

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4155834号
(P4155834)

(45) 発行日 平成20年9月24日 (2008.9.24)

(24) 登録日 平成20年7月18日 (2008.7.18)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 S 5/042 (2006.01) HO 1 S 5/042 6 1 2
 HO 1 S 5/10 (2006.01) HO 1 S 5/10

請求項の数 11 (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2003-20755 (P2003-20755) (22) 出願日 平成15年1月29日 (2003.1.29) (65) 公開番号 特開2004-235339 (P2004-235339A) (43) 公開日 平成16年8月19日 (2004.8.19) 審査請求日 平成15年10月6日 (2003.10.6) 審判番号 不服2006-22740 (P2006-22740/J1) 審判請求日 平成18年10月6日 (2006.10.6)</p> <p>特許法第30条第1項適用 OPTICS LETTE RS/Vol. 27, No. 16/August 15 , 2002 P. 1430~1432</p> <p>(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許 出願 (通信・放送機構、平成14年4月1日付け委託契 約研究テーマ「自律分散型無線ネットワークの研究開発 」、産業再生法第30条の適用を受けるもの)</p>	<p>(73) 特許権者 393031586 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2</p> <p>(74) 代理人 100112715 弁理士 松山 隆夫</p> <p>(72) 発明者 原山 卓久 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p>(72) 発明者 福嶋 丈浩 岡山県総社市窪木111番地 岡山県立大 学情報工学部情報通信工学科内</p> <p>(72) 発明者 ピーター テイビス 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

曲面から成る出射面を有し、前記出射面からレーザ光を出射するキャビティと、
 前記キャビティに電流を注入する正極電極及び負極電極と、
 前記正極電極と前記負極電極との間に電圧を印加する電圧印加回路とを備え、
 前記正極電極及び前記負極電極の一方の電極は、リング形状から成り、
 前記レーザ光は、前記キャビティの一部である前記一方の電極のリング形状に沿った領
 域で発振し、
 前記正極電極及び前記負極電極の一方の電極は、
 前記リング形状から成るリング電極と、
 前記長手方向に沿って前記リング電極の内側に形成され、略直線形状を有する線状電極
 とから成り、
 前記電圧印加回路は、前記キャビティから出射される前記レーザ光のモードに応じて異
 なる電圧を前記正極電極と前記負極電極との間に印加し、
 前記キャビティは、前記電圧印加回路が第1の電圧を前記正極電極と前記負極電極との
 間に印加したとき、シングルモードのレーザ光を前記出射面から出射し、前記電圧印加回
 路が前記第1の電圧よりも高い第2の電圧を前記正極電極と前記負極電極との間に印加し
 たとき、ツインモードのレーザ光を前記出射面から出射し、前記電圧印加回路が前記第2
 の電圧よりも高い第3の電圧を前記正極電極と前記負極電極との間に印加したとき、ロッ
 クキングモードのレーザ光を前記出射面から出射する、半導体レーザ。

【請求項 2】

前記キャビティは、長手方向の一方端に前記出射面を有し、前記長手方向の他方端に曲面から成る対向面を有する、請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 3】

前記対向面は、前記長手方向に垂直な方向の軸に対して前記出射面と対称である、請求項 2 に記載の半導体レーザ。

【請求項 4】

前記対向面は、前記長手方向に垂直な方向の軸に対して前記出射面と非対称である、請求項 2 に記載の半導体レーザ。

【請求項 5】

前記出射面及び前記対向面は、前記キャビティの外側に向かって凸になるように形成される、請求項 3 または請求項 4 に記載の半導体レーザ。

10

【請求項 6】

前記出射面及び前記対向面は、前記キャビティの内側に向かって凸になるように形成される、請求項 3 または請求項 4 に記載の半導体レーザ。

【請求項 7】

前記出射面及び前記対向面は、前記長手方向の同じ方向に凸になるように形成される、請求項 3 または請求項 4 に記載の半導体レーザ。

【請求項 8】

前記キャビティは、長手方向の一方端に前記出射面を有し、前記長手方向の他方端に平面から成る対向面を有する、請求項 1 に記載の半導体レーザ。

20

【請求項 9】

前記キャビティの前記長手方向に垂直な方向の端面は、ミラー面である、請求項 2 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ。

【請求項 10】

前記キャビティは、
前記出射面及び前記対向面を前記長手方向の両端に有し、対向する 2 つの曲面と対向する 2 つの平面とによって構成される略スタジアム形状から成るメインキャビティと、
前記出射面及び前記対向面が形成された領域に隣接して設けられたウイングとを含む、
請求項 3 に記載の半導体レーザ。

30

【請求項 11】

前記キャビティは、量子井戸構造を含む、請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、半導体レーザに関し、特に、出射光のパターンを変更可能な半導体レーザ、又は従来の出射方向と異なる出射方向を有する半導体レーザに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

半導体レーザには、分布帰還型レーザ (DFB: Distributed Feed - Back)、多重量子井戸構造レーザ (MQW: Multiple Quantum Well)、ひずみ量子井戸型レーザ及び多重量子バリア型レーザなどの種々のレーザがある。

40

【0003】

これらの半導体レーザのうち、分布帰還型レーザは、活性層に隣接した領域に周期的な凹凸構造から成るガイド層を有し、周期的な凹凸構造によって帰還された光を発振させる半導体レーザである。そして、この分布帰還型レーザの開発によって単一の波長から成るレーザ光を発振させることが容易になった。

【0004】

50

また、多重量子井戸構造レーザは、井戸層とバリア層とから成る量子井戸構造を複数設けて活性層を形成した半導体レーザである。そして、この多重量子井戸構造レーザにおいては、電極から注入されたキャリアが量子井戸構造の井戸層に閉じ込められるので、レーザ発振のためのしきい値が低い。

【0005】

このように、各種の改良を行なって、発振のしきい値が低く、単一波長のレーザ光を発振する半導体レーザが開発されている。

【0006】

また、最近では、面発光型レーザも開発されている（非特許文献1）。

【0007】

【非特許文献1】

小沼 稔、外1名、"よくわかる半導体レーザ"、初版、日本、光学図書株式会社、平成7年4月10日、p143~144及びp149~152

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、現在までに開発された半導体レーザにおいては、出射するレーザ光のパターンを変えることができないという問題がある。

【0009】

また、従来の半導体レーザは、キャビティの長手方向と同じ方向にレーザ光を出射することはできるが、長手方向と異なる方向にレーザ光を出射することができないという問題がある。

【0010】

そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、従来の出射方向と異なる出射方向を有する半導体レーザを提供することである。

【0011】

また、この発明の別の目的は、出射するレーザ光のパターンを変更することができる半導体レーザを提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段および発明の効果】

この発明によれば、半導体レーザは、キャビティと、正極電極と負極電極とを備える。キャビティは、曲面から成る出射面を有し、出射面からレーザ光を出射する。正極電極及び負極電極は、キャビティに電流を注入する。そして、正極電極及び負極電極の一方の電極は、リング形状から成る。

【0013】

好ましくは、キャビティは、キャビティの長手方向の一端に出射面を有し、長手方向の他方端に曲面から成る対向面を有する。

【0014】

好ましくは、対向面は、キャビティの長手方向に垂直な方向の軸に対して出射面と対称である。

【0015】

好ましくは、対向面は、キャビティの長手方向に垂直な方向の軸に対して出射面と非対称である。

【0016】

好ましくは、出射面および対向面は、キャビティの外側に向かって凸になるように形成される。

【0017】

好ましくは、出射面および対向面は、キャビティの内側に向かって凸になるように形成される。

【0018】

好ましくは、出射面及び対向面は、キャビティの長手方向の同じ方向に凸になるように形

10

20

30

40

50

成される。

【0019】

好ましくは、キャビティは、キャビティの長手方向の一方端に出射面を有し、長手方向の他方端に平面から成る対向面を有する。

【0020】

好ましくは、キャビティの長手方向に垂直な方向の端面は、ミラー面である。

好ましくは、キャビティは、メインキャビティと、ウイングとを含む。メインキャビティは、出射面及び対向面を長手方向の両端に有し、略スタジアム形状から成る。ウイングは、出射面及び対向面が形成された領域に隣接して設けられる。好ましくは、半導体レーザーは、電圧印加回路を更に備える。電圧印加回路は、正極電極と負極電極との間に電圧を印加する。正極電極及び負極電極の一方の電極は、リング電極と線状電極とから成る。リング電極は、リング形状から成る。線状電極は、長手方向に沿ってリング電極の内側に形成され、略直線形状を有する。そして、電圧印加回路は、キャビティから出射されるレーザー光のモードに応じて異なる電圧を正極電極と負極電極との間に印加する。

10

【0021】

好ましくは、キャビティは、電圧印加回路が第1の電圧を正極電極と負極電極との間に印加したとき、シングルモードのレーザー光を出射面から出射する。また、キャビティは、電圧印加回路が第1の電圧よりも高い第2の電圧を正極電極と負極電極との間に印加したとき、ツインモードのレーザー光を出射面から出射する。更に、キャビティは、電圧印加回路が第2の電圧よりも高い第3の電圧を正極電極と負極電極との間に印加したとき、ロックキングモードのレーザー光を出射面から出射する。

20

【0022】

好ましくは、キャビティは、量子井戸構造を含む。

この発明による半導体レーザーは、曲面から成るキャビティと、リング形状から成る電極とを備える。そして、正極電極と負極電極との間に所定の電圧が印加され、キャビティにしきい値以上の電流が注入されると、キャビティ内でレーザー発振が起こり、発振したレーザー光は、キャビティ内で電極の形状に沿って分布する。

【0023】

従って、この発明によれば、キャビティの長手方向と異なる方向にレーザー光を出射できる。

30

【0024】

また、この発明による半導体レーザーにおいては、キャビティに印加される電圧のレベルによって、発振モードがシングルモード、ツインモード及びロックキングモードのいずれかに切換えられる。そして、シングルモード、ツインモード及びロックキングモードにおいては、各々、異なったパターンのレーザー光が発振される。

【0025】

従って、この発明によれば、出射されるレーザー光のパターンを変更することができる半導体レーザーを作製できる。

【0026】

【発明の実施の形態】

40

本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0027】

[実施の形態1]

図1は、実施の形態1による半導体レーザーの斜視図を示す。半導体レーザー10は、基板1と、キャビティ2と、絶縁膜3と、正極電極4と、負極電極5とを備える。

【0028】

キャビティ2は、基板1上に形成される。絶縁膜3は、キャビティ2の表面に形成される。正極電極4は、絶縁膜3上及び絶縁膜3がエッチングされた領域に形成される。そして、正極電極4は、リング形状から成るリング電極である。負極電極5は、キャビティ2が

50

形成された基板 1 の表面と反対側の裏面に形成される。

【0029】

基板 1 は、単結晶のガリウムヒ素 (GaAs) から成る。キャビティ 2 は、後述するように GRIN-SCH-SQW (Graded-Index-Separate-Confinement-Heterostructure-Single Quantum Well) から成る。絶縁膜 3 は、シリコンナイトライド (Si_3N_4) 又は二酸化ケイ素 (SiO_2) から成る。正極電極 4 は、Ti/Pt/Au から成る。負極電極 5 は、Au/Ge/Ni から成る。

【0030】

絶縁膜 3 の膜厚は、 $0.4 \mu\text{m}$ である。正極電極 4 の膜厚は、全体で $0.72 \mu\text{m}$ である。そして、正極電極 4 を構成する Ti の膜厚は、 $0.07 \mu\text{m}$ であり、Pt の膜厚は、 $0.05 \mu\text{m}$ であり、Au の膜厚は $0.6 \mu\text{m}$ である。負極電極 5 の膜厚は、全体で $0.62 \mu\text{m}$ である。そして、負極電極 5 を構成する Au の膜厚は、 $0.5 \mu\text{m}$ であり、Ge の膜厚は、 $0.1 \mu\text{m}$ であり、Ni の膜厚は、 $0.02 \mu\text{m}$ である。

10

【0031】

キャビティ 2 の幅 W は、 $60 \mu\text{m}$ であり、キャビティ 2 の長さ L は、 $600 \mu\text{m}$ である。

【0032】

図 2 は、図 1 の矢印 6 の方向から見たキャビティ 2 の平面図を示す。キャビティ 2 は、メインキャビティ 21 と、ウイング 22 ~ 25 とを含む。メインキャビティ 21 は、出射面 210 と、対向面 211 と、端面 212, 213 とを有する。そして、メインキャビティ 21 は、略スタジアム形状から成る。出射面 210 及び対向面 211 は、中心 O から半径 R を有する曲面から成る。半径 R は、 $300 \mu\text{m}$ である。また、出射面 210 及び対向面 211 は、キャビティ 2 の内側から外側に向かう方向に凸である曲面から成る。

20

【0033】

対向面 211 は、矢印 7 で示す長手方向に垂直な方向の軸 8 に対して出射面 210 と対称である。端面 212, 213 は、キャビティ 2 の長手方向に垂直な方向のキャビティ 2 の両端に配置される。すなわち、端面 212, 213 は、キャビティ 2 の長手方向に平行に配置される。そして、出射面 210、対向面 211 及び端面 212, 213 は、ミラー面から成る。

【0034】

ウイング 22, 23 は、メインキャビティ 21 の出射面 210 側に設けられる。つまり、ウイング 22, 23 は、出射面 210 が設けられた領域 214 に隣接して設けられる。ウイング 22 は、出射面 210 の延長上に曲面 221 を有する。ウイング 23 は、出射面 210 の延長上に曲面 231 を有する。曲面 221, 231 は、半径 R の曲面から成る。

30

【0035】

ウイング 24, 25 は、メインキャビティ 21 の対向面 211 側に設けられる。つまり、ウイング 24, 25 は、対向面 211 が設けられた領域 215 に隣接して設けられる。ウイング 24 は、対向面 211 の延長上に曲面 241 を有する。ウイング 25 は、対向面 211 の延長上に曲面 251 を有する。曲面 241, 251 は、半径 R の曲面から成る。

【0036】

ウイング 22 ~ 25 の矢印 7 の方向 (長手方向) の長さ W_s は、 $160 \mu\text{m}$ である。ウイング 22 ~ 25 は、メインキャビティ 21 で発振したレーザ光の端面 212, 213 での多重反射によって生成されたモードを抑制するために設けられる。そして、ウイング 22 ~ 25 が多重反射によって生成されたモードを抑制するためには、長さ W_s は、 $W_s > L/4$ を満たす必要がある。したがって、実施の形態 1 においては、長さ W_s は、 $L/4 = 150 \mu\text{m}$ よりも大きい $160 \mu\text{m}$ に設定された。

40

【0037】

図 3 は、図 1 に示す A-A 線における半導体レーザ 10 の断面図を示す。半導体レーザ 10 の断面構造は、基板 1 上にキャビティ 2 を形成した構造から成る。キャビティ 2 は、バッファ層 201, 202 と、グレーディッド層 203 と、クラッド層 204 と、グレーデ

50

ィッド層 205 と、活性層 206 と、グレーディッド層 207 と、クラッド層 208 と、キャップ層 209 とを含む。

【0038】

バッファ層 201 は、シリコン (Si) をドープした n 型 GaAs から成り、膜厚は、 $0.2 \mu\text{m}$ である。そして、多数キャリアである電子の密度は、 $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ である。バッファ層 202 は、Si をドープした n 型アルミニウムガリウムヒ素 (n 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$) から成り、膜厚は、 $1.0 \mu\text{m}$ である。そして、多数キャリアである電子の密度は、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ である。

【0039】

グレーディッド層 203 は、Si をドープした n 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ から成り、膜厚は、 $0.2 \mu\text{m}$ である。そして、多数キャリアである電子の密度は 10^{18}cm^{-3} 台である。また、アルミニウム (Al) の含有量 x は、 $0.2 \sim 0.5$ の範囲で変化し、バッファ層 202 との界面では 0.2 であり、クラッド層 204 との界面では 0.5 である。

10

【0040】

クラッド層 204 は、Si をドープした n 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ から成り、膜厚は、 $1.5 \mu\text{m}$ である。そして、多数キャリアである電子の密度は、 10^{18}cm^{-3} 台である。グレーディッド層 205 は、Si をドープした n 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ から成り、膜厚は、 $0.202 \mu\text{m}$ である。そして、グレーディッド層 205 においては、ドーパントである Si の濃度は、クラッド層 204 から活性層 206 へ向けて徐々に減少され、クラッド層 204 との界面では約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であり、活性層 206 との界面では約 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ である。また、グレーディッド層 205 においては、Al の含有量 x もクラッド層 204 から活性層 206 へ向けて放物線状に減少され、クラッド層 204 との界面では 0.5 であり、活性層 206 との界面では 0.2 である。

20

【0041】

活性層 206 は、ノンドープの GaAs から成り、膜厚は、 $0.01 \mu\text{m}$ である。グレーディッド層 207 は、ベリリウム (Be) をドープした p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ から成り、膜厚は、 $0.202 \mu\text{m}$ である。そして、グレーディッド層 207 においては、ドーパントである Be の濃度は、活性層 206 からクラッド層 208 へ向けて徐々に増加され、活性層 206 との界面では約 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ であり、クラッド層 208 との界面では約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ である。また、グレーディッド層 207 においては、Al の含有量 x も活性層 206 からクラッド層 208 へ向けて放物線状に増加され、活性層 206 との界面では 0.2 であり、クラッド層 208 との界面では 0.5 である。

30

【0042】

クラッド層 208 は、Be をドーピングした p 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ から成り、膜厚は、 $1.5 \mu\text{m}$ である。そして、多数キャリアである正孔の濃度は、 10^{18}cm^{-3} 台である。キャップ層 209 は、Be をドーピングした p 型 GaAs から成り、膜厚は、 $0.2 \mu\text{m}$ である。そして、多数キャリアである正孔の濃度は $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ である。

【0043】

活性層 206 は、グレーディッド層 205 とグレーディッド層 207 とによって挟み込まれており、グレーディッド層 205、活性層 206 及びグレーディッド層 207 は、単一量子井戸 (SQW: Single Quantum Well) を構成する。

40

【0044】

また、クラッド層 204 及びグレーディッド層 205 は、活性層 206 を中心にしてそれぞれクラッド層 208 及びグレーディッド層 207 と対称に形成される。

【0045】

つまり、クラッド層 204 は、クラッド層 208 と同じ膜厚及び同じ Al 含有量 x を有する。そして、クラッド層 204 の多数キャリア密度も、電子と正孔との違いを除けば、クラッド層 208 の多数キャリア密度である 10^{18}cm^{-3} 台と同じ 10^{18}cm^{-3} 台である。また、グレーディッド層 205 は、グレーディッド層 207 と同じ膜厚を有し、グレーディッド層 207 における Al の含有量 x の変化 (活性層 206 側: 0.2 クラッド層 2

50

0.8側：0.5)と対称なAlの含有量xの変化(活性層206側：0.2 クラッド層204側：0.5)を有する。そして、グレーディッド層205は、グレーディッド層207におけるドーパント(Be)濃度の変化(活性層206側：約 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ クラッド層208側：約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)と対称なドーパント(Si)濃度の変化(活性層206側：約 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ クラッド層204側：約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を有する。

【0046】

図4は、キャビティ2を構成するバッファ層201, 202、グレーディッド層203、クラッド層204、グレーディッド層205、活性層206、グレーディッド層207、クラッド層208及びキャップ層209のエネルギーバンド図を示す。

10

【0047】

バッファ層201のバンドギャップEg1は、1.41 eVであり、バッファ層202のバンドギャップEg2は、1.7 eVである。また、クラッド層204のバンドギャップEg4及びクラッド層208のバンドギャップEg8は、2.0 eVであり、キャップ層209のバンドギャップEg9は、1.41 eVである。

【0048】

そして、グレーディッド層203のバンドギャップEg3は、バッファ層202のバンドギャップEg2である1.7 eVからクラッド層204のバンドギャップEg4である2.0 eVまで変化する。また、グレーディッド層205のバンドギャップEg5は、クラッド層204から活性層206へ向けて2.0 eVから1.7 eVまで放物線状に減少する。更に、グレーディッド層207のバンドギャップEg7は、活性層206からクラッド層208へ向けて1.7 eVから2.0 eVまで放物線状に増加する。

20

【0049】

このように、グレーディッド層205においてクラッド層204から活性層206に向かうに従ってドーパントであるSiの濃度を減少させ、かつ、バンドギャップEg5を放物線状に減少させることによってクラッド層204を介してグレーディッド層205に到達した電子の活性層206への注入を促進するとともに、活性層206へ注入された正孔を閉じ込める。また、グレーディッド層207においてクラッド層208から活性層206に向かうに従ってドーパントであるBeの濃度を減少させ、かつ、バンドギャップEg7を放物線状に減少させることによってクラッド層208を介してグレーディッド層207に到達した正孔の活性層206への注入を促進するとともに、活性層206へ注入された電子を閉じ込める。その結果、電子及び正孔は、活性層206に閉じ込められ、再結合し易くなり、半導体レーザ10におけるレーザ発振のためのしきい値が低下する。

30

【0050】

また、バッファ層201, 202及びグレーディッド層203は、GaAsから成る基板1上にクラッド層204及びグレーディッド層205を構成するAlGaAsを結晶成長させるために設けられる。つまり、AlGaAsをGaAs上に、直接、結晶させるとAlGaAsの品質が低下するので、基板1の表面における不純物の影響を除去するために基板1のGaAsと同じGaAs(バッファ層201)を結晶成長させた後、in-situでAl_{0.2}Ga_{0.8}As(バッファ層202)及びAl_xGa_{1-x}As(x: 0.2~0.5)(グレーディッド層203)を結晶成長させることにより、GaAsとの格子不整合を解消して品質の良いAl_{0.5}Ga_{0.5}As(クラッド層204)及びAl_xGa_{1-x}As(x: 0.5~0.2)(グレーディッド層205)を結晶させることが可能となる。特に、バッファ層202の膜厚が1.0 μmと比較的厚いのは、GaAsとの格子不整合を解消するためである。

40

【0051】

図5は、クラッド層204、グレーディッド層205、活性層206、グレーディッド層207及びクラッド層208における屈折率の分布を示す。クラッド層204, 208は、Alの含有量xが0.5であるAlGaAsから成るので、屈折率が最も小さい。グレーディッド層205は、クラッド層204から活性層206に向かうに従ってAlの含有

50

量 x が0.5から0.2へ放物線状に減少するので、グレーディッド層205の屈折率は、クラッド層204から活性層206に向かうに従って放物線状に増加する。

【0052】

活性層206は、ノンドープのGaAsから成るので、最も大きい屈折率を有する。グレーディッド層207は、活性層206からクラッド層208に向かうに従ってAlの含有量 x が0.2から0.5へ放物線状に増加するので、グレーディッド層207の屈折率は、活性層206からクラッド層208に向かうに従って放物線状に減少し、最終的にクラッド層208の屈折率に一致する。

【0053】

このように、クラッド層204、グレーディッド層205、活性層206、グレーディッド層207及びクラッド層208における屈折率の分布は、活性層206を中心にして対称になる。その結果、活性層206において誘導放出により発生した光は、両側に設けられたグレーディッド層205、207及びクラッド層204、208によって光学的に閉じ込められ、レーザ発振のためのしきい値が低下する。

10

【0054】

上述したように、半導体レーザ10においては、外部から注入された電子及び正孔を電氣的に活性層206に閉じ込め、かつ、活性層206において誘導放出により発生した光を光学的に閉じ込めることによりレーザ発振のためのしきい値を低下させている。

【0055】

図6は、半導体レーザ10の製造工程を示す。エピタキシャル層20が形成されたGaAsから成る基板1を用意する。ここで、エピタキシャル層20は、バッファ層201、202、グレーディッド層203、クラッド層204、グレーディッド層205、活性層206、グレーディッド層207、クラッド層208及びキャップ層209を構成するn型GaAs、n型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ 、n型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($x: 0.2 \sim 0.5$)、n型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 、n型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($x: 0.5 \sim 0.2$)、GaAs、p型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($x: 0.2 \sim 0.5$)、p型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 及びp型GaAsを意味する。

20

【0056】

従って、n型GaAs、n型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ 、n型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($x: 0.2 \sim 0.5$)、n型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 、n型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($x: 0.5 \sim 0.2$)、GaAs、p型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($x: 0.2 \sim 0.5$)、p型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 及びp型GaAsが、順次、基板1を構成するGaAs上に結晶成長されたエピウエハを用意する。なお、n型GaAs、n型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ 、n型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($x: 0.2 \sim 0.5$)、n型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 、n型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($x: 0.5 \sim 0.2$)、GaAs、p型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($x: 0.2 \sim 0.5$)、p型 $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 及びp型GaAsは、例えば、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法により結晶成長される。

30

【0057】

エピタキシャル層20が形成された基板1を用意すると、 Si_3N_4 又は SiO_2 から成る絶縁膜30をエピタキシャル層20上にスパッタリング、又はCVD (Chemical Vapour Deposition) により形成する。この場合、絶縁膜30の膜厚は、 $0.4 \mu m$ である(図6の(a)参照)。

40

【0058】

そして、絶縁膜30上にレジストを塗布し、その塗布したレジストをフォトリソグラフィによりキャビティ2の形状にパターンニングし、キャビティ2の形状を有するレジスト31を絶縁膜30上に形成する(図6の(b)参照)。

【0059】

その後、レジスト31をマスクとして絶縁膜30をRIE (Reactive Ion Etching) によりエッチングする。この場合、キャビティ2の出射面210、対向面211及び端面212、213を形成するためにエピタキシャル層20を含めて $3 \mu m$ の

50

深さまでエッチングする。そして、R I Eによって形成された出射面 2 1 0、対向面 2 1 1 及び端面 2 1 2、2 1 3 はミラー面を有する。R I Eによるエッチング後、レジスト 3 1 を除去すると、キャビティ 2 及び絶縁膜 3 が基板 1 上に順次形成された構造が完成する (図 6 の (c) 参照)。なお、この R I Eによるエッチングは、エッチングされた端面が高い垂直性及び平滑性を有する条件によって行なわれる。

【 0 0 6 0 】

次に、リング形状から成る正極電極 4 を形成するために絶縁膜 3 に窓を開ける。絶縁膜 3 上にレジストを塗布し、その塗布したレジストをフォトリソグラフィによりパターンニングしてレジストにリング形状の窓を開ける。そして、パターンニングしたレジストをマスクとして絶縁膜 3 を R I Eによってエッチングし、絶縁膜 3 にリング形状の窓 3 2 を開ける (図 6 の (d) 参照)。

10

【 0 0 6 1 】

その後、正極電極 4 を形成する。この段階で、基板 1 の表面 1 a と絶縁膜 3 の表面 3 a との間には段差が存在するので、この段差を埋めるために 2 層レジストを用いる。すなわち、1 層目のレジスト 3 3 を全体的に塗布して段差を埋めた後、2 層目のレジスト 3 4 を塗布する (図 6 の (e) 参照)。これにより、平坦なレジスト面が形成される。

【 0 0 6 2 】

そして、レジスト 3 3、3 4 をフォトリソグラフィによりパターンニングして正極電極 4 を形成するための孔 3 5 を形成する (図 6 の (f) 参照)。この段階で、孔 3 5 を通して絶縁膜 3、及び絶縁膜 3 に明けられた窓 3 2 が露出する。

20

【 0 0 6 3 】

正極電極 4 と半導体との良好なコンタクトが得られるように、窓 3 2 を通して半導体表面を 0 . 0 1 ~ 0 . 0 2 μm 程度、エッチングする。そして、電子ビーム蒸着により、正極電極 4 を構成する T i (約 0 . 0 7 μm) / P t (約 0 . 0 5 μm) / A u (約 0 . 6 μm) を全面に形成する。次に、ウェハをアセトンに浸してレジスト 3 3、3 4 を除去する。これにより、レジスト 3 4 上に形成された T i / P t / A u は、リフトオフにより除去され、正極電極 4 がキャビティ 2 上に形成される。この場合、絶縁膜 3 のうち、領域 3 b 及びリング形状から成る正極電極 4 の内側の領域 3 c 上にも T i / P t / A u が形成される。

30

【 0 0 6 4 】

その後、へき開を容易にするため、基板 1 を厚さが 1 0 0 ~ 1 5 0 μm になるように研磨する (図 6 の (g) 参照)。そして、G e (約 0 . 1 μm) / N i (約 0 . 0 2 μm) / A u (約 0 . 5 μm) を抵抗加熱により基板 1 の裏面に蒸着して負極電極 5 を形成する (図 6 の (h) 参照)。

【 0 0 6 5 】

負極電極 5 を形成した後、正極電極 4 を構成する T i / P t / A u 及び負極電極 5 を構成する G e / N i / A u を合金化するために、4 0 0 ~ 4 5 0 で数分間、熱処理する。その後、チップごとのへき開及びレーザアレイのへき開を行ない、半導体レーザ 1 0 が製造される。

【 0 0 6 6 】

図 7 は、半導体レーザ 1 0 のキャビティ 2 から出射されるレーザ光のパターンを示す。半導体レーザ 1 0 の正極電極 4 と負極電極 5 との間に電圧が印加され、しきい値を超える電流が活性層 6 に注入されると、半導体レーザ 1 0 はレーザ発振し、キャビティ 2 は、出射面 2 1 0 からレーザ光 L B を出射する。レーザ光 L B は、キャビティ 2 の長手方向の軸 9 と角度 1 を成すレーザ光 L B 1 と、軸 9 と角度 2 を成すレーザ光 L B 2 とから成る。そして、角度 1 は、角度 2 と等しい。つまり、レーザ光 L B は、軸 9 に対して対称な 2 つのレーザ光から成る。

40

【 0 0 6 7 】

レーザ L B が出射されるモードを「リングモード」と言う。半導体レーザ 1 0 がリングモードで動作するためには、曲面から成る出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 を有するキャビテ

50

ィ 2 と、リング形状から成る正極電極 4 とを形成する必要がある。

【 0 0 6 8 】

このように、半導体レーザ 1 0 は、キャビティ 2 の長手方向の軸 9 に対して所定の角度 ($= \theta_1 = \theta_2$) を成すレーザ光 L B を出射することができる。

【 0 0 6 9 】

図 8 は、半導体レーザ 1 0 が軸 9 に対して所定の角度 θ を成すレーザ光 L B を出射する機構を説明するための図である。活性層 2 0 6 に注入された電子と正孔とが再結合し、所定の波長 λ を有する光が発生すると、その発生した光に基づく誘導放出が起こる。そして、誘導放出により発生した多くの光は、ミラー面から成る出射面 2 1 0、対向面 2 1 1 及び端面 2 1 2, 2 1 3 によって反射され、他の光と相互に干渉する。そして、出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 は、入射した光を軸 9 と平行な方向に反射せず、所定の角度を成す方向に反射する。また、誘導放出は、注入される電子及び正孔の密度が高い正極電極 4 の形状に沿った領域で生じ易く、新たに誘導放出によって発生する光と既に誘導放出によって発生した光との干渉は、正極電極 4 の形状に沿った領域で生じ易い。更に、ウイング 2 2 ~ 2 5 は、誘導放出によって発生した光が端面 2 1 2, 2 1 3 で多重反射されることによって生じる成分を抑制する。

10

【 0 0 7 0 】

その結果、誘導放出によって発生した光を相互に強め合う共振器は、正極電極 4 の形状に沿った領域で形成され、その領域でレーザ発振が起こる。そして、発振したレーザ光 L B 0 は、キャビティ 2 内で正極電極 4 の形状に沿って分布する。従って、出射面 2 1 0 から出射されるレーザ光 L B 1, L B 2 は、軸 9 に対して所定の角度 θ を成すものと考えられる。

20

【 0 0 7 1 】

半導体レーザ 1 0 がリングモードで動作するためにはリング形状から成る正極電極 4 が必要なことを示すために、図 9 に示すように、曲面から成る出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 を有するキャビティ 2 に軸 9 の方向に沿って正極電極 4 0 を形成した半導体レーザを作製した。

【 0 0 7 2 】

図 1 0 は、正極電極 4 を形成した半導体レーザ 1 0 及び正極電極 4 0 を形成した半導体レーザから出射されるレーザ光の遠視野像 (Far - Field Pattern) を示す。図 1 0 の (a) は、正極電極 4 0 を形成した場合のレーザ光の遠視野像を示し、図 1 0 の (b) は、正極電極 4 を形成した場合のレーザ光の遠視野像を示す。また、図 1 0 の (a) 及び (b) において、横軸は、軸 9 に対する角度を示し、縦軸は、出射されたレーザ光の規格化強度を示す。

30

【 0 0 7 3 】

正極電極 4 0 を形成した場合、角度が 0 度の方向、すなわち、軸 9 の方向にレーザ光がキャビティ 2 から出射される。レーザ光の波長 λ は 8 6 2 n m であり、強度の半値幅 (FWHM: Full Width at Half Maximum) は 5 . 5 度である。

【 0 0 7 4 】

一方、正極電極 4 を形成した場合、軸 9 に対して $\pm 1 9 . 2$ 度の角度を成すレーザ光 L B 1, L B 2 がキャビティ 2 から出射される。レーザ光 L B 1, L B 2 の波長 λ は 8 6 2 n m であり、強度の半値幅 (FWHM) は、レーザ光 L B 1 及び L B 2 において同じであり、4 . 1 度である。

40

【 0 0 7 5 】

このように、正極電極 4 をリング形状から成るリング電極により構成することにより、半導体レーザ 1 0 は、キャビティ 2 の長手方向の軸 9 に対して対称な角度 ($\pm 1 9 . 2$ 度) を成すレーザ光 L B を出射することが確認された。

【 0 0 7 6 】

角度 θ は、次式によって決定される。

【 0 0 7 7 】

50

【数 1】

$$\theta = \pm \sin^{-1} \left(\frac{n_{\text{eff}} W}{\sqrt{L^2 + W^2}} \right) \quad \dots(1)$$

【0078】

なお、 n_{eff} は、キャビティ 2 の実効屈折率である。

$n_{\text{eff}} = 3.3$ 、 $L = 600 \mu\text{m}$ 及び $W = 300 \mu\text{m}$ を式 (1) に代入して角度 θ を計算した結果、 $\theta = \pm 19.2$ 度であった。この計算結果は、上述した内容と良い一致を示す。

10

【0079】

実効屈折率 n_{eff} が一定の場合、レーザ光 LB1, LB2 の角度 θ を大きくするためには、 L/W を小さくすればよく、レーザ光 LB1, LB2 の角度 θ を小さくするためには、 L/W を大きくすればよい。

【0080】

また、 L/W が一定の場合、実効屈折率 n_{eff} に応じてレーザ光 LB1, LB2 の角度 θ を変化させることができる。

【0081】

従って、半導体レーザ 10 のキャビティ 2 の長さ L 、幅 W 及び実効屈折率 n_{eff} を変化させて設計することにより、レーザ光 LB1, LB2 の出射方向を種々変化させた半導体レーザを作製することができる。

20

【0082】

なお、正極電極 5 の形状であるリング形状は、内周形状及び外周形状が略菱形である輪形状から成る。そして、菱形の 2 つの対角線の比は、キャビティ 2 が出射するレーザ光 LB の方向に応じて決定される。

【0083】

レーザ光 LB がキャビティ 2 の長手方向の軸 9 に対して小さい角度を成す方向に出射される場合、端面 212, 213 が配置される方向の菱形の対角線が短くされる。つまり、リング形状は、軸 9 の方向に伸ばされた菱形から成る概略形状を有する。

【0084】

また、レーザ光 LB がキャビティ 2 の長手方向の軸 9 に対して大きい角度を成す方向に出射される場合、端面 212, 213 が配置される方向の菱形の対角線が長くされる。つまり、リング形状は、軸 9 の方向に縮められた菱形から成る概略形状を有する。

30

【0085】

従って、この発明におけるリング形状とは、概略、菱形を基本とし、その菱形をキャビティ 2 の軸 9 の方向に伸ばしたり、縮めたりした概略形状を有する輪形状を言う。

【0086】

[実施の形態 2]

図 11 は、実施の形態 2 による半導体レーザ 10A の斜視図を示す。半導体レーザ 10A は、半導体レーザ 10 の正極電極 4 を正極電極 44 に代え、電圧印加回路 11 を追加したものであり、その他は、半導体レーザ 10 と同じである。

40

【0087】

正極電極 44 は、リング電極 4A と線状電極 4B とから成る。リング電極 4A は、正極電極 4 とほぼ同じ形状から成る。線状電極 4B は、キャビティ 2 の長手方向に沿ってリング電極 4A の内側に形成される。

【0088】

電圧印加回路 11 は、正極電極 44 と負極電極 5 との間に電圧レベルが異なる電圧 V_1 、 $V_2 (> V_1)$ 、 $V_3 (> V_2)$ のいずれかを印加する。電圧 V_2 は、電圧 V_1 よりも高く、電圧 V_3 は、電圧 V_2 よりも高い。従って、電圧印加回路 11 は、電圧レベルの異なる電圧を正極電極 44 と負極電極 5 との間に印加する。

50

【 0 0 8 9 】

半導体レーザ 1 0 A は、図 6 に示す製造工程のうち、図 6 の (c) に示す工程において、リング電極 4 A 及び線状電極 4 B を形成するための窓を絶縁膜 3 に開けることにより製造される。

【 0 0 9 0 】

図 1 2 は、半導体レーザ 1 0 A における出射光強度と、キャビティ 2 に注入される電流値との関係を示す図である。キャビティ 2 に注入される電流値を変化させることにより、半導体レーザ 1 0 A は、シングルモード、ツインモード及びロッキングモードのいずれかのモードでレーザ光を発振する。領域 M D E 1 は、シングルモードでレーザ光を発振する領域であり、領域 M D E 2 は、ツインモードでレーザ光を発振する領域であり、領域 M D E 3 は、ロッキングモードでレーザ光を発振する領域である。

10

【 0 0 9 1 】

半導体レーザ 1 0 A がシングルモードでレーザ光を発振する場合、電圧印加回路 1 1 は、しきい値 I_{th} ~ 電流値 I_1 の範囲の電流をキャビティ 2 に注入するための電圧 V_1 を正極電極 4 4 と負極電極 5 との間に印加する。また、半導体レーザ 1 0 A がツインモードでレーザ光を発振する場合、電圧印加回路 1 1 は、電流値 I_1 ~ 電流値 I_2 の範囲の電流をキャビティ 2 に注入するための電圧 V_2 を正極電極 4 4 と負極電極 5 との間に印加する。更に、半導体レーザ 1 0 A がロッキングモードでレーザ光を発振する場合、電圧印加回路 1 1 は、電流値 I_2 ~ 電流値 I_3 の範囲の電流をキャビティ 2 に注入するための電圧 V_3 を正極電極 4 4 と負極電極 5 との間に印加する。

20

【 0 0 9 2 】

図 1 3 は、半導体レーザ 1 0 A がシングルモードでレーザ光を発振した場合を示す。また、図 1 4 は、半導体レーザ 1 0 A がツインモードでレーザ光を発振した場合を示す。更に、図 1 5 は、半導体レーザ 1 0 A がロッキングモードでレーザ光を発振した場合を示す。

【 0 0 9 3 】

シングルモードにおいては、半導体レーザ 1 0 A は、上述したレーザ光 $L B 1$ 及び $L B 2$ から成るレーザ光 $L B$ をキャビティ 2 から出射する。また、ツインモードにおいては、半導体レーザ 1 0 A は、レーザ光 $L B 1$ とレーザ光 $L B 2$ とが周期的に切替わるレーザ光をキャビティ 2 から出射する。更に、ロッキングモードにおいては、半導体レーザ 1 0 A は、レーザ光 $L B 1$ のみをキャビティ 2 から出射する。なお、ロッキングモードにおいては、半導体レーザ 1 0 A は、レーザ光 $L B 2$ のみを出射することも可能である。

30

【 0 0 9 4 】

このように、半導体レーザ 1 0 A は、キャビティ 2 に注入される電流量に応じてレーザ光の発振モードを切替えることを特徴とする。

【 0 0 9 5 】

上記においては、キャビティ 2 は、軸 8 に対して相互に対称に形成された出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 を有すると説明したが、この発明による半導体レーザ 1 0 は、図 1 6 に示すキャビティ 2 A を備えていてもよい。キャビティ 2 A は、キャビティ 2 の対向面 2 1 1 を対向面 2 1 1 A に代えたものであり、その他は、キャビティ 2 と同じである。対向面 2 1 1 A は、軸 8 に対して出射面 2 1 0 と非対称である。そして、対向面 2 1 1 A は、キャビティ 2 A の内側から外側に向かう方向に凸である曲面から成る。

40

【 0 0 9 6 】

このように、相互に非対称な曲面から成る出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 A を軸 9 の方向に形成したキャビティ 2 A を用いた場合にも、半導体レーザ 1 0 , 1 0 A は、軸 9 に対して所定の角度を成すレーザ光を出射面 2 1 0 から出射する。キャビティ 2 A は、キャビティ 2 が出射するレーザ光の方向と異なる方向にレーザ光を出射する。そして、キャビティ 2 A が出射するレーザ光の方向は、出射面 2 1 0 の半径と対向面 2 1 1 A の半径との比に応じて決定される。

【 0 0 9 7 】

また、この発明による半導体レーザは、キャビティ 2 に代えて図 1 7 に示すキャビティ 2

50

Bを備えていてもよい。キャビティ2Bは、キャビティ2の対向面211を対向面211Bに代えたものであり、その他は、キャビティ2と同じである。対向面211Bは、軸8に平行な平面から成る。

【0098】

キャビティ2Bにおいては、出射面210は、入射した光を軸9に対して所定の角度を成す方向に反射し、出射面210で反射された光は、端面212, 213に斜め方向から入射し、端面212, 213によって対向面211Bの方向へ反射される。そして、平面から成る対向面211Bは、斜め方向から光を受け、その受けた光を斜め方向に反射する。その結果、キャビティ2B内で発振したレーザ光は、正極電極4, 44の形状に沿って分布し、キャビティ2Bは、軸9に対して所定の角度を成す方向にレーザ光を出射面210から出射する。

10

【0099】

このように、曲面から成る出射面210及び平面から成る対向面211Bを軸9の方向に形成したキャビティ2Bを用いた場合にも、この発明による半導体レーザは、軸9に対して所定の角度を成すレーザ光を出射面210から出射する。

【0100】

キャビティ2Bは、キャビティ2が出射するレーザ光の方向と異なる方向にレーザ光を出射する。そして、キャビティ2Bが出射するレーザ光の方向は、出射面210の半径に応じて決定される。

【0101】

更に、この発明による半導体レーザは、図18に示すキャビティ2Cを備えていてもよい。キャビティ2Cは、キャビティ2の出射面210を出射面210Aに代え、対向面211を対向面211Cに代えたものであり、その他は、キャビティ2と同じである。出射面210A及び対向面211Cは、キャビティ2Cの外側から内側に向かう方向に凸な曲面から成る。また、対向面211Cは、軸8に対して出射面210Aと対称である。キャビティ2Cにおいては、出射面210A及び対向面211Cは、入射した光を軸9に対して所定の角度を成す方向に反射する。その結果、キャビティ2C内で発振したレーザ光は、正極電極4, 44の形状に沿って分布し、キャビティ2Cは、軸9に対して所定の角度を成す方向にレーザ光を出射面210Aから出射する。

20

【0102】

このように、キャビティ2Cの外側から内側に向かう方向に凸である曲面から成る出射面210A及び対向面211Cを軸9の方向に形成したキャビティ2Cを用いた場合にも、この発明による半導体レーザは、軸9に対して所定の角度を成すレーザ光を出射面210Aから出射する。そして、キャビティ2Cは、キャビティ2が出射するレーザ光の方向と異なる方向にレーザ光を出射する。

30

【0103】

更に、この発明による半導体レーザは、図19に示すキャビティ2Dを備えていてもよい。キャビティ2Dは、キャビティ2Cの対向面211Cを対向面211Dに代えたものであり、その他は、キャビティ2Cと同じである。対向面211Dは、キャビティ2Dの外側から内側に向かう方向に凸な曲面から成る。また、対向面211Dは、軸8に対して出射面210Aと非対称である。

40

【0104】

このように、相互に非対称な曲面から成る出射面210A及び対向面211Dを軸9の方向に形成したキャビティ2Dを用いた場合にも、この発明による半導体レーザは、軸9に対して所定の角度を成すレーザ光を出射面210Aから出射する。キャビティ2Dは、キャビティ2Cが出射するレーザ光の方向と異なる方向にレーザ光を出射する。そして、キャビティ2Dが出射するレーザ光の方向は、出射面210Aの半径と対向面211Dの半径との比に応じて決定される。

【0105】

更に、この発明による半導体レーザは、図20に示すキャビティ2Eを備えていてもよい

50

。キャビティ 2 E は、キャビティ 2 C の対向面 2 1 1 C を対向面 2 1 1 E に代えたものであり、その他は、キャビティ 2 C と同じである。対向面 2 1 1 E は、軸 8 に平行な平面から成る。

【 0 1 0 6 】

キャビティ 2 E においては、出射面 2 1 0 A は、入射した光を軸 9 に対して所定の角度を成す方向に反射し、出射面 2 1 0 A で反射された光は、端面 2 1 2 , 2 1 3 に斜め方向から入射し、端面 2 1 2 , 2 1 3 によって対向面 2 1 1 E の方向へ反射される。そして、平面から成る対向面 2 1 1 E は、斜め方向から光を受け、その受けた光を斜め方向に反射する。その結果、キャビティ 2 E 内で発振したレーザ光は、正極電極 4 , 4 4 の形状に沿って分布し、キャビティ 2 E は、軸 9 に対して所定の角度を成す方向にレーザ光を出射面 2 1 0 A から出射する。

10

【 0 1 0 7 】

このように、曲面から成る出射面 2 1 0 A 及び平面から成る対向面 2 1 1 E を軸 9 の方向に形成したキャビティ 2 E を用いた場合にも、この発明による半導体レーザは、軸 9 に対して所定の角度を成すレーザ光を出射面 2 1 0 A から出射する。

【 0 1 0 8 】

キャビティ 2 E は、キャビティ 2 C が出射するレーザ光の方向と異なる方向にレーザ光を出射する。そして、キャビティ 2 E が出射するレーザ光の方向は、出射面 2 1 0 A の半径に応じて決定される。

20

【 0 1 0 9 】

更に、この発明による半導体レーザは、図 2 1 に示すキャビティ 2 F を備えていてもよい。キャビティ 2 F は、キャビティ 2 の対向面 2 1 1 を対向面 2 1 1 C に代えたものであり、その他は、キャビティ 2 と同じである。対向面 2 1 1 C は、キャビティ 2 F の外側から内側に向かう方向に凸である曲面から成る。つまり、出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 C は、同じ方向に凸である曲面から成る。そして、対向面 2 1 1 C の半径は、出射面 2 1 0 の半径と同じである。なお、図 2 1 においては、出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 C は、紙面上、右から左の方向へ凸であるが、紙面上、左から右の方向へ凸であってもよい。

【 0 1 1 0 】

このように、同じ方向に凸である曲面から成る出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 C を軸 9 の方向に形成したキャビティ 2 F を用いた場合にも、この発明による半導体レーザは、軸 9 に対して所定の角度を成すレーザ光を出射面 2 1 0 から出射する。そして、キャビティ 2 F は、キャビティ 2 が出射するレーザ光の方向と異なる方向にレーザ光を出射する。

30

【 0 1 1 1 】

更に、この発明による半導体レーザは、図 2 2 に示すキャビティ 2 G を備えていてもよい。キャビティ 2 G は、キャビティ 2 F の対向面 2 1 1 C を対向面 2 1 1 D に代えたものであり、その他は、キャビティ 2 F と同じである。対向面 2 1 1 D は、キャビティ 2 G の外側から内側に向かう方向に凸である曲面から成る。そして、対向面 2 1 1 D の半径は、出射面 2 1 0 の半径と異なる。なお、図 2 2 においても、出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 D は、紙面上、右から左の方向へ凸であるが、紙面上、左から右の方向へ凸であってもよい。

40

【 0 1 1 2 】

このように、同じ方向に凸である曲面から成る出射面 2 1 0 及び対向面 2 1 1 D を軸 9 の方向に形成したキャビティ 2 G を用いた場合にも、この発明による半導体レーザは、軸 9 に対して所定の角度を成すレーザ光を出射面 2 1 0 から出射する。

【 0 1 1 3 】

キャビティ 2 G は、キャビティ 2 F が出射するレーザ光の方向と異なる方向にレーザ光を出射する。そして、キャビティ 2 G が出射するレーザ光の方向は、出射面 2 1 0 の半径と対向面 2 1 1 D の半径との比に応じて決定される。

【 0 1 1 4 】

なお、上記においては、正極電極 4 , 4 4 をリング電極から構成すると説明したが、パッ

50

ファ層 201, 202、グレーディッド層 203、クラッド層 204、グレーディッド層 205、グレーディッド層 207、クラッド層 208 及びキャップ層 209 を構成する半導体の導電型を反対にした場合には、上述した正極電極 4, 44 と同じ形状から成るリング電極により負極電極 5 を作製する。

【0115】

従って、この発明による半導体レーザにおいては、正極電極及び負極電極の一方がリング電極から構成されていればよい。

【0116】

上述したように、この発明による半導体レーザは、曲面から成る出射面と、リング形状の電極とを備えることを特徴とする。

10

【0117】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施の形態1による半導体レーザの斜視図である。

【図2】 図1に示すキャビティの平面図である。

【図3】 図1に示すA-A線における半導体レーザの断面構造図である。

【図4】 図3に示すバッファ層 201, 202、グレーディッド層 203、クラッド層 204、グレーディッド層 205、活性層 206、グレーディッド層 207、クラッド層 208 及びキャップ層 209 のエネルギーバンド図である。

20

【図5】 図3に示すクラッド層 204、グレーディッド層 205、活性層 206、グレーディッド層 207 及びクラッド層 208 の屈折率の分布図である。

【図6】 図1に示す半導体レーザの製造工程を示す図である。

【図7】 図1に示す半導体レーザのキャビティから出射されるレーザ光のパターンを示す図である。

【図8】 図1に示す半導体レーザが長手方向の軸に対して所定の角度を成すレーザ光を出射する機構を説明するための図である。

【図9】 長手方向の軸に沿って形成された電極を有するキャビティの平面図である。

30

【図10】 発振するレーザ光の遠視野像を示す図である。

【図11】 実施の形態2による半導体レーザの斜視図である。

【図12】 図11に示す半導体レーザにおける出射光強度と、キャビティに注入される電流値との関係を示す図である。

【図13】 図11に示す半導体レーザがシングルモードでレーザ光を発振した場合を示す平面図である。

【図14】 図11に示す半導体レーザがツインモードでレーザ光を発振した場合を示す平面図である。

【図15】 図11に示す半導体レーザがロッキングモードでレーザ光を発振する場合を示す平面図である。

40

【図16】 キャビティの他の平面図である。

【図17】 キャビティの更に他の平面図である。

【図18】 キャビティの更に他の平面図である。

【図19】 キャビティの更に他の平面図である。

【図20】 キャビティの更に他の平面図である。

【図21】 キャビティの更に他の平面図である。

【図22】 キャビティの更に他の平面図である。

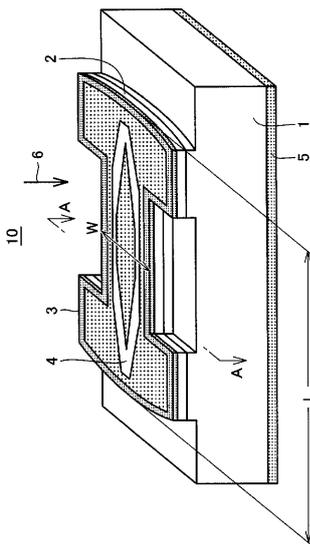
【符号の説明】

1 基板、1a, 3a 表面、2, 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G キャビティ、3, 30 絶縁膜、3b, 3c, 214, 215 領域、4, 44 正極電極、4

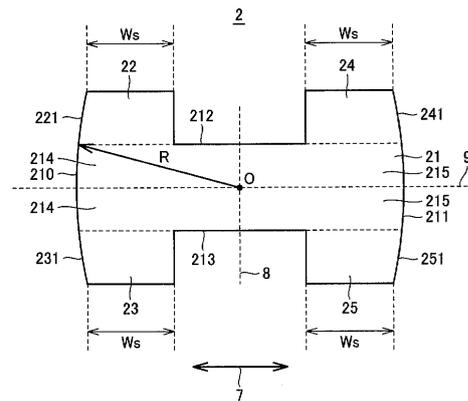
50

A リング電極、4 B 線状電極、5 負極電極、6, 7 矢印、8, 9 軸、10, 10 A 半導体レーザ、11 電圧印加回路、20 エピタキシャル層、21 メインキャビティ、22~25 ウイング、31, 33, 34 レジスト、32 窓、35 孔、40 電極、201, 202 バッファ層、203, 205, 207 グレーディッド層、204, 208 クラッド層、206 活性層、209 キャップ層、210, 210 A 出射面、211, 211 A, 211 B, 211 C, 211 D, 211 E 対向面、212, 213 端面、221, 231, 241, 251 曲面、LB, LB0, LB1, LB2 レーザ光。

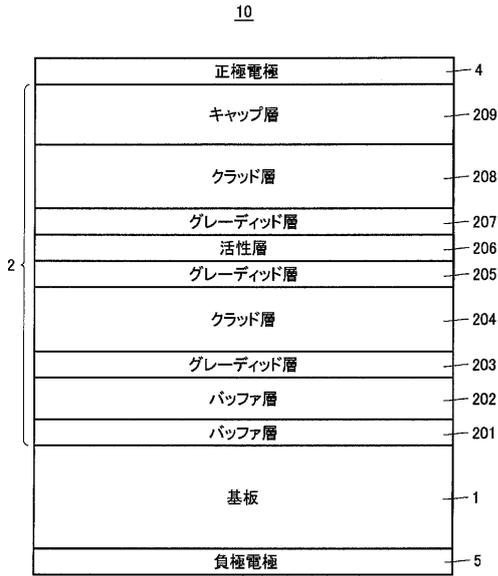
【図1】



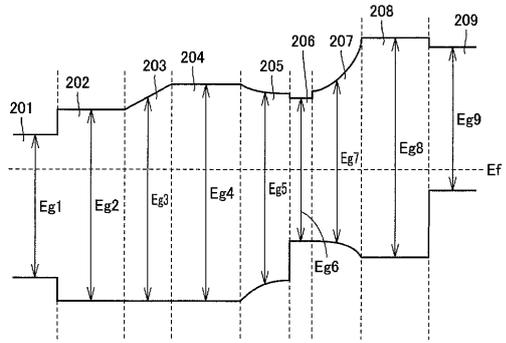
【図2】



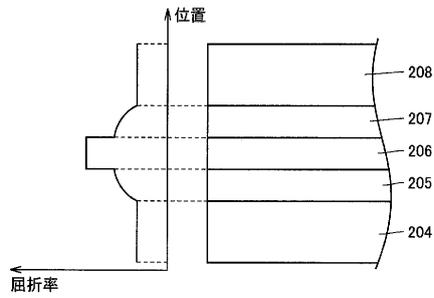
【図3】



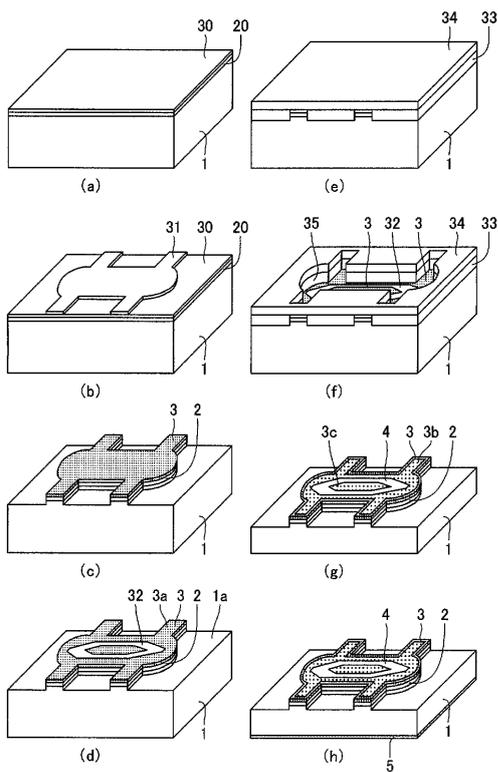
【図4】



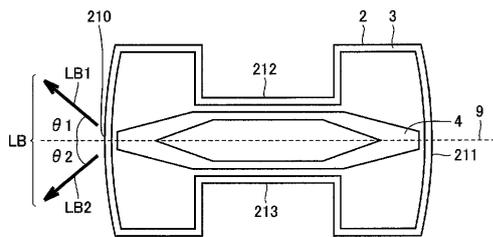
【図5】



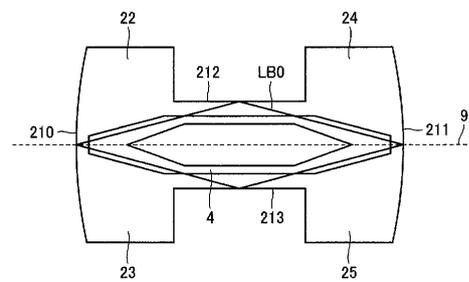
【図6】



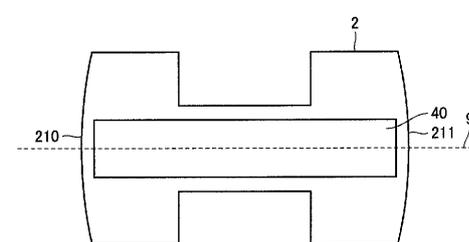
【図7】



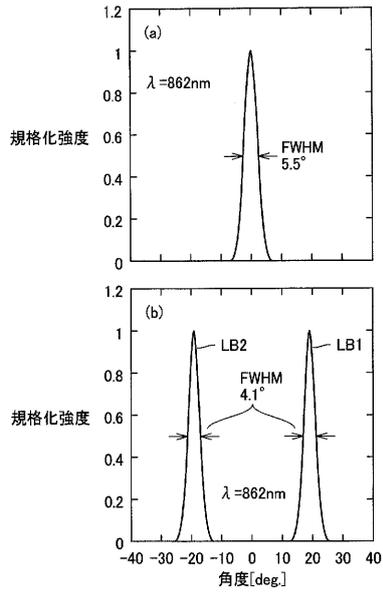
【図8】



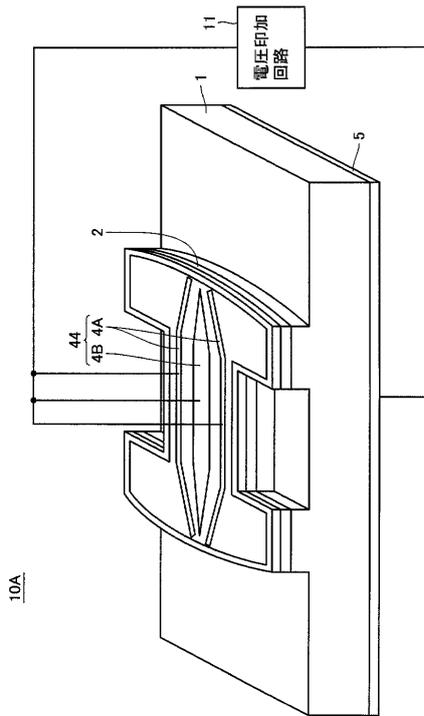
【図9】



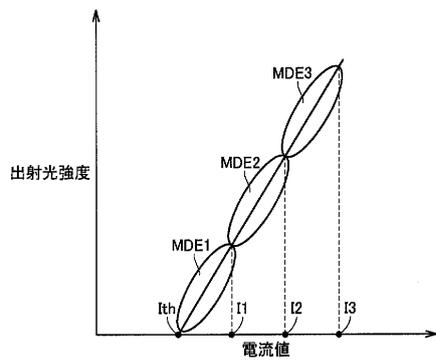
【 図 1 0 】



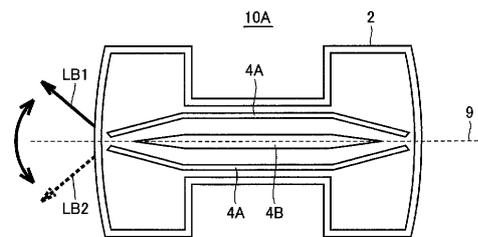
【 図 1 1 】



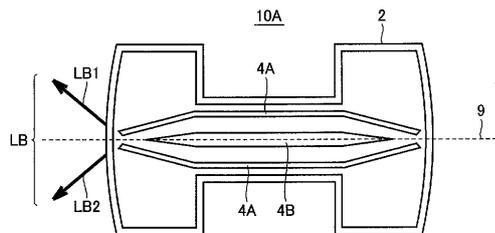
【 図 1 2 】



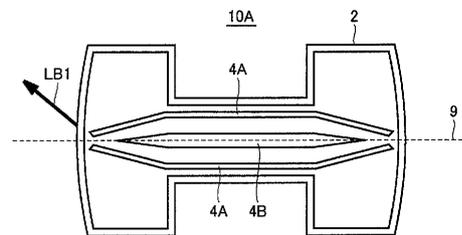
【 図 1 4 】



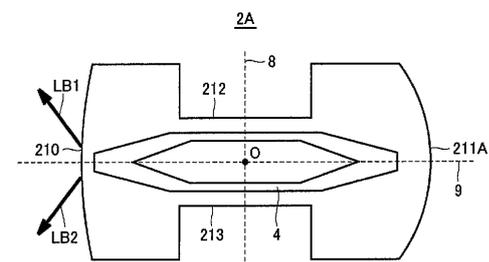
【 図 1 3 】



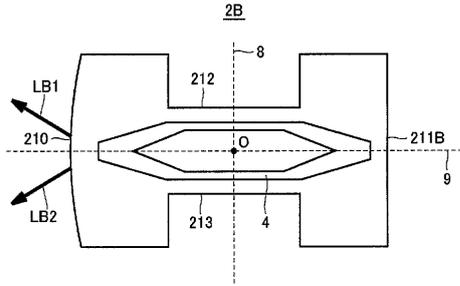
【 図 1 5 】



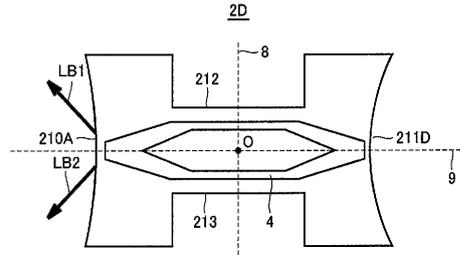
【 図 1 6 】



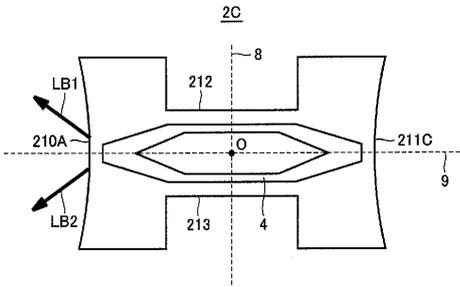
【 図 17 】



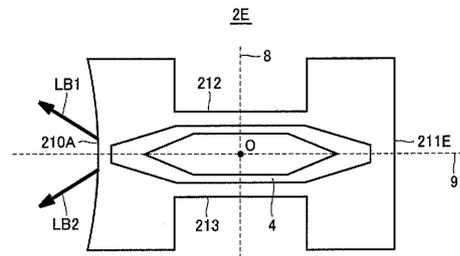
【 図 19 】



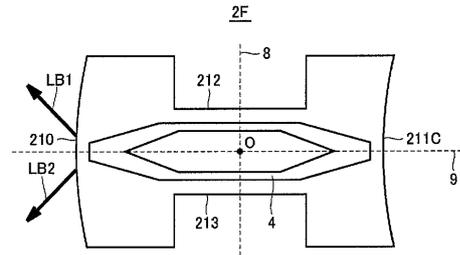
【 図 18 】



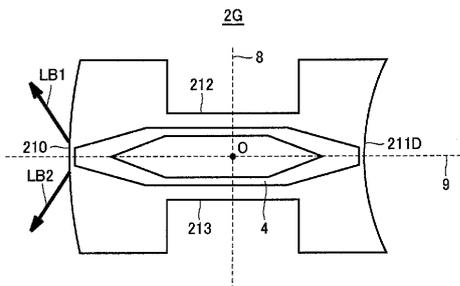
【 図 20 】



【 図 21 】



【 図 22 】



フロントページの続き

合議体

審判長 稲積 義登

審判官 吉野 公夫

審判官 西村 直史

(56)参考文献 特開昭62-213188(JP,A)

特開昭58-225678(JP,A)

特開平05-167197(JP,A)

特開平06-029626(JP,A)

特開2000-340564(JP,A)

Takehiro Fukushima, "Analysis of Resonator Eigenmodes in Symmetric Quasi-Stadium Laser Diodes", Journal of lightwave technology, 2000年, Vol. 18, No. 12, pp. 2208-2216

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00 - 5/50