

CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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: クラックの発生を抑制しつつ酸化狭窄層における実効屈折率差を大きくすること。本技術に係る面発光素子は、第1半導体構造を含む第1構造と、前記第1構造と積層された、第2半導体構造を含む第2構造と、前記第1及び第2構造の間に配置された少なくとも1つの発光層と、前記第1構造の前記第2構造側とは反対側の表面である第1面と、前記第2構造の前記第1構造側とは反対側の表面である第2面との間で、前記発光層と積層され且つ互いに積層された複数の酸化狭窄層と、を備え、前記複数の酸化狭窄層は、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波における節位置と一致していない所定の酸化狭窄層を少なくとも1つ含む。

明 細 書

発明の名称：面発光素子

技術分野

[0001] 本開示に係る技術（以下「本技術」とも呼ぶ）は、面発光素子に関する。

背景技術

[0002] 従来、例えば面発光レーザ、発光ダイオード等の面発光出力を得ることができる面発光素子が知られている。

[0003] 従来の面発光素子の中には、高屈折率の非酸化領域が低屈折率の酸化領域で囲まれた酸化狭窄層を有するものがある（例えば特許文献1、2参照）。

[0004] 従来の面発光素子では、酸化狭窄層の形成によりクラックが発生するおそれがあった。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2009-206480号公報

特許文献2：特開2005-259951号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、従来の面発光素子では、クラックの発生を抑制しつつ酸化狭窄層における実効屈折率差を大きくすることに関して何ら言及されていない。

[0007] そこで、本技術は、クラックの発生を抑制しつつ酸化狭窄層における実効屈折率差を大きくすることができる面発光素子を提供することを主目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本技術は、第1半導体構造を含む第1構造と、
前記第1構造と積層された、第2半導体構造を含む第2構造と、
前記第1及び第2構造の間に配置された少なくとも1つの発光層と、

前記第 1 構造の前記第 2 構造側とは反対側の表面である第 1 面と、前記第 2 構造の前記第 1 構造側とは反対側の表面である第 2 面との間で、前記発光層と積層され且つ互いに積層された複数の酸化狭窄層と、

を備え、

前記複数の酸化狭窄層は、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波における節位置と一致していない所定の酸化狭窄層を少なくとも 1 つ含む、面発光素子を提供する。

前記所定の酸化狭窄層は、前記中央位置以外の位置が前記節位置と一致していてもよい。

前記所定の酸化狭窄層は、厚さ方向の全域が、前記中央位置から最も近い前記節位置から外れていてもよい。

前記複数の酸化狭窄層は、前記所定の酸化狭窄層を少なくとも 2 つ含んでいてもよい。

前記複数の酸化狭窄層は、前記中央位置が前記節位置と一致している酸化狭窄層を含んでいてもよい。

前記中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t とすると、前記中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離は、 k を自然数として、 $(2k - 1)\lambda / 4 + t$ 、又は、 $(2k - 1)\lambda / 4 - t$ であってもよい。

前記複数の酸化狭窄層は、前記発光層の前記第 1 面側に配置された少なくとも 1 つの第 1 酸化狭窄層と、前記発光層の前記第 2 面側に配置された少なくとも 1 つの第 2 酸化狭窄層と、を含み、前記第 1 及び／又は第 2 酸化狭窄層は、前記所定の酸化狭窄層であってもよい。

前記所定の酸化狭窄層は、少なくとも 2 つあり、前記第 1 及び第 2 酸化狭窄層の各々は、前記所定の酸化狭窄層であってもよい。

前記第 1 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置が、該中央位置から最も近い前記節位置の前記第 1 面側及び前記第 2 面側の一方に位置し、前記第 2 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置が、該中央位置から最も近い前記節位置の前記第

1 面側及び前記第 2 面側の他方に位置していてもよい。

前記第 1 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_1 、前記第 2 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_2 、前記第 1 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t_1 、前記第 2 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t_2 とすると、 n 、 m を自然数として、

$$L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 + t_1、\text{且つ、} L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 + t_2$$

、

又は、

$$L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 - t_1、\text{且つ、} L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 - t_2$$

が成立していてもよい。

$$t_1 = t_2 \text{ であってもよい。}$$

前記第 1 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離と、前記第 2 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離とが等しくてもよい。

前記第 1 及び第 2 酸化狭窄層の一方が、前記所定の酸化狭窄層であってもよい。

前記第 1 及び第 2 酸化狭窄層の前記一方の厚さ方向の中央位置が、該中央位置から最も近い前記節位置の前記第 1 面側又は前記第 2 面側に位置し、前記第 1 及び第 2 酸化狭窄層の他方の厚さ方向の中央位置が、前記節位置と一致していてもよい。

前記第 1 及び第 2 酸化狭窄層の前記一方の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_1 、前記第 1 及び第 2 酸化狭窄層の他方の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_2 、前記第 1 及び第 2 酸化狭窄層の前記一方の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t とすると、 n 、 m を自然数として、

$$L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 + t、\text{且つ、} L_2 = (2m - 1) \lambda / 4、$$

又は、

$$L1 = (2n - 1) \lambda / 4 - t、\text{且つ、} L2 = (2m - 1) \lambda / 4$$

が成立していてもよい。

前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離と、前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離とが異なってもよい。

前記複数の酸化狭窄層の各々は、非酸化領域と、前記非酸化領域を囲む酸化領域と、を有し、前記非酸化領域は、 $AlAs$ 又は $Al_xGa_{1-x}As$ ($0.8 \leq x \leq 1$) を含んでいてもよい。

前記面発光素子は、前記少なくとも1つの発光層は、互いに積層された複数の発光層であり、前記複数の発光層のうち少なくとも1組の隣り合う2つの発光層の間に配置されたトンネルジャンクション層を更に備えていてもよい。

前記隣り合う2つの発光層の一方と前記トンネルジャンクション層との間に前記所定の酸化狭窄層が配置されていてもよい。

前記トンネルジャンクション層の厚さ方向の所定位置が、前記節位置に一致していてもよい。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]比較例1の面発光レーザの断面図である。

[図2]比較例2の面発光レーザの断面図である。

[図3]比較例3の面発光レーザの断面図である。

[図4]本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子の断面図である。

[図5]本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子の平面図である。

[図6]図4の面発光素子のメサを抜き出して示す部分拡大図である。

[図7]本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子の製造方法の一例を説明するためのフローチャートである。

[図8]本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子の製造方法の一例の工程毎の断面図である。

[図9]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の製造方法の一例の工程毎の断面図である。

[図10]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の製造方法の一例の工程毎の断面図である。

[図11]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の製造方法の一例の工程毎の断面図である。

[図12]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の製造方法の一例の工程毎の断面図である。

[図13]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の製造方法の一例の工程毎の断面図である。

[図14]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の製造方法の一例の工程毎の断面図である。

[図15]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の製造方法の一例の工程毎の断面図である。

[図16]本技術の一実施形態の実施例 2 に係る面発光素子のメサを抜き出して示す部分拡大図である。

[図17]本技術の一実施形態の実施例 3 に係る面発光素子の断面図である。

[図18]図 1 7 の面発光素子のメサを抜き出して示す部分拡大図である。

[図19]本技術の一実施形態の実施例 4 に係る面発光素子の断面図である。

[図20]図 1 9 の面発光素子のメサを抜き出して示す部分拡大図である。

[図21]本技術の一実施形態の実施例 5 に係る面発光素子の断面図である。

[図22]本技術の一実施形態の実施例 6 に係る面発光素子の断面図である。

[図23]図 2 2 の面発光素子のメサを含む一部を抜き出して示す部分拡大図である。

[図24]本技術の一実施形態の実施例 7 に係る面発光素子のメサを含む一部を抜き出して示す部分拡大図である。

[図25]本技術の一実施形態の実施例 8 に係る面発光素子のメサを含む一部を抜き出して示す部分拡大図である。

[図26]本技術の一実施形態の実施例 9 に係る面発光素子のメサを含む一部を抜き出して示す部分拡大図である。

[図27]本技術の一実施形態の実施例 10 に係る面発光素子のメサを含む一部を抜き出して示す部分拡大図である。

[図28]本技術の一実施形態の実施例 11 に係る面発光素子のメサを含む一部を抜き出して示す部分拡大図である。

[図29]本技術の一実施形態の実施例 12 に係る面発光素子のメサを含む一部を抜き出して示す部分拡大図である。

[図30]本技術の一実施形態の実施例 13 に係る面発光素子のメサを抜き出して示す部分拡大図である。

[図31]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の作用を説明するための図（その 1）である。

[図32]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の作用を説明するための図（その 2）である。

[図33]本技術の一実施形態の変形例 1 に係る面発光素子のメサを抜き出して示す断面図である。

[図34]本技術の一実施形態の変形例 2 に係る面発光素子のメサを抜き出して示す断面図である。

[図35]本技術を適用し得る面発光素子の構成例を示す平面図である。

[図36]図 36 A は、図 35 の X－X 線断面図である。図 36 B は、図 35 の Y－Y 線断面図である。

[図37]本技術の一実施形態の実施例 1 に係る面発光素子の距離測定装置への適用例を示す図である。

[図38]車両制御システムの概略的な構成の一例を示すブロック図である。

[図39]距離測定装置の設置位置の一例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下に添付図面を参照しながら、本技術の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を

有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。以下に説明する実施形態は、本技術の代表的な実施形態を示したものであり、これにより本技術の範囲が狭く解釈されることはない。本明細書において、本技術に係る面発光素子が複数の効果を奏することが記載される場合でも、本技術に係る面発光素子は、少なくとも1つの効果を奏すればよい。本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものではなく、また他の効果があってもよい。

[0011] また、以下の順序で説明を行う。

0. 導入

1. 本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子
2. 本技術の一実施形態の実施例2に係る面発光素子
3. 本技術の一実施形態の実施例3に係る面発光素子
4. 本技術の一実施形態の実施例4に係る面発光素子
5. 本技術の一実施形態の実施例5に係る面発光素子
6. 本技術の一実施形態の実施例6に係る面発光素子
7. 本技術の一実施形態の実施例7に係る面発光素子
8. 本技術の一実施形態の実施例8に係る面発光素子
9. 本技術の一実施形態の実施例9に係る面発光素子
10. 本技術の一実施形態の実施例10に係る面発光素子
11. 本技術の一実施形態の実施例11に係る面発光素子
12. 本技術の一実施形態の実施例12に係る面発光素子
13. 本技術の一実施形態の実施例13に係る面発光素子
14. 本技術の変形例
15. 本技術を適用し得る面発光レーザの構成例
16. 電子機器への応用例
17. 面発光素子を距離測定装置に適用した例
18. 距離測定装置を移動体に搭載した例

[0012] <1. 導入>

[0013] 面発光レーザ (Vertical Cavity Surface Emitting Laser: VCSEL)、発光ダイオード (light emitting diode) 等の面発光素子は、小型、長寿命といった特長を活かし、様々な用途に応用されている。その中でも特に面発光レーザ (VCSEL) は、超小型化や高速動作の利点があり光通信や測距装置の光源として積極的な応用が進められている。

[0014] 図1に示す比較例1の面発光レーザC1では基板1上に、第1DBR (Distributed Bragg Reflector) 2、第1スペーサ層3、活性層4、第2スペーサ層6、酸化狭窄層5、第2DBR (Distributed Bragg Reflector) 7及びコンタクト層8がこの順に積層され、基板1の裏面に電極9が形成され、コンタクト層8の表面に電極10が形成されている。第1スペーサ層3、活性層4、第2スペーサ層6、酸化狭窄層5、第2DBR7及びコンタクト層8は含んでメサが構成されている。酸化狭窄層5は、材料となる被酸化層 (半導体層) が側面から中心に向かって一部酸化されることにより形成される。酸化狭窄層を有することにより、活性層4における電流分布を制御することができ、閾値電流の低下やスロープ効率の向上といった効果が得られる。

[0015] 一般的なVCSELでは酸化狭窄層が1層であることが多いが、VCSEL内に複数の酸化狭窄層を有することによって更なる発光効率向上効果が得られる。特に、活性層を複数有するMulti Junction (MJ) 構造を持つVCSEL (MJ-VCSEL) においては、活性層1層につき、その隣接層として酸化狭窄層1層を有することが望ましい。例えば、2StackのMJ-VCSELの場合、素子内に酸化狭窄層を1層有する場合と比較して、2層有するほうが発光効率を向上させることができる。

[0016] 酸化狭窄層は横方向の光閉じ込めにも寄与する。酸化狭窄層の酸化領域は酸化アルミニウム (Al_xO_y) であり、非酸化領域である半導体層に比べて屈折率が小さい。これにより、メサ内に横方向の実効屈折率差 Δn が生じ、光がメサ中央に閉じ込められる。一般的に、酸化狭窄層の厚さ方向の中央

位置を共振器内に生じる定在波の節位置に一致させることによって Δn は最小となる。 Δn と開口数NA (Numerical Aperture) には相関があるため、酸化狭窄層において所望のNAを得るためには設計上 Δn の値を制御する必要がある。これまで、 Δn を制御するために、酸化狭窄層の配置や形状に関して様々な提案が行われてきた。なお、NAはFFP (Far Field Pattern) と相関があることが知られている。

「実効屈折率差」は、共振器内を伝搬する光が実際に感じる屈折率差であり、「等価屈折率差」とも呼ばれる。

[0017] 例えば図2に示す比較例2の面発光レーザC2では、活性層4側とは反対側の面が傾斜している酸化狭窄層5を有する。酸化狭窄層5において、基本横モードに対しては酸化領域の厚さ方向の中心位置が定在波分布の節位置に一致する条件を満たすとともに、高次横モードに対しては酸化領域の厚さ方向の中心位置が定在波分布の節位置から正の方向へ変位した条件を満たしている。これにより、基本横モードに対する発振閾値利得を低く保ちつつ、高次横モードに対する発振閾値利得のみを増加させることができ、高出力の基本横モード発振を得ることができる。なお、図2において、符号11は配線、符号12は絶縁膜、符号13はバルク絶縁材料を示す。

[0018] 例えば図3に示す比較例3の面発光レーザC3では、酸化により形成された酸化狭窄層5及びモード調整部14を有している。電極10から活性層4に向かって電流が流れ、モード調整部14には電流が流れないため、モード調整部14の酸化領域を大きくすることができる。これにより高次モードを抑制し、高出力の基本横モードを得ることができる。

[0019] 以上の比較例1～3の面発光レーザC1～C3は、いずれも高次横モードを抑制し高強度の基本横モードを得ることを目的としており、これはNAとしては小さくなる方向である。発明者らは、このように安定的に低NAを得るための技術は過去に提案されているが安定的に高NAを得るための技術が未だ開発されていないことを見出した。これは、発明者らの第1の新規知見である。

[0020] 発明者らは、更に検討を進め、高NAを得るためには、定在波と酸化狭窄層との重なり部分を増加させることにより実効屈折率差 Δn の値を大きくする必要があり、これには大きく分けて2つの方法があることを見出した。これは、発明者らの第2の新規知見である。これら2つの方法の1つは酸化狭窄層の膜厚を厚くすること（前者）であり、もう1つは酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置を定在波の節位置から変位させること（後者）である。

[0021] 発明者らは、前者には以下のような問題があることを見出した。酸化狭窄層はAⅠ組成を有する被酸化層（例えばAⅠAs層又は高AⅠ組成のAⅠGaAs層）を酸化することにより形成されるが、その酸化プロセス（酸化工程）で体積収縮が起きる。この際、発生する内部応力に耐えきれず被酸化層とその上下の半導体層との界面からクラックが発生することがある。また、酸化工程ではクラックが発生しなかったとしても、その後の実装工程や信頼性試験でクラックが発生することがある。酸化狭窄層の膜厚が厚いほどこのようなクラック発生リスクが高まるため、信頼性の観点から酸化狭窄層の膜厚は薄い方が望ましい。これは、発明者らの第3の新規知見である。

[0022] 発明者らは、上記第2及び第3の新規知見から、クラックリスクを高めることなく高 Δn を得るために酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置を定在波の節位置からずらすこと（後者）が望ましいとの結論に至った。そして、発明者らは、これを具現化した面発光素子として、本技術に係る面発光素子を開発した。本技術に係る面発光素子によれば、クラックの発生を抑制しつつ酸化狭窄層における実効屈折率差を大きくすることが可能な面発光素子を提供することができる。酸化狭窄層における実効屈折率差を大きくすることは、該酸化狭窄層のNAを高くすることにつながる。

[0023] 以下、本技術に係る面発光素子の一実施形態の幾つかの実施例について図面を用いて詳細に説明する。以下、図1等の断面図において、適宜、上側を「上」、下側を「下」として説明する。

[0024] <1. 本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子>

図4は、本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子1000の断面

図である。図5は、本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子1000の平面図（上面図）である。図4は、図5の1-1線断面図である。

[0025] 《面発光素子の構成》

（全体構成）

本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子1000は、一例として、図4及び図5に示すように、垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL：Vertical Cavity Surface Emitting Laser）である。面発光素子1000は、一例として、表面出射型のVCSELである。面発光素子1000は、一例として、MJ（Multi Junction）構造を有する。

[0026] 面発光素子1000は、一例として、ドライバ（駆動回路）により駆動される。該ドライバは、一例として、電源と、該電源から面発光素子1000への通電のオンオフを制御するトランジスタとを含んで構成される。

[0027] 面発光素子1000は、一例として、第1半導体構造SS1を含む第1構造ST1と、該第1構造ST1と積層された、第2半導体構造SS2を含む第2構造ST2と、第1及び第2構造ST1、ST2の間に配置された、第1及び第2発光層103、109を含む第3半導体構造SS3と、第1構造ST1の第2構造ST2側とは反対側の表面である第1面（下面）と、第2構造ST2の第1構造ST1側とは反対側の表面である第2面（上面）との間で、第1及び第2発光層103、109と積層され且つ互いに積層された酸化狭窄層105、111とを備える。以下では、第1及び第2構造ST1、ST2が積層されている方向（上下方向）を「積層方向」とも呼ぶ。

[0028] 第1構造ST1は、一例として、第1半導体構造SS1に加えて、第1半導体構造SS1の第2半導体構造SS2側とは反対側（下側）に配置された基板100を含む。

[0029] 第1半導体構造SS1は、一例として、第1半導体多層膜反射鏡101を含んで構成される。

[0030] 第2半導体構造SS2は、一例として、第2半導体多層膜反射鏡112及

びコンタクト層 113 を含んで構成される。第 2 半導体多層膜反射鏡 112 及びコンタクト層 113 は、基板 100 側（下側）からこの順に積層されている。

[0031] 第 3 半導体構造 SS3 は、第 1 及び第 2 発光層 103、109 に加えて、第 1 クラッド層 102、第 2 クラッド層 104、第 3 クラッド層 106、トンネルジャンクション層 107、第 4 クラッド層 108 及び第 5 クラッド層 110 を含む。第 1 クラッド層 102、第 2 クラッド層 104、第 3 クラッド層 106、トンネルジャンクション層 107、第 4 クラッド層 108 及び第 5 クラッド層 110 は、基板 100 側（下側）からこの順に積層されている。

[0032] 第 1 及び第 2 クラッド層 102、104 の間に第 1 発光層 103 が配置されている。第 3 及び第 4 クラッド層 106、108 の間にトンネルジャンクション層 107 が配置されている。第 4 及び第 5 クラッド層 108、110 の間に第 2 発光層 109 が配置されている。第 2 クラッド層 104 と第 3 クラッド層 106 との間に酸化狭窄層 105 が配置されている。第 5 クラッド層 110 と第 2 半導体多層膜反射鏡 112 との間に酸化狭窄層 111 が配置されている。第 1 及び第 4 クラッド層 102、108 は、いずれも n 型半導体からなる。第 2、第 3 及び第 5 クラッド層 104、106、110 は、いずれも p 型半導体からなる。

[0033] すなわち、互いに積層された第 1 及び第 2 発光層 103、109 の間にトンネルジャンクション層 107 が配置されている。第 1 発光層 103 とトンネルジャンクション層 107 との間に酸化狭窄層 105 が配置されている。

[0034] 酸化狭窄層 105 は、主に第 1 発光層 103 の発光領域を設定する。第 1 発光層 103 の発光領域は、第 1 発光層 103 における電流が注入される領域（電流注入領域）であって発光する領域である。

[0035] 第 2 酸化狭窄層 111 は、主に第 2 発光層 109 の発光領域を設定する。第 2 発光層 109 の発光領域は、第 2 発光層 109 における電流が注入される領域（電流注入領域）であって発光する領域である。

[0036] 以上のように、面発光素子 1000 では、一例として、基板 100 上に第

1 半導体多層膜反射鏡 101 と、第1クラッド層 102 と、第1発光層 103 と、第2クラッド層 104 と、酸化狭窄層 105 と、第3クラッド層 106 と、トンネルジャンクション層 107 と、第4クラッド層 108 と、第2発光層 109 と、第5クラッド層 110 と、酸化狭窄層 111 と、第2半導体多層膜反射鏡 112 と、コンタクト層 113 とが基板 100 側（下側）からこの順に積層されている。

[0037] 面発光素子 1000 は、第1発光層 103 が導電型の異なる第1及び第2クラッド層 102、104 で積層方向に挟まれたダブルヘテロ構造を有し、第1発光層 103 で正孔と電子とを発光再結合（輻射再結合）させることができる。

[0038] 面発光素子 1000 は、第2発光層 109 が導電型の異なる第4及び第5クラッド層 108、110 で積層方向に挟まれたダブルヘテロ構造を有し、第2発光層 109 で正孔と電子とを発光再結合（輻射再結合）させることができる。

[0039] 面発光素子 1000 では、第1及び第2発光層 103、109 を含む第3半導体構造 SS3 と、該第3半導体構造 SS3 を積層方向に挟む第1及び第2半導体多層膜反射鏡 101、112 とを含んで、共振器が構成されている。面発光素子 1000 は、第2構造 ST2 の第2面側（上側）へレーザ光を出射する。

[0040] 面発光素子 1000 では、一例として、第2及び第3半導体構造 SS2、SS3 と、酸化狭窄層 105、111 とでメサ M1 が構成されている。ここでは、メサ M1 は、第1半導体構造 SS1 から上方に突出している。メサ M1 は「発光メサ」とも呼ばれる。ここでは、メサ M1 の平面視形状は円形である（図2参照）が、これに限らず、楕円形、多角形等の他の形状であってもよい。メサ M1 の直径は、一例として、数十 μm （例えば $20\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$ ）である。

[0041] メサ M1 の頂部上（詳しくはコンタクト層 113 上）には、周回状（例えばリング状）のアノード電極 115（p側電極）が平面視において各発光層

の発光領域を囲むように設けられている。

[0042] 一例として、メサM1と、第1半導体構造SS1の、メサM1の周辺の領域とが絶縁膜116で覆われている。絶縁膜116は、アノード電極115が配置されるコンタクトホール116aを有する。絶縁膜116上にアノード配線150がアノード電極115に接するように設けられている。アノード配線150にはアノード電極115の内径側の絶縁膜116を露出させる開口150aが設けられ、該開口150aが出射口となっている。アノード電極115は、ドライバの陽極側に電氣的に接続される。なお、アノード配線150がアノード電極115の内径部を露出させ、アノード電極115の内径側が出射口となってもよい。

[0043] 一例として、基板100の裏面（下面）に、ベタ状のカソード電極114（n側電極）が設けられている。カソード電極114は、ドライバの陰極側に電氣的に接続される。

[0044] 面発光素子1000は、一例として、実装基板（例えばドライバを有する駆動基板、ドライバに接続される配線基板等）に対してジャンクションアップで実装される。

[0045] （基板）

基板100は、一例として、GaAs基板（例えばn-GaAs基板）からなる。

[0046] （第1半導体多層膜反射鏡）

第1半導体多層膜反射鏡101（半導体DBR）は、一例として、n型不純物がドーピングされた半導体多層膜反射鏡であり、光吸収が少なく、高反射率と導電性とを有する。多層膜反射鏡は、分布ブラッグ反射鏡（DBR：Distributed Bragg Reflector）とも呼ばれる。第1半導体多層膜反射鏡101は、低屈折率層及び高屈折率層が交互に積層された積層構造であって、隣り合う低屈折率層及び高屈折率層の間に第1又は第2グレーデッド層（組成傾斜層）が配置された積層構造を有する。該積層構造では、低屈折率層、第1グレーデッド層、高屈折率層及び第2グレーデ

ッド層がこの順に積層された4層構造が複数積層されている。一例として、低屈折率層は $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{As}$ ($0 < x_1 \leq 1$) からなる。高屈折率層は $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{As}$ ($0 \leq x_2 < x_1$) からなる。第1グレーデッド層は、低屈折率層と接する一面から高屈折率層と接する他面に向かって低屈折率層の組成で始まって高屈折率層の組成で終わるように連続的に組成変化する。第2のグレーデッド層は、高屈折率層と接する一面から低屈折率層と接する他面に向かって高屈折率層の組成で始まって低屈折率層の組成で終わるように連続的に組成変化する。第1半導体多層膜反射鏡101のn型不純物(n型ドーパント)としては、例えばSi、Se、Ge等が挙げられる。第1半導体多層膜反射鏡101は、第2半導体多層膜反射鏡112よりも反射率が僅かに高く設定されている。なお、第1半導体多層膜反射鏡101において、第1及び第2グレーデッド層は必須ではない。

[0047] (第1クラッド層)

第1クラッド層102は、例えば $n\text{-Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{As}$ ($0 \leq x_3 < 1$) からなる。「第1クラッド層」は「第1スペーサ層」と呼んでもよい。第1クラッド層102のn型不純物(n型ドーパント)としては、例えばSi、Se、Ge等が挙げられる。

[0048] (第1発光層)

第1発光層103は、一例として、第1及び第2クラッド層102、104よりもバンドギャップエネルギーが小さい化合物半導体からなる。第1発光層103は、例えば、アンドープの $\text{In}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4}\text{As}$ ($0 < x_4 < 1$) からなる井戸層) 及びアンドープの $\text{Al}_{x_5}\text{Ga}_{1-x_5}\text{As}$ ($0 < x_5 < 1$) からなる障壁層が交互に積層された多重量子井戸構造を有する。第1発光層103は、多重量子井戸構造に代えて、量子井戸構造、量子細線構造、量子ドット構造のいずれかを有していてもよい。第1発光層103の発光波長は、例えば600~1100nm程度に設定されている。第1発光層103は「第1活性層」と呼んでもよい。第1発光層103は、厚さ方向の中央位置が、共振器内に生じる定在波の腹位置(腹の位置)に一致することが好ましい

。

[0049] (第2クラッド層)

第2クラッド層104は、例えば $p\text{-Al}_{x6}\text{Ga}_{1-x6}\text{As}$ ($0 \leq x6 < 1$) からなる。「第2クラッド層」は「第2スペーサ層」と呼んでもよい。第2クラッド層104のp型不純物(p型ドーパント)としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0050] (酸化狭窄層105)

酸化狭窄層105は、一例として、非酸化領域105aと、該非酸化領域105aを囲む酸化領域105b(絶縁領域)とを有する。

[0051] 非酸化領域105aは、第1発光層103の発光領域に対応する領域であり、電流・光通過領域として機能する。非酸化領域105aは、例えば $p\text{-Al}_{x7}\text{Ga}_{1-x7}\text{As}$ ($0 < x7 \leq 1$) からなる。 $x7 \geq 0.8$ であることが好ましく、 $x7 \geq 0.9$ であることがより好ましい。非酸化領域105aのp型不純物(p型ドーパント)としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0052] 酸化領域105bは、一例として、非酸化領域105aを囲む平面視周回状(例えばリング状)の領域である。酸化領域105bは、非酸化領域105aよりも高抵抗且つ低屈折率な領域であり、電流・光狭窄領域として機能する。酸化領域105bは、例えば、 Al_2O_3 (酸化アルミニウム)を含んで構成されており、例えば、高Al組成の被酸化層105S(例えば $p\text{-Al}_{x7}\text{Ga}_{1-x7}\text{As}$ 層($0 \leq x7 \leq 1$))を側面から選択酸化することにより得られる。

[0053] 酸化狭窄層105の厚さは、 $\lambda/2$ 以下であることが好ましく、 $\lambda/4$ 以下であることがより好ましく、 $\lambda/8$ 以下であることより好ましく、 $\lambda/16$ 以下であることがより好ましい。但し、 λ は共振器の発振波長

[0054] (第3クラッド層)

第3クラッド層106は、例えば $p\text{-Al}_{x8}\text{Ga}_{1-x8}\text{As}$ ($0 \leq x8 < 1$) からなる。「第3クラッド層」は「第3スペーサ層」と呼んでもよい。第

3クラッド層106のp型不純物（p型ドーパント）としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0055]（トンネルジャンクション層）

トンネルジャンクション層107は、第2発光層109を流れた電流をトンネル効果により電流値を変えずに第1発光層103へ流す機能を有する。トンネルジャンクション層107は、厚さ方向の所定位置（例えば中央位置）が定在波の節位置に一致することが好ましい。トンネルジャンクション層107は、例えば、p型ハイドロップ層（p++層）とn型ハイドロップ層（n++層）とが積層された構造を有する。p型ハイドロップ層は、例えば、高濃度の炭素（C）などのp型不純物を含むGaAs又はInGaAsからなり、n型ハイドロップ層は、例えば、高濃度のテルル（Te）などのn型不純物を含むGaAs又はInGaAsからなる。ここでは、p型ハイドロップ層がn型ハイドロップ層の基板100側（下側）に配置されている。

[0056]（第4クラッド層）

第4クラッド層108は、例えば $n\text{-Al}_{x9}\text{Ga}_{1-x9}\text{As}$ （ $0 \leq x9 < 1$ ）からなる。「第4クラッド層」は「第4スペーサ層」と呼んでもよい。第4クラッド層108のn型不純物（n型ドーパント）としては、例えばSi、Se、Ge等が挙げられる。

[0057]（第2発光層）

第2発光層109は、一例として、第4及び第5クラッド層108、110よりもバンドギャップエネルギーが小さい化合物半導体からなる。第2発光層109は、例えば、アンドープの $\text{In}_{x10}\text{Ga}_{1-x10}\text{As}$ （ $0 < x10 < 1$ ）からなる井戸層及びアンドープの $\text{Al}_{x11}\text{Ga}_{1-x11}\text{As}$ （ $0 < x11 < 1$ ）からなる障壁層が交互に積層された多重量子井戸構造を有する。第2発光層109は、多重量子井戸構造に代えて、量子井戸構造、量子細線構造、量子ドット構造のいずれかを有していてもよい。第2発光層109の発光波長は、第1発光層103の発光波長（例えば600～1100nm）と同一に設定されている。第2発光層109は「第2活性層」と呼んでもよい。第

2 発光層 109 は、厚さ方向の中央位置が、共振器内に生じる定在波の腹位置（腹の位置）に一致することが好ましい。

[0058] （第5クラッド層）

第5クラッド層 110 は、例えば $p\text{-Al}_{x12}\text{Ga}_{1-x12}\text{As}$ ($0 \leq x12 < 1$) からなる。「第5クラッド層」は「第5スペーサ層」と呼んでもよい。第5クラッド層 110 の p 型不純物（p 型ドーパント）としては、例えば Zn、Mg、Be、C 等が挙げられる。

[0059] （酸化狭窄層 111）

酸化狭窄層 111 は、一例として、非酸化領域 111a と、該非酸化領域 111a を囲む酸化領域 111b（絶縁領域）とを有する。

[0060] 非酸化領域 111a は、第2発光層 109 の発光領域に対応する領域であり、電流・光通過領域として機能する。非酸化領域 111a は、例えば $p\text{-Al}_{x13}\text{Ga}_{1-x13}\text{As}$ ($0 < x13 \leq 1$) からなる。 $x13 \geq 0.8$ であることが好ましく、 $x13 \geq 0.9$ であることがより好ましい。非酸化領域 111a の p 型不純物（p 型ドーパント）としては、例えば Zn、Mg、Be、C 等が挙げられる。

[0061] 酸化領域 111b は、一例として、非酸化領域 111a を囲む平面視周回状（例えばリング状）の領域である。酸化領域 111b は、非酸化領域 111a よりも高抵抗且つ低屈折率な領域であり、電流・光狭窄領域として機能する。酸化領域 111b は、例えば、 Al_2O_3 （酸化アルミニウム）を含んで構成されており、例えば、高 Al 組成の第2被酸化層 111S（例えば $p\text{-Al}_{x13}\text{Ga}_{1-x13}\text{As}$ 層 ($0 \leq x13 \leq 1$)) を側面から選択酸化することにより得られる。

[0062] 酸化狭窄層 111 の非酸化領域 111a は、一例として、酸化狭窄層 105 の非酸化領域 105a に対応する位置に位置している。酸化狭窄層 111 の酸化狭窄径（酸化領域 111b の内径）は、一例として、酸化狭窄層 105 の酸化狭窄径（酸化領域 105b の内径）と同一に設定されている。

[0063] 酸化狭窄層 111 の厚さは、 $\lambda/2$ 以下であることが好ましく、 $\lambda/4$ 以

下であることがより好ましく、 $\lambda/8$ 以下であることがより好ましく、 $\lambda/16$ 以下であることがより好ましい。但し、 λ は共振器の発振波長

[0064] (第2半導体多層膜反射鏡)

第2半導体多層膜反射鏡112(半導体DBR)は、一例として、p型不純物がドーパされた半導体多層膜反射鏡であり、光吸収が少なく、高反射率と導電性とを有する。多層膜反射鏡は、分布ブラッグ反射鏡(DBR: Distributed Bragg Reflector)とも呼ばれる。第2半導体多層膜反射鏡112は、低屈折率層及び高屈折率層が交互に積層された積層構造であって、隣り合う低屈折率層及び高屈折率層の間に第1又は第2グレーデッド層(組成傾斜層)が配置された積層構造を有する。該積層構造では、低屈折率層、第1グレーデッド層、高屈折率層及び第2グレーデッド層がこの順に積層された4層構造が複数積層されている。一例として、低屈折率層は $\text{Al}_{x14}\text{Ga}_{1-x14}\text{As}$ ($0 < x14 \leq 1$) からなる。高屈折率層は $\text{Al}_{x15}\text{Ga}_{1-x15}\text{As}$ ($0 \leq x15 < x14$) からなる。第1グレーデッド層は、低屈折率層と接する一面から高屈折率層と接する他面に向かって低屈折率層の組成で始まって高屈折率層の組成で終わるように連続的に組成変化する。第2のグレーデッド層は、高屈折率層と接する一面から低屈折率層と接する他面に向かって高屈折率層の組成で始まって低屈折率層の組成で終わるように連続的に組成変化する。第2半導体多層膜反射鏡112のp型不純物(p型ドーパント)としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。なお、第2半導体多層膜反射鏡112において、第1及び第2グレーデッド層は必須ではない。

[0065] (コンタクト層)

コンタクト層113は、アノード電極115と互いにオーミック接触させるための層である。コンタクト層113は、p型不純物が高濃度にドーパされたハイドーパ層であり、例えば $\text{p-Al}_{x16}\text{Ga}_{1-x16}\text{As}$ ($0 \leq x16 < 1$) からなる。コンタクト層113のp型不純物(p型ドーパント)としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0066] (絶縁膜)

絶縁膜 116 は、例えばポリイミド、 SiN 、 SiO_2 、 SiON 等の誘電体からなる。

[0067] (アノード電極)

アノード電極 115 は、一例として、非合金によって構成されており、例えば、 Ti 、 Pt 、 Au がコンタクト層 113 側からこの順に積層された構造を有する。

[0068] (アノード配線)

アノード配線 150 は、一例として、 Au 、 Ag 、 Cu 等を含むメッキからなる。

[0069] (カソード電極)

カソード電極 114 は、一例として、合金を含んで構成されており、例えば、 AuGe 、 Ni 、 Au を基板 100 側からこの順に積層された構造を有する。

[0070] (発光層及び酸化狭窄層の位置)

図 6 は、図 4 の面発光素子 1000 のメサ M1 を抜き出して示す部分拡大図である。第 1 発光層 103 は、一例として図 6 に示すように、厚さ方向の中央位置 CP103 が出射光（発振光）の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）の腹位置（腹の位置）と一致している。第 2 発光層 109 は、厚さ方向の中央位置 CP109 が出射光（発振光）の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）の腹位置（腹の位置）と一致している。

[0071] 酸化狭窄層 105 は、一例として、第 2 発光層 109 の、第 1 構造 ST1 の第 1 面側（下側）に配置された第 1 酸化狭窄層である。酸化狭窄層 111 は、一例として、第 2 発光層 109 の、第 2 構造 ST2 の第 2 面側（上側）に配置された第 2 酸化狭窄層である。

[0072] 酸化狭窄層 105 は、一例として、厚さ方向の中央位置 CP105 が出射光の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）における節位置（節の位置）と一致していない所定の酸化狭窄層である。具体的には、一例として、酸化

狭窄層 105 の厚さ方向の中央位置 CP105 が、該中央位置 CP105 から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置 NP105 の第 1 面側（下側）に位置している。

[0073] 酸化狭窄層 111 は、一例として、厚さ方向の中央位置 CP111 が出射光の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）における節位置（節の位置）と一致していない所定の酸化狭窄層である。具体的には、酸化狭窄層 111 の厚さ方向の中央位置 CP111 が、該中央位置 CP111 から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置 NP111 の第 2 面側（上側）に位置している。すなわち、酸化狭窄層 105、111 は、最寄りの節位置に対するずれ方向が互いに逆向きである。

[0074] ここでは、一例として、酸化狭窄層 105（当該所定の酸化狭窄層）は、厚さ方向の全域が、厚さ方向の中央位置 CP105 から最も近い、定在波の節位置 NP105 から外れている。一例として、酸化狭窄層 111（当該所定の酸化狭窄層）は、厚さ方向の全域が、厚さ方向の中央位置 CP111 から最も近い、定在波の節位置 NP111 から外れている。

[0075] 酸化狭窄層 105 の厚さ方向の中央位置 CP105 と該中央位置 CP105 から最も近い、定在波の節位置 NP105 との距離を t_1 、酸化狭窄層 105 の厚さ方向の中央位置 CP105 と第 2 発光層 109 の厚さ方向の中央位置 CP109 との距離 L_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 + t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）

[0076] 酸化狭窄層 111 の厚さ方向の中央位置 CP111 と該中央位置 CP111 から最も近い、定在波の節位置 NP111 との距離を t_2 、酸化狭窄層 111 の厚さ方向の中央位置 CP111 と第 2 発光層 109 の厚さ方向の中央位置 CP109 との距離 L_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 + t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）

[0077] 図 6 の例では、 $t_1 = t_2 = t$ （ $0 < t \leq \lambda / 4$ ）、 $n = m = k$ （ k は自然数、ここでは $k = 2$ ）となっている。これは、酸化狭窄層 105、111 が第 2 発光層 109 の厚さ方向の中央位置 CP109 に関して対称に配置さ

れていることを意味する。

[0078] すなわち、酸化狭窄層 105 の厚さ方向の中央位置 CP105 と第 2 発光層 109 の厚さ方向の中央位置 CP109 との距離と、酸化狭窄層 111 の厚さ方向の中央位置 CP111 と第 2 発光層 109 の厚さ方向の中央位置 CP109 との距離とが等しい。

[0079] 酸化狭窄層 105 の厚さ方向の中央位置 CP105 と第 1 発光層 103 の厚さ方向の中央位置 CP103 との距離を L_3 とすると、 i を自然数として、 $L_3 = (2i - 1)\lambda / 4 - t_3$ ($0 < t_3 \leq \lambda / 4$) が成立する。図 6 の例では、 $i = 2$ 、 $t_3 = t$ である。

[0080] 以上説明した面発光素子 1000 の構造的な特徴は、例えば、透過型電子顕微鏡分析 (TEM) や走査型透過型電子顕微鏡分析 (STEM) を用いた断面解析により判別することができる。

[0081] 《面発光素子の動作》

以下、面発光素子 1000 の動作について説明する。面発光素子 1000 にドライバの電源電圧が印加されると、ドライバの陽極側からアノード電極 115 を介してメサ M1 に電流が流入される。メサ M1 に流入された電流は、コンタクト層 113 及び第 2 半導体多層膜反射鏡 112 をこの順に介し、酸化狭窄層 111 で狭窄され、第 5 クラッド層 110 を介して第 2 発光層 109 に注入される。第 2 発光層 109 に注入された電流は、第 4 クラッド層 108、トンネルジャンクション層 107 及び第 3 クラッド層 106 をこの順に介し、酸化狭窄層 105 で狭窄され、第 2 クラッド層 104 を介して第 1 発光層 103 に注入される。第 1 及び第 2 発光層 103、109 の各々への電流注入により、第 1 及び第 2 発光層 103、109 が発光し、それらの光が第 1 及び第 2 半導体多層膜反射鏡 101、112 の間を酸化狭窄層 105、111 で狭窄され且つ第 1 及び第 2 発光層 103、109 で増幅されつつ往復し、発振条件を満たしたとき、メサ M1 の上面側へレーザ光として出射される。第 1 発光層 103 に注入された電流は、第 1 クラッド層 102、第 1 半導体多層膜反射鏡 101、基板 100 及びカソード電極 114 をこの

順に介してドライバの陰極側へ流出される。

[0082] 《面発光素子の製造方法》

以下、面発光素子1000の製造方法の一例について、図7のフローチャート等を参照して説明する。全体の流れとしては、先ず、半導体製造装置を用いた半導体製造方法により、基板100の基材である1枚のウェハ（以下では、便宜上「基板100」と呼ぶ）上に複数の面発光素子1000を同時に生成する。次いで、一連一体の複数の面発光素子1000をダイシング（例えばステルスダイシング）により互いに分離して、チップ状の面発光素子1000を得る。

[0083] 最初のステップS1では、積層体を生成する（図8参照）。具体的には、例えばMOCVD（Metal Organic Chemical Vapor Deposition：有機金属気相成長）法などのエピタキシャル結晶成長法により、成長基板としての基板100上に第1半導体多層膜反射鏡101、第1クラッド層102、第1発光層103、第2クラッド層104、被酸化層105S（（例えば $p\text{-Al}_{x7}\text{Ga}_{1-x7}\text{As}$ 層（ $0 \leq x7 \leq 1$ ）））、第3クラッド層106、トンネルジャンクション層107、第4クラッド層108、第2発光層109、第5クラッド層110、被酸化層111S（（例えば $p\text{-Al}_{x13}\text{Ga}_{1-x13}\text{As}$ 層（ $0 \leq x13 \leq 1$ ）））、第2半導体多層膜反射鏡112及びコンタクト層113をこの順に積層して積層体を生成する。積層体の生成の際、化合物半導体の原料としては、例えば、トリメチルアルミニウム（TMAI）、トリメチルガリウム（TMGa）、トリメチルインジウム（TMIn）などのメチル系有機金属ガスと、アルシン（ AsH_3 ）ガスを用い、ドナー不純物の原料としては、例えばジシラン（ Si_2H_6 ）を用い、アクセプタ不純物の原料としては、例えば四臭化炭素（ CBr_4 ）を用いる。

[0084] 次のステップS2では、メサを形成する（図9参照）。具体的には、先ず、フォトリソグラフィにより、積層体上にメサを形成するためのレジストパターンを形成する。次いで、該レジストパターンをマスクとして積層体をド

ライエッチング（例えばC l系ガスによるR l E（R e a c t i v e l o n E t c h i n g））によりエッチングする。このエッチングは、少なくとも被酸化層105Sの側面が露出するまで（例えばエッチング底面が第1半導体多層膜反射鏡101の上面に一致するまで）行う。この結果、メサが形成される。その後、レジストパターンを除去する。

[0085] 次のステップS3では、酸化狭窄層105、111を形成する（図10参照）。具体的には、積層体に形成されたメサを高温の水蒸気雰囲気中に曝して、メサの側面から被酸化層105S、111S（図9参照）の各々に含まれるAlを選択的に酸化する。または、ウェット酸化法により、メサの側面から被酸化層105S、111S（図9参照）の各々に含まれるAlを選択的に酸化する。この結果、非酸化領域105aが酸化領域105bで囲まれた酸化狭窄層105及び非酸化領域111aが酸化領域111bで囲まれた酸化狭窄層111が形成される。

[0086] 次のステップS4では、絶縁膜116を形成する。具体的には、先ず、絶縁膜116を全面に成膜する（図11参照）。絶縁膜116の成膜には、CVD（C h e m i c a l V a p o r D e p o s i t i o n）法を用いることが好ましい。その理由は、絶縁膜116は、第1半導体多層膜反射鏡101、第2半導体多層膜反射鏡112、酸化狭窄層105、酸化狭窄層111等の各構成要素と湿気との接触を防ぐものであるとともに、各構成要素（但し、コンタクト層113を除く）とアノード電極115とを電氣的に分離するものでもあるため、メサの側面に対する被膜性を高くする必要があるからである。より具体的には、絶縁膜116の成膜には、例えば、プラズマCVD法、熱CVD法などを利用することができる。また、絶縁膜116に平坦性を持たせるためにスピコート法などを用いてもよいが、被膜性を向上させるためにスピコート法の前後にCVD法を併用することが好ましい。次いで、フォトリソグラフィ及びエッチングにより、メサ上の絶縁膜116を選択的に除去して、コンタクト層113の一部を露出させる周回状（例えばリング状）のコンタクトホール116aを形成する（図12参照）。

[0087] 次のステップS5では、アノード電極115を形成する（図13参照）。
具体的には、例えば真空蒸着法、スパッタ法等により、コンタクトホール116a内に例えばTi、Pt及びAuをこの順に積層して、コンタクト層113に接する周回状（例えばリング状）のアノード電極115を形成する。

[0088] 次のステップS6では、アノード配線150を形成する（図14参照）。
具体的には、例えばメッキ法により、アノード配線150を、アノード電極115と接するように且つアノード電極115の内径側の絶縁膜116を露出させるように形成する。なお、メッキ法の実施に先立って、メッキされることとなる箇所予めシード層を形成しておくことが好ましい。

[0089] 最後のステップS7では、カソード電極114を形成する（図15参照）。
具体的には、基板100の裏面（下面）を研磨して全体の厚さを例えば100 μ m程度にした後、例えば真空蒸着法、スパッタ法等により、該裏面にAuとGeとの合金層（AuGe層）、Ni層及びAu層をこの順に積層してベタ状のカソード電極114を形成する。その後、絶縁膜116のダイシングされる部分を除去し、基板100上に一体に形成された複数の面発光素子1000をダイシング（例えばステルスダイシング）により互いに分離して、複数のチップ状の面発光素子1000を得る。

《面発光素子の効果》

以下、面発光素子1000の効果について説明する。

[0090] 面発光素子1000は、第1半導体構造SS1を含む第1構造ST1と、第1構造ST1と積層された、第2半導体構造SS2を含む第2構造ST2と、第1及び第2構造ST1、ST2の間に配置された第1及び第2発光層103、109と、第1構造ST1の第2構造ST2側とは反対側の表面である第1面と、第2構造ST2の第1構造ST1側とは反対側の表面である第2面との間で、第1及び第2発光層103、109と積層され且つ互いに積層された酸化狭窄層105、111と、を備え、酸化狭窄層105、111の各々は、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波における節位置と一致していない所定の酸化狭窄層である。

- [0091] 面発光素子 1000 では、酸化狭窄層 105、111 の各々の厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波の節位置と一致していないため、該中央位置が節位置と一致している場合と比べ、各酸化狭窄層の厚さを厚くすることなく該酸化狭窄層における実効屈折率差 Δn を大きくすることができる。高 Δn を得ることは高 NA を得ることにつながる。
- [0092] 結果として、面発光素子 1000 によれば、クラックの発生を抑制しつつ酸化狭窄層 105、111 の各々における実効屈折率差 Δn を大きくすることができる面発光素子を提供することができる。
- [0093] 酸化狭窄層 105、111 の各々は、厚さ方向の全域が定在波の節位置から外れている。これにより、各酸化狭窄層の厚さが薄い場合でも、該酸化狭窄層における実効屈折率差 Δn を十分に大きくすることができる。
- [0094] 各酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置との距離を t とすると、該中央位置と第 2 発光層 109 の厚さ方向の中央位置 CP109 との距離は、 k を自然数として、 $(2k-1)\lambda/4 + t$ である。これにより、第 2 発光層 109 の厚さ方向の中央位置 CP109 を定在波の腹位置に一致させ、且つ、各酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置を定在波の最寄りの節位置から距離 t だけずらすことができる。
- [0095] 酸化狭窄層 105 の厚さ方向の中央位置 CP105 が、該中央位置 CP105 から最も近い、定在波の節位置 NP105 の第 1 面側（下側）に位置し、酸化狭窄層 111 の厚さ方向の中央位置 CP111 が、該中央位置 CP111 から最も近い、定在波の節位置 NP111 の第 2 面側（上側）に位置する。この場合、酸化狭窄層 105 は最寄りの節位置 NP105 から距離 t だけ下方にずれ、酸化狭窄層 111 は最寄りの節位置 NP111 から距離 t だけ上方にずれているため、仮に製造時に実際のエピ膜厚が設計値からずれてしまい、酸化狭窄層 105、111 と定在波とが積層方向（出射方向）に例えば距離 u ($< t$) だけずれた場合でも、酸化狭窄層 105、111 の一方が最寄りの節位置に近づき、且つ、他方が最寄りの節位置から遠ざかるため（図 31、図 32 参照）、 Δn の設計値からのずれを抑制することができる。

。これにより、 NA の設計値に対して高いロバスト性を担保することができる。補足すると、図31の例では、当該ずれにより、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置 $CP105$ と最寄りの節位置 $NP105$ との距離が $t+u$ 、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置 $CP111$ と最寄りの節位置 $NP111$ との距離が $t-u$ となっている。図32の例では、図31の例とはずれ方向が逆であり、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置 $CP105$ と最寄りの節位置 $NP105$ との距離が $t-u$ 、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置 $CP111$ と最寄りの節位置 $NP111$ との距離が $t+u$ となっている。なお、図31の例及び図32の例も、実施例1のメサ $M1$ の一形態とすることができる。すなわち、図31の例では、 $t_1=t+u$ 、且つ、 $t_2=t-u$ の場合に相当する。図32の例では、 $t_1=t-u$ 、且つ、 $t_2=t+u$ の場合に相当する。例えば、 t_1 、 t_2 の設計値を t としたときに、図6の例は膜厚ずれが生じていない例、図31及び図32の例は膜厚ずれが生じている例と捉えることもできる。

[0096] 酸化狭窄層105、111は、偶数個の酸化狭窄層であるため、各発光層の厚さ方向の中央位置を定在波の腹位置に一致させつつ、全ての酸化狭窄層105、111を当該所定の酸化狭窄層（定在波の最寄りの節位置に厚さ方向の中央位置が一致していない酸化狭窄層）とすることができる。

[0097] 以上のように、面発光素子1000によれば、クラックの発生を抑制しつつ、高 NA が得られ、且つ、膜厚ずれに対して高いロバスト性を持つ、高出力且つ高効率のVCSELを提供することができる。

[0098] <2. 本技術の一実施形態の実施例2に係る面発光素子>

図16は、本技術の一実施形態の実施例2に係る面発光素子のメサ $M2$ を抜き出して示す断面図である。

[0099] 実施例2に係る面発光素子は、図16に示すように、各酸化狭窄層の、最寄りの節位置からのずれ方向が実施例1に係る面発光素子1000とは逆である点を除いて、実施例1に係る面発光素子1000と同様の構成を有する。

- [0100] 実施例2においても、酸化狭窄層105、111の各々は、一例として、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）における節位置（節の位置）と一致していない所定の酸化狭窄層である。
- [0101] 具体的には、実施例2では、一例として、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105が、該中央位置CP105から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置NP105の第2面側（上側）に位置し、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111が、該中央位置CP111から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置NP111の第1面側（下側）に位置している。すなわち、酸化狭窄層105、111は、最寄りの節位置に対するずれ方向が互いに逆向きである。
- [0102] ここでは、一例として、酸化狭窄層105（当該所定の酸化狭窄層）は、厚さ方向の中央位置CP105以外の位置が該中央位置CP105に最寄りの節位置NP105と一致している。一例として、酸化狭窄層111（当該所定の酸化狭窄層）は、厚さ方向の中央位置CP111以外の位置が該中央位置CP111に最寄りの節位置NP111と一致している。
- [0103] 酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と該中央位置CP105から最も近い、定在波の節位置NP105との距離を t_1 、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離 L_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 - t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）
- [0104] 酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と該中央位置CP111から最も近い、定在波の節位置NP111との距離を t_2 、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離 L_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 - t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）
- [0105] 図16の例では、 $t_1 = t_2 = t$ （ $0 < t \leq \lambda / 4$ ）、 $n = m = k$ （ k は自然数、ここでは $k = 2$ ）となっている。これは、酸化狭窄層105、111が第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109に関して対称に配置

されていることを意味する。

[0106] すなわち、酸化狭窄層 105 の厚さ方向の中央位置 CP105 と第 2 発光層 109 の厚さ方向の中央位置 CP109 との距離と、酸化狭窄層 111 の厚さ方向の中央位置 CP111 と第 2 発光層 109 の厚さ方向の中央位置 CP109 との距離とが等しい。

[0107] 酸化狭窄層 105 の厚さ方向の中央位置 CP105 と第 1 発光層 103 の厚さ方向の中央位置 CP103 との距離 L_3 とすると、 i を自然数として、 $L_3 = (2i - 1)\lambda / 4 + t_3$ ($0 < t_3 \leq \lambda / 4$) が成立する。図 16 の例では、 $i = 2$ 、 $t_3 = t$ である。

[0108] 実施例 2 に係る面発光素子によれば、実施例 1 に係る面発光素子 1000 と同様の効果が得られる。

[0109] <3. 本技術の一実施形態の実施例 3 に係る面発光素子>

図 17 は、本技術の一実施形態の実施例 3 に係る面発光素子 3000 の断面図である。図 18 は、本技術の一実施形態の実施例 3 に係る面発光素子 3000 のメサ M3 を抜き出して示す断面図である。

[0110] 面発光素子 3000 は、図 17 に示すように、第 1 ～第 3 発光層 103、109、117 を備えている。

[0111] 面発光素子 3000 は、第 4 クラッド層 108 と第 2 発光層 109 との間に第 3 発光層 117、第 6 クラッド層 118、トンネルジャンクション層 119、第 7 クラッド層 120 が第 4 クラッド層 108 側（下側）からこの順に積層されている点を除いて、実施例 1 に係る面発光素子 1000 と同様の構成を有する。すなわち、面発光素子 3000 では、第 1 及び第 3 発光層 103、117 の間にトンネルジャンクション層 107 が配置され、且つ、第 2 及び第 3 発光層 109、117 の間にトンネルジャンクション層 119 が配置されている。面発光素子 3000 では、酸化狭窄層 105、111 の間に発光層及びトンネルジャンクション層が交互に積層されている。

[0112] 第 3 発光層 117 は、一例として、第 4 及び第 6 クラッド層 108、118 よりもバンドギャップエネルギーが小さい化合物半導体からなる。第 3 発

光層 117 は、例えば、アンドープの $\text{In}_{x17}\text{Ga}_{1-x17}\text{As}$ ($0 < x17 < 1$) からなる井戸層及びアンドープの $\text{Al}_{x18}\text{Ga}_{1-x18}\text{As}$ ($0 < x18 < 1$) からなる障壁層が交互に積層された多重量子井戸構造を有する。第3発光層 117 は、多重量子井戸構造に代えて、量子井戸構造、量子細線構造、量子ドット構造のいずれかを有していてもよい。第3発光層 117 の発光波長は、第1及び第2発光層 103、109 の発光波長（例えば 600～1100 nm）と同一に設定されている。第3発光層 117 は「第3活性層」と呼んでもよい。第3発光層 117 は、厚さ方向の中央位置が、共振器内に生じる定在波の腹位置に一致することが好ましい。

[0113] 第6クラッド層 118 は、例えば $p\text{-Al}_{x19}\text{Ga}_{1-x19}\text{As}$ ($0 \leq x19 < 1$) からなる。「第6クラッド層」は「第6スペーサ層」と呼んでもよい。第6クラッド層 118 の p 型不純物（p 型ドーパント）としては、例えば Zn、Mg、Be、C 等が挙げられる。

[0114] トンネルジャンクション層 119 は、第2発光層 109 を流れた電流をトンネル効果により電流値を変えずに第3発光層 117 へ流す機能を有する。トンネルジャンクション層 119 は、厚さ方向の所定位置（例えば中央位置）が定在波の節位置に一致することが好ましい。トンネルジャンクション層 119 は、例えば、p 型ハイドロップ層（p++層）と n 型ハイドロップ層（n++層）とが積層された構造を有する。p 型ハイドロップ層は、例えば、高濃度の炭素（C）などの p 型不純物を含む GaAs 又は InGaAs からなり、n 型ハイドロップ層は、例えば、高濃度のテルル（Te）などの n 型不純物を含む GaAs 又は InGaAs からなる。ここでは、p 型ハイドロップ層が n 型ハイドロップ層の基板 100 側（下側）に配置されている。

[0115] ここでは、トンネルジャンクション層 107 は、第3発光層 117 を流れた電流をトンネル効果により電流値を変えずに第1発光層 103 へ流す機能を有する。

[0116] 第7クラッド層 120 は、例えば $n\text{-Al}_{x20}\text{Ga}_{1-x20}\text{As}$ ($0 \leq x20 < 1$) からなる。「第7クラッド層」は「第7スペーサ層」と呼んでもよい。

。第7クラッド層120のn型不純物（n型ドーパント）としては、例えばSi、Se、Ge等が挙げられる。

[0117] 実施例3においても、酸化狭窄層105、111の各々は、一例として、図18に示すように、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）における節位置（節の位置）と一致していない所定の酸化狭窄層である。

[0118] 具体的には、一例として、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105が、該中央位置CP105から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置NP105の第1面側（下側）に位置する。一例として、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111が、該中央位置CP111から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置NP111の第2面側（上側）に位置している。すなわち、酸化狭窄層105、111は、最寄りの節位置に対するずれ方向が互いに逆向きである。

[0119] ここでは、一例として、酸化狭窄層105（当該所定の酸化狭窄層）は、厚さ方向の中央位置CP105以外の位置が該中央位置CP105に最寄りの節位置NP105と一致している。一例として、酸化狭窄層111（当該所定の酸化狭窄層）は、厚さ方向の中央位置CP111以外の位置が該中央位置CP111に最寄りの節位置NP111と一致している。

[0120] 酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と該中央位置CP105から最も近い、定在波の節位置NP105との距離を t_1 、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第3発光層117の厚さ方向の中央位置CP117との距離を L_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1)\lambda / 4 + t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）

[0121] 酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と該中央位置CP111から最も近い、定在波の節位置NP111との距離を t_2 、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離を L_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1)\lambda / 4 + t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）

[0122] 図18の例では、 $t_1 = t_2 = t$ ($0 < t \leq \lambda/4$)、 $n = m = k$ (k は自然数、ここでは $k = 2$)となっている。

[0123] すなわち、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第3発光層117の厚さ方向の中央位置CP117との距離と、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離とが等しい。酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第3発光層117の厚さ方向の中央位置CP117との距離と、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と第3発光層117の厚さ方向の中央位置CP117との距離とが異なる。酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離と、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離とが異なる。ここでは、トンネルジャンクション層119の厚さ方向の中央位置に関して、酸化狭窄層105、111が対称に配置され、且つ、第2及び第3発光層109、117が対称に配置されている。

[0124] 酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第1発光層103の厚さ方向の中央位置CP103との距離を L_3 とすると、 i を自然数として、 $L_3 = (2i - 1)\lambda/4 - t_3$ ($0 < t_3 \leq \lambda/4$)が成立する。図18の例では、 $i = 2$ 、 $t_3 = t$ である。

[0125] 実施例3に係る面発光素子3000によれば、実施例1に係る面発光素子1000と同様の効果が得られるとともに、発光層が増設されているので更なる高出力化を図ることができる。

[0126] <4. 本技術の一実施形態の実施例4に係る面発光素子>

図19は、本技術の一実施形態の実施例4に係る面発光素子4000の断面図である。図20は、本技術の一実施形態の実施例4に係る面発光素子4000のメサM4を抜き出して示す断面図である。

[0127] 面発光素子4000は、図19に示すように、第1～第3発光層103、109、117と、3つの酸化狭窄層105、111、121とを備える。

[0128] 面発光素子4000は、第4クラッド層108と第2発光層109との間に第3発光層117、第6クラッド層118、酸化狭窄層121、第8クラッド層122、トンネルジャンクション層119、第7クラッド層120が第4クラッド層108側（下側）からこの順に積層されている点を除いて、実施例1に係る面発光素子1000と同様の構成を有する。すなわち、面発光素子3000では、第1及び第3発光層103、117の間にトンネルジャンクション層107が配置され、且つ、第2及び第3発光層109、117の間にトンネルジャンクション層119が配置され、且つ、第2及び第3発光層109、117の間に酸化狭窄層121が配置されている。

[0129] 第8クラッド層122は、例えば $p\text{-Al}_{x21}\text{Ga}_{1-x21}\text{As}$ ($0 \leq x21 < 1$) からなる。「第8クラッド層」は「第8スペーサ層」と呼んでもよい。第8クラッド層122のp型不純物（p型ドーパント）としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0130] 酸化狭窄層121は、一例として、非酸化領域121aと、該非酸化領域121aを囲む酸化領域121b（絶縁領域）とを有する。

[0131] 非酸化領域121aは、第2及び第3発光層109、117の発光領域に対応する領域であり、電流・光通過領域として機能する。非酸化領域121aは、例えば $p\text{-Al}_{x22}\text{Ga}_{1-x22}\text{As}$ ($0 < x22 \leq 1$) からなる。 $x22 \geq 0.8$ であることが好ましく、 $x22 \geq 0.9$ であることがより好ましい。非酸化領域121aのp型不純物（p型ドーパント）としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0132] 酸化領域121bは、一例として、非酸化領域121aを囲む平面視周回状（例えばリング状）の領域である。酸化領域121bは、非酸化領域121aよりも高抵抗且つ低屈折率な領域であり、電流・光狭窄領域として機能する。酸化領域121bは、例えば、 Al_2O_3 （酸化アルミニウム）を含んで構成されており、例えば、高Al組成の被酸化層（例えば $p\text{-Al}_{x23}\text{Ga}_{1-x23}\text{As}$ 層 ($0 \leq x23 \leq 1$)）を側面から選択酸化することにより得られる。

- [0133] 酸化狭窄層 1 2 1 の非酸化領域 1 2 1 a は、一例として、酸化狭窄層 1 0 5、1 1 1 の非酸化領域 1 0 5 a、1 1 1 a に対応する位置に位置している。酸化狭窄層 1 2 1 の酸化狭窄径（酸化領域 1 2 1 b の内径）は、一例として、酸化狭窄層 1 0 5、1 1 1 の酸化狭窄径（酸化領域 1 0 5 b、1 1 1 b の内径）と同一に設定されている。
- [0134] 酸化狭窄層 1 2 1 の厚さは、 $\lambda/2$ 以下であることが好ましく、 $\lambda/4$ 以下であることがより好ましく、 $\lambda/8$ 以下であることがより好ましく、 $\lambda/16$ 以下であることがより好ましい。但し、 λ は共振器の発振波長
- [0135] 実施例 4 では、図 20 に示すように、酸化狭窄層 1 0 5 が第 3 発光層 1 1 7 の第 1 面側（下側）に位置する第 1 酸化狭窄層であり、酸化狭窄層 1 2 1 が第 3 発光層 1 1 7 の第 2 面側（上側）に位置する第 2 酸化狭窄層である。酸化狭窄層 1 2 1 が第 2 発光層 1 0 9 の第 1 面側（下側）に位置する第 1 酸化狭窄層であり、酸化狭窄層 1 1 1 が第 2 発光層 1 0 9 の第 2 面側（上側）に位置する第 2 酸化狭窄層である。
- [0136] 実施例 4 では、第 3 発光層 1 1 7 に対応する（近接する）第 1 及び第 2 酸化狭窄層の一方（第 1 酸化狭窄層としての酸化狭窄層 1 0 5）と、第 2 発光層 1 0 9 に対応する（近接する）第 1 及び第 2 酸化狭窄層の一方（第 2 酸化狭窄層としての酸化狭窄層 1 1 1）とが、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）における節位置（節の位置）と一致していない所定の酸化狭窄層である。酸化狭窄層 1 2 1 は、厚さ方向の中央位置 C P 1 2 1 が定在波の節位置と一致している。
- [0137] 第 3 発光層 1 1 7 に対応する第 1 酸化狭窄層である酸化狭窄層 1 0 5 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 5 が、該中央位置 C P 1 0 5 から最も近い、定在波の節位置 N P 1 0 5 の第 1 面側（下側）に位置し、第 3 発光層 1 1 7 に対応する第 2 酸化狭窄層である酸化狭窄層 1 2 1 の厚さ方向の中央位置 C P 1 2 1 が定在波の節位置と一致している。
- [0138] 第 2 発光層 1 0 9 に対応する第 2 酸化狭窄層である酸化狭窄層 1 1 1 の厚さ方向の中央位置 C P 1 1 1 が、該中央位置 C P 1 1 1 から最も近い、定在

波の節位置NP111の第2面側（上側）に位置し、第2発光層109に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121が定在波の節位置と一致している。

[0139] 第3発光層117に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第3発光層117の厚さ方向の中央位置CP117との距離をL1、第3発光層117に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121と第3発光層117の厚さ方向の中央位置CP117との距離をL2、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と該中央位置CP105から最も近い、定在波の節位置NP105との距離をt1とすると、 n 、 m を自然数として、 $L1 = (2n - 1)\lambda / 4 + t1$ 、且つ、 $L2 = (2m - 1)\lambda / 4$ が成立する。但し、 $0 < t1 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）

[0140] 図20の例では、 $t1 = t$ （ $0 < t \leq \lambda / 4$ ）、 $n = m = k$ （ k は自然数、ここでは $k = 2$ ）となっている。

[0141] 第2発光層109に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121が定在波の節位置と一致し、第2発光層109に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111が、該中央位置CP111から最も近い、定在波の節位置NP111の第2面側（上側）に位置している。

[0142] 第2発光層109に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離をL1、第2発光層109に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離をL2、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と該中央位置CP111から最も近い、節位置NP111との距離をt2とすると、 n 、 m を自然数として、 $L1 = (2n - 1)\lambda / 4 + t2$ 、且つ、 $L2 = (2m - 1)\lambda / 4$ が成立する。但し、 $0 < t2 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）

[0143] 図20の例では、 $t_2 = t$ ($0 < t \leq \lambda/4$)

、 $n = m = k$ (k は自然数、ここでは $k = 2$)となっている。

[0144] 酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第1発光層103の厚さ方向の中央位置CP103との距離を L_3 とすると、 i を自然数として、 $L_3 = (2i - 1)\lambda/4 - t_3$ ($0 < t_3 \leq \lambda/4$)が成立する。図20の例では、 $i = 2$ 、 $t_3 = t$ である。

[0145] 実施例4に係る面発光素子4000によれば、実施例1に係る面発光素子1000と同様の効果が得られるとともに、発光層及び酸化狭窄層が増設されているので更なる高出力化及び高効率化を図ることができる。

[0146] <5. 本技術の一実施形態の実施例5に係る面発光素子>

図21は、本技術の一実施形態の実施例5に係る面発光素子5000の断面図である。

[0147] 面発光素子5000は、図21に示すように、裏面出射型であり、且つ、メサの導電型(p型及びn型)が反転された構成を有する点を除いて、実施例1に係る面発光素子1000と概ね同様の構成を有する。

[0148] 面発光素子5000では、基板100と第2半導体多層膜反射鏡112との間にコンタクト層113(例えば $p\text{-Al}_{x16}\text{Ga}_{1-x16}\text{As}$ 層($0 \leq x16 < 1$))設けられている。

[0149] ここでは、一例として、第2半導体多層膜反射鏡112、酸化狭窄層111、第5クラッド層110、第2発光層109、第4クラッド層108、トンネルジャンクション層107、第3クラッド層106、酸化狭窄層105、第2クラッド層104、第1発光層103、第1クラッド層102、第1半導体多層膜反射鏡101及びコンタクト層123が基板100側(下側)からこの順に積層され、メサM5が構成されている。コンタクト層123は、p型不純物が高濃度にドーピングされたハイドーピング層、例えば $p\text{-Al}_{x24}\text{Ga}_{1-x24}\text{As}$ ($0 \leq x24 < 1$)からなる。

[0150] メサM5の頂部上(詳しくはコンタクト層123上)の絶縁膜116に設けられたコンタクトホール116b内にベタ状のカソード電極114がコン

タクト層 1 2 3 とオーミック接触するように設けられている。

[0151] コンタクト層 1 1 3 のメサ M 5 の周辺の領域上の絶縁膜 1 1 6 にメサ M 5 を囲むように周回状（例えばリング状）に設けられたコンタクトホール 1 1 6 c 内に、周回状（例えばリング状）のアノード電極 1 1 5 がコンタクト層 1 1 3 にオーミック接触するように設けられている。すなわち、面発光素子 5 0 0 0 は、イントラキャビティ構造を有し、直列抵抗を低減することが可能である。面発光素子 5 0 0 0 では、例えば、基板 1 0 0 に半絶縁性の GaAs 基板を用いることもできる。

[0152] 実施例 5 に係る面発光素子 5 0 0 0 によれば、実施例 1 に係る面発光素子 1 0 0 0 と同様の効果が得られるとともに、裏面出射型の、低消費電力且つ高出力且つ高効率の VCSEL を提供することができる。

[0153] ＜ 6. 本技術の一実施形態の実施例 6 に係る面発光素子 ＞

図 2 2 は、本技術の一実施形態の実施例 6 に係る面発光素子 6 0 0 0 の断面図である。図 2 3 は、本技術の一実施形態の実施例 6 に係る面発光素子 6 0 0 0 のメサ M 6 を抜き出して示す断面図である。

[0154] 面発光素子 6 0 0 0 は、図 2 2 及び図 2 3 に示すように、第 3 クラッド層 1 0 6、トンネルジャンクション層 1 0 7、第 4 クラッド層 1 0 8、第 2 発光層 1 0 9 及び第 5 クラッド層 1 1 0 を有していない点を除いて、実施例 1 に係る面発光素子 1 0 0 0 と概ね同様の構成を有する。

[0155] すなわち、面発光素子 6 0 0 0 は、単一の発光層（第 1 発光層 1 0 3）を有する VCSEL である。

[0156] 面発光素子 6 0 0 0 では、第 1 半導体多層膜反射鏡 1 0 1 と第 1 クラッド層 1 0 2 との間に酸化狭窄層 1 0 5 が配置され、第 2 クラッド層 1 0 4 と第 2 半導体多層膜反射鏡 1 1 2 との間に酸化狭窄層 1 1 1 が配置されている。

[0157] 面発光素子 6 0 0 0 では、酸化狭窄層 1 0 5、第 1 クラッド層 1 0 2、第 1 発光層 1 0 3、第 2 クラッド層 1 0 4、酸化狭窄層 1 1 1、第 2 半導体多層膜反射鏡 1 1 2 及びコンタクト層 1 1 3 が基板 1 0 0 側（下側）からこの順に積層されて、メサ M 6 が構成されている。

- [0158] 実施例6においても、酸化狭窄層105、111の各々は、一例として、図23に示すように、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）における節位置（節の位置）と一致していない所定の酸化狭窄層である。
- [0159] 具体的には、一例として、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105が、該中央位置CP105から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置NP105の第2面側（上側）に位置し、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111が、該中央位置CP111から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置NP111の第1面側（下側）に位置している。すなわち、酸化狭窄層105、111は、最寄りの節位置に対するずれ方向が互いに逆向きである。
- [0160] ここでは、一例として、酸化狭窄層105（当該所定の酸化狭窄層）は、厚さ方向の中央位置CP105以外の位置（例えば最下位置）が該中央位置CP105に最寄りの節位置NP105と一致している。一例として、酸化狭窄層111（当該所定の酸化狭窄層）は、厚さ方向の中央位置CP111以外の位置（例えば最上位置）が該中央位置CP111に最寄りの節位置NP111と一致している。
- [0161] 酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と該中央位置CP105から最も近い、定在波の節位置NP105との距離を t_1 、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第1発光層103の厚さ方向の中央位置CP103との距離 L_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1)\lambda / 4 - t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）
- [0162] 酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と該中央位置CP111から最も近い、定在波の節位置NP111との距離を t_2 、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と第1発光層103の厚さ方向の中央位置CP103との距離 L_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1)\lambda / 4 - t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）
- [0163] 図23の例では、 $t_1 = t_2 = t$ （ $0 < t \leq \lambda / 4$ ）、 $n = m = k$ （ k は

自然数、ここでは $k = 2$) となっている。これは、酸化狭窄層 1 0 5、1 1 1 が第 1 発光層 1 0 3 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 3 に関して対称に配置されていることを意味する。

[0164] すなわち、酸化狭窄層 1 0 5 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 5 と第 1 発光層 1 0 3 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 3 との距離と、酸化狭窄層 1 1 1 の厚さ方向の中央位置 C P 1 1 1 と第 1 発光層 1 0 3 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 3 との距離とが等しい。

[0165] 実施例 6 に係る面発光素子 6 0 0 0 によれば、実施例 1 に係る面発光素子 1 0 0 0 と同様の効果が得られるとともに、簡素な構成を有する高効率の V C S E L を提供することができる。なお、実施例 6 において、酸化狭窄層 1 0 5、1 1 1 の一方のみが上記所定の酸化狭窄層であってもよい。

[0166] < 7. 本技術の一実施形態の実施例 7 に係る面発光素子 >

図 2 4 は、本技術の一実施形態の実施例 7 に係る面発光素子のメサ M 7 を抜き出して示す断面図である。

[0167] 実施例 7 に係る面発光素子は、図 2 4 に示すように、酸化狭窄層 1 0 5 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 5 が、該中央位置 C P 1 0 5 から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置 N P 1 0 5 の第 1 面側（下側）に位置し、酸化狭窄層 1 1 1 の厚さ方向の中央位置 C P 1 1 1 が、該中央位置 C P 1 1 1 から最も近い（最寄りの）、定在波の節位置 N P 1 1 1 の第 1 面側（上側）に位置している点を除いて、実施例 6 に係る面発光素子 6 0 0 0 と同様の構成を有する。

[0168] 実施例 7 では、酸化狭窄層 1 0 5 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 5 と該中央位置 C P 1 0 5 から最も近い、定在波の節位置 N P 1 0 5 との距離を t_1 、酸化狭窄層 1 0 5 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 5 と第 1 発光層 1 0 3 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 3 との距離 L_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 + t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0169] 実施例 7 では、酸化狭窄層 1 1 1 の厚さ方向の中央位置 C P 1 1 1 と該中

央位置C P 1 1 1 から最も近い、定在波の節位置N P 1 1 1 との距離を t_2 、酸化狭窄層 1 1 1 の厚さ方向の中央位置C P 1 1 1 と第 1 発光層 1 0 3 の厚さ方向の中央位置C P 1 0 3 との距離 L_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 + t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0170] 図 2 4 の例では、 $t_1 = t_2 = t$ ($0 < t \leq \lambda / 4$)、 $n = m = k$ (k は自然数、ここでは $k = 2$) となっている。これは、酸化狭窄層 1 0 5、1 1 1 が第 1 発光層 1 0 3 の厚さ方向の中央位置C P 1 0 3 に関して対称に配置されていることを意味する。

[0171] 実施例 7 に係る面発光素子によれば、実施例 6 に係る面発光素子 6 0 0 0 と同様の効果が得られる。

[0172] < 8. 本技術の一実施形態の実施例 8 に係る面発光素子 >

図 2 5 は、本技術の一実施形態の実施例 8 に係る面発光素子のメサ M 8 を抜き出して示す断面図である。

[0173] 実施例 8 に係る面発光素子は、図 2 5 に示すように、 $t_1 \neq t_2$ である点、例えば $t_1 > t_2$ である点を除いて、実施例 6 に係る面発光素子 6 0 0 0 と同様の構成を有する。なお、 $t_1 < t_2$ であってもよい。

[0174] 実施例 8 に係る面発光素子によれば、実施例 6 に係る面発光素子 6 0 0 0 と同様の効果が得られる。

[0175] < 9. 本技術の一実施形態の実施例 9 に係る面発光素子 >

図 2 6 は、本技術の一実施形態の実施例 9 に係る面発光素子のメサ M 9 を抜き出して示す断面図である。

[0176] 実施例 9 に係る面発光素子は、図 2 6 に示すように、 $t_1 \neq t_2$ である点、例えば $t_2 > t_1$ である点を除いて、実施例 7 に係る面発光素子と同様の構成を有する。なお、 $t_2 < t_1$ であってもよい。

[0177] 実施例 9 に係る面発光素子によれば、実施例 6 に係る面発光素子 6 0 0 0 と同様の効果が得られる。

[0178] < 1 0. 本技術の一実施形態の実施例 1 0 に係る面発光素子 >

図27は、本技術の一実施形態の実施例10に係る面発光素子のメサM10を抜き出して示す断面図である。

[0179] 実施例10に係る面発光素子は、図27に示すように、L1、L2において、 $n = m = k = 1$ である点を除いて、実施例7に係る面発光素子と同様の構成を有する。

[0180] 実施例10に係る面発光素子によれば、実施例6に係る面発光素子6000と同様の効果が得られる。

[0181] <11. 本技術の一実施形態の実施例11に係る面発光素子>

図28は、本技術の一実施形態の実施例11に係る面発光素子のメサM11を抜き出して示す断面図である。

[0182] 実施例11に係る面発光素子は、図28に示すように、L1、L2において、 $n = m = k = 1$ である点を除いて、実施例6に係る面発光素子と概ね同様の構成を有する。

[0183] 実施例11に係る面発光素子は、第1及び第2クラッド層102、104を有していないが、有していてもよい。

[0184] 実施例11に係る面発光素子によれば、実施例6に係る面発光素子6000と同様の効果が得られる。

[0185] <12. 本技術の一実施形態の実施例12に係る面発光素子>

図29は、本技術の一実施形態の実施例12に係る面発光素子のメサM12を抜き出して示す断面図である。

[0186] 実施例12に係る面発光素子は、図29に示すように、実施例4に係る面発光素子4000に発光層及び酸化狭窄層が1つずつ増設された構造を有する。具体的には、面発光素子4000は、メサM12において、第8クラッド層122とトンネルジャンクション層119との間にトンネルジャンクション層124、第9クラッド層125、第4発光層126、第10クラッド層127、酸化狭窄層128及び第11クラッド層129が第8クラッド層122側（下側）からこの順に積層されている点を除いて、実施例4に係る面発光素子4000と概ね同様の構成を有する。

- [0187] トンネルジャンクション層 124 は、第4発光層 126 を流れた電流をトンネル効果により電流値を変えずに第3発光層 117 へ流す機能を有する。トンネルジャンクション層 124 は、厚さ方向の所定位置が定在波の節位置に一致することが好ましい。トンネルジャンクション層 124 は、例えば、p型ハイドロップ層 (p++層) と n型ハイドロップ層 (n++層) とが積層された構造を有する。p型ハイドロップ層は、例えば、高濃度の炭素 (C) などの p 型不純物を含む GaAs 又は InGaAs であり、n型ハイドロップ層は、例えば、高濃度のテルル (Te) などの n 型不純物を含む GaAs 又は InGaAs である。ここでは、p型ハイドロップ層が n型ハイドロップ層の第1面側 (下側) に配置されている。
- [0188] 第9クラッド層 125 は、例えば $n\text{-Al}_{x25}\text{Ga}_{1-x25}\text{As}$ ($0 \leq x25 < 1$) からなる。「第9クラッド層」は「第9スペーサ層」と呼んでもよい。第9クラッド層 125 の n 型不純物 (n 型ドーパント) としては、例えば Si、Se、Ge 等が挙げられる。
- [0189] 第4発光層 126 は、一例として、第9及び第10クラッド層 125、127 よりもバンドギャップエネルギーが小さい化合物半導体からなる。第4発光層 126 は、例えば、アンドープの $\text{In}_{x26}\text{Ga}_{1-x26}\text{As}$ ($0 < x26 < 1$) からなる井戸層及びアンドープの $\text{Al}_{x27}\text{Ga}_{1-x27}\text{As}$ ($0 < x27 < 1$) からなる障壁層が交互に積層された多重量子井戸構造を有する。第4発光層 126 は、多重量子井戸構造に代えて、量子井戸構造、量子細線構造、量子ドット構造のいずれかを有していてもよい。第4発光層 126 の発光波長は、第1～第3発光層 103、109、117 の発光波長 (例えば 600～1100 nm) と同一に設定されている。第4発光層 126 は「第4活性層」と呼んでもよい。第4発光層 126 は、厚さ方向の中央位置 CP126 が、共振器内に生じる定在波の腹位置に一致することが好ましい。
- [0190] 第10クラッド層 127 は、例えば $p\text{-Al}_{x28}\text{Ga}_{1-x28}\text{As}$ ($0 \leq x28 < 1$) からなる。「第10クラッド層」は「第10スペーサ層」と呼んでもよい。第10クラッド層 127 の p 型不純物 (p 型ドーパント) としては

、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0191] 酸化狭窄層128は、一例として、非酸化領域と、該非酸化領域を囲む酸化領域（絶縁領域）とを有する。

[0192] 当該非酸化領域は、第2及び第4発光層109、126の発光領域に対応する部分であり、電流・光通過領域として機能する。当該非酸化領域は、例えば $p\text{-Al}_{x29}\text{Ga}_{1-x29}\text{As}$ （ $0 < x29 \leq 1$ ）からなる。 $x29 \geq 0.8$ であることが好ましく、 $x29 \geq 0.9$ であることがより好ましい。当該非酸化領域のp型不純物（p型ドーパント）としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0193] 当該酸化領域は、一例として、当該非酸化領域を囲む平面視周回状（例えばリング状）の領域である。当該酸化領域は、当該非酸化領域よりも高抵抗且つ低屈折率な領域であり、電流・光狭窄領域として機能する。当該酸化領域は、例えば、 Al_2O_3 （酸化アルミニウム）を含んで構成されており、例えば、高Al組成の被酸化層（例えば $p\text{-Al}_{x30}\text{Ga}_{1-x30}\text{As}$ 層（ $0 \leq x30 \leq 1$ ））を側面から選択酸化することにより得られる。

[0194] 酸化狭窄層128の非酸化領域は、一例として、酸化狭窄層105、111、121の非酸化領域105a、111a、121aに対応する位置に位置している。酸化狭窄層128の酸化狭窄径（酸化領域の内径）は、一例として、酸化狭窄層105、111、121の酸化狭窄径（酸化領域105b、111b、121bの内径）と同一に設定されている。

[0195] 酸化狭窄層128の厚さは、 $\lambda/2$ 以下であることが好ましく、 $\lambda/4$ 以下であることがより好ましく、 $\lambda/8$ 以下であることより好ましく、 $\lambda/16$ 以下であることがより好ましい。但し、 λ は共振器の発振波長

[0196] 実施例12では、酸化狭窄層105が第3発光層117の第1面側（下側）に位置する第1酸化狭窄層であり、酸化狭窄層121が第3発光層117の第2面側（上側）に位置する第2酸化狭窄層である。酸化狭窄層121が第4発光層126の第1面側（下側）に位置する第1酸化狭窄層であり、酸化狭窄層128が第4発光層126の第2面側（上側）に位置する第2酸化

狭窄層である。酸化狭窄層 1 2 8 が第 2 発光層 1 0 9 の第 1 面側（下側）に位置する第 1 酸化狭窄層であり、酸化狭窄層 1 1 1 が第 2 発光層 1 0 9 の第 2 面側（上側）に位置する第 2 酸化狭窄層である。

[0197] 実施例 1 2 では、第 3 発光層 1 1 7 に対応する（近接する）第 1 及び第 2 酸化狭窄層（酸化狭窄層 1 0 5、1 2 1）と、第 4 発光層 1 2 6 に対応する（近接する）第 1 及び第 2 酸化狭窄層（酸化狭窄層 1 2 1、1 2 8）と、第 2 発光層 1 0 9 に対応する（近接する）第 1 及び第 2 酸化狭窄層（酸化狭窄層 1 2 8、1 1 1）とが、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）における節位置（節の位置）と一致していない所定の酸化狭窄層である。

[0198] 第 3 発光層 1 1 7 に対応する第 1 酸化狭窄層である酸化狭窄層 1 0 5 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 5 が、該中央位置 C P 1 0 5 から最も近い、定在波の節位置 N P 1 0 5 の第 1 面側（下側）に位置し、第 3 発光層 1 1 7 に対応する第 2 酸化狭窄層である酸化狭窄層 1 2 1 の厚さ方向の中央位置 C P 1 2 1 が、該中央位置 C P 1 2 1 から最も近い、定在波の節位置 N P 1 2 1 の第 2 面側（上側）に位置する。

[0199] 第 3 発光層 1 1 7 に対応する第 1 酸化狭窄層である酸化狭窄層 1 0 5 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 5 と第 3 発光層 1 1 7 の厚さ方向の中央位置 C P 1 1 7 との距離を L_1 、酸化狭窄層 1 0 5 の厚さ方向の中央位置 C P 1 0 5 と該中央位置 C P 1 0 5 から最も近い、定在波の節位置 N P 1 0 5 との距離を t_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1)\lambda / 4 + t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）

[0200] 第 3 発光層 1 1 7 に対応する第 2 酸化狭窄層である酸化狭窄層 1 2 1 の厚さ方向の中央位置 C P 1 2 1 と第 3 発光層 1 1 7 の厚さ方向の中央位置 C P 1 1 7 との距離を L_2 、酸化狭窄層 1 2 1 の厚さ方向の中央位置 C P 1 2 1 と該中央位置 C P 1 2 1 から最も近い、定在波の節位置 N P 1 2 1 との距離を t_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1)\lambda / 4 + t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）

[0201] ここでは、 $t_1 = t_2 = t$ ($0 < t \leq \lambda / 4$)、 $n = m = k$ (k は自然数、ここでは $k = 2$) となっている。すなわち、 $L_1 = L_2$ が成立する。

[0202] 第4発光層126に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121が、該中央位置CP121から最も近い、定在波の節位置NP121の第2面側（上側）に位置し、第4発光層126に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128が、該中央位置CP128から最も近い、定在波の節位置NP128の第1面側（下側）に位置する。

[0203] 第4発光層126に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121と第4発光層126の厚さ方向の中央位置CP126との距離を L_1 、酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121と該中央位置CP121から最も近い、定在波の節位置NP121との距離を t_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 - t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0204] 第4発光層126に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128と第4発光層126の厚さ方向の中央位置CP126との距離を L_2 、酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128と該中央位置CP128から最も近い、定在波の節位置NP128との距離を t_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 - t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0205] ここでは、 $t_1 = t_2 = t$ ($0 < t \leq \lambda / 4$)、 $n = m = k$ (k は自然数、ここでは $k = 2$) となっている。すなわち、 $L_1 = L_2$ が成立する。

[0206] 第2発光層109に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128が、該中央位置CP128から最も近い、定在波の節位置NP128の第1面側（下側）に位置し、第2発光層109に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111が、該中央位置CP111から最も近い、定在波の節位置NP111の第2面側（上側）に位置する。

[0207] 第2発光層109に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離を L_1 、酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128と該中央位置CP128から最も近い、定在波の節位置NP128との距離を t_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1)\lambda / 4 + t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0208] 第2発光層109に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離を L_2 、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と該中央位置CP111から最も近い、定在波の節位置NP111との距離を t_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1)\lambda / 4 + t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0209] ここでは、 $t_1 = t_2 = t$ ($0 < t \leq \lambda / 4$)、 $n = m = k$ (k は自然数、ここでは $k = 2$)となっている。すなわち、 $L_1 = L_2$ が成立する。

[0210] 酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第1発光層103の厚さ方向の中央位置CP103との距離を L_3 とすると、 i を自然数として、 $L_3 = (2i - 1)\lambda / 4 - t_3$ ($0 < t_3 \leq \lambda / 4$)が成立する。図29の例では、 $i = 2$ 、 $t_3 = t$ である。

[0211] 実施例12に係る面発光素子によれば、実施例4に係る面発光素子400と同様の効果が得られるとともに、発光層及び酸化狭窄層が増設されているので更なる高出力化及び高効率化を図ることができる。

[0212] <13. 本技術の一実施形態の実施例13に係る面発光素子>

図30は、本技術の一実施形態の実施例13に係る面発光素子のメサM13を抜き出して示す断面図である。

[0213] 実施例13に係る面発光素子は、図30に示すように、実施例12に係る面発光素子に発光層及び酸化狭窄層が1つずつ増設された構造を有する。具体的には、実施例13に係る面発光素子は、メサM13において、第11クラッド層129とトンネルジャンクション層119との間にトンネルジャン

クション層 130、第 12 クラッド層 131、第 5 発光層 132、第 13 クラッド層 133、酸化狭窄層 134 及び第 14 クラッド層 135--が第 11 クラッド層 129 側（下側）からこの順に積層されている点を除いて、実施例 12 に係る面発光素子と概ね同様の構成を有する。

[0214] トンネルジャンクション層 130 は、第 5 発光層 132 を流れた電流をトンネル効果により電流値を変えずに第 4 発光層 126 へ流す機能を有する。トンネルジャンクション層 130 は、例えば、p 型ハイドロップ層（p++層）と n 型ハイドロップ層（n++層）とが積層された構造を有する。p 型ハイドロップ層は、例えば、高濃度の炭素（C）などの p 型不純物を含む GaAs 又は InGaAs であり、n 型ハイドロップ層は、例えば、高濃度のテルル（Te）などの n 型不純物を含む GaAs 又は InGaAs である。ここでは、p 型ハイドロップ層が n 型ハイドロップ層の第 1 面側（下側）に配置されている。

[0215] 第 12 クラッド層 131 は、例えば $n\text{-Al}_{x31}\text{Ga}_{1-x31}\text{As}$ ($0 \leq x31 < 1$) からなる。「第 12 クラッド層」は「第 12 スペーサ層」と呼んでもよい。第 12 クラッド層 131 の n 型不純物（n 型ドーパント）としては、例えば Si、Se、Ge 等が挙げられる。

[0216] 第 5 発光層 132 は、一例として、第 12 及び第 13 クラッド層 131、133 よりもバンドギャップエネルギーが小さい化合物半導体からなる。第 5 発光層 132 は、例えば、アンドープの $\text{In}_{x32}\text{Ga}_{1-x32}\text{As}$ ($0 < x32 < 1$) からなる井戸層及びアンドープの $\text{Al}_{x33}\text{Ga}_{1-x33}\text{As}$ ($0 < x33 < 1$) からなる障壁層が交互に積層された多重量子井戸構造を有する。第 5 発光層 132 は、多重量子井戸構造に代えて、量子井戸構造、量子細線構造、量子ドット構造のいずれかを有していてもよい。第 5 発光層 132 の発光波長は、第 1～第 4 発光層 103、109、117、126 の発光波長（例えば 600～1100 nm）と同一に設定されている。第 5 発光層 132 は「第 5 活性層」と呼んでもよい。第 5 発光層 132 は、厚さ方向の中央位置 CP132 が、共振器内に生じる定在波の腹位置に一致することが好まし

い。

[0217] 第13クラッド層133は、例えば $p\text{-Al}_{x34}\text{Ga}_{1-x34}\text{As}$ ($0 \leq x34 < 1$) からなる。「第13クラッド層」は「第13スペーサ層」と呼んでもよい。第13クラッド層133のp型不純物（p型ドーパント）としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0218] 酸化狭窄層134は、一例として、非酸化領域と、該非酸化領域を囲む酸化領域（絶縁領域）とを有する。

[0219] 当該非酸化領域は、第2及び第5発光層109、132の発光領域に対応する部分であり、電流・光通過領域として機能する。当該非酸化領域は、例えば $p\text{-Al}_{x35}\text{Ga}_{1-x35}\text{As}$ ($0 < x35 \leq 1$) からなる。 $x35 \geq 0.8$ であることが好ましく、 $x35 \geq 0.9$ であることがより好ましい。当該非酸化領域のp型不純物（p型ドーパント）としては、例えばZn、Mg、Be、C等が挙げられる。

[0220] 当該酸化領域は、一例として、当該非酸化領域を囲む平面視周回状（例えばリング状）の領域である。当該酸化領域は、当該非酸化領域よりも高抵抗且つ低屈折率な領域であり、電流・光狭窄領域として機能する。当該酸化領域は、例えば、 Al_2O_3 （酸化アルミニウム）を含んで構成されており、例えば、高Al組成の被酸化層（例えば $p\text{-Al}_{x36}\text{Ga}_{1-x36}\text{As}$ 層 ($0 \leq x36 \leq 1$)) を側面から選択酸化することにより得られる。

[0221] 酸化狭窄層134の非酸化領域は、一例として、酸化狭窄層105、111、121、128の非酸化領域に対応する位置に位置している。酸化狭窄層134の酸化狭窄径（酸化領域の内径）は、一例として、酸化狭窄層105、111、121、128の酸化狭窄径（酸化領域の内径）と同一に設定されている。

[0222] 酸化狭窄層134の厚さは、 $\lambda/2$ 以下であることが好ましく、 $\lambda/4$ 以下であることがより好ましく、 $\lambda/8$ 以下であることがより好ましく、 $\lambda/16$ 以下であることがより好ましい。但し、 λ は共振器の発振波長

[0223] 実施例13では、酸化狭窄層105が第3発光層117の第1面側（下側

）に位置する第1酸化狭窄層であり、酸化狭窄層121が第3発光層117の第2面側（上側）に位置する第2酸化狭窄層である。酸化狭窄層121が第4発光層126の第1面側（下側）に位置する第1酸化狭窄層であり、酸化狭窄層128が第4発光層126の第2面側（上側）に位置する第2酸化狭窄層である。酸化狭窄層128が第5発光層132の第1面側（下側）に位置する第1酸化狭窄層であり、酸化狭窄層134が第5発光層132の第2面側（上側）に位置する第2酸化狭窄層である。酸化狭窄層134が第2発光層109の第1面側（下側）に位置する第1酸化狭窄層であり、酸化狭窄層111が第2発光層109の第2面側（上側）に位置する第2酸化狭窄層である。

[0224] 実施例13では、第3発光層117に対応する（近接する）第1及び第2酸化狭窄層（酸化狭窄層105、121）と、第4発光層126に対応する（近接する）第1酸化狭窄層（酸化狭窄層121）と、第5発光層132に対応する（近接する）第2酸化狭窄層（酸化狭窄層134）と、第2発光層109に対応する（近接する）第1及び第2酸化狭窄層（酸化狭窄層134、111）とが、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波（共振器内に生じる定在波）における節位置（節の位置）と一致していない所定の酸化狭窄層である。第4発光層126に対応する（近接する）第2酸化狭窄層であり、且つ、第5発光層132に対応する（近接する）第1酸化狭窄層である酸化狭窄層128は、厚さ方向の中央位置が定在波の節位置に一致する。

[0225] 第3発光層117に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105が、該中央位置CP105から最も近い、定在波の節位置NP105の第1面側（下側）に位置し、第3発光層117に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121が、該中央位置CP121から最も近い、定在波の節位置NP121の第2面側（上側）に位置する。

[0226] 第3発光層117に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第3発光層117の厚さ方向の中央位置CP

117との距離を L_1 、酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と該中央位置CP105から最も近い、定在波の節位置NP105との距離を t_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1)\lambda / 4 + t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0227] 第3発光層117に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121と第3発光層117の厚さ方向の中央位置CP117との距離を L_2 、酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121と該中央位置CP121から最も近い、定在波の節位置NP121との距離を t_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1)\lambda / 4 + t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0228] ここでは、 $t_1 = t_2 = t$ ($0 < t \leq \lambda / 4$)、 $n = m = k$ (k は自然数、ここでは $k = 2$)となっている。すなわち、 $L_1 = L_2$ となっている。

[0229] 第4発光層126に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121が、該中央位置CP121から最も近い、定在波の節位置NP121の第2面側（上側）に位置し、第4発光層126に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128が定在波の節位置に一致する。

[0230] 第4発光層126に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121と第4発光層126の厚さ方向の中央位置CP126との距離を L_1 、酸化狭窄層121の厚さ方向の中央位置CP121と該中央位置CP121から最も近い、定在波の節位置NP121との距離を t_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1)\lambda / 4 - t_1$ が成立する。但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0231] 第4発光層126に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128と第4発光層126の厚さ方向の中央位置CP126との距離を L_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1)\lambda / 4$ が成立する。

[0232] ここでは、 $t_1 = t$ ($0 < t \leq \lambda / 4$)、 $n = m = k$ (k は自然数、ここ

では $k = 2$ ）となっている。すなわち、 $L_1 \neq L_2$ となっている。

[0233] 第5発光層132に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128が定在波の節位置に一致し、第5発光層132に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層134の厚さ方向の中央位置CP134が、該中央位置CP134から最も近い、定在波の節位置NP134の第1面側（下側）に位置する。

[0234] 第5発光層132に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層128の厚さ方向の中央位置CP128と第5発光層132の厚さ方向の中央位置CP132との距離を L_1 とすると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1)\lambda / 4$ が成立する。

[0235] 第5発光層132に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層134の厚さ方向の中央位置CP134と第5発光層132の厚さ方向の中央位置CP132との距離を L_2 、酸化狭窄層134の厚さ方向の中央位置CP134と該中央位置CP134から最も近い、定在波の節位置NP134との距離を t_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1)\lambda / 4 - t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ （ λ ：発振波長）

[0236] ここでは、 $t_2 = t$ （ $0 < t \leq \lambda / 4$ ）、 $n = m = k$ （ k は自然数、ここでは $k = 2$ ）となっている。すなわち、 $L_1 \neq L_2$ となっている。

[0237] 第2発光層109に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層134の厚さ方向の中央位置CP134が、該中央位置CP134から最も近い、定在波の節位置NP134の第1面側（下側）に位置し、第2発光層109に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111が、該中央位置CP111から最も近い、定在波の節位置NP111の第2面側（上側）に位置する。

[0238] 第2発光層109に対応する第1酸化狭窄層である酸化狭窄層134の厚さ方向の中央位置CP134と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離を L_1 、酸化狭窄層134の厚さ方向の中央位置CP134と該中央位置CP134から最も近い、節位置NP134との距離を t_1 と

すると、 n を自然数として、 $L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 + t_1$ が成立する。

但し、 $0 < t_1 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0239] 第2発光層109に対応する第2酸化狭窄層である酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と第2発光層109の厚さ方向の中央位置CP109との距離を L_2 、酸化狭窄層111の厚さ方向の中央位置CP111と該中央位置CP111から最も近い、定在波の節位置NP111との距離を t_2 とすると、 m を自然数として、 $L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 + t_2$ が成立する。但し、 $0 < t_2 \leq \lambda / 4$ (λ : 発振波長)

[0240] ここでは、 $t_1 = t_2 = t$ ($0 < t \leq \lambda / 4$)、 $n = m = k$ (k は自然数、ここでは $k = 2$)となっている。すなわち、 $L_1 = L_2$ となっている。

[0241] 酸化狭窄層105の厚さ方向の中央位置CP105と第1発光層103の厚さ方向の中央位置CP103との距離を L_3 とすると、 i を自然数として、 $L_3 = (2i - 1) \lambda / 4 - t_3$ ($0 < t_3 \leq \lambda / 4$)が成立する。ここでは、 $i = 2$ 、 $t_3 = t$ である。

[0242] 実施例13に係る面発光素子によれば、実施例12に係る面発光素子と同様の効果が得られるとともに、発光層及び酸化狭窄層が増設されているので更なる高出力化及び高効率化を図ることができる。

[0243] <14. 本技術の変形例>

本技術は、上記一実施形態の各実施例に限らず、適宜変更可能である。

[0244] 例えば図33に示す一実施形態の実施例7の変形例1に係る面発光素子のように、メサMM1の L_1 、 L_2 において、 $n \neq m$ (例えば $n > m$)、且つ、 $t_1 = t_2 = t$ であってもよい。なお、メサMM1の L_1 、 L_2 において、 $n < m$ 、且つ、 $t_1 = t_2 = t$ であってもよい。

[0245] 例えば図34に示す一実施形態の実施例7の変形例2に係る面発光素子のように、メサMM2の L_1 、 L_2 において、 $n \neq m$ (例えば $n > m$)、且つ、 $t_1 \neq t_2$ (例えば $t_1 > t_2$)であってもよい。なお、メサMM2の L_1 、 L_2 において、 $n < m$ 、且つ、 $t_1 \neq t_2$ ($t_1 > t_2$ 、又は $t_1 < t_2$)であってもよい。

- [0246] 例えば、発光層数が3、4、5、・・・と増え、それに伴い酸化狭窄層数が3、4、5、・・・と増えていった場合においても、酸化狭窄層数が偶数の場合には実施例1、2、3、5、6～12のように、また奇数の場合には実施例4、13のように、酸化狭窄層とその近傍の発光層との位置関係を設定することができる。また、例えば、酸化狭窄層が4層ある場合に、酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置の、定在波の節位置からの変位（下方変位を－、上方変位を＋）を、下から順に－ t 、－ t 、＋ t 、＋ t や、＋ t 、＋ t 、－ t 、－ t や、－ t 、＋ t 、－ t 、＋ t や、＋ t 、－ t 、＋ t 、－ t などとすることもできる。つまり、酸化狭窄層の略半数が節位置から＋方向（上方）に、残りの略半数が節位置から－方向（下方）にずれていれば、その組み合わせは任意である。これは酸化狭窄層が奇数個である場合や、導電型（ p 型及び n 型）が反転した構造であった場合においても同様である。さらに、酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置の、定在波の節位置からの変位量が等しくない場合においても、略半数が節位置から＋方向に、残りの略半数が節位置から－方向にずれていれば、ある程度の効果は得られる。
- [0247] 複数の酸化狭窄層が偶数個の酸化狭窄層である場合に、複数の酸化狭窄層の各々を上記所定の酸化狭窄層とすることが可能である。
- [0248] 複数の酸化狭窄層が3個以上の奇数個の酸化狭窄層である場合に、3個以上の奇数個の酸化狭窄層のうち1個以上の奇数個の酸化狭窄層以外の酸化狭窄層の各々を上記所定の酸化狭窄層とすることが可能である。
- [0249] 例えば、上記各実施例及び各変形例に係る面発光素子において、第1及び第2半導体多層膜反射鏡101、112の少なくとも一方をクラッド層（例えばAlGaAs層）に置き換えることにより、発光ダイオード（LED）を構成することもできる。
- [0250] 例えば、上記各実施例及び各変形例に係る面発光素子を一次元又は二次元に配置して面発光素子アレイを構成することもできる。
- [0251] 上記各実施例及び各変形例に係る面発光素子において、基板100と第1半導体多層膜反射鏡101との間にバッファ層が設けられてもよい。

- [0252] 上記各実施例及び各変形例に係る面発光素子において、コンタクト層が設けられていなくてもよい。
- [0253] 上記各実施例及び各変形例では、主にGaAs系（GaAsに格子整合する材料系）の面発光素子について説明したが、これに限らず、本技術は、例えば、InP系（InPに格子整合する材料系）、GaN系（GaNに格子整合する材料系）等の面発光素子にも適用可能である。一例として、InP系としては、例えばAlGaInP系、AlGaInAs系、AlInAs系などが挙げられる。
- [0254] すなわち、本技術に係る面発光素子には、波長帯200～2000nmに含まれるいずれの発光波長となる材料も用いることが可能である。本技術に係る面発光素子の材料には、適宜好適な化合物半導体を用いることができる。
- [0255] 上記各実施例及び各変形例では、砒素（As）系半導体を例示して説明したが、必要に応じて、例えば窒素（N）、ホウ素（B）、アンチモン（Sb）、リン（P）を含む、III-V族半導体であってもかまわない。
- [0256] 第1及び第2構造ST1、ST2の少なくとも一方は、半導体多層膜反射鏡に限らず、要は、半導体、誘電体及び金属から選択される一種又は2種以上の組み合わせで構成される反射鏡を有していてもよい。
- [0257] 上記各実施例及び各変形例に係る面発光素子において、第1及び第2構造ST1、ST2の導電型（p型及びn型）を逆にしてもよい。
- [0258] 上記各実施例及び各変形例に係る面発光素子の構成の一部を相互に矛盾しない範囲内で組み合わせてもよい。
- [0259] 上記各実施例及び各変形例において、面発光素子を構成する各層の配置、材料、導電型、厚さ、幅、数値、形状、大きさ等は、面発光素子として機能する範囲内で適宜変更可能である。その他、面発光素子を構成する材質、組成、膜厚、含まれる元素、形状、呼称、駆動機構、製造方法、用途が如何に変わっても、本開示の請求項にかかる特徴を有している限り、同様の効果が得られるものである。

[0260] < 15. 本技術を適用し得る面発光レーザの構成例 >

図35は、本技術を適用し得る面発光レーザの構成例である面発光レーザ20000を示す平面図である。図36Aは、図35のX-X線断面図である。図36Bは、図35のY-Y線断面図である。

[0261] 面発光レーザ20000の各構成要素は、基板2001に積層されている。基板2001は例えばGaAs、InGaAs、InP、InAsP等の半導体を含んで構成することができる。

[0262] 面発光レーザ20000は、保護領域2002（図36A及び図36Bの透過性灰色領域）を含む。図35に示すように、保護領域2002は、平面視において円形状であるが、例えば楕円形状、多角形状等の別の形状であってもよく、特定の形状に限定されない。保護領域2002は電氣的な分離をもたらす材料を含み、例えばイオン注入された領域である。

[0263] 更に、面発光レーザ20000は、図36A及び図36Bに示すように、第1電極2003と第2電極2004とを含む。図35に示すように、第1電極2003は、平面視において、不連続箇所（断続箇所）を有するリング形状、すなわちスプリットリング形状であるが、特定の形状に限定されない。図36A又は図36Bに示すように、第2電極2004は、基板2001に接触している。第1電極2003及び第2電極2004は、例えばTi、Pt、Au、AuGeNi、PdGeAu等の導電材料を含んで構成される。第1電極2003及び第2電極2004は、単層構造を有していてもよいし、積層構造を有していてもよい。

[0264] 更に、面発光レーザ20000は、保護領域2002の周囲に設けられたトレンチ2005を含む。図35は、一例として平面視矩形のトレンチ2005が6箇所設けられた構造を示すが、その数や、平面視における形状は特定のものに限定されない。トレンチ2005は酸化狭窄層2006（酸化領域2006a及び非酸化領域2006bを含む）を形成するための開口である。面発光レーザ20000の製造工程において、トレンチ2005を介して高温水蒸気が供給されることで酸化狭窄層2006の酸化領域2006

aが形成される。例えば、酸化領域2006aはAlAs又はAlGaAs層の酸化の結果として形成される Al_2O_3 である。トレンチ2005には酸化狭窄層2006を形成する工程の後において、任意の誘電体が埋め込まれる場合もある。また、誘電体膜による表面被膜を行う場合もある。

[0265] 更に、面発光レーザ20000は、第1電極2003上の誘電体層2007に設けられた誘電体開口2008（コンタクトホール）を含む。誘電体層2007は、図36A及び図36Bに示すような積層構造を有していてもよいし、単層構造を有していてもよい。誘電体層2007は、一例として酸化シリコンや窒化シリコンなどを含む。図35に示すように、誘電体開口2008は、第1電極2003と同じ形状に形成されている。ただし、誘電体開口2008の形状は第1電極2003の形状には限定されず、第1電極2003上に部分的に形成されていてもよい。誘電体開口2008には不図示の導電材料が充填され、該導電材料が第1電極2003と接触する。

[0266] 更に、図36A及び図36Bに示すように、面発光レーザ20000は第1電極2003の内側に光学開口2009を含む。面発光レーザ20000は、光学開口2009を介して光線を出射する。更に、面発光レーザ20000は、酸化狭窄層2006の酸化領域2006aが、電流及び光を閉じ込める電流・光閉じ込め領域として機能する。酸化狭窄層2006の非酸化領域2006bは、光学開口2009の下方に位置し、電流及び光を通過させる電流・光通過領域として機能する。

[0267] 更に、面発光レーザ20000は、第1多層膜反射鏡2011及び第2多層膜反射鏡2012を含む。多層膜反射鏡は一例として半導体多層膜反射鏡であり、分布型ブラッグ反射鏡（Distributed Bragg Reflector）とも呼ばれる。

[0268] 更に、面発光レーザ20000は、活性層2013を含む。活性層2013は、第1多層膜反射鏡2011と第2多層膜反射鏡2012との間に配置され、注入キャリアを閉じ込め、面発光レーザ20000の発光波長を規定する。

[0269] 本構成例では、一例として、面発光レーザ20000が表面出射型面発光レーザである場合を例にとって説明したが、面発光レーザ20000は裏面出射型面発光レーザを構成することもできる。

[0270] 図35及び図36Aに示すように、本構成例の面発光レーザ20000の実質的な径はトレンチ2005によって規定される仮想的な円の直径dである。

[0271] 本構成例の面発光レーザ20000は、一例として、以下の工程1～8の手順で製造される。

(工程1) 基板2001の表面に第1多層膜反射鏡2011、活性層2013、酸化狭窄層2006となる被選択酸化層、及び第2多層膜反射鏡2012をエピタキシャル成長させる。

(工程2) 例えばリフトオフ法を用いて、第1電極2003を第2多層膜反射鏡2012上に形成する。

(工程3) 例えばフォトリソグラフィによりトレンチ2005を形成する。

(工程4) 被選択酸化層の側面を露出させ、該被選択酸化層を側面から選択酸化することにより酸化狭窄層2006を形成する。

(工程5) 保護領域2002をイオン注入などによって形成する。

(工程6) 誘電体層2007を例えば蒸着、スパッタ等により成膜する。

(工程7) 例えばフォトリソグラフィにより誘電体層2007に誘電体開口2008を形成して第1電極2003の接点を露出させる。

(工程8) 基板2001の裏面を研磨して薄膜化した後、第2電極2004を基板2001の裏面に形成する。

[0272] 以上説明した面発光レーザ20000を構成する層の層数、配置、厚さ、配置順、対称性等は一例であって適宜変更可能である。すなわち、面発光レーザ20000は、図35、図36A及び図36Bに示すものより多数の層、少数の層、異なる層、異なる構造の層、又は異なる配置の層を含んでもよい。

[0273] 本技術は、以上説明した面発光レーザ20000及びその変形例に適用す

ることができる。

[0274] <16. 電子機器への応用例>

本開示に係る技術（本技術）は、様々な製品（電子機器）へ応用することができる。例えば、本開示に係る技術は、自動車、電気自動車、ハイブリッド電気自動車、自動二輪車、自転車、パーソナルモビリティ、飛行機、ドローン、船舶、ロボット等のいずれかの種類の移動体や、低消費電力機器（例えばスマートフォン、スマートウォッチ、タブレット、マウス等）や、光ファイバ等の導波路を介した光通信に用いられる通信機器に搭載される装置として実現されてもよい。

[0275] 本技術に係る面発光素子は、例えば、光により画像を形成又は表示する機器（例えばプリンタ、複写機、プロジェクタ、ヘッドマウントディスプレイ、ヘッドアップディスプレイ等）の光源としても応用可能である。

[0276] <17. 面発光素子を距離測定装置に適用した例>

以下に、本技術の一実施形態の実施例1に係る面発光素子1000の適用例について説明する。

[0277] 図37は、本技術に係る電子機器の一例としての、面発光素子1000を備えた距離測定装置10000（測距装置）の概略構成の一例を表したものである。距離測定装置10000は、TOF（Time of Flight）方式により被検体Sまでの距離を測定するものである。距離測定装置10000は、面発光素子1000を備えている。距離測定装置10000は、例えば、面発光素子1000、受光装置140、レンズ145、153、信号処理部155、制御部160、表示部165および記憶部175を備えている。

[0278] 受光装置140は、面発光素子1000から出射され被検体S（物体）で反射された光を受光する。すなわち、受光装置140は、被検体Sで反射された光を検出する。レンズ145は、面発光素子1000から出射された光を平行光化するためのレンズであり、例えばコリメートレンズである。レンズ153は、被検体Sで反射された光を集光し、受光装置140に導くためのレンズであり、例えば集光レンズである。

[0279] 信号処理部 155 は、受光装置 140 から入力された信号と、制御部 160 から入力された参照信号との差分に対応する信号を生成するための回路である。制御部 160 は、例えば、Time to Digital Converter (TDC) を含んで構成されている。参照信号は、制御部 160 から入力される信号であってもよいし、面発光素子 1000 の出力を直接検出する検出部の出力信号であってもよい。制御部 160 は、例えば、面発光素子 1000、受光装置 140、信号処理部 155、表示部 165 および記憶部 175 を制御するプロセッサである。制御部 160 は、信号処理部 155 で生成された信号に基づいて、被検体 S までの距離を計測する回路である。制御部 160 は、被検体 S までの距離についての情報を表示するための映像信号を生成し、表示部 165 に出力する。表示部 165 は、制御部 160 から入力された映像信号に基づいて、被検体 S までの距離についての情報を表示する。制御部 160 は、被検体 S までの距離についての情報を記憶部 175 に格納する。

[0280] 本適用例において、面発光素子 1000 に代えて、実施例 2～13 及び各変形例に係る面発光素子のいずれかを距離測定装置 10000 に適用することもできる。

[0281] <18. 距離測定装置を移動体に搭載した例>

図 38 は、本開示に係る技術が適用され得る移動体制御システムの一例である車両制御システムの概略的な構成例を示すブロック図である。

[0282] 車両制御システム 12000 は、通信ネットワーク 12001 を介して接続された複数の電子制御ユニットを備える。図 38 に示した例では、車両制御システム 12000 は、駆動系制御ユニット 12010、ボディ系制御ユニット 12020、車外情報検出ユニット 12030、車内情報検出ユニット 12040、及び統合制御ユニット 12050 を備える。また、統合制御ユニット 12050 の機能構成として、マイクロコンピュータ 12051、音声画像出力部 12052、及び車載ネットワーク I/F (interface) 12053 が図示されている。

[0283] 駆動系制御ユニット 12010 は、各種プログラムにしたがって車両の駆

動系に関連する装置の動作を制御する。例えば、駆動系制御ユニット 12010 は、内燃機関又は駆動用モータ等の車両の駆動力を発生させるための駆動力発生装置、駆動力を車輪に伝達するための駆動力伝達機構、車両の舵角を調節するステアリング機構、及び、車両の制動力を発生させる制動装置等の制御装置として機能する。

[0284] ボディ系制御ユニット 12020 は、各種プログラムにしたがって車体に装備された各種装置の動作を制御する。例えば、ボディ系制御ユニット 12020 は、キーレスエントリシステム、スマートキーシステム、パワーウィンドウ装置、あるいは、ヘッドランプ、バックランプ、ブレーキランプ、ウinker又はフォグランプ等の各種ランプの制御装置として機能する。この場合、ボディ系制御ユニット 12020 には、鍵を代替する携帯機から発信される電波又は各種スイッチの信号が入力され得る。ボディ系制御ユニット 12020 は、これらの電波又は信号の入力を受け付け、車両のドアロック装置、パワーウィンドウ装置、ランプ等を制御する。

[0285] 車外情報検出ユニット 12030 は、車両制御システム 12000 を搭載した車両の外部の情報を検出する。例えば、車外情報検出ユニット 12030 には、距離測定装置 12031 が接続される。距離測定装置 12031 には、上述の距離測定装置 10000 が含まれる。車外情報検出ユニット 12030 は、距離測定装置 12031 に車外の物体（被検体 S）との距離を計測させ、それにより得られた距離データを取得する。車外情報検出ユニット 12030 は、取得した距離データに基づいて、人、車、障害物、標識等の物体検出処理を行ってもよい。

[0286] 車内情報検出ユニット 12040 は、車内の情報を検出する。車内情報検出ユニット 12040 には、例えば、運転者の状態を検出する運転者状態検出部 12041 が接続される。運転者状態検出部 12041 は、例えば運転者を撮像するカメラを含み、車内情報検出ユニット 12040 は、運転者状態検出部 12041 から入力される検出情報に基づいて、運転者の疲労度合い又は集中度合いを算出してもよいし、運転者が居眠りをしていないかを判

別してもよい。

- [0287] マイクロコンピュータ12051は、車外情報検出ユニット12030又は車内情報検出ユニット12040で取得される車内外の情報に基づいて、駆動力発生装置、ステアリング機構又は制動装置の制御目標値を演算し、駆動系制御ユニット12010に対して制御指令を出力することができる。例えば、マイクロコンピュータ12051は、車両の衝突回避あるいは衝撃緩和、車間距離に基づく追従走行、車速維持走行、車両の衝突警告、又は車両のレーン逸脱警告等を含むADAS (Advanced Driver Assistance System) の機能実現を目的とした協調制御を行うことができる。
- [0288] また、マイクロコンピュータ12051は、車外情報検出ユニット12030又は車内情報検出ユニット12040で取得される車両の周囲の情報に基づいて駆動力発生装置、ステアリング機構又は制動装置等を制御することにより、運転者の操作に拠らずに自律的に走行する自動運転等を目的とした協調制御を行うことができる。
- [0289] また、マイクロコンピュータ12051は、車外情報検出ユニット12030で取得される車外の情報に基づいて、ボディ系制御ユニット12020に対して制御指令を出力することができる。例えば、マイクロコンピュータ12051は、車外情報検出ユニット12030で検知した先行車又は対向車の位置に応じてヘッドランプを制御し、ハイビームをロービームに切り替える等の防眩を図ることを目的とした協調制御を行うことができる。
- [0290] 音声画像出力部12052は、車両の搭乗者又は車外に対して、視覚的又は聴覚的に情報を通知することが可能な出力装置へ音声及び画像のうちの少なくとも一方の出力信号を送信する。図38の例では、出力装置として、オーディオスピーカ12061、表示部12062及びインストルメントパネル12063が例示されている。表示部12062は、例えば、オンボードディスプレイ及びヘッドアップディスプレイの少なくとも一つを含んでもよい。

- [0291] 図39は、距離測定装置12031の設置位置の例を示す図である。
- [0292] 図39では、車両12100は、距離測定装置12031として、距離測定装置12101、12102、12103、12104、12105を有する。
- [0293] 距離測定装置12101、12102、12103、12104、12105は、例えば、車両12100のフロントノーズ、サイドミラー、リアバンパ、バックドア及び車室内のフロントガラスの上部等の位置に設けられる。フロントノーズに備えられる距離測定装置12101及び車室内のフロントガラスの上部に備えられる距離測定装置12105は、主として車両12100の前方のデータを取得する。サイドミラーに備えられる距離測定装置12102、12103は、主として車両12100の側方のデータを取得する。リアバンパ又はバックドアに備えられる距離測定装置12104は、主として車両12100の後方のデータを取得する。距離測定装置12101及び12105で取得される前方のデータは、主として先行車両又は、歩行者、障害物、信号機、交通標識等の検出に用いられる。
- [0294] なお、図39には、距離測定装置12101ないし12104の検出範囲の一例が示されている。検出範囲12111は、フロントノーズに設けられた距離測定装置12101の検出範囲を示し、検出範囲12112、12113は、それぞれサイドミラーに設けられた距離測定装置12102、12103の検出範囲を示し、検出範囲12114は、リアバンパ又はバックドアに設けられた距離測定装置12104の検出範囲を示す。
- [0295] 例えば、マイクロコンピュータ12051は、距離測定装置12101ないし12104から得られた距離データを基に、検出範囲12111ないし12114内における各立体物までの距離と、この距離の時間的变化（車両12100に対する相対速度）を求めることにより、特に車両12100の進行路上にある最も近い立体物で、車両12100と略同じ方向に所定の速度（例えば、0km/h以上）で走行する立体物を先行車として抽出することができる。さらに、マイクロコンピュータ12051は、先行車の手前に

予め確保すべき車間距離を設定し、自動ブレーキ制御（追従停止制御も含む）や自動加速制御（追従発進制御も含む）等を行うことができる。このように運転者の操作に拠らずに自律的に走行する自動運転等を目的とした協調制御を行うことができる。

[0296] 例えば、マイクロコンピュータ 12051 は、距離測定装置 12101 ないし 12104 から得られた距離データを元に、立体物に関する立体物データを、2 輪車、普通車両、大型車両、歩行者、電柱等その他の立体物に分類して抽出し、障害物の自動回避に用いることができる。例えば、マイクロコンピュータ 12051 は、車両 12100 の周辺の障害物を、車両 12100 のドライバが視認可能な障害物と視認困難な障害物とに識別する。そして、マイクロコンピュータ 12051 は、各障害物との衝突の危険度を示す衝突リスクを判断し、衝突リスクが設定値以上で衝突可能性がある状況であるときには、オーディオスピーカ 12061 や表示部 12062 を介してドライバに警報を出力することや、駆動系制御ユニット 12010 を介して強制減速や回避操舵を行うことで、衝突回避のための運転支援を行うことができる。

[0297] 以上、本開示に係る技術が適用され得る移動体制御システムの一例について説明した。本開示に係る技術は、以上説明した構成のうち、距離測定装置 12031 に適用され得る。

[0298] また、本技術は、以下のような構成をとることもできる。

(1) 第 1 半導体構造を含む第 1 構造と、

前記第 1 構造と積層された、第 2 半導体構造を含む第 2 構造と、

前記第 1 及び第 2 構造の間に配置された少なくとも 1 つの発光層と、

前記第 1 構造の前記第 2 構造側とは反対側の表面である第 1 面と、前記第 2 構造の前記第 1 構造側とは反対側の表面である第 2 面との間で、前記発光層と積層され且つ互いに積層された複数の酸化狭窄層と、

を備え、

前記複数の酸化狭窄層は、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定在波に

おける節位置と一致していない所定の酸化狭窄層を少なくとも1つ含む、面発光素子。

(2) 前記所定の酸化狭窄層は、前記中央位置以外の位置が前記節位置と一致している、(1)に記載の面発光素子。

(3) 前記所定の酸化狭窄層は、厚さ方向の全域が前記中央位置から最も近い前記節位置から外れている、(1)に記載の面発光素子。

(4) 前記複数の酸化狭窄層は、前記所定の酸化狭窄層を少なくとも2つ含む、(1)～(3)のいずれか1つに記載の面発光素子。

(5) 前記複数の酸化狭窄層は、前記中央位置が前記節位置と一致している酸化狭窄層を含む、(1)～(4)のいずれか1つに記載の面発光素子。

(6) 前記中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t とすると、

前記中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離は、 k を自然数として、

$$(2k-1)\lambda/4+t, \text{ 又は、 } (2k-1)\lambda/4-t$$

である、(1)～(5)のいずれか1つに記載の面発光素子。

(7) 前記複数の酸化狭窄層は、

前記発光層の前記第1面側に配置された少なくとも1つの第1酸化狭窄層と、

前記発光層の前記第2面側に配置された少なくとも1つの第2酸化狭窄層と、

を含み、

前記第1及び／又は第2酸化狭窄層は、前記所定の酸化狭窄層である、(1)～(6)のいずれか1つに記載の面発光素子。

(8) 前記所定の酸化狭窄層は、少なくとも2つあり、

前記第1及び第2酸化狭窄層の各々は、前記所定の酸化狭窄層である、(7)に記載の面発光素子。

(9) 前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置が、該中央位置から最も近

い前記節位置の前記第1面側及び前記第2面側の一方に位置し、

前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置が、該中央位置から最も近い前記節位置の前記第1面側及び前記第2面側の他方に位置する、(7)又は(8)に記載の面発光素子。

(10) 前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_1 、前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_2 、前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t_1 、前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t_2 とすると、 n 、 m を自然数として、

$$L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 + t_1, \text{ 且つ、 } L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 + t_2$$

、

又は、

$$L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 - t_1, \text{ 且つ、 } L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 - t_2$$

が成立する、(7)～(9)のいずれか1つに記載の面発光素子。

(11) $t_1 = t_2$ である、(10)に記載の面発光素子。

(12) 前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離と、前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離とが等しい、(7)～(11)のいずれか1つに記載の面発光素子。

(13) 前記第1及び第2酸化狭窄層の一方が、前記所定の酸化狭窄層である、(7)～(12)のいずれか1つに記載の面発光素子。

(14) 前記第1及び第2酸化狭窄層の前記一方の厚さ方向の中央位置が、該中央位置から最も近い前記節位置の前記第1面側又は前記第2面側に位置し、

前記第1及び第2酸化狭窄層の他方の厚さ方向の中央位置が、前記節位置と一致する、(7)～(13)のいずれか1つに記載の面発光素子。

(15) 前記第1及び第2酸化狭窄層の前記一方の厚さ方向の中央位置と前記

発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_1 、前記第 1 及び第 2 酸化狭窄層の他方の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_2 、前記第 1 及び第 2 酸化狭窄層の前記一方の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t とすると、 n 、 m を自然数として、

$$L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 + t、\text{且つ、} L_2 = (2m - 1) \lambda / 4、$$

又は、

$$L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 - t、\text{且つ、} L_2 = (2m - 1) \lambda / 4$$

が成立する、(7) ~ (14) のいずれか 1 つに記載の面発光素子。

(16) 前記第 1 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離と、前記第 2 酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離とが異なる、(7) ~ (15) のいずれか 1 つに記載の面発光素子。

(17) 前記複数の酸化狭窄層の各々は、

非酸化領域と、

前記非酸化領域を囲む酸化領域と、

を有し、

前記非酸化領域は、 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0.8 \leq x \leq 1$) を含む、(1) ~ (16) のいずれか 1 つに記載の面発光素子。

(18) 前記少なくとも 1 つの発光層は、互いに積層された複数の発光層であり、

前記複数の発光層のうち少なくとも 1 組の隣り合う 2 つの発光層の間に配置されたトンネルジャンクション層を更に備える、(1) ~ (17) のいずれか 1 つに記載の面発光素子。

(19) 前記隣り合う 2 つの発光層の一方と前記トンネルジャンクション層との間に前記所定の酸化狭窄層が配置されている、(18) に記載の面発光素子。

(20) 前記トンネルジャンクション層の厚さ方向の所定位置が、前記節位

置に一致する、(18)又は(19)に記載の面発光素子。

(21) 前記複数の酸化狭窄層は、偶数個の酸化狭窄層であり、
前記複数の酸化狭窄層の各々は、前記所定の酸化狭窄層である、(1)～
(20)のいずれか1つに記載の面発光素子。

(22) 前記複数の酸化狭窄層は、3個以上の奇数個の酸化狭窄層であり、
前記3個以上の奇数個の酸化狭窄層のうち1個以上の奇数個の酸化狭窄層
以外の酸化狭窄層の各々は、前記所定の酸化狭窄層である、(1)～(21)
のいずれか1つに記載の面発光素子。

符号の説明

[0299] 1000、2000、3000、4000、5000、6000：面発光
素子

100：基板

101：第1半導体多層膜反射鏡（第1半導体構造）

103：第1発光層（発光層）

109：第2発光層（発光層）

117：第3発光層（発光層）

126：第4発光層（発光層）

132：第5発光層（発光層）

105、111、121、128、134：酸化狭窄層

107、119、124、130：トンネルジャンクション層

112：第2半導体多層膜反射鏡（第2半導体構造の一部）

113：コンタクト層（第2半導体構造の一部）

ST1：第1構造

ST2：第2構造

SS1：第1半導体構造

SS2：第2半導体構造

請求の範囲

- [請求項1] 第1半導体構造を含む第1構造と、
前記第1構造と積層された、第2半導体構造を含む第2構造と、
前記第1及び第2構造の間に配置された少なくとも1つの発光層と、
、
前記第1構造の前記第2構造側とは反対側の表面である第1面と、
前記第2構造の前記第1構造側とは反対側の表面である第2面との間
で、前記発光層と積層され且つ互いに積層された複数の酸化狭窄層と
、
を備え、
前記複数の酸化狭窄層は、厚さ方向の中央位置が出射光の電界の定
在波における節位置と一致していない所定の酸化狭窄層を少なくとも
1つ含む、面発光素子。
- [請求項2] 前記所定の酸化狭窄層は、前記中央位置以外の位置が前記節位置と
一致している、請求項1に記載の面発光素子。
- [請求項3] 前記所定の酸化狭窄層は、厚さ方向の全域が、前記中央位置から最
も近い前記節位置から外れている、請求項1に記載の面発光素子。
- [請求項4] 前記複数の酸化狭窄層は、前記所定の酸化狭窄層を少なくとも2つ
含む、請求項1に記載の面発光素子。
- [請求項5] 前記複数の酸化狭窄層は、前記中央位置が前記節位置と一致してい
る酸化狭窄層を含む、請求項1に記載の面発光素子。
- [請求項6] 前記中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t と
すると、
前記中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離は、 k を
自然数として、
 $(2k - 1) \lambda / 4 + t$ 、又は、 $(2k - 1) \lambda / 4 - t$
である、請求項1に記載の面発光素子。
- [請求項7] 前記複数の酸化狭窄層は、

前記発光層の前記第1面側に配置された少なくとも1つの第1酸化狭窄層と、

前記発光層の前記第2面側に配置された少なくとも1つの第2酸化狭窄層と、

を含み、

前記第1及び／又は第2酸化狭窄層は、前記所定の酸化狭窄層である、請求項1に記載の面発光素子。

[請求項8] 前記所定の酸化狭窄層は、少なくとも2つあり、

前記第1及び第2酸化狭窄層の各々は、前記所定の酸化狭窄層である、請求項7に記載の面発光素子。

[請求項9] 前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置が、該中央位置から最も近い前記節位置の前記第1面側及び前記第2面側の一方に位置し、

前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置が、該中央位置から最も近い前記節位置の前記第1面側及び前記第2面側の他方に位置する、請求項8に記載の面発光素子。

[請求項10] 前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_1 、前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_2 、前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t_1 、前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t_2 とすると、 n 、 m を自然数として、

$$L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 + t_1、\text{且つ、} L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 + t_2、$$

又は、

$$L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 - t_1、\text{且つ、} L_2 = (2m - 1) \lambda / 4 - t_2$$

が成立する、請求項8に記載の面発光素子。

- [請求項11] $t_1 = t_2$ である、請求項10に記載の面発光素子。
- [請求項12] 前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離と、前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離とが等しい、請求項8に記載の面発光素子。
- [請求項13] 前記第1及び第2酸化狭窄層の一方が、前記所定の酸化狭窄層である、請求項7に記載の面発光素子。
- [請求項14] 前記第1及び第2酸化狭窄層の前記一方の厚さ方向の中央位置が、該中央位置から最も近い前記節位置の前記第1面側又は前記第2面側に位置し、
前記第1及び第2酸化狭窄層の他方の厚さ方向の中央位置が、前記節位置と一致する、請求項13に記載の面発光素子。
- [請求項15] 前記第1及び第2酸化狭窄層の前記一方の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_1 、前記第1及び第2酸化狭窄層の他方の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離を L_2 、前記第1及び第2酸化狭窄層の前記一方の厚さ方向の中央位置と該中央位置から最も近い前記節位置との距離を t とすると、 n 、 m を自然数として、
 $L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 + t$ 、且つ、 $L_2 = (2m - 1) \lambda / 4$ 、又は、
 $L_1 = (2n - 1) \lambda / 4 - t$ 、且つ、 $L_2 = (2m - 1) \lambda / 4$ が成立する、請求項13に記載の面発光素子。
- [請求項16] 前記第1酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離と、前記第2酸化狭窄層の厚さ方向の中央位置と前記発光層の厚さ方向の中央位置との距離とが異なる、請求項13に記載の面発光素子。
- [請求項17] 前記複数の酸化狭窄層の各々は、
非酸化領域と、

前記非酸化領域を囲む酸化領域と、

を有し、

前記非酸化領域は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0.8 \leq x \leq 1$) を含む、請求項 1 に記載の面発光素子。

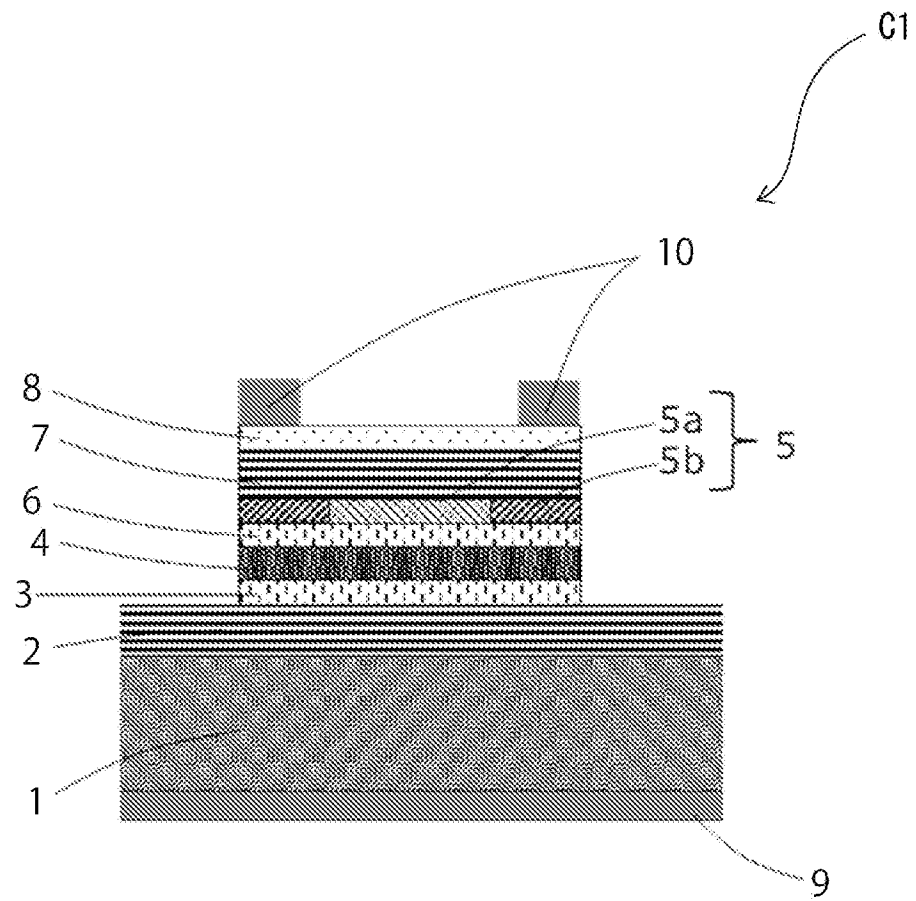
[請求項18] 前記少なくとも 1 つの発光層は、互いに積層された複数の発光層であり、

前記複数の発光層のうち少なくとも 1 組の隣り合う 2 つの発光層の間に配置されたトンネルジャンクション層を更に備える、請求項 1 に記載の面発光素子。

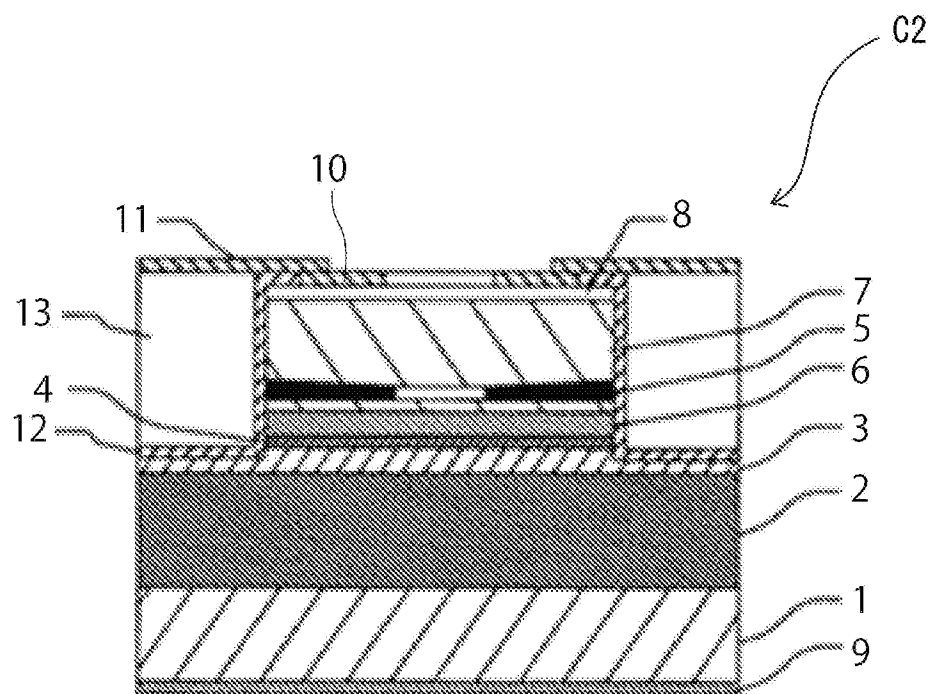
[請求項19] 前記隣り合う 2 つの発光層の一方と前記トンネルジャンクション層との間に前記所定の酸化狭窄層が配置されている、請求項 18 に記載の面発光素子。

[請求項20] 前記トンネルジャンクション層の厚さ方向の所定位置が、前記節位置に一致する、請求項 18 に記載の面発光素子。

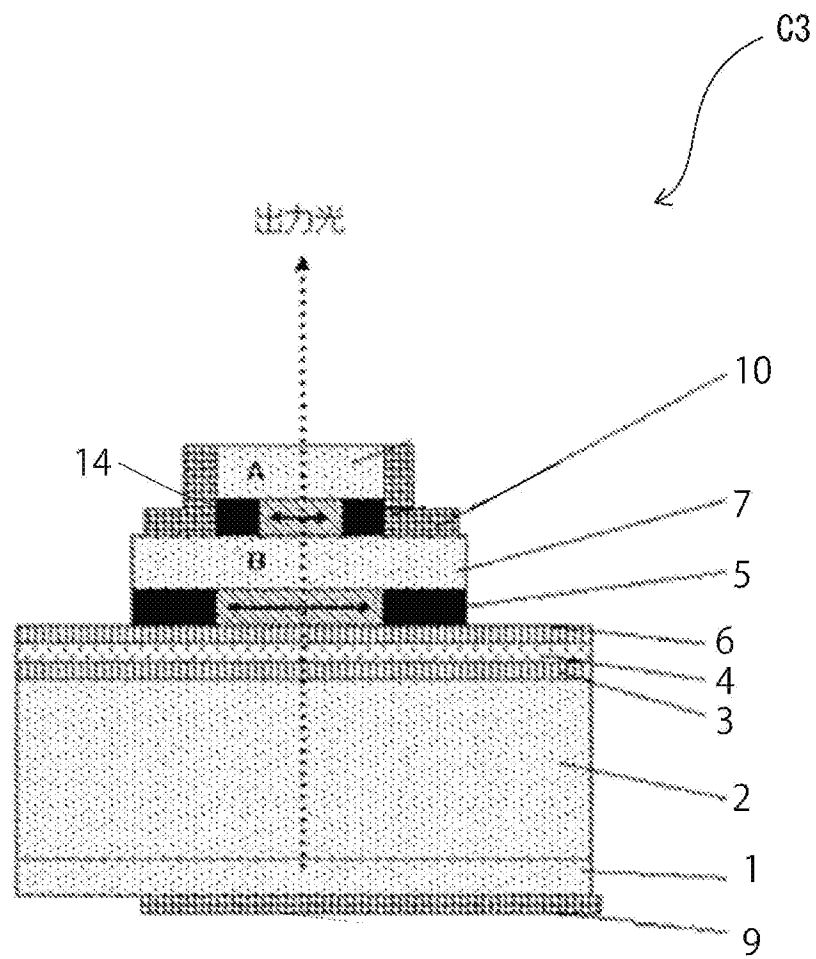
[図1]



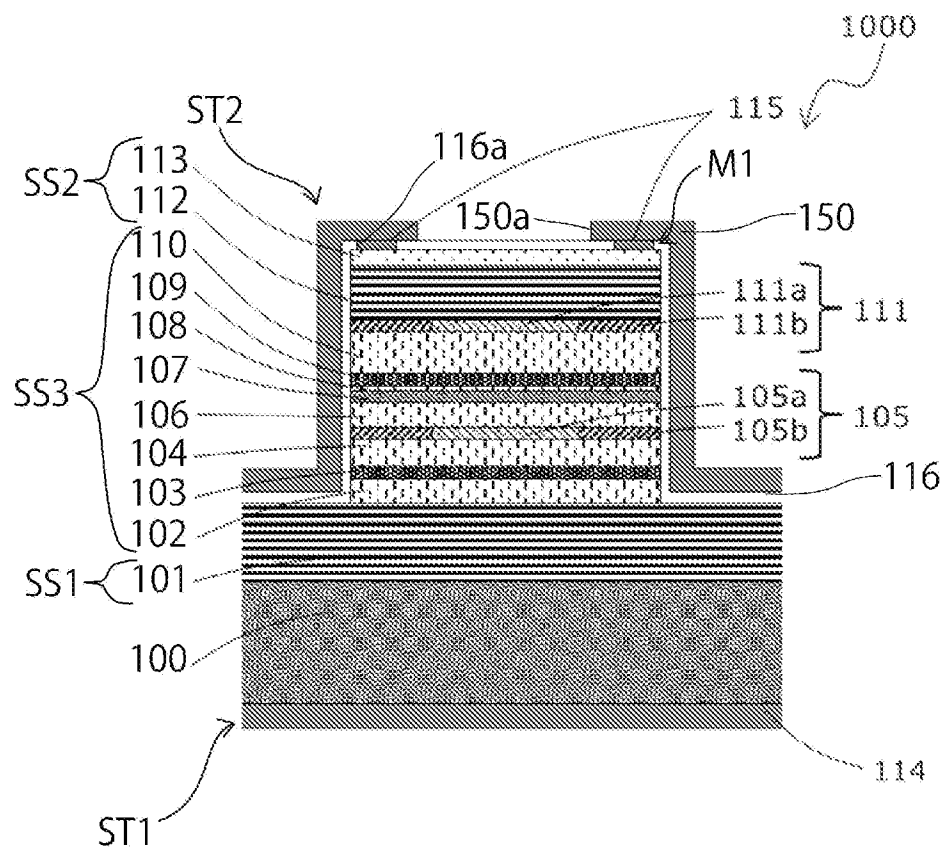
[図2]



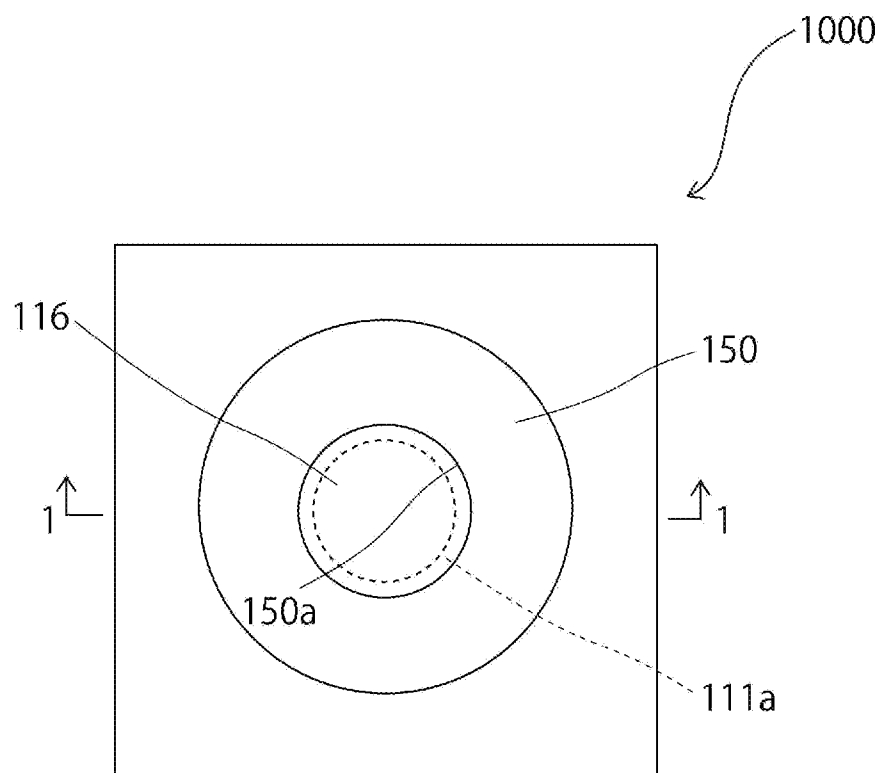
[図3]



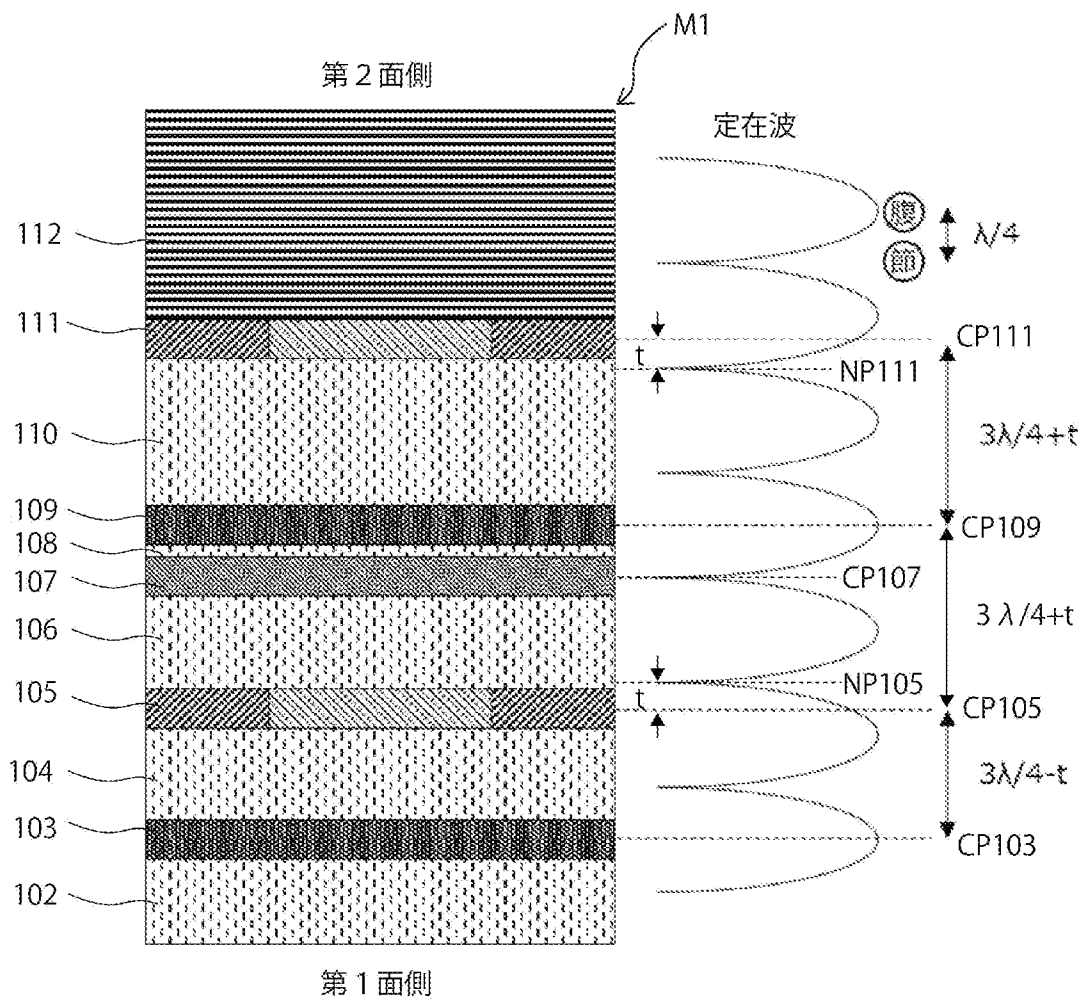
[図4]



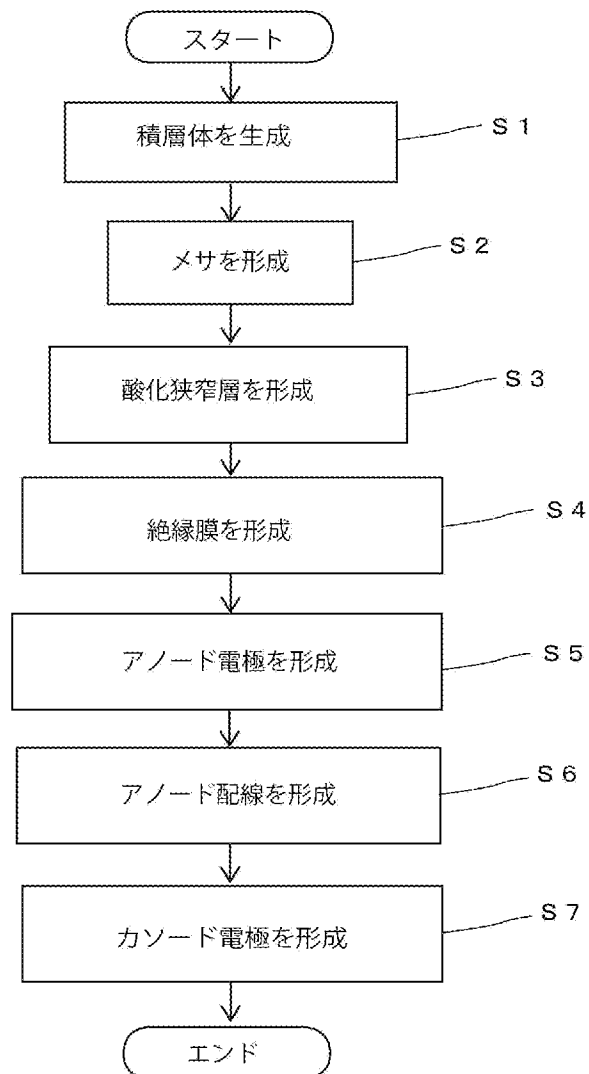
[図5]



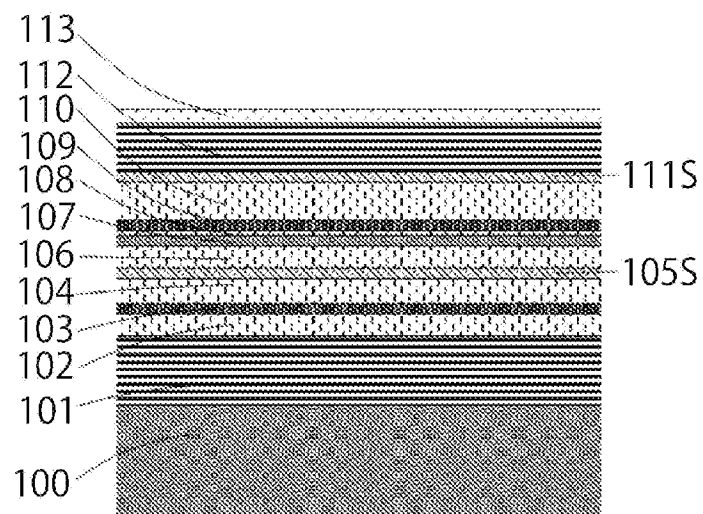
[図6]



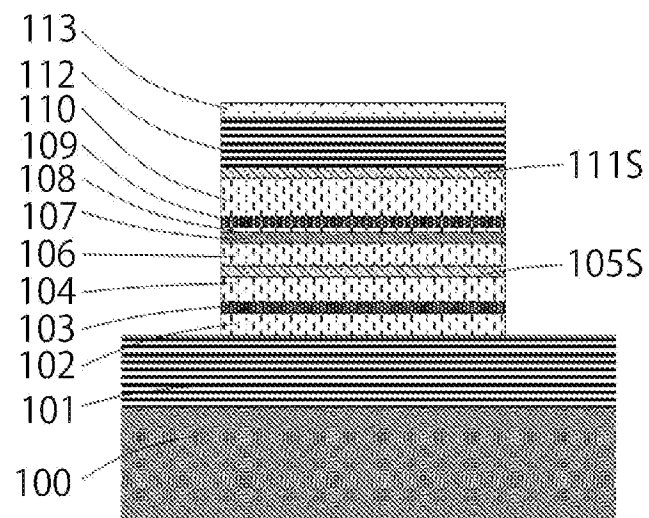
[図7]



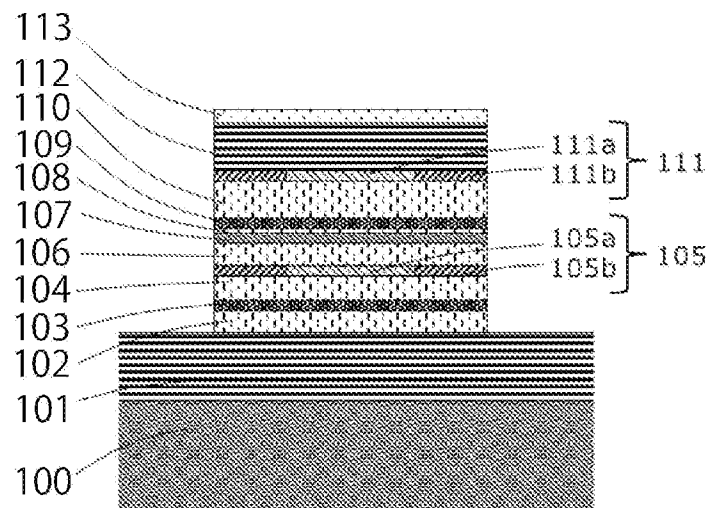
[図8]



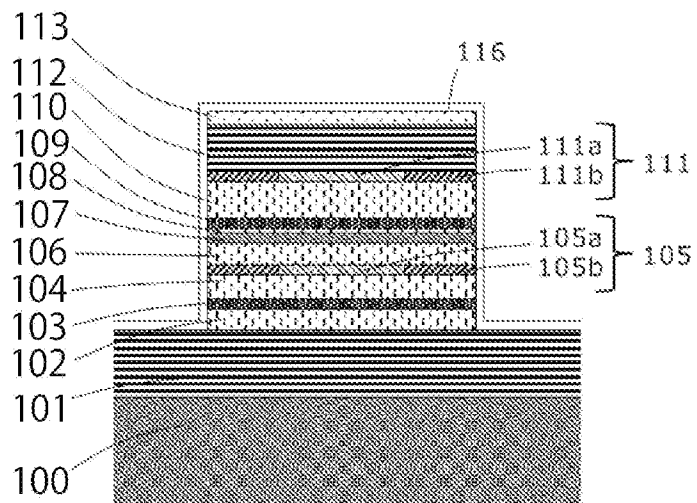
[図9]



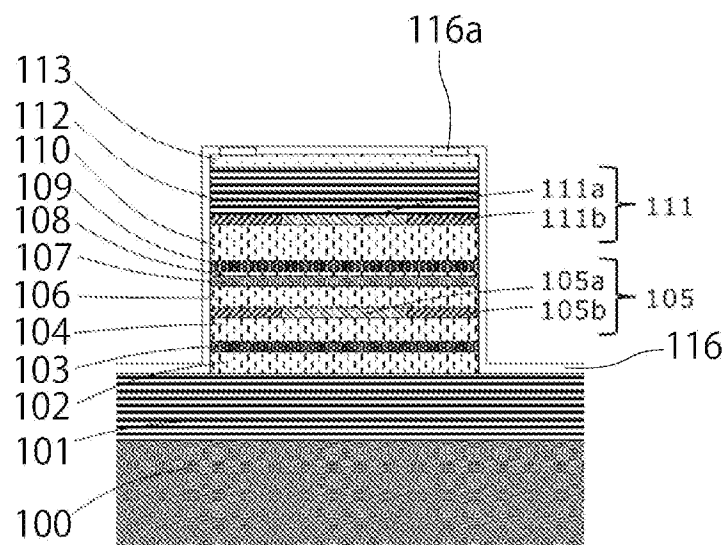
[図10]



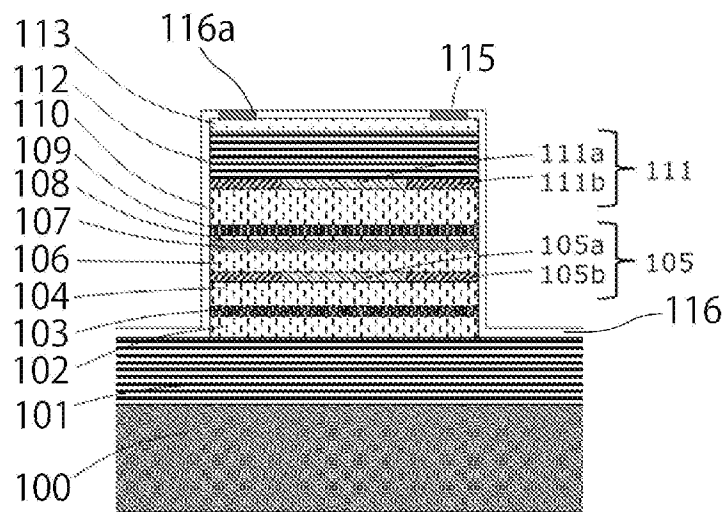
[図11]



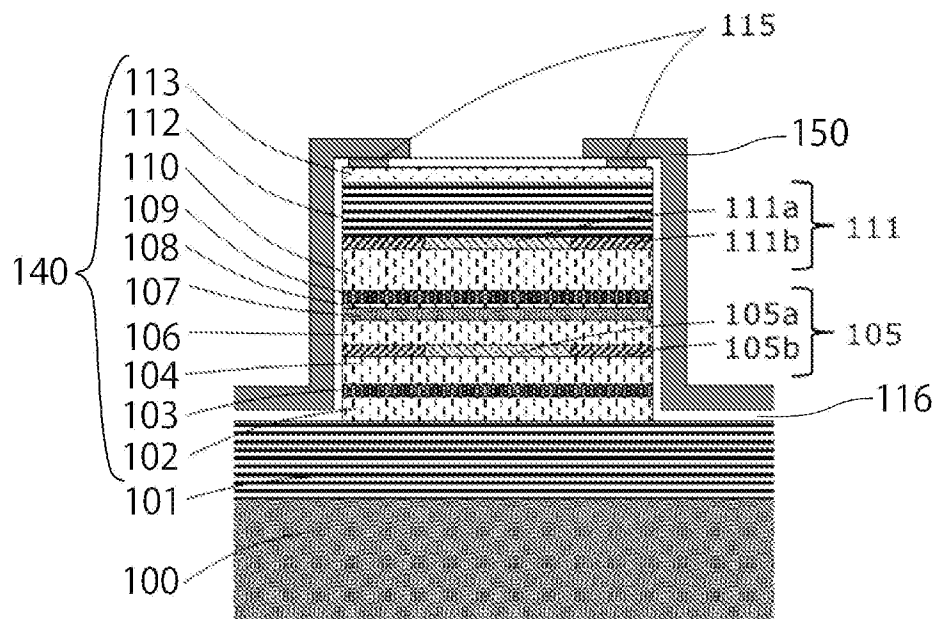
[図12]



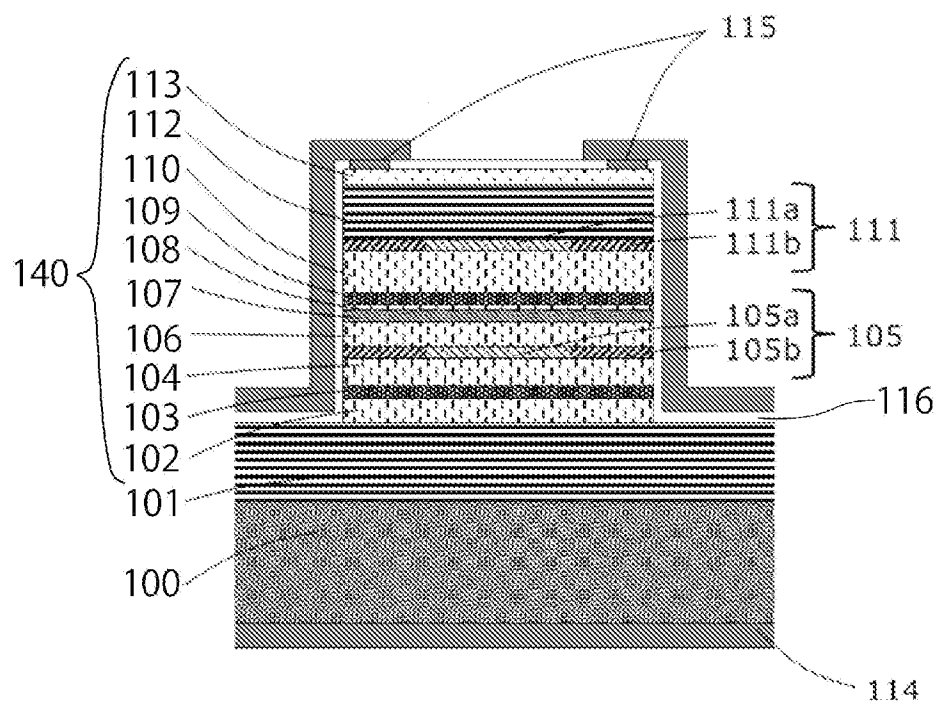
[図13]



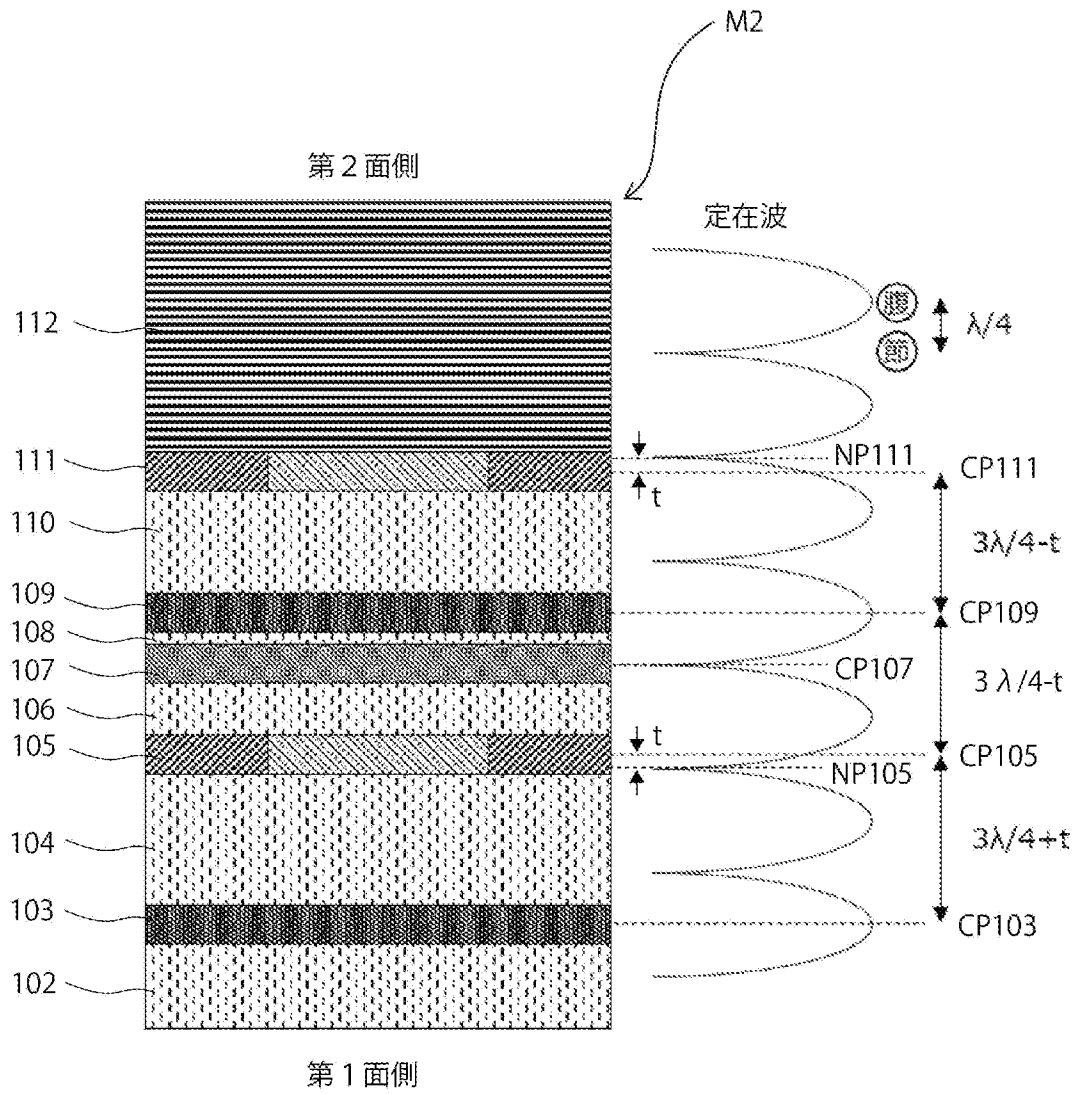
[図14]



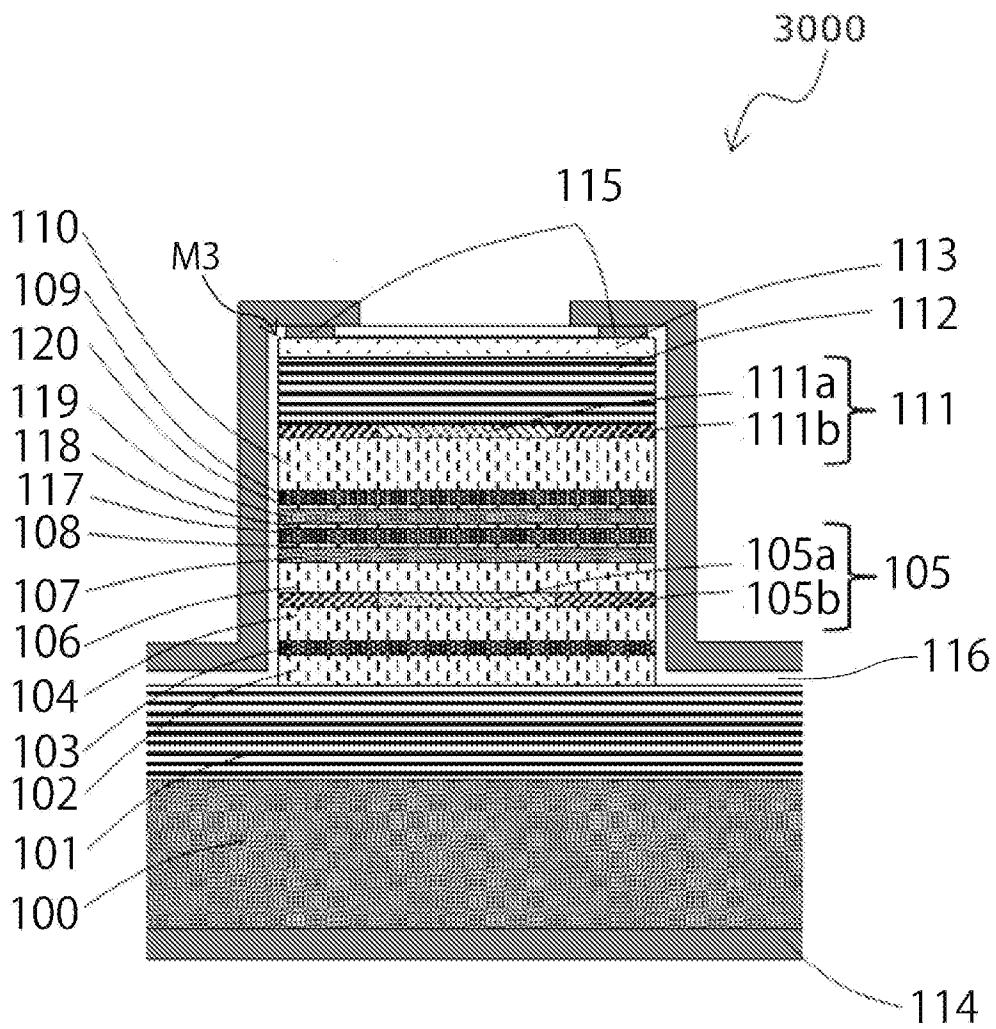
[図15]



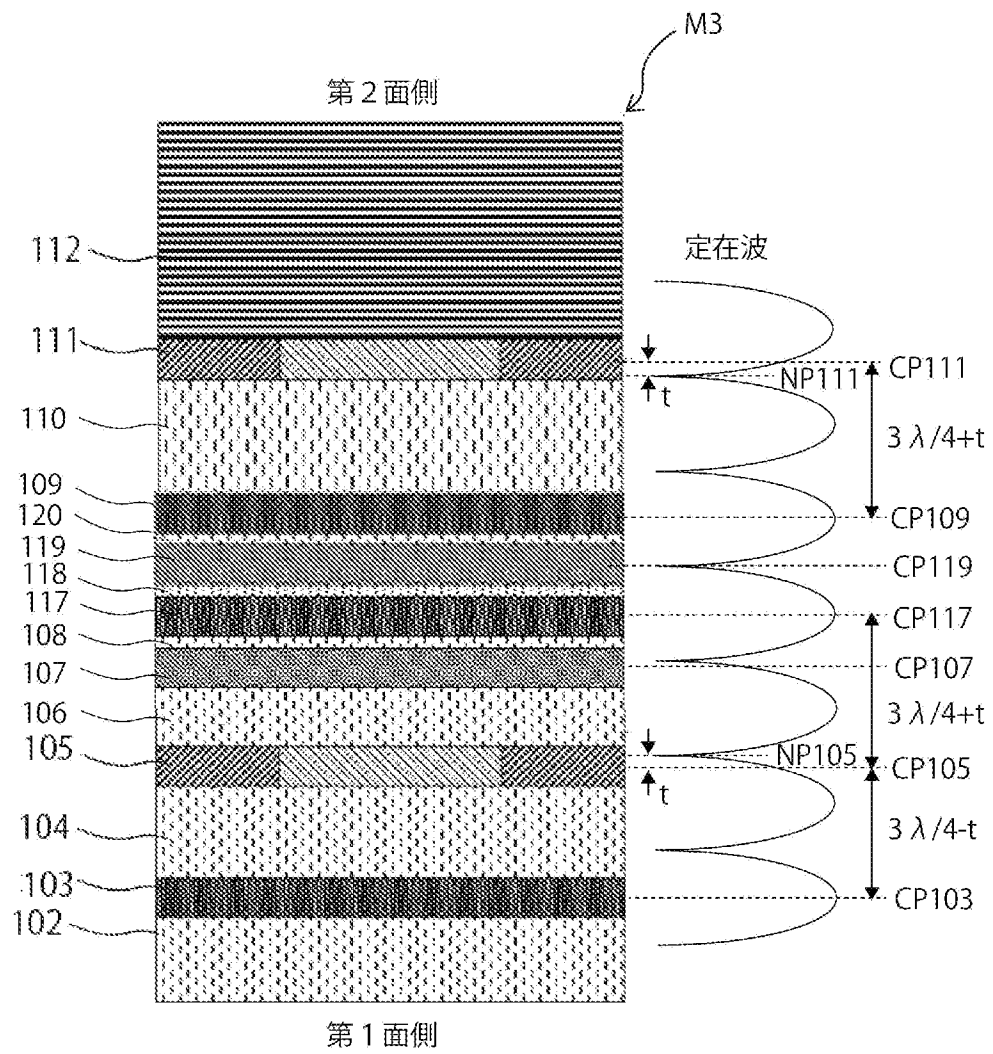
[図16]



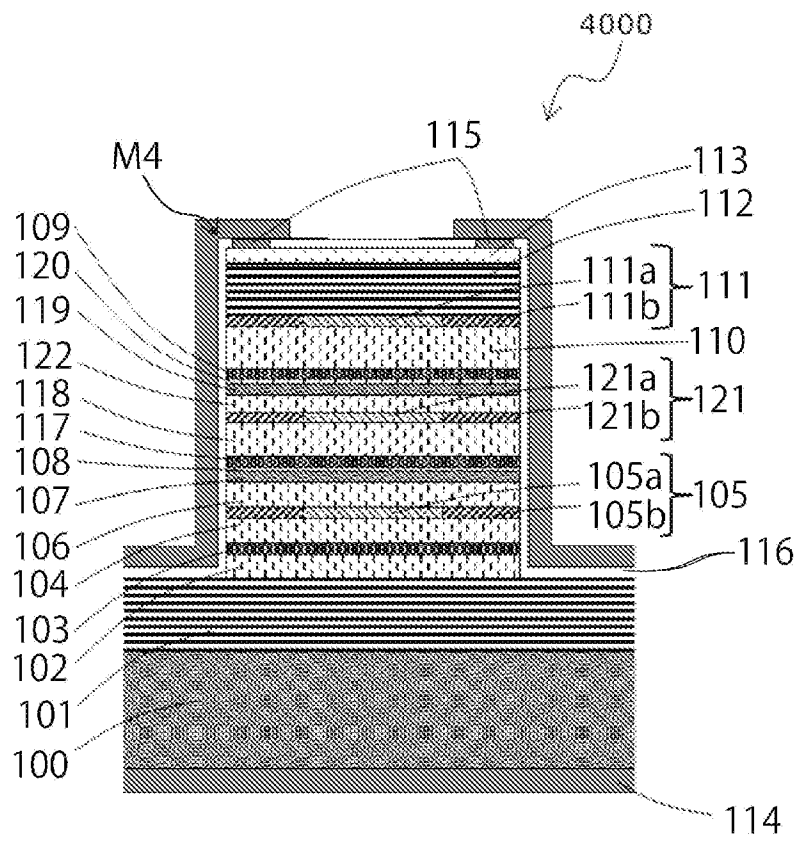
[図17]



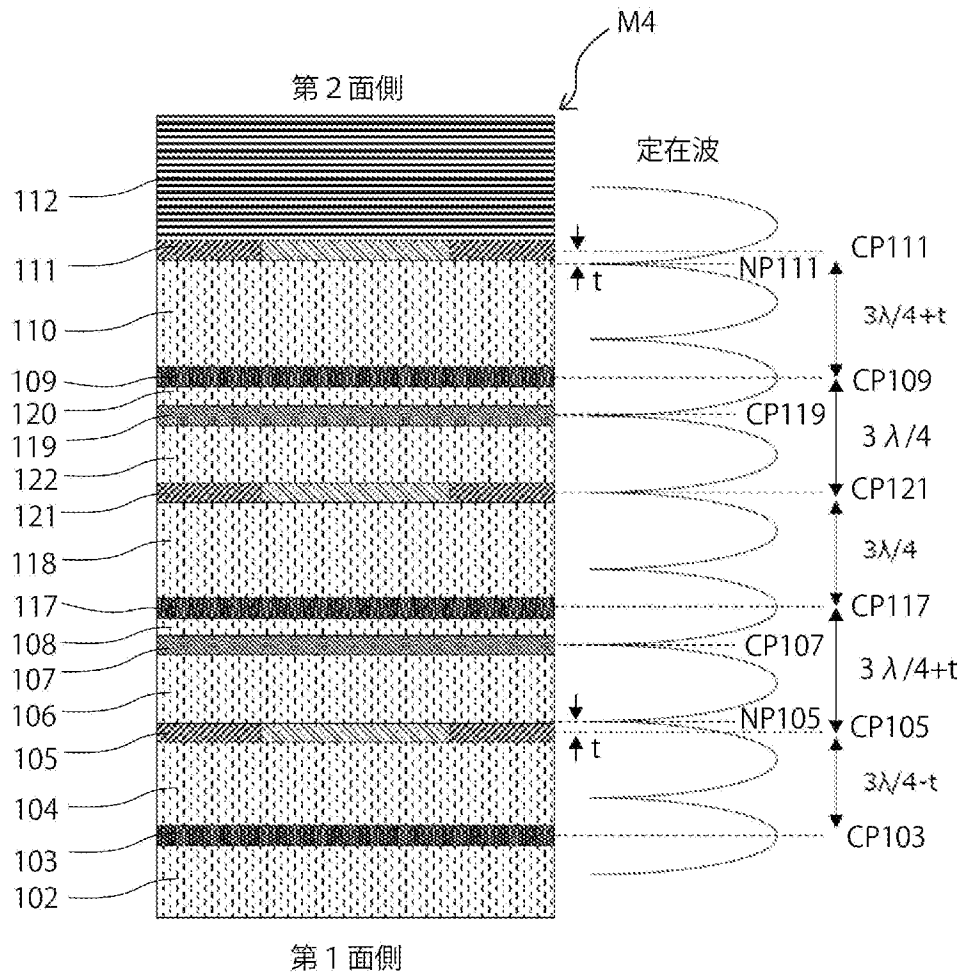
[図18]

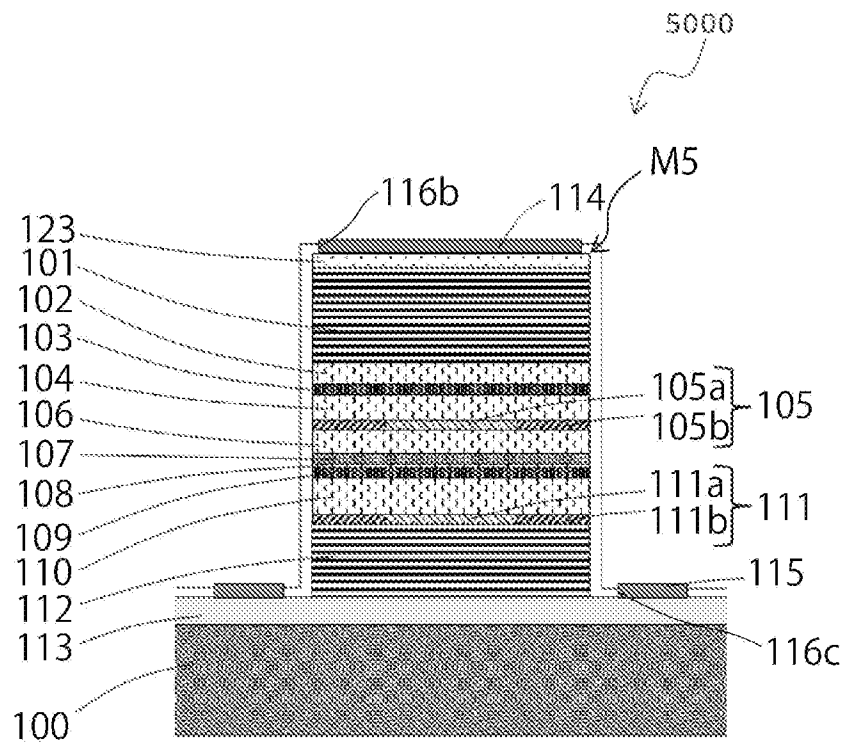


[図19]

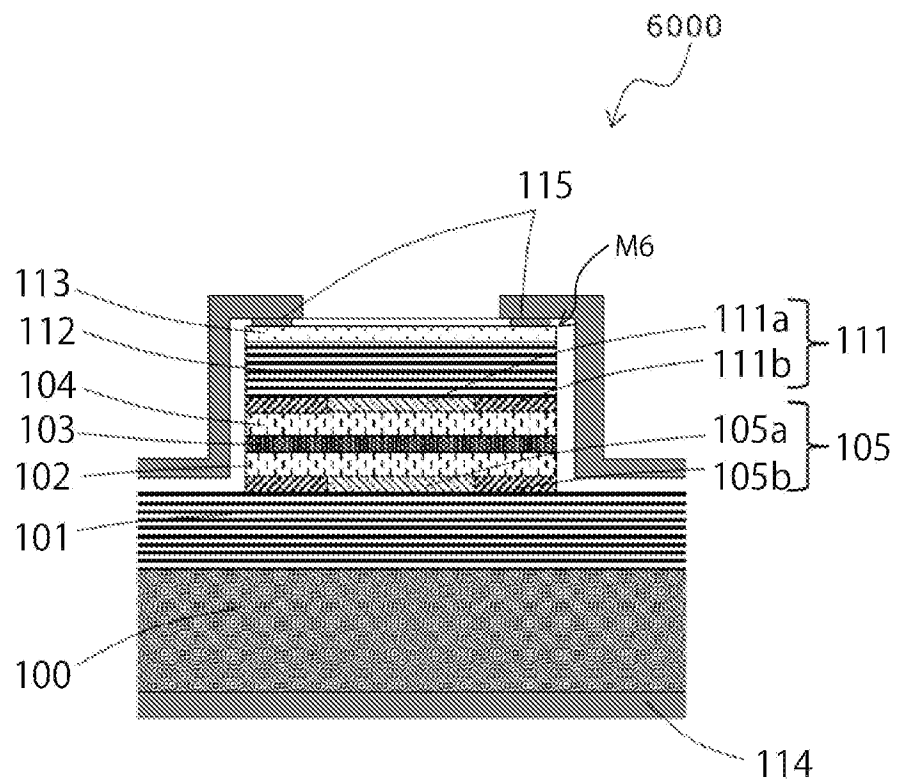


[図20]

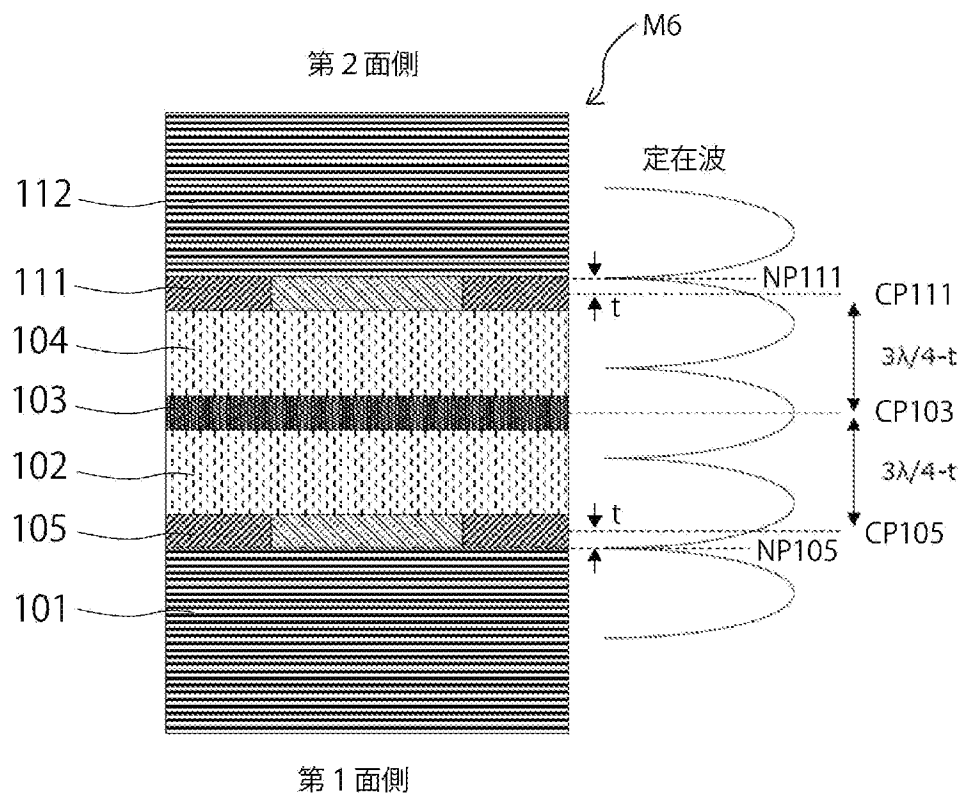




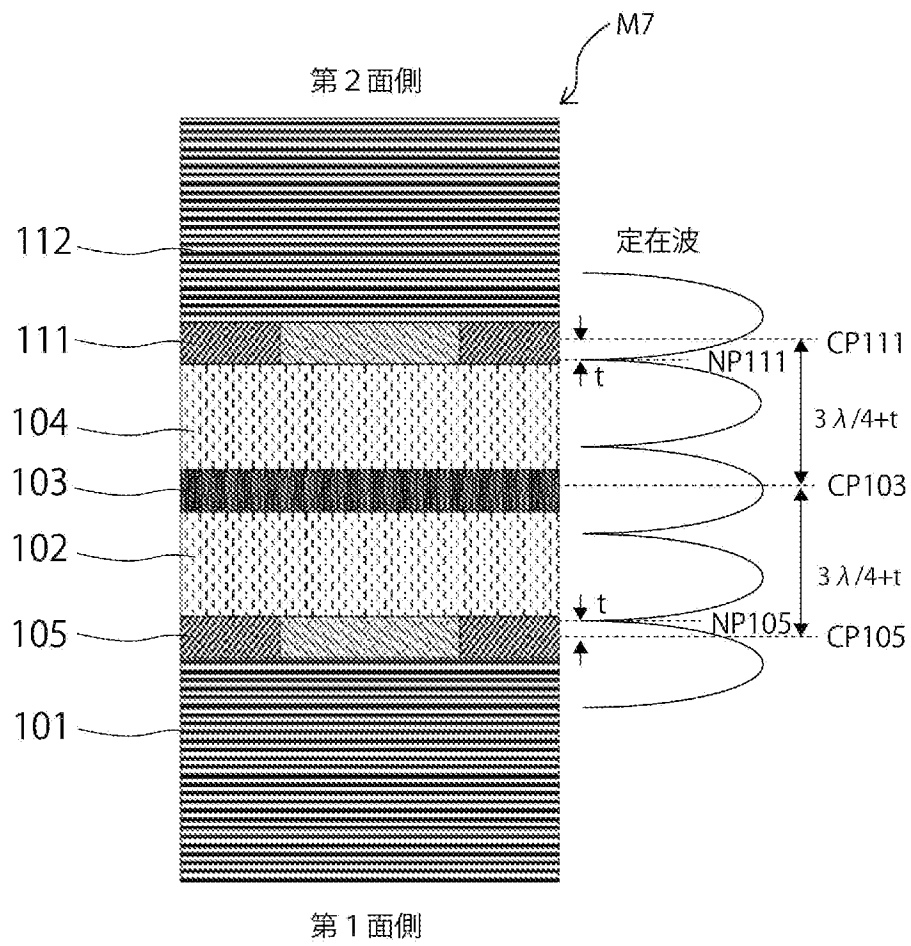
[図22]



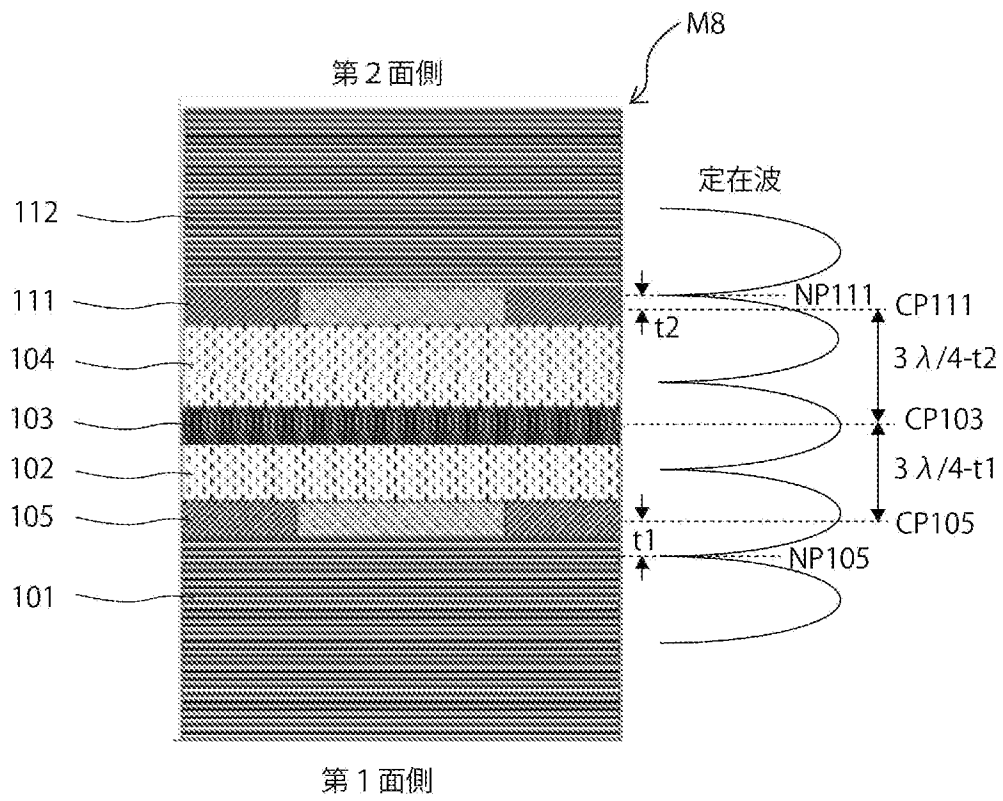
[図23]



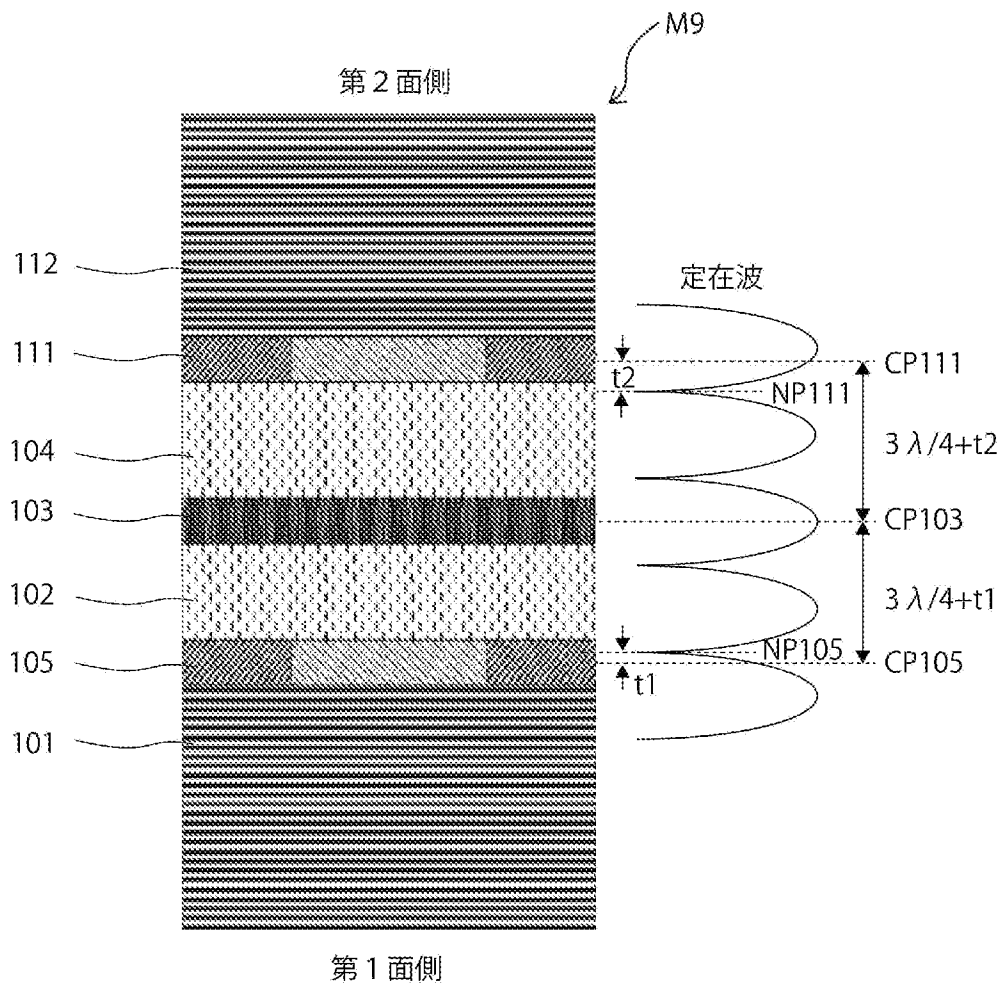
[図24]



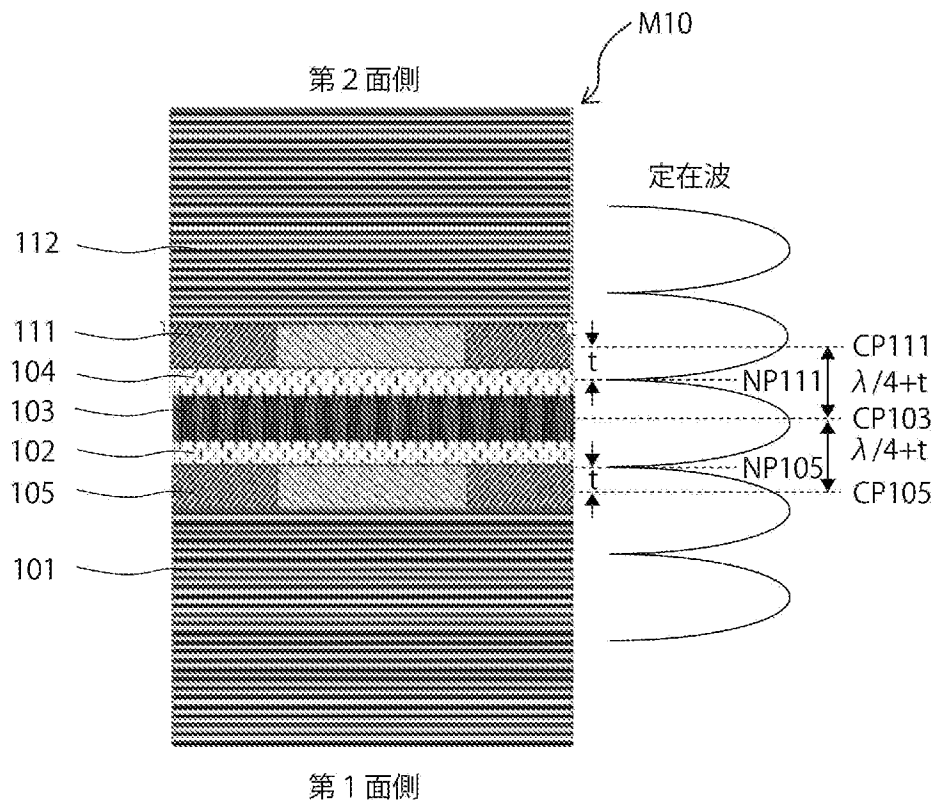
[図25]



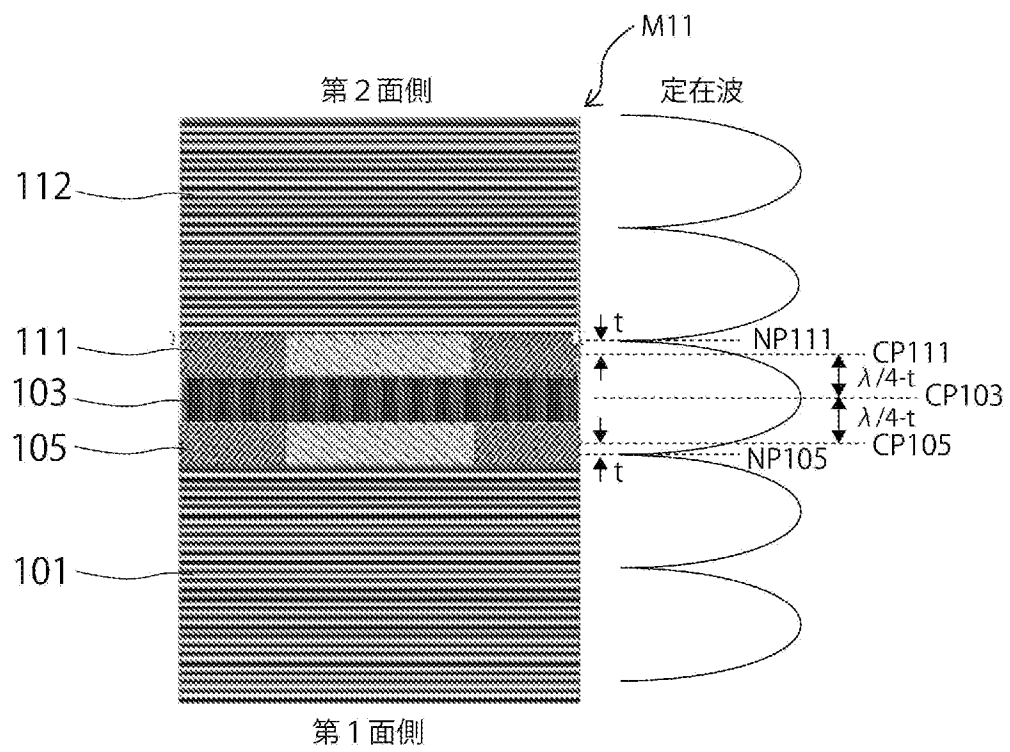
[図26]



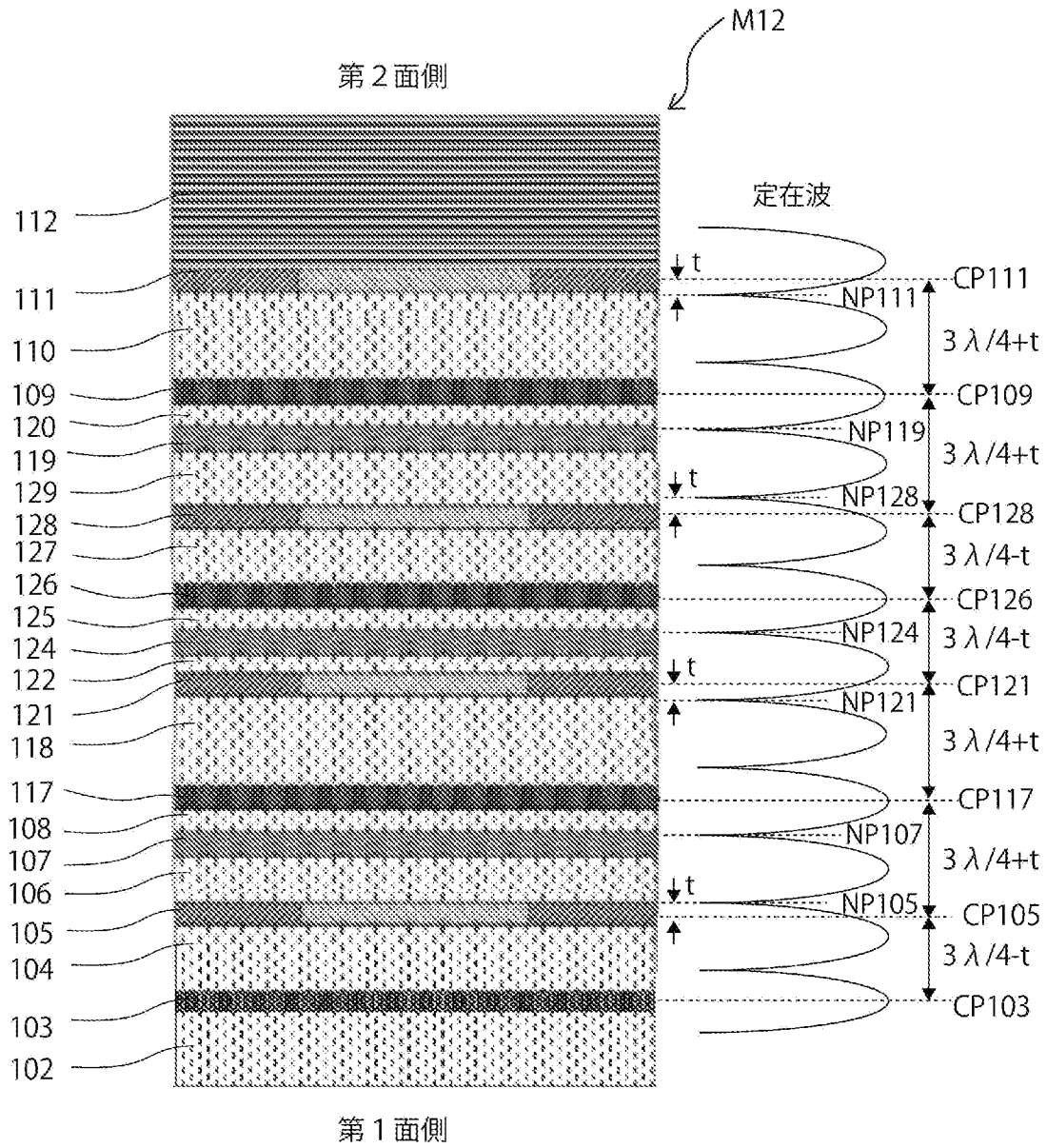
[図27]

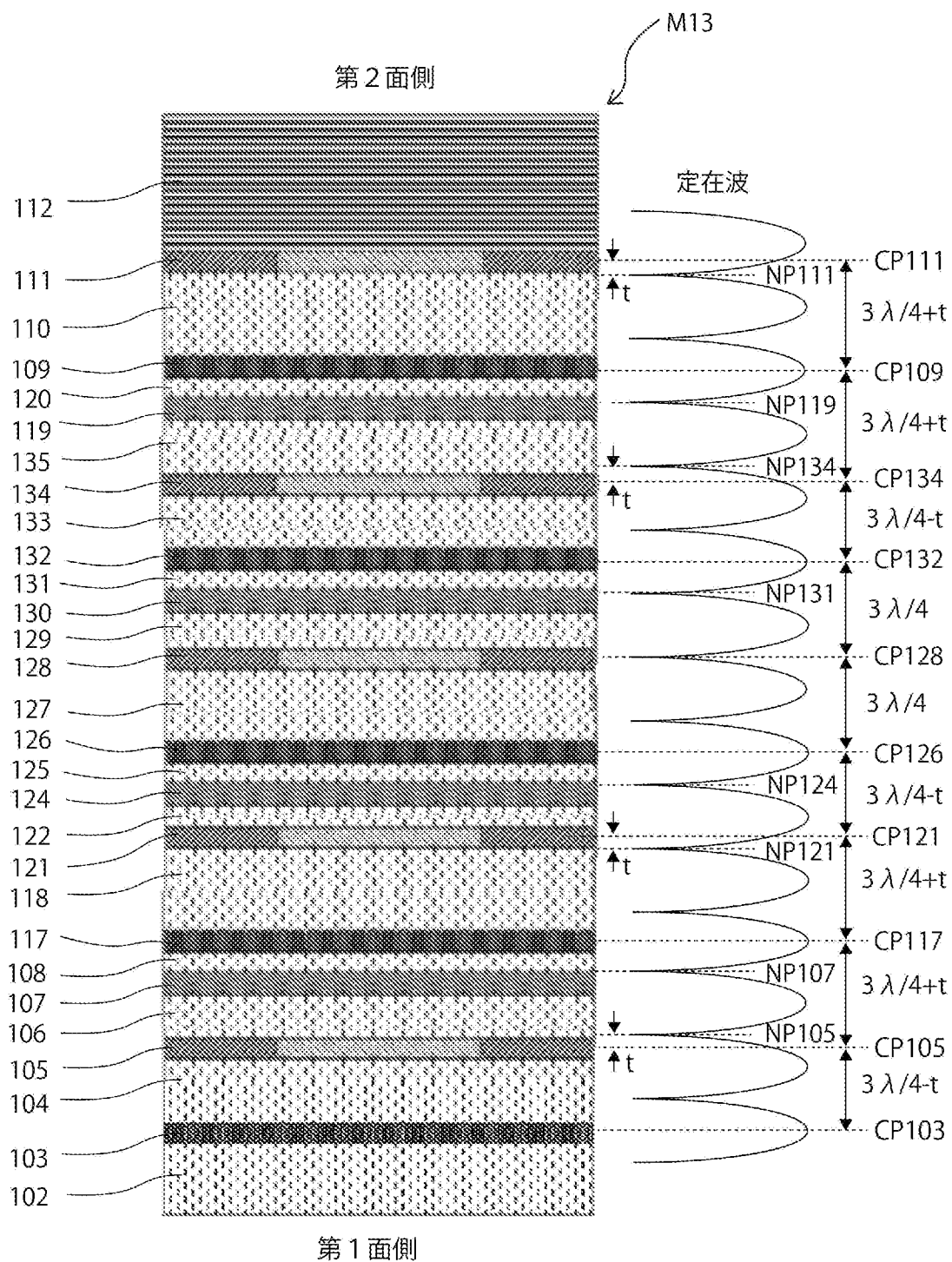


[図28]

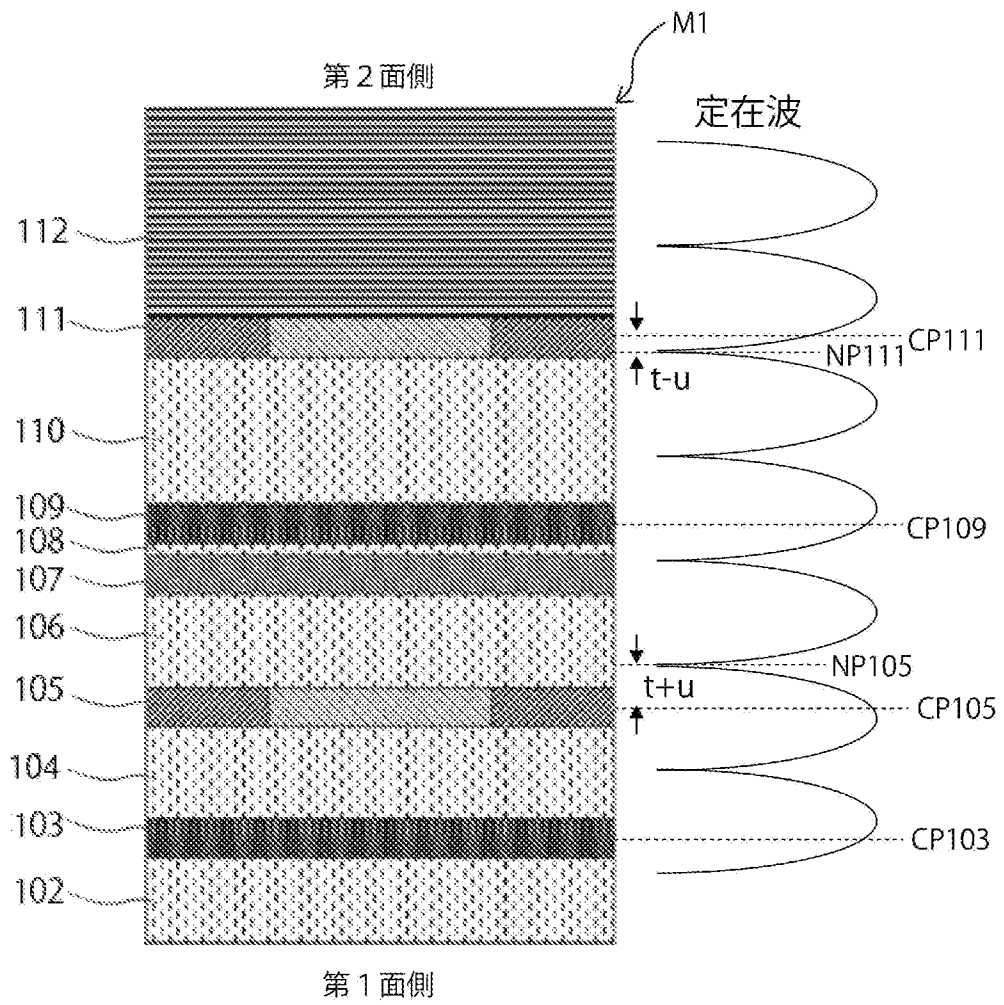


[図29]

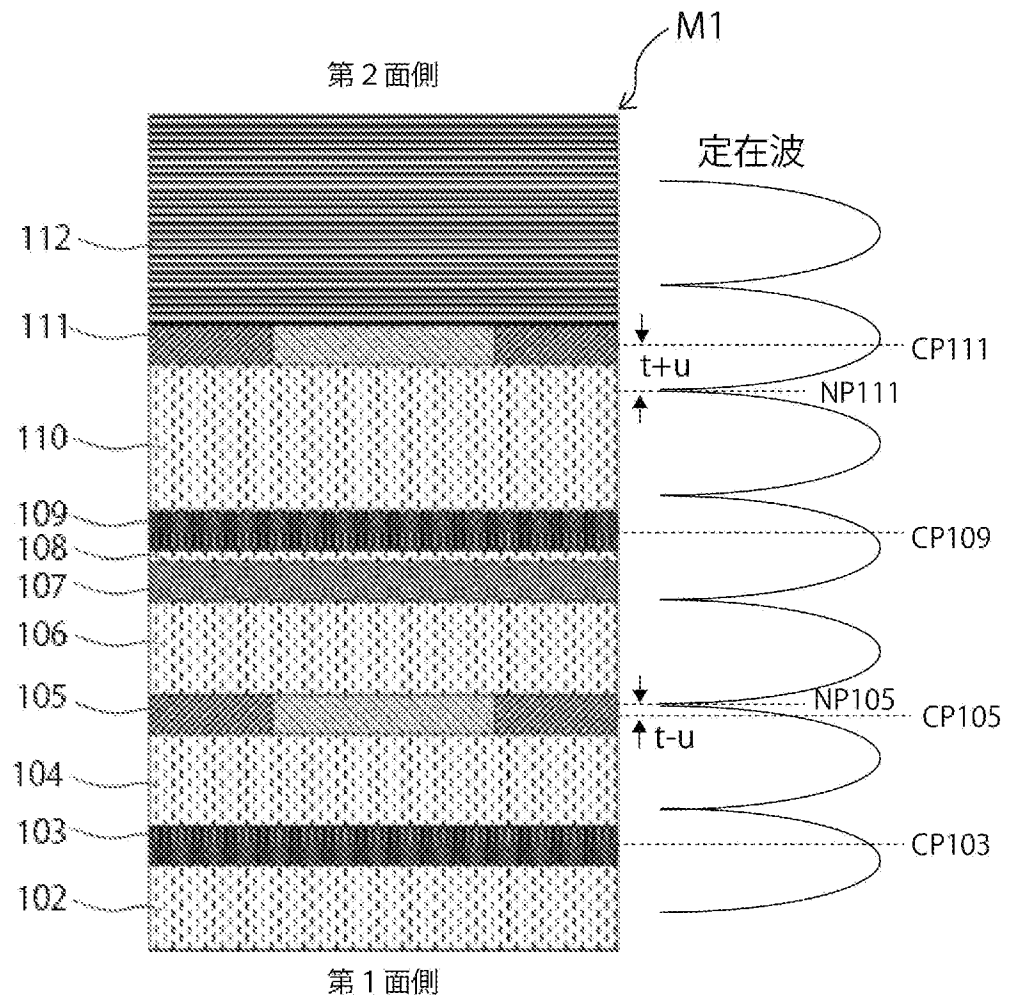




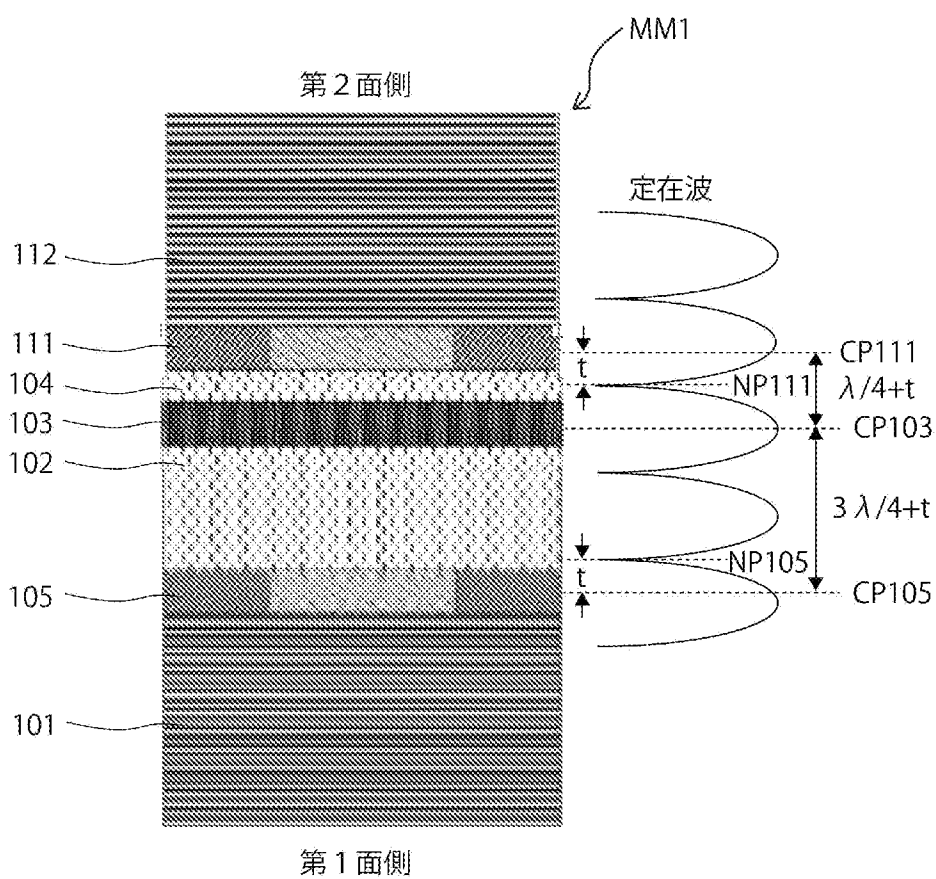
[図31]



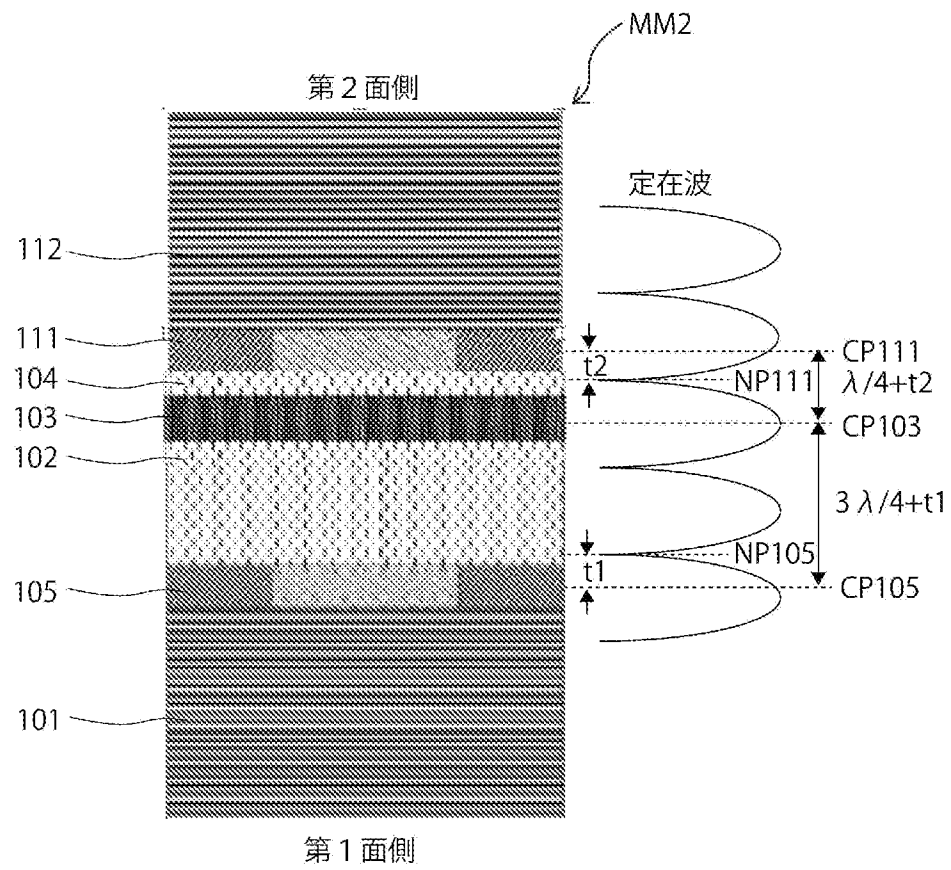
[図32]



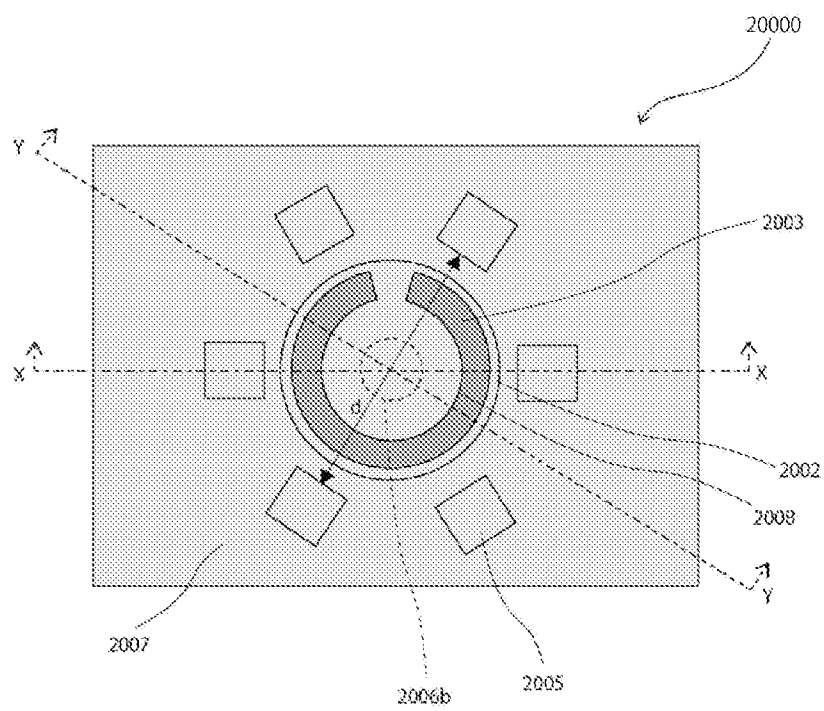
[図33]



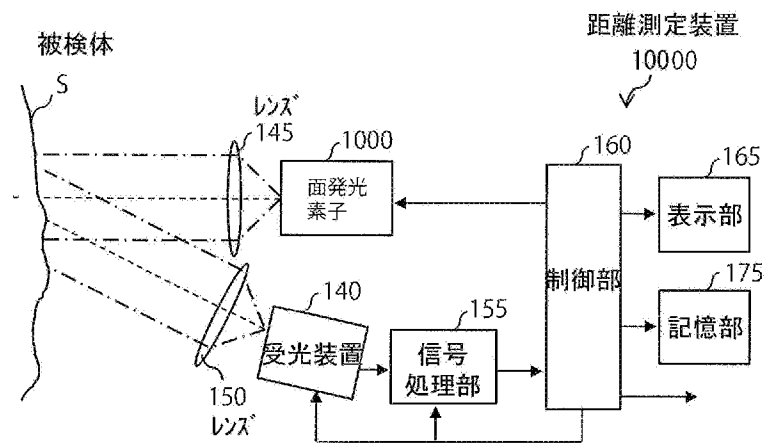
[図34]



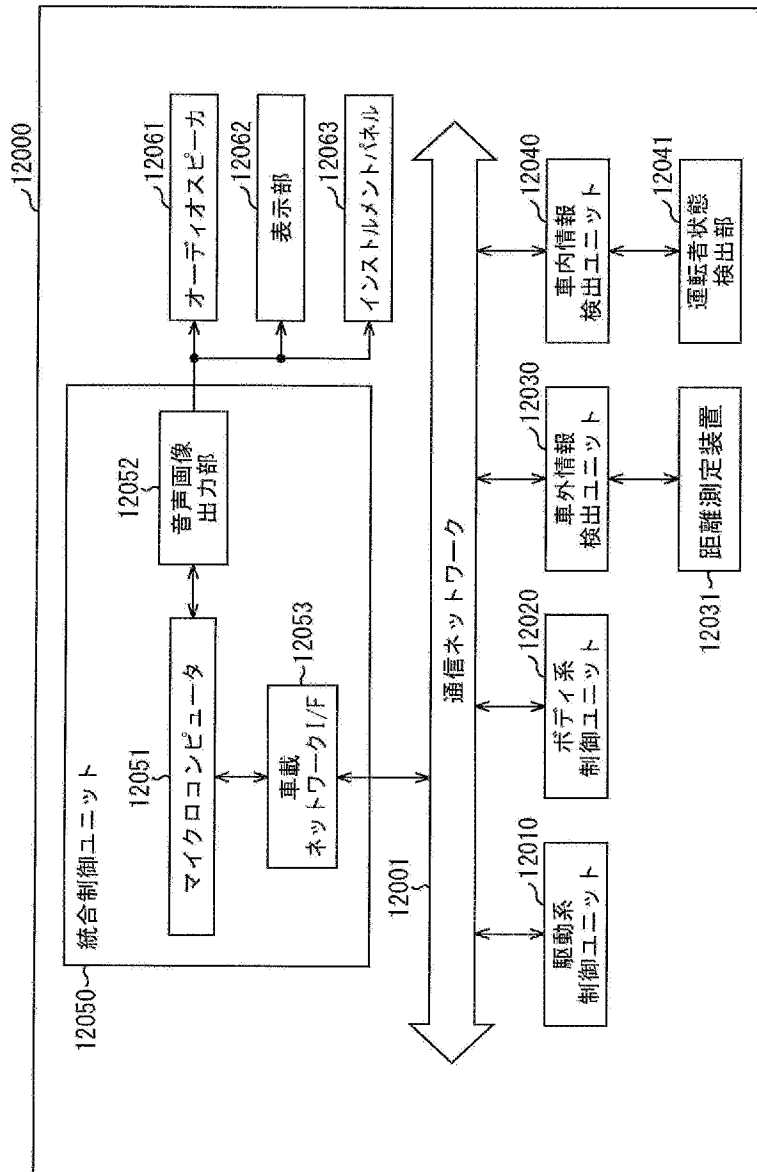
[図35]



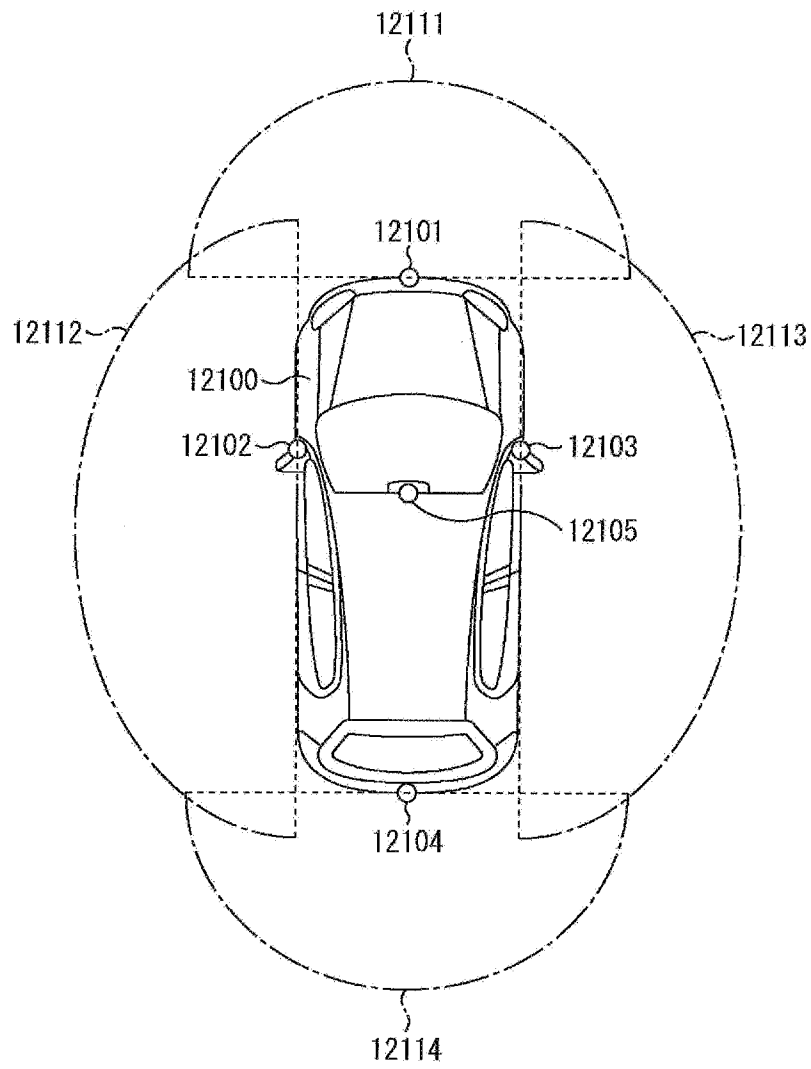
[図37]



[図38]



[図39]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/031435

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

FI: H01S5/183

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)

H01S5/183

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 1971-2024

Registered utility model specifications of Japan 1996-2024

Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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	US 2021/0057881 A1 (BRIGHTINTELLIGENCE TECHNOLOGIES (ZHONGSHAN) CO., LTD.) 25 February 2021 (2021-02-25) paragraph [0045], fig. 1, 3	1, 3-7, 13-14, 16-17
A	paragraph [0045], fig. 1, 3	2, 8-12, 15, 18-20
X	JP 2016-4944 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 12 January 2016 (2016-01-12) paragraphs [0031]-[0032], fig. 4	1-2, 4, 6, 17
X	WO 2022/158301 A1 (SONY GROUP CORPORATION) 28 July 2022 (2022-07-28) paragraphs [0027], [0065], fig. 19	1, 3-4, 6-8, 13, 16-20
X	JP 2002-359434 A (RICOH COMPANY, LTD.) 13 December 2002 (2002-12-13) paragraph [0057], fig. 6	1, 3-4, 6-16

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

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

07 October 2024

Date of mailing of the international search report

15 October 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/031435

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2021/0057881	A1	25 February 2021	CN 109524878 A	
JP	2016-4944	A	12 January 2016	(Family: none)	
WO	2022/158301	A1	28 July 2022	US 2024/0055833 A1 paragraphs [0134], [0205], fig. 19	
				CN 116762246 A	
JP	2002-359434	A	13 December 2002	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H01S 5/183(2006.01)i

FI: H01S5/183

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

H01S5/183

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1971-2024年

日本国実用新案登録公報1996-2024年

日本国登録実用新案公報1994-2024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	US 2021/0057881 A1 (BRIGHTINTELLIGENCE TECHNOLOGIES (ZHONGSHAN) CO., LTD.) 25.02.2021 (2021 - 02 - 25) 0045, 図1, 3	1, 3-7, 13-14, 16-17
A	0045, 図1, 3	2, 8-12, 15, 18-20
X	JP 2016-4944 A (古河電気工業株式会社) 12.01.2016 (2016 - 01 - 12) 0031-0032, 図4	1-2, 4, 6, 17
X	WO 2022/158301 A1 (ソニーグループ株式会社) 28.07.2022 (2022 - 07 - 28) 0027, 0065, 図19	1, 3-4, 6-8, 13, 16-20
X	JP 2002-359434 A (株式会社リコー) 13.12.2002 (2002 - 12 - 13) 0057, 図6	1, 3-4, 6-16

☐ 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、一般的な技術水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

07.10.2024

国際調査報告の発送日

15.10.2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

佐藤 美紗子 2K 4015

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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/JP2024/031435

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
US	2021/0057881	A1	25.02.2021	CN	109524878	A	
JP	2016-4944	A	12.01.2016	(ファミリーなし)			
WO	2022/158301	A1	28.07.2022	US	2024/0055833	A1	
				0134, 0205, 図19			
				CN	116762246	A	
JP	2002-359434	A	13.12.2002	(ファミリーなし)			