

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6943570号
(P6943570)

(45) 発行日 令和3年10月6日(2021.10.6)

(24) 登録日 令和3年9月13日(2021.9.13)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 S 5/24 (2006.01)	HO 1 S 5/24
HO 1 S 5/22 (2006.01)	HO 1 S 5/22

請求項の数 9 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2016-574824 (P2016-574824)	(73) 特許権者	000005290
(86) (22) 出願日	平成28年2月10日 (2016.2.10)		古河電気工業株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/053893		東京都千代田区大手町二丁目6番4号
(87) 国際公開番号	W02016/129618	(74) 代理人	110002147
(87) 国際公開日	平成28年8月18日 (2016.8.18)		特許業務法人酒井国際特許事務所
審査請求日	平成30年11月13日 (2018.11.13)	(72) 発明者	大木 泰
(31) 優先権主張番号	特願2015-25871 (P2015-25871)		東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内
(32) 優先日	平成27年2月12日 (2015.2.12)	(72) 発明者	梅野 和行
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内
		(72) 発明者	湊 龍一郎
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子およびレーザ光照射装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

活性層を有する半導体積層部を備え、レーザ光をマルチモード発振する半導体レーザ素子であって、

前記半導体積層部は、

第1領域と、該第1領域よりレーザ光出射側の端面の近傍に位置する第2領域と、を有し、

前記第1領域および前記第2領域は、前記レーザ光が導波するストライプ領域を含み、

前記第2領域は、前記第1領域よりも前記ストライプ領域への前記レーザ光の水平方向の光閉じ込め効果が小さく、

前記半導体積層部の上面において、前記第1領域に第1溝が設けられ、

前記半導体積層部の上面において、前記第2領域に第2溝が設けられ、前記第2溝の前記半導体積層部の最上面からの深さが、前記第1溝の前記半導体積層部の最上面からの深さより浅い

ことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】

前記レーザ光出射側の端面の近傍には、前記レーザ光の通る領域を規制して前記レーザ光を閉じ込める構造が設けられていないことを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 3】

前記半導体積層部は、前記レーザ光出射側の前記端面から前記レーザ光出射方向に沿って電流が注入されない電流非注入領域を備え、

該電流非注入領域の長さは、前記第2領域の長さより短いことを特徴とする請求項1または2に記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】

前記第2領域の長さは、100 μm 以上であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項5】

前記第2領域の長さは、150 μm 以上250 μm 以下であることを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

10

【請求項6】

前記半導体積層部は、前記レーザ光出射側の前記端面とは反対側の端面から前記レーザ光出射方向に沿って電流が注入されない電流非注入領域を備えることを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】

前記第2領域は、前記レーザ光出射側の前記端面を含むように形成されていることを特徴とする請求項1～6のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項8】

前記第2領域は、前記レーザ光出射側の前記端面と離間して形成されていることを特徴とする請求項1～7のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子。

20

【請求項9】

請求項1～8のいずれか一つに記載の半導体レーザ素子を備えることを特徴とするレーザ光照射装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体レーザ素子およびレーザ光照射装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、活性層を有する半導体積層部と、半導体積層部の上面に形成された電極と、を備え、電極の直下に形成したリッジ構造により光の水平方向の閉じ込めを実現した半導体レーザ素子が開示されている（たとえば特許文献1参照）。

30

【0003】

このような半導体レーザ素子は、出力用の光ファイバと、半導体レーザ素子の出力光を光ファイバに結合するためのレンズ、ミラー等の光学素子とともにパッケージ内に載置され、半導体レーザ装置として利用されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2012-146996号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

半導体レーザ装置は、光通信用レーザや加工などに用いられる産業用レーザなどとして活用されている。光通信用レーザでは、光ファイバ中に光を長距離（例えば数百キロメートル）伝搬させる必要があり、信号品質の劣化を抑制するためにシングルモードのレーザが使用されることが一般的である。一方、産業用レーザでは、光通信用レーザ以上の高出力が必要とされ、かつ長距離を伝搬させる必要がないため、高出力に特化したマルチモードのレーザが使用される。マルチモードレーザでは、レーザの導波路の幅を広くして、導波路内で複数のモードを許容する（つまり、マルチモード）ことによって、高出力が達成

50

される。ここで高出力とは、半導体レーザ素子の出力として、例えば3W～20W、半導体レーザ装置の出力として、例えば数十～200W（ともに室温、CW駆動）程度の出力のことである。産業用レーザでは、電気変換効率（WPE：Wall Plug Efficiency）が高いことが求められる。WPEは、投入電力（電流×電圧）に対する半導体レーザ装置の最終的な光出力の割合として定義される。

【0006】

半導体レーザ装置のWPEを高くするためには、半導体レーザ素子の出力光の光ファイバへの結合効率を高くすることが有効である。特に、高出力なファイバレーザの励起光源として用いられる、多数の半導体レーザ素子を備える半導体レーザ装置では、個々の半導体レーザ素子の光ファイバへの結合効率の改善が、当該半導体レーザ装置のWPEの改善に大きく影響する。

10

【0007】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子およびこれを備えたレーザ光照射装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子は、活性層を有する半導体積層部を備え、レーザ光をマルチモード発振する半導体レーザ素子であって、前記半導体積層部は、第1領域と、該第1領域よりレーザ光出射側の端面の近傍に位置する第2領域と、を有し、前記第1領域および前記第2領域は、前記レーザ光が導波するストライプ領域を含み、前記第2領域は、前記第1領域よりも前記ストライプ領域への前記レーザ光の水平方向の光閉じ込め効果が小さいことを特徴とする。

20

【0009】

また、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子は、前記第2領域は、前記レーザ光の水平方向の光閉じ込め効果がないことを特徴とする。

【0010】

また、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子は、前記半導体積層部は、前記レーザ光出射側の前記端面から前記レーザ光出射方向に沿って電流が注入されない電流非注入領域を備え、該電流非注入領域の長さは、前記第2領域の長さより短いことを特徴とする。

【0011】

また、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子は、前記第2領域の長さは、100μm以上であることを特徴とする。

30

【0012】

また、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子は、前記第2領域の長さは、150μm以上250μm以下であることを特徴とする。

【0013】

また、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子は、前記半導体積層部は、前記レーザ光出射側の前記端面とは反対側の端面から前記レーザ光出射方向に沿って電流が注入されない電流非注入領域を備えることを特徴とする。

【0014】

また、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子は、前記第2領域は、前記レーザ光出射側の前記端面を含むように形成されていることを特徴とする。

40

【0015】

また、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子は、前記第2領域は、前記レーザ光出射側の前記端面と離間して形成されていることを特徴とする。

【0016】

また、本発明の一態様に係るレーザ光照射装置は、本発明の一態様に係る半導体レーザ素子を備えていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0017】

50

本発明によれば、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】図1は、本発明の実施の形態に係る半導体レーザ素子の模式的な斜視図である。

【図2】図2は、図1に示す半導体レーザ素子の上面図である。

【図3】図3は、図2に示す半導体レーザ素子のI-I線断面図の一例である。

【図4】図4は、図2に示す半導体レーザ素子のI-I線断面図の一例である。

【図5】図5は、FFPh変化量と導波路幅との関係を表す図である。

【図6】図6は、FFPh変化量と第2領域の長さとの関係を表す図である。

【図7】図7は、パワー劣化率と第2領域の長さとの関係を表す図である。

【図8】図8は、変形例1の半導体レーザ素子の上面図である。

【図9】図9は、変形例2の半導体レーザ素子の上面図である。

【図10】図10は、変形例3の半導体レーザ素子の上面図である。

【図11】図11は、変形例4の半導体レーザ素子の上面図である。

【図12】図12は、変形例5の半導体レーザ素子の上面図である。

【図13】図13は、変形例6の半導体レーザ素子の上面図である。

【図14】図14は、公知の半導体レーザ素子の一例の上面図である。

【図15】図15は、公知の半導体レーザ素子の一例の上面図である。

【図16】図16は、構造例1の半導体レーザ素子の上面図である。

【図17】図17は、構造例1の半導体レーザ素子のI-I線断面図の一例である。

【図18】図18は、構造例2の半導体レーザ素子の上面図である。

【図19】図19は、構造例2の半導体レーザ素子のI-I線断面図の一例である。

【図20】図20は、構造例2の半導体レーザ素子のI-I線断面図である。

【図21】図21は、構造例3の半導体レーザ素子の上面図である。

【図22】図22は、構造例3の半導体レーザ素子のI-I線断面図の一例である。

【図23】図23は、構造例3の半導体レーザ素子のI-I線断面図である。

【図24】図24は、従来技術による半導体レーザ素子から得られたNFPの水平方向光強度分布を示す図である。

【図25】図25は、本発明の実施の形態の構造を有する半導体レーザ素子から得られたNFPの水平方向光強度分布を示す図である。

【図26】図26は、本発明の実施の形態に係るレーザ光照射装置の模式的な構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下に、図面を参照して本発明に係る半導体レーザ素子およびレーザ光照射装置の実施の形態を説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、図面の記載において、同一または対応する要素には適宜同一の符号を付している。また、図面は模式的なものであり、各要素の寸法の関係、各要素の比率などは、現実と異なる場合があることに留意する必要がある。図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている場合がある。

【0020】

(実施の形態)

まず、本発明の実施の形態に係る半導体レーザ素子について説明する。本実施の形態に係る半導体レーザ素子は、レーザ光をマルチモード発振する端面発光型の半導体レーザ素子であって、トレンチ溝によるリッジ構造を有しており、これによって光の水平方向の閉じ込めと電流狭窄構造とを実現するものである。なお、ここでマルチモード発振するとは、複数の導波モードを許容する幅の広い導波路を有することを意味する。

【0021】

図1は、本発明の実施の形態に係る半導体レーザ素子の模式的な斜視図である。以下で

10

20

30

40

50

は、図1に示すように、半導体の積層方向をy軸、レーザ光出射方向をz軸、y軸およびz軸に直交する水平方向をx軸とする。図1に示すように、この半導体レーザ素子1は、活性層を有する半導体積層部2と、半導体積層部2のレーザ光出射側の端面E1に形成された反射率がたとえば10%以下の低反射率膜3と、端面E1と対向する後端面側の端面E2に形成された反射率がたとえば90%以上の高反射率膜4とを有している。そして、半導体レーザ素子1は、ストライプ領域Sにてレーザ光Lを導波し、低反射率膜3を介してレーザ光Lを出射する。

【0022】

図2は、図1に示す半導体レーザ素子の上面図である。図2に示すように、半導体レーザ素子1は、半導体積層部2の上面に形成された上部電極5を備える。上部電極5は、開口部Aの外部の領域では、後述するパッシベーション膜で絶縁されており、開口部Aの内側で半導体積層部2に接している。

10

【0023】

半導体積層部2は、端面E1の近傍に位置する第2領域2abおよび端面E2の近傍に位置する第3領域2acと、第2領域2abと第3領域2acとの間に位置する第1領域2aaを有する。

第1領域2aaの半導体積層部2の上面には、レーザ光出射方向(z方向)に延伸するトレンチ溝Tr1が形成され、トレンチ溝Tr1の間にはストライプ領域Sが形成されている。トレンチ溝Tr1は、後述するように水平方向(x方向)の光導波構造を形成する。一方、第2領域2abおよび第3領域2acには、トレンチ溝Tr1は形成されておらず、半導体積層部2の上面は一定の高さとなっている。

20

したがって、第2領域2ab、第3領域2acは、ストライプ領域Sへのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果がなく、第1領域2aaよりもストライプ領域Sへのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果が小さくなっている。

【0024】

半導体レーザ素子1の素子長Ldは、たとえば1mm~6mm、さらに好ましくは3mm~5mm程度である。第2領域2abのz方向の長さL2abは、たとえば200μmである。第3領域2acのz方向の長さL2acは、たとえば150μmである。

【0025】

図3は、図2に示す半導体レーザ素子のI-I線断面図の一例である。図3に示すように、この半導体レーザ素子1は、上部電極5と、下面に形成された下部電極6と、n型のGaAsからなる基板7と、基板7上に形成された半導体積層部2と、パッシベーション膜15とを備える。

30

【0026】

半導体積層部2は、基板7上に順次形成された、n型バッファ層8、n型クラッド層9、n型ガイド層10、活性層11、p型ガイド層12、p型クラッド層13、p型コンタクト層14を備える。

【0027】

n型バッファ層8は、GaAsからなり、基板7上に高品質のエピタキシャル層の積層構造を成長するための緩衝層である。n型クラッド層9とn型ガイド層10とは、積層方向に対する所望の光閉じ込め状態を実現するように、屈折率と厚さとが設定されたAlGaAsからなる。なお、n型ガイド層10のAl組成は、例えば20%以上40%未満である。また、n型クラッド層9は、n型ガイド層10よりも屈折率が小さくなっている。また、n型ガイド層10の厚さは、50nm以上、たとえば1000nm程度であることが好ましい。n型クラッド層9の厚さは、1μm~3μm程度が好ましい。また、これらのn型半導体層は、n型ドーパントとしてたとえば珪素(Si)を含む。

40

【0028】

活性層11は、下部バリア層、量子井戸層、上部バリア層を備え、単一の量子井戸(SQW)構造を有する。下部バリア層および上部バリア層は、量子井戸層にキャリアを閉じ込める障壁の機能を有し、故意にドーピングをしない高純度のAlGaAsからなる。量

50

量子井戸層は、故意にドーピングをしない高純度の InGaAs からなる。量子井戸層の In 組成および膜厚、下部バリア層および上部バリア層の組成は、所望の発光中心波長（たとえば $900\text{ nm} \sim 1080\text{ nm}$ ）に応じて設定される。なお、活性層 11 の構造は、量子井戸層とその上下に形成されたバリア層の積層構造を所望の数だけ繰り返した多重量子井戸（MQW）構造でもよいし、単一量子井戸構造でもよい。また、上記では、故意にドーピングをしない高純度層での構成を説明したが、量子井戸層、下部バリア層および上部バリア層に故意にドナーやアクセプタが添加される場合もある。

【0029】

p 型ガイド層 12 および p 型クラッド層 13 は、上述の n 型クラッド層 9 および n 型ガイド層 10 と対になり、積層方向に対する所望の光閉じ込め状態を実現するように、屈折率と厚さとが設定された AlGaAs からなる。p 型ガイド層 12 の Al 組成は、例えば 20% 以上 40% 未満である。p 型クラッド層 13 は、p 型ガイド層 12 よりも屈折率が小さくなっている。層中の光のフィールドを n 型クラッド層 9 の方向にずらして導波路損失を小さくするために、p 型クラッド層 13 の Al 組成は n 型クラッド層 9 に比べて若干大きめに設定される。そして、p 型ガイド層 12 の Al 組成は、p 型クラッド層 13 の Al 組成に比べ小さく設定される。また、p 型ガイド層 12 の厚さは、 50 nm 以上、たとえば 1000 nm 程度であることが好ましい。p 型クラッド層 13 の厚さは、 $1\text{ }\mu\text{m} \sim 3\text{ }\mu\text{m}$ 程度が好ましい。また、これらの p 型半導体層は、p 型ドーパントとして炭素（C）を含む。p 型ガイド層 12 の C 濃度は、たとえば $0.1 \sim 1.0 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ に設定され、 $0.5 \sim 1.0 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 程度が好適である。p 型クラッド層 13 の C 濃度は、たとえば $1.0 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 以上に設定される。また、p 型コンタクト層 14 は、Zn または C が高濃度にドーピングされた GaAs からなる。

【0030】

パッシベーション膜 15 は、たとえば SiN_x からなる絶縁膜であり、開口部 A を有する。

【0031】

図 3 に示すように、半導体積層部 2 の開口部 A の直下の領域は、トレンチ溝 $\text{Tr}1$ が形成されていることにより、x 方向において光を閉じ込めるためのリッジ構造が形成されている。さらに、この半導体レーザ素子 1 では、パッシベーション膜 15 により上部電極 5 と半導体積層部 2 との接触面積を制限することによって電流狭窄構造が実現されている。

【0032】

図 3 において、導波路幅 W_s は、たとえば $80\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。ここで、導波路幅 W_s は、リッジ構造の底部の幅であり、ここでは 2 つのトレンチ溝 $\text{Tr}1$ の間隔と一致する。半導体レーザ素子 1 からの出力を光ファイバに結合させる場合、導波路幅 W_s は、光ファイバのコア径とほぼ同じ寸法とすると結合効率の観点から好適である。トレンチ溝 $\text{Tr}1$ の幅に対応するトレンチ幅 W_t は、たとえば $5 \sim 10\text{ }\mu\text{m}$ である。トレンチ溝の深さ D は、半導体積層部 2 の最上面からトレンチ溝 $\text{Tr}1$ の底までの深さである。活性層 11 の上面からトレンチ溝 $\text{Tr}1$ の底までの厚さであるリッジ残し厚 T は、たとえば $500 \sim 1500\text{ nm}$ である。水平方向の十分な光の閉じ込めと良好な電気光学特性を実現するため残し厚 T は、例えば $600 \sim 1100\text{ nm}$ であることが好ましい。

【0033】

これに対して、図 4 は、図 2 に示す半導体レーザ素子の I-I' 線断面図の一例である。図 4 に示すように、第 2 領域 2ab において、半導体積層部 2 には、トレンチ溝が形成されていない。

【0034】

また、図 2 に示すように、半導体レーザ素子 1 の半導体積層部 2 は、電流が注入されない電流非注入領域 2b を有する。電流非注入領域 2b は例えば SiN_x 、 SiO_2 などの絶縁膜等で電流注入が阻害されている。電流非注入領域 2b は、z 方向に沿って、端面 E1 側に形成された第 1 電流非注入領域 2ba と、端面 E2 側に形成された第 2 電流非注入領域 2bb とを有する。ここで、半導体レーザ素子において、光出力が増加すると、端面

においてレーザ光の吸収により熱が発生する場合がある。この場合、発熱によって端面が溶融し、レーザ素子の機能が停止してしまうCOD (Catastrophic Optical Damage) と呼ばれる現象が発生するおそれがあり、信頼性上問題となる。この問題を解決するため、半導体レーザ素子1の半導体積層部2には、両端面の近傍に電流を注入しない電流非注入領域2bが設けられている。

【0035】

第1電流非注入領域2baの長さ L_{2ba} 、第2電流非注入領域2bbの長さ L_{2bb} は、たとえばそれぞれ $100\mu\text{m}$ であるが、第1電流非注入領域2baの長さ L_{2ba} と第2電流非注入領域2bbの長さ L_{2bb} とが異なる値であってもよく、第1電流非注入領域2baのみに電流非注入領域が形成されていてもよい。

10

【0036】

つぎに、この半導体レーザ素子1の動作について説明する。まず、下部電極6と上部電極5の間に電圧を印加して、n型半導体層とp型半導体層とから活性層11にキャリアを注入する。このとき、上部電極5からp型半導体層を介して注入されるホールキャリアは、その電流経路がパッシベーション膜15により狭窄されて、電流密度が高められた状態で効率よく活性層11に注入される。このとき、電流が注入される幅が電流注入幅である。電流を注入された活性層11は所定の発光中心波長を有する光を発光する。発光した光は、x軸方向はリッジ構造によって、y軸方向はガイド層とクラッド層との屈折率差によって、活性層11の近傍に閉じ込められてz軸方向に導波しながら、活性層11の光増幅作用と、低反射率膜3と高反射率膜4とが形成する光共振器とによってレーザ発振する。これによって、半導体レーザ素子1は、図1に示すようにレーザ光Lを出射する。

20

【0037】

ここで、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子を実現することを検討する。半導体レーザ素子1の出力したレーザ光Lを光ファイバに高効率に結合させるためには、FFPh (水平方向の遠視野像: Far Field Pattern) の角度が小さく、かつNFP (水平方向の近視野像: Near Field Pattern) の幅が狭いことが好ましい。FFPhの角度が大きい場合、光ファイバのクラッドにレーザ光Lが結合し、結合効率が低下するとともに、クラッドから漏れた光が熱となり光ファイバの被覆等を損傷させる場合があるという問題が生じる。また、NFPの幅が広い場合にも、同様の問題が生じる。なお、本明細書においてFFPhの角度とは、半導体レーザ素子1の出力したレーザ光Lのピーク光強度に対して光強度が $1/e^2$ となる全角度であり、NFPの幅とは、半導体レーザ素子1の出力したレーザ光Lのピーク光強度に対して光強度が $1/e^2$ となる全幅である。また、水平方向とは、図1におけるx軸方向を指す。

30

【0038】

まず、NFPの幅を狭くするには、導波路幅Wsを狭くすればよい。導波路幅Wsを狭くすると、発振されるレーザ光Lの水平方向の幅が狭くなるためである。しかしながら、導波路幅Wsを単純に狭くしても半導体レーザ素子1の光ファイバへの結合効率が改善されない。

【0039】

図5は、FFPh変化量と導波路幅との関係を表す図である。図5に示すように、導波路幅Wsが $100\mu\text{m}$ の場合を基準として導波路幅Wsを狭くするとFFPhの角度は大きくなる。つまり、導波路幅Wsを狭くすると、NFPの幅は狭くなるものの、FFPhの角度は大きくなり、半導体レーザ素子1の光ファイバへの結合効率を十分に改善することができない。

40

【0040】

導波路幅Wsを狭くするとFFPhの角度が大きくなる理由は以下のように推定される。まず、導波路幅Wsが狭いと、上部電極5と半導体積層部2とのコンタクト面積が狭くなり、抵抗が増加する。抵抗が増加すると、同一の電流を注入した場合であっても発熱が増加する。そして、発熱が増加して温度が上昇すると、発振したレーザ光Lが導波する領域とそれ以外の領域との屈折率差が増大する。この屈折率差の増大により、レーザ光Lが

50

導波する領域に、より高次の水平横モードが閉じ込められるようになる。

【0041】

以上で説明したように、NFPの幅とFFPhの角度とは、一方を小さくすると他方が大きくなるトレードオフの関係にある。

【0042】

ここで、半導体レーザ素子1と対比するため、公知の半導体レーザ素子について説明する。図14、図15は、公知の半導体レーザ素子の一例の上面図である。図14に示すように、公知の半導体レーザ素子101は、活性層を有する半導体積層部102と、低反射率膜103と、高反射率膜104と、活性層に電流を注入する上部電極105とを備える。そして、半導体積層部102は、両端面を含んでz方向に連続して形成されたトレンチ溝Tr101を有し、これにより水平方向の光の閉じ込めが強くされている。同様に、図15に示す公知の半導体レーザ素子111は、活性層を有する半導体積層部112と、低反射率膜113と、高反射率膜114と、活性層に電流を注入する上部電極115とを備える。そして、半導体積層部112は、両端面を含んでz方向に連続して形成されたトレンチ溝Tr111を有し、これにより水平方向の光の閉じ込めが強くされている。また、半導体積層部112は、第1電流非注入領域112baと第2電流非注入領域112bbとからなる電流が注入されない電流非注入領域112bを備え、CODの発生が抑制されている。

10

【0043】

半導体レーザ素子101、半導体レーザ素子111において、半導体積層部102、半導体積層部112は、両端面を含んでz方向に連続して形成されたトレンチ溝Tr101、トレンチ溝Tr111を有する。その結果、半導体レーザ素子101、半導体レーザ素子111で励振された高次の水平横モードの光は、トレンチ溝Tr101、トレンチ溝Tr111により形成されたリッジ構造により閉じ込められたまま、低反射率膜103、低反射率膜113を介してレーザ光として出力される。

20

【0044】

これに対し、本実施の形態に係る半導体レーザ素子1は、図2に示すように、端面E1側の第2領域2abにトレンチ溝が形成されていない。この第2領域2abでは、トレンチ溝がなくリッジ構造を有しないため、高次の水平横モードの閉じ込めが弱くなる。すると、半導体レーザ素子1では、出力するレーザ光Lに含まれる光のうち、FFPhの角度が大きい高次の水平横モードの光が減少する。その結果、半導体レーザ素子1の出力するレーザ光Lは、FFPhの角度が小さくなる。このとき、導波路幅Wsを変化させる場合と異なり、NFPの幅はほとんど変化しないので、結果として半導体レーザ素子1の光ファイバへの結合効率が改善される。

30

【0045】

以上で説明したように、NFPの幅とFFPhの角度とはトレードオフの関係にあるものの、半導体レーザ素子1は、FFPhの角度を小さくし、かつNFPの幅を増大させることがない構成とされている。

【0046】

図6は、FFPh変化量と第2領域の長さとの関係を表す図である。図6に示すように、第2領域2abの長さL2abを大きくすると、高次の水平横モードの閉じ込めを低減する効果が大きくなるため、FFPhが小さくなる。図6より、第2領域2abの長さL2abは、たとえば100μm以上でFFPhを小さくする効果があるが、150μm以上とするとFFPhが1度以上小さくなるためより好適である。このように、半導体レーザ素子1は、FFPhの角度が小さく光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子であることが実証された。

40

【0047】

図7は、パワー劣化率と第2領域の長さとの関係を表す図である。図7に示すように、第2領域2abの長さL2abを大きくすると、半導体レーザ素子1の出力光強度が劣化する。これは、半導体レーザ素子1は、第2領域2abにおいてトレンチ溝がなくリッジ

50

構造を有しないため、この領域で水平方向の光の閉じ込めが弱くなるためである。すなわち、第2領域2 a bの長さL 2 a bを大きくしすぎると、半導体レーザ素子1の出力光強度が劣化し好ましくない。図7より、第2領域2 a bの長さL 2 a bを250 μm 以下とすると出力光強度の劣化率は1%以内に抑えられる。

【0048】

したがって、図6および図7に示した測定結果から、第2領域2 a bの長さL 2 a bの長さは、100 μm 以上250 μm 以下であることが好適である。以上のように、半導体レーザ素子1の一部にのみ水平方向の光の閉じ込めが弱い領域を設けることによって、光強度の低下を適切な範囲に抑えつつ、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子を提供することができる。また、図6、図7を見ても分かるように長さL 2 a bに対して、光出力とFFPhとがトレードオフの関係にある。シングルモードレーザでは、長さL 2 a bを長くすると光出力が急激に低下し、好適な長さL 2 a bを設定することが難しい。一方、半導体レーザ素子1は、マルチモードレーザであるので、工業的に実現可能な範囲をもって長さL 2 a bを設定することができる。

10

【0049】

なお、図6および図7の測定において、第1電流非注入領域2 b aの長さL 2 b aは、100 μm に固定したが、第1電流非注入領域2 b aの長さL 2 b aは、第2領域2 a bの長さL 2 a bに応じて最適な値に設定することが好ましい。特に、第1電流非注入領域2 b aの長さL 2 b aが、第2領域2 a bの長さL 2 a bより長い場合、電流が注入されない、かつトレンチ溝がなく、更に水平方向の光の閉じ込めが弱い領域がより長くなり、半導体レーザ素子1の出力光強度の劣化が著しい。したがって、第1電流非注入領域2 b aの長さL 2 b aは、第2領域2 a bの長さL 2 a bより短いことが好ましい。長さL 2 b aは、長さL 2 a bに応じて、例えば長さL 2 a bより10 μm ～100 μm 短いと好適である。（この場合、長さL 2 b aが長さL 2 a bより長い場合と比べて、出力光強度が数%程度大きくなる。）同様に、第2電流非注入領域2 b bの長さL 2 b bは、第3領域2 a cの長さL 2 a cより短いことが好ましい。長さL 2 b bは、長さL 2 a cに応じて、例えば長さL 2 a cより10 μm ～100 μm 短いと好適である。

20

【0050】

図24は、従来技術による半導体レーザ素子から得られたNFPの水平方向光強度分布である。図24では、NFPに含まれるTEモード成分、TMモード成分、およびこれらの成分を合わせたものを示している。なお、導波路幅Wsは100 μm である。図24に示すように、導波路のへりに相当する領域に光強度の大きなピークが見られる。このような局所的な光強度の集中は、CODの原因となり、信頼性上好ましくない。また、導波路のへりに見られる局所的な光強度のピークにはTMモード成分が多く含まれていることが分かった。ここで、半導体レーザ素子から出力されるレーザ光を一つの光学系に合わせる技術として、偏波合成技術があるが、この技術を用いる際、レーザ光にTMモード成分が多く含まれているのは好ましくない。

30

【0051】

図25は、図1に示す本発明の実施の形態の構造を有する半導体レーザ素子から得られたNFPの水平方向光強度分布である。図24では、NFPに含まれるTEモード成分、TMモード成分、およびこれらの成分を合わせたものを示している。なお、導波路幅Wsは100 μm である。図25に示すように、図24で見られた、導波路のへりに相当する領域に光強度の大きなピークは見られず、位置に対して光強度がより均一となっている。したがって、局所的な光強度の集中によるCODが抑制され、信頼性上好ましい。また、図25から解るように、NFPに含まれるTMモード成分が小さいので、偏波合成技術を用いる上で好ましい。

40

【0052】

また、半導体レーザ素子1の半導体積層部2は、第2領域2 a bだけでなく第3領域2 a cにおいてもトレンチ溝が形成されていない。しかしながら、FFPhの角度を小さくするためには、レーザ光出射側の端面近傍にトレンチ溝が形成されていない領域があれば

50

よく、第3領域2acにトレンチ溝が形成されていてもよい。半導体レーザ素子1においては、製造過程において基板7をへき開する際のへき開面の連続性の観点から第3領域2acにトレンチ溝を形成していない。

【0053】

また、トレンチ溝の深さD（図3参照）が深くリッジ残し厚Tが小さいほど、レーザ光Lが導波する領域とそれ以外の領域との屈折率差が増大し、より高次の水平横モードが閉じ込められる。したがって、このような場合に本発明のFFPhを小さくする効果が顕著に発揮される。

【0054】

以上で説明したように、本実施の形態に係る半導体レーザ素子1は、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子である。

【0055】

なお、本実施の形態に係る半導体レーザ素子1は、公知の有機金属化学気相成長（MOCVD：Metal Organic Chemical Vapor Deposition）法等を用いて成長させた半導体積層部2に、フォトリソグラフィ工程およびエッチング工程を用いて半導体積層部2の第1領域2aaに選択的にトレンチ溝Tr1を形成することにより製造される。

【0056】

（変形例1）

つぎに、本発明の実施の形態に係る半導体レーザ素子の変形例1について説明する。図8は、変形例1の半導体レーザ素子の上面図である。図8に示すように、変形例1の半導体レーザ素子21は、活性層を有する半導体積層部22と、半導体積層部22のレーザ光出射側の端面E21に形成された低反射率膜23と、端面E21と対向する後端面側の端面E22に形成された高反射率膜24とを有している。

【0057】

さらに、半導体レーザ素子21は、半導体積層部22の上面に形成された上部電極25を備える。上部電極25は、開口部Aの内側で半導体積層部22に接している。

【0058】

半導体積層部22は、端面E21の近傍に位置する第2領域22abおよび端面E22の近傍に位置する第3領域22acと、第2領域22abと第3領域22acとの間に位置する第1領域22aaを有する。

第1領域22aaの半導体積層部22の上面には、z方向に延伸するトレンチ溝Tr2が形成され、トレンチ溝Tr2の間にはストライプ領域（図1参照）が形成されている。一方、第2領域22abおよび第3領域22acには、トレンチ溝Tr2は形成されておらず、半導体積層部22の上面は一定の高さとなっている。

したがって、第2領域22ab、第3領域22acは、ストライプ領域へのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果がなく、第1領域22aaよりもストライプ領域へのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果が小さくなっている。

【0059】

ここで、半導体レーザ素子21の半導体積層部22は、端面E21側の第2領域22abにトレンチ溝が形成されていない。この第2領域22abでは、トレンチ溝がなくリッジ構造を有しないため、ストライプ領域への高次の水平横モードの閉じ込めが弱くなる。すると、半導体レーザ素子21では、出力するレーザ光に含まれる光のうち、FFPhの角度が大きい高次の水平横モードの光が減少する。その結果、半導体レーザ素子21の出力するレーザ光は、FFPhの角度が小さくなる。したがって、変形例1の半導体レーザ素子21は、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子である。

【0060】

（変形例2）

つぎに、本発明の実施の形態に係る半導体レーザ素子の変形例2について説明する。図9は、変形例2の半導体レーザ素子の上面図である。図9に示すように、変形例2の半導

10

20

30

40

50

体レーザ素子 3 1 は、活性層を有する半導体積層部 3 2 と、半導体積層部 3 2 のレーザ光出射側の端面 E 3 1 に形成された低反射率膜 3 3 と、レーザ光出射側の端面と対向する後端面側の端面 E 3 2 に形成された高反射率膜 3 4 とを有している。

【0061】

さらに、半導体レーザ素子 3 1 は、半導体積層部 3 2 の上面に形成された上部電極 3 5 を備える。上部電極 3 5 は、開口部 A の内側で半導体積層部 3 2 に接している。

【0062】

半導体積層部 3 2 は、端面 E 3 1 の近傍に位置する第 2 領域 3 2 a b および端面 E 3 2 の近傍に位置する第 3 領域 3 2 a c と、第 2 領域 3 2 a b と第 3 領域 3 2 a c との間に位置する第 1 領域 3 2 a a を有する。

10

第 1 領域 3 2 a a の半導体積層部 3 2 の上面には、z 方向に延伸するトレンチ溝 T r 3 1 が形成されている。一方、第 2 領域 3 2 a b および第 3 領域 3 2 a c の半導体積層部 3 2 の上面には、z 方向に延伸するトレンチ溝 T r 3 2 およびトレンチ溝 T r 3 3 が形成されている。トレンチ溝 T r 3 1、トレンチ溝 T r 3 2、トレンチ溝 T r 3 3 の間にはストライプ領域が形成されている。

トレンチ溝 T r 3 2、トレンチ溝 T r 3 3 は、トレンチ溝 T r 3 1 よりも半導体積層部 3 2 の最上面からトレンチ溝の底までの深さが浅い。

したがって、第 2 領域 3 2 a b、第 3 領域 3 2 a c は、第 1 領域 3 2 a a よりもストライプ領域へのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果が小さくなっている。

トレンチ溝 T r 3 1 の深さは、たとえば 1 0 0 0 n m である。トレンチ溝 T r 3 2、トレンチ溝 T r 3 3 の深さは、たとえば 2 0 0 n m である。

20

【0063】

ここで、半導体レーザ素子 3 1 の半導体積層部 3 2 は、端面 E 3 1 側の第 2 領域 3 2 a b にトレンチ溝の深さが浅いトレンチ溝 T r 3 2 を有する。この第 2 領域 3 2 a b では、トレンチ溝の深さが浅いため、ストライプ領域への高次の水平横モードの閉じ込めが弱くなる。すると、半導体レーザ素子 3 1 では、出力するレーザ光に含まれる光のうち、F F P h の角度が大きい高次の水平横モードの光が減少する。その結果、半導体レーザ素子 3 1 の出力するレーザ光は、F F P h の角度が小さくなる。したがって、変形例 2 の半導体レーザ素子 3 1 は、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子である。

【0064】

30

変形例 2 の半導体レーザ素子 3 1 のように、第 2 領域には、トレンチ溝が形成されていてもよい。第 1 領域のトレンチ溝の深さより第 2 領域のトレンチ溝の深さが浅く、第 2 領域の水平方向の光の閉じ込めが弱い構成であれば本発明の効果が発揮される。また、トレンチ溝 T r 3 2 の深さとトレンチ溝 T r 3 3 の深さとが異なる構成であってもよい。

【0065】

また、変形例 2 として半導体積層部 2 2 が電流非注入領域を有さない例を示したが、電流非注入領域を設けてもよい。

【0066】

(変形例 3)

つぎに、本発明の実施の形態に係る半導体レーザ素子の変形例 3 について説明する。図 1 0 は、変形例 3 の半導体レーザ素子の上面図である。図 1 0 に示すように、変形例 3 の半導体レーザ素子 4 1 は、活性層を有する半導体積層部 4 2 と、半導体積層部 4 2 のレーザ光出射側の端面 E 4 1 に形成された低反射率膜 4 3 と、端面 E 4 1 と対向する後端面側の端面 E 4 2 に形成された高反射率膜 4 4 とを有している。

40

【0067】

さらに、半導体レーザ素子 4 1 は、半導体積層部 4 2 の上面に形成された上部電極 4 5 を備える。上部電極 4 5 は、開口部 A の内側で半導体積層部 4 2 に接している。また、半導体積層部 4 2 は、電流が注入されない電流非注入領域 4 2 b を備える。電流非注入領域 4 2 b は、z 方向に沿って、端面 E 4 1 側に形成された第 1 電流非注入領域 4 2 b a と、端面 E 4 2 側に形成された第 2 電流非注入領域 4 2 b b とを有する。このように、半導体

50

レーザ素子41は、電流非注入領域42bによりCODの発生が防止された半導体レーザ素子である。

【0068】

半導体積層部42は、端面E41の近傍に位置する第2領域42abおよび端面E42の近傍に位置する第3領域42acと、第2領域42abと第3領域42acとの間に位置する第1領域42aaを有する。

第1領域42aaの半導体積層部42の上面には、z方向に延伸するトレンチ溝Tr41が形成されている。一方、第2領域42abおよび第3領域42acの半導体積層部42の上面には、z方向に延伸するトレンチ溝Tr42およびトレンチ溝Tr43が形成されているトレンチ溝Tr41、トレンチ溝Tr42、トレンチ溝Tr43の間にはストライプ領域が形成されている。

10

トレンチ溝Tr42、トレンチ溝Tr43は、トレンチ溝Tr41よりも半導体積層部42の最上面からトレンチ溝の底までの深さが浅い。

したがって、第2領域42ab、第3領域42acは、第1領域42aaよりもストライプ領域へのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果が小さくなっている。

トレンチ溝Tr41の深さは、たとえば1000nmである。トレンチ溝Tr42、トレンチ溝Tr43の深さは、たとえば200nmである。

【0069】

なお、この場合も、第1電流非注入領域42baの長さL42baは、第2領域42abのz方向の長さL42abより短いことが好ましい。同様に、第2電流非注入領域42bbの長さL42bbは、第3領域42acのz方向の長さL42acより短いことが好ましい。

20

【0070】

ここで、半導体レーザ素子41の半導体積層部42は、端面E41側の第2領域42abにトレンチ溝の深さが浅いトレンチ溝Tr42を有する。この第2領域42abでは、トレンチ溝の深さが浅いため、ストライプ領域への高次の水平横モードの閉じ込めが弱くなる。すると、半導体レーザ素子41では、出力するレーザ光に含まれる光のうち、FFPhの角度が大きい高次の水平横モードの光が減少する。その結果、半導体レーザ素子41の出力するレーザ光は、FFPhの角度が小さくなる。したがって、変形例3の半導体レーザ素子41は、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子である。

30

【0071】

(変形例4)

つぎに、本発明の実施の形態に係る半導体レーザ素子の変形例4について説明する。図11は、変形例4の半導体レーザ素子の上面図である。図11に示すように、変形例4の半導体レーザ素子51は、活性層を有する半導体積層部52と、半導体積層部52のレーザ光出射側の端面E51に形成された低反射率膜53と、端面E51と対向する後端面側の端面E52に形成された高反射率膜54とを有している。

【0072】

さらに、半導体レーザ素子51は、半導体積層部52の上面に形成された上部電極55を備える。上部電極55は、開口部Aの内側で半導体積層部52に接している。

40

【0073】

半導体積層部52は、端面E51の近傍に位置する第2領域52abおよび端面E52の近傍に位置する第3領域52acと、第2領域52abと第3領域52acとの間に位置する第1領域52aaを有する。

第1領域52aaの半導体積層部52の上面には、z方向に延伸するトレンチ溝Tr51が形成されている。一方、第2領域52abおよび第3領域52acの半導体積層部52の上面には、z方向に延伸するトレンチ溝Tr52およびトレンチ溝Tr53が形成されている。トレンチ溝Tr51、トレンチ溝Tr52、トレンチ溝Tr53の間にはストライプ領域が形成されている。

また、トレンチ溝Tr51とトレンチ溝Tr52との境界およびトレンチ溝Tr51と

50

トレンチ溝Tr53との境界は、z方向に沿った両端面に向かって、トレンチ溝Tr51の幅が狭くなるとともにトレンチ溝Tr52およびトレンチ溝Tr53の幅が広くなり、かつトレンチ溝の合計の幅が一定であるように形成されている。そして、半導体レーザ素子51において、トレンチ溝Tr52、トレンチ溝Tr53は、トレンチ溝Tr51よりも半導体積層部52の最上面からトレンチ溝の底までの深さが浅い。トレンチ溝Tr51の深さは、たとえば1000nmである。トレンチ溝Tr52、トレンチ溝Tr53の深さは、たとえば200nmである。

したがって、第2領域52ab、第3領域52acは、第1領域52aaよりもストライプ領域へのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果が小さくなっている。

【0074】

10

ここで、半導体レーザ素子51の半導体積層部52は、端面E51側の第2領域52abにトレンチ溝の深さが浅いトレンチ溝Tr52を有する。この第2領域52abでは、トレンチ溝の深さが浅いため、ストライプ領域への高次の水平横モードの閉じ込めが弱くなる。すると、半導体レーザ素子51では、出力するレーザ光に含まれる光のうち、FFPhの角度が大きい高次の水平横モードの光が減少する。その結果、半導体レーザ素子51の出力するレーザ光は、FFPhの角度が小さくなる。したがって、変形例4の半導体レーザ素子51は、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子である。

【0075】

なお、半導体レーザ素子51において、トレンチ溝Tr51とトレンチ溝Tr52との境界は、レーザ光が導波するz方向に対して傾斜している。その結果、導波するレーザ光がトレンチ溝Tr51とトレンチ溝Tr52との境界において、屈折率等の急激な変化の影響を受け、半導体レーザ素子の出力特性に悪影響が生じることが防止されている。

20

【0076】

変形例4として半導体積層部52が電流非注入領域を有さない例を示したが、電流非注入領域を設けてもよい。この場合も、端面E51側の電流非注入領域の長さは、第2領域52abのz方向の長さL52abより短いことが好ましい。同様に、端面E52側の電流非注入領域の長さは、第3領域52acのz方向の長さL52acより短いことが好ましい。なお、この場合、第2領域52abの長さL52ab、第3領域52acの長さL52acは、図11に示すように、端面E51、E52からトレンチ溝Tr51の幅が一定となる位置までの長さを指す。

30

【0077】

(変形例5)

つぎに、本発明の実施の形態に係る半導体レーザ素子の変形例5について説明する。図12は、変形例5の半導体レーザ素子の上面図である。図12に示すように、変形例5の半導体レーザ素子61は、活性層を有する半導体積層部62と、半導体積層部62のレーザ光出射側の端面E61に形成された低反射率膜63と、端面E61と対向する後端面側の端面E62に形成された高反射率膜64とを有している。

【0078】

さらに、半導体レーザ素子61は、半導体積層部62の上面に形成された上部電極65を備える。上部電極65は、開口部Aの内側で半導体積層部62に接している。

40

【0079】

半導体積層部62は、端面E61の近傍に位置する第2領域62abおよび端面E62の近傍に位置する第3領域62acと、第2領域62abと第3領域62acとの間に位置する第1領域62aaを有する。

第1領域62aaの半導体積層部62の上面には、z方向に延伸するトレンチ溝Tr6が形成され、トレンチ溝Tr6の間にはストライプ領域が形成されている。一方、第2領域62abおよび第3領域62acには、トレンチ溝Tr6は形成されておらず、半導体積層部62の上面は一定の高さとなっている。

したがって、第2領域62ab、第3領域62acは、ストライプ領域へのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果がなく、第1領域62aaよりもストライプ領域へのレーザ光

50

の水平方向の光閉じ込め効果が小さくなっている。また、トレンチ溝Tr6のz方向に沿った両端部は、両端面に向かって、トレンチ溝Tr6の幅が狭くなる。

【0080】

ここで、半導体レーザ素子61の半導体積層部62は、端面E61側の第2領域62abにトレンチ溝が形成されていない。この第2領域62abでは、トレンチ溝がなくリッジ構造を有しないため、ストライプ領域への高次の水平横モードの閉じ込めが弱くなる。すると、半導体レーザ素子61では、出力するレーザ光に含まれる光のうち、FFPhの角度が大きい高次の水平横モードの光が減少する。その結果、半導体レーザ素子61の出力するレーザ光は、FFPhの角度が小さくなる。したがって、変形例5の半導体レーザ素子61は、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子である。

10

【0081】

変形例5として半導体積層部62が電流非注入領域を有さない例を示したが、電流非注入領域を設けてもよい。この場合も、端面E61側の電流非注入領域の長さは、第2領域62abのz方向の長さL62abより短いことが好ましい。同様に、端面E62側の電流非注入領域の長さは、第3領域62acのz方向の長さL62acより短いことが好ましい。なお、この場合、第2領域62abの長さL62ab、第3領域62acの長さL62acは、図12に示すように、端面E61、E62からトレンチ溝Tr6の幅が一定となる位置までの長さを指す。

【0082】

(変形例6)

20

つぎに、本発明の実施の形態に係る半導体レーザ素子の変形例6について説明する。図13は、変形例6の半導体レーザ素子の上面図である。図13に示すように、変形例6の半導体レーザ素子71は、活性層を有する半導体積層部72と、半導体積層部72のレーザ光出射側の端面E71に形成された低反射率膜73と、端面E71と対向する後端面側の端面E72に形成された高反射率膜74とを有している。

【0083】

さらに、半導体レーザ素子71は、半導体積層部72の上面に形成された上部電極75を備える。上部電極75は、開口部Aの内側で半導体積層部72に接している。また、半導体積層部72は、電流が注入されない電流非注入領域72bを備える。電流非注入領域72bは、z方向に沿って、端面E71側に形成された第1電流非注入領域72baと、端面E72側に形成された第2電流非注入領域72bbとを有する。このように、半導体レーザ素子71は、電流非注入領域72bによりCODの発生が防止された半導体レーザ素子である。

30

【0084】

半導体積層部72は、端面E71の近傍に位置する第3領域72acおよび端面E72側に位置する第1領域72aaと、第3領域72acと第1領域72aaとの間に位置する第2領域72abを有する。すなわち、第2領域72abは、端面E71と離間して形成されており、第3領域72acは、端面E71を含むように形成されている。

第1領域72aaおよび第3領域72acの半導体積層部72の上面には、z方向に延伸するトレンチ溝Tr71およびトレンチ溝Tr72が形成され、トレンチ溝Tr71およびトレンチ溝Tr72の間にはストライプ領域が形成されている。一方、第2領域72abには、トレンチ溝は形成されておらず、半導体積層部72の上面は一定の高さとなっている。

40

したがって、第2領域72abは、ストライプ領域へのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果がなく、第1領域72aaおよび第3領域72acよりもストライプ領域へのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果が小さくなっている。

【0085】

ここで、半導体レーザ素子71の半導体積層部72は、端面E71の近傍の第2領域72abにトレンチ溝が形成されていない。この第2領域72abでは、トレンチ溝がなくリッジ構造を有しないため、ストライプ領域への高次の水平横モードの閉じ込めが弱くな

50

る。すると、半導体レーザ素子71では、出力するレーザ光に含まれる光のうち、FFPhの角度が大きい高次の水平横モードの光が減少する。その結果、半導体レーザ素子71の出力するレーザ光は、FFPhの角度が小さくなる。したがって、変形例6の半導体レーザ素子71は、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子である。

【0086】

変形例6の半導体レーザ素子71のように、トレンチ溝が形成されていない第2領域72abは、必ずしも端面E71を含むように形成されている必要はなく、端面E71と離間して形成されていてもよい。このとき、へき開面の連続性の観点から、端面E72を含む領域にはトレンチ溝が形成されていなくてよい。また、第3領域72acのz方向の長さL72acより第1電流非注入領域72baの長さが長いことが好ましい。これは、第3領域72acに挟まれた領域の半導体積層部72に電流注入が行われると、第3領域72acで高次の水平横モードが生じるためである。

【0087】

なお、この場合も、第1電流非注入領域72baの長さL72baは、第2領域72abのz方向の長さL72abと第3領域72acの長さL72acとの合計より短いことが好ましい。

【0088】

また、変形例6として半導体積層部72が電流非注入領域を有する例を示したが、電流非注入領域を設けなくてもよい。

【0089】

以上、説明したように、本実施の形態によれば、光ファイバへの結合効率が良好な半導体レーザ素子を提供することができる。

【0090】

また、上述の実施の形態では、水平方向においてストライプ領域（図1参照）に光を閉じ込める構造としてトレンチ溝を形成した例を示したが、光と電流とが通る領域が規制され、ストライプ領域へのレーザ光の水平方向の光閉じ込め効果を有する光導波路が形成されれば、光を閉じ込める構造はこれに限定されない。光を閉じ込める構造として、たとえば、リッジ構造、SAS (Self Aligned Structure) 構造、埋め込みヘテロ (BH: Buried Heterostructure) 構造などの構造やイオン注入を用いて形成してもよい。これらの構造を、光を閉じ込める構造として用いた構造について、以下に構造例として説明する。

【0091】

なお、光を閉じ込める領域としてトレンチ溝を用いた場合は、半導体レーザ素子の作製が容易であり、安価に作製できる。さらに、p型コンタクト層側にリッジのような凸の部分が形成されないため、p型コンタクト層側を下にしてサブマウントにボンディングする場合に水平にボンディングしやすいという利点がある。

【0092】

(構造例1)

構造例1に係るリッジ構造を有する半導体レーザ素子について説明する。図16は、構造例1の半導体レーザ素子の上面図である。図16に示すように、半導体積層部2は、端面E1の近傍に位置する第2領域2abおよび端面E2の近傍に位置する第3領域2acと、第2領域2abと第3領域2acとの間に位置する第1領域2aaを有する。また、半導体レーザ素子1は、半導体積層部2の上面に形成された上部電極5を備える。上部電極5は、開口部Aの内側で半導体積層部2に接している。

【0093】

図17は、構造例1の半導体レーザ素子のI-I線断面図の一例である。図17に示すように、リッジ構造を有する半導体レーザ素子1では、開口部Aの直下のp型クラッド層13の少なくとも一部にx方向において光を閉じ込めるためのリッジ構造が形成されている。また、構造例1の半導体レーザ素子1のI-I線断面図は、図4と同一であってよいので説明を省略する。

【0094】

このように、第1領域2aaとしてリッジ構造を形成し、第1領域2aaよりレーザ光Lの水平方向の光閉じ込め効果が小さい第2領域2abとしてリッジ構造を有さない構造を形成してもよい。リッジ構造では、半導体レーザ素子1の作製が容易であり、安価に作製できる利点がある。

【0095】

(構造例2)

構造例2に係るSAS構造を有する半導体レーザ素子について説明する。図18は、構造例2の半導体レーザ素子の上面図である。図18に示すように、半導体積層部2は、端面E1の近傍に位置する第2領域2abおよび端面E2の近傍に位置する第3領域2acと、第2領域2abと第3領域2acとの間に位置する第1領域2aaを有する。また、半導体レーザ素子1は、半導体積層部2の上面に形成された上部電極5を備える。上部電極5は、その全面が半導体積層部2に接しているが、後述する電流ブロッキング層により電流が開口部Aに狭窄されて注入される。

10

【0096】

図19は、構造例2の半導体レーザ素子のI-I線断面図の一例である。図19に示すように、SAS構造を有する半導体レーザ素子1では、活性層11を挟んで両側に形成され、他の層に比べてそのバンドギャップエネルギーが大きなn-AlGaAsからなる下部キャリアブロッキング層216および上部キャリアブロッキング層217が形成されている。さらに、この半導体レーザ素子1では、p型ガイド層12の中(図では厚みの中間の位置)に、n-AlGaAsで形成された電流ブロッキング層218が配置されている。そして、電流ブロッキング層218が開口部Aを有することにより、上部電極5から活性層11への高効率な電流注入が実現されている。

20

【0097】

図20は、構造例2の半導体レーザ素子のI-I線断面図である。図20に示すように、第2領域2abにおいて、電流ブロッキング層218が開口部を有さず一様な厚みで形成されている。

【0098】

このように、第1領域2aaとしてSAS構造を形成し、第1領域2aaよりレーザ光Lの水平方向の光閉じ込め効果が小さい第2領域2abとしてSAS構造を有さない構造を形成してもよい。SAS構造では、トレンチ溝を用いた場合と同様に、p型コンタクト層14側の面が平坦であるため、ボンディング性に優れている。さらに、電流ブロッキング層218によって水平方向の漏れ電流を抑制できるため、光閉じ込めの設計自由度が高いという利点もある。

30

【0099】

(構造例3)

構造例3に係るBH構造を有する半導体レーザ素子について説明する。図21は、構造例3の半導体レーザ素子の上面図である。図21に示すように、半導体積層部2は、端面E1の近傍に位置する第2領域2abおよび端面E2の近傍に位置する第3領域2acと、第2領域2abと第3領域2acとの間に位置する第1領域2aaを有する。また、半導体レーザ素子1は、半導体積層部2の上面に形成された上部電極5を備える。上部電極5は、その全面が半導体積層部2に接しているが、後述するp型電流ブロック層219、n型電流ブロック層220により電流が狭窄されて注入される。

40

【0100】

図22は、構造例3の半導体レーザ素子のI-I線断面図の一例である。図22に示すように、BH構造を有する半導体レーザ素子1では、n型クラッド層9の上部と活性層11とがメサ形状に加工され、このメサ形状に隣接してp型電流ブロック層219、n型電流ブロック層220が形成されることで電流ブロック層が形成されている。電流ブロック層には注入電流を遮蔽する機能があるため、電流ブロック層の存在により注入された電流を狭窄して活性層11に注入されるキャリア密度を向上させ、閾値電流値を低減し、発光

50

効率を高めている。

【0101】

図23は、構造例3の半導体レーザ素子のI-I線断面図である。図23に示すように、第2領域2abにおいて、半導体レーザ素子1には、p型電流ブロック層219およびn型電流ブロック層220からなる電流ブロック層が形成されていない。

【0102】

このように、第1領域2aaとしてBH構造を形成し、第1領域2aaよりレーザ光Lの水平方向の光閉じ込め効果が小さい第2領域2abとしてBH構造を有さない構造を形成してもよい。BH構造は、トレンチ溝を用いた場合と同様にボンディング性に優れている。また、漏れ電流が非常に少なく、電流ブロック性に優れている。

10

【0103】

以上説明したように、レーザ光Lの水平方向の光閉じ込め効果を有する構造であって、第1領域より第2領域の水平方向の光閉じ込め効果を小さくする構成であれば、本発明の効果を得ることができる。

【0104】

なお、上記実施の形態では、GaAs系の材料について説明したが、所望の発振波長に応じてInP等の他の材料の基板や、他の材料系から積層構造を構成することが可能である。

【0105】

また、上述の実施の形態では、基板上にn型バッファ層、n型クラッド層、n型ガイド層、活性層、p型ガイド層、p型クラッド層、p型コンタクト層を形成した構造を説明してきたが、基板上に順次、p型バッファ層、p型クラッド層、p型ガイド層、活性層、n型ガイド層、n型クラッド層、n型コンタクト層を形成した構造であってもよい。

20

【0106】

(レーザ照射装置)

図26は、本発明の実施の形態に係るレーザ光照射装置の模式的な構成図である。このレーザ光照射装置1000は、実施の形態に係る半導体レーザ素子1を備えた光ファイバレーザである。

【0107】

レーザ光照射装置1000は、それぞれが励起光源である半導体レーザ素子1を備えた複数の半導体レーザモジュール1001と、複数の半導体レーザモジュール1001の各半導体レーザ素子1と光学的に接続しており、各半導体レーザ素子1が出力する励起光を導波する複数のマルチモード光ファイバ1002と、マルチモード光ファイバ1002が導波した励起光を結合し、ダブルクラッド光ファイバ1004から出力させるTFB (Tapered Fiber Bundle) 1003と、ダブルクラッド光ファイバ1004に順次接続したダブルクラッド光ファイバグレーティング1005a、光増幅ファイバ1006、ダブルクラッド光ファイバグレーティング1005b、およびシングルモード光ファイバ1007が接続された光出力コネクタ1008と、を備える。

30

【0108】

各半導体レーザ素子1が出力する励起光の波長は915nm近傍である。また、ダブルクラッド光ファイバグレーティング1005aは、反射中心波長が約1060nmであり、中心波長およびその周辺の約2nmの幅の波長帯域における反射率が約100%であり、波長915nmの光はほとんど透過する。また、ダブルクラッド光ファイバグレーティング1005bは、中心波長が約1060nmであり、中心波長における反射率が10～30%程度であり、反射波長帯域の半値全幅が約0.1nmであり、波長915nmの光はほとんど透過する。したがって、ダブルクラッド光ファイバグレーティング1005a、1005bは、波長1060nmの光に対して光共振器を構成する。

40

【0109】

光増幅ファイバ1006は、コア部と、内側クラッド層と、外側クラッド層とを備えるダブルクラッド構造を有しており、そのコア部は希土類元素であるイッテルビウム (Yb

50

）と、アルミニウム（A1）とが添加されたシリカガラスからなる。

【0110】

このレーザ光照射装置1000では、各半導体レーザ素子1が波長915nm近傍の励起光を出力すると、各マルチモード光ファイバ1002が各励起光を導波し、TFB1003が導波した各励起光を結合してダブルクラッド光ファイバ1004に出力する。ダブルクラッド光ファイバ1004は結合した励起光をマルチモードで伝搬する。その後、ダブルクラッド光ファイバグレーティング1005aが励起光を透過して、光増幅ファイバ1006に到達させる。

【0111】

光増幅ファイバ1006に到達した励起光は、光増幅ファイバ1006のコア部および内側クラッド層をマルチモードで伝搬しながら、コア部に添加したYbを光励起し、波長1060nmを含む波長帯域を有する蛍光を発光させる。この蛍光は、コア部をシングルモードで伝搬し、ダブルクラッド光ファイバグレーティング1005a、1005bが構成する光共振器内を往復しながら、Ybイオンの誘導放出作用により増幅され、発振波長1060nmにおいてレーザ発振する。発振したレーザ光はダブルクラッド光ファイバグレーティング1005bおよびシングルモード光ファイバ1007を介して光出力コネクタ1008からレーザ光L1000として出力する。

【0112】

このレーザ光照射装置1000では、実施の形態に係る半導体レーザ素子1を励起光源として用いているので、励起光は各マルチモード光ファイバ1002に効率よく結合する。その結果、出力するレーザ光L1000の強度を高くできる。

【0113】

なお、本発明に係る半導体レーザ素子は、上記実施の形態に係るレーザ光照射装置の構成に限らず、様々な構成のレーザ光照射装置に適用できる。

【0114】

また、上記実施の形態により本発明が限定されるものではない。上述した各構成要素を適宜組み合わせる構成したものも本発明に含まれる。たとえば、上述した各変形例と各構造例とを組み合わせる構成も本発明に含まれる。また、さらなる効果や変形例は、当業者によって容易に導き出すことができる。よって、本発明のより広範な態様は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、様々な変更が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0115】

以上のように、本発明に係る半導体レーザ素子およびレーザ光照射装置は、例えば産業用レーザの分野に適用して好適なものである。

【符号の説明】

【0116】

- | | | |
|-----------------------------------|-----------|--|
| 1、21、31、41、51、61、71、101、111 | 半導体レーザ素子 | |
| 2、22、32、42、52、62、72、102、112 | 半導体積層部 | |
| 2aa、22aa、32aa、42aa、52aa、62aa、72aa | 第1領域 | |
| 2ab、22ab、32ab、42ab、52ab、62ab、72ab | 第2領域 | |
| 2ac、22ac、32ac、42ac、52ac、62ac、72ac | 第3領域 | |
| 2b、42b、72b、112b | 電流非注入領域 | |
| 2ba、42ba、72ba、112ba | 第1電流非注入領域 | |
| 2bb、42bb、72bb、112bb | 第2電流非注入領域 | |
| 3、23、33、43、53、63、73、103、113 | 低反射率膜 | |
| 4、24、34、44、54、64、74、104、114 | 高反射率膜 | |
| 5、25、35、45、55、65、75、105、115 | 上部電極 | |
| 6 | 下部電極 | |
| 7 | 基板 | |
| 8 | n型バッファ層 | |

10

20

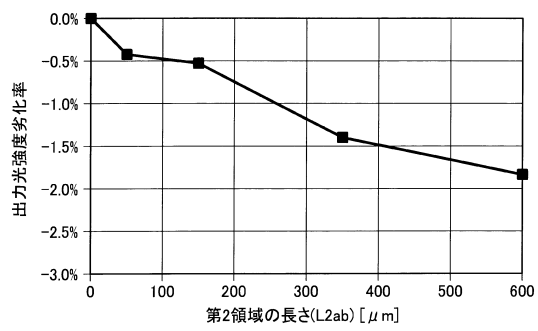
30

40

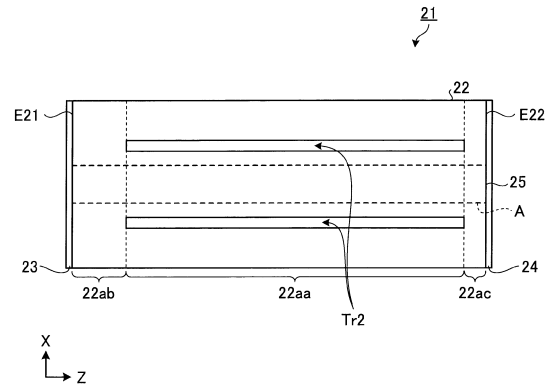
50

9	n型クラッド層	
10	n型ガイド層	
11	活性層	
12	p型ガイド層	
13	p型クラッド層	
14	p型コンタクト層	
15	パッシベーション膜	
216	下部キャリアブロッキング層	
217	上部キャリアブロッキング層	
218	電流ブロッキング層	10
219	p型電流ブロック層	
220	n型電流ブロック層	
1000	レーザ光照射装置	
1001	半導体レーザモジュール	
1002	マルチモード光ファイバ	
1004	ダブルクラッド光ファイバ	
1005a、1005b	ダブルクラッド光ファイバグレーティング	
1006	光増幅ファイバ	
1007	シングルモード光ファイバ	
1008	光出力コネクタ	20
A	開口部	
D	トレンチ溝の深さ	
E1、E2、E21、E22、E31、E32、E41、E42、E51、E52、E61、E62、E71、E72	端面	
L	レーザ光	
Ld	素子長	
L2ab、L2ac、L2ba、L2bb、L42ab、L42ac、L42ba、L42bb、L52ab、L52ac、L62ab、L62ac、L72ab、L72ac、L72ba、L72bb	長さ	
S	ストライプ領域	30
T	リッジ残し厚	
Tr1、Tr2、Tr6、Tr101、Tr111	トレンチ溝	
Tr31、Tr41、Tr51、Tr71	第1トレンチ溝	
Tr32、Tr42、Tr52、Tr72	第2トレンチ溝	
Tr33、Tr43、Tr53	第3トレンチ溝	
Ws	導波路幅	
Wt	トレンチ幅	

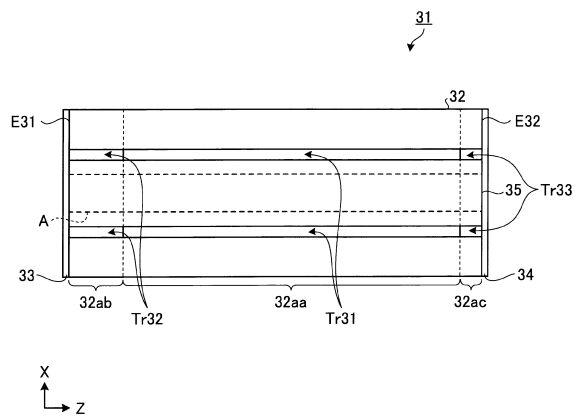
【図 7】



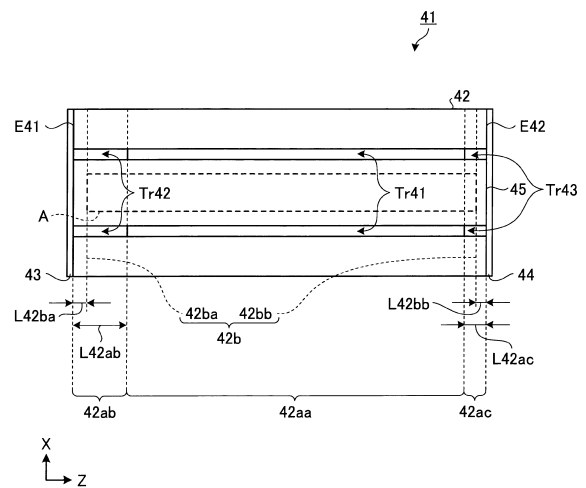
【図 8】



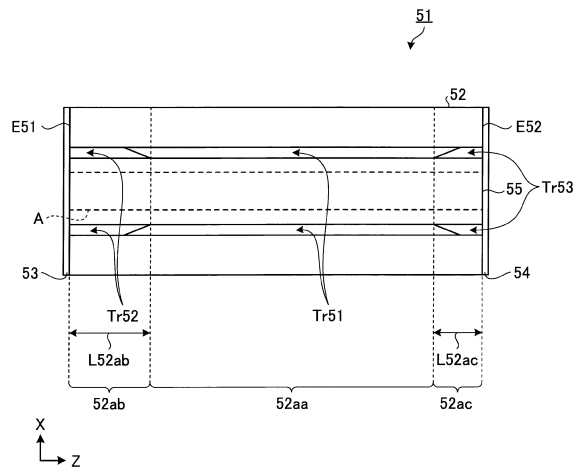
【図 9】



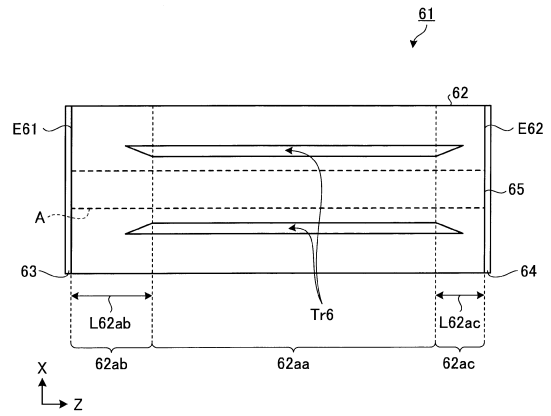
【図 10】



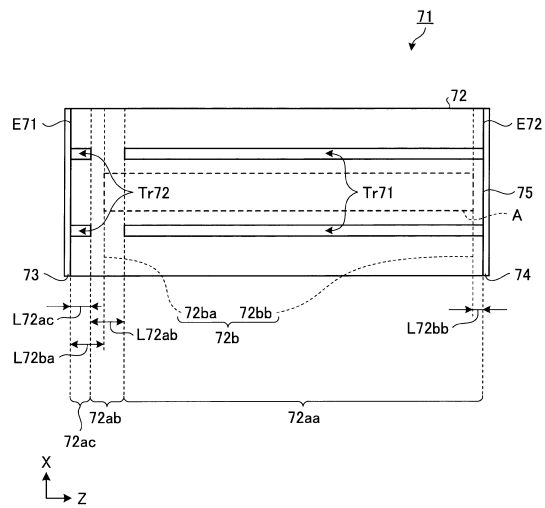
【図 1 1】



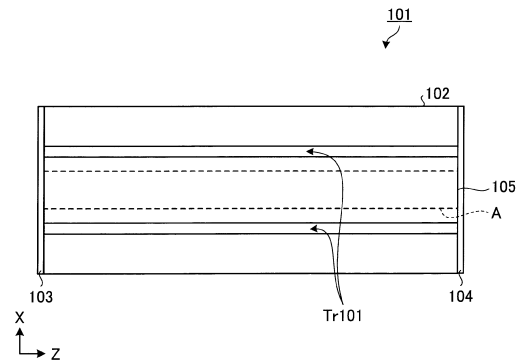
【図 1 2】



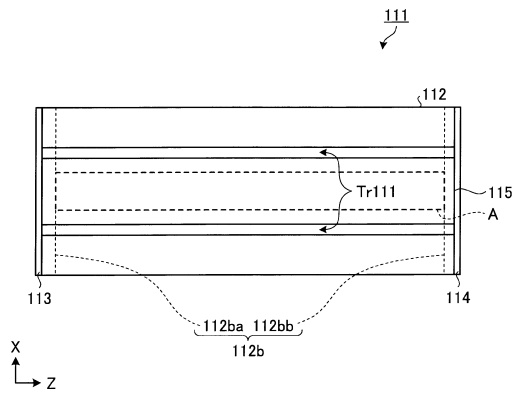
【図 1 3】



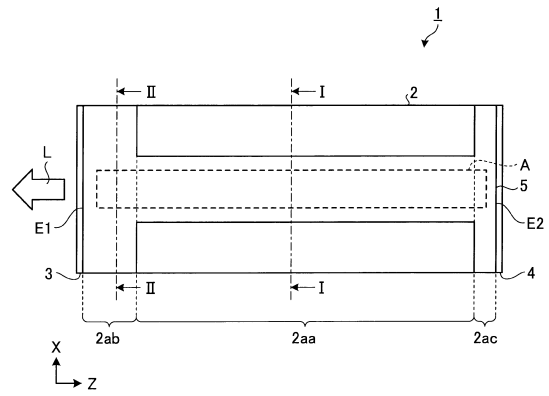
【図 1 4】



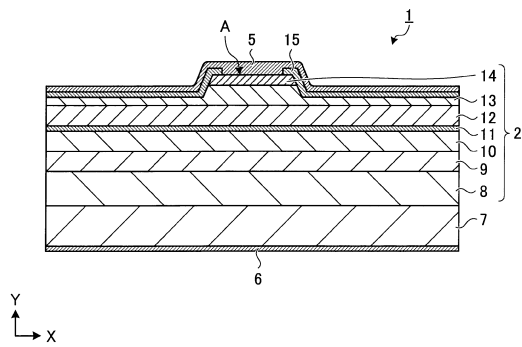
【図 15】



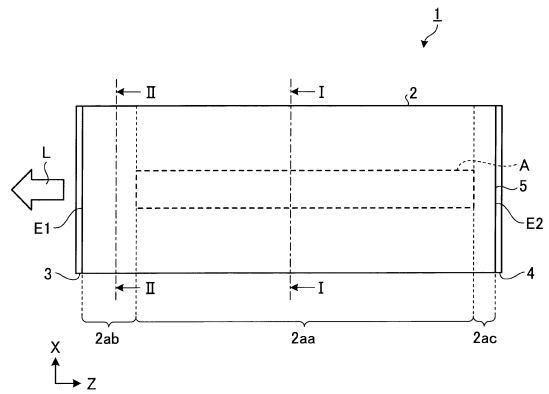
【図 16】



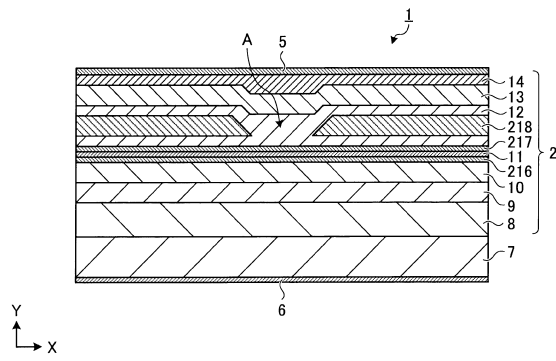
【図 17】



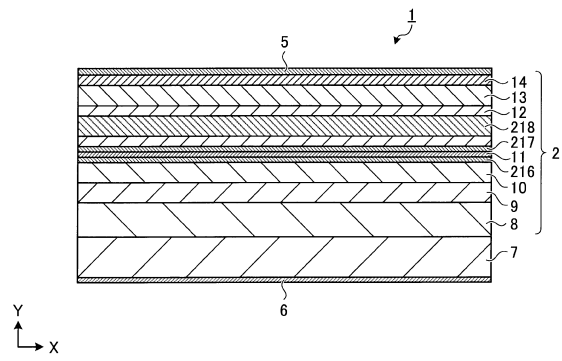
【図 18】



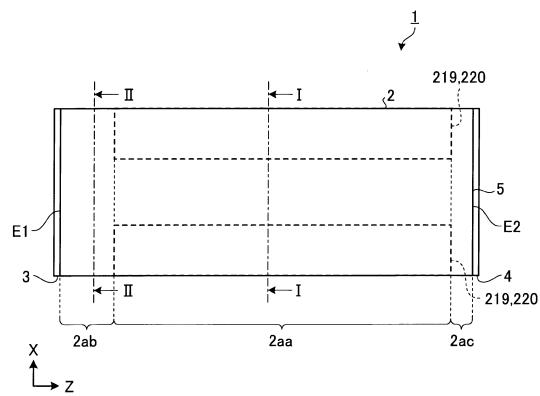
【図 19】



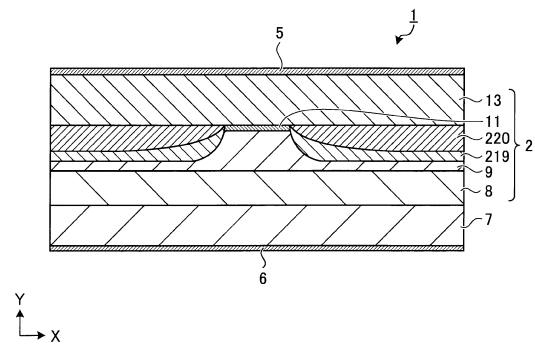
【図 20】



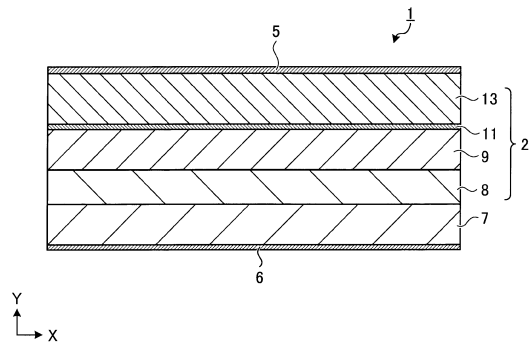
【図 21】



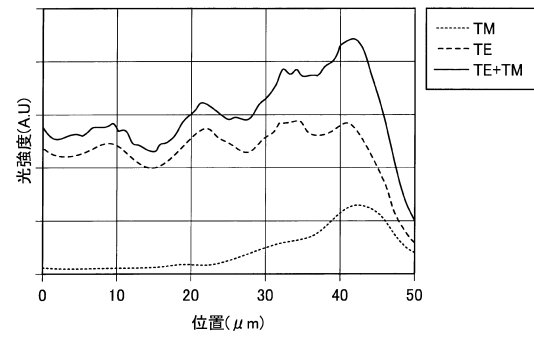
【図 22】



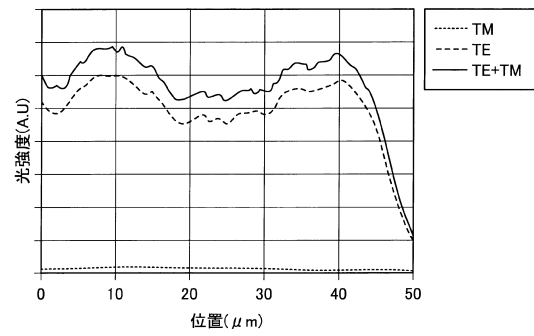
【図 2 3】



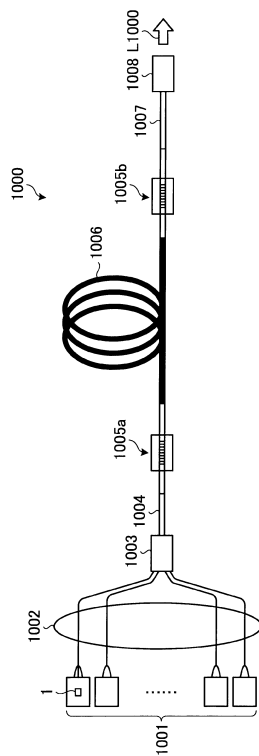
【図 2 4】



【図 2 5】



【図 2 6】



フロントページの続き

審査官 百瀬 正之

- (56)参考文献 特開2015-012018 (JP, A)
特開2006-165407 (JP, A)
特開2006-294745 (JP, A)
特開2003-031906 (JP, A)
特開2012-247550 (JP, A)
特開2008-034663 (JP, A)
特開2003-179306 (JP, A)
特開2003-152280 (JP, A)
特開2002-299759 (JP, A)
特開平08-236862 (JP, A)
特開2010-129812 (JP, A)
特開2009-088425 (JP, A)
特開2004-172252 (JP, A)
特開2010-034267 (JP, A)
米国特許出願公開第2014/0233596 (US, A1)
- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 5/00-5/50