

(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7月21日(21.07.2022)



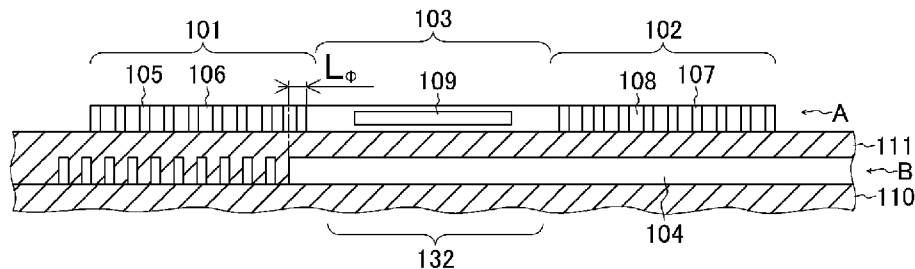
(10) 国際公開番号

WO 2022/153529 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/125 (2006.01) *H01S 5/20* (2006.01) 松尾 慎治 (MATSUO, Shinji); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/001447
- (22) 国際出願日: 2021年1月18日(18.01.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 鶴谷 拓磨 (TSURUGAYA, Takuma); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 山川 茂樹, 外(YAMAKAWA, Shigeki et al.); 〒1006104 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー4階 山川国際特許事務所内 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: SEMICONDUCTOR LASER AND METHOD FOR DESIGNING SAME

(54) 発明の名称: 半導体レーザおよびその設計方法



(57) Abstract: A semiconductor laser according to the present invention is provided with a first optical waveguide (A) comprising a first reflection part (101), a second reflection part (102), and a confinement part (103). The first reflection part (101) and the second reflection part (102) are constituted by a structure in which the refractive index is periodically modulated, and are of a waveguide-type. The first reflection part (101), the confinement part (103), and the second reflection part (102) constitute a Fabry-Perot optical resonator. Furthermore, this semiconductor laser is provided with a second optical waveguide (B) disposed so as to extend, along the first optical waveguide (A), from the confinement part (103) toward the second reflection part (102) side. The second optical waveguide (B) is an extraction optical waveguide. Furthermore, a third reflection part 131 is provided at a location corresponding to the first reflection part (101), and is formed contiguously with the second optical waveguide (B).

(57) 要約: 半導体レーザは、第1反射部(101)、第2反射部(102)、および閉じ込め部(103)を備える第1光導波路(A)を備える。第1反射部(101)および第2反射部(102)は、周期的に屈折率が変調する構造から構成され、導波路型とされている。第1反射部(101)、閉じ込め部(103)、および第2反射部(102)によりファブリペロー型の光共振器が構成されている。また、この半導体レーザは、第1光導波路(A)に沿って、閉じ込め部(103)から第2反射部(102)の側に延在して配置された第2光導波路(B)を備える。第2光導波路(B)が、取り出し光導波路となる。また、第1反射部(101)に対応する箇所において、第2光導波路(B)に連続して形成された第3反射部131を備える。

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：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：半導体レーザおよびその設計方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体レーザおよびその設計方法に関する。

背景技術

[0002] シリコン光導波路（Silicon waveguide：SiWG）とのコンパクトな一体集積が可能な半導体レーザとして、InP系やGaAs系などのIII-V族化合物半導体から構成されたレーザ共振器を、SiWGと結合させ、SiWGへの直接的な光取り出しを可能とした半導体レーザが研究開発されている（非特許文献1，非特許文献2，非特許文献3）。

[0003] この種のレーザ共振器では、光導波路に周期的な屈折率変調を施してブラッグ反射を起こすことで特定の波長成分のみを共振させ、シングルモードでの発振を可能とした光導波路型の構造がよく用いられる。この中で、周期的な屈折率変調が活性領域部分に形成されたものが、分布帰還型（distributed feedback：DFB）レーザと呼ばれている。また、活性領域を取り囲むパッシブ光導波路部分に、周期的な屈折率変調が施されたものが、分布ブラッグ反射器（distributed Bragg reflector laser：DBR）レーザと呼ばれている。

[0004] また特に、光導波路の中心部分を円柱状に掘り落とすなどして非常に強いブラッグ反射を起こし、ミクロン長オーダーの極めてコンパクトな共振器形成を可能としたものは、フォトリック結晶（photonic crystal：PhC）レーザと呼ばれている。

[0005] これらの構成では、適当な等価屈折率を有する取り出し光導波路を、これら光導波路型レーザの近傍に配置することでレーザ共振器と光学的に結合させ、レーザ共振器から取り出し光導波路への直接的な光取り出しが実現できる。

[0006] ここで、光導波路型の共振器構造においては、光が光導波路（導波方向）

に沿って前後に往復し続けており、前進波成分および後退波成分の2成分が存在する。これに対して取り出し光導波路を接近させると、前進波および後退波の各々が取り出し光導波路と結合し、取り出し光導波路のフロント側とリア側の双方へと光が出力されることになる。

先行技術文献

非特許文献

- [0007] 非特許文献1: G. Crosnier et al., "Hybrid indium phosphide-on-silicon nanolaser diode", Nature Photonics, vol. 11, pp. 297-300, 2017.
- 非特許文献2: H. Duprez et al., "1310 nm hybrid InP/InGaAsP on silicon distributed feedback laser with high side-mode suppression ratio", Optics Express, vol. 23, no. 7, pp. 8489-8497, 2015.
- 非特許文献3: R. Katsumi et al., "Quantum-dot single-photon source on a CMOS silicon photonic chip integrated using transfer printing", APL Photonics, vol. 4, 036105, 2019.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] このような半導体レーザの主な用途は、情報伝送用の送信機であるが、送信側から受信側に向けて一方向に信号を送る場合、リア側からの光出力は不要となる。典型例として、フロント側とリア側の双方に同じだけの光パワーを出力する対称出射構造の場合、原理的に50%の光パワーが失われてしまうことになる。十分な光出力パワー（受信機側で十分なSNRを得るのに必要）と、低消費電力性（特に短距離情報伝送において重要）とを両立するには、できる限り高い効率で光を出力させることが重要となる。しかしながら、上述したように、従来技術では、出力される光パワーに損失が発生しているという問題があった。
- [0009] 本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、半導体レーザの光パワーの損失の防止を目的とする。

課題を解決するための手段

- [0010] 本発明に係る半導体レーザは、周期的に屈折率に変調する構造から構成された導波路型の第1反射部および第2反射部、および第1反射部と第2反射部とに挟まれた閉じ込め部を備える第1光導波路と、第1光導波路に沿って、閉じ込め部から第2反射部の側に延在して配置された第2光導波路と、第1反射部に対応する箇所において、第2光導波路に連続して形成された第3反射部と、閉じ込め部に形成された活性層とを備え、第1反射部、閉じ込め部、および第2反射部によりファブリペロー型の光共振器が構成され、閉じ込め部が配置された結合領域において、第2光導波路と閉じ込め部とは、互いに光結合可能な状態とされ、第2光導波路の第2反射部の側にレーザが出力される。
- [0011] また、本発明に係る半導体レーザの設計方法は、第1反射部と第3反射部との導波方向の位置オフセットを L_ϕ 、第1反射部と第3反射部との導波方向の位置オフセットの部分の第2光導波路における長さ L_ϕ の部分の伝搬定数を β_ϕ とし、第1光導波路における結合領域の伝搬定数を β_A とし、第2光導波路における結合領域の伝搬定数を β_B とし、

[数1]

結合領域の、レーザの出力側の端点を添え字Fとし、反対側の端点を添え字Rとし、結合領域における第1光導波路、第2光導波路での光電界の進行波成分を $\vec{A}_F, \vec{A}_R, \vec{B}_F, \vec{B}_R$ 、後退波成分を $\vec{A}_F, \vec{A}_R, \vec{B}_F, \vec{B}_R$ とし、

$$\delta = \frac{\beta_B - \beta_A}{2}, q = \frac{|\beta_B' - \beta_A'|}{2}, \chi = \sqrt{q^2 - \delta^2} \text{ とし、}$$

$$\begin{pmatrix} \vec{A}_F \\ \vec{B}_F \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{A}_{F,0} \\ \vec{B}_{F,0} \end{pmatrix} \cdots \quad (\text{A})$$

$$c_{11} = r_{F,A} r_{R,A} \left[\left\{ \cos(qL_c) + j \frac{\delta}{q} \sin(qL_c) \right\}^2 - \frac{\chi^2}{q^2} \sin^2(qL_c) e^{-2j\beta_\phi L_\phi} \right] e^{-j(\beta_A + \beta_B)L_c} \cdots \quad (\text{B})$$

として、式A、式Bにもとづいて、 χ および L_ϕ を変化させて得られる、 c_{11} の波長特性を元に得られる共振条件を満たす波長の状態が、シングルモード

条件を満たすように条件を設定する。

発明の効果

[0012] 以上説明したように、本発明によれば、活性層が形成された閉じ込め部を備える第1光導波路に沿って配置された第2光導波路に第3反射部を設けるので、半導体レーザの光パワーの損失が防止できる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1A]図1 Aは、本発明の実施の形態に係る半導体レーザの構成を示す断面図である。

[図1B]図1 Bは、本発明の実施の形態に係る半導体レーザの一部構成を示す平面図である。

[図1C]図1 Cは、本発明の実施の形態に係る半導体レーザの一部構成を示す平面図である。

[図2A]図2 Aは、本発明の実施の形態に係る他の半導体レーザの構成を示す断面図である。

[図2B]図2 Bは、本発明の実施の形態に係る他の半導体レーザの一部構成を示す平面図である。

[図2C]図2 Cは、本発明の実施の形態に係る他の半導体レーザの一部構成を示す平面図である。

[図3A]図3 Aは、本発明の実施の形態に係る他の半導体レーザの一部構成を示す平面図である。

[図3B]図3 Bは、本発明の実施の形態に係る他の半導体レーザの一部構成を示す平面図である。

[図4A]図4 Aは、本発明の実施の形態に係る他の半導体レーザの一部構成を示す平面図である。

[図4B]図4 Bは、本発明の実施の形態に係る他の半導体レーザの一部構成を示す断面図である。

[図5]図5は、半導体レーザの設計のための解析に用いたモデルを示す構成図である。

[図6A]図6Aは、結合領域132における第1光導波路Aと第2光導波路Bと間の結合強さを表す χ および位相調整長 L_ϕ をパラメータとして、様々な値に設定したときの c_{11} の波長特性を示す特性図である。

[図6B]図6Bは、結合領域132における第1光導波路Aと第2光導波路Bと間の結合強さを表す χ および位相調整長 L_ϕ をパラメータとして、様々な値に設定したときの c_{11} の波長特性を示す特性図である。

[図6C]図6Cは、結合領域132における第1光導波路Aと第2光導波路Bと間の結合強さを表す χ および位相調整長 L_ϕ をパラメータとして、様々な値に設定したときの c_{11} の波長特性を示す特性図である。

[図7]図7は、3次元有限差分時間領域法（3D-FDTD法）による数値的なシミュレーションのためのシミュレーションセットアップの構成を示す説明図である。

[図8]図8は、シミュレーションによって得られた共振器Q値の L_ϕ 依存性を示す特性図である。

[図9]図9は、シミュレーションによって得られた光取り出し効率の L_ϕ 依存性を示す特性図である。

[図10]図10は、3D-FDTD計算を行うことで得られた共振モードの、第1光導波路Aおよび第2光導波路Bのx座標中心におけるy-z断面の光電場強度分布を示す分布図である。

[図11]図11は、3D-FDTD計算を行うことで得られた共振モードの、第2光導波路Bのy座標中心におけるx-z断面の光電場強度分布を示す分布図である。

[図12]図12は、第3反射部131の反射率 $|r_{F,A}|^2$ 、 $|r_{R,A}|^2$ の値を変化させ、式(16)で与えられるファブリペロー共振器としての孤立共振器Q値を変化させたときの共振器特性を示す特性図である。

[図13]図13は、第3反射部131の反射率 $|r_{F,A}|^2$ 、 $|r_{R,A}|^2$ の値を変化させ、式(16)で与えられるファブリペロー共振器としての孤立共振器Q値を変化させたときの共振器特性を示す特性図である。

[図14]図14は、本発明の実施の形態に係る他の半導体レーザの一部構成を示す平面図である。

発明を実施するための形態

- [0014] 以下、本発明の実施の形態に係る半導体レーザについて図1A、図1B、図1Cを参照して説明する。この半導体レーザは、第1反射部101、第2反射部102、および閉じ込め部103を備える第1光導波路Aを備える。
- [0015] 第1反射部101および第2反射部102は、周期的に屈折率に変調する構造から構成され、導波路型とされている。第1反射部101および第2反射部102は、例えば、導波路型の1次元フォトリック結晶から構成されている。
- [0016] この場合、第1反射部101を構成する導波路型のフォトリック結晶（1次元フォトリック結晶）は、第1基部105および第1基部105に形成された第1格子要素106を備える。第1格子要素106は、所定の間隔で直線状に周期的に設けられ、第1基部105とは異なる屈折率とされ、柱状（例えば円柱）とされている。第1格子要素106は、例えば、第1基部105に形成された貫通孔である。
- [0017] 同様に、第2反射部102を構成する1次元フォトリック結晶は、第2基部107および第2基部107に形成された第2格子要素108を備える。第2格子要素108は、所定の間隔で直線状に周期的に設けられ、第2基部107とは異なる屈折率とされ、柱状（例えば円柱）とされている。第2格子要素108は、例えば、第2基部107に形成された貫通孔である。
- [0018] 第1反射部101、閉じ込め部103、および第2反射部102によりファブリペロー型の光共振器が構成されている。例えば、第1基部105、閉じ込め部103、第2基部107は、同一の材料から一体に形成され、閉じ込め部103は、上述した格子要素が形成されていない部分となる。また、閉じ込め部103には、活性層109が形成されている（埋め込まれている）。活性層109外形が、例えば直方体とされている。
- [0019] 第1基部105、閉じ込め部103、第2基部107は、例えば、InP

から構成することができる。第1基部105、閉じ込め部103、第2基部107を構成する一体構造は、例えば、幅500nm、厚さ250nmとしたコア状の構造とすることができる。

[0020] また、例えば共振波長を通信用途に適した1.55 μ m帯とする場合、第1反射部101、第2反射部102は、格子定数を375nmから455nm程度とすることができる。また、第1格子要素106、第2格子要素108の直径は、180nmとすることができる。第1基部105、閉じ込め部103、第2基部107を厚さ250nmのコア形状としているので、第1格子要素106、第2格子要素108は、直径180nm、高さ250nmの円柱となる。

[0021] また、この半導体レーザは、第1光導波路Aに沿って、閉じ込め部103から第2反射部102の側に延在して配置された第2光導波路Bを備える。第2光導波路Bが、取り出し光導波路となる。また、第1反射部101に対応する箇所において、第2光導波路Bに連続して形成された第3反射部131を備える。第3反射部131は、第1反射部101と同様の反射特性を有する。この例において、第3反射部131は、上述した第1反射部101と同様に、導波路型の1次元フォトニック結晶から構成されている。この場合、第3反射部131を構成する導波路型のフォトニック結晶（1次元フォトニック結晶）は、第2光導波路Bのコア104に形成された第3格子要素112を備える構成とすることができる。第3格子要素112が形成されている領域は、コア104を、第3反射部131の領域まで延長している部分である。

[0022] ここで、閉じ込め部103が配置された結合領域132において、第2光導波路Bと閉じ込め部103とは、互いに光結合可能な状態とされている。なお、この半導体レーザは、第2光導波路Bの第2反射部102の側にレーザが出力されるものである。

[0023] なお、コア104は、例えば、シリコンから構成されている。コア104は、下部クラッド層110の上に形成されている。また、下部クラッド層1

10の上には、コア104を覆って上部クラッド層111が形成されている。各クラッド層は、例えば、酸化シリコンから構成されている。実施の形態において、第1光導波路Aは、上部クラッド層111の上に形成されている。なお、図1Aは、導波方向に平行で、下部クラッド層110（上部クラッド層111）の平面に垂直な断面を示している。また、図1Bは、上部クラッド層111上の平面を示している。また、図1Cは、下部クラッド層110上の平面を示している。

[0024] ここで、前述した第1基部105、閉じ込め部103、第2基部107を構成する、コア状の一体構造は、例えば、上部クラッド層111の上に、よく知られた有機金属気相成長法などによりInPを堆積することで形成できる。

[0025] また、この半導体レーザは、図2A、図2B、図2Cに示すように、第1反射部101は、第1光導波路Aの第1反射部101におけるコアの上に形成された第1回折格子113から構成することができる。また、第2反射部102は、第1光導波路Aの第2反射部102におけるコアの上に形成された第2回折格子114から構成することができる。同様に、第3反射部131は、第2光導波路Bのコア104の上に形成された第3回折格子115から構成することができる。第3回折格子115が形成されている領域は、コア104を、第3反射部131の領域まで延長している部分である。

[0026] また、この半導体レーザは、図3A、図3Bに示すように、第1反射部101は、第1光導波路Aの第1反射部101におけるコアの両側面に形成された第1回折格子113aから構成することができる。また、第2反射部102は、第1光導波路Aの第2反射部102におけるコアの両側面に形成された第2回折格子114aから構成することができる。同様に、第3反射部131は、第2光導波路Bのコア104の両側面に形成された第3回折格子115aから構成することができる。第3回折格子115aが形成されている領域は、コア104を、第3反射部131の領域まで延長している部分である。

[0027] 次に、閉じ込め部 103 における電流注入について、図 4 A、図 4 B を参照して説明する。なお、図 4 B は、導波方向に垂直な面の断面を示している。電流注入構造は、第 1 半導体層 124 および第 2 半導体層 125 により実現できる。第 1 半導体層 124 および第 2 半導体層 125 は、上部クラッド層 111 の上に形成され、上部クラッド層 111 の面に平行で、導波方向に垂直な方向で、閉じ込め部 103 を挟み、閉じ込め部 103 の側面に接して形成されている。第 1 半導体層 124 は、例えば、 n 型の InP などの n 型の III-V 族化合物半導体から構成することができる。また、第 2 半導体層 125 は、例えば、 p 型の InP などの p 型の III-V 族化合物半導体から構成することができる。

[0028] また、この電流注入構造は、上部クラッド層 111 の上に形成され、第 1 半導体層 124 を閉じ込め部 103 との間で挟むように配置された、第 1 半導体層 124 に接続された第 1 コンタクト層 126 を備える、また、上部クラッド層 111 の上に形成され、第 2 半導体層 125 を閉じ込め部 103 との間で挟むように配置された、第 2 半導体層 125 に接続された第 2 コンタクト層 127 を備える、第 1 コンタクト層 126 は、 n 型の InP などの n 型の III-V 族化合物半導体から構成することができる。また、第 2 コンタクト層 127 は、 p 型の InP などの p 型の III-V 族化合物半導体から構成することができる。

[0029] また、この電流注入構造は、第 1 コンタクト層 126 に電氣的に接続された第 1 電極 128 と、第 2 コンタクト層 127 に電氣的に接続された第 2 電極 129 とを備える。

[0030] また、この電流注入構造は、まず、第 1 半導体層 124 および第 2 半導体層 125 は、コア状の構造とされている閉じ込め部 103 より薄く形成することができる。

[0031] なお、活性層 109 は、導波方向の端部が先端に行くほど先細りの形状とすることができる。この例では、活性層 109 は、導波方向の両端部が先細りの形状としている。導波方向は、図 4 A の紙面の左右方向である。

[0032] また、第1半導体層124は、平面視で閉じ込め部103の側から第1コンタクト層126の側に行くほど幅が狭くなる台形の形状とし、導波方向の一端が、閉じ込め部103の中央部から離れるほど、幅が狭くなる第1テーパ領域151を備える構成とすることができる。同様に、第2半導体層125は、平面視で閉じ込め部103の側から第2コンタクト層127の側に行くほど幅が狭くなる台形の形状とし、導波方向の一端が、閉じ込め部103の中央部から離れるほど、幅が狭くなる第2テーパ領域152を備える構成とすることができる。

[0033] また、第1半導体層124は、導波方向の他端が、閉じ込め部103の中央部から離れるほど、幅が狭くなる第3テーパ領域153を備える構成とすることができる。同様に、第2半導体層125は、導波方向の他端が、閉じ込め部103の中央部から離れるほど、幅が狭くなる第4テーパ領域154を備える構成とすることができる。この例において、第1半導体層124および第2半導体層125は、平面視の形状が、活性層109の側を底辺とする等脚台形である。

[0034] また、閉じ込め部103は、閉じ込め部103の一端に、閉じ込め部103から離れるほど平面視で幅が徐々に狭くなる第5テーパ領域155を備える構成とすることができる。また、閉じ込め部103は、閉じ込め部103の他端に、閉じ込め部103から離れるほど平面視で幅が徐々に狭くなる第6テーパ領域156を備える構成とすることができる。この例では、導波方向に閉じ込め部103を挟んで配置される第1反射部101、第2反射部102が、第5テーパ領域155および第6テーパ領域156を介して活性層109（閉じ込め部103）に光学的に接続することができる。なお、第1反射部101、第2反射部102のコア幅は、閉じ込め部103のコア幅と同一とすることもできる。

[0035] 上述した構造に製造について簡単に説明すると、例えば、上部クラッド層111の上にInPからなる薄い半導体層を形成した後、この上に、活性層109となるInP系の半導体層または半導体積層構造を形成する。半導体

積層構造は、例えば、多重量子井戸構造である。この後、活性層109となるInP系の半導体層または半導体積層構造を、公知のリソグラフィー技術およびエッチング技術によりパターニングすることで、活性層109を形成する。

[0036] 次に、活性層109を形成することで、この周囲に露出したInPからなる薄い半導体層より、InPを再成長させることで、活性層109を埋め込んだ厚い半導体層を形成し、各導電型の領域とするための不純物導入を実施する。次に、公知のリソグラフィー技術およびエッチング技術により、第1半導体層124、第2半導体層125とする領域、および第1コンタクト層126、第2コンタクト層127とする領域を形成する。この工程において、第1反射部101、第2反射部102の閉じ込め部103、第5テーパ領域155、第6テーパ領域156の閉じ込め部103の形状を形成する。第1反射部101、第2反射部102、第5テーパ領域155、第6テーパ領域156においては、閉じ込め部103以外の領域の、InP（半導体）は、すべて除去し、上部クラッド層111の上面を露出させる。

[0037] この後、公知のリソグラフィー技術およびエッチング技術により、第1半導体層124、第2半導体層125とする領域の各々に溝を形成して薄くすることで、第1半導体層124、第2半導体層125と、これに続く第1コンタクト層126、第2コンタクト層127が形成できる。この場合、いわゆるリブ型と言われる光導波路となっている。

[0038] なお、第1半導体層124、第2半導体層125とする領域の各々に溝を形成して薄くした後、第1半導体層124、第2半導体層125とする領域、および第1コンタクト層126、第2コンタクト層127とする領域を形成することもできる。閉じ込め部103において、閉じ込め部103を挟む第1半導体層124および第2半導体層125が、閉じ込め部103より薄くすることができるので、上部クラッド層111の面に平行で、導波方向に垂直な方向における閉じ込め部103に対する光閉じ込めを、同じ厚さの場合に比較してより高めることができる。

[0039] ところで、モードフィールドの局在化は、素子抵抗低減の観点においても望ましい効果をもたらす。すなわち、上述した電流注入構造においては、第1光導波路Aのモードフィールドが、電極の部分との重なりを持つと、これに由来する大きな光損失が招かれてしまう。このために、電極は、モードフィールドがその存在を感じない地点にまで、コアから引き離すことが重要となる。この点に関し、コアとこの両脇の半導体層とが等しい厚さの電流注入構造においては、上述のようにモードフィールドが横方向に広がっているため、これに対応して電極も遠い箇所に配置する必要がある。

[0040] これに対し、上述した電流注入構造によれば、モードフィールドが横方向にも強く局在化するために、第1電極128、第2電極129を閉じ込め部103に近づけることができる。p型InP、InP系活性層、n型InPより構成されるアクティブ電流注入構造においては、p型InPが特に大きな抵抗率を有し、素子抵抗はp型InP領域のドーピング濃度および形状に支配される。この電流注入構造によれば、p型の第2半導体層125が、閉じ込め部103より薄くすることができるため、この領域の抵抗は高くなる。一方で、第1電極128、第2電極129を閉じ込め部103に近づけることができるので、薄くなったことによる抵抗値の上昇は、伝導パスの長さの減少によって相殺することができる。結果として、コアと半導体層とが同じ厚さの従来技術に比較して、同程度かむしろそれよりも低い素子抵抗を実現することができる。

[0041] 次に、閉じ込め部103と、第1反射部101、第2反射部102との間の光学的な接続について説明する。上述した構造では、テーパ領域によって、第1反射部101、第2反射部102と、閉じ込め部103とを極めて効率的に接続させることができる。

[0042] ところで、結合領域132において、第1光導波路Aと第2光導波路Bとの光学的な結合を効率的に実現するためには、以下に示す構成とすることができる。

[0043] 例えば、第1光導波路Aの第2反射部102における等価屈折率と、この

領域に対応する出射側領域 133 のコア 104 の等価屈折率との差 $\Delta 1$ を、閉じ込め部 103 の等価屈折率と閉じ込め部 103 に対応する第 3 領域 123 のコア 104 の等価屈折率との差 $\Delta 2$ に比較して大きくする。

[0044] 上述した構成とすることで、結合領域 132 における第 1 光導波路 A と第 2 光導波路 B とは、光学的に結合（光結合）するが、他の領域では、光結合しない構成とすることができる。

[0045] 例えば、結合領域 132 のコア 104 を、他の領域とは異なる径とすることで、上述した等価屈折率の差の関係を成立させることができる。例えば、結合領域 132 のコア 104 を、他の領域のコア 104 に対して細い径とすることで、 $\Delta 1$ を $\Delta 2$ に比較して大きくしている。なお、例えば、平面視で、コア 104 の幅を第 1 反射部 101 第 2 反射部 102 の幅より太することができる。

[0046] 上述したように、コア 104 の径を制御することで、第 2 光導波路 B と第 1 光導波路 A との間の光学的な分離性は保ちつつも、任意の強さで、結合領域 132 で両者を光結合させることが可能となる。

[0047] また、コア 104 は、結合領域 132 から出射側領域 133 にかけて径が徐々に変化させる構成とすることもできる。このように構成することで、コア 104 と光共振器との間の光結合の強さを、徐々に（断熱的に）変化させることができる。第 1 反射部 101、第 2 反射部 102 と、閉じ込め部 103 とでは、モードの形状が異なり、一般には両者間でのモードミスマッチに由来する放射損失が存在し得る。これに対し、上述したような断熱的な形状変化を持たせることで、断熱的にモード変換をさせる構成とすることができ、モードミスマッチによる放射損失の低減が可能となる。

[0048] 次に、本発明の実施の形態に係る半導体レーザの設計方法について説明する。はじめに、上述した半導体レーザの共振器構造が有する特性について説明する。この構造の解析においては、図 5 に示すモデルを用いた。図 5 において、添え字 A は第 1 光導波路 A に関するものであり、添え字 B は第 2 光導波路 B に関するものである。また添え字 F は、光が出射するフロント側を意

味し、添え字 R は、第 3 反射部 1 3 1 が形成されている側のリア側を意味する。

[0049] また、 L_ϕ は、第 1 光導波路 A のリア側に配置される第 1 反射部 1 0 1 と、第 2 光導波路 B の第 3 反射部 1 3 1 との間での z 軸方向（導波方向）についての位置オフセットである。また、 $n_{eq,A}$ は、第 1 光導波路 A の等価屈折率、 $n_{eq,B}$ は、第 2 光導波路 B の等価屈折率である。また、 $\beta_A = (2\pi n_{eq,A}) / \lambda$ は、第 1 光導波路 A の結合領域 1 3 2 における伝搬定数、 $\beta_B = (2\pi n_{eq,B}) / \lambda$ は、第 2 光導波路 B の結合領域 1 3 2 における伝搬定数である。また、 L_c は、これらのマッチングの結果得られる、結合領域 1 3 2 における、第 1 光導波路 A と第 2 光導波路 B との間での方向性結合器としての実効的な結合長さである。

[0050] また、 $\gamma_{R,A}$ は、第 1 光導波路 A における、結合領域 1 3 2 の端から第 1 反射部 1 0 1 の側への振幅反射率である。 $\gamma_{F,A}$ は、第 1 光導波路 A における、結合領域 1 3 2 の端から第 2 反射部 1 0 2 の側への振幅反射率である。 $\gamma_{R,B}$ は、第 2 光導波路 B における、結合領域 1 3 2 の端から第 3 反射部 1 3 1 の側への振幅反射率である。 $\gamma_{F,B}$ は、第 2 光導波路 B における、結合領域 1 3 2 の端から、出射側領域 1 3 3 への振幅反射率である。

[0051] なお、結合領域 1 3 2 の外側の領域では、第 1 光導波路 A と第 2 光導波路 B と間での等価屈折率の差異が十分に大きく、光学的な結合が起こらずに、第 1 光導波路 A および第 2 光導波路 B の各々が、独立な光導波路として振るまうことに注意を要する。

[0052]

[数2]

さらに、結合領域 1 3 2 の端点（フロント側端点を添え字 F、リア側端点を R で表す）における第 1 光導波路 A および第 2 光導波路 B での光電界の進行波成分（+z 方向）を $\vec{A_F}, \vec{A_R}, \vec{B_F}, \vec{B_R}$ 、後退波成分（-z 方向）を $\overleftarrow{A_F}, \overleftarrow{A_R}, \overleftarrow{B_F}, \overleftarrow{B_R}$ と表す。すると、結合領域を方向性結合器と見なすことで、以下の関係が成り立つ。

$$\begin{pmatrix} \vec{A_F} \\ \vec{B_F} \end{pmatrix} = C_{DC} \begin{pmatrix} \vec{A_R} \\ \vec{B_R} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \overleftarrow{A_R} \\ \overleftarrow{B_R} \end{pmatrix} = C_{DC} \begin{pmatrix} \overleftarrow{A_F} \\ \overleftarrow{B_F} \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

[0053] [数3]

ここで、 C_{DC} は、方向性結合による第 1 光導波路 A と第 2 光導波路 B との間での光電界の混ざり合いを表す行列であり、

$$C_{DC} = e^{-j\frac{\beta_A + \beta_B}{2}L_c} \begin{pmatrix} \cos(qL_c) + j\frac{\delta}{q}\sin(qL_c) & -j\frac{\chi}{q}\sin(qL_c) \\ -j\frac{\chi}{q}\sin(qL_c) & \cos(qL_c) - j\frac{\delta}{q}\sin(qL_c) \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

で与えられる。このとき、 $\delta = \frac{\beta_B - \beta_A}{2}$, $q = \frac{|\beta_B' - \beta_A'|}{2}$, $\chi = \sqrt{q^2 - \delta^2}$ である。

[0054] β_A , β_B は各々の光導波路が単独で存在し、光学的な結合が起こっていない際の伝搬定数である。一方、 β_A' , β_B' は両者が共に存在し、光学的な結合が起こって、構造全体に閉じ込められかつ双方の光導波路に分布をもつスーパーモードが形成された際の各スーパーモードの伝搬定数である。

[0055]

[数4]

すると、共振器内でのラウンドトリップを考えることで、ラウンドトリップ前の光電界 $\overrightarrow{A_{F,0}}, \overrightarrow{B_{F,0}}$ とラウンドトリップ後の光電界 $\overrightarrow{A_F}, \overrightarrow{B_F}$ との間に次の関係が成り立つことがわかる。

$$\begin{pmatrix} \overrightarrow{A_F} \\ \overrightarrow{B_F} \end{pmatrix} = C_{DC} \begin{pmatrix} r_{R,A} & 0 \\ 0 & r_{R,B} \end{pmatrix} C_{DC} \begin{pmatrix} r_{F,A} & 0 \\ 0 & r_{F,B} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overrightarrow{A_{F,0}} \\ \overrightarrow{B_{F,0}} \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overrightarrow{A_{F,0}} \\ \overrightarrow{B_{F,0}} \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

[0056] ここで、本共振器の共振条件は、光電界がラウンドトリップした際にその位相が元に戻ることであるから、

[数5]

$$\overrightarrow{A_F} = a \overrightarrow{A_{F,0}}, \overrightarrow{B_F} = b \overrightarrow{B_{F,0}} \quad \dots (4)$$

で与えられる。

[0057] a, b は、第1光導波路Aおよび第2光導波路Bの各々における光電界強度の変化（増幅もしくは減衰）を表す適当な正の実数である。このとき、共振条件を満たすモード、すなわち共振モードの空間分布は、時間によらず常に一定であることから、共振モードがラウンドトリップした際の光電界強度の変化も空間座標によらず一定であり、 $a = b$ となることがわかる。従って、式(3), (4)より、共振条件を固有方程式

[数6]

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overrightarrow{A_{F,0}} \\ \overrightarrow{B_{F,0}} \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} \overrightarrow{A_{F,0}} \\ \overrightarrow{B_{F,0}} \end{pmatrix} \quad \dots (5)$$

の形で表すことができる。この行列 $\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix}$ は、その固有ベクトルを並べた対角化行列 P によって $P^{-1} \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} P = \begin{pmatrix} c_+ & 0 \\ 0 & c_- \end{pmatrix}$ と対角化できる。ここで c_+, c_- はその固有値であって、

$$c_{\pm} = \frac{c_{11} + c_{22} \pm \sqrt{(c_{11} - c_{22})^2 + 4c_{12}c_{21}}}{2} \quad \dots (6)$$

である（複合同順）。

[数7]

したがって、

$$\begin{pmatrix} \overrightarrow{A_+} \\ \overrightarrow{B_-} \end{pmatrix} \equiv P^{-1} \begin{pmatrix} \overrightarrow{A_{F,0}} \\ \overrightarrow{B_{F,0}} \end{pmatrix} \quad \cdots (7)$$

によって、第1光導波路Aと第2光導波路Bとの間での光電界の混ざり合いを考慮した光電界 $\overrightarrow{A_+}, \overrightarrow{B_-}$ を新たに定義すると、

$$\begin{pmatrix} c_+ & 0 \\ 0 & c_- \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overrightarrow{A_+} \\ \overrightarrow{B_-} \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} \overrightarrow{A_+} \\ \overrightarrow{B_-} \end{pmatrix} \quad \cdots (8)$$

となって、2つの独立な固有共振モード： $c_+ \overrightarrow{A_+} = a \overrightarrow{A_+}, c_- \overrightarrow{B_-} = a \overrightarrow{B_-}$ が形成されることがわかる。

[0058] このとき、実施の形態に係る半導体レーザでは、第2光導波路Bのフロント側では光の反射は起こらないため、 $\gamma_{F,B} = 0$ であって、これにより $c_{22} = c_2 = 0$ となる。

[数8]

すると、 $c_+ = c_{11}, c_- = 0$ が得られて、光電界 $\overrightarrow{B_-}$ に対応した固有共振モードは存在せず、

$$c_{11} \overrightarrow{A_+} = a \overrightarrow{A_+} \quad \cdots (9)$$

のみが唯一の固有共振モードとして存在することがわかる。このように単一の共振モードのみが存在することは、シングルモード発振を得るために重要である。

[0059] このとき、 c_{11} は式(3)より、

[数9]

$$c_{11} = r_{F,A} \left[r_{R,A} \left\{ \cos(qL_c) + j \frac{\delta}{q} \sin(qL_c) \right\}^2 - r_{R,B} \frac{\chi^2}{q^2} \sin^2(qL_c) \right] e^{-j(\beta_A + \beta_B)L_c} \quad \cdots (10)$$

で与えられる。

[0060] この式より、第1光導波路Aでのリア側の第1反射部101からの反射波

と、第2光導波路Bのリア側となる第3反射部131からの反射波とが、結合領域132における方向性結合を介してコヒーレントに干渉し合うことで、1つの固有共振モードを形成することがわかる。

[0061] ここで、解析を容易にするために、第1光導波路Aの第1反射部101と、第2光導波路Bの第3反射部131とが、同一の反射特性を有すると仮定する。すると、

[数10]

$$r_{R,B} = r_{R,A} e^{-2j\beta_{\Phi} L_{\Phi}} \dots (11)$$

と表すことができる。 β_{Φ} は、第2光導波路Bにおける長さ L_{Φ} の位相調整領域の伝搬定数である。これを用いると、式(10)は、

[数11]

$$c_{11} = r_{F,A} r_{R,A} \left[\left\{ \cos(qL_c) + j \frac{\delta}{q} \sin(qL_c) \right\}^2 - \frac{\chi^2}{q^2} \sin^2(qL_c) e^{-2j\beta_{\Phi} L_{\Phi}} \right] e^{-j(\beta_A + \beta_B)L_c} \dots (12)$$

と書き換えられる。

[0062] 以下で、式(12)にもとづいて本共振器の特性を具体的に説明する。式(9)より共振条件は $\arg[c_{11}] = 0$ であって、式(12)の位相によって縦モードが決定される。そこで、結合領域132における第1光導波路Aと第2光導波路Bと間の結合強さを表す χ および位相調整長 L_{Φ} をパラメータとして、様々な値に設定したときの c_{11} の波長特性を図6A、図6B、図6Cに示す。共振条件を満たす波長を丸点で示している。丸点が少なく各々間隔が広い状態（粗な状態）ほど、シングルモード条件に近く、丸点が多く各々間隔が狭い状態（密な状態）は、多モード発信状態となっている。

[0063] また、図6A、図6B、図6Cの特性を計算するにあたって仮定した各種パラメータを表1に示す。なお、表1における各等価屈折率および δ 、 q 、 χ の値は図6Aに対応している。 χ の値が異なる中央および右側の列を計算する上では、結合領域132における第1光導波路Aと第2光導波路Bとの

結合時の、スーパーモードの等価屈折率 n_A' , n_B' の値を変化させることで χ の値を変化させた。

[0064] [表1]

表1

パラメータ	値	備考
λ_0	1.551 μm	基準波長
$n_{\text{eq},A} @ \lambda_0$	2.563847	A単独で存在時
$n_{\text{eq},B} @ \lambda_0$	2.569930	B単独で存在時
$n_{\text{eq},A}' @ \lambda_0$	2.552564	A-B間で結合時
$n_{\text{eq},B}' @ \lambda_0$	2.577286	A-B間で結合時
$\delta @ \lambda_0$	123.2 cm^{-1}	
$q @ \lambda_0$	500.8 cm^{-1}	
$\chi @ \lambda_0$	485.4 cm^{-1}	
$\partial n_{\text{eq}} / \partial \lambda$	-0.733 μm^{-1}	波長特性計算時に使用A,B共通
L_c	4.0 μm	
$ r_{F,A} ^2$	0.9926	
$ r_{R,A} ^2$	0.9926	
$ r_{F,B} ^2$	0	
$ r_{R,B} ^2$	0.9926	

[0065] 図6より、 χ が小さく、また位相調整長 L_ϕ が短ければ、 c_{11} は第2光導波路Bのリア側からの反射波の影響を強く受けず、孤立共振器のそれとほぼ同一な広い縦モード間隔 (Free Spectral Range ; F S R) が得られることがわかる。

[0066] 一方で、 χ が大きくなると、第2光導波路Bのリア側からの反射波の寄与が大きくなり、第1光導波路Aのリア側からの反射波との干渉の結果として、 c_{11} の波長特性はうねりを見せるようになる。さらに、その上で L_ϕ を長くとると、第1光導波路Aのフロント側と第2光導波路Bのリア側との間で、長尺な共振器が形成されたような状態となり、様々な縦モードが存在するようになってF S Rが狭くなってしまう。

[0067] 一般に、実施の形態に係る半導体レーザのような、3つ以上の反射部を備

える複合共振器では、様々な縦モードが存在してFSRが狭くなってしまうこと、マルチモード発振が起こってしまうことなどが問題となり得る。

[0068] しかしながら、実施の形態に係る半導体レーザは、式(12)にもとづいて χ および L_ϕ を適当な値に設計することで、2つの反射部のみから構成される単純な孤立共振器と遜色のない良好な共振特性、すなわち、十分に広いFSRおよびシングルモード発振性を得ることができる。

[0069] この設計方法は、具体的には、 χ や L_ϕ として適当な値を仮定して式(12)に代入し、この結果として得られる c_{11} を、図6A、図6B、図6Cのようにプロットして共振条件を満たす波長を数値的に確認する、という作業である。

[0070] 次に、実施の形態に係る半導体レーザの共振器におけるQ値、および光取り出し効率について説明する。共振器のQ値は、レーザの低閾値発振を得るために重要である。ここでは、パッシブな誘電体構造としての共振器Q値を議論するため、活性層109は透明条件にあると仮定し、 β_A 、 β_B は共に実数とする。すると、式(9)、式(12)より、共振モードのラウンドトリップ1回あたりのパッシブなパワー利得が、以下の式(13)によって求められる。

[0071] [数12]

$$\begin{aligned} a^2 &= |c_{11}|^2 \\ &= |r_{F,A}|^2 |r_{R,A}|^2 \left| \left\{ \cos(qL_c) + j \frac{\delta}{q} \sin(qL_c) \right\}^2 - \frac{\chi^2}{q^2} \sin^2(qL_c) e^{-2j\beta_\phi L_\phi} \right|^2 \\ &\quad \dots (13) \end{aligned}$$

[0072] ここで、共振モードの実効的な群屈折率を $n_{g,eff}$ とし、実効的な共振器長を L_{eff} とすると、共振器Q値はファブリペロー描像にもとづいて近似的に、以下の式(14)によって表すことができる。

[0073] [数13]

$$Q_{cav} = \frac{2\omega n_{g,eff} L_{eff}}{-c \log(|c_{11}|^2)} \quad \dots (14)$$

[0074] ここで c は真空中での光速、 ω は共振角周波数である。式 (14) に式 (13) を代入すると、共振器 Q 値が以下のように 2 つの Q 値に分解できることがわかる。

[0075] [数14]

$$Q_{\text{cav}} = \frac{1}{\frac{1}{Q_{\text{F.P.}}} + \frac{1}{Q_{\text{output}}}} \quad \dots (15)$$

$$Q_{\text{F.P.}} = \frac{2\omega n_{\text{g,eff}} L_{\text{eff}}}{-c \log(|r_{\text{F,A}}|^2 |r_{\text{R,A}}|^2)} \quad \dots (16)$$

$$Q_{\text{output}} = \frac{2\omega n_{\text{g,eff}} L_{\text{eff}}}{-c \log \left[\left| \left\{ \cos(qL_c) + j \frac{\delta}{q} \sin(qL_c) \right\}^2 - \frac{\chi^2}{q^2} \sin^2(qL_c) e^{-2j\beta_{\Phi} L_{\Phi}} \right|^2 \right]} \quad \dots (17)$$

[0076] ここで、まず $Q_{\text{F.P.}}$ はフロント側およびリア側のミラーが 100% 未満の有限の反射率を有することに起因する、単純なファブリペロー共振器としての Q 値である。一方、 Q_{output} は、結合領域 132 での干渉の結果、共振光電界のうちの一部が第 2 光導波路 B のフロント側への進行波成分として取り出され、これによって Q 値が低下する効果を表している。従って、仮に共振器における光損失の要因が、これら 2 つのパッシブな構成のみであるとすると、共振器の光取り出し効率は、以下の式 (18) によって求めることができる。なお、実際のデバイスでは、例えば不純物による吸収損失など他の要因もあり得る。

[0077] [数15]

$$\eta_{\text{output}} = \frac{\frac{1}{Q_{\text{output}}}}{\frac{1}{Q_{\text{F.P.}}} + \frac{1}{Q_{\text{output}}}} \quad \dots (18)$$

[0078] 以上の、図 5 のモデルにもとづいた解析的な取り扱いの正しさを確認するために、3次元有限差分時間領域法 (3D-FDTD法) によって同一構造下での数値的なシミュレーションを行った。そのシミュレーションセットアップを図 7 に示す。ここでは、レーザをダイオード動作させることを想定し

、図4のような電流注入用の半導体層を設けている。

[0079] 3D-FDTDを用いる場合、共振器Q値は、共振モードの光電界強度の時間的な減衰を表す時定数から求めることができる。また、光取り出し効率については、図7中に示したような受光面を、第2光導波路Bのフロント側に配置し、この面を通過するポインティングベクトルのフラックスを、シミュレーション領域全体を取り囲む閉じた面の全フラックスで割ることによって求めている。

[0080] 図5の解析的なモデルおよび図7の3D-FDTDによって計算した共振器Q値の L_ϕ 依存性を図8に示し、光取り出し効率の L_ϕ 依存性を図9に示す。いずれの図でも、解析計算と3D-FDTDは定量的によく一致する特性を示しており、計算の正しさが確認できる。共振器Q値および光取り出し効率共に、 L_ϕ に対して周期的に変動する振るまいを見せている。これは、第2光導波路Bの位相調整領域における位相変化に対応しており、この周期は $\Delta L_\phi = \pi / \beta_\phi$ で与えられる。特に、 $L_\phi = (\pi / \beta_\phi) m$ (m は整数) で与えられる共振器Q値の極小点 (= 光取り出し効率の極大点) では、第1光導波路Aのリア側からの反射波と第2光導波路Bのリア側からの反射波が、第2光導波路Bのフロント側で完全に強め合う条件が満たされており、式(15)の光取り出しQ値は、以下の式(19)で示されるものとなる。

[0081] [数16]

$$Q_{\text{output}} = \frac{2\omega n_{\text{g,eff}} L_{\text{eff}}}{-c \log \left\{ 1 - \frac{\chi^2}{q^2} \sin^2(2qL_c) \right\}} \quad \dots (19)$$

[0082] 従って、 $L_\phi = (\pi / \beta_\phi) m$ を満たすように共振器構造を設計することで、最大の光取り出し効率を得られる。さらにその際、式(19)にもとづいて、 χ 、 q 、 L_c 、 L_{eff} などの各種パラメータを適当な値に設定することで、所望の光取り出しQ値を有する共振器を設計できる。

[0083] 一方、 $L_\phi = (\pi / \beta_\phi) (m + 1/2)$ (m は整数) で与えられる共振器Q値の極大点 (= 光取り出し効率の極小点) では、第1光導波路Aのリア側

からの反射波と第2光導波路Bのリア側からの反射波とが、第2光導波路Bのフロント側で完全に弱め合う条件が満たされており、 $1/Q_{\text{output}}=0$ となっており、理想的には光は第2光導波路Bのフロント側からは一切出力されない。

[0084] 図7のセットアップによって3D-FDTD計算を行うことで得られた共振モードの光電場強度分布を図10、図11に示す。図10は、第1光導波路Aおよび第2光導波路Bのx座標中心におけるy-z断面、図11は第2光導波路Bのy座標中心におけるx-z断面である。

[0085] なお、ここでは比較のために、第2光導波路Bに第3反射部131が形成されておらず、両側対称出射構造となっているもの（一番左側の列）、および第2光導波路Bを閉じ込め部103（結合領域132）のリア側端の位置で寸断し、フロント側にのみ第2光導波路Bが存在するもの（左側から2番目の列）も併せて計算している。第2光導波路Bに第3反射部131が形成されているもの（右側の7列）は、図8、図9のプロット点に対応しているが、上述の議論の通り、干渉条件に依存して第2光導波路Bフロント側での光強度が系統的に変化している様子がわかる。

[0086] また、第2光導波路Bのリア側では、第3反射部131による反射が起こって光電場強度が減衰しながら、第3反射部131の中に染み出している様子がわかる。一方、両側対称出射構造では、確かにフロント側とリア側の双方に同一強度の光電場が出力されている。さらに、リア側寸断構造では、第2光導波路Bは、フロント側にのみ存在する構成であるが、リア側の第2光導波路Bの寸断面において、光が後方に向かって放射してしまっている様子がわかる。

[0087] このとき得られた共振器Q値および光取り出し効率は、両側対称出射構造では、 $Q_{\text{cav}}=2.00 \times 10^3$ 、 $\eta_{\text{output}}=35.4\%$ である。また、リア側寸断構造では、 $Q_{\text{cav}}=1.71 \times 10^3$ 、 $\eta_{\text{output}}=38.0\%$ である。いずれの場合も、リア側への出力／放射のためにフロント側での光取り出し効率が50%を下回ってしまっている。

[0088] 一方、リア側に第3反射部131を有する構成では、図8、図9のように

同等程度の共振器Q値を有しながらも、80%や90%に及ぶ高い光取り出し効率が得られており、このことから本発明の効果が確認できる。

[0089] 次に、第3反射部131の反射率 $|r_{F,A}|^2$ 、 $|r_{R,A}|^2$ の値を振り（変化させ）、式（16）で与えられるファブリペロー共振器としての孤立共振器Q値を変化させたときの共振器特性を図12、図13に示す。これらの図では、*low-Q*： $|r_{F,A}|^2 = |r_{R,A}|^2 = 0.9926$ 、*middle-Q*： $|r_{F,A}|^2 = |r_{R,A}|^2 = 0.9980$ 、*high-Q*： $|r_{F,A}|^2 = |r_{R,A}|^2 = 0.9992$ の3水準をプロットしている。

[0090] 図13より、高い光取り出し効率を得るためには、必ずしも上記の完全強め合い条件を正確に満たす必要はなく、 $L_\phi = (\pi/\beta_\phi)m \pm \delta L_\phi$ というように完全強め合い条件からの離調 δL_ϕ が乗ってしまってもよいことがわかる。

[0091] さらに、ある所望の光取り出し効率を得る上で許容される離調 δL_ϕ の限界値は、孤立共振器Q値が高いほど大きくなっていることがわかる。これは、式（18）が表しているように、孤立共振器Q値 $Q_{F,P}$ が高ければその分だけ、相対的に光取り出し損失 $1/Q_{\text{output}}$ の割合が増加するためである。例えば、*middle-Q*のケースでは、 $\delta L_\phi = 100\text{ nm}$ であっても依然としておよそ90%にも及ぶ高い光取り出し効率が得られている。

[0092] 実施の形態によれば、第1光導波路Aの第2反射部102と、第2光導波路B側の第3反射部131とを各々別々の工程により作製することになる。このため、基板平面方向（ $x-z$ 方向）において、両者の間に位置ズレが生じ得る。このズレ量が、この離調の限界値程度以下であれば、特性変動が小さく抑えられて安定的に高い光取り出し効率が得られる。ズレ量 100 nm 以下という位置合わせ精度は、今日の微細加工技術によれば容易に達成可能である。

[0093] なお、上述では、第1反射部101、第2反射部102と、第3反射部131とは、図1A～1C、図2A～2C、図3A、3Bを用いて説明したように、同様の構造とする場合について説明したが、これに限るものではない

。例えば、１次元フォトリック結晶による反射構造と、上部に形成した回折格子による反射構造とを組み合わせることができる。また、１次元フォトリック結晶による反射構造と、側部に形成した回折格子による反射構造とを組み合わせることができる。また、上部に形成した回折格子による反射構造と、１次元フォトリック結晶による反射構造とを組み合わせることができる。第１反射部１０１、第２反射部１０２と、第３反射部１３１とは、各々任意の反射構造を組み合わせることができる。

[0094] また、図１４に示すように、第３反射部１３１は、ループバックミラー１１６から構成することもできる。この場合、第２光導波路Ｂの形成と、第３反射部１３１の形成とを一度の作製工程で同時に行うことができ、図１Ａ～１Ｃ、図２Ａ～２Ｃを用いて説明した場合と比較して作製が容易となる。

[0095] 一方で、図１Ａ～１Ｃ、図２Ａ～２Ｃ、図３Ａ、３Ｂのように双方のＤＢＲを同様の構造とする場合、以下の利点を得られる。

[0096] １．各々の反射特性がほぼ同一（実際には、光学的な結合が起きないように等価屈折率をずらしているため、このことに起因するわずかな特性の相違が生じ得る）であるため、位相調整長 L_0 が、各々の反射部の開始位置の差分にほぼ等しいと見なすことができ、干渉条件の制御が容易となる。

[0097] ２．特に、１次元フォトリック結晶による反射構造を用いる場合、第１光導波路Ａの側、第２光導波路Ｂの側の共に、反射部の長さをミクロン長オーダーにまで縮めることができ、光取り出し機構まで含めたデバイス構造全体を極めてコンパクトに実現できる。

[0098] 以上に説明したように、本発明によれば、活性層が形成された閉じ込め部を備える第１光導波路に沿って配置された第２光導波路に第３反射部を設けるので、半導体レーザの光パワーの損失が防止できるようになる。

[0099] 本発明によれば、光取り出しの高効率性が得られる。本発明では、従来の両側出射構造におけるリア側出力をフロント側に反射させるので、無駄な光損失のない高効率な片側出射が実現され、例えば８０％や９０％に及ぶ高いフロント側光取り出し効率を可能としている。従来の典型的な両側対称出射

構造では、片側での光取り出し効率は原理的に50%以下にならざるを得ないが、本発明によってその限界を打破することができる。

[0100] また、本発明によれば、シングルモード性が容易に得られるようになる。一般に3つ以上の反射部を備えるレーザでは、様々な縦モードが存在し得、FSRが狭くなることやマルチモード発振が起こってしまうことなどが問題となり得る。しかしながら、本発明によれば、 χ や L_{ϕ} などのパラメータを適切に設定することで、第2光導波路の側の第3反射部による余剰な縦モードの発生を抑止し、シングルモード発振を得るのに十分広いFSRを得ることができる。

[0101] また、本発明によれば、半導体レーザを、よりコンパクトに形成することができる。例えば、反射部を導波路型の1次元フォトリック結晶から構成することで、非常に強い光閉じ込めを可能とし、光取り出し機構まで含めたデバイス構造全体の長さを、ミクロン長オーダーにまで縮めることができ、全体として極めてコンパクトな半導体レーザが実現できる。

[0102] 比較として、第1光導波路（例えば、III-V族化合物半導体層）から第2光導波路（例えば、埋め込みSi層）へ光を移す際、まず光を第1光導波路のフロント側の光導波路へと出力して、そこからテーパ構造によって光を第2光導波路へと移していくという構成もよく用いられるが、この場合、光を低損失に移すためには典型的には数百ミクロン程度のテーパ長が必要となる。本発明ではこのような長いテーパ構造を用いる必要はなく、光を第1光導波路から第2光導波路層に移すための構造も含めてミクロン長オーダーで実現することができる。

[0103] また、本発明によれば、所望の特性を得るための設計が容易である。本発明では、所望の特性（シングルモード性、共振器Q値、光取り出し効率など）を得るには、結合領域における第1光導波路と第2光導波路との結合強さ、および、第1光導波路のリア側からの反射波と、第2光導波路のリア側からの反射波との干渉条件を適切に制御、設計する必要がある。この設計において、本発明では、結合領域における第1光導波路と第2光導波路との結合

を、方向性結合器によって適切にモデル化しており、 δ 、 χ 、 q 、 L_0 といった構造パラメータによる解析的な取り扱いを可能としている。これによって、所望の結合強さを得るためのデバイス構造設計が容易となる。

[0104] また、第1光導波路の側と第2光導波路の側の双方において、同様の特性を有する反射部を用いることで、両者の反射波間での干渉条件制御を、各々の反射部の開始位置の差分として与えられる位相調整長 L_0 という単一の構造パラメータに落とし込むことを可能としている。仮に、双方において異なった反射特性を有する反射部を用いる場合には、干渉条件を制御するにあたって、その反射特性の差異も考慮する必要があるため、設計事項が比較的煩雑となる。

[0105] また、本発明では、第1光導波路の第1反射部と、第2光導波路の第3反射部との、作製時の位置ズレへの耐性がある。本発明に係る半導体レーザを実際に作製する上では、第1光導波路の第1反射部と、第2光導波路の第3反射部との間で、基板平面方向（ $x-z$ 方向）における位置ズレが生じ得る。この位置ズレによって、両者の反射波間での干渉条件が正確な狙いから外れることが考えられる。

[0106] しかしながら、本発明では、無駄な光損失が存在しないため、干渉条件が第2光導波路のフロント側での完全強め合い条件を正確に満たしていなくても、光取り出し効率（すなわち、全光損失に占める光取り出し損失の割合）は依然として高い値に保たれる。これはすなわち、本発明が、作製時の位置ズレへの耐性を有し、位置合わせがバラついてしまったとしても安定的に高い光取り出し効率を得られることを意味している。上述した一例では、 z 方向（導波方向）の相対位置のズレが、 $\pm 100\text{ nm}$ 以内であれば、常に90%以上の高い光取り出し効率を得られる。ズレ量 100 nm 以下という位置合わせ精度は、今日の微細加工技術によれば容易に達成可能である。

[0107] 本発明では、リア側出射による光損失という従来触れられてこなかった問題点に着目し、これを解決することで、真に高効率な光取り出し機構を実現していることが重要な点である。従来の研究では、光取り出し効率を計算す

るにあたり、フロント側出力とリア側出力の和を正味の出力と定義しているものが見られるが、典型的な情報伝送用途ではフロント側出力のみが用いられるためこの定義はふさわしくない。

[0108] また、本発明では、方向性結合器を用いた適切なモデルによって、第1光導波路の振るまいを解析的に定式化し、シングルモード性、第1光導波路の共振器におけるQ値、光取り出し効率といった重要なデバイス特性を明確に記述している点が重要である。これによって、シングルモード発振性の担保を可能とし、また第1光導波路特性の設計を容易にしている。

[0109] また、本発明では、光取り出し機構まで含めたデバイス構造全体を、ミクロン長オーダーの極めてコンパクトなサイズで実現することを可能にしている点も重要である。これは、第2光導波路側の第3反射部に、導波路型の1次元フォトリック結晶による反射構造を用いたことで得られる利点である。

[0110] また、本発明では、第1光導波路特性がデバイス作製時の位置ズレに対して高い耐性を有している点も重要である。光の干渉を利用した緻密な構造でありながらも、無駄な光損失のない高効率な光取り出し機構により、実際の作製工程において生じ得る位置ズレを十分に吸収できるだけの耐性を備えている。

[0111] なお、本発明は以上に説明した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で、当分野において通常の知識を有する者により、多くの変形および組み合わせが実施可能であることは明白である。

符号の説明

[0112] 101…第1反射部、102…第2反射部、103…閉じ込め部、104…コア、105…第1基部、106…第1格子要素、107…第2基部、108…第2格子要素、109…活性層、110…下部クラッド層、111…上部クラッド層、112…第3格子要素、131…第3反射部、132…結合領域、133…出射側領域、A…第1光導波路、B…第2光導波路。

請求の範囲

- [請求項1] 周期的に屈折率が変調する構造から構成された導波路型の第1反射部および第2反射部、および前記第1反射部と前記第2反射部とに挟まれた閉じ込め部を備える第1光導波路と、
- 前記第1光導波路に沿って、前記閉じ込め部から前記第2反射部の側に延在して配置された第2光導波路と、
- 前記第1反射部に対応する箇所において、前記第2光導波路に連続して形成された第3反射部と、
- 前記閉じ込め部に形成された活性層と
- を備え、
- 前記第1反射部、前記閉じ込め部、および前記第2反射部によりファブリペロー型の光共振器が構成され、
- 前記閉じ込め部が配置された結合領域において、前記第2光導波路と前記閉じ込め部とは、互いに光結合可能な状態とされ、
- 前記第2光導波路の前記第2反射部の側にレーザが出力されることを特徴とする半導体レーザ。
- [請求項2] 請求項1記載の半導体レーザにおいて、
- 前記第2反射部の等価屈折率と、前記第2反射部に対応する領域の前記第2光導波路のコアの等価屈折率との差は、前記閉じ込め部の等価屈折率と前記結合領域の前記第2光導波路のコアの等価屈折率との差より大きい
- ことを特徴とする半導体レーザ。
- [請求項3] 請求項2記載の半導体レーザにおいて、
- 前記結合領域の前記第2光導波路のコアは、前記第2反射部に対応する領域の前記第2光導波路のコアとは異なる径とされている
- ことを特徴とする半導体レーザ。
- [請求項4] 請求項3記載の半導体レーザにおいて、
- 前記第2光導波路のコアは、前記結合領域から、前記第2反射部

に対応する領域にかけて径が徐々に変化していることを特徴とする半導体レーザ。

[請求項5] 請求項2記載の半導体レーザにおいて、
前記閉じ込め部の平面視の幅は、前記第2反射部の平面視の幅とは異なる

ことを特徴とする半導体レーザ。

[請求項6] 請求項5記載の半導体レーザにおいて、
前記閉じ込め部の平面視の幅は、前記第2反射部にかけて徐々に変化していることを特徴とする半導体レーザ。

[請求項7] 請求項1～6のいずれか1項に記載の半導体レーザにおいて、
前記第1反射部および前記第2反射部は、導波路型の1次元フォトリック結晶から構成されていることを特徴とする半導体レーザ。

[請求項8] 請求項1～7のいずれかの半導体レーザの設計方法であって、
前記第1反射部と前記第3反射部との導波方向の位置オフセットを L_ϕ 、

前記第1反射部と前記第3反射部との導波方向の位置オフセットの部分の前記第2光導波路における長さ L_ϕ の部分の伝搬定数を β_ϕ とし、

前記第1光導波路における前記結合領域の伝搬定数を β_A とし、

前記第2光導波路における前記結合領域の伝搬定数を β_B とし、

[数1]

前記結合領域の、レーザの出力側の端点を添え字Fとし、反対側の端点を添え字Rとし、前記結合領域における第1光導波路、第2光導波路での光電界の進行波成分を $\vec{A}_F, \vec{A}_R, \vec{B}_F, \vec{B}_R$ 、後退波成分を $\vec{A}_F, \vec{A}_R, \vec{B}_F, \vec{B}_R$ とし、 $\delta = \frac{\beta_B - \beta_A}{2}, q = \frac{|\beta_B' - \beta_A'|}{2}, \chi = \sqrt{q^2 - \delta^2}$ とし、

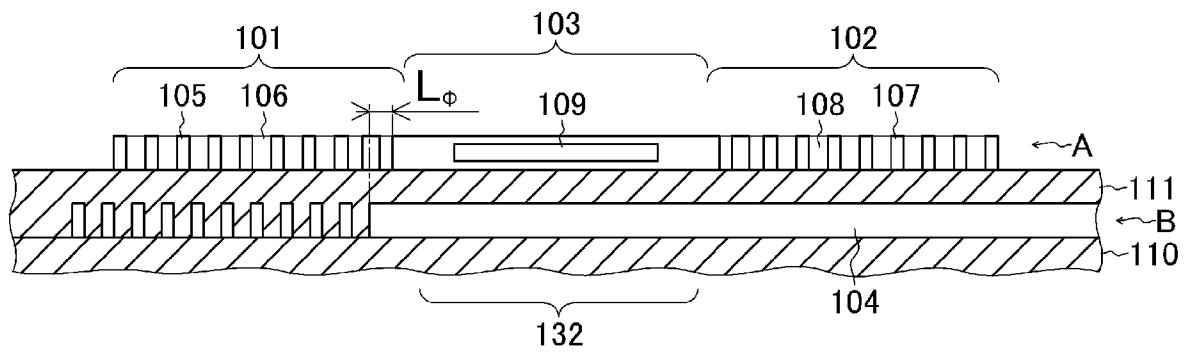
$$\begin{pmatrix} \vec{A}_F \\ \vec{B}_F \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{A}_{F,0} \\ \vec{B}_{F,0} \end{pmatrix} \cdots (A)$$

$$c_{11} = r_{F,A} r_{R,A} \left[\left\{ \cos(qL_c) + j \frac{\delta}{q} \sin(qL_c) \right\}^2 - \frac{\chi^2}{q^2} \sin^2(qL_c) e^{-2j\beta_\phi L_\phi} \right] e^{-j(\beta_A + \beta_B)L_c} \cdots (B)$$

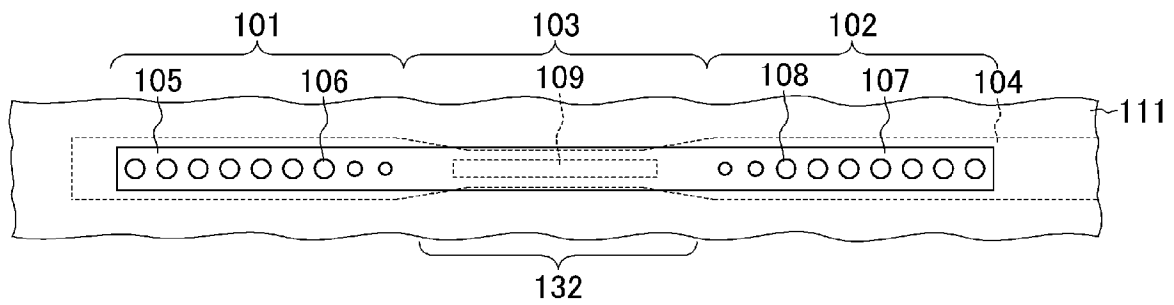
として、

式A、式Bにもとづいて、 χ および L_ϕ を変化させて得られる、 c_1 の波長特性を元に得られる共振条件を満たす波長の状態が、シングルモード条件を満たすように条件を設定することを特徴とする半導体レーザの設計方法。

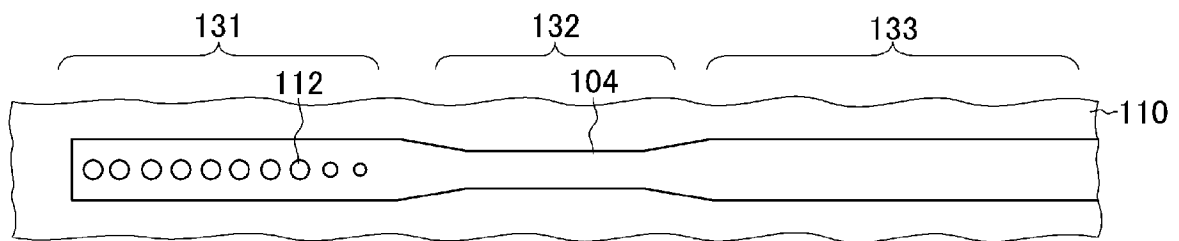
[図1A]



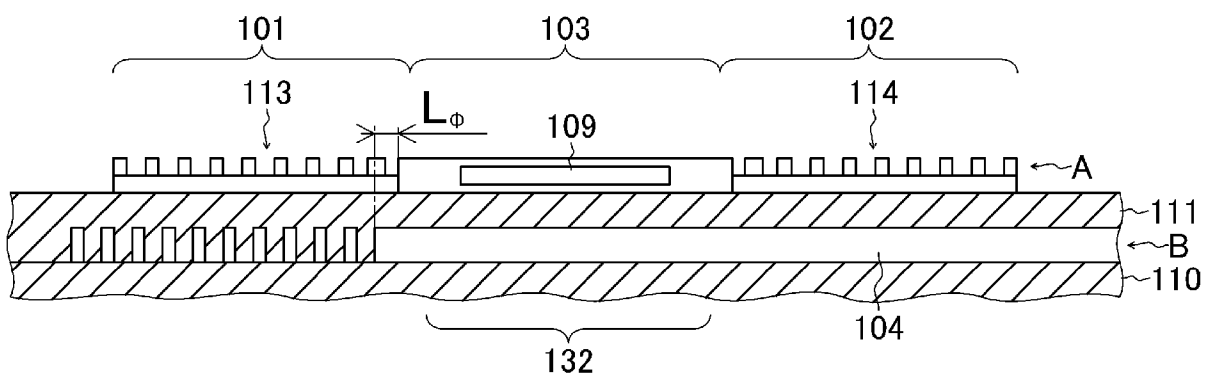
[図1B]



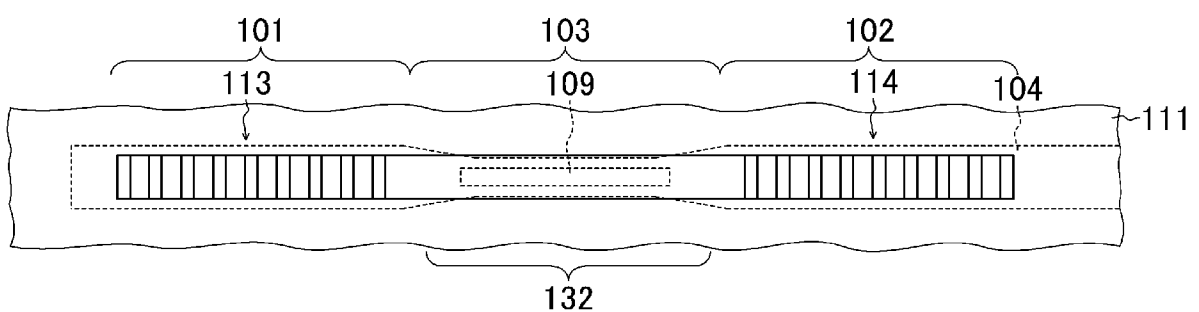
[図1C]



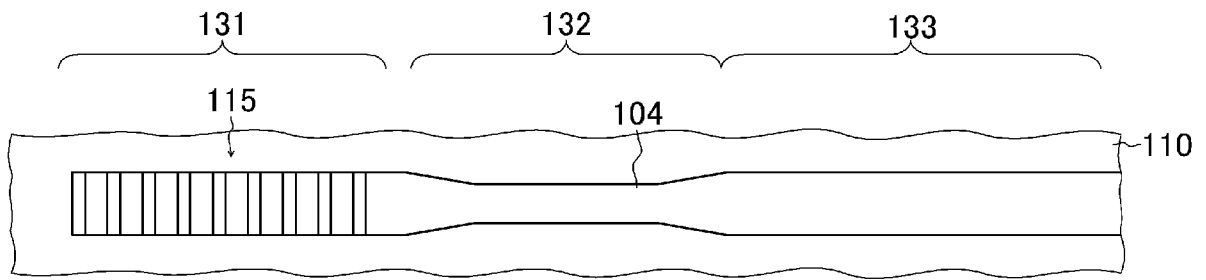
[図2A]



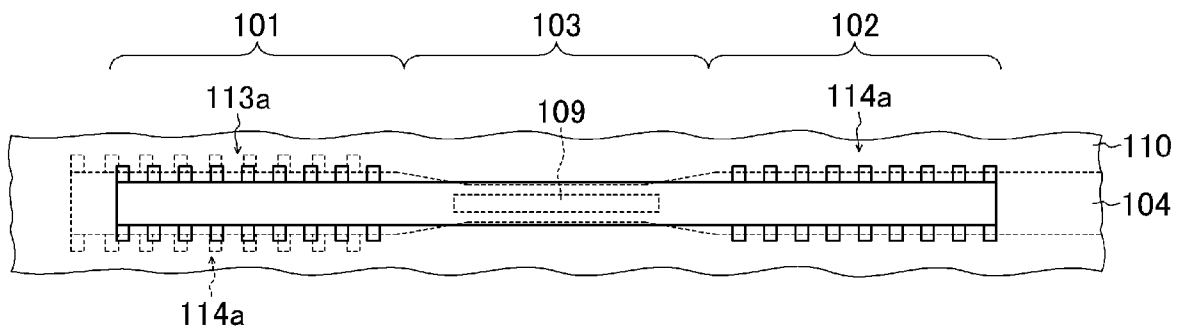
[図2B]



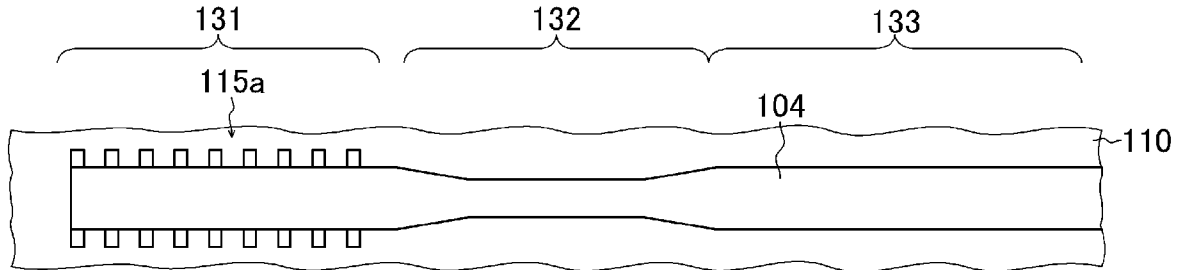
[図2C]



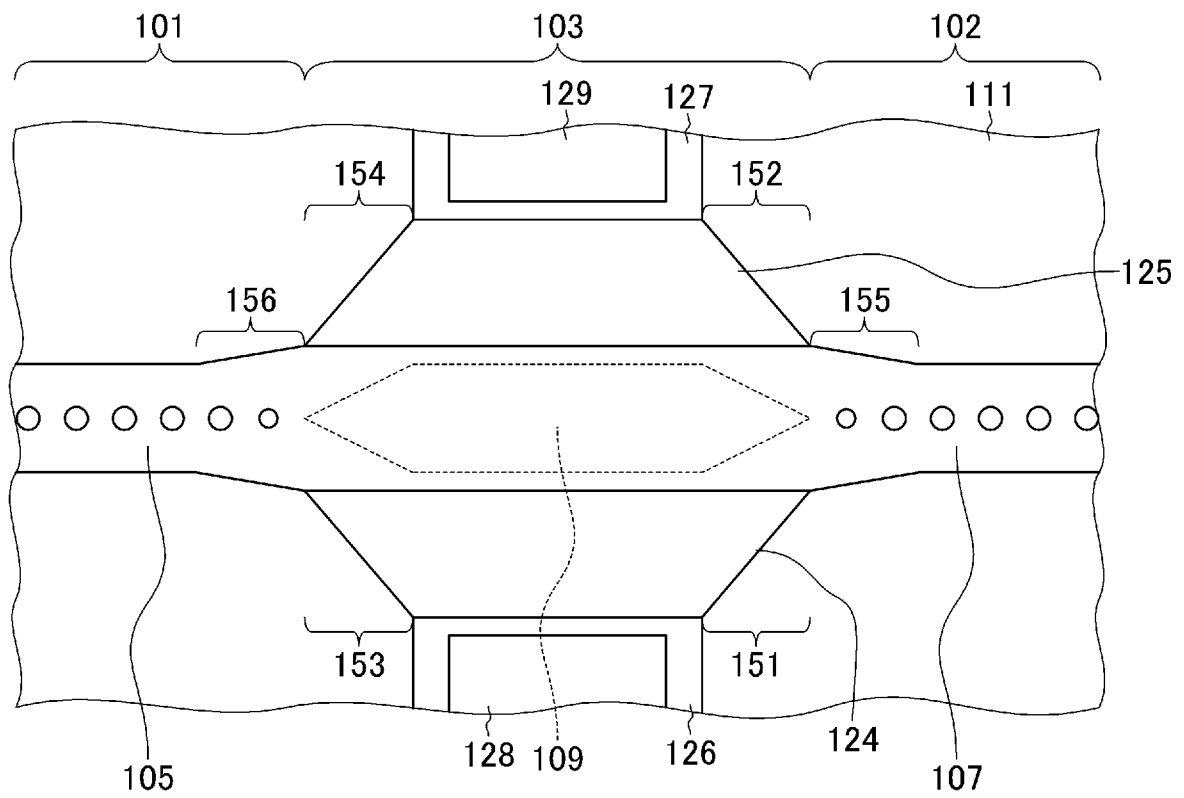
[図3A]



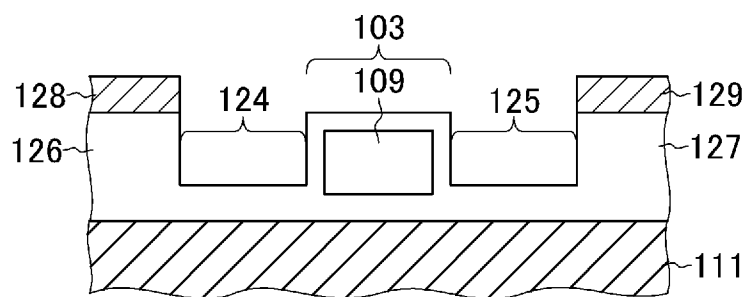
[図3B]



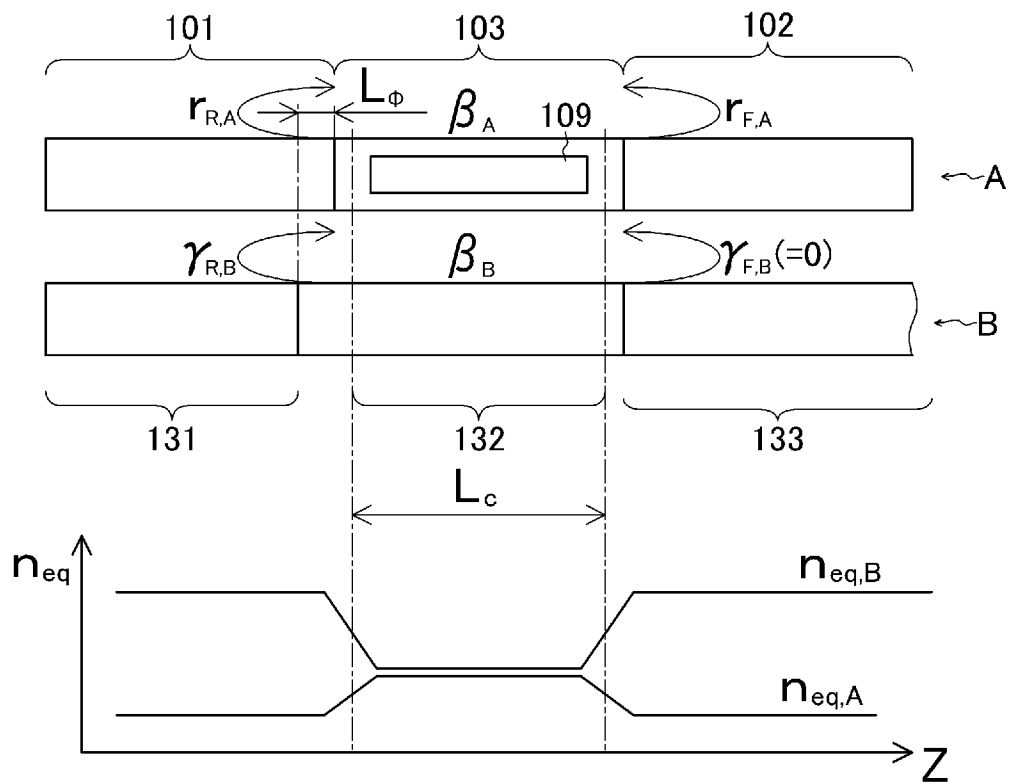
[図4A]



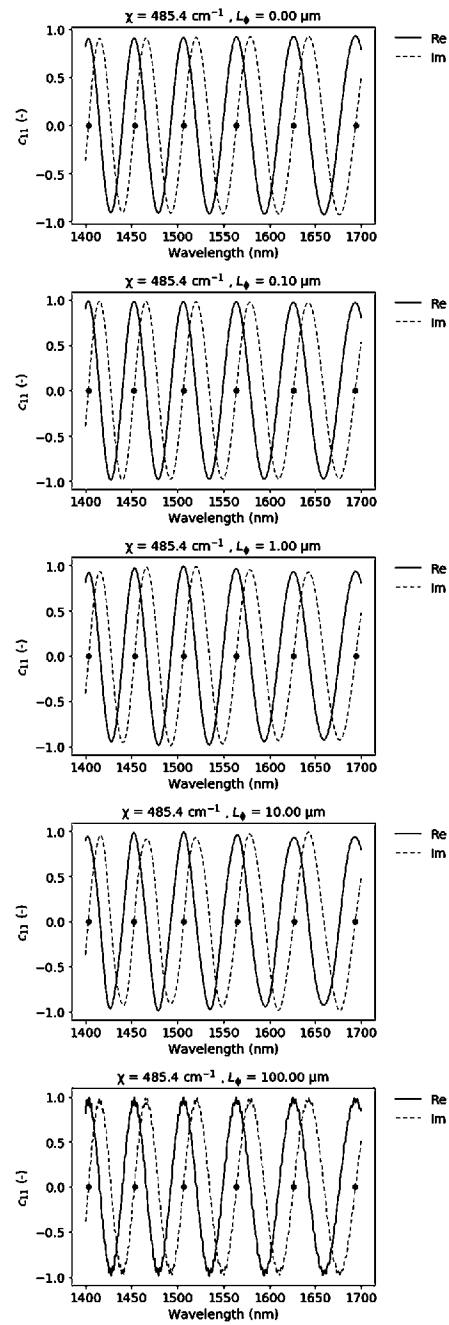
[図4B]



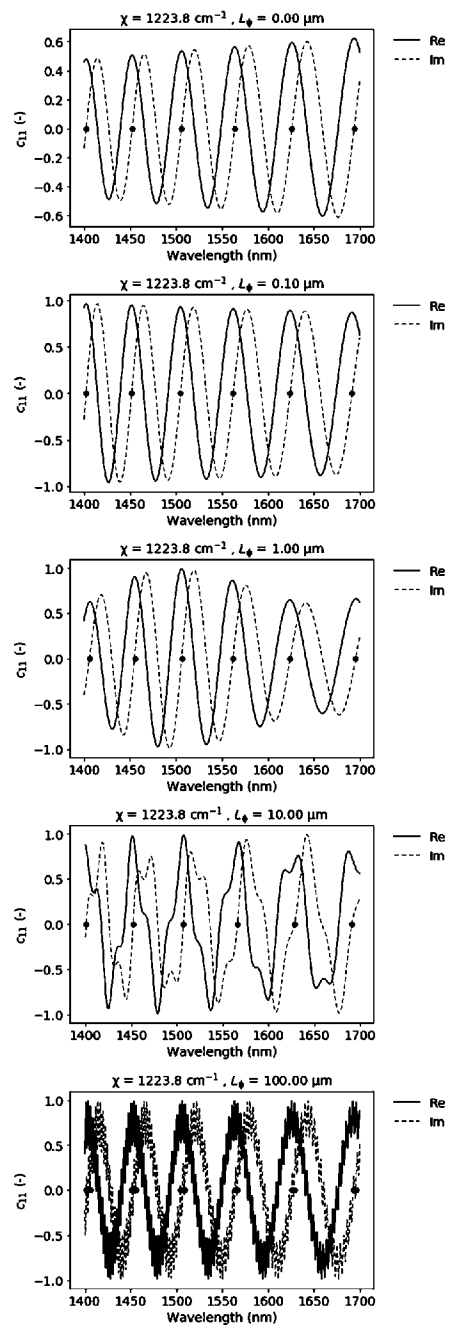
[図5]



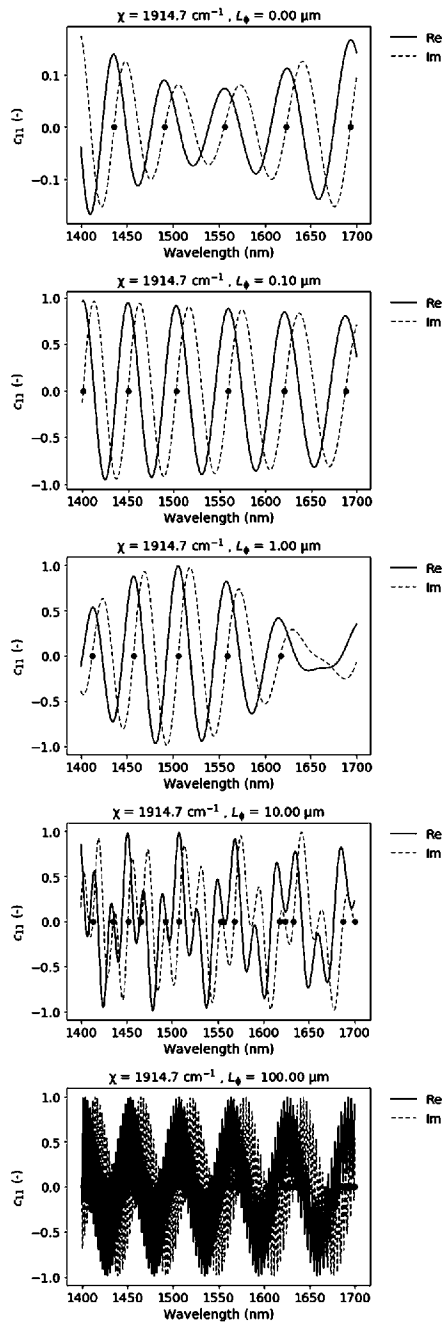
[図6A]



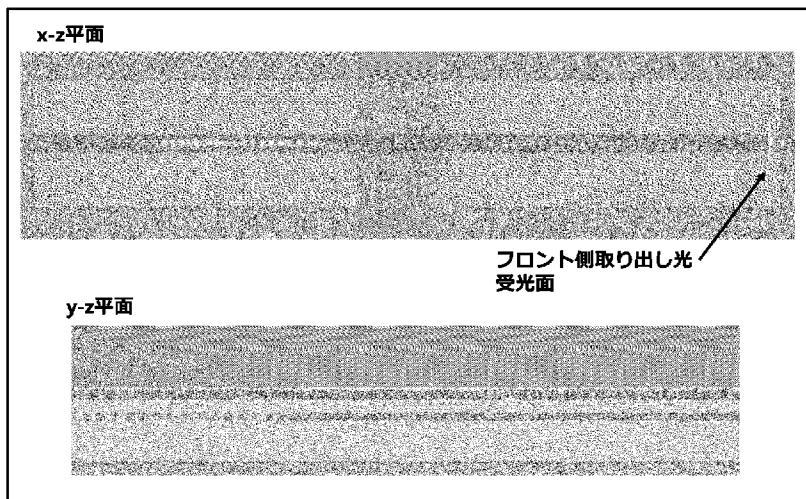
[図6B]



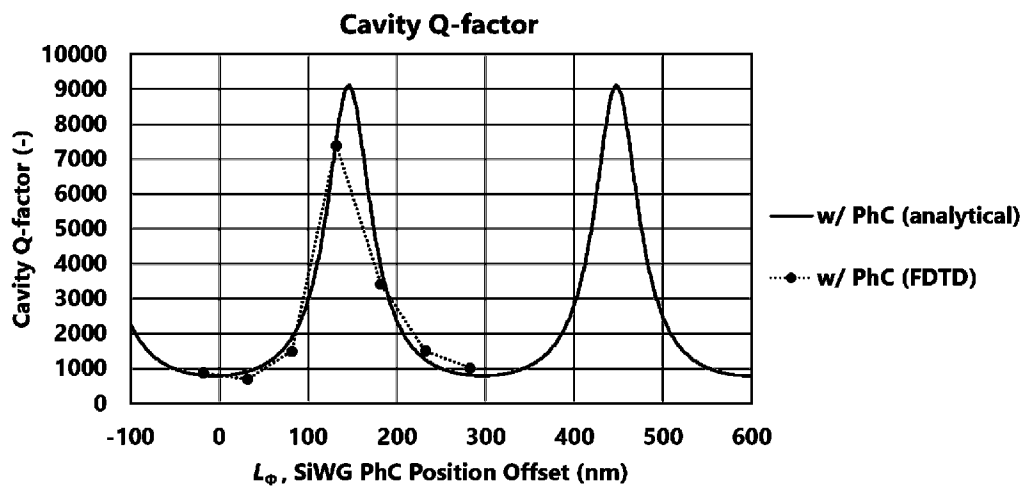
[図6C]



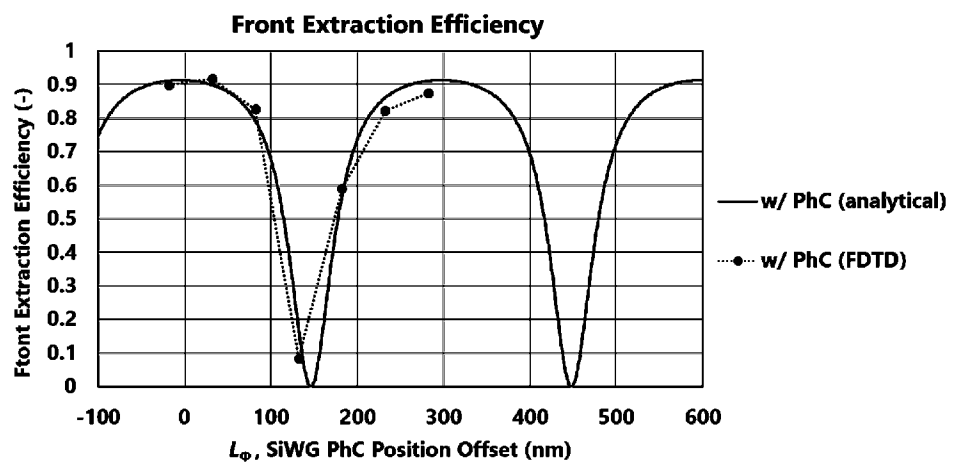
[図7]



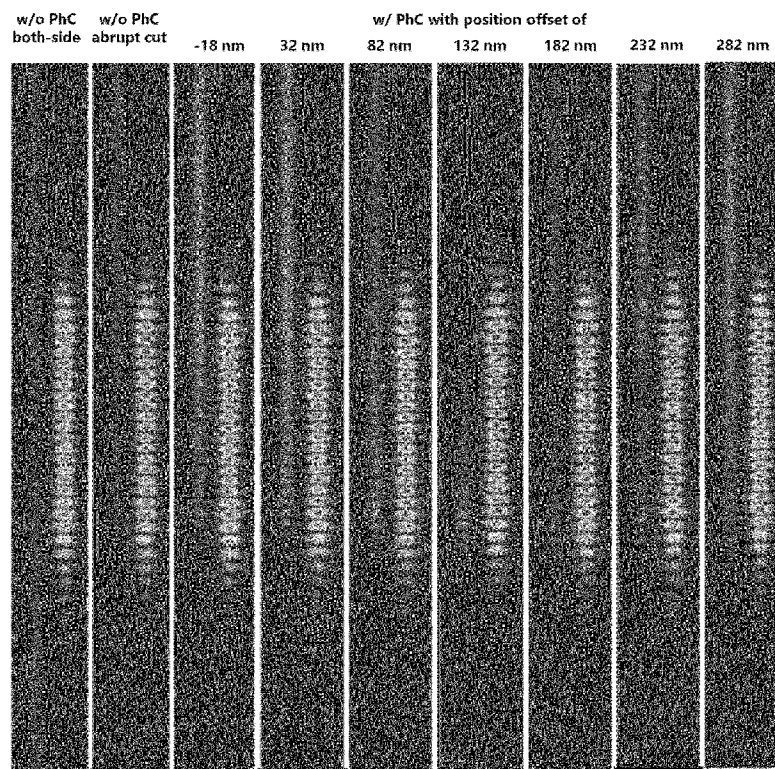
[図8]



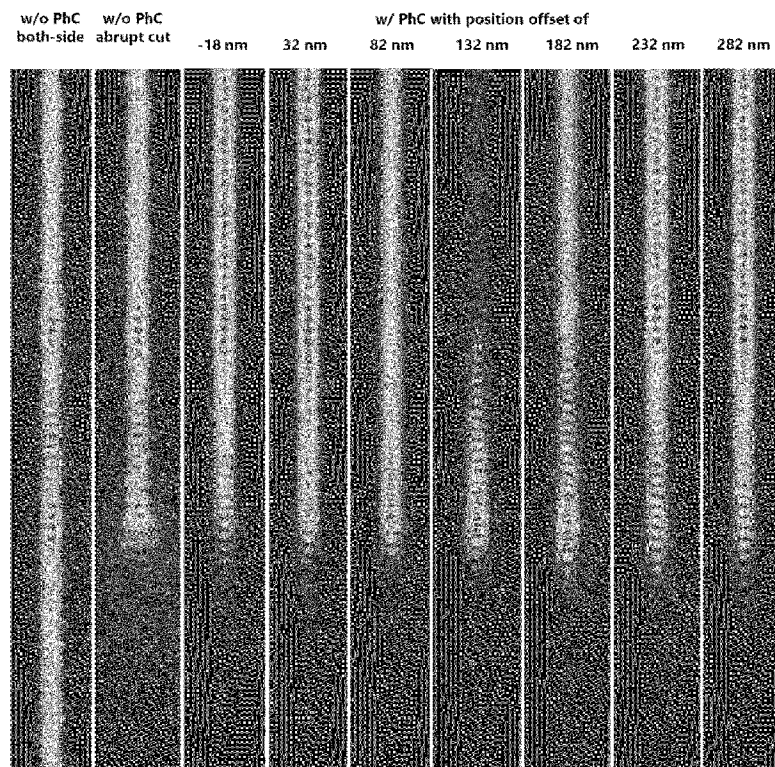
[図9]



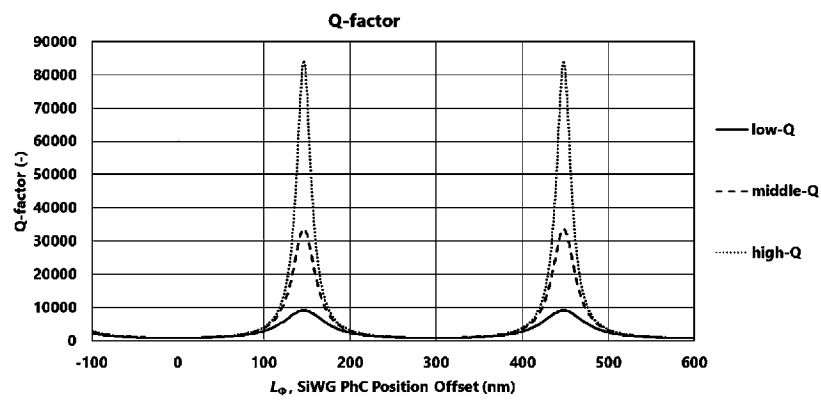
[図10]



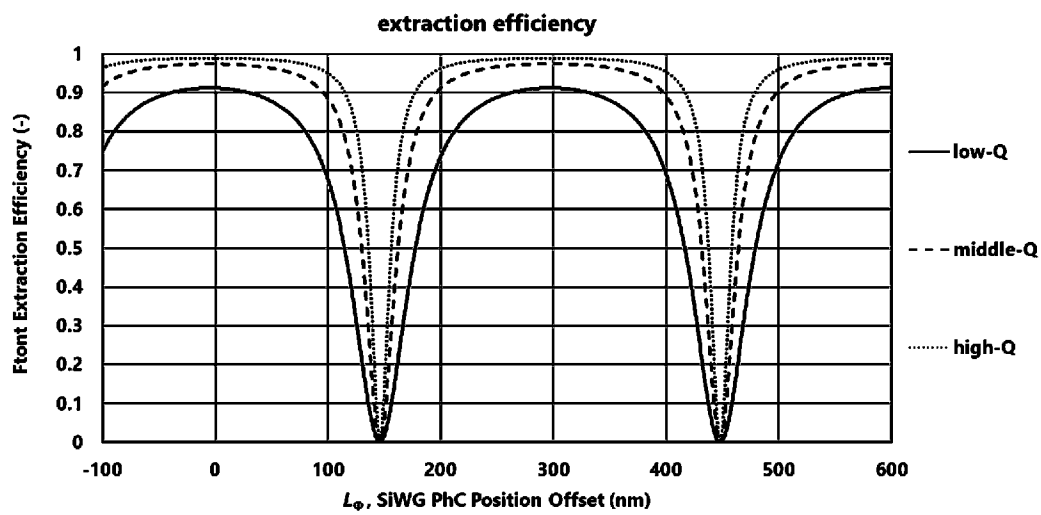
[図11]



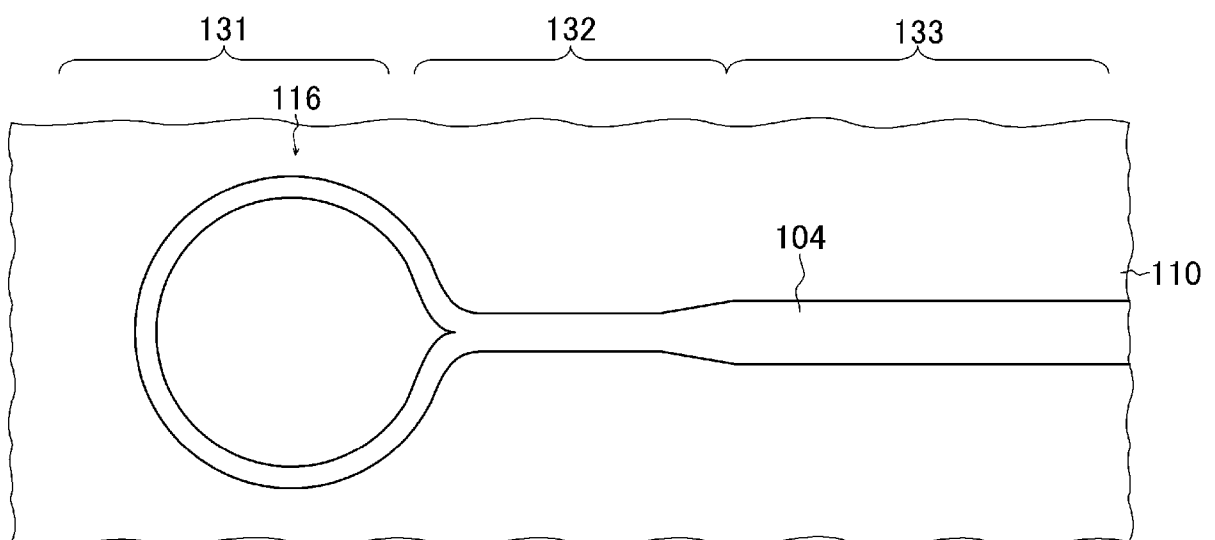
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/001447

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S 5/125(2006.01)i; H01S 5/20(2006.01)i

FI: H01S5/125; H01S5/20

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/00-5/50

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021

Registered utility model specifications of Japan 1996-2021

Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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	JP 2021-501462 A (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP.) 14 January 2021 (2021-01-14)	1-8
A	WO 2020/245935 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 10 December 2020 (2020-12-10)	1-8
A	JP 2016-171173 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 23 September 2016 (2016-09-23)	1-8
A	US 2014/0153600 A1 (AGENCY FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND RESEARCH) 05 June 2014 (2014-06-05)	1-8
A	US 2013/0259077 A1 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES) 03 October 2013 (2013-10-03)	1-8
A	JP 2012-151327 A (FUJITSU LTD.) 09 August 2012 (2012-08-09)	1-8
A	JP 2008-147209 A (HITACHI, LTD.) 26 June 2008 (2008-06-26)	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"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

12 April 2021 (12.04.2021)

Date of mailing of the international search report

20 April 2021 (20.04.2021)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/001447

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-200942 A (FUJITSU LTD.) 09 August 2007 (2007-08-09)	1-8
A	JP 2-66985 A (HIKARI KEISOKU GIJUTSU KAIHATSU KK) 07 March 1990 (1990-03-07)	1-8
A	JP 62-89388 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 23 April 1987 (1987-04-23)	1-8
A	JP 60-79793 A (FUJIKURA CABLE LTD.) 07 May 1985 (1985-05-07)	1-8
A	JP 58-155788 A (WESTERN ELECTRIC COMPANY, INC.) 16 September 1983 (1983-09-16)	1-8
A	JP 50-159280 A (PRESIDENT OF TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY, KAWAKAMI, Masamitsu) 23 December 1975 (1975-12-23)	1-8
A	CROSNIER, Guillaume et al., Hybrid indium phosphide-on-silicon nanolaser diode, Nature Photonics, 17 April 2017, vol. 11, no. 5, pp. 297-300, pp. 297-300	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/001447

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2021-501462 A	14 Jan. 2021	US 2019/0131772 A1 WO 2019/087004 A1 GB 2580578 B DE 112018004477 T5 CN 111247704 A (Family: none)	
WO 2020/245935 A1	10 Dec. 2020	(Family: none)	
JP 2016-171173 A	23 Sep. 2016	(Family: none)	
US 2014/0153600 A1	05 Jun. 2014	(Family: none)	
US 2013/0259077 A1	03 Oct. 2013	WO 2012/066200 A1 EP 2641304 B1 FR 2967831 A1 (Family: none)	
JP 2012-151327 A	09 Aug. 2012	US 2008/0137695 A1 EP 1933184 A2 CN 101197489 A KR 10-2008-0052444 A	
JP 2008-147209 A	26 Jun. 2008	US 2007/0172186 A1 (Family: none)	
JP 2007-200942 A	09 Aug. 2007	(Family: none)	
JP 2-66985 A	07 Mar. 1990	(Family: none)	
JP 62-89388 A	23 Apr. 1987	(Family: none)	
JP 60-79793 A	07 May 1985	(Family: none)	
JP 58-155788 A	16 Sep. 1983	US 4464762 A GB 2115218 A DE 3306085 A1 FR 2522206 A1 CA 1210122 A (Family: none)	
JP 50-159286 A	23 Dec. 1975		

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 5/125(2006.01)i; H01S 5/20(2006.01)i FI: H01S5/125; H01S5/20		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01S5/00-5/50		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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
A	JP 2021-501462 A（インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション） 14.01.2021（2021-01-14）	1-8
A	WO 2020/245935 A1（日本電信電話株式会社） 10.12.2020（2020-12-10）	1-8
A	JP 2016-171173 A（日本電信電話株式会社） 23.09.2016（2016-09-23）	1-8
A	US 2014/0153600 A1（AGENCY FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND RESEARCH） 05.06.2014（2014-06-05）	1-8
A	US 2013/0259077 A1（COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES） 03.10.2013（2013-10-03）	1-8
A	JP 2012-151327 A（富士通株式会社） 09.08.2012（2012-08-09）	1-8
A	JP 2008-147209 A（株式会社日立製作所） 26.06.2008（2008-06-26）	1-8
A	JP 2007-200942 A（富士通株式会社） 09.08.2007（2007-08-09）	1-8
A	JP 2-66985 A（光計測技術開発株式会社） 07.03.1990（1990-03-07）	1-8
☒ 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 “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 12.04.2021		国際調査報告の発送日 20.04.2021
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） 大和田 有軌 2K 3004 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 62-89388 A (松下電器産業株式会社) 23.04.1987 (1987 - 04 - 23)	1-8
A	JP 60-79793 A (藤倉電線株式会社) 07.05.1985 (1985 - 05 - 07)	1-8
A	JP 58-155788 A (ウエスタン・エレクトリック・カムパニー・インコーポレーテッド) 16.09.1983 (1983 - 09 - 16)	1-8
A	JP 50-159286 A (東京工業大学学長 川上正光) 23.12.1975 (1975 - 12 - 23)	1-8
A	CROSNIER, Guillaume et al., Hybrid indium phosphide-on-silicon nanolaser diode, Nature Photonics, 2017.04.17, Vol.11, No.5, p.297-300 p.297-300	1-8

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/JP2021/001447

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2021-501462	A	14.01.2021	US	2019/0131772	A1	
				WO	2019/087004	A1	
				GB	2580578	B	
				DE	112018004477	T5	
				CN	111247704	A	
WO	2020/245935	A1	10.12.2020	(ファミリーなし)			
JP	2016-171173	A	23.09.2016	(ファミリーなし)			
US	2014/0153600	A1	05.06.2014	(ファミリーなし)			
US	2013/0259077	A1	03.10.2013	WO	2012/066200	A1	
				EP	2641304	B1	
				FR	2967831	A1	
JP	2012-151327	A	09.08.2012	(ファミリーなし)			
JP	2008-147209	A	26.06.2008	US	2008/0137695	A1	
				EP	1933184	A2	
				CN	101197489	A	
				KR	10-2008-0052444	A	
JP	2007-200942	A	09.08.2007	US	2007/0172186	A1	
JP	2-66985	A	07.03.1990	(ファミリーなし)			
JP	62-89388	A	23.04.1987	(ファミリーなし)			
JP	60-79793	A	07.05.1985	(ファミリーなし)			
JP	58-155788	A	16.09.1983	US	4464762	A	
				GB	2115218	A	
				DE	3306085	A1	
				FR	2522206	A1	
				CA	1210122	A	
JP	50-159286	A	23.12.1975	(ファミリーなし)			