

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4005519号

(P4005519)

(45) 発行日 平成19年11月7日(2007.11.7)

(24) 登録日 平成19年8月31日(2007.8.31)

(51) Int. Cl.		F I	
HO 1 S	5/12	(2006.01)	HO 1 S 5/12
HO 1 S	5/026	(2006.01)	HO 1 S 5/026 6 1 0
HO 1 S	5/22	(2006.01)	HO 1 S 5/22 6 1 0
HO 1 S	5/227	(2006.01)	HO 1 S 5/227

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2003-35519 (P2003-35519)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社
(22) 出願日	平成15年2月13日(2003.2.13)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(65) 公開番号	特開2004-247502 (P2004-247502A)	(74) 代理人	100091340 弁理士 高橋 敬四郎
(43) 公開日	平成16年9月2日(2004.9.2)	(74) 代理人	100105887 弁理士 来山 幹雄
審査請求日	平成16年6月25日(2004.6.25)	(72) 発明者	佐藤 嘉洋 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		審査官	高橋 健司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体光装置及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1導電型の半導体基板の第1の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有するレーザ発振器と、

前記半導体基板の第2の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有し、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、該レーザ光を増幅する光増幅器と、

前記レーザ発振器及び前記光増幅器のメサ構造の両脇を埋め込む埋込層とを有し、

該レーザ発振器は、電流注入により誘導放出光を発生する第1の活性層、電流注入により屈折率が変化するチューニング層、該第1の活性層と該チューニング層との間に配置され、前記第1導電型とは反対の第2導電型の中間層、及び該活性層で発生し該活性層、中間層、及びチューニング層内を伝搬する光と光学的に結合する位置に配置された回折格子からなる第1の積層構造を含み、

前記光増幅器は、前記半導体基板上に配置された第2導電型の第1のクラッド層と、該第1のクラッド層の上に配置され、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、電流注入によって、入射したレーザ光を増幅する第2の活性層と、該第2の活性層の上に配置された第1導電型の第2のクラッド層とを含み、

前記埋込層は、前記レーザ発振器及び光増幅器のメサ構造の両側の、前記半導体基板上に配置された第2導電型の下部埋込層と、該下部埋込層の上に配置された第1導電型または半絶縁性の上部埋込層とを含み、前記レーザ発振器のメサ構造の両側において、該下部

10

20

埋込層は、前記中間層の端面に接する厚さとされ、前記光増幅器のメサ構造の両側においては、該下部埋込層が前記第1のクラッド層の端面に接するが前記第2の活性層の端面には接しない厚さとされている半導体光装置。

【請求項2】

前記レーザ発振器が、さらに、前記第1の積層構造の下に配置された第1導電型の第3のクラッド層と、前記第1の積層構造の上に配置された第1導電型の第4のクラッド層とを含む請求項1に記載の半導体光装置。

【請求項3】

前記半導体基板の表面上に画定された前記第1の領域と第2の領域との間に、さらに第3の領域が画定されており、

さらに、前記半導体基板の前記第3の領域上に配置され、前記レーザ発振器の前記第1の積層構造と前記光増幅器の第2の活性層とを光学的に結合する光導波路を有する請求項1または2に記載の半導体光装置。

【請求項4】

前記下部埋込層が、前記第1の領域から前記第3の領域上を経由して前記第2の領域まで連続的に配置されており、前記第3の領域上において該下部埋込層の厚さが連続的に変化している請求項3に記載の半導体光装置。

【請求項5】

さらに、前記レーザ発振器のメサ構造、前記光増幅器のメサ構造、及び前記埋込層の上に配置され、第1導電型の半導体からなる平坦化層を含み、

前記埋込層が、前記下部埋込層と前記上部埋込層との間に配置され、該上部埋込層とはエッチング特性の異なるエッチングストップ層を含み、

さらに、前記平坦化層及び前記上部埋込層を貫通し、前記エッチングストップ層または前記下部埋込層まで達する凹部と、

前記凹部の底面において前記下部埋込層に電氣的に接続された電極とを有する請求項1～4のいずれかに記載の半導体光装置。

【請求項6】

前記埋込層が、さらに、前記上部埋込層の上に配置された第2導電型の電流ブロック層を含む請求項1～5のいずれかに記載の半導体光装置。

【請求項7】

前記レーザ発振器が、ストライプ状の複数のメサ構造を有し、該メサ構造の各々は、前記第1の積層構造と同じ積層構造を含み、かつ中心発振波長が相互に異なり、

さらに、前記第1の領域と第2の領域との間に配置され、前記レーザ発振器の複数のメサ構造から出射されたレーザ光を合波し、合波されたレーザ光を前記光増幅器の第2の活性層に導入する光合波器を有する請求項1～6のいずれかに記載の半導体光装置。

【請求項8】

第1導電型の半導体基板の第1の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有するレーザ発振器と、

前記半導体基板の第2の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有し、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、該レーザ光を増幅する光増幅器と、

前記レーザ発振器及び前記光増幅器のメサ構造の両側を埋め込む埋込層とを有し、

該レーザ発振器は、電流注入により誘導放出光を発生する第1の活性層、電流注入により屈折率が変化するチューニング層、該第1の活性層と該チューニング層との間に配置され、前記第1導電型とは反対の第2導電型の中間層、及び該活性層で発生し該活性層、中間層、及びチューニング層内を伝搬する光と光学的に結合する位置に配置された回折格子からなる第1の積層構造を含み、

前記光増幅器は、前記半導体基板上に配置された第1導電型の第1のクラッド層と、該第1のクラッド層の上に配置され、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、電流注入によって、入射したレーザ光を増幅する第2の活性層と、該第2の活性層の上に

10

20

30

40

50

配置された第2導電型の第2のクラッド層とを含み、

前記埋込層は、前記第1の領域上において、前記レーザ発振器のメサ構造の両側の、前記半導体基板上に配置され、前記レーザ発振器の中間層の端面に接する第2導電型の第1の下部層と、該第1の下部層の上に配置された第1導電型または半絶縁性の第1の上部層とを含み、前記第2の領域上においては、前記光増幅器のメサ構造の両側の、前記半導体基板上に配置され、前記第1のクラッド層及び前記第2の活性層の端面に接する第1導電型または半絶縁性の第2の下部層と、該第2の下部層の上に配置され、前記第2のクラッド層の端面に接する第2導電型の第2の上部層とを含む半導体光装置。

【請求項9】

(a) 第1導電型の半導体基板の第1の領域上に配置され、電流注入により誘導放出光を発生する第1の活性層、電流注入により屈折率が変化するチューニング層、該第1の活性層と該チューニング層との間に配置され、前記第1導電型とは反対の第2導電型の中間層、及び該活性層で発生し該活性層、中間層、及びチューニング層内を伝搬する光と光学的に結合する位置に配置された回折格子からなる第1の積層構造を含むレーザ発振器、前記半導体基板の第2の領域上に配置され、前記半導体基板上に配置された第2導電型の第1のクラッド層と、該第1のクラッド層の上に配置され、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、電流注入によって、入射したレーザ光を増幅する第2の活性層と、該第2の活性層の上に配置された第1導電型の第2のクラッド層とを含み、入射するレーザ光を増幅する光増幅器、及び前記第1の領域と第2の領域との間の第3の領域上に配置され、前記レーザ発振器の第1の積層構造と前記光増幅器の第2の活性層とを光学的に結合させる光導波路を有するレーザ構造を形成する工程と、

(b) 前記レーザ構造の上に、前記第1の領域、第3の領域、及び第2の領域が並ぶ方向に延在するストライプメサ用マスク、及び該前記第1及び第3の領域の前記ストライプメサ用マスクの両側に配置された選択成長用マスクであって、該ストライプメサ用マスクと該選択成長用マスクとの間に間隙部が設けられており、前記第3の領域において、該間隙部の幅が前記第1の領域から前記第2の領域に近づくに従って広がるように、前記ストライプメサ用マスク及び前記選択成長用マスクを形成する工程と、

(c) 前記半導体基板の、前記ストライプメサ用マスク及び前記選択成長用マスクをエッチングマスクとして、前記第1の領域においては少なくとも前記第1の積層構造の底面に達し、前記第2の領域においては少なくとも前記第2の活性層の底面に達するまでエッチングする工程と、

(d) 前記ストライプメサ用マスク及び前記選択成長用マスクに覆われていない領域上に、前記第1の領域においては前記中間層まで達し、前記第2の領域においては前記第2の活性層まで達しない高さの第2導電型の下部層を形成する工程と、

(e) 前記ストライプメサ用マスクと前記選択成長用マスクとを除去する工程と、

(f) 前記下部層の上に、半絶縁性の上部層を形成する工程と

を有する半導体光装置の製造方法。

【請求項10】

前記第1導電型がp型であり、第2導電型がn型である請求項1～8のいずれかに記載の半導体光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体光装置及びその製造方法に関し、特に、チューナブルツインガイド分布帰還型半導体レーザ(TTG-DFBレーザ)構造を含む半導体光装置及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

現在、大容量光通信網の基幹伝送系では、光信号を波長軸上で多重化することにより伝送容量の向上を図る波長分割多重(WDM)方式が採用されている。WDM方式において多

10

20

30

40

50

重数を大きくするためには、光源となる半導体レーザの個数を増やす必要がある。同時にバックアップ用光源も同数以上必要となり、バックアップ用として準備しておくべき品種の数が増加する。このため、在庫管理が煩雑になる。

【0003】

このような背景から、発振波長を変化させることができる波長可変光源を用いて在庫管理を簡素化することが要望されている。WDM方式に用いられる波長可変光源としては、波長を連続的に変えることができ、可変幅の広いことが要求される。

【0004】

波長選択光源として、これまでに様々な波長可変レーザが提案されている。例えば分布帰還型(DFB)レーザや分布ブラッグ反射(DBR)レーザを用い、温度を制御することにより発振波長を変える方式、DBRレーザのチューニング領域に流す電流を制御することにより発振波長を変える方式が提案されている。

10

【0005】

またDBRタイプでフィルタ機能を持ったGCSR-DBRレーザや、部分回折格子パターンの変調を利用したSG/SSG-DBRレーザが提案されている。しかしながら、これらのレーザ光源では、波長を変えたときに大きな光出力を得ることができない。また、連続的に波長を変えることができる範囲が数nmと狭く、波長制御が複雑である。さらに、モードホッピングにより波長が不連続に変化する場合がある。

【0006】

TTG-DFBレーザは、連続的に波長を変えることができる範囲が8nm程度と広く、波長可変方法が単純であるという特徴を有している。TTG-DFBレーザは、例えば特許文献1及び特許文献2に記載されている。

20

【0007】

【特許文献1】

特開平7-131121号公報

【特許文献2】

特開平7-326820号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

上述のように、TTG-DFBレーザは、連続的で比較的広い波長可変範囲を有するとともに、波長可変のための制御方法が容易であるという特徴を有している。しかしながら、TTG-DFBレーザも他の半導体レーザと同様に、波長を短波側に変化させるために、波長チューニング層に電流を注入すると、レーザの内部損失が増加し、光出力が低下してしまう。

30

【0009】

活性層にさらに電流を注入して、低下した光出力を補償することも可能である。しかし、注入電流の増大は、素子温度の上昇を招き、発振波長を長波側へシフトさせる。結果的に、波長可変幅を狭くさせてしまう。また、温度上昇による発振波長のずれを波長チューニング層に流す電流で再度制御する必要があり、波長可変方法が複雑になってしまう。

【0010】

特許文献2に、TTG-DFBレーザ、光位相調整器、光強度調整器、及び反射鏡を集積した光半導体装置が開示されている。特許文献2に開示された方法では、光位相調整器及び光強度調整器からの戻り光を調節することにより、TTG-DFBレーザ内部における吸収損失を補っている。しかしながら、特許文献2に記載された方法は、制御が容易であるとはいえない。また、利得を持つ光素子が集積化されていないため、光出力の大幅な増加は期待できない。

40

【0011】

本発明の目的は、広い波長可変範囲を有するとともに、波長可変時にも高い光出力を得ることができる半導体レーザ及びその製造方法を提供することである。

【0012】

50

## 【課題を解決するための手段】

本発明の一観点によると、第1導電型の半導体基板の第1の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有するレーザ発振器と、前記半導体基板の第2の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有し、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、該レーザ光を増幅する光増幅器と、前記レーザ発振器及び前記光増幅器のメサ構造の両脇を埋め込む埋込層とを有し、該レーザ発振器は、電流注入により誘導放出光を発生する第1の活性層、電流注入により屈折率が変化するチューニング層、該第1の活性層と該チューニング層との間に配置され、前記第1導電型とは反対の第2導電型の間層、及び該活性層で発生し該活性層、中間層、及びチューニング層内を伝搬する光と光学的に結合する位置に配置された回折格子からなる第1の積層構造を含み、前記光増幅器は、前記半導体基板上に配置された第2導電型の第1のクラッド層と、該第1のクラッド層の上に配置され、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、電流注入によって、入射したレーザ光を増幅する第2の活性層と、該第2の活性層の上に配置された第1導電型の第2のクラッド層とを含み、前記埋込層は、前記レーザ発振器及び光増幅器のメサ構造の両側の、前記半導体基板上に配置された第2導電型の下部埋込層と、該下部埋込層の上に配置された第1導電型または半絶縁性の上部埋込層とを含み、前記レーザ発振器のメサ構造の両側において、該下部埋込層は、前記中間層の端面に接する厚さとされ、前記光増幅器のメサ構造の両側においては、該下部埋込層が前記第1のクラッド層の端面に接するが前記第2の活性層の端面には接しない厚さとされている半導体光装置が提供される。

10

## 【0013】

これによって、下部埋込層から中間層を経由してチューニング層に至るチューニング電流経路が画定される。下部埋込層から中間層を経由して第1の活性層に至る励起電流経路が画定される。下部埋込層から第1のクラッド層、第2の活性層を経由して第2のクラッド層に至る光増幅電流経路が画定される。下部埋込層が第2の活性層に接触しないため、下部埋込層から活性層を経由しないで第2のクラッド層に流れるリーク電流を低減することができる。

20

## 【0014】

本発明の他の観点によると、(a)第1導電型の半導体基板の第1の領域上に配置され、電流注入により誘導放出光を発生する第1の活性層、電流注入により屈折率が変化するチューニング層、該第1の活性層と該チューニング層との間に配置され、前記第1導電型とは反対の第2導電型の間層、及び該活性層で発生し該活性層、中間層、及びチューニング層内を伝搬する光と光学的に結合する位置に配置された回折格子からなる第1の積層構造を含むレーザ発振器、前記半導体基板の第2の領域上に配置され、前記半導体基板上に配置された第2導電型の第1のクラッド層と、該第1のクラッド層の上に配置され、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、電流注入によって、入射したレーザ光を増幅する第2の活性層と、該第2の活性層の上に配置された第1導電型の第2のクラッド層とを含み、入射するレーザ光を増幅する光増幅器、及び前記第1の領域と第2の領域との間の第3の領域上に配置され、前記レーザ発振器の第1の積層構造と前記光増幅器の第2の活性層とを光学的に結合させる光導波路を有するレーザ構造を形成する工程と、(b)前記レーザ構造の上に、前記第1の領域、第3の領域、及び第2の領域が並ぶ方向に延在するストライプメサ用マスク、及び該前記第1及び第3の領域の前記ストライプメサ用マスクの両側に配置された選択成長用マスクであって、該ストライプメサ用マスクと該選択成長用マスクとの間に間隙部が設けられており、前記第3の領域において、該間隙部の幅が前記第1の領域から前記第2の領域に近づくに従って広がるように、前記ストライプメサ用マスク及び前記選択成長用マスクを形成する工程と、(c)前記半導体基板の、前記ストライプメサ用マスク及び前記選択成長用マスクをエッチングマスクとして、前記第1の領域においては少なくとも前記第1の積層構造の底面に達し、前記第2の領域においては少なくとも前記第2の活性層の底面に達するまでエッチングする工程と、(d)前記ストライプメサ用マスク及び前記選択成長用マスクに覆われていない領域上に、前記第1の領域においては前記中間層まで達し、前記第2の領域においては前記第2の活性層まで

30

40

50

達しない高さの第2導電型の下部層を形成する工程と、(e)前記ストライプメサ用マスクと前記選択成長用マスクとを除去する工程とを有する半導体光装置の製造方法が提供される。

【0015】

選択成長用マスクを用いることにより、1回の成長で第1の領域上で厚く、第2の領域上で薄い下部層を成長させることができる。

【0016】

【発明の実施の形態】

図1(A)に、実施例による半導体光装置の活性層を、光共振器の長さ方向(光の伝播方向)に平行な面で切断した断面図を示す。p型InPからなる半導体基板1の表面上に、レーザ発光領域Lと光増幅領域Gとが画定されている。半導体基板1の表面上にp型InPからなるバッファ層を形成してもよい。半導体基板1の不純物濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

10

【0017】

レーザ発光領域Lの表面上に、下部クラッド層2、回折格子層3、チューニング層4、中間層5、活性層6、及び上部クラッド層7がこの順番に積層されている。下部クラッド層2から上部クラッド層7までの積層構造が、TTG-DFBレーザ発振器の主要部を構成する。下部クラッド層2及び上部クラッド層7は、不純物濃度 $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のp型InPからなる厚さ150nmの層である。

【0018】

回折格子層3は、表面に複数の凹部が周期的に形成されたp型InGaAsP層の上に、厚さ200nmのp型InP層を積層した構造を有する。InGaAsP層は、遷移波長 $1.15 \mu\text{m}$ の組成を有し、その厚さは290nm、不純物濃度は $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、凹部の深さは50nm、ピッチは240nmである。InP層の不純物濃度は $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。なお、光共振器の長さ方向のほぼ中央で1/4波長分( / 4 )だけ位相がシフトされている。

20

【0019】

チューニング層4は、遷移波長 $1.3 \mu\text{m}$ の組成のノンドープのInGaAsPで形成され、その厚さは290nmである。中間層5は、n型InPで形成され、その厚さは160nm、n型不純物濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

30

【0020】

活性層6は、量子井戸層と障壁層とが交互に積層された多重量子井戸構造を、上下から分離閉込層(SCH層)で挟み込んだ構造を有する。下側のSCH層は、遷移波長 $1.25 \mu\text{m}$ のノンドープのInGaAsPで形成された厚さ40nmの層である。量子井戸層は、圧縮歪を有するノンドープのInGaAsPで形成され、そのフォトルミネッセンス(PL)波長は $1.55 \mu\text{m}$ 、歪量は0.8%、厚さは7nmであり、全部で7層配置される。障壁層は、遷移波長 $1.25 \mu\text{m}$ のノンドープのInGaAsPで形成され、その厚さは9nmである。上側のSCH層は、遷移波長 $1.15 \mu\text{m}$ のノンドープのInGaAsPで形成され、その厚さは100nmである。

【0021】

レーザ発光領域の長さ(光共振器長)は $400 \mu\text{m}$ である。なお、後述するように、下部クラッド層2から上部クラッド層7までは、ストライプ状のメサ構造とされ、その幅は $1.0 \mu\text{m}$ 、高さは1500nmである。

40

【0022】

光増幅領域Gの表面上に、n型InPからなるn型クラッド層11、活性層12、p型InPからなるp型クラッド層13がこの順番に積層されている。n型クラッド層11、活性層12、及びp型クラッド層13が半導体光増幅器(SOA)の主要部を構成する。この3層はストライプ状のメサ構造とされ、レーザ発光領域Lのメサ構造に連続している。メサ構造の幅は $1.0 \mu\text{m}$ 、高さは1500nm、長さは600nmである。

【0023】

50

n型クラッド層11の厚さは700nm、不純物濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。p型クラッド層13の厚さは300nm、不純物濃度は $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0024】

活性層12は、量子井戸層と障壁層とが交互に積層された多重量子井戸構造を、上下からSCH層で挟み込んだ構造を有する。量子井戸層と障壁層とからなる多重量子井戸構造は、レーザ発光領域Lの活性層6の多重量子井戸構造と同様である。下側のSCH層は、遷移波長 $1.25 \mu\text{m}$ の組成のノンドープのInGaAsPで形成され、その厚さは100nmである。上側のSCH層は、遷移波長 $1.15 \mu\text{m}$ の組成のノンドープのInGaAsPで形成され、その厚さは100nmである。

【0025】

図2(A)及び(B)に、それぞれ図1(A)の一点鎖線A2-A2及びB2-B2における断面図を示す。図2(A)及び(B)の一点鎖線A1-A1における断面図が図1(A)に相当する。

【0026】

図2(A)に示すように、レーザ発光領域Lにおいては、半導体基板20の上に、下部クラッド層2、回折格子層3、チューニング層4、中間層5、活性層6、及び上部クラッド層7からなるメサ構造が形成されている。このメサ構造の両側が、下部埋込層30及び上部埋込層31からなる2層で埋め込まれている。下部埋込層30はn型InPで形成され、その不純物濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは1300nmである。上部埋込層31はp型InPで形成され、その不純物濃度は $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは300nmである。なお、上部埋込層31は半絶縁性としてもよい。

【0027】

図2(B)に示すように、光増幅領域Gにおいては、半導体基板1の上に、n型クラッド層11、活性層12、p型クラッド層13からなるメサ構造が形成されている。このメサ構造の両側が、下部埋込層34及び上部埋込層35の2層で埋め込まれている。下部埋込層34はn型InPで形成され、その不純物濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは450nmである。上部埋込層35はp型InPで形成され、その不純物濃度は $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは1150nmである。なお、上部埋込層35は半絶縁性としてもよい。

【0028】

図1(B)に、図2(A)及び(B)の一点鎖線B1-B1における断面図を示す。図2(B)の一点鎖線A1-A1における断面図が図1(A)に相当し、B1-B1における断面図が図1(B)に相当する。図2(A)及び(B)で説明したように、レーザ発光領域L上の下部埋込層30と光増幅領域G上の下部埋込層34とは、相互に厚さが異なる。また、上部埋込層31及び35の上面は、同じ高さに設定されている。

【0029】

図2(A)に示したように、レーザ発光領域Lにおいては、下部埋込層30は、メサ構造の側面において中間層5に接触し、両者が電氣的に接続される。また、図2(B)に示したように、光増幅領域Gにおいては、上部埋込層35が活性層12に接触し、下部埋込層34は活性層12に接触しない厚さとされている。

【0030】

図1(A)、(B)、図2(A)、(B)に示すように、レーザ発光領域L及び光増幅領域Gのメサ構造の上、及び上部埋込層31、35の上に、p型InPからなる平坦化層15が形成されている。平坦化層15の不純物濃度は $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であり、その厚さは3000nmである。

【0031】

平坦化層15の表面のうち、メサ構造の上方の領域に、p型InGaAsからなるコンタクト層16が形成されている。コンタクト層16の不純物濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、その厚さは300nmである。コンタクト層16のレーザ発光領域L上の部分と、光増幅領域G上の部分とは、相互に分離されている。コンタクト層16の形成されていない領域は酸化シリコンからなる保護膜38で覆われている。

10

20

30

40

50

## 【0032】

図2(A)及び(B)に示すように、平坦化層15の上面から下部埋込層30及び34の上面まで達する開口が形成されている。この開口の底面に露出した下部埋込層30及び34上に、電極37が形成されている。

## 【0033】

図1(A)及び図2(A)に示すように、レーザ発光領域Lのコンタクト層16の上に電極17が形成されている。図1(A)及び図2(B)に示すように、光増幅領域Gのコンタクト層16の上に電極18が形成されている。さらに、図1(A)、(B)、及び図2(A)に示すように、半導体基板1の裏面のうちレーザ発光領域Lに対応する領域に、電極19が形成されている。これらの電極17、18、19及び37は金(Au)で形成される。

10

## 【0034】

図1(A)及び(B)に示すように、光増幅領域G側の端面に反射防止膜20が形成され、レーザ発光領域L側の端面に反射防止膜21が形成されている。次に、図1及び図2に示した第1の実施例によるTTG-DFBレーザの製造方法について説明する。

## 【0035】

半導体基板1の上に、有機金属化学気相成長(MOCVD)により下部クラッド層2を成長させる。形成される他の半導体の各層は、特に断らない限りMOCVDにより成長させる。下部クラッド層2の上に、InGaAsP層を形成し、2光束干渉露光または電子ビーム露光を用いたリソグラフィにより、回折格子を形成する。この回折格子をInPで埋め込み、回折格子層3を形成する。回折格子層3の上に、中間層5から上部クラッド層7までの各層を成長させる。

20

## 【0036】

上部クラッド層7の表面のうちレーザ発光領域L上の領域を酸化シリコン膜で覆い、光増幅領域G上の上部クラッド層7から下部クラッド層2までの積層をエッチング除去する。酸化シリコン膜は、例えばCVDにより形成することができる。光増幅領域Gの露出した半導体基板1上に、n型クラッド層11、活性層12、及びp型クラッド層13を選択成長させる。このとき、レーザ発光領域L上の表面には酸化シリコン膜が残っているため、この上には半導体層は成長しない。光増幅領域G上にこれらの層を成長させた後、レーザ発光領域L上に残されている酸化シリコン膜を除去する。

30

## 【0037】

上部クラッド層7及びp型クラッド層13の上に、メサ構造形成のためのストライプ状の酸化シリコン膜を形成する。この酸化シリコン膜をエッチングマスクとして用い、半導体基板1の表面が露出までエッチングを行う。これにより、ストライプ状のメサ構造が形成される。

## 【0038】

光増幅領域G上を酸化シリコン膜で覆い、レーザ発光領域L上のメサ構造の両側に、下部埋込層30及び上部埋込層31を選択成長させる。メサ構造の上面及び光増幅領域Gの表面は酸化シリコン膜で覆われているため、この領域上には半導体層は成長しない。

40

## 【0039】

選択成長用のマスクとして使用した酸化シリコン膜を除去し、レーザ発光領域Lの表面及び光増幅領域G上のメサ構造の上面を、酸化シリコン膜で覆う。光増幅領域G上のメサ構造の両側に、下部埋込層34及び上部埋込層35を選択成長させる。選択成長用マスクとして用いた酸化シリコン膜を除去する。

## 【0040】

基板全面上に、平坦化層15、及びコンタクト層16を成長させる。コンタクト層16をパターニングする。平坦化層15及び上部埋込層31、35をエッチングし、電極37を形成するための開口を形成する。全面に、酸化シリコンからなる保護膜38を形成する。電極を形成すべき領域の保護膜38を除去し、リフトオフ法により電極17、18、19

50

及び 37 を形成する。半導体基板 1 をへき開し、端面に反射防止膜 20 及び 21 を形成する。

【0041】

上記第 1 の実施例では、図 2 (A) に示すように、電極 17 から、平坦化層 15、上部クラッド層 7、活性層 6、中間層 5、及び下部埋込層 30 を経由して電極 37 に至る励起電流経路が画定される。さらに、電極 19 から、半導体基板 1、下部クラッド層 2、回折格子層 3、チューニング層 4、中間層 5、及び下部埋込層 30 を経由して電極 37 に至るチューニング電流経路が画定される。励起電流経路を流れる励起電流とチューニング電流経路を流れるチューニング電流とは、相互に独立に制御することができる。

【0042】

さらに、図 2 (B) に示すように、電極 18 から、平坦化層 15、p 型クラッド層 13、活性層 12、n 型クラッド層 11、及び下部埋込層 34 を経由して電極 37 に至る光増幅電流経路が画定される。

【0043】

レーザ発光領域 L 上の活性層 6 に励起電流を流すことにより、レーザ発振を生じさせることができる。チューニング層 4 に流す電流を制御することにより、発振波長を連続的にかつ広い範囲で変えることができる。レーザ発光領域 L 上の活性層 6 で生じたレーザ光は、光増幅領域 G 上の活性層 12 内に導入される。活性層 12 に光増幅電流を流すことにより、レーザ光を増幅することができる。増幅されたレーザ光は、反射防止膜 20 を通して外部に放射される。

【0044】

第 1 の実施例では、TTG - DFB レーザに光増幅器が集積化されているため、出力レーザビームの強度を大幅に高めることができる。

また、第 1 の実施例では、光増幅領域 G 上の下部埋込層 34 が、レーザ発光領域 L 上の下部埋込層 30 よりも薄くされている。光増幅領域 G 上の下部埋込層 34 の厚さをレーザ発光領域 L 上の下部埋込層 30 の厚さと等しくすると、光増幅領域 G において、p 型クラッド層 13 の側面の下方の領域が、下部埋込層 34 に直接接触してしまう。両者が直接接触すると、p 型クラッド層 13 から下部埋込層 34 に直接電流が流れ、活性層 12 に注入される電流が減少してしまう。

【0045】

第 1 の実施例のように、光増幅領域 G において、下部埋込層 34 を、p 型クラッド層 13 及び活性層 12 に接触しない程度の厚さとすることにより、活性層 12 への電流注入効率を高めることができる。

【0046】

図 3 (A) 及び (B) に、第 2 の実施例による半導体光装置の断面図を示す。図 3 (A) はメサ構造の部分の断面図であり、図 3 (B) はメサ構造の両側の埋込層の部分の断面図である。

【0047】

第 2 の実施例による半導体光装置においては、図 1 (A) 及び (B) に示した第 1 の実施例による半導体光装置のレーザ発光領域 L と光増幅領域 G との間に、結合領域 C が配置されている。レーザ発光領域 L 及び光増幅領域 G における積層構造は、図 1 (A) 及び (B) に示した半導体光装置の積層構造と同一である。

【0048】

図 3 (A) に示すように、半導体基板 1 の結合領域 C の上に、下部クラッド層 41、コア層 42、及び上部クラッド層 43 が積層されている。この 3 層がメサ構造を構成する。このメサ構造の長さは、 $200\ \mu\text{m}$  である。下部クラッド層 41 は p 型 InP で形成され、その不純物濃度は  $2 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ 、厚さは  $850\ \text{nm}$  である。コア層 42 は、ノンドープの InGaAsP で形成され、その遷移波長は  $1.3\ \mu\text{m}$ 、厚さは  $200\ \text{nm}$  である。上部クラッド層 43 は p 型 InP で形成され、その不純物濃度は  $2 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ 、厚さは  $450\ \text{nm}$  である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 9 】

上下のクラッド層 4 1、4 3 とコア層 4 2 とにより、導波路が構成される。この導波路は、レーザ発光領域 L から放射されたレーザ光を光増幅領域 G の活性層 1 2 に導く。

## 【 0 0 5 0 】

図 3 ( B ) に示すように、結合領域 C のメサ構造の両側に、下部埋込層 4 5 及び上部埋込層 4 6 の 2 層が形成されている。下部埋込層 4 5 は n 型 I n P で形成され、その不純物濃度は  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  である。上部埋込層 4 6 は p 型 I n P で形成され、その不純物濃度は  $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  である。なお、上部埋込層 4 6 は、上部埋込層 3 1 及び 3 5 とともに半絶縁性としてもよい。

## 【 0 0 5 1 】

下部埋込層 4 5 は、レーザ発光領域 L と結合領域 C との境界において、レーザ発光領域 L の下部埋込層 3 0 と同じ膜厚となり、光増幅領域 G と結合領域 C との境界において、光増幅領域 G の下部埋込層 3 4 と同じ膜厚になる。結合領域 C 内においては、下部埋込層 4 5 の膜厚が、レーザ発光領域 L から光増幅領域 G に近づくに従って徐々に薄くなっている。

## 【 0 0 5 2 】

レーザ発光領域 L の上部埋込層 3 1、結合領域 C の上部埋込層 4 6、及び光増幅領域 G の上部埋込層 3 5 の上面の高さはほぼ同一である。

平坦化層 1 5 の表面のうち結合領域 C の上方の領域は保護膜 3 8 で覆われており、この領域にコンタクト層及び電極は配置されていない。

## 【 0 0 5 3 】

図 3 及び図 4 を参照して、第 2 の実施例による T T G - D F B レーザの製造方法について説明する。

第 1 の実施例の場合と同様の方法で、レーザ発光領域 L 上の積層構造を形成する。次に、結合領域 C 上の積層構造を形成する。その後、光増幅領域 G 上の積層構造を形成する。

## 【 0 0 5 4 】

図 4 ( A ) に示すように、上部クラッド層 7、4 2、及び p 型クラッド層 1 3 の表面上に、酸化シリコンからなるストライプメサ用マスク 5 0 及び選択成長用マスク 5 1 を形成する。ストライプメサ用マスク 5 0 は、レーザ発光領域 L から結合領域 C を通過して光増幅領域 G まで延びる幅約  $1.0 \mu\text{m}$  のストライプ状のパターンを有する。選択成長用マスク 5 1 は、レーザ発光領域 L 及び結合領域 C において、ストライプメサ用マスク 5 0 の両側に、ストライプメサ用マスク 5 0 からある間隔を隔てて配置される。レーザ発光領域 L において、ストライプメサ用マスク 5 0 の両側に配置された一対の選択成長用マスク 5 1 の間隔 W は約  $30 \mu\text{m}$  である。結合領域 C においては、レーザ発光領域 L から光増幅領域 G に近づくに従って、両者の間隔が徐々に広がる。このため、ストライプメサ用マスク 5 0 と選択成長用マスク 5 1 との間隔も、レーザ発光領域 L から光増幅領域 G に近づくに従って徐々に広がる。

## 【 0 0 5 5 】

ストライプメサ用マスク 5 0 及び選択成長用マスク 5 1 をエッチングマスクとして用い、図 3 ( A ) に示した半導体基板 1 の上面までエッチングする。

図 4 ( B ) 及び ( C ) に、それぞれエッチング後における図 4 ( A ) の一点鎖線 B 4 - B 4 及び一点鎖線 C 4 - C 4 における断面図を示す。ストライプメサ用マスク 5 0 の配置された位置に、メサ構造が残る。

## 【 0 0 5 6 】

図 4 ( D ) 及び図 4 ( E ) に、下部埋込層 3 0、3 4 及び上部埋込層 3 1、3 5 を選択成長させる。結合領域 C の半導体基板 1 の表面上には、図 3 ( B ) に示した下部埋込層 4 5 及び上部埋込層 4 6 が選択成長する。レーザ発光領域 L に選択成長用マスク 5 1 が形成されているため、レーザ発光領域 L 上に成長する下部埋込層 3 0 が、光増幅領域 G 上に成長する下部埋込層 3 4 よりも厚くなる。

## 【 0 0 5 7 】

結合領域 C においては、ストライプメサ用マスク 5 0 と選択成長用マスク 5 1 との間隔が

10

20

30

40

50

、レーザ発光領域 L から光増幅領域 G に近づくに従って、徐々に広がっているため、結合領域 C 上に成長する下部埋込層 4 5 が、レーザ発光領域 L から光増幅領域 G に近づくに従って徐々に薄くなる。

【 0 0 5 8 】

上部埋込層 4 6 を成長させる時に、原料ガスに塩素ガスを微少添加するか、または成長温度を制御することにより、基板全面上で成長速度をほぼ均一にする。上部埋込層 4 6 の上面は、下部埋込層 4 5 の膜厚の変動の影響を受けて完全には平坦にならないが、この程度のうねりは、動作上及び製造上の問題にはならない。

【 0 0 5 9 】

平坦化層 1 5 の形成工程以降は、第 1 の実施例による半導体光装置の製造工程と同様である。

10

第 2 の実施例では、図 3 ( A ) に示したように、レーザ発光領域 L と光増幅領域 G との間に結合領域 C が配置されている。レーザ発光領域 L 上の電極 1 7 と光増幅領域 G 上の電極 1 8 との間隔が、第 1 の実施例の場合よりも広く、両者の間に電気抵抗の高い領域が配置される。このため、レーザ発光領域 L の活性層 6 に注入される電流と、光増幅領域 G の活性層 1 2 に注入される電流との干渉を低減させることができる。

【 0 0 6 0 】

また、光増幅領域 G に流れる電流によって光増幅領域 G の各層の温度が上昇しても、レーザ発光領域 L と光増幅領域 G との間に結合領域 C が介在しているため、レーザ発光領域 L の各層の温度上昇を軽減することができる。レーザ発光領域 L の各層の温度上昇が抑制されるため、温度上昇による発振波長のシフト（長波長化）を抑制することができる。

20

【 0 0 6 1 】

さらに、第 2 の実施例では、図 4 ( A ) に示した選択成長用マスク 5 1 を用いることにより、1 回の成長で膜厚の異なる下部埋込層 3 0 と 3 4 とを形成することができる。結合領域 C において下部埋込層 4 5 の厚さが滑らかに変化しているため、光の散乱による損失を少なくすることができる。また、シングルモードで安定した導波光を得やすくなる。

【 0 0 6 2 】

次に、図 5 を参照して第 3 の実施例による半導体光装置について説明する。

図 5 ( A ) に、第 3 の実施例による半導体光装置のレーザ発光領域 L の断面図を示し、図 5 ( B ) に、光増幅領域 G の断面図を示す。第 3 の実施例においては、図 5 ( A ) に示すように、下部埋込層 3 0 と上部埋込層 3 1 との間に、エッチングストップ層 5 3 が配置されている。さらに、図 5 ( B ) に示すように、下部埋込層 3 4 と上部埋込層 3 5 との間にエッチングストップ層 5 5 が配置されている。

30

【 0 0 6 3 】

エッチングストップ層 5 3 及び 5 5 は、n 型  $\text{InGaAsP}$  で形成され、その不純物濃度は  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、遷移波長は  $1.15 \mu\text{m}$ 、厚さは  $30 \text{ nm}$  である。上部埋込層 3 1 及び 3 5 を臭素 ( Br ) 系のエッチャントを用いてエッチングする場合、このエッチングストップ層 5 3 及び 5 5 のエッチング速度が遅くなる。このため、エッチングすべき深さがレーザ発光領域 L と光増幅領域 G とで異なる場合でも、エッチングストップ層 5 3 及び 5 5 が露出した時点で再現性よくエッチングを停止させることができる。

40

【 0 0 6 4 】

さらに、第 3 の実施例では、上部埋込層 3 1 の上に電流ブロック層 5 4 が配置され、上部埋込層 3 5 の上に電流ブロック層 5 6 が配置されている。電流ブロック層 5 4 及び 5 6 は、n 型  $\text{InP}$  で形成され、その不純物濃度は  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さは  $300 \text{ nm}$  である。電流ブロック層 5 4 は、平坦化層 1 5 から上部埋込層 3 1 に直接流れ込む電流を遮蔽する。電流ブロック層 5 6 は、平坦化層 1 5 から上部埋込層 3 5 に直接流れ込む電流を遮蔽する。

【 0 0 6 5 】

このため、レーザ発光領域 L においては活性層 6 への電流注入効率を高めることができる。また、光増幅領域 G においては、活性層 1 2 への電流注入効率を高めることができる。

50

## 【 0 0 6 6 】

図 6 及び図 7 を参照して、第 4 の実施例による半導体光装置について説明する。

図 6 ( A ) に、第 4 の実施例による半導体光装置の活性層を、光共振器の長さ方向 ( 光の伝播方向 ) に平行な面で切断した断面図を示す。図 6 ( B ) に、活性層を含むメサ構造の脇において、光共振器の長さ方向に平行な面で切断した断面図を示す。図 7 に、図 6 ( A ) 及び ( B ) の一点鎖線 A 7 - A 7 における断面図を示す。

## 【 0 0 6 7 】

レーザ発光領域 L 上の積層構造は、図 1 ( A ) 及び ( B ) に示した第 1 の実施例による半導体光装置の積層構造と同一である。第 1 の実施例では、図 1 ( A ) に示したように、光増幅領域 G の上に、基板側から順番に n 型クラッド層 1 1、活性層 1 2、及び p 型クラッド層 1 3 が積層されていたが、第 4 の実施例では、図 6 ( A ) に示すように、基板側から順番に、p 型クラッド層 1 1 A、活性層 1 2 A、及び n 型クラッド層 1 3 A が積層されている。

10

## 【 0 0 6 8 】

また、第 1 の実施例では、平坦化層 1 5 の上に一方の電極 1 8 が形成されていたが、第 4 の実施例では、半導体基板 1 の裏面に一方の電極 1 8 A が形成されている。

## 【 0 0 6 9 】

第 1 の実施例では、図 1 ( B ) 及び図 2 ( B ) に示したように、メサ構造の両側に配置された下部埋込層 3 4 が n 型であり、上部埋込層 3 5 が p 型であった。これに対し、第 4 の実施例では、図 6 ( B ) 及び図 7 に示した下部埋込層 3 4 A が p 型または半絶縁性であり、上部埋込層 3 5 A が n 型である。上部埋込層 3 5 A の側面が n 型クラッド層 1 3 A に接する。下部埋込層 3 4 A の厚さは、その上面が活性層 1 2 A よりも高くなるように設定されている。このため、上部埋込層 3 5 A は p 型クラッド層 1 1 A に接触しない。

20

## 【 0 0 7 0 】

平坦化層 1 5 の一部に開口が形成され、その底面に上部埋込層 3 5 A の上面が露出している。露出した上部埋込層 3 5 A 上に電極 1 8 B が形成されている。

電極 1 8 B から、上部埋込層 3 5 A、n 型クラッド層 1 3 A、活性層 1 2 A、p 型クラッド層 1 1 A、及び半導体基板 1 を経由して電極 1 8 A に至る光増幅電流経路が画定される。上部埋込層 3 5 A が p 型クラッド層 1 1 A に直接接触しないため、活性層 1 2 A を経由しないで上部埋込層 3 5 A から p 型クラッド層 1 1 A にリーク電流が流れることを抑制することができる。このため、活性層 1 2 A への電流注入効率を高めることができる。

30

## 【 0 0 7 1 】

次に、図 8 ( A ) 及び ( B ) を参照して第 5 の実施例による半導体光装置について説明する。

図 8 ( A ) は、第 5 の実施例による半導体光装置の平面図を示す。半導体基板 6 0 の表面上に、複数の T T G - D F B レーザ 7 0、光導波路 7 2、マルチモード干渉導波路型 ( M M I ) 光合波器 7 4、及び光増幅器 7 6 が形成されている。これらの各光学素子は、半導体基板 6 0 の上に形成されたメサ構造を有する。このメサ構造以外の部分が、埋込層により埋め込まれている。

## 【 0 0 7 2 】

各 T T G - D F B レーザ 7 0、光導波路 7 2、及び光増幅器 7 6 は、それぞれ図 3 ( A ) に示した第 2 の実施例による半導体光装置のレーザ発光領域 L 上の T T G - D F B レーザ、結合領域 C 上の光導波路、及び光増幅領域 G 上の光増幅器と同様の積層構造を有する。ただし、T T G - D F B レーザ 7 0 の各々は、相互に異なる中心発振波長を有している。T T G - D F B レーザ 7 0 の両側の埋込層、光導波路 7 2 の両側の埋込層、及び光増幅器 7 6 の両側の埋込層は、それぞれ図 3 ( B ) に示した第 2 の実施例による半導体光装置のレーザ発光領域 L 上の埋込層 3 0、3 1、結合領域 C 上の埋込層 4 5、4 6、及び光増幅領域 G 上の埋込層 3 4、3 5 と同様の構成を有する。

40

## 【 0 0 7 3 】

なお、光合波器 7 4 の積層構造は、光導波路 7 2 の積層構造と同様であり、その周囲の埋

50

込層は、光増幅器 76 の両側の埋込層と同様の積層構造を有する。光合波器 74 の平面形状は、短辺の長さが 40  $\mu\text{m}$ 、長辺の長さが 300  $\mu\text{m}$  の長方形状である。一方の短辺に、4 個の入力ポートが設けられ、他方の短辺に 1 個の出力ポートが設けられている。

【0074】

図 8 (B) に、メサ構造を形成するためのマスクパターンを示す。TTG - DFB レーザ 70、光導波路 72、光合波器 74、及び光増幅器 76 のメサ構造に対応するメサ用マスクパターン 77 が形成されている。TTG - DFB レーザ 70 及び光導波路 72 に対応する領域のメサ用マスクパターン 77 の両側に、選択成長用マスクパターン 78 が形成されている。

【0075】

TTG - DFB レーザ 70 に対応する領域のメサ用マスクパターン 70 とその両側に配置された選択成長用マスクパターン 78 との間隔は、ほぼ一定である。光導波路 72 に対応する領域のメサ用マスクパターン 77 と選択成長用マスクパターン 78 との間隔は、TTG - DFB レーザ 70 の配置される領域から光合波器 74 の配置される領域に近づくに従って徐々に広がっている。

【0076】

このような選択成長用マスクパターン 78 を用いて埋込層の選択成長を行うことにより、図 3 (B) に示した第 2 の実施例による半導体光装置の結合領域 C 上の埋込層 45 と同様に、埋込層の厚さを徐々に変化させることができる。

【0077】

TTG - DFB レーザ 70 の各々に光導波路 72 が結合されている。光導波路 72 の他端は、光合波器 74 の入力ポートに接続されている。光合波器 74 の出力ポートが光増幅器 76 に接続されている。

【0078】

中心発振波長の異なる複数の TTG - DFB レーザ 70 を配置することにより、より広い範囲で波長を変化させることができる。さらに、光増幅器 76 が、TTG - DFB レーザと同一の基板上に形成されているため、光出力を高めることができる。

【0079】

上記実施例では、p 型の半導体基板を用いた場合について説明したが、n 型半導体基板を用いることも可能である。この場合、各層の導電型を、上記実施例の各層の導電型と反対にすればよい。また、上記実施例では、InP 基板を用いた場合を説明したが、InP 以外の化合物半導体、例えば GaAs 等からなる基板を用いることも可能である。

【0080】

さらに、上記実施例では、レーザ発光領域及び光増幅領域の活性層を多重量子井戸構造としたが、半導体からなる単層で構成することも可能である。

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なのは当業者に自明であろう。

【0081】

以上説明した実施例から、下記の付記に示された発明が導出される。

(付記 1) 第 1 導電型の半導体基板の第 1 の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有するレーザ発振器と、

前記半導体基板の第 2 の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有し、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、該レーザ光を増幅する光増幅器と、

前記レーザ発振器及び前記光増幅器のメサ構造の両脇を埋め込む埋込層と

を有し、

該レーザ発振器は、電流注入により誘導放出光を発生する第 1 の活性層、電流注入により屈折率が変化するチューニング層、該第 1 の活性層と該チューニング層との間に配置され、前記第 1 導電型とは反対の第 2 導電型の中間層、及び該活性層で発生し該活性層、中間層、及びチューニング層内を伝搬する光と光学的に結合する位置に配置された回折格子からなる第 1 の積層構造を含み、

10

20

30

40

50

前記光増幅器は、前記半導体基板上に配置された第2導電型の第1のクラッド層と、該第1のクラッド層の上に配置され、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、電流注入によって、入射したレーザ光を増幅する第2の活性層と、該第2の活性層の上に配置された第1導電型の第2のクラッド層とを含み、

前記埋込層は、前記レーザ発振器及び光増幅器のメサ構造の両側の、前記半導体基板上に配置された第2導電型の下部埋込層と、該下部埋込層の上に配置された第1導電型または半絶縁性の上部埋込層とを含み、前記レーザ発振器のメサ構造の両側において、該下部埋込層は、前記中間層の端面に接する厚さとされ、前記光増幅器のメサ構造の両側においては、該下部埋込層が前記第1のクラッド層の端面に接するが前記第2の活性層の端面には接しない厚さとされている半導体光装置。

10

【0082】

(付記2) 前記レーザ発振器が、さらに、前記第1の積層構造の下に配置された第1導電型の第3のクラッド層と、前記第1の積層構造の上に配置された第1導電型の第4のクラッド層とを含む付記1に記載の半導体光装置。

【0083】

(付記3) 前記半導体基板の表面上に画定された前記第1の領域と第2の領域との間に、さらに第3の領域が画定されており、

さらに、前記半導体基板の前記第3の領域上に配置され、前記レーザ発振器の前記第1の積層構造と前記光増幅器の第2の活性層とを光学的に結合する光導波路を有する付記1または2に記載の半導体光装置。

20

【0084】

(付記4) 前記下部埋込層が、前記第1の領域から前記第3の領域上を經由して前記第2の領域まで連続的に配置されており、前記第3の領域上において該下部埋込層の厚さが連続的に変化している付記3に記載の半導体光装置。

【0085】

(付記5) さらに、前記レーザ発振器のメサ構造、前記光増幅器のメサ構造、及び前記埋込層の上に配置され、第1導電型の半導体からなる平坦化層を含み、

前記埋込層が、前記下部埋込層と前記上部埋込層との間に配置され、該上部埋込層とはエッチング特性の異なるエッチングストップ層を含み、

さらに、前記平坦化層及び前記上部埋込層を貫通し、前記エッチングストップ層または前記下部埋込層まで達する凹部と、

30

前記凹部の底面において前記下部埋込層に電氣的に接続された電極と

を有する付記1～4のいずれかに記載の半導体光装置。

【0086】

(付記6) 前記埋込層が、さらに、前記上部埋込層の上に配置された第2導電型の電流ブロック層を含む付記1～5のいずれかに記載の半導体光装置。

(付記7) 前記レーザ発振器が、ストライプ状の複数のメサ構造を有し、該メサ構造の各々は、前記第1の積層構造と同じ積層構造を含み、かつ中心発振波長が相互に異なり、さらに、前記第1の領域と第2の領域との間に配置され、前記レーザ発振器の複数のメサ構造から出射されたレーザ光を合波し、合波されたレーザ光を前記光増幅器の第2の活性層に導入する光合波器を有する付記1～6のいずれかに記載の半導体光装置。

40

【0087】

(付記8) 第1導電型の半導体基板の第1の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有するレーザ発振器と、

前記半導体基板の第2の領域上に配置され、ストライプ状のメサ構造を有し、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、該レーザ光を増幅する光増幅器と、

前記レーザ発振器及び前記光増幅器のメサ構造の両側を埋め込む埋込層と

を有し、

該レーザ発振器は、電流注入により誘導放出光を発生する第1の活性層、電流注入により屈折率が変化するチューニング層、該第1の活性層と該チューニング層との間に配置され

50

、前記第1導電型とは反対の第2導電型の間層、及び該活性層で発生し該活性層、中間層、及びチューニング層内を伝搬する光と光学的に結合する位置に配置された回折格子からなる第1の積層構造を含み、

前記光増幅器は、前記半導体基板上に配置された第1導電型の第1のクラッド層と、該第1のクラッド層の上に配置され、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、電流注入によって、入射したレーザ光を増幅する第2の活性層と、該第2の活性層の上に配置された第2導電型の第2のクラッド層とを含み、前記埋込層は、前記第1の領域上において、前記レーザ発振器のメサ構造の両側の、前記半導体基板上に配置され、前記レーザ発振器の中間層の端面に接する第2導電型の第1の下部層と、該第1の下部層の上に配置された第1導電型または半絶縁性の第1の上部層とを含み、前記第2の領域上においては、前記光増幅器のメサ構造の両側の、前記半導体基板上に配置され、前記第1のクラッド層及び前記第2の活性層の端面に接する第1導電型または半絶縁性の第2の下部層と、該第2の下部層の上に配置され、前記第2のクラッド層の端面に接する第2導電型の第2の上部層とを含む半導体光装置。

10

#### 【0088】

(付記9) (a) 第1導電型の半導体基板上の第1の領域上に配置され、電流注入により誘導放出光を発生する第1の活性層、電流注入により屈折率が変化するチューニング層、該第1の活性層と該チューニング層との間に配置され、前記第1導電型とは反対の第2導電型の間層、及び該活性層で発生し該活性層、中間層、及びチューニング層内を伝搬する光と光学的に結合する位置に配置された回折格子からなる第1の積層構造を含むレーザ発振器、前記半導体基板の第2の領域上に配置され、前記半導体基板上に配置された第2導電型の第1のクラッド層と、該第1のクラッド層の上に配置され、前記レーザ発振器から放射されたレーザ光が入射し、電流注入によって、入射したレーザ光を増幅する第2の活性層と、該第2の活性層の上に配置された第1導電型の第2のクラッド層とを含み、入射するレーザ光を増幅する光増幅器、及び前記第1の領域と第2の領域との間の第3の領域上に配置され、前記レーザ発振器の第1の積層構造と前記光増幅器の第2の活性層とを光学的に結合させる光導波路を有するレーザ構造を形成する工程と、

20

(b) 前記レーザ構造の上に、前記第1の領域、第3の領域、及び第2の領域が並ぶ方向に延在するストライプメサ用マスク、及び該前記第1及び第3の領域の前記ストライプメサ用マスクの両側に配置された選択成長用マスクであって、該ストライプメサ用マスクと該選択成長用マスクとの間に間隙部が設けられており、前記第3の領域において、該間隙部の幅が前記第1の領域から前記第2の領域に近づくに従って広がるように、前記ストライプメサ用マスク及び前記選択成長用マスクを形成する工程と、

30

(c) 前記半導体基板の、前記ストライプメサ用マスク及び前記選択成長用マスクをエッチングマスクとして、前記第1の領域においては少なくとも前記第1の積層構造の底面に達し、前記第2の領域においては少なくとも前記第2の活性層の底面に達するまでエッチングする工程と、

(d) 前記ストライプメサ用マスク及び前記選択成長用マスクに覆われていない領域上に、前記第1の領域においては前記中間層まで達し、前記第2の領域においては前記第2の活性層まで達しない高さの第2導電型の下部層を形成する工程と、

40

(e) 前記ストライプメサ用マスクと前記選択成長用マスクとを除去する工程とを有する半導体光装置の製造方法。

#### 【0089】

(付記10) さらに、(f) 前記下部層の上に、半絶縁性の上部層を形成する工程を有する付記9に記載の半導体光装置の製造方法。

(付記11) 前記工程(e)と工程(f)との間に、前記下部層の上に、前記上部層とはエッチング耐性の異なる材料からなるエッチングストップ層を形成する工程を含み、前記工程(f)の後に、さらに、

前記メサ構造及び前記上部層の上に、第1導電型の平坦化層を形成する工程と、

前記平坦化層及び前記上部層を貫通する開口を、前記上部層のエッチング速度が前記エッ

50

チングストップ層のエッチング速度よりも速い条件で形成し、該エッチングストップ層が露出した時点でエッチングを停止させる工程と、  
前記開口の底面に、前記下部層と電氣的に接続された電極を形成する工程と  
を有する付記 10 に記載の半導体光装置の製造方法。

【0090】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、TTG-DFBレーザに光増幅器を集積化することにより、連続かつ広い可変波長域を実現するとともに、高い光出力を得ることができる。また、光増幅器のメサ構造の両側に配置された下部埋込層と、TTG-DFBレーザのメサ構造の両側に配置された下部埋込層との厚さを異ならせることにより、光増幅器の活性層への電流注入効率を高めることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1の実施例による半導体レーザの断面図である。

【図2】 第1の実施例による半導体レーザの断面図である。

【図3】 第2の実施例による半導体レーザの断面図である。

【図4】 第2の実施例による半導体レーザの製造方法を説明するためのマスクの平面図、及び製造途中の断面図である。

【図5】 第3の実施例による半導体レーザの断面図である。

【図6】 第4の実施例による半導体レーザの断面図である。

【図7】 第4の実施例による半導体レーザの断面図である。

20

【図8】 第5の実施例による半導体レーザの平面図、及び製造工程で用いられるマスクパターンの平面図である。

【符号の説明】

1 半導体基板

2 下部クラッド層

3 回折格子層

4 チューニング層

5 中間層

6 活性層

7 上部クラッド層

30

11 n型クラッド層

12 活性層

13 p型クラッド層

15 平坦化層

16 コンタクト層

17、18、18A、18B、19 電極

20、21 反射防止膜

30 下部埋込層

31 上部埋込層

34、34A 下部埋込層

40

35、35A 上部埋込層

37 電極

38 保護膜

41 下部クラッド層

42 コア層

43 上部クラッド層

45 下部埋込層

46 上部埋込層

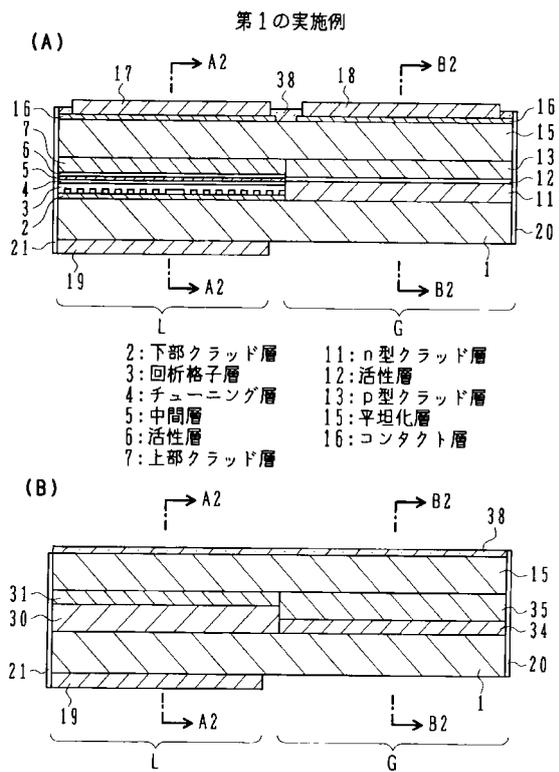
50 ストライプメサ用マスク

51 選択成長用マスク

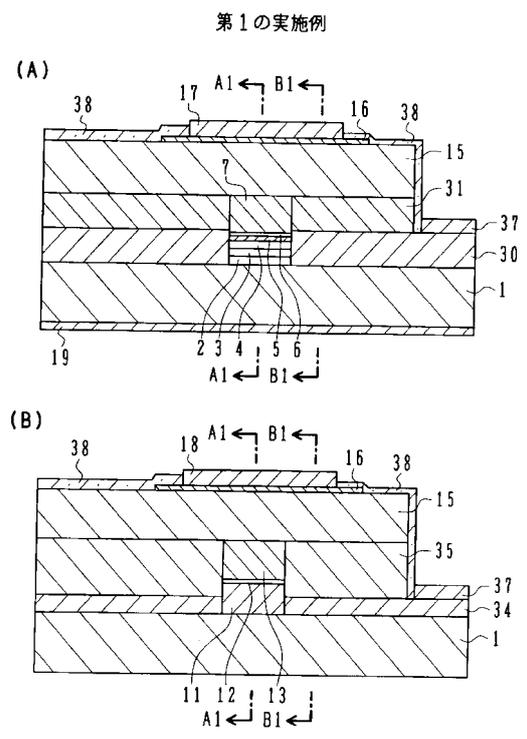
50

- 53、55 エッチングストップ層
- 54、56 電流ブロック層

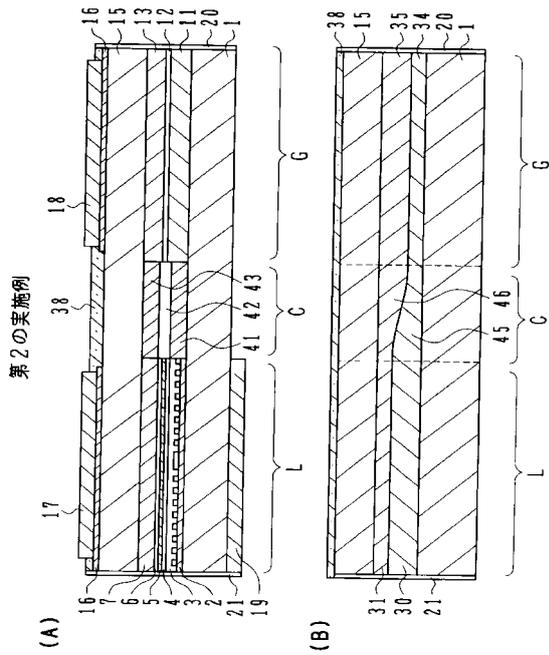
【図1】



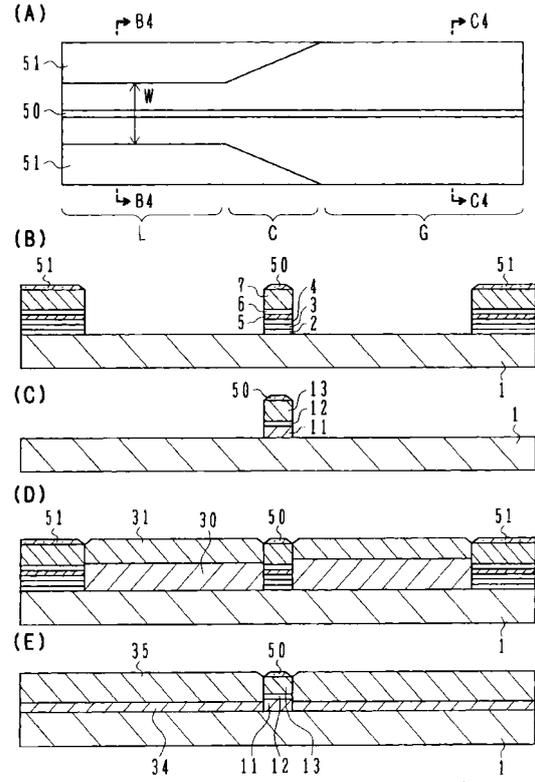
【図2】



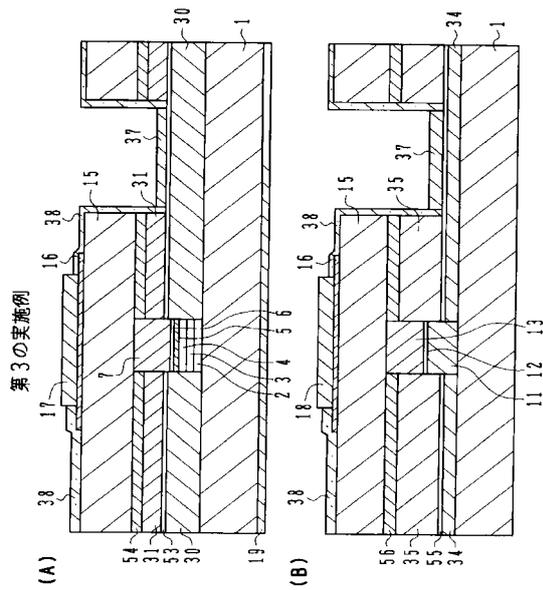
【 図 3 】



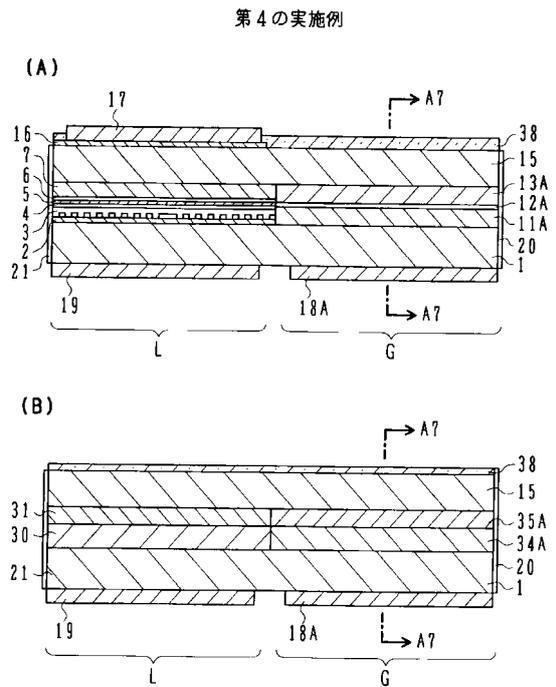
【 図 4 】



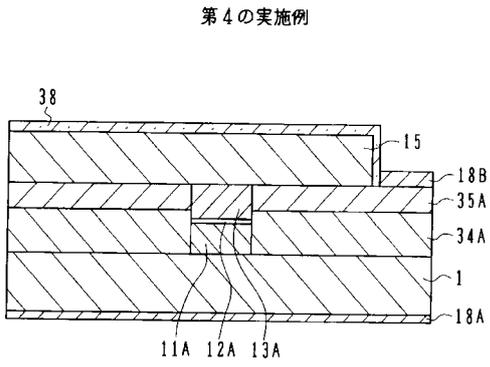
【 図 5 】



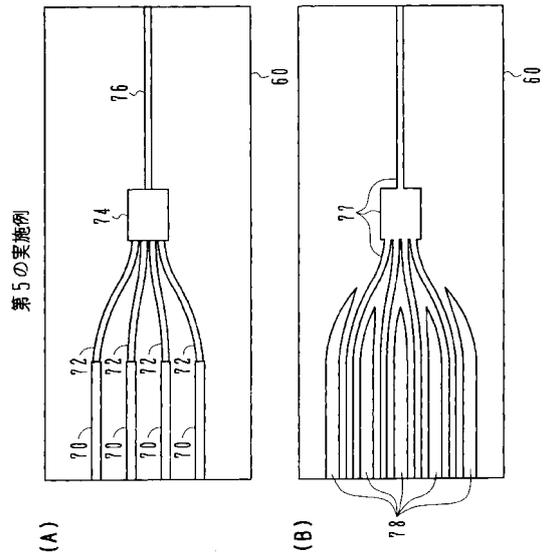
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07 - 226565 (JP, A)  
特開平07 - 135368 (JP, A)  
特開平09 - 289356 (JP, A)  
特開2002 - 134826 (JP, A)  
特開平09 - 219367 (JP, A)  
特開2002 - 134829 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50