

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7078045号

(P7078045)

(45)発行日 令和4年5月31日(2022.5.31)

(24)登録日 令和4年5月23日(2022.5.23)

(51)国際特許分類

H 0 1 S 5/183(2006.01)

F I

H 0 1 S 5/183

請求項の数 13 (全39頁)

(21)出願番号	特願2019-530891(P2019-530891)	(73)特許権者	000002185 ソニーグループ株式会社 東京都港区港南1丁目7番1号
(86)(22)出願日	平成30年5月9日(2018.5.9)	(74)代理人	110001357弁理士法人つばさ国際特許 事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2018/017856	(74)代理人	100094363 山本 孝久
(87)国際公開番号	WO2019/017044	(74)代理人	100118290 弁理士 吉井 正明
(87)国際公開日	平成31年1月24日(2019.1.24)	(72)発明者	御友 重吾 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー 株式会社内
審査請求日	令和3年3月26日(2021.3.26)	(72)発明者	濱口 達史 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー 株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2017-139244(P2017-139244)		
(32)優先日	平成29年7月18日(2017.7.18)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 発光素子及び発光素子アレイ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1面、及び、前記第1面と対向する第2面を有する第1化合物半導体層、
前記第1化合物半導体層の前記第2面と面する活性層、並びに、
前記活性層と面する第1面、及び、前記第1面と対向する第2面を有する第2化合物半導体層、
が積層された積層構造体、
前記第1化合物半導体層の前記第1面側に配設された第1光反射層、
前記第2化合物半導体層の前記第2面側に配設された第2光反射層、並びに、
光収束・発散変更手段、
を備えており、
前記第1光反射層は、凹面鏡部上に形成されており、
前記第2光反射層は、平坦な形状を有しており、
前記光収束・発散変更手段は、前記第1光反射層側の面の光軸における曲率中心を、前記第1光反射層の光軸における曲率中心と同一の位置とし、かつ、前記第1光反射層とは反対側の光出射面の光軸における曲率中心を、前記第1光反射層の光軸における曲率中心よりも前記光収束・発散変更手段に近い所の位置とし、前記活性層において生成した光が外部に出射されるとき、入射する前の光の収束・発散状態と、通過した後の光の収束・発散状態とは異なる発光素子。

【請求項2】

前記活性層において生成した光が前記光収束・発散変更手段を通過したとき、前記光収束・発散変更手段に入射する前よりも、より収束状態となる請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 3】

前記第 1 光反射層を介して光が出射され、

前記光収束・発散変更手段は、前記第 1 光反射層の光出射側に配設されている請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 4】

前記光収束・発散変更手段の前記光出射面の曲率半径は、前記第 1 光反射層の曲率半径よりも小さい請求項 3 に記載の発光素子。

【請求項 5】

光軸上において、前記光収束・発散変更手段の前記光出射面から前記第 1 光反射層の光出射面までの距離は、 $1 \times 10^{-6} \text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-3} \text{m}$ である請求項 3 に記載の発光素子。

【請求項 6】

前記第 1 光反射層の平面形状を円形と想定したときの円形の直径は、 $1 \times 10^{-4} \text{m}$ 以下である請求項 3 に記載の発光素子。

【請求項 7】

光軸に沿った前記光収束・発散変更手段の厚さは、 $1 \times 10^{-6} \text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-3} \text{m}$ である請求項 3 に記載の発光素子。

【請求項 8】

前記活性層から前記第 1 光反射層までの距離は、 $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 乃至 $5 \times 10^{-4} \text{m}$ である請求項 3 に記載の発光素子。

【請求項 9】

前記光軸に沿った前記第 1 光反射層から前記第 2 光反射層までの距離は、 $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 以上である請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 10】

前記積層構造体は、GaN 系化合物半導体から成る請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 11】

面発光レーザ素子から成る請求項 1 に記載の発光素子。

【請求項 12】

複数の発光素子が並置されて成る発光素子アレイであって、

複数の前記発光素子は、

第 1 面、及び、前記第 1 面と対向する第 2 面を有する第 1 化合物半導体層、

前記第 1 化合物半導体層の前記第 2 面と面する活性層、並びに、

前記活性層と面する第 1 面、及び、前記第 1 面と対向する第 2 面を有する第 2 化合物半導体層、

が積層された積層構造体、

前記第 1 化合物半導体層の前記第 1 面側に配設された第 1 光反射層、

前記第 2 化合物半導体層の前記第 2 面側に配設された第 2 光反射層、並びに、

光収束・発散変更手段、

を備えており、

前記第 1 光反射層は、凹面鏡部上に形成されており、

前記第 2 光反射層は、平坦な形状を有しており、

前記光収束・発散変更手段は、前記第 1 光反射層側の面の光軸における曲率中心を、前記第 1 光反射層の光軸における曲率中心と同一の位置とし、かつ、前記第 1 光反射層とは反対側の光出射面の光軸における曲率中心を、前記第 1 光反射層の光軸における曲率中心よりも前記光収束・発散変更手段に近い所の位置とし、前記活性層において生成した光が外部に出射されるとき、入射する前の光の収束・発散状態と、通過した後の光の収束・発散状態とは異なる発光素子から成る発光素子アレイ。

【請求項 13】

複数の前記発光素子の出射する光の波長が各々異なっている請求項 12 に記載の発光素子

10

20

30

40

50

アレイ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、発光素子及び発光素子アレイに関する。

【背景技術】

【0002】

面発光レーザ素子（VCSEL）から成る発光素子においては、一般に、2つの光反射層（Distributed Bragg Reflector 層、DBR層）の間でレーザ光を共振させることによってレーザ発振が生じる。そして、n型化合物半導体層、化合物半導体から成る活性層（発光層）及びp型化合物半導体層が積層された積層構造体を有する面発光レーザ素子においては、一般に、p型化合物半導体層上に透明導電性材料から成る第2電極を形成し、第2電極の上に絶縁材料の積層構造から成る第2光反射層を形成する。また、n型化合物半導体層上に（導電性の基板上にn型化合物半導体層が形成されている場合には基板の露出面上に）、第1電極及び絶縁材料の積層構造から成る第1光反射層を形成する。尚、便宜上、2つの光反射層によって形成される共振器の中心を通る軸線をZ軸とし、Z軸と直交する仮想平面をXY平面と呼ぶ。

【0003】

ところで、積層構造体をGaAs系化合物半導体から構成する場合、共振器長 L_{OR} は1 μ m程度である。一方、積層構造体をGaN系化合物半導体から構成する場合、共振器長 L_{OR} は、通常、面発光レーザ素子から出射されるレーザ光の波長の数倍と長い。即ち、共振器長 L_{OR} は1 μ mよりもかなり長い。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2006-114753号公報

特開2000-022277号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

そして、このように共振器長 L_{OR} が長くなると、従来の1 μ m程度の共振器長 L_{OR} を採用しているGaAs系面発光レーザ素子と異なり、回折損失が増加するためにレーザ発振が難しくなる。つまり、面発光レーザ素子として機能するのではなく、LEDとして機能することになってしまう虞がある。ここで、「回折損失」とは、一般に、光は回折効果に起因して広がろうとするため、共振器を往復するレーザ光は、次第に、共振器外へと散逸してしまう現象を指す。また、積層構造体をGaN系化合物半導体から構成する場合、熱飽和の問題が挙げられる。ここで、「熱飽和」とは、面発光レーザ素子の駆動時、自己発熱によって光出力が飽和する現象である。光反射層に用いられる材料（例えば、 SiO_2 や Ta_2O_5 といった材料）は、GaN系化合物半導体よりも熱伝導率の値が低い。よって、GaN系化合物半導体層の厚さを厚くすることは、熱飽和を抑制することに繋がる。しかしながら、GaN系化合物半導体層の厚さを厚くすると、共振器長 L_{OR} の長さが長くなるので、上記の問題が生じる。光反射層に凹面鏡としての機能を付与する技術が、例えば、特開2006-114753号公報や特開2000-022277号公報から周知である。しかしながら、これらの特許公開公報には、共振器長 L_{OR} が長くなることに起因した回折損失の増加といった問題、熱飽和の問題といった本開示の発光素子が解決しようとする課題に関して、何ら言及されていない。

【0006】

従って、本開示の目的は、共振器長 L_{OR} が長くなることに起因した回折損失の増加といった問題、熱飽和の問題を解決し得る構成、構造を有する発光素子、及び、係る発光素子を備えた発光素子アレイを提供することにある。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の目的を達成するための本開示の発光素子は、
第1面、及び、第1面と対向する第2面を有する第1化合物半導体層、
第1化合物半導体層の第2面と面する活性層、並びに、
活性層と面する第1面、及び、第1面と対向する第2面を有する第2化合物半導体層、
が積層された積層構造体、
第1化合物半導体層の第1面側に配設された第1光反射層、
第2化合物半導体層の第2面側に配設された第2光反射層、並びに、
光収束・発散変更手段、
を備えており、
第1光反射層は、凹面鏡部上に形成されており、
第2光反射層は、平坦な形状を有しており、
光収束・発散変更手段は、第1光反射層側の面の光軸における曲率中心を、第1光反射層の光軸における曲率中心と同一の位置とし、かつ、第1光反射層とは反対側の光出射面の光軸における曲率中心を、第1光反射層の光軸における曲率中心よりも光収束・発散変更手段に近い所の位置とし、活性層において生成した光が外部に出射されるとき、入射する前の光の収束・発散状態と、通過した後の光の収束・発散状態とは異なる。

10

【0008】

上記の目的を達成するための本開示の発光素子アレイは、複数の発光素子が並置されて成る発光素子アレイであって、各発光素子は、本開示の発光素子から成る。

20

【発明の効果】

【0009】

本開示の発光素子、あるいは、本開示の発光素子アレイを構成する発光素子においては、第1光反射層が凹面鏡部上に形成されているので、活性層を起点に回折して広がり、そして、第1光反射層に入射した光が活性層に向かって確実に反射され、活性層に集光することができる。従って、回折損失が増加することを回避することができ、確実にレーザ発振を行うことができるし、長い共振器を有することから熱飽和の問題を回避することが可能となる。しかも、光収束・発散変更手段を備えているので、活性層において生成した光が外部に出射されるときの出射状態を、正確に、所望の状態に制御することができる。尚、本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものではなく、また、付加的な効果があってもよい。

30

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、実施例1の発光素子の模式的な一部端面図である。

【図2】図2は、図1から光収束・発散変更手段を除いた実施例1の発光素子の模式的な一部端面図である。

【図3】図3A及び図3Bは、実施例1の発光素子の製造方法を説明するための積層構造体等の模式的な一部端面図である。

【図4】図4は、図3Bに引き続き、実施例1の発光素子の製造方法を説明するための積層構造体等の模式的な一部端面図である。

40

【図5】図5は、図4に引き続き、実施例1の発光素子の製造方法を説明するための積層構造体等の模式的な一部端面図である。

【図6】図6は、図5に引き続き、実施例1の発光素子の製造方法を説明するための積層構造体等の模式的な一部端面図である。

【図7】図7は、図6に引き続き、実施例1の発光素子の製造方法を説明するための積層構造体等の模式的な一部端面図である。

【図8】図8は、図7に引き続き、実施例1の発光素子の製造方法を説明するための積層構造体等の模式的な一部端面図である。

【図9】図9は、実施例2の発光素子の模式的な一部端面図である。

50

【図 1 0】図 1 0 は、実施例 3 の発光素子の模式的な一部端面図である。

【図 1 1】図 1 1 は、実施例 3 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

【図 1 2】図 1 2 A 及び図 1 2 B は、実施例 4 の発光素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部端面図である。

【図 1 3】図 1 3 は、実施例 5 の発光素子の模式的な一部端面図である。

【図 1 4】図 1 4 は、実施例 6 の発光素子の模式的な一部端面図である。

【図 1 5】図 1 5 は、実施例 6 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

【図 1 6】図 1 6 は、実施例 6 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

【図 1 7】図 1 7 は、実施例 6 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

【図 1 8】図 1 8 は、実施例 6 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

10

【図 1 9】図 1 9 は、実施例 6 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

【図 2 0】図 2 0 は、実施例 6 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

【図 2 1】図 2 1 は、実施例 6 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

【図 2 2】図 2 2 は、実施例 6 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

【図 2 3】図 2 3 は、実施例 7 の発光素子の模式的な一部端面図である。

【図 2 4】図 2 4 は、実施例 7 の発光素子の變形例の模式的な一部端面図である。

【図 2 5】図 2 5 は、実施例 8 の発光素子の模式的な一部断面図と、縦モード A と縦モード B の 2 つの縦モードを重ね合わせた図である。

【図 2 6】図 2 6 は、実施例 1 の発光素子において、同一の曲率半径を有する 2 つの凹面鏡部で挟まれたファブリペロー型共振器を想定したときの概念図である。

20

【図 2 7】図 2 7 は、 ω_0 の値と共振器長 L_{OR} の値と凹面鏡部の曲率半径 R_{DBR} の値の関係を示すグラフである。

【図 2 8】図 2 8 は、 ω_0 の値と共振器長 L_{OR} の値と凹面鏡部の曲率半径 R_{DBR} の値の関係を示すグラフである。

【図 2 9】図 2 9 A 及び図 2 9 B は、それぞれ、 ω_0 の値が「正」であるときのレーザ光の集光状態を模式的に示す図、及び、 ω_0 の値が「負」であるときのレーザ光の集光状態を模式的に示す図である。

【図 3 0】図 3 0 A 及び図 3 0 B は、活性層によって決まるゲインスペクトル内に存在する縦モードを模式的に示す概念図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0 0 1 1】

以下、図面を参照して、実施例に基づき本開示を説明するが、本開示は実施例に限定されるものではなく、実施例における種々の数値や材料は例示である。尚、説明は、以下の順序で行う。

1．本開示の発光素子及び発光素子アレイ、全般に関する説明

2．実施例 1（本開示の第 1 の態様に係る発光素子及び発光素子アレイ、第 3 - A 構成の発光素子）

3．実施例 2（実施例 1 の變形、第 3 - B 構成の発光素子）

4．実施例 3（実施例 1 ~ 実施例 2 の變形、第 4 構成の発光素子）

5．実施例 4（実施例 3 の變形）

40

6．実施例 5（本開示の第 2 の態様に係る発光素子）

7．実施例 6（実施例 1 ~ 実施例 5 の變形）

8．実施例 7（実施例 1 ~ 実施例 6 の變形、第 1 構成の発光素子）

9．実施例 8（実施例 1 ~ 実施例 7 の變形、第 2 構成の発光素子）

10．実施例 9（実施例 8 の變形）

11．実施例 10（実施例 8 の變形）

12．その他

【0 0 1 2】

本開示の発光素子及び発光素子アレイ、全般に関する説明

本開示の発光素子アレイにおいては、発光素子の出射する光の波長が異なっている形態と

50

することができる。そして、本開示の発光素子アレイにあっては、複数の発光素子が、例えば、1枚の実装基板に実装されている形態とすることができる。尚、発光素子の出射する光の波長を異ならせる発光素子の構成、構造は、周知の構成、構造とすることができる。発光素子の出射する光の色として、青色、緑色、赤色を例示することができる。

【0013】

本開示の発光素子、あるいは、上記の好ましい形態を含む本開示の発光素子アレイを構成する発光素子（以下、これらの発光素子を総称して『本開示の発光素子等』と呼ぶ場合がある）において、活性層において生成した光が光収束・発散変更手段を通過したとき、光収束・発散変更手段に入射する前よりも、より収束状態となる形態とすることができる。但し、これに限定するものではなく、発光素子に要求される仕様によっては、活性層において生成した光が光収束・発散変更手段を通過したとき、光収束・発散変更手段に入射する前よりも、より発散状態となる形態とすることもできる。活性層において生成した光が光収束・発散変更手段を通過したとき、光収束・発散変更手段に入射する前よりも、より収束状態となる形態にあっては、光収束・発散変更手段を通過した光を、平行光とすることができるし、或る点あるいは領域に収束するような光とすることもできるし、発散するような光とすることもできる。

10

【0014】

上記の好ましい形態を含む本開示の発光素子等において、光収束・発散変更手段は、凸レンズ、又は、フレネルレンズ、又は、ホログラムレンズから成る形態とすることができるし、あるいは又、プラズモニク素子やフォトニック結晶素子、メタマテリアルから構成された素子、サブ波長回折格子から成る形態とすることもできる。

20

【0015】

凸レンズやフレネルレンズを構成する材料として、活性層から出射される光に対して透明な材料、例えば、透明絶縁材料層、具体的には、酸化シリコン（ SiO_x ）、窒化シリコン（ SiN_y ）、酸窒化シリコン（ SiO_xN_y ）、酸化タンタル（ Ta_2O_5 ）、酸化ジルコニウム（ ZrO_2 ）、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、窒化アルミニウム（ AlN ）、酸化チタン（ TiO_2 ）、酸化マグネシウム（ MgO ）、酸化クロム（ CrO_x ）、酸化バナジウム（ VO_x ）、窒化タンタル（ TaN ）、窒化ニオブ（ NbO_x ）を挙げることができる。凸レンズやフレネルレンズは、これらの透明絶縁材料層の上に凸レンズやフレネルレンズの断面形状と同じ断面形状を有するレジスト材料層を形成し、レジスト材料層及び透明絶縁材料層をエッチバックすることによって形成することができる。透明絶縁材料層の形成は、使用する材料に依存して、各種の物理的気相成長法（PVD法）、各種の化学的気相成長法（CVD法）にて行うことができる。あるいは又、感光性樹脂材料の塗布、露光によって形成することもできるし、ナノプリント法に基づき透明樹脂材料をレンズ形状に形成するといった方法を採用することもできる。

30

【0016】

更には、以上に説明した好ましい形態を含む本開示の発光素子等にあっては、第1光反射層を介して光が出射され、光収束・発散変更手段は、第1光反射層の光出射側に配設されている構成とすることができる。尚、このような構成の本開示の発光素子等を、便宜上、『本開示の第1の態様に係る発光素子』と呼ぶ。このような本開示の第1の態様に係る発光素子にあっては、例えば、光収束・発散変更手段を、第1光反射層の光出射面の上あるいは上方に形成すればよい。

40

【0017】

本開示の第1の態様に係る発光素子において、光収束・発散変更手段の光軸（Z軸）における曲率中心（好ましくは、後述する凹面鏡部における半径 r_{DBR} の有効領域に対応する光収束・発散変更手段の領域における曲率中心）は、第1光反射層の光軸（Z軸）における曲率中心（好ましくは、凹面鏡部における半径 r_{DBR} の有効領域に対応する第1光反射層の領域における曲率中心）よりも光収束・発散変更手段に近い所に位置する構成とすることができる。

【0018】

50

上記の好ましい構成を含む本開示の第1の態様に係る発光素子にあっては、光軸（Z軸）上において、光収束・発散変更手段の光出射面から第1光反射層の光出射面までの距離は、 $1 \times 10^{-6}\text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-3}\text{m}$ であることが好ましい。

【0019】

更には、以上に説明した各種の好ましい構成を含む本開示の第1の態様に係る発光素子において、第1光反射層の平面形状を円形と想定したときの円形の直径は、 $1 \times 10^{-4}\text{m}$ 以下、好ましくは、 $5 \times 10^{-5}\text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-4}\text{m}$ であることが望ましい。

【0020】

更には、以上に説明した各種の好ましい構成を含む本開示の第1の態様に係る発光素子において、光軸（Z軸）に沿った光収束・発散変更手段の厚さは、 $1 \times 10^{-6}\text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-3}\text{m}$ であることが好ましい。

10

【0021】

更には、以上に説明した各種の好ましい構成を含む本開示の第1の態様に係る発光素子において、活性層から第1光反射層までの距離は、 $1 \times 10^{-5}\text{m}$ 乃至 $5 \times 10^{-4}\text{m}$ であることが好ましい。

【0022】

あるいは又、以上に説明した好ましい形態を含む本開示の発光素子等にあっては、第2光反射層を介して光が出射され、

光収束・発散変更手段は、第2光反射層の光出射側に配設されている構成とすることができる。尚、このような構成の本開示の発光素子等を、便宜上、『本開示の第2の態様に係る発光素子』と呼ぶ。このような本開示の第2の態様に係る発光素子にあっては、例えば、光収束・発散変更手段を、第2光反射層の光出射面の上あるいは上方に形成すればよい。

20

【0023】

以上に説明した好ましい各種の形態、構成を含む本開示の発光素子等において、光軸（Z軸）に沿った第1光反射層から第2光反射層までの距離は $1 \times 10^{-5}\text{m}$ 以上、即ち、共振器長 L_{OR} は、 $1 \times 10^{-5}\text{m}$ L_{OR} 、好ましくは $1 \times 10^{-5}\text{m}$ L_{OR} $5 \times 10^{-4}\text{m}$ 、より好ましくは、 $1 \times 10^{-5}\text{m}$ L_{OR} $1 \times 10^{-4}\text{m}$ を満足することが望ましい。

【0024】

更には、以上に説明した好ましい各種の形態、構成を含む本開示の発光素子等において、積層構造体は、GaIn系化合物半導体から成る形態とすることができる。

30

【0025】

更には、以上に説明した好ましい各種の形態、構成を含む本開示の発光素子等において、発光素子は面発光レーザ素子から成る形態とすることができる。

【0026】

本明細書において、発光素子を構成する各種要素の説明において「上」あるいは「上方」という用語を屢々用いるが、これらの用語は、活性層から離れる方向に位置する各種要素の部分（領域）を指す場合があり、発光素子における実際の上下関係とは相違する場合がある。即ち、例えば、凹面鏡部の上とは、活性層から離れる方向に位置する凹面鏡部の部分（領域）を指す。

【0027】

更には、以上に説明した好ましい各種の形態、構成を含む本開示の発光素子等において、第1光反射層には、光透過部、及び、光透過部を取り囲む遮光部（光の出射領域制限部）が設けられている形態とすることができる。尚、後述する電流注入領域の外縁の形状と光透過部の外縁の形状とは相似であることが好ましい。また、凹面鏡部の外縁の形状と光透過部の外縁の形状とは相似であることが好ましい。遮光部を設けることで、光の出射領域のより正確な制御を行うことができる。

40

【0028】

遮光部の具体的な位置として、第1光反射層の第1化合物半導体層側を挙げることができるし、あるいは又、第1光反射層の第1化合物半導体層側とは反対側を挙げることができる。より具体的には、以下のとおりである。

50

(A) 凹面鏡部が基板上に形成されている場合であって、遮光部が第1光反射層の第1化合物半導体層側に形成されている場合、遮光部は：

(A-1) 第1化合物半導体層側の凹面鏡部の一部の上に形成されている。

(A-2) 第1化合物半導体層側の凹面鏡部の一部の上及び基板の第1面の一部の上に形成されている。

(A-3) 基板の第1面の一部の上に形成されている。

(B) 凹面鏡部が基板上に形成されている場合であって、遮光部が第1光反射層に形成されている場合、遮光部は、

(B-1) 第1光反射層の一部の上に形成されている。

(B-2) 第1光反射層の一部の上及び基板の第1面の一部の上に形成されている。

10

(B-3) 基板の第1面の一部の上に形成されている。

(C) 凹面鏡部が第1化合物半導体層に形成されている場合、遮光部は：

(C-1) 第1化合物半導体層における凹面鏡部を構成する部分の一部の上に形成されている。

(C-2) 第1化合物半導体層における凹面鏡部を構成する部分の一部の上、及び、その外方に位置する第1化合物半導体層の一部の上に形成されている。

(C-3) 凹面鏡部の外方に位置する第1化合物半導体層の第1面の一部の上に形成されている。

(D) 凹面鏡部が第1化合物半導体層上に形成されている場合であって、遮光部が第1光反射層に形成されている場合、遮光部は、

20

(D-1) 第1光反射層の一部の上に形成されている。

(D-2) 第1光反射層の一部の上及び基板の第1面の一部の上に形成されている。

(D-3) 基板の第1面の一部の上に形成されている。

【0029】

遮光部は、チタン(Ti)、白金(Pt)、金(Au)、ニッケル(Ni)、パラジウム(Pd)といった金属膜や合金膜、これらの金属膜や合金膜の積層体、例えばカーボンナノチューブを含有した樹脂材料から成る樹脂膜から構成することができる。

【0030】

更には、以上に説明した好ましい各種の形態、構成を含む本開示の発光素子等において、凹面鏡部の形状は、凹面鏡部の中心部からビームウェスト半径 ω_0 の範囲内において、決定係数0.8以上である球形状又は放物線形状である形態とすることができる。ここで、ビームウェスト半径 ω_0 は、以下の式(A)で定義される。

30

【0031】

$$\omega_0^2 \equiv (\lambda_0 / \pi) \{ L_{OR} (R_{DBR} - L_{OR}) \}^{1/2} \quad (A)$$

ここで、

λ_0 : 発光素子から主に出射される所望の光の波長(発振波長)

L_{OR} : 共振器長

R_{DBR} : 凹面鏡部の曲率半径

【0032】

上記の好ましい形態、構成を含む本開示の発光素子等において、積層構造体の積層方向を含む仮想平面で凹面鏡部を切断したときの凹面鏡部の一部の積層構造体に面する界面が描く図形は、上述したとおり、円の一部又は放物線の一部である形態とすることができる。図形は、厳密には円の一部ではない場合もあるし、厳密には放物線の一部ではない場合もある。即ち、概ね円の一部である場合、概ね放物線の一部である場合も、「図形は、円の一部又は放物線の一部である」ことに包含される。このような円の一部又は放物線の一部である凹面鏡部の部分(領域)を、『凹面鏡部における有効領域』と呼ぶ場合がある。尚、凹面鏡部の一部の積層構造体に面する界面が描く図形は、界面の形状を計測器で計測し、得られたデータを最小自乗法に基づき解析することで求めることができる。

40

【0033】

第1構成の発光素子

50

上記の好ましい形態、構成を含む本開示の発光素子等において、
第2化合物半導体層には、電流注入領域、及び、電流注入領域を取り囲む電流非注入領域（電流狭窄領域）が設けられており、
電流注入領域の面積重心点から、電流注入領域と電流非注入領域の境界までの最短距離 D_{CI} は、以下の式（B）を満足することが好ましい。ここで、このような構成の発光素子を、便宜上、『第1構成の発光素子』と呼ぶ。尚、以下の式の導出は、例えば、H. Kogelnik and T. Li, "Laser Beams and Resonators", Applied Optics/Vol. 5, No. 10/ October 1966 を参照のこと。

【0034】

$$D_{CI} \geq \omega_0 / 2$$

（B）

10

【0035】

ここで、本開示の発光素子等にあつては、第1光反射層は凹面鏡部上に形成されているが、第2光反射層の平板な鏡に対する対象性を考えれば、共振器は、同一の曲率半径を有する2つの凹面鏡部で挟まれたファブリペロー型共振器へと拡張することができる（図26の模式図を参照）。このとき、仮想的なファブリペロー型共振器の共振器長は、共振器長 L_{OR} の2倍となる。 ω_0 の値と共振器長 L_{OR} の値と凹面鏡部との界面の曲率半径 R_{DBR} の値の関係を示すグラフを、図27及び図28に示す。尚、 ω_0 の値が「正」であるとは、レーザ光が模式的に図29Aの状態にあることを示し、 ω_0 の値が「負」であるとは、レーザ光が模式的に図29Bの状態にあることを示す。レーザ光の状態は、図29Aに示す状態であってもよいし、図29Bに示す状態であってもよい。但し、2つの凹面鏡部を有する仮想的なファブリペロー型共振器は、曲率半径 R_{DBR} が共振器長 L_{OR} よりも小さくなると、図29Bに示す状態となり、閉じ込めが過剰になり回折損失を生じる。それ故、曲率半径 R_{DBR} が共振器長 L_{OR} よりも大きい、図29Aに示す状態であることが好ましい。尚、活性層を、2つの光反射層のうち、平坦な光反射層、具体的には、第2光反射層に近づけて配置すると、光場は活性層においてより集光される。即ち、活性層における光場閉じ込めを強め、レーザ発振を容易ならしめる。活性層の位置、即ち、第2化合物半導体層に面する第2光反射層の面から活性層までの距離として、限定するものではないが、 $\lambda_0 / 2$ 乃至 $10 \lambda_0$ を例示することができる。

20

【0036】

ところで、第1光反射層によって反射される光が集光される領域が、電流注入によって活性層が利得を持つ領域に対応する電流注入領域に含まれない場合、キャリアから光の誘導放出が阻害され、ひいては、レーザ発振が阻害される虞がある。上式（A）及び（B）を満足することで、第1光反射層によって反射される光が集光される領域が電流注入領域に含まれることを保証することができ、レーザ発振を確実に達成することができる。

30

【0037】

第1構成の発光素子において、凹面鏡部における有効領域の半径 r_{DBR} は、 $\omega_0 \leq r_{DBR} \leq 20 \cdot \omega_0$ 、好ましくは、 $\omega_0 \leq r_{DBR} \leq 10 \cdot \omega_0$ を満足する構成とすることができる。あるいは又、 r_{DBR} の値として、 $r_{DBR} \leq 1 \times 10^{-4} \text{m}$ 、好ましくは、 $r_{DBR} \leq 5 \times 10^{-5} \text{m}$ を例示することができる。また、凹面鏡部の高さ h_{DBR} として、 $h_{DBR} \leq 5 \times 10^{-5} \text{m}$ を例示することができる。更には、このような好ましい構成を含む第1構成の発光素子において、 $D_{CI} \geq \omega_0$ を満足する構成とすることができる。

40

【0038】

本開示の発光素子等において、凹面鏡部の形状は、凹面鏡部の中心部からビームウェスト半径 ω_0 の範囲（領域）内において、決定係数 0.8 以上である球形状又は放物線形状であることが好ましいが、例えば、ビームウェスト半径 ω_0 の1.2倍の範囲（領域）内において、あるいは又、ビームウェスト半径 ω_0 の2倍の範囲（領域）内において、決定係数 0.8 以上、好ましくは 0.9 以上、より好ましくは 0.99 以上である球形状又は放物線形状であることが望ましい。決定係数 C_D とは、独立変数（説明変数）が従属変数（被説明変数）のどれくらいを説明できるかを表す値であり、以下の式（C）で定義される。具体的には、凹面鏡部の実測座標を y_i 、それに対して期待する理想的な凹面鏡部の座

50

標を f_i とするとき、残差の二乗和を、実測座標の平均 (y_{ave}) からの差の二乗和で除したものを 1 から引いた値であり、1 に近い程、相対的な残差が少ないことを表す。尚、凹面鏡部の一部が描く図形 (実測座標) は、凹面鏡部の形状 (具体的には、凹面鏡部と第 1 光反射層の界面の形状) を計測器で計測して得ることができる。

【0039】

$$CD^2 = 1 - [\sum_i (y_i - f_i)^2] / [\sum_i (y_i - y_{ave})^2] \quad (C)$$

【0040】

本開示の発光素子等にあつては、第 2 化合物半導体層に電流狭窄領域 (電流非注入領域) を形成することが好ましい。具体的には、電流狭窄領域 (電流非注入領域) は、イオン注入法に基づき形成することができる。この場合、イオン種として、ボロン、プロトン、リン、ヒ素、炭素、窒素、フッ素、酸素、ゲルマニウム及びシリコンから成る群から選択された少なくとも 1 種類のイオン (即ち、1 種類のイオン又は 2 種類以上のイオン) を挙げることができる。あるいは又、電流狭窄領域 (電流非注入領域) は、第 2 化合物半導体層にアッシング処理に基づき形成することができるし、第 2 化合物半導体層に反応性エッチング (RIE) 処理に基づき形成することができるし、プラズマ照射に基づき形成することができる。これらの処理にあつては、電流狭窄領域 (電流非注入領域) はプラズマ粒子に晒されるので、第 2 化合物半導体層の導電性に劣化が生じ、電流狭窄領域は高抵抗状態となる。即ち、電流狭窄領域は、第 2 化合物半導体層の第 2 面のプラズマ粒子への暴露によって形成される。プラズマ粒子として、具体的には、アルゴン、酸素、窒素等を挙げることができる。あるいは又、電流狭窄領域 (電流非注入領域) は、第 2 化合物半導体層上に形成された絶縁膜をエッチングすることで形成することができる。絶縁膜を構成する材料として、 SiO_x 、 SiN_x 、 AlO_x 、 ZrO_x 、 HfO_x を例示することができる。あるいは又、電流狭窄領域を得るためには、第 2 化合物半導体層等を RIE 法等によりエッチングしてメサ構造を形成してもよいし、あるいは又、積層された第 2 化合物半導体層の一部の層を横方向から部分的に酸化して電流狭窄領域を形成してもよい。あるいは、これらを、適宜、組み合わせてもよい。

【0041】

第 2 構成の発光素子

更には、以上に説明した好ましい形態、構成 (第 1 構成の発光素子を含む) を含む本開示の発光素子等において、第 2 電極を含む積層構造体には、活性層が占める仮想平面と平行に、少なくとも 2 層の光吸収材料層が形成されている構成とすることができる。ここで、このような構成の発光素子を、便宜上、『第 2 構成の発光素子』と呼ぶ。そして、第 2 構成の発光素子にあつては、少なくとも 4 層の光吸収材料層が形成されていることが好ましい。

【0042】

上記の好ましい構成を含む第 2 構成の発光素子において、発振波長 (発光素子から主に出射される光の波長であり、所望の発振波長である) を λ_0 、2 層の光吸収材料層、及び、光吸収材料層と光吸収材料層との間に位置する積層構造体の部分の全体の等価屈折率を n_{eq} 、光吸収材料層と光吸収材料層との間の距離を L_{Abs} としたとき、

$$0.9 \times \{ (m \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \} \leq L_{Abs} \leq 1.1 \times \{ (m \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \}$$

を満足することが好ましい。ここで、 m は、1、又は、1 を含む 2 以上の任意の整数である。等価屈折率 n_{eq} とは、2 層の光吸収材料層、及び、光吸収材料層と光吸収材料層との間に位置する積層構造体の部分を構成する各層のそれぞれの厚さを t_i 、それぞれの屈折率を n_i としたとき、

$$n_{eq} = \sum (t_i \times n_i) / \sum (t_i)$$

で表される。但し、 $i = 1, 2, 3, \dots, I$ であり、「 I 」は、2 層の光吸収材料層、及び、光吸収材料層と光吸収材料層との間に位置する積層構造体の部分を構成する層の総数であり、「 $\sum$ 」は $i = 1$ から $i = I$ までの総和を取ることを意味する。等価屈折率 n_{eq} は、発光素子断面の電子顕微鏡観察等から構成材料を観察し、それぞれの構成材料に対し

て既知の屈折率及び観察により得た厚さを基に算出すればよい。mが1の場合、隣接する光吸収材料層の間の距離は、全ての複数の光吸収材料層において、

$$0.9 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{eq}) \} \leq L_{Abs} \leq 1.1 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{eq}) \}$$

を満足する。また、mが1を含む2以上の任意の整数であるとき、一例として、m = 1, 2とすれば、一部の光吸収材料層において、隣接する光吸収材料層の間の距離は、

$$0.9 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{eq}) \} \leq L_{Abs} \leq 1.1 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{eq}) \}$$

を満足し、残りの光吸収材料層において、隣接する光吸収材料層の間の距離は、

$$0.9 \times \{ (2 \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \} \leq L_{Abs} \leq 1.1 \times \{ (2 \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \}$$

を満足する。広くは、一部の光吸収材料層において、隣接する光吸収材料層の間の距離は、

$$0.9 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{eq}) \} \leq L_{Abs} \leq 1.1 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{eq}) \}$$

を満足し、残りの種々の光吸収材料層において、隣接する光吸収材料層の間の距離は、

$$0.9 \times \{ (m' \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \} \leq L_{Abs} \leq 1.1 \times \{ (m' \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \}$$

を満足する。ここで、m'は、2以上の任意の整数である。また、隣接する光吸収材料層の間の距離とは、隣接する光吸収材料層の重心と重心との間の距離である。即ち、実際には、活性層の厚さ方向に沿った仮想平面で切断したときの、各光吸収材料層の中心と中心との間の距離である。

【0043】

更には、上記の各種の好ましい構成を含む第2構成の発光素子において、光吸収材料層の厚さは、 $\lambda_0 / (4 \cdot n_{eq})$ 以下であることが好ましい。光吸収材料層の厚さの下限值として1nmを例示することができる。

【0044】

更には、上記の各種の好ましい構成を含む第2構成の発光素子にあっては、積層構造体の内部において形成される光の定在波に生じる最低振幅部分に光吸収材料層が位置する構成とすることができる。

【0045】

更には、上記の各種の好ましい構成を含む第2構成の発光素子において、積層構造体の内部において形成される光の定在波に生じる最大振幅部分に活性層が位置する構成とすることができる。

【0046】

更には、上記の各種の好ましい構成を含む第2構成の発光素子において、光吸収材料層は、積層構造体を構成する化合物半導体の光吸収係数の2倍以上の光吸収係数を有する構成とすることができる。ここで、光吸収材料層の光吸収係数や積層構造体を構成する化合物半導体の光吸収係数は、発光素子断面の電子顕微鏡観察等から構成材料を観察し、それぞれの構成材料に対して観察された既知の評価結果より類推することで求めることができる。

【0047】

更には、上記の各種の好ましい構成を含む第2構成の発光素子において、光吸収材料層は、積層構造体を構成する化合物半導体よりもバンドギャップの狭い化合物半導体材料、不純物をドーピングした化合物半導体材料、透明導電性材料、及び、光吸収特性を有する光反射層構成材料から成る群から選択された少なくとも1種類の材料から構成されている構成とすることができる。ここで、積層構造体を構成する化合物半導体よりもバンドギャップの狭い化合物半導体材料として、例えば、積層構造体を構成する化合物半導体をGaNとする場合、InGaNを挙げることができるし、不純物をドーピングした化合物半導体材料として、Siをドーピングしたn-GaN、Bをドーピングしたn-GaNを挙げることができるし、透明導電性材料として、後述する電極を構成する透明導電性材料を挙げることができるし、光吸収特性を有する光反射層構成材料として、後述する光反射層を構成する材料（例えば、SiO_x、SiN_x、TaO_x等）を挙げることができる。光吸収材料層の全てがこれらの材料の内の1種類の材料から構成されていてもよい。あるいは又、光吸収材料層のそれぞれがこれらの材料の内から選択された種々の材料から構成されていてもよいが、1層

10

20

30

40

50

の光吸収材料層は１種類の材料から構成されていることが、光吸収材料層の形成の簡素化といった観点から好ましい。光吸収材料層は、第１化合物半導体層内に形成されていてもよいし、第２化合物半導体層内に形成されていてもよいし、第１光反射層内に形成されていてもよいし、第２光反射層内に形成されていてもよいし、これらの任意の組み合わせとすることもできる。あるいは又、光吸収材料層を、後述する透明導電性材料から成る電極と兼用することもできる。

【００４８】

第３構成の発光素子

更には、以上に説明した好ましい形態、構成（第１構成の発光素子～第２構成の発光素子を含む）を含む本開示の発光素子等において、第１化合物半導体層の第１面と第１光反射層との間には化合物半導体基板が配されている構成とすることができる。ここで、このような構成の発光素子を、便宜上、『第３構成の発光素子』と呼ぶ。この場合、化合物半導体基板はGaN基板から成る構成とすることができる。尚、化合物半導体基板の厚さとして、 $5 \times 10^{-5} \text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-4} \text{m}$ を例示することができるが、このような値に限定するものではない。そして、このような構成を含む第３構成の発光素子において、第１光反射層は、化合物半導体基板の突出部から成る凹面鏡部の一部の表面に形成された多層光反射膜から構成されている構成とすることができる。ここで、このような構成の発光素子を、便宜上、『第３-A構成の発光素子』と呼ぶ。あるいは又、第１光反射層は、化合物半導体基板上に形成された凹面鏡部の一部の表面に形成された多層光反射膜から構成されている構成とすることができる。ここで、このような構成の発光素子を、便宜上、『第３-B構成の発光素子』と呼ぶ。第３-A構成の発光素子における凹面鏡部を構成する材料は、例えば、GaN基板である。GaN基板として、極性基板、反極性基板、無極性基板のいずれを用いてもよい。一方、第３-B構成の発光素子における凹面鏡部を構成する材料として、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 SiO_2 等の透明な誘電体材料、シリコン系樹脂、エポキシ系樹脂を例示することができる。

【００４９】

第４構成の発光素子

あるいは又、以上に説明した好ましい形態、構成（第１構成の発光素子～第２構成の発光素子を含む）を含む本開示の発光素子等において、第１化合物半導体層の第１面に第１光反射層が形成されている構成とすることができる。ここで、このような構成の発光素子を、便宜上、『第４構成の発光素子』と呼ぶ。

【００５０】

更には、以上に説明した好ましい形態、構成（第１構成の発光素子～第４構成の発光素子を含む）を含む本開示の発光素子等において、積層構造体の熱伝導率の値は、第１光反射層の熱伝導率の値よりも高い構成とすることができる。第１光反射層を構成する誘電体材料の熱伝導率の値は、一般に、 $10 \text{ワット}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 程度あるいはそれ以下である。一方、積層構造体を構成するGaN系化合物半導体の熱伝導率の値は、 $50 \text{ワット}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 程度乃至 $100 \text{ワット}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 程度である。

【００５１】

更には、以上に説明した好ましい形態、構成（第１構成の発光素子～第４構成の発光素子を含む）を含む本開示の発光素子等において、発光素子の凹面鏡部（具体的には、凹面鏡部における半径 r_{DBR} の有効領域）の曲率半径を R_{DBR} としたとき、 $R_{\text{DBR}} = 1 \times 10^{-3} \text{m}$ 、好ましくは、 $1 \times 10^{-5} \text{m}$ $R_{\text{DBR}} = 1 \times 10^{-3} \text{m}$ 、より好ましくは、 $1 \times 10^{-5} \text{m}$ $R_{\text{DBR}} = 1 \times 10^{-4} \text{m}$ を満足する構成とすることができる。

【００５２】

更には、以上に説明した好ましい形態、構成（第１構成の発光素子～第４構成の発光素子を含む）を含む本開示の発光素子等において、第１光反射層の周囲には凸形状部が形成されており、第１光反射層は凸形状部から突出していない構成とすることができ、これによって、第１光反射層を保護することができる。即ち、第１光反射層は凸形状部よりも引込んだ状態で設けられるが故に、例えば、何らかの物体が凸形状部と接触しても、この物

10

20

30

40

50

体が第1光反射層と接触することが無く、第1光反射層を確実に保護することができる。

【0053】

また、以上に説明した好ましい形態、構成（第1構成の発光素子～第4構成の発光素子を含む）を含む本開示の発光素子等において、活性層と第1光反射層との間に位置する各種の化合物半導体層（化合物半導体基板を含む）を構成する材料にあつては、10%以上の屈折率の変調が無いこと（積層構造体の平均屈折率を基準として、10%以上の屈折率差が無いこと）が好ましく、これによって、共振器内の光場の乱れ発生を抑制することができる。

【0054】

以上に説明した好ましい形態、構成を含む本開示の発光素子等によって、前述したとおり、第1光反射層を介してレーザ光を出射する面発光レーザ素子（垂直共振器レーザ、VCSEL）を構成することができるし、あるいは又、第2光反射層を介してレーザ光を出射する面発光レーザ素子を構成することもできる。尚、場合によっては、後述する発光素子製造用基板を除去してもよい。

10

【0055】

本開示の発光素子等において、積層構造体は、具体的には、AlInGa_N系化合物半導体から成る構成とすることができる。ここで、AlInGa_N系化合物半導体として、より具体的には、Ga_N、AlGa_N、InGa_N、AlInGa_Nを挙げることができる。更には、これらの化合物半導体に、所望に応じて、ホウ素（B）原子やタリウム（Tl）原子、ヒ素（As）原子、リン（P）原子、アンチモン（Sb）原子が含まれていてもよい。活性層は、量子井戸構造を有することが望ましい。具体的には、単一量子井戸構造（SQW構造）を有していてもよいし、多重量子井戸構造（MQW構造）を有していてもよい。量子井戸構造を有する活性層は、井戸層及び障壁層が、少なくとも1層、積層された構造を有するが、（井戸層を構成する化合物半導体、障壁層を構成する化合物半導体）の組合せとして、（In_yGa_(1-y)N, Ga_N）、（In_yGa_(1-y)N, In_zGa_(1-z)N）[但し、 $y > z$]、（In_yGa_(1-y)N, AlGa_N）を例示することができる。第1化合物半導体層を第1導電型（例えば、n型）の化合物半導体から構成し、第2化合物半導体層を第1導電型とは異なる第2導電型（例えば、p型）の化合物半導体から構成することができる。第1化合物半導体層、第2化合物半導体層は、第1クラッド層、第2クラッド層とも呼ばれる。第1化合物半導体層、第2化合物半導体層は、単一構造の層であってもよいし、多層構造の層であってもよいし、超格子構造の層であってもよい。更には、組成傾斜層、濃度傾斜層を備えた層とすることもできる。

20

30

【0056】

積層構造体は、発光素子製造用基板の第2面上に形成され、あるいは又、化合物半導体基板の第2面上に形成される。発光素子製造用基板として、Ga_N基板、サファイア基板、GaAs基板、SiC基板、アルミナ基板、ZnS基板、ZnO基板、AlN基板、LiMgO基板、LiGaO₂基板、MgAl₂O₄基板、InP基板、Si基板、これらの基板の表面（主面）に下地層やパツファ層が形成されたものを挙げることができるが、Ga_N基板の使用が欠陥密度の少ないことから好ましい。また、化合物半導体基板として、Ga_N基板を挙げることができる。Ga_N基板は成長面によって、極性/無極性/半極性と特性が変わることが知られているが、Ga_N基板のいずれの主面（第2面）も化合物半導体層の形成に使用することができる。また、Ga_N基板の主面に関して、結晶構造（例えば、立方晶型や六方晶型等）によっては、所謂A面、B面、C面、R面、M面、N面、S面等の名称と呼ばれる結晶方位面、あるいは、これらを特定方向にオフさせた面等を用いることもできる。発光素子を構成する各種の化合物半導体層の形成方法として、例えば、有機金属化学的気相成長法（MOCVD法、Metal Organic-Chemical Vapor Deposition法）、MOVPE法、Metal Organic-Vapor Phase Epitaxy法）や分子線エピタキシー法（MBE法）、ハロゲンが輸送あるいは反応に寄与するハイドライド気相成長法（HVPE法）、原子層堆積法（ALD法、Atomic Layer Deposition法）、マイグレーション・エンハンスド・エピタキシー法（MEE法、Migration-Enhanced Epitaxy法）

40

50

、プラズマアシステッド物理的気相成長法（PPD法）等を挙げることができるが、これらに限定するものではない。

【0057】

ここで、MOCVD法における有機ガリウム源ガスとして、トリメチルガリウム（TMG）ガスやトリエチルガリウム（TEG）ガスを挙げることができるし、窒素源ガスとして、アンモニアガスやヒドラジンガスを挙げることができる。n型の導電性を有するGaN系化合物半導体層の形成においては、例えば、n型不純物（n型ドーパント）としてケイ素（Si）を添加すればよいし、p型の導電性を有するGaN系化合物半導体層の形成においては、例えば、p型不純物（p型ドーパント）としてマグネシウム（Mg）を添加すればよい。GaN系化合物半導体層の構成原子としてアルミニウム（Al）あるいはインジウム（In）が含まれる場合、Al源としてトリメチルアルミニウム（TMA）ガスを用いればよいし、In源としてトリメチルインジウム（TMI）ガスを用いればよい。更には、Si源としてモノシランガス（SiH₄ガス）を用いればよいし、Mg源としてビスシクロペンタジエニルマグネシウムガスやメチルシクロペンタジエニルマグネシウム、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム（Cp₂Mg）を用いればよい。尚、n型不純物（n型ドーパント）として、Si以外に、Ge、Se、Sn、C、Te、S、O、Pd、Poを挙げることができるし、p型不純物（p型ドーパント）として、Mg以外に、Zn、Cd、Be、Ca、Ba、C、Hg、Srを挙げることができる。

10

【0058】

支持基板は、例えば、発光素子製造用基板として例示した各種の基板から構成すればよいし、あるいは又、AlN等から成る絶縁性基板、Si、SiC、Ge等から成る半導体基板、金属製基板や合金製基板から構成することもできるが、導電性を有する基板を用いることが好ましく、あるいは又、機械的特性、弾性変形、塑性変形性、放熱性等の観点から金属製基板や合金製基板を用いることが好ましい。支持基板の厚さとして、例えば、0.05mm乃至1mmを例示することができる。第2光反射層の支持基板への固定方法として、半田接合法、常温接合法、粘着テープを用いた接合法、ワックス接合を用いた接合法、接着剤を用いた方法等、既知の方法を用いることができるが、導電性の確保という観点からは半田接合法あるいは常温接合法を採用することが望ましい。例えば導電性基板であるシリコン半導体基板を支持基板として使用する場合、熱膨張係数の違いによる反りを抑制するために、400℃以下の低温で接合可能な方法を採用することが望ましい。支持基板としてGaN基板を使用する場合、接合温度が400℃以上であってもよい。

20

30

【0059】

本開示の発光素子等の製造においては、発光素子製造用基板を残したままとしてもよいし、第1化合物半導体層上に活性層、第2化合物半導体層、第2電極、第2光反射層を、順次、形成した後、発光素子製造用基板を除去してもよい。具体的には、第1化合物半導体層上に活性層、第2化合物半導体層、第2電極、第2光反射層を、順次、形成し、次いで、第2光反射層を支持基板に固定した後、発光素子製造用基板を除去して、第1化合物半導体層（第1化合物半導体層の第1面）を露出させればよい。発光素子製造用基板の除去は、水酸化ナトリウム水溶液や水酸化カリウム水溶液等のアルカリ水溶液、アンモニア溶液＋過酸化水素水、硫酸溶液＋過酸化水素水、塩酸溶液＋過酸化水素水、リン酸溶液＋過酸化水素水等を用いたウエットエッチング法や、ケミカル・メカニカル・ポリッシング法（CMP法）、機械研磨法、ドライエッチング法、レーザを用いたリフトオフ法等によって、あるいは、これらの組合せによって、発光素子製造用基板の除去を行うことができる。

40

【0060】

第1電極は、発光素子製造用基板が残されている場合、発光素子製造用基板の第2面と対向する第1面上に形成すればよいし、あるいは又、化合物半導体基板の第2面と対向する第1面上に形成すればよい。また、発光素子製造用基板が残されていない場合、積層構造体を構成する第1化合物半導体層の第1面上に形成すればよい。尚、この場合、第1化合物半導体層の第1面には第1光反射層が形成されるので、例えば、第1光反射層を取り囲むように第1電極を形成すればよい。第1電極は、例えば、金（Au）、銀（Ag）、パ

50

ラジウム (Pd)、白金 (Pt)、ニッケル (Ni)、Ti (チタン)、バナジウム (V)、タングステン (W)、クロム (Cr)、Al (アルミニウム)、Cu (銅)、Zn (亜鉛)、錫 (Sn) 及びインジウム (In) から成る群から選択された少なくとも 1 種類の金属 (合金を含む) を含む、単層構成又は多層構成を有することが望ましく、具体的には、例えば、Ti/Au、Ti/Al、Ti/Al/Au、Ti/Pt/Au、Ni/Au、Ni/Au/Pt、Ni/Pt、Pd/Pt、Ag/Pd を例示することができる。尚、多層構成における「/」の前の層ほど、より活性層側に位置する。以下の説明においても同様である。第 1 電極は、例えば、真空蒸着法やスパッタリング法等の PVD 法にて成膜することができる。

【0061】

第 1 光反射層を取り囲むように第 1 電極を形成する場合、第 1 光反射層と第 1 電極とは接している構成とすることができる。あるいは又、第 1 光反射層と第 1 電極とは離間しており、即ち、オフセットを有しており、離間距離は 1 mm 以内である構成とすることができる。第 1 光反射層内に位置する電流注入領域と第 1 電極とが平面的に離れると、電流は、第 1 化合物半導体層中を長い距離、流れることになる。それ故、この電流経路において生ずる電気抵抗を低く抑えるために、離間距離は 1 mm 以内であることが好ましい。場合によっては、第 1 光反射層の縁部の上にまで第 1 電極が形成されている状態、第 1 電極の縁部の上にまで第 1 光反射層が形成されている状態を挙げることができる。ここで、第 1 電極の縁部の上にまで第 1 光反射層が形成されている状態とする場合、第 1 電極は、レーザ発振の基本モード光を出来る限り吸収しないように、或る程度の大きさの開口を有する必要がある。開口の大きさは、基本モードの波長や横方向 (第 1 化合物半導体層の面内方向) の光閉じ込め構造によって変化するので、限定するものではないが、おおよそ発振波長 λ_0 の数倍あるいはそれ以上のオーダーであることが好ましい。

【0062】

第 2 電極は透明導電性材料から成る構成とすることができる。第 2 電極を構成する透明導電性材料として、インジウム系透明導電性材料 [具体的には、例えば、インジウム - 錫酸化物 (ITO, Indium Tin Oxide, Sn ドープの In_2O_3 、結晶性 ITO 及びアモルファス ITO を含む)、インジウム - 亜鉛酸化物 (IZO, Indium Zinc Oxide)、インジウム - ガリウム酸化物 (IGO)、インジウム・ドープのガリウム - 亜鉛酸化物 (IGZO, In-GaZnO₄)、IFO (F ドープの In_2O_3)、ITiO (Ti ドープの In_2O_3)、InSn、InSnZnO]、錫系透明導電性材料 [具体的には、例えば、酸化錫 (SnO_2)、ATO (Sb ドープの SnO_2)、FTO (F ドープの SnO_2)]、亜鉛系透明導電性材料 [具体的には、例えば、酸化亜鉛 (ZnO 、Al ドープの ZnO (AZO) や B ドープの ZnO を含む)、ガリウム・ドープの酸化亜鉛 (GZO)、AlMgZnO (酸化アルミニウム及び酸化マグネシウム・ドープの酸化亜鉛)]、NiO を例示することができる。あるいは又、第 2 電極として、ガリウム酸化物、チタン酸化物、ニオブ酸化物、アンチモン酸化物、ニッケル酸化物等を母層とする透明導電膜を挙げることができるし、スピネル型酸化物、 YbFe_2O_4 構造を有する酸化物といった透明導電性材料を挙げることができる。但し、第 2 電極を構成する材料として、第 2 光反射層と第 2 電極との配置状態に依存するが、透明導電性材料に限定するのではなく、パラジウム (Pd)、白金 (Pt)、ニッケル (Ni)、金 (Au)、コバルト (Co)、ロジウム (Rh) 等の金属を用いることもできる。第 2 電極は、これらの材料の少なくとも 1 種類から構成すればよい。第 2 電極は、例えば、真空蒸着法やスパッタリング法等の PVD 法にて成膜することができる。あるいは又、透明電極層として低抵抗な半導体層を用いることもでき、この場合、具体的には、n 型の GaN 系化合物半導体層を用いることもできる。更には、n 型 GaN 系化合物半導体層と隣接する層が p 型である場合、両者をトンネルジャンクションを介して接合することで、界面の電気抵抗を下げることもできる。第 2 電極を透明導電性材料から構成することで、電流を横方向 (第 2 化合物半導体層の面内方向) に広げることができ、効率良く、電流注入領域に電流を供給することができる。

【0063】

第1電極や第2電極上に、外部の電極あるいは回路と電氣的に接続するために、パッド電極を設けてもよい。パッド電極は、Ti（チタン）、Al（アルミニウム）、Pt（白金）、Au（金）、Ni（ニッケル）、Pd（パラジウム）から成る群から選択された少なくとも1種類の金属を含む、単層構成又は多層構成を有することが望ましい。あるいは又、パッド電極を、Ti/Pt/Auの多層構成、Ti/Auの多層構成、Ti/Pd/Auの多層構成、Ti/Pd/Auの多層構成、Ti/Ni/Auの多層構成、Ti/Ni/Au/Cr/Auの多層構成に例示される多層構成とすることもできる。第1電極をAg層あるいはAg/Pd層から構成する場合、第1電極の表面に、例えば、Ni/TiW/Pd/TiW/Niから成るカバーメタル層を形成し、カバーメタル層の上に、例えば、Ti/Ni/Auの多層構成あるいはTi/Ni/Au/Cr/Auの多層構成から成るパッド電極を形成することが好ましい。

10

【0064】

第1光反射層及び第2光反射層を構成する光反射層（分布ブラッグ反射鏡層、Distributed Bragg Reflector 層、DBR層）は、例えば、半導体多層膜や誘電体多層膜から構成される。誘電体材料としては、例えば、Si、Mg、Al、Hf、Nb、Zr、Sc、Ta、Ga、Zn、Y、B、Ti等の酸化物、窒化物（例えば、SiN_x、AlN_x、AlGa_xN_x、Ga_xN_x、BN_x等）、又は、フッ化物等を挙げることができる。具体的には、SiO_x、TiO_x、NbO_x、ZrO_x、TaO_x、ZnO_x、AlO_x、HfO_x、SiN_x、AlN_x等を例示することができる。そして、これらの誘電体材料の内、屈折率が異なる誘電体材料から成る2種類以上の誘電体膜を交互に積層することにより、光反射層を得ることができる。例えば、SiO_x/SiN_y、SiO_x/TaO_x、SiO_x/NbO_y、SiO_x/ZrO_y、SiO_x/AlN_y等の多層膜が好ましい。所望の光反射率を得るために、各誘電体膜を構成する材料、膜厚、積層数等を、適宜、選択すればよい。各誘電体膜の厚さは、用いる材料等により、適宜、調整することができ、発振波長（発光波長） λ_0 、用いる材料の発振波長 λ_0 での屈折率 n によって決定される。具体的には、 $\lambda_0/(4n)$ の奇数倍とすることが好ましい。例えば、発振波長 λ_0 が410nmの発光素子において、光反射層をSiO_x/NbO_yから構成する場合、40nm乃至70nm程度を例示することができる。積層数は、2以上、好ましくは5乃至20程度を例示することができる。光反射層全体の厚さとして、例えば、0.6 μ m乃至1.7 μ m程度を例示することができる。また、光反射層の光反射率は95%以上であることが望ましい。

20

30

【0065】

光反射層は、周知の方法に基づき形成することができ、具体的には、例えば、真空蒸着法、スパッタリング法、反応性スパッタリング法、ECRプラズマスパッタリング法、マグネトロンスパッタリング法、イオンビームアシスト蒸着法、イオンプレーティング法、レーザアブレーション法等のPVD法；各種CVD法；スプレー法、スピコート法、ディップ法等の塗布法；これらの方法の2種以上を組み合わせる方法；これらの方法と、全体又は部分的な前処理、不活性ガス（Ar、He、Xe等）又はプラズマの照射、酸素ガスやオゾンガス、プラズマの照射、酸化処理（熱処理）、露光処理のいずれか1種以上とを組み合わせる方法等を挙げることができる。

【0066】

電流注入領域と電流非注入領域との境界の形状、素子領域や電流狭窄領域に設けられた開口部の平面形状として、具体的には、円形、楕円形、矩形、多角形（三角形、四角形、六角形等）を挙げることができる。電流注入領域と電流非注入領域との境界の形状が円形の場合、直径5 μ m乃至100 μ m程度であることが好ましい。ここで、「素子領域」とは、狭窄された電流が注入される領域、あるいは又、屈折率差等により光が閉じ込められる領域、あるいは又、第1光反射層と第2光反射層で挟まれた領域の内、レーザ発振が生じる領域、あるいは又、第1光反射層と第2光反射層で挟まれた領域の内、実際にレーザ発振に寄与する領域を指す。

40

【0067】

積層構造体の側面や露出面を被覆層で被覆してもよい。被覆層の形成は、周知の方法に基

50

づき行うことができる。被覆層を構成する材料の屈折率は、積層構造体を構成する材料の屈折率よりも小さいことが好ましい。被覆層を構成する材料として、 SiO_2 を含む SiO_x 系材料、 SiN_x 系材料、 SiO_yN_z 系材料、 TaO_x 、 ZrO_x 、 AlN_x 、 AlO_x 、 GaO_x を例示することができるし、あるいは又、ポリイミド樹脂等の有機材料を挙げることができる。被覆層の形成方法として、例えば真空蒸着法やスパッタリング法といったPVD法、あるいは、CVD法を挙げることができるし、塗布法に基づき形成することもできる。

【実施例1】

【0068】

実施例1は、本開示の発光素子及び発光素子アレイに関し、具体的には、本開示の第1の状態に係る発光素子に関し、また、第3-A構成の発光素子に関する。実施例1あるいは後述する実施例2～実施例4、実施例6～実施例10の発光素子は、より具体的には、第1光反射層を介してレーザ光を出射する面発光レーザ素子（垂直共振器レーザ、VCSEL）から成る。また、後述する実施例5の発光素子は、より具体的には、第2光反射層を介してレーザ光を出射する面発光レーザ素子（垂直共振器レーザ、VCSEL）から成る。実施例1の発光素子の模式的な一部端面図を図1に示す。また、図1から光収束・発散変更手段を除いた実施例1の発光素子の模式的な一部端面図を図2に示す。

10

【0069】

実施例1の発光素子あるいは後述する実施例2～実施例10の発光素子は、
（A）第1面21a、及び、第1面21aと対向する第2面21bを有し、第1導電型（具体的には、n型）を有する第1化合物半導体層21、
第1化合物半導体層21の第2面21bと面する活性層（発光層）23、並びに、
活性層23と面する第1面22a、及び、第1面22aと対向する第2面22bを有し、
第2導電型（具体的には、p型）を有する第2化合物半導体層22、
が積層された積層構造体20（具体的には、 GaN 系化合物半導体）、
（B）第1化合物半導体層21の第1面21a側に配設された第1光反射層41、
（C）第2化合物半導体層22の第2面22b側に配設された第2光反射層42、並びに、
（D）光収束・発散変更手段50、
を備えている。第1光反射層41は凹面鏡部43の上に形成されている。第2光反射層42は平坦な形状を有する。そして、活性層23において生成した光が外部に出射されるとき、活性層23において生成した光が光収束・発散変更手段50に入射する前の光の収束・発散状態と、光収束・発散変更手段50を通過した後の光の収束・発散状態とは異なる。

20

30

【0070】

また、実施例1の発光素子アレイは、実施例1の発光素子が、複数、並置されて成る。そして、発光素子の出射する光の波長が異なっている。光の波長が異なる発光素子の構成、構造は、周知の構成、構造とすることができる。そして、複数の発光素子は、例えば、1枚の実装基板に実装されている。発光素子の出射する光の色として、青色、緑色、赤色を例示することができる。

【0071】

そして、活性層23において生成した光が光収束・発散変更手段50を通過したとき、実施例1の発光素子にあっては、光収束・発散変更手段50に入射する前よりも、より収束状態となる。ここで、実施例1の発光素子において、光収束・発散変更手段50は凸レンズから成るが、これに限定するものではない。そして、光収束・発散変更手段50を通過した光は、例えば、平行光とされる。光収束・発散変更手段50は、例えば、 SiO_2 といった透明絶縁材料層をエッチバック加工することで形成することができる。

40

【0072】

また、実施例1の発光素子にあっては、前述したとおり、第1光反射層41を介して光が出射され、光収束・発散変更手段50は、第1光反射層41の光出射側に配設されている。具体的には、光収束・発散変更手段50は、第1光反射層41の光出射面41aの上に形成されている。そして、光収束・発散変更手段50の光軸（Z軸）における曲率中心（

50

具体的には、凹面鏡部における半径 r_{DBR} の有効領域に対応する光収束・発散変更手段 50 の領域における曲率中心)は、第1光反射層 41 の光軸 (Z 軸) における曲率中心 (具体的には、凹面鏡部における半径 r_{DBR} の有効領域に対応する第1光反射層 41 の領域における曲率中心) よりも光収束・発散変更手段 50 に近い所に位置する (光出射面寄りに位置する)。

【0073】

更には、光軸 (Z 軸) 上において、光収束・発散変更手段 50 の光出射面 50A から第1光反射層 41 の光出射面 41a までの距離は、 $1 \times 10^{-6}\text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-3}\text{m}$ 、具体的には、 $10\text{ }\mu\text{m}$ である。また、第1光反射層 41 の平面形状を円形と想定したときの円形の直径は、 $1 \times 10^{-4}\text{m}$ 以下、具体的には、 $60\text{ }\mu\text{m}$ である。光軸 (Z 軸) に沿った光収束・発散変更手段 50 の厚さは、 $1 \times 10^{-6}\text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-3}\text{m}$ 、具体的には、 $10\text{ }\mu\text{m}$ である。活性層 23 から第1光反射層 41 までの距離は、 $1 \times 10^{-5}\text{m}$ 乃至 $5 \times 10^{-4}\text{m}$ 、具体的には、 $50\text{ }\mu\text{m}$ である。光軸 (Z 軸) に沿った第1光反射層 41 から第2光反射層までの距離は $1 \times 10^{-5}\text{m}$ 以上、即ち、共振器長 L_{OR} は、 $1 \times 10^{-5}\text{m}$ L_{OR} 、具体的には、 $L_{\text{OR}} = 50\text{ }\mu\text{m}$ である。尚、第1化合物半導体層 21 の第1面 21a から或る深さまでの第1光反射層 41 の領域、積層構造体 20 (第1化合物半導体層 21、活性層 23 及び第2化合物半導体層 22)、並びに、第2化合物半導体層 22 の第2面 22b から或る深さまでの第2光反射層 42 の領域によって、共振器が構成される。

【0074】

そして、第2化合物半導体層 22 には、電流注入領域 61A、及び、電流注入領域 61A を取り囲む電流非注入領域 (電流狭窄領域) 61B が設けられている。凹面鏡部 43 の形状は、凹面鏡部 43 の中心部からビームウェスト半径 ω_0 の範囲 (領域) 内において、あるいは又、例えば、ビームウェスト半径 ω_0 の 1.2 倍の範囲 (領域)、あるいは又、ビームウェスト半径 ω_0 の 2 倍の範囲 (領域) といった、所望の領域内において、決定係数 0.8 以上、好ましくは 0.9 以上、より好ましくは 0.99 以上である球形状又は放物線形状である。具体的には、実施例 1 の発光素子において、積層構造体 20 の積層方向を含む仮想平面で凹面鏡部 43 を切断したときの凹面鏡部 43 の一部 (凹面鏡部 43 における有効領域 44 であり、上記の所望の領域である) の積層構造体 20 に面する界面 43a が描く図形は、円の一部又は放物線の一部である。尚、有効領域 44 の外側に位置する凹面鏡部 43 の部分の形状 (断面形状の図形) は、円の一部や放物線の一部でなくともよい。

【0075】

また、第1化合物半導体層 21 の第1面 21a と第1光反射層 41 との間には、GaN 基板から成る化合物半導体基板 11 が配されている。第1化合物半導体層 21 と面する化合物半導体基板 (発光素子製造用基板) 11 の面を『第2面 11b』と呼び、第2面 11b と対向する面を『第1面 11a』と呼ぶ。即ち、積層構造体 20 は、導電性を有する化合物半導体基板 11 の第2面 11b の上に形成されている。そして、第1光反射層 41 は、化合物半導体基板 11 の第1面 11a の突出部 11a' から成る凹面鏡部 43 の少なくとも一部の表面 (具体的には、凹面鏡部 43 の表面) に形成された多層光反射膜 45 から構成されている。更には、凹面鏡部 43 (具体的には、凹面鏡部 43 における半径 r_{DBR} の有効領域 44) の曲率半径を R_{DBR} としたとき、

$$R_{\text{DBR}} = 1 \times 10^{-3}\text{m}$$

を満足する。具体的には、限定するものではないが、

$$L_{\text{OR}} = 50\text{ }\mu\text{m}$$

$$R_{\text{DBR}} = 70\text{ }\mu\text{m}$$

$$r_{\text{DBR}} = 15\text{ }\mu\text{m}$$

を例示することができる。また、発光素子から主に出射される所望の光の波長 (発振波長) λ_0 の一例として、

$$\lambda_0 = 450\text{ nm}$$

を例示することができるし、あるいは又、発光素子アレイを構成するために、青色を発光する発光素子以外に、緑色及び赤色を発光する発光素子の (発振波長) λ_0 の一例として、

10

20

30

40

50

$$\lambda_0 = 515 \text{ nm}$$

$$\lambda_0 = 635 \text{ nm}$$

を例示することができる。

【0076】

ここで、活性層23から凹面鏡部43と多層光反射膜45との界面までの距離を T_0 とすると、理想的な放物線の関数 $x = f(z)$ は、

$$x = z^2 / t_0$$

$$h_{\text{DBR}} = r_{\text{DBR}}^2 / 2 T_0$$

で表すことができるが、界面43aが描く図形を放物線の一部としたとき、このような理想的な放物線から逸脱した放物線であってもよいことは言うまでもない。但し、前述したとおり、所望の領域内においては、決定係数0.8以上ある球形状又は放物線形状である。

【0077】

また、積層構造体20の熱伝導率の値は、第1光反射層41の熱伝導率の値よりも高い。第1光反射層41を構成する誘電体材料の熱伝導率の値は、10ワット/(m・K)程度あるいはそれ以下である。一方、積層構造体20を構成するGa_{0.96}N_{0.04}系化合物半導体の熱伝導率の値は、50ワット/(m・K)程度乃至100ワット/(m・K)程度である。

【0078】

第1化合物半導体層21はn-GaN層から成り、活性層23はIn_{0.04}Ga_{0.96}N層(障壁層)とIn_{0.16}Ga_{0.84}N層(井戸層)とが積層された5重の多重量子井戸構造から成り、第2化合物半導体層22はp-GaN層から成る。第1電極31は、化合物半導体基板11の第1面11aの上に形成されている。一方、第2電極32は、第2化合物半導体層22の上に形成されており、第2光反射層42は第2電極32上に形成されている。第2電極32の上の第2光反射層42は平坦な形状を有する。第1電極31はTi/Pt/Auから成り、第2電極32は、透明導電性材料、具体的には、ITOから成る。第1電極31の縁部の上には、外部の電極あるいは回路と電氣的に接続するための、例えばTi/Pt/Au又はV/Pt/Auから成るパッド電極(図示せず)が形成あるいは接続されている。第2電極32の縁部の上には、外部の電極あるいは回路と電氣的に接続するための、例えば、Pd/Ti/Pt/AuやTi/Pd/Au、Ti/Ni/Auから成るパッド電極33が形成あるいは接続されている。第1光反射層41及び第2光反射層42は、Ta₂O₅層とSiO₂層の積層構造(誘電体膜の積層総数:20層)から成る。第1光反射層41及び第2光反射層42はこのように多層構造を有するが、図面の簡素化のため、1層で表している。第1電極31、第1光反射層41、第2光反射層42、絶縁膜(電流狭窄領域)34に設けられた開口部34Aのそれぞれの平面形状は円形である。

【0079】

以下、積層構造体等の模式的な一部端面図である図3A、図3B、図4、図5、図6、図7及び図8を参照して、実施例1の発光素子の製造方法を説明する。

【0080】

[工程-100]

まず、厚さ0.4mm程度の化合物半導体基板11の第2面11b上に、

第1面21a、及び、第1面21aと対向する第2面21bを有する第1化合物半導体層21、

第1化合物半導体層21の第2面21bと面する活性層(発光層)23、並びに、

活性層23と面する第1面22a、及び、第1面22aと対向する第2面22bを有する第2化合物半導体層22、

が積層された、Ga_{0.96}N_{0.04}系化合物半導体から成る積層構造体20を形成する。具体的には、周知のMOCVD法によるエピタキシャル成長法に基づき、第1化合物半導体層21、活性層23及び第2化合物半導体層22を、化合物半導体基板11の第2面11b上に、順次、形成することで、積層構造体20を得ることができる(図3A参照)。

【0081】

[工程-110]

10

20

30

40

50

次いで、第2化合物半導体層22の第2面22b上に、CVD法やスパッタリング法、真空蒸着法といった成膜法とウエットエッチング法やドライエッチング法との組合せに基づき、開口部34Aを有し、SiO₂から成る絶縁膜（電流狭窄層）34を形成する（図3B参照）。開口部34Aを有する絶縁膜34によって、電流狭窄領域（電流注入領域61A及び電流非注入領域61B）が規定される。即ち、開口部34Aによって電流注入領域61Aが規定される。

【0082】

電流狭窄領域を得るためには、第2電極32と第2化合物半導体層22との間に絶縁材料（例えば、SiO_xやSiN_x、AlO_x、ZrO_x、HfO_x）から成る絶縁膜（電流狭窄層）を形成してもよいし、あるいは又、第2化合物半導体層22をRIE法等によりエッチングしてメサ構造を形成してもよいし、あるいは又、積層された第2化合物半導体層22の一部の層を横方向から部分的に酸化して電流狭窄領域を形成してもよいし、第2化合物半導体層22に不純物をイオン注入して導電性が低下した領域を形成してもよいし、あるいは、これらを、適宜、組み合わせてもよい。但し、第2電極32は、電流狭窄により電流が流れる第2化合物半導体層22の部分と電氣的に接続されている必要がある。

【0083】

[工程-120]

その後、第2化合物半導体層22上に第2電極32及び第2光反射層42を形成する。具体的には、開口部34A（電流注入領域61A）の底面に露出した第2化合物半導体層22の第2面22bから絶縁膜34の上に互り、例えば、リフトオフ法に基づき第2電極32を形成し、更に、スパッタリング法や真空蒸着法といった成膜法とウエットエッチング法やドライエッチング法といったパターニング法との組合せに基づきパッド電極33を形成する。次いで、第2電極32の上からパッド電極33の上に互り、スパッタリング法や真空蒸着法といった成膜法とウエットエッチング法やドライエッチング法といったパターニング法との組合せに基づき第2光反射層42を形成する。第2電極32の上の第2光反射層42は平坦な形状を有する。こうして、図4に示す構造を得ることができる。

【0084】

[工程-130]

次いで、第2光反射層42を、接合層48を介して支持基板49に固定する（図5参照）。具体的には、第2光反射層42を、接着剤から成る接合層48を用いて、サファイア基板から構成された支持基板49に固定する。

【0085】

[工程-140]

次いで、化合物半導体基板11を、機械研磨法やCMP法に基づき薄くし、更に、化合物半導体基板11の第1面11aに鏡面仕上げを施す（図6参照）。化合物半導体基板11の第1面11aの表面粗さRaの値は10nm以下であることが好ましい。表面粗さRaは、JIS B-610:2001に規定されており、具体的には、AFMや断面TEMに基づく観察に基づき測定することができる。そして、化合物半導体基板11の露出面（第1面11a）に突出部11a'から成る凹面鏡部43を形成する。具体的には、凹面鏡部43を形成すべき化合物半導体基板11の第1面11a上にパターニングされたレジスト層を形成し、レジスト層を加熱することでレジスト層をリフローさせて、レジストパターンを得る。レジストパターンには突出部11a'の形状と同じ形状（あるいは類似した形状）が付与される。そして、レジストパターン及び化合物半導体基板11の第1面11aを、RIE法等を用いてエッチバックすることによって、化合物半導体基板11の露出面（第1面11a）に突出部11a'から成る凹面鏡部43を形成することができる（図7参照）。

【0086】

[工程-150]

その後、少なくとも凹面鏡部43の一部の上に多層光反射膜45を形成する。具体的には、化合物半導体基板11の露出面（第1面11a）から凹面鏡部43の上に互り、スパッ

10

20

30

40

50

タリング法や真空蒸着法といった周知の方法に基づき多層光反射膜 4 5 を形成する。そして、ウエットエッチング法やドライエッチング法といったパターニング法に基づき多層光反射膜 4 5 の不要な部分を除去して第 1 光反射層 4 1 を得た後（図 8 参照）、化合物半導体基板 1 1 の第 1 面 1 1 a 上に、スパッタリング法や真空蒸着法といった成膜法とウエットエッチング法やドライエッチング法といったパターニング法との組合せに基づき第 1 電極 3 1 を形成することで、第 1 化合物半導体層 2 1 に電氣的に接続された第 1 電極 3 1 を得ることができる。

【 0 0 8 7 】

[工程 - 1 6 0]

次いで、光収束・発散変更手段 5 0 を形成するために、第 1 光反射層 4 1、第 1 電極 3 1 を含む化合物半導体基板 1 1 の露出面（第 1 面 1 1 a）上に SiO_2 から成る透明絶縁材料層を、例えば、CVD 法に基づき形成する。そして、透明絶縁材料層の上に凸レンズの断面形状と同じ断面形状を有するレジスト材料層を形成し、レジスト材料層及び透明絶縁材料層をエッチバックすることによって、第 1 光反射層 4 1 の光出射面 4 1 a の上に形成され、凸レンズから構成された光収束・発散変更手段 5 0 を得ることができる。

【 0 0 8 8 】

[工程 - 1 7 0]

そして、支持基板 4 9 及び接合層 4 8 を除去する。こうして、図 1 に示す構造を得ることができる。その後、所謂素子分離を行うことで発光素子を分離し、積層構造体の側面や露出面を、例えば、 SiO_2 から成る絶縁層で被覆する。次いで、パッケージや封止することで、実施例 1 の発光素子を完成させる。

【 0 0 8 9 】

尚、[工程 - 1 4 0] において、化合物半導体基板 1 1 を薄くし、更に、鏡面仕上げを施した後、支持基板 4 9 及び接合層 4 8 を除去してもよい。また、支持基板 4 9 及び接合層 4 8 を残しておいてもよい。

【 0 0 9 0 】

実施例 1 の発光素子において、第 1 光反射層は凹面鏡部を有している。従って、共振器長 L_{OR} が $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 以上であっても、回折損失が増加することを回避することができる結果、確実にレーザ発振を行うことができるし、共振器長 L_{OR} が $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 以上とすることができるが故に、熱飽和の問題を緩和することもできる。また、共振器長 L_{OR} が $1 \times 10^{-5} \text{m}$ 以上とすることができるが故に、発光素子の製造プロセスの許容度が高くなる結果、歩留りの向上を図ることができる。

【 0 0 9 1 】

しかも、実施例 1 の発光素子あるいは発光素子アレイにあつては、光収束・発散変更手段を備えているので、活性層において生成した光が外部に出射されるときの出射状態を、正確に、所望の状態に制御することができる。

【 0 0 9 2 】

また、後述する実施例 4 を除き、発光素子の製造プロセスにあつては、GaN 基板を用いるが、ELO 法等の横方向にエピタキシャル成長させる方法に基づき GaN 系化合物半導体を形成してはいない。従って、GaN 基板として、極性 GaN 基板だけでなく、反極性 GaN 基板や無極性 GaN 基板を用いることができる。極性 GaN 基板を使用すると、活性層におけるピエゾ電界の効果のために発光効率が低下する傾向があるが、無極性 GaN 基板や反極性 GaN 基板を用いれば、このような問題を解決したり、緩和することが可能である。

【 実施例 2 】

【 0 0 9 3 】

実施例 2 は、実施例 1 の変形であり、第 3 - B 構成の発光素子に関する。模式的な一部端面図を図 9 に示す実施例 2 の発光素子において、凹面鏡部 4 3 は、化合物半導体基板 1 1 の上（具体的には、化合物半導体基板 1 1 の第 1 面 1 1 a の上）に形成された突出部 4 3 ' から構成されており、第 1 光反射層 4 1 は、凹面鏡部 4 3（突出部 4 3 '）上に形成された

10

20

30

40

50

多層光反射膜 45 から構成されている。突出部 43' (突出部 43') を構成する材料として、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 SiO_2 等の透明な誘電体材料、シリコン系樹脂、エポキシ系樹脂等を挙げることができる。

【0094】

実施例 2 の発光素子は、実施例 1 の [工程 - 140] と同様の工程において、化合物半導体基板 11 を薄くし、鏡面仕上げを施した後、化合物半導体基板 11 の露出面 (第 1 面 11a) の上に突出部 43' から成る凹面鏡部 43 を形成する。具体的には、化合物半導体基板 11 の露出面 (第 1 面 11a) の上に、例えば、 TiO_2 層又は Ta_2O_5 層を形成し、次いで、凹面鏡部 43 を形成すべき TiO_2 層又は Ta_2O_5 層の上にパターンニングされたレジスト層を形成し、レジスト層を加熱することでレジスト層をリフローさせて、レジストパターンを得る。レジストパターンには突出部 43' の形状と同じ形状 (あるいは類似した形状) が付与される。そして、レジストパターン及び TiO_2 層又は Ta_2O_5 層をエッチバックすることによって、化合物半導体基板 11 の露出面 (第 1 面 11a) の上に突出部 43' から成る凹面鏡部 43 を形成することができる。次いで、化合物半導体基板 11 の露出面 (第 1 面 11a) から凹面鏡部 43 の上に互り、周知の方法に基づき多層光反射膜 45 を形成する。その後、多層光反射膜 45 の不要な部分を除去して第 1 光反射層 41 を得た後、化合物半導体基板 11 の第 1 面 11a 上に第 1 電極 31 を形成することで、第 1 化合物半導体層 21 に電氣的に接続された第 1 電極 31 を得ることができる。

10

【0095】

以上の点を除き、実施例 2 の発光素子の構成、構造は、実施例 1 の発光素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。尚、支持基板 49 や接合層 48 を除去せず、残しておいてもよい。

20

【実施例 3】

【0096】

実施例 3 も、実施例 1 ~ 実施例 2 の変形であり、第 4 構成の発光素子に関する。模式的な一部端面図を図 10 に示す実施例 3 の発光素子において、第 1 化合物半導体層 21 の第 1 面 21a には第 1 光反射層 41 が形成されている。実施例 3 の発光素子の製造においては、実施例 1 の [工程 - 140] と同様の工程において、発光素子製造用基板 11 を除去し、第 1 化合物半導体層 21 の第 1 面 21a を露出させる。そして、実施例 1 と同様に、凹面鏡部 43 を形成すべき第 1 化合物半導体層 21 の第 1 面 21a 上にパターンニングされたレジスト層を形成し、レジスト層を加熱することでレジスト層をリフローさせて、レジストパターンを得る。レジストパターンには突出部 21c の形状と同じ形状 (あるいは類似した形状) が付与される。そして、レジストパターン及び第 1 化合物半導体層 21 の第 1 面 21a をエッチバックすることによって、第 1 化合物半導体層 21 の第 1 面 21a に突出部 21c から成る凹面鏡部 43 を形成することができる。あるいは又、模式的な一部端面図を図 11 に示す実施例 3 の発光素子の変形例において、第 1 化合物半導体層 21 の第 1 面 21a の上に、例えば、 TiO_2 層又は Ta_2O_5 層を形成し、次いで、凹面鏡部 43 を形成すべき TiO_2 層又は Ta_2O_5 層の上にパターンニングされたレジスト層を形成し、レジスト層を加熱することでレジスト層をリフローさせて、レジストパターンを得る。レジストパターンには突出部 21d の形状と同じ形状 (あるいは類似した形状) が付与される。そして、レジストパターン及び TiO_2 層又は Ta_2O_5 層をエッチバックすることによって、第 1 化合物半導体層 21 の第 1 面 21a の上に突出部 21d から成る凹面鏡部 43 を形成することができる。

30

40

【0097】

以上の点を除き、実施例 3 の発光素子及びその変形例の構成、構造は、実施例 1 あるいは実施例 2 の発光素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。尚、支持基板 49 や接合層 48 を除去せず、残しておいてもよい。

【実施例 4】

【0098】

実施例 4 は、実施例 3 の変形である。実施例 4 の発光素子の模式的な一部端面図は、実質

50

的に、図 1 1 と同様であるし、実施例 4 の発光素子の構成、構造は、実質的に、実施例 3 の発光素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。

【 0 0 9 9 】

実施例 4 にあっては、まず、発光素子製造用基板 1 1 の第 2 面 1 1 b に、凹面鏡部 4 3 を形成するための凹部 4 3 A を形成する。そして、発光素子製造用基板 1 1 の第 2 面 1 1 b の上に、多層膜から成る第 1 光反射層 4 1 を形成した後、第 1 光反射層 4 1 上に平坦化膜 4 6 を形成し、平坦化膜 4 6 及び第 1 光反射層 4 1 に平坦化処理を施し、平坦化膜 4 6 及び第 1 光反射層 4 1 を残しつつ、発光素子製造用基板 1 1 の第 2 面 1 1 b の一部を露出させる（図 1 2 A 参照）。第 1 光反射層 4 1 の平面形状は円形である。但し、第 1 光反射層 4 1 の形状はこれに限定するものではない。

10

【 0 1 0 0 】

次に、第 1 光反射層 4 1 を含む発光素子製造用基板 1 1 上に、E L O 法等の横方向にエピタキシャル成長させる方法を用いて、横方向成長に基づき積層構造体 2 0 を形成する（図 1 2 B 参照）。その後、実施例 1 の [工程 - 1 1 0] 及び [工程 - 1 2 0] を実行する。そして、発光素子製造用基板 1 1 を除去し、露出した第 1 化合物半導体層 2 1 の第 1 面 2 1 a に第 1 電極 3 1 を形成する。あるいは又、発光素子製造用基板 1 1 を除去すること無く、発光素子製造用基板 1 1 の第 1 面 1 1 a に第 1 電極 3 1 を形成する。

【 実施例 5 】

【 0 1 0 1 】

実施例 5 は、本開示の第 2 の態様に係る発光素子に関する。実施例 5 の発光素子の模式的な一部端面図を図 1 3 に示す。実施例 5 の発光素子にあっては、第 2 光反射層 4 2 を介して光が出射され、光収束・発散変更手段 5 0 は、第 2 光反射層 4 2 の光出射側に配設されている。具体的には、光収束・発散変更手段 5 0 は、第 2 光反射層 4 2 の光出射面 4 2 a の上に形成されている。そして、光収束・発散変更手段 5 0 の光軸（Z 軸）における曲率中心（具体的には、凹面鏡部における半径 r_{DBR} の有効領域に対応する光収束・発散変更手段 5 0 の領域における曲率中心）は、第 1 光反射層 4 1 の光軸（Z 軸）における曲率中心（具体的には、凹面鏡部における半径 r_{DBR} の有効領域に対応する第 1 光反射層 4 1 の領域における曲率中心）よりも光収束・発散変更手段 5 0 に近い所に位置する（光出射面寄りに位置する）。

20

【 0 1 0 2 】

実施例 5 の発光素子の製造にあっては、実施例 1 の [工程 - 1 0 0] ~ [工程 - 1 2 0] と同様の工程を実行した後、次いで、光収束・発散変更手段 5 0 を形成するために、第 2 光反射層 4 2 を含む第 2 化合物半導体層 2 2 上に SiO_2 から成る透明絶縁材料層を、例えば、C V D 法に基づき形成する。そして、透明絶縁材料層の上に凸レンズの断面形状と同じ断面形状を有するレジスト材料層を形成し、レジスト材料層及び透明絶縁材料層をエッチバックすることによって、第 2 光反射層 4 2 の光出射面 4 2 a の上に形成され、凸レンズから構成された光収束・発散変更手段 5 0 を得ることができる。

30

【 0 1 0 3 】

その後、実施例 1 の [工程 - 1 3 0] ~ [工程 - 1 5 0]、[工程 - 1 7 0] を実行する。こうして、図 1 3 に示す構造を得ることができる。その後、所謂素子分離を行うことで発光素子を分離し、積層構造体の側面や露出面を、例えば、 SiO_2 から成る絶縁層で被覆する。次いで、パッケージや封止することで、実施例 5 の発光素子を完成させる。尚、[工程 - 1 5 0] の後、第 1 光反射層 4 1、第 1 電極 3 1 を含む化合物半導体基板 1 1 の露出面（第 1 面 1 1 a）を、接合層を介して支持基板に固定してもよい。

40

【 実施例 6 】

【 0 1 0 4 】

実施例 6 は、実施例 1 ~ 実施例 5 の変形である。実施例 6 の発光素子において、第 1 光反射層 4 1 には、光透過部 4 1 A、及び、光透過部 4 1 A を取り囲む遮光部 4 1 B が設けられている。実施例 6 の発光素子にあっては、電流注入領域 6 1 A の外縁の形状と光透過部 4 1 A の外縁の形状とは相似であることが好ましいし、凹面鏡部 4 3 の外縁の形状と光透

50

過部 4 1 A の外縁の形状とは相似であることが好ましい。遮光部 4 1 B は、例えば、Ti / Pt / Au の積層体から構成されている。尚、以下に説明する実施例 6 の発光素子に関する図面においては、図面の簡素化のため、光収束・発散変更手段 5 0 の図示を省略している。

【0105】

実施例 6 の発光素子において、第 1 光反射層には光透過部が設けられているが、遮光部の具体的な位置として、前述した種々に位置を挙げることができる。また、実施例 6 の発光素子の製造方法にあつては、凹面鏡部の一部の上に、又は、凹面鏡部の一部の上からその外側領域に互り、遮光部を形成する工程を更に備えている。

【0106】

図 1 に示した実施例 1 の発光素子に対して、実施例 6 における遮光部を適用した例を、図 1 4、図 1 5、図 1 6、図 1 7、図 1 8、図 1 9 に示す。また、図 9 に示した実施例 2 の発光素子に対して、実施例 6 における遮光部を適用した例を図 2 0 に示し、図 1 0 に示した実施例 3 の発光素子に対して、実施例 6 における遮光部を適用した例を図 2 1 に示し、図 1 1 に示した実施例 3 の発光素子の変形に対して、実施例 6 における遮光部を適用した例を図 2 2 に示す。

【0107】

図 1 4 に示す例では、遮光部 4 1 B は、化合物半導体基板 1 1 の第 1 面 1 1 a 及び凹面鏡部 4 3 の一部の上に形成されている。図 1 5 に示す例では、遮光部 4 1 B は、凹面鏡部 4 3 の一部の上に形成されている。図 1 6 に示す例では、遮光部 4 1 B は、化合物半導体基板 1 1 の第 1 面 1 1 a の一部の上に形成されている。図 1 7 に示す例では、遮光部 4 1 B は、化合物半導体基板 1 1 の第 1 面 1 1 a 及び第 1 光反射層 4 1 の一部の上に形成されている。図 1 8 に示す例では、遮光部 4 1 B は、第 1 光反射層 4 1 の一部の上に形成されている。図 1 9 に示す例では、遮光部 4 1 B は、化合物半導体基板 1 1 の第 1 面 1 1 a の一部の上に形成されている。尚、図 1 5 ~ 図 1 9 に示した遮光部を他の実施例に、適宜、適用することもできる。図 2 0 に示す例では、遮光部 4 1 B は、第 1 化合物半導体層 2 1 の第 1 面 2 1 a 及び凹面鏡部 4 3 の一部の上に形成されている。図 2 1 及び図 2 2 に示す例では、遮光部 4 1 B は、凹面鏡部 4 3 の一部の上に形成されている。

【実施例 7】

【0108】

実施例 7 は、実施例 1 ~ 実施例 6 の変形であり、第 1 構成の発光素子に関する。前述したとおり、開口部 3 4 A を有する絶縁膜 3 4 によって、電流注入領域 6 1 A 及び電流非注入領域 6 1 B (電流狭窄領域) が規定される。即ち、開口部 3 4 A によって電流注入領域 6 1 A が規定される。即ち、実施例 7 の発光素子にあつては、第 2 化合物半導体層 2 2 には、電流注入領域 6 1 A、及び、電流注入領域 6 1 A を取り囲む電流非注入領域 6 1 B が設けられており、電流注入領域 6 1 A の面積重心点から、電流注入領域 6 1 A と電流非注入領域 6 1 B の境界 6 1 C までの最短距離 D_{CI} は、前述した式 (A) 及び式 (B) を満足する。

【0109】

実施例 7 の発光素子にあつては、第 1 光反射層 4 1 の凹面鏡部 4 3 における有効領域の半径 r_{DBR} は、

$$\omega_0 \cdot r_{DBR} \geq 2.0 \cdot \omega_0$$

を満足する。また、 $D_{CI} \geq \omega_0$ を満足する。更には、 $R_{DBR} \geq 1 \times 10^{-3} \text{ m}$ を満足する。

具体的には、

$$D_{CI} = 4 \mu\text{m}$$

$$\omega_0 = 1.5 \mu\text{m}$$

$$L_{OR} = 50 \mu\text{m}$$

$$R_{DBR} = 60 \mu\text{m}$$

$$\lambda_0 = 525 \text{ nm}$$

を例示することができる。また、開口部 3 4 A の直径として $8 \mu\text{m}$ を例示することができる。

る。GaN基板として、c面をm軸方向に約75度傾けた面を主面とする基板を用いる。即ち、GaN基板は、主面として、半極性面である{20-21}面を有する。尚、このようなGaN基板を、他の実施例において用いることもできる。

【0110】

凹面鏡部43の中心軸(Z軸)と、XY平面方向における電流注入領域61Aとの間のズレは、発光素子の特性を悪化させる原因となる。凹面鏡部43の形成のためのパターンニング、開口部34Aの形成のためのパターンニングのいずれも、リソグラフィ技術を用いることが多いが、この場合、両者の位置関係は、露光機の性能に応じてXY平面内で屢々ずれる。特に、開口部34A(電流注入領域61A)は、第2化合物半導体層22の側からアライメントを行って位置決めされる。一方、凹面鏡部43は、化合物半導体基板11の側からアライメントを行って位置決めされる。そこで、実施例7の発光素子では、開口部34A(電流注入領域61)を、凹面鏡部43によって光が絞られる領域よりも大きく形成することで、凹面鏡部43の中心軸(Z軸)と、XY平面方向における電流注入領域61Aとの間にズレが生じて、発振特性に影響が出ない構造を実現している。

10

【0111】

即ち、第1光反射層によって反射される光が集光される領域が、電流注入によって活性層が利得を持つ領域に対応する電流注入領域に含まれない場合、キャリアから光の誘導放出が阻害され、ひいては、レーザ発振が阻害される虞がある。然るに、上式(A)及び(B)を満足することで、第1光反射層によって反射される光が集光される領域が電流注入領域に含まれることを保証することができ、レーザ発振を確実に達成することができる。

20

【実施例8】

【0112】

実施例8は、実施例1～実施例7の変形であり、第2構成の発光素子に関する。

【0113】

ところで、2つのDBR層及びその間に形成された積層構造体によって構成された積層構造体における共振器長 L_{OR} は、積層構造体全体の等価屈折率を n_{eq} 、面発光レーザ素子(発光素子)から出射すべきレーザ光の波長を λ_0 としたとき、

$$L = (m \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq})$$

で表される。ここで、mは、正の整数である。そして、面発光レーザ素子(発光素子)において、発振可能な波長は共振器長 L_{OR} によって決まる。発振可能な個々の発振モードは縦モードと呼ばれる。そして、縦モードの内、活性層によって決まるゲインスペクトルと合致するものが、レーザ発振し得る。縦モードの間隔 $\Delta\lambda$ は、実効屈折率を n_{eff} としたとき、

30

$$\lambda_0^2 / (2 n_{eff} \cdot L)$$

で表される。即ち、共振器長 L_{OR} が長いほど、縦モードの間隔 $\Delta\lambda$ は狭くなる。よって、共振器長 L_{OR} が長い場合、複数の縦モードがゲインスペクトル内に存在し得るため、複数の縦モードが発振し得る。尚、等価屈折率 n_{eq} と実効屈折率 n_{eff} との間には、発振波長を λ_0 としたとき、以下の関係がある。

【0114】

$$n_{eff} = n_{eq} - \lambda_0 \cdot (dn_{eq} / d\lambda_0)$$

40

【0115】

ここで、積層構造体をGaAs系化合物半導体層から構成する場合、共振器長 L_{OR} は、通常、1 μm 以下と短く、面発光レーザ素子から出射される縦モードのレーザ光は、1種類(1波長)である(図30Aの概念図を参照)。従って、面発光レーザ素子から出射される縦モードのレーザ光の発振波長を正確に制御することが可能である。一方、積層構造体をGaN系化合物半導体層から構成する場合、共振器長 L_{OR} は、通常、面発光レーザ素子から出射されるレーザ光の波長の数倍と長い。従って、面発光レーザ素子から出射され得る縦モードのレーザ光が複数種類となってしまう(図30Bの概念図を参照)、面発光レーザ素子から出射され得るレーザ光の発振波長を正確に制御することが困難となる。

【0116】

50

模式的な一部断面図を図 23 あるいは図 24 (実施例 1 の発光素子の変形例) に示すように、実施例 8 の発光素子、あるいは又、後述する実施例 9 ~ 実施例 10 の発光素子において、第 2 電極 32 を含む積層構造体 20 には、活性層 23 が占める仮想平面と平行に、少なくとも 2 層の光吸収材料層 71 が、好ましくは、少なくとも 4 層の光吸収材料層 71 が、具体的には、実施例 8 にあっては 20 層の光吸収材料層 71 が、形成されている。尚、図面を簡素化するため、図面では 2 層の光吸収材料層 71 のみを示した。

【0117】

実施例 8 において、発振波長 (発光素子から出射される所望の発振波長) λ_0 は 450 nm である。20 層の光吸収材料層 71 は、積層構造体 20 を構成する化合物半導体よりもバンドギャップの狭い化合物半導体材料、具体的には、 $n\text{-In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ から成り、第 1 化合物半導体層 21 の内部に形成されている。光吸収材料層 71 の厚さは $\lambda_0 / (4 \cdot n_{eq})$ 以下、具体的には、3 nm である。また、光吸収材料層 71 の光吸収係数は、 $n\text{-Ga}\text{N}$ 層から成る第 1 化合物半導体層 21 の光吸収係数の 2 倍以上、具体的には、 1×10^3 倍である。

【0118】

また、積層構造体の内部において形成される光の定在波に生じる最低振幅部分に光吸収材料層 71 が位置するし、積層構造体の内部において形成される光の定在波に生じる最大振幅部分に活性層 23 が位置する。活性層 23 の厚さ方向中心と、活性層 23 に隣接した光吸収材料層 71 の厚さ方向中心との間の距離は、46.5 nm である。更には、2 層の光吸収材料層 71、及び、光吸収材料層 71 と光吸収材料層 71 との間に位置する積層構造体の部分 (具体的には、実施例 8 にあっては、第 1 化合物半導体層 21) の全体の等価屈折率を n_{eq} 、光吸収材料層 71 と光吸収材料層 71 との間の距離を L_{Abs} としたとき、 $0.9 \times \{ (m \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \} \leq L_{Abs} \leq 1.1 \times \{ (m \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \}$

を満足する。ここで、 m は、1、又は、1 を含む 2 以上の任意の整数である。但し、実施例 8 においては、 $m = 1$ とした。従って、隣接する光吸収材料層 71 の間の距離は、全ての複数の光吸収材料層 71 (20 層の光吸収材料層 71) において、

$$0.9 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{eq}) \} \leq L_{Abs} \leq 1.1 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{eq}) \}$$

を満足する。等価屈折率 n_{eq} の値は、具体的には、2.42 であり、 $m = 1$ としたとき、具体的には、

$$\begin{aligned} L_{Abs} &= 1 \times 450 / (2 \times 2.42) \\ &= 93.0 \text{ nm} \end{aligned}$$

である。尚、20 層の光吸収材料層 71 の内、一部の光吸収材料層 71 にあっては、 m を、2 以上の任意の整数とすることもできる。

【0119】

実施例 8 の発光素子の製造にあっては、実施例 1 の [工程 - 100] と同様の工程において、積層構造体 20 を形成するが、このとき、第 1 化合物半導体層 21 の内部に 20 層の光吸収材料層 71 を併せて形成する。この点を除き、実施例 8 の発光素子は、実施例 1 の発光素子と同様の方法に基づき製造することができる。

【0120】

活性層 23 によって決まるゲインスペクトル内に複数の縦モードが発生する場合、これを模式的に表すと図 25 のようになる。尚、図 25 においては、縦モード A と縦モード B の 2 つの縦モードを図示する。そして、この場合、光吸収材料層 71 が、縦モード A の最低振幅部分に位置し、且つ、縦モード B の最低振幅部分には位置しないとする。とすると、縦モード A のモードロス是最小化されるが、縦モード B のモードロスは大きい。図 25 において、縦モード B のモードロス分を模式的に実線で示す。従って、縦モード A の方が、縦モード B よりも発振し易くなる。それ故、このような構造を用いることで、即ち、光吸収材料層 71 の位置や周期を制御することで、特定の縦モードを安定化させることができ、発振し易くすることができる。その一方で、望ましくないそれ以外の縦モードに対するモードロスを増加させることができるので、望ましくないそれ以外の縦モードの発振を抑

10

20

30

40

50

制することが可能となる。

【 0 1 2 1 】

以上のとおり、実施例 8 の発光素子にあっては、少なくとも 2 層の光吸収材料層が積層構造体の内部に形成されているので、面発光レーザ素子から出射され得る複数種類の縦モードのレーザ光の内、不所望の縦モードのレーザ光の発振を抑制することができる。その結果、出射されるレーザ光の発振波長を正確に制御することが可能となる。しかも、尚、実施例 8 の発光素子にあっては凹面鏡部 4 3 を有するので、回折損失の発生を確実に抑制することができる。

【 実施例 9 】

【 0 1 2 2 】

実施例 9 は、実施例 8 の変形である。実施例 8 においては、光吸収材料層 7 1 を、積層構造体 2 0 を構成する化合物半導体よりもバンドギャップの狭い化合物半導体材料から構成した。一方、実施例 9 においては、10 層の光吸収材料層 7 1 を、不純物をドーピングした化合物半導体材料、具体的には、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の不純物濃度（不純物：Si）を有する化合物半導体材料（具体的には、 $n\text{-GaN:Si}$ ）から構成した。また、実施例 9 にあっては、発振波長 λ_0 を 515 nm とした。尚、活性層 2 3 の組成は、 $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ である。実施例 9 にあっては、 $m = 1$ とし、 L_{Abs} の値は 107 nm であり、活性層 2 3 の厚さ方向中心と、活性層 2 3 に隣接した光吸収材料層 7 1 の厚さ方向中心との間の距離は 53.5 nm であり、光吸収材料層 7 1 の厚さは 3 nm である。以上の点を除き、実施例 9 の発光素子の構成、構造は、実施例 8 の発光素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。尚、10 層の光吸収材料層 7 1 の内、一部の光吸収材料層 7 1 にあっては、 m を、2 以上の任意の整数とすることもできる。

【 実施例 10 】

【 0 1 2 3 】

実施例 10 も、実施例 8 の変形である。実施例 10 においては、5 層の光吸収材料層（便宜上、『第 1 の光吸収材料層』と呼ぶ）を、実施例 8 の光吸収材料層 7 1 と同様の構成、即ち、 $n\text{-In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ から構成した。更には、実施例 10 にあっては、1 層の光吸収材料層（便宜上、『第 2 の光吸収材料層』と呼ぶ）を透明導電性材料から構成した。具体的には、第 2 の光吸収材料層を、ITO から成る第 2 電極 3 2 と兼用した。実施例 10 にあっては、発振波長 λ_0 を 450 nm とした。また、 $m = 1$ 及び 2 とした。 $m = 1$ にあっては、 L_{Abs} の値は 93.0 nm であり、活性層 2 3 の厚さ方向中心と、活性層 2 3 に隣接した第 1 の光吸収材料層の厚さ方向中心との間の距離は 46.5 nm であり、5 層の第 1 の光吸収材料層の厚さは 3 nm である。即ち、5 層の第 1 の光吸収材料層にあっては、 $0.9 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{\text{eq}}) \} \leq L_{\text{Abs}} \leq 1.1 \times \{ \lambda_0 / (2 \cdot n_{\text{eq}}) \}$ を満足する。また、活性層 2 3 に隣接した第 1 の光吸収材料層と、第 2 の光吸収材料層とは、 $m = 2$ とした。即ち、

$$0.9 \times \{ (2 \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{\text{eq}}) \} \leq L_{\text{Abs}} \leq 1.1 \times \{ (2 \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{\text{eq}}) \}$$

を満足する。第 2 電極 3 2 を兼用する 1 層の第 2 の光吸収材料層の光吸収係数は 2000 cm^{-1} 、厚さは 30 nm であり、活性層 2 3 から第 2 の光吸収材料層までの距離は 139.5 nm である。以上の点を除き、実施例 10 の発光素子の構成、構造は、実施例 8 の発光素子の構成、構造と同様とすることができるので、詳細な説明は省略する。尚、5 層の第 1 の光吸収材料層の内、一部の第 1 の光吸収材料層にあっては、 m を、2 以上の任意の整数とすることもできる。尚、実施例 8 と異なり、光吸収材料層 7 1 の数を 1 とすることもできる。この場合にも、第 2 電極 3 2 を兼ねた第 2 の光吸収材料層と光吸収材料層 7 1 の位置関係は、以下の式を満たす必要がある。

$$0.9 \times \{ (m \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{\text{eq}}) \} \leq L_{\text{Abs}} \leq 1.1 \times \{ (m \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{\text{eq}}) \}$$

【 0 1 2 4 】

以上、本開示を好ましい実施例に基づき説明したが、本開示はこれらの実施例に限定する

ものではない。実施例において説明した発光素子の構成、構造は例示であり、適宜、変更することができるし、発光素子の製造方法も、適宜、変更することができる。場合によっては、接合層や支持基板を適切に選択することで、第2化合物半導体層の頂面から第2光反射層を介して光を出射する面発光レーザ素子とすることができる。

【0125】

尚、本開示は、以下のような構成を取ることでもある。

[A01]《発光素子》

第1面、及び、第1面と対向する第2面を有する第1化合物半導体層、

第1化合物半導体層の第2面と面する活性層、並びに、

活性層と面する第1面、及び、第1面と対向する第2面を有する第2化合物半導体層、

10

が積層された積層構造体、

第1化合物半導体層の第1面側に配設された第1光反射層、

第2化合物半導体層の第2面側に配設された第2光反射層、並びに、

光収束・発散変更手段、

を備えており、

第1光反射層は、凹面鏡部上に形成されており、

第2光反射層は、平坦な形状を有しており、

活性層において生成した光が外部に出射されるとき、光収束・発散変更手段に入射する前の光の収束・発散状態と、光収束・発散変更手段を通過した後の光の収束・発散状態とは異なる発光素子。

20

[A02] 活性層において生成した光が光収束・発散変更手段を通過したとき、光収束・発散変更手段に入射する前よりも、より収束状態となる[A01]に記載の発光素子。

[A03] 光収束・発散変更手段は、凸レンズ、又は、フレネルレンズ、又は、ホログラムレンズから成る[A02]に記載の発光素子。

[A04] 第1光反射層を介して光が出射され、

光収束・発散変更手段は、第1光反射層の光出射側に配設されている[A01]乃至[A03]のいずれか1項に記載の発光素子。

[A05] 光収束・発散変更手段の光軸における曲率中心は、第1光反射層の光軸における曲率中心よりも光収束・発散変更手段に近い所に位置する[A04]に記載の発光素子。

[A06] 光軸上において、光収束・発散変更手段の光出射面から第1光反射層の光出射面までの距離は、 $1 \times 10^{-6}\text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-3}\text{m}$ である[A04]又は[A05]に記載の発光素子。

30

[A07] 第1光反射層の平面形状を円形と想定したときの円形の直径は、 $1 \times 10^{-4}\text{m}$ 以下である[A04]乃至[A06]のいずれか1項に記載の発光素子。

[A08] 光軸に沿った光収束・発散変更手段の厚さは、 $1 \times 10^{-6}\text{m}$ 乃至 $1 \times 10^{-3}\text{m}$ である[A04]乃至[A07]のいずれか1項に記載の発光素子。

[A09] 活性層から第1光反射層までの距離は、 $1 \times 10^{-5}\text{m}$ 乃至 $5 \times 10^{-4}\text{m}$ である[A04]乃至[A08]のいずれか1項に記載の発光素子。

[A10] 第2光反射層を介して光が出射され、

光収束・発散変更手段は、第2光反射層の光出射側に配設されている[A01]乃至[A03]のいずれか1項に記載の発光素子。

40

[A11] 光軸に沿った第1光反射層から第2光反射層までの距離は、 $1 \times 10^{-5}\text{m}$ 以上である[A01]乃至[A10]のいずれか1項に記載の発光素子。

[A12] 積層構造体は、Ga_xN_{1-x}系化合物半導体から成る[A01]乃至[A11]のいずれか1項に記載の発光素子。

[A13] 面発光レーザ素子から成る[A01]乃至[A12]のいずれか1項に記載の発光素子。

[A14] 第1光反射層には、光透過部、及び、光透過部を取り囲む遮光部が設けられている[A01]乃至[A13]のいずれか1項に記載の発光素子。

[A15] 凹面鏡部の形状は、凹面鏡部の中心部からビームウェスト半径 ω_0 の範囲内に

50

において、決定係数 0.8 以上である球形状又は放物線形状である [A 0 1] 乃至 [A 1 4] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[A 1 6] 積層構造体の積層方向を含む仮想平面で第 1 光反射層を切断したときの第 1 光反射層の凹面鏡部の一部の積層構造体に面する界面が描く図形は、円の一部又は放物線の一部である [A 0 1] 乃至 [A 1 5] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[B 0 1] 《第 1 構成の発光素子》

第 2 化合物半導体層には、電流注入領域、及び、電流注入領域を取り囲む電流非注入領域が設けられており、

電流注入領域の面積重心点から、電流注入領域と電流非注入領域の境界までの最短距離 D_{CI} は、以下の式を満足する [A 0 1] 乃至 [A 1 6] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

$$D_{CI} \geq \omega_0 / 2$$

但し、

$$\omega_0^2 \equiv (\lambda_0 / \pi) \{ L_{OR} (R_{DBR} - L_{OR}) \}^{1/2}$$

ここで、

λ_0 : 発光素子から主に出射される光の波長

L_{OR} : 共振器長

R_{DBR} : 第 1 光反射層の凹面鏡部の曲率半径

[B 0 2] 第 1 光反射層の凹面鏡部における有効領域の半径 r_{DBR} は、

$$\omega_0 \leq r_{DBR} \leq 2.0 \cdot \omega_0$$

を満足する [B 0 1] に記載の発光素子。

[B 0 3] $D_{CI} \geq \omega_0$ を満足する [B 0 1] 又は [B 0 2] に記載の発光素子。

[B 0 4] $R_{DBR} \geq 1 \times 10^{-3} \text{m}$ を満足する [B 0 1] 乃至 [B 0 3] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 0 1] 《第 2 構成の発光素子》

第 2 電極を含む積層構造体には、活性層が占める仮想平面と平行に、少なくとも 2 層の光吸収材料層が形成されている [A 0 1] 乃至 [B 0 4] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 0 2] 少なくとも 4 層の光吸収材料層が形成されている [C 0 1] に記載の発光素子。

[C 0 3] 発振波長を λ_0 、2 層の光吸収材料層、及び、光吸収材料層と光吸収材料層との間に位置する積層構造体の部分の全体の等価屈折率を n_{eq} 、光吸収材料層と光吸収材料層との間の距離を L_{Abs} としたとき、

$$0.9 \times \{ (m \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \} \leq L_{Abs} \leq 1.1 \times \{ (m \cdot \lambda_0) / (2 \cdot n_{eq}) \}$$

を満足する [C 0 1] 又は [C 0 2] に記載の発光素子。

但し、 m は、1、又は、1 を含む 2 以上の任意の整数である。

[C 0 4] 光吸収材料層の厚さは、 $\lambda_0 / (4 \cdot n_{eq})$ 以下である [C 0 1] 乃至 [C 0 3] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 0 5] 積層構造体の内部において形成される光の定在波に生じる最低振幅部分に光吸収材料層が位置する [C 0 1] 乃至 [C 0 4] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 0 6] 積層構造体の内部において形成される光の定在波に生じる最大振幅部分に活性層が位置する [C 0 1] 乃至 [C 0 5] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 0 7] 光吸収材料層は、積層構造体を構成する化合物半導体の光吸収係数の 2 倍以上の光吸収係数を有する [C 0 1] 乃至 [C 0 6] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 0 8] 光吸収材料層は、積層構造体を構成する化合物半導体よりもバンドギャップの狭い化合物半導体材料、不純物をドーピングした化合物半導体材料、透明導電性材料、及び、光吸収特性を有する光反射層構成材料から成る群から選択された少なくとも 1 種類の材料から構成されている [C 0 1] 乃至 [C 0 7] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[D 0 1] 第 1 化合物半導体層の第 1 面と第 1 光反射層との間には化合物半導体基板が配されている [A 0 1] 乃至 [C 0 8] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[D 0 2] 化合物半導体基板は GaN 基板から成る [D 0 1] に記載の発光素子。

[D 0 3] 第 1 光反射層は、化合物半導体基板の突出部から成る凹面鏡部の少なくとも一

10

20

30

40

50

部の表面に形成された多層光反射膜から構成されている [D 0 1] 又は [D 0 2] に記載の発光素子。

[D 0 4] 第 1 光反射層は、化合物半導体基板上に形成された凹面鏡部の少なくとも一部の表面に形成された多層光反射膜から構成されている [D 0 1] 又は [D 0 2] に記載の発光素子。

[D 0 5] 第 1 化合物半導体層の第 1 面に第 1 光反射層が形成されている [A 0 1] 乃至 [C 0 8] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[D 0 6] 積層構造体の熱伝導率の値は、第 1 光反射層の熱伝導率の値よりも高い [A 0 1] 乃至 [D 0 5] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[D 0 7] 発光素子の凹面鏡部の曲率半径を R_{DBR} としたとき、 $R_{DBR} = 1 \times 10^{-3} \text{m}$ を満足する [A 0 1] 乃至 [D 0 6] のいずれか 1 項に記載の発光素子。 10

[D 0 8] 第 1 光反射層の周囲には凸形状部が形成されており、第 1 光反射層は凸形状部から突出していない [A 0 1] 乃至 [D 0 7] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[E 0 1] 《発光素子アレイ》

複数の発光素子が並置されて成る発光素子アレイであって、

各発光素子は、

第 1 面、及び、第 1 面と対向する第 2 面を有する第 1 化合物半導体層、

第 1 化合物半導体層の第 2 面と面する活性層、並びに、

活性層と面する第 1 面、及び、第 1 面と対向する第 2 面を有する第 2 化合物半導体層、

が積層された積層構造体、 20

第 1 化合物半導体層の第 1 面側に配設された第 1 光反射層、

第 2 化合物半導体層の第 2 面側に配設された第 2 光反射層、並びに、

光収束・発散変更手段、

を備えており、

第 1 光反射層は、凹面鏡部上に形成されており、

第 2 光反射層は、平坦な形状を有しており、

活性層において生成した光が外部に出射されるとき、光収束・発散変更手段に入射する前の光の収束・発散状態と、光収束・発散変更手段を通過した後の光の収束・発散状態とは異なる発光素子から成る発光素子アレイ。

[E 0 2] 《発光素子アレイ》 30

複数の発光素子が並置されて成る発光素子アレイであって、

各発光素子は、[A 0 1] 乃至 [D 0 8] のいずれか 1 項に記載の発光素子から成る発光素子アレイ。

[E 0 3] 発光素子の出射する光の波長が異なっている [E 0 1] 又は [E 0 2] に記載の発光素子アレイ。

【符号の説明】

【 0 1 2 6 】

1 1 . . . 化合物半導体基板（発光素子製造用基板）、1 1 a . . . 化合物半導体基板の第 1 面、1 1 b . . . 化合物半導体基板の第 2 面、1 1 a ' . . . 化合物半導体基板の第 1 面の突出部、2 0 . . . 積層構造体、2 1 . . . 第 1 化合物半導体層、2 1 a . . . 第 1 化合物半導体層の第 1 面、2 1 b . . . 第 1 化合物半導体層の第 2 面、2 1 c , 2 1 d . . . 第 1 化合物半導体層の第 1 面に形成された突出部、2 2 . . . 第 2 化合物半導体層、2 2 a . . . 第 2 化合物半導体層の第 1 面、2 2 b . . . 第 2 化合物半導体層の第 2 面、2 3 . . . 活性層（発光層）、3 1 . . . 第 1 電極、3 2 . . . 第 2 電極、3 3 . . . パッド電極、3 4 . . . 絶縁膜（電流狭窄領域）、3 4 A . . . 絶縁膜（電流狭窄領域）に設けられた開口部、4 1 . . . 第 1 光反射層、4 1 a . . . 第 1 光反射層の光出射面、4 1 A . . . 光透過部、4 1 B . . . 遮光部、4 2 . . . 第 2 光反射層、4 2 a . . . 第 2 光反射層の光出射面、4 3 . . . 凹面鏡部、4 3 a . . . 第 1 光反射層の凹面鏡部における有効領域の積層構造体に面する界面、4 3 ' . . . 化合物半導体基板に形成された突出部、4 4 . . . 第 1 光反射層の凹面鏡部における有効領域、4 5 . . . 多層光反射膜、4 6 40

10

20

30

40

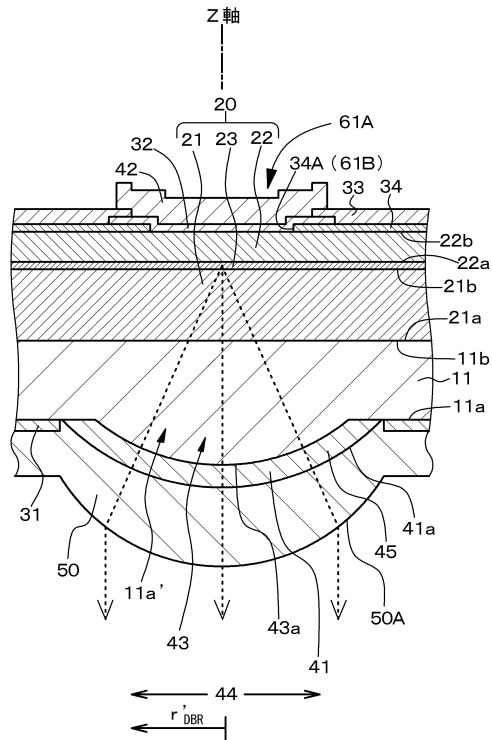
50

· · · 平坦化膜、48, 48' · · · 接合層、49, 49' · · · 支持基板、61A · · ·
電流注入領域、61B · · · 電流非注入領域(電流狹窄領域)、71 · · · 光吸收材料層

【図面】

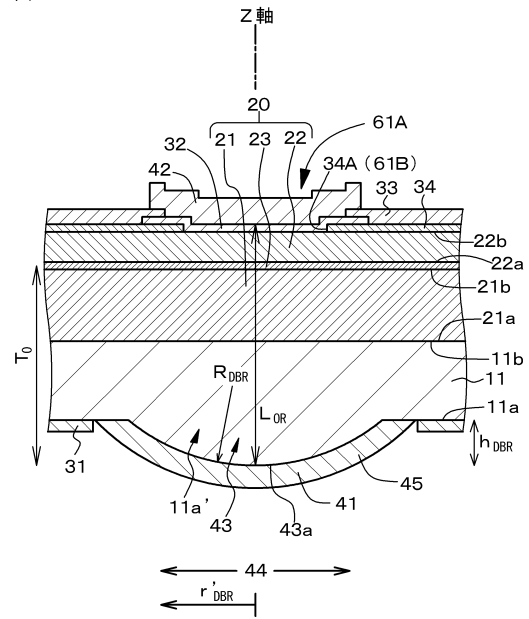
【 図 1 】

图 1



【圖 2】

图 2



10

20

30

40

50

【図 3】

図 3 A

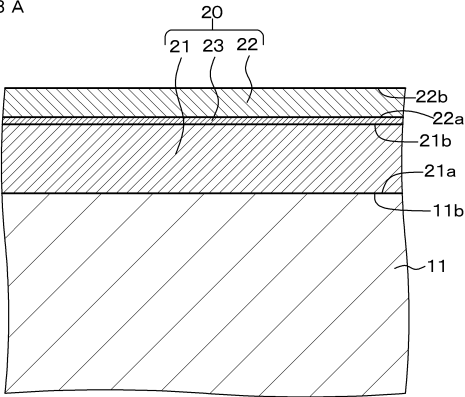
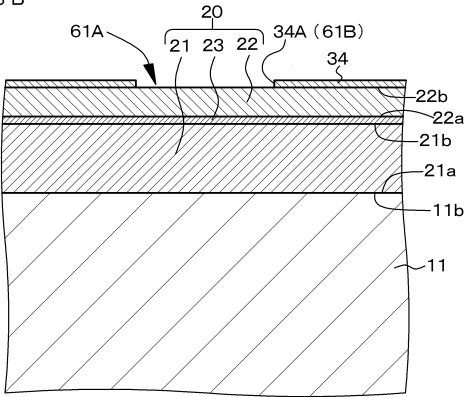
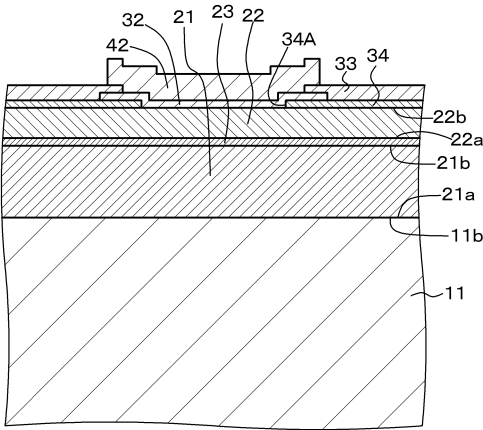


図 3 B



【図 4】

図 4

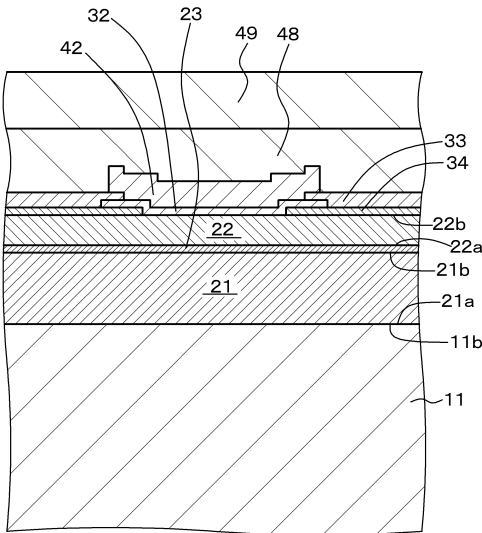


10

20

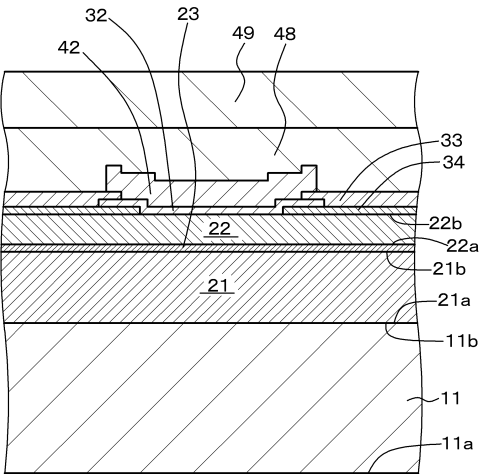
【図 5】

図 5



【図 6】

図 6



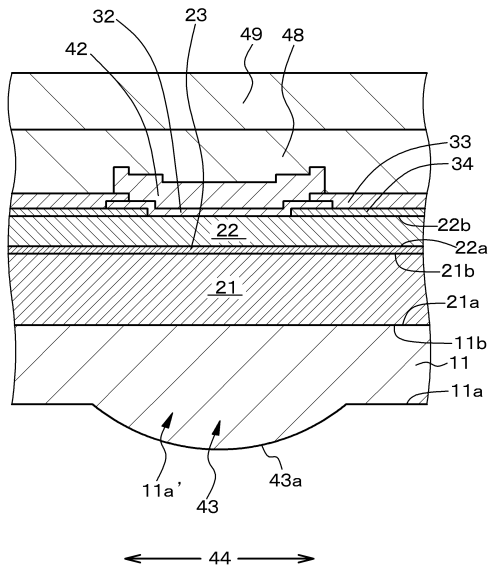
30

40

50

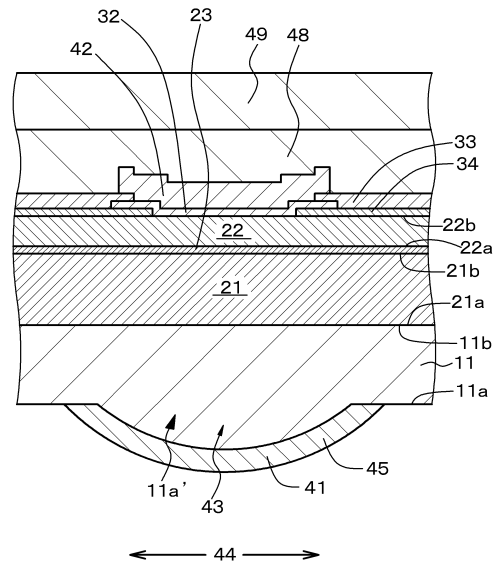
【圖 7】

图 7



【 図 8 】

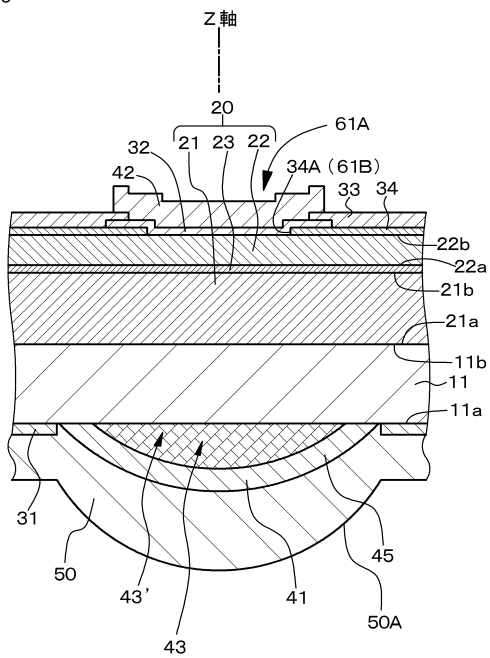
図 8



10

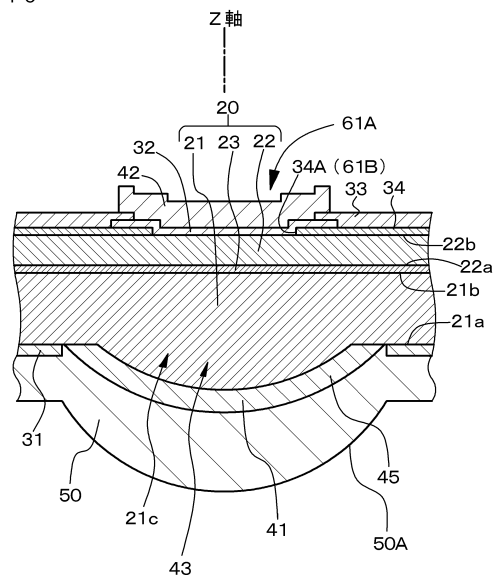
【 図 9 】

图 9



【 図 1 0 】

図 10



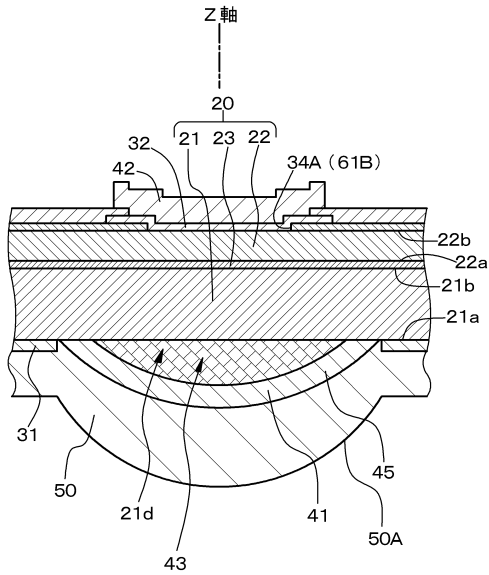
20

30

40

【図 1 1】

図 1 1



【図 1 2】

図 1 2 A

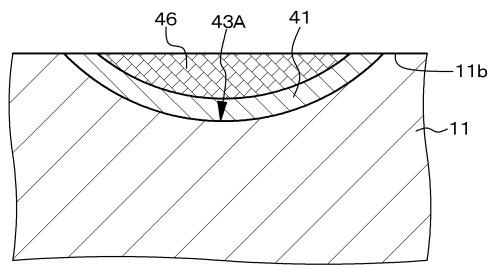
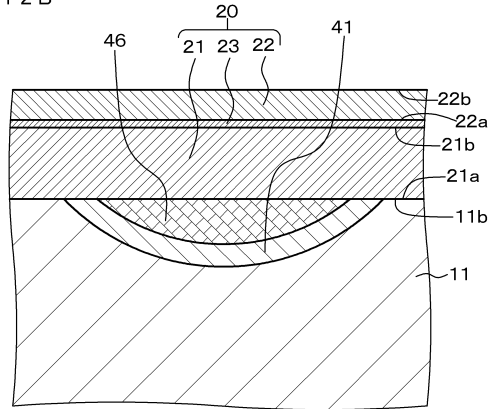


図 1 2 B

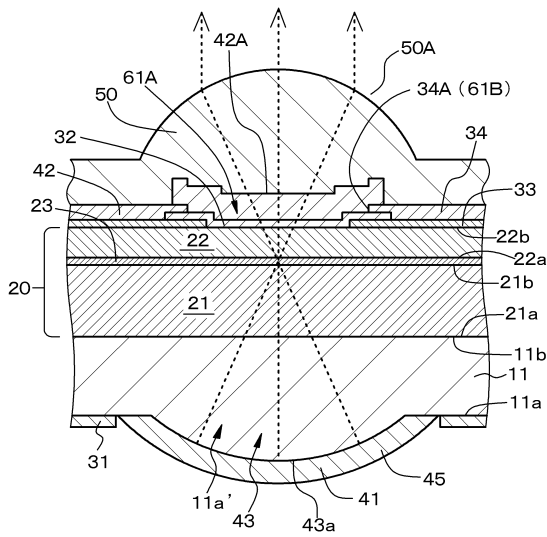


10

20

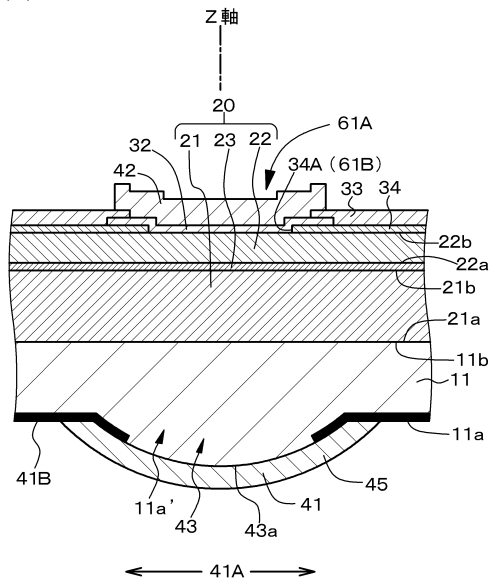
【図 1 3】

図 1 3



【図 1 4】

図 1 4



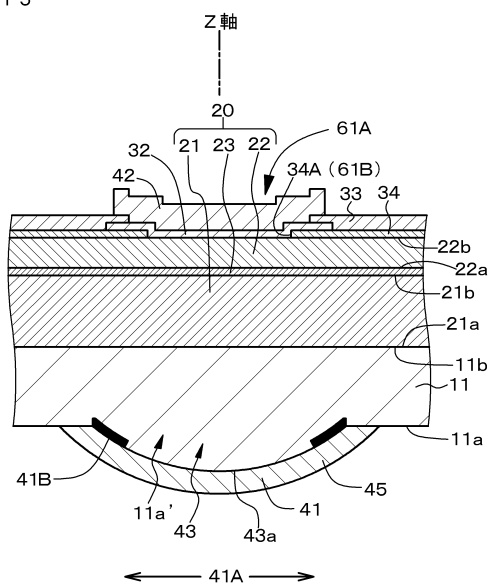
30

40

50

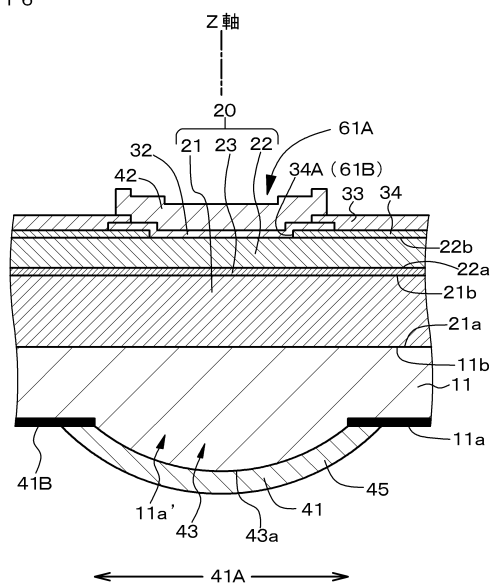
【 図 1 5 】

图 15



【圖 16】

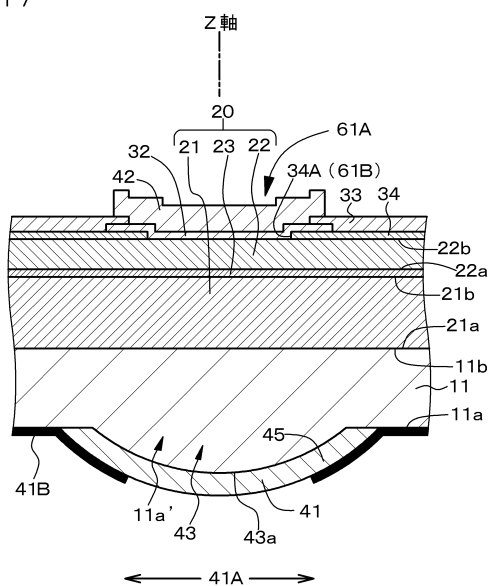
图 16



10

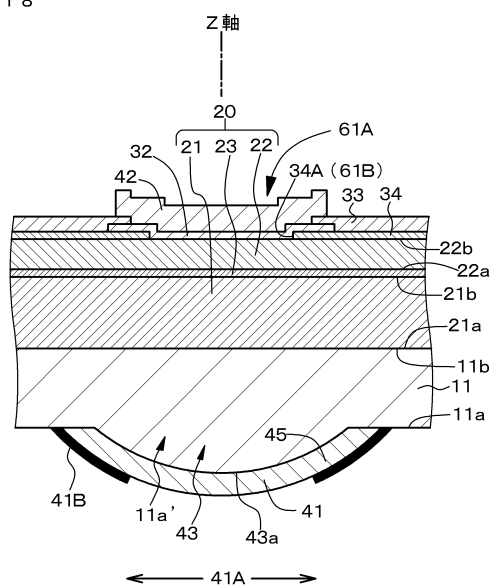
【 图 1 7 】

图 17



【 図 1 8 】

图 18



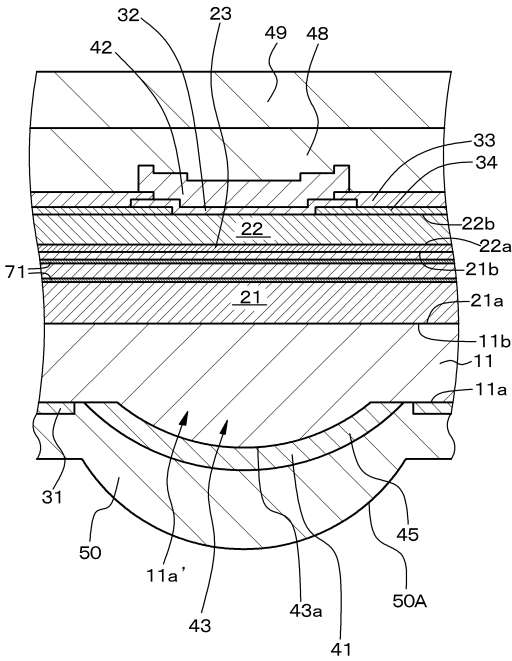
20

30

40

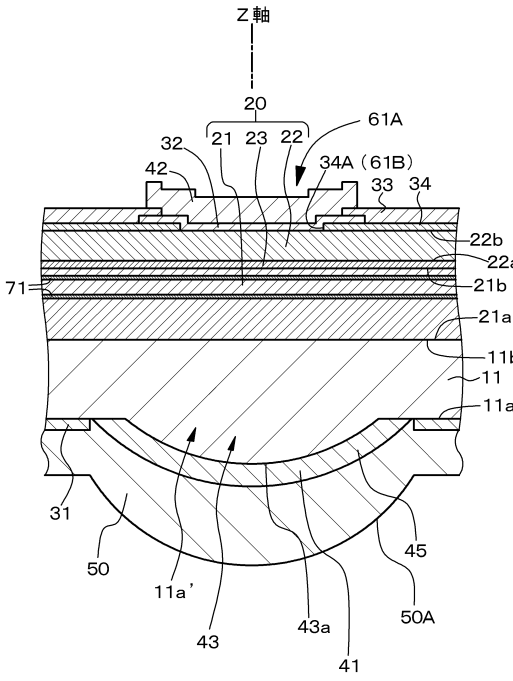
【図 2 3】

図 2 3



【図 2 4】

図 2 4

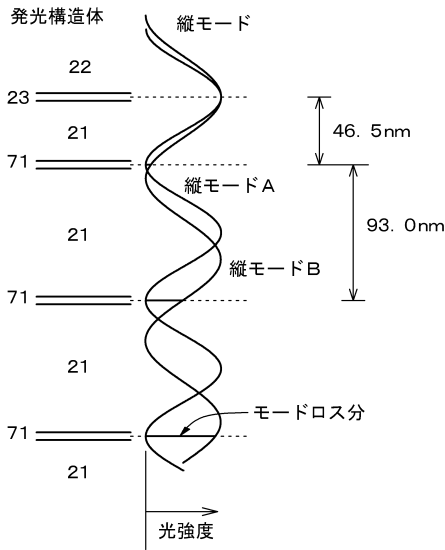


10

20

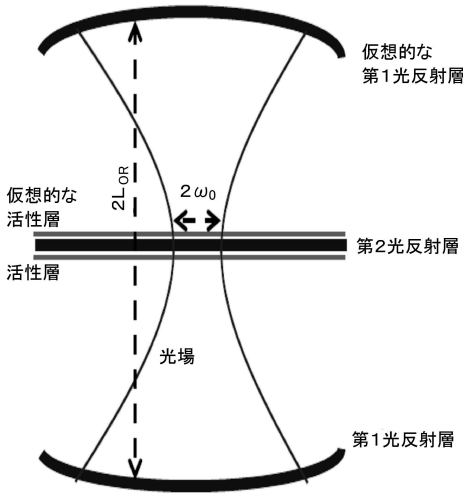
【図 2 5】

図 2 5



【図 2 6】

図 26



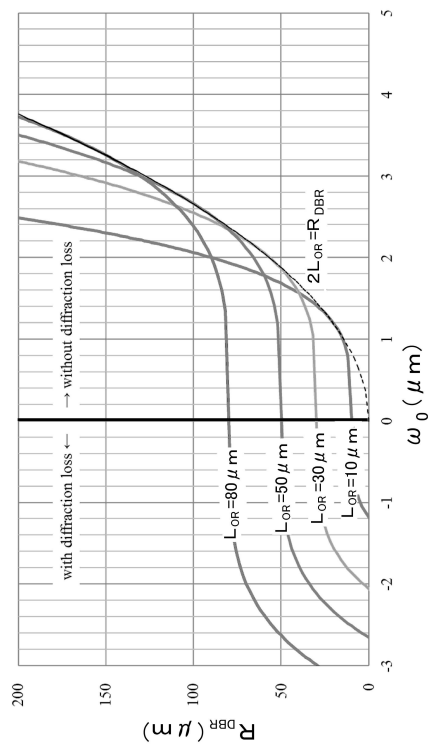
30

40

50

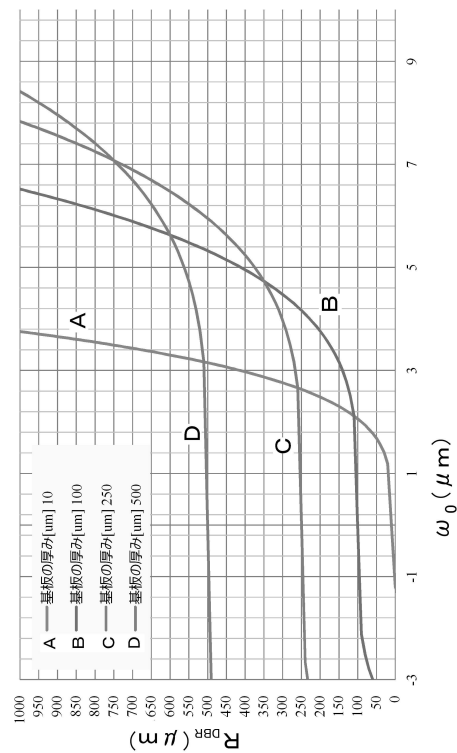
【図 2 7】

図27



【図 2 8】

図28



【図 2 9】

図 2 9 A

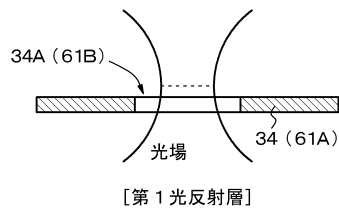
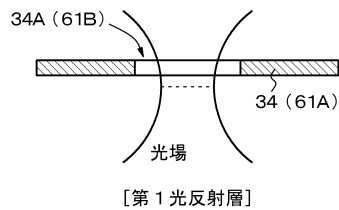


図 2 9 B



【図 3 0】

図 3 0 A

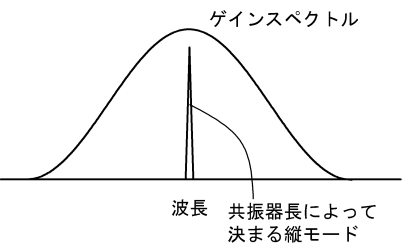
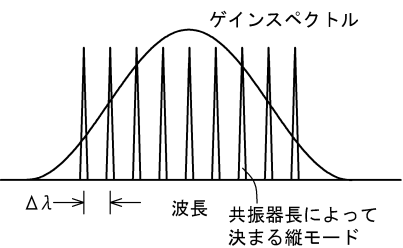


図 3 0 B



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 中島 博
東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 伊藤 仁道
東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 佐藤 進
東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内
- 審査官 小澤 尚由
- (56)参考文献 特開 2 0 0 2 - 2 3 7 6 5 3 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 0 7 6 6 8 2 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 3 6 8 3 3 3 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 0 6 6 5 3 8 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 0 0 2 0 0 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 2 5 8 2 7 6 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 5 / 0 1 0 0 0 6 9 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0