

(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  
2020年4月30日(30.04.2020)



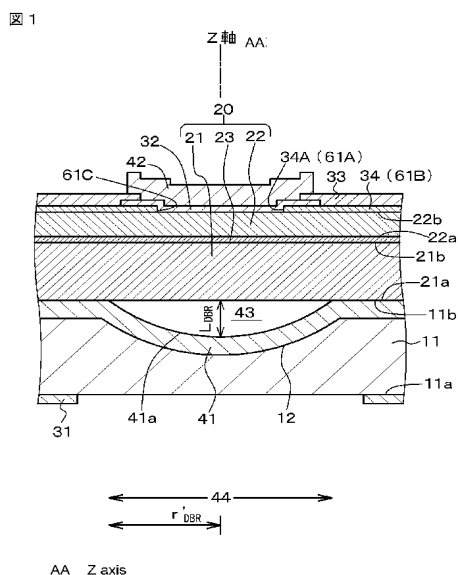
(10) 国際公開番号

WO 2020/084942 A1

- (51) 国際特許分類:  
*H01S 5/183* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/035711
- (22) 国際出願日: 2019年9月11日(11.09.2019)
- (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 2018-201549 2018年10月26日(26.10.2018) JP
- (71) 出願人: ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 田中 雅之 (TANAKA Masayuki); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 藤井 賢太郎 (FUJII Kentaro); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 濱口 達史 (HAMAGUCHI Tatsushi); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 幸田 倫太郎 (KODA Rintaro); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 山本 孝久, 外 (YAMAMOTO Takahisa et al.); 〒1410032 東京都品川区大崎4丁目3番2号 秋葉ビル301号 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: LIGHT-EMITTING ELEMENT AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 発光素子及びその製造方法



(57) Abstract: In the present invention, a semiconductor device comprises: a layered structure 20 in which a first compound semiconductor layer 21, an active layer 23 and a second compound semiconductor layer 22 are layered; a substrate 11; a first light-reflecting layer 41 disposed on a first surface side of the first compound semiconductor layer 21; and a second light-reflecting layer 42 disposed on a second surface side of the second semiconductor layer 22. The second light-reflecting layer 42 has a flat shape. A recessed surface section 12 is formed on a substrate surface 11b. The first light-reflecting layer 41 is formed at least on the recessed surface section 12. The first compound semiconductor layer 21 is formed over the recessed surface section 12 extending from the substrate surface 11b. A cavity is formed, above the recessed surface section 12, between the first light-reflecting layer 41 and the first compound semiconductor layer 21.



WO 2020/084942 A1

(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 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

---

(57) 要約 : 半導体装置は、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が積層された積層構造体20、基板11、第1化合物半導体層21の第1面側に配設された第1光反射層41、並びに、第2化合物半導体層22の第2面側に配設された第2光反射層42を備えており、第2光反射層42は平坦な形状を有し、基板表面11bには凹面部12が形成されており、第1光反射層41は少なくとも凹面部12上に形成されており、第1化合物半導体層21は基板表面11bから凹面部12上方に互り形成されており、凹面部12上に形成された第1光反射層41と第1化合物半導体層21との間は空洞である。

## 明 細 書

発明の名称：発光素子及びその製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、発光素子及びその製造方法に関する。

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型化合物半導体層と基板との間に、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 $1\mu m$ 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以上長い。即ち、共振器長 $L_{OR}$ は $1\mu m$ よりもかなり長い。

[0004] そして、このように共振器長 $L_{OR}$ が長くなると、従来の $1\mu m$ 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が、次第に、共振器外へと散逸してしまう現象を指す。このような問題を解決するために、光反射層に凹面鏡としての機能を付与する技術として、例えば、特開2006-114753号公報や特

開2000-022277号公報、国際公開WO2018/083877A  
1号公報がある。

## 先行技術文献

## 特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2006-114753号公報  
特許文献2：特開2000-022277号公報  
特許文献3：国際公開WO2018/083877A1号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0006] 上記のとおり、光反射層に凹面鏡としての機能を付与することで、回折損失の発生を効果的に抑制することができる。しかしながら、共振器長 $L_{OR}$ が長いことに起因して、単一縦モードを得ることが困難となり、縦モードが多モード化し易い。
- [0007] 従って、本開示の目的は、単一縦モードを得ることを可能とする構成、構造の発光素子、及び、係る発光素子の製造方法を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

- [0008] 上記の目的を達成するための本開示の第1の態様～第4の態様に係る発光素子は、
- 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、
  - 基板、
  - 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、並びに、
  - 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、
- を備えており、

第2光反射層は、平坦な形状を有し、

基板表面には、凹面部が形成されており、

第1光反射層は、少なくとも凹面部上に形成されており、

第1化合物半導体層は、基板表面から凹面部上方に互り形成されている。

[0009] そして、本開示の第1の態様に係る発光素子において、凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間は空洞である。また、本開示の第2の態様に係る発光素子において、凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間には、第1化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料が充填されている。更には、本開示の第3の態様に係る発光素子において、凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間には、屈折率 $n_2$ を有する材料が充填されており、第1化合物半導体層を構成する材料の屈折率を $n_1$ としたとき、 $n_1 \neq n_2$ を満足する。また、本開示の第4の態様に係る発光素子において、凹面部上に形成された第1光反射層と、凹面部上方の第1化合物半導体層の部分とによって、共振器構造が構成されており、共振器構造の長さは、活性層から出射される発振波長 $\lambda_0$ を有する主たる光が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長 $\lambda_0$ に隣接する波長 $\lambda'$ を有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである。

[0010] 上記の目的を達成するための本開示の発光素子の製造方法は、基板の表面に凹面部を形成した後、少なくとも凹面部上に第1光反射層を形成し、次いで、基板の表面上及び凹面部の上方に、第1化合物半導体層、活性層及び第2化合物半導体層が積層された積層構造体を形成し、その後、第2化合物半導体層の上に第2光反射層を形成する、各工程から成る。

### 図面の簡単な説明

[0011] [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、実施例1の発光素子における積層構造体や凹面部等の模式的な一部端面図である。

[図3]図3は、実施例1の発光素子において、 $\lambda_0 = 445 \text{ nm}$ で複数の縦モードが発生した場合のモードの間隔を計算した結果を示すグラフである。

[図4]図4は、実施例1の発光素子において、式(2)に基づき求められた、 $\lambda'$ と $L_{\text{DBR}}$ の関係を示すグラフである。

[図5]図5A及び図5Bは、実施例1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6]図6A及び図6Bは、図5B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基板等の模式的な一部端面図である。

[図7]図7A及び図7Bは、図6B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基板等の模式的な一部端面図である。

[図8]図8A及び図8Bは、図7B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基板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。

[図10]図10A及び図10Bは、実施例2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11]図11A及び図11Bは、実施例2の発光素子の製造方法の変形例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12]図12A及び図12Bは、実施例2の発光素子の製造方法の別の変形例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13]図13は、実施例4の発光素子の模式的な一部端面図である。

[図14]図14A及び図14Bは、実施例4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15]図15の(A)、(B)及び(C)は、それぞれ、従来の発光素子、実施例4の発光素子及び実施例7の発光素子における光場強度を示す概念図である。

[図16]図16は、実施例5の発光素子の模式的な一部端面図である。

[図17]図17は、実施例6の発光素子の模式的な一部端面図である。

[図18]図18は、実施例7の発光素子の模式的な一部端面図である。

[図19]図19は、図18に示した実施例7の発光素子の要部を切り出した模式的な一部端面図である。

[図20]図20は、実施例8の発光素子の模式的な一部端面図である。

[図21]図21は、実施例8の発光素子の模式的な一部端面図と、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22]図22は、本開示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。

[図23]図23は、 $\omega_0$ の値と共振器長 $L_{OR}$ の値と第1光反射層の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24]図24は、 $\omega_0$ の値と共振器長 $L_{OR}$ の値と第1光反射層の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25]図25A及び図25Bは、それぞれ、 $\omega_0$ の値が「正」であるときのレーザー光の集光状態を模式的に示す図、及び、 $\omega_0$ の値が「負」であるときのレーザー光の集光状態を模式的に示す図である。

[図26]図26A及び図26B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。

[図27]図27は、窒化物半導体結晶における極性面、非極性面及び半極性面を説明するための六方晶系窒化物半導体の結晶構造を示す模式図である。

### 発明を実施するための形態

[0012] 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. 本開示の第1の態様～第4の態様に係る発光素子、並びに、本開示の発光素子の製造方法、全般に関する説明
2. 実施例1（本開示の第1の態様及び第4の態様に係る発光素子、及び、その製造方法）
3. 実施例2（本開示の第2の態様及び第3の態様に係る発光素子、及び、

その製造方法)

4. 実施例 3 (実施例 1 ~ 実施例 2 の変形、第 1 構成の発光素子)
5. 実施例 4 (実施例 1 ~ 実施例 3 の変形、第 2 - A 構成の発光素子)
6. 実施例 5 (実施例 4 の変形、第 2 - B 構成の発光素子)
7. 実施例 6 (実施例 4 ~ 実施例 5 の変形、第 2 - C 構成の発光素子)
8. 実施例 7 (実施例 4 ~ 実施例 6 の変形、第 2 - D 構成の発光素子)
9. 実施例 8 (実施例 1 ~ 実施例 7 の変形、第 3 構成の発光素子)
10. 実施例 9 (実施例 8 の変形)
11. 実施例 10 (実施例 8 の別の変形)
12. その他

[0013] <本開示の第 1 の態様~第 4 の態様に係る発光素子、並びに、本開示の発光素子の製造方法、全般に関する説明>

本開示の発光素子の製造方法において、凹面部上に形成された第 1 光反射層と第 1 化合物半導体層との間は空洞である形態とすることができる。あるいは又、凹面部上に形成された第 1 光反射層と第 1 化合物半導体層との間に、第 1 化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料を充填する工程を含む形態とすることができる。あるいは又、凹面部上に形成された第 1 光反射層と第 1 化合物半導体層との間に、第 1 化合物半導体層を構成する材料の屈折率  $n_1$  とは異なる屈折率  $n_2$  を有する材料を充填する工程を含む形態とすることができる。あるいは又、凹面部上に形成された第 1 光反射層と、凹面部上方の第 1 化合物半導体層の部分とによって、共振器構造が構成されており、共振器構造の長さは、活性層から出射される発振波長  $\lambda_0$  を有する主たる光が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長  $\lambda_0$  に隣接する波長  $\lambda'$  を有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである形態とすることができる。

[0014] 本開示の第 1 の態様に係る発光素子、あるいは又、本開示の発光素子の製造方法によって得られた本開示の第 1 の態様に係る発光素子を、以下、総称して、『本開示の第 1 の態様に係る発光素子等』と呼ぶ場合がある。また、



本開示の第2の態様に係る発光素子、あるいは又、本開示の発光素子の製造方法によって得られた本開示の第2の態様に係る発光素子を、以下、総称して、『本開示の第2の態様に係る発光素子等』と呼ぶ場合がある。更には、本開示の第3の態様に係る発光素子、あるいは又、本開示の発光素子の製造方法によって得られた本開示の第3の態様に係る発光素子を、以下、総称して、『本開示の第3の態様に係る発光素子等』と呼ぶ場合がある。また、本開示の第4の態様に係る発光素子、あるいは又、本開示の発光素子の製造方法によって得られた本開示の第4の態様に係る発光素子を、以下、総称して、『本開示の第4の態様に係る発光素子等』と呼ぶ場合がある。更には、本開示の第1の態様に係る発光素子等、本開示の第2の態様に係る発光素子等、本開示の第3の態様に係る発光素子等、及び、本開示の第4の態様に係る発光素子等を総称して、『本開示の発光素子等』と呼ぶ場合がある。

[0015] 本開示の第3の態様に係る発光素子等にあつては、

$$|n_2 - n_1| \geq 1.0$$

望ましくは、

$$|n_2 - n_1| \geq 1.5$$

を満足することが好ましい。更には、これらの好ましい形態を含む本開示の第3の態様に係る発光素子等において、屈折率 $n_2$ を有する材料は、第1化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料から成る形態とすることができる。

[0016] 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おいて、基板は、化合物半導体基板から構成されている形態とすることができる。

[0017] 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おいて、積層構造体はGaN系化合物半導体から成る形態とすることができる。

[0018] 第1化合物半導体層を、ELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) 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、横方向成長により形成したとき、基板表面から凹面部の中心部上方においてエピタキシャル成長する第1化合物半導体層が会合すると、会合部分に結晶欠陥が多く発生する場合

がある。この結晶欠陥が多く存在する会合部分が素子領域（後述する）の中心部に位置すると、発光素子の特性に悪影響が生じる虞がある。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おいて、凹面部の中心を通る法線上には、結晶欠陥が多く存在する会合部分が存在しない形態とすることができ、この場合、基板への会合部分の正射影像是、凹面部に含まれない形態とすることができる。そして、このような形態を採用することで、発光素子の特性への悪影響の発生を確実に抑制することができる。

[0019] 本開示の第1の態様に係る発光素子等において、空洞には、空気が閉じ込められており、あるいは又、不活性ガス（窒素ガス等）が閉じ込められており、あるいは又、第1化合物半導体層の形成時のプロセスガスが閉じ込められており、あるいは又、真空状態、減圧状態となっている。

[0020] 本開示の第2の態様に係る発光素子等において、あるいは又、本開示の第3の態様に係る発光素子等の好ましい形態において、凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間には、第1化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料（以下、便宜上、『充填材料』と呼ぶ場合がある）が充填されているが、具体的には、充填材料として、 $TiO_x$ 、 $TaO_x$ 、 $SiN$ 、 $AlN$ 、 $HfO_x$ 、 $NbO_x$ 、 $AlO_x$ 、 $BiO_x$ 、SOG (Spin On Glass) を含む $SiO_2$ 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し、BCB系樹脂、ポリイミド系樹脂、フッ素系樹脂、ノボラック系樹脂、第1化合物半導体層や第2化合物半導体層を構成する化合物半導体材料とは異なる化合物半導体材料を例示することもできる。

[0021] 本開示の第3の態様に係る発光素子等において、 $n_1 \neq n_2$  を満足するが、 $n_1 > n_2$  であってもよいし、 $n_1 < n_2$  であってもよい。

[0022] 以上に説明した各種の好ましい形態、構成を含む本開示の発光素子等によって、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。

[0023] 以上に説明した各種の好ましい形態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（Z軸を含む仮想平面）で第1光反射層を切断したときの凹面部と接する第1光反射層の部分が第1化合物半導体層と対向する面（以下、便宜上、『第1光反射層の内面』と呼ぶ）が描く図形は、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第1光反射層の部分（領域）を、『第1光反射層の有効領域』と呼ぶ場合がある。第1光反射層の内面が描く図形は、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。

[0024] 本開示の発光素子等において、積層構造体は、具体的には、Ga 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、Ga N系化合物半導体として、より具体的には、Ga N、Al Ga N、In Ga N、Al In Ga 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、 $(\text{In}_y\text{Ga}_{(1-y)}\text{N}, \text{Ga N})$ 、 $(\text{In}_y\text{Ga}_{(1-y)}\text{N}, \text{In}_z\text{Ga}_{(1-z)}\text{N})$  [但し、 $y > z$ ]、 $(\text{In}_y\text{Ga}_{(1-y)}\text{N}, \text{Al Ga N})$ 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2電極と第2化合物半導体層との間には、電流狭窄構造が形成されていることが好ましい。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。

[0025] また、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。

[0026] 電流狭窄構造を得るためには、第2電極と第2化合物半導体層との間に絶縁材料（例えば、 $\text{SiO}_x$ や $\text{SiN}_x$ 、 $\text{AlO}_x$ ）から成る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し、第2化合物半導体層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電極は、電流狭窄により電流が流れる第2化合物半導体層の部分と電氣的に接続されている必要がある。

[0027] 積層構造体及び第1光反射層は、基板の表面（便宜上、『基板の第2面』と呼ぶ）上に形成される。基板として、導電性基板、半導体基板、絶縁性基板、具体的には、GaN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、LiGaO<sub>2</sub>基板、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>基板、InP基板、Si基板、これらの基板の表面（主面）に下地層やバッファ層が形成されたものを挙げることができるが、GaN基板の使用が結晶欠陥密度の少ないことから好ましい。GaN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、GaN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、GaN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面等の名称で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。あるいは又、基板を、主面として半極性面である $\{20-21\}$ 面を有するGaN基板（c面をm軸方向に約75度傾けた面を主面とするGaN基板）から成る構成とすることもできる。

[0028] 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）、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。ここで、積層構造体をGaN系化合物半導体から構成する場合、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（SiH<sub>4</sub>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 ( $Cp_2Mg$ ) 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。

[0029] 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ェ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、基板の厚さを薄くしてもよい。

[0030] 上述したとおり、積層構造体は、GaN基板の極性面に形成されている構成とすることができる。あるいは又、積層構造体は、GaN基板の半極性面又は無極性面 (非極性面) から成る主面上に形成されている構成とすることができ、この場合、主面の面方位とc軸との成す角度は、45度以上、80度以下である構成とすることができ、更には、GaN基板の主面は  $\{20-21\}$  面から成る構成とすることができる。六方晶系における例えば以下に例示する結晶面の表記、

$$\{hk\bar{i}l\} \text{ 面}$$

$$\{h\bar{k}il\} \text{ 面}$$

を、便宜上、本明細書においては、 $\{hk-il\}$  面、 $\{h-ki\}$  面と表記する。

[0031] 窒化物半導体結晶における極性面、非極性面及び半極性面について、以下、図27の(a)~(e)を参照して説明する。図27の(a)は、六方晶系窒化物半導体の結晶構造を示す模式図である。図27の(b)は、非極性

面である $m$ 面、 $\{1-100\}$ 面を示す模式図であり、灰色の平面で示す $m$ 面は、 $m$ 軸方向に垂直な面である。図27の(c)は、非極性面である $a$ 面、 $\{11-20\}$ 面を示す模式図であり、灰色の平面で示す $a$ 面は、 $a$ 軸方向に垂直な面である。図27の(d)は、半極性面である $\{20-21\}$ 面を示す模式図である。灰色の平面で示す $\{20-21\}$ 面に垂直な $[20-21]$ 方向は、 $c$ 軸から $m$ 軸方向に75度、傾斜している。図27の(e)は、半極性面である $\{11-22\}$ 面を示す模式図である。灰色の平面で示す $\{11-22\}$ 面に垂直な $[11-22]$ 方向は、 $c$ 軸から $a$ 軸方向に59度、傾斜している。各種結晶面の面方位と $c$ 軸との成す角度を、以下の表1に示す。 $\{11-21\}$ 面や $\{11-22\}$ 面、 $\{11-24\}$ 面といった $\{11-2n\}$ 面で表される面、 $\{1-101\}$ 面、 $\{1-102\}$ 面、 $\{1-103\}$ 面は半極性面である。

[0032] 〈表1〉

面方位	$c$ 軸との成す角度(度)
$\{1-100\}$	90.0
$\{11-20\}$	90.0
$\{20-21\}$	75.1
$\{11-21\}$	72.9
$\{1-101\}$	62.0
$\{11-22\}$	58.4
$\{1-102\}$	43.2
$\{1-103\}$	32.0

[0033] 第2光反射層を支持基板によって支持し、第1光反射層を介してレーザー光を出射する面発光レーザー素子を構成することもできる。支持基板は、例えば、上記の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、0.05 mm乃至1 mm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°C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°C以上であってもよい。

[0034] 第1化合物半導体層は第1電極に電氣的に接続されている。即ち、第1電極は、基板を介して第1化合物半導体層と電氣的に接続されている。また、第2化合物半導体層は第2電極に電氣的に接続されており、第2光反射層は第2電極上に形成されている。第1電極は金属又は合金から成る形態とすることができるし、第2電極は透明導電性材料から成る形態とすることができる。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、素子領域に電流を供給することができる。第2電極は第2化合物半導体層の第2面上に形成されている。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。

[0035] 第1電極は、基板の第2面と対向する基板の第1面上に形成すればよい。第1電極は、例えば、金（Au）、銀（Ag）、パラジウム（Pd）、白金（Pt）、ニッケル（Ni）、Ti（チタン）、バナジウム（V）、タンゲステン（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。

[0036] 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 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、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-GaZnO<sub>4</sub>）、IFO（Fドープの $\text{In}_2\text{O}_3$ ）、ITiO（Tiドープの $\text{In}_2\text{O}_3$ ）、InSn、InSnZnO〕、錫系透明導電性材料〔具体的には、例えば、酸化錫（ $\text{SnO}_2$ ）、ATO（Sbドープの $\text{SnO}_2$ ）、FTO（Fドープの $\text{SnO}_2$ ）〕、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、 $\text{YbFe}_2\text{O}_4$ 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にもできる。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ものではなく、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P

V D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Ga N系化合物半導体層を用いることもできる。更には、n型Ga N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（後述する）に電流を供給することができる。

[0037] 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）、アルミニウム（Al）、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。

[0038] 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（例えば、AlInGa N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<sub>x</sub>、AlN<sub>x</sub>、AlGa N<sub>x</sub>、Ga N<sub>x</sub>、BN<sub>x</sub>等）、又は、フッ化物等を挙げることができる。具体的には、SiO<sub>x</sub>、TiO<sub>x</sub>、NbO<sub>x</sub>、ZrO<sub>x</sub>、TaO<sub>x</sub>、ZnO<sub>x</sub>、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） $\lambda_0$ 、用いる材料の発振波長 $\lambda_0$ 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、あるいは、奇数倍の前後の値とすることが好ましい。例えば、発振波長 $\lambda_0$ 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 $\mu$ m乃至1.7 $\mu$ 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。

[0039] 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種類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種類以上とを組み合わせる方法等を挙げることができる。

[0040] 光反射層は、電流注入領域あるいは素子領域を覆う限り、大きさ及び形状は特に限定されない。素子領域、第1光反射層、第2光反射層、電流注入領域と電流非注入・内側領域との境界の形状、電流非注入・内側領域と電流非注入・外側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。また、第1電極の平面形状として環状を挙げることができる。素子領域、第1光反射層、第2光反射層、電流狭窄層に設けられた開口部の平面形状、環状の第1電極の内側環部の平面形状、電流注入領域と電流非注入・内側領域との境界の形状、及び、電流非注入・内側領域と電流非注入・外側領域との境界の形状は、相似形であることが望ましい。電流注入領域と電流非注入・内側領域との境界の形状が円形の場合、直径5  $\mu\text{m}$ 乃至100  $\mu\text{m}$ 程度であることが好ましい。電流注入領域、電流非注入・内側領域、電流非注入・外側領域に関しては、後述する。

[0041] 積層構造体の側面や露出面を被覆層（絶縁膜）で被覆してもよい。被覆層（絶縁膜）の形成は、周知の方法に基づき行うことができる。被覆層（絶縁膜）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（絶縁膜）を構成する絶縁材料として、 $\text{SiO}_2$ を含む $\text{SiO}_x$ 系材料、 $\text{SiN}_x$ 系材料、 $\text{SiO}_y\text{N}_z$ 系材料、 $\text{TaO}_x$ 、 $\text{ZrO}_x$ 、 $\text{AlN}_x$ 、 $\text{AlO}_x$ 、 $\text{GaO}_x$ 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にもできる。被覆層（絶縁膜）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。

[0042] 以上に説明した各種の好ましい形態を含む本開示の発光素子等において、共振器長を $L_{\text{OR}}$ としたとき、

$$L_{\text{OR}} \geq 1 \times 10^{-6} \text{m}$$

を満足することが好ましい。

### 実施例 1

[0043] 実施例1は、本開示の第1の態様及び第4の態様に係る発光素子及びその製造方法に関する。実施例1あるいは後述する実施例2～実施例10の発光素子は、より具体的には、第2化合物半導体層の頂面から第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、積層構造体や凹面部等の模式的な一部端面図を図2に示す。尚、図2において、ハッチング線を省略した。

[0044] 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、

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、

が積層された積層構造体20、

基板11、

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、並びに、

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、

を備えており、

第2光反射層42は、平坦な形状を有し、

基板11の表面には、凹面部12が形成されており、

第1光反射層41は、少なくとも凹面部12の上に形成されており(具体的には、実施例にあっては、第1光反射層41は、凹面部12の上から基板11の第2面11bの一部の上に互りに形成されており)、

第1化合物半導体層21は、基板11の表面から凹面部12の上方に互りに形成されている。

[0045] そして、実施例1の発光素子において、凹面部12の上に形成された第1光反射層41と第1化合物半導体層との間は空洞43である。具体的には、空洞43には、空気が閉じ込められており、又は、不活性ガス(窒素ガス等

) が閉じ込められており、又は、第 1 化合物半導体層の形成時のプロセスガスが閉じ込められている。あるいは又、凹面部 1 2 の上に形成された第 1 光反射層 4 1 と、凹面部 1 2 の上方の第 1 化合物半導体層 2 1 ( 具体的には、第 1 化合物半導体層 2 1 の第 1 面 2 1 a ) の部分とによって、共振器構造が構成されており、共振器構造の長さ  $L_{DBR}$  は、活性層 2 3 から出射される発振波長  $\lambda_0$  を有する主たる光が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長  $\lambda_0$  に隣接する波長  $\lambda'$  を有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである。

[0046] 基板 1 1 は、化合物半導体基板、具体的には、極性面である C 面、 $\{0001\}$  面を主面とする GaN 基板から構成されている。積層構造体 2 0 は GaN 系化合物半導体から成る。第 1 化合物半導体層 2 1 は第 1 導電型 ( 具体的には、n 型 ) を有し、第 2 化合物半導体層 2 2 は、第 1 導電型とは異なる第 2 導電型 ( 具体的には、p 型 ) を有する。第 1 光反射層 4 1 と接する基板 1 1 の面は基板 1 1 の第 2 面 1 1 である。基板 1 1 の第 2 面 1 1 b と対向する面を、基板 1 1 の第 1 面 1 1 a と呼ぶ。

[0047] 第 1 光反射層 4 1 の内面 4 1 a から或る深さまでの第 1 光反射層 4 1 の領域、空洞 4 3、積層構造体 2 0 ( 第 1 化合物半導体層 2 1、活性層 2 3 及び第 2 化合物半導体層 2 2 )、第 2 電極 3 2、並びに、第 2 化合物半導体層 2 2 の第 2 面 2 2 b から或る深さまでの第 2 光反射層 4 2 の領域によって、共振器が構成される。ここで、共振器長を  $L_{OR}$  としたとき、

$$L_{OR} \geq 1 \times 10^{-6} \text{ m } ( 1 \mu \text{ m } )$$

を満足する。

[0048] そして、実施例 1 の発光素子において、積層構造体 2 0 の積層方向を含む仮想平面 ( Z 軸を含む仮想平面 ) で第 1 光反射層 4 1 を切断したときの凹面部 1 2 と接する第 1 光反射層 4 1 の内面 4 1 a ( 第 1 光反射層 4 1 の有効領域 4 4 ) が描く図形は、円の一部又は放物線の一部である。但し、有効領域 4 4 の外側に位置する第 1 光反射層 4 1 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。第 1 光反射層 4 1 は基板 1 1 の第 2 面

11bの一部の上を延びており、この部分の形状（断面形状の図形）は平坦である。第1光反射層41及び第2光反射層42は多層光反射膜から構成されている。凹面部12の外縁部の平面形状を円形とした。また、基板11の第2面11b上に残された第1光反射層41の外縁部の平面形状を正六角形とした。

[0049] 更には、第1光反射層41の有効領域44の半径を $r'_{\text{DBR}}$ 、曲率半径を $R_{\text{DBR}}$ としたとき、

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

を満足する。具体的には、限定するものではないが、

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

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

$$r'_{\text{DBR}} = 25 \mu \text{ m}$$

を例示することができる。また、活性層23から出射される主たる光の有する発振波長 $\lambda_0$ として、

$$\lambda_0 = 445 \text{ nm}$$

を例示することができる。

[0050] ここで、活性層23から第1光反射層41の内面41a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、

$$x = z^2 / t_0$$

$$L_{\text{DBR}} = r'_{\text{DBR}}^2 / 2 T_0$$

で表すことができるが、内面41a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。

[0051] 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、一般に、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<sub>2</sub>N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。

[0052] 第1化合物半導体層21は $n$ -Ga<sub>0.96</sub>N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 $p$ -Ga<sub>0.96</sub>N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、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>層とSiO<sub>2</sub>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、絶縁層（電流狭窄層）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。後述するように、開口部34Aを有する絶縁層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、開口部34Aによって電流注入領域61Aが規定される。

[0053] 以下の説明におけるパラメータは、以下のとおりである（図2も参照）。

$\lambda_0$  : 活性層23から出射される主たる光の発振波長

$\lambda'$  : 主たる光（発振波長 $\lambda_0$ ）に隣接する光の波長

$R_1$  : 第1光反射層41の内面41aの光反射率

$R_2$  : 第1化合物半導体層21の第1面21aの光反射率

$d_1$  : 積層構造体20の厚さ



$d_2$ ,  $L_{DBR}$  : 凹面部 1 2 内の第 1 光反射層 4 1 の部分と第 1 化合物半導体層 2 1 の第 1 面 2 1 a との間の最大長さ、若しくは、活性層 2 3 の面積重心点を通る活性層 2 3 の法線に沿った凹面部 1 2 内の第 1 光反射層 4 1 の内面 4 1 a と第 1 化合物半導体層 2 1 の第 1 面 2 1 a との間の最大長さ、又は、凹面部 1 2 内の第 1 光反射層 4 1 の内面 4 1 a と第 1 化合物半導体層 2 1 の第 1 面 2 1 a とによって構成される共振器構造の長さ

$n_1$  : 積層構造体 2 0 を構成する材料の等価屈折率 (平均屈折率)

$n_2$  : 凹面部 1 2 内の第 1 光反射層 4 1 の部分と第 1 化合物半導体層 2 1 の第 1 面 2 1 a との間を占める物質の屈折率 (但し、 $n_2 \neq n_1$ )

$L_{OR}$  : 第 1 光反射層 4 1 と第 2 光反射層 4 2 によって構成される共振器の共振器長

[0054] 空洞 4 3 が空気で占められている場合、屈折率  $n_2$  は 1.00 である。

[0055] 共振器長  $L_{OR}$  は、

$$L_{OR} = n_1 \times n_1 + n_2 \times n_2 = (\lambda_0 / 2) \times m$$

で表される。また、 $n_1 > n_2$  の場合、

$$n_1 \times n_1 = (\lambda_0 / 2) \times p$$

$$n_2 \times n_2 = (\lambda_0 / 2) \times (q + 1 / 2)$$

で表される。尚、 $m$ ,  $p$ ,  $q$  は正の整数である。一方、 $n_1 < n_2$  の場合、

$$n_1 \times n_1 = (\lambda_0 / 2) \times (p + 1 / 2)$$

$$n_2 \times n_2 = (\lambda_0 / 2) \times q$$

で表される。

[0056]  $\lambda_0 = 445 \text{ nm}$  において、複数の縦モードが発生した場合のモードの間隔を計算した結果を図 3 に示す。図 3 の横軸は共振器長  $L_{OR}$  (単位:  $\mu\text{m}$ ) であり、縦軸はモードの間隔 (単位:  $\text{nm}$ ) である。共振器長  $L_{OR}$  を  $20 \mu\text{m}$  とし、 $n_1$  を 3.4 としたとき、モードの間隔 ( $\Delta\lambda = |\lambda_0 - \lambda'|$ ) は  $1.5 \text{ nm}$  となる。

[0057] ところで、面発光レーザー素子における利得は 1% 程度である。即ち、活性層 2 3 において生成した光が共振器内を 1 往復することで、光強度は 1% 程

度増加する。従って、発振波長 $\lambda_0$ に隣接する波長 $\lambda'$ を有する光（縦モードの光）の光透過率が0.99を下回れば、即ち、波長 $\lambda'$ を有する共振器内を1往復するときの利得1%を超えるロスが発生すれば、面発光レーザ素子において、波長 $\lambda'$ を有する光の発振は生じないことになる。即ち、 $\lambda' = 445 \pm 1.5 \text{ nm}$ において、光透過率が0.99を下回れば波長 $\lambda'$ を有する光の発振は生じないことになる。

[0058] 第1光反射層41と第1化合物半導体層21によって構成される共振器（ファブリペロー共振器）の光透過率Tは、以下の式で表される（先端光エレクトロニクスシリーズ6「光波光学」、第97頁、國分 光章 著、共立出版社、1999年6月10日初版第1刷発行 参照）。

$$T = [1 + [ \{ (4R) / (1 - R)^2 \} \times \sin^2 (k_0 \cdot n \cdot L_{\text{DBR}}) ] ]^{-1} \quad (1)$$

ここで、nは屈折率であり、

$$R = (R_1 \times R_2)^{1/2}$$

$$k_0 = 2\pi / \lambda_0$$

である。

[0059]  $R_1 = 1.00$

$$R_2 = 0.18$$

$$\lambda_0 = 445 \text{ nm}$$

$$T = 1.00$$

で面発光レーザ素子が設計されているとき、式(1)における $\sin^2$ の項の値は0であり、従って、

$$k_0 \cdot n \cdot L_{\text{DBR}} = \pi \times m'$$

となる。但し、 $m'$ は正の整数である。

[0060] また、 $T = 0.99$ の場合、 $k' = 2\pi / \lambda'$ とすると、式(1)から、

$$\sin^2 (k' \cdot n \cdot L_{\text{DBR}}) = 0.044418$$

となるので、

$$k' \cdot n \cdot L_{\text{DBR}} = \pi \times m' + 0.044432$$

$$= (k_0 \cdot n \cdot L_{\text{DBR}}) + 0.044432$$

従って、

$$(2\pi/\lambda') \cdot n \cdot L_{\text{DBR}} = \{ (2\pi/\lambda_0) \cdot n \cdot L_{\text{DBR}} \} + 0.044432$$

となる。n=1、 $\lambda_0=0.445 \mu\text{m}$ とし、これらの値を代入して、上式を変形すると、

$$L_{\text{DBR}} = (0.044432 / 2\pi) (1/\lambda' - 1/0.445) \quad (2)$$

となる。

[0061] ここで、式(2)に基づき、 $\lambda'$ と $L_{\text{DBR}}$ の関係を求めてグラフ化すると、図4に示すとおりとなる。図4の縦軸は、 $\Delta\lambda$ ( $\lambda'$ と $\lambda_0$ の差であり、モードの間隔に相当し、単位はnm)であり、横軸は、共振器構造の長さ $L_{\text{DBR}}$ (単位は $\mu\text{m}$ )である。 $\Delta\lambda=1.5 \text{ nm}$ のとき、共振器構造の長さ $L_{\text{DBR}}$ 、即ち、 $d_2$ を約 $1 \mu\text{m}$ とすれば、波長 $\lambda'$ を有する光は発振しない。言い換えれば、この共振器構造の長さ $L_{\text{DBR}}$ ( $d_2$ )は、活性層23から出射される発振波長 $\lambda_0$ を有する主たる光が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長 $\lambda_0$ に隣接する波長 $\lambda'$ を有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである。

[0062] 以下、図5A、図5B、図6A、図6B、図7A、図7B、図8A及び図8Bを参照して、実施例1の発光素子の製造方法を説明する。尚、図5A、図5B、図6A、図6B、図7A及び図7Bにおいては2つの発光素子を図示し、図8A及び図8Bにおいては1つの発光素子を図示する。

[0063] [工程-100]

先ず、基板11の表面(第2面11b)に凹面部12を形成する。具体的には、基板11の第2面11bの上にレジスト層81を形成し(図5A参照)、レジスト層をパターンニングして、凹面部12を形成すべき基板11の上のレジスト層を除去する。そして、レジスト層に加熱処理を施すことで、レジスト層81に凹部82を形成する。こうして、図5Bに示す構造を得ることができる。次いで、レジスト層81及び基板11をエッチバックする。こうして、図6Aに示すように、基板11の第2面11bに凹面部12を形成

することができる。

[0064] [工程－１１０]

次に、少なくとも凹面部上に第１光反射層を形成する。具体的には、凹面部１２の上を含む基板１１の第２面１１ｂの上に、周知の方法で、例えば、誘電体多層膜から成る第１光反射層４１を形成する。具体的には、基板１１の露出面（第２面１１ｂ）から凹面部１２の上に互り、スパッタリング法や真空蒸着法といった周知の方法に基づき誘電体多層膜を形成する（図６Ｂ参照）。そして、発光素子を形成すべき領域と発光素子を形成すべき領域の間の第１光反射層４１を、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ンニング法に基づき除去する。このとき、凹面部１２の中心を通る法線には結晶欠陥が多く存在する会合部分が形成されないように、第１光反射層４１を除去する。第１光反射層４１の除去された部分を参照番号８３で示す。こうして、図７Ａに示す構造を得ることができる。基板１１の第２面１１ｂ上に残された第１光反射層４１の外縁部の平面形状を正六角形とした。

[0065] [工程－１２０]

その後、基板１１の表面（第２面１１ｂ）上及び凹面部１２の上方に、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が積層された積層構造体２０を形成する。即ち、第１光反射層４１を含む基板１１の第２面１１ｂの上に、

GaN系化合物半導体から成り、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、

GaN系化合物半導体から成り、第１化合物半導体層２１の第２面２１ｂと接する活性層（発光層）２３、及び、

GaN系化合物半導体から成り、第１面２２ａ、及び、第１面２２ａと対向する第２面２２ｂを有し、第１面２２ａが活性層２３と接する第２化合物半導体層２２、

が積層されて成る積層構造体２０を形成する。具体的には、ELO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、横方向成長により、露出した基板 11 の第 2 面 11 b から（第 1 光反射層 41 の除去された部分 83 から）、 $n\text{-Ga}\text{N}$  から成る第 1 化合物半導体層 21 を形成し（図 7 B 参照）、更に、第 1 化合物半導体層 21 の上に、エピタキシャル成長法に基づき、活性層 23、第 2 化合物半導体層 22 を形成することで、積層構造体 20 を得ることができる（図 8 A 参照）。

[0066] 凹面部 12 の上に形成された第 1 光反射層 41 と第 1 化合物半導体層 21 との間は空洞 43 となる。また、凹面部 12 の上に形成された第 1 光反射層 41 と、凹面部 12 の上方の第 1 化合物半導体層 21 の部分とによって、共振器構造が構成されており、共振器構造の長さ  $L_{\text{DBR}}$  は、活性層 23 から出射される発振波長  $\lambda_0$  を有する主たる光が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長  $\lambda_0$  に隣接する波長  $\lambda'$  を有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである。

[0067] 基板 11 の第 2 面 11 b からエピタキシャル成長する第 1 化合物半導体層 21 は、凹面部 12 の中心部上方において会合することがない。結晶欠陥が多く存在する会合部分（図 7 B において、参照番号 84 で示す）が素子領域の中心部に位置すると、発光素子の特性に悪影響が生じる虞がある。実施例 1 にあっては、凹面部 12 の中心を通る法線上には、結晶欠陥が多く存在する会合部分 84 が存在しない。更には、基板 11 への会合部分 84 の正射影像は、凹面部 12 に含まれない。従って、発光素子の特性への悪影響の発生を確実に抑制することができる。

[0068] [工程 - 130]

次いで、第 2 化合物半導体層 22 の第 2 面 22 b 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 34 A を有し、 $\text{SiO}_2$  から成る絶縁層（電流狭窄層）34 を形成する（図 8 B 参照）。開口部 34 A を有する絶縁層 34 によって、電流狭窄領域（電流注入領域 61 A 及び電流非注入領域 61 B）が規定される。即ち、開口部 34 A によって電流注入領域 61 A が

規定される。

[0069] 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、 $\text{SiO}_x$ や $\text{SiN}_x$ 、 $\text{AlO}_x$ ）から成る絶縁層（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。

[0070] [工程-140]

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から絶縁層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。

[0071] [工程-150]

その後、基板11の第1面11aの上に、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31を形成する。こうして、図1に示す構造を得ることができる。そして、更に、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20の側面や露出面を、例えば、 $\text{SiO}_2$ 等の絶

縁材料から成る被覆層で被覆する。そして、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ことができる。

[0072] 実施例 1 の発光素子にあっては、凹面部上に形成された第 1 光反射層と第 1 化合物半導体層との間には空洞が形成されており、また、凹面部上に形成された第 1 光反射層と、凹面部上方の第 1 化合物半導体層の部分とによって、共振器構造が構成されており、共振器構造の長さは、活性層から出射される発振波長 $\lambda_0$ を有する主たる光が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長 $\lambda_0$ に隣接する波長 $\lambda'$ を有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである。それ故、活性層から出射される主たる光（発振波長 $\lambda_0$ ）に隣接する光の発振を抑制することができるので、単一縦モードを得ることを可能とする構成、構造の発光素子を提供することができる。

[0073] しかも、実施例 1 の発光素子においては、第 1 光反射層が凹面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を活性層に向かって確実に反射し、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。また、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。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、 $\text{SiO}_2$ や $\text{Ta}_2\text{O}_5$ といった材料）は、 $\text{GaN}$ 系化合物半導体よりも熱伝導率の値が低い。よって、 $\text{GaN}$ 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、 $\text{GaN}$ 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、縦モードが多モード化し易いが、実施例 1 の発光素子にあっては、共振器長が長くなっても、単一縦モードを得ることができる。また、共振器長 $L_{OR}$ を長く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。次に述べる実施例 2 の発光素子においても同様である。

## 実施例 2

- [0074] 実施例 2 は、本開示の第 2 の態様及び第 3 の態様に係る発光素子に関する。実施例 2 の発光素子の模式的な一部端面図を図 9 に示す。
- [0075] 実施例 2 の発光素子の構造は、基本的に、実施例 1 の発光素子と同様である。そして、実施例 2 の発光素子において、凹面部 1 2 上に形成された第 1 光反射層 4 1 と第 1 化合物半導体層 2 1 との間には、第 1 化合物半導体層 2 1 を構成する材料とは異なる材料（充填材料 4 5）が充填されている。あるいは又、凹面部 1 2 の上に形成された第 1 光反射層 4 1 と第 1 化合物半導体層 2 1 との間には、屈折率  $n_2$  を有する材料（充填材料 4 5）が充填されており、第 1 化合物半導体層を構成する材料の屈折率を  $n_1$  としたとき、 $n_1 \neq n_2$  を満足する。
- [0076] 実施例 2 において、具体的には、第 1 化合物半導体層 2 1 を構成する材料は、屈折率  $n_1 = 2.5$  の  $n\text{-Ga}N$  層から成り、充填材料 4 5 を構成する材料は、屈折率  $n_2 = 1.4$  のフッ素系樹脂から成る。ここで、 $|n_2 - n_1| \geq 1.0$  を満足する。
- [0077] 実施例 2 の発光素子にあっては、凹面部上に形成された第 1 光反射層と第 1 化合物半導体層との間には、第 1 化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料（充填材料）が充填されている。あるいは又、凹面部の上に形成された第 1 光反射層と第 1 化合物半導体層との間には、第 1 化合物半導体層を構成する材料とは屈折率が異なる材料（充填材料）が充填されている。それ故、活性層から出射される主たる光（発振波長  $\lambda_0$ ）に隣接する光の発振を抑制することができるので、単一縦モードを得ることを可能とする構成、構造の発光素子を提供することができる。
- [0078] 実施例 2 の発光素子を製造するためには、実施例 1 の [工程 - 1 1 0] と同様の工程において、凹面部 1 2 の上を含む基板 1 1 の第 2 面 1 1 b の上に、周知の方法で、例えば、誘電体多層膜から成る第 1 光反射層 4 1 を形成した後、凹面部 1 2 の上方の第 1 光反射層 4 1 の上を含む全面に充填材料から成る層を成膜し、次いで、この層を平坦化することで、凹面部 1 2 の上方の



第1光反射層41の部分を充填材料45で充填すればよい（図10A参照）。次いで、実施例1の〔工程－110〕と同様の工程において、発光素子を形成すべき領域と発光素子を形成すべき領域の間の第1光反射層41を、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除去すればよい（図10B参照）。そして、実施例1の〔工程－120〕と同様の工程において、基板11の表面（第2面11b）上及び充填材料45の上に、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が積層された積層構造体20を形成すればよい。但し、積層構造体20の形成方法は、ELO法等の横方向にエピタキシャル成長させる方法に限定されず、他の方法によって形成してもよい。また、GaN基板も極性／無極性／半極性を主面に有するGaN基板を使用することができる。極性GaN基板を使用すると、活性層におけるピエゾ電界効果に起因して発光効率が低下する傾向があるが、無極性GaN基板や半極性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。

[0079] 場合によっては、実施例1の〔工程－120〕と同様の工程を実行した後、積層構造体20の所望の部分に空洞43に達する孔部85を形成し（図11A参照）、孔部85を介して、空洞43に液体材料45Aを注入した後（図11B参照）、液体材料45Aを硬化させることで、充填材料45を得てもよい。あるいは又、場合によっては、実施例1の〔工程－120〕と同様の工程を実行した後、基板11の所望の部分に空洞43に達する孔部86（図12A参照）を形成し、孔部86を介して、空洞43に液体材料45Aを注入した後（図12B参照）、液体材料45Aを硬化させることで、充填材料45を得てもよい。

[0080] 以下、実施例3～実施例10を説明する前に、本開示の発光素子等の各種変形例についての説明を行う。

[0081] 前述したとおり、開口部34Aを有する絶縁層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。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、以下の式を満足する。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。また、 $\omega_0$  はビームウェスト半径とも呼ばれる。

$$[0082] \quad D_{CI} \geq \omega_0 / 2 \quad (A)$$

但し、

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

[0083] ここで、第 1 構成の発光素子は、第 1 光反射層側にのみ凹面鏡部を有するが、第 2 光反射層の平板な鏡に対する対称性を考えれば、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 2 2 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。 $\omega_0$  の値と共振器長  $L_{OR}$  の値と第 1 光反射層の凹面鏡部の曲率半径  $R_{DBR}$  の値の関係を示すグラフを、図 2 3 及び図 2 4 に示す。尚、 $\omega_0$  の値が「正」であるとは、レーザ光が模式的に図 2 5 A の状態にあることを示し、 $\omega_0$  の値が「負」であるとは、レーザ光が模式的に図 2 5 B の状態にあることを示す。レーザ光の状態は、図 2 5 A に示す状態であってもよいし、図 2 5 B 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 2 5 B 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 2 5 A 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。

[0084] 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る、レーザ発振を確実に達成することができる。

[0085] そして、第1構成の発光素子は、

第2化合物半導体層の第2面上に設けられ、発振モードロスの増減に作用するモードロス作用領域を構成するモードロス作用部位、及び、

第2化合物半導体層の第2面上からモードロス作用部位上に互り形成された第2電極、

を更に備えており、

積層構造体には、電流注入領域、電流注入領域を取り囲む電流非注入・内側領域、及び、電流非注入・内側領域を取り囲む電流非注入・外側領域が形成されており、

モードロス作用領域の正射影像と電流非注入・外側領域の正射影像とは重なり合っている構成とすることができる。

[0086] そして、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、第1光反射層の有効領域の半径 $r'_{DBR}$ 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、 $r'_{DBR} \leq 1 \times 10^{-4}m$ 、好ましくは、 $r'_{DBR} \leq 5 \times 10^{-5}m$ 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。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、 $R_{DBR} \leq 1 \times 10^{-3}m$ 、好ましくは、 $1 \times 10^{-5}m \leq R_{DBR} \leq 1 \times 10^{-3}m$ 、より好ましくは、 $1 \times 10^{-5}m \leq R_{DBR} \leq 5 \times 10^{-4}m$ を満足する構成とすることができる。

[0087] また、本開示の発光素子等は、

第2化合物半導体層の第2面上に設けられ、発振モードロスの増減に作用するモードロス作用領域を構成するモードロス作用部位、及び、

第2化合物半導体層の第2面上からモードロス作用部位上に互り形成された第2電極、

を更に備えており、

積層構造体には、電流注入領域、電流注入領域を取り囲む電流非注入・内側領域、及び、電流非注入・内側領域を取り囲む電流非注入・外側領域が形成されており、

モードロス作用領域の正射影像と電流非注入・外側領域の正射影像とは重なり合っ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。

[0088] 第2構成の発光素子において、積層構造体には電流非注入領域（電流非注入・内側領域及び電流非注入・外側領域の総称）が形成されているが、電流非注入領域は、具体的には、厚さ方向、第2化合物半導体層の第2電極側の領域に形成されていてもよいし、第2化合物半導体層全体に形成されていてもよいし、第2化合物半導体層及び活性層に形成されていてもよいし、第2化合物半導体層から第1化合物半導体層の一部に互り形成されていてもよい。モードロス作用領域の正射影像と電流非注入・外側領域の正射影像とは重なり合っているが、電流注入領域から十分に離れた領域においては、モードロス作用領域の正射影像と電流非注入・外側領域の正射影像とは重なり合っていないともよい。

[0089] 第2構成の発光素子において、電流非注入・外側領域はモードロス作用領域の下方に位置している構成とすることができる。

[0090] 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、電流注入領域の正射影像の面積を $S_1$ 、電流非注入・内側領域の正射影像の面積を $S_2$ としたとき、

$$0.01 \leq S_1 / (S_1 + S_2) \leq 0.7$$

を満足する構成とすることができる。

[0091] 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、電流非注入・内側領域及び電流非注入・外側領域は、積層構造体へのイオン注入によって形成される構成とすることができる。このような構成の発光素子を、便宜上、『第2-A構成の発光素子』と呼ぶ。そして、この場合、イオン種は、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）である構成とすることができる。

[0092] あるいは又、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、電流非注入・内側領域及び電流非注入・外側領域は、第2化合物半導体層の第2面へのプラズマ照射、又は、第2化合物半導体層の第2面へのアッシング処理、又は、第2化合物半導体層の第2面への反応性イオンエッチング処理によって形成される構成とすることができる。このような構成の発光素子を、便宜上、『第2-B構成の発光素子』と呼ぶ。これらの処理にあっては、電流非注入・内側領域及び電流非注入・外側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、電流非注入・内側領域及び電流非注入・外側領域は高抵抗状態となる。即ち、電流非注入・内側領域及び電流非注入・外側領域は、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構成とすることができる。プラズマ粒子として、具体的には、アルゴン、酸素、窒素等を挙げる事ができる。

[0093] あるいは又、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、第2光反射層は、第1光反射層からの光を、第1光反射層と第2光反射層とによって構成される共振器構造の外側に向かって反射あるいは散乱する領域を有する構成とすることができる。このような構成の発光素子を、便宜上、『第2-C構成の発光素子』と呼ぶ。具体的には、モードロス作用部位の側壁（モードロス作用部位に設けられた開口部の側壁）の上方に位置する第2光反射層の領域は、順テーパ状の傾斜を有する。また、モードロス作用部位の頂面と、モードロス作用部位に設けられた開口部の側壁との境界（側壁エ

ツジ部)において光を散乱させることで、第1光反射層と第2光反射層とによって構成される共振器構造の外側に向かって光を散乱させる構成とすることもできる。

[0094] 以上に説明した第2-A構成の発光素子、第2-B構成の発光素子あるいは第2-C構成の発光素子において、電流注入領域における活性層から第2化合物半導体層の第2面までの光学的距離を $L_2$ 、モードロス作用領域における活性層からモードロス作用部位の頂面までの光学的距離を $L_0$ としたとき、 $L_0 > L_2$

を満足する構成とすることができる。更には、このような構成を含む、以上に説明した第2-A構成の発光素子、第2-B構成の発光素子あるいは第2-C構成の発光素子において、生成した高次モードを有する光は、モードロス作用領域により、第1光反射層と第2光反射層とによって構成される共振器構造の外側に向かって散逸させられ、以て、発振モードロスが増加する構成とすることができる。即ち、生じる基本モード及び高次モードの光場強度が、発振モードロスの増減に作用するモードロス作用領域の存在によって、モードロス作用領域の正射影像内において、Z軸から離れるほど、減少するが、基本モードの光場強度の減少よりも高次モードのモードロスの方が多く、基本モードを一層安定化させることができるし、電流注入内側領域が存在しない場合に比べるとモードロスを抑制することができるので、閾値電流の低下を図ることができる。

[0095] また、以上に説明した第2-A構成の発光素子、第2-B構成の発光素子あるいは第2-C構成の発光素子において、モードロス作用部位は、誘電体材料、金属材料又は合金材料から成る構成とすることができる。誘電体材料として、 $SiO_x$ 、 $SiN_x$ 、 $AlN_x$ 、 $AlO_x$ 、 $TaO_x$ 、 $ZrO_x$ を例示することができるし、金属材料あるいは合金材料として、チタン、金、白金あるいはこれらの合金を例示することができるが、これらの材料に限定するものではない。これらの材料から構成されたモードロス作用部位により光を吸収させ、モードロスを増加させることができる。あるいは直接的に光を吸収しな

くても、位相を乱すことでモードロスを制御することができる。この場合、モードロス作用部位は誘電体材料から成り、モードロス作用部位の光学的厚さ  $t_0$  は、発振波長  $\lambda_0$  の  $1/4$  の整数倍から外れる値である構成とすることができる。即ち、共振器内を周回し定在波を形成する光の位相を、モードロス作用部位においては位相を乱すことで定在波を破壊し、それに相応するモードロスを与えることができる。あるいは又、モードロス作用部位は誘電体材料から成り、モードロス作用部位（屈折率を  $n_{m-loss}$  とする）の光学的厚さ  $t_0$  は、発振波長  $\lambda_0$  の  $1/4$  の整数倍である構成とすることができる。即ち、モードロス作用部位の光学的厚さ  $t_0$  は、発光素子において生成した光の位相を乱さず定在波を破壊しないような厚さである構成とすることができる。但し、厳密に  $1/4$  の整数倍である必要はなく、

$$(\lambda_0/4 n_{m-loss}) \times m - (\lambda_0/8 n_{m-loss}) \leq t_0 \leq (\lambda_0/4 n_{m-loss}) \times 2m + (\lambda_0/8 n_{m-loss})$$

を満足すればよい。あるいは又、モードロス作用部位を、誘電体材料、金属材料又は合金材料から成る構成とすることで、モードロス作用部位を通過する光がモードロス作用部位によって、位相を乱されたり、吸収させることができる。そして、これらの構成を採用することで、発振モードロスの制御を一層高い自由度をもって行うことができるし、発光素子の設計自由度を一層高くすることができる。

[0096] あるいは又、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、

第2化合物半導体層の第2面側には凸部が形成されており、

モードロス作用部位は、凸部を囲む第2化合物半導体層の第2面の領域上に形成されている構成とすることができる。このような構成の発光素子を、便宜上、『第2-D構成の発光素子』と呼ぶ。凸部は、電流注入領域及び電流非注入・内側領域を占めている。そして、この場合、電流注入領域における活性層から第2化合物半導体層の第2面までの光学的距離を  $L_2$ 、モードロス作用領域における活性層からモードロス作用部位の頂面までの光学的距離を  $L_0$  としたとき、

$$L_0 < L_2$$

を満足する構成とすることができ、更には、これらの場合、生成した高次モードを有する光は、モードロス作用領域により、電流注入領域及び電流非注入・内側領域に閉じ込められ、以て、発振モードロスが減少する構成とすることができる。即ち、生じる基本モード及び高次モードの光場強度が、発振モードロスの増減に作用するモードロス作用領域の存在によって、電流注入領域及び電流非注入・内側領域の正射影像内において増加する。更には、これらの場合、モードロス作用部位は、誘電体材料、金属材料又は合金材料から成る構成とすることができる。ここで、誘電体材料、金属材料又は合金材料として、上述した各種の材料を挙げることができる。

[0097] 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3構成の発光素子』と呼ぶ。第3構成の発光素子にあっては、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。

[0098] 上記の好ましい構成を含む第3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 $\lambda_0$ 、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、

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

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、 $i = 1, 2, 3 \dots, l$ であり、「 $l$ 」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 $i = l$ 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。

- [0099] 更には、上記の各種の好ましい構成を含む第3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値として1 nmを例示することができる。
- [0100] 更には、上記の各種の好ましい構成を含む第3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。
- [0101] 更には、上記の各種の好ましい構成を含む第3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。
- [0102] 更には、上記の各種の好ましい構成を含む第3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。
- [0103] 更には、上記の各種の好ましい構成を含む第3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、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、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、透明導電性材料から成る電極と兼用することもできる。

[0104] 以下、実施例3～実施例10の説明を行う。

### 実施例 3

[0105] 実施例3は、実施例1～実施例2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34Aを有する絶縁層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。即ち、実施例3の発光素子にあつては、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61Bが設けられており、電流注入領域61Aの面積重心点から、電流注入領域61Aと電流非注入領域61Bの境界61C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。

[0106] 実施例3の発光素子にあつては、第1光反射層41の有効領域44の半径

$r'_{DBR}$ は、

$$\omega_0 \leq r'_{DBR} \leq 20 \cdot \omega_0$$

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

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

$$\omega_0 = 1.5 \mu m$$

$$L_{OR} = 30 \mu m$$

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

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

を例示することができる。また、開口部34Aの直径として8 $\mu$ mを例示することができる。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。

[0107] 凹面部12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。凹面部12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平面内で屡々ずれる。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、凹面部12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3の発光素子では、開口部34A（電流注入領域61）を、凹面部12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、凹面部12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も、発振特性に影響が生じない構造を実現している。

[0108] 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。

#### 実施例 4

[0109] 実施例4は、実施例1～実施例3の変形であり、且つ、第2構成の発光素子、具体的には、第2-A構成の発光素子に関する。実施例4の発光素子の模式的な一部端面図を図13に示す。

[0110] ところで、第1電極と第2電極との間を流れる電流の流路（電流注入領域）を制御するために、電流注入領域を取り囲むように電流非注入領域を形成する。GaAs系面発光レーザ素子（GaAs系化合物半導体から構成された面発光レーザ素子）においては、活性層をXY平面に沿って外側から酸化することで電流注入領域を取り囲む電流非注入領域を形成することができる。酸化された活性層の領域（電流非注入領域）は、酸化されない領域（電流注入領域）に比べて屈折率が低下する。その結果、共振器の光路長（屈折率と物理的な距離の積で表される）は、電流注入領域よりも電流非注入領域の方が短くなる。そして、これによって、一種の「レンズ効果」が生じ、面発光レーザ素子の中心部にレーザ光を閉じ込める作用をもたらす。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い（回折損失）、閾値電流の増加等の悪影響が生じる。しかしながら、レンズ効果は、この回折損失を補償するので、閾値電流の増加等を抑制することができる。

[0111] 然るに、GaN系化合物半導体から構成された発光素子においては、材料の特性上、活性層をXY平面に沿って外部から（横方向から）酸化することが難しい。それ故、実施例1～実施例3において説明したとおり、第2化合物半導体層22上に開口部34Aを有するSiO<sub>2</sub>から成る絶縁層34を形成し、開口部34Aの底部に露出した第2化合物半導体層22から絶縁層34上に互り透明導電性材料から成る第2電極32を形成し、第2電極32上に、絶縁材料の積層構造から成る第2光反射層42を形成する。このように、絶縁層34を形成することで電流非注入領域61Bが形成される。そして、絶縁層34に設けられた開口部34A内に位置する第2化合物半導体層22の部分が電流注入領域61Aとなる。

[0112] 第2化合物半導体層22上に絶縁層34を形成した場合、絶縁層34が形成された領域（電流非注入領域61B）における共振器長は、絶縁層34が形成されていない領域（電流注入領域61A）における共振器長よりも、絶縁層34の光学的厚さ分だけ長くなる。それ故、面発光レーザ素子（発光素

子)の2つの光反射層41, 42によって形成される共振器を往復するレーザー光が共振器外へと発散・散逸する作用が生じてしまう。このような作用を、便宜上、『逆レンズ効果』と呼ぶ。そして、その結果、レーザー光に発振モードロスが生じ、閾値電流が増加したり、スロープ効率が悪化する虞が生じる。ここで、『発振モードロス』とは、発振するレーザー光における基本モード及び高次モードの光場強度に増減を与える物理量であり、個々のモードに対して異なる発振モードロスが定義される。尚、『光場強度』は、XY平面におけるZ軸からの距離Lを関数とした光場強度であり、一般に、基本モードにおいては距離Lが増加するに従い単調に減少するが、高次モードにおいては距離Lが増加するに従い増減を一度若しくは複数繰り返しながら減少に至る(図15の(A)の概念図を参照)。尚、図15において、実線は基本モードの光場強度分布、破線は高次モードの光場強度分布を示す。また、図15において、第1光反射層41を、便宜上、平坦状態で表示しているが、実際には凹面部12の上に形成されている。

- [0113] 実施例4の発光素子あるいは後述する実施例5～実施例7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、  
及び、  
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、GaN系化合物半導体から成る積層構造体20、
  - (B) 第2化合物半導体層22の第2面22b上に設けられ、発振モードロスの増減に作用するモードロス作用領域55を構成するモードロス作用部位(モードロス作用層)54、
  - (C) 第2化合物半導体層22の第2面22bの上からモードロス作用部位54の上に互り形成された第2電極32、
  - (D) 第2電極32の上に形成された第2光反射層42、

(E) 第1光反射層41、並びに、

(F) 第1電極31、

を備えている。

[0114] そして、積層構造体20には、電流注入領域51、電流注入領域51を取り囲む電流非注入・内側領域52、及び、電流非注入・内側領域52を取り囲む電流非注入・外側領域53が形成されており、モードロス作用領域55の正射影像と電流非注入・外側領域53の正射影像とは重なり合っている。即ち、電流非注入・外側領域53はモードロス作用領域55の下方に位置している。尚、電流が注入される電流注入領域51から十分に離れた領域においては、モードロス作用領域55の正射影像と電流非注入・外側領域53の正射影像とは重なり合っていないともよい。ここで、積層構造体20には、電流が注入されない電流非注入領域52、53が形成されているが、図示した例では、厚さ方向、第2化合物半導体層22から第1化合物半導体層21の一部に互り形成されている。但し、電流非注入領域52、53は、厚さ方向、第2化合物半導体層22の第2電極側の領域に形成されていてもよいし、第2化合物半導体層22全体に形成されていてもよいし、第2化合物半導体層22及び活性層23に形成されていてもよい。

[0115] モードロス作用部位（モードロス作用層）54は、SiO<sub>2</sub>といった誘電体材料から成り、実施例4あるいは後述する実施例5～実施例7の発光素子においては、第2電極32と第2化合物半導体層22との間に形成されている。モードロス作用部位54の光学的厚さは、発振波長 $\lambda_0$ の1/4の整数倍から外れる値とすることができる。あるいは又、モードロス作用部位54の光学的厚さ $t_0$ は、発振波長 $\lambda_0$ の1/4の整数倍とすることもできる。即ち、モードロス作用部位54の光学的厚さ $t_0$ は、発光素子において生成した光の位相を乱さず、定在波を破壊しないような厚さとすることができる。但し、厳密に1/4の整数倍である必要はなく、

$$(\lambda_0/4 n_{m-loss}) \times m - (\lambda_0/8 n_{m-loss}) \leq t_0 \leq (\lambda_0/4 n_{m-loss}) \times 2m + (\lambda_0/8 n_{m-loss})$$

を満足すればよい。具体的には、モードロス作用部位 5 4 の光学的厚さ  $t_0$  は、発光素子において生成した光の波長の  $1/4$  の値を「100」としたとき、25乃至250程度とすることが好ましい。そして、これらの構成を採用することで、モードロス作用部位 5 4 を通過するレーザ光と、電流注入領域 5 1 を通過するレーザ光との間の位相差を変える（位相差を制御する）ことができ、発振モードロスの制御を一層高い自由度をもって行うことができるし、発光素子の設計自由度を一層高くすることができる。

[0116] 実施例 4 において、電流注入領域 5 1 と電流非注入・内側領域 5 2 との境界の形状を円形（直径： $8\ \mu\text{m}$ ）とし、電流非注入・内側領域 5 2 と電流非注入・外側領域 5 3 との境界の形状を円形（直径： $12\ \mu\text{m}$ ）とした。即ち、電流注入領域 5 1 の正射影像の面積を  $S_1$ 、電流非注入・内側領域 5 2 の正射影像の面積を  $S_2$  としたとき、

$$0.01 \leq S_1 / (S_1 + S_2) \leq 0.7$$

を満足する。具体的には、

$$S_1 / (S_1 + S_2) = 8^2 / 12^2 = 0.44$$

である。

[0117] 実施例 4 あるいは後述する実施例 5～実施例 6 の発光素子において、電流注入領域 5 1 における活性層 2 3 から第 2 化合物半導体層 2 2 の第 2 面までの光学的距離を  $L_2$ 、モードロス作用領域 5 5 における活性層 2 3 からモードロス作用部位 5 4 の頂面（第 2 電極 3 2 と対向する面）までの光学的距離を  $L_0$  としたとき、

$$L_0 > L_2$$

を満足する。具体的には、

$$L_0 / L_2 = 1.5$$

とした。そして、生成した高次モードを有するレーザ光は、モードロス作用領域 5 5 により、第 1 光反射層 4 1 と第 2 光反射層 4 2 とによって構成される共振器構造の外側に向かって散逸させられ、以て、発振モードロスが増加する。即ち、生じる基本モード及び高次モードの光場強度が、発振モードロ



スの増減に作用するモードロス作用領域55の存在によって、モードロス作用領域55の正射影像内において、Z軸から離れるほど、減少するが（図15の（B）の概念図を参照）、基本モードの光場強度の減少よりも高次モードの光場強度の減少の方が多く、基本モードを一層安定化させることができるし、閾値電流の低下を図ることができるし、基本モードの相対的な光場強度を増加させることができる。しかも、高次モードの光場強度の裾の部分は、電流注入領域から、従来の発光素子（図15の（A）参照）よりも一層遠くに位置するので、逆レンズ効果の影響の低減を図ることができる。尚、そもそも、SiO<sub>2</sub>から成るモードロス作用部位54を設けない場合、発振モード混在が発生してしまう。

[0118] 第1化合物半導体層21はn-GaN層から成り、活性層23はIn<sub>0.04</sub>Ga<sub>0.96</sub>N層（障壁層）とIn<sub>0.16</sub>Ga<sub>0.84</sub>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。また、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。モードロス作用部位54には円形の開口部54Aが形成されており、この開口部54Aの底部に第2化合物半導体層22が露出している。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Ti/Pd/Au又は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、SiN層とSiO<sub>2</sub>層の積層構造（誘電体膜の積層総数：20層）から成る。

[0119] 実施例4の発光素子において、電流非注入・内側領域52及び電流非注入・外側領域53は、積層構造体20へのイオン注入によって形成される。イオン種として、例えば、ボロンを選択したが、ボロンイオンに限定するものではない。

[0120] 以下、実施例4の発光素子の製造方法の概要を説明する。

[0121] [工程-400]

実施例4の発光素子の製造にあつては、先ず、実施例1の[工程-100]～[工程-120]と同様の工程を実行する。

[0122] [工程-410]

次いで、ボロンイオンを用いたイオン注入法に基づき、電流非注入・内側領域52及び電流非注入・外側領域53を積層構造体20に形成する。

[0123] [工程-420]

その後、実施例1の[工程-130]と同様の工程において、第2化合物半導体層22の第2面22b上に、周知の方法に基づき、開口部54Aを有し、SiO<sub>2</sub>から成るモードロス作用部位（モードロス作用層）54を形成する（図14A参照）。

[0124] [工程-430]

その後、実施例1の[工程-140]～[工程-150]と同様の工程を実行することで、実施例4の発光素子を得ることができる。尚、[工程-130]と同様の工程において得られた構造を図14Bに示す。

[0125] 実施例4の発光素子において、積層構造体には、電流注入領域、電流注入領域を取り囲む電流非注入・内側領域、及び、電流非注入・内側領域を取り囲む電流非注入・外側領域が形成されており、モードロス作用領域の正射影像と電流非注入・外側領域の正射影像とは重なり合っている。即ち、電流注入領域とモードロス作用領域とは、電流非注入・内側領域によって隔てられている（切り離されている）。それ故、概念図を図15の(B)に示すように、発振モードロスの増減（具体的には、実施例4にあつては増加）を所望の状態とすることが可能となる。あるいは又、電流注入領域とモードロス作用領域との位置関係、モードロス作用領域を構成するモードロス作用部位の厚さ等を、適宜、決定することで、発振モードロスの増減を所望の状態とすることが可能となる。そして、その結果、例えば、閾値電流が増加したり、スロープ効率が悪化するといった従来の発光素子における問題を解決するこ

とができる。例えば、基本モードにおける発振モードロスを減少させることによって、閾値電流の低下を図ることができる。しかも、発振モードロスが与えられる領域と電流が注入され発光に寄与する領域とを独立して制御することができるので、即ち、発振モードロスの制御と発光素子の発光状態の制御とを独立して行うことができるので、制御の自由度、発光素子の設計自由度を高くすることができる。具体的には、電流注入領域、電流非注入領域及びモードロス作用領域を上記の所定の配置関係とすることで、基本モード及びより高次のモードに対してモードロス作用領域が与える発振モードロスの大小関係を制御することができ、高次モードに与える発振モードロスを基本モードに与える発振モードロスに対して相対的に大きくすることで、基本モードを一層安定化させることができる。しかも、実施例4の発光素子にあっても、凹面部12を有するので、回折損失の発生を一層確実に抑制することができる。

## 実施例 5

[0126] 実施例5は、実施例4の変形であり、第2-B構成の発光素子に関する。模式的な一部端面図を図16に示すように、実施例5の発光素子において、電流非注入・内側領域52及び電流非注入・外側領域53は、第2化合物半導体層22の第2面へのプラズマ照射、又は、第2化合物半導体層22の第2面へのアッシング処理、又は、第2化合物半導体層22の第2面への反応性イオンエッチング（RIE）処理によって形成される。そして、このように電流非注入・内側領域52及び電流非注入・外側領域53はプラズマ粒子（具体的には、アルゴン、酸素、窒素等）に晒されるので、第2化合物半導体層22の導電性に劣化が生じ、電流非注入・内側領域52及び電流非注入・外側領域53は高抵抗状態となる。即ち、電流非注入・内側領域52及び電流非注入・外側領域53は、第2化合物半導体層22の第2面22bのプラズマ粒子への暴露によって形成される。尚、図16、図17、図18、図19、図20においては、第1電極31の図示を省略した。

[0127] 実施例5においても、電流注入領域51と電流非注入・内側領域52との

境界の形状を円形（直径：10 μm）とし、電流非注入・内側領域52と電流非注入・外側領域53との境界の形状を円形（直径：15 μm）とした。即ち、電流注入領域51の正射影像の面積を $S_1$ 、電流非注入・内側領域52の正射影像の面積を $S_2$ としたとき、

$$0.01 \leq S_1 / (S_1 + S_2) \leq 0.7$$

を満足する。具体的には、

$$S_1 / (S_1 + S_2) = 10^2 / 15^2 = 0.44$$

である。

[0128] 実施例5にあっては、実施例4の[工程-410]の代わりに、第2化合物半導体層22の第2面へのプラズマ照射、又は、第2化合物半導体層22の第2面へのアッシング処理、又は、第2化合物半導体層22の第2面への反応性イオンエッチング処理に基づき、電流非注入・内側領域52及び電流非注入・外側領域53を積層構造体20に形成すればよい。

[0129] 以上の点を除き、実施例5の発光素子の構成、構造は、実施例4の発光素子と構成、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。

[0130] 実施例5あるいは後述する実施例6の発光素子にあっても、電流注入領域、電流非注入領域及びモードロス作用領域を前述した所定の配置関係とすることで、基本モード及びより高次のモードに対してモードロス作用領域が与える発振モードロスの大小関係を制御することができ、高次モードに与える発振モードロスを基本モードに与える発振モードロスに対して相対的に大きくすることで、基本モードを一層安定化させることができる。

## 実施例 6

[0131] 実施例6は、実施例4～実施例5の変形であり、第2-C構成の発光素子に関する。模式的な一部端面図を図17に示すように、実施例6の発光素子において、第2光反射層42は、第1光反射層41からの光を、第1光反射層41と第2光反射層42とによって構成される共振器構造の外側に向かって（即ち、モードロス作用領域55に向かって）反射あるいは散乱する領域を有する。具体的には、モードロス作用部位（モードロス作用層）54の側

壁（開口部54Bの側壁）の上方に位置する第2光反射層42の部分は、順テーパ状の傾斜部42Aを有し、あるいは又、第1光反射層41に向かって凸状に湾曲した領域を有する。

[0132] 実施例6において、電流注入領域51と電流非注入・内側領域52との境界の形状を円形（直径：8 $\mu$ m）とし、電流非注入・内側領域52と電流非注入・外側領域53との境界の形状を円形（直径：10 $\mu$ m乃至20 $\mu$ m）とした。

[0133] 実施例6にあつては、実施例4の〔工程－420〕と同様の工程において、開口部54Bを有し、SiO<sub>2</sub>から成るモードロス作用部位（モードロス作用層）54を形成するとき、順テーパ状の側壁を有する開口部54Bを形成すればよい。具体的には、第2化合物半導体層22の第2面22b上に形成されたモードロス作用層の上にレジスト層を形成し、開口部54Bを形成すべきレジスト層の部分に、フォトリソグラフィ技術に基づき開口を設ける。周知の方法に基づき、この開口の側壁を順テーパ状とする。そして、エッチバックを行うことで、モードロス作用部位（モードロス作用層）54に順テーパ状の側壁を有する開口部54Bを形成することができる。更には、このようなモードロス作用部位（モードロス作用層）54の上に、第2電極32、第2光反射層42を形成することで、第2光反射層42に順テーパ状の傾斜部42Aを付与することができる。

[0134] 以上の点を除き、実施例6の発光素子の構成、構造は、実施例4～実施例5の発光素子と構成、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。

## 実施例 7

[0135] 実施例7は、実施例4～実施例6の変形であり、第2-D構成の発光素子に関する。実施例7の発光素子の模式的な一部端面図を図18に示し、要部を切り出した模式的な一部端面図を図19に示すように、第2化合物半導体層22の第2面22b側には凸部22Aが形成されている。そして、図18及び図19に示すように、モードロス作用部位（モードロス作用層）54は

、凸部 2 2 A を囲む第 2 化合物半導体層 2 2 の第 2 面 2 2 b の領域 2 2 B の上に形成されている。凸部 2 2 A は、電流注入領域 5 1、電流注入領域 5 1 及び電流非注入・内側領域 5 2 を占めている。モードロス作用部位（モードロス作用層）5 4 は、実施例 4 と同様に、例えば、 $\text{SiO}_2$  といった誘電体材料から成る。領域 2 2 B には、電流非注入・外側領域 5 3 が設けられている。電流注入領域 5 1 における活性層 2 3 から第 2 化合物半導体層 2 2 の第 2 面までの光学的距離を  $L_2$ 、モードロス作用領域 5 5 における活性層 2 3 からモードロス作用部位 5 4 の頂面（第 2 電極 3 2 と対向する面）までの光学的距離を  $L_0$  としたとき、

$$L_0 < L_2$$

を満足する。具体的には、

$$L_2 / L_0 = 1.5$$

とした。これによって、発光素子にはレンズ効果が生じる。

[0136] 実施例 7 の発光素子にあっては、生成した高次モードを有するレーザ光は、モードロス作用領域 5 5 により、電流注入領域 5 1 及び電流非注入・内側領域 5 2 に閉じ込められ、以て、発振モードロスが減少する。即ち、生じる基本モード及び高次モードの光場強度が、発振モードロスの増減に作用するモードロス作用領域 5 5 の存在によって、電流注入領域 5 1 及び電流非注入・内側領域 5 2 の正射影像内において増加する。

[0137] 実施例 7 において、電流注入領域 5 1 と電流非注入・内側領域 5 2 との境界の形状を円形（直径：8  $\mu\text{m}$ ）とし、電流非注入・内側領域 5 2 と電流非注入・外側領域 5 3 との境界の形状を円形（直径：30  $\mu\text{m}$ ）とした。

[0138] 実施例 7 にあっては、実施例 4 の [工程-410] と [工程-420] との間において、第 2 化合物半導体層 2 2 の一部を第 2 面 2 2 b 側から除去することで、凸部 2 2 A を形成すればよい。

[0139] 以上の点を除き、実施例 7 の発光素子の構成、構造は、実施例 4 の発光素子と構成、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。実施例 7 の発光素子にあっては、種々のモードに対してモードロス作用領域が

与える発振モードロスを抑制し、横モードを多モード発振させるのみならず、レーザ発振の閾値を低減することができる。また、概念図を図15の(C)に示すように、生じる基本モード及び高次モードの光場強度を、発振モードロスの増減（具体的には、実施例7にあっては、減少）に作用するモードロス作用領域の存在によって、電流注入領域及び電流非注入・内側領域の正射影像内において増加させることができる。

## 実施例 8

[0140] 実施例8は、実施例1～実施例7の変形であり、第3構成の発光素子に関する。

[0141] 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 $\lambda_0$ 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、

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

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 $n_{eff}$ の間には、発振波長を $\lambda_0$ としたとき、以下の関係がある。

[0142]  $n_{eff} = n_{eq} - \lambda_0 \cdot (dn_{eq} / d\lambda_0)$

[0143] 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、 $1\mu m$ 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26A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る縦モードのレーザ光が複数種類となってしまう（図26Bの概念図を参照）。

- [0144] 模式的な一部端面図を図20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にあつては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。
- [0145] 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） $\lambda_0$ は450nm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、 $n-1n_{0.2}Ga_{0.8}N$ 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、3nmである。また、光吸収材料層71の光吸収係数は、 $n-GaN$ 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、 $1 \times 10^3$ 倍である。
- [0146] 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、46.5nm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にあつては、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 7 1 と光吸収材料層 7 1 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 7 1 の間の距離は、全ての複数の光吸収材料層 7 1 (20 層の光吸収材料層 7 1) 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 7 1 の内、一部の光吸収材料層 7 1 にあつては、 $m$  を、2 以上の任意の整数とすることもできる。

[0147] 実施例 8 の発光素子の製造にあつては、実施例 1 の [工程 120] 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 7 1 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。

[0148] 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 21 のようになる。尚、図 21 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 7 1 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、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 21 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制することが可能となる。

[0149] 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一層効果的に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一層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、凹面部 12 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

[0150] 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 71 を、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 71 を、不純物をドープ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  $\lambda_0$  を 515 nm とした。尚、活性層 23 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、 $L_{\text{Abs}}$  の値は 107 nm であり、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 53.5 nm であり、光吸収材料層 71 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 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。

### 実施例 10

[0151] 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 71 と同様の構成、即ち、 $n - 1 n_{0.3} Ga_{0.7} N$  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 32 と兼用した。実施例 10 にあっては、発振波長  $\lambda_0$  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 23 の厚さ方向中心と、活性層 23 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、

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

を満足する。また、活性層 23 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、

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

を満足する。第 2 電極 32 を兼用する 1 層の第 2 の光吸収材料層の光吸収係数は  $2000 \text{ cm}^{-1}$ 、厚さは 30 nm であり、活性層 23 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 71 の数を 1 とすることもできる。この場合にも、第 2 電極 32 を兼ねた第 2 の光吸収材料層と光吸収材料層 71 の位置関係は、以下の式を満たす必要がある。

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

[0152] 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、支持基板によって第2光反射層を支持してもよい。また、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もできる。

[0153] 尚、本開示は、以下のような構成を取ることにもできる。

[A01] 《発光素子：第1の態様》

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、  
基板、  
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、並びに、  
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、  
を備えており、  
第2光反射層は、平坦な形状を有し、  
基板表面には、凹面部が形成されており、  
第1光反射層は、少なくとも凹面部上に形成されており、  
第1化合物半導体層は、基板表面から凹面部上方に互り形成されており、  
凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間は空洞である発光素子。

[A02] 《発光素子：第2の態様》

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、

基板、

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、並びに、

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、

を備えており、

第2光反射層は、平坦な形状を有し、

基板表面には、凹面部が形成されており、

第1光反射層は、少なくとも凹面部上に形成されており、

第1化合物半導体層は、基板表面から凹面部上方に互り形成されており、

凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間には、第1化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料が充填されている発光素子。

[A03] 《発光素子：第3の態様》

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、

基板、

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、並びに、

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、

を備えており、

第2光反射層は、平坦な形状を有し、

基板表面には、凹面部が形成されており、

第1光反射層は、少なくとも凹面部上に形成されており、

第1化合物半導体層は、基板表面から凹面部上方に互り形成されており、

凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間には、屈折率 $n_2$ を有する材料が充填されており、

第1化合物半導体層を構成する材料の屈折率を $n_1$ としたとき、 $n_1 \neq n_2$ を満足する発光素子。

[A04]  $|n_2 - n_1| \geq 1.0$

を満足する[A03]に記載の発光素子。

[A05] 屈折率 $n_2$ を有する材料は、第1化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料から成る[A03]又は[A04]に記載の発光素子。

[A06] 《発光素子：第4の態様》

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、

基板、

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、並びに、  
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、  
を備えており、

第2光反射層は、平坦な形状を有し、  
基板表面には、凹面部が形成されており、  
第1光反射層は、少なくとも凹面部上に形成されており、  
第1化合物半導体層は、基板表面から凹面部上方に互り形成されており、  
凹面部上に形成された第1光反射層と、凹面部上方の第1化合物半導体層  
の部分とによって、共振器構造が構成されており、

共振器構造の長さは、活性層から出射される発振波長 $\lambda_0$ を有する主たる光が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長 $\lambda_0$ に隣接する波長 $\lambda'$ を有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである発光素子。

[A07] 基板は、化合物半導体基板から構成されている[A01]乃至[A06]のいずれか1項に記載の発光素子。

[A08] 積層構造体はGaN系化合物半導体から成る[A01]乃至[A

07] のいずれか1項に記載の発光素子。

[A09] 凹面部の中心を通る法線上には、結晶欠陥が多く存在する会合部分が存在しない [A01] 乃至 [A08] のいずれか1項に記載の発光素子。

[A10] 基板への会合部分の正射影像是、凹面部に含まれない [A09] に記載の発光素子。

[A11] 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凹面部と接する第1光反射層の部分が第1化合物半導体層と対向する面が描く図形は、円の一部又は放物線の一部である [A01] 乃至 [A10] のいずれか1項に記載の発光素子。

[B01] 《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 [A01] 乃至 [A11] 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、

$\lambda_0$  : 発光素子から主に出射される光の波長

$L_{OR}$  : 共振器長

$R_{DBR}$  : 凹面部上の第1光反射層の曲率半径

[B02] 第2化合物半導体層の第2面上に設けられ、発振モードロスの増減に作用するモードロス作用領域を構成するモードロス作用部位、及び、

第2化合物半導体層の第2面上からモードロス作用部位上に互り形成された第2電極、

を更に備えており、

積層構造体には、電流注入領域、電流注入領域を取り囲む電流非注入・内側領域、及び、電流非注入・内側領域を取り囲む電流非注入・外側領域が形成されており、

モードロス作用領域の正射影像と電流非注入・外側領域の正射影像とは重なり合っている [B 0 1] に記載の発光素子。

[B 0 3] 第 1 光反射層の有効領域の半径  $r'_{DBR}$  は、

$$\omega_0 \leq r'_{DBR} \leq 20 \cdot \omega_0$$

を満足する [B 0 1] 又は [B 0 2] に記載の発光素子。

[B 0 4]  $D_{CI} \geq \omega_0$  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。

[B 0 5]  $R_{DBR} \leq 1 \times 10^{-3} \text{m}$  を満足する [B 0 1] 乃至 [B 0 4] 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 化合物半導体層の第 2 面上に設けられ、発振モードロスの増減に作用するモードロス作用領域を構成するモードロス作用部位、及び、

第 2 化合物半導体層の第 2 面上からモードロス作用部位上に互り形成された第 2 電極、

を更に備えており、

積層構造体には、電流注入領域、電流注入領域を取り囲む電流非注入・内側領域、及び、電流非注入・内側領域を取り囲む電流非注入・外側領域が形成されており、

モードロス作用領域の正射影像と電流非注入・外側領域の正射影像とは重なり合っている [A 0 1] 乃至 [A 1 1] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 0 2] 電流非注入・外側領域はモードロス作用領域の下方に位置している [C 0 1] に記載の発光素子。

[C 0 3] 電流注入領域の射影像の面積を  $S_1$ 、電流非注入・内側領域の射影像の面積を  $S_2$  としたとき、



$$0.01 \leq S_1 / (S_1 + S_2) \leq 0.7$$

を満足する [C 0 1] 又は [C 0 2] に記載の発光素子。

[C 0 4] 《第 2 - A 構成の発光素子》

電流非注入・内側領域及び電流非注入・外側領域は、積層構造体へのイオン注入によって形成される [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] イオン種は、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 種類のイオンである [C 0 4] に記載の発光素子。

[C 0 6] 《第 2 - B 構成の発光素子》

電流非注入・内側領域及び電流非注入・外側領域は、第 2 化合物半導体層の第 2 面へのプラズマ照射、又は、第 2 化合物半導体層の第 2 面へのアッシング処理、又は、第 2 化合物半導体層の第 2 面への反応性イオンエッチング処理によって形成される [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] 《第 2 - C 構成の発光素子》

第 2 光反射層は、第 1 光反射層からの光を、第 1 光反射層と第 2 光反射層とによって構成される共振器構造の外側に向かって反射あるいは散乱する領域を有する [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] 電流注入領域における活性層から第 2 化合物半導体層の第 2 面までの光学的距離を  $L_2$ 、モードロス作用領域における活性層からモードロス作用部位の頂面までの光学的距離を  $L_0$  としたとき、

$$L_0 > L_2$$

を満足する [C 0 4] 乃至 [C 0 7] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 0 9] 生成した高次モードを有する光は、モードロス作用領域により、第 1 光反射層と第 2 光反射層とによって構成される共振器構造の外側に向かって散逸させられ、以て、発振モードロスが増加する [C 0 4] 乃至 [C 0 8] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 1 0] モードロス作用部位は、誘電体材料、金属材料又は合金材料から成る [C 0 4] 乃至 [C 0 9] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 1 1] モードロス作用部位は誘電体材料から成り、

モードロス作用部位の光学的厚さは、発光素子において生成した光の波長の  $1/4$  の整数倍から外れる値である [C 1 0] に記載の発光素子。

[C 1 2] モードロス作用部位は誘電体材料から成り、

モードロス作用部位の光学的厚さは、発光素子において生成した光の波長の  $1/4$  の整数倍である [C 1 0] に記載の発光素子。

[C 1 3] 《第 2 - D 構成の発光素子》

第 2 化合物半導体層の第 2 面側には凸部が形成されており、

モードロス作用部位は、凸部を囲む第 2 化合物半導体層の第 2 面の領域上に形成されている [C 0 1] 乃至 [C 0 3] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 1 4] 電流注入領域における活性層から第 2 化合物半導体層の第 2 面までの光学的距離を  $L_2$ 、モードロス作用領域における活性層からモードロス作用部位の頂面までの光学的距離を  $L_0$  としたとき、

$$L_0 < L_2$$

を満足する [C 1 3] に記載の発光素子。

[C 1 5] 生成した高次モードを有する光は、モードロス作用領域により、電流注入領域及び電流非注入・内側領域に閉じ込められ、以て、発振モードロスが減少する [C 1 3] 又は [C 1 4] に記載の発光素子。

[C 1 6] モードロス作用部位は、誘電体材料、金属材料又は合金材料から成る [C 1 3] 乃至 [C 1 5] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[C 1 7] 第 2 電極は、透明導電性材料から成る [C 0 1] 乃至 [C 1 6] のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[D 0 1] 《第 3 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 [C 1 7] のい

ずれか1項に記載の発光素子。

[D02] 少なくとも4層の光吸収材料層が形成されている[D01]に記載の発光素子。

[D03] 発振波長を $\lambda_0$ 、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、

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

を満足する[D01]又は[D02]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。

[D04] 光吸収材料層の厚さは、 $\lambda_0 / (4 \cdot n_{eq})$ 以下である[D01]乃至[D03]のいずれか1項に記載の発光素子。

[D05] 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[D01]乃至[D04]のいずれか1項に記載の発光素子。

[D06] 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[D01]乃至[D05]のいずれか1項に記載の発光素子。

[D07] 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[D01]乃至[D06]のいずれか1項に記載の発光素子。

[D08] 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[D01]乃至[D07]のいずれか1項に記載の発光素子。

[E01] 《発光素子の製造方法》

基板の表面に凹面部を形成した後、

少なくとも凹面部上に第1光反射層を形成し、次いで、  
 基板の表面上及び凹面部の上方に、第1化合物半導体層、活性層及び第2  
 化合物半導体層が積層された積層構造体を形成し、その後、  
 第2化合物半導体層の上に第2光反射層を形成する、  
 各工程から成る発光素子の製造方法。

[E 0 2] 凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間  
 は空洞である[E 0 1]に記載の発光素子の製造方法。

[E 0 3] 凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間  
 に、第1化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料を充填する工程を含  
 む[E 0 1]に記載の発光素子の製造方法。

[E 0 4] 凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間  
 に、第1化合物半導体層を構成する材料の屈折率 $n_1$ とは異なる屈折率 $n_2$ を有  
 する材料を充填する工程を含む[E 0 1]に記載の発光素子の製造方法。

[E 0 5] 凹面部上に形成された第1光反射層と、凹面部上方の第1化合物  
 半導体層の部分とによって、共振器構造が構成されており、

共振器構造の長さは、活性層から出射される発振波長 $\lambda_0$ を有する主たる光  
 が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長 $\lambda_0$ に隣接する波長 $\lambda'$ を  
 有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである[E 0 1]に記載  
 の発光素子の製造方法。

## 符号の説明

[0154] 1 1 . . . 基板、1 1 a . . . 基板の第1面、1 1 b . . . 基板の第2面、  
 1 2 . . . 凹面部、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 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 . . . 絶縁層（電流狭窄層）、3 4 A . . . 絶縁層（電流狭  
 窄層）に設けられた開口部、4 1 . . . 第1光反射層、4 2 . . . 第2光反

射層、43・・・空洞、44・・・第1光反射層の有効領域、45・・・充填材料、51, 61・・・電流注入領域、52・・・電流非注入・内側領域、53・・・電流非注入・外側領域、54・・・モードロス作用部位（モードロス作用層）、54A, 54B・・・モードロス作用部位に形成された開口部、55・・・モードロス作用領域、71・・・光吸収材料層、81・・・レジスト層、82・・・凹部、83・・・第1光反射層の除去された部分、84・・・会合部分、85, 86・・・孔部

## 請求の範囲

- [請求項1] 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、
- 基板、
- 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、並びに、
- 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、
- を備えており、
- 第2光反射層は、平坦な形状を有し、
- 基板表面には、凹面部が形成されており、
- 第1光反射層は、少なくとも凹面部上に形成されており、
- 第1化合物半導体層は、基板表面から凹面部上方に互り形成されており、
- 凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間は空洞である発光素子。
- [請求項2] 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、
- 基板、
- 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、並びに、

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、  
を備えており、

第2光反射層は、平坦な形状を有し、

基板表面には、凹面部が形成されており、

第1光反射層は、少なくとも凹面部上に形成されており、

第1化合物半導体層は、基板表面から凹面部上方に互り形成されて  
おり、

凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間には、第1化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料が充填されている発光素子。

[請求項3]

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、

基板、

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、並びに、

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、  
を備えており、

第2光反射層は、平坦な形状を有し、

基板表面には、凹面部が形成されており、

第1光反射層は、少なくとも凹面部上に形成されており、

第1化合物半導体層は、基板表面から凹面部上方に互り形成されて  
おり、

凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間には、屈折率 $n_2$ を有する材料が充填されており、

第1化合物半導体層を構成する材料の屈折率を $n_1$ としたとき、 $n_1 \neq n_2$  を満足する発光素子。

[請求項4]  $|n_2 - n_1| \geq 1.0$

を満足する請求項3に記載の発光素子。

[請求項5] 屈折率 $n_2$ を有する材料は、第1化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料から成る請求項3に記載の発光素子。

[請求項6] 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、

基板、

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、並びに、

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、  
を備えており、

第2光反射層は、平坦な形状を有し、

基板表面には、凹面部が形成されており、

第1光反射層は、少なくとも凹面部上に形成されており、

第1化合物半導体層は、基板表面から凹面部上方に互り形成されており、

凹面部上に形成された第1光反射層と、凹面部上方の第1化合物半導体層の部分とによって、共振器構造が構成されており、

共振器構造の長さは、活性層から出射される発振波長 $\lambda_0$ を有する主たる光が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長 $\lambda_0$ に隣接する波長 $\lambda'$ を有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである発光素子。

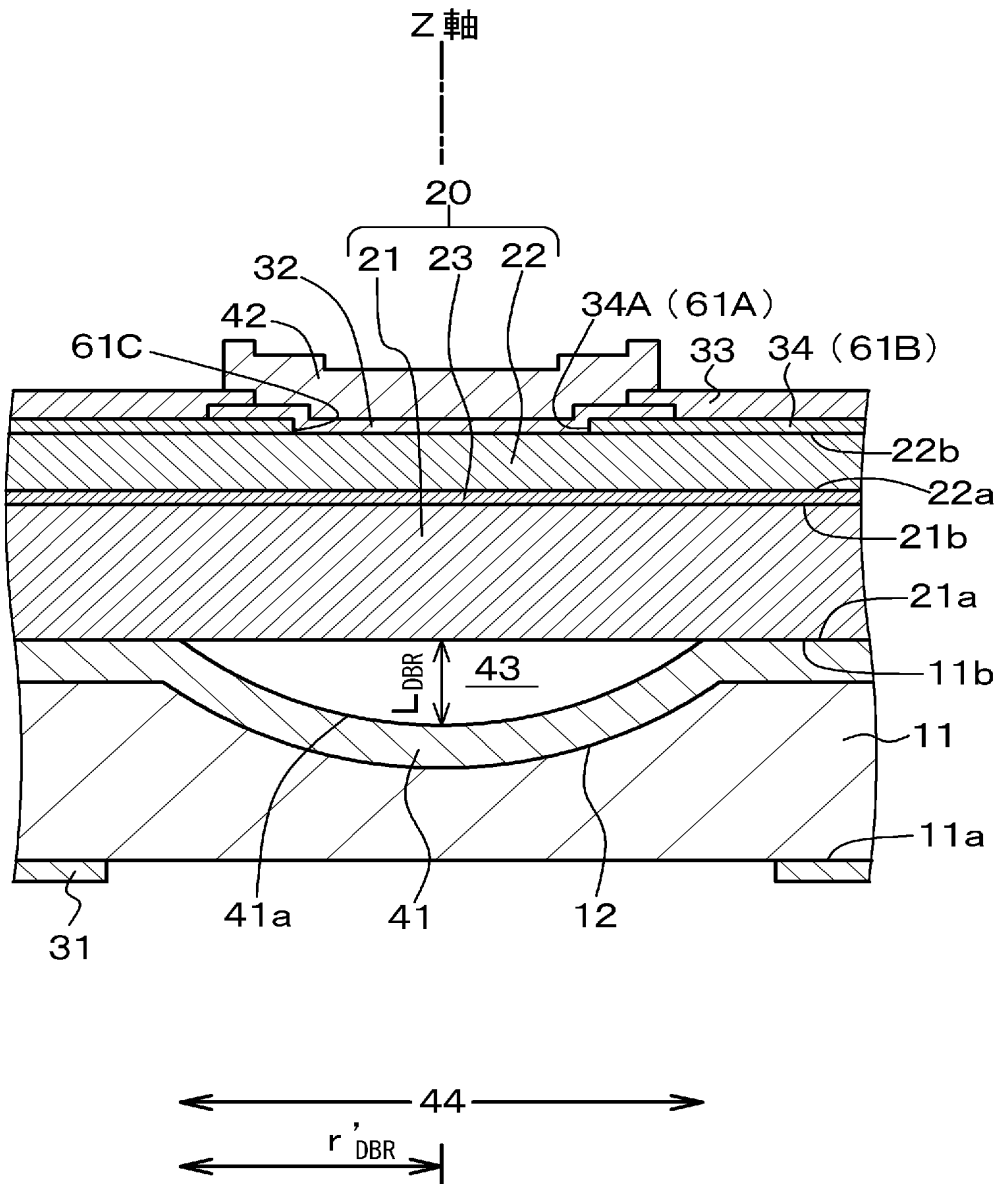


- [請求項7] 基板は、化合物半導体基板から構成されている請求項1、請求項2、請求項3及び請求項6のいずれか1項に記載の発光素子。
- [請求項8] 積層構造体はGaN系化合物半導体から成る請求項1、請求項2、請求項3及び請求項6のいずれか1項に記載の発光素子。
- [請求項9] 凹面部の中心を通る法線上には、結晶欠陥が多く存在する会合部分が存在しない請求項1、請求項2、請求項3及び請求項6のいずれか1項に記載の発光素子。
- [請求項10] 基板への会合部分の正射影像是、凹面部に含まれない請求項9に記載の発光素子。
- [請求項11] 基板の表面に凹面部を形成した後、  
少なくとも凹面部上に第1光反射層を形成し、次いで、  
基板の表面上及び凹面部の上方に、第1化合物半導体層、活性層及び第2化合物半導体層が積層された積層構造体を形成し、その後、  
第2化合物半導体層の上に第2光反射層を形成する、  
各工程から成る発光素子の製造方法。
- [請求項12] 凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間は空洞である請求項11に記載の発光素子の製造方法。
- [請求項13] 凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間に、第1化合物半導体層を構成する材料とは異なる材料を充填する工程を含む請求項11に記載の発光素子の製造方法。
- [請求項14] 凹面部上に形成された第1光反射層と第1化合物半導体層との間に、第1化合物半導体層を構成する材料の屈折率 $n_1$ とは異なる屈折率 $n_2$ を有する材料を充填する工程を含む請求項11に記載の発光素子の製造方法。
- [請求項15] 凹面部上に形成された第1光反射層と、凹面部上方の第1化合物半導体層の部分とによって、共振器構造が構成されており、  
共振器構造の長さは、活性層から出射される発振波長 $\lambda_0$ を有する主たる光が共振器構造の共振条件を満足し、且つ、発振波長 $\lambda_0$ に隣

接する波長 $\lambda'$ を有する光が共振器構造の共振条件を満足しない長さである請求項11に記載の発光素子の製造方法。

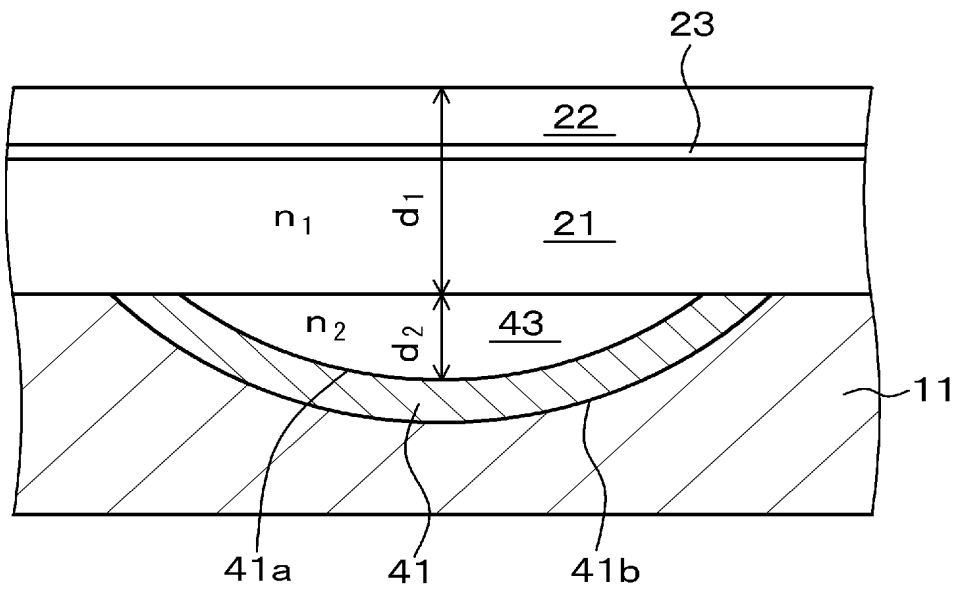
[図1]

図 1



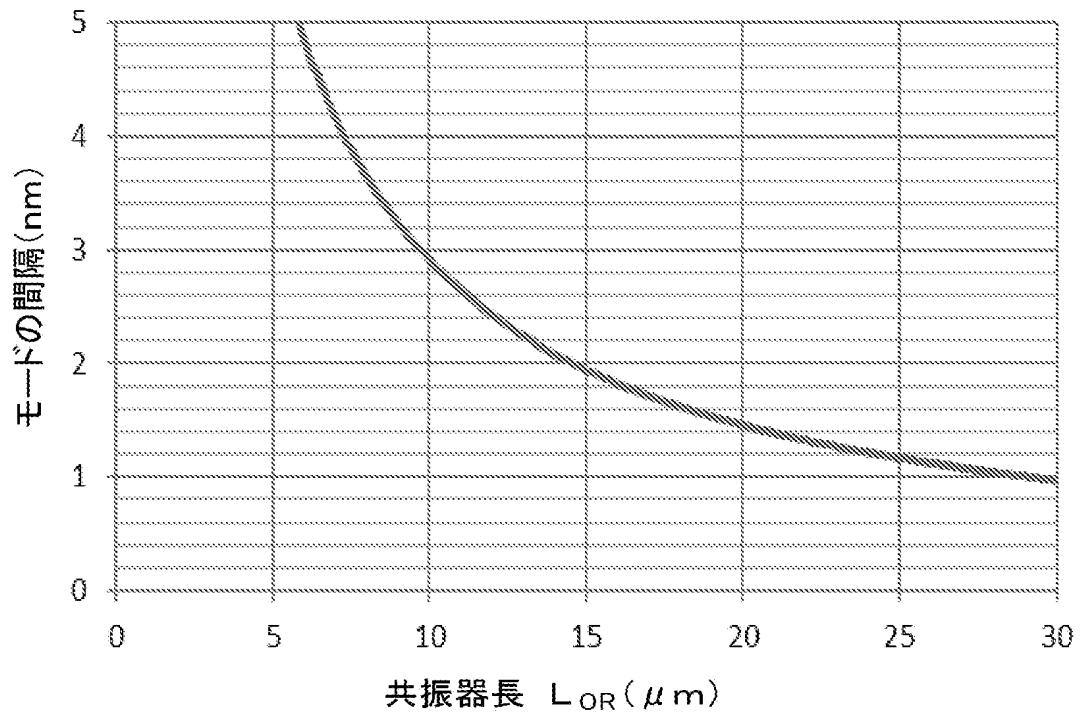
[図2]

図 2



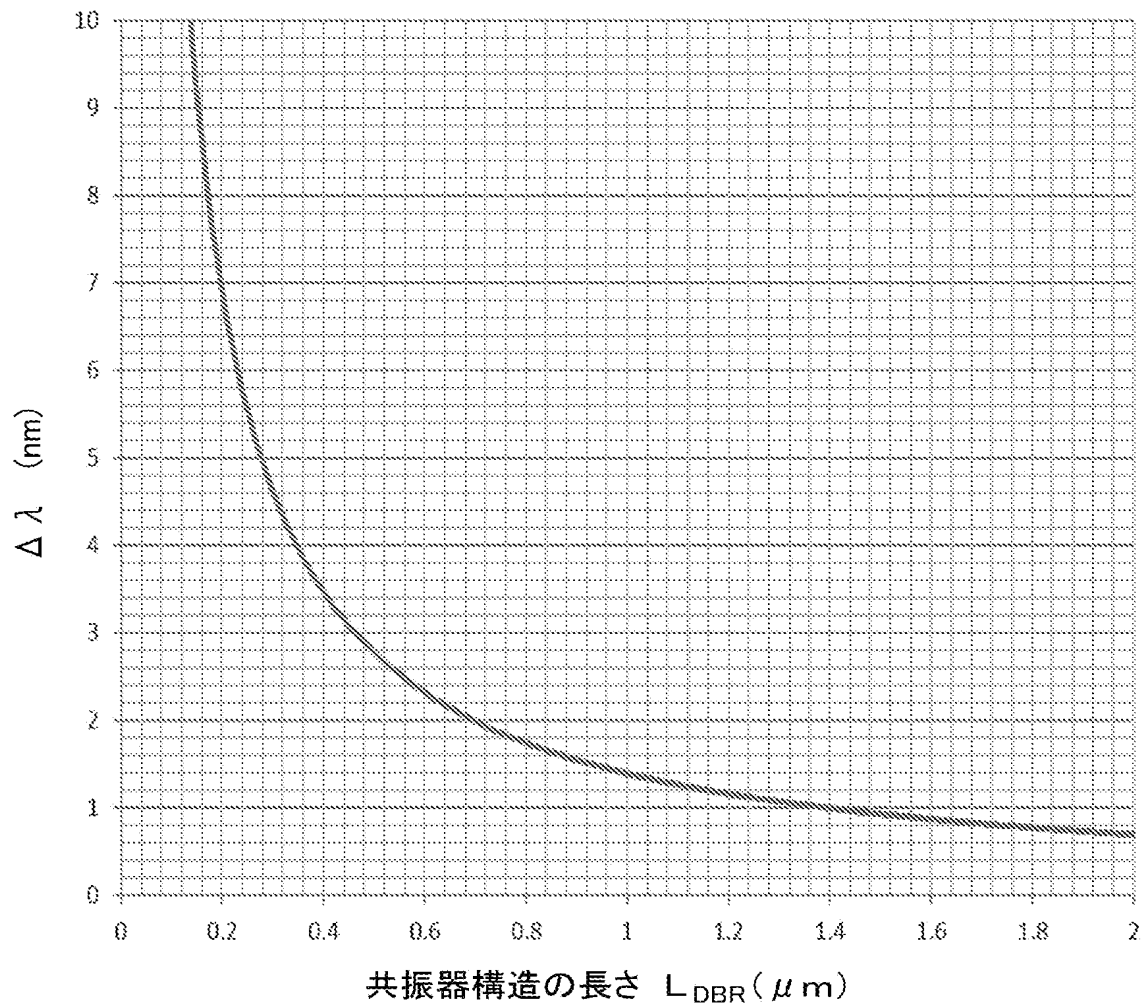
[図3]

図 3

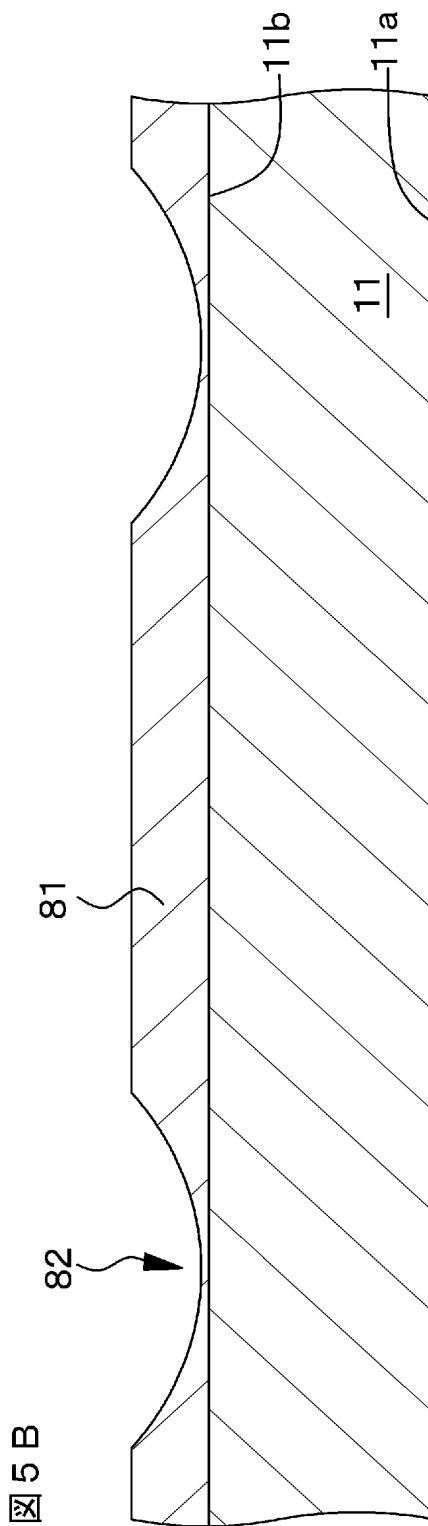
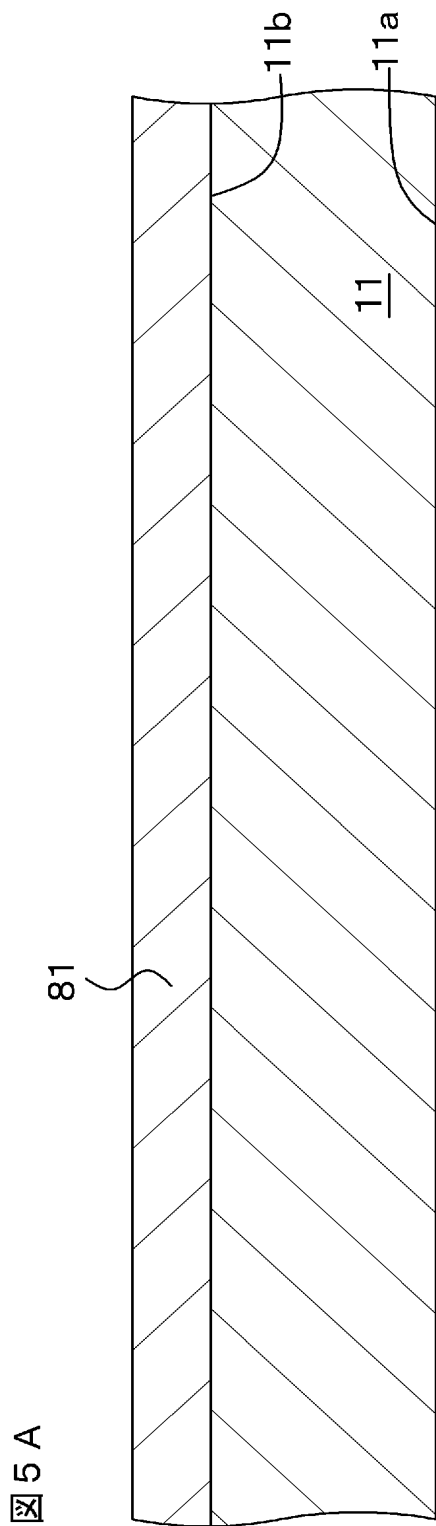


[図4]

図 4



[圖5]



[圖6]

圖 6 A

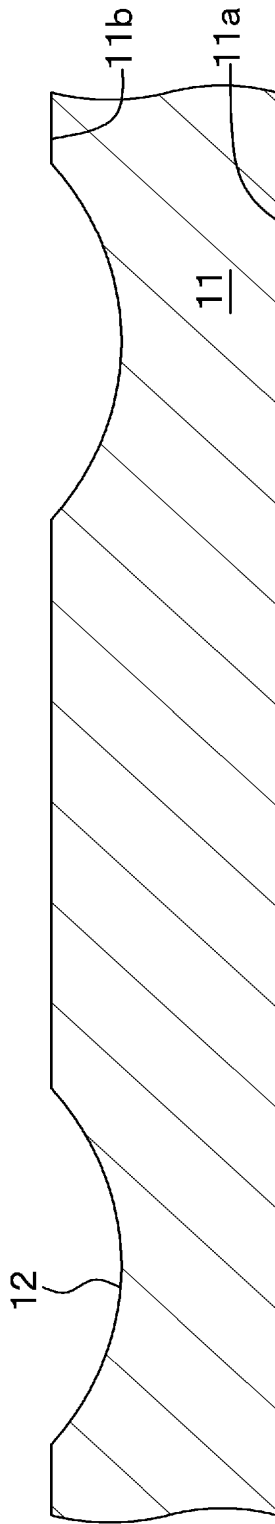
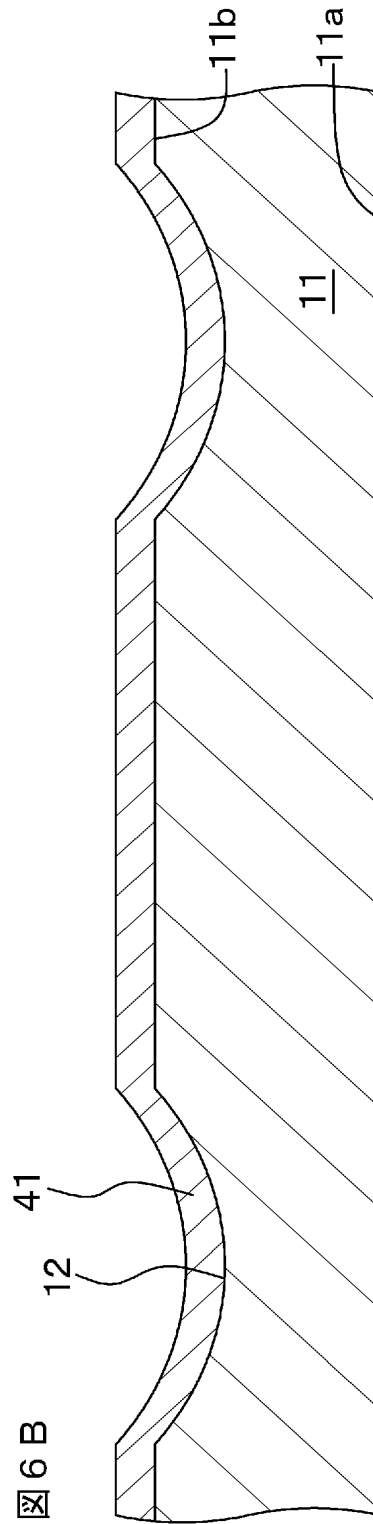
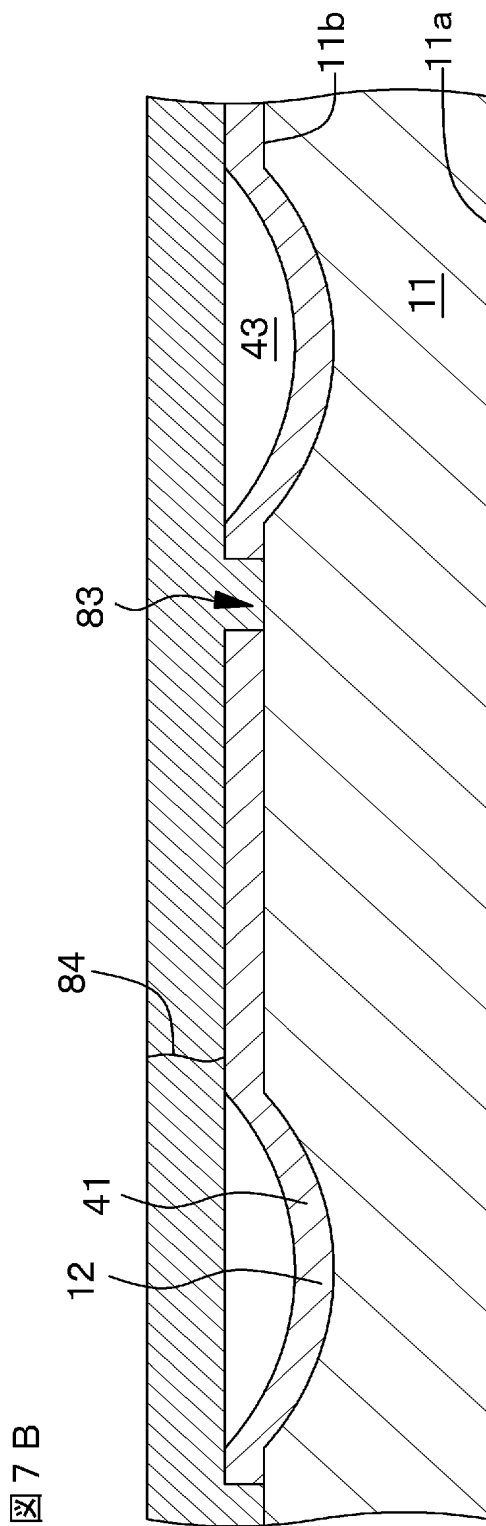
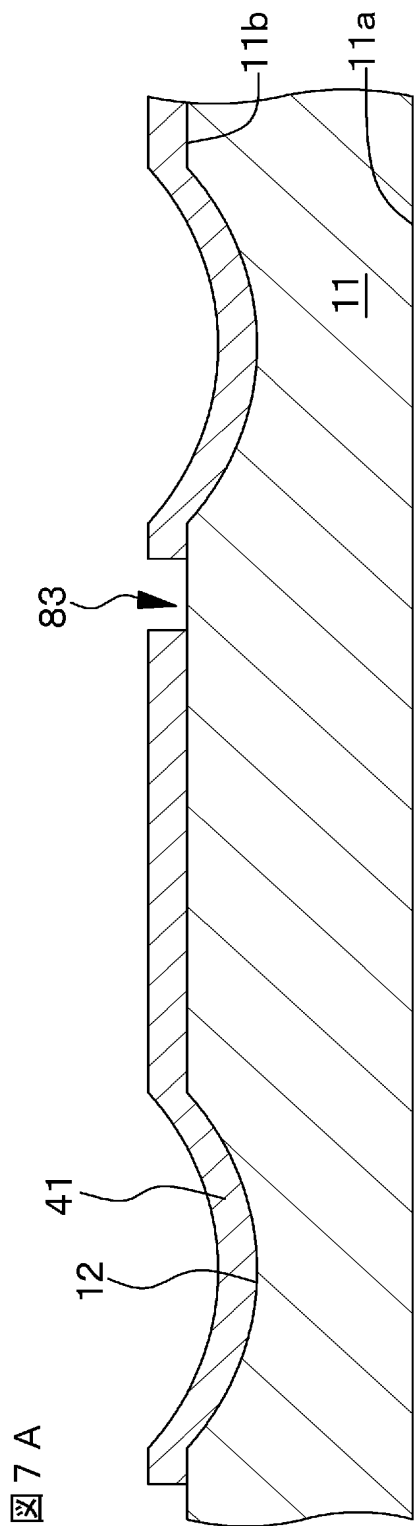


圖 6 B





[圖7]



[図8]

図 8 A

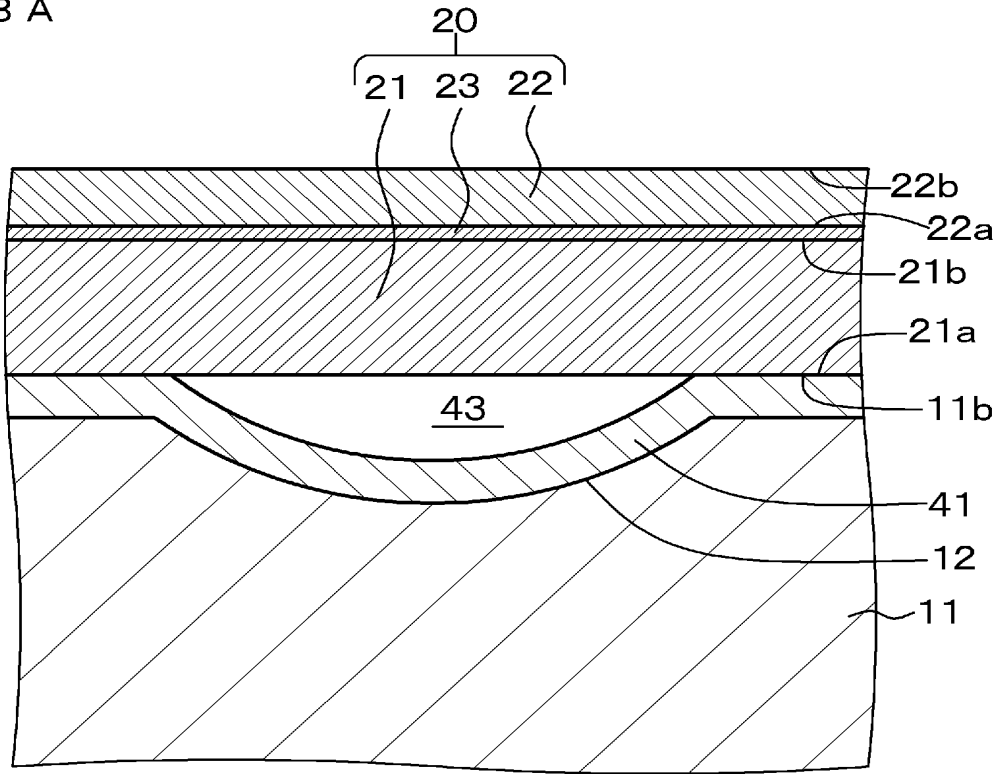
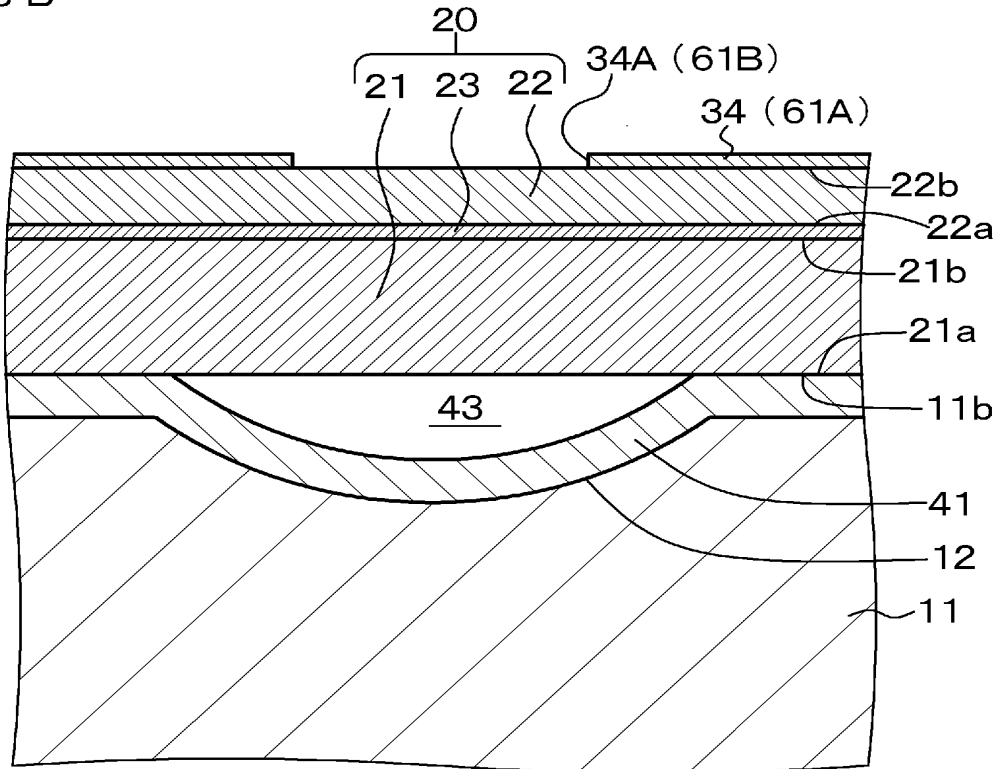
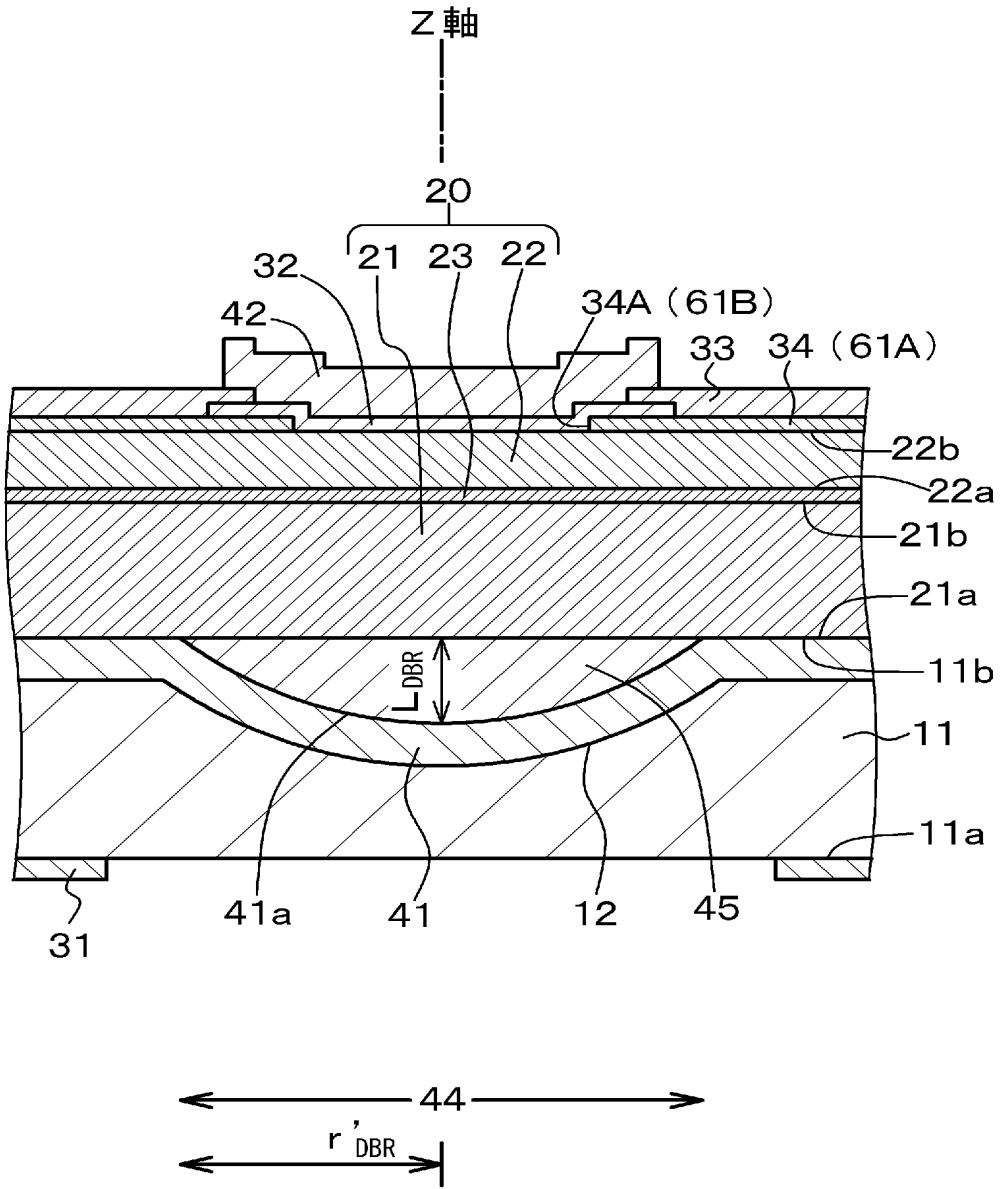


図 8 B



[図9]

図9



[図10]

図10A

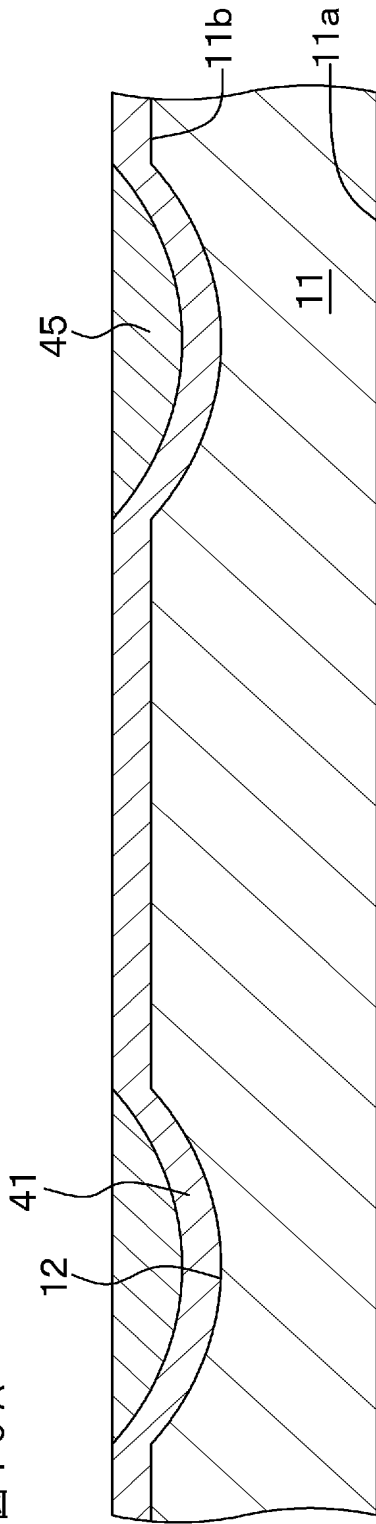
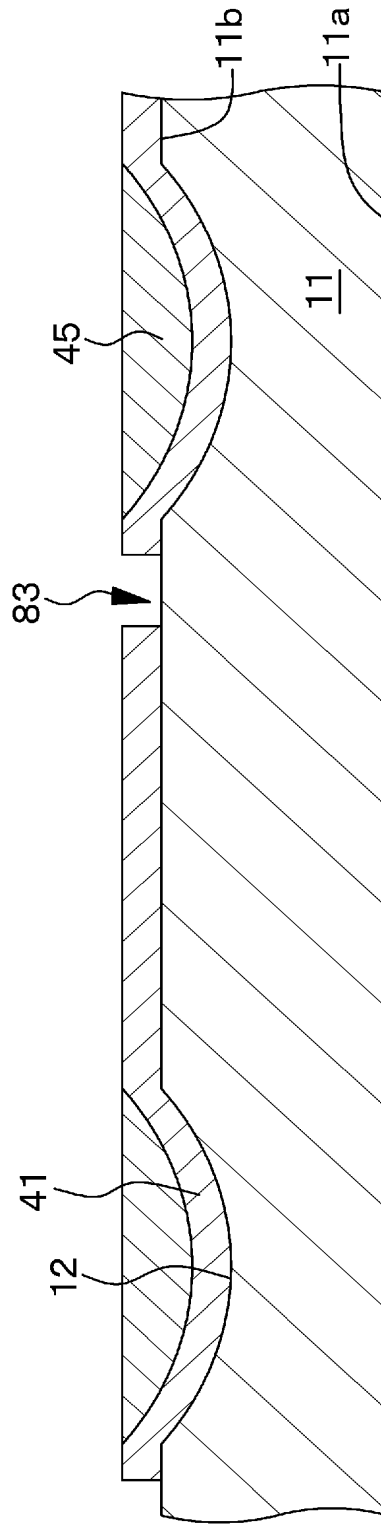


図10B



[図11]

図 1 1 A

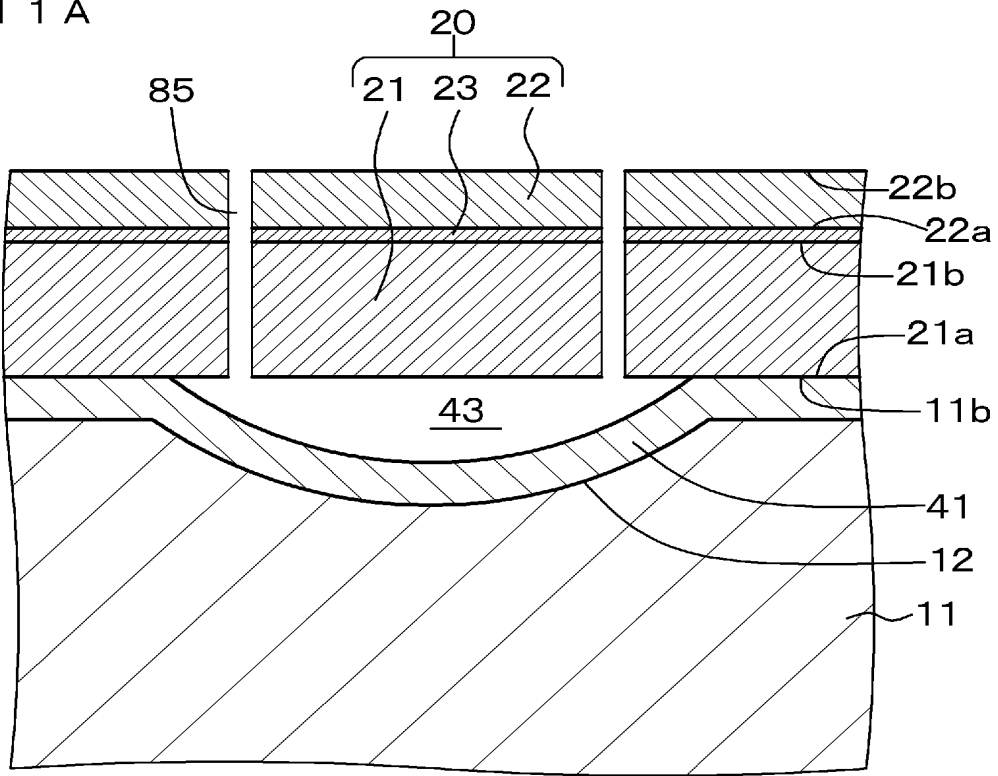
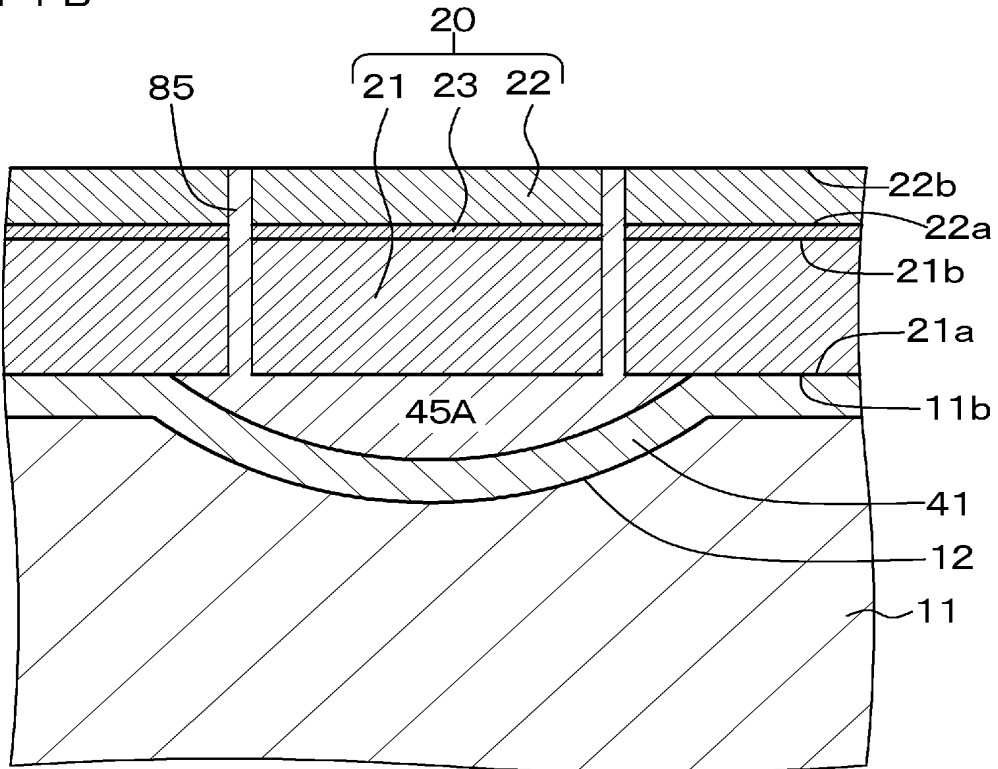


図 1 1 B



[図12]

図 1 2 A

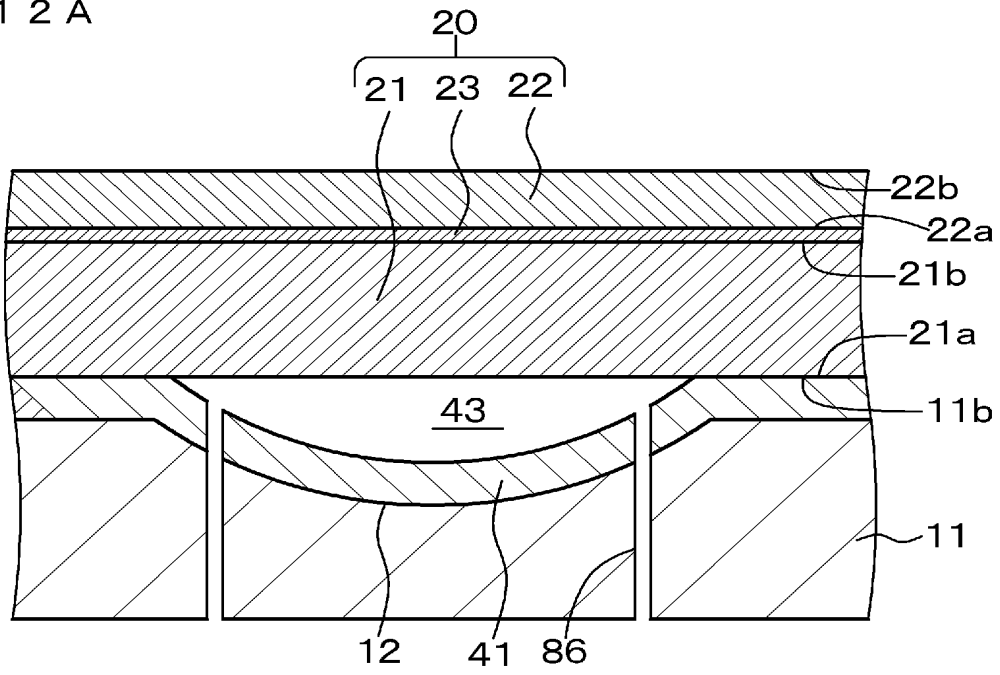
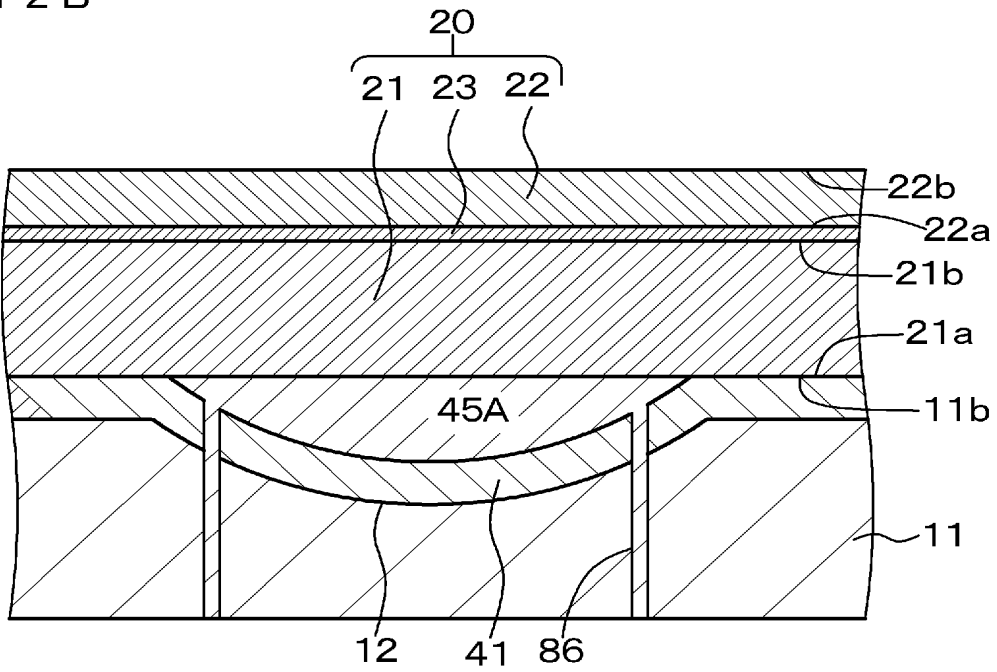
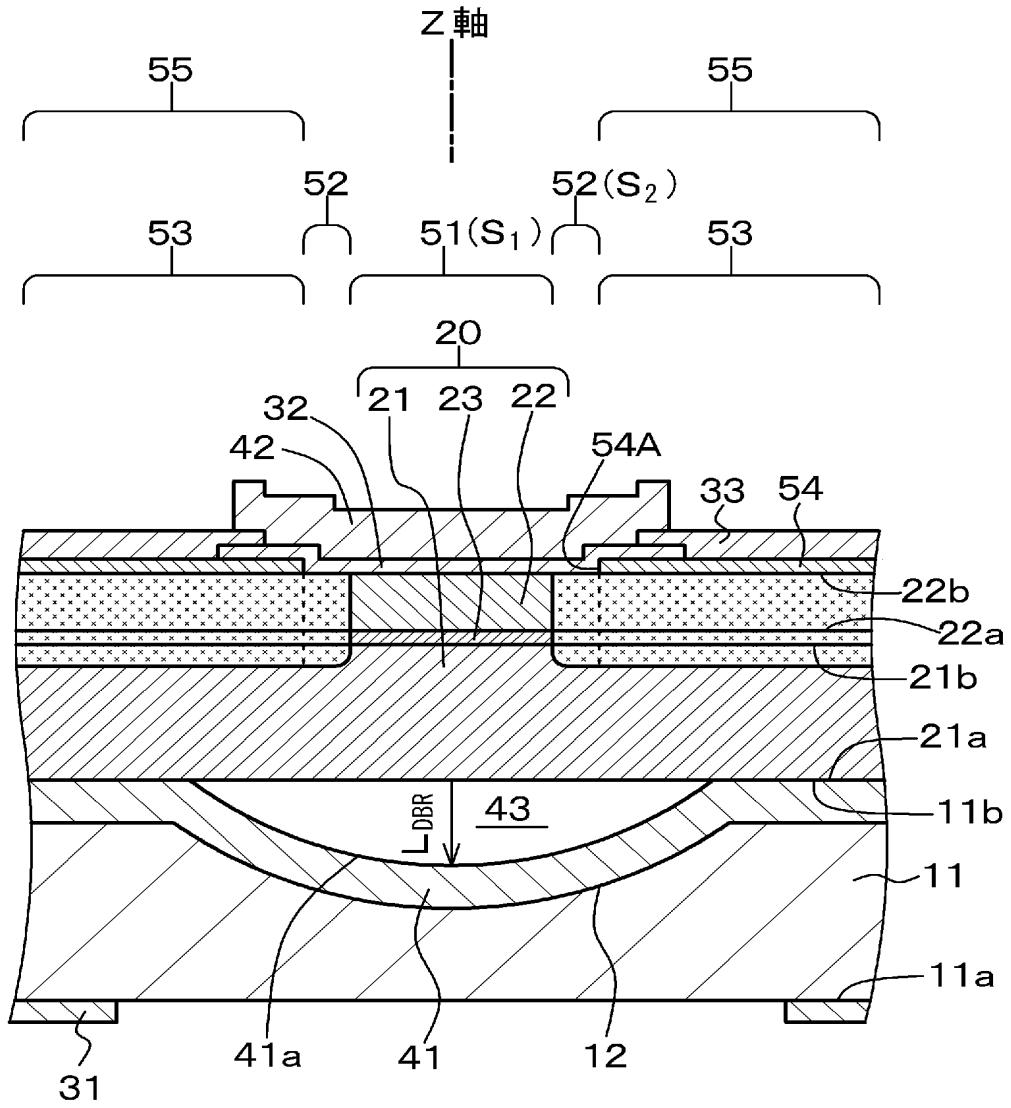


図 1 2 B



[図13]

図 1 3



[図14]

図14A

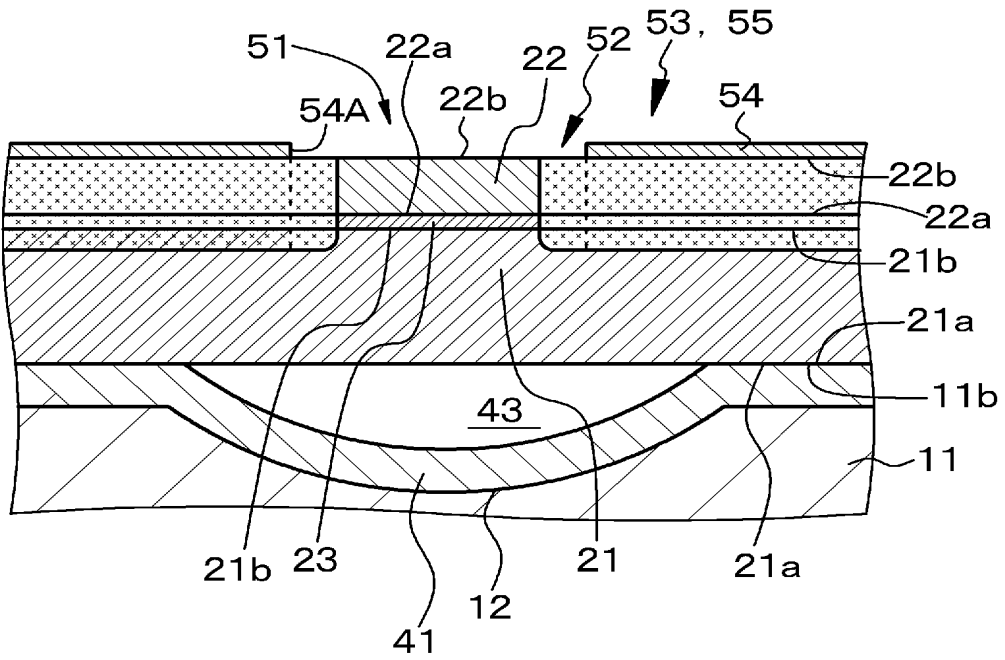
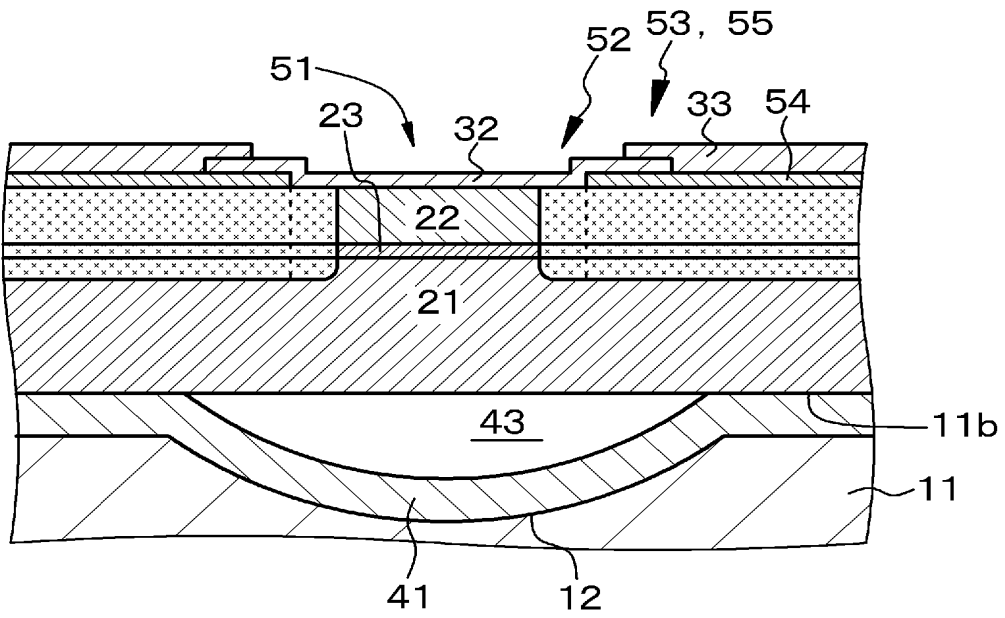


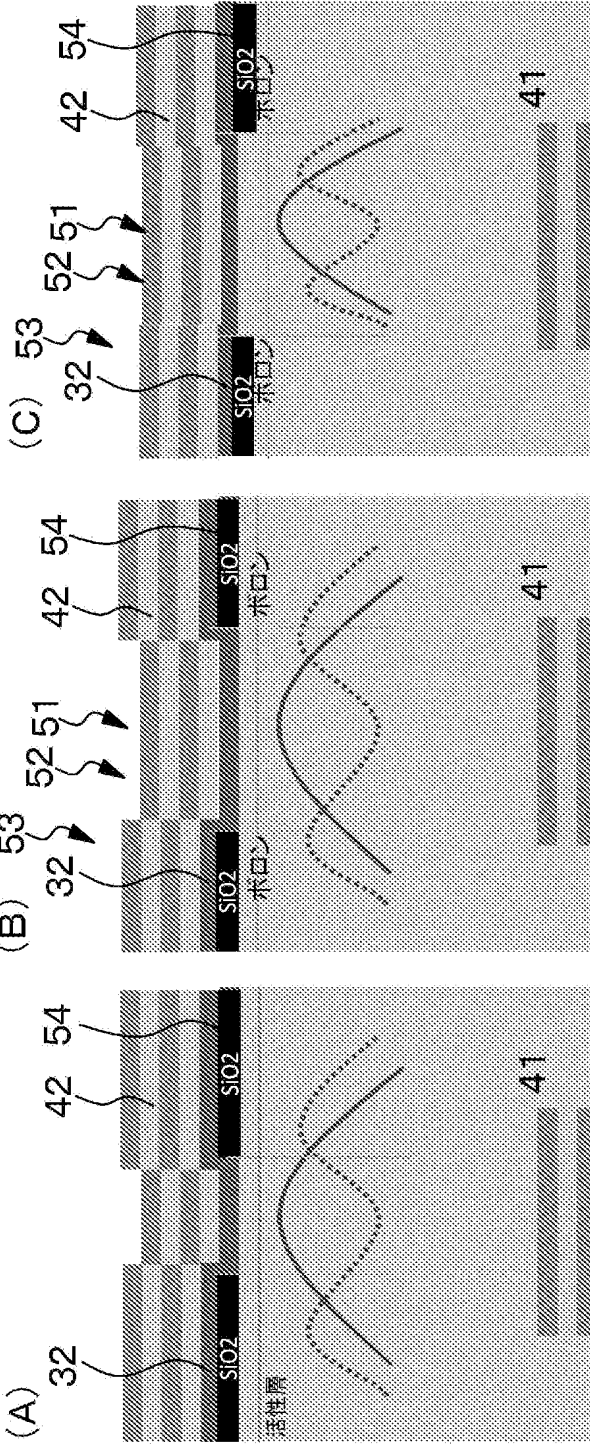
図14B





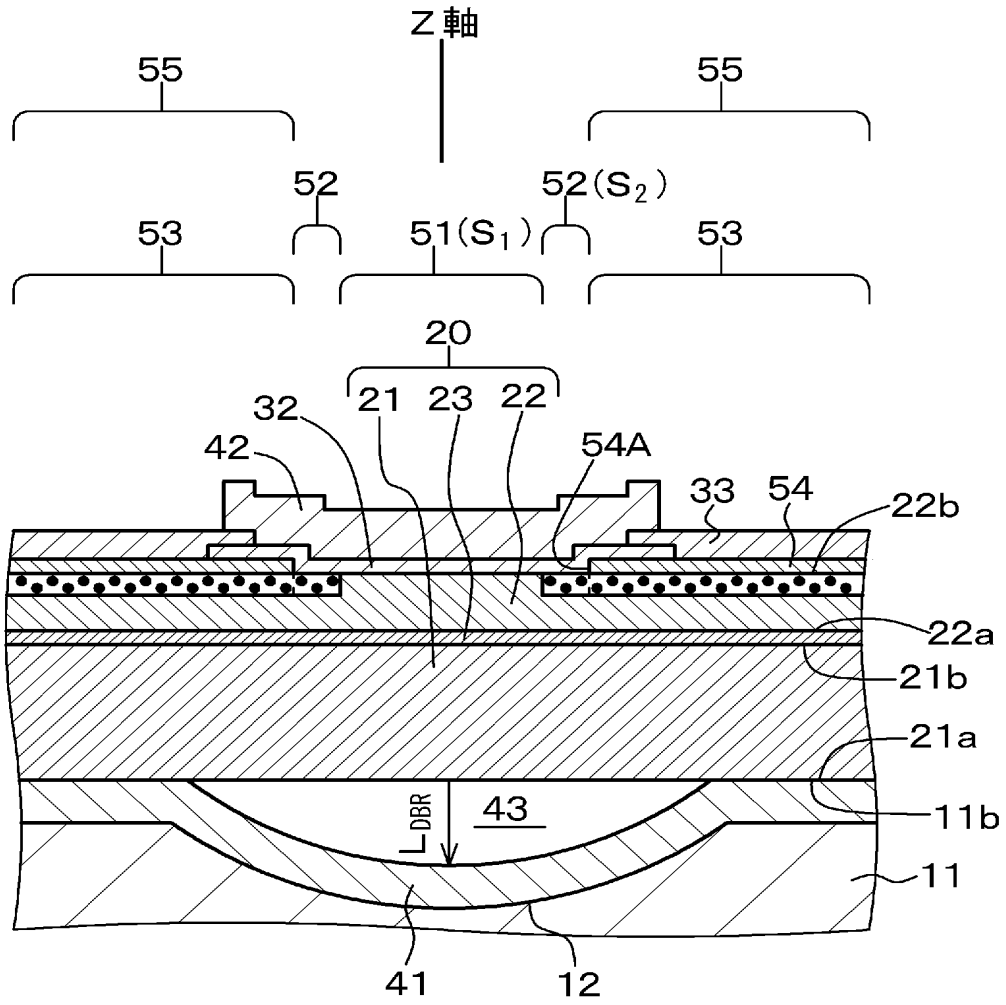
[図15]

図15



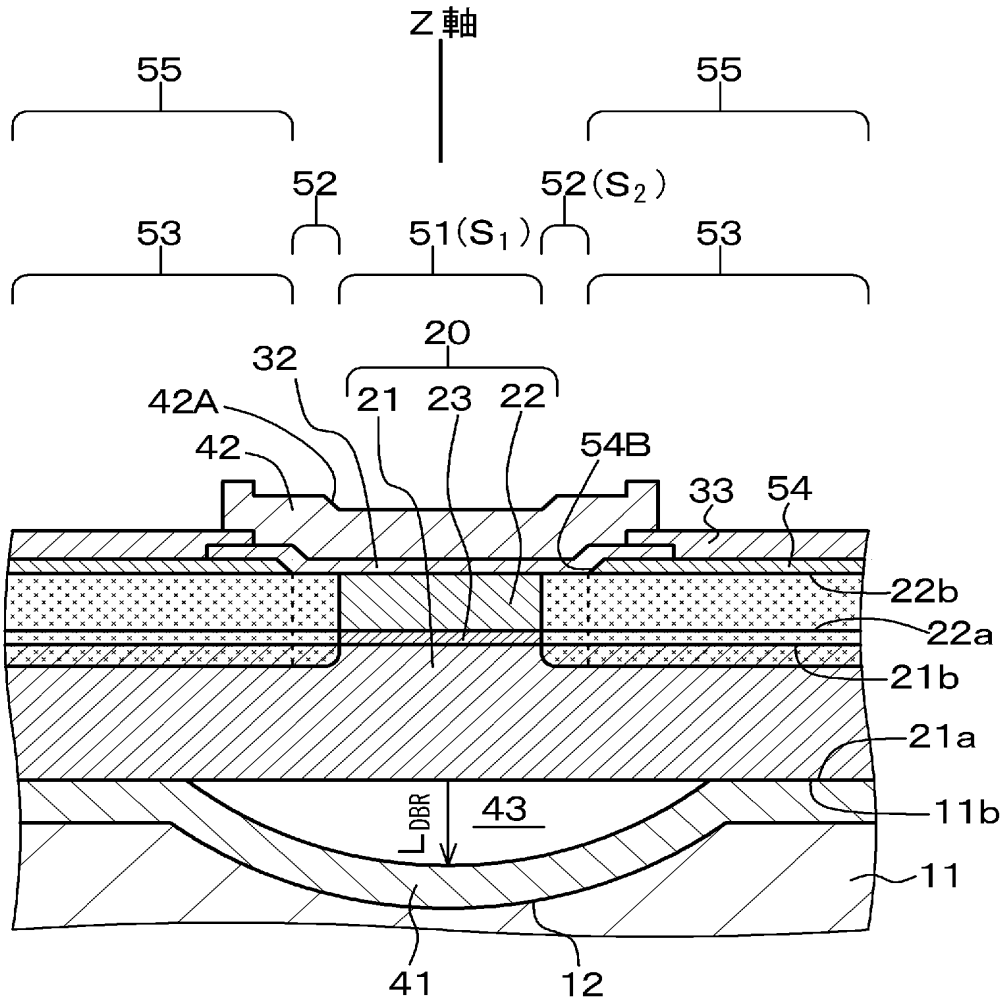
[図16]

図 1 6



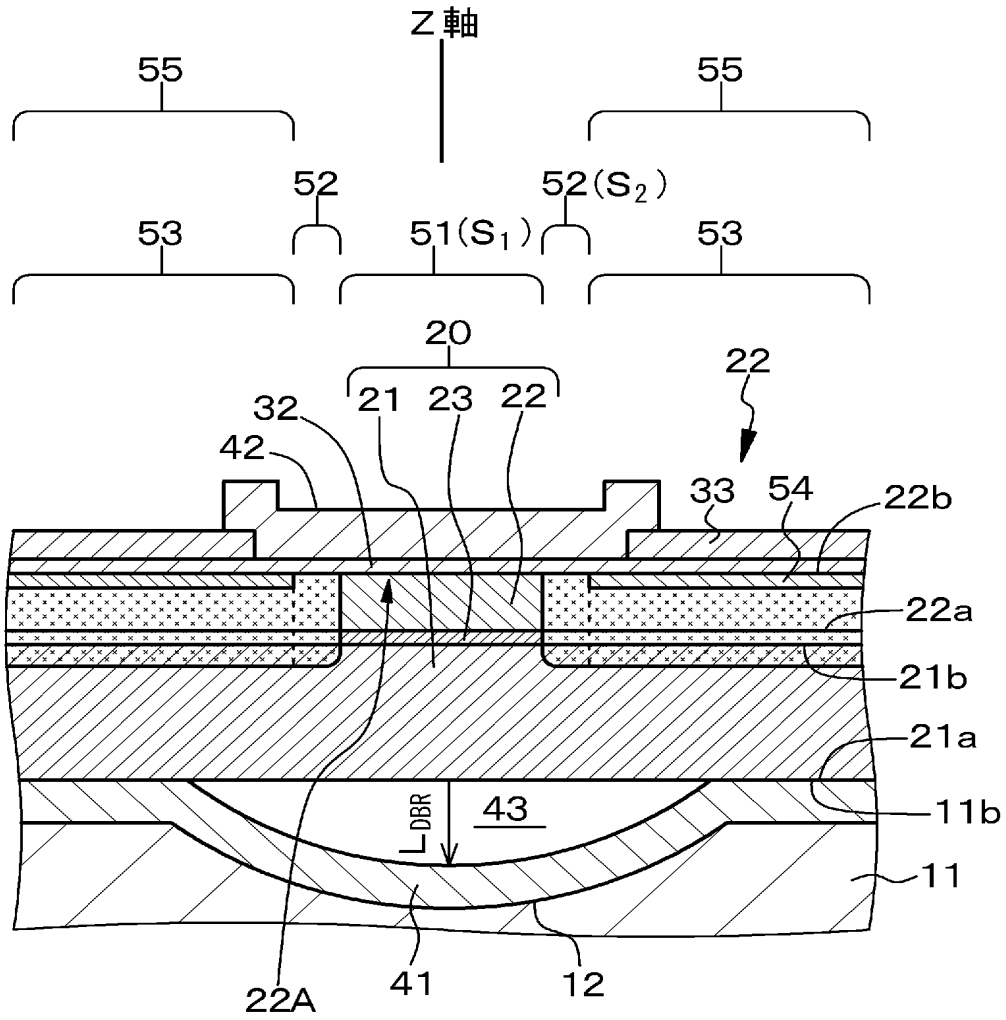
[図17]

図 1 7



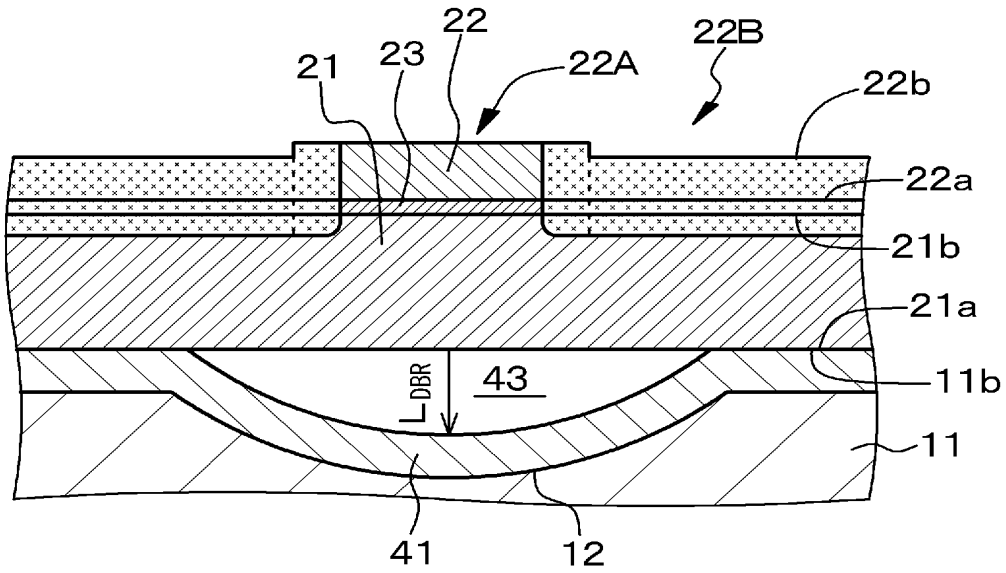
[図18]

図 1 8



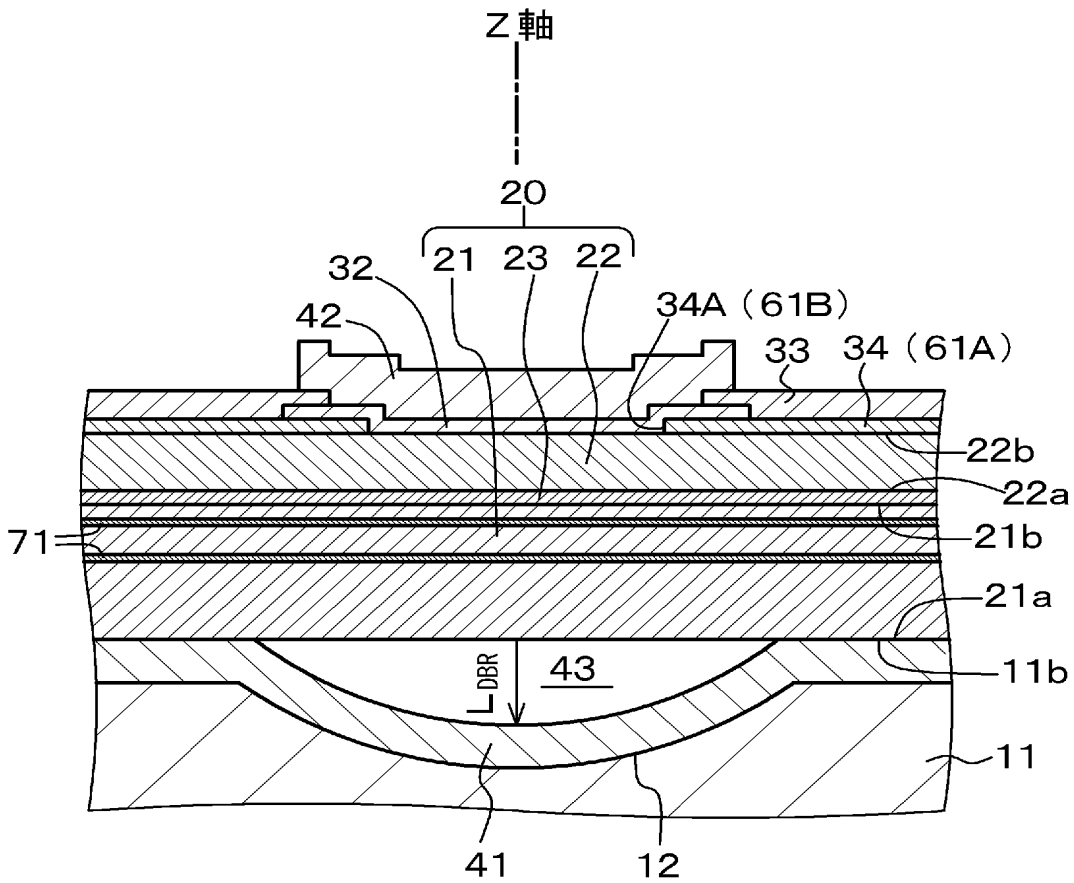
[図19]

図 1 9



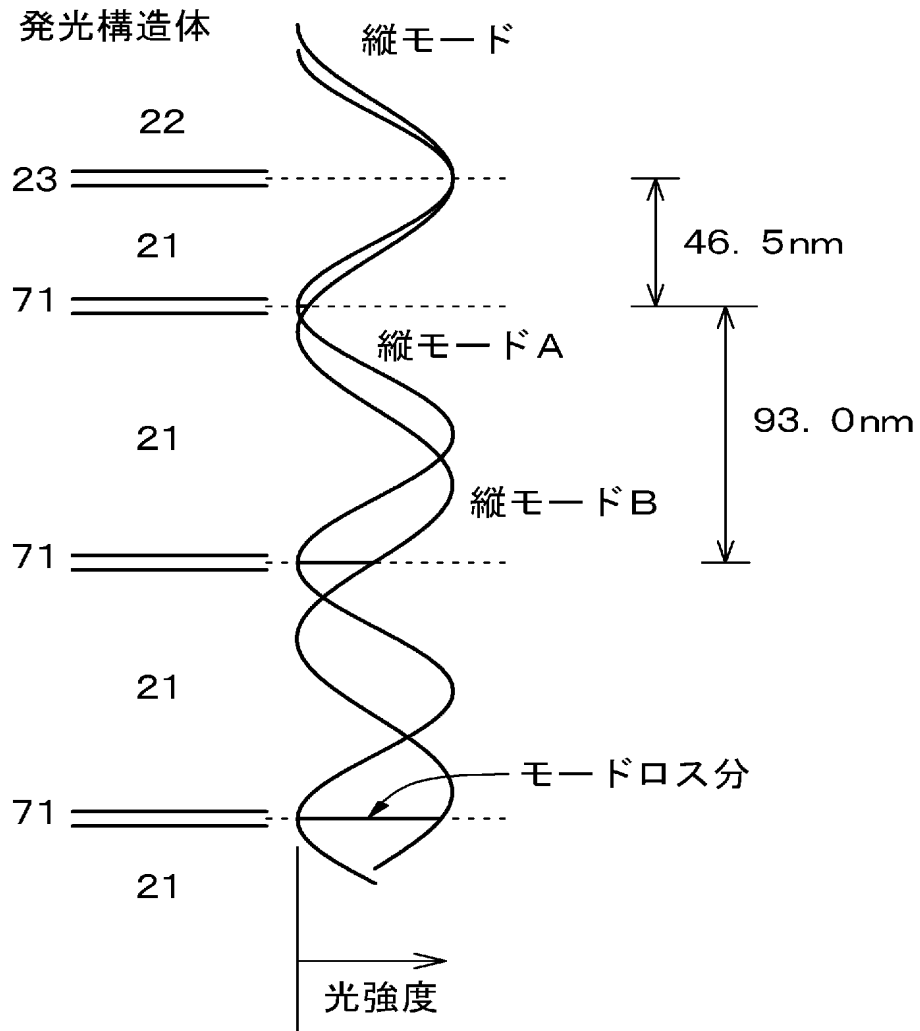
[図20]

図 2 0



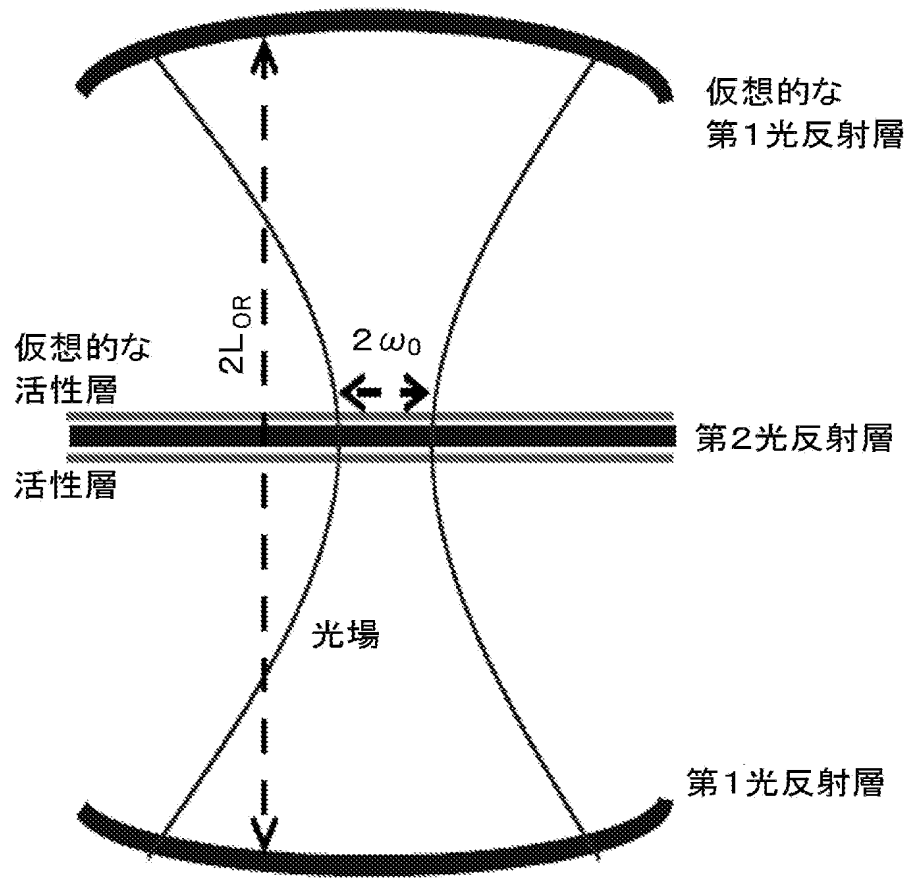
[図21]

図 2 1



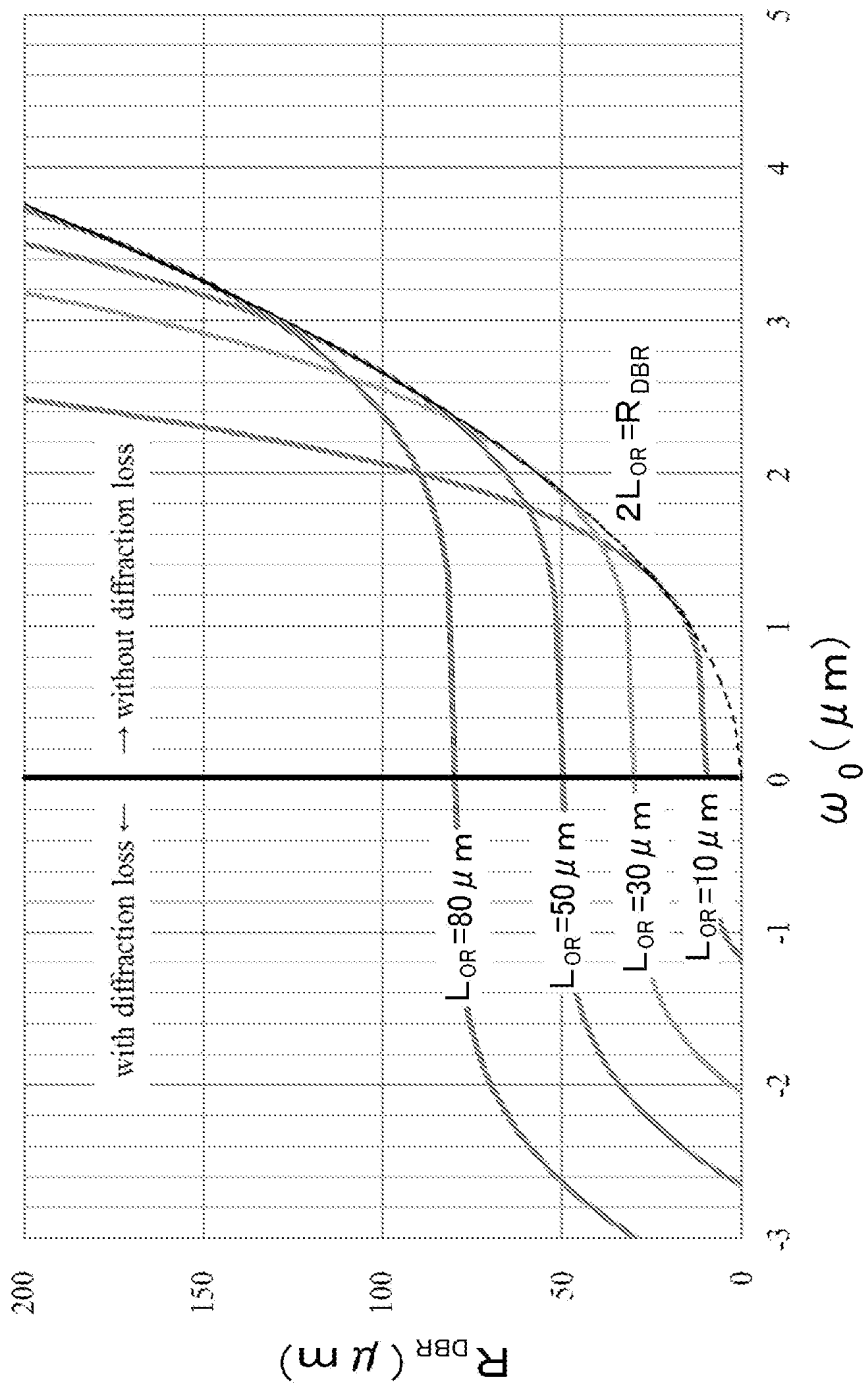
[図22]

図22



[図23]

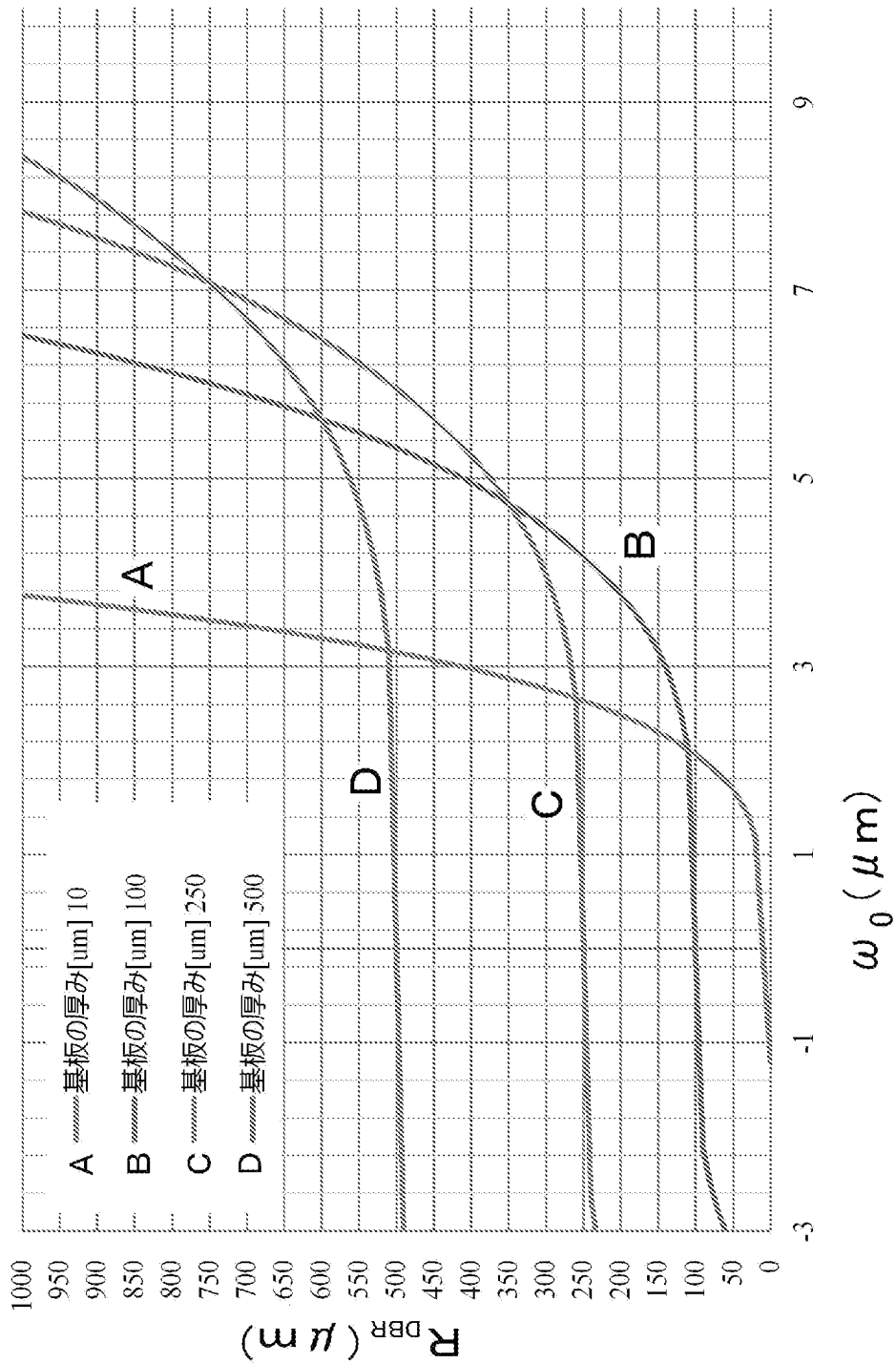
図23





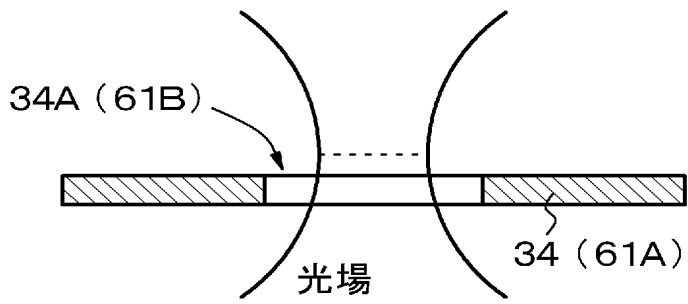
[図24]

図24



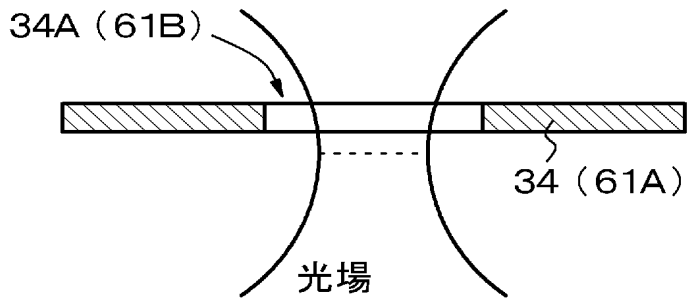
[図25]

図 2 5 A



[第 1 光反射層]

図 2 5 B



[第 1 光反射層]

[図26]

図26A

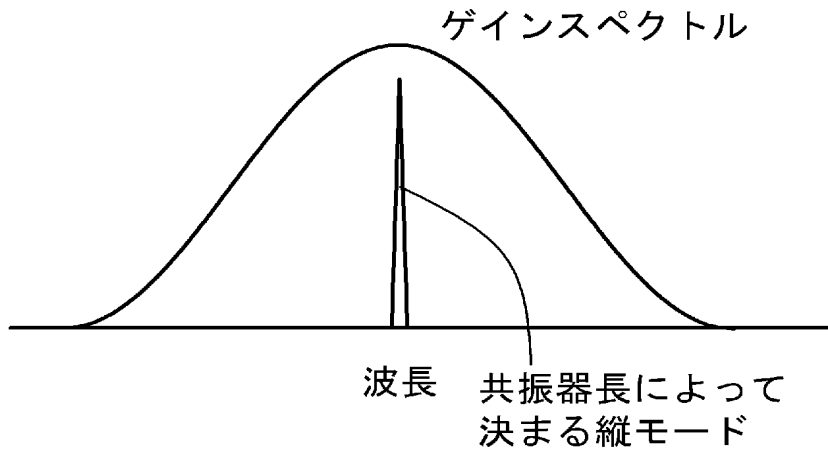
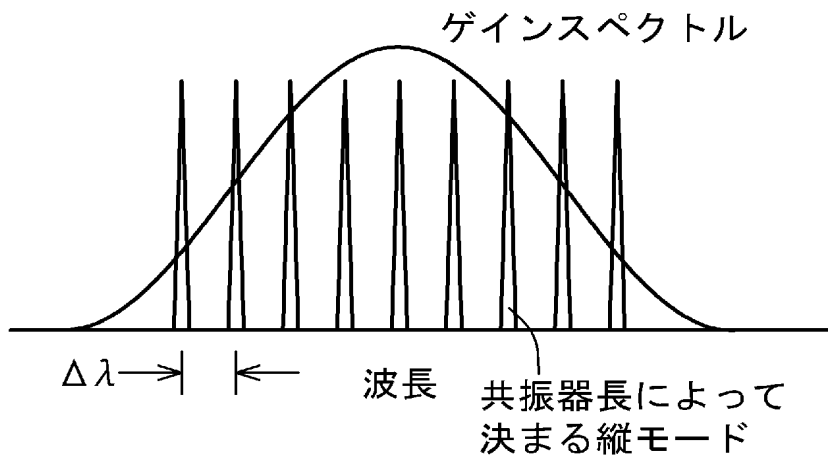
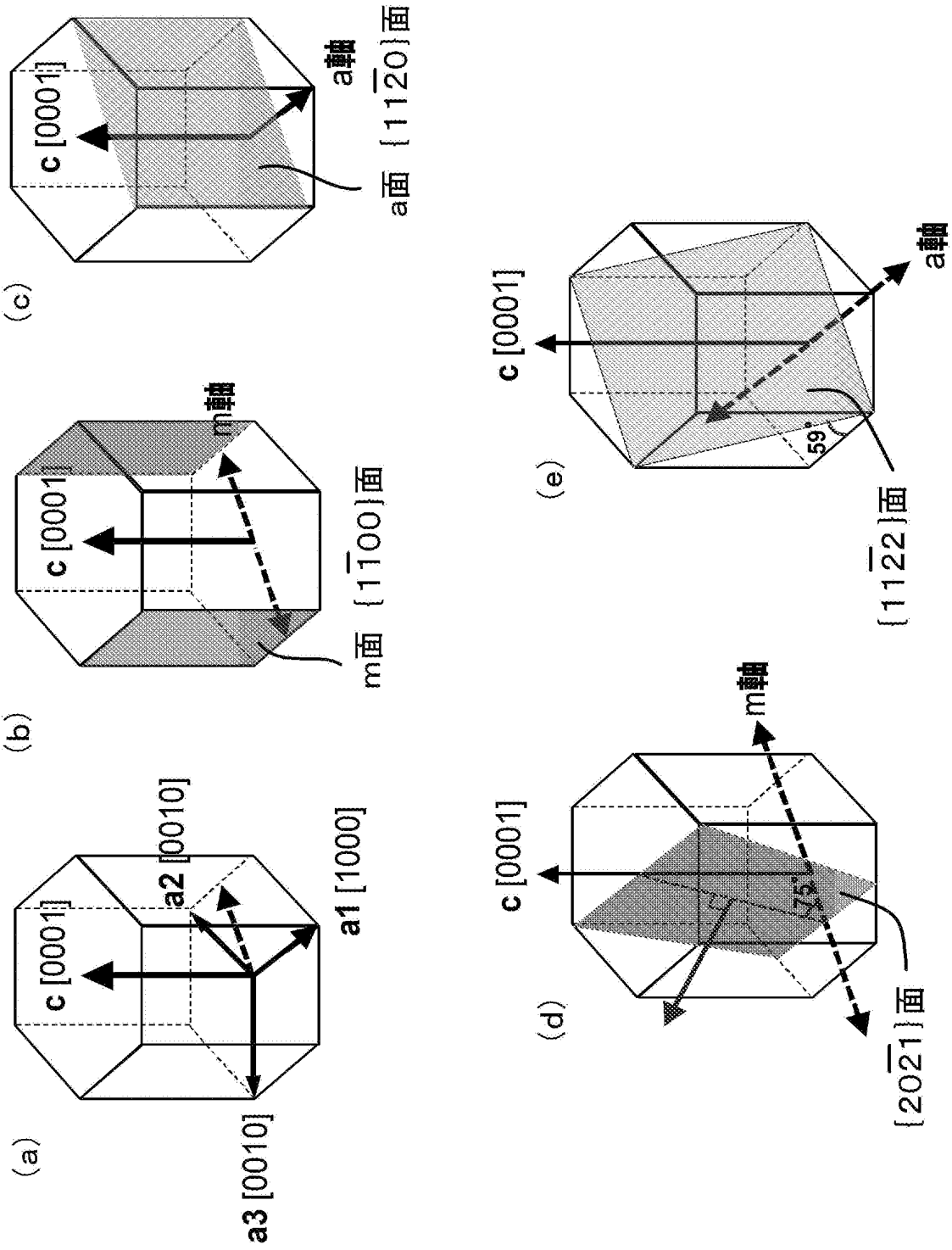


図26B



[図27]

図27



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2019/035711

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 Int.Cl. H01S5/183 (2006.01) i

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)  
 Int.Cl. 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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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.
X Y	WO 2018/083877 A1 (SONY CORP.) 11 May 2018, paragraphs [0086]-[0090], [0152]-[0167], fig. 12-13, 23-25, 30 & US 2019/0267774 A1, paragraphs [0148]-[0152], [0239]-[0254], fig. 12-13, 23-25, 30 & CN 109923742 A	6-11, 15 1-5, 12-14
Y	JP 2002-374045 A (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE) 26 December 2002, paragraphs [0010]-[0038], fig. 1-7 & US 2002/0186737 A1, paragraphs [0018]-[0051], fig. 2-8 & EP 1257027 A1 & FR 2824188 A1	1-5, 12-14

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" 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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 05 December 2019 (05.12.2019)	Date of mailing of the international search report 17 December 2019 (17.12.2019)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer  Telephone No.
--	---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/035711

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018/116596 A1 (SONY CORP.) 28 June 2018 (Family: none)	1-15
A	JP 2018-78134 A (RICOH CO., LTD.) 17 May 2018 (Family: none)	1-15
A	WO 2007/133766 A2 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 22 November 2007 & US 2007/0280320 A1	1-15
A	JP 2002-237653 A (SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS CO., LTD.) 23 August 2002 & US 2002/0105988 A1 & EP 1233493 A2 & CN 1369940 A & KR 2002-0064521 A	1-15
A	US 6026111 A (MOTOROLA, INC.) 15 February 2000 (Family: none)	1-15

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S5/183(2006.01)i

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))

Int.Cl. 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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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
X Y	WO 2018/083877 A1 (ソニー株式会社) 2018.05.11, 段落[0086]-[0090], [0152]-[0167], 図 12-13, 23-25, 30 & US 2019/0267774 A1, 段落[0148]-[0152], [0239]-[0254], 図 12-13, 23-25, 30 & CN 109923742 A	6-11, 15 1-5, 12-14
Y	JP 2002-374045 A (コミサミア、ア、レネルジ、アトミック) 2002.12.26, 段落[0010]-[0038], 図 1-7 & US 2002/0186737 A1, 段落[0018]-[0051], 図 2-8 & EP 1257027 A1 & FR 2824188 A1	1-5, 12-14

☒ 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矛盾するものではなく、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

05.12.2019

国際調査報告の発送日

17.12.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

大和田 有軌

2K

3004

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 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	WO 2018/116596 A1 (ソニー株式会社) 2018. 06. 28 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2018-78134 A (株式会社リコー) 2018. 05. 17 (ファミリーなし)	1-15
A	WO 2007/133766 A2 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA) 2007. 11. 22 & US 2007/0280320 A1	1-15
A	JP 2002-237653 A (三星電機株式会社) 2002. 08. 23 & US 2002/0105988 A1 & EP 1233493 A2 & CN 1369940 A & KR 2002-0064521 A	1-15
A	US 6026111 A (MOTOROLA, INC.) 2000. 02. 15 (ファミリーなし)	1-15