(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)公開番号
特開2024-121885
(P2024-121885A)
(43)公開日　令和6年9月9日(2024.9.9)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
H01S	*5/183(2006.01)*	H01S	5/183		5F173
H01S	*5/20 (2006.01)*	H01S	5/20	610	

審査請求　未請求　請求項の数　8　OL　（全15頁）

(21)出願番号　特願2023-29100(P2023-29100)
(22)出願日　令和5年2月28日(2023.2.28)

(71)出願人　000002303
スタンレー電気株式会社
東京都目黒区中目黒２丁目９番１３号
(74)代理人　110001025
弁理士法人レクスト国際特許事務所
(72)発明者　倉本 大
東京都目黒区中目黒２丁目９番１３号
スタンレー電気株式会社内

Ｆターム（参考）　5F173　AC03 AC35 AC46 AC53
AH22 AP33 AP63 AR24

(54)【発明の名称】　垂直共振器型発光素子及び垂直共振器型発光素子の製造方法

(57)【要約】
【課題】共振器内における光損失を防ぎ、安定した強度の光を出射させることが可能な垂直共振器型発光素子を提供する。
【解決手段】
基板と、基板上に形成された第１の多層膜反射鏡と、第１の多層膜反射鏡上に形成された第１の導電型を有する第１の半導体層、第１の半導体層上に形成された発光層、及び発光層上に形成されており、上面の中央の１の領域が上面の１の領域の周縁の領域よりも上方に突出しておりかつ第１の導電型と反対の第２の導電型を有する第２の半導体層を含む半導体構造層と、半導体構造層上に形成され、第１の多層膜反射鏡との間で共振器を構成する第２の多層膜反射鏡と、を有し、第２の半導体層において、上面の前記１の領域に沿った第１の部分よりも周縁の領域に沿った第２の部分の方が、水素濃度が高い。
【選択図】図２

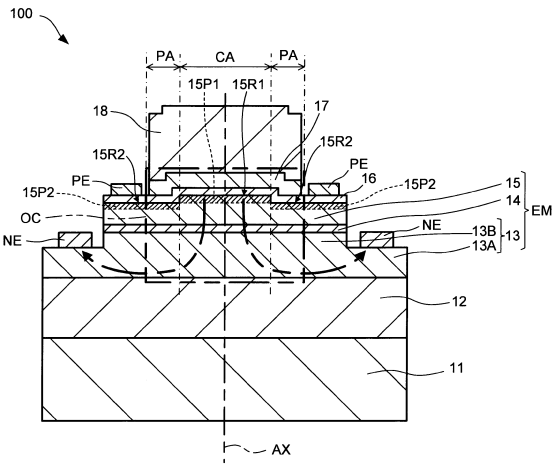

FIG.2

【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板と、
前記基板上に形成された第１の多層膜反射鏡と、
前記第１の多層膜反射鏡上に形成された第１の導電型を有する第１の半導体層、前記第１の半導体層上に形成された発光層、及び前記発光層上に形成されており、上面の中央の１の領域が前記上面の前記１の領域の周縁の領域よりも上方に突出しておりかつ前記第１の導電型と反対の第２の導電型を有する第２の半導体層を含む半導体構造層と、
前記半導体構造層上に形成され、前記第１の多層膜反射鏡との間で共振器を構成する第２の多層膜反射鏡と、を有し、
前記第２の半導体層において、前記上面の前記１の領域に沿った第１の部分よりも前記周縁の領域に沿った第２の部分の方が、水素濃度が高いことを特徴とする垂直共振器型発光素子。
【請求項２】
前記第２の部分は、前記第１の部分よりも水素濃度が２倍以上高いことを特徴とする請求項１に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項３】
前記第２の半導体層の上面に亘って形成された透光性を有する導電膜を有し、
前記第２の部分における水素濃度は、前記１の領域上の前記導電膜における水素濃度よりも１０倍以上高いことを特徴とする請求項２に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項４】
前記第２の半導体層の上面に亘って形成された透光性を有する導電膜を有し、
前記第１の部分における水素濃度は、前記周縁の領域上の前記導電膜における水素濃度よりも１０倍以上低いことを特徴とする請求項２に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項５】
前記周縁の領域上に設けられた電気絶縁性を有する絶縁層と、
前記絶縁層及び前記第１の部分を覆って形成された透光性を有する導電膜と、を有することを特徴とする請求項１又は２に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項６】
前記１の領域上に形成され、前記第１の導電型を有する半導体層及び前記第２の導電型を有する半導体層からなるトンネル接合層と、
前記トンネル接合層上に形成された前記第１の導電型を有する第３の半導体層と、
前記周縁の領域上に形成された前記第１の導電型を有する第４の半導体層と、を有することを特徴とする請求項１又は２に記載の垂直共振器型発光素子。
【請求項７】
請求項１又は２に記載の垂直共振器型発光素子の製造方法であって、
前記第２の半導体層の前記第２の部分にイオン注入法によって水素イオンを注入する水素イオン注入工程を含むことを特徴とする垂直共振器型発光素子の製造方法。
【請求項８】
請求項１又は２に記載の垂直共振器型発光素子の製造方法であって、
前記第２の半導体層上において、内部に所定濃度以上の水素を含むように所定の成膜レートで導電膜を形成する導電膜形成工程と、
前記導電膜形成工程において形成した前記導電膜に含まれる水素をアニール処理によって前記第２の半導体層内へと移動させるアニール処理工程と、
通電によって前記第２の半導体層の前記第１の部分に含まれている水素を前記第１の半導体層側に移動させる通電工程と、
を含むことを特徴とする垂直共振器型発光素子の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】

本発明は、垂直共振器型発光素子及び垂直共振器型発光素子の製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
半導体レーザの１つとして、発光層を含む半導体層と当該半導体層を挟んで互いに対向する２つの多層膜反射鏡とを有する垂直共振器型発光素子が知られている。例えば、特許文献１には、対向する２つの多層膜反射鏡によって光共振器を構成し、ｎ型半導体層及びｐ型半導体層にそれぞれ接続されたｎ電極及びｐ電極を有する垂直共振器型面発光レーザ（Ｖｅｒｔｉｃａｌ Ｃａｖｉｔｙ Ｓｕｒｆａｃｅ Ｅｍｉｔｔｉｎｇ Ｌａｓｅｒ：ＶＣＳＥＬ）が開示されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２０２０－０６４９９４
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
特許文献１に開示されている垂直共振器型面発光レーザにおいては、ｎ電極及びｐ電極を介して発光層に電流が流れることで、発光層から放出された光が光共振器内で共振してレーザ光が生成される。例えば、上記のような垂直共振器型面発光レーザに長期間に亘って通電がなされた場合、光共振器内における光閉じ込め領域と電流閉じ込め領域との間にずれが生じることで光損失が増大し、レーザ発振を開始する電流値である閾値電流が増加し得る。
【０００５】
例えば、このような垂直共振器型面発光レーザを電流一定駆動条件にて使用されるディスプレイやヘッドランプなどのデバイスに適用した際においては、出射される光の強度が低下してしまうという問題点が挙げられる。
【０００６】
本発明は上記した点に鑑みてなされたものであり、共振器内における光損失を防ぎ、安定した強度の光を出射させることが可能な垂直共振器型発光素子を提供することを目的としている。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
本発明による垂直共振器型発光素子は、基板と、前記基板上に形成された第１の多層膜反射鏡と、前記第１の多層膜反射鏡上に形成された第１の導電型を有する第１の半導体層、前記第１の半導体層上に形成された発光層、及び前記発光層上に形成されており、上面の中央の１の領域が前記上面の前記１の領域の周縁の領域よりも上方に突出しておりかつ前記第１の導電型と反対の第２の導電型を有する第２の半導体層を含む半導体構造層と、前記半導体構造層上に形成され、前記第１の多層膜反射鏡との間で共振器を構成する第２の多層膜反射鏡と、を有し、前記第２の半導体層において、前記上面の前記１の領域に沿った第１の部分よりも前記周縁の領域に沿った第２の部分の方が、水素濃度が高いことを特徴としている。
【図面の簡単な説明】
【０００８】
【図１】実施例１に係る垂直共振器型面発光レーザの上面図である。
【図２】実施例１に係る垂直共振器型面発光レーザの断面図である。
【図３】実施例１に係る垂直共振器型面発光レーザの第１の製造方法における製造工程を示す断面図である。
【図４】実施例１に係る垂直共振器型面発光レーザの第１の製造方法における製造工程を示す断面図である。
【図５】実施例１に係る垂直共振器型面発光レーザの第１の製造方法における製造工程を示す断面図である。

【図６】実施例１に係る垂直共振器型面発光レーザの第１の製造方法における製造工程を示す断面図である。
【図７】実施例１に係る垂直共振器型面発光レーザの第２の製造方法における製造工程を示す断面図である。
【図８】実施例１の変形例に係る垂直共振器型面発光レーザの断面図である。
【図９】実施例１の変形例に係る垂直共振器型面発光レーザの断面図である。
【発明を実施するための形態】
【０００９】
以下、本発明の実施例について図面を参照して具体的に説明する。なお、図面において同一の構成要素については同一の符号を付け、重複する構成要素の説明は省略する。
【実施例１】
【００１０】
図１及び図２を用いて、実施例１に係る垂直共振器型面発光レーザ１００（以下、面発光レーザ１００と称する）の構成について説明する。図１は、面発光レーザ１００の上面図である。また、図２は、図１に示した面発光レーザ１００の２－２線に沿った断面図である。なお、図２において、図中上下方向が面発光レーザ１００の高さ方向である。
【００１１】
基板１１は、上面形状が矩形を有する平板状の透明な基板である。基板１１は、その上面において半導体結晶を成長させることが可能な成長用基板である。本実施例において、基板１１は、例えばアンドープの窒化ガリウム（ＧａＮ）などの、青色の波長を有する光に対して透光性を有する材料からなる。以下の説明においては、基板１１の上面の中心を通りかつ当該上面に垂直な軸を中心軸ＡＸとして説明する。
【００１２】
第１の多層膜反射鏡１２は、基板１１の上に成長させられた半導体層からなる半導体多層膜反射鏡である。第１の多層膜反射鏡１２は、基板１１の上面において高屈折率半導体膜と当該高屈折率半導体膜よりも屈折率が低い低屈折率半導体膜とが交互に積層された、いわゆる分布ブラッグ反射器（Ｄｉｓｔｒｉｂｕｔｅｄ Ｂｒａｇｇ Ｒｅｆｌｅｃｔｏｒ：ＤＢＲ）である。
【００１３】
第１の多層膜反射鏡１２は、例えば、基板１１の上面においてＧａＮからなる高屈折率半導体膜と窒化インジウムアルミニウム（ＡｌＩｎＮ）からなる低屈折率半導体膜とが４４ペア積層されてなる。第１の多層膜反射鏡１２は、このような構成を有することにより、青色の波長域の光に対して反射性を有する。なお、基板１１と第１の多層膜反射鏡１２との間にはＧａＮからなるバッファ層（図示せず）が設けられている。
【００１４】
半導体構造層ＥＭは、第１の多層膜反射鏡１２上に形成された複数の半導体層からなる積層構造体である。半導体構造層ＥＭは、第１の多層膜反射鏡１２上に形成されたｎ型半導体層１３と、ｎ型半導体層１３上に形成された発光層１４と、発光層１４上に形成されたｐ型半導体層１５とを有する。
【００１５】
以下、半導体構造層ＥＭを構成するｎ型半導体層１３、発光層１４及びｐ型半導体層１５の各々の構造について説明する。
【００１６】
第１の導電型を有する第１の半導体層としてのｎ型半導体層１３は、第１の多層膜反射鏡１２の上面に亘って形成された半導体層である。ｎ型半導体層１３は、ＧａＮからなり、ｎ型不純物としてシリコン（Ｓｉ）がドーピングされている。
【００１７】
ｎ型半導体層１３は、平板状の下部１３Ａと下部１３Ａの中央から中心軸ＡＸに沿って上方に突出している円柱状の上部１３Ｂとから構成される、いわゆるメサ形状の構造を有する。
【００１８】

発光層１４は、ｎ型半導体層１３の上部１３Ｂに亘って形成され、ＩｎＧａＮからなる井戸層及びＧａＮからなる障壁層が互いに積層された量子井戸構造を有する半導体層である。発光層１４は、その発光中心が中心軸ＡＸ上に持ちこされるように形成されている。発光層１４は、例えば４５０ｎｍをピーク波長とする青色光を放出する。

【００１９】

第２の導電型を有する第２の半導体層としてのｐ型半導体層１５は、発光層１４の上面に亘って形成されている半導体層である。ｐ型半導体層１５は、ＧａＮからなり、ｐ型不純物としてマグネシウム（Ｍｇ）がドーピングされている。

【００２０】

ｐ型半導体層１５は、上面において、円形状を有しかつ中心軸ＡＸを通る領域である第１の領域１５Ｒ１と、第１の領域１５Ｒ１の周縁の領域でありかつ第１の領域１５Ｒ１よりも下方に窪んでいる円環状の第２の領域１５Ｒ２とを有する。言い換えれば、ｐ型半導体層１５の上面において、第１の領域１５Ｒ１は第２の領域１５Ｒ２よりも上方に突出している。

【００２１】

ｐ型半導体層１５において、第２の領域１５Ｒ２は、ｐ型半導体層１５にドーピングされたｐ型不純物（Ｍｇ）が電気的に不活性化された領域である。第２の領域１５Ｒ２は、例えば、平板状のｐ型半導体層の上面に円形状の領域（第１の領域１５Ｒ１）を残してドライエッチングを行うことで形成される。第２の領域１５Ｒ２においては、ドライエッチングによってその表面が粗面化されることにより、ｐ型不純物の不活性化がなされている。

【００２２】

具体的には、ｐ型不純物は、ｐ型半導体層の形成時にはｐ型半導体層１５の結晶の格子位置に配されることで電気的に活性化された状態となっている。これが第２の領域１５Ｒ２においては、ｐ型不純物は、ドライエッチングを経てｐ型半導体層１５の結晶の格子位置から外れた状態、すなわち電気的に不活性な状態となっている。言い換えれば、第２の領域１５Ｒ２は、ｐ型不純物がキャリアを生成しにくい領域となっている。

【００２３】

従って、ｐ型半導体層１５の上面において、第２の領域１５Ｒ２は第１の領域１５Ｒ１よりも高い電気抵抗を有する高抵抗領域として機能する。一方、ドライエッチングが行われていない領域、すなわちｐ型不純物が電気的に活性化されている領域である第１の領域１５Ｒ１は、第２の領域１５Ｒ２よりも低い電気抵抗を有する低抵抗領域として機能する。

【００２４】

また、ｐ型半導体層１５においては、第１の領域１５Ｒ１に沿ったｐ型半導体層１５の表層部分である第１の部分１５Ｐ１よりも、第２の領域１５Ｒ２に沿ったｐ型半導体層１５の表層部分である第２の部分１５Ｐ２の方が、水素濃度が高くなっている。第１の部分１５Ｐ１及び第２の部分１５Ｐ２は、例えばｐ型半導体層１５の上面から４０ｎｍの範囲である。

【００２５】

具体的には、ｐ型半導体層１５において、第２の部分１５Ｐ２における水素濃度は、第１の部分１５Ｐ１における水素濃度よりも２倍以上高くなっている。例えば、第１の部分１５Ｐ１における水素濃度は1×10^{18}／cm^3であり、第２の部分１５Ｐ２における水素濃度は5×10^{18}／cm^3である。

【００２６】

ｎ電極ＮＥは、ｎ型半導体層１３の下部１３Ａの上面に設けられており、ｎ型半導体層１３と電気的に接続されている上面形状が環状の金属電極である。ｎ電極ＮＥは、面発光レーザ１００を上から見た平面視において、ｎ型半導体層１３の上部１３Ｂを囲繞しつつ上部１３Ｂと離隔して形成されている。ｎ電極ＮＥは、例えば下部１３Ａの上面にチタン（Ｔｉ）及びアルミニウム（Ａｌ）がこの順で積層されてなる。

【００２７】
透明導電膜１６は、ｐ型半導体層１５の第１の領域１５Ｒ１に電気的に接続され、ｐ型半導体層１５の上面に亘ってかつｐ型半導体層１５の上面形状に沿って形成されている透明な金属酸化膜である。透明導電膜１６は、例えば、酸化インジウムスズ（ＩＴＯ）や酸化インジウム亜鉛（ＩＺＯ）などの、発光層１４から放出された青色光に対して透光性を有する金属酸化物からなる。
【００２８】
ｐ電極ＰＥは、透明導電膜１６の上面の外縁に沿って形成されており、透明導電膜１６と電気的に接続されている上面形状が環状の金属電極である。ｐ電極ＰＥは、例えば金（Ａｕ）からなる。
【００２９】
絶縁層１７は、透明導電膜１６の上面においてｐ電極ＰＥよりも内側にかつｐ電極ＰＥと離隔して形成されており、上面形状が円形の絶縁性を有する透明な層である。絶縁層１７は、面発光レーザ１００を上から見た平面視において、上述したｐ型半導体層１５の第１の領域１５Ｒ１を覆って形成されている。なお、ｐ電極ＰＥが絶縁層１７と離隔されるのではなく、一部が絶縁層１７の下にあってもよい。
【００３０】
絶縁層１７は、例えば、五酸化タンタル（Ta_2O_5）、五酸化ニオブ（Nb_2O_5）、酸化亜鉛（ZrO_2）、酸化チタン（TiO_2）、酸化ハフニウム（HfO_2）などの、発光層１４から放出された青色光に対して透光性を有する金属酸化物からなる。
【００３１】
第２の多層膜反射鏡１８は、絶縁層１７の上面に成長させられた半導体層からなる円柱状の半導体多層膜反射鏡である。第２の多層膜反射鏡１８は、絶縁層１７の上面において高屈折率半導体膜と当該高屈折率半導体膜よりも屈折率が低い低屈折率半導体膜とが交互に積層された、いわゆる分布ブラッグ反射器（ＤＢＲ）である。
【００３２】
第２の多層膜反射鏡１８は、例えば、絶縁層１７の上面においてTa_2O_5からなる高屈折率半導体膜と酸化アルミニウム（Al_2O_3）からなる低屈折率半導体膜とが１０ペア積層されてなる。第２の多層膜反射鏡１８は、このような構成を有することにより、発光層１４から放出される青色光に対して反射性を有する。
【００３３】
面発光レーザ１００において、第２の多層膜反射鏡１８の下面は、絶縁層１７、透明導電膜１６及び半導体構造層ＥＭを挟んで第１の多層膜反射鏡１２の上面と対向している。これにより、第１の多層膜反射鏡１２及び第２の多層膜反射鏡１８は、第１の多層膜反射鏡１２と第２の多層膜反射鏡１８との間において半導体構造層ＥＭに垂直な方向（基板１１に垂直な方向）を共振器長方向とする共振器ＯＣを構成する。
【００３４】
面発光レーザ１００において、第１の多層膜反射鏡１２の上述した青色光に対する反射率は、第２の多層膜反射鏡１８の青色光に対する反射率よりもわずかに低くなっている。従って、共振器ＯＣにおいて共振した青色光は、その一部が第１の多層膜反射鏡１２及び基板１１を透過して外部に取り出される。すなわち、第１の多層膜反射鏡１２と第２の多層膜反射鏡１８との間で共振した光は、図２中下方に向けて出射される。
【００３５】
なお、基板１１の下面には、Nb_2O_5と二酸化ケイ素（SiO_2）とを積層させた反射防止膜（図示せず）が形成されている。当該反射防止膜は、基板１１から出射される青色光が基板１１によって図２中上方に反射されることを抑制する、いわゆるＡＲコートである。
【００３６】
ここで、面発光レーザ１００の動作について説明する。上述したｎ電極ＮＥ及びｐ電極ＰＥに電圧が印加されてｎ電極ＮＥとｐ電極ＰＥとの間に電流が流れると、図２中太線一

点鎖線矢印にて示すように半導体構造層ＥＭの発光層１４に電流が流れ、所定の電流値である閾値電流に達すると発光層１４から放出される青色光の強度が急激に増加する。

【００３７】

閾値電流に達して発光層１４から放出された青色光は、第１の多層膜反射鏡１２と第２の多層膜反射鏡１８との間において、すなわち共振器ＯＣにおいて反射を繰り返し、共振状態に至る（すなわちレーザ発振を行う）。

【００３８】

このとき、ｐ型半導体層１５においては、上述したようにｐ型不純物が不活性化された領域である第２の領域１５Ｒ２が高抵抗領域として機能し、第２の領域１５Ｒ２よりも電気抵抗が小さい第１の領域１５Ｒ１が低抵抗領域として機能する。従って、ｐ電極ＰＥからから透明導電膜１６を介してｎ電極ＮＥに流れる電流は、大部分が第１の部分１５Ｐ１を介して流れていき、第２の部分１５Ｐ２にはほとんど流れない。

【００３９】

よって、面発光レーザ１００においては、第２の領域１５Ｒ２が高抵抗領域として機能する故に、第１の部分１５Ｐ１にのみ電流が供給されて、第１の部分１５Ｐ１からのみ青色光が放出される。すなわち、面発光レーザ１００においては、ｐ型半導体層１５が発光層１４における電流の供給範囲を制限する電流狭窄構造を有している。言い換えれば、面発光レーザ１００においては、ｐ型半導体層１５によって電流がそれ以上広がらないよう電流の閉じ込めがなされている。

【００４０】

上述したように、発光層１４から放出されて共振器ＯＣ内において共振した青色光は、第１の多層膜反射鏡１２の光反射率が第２の多層膜反射鏡１８の光反射率よりも低いために、その光の一部が第１の多層膜反射鏡１２及び基板１１を透過して外部に取り出される。言い換えれば、基板１１の下面が、面発光レーザ１００の光出射面となっている。

【００４１】

以下、面発光レーザ１００の内部の光学的な特性について説明する。以下の説明においては、発光層１４における発光領域の中心である発光中心を通る発光中心軸と中心軸ＡＸとが同一であるものとして説明する。なお、発光中心軸は面発光レーザ１００から出射されるレーザ光の光軸に対応する。

【００４２】

面発光レーザ１００の共振器ＯＣ内において、ｐ型半導体層１５の下面からｐ型半導体層１５の第１の領域１５Ｒ１までの厚みは、ｐ型半導体層１５の下面から第２の領域１５Ｒ２までの厚みよりも第１の部分１５Ｐ１分だけ厚くなっている。また、共振器ＯＣ内において、第１の多層膜反射鏡１２と第２の多層膜反射鏡１８の間の他の半導体層、透明導電膜１６及び絶縁層１７の層厚は一定となっている。

【００４３】

従って、面発光レーザ１００の共振器ＯＣ内における等価屈折率は、ｐ型半導体層１５の第１の部分１５Ｐ１を含む円柱状の中央領域ＣＡとその周りの筒状の周辺領域ＰＡとで異なっている。具体的には、中央領域ＣＡにおける等価屈折率は、周辺領域ＰＡにおける等価屈折率よりも大きくなっている。

【００４４】

面発光レーザ１００においては、共振器ＯＣがこのように構成されていることにより、中央領域ＣＡ内の定在波が周辺領域ＰＡに発散（放射）することによる光損失が抑制される。すなわち、中央領域ＣＡに多くの光が留まり、またその状態でレーザ光が外部に取り出される。

【００４５】

つまり、面発光レーザ１００においては、電流狭窄構造を形成するｐ型半導体層１５によって、発光層１４から放出された光を中央領域ＣＡ内に留める、すなわち閉じ込める光閉じ込め構造も形成されている。

【００４６】

従って、発光層１４から放出された多くの光が共振器ＯＣの中心軸ＡＸの周辺の中央領域ＣＡに集中することで、高出力かつ高密度なレーザ光を生成及び出射することができる。すなわち、面発光レーザ１００が上述した構成を有することにより、面発光レーザ１００から出射されるレーザ光の横モード（レーザ光束の横断面における強度分布）を安定させることができる。

【００４７】

［ｐ型半導体層における水素の拡散による閾値電流増加の抑制］

ここで、ｐ型半導体層１５における水素の拡散による閾値電流増加の抑制について説明する。

【００４８】

例えば、面発光レーザ１００の製造が完了した初期状態においては、ｐ型半導体層１５内にて電流を閉じ込めている領域（第２の領域１５Ｒ２によって囲まれている領域）と発光層１４から放出される光を閉じ込めている領域（第１の領域１５Ｒ１）の大きさは一致している。

【００４９】

ここで、面発光レーザ１００に長期に亘って通電がなされた場合には、例えば、ｐ型不純物が不活性化されている領域である第２の領域１５Ｒ２とｐ型不純物が活性化されている部分である第１の部分１５Ｐ１との界面に電流が流れ続けることにより、第２の領域１５Ｒ２において電気的に不活性化されたはずのｐ型不純物が電気的に活性な状態へと遷移していく。すなわち、第２の領域１５Ｒ２における電気抵抗が小さくなり、第２の部分１５Ｐ２に電流が流れやすくなる。

【００５０】

面発光レーザ１００への長期の通電によって第２の領域１５Ｒ２におけるｐ型不純物が電気的に活性な状態へと遷移していった場合、共振器ＯＣ内において電流を閉じ込めている領域、すなわち第２の領域１５Ｒ２によって囲まれた領域が徐々に広がり得る。これにより、共振器ＯＣ内において電流を閉じ込めている領域と発光層１４から放出される光を閉じ込めている領域との大きさが不一致化してしまい、共振器ＯＣ内における光損失が増加し、レーザ発振に必要な閾値電流の増加が生じ得る。

【００５１】

本実施例における面発光レーザ１００においては、上述したように、ｐ型半導体層１５の第２の部分１５Ｐ２における水素濃度が第１の部分１５Ｐ１における水素濃度よりも高くなっている。面発光レーザ１００においては、第１の部分１５Ｐ１と第２の部分１５Ｐ２との間に水素濃度差が生じていることにより、濃度勾配に従って水素が濃度の高い領域から低い領域へ、すなわち第２の部分１５Ｐ２内からｐ型半導体層１５内の中心軸ＡＸの方に向かって水素が拡散していく。

【００５２】

このとき、第２の部分１５Ｐ２における水素濃度が第１の部分１５Ｐ１における水素濃度よりも２倍以上の高さを有していることにより、上述したｐ型不純物の活性化の進行を相殺するに足る水素の拡散力を得ることができる。すなわち、ｐ型半導体層１５内において電流を閉じ込めている領域が広がることを抑制することができる。

【００５３】

従って、面発光レーザ１００において、ｐ型半導体層１５の第２の部分１５Ｐ２における水素濃度が第１の部分１５Ｐ１における水素濃度よりも２倍以上の高さを有していることにより、濃度勾配に従う水素の拡散力によって、共振器ＯＣ内において電流を閉じ込めている領域と光を閉じ込めている領域の大きさが不一致化することを防ぎ、共振器ＯＣ内に光損失が生じることを抑制することでレーザ発振の閾値電流が増加することを防ぐことができる。

【００５４】

よって、例えば、面発光レーザ１００を電流一定駆動条件にて使用されるディスプレイやヘッドランプなどのデバイスに長期に亘って適用した際においても、閾値電流の増加に

より出射される光の強度が低下してしまうことを防ぐことができる。すなわち、本実施例の面発光レーザ１００によれば、安定した強度の光を出射することができる。

【００５５】

［面発光レーザの第１の製造方法］

ここで、図２～図６を用いて、本実施例における面発光レーザ１００の製造方法について説明する。以下においては、主にｐ型半導体層１５における第１の部分１５Ｐ１及び第２の部分１５Ｐ２の形成に関する工程について説明する。

【００５６】

まず、基板１１の上面にＧａＮからなる高屈折率半導体膜とＡｌＩｎＮからなる低屈折率半導体膜とを積層して第１の多層膜反射鏡１２を形成し、この上に基材としてのｎ型半導体層１３Ｍ、発光層１４Ｍ、ｐ型半導体層１５Ｍをこの順で成長させて形成する。

【００５７】

次に、図３に示すように、上述したｎ型半導体層１３の上部１３Ｂに相当する大きさの円形状のマスクＭＳをｐ型半導体層１５Ｍの上面に形成し、当該マスク領域以外の露出部分をドライエッチングにより除去する。具体的には、図４に示すように、ｎ電極ＮＥの形成面であるｎ型半導体層１３の下部１３Ａが露出されるまでドライエッチングを実施する。

【００５８】

次に、図５に示すように、ｎ電極ＮＥの形成面である下部１３Ａの上面と第１の領域１５Ｒ１に相当する大きさの円形状のマスクＭＳをｐ型半導体層１５Ｍの上面に形成し、当該マスク領域以外の露出部分をドライエッチングにより除去する。具体的には、図６に示すように、ｐ型半導体層１５の第２の領域１５Ｒ２が露出されるまでドライエッチングを実施する。このドライエッチング工程により、第２の領域１５Ｒ２において上述したｐ型不純物の不活性化がなされる。すなわち、第２の領域１５Ｒ２が高抵抗領域として機能する。

【００５９】

次に、イオン注入法により、ｐ型不純物の不活性化がなされている第２の領域１５Ｒ２に対して、イオン注入装置を用いてイオン化された水素を打ち込んで注入する。これにより、例えば$5\times10^{18}/cm^3$程度の水素濃度を有する第２の部分１５Ｐ２が得られる。

【００６０】

なお、上述した工程においては、ｐ型半導体層１５Ｍのドライエッチングと第２の領域１５Ｒ２への水素イオンの注入の順序を逆にしてもよい。すなわち、イオン注入の深さを調整して先に第２の領域１５Ｒ２に相当する領域への水素イオンの注入を行い、その後ドライエッチングを行って第２の領域１５Ｒ２を形成する、すなわちｐ型不純物を不活性化させるとしてもよい。

【００６１】

次に、図２に示すように、ｐ型半導体層１５の上面に亘って透明導電膜１６を形成する。透明導電膜１６は、例えば、スパッタリングにより、スパッタ装置を用いて１００ｎｍ／ｍｉｎの成膜レート及び１５０℃の温度で成膜することにより形成される。

【００６２】

以降、図２に示すように、透明導電膜１６の上面に絶縁層１７及び第２の多層膜反射鏡１８を形成し、ｎ型半導体層１３の下部１３Ａにｎ電極ＮＥ、透明導電膜１６の上面にｐ電極ＰＥをそれぞれ形成することで、本実施例における面発光レーザ１００を得ることができる。

【００６３】

なお、本実施例においては、ドライエッチングによってｐ型不純物が不活性化された領域である第２の領域１５Ｒ２を得るとしたが、第２の領域１５Ｒ２の形成方法はドライエッチングに限定されない。例えば、ｐ型半導体層１５の第２の領域１５Ｒ２は、ｐ型半導体層１５の表面をわずかに除去した上で、イオン注入を行うことでｐ型不純物の不活性化

を行ってもよく、また、アッシング処理によりｐ型不純物の不活性化を行ってもよい。

【００６４】

［面発光レーザの第２の製造方法］

次に、図７を用いて、上述した面発光レーザ１００の第１の製造方法と異なる第２の製造方法について説明する。

【００６５】

本製造方法においては、第２の部分１５Ｐ２における水素濃度の調整方法が第１の製造方法と異なっており、ドライエッチングによりｐ型不純物の不活性化がなされた第２の領域１５Ｒ２を有するｐ型半導体層１５を形成する工程までは第１の製造方法と同様である。以下、主に第１の製造方法と異なる点について説明する。

【００６６】

まず、図６に示したように第２の領域１５Ｒ２を有するｐ型半導体層１５を形成した後に、ｐ型半導体層１５内に含まれている水素を脱離させるためのアニール処理を実施する（水素脱離工程）。水素脱離工程を経た後のｐ型半導体層１５の水素濃度は、例えば、１×１０^{17}／ｃｍ^{3}である。

【００６７】

次に、透明導電膜１６を、スパッタリングにより、上述した第１の製造方法における成膜レートよりも遅いレートで成膜する（導電膜形成工程）。例えば、透明導電膜１６は、２ｎｍ／ｍｉｎの成膜レート及び２５℃の温度で成膜することにより形成される。この工程により、透明導電膜１６は、スパッタリング時に大気中の水素を含みながら緩やかに形成されることで、第１の製造方法において形成された透明導電膜１６よりも高い水素濃度を有する。

【００６８】

具体的には、第１の製造方法において形成された透明導電膜１６の水素濃度は、例えば１×１０^{18}／ｃｍ^{3}であり、第２の製造方法において形成された透明導電膜１６の水素濃度は、例えば１×１０^{21}／ｃｍ^{3}である。

【００６９】

次に、透明電極としての透明導電膜１６とｐ型半導体層１５とのコンタクト抵抗を下げるために、電極アニール処理（６００℃、５分）を実施する（電極アニール工程）。このとき、透明導電膜１６内に含まれている水素は、ｐ型半導体層１５の第１の部分１５Ｐ１と第２の部分１５Ｐ２とに互いに同程度の濃度で留まるようにｐ型半導体層１５内に移動する。

【００７０】

その後、図７に示すように、ｎ電極ＮＥ及びｐ電極ＰＥを形成して素子の作製が完了した後にｎ電極ＮＥとｐ電極ＰＥとの間に電流を流すことで、半導体構造層ＥＭ内に電流を流す（通電工程）。このとき、ｐ型半導体層１５においては、上述したようにｐ型不純物が不活性化された領域である第２の領域１５Ｒ２が高抵抗領域として機能するため、ｐ電極ＰＥから透明導電膜１６を介してｎ電極ＮＥに流れる電流は、大部分が第１の部分１５Ｐ１を介して流れていき、第２の部分１５Ｐ２にはほとんど流れない。

【００７１】

これにより、第１の部分１５Ｐ１に留まっていた水素が、電流の流れと共に図７中一点鎖線矢印にて示すようにｎ型半導体層１３へと移動することで、第１の部分１５Ｐ１における水素濃度が低下する。

【００７２】

一方、第２の部分１５Ｐ２においては、上述のように電流がほとんど流れないために、第２の部分１５Ｐ２中の水素の大部分はｎ型半導体層１３へと移動せずに第２の部分１５Ｐ２内に留まる。

【００７３】

従って、第２の部分１５Ｐ２における水素濃度は、第１の部分１５Ｐ１における水素濃度よりも高くすることができる。具体的には、例えば第１の部分１５Ｐ１における水素濃

度を１×１０^{18}／ｃｍ^{3}とし、第２の部分１５Ｐ２における水素濃度を５×１０^{18}／ｃｍ^{3}とすることができる。

【００７４】

上述のように、通電工程後において、第２の部分１５Ｐ２における水素濃度は第１の部分１５Ｐ１における水素濃度よりも２倍以上高くなっている。このように第２の部分１５Ｐ２と第１の部分１５Ｐ１とで２倍以上の水素濃度差をつけるためには、例えば第１の部分１５Ｐ１及び第２の部分１５Ｐ２と透明導電膜１６との間において１０倍以上の水素濃度差が生じるように、透明導電膜１６に電流を流して水素を移動させるのがよい。

【００７５】

具体的には、図７に示すように、第２の部分１５Ｐ２における水素濃度が第１の領域１５Ｒ１上の透明導電膜１６の第１の部分１６Ｐ１における水素濃度よりも１０倍以上高くなるように透明導電膜１６に電流を流して水素を移動させるか、又は第１の部分１５Ｐ１における水素濃度が第２の領域１５Ｒ２上の透明導電膜１６の第２の部分１６Ｐ２における水素濃度よりも１０倍以上低くなるように透明導電膜１６に電流を流して水素を移動させるのがよい。

【００７６】

［変形例１］

次に、図８を用いて、本実施例における面発光レーザ１００の変形例１について説明する。図８は、変形例１に係る面発光レーザ２００の断面図である。面発光レーザ２００は、透光絶縁層２１を有する点が実施例１と異なっており、それ以外の点については実施例１と同様である。

【００７７】

透光絶縁層２１は、ｐ型半導体層１５の上面の第２の領域１５Ｒ２及び第１の部分１５Ｐ１の側面に接して設けられている上面形状が環状の絶縁性を有する透明な層である。透光絶縁層２１は、例えばSiO_2などの、ｐ型半導体層１５を形成する材料よりも低い屈折率を有しかつ発光層１４から放出される青色光に対して透光性を有する材料からなる。

【００７８】

面発光レーザ２００において、透光絶縁層２１は、第１の部分１５Ｐ１と同じ厚みを有している。従って、透光絶縁層２１に設けられた開口２１Ｏからは、ｐ型半導体層１５の第１の領域１５Ｒ１が透光絶縁層２１の上面と同一平面上に位置するように露出している。

【００７９】

面発光レーザ２００においては、透光絶縁層２１をこのように設けた際においても、濃度勾配に従う水素の拡散力によって、共振器ＯＣ内において電流を閉じ込めている領域と光を閉じ込めている領域の大きさが不一致化することを防ぎ、共振器ＯＣ内に光損失が生じることを抑制することでレーザ発振の閾値電流が増加することを防ぐことができる。

【００８０】

［変形例２］

次に、図９を用いて、本実施例における面発光レーザ１００の変形例２について説明する。図９は、変形例２に係る面発光レーザ３００の断面図である。面発光レーザ３００は、半導体構造層ＥＭの構成が実施例１と異なっており、それ以外の点については実施例１と同様である。なお、本変形例における面発光レーザ３００は、上述した第１の製造方法によって製造されたものとして説明する。

【００８１】

面発光レーザ３００において、半導体構造層ＥＭは、ｐ型半導体層１５の第１の領域１５Ｒ１上に形成されたトンネル接合層２３と、トンネル接合層２３上に形成されたｎ型半導体層２４と、第２の領域１５Ｒ２上に形成されたｎ型半導体層２５とを含んで構成される。

【００８２】

トンネル接合層２３は、第１の領域１５Ｒ１に亘って形成された上面形状が円形の半導

体層である。トンネル接合層２３は、ｐ型半導体層１５よりも高い不純物濃度を有するハイドープｐ型半導体層（図示せず）と、当該ハイドープｐ型半導体層上に形成され、ｎ型半導体層１３よりも高い不純物濃度を有するハイドープｎ型半導体層（図示せず）とからなる。

【００８３】

第１の導電型を有する第３の半導体層としてのｎ型半導体層２４は、トンネル接合層２３に亘って形成されている上面形状が円形の半導体層である。面発光レーザ３００において、ｎ型半導体層２４の上面は、絶縁層１７の下面に接している。

【００８４】

第１の導電型を有する第４の半導体層としてのｎ型半導体層２５は、第２の領域１５Ｒ２及びトンネル接合層２３及びｎ型半導体層２４の側面に接して形成されている上面形状が環状の半導体層である。

【００８５】

ｎ型半導体層２５は、第１の部分１５Ｐ１、トンネル接合層２３及びｎ型半導体層２４の合計の厚みと同じ厚みを有している。従って、ｎ型半導体層２５に設けられた開口２５Ｏからは、ｎ型半導体層２４の上面がｎ型半導体層２５の上面と同一平面上に位置するように露出している。

【００８６】

ｎ型半導体層２５は、トンネル接合層２３及びｎ型半導体層２４よりも低い屈折率を有する。ｎ型半導体層２５は、例えば、ｎ型不純物としてゲルマニウム（Ｇｅ）がドーピングされている。

【００８７】

面発光レーザ３００においては、トンネル接合層２３が発光層１４における電流の供給範囲を制限する電流狭窄層として機能する。半導体構造層ＥＭがこのような構成を有する場合においても、面発光レーザ３００は、実施例１における面発光レーザ１００と同様の効果を発揮することができる。

【００８８】

すなわち、面発光レーザ３００においても、透光絶縁層２１をこのように設けた際においても、濃度勾配に従う水素の拡散力によって、共振器ＯＣ内において電流を閉じ込めている領域と光を閉じ込めている領域の大きさが不一致化することを防ぎ、共振器ＯＣ内に光損失が生じることを抑制することでレーザ発振の閾値電流が増加することを防ぐことができる。

【符号の説明】

【００８９】

１００、２００、３００　面発光レーザ（垂直共振器型発光素子）
１１　基板
１２　第１の多層膜反射鏡
１３、２４、２５　ｎ型半導体層
１４　発光層
１５　ｐ型半導体層
１６　透明導電膜
１７　絶縁層
１８　第２の多層膜反射鏡
２１　透光絶縁層
２３　トンネル接合層
ＮＥ　ｎ電極
ＰＥ　ｐ電極

【図面】

【図１】

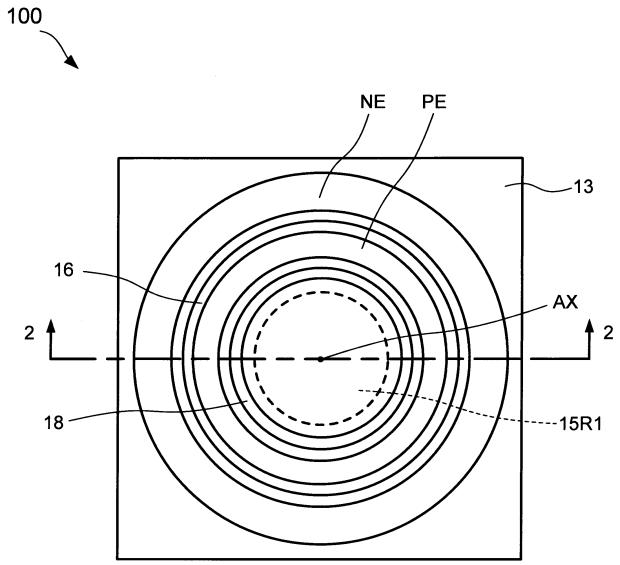

FIG.1

【図２】

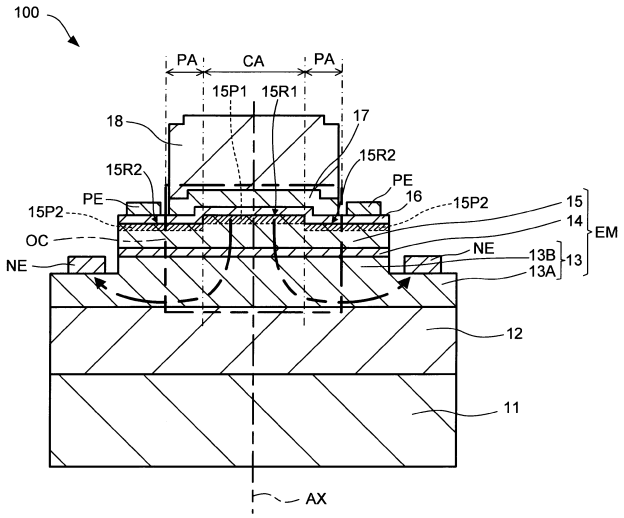

FIG.2

【図３】

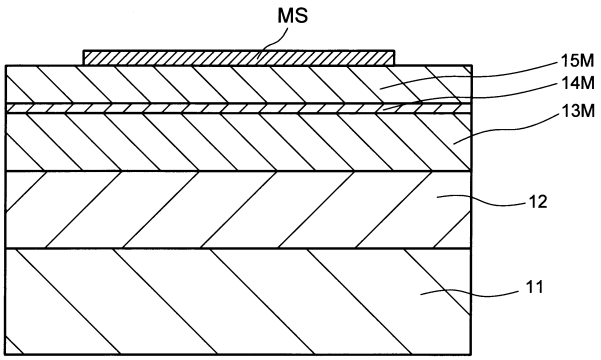

FIG.3

【図４】

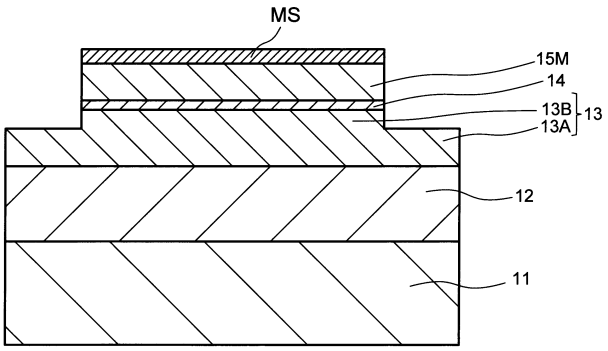

FIG.4

【図５】

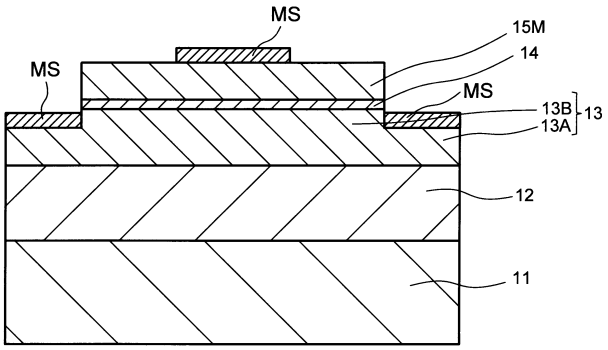

FIG.5

【図６】

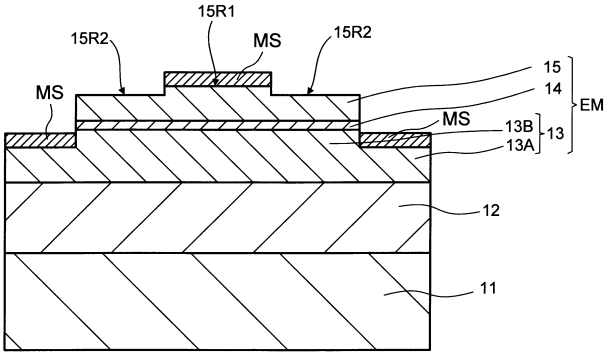

FIG.6

【図７】

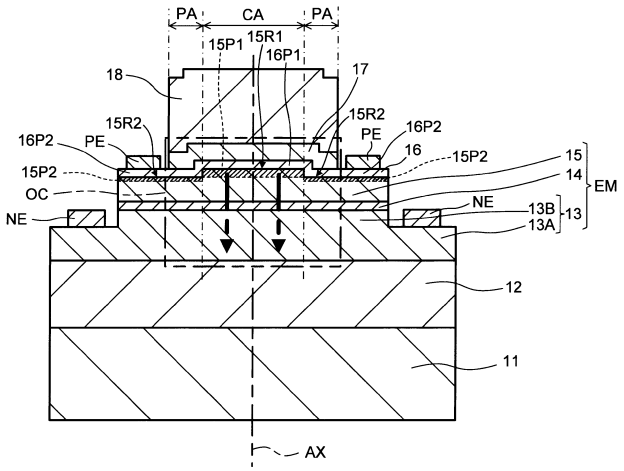

FIG.7

【図８】

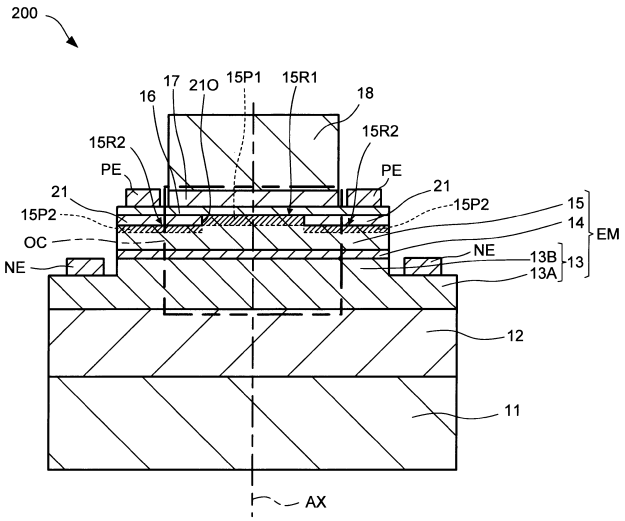

FIG.8

【図９】

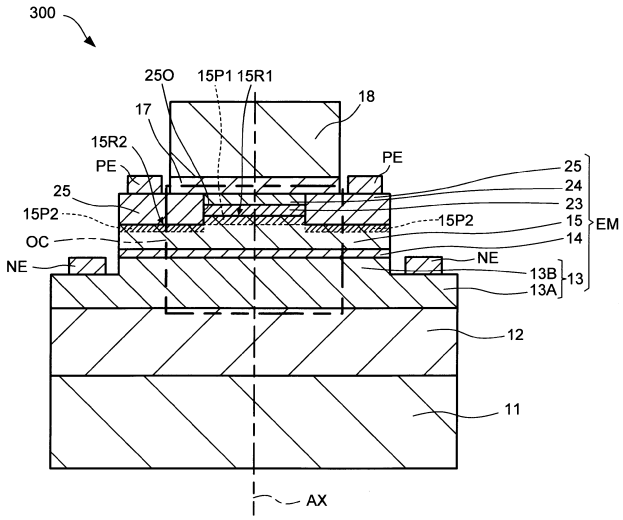
300
25O
15P1
15R1
18
17
15R2
PE
PE
25
24
23
25
15P2
15P2
15
EM
OC
14
NE
NE
13B
13
13A
12
11
AX

FIG.9