

(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
2022年8月25日(25.08.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/176434 A1

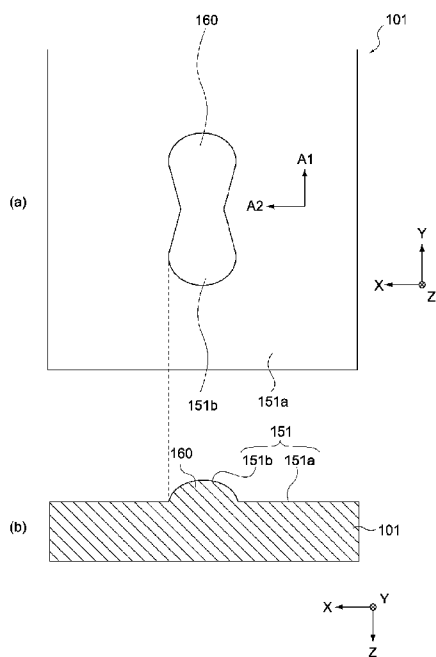
- (51) 国際特許分類:
H01S 5/183 (2006.01) *G02B 5/10* (2006.01)
G02B 3/02 (2006.01) *H01S 5/343* (2006.01)
G02B 5/08 (2006.01) *H01S 5/42* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/000513
- (22) 国際出願日: 2022年1月11日(11.01.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2021-026424 2021年2月22日(22.02.2021) JP
- (71) 出願人:ソニーグループ株式会社(SONY GROUP CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 林 賢 太 郎 (HAYASHI, Kentaro); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニーグループ株式会社内 Tokyo (JP). 濱口達史(HAMAGUCHI, Tatsushi); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニーグル

ープ株式会社内 Tokyo (JP). 佐藤 進(SATO, Susumu); 〒8691102 熊本県菊池郡菊陽町大字原水4000番地1 ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社内 Kumamoto (JP). 幸田 倫太郎(KODA, Rintaro); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニーグループ株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 特許業務法人南青山国際特許事務所(MINAMI AOYAMA PATENT AND TRADEMARK ATTORNEYS); 〒1070052 東京都港区赤坂7-5-47 U & M 赤坂ビル2F 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, IT, 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,

(54) Title: LASER ELEMENT, LASER ELEMENT ARRAY, AND LASER ELEMENT MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: レーザ素子、レーザ素子アレイ及びレーザ素子の製造方法



(57) Abstract: [Problem] To provide: a laser element which has a concave mirror structure and which exhibits excellent optical characteristics; a laser element array; and a laser element manufacturing method. [Solution] The laser element according to the present technology is equipped with a first light reflection layer, a second light reflection layer, and a laminate. The laminate comprises an active layer, and has a lens provided on a first surface on the first light reflection layer side. In the lens, the longitudinal direction is defined as a first direction and the short direction is defined as a second direction. The lens has a lens shape protruding toward the first light reflection layer. A central part of the lens in the first direction has a first width which is the shortest width along the second direction, and a non-central part of the lens in the first direction has a second width which is the largest width along the second direction. The height of the lens is constant, or larger at the central part than at an end part. The lens top part has a constant radius of curvature in the second direction. The first light reflection layer is laminated on the first surface, and forms on the lens a concave mirror having a concave shape.

WO 2022/176434 A1

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

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

添付公開書類 :

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約 : 【課題】凹面鏡構造を有し、光学特性に優れるレーザ素子、レーザ素子アレイ及びレーザ素子の製造方法を提供すること。【解決手段】本技術に係るレーザ素子は、第1の光反射層と、第2の光反射層と、積層体とを具備する。上記積層体は活性層を備え、第1の光反射層側の第1の面にレンズが設けられている。上記レンズは、出第1の方向を長手方向、第2の方向を短手方向とし、第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、第1の方向における中央部が第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、第1の方向における非中央部が第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有し、高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、レンズ頂部の第2の方向における曲率半径が均一である。第1の光反射層は、第1の面に積層され、レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成する。

明 細 書

発明の名称：

レーザー素子、レーザー素子アレイ及びレーザー素子の製造方法

技術分野

[0001] 本技術は、層面に垂直な方向にレーザーを出射するレーザー素子、レーザー素子アレイ及びレーザー素子の製造方法に関する。

背景技術

[0002] レーザー素子の一種に、VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser: 垂直共振器型面発光レーザー) 素子がある。VCSEL素子は、発光層を一对の反射鏡によって挟んだ構造を有する。発光層の近傍には電流狭窄構造が設けられており、電流は電流狭窄構造によって発光層中の一部領域に集中し、自然放出光を生じる。一对の反射鏡は共振器を形成しており、自然放出光のうち所定の波長の光を発光層に向けて反射することで、レーザー発振を生じさせる。

[0003] VCSEL素子においては、一对の反射鏡の間隔である共振器長が長くなると、横方向（層面方向）の光場閉じ込めによる回折損失が増加する。この回折損失の無効化の方法として、一对の反射鏡の一方に球面形状の凹面鏡を設けた構造が提案されている（特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2018/083877号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記特許文献1に記載の提案では、基板上にパターニングされた流動性材料に熱処理を加え、流動性材料を凸形の球面形状に形成し、その凸形球面形状を用いて凹面鏡を形成する方法が用いられている。しかしながら、この方法では、基板表面と流動性材料の張力や重力の影響で流動性材料の形状が凸

型球面形状とならず、平坦又は凹形状になるという問題がある。

[0006] 例えば、パターンニングされた流動性材料の直径が大きい場合、重力の影響によって毛管現象が妨げられ、形状が平坦もしくは凹形状になる。また、流動性材料を薄膜化した場合、基板表面と流動性材料の張力の影響から、両者の接触角度を一定値より小さくすることができず、流動性材料の形状が平坦もしくは凹形状になる。流動性材料が平坦又は凹形状となると、凹面鏡による所期の光学特性を得ることができない。

[0007] 以上のような事情に鑑み、本技術の目的は、凹面鏡構造を有し、光学特性に優れるレーザ素子、レーザ素子アレイ及びレーザ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] 上記目的を達成するため、本技術に係るレーザ素子は、第1の光反射層と、第2の光反射層と、積層体とを具備する。

上記第1の光反射層は、特定の波長の光を反射する。

上記第2の光反射層は、上記波長の光を反射する。

上記積層体は、第1の伝導型を有する半導体材料からなる第1の半導体層と、第2の伝導型を有する半導体材料からなる第2の半導体層と、上記第1の半導体層と上記第2の半導体層の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる活性層とを備え、上記第1の光反射層と上記第2の光反射層の間に配置され、上記第1の光反射層側の第1の面と、上記第2の光反射層側の第2の面を有し、上記第1の面にレンズが設けられている。

上記レンズは、出射光の光軸方向に垂直な平面に平行な第1の方向を長手方向、上記平面に平行かつ上記第1の方向に直交する第2の方向を短手方向とし、上記第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、上記第1の方向における中央部が上記第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、上記第1の方向における非中央部が上記第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有し、上記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、レンズ頂部の上記第2の方向における曲率半径が均一である。

上記第1の光反射層は、上記第1の面に積層され、上記レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成する。なお、本明細において高さや曲率半径が「均一」とは、所定の凹面鏡の頂部における平均値から、おおよそすべての部位においてその値が±20%を超えない範囲とする。

[0009] 上記積層体は、電流を狭窄し、電流が集中する電流注入領域を形成する電流狭窄構造を有し、

上記電流注入領域は、上記光軸方向から見た平面図形が上記第1の方向を長手方向、上記第2の方向を短手方向とし、上記光軸方向から見て上記レンズに重複する形状を有してもよい。

[0010] 上記レンズの上記第1の方向に沿った長さは上記第2の幅より大きくてもよい。

[0011] 上記レンズの上記第1の方向に沿った長さは40 μm以上であってもよい。

[0012] 上記レンズの上記第2の幅は10 μm以上であってもよい。

[0013] 上記レーザ素子の共振器長は上記凹面鏡と上記第2の光反射層の距離であり、

上記曲率半径は、上記共振器長以上であってもよい。

[0014] 上記レンズの表面の面精度は、RMS (Root Mean Square) が1.0 nm以下であってもよい。

[0015] 上記第1の半導体層及び上記第2の半導体層は、Ga_{0.5}In_{0.5}Nからなるものであってもよい。

レーザ素子。

[0016] 上記第1の半導体層及び上記第2の半導体層は、Ga_{0.5}Asからなるものであってもよい。

[0017] 上記第1の半導体層及び上記第2の半導体層は、InPからなるものであってもよい。

[0018] 上記レーザ素子は、上記第2の光反射層の、上記積層体とは反対側に設けられ、波長変換材料からなる波長変換層をさらに具備してもよい。

[0019] 上記第1の光反射層及び上記第2の反射層は、多層光反射膜からなるDBR (Distributed Bragg Reflector) であってもよい。

[0020] 上記目的を達成するため、本技術に係るレーザ素子アレイは、個別に駆動可能なレーザ素子が複数配列されたレーザ素子アレイであって、

上記レーザ素子は、

特定の波長の光を反射する第1の光反射層と、

上記波長の光を反射する第2の光反射層と、

第1の伝導型を有する半導体材料からなる第1の半導体層と、第2の伝導型を有する半導体材料からなる第2の半導体層と、上記第1の半導体層と上記第2の半導体層の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる活性層とを備え、上記第1の光反射層と上記第2の光反射層の間に配置され、上記第1の光反射層側の第1の面と、上記第2の光反射層側の第2の面を有し、上記第1の面にレンズが設けられた積層体と

を具備し、

上記レンズは、出射光の光軸方向に垂直な平面に平行な第1の方向を長手方向、上記平面に平行かつ上記第1の方向に直交する第2の方向を短手方向とし、上記第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、上記第1の方向における中央部が上記第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、上記第1の方向における非中央部が上記第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有し、上記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、レンズ頂部の上記第2の方向における曲率半径が均一であり、

上記第1の光反射層は、上記第1の面に積層され、上記レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成する。

[0021] 上記目的を達成するため、本技術に係るレーザ素子の製造方法は、第1の伝導型を有する半導体材料からなる第1の半導体層と、第2の伝導型を有する半導体材料からなる第2の半導体層と、上記第1の半導体層と上記第2の半導体層の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる活性層とを備え、第1の面と第2の面を有する積層体を作製し、

出射光の光軸方向に垂直な平面に平行な一方向を第1の方向とし、上記平面に平行かつ上記第1の方向に直交する方向を第2の方向とすると、上記第1の面に、流動性材料からなり、一定の厚みを有し、上記第1の方向を長手方向、上記第2の方向を短手方向とし、上記第1の方向における中央部が上記第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、上記第1の方向における非中央部が上記第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有する構造体を形成し、

上記構造体を加熱し、上記流動性材料を流動させて上記構造体を変形させ、上記構造体の形状を利用して上記第1の面に上記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、レンズ頂部の上記第2の方向における曲率半径が均一であるレンズを形成し、

上記第1の面上に特定の波長の光を反射する第1の光反射層を積層し、上記レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成し、

上記積層体の上記第2の面側に上記波長の光を反射する第2の光反射層を形成する。

[0022] 上記レンズを形成する工程では、上記構造体を、上記第1の方向を長手方向、上記第2の方向を短手方向とし、上記第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、上記中央部が上記第1の幅を有し、上記非中央部が上記第2の幅を有し、上記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、頂部の上記第2の方向における曲率半径が均一な形状に変形させてもよい。

[0023] 上記レンズを形成する工程では、上記形状に変形させた構造体をエッチングマスクとして上記積層体をエッチングし、上記第1の面に上記レンズを形成してもよい。

[0024] 上記レンズを形成する工程では、上記形状に変形させた構造体を上記レンズとしてもよい。

[0025] 上記構造体の上記第1の方向に沿った長さは上記第2の幅より大きくてもよい。

[0026] 上記構造体の上記第1の方向に沿った長さは40 μ m以上であってもよい。

[0027] 上記エッチングは、ドライエッチング又はウェットエッチングであってもよい。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]本技術の第1の実施形態に係るレーザ素子の断面図である。

[図2]上記レーザ素子の一部構成の分解断面図である。

[図3]上記レーザ素子の電流注入領域を示す模式図である。

[図4]上記レーザ素子の電流注入領域を示す模式図である。

[図5]上記レーザ素子が備えるレンズの平面図である。

[図6]上記レーザ素子が備えるレンズの斜視図である。

[図7]上記レーザ素子が備えるレンズの平面図である。

[図8]上記レーザ素子が備えるレンズの形状を示す模式図である。

[図9]上記レーザ素子が備えるレンズの中央部と非中央部の断面形状を示す模式図である。

[図10]上記レーザ素子における共振器長を示す模式図である。

[図11]上記レーザ素子の電流注入領域と凹面鏡の位置関係を示す模式図である。

[図12]本技術の第1の実施形態に係る、レンズが別部材からなるレーザ素子の断面図である。

[図13]本技術の第1の実施形態に係るレーザ素子の動作を示す模式図である。

[図14]比較として示すレンズの形状を示す模式図である。

[図15]本技術の第1の実施形態に係るレーザ素子の製造方法を示す模式図である。

[図16]上記レーザ素子の製造方法を示す模式図である。

[図17]上記レーザ素子の製造方法における、構造体の斜視図である。

[図18]上記レーザ素子の製造方法における、構造体の平面図である。

[図19]上記レーザ素子の製造方法における、構造体の形状を示す模式図である。

[図20]上記レーザ素子の製造方法における、変形後の構造体の斜視図である。

[図21]上記レーザ素子の製造方法における、エッチング工程を示す模式図である。

[図22]上記レーザ素子の製造方法における、構造体の斜視図である。

[図23]上記レーザ素子が備える、別形状のレンズの平面図である。

[図24]図23に示すレンズの形成工程で利用する構造体の斜視図である。

[図25]上記レーザ素子が備える、別形状のレンズの平面図である。

[図26]図25に示すレンズの形成工程で利用する構造体の斜視図である。

[図27]本技術の第1の実施形態に係る、波長変換層を備えるレーザ素子の断面図である。

[図28]本技術の第1の実施形態に係るレーザ素子アレイの断面図である。

[図29]上記レーザ素子アレイの平面図である。

[図30]本技術の第1の実施形態に係る、波長変換層を備えるレーザ素子アレイの断面図である。

[図31]本技術の第2の実施形態に係るレーザ素子の断面図である。

[図32]上記レーザ素子の一部構成を分解して示す断面図である。

[図33]上記レーザ素子の電流狭窄構造を示す模式図である。

[図34]本技術の第2の実施形態に係る、他の構成を有するレーザ素子の断面図である。

[図35]本技術の第3の実施形態に係るレーザ素子の断面図である。

[図36]上記レーザ素子の一部構成を分解して示す断面図である。

[図37]上記レーザ素子の電流狭窄構造を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0029] (第1の実施形態)

本技術の第1の実施形態に係るレーザ素子について説明する。本開示の各

図において、レーザ素子から出射される光の光軸方向をZ方向とし、Z方向に直交する一方向をX方向、Z方向及びX方向に直交する方向をY方向とする。本実施形態に係るレーザ素子は、VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser : 垂直共振器型面発光レーザ) 素子に類似した構造を有するが、VCSEL素子はZ方向において光の共振が生じる構造であるのに対し、本実施形態に係るレーザ素子はZ方向に加え、他の方向 (Y方向) にも共振を生じる点でVCSEL素子とは相違する。

[0030] [レーザ素子の構造]

図1は本実施形態に係るレーザ素子100の断面図であり、図2はレーザ素子100を分解して示す模式図である。これらの図に示すように、レーザ素子100は、第1半導体層101、第2半導体層102、活性層103、第1光反射層104、第2光反射層105、第1電極106及び第2電極107を備える。このうち、第1半導体層101、第2半導体層102及び活性層103を併せて積層体150とする。

[0031] これらの各層は、X-Y平面に沿った層面方向を有し、第1電極106、第1光反射層104、第1半導体層101、活性層103、第2半導体層102、第2電極107及び第2光反射層105の順で積層されている。したがって、積層体150は第1光反射層104と第2光反射層105の間に配置されている。

[0032] 第1半導体層101は、第1の伝導型を有する半導体からなり、キャリアを活性層103に輸送する層である。第1の伝導型はn型とすることができ、第1半導体層101は例えばn-GaN基板とすることができる。第1半導体層101にはレンズ160が設けられている。このレンズ160については後述する。第2半導体層102は、第2の伝導型を有する半導体からなり、キャリアを活性層103に輸送する層である。第2の伝導型はp型とすることができ、第2半導体層102は例えばp-GaNからなるものとすることができる。

[0033] 活性層103は、第1半導体層101と第2半導体層102の間に配置さ

れ、キャリア再結合による発光を生じる層である。活性層103は、量子井戸層と障壁層が交互に複数層積層された多重量子井戸構造を有し、量子井戸層は例えばInGa_nNからなり、障壁層は例えばGa_nNからなるものとすることができる。また、活性層103は多重量子井戸構造の他にも、キャリア再結合による発光を生じる層であればよい。

[0034] 図2に示すように、積層体150の面のうち、第1光反射層104側の面を第1面151とし、第2光反射層105側の面を第2面152とする。レンズ160は、第1面151に設けられている。これにより、第1面151は、主面151aとレンズ面151bを有する。主面151aは、出射光の光軸方向（Z方向）に垂直な平面（X-Y平面）である。レンズ面151bは、レンズ160の表面であり、主面151aから突出する面である。

[0035] 第1光反射層104は、特定の波長（以下、波長 λ ）の光を反射し、それ以外の波長の光を透過する。波長 λ は例えば445nmである。第1光反射層104は、図1に示すように、それぞれ光学膜厚 $\lambda/4$ を有する高屈折率層104aと低屈折率層104bを交互に複数層積層した多層光反射膜からなるDBR（Distributed Bragg Reflector：分布ブラッグ反射鏡）とすることができる。第1光反射層104は例えば、Ta₂O₅/SiO₂、SiO₂/SiN又はSiO₂/Nb₂O₅等の積層構造とすることができる。

[0036] 第1光反射層104は、凹面鏡104cを有する。第1光反射層104は一定の厚みで積層体150の第1面151上に積層され、図2に示すように、レンズ160の形状にしたがって積層体150側の面は凹面104dを形成し、積層体150とは反対側の面は凸面104eを形成する。これにより第1光反射層104に凹面鏡104cが形成されている。

[0037] 第2光反射層105は、波長 λ の光を反射し、それ以外の波長の光を透過する。第2光反射層105は、図1に示すように、それぞれ光学膜厚 $\lambda/4$ を有する高屈折率層105aと低屈折率層105bを交互に複数層積層した多層光反射膜からなるDBR（Distributed Bragg Reflector：分布ブラッグ反射鏡）とすることができる。第2光反射層105は例えば、Ta₂O₅/S

SiO_2 、 SiO_2/SiN 又は $\text{SiO}_2/\text{Nb}_2\text{O}_5$ 等の積層構造とすることができる。

[0038] 第1電極106は第1光反射層104上において凹面鏡104cの周囲に設けられ、レーザ素子100の一方の電極として機能する。第1電極106は例えばAu、Ni又はTi等からなる単層金属膜や、Ti/Au、Ag/Pd又はNi/Au/Pt等からなる多層金属膜とすることができる。

[0039] 第2電極107は第2半導体層102と第2光反射層105の間に配置され、レーザ素子100の他方の電極として機能する。第2電極107は例えばITO (Indium Tin Oxide)、ITiO (Indium Titan Oxide)、TiO、AZO (Aluminum doped zinc oxide)、ZnO、SnO、ZSnO、SnO₂、SnO₃、TiO、TiO₂又はグラフェン等の透明導電性材料からなるものとすることができる。

[0040] レーザ素子100では積層体150に電流狭窄構造が形成されている。図3及び図4は電流狭窄構造を示す模式図である。図3(a)及び図4(a)は電流狭窄構造を光軸方向(Z方向)から見た平面図である。図3(b)は電流狭窄構造を示すX-Z断面の断面図であり、図4(b)は電流狭窄構造を示すY-Z断面の断面図である。図3(b)及び図4(b)に示すように、電流狭窄構造は電流注入領域121と絶縁領域122(ドットを付した領域)を有する。電流注入領域121は、イオンが注入されていない領域(非イオン注入領域)であり導電性を有する領域である。

[0041] 絶縁領域122は、層面方向(X-Y方向)において電流注入領域121を囲む領域であり、積層体150を構成する半導体材料にイオンが注入され、絶縁化された領域(イオン注入領域)である。絶縁領域122に注入されたイオンはB(ホウ素)イオンとすることができる。また、Bイオンの他にもO(酸素)イオンやH(水素)イオン等、半導体材料の絶縁化が可能なイオンを用いてもよい。

[0042] 電流注入領域121は、図3(a)及び図4(a)に示すように、一方向(Y方向)を長手方向、長手方向に直交する方向(X方向)を短手方向とす

る細長い平面形状を有する。以下、電流注入領域121の長手方向（Y方向）を第1方向A1とし、電流注入領域121の短手方向（X方向）を第2方向A2とする。第1方向A1及び第2方向A2は共に光軸方向（Z方向）に直交し、かつ互いに直交する方向である。

[0043] 図3（a）及び図4（a）に示すように、電流注入領域121の第1方向A1に沿った長さを長さ L_0 とし、第2方向A2に沿った幅を幅 d_0 とすると、長さ L_0 は幅 d_0 の3倍以上が好適であり、20倍以上がより好適である。具体的には、長さ L_0 は40 μm 以上が好適である。

[0044] レーザ素子100を流れる電流は、絶縁領域122を通過できず、電流注入領域121に集中する。即ち、電流注入領域121及び絶縁領域122によって電流狭窄構造が形成されている。なお、絶縁領域122は、第1半導体層101、活性層103及び第2半導体層102のうち全てに設けられなくてもよく、これらの層の内少なくともいずれか1層に設けられたものであればよい。

[0045] なお、図3（a）及び図4（a）に示す、光軸方向（Z方向）から見た電流注入領域121の平面形状は、図3（b）及び図4（b）に示すように、電流注入領域121のうち最も層面方向（X-Y方向）の径が小さい部分の平面図形である。電流注入領域121は、第2半導体層102と第2電極106の界面から離間するにつれて径が大きくなるため、電流注入領域121の平面形状は同界面における電流注入領域121の形状である。

[0046] [レンズ形状について]

レンズ160の形状について説明する。図5乃至図7はレンズ160の形状を示す模式図である。図5（a）は、光軸方向（Z方向）から見た第1半導体層101の面図、図5（b）は第1半導体層101の断面図である。図6はレンズ160の斜視図である。図7（a）はX方向から見たレンズ160の平面図、図7（b）はY方向から見たレンズ160の平面図である。図5乃至図7に示すように、レンズ160は、X-Y平面に平行な主面151aから第1光反射層104側に突出して設けられている。以下、主面151

aをレンズ160の形状を規定するための「平面」とする。

[0047] 図5に示すように、レンズ160は、主面151aに平行な一方向（Y方向）を長手方向、長手方向に直交する方向（X方向）を短手方向とする細長いレンズ形状を有する。レンズ160の長手方向（Y方向）は、電流注入領域121（図3参照）の長手方向である第1方向A1に一致し、レンズ160の短手方向（X方向）は、電流注入領域121の短手方向である第2方向A2に一致する。即ち、レンズ160は、第1方向A1を長手方向とし、第2方向A2を短手方向とする。

[0048] 図8は、光軸方向（Z方向）から見たレンズ160の形状を示す模式図である。同図に示すようにレンズ160は、中央部160aと非中央部160bを有する。中央部160aは、レンズ160のうち第1方向A1における中央に位置する部分である。中央部160aの第2方向A2に沿った幅を第1幅 d_{s1} とすると、第1幅 d_{s1} はレンズ160の第2方向A2に沿った最小幅である。第1幅 d_{s1} は、例えば $36\mu\text{m}$ とすることができる。

[0049] また、非中央部160bは、レンズ160のうち、第1方向A1において中央部160aから離間した場所に位置する部分であり、レンズ160の両端近傍の部分である。非中央部160bの第2方向A2に沿った幅を第2幅 d_{s2} とすると、第2幅 d_{s2} はレンズ160の第2方向A2に沿った最大幅である。第2幅 d_{s2} は $10\mu\text{m}$ 以上が好適であり、例えば $40\mu\text{m}$ とすることができる。

[0050] レンズ160において中央部160aと非中央部160bの間の部分は、図8に示すように、第2方向A2に沿った幅が、非中央部160bから中央部160aに向かって次第に減少する形状とすることができる。光軸方向（Z方向）から見たレンズ160の周縁と第1方向A1がなす角 θ は、例えば 3.8° とすることができる。また、図8に示すようにレンズ160の第1方向A1に沿った長さを長さ L_s とすると、長さ L_s は、第2幅 d_{s2} より大きいものが好適であり、 $40\mu\text{m}$ 以上が好適である。長さ L_s は例えば $100\mu\text{m}$ とすることができる。

- [0051] 図9は、中央部160aと非中央部160bの形状を示す模式図であり、図9(a)は中央部160aのX-Z平面による断面形状、図9(b)は非中央部160bのX-Z平面による断面形状を示す。図9(a)及び(b)に示すように、中央部160aと非中央部160bはX-Z断面での周縁が曲線を描く形状とすることができ、中央部160aと非中央部160bでは曲線の形状が異なる。中央部160aと非中央部160bの間の部分は、X-Z断面での周縁が描く曲線が図9(a)と図9(b)の中間の形状となる。
- [0052] 図7及び図9に示すように、レンズ160の主面151aからの高さ(Z方向)を高さ H_s とする。図9(a)及び(b)に示すように、中央部160a及び非中央部160bは共に高さ H_s を有する。また、中央部160aと非中央部160bの間の部分も高さ H_s を有し、図7に示すようにレンズ160は均一な高さ H_s を有する。なお、高さ H_s は10nm以上が好適である。また、レンズ160は、中央部160aの主面151aからの高さが、端部の主面151aからの高さよりも高い形状であってもよい。端部は第1方向A1におけるレンズ160aの両端近傍に位置する部分であり、例えば非中央部160bである。
- [0053] また、レンズ160は、レンズ面152bの頂部(以下、レンズ頂部)が第2方向A2における曲率半径(ROC: radius of curvature) R_s を有する。図9(a)及び(b)においてレンズ頂部を破線で示し、レンズ頂部の第2方向A2における曲率半径 R_s を示す。図9(a)及び(b)に示すように、中央部160a及び非中央部160bは共に、レンズ頂部が同一の曲率半径 R_s を有する。また、中央部160aと非中央部160bの間の部分も曲率半径 R_s を有し、レンズ160はレンズ頂部が第2方向A2において均一な曲率半径 R_s を有する。
- [0054] この曲率半径 R_s は、レーザ素子100の共振器長以上が好適である。図10は、レーザ素子100の共振器長Kを示す模式図である。同図に示すように、レーザ素子100の共振器長Kは、凹面鏡104cと第2光反射層105の距離である。曲率半径 R_s は共振器長K以上が好適であり、共振器長Kと

同一であってもよく、共振器長 K より長いものであってもよい。これは、曲率半径 R_s が共振器長 K 未満であると、後述するレーザ発振が生じない場合があるためである。共振器長 K は例えば $25\ \mu\text{m}$ 、曲率半径 R_s は例えば $44\ \mu\text{m}$ とすることができる。

[0055] また、レンズ160は、レンズ面152bの面精度（RMS：Root Mean Square）が $1.0\ \text{nm}$ 以下が好適である。レンズ面152bの面精度（RMS）が $1.0\ \text{nm}$ を超えるとレンズ面152bにおいて光学ロスが発生するためである。面精度（RMS）は例えば $0.6\ \text{nm}$ とすることができる。

[0056] 図11はレンズ160と電流注入領域121（図3参照）の位置関係を示す模式図であり、レンズ160と電流注入領域121を光軸方向（Z方向）から見た図である。同図に示すようにレンズ160は、同方向から見て電流注入領域121がレンズ160に重複するように位置及び形状が形成されている。

[0057] なお、レンズ160は、図2に示すように第1半導体層101の一部により形成されているものであってもよいが、第1半導体層101とは別の部材からなるものであってもよい。図12は、第1半導体層101に接合されたレンズ160を示す断面図である。同図に示すように、レンズ160は第1半導体層101に接合された部材であってもよい。

[0058] また、上記説明では、 X - Y 平面に平行な主面151aをレンズ160の形状を規定するための「平面」としたが、主面151aは X - Y 平面に平行な平坦面に限られず、湾曲面等であってもよい。この場合、 X - Y 平面に平行な仮想平面をレンズ160の形状を規定するための「平面」とすることができる。

[0059] なお、レンズ160は上記のように、 X - Z 断面での周縁が曲線を描く形状とすることができる。 X - Z 断面でのレンズ160の周縁が描く形状は、円の一部、放物線の一部、サイン曲線の一部、楕円の一部、カテナリー曲線の一部である構成とすることができる。この形状は、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し、厳密には

サイン曲線の一部ではない場合もあるし、厳密には楕円の一部分ではない場合もあるし、厳密にはカテナリー曲線の一部ではない場合もある。即ち、概ね円の一部分である場合、概ね放物線の一部である場合、概ねサイン曲線の一部である場合、概ね楕円の一部分である場合、概ねカテナリー曲線の一部である場合も、「形状は、円の一部分、放物線の一部、サイン曲線の一部、概ね楕円の一部分である、概ねカテナリー曲線の一部である」ことに包含される。これらの曲線の一部が線分で置き換えられていてもよい。X-Z断面でのレンズ160の周縁が描く形状は、レンズ面152b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。

[0060] [レーザ素子の動作]

レーザ素子100の動作について説明する。図13は、レーザ素子100の動作を示す模式図である。第1電極106と第2電極107の間に電圧を印加すると、第1電極106と第2電極107の間に電流が流れる。電流は電流狭窄構造により狭窄され、図13に矢印Cとして示すように電流注入領域121に注入される。

[0061] この注入電流によって活性層103の電流注入領域121近傍において自然放出光Fが生じる。自然放出光Fはレーザ素子100の積層方向（Z方向）に進行し、第1光反射層104及び第2光反射層105によって反射される。

[0062] 第1光反射層104及び第2光反射層105は発振波長 λ を有する光を反射するように構成されているため、自然放出光のうち発振波長 λ の成分は第1光反射層104及び第2光反射層105の間で定在波を形成し、活性層103によって増幅される。注入電流が閾値を超えると、定在波を形成する光がレーザ発振を生じる。これにより生じたレーザ光Eは、第2光反射層105を透過し、Z方向を光軸方向としてレーザ素子100から出射される。

[0063] ここで、レーザ素子100では、電流注入領域121が第1方向A1（Y方向）に沿って延びる細長い平面形状を有し、レンズ160も第1方向A1に沿って延びる細長いレンズ形状を有する（図11参照）。電流注入領域1

21及びレンズ160を第1方向A1に沿った細長い形状とすることにより、第1方向A1において電流注入領域121による光閉じ込め領域を拡大しつつ、第2方向A2において電流注入領域121による光閉じ込め領域を制限することができる。これにより、レーザ素子から出射されるレーザ光Eの第1方向A1に沿った幅が拡大し、レーザ光EのY方向に沿った放射角の縮小が可能となる。

[0064] さらに、レンズ160によって積層方向（Z方向）だけでなく第1方向A1（Y方向）においても光の共振が生じる。これにより、レーザ光Eのコヒーレント性を向上させることができる。このように、レーザ素子100は、電流注入領域121及びレンズ160が第1方向A1に沿った細長い形状を有することにより、ビーム径が大きく、放射角の狭いレーザ光Eを出射することが可能であり、線状のビームを出射するライン光源として動作する。

[0065] [レーザ素子による効果]

上記のようにレーザ素子100は、主面151aからの高さ H_s が均一であり、レンズ頂部の第2方向A2における曲率半径 R_s が均一であるレンズ160を有する。図14は比較として示すレンズ560を各方向から見た模式図である。レンズ560は、第1方向A1を長手方向とし、第2方向A2を短手方向とする細長いレンズ形状を有する。レンズ560は、平面551aからの高さが不均一であり、中央部の高さが低い形状を有する。また、レンズ560はレンズ頂部の第2方向A2における曲率半径も不均一である。

[0066] レンズが一方向に長い形状（特に $40\mu\text{m}$ 以上）を有する場合、製造プロセスにおいて表面張力や重力の影響により、図14に示すように中央部が窪み、平面551aからの高さやレンズ頂部の曲率半径が不均一な形状となり得る。レーザ素子100が仮に、レンズ160に替えてレンズ560を有する場合、レンズ560の高さが不均一とりわけ中央部よりも端部のほうが高くなるため、レンズ560のどの部分に光が到達するかによって共振器長K（図10参照）が異なる。このため、レーザ素子100において異なる箇所異なる縦モード（Z方向での繰り返し現れる状態）が成立する。

[0067] また、レンズ560はレンズ頂部の曲率半径も不均一であるため、レーザ素子100内で異なる横モード（X-Y方向での繰り返し現れる状態）が成立する。これらの原因により、レーザ素子100がレンズ560を有する場合、レーザ素子100内でレーザ光Eの輝度ムラが生じ、レーザ素子100内の光場がコヒーレントにならず、狭い放射角のレーザ光Eを出射させることができない。

[0068] これに対し、レーザ素子100は、高さ H_s とレンズ頂部の曲率半径 R_s が均一であるレンズ160を有している。このため、レンズ160上に電流注入領域121を形成することで、光軸方向（Z方向）への共振とレンズ160の長手方向（Y方向）への共振との両方を持つモードを形成し、直線性の高い光を出射するレーザ素子100を実現することができる。また、レーザ素子100では曲率半径 R_s が均一であるため、横モードを単一化することができ、高さ H_s が均一であるため、縦モードを単一化できる場合がある。これらによって、輝度ムラのないレーザ光Eを出射することができるため、レーザ素子100は良好なライン光源を実現することが可能である。

[0069] 加えて、レンズ560のような高さが不均一とりわけ中央部よりも端部のほうが高くなるような形状では、中央部に応力が集中するため、加熱や物理的接触により破損するおそれがある。これに対してレンズ160のように高さが均一であれば、応力が分散されるため、耐久性を向上させることが可能である。

[0070] [レーザ素子の製造方法]

レーザ素子100の製造方法について説明する。図15乃至図21は、レーザ素子100の製造方法を示す模式図である。まず、図15に示すように積層体150を作製する。積層体150は、第1半導体層101（基板）上に活性層103及び第2半導体層102を積層して作製することができる。活性層103及び第2半導体層102は有機金属化学的気相成長（MOCVD；Metal Organic-Chemical Vapor Deposition）法等により積層することができる。

- [0071] 続いて、図16に示すように、絶縁領域122を形成する。絶縁領域122は、第2半導体層102側から積層体150にイオンを注入することにより形成することができる。この際、マスクにより、第2半導体層102の一部領域を被覆しておくことにより、イオンが注入されない領域である電流注入領域121を形成することができる。
- [0072] 続いて、図17に示すように、積層体150の第1面151に構造体170を形成する。構造体170は第1面151から一定の厚みを有し、所定形状にパターニングされている。図18は、構造体170の形状を示す平面図であり、光軸方向（Z方向）から構造体170を見た図である。同図に示すように構造体170は、一方向（Y方向）を長手方向、長手方向に直交する方向（X方向）を短手方向とする細長い形状を有する。構造体170の長手方向（Y方向）は、電流注入領域121（図3参照）の長手方向である第1方向A1に一致し、構造体170の短手方向（X方向）は、電流注入領域121の短手方向である第2方向A2に一致する。即ち、構造体170は、第1方向A1を長手方向とし、第2方向A2を短手方向とする。
- [0073] 図19は、光軸方向（Z方向）から見た構造体170の形状を示す模式図である。同図に示すように構造体170は、中央部170aと非中央部170bを有する。中央部170aは、構造体170のうち第1方向A1における中央に位置する部分である。中央部170aの第2方向A2に沿った幅を第1幅 d_{p1} とすると、第1幅 d_{p1} は構造体170の第2方向A2に沿った最小幅である。第1幅 d_{p1} は、例えば $36\mu\text{m}$ とすることができる。
- [0074] また、非中央部170bは、構造体170のうち、第1方向A1において中央部170aから離間した位置する部分であり、構造体170の両端近傍の部分である。非中央部170bの第2方向A2に沿った幅を第2幅 d_{p2} とすると、第2幅 d_{p2} は構造体170の第2方向A2に沿った最大幅である。第2幅 d_{p2} は $10\mu\text{m}$ 以上が好適であり、例えば $40\mu\text{m}$ とすることができる。
- [0075] 構造体170において中央部170aと非中央部170bの間の部分は、

図19に示すように、第2方向A2に沿った幅が、非中央部170bから中央部170aに向かって次第に減少する形状とすることができる。光軸方向（Z方向）から見た構造体170の周縁と第1方向A1がなす角 θ は、例えば 3.8° とすることができる。また、図19に示すように構造体170の第1方向A1に沿った長さを長さ L_p とすると、長さ L_p は、第2幅 d_p2 より大きいものが好適であり、 $40\mu\text{m}$ 以上が好適である。長さ L_p は例えば $100\mu\text{m}$ とすることができる。

[0076] 構造体170は室温又は後述する加熱プロセスにおいて流動性を有する流動性材料からなる。流動性材料は有機材料又はSOG(silicon on glass)とすることができ、市販のフォトレジストであってもよい。構造体170は流動性材料を第1面151に一定の厚みで塗布し、パターニングすることにより形成することができる。

[0077] 流動性材料の塗布はスピコートにより行うことができ、スピコートの回転数は 10rpm 以上であり、例えば 3000rpm とすることができる。パターニングは流動性材料上に、上述した構造体170の平面形状を有するマスクを形成し、そのマスクを用いてエッチングを行うことにより行うことができる。エッチングはウェットエッチングでもよく、ドライエッチングでもよい。また、反応性イオンエッチング（RIE；Reactive Ion Etching）を用いてもよい。マスクはフォトリソグラフィにより成形することができ、露光装置はアライナー、ステッパー又は電子ビーム描画装置を利用することができる。光源はg線、i線、KrFレーザ又はArFレーザを利用することができる。

[0078] 続いて、構造体170を流動性材料の融点以上に加熱する熱処置（リフロー）を行う。加熱温度は例えば 160° とすることができる。この加熱により、流動性材料の粘性が変化し、構造体170の形状が変化する。図20は、熱処置により構造体170が変形した構造体175を示す模式図である。構造体175の形状は、上記レンズ160の形状と同一形状である。即ち、構造体175の中央部の幅はレンズ160の第1幅 d_{s1} （図8参照）と等し

く、構造体175の非中央部の幅はレンズ160の第2幅 d_2 と等しくなる。また、構造体175の高さは均一であってレンズ160の高さ H_0 と等しくなり、構造体175の頂部の第2方向A2における曲率半径は、レンズ160のレンズ頂部の第2方向A2における曲率半径 R_0 と等しくなる。

[0079] 続いて、構造体175をエッチングマスクとして、第1半導体層101をエッチングする。図21はこのエッチングを示す模式図である。同図に矢印で示すように、第1面151側から第1半導体層101にエッチャントを供給する。これにより、第1半導体層101が第1面151側からエッチングされ、レンズ160が形成される。この際に第1半導体層101と構造体175のエッチング速度を同等とすることにより、構造体175と同一形状のレンズ160を形成することができる。エッチングはウェットエッチングでもよく、ドライエッチングでもよいが異方性である方が好適であり、反応性イオンエッチングを用いてもよい。

[0080] また、構造体175をエッチングマスクとして利用する他に、構造体175をレンズ160としてもよい。構造体175をレンズ160とすると、図12に示すように、第1半導体層101とは別部材からなるレンズ160が形成される。構造体170を共振波長 λ の光に対して透過性を有する材料により形成することで、構造体175をレンズ160として利用することができる。

[0081] 以上のようにして第1面151にレンズ160を形成することができる（図6参照）。この後、第1光反射層104、第2光反射層105、第1電極106及び第2電極107をそれぞれ形成し、図1に示すレーザ素子100を作製することができる。これらの各層はスパッタリング法や真空蒸着法等によって行うことができる。第1半導体層101に第1光反射層104を積層する際、第1面151にはレンズ160が設けられているため、凹面鏡104cが形成される。なお、第2光反射層105及び第2電極107は、レンズ160の形成前に形成することも可能である。

[0082] この製造方法では、上記のように構造体170を中央部170aの幅が狭

い形状（図19参照）とすることにより、構造体175の高さ及び頂部の曲率半径を均一とし、それによりレンズ160の高さ及びレンズ頂部の曲率半径を均一とすることができる。仮に構造体170をZ方向から見て均一な幅とすると、構造体175への変形時に、表面張力及び重量の影響により中央部が窪んだ形状となり（図14参照）、中央部の曲率半径が大きくなる。これに対し、構造体170を中央部170aの幅が狭い形状とすると、表面張力により曲率半径が小さくなる作用が生じ、構造体175の高さ及び頂部の曲率半径を均一化することが可能となる。

[0083] また、上記第1半導体層101のエッチング工程では、構造体175の面精度（RMS：Root Mean Square）が第1半導体層101の面精度（RMS）より低くなる条件でエッチングすることにより、エッチング後のレンズ160の表面の面精度（RMS）をエッチング前に比べて低くすることができる。これにより、レンズ160の表面での散乱損失を抑制し、共振器の性能を改善することができる。ひいては、レーザ素子100の閾値低減及び消費電力低減が実現でき、出力構造改善、効率改善及び信頼性改善が可能である。

[0084] レーザ素子100は以上のようにして製造することができる。なお、レーザ素子100の製造方法はここに示すものに限られず、他の製造方法によってレーザ素子100を製造することも可能である。

[0085] 図22はレーザ素子100の他の製造方法を示す模式図である。第1面151に構造体170（図17参照）を形成した後、同図に示すように第1面151を鉛直下方に向け、熱処置（リフロー）を行う。これにより重力によって構造体175の中央部の高さが低くなることが防止されるため、構造体175の高さを均一化あるいは中央部を端部よりも高くすることが可能である。

[0086] [レンズの他の構成]

レーザ素子100が備えるレンズ160は、上記構成の他に以下に示す構成を有するものであってもよい。図23及び図25は、他の構成を有するレンズ160の平面図であり、レンズ160を光軸方向（Z方向）から見た図

である。

[0087] 図23に示すように、レンズ160は、第2方向A2に沿った幅が、非中央部160bから中央部160aに向かって段状に減少する形状とすることも可能である。レンズ160の高さ H_s とレンズ頂部の第2方向A2における曲率半径 R_s （図9参照）は均一であり、高さ H_s は例えば $3.6\mu\text{m}$ 、曲率半径 R_s は共振器長 K （図10参照）より長く、例えば $44\mu\text{m}$ とすることができる。

[0088] 中央部160aの第2方向A2に沿った第1幅 d_{s1} は例えば $36\mu\text{m}$ 、非中央部160bの第2方向A2に沿った第2幅 d_{s2} は例えば $40\mu\text{m}$ とすることができる。また、レンズ160の第1方向A1に沿った長さ L_s は例えば $100\mu\text{m}$ 、第1幅 d_{s1} を有する部分の第1方向A1に沿った長さ M_{s1} は例えば $10\mu\text{m}$ 、第2幅 d_{s2} を有する部分の第1方向A1に沿った長さ M_{s2} は例えば $30\mu\text{m}$ とすることができる。

[0089] 図23に示すレンズ160の形状は、以下の構造体170を用いて作製することができる。図24は、このレンズ160の形状を形成することが可能な構造体170の平面図である。構造体170は、第1面151から一定の厚みを有し（図17参照）、同図に示すように第2方向A2に沿った幅が、非中央部160bから中央部160aに向かって段状に減少する形状とすることができる。

[0090] 中央部170aの第2方向A2に沿った第1幅 d_{p1} は例えば $36\mu\text{m}$ 、非中央部170bの第2方向A2に沿った第2幅 d_{p2} は例えば $40\mu\text{m}$ とすることができる。また、構造体170の第1方向A1に沿った長さ L_p は例えば $100\mu\text{m}$ 、第1幅 d_{p1} を有する部分の第1方向A1に沿った長さ M_{p1} は例えば $10\mu\text{m}$ 、第2幅 d_{p2} を有する部分の第1方向A1に沿った長さ M_{p2} は例えば $30\mu\text{m}$ とすることができる。

[0091] また、図25に示すように、レンズ160は、非中央部160bから中央部160aに向かって幅が狭くなる矩形状のブロック（B1～B5）が連なった形状とすることも可能である。ブロックの数は特に限定されず、例えば

5つとすることができる。レンズ160の高さ H_s とレンズ頂部の第2方向A2における曲率半径 R_s （図9参照）は均一であり、高さ H_s は例えば3.6 μm 、曲率半径 R_s は共振器長K（図10参照）より長く、例えば44 μm とすることができる。

[0092] 中央部160aの第2方向A2に沿った第1幅 d_{s1} は例えば36 μm 、非中央部160bの第2方向A2に沿った第2幅 d_{s2} は例えば40 μm とすることができる。中央部160aと非中央部160bの間の部分は非中央部160bから中央部160aに向かって第2方向A2に沿った幅が狭くなり、第2幅 d_{s2} >第3幅 d_{s3} >第4幅 d_{s4} >第1幅 d_{s1} の関係を満たす。

[0093] 具体的には例えば、第2幅 d_{s2} が40 μm 、第3幅 d_{s3} が39 μm 、第4幅 d_{s4} が38 μm 、第1幅 d_{s1} が36 μm とすることができる。また、レンズ160の第1方向A1に沿った長さ L_s は例えば100 μm 、各部分の第1方向A1に沿った長さ M_{s1} ~ M_{s4} は、長さ M_{s2} が10 μm 、長さ M_{s3} が10 μm 、長さ M_{s4} が5 μm 、長さ M_{s1} が10 μm とすることができる。

[0094] 図25に示すレンズ160の形状は、以下の構造体170を用いて作製することができる。図26は、このレンズ160の形状を形成することが可能な構造体170の平面図である。構造体170は第1面151から一定の厚みを有し（図17参照）、同図に示すように非中央部160bから中央部160aに向かって幅が狭くなる矩形状のブロック（B1~B5）が連なった形状とすることができる。中央部170aの第2方向A2に沿った第1幅 d_{p1} は例えば36 μm 、非中央部170bの第2方向A2に沿った第2幅 d_{p2} は例えば40 μm とすることができる。

[0095] 中央部170aと非中央部170bの間の部分は非中央部170bから中央部170aに向かって第2方向A2に沿った幅が狭くなり、第2幅 d_{p2} >第3幅 d_{p3} >第4幅 d_{p4} >第1幅 d_{p1} の関係を満たす。具体的には例えば、第2幅 d_{p2} が40 μm 、第3幅 d_{p3} が39 μm 、第4幅 d_{p4} が38 μm 、第1幅 d_{p1} が36 μm とすることができる。また、レンズ160の第1方

向A1に沿った長さ L_p は例えば $100\mu\text{m}$ 、各部分の第1方向A1に沿った長さ $M_{p1}\sim M_{p4}$ は、長さ M_{p2} が $10\mu\text{m}$ 、長さ M_{p3} が $10\mu\text{m}$ 、長さ M_{p4} が $5\mu\text{m}$ 、長さ M_{p1} が $10\mu\text{m}$ とすることができる

[0096] レンズ160が図23及び図25に示すような構成を有する場合も、高さ H_s とレンズ頂部の曲率半径 R_s が均一であるため、輝度ムラのないレーザ光Eを出射する良好なライン光源を実現することが可能である。また、レンズ160の形状はここに示すもの以外にも、中央部160aと非中央部160bを有し、高さ H_s とレンズ頂部の曲率半径 R_s が均一な形状とすることができる。

[0097] [レーザ素子の他の構成]

レーザ素子100の構成は上述のものに限られず、波長変換層を備えるものとする 것도可能である。図27は波長変換層181を備えるレーザ素子100の断面図である。波長変換層181は波長変換材料からなり、第2光反射層105の積層体150とは反対側に設けられ、第2光反射層105から入射するレーザ光E（図13参照）の波長を変換する。

[0098] 波長変換層181を構成する波長変換材料は青色光によって励起され、赤色光を出射する波長変換材料とすることができる。具体的には、赤色発光蛍光体粒子、より具体的には、 $(\text{ME}:\text{Eu})\text{S}$ [但し、「ME」は、Ca、Sr及びBaから成る群から選択された少なくとも1種類の原子を意味し、以下においても同様である]、 $(\text{M}:\text{Sm})\text{x}(\text{Si},\text{Al})_{12}(\text{O},\text{N})_{16}$ [但し、「M」は、Li、Mg及びCaから成る群から選択された少なくとも1種類の原子を意味し、以下においても同様である]、 $\text{ME}_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}$ 、 $(\text{Ca}:\text{Eu})\text{SiN}_2$ 、 $(\text{Ca}:\text{Eu})\text{AlSiN}_3$ を挙げることができる。

[0099] また、波長変換層181を構成する波長変換材料は、青色光によって励起され、緑色光を出射する波長変換材料とすることができる。具体的には、緑色発光蛍光体粒子、より具体的には、 $(\text{ME}:\text{Eu})\text{Ga}_2\text{S}_4$ 、 $(\text{M}:\text{RE})\text{x}(\text{Si},\text{Al})_{12}(\text{O},\text{N})_{16}$ [但し、「RE」は、Tb及びYbを意味

する]、 $(M:Tb)_x(Si, Al)_{12}(O, N)_{16}$ 、 $(M:Yb)_x(Si, Al)_{12}(O, N)_{16}$ 、 $Si_{6-z}Al_zO_zN_{8-z}:Eu$ を挙げることができる。

[0100] さらに、波長変換層181を構成する波長変換材料は、青色光によって励起され、黄色光を出射する波長変換材料とすることができる。具体的には、黄色発光蛍光体粒子、より具体的には、YAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）系蛍光体粒子を挙げることができる。尚、波長変換材料は、1種類であってもよいし、2種類以上を混合して用いてもよい。

[0101] また、波長変換層181を構成する波長変換材料は2種類以上を混合して用いることで、黄色、緑色、赤色以外の色の出射光が波長変換材料混合品から出射される構成とすることもできる。具体的には、例えば、シアン色を発光する構成としてもよく、この場合には、緑色発光蛍光体粒子（例えば、 $LaPO_4:Ce, Tb$ 、 $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu, Mn$ 、 $Zn_2SiO_4:Mn$ 、 $MgAl_{11}O_{19}:Ce, Tb$ 、 $Y_2SiO_5:Ce, Tb$ 、 $MgAl_{11}O_{19}:Ce, Tb, Mn$ ）と青色発光蛍光体粒子（例えば、 $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu$ 、 $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$ 、 $Sr_2P_2O_7:Eu$ 、 $Sr_5(P_2O_7)_3Cl:Eu$ 、 $(Sr, Ca, Ba, Mg)_5(P_2O_7)_3Cl:Eu$ 、 $CaWO_4$ 、 $CaWO_4:Pb$ ）とを混合したものをいれればよい。

[0102] さらに、波長変換層181を構成する波長変換材料は、紫外線によって励起され、赤色光を出射する波長変換材料とすることができる。具体的には、赤色発光蛍光体粒子、より具体的には、 $Y_2O_3:Eu$ 、 $YVO_4:Eu$ 、 $Y(P, V)O_4:Eu$ 、 $3.5MgO \cdot 0.5MgF_2 \cdot Ge_2:Mn$ 、 $CaSiO_3:Pb, Mn$ 、 $Mg_6AsO_{11}:Mn$ 、 $(Sr, Mg)_3(P_2O_7)_3:Sn$ 、 $La_2O_2S:Eu$ 、 $Y_2O_2S:Eu$ を挙げることができる。

[0103] さらに、波長変換層181を構成する波長変換材料は、紫外線によって励起され、緑色光を出射する波長変換材とすることができる。具体的には、緑色発光蛍光体粒子、より具体的には、 $LaPO_4:Ce, Tb$ 、 $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu, Mn$ 、 $Zn_2SiO_4:Mn$ 、 $MgAl_{11}O_{19}:Ce, Tb$ 、

$Y_2SiO_5:Ce, Tb, MgAl_{11}O_{19}:Ce, Tb, Mn, Si_{6-z}Al_2O_zN_{8-z}:Eu$ を挙げることができる。

[0104] さらに、波長変換層181を構成する波長変換材料は、紫外線によって励起され、青色光を出射する波長変換材料とすることができる。具体的には、青色発光蛍光体粒子、より具体的には、 $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu$ 、 $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu$ 、 $Sr_2P_2O_7:Eu$ 、 $Sr_5(PO_4)_3Cl:Eu$ 、 $(Sr, Ca, Ba, Mg)_5(PO_4)_3Cl:Eu$ 、 $CaWO_4$ 、 $CaWO_4:Pb$ を挙げることができる。

[0105] さらに、波長変換層181を構成する波長変換材料は、紫外線によって励起され、黄色光を出射する波長変換材とすることができる。具体的には、黄色発光蛍光体粒子、より具体的には、YAG系蛍光体粒子を挙げることができる。尚、波長変換材料は、1種類であってもよいし、2種類以上を混合して用いてもよい。更には、波長変換材料を2種類以上を混合して用いることで、黄色、緑色、赤色以外の色の出射光が波長変換材料混合品から出射される構成とすることもできる。具体的には、シアン色を発光する構成としてもよく、この場合には、上記の緑色発光蛍光体粒子と青色発光蛍光体粒子を混合したものをを用いればよい。

[0106] 但し、波長変換材料（色変換材料）は、蛍光体粒子に限定されず、例えば、間接遷移型のシリコン系材料において、直接遷移型のように、キャリアを効率良く光へ変換させるために、キャリアの波動関数を局所化し、量子効果を用いた、2次元量子井戸構造、1次元量子井戸構造（量子細線）、0次元量子井戸構造（量子ドット）等の量子井戸構造を適用した発光粒子を挙げることができるし、半導体材料に添加された希土類原子は殻内遷移により鋭く発光することが知られており、このような技術を適用した発光粒子を挙げることができる。

[0107] 波長変換層181を構成する波長変換材料（色変換材料）として、上記のとおり、量子ドットを挙げることができる。量子ドットの大きさ（直径）が小さくなるに従い、バンドギャップエネルギーが大きくなり、量子ドットが

ら出射される光の波長は短くなる。即ち、量子ドットの大きさが小さいほど短い波長を有する光（青色光側の光）を発光し、大きさが大きいほど長い波長を有する光（赤色光側の光）を発光する。それ故、量子ドットを構成する材料を同じとし、量子ドットの大きさを調整することで、所望の波長を有する光を出射する（所望の色に色変換する）量子ドットを得ることができる。

[0108] 具体的には、量子ドットは、コアシェル構造を有することが好ましい。量子ドットを構成する材料として、例えば、Si；Se；カルコパライト系化合物であるCIGS（CuInGaSe）、CIS（CuInSe₂）、CuInS₂、CuAlS₂、CuAlSe₂、CuGaS₂、CuGaSe₂、AgAlS₂、AgAlSe₂、AgInS₂、AgInSe₂；ペロブスカイト系材料；III-V族化合物であるGaAs、GaP、InP、InAs、InGaAs、AlGaAs、InGaP、AlGalnP、InGaAsP、GaN；CdSe、CdSeS、CdS、CdTe、In₂Se₃、In₂S₃、Bi₂Se₃、Bi₂S₃、ZnSe、ZnTe、ZnS、HgTe、HgS、PbSe、PbS、TiO₂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。

[0109] さらに、上記説明において第1半導体層101はn型半導体材料からなり、第2半導体層102はp型半導体材料からなるものとしたが、第1半導体層101がp型半導体材料からなり、第2半導体層102はn型半導体材料からなるものとしてもよい。この他にもレーザ素子100は、上記レーザ素子100の動作を実現可能とする他の構成を有していてもよい

[0110] [レーザ素子アレイについて]

レーザ素子100によってレーザ素子アレイを構成することが可能である。図28は本実施形態に係るレーザ素子アレイ10の断面図であり、図29はレーザ素子アレイ10の模式的平面図である。

[0111] 図28及び図29に示すように、レーザ素子アレイ10は配列された複数のレーザ素子100から構成されている。レーザ素子アレイ10を構成するレーザ素子100の数は特に現地されないが、例えば10個とすることがで

きる。図29に示すようにレーザ素子100は、各レーザ素子100の第1方向A1（レンズ160の長手方向）が一致するように配列されたものとすることができる。アレーピッチR（レンズ160の中心間隔）は例えば20 μ mとすることができる。レーザ素子100の配列方向はこれに限られず、レンズ160が六方細密充填配列となるものであってもよい。

[0112] 各レーザ素子100の第1電極106は、隣接するレーザ素子100の第1電極106とは分離されている。このため、各レーザ素子100の第1電極106と第2電極107の間の電圧を独立して制御することにより、それぞれのレーザ素子100を独立して発光させることが可能である。レーザ素子アレイ10は、各レーザ素子100が輝度ムラのないレーザ光Eを出射する良好なライン光源であると共にアレイ化により高出力化が可能であり、例えば1Wを超える出力とすることが可能である。

[0113] レーザ素子アレイ10においても、レーザ素子100が波長変換層181を備えるものとすることが可能である。図30は、波長変換層181を備えるレーザ素子アレイ10を示す断面図である。波長変換層181は各レーザ素子100がそれぞれ備えるものであってもよく、複数のレーザ素子100の間で連続した1層であってもよい。

[0114] （第2の実施形態）

本技術の第2の実施形態に係るレーザ素子について説明する。本実施形態に係るレーザ素子は、第1の実施形態に係るレーザ素子に対して主に電流狭窄構造が異なる。本実施形態に係るレーザ素子は、VCSEL素子に類似した構造を有するが、本実施形態に係るレーザ素子はZ方向に加え、他の方向（Y方向）にも共振を生じる点でVCSEL素子とは相違する。

[0115] [レーザ素子の構造]

図31は本実施形態に係るレーザ素子200の断面図であり、図32はレーザ素子200の一部構成を分解して示す断面図である。これらの図に示すように、レーザ素子200は、基板201、第1半導体層202、第2半導体層203、第3半導体層204、活性層205、トンネル接合層206、

第1光反射層207、第2光反射層208、第1電極209、第2電極210及び絶縁膜211を備える。このうち、基板201、第1半導体層202、第2半導体層203、第3半導体層204、活性層205及びトンネル接合層206を併せて積層体250とする。

[0116] これらの各層は、X-Y平面に沿った層面方向を有し、第1光反射層207、基板201、第1半導体層202、活性層205、第2半導体層203、第3半導体層204、第2光反射層208の順で積層されている。したがって、積層体250は第1光反射層207と第2光反射層208の間に配置されている。

[0117] 基板201は、レーザ素子200の各層を支持する。基板201は例えば、半絶縁性InP基板とすることができる。図32に示すように、基板201にはレンズ260が設けられている。このレンズ260については後述する。

[0118] 第1半導体層202は、第1の伝導型を有する半導体からなり、キャリアを活性層205に輸送する層である。第1の伝導型はn型とすることができる。第1半導体層202は例えばn-InPからなる層とすることができる。第2半導体層203は、第2の伝導型を有する半導体からなり、キャリアを活性層205に輸送する層である。第2の伝導型はp型とすることができる。第2半導体層203は例えばp-InPからなる層とすることができる。第3半導体層204は、第1の伝導型を有する半導体からなり、キャリアをトンネル接合層206に輸送する層である。第3半導体層204は例えばn-InPからなる層とすることができる。

[0119] 活性層205は、第1半導体層202と第2半導体層203の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる層である。活性層205は、量子井戸層と障壁層が交互に複数層積層された多重量子井戸構造を有し、量子井戸層は例えばInGaAsPからなり、障壁層は例えば量子井戸層とは組成が異なるInGaAsPからなるものとする。また、活性層205は多重量子井戸構造の他にも、キャリア再結合による発光を生じる層であ

ればよい。

[0120] トンネル接合層206は、埋め込みトンネル接合 (Buried Tunnel Junction) を形成する。トンネル接合層206は、第2半導体層203の中央部と第3半導体層204の中央部の間に配置されている。トンネル接合層206は、第2半導体層203側の第1層206aと第3半導体層204側の第2層206bを有する。第1層206aは、第2の伝導型で不純物濃度が高い層であり、例えば $p^+ - \text{AlInGaAs}$ からなる層とすることができる。第2層206bは、第1の伝導型で不純物濃度が高い層であり、例えば $n^+ - \text{InP}$ からなる層とすることができる。

[0121] 図31に示すように、活性層205、第2半導体層203及び第3半導体層204は外周部分が除去され、メサ (台地状構造) Mを形成する。トンネル接合層206はZ方向から見てメサMの中央部に位置するように配置されている。

[0122] 図31に示すように、積層体250の面のうち、第1光反射層207側の面を第1面251とし、第2光反射層208側の面を第2面252とする。レンズ260は、第1面251に設けられている。これにより、図32に示すように、第1面251は、主面251aとレンズ面251bを有する。主面251aは、出射光の光軸方向 (Z方向) に垂直な平面 (X-Y平面) である。レンズ面251bは、レンズ260の表面であり、主面251aから突出する面である。

[0123] 第1光反射層207は、特定の波長 (以下、波長 λ) の光を反射し、それ以外の波長の光を透過する。波長 λ は例えば、1300~1600nmのうち特定の波長である。第1光反射層207は、図31に示すように、それぞれ光学膜厚 $\lambda/4$ を有する高屈折率層207aと低屈折率層207bを交互に複数層積層した多層光反射膜からなるDBR (Distributed Bragg Reflector: 分布ブラッグ反射鏡) とすることができる。例えば第1光反射層207は $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ 、 SiO_2/SiN 又は $\text{SiO}_2/\text{Nb}_2\text{O}_5$ 等の積層構造とすることができる。

- [0124] 第1光反射層207は、凹面鏡207cを有する。第1光反射層207は一定の厚みで基板201の第2面201b上に積層され、第1面251に設けられたレンズ260の形状にしたがって積層体250側の面は凹面207dを形成し、積層体250とは反対側の面は凸面207eを形成する。これにより第1光反射層207には凹面鏡207cが形成されている。
- [0125] 第2光反射層208は、波長 λ の光を反射し、それ以外の波長の光を透過する。第2光反射層208は、図31に示すように、それぞれ光学膜厚 $\lambda/4$ を有する高屈折率層208aと低屈折率層208bを交互に複数層積層した多層光反射膜からなるDBR (Distributed Bragg Reflector : 分布ブラッグ反射鏡) とすることができる。例えば第2光反射層208は Ta_2O_5/SiO_2 、 SiO_2/SiN 又は SiO_2/Nb_2O_5 等の積層構造とすることができる。
- [0126] 第1電極209は第1半導体層202上においてメサMの周囲に設けられ、レーザ素子200の一方の電極として機能する。第1電極209は例えばAu、Ni又はTi等からなる単層金属膜や、Ti/Au、Ag/Pd又はNi/Au/Pt等からなる多層金属膜とすることができる。
- [0127] 第2電極210は第3半導体層204上において第2光反射層208の周囲に設けられ、レーザ素子200の他方の電極として機能する。第2電極210は例えばAu、Ni又はTi等からなる単層金属膜や、Ti/Au、Ag/Pd又はNi/Au/Pt等からなる多層金属膜とすることができる。絶縁膜211はメサMの側面とメサMの上面において第2電極210の周囲に設けられ、メサMの外周を絶縁する。絶縁膜211は任意の絶縁性材料からなる。
- [0128] レーザ素子200ではトンネル接合層206によって積層体250に電流狭窄構造が形成されている。図33は電流狭窄構造を示す模式図である。電流狭窄構造は同図に示すように、電流注入領域221と絶縁領域222を有する。電流注入領域221はトンネル接合層206によりトンネル接合が形成された領域 (トンネル接合領域) であり、トンネル接合により電流を通過

させる。絶縁領域 222 は層面方向（X-Y 方向）において電流注入領域 221 を囲み、トンネル接合が形成されていないために電流を通過させない領域（非トンネル接合領域）である。レーザ素子 200 を流れる電流は、絶縁領域 222 を通過できないため、電流注入領域 221 に集中する。即ち、電流注入領域 221 及び絶縁領域 222 によって電流狭窄構造が形成されている。

[0129] [電流注入領域とレンズの形状について]

レーザ素子 200 における電流注入領域 221 の形状は第 1 の実施形態に係る電流注入領域 121 と同一である。即ち、電流注入領域 221 は、第 1 方向 A1 を長手方向、第 2 方向 A2 を短手方向とする細長い平面形状を有する（図 3 及び図 4 参照）。第 1 方向 A1 及び第 2 方向 A2 は共に光軸方向（Z 方向）に直交し、かつ互いに直交する方向である。

[0130] また、レーザ素子 200 におけるレンズ 260 の形状も第 1 の実施形態に係るレンズ 160 と同一である。即ちレンズ 260 は、第 1 方向 A1 を長手方向、第 2 方向 A2 を短手方向とする細長いレンズ形状を有する。レンズ 260 の長さ、幅、高さ、レンズ頂部の曲率半径及び面精度（RMS）についてもそれぞれレンズ 160 と同一である。

[0131] なお、レンズ 260 は、図 32 に示すように基板 201 の一部により形成されているものであってもよいが、基板 201 とは別の部材からなり、基板 201 に接合された部材であってもよい（図 12 参照）。

[0132] [レーザ素子の動作]

レーザ素子 200 は第 1 の実施形態に係るレーザ素子 100 と同様に動作する。即ち、第 1 電極 209 と第 2 電極 210 の間に電圧を印加すると、第 1 電極 209 と第 2 電極 210 の間に電流が流れる。電流は電流狭窄構造により狭窄され、電流注入領域 221 に注入される。この注入電流によって生じた自然放出光は第 1 光反射層 207 及び第 2 光反射層 208 によって反射され、レーザ発振を生じる。これにより生じたレーザ光は、第 2 光反射層 208 を透過し、Z 方向を光軸方向としてレーザ素子 200 から出射される。

レーザ素子200では、電流注入領域221及びレンズ260の形状により、ビーム径が大きく、放射角の狭いレーザ光Eを出射することが可能であり、線状のビームを出射するライン光源として動作する。

[0133] [レーザ素子による効果]

レーザ素子200においても、主面251aからの高さ H_s とレンズ頂部の第2方向A2における曲率半径 R_s 。(図9参照)が均一であるレンズ260を有している。このため、レンズ260上に電流注入領域221を形成することで、光軸方向(Z方向)への共振とレンズ260の長手方向(Y方向)への共振との両方を持つモードを形成し、直線性の高い光を出射するレーザ素子200を実現することができる。また、レーザ素子200では、曲率半径 R_s が均一であるため、横モードを単一化することができ、高さ H_s が均一であるため、縦モードを単一化できる場合がある。これらによって、輝度ムラのないレーザ光Eを出射することができるため、レーザ素子200は良好なライン光源を実現することが可能である。さらに、レンズ260では高さがより均一であり、応力が分散されるため、耐久性を向上させることが可能である。

[0134] [レーザ素子の製造方法]

レーザ素子200の製造方法では、基板201上に第2層206bまでの各層を有機金属化学的気相成長法等により積層した後、フォトリソグラフィ及びエッチングにより第1層206a及び第2層206bの不要部分を除去し、トンネル接合層206を形成する。トンネル接合層206はフォトリソグラフィにより、自由に形状を制御することが可能である。

[0135] 続いて、トンネル接合層206上に第3半導体層204を積層し、フォトリソグラフィ及びエッチングによりメサMを形成する。これにより、基板201上に積層体250が形成される。さらに、第1の実施形態と同様の手法で基板201にレンズ260を設け、第1光反射層207及び第2光反射層208等を積層することにより、レーザ素子200を製造することができる。また、レーザ素子200は他の製造方法によって製造することも可能であ

る。

[0136] [イオン注入による電流狭窄構造について]

レーザ素子200では上記のように、トンネル接合層206による埋め込みトンネル接合によって電流狭窄構造が設けられるものとしたが、次のように、トンネル接合層206へのイオン注入によって電流狭窄構造を設けることも可能である。

[0137] 図34は、イオン注入により形成された絶縁領域223を有するレーザ素子200の断面図である。この構成では、トンネル接合層206は、第2半導体層203と第3半導体層204の間の全体にわたって配置されており、トンネル接合層206の外周領域には、絶縁領域223（ドットを付した領域）が設けられている。

[0138] 電流狭窄構造は図34に示すように、電流注入領域221と絶縁領域223により構成されている。電流注入領域221はイオンが注入されていないトンネル接合層206により形成されている。一方、絶縁領域223は、層面方向（X-Y方向）において電流注入領域221を囲み、トンネル接合層206にイオンが注入され、絶縁化された領域である。イオン注入領域に注入されたイオンはB（ホウ素）イオンとすることができる。また、Bイオンの他にもO（酸素）イオンやH（水素）イオン等、半導体材料の絶縁化が可能なイオンを用いてもよい。

[0139] この構成においても、レーザ素子200を流れる電流は、絶縁領域223を通過できないため、電流注入領域221に集中する。即ち、電流注入領域221及び絶縁領域223によって電流狭窄構造が形成されている。

[0140] [レーザ素子の他の構成]

上記説明では、基板201上に各層を積層し、積層体250を作製するものとしたが、他の支持基板上に各層を積層し、支持基板を除去して基板201に接合することによって積層体250を形成することも可能である。また、レーザ素子200は第1の実施形態と同様に、第2光反射層208の積層体250とは反対側に出射光の波長を変化する波長変換層（図27参照）を

備えるものとすることも可能である。

[0141] さらに、第1半導体層202及び第3半導体層204はn型半導体材料からなり、第2半導体層203はp型半導体材料からなるものとしたが、第1半導体層202及び第3半導体層204がp型半導体材料からなり、第2半導体層203はn型半導体材料からなるものとしてもよい。この場合、トンネル接合層206の第1層206aはn型で不純物濃度が高い層であり、第2層206bはp型で不純物濃度が高い層とすることができる。また、レーザ素子200は、上述した各構成の他にも、上記レーザ素子200の動作を実現可能とする他の構成を有していてもよい。

[0142] [レーザ素子アレイについて]

レーザ素子200は第1の実施形態と同様にアレイ化することが可能である。レーザ素子200からなるレーザ素子アレイは、各レーザ素子200が輝度ムラのないレーザ光Eを出射する良好なライン光源であると共にアレイ化により高出力化が可能であり、例えば1Wを超える出力とすることが可能である。レーザ素子200からなるレーザ素子アレイは波長変換層（図28参照）を備えるものであってもよい。

[0143] (第3の実施形態)

本技術の第3の実施形態に係るレーザ素子について説明する。本実施形態に係るレーザ素子は、第1の実施形態に係るレーザ素子に対して主に電流狭窄構造が異なる。本実施形態に係るレーザ素子は、VCSEL素子に類似した構造を有するが、本実施形態に係るレーザ素子はZ方向に加え、他の方向（Y方向）にも共振を生じる点でVCSEL素子とは相違する。

[0144] [レーザ素子の構造]

図35は本実施形態に係るレーザ素子300の断面図であり、図36はレーザ素子300の一部構成を分解して示す断面図である。これらの図に示すように、レーザ素子300は、基板301、第1半導体層302、第2半導体層303、活性層304、酸化狭窄層305、第1光反射層306、第2光反射層307、第1電極308、第2電極309及び絶縁膜310を備え

る。このうち、基板301、第1半導体層302、第2半導体層303、活性層304及び酸化狭窄層305を併せて積層体350とする。

[0145] これらの各層は、X-Y平面に沿った層面方向を有し、第1光反射層306、基板301、第1半導体層302、活性層304、第2半導体層303、酸化狭窄層305、第2光反射層307の順で積層されている。したがって、積層体350は第1光反射層306と第2光反射層307の間に配置されている。

[0146] 基板301は、レーザ素子300の各層を支持する。基板301は例えば、半絶縁性GaAs基板とすることができる。図36に示すように、基板301にはレンズ360が設けられている。このレンズ360については後述する。

[0147] 第1半導体層302は、第1の伝導型を有する半導体からなり、キャリアを活性層304に輸送する層である。第1の伝導型はn型とすることができる。第1半導体層302は例えばn-GaAsからなる層とすることができる。第2半導体層303は、第2の伝導型を有する半導体からなり、キャリアを活性層304に輸送する層である。第2の伝導型はp型とすることができる。第2半導体層303は例えばp-GaAsからなる層とすることができる。

[0148] 活性層304は、第1半導体層302と第2半導体層303の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる層である。活性層304は、量子井戸層と障壁層が交互に複数層積層された多重量子井戸構造を有し、量子井戸層は例えばGaAsからなり、障壁層は例えばAlGaAsからなるものとする。また、活性層304は多重量子井戸構造の他にも、キャリア再結合による発光を生じる層であればよい。

[0149] 酸化狭窄層305は、電流狭窄構造を形成する。酸化狭窄層305は半導体材料が酸化されていない非酸化領域305aと、半導体材料が酸化された酸化領域305bを有する。非酸化領域305aは、第2の伝導型で不純物濃度が高い材料からなり、例えば p^+ -AlAsからなるものとする。ことがで

きる。酸化領域305bは、非酸化領域305aの構成材料が酸化された材料からなり、例えばAlAs酸化物からなるものとすることができる。

[0150] 図35に示すように、積層体350の面のうち、第1光反射層306側の面を第1面351とし、第2光反射層307側の面を第2面352とする。レンズ360は、第1面351に設けられている。これにより、図36に示すように、第1面351は、主面351aとレンズ面351bを有する。主面351aは、出射光の光軸方向（Z方向）に垂直な平面（X-Y平面）である。レンズ面351bは、レンズ360の表面であり、主面351aから突出する面である。

[0151] 第1光反射層306は、特定の波長（以下、波長 λ ）の光を反射し、それ以外の波長の光を透過する。波長 λ は例えば、850～1400nmのうち特定の波長である。第1光反射層306は、図35に示すように、それぞれ光学膜厚 $\lambda/4$ を有する高屈折率層306aと低屈折率層306bを交互に複数層積層した多層光反射膜からなるDBR（Distributed Bragg Reflector：分布ブラッグ反射鏡）とすることができる。例えば第1光反射層306は Ta_2O_5/SiO_2 、 SiO_2/SiN 又は SiO_2/Nb_2O_5 等の積層構造とすることができる。

[0152] 第1光反射層306は、凹面鏡306cを有する。第1光反射層306は一定の厚みで基板301の第2面301b上に積層され、第1面351に設けられたレンズ360の形状にしたがって積層体350側の面は凹面306dを形成し、積層体350とは反対側の面は凸面306eを形成する。これにより第1光反射層306には、凹面鏡306cが形成されている。

[0153] 第2光反射層307は、波長 λ の光を反射し、それ以外の波長の光を透過する。第2光反射層307は、図35に示すように、それぞれ光学膜厚 $\lambda/4$ を有する高屈折率層307aと低屈折率層307bを交互に複数層積層した多層光反射膜からなるDBR（Distributed Bragg Reflector：分布ブラッグ反射鏡）とすることができる。第2光反射層307は半導体材料からなる半導体DBRとすることができる。

[0154] 図35に示すように、活性層304、第2半導体層303、酸化狭窄層305及び第2光反射層307は外周部が除去され、メサ（台地状構造）Mを形成する。

[0155] 第1電極308は第1半導体層302上においてメサMの周囲に設けられ、レーザ素子300の一方の電極として機能する。第1電極308は例えばAu、Ni又はTi等からなる単層金属膜や、Ti/Au、Ag/Pd又はNi/Au/Pt等からなる多層金属膜とすることができる。

[0156] 第2電極309は第2光反射層307上に設けられ、レーザ素子300の他方の電極として機能する。第2電極309は例えばAu、Ni又はTi等からなる単層金属膜や、Ti/Au、Ag/Pd又はNi/Au/Pt等からなる多層金属膜とすることができる。絶縁膜310はメサMの側面とメサMの上面において第2電極309の周囲に設けられ、メサMの外周を絶縁する。絶縁膜310は任意の絶縁性材料からなる。

[0157] レーザ素子300では酸化狭窄層305によって積層体350に電流狭窄構造が形成されている。図37は電流狭窄構造を示す模式図である。電流狭窄構造は同図に示すように、電流注入領域321と絶縁領域322を有する。電流注入領域321は非酸化領域305aにより導電性を有する領域である。絶縁領域322は層面方向（X-Y方向）において電流注入領域221を囲み、酸化により絶縁化された酸化領域305bにより導電性を有しない領域である。レーザ素子300を流れる電流は、絶縁領域322を通過できないため、電流注入領域321に集中する。即ち、レーザ素子300では酸化狭窄層305によって電流狭窄構造が形成されている。

[0158] [電流注入領域とレンズの形状について]

レーザ素子300における電流注入領域321の形状は第1の実施形態に係る電流注入領域321と同一である。即ち、電流注入領域321は、第1方向A1を長手方向、第2方向A2を短手方向とする細長い平面形状を有する（図3及び図4参照）。第1方向A1及び第2方向A2は共に光軸方向（Z方向）に直交し、かつ互いに直交する方向である。

[0159] また、レーザ素子300におけるレンズ360の形状も第1の実施形態に係るレンズ160と同一である。即ちレンズ360は、第1方向A1を長手方向、第2方向A2を短手方向とする細長いレンズ形状を有する。レンズ360の長さ、幅、高さ、レンズ頂部の曲率半径及び面精度(RMS)についてもそれぞれレンズ160と同一である。

[0160] なお、レンズ360は、図36に示すように基板301の一部により形成されているものであってもよいが、基板301とは別の部材からなり、基板301に接合された部材であってもよい(図12参照)。

[0161] [レーザ素子の動作]

レーザ素子300は第1の実施形態に係るレーザ素子100と同様に動作する。即ち、第1電極308と第2電極309の間に電圧を印加すると、第1電極308と第2電極309の間に電流が流れる。電流は電流狭窄構造により狭窄され、電流注入領域321に注入される。この注入電流によって生じた自然放出光は第1光反射層306及び第2光反射層307によって反射され、レーザ発振を生じる。これにより生じたレーザ光は、第2光反射層307を透過し、Z方向を光軸方向としてレーザ素子300から出射される。レーザ素子300では、電流注入領域321及びレンズ360の形状により、ビーム径が大きく、放射角の狭いレーザ光Eを出射することが可能であり、線状のビームを出射するライン光源として動作する。

[0162] [レーザ素子による効果]

レーザ素子300においても、主面351aからの高さ H_s とレンズ頂部の第2方向A2における曲率半径 R_s (図9参照)が均一であるレンズ360を有している。このため、レンズ360上に電流注入領域321を形成することで、光軸方向(Z方向)への共振とレンズ360の長手方向(Y方向)への共振との両方を持つモードを形成し、直線性の高い光を出射するレーザ素子300を実現することができる。また、レーザ素子300では、レンズ頂部の曲率半径 R_s が均一であるため、横モードを単一化することができ、高さ H_s が均一であるため、縦モードを単一化できる場合がある。これらによって

、輝度ムラのないレーザ光Eを出射することができるため、レーザ素子300は良好なライン光源を実現することが可能である。さらに、レンズ360では高さがより均一であり、応力が分散されるため、耐久性を向上させることが可能である。

[0163] [レーザ素子の製造方法]

レーザ素子300の製造方法では、基板301上に第2光反射層307までの各層を、有機金属化学的気相成長法等によって積層した後、フォトリソグラフィ及びエッチングによりメサMを形成する。続いて、積層体350を水蒸気雰囲気下で加熱する等の方法で酸化狭窄層305の材料を外周側から酸化させ、酸化領域305bを形成する。この際、Z方向から見たメサMの形状によって、同方向から見た非酸化領域305aの形状を制御することができる。

[0164] さらに、第1の実施形態と同様の手法で基板301にレンズ360を設け、第1光反射層306及び第2光反射層307等を積層することにより、レーザ素子300を製造することができる。また、レーザ素子300は他の製造方法によって製造することも可能である。

[0165] [レーザ素子の他の構成]

上記説明では、基板301上に各層を積層し、積層体350を作製するものとしたが、他の支持基板上に各層を積層し、支持基板を除去して基板301に接合することによって積層体350を形成することも可能である。また、レーザ素子300は第1の実施形態と同様に、第2光反射層307の積層体250とは反対側に出射光の波長を変化する波長変換層(図27参照)を備えるものとする 것도可能である。

[0166] さらに、第1半導体層302はn型半導体材料からなり、第2半導体層303はp型半導体材料からなるものとしたが、第1半導体層302がp型半導体材料からなり、第2半導体層303はn型半導体材料からなるものとしてもよい。この場合、酸化狭窄層305の非酸化領域305aはn型で不純物濃度が高い材料からなるものとする ことができる。また、レーザ素子30

0は、上述した各構成の他にも、上記レーザ素子300の動作を実現可能とする他の構成を有していてもよい。

[0167] [レーザ素子アレイについて]

レーザ素子300は第1の実施形態と同様にアレイ化することが可能である。レーザ素子300からなるレーザ素子アレイは、各レーザ素子300が輝度ムラのないレーザ光Eを出射する良好なライン光源であると共にアレイ化により高出力化が可能であり、例えば1Wを超える出力とすることが可能である。レーザ素子300からなるレーザ素子アレイは波長変換層（図28参照）を備えるものであってもよい。

[0168] (本開示について)

本開示中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、また他の効果があってもよい。上記の複数の効果の記載は、それらの効果が必ずしも同時に発揮されるということの意味しているのではない。条件等により、少なくとも上記した効果のいずれかが得られることを意味しており、本開示中に記載されていない効果が発揮される可能性もある。また、本開示において説明した特徴部分のうち、少なくとも2つの特徴部分を任意に組み合わせることも可能である。

[0169] なお、本技術は以下のような構成もとることができる。

(1)

特定の波長の光を反射する第1の光反射層と、

上記波長の光を反射する第2の光反射層と、

第1の伝導型を有する半導体材料からなる第1の半導体層と、第2の伝導型を有する半導体材料からなる第2の半導体層と、上記第1の半導体層と上記第2の半導体層の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる活性層とを備え、上記第1の光反射層と上記第2の光反射層の間に配置され、上記第1の光反射層側の第1の面と、上記第2の光反射層側の第2の面を有し、上記第1の面にレンズが設けられた積層体とを具備し、

上記レンズは、出射光の光軸方向に垂直な平面に平行な第1の方向を長手方向、上記平面に平行かつ上記第1の方向に直交する第2の方向を短手方向とし、上記第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、上記第1の方向における中央部が上記第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、上記第1の方向における非中央部が上記第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有し、上記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、レンズ頂部の上記第2の方向における曲率半径が均一であり、

上記第1の光反射層は、上記第1の面に積層され、上記レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成する

レーザ素子。

(2)

上記(1)に記載のレーザ素子であって、

上記積層体は、電流を狭窄し、電流が集中する電流注入領域を形成する電流狭窄構造を有し、

上記電流注入領域は、上記光軸方向から見た平面図形が上記第1の方向を長手方向、上記第2の方向を短手方向とし、上記光軸方向から見て上記レンズに重複する形状を有する

レーザ素子。

(3)

上記(1)又は(2)に記載のレーザ素子であって、

上記レンズの上記第1の方向に沿った長さは上記第2の幅より大きいレーザ素子。

(4)

上記(1)から(3)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子であって、上記レンズの上記第1の方向に沿った長さは40 μ m以上であるレーザ素子。

(5)

上記(1)から(4)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子であって、

上記レンズの上記第2の幅は10 μ m以上である

レーザ素子。

(6)

上記(1)から(5)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子であって、
上記レーザ素子の共振器長は上記凹面鏡と上記第2の光反射層の距離であり、

上記曲率半径は、上記共振器長以上である

レーザ素子。

(7)

上記(1)から(6)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子であって、
上記レンズの表面の面精度は、RMS (Root Mean Square) が1.0nm
以下である

レーザ素子。

(8)

上記(1)から(7)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子であって、
上記第1の半導体層及び上記第2の半導体層は、Ga₂Nからなる
レーザ素子。

(9)

上記(1)から(7)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子であって、
上記第1の半導体層及び上記第2の半導体層は、GaAsからなる
レーザ素子。

(10)

上記(1)から(7)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子であって、
上記第1の半導体層及び上記第2の半導体層は、InPからなる
レーザ素子。

(11)

上記(1)から(10)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子であって

、

上記第2の光反射層の、上記積層体とは反対側に設けられ、波長変換材料からなる波長変換層

をさらに具備するレーザ素子。

(12)

上記(1)から(11)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子であって

、

上記第1の光反射層及び上記第2の反射層は、多層光反射膜からなるDBR (Distributed Bragg Reflector) である

レーザ素子。

(13)

個別に駆動可能なレーザ素子が複数配列されたレーザ素子アレイであって

、

上記レーザ素子は、

特定の波長の光を反射する第1の光反射層と、

上記波長の光を反射する第2の光反射層と、

第1の伝導型を有する半導体材料からなる第1の半導体層と、第2の伝導型を有する半導体材料からなる第2の半導体層と、上記第1の半導体層と上記第2の半導体層の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる活性層とを備え、上記第1の光反射層と上記第2の光反射層の間に配置され、上記第1の光反射層側の第1の面と、上記第2の光反射層側の第2の面を有し、上記第1の面にレンズが設けられた積層体と

を具備し、

上記レンズは、出射光の光軸方向に垂直な平面に平行な第1の方向を長手方向、上記平面に平行かつ上記第1の方向に直交する第2の方向を短手方向とし、上記第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、上記第1の方向における中央部が上記第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、上記第1の方向における非中央部が上記第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有し、上記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状

であり、レンズ頂部の上記第2の方向における曲率半径が均一であり、

上記第1の光反射層は、上記第1の面に積層され、上記レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成する

レーザ素子アレイ。

(14)

第1の伝導型を有する半導体材料からなる第1の半導体層と、第2の伝導型を有する半導体材料からなる第2の半導体層と、上記第1の半導体層と上記第2の半導体層の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる活性層とを備え、第1の面と第2の面を有する積層体を作製し、

出射光の光軸方向に垂直な平面に平行な一方向を第1の方向とし、上記平面に平行かつ上記第1の方向に直交する方向を第2の方向とすると、上記第1の面に、流動性材料からなり、一定の厚みを有し、上記第1の方向を長手方向、上記第2の方向を短手方向とし、上記第1の方向における中央部が上記第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、上記第1の方向における非中央部が上記第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有する構造体を形成し、

上記構造体を加熱し、上記流動性材料を流動させて上記構造体を変形させ、上記構造体の形状を利用して上記第1の面に上記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、レンズ頂部の上記第2の方向における曲率半径が均一であるレンズを形成し、

上記第1の面上に特定の波長の光を反射する第1の光反射層を積層し、上記レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成し、

上記積層体の上記第2の面側に上記波長の光を反射する第2の光反射層を形成する

レーザ素子の製造方法。

(15)

上記(14)に記載のレーザ素子の製造方法であって、

上記レンズを形成する工程では、上記構造体を、上記第1の方向を長手方

向、上記第2の方向を短手方向とし、上記第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、上記中央部が上記第1の幅を有し、上記非中央部が上記第2の幅を有し、上記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、頂部の上記第2の方向における曲率半径が均一な形状に変形させるレーザ素子の製造方法。

(16)

上記(15)に記載のレーザ素子の製造方法であって、

上記レンズを形成する工程では、上記形状に変形させた構造体をエッチングマスクとして上記積層体をエッチングし、上記第1の面に上記レンズを形成する

レーザ素子の製造方法。

(17)

上記(15)に記載のレーザ素子の製造方法であって、

上記レンズを形成する工程では、上記形状に変形させた構造体を上記レンズとする

レーザ素子の製造方法。

(18)

上記(14)から(17)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子の製造方法であって、

上記構造体の上記第1の方向に沿った長さは上記第2の幅より大きいレーザ素子。

(19)

上記(14)から(18)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子の製造方法であって、

上記構造体の上記第1の方向に沿った長さは40 μ m以上であるレーザ素子。

(20)

上記(14)から(19)のうちいずれか1つに記載のレーザ素子の製造

方法であって、

上記エッチングは、ドライエッチング又はウェットエッチングである
レーザ素子。

符号の説明

- [0170] 100、200、300…レーザ素子
201、301…基板
101、202、302…第1半導体層
102、203、303…第2半導体層
204…第3半導体層
103、205、304…活性層
206…トンネル接合層
305…酸化狭窄層
104、207、306…第1光反射層
104c、207c、306c…凹面鏡
105、208、307…第2光反射層
106、209、308…第1電極
107、210、309…第2電極
121、221、321…電流注入領域
122、222、322…絶縁領域
150、250、350…積層体
160、260、360…レンズ
170、270、370…構造体
175、275、375…構造体
181…波長変換層

請求の範囲

[請求項1]

特定の波長の光を反射する第1の光反射層と、

前記波長の光を反射する第2の光反射層と、

第1の伝導型を有する半導体材料からなる第1の半導体層と、第2の伝導型を有する半導体材料からなる第2の半導体層と、前記第1の半導体層と前記第2の半導体層の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる活性層とを備え、前記第1の光反射層と前記第2の光反射層の間に配置され、前記第1の光反射層側の第1の面と、前記第2の光反射層側の第2の面を有し、前記第1の面にレンズが設けられた積層体と

を具備し、

前記レンズは、出射光の光軸方向に垂直な平面に平行な第1の方向を長手方向、前記平面に平行かつ前記第1の方向に直交する第2の方向を短手方向とし、前記第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、前記第1の方向における中央部が前記第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、前記第1の方向における非中央部が前記第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有し、前記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、レンズ頂部の前記第2の方向における曲率半径が均一であり、

前記第1の光反射層は、前記第1の面に積層され、前記レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成する

レーザ素子。

[請求項2]

請求項1に記載のレーザ素子であって、

前記積層体は、電流を狭窄し、電流が集中する電流注入領域を形成する電流狭窄構造を有し、

前記電流注入領域は、前記光軸方向から見た平面図形が前記第1の方向を長手方向、前記第2の方向を短手方向とし、前記光軸方向から見て前記レンズに重複する形状を有する

レーザ素子。

[請求項3] 請求項1に記載のレーザ素子であって、
前記レンズの前記第1の方向に沿った長さは前記第2の幅より大きい

レーザ素子。

[請求項4] 請求項1に記載のレーザ素子であって、
前記レンズの前記第1の方向に沿った長さは40 μ m以上である
レーザ素子。

[請求項5] 請求項1に記載のレーザ素子であって、
前記レンズの前記第2の幅は10 μ m以上である
レーザ素子。

[請求項6] 請求項1に記載のレーザ素子であって、
前記レーザ素子の共振器長は前記凹面鏡と前記第2の光反射層の距離であり、
前記曲率半径は、前記共振器長以上である
レーザ素子。

[請求項7] 請求項1に記載のレーザ素子であって、
前記レンズの表面の面精度は、RMS (Root Mean Square) が1.0nm以下である
レーザ素子。

[請求項8] 請求項1に記載のレーザ素子であって、
前記第1の半導体層及び前記第2の半導体層は、Ga₂Nからなる
レーザ素子。

[請求項9] 請求項1に記載のレーザ素子であって、
前記第1の半導体層及び前記第2の半導体層は、GaAsからなる
レーザ素子。

[請求項10] 請求項1に記載のレーザ素子であって、
前記第1の半導体層及び前記第2の半導体層は、InPからなる

レーザ素子。

[請求項11]

請求項1に記載のレーザ素子であって、

前記第2の光反射層の、前記積層体とは反対側に設けられ、波長変換材料からなる波長変換層

をさらに具備するレーザ素子。

[請求項12]

請求項1に記載のレーザ素子であって、

前記第1の光反射層及び前記第2の反射層は、多層光反射膜からなるDBR (Distributed Bragg Reflector) である

レーザ素子。

[請求項13]

個別に駆動可能なレーザ素子が複数配列されたレーザ素子アレイであって、

前記レーザ素子は、

特定の波長の光を反射する第1の光反射層と、

前記波長の光を反射する第2の光反射層と、

第1の伝導型を有する半導体材料からなる第1の半導体層と、第2の伝導型を有する半導体材料からなる第2の半導体層と、前記第1の半導体層と前記第2の半導体層の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる活性層とを備え、前記第1の光反射層と前記第2の光反射層の間に配置され、前記第1の光反射層側の第1の面と、前記第2の光反射層側の第2の面を有し、前記第1の面にレンズが設けられた積層体と

を具備し、

前記レンズは、出射光の光軸方向に垂直な平面に平行な第1の方向を長手方向、前記平面に平行かつ前記第1の方向に直交する第2の方向を短手方向とし、前記第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、前記第1の方向における中央部が前記第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、前記第1の方向における非中央部が前記第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有し、前記平面からの高さが

均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、レンズ頂部の前記第2の方向における曲率半径が均一であり、

前記第1の光反射層は、前記第1の面に積層され、前記レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成する

レーザ素子アレイ。

[請求項14]

第1の伝導型を有する半導体材料からなる第1の半導体層と、第2の伝導型を有する半導体材料からなる第2の半導体層と、前記第1の半導体層と前記第2の半導体層の間に配置され、キャリア再結合による発光を生じる活性層とを備え、第1の面と第2の面を有する積層体を作製し、

出射光の光軸方向に垂直な平面に平行な一方向を第1の方向とし、前記平面に平行かつ前記第1の方向に直交する方向を第2の方向とすると、前記第1の面に、流動性材料からなり、一定の厚みを有し、前記第1の方向を長手方向、前記第2の方向を短手方向とし、前記第1の方向における中央部が前記第2の方向に沿った最小幅である第1の幅を有し、前記第1の方向における非中央部が前記第2の方向に沿った最大幅である第2の幅を有する構造体を形成し、

前記構造体を加熱し、前記流動性材料を流動させて前記構造体を変形させ、前記構造体の形状を利用して前記第1の面に前記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、レンズ頂部の前記第2の方向における曲率半径が均一であるレンズを形成し、

前記第1の面上に特定の波長の光を反射する第1の光反射層を積層し、前記レンズ上に凹面形状を有する凹面鏡を形成し、

前記積層体の前記第2の面側に前記波長の光を反射する第2の光反射層を形成する

レーザ素子の製造方法。

[請求項15]

請求項14に記載のレーザ素子の製造方法であって、

前記レンズを形成する工程では、前記構造体を、前記第1の方向を

長手方向、前記第2の方向を短手方向とし、前記第1の光反射層側に突出するレンズ形状を有し、前記中央部が前記第1の幅を有し、前記非中央部が前記第2の幅を有し、前記平面からの高さが均一あるいは中央部が端部よりも高い形状であり、頂部の前記第2の方向における曲率半径が均一な形状に変形させる

レーザ素子の製造方法。

[請求項16]

請求項15に記載のレーザ素子の製造方法であって、

前記レンズを形成する工程では、前記形状に変形させた構造体をエッチングマスクとして前記積層体をエッチングし、前記第1の面に前記レンズを形成する

レーザ素子の製造方法。

[請求項17]

請求項15に記載のレーザ素子の製造方法であって、

前記レンズを形成する工程では、前記形状に変形させた構造体を前記レンズとする

レーザ素子の製造方法。

[請求項18]

請求項14に記載のレーザ素子であって、

前記構造体の前記第1の方向に沿った長さは前記第2の幅より大きい

レーザ素子。

[請求項19]

請求項14に記載のレーザ素子であって、

前記構造体の前記第1の方向に沿った長さは40 μ m以上である

レーザ素子。

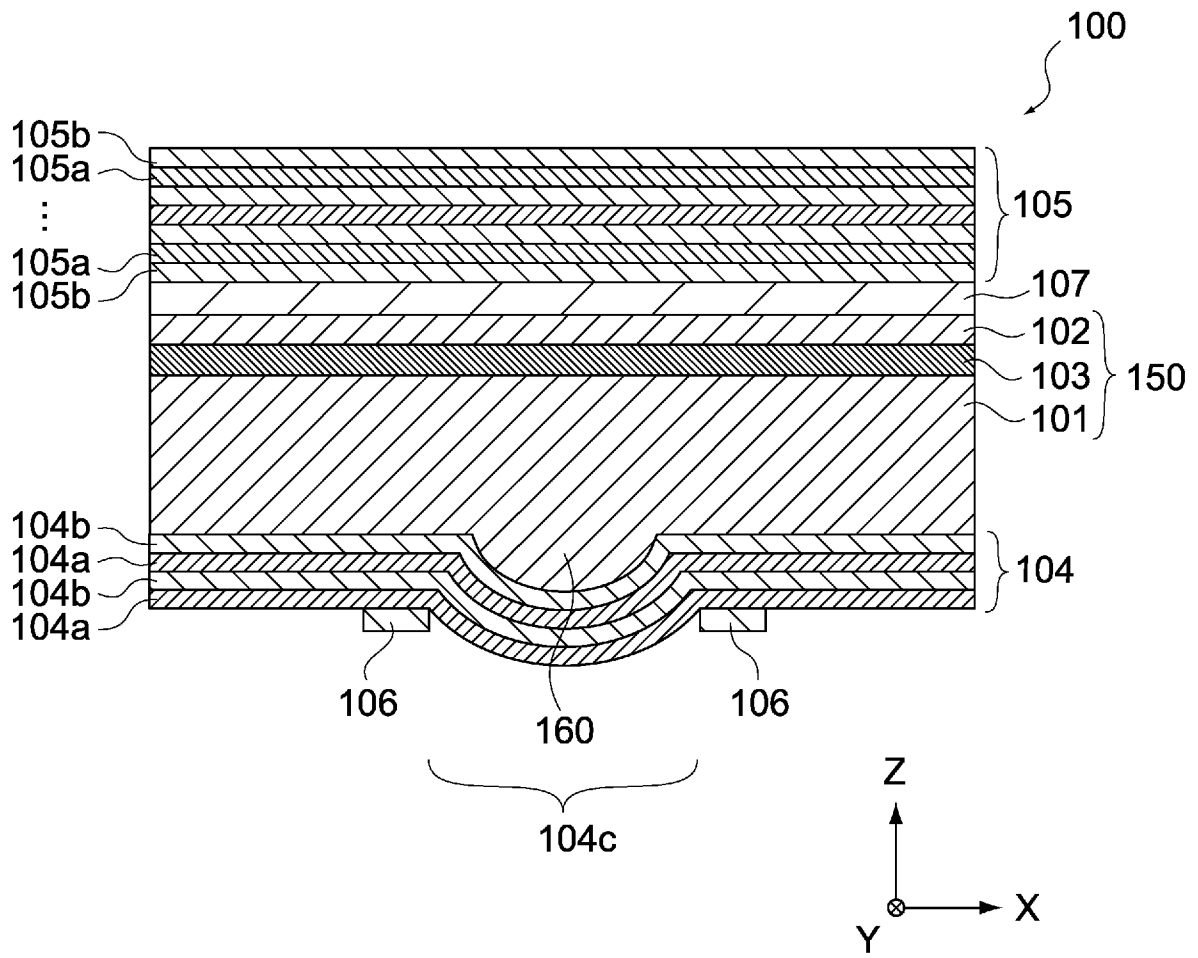
[請求項20]

請求項16に記載のレーザ素子であって、

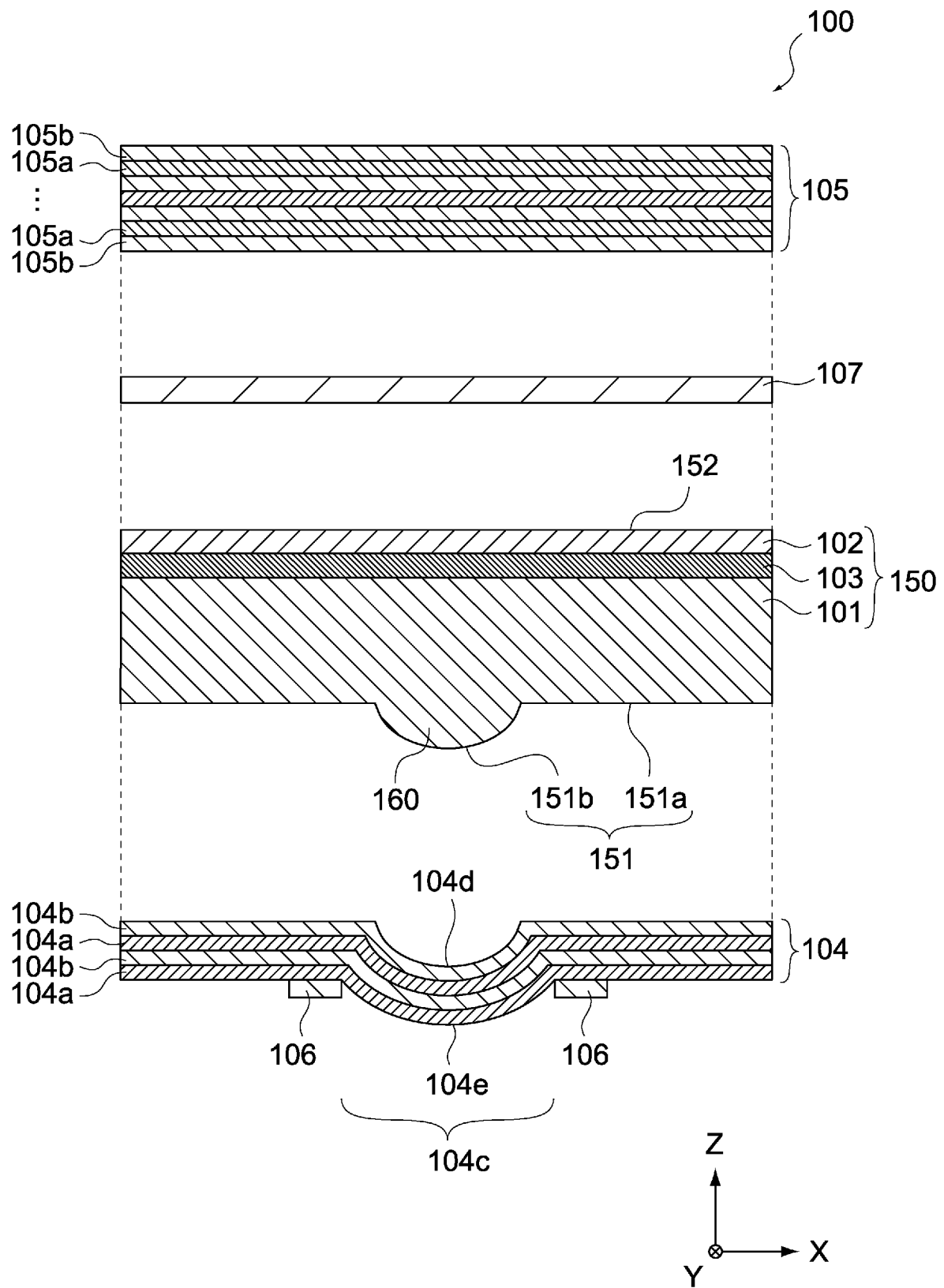
前記エッチングは、ドライエッチング又はウェットエッチングである

レーザ素子。

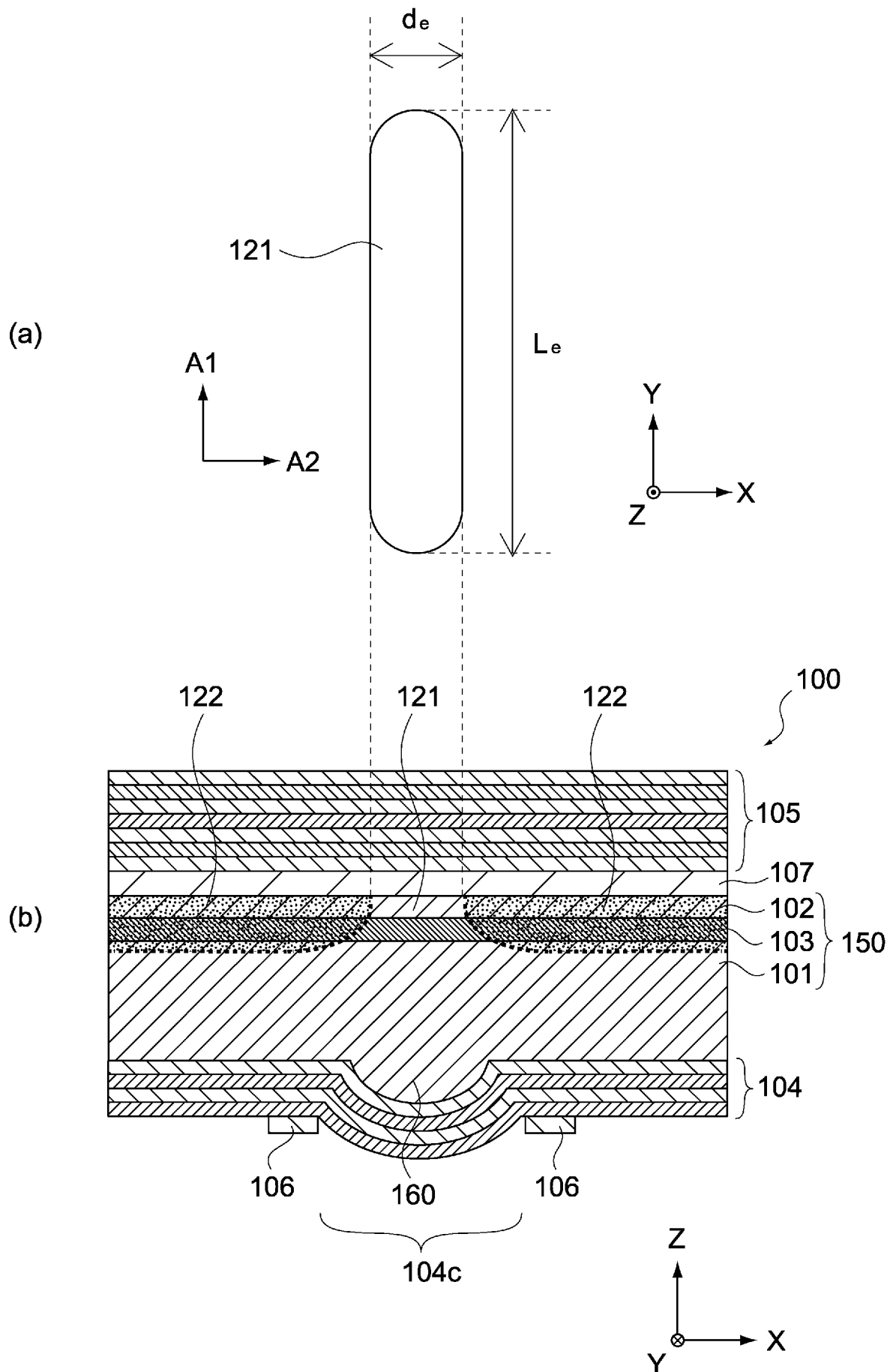
[図1]



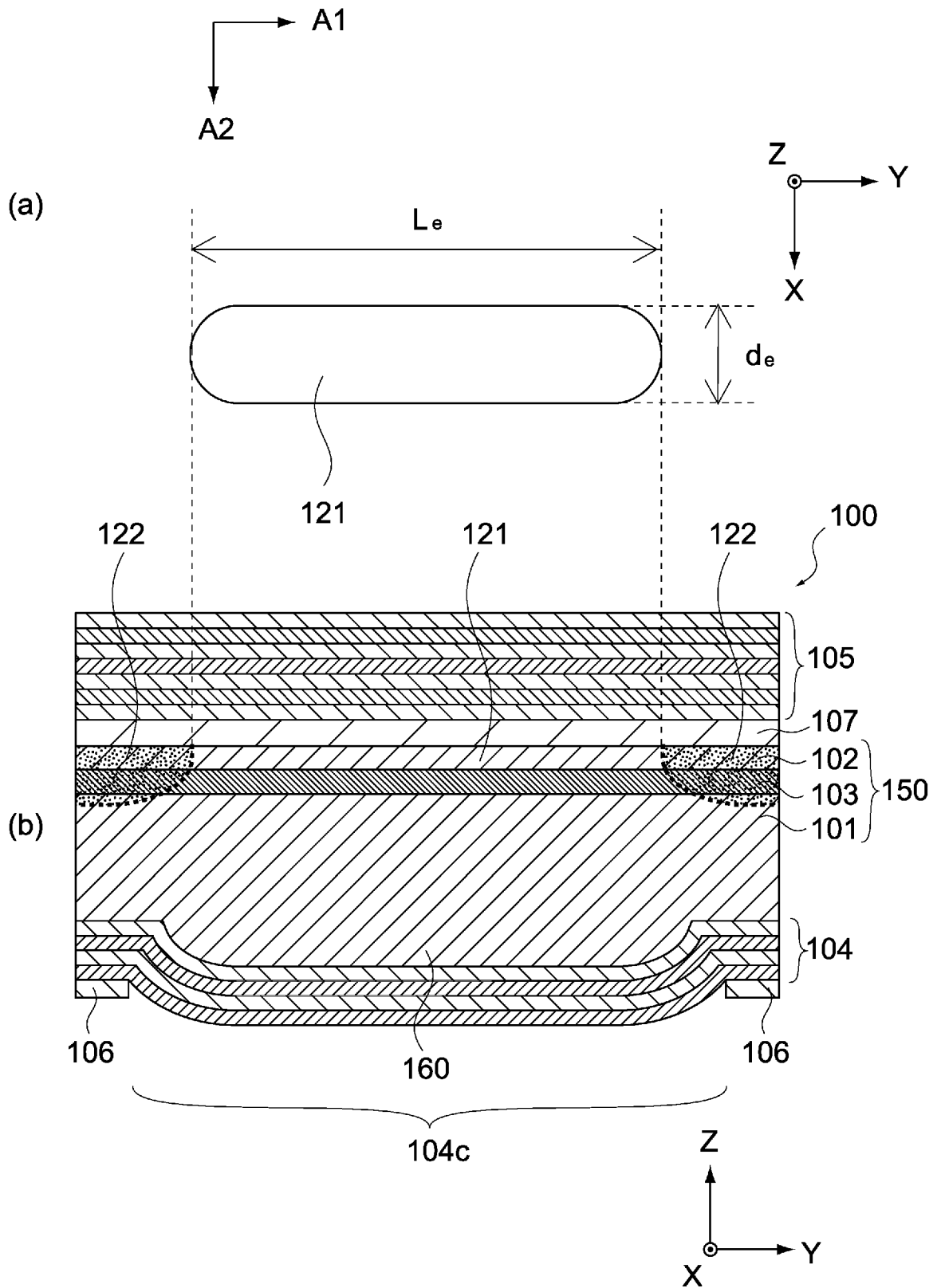
[図2]



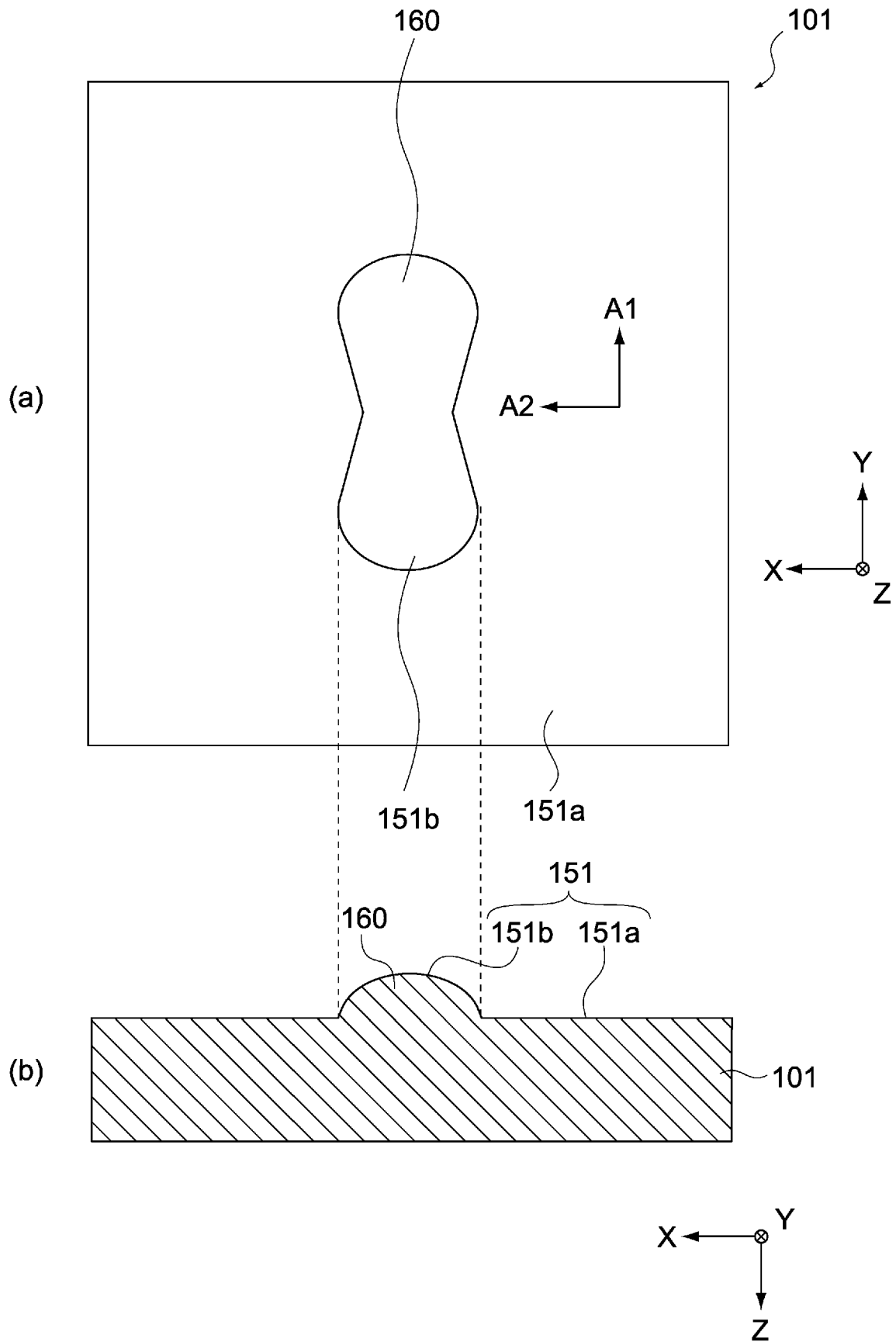
[図3]



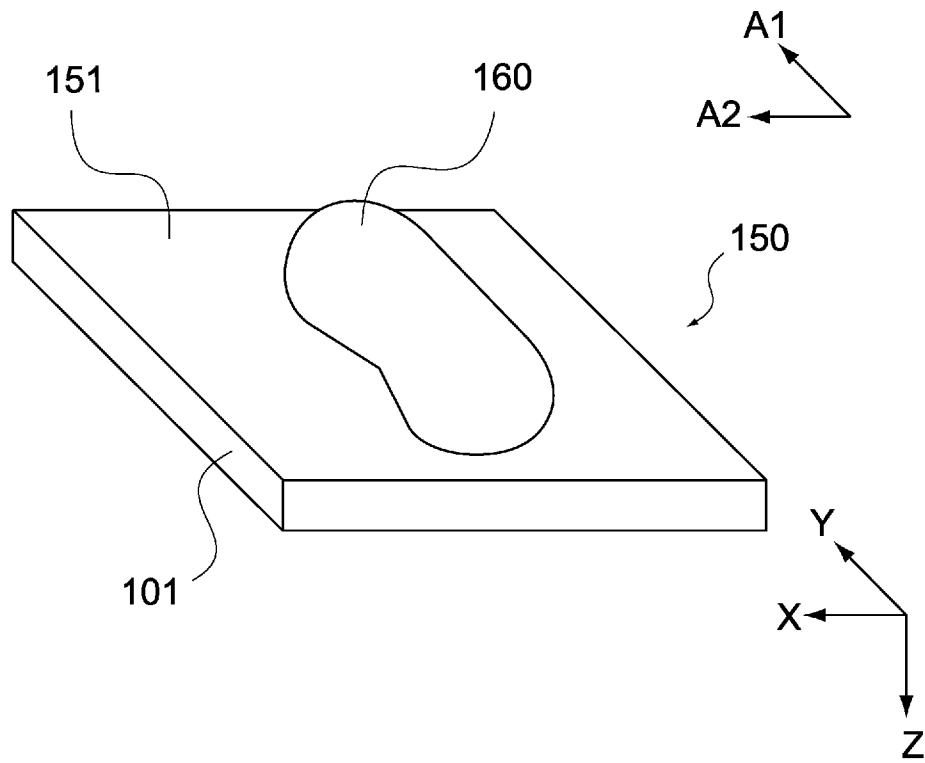
[図4]



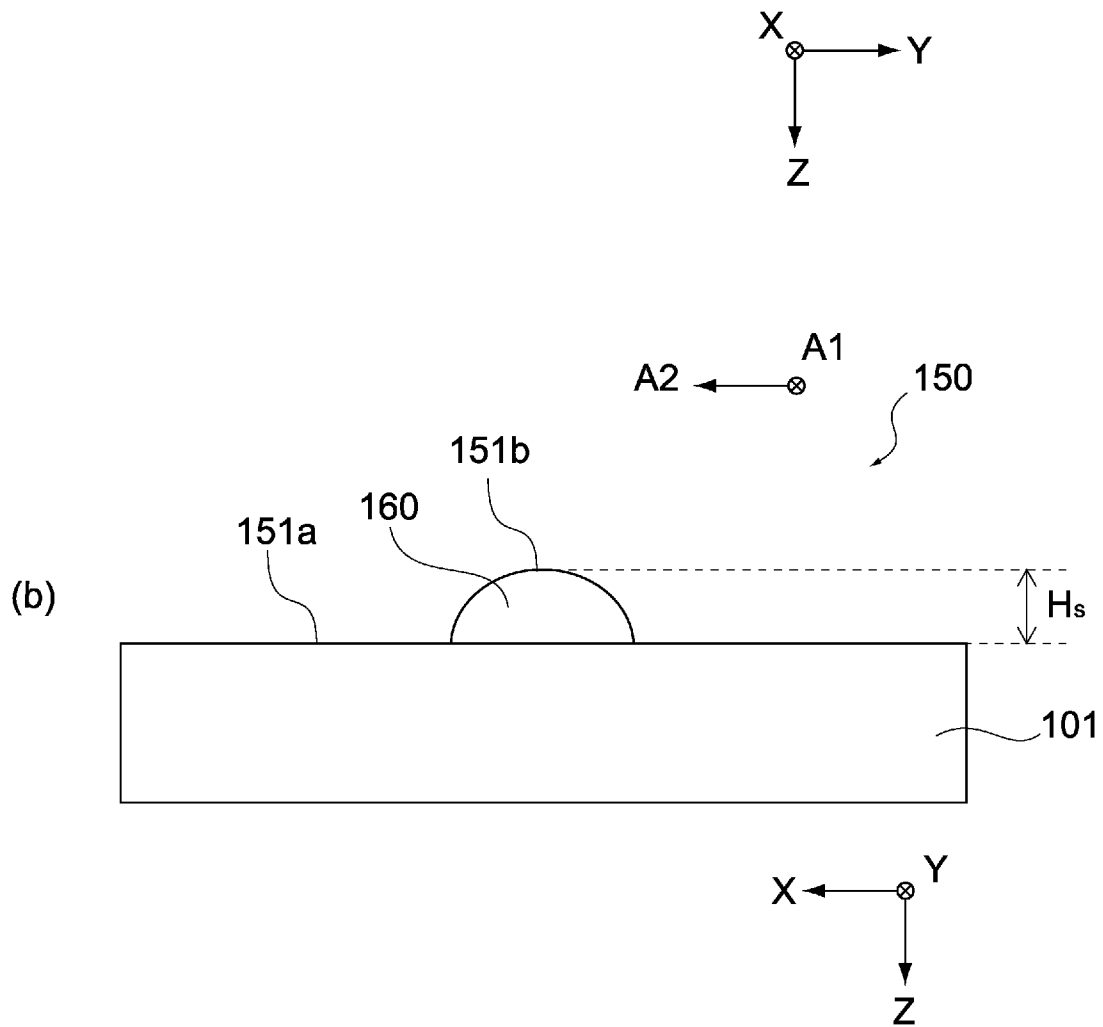
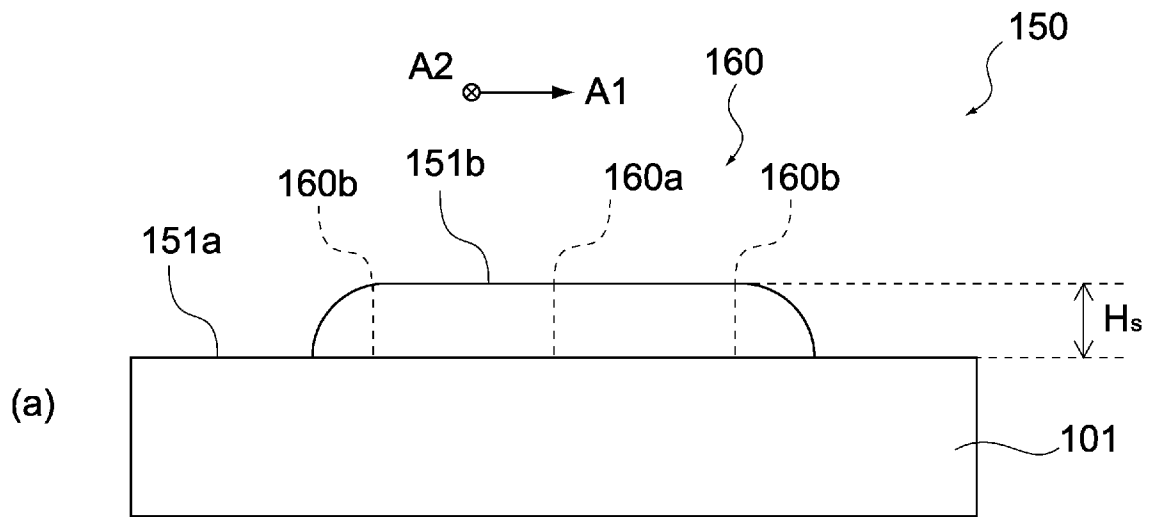
[図5]



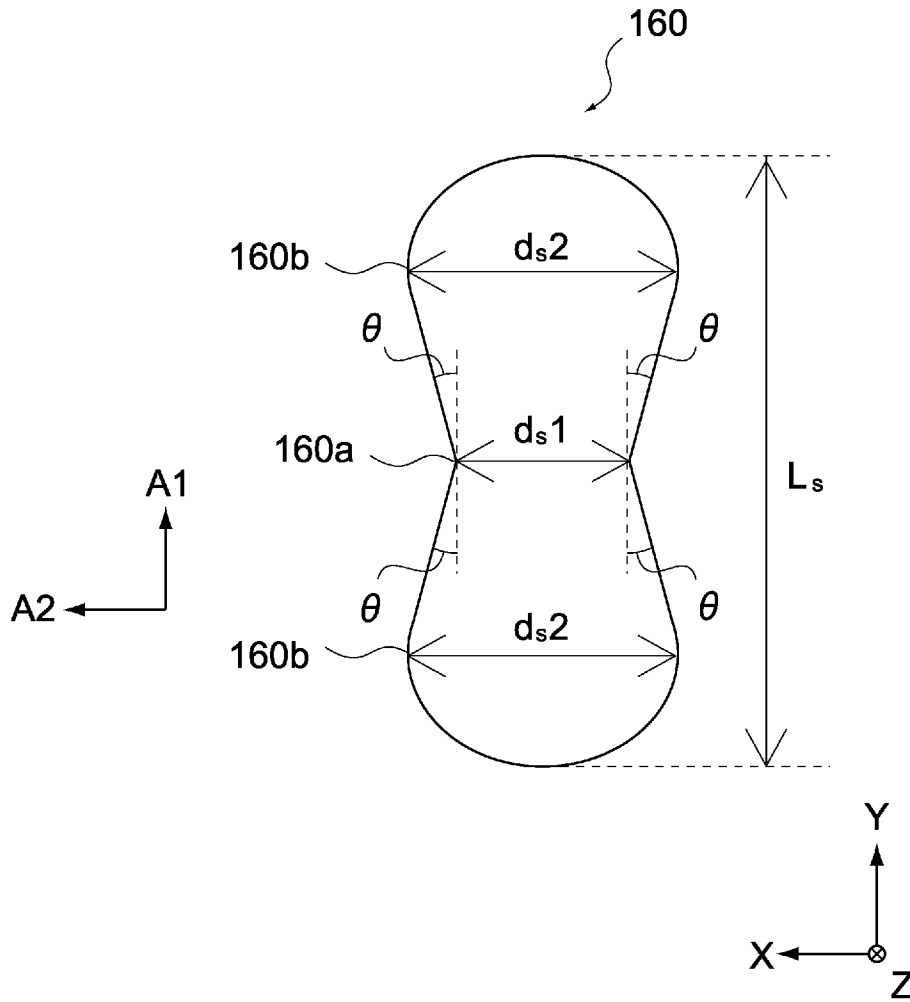
[図6]



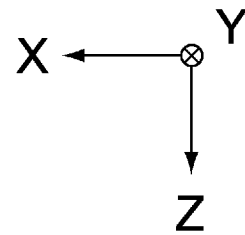
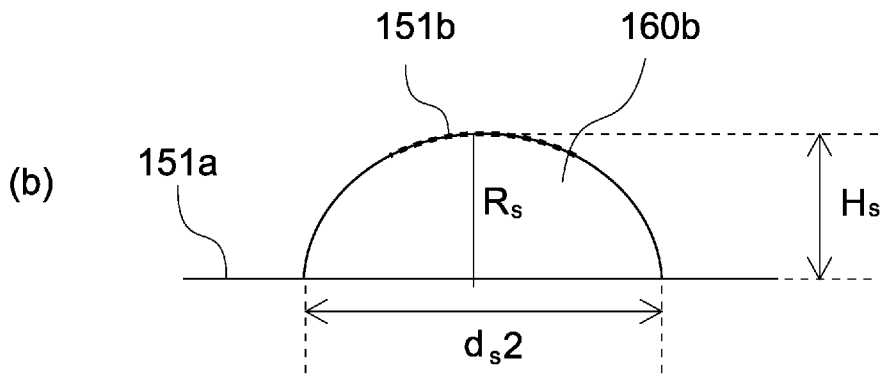
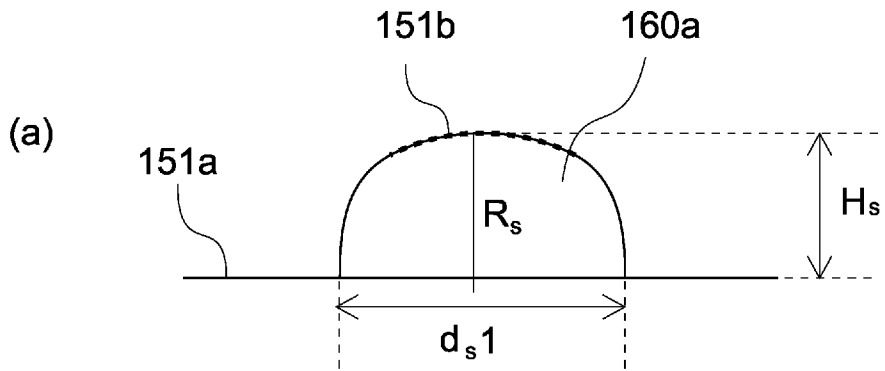
[図7]



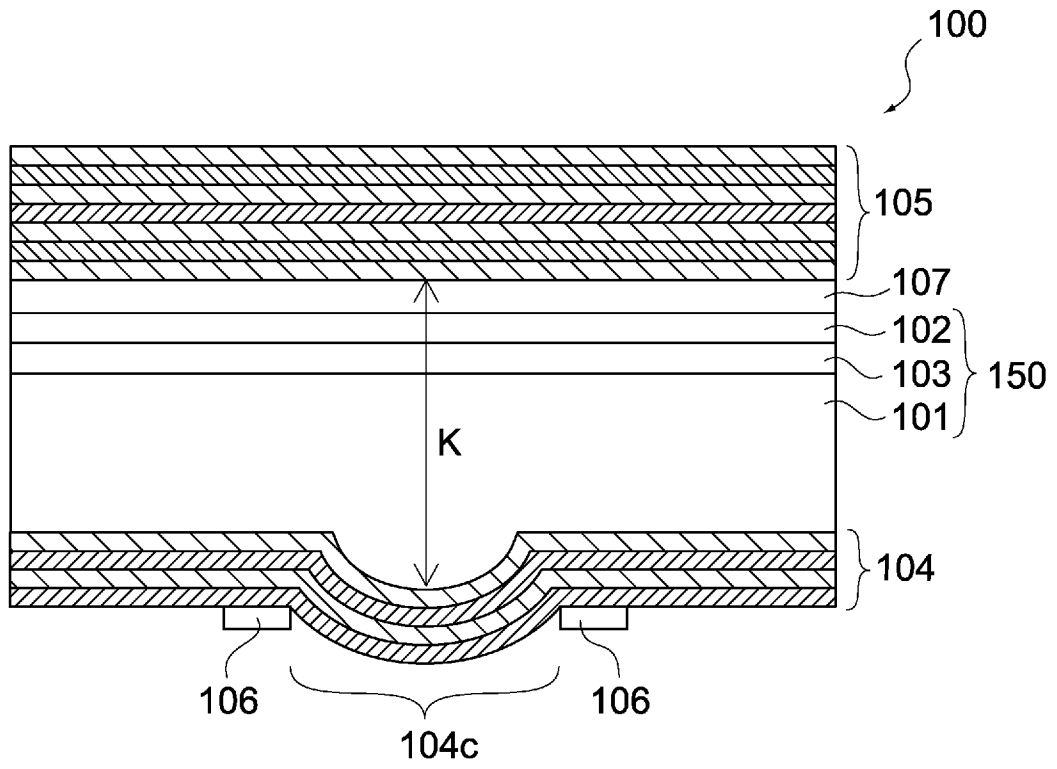
[図8]



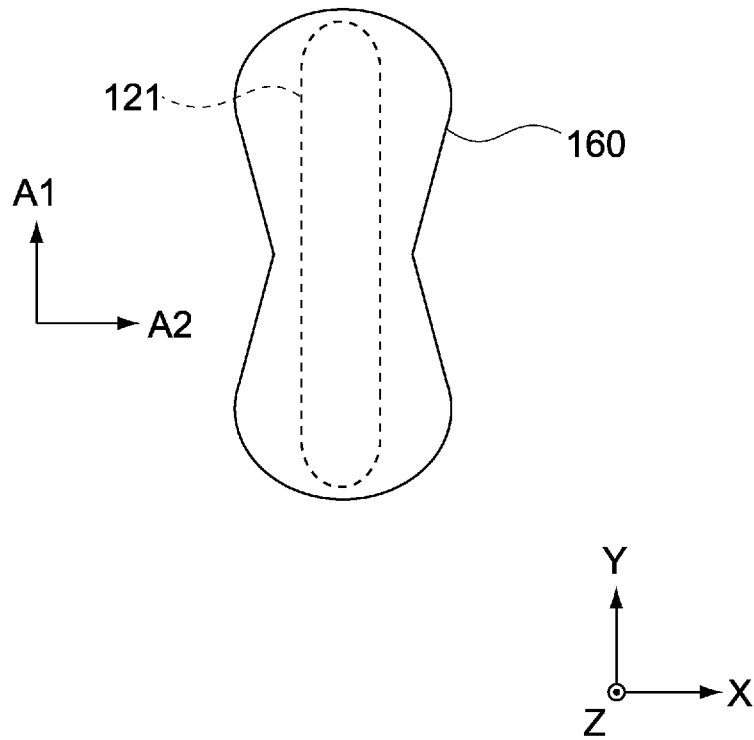
[図9]



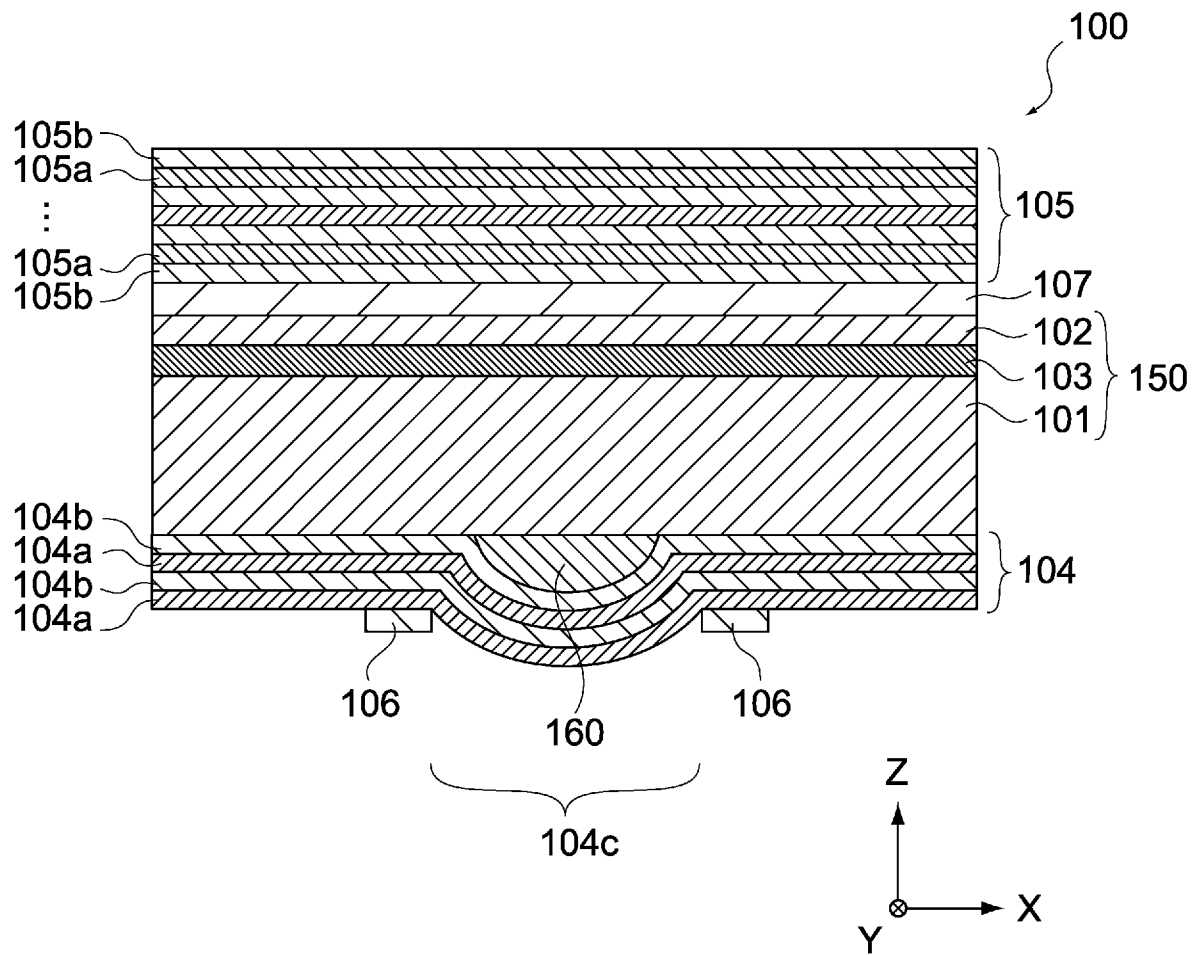
[図10]



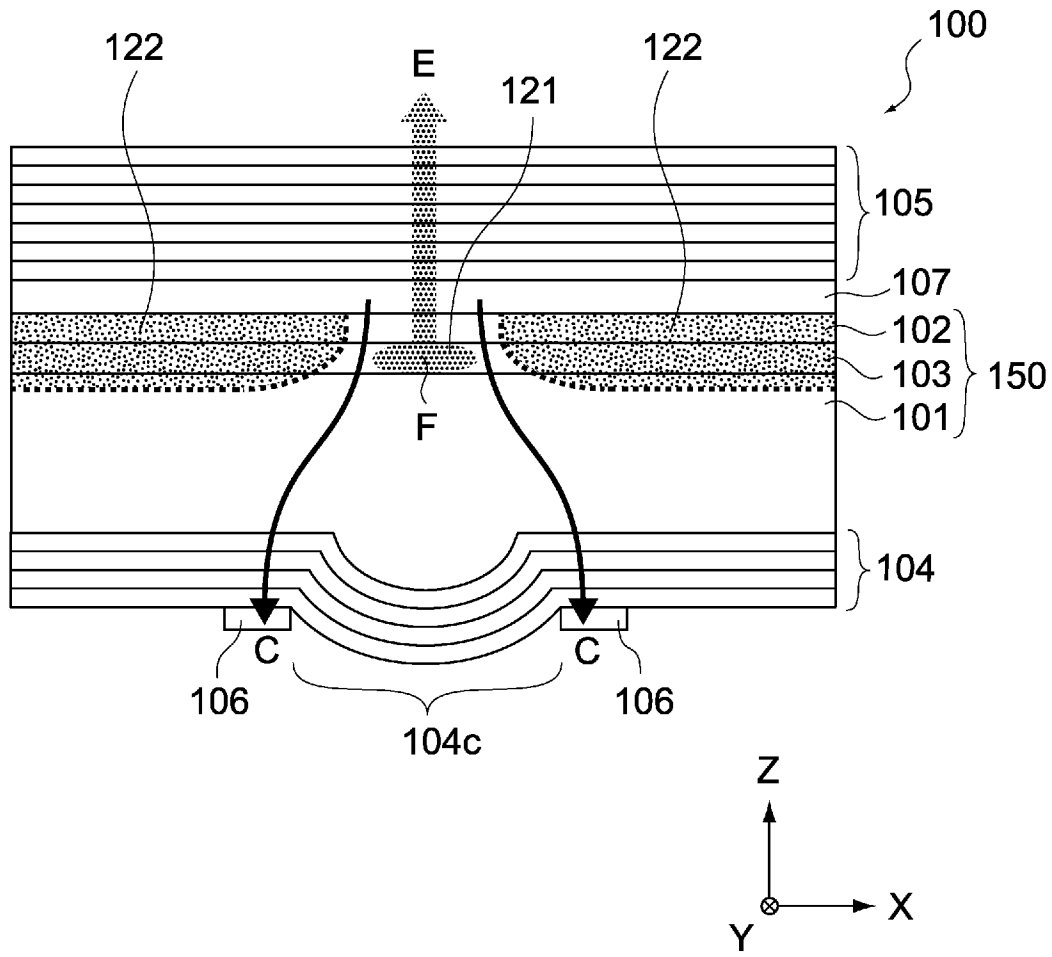
[図11]



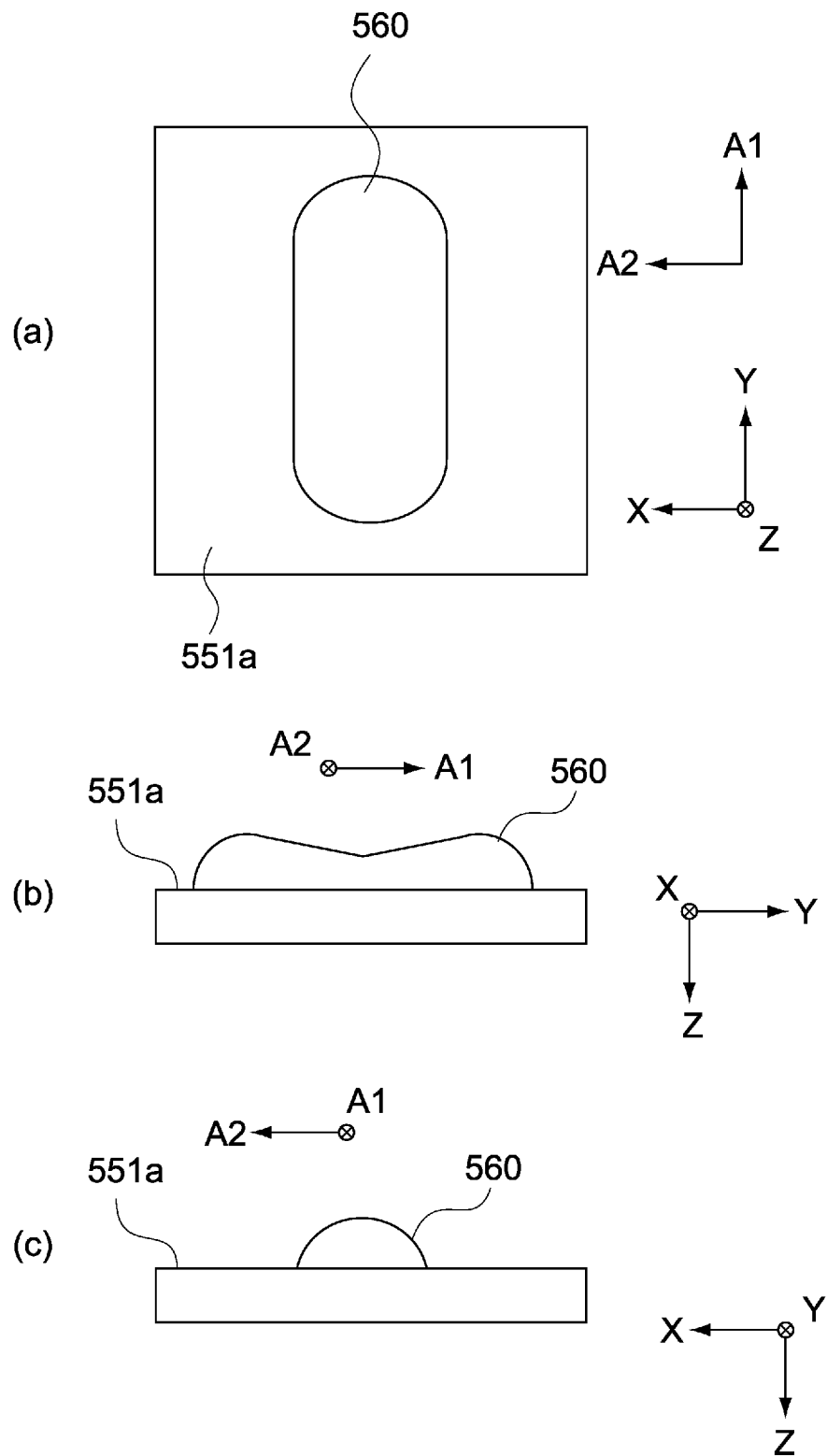
[図12]



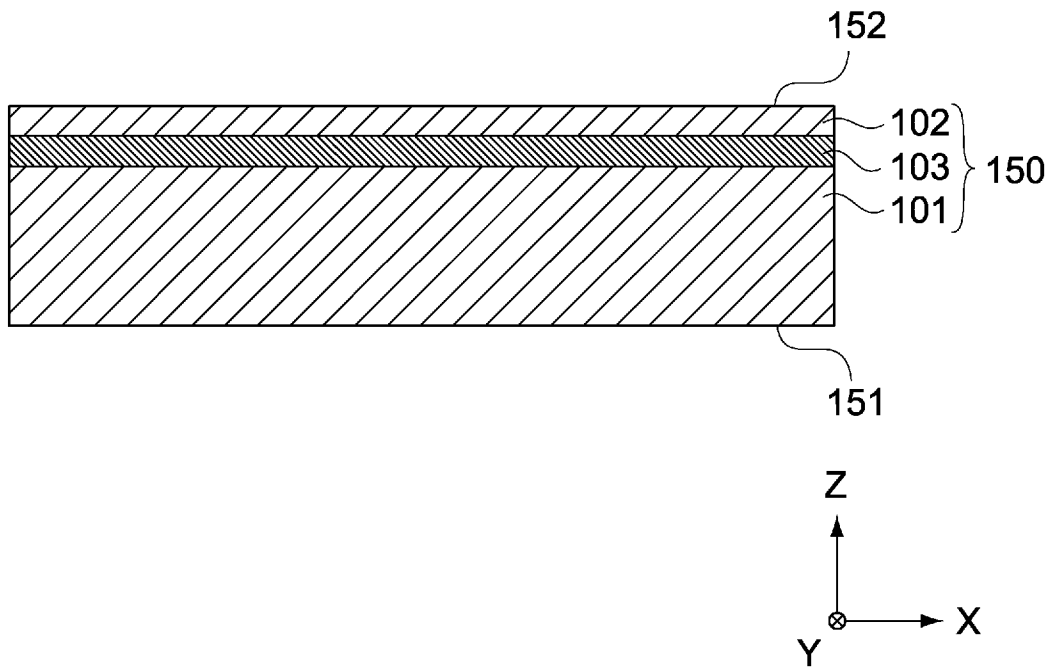
[図13]



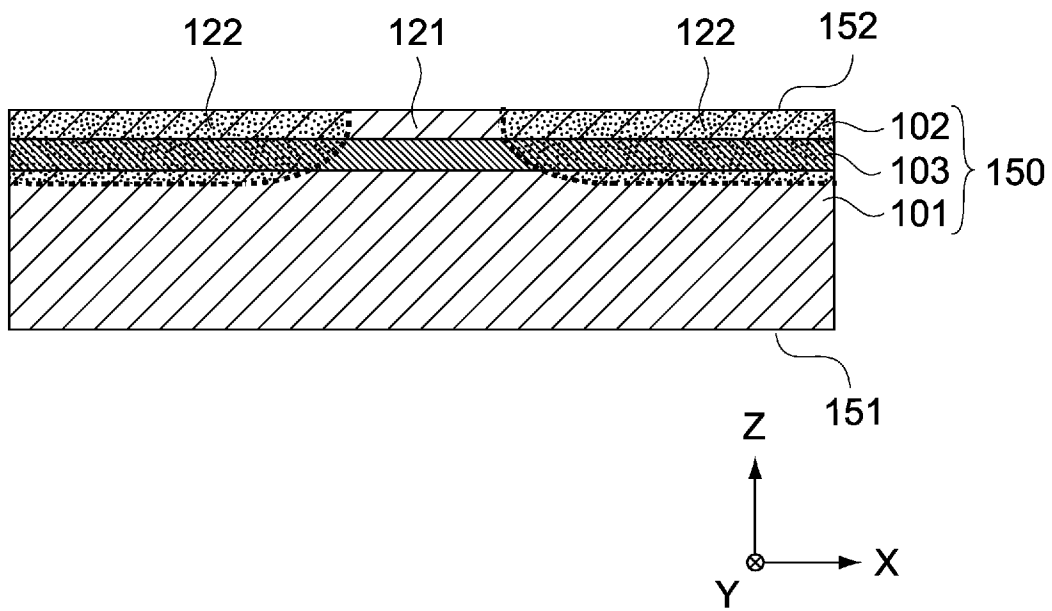
[図14]



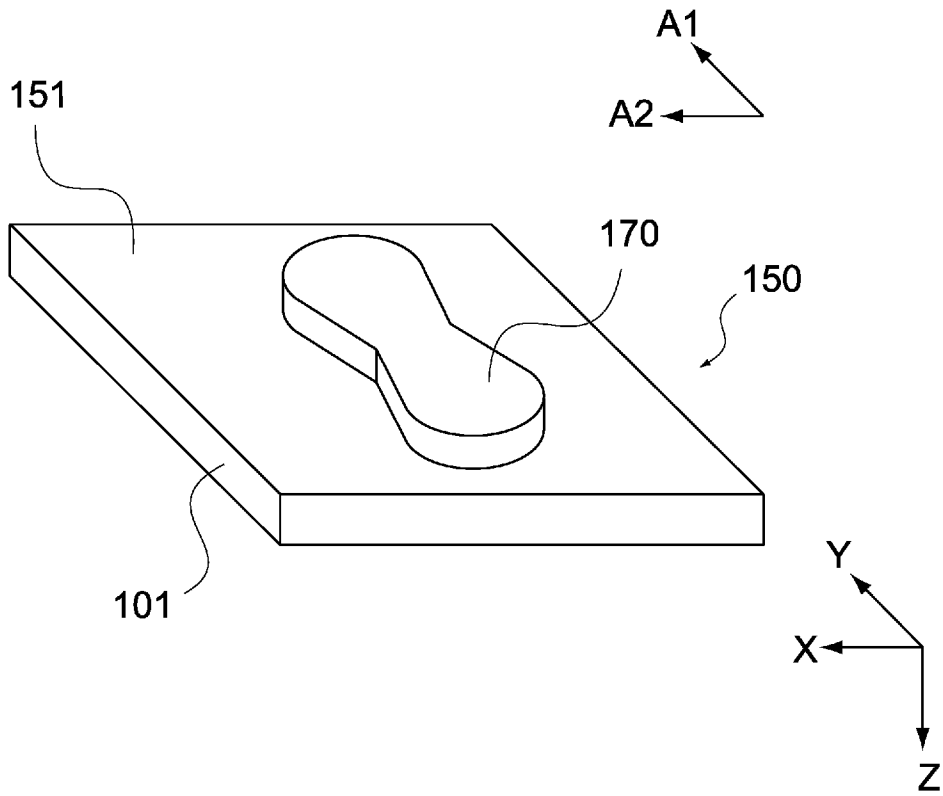
[図15]



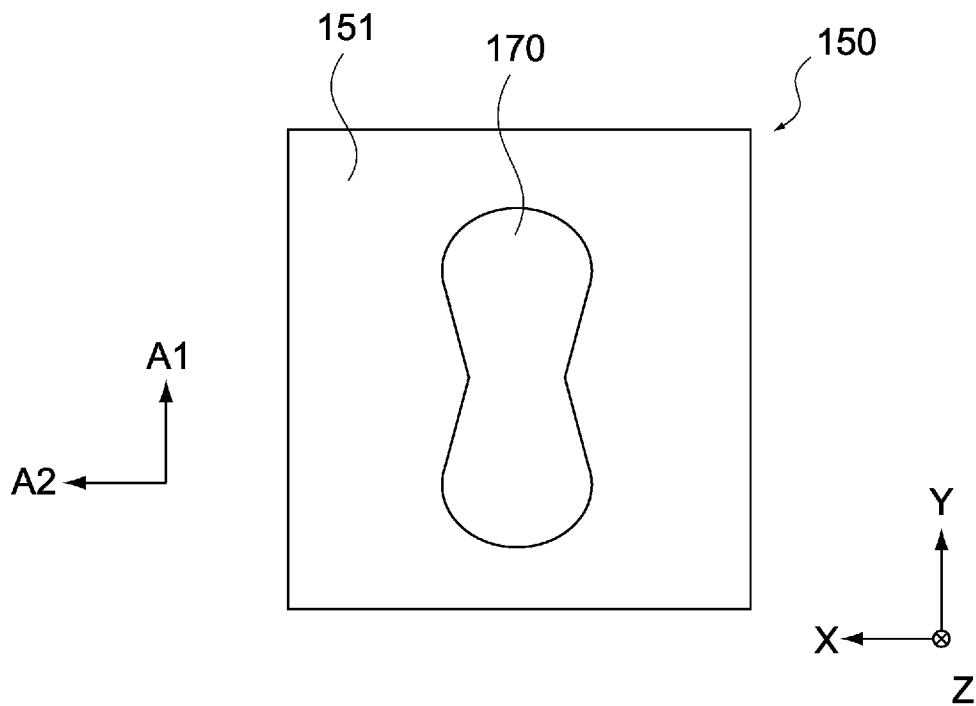
[図16]



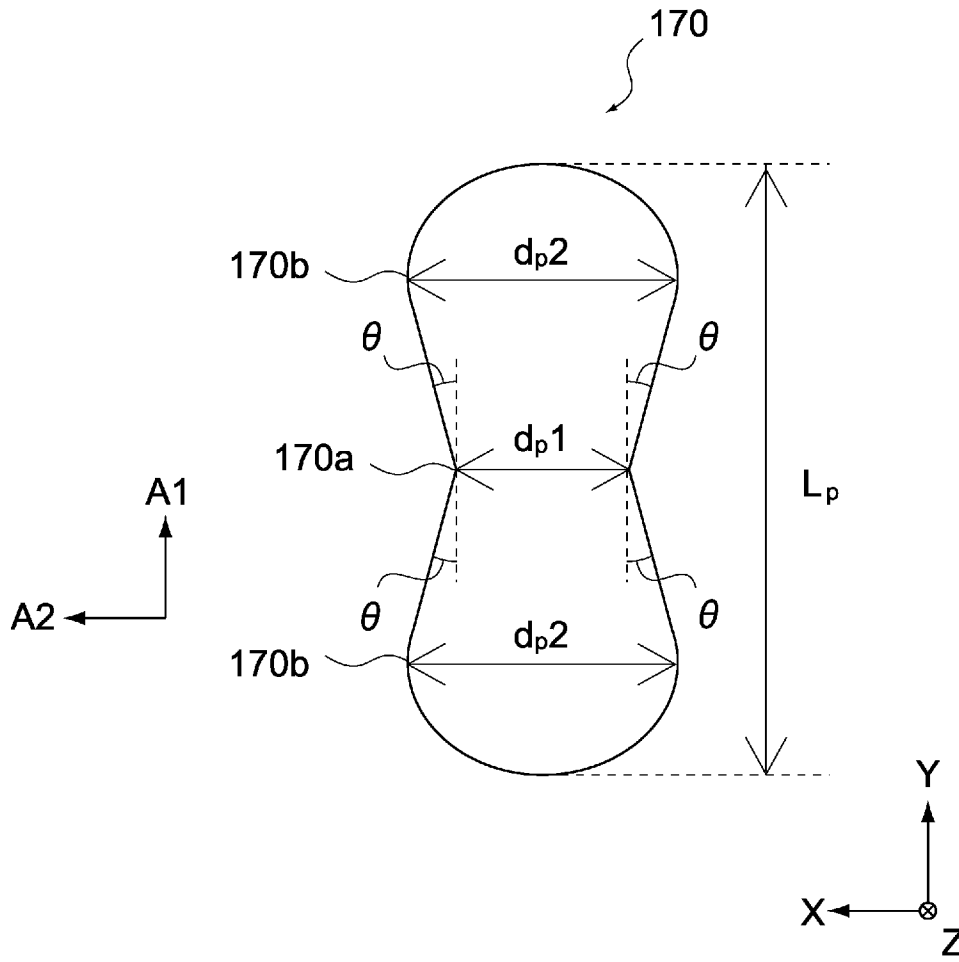
[図17]



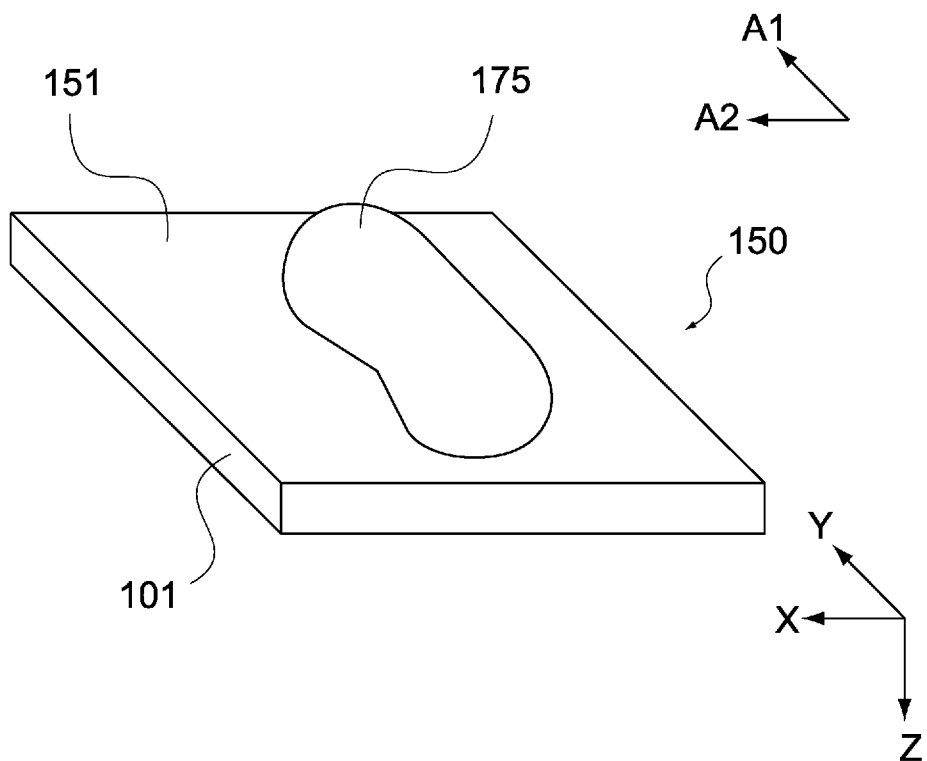
[図18]



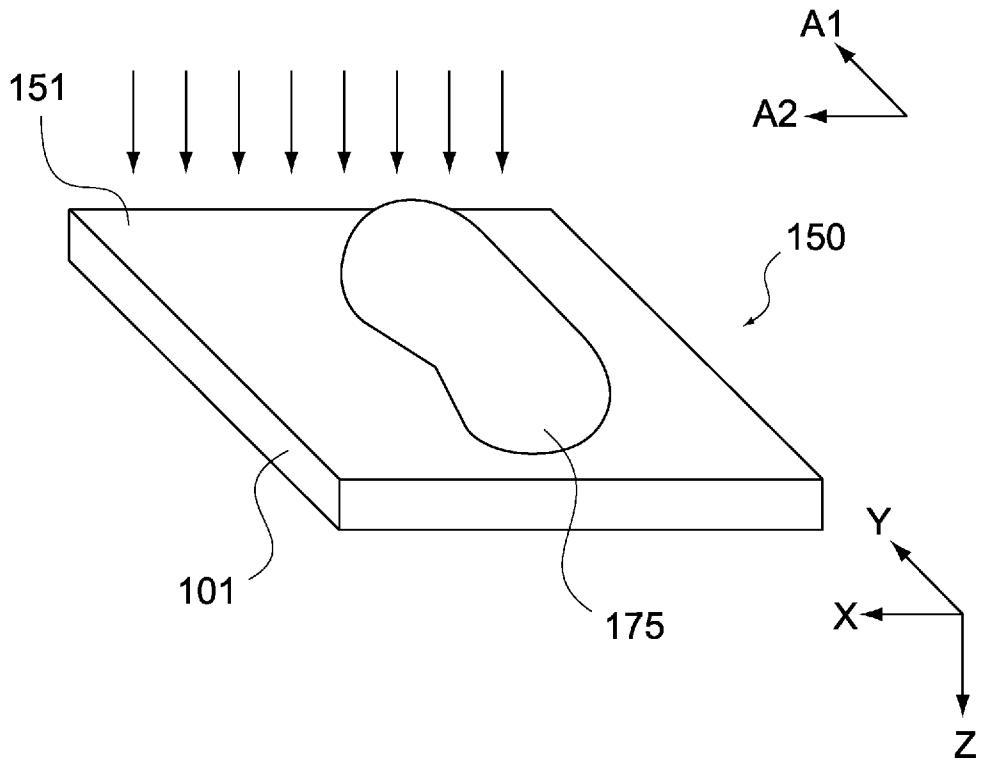
[図19]



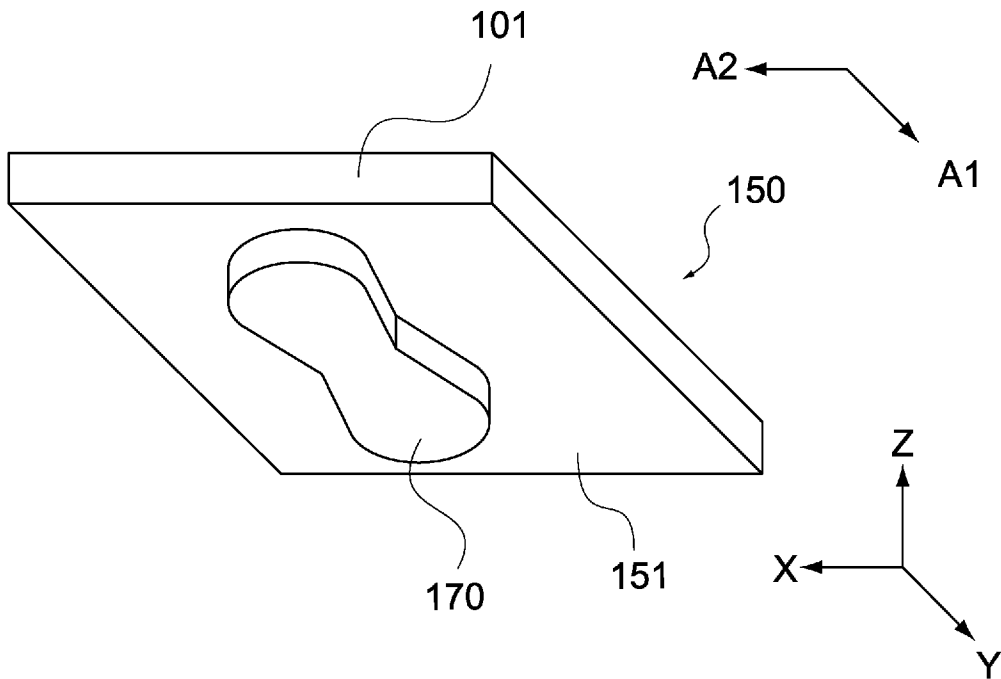
[図20]



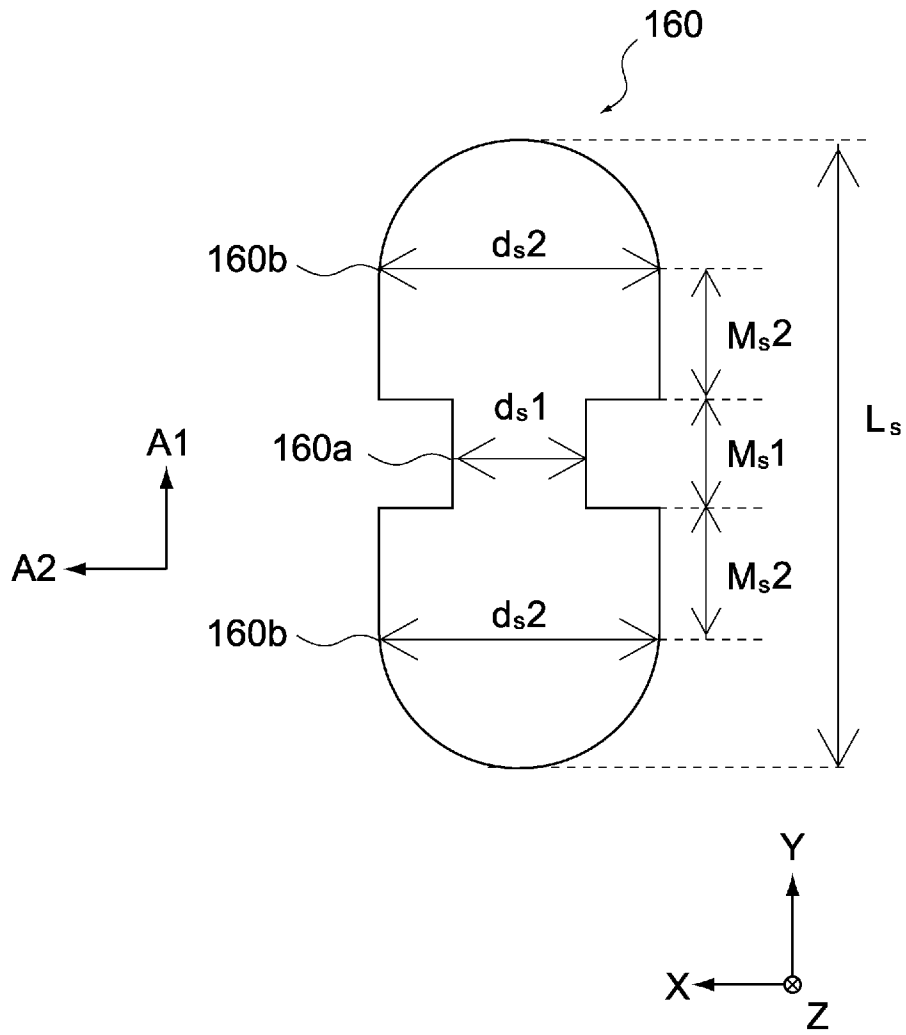
[図21]



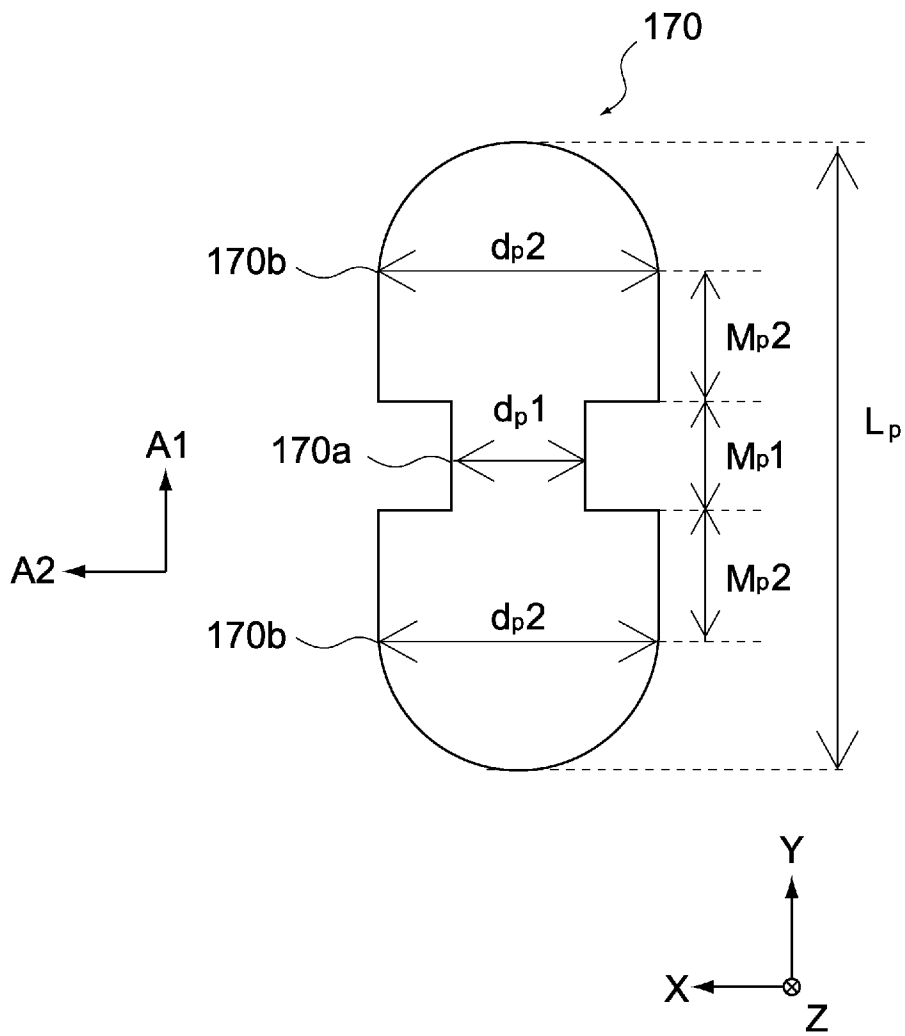
[図22]



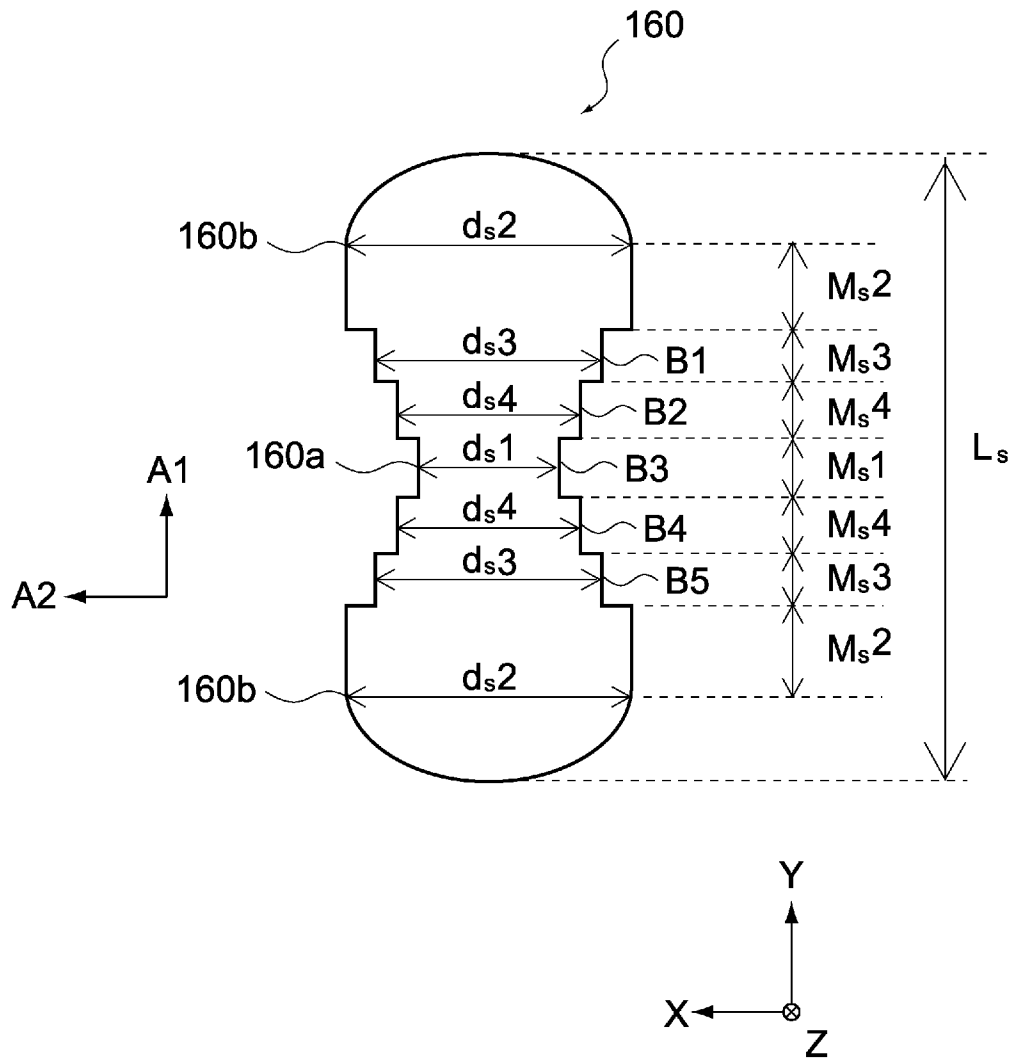
[図23]



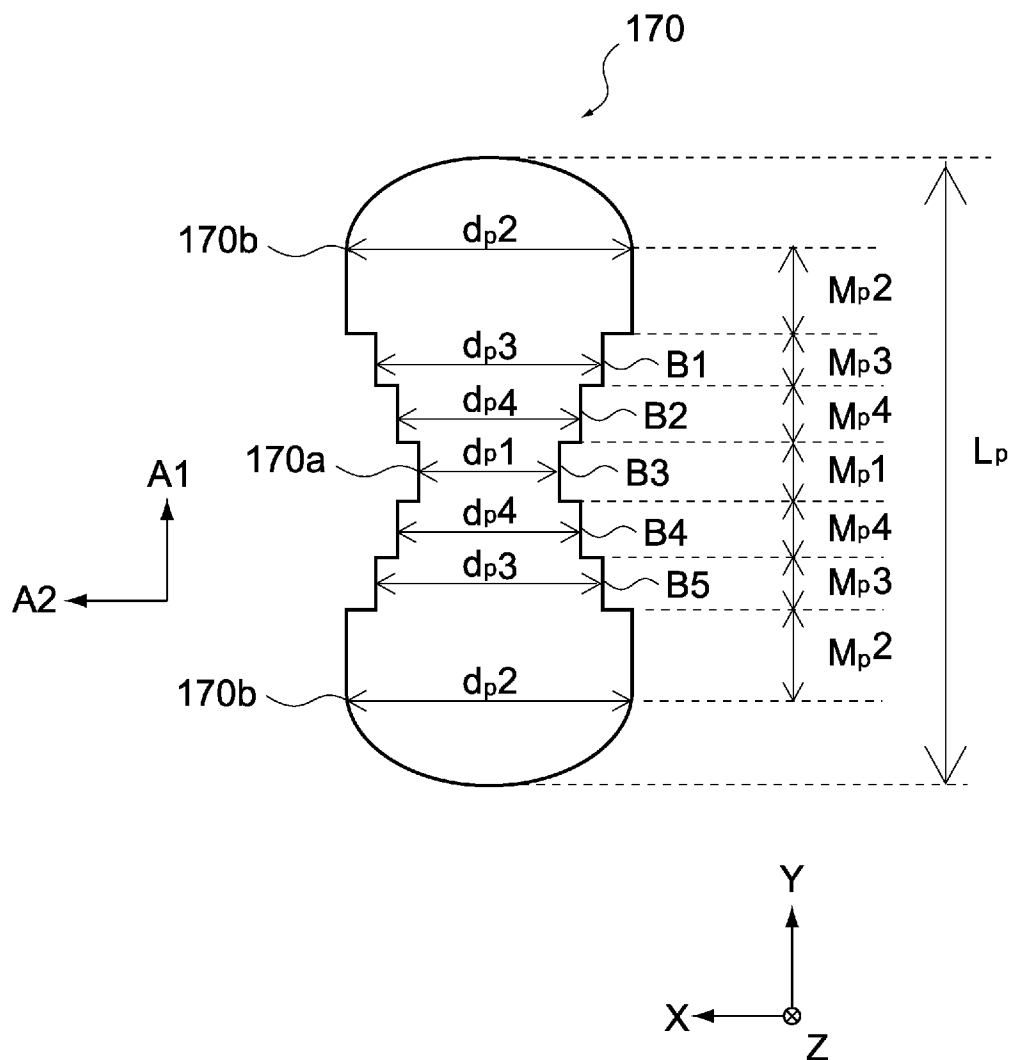
[図24]



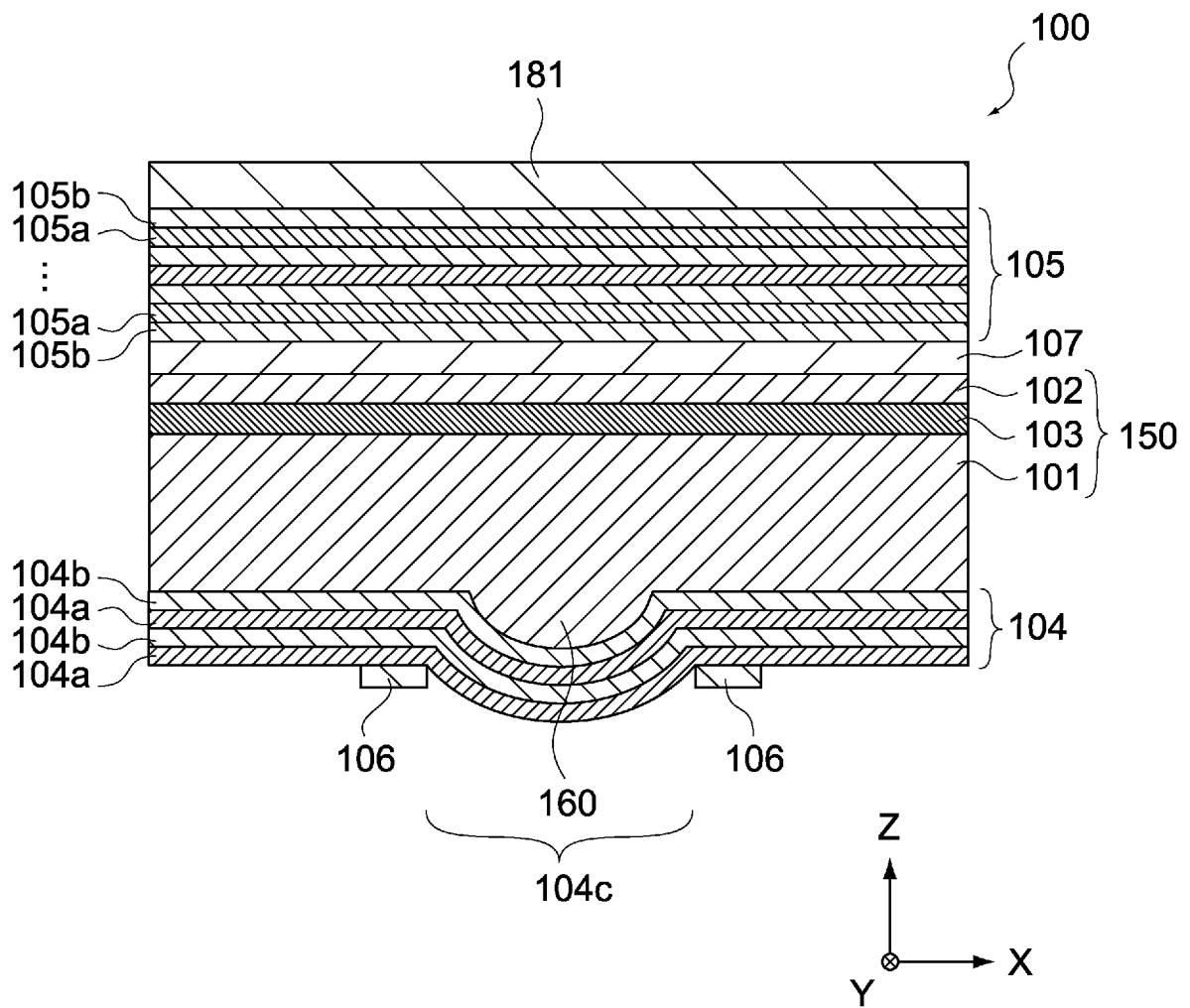
[図25]



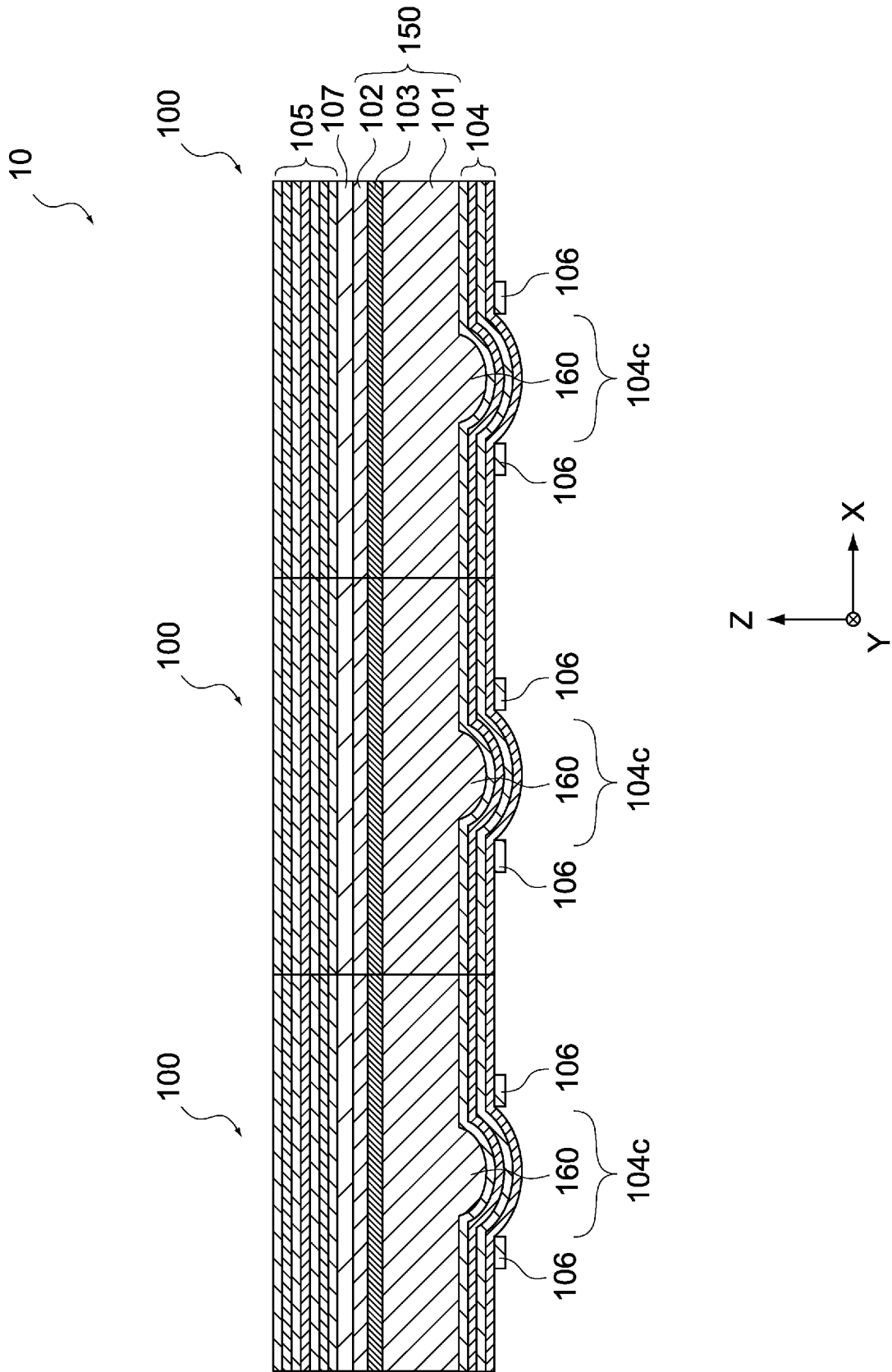
[図26]



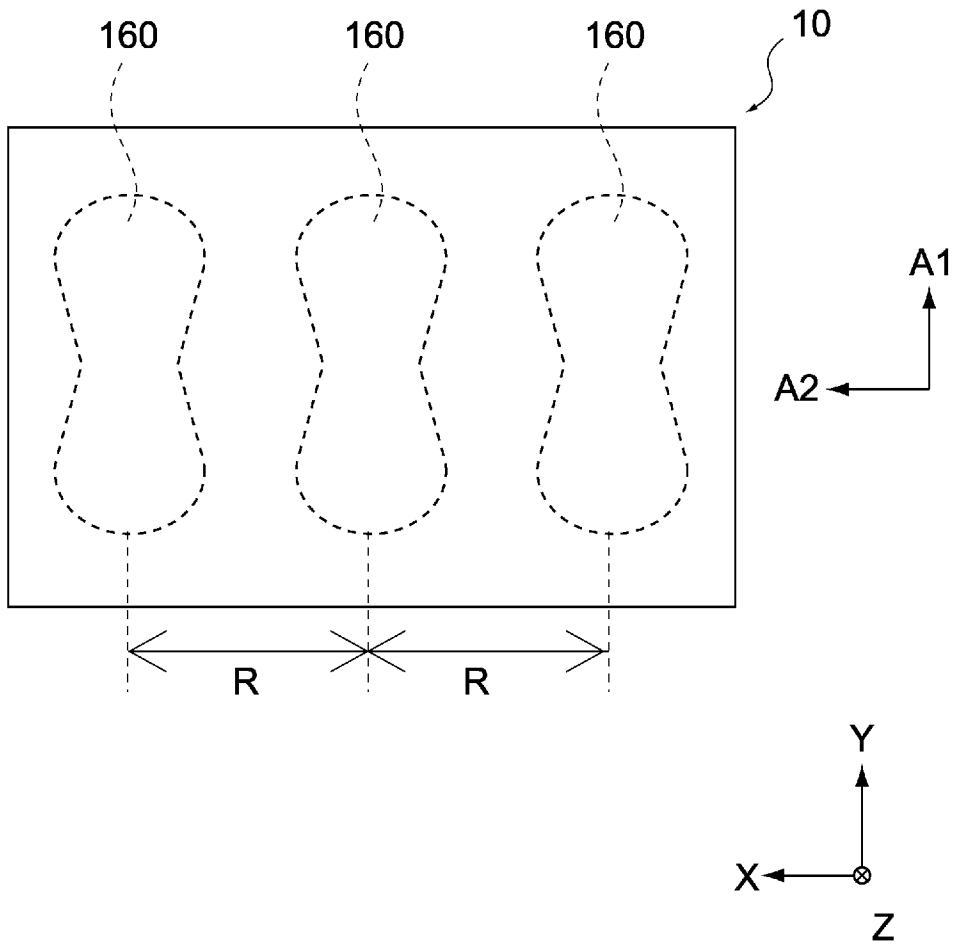
[図27]



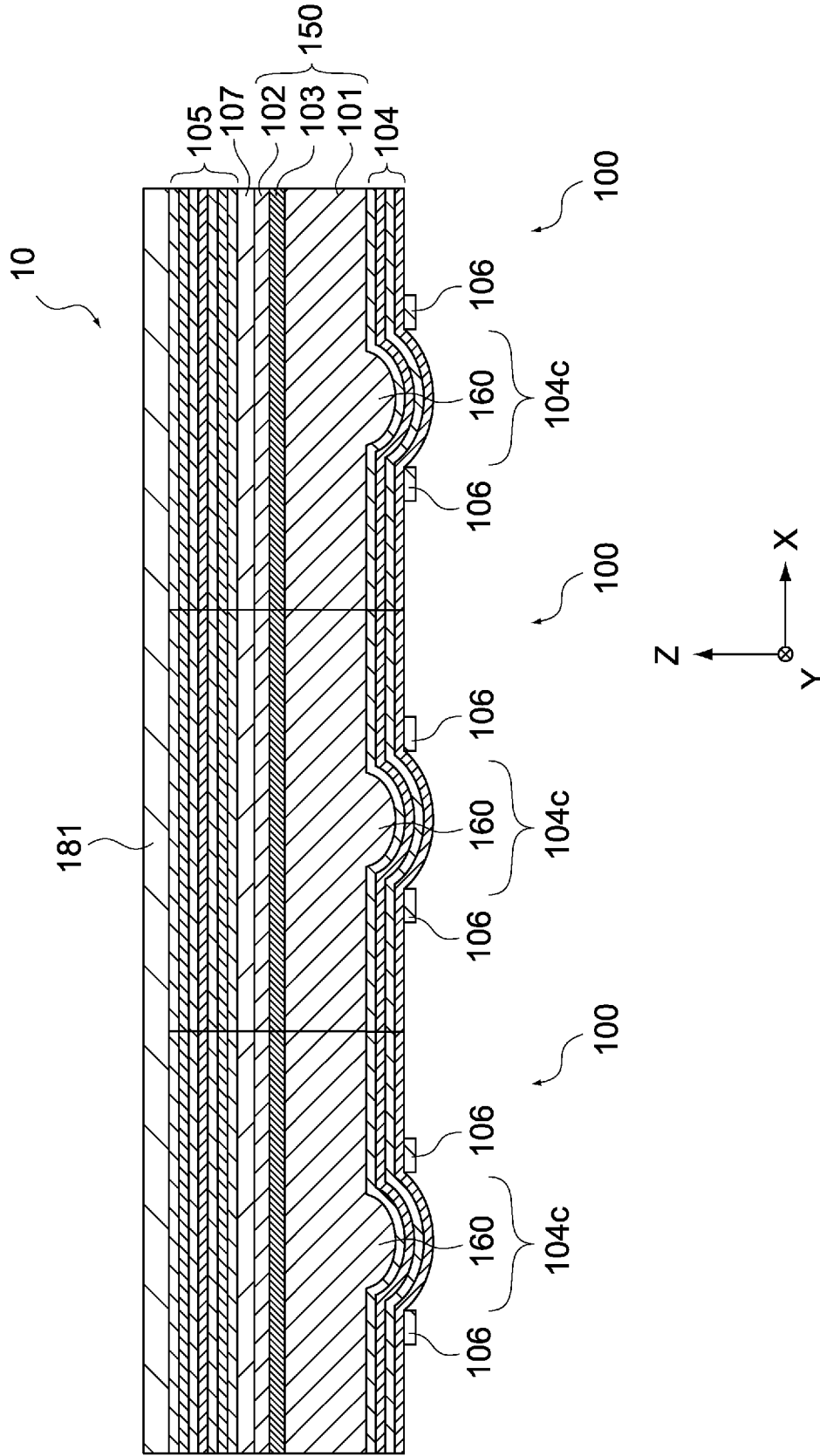
[図28]



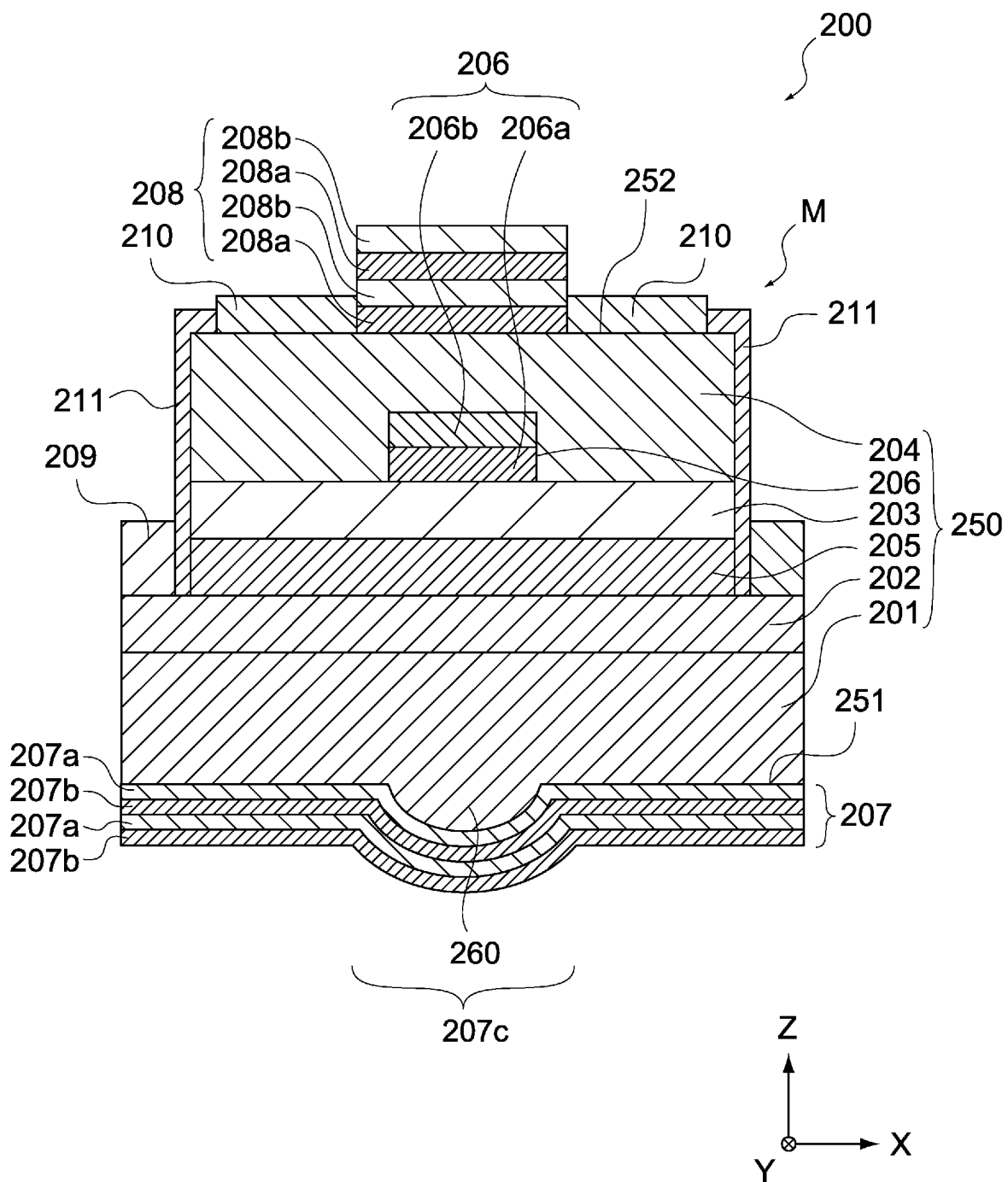
[図29]



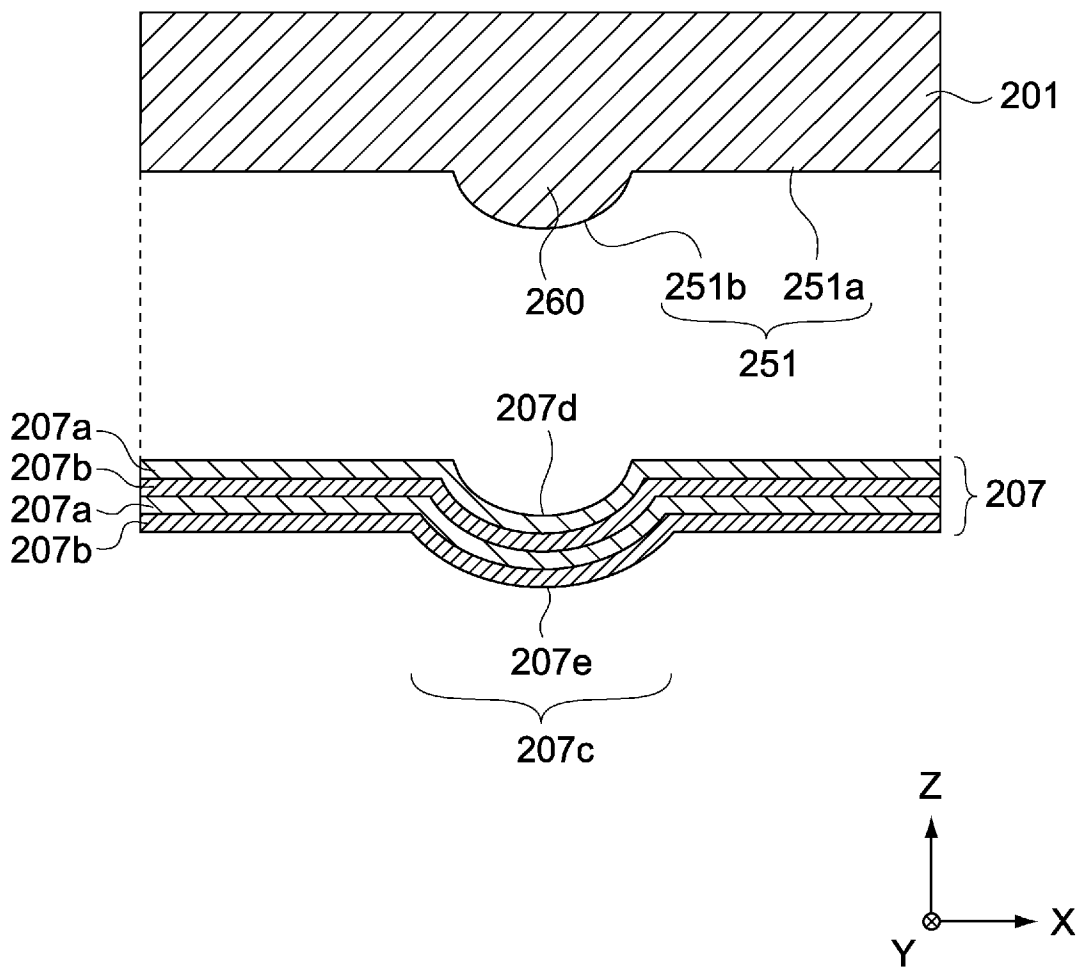
[図30]



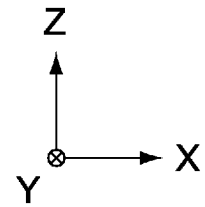
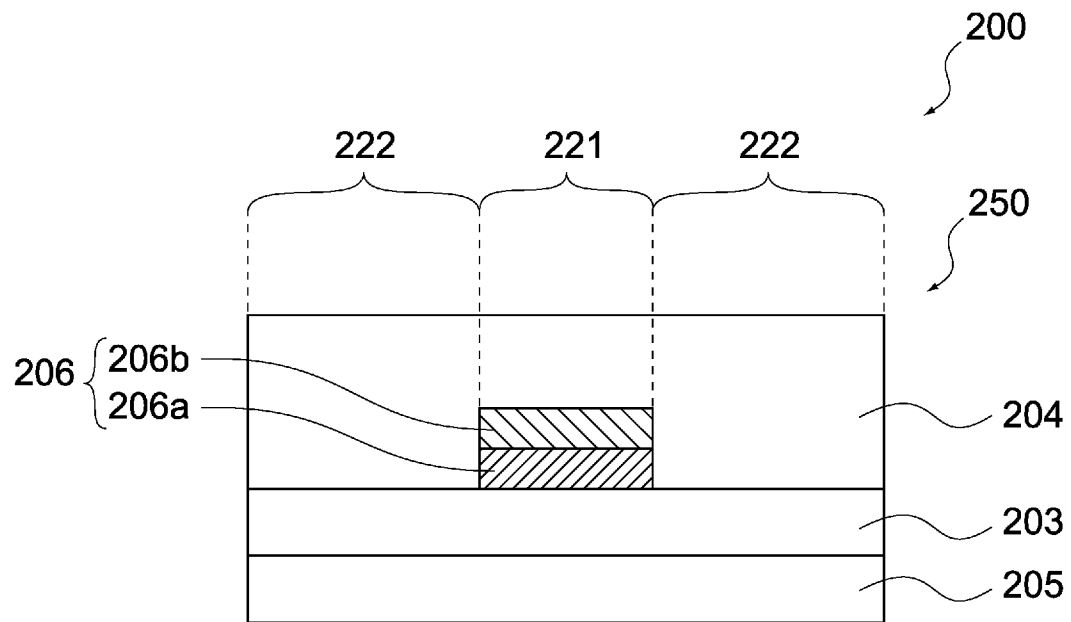
[図31]



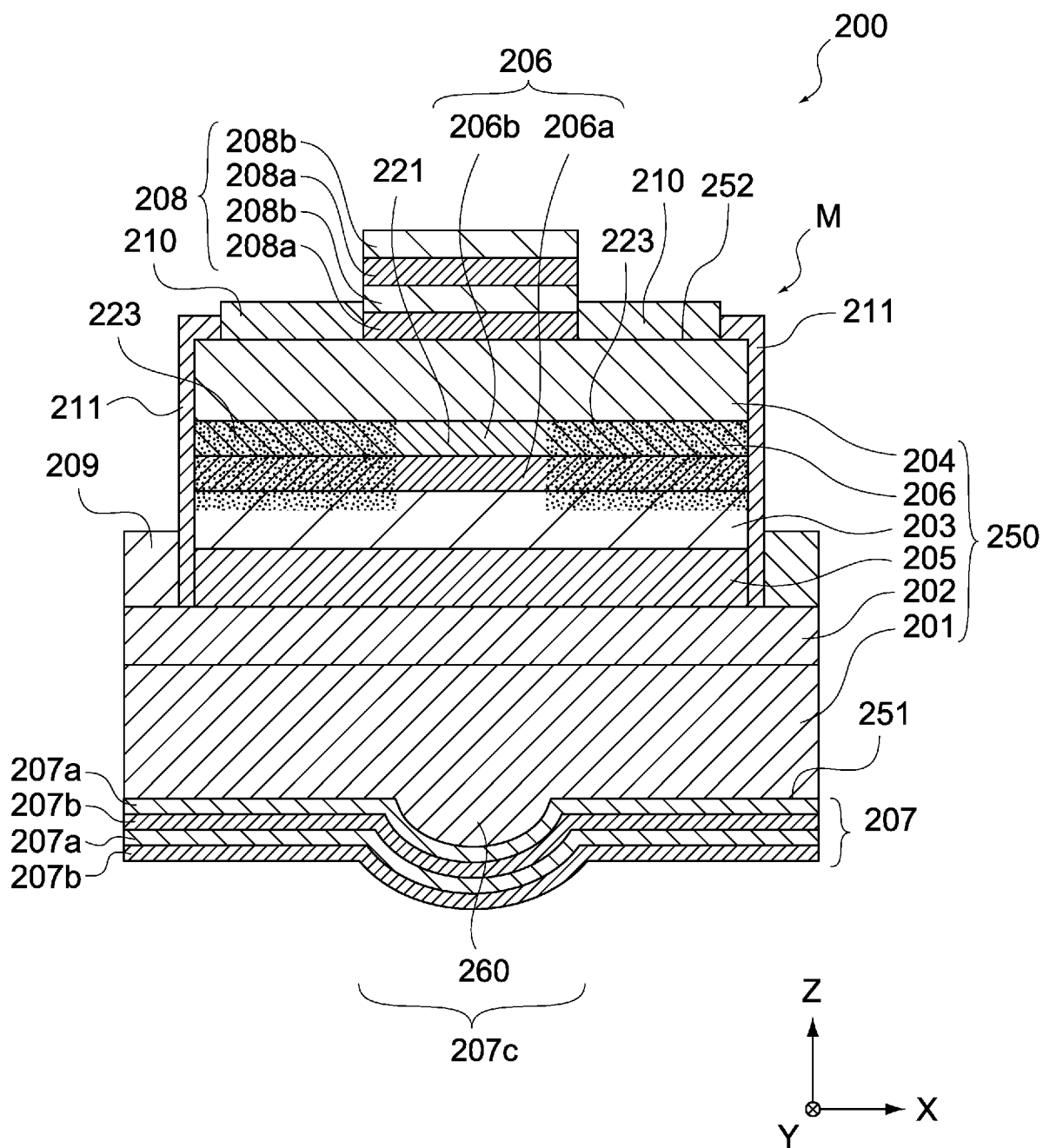
[図32]



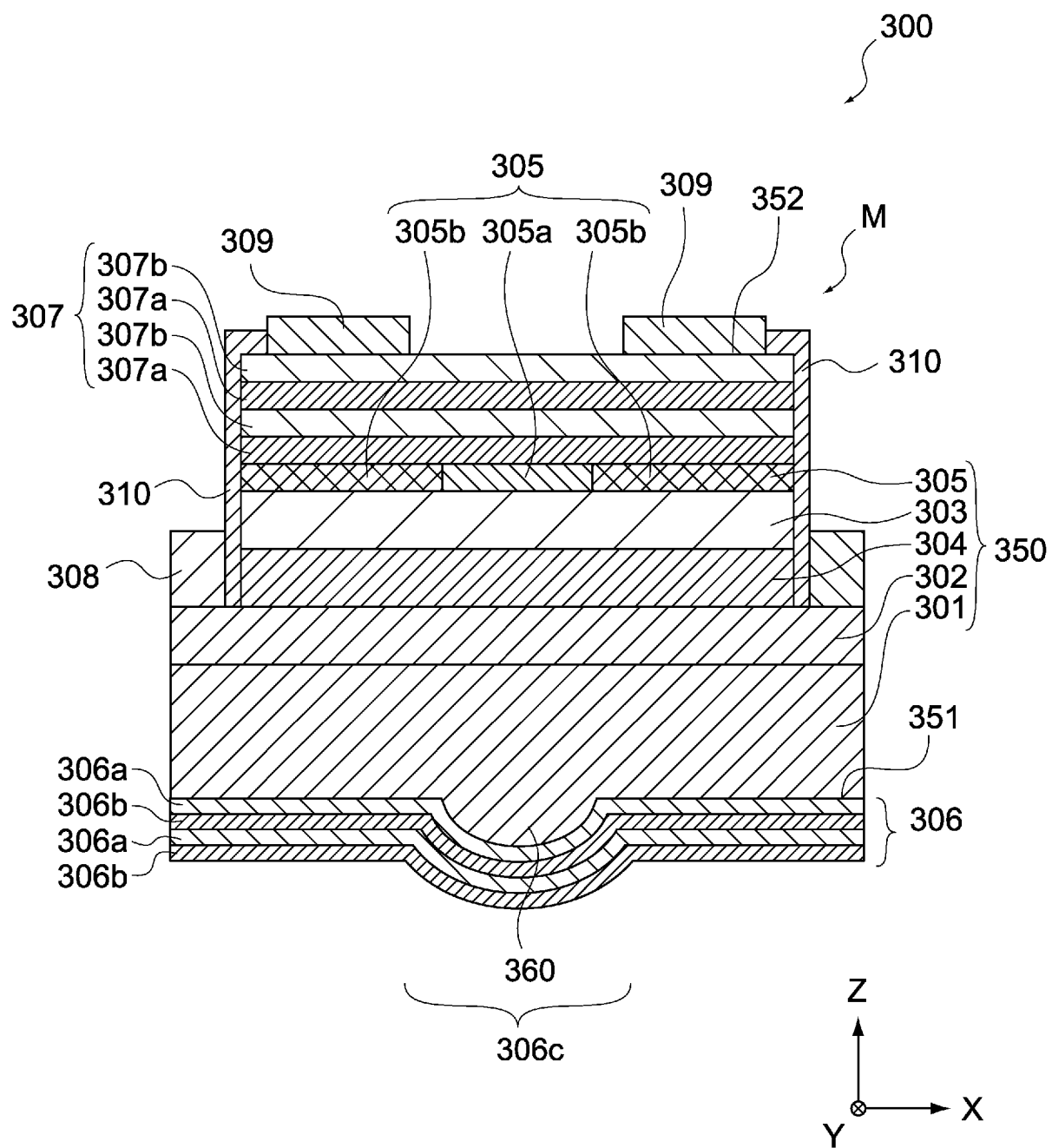
[図33]



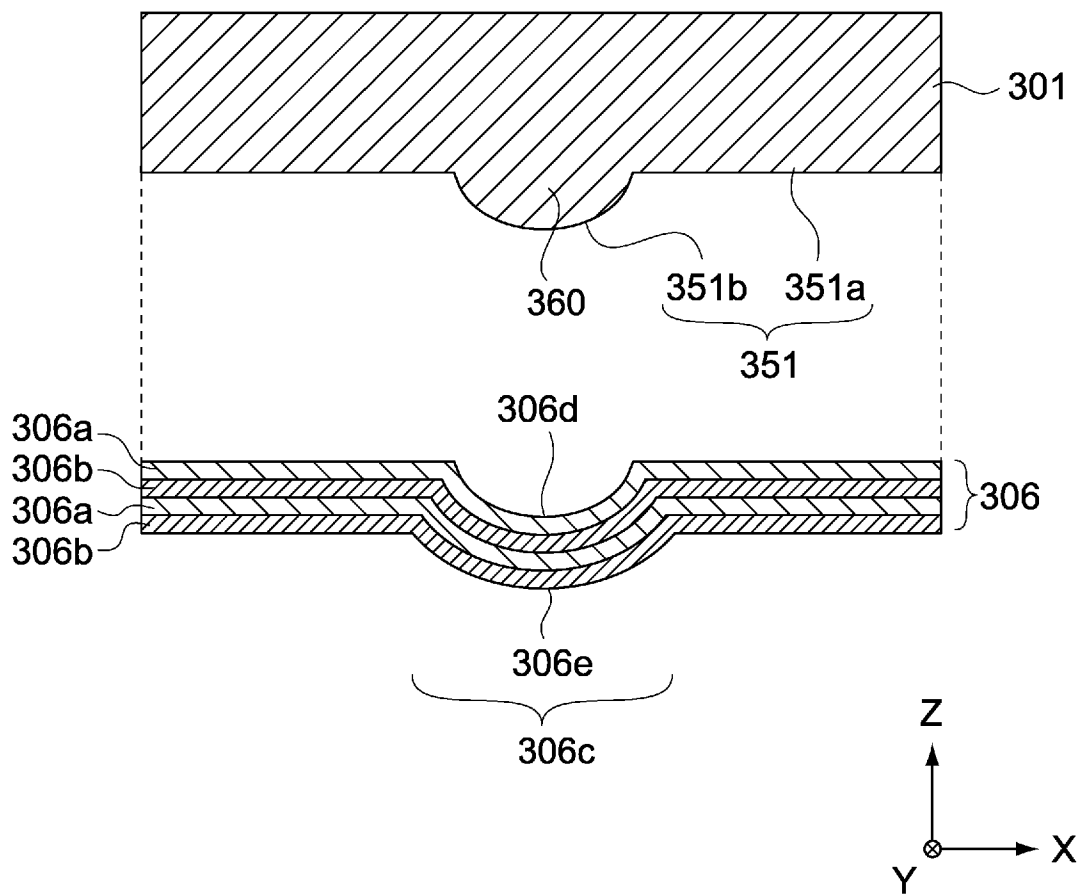
[図34]



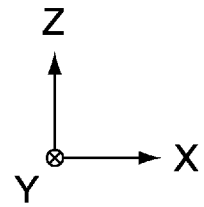
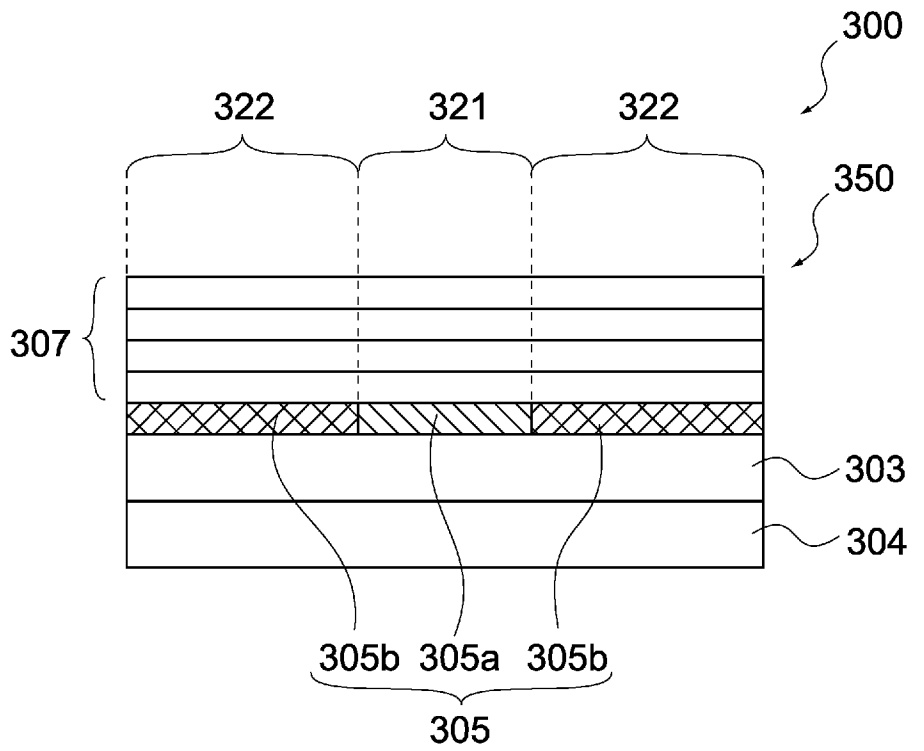
[図35]



[図36]



[図37]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/000513

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01S 5/183</i> (2006.01)i; <i>G02B 3/02</i> (2006.01)i; <i>G02B 5/08</i> (2006.01)i; <i>G02B 5/10</i> (2006.01)i; <i>H01S 5/343</i> (2006.01)i; <i>H01S 5/42</i> (2006.01)i		
FI: H01S5/183; G02B3/02; G02B5/08 A; G02B5/10 A; H01S5/343; H01S5/42		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
H01S5/00-5/50; G02B3/00-5/136		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2020/246280 A1 (SONY CORPORATION) 10 December 2020 (2020-12-10)	1-20
A	US 2020/0366067 A1 (DAVID, Aurelien) 19 November 2020 (2020-11-19)	1-20
A	WO 2019/056012 A1 (FINISAR CORPORATION) 21 March 2019 (2019-03-21)	1-20
A	WO 2018/221042 A1 (SONY CORPORATION) 06 December 2018 (2018-12-06)	1-20
A	JP 2013-541854 A (KONINKLIJKE PHILIPS NAAMLOZE VENNOOTSCHAP) 14 November 2013 (2013-11-14)	1-20
A	JP 2011-151293 A (FUJI XEROX COMPANY, LIMITED) 04 August 2011 (2011-08-04)	1-20
A	JP 2002-374045 A (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE) 26 December 2002 (2002-12-26)	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
10 March 2022		22 March 2022
Name and mailing address of the ISA/JP		Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		
		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/000513

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2020/246280	A1	10 December 2020	DE	112020002694	T5	
US	2020/0366067	A1	19 November 2020	(Family: none)			
WO	2019/056012	A1	21 March 2019	US	2019/0089127	A1	
				CN	111279563	A	
				DE	112018005257	T5	
WO	2018/221042	A1	06 December 2018	US	2020/0112141	A1	
				EP	3633807	A1	
JP	2013-541854	A	14 November 2013	WO	2012/059864	A1	
				US	2013/0223466	A1	
				EP	2636111	B1	
				CN	103181040	A	
JP	2011-151293	A	04 August 2011	US	2011/0182314	A1	
JP	2002-374045	A	26 December 2002	US	2002/0186737	A1	
				EP	1257027	A1	
				FR	2824188	A1	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>H01S 5/183(2006.01)i; G02B 3/02(2006.01)i; G02B 5/08(2006.01)i; G02B 5/10(2006.01)i; H01S 5/343(2006.01)i; H01S 5/42(2006.01)i FI: H01S5/183; G02B3/02; G02B5/08 A; G02B5/10 A; H01S5/343; H01S5/42</p>																																						
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01S5/00-5/50; G02B3/00-5/136</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年																												
日本国実用新案公報	1922 - 1996年																																					
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年																																					
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年																																					
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年																																					
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>WO 2020/246280 A1 (ソニー株式会社) 10.12.2020 (2020 - 12 - 10)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2020/0366067 A1 (DAVID, Aurelien) 19.11.2020 (2020 - 11 - 19)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2019/056012 A1 (FINISAR CORPORATION) 21.03.2019 (2019 - 03 - 21)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2018/221042 A1 (ソニー株式会社) 06.12.2018 (2018 - 12 - 06)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2013-541854 A (コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ) 14.11.2013 (2013 - 11 - 14)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2011-151293 A (富士ゼロックス株式会社) 04.08.2011 (2011 - 08 - 04)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2002-374045 A (コミサミア、ア、レネルジ、アトミック) 26.12.2002 (2002 - 12 - 26)</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p> <table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			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 2020/246280 A1 (ソニー株式会社) 10.12.2020 (2020 - 12 - 10)	1-20	A	US 2020/0366067 A1 (DAVID, Aurelien) 19.11.2020 (2020 - 11 - 19)	1-20	A	WO 2019/056012 A1 (FINISAR CORPORATION) 21.03.2019 (2019 - 03 - 21)	1-20	A	WO 2018/221042 A1 (ソニー株式会社) 06.12.2018 (2018 - 12 - 06)	1-20	A	JP 2013-541854 A (コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ) 14.11.2013 (2013 - 11 - 14)	1-20	A	JP 2011-151293 A (富士ゼロックス株式会社) 04.08.2011 (2011 - 08 - 04)	1-20	A	JP 2002-374045 A (コミサミア、ア、レネルジ、アトミック) 26.12.2002 (2002 - 12 - 26)	1-20	* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
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 2020/246280 A1 (ソニー株式会社) 10.12.2020 (2020 - 12 - 10)	1-20																																				
A	US 2020/0366067 A1 (DAVID, Aurelien) 19.11.2020 (2020 - 11 - 19)	1-20																																				
A	WO 2019/056012 A1 (FINISAR CORPORATION) 21.03.2019 (2019 - 03 - 21)	1-20																																				
A	WO 2018/221042 A1 (ソニー株式会社) 06.12.2018 (2018 - 12 - 06)	1-20																																				
A	JP 2013-541854 A (コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ) 14.11.2013 (2013 - 11 - 14)	1-20																																				
A	JP 2011-151293 A (富士ゼロックス株式会社) 04.08.2011 (2011 - 08 - 04)	1-20																																				
A	JP 2002-374045 A (コミサミア、ア、レネルジ、アトミック) 26.12.2002 (2002 - 12 - 26)	1-20																																				
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの																																					
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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																																					
“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	“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																																					
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献																																					
“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																																						
<p>国際調査を完了した日</p> <p>10.03.2022</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>22.03.2022</p>																																					
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>大和田 有軌 2K 3004</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3255</p>																																					

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/000513

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2020/246280	A1	10.12.2020	DE	112020002694	T5	
US	2020/0366067	A1	19.11.2020	(ファミリーなし)			
WO	2019/056012	A1	21.03.2019	US	2019/0089127	A1	
				CN	111279563	A	
				DE	112018005257	T5	
WO	2018/221042	A1	06.12.2018	US	2020/0112141	A1	
				EP	3633807	A1	
JP	2013-541854	A	14.11.2013	WO	2012/059864	A1	
				US	2013/0223466	A1	
				EP	2636111	B1	
				CN	103181040	A	
JP	2011-151293	A	04.08.2011	US	2011/0182314	A1	
JP	2002-374045	A	26.12.2002	US	2002/0186737	A1	
				EP	1257027	A1	
				FR	2824188	A1	