

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4909262号
(P4909262)

(45) 発行日 平成24年4月4日 (2012. 4. 4)

(24) 登録日 平成24年1月20日 (2012. 1. 20)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 S 5/183 (2006. 01)

HO 1 S 5/323 (2006. 01)

HO 1 S 5/183

HO 1 S 5/323

請求項の数 25 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-509865 (P2007-509865)	(73) 特許権者	599133716
(86) (22) 出願日	平成17年4月11日 (2005. 4. 11)		オスラム オプト セミコンダクターズ
(65) 公表番号	特表2007-535808 (P2007-535808A)		ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテ
(43) 公表日	平成19年12月6日 (2007. 12. 6)		ル ハフツング
(86) 国際出願番号	PCT/DE2005/000649		Osram Opto Semicond
(87) 国際公開番号	W02005/107027		uctors GmbH
(87) 国際公開日	平成17年11月10日 (2005. 11. 10)		ドイツ連邦共和国、93055 レーゲン
審査請求日	平成20年1月17日 (2008. 1. 17)		スブルグ、ライプニッツシュトラッセ 4
(31) 優先権主張番号	102004021265.1		Leibnizstrasse 4, D
(32) 優先日	平成16年4月30日 (2004. 4. 30)		-93055 Regensburg,
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		Germany
(31) 優先権主張番号	102004042146.3	(74) 代理人	100061815
(32) 優先日	平成16年8月31日 (2004. 8. 31)		弁理士 矢野 敏雄
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100099483
			弁理士 久野 琢也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ポンピング式半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

活性垂直エミッタ層（3）を有する光ポンピング式垂直エミッタと、
横方向に伝搬するポンピングビームフィールドを形成するポンピングビーム源とを備えた半導体装置であって、
前記のポンピングビームフィールドにより、垂直エミッタ層（3）がポンピング領域にて光ポンピングされ、
前記のポンピングビームフィールドの波長は、垂直エミッタから形成されるビームフィールド（12）の波長よりも短い形式の半導体装置において、
前記のポンピングビーム源は活性ポンピング層（2）を有しており、
該活性ポンピング層は、垂直方向に前記の垂直エミッタ層（3）と並んで配置されており、また垂直方向にみて少なくとも部分的に垂直エミッタ層（3）と重なっており、
動作時に形成されるポンピングビームフィールドが、垂直エミッタ層（3）によって形成されかつ横方向に伝搬する寄生的なビームフィールドよりも高い出力を有するか、または横方向に伝搬する寄生的なビームフィールドの、垂直エミッタ層（3）による形成が抑圧されるように前記活性ポンピング層を配置し、
前記のポンピングビーム源は、電荷担体注入によって電氣的に励起されてポンピングビームを形成し、
前記の半導体装置に第1電荷担体タイプの電荷担体および第2電荷担体タイプの電荷担体が注入され、

前記の第1電荷担体タイプの電荷担体は、第2電荷担体タイプの電荷担体よりも高い正味キャプチャレートを有しており、また一方の面から半導体装置に注入され、ここでポンピング層(2)は、垂直エミッタ層(3)よりも当該面との間隔が小さいことを特徴とする

半導体装置。

【請求項2】

前記の垂直エミッタ層(3)とポンピング層(2)との間に電荷担体選択性を有するバリアが形成されている、

請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】

前記の半導体装置は、一部分が第1導電形で、別の一部分が第2導電形でドーピングされており、また空間電荷領域を有しており、

前記のポンピング層(2)は空間電荷領域内に、また垂直エミッタ層(3)は空間電荷領域の外部に配置されている、

請求項1に記載の半導体装置。

【請求項4】

前記の半導体装置は、導波器を有しており、

前記の活性ポンピング層(2)も、垂直エミッタ層(3)も共に当該導波器に配置されている、

請求項1から3までのいずれか1項に記載の半導体装置。

【請求項5】

前記の導波器(10)には、ポンピング領域(11)の外部にて、ポンピング層のフィリングファクタ Γ_p および垂直エミッタ層のフィリングファクタ Γ_v を有するポンピングフィールドが対応付けられており、ここで当該のポンピング層のフィリングファクタ Γ_p は垂直エミッタ層のフィリングファクタ Γ_v よりも大きい、

請求項4に記載の半導体装置。

【請求項6】

前記のポンピングモード(14)では、ポンピング領域(11)外にてポンプビームフィールドのフィールド強度経過は強度最大値を有しており、ただし当該の強度経過は、半導体基体(1)内で垂直ビーム放射方向zに対してプロットしたものであり、

当該のビーム放射方向zにて前記のポンピング層(2)に対応する点は、垂直エミッタ層(3)の対応する点よりも前記の前記の最大値の対応する点の近くに配置されている、

請求項4または5に記載の半導体装置。

【請求項7】

前記の強度経過はゼロクロスを有しており、

前記のビーム放射方向zにおける垂直エミッタ層(3)に対応する点は、ポンピング層(2)に対応する点よりも当該ゼロクロスに対応する点の近くに配置されている、

請求項6までのいずれか1項に記載の半導体装置。

【請求項8】

前記のポンピング領域(11)内にて、垂直エミッタ層(3)におけるポンピングビームの吸収率は、ポンピング領域(11)に横方向に隣接する、垂直エミッタ層(3)の領域よりも高い、

請求項1から7までのいずれか1項に記載の半導体装置。

【請求項9】

前記のポンピング領域(11)内にてポンピング層のフィリングファクタ Γ_p と垂直エミッタ層のフィリングファクタ Γ_v との比 Γ_p/Γ_v は、ポンピング領域(11)に横方向に隣接する、垂直エミッタ層(3)の領域よりも低くされている、

請求項8に記載の半導体装置。

【請求項10】

前記のポンピング層(2)および垂直エミッタ層(3)は導波器(10)内に配置され

ており、

前記のポンピング領域（１１）内での導波器の導波特性は、当該ポンピング領域（１１）に横方向に隣接する領域と比べて変化させられている、

請求項８または９に記載の半導体装置。

【請求項１１】

前記のポンピング領域（１１）内で、導波器（１０）または当該導波器に隣接している層は少なくとも部分的に除去されている、

請求項１０に記載の半導体装置。

【請求項１２】

前記のポンピング領域（１１）内で、導波器（１０）または当該導波器に隣接している層は少なくとも部分的に酸化されている、

請求項８から１１までのいずれか１項に記載の半導体装置。

【請求項１３】

前記のポンピング層（２）は、ポンピング領域（１１）内で少なくとも部分的に除去されている、

請求項１から１２までのいずれか１項に記載の半導体装置。

【請求項１４】

前記のポンピング領域（１１）の外部に、垂直方向に伝搬する寄生的なビームフィールドを抑圧する手段が設けられている、

請求項１から１３までのいずれか１項に記載の半導体装置。

【請求項１５】

コンタクトメタライゼーション部（６，７）の材料に対して反射率の小さい材料を選択して、寄生的なビームフィールドによる、垂直に伝搬するモードの励振が抑圧されるようにした、

請求項１４に記載の半導体装置。

【請求項１６】

前記のポンピング領域（１１）の外部に、垂直に伝搬する寄生的なビームフィールドを抑圧するための吸収層が設けられている、

請求項１４または１５に記載の半導体装置。

【請求項１７】

前記のポンピング層（２）および垂直エミッタ層（３）には垂直方向にミラー層（４）が並んで配置されている、

請求項１から１６までのいずれか１項に記載の半導体装置。

【請求項１８】

前記のミラー層（４）はポンピング領域（１１）内で酸化されている、

請求項１７に記載の半導体装置。

【請求項１９】

前記のミラー層（４）は、垂直エミッタ層（３）と基板（５）との間に配置されており、

垂直エミッタ層によって形成されたビーム（１２）は、前記の基板とは反対側の面にて出力結合される、

請求項１７または１８に記載の半導体装置。

【請求項２０】

前記の垂直エミッタ層（３）はミラー層（４）と基板（５）との間に配置されており、垂直エミッタ層によって形成されたビーム（１２）は基板（５）を通して出力結合される、

請求項１７または１８に記載の半導体装置。

【請求項２１】

前記の垂直エミッタは外部共振器を有している、

請求項１から２０までのいずれか１項に記載の半導体装置。

10

20

30

40

50

【請求項 2 2】

前記の外部共振器は、ミラー層（4）および外部共振器によって構成されている、請求項 1 7 から 2 0 までのいずれか 1 項に記載の半導体装置。

【請求項 2 3】

前記のミラー層（4）は、前記のポンピング領域（1 1）にて酸化されている、請求項 2 2 に記載の半導体装置。

【請求項 2 4】

前記の外部共振器内に周波数変換のための素子が配置されている、請求項 2 1 または 2 2 に記載の半導体装置。

【請求項 2 5】

前記の半導体装置は、モノリシックに集積されて構成されている、請求項 1 から 2 4 までのいずれか 1 項に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、請求項 1 の上位概念に記載された光ポンピング式半導体装置に関する。

【0 0 0 2】

上記の形式の半導体装置は、例えば刊行物 WO 01/93396 から公知である。ここでは光ポンピング式垂直エミッタが記載されており、このエミッタは、例えば端面発光形半導体レーザーであるポンピングビーム源と共にモノリシックに集積されて実施されている。

【0 0 0 3】

高いポンピング効率を達成するため、ポンピング波長は、垂直エミッタの放射波長よりも短くなければならない。種々異なる波長は、例えば、垂直エミッタないしはポンピングビーム源の材料組成および構造を変えることによって得られる。

【0 0 0 4】

このような半導体装置は、例えば、まず基板の全面に垂直エミッタ用の複数の層を成長させ、つぎに横方向にみて外側の領域において、これらの層をエッチングによって部分的に再度取り除くことにより作製することができる。エッチングで取り除いた領域には、第 2 のエピタキシーステップにおいてポンピングビーム源用の層、例えば端面発光形の半導体レーザーを成長させる。

【0 0 0 5】

しかしながら別個の 2 つのエピタキシーステップによる作製には比較的大きなコストが必要である。またここでは上記のポンピングビーム源と垂直エミッタとの間に光学的に良好な移行部を形成して、この箇所における吸収損失が小さく維持されるように注意しなければならないのである。

【0 0 0 6】

IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 34, No. 3, 1998 の第 506～511 頁の Gerhold 等による刊行物からはさらに光ポンピング式の半導体装置が公知であり、この半導体装置は、量子井戸構造を備えたただ 1 つの貫通した活性層を有する。横方向にみて外側にある領域においてこの量子井戸構造は活性層に混ざっているため、この領域では中央領域に比べて波長の短いビームが形成され、これがこの中央領域に対するポンピングビームとして使用されるのである。

【0 0 0 7】

しかしながらただ 1 つの活性層だけが形成されるため、ポンピング波長は比較的小さな範囲だけで変化させることができる。これに加え、横方向に見て外側にある領域において上記の量子井戸構造が混ざっていることにより、この半導体基体の光学的特性が損なわれるという危険性があり、これによってポンピング効率が低下し得るのである。

【0 0 0 8】

本発明の課題は、技術的にわずかなコストで作製可能な、冒頭に述べた形式の光ポンピング式半導体装置を提供することである。ここでは殊にこの装置を中断のない 1 エピタキ

10

20

30

40

50

シー法で作製できるようにする。

【0009】

この課題は、請求項1に記載した特徴を有する光ポンピング式半導体装置によって解決される。本発明の有利な実施形態は従属請求項に記載されている。

【0010】

本発明では、活性垂直エミッタ層を有する光ポンピング式垂直エミッタと、横方向に伝搬するポンピングビームフィールドを形成するポンピングビーム源とを備えた半導体装置が設けられており、上記のポンピングビームフィールドにより、ポンピング領域において垂直エミッタ層が光ポンピングされる。ここでこのポンピングビームフィールドの波長は、垂直エミッタによって形成されるビームフィールドの波長よりも短い。上記のポンピングビーム源は、活性ポンピング層を有しており、このポンピング層は、垂直方向において上記の垂直エミッタ層に並んで配置されており、また垂直方向に見て少なくとも部分的に垂直エミッタ層と重なっている。ここでは活性ポンピング層はつぎのように配置されている。すなわち動作時に形成されるポンピングビームフィールドが、垂直エミッタ層によって形成されかつ横方向に伝搬する寄生的なビームフィールドよりも高い出力を有しているか、または横方向に伝搬する寄生的なビームフィールドの、垂直エミッタ層による形成が抑圧されるように配置されるのである。

10

【0011】

有利には上記のポンピングビーム源は、端面エミッタ、例えば、端面発光形レーザとして実施される。さらに有利には上記のポンピングビーム源はポンピングレーザの形態であり、また上記の垂直エミッタは共通の半導体基体にモノリシックに集積される。ここでは例えば、ポンピングレーザのレーザ共振器を半導体基体の側面によって形成して、垂直エミッタのポンピング領域がレーザ共振器内部に配置され、また活性垂直エミッタ層がかなりレーザ共振器内部に配置されるようにすることができる。

20

【0012】

本発明は、上記の活性垂直エミッタ層と活性ポンピング層とが1エピタキシー過程で順序に成長させられ、その際にすでに成長させた層を除去するためにこのエピタキシー過程が中断されることがないようにするというアイデアから出発する。効率的なポンピング過程の点から見たポンピング波長は、垂直エミッタの放射波長よりも短いため、横方向に伝搬するビームフィールドが垂直エミッタ層においても形成されないように注意すべきである。このような寄生的なビームフィールドは、垂直放射されるビームと同じ波長を有することになり、したがって垂直エミッタが不十分にしかポンピングされないことになってしまっているのである。このような理由からこのようなビームフィールドの発生は望ましくないのである。本発明ではポンピング層を配置して、動作時に形成されるポンピングビームフィールドが、垂直エミッタ層によって形成されかつ横方向に伝搬する寄生的なビームフィールドよりも少なくとも高い出力を有するようにする。ここでは有利にもこのような寄生的なビームフィールドの形成は十分に抑圧され、それどころか完全に抑圧されることもある。

30

【0013】

本発明の半導体装置は、比較的わずかな技術的コストで作製可能である。殊に垂直エミッタを成長させた後、このエピタキシー過程を中断して、層列の一部を再び除去し、第2のエピタキシー層においてポンピングビーム源を新たに成長させる必要はない。さらに本発明の半導体装置は、活性ポンピング層と活性垂直エミッタ層とを分けたことに起因してポンピング効率が高くなる点が優れており、ここで上記のポンピング波長および放射波長は、活性層の構成に応じて広い範囲で自由に調整可能である。

40

【0014】

本発明の有利な実施形態では、上記のポンピングビーム源は、電荷担体注入によって、例えば第1の電荷タイプの電荷担体および第2の電荷タイプの電荷担体の注入によって電氣的に励起されてポンピングビームが形成される。ふつうこれらの電荷担体は、タイプに応じて正味キャプチャレート (Nettoeingangrate) が異なる。ここでこの正味キャプチャ

50

レートは、電荷担体がポンピング層において再結合される確率に相当する。正味キャプチャレートは、殊に各電荷担体の移動度に依存する。

【0015】

上記の第1の電荷担体タイプの電荷担体は、第2の電荷担体タイプの電荷担体よりも高い正味キャプチャレートを有しており、半導体装置の一方の面から注入される。ここでポンピング層は、垂直エミッタ層よりもこの面との間隔が小さい。このような配置構成によって、ポンピング層と垂直エミッタ層とは同等ではなくなるため、上記の電荷担体注入により、もっぱらポンピング層においてビーム形成が励起されるのである。

【0016】

本発明の別の実施形態では、垂直エミッタ層とポンピング層との間にバリアが形成され、ここでこのバリアは、電荷担体についての選択性を有する。これによってまたポンピング層と垂直層とが同等でなくなるため、注入された電荷担体はさらに一層ポンピング層において再結合され、ひいては上記の横方向に伝搬する寄生のビームフィールドの、垂直エミッタ層による形成が十分に回避されるのである。

【0017】

本発明の別の有利な実施例では、上記の半導体装置の一部は第1導電形により、また別の一部は第2導電形によってドーピングされているため、第1導電形から第2導電形へのドーピングの移行部において空間電荷領域が形成される。ここではポンピング層は空間電荷領域内にまた垂直エミッタ層はこの空間電荷領域の外部に配置されており、この結果、電荷担体注入により、ビーム形成はもっぱらポンピング層によって励起され、垂直エミッタ層における寄生的なビームフィールドの励起が十分に回避されるのである。

【0018】

ここまで述べた本発明の特徴は、ポンピング層によって優先的にビームを形成するという点について、このポンピング層の配置構成に関係しているものであり、ここでこれは殊に電荷担体注入による電氣的な励起についての配置構成である。

【0019】

本発明の別の実施形態において上記の半導体装置は導波器を有しており、この導波器には上記の垂直エミッタ層もポンピング層も共に配置されており、ここでこのポンピング層の配置は、動作時に形成されるポンピングビームフィールドが、横方向に伝搬する寄生的なビームフィールドよりも高い出力を有するように選択される。殊に有利には垂直エミッタ層による寄生的なビームフィールドの形成は完全に抑圧される。導波器内における上記の活性層のこのような配置は、択一的にまたはすでに述べた本発明の特徴と組み合わせで行うことが可能である。

【0020】

上記の導波器には、1ポンピングモードが対応付けられており、このポンピングモードは、ポンピング層についてはフィリングファクタ (Fuellfaktor) Γ_p を、また垂直エミッタ層についてはフィリングファクタ Γ_v を有している。ここではポンピング層は、ポンピング層のフィリングファクタ Γ_p が垂直エミッタ層のフィリングファクタ Γ_v よりも大きくなるように配置されている。これに加えて本発明の第1実施形態では、ポンピング層を垂直エミッタ層よりもポンピングモードの強度最大値の近くに配置することができるため、ポンピング層のフィリングファクタ Γ_p 、すなわち、ポンピングモードとポンピング層との重なり合いは、ポンピングモードと垂直エミッタ層との相応する重なり合いよりも大きいのである。これによってポンピング層はポンピングビームフィールドに比較的強く結合され、ひいてはポンピング層による有利なビーム形成が達成されるのである。

【0021】

この一方で垂直エミッタ層よりも大きいポンピング層のフィリングファクタはつぎのようにして得ることもできる。すなわち、ポンピングモードとしてゼロクロスをもつモード、すなわち節をもつモードを選択して、垂直エミッタ層をポンピング層よりもこのゼロクロスの近くに配置することによって得ることができる。このようにして垂直エミッタ層に対して殊に小さいフィリングファクタが得られ、その結果、有利にもポンピングビー

ムフィールドをポンピング層に強く結合することができるのである。

【0022】

本発明の有利な発展形態では、ポンピング領域内において、垂直エミッタ層におけるポンピングビームの吸収率を、横方向に隣接する垂直エミッタ層の領域よりも高くする。これによって一方では有利にも光ポンピング過程の効率が高くなる。また他方ではこれにより、ポンピングビームフィールドの横方向の伝搬は、ポンピング領域外では垂直エミッタ層に妨害されない。

【0023】

ポンピング領域内でのポンピングビームフィールドの高い吸収率は、本発明において有利には上記の導波器に関連して、ポンピング領域内におけるこの導波器の導波特性を横方向に隣接する領域とは変えることによって実現される。この変更はさらに有利には、上記のポンピング層のフィリングファクタ Γ_p ないしは垂直エミッタ層のフィリングファクタ Γ_v の比 Γ_p / Γ_v をポンピング領域内において、横方向に隣接する領域よりも小さくすることによって行われる。導波特性の相応の変更は、例えば、導波器の一部ないしはこれに隣接する層の一部をポンピング領域内で部分的に取り除くか、または導波器の一部ないしはこれに隣接する層をポンピング領域内で酸化するかそうでなければ化学的に変化させて屈折率を変更することによって行うことができる。

【0024】

本発明のさらに有利な実施形態では、ポンピング領域内における吸収率は、ポンピング領域内でポンピング層を少なくとも部分的に取り除くことによって有利にも増大させることができる。ここでわかるのは、上で述べた従来技術とは異なり、このようなポンピング層の除去は、個々の半導体層のエピタキシャル成長の後に行うことができ、殊に後続のさらなるエピタキシャル過程が必要でないことである。

【0025】

本発明の有利な1実施形態では、垂直方向に伝搬する寄生的なビームフィールドの形成を抑圧する手段がポンピング領域の外部に設けられている。これによって回避されるのは、このポンピング領域の外部において、垂直方向に伝搬する不所望のモードが励振されることである。これらのモードは、ふつう半導体基体から出力結合されず、この半導体基体またはこれにデポジットされたコンタクトメタライゼーション部において吸収される。したがってこれらのモードは、ポンピング領域における垂直に放射されるビームフィールドの形成には寄与せず、この半導体装置の効率は悪くなる。

【0026】

このように垂直方向に伝搬する寄生的なモードを抑圧するため、本発明では電氣的な動作に必要なコンタクトメタライゼーションを比較的小さな反射率で形成する。ここでこの反射率は例えば垂直モードが励振し得ない程度に小さく選択される。さらにこのような垂直モードは、ポンピング領域の外部に吸収層を設け、この吸収層によって所期のように、垂直モードに高い損失を付加して、このモードの励振を抑圧することによって回避することができる。最後に、垂直エミッタに対して設けたブラッグミラーをポンピング領域内で酸化させて、ポンピング領域の外部におけるその反射率が、ポンピング領域内よりも格段に小さくなるようにすることも可能である。上記のコンタクトメタライゼーションの反射率を小さくすると同様にこれによって垂直方向の寄生的なモードの励振を回避することができる。

【0027】

本発明の別の特徴、利点および合目的性は、図1～8に関連した本発明の6つの実施例についての以下の説明から明らかである。

【0028】

ここで、

図1は、本発明の半導体装置の第1実施例の概略断面図を示しており、

図2は、本発明の半導体装置の第2実施例の概略断面図を示しており、

図3は、本発明の半導体装置の第3実施例の概略断面図を示しており、

図4は、本発明の半導体装置の第4実施例の概略断面図を示しており、
図5は、本発明の半導体装置の第5実施例の概略断面図を示しており、
図6は、本発明の半導体装置の第6実施例の概略断面図を示しており、
図7は、ポンピング領域外のポンピングビームフィールドのフィールド経過をグラフで示しており、

図8は、ポンピング領域内のポンピングビームフィールドのフィールド経過をグラフで示している。

【0029】

これらの図において同じ要素または同じ作用の要素には同じ参照符号が付されている。

【0030】

本発明による光ポンピング式半導体装置の図1に示した実施例は半導体基体1を有しており、この半導体基体は、活性ポンピング層2と、この活性ポンピング層2に垂直方向に並んで配置された活性垂直エミッタ層3とを有する。ここでポンピング層2および垂直エミッタ層3は互いに平行に配置されている。

【0031】

さらにポンピング層2および垂直エミッタ層3は導波器10内に構成されており、この導波器には、第1被覆層8およびこれに対峙した第2被覆層9が隣り合っている。

【0032】

この導波器には垂直方向においてブラッグミラー4および基板5が並んで配置されている。この基板には半導体層とは反対側の面にコンタクトメタライゼーション部6が設けられている。これに相応して、半導体基体の反対側の面にある第1被覆層8にコンタクト層17および第2コンタクトメタライゼーション部7がデポジットされている。このコンタクトメタライゼーション部はポンピング領域11内に切欠き部を有する。この領域において、垂直エミッタ層によって形成されて垂直方向に放射されるビーム12が出力結合される。

【0033】

これに加えてポンピング層2と垂直エミッタ層3との間に電荷担体選択性のバリア層13が配置されている。

【0034】

図示の実施例は、例えば、AlInGaAl材料系 $((Al_xIn_{1-x})_yGa_{1-y}As$ 、ただし $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$) または AlInGaP材料系 $((Al_xIn_{1-x})_yGa_{1-y}P$ 、ただし $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$) をベースにして実現可能であり、後者の場合、例えば 630 nm のポンピング波長および約 650 nm の垂直エミッタの放射波長によって実現される。ここではバリア層13として電流阻止層、例えば $(Al_{0.5}Ga_{0.5})_{0.5}In_{0.5}P$ 導波器に $Al_{0.5}In_{0.5}P$ 層を設けることができる。

【0035】

AlInGaAsをベースにした図1に相応する構造に対し、つぎの表において層材料および層厚ならびにドーピングを例示する。この構造においてブラッグミラー4は30組の層対を含んでおり、これらの層対は $Al_{1.0}Ga_{0.0}As$ 層および $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ 層を1つずつ有しており、また最後に基板の反対側を向いた面に $Al_{1.0}Ga_{0.0}As$ 層を有している。酸化したブラッグミラーの場合、すなわち Al_2O_3 層に $Al_{1.0}Ga_{0.0}As$ 層が酸化されている酸化ブラッグミラーの場合には例えば6対の層対で十分である。

【0036】

10

20

30

40

【表 1】

厚さ	材料	ドーピング		要素
200 nm	GaAs	p	C, $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$	コンタクト層17
1500 nm	$\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$	p	C, $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$	被覆層8
120 nm	$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$	—	—	導波器10
10 nm	$\text{In}_{0.13}\text{Ga}_{0.87}\text{As}$	—	—	活性ポンピング層2
120 nm	$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$	—	—	導波器10
120 nm	$\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$	n	Te, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$	バリア層13
225 nm	$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$	n	Te, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$	導波器10
10 nm	$\text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{As}$	n	Te, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$	活性垂直エミッタ層3
375 nm	$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$	n	Te, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$	導波器10
375 nm	$\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{As}$	n	Te, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$	被覆層9
75 nm	$\text{Al}_{1.0}\text{Ga}_{0.0}\text{As}$	n	Te, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$	ブラッグミラー4
75 nm (30×)	$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$	n	Te, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$	
75 nm (30×)	$\text{Al}_{1.0}\text{Ga}_{0.0}\text{As}$	n	Te, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$	
	GaAs	n	Te, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$	基板5

【0037】

当然のことながら本発明は上記の材料系に制限されることはなく、波長およびその他の要求に応じて別の半導体材料系をベースにして、例えば $(\text{Al}_x\text{In}_{1-x})_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}_z\text{P}_{1-z}$ 、ただし $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$ または $(\text{Al}_x\text{In}_{1-x})_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、ただし $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ をベースにして実現することができる。

【0038】

上記のポンピングビーム源は、図示の実施例において有利には端面発光形ポンピングレーザーとして実施され、そのレーザアクティブな媒体(laseraktives Medium)はポンピング層2である。上記のレーザ共振器は、ポンピング層2を横方向に制限する側面16によって形成されるため、垂直エミッタ層3および殊に垂直エミッタのポンピング領域11はポンピング共振器内に配置される。

【0039】

動作時にはコンタクトメタライゼーション部6および7を介して電荷担体が半導体基体に注入されてポンピングビームが形成される。ここでは出力結合面ないしはコンタクトメタライゼーション部7から第1の電荷担体タイプであるホールが注入が行われ、また対向するコンタクトメタライゼーション部6を介して第2の電荷担体タイプである電子の注入が行われる。

【0040】

図示の実施例では2つの電荷担体タイプの移動度が異なることに起因して、ホールは電子よりも正味キャプチャレートが高い。したがって、ポンピング層2は垂直エミッタ層よりもコンタクトメタライゼーション部7に近く配置されているために、コンタクトメタライゼーション部7によって入力結合されたホールは、ポンピング層2においてもほぼ放射性の再結合に利用され、またそこでポンピングフィールドを形成する。

【0041】

さらに電荷担体選択性のバリア層13は、その下にある垂直エミッタ層3にホールが拡散されるのを阻止するため、注入された電荷担体がポンピング層2において再結合される確率がさらに高くなるのである。

10

【0042】

さらに図1に示した実施例において基板5、ブラッグミラー4、被覆層9、これに続く導波器10の領域、垂直エミッタ層3、これに続く導波器10の領域およびバリア層13は第1導電形でドーピングされている。これに続く導波器の領域、ポンピング層2およびこれに続く導波器の領域はドーピングされておらず、また上側の第1被覆層8は第2導電形でドーピングされている。例えば第1導電形タイプはnドーピングに、また第2導電形はpドーピングである。

【0043】

このようなドーピングによってポンピング層2の領域において空間電荷領域が形成され、垂直エミッタ層3はこの空間電荷領域の外部に配置される。

20

【0044】

すでに説明したように本発明ではポンピング層2を実施して、形成されたポンピングビームが、ポンピング領域11内で垂直エミッタ層3によって形成されかつ垂直方向に放射されるビーム12よりも短い波長を有するようにする。ここでポンピング層2と垂直エミッタ層3とが同等である場合、同時に電氣的に励起すると、波長差に起因して、横方向に伝搬するビームフィールドがまず垂直エミッタ層3によって励起されることになる。これは上記の理由から不所望であり、十分に回避すべきである。

【0045】

このため、図1に示した実施例では3つの手段を設け、すなわち、正味キャプチャレートの高い電荷担体が注入される面とポンピング層との間隔を小さくし、ポンピング層2と垂直エミッタ層3との間にバリア層13を配置し、また空間電荷領域を形成したため、ポンピング層2は空間電荷領域内に位置し、また垂直エミッタ層3は空間電荷領域の外部に位置する。これらの3つの手段によって、同時に電氣的に励起されるという点についてポンピング層2と垂直エミッタ層3との同等性は解消されるため、横方向に伝搬するポンピングビームフィールドはもっぱらポンピング層2によって形成されるのである。

30

【0046】

電氣的な励起の強さに応じて、横方向に伝搬する寄生的なビームフィールドの、垂直エミッタ層3による形成は完全に抑圧されるか、または少なくともポンピングビームフィールドの出力が寄生的なビームフィールドの出力よりも大きくなる程度に抑圧される。本発明の枠内では、寄生的なビームフィールドを回避する上記の手段のうちの1つだけで十分となり得ることに注意されたい。その一方、殊に励起が強い場合には、横方向に伝搬するビームフィールドが垂直エミッタ層によって形成されることを阻止するためにさらに別の手段が必要となることもあり得る。

40

【0047】

図2に示された実施例は、ポンピング層2、垂直エミッタ層3、これらの間にあるバリア層11、導波器10、隣接する被覆層8および9ならびにブラッグミラー4については図1に相応する構造を有する。

【0048】

しかしながら図1に示した実施例とは異なり、ビームの出力結合は基板5を通して行われる。ここで基板にデポジットされるコンタクトメタライゼーション部6は、垂直方向に

50

放射されるビーム 1 2 を出力結合するため、ポンピング領域内に切欠き部を有している。これに対してブラックミラー 4 に配置されかつ対向するコンタクトメタライゼーション部 7 は、切欠き部なしに連続して構成される。

【0049】

図 2 に示した実施例では、基板 5 は、形成される垂直放射ビーム 1 2 について十分にビーム透過性を有しなければならない。導電性の基板は透過性が制限されることがあるため、ポンピング領域内で基板を部分的に取り除くか、または完全に取り除くことも有利となり得る（図示せず）。

【0050】

図 1 に示した実施例と同じように図 2 に示した実施例は、垂直エミッタ層における寄生的なビームフィールドを抑圧するための上記の 3 つの手段を有しており、ここでは場合によってはこれらの手段のうちの 1 つまたは 2 つの手段で十分であることもあり、または寄生的なビームフィールドを抑圧するために別の手段が必要である。例えば実施例においてポンピング層 2 と垂直エミッタ層 3 の位置を交換することが可能である。

【0051】

図 3 には本発明の第 3 実施例が示されている。これまでの実施例と同様に半導体基体 1 は基板 5 を有しており、この基板に順次にブラックミラー 4、導波器 10 および被覆層 8 がデポジットされている。導波器内には活性ポンピング層 2 が構成されており、また垂直方向にはポンピング層 2 と並んでまたこれに平行に垂直エミッタ層 3 が構成されている。基板 5 にはコンタクトメタライゼーション部 6 が設けられており、またこれとは反対側にコンタクトメタライゼーション部 7 を有する被覆層 8 が設けられている。

【0052】

導波器 10 によってポンピングモード 1 4 が決定される。このポンピングモードと上記の活性層のうちの 1 つとの重なり合いは、フィリングファクタと称される。このフィリングファクタが大きければ大きいほど、各活性層とポンピングビームフィールドとの結合が強くなる。本発明の枠内では、ポンピング領域 1 1 の外部においてポンピング層が、可能な限り大きいフィリングファクタ Γ_p を有するようにする。このため、図示の実施例ではポンピング層をポンピングモード 1 4 の強度最大値に配置して、また垂直エミッタ層 3 をここから離して、ポンピング層のフィリングファクタ Γ_p が垂直エミッタ層のフィリングファクタ Γ_v よりも大きくなるようにする。

【0053】

フィリングファクタ Γ_p が比較的大きいことに起因して、ポンピング層 2 は、導波器において横方向に伝搬するビームフィールドと垂直エミッタ層 3 よりも強く結合するため、一方では導波器においてもつばらポンピングビームが形成され、他方ではポンピング領域 1 1 の外部において垂直エミッタ層 3 により、ポンピングビームフィールドの横方向の伝搬はまったく損なわれないのである。

【0054】

本発明の枠内では、ポンピング領域の外部におけるポンピングビームの吸収率を垂直エミッタ層 3 において低減するという別の選択肢もあることに注意されたい。例えば、ポンピング領域の外部において垂直エミッタ層を強く励起して、この垂直エミッタ層を退色（ausbleichen）させ、ひいてはその透過性を高めることも可能である。しかしながら強い励起に起因して、垂直に伝搬する寄生的なモードが形成されるという危険性が高まるため、前述の選択肢の方が有利であると思われる。

【0055】

これに対してポンピング領域 1 1 内では垂直エミッタ層 3 とポンピングビームフィールドとが強く結合される。それはこの領域において垂直エミッタが、ポンピングビームフィールドによって光ポンピングされるからである。このためにポンピング領域 1 1 内における導波器の導波特性を変更して、ポンピング領域 1 1 の外部の横方向に隣接する領域よりもフィリングファクタの比 Γ_p / Γ_v が低減されるか、ないしは垂直エミッタ層のフィリングファクタ Γ_v が大きくなるようにする。

【0056】

図示の実施例においてこれは、ポンピング領域11内で被覆層8および導波器11の一部を台形に取り除くことによって達成され、これによって導波器の幅が低減される。平面で斜めに延在する切欠き部の側面により、ポンピング領域に向かって導波特性が連続して変化し、これによって不所望の反射および散乱損失が回避される。

【0057】

これによってポンピングモード15の強度最大値が垂直エミッタ層3の方向にずれるため、そのフィリングファクタ Γ_v が増大するか、ないしポンピング層2のフィリングファクタ Γ_p が低減される。強度最大値のずれは、ポンピング領域内のポンピングモード15によって概略的に示されている。さらに図3には垂直に放射されるビームフィールド12の強度分布が半導体基体内において概略的に示されている。またここでは、ビームフィールドの約 $1/e$ 半径である、垂直に放射されるビームフィールド12の横方向の広がりも示されており、これは屈折率によって制約されて放射方向に大きくなる。

10

【0058】

図4には本発明の第4実施例が示されている。この半導体装置は、かなりの部分で図3に示した実施例に相当している。図3とは異なり、導波器10はポンピング領域11に切欠き部を有しておらず、ブラッグミラー4はポンピング領域11内で酸化されている。酸化されたブラッグミラーの場合、有利にもミラー周期の数（ミラー対の数）を、酸化されていないブラッグミラーよりも低減することができる。例えば酸化されたブラッグミラーについては例えば5～10のミラー周期で十分であるのに対して、酸化されていないブラッグミラーではふつう25～50のミラー周期が設けられる。ミラー周期の数が小さいと、ブラッグミラーの熱抵抗も作製コストも共に低減される。

20

【0059】

酸化されたブラッグミラーに対して有利であるのは、例えばGaAs/AlGaAs材料系ベースのブラッグミラー、有利にはアルミニウム成分比の高い層におけるブラッグミラーである。これら層は、例えば高温多湿（feuchttermisch）で、例えば400℃の高温の水蒸気雰囲気において酸化させることができる。アルミニウムを含有する層を酸化することによって、この層の屈折率は決定的に変化し、ひいては結果的に導波特性を所望のように変化させることができる。

【0060】

30

この実施例において導波器10は、ポンピングモードがゼロクロス部、すなわち節を有するように設計されている。ここでポンピング層は前の実施例と同様にポンピングモード14の強度最大値に配置されており、これに対して垂直エミッタ層はポンピングモード14のゼロクロス部に配置されている。これによって垂直エミッタ層3の最小のフィリングファクタ Γ_v と同時に、ポンピング層2の最大のフィリングファクタ Γ_p が実現されるのである。

【0061】

ここでもポンピング領域11内において導波器10の導波特性を変更して、フィリングファクタの比 Γ_p/Γ_v を減少させる。すなわち活性層の結合がポンピング層2から垂直エミッタ層3にずらされるのである。これは図示の実施例において、導波器10に隣接するブラッグミラー4を部分的に酸化させることによって達成される。

40

【0062】

ブラッグミラーの酸化によって、導波器10とブラッグミラー4との間の屈折率の跳躍が変化するため、ポンピング領域11の外部では上述のようにポンピングモード14は、より一層深くブラッグミラーに入り込む。これに対してポンピング領域11内ではブラッグミラー4は酸化されているため、屈折率の跳躍は、横方向に隣接する領域よりも大きく、ポンピングモード15のゼロクロス部はポンピング層2の方向にずれ、ひいては垂直エミッタ層3から離れる。これによって垂直エミッタ層のフィリングファクタ Γ_v が上昇し、その結果、垂直エミッタ層におけるポンピングビームフィールドの吸収率ないしは結合が増大する。

50

【0063】

図5には本発明の第5実施例が示されている。この実施例では、図3および図4に示されている2つの実施例の特徴が組み合わされている。この半導体基体は、図3に示した半導体基体とかなりの部分が同じであり、殊にポンピング領域11内において被覆層8ないしは導波器10に切欠き部を有する。これに対して図4に示した実施例と同様にポンピングモード14として、ゼロクロス部を有するモードが設けられており、ここでもポンピング層2はポンピングモード14の強度最大値に、また垂直エミッタ層3はポンピングモード14のゼロクロス部に配置されている。ポンピング領域内で被覆層8ないしは導波器10を切り欠くことにより、図3に示した実施例と同様にこの導波器の導波特性を変更して、強度最大値をポンピング層から垂直エミッタ層3の方向にずらす。

10

【0064】

図6には本発明の第6実施例が示されている。ここでも半導体基体は、図3に示した半導体基体に実質的に対応するが、ポンピング領域内で切欠き部が深く実施されており、またこの切り欠き部が、被覆層から導波器10を経てポンピング層を越えて延在しており、すなわちポンピング領域内でポンピング層も取り除かれている点が異なる。コンタクト6および7の配置に起因して、ポンピング領域11内において実質的に電氣的な励起が行われないため、これは有利である。このようにすればこの領域においてポンピング層2は、ポンピングビームフィールドの形成に貢献しないのだが、不利なことにもこのポンピングビームフィールドを吸収することがある。有利にはポンピング領域内においてこの層列を所望の深さまでエッチング除去し、引き続いてパッシベーション層、例えば窒化ケイ素などの誘電体でカバーする。

20

【0065】

ポンピング領域11内の切欠き部によって、図3および図5に示した実施例と同様に導波器10の導波特性を変更する。図5に示した実施例と同様にポンピングモード14として、ゼロクロス部を有する比較的大きな横モードが設けられ、ここではポンピング領域の外部においてポンピング層2がポンピングモードの強度最大値に、また垂直エミッタ層3がポンピングモードのゼロクロス部に配置されている。

【0066】

図7にはポンピング領域の外部において線A-Aに沿ったポンピングモードの垂直方向の強度経過が概略的に示されている。この強度経過は、対応する半導体装置について複数のシミュレーション計算を行うことによって求めたものである。これらのシミュレーション計算のベースとしたのは、630nmのポンピング波長および650nmの垂直エミッタの放射波長を有するAlInGaP層系である。

30

【0067】

ここにプロットされているのは、垂直方向zに沿ったポンピングフィールドの強度ならびに半導体層列の対応する屈折率である。

【0068】

これに対して図8にはポンピング領域11内における、線B-Bに沿ったポンピングビームフィールドの強度の対応する経過が部分的に示されている。ここではパッシベーション層18としてSiN層が使用されている。

40

【0069】

はっきりわかるのは、一方では導波器の幅が小さくなることに起因してポンピングモードが押し詰められることであり、他方ではポンピングモードが垂直エミッタ層の方向にずれることである。ここで注意すべきであるのは、ポンピングモードの最大値が垂直エミッタ層3内まで意図的にずらされていないことである。それはこのようにすればポンピング領域内においてポンピングモードの吸収率が大きくなり、この結果、ポンピングビームフィールドがポンピング領域の縁部において大きく減衰し、ひいては不均一なポンピングプロファイルが発生し得るからである。

【0070】

本発明は有利には半導体ディスクレーザ、例えばVCSELまたはVECSELとして実施される

50

。例えば、上記の垂直エミッタは、外部共振器を有する垂直発光形レーザ（VECSEL）を構成するために設けられ、ここでこの共振器は上記のブラッグミラーおよび外部ミラーによって構成される。

【0071】

この実施形態の有利な発展形態では、外部共振器内に周波数変換のための素子、例えば周波数2倍化のための素子が設けられる。これに対して、例えば非線形の光素子、殊に非線形の結晶が有利である。

【0072】

上記の実施例に基づく本発明の説明は、当然のことながら本発明をこれに制限するものであるとはみなすべきでない。むしろ本発明には実施例およびその他の説明で述べた特徴の全ての組み合わせも含まれているのであり、たとえそれが請求項の対象でないとしても含まれているのである。

【図面の簡単な説明】

【0073】

【図1】 本発明の半導体装置の第1実施例の概略断面図である。

【図2】 本発明の半導体装置の第2実施例の概略断面図である。

【図3】 本発明の半導体装置の第3実施例の概略断面図である。

【図4】 本発明の半導体装置の第4実施例の概略断面図である。

【図5】 本発明の半導体装置の第5実施例の概略断面図である。

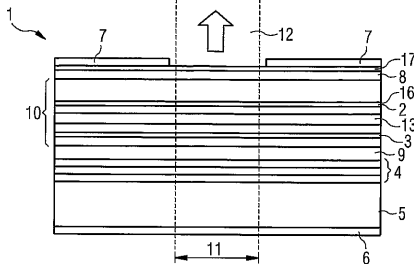
【図6】 本発明の半導体装置の第6実施例の概略断面図である。

【図7】 ポンピング領域外のポンピングビームフィールドのフィールド経過を示すグラフである。

【図8】 ポンピング領域内のポンピングビームフィールドのフィールド経過を示すグラフである。

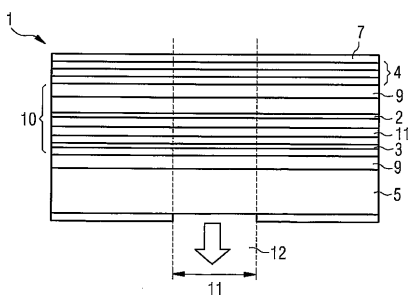
【図1】

FIG 1



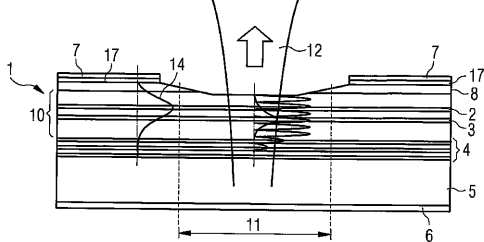
【図2】

FIG 2



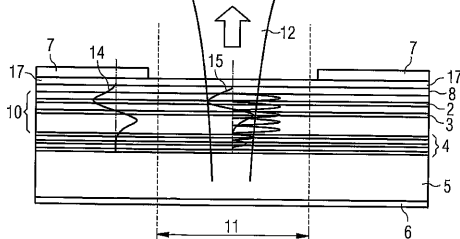
【図3】

FIG 3



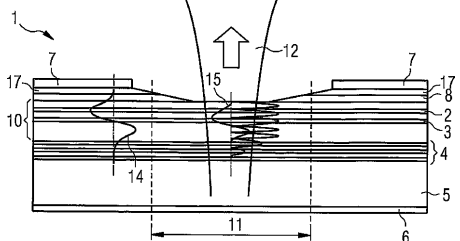
【図4】

FIG 4

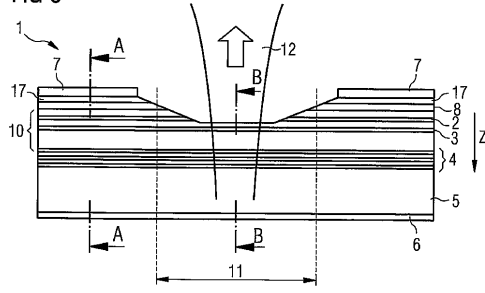


【図5】

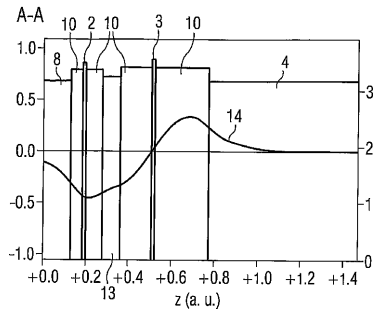
FIG 5



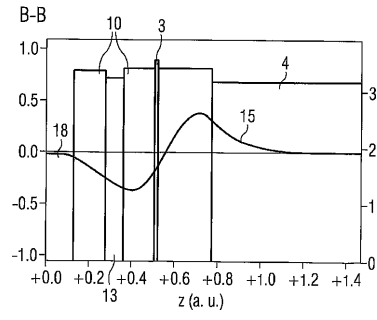
【図 6】
FIG 6



【図 7】
FIG 7



【図 8】
FIG 8



フロントページの続き

(74)代理人 100114890

弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト

(72)発明者 クリスティアン カルヌッチュ

ドイツ連邦共和国 カールスルーエ シュナイデミューラーシュトラッセ 16 ツェー

(72)発明者 ノルベルト リンダー

ドイツ連邦共和国 ヴェンツェンバッハ カイルベルクシュトラッセ 31

(72)発明者 ヴォルフガング シュミット

ドイツ連邦共和国 ドイアーリング／ヒルローエ フルーアヴェーク 6

審査官 杉山 輝和

(56)参考文献 独国特許出願公開第10243545 (DE, A1)

特開平07-022705 (JP, A)

特開平07-249824 (JP, A)

独国特許出願公開第10214120 (DE, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50