(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)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/190385 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 5/14 (2006.01) *H01S 5/022* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/066177

(22) 国際出願日: 2015 年 6 月 4 日(04.06.2015)

(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 2014-121443 2014 年 6 月 12 日(12.06.2014) 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５６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５６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５６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).

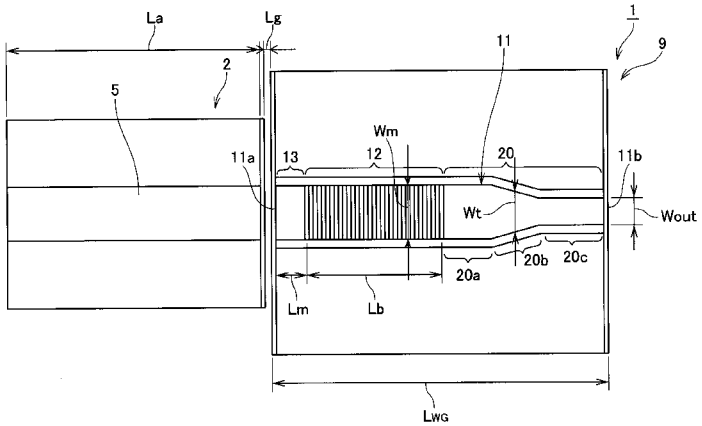
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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-EMITTING DEVICE

(54) 発明の名称 : 外部共振器型発光装置



(57) **Abstract**: [Problem] To suppress, in an external resonator-type laser derived from a grating element, excitation of a higher-order mode between a Bragg grating and a light-emitting surface when heat stress is applied to the grating element. [Solution] An external resonator-type light-emitting device (1) is provided with a semiconductor diode laser light source (2) and a grating element (9) composed of the light source and an external resonator. The light source (2) is provided with an active layer (5) for causing a semiconductor diode laser beam to oscillate. The grating element (9) is provided with: an optical waveguide (11) having an incident-light surface (11a) on which a semiconductor diode laser beam impinges and a light-emitting surface (11b) from which light of a desired wavelength is emitted, the optical waveguide (11) describing a convex shape in cross-section; a Bragg grating (12) comprising projections and recesses formed in the optical waveguide; and an emission-side transport part (20) provided between the Bragg grating (12) and the light-emitting surface (11b). The Bragg grating causes the laser to oscillate in a reflection wavelength region, and a difference exists between the width W_m of the optical waveguide on the Bragg grating side and the width W_{out} of the optical waveguide on the light-emitting surface side.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/190385 A1

【課題】グレーティング素子による外部共振器型のレーザにおいて、グレーティング素子に熱応力が加わったときに、ブラッググレーティングと出射面との間で高次モードが励振されるのを抑制する。【解決手段】外部共振器型発光装置１は、半導体レーザ光源２、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９を備える。光源２が、半導体レーザ光を発振する活性層５を備える。グレーティング素子９が、半導体レーザ光が入射する入射面１１ａと所望波長の出射光を出射する出射面１１ｂを有する光導波路１１であって、横断面が凸図形をなしている光導波路１１、光導波路内に形成された凹凸からなるブラッググレーティング１２、およびブラッググレーティング１２と出射面１１ｂとの間に設けられた出射側伝搬部２０を備える。ブラッググレーティングによる反射波長域でレーザ発振し、ブラッググレーティングにおける光導波路の幅W_mと出射面における光導波路W_{out}の幅とが異なる。

明　細　書

発明の名称 ： 外部共振器型発光装置

技術分野

[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（ＦＰ）型が利用されている。しかしながら、このＦＰ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、またファイバーグレーティング（FBG）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] ＤＢＲ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。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1：電子情報通信学会論文誌 C－II 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

[0009] 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：WO2013/034813

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：特願２０１３－１２０９９９

特許文献8：特願2014-004240

特許文献9：特開２０１１－７５９１７

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 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δλｓは、半導体の活性層領域の屈折率変化△ｎa、活性層の長さLa、FBG領域の屈折率変化△ｎf、長さLf、それぞれの温度変化δTa、δTfに対して、定在波条件より下式により表される。

[0011] [数1]

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

[0012] ここで、λ0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δλGは、下式で表される。

[0013]

[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△λが波長変化量δλsとグレーティング反射波長の変化量δλG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△λは、近似的に下式となる。

[0016] [数4]

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

[0017] 数式３と数式４より、数式５が成立する。

[0018]

[数5]

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

[0019] モードホップを抑制するためには、△Tall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（△ｎａ／ｎａ＝△ｎｆ／ｎｆ）、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を示している。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。

[0020] 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0.3nm／℃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。

[0021] 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。

[0022] 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で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。

[0023] 本発明者は、光導波路型グレーティング素子を用いた外部共振器型のレーザ構造を、特許文献７において開示した。この出願では、支持基板の上に光学材料層を形成することにより光の閉じ込めを強くし、凹凸溝で形成される屈折率差を大きくしている。これにより短い距離にて所望のブラッグ反射率を得ることができ、共振器長の短い外部共振器型レーザを実現でき、グレーティング素子の反射特性の半値全幅$\Delta\lambda_G$が特定の式を満足する場合に、温度コントロールなしで波長安定性が高くパワー変動のないレーザ発振が可能としている。

[0024] 本発明者が検討を進めたところ、以下の問題点が生ずることが判明してきた。すなわち、環境温度が変化してグレーティング素子に熱応力が加わったときに、ブラッググレーティングから出射面の間で高次モードが励振されてしまうことがあった。

[0025] これは、この構造が支持基板、光学材料層、バッファ層が異なる熱膨張係数、弾性率であることから、反りによる変形が起因していると考えられる。

[0026] これに対して本発明者は、特許文献８において出射面における光導波路の幅を、ブラッググレーティングにおける光導波路の幅に対して変更することによって、高次モードの励振を抑制することを開示した。

[0027] しかし、特許文献７、８の実施例記載のリッジ型導波路においては、特許文献９記載のように光導波モードから基板モード（スラブ導波モード）への結合がしやすく放射しやすい。このため出射面における光導波路の幅を狭くした場合に閉じ込めが弱くなり基板方向に光電界が漏れ出し、基板モードへの結合が顕著になり、光伝搬損失が大きくなるという問題が生じた。

[0028] 本発明の課題は、グレーティング素子による外部共振器型のレーザにおいて、グレーティング素子に熱応力が加わったときに、ブラッググレーティングと出射面との間で高次モードが励振されるのを抑制することである。

課題を解決するための手段

[0029] 本発明は、半導体レーザ光源、およびこの半導体レーザ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、

前記半導体レーザ光源が、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であって、横断面が凸図形をなしている光導波路、前記光導波路内に形成された凹凸からなるブラッググレーティング、および前記ブラッググレーティングと前記出射面との間に設けられた出射側伝搬部を備えており、前記ブラッググレーティングによる反射波長域でレーザ発振し、前記ブラッググレーティングにおける前記光導波路の幅と前記出射面における前記光導波路の幅とが異なることを特徴とする。

発明の効果

[0030] 本発明者は、グレーティング素子に熱応力が加わったときに、ブラッググレーティングと出射面との間で高次モードが励振される理由を検討した。この結果、素子の出射面付近において、レーザのニアフィールドパターンの変形が大きくなっており、これが高次モードの励振や出射光の結合効率の低下をもたらしていることを見いだした。

[0031] すなわち、ブラッググレーティングにおける光導波路の幅は、半導体レーザ素子との結合効率を高めるために、レーザのニアフィールドパターンと同等になるように設定する。半導体レーザのニアフィールドの水平方向の大きさは、例えば２μｍから７μｍになっていることがある。この場合、グレーティング素子の光導波路の幅は２μｍから７μｍに設定している。

[0032] しかし、例えば、光学材料からなる薄層中に光導波路を形成した場合には、光学材料からなる薄層の厚みが例えば０．５μｍから３μｍと薄い場合に、特許文献８と同じようにマルチモード導波路化し、さらにニアフィールドパターンの大きさが水平方向と垂直方向で異なり、扁平化する問題が生じる。

[0033] ブラッググレーティングにおける光導波路がマルチモード化している場合、基本モードと高次モードでは伝搬定数が異なるため、異なる波長でブラッグ反射が起こることになる。しかし、レーザのゲイン特性とグレーティングの反射特性を合わせることにより、基本モードにおける反射波長帯あるいは高次モードにおける反射波長帯で、選択的にレーザ発振が可能となる。つまり、基本モードの反射波長帯にゲインカーブを合わせることにより、基本モードでのレーザ発振が可能となる。

[0034] この場合には、環境温度が変化してグレーティング素子に熱応力が加わると、ブラッググレーティングと出射面の間で高次モードが励振されてしまうことがわかった。グレーティング部では凹凸によって光電界分布（横モード形状）が乱される。通常、出射部がマルチモードであっても、基本モードが励振される。しかし、環境温度変化により導波路部に収縮や曲げ応力が加わると、高次モードが励振されて、マルチモード化する。また端面からの反射がある場合にも、このような現象がおこる。この現象はニアフィールドパターンの水平方向と垂直方向の大きさの比（扁平率）が大きいほど顕著である。

[0035] 本発明者は、こうした発見に基づき、出射面における光導波路の幅を、ブラッググレーティングにおける光導波路の幅に対して変更することによって、出射面におけるニアフィールドパターンの変形を抑制し、これによって高次モードの励振を抑制することができることを見いだした。更に、出射面における光導波路の幅を狭くすることによる光伝搬損失を低減することも可能である。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]外部共振器型発光装置１の模式図である。

[図2]外部共振器型発光装置１を模式的に示す平面図である。

[図3]他の外部共振器型発光装置１Ａの模式図である。

[図4]グレーティング素子９を模式的に示す斜視図である。

[図5]（ａ）、（ｂ）は、それぞれ、グレーティング素子の横断面形状を示す

模式図である。

[図6]（ａ）、（ｂ）、（ｃ）は、それぞれ、グレーティング素子の横断面形状を示す模式図である。

[図7]（ａ）、（ｂ）は、それぞれ、グレーティング素子の横断面形状を示す模式図である。

[図8]従来例によるモードホップの形態を説明する図である。

[図9]従来例によるモードホップの形態を説明する図である。

[図10]好適な実施形態における、離散的な位相条件例を示す。

[図11]レーザ発振条件を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0037] 図１に模式的に示す外部共振器型発光装置１は、半導体レーザ光を発振する光源２と、グレーティング素子９とを備えている。光源２とグレーティング素子９とは、共通基板３上にマウントされている。

[0038] 光源２は、半導体レーザ光を発振する活性層５を備えている。本実施形態では、活性層５は基体４に設けられている。基体４の外側端面には反射膜６が設けられており、活性層５のグレーティング素子側の端面には無反射層７Ａが形成されている。

[0039] 図１、図４に示すように、グレーティング素子９には、半導体レーザ光Ａが入射する入射面１１ａと所望波長の出射光Ｂを出射する出射面１１ｂを有する光導波路１１が設けられている。Ｃは反射光である。光導波路１１内には、ブラッググレーティング１２が形成されている。光導波路１１の入射面１１ａとブラッググレーティング１２との間には、回折格子のない入射側伝搬部１３が設けられており、入射側伝搬部１３が活性層５と間隙１４を介して対向している。７Ｂは、光導波路１１の入射面側に設けられた無反射膜であり、７Ｃは、光導波路１１の出射面側に設けられた無反射膜である。

[0040] 好適な実施形態においては、グレーティング反射率が、活性層の出射側端面における反射率よりも大きく、光導波路の入射側端面における反射率よりも大きく、かつ光導波路の出射側端面における反射率よりも大きい。この観

点からは、活性層の出射側端面における反射率、光導波路の入射側端面における反射率、光導波路の出射側端面における反射率は、それぞれ、０．１％以下が好ましい。

[0041] 無反射層７Ａ、７Ｂ、７Ｃ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。

[0042] 本発明では、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。

[0043] 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、上辺と下辺と一対の側面を有する四角形が好ましく、台形が特に好ましい。

[0044] 好適な実施形態においては、図５（ａ）に示すように、基板１０上に接着層３０、下側バッファ層１６を介して、光学材料よりなるコアからなる光導波路１１が形成されている。この光導波路１１の下側には、クラッドとして機能する下側バッファ層が存在している。光導波路１１の側面および上面には、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１１を被覆している。光導波路１１の横断面形状は台形であり、上面１１ａが下面１１ｂよりも狭い。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。

[0045] また、図５（ｂ）に示す素子９Ａでは、基板１０上に接着層３０、下側バッファ層１６を介して、光学材料よりなるコアからなる光導波路１１Ａが形成されている。光導波路１１Ａ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。

[0046] また、図６（ａ）に示す素子９Ｂでは、基板１０上に下側バッファ層１６を介して、光学材料よりなるコアからなる光導波路１１が形成されており、下側バッファ層と別体の接着層がない。また、光導波路１１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１１の側面および上面は雰囲気に露出しており、雰囲気がクラッドとして機能する。

[0047] 図６（ｂ）に示す素子９Ｃでは、基板１０上にバッファ層２２内か設けられており、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１１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図２２ａを有する。

[0048] 図６（ｃ）に示す素子９Ｄでは、基板１０上にバッファ層２２内か設けられており、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１１Ａ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図２２ａを有する。

[0049] 図７（ａ）に示す素子９Ｅでは、基板１０上に下側バッファ層１６を介して、光学材料よりなるコアからなる光導波路１１が形成されている。光導波路１１の側面および上面には、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１１を被覆している。本例では、下側バッファ層１６とは別体の接着層を設けていない。

[0050] 図７（ｂ）に示す素子９Ｆでは、基板１０上に下側バッファ層１６を介して、光学材料よりなるコアからなる光導波路１１Ａが形成されている。光導波路１１Ａの側面および上面には、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１１Ａを被覆している。本例では、下側バッファ層１６とは別体の接着層を設けていない。

[0051] 本発明においては、ブラッググレーティングは、光導波路の上面１１ａ側

に形成していてもよく、光導波路の下面１１ｂ側に形成していてもよい。

[0052] 空気層が直接グレーティングに接する場合には、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。また、上側バッファ層と下側バッファ層とは、同じ材料であってもよく、異なる材料であってもよい。

[0053] バッファ層は、クラッドとして機能することができ、この観点ではバッファ層は、コア部の材料よりも屈折率が小さいことが好ましい。このためコア部とクラッド部の屈折率差は０．２以上が好ましく、さらに０．４以上が好ましい。クラッドを形成する好適な材料として、酸化ケイ素、酸化アルミナ、酸化タンタル、酸化チタン、酸化にオブが例示できる。

[0054] 図３は、他の実施形態に係る装置１Ａを示す。本装置１Ａの大部分は図１の装置１と同様のものである。光源２は、レーザ光を発振する活性層５を備えているが、活性層５のグレーティング素子９側の端面に無反射層７Ａを設けず、その代わりに反射膜２５が形成されている。これは通常の半導体レーザの形態である。

[0055] 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５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。

[0056] 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５の端面における反射率よりも大きくする方が好ましい。これによりもと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。

[0057] ここで、本実施形態においては、特に図２、図４に示すように、入射面１１ａとブラッググレーティング１２との間に入射側伝搬部１３が設けられており、また、ブラッググレーティング１２と出射面１１ｂとの間に出射側伝

搬部２０が設けられている。本例では、出射側伝搬部２０は、ブラッググレーティング１２の末端から連続する連結部２０ａ、光導波路の出射面１１ｂに連続する出射部２０ｃ、および連結部と出射部との間に設けられたテーパ部２０ｂを備えている。

[0058] 本例では、出射面１１ｂにおける光導波路の幅W_{out}がブラッググレーティング１２における光導波路の幅W_mよりも小さくなっている。また、出射側伝搬部２０が、光導波路の幅W_tがブラッググレーティング側から出射面側へと向かって小さくなるテーパ部２０ｂを含む。なお、本例では、連結部２０ａにおける光導波路の幅W_mが一定であり、出射部における光導波路の幅W_{out}も一定である。また、W_tは、連結部２０ａとの境界で最大値W_mとなり、出射部２０ｃとの境界で最小値W_{out}となる。

[0059] なお、光導波路の幅W_m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Ｗｍ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_mは下面の幅である（図５～図７参照）。なお、これはW_{out}、W_tなどの場合も同様である。

[0060] ブラッググレーティングにおける光導波路の幅W_mは、半導体レーザ素子２との結合効率を高めるために、レーザのニアフィールドパターンと同等になるように設定する。半導体レーザのニアフィールドの水平方向の大きさは、例えば２μｍから７μｍになっていることがある。この場合、光導波路の幅Ｗｍは２μｍから７μｍに設定している。

このことから本願の光導波路構造においては、光導波路の幅W_mとニアフィールドの水平方向の大きさはほぼ同じ値になる。

[0061] ブラッググレーティングにおける光導波路がマルチモード化している場合、基本モードと高次モードでは伝搬定数が異なるため、異なる波長でブラッグ反射が起こることになる。しかし、基本モードの反射波長帯にゲインカーブを合わせることにより、基本モードでのレーザ発振が可能となる。しかし、この場合には、環境温度が変化してグレーティング素子９に熱応力が加わ

ると、ブラッググレーティング１２と出射面１１ｂの間の出射側伝搬部内で高次モードが励振されてしまうことがわかった。この現象はニアフィールドの水平方向と垂直方向の大きさの比（扁平率）が大きいほど顕著である。

[0062] ここで、本実施形態では、出射面における光導波路の幅W_{out}をW_mよりも小さくすることで、出射面におけるニアフィールドパターンの偏平化を抑制することができ、これによって高次モードの励振を抑制できる。

[0063] 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。

[0064] 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）

[0065] 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光学材料層を物理的に加工し、成形することによって得られる。

[0066] 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などの金属膜を光学材料層上に成膜し、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。

[0067] 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（Ｉ

ｎ）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、ドープ成分として、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。

[0068] 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。

[0069] また、光学材料層は、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。

[0070] 支持基体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。

[0071] 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。

[0072] 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、図５の例では接着固定であるが、直接接合でもよい。

[0073] 本発明で採用する光導波路の場合は、光導波路を構成するコアとそれを包囲するクラッドとが、材料的に分離した構造になっており、コア部の幅を変えることよりニアフィールドの形状を変えることができる。さらに基板モード（スラブモード）への結合はないのでコア部の幅を狭くすることによる光伝搬損失の低減を抑制することが可能である。

[0074] しかし、本願導波路はコアとクラッドの屈折率差が大きいことから、光閉じ込めが強い構造となるためにシングルモード化するための導波路寸法が微細になる。

[0075] 出射側の伝播光をシングルモード化するという観点からは、出射面における光導波路の幅W_{out}は、３．５μｍ以下が好ましく、更にニアフィールドパターンの扁平化を抑制するという観点からは、出射面における光導波路の幅W_{out}は、２μｍ以下が更に好ましく、１μｍ以下が最も好ましい。

[0076] 一方、出射側伝搬部における光の伝播損失の低下を抑制するという観点からは、出射面における光導波路の幅W_{out}は、０．１μｍ以上が好ましく、０．５μｍ以上が更に好ましい。

また、半導体レーザとの結合の観点からは、ブラッググレーティングにおける光導波路の幅W_mは、２μｍ以上が好ましく、２．５μｍ以上が更に好ましい。また、同様の理由から、ブラッググレーティングにおける光導波路の幅W_mは、７μｍ以下が好ましく、６．５μｍ以下が更に好ましい。

[0077] 本発明の効果の観点からは、W_{out}とW_mとの比W_{out}/W_mは、１／５０以上が好ましく、さらに１／１０以上が好ましい。また、２／３以下が好ましく、さらに１／２以下が好ましい。

[0078] また、上述の実施形態では、出射側伝搬部２０に、テーパ部２０ｂ、幅一定の連結部２０ａおよび幅一定の出射部２０ｃを設けた。しかし、出射側伝搬部２０は、テーパ部２０ｂおよび幅一定の連結部２０ａの組み合わせからなっていてよく、この場合にはテーパ部２０ｂの出射側末端に出射面が位置する。あるいは、出射側伝搬部２０は、テーパ部２０ｂおよび幅一定の出射部２０ｃからなっていてよく、この場合にはブラッググレーティング１２の出射側末端とテーパ部２０ｂの入射側末端とが連続している。

[0079] 好適な実施形態においては、グレーティング素子の入射面におけるニアフィールドの水平方向の幅が、グレーティング素子の出射面におけるニアフィールドの水平方向の幅よりも大きい。あるいは、グレーティング素子の入射面における光導波路の幅が、グレーティング素子の出射面における光導波路の幅よりも大きい。これによって、光源との結合効率を高く保持しつつ、前述した出射側伝搬部におけるマルチモード励振を抑制できる。

こうした観点からは、（前記入射面におけるニアフィールドの水平方向の

幅／出射面におけるニアフィールドの水平方向の幅）を１．３以上とすることが好ましく、１．５以上とすることが更に好ましい。また、これが大きくなり過ぎると、光導波路における幅の変化が大きくなって設計が難しくなるので、（前記入射面におけるニアフィールドの水平方向の幅／出射面におけるニアフィールドの水平方向の幅）を１０以下とすることが好ましく、５以下とすることが更に好ましい。

レーザ光のニアフィルードの水平方向の幅は、以下のようにして測定する。

レーザ光の光強度分布を測定して、その強度分布が最大値（通常はコアの中心部分に相当）に対して$1/e^2$（eは自然対数の底：2.71828）になるところの幅のことを、一般的に、ニアフィルードの水平方向の幅と定義する。レーザ光の場合、モードフィールドはレーザ素子の水平方向と垂直方向で大きさが異なるために、それぞれ定義する。光ファイバのように同心円である場合には直径として定義される。

光強度分布の測定は、一般的に近赤外カメラを利用したビームプロファイル測定やナイフエッジによる光強度測定により、レーザ光のスポットの光強度分布を得ることができる。

[0080] 以下、本発明装置の好適な実施形態について更に述べる。

グレーティング素子に関して、一般的に、ファイバグレーティングを使用する場合に、石英は屈折率の温度係数が小さいので$d\lambda_G/dT$が小さく、$|d\lambda_G/dT - d\lambda_{TM}/dT|$が大きくなる。このためモードホップがおこる温度域ΔTが小さくなってしまう傾向がある。

[0081] このため、好適な実施形態においては、グレーティングが形成される光導波路の屈折率が１．７以上の材料を使用する。これにより屈折率の温度係数を大きくでき、$d\lambda_G/dT$が大きくできるので、$|d\lambda_G/dT - d\lambda_{TM}/dT|$を小さくでき、モードホップがおこる温度域ΔTを大きくできる。

[0082] そして、好適な実施形態においては、これを前提として、当業者の常識に反して、ブラッグ反射率のピークにおける半値全幅$\Delta\lambda_G$を大きめに設定する

。その上で、モードホップが起こりにくいようにするために、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、共振器長を短くする必要があるので、ブラッググレーティングの長さL_bを３００μｍ以下と短くした。

[0083] その上で、ブラッググレーティングを構成する凹凸の深さt_dを２０ｎｍ以上、２５０ｎｍ以下の範囲内で調節することによって、$\Delta\lambda_G$を０．８ｎｍ以上、６ｎｍ以下にすることができ、この$\Delta\lambda_G$の範囲内に縦モードの数を２～５に調節できる。すなわち、位相条件を満足する波長は離散的であり、$\Delta\lambda_G$の中に縦モードの数が２以上、５以下存在しているときには、$\Delta\lambda_G$の中でモードホップを繰り返し、この外にはずれることはない。このため大きなモードホップが起きないので、波長安定性を高くし、光パワー変動を抑制できる。

[0084] 以下、図１１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。

[0085] 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。

[0086] [数6]

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

（２－１）式

[0087] ゲイン条件は、（2-1）式より下式となる。

[数7]

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

（2-2）式

[0088] ただし、αa、αg、αwg、αgr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_m 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、r1、r2は、ミラー反射率（r2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、$\zeta_t g_{th}$は、レーザ媒体のゲイン閾値であり、φ1は、レーザ側反射ミラーによる位相変化量であり、φ2は、グレーティング部での位相変化量である。

[0089] （2-2）式より、レーザ媒体のゲイン$\zeta_t g_{th}$（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、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。

[0090] 一方、位相条件は（2-1）式から、下式のようになる。ただし、φ1については零となる。

[数8]

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

（2-3）式

[0091] 外部共振器型レーザは、外部共振器として、石英系ガラス導波路、FBGを用いたものが製品化されている。従来の設計コンセプトは、図８と図９に示すように、グレーティングの反射特性は$\Delta\lambda_G$=0.2nm程度、反射率10%となっている。このことから、グレーティング部の長さは１ｍｍとなっている。一方、位相条件については、満足する波長は離散的になり、$\Delta\lambda_G$内に、(2-3)式が2～3点あるように設計されている。このため、レーザ媒体の活性層長さが長いものが必要になり、１ｍｍ以上のものが使用されている。

[0092] ガラス導波路やFBGの場合、λgの温度依存性は非常に小さく、$d\lambda_G/dT$＝0.01nm/℃程度となる。このことから、外部共振器型レーザは、波長安定性が高いという特徴をもつ。

[0093] しかし、位相条件を満足する波長の温度依存性は、これに比して$d\lambda_s/dT$＝0.05nm/℃と大きく、その差は0.04nm/℃となる。

[0094] 一般的に、モードホップが起こる温度T_{mh}は、非特許文献１より下式のように考えることができる（Ta=Tfとして考える）。

ΔG_{TM}は、外部共振器レーザの位相条件を満足する波長間隔（縦モード間隔）である。

[0095]

[数9]

$$T_{mh} = \frac{\Delta G_{TM}}{\left| \frac{d\lambda_G}{dT} - \frac{d\lambda_{TM}}{dT} \right|} \qquad (2\text{-}4) \text{ 式}$$

[0096] これより従来の場合、T_{mh}は5℃程度となる。このためモードホップが起こりやすい。したがって、モードホップが起こってしまうと、グレーティングの反射特性に基づきパワーが変動し、５％以上変動することになる。

[0097] 以上から、実動作において、従来のガラス導波路やFBGを利用した外部共振器型レーザは、ペルチェ素子を利用して温度制御を行っていた。

[0098] これに対し、本実施形態では、前提条件として(2-4)式の分母が小さくなるグレーティング素子を使用するものである。(2-4)式の分母は、0.03nm/℃以下にすることが好ましく、具体的な光学材料としては、ガリウム砒素（GaAs）、ニオブ酸リチウム（LN）、タンタル酸リチウム（LT）、酸化タンタル（Ta_2O_5）、酸化亜鉛（ZnO）、酸化アルミナ（Al_2O_3）、酸化チタン（TiO_2）が好ましい。

[0099] 位相条件を満足する波長は、$\Delta\lambda_G$内に５点以下存在していれば、モードホップが起こったとしても、安定なレーザ発振条件で動作が可能であることがわかった。

[0100] すなわち、本実施形態では、例えば、ニオブ酸リチウムのｚ軸の偏光を使用する場合に温度変化に対して、発振波長はグレーティングの温度特性に基づき0.１nm／℃で変化するが、モードホップは起こしてもパワー変動が起こりにくくすることが可能である。本願構造は、$\Delta\lambda_G$を大きくするためにグレーティング長L_bは例えば100μｍとし、ΔG_{TM}を大きくするためにL_aは例えば250μｍとしている。

[0101] なお、特許文献６との相違についても補足する。

本願は、グレーティング波長の温度係数と半導体のゲインカーブの温度係数を近づけることを前提としている。このことから屈折率が１．７以上の材料を使用することとしている。さらにグレーティングの溝深さt_dを２０ｎｍ以上、２５０ｎｍ以上とし、反射率を３％以上、６０％以下で、かつその半値全幅$\Delta\lambda_G$を０．８ｎｍ以上、２５０ｎｍ以下としている。これらにより共振器構造をコンパクトにでき、かつ付加するものをなくして温度無依存性が実現できる。特許文献６では、各パラメータは以下のように記載されており、いずれも従来技術の範疇となっている。

$\Delta\lambda_G$＝0.4nm

縦モード間隔ΔG_{TM}＝0.2nm

グレーティング長L_b＝3mm

LD活性層長さL_a＝600μｍ

伝搬部の長さ＝1.5mm

[0102] 以下各条件について更に具体的に述べる。

０．８ｎｍ≦$\Delta\lambda_G$≦６．０ｎｍ・・・（１）

１０μｍ≦L_b≦３００μｍ ・・・（２）

２０ｎｍ≦t_d≦２５０ｎｍ ・・・（３）

n_b≧１．７ ・・・（４）

[0103] 式（４）において、光導波路を構成する材質の屈折率n_bは１．７以上とする。

従来は石英などの、より屈折率の低い材料が一般的であったが、本発明の思想では、ブラッググレーティングを構成する材質の屈折率を高くする。この理由は、屈折率が大きい材料は屈折率の温度変化が大きいからであり、（2-4）式のT_{mh}を大きくすることができ、さらに前述のようにグレーティングの温度係数$d\lambda_G/dT$を大きくできるからである。この観点からは、n_bは１．８以上であることが好ましく、１．９以上であることが更に好ましい。また、n_bの上限は特にないが、グレーティングピッチが小さくなりすぎて形成が困難

になることから４以下が好ましい。

[0104] ブラッグ反射率のピークにおける半値全幅$\Delta\lambda_G$を０．８ｎｍ以上とする（式１）。λ_Gはブラッグ波長である。すなわち、図８、図９に示すように、横軸にブラッググレーティングによる反射波長をとり、縦軸に反射率をとったとき、反射率が最大となる波長をブラッグ波長とする。またブラッグ波長を中心とするピークにおいて、反射率がピークの半分になる二つの波長の差を半値全幅$\Delta\lambda_G$とする。

[0105] ブラッグ反射率のピークにおける半値全幅$\Delta\lambda_G$を０．８ｎｍ以上とする（式（１））。これは、反射率ピークをブロードにするためである。この観点からは、半値全幅$\Delta\lambda_G$を1.２ｎｍ以上とすることが好ましく、１．５ｎｍ以上とすることが更に好ましい。また、半値全幅$\Delta\lambda_G$を６ｎｍ以下とするが、３ｎｍ以下とすることが更に好ましく、２ｎｍ以下とすることが好ましい。

[0106] ブラッググレーティングの長さL_bは３００μｍ以下とする（式２）。ブラッググレーティングの長さL_bは、光導波路を伝搬する光の光軸の方向におけるグレーティング長である。ブラッググレーティングの長さL_bを３００μｍ以下と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。この観点からは、ブラッググレーティングの長さL_bを２００μｍ以下とすることがいっそう好ましい。

[0107] 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。

[0108] また、グレーティングの長さL_bは、３％以上の反射率を得るためには、５μｍ以上が好ましく、５％以上の反射率を得るためには、１０μｍ以上が更に好ましい。

[0109] 式（３）において、t_dは、前記ブラッググレーティングを構成する凹凸の

深さである。２０ｎｍ≦ｔ$_d$≦２５０ｎｍとすることで、△λ$_G$を０．８ｎｍ以上、６ｎｍ以下とすることができ、縦モードの数を△λ$_G$の中に２以上、５以下に調整することができる。こうした観点からは、ｔｄは、３０ｎｍ以上が更に好ましく、また、２００ｎｍ以下が更に好ましい。半値全幅を３ｎｍ以下とするには１５０ｎｍ以下が好ましい。

[0110] 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。

[0111] レーザ発振条件は、図１１に示すように、ゲイン条件と位相条件から成立する。位相条件を満足する波長は離散的であり、たとえば図１０に示される。すなわち、本構造ではゲインカーブの温度係数（GaAsの場合０．３ｎｍ／℃）とグレーティングの温度係数dλ_G/dTを近づけることにより、発振波長を△λ$_G$の中に固定することができる。さらに△λ$_G$の中に縦モードの数が２以上、５以下存在するときには、発振波長は△λ$_G$の中でモードホップを繰り返し、△λ$_G$の外でレーザ発振する確率を低減できることから大きなモードホップが起こることがなく、さらに波長が安定で、出力パワーが安定に動作できる。

[0112] 好適な実施形態においては、活性層の長さＬ$_a$も５００μｍ以下とする。この観点からは、活性層の長さＬ$_a$を３００μｍ以下とすることが更に好ましい。また、レーザの出力を大きくするという観点では活性層の長さＬ$_a$は、１５０μｍ以上とすることが好ましい。

[0113]

[数10]

$$\left| \frac{d\lambda_G}{dT} - \frac{d\lambda_{TM}}{dT} \right| \leqq 0.03\ nm\ /\ ℃$$

・・・・（６）

式（６）において、$d\lambda_G/dT$は、ブラッグ波長の温度係数である。

また、$d\lambda_{TM}/dT$は、外部共振器レーザの位相条件を満足する波長の温度係数である。

ここで、λ_{TM}は、外部共振器レーザの位相条件を満足する波長であり、つまり前述した（2.3式）の位相条件を満足する波長である。これを本明細書では「縦モード」と呼ぶ。

[0114] 以下、縦モードについて補足する。

（2.3）式の中の$\beta = 2\pi n_{eff}/\lambda$であり、$n_{eff}$はその部の実効屈折率であり、これを満足する$\lambda$が$\lambda_{TM}$となる。$\phi 2$は、ブラッググレーティングの位相変化である。

[0115] $\triangle G_{TM}$は、外部共振器レーザの位相条件を満足する波長間隔（縦モード間隔）である。λ_{TM}は、複数存在するので、複数のλ_{TM}の差を意味する。

[0116] したがって、式（６）を満足することで、モードホップが起こる温度を高くし、事実上モードホップを抑制することができる。式（６）の数値は、0.０25以下とすることが更に好ましい。

[0117] 好適な実施形態においては、グレーティング素子の長さL_{WG}も６００μｍ以下とする。L_{WG}は４００μｍ以下が好ましく、３００μｍ以下が更に好ましい。また、L_{WG}は５０μｍ以上が好ましい。

[0118] 好適な実施形態においては、外部共振器型レーザとして機能させる場合には、光源の出射面と光導波路の入射面との距離L_gは、零であってよい。しかし、環境温度変化に対する耐久性を考慮するとL_gは1μｍ以上、１０μｍ以下とする。これによって安定した発振が可能となる。

[0119] 入射側伝搬部の長さL_mは、共振器長を短くするという観点でできるだけ短い方が好ましい。しかし、光源から光導波路に結合できない非伝搬光の光電界成分を除去するために２０μｍ以上、１００μｍ以下とする。ただし、入射側伝搬部は設けなくとも良い。

[0120] 温度安定性を確保するためには、半導体レーザの出力側とは反対側の高反射端面とグレーティングの出射側終点部との距離Ｌ（図１、図３）を短くする必要があり、この距離Ｌは９００μｍ以下が好ましく、さらに８００μ以下が好ましく、６００μｍ以下が最も好ましい。

実施例

[0121]（実施例１）

図１、図２、図４および図７（ａ）に示すような装置を作製した。

石英からなる支持基板１０にスパッタ装置にてクラッドとして機能する、ＳｉＯ２からなる下側バッファ層１６を0.5μｍ、またその上にTa_2O_5を1.2μｍ成膜して光学材料層を形成した。次に、Ta_2O_5からなる光学材料層上にＴｉを成膜して、フォトリソグラフィー技術（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Λ238.5nm、長さL_b　１００μｍのブラッググレーティング１２を形成した。グレーティング１２の溝深さt_dは40nmとした。

[0122] 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_m3μｍ、両サイドは光学材料層を1.2μｍ完全切り込むようにエッチングした形状を形成した。

ここで、ブラッググレーティング１２における光導波路幅W_mを３μｍとした。これと共に、図１、２、４に示すように、幅一定の連結部２０ａ、テー

パ部２０ｂおよび幅一定の出射部２０ｃを設けた。各部分における寸法は以下のとおりとした。

連結部２０ａにおけるコア部幅：　３μｍ

出射部２０ｃにおけるコア部幅W_{out}：　0.5μｍ

テーパ部２０ｂにおけるコア部幅W_t：　0.5～３μｍ

[0123] 最後に上側クラッド層となるSiO_2層を導波路に覆うように２μｍスパッタにて形成した。

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}　500μmとした。

[0124] 次に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。その結果、TEモードに対して中心波長975nm、最大反射率は２０％で、半値全幅$\Delta\lambda_G$は2nmの特性を得た。

[0125] 次に、図１、図２に示すようにレーザモジュールを実装した。光源素子は通常のGaAs系レーザで出射端面にはARコートなしとした。

光源素子仕様：

中心波長：　977nm

出力：　40mW

半値幅：　0.1nm

レーザ素子長　250μｍ

実装仕様：

L_g：　1μｍ

L_m：　20μｍ

[0126] モジュール実装後、ペルチェ素子を使用することなく、モニター用フォトダイオードを使用することなく、電流制御（ＡＣＣ）で半導体レーザを駆動したところ、グレーティングの反射波長に対応した中心波長975nmで発振し、

出力はグレーティング素子がない場合よりも小さくなるが、３５ｍＷのレーザ特性であった。

[0127] グレーティング素子の出射側端面のニアフィールドパターンの形状は、水平方向が0.5μｍ、垂直方向が１μｍとなり、ほぼ真円状であった。また温度を２０℃から７０℃に変化してもシングルモードを維持した。

[0128] （比較例）

実施例１において、光導波路１１の全長にわたって、光導波路幅を３μｍと一定とし、高さT_sを０．５μｍで一定とした。その後、同様な方法でグレーティング素子を作製した。

[0129] 次に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。その結果、TEモードに対して中心波長975nm、最大反射率は２０％で、半値全幅$\Delta\lambda_G$は2nmの特性を得た。

[0130] 次に、図１、図２に示すようにレーザモジュールを実装した。光源素子は通常のGaAs系レーザで出射端面にはARコートなしとした。

光源素子仕様：

中心波長： 977nm

出力： 40mW

半値幅： 0.1nm

レーザ素子長 250μｍ

実装仕様：

L_g： 1μｍ

L_m： 20μｍ

[0131] モジュール実装後、ペルチェ素子を使用することなく、モニター用フォトダイオードを使用することなく、電流制御（ＡＣＣ）で半導体レーザーを駆動したところ、グレーティングの反射波長に対応した中心波長975nmで発振し、出力はグレーティング素子がない場合よりも小さくなるが３０ｍＷのレー

ザ特性であった。

[0132] グレーティング素子の出射側端面のニアフィールドパターンの形状は、水平方向が３μｍ、垂直方向が１μｍとなり、アスペクト比３の扁平導波路であった。また温度を２０℃から７０℃に変化した場合に７０℃付近でマルチモードが励振された。

請求の範囲

[請求項1] 半導体レーザ光源、およびこの半導体レーザ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、

前記半導体レーザ光源が、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であって、横断面が凸図形をなしている光導波路、前記光導波路内に形成された凹凸からなるブラッググレーティング、および前記ブラッググレーティングと前記出射面との間に設けられた出射側伝搬部を備えており、前記ブラッググレーティングによる反射波長域でレーザ発振し、前記ブラッググレーティングにおける前記光導波路の幅と前記出射面における前記光導波路の幅とが異なることを特徴とする、外部共振器型発光装置。

[請求項2] 前記出射面における前記光導波路の幅が前記ブラッググレーティングにおける前記光導波路の幅よりも小さいことを特徴とする、請求項１記載の装置。

[請求項3] 前記グレーティング素子の前記入射面におけるニアフィールドの水平方向の幅が前記出射面におけるニアフィールドの水平方向の幅よりも大きいことを特徴とする、請求項２記載の装置。

[請求項4] 前記出射側伝搬部が、前記光導波路の幅が前記ブラッググレーティング側から前記出射面側へと向かって小さくなるテーパ部を備えてい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。

[請求項5] 前記グレーティング素子が更に支持基板を備えており、前記支持基板上に前記光導波路が設けられており、前記光導波路の厚さが０．５μｍ以上、３．０μｍ以下であ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] 前記光導波路を構成する材質が、ガリウム砒素、ニオブ酸リチウム、酸化タンタル、酸化亜鉛、酸化アルミナ、タンタル酸リチウムおよび酸化チタンからなる群より選択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。

[請求項7] 下記式（１）および式（２）の関係が満足され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。

$$10\mu m \leqq L_b \leqq 300\mu m \quad \cdots (1)$$

$$20nm \leqq td \leqq 250nm \quad \cdots (2)$$

（式（１）において、L_bは、前記ブラッググレーティングの長さである。

式（２）において、ｔｄは、前記ブラッググレーティングを構成する凹凸の深さである。）

[請求項8] 前記半導体レーザの前記活性層の出射側と反対側の端面と前記ブラッググレーティングの出射側終点部との距離が９００μｍ以下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] 下記式（３）および式（４）の関係が満足され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。

$$0.8nm \leqq \Delta\lambda_G \leqq 6.0nm \cdots (3)$$

$$n_b \geqq 1.7 \quad \cdots (4)$$

（式（３）において、$\Delta\lambda_G$は、ブラッグ反射率のピークにおける半値全幅である。

式（４）において、n_bは、前記光導波路を構成する材質の屈折率である。）

[請求項10] 下記式（５）の関係が満足され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。

$$L_{WG} \leqq 500\,\mu m \quad \cdots (5)$$

（式（５）において、L_{WG}は、前記グレーティング素子の長さである。）

[請求項11] 前記半値全幅$\Delta\lambda_G$の中に、レーザ発振の位相条件が満足可能な波長が２以上、５以下存在することを特徴とする、請求項９または１０記載の装置。

[請求項12] 下記式（６）の関係が満足されることを特徴とする、請求項１～１１のいずれか一つの請求項に記載の装置。

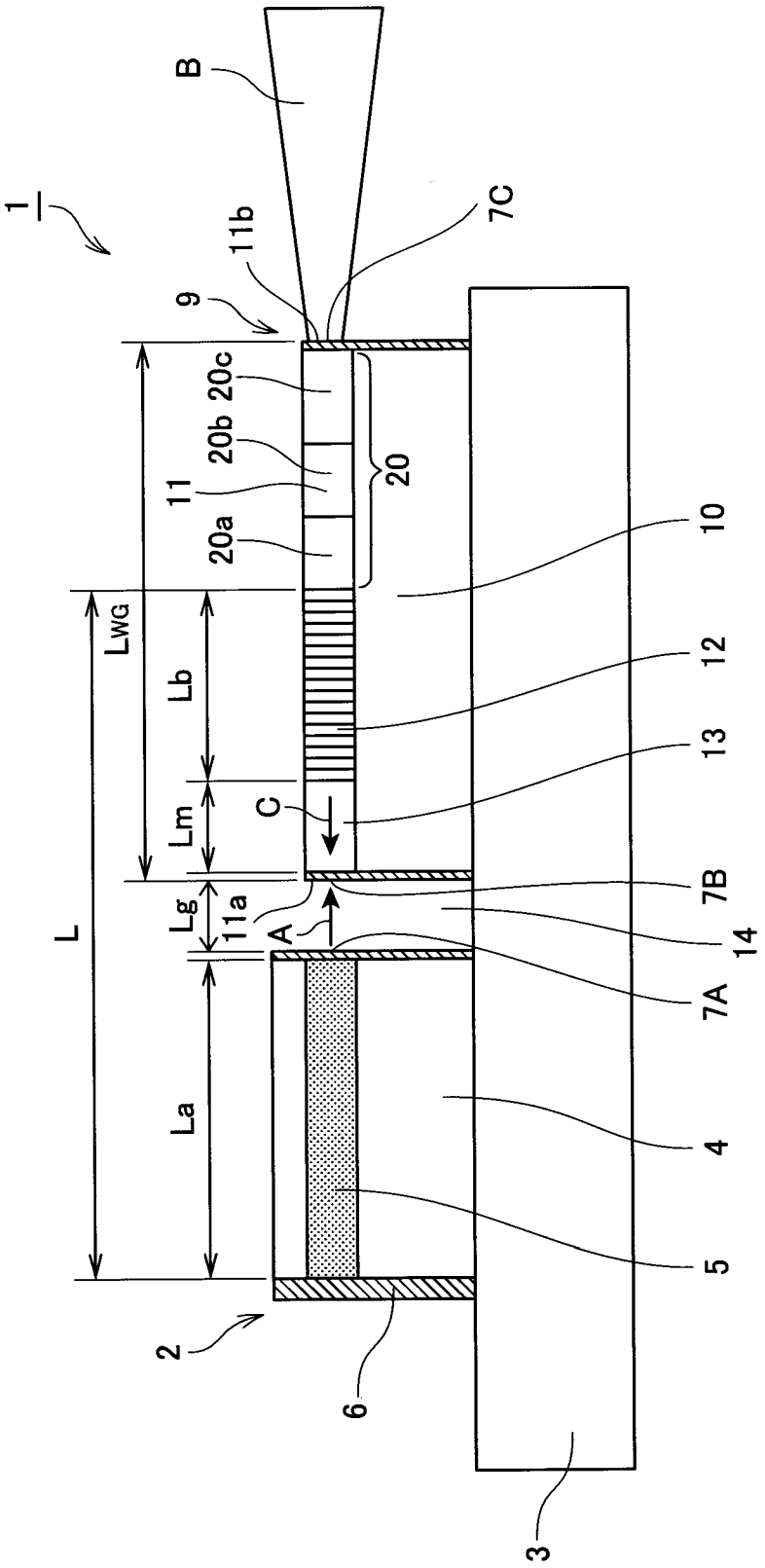
[数11]

$$\left| \frac{d\lambda_G}{dT} - \frac{d\lambda_{TM}}{dT} \right| \leqq 0.03\ nm / ℃ \quad \cdots\cdots (6)$$

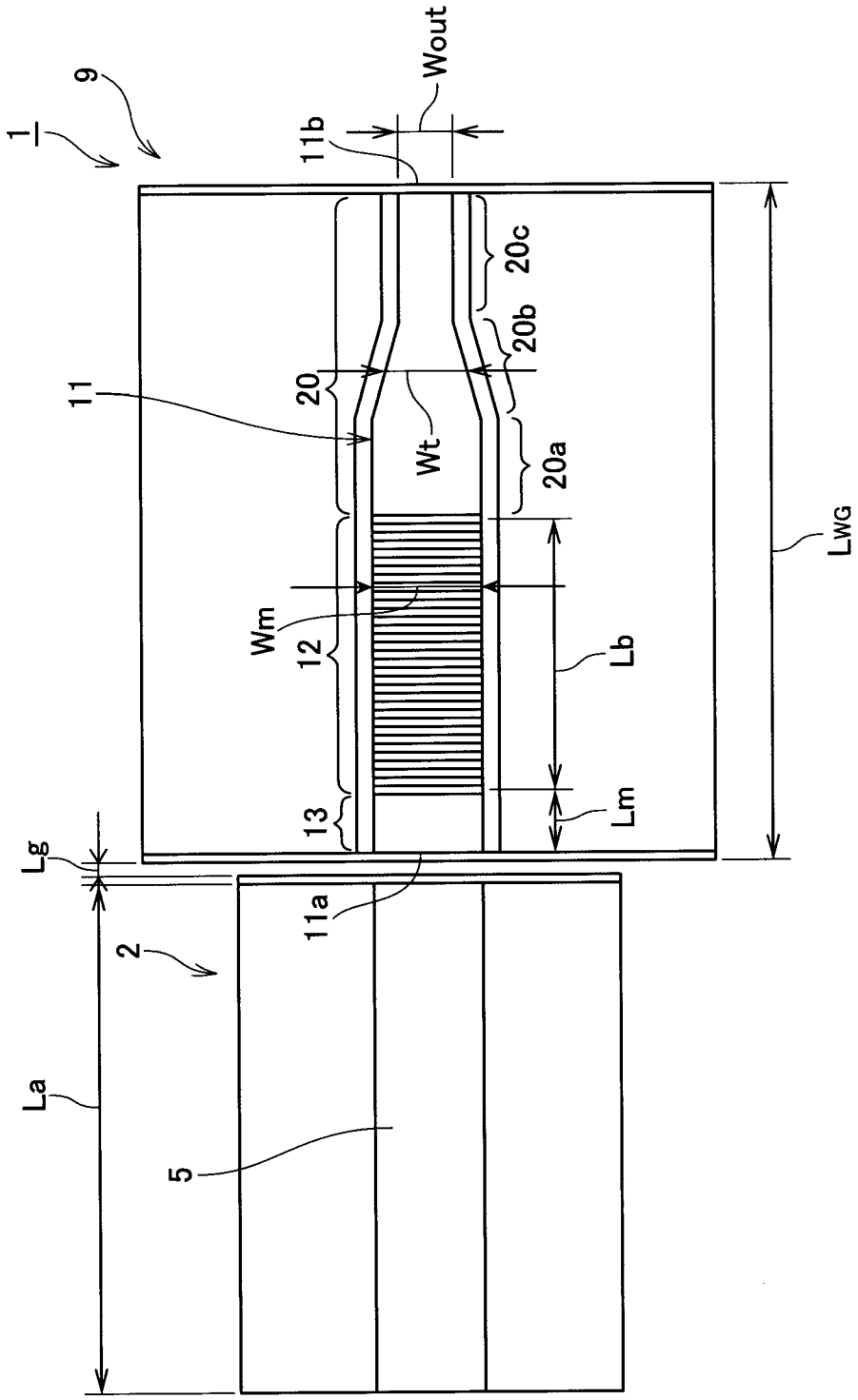
（式（６）において、$d\lambda_G/dT$は、ブラッグ波長の温度係数である。

$d\lambda_{TM}/dT$は、外部共振器レーザの位相条件を満足する波長の温度係数である。）

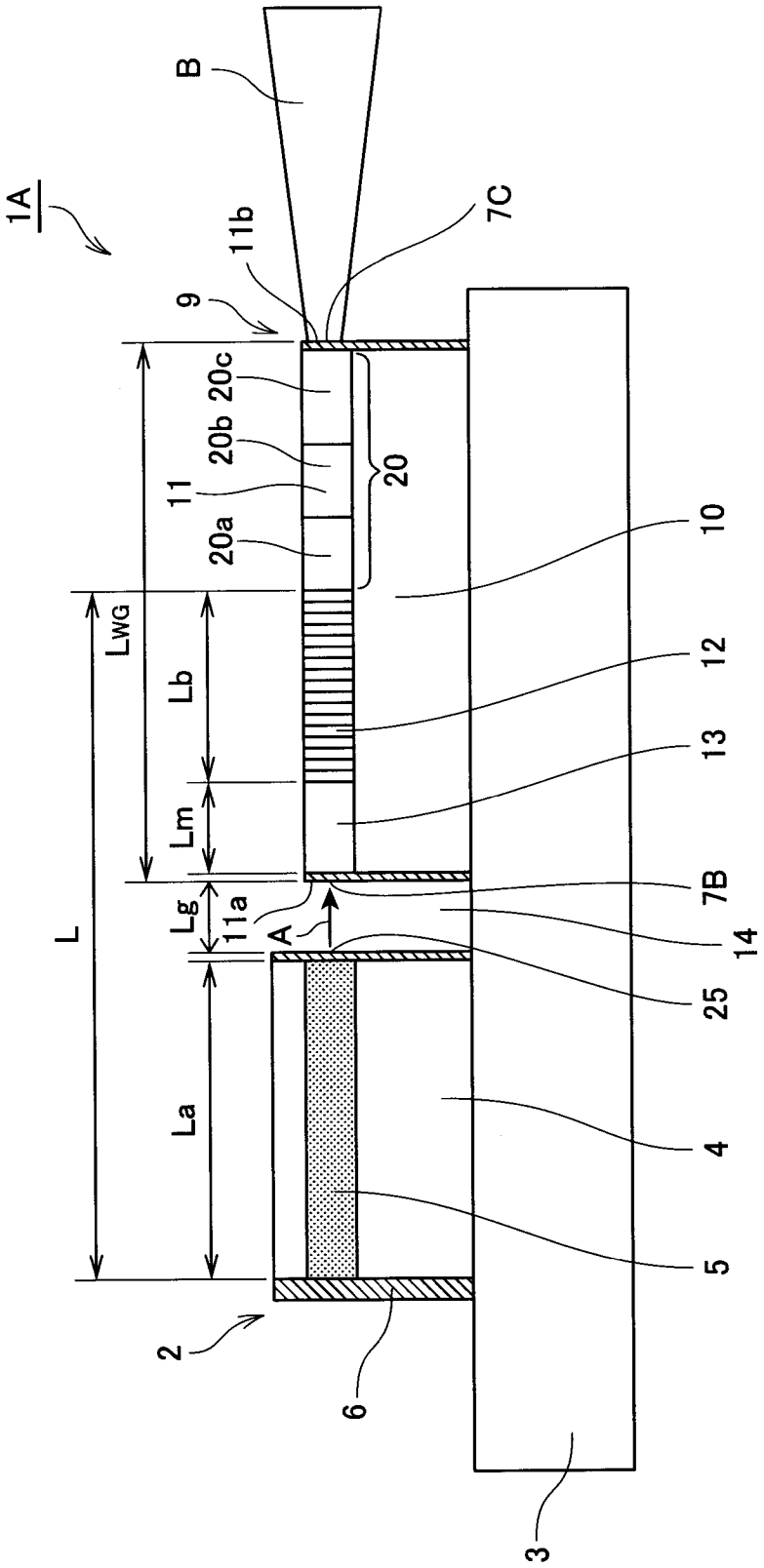
[図1]


B
1
11b
7C
9
20c
20b
20
11
20a
10
12
13
7B
14
7A
4
5
3
2
6
L
LWG
Lb
Lm
C
Lg
11a
A
La

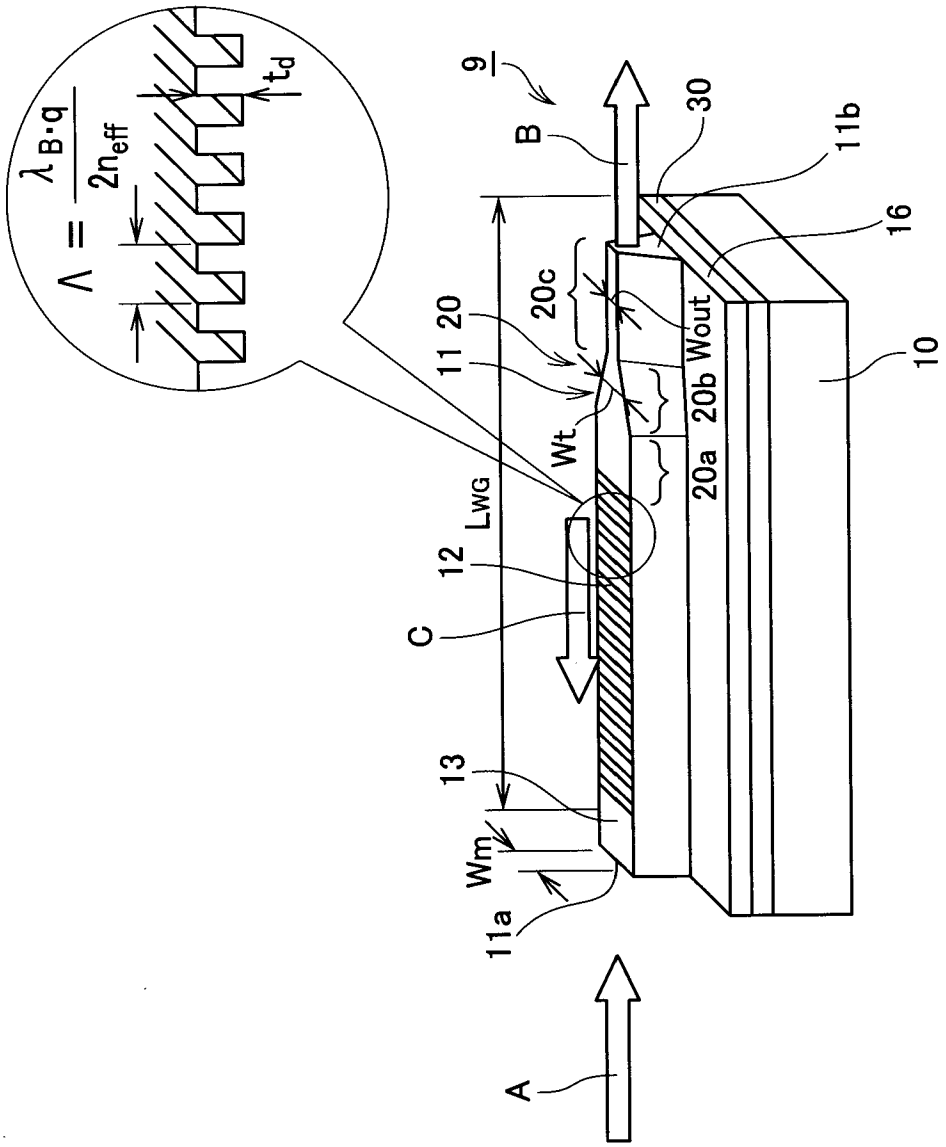
[図2]



[図3]

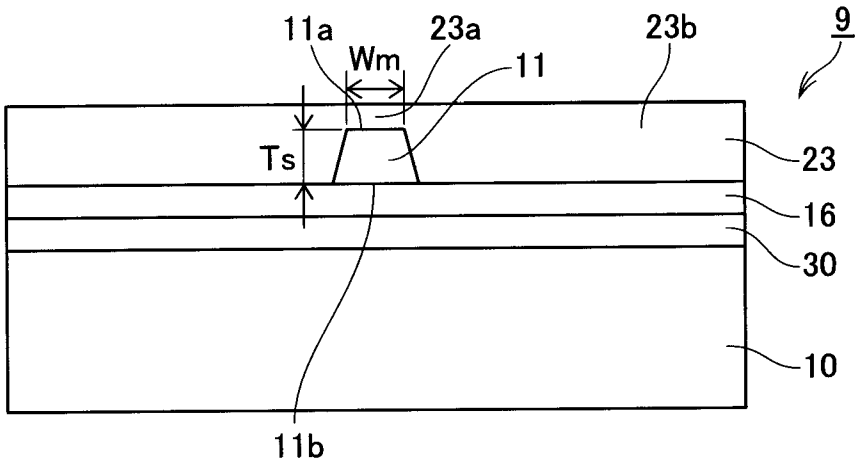

B
1A
11b
7C
9
20c
20b
20
11
20a
10
12
13
7B
14
25
4
5
3
6
2
A
11a
Lg
Lm
Lb
LWG
L
La

[図4]

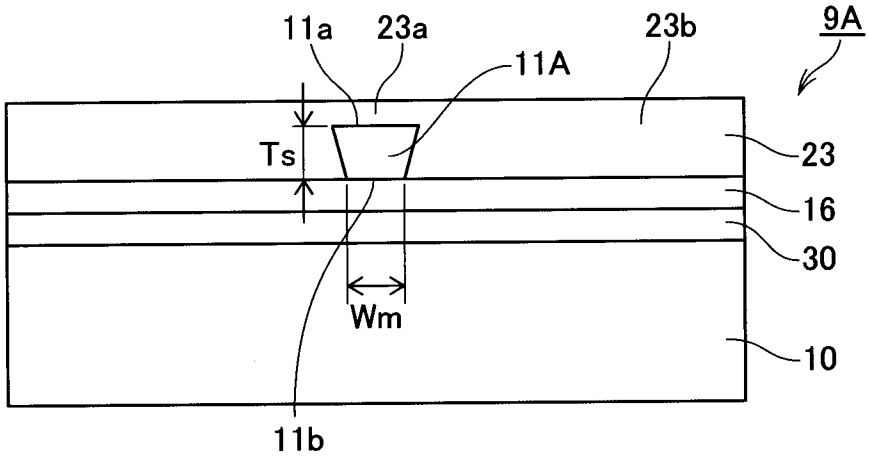

$\Lambda = \frac{\lambda_{B\cdot q}}{2n_{eff}}$
t_d
9
B
30
11b
16
20c
11 20
Wout
10
Wt
20b
20a
LWG
12
C
13
Wm
11a
A

[図5]

(a)

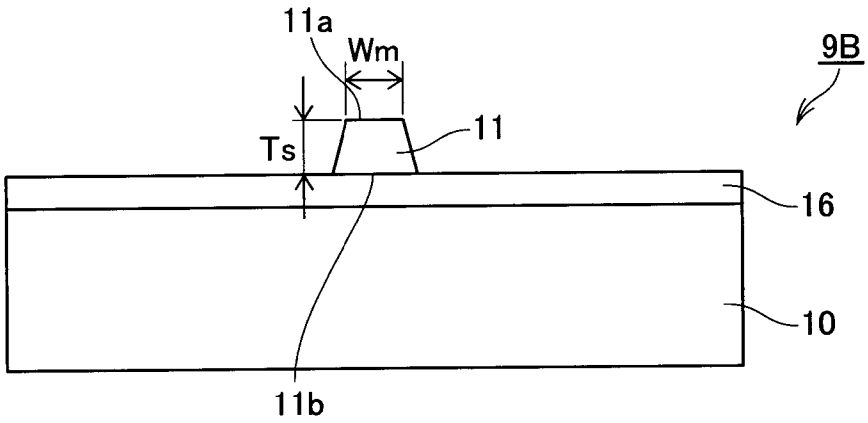

11a
Wm
23a
11
23b
9
Ts
23
16
30
10
11b

(b)

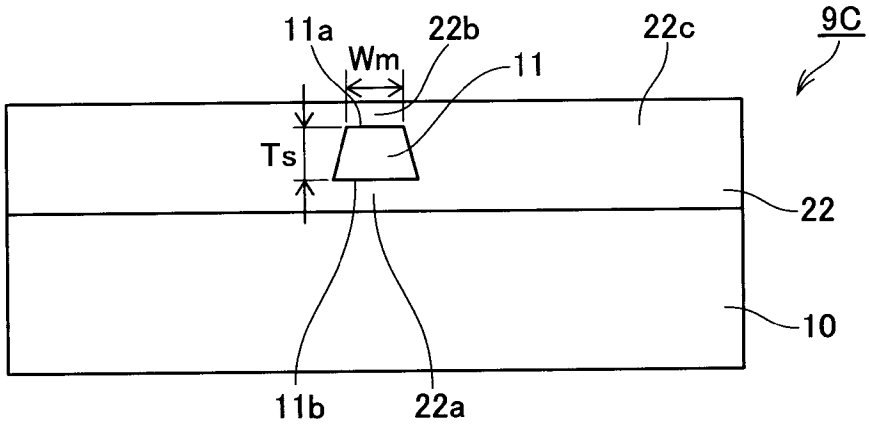

11a
23a
11A
23b
9A
Ts
23
16
30
Wm
10
11b

[図6]

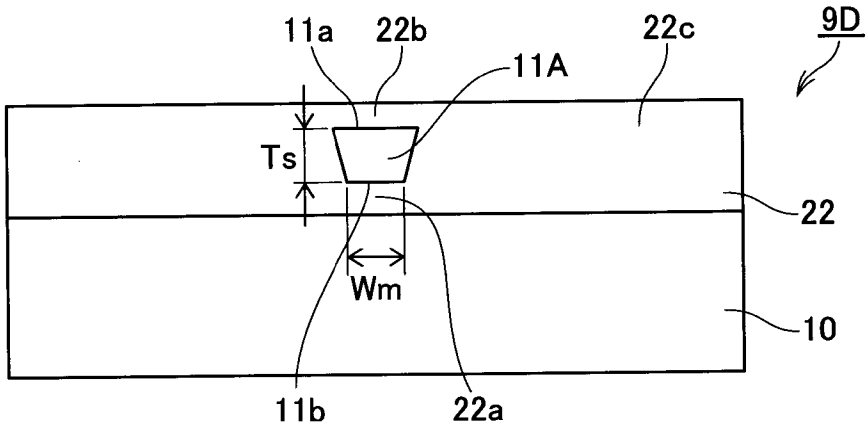
(a)


11a
Wm
9B
11
Ts
16
10
11b

(b)

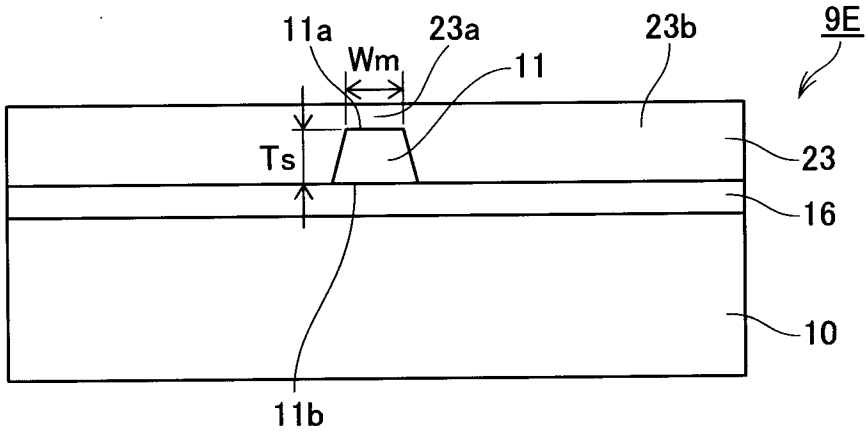

11a
22b
22c
9C
Wm
11
Ts
22
10
11b
22a

(b)

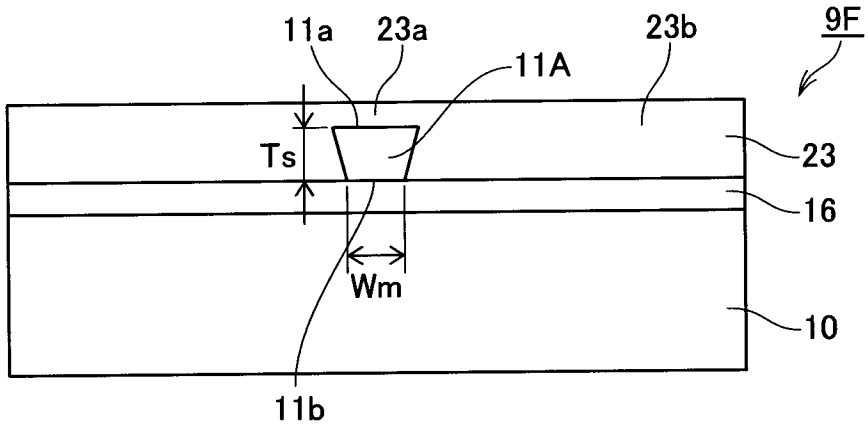

11a
22b
22c
9D
11A
Ts
22
Wm
10
11b
22a

[図7]

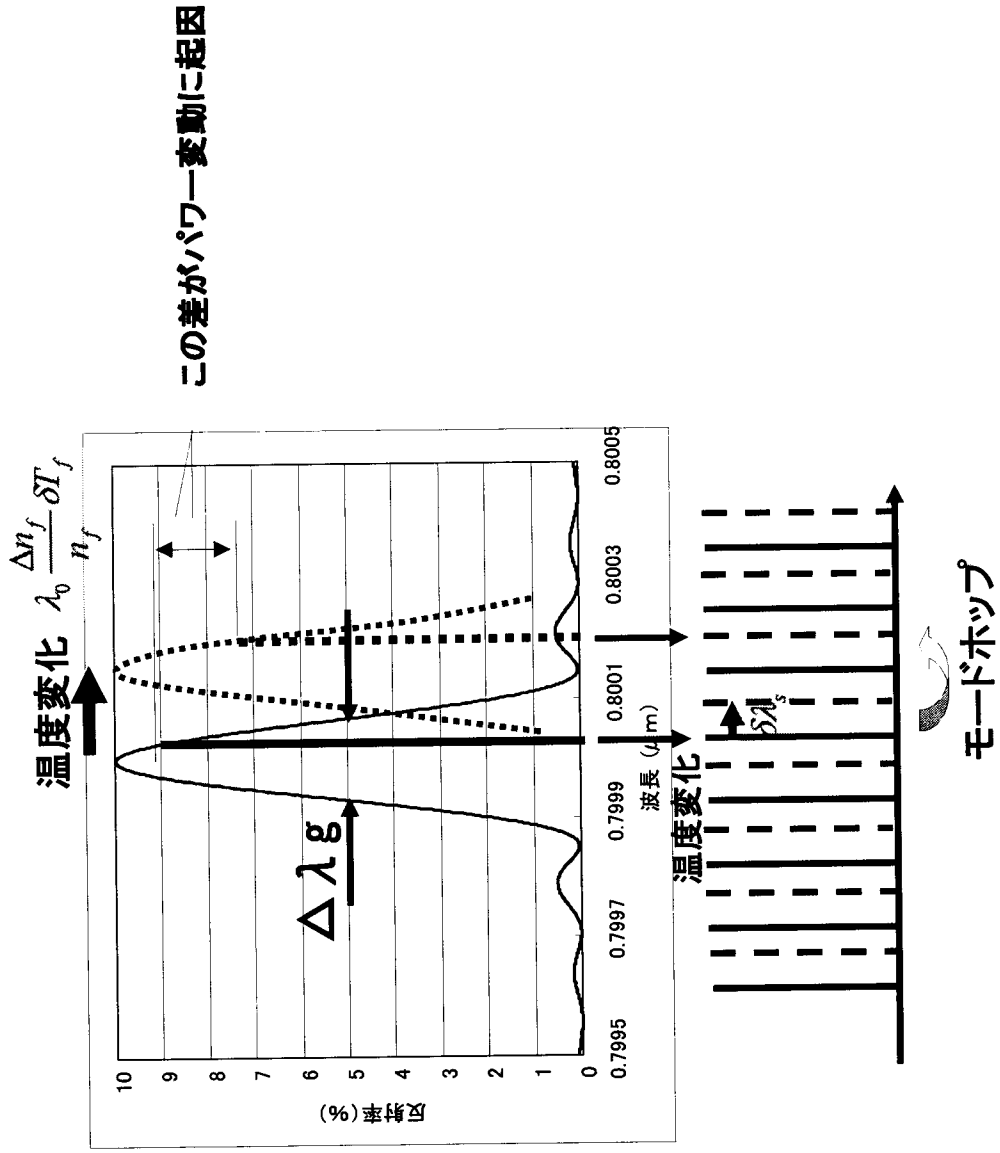
(a)


11a
Wm
23a
11
23b
9E
Ts
23
16
10
11b

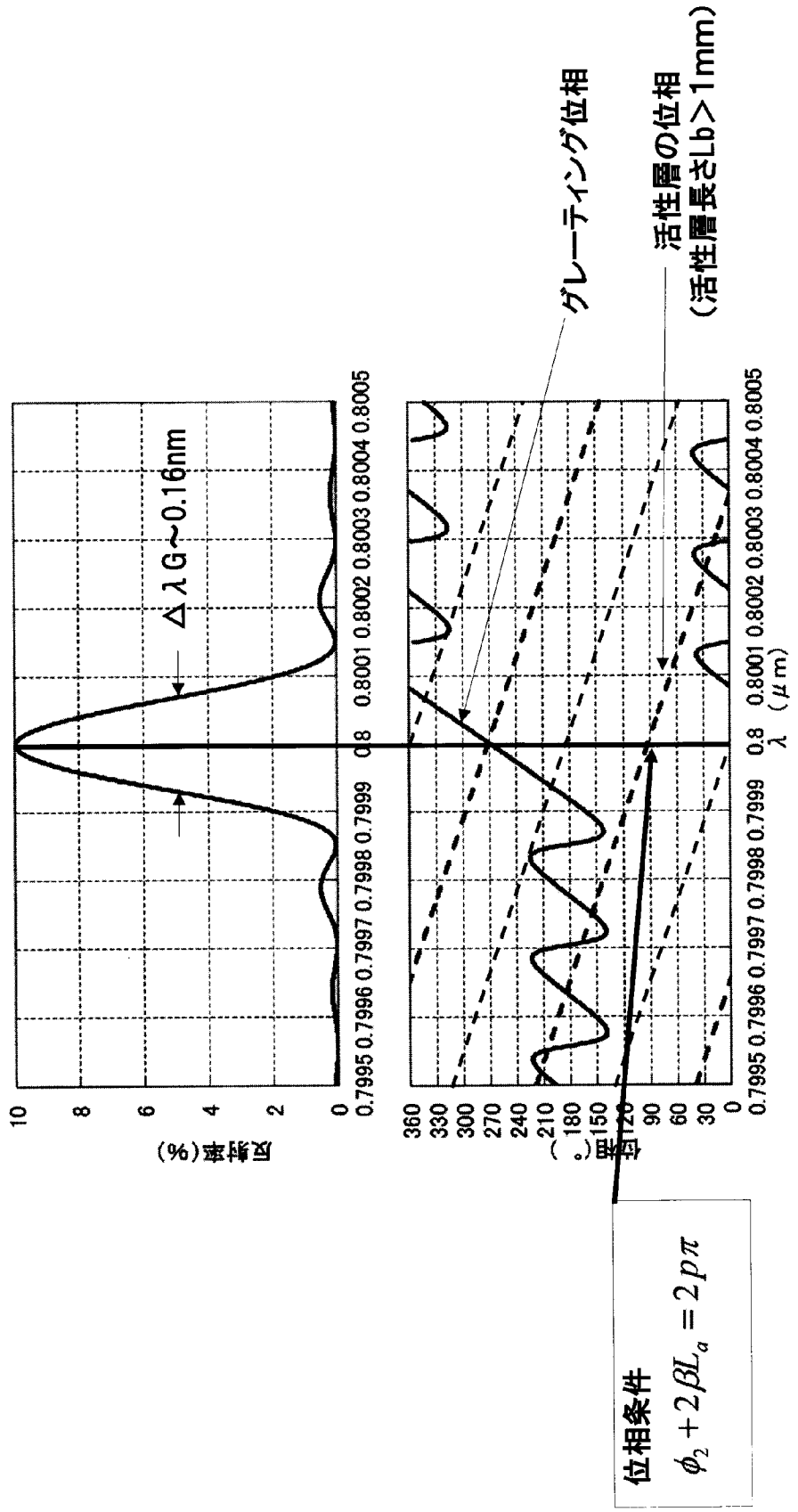
(b)


11a
23a
11A
23b
9F
Ts
23
16
Wm
10
11b

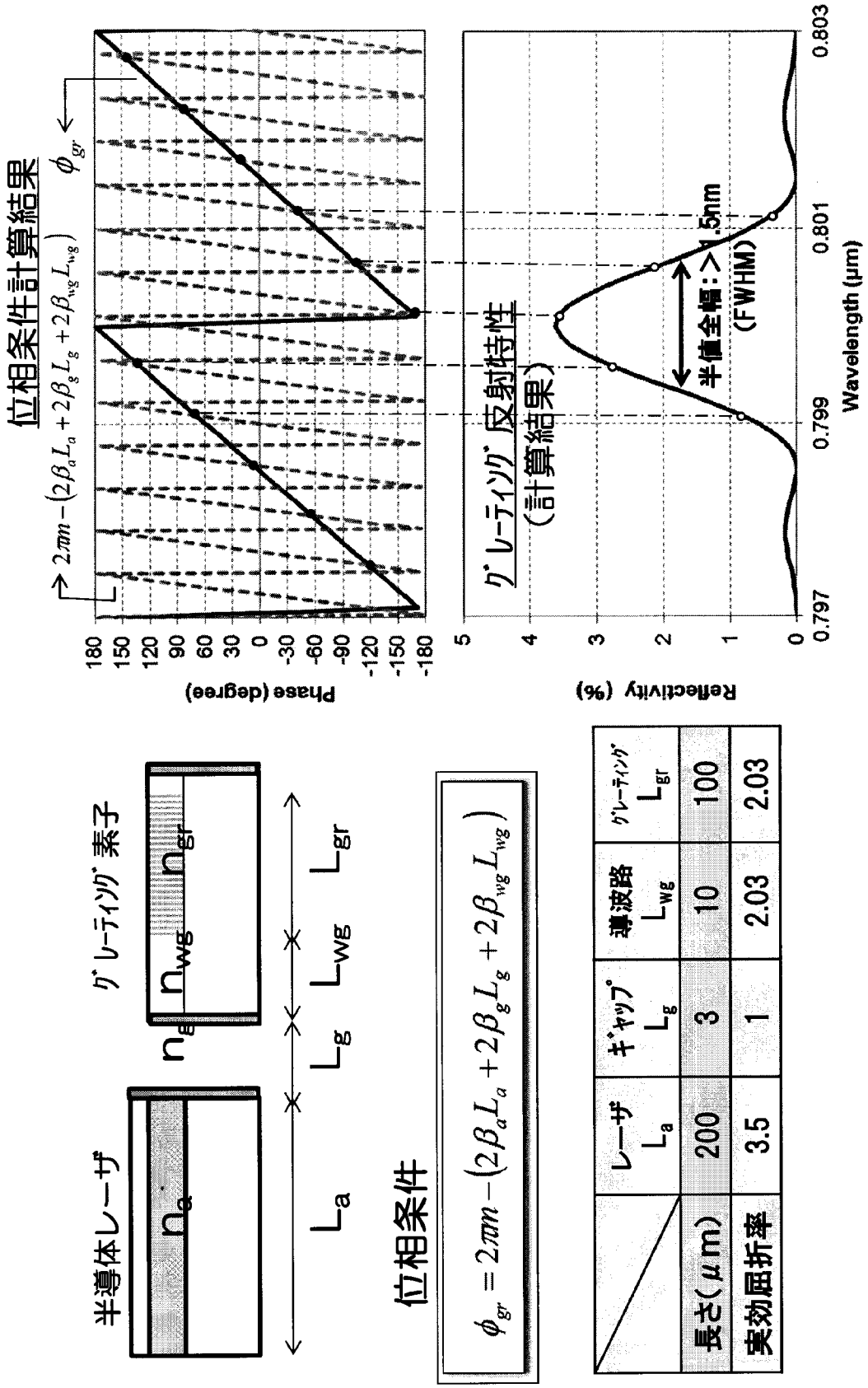
[図8]


この差がパワー変動に起因
温度変化
$\lambda_0 \frac{\Delta n_f}{n_f} \delta T_f$
$\Delta \lambda g$
反射率(%)
波長(μm)
0.7995
0.7997
0.7999
0.8001
0.8003
0.8005
温度変化
$\delta \lambda_s$
モードホップ

[図9]

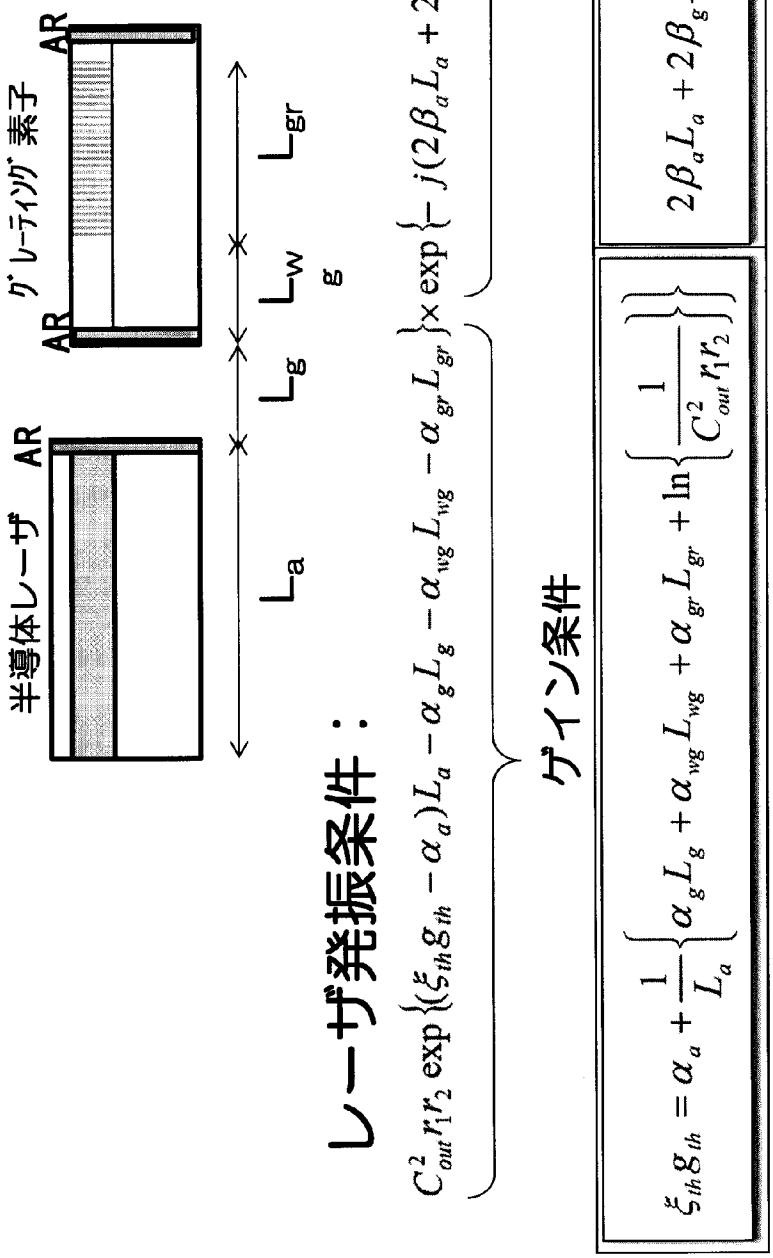

ΔλG～0.16nm
反射率(%)
位相(°)
λ (μm)
グレーティング位相
活性層の位相
(活性層長さLb＞1mm)
位相条件
$\phi_2 + 2\beta L_a = 2p\pi$

[図10]



	レーザ L_a	ギャップ L_g	導波路 L_{wg}	グレーティング L_{gr}
長さ(μm)	200	3	10	100
実効屈折率	3.5	1	2.03	2.03

[図11]



レーザ発振条件：

$$C_{out}^2 r_1 r_2 \exp\left\{\left(\xi_{th} g_{th} - \alpha_a\right) L_a - \alpha_g L_g - \alpha_{wg} L_{wg} - \alpha_{gr} L_{gr}\right\} \times \exp\left\{-j\left(2\beta_a L_a + 2\beta_g L_g + 2\beta_{wg} L_{wg} + \phi_{gr}\right)\right\} = 1$$

ゲイン条件

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

位相条件

$$2\beta_a L_a + 2\beta_g L_g + 2\beta_{wg} L_{wg} + \phi_{gr} = 2\pi m$$

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/066177

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S5/14(2006.01)i, *H01S5/022*(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, G02B6/12-6/14

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.
Y	JP 2010-171252 A (Fujitsu Ltd.), 05 August 2010 (05.08.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-12
Y	US 2002/0110328 A1 (William K. Bischel), 15 August 2002 (15.08.2002), paragraphs [0110] to [0113], [0089]; fig. 2, 5 & WO 2002/065600 A2	1-12
Y	JP 2002-31730 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 31 January 2002 (31.01.2002), paragraphs [0018] to [0021], [0035] to [0043]; fig. 3, 4 (Family: none)	1,5,7-12

☒ 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	Date of mailing of the international search report
25 August 2015 (25.08.15)	08 September 2015 (08.09.15)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/066177

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2-154476 A (Fujitsu Ltd.), 13 June 1990 (13.06.1990), page 2, lower right column, line 19 to page 3, upper left column, line 5 (Family: none)	7
Y	WO 2005/031930 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 07 April 2005 (07.04.2005), paragraphs [0035] to [0058] & US 2006/0176922 A1 & WO 2005/031930 A1	9,11
Y	JP 3667209 B2 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 15 April 2005 (15.04.2005), paragraphs [0025], [0030] & JP 2002-50827 A	9,11
Y	JP 10-98230 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 14 April 1998 (14.04.1998), paragraphs [0005], [0010]; fig. 7, 8 (Family: none)	11,12

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０６６１７７

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S5/14(2006.01)i, H01S5/022(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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S5/00-5/50, G02B6/12-6/14

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	１９７１－２０１５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１５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
Y	JP 2010-171252 A（富士通株式会社）2010.08.05, 全文，全図 （ファミリーなし）	1-12
Y	US 2002/0110328 A1 (William K. Bischel) 2002.08.15, 段落［０１１０］－［０１１３］，［００８９］，図２，図５ & WO 2002/065600 A2	1-12

☑　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	国際調査報告の発送日
２５．０８．２０１５	０８．０９．２０１５

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｘ　９０１７
河原　正
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
Y	JP 2002-31730 A（富士写真フイルム株式会社）2002.01.31, 段落【００１８】－【００２１】,【００３５】－【００４３】, 図３, 図４（ファミリーなし）	1,5,7-12
Y	JP 2-154476 A（富士通株式会社）1990.06.13, 第２頁右下欄第１９行－第３頁左上欄第５行 （ファミリーなし）	7
Y	WO 2005/031930 A1（古河電気工業株式会社）2005.04.07, 段落［００３５］－［００５８］ & US 2006/0176922 A1 & WO 2005/031930 A1	9,11
Y	JP 3667209 B2（住友電気工業株式会社）2005.04.15, 段落【００２５】,【００３０】 & JP 2002-50827 A	9,11
Y	JP 10-98230 A（日本電信電話株式会社）1998.04.14, 段落【０００５】,【００１０】, 図７, 図８ （ファミリーなし）	11,12