

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年2月9日(09.02.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/013457 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 5/183 (2006.01) *H01S 5/343* (2006.01)
(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/028640
(22) 国際出願日: 2022年7月25日(25.07.2022)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願 2021-127606 2021年8月3日(03.08.2021) JP
(71) 出願人: スタンレー電気株式会社 (STANLEY
ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1538636 東京
都目黒区中目黒2丁目9番13号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 倉本 大 (KURAMOTO Masaru);
〒1538636 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 Tokyo (JP).
(74) 代理人: 弁理士法人レクスト国際特許事務所
(LEXT, P.C.); 〒1620801 東京都新宿区山吹町
333 江戸川橋アクセス4階 Tokyo (JP).
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE,
KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,

(54) Title: VERTICAL-RESONATOR-TYPE LIGHT-EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 垂直共振器型発光素子

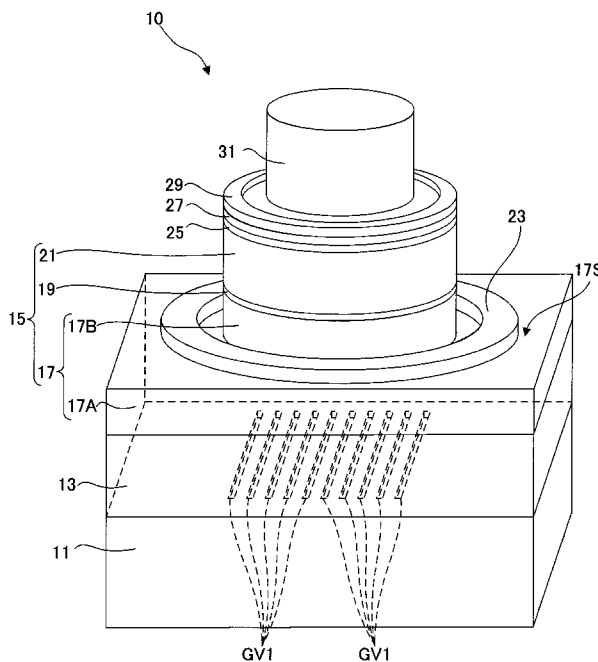


FIG.1

(57) Abstract: Provided is a vertical-resonator-type light-emitting element capable of stably emitting light in a particular polarization direction. A vertical-resonator-type light-emitting element according to the present invention is characterized by having: a gallium-nitride-based semiconductor substrate; a first multilayer-film reflection mirror formed on the substrate; a semiconductor structure layer including one semiconductor layer that is formed on the first multilayer-film reflection mirror and that has a first conductivity type, an active layer formed on a first semiconductor layer, and a second semiconductor layer that is formed on the active layer and that has a second conductivity type opposite to the first conductivity type; a second multilayer-film reflection mirror that is formed on the semiconductor structure layer and that forms a resonator together with the first multilayer-film reflection mirror; and a current constricting structure that is formed between the first multilayer-film reflection mirror and the second multilayer-film reflection mirror and that converges an electrical current to one region of the active layer. The vertical-resonator-type light-emitting element is also characterized in that a diffraction grating comprising a plurality of slit structures parallel to one another is formed in a region overlapping the one region as viewed in a normal direction to a

MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))
- 補正された請求の範囲及び説明書 (条約第19条(1))

top surface of a body substrate.

(57) 要約: 安定して特定の偏光方向の光を出射することが可能な垂直共振器型発光素子を提供する。本発明の垂直共振器型発光素子は、窒化ガリウム系半導体基板と、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の導電性を有する1の半導体層、前記第1の半導体層上に形成された活性層、及び前記活性層上に形成されかつ前記第1の導電性とは反対の第2の導電性を有する第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、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に形成され、前記活性層の1の領域に電流を集中させる電流狭窄構造と、を有し、前記体基板の上面の法線方向から見て前記1の領域と重なる領域に、互いに平行な複数のスリット構造からなる回折格子が形成されていることを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：垂直共振器型発光素子

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、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の半導体レーザが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2017-98328号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[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、対向する反射鏡によって光共振器が形成されている。例えば、面発光レーザ内においては、電極を介して半導体層に電圧が印加されることで、当該半導体層から放出された光が当該光共振器内で共振し、レーザ光が生成される。

[0005] しかし、垂直共振器型の半導体レーザ素子には、例えば、活性層を含む半導体層の面内方向に共振器を有する水平共振器型の半導体レーザに比べ発光効率が低いということが課題の一例として挙げられる。

[0006] また、Ga N系の基板を用いた垂直共振器型の半導体レーザ素子から出射される光は、楕円偏光であったり、偏光方向がまちまちな直線偏光であることが多かった。また、駆動電流や動作温度の変化に依って偏光方向が変わ

ってしまう等、動作中に偏光方向を安定させることが困難であった。

[0007] 本発明は上記した点に鑑みてなされたものであり、高い発光効率を有し、安定して特定の偏光方向の光を出射す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

[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、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に形成され、前記活性層の1の領域に電流を集中させる電流狭窄構造と、を有し、前記窒化ガリウム系半導体基板の上面の法線方向から見て前記1の領域と重なる領域に、互いに平行な複数のスリット構造からなる回折格子が形成されていることを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0009] [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2の面発光レーザの断面図である。
[図5]実施例3の面発光レーザの断面図である。
[図6]実施例4の面発光レーザの断面図である。
[図7]実施例5の面発光レーザの断面図である。
[図8]変形例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

[0010] 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素子を例に説明するが、本発明は、面発光レーザのみならず、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

[0011] 図1は、実施例1に係る垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL：Vertical Cavity Surface Emitting Laser、以下、単に面発光レーザとも称する）10の斜視図である。

[0012] 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は、転位を全体に均一に分布させ、転位欠陥の集合体であるコアが形成されないように製造されたコアレス型の基板である。

[0013] 基板11の上面は、C面からM面方向に 0.5° オフした面である。また、基板11の上面は、C面からA面方向にはほとんどオフしておらず、C面からA面方向へのオフ角は $0 \pm 0.01^\circ$ である。

[0014] 基板11の上面の中央部を含む領域には、各々がm軸に沿った方向に伸張しかつ格子状に配列された複数のスリット構造としてのスリット溝GV1が形成されている。

[0015] 第1の多層膜反射鏡13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ることで形成されている。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ブラッグ反射器（DBR：Distributed Bragg Reflector）である。

[0016] 第1の多層膜反射鏡13は、例えば、基板11の上面に、GaN組成を有するバッファ層を設け、当該バッファ層上に上記高屈折率半導体膜と低屈折率半導体膜とを交互に成膜させることで形成される。

[0017] 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（または活性層）19と、活性層19上に形成されたp型半導体層（第2の半導体層）21と、を有する。

[0018] 第1の導電型の半導体層としての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、Ga₂N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17S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。

[0019] 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、InGa₂N組成を有する井戸層及びGa₂N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10においては、活性層19において光が発生する。

[0020] 第2の導電型の半導体層としてのp型半導体層21は、活性層19上に形成されたGa₂N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。

[0021] n電極23は、n型半導体層17の下部17Aの上面17S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を囲繞するように環状に形成されている。n電極23は、n型半導体層17と電氣的に接触し、半導体構造層15に外部からの電流を供給する第1の電極層を形成している。

[0022] 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。

[0023] 透明電極27は、絶縁層25の上面に形成された透光性を有する金属酸化

膜である。透明電極 27 は、絶縁層 25 の上面全体及び絶縁層 25 の中央部分に形成された開口から露出する p 型半導体層 21 の上面の全体を覆っている。透明電極 27 を形成する金属酸化膜としては、例えば、活性層 19 からの出射光に対して透光性を有する ITO や IZO を用いることができる。

[0024] p 電極 29 は、透明電極 27 上に形成された金属電極である。p 電極 29 は、絶縁層 25 の上記開口部から露出した p 型半導体層 21 の上面と、透明電極 27 を介して電氣的に接続されている。透明電極 27 と p 電極 29 とで、p 型半導体層 21 に電氣的に接触しかつ半導体構造層 15 に外部からの電流を供給する第 2 の電極層が形成されている。本実施例において、p 電極 29 は、透明電極 27 の上面に当該上面の外縁に沿って環状に形成されている。

[0025] 第 2 の多層膜反射鏡 31 は、透明電極 27 の上面の p 電極 29 に囲まれた領域に形成された円柱上の多層膜反射鏡である。第 2 の多層膜反射鏡 31 は、 Al_2O_3 からなる低屈折率誘電体膜と、 Ta_2O_5 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 31 は、誘電体材料からなる分布ブラッグ反射器 (DBR : Distributed Bragg Reflector) である。

[0026] 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 及び透明電極 27 が形成されている。透明電極 27 上には、p 電極 29 及び第 2 の多層膜反射鏡 31 が形成されている。

[0027] なお、図 2 において、面発光レーザ 10 の中心を通りかつ基板 11 の m 軸方向、すなわち、基板 11 の上面に形成されているスリット溝 GV1 が伸張している方向に沿った軸が軸 AX1 である。

[0028] 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３１に覆われている。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３１の下面と対向する領域に形成されている。

[0029] 開口部２５Ｈは、軸ＡＸ１上にある中心を有する円形である。従って、ｐ型半導体層２１は、ｐ型半導体層２１の上面の開口部２５Ｈから露出している円形の領域にある電氣的接触面２１Ｓを介して透明電極２７と電氣的に接続されている。

[0030] 図２に示すように、スリット溝ＧＶ１は、互いに平行に伸張しており、半導体構造層１５及び第１の多層膜反射鏡１３を挟んで電氣的接触面２１Ｓと対向する領域に亘って形成されている。言い換えれば、スリット溝ＧＶ１は上面視、すなわち基板１１の上面の法線方向において電氣的接触面２１Ｓと重なるように形成されている。

[0031] 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。なお、基板１１の下面には、ＡＲコートが施されていてもよい。

[0032] 基板１１の上面に形成されているスリット溝ＧＶ１の各々は、第１の多層膜反射鏡１３の下面と共に空隙を形成している。言い換えれば、第１の多層膜反射鏡１３は、スリット溝ＧＶ１に蓋をするように形成されており、第１の多層膜反射鏡１３を形成する半導体材料はスリット溝ＧＶ１に充填されていない。すなわち、第１の多層膜反射鏡１３と基板１１との間には、軸ＡＸ１方向（図３中紙面垂直方向）に伸張する複数の空隙からなる回折格子構造が形成されている。

[0033] 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。ｐ型半導体層２１の上面の中央部には、上方に突出している突出部２１Ｐが形成されている。

- [0034] 絶縁層 25 は、p 型半導体層 21 の上面の突出部 21 P 以外の領域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 21 P を露出せしめる開口部 25 H を有している。例えば、開口部 25 H と突出部 21 P とは同様の形状を有しており、開口部 25 H の内側面と突出部 21 P の外側面は接している。
- [0035] 透明電極 27 は、絶縁層 25 及び絶縁層 25 の開口部 25 H から露出している突出部 21 P の上面を覆うように形成されている。すなわち、透明電極 27 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において、p 型半導体層 21 と電氣的に接触している。言い換えれば、p 型半導体層 21 の上面の開口部 25 H を介して露出している領域が、p 型半導体層 21 と透明電極 27 との電氣的接触をもたらす電氣的接触面 21 S となっている。
- [0036] p 電極 29 は、上述したように金属電極であり、透明電極 27 の上面の外縁に沿って形成されている。すなわち、p 電極 29 は、透明電極 27 と電氣的に接触している。従って、p 電極 29 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電氣的接触面 21 S において、透明電極 27 を介して p 型半導体層 21 と電氣的に接触または接続している。
- [0037] 第 2 の多層膜反射鏡 31 は、透明電極 27 の上面であって、絶縁層 25 の開口部 25 H 上の領域、言い換えれば電氣的接触面 21 S 上の領域すなわち透明電極 27 の上面の中央部分に形成されている。第 2 の多層膜反射鏡 31 の下面は、透明電極 27 及び半導体構造層 15 を挟んで第 1 の多層膜反射鏡 13 の上面と対向している。この第 1 の多層膜反射鏡 13 及び第 2 の多層膜反射鏡 31 の配置により、第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 31 とで、活性層 19 から出射した光を共振させる共振器 OC が形成される。
- [0038] 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 31 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 31 との間で共振した光は、その一部が第 1 の多

層膜反射鏡 1 3 及び基板 1 1 を透過し、外部に取り出される。

[0039] ここで、面発光レーザ 1 0 の動作について説明する。面発光レーザ 1 0 において、n 電極 2 3 及び p 電極 2 9 との間に電圧が印加されると、図中太線一点鎖線に示す様に、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 及びスリット溝 G V 1 と第 2 の多層膜反射鏡 3 1 との間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する）。

[0040] 面発光レーザ 1 0 においては、p 型半導体層 2 1 には、開口部 2 5 H によって露出している部分、すなわち電氣的接触面 2 1 S 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拡散しない。

[0041] 従って、面発光レーザ 1 0 においては、活性層 1 9 のうち、開口部 2 5 H によって画定される電氣的接触面 2 1 S 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 1 0 において、開口部 2 5 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。

[0042] 言い換えれば、面発光レーザ 1 0 においては、第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 3 1 との間に、活性層 1 9 のうち、電氣的接触面 2 1 S を底面とする柱状の領域である中央領域 C A のみに電流が流れるように電流を狭窄する、すなわち、活性層の 1 の領域に電流を集中させる電流狭窄構造が形成されている。活性層 1 9 内の電流が流れる領域を含む中央領域 C A は、電氣的接触面 2 1 S によって画定される。

[0043] 上述のように、本実施例においては、第 1 の多層膜反射鏡 1 3 は、第 2 の多層膜反射鏡 3 1 よりも低い反射率を有する。従って、第 1 の多層膜反射鏡 1 3 と第 2 の多層膜反射鏡 3 1 との間で共振した光は、その一部がスリット溝 G V 1 へ透過し、第 2 の多層膜反射鏡 3 1 とスリット溝 G V 1 との間でも共振する。これら共振した光の一部は、第 1 の多層膜反射鏡 1 3、スリット

溝GV1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。言い換えれば、基板11の下面が、面発光レーザ10の光出射面となっている。

[0044] なお、半導体構造層15のp型半導体層21の電氣的接触面21S及び絶縁層25の開口部25H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）AX2を画定する。共振器OCの中心軸AX2は、p型半導体層21の電氣的接触面21S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。

[0045] 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の上面または半導体構造層15の各層の面内方向に対して垂直な直線が中心軸AX2である。

[0046] 発光中心軸AX2は、第1の多層膜反射鏡13と第2の多層膜反射鏡31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AX2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。

[0047] 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31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Ga_{0.9}N_{0.1}下地層、及び42ペアのn-GaN層及びAlInN層からなる。

[0048] n型半導体層17は、1580nmの層厚のn-GaN層である。活性層19は、4nmのAlInN層及び5nmのGa_{0.9}N_{0.1}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AlGa_{0.9}Nの電子障壁層が形成され、その上に50nmのp-GaN層からなる。

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 31 は、 Nb_2O_5 及び SiO_2 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。

[0049] 絶縁層 25 は、20 nm の SiO_2 からなる層である。言い換えれば、p 型半導体層 21 の上面の突出部 21P は、周囲から 20 nm 突出している。すなわち、p 型半導体層 21 は、突出部 21P 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。また、絶縁層 25 の上面は、p 型半導体層 21 の突出部 21P 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。なお、これらの構成は一例に過ぎない。

[0050] 以下、面発光レーザ 10 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 10 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 31 との間において、活性層 19 及び n 型半導体層 17 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。

[0051] 従って、面発光レーザ 10 の第 1 の多層膜反射鏡 13 と第 2 の多層膜反射鏡 31 との間に形成される共振器 OC 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 31 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 と絶縁層 25 との屈折率の差によって、電氣的接触面 21S を底面とす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。

[0052] 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 31 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。なお、活性層 19 において光が放出されるのは、開口部 25H 及び電氣的接触面 21S 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、言い換えれば上面視において電氣的接触面 21S と重なる領域である。

- [0053] このように、面発光レーザ 10 においては、活性層 19 の発光領域を含む中央領域 C A と、中央領域 C A を囲繞しかつ中央領域 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 2 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。
- [0054] 上述のように、本実施例の面発光レーザ 10 では、基板 11 の上面が C 面から M 面方向に 0.5° オフした面となっている。本実施例の面発光レーザ 10 のように、基板 11 の M 面にオフセットした成長面に半導体層を成長させた場合、m 軸方向に偏光方向を有する光の光学利得が他の方向に偏光方向を有する光よりも大きくなるため、m 軸方向に偏光方向を有するレーザ光が発振しやすい。そのため、面発光レーザ 10 の中央領域 C A から出射される光は、m 軸方向に偏光方向を有する光が多くなる。
- [0055] また、面発光レーザ 10 では、基板 11 の上面の中央部を含む領域に、各々が m 軸に沿った方向に伸張しかつ格子状に配列された複数の溝 G V 1 によって形成される中空空間からなる回折格子が形成されている。
- [0056] このスリット溝 G V 1 によって形成される回折格子は、第 1 の多層膜反射鏡 13 によって形成される反射構造の中央領域 C A において、回折格子を形成するスリット溝 G V 1 の各々の伸長方向、すなわち m 軸方向が偏光方向となっている光に対する高い反射率をもたらす。
- [0057] すなわち、スリット溝 G V 1 が形成されていることで、他の偏光方向を有する光よりも m 軸方向が偏光方向になっている光の反射率が高まり、m 軸方向が偏光方向になっている光が優先的に発振しやすくなる。すなわち、スリット溝 G V 1 によって、面発光レーザ 10 の m 軸方向に沿った偏光方向を有する光の損失が低くなる。
- [0058] 従って、面発光レーザ 10 においては、基板 11 の上面を C 面から M 面に

オフセットした面としてその上に半導体構造層 15 を成長させ、かつ基板 11 の上面に m 軸に沿って伸張するスリット溝 GV1 からなる回折格子構造を形成する。このような構成とすることで、面発光レーザ 10 によれば、1 の偏光方向、具体的には m 軸方向に沿った偏光方向を有する光が支配的な出射光を安定して得ることが可能となる。

[0059] なお、上述したスリット溝 GV1 によって形成される回折格子構造に、m 軸方向が偏光方向となっている光に対して高い反射率を持たせることに鑑みて、スリット溝 GV1 は、活性層 19 から出射される光の波長と同程度の幅を有しているのが好ましい。また、スリット溝 GV1 は、活性層 19 から出射される光の波長と同程度の間隔で配されているのが好ましい。

[0060] また、スリット溝 GV1 は、開口部 25H と対向する領域、すなわち中央領域 CA よりもさらに外側に延伸していてもよい。また、スリット溝 GV1 は、中央領域 CA の外側にまで配列されていてもよい。

[0061] なお、実施例 1 の面発光レーザ 10 を実際に駆動して出射光の偏光方向を確認したところ、3 mA ~ 13 mA の駆動電流で駆動した場合に、装置温度が 20 °C ~ 80 °C の温度という条件下で安定して m 軸方向に偏光方向を有する光が支配的な出射光が得られることが確認された。

[0062] 上述のように、本発明の面発光レーザによれば、高い発光効率を有し、安定して特定の偏光方向の出射光を得ることが可能となる。これは、面発光レーザの出射光を、液晶や偏光子を用いた光学系を有する装置に用いる場合に非常に有効である。

[0063] [製造方法]

以下に、面発光レーザ 10 の製造方法の一例について説明する。まず、基板 11 として、上述のように上面が C 面から M 面に傾斜した結晶面となっている n-GaN 基板を用意し、上面に露光パターニング及びドライエッチングを用いてスリット溝 GV1 を形成する。次に、当該基板 11 の上面に、有機金属気相成長法 (MOVPE) により、下地層として n-GaN (層厚 1 μm) 層を形成する。その後、当該下地層上に n-GaN/AlInN の層

を42ペア成膜し、第1の多層膜反射鏡13を形成する。

[0064] 次に、第1の多層膜反射鏡13上に、Siドープn-GaN（層厚1580nm）を形成してn型半導体層17を形成し、その上に、GaInN（層厚4nm）及びGaN（層厚5nm）からなる層を4ペア積層することで、活性層19を形成する。

[0065] 次に、活性層19上に、MgドープAlGaNからなる電子障壁層を形成し（図示せず）、当該電子障壁層上にp-GaN層（層厚50nm）を成膜してp型半導体層21を形成する。

[0066] 次に、p型半導体層21、活性層19及びn型半導体層17の周囲の部分をエッチングして、当該周囲の部分においてn型半導体層17の上面17Sが露出するようなメサ形状を形成する。言い換えれば、この工程で、図1のn型半導体層17、活性層19及びp型半導体層21からなる円柱上の部分を有する半導体構造層15が完成する。

[0067] 次に、p型半導体層21の上面の中央部の周囲をエッチングして、突出部21Pを形成する。その後、半導体構造層15上に、SiO₂を成膜して、その一部を除去して開口部25Hを形成することで絶縁層25を形成する。言い換えれば、p型半導体層21の上面のエッチング除去された部分に、SiO₂を埋め込む。

[0068] 次に、絶縁層25上にITOを20nm成膜して透明電極27を形成し、透明電極27の上面及びn型半導体層17の上面17SにそれぞれAuを成膜してp電極29及びn電極23を形成する。

[0069] 次に、透明電極27上にNb₂O₅を40nm、スペーサー層（図示せず）として成膜し、当該スペーサー層上に、1ペアがNb₂O₅/SiO₂からなる層を10.5ペア成膜して、第2の多層膜反射鏡31を形成する。

[0070] 基板11の裏面にARコートを施す場合、最後に基板11の裏面を研磨し、当該研磨面にNb₂O₅/SiO₂からなるARコートを形成することで、面発光レーザ10が完成する。

実施例 2

- [0071] 以下、本発明の実施例2である面発光レーザ40について説明する。面発光レーザ40は、スリット溝GV1の代わりに、基板11の下面、すなわち面発光レーザ40の光出射面にスリット溝GV2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。
- [0072] 図4は、図2に示したのと同様の切断線で面発光レーザ40を切断した際の切断面、すなわち図3に対応した切断面を示す断面図である。
- [0073] 図4に示すように、面発光レーザ40においては、基板11の下面の中央領域CA内の領域に複数のスリット溝GV2が形成されている。言い換えれば基板11の下面の開口部25H及び電氣的接触面21Sと対向する領域、すなわち出射光が出射する領域に、複数のスリット溝GV2が形成されている。
- [0074] さらに言い換えれば、面発光レーザ40では、基板11の下面に複数のスリット溝GV2が形成されており、その形成領域は、上面視において実施例1の面発光レーザ10のスリット溝GV1が形成されている領域と重なっている。
- [0075] 面発光レーザ40のスリット溝GV2は、各々が基板11の下面において軸AX1と平行に伸張しており、かつ軸AX1と垂直な方向に配列されている溝、すなわちスリット状の凹部である。すなわちスリット溝GV2は、基板11の下面において、m軸方向に沿って互いに平行に伸張している溝である。
- [0076] スリット溝GV2は、上述の実施例1におけるスリット溝GV1と同様の効果をもたらす。すなわち、スリット溝GV2によって形成される回折格子は、第1の多層膜反射鏡13及び基板11によって形成される反射構造の中央領域CAにおいて、回折格子を形成するスリット溝GV2の各々の伸長方向が偏光方向となっている光に対する高い反射率をもたらす。
- [0077] 言い換えれば、スリット溝GV2によって形成される回折格子は、第1の多層膜反射鏡13及び基板11によって形成される反射構造に、m軸方向が偏光方向となっている光に対する高い反射率をもたらす。

[0078] 従って、スリット溝GV2が形成されていることで、他の偏光方向を有する光よりもm軸方向が偏光方向になっている光の反射率が高まり、面発光レーザ40において、m軸方向が偏光方向になっている光が優先的に発振しやすくなる。

[0079] よって、面発光レーザ40によれば、基板11の下面にスリット溝GV2からなる回折格子構造を形成することで、出射光の更なる偏光制御を行い、実施例1の面発光レーザ10と同様に、m軸方向を偏光方向とする光が支配的な出射光を安定して得ることが可能となる。

[0080] なお、スリット溝GV2は、上記説明した実施例1の面発光レーザ10の製法の最後の工程において、基板11の下面を研磨した後に、例えば、基板11の下面にドライエッチング等のエッチング処理をすることで形成することが可能である。

[0081] また、スリット溝GV2は、開口部25Hと対向する領域、すなわち中央領域CAよりもさらに外側に延伸していてもよい。また、スリット溝GV2は、中央領域CAの外側にまで配列されていてもよい。

実施例 3

[0082] 以下、本発明の実施例3である面発光レーザ50について説明する。面発光レーザ50は、基板11の下面、すなわち面発光レーザ50の光出射面に凸部が形成され、当該凸部の表面に実施例2において説明したスリット溝GV2が形成されている点において、面発光レーザ40とは異なる。

[0083] 図5は、図2に示したのと同様の切断線で面発光レーザ50を切断した際の切断面、すなわち図3に対応した切断面を示す断面図である。図5に示すように、面発光レーザ50においては、基板11の下面の開口部25H及び電氣的接触面21Sと対向する領域を含む領域、すなわち中央領域CAに、下向きに凸の凸型レンズ状の凸部51が形成されている。

[0084] 凸部51は、実施例1において説明した中心軸AX2を頂点とする凸レンズ形状を有している。複数のスリット溝GV2は、当該凸部51の表面に形成され、実施例2の面発光レーザ40と同様に各々がm軸方向に伸張してい

る。

[0085] 実施例3の面発光レーザ50によれば、凸部51が設けられるにより、第1の多層膜反射鏡13及び基板11によって形成される反射構造によって中央領域CAに向かって反射される光の量を増加させることができる。これにより、面発光レーザ50によれば、出射光の主たる部分を生み出す中央領域CAにおいて光の発振効率をさらに高めることが可能となる。

[0086] なお、例えば、凸部51は、基板11の裏面に凸部51の同様の形状にレジストを堆積させ、基板11の裏面全体をドライエッチングすることで、レジストの形状を基板11の裏面に転写することで形成することが可能である。

[0087] 上記説明においては、凸部51は凸レンズ状であるとしたが、凸部51の形状は、第1の多層膜反射鏡13と基板11からなる反射構造によって反射される光が中央領域CAに集められる形状であれば他の形状でも構わない。例えば、凸部51は、下方に凸のパラボラ形状であってもよい。

[0088] また、スリット溝GV2は、開口部25Hと対向する領域、すなわち中央領域CAよりもさらに外側に伸張していてもよい。スリット溝GV2は、中央領域CAの外側にまで配列されていてもよい。また、スリット溝GV2は、凸部51の外側にまで伸張していてもよい。また、スリット溝GV2は、凸部51の外側にまで配列されていてもよい。

実施例 4

[0089] 以下、本発明の実施例4である面発光レーザ60について説明する。面発光レーザ60は、スリット溝GV1の代わりに、第1の多層膜反射鏡13の上面にスリット溝GV3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。すなわち、面発光レーザ60においては、第1の多層膜反射鏡13と半導体構造層15との界面に沿って、中空のスリット溝GV3が形成されている。

[0090] 言い換えれば、面発光レーザ60においては、第1の多層膜反射鏡13と半導体構造層15との界面に沿って、スリット溝GV3からなる中空の回折

格子構造が形成されている。

[0091] 図6は、図2に示したのと同様の切断線で面発光レーザ60を切断した際の切断面、すなわち図3に対応した切断面を示す断面図である。図6に示すように、面発光レーザ60においては、n型半導体層17の下面の開口部25H及び電氣的接触面21Sと対向する領域、すなわち中央領域CAに、複数のスリット溝GV3が形成されている。言い換えれば、面発光レーザ60では、n型半導体層17の下面に複数のスリット溝GV3が形成されており、その形成領域は、上面視において実施例1の面発光レーザ10のスリット溝GV1が形成されている領域と重なっている。

[0092] 面発光レーザ60のスリット溝GV3は、各々が第1の多層膜反射鏡13の上面において軸AX1（図2参照）と平行に伸張しており、かつ軸AX1と垂直な方向に配列されている溝、すなわちスリット状の凹部である。すなわちスリット溝GV3は、第1の多層膜反射鏡13と半導体構造層15との界面において、m軸方向に沿って互いに平行に伸張している溝であり、m軸方向に沿って伸張するスリットからなる回折格子構造を形成する。

[0093] スリット溝GV3は、上述の実施例1におけるスリット溝GV1と同様の効果をもたらす。すなわち、スリット溝GV3によって形成される回折格子は、第1の多層膜反射鏡13及び基板11によって形成される反射構造の中央領域CAにおいて、スリット溝GV3の各々の伸長方向、すなわちm軸方向が偏光方向となっている光に対する高い反射率をもたらす。従って、スリット溝GV3が形成されていることで、他の偏光方向を有する光よりもm軸方向が偏光方向になっている光の反射率が高まり、m軸方向が偏光方向になっている光が優先的に発振しやすくなる。

[0094] よって、面発光レーザ60によれば、第1の多層膜反射鏡13と半導体構造層15との界面に、スリット溝GV3からなる回折格子構造を形成することで、出射光の偏光制御を行い、実施例1の面発光レーザ10と同様に1の偏光方向を有する光が支配的な出射光を安定して得ることが可能となる。

[0095] なお、面発光レーザ60においては、スリット溝GV3からなる回折格子

構造が第1の多層膜反射鏡13と第2の多層膜反射鏡31との間の領域に形成されている。すなわち、面発光レーザ60においては、上記実施例1乃至3の面発光レーザ10、40、50と比べて、回折格子構造を形成するスリット溝GV3が活性層19に近いところに設けられている。

[0096] 従って、面発光レーザ60では、他の実施例の面発光レーザ10、40、50と比べてスリット溝GV3が形成されている領域における活性層19からの出射光の強度が大きい。よって、スリット溝GV3によって形成される回折格子構造によってより多くの光を反射することができ、上記した偏光制御効果が他の実施例の面発光レーザよりも高い。従って、面発光レーザ60では、上記他の実施例の面発光レーザに比べて、1の偏光方向を有する光がより支配的な出射光を安定して得ることが可能となる。

[0097] なお、スリット溝GV3は、第1の多層膜反射鏡13の最上層をGa_{0.5}N層とし、当該最上層のGa_{0.5}N層をエッチングしてスリット溝GV3を形成した後に、当該Ga_{0.5}Nを除去した部分に蓋をするように、すなわちスリット溝GV3内に充填されないようにGa_{0.5}N層を成長させて平坦化した後、当該平坦化された面上にn-Ga_{0.5}N層を成長させてn型半導体層17を形成することで形成可能である。

[0098] また、スリット溝GV3は、開口部25Hと対向する領域、すなわち中央領域CAよりもさらに外側に延伸していてもよい。また、スリット溝GV3は、中央領域CAの外側にまで配列されていてもよい。

[0099] なお、スリット溝GV3によって形成される回折格子構造は、中空の構造で無くともよい。すなわち、スリット溝GV3が半導体材料によって充填されてなる埋め込み型(埋め込み構造)の回折格子構造が設けられてもよい。

[0100] この埋め込み型の回折格子構造を設ける場合、面発光レーザ60の製造において、第1の多層膜反射鏡13の最上層をAlInN層とし、当該最上層のAlInN層にエッチングでスリット溝GV3を形成した後に、当該スリット溝GV3内に充填されるようにGa_{0.5}N層を成長させて平坦化し、当該平坦化された面上にn-Ga_{0.5}N層を成長させてn型半導体層17を形成する。

[0101] なお、スリット溝GV3上にGa₂N層を成長する際の成長条件によって、スリット溝GV3をGa₂Nによって充填することも中空のままとすることも自在である。従って、スリット溝GV3によって形成される回折格子構造を埋め込み構造とすることも中空構造にすることも自在である。

[0102] もちろん、スリット溝GV3によって形成される回折格子構造を埋め込み構造としても、中空構造の回折格子構造と同様の偏光制御効果が奏される。

実施例 5

[0103] 以下、本発明の実施例5である面発光レーザ70について説明する。面発光レーザ70は、上述した電流狭窄構造を形成するために、絶縁層25の代わりに半導体構造層15内にトンネル接合構造を形成する点で、実施例1の面発光レーザ10とは異なる。具体的には、面発光レーザ70は、p型半導体層21より上の構造が面発光レーザ10と異なる。

[0104] また、面発光レーザ70は、回折格子構造を形成するために、スリット溝GV1の代わりに、半導体構造層15と第2の多層膜反射鏡75との界面に沿って形成されるスリット溝GV4を用いる点において、面発光レーザ10とは異なる。

[0105] 図7は、図2に示したのと同様の切断線で面発光レーザ70を切断した際の切断面、すなわち図3に対応した切断面を示す断面図である。図7に示すように、面発光レーザ70においては、p型半導体層21の突出部21P上に、トンネル接合層71が形成されている。すなわち、面発光レーザ70においては、半導体構造層15内の中央領域CAにトンネル接合層71が形成されている。

[0106] トンネル接合層71は、p型半導体層21上に形成され、p型半導体層21よりも高い不純物濃度を有するp型半導体層であるハイドロップp型半導体層71Aと、ハイドロップp型半導体層71A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n型半導体層であるハイドロップn型半導体層71Bと、を含んでいる。

[0107] n型半導体層73は、p型半導体層21及びトンネル接合層71上に形成

されている。n型半導体層73は、p型半導体層21の上面においてトンネル接合層71を埋め込むように形成されている。言い換えれば、n型半導体層73は、突出部21Pの側面並びにトンネル接合層71の側面及び上面を覆うように形成されている。

[0108] 第2の多層膜反射鏡75は、n型半導体層73の上面に形成されており、n型半導体層17と同様のドーピング濃度を有するn型半導体層である。すなわち、n型半導体層73は、ハイドープn型半導体層71Bよりも低いドーピング濃度を有している。

[0109] このような、p型半導体層21、トンネル接合層71及びn型半導体層73の積層構造により、トンネル接合層71部分でトンネル効果が生ずる。これにより、面発光レーザ70においては、p型半導体層21とn型半導体層73との間において、トンネル接合層71の部分にのみ電流が流れ、電流が中央領域CAに狭窄される電流狭窄構造が形成される。

[0110] 第2の多層膜反射鏡75は、n型半導体層73上に形成された半導体層からなる半導体多層膜反射鏡である。第2の多層膜反射鏡75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ることで形成されており、n型半導体の特性を有している。言い換えれば、第2の多層膜反射鏡75は、半導体材料からなる分布ブラッグ反射器（DBR: Distributed Bragg Reflector）である。

[0111] 第二のn電極77は、第2の多層膜反射鏡75の上面の周縁部に沿って形成された金属電極である。面発光レーザ70においては、第2の多層膜反射鏡75が導電性を有するので、第二のn電極77から第2の多層膜反射鏡75、n型半導体層73、トンネル接合層71、p型半導体層21、活性層19、n型半導体層17を通してn電極23まで電流が流れる。

[0112] 面発光レーザ70においては、スリット溝GV4は、n型半導体層73の上面のトンネル接合層71の直上の領域に形成されており、かつm軸方向に伸張している溝である。また、スリット溝GV4上の第2の多層膜反射鏡7

5は、スリット溝GV4に蓋をするように積層されている。すなわち、スリット溝GV4内は中空になっており、スリット溝GV4によって中空空間からなる回折格子構造が形成されている。

[0113] スリット溝GV4は、上述の実施例1におけるスリット溝GV1と同様の効果をもたらす。すなわち、スリット溝GV4によって形成される回折格子は、第2の多層膜反射鏡75によって形成される反射構造の中央領域CAにおいて、回折格子を形成するスリット溝GV4の各々の伸長方向、すなわちm軸方向が偏光方向となっている光に対する高い反射率をもたらす。従って、スリット溝GV4が形成されていることで、他の偏光方向を有する光よりもm軸方向が偏光方向になっている光の反射率が高まり、m軸方向が偏光方向になっている光が優先的に発振しやすくなる。

[0114] よって、面発光レーザ70によれば、n型半導体層73の上面にスリット溝GV4からなる回折格子構造を形成することで、出射光の偏光制御を行い、実施例1の面発光レーザ10と同様に1の偏光方向を有する光が支配的な出射光を安定して得ることが可能となる。

[0115] なお、面発光レーザ70においては、スリット溝GV4が半導体構造層15と第2の多層膜反射鏡75との界面に沿って形成されている。すなわち、面発光レーザ70においては、上記実施例1乃至3の面発光レーザ10、40、50と比べて、回折格子構造を形成するスリット溝GV4が活性層19に近いところに設けられている。

[0116] 従って、面発光レーザ70では、実施例1乃至3の面発光レーザ10、40、50と比べてスリット溝GV4が形成されている領域における活性層19からの出射光の強度が大きい。よって、スリット溝GV4によって形成される回折格子構造によってより多くの光を反射することができ、上記した偏光制御効果が他の実施例の面発光レーザよりも高い。従って、面発光レーザ70では、上記実施例1乃至3の面発光レーザに比べて、1の偏光方向を有する光がより支配的な出射光を安定して得ることが可能となる。

[0117] なお、スリット溝GV4は、n型半導体層73の上面にエッチングでスリ

ット溝GV4を形成した後に、スリット溝GV4に蓋をするようにn型半導体層73の一部でもあるn-GaN層を形成して平坦化し、その後に第2の多層膜反射鏡75を形成することで形成可能である。

[0118] また、スリット溝GV4は、中央領域CA領域のみならず、さらに外側に延伸していてもよい。また、スリット溝GV4は、中央領域CAの外側にまで配列されていてもよい。

[0119] なお、図8に示すように、スリット溝GV4は、第2の多層膜反射鏡75の下面に形成されてもよい。この場合、第2の多層膜反射鏡75の一層目のn-AlInN層をエッチングしてスリット溝を形成する溝を形成し、その上から当該溝に蓋をするようにn-GaN層を形成して平坦化し、さらに第2の多層膜反射鏡75の薄膜層を形成することでスリット溝GV4を形成することができる。

[0120] 上述の実施例1乃至4においては、p型半導体層21の上面に電氣的接触面21S及びその周囲の絶縁領域を形成して電流狭窄を生じさせかつ屈折率が低い領域を形成するために、絶縁層25を設けることとしたが、絶縁層25を設ける代わりに他の方法で電流狭窄を生じさせかつ屈折率の低い領域を生じさせてもよい。

[0121] 例えば、上記実施例で絶縁層25が設けられているp型半導体層21の上面をエッチングすることによって、絶縁領域及び屈折率の低い領域並びに電氣的接触面21Sを形成してもよい。また、絶縁層25が設けられているp型半導体層21の上面に、イオン注入をすることによって、絶縁領域及び屈折率の低い領域並びに電氣的接触面21Sを形成して、上記実施例における絶縁層25を形成したのと同様の電流狭窄効果を生じさせることとしてもよい。イオン注入をする場合、例えば、p型半導体層21に、Bイオン、Alイオン、又は酸素イオンを注入する。

[0122] 上述の実施例においては、基板11の上面は、C面からM面方向に0.5°オフした面である場合、すなわちC面からM面方向へのオフ角が0.5°である場合を説明したが、オフ角はこの角度に限られない。オフ角が、例え

ば、 0.3° から 0.8° 程度であれば十分に上記した偏光制御効果を得ることができる。また、基板 11 の上面のオフ角が 0.8° 以下であれば、第 1 の多層膜反射鏡 13 を構成する半導体多層膜を、安定して十分な反射率をもつように形成可能である。

[0123] また、上述の実施例においては、基板 11 としてコアレス型の基板を用いることとしたが、ストライプコア型の基板を用いることとしてもよい。その場合、基板 11 の上面視において、基板 11 のコアのストライプの方向と基板 11 の上面の結晶面の傾斜方向とを平行かもしくは垂直とする。すなわち、上述の実施例においては、基板 11 の m 軸方向と基板 11 のコアのストライプの方向を平行かまたは垂直とする。

[0124] また、上記実施例においては、基板 11 の上面は、C 面から M 面方向にオフしている場合を説明したが、基板 11 の上面が C 面から A 面方向にオフしており、M 面方向にはほとんどオフしていなくともよい。

[0125] この場合、上記偏光制御効果を得るために、上記 C 面のオフ角の範囲についての説明と同様の理由で、C 面から A 面方向へのオフ角は $0.3^{\circ} \sim 0.8^{\circ}$ 程度が好ましく、C 面から M 面へのオフ角は $0 \pm 0.1^{\circ}$ であるのが好ましい。なお、基板 11 の上面が C 面から A 面にオフしている場合、上記実施例における電氣的接触面 21S の形状についての説明において、A X 1 が a 軸に対応するとして読み替えて理解されたい。

[0126] 基板 11 の上面が C 面から A 面方向にオフしている場合、a 軸方向に沿った偏光方向を有する光を多く取り出すことができ、かつ a 軸に沿った方向以外の偏光方向を有する光の出射を抑制することができる。よって、面発光レーザ 10 によれば、光出射面から取り出される光の、光出射面の面内方向における偏光方向バラツキを抑制することが可能となる。

[0127] また、上記実施例においては、基板 11 の上面が C 面から M 面方向または A 面方向にオフしている場合について説明したが、基板 11 の上面は C 面からオフしていなくともよい。その場合でも、上記したスリット溝 GV1、GV2、GV3、GV4 によって形成される回折格子構造によって、当該スリ

ット溝と平行な偏光方向を有する光が優先的に発振させられ、当該スリット溝と平行な方向に偏光方向を有する光が支配的な出射光を得ることが可能となる。

[0128] 実施例3において、凸部51を形成して、当該凸部51の下面にスリット溝GV2を形成する場合を説明した。しかし、凸部51は、実施例3以外の他の実施例の面発光レーザの基板の下面に形成しても良い。他の実施例の面発光レーザに凸部51を形成した場合も、凸部51による、中央領域CAに反射される光の量を増加させる効果は生ずる。すなわち、他の実施例の面発光レーザに凸部51を形成した場合も、出射光の主たる部分を生み出す中央領域CAにおいて光の発振効率をさらに高める効果を得ることが可能である。

[0129] 上述した実施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

[0130] 10、40、50、60、70 面発光レーザ

11 基板

13 第1の多層膜反射鏡

15 半導体構造層

17 n型半導体層

19 活性層

21 p型半導体層

23 n電極

25 絶縁層

27 透明電極

29 p電極

31 第2の多層膜反射鏡

71 トンネル接合層

73 n型半導体層

7 5 第 2 の多層膜反射鏡

7 7 第 2 の n 電極

請求の範囲

- [請求項1] 窒化ガリウム系半導体基板と、
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、
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、
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に形成され、前記活性層の1の領域に電流を集中させる電流狭窄構造と、を有し、
前記窒化ガリウム系半導体基板の上面の法線方向から見て前記1の領域と重なる領域に、互いに平行な複数のスリット構造からなる回折格子が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2] 前記複数のスリット構造は、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に形成されてい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] 前記複数のスリット構造の各々は、前記基板の裏面に形成された凹部であ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4] 前記窒化ガリウム系半導体基板の上面は、C面からM面またはA面のいずれかの結晶面にオフセットした面であり、前記複数のスリット構造の各々は、前記上面がM面にオフセットしている場合にはm軸方向に伸張し、前記上面がA面にオフセットしている場合にはa軸方向に伸張することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1つに記載の垂直共振器型発光素子。

- [請求項5] 前記窒化ガリウム系半導体基板の前記上面は、前記上面がM面にオフセットしている場合にはc面からM面に 0.8° 以下の角度だけオフセットした面であり、前記上面がA面にオフセットしている場合にはc面からA面に 0.8° 以下の角度だけオフセットした面であることを特徴とする請求項4に記載の垂直共振器型発光素子。
- [請求項6] 前記窒化ガリウム系半導体基板は、ストライプコア型の基板であり、前記窒化ガリウム系半導体基板のコアが伸張する方向は、前記上面がM面にオフセットしている場合にはm軸に沿った方向であり、前記上面がA面にオフセットしている場合にはa軸に沿った方向であることを特徴とする請求項4または5に記載の垂直共振器型発光素子。
- [請求項7] 前記窒化ガリウム系半導体基板の下面の前記窒化ガリウム系半導体基板の上面の法線方向から見て前記1の領域と重なる領域が下向きに凸な凸レンズ形状を有していることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1つに記載の垂直共振器型発光素子。

補正された請求の範囲
[2022年11月11日 (11.11.2022) 国際事務局受理]

- [請求項 1] (補正後) 窒化ガリウム系半導体基板と、
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、
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に形成され、前記活性層の 1 の領域に電流を集中させる電流狭窄構造と、を有し、
前記窒化ガリウム系半導体基板の上面の法線方向から見て前記 1 の領域と重なる領域に、互いに平行な複数のスリット構造からなる回折格子が形成されており、
前記複数のスリット構造の各々は、前記基板の裏面に形成された凹部であることを特徴とする垂直共振器型発光素子。
- [請求項 2] 前記複数のスリット構造は、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に形成されてい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] (削除)
- [請求項 4] (補正後) 前記窒化ガリウム系半導体基板の上面は、C 面から M 面または A 面のいずれかの結晶面にオフセットした面であり、前記複数のスリット構造の各々は、前記上面が M 面にオフセットしている場合には m 軸方向に伸張し、前記上面が A 面にオフセットしている場合には a 軸方向に伸張することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の垂直共振器型発光素子。
- [請求項 5] 前記窒化ガリウム系半導体基板の前記上面は、前記上面が M 面にオフセットしている場合には c 面から M 面に 0.8° 以下の角度だけオフセットした面であり、前記上面が A 面にオフセットしている場合には c 面から A 面に 0.8° 以下の角度だけオフセットした面であることを特徴とする請求項 4 に記載の垂直共振器型発光素子。
- [請求項 6] 前記窒化ガリウム系半導体基板は、ストライプコア型の基板であり、前記窒化ガリウム系半導体基板のコアが伸張する方向は、前記上面が M 面にオフセットしている場合には m 軸に沿った方向であり、前記上面が

A面にオフセットしている場合にはa軸に沿った方向であることを特徴とする請求項4または5に記載の垂直共振器型発光素子。

[請求項7]

前記窒化ガリウム系半導体基板の下面の前記窒化ガリウム系半導体基板の上面の法線方向から見て前記1の領域と重なる領域が下向きに凸な凸レンズ形状を有していることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1つに記載の垂直共振器型発光素子。

条約第19条（1）に基づく説明書

1. 補正の内容

- （1）補正前の請求の範囲第1項に補正前の請求の範囲第3項の構成を組み入れた。
- （2）補正前の請求の範囲第3項を削除した。
- （3）第3項の削除に伴い第4項の従属関係を補正した。

2. 説明

国際調査機関の見解書において進歩性があるとの見解が示された補正前の請求の範囲第3項の「前記複数のスリット構造の各々は、前記基板の裏面に形成された凹部である」との記載を、補正後の請求の範囲第1項に組み入れた。

上記構成を備える補正後の請求の範囲第1～7項に記載された垂直共振器型発光素子は、いずれの引用文献にも記載されていない。

[図1]

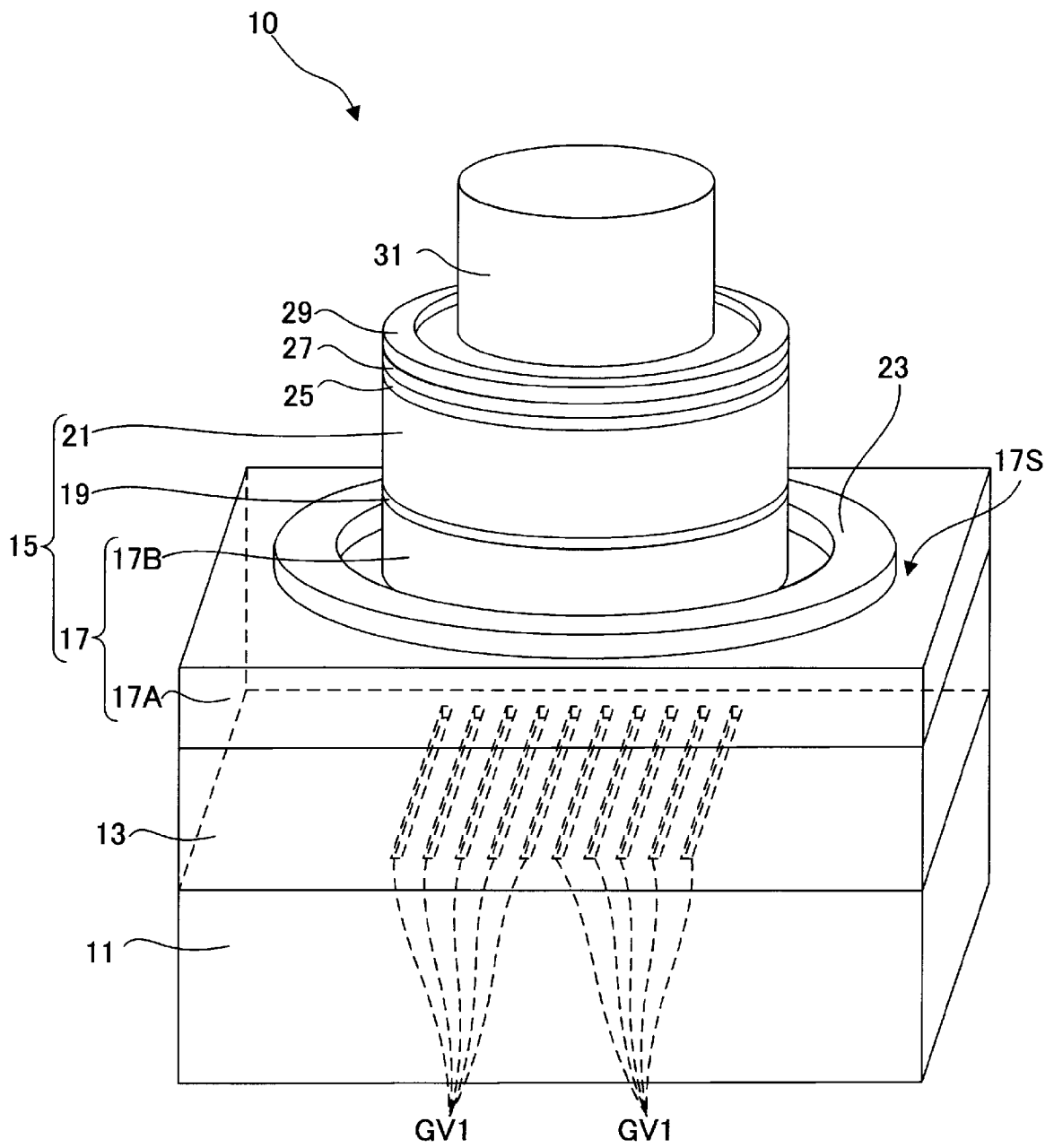


FIG.1

[図2]

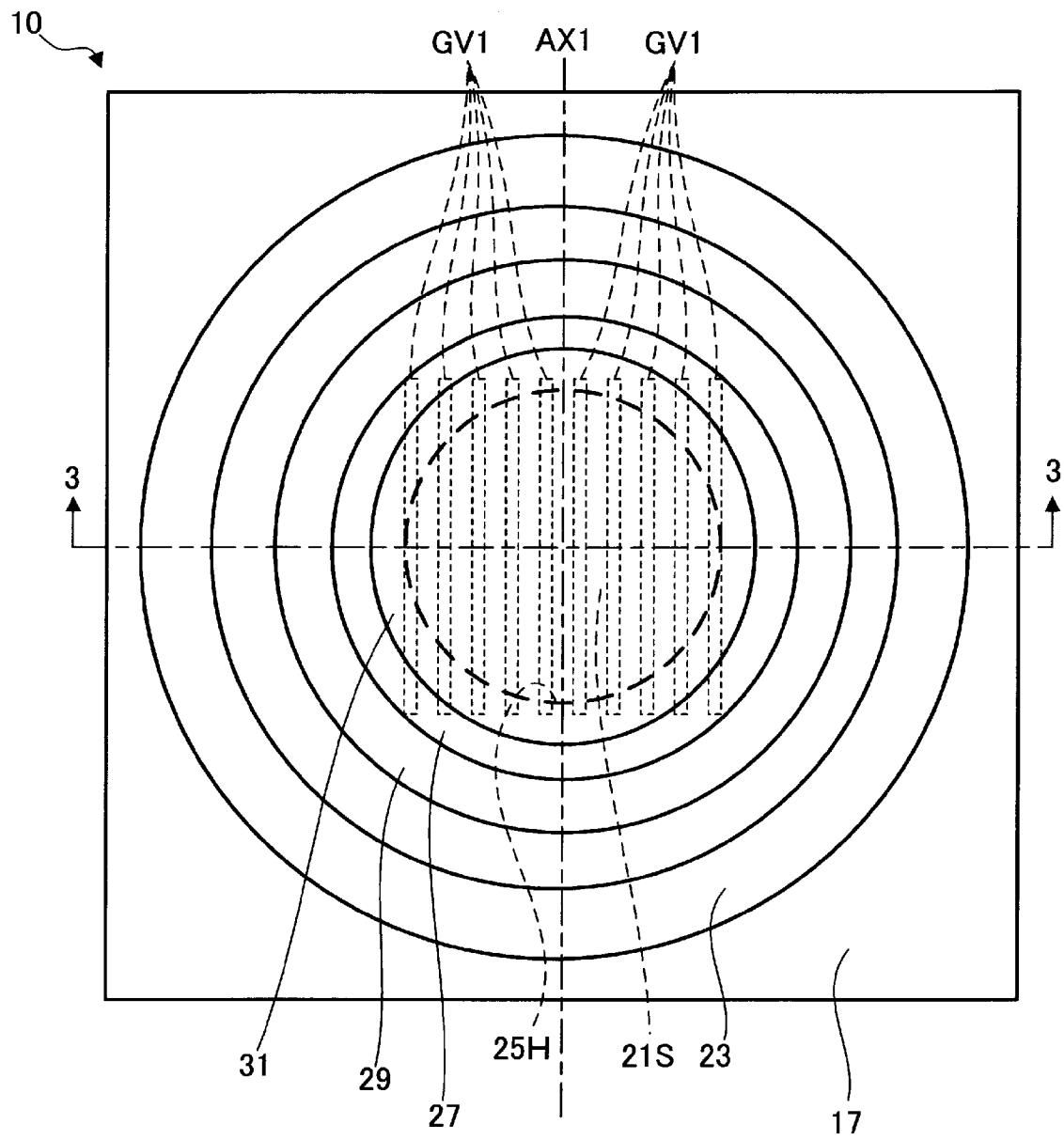


FIG.2

[図6]

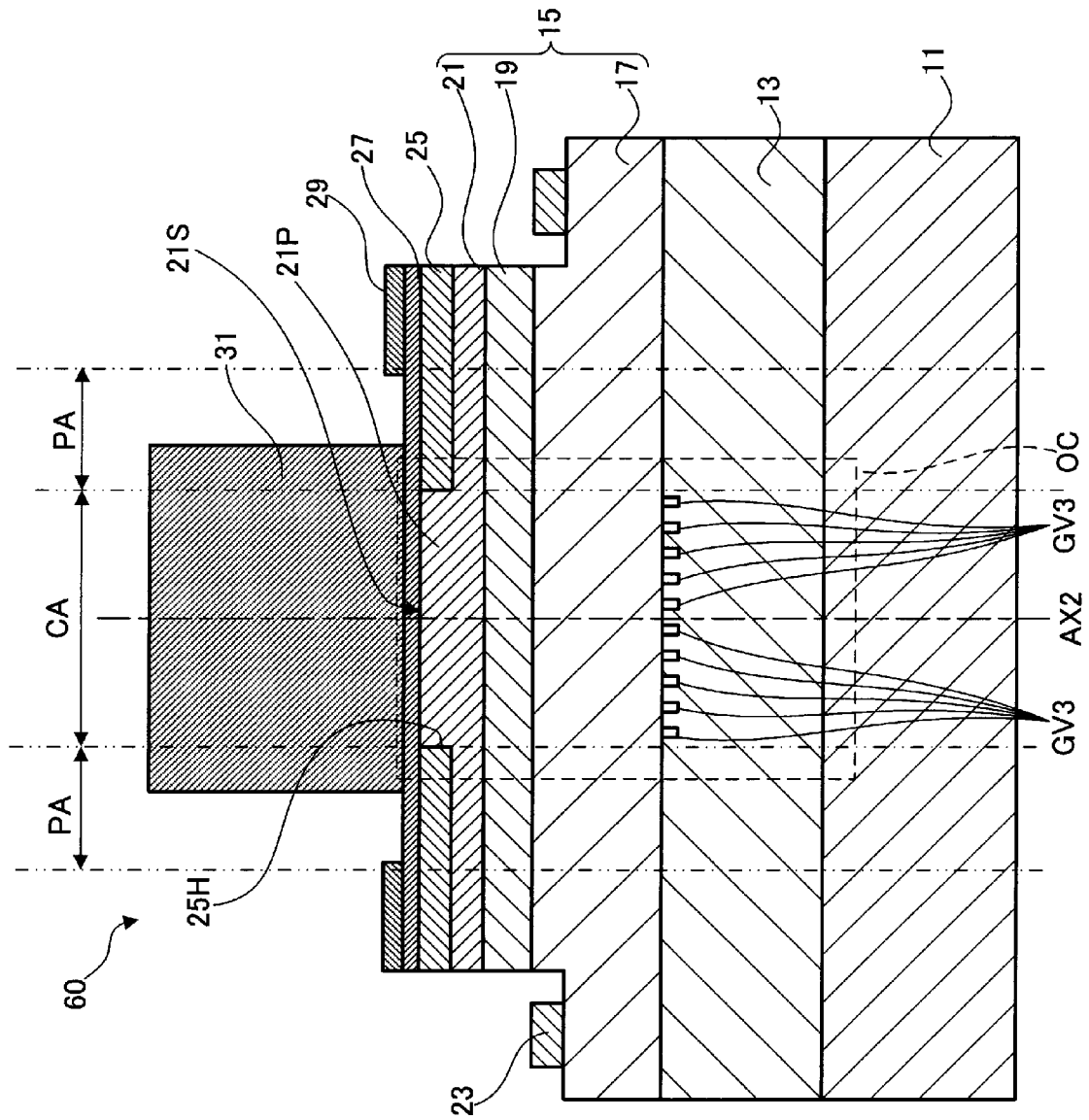


FIG. 6

[図8]

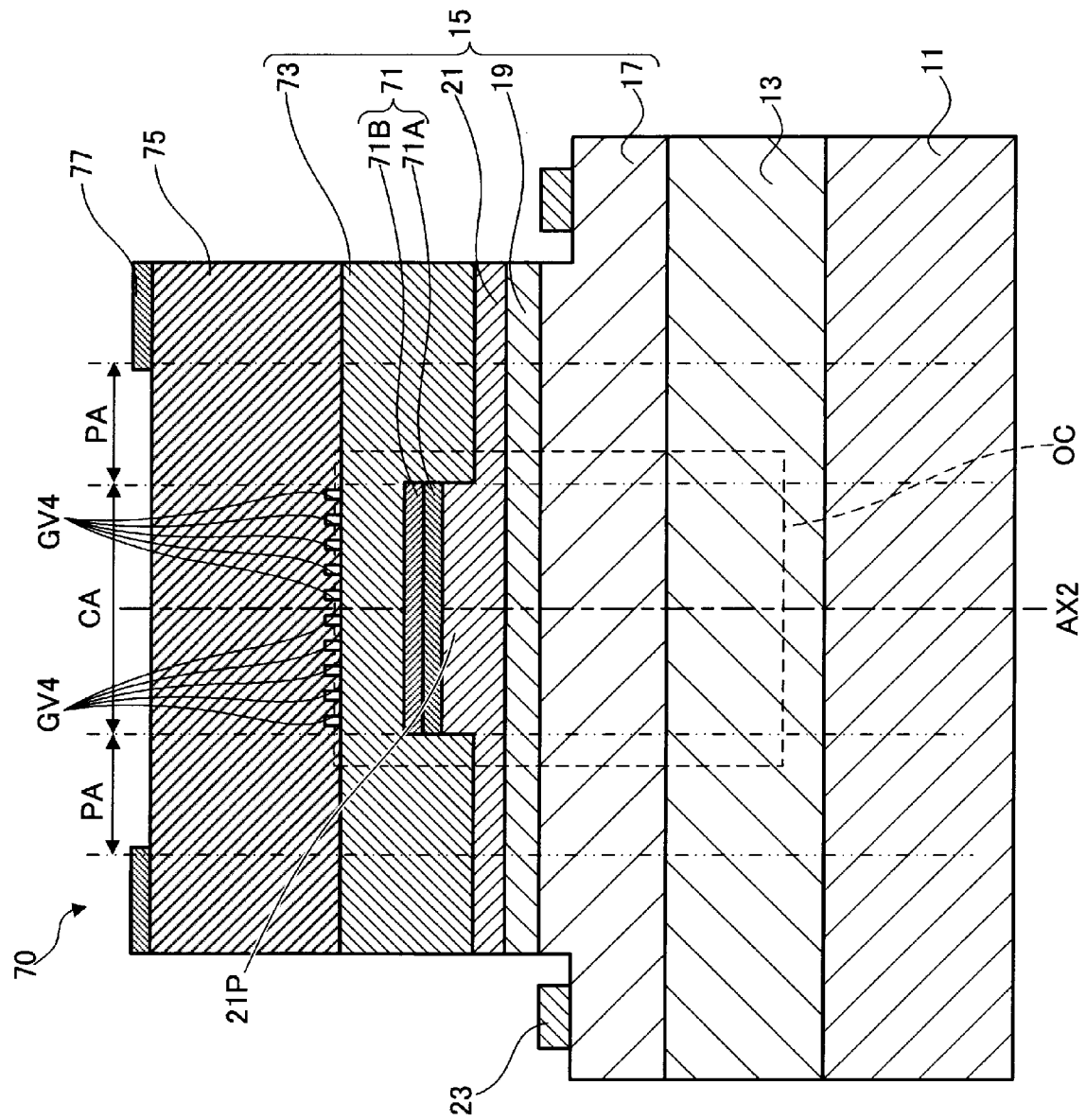


FIG. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/028640

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01S 5/183**(2006.01)i; **H01S 5/343**(2006.01)i

FI: H01S5/183; H01S5/343 610

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2010/0128749 A1 (VERTILAS GMBH) 27 May 2010 (2010-05-27) paragraphs [0034]-[0039], fig. 1-4	1-2
A		3-7
Y	JP 2011-96856 A (SONY CORP.) 12 May 2011 (2011-05-12) paragraphs [0017]-[0021], fig. 1	1-2
A	JP 6-177480 A (SHARP CORP.) 24 June 1994 (1994-06-24) entire text, all drawings	1-7
A	US 2015/0311673 A1 (PRINCETON OPTRONICS INC.) 29 October 2015 (2015-10-29) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2011-82459 A (SUMITOMO ELECTRIC IND., LTD.) 21 April 2011 (2011-04-21) entire text, all drawings	1-7
A	WO 2021/124968 A1 (SONY GROUP CORP.) 24 June 2021 (2021-06-24) entire text, all drawings	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 September 2022

Date of mailing of the international search report

04 October 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/028640

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2011/0182317 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH) 28 July 2011 (2011-07-28) entire text, all drawings	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/028640

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2010/0128749	A1	27 May 2010	EP 2190082 A2 DE 102009001505 A1	
JP	2011-96856	A	12 May 2011	US 2011/0103420 A1 paragraphs [0032]-[0036], fig. 1 CN 102055134 A	
JP	6-177480	A	24 June 1994	(Family: none)	
US	2015/0311673	A1	29 October 2015	(Family: none)	
JP	2011-82459	A	21 April 2011	(Family: none)	
WO	2021/124968	A1	24 June 2021	(Family: none)	
US	2011/0182317	A1	28 July 2011	WO 2010/000231 A1 DE 102008030818 A1 CN 101971446 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 5/183(2006.01)i; H01S 5/343(2006.01)i FI: H01S5/183; H01S5/343 610		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01S5/00-5/50		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	US 2010/0128749 A1 (VERTILAS GMBH) 27.05.2010 (2010 - 05 - 27) 段落0034-0039, 図1-4	1-2
A		3-7
Y	JP 2011-96856 A (ソニー株式会社) 12.05.2011 (2011 - 05 - 12) 段落0017-0021, 図1	1-2
A	JP 6-177480 A (シャープ株式会社) 24.06.1994 (1994 - 06 - 24) 全文, 全図	1-7
A	US 2015/0311673 A1 (PRINCETON OPTRONICS INC.) 29.10.2015 (2015 - 10 - 29) 全文, 全図	1-7
A	JP 2011-82459 A (住友電気工業株式会社) 21.04.2011 (2011 - 04 - 21) 全文, 全図	1-7
A	WO 2021/124968 A1 (ソニーグループ株式会社) 24.06.2021 (2021 - 06 - 24) 全文, 全図	1-7
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 16.09.2022	国際調査報告の発送日 04.10.2022	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 高 椋 健 司 2K 3715 電話番号 03-3581-1101 内線 3255	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	US 2011/0182317 A1 (OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH) 28.07.2011 (2011 - 07 - 28) 全文, 全図	1-7

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/028640

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
US	2010/0128749	A1	27.05.2010	EP	2190082	A2	
				DE	102009001505	A1	
JP	2011-96856	A	12.05.2011	US	2011/0103420	A1	
				段落0032-0036, 図1			
				CN	102055134	A	
JP	6-177480	A	24.06.1994	(ファミリーなし)			
US	2015/0311673	A1	29.10.2015	(ファミリーなし)			
JP	2011-82459	A	21.04.2011	(ファミリーなし)			
WO	2021/124968	A1	24.06.2021	(ファミリーなし)			
US	2011/0182317	A1	28.07.2011	WO	2010/000231	A1	
				DE	102008030818	A1	
				CN	101971446	A	