

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7229377号  
(P7229377)

(45)発行日 令和5年2月27日(2023.2.27)

(24)登録日 令和5年2月16日(2023.2.16)

(51)国際特許分類

F I

H O 1 S 5/026(2006.01) H O 1 S 5/026 6 1 2

H O 1 L 31/10 (2006.01) H O 1 L 31/10 A

請求項の数 13 (全24頁)

|             |                             |          |                   |
|-------------|-----------------------------|----------|-------------------|
| (21)出願番号    | 特願2021-546073(P2021-546073) | (73)特許権者 | 000006013         |
| (86)(22)出願日 | 令和1年9月17日(2019.9.17)        |          | 三菱電機株式会社          |
| (86)国際出願番号  | PCT/JP2019/036336           |          | 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 |
| (87)国際公開番号  | WO2021/053711               | (74)代理人  | 110002941         |
| (87)国際公開日   | 令和3年3月25日(2021.3.25)        |          | 弁理士法人ばるも特許事務所     |
| 審査請求日       | 令和4年1月11日(2022.1.11)        | (72)発明者  | 丹羽 顕嗣             |
|             |                             |          | 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  | 阿部 憲一             |
|             |                             |          | 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      | 大西 孝宣             |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体レーザ装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光を出射するレーザ部、前記レーザ部から出射されるレーザ光を伝搬する導波路、前記レーザ部から出射された前記レーザ光を検出する光検出器が同一の半導体基板に形成された半導体レーザ装置であって、  
前記光検出器は、アノード電極、カソード電極、前記導波路における前記半導体基板と反対側の上方に形成されると共に前記アノード電極に接続されたp型のコンタクト層、前記カソード電極に接続されたn型のコンタクト層、前記p型のコンタクト層及び前記n型のコンタクト層の間に形成されたアンドープ層を備え、  
前記光検出器における前記アンドープ層及び前記n型のコンタクト層は、前記導波路の前記上方で前記導波路を包含するように配置された主受光部と、前記主受光部に接続されると共に前記導波路を包含しないように配置された拡大部と、を備えており、  
前記主受光部と前記拡大部とは前記n型のコンタクト層により接続されている、半導体レーザ装置。

【請求項2】

前記半導体基板に前記レーザ光のビームスポット径を変換するスポットサイズ変換器部が形成されており、  
前記導波路は前記スポットサイズ変換器部の導波路である、請求項1記載の半導体レーザ装置。

【請求項3】

前記スポットサイズ変換器部は、入射する前記レーザ光の伝搬方向に垂直で前記半導体基板の延伸している方向であるx方向の幅が前記伝搬方向に向かって細くなっているテーパ部と、前記テーパ部の前記伝搬方向の下流側に接続された出力導波路部と、を備え、前記導波路は、前記スポットサイズ変換器部の出力導波路部である、請求項2記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】

前記拡大部は、前記導波路から前記レーザ光の伝搬方向に垂直で前記半導体基板の延伸している方向であるx方向の正側と、前記導波路から前記x方向の負側と、に配置されている、請求項1から3のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項5】

前記主受光部は、前記レーザ光の伝搬方向であるz方向に垂直で前記半導体基板の延伸している方向であるx方向の長さが、前記導波路を包含している部分における前記z方向の長さよりも長い、請求項1から4のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項6】

前記拡大部の前記n型のコンタクト層は、凹凸の外縁形状を有している、請求項1から5のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項7】

前記光検出器は、前記アンドープ層と前記n型のコンタクト層との間に、n型の不純物の濃度が前記n型のコンタクト層よりも低い電界緩和層が介在している、請求項1から6のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項8】

前記光検出器は、前記p型のコンタクト層と前記アンドープ層との間に、前記p型のコンタクト層のバンドギャップと前記アンドープ層のバンドギャップとの変化を緩やかに調整するバンドギャップ調整層が介在している、請求項1から7のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項9】

前記バンドギャップ調整層は、バンドギャップが前記p型のコンタクト層よりも広がっており、前記アンドープ層よりも狭くなっている、請求項8記載の半導体レーザ装置。

【請求項10】

前記バンドギャップ調整層は、バンドギャップが前記p型のコンタクト層から前記アンドープ層に向かって連続的に広がっているグレーデッド層である、請求項8記載の半導体レーザ装置。

【請求項11】

前記レーザ部と前記導波路との間に、前記レーザ光を変調する変調器部が形成されている、請求項1から10のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項12】

前記レーザ部に複数の半導体レーザが形成されており、前記レーザ部と前記導波路との間に、複数の前記半導体レーザから出射される前記レーザ光を合波して前記導波路に出力する光合波器部が形成されている、請求項1から10のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項13】

前記アンドープ層はInPの層であり、前記n型のコンタクト層はn型のInGaAsPの層である、請求項1から12のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、半導体レーザ装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、光通信装置の部品点数削減のため、モニタ機能を有するフォトダイオ

10

20

30

40

50

ード（モニタPD（Photo Diode）を集積した分布帰還型半導体レーザであるモニタ付分布帰還型半導体レーザが開示されている。特許文献1のモニタ付分布帰還型半導体レーザは、レーザ領域におけるpn接合のp型層とアノード電極とを接続するp型のコンタクト層が延伸されており、このp型のコンタクト層の上層にモニタ領域を形成して、レーザ領域とモニタ領域のそれぞれのpn接合を分離するようにしていた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開昭63-222485号公報（図4）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1のモニタ付分布帰還型半導体レーザは、レーザ領域のアノード電極に接続するp型のコンタクト層と、モニタPDのアノード電極に接続するp型のコンタクト層とを同一層にすることで、製造工程を少なくする方式が用いられている。ダイオード構造を有する半導体レーザは、アノード電極とp型のコンタクト層との間のコンタクト抵抗値は小さくすることが望ましい。そのため、p型のコンタクト層のドーピング濃度（不純物濃度）は通常 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高い濃度とすることにより、コンタクト抵抗を小さくしている。

【0005】

特許文献1のモニタ付分布帰還型半導体レーザでは、光検出器であるモニタPDのn型層とカソード電極との間にn型のコンタクト層はないが、モニタPDのn型層とカソード電極との間にn型のコンタクト層が介在している場合もある。モニタPDのn型層とカソード電極との間にn型のコンタクト層が介在している場合には、モニタPDのn型のコンタクト層及びp型のコンタクト層のドーピング濃度が高い場合、モニタPDに電圧が印加された際にモニタPDに発生する空乏層の厚さが薄くなり、n型のコンタクト層の外縁部分にバンド間トンネル効果による電流が集中する現象が発生する。これによって半導体レーザとモニタPDとが集積された半導体レーザ装置におけるモニタPDにおける過電流が流れて、モニタPDが破損しやすいという問題がある。このモニタPDに過電流は、外部からの静電気による静電放電（Electro Static Discharge：以下ESDと略す）の際にも発生するので、ESD耐性が弱くなる問題があった。

【0006】

本願明細書に開示される技術は、半導体レーザと光検出器とが集積された半導体レーザ装置における光検出器のESD耐圧を高くすることを目的にする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本願明細書に開示される一例の半導体レーザ装置は、レーザ光を出射するレーザ部、レーザ部から出射されるレーザ光を伝搬する導波路、レーザ部から出射されたレーザ光を検出する光検出器が同一の半導体基板に形成された半導体レーザ装置である。光検出器は、アノード電極、カソード電極、導波路における半導体基板と反対側の上方に形成されると共にアノード電極に接続されたp型のコンタクト層、カソード電極に接続されたn型のコンタクト層、p型のコンタクト層及びn型のコンタクト層の間に形成されたアンドープ層を備えている。光検出器におけるアンドープ層及びn型のコンタクト層は、導波路の上方で導波路を包含するように配置された主受光部と、主受光部に接続されると共に導波路を包含しないように配置された拡大部と、を備えている。

主受光部と拡大部とはn型のコンタクト層により接続されている。

【発明の効果】

【0008】

本願明細書に開示される一例の半導体レーザ装置は、光検出器が主受光部と主受光部に接続された拡大部とを備えているので、光検出器のESD耐圧を高くすることができる。

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

## 【0009】

【図1】実施の形態1に係る半導体レーザ装置の断面図である。

【図2】実施の形態1に係る半導体レーザ装置の表面図である。

【図3】実施の形態1に係る半導体レーザ装置のp型のコンタクト層を示す図である。

【図4】図2の半導体レーザ装置におけるレーザ部の断面図である。

【図5】図2の半導体レーザ装置における第一の変調器部の断面図である。

【図6】図2の半導体レーザ装置におけるスポットサイズ変換器部及び光検出器の断面図である。

【図7】図1の半導体レーザ装置におけるメサストライプを示す図である。

10

【図8】図2の光検出器におけるn型のコンタクト層の外縁長を説明する図である。

【図9】実施の形態1に係る他の半導体レーザ装置の表面図である。

【図10】図9の他の半導体レーザ装置におけるメサストライプを示す図である。

【図11】図9の他の半導体レーザ装置における出射導波路部及び光検出器の断面図である。

【図12】図2の半導体レーザ装置における第二の変調器部の断面図である。

【図13】実施の形態2に係る半導体レーザ装置の表面図である。

【図14】図13の半導体レーザ装置のp型のコンタクト層を示す図である。

【図15】実施の形態3に係る半導体レーザ装置の表面図である。

【図16】図15の半導体レーザ装置のp型のコンタクト層を示す図である。

20

【図17】実施の形態4に係る半導体レーザ装置の表面図である。

【図18】図17の半導体レーザ装置のp型のコンタクト層を示す図である。

【図19】実施の形態5に係る半導体レーザ装置の断面図である。

【図20】実施の形態5に係る半導体レーザ装置の表面図である。

【図21】図20の半導体レーザ装置におけるスポットサイズ変換器部及び光検出器の断面図である。

【図22】実施の形態5に係る光検出器の第一のバンドギャップ調整層のバンド図である。

【図23】実施の形態5に係る光検出器の第二のバンドギャップ調整層のバンド図である。

【図24】実施の形態6に係る半導体レーザ装置の表面図である。

【図25】図24の半導体レーザ装置のp型のコンタクト層を示す図である。

30

【図26】図24の半導体レーザ装置における第一のメサ構造体を示す図である。

【図27】図24の半導体レーザ装置におけるレーザ部の断面図である。

【図28】図24の半導体レーザ装置における光合波器部の断面図である。

【図29】図24の半導体レーザ装置における光合波器部の断面図である。

【図30】図24の半導体レーザ装置における出射導波路部及び光検出器の断面図である。

【図31】図24の半導体レーザ装置における出射導波路部及び光検出器の断面図である。

【図32】図24の半導体レーザ装置における第二のメサ構造体を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0010】

## 実施の形態1.

40

実施の形態1の半導体レーザ装置100について、図面を参照して説明する。同じ又は対応する構成要素には同じ符号を付し、説明の繰り返しを省略する場合がある。他の実施の形態においても、同じ又は対応する構成要素には同じ符号を付し、説明の繰り返しを省略する場合がある。図1は実施の形態1に係る半導体レーザ装置の断面図であり、図2は実施の形態1に係る半導体レーザ装置の表面図である。図3は実施の形態1に係る半導体レーザ装置のp型のコンタクト層を示す図であり、図4は図2の半導体レーザ装置におけるレーザ部の断面図である。図5は図2の半導体レーザ装置における第一の変調器部の断面図であり、図6は図2の半導体レーザ装置におけるスポットサイズ変換器部及び光検出器の断面図である。図7は図1の半導体レーザ装置におけるメサストライプを示す図であり、図8は図2の光検出器におけるn型のコンタクト層の外縁長を説明する図である。図

50

9は、実施の形態1に係る他の半導体レーザ装置の表面図である。図10は図9の他の半導体レーザ装置におけるメサストライプを示す図であり、図11は図9の他の半導体レーザ装置における出射導波路部及び光検出器の断面図である。図12は、図2の半導体レーザ装置における第二の変調器部の断面図である。図1の断面図は、図2又は図9におけるD-Dで示した破線に沿った断面図である。図4～図6の断面図は、それぞれ図2におけるA-A、B-B、C-Cで示した破線に沿った断面図である。図11の断面図は、図9におけるE-Eで示した破線に沿った断面図である。

#### 【0011】

実施の形態1の半導体レーザ装置100は、レーザ部20、分離部21、変調器部22、スポットサイズ変換器部23、光検出器24を備えている。レーザ部20は破線25aから破線25bまでの領域に形成されており、分離部21は破線25bから破線25cまでの領域に形成されている。変調器部22は破線25cから破線25dまでの領域に形成されており、スポットサイズ変換器部23は破線25dから破線25eまでの領域に形成されている。光検出器24の主受光部91及び拡大部92は、スポットサイズ変換器部23の表面側に形成されている。レーザ部20は、分布帰還型レーザが形成されている。変調器部22は、電界吸収型(Electro Absorption)の半導体変調器が形成されており、レーザ部20から出射されるレーザ光に電気入力信号を重畳するすなわち変調するためのものである。スポットサイズ変換器部23は、変調器部22の出射側に配置されており、変調器部22から出力されたレーザ光のビームスポット径を変換するスポットサイズ変換器が形成されている。分離部21は、レーザ部20のアノード電極7に接続されたp型のコンタクト層35aと変調器部22のアノード電極43に接続されたp型のコンタクト層35bとを分離している。レーザ部20とスポットサイズ変換器部23との間に、レーザ光を変調する変調器部22が形成されている。

#### 【0012】

光検出器24は、例えばPIN型のフォトダイオードである。半導体レーザ装置100は、分布帰還型レーザ、電界吸収型の半導体変調器、スポットサイズ変換器、光検出器が、半導体基板17にモノシリックに形成された光半導体集積装置である。図1、図2において、z方向はレーザ部20が出射するレーザ光の光軸の方向(伝搬方向)であり、x方向はz方向に垂直で半導体レーザ装置100が備える各層が延伸している方向であり、y方向はz方向及びx方向に垂直で半導体レーザ装置100が備える各層が積層されている方向である。

#### 【0013】

レーザ部20は、n型InP基板である半導体基板17、n型InPの第一クラッド層1、活性層2、回折格子3、p型InPの第二クラッド層4、p型InPの第五クラッド層38a、InPの埋込層19、p型InGaAsのコンタクト層35a、絶縁膜16、半導体基板17の裏面に形成されたカソード電極11、半導体基板17の裏面と反対側である表面側に形成されかつコンタクト層35aに接続されたアノード電極7を備えている。レーザ部20に、レーザ部20が出射するレーザ光の伝搬方向に延伸したメサであるメサストライプ18が形成されている。レーザ部20のメサストライプ18は、活性層2、回折格子3、第二クラッド層4から構成されている。メサストライプ18の側面は、活性層2よりもバンドギャップの大きい埋込層19により埋め込まれている。

#### 【0014】

コンタクト層35aの表面は絶縁膜16で被覆され、絶縁膜16に開けられた開口57aを介してアノード電極7がコンタクト層35aに接続されている。メサストライプ18は、レーザ部20、分離部21、変調器部22、スポットサイズ変換器部23に連続的に形成されている。メサストライプ18は連続的に形成されているが、レーザ部20、分離部21、変調器部22、スポットサイズ変換器部23におけるメサストライプ18は、それぞれレーザ部メサストライプ、分離部メサストライプ、変調器部メサストライプ、スポットサイズ変換器部メサストライプと区別して表記する場合もある。分離部21、変調器部22、スポットサイズ変換器部23のメサストライプ18は、レーザ部20から出射さ

れるレーザ光を伝搬する導波路である。

【0015】

変調器部22は、半導体基板17、n型InPの第一クラッド層1、吸収層32、p型InPの第三クラッド層33、p型InPの第五クラッド層38b、InPの埋込層19、p型InGaAsのコンタクト層35b、絶縁膜16、半導体基板17の裏面に形成されたカソード電極11、半導体基板17の表面側に形成されかつコンタクト層35bに接続されたアノード電極43を備えている。変調器部22のメサストライプ18は、吸収層32、第三クラッド層33から構成されている。メサストライプ18の側面は埋込層19により埋め込まれている。コンタクト層35bの表面は絶縁膜16で被覆され、絶縁膜16に開けられた開口57bを介してアノード電極43がコンタクト層35bに接続されている。変調器部22の吸収層32はレーザ部20の活性層2に接続されている。なお、図5では光検出器24のカソード電極95も記載されている。

10

【0016】

スポットサイズ変換器部23は、半導体基板17、n型InPの第一クラッド層1、導波層36、p型InPの第四クラッド層37、p型InPの第五クラッド層38c、InPの埋込層19、p型InGaAsのコンタクト層35c、絶縁膜16、半導体基板17の裏面に形成されたカソード電極11を備えている。スポットサイズ変換器部23のメサストライプ18は、導波層36、第四クラッド層37から構成されている。メサストライプ18の側面は埋込層19により埋め込まれている。スポットサイズ変換器部23の導波層36は、変調器部22の吸収層32に接続されている。スポットサイズ変換器部23のメサストライプ18は、図7に示すように、変調器部22のメサストライプ18における吸収層32から入射するレーザ光の伝搬方向に向かってx方向の幅が細くなっているテーパ形状のテーパ部27と、変調器部22のメサストライプ18のx方向の幅よりも狭い出力導波路部28とを備えている。テーパ部27は破線25dから破線26の間の領域に形成されており、出力導波路部28は破線26から破線25eの間の領域に形成されている。出力導波路部28は、テーパ部27におけるレーザ光の伝搬方向の下流側に接続されている。スポットサイズ変換器部23は、テーパ部27と出力導波路部28とを備えた導波路が形成されていると表現することもできる。

20

【0017】

図2、図7では、レーザ部20のメサストライプ18のx方向の幅、変調器部22のメサストライプ18のx方向の幅、分離部21のメサストライプ18のx方向の幅が等しい例を示した。レーザ部20で発光されたレーザ光はメサストライプ18の活性層2、吸収層32、導波層36を伝搬して半導体レーザ装置100から出射される。図7では、レーザ部20、分離部21、変調器部22、スポットサイズ変換器部23におけるメサストライプ18の最表面となる第二クラッド層4、第三クラッド層33、第四クラッド層37のy方向の表面を示した。

30

【0018】

スポットサイズ変換器部23の第五クラッド層38cの表面に形成されたコンタクト層35cは、光検出器24のアノード電極96に接続する層である。実施の形態1では、レーザ部20の第二クラッド層4、分離部21及び変調器部22の第三クラッド層33、スポットサイズ変換器部23の第四クラッド層37の表面に形成されるp型InPのクラッド層は製造工程を簡略化する観点で同一の積層工程で形成することが望ましい。このため、レーザ部20の第二クラッド層4、分離部21及び変調器部22の第三クラッド層33、スポットサイズ変換器部23の第四クラッド層37の表面に形成されるp型InPのクラッド層は、全体で第五クラッド層5とした。第五クラッド層5の表面に形成されるp型InGaAsのコンタクト層35a、35b、35cも製造工程を簡略化する観点で同一の積層工程で形成することが望ましい。このため、実施の形態1では、コンタクト層35a、35b、35cは、p型InGaAsのコンタクト層6がパターンニングされた例を示した。図3にコンタクト層35a、35b、35cの表面形状を示した。図2、図9では、複雑にならないように、コンタクト層35a、35b、35cの境界を破線で示し、絶

40

50

縁膜 16 は塗潰しパターンを省略した。

#### 【0019】

レーザ部 20 及び変調器部 22 では性能の観点から、アノード電極 7、43 と p 型 InGaAs のコンタクト層 35a、35b とのコンタクト抵抗を小さくすることが求められる。このため、p 型 InGaAs のコンタクト層 6 の不純物濃度は、 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の高い濃度とした。なお、レーザ部 20 の第二クラッド層 4、分離部 21 及び変調器部 22 の第三クラッド層 33、スポットサイズ変換器部 23 の第四クラッド層 37 の表面に形成されるそれぞれの p 型 InP の第五クラッド層 38a、38b、38c は、それぞれ別工程で形成してもよい。レーザ部 20 の第二クラッド層 4、分離部 21 及び変調器部 22 の第三クラッド層 33、スポットサイズ変換器部 23 の第四クラッド層 37 の表面に形成されるそれぞれの p 型 InP の第五クラッド層 38a、38b、38c を別工程で形成する場合は、レーザ部 20 及び変調器部 22 の光閉じ込め性能を高めながら、スポットサイズ変換器部 23 の光閉じ込め性能を弱くすることで、同一工程で形成する場合よりも光検出器 24 が検出する電流（モニタ電流）の値を高めることができる。また、コンタクト層 35a、35b、35c は、それぞれ別工程で形成してもよい。

#### 【0020】

光検出器 24 は、図 2 に示すように、スポットサイズ変換器部 23 のメサストライプ 18 における表面側すなわち上方にメサストライプ 18 を包含するように配置された主受光部 91 と、メサストライプ 18 における表面側でメサストライプ 18 を包含しないメサストライプ 18 の外側に配置された拡大部 92 とを備えている。光検出器 24 の断面構造は、コンタクト層 35c の表面に、アンドープ InP のアンドープ層 93、n 型 InGaAsP のコンタクト層 94 が順に積層される形で形成されている。n 型 InGaAsP のコンタクト層 94 の表面には光検出器 24 のカソード電極 95 が接続されている。また、カソード電極 95 の外側には、アノード電極 96 が絶縁膜 16 の開口 57c を介してコンタクト層 35c に接続されている。

#### 【0021】

主受光部 91 は、メサストライプ 18 を包含する部分であり、拡大部 92 との境界はメサストライプ 18 から離れていればどこに設定してもよい。図 2 では、主受光部 91 を、アンドープ層 93 の z 方向の幅がメサストライプ 18 の直上部すなわちメサストライプ 18 を包含する部分におけるアンドープ層 93 の z 方向の幅（基準幅）の  $1/2$  よりも小さくなっておらず、光検出器 24 の p 型のコンタクト層 35c におけるメサストライプ 18 を横切る部分のレーザ部 20 側の境界よりも z 方向の正側に位置し、アンドープ層 93 の延伸方向に垂直な幅（x 方向の幅）が急減しない部分として示した。

#### 【0022】

図 2 では、スポットサイズ変換器部 23 のメサストライプ 18 におけるテーパ部 27 と出力導波路部 28 との境界（破線 26 の部分）よりもレーザ光の伝搬方向の下流側、すなわち z 方向の正側に主受光部 91 が配置された例を示した。また、図 2 では、拡大部 92 は、主受光部 91 に接続された部分からレーザ光の伝搬方向の上流側すなわち z 方向の負側に延伸して配置された例を示した。

#### 【0023】

次に、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 の動作を説明する。レーザ部 20 から出射されるレーザ光は、変調器部 22 で電気入力信号が重畳されてすなわち変調されて信号光となる。信号光は、発光及び非発光すなわちオン状態及びオフ状態を含んでいる。その後、信号光は、変調器部 22 からスポットサイズ変換器部 23 を介して半導体レーザ装置 100 の外部に出射される。このとき、信号光の一部は、スポットサイズ変換器部 23 のメサストライプ 18 の上方へ漏出、または及び半導体レーザ装置 100 の出射端面（破線 25e で示した端面）での反射により、スポットサイズ変換器部 23 の上方に配置された光検出器 24 の主受光部 91 に入射する。光検出器 24 には、アノード電極 96 とカソード電極 95 との間に逆バイアスが印加されている。光検出器 24 は、p 型 InGaAs のコンタクト層 35c から入射されたレーザ光をアンドープ InP のアンドープ層 93 にて

光電変換し、光電変換された電流をレーザ部 20 から出射されたレーザ光の出射光強度に比例するモニタ電流として外部回路に出力する。

【0024】

また、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 は、光検出器 24 の p 型のコンタクト層 35c の不純物濃度が、 $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  と高いため、光検出器 24 に高電圧が印加された場合に発生する空乏層の厚さが薄くなり、前述したように n 型のコンタクト層 94 の外縁部分に電流集中が発生する。しかし、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 は、光検出器 24 が主受光部 91 のみの構成になっている特許文献 1 のモニタ付分布帰還型半導体レーザと異なり、主受光部 91 と共に拡大部 92 を備えているので、光検出器 24 の n 型のコンタクト層 94 における外縁の長さすなわち外縁長が主受光部のみの光検出器に場合と比べて長くなっている。このため、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 は、光検出器 24 の n 型のコンタクト層 94 における外縁部分での単位長さあたりの電流量が外縁長に反比例して小さくなるため、光検出器 24 の高電圧印加に対する耐性すなわち ESD 耐圧を向上させることができる。

【0025】

実施の形態 1 の光検出器 24 における n 型のコンタクト層 94 の外縁長と主受光部 91 のみの光検出器（比較例）における n 型のコンタクト層 94 の外縁長を、図 8 を用いて説明する。比較例の光検出器における n 型のコンタクト層 94 は、実線で示した領域のコンタクト層 98a である。実施の形態 1 の光検出器 24 における n 型のコンタクト層 94 は、実線で示した領域のコンタクト層 98a と破線で示した領域のコンタクト層 98b とを合わせた領域である。破線で示した領域のコンタクト層 98b は、比較例の光検出器の主受光部 91 におけるコンタクト層 98a よりも拡大された領域になるので、コンタクト層 98b は拡大部 92 のコンタクト層と考えることができる。実施の形態 1 の光検出器 24 は、比較例の光検出器に比べて、点 97a から点 97b のコンタクト層 98b の破線部分の長さから、点 97a から点 97b の実線部分のコンタクト層 98a の長さを引いた長さだけ長くなっている。

【0026】

なお、主受光部 91 のみの比較例の光検出器は、図 2 の主受光部 91 の領域を示す範囲内のコンタクト層 94 の形状と同じであるとは通常考えられないので、図 8 では、主受光部 91 のコンタクト層 94 を実線で記載し、拡大部 92 のコンタクト層 94 を破線で記載した。点 97a から点 97b の実線で示した部分は、主受光部 91 のコンタクト層 94 と拡大部 92 のコンタクト層 94 との境界部分になっている。境界部分の長さを用いれば、次のように表現できる。実施の形態 1 の光検出器 24 は、主受光部 91 のみの光検出器に比べて、拡大部 92 におけるコンタクト層 94 の外縁長から、主受光部 91 と拡大部 92 との境界部の長さを引いた長さだけ長くなっている。実施の形態 1 の光検出器 24 は、拡大部 92 におけるコンタクト層 94 の外縁長を長くすることで、主受光部 91 及び拡大部 92 全体の外縁長を長くすることができる。

【0027】

実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 は、導波層 36 がレーザ光の伝搬方向（z 方向）に対してテーパ状に狭くなるテーパ部 27 を有するスポットサイズ変換器部 23 を備えることで、レーザ部 20 のレーザ光における近視野像（NFP）のスポットサイズが広くでき、かつ遠視野像（FFP）のビーム広がり角を狭くできる。これにより、スポットサイズ変換器部 23 を備えた実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 を用いた光モジュール製品、或いは、光トランシーバ製品において、低倍率のレンズを使用できる。

【0028】

半導体レーザ装置 100 の製造方法を説明する。半導体基板 17 の表面に第一クラッド層 1 を MOCVD（Metal organic chemical vapor deposition）法で結晶成長する。第一クラッド層 1 の表面のレーザ部 20、分離部 21 及び変調器部 22、スポットサイズ変換器部 23 の領域毎に、MOCVD 法による結晶成長及び  $\text{SiO}_2$  のマスクを用いたドライエッチングで活性層 2、吸収層 32、導波層 3



6を形成する。レーザ部20の活性層2の表面に、MOCVD法による結晶成長及びSiO<sub>2</sub>のマスクを用いたドライエッチングで回折格子3を形成する。回折格子3、吸収層32、導波層36の表面毎に、MOCVD法による結晶成長及びSiO<sub>2</sub>のマスクを用いたドライエッチングで第二クラッド層4、第三クラッド層33、第四クラッド層37を形成する。第二クラッド層4、第三クラッド層33、第四クラッド層37の表面にメサストライプ18の表面形状と同じ形状のSiO<sub>2</sub>のマスクを形成し、このSiO<sub>2</sub>のマスクを用いてメサストライプ18をドライエッチングで形成する。その後、メサストライプ18の両側の露出した第一クラッド層1に埋込層19を結晶成長する。

#### 【0029】

SiO<sub>2</sub>のマスクを除去し、埋込層19及びメサストライプ18の表面に第五クラッド層5、コンタクト層6を順次結晶成長し、フォトレジストのマスクを用いたウェットエッチングにて、コンタクト層6のパターニングを行う。フォトレジストのマスクの除去後、MOCVD法による結晶成長及びSiO<sub>2</sub>のマスクを用いたドライエッチングで光検出器24のアンドープ層93をコンタクト層6の表面に形成する。SiO<sub>2</sub>のマスクを除去し、コンタクト層6、露出した第五クラッド層5、アンドープ層93の表面に絶縁膜16を形成する。フォトレジストのマスクを用いたドライエッチングでアンドープ層93の表面の絶縁膜16を除去し、MOCVD法による結晶成長及びSiO<sub>2</sub>のマスクを用いたドライエッチングで露出したアンドープ層93の表面にコンタクト層94を形成する。コンタクト層94の表面のSiO<sub>2</sub>のマスクを除去し、フォトレジストのマスクを用いたウェットエッチングにて、アノード電極7、アノード電極43、アノード電極96とコンタクト層6とを接続する絶縁膜16の開口57a、57b、57cを形成する。フォトレジストのマスクを除去し、半導体レーザ装置100の表面及び裏面に金属層を成膜し、カソード電極11、アノード電極7、アノード電極43、カソード電極95、アノード電極96を形成する。

#### 【0030】

なお、図2では回折格子3は下層の活性層2が露出するように形成されている例を示したが、回折格子3は下層の活性層2が露出しないようにy方向に凹部が形成されていてもよい。また、第五クラッド層5を、レーザ部20、分離部21及び変調器部22、スポットサイズ変換器部23の領域に共通で形成する例を説明したが、第五クラッド層38a、38b、38cを別工程で個別に形成してもよい。コンタクト層6を、レーザ部20、分離部21及び変調器部22、スポットサイズ変換器部23の領域共通で形成する例を説明したが、コンタクト層35a、35b、35cを別工程で個別に形成してもよい。

#### 【0031】

今まで、変調器部22のレーザ光の伝搬方向下流側に、テーパ部27及び出力導波路部28が配置された例を説明したが、図10のように、変調器部22のレーザ光の伝搬方向下流側に、テーパ部27がなく、出力導波路部28のみを有する出射導波路部31が配置されていてもよい。図11の出射導波路部31及び光検出器24のz方向に垂直な断面ではメサストライプ18のx方向の幅が、図6のメサストライプ18のx方向の幅よりも広がっている。図9～図11に示した実施の形態1の他の半導体レーザ装置100は、レーザ部20、分離部21、変調器部22、出射導波路部31を備えている例である。この場合にも、実施の形態1の他の半導体レーザ装置100は、光検出器24が主受光部91のみの特許文献1のモニタ付分布帰還型半導体レーザと異なり、主受光部91と共に拡大部92を備えているので、光検出器24のn型のコンタクト層94における外縁の長さすなわち外縁長が主受光部のみの光検出器の場合と比べて長くなっている。このため、実施の形態1の他の半導体レーザ装置100は、光検出器24のn型のコンタクト層94における外縁部分での単位長さあたりの電流量が外縁長に反比例して小さくなるため、光検出器24の高電圧印加に対する耐性を高めることができる。実施の形態1の他の半導体レーザ装置100は、光検出器24が高電圧印加に対する耐性が高いので、光検出器24のESD耐圧を向上させることができる。

#### 【0032】

なお、変調器部 2 2 の断面構造は、図 5 に示した断面構造に限らず、図 1 2 に示した断面構造でも構わない。図 1 2 に示した変調器部 2 2 の断面構造は、変調器部 2 2 において第五クラッド層 3 8 b がメサストライプ 1 8 の表面にメサ状に形成され、埋込層 1 9 が第五クラッド層 3 8 b の側面を埋めており、コンタクト層 3 5 b が第五クラッド層 3 8 b 及び埋込層 1 9 の表面に形成されている点で、図 5 に示した変調器部 2 2 の断面構造と異なる。次に、図 1 2 に示した第二の変調器部 2 2 の製造方法において、図 5 に示した第一の変調器部 2 2 と異なる部分を主に説明する。メサストライプ 1 8 の両側の露出した第一クラッド層 1 に埋込層 1 9 を結晶成長した後に、 $\text{SiO}_2$  のマスクを除去し、変調器部 2 2 における埋込層 1 9 及びメサストライプ 1 8 の表面に第五クラッド層 5 を結晶成長する。

【0033】

変調器部 2 2 の第五クラッド層 5 においてメサを形成するための  $\text{SiO}_2$  のマスクを形成し、 $\text{SiO}_2$  のマスクの開口が形成された部分の変調器部 2 2 における第五クラッド層 5 をドライエッチングで削除し、埋込層 1 9 を露出させる。その後、露出された埋込層 1 9 の表面に埋込層 1 9 を結晶成長する。 $\text{SiO}_2$  のマスクを除去し、レーザ部 2 0、分離部 2 1、変調器部 2 2、スポットサイズ変換器部 2 3 における第五クラッド層 5 及び埋込層 1 9 の表面にコンタクト層 6 を結晶形成する。コンタクト層 6 のパターニング以降は、前述した方法と同じである。

【0034】

以上のように、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 1 0 0 は、レーザ光を出射するレーザ部 2 0、レーザ部 2 0 から出射されるレーザ光を伝搬する導波路（出力導波路部 2 8）、レーザ部 2 0 から出射されたレーザ光を検出する光検出器 2 4 が同一の半導体基板 1 7 に形成された半導体レーザ装置である。光検出器 2 4 は、アノード電極 9 6、カソード電極 9 5、導波路（出力導波路部 2 8）における半導体基板 1 7 と反対側の上方に形成されると共にアノード電極 9 6 に接続された p 型のコンタクト層 3 5 c、カソード電極 9 5 に接続された n 型のコンタクト層 9 4、p 型のコンタクト層 3 5 c 及び n 型のコンタクト層 9 4 の間に形成されたアンドープ層 9 3 を備えている。光検出器 2 4 におけるアンドープ層 9 3 及び n 型のコンタクト層 9 4 は、導波路（出力導波路部 2 8）の上方で導波路（出力導波路部 2 8）を包含するように配置された主受光部 9 1 と、主受光部 9 1 に接続されると共に導波路（出力導波路部 2 8）を包含しないように配置された拡大部 9 2 と、を備えている。実施の形態 1 の半導体レーザ装置 1 0 0 は、この構成により、光検出器 2 4 が主受光部 9 1 と主受光部 9 1 に接続された拡大部 9 2 とを備えているので、光検出器 2 4 の ESD 耐圧を高くすることができる。

【0035】

なお、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 1 0 0 では、拡大部 9 2 がメサストライプ 1 8 の x 方向の正側に延伸して配置された光検出器 2 4 の例を示したが、光検出器 2 4 の表面形状は図 2 の例に限らず、他の表面形状でもよい。光検出器 2 4 の表面形状が異なる例を実施の形態 2 ～ 4 に示す。

【0036】

実施の形態 2 .

図 1 3 は実施の形態 2 に係る半導体レーザ装置の表面図であり、図 1 4 は図 1 3 の半導体レーザ装置の p 型のコンタクト層を示す図である。実施の形態 2 の半導体レーザ装置 1 0 0 は、2 つの拡大部 9 2 を備えており、光検出器 2 4 のアノード電極 9 6 が 2 つ備えている点で、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 1 0 0 と異なる。実施の形態 1 の半導体レーザ装置 1 0 0 と異なる部分を主に説明する。

【0037】

実施の形態 2 の光検出器 2 4 は、1 つの主受光部 9 1 と 2 つの拡大部 9 2 を備えている。一方の拡大部 9 2 はメサストライプ 1 8 の x 方向の正側に延伸して配置されており、他方の拡大部 9 2 はメサストライプ 1 8 の x 方向の負側に延伸して配置されている。アンドープ層 9 3、コンタクト層 9 4 は、メサストライプ 1 8 の x 方向の正側及び負側に延伸しており、表面形状が Y 字形になっている。実施の形態 2 の光検出器 2 4 は、2 つの拡大部

92を備えているので、実施の形態1の光検出器24よりも光検出器24のn型のコンタクト層94の外縁長を長くすることができる。

【0038】

実施の形態2の半導体レーザ装置100は、光検出器24のn型のコンタクト層94の外縁長が実施の形態1の半導体レーザ装置100よりも長いので、実施の形態1の半導体レーザ装置100よりも光検出器24のESD耐圧を高くすることができる。実施の形態2の半導体レーザ装置100は、上述した違い以外は同様の構造を備えているので、実施の形態1の半導体レーザ装置100と同様の効果を奏する。

【0039】

実施の形態3.

図15は実施の形態3に係る半導体レーザ装置の表面図であり、図16は図15の半導体レーザ装置のp型のコンタクト層を示す図である。実施の形態3の半導体レーザ装置100は、主受光部91がメサストライプ18のx方向の正側及び負側に延伸している点で、実施の形態1の半導体レーザ装置100と異なる。実施の形態1の半導体レーザ装置100と異なる部分を主に説明する。

【0040】

主受光部91は、前述したように、メサストライプ18を包含する部分であり、拡大部92との境界はメサストライプ18から離れていればどこに設定してもよい。図15では、主受光部91を、アンドープ層93のz方向の幅がメサストライプ18の直上部すなわちメサストライプ18を包含する部分におけるアンドープ層93のz方向の幅（基準幅）の1/2よりも小さくおらず、光検出器24のp型のコンタクト層35cにおけるメサストライプ18を横切る部分のレーザ部20側の境界よりもz方向の正側に位置し、アンドープ層93の延伸方向に垂直な幅（x方向の幅）が急減しない部分として示した。なお、図15に示すように、n型のコンタクト層94の先端形状に応じてアンドープ層93のz方向の幅が基準幅の1/2よりも小さくなった部分は主受光部91に含めている。また、主受光部91は、レーザ光の伝搬方向であるz方向に垂直で半導体基板17の延伸している方向であるx方向におけるアンドープ層93の長さL1が、導波路すなわちスポットサイズ変換部23の出力導波路部28（図7参照）を包含している部分におけるz方向のアンドープ層93の長さL2よりも長くなっている。

【0041】

実施の形態3の光検出器24は、主受光部91の領域が実施の形態1の光検出器24における主受光部91の領域よりも広いので、実施の形態1の光検出器24よりも光検出器24のn型のコンタクト層94の外縁長を長くすることができる。実施の形態3の半導体レーザ装置100は、光検出器24のn型のコンタクト層94の外縁長が実施の形態1の半導体レーザ装置100よりも長いので、実施の形態1の半導体レーザ装置100よりも光検出器24のESD耐圧を高くすることができる。実施の形態3の半導体レーザ装置100は、上述した違い以外は同様の構造を備えているので、実施の形態1の半導体レーザ装置100と同様の効果を奏する。

【0042】

実施の形態4.

図17は実施の形態4に係る半導体レーザ装置の表面図であり、図18は図17の半導体レーザ装置のp型のコンタクト層を示す図である。実施の形態4の半導体レーザ装置100は、2つの拡大部92を備えており、主受光部91がメサストライプ18のx方向の正側及び負側に延伸しており、n型のコンタクト層94が屈曲した外縁形状すなわち凹凸の外縁形状を有する点で、実施の形態1の半導体レーザ装置100と異なる。実施の形態1の半導体レーザ装置100と異なる部分を主に説明する。

【0043】

実施の形態4の光検出器24は、主受光部91及び拡大部92の各領域が実施の形態1の光検出器24における主受光部91及び拡大部92の対応する領域よりも広く、かつn型のコンタクト層94が屈曲した外縁形状すなわち凹凸の外縁形状を有しているので、実

10

20

30

40

50

施の形態 1 の光検出器 24 よりも光検出器 24 の n 型のコンタクト層 94 の外縁長を長くすることができる。実施の形態 4 の半導体レーザ装置 100 は、光検出器 24 の n 型のコンタクト層 94 の外縁長が実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 よりも長いので、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 よりも光検出器 24 の ESD 耐圧を高くすることができる。実施の形態 4 の半導体レーザ装置 100 は、上述した違い以外は同様の構造を備えているので、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 と同様の効果を奏する。

【0044】

実施の形態 5 .

図 19 は実施の形態 5 に係る半導体レーザ装置の断面図であり、図 20 は実施の形態 5 に係る半導体レーザ装置の表面図である。図 21 は、図 20 の半導体レーザ装置におけるスポットサイズ変換器部及び光検出器の断面図である。図 22 は実施の形態 5 に係る光検出器の第一のバンドギャップ調整層のバンド図であり、図 23 は実施の形態 5 に係る光検出器の第二のバンドギャップ調整層のバンド図である。図 19 の断面図は、図 20 における F-F で示した破線に沿った断面図である。図 21 の断面図は、図 20 における G-G で示した破線に沿った断面図である。

【0045】

実施の形態 5 の半導体レーザ装置 100 は、光検出器 24 の p 型のコンタクト層 35c と n 型のコンタクト層 94 との間の中間層 89 にバンドギャップ調整層 88 及び n 型の電界緩和層 87 が含まれている点で、実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 と異なる。光検出器 24 は、アンドープ層 93 と n 型のコンタクト層 94 との間に、n 型の不純物の濃度が n 型のコンタクト層 94 よりも低い電界緩和層 87 が介在しており、p 型のコンタクト層 35c とアンドープ層 93 との間に、p 型のコンタクト層 35c のバンドギャップとアンドープ層 93 のバンドギャップとの変化を緩やかに調整するバンドギャップ調整層 88 が介在している。図 22、図 23 において、バンドギャップ調整層 88 以外に p 型のコンタクト層 35c 及びアンドープ InP のアンドープ層 93 のバンドも記載している。実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 と異なる部分を主に説明する。

【0046】

光検出器 24 の p 型のコンタクト層 35c と n 型のコンタクト層 94 との間の中間層 89 は、p 型のコンタクト層 35c の表面に、複数の半導体層が積層されたバンドギャップ調整層 88、アンドープ InP のアンドープ層 93、n 型 InP の電界緩和層 87 が順次積層されている。p 型のコンタクト層 35c 及びアンドープ InP のアンドープ層 93 のバンドギャップは、それぞれ 0.75 eV 及び 1.35 eV である。バンドギャップ調整層 88 は、図 22 又は図 23 のように、p 型のコンタクト層 35c のバンドギャップとアンドープ InP のアンドープ層 93 のバンドギャップとの変化を緩やかに調整する層である。図 22 では、バンドギャップが p 型のコンタクト層 35c よりも広くなっており、アンドープ層 93 よりも狭くなっているバンドギャップ調整層 88 の例を示した。図 23 では、バンドギャップが p 型のコンタクト層 35c からアンドープ層 93 に向かって連続的に広くなっているバンドギャップ調整層 88 の例を示した。

【0047】

バンドギャップ調整層 88 は、p 型のコンタクト層 35c との伝導帯の障壁高さ  $\Delta E_{c1}$  及び価電子帯の障壁高さ  $\Delta E_{v1}$  が、それぞれ p 型のコンタクト層 35c とアンドープ InP のアンドープ層 93 との伝導帯の障壁高さ  $\Delta E_{c3}$  及び価電子帯の障壁高さ  $\Delta E_{v3}$  よりも小さくなる。同様に、バンドギャップ調整層 88 は、アンドープ InP のアンドープ層 93 との伝導帯の障壁高さ  $\Delta E_{c2}$  及び価電子帯の障壁高さ  $\Delta E_{v2}$  が、それぞれ p 型のコンタクト層 35c とアンドープ InP のアンドープ層 93 との伝導帯の障壁高さ  $\Delta E_{c3}$  及び価電子帯の障壁高さ  $\Delta E_{v3}$  よりも小さくなる。このため、実施の形態 5 の光検出器 24 は、バンドギャップ調整層 88 を介在させることで、p 型のコンタクト層 35c とアンドープ InP のアンドープ層 93 との間の抵抗をアンドープ層 93 のみの中間層を有する実施の形態 1 の光検出器 24 よりも小さくすることができる。

【0048】

n型の電界緩和層87は、光検出器24への電圧印加の際に空乏化し、中間層89に発生する電界を抑制させるためのもので、n型InGaAsPのコンタクト層94よりも低いn型不純物の濃度を添加したものである。例えば、n型InGaAsPのコンタクト層94及びn型InPの電界緩和層87におけるn型不純物は硫黄(S)である。通常、n型InGaAsPのコンタクト層94には $10^{18} \sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度のオーダーの不純物が添加されるので、n型InPの電界緩和層87への不純物の濃度は $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度の不純物添加を行うことが望ましい。なお、他の実施の形態におけるn型InGaAsPのコンタクト層94は、例えば硫黄である。

【0049】

実施の形態5の光検出器24は、バンドギャップ調整層88がp型のコンタクト層35cとアンドープInPのアンドープ層93との間に介在しているので、実施の形態1の光検出器24に比べて光検出器24の光電流(モニタ電流)の立ち上がる電圧が低下し、光検出器24の検出感度を向上させることができる。また、実施の形態5の光検出器24は、n型InPの電界緩和層87がアンドープInPのアンドープ層93とn型InGaAsPのコンタクト層94との間に介在しているので、実施の形態1の光検出器24に比べて中間層89に発生する電界が抑制され、高電圧印加の際の電流量が抑制でき、高電圧印加に対する耐性を高めることができる。実施の形態5の光検出器24は、実施の形態1の光検出器24に比べて高電圧印加に対する耐性が高いので、実施の形態1の光検出器24よりもESD耐圧を高くすることができる。

【0050】

実施の形態5の半導体レーザ装置100は、光検出器24のn型のコンタクト層94の外縁長が実施の形態1の半導体レーザ装置100と同様に、光検出器24が主受光部91のみの特許文献1のモニタ付分布帰還型半導体レーザよりも長いので、特許文献1のモニタ付分布帰還型半導体レーザよりも光検出器24のESD耐圧を高くすることができる。実施の形態5の半導体レーザ装置100は、上述した実施の形態1の半導体レーザ装置100との違い以外は同様の構造を備えているので、実施の形態1の半導体レーザ装置100と同様の効果を奏する。

【0051】

図23に示したバンド図の特性を有するバンドギャップ調整層88は、複数の半導体層の組成を連続的に変化させることで、p型のコンタクト層35cからアンドープInPのアンドープ層93に向かってバンドギャップが連続的に変化させることができる。図23に示したバンド図の特性を有するバンドギャップ調整層88は、バンドギャップが連続的に変化しているので、グレーデッド層86と表現することもできる。つまり、図23に示したバンド図の特性を有するバンドギャップ調整層88は、グレーデッド層86の例である。

【0052】

実施の形態6.

図24は、実施の形態6に係る半導体レーザ装置の表面図である。図25は図24の半導体レーザ装置のp型のコンタクト層を示す図であり、図26は図24の半導体レーザ装置における第一のメサ構造体を示す図である。図27は、図24の半導体レーザ装置におけるレーザ部の断面図である。図28、図29は、それぞれ図24の半導体レーザ装置における光合波器部の断面図である。図30、図31は、それぞれ図24の半導体レーザ装置における出射導波路部及び光検出器の断面図である。図32は、図24の半導体レーザ装置における第二のメサ構造体を示す図である。図27～図31の断面図は、それぞれ図24におけるH-H、I1-I1、I2-I2、J1-J1、J2-J2で示した破線に沿った断面図である。

【0053】

実施の形態6の半導体レーザ装置100は、レーザ部20に2つの分布帰還型レーザが形成されており、分離部21及び変調器部22の代わりに光合波器部29を備え、スポットサイズ変換器部23の代わりに出射導波路部31を備えている点で、実施の形態1の半

10

20

30

40

50

導体レーザ装置 100 と異なる。なお、適宜、分布帰還型レーザを単に半導体レーザと表記する。実施の形態 1 の半導体レーザ装置 100 と異なる部分を主に説明する。

#### 【0054】

レーザ部 20 は破線 56 a から破線 56 b までの領域に形成されており、光合波器部 29 は破線 56 b から破線 56 c までの領域に形成されており、出射導波路部 31 は破線 56 c から破線 56 d までの領域に形成されている。光検出器 24 の主受光部 91 は出射導波路部 31 の表面側に形成されており、光検出器 24 の拡大部 92 は出射導波路部 31 及び光合波器部 29 の表面側に形成されている。光検出器 24 のアノード電極 96 は、実施の形態 1 と異なり、出射導波路部 31 の光合波器部 29 の側における第三メサストライプ 47 の上方を包含するように x 方向に延伸してアノード電極 96 が配置されている。光合波器部 29 は、レーザ部 20 の各半導体レーザから出力されたレーザ光を合波する  $2 \times 1$  の多モード干渉導波路型光合波器 (Multi-Mode Interference) が形成されている。多モード干渉導波路型光合波器は、適宜 MMI と表記する。レーザ部 20 は、例えば異なる発振波長の分布帰還型レーザを 2 つ集積したものであり、2 つの分布帰還型レーザは溝 70 に形成された  $\text{SiO}_2$  の絶縁層 51 で隔てられている。実施の形態 6 の半導体レーザ装置 100 は、変調器部 22 が形成されていないので、レーザ部 20 の分布帰還型レーザはアノード電極 7 から注入される注入電流によって直接に変調される直接変調型の分布帰還型レーザである。

#### 【0055】

光合波器部 29 は、 $2 \times 1$  の MMI が形成されており、レーザ部 20 から出射される 2 つの変調されたレーザ光すなわち信号光を合波し、1 つの導波路から出力するためのものである。実施の形態 6 の半導体レーザ装置 100 は、レーザ部 20 にて発光されたレーザ光を伝搬するメサ構造体 44 を備えている。メサ構造体 44 は、2 つの例を図 26、図 32 に示した。図 26 に示した第一のメサ構造体 44 は、レーザ部 20 が第一導波路 61、第三導波路 63 を備え、光合波器部 29 が第二導波路 62、第四導波路 64、第五導波路 65 を備え、出射導波路部 31 が第六導波路 66 を備えている。レーザ部 20 の第一導波路 61、第三導波路 63 は、破線 56 a から破線 56 b までの領域である。光合波器部 29 の第二導波路 62、第四導波路 64 は、破線 56 b から破線 56 e までの領域であり、光合波器部 29 の第五導波路 65 は、破線 56 e から破線 56 c までの領域である。出射導波路部 31 の第六導波路 66 は、破線 56 c から破線 56 d までの領域である。第二導波路 62、第四導波路 64、第五導波路 65、第六導波路 66 は、レーザ部 20 から出射されるレーザ光を伝搬する導波路である。レーザ部 20 と出射導波路部 31 との間に、複数の半導体レーザから出射されるレーザ光を合波して第六導波路 66 に出力する光合波器部 29 が形成されている。

#### 【0056】

図 26 に示した第一のメサ構造体 44 は、第五導波路 65 が一定の x 方向の幅を有する直線部 48 と x 方向の幅が z 方向に徐々に狭くなるテーパ部 49 とを備えている。第一のメサ構造体 44 において、直線部 48 は破線 56 e から破線 56 f までの領域であり、テーパ部 49 は破線 56 f から破線 56 c まで領域である。図 32 に示した第二のメサ構造体 44 は、第五導波路 65 がテーパ部 49 のみを備えた例であり、その他は第一のメサ構造体 44 と同じである。第二のメサ構造体 44 において、テーパ部 49 は破線 56 e から破線 56 c までの領域である。メサ構造体 44 は、複数のメサストライプが結合したものである。ここでは、メサ構造体 44 が 3 つのメサストライプである、第一メサストライプ 45、第二メサストライプ 46、第三メサストライプ 47 を備えた例を示した。第一メサストライプ 45、第二メサストライプ 46 は、破線 56 a から破線 56 e までの領域である。第三メサストライプ 47 は破線 56 e から破線 56 d までの領域である。

#### 【0057】

レーザ部 20 の 2 つの半導体レーザすなわち第一半導体レーザ、第二半導体レーザは、それぞれ第一導波路 61、第三導波路 63 からレーザ光を出射する。第一導波路 61、第三導波路 63 は、それぞれ光合波器部 29 の第二導波路 62、第四導波路 64 に接続され

ている。光合波器部 29 の第二導波路 62、第四導波路 64 は、第五導波路 65 に接続されている。光合波器部 29 の第五導波路 65 は、出射導波路部 31 の第六導波路 66 に接続されている。光合波器部 29 は、図 24、図 28、図 29 に示すように、第二導波路 62、第四導波路 64 の一部と第五導波路 65 が、溝 71 に形成された有機絶縁層 55 によって囲まれている。有機絶縁層 55 は、例えば、BCB (Benzocyclobutene) 338 である。なお、図 24 では、有機絶縁層 55 に埋もれているメサ構造体 44 が分かり易くするために、有機絶縁層 55 内のメサ構造体 44 を白抜きで示した。

【0058】

図 27 に示したレーザ部 20 の第一半導体レーザ、第二半導体レーザの各断面構造は、図 4 のレーザ部 20 の断面構造と同じである。図 30、図 31 に示した出射導波路部 31 及び光検出器 24 の断面構造は、図 6 のスポットサイズ変換器部 23 における出射導波路部 31 の断面構造と同じである。なお、図 31 では、光検出器 24 の表面形状に伴って、第三メサストライプ 47 の上方に配置された主受光部 91 と主受光部 91 に接続された拡大部 92 の断面構造を表示した。

【0059】

光合波器部 29 の断面構造を説明する。光合波器部 29 は、半導体基板 17、n 型 InP の第一クラッド層 1、導波層 52、p 型 InP の第六クラッド層 53、p 型 InP の第七クラッド層 54、InP の埋込層 19、p 型 InGaAs のコンタクト層 35c、絶縁膜 16、半導体基板 17 の裏面に形成されたカソード電極 11 を備えている。光合波器部 29 の第三メサストライプ 47 は、導波層 52、第六クラッド層 53 から構成されている。第一メサストライプ 45、第二メサストライプ 46、第三メサストライプ 47 の表面に第七クラッド層 54 がメサ状に形成されている。第三メサストライプ 47 及び第七クラッド層 54 の側面と第七クラッド層 54 の表面は埋込層 19 により埋め込まれている。光合波器部 29 の導波層 52 は、レーザ部 20 の活性層 2 及び出射導波路部 31 の導波層 36 に接続されている。なお、図 29 では光検出器 24 のカソード電極 95 も記載されている。

【0060】

実施の形態 6 の半導体レーザ装置 100 の製造方法を説明する。半導体基板 17 の表面に第一クラッド層 1 を MOCVD 法で結晶成長する。第一クラッド層 1 の表面のレーザ部 20、光合波器部 29、出射導波路部 31 の領域毎に、MOCVD 法による結晶成長及び SiO<sub>2</sub> のマスクを用いたドライエッチングで活性層 2、導波層 52、導波層 36 を形成する。レーザ部 20 の活性層 2 の表面に、MOCVD 法による結晶成長及び SiO<sub>2</sub> のマスクを用いたドライエッチングで回折格子 3 を形成する。回折格子 3、導波層 52、導波層 36 の表面毎に、MOCVD 法による結晶成長及び SiO<sub>2</sub> のマスクを用いたドライエッチングで第二クラッド層 4、第六クラッド層 53、第四クラッド層 37 を形成する。第二クラッド層 4、第六クラッド層 53、第四クラッド層 37 の表面にメサ構造体 44 の表面形状と同じ形状の SiO<sub>2</sub> のマスクを形成し、この SiO<sub>2</sub> のマスクを用いてメサ構造体 44 をドライエッチングで形成する。その後、メサ構造体 44 の両側の露出した第一クラッド層 1 に埋込層 19 を結晶成長する。

【0061】

SiO<sub>2</sub> のマスクを除去し、埋込層 19 及びメサ構造体 44 の表面に第七クラッド層 54 を結晶成長する。光合波器部 29 の第七クラッド層 54 においてメサを形成するための SiO<sub>2</sub> のマスクを形成し、SiO<sub>2</sub> のマスクの開口が形成された部分の光合波器部 29 における第七クラッド層 54 をドライエッチングで削除し、埋込層 19 を露出させる。その後、露出された埋込層 19 の表面に埋込層 19 を結晶成長する。第七クラッド層 54 のメサを形成するための SiO<sub>2</sub> のマスクを除去し、光合波器部 29 に SiO<sub>2</sub> のマスクを形成して、レーザ部 20、出射導波路部 31 における埋込層 19 及びメサ構造体 44 の表面に第五クラッド層 5 を結晶成長する。SiO<sub>2</sub> のマスクの除去後に、第五クラッド層 5、光合波器部 29 の第七クラッド層 54、埋込層 19 の表面にコンタクト層 6 を結晶成長し、フォトリソのマスクを用いたウェットエッチングにて、コンタクト層 6 のパターニングを行う。

## 【0062】

フォトレジストのマスクの除去後、MOCVD法による結晶成長及びSiO<sub>2</sub>のマスクを用いたドライエッチングで光検出器24のアンドープ層93をコンタクト層6の表面に形成する。SiO<sub>2</sub>のマスクを除去し、コンタクト層6、露出した第五クラッド層5、アンドープ層93の表面に絶縁膜16を形成する。フォトレジストのマスクを用いたドライエッチングでアンドープ層93の表面の絶縁膜16を除去し、MOCVD法による結晶成長及びSiO<sub>2</sub>のマスクを用いたドライエッチングで露出したアンドープ層93の表面にコンタクト層94を形成する。レーザ部20の溝70を形成するためのSiO<sub>2</sub>のマスクを用いたドライエッチングで溝70を形成し、溝70に絶縁層51を形成する。溝70用のSiO<sub>2</sub>のマスクを除去した後に、光合波器部29の溝71を形成するためのSiO<sub>2</sub>のマスクを用いたドライエッチングで溝71を形成し、光合波器部29の第七クラッド層54の表面のSiO<sub>2</sub>のマスクを除去した後に、第七クラッド層54の表面が埋まるように溝71に有機絶縁層55を形成する。SiO<sub>2</sub>のマスクを除去し、フォトレジストのマスクを用いたウェットエッチングにて、アノード電極7、アノード電極96とコンタクト層6とを接続する絶縁膜16の開口57a、57dを形成する。フォトレジストのマスクを除去し、半導体レーザ装置100の表面及び裏面に金属層を成膜し、カソード電極11、アノード電極7、カソード電極95、アノード電極96を形成する。

10

## 【0063】

実施の形態6の半導体レーザ装置100は、2つの半導体レーザがそれぞれ異なる波長の単一モードで発振する場合には、複数の波長の信号光を出力できる波長可変光源の機能を備えている。この場合、異なる波長の単一モードで発振する2つの半導体レーザの内実際に発光している半導体レーザから出射されたレーザ光が、光合波器部29、出射導波路部31を伝送して、外部に出射される。また、実施の形態6の半導体レーザ装置100は、2つの半導体レーザがそれぞれ同じ波長の単一モードで発振する場合には、予備光源を備えた半導体レーザ装置となる。この場合には、通常、第一半導体レーザが動作しており、第一半導体レーザ故障した場合に第二半導体レーザを動作させることで、半導体レーザの故障による通信遮断を防止することができる。

20

## 【0064】

実施の形態6の光検出器24は、拡大部92の領域が実施の形態1の光検出器24における拡大部92の領域よりも広いので、実施の形態1の光検出器24よりも光検出器24のn型のコンタクト層94の外縁長を長くすることができる。実施の形態6の半導体レーザ装置100は、光検出器24のn型のコンタクト層94の外縁長が実施の形態1の半導体レーザ装置100よりも長いので、実施の形態1の半導体レーザ装置100よりも光検出器24のESD耐圧を高くすることができる。光合波器部29はテーパ部49を含んでいるので、光合波器部29はスポットサイズ変換器部23と同様に、レーザ部20のレーザ光における近視野像(NFP)のスポットサイズが広くでき、かつ遠視野像(FFP)のビーム広がり角を狭くできる。これにより、テーパ部49を有する光合波器部29を備えた実施の形態6の半導体レーザ装置100を用いた光モジュール製品、或いは、光トランシーバー製品において、低倍率のレンズを使用できる。

30

## 【0065】

なお、実施の形態6の光検出器24の表面形状は、実施の形態1～5の光検出器24の表面形状に適用することができる。アノード電極96がメサストライプ18の上方に配置されるので、スポットサイズ変換器部23又は出射導波路部31におけるメサストライプ18の上方でメサストライプ18と交差する部分(メサストライプ18を包含する部分)のコンタクト層35cの変調器部22側の端を変調器部22のコンタクト層35bに近付ける。実施の形態6の光検出器24の表面形状を実施の形態2～4の光検出器24の表面形状に適用する場合は、実施の形態1と異なる特徴を組み合わせる。実施の形態6の光検出器24の表面形状を実施の形態2の光検出器24の表面形状に適用する場合は、追加の拡大部92をメサストライプ18のx方向の負側に延伸して配置する。実施の形態6の光検出器24の表面形状を実施の形態3の光検出器24の表面形状に適用する場合は、主受

40

50



光部 9 1 を変形して拡大する。実施の形態 6 の光検出器 2 4 の表面形状を実施の形態 4 の光検出器 2 4 の表面形状に適用する場合は、n 型のコンタクト層 9 4 の外縁形状を屈曲させて凹凸を形成する。

【0066】

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。

10

【符号の説明】

【0067】

1 7 …半導体基板、2 0 …レーザ部、2 2 …変調器部、2 3 …スポットサイズ変換器部、2 4 …光検出器、2 7 …テーパ部、2 8 …出力導波路部、2 9 …光合波器部、3 5 c …コンタクト層、8 6 …グレーデッド層、8 7 …電界緩和層、8 8 …バンドギャップ調整層、9 1 …主受光部、9 2 …拡大部、9 3 …アンドープ層、9 4 …コンタクト層、9 5 …カソード電極、9 6 …アノード電極、1 0 0 …半導体レーザ装置、L 1、L 2 …長さ

20

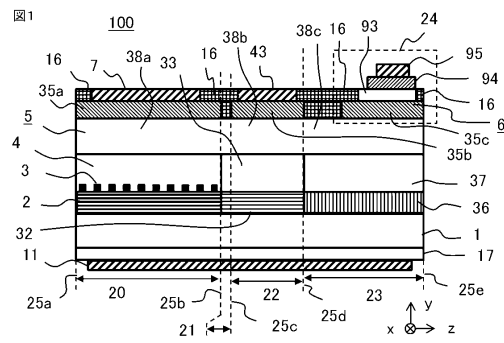
30

40

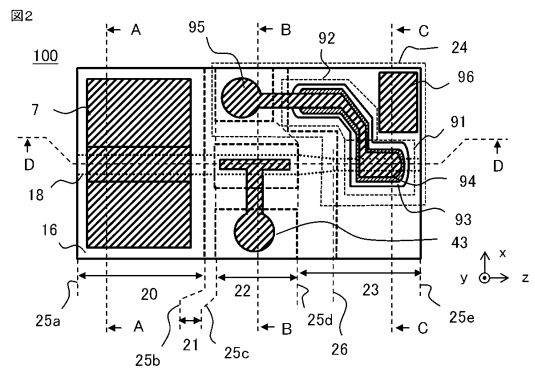
50

【凶面】

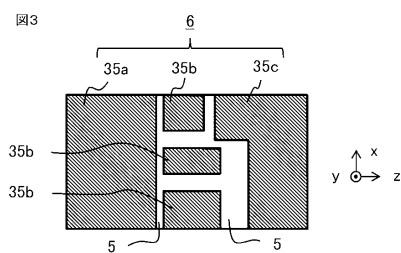
【図 1】



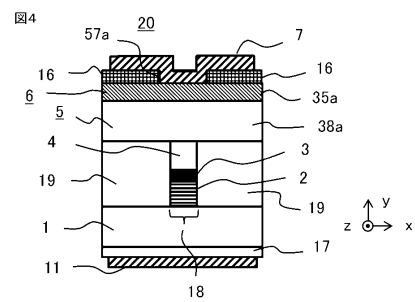
【図 2】



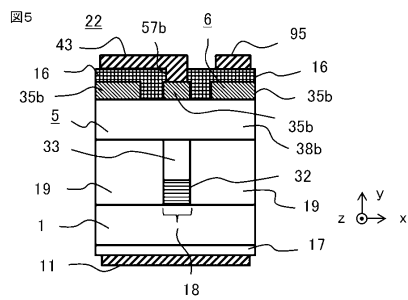
【図 3】



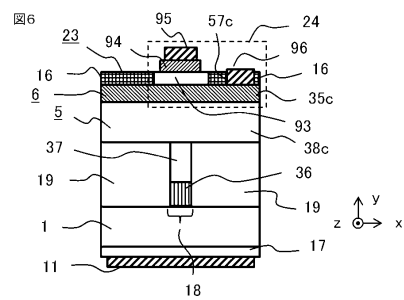
【圖 4】



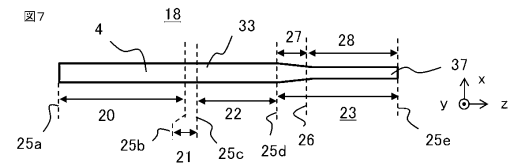
【圖 5】



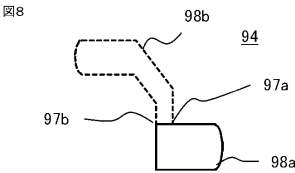
【図 6】



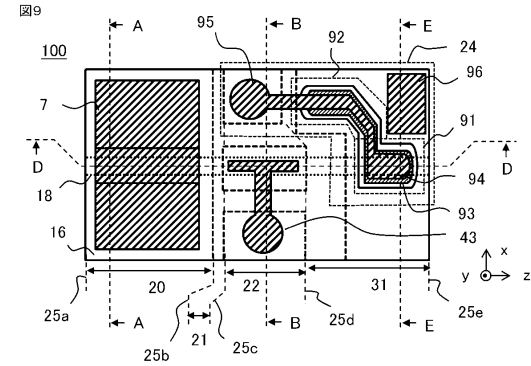
【図 7】



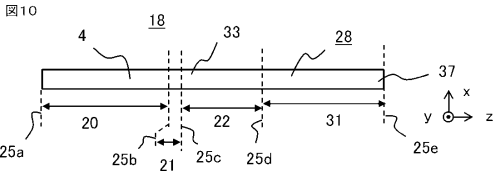
【図 8】



【図 9】



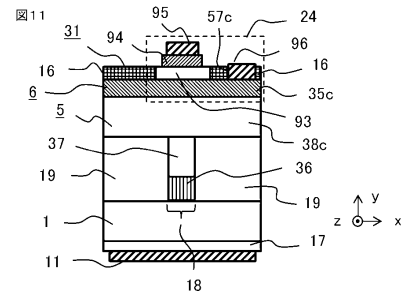
【図 10】



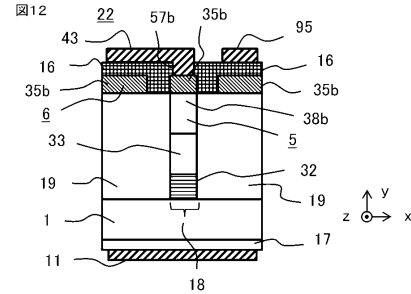
10

20

【図 11】



【図 12】

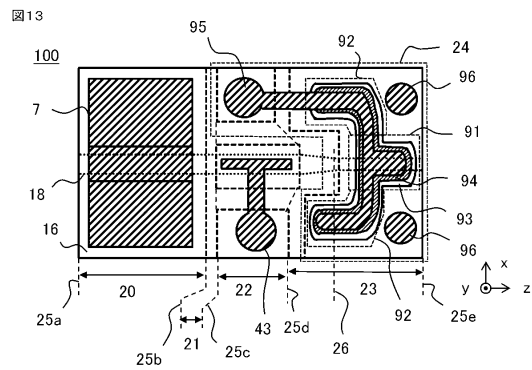


30

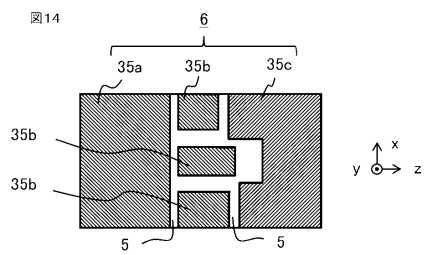
40

50

【図 1 3】

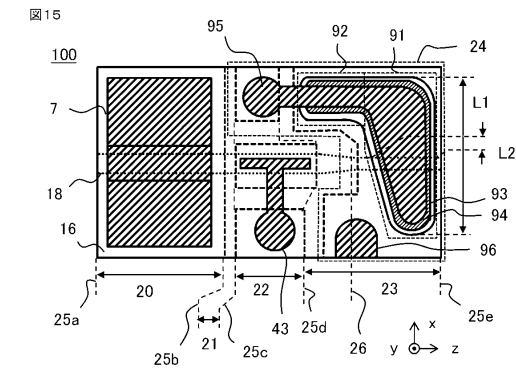


【図 1 4】

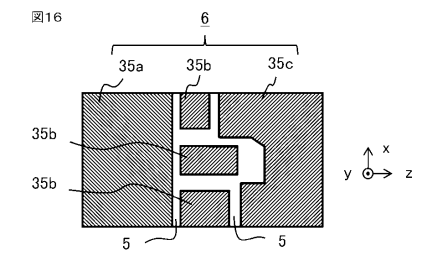


10

【図 1 5】

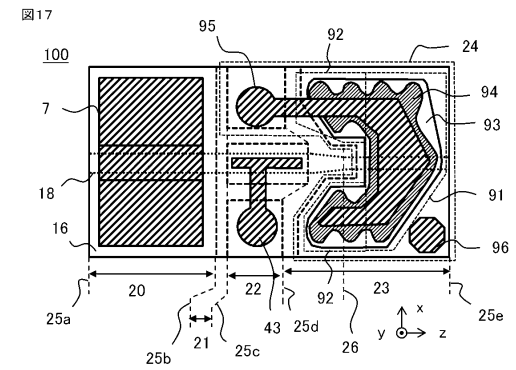


【図 1 6】

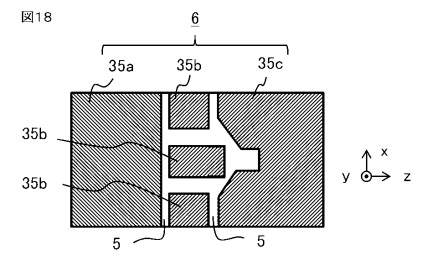


20

【図 1 7】



【図 1 8】

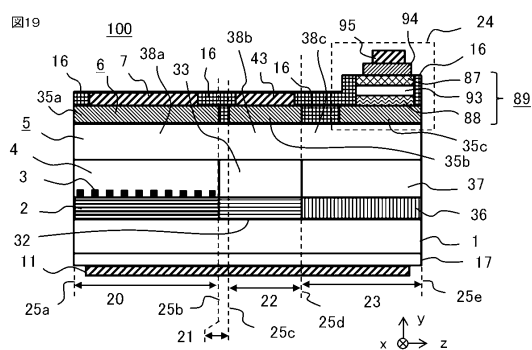


30

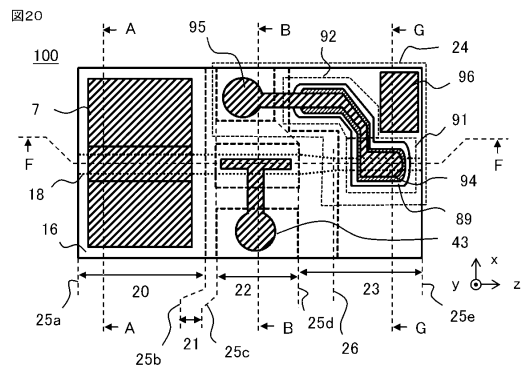
40

50

【図 19】

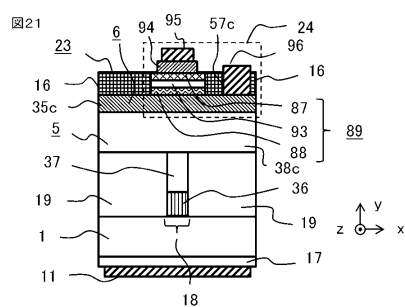


【図 20】

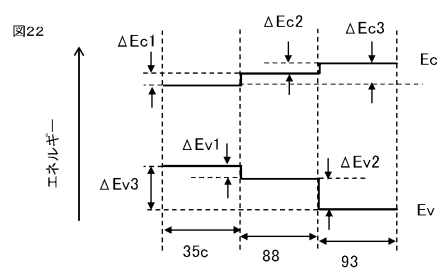


10

【図 2 1】

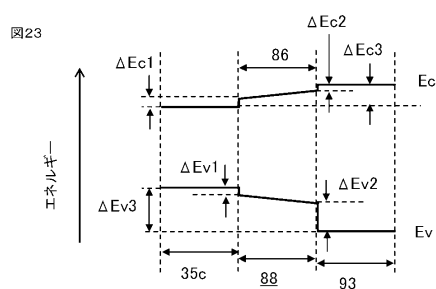


【圖 2 2】

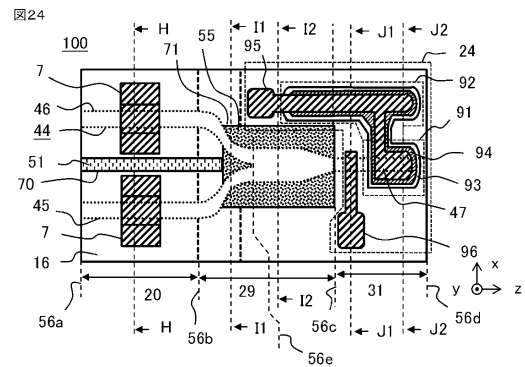


20

【図 23】



【図 24】

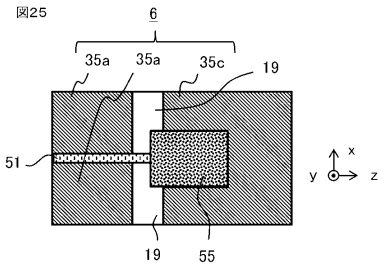


30

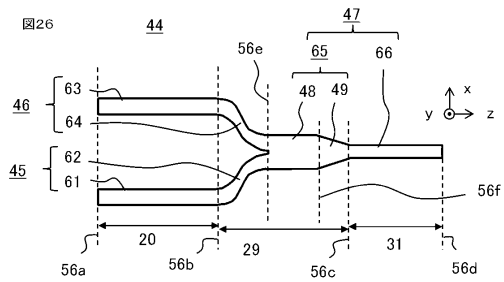
40

50

【図 2 5】

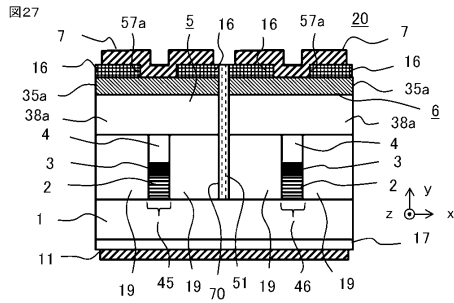


【図 2 6】

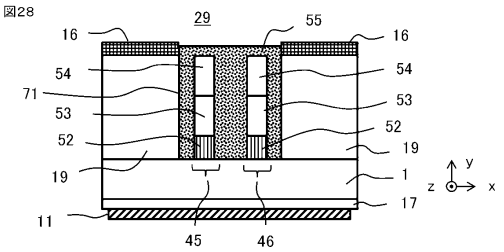


10

【図 2 7】

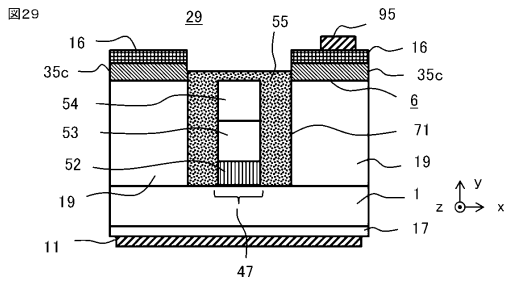


【図 2 8】

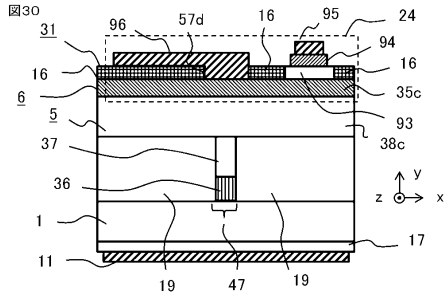


20

【図 2 9】



【図 3 0】

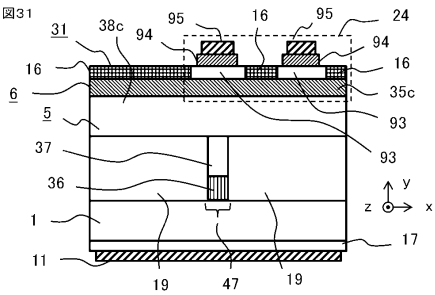


30

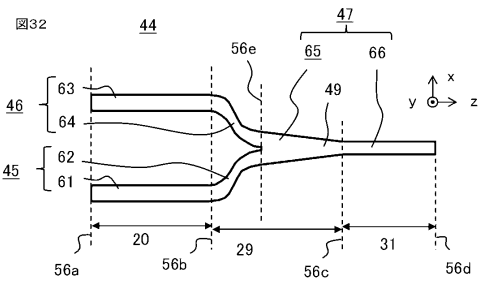
40

50

【図 3 1】



【図 3 2】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2019/069359 (WO, A1)  
米国特許第09726841 (US, B1)  
特表2013-540351 (JP, A)  
特開2004-111763 (JP, A)  
特開昭63-222485 (JP, A)  
特開2005-183955 (JP, A)  
特開2016-096310 (JP, A)  
特開2018-046258 (JP, A)  
特開2005-322913 (JP, A)  
特開平09-153636 (JP, A)  
特開2000-353818 (JP, A)  
米国特許出願公開第2006/0013273 (US, A1)  
米国特許出願公開第2010/0301441 (US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50  
H01L 31/00 - 31/02  
H01L 31/0232  
H01L 31/0248  
H01L 31/0264  
H01L 31/08  
H01L 31/10  
H01L 31/107 - 31/108  
H01L 31/111  
H01L 31/12 - 31/14  
H01L 31/16  
H01L 31/18  
H01L 51/42  
G02B 6/12 - 6/14