

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2008 年 9 月 12 日 (12.09.2008)

PCT

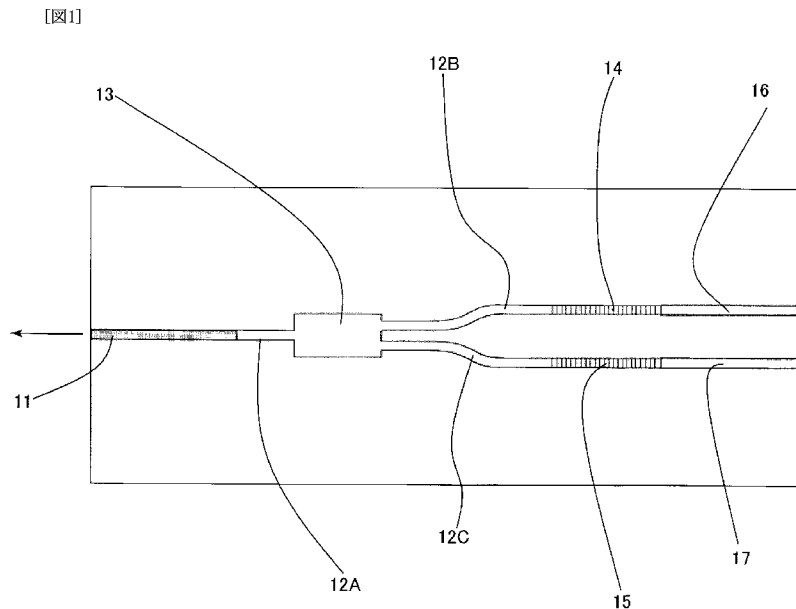
(10) 国際公開番号
WO 2008/107963 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/0683 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2007/054207
- (22) 国際出願日: 2007 年 3 月 5 日 (05.03.2007)
- (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 (米国を除く全ての指定国について): 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 早川 明憲 (HAYAKAWA, Akinori) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 真田 有 (SANADA, Tamotsu); 〒1800004 東京都武蔵野市吉祥寺本町 1 丁目 10 番 31 号 吉祥寺マークビル 5 階 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL SEMICONDUCTOR ELEMENT

(54) 発明の名称: 光半導体素子



(57) Abstract: An optical semiconductor element comprises, on a same substrate, a semiconductor laser (11), a first waveguide (12A), a photocoupler (13) for branching light introduced from the semiconductor laser through the first waveguide into two, two second waveguides (12B, 12C), diffraction gratings (14, 15) provided on the two second waveguides, respectively, and a photocoupler (16) for detecting the light introduced through one of the two diffraction gratings. Phase of the light reflected from each diffraction grating side is shifted by π at a portion of the photocoupler so that the light reflected from each diffraction grating side to the semiconductor laser side interferes at the photocoupler.

(57) 要約: 光半導体素子を、同一基板上に、半導体レーザ (11) と、第 1 光導波路 (12A) と、半導体レーザから第 1 光導波路を介して導かれた光を 2 つに分岐する光結合器 (13) と、2 つの第 2 光導波路 (12B, 12C) と、2 つの第 2 光導波路のそれぞれに設けられた回折格子 (14, 15) と、

[続葉有]



WO 2008/107963 A1



KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2つの回折格子の一方を介して導かれた光を検出する光検出器（16）とを備えるものとし、各回折格子側から半導体レーザ側への反射戻り光が光結合器で干渉するように、各回折格子側からの反射戻り光の位相が光結合器部分で π ずれるように構成する。

明 細 書

光半導体素子

技術分野

[0001] 本発明は、例えば光通信用光源である半導体レーザの発振波長をモニタするための光検出器を備える光半導体素子に関する。

背景技術

[0002] 近年の通信需要の飛躍的な増大に伴い、波長の異なる複数の信号光を多重化することによって、一本の光ファイバで大容量伝送を可能とする波長分割多重通信システム(WDM通信システム)の開発が進められている。

このような波長分割多重通信システムにおいて、半導体レーザは所定のチャンネルにあった波長で発振することが求められる。このため、光源である半導体レーザの発振波長をモニタし、これを制御することが必要不可欠である。

[0003] 例えば特許文献1では、半導体レーザを含む波長可変光源素子を備えるモジュール部を、特定の周期的な透過スペクトルを持つエタロンフィルタ及び光検出器を有するものとし、波長可変光源素子の発振波長をモニタし、これを制御することが開示されている。

また、例えば特許文献2では、ビームスプリッタを必要としない半導体レーザモジュールとして、半導体レーザ素子及び光検出部(フォトダイオード及びエタロンフィルタを含む)を有するものが開示されている。

[0004] また、例えば特許文献3では、分布反射器及び光検出器を集積したDBR型半導体レーザにおいて、発振波長を制御することが開示されている。

さらに、例えば特許文献4では、波長可変半導体レーザ、グレーティングを有する分布反射器、光アイソレータ及び受光器を集積した3電極DFB半導体レーザにおいて、レーザの発振波長をモニタすることが開示されている。

特許文献1:特開2002-185074号公報(例えば図1参照)

特許文献2:特開2006-216695号公報(例えば図1参照)

特許文献3:特開昭63-160391号公報(例えば第1図参照)

特許文献4:特開平4-186690号公報(例えば第1図参照)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、上述の特許文献1や特許文献2に記載されているようなエタロン及びフォトディテクタを有する半導体レーザモジュールでは、基本的にバルクの光学部品(エタロン、フォトディテクタ、アイソレータ、ビームスプリッタ、各種レンズ類等)を組み合わせて作製することになるため、精密な光学調整が必要となる。このため、作製工数、コスト面で課題が残る。また、当然、モジュールサイズも大きくなる。さらに、エタロンとレーザチップとを同時、或いは、個別に電子冷却素子(TEC: Thermo-electric cooler)によって温度調整することになるため、総面積が大きくなり、消費電力も高くなる。

[0006] これに対し、上述の特許文献3や特許文献4に記載されているように、エタロンを用いずに、半導体レーザ及び分布反射器(波長フィルタ)をモノリシックに集積し、半導体レーザの発振波長をモニタし、制御することが開示されている。

特に、特許文献3では、DBR型半導体レーザは2つの分布反射器及び2つの光検出器を備えており、分布反射器を透過した光を光検出器で検出することで半導体レーザの発振波長をモニタするようになっている。

[0007] しかしながら、このような構造では分布反射器側からの反射戻り光が半導体レーザに多大な影響を与えることが懸念される。

なお、特許文献3では特に触れられていないが、反射戻り光の影響を低減するために、半導体レーザ発振部を構成する可変分布反射器のグレーティングによる反射率を増大させるという方法が考えられる。しかしながら、この方法ではレーザ自体の設計自由度が低くなってしまう。また、発振波長測定部を構成する分布反射器(即ち、波長フィルタとなる回折格子)による反射率を低下させるという方法が考えられる。しかしながら、この方法では、反射戻り光は低減できるものの同時に透過スペクトルが鈍ってしまうため、肝心の波長モニタの精度が低下してしまうことが予想される。

[0008] また、特許文献4では、光アイソレータを集積することが開示されており、GaAs基板上に、CdTe/CdMnTe多重量子井戸を用いて光アイソレータを形成することが記載されている。

しかしながら、通常、GaAsやInGaAsPのようなIII－V族半導体材料からなる基板上に、CdTeのようなII－VI族半導体材料からなる層を成長させるのは格子定数の関係から極めて困難であり、ごく一般的な半導体成長方法で簡易に作製できるものではない。

[0009] 本発明は、このような課題に鑑み創案されたもので、半導体レーザの発振波長をモニタするための素子をモノリシックに集積した波長モニタ集積光半導体素子を、簡易に、かつ、低コストで作製できるようにしながら、半導体レーザへの反射戻り光の影響を低減できるようにした、光半導体素子を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] このため、本発明の光半導体素子は、半導体レーザと、半導体レーザに接続された第1光導波路と、半導体レーザから第1光導波路を介して導かれた光を2つに分岐する光結合器と、光結合器に接続された2つの第2光導波路と、2つの第2光導波路のそれぞれに設けられた回折格子と、2つの回折格子の一方を介して導かれた光を検出する光検出器とを備え、半導体レーザ、第1光導波路、光結合器、第2光導波路、回折格子、光検出器が同一基板上に集積されており、各回折格子側から半導体レーザ側への反射戻り光が光結合器で干渉するように、各回折格子側からの反射戻り光の位相が光結合器部分で π ずれるように構成されていることを特徴としている。

[0011] また、光検出器は、回折格子を透過した透過光の強度を検出する位置に設ければ良い。

さらに、各第2光導波路のそれぞれに介装され、少なくとも各回折格子で反射した反射光の一部を分岐する反射光用光結合器と、各反射光用光結合器のそれぞれに接続され、少なくとも各回折格子で反射した反射光を検出する反射光用光検出器とを備えるものとしても良い。

[0012] また、光検出器は、回折格子で反射した反射光の強度を検出する位置に設けても良い。

具体的には、各回折格子側からの反射戻り光の光路長が異なるようにすれば良い。例えば、各第2光導波路の導波路長が異なるようにすれば良い。また、各第2光導波路の等価屈折率が異なるようにしても良い。例えば、2つの第2光導波路の一方は

幅が異なる部分を有するものとすれば良い。さらに、2つの第2光導波路の一方或いは両方に位相調整器を設けても良い。

[0013] また、各回折格子の光学特性は同じにするのが好ましい。

さらに、2つの回折格子の他方を介して導かれた光が入射する領域に、前記光検出器と同じ構造のダミー光検出器を設けるのが好ましい。

また、半導体レーザと光結合器との間に光吸収領域を設けるのが好ましい。

さらに、第1光導波路に介装され、半導体レーザから出力される出力光の一部を分岐する出力用光結合器と、出力用光結合器に接続され、半導体レーザから出力される出力光を外部へ出力する出力光導波路とを備えるものとしても良い。

[0014] また、出力光導波路に介装され、半導体レーザから出力される出力光の一部を分岐する出力光検出用光結合器と、出力光検出用光結合器に接続され、半導体レーザから出力される出力光を検出する出力光用光検出器を備えるものとしても良い。

さらに、半導体レーザは、波長可変レーザであっても良い。

発明の効果

[0015] したがって、本発明の光半導体素子によれば、半導体レーザの発振波長をモニタするための素子をモノリシックに集積した波長モニタ集積光半導体素子を、簡易に、かつ、低コストで作製できるようになり、さらに、半導体レーザへの反射戻り光の影響を低減できるという利点がある。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の第1実施形態にかかる光半導体素子の構成を示す模式的平面図である。

[図2](A)～(F)は、本発明の第1実施形態にかかる光半導体素子の製造方法を説明するための模式的断面図である。

[図3]本発明の第1実施形態にかかる光半導体素子を構成するフォトディテクタで検出される光強度と波長との関係を示す図である。

[図4]本発明の第2実施形態にかかる光半導体素子の構成を示す模式的平面図である。

[図5]本発明の第3実施形態にかかる光半導体素子の構成を示す模式的平面図で

ある。

[図6]本発明の第4実施形態にかかる光半導体素子の構成を示す模式的平面図である。

[図7]本発明の第4実施形態にかかる光半導体素子を構成する透過光検出フォトディテクタで検出される光強度と反射光検出フォトディテクタで検出される光強度との差分強度と波長との関係を示す図である。

[図8]本発明の第5実施形態にかかる光半導体素子の構成を示す模式的平面図である。

[図9]本発明の第6実施形態にかかる光半導体素子の構成を示す模式的平面図である。

[図10]本発明の第7実施形態にかかる光半導体素子の構成を示す模式的平面図である。

符号の説明

- [0017] 11 半導体レーザ
 12A 光導波路(第1光導波路)
 12B, 12C 光導波路(第2光導波路)
 13 光結合器[光カプラ;例えばMMI(Multi Mode Interference)カプラ]
 14, 15 回折格子(波長フィルタ)
 16 光検出器(フォトディテクタ)
 17 ダミー光検出器(ダミーフォトディテクタ)
 28 光吸収領域
 32 出力光導波路
 34 出力用光結合器(光カプラ;例えばMMIカプラ)
 45, 46 光導波路
 47, 48 反射光用光結合器(光カプラ;例えばMMIカプラ)
 49 反射光用光検出器(フォトディテクタ;反射光検出フォトディテクタ)
 51 ダミー反射光用光検出器(ダミーフォトディテクタ)
 73 出力光検出用光検出器[フォトディテクタ;出力光(半導体レーザ光)検出フォト

ディテクタ]

74 光導波路

75 出力光検出用光結合器(光カップラ;例えばMMIカップラ)

81 位相調整器

100 n-InP基板(半導体基板)

101 DFBレーザ領域(半導体レーザ領域)

102A 第1光導波路領域

102B 第2光導波路領域

103 光結合器領域

104 回折格子領域

105 フォトディテクタ領域(光検出器領域)

110 n-InPバッファ層

111 n-InGaAsP層

112 回折格子

113 n-InPスペーサ層

114 InGaAsP歪みMQW層(活性層)

115 p-InPクラッド層

120 n-InGaAsP層

122 n-InPスペーサ層

123 i-InGaAsPコア層

124 p-InPクラッド層

130 p-InPクラッド層

131 p-InGaAsP4元コンタクト層

132 p-InGaAs3元コンタクト層

発明を実施するための最良の形態

[0018] 以下、図面により、本発明の実施の形態にかかる光半導体素子について説明する

。

[第1実施形態]

まず、本発明の第1実施形態にかかる光半導体素子について、図1～図3を参照しながら説明する。

本実施形態にかかる光半導体素子は、例えば図1に示すように、半導体レーザ(ここではDFBレーザ)11と、半導体レーザ11に接続された光導波路(第1光導波路)12Aと、光導波路12Aに接続された光結合器[光カップラ;例えばMMI(Multi Mode Interference)カップラ]13と、光結合器13に接続された2つの光導波路(第2光導波路)12B, 12Cと、2つの光導波路12B, 12Cのそれぞれに設けられた回折格子(波長フィルタ)14, 15と、回折格子14の近傍に設けられた光検出器(フォトディテクタ)16と、回折格子15の近傍に設けられたダミー光検出器(ダミーフォトディテクタ)17とを備え、これらが同一基板(半導体基板)上にモノリシックに集積された波長モニタ機構集積半導体レーザ素子(半導体集積素子)として構成される。なお、第1光導波路12A, 光結合器13, 一方の第2光導波路12B, 一方の回折格子14及び光検出器16によって波長モニタ部(波長モニタ機構)が構成される。

[0019] そして、半導体レーザ11と2つの回折格子14, 15とは、図1に示すように、光導波路12A～12C及び光結合器13によって接続されている。これにより、半導体レーザ11から出力され(ここでは半導体レーザ11の後端面から出射され)、第1光導波路12Aを介して導かれた光(信号レーザ光;信号光;発振光)は、光結合器13によって2つに分岐されて(即ち1:1の等しい割合で分岐されて)2つの第2光導波路12B, 12Cに入射し、これらの光導波路12B, 12Cを介して2つの回折格子14, 15のそれぞれに導かれるようになっている。そして、一方の回折格子14によって、波長に応じて、一部は透過し、一部は反射される。

[0020] ここでは、光検出器16は、一方の回折格子14を透過した透過光の強度を検出する位置に設けられており、この光検出器16によって、回折格子14を介して導かれた光(ここでは回折格子14を透過した透過光)の強度が検出されるようになっている。

ここで、回折格子14の透過率は波長に依存するため、回折格子14を透過した透過光を光検出器16によって検知することで、波長情報(半導体レーザ11の発振波長情報)が含まれた光出力情報を得ることができる。この波長情報を含む光出力情報に基づいて半導体レーザ11の発振波長をモニタすることができる。これに基づいて、例

例えば半導体レーザの発振波長の制御(発振波長を固定するための制御も含む)を行なうことができる。

[0021] なお、光検出器16を設ける位置は、これに限られるものではなく、回折格子14で反射した反射光の強度を検出する位置に光検出器16を設け、この光検出器16によって、回折格子14を介して導かれた光(即ち、回折格子14で反射した反射光)の強度を検出するようにしても良い。例えば、光結合器13の半導体レーザ11側に別に2つのポートを設け、これらに光導波路を接続し、これらの光導波路に光検出器を設けても良い。この場合、光検出器では、回折格子14側からの反射戻り光(回折格子14で反射した反射光を含む)の強度が検出されることになる。

[0022] また、ダミー光検出器17は、光検出器16と同じ構造になっており、図1に示すように、他方の回折格子15を介して導かれた光(ここでは回折格子15を透過した透過光)が入射する領域に設けられている。

特に、本実施形態では、図1に示すように、各回折格子14, 15で反射した反射光は、各回折格子14, 15に接続されている各第2光導波路12B, 12Cを導かれ、光結合器13及び第1光導波路12Aを介して半導体レーザ11側へ戻る反射戻り光(この反射戻り光には光検出器16やダミー光検出器17等で反射された反射戻り光を含む場合もある)になるため、各回折格子14, 15側から半導体レーザ11側への反射戻り光が光結合器13で干渉して消光されるように、各回折格子14, 15側からの反射戻り光の位相が光結合器部分で π ずれるように構成されている。

[0023] つまり、反射戻り光の位相差が π となるように、各回折格子14, 15側からの反射戻り光の光路長が異なるようにしている。ここでは、各回折格子14, 15に接続されている各第2光導波路12B, 12Cの長さ(導波路長)が異なるようにしている。

具体的には、第2光導波路12B, 12Cの等価屈折率を n 、導波路長の差を ΔL 、信号光の波長を λ として、次式(1)を満たすように、各第2光導波路12B, 12Cの導波路長を設定することで、各回折格子14, 15側からの反射戻り光の光結合器部分での位相差を π にすることができる。これにより、反射戻り光は光結合器13で合波される際に位相差が π になり、干渉によって消光することになる。

[0024] [数1]

$$n\Delta L = \frac{\lambda}{2} \left(m + \frac{1}{2} \right) \quad (m: \text{整数}) \cdots (1)$$

[0025] この場合、反射戻り光の位相差を π にしても反射波の電界振幅に差があると十分に消光することができない。

このため、光結合器部分(合波点)で十分に消光できるように、図1に示すように、各第2光導波路12B, 12Cの導波路長を除いて、波長モニタ部を構成する第2光導波路12B, 回折格子14及び光検出器16に対して光学的に対称になるように、他方の第2光導波路12C, 回折格子15及びダミー光検出器17が設けられている。なお、他方の第2光導波路12C, 回折格子15及びダミー光検出器17は波長モニタには用いられないダミー構造である。

[0026] 具体的には、各第2光導波路12B, 12Cの層構造, 材料及び組成, 幅, 厚さを同じにしている。また、2つの回折格子14, 15の周期, 透過率, 反射率等の光学特性も同じにしている。さらに、ダミー光検出器17と光検出器16とは同じ層構造, 材料及び組成にしている。

上述のように、本光半導体素子では、波長フィルタとして回折格子14を用い、光検出器16によって、信号光の波長情報を光出力情報に変換し、これを検知することで波長モニタを行なうようにした上で、これによって副次的に発生する反射光が反射戻り光として半導体レーザ11側へ戻ってしまうのを抑制すべく、回折格子14に接続された第2光導波路12Bの導波路長を除いて波長モニタ用の回折格子14及び第2光導波路12Bに対して光学的に対称になるようにダミーの回折格子15及び第2光導波路12Cを配置し、各回折格子14, 15側からの反射戻り光の位相差が π になるように各第2光導波路12B, 12Cの導波路長に差をつけることで、各回折格子14, 15側からの反射戻り光が光結合器部分で合波される際に干渉によって消光されるようにしている。

[0027] 次に、本実施形態にかかる光半導体素子の製造方法(作製手順)について、図2(A)～(F)を参照しながら説明する。

なお、半導体レーザ11としてDFBレーザを備えるものを例に挙げて説明する。また、各半導体層の成長にはMOCVD法を用いるが、これに限られるものではない。さら

に、 SiO_2 膜やメタルの蒸着には、一般的な半導体素子の製造で使われている方法、即ち、真空蒸着、スパッタリング、EB蒸着等を用いる。

[0028] ここでは、図2(A)～(F)に示すように、まず、DFBレーザ領域(半導体レーザ領域)101、フォトディテクタ領域(光検出器領域)105を構成する層構造を作製し、その後、エッチング及び再成長によって、第1光導波路領域102A、光結合器領域103、第2光導波路領域102B、回折格子領域104を構成する層構造を作製する。

まず、図2(A)に示すように、 $n\text{-InP}$ 基板(半導体基板)100上の全領域に $n\text{-InP}$ バッファ層110(厚さ $1\mu\text{m}$)、 $n\text{-InGaAsP}$ 層111($\lambda_{\text{PL}} = 1.2\mu\text{m}$, 厚さ $0.05\mu\text{m}$)を成長させる。

[0029] 次に、図2(B)に示すように、DFBレーザ領域101の $n\text{-InGaAsP}$ 層111に例えばEB露光及びドライエッチング等によって回折格子112(約 240nm の周期)を形成する。なお、 $n\text{-InGaAsP}$ 層111はDFBレーザ領域101に回折格子112を有するため、回折格子層ともいう。

続いて、図2(B)に示すように、回折格子112を埋め込むように $n\text{-InGaAsP}$ 層111上の全領域に $n\text{-InP}$ スペーサ層113(厚さ $0.15\mu\text{m}$)を成長させ、さらに、 InGaAsP からなるSCH層(厚さ 10nm ;図示せず)、 InGaAsP 歪みMQW層(活性層)114($\lambda_{\text{PL}} = 1.58\mu\text{m}$;ここでは厚さ 5nm のウェル層と厚さ 10nm のバリア層を8層積層してなる)、 InGaAsP からなるSCH層(厚さ 10nm ;図示せず)、 $p\text{-InP}$ クラッド層115(厚さ $0.2\mu\text{m}$)を順に成長させる。

[0030] ここでは、MQW活性層114の光閉じ込め係数は 0.05 程度になるように設計している。また、DFBレーザ領域101の長さ L (共振器長)を $300\mu\text{m}$ とすると、上記設計で概ね結合係数 $\kappa = 70\text{cm}^{-1}$ であるので、 $\kappa L = 2.1$ 程度となる。

このようにして、回折格子112の有無を除いて同一の層構造を有するDFBレーザ領域101及びフォトディテクタ領域105が形成される。

[0031] 次に、図2(C)に示すように、第1光導波路領域102A、光結合器領域103、第2光導波路領域102B、回折格子領域104を作製すべく、DFBレーザ領域101及びフォトディテクタ領域105上にマスクを形成し、これらの領域以外の領域(第1光導波路領域102A、光結合器領域103、第2光導波路領域102B、回折格子領域104)を $n\text{-I}$

nGaAsP層111に達するまでエッチングする。

[0032] 次いで、図2(D)に示すように、n-InGaAsP層111上に、これと同組成のn-InGaAsP層120を厚さ0.05 μm だけ追加で成長させる。

その後、図2(D)に示すように、回折格子領域104のn-InGaAsP層111, 120に例えばEB露光及びドライエッチング等によって回折格子14, 15(約240nmの周期)を形成する。なお、n-InGaAsP層111, 120は回折格子領域104に回折格子14, 15を有するため、回折格子層ともいう。

[0033] このようにして形成された回折格子14は波長モニタを行なうためのフィルタとなる。なお、波長モニタの観点からは、波長に対する透過率の変化率が大きい方が波長モニタの精度が高まるため、回折格子領域104の回折格子14によるブラッグ波長は、DFBレーザ領域101に描画した回折格子112によるブラッグ波長(ここでは1550nm)に対して少しずれるように形成するのが望ましい。ここでは、回折格子領域104の回折格子14によるブラッグ波長を1547.5nmとしている。

[0034] このように構成される光半導体素子で光検出器16によって検出される光強度の検出値は、例えば図3に示すように波長に依存したものとなるため、光検出器16によって検出される光強度の検出値の変化に基づいて半導体レーザ11の発振波長の変化を観測することが可能となる。

本実施形態では、回折格子領域104に2つの回折格子14, 15を形成するが(図1参照)、各回折格子14, 15側からの反射戻り光の光路長に差をつけるため(ここでは各第2光導波路12B, 12Cの導波路長に差をつけるため)、各回折格子14, 15のフォトディテクタ領域105側の端部が上記式(1)を満たす ΔL だけずれるように、上述のEB露光及びドライエッチングの段階で、一方の回折格子を形成するための領域に対して他方の回折格子を形成するための領域をフォトディテクタ領域105側へずらすようにしている。なお、ここでは、各回折格子14, 15の周期及びデューティ比は同一にして、各回折格子14, 15の光学特性が同じになるようにしている。

[0035] 続いて、図2(E)に示すように、回折格子14, 15を埋め込むようにn-InGaAsP層120上の全領域にn-InPスペーサ層122(厚さ0.08 μm)を成長させ、さらに、i-InGaAsPコア層123($\lambda_{\text{PL}} = 1.3 \mu\text{m}$ 、厚さ0.17 μm)、p-InPクラッド層124(厚さ

0.2 μm)を順に成長させる。

次いで、マスクを全て除去し、図2(F)に示すように、全領域にp-InPクラッド層130(厚さ1.5 μm)、p-InGaAsP4元コンタクト層131($\lambda_{\text{PL}} = 1.3 \mu\text{m}$ 、厚さ0.15 μm)、p-InGaAs3元コンタクト層132(厚さ0.3 μm)を順次積層成長させる。

[0036] その後、メサストライプを形成するために全領域に SiO_2 膜を形成し、これを適宜パターンニングしてメサストライプマスクを形成する。ここでは、DFBレーザ領域101、第1光導波路領域102A、第2光導波路領域102B、回折格子領域104及びフォトディテクタ領域105におけるメサストライプマスクの幅が1.5 μm になるようにパターンニングする。

[0037] 次に、このメサストライプマスクを用いてエッチングによって3.0 μm 程度の高さを有するメサストライプ構造を形成する。

次いで、このようにして形成されたメサストライプ構造を半絶縁性InP層(SI-InP層;厚さ3.0 μm)で埋め込んでエピタキシャル成長を終了する。

その後、DFBレーザ領域101及びフォトディテクタ領域105に形成されたメサストライプ構造の上に、一般的な半導体素子の製造プロセスにおいて用いられる電極プロセスを用いてp側電極を形成するとともに、基板裏面にn側電極を形成することによって、図1に示すような光半導体素子が作製される。

[0038] したがって、本実施形態にかかる光半導体素子によれば、半導体レーザ11の発振波長をモニタするための素子を同一基板上にモノリシックに集積した小型で低消費電力の波長モニタ集積光半導体素子(波長モニタ機構集積半導体レーザ)を、簡易に、かつ、低コストで作製できるようになり、さらに、半導体レーザ11への反射戻り光の影響を低減できるという利点がある。

[0039] なお、上述の実施形態では、半導体材料としてInP系半導体材料を用いたものを例に説明しているが、これに限られるものではなく、他の半導体材料を用いることも可能である。

また、上述の実施形態では、特定の層構造を挙げ、さらに、厚さ、組成などについても具体的な数値を挙げて説明しているが、これらの層構造や数値については、上述の実施形態のものに限られるものではなく、所望の用途に応じて適宜設計されるも

のである。

[0040] また、上述の実施形態では、半導体レーザ11としてDFBレーザを用いたものを例に説明しているが、これに限られるものではなく、他のシングルモードレーザを用いても良い。

さらに、反射戻り光の消光に影響を与えない範囲で、半導体レーザ11として、発振波長を変化させることができる波長可変レーザを用いても良い。

[第2実施形態]

次に、本発明の第2実施形態にかかる光半導体素子について、図4を参照しながら説明する。

[0041] 本実施形態にかかる光半導体素子は、上述の第1実施形態のものに対し、光吸収領域が設けられている点で異なる。

つまり、本光半導体素子は、例えば図4に示すように、半導体レーザ(ここではDFBレーザ)11と、光導波路(第1光導波路)12Aと、光結合器(光カップラ;例えばMMIカップラ)13と、2つの光導波路(第2光導波路)12B, 12Cと、2つ回折格子(波長フィルタ)14, 15と、光検出器(フォトディテクタ)16と、ダミー光検出器(ダミーフォトディテクタ)17と、光吸収領域28とを備え、これらが同一基板(半導体基板)上にモノリシックに集積された波長モニタ機構集積半導体レーザ素子(半導体集積素子)として構成される。なお、図4では、上述の第1実施形態(図1参照)と同一のものには同一の符号を付している。

[0042] ここで、光吸収領域28は、各回折格子14, 15側からの反射戻り光をより低減できるように半導体レーザ11からの出力光の一部を吸収しうるように、図4に示すように、半導体レーザ11と光結合器13との間に設けられている。

つまり、上述の第1実施形態の構成では、半導体レーザ11の光出力にもよるが、フォトディテクタ16に数mW程度の強度の光が入力されることになるが、信号光波長の特定はそれほど大きい光強度を必要としないため、図4に示すように、半導体レーザ11と光結合器13との間に光吸収領域28を設けて、余分な光が各回折格子14, 15側へ供給されないように半導体レーザ11からの出力光を減衰させることで、各回折格子14, 15側からの反射戻り光を低減するようにしている。

[0043] なお、光吸収領域28における減衰量は、半導体レーザ11の反射戻り光耐性や必要な波長モニタ精度等に応じて、例えば光吸収領域28の長さを適宜設計することで調整可能である。

ここでは、光吸収領域28は、フォトディテクタ16と同様の層構造を備えるものとして構成される。この光吸収領域28は、上述の第1実施形態にかかる製造方法における半導体レーザ11及びフォトディテクタ16の作製工程においてこれらと同時に作製すれば良い。なお、光吸収領域28には電流を流す必要がないため、フォトディテクタ16のように電極を形成することは不要である。

[0044] なお、その他の構成及び製造方法は、上述の第1実施形態及びその変形例のものと同一であるため、ここでは説明を省略する。

したがって、本実施形態にかかる光半導体素子によれば、上述の第1実施形態のものと同様に、半導体レーザ11の発振波長をモニタするための素子を同一基板上にモノリシックに集積した小型で低消費電力の波長モニタ集積光半導体素子(波長モニタ機構集積半導体レーザ)を、簡易に、かつ、低コストで作製できるようになり、さらに、半導体レーザ11への反射戻り光の影響を低減できるという利点がある。特に、本実施形態にかかる光半導体素子によれば、より確実に半導体レーザ11への反射戻り光の影響を低減できるという利点がある。

[第3実施形態]

次に、本発明の第3実施形態にかかる光半導体素子について、図5を参照しながら説明する。

[0045] 本実施形態にかかる光半導体素子は、上述の第1実施形態のものに対し、半導体レーザからの出力光を基板の反対側の端面から出力するように構成されている点異なる。

つまり、本光半導体素子は、図5に示すように、半導体レーザ(ここではDFBレーザ)11と、光導波路(第1光導波路)12Aと、光結合器(光カプラ;例えばMMIカプラ)13と、2つの光導波路(第2光導波路)12B, 12Cと、2つ回折格子(波長フィルタ)14, 15と、光検出器(フォトディテクタ)16と、ダミー光検出器(ダミーフォトディテクタ)17と、出力用光結合器(光カプラ;例えばMMIカプラ)34と、出力光導波路32とを備え

、これらが同一基板(半導体基板)上にモノリシックに集積された波長モニタ機構集積半導体レーザ素子(半導体集積素子)として構成される。なお、図5では、上述の第1実施形態(図1参照)と同一のものには同一の符号を付している。

[0046] ここで、出力用光結合器34は、図5に示すように、半導体レーザ11と光結合器13とを接続する第1光導波路12Aに介装されている。つまり、出力用光結合器34の入力ポートは半導体レーザ11に接続されており、2つの出力ポートのうち、一方の出力ポートは出力光導波路32に接続されており、他方の出力ポートは第1光導波路12Aに接続されている。そして、この出力用光結合器34によって、半導体レーザ11から出力される出力光が2つに分岐され、出力光の一部が波長モニタ機構へ導かれるようになっている。

[0047] この出力用光結合器34は、半導体レーザ11からの出力光(信号光)を所定の分岐比(分配比)で分岐するようになっている。

なお、出力用光結合器34に接続された出力光導波路32と第1光導波路12Aとの間には出力用光結合器34によって等価的に損失があるものとみなすことができるため、出力用光結合器34の分岐比の設計によって、この出力用光結合器34を上述の第2実施形態の光吸収領域として機能させて、各回折格子14, 15側からの反射戻り光を低減することも可能である。

[0048] 出力光導波路32は、図5に示すように、出力用光結合器34の一方の出力ポートから基板端面まで延びており、この出力光導波路32を介して半導体レーザ11から出力される出力光が外部へ出力されるようになっている。

なお、本光半導体素子は、半導体レーザ11からの出力光を出力するための主光導波路(出力光導波路32)に、半導体レーザ11からの出力光の一部を分岐するための光結合器(出力用光結合器34)を介装し、この光結合器34に波長モニタ機構及びダミー構造を接続しているとも見ることができる。この場合、第1光導波路12A及び第2光導波路12B, 12Cは波長モニタのために半導体レーザ11からの出力光の一部を導くものであるため、副光導波路という。

[0049] なお、その他の構成及び製造方法は、上述の第1実施形態及びその変形例のものと同一であるため、ここでは説明を省略する。

したがって、本実施形態にかかる光半導体素子によれば、上述の第1実施形態のものと同様に、半導体レーザ11の発振波長をモニタするための素子を同一基板上にモノリシックに集積した小型で低消費電力の波長モニタ集積光半導体素子(波長モニタ機構集積半導体レーザ)を、簡易に、かつ、低コストで作製できるようになり、さらに、半導体レーザ11への反射戻り光の影響を低減できるという利点がある。

[0050] 特に、上述の第1実施形態にかかる光半導体素子が、半導体レーザ11の一方の端面から出力光(信号光)を取り出し、他方の端面から出力される光を波長モニタに用いているのに対し、本実施形態にかかる光半導体素子は、半導体レーザ11の一方の端面から出力される光を出力光(信号光)として取り出すとともに、波長モニタのための波長検出用信号光としても用いており、図5に示すように、出力光導波路32と波長モニタ機構及びダミー構造とを並列に配置しているため、例えば出力光導波路(主導波路)32の途中に他の機能素子(例えば半導体光増幅器や変調器等)を集積することが可能であり、これにより、素子長を短縮することができるという利点もある。

[0051] なお、本実施形態は、上述の第1実施形態の変形例として説明しているが、これに限られるものではなく、本実施形態のものと上述の第2実施形態のものとを組み合わせることもできる。この場合、光吸収領域は、出力用光結合器34と光結合器13との間に設ければ良い。

[第4実施形態]

次に、本発明の第4実施形態にかかる光半導体素子について、図6を参照しながら説明する。

[0052] 本実施形態にかかる光半導体素子は、上述の第3実施形態のものに対し、各回折格子側からの反射戻り光を検出する反射光用光検出器を備える点で異なる。

つまり、本光半導体素子は、図6に示すように、半導体レーザ(ここではDFBレーザ)11と、光導波路(第1光導波路)12Aと、光結合器(光カブラ;例えばMMIカブラ)13と、2つの光導波路(第2光導波路)12B, 12Cと、2つ回折格子(波長フィルタ)14, 15と、光検出器(フォトディテクタ;透過光用光検出器;透過光検出フォトディテクタ)16と、ダミー光検出器(ダミーフォトディテクタ)17と、出力用光結合器(光カブラ;例えばMMIカブラ)34と、出力光導波路32と、反射光用光結合器(光カブラ;例えば

MMIカプラ)47、48と、反射光用光検出器(フォトディテクタ;反射光検出フォトディテクタ)49と、ダミー反射光用光検出器(ダミーフォトディテクタ)51とを備え、これらが同一基板(半導体基板)上にモノリシックに集積された波長モニタ機構集積半導体レーザ素子(半導体集積素子)として構成される。なお、図6では、上述の第3実施形態(図5参照)と同一のものには同一の符号を付している。

[0053] ここで、各反射光用光結合器47、48は、図6に示すように、光結合器13と各回折格子14、15とを接続する各第2光導波路12B、12Cのそれぞれに介装されている。

つまり、反射光用光結合器47の一侧の2つのポートのうち、一方のポートは光結合器13に接続されており、他方のポートは反射光用光検出器49に接続されており、他側のポートは回折格子14に接続されている。そして、この反射光用光結合器47によって、回折格子14側からの反射戻り光が2つに分岐され、その一部(少なくとも回折格子14で反射した反射光の一部)が反射光用光検出器49へ導かれるようになっている。

[0054] また、反射光用光結合器48の一侧の2つのポートのうち、一方のポートは光結合器13に接続されており、他方のポートはダミー反射光用光検出器51に接続されており、他側のポートは回折格子15に接続されている。そして、この反射光用光結合器48によって、回折格子15側からの反射戻り光が2つに分岐され、その一部(少なくとも回折格子15で反射した反射光の一部)がダミー反射光用光検出器51へ導かれるようになっている。

[0055] また、反射光用光検出器49は、図6に示すように、一方の反射光用光結合器47に光導波路45を介して接続されている。そして、反射光用光検出器49によって、一方の回折格子14側からの反射戻り光(少なくとも回折格子14で反射した反射光を含む)の強度が検出されるようになっている。

また、ダミー反射光用光検出器51は、図6に示すように、反射光用光検出器49と同じ構造になっており、他方の回折格子15側からの反射戻り光(少なくとも他方の回折格子15で反射した反射光を含む)が入射する領域に設けられている。つまり、ダミー反射光用光検出器51は、他方の反射光用光結合器48に光導波路46を介して接続されている。

[0056] そして、透過光検出フォトディテクタ16によって一方の回折格子14を透過した透過光の強度を検出するとともに、反射光検出フォトディテクタ49によって一方の回折格子14側からの反射戻り光(少なくとも一方の回折格子14で反射した反射光を含む)の強度を検出し、これらの検出値に基づいて(例えばこれらの検出値の差分あるいはこれらの検出値の比を演算し、この演算値に基づいて)、半導体レーザ11の発振波長の制御(発振波長を固定するための制御も含む)を行なうようにしている。

[0057] なお、その他の構成及び製造方法は、上述の第1実施形態及びその変形例、第3実施形態のものと同一であるため、ここでは説明を省略する。

したがって、本実施形態にかかる光半導体素子によれば、上述の第3実施形態のものと同様に、半導体レーザ11の発振波長をモニタするための素子を同一基板上にモノリシックに集積した小型で低消費電力の波長モニタ集積光半導体素子(波長モニタ機構集積半導体レーザ)を、簡易に、かつ、低コストで作製できるようになり、さらに、半導体レーザ11への反射戻り光の影響を低減できるという利点がある。

[0058] 特に、本実施形態にかかる光半導体素子では、一方の回折格子14を透過した透過光強度の検出値と、一方の回折格子14側からの反射戻り光(少なくとも一方の回折格子14で反射した反射光を含む)強度の検出値とを用いることで(即ち、これらの検出値の差分あるいはこれらの検出値の比を演算して用いることで)、より高い波長モニタ精度が得られるという利点もある。

[0059] ここで、図7は、透過光検出フォトディテクタによって検出された透過光強度の検出値と、反射光検出フォトディテクタによって検出された反射光強度の検出値との差分をとった演算値と、波長との関係を示している。

図7に示すように、差分演算値(差分強度)は、波長の変化に対して、より急峻で線形な値となるため、より高い波長モニタ精度が得られることになる。

[0060] なお、本実施形態は、上述の第3実施形態の変形例として説明しているが、これに限られるものではなく、本実施形態のものと上述の第2実施形態のものとを組み合わせることもできる。この場合、光吸収領域は、出力用光結合器34と光結合器13との間に設ければ良い。

[第5実施形態]

次に、本発明の第5実施形態にかかる光半導体素子について、図8を参照しながら説明する。

[0061] 本実施形態にかかる光半導体素子は、上述の第4実施形態のものに対し、半導体レーザから出力される出力光を検出する出力光用光検出器を備える点で異なる。

つまり、本光半導体素子は、図8に示すように、半導体レーザ(ここではDFBレーザ)11と、光導波路(第1光導波路)12Aと、光結合器(光カップラ;例えばMMIカップラ)13と、2つの光導波路(第2光導波路)12B, 12Cと、2つ回折格子(波長フィルタ)14, 15と、光検出器(フォトディテクタ;透過光用光検出器;透過光検出フォトディテクタ)16と、ダミー光検出器(ダミーフォトディテクタ)17と、出力用光結合器(光カップラ;例えばMMIカップラ)34と、出力光導波路32と、反射光用光結合器(光カップラ;例えばMMIカップラ)47, 48と、反射光用光検出器(フォトディテクタ;反射光検出フォトディテクタ)49と、ダミー反射光用光検出器(ダミーフォトディテクタ)51と、出力光検出用光結合器(光カップラ;例えばMMIカップラ)75と、出力光検出用光検出器[フォトディテクタ;出力光(半導体レーザ光)検出フォトディテクタ]73とを備え、これらが同一基板(半導体基板)上にモノリシックに集積された波長モニタ機構集積半導体レーザ素子(半導体集積素子)として構成される。なお、図8では、上述の第4実施形態(図6参照)と同一のものには同一の符号を付している。

[0062] ここで、出力光検出用光結合器75は、図8に示すように、出力用光結合器34から基板端面まで延びる出力光導波路32に介装されている。つまり、出力光検出用光結合器75の一侧の2つのポートのうち、一方のポートは出力光導波路32に接続されており、他方のポートは出力光検出用光検出器73に接続されており、他側のポートは出力光導波路32に接続されている。そして、この出力光検出用光結合器75によって、出力光導波路32を介して導かれる半導体レーザ11からの出力光が2つに分岐され、その一部が出力光検出用光検出器73へ導かれるようになっている。

[0063] また、出力光検出用光検出器73は、図8に示すように、出力光検出用光結合器75に光導波路74を介して接続されている。そして、出力光検出用光検出器73によって、半導体レーザ11から出力される出力光(レーザ光)の強度が検出されるようになっている。

これにより、半導体レーザ11から出力される出力光の強度(レーザ光強度;光出力)を直接検出し、その変化をモニタすることができる。

[0064] そして、透過光検出フォトディテクタ16によって一方の回折格子14を透過した透過光の強度を検出するとともに、反射光検出フォトディテクタ49によって一方の回折格子14側からの反射戻り光(少なくとも一方の回折格子14で反射した反射光を含む)の強度を検出し、出力光検出フォトディテクタ73によって半導体レーザ11からの出力光の強度を検出し、これらに基づいて、半導体レーザ11の発振波長制御を行なうようにしている。

[0065] ここでは、透過光検出フォトディテクタ16の検出値と反射光検出フォトディテクタ49の検出値の差分(あるいはこれらの検出値の比)を演算し、この演算値と出力光検出フォトディテクタの検出値との比に基づいて、半導体レーザ11の発振波長の制御(発振波長を固定するための制御も含む)を行なうようにしている。

なお、その他の構成及び製造方法は、上述の第1実施形態及びその変形例、第3実施形態、第4実施形態のものと同じであるため、ここでは説明を省略する。

[0066] したがって、本実施形態にかかる光半導体素子によれば、上述の第4実施形態のものと同様に、半導体レーザ11の発振波長をモニタするための素子を同一基板上にモノリシックに集積した小型で低消費電力の波長モニタ集積光半導体素子(波長モニタ機構集積半導体レーザ)を、簡易に、かつ、低コストで作製できるようになり、さらに、半導体レーザ11への反射戻り光の影響を低減できるという利点がある。

[0067] 特に、本実施形態にかかる光半導体素子では、回折格子14からの透過光や反射光の検出値から得られる、波長情報を含む光出力情報に基づいて半導体レーザ11の発振波長(信号光の発振波長)を同定するとともに、半導体レーザ11の出力光強度の変化もモニタできるようになっているため、半導体レーザ11の発振波長の変化が出力変動によるものなのか発振波長変動によるものなのかを検知することができ、例えば、半導体レーザ11の出力光強度のみが変化し、半導体レーザ11の発振波長が変化していない場合に、半導体レーザ11の発振波長が変化したと誤判定されてしまうのを防止することができ、所望の発振波長を維持することができるという利点がある。

[0068] なお、本実施形態は、上述の第4実施形態の変形例として説明しているが、これに限られるものではなく、例えば、本実施形態にかかる構成を上述の第3実施形態のものに適用することもできる。また、本実施形態のものと上述の第2実施形態のものとを組み合わせることもできる。この場合、光吸収領域は、出力用光結合器34と光結合器13との間に設ければ良い。

[第6実施形態]

次に、本発明の第6実施形態にかかる光半導体素子について、図9を参照しながら説明する。

[0069] 上述の第1実施形態にかかる光半導体素子が、各第2光導波路12B, 12Cの導波路長が異なるように構成し、反射戻り光の光路長差を変えて位相を調整するようにしているのに対し、本実施形態にかかる光半導体素子は、各第2光導波路12B, 12Cの等価屈折率が異なるように構成し、反射戻り光の光路長差を変えて位相を調整するようにしている点が異なる。つまり、光路長は等価屈折率と光導波路の長さとの積で表されるため、本実施形態では、各第2光導波路12B, 12Cの等価屈折率を調整して光路長を変えて位相を調整するようにしている。

[0070] 具体的には、本実施形態では、例えば図9に示すように、各第2光導波路12B, 12Cの導波路長を同じにし、2つの第2光導波路12B, 12Cの一方は幅が異なる部分を有するものとして構成している。

つまり、本光半導体素子は、例えば図9に示すように、半導体レーザ(ここではDFBレーザ)11と、半導体レーザ11に接続された光導波路(第1光導波路)12Aと、光導波路12Aに接続された光結合器(光カプラ;例えばMMIカプラ)13と、光結合器13に接続された2つの光導波路(第2光導波路)12B, 12Cと、2つの光導波路12B, 12Cのそれぞれに設けられた回折格子(波長フィルタ)14, 15と、回折格子14の近傍に設けられた光検出器(フォトディテクタ)16と、回折格子15の近傍に設けられたダミー光検出器(ダミーフォトディテクタ)17とを備え、これらが同一基板(半導体基板)上にモノリシックに集積された波長モニタ機構集積半導体レーザ素子(半導体集積素子)として構成される。なお、図9では、上述の第1実施形態(図1参照)と同一のものには同一の符号を付している。

[0071] 特に、反射戻り光の位相差が π となるように、各回折格子14, 15にそれぞれ接続されている各第2光導波路12B, 12Cの一方は幅が異なる部分を有するものとして構成している。

具体的には、一方の第2光導波路12Bの光路長を基準にして他方の第2光導波路12Cの光路長を調整して、反射戻り光の位相差が π となるようにしている。

[0072] まず、一方の第2光導波路12Bは、その全長にわたって同一の幅 W_1 になっており、その光路長(光学長) L_{opt1} は、等価屈折率を n_{eq1} とし、所定領域の長さを L として、下記式(2)に示すようになる。

$$L_{opt1} = L \cdot n_{eq1} \cdots (2)$$

一方、他方の第2光導波路12Cは、一方の第2光導波路12Bの幅 W_1 と異なる幅 W_2 の部分有し、その光路長 L_{opt2} は、幅 W_1 の領域の等価屈折率を n_{eq1} とし、幅 W_2 の領域の等価屈折率を n_{eq2} とし、幅 W_1 の領域の長さを L_1 とし、幅 W_2 の領域の長さを L_2 として、下記式(3)に示すようになる。

$$L_{opt2} = L_1 \cdot n_{eq1} + L_2 \cdot n_{eq2} \cdots (3)$$

なお、一方の第2光導波路12Bの所定領域の長さ L と、他方の第2光導波路12Cの幅 W_1 の領域の長さ L_1 と幅 W_2 の領域の長さ L_2 とを足した長さとは等しくなっている($L_1 + L_2 = L$)。つまり、一方の第2光導波路12Bの全長(物理長)と他方の第2光導波路12Cの全長(物理長)は等しくなっている。

[0073] この場合、一方の第2光導波路12Bと他方の第2導波路12Cとの光路長の差 ΔL_{opt} は、下記式(4)に示すようになる。

$$\begin{aligned} \Delta L_{opt} &= L_{opt1} - L_{opt2} \\ &= L \cdot n_{eq1} - (L_1 \cdot n_{eq1} + L_2 \cdot n_{eq2}) \\ &= L_2 \cdot (n_{eq1} - n_{eq2}) \cdots (4) \end{aligned}$$

この光路長差 ΔL_{opt} が下記式(5)を満たすように設定することで、各回折格子14, 15側からの反射戻り光の光結合器部分での位相差を π にすることができる。これにより、反射戻り光は光結合器13で合波される際に位相差が π になり、干渉によって消光することになる。

[0074] [数2]

$$\Delta L_{opt} = L_2(n_{eq1} - n_{eq2}) = \frac{\lambda}{2}(m + \frac{1}{2}) \quad (m: \text{整数}) \cdots (5)$$

[0075] なお、光導波路の幅を変化させる場合、ステップ状に急峻に変化させると、その部分で反射が起きてしまうため、例えばテーパ構造等にするのが好ましい。

なお、その他の構成及び製造方法は、上述の第1実施形態及びその変形例のものと同一であるため、ここでは説明を省略する。

したがって、本実施形態にかかる光半導体素子によれば、上述の第1実施形態のものと同様に、半導体レーザ11の発振波長をモニタするための素子を同一基板上にモノリシックに集積した小型で低消費電力の波長モニタ集積光半導体素子(波長モニタ機構集積半導体レーザ)を、簡易に、かつ、低コストで作製できるようになり、さらに、半導体レーザ11への反射戻り光の影響を低減できるという利点がある。

[0076] 特に、本実施形態にかかる光半導体素子によれば、光導波路の幅が異なることによる等価屈折率の差を利用するため、第2光導波路12B, 12Cの幅(メサ幅)の設計を行なうだけで簡易に光路長を調整できるという利点がある。

なお、上述の実施形態では、各第2光導波路12B, 12Cの等価屈折率が異なるようにすべく、2つの第2光導波路12B, 12Cの一方は幅が異なる部分を有するものとして構成しているが、これに限られるものではなく、例えば各第2光導波路12B, 12Cの厚さや材料・組成等の層構造の設計によっても等価屈折率の調整は可能である。

[0077] また、上述の実施形態では、説明を簡単にするために、一方の第2光導波路12Bと他方の第2光導波路12Cの導波路長(物理長)を等しくしているが、これらは等しくする必要はなく、例えば、本実施形態のものと上述の第1実施形態のものとを組み合わせ、即ち、光路長差が上記式(1)を満たすように導波路長を設定し、各第2光導波路12B, 12Cの導波路長が異なるように構成するとともに、光路長差が上記式(5)を満たすように等価屈折率を設定し、各第2光導波路12B, 12Cの等価屈折率が異なるように構成し、反射戻り光の光路長差を変えて位相を調整するようにしても良い。

[0078] なお、本実施形態は、上述の第1実施形態の変形例として説明しているが、これに限られるものではなく、例えば、本実施形態にかかる構成を上述の第2～第5実施形態のものに適用することもできる。

[第7実施形態]

次に、本発明の第7実施形態にかかる光半導体素子について、図10を参照しながら説明する。

[0079] 上述の第1実施形態にかかる光半導体素子が、各第2光導波路12B, 12Cの導波路長が異なるように構成し、反射戻り光の光路長差を変えて位相を調整するようにしているのに対し、本実施形態にかかる光半導体素子は、各第2光導波路12B, 12Cのいずれか一方(ここでは第2光導波路12C)に位相調整器を設け、回折格子側からの反射戻り光の位相が光結合器部分で π ずれるように位相調整器を調整するようにしている点異なる。

[0080] 具体的には、本実施形態では、例えば図10に示すように、各第2光導波路12B, 12Cの導波路長を同じにし、2つの第2光導波路12B, 12Cの一方(ここでは第2光導波路12C)に位相調整器81を設けている。

つまり、本光半導体素子は、例えば図10に示すように、半導体レーザ(ここではDFBレーザ)11と、半導体レーザ11に接続された光導波路(第1光導波路)12Aと、光導波路12Aに接続された光結合器(光カップラ;例えばMMIカップラ)13と、光結合器13に接続された2つの光導波路(第2光導波路)12B, 12Cと、2つの光導波路12B, 12Cのそれぞれに設けられた回折格子(波長フィルタ)14, 15と、回折格子14の近傍に設けられた光検出器(フォトディテクタ)16と、回折格子15の近傍に設けられたダミー光検出器(ダミーフォトディテクタ)17と、位相調整器81とを備え、これらが同一基板(半導体基板)上にモノリシックに集積された波長モニタ機構集積半導体レーザ素子(半導体集積素子)として構成される。なお、図10では、上述の第1実施形態(図1参照)と同一のものには同一の符号を付している。

[0081] 特に、反射戻り光の位相差が π となるように、各回折格子14, 15にそれぞれ接続されている各第2光導波路12B, 12Cの一方(ここでは第2光導波路12C)は位相調整器81を有するものとして構成している。

ここでは、位相調整が光導波路に電流を注入するか、或いは電圧を印加することによって行なわれるように、光導波路の所望の領域上(ここでは第2光導波路12Cの所望の領域上)に電極を形成することで、位相調整器81を簡易に作製している。つまり

、各第2光導波路12B, 12Cの一方(ここでは第2光導波路12C)は、電流注入或いは電圧印加によって屈折率を制御できる部分を有するものとして構成している。なお、位相調整器の構成はこれに限られるものではない。

[0082] そして、一方の第2光導波路12Bの光路長を基準にして他方の第2光導波路12Cの位相調整器81を調整して(即ち、位相調整器81に注入される電流、或いは印加される電圧を調整して)、位相調整器領域の第2光導波路12Cの屈折率(等価屈折率)を変化させることによって、反射戻り光の位相差が π となるようにしている。

まず、一方の第2光導波路12Bの光路長(光学長) L_{opt1} は、等価屈折率を n_{eq1} とし、所定領域の長さを L として、下記式(6)に示すようになる。

$$L_{opt1} = L \cdot n_{eq1} \cdots (6)$$

一方、他方の第2光導波路12Cは、位相調整器81を有し、その光路長 L_{opt2} は、所定領域(長さ L)のうち位相調整器81以外の領域の長さを L_1 、位相調整器81の長さを L_2 として、位相調整器81以外の領域の等価屈折率を n_{eq1} 、位相調整器81の等価屈折率を $n_{eq2} + \Delta n_{eq}$ とすると、下記式(7)に示すようになる。ここで、 Δn_{eq} は位相調整器81における屈折率の変化量を示している。

$$L_{opt2} = L_1 \cdot n_{eq1} + L_2 \cdot (n_{eq2} + \Delta n_{eq}) \cdots (7)$$

なお、一方の第2光導波路12Bの所定領域の長さ L と、他方の第2光導波路12Cの位相調整器81以外の領域の長さ L_1 と位相調整器81の長さ L_2 とを足した長さは等しくなっている($L_1 + L_2 = L$)。つまり、一方の第2光導波路12Bの全長(物理長)と他方の第2光導波路12Cの全長(物理長)は等しくなっている。

[0083] この場合、一方の第2光導波路12Bと他方の第2導波路12Cとの光路長の差 ΔL_{opt} は、下記式(8)に示すようになる。

$$\begin{aligned} \Delta L_{opt} &= L_{opt1} - L_{opt2} \\ &= L \cdot n_{eq1} - [L_1 \cdot n_{eq1} + L_2 \cdot (n_{eq2} + \Delta n_{eq})] \\ &= L \cdot (n_{eq1} - n_{eq2} - \Delta n_{eq}) \cdots (8) \end{aligned}$$

この光路長差 ΔL_{opt} が下記式(9)を満たすように設定することで、各回折格子14, 15側からの反射戻り光の光結合器部分での位相差を π にすることができる。これにより、反射戻り光は光結合器13で合波される際に位相差が π になり、干渉によって消

光することになる。

[0084] [数3]

$$\Delta L_{opt} = L_2 (n_{eq1} - n_{eq2} - \Delta n_{eq}) = \frac{\lambda}{2} (m + \frac{1}{2}) \quad (m: \text{整数}) \cdots (9)$$

[0085] なお、その他の構成及び製造方法は、上述の第1実施形態及びその変形例のものと同一であるため、ここでは説明を省略する。

したがって、本実施形態にかかる光半導体素子によれば、上述の第1実施形態のものと同様に、半導体レーザ11の発振波長をモニタするための素子を同一基板上にモノリシックに集積した小型で低消費電力の波長モニタ集積光半導体素子(波長モニタ機構集積半導体レーザ)を、簡易に、かつ、低コストで作製できるようになり、さらに、半導体レーザ11への反射戻り光の影響を低減できるという利点がある。

[0086] 特に、本実施形態にかかる光半導体素子では、位相調整器81が一方の第2光導波路12Cに設けられており、位相調整に伴う損失差があるため、両方の光導波路からの反射戻り光の振幅に差が発生し、完全な消光ができないが、高い精度で導波路長を作製する必要が無く、素子作成後に比較的簡易に光路長を制御できるため、高い作製歩留まりが実現できるという利点がある。

[0087] なお、上述の実施形態では、一方の第2光導波路12Cに位相調整器81を設けているが、これに限られるものではなく、例えば他方の第2光導波路12Bのみに位相調整器81を設けても良いし、両方の第2光導波路12B, 12Cに位相調整器81を設けても良い。

また、上述の実施形態では、説明を簡単にするために、一方の第2光導波路12Bと他方の第2光導波路12Cの導波路長(物理長)を等しくしているが、これらは等しくする必要はなく、例えば、本実施形態のものと上述の第1実施形態のものとを組み合わせ、即ち、光路長差が上記式(1)を満たすように導波路長を設定し、各第2光導波路12B, 12Cの導波路長が異なるように構成するとともに、光路長差が上記式(9)を満たすように位相を調整するように構成し(即ち、位相調整器81領域の第2光導波路12Cの等価屈折率を調整するように構成し)、反射戻り光の位相を調整するようにしても良い。

[0088] なお、本実施形態は、上述の第1実施形態の変形例として説明しているが、これに限られるものではなく、例えば、本実施形態にかかる構成を上述の第2～第6実施形態のものに適用することもできる。

[その他]

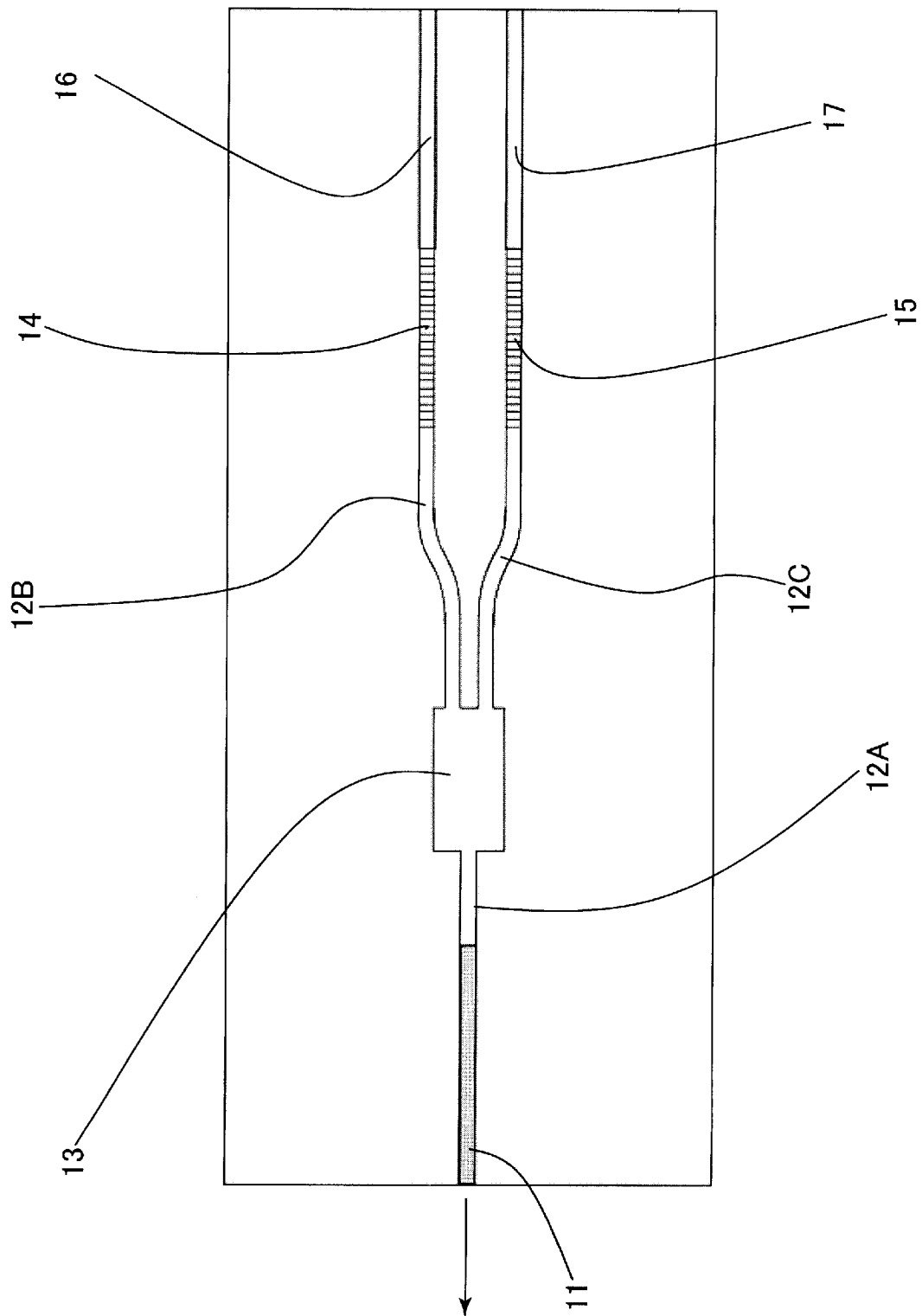
本発明は、上述した各実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形することができる。

請求の範囲

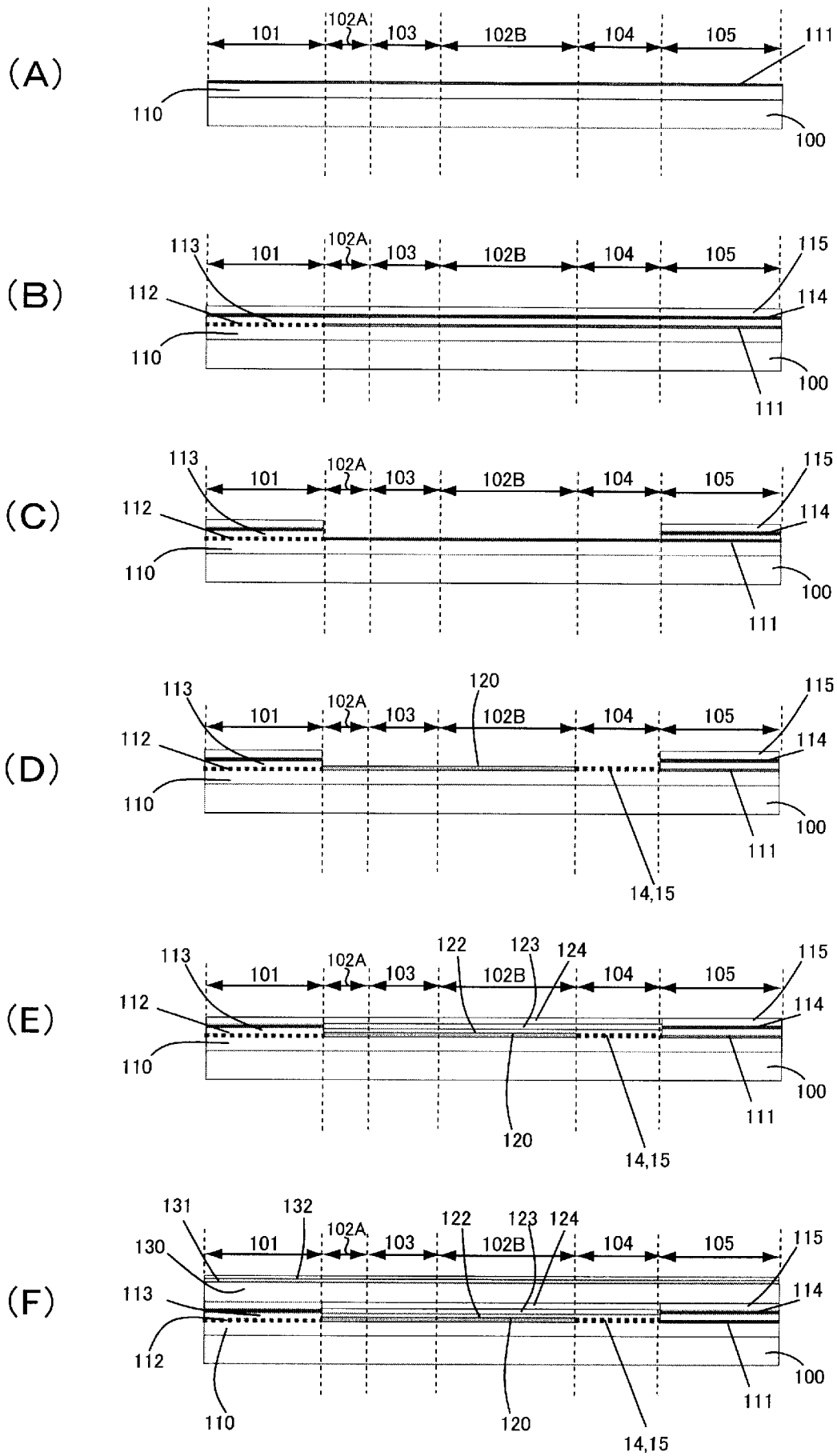
- [1] 半導体レーザと、
前記半導体レーザに接続された第1光導波路と、
前記半導体レーザから前記第1光導波路を介して導かれた光を2つに分岐する光結合器と、
前記光結合器に接続された2つの第2光導波路と、
前記2つの第2光導波路のそれぞれに設けられた回折格子と、
前記2つの回折格子の一方を介して導かれた光を検出する光検出器とを備え、
前記半導体レーザ、前記第1光導波路、前記光結合器、前記第2光導波路、前記回折格子、前記光検出器が同一基板上に集積されており、
前記各回折格子側から前記半導体レーザ側への反射戻り光が前記光結合器で干渉するように、前記各回折格子側からの反射戻り光の位相が前記光結合器部分で π ずれるように構成されていることを特徴とする光半導体素子。
- [2] 前記光検出器が、前記回折格子を透過した透過光の強度を検出する位置に設けられていることを特徴とする、請求項1記載の光半導体素子。
- [3] 前記各第2光導波路のそれぞれに介装され、少なくとも前記各回折格子で反射した反射光の一部を分岐する反射光用光結合器と、
前記各反射光用光結合器のそれぞれに接続され、少なくとも前記各回折格子で反射した反射光を検出する反射光用光検出器とを備えることを特徴とする、請求項2記載の光半導体素子。
- [4] 前記光検出器が、前記回折格子で反射した反射光の強度を検出する位置に設けられていることを特徴とする、請求項1記載の光半導体素子。
- [5] 前記各回折格子側からの反射戻り光の光路長が異なることを特徴とする、請求項1～4のいずれか1項に記載の光半導体素子。
- [6] 前記各第2光導波路の導波路長が異なることを特徴とする、請求項5記載の光半導体素子。
- [7] 前記各第2光導波路の等価屈折率が異なることを特徴とする、請求項5又は6記載の光半導体素子。

- [8] 前記2つの第2光導波路の一方は幅が異なる部分を有することを特徴とする、請求項7記載の光半導体素子。
- [9] 前記2つの第2光導波路の一方或いは両方に位相調整器を備えることを特徴とする、請求項5～8のいずれか1項に記載の光半導体素子。
- [10] 前記各回折格子の光学特性が同じであることを特徴とする、請求項1～9のいずれか1項に記載の光半導体素子。
- [11] 前記2つの回折格子の他方を介して導かれた光が入射する領域に、前記光検出器と同じ構造のダミー光検出器を備えることを特徴とする、請求項1～10のいずれか1項に記載の光半導体素子。
- [12] 前記半導体レーザと前記光結合器との間に光吸収領域を備えることを特徴とする、請求項1～11のいずれか1項に記載の光半導体素子。
- [13] 前記第1光導波路に介装され、前記半導体レーザから出力される出力光の一部を分岐する出力用光結合器と、
前記出力用光結合器に接続され、前記半導体レーザから出力される出力光を外部へ出力する出力光導波路とを備えることを特徴とする、請求項1～12のいずれか1項に記載の光半導体素子。
- [14] 前記出力光導波路に介装され、前記半導体レーザから出力される出力光の一部を分岐する出力光検出用光結合器と、
前記出力光検出用光結合器に接続され、前記半導体レーザから出力される出力光を検出する出力光用光検出器を備えることを特徴とする、請求項13記載の光半導体素子。
- [15] 前記半導体レーザが、波長可変レーザであることを特徴とする、請求項1～14のいずれか1項に記載の光半導体素子。

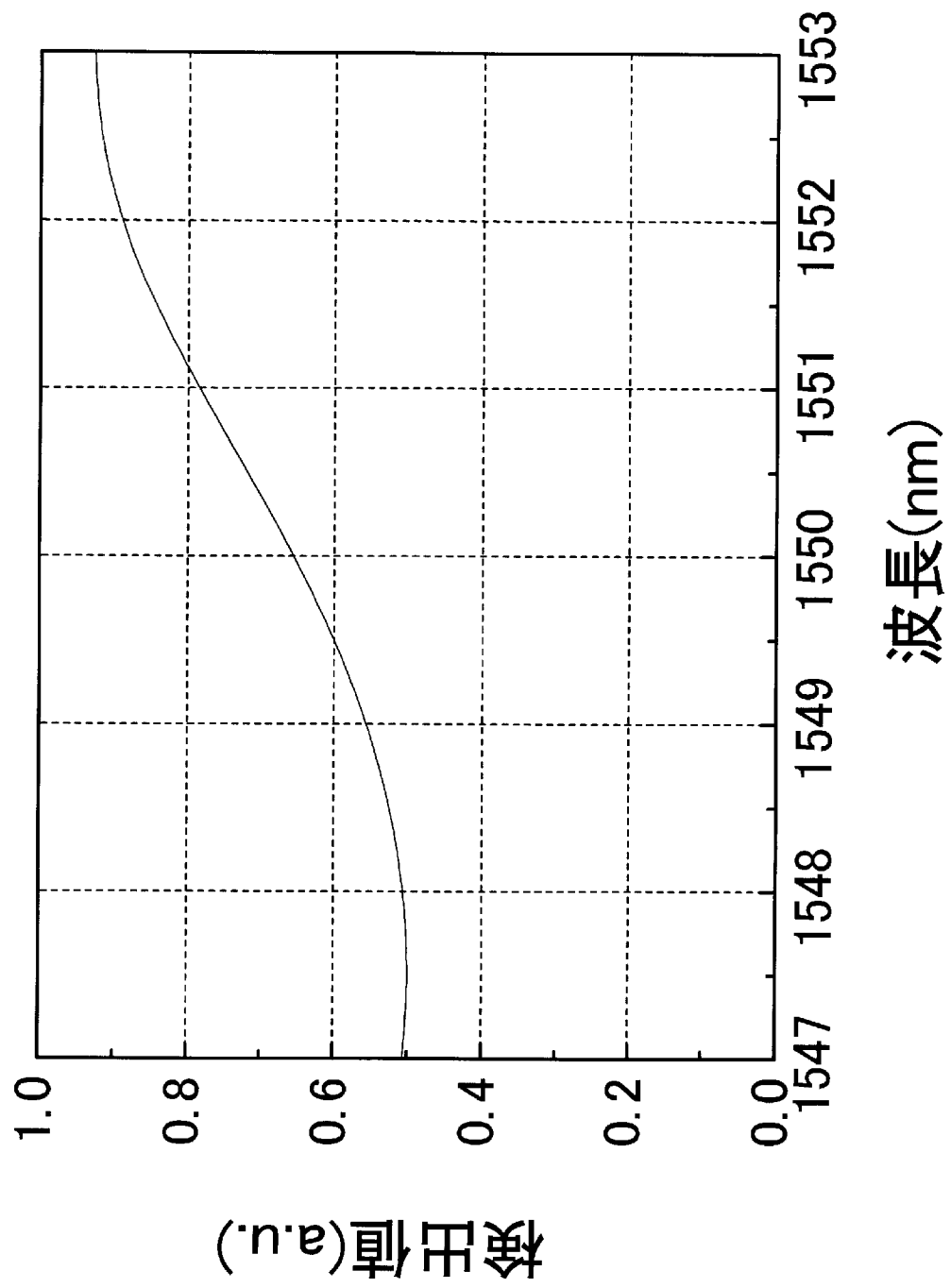
[図1]



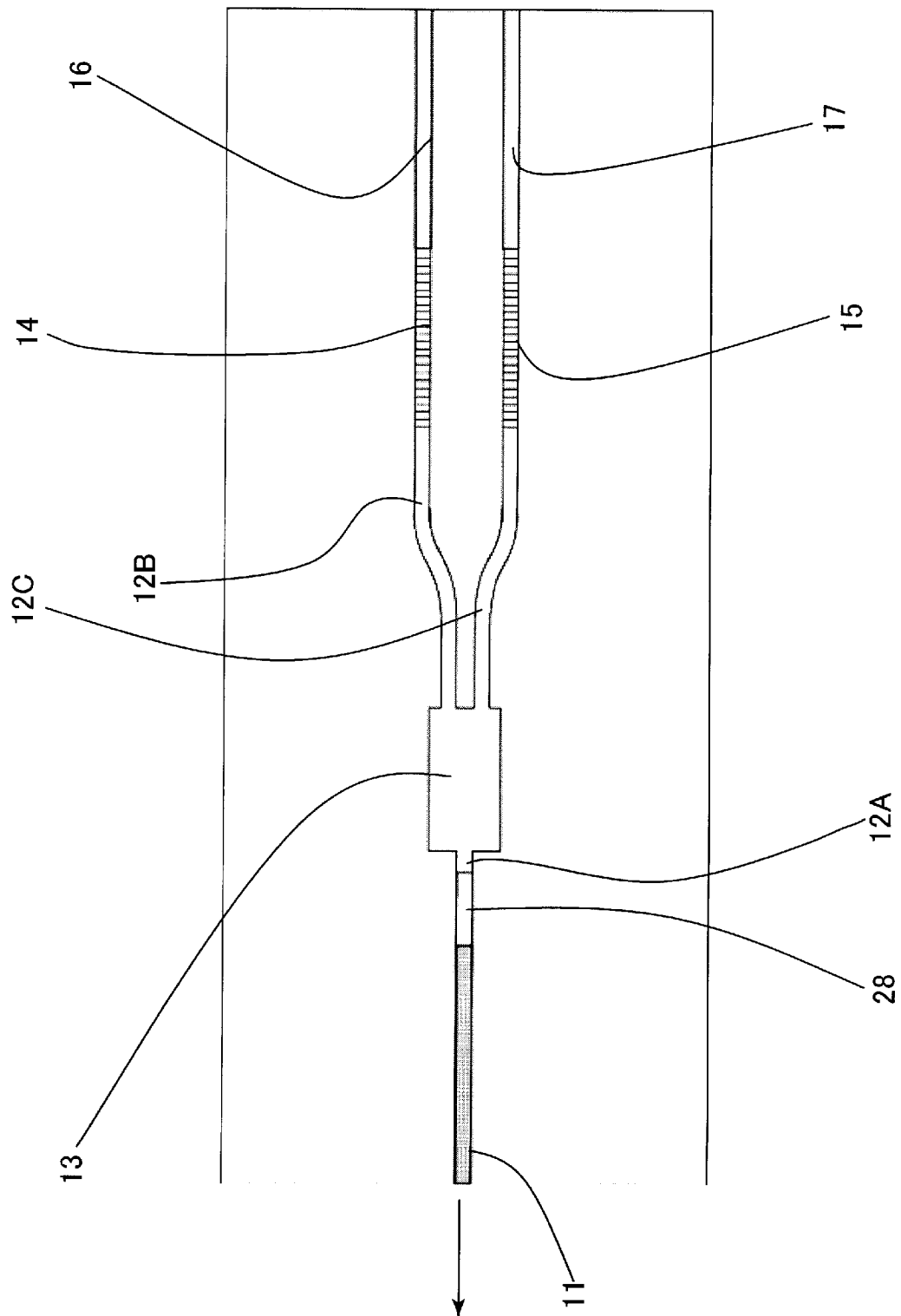
[図2]



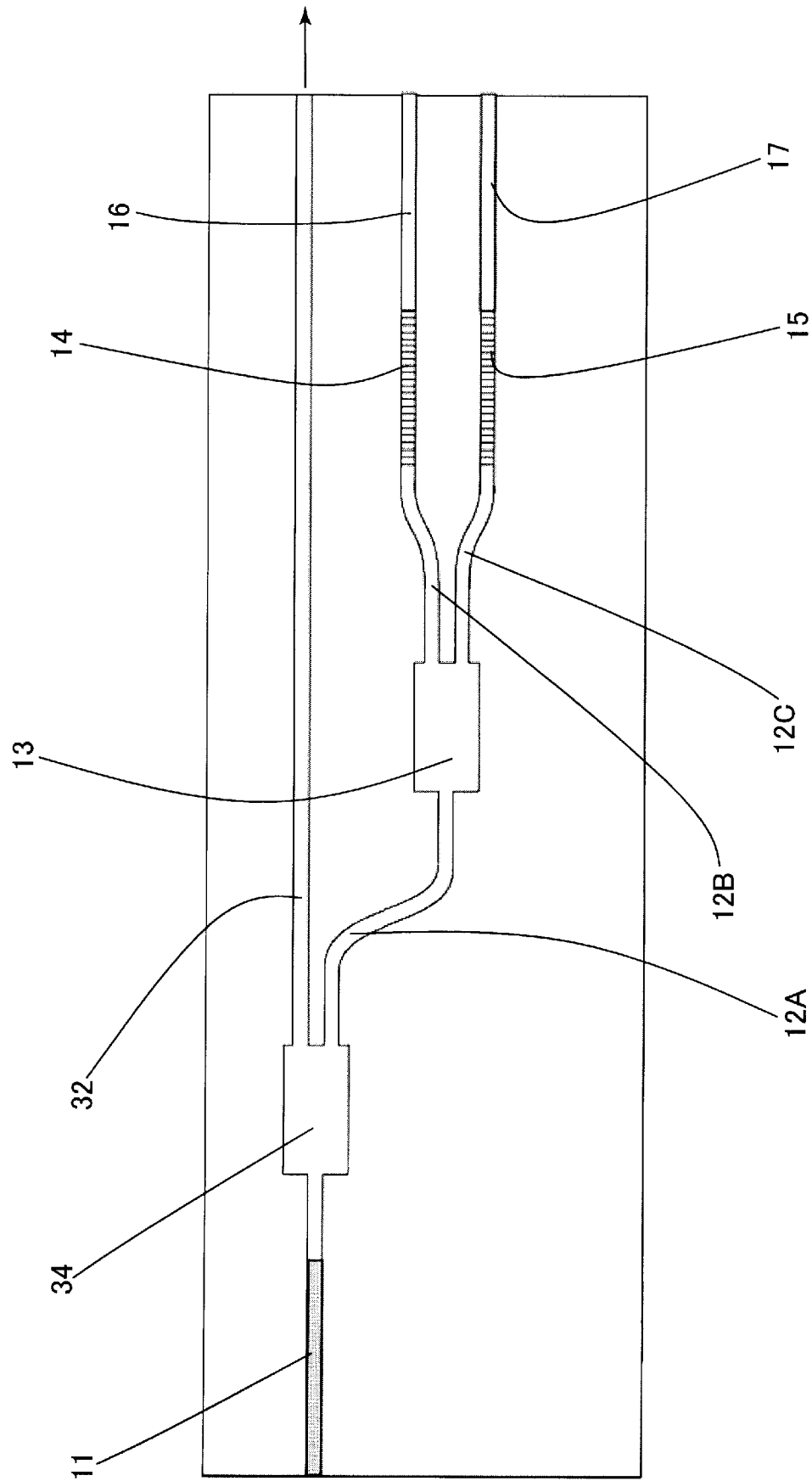
[図3]



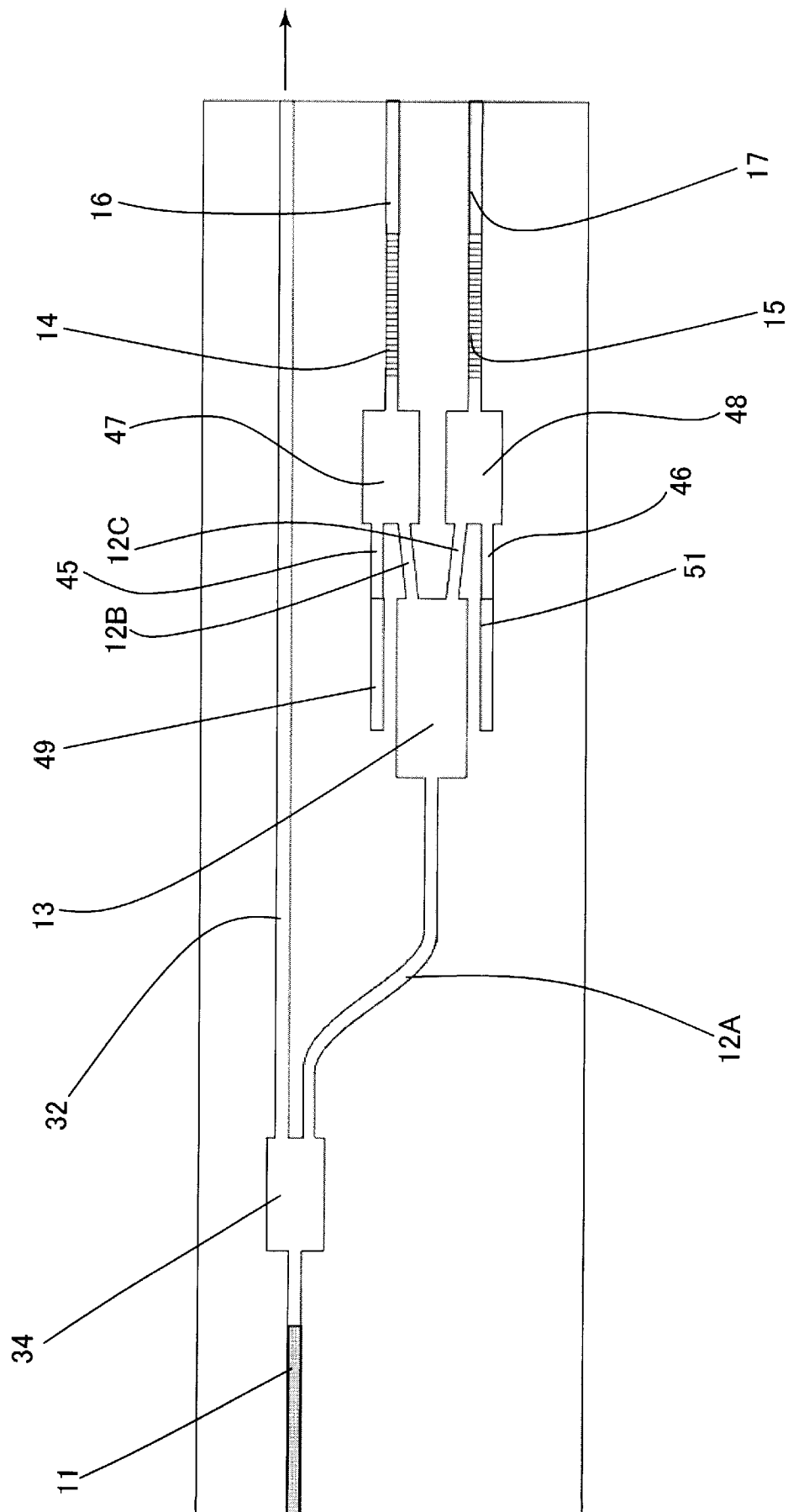
[図4]



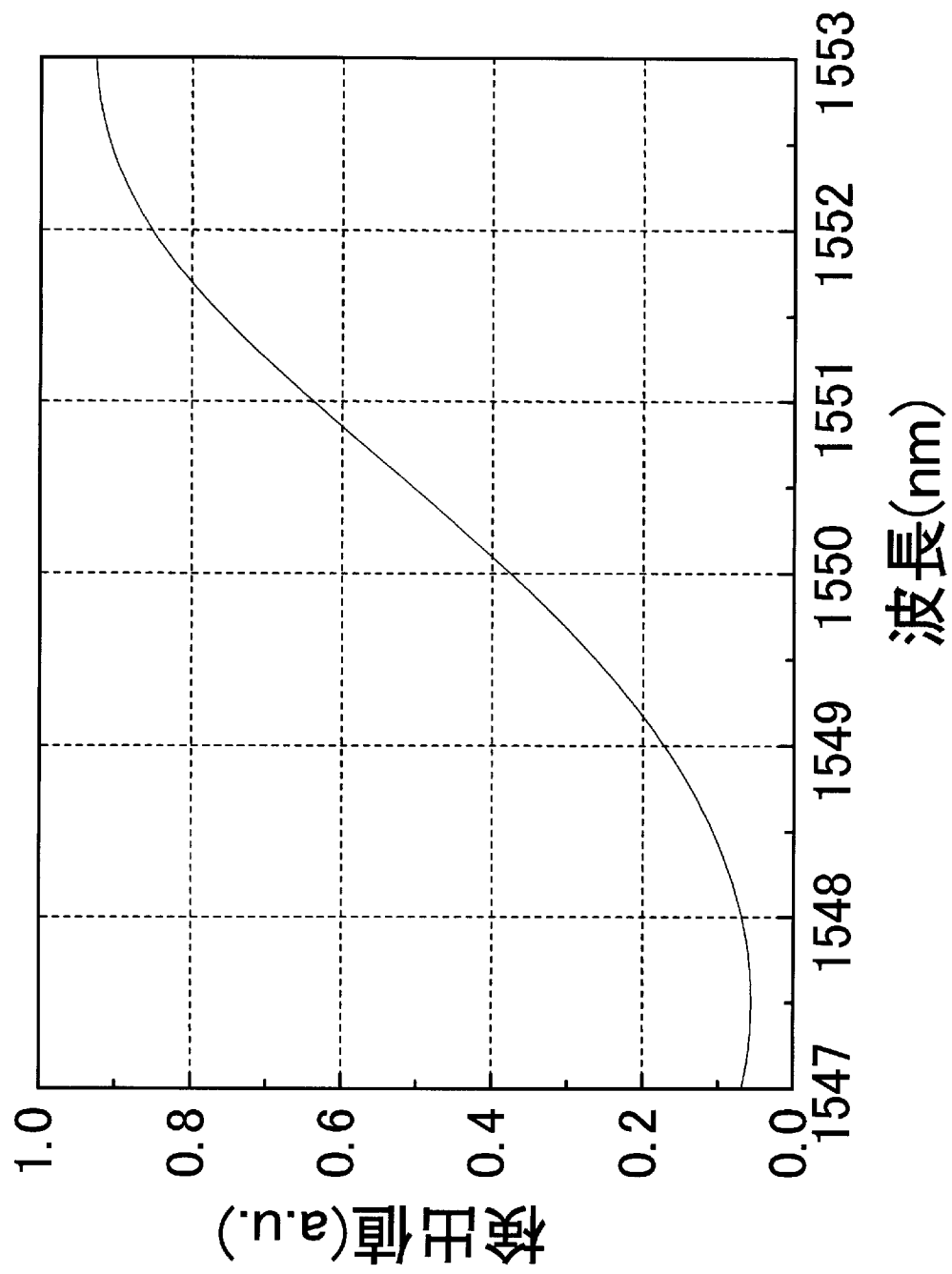
[図5]



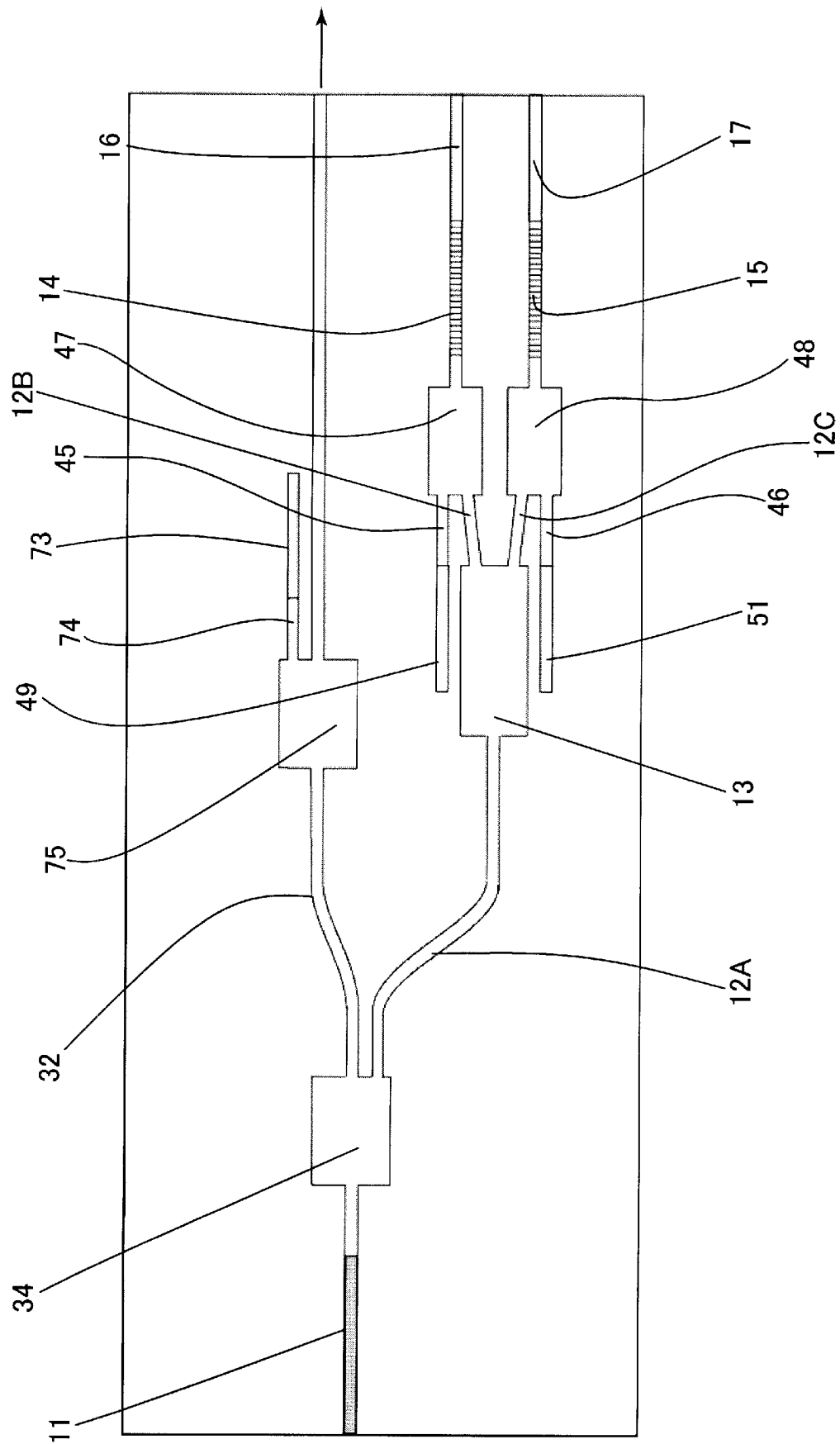
[図6]



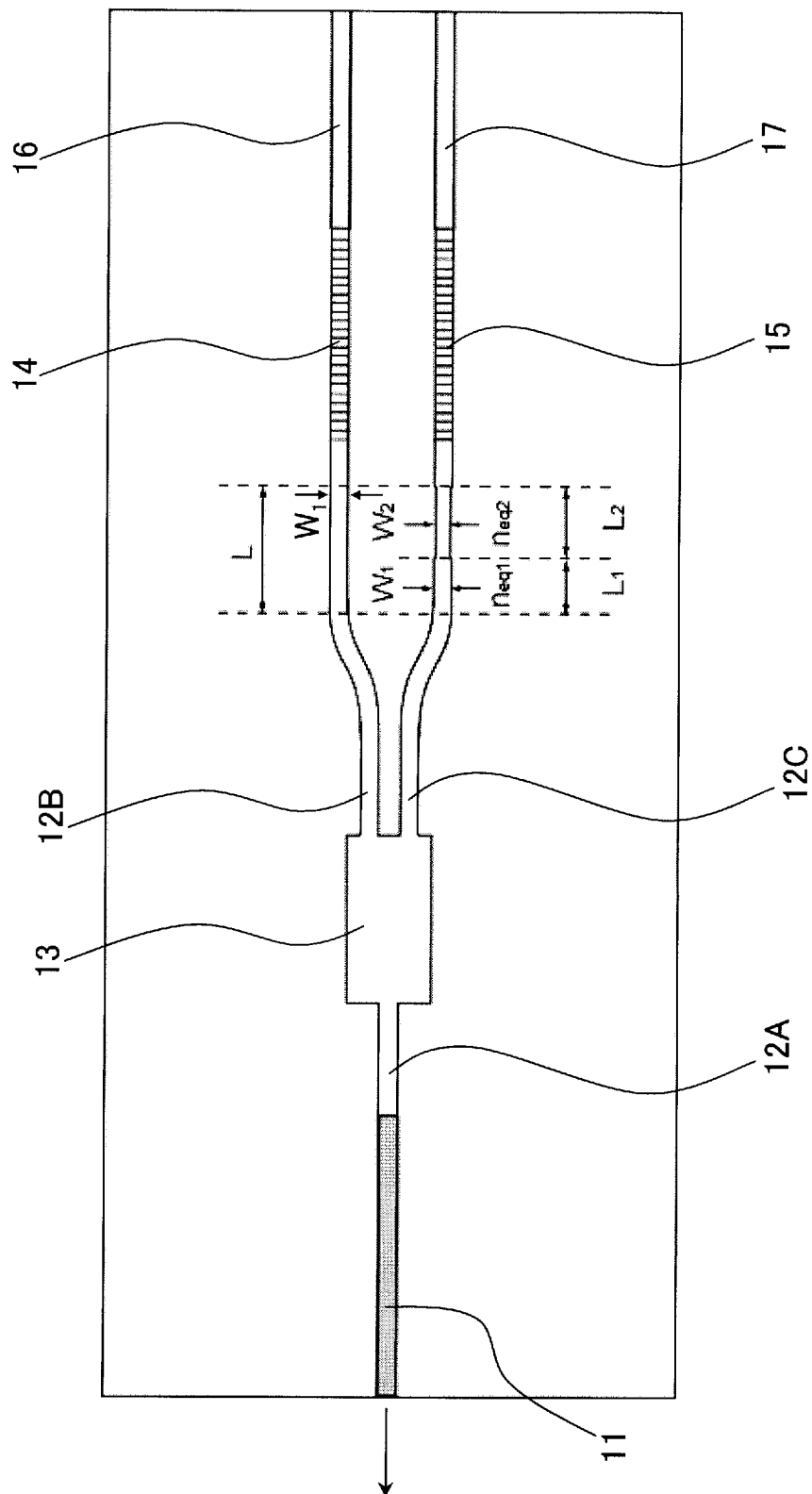
[図7]



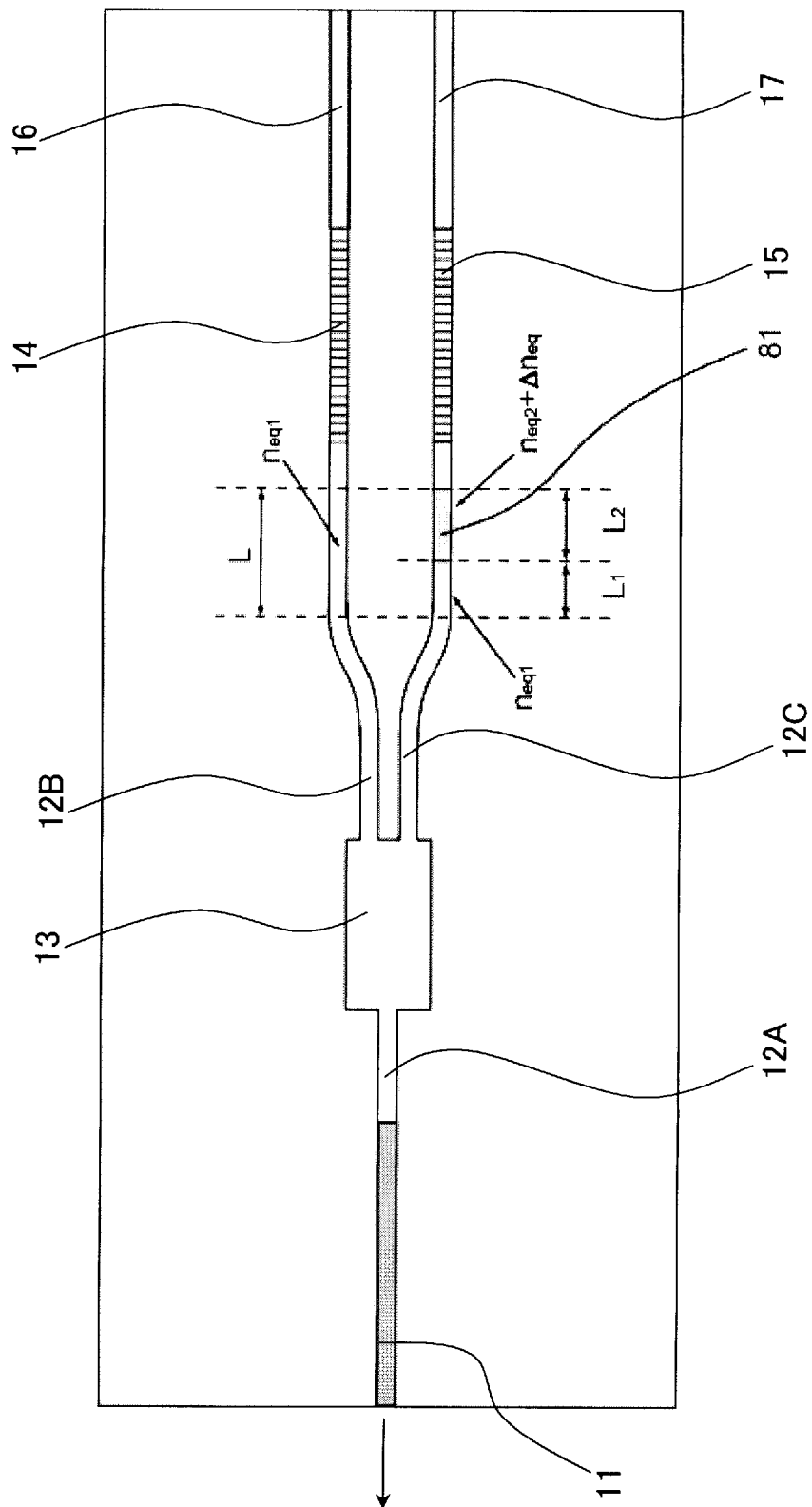
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/054207

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/0683 (2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/00-5/50

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2007

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2007 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2007

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 4-186690 A (Canon Inc.), 03 July, 1992 (03.07.92), Page 4, upper left column, line 18 to page 6, upper right column, line 5; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1-15
A	JP 63-160391 A (Toshiba Corp.), 04 July, 1988 (04.07.88), Page 2, lower right column, line 9 to page 4, lower left column, line 13; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1-15
A	JP 2006-80412 A (Sony Corp.), 23 March, 2006 (23.03.06), Par. Nos. [0139] to [0173]; Figs. 25 to 28 (Family: none)	1-15

☐

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

"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

20 March, 2007 (20.03.07)

Date of mailing of the international search report

03 April, 2007 (03.04.07)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/0683(2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 7 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 7 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 7 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 請求の範囲の番号
A	JP 4 - 1 8 6 6 9 0 A（キヤノン株式会社）1 9 9 2 . 0 7 . 0 3 , 第4頁左上欄第18行-第6頁右上欄第5行、第1図-第6図（ファミリーなし）	1 - 1 5
A	JP 6 3 - 1 6 0 3 9 1 A（株式会社東芝）1 9 8 8 . 0 7 . 0 4 , 第2頁右下欄第9行-第4頁左下欄第13行、第1図-第6図（ファミリーなし）	1 - 1 5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 0 . 0 3 . 2 0 0 7

国際調査報告の発送日

0 3 . 0 4 . 2 0 0 7

国際調査機関の名称及びあて先

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

特許庁審査官（権限のある職員）

土屋 知久

2 K

8 8 2 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2 0 0 6 - 8 0 4 1 2 A (ソニー株式会社) 2 0 0 6 . 0 3 . 2 3 , 【 0 1 3 9 】 - 【 0 1 7 3 】 欄、図 2 5 - 2 8 (ファミリーなし)	1 - 1 5