に配置された実施の形態 9 の半導体レーザ 1 0 0 の中間製造体を示した。

20

## 【 0 0 9 2 】

次に、図 3 9 に示すように、拡散防止膜 2 4 と開口 2 9 により露出された埋込層 1 3 の表面に酸化亜鉛膜 2 6 を成膜する。

## 【 0 0 9 3 】

次に、図 3 9 に示した実施の形態 9 の半導体レーザ 1 0 0 の中間製造体を加熱処理する。開口 2 9 の領域で酸化亜鉛膜 2 6 に接する半導体層では、酸化亜鉛膜 2 6 中の亜鉛原子が半導体層に拡散される。リッジ構造 1 6 における z 方向正側の n 型半導体基板 1 から最も離れた遠方端から活性層 5 の特定位置までの両側面に接するアンドープ半導体層 2 3 に亜鉛原子が拡散し p 型化する。すなわち、活性層 5 の z 方向正側端から特定位置までのリッジ構造 1 6 の両側面に接するアンドープ半導体層 2 3 に亜鉛原子が拡散し p 型化する。設定する熱処理条件は、開口 2 9 の領域における半導体層が、z 方向負側に向かって活性層 5 の特定位置まで亜鉛原子が拡散し、かつ、第一 n 型クラッド層 2、回折格子層 3、第二 n 型クラッド層 4 に接するアンドープ半導体層 2 3 に亜鉛原子が拡散しない熱処理条件である。また、開口 2 9 の領域の半導体層すなわちリッジ構造 1 6 側のブロック層 9 及び半絶縁層 8 においても亜鉛原子が拡散し p 型化する。この亜鉛が拡散されたブロック層 9、半絶縁層 8 が半絶縁層 4 2、ブロック層 4 1 である。

30

## 【 0 0 9 4 】

亜鉛拡散工程の加熱処理において、拡散防止膜 2 4 が覆っている部分については、酸化亜鉛膜 2 6 からの亜鉛原子は拡散防止膜 2 4 を拡散できないため、拡散防止膜 2 4 直下の半導体層に亜鉛原子は拡散しない。図 4 0 に、亜鉛拡散工程の加熱処理が終了した実施の形態 9 の半導体レーザ 1 0 0 の中間製造体を示した。

40

## 【 0 0 9 5 】

亜鉛拡散工程の後に、酸化亜鉛膜 2 6、拡散防止膜 2 4 を除去し、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 1 6 の z 方向の表面に、第二 p 型クラッド層 1 0、コンタクト層 1 1 を形成する。具体的には、ブロック層 9 の表面及びリッジ構造 1 6 の表面に第二 p 型クラッド層 1 0 を形成し、第二 p 型クラッド層 1 0 の表面にコンタクト層 1 1 を形成する。この後、コンタクト層 1 1 に接するアノード電極 5 1 を形成し、n 型半導体基板 1 の裏面すなわち z 方向負側の面に接するカソード電極 5 2 を形成する。

## 【 0 0 9 6 】

50

なお、亜鉛拡散によって、活性層 5 に接するアンドープ半導体層 23 が p 型化し、かつ p 型化した p 型半導体層 40 の x 方向の半絶縁層 8 が p 型化しないように、図 38 の拡散防止膜 24 の開口 29 の幅は適宜調整される。

【0097】

実施の形態 9 の半導体レーザ 100 は、前述した違い以外は、実施の形態 7 の半導体レーザ 100 と同じなので、実施の形態 7 の半導体レーザ 100 と同様の効果を奏する。更に、前述したように、実施の形態 9 の半導体レーザ 100 は、第一 p 型クラッド層 6 に亜鉛が拡散されず、亜鉛によるレーザ光の光吸収損失が抑制されるので、実施の形態 7 の半導体レーザ 100 に比べ、高い光出力のレーザ光を出力できる。

【0098】

以上のように実施の形態 9 の半導体レーザ 100 は、n 型半導体基板 1 に形成されたリッジ構造 16、リッジ構造 16 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層 13 を備えた半導体レーザである。リッジ構造 16 は、n 型半導体基板 1 側から順次形成された n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を有している。埋込層 13 は、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 40 と、アンドープ半導体層 23 と、半絶縁層 8 とを有しており、p 型半導体層 40 は、リッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していない。アンドープ半導体層 23 はリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）の両側面に接しており、p 型半導体層 40 は亜鉛を含んでいる。実施の形態 9 の半導体レーザ 100 は、この構成により、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 40 がリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していないので、活性層 5 を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

【0099】

実施の形態 9 の半導体レーザ 100 を製造する半導体レーザ製造方法は、n 型半導体基板 1 に形成された活性層 5 を含むリッジ構造 16、リッジ構造 16 の延伸方向に垂直な方向において互いに対向する両側を覆うように埋め込まれた埋込層 13 を備えた半導体レーザ 100 を製造する半導体レーザ製造方法である。埋込層 13 は、アンドープ半導体層 23、p 型半導体層 40、半絶縁層 8 を有している。活性層の特定位置を、活性層 5 の n 型半導体基板 1 側である近方端の位置又は、活性層 5 の近方端よりも n 型半導体基板 1 側から遠方で活性層 5 の量子井戸構造 35 における n 型半導体基板 1 側である近方端に至らない位置とする。実施の形態 9 の半導体レーザ製造方法は、n 型半導体基板 1 に、n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を順次形成し、エッチングにより両側面が露出された、n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）、活性層 5、p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 6）を有するリッジ構造 16 を形成するリッジ構造形成工程を含んでいる。更に実施の形態 9 の半導体レーザ製造方法は、リッジ構造形成工程を実行した後に、リッジ構造 16 の両側面を覆うようにアンドープ半導体層 23 を形成するアンドープ半導体層形成工程と、アンドープ半導体層 23 の表面を覆うように、半絶縁層 8 を形成する半絶縁層形成工程と、アンドープ半導体層 23 における n 型半導体基板 1 と反対側である遠方端から活性層 5 の特定位置までの領域に亜鉛を拡散させる亜鉛拡散工程と、を含んでいる。実施の形態 9 の半導体レーザ 100 を製造する半導体レーザ製造方法は、リッジ構造 16 の p 型クラッド層（第一 p 型クラッド層 27）及び活性層 5 の両側面に接する p 型半導体層 40 がリッジ構造 16 の n 型クラッド層（第二 n 型クラッド層 4）に接していない半導体レーザ 100 を製造することができる。したがって実施の形態 9 の半導体レーザ製造方法により製造された半導体レーザ 100 は、活性層 5 を通過しない無効電流を防止でき、光出力特性、高速動作性能を向上できる。

【0100】

実施の形態 10 .

図 42 は、実施の形態 10 に係る半導体レーザの製造方法を示す図である。実施の形態

10

20

30

40

50

10の半導体レーザ100は、実施の形態9の半導体レーザ100と同じである。実施の形態10の半導体レーザ100を製造する半導体レーザ製造方法は、亜鉛拡散工程においてMOCVD法を用いた気相拡散により亜鉛を半導体層に拡散させる点で、実施の形態9の半導体レーザ製造方法と異なる。実施の形態9の半導体レーザ製造方法と異なる部分を主に説明する。

#### 【0101】

亜鉛を拡散させる際の実施の形態10の半導体レーザ100の中間製造体は、図38に示した実施の形態9の半導体レーザ100の中間製造体と同じである。亜鉛を拡散させる際に、埋込層13のn型半導体基板1と反対側の表面におけるアンドープ半導体層23を包含する領域を露出させる開口29を有する拡散防止膜24が、埋込層13に配置されている。この中間製造体を、MOCVD法で成膜する装置内に入れ、ジメチル亜鉛28を装置内に導入する。装置内の圧力、温度を予め定められた条件に設定することにより、ジメチル亜鉛28を分解させ、開口29から亜鉛を半導体層中に気相拡散させる、すなわち開口29の領域における半導体層中に亜鉛を拡散させる。予め定められた圧力、温度の条件すなわち亜鉛拡散条件は、開口29の領域におけるリッジ構造16に接する半導体層が、z方向負側に向かって活性層5の特定位置まで亜鉛が拡散し、かつ、第一n型クラッド層2、回折格子層3、第二n型クラッド層4に接するアンドープ半導体層23に亜鉛が拡散しない条件である。

10

#### 【0102】

亜鉛拡散工程の後の工程は、実施の形態9の半導体レーザ製造方法と同じである。実施の形態10の半導体レーザ100は、実施の形態9の半導体レーザ100と同じなので、実施の形態9の半導体レーザ100と同じ効果を奏する。

20

#### 【0103】

なお、実施の形態1～10の半導体レーザ100としてDFB-LDの例を説明したが、実施の形態1及び3で説明したように、半導体レーザ100がDFB-LDでない場合は、回折格子層3は形成されていない。

#### 【0104】

なお、本願は、様々な例示的な実施の形態及び実施例が記載されているが、1つ、または複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。従って、例示されていない無数の変形例が、本願明細書に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも1つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも1つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

30

#### 【符号の説明】

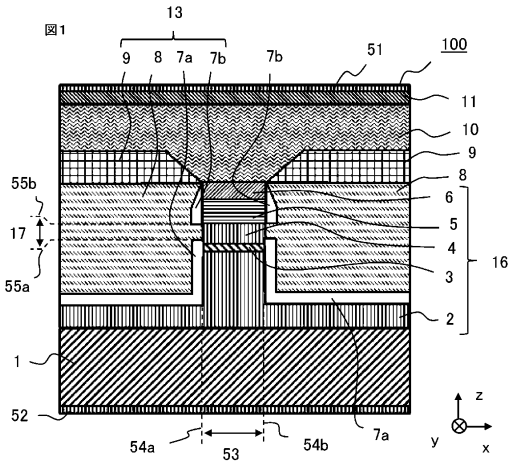
#### 【0105】

1...n型半導体基板、2...第一n型クラッド層、3...回折格子層、4...第二n型クラッド層、5...活性層、6...第一p型クラッド層、7、7a、7b...p型半導体層、8...半絶縁層、13...埋込層、16...リッジ構造、17...分離部、20...第三n型クラッド層、21、21a...延伸部土台層、22...半絶縁層、23...アンドープ半導体層、24...拡散防止膜、25...開口、26...酸化亜鉛膜、29...開口、35...量子井戸構造、39...リッジ中間層、40...p型半導体層、63...リッジ本体部、64...リッジ延伸部、66...活性層延伸部、72...価電子帯エネルギー、74...価電子帯エネルギー、100...半導体レーザ

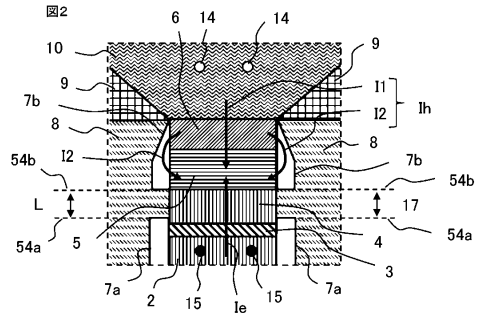
40

【図面】

【図 1】

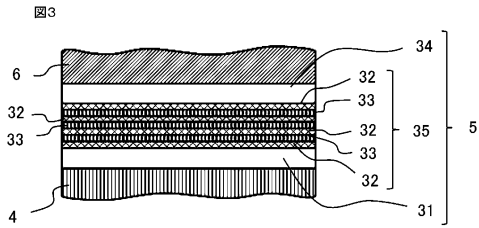


【図 2】

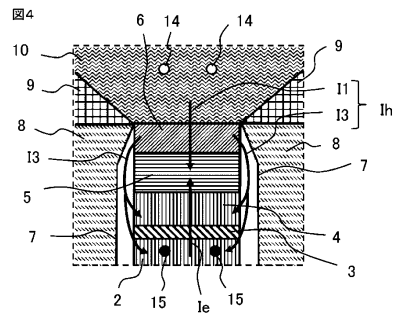


10

【図 3】



【図 4】



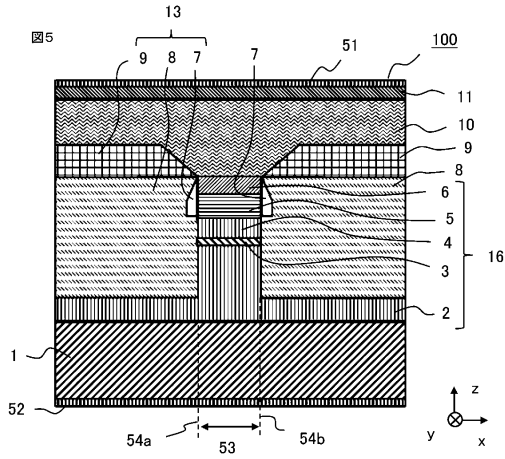
20

30

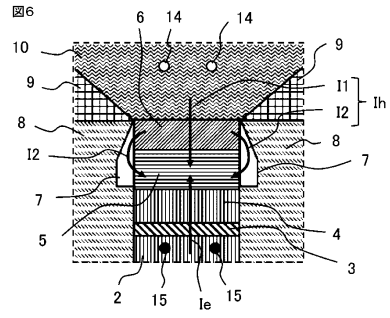
40

50

【図5】

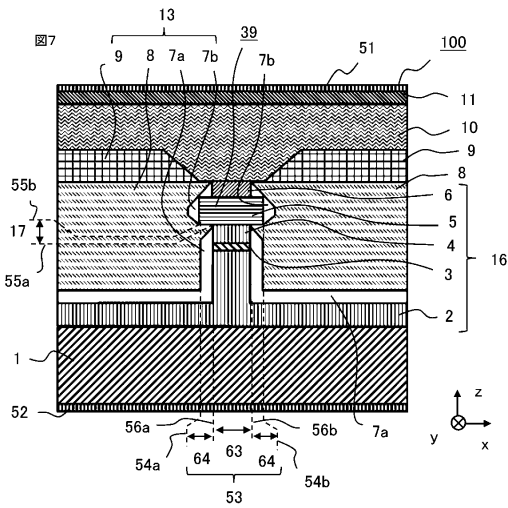


【図6】

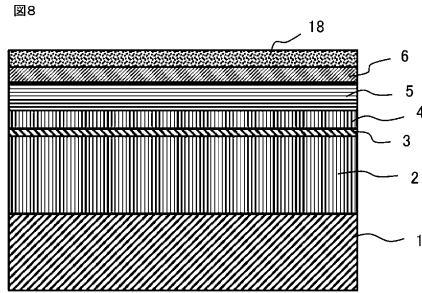


10

【図7】



【図8】



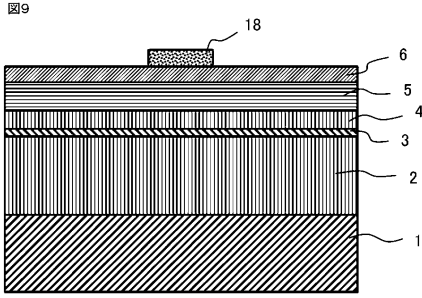
20

30

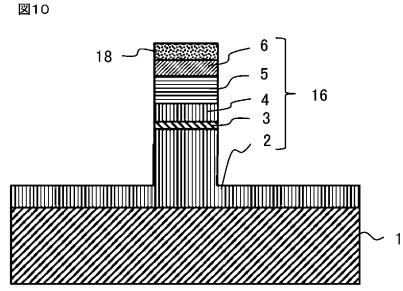
40

50

【図9】

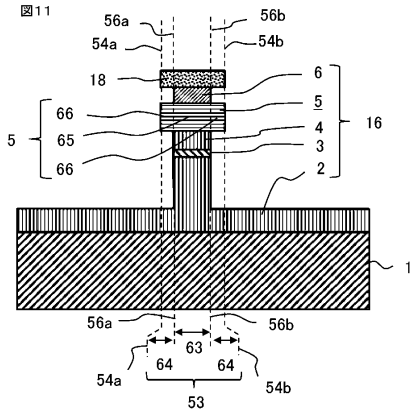


【図10】

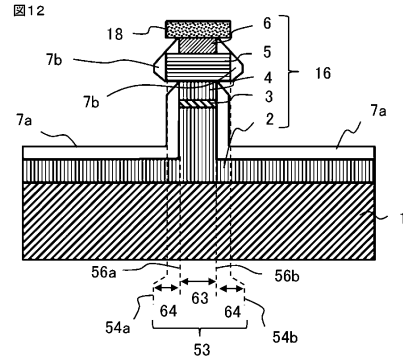


10

【図11】

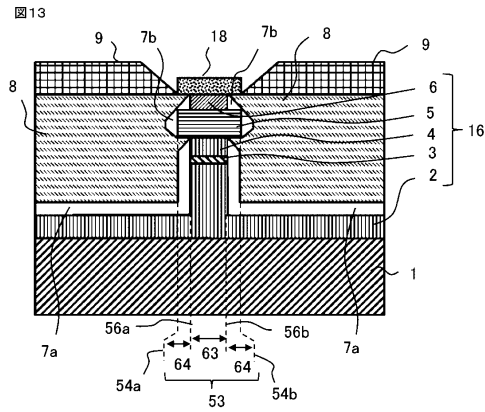


【図12】

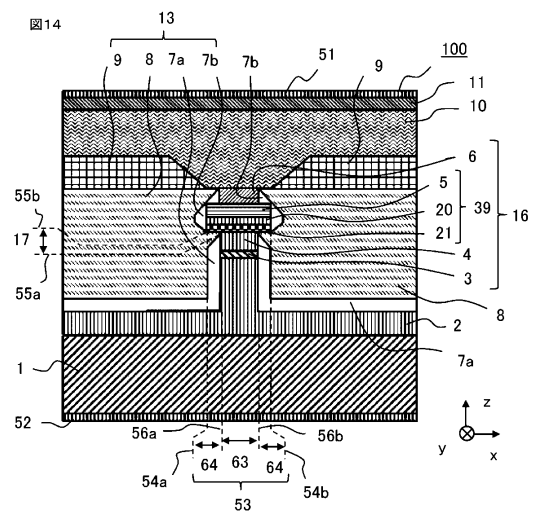


20

【図13】



【図14】

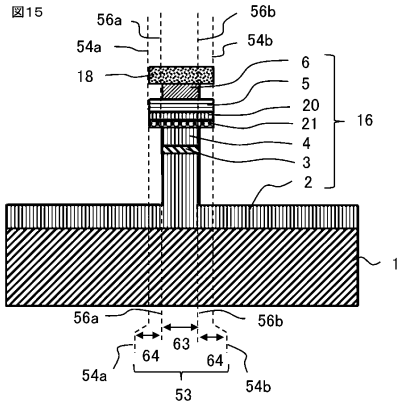


30

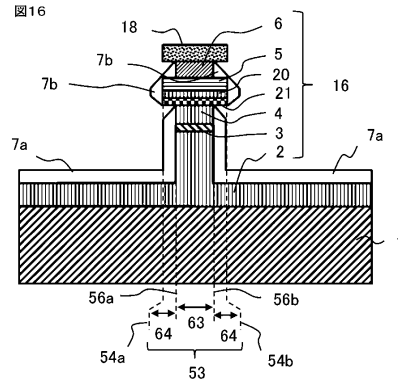
40

50

【 図 1 5 】

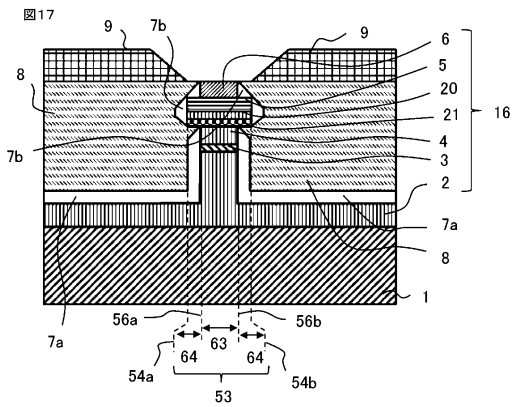


【 図 1 6 】

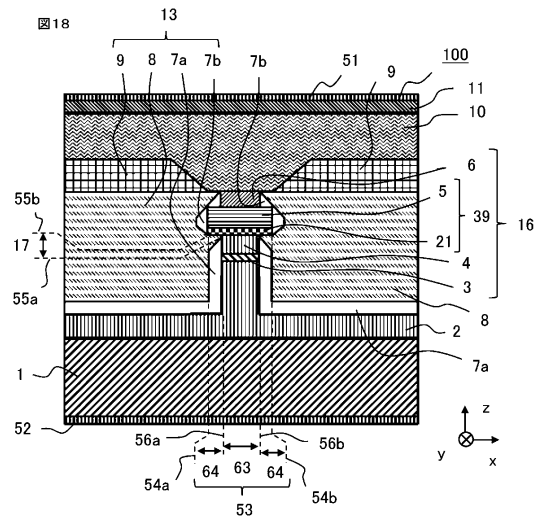


10

【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



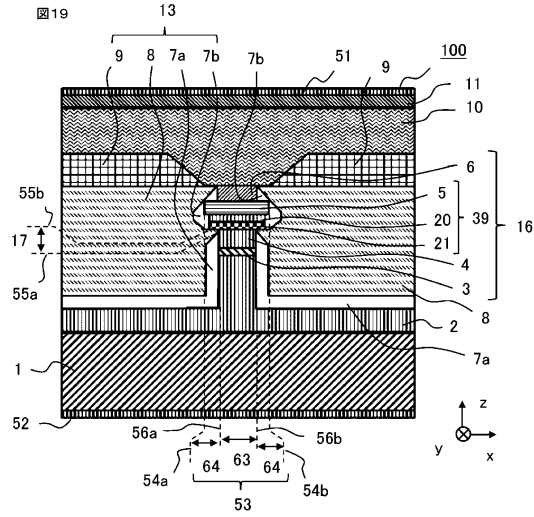
20

30

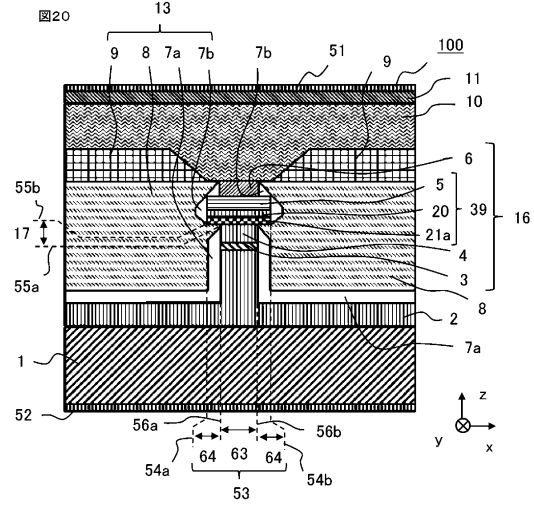
40

50

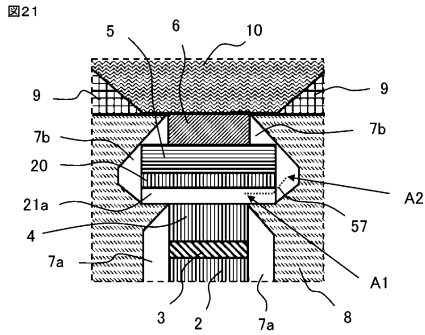
【図19】



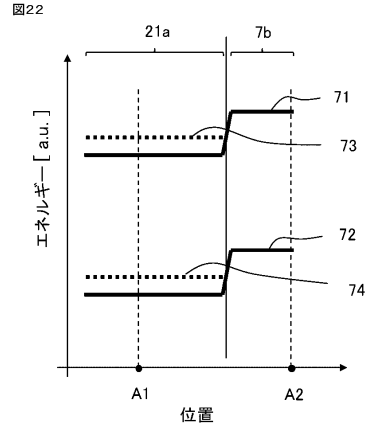
【図20】



【図21】



【図22】



10

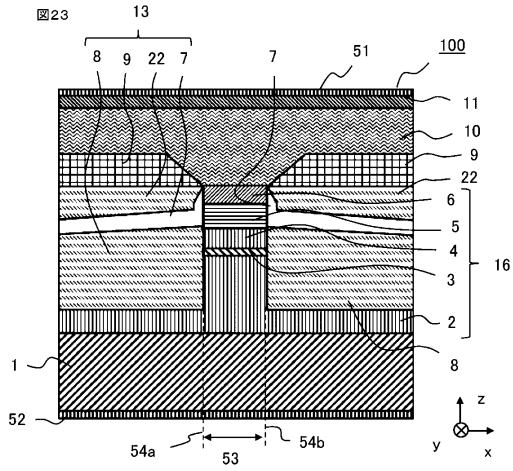
20

30

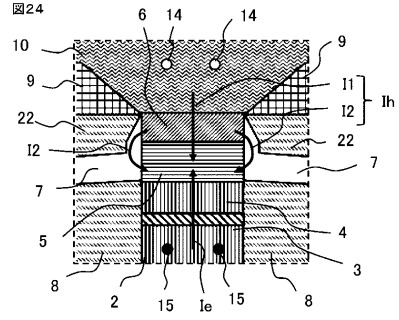
40

50

【図 2 3】

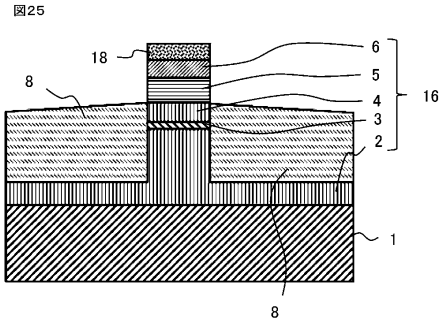


【図 2 4】

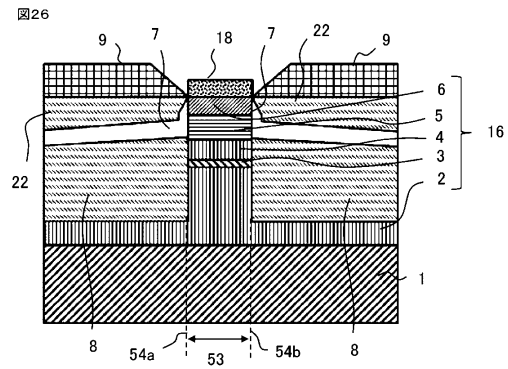


10

【図 2 5】



【図 2 6】



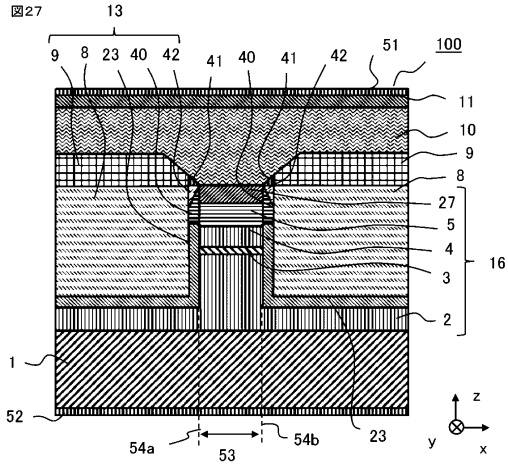
20

30

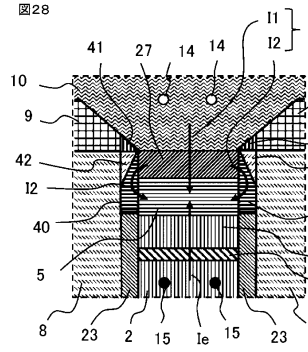
40

50

【 図 2 7 】

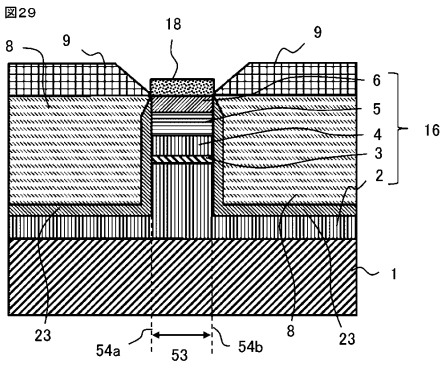


【 図 2 8 】

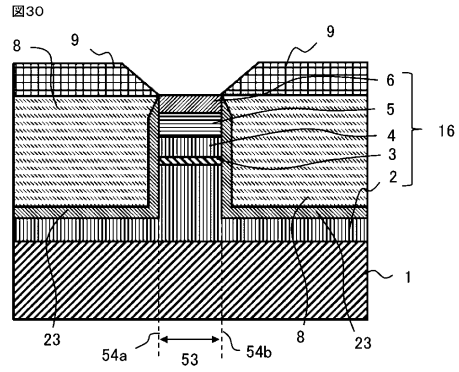


10

【 図 2 9 】

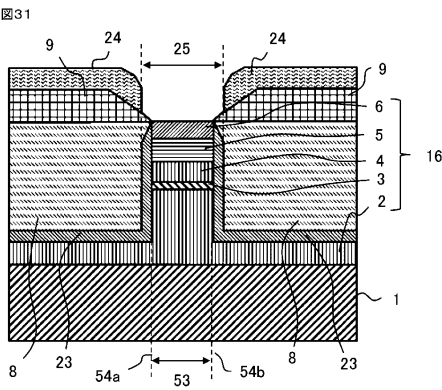


【 図 3 0 】

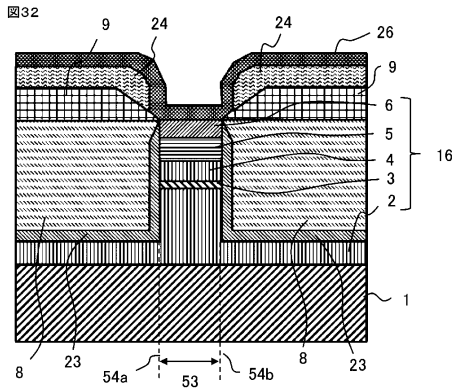


20

【 図 3 1 】



【 図 3 2 】



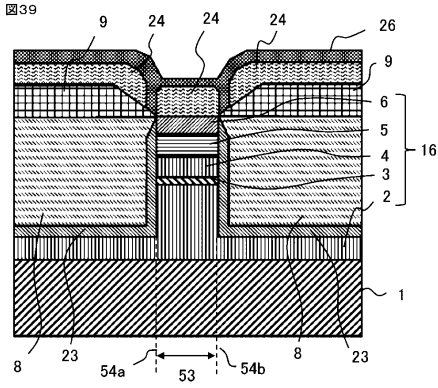
30

40

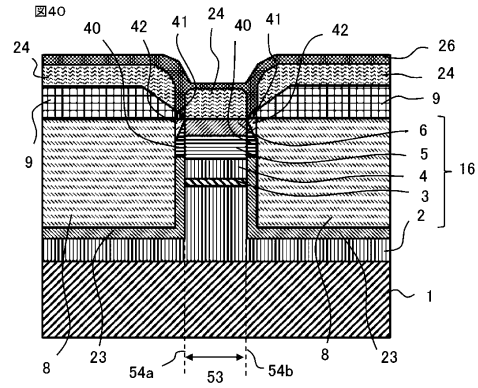
50



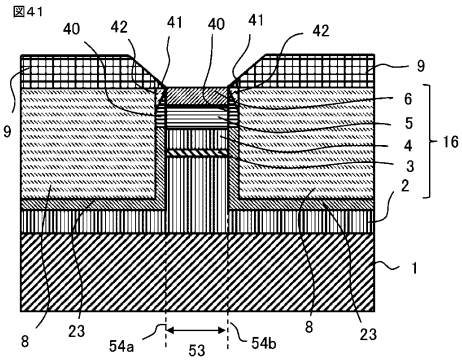
【図39】



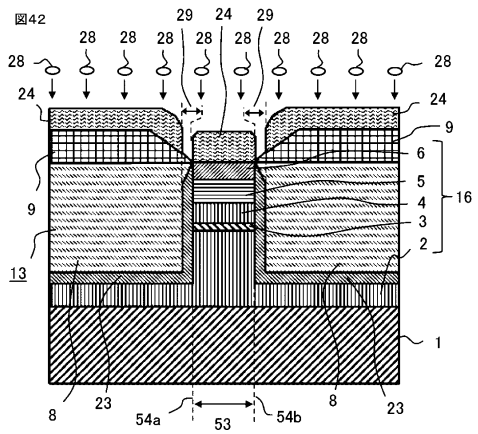
【図40】



【図41】



【図42】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 平 聡

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 右田 昌士

- (56)参考文献
- 特開2016-031970(JP,A)
  - 特開平07-111361(JP,A)
  - 特開平01-309393(JP,A)
  - 特開2011-249767(JP,A)
  - 特開昭62-002584(JP,A)
  - 特開平03-133189(JP,A)
  - 特開2000-174390(JP,A)
  - 特開2016-184611(JP,A)
  - 特開2009-266891(JP,A)
  - 特開2000-349399(JP,A)
  - 特開2018-101752(JP,A)
  - 特開2021-028971(JP,A)
  - 特開2014-045083(JP,A)
  - 国際公開第2007/072807(WO,A1)
  - 国際公開第2020/240644(WO,A1)
  - 中国特許出願公開第111048993(CN,A)
  - 中国特許出願公開第105305230(CN,A)
  - 米国特許出願公開第2004/0013143(US,A1)
  - 特開2009-283822(JP,A)
  - 特開2017-130657(JP,A)
  - 特開2002-314196(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- H01S 5/00 - 5/50