

(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7月23日(23.07.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/107960 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/14 (2006.01) G02B 6/122 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01) G02B 6/42 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/050279
- (22) 国際出願日: 2015年1月7日(07.01.2015)
- (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 2014-004240 2014年1月14日(14.01.2014) 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). 吉野 隆史(YOSHINO Takashi); 〒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). 武内 幸久(TAKEUCHI Yukihisa); 〒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).

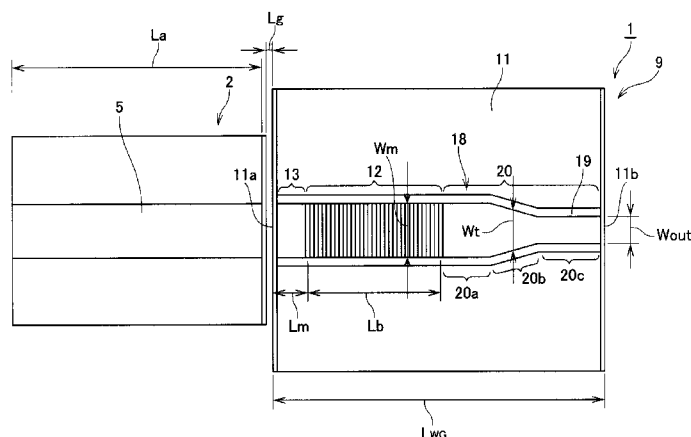
添付公開書類:

— 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

[図2]



(57) Abstract: A semiconductor laser light source (2) is equipped with an active layer (5) for emitting semiconductor laser light. A grating element comprises: a ridge-type optical waveguide (18) having an incident surface (11a) on which the semiconductor laser light is incident and an exit surface (11b) from which exit light having a desired wavelength goes out; a Bragg grating (12) consisting of recesses and protrusions formed in the ridge-type optical waveguide (18); an exit-side propagation portion (20) provided between the Bragg grating (12) and the exit surface (11b). A laser oscillation occurs in the region of wavelengths reflected by the Bragg grating. The optical waveguide width (W_m) at the Bragg grating (12) is different from the optical waveguide width (W_{out}) at the exit surface.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2015/107960 A1



半導体レーザ光源 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が、半導体レーザ光が入射する入射面 1 1 a と所望波長の出射光を出射する出射面 1 1 b を有するリッジ型光導波路 1 8、リッジ型光導波路 1 8 内に形成された凹凸からなるブラッググレーティング 1 2、およびブラッググレーティング 1 2 と出射面 1 1 b との間に設けられた出射側伝搬部 2 0 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する。ブラッググレーティング 1 2 における光導波路の幅 W_m と出射面における光導波路の幅 W_{out} 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（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）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、ボリウム・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] 特許文献 8 (特開 2010-171252) には、 SiO_2 、 $\text{SiO}_{1-x}\text{N}_x$ (x は 0.55 乃至 0.65)、あるいは Si と SiN をコア層とする光導波路、およびこの光導波路にグレーティングを形成した外部共振器型レーザが開示されている。これは精密な温度制御なしで発振波長を一定に保つ外部共振器レーザで、このために回折格子の反射波長の温度変化率 (ブラッグ反射波長の温度係数) を小さくすることを前提条件としている。その上でレーザ発振を縦モードマルチモードとすることでパワー安定性を実現できることが記載されている。

[0009] 特許文献 9 (特許第 3667209) には、石英、 InP 、 GaAs 、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、ポリイミド樹脂からなる光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がレーザが開示されている。これは、光源である半導体レーザの光射出面における反射率が実効反射率 R_e （実質的に 0.1 ~ 38.4%）であり、その上でレーザ発振を縦モードマルチモードとすることでパワー安定性を実現できることが記載されている。

先行技術文献

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：特願2013-120999
特許文献8：特開2010-171252
特許文献9：特許第3667209

非特許文献

- [0011] 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

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0012] 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。

[0013] [数1]

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

[0014] 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。

[0015] [数2]

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

[0016] 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]

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

[0017] 縦モード間隔 $\Delta\lambda$ は、近似的に下式となる。

[0018]

[数4]

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

[0019] 数式3と数式4より、数式5が成立する。

[0020] [数5]

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

[0021] 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。

[0022] 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。

[0023] 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。

[0024] 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。

[0025] 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、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。

[0026] しかし、本発明者が更に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。

[0027] 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

[0028] 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リッジ型光導波路、このリッジ型光

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

- [0029] 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。
- [0030] 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 $2\ \mu\text{m}$ から $7\ \mu\text{m}$ 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 $2\ \mu\text{m}$ から $7\ \mu\text{m}$ に設定している。
- [0031] しかし、例えば図3に示すようなリッジ型の光導波路構造では、基板厚みが例えば $0.5\ \mu\text{m}$ から $3\ \mu\text{m}$ と薄い場合に、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。
- [0032] 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。
- [0033] 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。

[0034] 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を想到し、本発明に到達した。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]図1は、外部共振器型発光装置の模式図である。

[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]グレーティング素子の横断面図である。

[図4]グレーティング素子を模式的に示す斜視図である。

[図5]他のグレーティング素子の横断面図である。

[図6]他の実施形態に係る外部共振器型発光装置の模式図である。

[図7]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]好適な実施形態における、離散的な位相条件例を示す。

[図10]実施例1において、光源の光量のスペクトルおよびこの光源にグレーティング素子を付加して得た装置のスペクトルを示す。

[図11]レーザ発振条件を説明する図である。

[図12]更に他のグレーティング素子の横断面図である。

発明を実施するための形態

[0036] 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。

[0037] 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 7 A が形成されている。

[0038] しかしながら、光源 2 は、単独でレーザ発振可能な光源であってよい。これは、光源 2 が、グレーティング素子がなくても、それ自体でレーザ発振することを意味する。

[0039] 光源 2 は、単独でレーザ発振したときに、縦モードがシングルモード発振するものが好ましい。しかし、グレーティング素子を使用した外部共振器型レーザの場合、反射特性に波長依存性を持たせることができるので、その波長特性の形状を制御することにより、光源 2 が単独で縦モードがマルチモード発振していても、外部共振器型レーザとしてはシングルモード発振させることが可能である。このことから好適な実施形態においては、本発明の外部共振器型発光装置が縦モードで単一（シングル）モード発振する。

[0040] 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 11 a と所望波長の出射光 B を出射する出射面 11 b を有する光学材料層 11 が設けられている。C は反射光である。光学材料層 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 18 の入射面 11 a 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。7 B は、光導波路 18 の入射面側に設けられた無反射膜であり、7 C は、光導波路 18 の出射面側に設けられた無反射膜である。光導波路 18 はリッジ型光導波路であり、光学材料層 11 に設けられている。光導波路 18 は、ブラッググレーティング 12 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。

[0041] 無反射層 7 A、7 B、7 C 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] 図3に示すように、本例では、基板10上に接着層15、下側バッファ層16を介して光学材料層11が形成されており、光学材料層11上に上側バッファ層17が形成されている。光学材料層11には例えば一对のリッジ溝19が形成されており、リッジ溝の間にリッジ型の光導波路18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11a面に形成していてもよく、11b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11a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19とを基板の反対側に設けることが好ましい。

[0043] また、図5に示す素子9Aでは、基板10上に接着層15、下側バッファ層16を介して光学材料層11が形成されており、光学材料層11上に上側バッファ層17が形成されている。光学材料層11の基板10側には、例えば一对のリッジ溝19が形成されており、リッジ溝19の間にリッジ型の光導波路18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11a側に形成していてもよく、リッジ溝のある面11b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11a面側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19とを基板の反対側に設けることが好ましい。また、上側バッファ層17はなくてもよく、この場合、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。

[0044] 図6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 2 5 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。

[0045] 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。

[0046] 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。

[0047] ここで、本実施形態においては、図 2 に示すように、入射面 1 1 a とブラッググレーティング 1 2 との間に入射側伝搬部 1 3 が設けられており、また、ブラッググレーティング 1 2 と出射面 1 1 b との間に出射側伝搬部 2 0 が設けられている。本例では、出射側伝搬部 2 0 は、ブラッググレーティング 1 2 の末端から連続する連結部 2 0 a、光導波路の出射面 1 1 b に連続する出射部 2 0 c、および連結部と出射部との間に設けられたテーパ部 2 0 b を備えている。

[0048] 本例では、出射面 1 1 b における光導波路の幅 W_{out} がブラッググレーティング 1 2 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 2 0 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 2 0 b を含む。なお、本例では、連結部 2 0 a 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 2 0 a との境界で最大値 W_m となり、出射部 2 0 c との境界で最小値 W_{out} となる。

なお、光導波路の幅 W_m は、図 3 に示すように、光導波路を構成するリッジ部を横断面で切って得られる横断面図において、光導波路の横断面における

幅のうち最も狭い部分の幅とする。図3の例では、光導波路の幅 W_m は、リッジ部の上面の両端にある各エッジの間隔とする。

[0049] 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 $2\mu\text{m}$ から $7\mu\text{m}$ になっていることがある。この場合、光導波路の幅 W_m は $2\mu\text{m}$ から $7\mu\text{m}$ に設定している。

[0050] 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。

[0051] 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扁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。

[0052] 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。

[0053] 光源からのレーザの波長が長くなると、ブラッグ波長の温度変化が大きくなることから、波長安定性を高めるには、レーザの発振波長は 990nm 以下が特に好ましい。一方、光源からのレーザの波長が短くなると、半導体の屈折率変化 Δn_a が大きくなりすぎるため、波長安定性を高めるためには、レ

ーザの発振波長は780nm以上が特に好ましい。

[0054] また、活性層の材質や波長も適宜選択できる。更に、光源は、スーパーluminescence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）

[0055] リッジ型の光導波路は、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。

[0056] 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。

[0057] 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。

[0058] 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。

[0059] また、光学材料層11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11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。

この場合、図12に示す素子9Bのように、支持基体10に薄膜形成法により、接着層を設けることなしに直接下側バッファ層16を形成し、その後、薄膜形成法により光学材料層11を形成してもよい。

[0060] 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。

[0061] 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。

[0062] 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3の例では接着固定だが、直接接合でもよい。

[0063] 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、 $4\mu m$ 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、 $3\mu m$ 以下が更に好ましく、 $2\mu m$ 以下が最も好ましい。

[0064] 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、 $0.1\mu m$ 以上が好ましく、 $0.5\mu m$ 以上が更に好ましい。

[0065] 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、 $2\mu m$ 以上が好ましく、 $2.5\mu m$ 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、 $7\mu m$ 以下が好ましく、 $6.5\mu m$ 以下が更に好ましい。

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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。

[0069] 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導波路基板の屈折率が 1.8 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。

[0070] 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_g を $300\mu m$ 以下と短くした。

[0071] 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て、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。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] [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

[0075] 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

[0076] 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。

[0077] (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。

[0078] 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

[0079] ただし、光源2がレーザ発振している場合は、複合共振器になるために上記の(2-1)式、(2-2)式、(2-3)式は複雑な数式になり、レーザ発振の目安として考えることができる。

[0080] 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7と図8に示すように、グレーティングの反射特性は $\Delta\lambda_g=0.2\text{nm}$ 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。

[0081] ガラス導波路やFBGの場合、 λ_g の温度依存性は非常に小さく、 $d\lambda_g/dT=0.01\text{nm}/^\circ\text{C}$ 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。

[0082] 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 $d\lambda_s/dT=d\lambda_{TM}/dT=0.05\text{nm}/^\circ\text{C}$ と大きく、その差は $0.04\text{nm}/^\circ\text{C}$ となる。

[0083] 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($T_a=T_f$ 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。

[0084] [数9]

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

[0085] これより従来の場合、 T_{mh} は 5°C 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。

[0086] 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。

[0087] 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、 $0.03\text{nm}/^\circ\text{C}$ 以下にすることが好ましく、具体的な光学材料層としては、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) が好ましい。

[0088] また、バッファ層としては、光学材料層よりも屈折率が小さく、使用波長において透明で低損失な材料が好ましい。光学材料と同じ材料系で組成を変えたものでもよいが、光学材料層との屈折率差を大きくした方が好ましい。この観点から、酸化ケイ素 (SiO_2)、酸化アルミナ (Al_2O_3)、等の酸化物が好ましいが、有機系の材料でもよい。

[0089] 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。

[0090] 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 $0.1\text{nm}/^\circ\text{C}$ 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_g は例えば $100\mu\text{m}$ とし、 ΔG_{TM} を大きくするために L_g は例えば $250\mu\text{m}$ としている。

[0091] 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1.8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。

$$\Delta \lambda_g = 0.4 \text{ nm}$$

$$\text{縦モード間隔 } \Delta G_{TM} = 0.2 \text{ nm}$$

$$\text{グレーティング長 } L_b = 3 \text{ mm}$$

$$\text{LD活性層長さ } L_a = 600 \mu\text{m}$$

$$\text{伝搬部の長さ} = 1.5 \text{ mm}$$

[0092] 以下各条件について更に具体的に述べる。

$$0.8 \text{ nm} \leq \Delta \lambda_g \leq 6.0 \text{ nm} \cdots (1)$$

$$10 \mu\text{m} \leq L_b \leq 300 \mu\text{m} \cdots (2)$$

$$20 \text{ nm} \leq t_d \leq 250 \text{ nm} \cdots (3)$$

$$n_b \geq 1.8 \cdots (4)$$

[0093] 式(4)において、ブラッググレーティングを構成する材質の屈折率 n_b は 1.8 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、屈折率の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_{mn} 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 1.9 以上であることが更に好ましい。また、 n_b の上限は特にはないが、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。さらにブラッググレーティングを構成する材質の屈折率 n_b は、3.6 以下であることが好ましい。また、同じ観点で光導波路の等価屈折率は 3.3 以下になることが好ましい。

[0094] ブラッグ反射率のピークにおける半値全幅 $\Delta \lambda_g$ を 0.8 nm 以上とする (式1)。 λ_g はブラッグ波長である。すなわち、図7、図8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。

- [0095] ブラッグ反射率のピークにおける半値全幅 $\Delta\lambda_g$ を 0.8 nm 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 1.2 nm 以上とすることが好ましく、 1.5 nm 以上とすることが更に好ましい。また、半値全幅 $\Delta\lambda_g$ を 6 nm 以下とするが、 3 nm 以下とすることが更に好ましく、 2 nm 以下とすることが好ましい。
- [0096] ブラッググレーティングの長さ L_g は $300\text{ }\mu\text{m}$ 以下とする（式２）。ブラッググレーティングの長さ L_g 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_g を $300\text{ }\mu\text{m}$ 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_g を $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることがいっそう好ましい。
- [0097] 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。
- [0098] また、グレーティングの長さ L_g 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。
- [0099] 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。 $20\text{ nm} \leq t_d \leq 250\text{ nm}$ とすることで、 $\Delta\lambda_g$ を 0.8 nm 以上、 250 nm 以下とすることができ、縦モードの数を $\Delta\lambda_g$ 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、 t_d は、 30 nm 以上が更に好ましく、また、 200 nm 以下が更に好ましい。半値全幅を 3 nm 以下とするには 150 nm 以下が好ましい。
- [0100] 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。

[0101] 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９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 $0.3 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ ）とグレーティングの温度係数 $d\lambda_g/dT$ を近づけることにより、発振波長を $\Delta\lambda_g$ の中に固定することができる。さらに $\Delta\lambda_g$ 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 $\Delta\lambda_g$ の中でモードホップを繰り返し、 $\Delta\lambda_g$ 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。

[0102] 好適な実施形態においては、活性層の長さ L_a も $500 \mu\text{m}$ 以下とする。この観点からは、活性層の長さ L_a を $300 \mu\text{m}$ 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、 $150 \mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。

[0103] [数10]

$$\left| \frac{d\lambda_g}{dT} - \frac{d\lambda_{TM}}{dT} \right| \leq 0.03 \text{ nm} / ^\circ\text{C}$$

．．．．（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。

[0104] 以下、縦モードについて補足する。

(2.3) 式の中の $\beta = 2\pi n_{\text{eff}}/\lambda$ 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 λ が λ_{TM} となる。 ϕ_2 は、ブラッググレーティングの位相変化である。

[0105] 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。

λ_{TM} は、複数存在するので、複数の λ_{TM} の差を意味する。先に用いた $\Delta\lambda$ は ΔG_{TM} に等しく、 λ_s は λ_{TM} に等しい。

[0106] 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。

[0107] 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 $600\mu m$ 以下とする。 L_{WG} は $400\mu m$ 以下が好ましく、 $300\mu m$ 以下が更に好ましい。また、 L_{WG} は $50\mu m$ 以上が好ましい。

[0108] 光源の出射面と光導波路の入射面との距離 L_g は、半導体レーザとグレーティング素子の結合効率をよくするという観点では、零に近い方が好ましい。しかし、広い温度領域で使用するという観点では、熱膨張による機械的な干渉を防ぐ必要があり、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、 $1\mu m$ 以上、 $10\mu m$ 以下とする。これによって安定した発振が可能となる。ただし、入射側伝搬部は設けなくとも良い。

実施例

[0109] (実施例1)

図2、図5、図6に示すような装置を作製した。

具体的には、z板MgOドープのニオブ酸リチウム結晶基板にTiを成膜して、フォトリソグラフィ技術によりy軸方向に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 222nm、長さ L_b 100 μ mのグレーティング溝を形成した。グレーティングの溝深さは40nmであった。また、y軸伝搬の光導波路を形成するために、反応性イオンエッチング装置（RIE）にて、ドライエッチング加工を実施し、リッジ溝を形成した。

[0110] 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3 μ mとし、高さ T_r を0.5 μ mとした。これと共に、図2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における光導波路幅 W_m : 3 μ m

連結部20aにおける光導波路高さ T_r : 0.5 μ m

出射部20cにおける光導波路幅 W_{out} : 1 μ m

出射部20cにおける光導波路高さ T_r : 0.5 μ m

テーパ部20bにおける光導波路幅 W_t : 1~3 μ m

テーパ部20bにおける光導波路高さ T_r : 0.5 μ m

[0111] さらに、溝形成面にSiO₂からなるバッファ層16をスパッタ装置で0.5 μ m成膜し、支持基板としてブラックLN基板を使用してグレーティング形成面を接着した。

[0112] 次に、ブラックLN基板側を研磨定盤に貼り付け、グレーティングを形成したLN基板の裏面を精密研磨して1.2 μ mの厚み（ T_s ）とした。その後、定盤からはずし研磨面をスパッタにてSiO₂からなるバッファ層17を0.5 μ m成膜した。

[0113] 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 μ mとした。

[0114] 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。

[0115] 次に、図6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。

[0116] 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 250 μ m

実装仕様：

L_g ： 1 μ m
 L_m ： 20 μ m

[0117] 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、30mWのレーザ特性であった。

[0118] 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1 μ m、垂直方向が1 μ m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。

[0119] （比較例）

実施例1において、光導波路18の全長にわたって、光導波路幅を3 μ mと一定とし、高さ T_r を0.5 μ m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。

[0120] 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。

次に、図6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。

[0121] 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 250 μ m

実装仕様：

L_g ： 1 μ m
 L_m ： 20 μ m

[0122] 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30mWのレーザ特性であった。

[0123] 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3 μ m、垂直方向が1 μ m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リッジ型光導波路、このリッジ型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または2記載の装置。
- [請求項4] 前記グレーティング素子が、
 支持基板、および
 前記支持基板上に設けられ、厚さ $0.5\mu\text{m}$ 以上、 $3.0\mu\text{m}$ 以下の光学材料層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] 前記ブラッググレーティングを構成する材質が、ガリウム砒素、ニオブ酸リチウム、酸化タンタル、酸化亜鉛および酸化アルミナ、タンタル酸リチウムからなる群より選択され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] 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１～５のいずれか一つの請求項に記載の装置。

$$10\mu\text{m} \leq L_b \leq 300\mu\text{m} \quad \cdots (1)$$

$$20\text{nm} \leq t_d \leq 250\text{nm} \quad \cdots (2)$$

（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、 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。）

[請求項7] 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１～６のいずれか一つの請求項に記載の装置。

$$0.8\text{nm} \leq \Delta\lambda_g \leq 6.0\text{nm} \quad \cdots (3)$$

$$n_b \geq 1.8 \quad \cdots (4)$$

（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、前記ブラッググレーティングを構成する材質の屈折率である。）

[請求項8] 下記式（５）の関係が満足されることを特徴とする、請求項１～７のいずれか一つの請求項に記載の装置。

$$L_{WG} \leq 500\mu\text{m} \quad \cdots (5)$$

（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9] 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7または8記載の装置。

[請求項10] 下記式(6)の関係が満足されることを特徴とする、請求項1～9のいずれか一つの請求項に記載の装置。

[数11]

$$\left| \frac{d\lambda_G}{dT} - \frac{d\lambda_{TM}}{dT} \right| \leq 0.03 \text{ nm} / ^\circ\text{C}$$

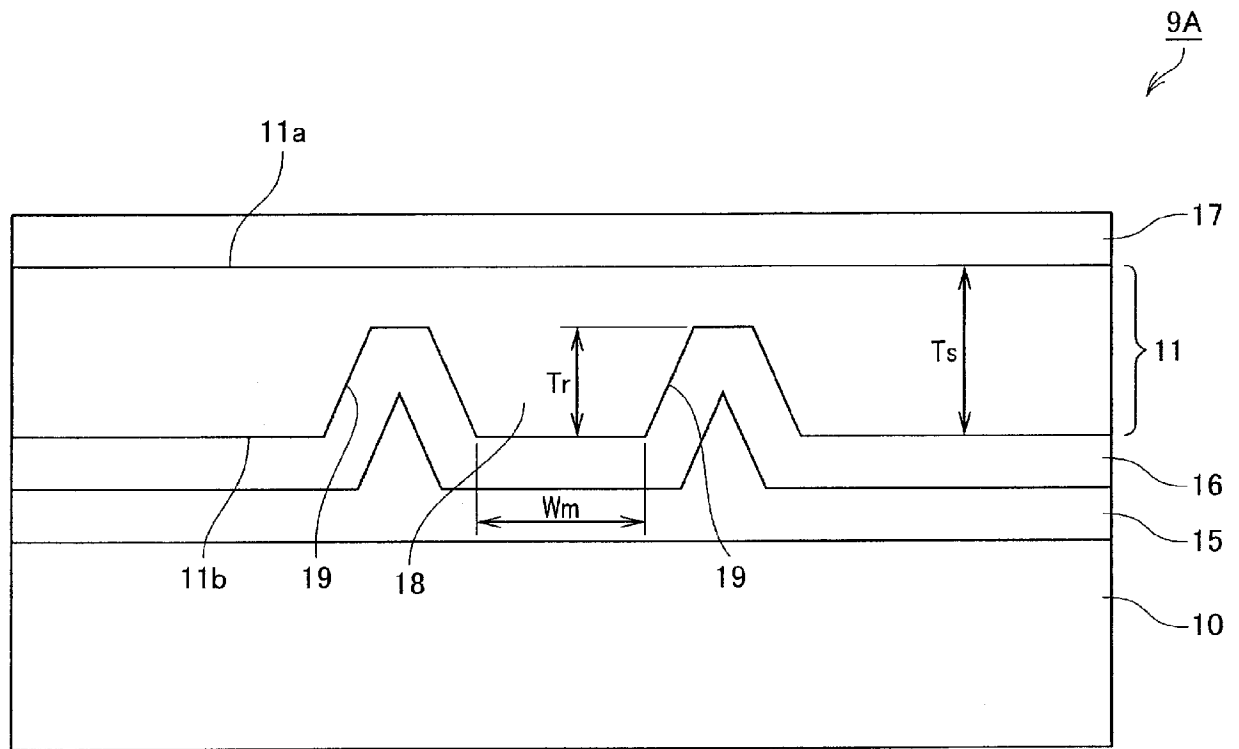
. . . . (6)

(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。

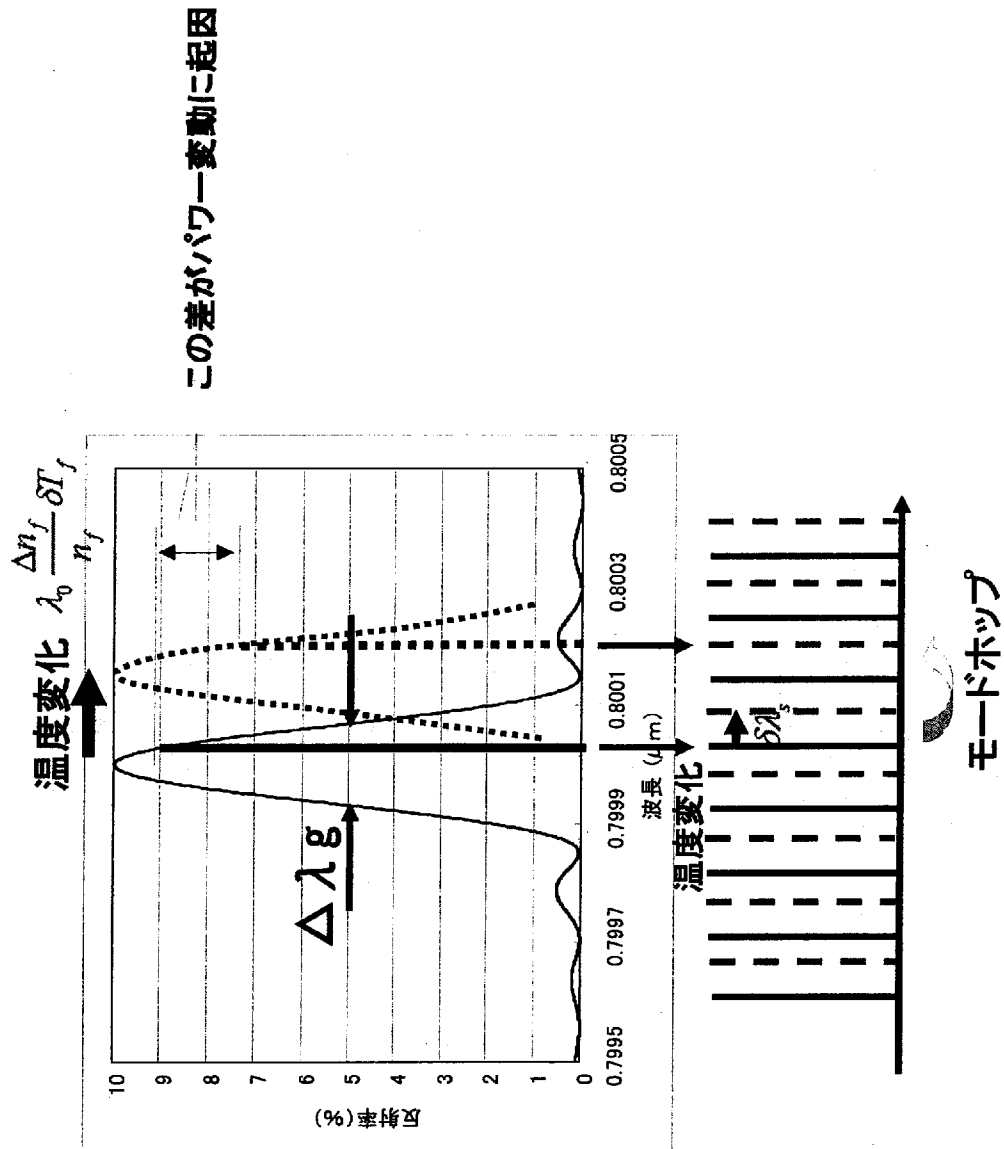
$d\lambda_{TM}/dT$ は、外部共振器レーザの位相条件を満足する波長の温度係数である。)

[illegible]

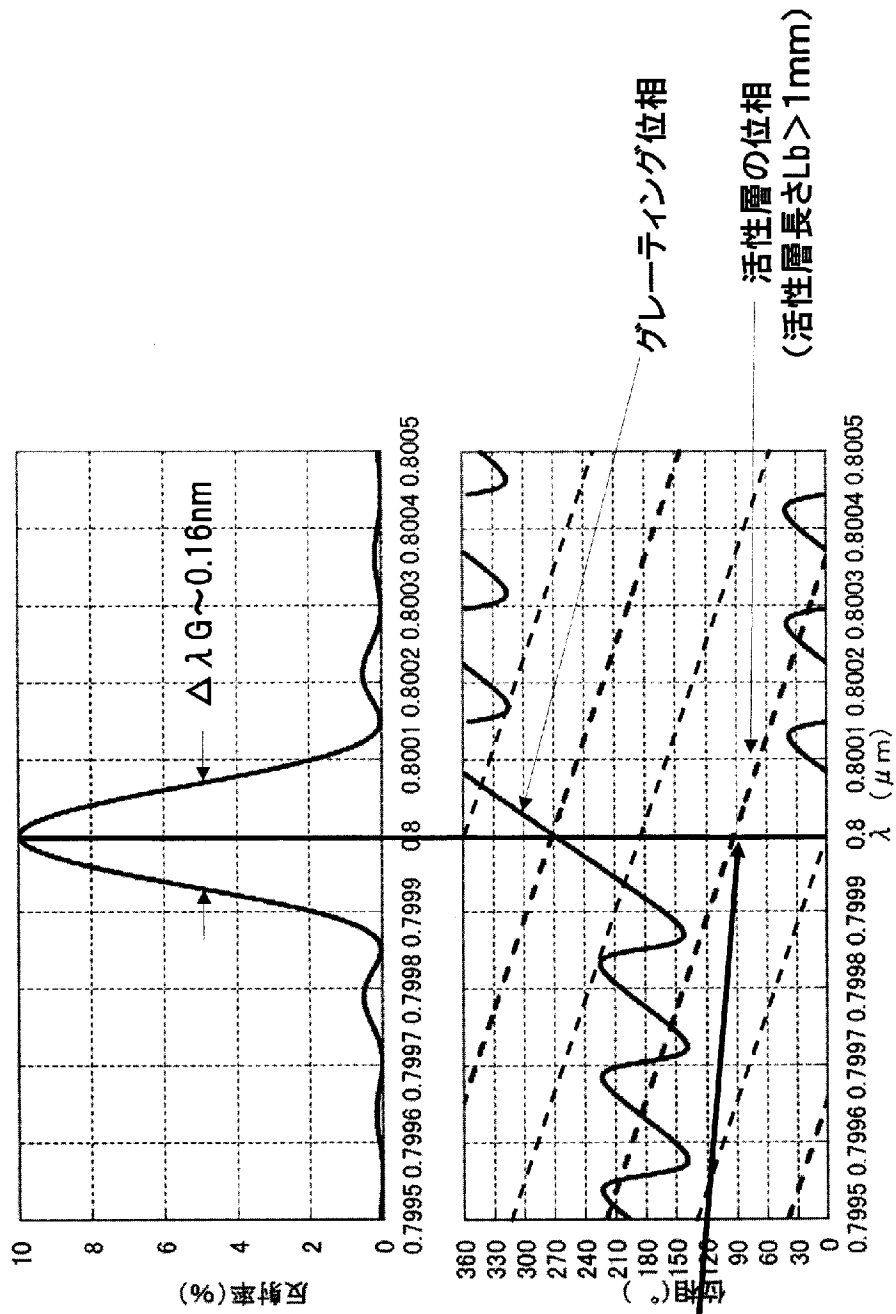
[図5]



[図7]



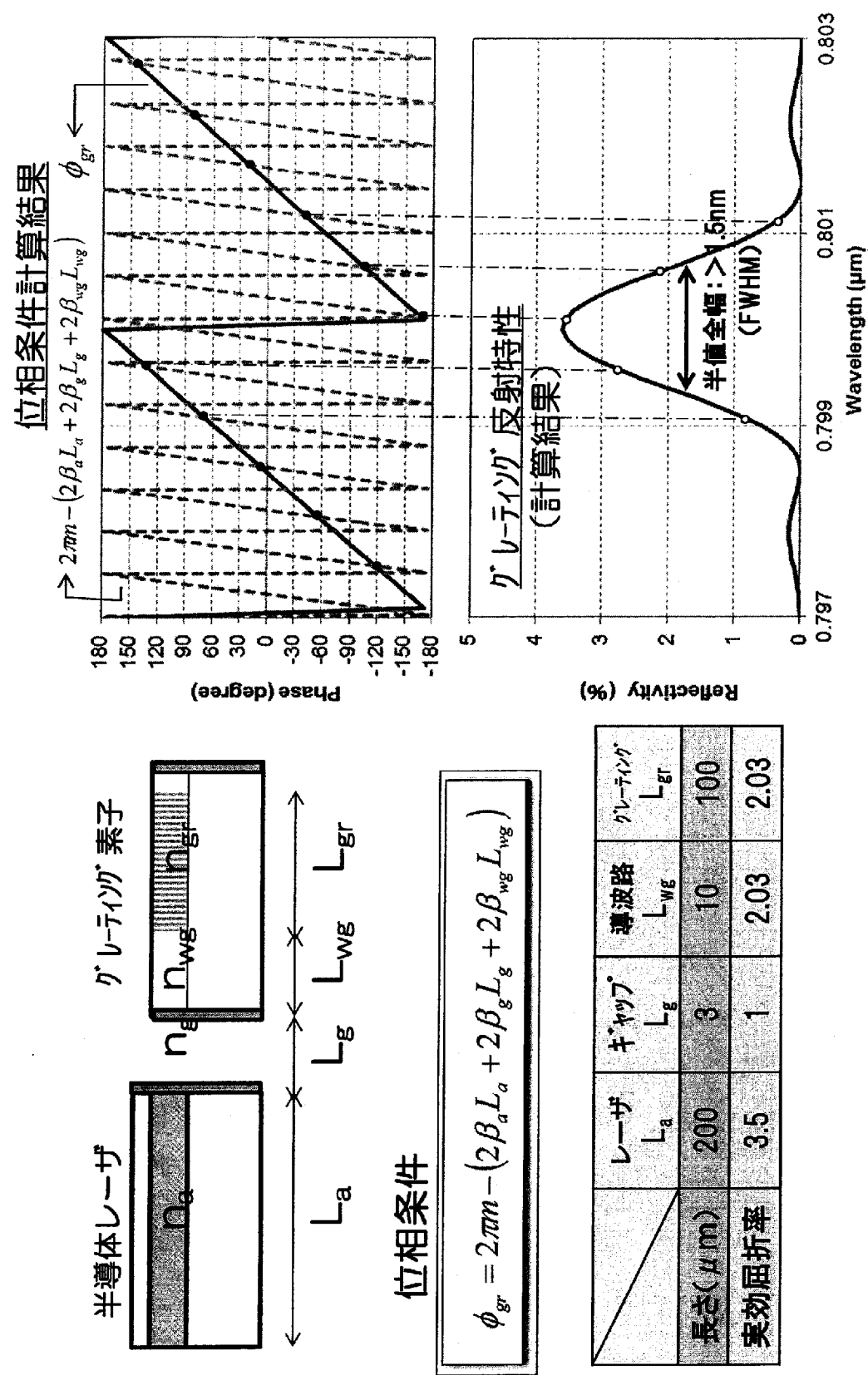
[図8]



位相条件

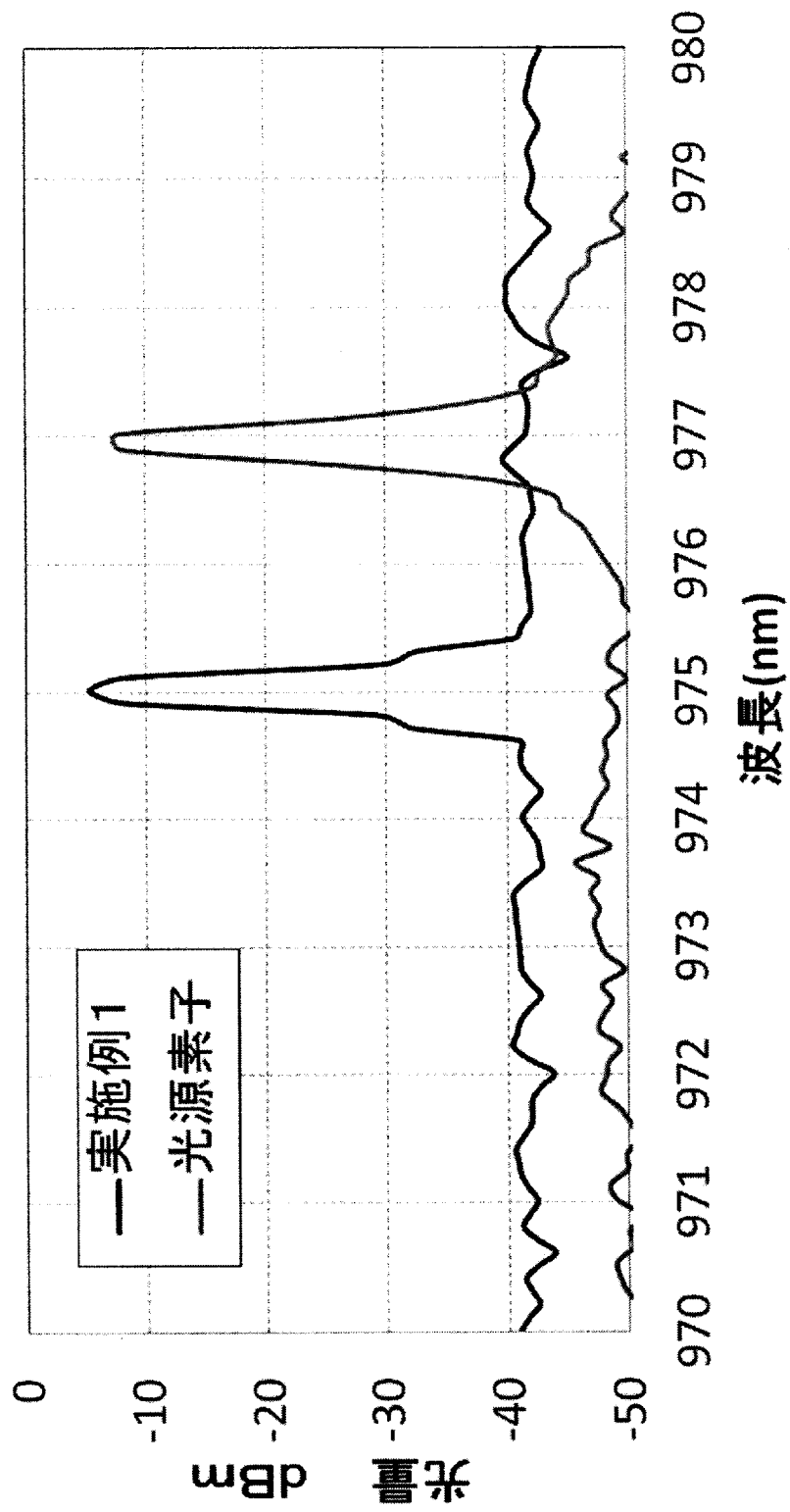
$$\phi_2 + 2\beta L_a = 2p\pi$$

[図9]

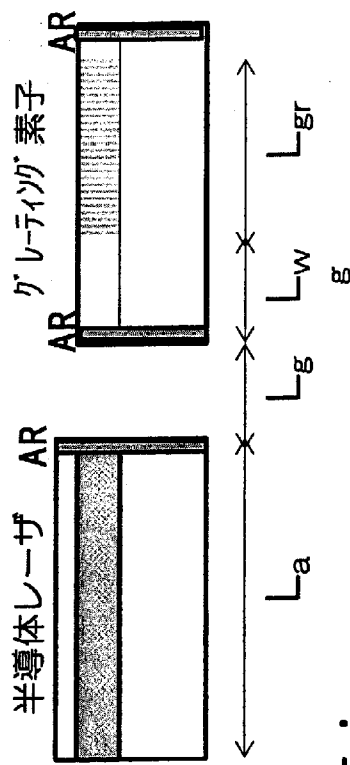


	レーザ	キャップ	導波路	グレーティング
	L_a	L_g	L_{wg}	L_{gr}
長さ(μm)	200	3	10	100
実効屈折率	3.5	1	2.03	2.03

[図10]



[図11]



レーザ発振条件：

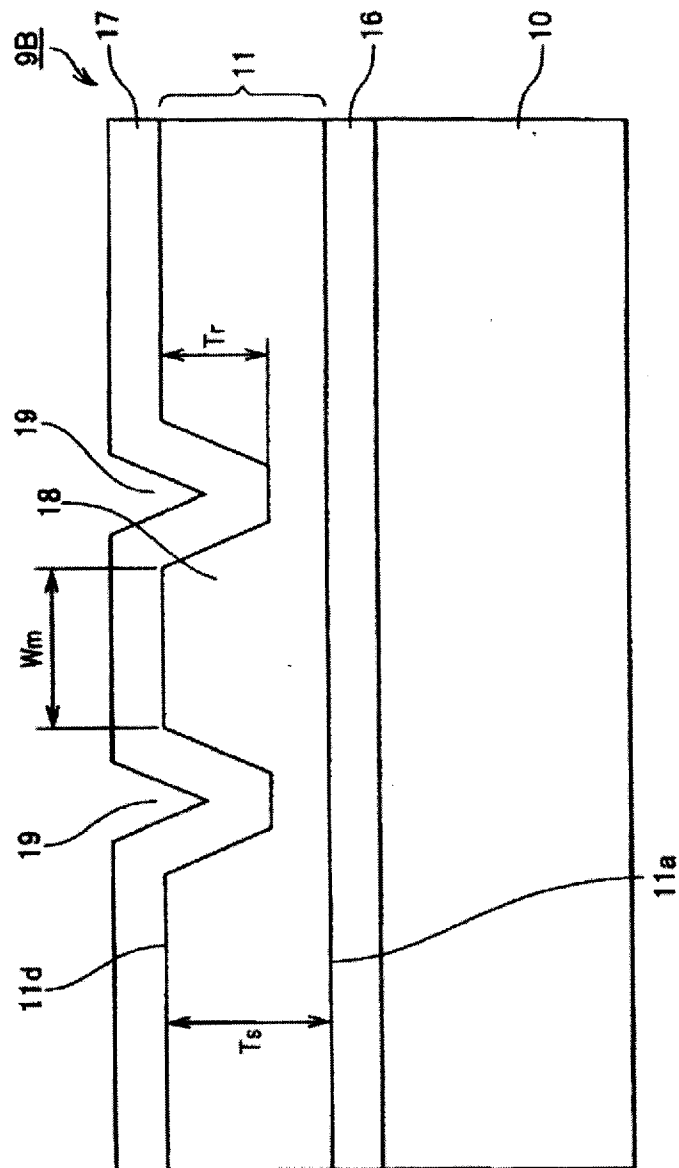
$$C_{out}^2 r_1 r_2 \exp \left\{ (\xi_{th} g_{th} - \alpha_a) L_a - \alpha_g L_g - \alpha_{wg} L_{wg} - \alpha_{gr} L_{gr} \right\} \times \exp \left\{ -j(2\beta_a L_a + 2\beta_g L_g + 2\beta_{wg} L_{wg} + \phi_{gr}) \right\} = 1$$

ゲイン条件

位相条件

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

[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/050279

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/14(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i, G02B6/122(2006.01)i, G02B6/42(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.
X Y	US 2002/0110328 A1 (William K. BISCHSEL), 15 August 2002 (15.08.2002), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0089], [0110] to [0113]; fig. 2, 5) & US 2004/0105611 A1 & US 2005/0046928 A1 & US 2007/0248139 A1 & WO 2002/065600 A2	1-3, 5 4, 6-10
X Y	JP 2002-031730 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 31 January 2002 (31.01.2002), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0018] to [0021], [0035] to [0043]; fig. 3, 4) (Family: none)	1 2-10

☒ 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
24 March 2015 (24.03.15)

Date of mailing of the international search report
31 March 2015 (31.03.15)

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/JP2015/050279

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 07-074396 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 17 March 1995 (17.03.1995), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0020], [0021]; fig. 10) (Family: none)	2-10
Y	JP 3667209 B2 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 15 April 2005 (15.04.2005), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0013], [0025], [0030]) (Family: none)	4-10
Y	JP 02-154476 A (Fujitsu Ltd.), 13 June 1990 (13.06.1990), entire text; all drawings (particularly, page 2, lower right column, line 19 to page 3, upper left column, line 5) (Family: none)	4, 6-10
Y	JP 10-098230 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 14 April 1998 (14.04.1998), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0005], [0010]) (Family: none)	9, 10
A	WO 2005/099054 A1 (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 20 October 2005 (20.10.2005), entire text; all drawings (particularly, page 11, lines 5 to 21; fig. 5) & JP 4271704 B2 & US 2007/0133638 A1 & CN 1918759 A	1-10
A	JP 11-163470 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 June 1999 (18.06.1999), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0015] to [0018]; fig. 5, 6) (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, G02B6/12(2006.01)i, G02B6/122(2006.01)i, G02B6/42(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, G02B6/12-6/14

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	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	US 2002/0110328 A1 (William K. BISCHEL) 2002.08.15, 全文、全図（特に、[0089],[0110]-[0113], Fig.2,5)	1-3, 5
Y	& US 2004/0105611 A1 & US 2005/0046928 A1 & US 2007/0248139 A1 & WO 2002/065600 A2	4, 6-10
X	JP 2002-031730 A（富士写真フイルム株式会社）2002.01.31, 全文、全図（特に、[0018]-[0021],[0035]-[0043]、図3,4)	1
Y	（ファミリーなし）	2-10

☒ 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 4 . 0 3 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

3 1 . 0 3 . 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 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

佐藤 秀樹

2 X

3 1 5 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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 07-074396 A (日本電信電話株式会社) 1995. 03. 17, 全文、全図 (特に、[0020], [0021]、図 10) (ファミリーなし)	2-10
Y	JP 3667209 B2 (住友電気工業株式会社) 2005. 04. 15, 全文、全図 (特に、[0013], [0025], [0030]) (ファミリーなし)	4-10
Y	JP 02-154476 A (富士通株式会社) 1990. 06. 13, 全文、全図 (特に、第 2 ページ右下欄第 19 行から第 3 ページ左上 欄第 5 行) (ファミリーなし)	4, 6-10
Y	JP 10-098230 A (日本電信電話株式会社) 1998. 04. 14, 全文、全図 (特に、[0005], [0010]) (ファミリーなし)	9, 10
A	WO 2005/099054 A1 (松下電器産業株式会社) 2005. 10. 20, 全文、全図 (特に、第 11 ページ第 5-21 行、図 5) & JP 4271704 B2 & US 2007/0133638 A1 & CN 1918759 A	1-10
A	JP 11-163470 A (住友電気工業株式会社) 1999. 06. 18, 全文、全図 (特に、[0015]-[0018]、図 5, 6) (ファミリーなし)	1-10