

(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
2015 年 12 月 17 日(17.12.2015)

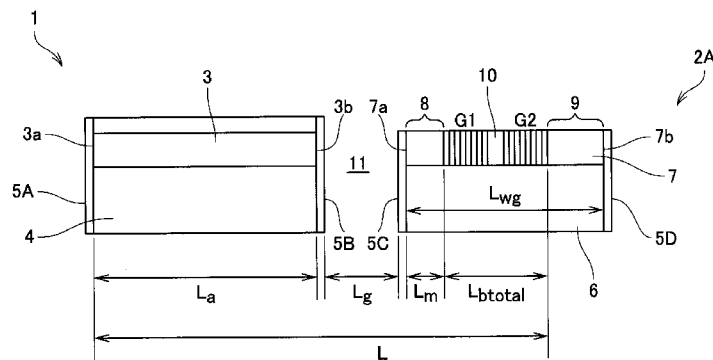


(10) 国際公開番号
WO 2015/190569 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/14 (2006.01) *H01S 5/068* (2006.01)
G02B 6/42 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/066923
- (22) 国際出願日: 2015 年 6 月 11 日(11.06.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-122620 2014 年 6 月 13 日(13.06.2014) JP
- (71) 出願人: 日本碍子株式会社(NGK INSULATORS, LTD.) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 近藤 順悟(KONDO Jungo); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 山口 省一郎(YAMAGUCHI Shoichiro); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 江尻 哲也(EJIRI Tetsuya); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号日本碍子株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 細田 益稔, 外(HOSODA Masutoshi et al.); 〒1080074 東京都港区高輪一丁目 5 番 4 号常和高輪ビル 7 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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: EXTERNAL-RESONATOR-TYPE LIGHT-EMISSION DEVICE

(54) 発明の名称: 外部共振器型発光装置



(57) Abstract: An external-resonator-type light-emission device is provided with: a light source (1) in which a semiconductor laser beam is made to oscillate; and a grating element (2A) configuring the light source and an external resonator. The light source (1) is provided with an active layer (3) in which the semiconductor laser beam is made to oscillate. The grating element (2A) is provided with: an optical waveguide provided with an incidence surface (7a) on which the laser beam is incident, and an exit surface (7b) from which exit light having a desired wavelength exits; and a plurality of Bragg gratings formed inside the optical waveguide.

(57) 要約: 外部共振器型発光装置は、半導体レーザ光を発振する光源 1、および光源と外部共振器を構成するグレーティング素子 2A を備える。光源 1 が、半導体レーザ光を発振する活性層 3 を備える。グレーティング素子 2A が、レーザ光が入射する入射面 7a と所望波長の出射光を出射する出射面 7b を有する光導波路、およびこの光導波路内に形成された複数のブラッググレーティングを備える。



WO 2015/190569 A1

明 細 書

発明の名称： 外部共振器型発光装置

従来技術

[0001] 本発明は、グレーティング素子を用いた外部共振器型発光装置に関するものである。

背景技術

[0002] 半導体レーザは、一般的に、活性層の両端面に形成したミラーで挟まれた光共振器を構成した、ファブリーペロー（F P）型が利用されている。しかしながら、このF P型レーザは、定在波条件が成立する波長で発振するために、縦モードが多モードになりやすく、とくに電流や温度が変化すると発振波長が変化し、それにより光強度が変化する。

[0003] このため、光通信やガスセンシングなどの目的では、波長安定性の高い単一モード発振のレーザが必要である。このため、分布帰還型（DFB）レーザや分布反射型（DBR）レーザが開発された。これらのレーザは、半導体中に回折格子を設け、その波長依存性を利用して特定の波長のみを発振させるものである。

[0004] 波長安定性のある半導体レーザを実現するために、グレーティングを半導体レーザの中にモノリシックに形成したDBRレーザやDFBレーザ、またファイバークレーティング（FBG）グレーティングをレーザの外部に取り付けた外部共振器型レーザが例示できる。これらは、ブラッグ反射を利用した波長選択性のあるミラーによりレーザ光の一部をレーザに帰還して波長安定動作を実現する原理である。

[0005] D B Rレーザは、活性層の導波路の延長上の導波路面に凹凸を形成しブラッグ反射によるミラーを構成し、共振器を実現している（特許文献1（特開昭49-128689）：特許文献2（特開昭56-148880））。このレーザは、光導波層の両端に回折格子が設けられているので、活性層で発光した光は光導波層を伝搬し、この回折格子で一部が反射され、電流注入部に戻り、増幅される

。回折格子から決められた方向に反射するのは、特定の波長の光だけであるので、レーザ光の波長は一定になる。

[0006] また、この応用として、回折格子を、半導体とは異なる部品とし、外部で共振器を形成する、外部共振器型半導体レーザが開発されている。このタイプのレーザは、波長安定性、温度安定性、制御性がよいレーザとなる。外部共振器は、ファイバ・ブラッグ・グレーティング (FBG) (非特許文献 1) や、ボリューム・ホログラム・グレーティング (VHG) (非特許文献 2) がある。回折格子を、半導体レーザとは別部材で構成するので、反射率、共振器長を個別に設計できるという特徴があり、電流注入による発熱による温度上昇の影響を受けないので、波長安定性をさらに良くすることができる。また、半導体の屈折率の温度変化が異なるので、共振器長と合わせて設計することにより、温度安定性を高めることができる。

[0007] 特許文献 6 (特開 2002-134833) には、石英ガラス導波路に形成したグレーティングを利用した外部共振器型レーザが開示されている。これは温度コントローラなしで室温が大きく (例えば 30℃ 以上) 変化する環境で使える、周波数安定化レーザを提供しようとするものである。また、モードホッピングが抑圧され、かつ発振周波数の温度依存性がない温度無依存レーザを提供することが記載されている。

[0008] 更に、光ファイバ中に複数のブラッググレーティングを形成し波長安定化することが提案されている (特許文献 7)。

特許文献 8 は、半導体レーザ光を発振する光源、および複数の周期の異なるブラッググレーティングを備える外部共振器型発光装置が開示されている。ブラッググレーティングの反射特性は、各々が独立しており、互いに交差することはなく、連続した広い波長の反射特性を有しない。また、本装置では光源側にグレーティングと位相調整領域が形成されており、この位相調整領域の作用によって波長可変させ、温度が変化しても優れた波長安定性を実現するという思想である。

先行技術文献

非特許文献

[0009] 非特許文献1：電子情報通信学会論文誌 C - I I Vol. J81, No.7 pp.664-665, 1998年7月

非特許文献2：電子情報通信学会技術研究報告 LQE, 2005年 105巻 52号 pp.17-20

非特許文献3：古河電工時報 平成12年1月 第105号 p24-29

特許文献

[0010] 特許文献1：特開昭49-128689

特許文献2：特開昭56-148880

特許文献3：W02013/034813

特許文献4：特開2000-082864

特許文献5：特開2006-222399

特許文献6：特開2002-134833

特許文献7：特開2002-006148

特許文献8：US 2 0 0 3 / 0 1 0 8 0 8 1 A 1

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 非特許文献1には、温度上昇に伴う波長安定性を損なうモードホップのメカニズムと、その改善策について言及している。温度による外部共振器レーザの波長変化量 $\delta \lambda_s$ は、半導体の活性層領域の屈折率変化 Δn_a 、活性層の長さ L_a 、FBG領域の屈折率変化 Δn_f 、長さ L_f 、それぞれの温度変化 δT_a 、 δT_f に対して、定在波条件より下式により表される。

[0012]

[数1]

$$\delta\lambda_s = \lambda_0 \frac{\Delta n_a L_a}{n_f L_f + n_a L_a} \delta T_a + \lambda_0 \frac{\Delta n_f L_f}{n_f L_f + n_a L_a} \delta T_f$$

[0013] ここで、 λ_0 は初期状態でのグレーティング反射波長を表す。

また、グレーティング反射波長の変化 $\delta\lambda_g$ は、下式で表される。

[数2]

$$\delta\lambda_g = \lambda_0 \frac{\Delta n_f}{n_f} \delta T_f$$

[0014] モードホップは、外部共振器の縦モード間隔 $\Delta\lambda$ が波長変化量 $\delta\lambda_s$ とグレーティング反射波長の変化量 $\delta\lambda_g$ の差に等しくなったときに発生するので、次式が成立する。

[数3]

$$\Delta\lambda = \delta\lambda_s - \lambda_0 \frac{\Delta n_f}{n_f} \delta T_f$$

[0015] 縦モード間隔 $\Delta\lambda$ は、近似的に下式となる。

[数4]

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{2(n_f L_f + n_a L_a)}$$

[0016] 数式3と数式4より、数式5が成立する。

[数5]

$$\Delta T_{all} = \frac{\lambda_0}{2n_a L_a \left(\frac{\Delta n_a}{n_a} - \frac{\Delta n_f}{n_f} \right)}$$

[0017] モードホップを抑制するためには、 ΔT_{all} 以下の温度内で使用する必要があり、ペルチェ素子にて温度制御している。数式5では、活性層とグレーティング層の屈折率変化が同じ場合（ $\Delta n_a / n_a = \Delta n_f / n_f$ ）、分母が零になり、モードホップが生じる温度が無限大になり、モードホップがなくなること示している。しかしながら、モノリシックDBRレーザでは、レーザ発振させるために、活性層は電流注入がなされるために、活性層とグレーティング層の屈折率変化は一致させることができないので、モードホップが生じてしまう。

[0018] モードホップは、共振器内の発振モード（縦モード）が、あるモードから違うモードに移る現象である。温度や注入電流が変化すると、ゲインや共振器の条件が異なり、レーザ発振波長が変化し、キンクといわれる、光パワーが変動するという問題を生じる。したがって、FP型のGaAs半導体レーザの場合、通常、波長が $0.3\text{nm}/^\circ\text{C}$ の温度係数で変化するが、モードホップが生じると、これよりも大きな変動が起こる。それと同時に、出力が5%以上変動す

る。

[0019] このため、モードホップを抑制するために、ペルチェ素子を用いて温度制御している。しかし、このために部品点数が増え、モジュールが大きくなり、コストが高くなる。

[0020] 特許文献6では、温度無依存にするために、従来の共振器構造はそのまま光導波路層に応力を与えることで、熱膨張に起因する温度係数を補償することにより、温度無依存性を実現している。このため、素子に金属板を貼りつけ、さらに導波路中に温度係数を調整する層を付加させている。このため共振器構造が、さらに大きくなるという問題がある。

[0021] 更に、特許文献7記載のように、グレーティング素子中に複数個のブラッググレーティングを設けることによって、広い温度範囲で使用可能とすることが考えられる。この場合、一般的にグレーティング素子の長さが1 mm以上であり、反射率の波長幅（半値全幅FWHM）が1 nm以下で設定される。これによって、モードホップを抑制した波長安定性が高い外部共振器型レーザが実現できる。

[0022] しかし、実際には、外部共振器型発光装置全体の温度安定性を向上させることには限界があり、ペルチェ素子などの温度調節機構が必要である。このため、レーザ光源の温度変化に対する安定性を改善することが望まれる。

[0023] 本発明の課題は、グレーティング素子を利用した外部共振器型の発光装置において、温度変化に対する安定性を改善する構造を提供することである。

課題を解決するための手段

[0024] 本発明は、半導体レーザ光を発振する光源、およびこの光源と外部共振器を構成するグレーティング素子を備える外部共振器型発光装置であって、
前記光源が、前記半導体レーザ光を発振する活性層を備えており、
前記グレーティング素子が、前記半導体レーザ光が入射する入射面と所望波長の出射光を出射する出射面を有する光導波路、およびこの光導波路内に形成された複数のブラッググレーティングを備えていることを特徴とする。

発明の効果

- [0025] 本発明では、グレーティング素子中に複数のブラッググレーティングを設ける。隣り合うブラッググレーティングの間には、グレーティングのない中間伝搬部を設けることが好ましいが、中心波長の異なるブラッググレーティングを隙間なく連続させてもよい。
- [0026] 個々のグレーティング素子に着目すると、ブラッググレーティングの反射率が光源の出射端の反射率よりも大きい波長領域においては、そのブラッググレーティングを用いた発振が可能である。そして、環境温度が変化したときには、光源から発振するレーザ光の波長がシフトする。このとき、隣り合う中心波長を有するブラッググレーティングの前記波長領域を適宜調整することによって、光源から発振するレーザ光の波長がシフトしても、そのシフトに対応して、隣りのブラッググレーティングを機能させる設計が可能になる。これによって、装置全体としての温度安定性が著しく改善する。

図面の簡単な説明

- [0027] [図1]外部共振器型発光装置の模式図である。
- [図2]他の外部共振器型発光装置の模式図である。
- [図3]対照例の外部共振器型発光装置の模式図である。
- [図4]本発明の概念を説明するための波長特性図である。
- [図5]レーザ発振条件を示す模式図である。
- [図6]本発明の概念を説明するための波長特性図である。
- [図7] (a)、(b)、(c)は、それぞれ、リッジ型光導波路を有するグレーティング素子の横断面を示す模式図である。
- [図8] (a)、(b)、(c)は、それぞれ、横断面が台形の光導波路を有するグレーティング素子の横断面を示す模式図である。
- [図9] (a)、(b)は、それぞれ、横断面が台形の光導波路を有するグレーティング素子の横断面を示す模式図である。
- [図10] (a)、(b)は、それぞれ、本発明のグレーティング素子の平面形態を示す模式図である。
- [図11]グレーティング素子を模式的に示す斜視図である。

[図12]レーザ発振条件を説明する図である。

[図13]実施例1において、図2および図7（b）の構造において、グレーティング長さに対するグレーティング反射率、および反射特性の半値幅の計算値を示す。

[図14]実施例1において、図2および図7（b）の構造において、グレーティング長さに対するグレーティングの反射率、および反射特性の半値幅の計算値を示す。

発明を実施するための形態

[0028] 図1に模式的に示す外部共振器型発光装置は、半導体レーザ光を発振する光源1とグレーティング素子2とを備えている。光源1とグレーティング素子2とは、図示しない共通基板上にマウントしてもよい。

[0029] 光源1は、半導体レーザ光を発振する活性層3を備えている。本実施形態では、活性層3は基体4に設けられている。活性層3の外側端面3aには反射膜5Aが設けられており、活性層3のグレーティング素子側の端面3bには無反射膜（または反射膜）5Bが形成されている。Laは活性層の光軸方向の長さである。

[0030] グレーティング素子2では、支持基板6上に半導体レーザ光が入射する入射面7aと所望波長の出射光を出射する出射面7bを有する光導波路7が設けられている。光導波路7内には、複数のブラッググレーティングG1、G2、G3、G4が形成されている。本例ではブラッググレーティングの個数は四個であるが、二個以上であれば良い。隣り合うブラッググレーティングの間には、それぞれ、回折格子のない中間伝搬部10が設けられている。

[0031] 光導波路7の入射面7aとブラッググレーティングG1との間には、回折格子のない入射側伝搬部8が設けられており、入射側伝搬部8が活性層3と間隙11を介して対向している。5Cは、光導波路11の入射面側に設けられた無反射膜である。光導波路7の出射面7bとブラッググレーティングG4との間には、回折格子のない出射側伝搬部9が設けられており、5Dは、光導波路11の出射面側に設けられた無反射膜である。

[0032] 図2の発光装置は、図1の発光装置とほぼ同様のものである。ただし、図2のグレーティング素子2Aにおいては、光導波路7の入射側伝搬部8と出射側伝搬部9との間に二つのブラッググレーティングG1、G2が設けられており、隣り合うブラッググレーティングG1とG2との間に、回折格子のない中間伝搬部10が設けられている。

[0033] 図3は、対照例の発光装置を示す模式図である。本装置のグレーティング素子では、光導波路7の入射側伝搬部8と出射側伝搬部9との間に一体のブラッググレーティング9が設けられている。

[0034] 図4を参照しつつ、本発明の装置の動作を説明する。

図4の上側には、半導体レーザ光のゲイン（利得）の波長に対する依存性を示し、図4の下側には、四つのブラッググレーティングG1、G2、G3、G4の反射率の波長特性を示す。

[0035] 本発明においては、複数のブラッググレーティングのピッチが互いに異なっている。この結果、反射率の波長特性がブラッググレーティングごとに異なることになる。そして、各ブラッググレーティングについて、ブラッググレーティングの反射率が光源の出射端の反射率よりも大きい波長領域がそれぞれ存在しており、隣り合う中心波長を有するブラッググレーティングの前記波長領域が連続している。

[0036] すなわち、図4に示すように、光源の発振閾値を g_{th} とし、ゲインの半値幅を $\Delta\lambda_{LDg}$ とする。一方、各ブラッググレーティングG1、G2、G3、G4の反射率の中心波長を λ_{g1} 、 λ_{g2} 、 λ_{g3} 、 λ_{g4} とし、各ブラッググレーティングの反射率の半値幅を $\Delta\lambda_{G1}$ 、 $\Delta\lambda_{G2}$ 、 $\Delta\lambda_{G3}$ 、 $\Delta\lambda_{G4}$ とする。また、光源の出射端における反射率を R_2 とする。

[0037] また、隣り合うブラッググレーティングの反射率のグラフが交差するときの反射率を R_{Gn} としている。言い換えると、中心波長が隣り合うブラッググレーティングの反射率が所定波長 λ_{C1} 、 λ_{C2} 、 λ_{C3} で一致する。このときの反射率を R_{G1} 、 R_{G2} 、 R_{G3} とする。この所定波長において、隣り合うブラッググレーティングの反射率のグラフが交差する。

- [0038] ここで、ブラッググレーティングG 1については、ブラッググレーティングの反射率が光源の出射端の反射率R 2より大きい波長領域S 1が存在している。ブラッググレーティングG 2、G 3、G 4については、同様にブラッググレーティングの反射率が光源の出射端の反射率R 2より大きい波長領域S 2、S 3、S 4がそれぞれ存在している。そして、隣り合う中心波長を有するブラッググレーティングG 1、G 2、G 3、G 4の各波長領域S 1、S 2、S 3、S 4が、波長軸方向に向かって互いに連続しており、切れ目がない。
- [0039] なお、本例では、隣り合う波長領域S 1とS 2、S 2とS 3、S 3とS 4とは一部分で重複しているが、この場合も隣り合う波長領域が波長軸方向に連続していると言える。
- [0040] これを言い換えると、隣り合う中心波長を有するブラッググレーティングの反射率のグラフがR G nで交差しており、R G nがR 2よりも大きくなっている。
- [0041] レーザ光の発振波長は、グレーティングにより反射される波長で決定される。グレーティングによる反射光と活性層のグレーティング素子側の端面からの反射光がレーザのゲイン閾値を上回れば、発振条件を満足する。これにより波長安定性の高いレーザ光を得ることができる。
- [0042] 波長安定性をより高くするには、グレーティングからの帰還量を大きくすればよく、この観点からグレーティングの反射率は活性層の端面における反射率よりも大きくする。これによりもとの半導体レーザの共振器で得られるゲインよりもグレーティングによる共振器で得られるゲインの方が大きくなり、グレーティングによる共振器で安定なレーザ発振が可能となる。
- [0043] この結果、光源の発振波長が温度変化に応じてシフトしたときに、シフトしたあとの波長においてもブラッググレーティングG 1～G 4のいずれかにおいて発振が確保される。この結果、温度変化に対するレーザ発振の安定性が著しく高まる。
- [0044] 本発明では、R G nが、光源の出力端の反射率R 2よりも大きい。この観

点からは、 R_{Gn}/R_2 は、1.01以上が好ましく、1.05以上が更に好ましい。 R_{Gn}/R_2 は、さらに、波長安定性、パワー安定性を高めるという観点で1.2以上が好ましい。

[0045] 好ましくは、ブラッググレーティングの反射率が光源の出射端の反射率よりも大きい波長領域が各ブラッググレーティングに存在しており、隣り合う中心波長を有するブラッググレーティングの前記波長領域を連続させる。この際、複数の波長領域が連続することになるが、連続する波長領域の波長上限と下限との差は、5 nm以上あることが好ましく、10 nm以上であることが更に好ましい。

[0046] 本発明者は、複数のブラッググレーティングの反射率の波長特性について種々検討した。こうした検討は、従来のグレーティング素子を用いた外部共振器型発光装置では十分に行われていなかったものである。

[0047] 複数のブラッググレーティングを直列に接続して動作させる場合には、各グレーティングによる共振器長が大きく異なるためにモードホップ間隔が大きく異なる。このため短い共振器でレーザ発振する場合には、温度変化があってもモードホップしにくく波長が安定するが、長い共振器の場合にはモードホップ間隔が狭くなるためにモードホップがしやすくなり、波長安定性が悪くなる傾向がある。

[0048] この検討の過程で、各ブラッググレーティングについて、その反射率が光源の出射端の反射率よりも大きい波長領域があることに着目し、隣り合う中心波長を有するブラッググレーティングの前記波長領域を連続させることを想到した。

[0049] ブラッググレーティングの反射率が光源の出射端の反射率よりも大きい波長領域においては、そのブラッググレーティングを用いた発振が可能である。そして、環境温度が変化したときには、光源から発振するレーザ光の波長がシフトする。このとき、隣り合う中心波長を有するブラッググレーティングの前記波長領域を連続させることによって、光源から発振するレーザ光の波長がシフトしても、そのシフトに対応して、中心波長が隣りのブラッググ

レーティングが機能し、発振し易い条件となる。この結果、装置全体としての温度安定性が更に改善する。

[0050] 好適な実施形態においては、隣り合う中心波長を有するブラッググレーティングの反射率が所定波長 $\lambda C 1$ 、 $\lambda C 2$ 、 $\lambda C 3$ （図4参照）で一致しており、外部共振器モードでレーザ発振するのに必要なグレーティングの反射率の最小値 R が、光源の出射端の反射率 $R 2$ 以上であり、かつ所定波長 $\lambda C 1$ 、 $\lambda C 2$ 、 $\lambda C 3$ におけるブラッググレーティングの反射率 $R G 1$ 、 $R G 2$ 、 $R G 3$ 以下である。これによって、広い波長範囲にわたって安定した発振が可能となる。

ここで、各ブラッググレーティングの反射率が、外部共振器モードでレーザ発振するのに必要なグレーティングの反射率の最小値 R 以上である各波長領域の波長幅（波長上限と波長下限との差）を $E 1$ 、 $E 2$ 、 $E 3$ 、 $E 4$ （ $E n$ ）とする。

[0051] 各ブラッググレーティングの温度許容幅を広げるという観点からは、各波長領域幅 $E n$ を大きくすることが好ましい。

外部共振器モードでレーザ発振するのに必要なグレーティングの反射率の最小値 R は、半導体レーザとグレーティングにより形成される外部共振器のゲイン閾値を満足するために必要な反射率である。外部共振器のゲイン閾値は、後述する数7により決定される。図5に示す半導体レーザのみの場合と比較して、半導体レーザとグレーティング素子の結合効率やグレーティング素子部等の損失がゲインを小さくする要因となる。このため外部共振器モードでレーザ発振するための最低の反射率 R は、通常は半導体レーザの出射端の反射率 $R 2$ よりも大きくする。ただし、結合効率が100%であって損失がない場合には $R = R 2$ となる。

[0052] $E n$ は、半導体レーザ光源のゲインカーブに対応して決めることができる。

すなわち、 $(1/10) \times \Delta \lambda L D g \leq E n \leq \Delta \lambda L D g$ とすることが好ましく、 $(1/5) \times \Delta \lambda L D g \leq E n \leq (3/4) \times \Delta \lambda L D g$ とするこ

とが更に好ましい。

ただし、 $\Delta\lambda_{LDg}$ は、半導体レーザのゲインが発振しきい値 g_{th} の場合のゲインカーブの波長幅（最大波長と最小波長との差）である（図6参照）。

[0053] また、具体例としては、 $\Delta\lambda_{Gn} \geq 2\text{ nm}$ が好ましい。 $\lambda_{Gn} > L_D$ は、大き過ぎるとモードホップしやすくなり、波長安定性が悪くなり、パワー変動が大きくなるために、 $\Delta\lambda_{Gn}$ は 6 nm 以下であることが好ましく、 5 nm 以下が更に好ましい。

[0054] また、好適な実施形態においては、各グレーティングの反射中心波長の間隔は、以下のようにすることが好ましい。

$$\lambda_{g(n+1)} - \lambda_{g(n)} \leq (\Delta\lambda_{G(n+1)} + \Delta\lambda_{Gn}) \times 1/2$$

さらに、以下のようにすることが好ましい。

$$\lambda_{g(n+1)} - \lambda_{g(n)} \leq (E(n+1) + E_n) \times 1/2$$

[0055] $(\lambda_{g(n+1)} - \lambda_{g(n)})$ は、隣接するグレーティング素子 G_n と $G(n+1)$ の中心波長の間隔である。

$(\Delta\lambda_{G(n+1)} + \Delta\lambda_{Gn})$ は、隣接するグレーティング素子 G_n と $G(n+1)$ のブラッググレーティングの反射率の半値幅の和である。

$(E(n+1) + E_n)$ は、隣接するブラッググレーティング G_n における E_n とブラッググレーティング素子 $G(n+1)$ における $E(n+1)$ の合計値である。

[0056] また、装置の波長安定性、パワー安定性を確保するという観点では、以下が好ましい。

$$\lambda_{g(n+1)} - \lambda_{g(n)} \geq (E(n+1) + E_n) \times 1/4$$

さらに、以下のようにすることが好ましい。

$$\lambda_{g(n+1)} - \lambda_{g(n)} \geq (\Delta\lambda_{G(n+1)} + \Delta\lambda_{Gn}) \times 1/4$$

このような条件になるように、グレーティングピッチを調整することが好ましい。

[0057] モードホップを抑制し、装置の温度安定性を確保するためには、共振器長

を短くしてモードホップ間隔を大きくする必要がある。この観点から、半導体レーザの外側反射端から複数ブラッググレーティングの出射側終点までの長さ L （図1、図2参照）は、 1 mm 以下が好ましい、さらに、モードホップを抑制するために外部共振器の縦モード間隔を大きくするという観点では、 L は $700\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下が最も好ましい。

[0058] 上記の関係を満足するために、ブラッググレーティングの始点から終点までの長さ L_{total} は、 $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $300\text{ }\mu\text{m}$ 以下が更に好ましく、 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下が特に好ましい。また、レーザ発振するために必要な光の帰還率を得るためには L_{total} は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $20\text{ }\mu\text{m}$ 以上が更に好ましい。

[0059] 共振器長を短くするという観点からは、各ブラッググレーティングの長さは、それぞれ $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。また、グレーティングの長さが長くなるほど $\Delta\lambda G_n$ は小さくなるので、これを大きくするためには各ブラッググレーティングの長さは $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましい。また、レーザ発振するために必要な光の帰還率を得るためには $\Delta\lambda G_n$ は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上が好ましい。

[0060] グレーティング素子の長さを短くし、かつ反射率を半導体レーザの出射端の反射率よりも大きくするには、グレーティングを形成する光導波路部の屈折率 n_b とクラッド部 n_c の屈折率差を大きくすることが好ましく、 n_b は 1.7 以上が好ましく、 1.8 以上が更に好ましい。

[0061] また、グレーティング反射率を半導体レーザの出射端面よりも大きくするには、グレーティング深さ t_d （図11参照）は、 20 nm 以上が好ましい。また、グレーティング深さ t_d は、 250 nm 以下が好ましく、 200 nm 以下が更に好ましい。

[0062] 光導波路の高さ（厚さ） T_s （図7～図9参照）は、半導体レーザの結合効率の向上という観点からは、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上、 $3.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0063] ブラッググレーティングにおける光導波路の幅 W_{gr} （図10参照）は、シ

シングルモード導波路という観点からは、 $0.5\mu\text{m}$ 以上、 $4\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

[0064] 好適な実施形態においては、光源の出射面と光導波路の入射面との距離 L_g は、 0 でも良いが、各素子の温度変化による熱膨張による応力を緩和するという観点で $1\mu\text{m}$ 以上、 $10\mu\text{m}$ 以下とする。これによって安定した発振が可能となる。また、入射側伝搬部の長さ L_m は 0 でも良いが、 $1\sim 100\mu\text{m}$ が好ましく、 $5\sim 20\mu\text{m}$ が更に好ましい。

[0065] 光源の活性層の長さ L_a は、 $500\mu\text{m}$ 以下である事が好ましい。

また、 $L_a + L_g + L_m + L_{b\text{total}}$ は、 $1050\mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $800\mu\text{m}$ 以下が更に好ましい。また、 $L_a + L_g + L_m + L_{b\text{total}}$ は、 $300\mu\text{m}$ 以上が好ましい。

[0066] 以下、本発明の作用について更に補足する。

たとえばGaAs半導体レーザの温度特性は $0.3\text{nm}/^\circ\text{C}$ であり、 10°C 温度が上昇すると 3nm 長波長側に発振波長がシフトする。 $\Delta\lambda_{LDg}$ は、半導体レーザによって異なるが一般的に 4nm から 10nm 程度の範囲である。

[0067] 温度動作範囲は、 $T_{\min}$ および $T_{\max}$ における半導体レーザのゲインの中心波長の差を温度特性で割ることにより求めることができる。この波長差は、波長領域 E_n の和($\Sigma(E_n)$)とこの波長領域の短波長側、および長波長側にそれぞれ $\Delta\lambda_{\text{low}}$ 、および $\Delta\lambda_{\text{high}}$ を加えたものになる。この場合、温度動作範囲は、グレーティング素子の反射波長の温度シフトが $0\text{nm}/^\circ\text{C}$ の場合に、
$$\Delta T = \{\Sigma(E_n) + \Delta\lambda_{\text{low}} + \Delta\lambda_{\text{high}}\} / 0.3\text{nm}/^\circ\text{C}$$
となる。通常のレーザの場合、 $\Delta\lambda_{\text{low}}$ 、 $\Delta\lambda_{\text{high}}$ は、 2nm から 3nm の数値の範囲である(図6参照)。

[0068] たとえば、図6に示すように4個のグレーティングを直列に接続した場合、 E_n をそれぞれ 4nm としたときに動作温度範囲は約 66°C から約 73°C となる。

さらに、グレーティング素子の反射波長の温度シフトが $0.1\text{nm}/^\circ\text{C}$ の場合には、

$$\Delta T = \{\Sigma (E_n) + \Delta \lambda_{\text{low}} + \Delta \lambda_{\text{high}}\} / (0.3 - 0.1) \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$$

となり、図6のときには、動作温度範囲は、100℃から110℃となる。

[0069] 図6では各々のグレーティング素子の反射率グラフは反射率 R_{Gn} で交差している。この場合、反射率 R_2 の波長範囲 $S_1 \sim S_4$ は、隣接するグレーティング素子についてそれぞれ重複した範囲を持つことになる。

[0070] 好適な実施形態においては、光導波路7はリッジ型光導波路であり、光学材料層に設けられている。この場合、光導波路7は、ブラッググレーティングと同一面に形成されていてもよく、相対する面に形成されていてもよい。

[0071] 無反射層5B、5C、5Dの反射率は、グレーティング反射率よりも小さい値であればよく、さらに0.1%以下が好ましい。しかし、端面における反射率がグレーティング反射率よりも小さい値であれば、無反射層はなくてもよく、反射膜であってもよい。活性層のグレーティング素子側の端面に無反射層を設けず、その代わりに反射膜を形成すると、通常の半導体レーザの形態になる。この場合は、光源1は単独でレーザ発振ができるものとなる。

[0072] 好適な実施形態においては、図7(a)に示すように、基板6上に下側バッファ層13を介して光学材料層30が形成されている。光学材料層30には例えば一对のリッジ溝16が形成されており、リッジ溝の間にリッジ型の光導波路15が形成されている。この場合、ブラッググレーティングは平坦面上に形成していてもよく、リッジ溝面に形成していてもよい。ブラッググレーティング、およびリッジ溝の形状ばらつきを低減するという観点では、ブラッググレーティングを平坦面上に形成することによって、ブラッググレーティングとリッジ溝とを光学材料層30の反対側に設けることが好ましい。17は薄肉部であり、18は延在部である。なお、バッファ層13と支持基板6との間に接着層を設けることもできる。

[0073] 図7(a)のように上側バッファ層を設けない場合、空気層が直接グレーティングに接することができる。これによりグレーティング溝が有る無しで屈折率差を大きくすることができ、短いグレーティング長で反射率を大きくすることができる。

- [0074] また、図 7（b）に示す素子では、光学材料層 30 上に更に上側バッファ層 14 が形成されている。
- [0075] また、図 7（c）に示すように、基板 6 上に下側バッファ層 13 を介して光学材料層 30 が形成されている。光学材料層 30 には例えば一对のリッジ溝 16 が形成されており、リッジ溝の間にリッジ型の光導波路 15 が形成されている。本例ではリッジ溝がバッファ層 13 側に設けられている。この場合、ブラッググレーティングは平坦面上に形成していてもよく、リッジ溝面に形成していてもよい。ブラッググレーティング、およびリッジ溝の形状ばらつきを低減するという観点では、ブラッググレーティングを平坦面上に形成することによって、ブラッググレーティングとリッジ溝とを基板の反対側に設けることが好ましい。17 は薄肉部であり、18 は延在部である。なお、バッファ層 13 と支持基板 6 との間に接着層を設けることもできる。
- [0076] 好適な実施形態においては、光導波路が、光学材料からなるコアからなり、コアの周りをクラッドが包囲している。このコアの横断面（光の伝搬方向と垂直な方向の断面）形状は凸図形となるようにする。
- [0077] 凸図形とは、コアの横断面の外側輪郭線の任意の二点を結ぶ線分が、コアの横断面の外側輪郭線の内側に位置することを意味する。凸図形は、一般的な幾何学用語である。このような図形としては、三角形、四角形、六角形、八角形などの多角形、円形、楕円形などを例示できる。四角形としては、特に、上辺と下辺と一对の側面を有する四角形が好ましく、台形が特に好ましい。
- [0078] たとえば図 8（a）に示すように、基板 6 上に下側バッファ層 13 を介して、光学材料よりなるコアからなる光導波路 21 が形成されている。この光導波路 21 の下側には、クラッドとして機能する下側バッファ層 13 が存在している。光導波路 21 の側面および上面には上側バッファ層が設けられていない。このため、光導波路 21 の側面および上面は雰囲気露出しており、雰囲気がクラッドとして機能する。光導波路 21 の横断面形状は台形であり、上面 21a が下面 21b よりも狭い。なお、バッファ層 13 と支持基板

6との間に接着層を形成することもできる。

[0079] 図8(b)に示す素子では、基板6上にバッファ層22内が設けられており、バッファ層22内に、光学材料よりなるコアからなる光導波路21が埋設されている。バッファ層22は、光導波路の上面を被覆する上面被覆部22b、光導波路の側面を被覆する側面被覆部22cおよび光導波路の底面を被覆する底面被覆部22aを有する。

[0080] 図8(c)に示す素子9Dでは、基板6上にバッファ層22内が設けられており、バッファ層22内に、光学材料よりなるコアからなる光導波路21Aが埋設されている。バッファ層22は、光導波路の上面を被覆する上面被覆部22b、光導波路の側面を被覆する側面被覆部22cおよび光導波路の底面を被覆する底面被覆部22aを有する。

[0081] また、図9(a)に示す素子では、基板6上に下側バッファ層13を介して、光学材料よりなるコアからなる光導波路21が形成されている。光導波路21の側面および上面21aには、やはりクラッドとして機能する上側バッファ層23が形成され、光導波路21を被覆している。上側バッファ層23は、光導波路11の側面を被覆する側面被覆部23bおよび上面を被覆する上面被覆部23aを有する。

[0082] また、図9(b)に示す素子では、光学材料よりなるコアからなる光導波路21Aが形成されている。光導波路21Aの横断面形状は台形であり、下面が上面よりも狭い。上側クラッド層23は、光導波路11の側面を被覆する側面被覆部23bおよび上面を被覆する上面被覆部23aを有する。

[0083] なお、光導波路の幅Wは、横断面において光導波路の幅の最小値を意味する。光導波路の形状が上面が狭い台形の場合には、光導波路の幅Wは上面の幅であり、光導波路の形状が下面が狭い台形の場合には、光導波路の幅Wは下面の幅である。なお、Wは、 W_{in} 、 W_{out} 、 W_{gr} を包含する概念である。

[0084] 好適な実施形態においては、図1、図2に示すように、光導波路7の入射面7aとブラッググレーティングの開始点との間に入射側伝搬部が設けられており、また、ブラッググレーティングの終点と出射面との間に入射側伝搬

部が設けられている。

[0085] 好適な実施形態においては、たとえば図10(a), (b)に示すように、入射側伝搬部8は、入射面から連続する入射部8a、ブラッググレーティングにつながる狭幅部8cおよび光導波路幅が徐々に変化するテーパ部8bを有する。入射部8aの幅 W_{in} は、狭幅部8cの幅 W_{gr} よりも大きくする。

[0086] また、出射側伝搬部における光導波路幅 W_{out} は、図10(a)の例では W_{gr} と同じになっている。しかし、 W_{out} は、 W_{gr} より大きくとも良く、小さくとも良い。図10(b)の例では、出射側伝搬部9が、ブラッググレーティングから連続する連結部9aと、出射端部に向かうテーパ部9cとを有している。テーパ部9cにおける光導波路幅は、出射端部における光導波路幅 W_{out} に向かって徐々に小さくなっている。

[0087] 図11の斜視図の例では、出射側伝搬部9が、ブラッググレーティングから連続する連結部9aと、出射端部に連結する出射部9cと、連結部9aと出射部9cとの間のテーパ部9bとを有している。テーパ部9bにおける光導波路幅は、出射端部における光導波路幅 W_{out} に向かって徐々に小さくなっている。

なお、本例では、連結部9aにおける光導波路の幅 W_{gr} が一定であり、出射部9cにおける光導波路の幅 W_{out} も一定である。

なお、Aはグレーティング素子への入射光であり、Bはグレーティング素子からの出射光であり、Cはグレーティング反射光である。

[0088] 光源としては、高い信頼性を有するGaAs系やInP系材料によるレーザが好適である。本願構造の応用として、例えば、非線形光学素子を利用して第2高調波である緑色レーザを発振させる場合は、波長1064nm付近で発振するGaAs系のレーザを用いることになる。GaAs系やInP系のレーザは信頼性が高いため、一次元状に配列したレーザアレイ等の光源も実現可能である。スーパールミネッセンスダイオードや半導体光アンプ(SOA)であってもよい。また、活性層の材質や波長も適宜選択できる。

なお、半導体レーザとグレーティング素子との組み合わせでパワー安定化

を行う方法は、下記に開示されている。

(非特許文献3： 古河電工時報 平成12年1月 第105号 p24-29)

[0089] 光導波路は、例えば外周刃による切削加工やレーザアブレーション加工することによって物理的に加工し、成形することによって得られる。

[0090] ブラッググレーティングは以下のようにして物理的、あるいは化学的なエッチングにより形成することができる。

具体例として、Ni、Tiなどの金属膜を高屈折率基板に成膜し、フォトリソグラフィーにより周期的に窓を形成しエッチング用マスクを形成する。その後、反応性イオンエッチングなどのドライエッチング装置で周期的なグレーティング溝を形成する。最後に金属マスクを除去することにより形成できる。

[0091] 光導波路中には、光導波路の耐光損傷性を更に向上させるために、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、スカンジウム(Sc)及びインジウム(In)からなる群より選ばれる1種以上の金属元素を含有させてもよく、この場合、マグネシウムが特に好ましい。また結晶中には、ドーパ成分として、希土類元素を含有させることができる。希土類元素としては、特にNd、Er、Tm、Ho、Dy、Prが好ましい。

接着層の材質は、無機接着剤であってよく、有機接着剤であってよく、無機接着剤と有機接着剤との組み合わせであってよい。

[0092] また、光学材料層30は、支持基体上に薄膜形成法によって成膜して形成してもよい。こうした薄膜形成法としては、スパッタ、蒸着、CVDを例示できる。この場合には、光学材料層30は支持基体に直接形成されており、上述した接着層は存在しない。

[0093] 支持基板の具体的材質は特に限定されず、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、石英ガラスなどのガラスや水晶、Siなどを例示することができる。

[0094] 無反射層の反射率は、グレーティング反射率以下である必要があり、無反射層に成膜する膜材としては、二酸化珪素、五酸化タンタル、フッ化マグネ

シウム、フッ化カルシウムなどの酸化物で積層した膜や、金属類も使用可能である。

[0095] また、光源素子、グレーティング素子の各端面は、それぞれ、端面反射を抑制するために斜めカットしていてもよい。また、グレーティング素子と支持基板の接合は、接着固定でもよく、直接接合でもよい。

[0096] 以下、図 1 2 に示すような構成において、本実施形態の条件の意味について更に述べる。

ただし、数式は抽象的で理解しにくいので、最初に、従来技術の典型的な形態と本実施形態とを端的に比較し、本実施形態の特徴を述べる。次いで、本実施形態の各条件について述べていくこととする。

[0097] まず、半導体レーザの発振条件は、下式のようにゲイン条件×位相条件で決まる。

[数6]

$$(C_{out}^2)^4 |r_1| |r_2| \exp\{(\zeta_i g_{th} - \alpha_a)L_a - \alpha_g L_g - \alpha_{wg} L_{wg} - \alpha_{gr} L_{gr}\} \times \exp\{j(-\phi_1 - \phi_2 - 2\beta_a L_a - 2\beta_g L_g - 2\beta_{wg} L_{wg})\} = 1$$

(2 - 1) 式

[0098] ゲイン条件は、(2-1) 式より下式となる。

[数7]

$$\zeta_i g_{th} = \frac{\alpha_a L_a + \alpha_g L_g + \alpha_{wg} L_{wg} + \alpha_{gr} L_{gr}}{L_a} + \frac{1}{L_a} \ln\left(\frac{1}{|r_1| |r_2| C_{out}^2}\right)$$

(2 - 2) 式

[0099] ただし、 α_a 、 α_g 、 α_{wg} 、 α_{gr} は、それぞれ、活性層、半導体レーザと導波路間のギャップ、入力側のグレーティング未加工導波路部、グレーティング部の損失係数であり、 L_a 、 L_g 、 L_{wg} 、 L_{gr} は、それぞれ、活性層、半導体レーザと導波路間のギャップ、入力側のグレーティング未加工導波路部、グレーティング部の長さであり、 r_1 、 r_2 は、ミラー反射率（ r_2 はグレーティングの反射率）であり、 C_{out} は、グレーティング素子と光源との結合損失であり、 ζ_{tgth} は、レーザ媒体のゲイン閾値であり、 ϕ_1 は、レーザ側反射ミラーによる位相変化量であり、 ϕ_2 は、グレーティング部での位相変化量である。

[0100] (2-2) 式より、レーザ媒体のゲイン ζ_{tgth} （ゲイン閾値）が損失を上回れば、レーザ発振することを表す。レーザ媒体のゲインカーブ（波長依存性）は、半値全幅は50nm以上あり、ブロードな特性をもっている。また、損失部（右辺）は、グレーティングの反射率以外はほとんど波長依存性がないので、ゲイン条件はグレーティングにより決まる。このため、比較表では、ゲイン条件はグレーティングのみで考えることができる。

[0101] 一方、位相条件は(2-1)式から、下式のようになる。ただし、 ϕ_1 については零となる。

[数8]

$$\phi_2 + 2\beta_a L_a + 2\beta_g L_g + 2\beta_{wg} L_{wg} = 2p\pi \quad (p \text{ は整数})$$

(2-3) 式

[0102] ブラッググレーティングの長さ L_{total} は前述したとおりである。ブラッググレーティングの長さ L_{total} を従来に比べて短くすることは、本実施形態における設計思想の前提となる。すなわち、モードホップをしにくくするために位相条件を満足する波長間隔（縦モード間隔）を大きくする必要がある。このためには、共振器長を短くする必要がありグレーティング素子の長

さを短くする。

[0103] グレーティング素子の長さを短くすることは、損失を小さくすることになりレーザ発振の閾値を低減できる。この結果、低電流、低発熱、低エネルギーで駆動が可能となる。

[0104] また、グレーティングの長さ L_{total} は、3%以上の反射率を得るためには、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上が好ましく、5%以上の反射率を得るためには、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上が更に好ましい。

[0105] 好適な実施形態においては、レーザ発振を促進するために、グレーティング素子の反射率は3%以上、40%以下に設定することが好ましい。この反射率は、より出力パワーを安定させるために5%以上が更に好ましく、また、出力パワーを大きくするためには25%以下が更に好ましい。

実施例

[0106] (実施例1)

図13は、図2および図7(b)の構造において、グレーティング長さに対するグレーティング反射率、および反射特性の半値幅の計算値を示す。グレーティング溝深さ t_d は 100 nm 、 125 nm 、 150 nm とした。

光学材料層は Ta_2O_5 、支持基板は石英、上側クラッド、下側クラッド層は SiO_2 とした。

[0107] 導波路構造は、光学材料層の厚みは $1\text{ }\mu\text{m}$ 、リッジ導波路の幅(最上端)は $3\text{ }\mu\text{m}$ 、リッジ溝の深さは $0.6\text{ }\mu\text{m}$ である。波長は 850 nm とした。

この結果、例えば、グレーティング深さ t_d 125 nm においてグレーティング長さ $25\text{ }\mu\text{m}$ の場合、反射率18%、半値幅 6 nm の特性を得ることができる。

[0108] 図14は、図2および図7(b)の構造において、グレーティング長さに対するグレーティングの反射率、および反射特性の半値幅の計算値を示す。グレーティング溝深さ t_d は 150 nm 、 200 nm 、 250 nm とした。

光学材料層は Ta_2O_5 、支持基板は石英、上側クラッド、下側クラッド層は SiO_2 とした。

[0109] 光導波路構造は、光学材料層の厚みは $2\mu\text{m}$ 、リッジ導波路の幅（最上端）は $3\mu\text{m}$ 、リッジ溝の深さは $1\mu\text{m}$ である。波長は 850nm とした。

この結果、例えば、グレーティング深さ $t_g 200\text{nm}$ においてグレーティング長さ $40\mu\text{m}$ の場合、反射率 19% 、半値幅 3.8nm の特性を得ることができる。

[0110] （実施例2）

図2および図7（b）に示すような発光装置を作製した。

具体的には、石英からなる支持基板6にスパッタ装置にて下側バッファ層13になる SiO_2 層を $0.5\mu\text{m}$ 、またその上に Ta_2O_5 を $1.2\mu\text{m}$ 成膜して光学材料層30を形成した。次に、光学材料層上にTiを成膜して、EB描画装置によりグレーティングパターンを作製した。その後、Tiパターンをマスクにしてフッ素系の反応性イオンエッチングにより、ピッチ間隔 $\Lambda 206\text{nm}$ 、長さ $L_g 25\mu\text{m}$ と、 $\Lambda 207\text{nm}$ 、 $L_g 25\mu\text{m}$ の2つのブラッググレーティングG1、G2を形成した。中間伝搬部10の長さは $5\mu\text{m}$ である。グレーティングの溝深さ t_g は 125nm とした。

[0111] さらに光導波路を形成するために、上記と同様な方法で反応性イオンエッチングし、幅 $W_m 3\mu\text{m}$ 、 $T_r 0.6\mu\text{m}$ のリッジ形状を形成した。

最後に上側バッファ層14となる SiO_2 層を $0.5\mu\text{m}$ スパッタにて形成した。

[0112] その後、ダイシング装置にてバー状に切断し、両端面を光学研磨し、両端面を 0.1% のARコートを形成し、最後にチップ切断を行いグレーティング素子を作製した。素子サイズは幅 1mm 、長さ $L_{wg} 500\mu\text{m}$ とした。

グレーティング素子の光学特性は、広帯域波長光源であるスーパ・ルミネッセンス・ダイオード（SLD）を使用して、グレーティング素子にTEモードの光を入力して出力光を光スペクトルアナライザで分析することにより、その透過特性から反射特性を評価した。

測定したグレーティング素子の反射中心波長は、それぞれ 846nm 、 850nm であり、反射率は 18% であった。また反射率 14% で両者の反射特性が交差しており、 14% 以上の波長領域が 844nm から 852nm の 8

n mあることを確認した。

[0113] 次に、このグレーティング素子を使用した外部共振器型レーザの特性評価のために、図2、図11に示すようにレーザモジュールを実装した。光源素子としてGaAs系レーザ構造を有し、片端面には高反射膜、もう一方の出射端面の反射率は10%であった。

光源素子仕様：

中心波長：	844nm
出力	20mW
半値幅：	50nm
レーザ素子長	250 μ m

実装仕様：

L_g ：	0.5 μ m
L_m ：	10 μ m

[0114] モジュール実装後、ペルチェ素子を使用することなく電流制御（ACC）で駆動したところ、温度15℃にて中心波長844nmでレーザ発振し、出力15mWが得られた。次に動作温度範囲を評価するために恒温槽内にモジュールを設置し、レーザ発振波長の温度依存性、出力変動を測定した。その結果、温度65℃、発振波長852nmまで安定にレーザ発振した。この温度域内ではモードホップが起こるもののパワー出力変動は1%以内であった。

[0115] （比較例1）

図3、図7（b）に示すような発光装置を作製した。

具体的には、石英からなる支持基板にスパッタ装置にて下側バッファ層13になるSiO₂層を0.5 μ m、またその上にTa₂O₅を1.2 μ m成膜し、光学材料層30を形成した。次に、光学材料層30上にTiを成膜して、EB描画装置によりグレーティングパターンを作製した。その後、Tiパターンをマスクにしてフッ素系の反応性イオンエッチングにより、ピッチ間隔 Λ 206nm、長さ L_g 25 μ mのブラッググレーティングG1を形成した。グレーティングの溝深さ t_d は125nmとした。

- [0116] さらに光導波路を形成するために、上記と同様な方法で反応性イオンエッチングし、幅 $W_m 3 \mu m$ 、 $T_r 0.6 \mu m$ のリッジ形状を形成した。最後に上側バッファ層14となる SiO_2 層を $0.5 \mu m$ スパッタにて形成した。
- [0117] その後、ダイシング装置にてバー状に切断し、両端面を光学研磨し、両端面を0.1%のARコートを形成し、最後にチップ切断を行いグレーティング素子を作製した。素子サイズは幅1mm、長さ $L_{wg} 500 \mu m$ とした。
- [0118] グレーティング素子の光学特性は、広帯域波長光源であるスーパー・ルミネッセンス・ダイオード（SLD）を使用して、グレーティング素子にTEモードの光を入力して出力光を光スペクトルアナライザで分析することにより、その透過特性から反射特性を評価した。測定したグレーティング素子の反射中心波長は、846nmであり、反射率は18%であった。
- [0119] 次に、このグレーティング素子を使用した外部共振器型レーザの特性評価のために、図2、図11に示すようにレーザモジュールを実装した。光源素子としてGaAs系レーザ構造を有し、片端面には高反射膜、もう一方の出射端面の反射率は10%であった。

光源素子仕様：

中心波長：	844nm
出力	20mW
半値幅：	50nm
レーザ素子長	$250 \mu m$

実装仕様：

L_g ：	$0.5 \mu m$
L_m ：	$10 \mu m$

- [0120] モジュール実装後、ペルチェ素子を使用することなく電流制御（ACC）で駆動したところ、温度15℃にて中心波長844nmでレーザ発振し、出力15mWが得られた。次に動作温度範囲を評価するために恒温槽内にモジュールを設置し、レーザ発振波長の温度依存性、出力変動を測定した。その結果、温度55℃、発振波長849nmまで安定にレーザ発振した。この温度域内ではモー

ドホップが起こるものの、パワー出力変動は1%以内であった。

[0121] (実施例3)

実施例2と同じような発光装置を作製した。

ただし、グレーティングについては、ピッチ間隔 Λ 206 nm、長さ L_g 25 μ mと、 Λ 207 nm、 L_g 25 μ mの2つのブラッググレーティングG1、G2を形成した。中間伝搬部10の長さは0 μ mとした。また、その他のパラメータは実施例2と同じとした。

[0122] グレーティング素子の光学特性は、広帯域波長光源であるスーパ・ルミネッセンス・ダイオード (SLD) を使用して、グレーティング素子にTEモードの光を入力して出力光を光スペクトルアナライザで分析することにより、その透過特性から反射特性を評価した。測定したグレーティング素子の反射中心波長は、それぞれ846 nm、850 nmであり、反射率は18%であった。また反射率14%で両者の反射特性が交差しており、14%以上の波長領域が844 nmから852 nmの8 nmあることを確認した。

[0123] 次に、このグレーティング素子を使用した外部共振器型レーザの特性評価のために、図2、図11に示すようにレーザモジュールを実装した。光源素子としてGaAs系レーザ構造を有し、片端面には高反射膜、もう一方の出射端面の反射率は14.5%であった。

光源素子仕様：

中心波長：	844nm
出力	20mW
半値幅：	50nm
レーザ素子長	250 μ m

実装仕様：

L_g ：	0.5 μ m
L_m ：	10 μ m

[0124] モジュール実装後、ペルチェ素子を使用することなく電流制御 (ACC) で駆動したところ、温度15℃にて中心波長844nmでレーザ発振し、出力15m

Wが得られた。次に動作温度範囲を評価するために恒温槽内にモジュールを設置し、レーザ発振波長の温度依存性、出力変動を測定した。その結果、温度 65℃、発振波長852nmまで安定にレーザ発振した。この温度域内ではモードホップが起こるもののパワー出力変動は1%以内であった。

請求の範囲

- [請求項1] 半導体レーザ光を発振する光源、およびこの光源と外部共振器を構成するグレーティング素子を備える外部共振器型発光装置であって、
前記光源が、前記半導体レーザ光を発振する活性層を備えており、
前記グレーティング素子が、前記半導体レーザ光が入射する入射面と所望波長の出射光を出射する出射面を有する光導波路、およびこの光導波路内に形成された複数のブラッググレーティングを備えていることを特徴とする、外部共振器型発光装置。
- [請求項2] 前記各ブラッググレーティングについて、前記ブラッググレーティングの反射率が前記光源の出射端の反射率よりも大きい波長領域がそれぞれ存在しており、隣り合う中心波長を有する前記ブラッググレーティングの前記波長領域が連続していることを特徴とする、請求項1の装置。
- [請求項3] 隣り合う中心波長を有する前記ブラッググレーティングの前記反射率が所定波長で一致しており、外部共振器モードでレーザ発振するのに必要なグレーティングの反射率の最小値が、前記光源の出射端の反射率以上であり、かつ前記所定波長における前記ブラッググレーティングの前記反射率以下である、請求項2記載の装置。
- [請求項4] 以下の式（1）を満足することを特徴とする、請求項1～3のいずれか一つの請求項に記載の装置。

$$\lambda_g(n+1) - \lambda_g(n) \leq (\Delta\lambda_G(n+1) + \Delta\lambda_{Gn}) \times 1/2 \quad (1)$$

（式（1）において、

$(\lambda_g(n+1) - \lambda_g(n))$ は、グレーティング素子 G_n の中心波長 $\lambda_g(n)$ と、前記グレーティング素子 G_n に隣接するグレーティング素子 $G(n+1)$ の中心波長 $\lambda_g(n+1)$ の間隔である。

($\Delta\lambda G(n+1) + \Delta\lambda G_n$) は、グレーティング素子 G_n のブラッググレーティングの反射率の半値幅 $\Delta\lambda G_n$ と、前記グレーティング素子 G_n に隣接するグレーティング素子 $G(n+1)$ の反射率の半値幅 $\Delta\lambda G(n+1)$ との和である。)

[請求項5] 隣り合う前記ブラッググレーティングの間に回折格子のない伝搬部がなく、隣り合う前記ブラッググレーティングが連続していることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一つの請求項に記載の装置。

[請求項6] 前記光源の出射端と反対側の反射端と、前記複数のブラッググレーティングの出射側終点との間隔が1 mm以下であり、下記式(2)および式(3)の関係が満足されることを特徴とする、請求項1～5のいずれか一つの請求項に記載の装置。

$$L_{b\text{ total}} \leq 500 \mu\text{m} \quad \dots (2)$$

$$L_a \leq 500 \mu\text{m} \quad \dots (3)$$

(式(2)において、 $L_{b\text{ total}}$ は、前記複数のブラッググレーティングの開始点から前記出射側終点までの長さである。

式(3)において、 L_a は、前記活性層の長さである。)

[請求項7] 下記式(4)の関係を満足することを特徴とする、請求項1～6のいずれか一つの請求項に記載の装置。

$$2nm \leq \Delta\lambda G_n \leq 6nm \quad \dots (4)$$

(式(4)において、 $\Delta\lambda G_n$ は、前記各ブラッググレーティングの反射率の各波長特性の各半値幅である。)

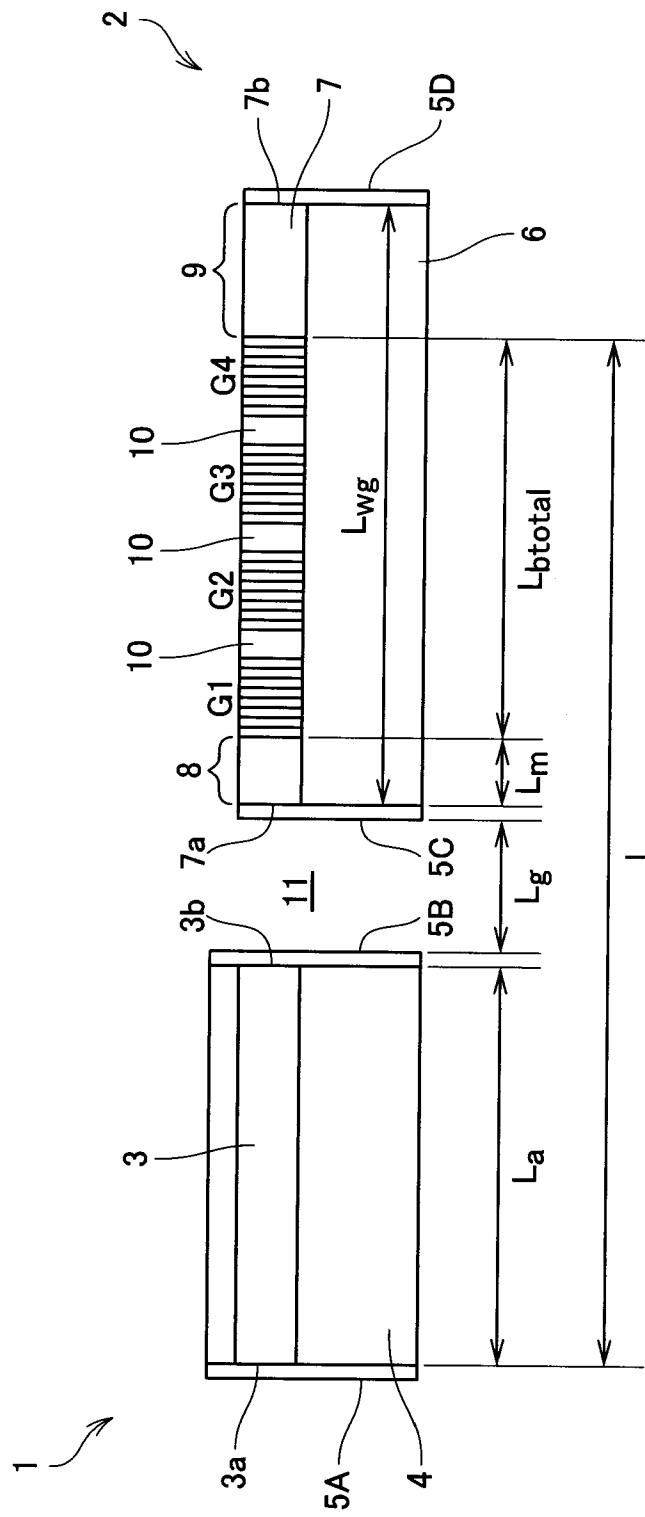
[請求項8] 前記ブラッググレーティングを構成する材質の屈折率 n_b が1.7以上であることを特徴とする、請求項1～7のいずれか一つの請求項

に記載の装置。

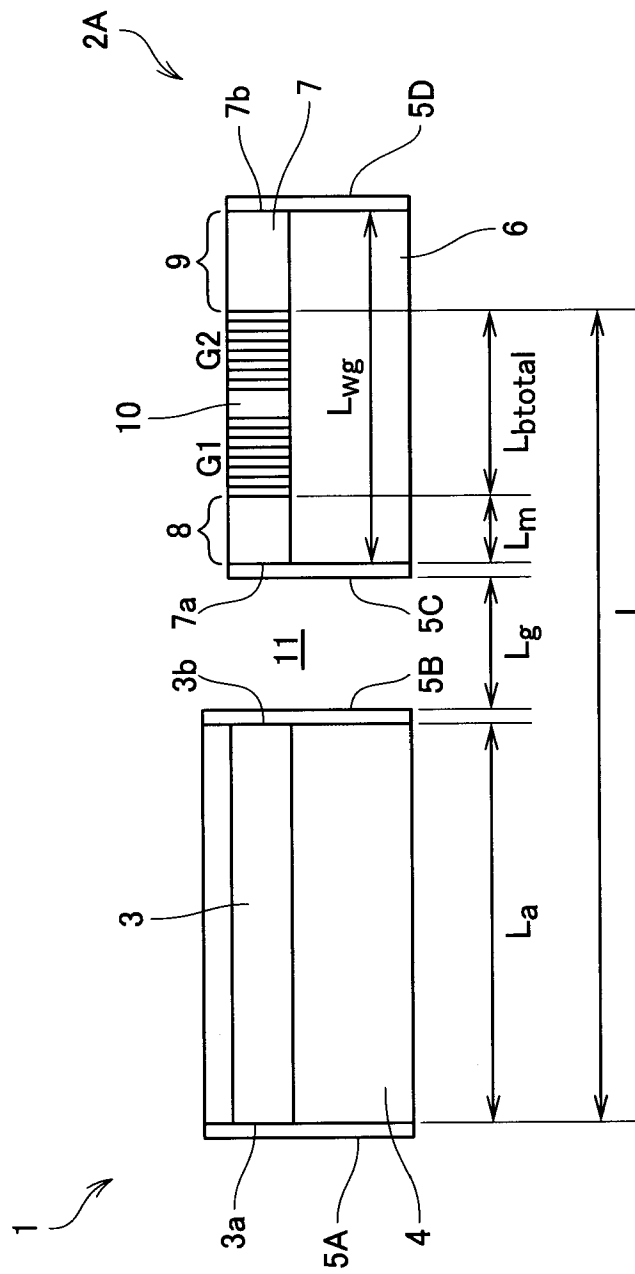
[請求項9] 前記光導波路が、前記ブラッググレーティングと前記入射面との間に入射側伝搬部を有しており、前記入射側伝搬部が、前記光導波路の幅が変化するテーパ部を有することを特徴とする、請求項1～8のいずれか一つの請求項に記載の装置。

[請求項10] 前記光源の前記活性層の前記グレーティング素子側の端面に形成された反射膜を備えることを特徴とする、請求項1～9のいずれか一つの請求項に記載の装置。

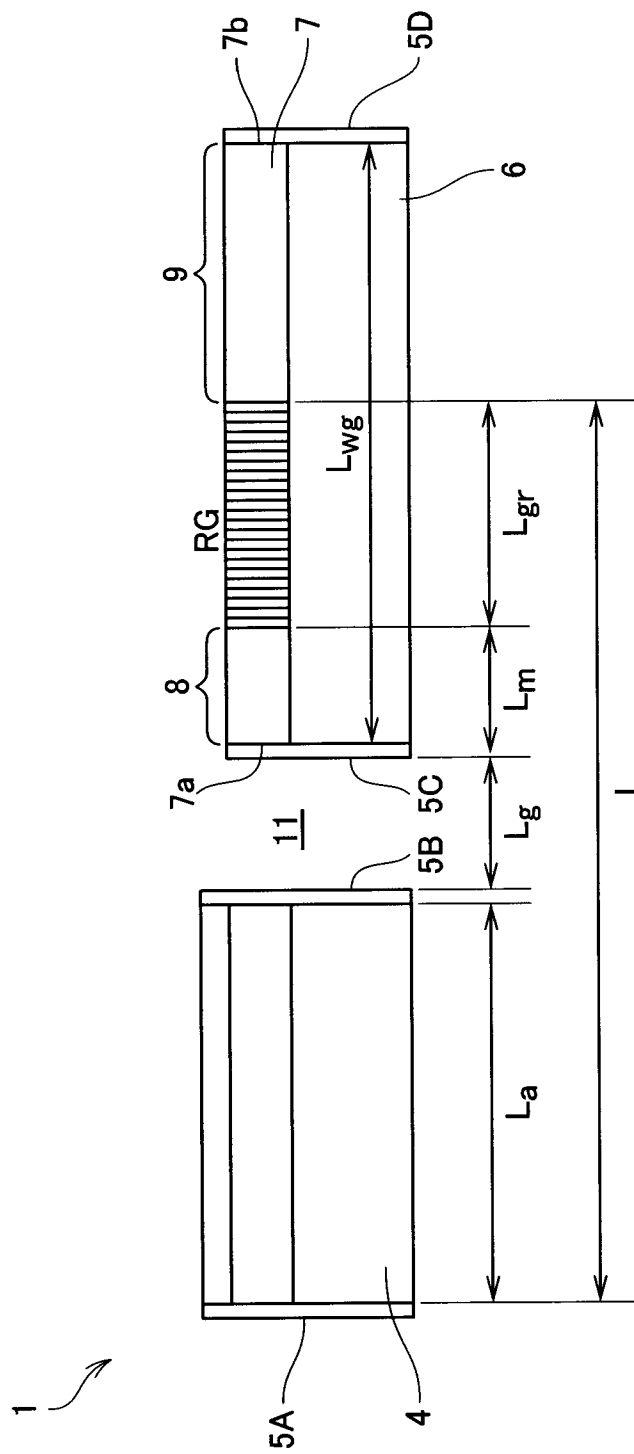
[図1]



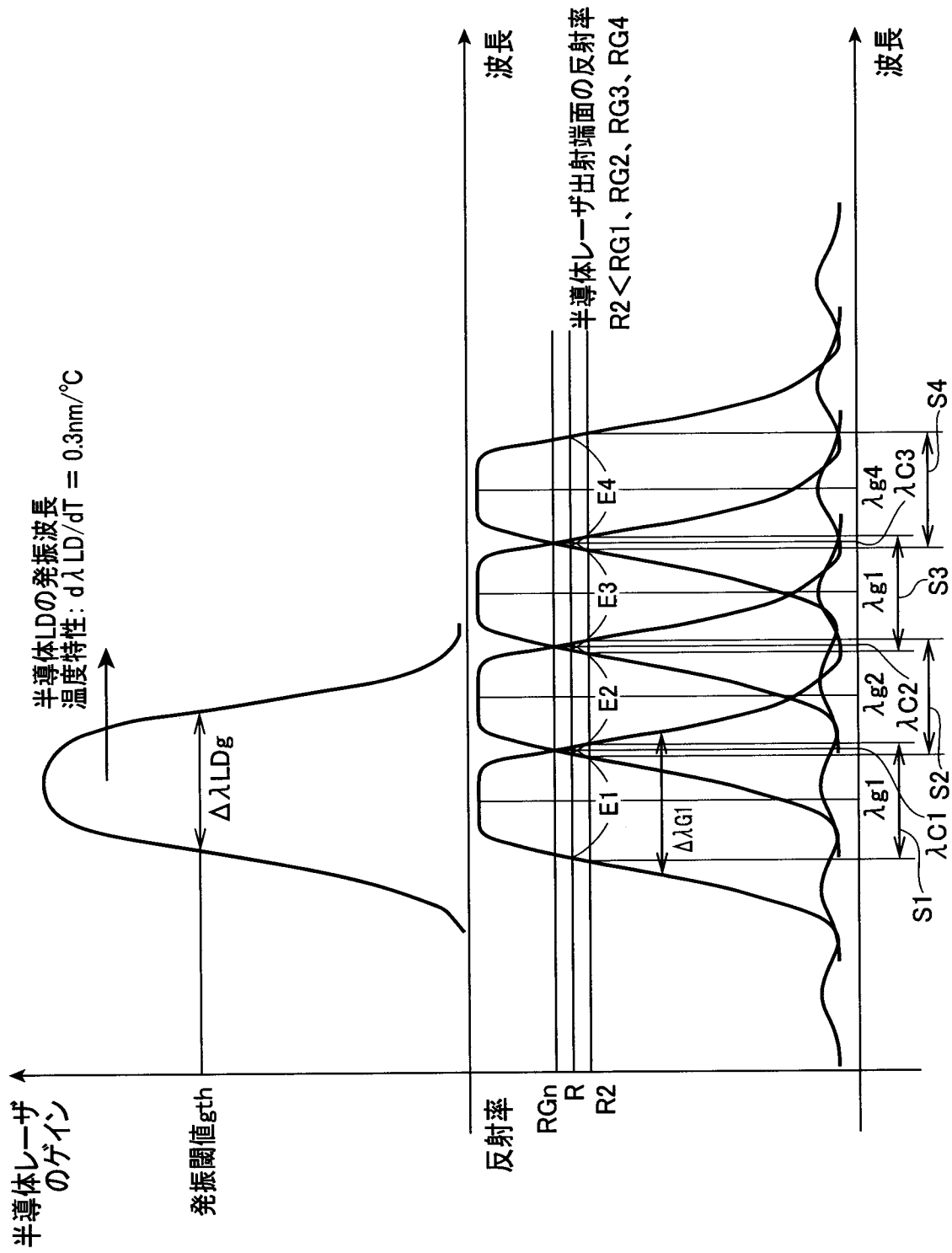
[図2]



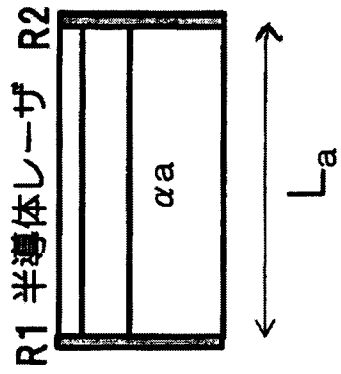
[図3]



[図4]



[図5]



レーザ発振条件:

$$C_{out}^2 r_1 r_2 \exp\left\{(\xi_{th} g_{th} - \alpha_a) L_a\right\} \times \exp\left\{-j(2\beta_a L_a)\right\} = 1$$

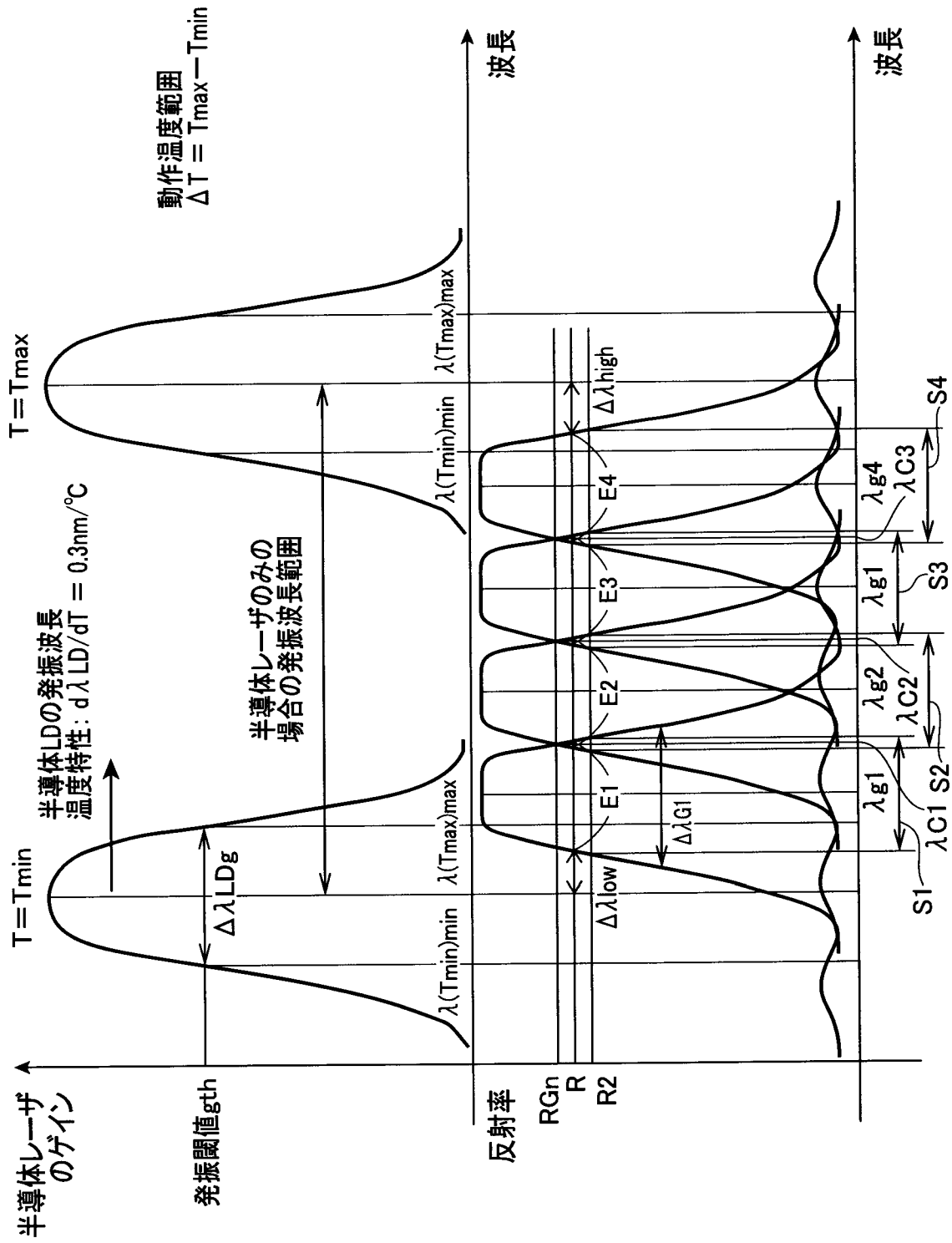
ゲイン条件

$$g_{th} = \frac{1}{\xi_{th}} \left\{ \alpha_a + \frac{1}{L_a} \ln \left(\frac{1}{C_{out}^2 r_1 r_2} \right) \right\}$$

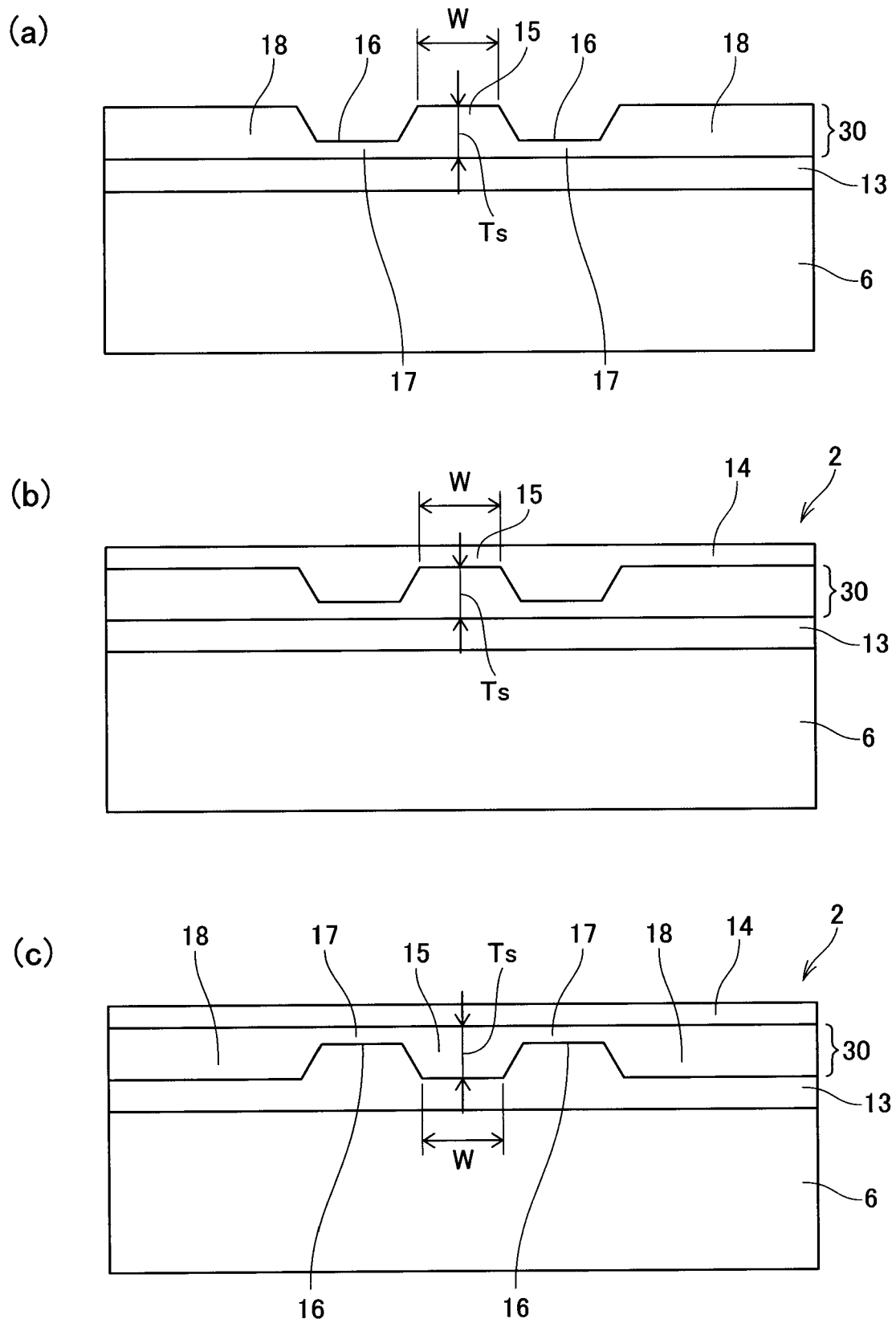
位相条件

$$2\beta_a L_a = 2\pi m$$

[図6]

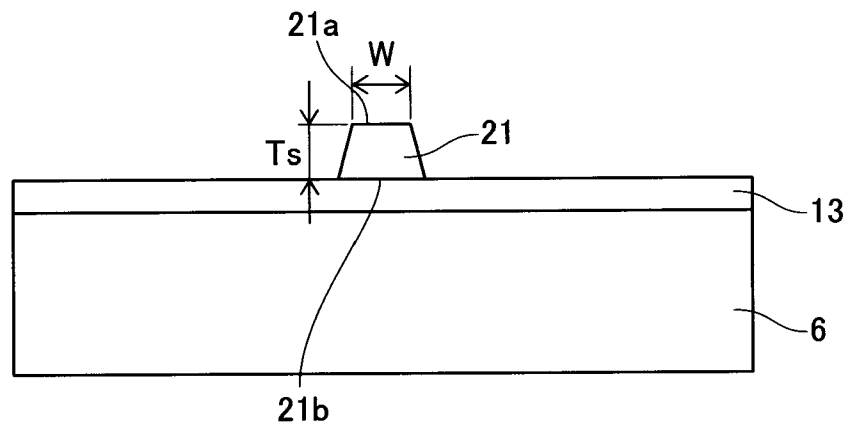


[図7]

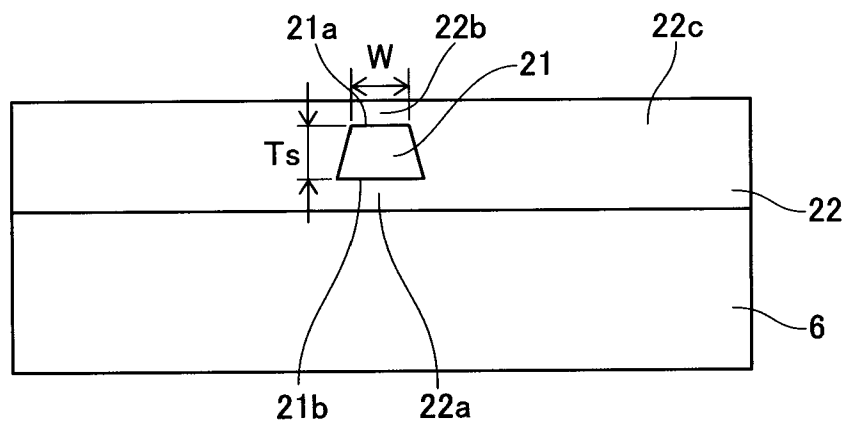


[図8]

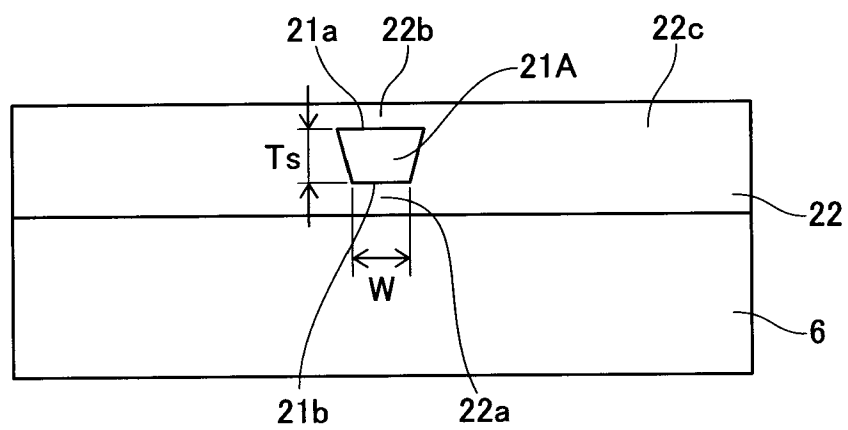
(a)



(b)

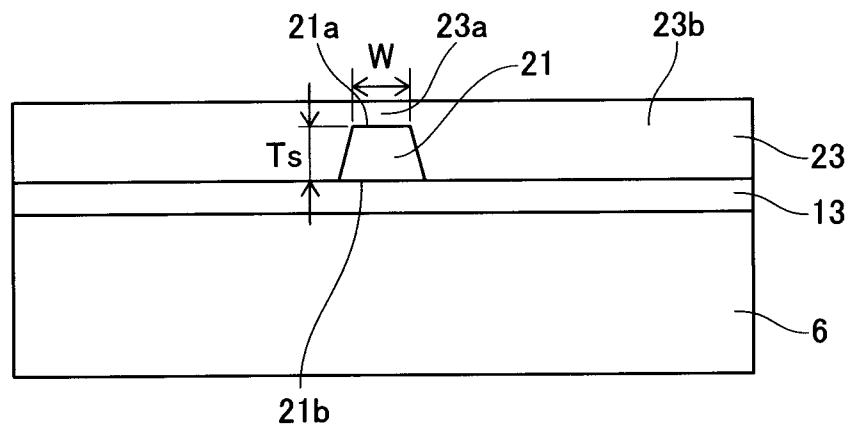


(b)

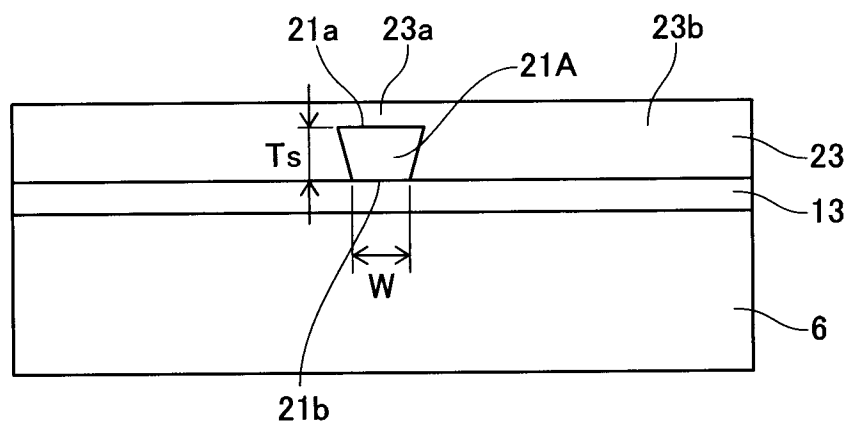


[図9]

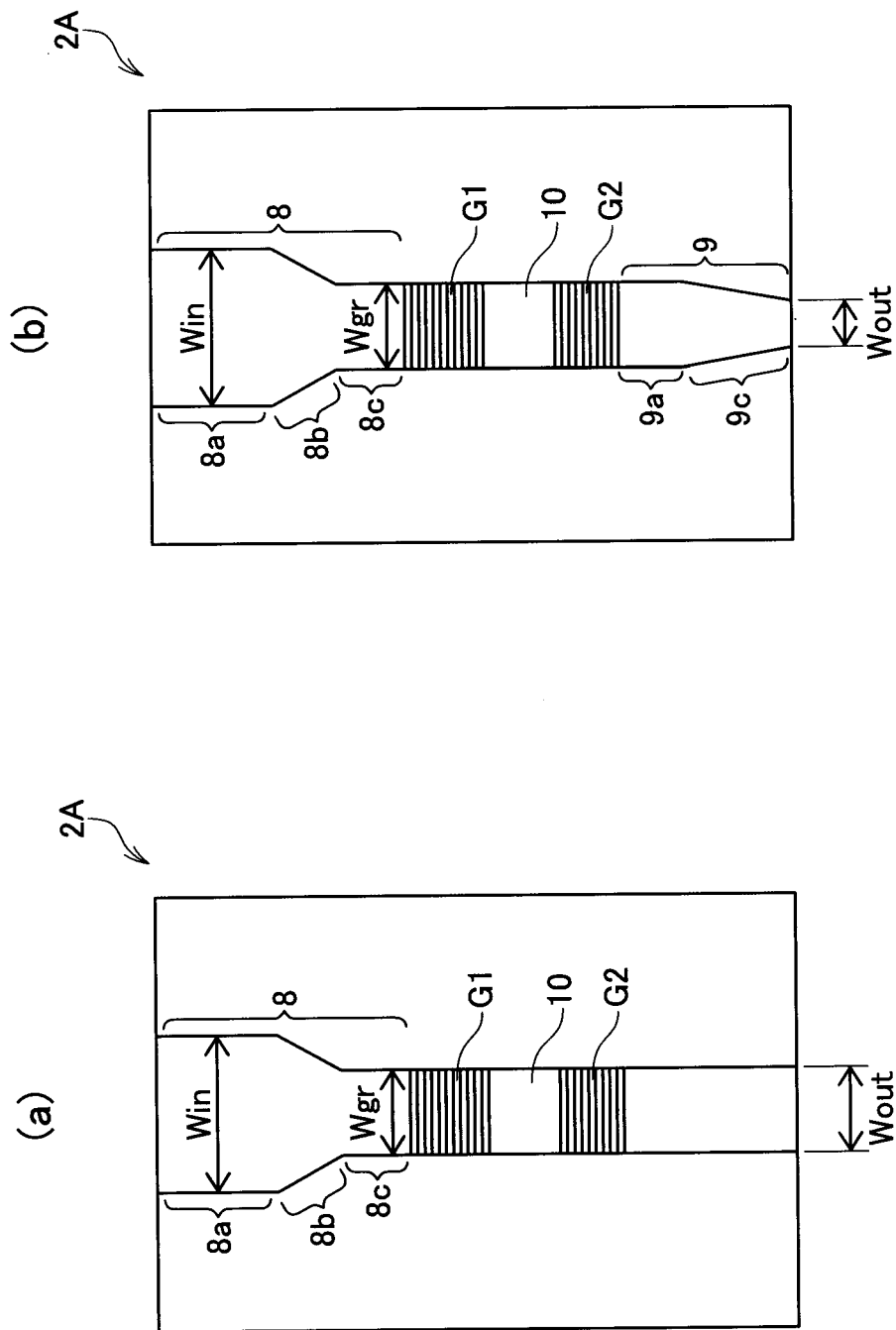
(a)



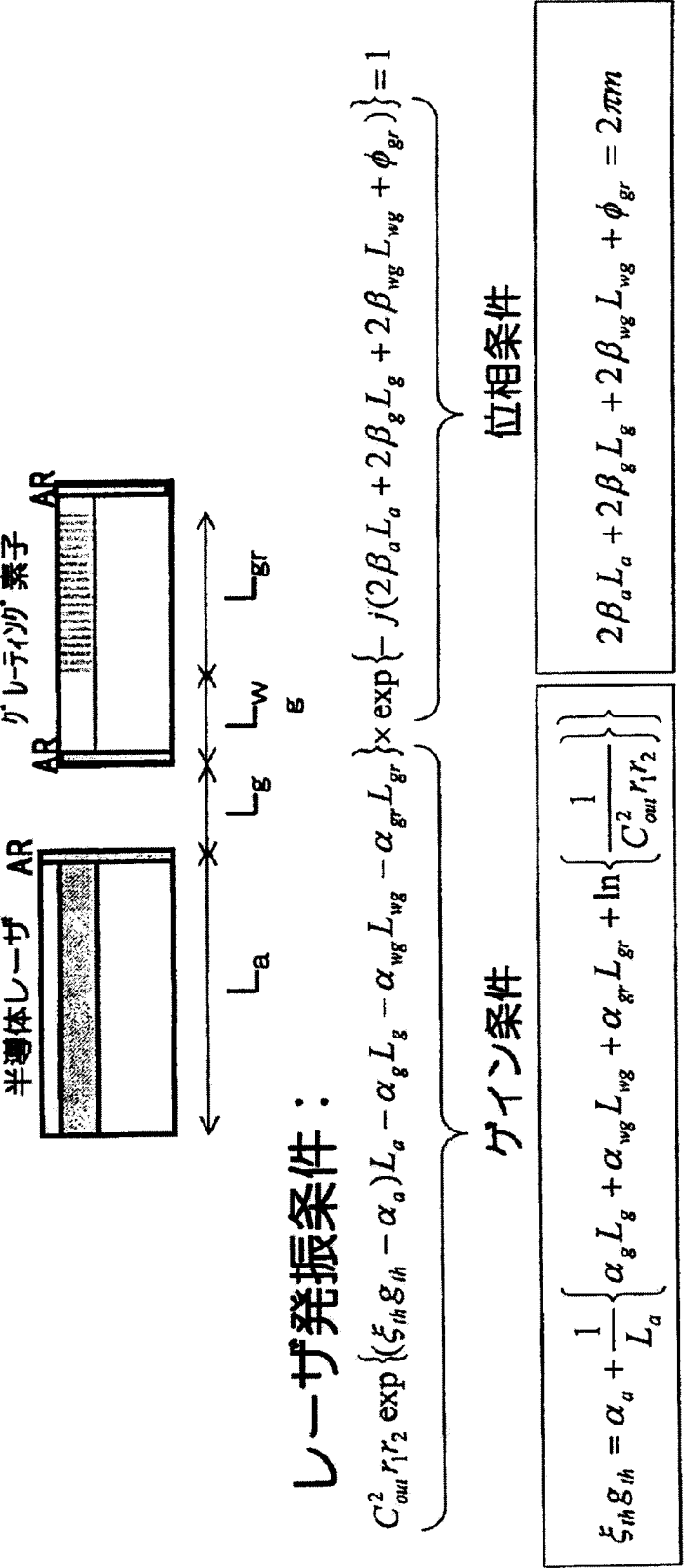
(b)



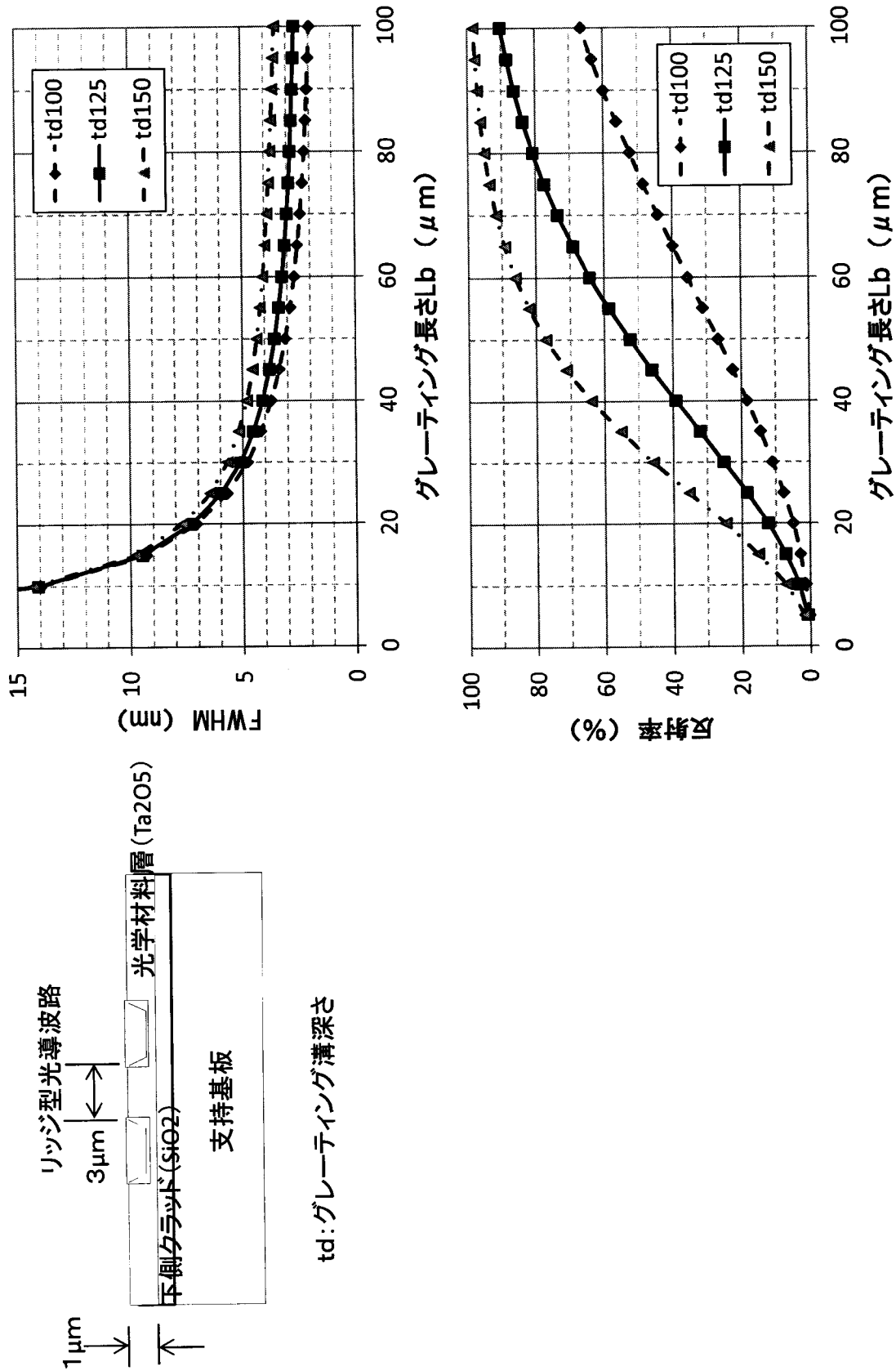
[図10]



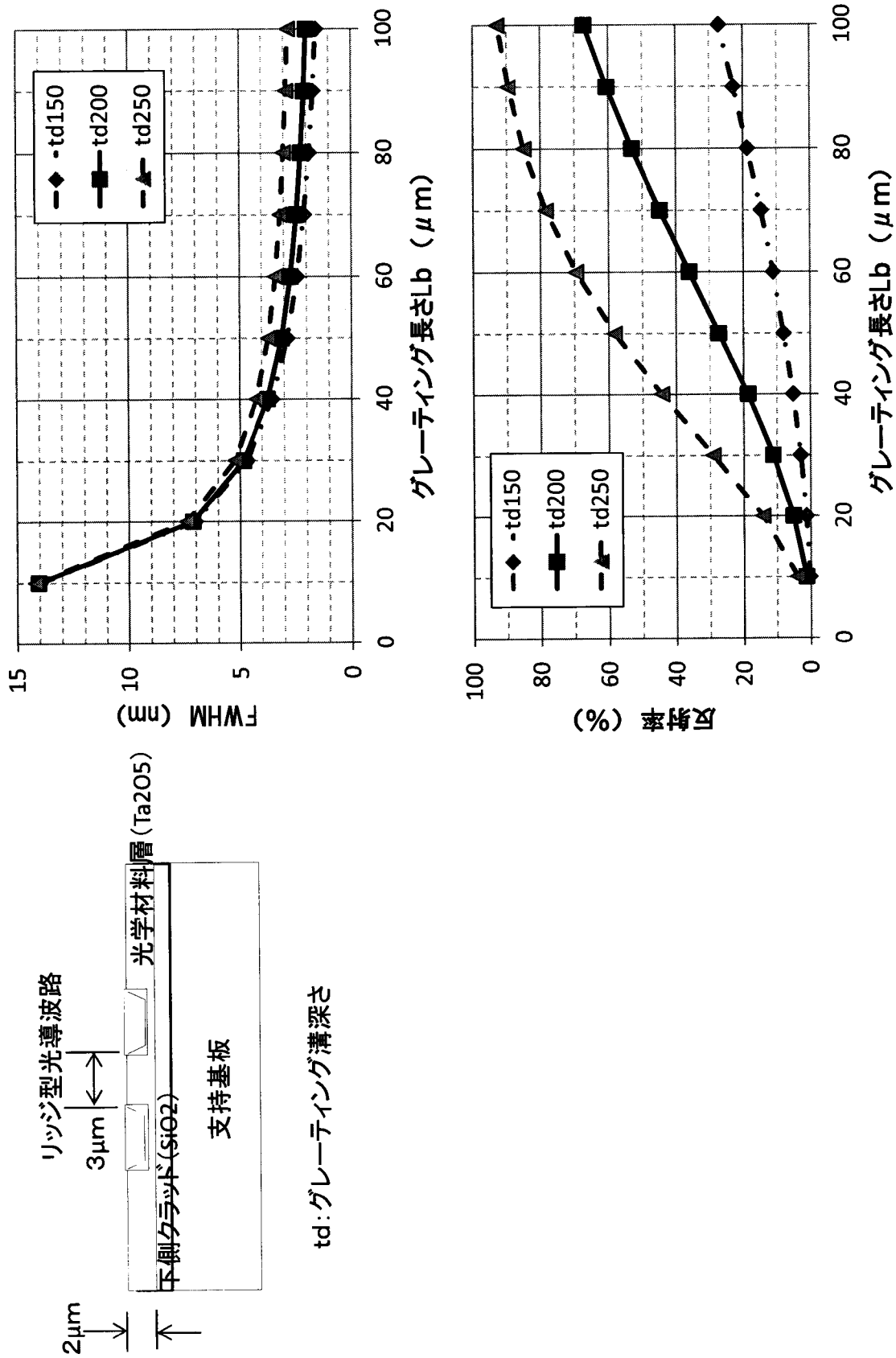
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/066923

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/14(2006.01)i, G02B6/42(2006.01)i, H01S5/068(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, G02B6/10, G02B6/12-6/14, G02B6/26, G02B6/30, G02B6/42

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 10-293234 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 04 November 1998 (04.11.1998), specification, paragraphs [0017] to [0049]; fig. 1 to 9 & US 5993073 A & EP 0860917 A2	1-4, 7 6, 8-10 5
X Y A	JP 2003-69147 A (Lucent Technologies Inc.), 07 March 2003 (07.03.2003), specification, paragraphs [0007] to [0020], [0032]; fig. 1 to 2, 6 & US 2003/0035459 A1 & CN 1396685 A	1-3 6, 8-10 4-5, 7

☒ 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
17 August 2015 (17.08.15)

Date of mailing of the international search report
25 August 2015 (25.08.15)

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/JP2015/066923

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2007-81215 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 29 March 2007 (29.03.2007), specification, paragraphs [0017] to [0026], [0028]; fig. 7 to 9, 11 (Family: none)	1, 5 6, 8-10 2-4, 7
X Y A	WO 2005/031930 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 07 April 2005 (07.04.2005), description, paragraphs [0035] to [0058]; fig. 1 to 11 & JP 4444213 B2 & US 2006/0176922 A1	1, 4, 7 6, 8-10 2-3, 5
Y	JP 2010-171252 A (Fujitsu Ltd.), 05 August 2010 (05.08.2010), specification, paragraphs [0019] to [0145], [0166] to [0190]; fig. 1 to 9, 11 (Family: none)	6, 8-10
Y	JP 10-84168 A (Northern Telecom Ltd.), 31 March 1998 (31.03.1998), specification, paragraph [0043]; fig. 5 & US 5793913 A & US 6158901 A & US 6391214 B1 & EP 0818696 A2	9-10
Y	JP 7-35933 A (NEC Corp.), 07 February 1995 (07.02.1995), specification, paragraph [0019]; fig. 2 (Family: none)	9-10
A	JP 11-40883 A (Ando Electric Co., Ltd.), 12 February 1999 (12.02.1999), specification, paragraphs [0018] to [0030]; fig. 1 to 4 & US 6295306 B1	1-10
A	JP 11-251690 A (Hewlett-Packard Co.), 17 September 1999 (17.09.1999), specification, paragraphs [0005] to [0007], [0016] to [0024]; fig. 2 to 3, 6 & US 6091744 A & EP 0930679 A2	1-10
A	WO 01/22544 A1 (JDS UNIPHASE CORP.), 29 March 2001 (29.03.2001), description, page 7, line 17 to page 11, line 27; fig. 1 to 6 & US 6771687 B1 & EP 1087479 A1	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/066923

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2009/0290613 A1 (Jun ZHENG, Chung-Yung WANG, Hung-Lun CHANG), 26 November 2009 (26.11.2009), specification, paragraphs [0013] to [0034]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/14(2006.01)i, G02B6/42(2006.01)i, H01S5/068(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, G02B6/10, G02B6/12-6/14, G02B6/26, G02B6/30, G02B6/42

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 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 10-293234 A（住友電気工業株式会社）1998. 11. 04, 明細書【0017】－【0049】欄，図1－9 & US 5993073 A & EP 0860917 A2	1-4, 7 6, 8-10 5
X Y A	JP 2003-69147 A（ルーセント テクノロジーズ インコーポレイテ ッド）2003. 03. 07, 明細書【0007】－【0020】，【0032】欄，図1－2, 6 & US 2003/0035459 A1 & CN 1396685 A	1-3 6, 8-10 4-5, 7

☒ 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

1 7 . 0 8 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 5 . 0 8 . 2 0 1 5

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）

百瀬 正之

2 X

4 0 8 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2007-81215 A (日本電信電話株式会社) 2007. 03. 29, 明細書【0017】－【0026】、【0028】欄, 図7－9, 11 (ファミリーなし)	1, 5 6, 8-10 2-4, 7
X Y A	WO 2005/031930 A1 (古河電気工業株式会社) 2005. 04. 07, 明細書【0035】－【0058】欄, 図1－11 & JP 444213 B2 & US 2006/0176922 A1	1, 4, 7 6, 8-10 2-3, 5
Y	JP 2010-171252 A (富士通株式会社) 2010. 08. 05, 明細書【0019】－【0145】、【0166】－【0190】欄, 図1－9, 11 (ファミリーなし)	6, 8-10
Y	JP 10-84168 A (ノーザン・テレコム・リミテッド) 1998. 03. 31, 明細書【0043】欄, 図5 & US 5793913 A & US 6158901 A & US 6391214 B1 & EP 0818696 A2	9-10
Y	JP 7-35933 A (日本電気株式会社) 1995. 02. 07, 明細書【0019】欄, 図2 (ファミリーなし)	9-10
A	JP 11-40883 A (安藤電気株式会社) 1999. 02. 12, 明細書【0018】－【0030】欄, 図1－4 & US 6295306 B1	1-10
A	JP 11-251690 A (ヒューレット・パカード・カンパニー) 1999. 09. 17, 明細書【0005】－【0007】、【0016】－【0024】欄, 図2－3, 6 & US 6091744 A & EP 0930679 A2	1-10
A	WO 01/22544 A1 (JDS UNIPHASE CORPORATION) 2001. 03. 29, 明細書第7ページ第17行－第11ページ第27行, Fig. 1－Fig. 6 & US 6771687 B1 & EP 1087479 A1	1-10
A	US 2009/0290613 A1 (Jun ZHENG, Chung-Yung WANG, Hung-Lun CHANG) 2009. 11. 26, 明細書【0013】－【0034】欄, FIG. 1－FIG. 4 (ファミリーなし)	1-10