

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7523258号
(P7523258)

(45)発行日 令和6年7月26日(2024.7.26)

(24)登録日 令和6年7月18日(2024.7.18)

(51)国際特許分類		F I		
H 0 1 S	5/183(2006.01)	H 0 1 S	5/183	
H 0 1 S	5/343(2006.01)	H 0 1 S	5/343	6 1 0
H 0 1 L	21/205(2006.01)	H 0 1 L	21/205	

請求項の数 13 (全23頁)

(21)出願番号	特願2020-102539(P2020-102539)	(73)特許権者	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
(22)出願日	令和2年6月12日(2020.6.12)	(74)代理人	110001025 弁理士法人レクスト国際特許事務所
(65)公開番号	特開2021-197437(P2021-197437 A)	(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
(43)公開日	令和3年12月27日(2021.12.27)	審査官	右田 昌士
審査請求日	令和5年5月19日(2023.5.19)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 垂直共振器型発光素子

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

窒化ガリウム系半導体の基板と、
前記基板上に形成された窒化物半導体よりなる第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の導電型を有する窒化物半導体よりなる第1の半導体層、前記第1の半導体層上に形成された窒化物半導体よりなる活性層、及び前記活性層上に形成されかつ前記第1の導電型とは反対の第2の導電型を有する窒化物半導体よりなる第2の半導体層を含む半導体構造層と、
前記第2の半導体層の上面に形成され、前記第2の半導体層の1の領域において前記第2の半導体層に電気的に接触しており且つ、前記1の領域以外の前記1の領域を囲繞する他の領域において前記第2の半導体層と絶縁されている透光性電極層と、
前記他の領域の上方の前記透光性電極層の上面に形成されている金属導電体層と、
前記透光性電極層上に前記1の領域を覆うように形成され、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、
前記第2の半導体層上の前記1の領域を囲繞する他の領域において前記第2の半導体層と前記透光性電極層との間に配置され、前記第2の半導体層と前記透光性電極層とを絶縁する透光性絶縁体層と、を有し、
前記半導体構造層の上面の、前記他の領域には段差が形成されており、
前記金属導電体層は、前記段差上において前記透光性電極層を覆うように形成されており、

10

20

前記透光性絶縁体層上面から前記 1 の領域における前記第 2 の半導体層上面に亘って平坦性を有していることを特徴とする垂直共振器型発光素子。

【請求項 2】

前記段差は、前記第 2 の多層膜反射鏡の外側に形成され、前記半導体構造層の中心軸に対して傾斜を有する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】

前記段差は、前記半導体構造層の上面の前記 1 の領域を囲繞する領域に当該上面から前記活性層を貫通する 1 又は複数の凹部を含む 1 の凹構造であ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 4】

前記金属導電体層は、前記 1 又は複数の凹部の内面を覆うように形成されていることを特徴とする請求項 3 に記載の垂直共振器型発光素子。

【請求項 5】

前記段差は、前記半導体構造層の上面に対する角度が 45° 以下の傾斜面を有することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の垂直共振器型発光素子。

【請求項 6】

前記他の領域における前記第 1 の多層膜反射鏡と前記第 2 の多層膜反射鏡との間で形成される共振器内における等価的な屈折率は、前記 1 の領域における前記第 1 の多層膜反射鏡と前記第 2 の多層膜反射鏡との間で形成される共振器内における等価的な屈折率よりも低いことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の垂直共振器型発光素子。

【請求項 7】

前記第 1 の半導体層は上面にメサ形状の構造を有し、前記メサ形状の構造上に前記活性層及び前記第 2 の半導体層が積層され、

前記垂直共振器型発光素子は、前記メサ形状の構造の周囲に存在する前記第 1 の半導体層の上面に前記第 1 の半導体層と電気的に接触している電極層を有することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の垂直共振器型発光素子。

【請求項 8】

前記基板は前記第 1 の導電型を備え、

前記垂直共振器型発光素子は、前記基板の前記半導体構造層とは反対側の面であって、かつ、前記基板の上面に垂直な方向から見て前記 1 の領域に対応する領域を除く箇所に配置されている電極層を有することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の垂直共振器型発光素子。

【請求項 9】

窒化ガリウム系半導体の基板と、

前記基板上に形成された窒化物半導体よりなる第 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 の導電型を有する窒化物半導体よりなる第 1 の半導体層、前記第 1 の半導体層上に形成された窒化物半導体よりなる活性層、及び前記活性層上に形成されかつ前記第 1 の導電型とは反対の第 2 の導電型を有する窒化物半導体よりなる第 2 の半導体層を含む半導体構造層と、

前記第 2 の半導体層の上面に形成され、前記第 2 の半導体層の 1 の領域において前記第 2 の半導体層に電気的に接触しており且つ、前記 1 の領域以外の前記 1 の領域を囲繞する他の領域において前記第 2 の半導体層と絶縁されている透光性電極層と、

前記他の領域の上方の前記透光性電極層の上面に形成されている金属導電体層と、

前記透光性電極層上に前記 1 の領域を覆うように形成され、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、

前記第 2 の半導体層上の前記他の領域において前記第 2 の半導体層と前記透光性電極層との間に配置されている透光性絶縁体層と、を有し、

前記透光性絶縁体層は、前記第 2 の多層膜反射鏡の外側に段差を有する内縁を有し、

前記第 2 の半導体層は、前記他の領域において、前記第 2 の半導体層の表面を部分的に除去して形成されかつ当該除去した後の前記第 2 の半導体層の表面に前記第 2 の半導体層

10

20

30

40

50

に前記第 2 の導電型を付加している不純物が不活性化された不活性化領域を備え、

前記金属導電体層は、前記透光性絶縁体層の内縁を前記透光性電極層を介して覆うように形成されていることを特徴とする垂直共振器型発光素子。

【請求項 10】

前記透光性絶縁体層の内縁は、前記半導体構造層の上面に対する角度が 45° 以下の傾斜面を有することを特徴とする請求項 9 に記載の垂直共振器型発光素子。

【請求項 11】

前記 1 の領域の外側の領域における前記第 1 の多層膜反射鏡と前記第 2 の多層膜反射鏡との間で形成される共振器内における等価的な屈折率は、前記 1 の領域における前記第 1 の多層膜反射鏡と前記第 2 の多層膜反射鏡の間で形成される共振器内における等価的な屈折率よりも低いことを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の垂直共振器型発光素子。

10

【請求項 12】

前記第 1 の半導体層は上面にメサ形状の構造を有し、前記メサ形状の構造上に前記活性層及び前記第 2 の半導体層が積層され、

前記垂直共振器型発光素子は、前記メサ形状の構造の周囲に存在する前記第 1 の半導体層の上面に前記第 1 の半導体層と電氣的に接触している電極層を有することを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の垂直共振器型発光素子。

【請求項 13】

前記基板は前記第 1 の導電型を備え、

前記垂直共振器型発光素子は、前記基板の前記半導体構造層とは反対側の面であって、かつ、前記基板の上面に垂直な方向から見て前記 1 の領域に対応する領域を除く箇所に配置されている電極層を有することを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の垂直共振器型発光素子。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、垂直共振器型面発光レーザ (VCSEL:vertical cavity surface emitting laser) などの垂直共振器型発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、半導体レーザの 1 つとして、電圧の印加によって光を放出する半導体層と、当該半導体層を挟んで互いに対向する多層膜反射鏡と、を有する垂直共振器型の半導体面発光レーザ (以下、単に面発光レーザとも称する) が知られている。例えば、特許文献 1 には、窒化物半導体を用いた面発光レーザが開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2017-98328 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0004】

例えば、面発光レーザなどの垂直共振器型発光素子には、半導体層上面に発光領域を画定する絶縁膜が形成され、当該絶縁膜上に半導体層と電氣的に接触する ITO 等の透光性の電極膜が形成されている。

【0005】

例えば、特許文献 1 には、半導体層の発光領域に対応する領域に開口が形成され、当該発光領域を囲むように形成された絶縁膜上に ITO の透光性電極膜が形成されている垂直共振器型発光素子が開示されている。特許文献 1 の垂直共振器型発光素子においては、透光性電極膜は、絶縁膜の開口端部において段差が生じるように形成されている。

【0006】

50

しかし、上記のように透光性電極膜に段差が生じていると、長期通電中に透光性電極の当該段差部分においてクラック等の異常が発生し、駆動電圧の上昇やショート/オープンの不具合が発生する場合がある。

【0007】

本発明は、上記の点に鑑みてなされたものであり、長期通電中において駆動電圧の上昇を抑制し、長寿命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】

【0008】

本発明による垂直共振器型発光素子は、窒化ガリウム系半導体の基板と、前記基板上に形成された窒化物半導体よりなる第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の導電型を有する窒化物半導体よりなる第1の半導体層、前記第1の半導体層上に形成された窒化物半導体よりなる活性層、及び前記活性層上に形成されかつ前記第1の導電型とは反対の第2の導電型を有する窒化物半導体よりなる第2の半導体層を含む半導体構造層と、前記第2の半導体層の上面に形成され、前記第2の半導体層の1の領域において電気的に接触しており且つ、前記第1の領域以外の前記第1の領域を囲繞する他の領域において前記第2の半導体層と絶縁されている透光性電極層と、前記他の領域の上方の前記透光性電極層の上面に形成されている金属導電体層と、前記透光性電極層上に前記1の領域を覆うように形成され、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、前記半導体構造層の上面の、前記他の領域には段差が形成されており、前記金属導電体層は、前記段差上において前記透光性電極層を覆うように形成されていることを特徴とする。

【0009】

また、本発明による垂直共振器型発光素子は、窒化ガリウム系半導体の基板と、前記基板上に形成された窒化物半導体よりなる第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の導電型を有する窒化物半導体よりなる第1の半導体層、前記第1の半導体層上に形成された窒化物半導体よりなる活性層、及び前記活性層上に形成されかつ前記第1の導電型とは反対の第2の導電型を有する窒化物半導体よりなる第2の半導体層を含む半導体構造層と、前記第2の半導体層の上面に形成され、前記第2の半導体層の1の領域を囲繞する領域に形成されている透光性絶縁体層と、前記第2の半導体層の上面及び前記透光性絶縁層の上面に亘って形成され、前記1の領域において前記第2の半導体層に接触している透光性電極層と、前記他の領域の上方の前記透光性電極層の上面に形成されている金属導電体層と、前記透光性電極層上に前記1の領域を覆うように形成され、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、前記金属導電体層は、透光性絶縁層の縁を前記透光性電極層を介して覆うように形成されていることを特徴としている。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施例1の面発光レーザの斜視図である

【図2】実施例1の面発光レーザの上面図である。

【図3】実施例1の面発光レーザの断面図である。

【図4】実施例1の変形例1の面発光レーザの断面図である。

【図5】実施例1の変形例2の面発光レーザの断面図である。

【図6】実施例2の面発光レーザの上面図である。

【図7】実施例2の面発光レーザの断面図である。

【図8】実施例3の面発光レーザの斜視図である。

【図9】実施例3の面発光レーザの断面図である。

【図10】実施例1の変形例3の面発光レーザの断面図である。

【図11】実施例1の変形例4の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】

【0011】

以下、本発明の実施例について詳細に説明する。以下の説明においては、半導体面発光レーザー素子を例に説明する（半導体レーザー）が、本発明は、面発光レーザーのみならず、垂直共振器型発光ダイオードなど、種々の垂直共振器型発光素子に適用することができる。

【実施例 1】

【0012】

図 1 は、実施例 1 に係る垂直共振器型面発光レーザー（VCSEL：Vertical Cavity Surface Emitting Laser、以下、単に面発光レーザーとも称する）10 の斜視図である。

【0013】

基板 11 は、窒化ガリウム系半導体基板、例えば GaN 基板である。基板 11 は、例えば、上面形状が矩形の基板である。基板 11 の上には、基板 11 の上に成長させられた半導体層からなる第 1 の多層膜反射鏡 13 が形成されている。

10

【0014】

第 1 の多層膜反射鏡 13 は、AlInN の組成を有する低屈折率半導体膜と、GaN 組成を有し低屈折率半導体膜よりも屈折率が高い高屈折率半導体膜とが交互に積層された半導体多層膜反射鏡である。言い換えれば、第 1 の多層膜反射鏡 13 は、半導体材料からなる分布フラッグ反射器（DBR：Distributed Bragg Reflector）である。例えば、基板 11 の上面には、GaN 組成を有するバッファ層が設けられ、当該バッファ層上に上記高屈折率半導体膜と低屈折半導体膜とを交互に成膜されることで第 1 の多層膜反射鏡 13 が形成される。

【0015】

尚、基板 11 の上面、すなわち GaN 組成を有するバッファ層が設けられている面は C 面又は C 面から 0.5° 以内にオフした面であることが好ましい。後述する半導体構造層 15 の結晶性などが良好となるためである。

20

【0016】

半導体構造層 15 は、第 1 の多層膜反射鏡 13 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 15 は、第 1 の多層膜反射鏡 13 上に形成された第 1 の導電型である n 型半導体層（第 1 の半導体層）17 と、n 型半導体層 17 上に形成された発光層（又は活性層）19 と、活性層 19 上に形成された第 2 の導電型である p 型半導体層（第 2 の半導体層）21 と、を有する。

【0017】

n 型半導体層 17 は、第 1 の多層膜反射鏡 13 上に形成された半導体層である。n 型半導体層 17 は、GaN 組成を有し、n 型不純物として Si がドーピングされている半導体層である。n 型半導体層 17 は、角柱状の下部 17A とその上に配された円柱状の上部 17B とを有する。具体的には、例えば、n 型半導体層 17 は、角柱状の下部 17A の上面から突出した円柱状の上部 17B を有している。言い換えれば、n 型半導体層 17 は、上部 17B を含むメサ形状の構造を有する。

30

【0018】

活性層 19 は、n 型半導体層 17 の上部 17B 上に形成されており、InGaN 組成を有する井戸層及び GaN 組成を有する障壁層を含む量子井戸構造を有する層である。面発光レーザー 10 においては、活性層 19 において光が発生する。

40

【0019】

p 型半導体層 21 は、活性層 19 上に形成された GaN 組成を有する半導体層である。p 型半導体層 21 には、p 型の不純物として Mg がドーピングされている。すなわち、半導体構造層 15 においては、n 型半導体層 17 は上面にメサ形状の構造が形成されており、当該メサ形状の構造上に活性層 19 及び p 型半導体層 21 が積層されている。

【0020】

電極層としての n 電極 23 は、n 型半導体層 17 の下部 17A の上面に設けられ、n 型半導体層 17 と電氣的に接続されている金属電極である。n 電極 23 は、n 型半導体層 17 の上部 17B を囲むように環状に形成されている。言い換えれば、n 型半導体層 17 のメサ形状の構造の周囲に存在する上面に n 型半導体層 17 と電氣的に接触している n 電極

50

23が形成されている。なお、n電極は23、n型半導体層17の上面に層状に形成されている、いわゆる電極層であってもよい。

【0021】

透光性絶縁体層としての絶縁層25は、p型半導体層21上に形成されている絶縁体からなる層である。絶縁層25は、例えばSiO₂等のp型半導体層21を形成する材料よりも低い屈折率を有する物質によって形成されている。絶縁層25は、p型半導体層21上において環状に形成されており、中央部分にp型半導体層21を露出する開口部（図示せず）を有している。

【0022】

金属導電体層としてのp電極27は、絶縁層25上に形成された金属電極である。p電極27は、絶縁層25の上記開口部から露出したp型半導体層21の上面に、ITO又はIZOなどの金属酸化膜からなる透光電極層31（図3に後述）を介して電氣的に接続されている。

10

【0023】

第2の多層膜反射鏡29は、SiO₂からなる低屈折率誘電体膜と、Nb₂O₅からなり低屈折率誘電体膜よりも屈折率が高い高屈折率誘電体膜とが交互に積層された誘電体多層膜反射鏡である。言い換えれば、第2の多層膜反射鏡29は、誘電体材料からなる分布フラッグ反射器（DBR：Distributed Bragg Reflector）である。

【0024】

図2は、面発光レーザ10の上面図である。上述したように、面発光レーザ10は、矩形の上面形状を有する基板11上に形成されたn型半導体層17、上面形状が円形の活性層19及びp型半導体層21を含む半導体構造層15を有している（図1参照）。p型半導体層21上には、絶縁層25及びp電極27が形成されている。p電極27上には、第2の多層膜反射鏡29が形成されている。

20

【0025】

絶縁層25は、上述した絶縁層25のp型半導体層21を露出する円形の開口部である開口部25Hを有している。図2に示すように、開口部25Hは、面発光レーザ10の上方からみて絶縁層25の中央部に形成されており、面発光レーザ10の上方からみて第2の多層膜反射鏡29に覆われている。言い換えれば、開口部25Hは、p型半導体層21の上面において第2の多層膜反射鏡29に覆われている。さらに言い換えれば、開口部25Hは、絶縁層25の第2の多層膜反射鏡29の下面と対向する領域に形成されている。

30

【0026】

p電極27は、面発光レーザ10の上方からみて絶縁層25の中央部に形成されており、開口部25Hを囲む開口部27Hを有している。すなわち、開口部27Hは、開口部25Hよりも大きい開口である。例えば、開口部27Hの形状は、開口部25Hの形状と同心円の円形形状である。

【0027】

図2に示すように、p型半導体層21の上面、すなわち半導体構造層15の上面には、円環状の段差15Sが形成されている。段差15Sは、開口部25H及び開口部27Hの外側の領域に形成されている。すなわち、段差15Sは、半導体構造層15の面内方向に対して垂直な方向から見て環状に設けられている段差である。

40

【0028】

本実施例においては、段差15Sは、p型半導体層21の上面において第2の多層膜反射鏡29の外側に形成されている。

【0029】

図3は、面発光レーザ10の図2の3-3線に沿った断面図である。上述のように、面発光レーザ10は、GaN基板である基板11を有し、基板11上に第1の多層膜反射鏡13が形成されている。尚、基板11の下面には、Nb₂O₅とSiO₂を積層させたARコートが施されている。

【0030】

50

第1の多層膜反射鏡13上には、半導体構造層15が形成されている。半導体構造層15は、n型半導体層17、活性層19及びp型半導体層21がこの順に形成されてなる積層体である。

【0031】

半導体構造層15に形成されている段差15Sは、p型半導体層21の上面の中央部において突出している突出部21Pを囲むように形成されている。

【0032】

絶縁層25は、p型半導体層21の上面を覆うように形成されている。絶縁層25は、上述のようにp型半導体層21よりも低い屈折率を有している材料からなっている。絶縁層25は、突出部21Pを露出する開口部25Hを有している。例えば、図2に示すように開口部25Hは円形である。例えば、開口部25Hと突出部21Pとは同様の形状を有しており、開口部25Hの内側面と突出部21Pの外側面は接している。また、段差15Sの内側の領域において、絶縁層25の上面と突出部21Pの上面とが同一の高さとなるように形成されている。すなわち、段差15Sの内側の領域において絶縁層25の上面及び突出部21Pの上面は平坦性を有する。なお、ここでいう同一の高さとは、完全に同一の高さではなく、活性層19からの放出光、すなわち第1の多層膜反射鏡13および第2の多層膜反射鏡29の間に生成される定在波(レーザ光)にとって不感となる範囲の凹凸や段差を含んでいてもよい。

10

【0033】

透光電極層31は、絶縁層25及び絶縁層25の開口部25Hから露出している突出部21Pを覆うように形成された透光性を有する導電体からなる層である。すなわち、透光電極層31は、p型半導体層21の上面の開口部25Hによって露出している領域において、p型半導体層21と電氣的に接触している。透光電極層31は、例えば、ITO又はIZO等の活性層19からの出射光に対して透光性を有する金属酸化物によって形成されている。また、透光電極層31は、下面側の絶縁層25の上面及び突出部21Pの上面の形状を転写するように形成されている。すなわち、透光電極層31は、段差15Sに該当する箇所に段差を有している。

20

【0034】

p電極27は、上述したように金属電極であり、透光電極層31を覆うように形成されている。すなわち、p電極27は、透光電極層31と電氣的に接触している。従って、p電極27は、p型半導体層21の上面の開口部25Hによって露出している領域において、透光電極層31を介してp型半導体層21と電氣的に接触又は接続している。p電極27は、中央部において、透光電極層31を露出する開口部27Hを有する。開口部27Hは、開口部25Hよりも幅(または径)が大きい開口である。また、図3に示すように、p電極27は、段差15Sを覆うように形成される。

30

【0035】

面発光レーザ10において、第1の多層膜反射鏡13は、第2の多層膜反射鏡29よりもわずかに低い反射率を有する。従って、第1の多層膜反射鏡13と第2の多層膜反射鏡29との間で共振した光は、その一部が第1の多層膜反射鏡13及び基板11を透過し、外部に取り出される。

40

【0036】

ここで、面発光レーザ10の動作について説明する。面発光レーザ10において、n電極23及びp電極27との間に電圧が印加されると、図中太線二点鎖線に示す様に、半導体構造層15内に電流が流れ、活性層19から光が放出される。活性層19から放出された光は、第1の多層膜反射鏡13と第2の多層膜反射鏡29との間において反射を繰り返す、共振状態に至る(レーザ発振する)。

【0037】

面発光レーザ10においては、p型半導体層21には、開口部25Hによって露出している部分のみから電流が注入される。また、p型半導体層21は非常に薄いため、p型半導体層21内では面内方向、すなわち半導体構造層15の面内に沿った方向には電流は拡

50

散しない。従って、面発光レーザ 10 においては、活性層 19 のうち、開口部 25 H の直下の領域にのみ電流が供給されて、当該領域からのみ光が放出される。すなわち、面発光レーザ 10 において、開口部 25 H が活性層 19 における電流の供給範囲を制限する電流狭窄構造となっている。

【0038】

上述のように、本実施例においては、第 1 の多層膜反射鏡 13 は、第 2 の多層膜反射鏡 29 よりもわずかに低い反射率を有する。従って、第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 29 との間で共振した光は、その一部が第 1 の多層膜反射鏡 13 及び基板 11 を透過し、外部に取り出される。このようにして、面発光レーザ 10 は、基板 11 の下面から、基板 11 の下面及び半導体構造層 15 の各層の面内方向に対して垂直な方向に光を出射する。

10

【0039】

尚、半導体構造層 15 の p 型半導体層 21 の突出部 21 P 及び絶縁層 25 の開口部 25 H は、活性層 19 における発光領域の中心である発光中心を画定し、共振器 OC の中心軸（発光中心軸）AX を画定する。共振器 OC の中心軸 AX は、p 型半導体層 21 の突出部 21 P の中心を通り、半導体構造層 15 の面内方向に対して垂直な方向に沿って延びる。

【0040】

尚、活性層 19 の発光領域とは、例えば、活性層 19 内における所定の強度以上の光が放出される所定の幅を有する領域であり、その中心が発光中心である。また、例えば、活性層 19 の発光領域とは、活性層 19 内において所定の密度以上の電流が注入される領域であり、その中心が発光中心である。また、当該発光中心を通る基板 11 の上面又は半導体構造層 15 の各層の面内方向に対して垂直な直線が中心軸 AX である。発光中心軸 AX は、第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 29 とによって構成される共振器 OC の共振器長方向に沿って延びる直線である。また、中心軸 AX は、面発光レーザ 10 から出射されるレーザ光の光軸に対応する。

20

【0041】

ここで、面発光レーザ 10 における第 1 の多層膜反射鏡 13、半導体構造層 15 及び第 2 の多層膜反射鏡 29 各層の例示的な構成について説明する。本実施例においては、第 1 の多層膜反射鏡 13 は、基板 11 の上面に形成された 1 μ m の GaN 下地層、及び 4 2 ペアの n - GaN 層 (45 nm) 及び AlInN 層 (50 nm) からなる。

30

【0042】

n 型半導体層 17 は、1580 nm の層厚の Si がドーブされた n - GaN 層である。活性層 19 は、4 nm の InGaIn 層及び 5 nm の GaN 層が 4 ペア積層された多重量子井戸構造の活性層からなり、活性層 19 から発せられる発光のスペクトルのピークは約 440 nm となるように調整されている。活性層 19 上には、Mg ドーブされた AlGaIn の電子障壁層が形成され、その上に 50 nm の p - GaN 層からなる p 型半導体層 21 が形成されている。第 2 の多層膜反射鏡 29 は、45 nm の Nb₂O₅ 及び 76 nm の SiO₂ を 10.5 ペア積層したものである。この場合の共振波長は、440 nm であった。

【0043】

また、p 型半導体層 21 は、突出部 21 P において 50 nm の層厚を有し、当該突出部 21 P の外周端から段差 15 S までの領域において 30 nm の層厚を有する。また、SiO₂ からなる絶縁層 25 は 20 nm の層厚を有する、すなわち、絶縁層 25 の突出部 21 P の側面と接している内周端から段差 15 S までの領域において、絶縁層 25 の上面は、p 型半導体層 21 の突出部 21 P の上面と同一の高さ位置に配置されるように構成されている。

40

【0044】

また、半導体構造層 15 上に形成される透光電極層 31 は、20 nm の ITO からなる層であり、透光電極層 31 及び p 電極 27 の上に 40 nm の Nb₂O₅ のスペーサ層を挟んで第 2 の多層膜反射鏡 29 が形成されている。p 電極 27 は、Ti (100 nm)、Pt (100 nm)、Au (500 nm) をこの順で積層したものである。

50

【 0 0 4 5 】

尚、段差 1 5 S の部分における p 型半導体層 2 1、絶縁層 2 5、透光電極層 3 1 及び p 電極 2 7 は、面発光レーザ 1 0 の中心軸 A X に対して傾斜を有するような段差であることが好ましい。また、当該傾斜の傾斜角度は、中心軸 A X に対して 4 5 ° 以上であることが好ましい。言い換えれば、当該傾斜角度は、半導体構造層 1 5 の上面に対して 4 5 ° 以下であることが好ましい。当該段差に傾斜を設けることにより、長期通電中における透光電極層 3 1 の耐クラック性等の長期信頼性の向上を図ることが可能となる。

【 0 0 4 6 】

また、基板 1 1 の裏面は、研磨面となっており、当該研磨面に N b ₂ O ₅ 及び S i O ₂ の二層の A R コートが形成されている。

10

【 0 0 4 7 】

尚、上記した本実施例の面発光レーザ 1 0 の構成は一例に過ぎない。

【 0 0 4 8 】

以下、面発光レーザ 1 0 内部の光学的な特性について説明する。上述のように、面発光レーザ 1 0 において、絶縁層 2 5 は、p 型半導体層 2 1 よりも低い屈折率を有する。また、第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 2 9 との間における他の層の層厚は、面内のいずれの箇所においても同じ層内であれば同一である。

【 0 0 4 9 】

従って、面発光レーザ 1 0 の第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 2 9 との間で形成される共振器 O C 内における等価的な屈折率（第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 2 9 との間の光学的距離であり、共振波長に対応する）は、p 型半導体層 2 1 と絶縁層 2 5 との屈折率の差によって、上面形状が開口部 2 5 H によって画定される円柱状の 1 の領域としての中央領域 C A とその周りの筒状の他の領域としての周辺領域 P A とで異なる。

20

【 0 0 5 0 】

具体的には、第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 2 9 との間において、周辺領域 P A の等価屈折率は中央領域 C A の等価屈折率よりも低い、すなわち、中央領域 C A における等価的な共振波長は、周辺領域 P A における等価的な共振波長よりも長い。尚、上述のように、活性層 1 9 において光が放出されるのは、凸部 2 1 P の直下の領域である。すなわち、活性層 1 9 において光が放出される発光領域は、活性層 1 9 のうち中央領域 C A と重なる部分である。

30

【 0 0 5 1 】

このように、面発光レーザ 1 0 においては、活性層 1 9 の発光領域を含む中央領域 C A と、中央領域 C A を囲みかつ中央領域 C A よりも屈折率が低い周辺領域 P A とが形成されている。これによって、中央領域 C A 内の定在波が周辺領域 P A 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 C A 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。従って、多くの光が共振器 O C の発光中心軸 A X の周辺の中央領域 C A に集中し、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。

【 0 0 5 2 】

上述のように、実施例 1 の面発光レーザ 1 0 においては、透光電極層 3 1 に段差が生じるように形成されている。言い換えれば、段差 1 5 S によって透光電極層 3 1 に段差が形成されている。その後、p 電極 2 7 が、当該段差を覆うように形成されている。

40

【 0 0 5 3 】

上述のように、実施例 1 の面発光レーザ 1 0 は、窒化ガリウム系半導体の基板 1 1 と、基板 1 1 上に形成された窒化物半導体よりなる第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と、第 1 の多層膜反射鏡 1 3 上に形成された第 1 の導電型を有する窒化物半導体よりなる n 型半導体層 1 7、n 型半導体層 1 7 上に形成された窒化物半導体よりなる活性層 1 9、及び活性層 1 9 上に形成されかつ n 型導電型とは反対の p 型導電型を有する窒化物半導体よりなる p 型半導体層 2 1 を含む半導体構造層 1 5 と、p 型半導体層 2 1 の上面に形成され、p 型半導体層

50

21の中央領域CAにおいてに電氣的に接触しており且つ、中央領域CA以外の領域を囲む周辺領域PAにおいてp型半導体層21と絶縁されている透光電極層31と、周辺領域PAの上方の透光電極層31の上面に形成されているp電極27と、透光電極層31上に中央領域CAを覆うように形成され、第1の多層膜反射鏡13との間で共振器OCを構成する第2の多層膜反射鏡29と、を有し、半導体構造層15の上面の、周辺領域PAには段差15Sが形成されており、p電極27は、段差15S上において透光電極層31を覆うように形成されている。

【0054】

また、段差15Sは、半導体構造層15の上面に対する角度が45°以下の傾斜面を有する。また、n型半導体層17は上面にメサ形状の構造を有し、メサ形状の構造上に活性層19及びp型半導体層が積層され、面発光レーザ10は、メサ形状の構造の周囲に存在するn型半導体層17の上面にn型半導体層17と電氣的に接触しているn電極23を有する。

10

【0055】

図4は、本実施例1の変形例1の面発光レーザ10Aの断面図を示す。

【0056】

図3においては、段差15Sを形成するために、p型半導体層21を突出部21Pを囲む環状の領域(上面から見て周辺領域PAに相当)をエッチングし、当該領域と段差15Sより外側であってp型半導体層21上面に絶縁層25を形成する形態としている。しかし、その代わりに、図4に示すように、p型半導体層21を突出部21P以外の全面をエッチングし、当該領域に絶縁層25を形成し、当該絶縁層25に段差25Sを形成するようにしてもよい。

20

【0057】

また、図5に示すように、絶縁層25は、段差(図中段差25AS)を形成するための第1の絶縁層25Aと、p型半導体層21を突出部21Pを囲む環状の領域及び当該第1の段差25Aの上面にさらに絶縁層25を追加的に積層してもよい。尚、段差25ASを形成するための絶縁層25Aは、絶縁層25とは他の材料からなる絶縁層としてもよい。

【0058】

尚、透光性電極に段差を生じさせないように形成された場合、半導体層の電流経路の静電容量が大きくなり、変調速度が低下する可能性がある。また、静電容量が大きくなると、駆動中の半導体層の発熱量が大きくなり、当該半導体層が溶融してショート等の不具合が発生する場合がある。

30

【0059】

すなわち、この段差を形成してp電極27と半導体層21の表面との間の距離を大きくすることによって、面発光レーザ10の駆動時にp電極27と半導体層21の表面との間の静電容量を小さくすることができ、変調速度の低下を防止することが可能となる。また、この静電容量の低下により、駆動中の発熱量を低減することが可能となり、半導体構造層15の溶融等の不具合の発生も防止することが可能となる。

【0060】

また、段差15S上の透光電極層31は、金属層であるp電極27で覆われている。これにより、長期通電中の透光電極層31の当該段差部分においてクラック等の異常の発生を防止することが可能となる。また、仮に長期通電中に透光電極層31の段差部分にクラックが発生したとしても、p電極27が段差を覆うように形成されている故、p電極27とp型半導体層21との導通は保たれる。よって、透光電極層31の段差部分にクラックが発生したでもオープン等の異常の発生を防止することが可能となる。

40

【0061】

従って、本実施例1によれば、長期通電中の駆動電圧の上昇やショート/オープンの不具合が発生することを防止することができ、長寿命な垂直共振器型の面発光レーザ10を提供することが可能となる。

【実施例2】

50

【0062】

以下、本発明の実施例2である面発光レーザ20について説明する。

【0063】

図6は、実施例2の面発光レーザ20の上面図を示す。また、図7は、面発光レーザ20の図6の5-5線に沿った断面図である。

【0064】

面発光レーザ20は、実施例1の面発光レーザ10と基本的に同様の構成であり、同様の外観を有する。しかし、面発光レーザ20は、半導体構造層15の中央領域CAの外側に段差が設けられておらず、中央領域CAの外側に形成された絶縁層25によって段差が形成されている点において、面発光レーザ10とは異なる。また、p型半導体層21の突出部21Pの外側において、p型不純物が不活性化された不活性化領域層21Aが設けられている点において、面発光レーザ10とは異なる。

10

【0065】

不活性化領域層21Aは、例えば、p型半導体層21の突出部21Pの領域を残してドライエッチングを行うことで、形成することができる。p型半導体層21などの不純物を含む半導体は、ドライエッチングを行うことによって、その表面が粗面化される。これによって、エッチングされた部分におけるp型の不純物が不活性化され、不活性化領域層21Aが形成される。また、不活性化領域層21Aにおいては、ドライエッチングによって、p型半導体層21が部分的に除去される。言い換えれば、不活性化領域層21Aは、不活性化領域層21Aのp型半導体層21を露出する円形の開口部である開口部21Hを有している。尚、不活性化領域層21Aにおいてドライエッチングによって、部分的に除去されるエッチング量は、例えば、4nmである。

20

【0066】

また、p型半導体層21上面上の中央領域CAの外側において、透光性絶縁層としての絶縁層25が形成されている。また、絶縁層25は、絶縁層25の内縁部に段差25Sが形成されている。透光電極層31及びp電極27は、段差25Sに該当する部分に段差が生じるように形成されている。すなわち、p電極27は、段差25Sによって生ずる透光電極層31の段差部分を覆うように形成されている。さらに言い換えれば、p電極27は、透光性絶縁層25の内縁、すなわち段差25Sの部分を透光電極層31を介して覆うように形成されている。

30

【0067】

上述した実施例1と同様に、段差25Sを形成してp電極23と半導体層21の表面との間の距離を大きくすることで、面発光レーザ20の駆動時にp電極27と半導体層21との間の静電容量を小さくすることができ、変調速度の低下を防止することが可能となる。また、この静電容量の低下により、駆動中の発熱量を低減することが可能となり、半導体構造層15の溶融等の不具合の発生も防止することが可能となる。

【0068】

また、段差25Sの部分における透光電極層31及びp電極27は、面発光レーザ20の中心軸AXに対して傾斜を有するような段差であることが好ましい。また、段差25Sの部分における絶縁層25の傾斜角度は、中心軸AXに対して45°以上であることが好ましい。言い換えれば、当該傾斜角度は、半導体構造層15の上面に対して45°以下であることが好ましい。当該段差に傾斜を設けることにより、当該絶縁層25の段差25S上に成膜される透光性電極層の長期通電中における耐クラック性等の長期信頼性の向上を図ることが可能となる。

40

【0069】

上述のように、実施例2の面発光レーザ20は、窒化ガリウム系半導体の基板11と、基板11上に形成された窒化物半導体よりなる第1の多層膜反射鏡13と、第1の多層膜反射鏡13上に形成されたn型の導電性を有する窒化物半導体よりなるn型半導体層17、n型半導体層17上に形成された窒化物半導体よりなる活性層19、及び活性層19上に形成されかつn型の導電型とは反対のp型の導電性を有する窒化物半導体よりなるp型

50

半導体層 2 1 を含む半導体構造層 1 5 と、p 型半導体層 2 1 の上面に形成され、p 型半導体層 2 1 の中央領域 C A を囲繞する領域に形成されている絶縁層 2 5 と、p 型半導体層 2 1 の上面及び不活性化領域層 2 1 A の上面に亘って形成され、中央領域 C A において p 型半導体層 2 1 に接触している透光電極層 3 1 と、周辺領域 P A の上方の透光電極層 3 1 の上面に形成されている p 電極 2 7 と、透光電極層 3 1 上に中央領域 C A を覆うように形成され、第 1 の多層膜反射鏡 1 3 との間で共振器 O C を構成する第 2 の多層膜反射鏡 2 9 と、を有し、p 電極 2 7 は、絶縁層 2 5 の内縁を透光電極層 3 1 を介して覆うように形成されている。

【0070】

また、不活性化領域層 2 1 A は、p 型半導体層 2 1 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、エッチングが行われていない領域、すなわち不活性化領域層 2 1 A が設けられていない領域である p 型半導体層 2 1 の突出部 2 1 P は、低抵抗領域として機能する。

10

【0071】

p 型半導体層 2 1 は、活性層 1 9 に注入される電流経路を狭窄する電流狭窄層として機能する。p 型半導体層 2 1 の突出部 2 1 P は、活性層 1 9 に電流が注入される電流注入領域として機能する。一方、p 型半導体層 2 1 の不活性化領域層 2 1 A は、活性層 1 9 への電流の注入が抑制される非電流注入領域として機能する。

【0072】

すなわち、面発光レーザ 2 0 においては、p 型半導体層 2 1 には、開口部 2 1 H によって露出している部分のみから電流が注入される。また、p 型半導体層 2 1 は非常に薄いため、p 型半導体層 2 1 内では面内方向、すなわち半導体構造層 1 5 の面内に沿った方向には電流はほとんど拡散しない。従って、面発光レーザ 2 0 においては、活性層 1 9 のうち、開口部 2 1 H の直下の領域にのみ電流が供給されて、当該領域からのみ光が放出される。すなわち、面発光レーザ 2 0 において、開口部 2 1 H が活性層 1 9 における電流の供給範囲を制限する電流狭窄構造となっている。

20

【0073】

従って、面発光レーザ 2 0 において、n 電極 2 3 及び p 電極 2 7 との間に電圧が印加されると、図中太線二点鎖線に示す様に、半導体構造層 1 5 内に電流が流れ、活性層 1 9 から光が放出される。活性層 1 9 から放出された光は、第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 2 9 との間において反射を繰り返す、共振状態に至る（レーザ発振する）。

30

【0074】

また、上述のように、p 型半導体層 2 1 の中央領域 C A（低抵抗領域）における層厚は、p 型半導体層 2 1 の周辺領域 P A（高抵抗領域）における層厚よりも大きい。

【0075】

従って、面発光レーザ 2 0 の第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 2 9 との間で形成される共振器 O C 内における等価的な屈折率（第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 2 9 との間での光学的距離であり、共振波長に対応する）は、p 型半導体層 2 1 と絶縁層 2 5 との屈折率の差によって、上面形状が開口部 2 1 H によって画定される円柱状の中央領域 C A とその周りの筒状の周辺領域 P A とで異なる。

40

【0076】

具体的には、第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 2 9 との間において、周辺領域 P A の等価屈折率は中央領域 C A の等価屈折率よりも低い、すなわち、中央領域 C A における等価的な共振波長は、周辺領域 P A における等価的な共振波長よりも長い。尚、上述のように、活性層 1 9 において光が放出されるのは、開口部 2 1 H の直下の領域である。すなわち、活性層 1 9 において光が放出される発光領域は、活性層 1 9 のうち中央領域 C A と重なる部分である。

【0077】

尚、本実施例 2 においては、電流狭窄構造を形成する高抵抗領域層がドライエッチングによって p 型半導体層 2 1 が不活性化された不活性化領域層 2 1 A である場合について説

50

明した。しかし、高抵抗領域層の構成はこれに限定されない。例えば、高抵抗領域層として、p型半導体層21にイオン注入を行い高抵抗化処理が施されたGaN層の表面層であってもよい。また、例えば、高抵抗領域層は、SiO₂等の絶縁層であってもよい。

【0078】

上述のように、実施例2によれば、段差25S上の透光電極層31は、金属層であるp電極27で覆われている。これにより、長期通電中の透光電極層31の当該段差部分においてクラック等の異常の発生を防止することが可能となる。また、仮に長期通電中に透光電極層31の段差部分にクラックが発生したとしても、p電極27が段差を覆うように形成されている故、p電極27とp型半導体層21との導通は保たれる。よって、透光電極層31の段差部分にクラックが発生したでもオープン等の異常の発生を防止することが可能となる。

10

【0079】

従って、本実施例2によれば、長期通電中の駆動電圧の上昇やショート/オープンの不具合が発生することを防止することができ、長寿命な垂直共振器型の面発光レーザ20を提供することが可能となる。

【実施例3】

【0080】

以下、本発明の実施例3である面発光レーザ30について説明する。

【0081】

図8は、実施例3の面発光レーザ30の斜視図を示す。また、図9は、面発光レーザ20を、上記実施例1に示したのと同様の断面で切断した断面図を示す。

20

【0082】

面発光レーザ30は、実施例1の面発光レーザ10と基本的に同様の構成であるが、半導体構造層15の中央領域CAの外側に円環状の溝15Gが形成されている点において、面発光レーザ10とは異なる。

【0083】

図9に示すように、p型半導体層21の上面、すなわち半導体構造層15の上面には、円環状の溝15Gが形成されている。溝15Gは、開口部25H及び開口部27Hの外側の領域に形成されている。すなわち、溝15Gは、半導体構造層15の面内方向に対して垂直な方向から見て環状に設けられている溝である。

30

【0084】

本実施例においては、溝15Gは、p型半導体層21の上面において第2の多層膜反射鏡29の外側に形成されている。すなわち、p型半導体層21の上面において、溝15Gが第2の多層膜反射鏡29が形成されている周辺領域PAから露出している。

【0085】

半導体構造層15に形成されている溝15Gは、p型半導体層21の上面の中央部において突出している突出部21Pを囲むように形成されており、p型半導体層21の上面から活性層19を貫通してn型半導体層17に至っている。

【0086】

このように、実施例3の面発光レーザ30においては、溝15Gが活性層19を貫通するように形成されている。言い換えれば、溝15Gによって活性層19に隙間が形成されている。

40

【0087】

絶縁層25は、p型半導体層21の上面及び溝15Gの内面を覆うように形成されている。絶縁層25は、上述のようにp型半導体層21よりも低い屈折率を有している材料からなっている。絶縁層25は、突出部21Pを露出せしめる開口部25Hを有している。例えば、図8に示すように開口部25Hは円形である。例えば、開口部25Hと突出部21Pとは同様の形状を有しており、開口部25Hの内側面と突出部21Pの外側面は接している。

【0088】

50

上述のように、実施例 3 の面発光レーザ 30 においては、溝 15 G が活性層 19 を貫通するように形成されている。言い換えれば、溝 15 G によって活性層 19 に隙間が形成されている。この溝 15 G は、半導体構造層 15 が形成された後に形成される。その後、絶縁層 25 が、透光電極層 31、p 電極 27 及び第 2 の多層膜反射鏡 29 が形成される前に形成される。

【0089】

従って、半導体構造層 15 が形成された後に、活性層 19 に至る溝 15 G が形成されることで、活性層 19 の面内に沿った方向において空間又は隙間が形成される。この隙間によって、活性層 19 の形成時に活性層 19 の層内方向又は半導体構造層 15 の層面方向において発生した歪みが緩和される。

10

【0090】

具体的に言えば、活性層 19 はその形成時に量子井戸構造を形成する InGa_nN と GaN の格子定数の差によって結晶構造が歪んで圧電分極が生じて、ピエゾ電界が生ずる。このピエゾ電界の発生により、活性層 19 に注入される電子と正孔との再結合確率が低下し、これが内部量子効率が低くなる一因となる。

【0091】

面発光レーザ 30 においては、半導体構造層 15 に活性層 19 に至る溝 15 G が形成される。この溝による間隙により、活性層 19 の成長時において活性層 19 の層内方向に生じた歪みが緩和され、活性層 19 における内部量子効率が向上すると考えられる。

【0092】

ここで、面発光レーザ 30 の動作について説明する。面発光レーザ 30 において、n 電極 23 及び p 電極 27 との間に電圧が印加されると、図中太線二点鎖線に示す様に、半導体構造層 15 内に電流が流れ、活性層 19 から光が放出される。活性層 19 から放出された光は、第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 29 との間において反射を繰り返し、共振状態に至る（レーザ発振する）。

20

【0093】

面発光レーザ 30 においては、p 型半導体層 21 には、開口部 25 H によって露出している部分のみから電流が注入される。また、p 型半導体層 21 は非常に薄いため、p 型半導体層 21 内では面内方向、すなわち半導体構造層 15 の面内に沿った方向には電流はほとんど拡散しない。従って、面発光レーザ 30 においては、活性層 19 のうち、開口部 25 H の直下の領域にのみ電流が供給されて、当該領域からのみ光が放出される。すなわち、面発光レーザ 30 において、開口部 25 H が活性層 19 における電流の供給範囲を制限する電流狭窄構造となっている。

30

【0094】

上述のように、本実施例においては、第 1 の多層膜反射鏡 13 は、第 2 の多層膜反射鏡 29 よりもわずかに低い反射率を有する。従って、第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 29 との間で共振した光は、その一部が第 1 の多層膜反射鏡 13 及び基板 11 を透過し、外部に取り出される。このようにして、面発光レーザ 30 は、基板 11 の下面から、基板 11 の下面及び半導体構造層 15 の各層の面内方向に対して垂直な方向に光を射出する。

40

【0095】

尚、半導体構造層 15 の p 型半導体層 21 の突出部 21 P 及び絶縁層 25 の開口部 25 H は、活性層 19 における発光領域の中心である発光中心を画定し、共振器 OC の中心軸（発光中心軸）AX を画定する。共振器 OC の中心軸 AX は、p 型半導体層 21 の突出部 21 P の中心を通り、半導体構造層 15 の面内方向に対して垂直な方向に沿って延びる。

【0096】

尚、活性層 19 の発光領域とは、例えば、活性層 19 内における所定の強度以上の光が放出される所定の幅を有する領域であり、その中心が発光中心である。また、例えば、活性層 19 の発光領域とは、活性層 19 内において所定の密度以上の電流が注入される領域であり、その中心が発光中心である。また、当該発光中心を通る基板 11 の上面又は半導

50

体構造層 15 の各層の面内方向に対して垂直な直線が中心軸 A X である。発光中心軸 A X は、第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 29 とによって構成される共振器 O C の共振器長方向に沿って延びる直線である。また、中心軸 A X は、面発光レーザ 30 から出射されるレーザ光の光軸に対応する。

【0097】

ここで、面発光レーザ 30 における第 1 の多層膜反射鏡 13、半導体構造層 15 及び第 2 の多層膜反射鏡 29 各層の例示的な構成及び溝 15 G の例示的な寸法について説明する。本実施例においては、第 1 の多層膜反射鏡 13 は、基板 11 の上面に形成された 1 μ m の GaN 下地層、及び 42 ペアの n - GaN 層及び AlInN 層からなる。

【0098】

n 型半導体層 17 は、1580 nm の層厚の n - GaN 層である。活性層 19 は、4 nm の InGaIn 層及び 5 nm の GaN 層が 4 ペア積層された多重量子井戸構造の活性層からなる。活性層 19 上には、Mg ドープされた AlGaIn の電子障壁層が形成され、その上に 50 nm の p - GaN 層からなる p 型半導体層 21 が形成されている。第 2 の多層膜反射鏡 29 は、Nb₂O₅ 及び SiO₂ を 10 : 5 ペア積層したものである。この場合の共振波長は、440 nm であった。

【0099】

半導体構造層 15 に形成される溝 15 G は、8 μ m の外径を有し、深さが 120 nm、幅 2 μ m である。尚、半導体構造層 15 上に形成される透光電極層 31 は、20 nm の ITO からなる層であり、透光電極層 31 及び p 電極 27 の上に 40 nm の Nb₂O₅ のスペーサ層を挟んで第 2 の多層膜反射鏡 29 が形成されている。

【0100】

また、基板 11 の裏面は、研磨面となっており、当該研磨面に Nb₂O₅ 及び SiO₂ の二層の AR コートが形成されている。

【0101】

また、p 型半導体層 21 は、突出部 21 P において 50 nm の層厚を有し、それ以外の領域において 30 nm の層厚を有することとしてもよい。すなわち、p 型半導体層 21 は、突出部 21 P とそれ以外の部分で層厚が異なってもよい。また、絶縁層 25 の上面は、p 型半導体層 21 の突出部 21 P の上面と同一の高さ位置に配置されるように構成されている。

【0102】

尚、図 9 においては、溝 15 G は p 型半導体層 21 の上面に対して垂直方向に溝 15 G が形成されているように表記している。しかし、溝 15 G 及び溝 15 G の部分における p 型半導体層 21、絶縁層 25、透光電極層 31 並びに p 電極 27 は、面発光レーザ 30 の中心軸 A X に対して傾斜した側面を有する段差であることが好ましい。また、当該側面の傾斜角度は、中心軸 A X に対して 45° 以上であることが好ましい。言い換えれば、当該側面の傾斜角度は、半導体構造層 15 の上面に対して 45° 以下であることが好ましい。当該段差に傾斜を設けることにより、長期通電中における透光電極層 31 の対クラック性等の長期信頼性の向上を図ることが可能となる。

【0103】

尚、上記した本実施例の面発光レーザ 30 の構成は一例に過ぎない。

【0104】

以下、面発光レーザ 30 内部の光学的な特性について説明する。上述のように、面発光レーザ 30 において、絶縁層 25 は、p 型半導体層 21 よりも低い屈折率を有する。また、第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 29 との間における他の層の層厚は、面内のいずれの箇所においても同じ層内であれば同一である。

【0105】

従って、面発光レーザ 30 の第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 29 との間で形成される共振器 O C 内における等価的な屈折率（第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 29 との間の光学的距離であり、共振波長に対応する）は、p 型半導体層 21

10

20

30

40

50

と絶縁層 25 との屈折率の差によって、上面形状が開口部 25 H によって画定される円柱状の中央領域 CA とその周りの筒状の周辺領域 PA とで異なる。

【0106】

具体的には、第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 29 との間において、周辺領域 PA の等価屈折率は中央領域 CA の等価屈折率よりも低い、すなわち、中央領域 CA における等価的な共振波長は、周辺領域 PA 等価的な共振波長よりも小さい。尚、上述のように、活性層 19 において光が放出されるのは、開口部 25 H の直下の領域である。すなわち、活性層 19 において光が放出される発光領域は、活性層 19 のうち中央領域 CA と重なる部分である。

【0107】

尚、本実施例 3 においては、上面視において溝 15 G が中央領域 CA の外側に環状に形成されている場合について説明した。しかし、溝 15 G は、完全な環状ではなく断続的に形成された凹部を含む溝構造でもよい。すなわち、溝 15 G は、複数の凹部を含む凹構造であっても良い。言い換えれば、溝 15 G は、断続的に形成された環状構造であってもよい。例えば、溝 15 G は、p 型半導体層 21 の上面の開口部 25 H によって露出している領域を囲む、断続的に形成された環状構造であってもよい。

【0108】

尚、溝 15 G を複数の凹部によって形成する場合、活性層 19 における歪みを均等に緩和するために、上述した発光中心軸 AX から見て 2 方向以上に形成されているのが望ましい。すなわち、溝 15 G を複数の凹部によって形成する場合、面発光レーザ 30 の上面視において、発光中心軸 AX を含む発光領域から見て 2 方向以上に凹部を形成し、発光領域を凹部によって挟む構造にするのが好ましい。活性層 19 における歪みを均等に緩和するために、溝 15 G を形成する凹部は、発光中心軸 AX に対して回転対称に配置するのがさらに好ましい。言い換えれば、溝 15 G を形成する凹部は、半導体構造層 15 の面内方向に対して垂直な方向から見て回転対称に設けられているのが好ましい。

【0109】

すなわち、実施例 3 の面発光レーザ 30 の段差は、半導体構造層 15 の中央領域 CA を囲む領域に上面から活性層 19 を貫通する 1 又は複数の溝 15 G を含む 1 の凹構造である。また、p 電極 27 は、1 又は複数の溝 15 G の内面を覆うように形成されている。

【0110】

尚、上述のように、溝 15 G を複数の凹部で形成する等、溝 15 G の形状を変化させることで、上述の実施例の面発光レーザから出射される光の偏光の制御を行うことも可能である。

【0111】

実施例 3 によれば、溝 15 G 上の透光電極層 31 は、金属層である p 電極 27 で覆われている。これにより、長期通電中の透光電極層 31 の当該段差部分においてクラック等の異常の発生を防止することが可能となる。また、仮に長期通電中に透光電極層 31 の段差部分にクラックが発生したとしても、p 電極 27 が段差を覆うように形成されている故、p 電極 27 と p 型半導体層 21 との導通は保たれる。よって、透光電極層 31 の段差部分にクラックが発生したでもオープン等の異常の発生を防止することが可能となる。

【0112】

従って、本実施例 3 によれば、長期通電中の駆動電圧の上昇やショート/オープンの不具合が発生することを防止することができ、長寿命な垂直共振器型の面発光レーザ 30 を提供することが可能となる。

【0113】

加えて、上述のように、本実施例の面発光レーザ 30 では、半導体構造層 15 に p 型半導体層 21 の上面から活性層 19 に至る溝 15 G が形成されている。この溝 15 G によって、活性層 19 において、活性層 19 の層内方向に生じた歪みが緩和され、活性層 19 における内部量子効率が改善し、発光効率を向上が実現可能となる。

【0114】

10

20

30

40

50

尚、実施例 1、2 及び 3 のいずれの実施例においても、段差 15S、25S 又は溝 15G が中心軸 AX から第 2 の多層膜反射鏡 29 の外側に設けられ、面発光レーザの上面視において段差 15S、25S 又は溝 15G が露出している場合について説明した。しかし、段差 15S、25S 又は溝 15G は、第 2 の多層膜反射鏡 29 に覆われるように設けられていてもよい。

【0115】

第 2 の多層膜反射鏡 29 が段差 15S、25S 又は溝 15G を覆うように形成されるような構成においても、それぞれの実施例と同様の効果を得ることが可能となる。また、実施例 3 のように溝 15G を有する構造である場合、第 2 の多層膜反射鏡 29 は、溝 15G によって形成される空間を埋めるように形成される。

10

【0116】

また、実施例 1、2 及び 3 のいずれの実施例においても、基板 11 の上面に n 電極 23 が形成されている面発光レーザについて説明した。しかし、n 電極 23 は基板 11 の裏面に形成されていてもよい。この場合、導電性の n-GaN 等の材料からなる基板 11 を用いて、基板 11 の裏面に金属からなる n 電極を形成すればよい。

【0117】

この際、基板 11 の裏面には、裏面突出部が形成されている。裏面突出部は、基板 11 の法線方向から見て、突出部 21P に対応する領域に形成されている。この裏面突出部は、裏面が研磨された後に、裏面突出部の周囲がドライエッチングによって除去されたために残った凸部である。よって、裏面突出部の頂面は研磨面となっており、基板 11 の裏面の裏面突出部の周囲の領域は、研磨面がドライエッチングされた表面になっている。n 電極は、裏面突出部の周囲の領域、すなわち裏面突出部を除く領域に形成されている。基板 11 の裏面突出部は、その頂面が出射する光が外部に放出される開口となり、n 電極によって出射光を遮らないためである。すなわち、裏面突出部は、n 電極の開口から突出した構造となっている。

20

【0118】

すなわち、基板 11 は n 型の導電性を備え、面発光レーザ 10、20 及び 30 は、基板 11 の半導体構造層 15 とは反対側の面であって、かつ、基板 11 の上面に垂直な方向から見て中央領域 CA に対応する領域を除く箇所に n 電極を有する。

【0119】

また、実施例 1、2 及び 3 のいずれの実施例においても、絶縁層 25 又は不活性化領域層 21A による電流狭窄構造を有する面発光レーザについて説明した。しかし、電流狭窄構造の構成はこれらに限定されない。

30

【0120】

例えば、面発光レーザは、p 型半導体層 21 上の中央領域 CA に p 型半導体層 21 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 17 よりも高い不純物濃度を有するハイドープ n 型半導体層と、が形成されたトンネル接合層による電流狭窄構造を有するように構成されてもよい。

【0121】

言い換えれば、中央領域 CA の外側の領域において、透光電極層 31 の下方の層に設けられており、段差によって透光電極層 31 が当該段差の部分に段差が形成され当該透光電極層 31 の段差部分を覆うように p 電極 27 が形成されていればよい。

40

【0122】

また、実施例 1、2 及び 3 のいずれの実施例においても、透光電極層 31 上において中央領域 CA 及び周辺領域 PA に亘って設けられ、中心軸 AX 上に凸部を有する第 1 の透光絶縁層と、周辺領域 PA 内の第 1 の透光絶縁層上に設けられ、第 1 の透光絶縁層よりも小さな屈折率を有する第 2 の透光絶縁層と、を含む光ガイド層を有していてもよい。

【0123】

これにより、共振器 OC 内の定在波が中央領域 CA から外側に発散（放射）す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

50

外部に取り出される。従って、多くの光が中心軸 A X の近傍に集中し、安定して単峰性又は多峰性の強度分布を有するレーザ光を生成及び出射することができる。

【 0 1 2 4 】

また、実施例 1、2 及び 3 のいずれの実施例においても、p 電極 2 7 が透光電極層 3 1 の段差を覆い且つ一体的に形成されている場合について説明した。しかし、p 電極 2 7 は、透光電極層 3 1 の段差部分を覆って透光電極層 3 1 の長寿命化を図る第 1 の p 電極と、半導体構造層 1 5 の外縁部に形成され且つ実装基板と電氣的に接続される第 2 の p 電極を有していてもよい。言い換えれば、p 電極 2 7 は、透光電極層 3 1 を保護する部分と実装基板に接続される部分とで分離していてもよい。

【 0 1 2 5 】

また、実施例 1、2 及び 3 のいずれの実施例においても、p 電極 2 7 が透光電極層 3 1 の段差を覆うように形成する場合について説明した。しかし、透光電極層 3 1 の段差を覆う保護膜は、p 電極 2 7 に限定されない。

【 0 1 2 6 】

図 1 0 は、実施例 1 の変形例 3 の面発光レーザ 1 0 B の断面図を示す。

【 0 1 2 7 】

例えば、図 1 0 に示すように、透光電極層 3 1 の段差部分のみに透光電極層 3 1 と同一材料の第 2 の透光電極層 3 1 A を追加的に積層してもよい。言い換えれば、透光電極層 3 1 の段差部分の膜厚を、例えば、透光電極層 3 1 の膜厚の 2 倍にしてもよい。これにより、長期通電中の透光電極層 3 1 の段差部分へのクラックの発生を生じにくくすることが可能となる。尚、本変形例においては、第 2 の透光電極層 3 1 A を段差 1 5 S に相当する部分のみに追加的に積層する場合について説明したが、第 2 の透光電極層 3 1 A を積層する範囲はこれに限定されない。例えば、第 2 の透光電極層 3 1 A は、発光領域である中央領域 C A を除く範囲に形成されていてもよい。言い換えれば、少なくとも段差 1 5 S に相当する部分を覆うように形成されていけばよい。当該変形例 3 は、実施例 2 及び 3 においても適用可能である。

【 0 1 2 8 】

また、図 1 1 は、実施例 1 の変形例 4 の面発光レーザ 1 0 C の断面図を示す。

【 0 1 2 9 】

変形例 2 と同様に、透光電極層 3 1 の段差部分のみに誘電体膜 3 3 を形成してもよい。誘電体膜 3 3 は、例えば、 SiO_2 、 SiN_x 又は Al_2O_3 等の材料からなる誘電体膜である。尚、当該誘電膜 3 3 は、スペーサ層（図示せず）に用いられる高屈折率誘電体膜（本実施例においては Nb_2O_5 ）よりも透光電極層 3 1 に対して反応性の低い誘電体膜であることが好ましい。上記の通り、透光電極層 3 1 の段差部分を誘電体層で保護することにより、長期通電中の透光電極層 3 1 の段差部分へのクラックの発生を生じにくくすることが可能となる。尚、本変形例においては、誘電体膜 3 3 を段差 1 5 S に相当する部分のみに追加的に積層する場合について説明したが、誘電体膜 3 3 を積層する範囲はこれに限定されない。例えば、誘電体膜 3 3 は、発光領域である中央領域 C A を除く範囲に形成されていてもよい。言い換えれば、少なくとも段差 1 5 S に相当する部分を覆うように形成されていけばよい。ただし、この場合、誘電体膜 3 3 は、p 電極 2 7 と透光電極層 3 1 との電氣的な接触を阻害しないように形成することが好ましい。すなわち、少なくとも 1 の部分で p 電極 2 7 と透光電極層 3 1 とが電氣的に接触するように構成されることが好ましい。当該変形例 4 は、実施例 2 及び 3 においても適用可能である。

【 0 1 3 0 】

また、上述した実施例及び変形例における種々の数値、寸法、材料等は、例示に過ぎず、用途及び製造される面発光レーザに応じて、適宜選択することができる。

【 符号の説明 】

【 0 1 3 1 】

1 0、2 0、3 0 面発光レーザ

1 1 基板

10

20

30

40

50

- 1 3 第 1 の多層膜反射鏡
- 1 5 半導体構造層
- 1 7 n型半導体層
- 1 9 活性層
- 2 1 p型半導体層
- 2 3 n電極
- 2 5 絶縁層
- 2 7 p電極
- 2 9 第 2 の多層膜反射鏡
- 3 1 透光電極層
- 3 3 誘電体層

【 図 面 】

【 図 1 】

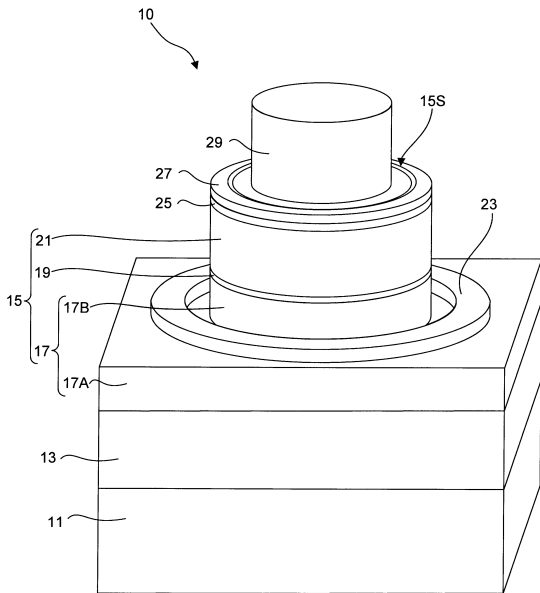


FIG.1

【 図 2 】

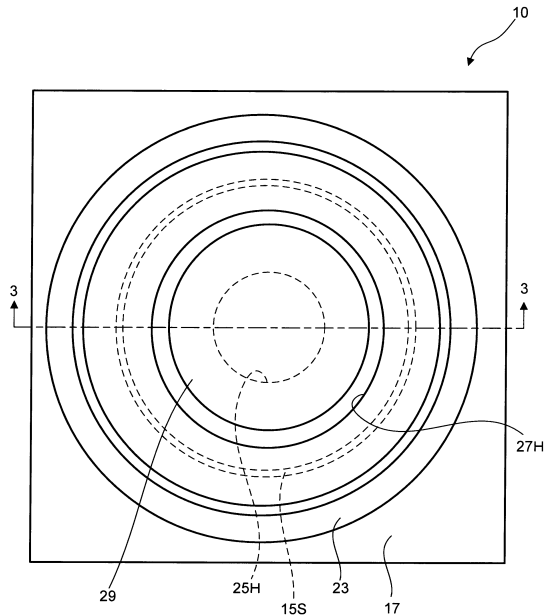


FIG.2

10

20

30

40

50

【 3 】

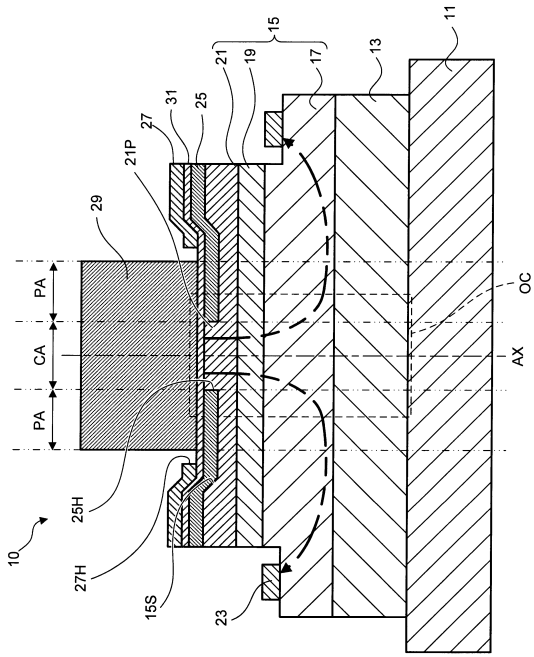


FIG.3

【 4 】

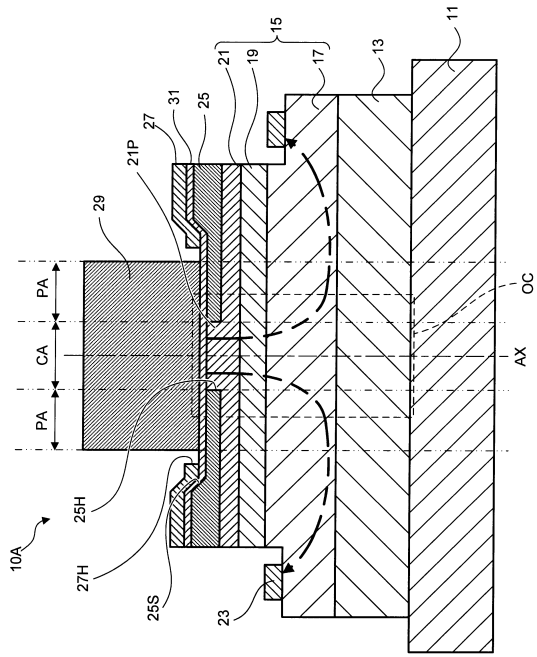


FIG.4

10

20

【 5 】

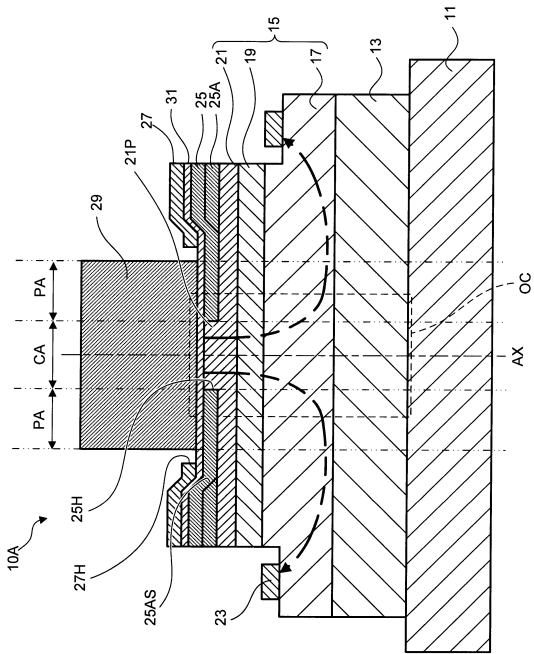


FIG.5

【 6 】

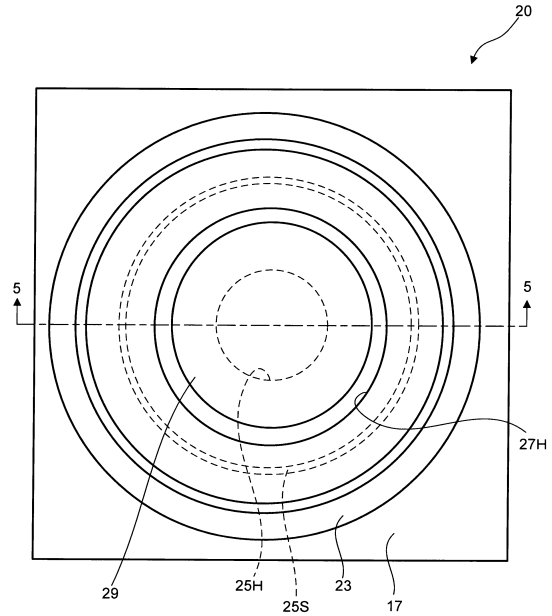


FIG.6

30

40

50

【 7 】

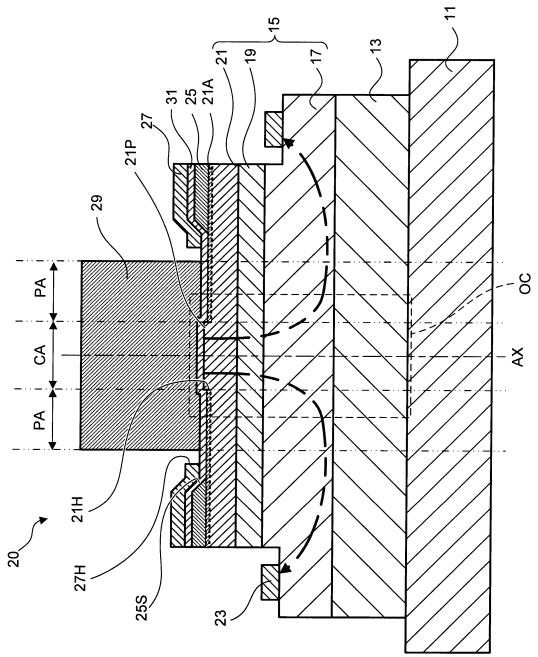


FIG.7

【 8 】

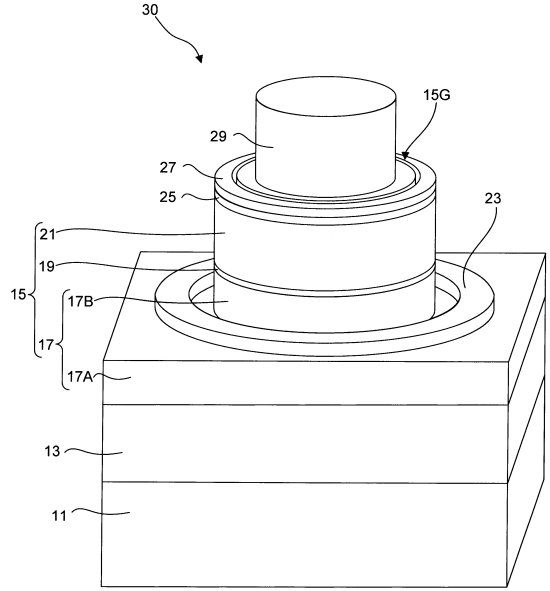


FIG.8

【 9 】

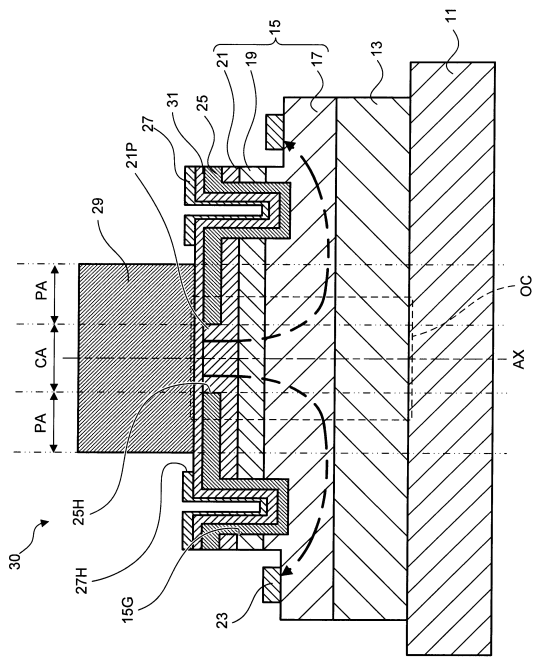


FIG.9

【 10 】

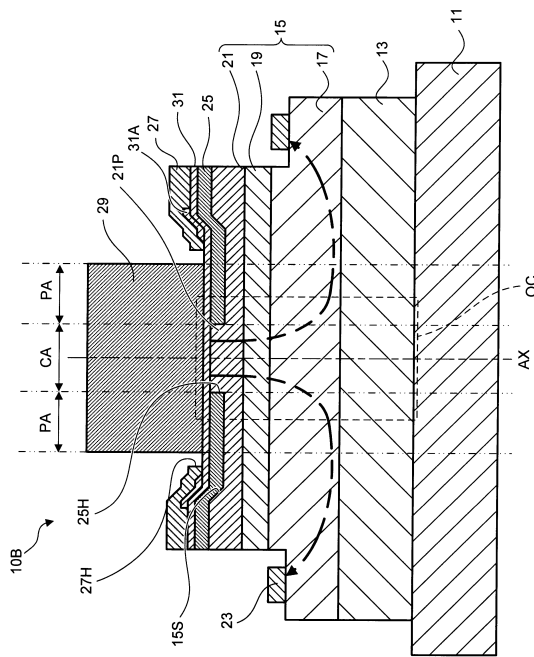


FIG.10

10

20

30

40

50

【 1 1 】

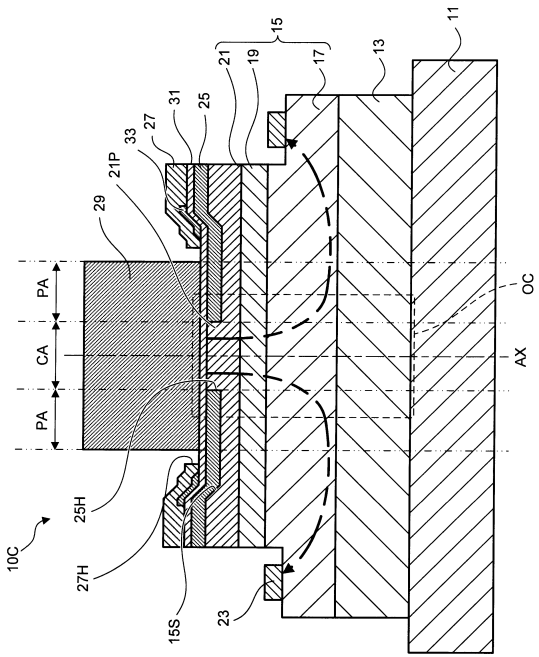


FIG.11

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2018 - 129385 (JP, A)
米国特許出願公開第 2017 / 0104315 (US, A1)
特開 2019 - 135748 (JP, A)
韓国公開特許第 10 - 2014 - 0123257 (KR, A)
特開 2000 - 058909 (JP, A)
特開 2020 - 064994 (JP, A)
特許第 3940438 (JP, B1)
国際公開第 2017 / 038448 (WO, A1)
特開 2004 - 179365 (JP, A)
米国特許出願公開第 2020 / 0127442 (US, A1)
特表 2012 - 531733 (JP, A)
特開 2012 - 124321 (JP, A)
特開 2004 - 079896 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01S 5 / 00 - 5 / 50
H01L 33 / 00 - 33 / 64
H01L 21 / 205