

(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 11 月 5 日(05.11.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/166794 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/122 (2006.01) *G02B 6/42* (2006.01)
G02B 6/124 (2006.01) *H01S 5/14* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/061385
- (22) 国際出願日: 2015 年 4 月 13 日(13.04.2015)
- (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 2014-094789 2014 年 5 月 1 日(01.05.2014) 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). 浅井 圭一郎(ASAI Keiichiro); 〒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). 岡田 直剛(OKADA Naotake); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂

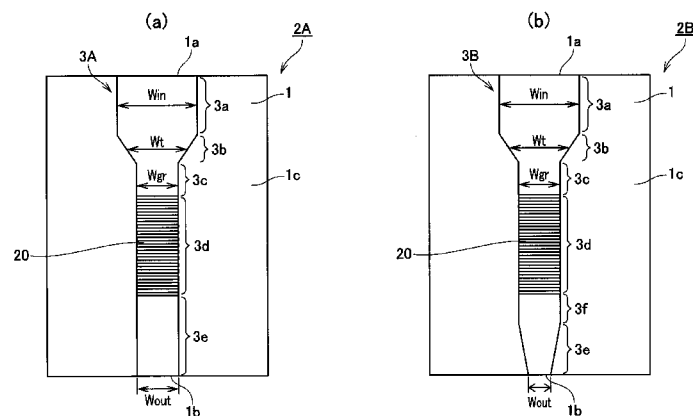
区須田町 2 番 5 6 号日本碍子株式会社内 Aichi (JP).

- (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), ユーロピア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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).

[続葉有]

(54) Title: GRATING ELEMENT AND EXTERNAL RESONATOR TYPE LIGHT EMITTING DEVICE

(54) 発明の名称: グレーティング素子および外部共振器型発光装置



(57) Abstract: A grating element (2A) is provided with: a support substrate; an optical material layer (1); a ridge optical waveguide (3A) having an incident surface to which laser light is incident and an output end that outputs output light of an intended wavelength; and a Bragg grating (20) formed in the optical waveguide and having depressions and protrusions. The optical waveguide includes an incident part (3a) provided between an incident surface (1a) and the Bragg grating (20) and a tapered part (3b) provided between the incident part and the Bragg grating. Propagated light undergoes single mode propagation in the Bragg grating. The optical waveguide width (W_{in}) in the incident part is larger than the optical waveguide width (W_{gr}) in the Bragg grating, and the optical waveguide width (W_t) in the tapered part becomes smaller from the incident part toward the Bragg grating. The relationships in Equation (1) - Equation (3) are satisfied. $0.8 \text{ nm} \leq \Delta\lambda_G \leq 6.0 \text{ nm} \dots (1)$; $10 \text{ }\mu\text{m} \leq L_b \leq 300 \text{ }\mu\text{m} \dots (2)$; $20 \text{ nm} \leq t_d \leq 250 \text{ nm} \dots (3)$ (In Equation (1), $\Delta\lambda_G$ is the full width at half maximum at the peak for the Bragg reflectivity of the Bragg grating. In Equation (2), L_b is the length of the Bragg grating. In Equation (3), t_d is the depth of the depressions and protrusions constituting the Bragg grating.)

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2015/166794 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

グレーティング素子 2 A は、支持基板、光学材料層 1、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端を有するリッジ型光導波路 3 A、および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 2 0 を備える。光導波路が、入射面 1 a とブラッググレーティング 2 0 との間に設けられる入射部 3 a、および入射部とブラッググレーティングとの間に設けられているテーパ部 3 b を含む。ブラッググレーティングにおいて伝搬光がシングルモード伝搬する。入射部における光導波路の幅 W_{in} がブラッググレーティングにおける光導波路 W_{gr} の幅よりも大きく、テーパ部における光導波路の幅 W_t が入射部からブラッググレーティングに向かって小さくなっている。式 (1) ~ 式 (3) の関係が満足される。 $0.8 \text{ nm} \leq \Delta\lambda_g \leq 6.0 \text{ nm} \cdots (1)$: $10 \text{ }\mu\text{m} \leq L_b \leq 300 \text{ }\mu\text{m} \cdots (2)$: $20 \text{ nm} \leq t_d \leq 250 \text{ nm} \cdots (3)$ (式 (1) において、 $\Delta\lambda_g$ は、前記ブラッググレーティングのブラッグ反射率のピークにおける半値全幅である。式 (2) 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 (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。)

明 細 書

発明の名称： グレーティング素子および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、およびこれ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] 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、一つ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。

先行技術文献

特許文献

[0008] 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

非特許文献

[0009] 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

[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 $\delta \lambda_s$ 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。

[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、 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。

[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 $\Delta \lambda$ 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。

[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]

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

[0019] 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。

[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 $0.3\text{nm}/^{\circ}\text{C}$ 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。

[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、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] ここで、光源とグレーティング素子の結合効率を保持しつつ、同時に軸ずれトレランスを確保することが望ましい。具体的には、結合効率を50%以上とし、軸ずれ許容幅を $\pm 1\mu\text{m}$ 程度とすることが望まれる。

[0025] 本発明者は、結合効率の軸ずれトレランスを向上させるため、入射部における光学材料層の厚さ、リッジ型光導波路の幅を、光源から出射するレーザ光のモードフィールド径（垂直方向、水平方向）よりも大きく設定すること

を試みた。例えば、リッジ型光導波路の幅がレーザ光の水平方向のモードフィールド径の1.5倍以上となるようにしてみた。さらに、光学材料層の厚さがレーザ光の垂直方向のモードフィールド径の1.5倍以上となるようにしてみた。

[0026] 一般的に光源の横モードはシングルモードであり、そのスポット径は垂直方向で $0.5\mu\text{m}$ から $2\mu\text{m}$ であり、水平方向では $1\mu\text{m}$ から $6\mu\text{m}$ となっている。また、たとえば、入射部における光学材料層の厚みは W_{inv}/λ が2以上としている。光学材料層はあまり厚いと結合損失が大きくなってしまうので、 W_{inv}/λ は3以下が好ましい。特に、波長 $0.7\mu\text{m}$ から $1.1\mu\text{m}$ において入射部でのリッジ型光導波路の幅は、軸ずれトレランスを大きくする観点で $5\mu\text{m}$ 以上が好ましく、結合損失が大きくなってしまうので、 $10\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。

[0027] しかし、このように軸ずれトレランスを大きくするため、リッジ型光導波路の幅を大きくすると、今度はブラッググレーティングにおいてマルチモードが励振され、シングルモード励振されにくくなることが判明してきた。この場合には、出射光がマルチモード光となった。しかも、マルチモード光の場合、複数の反射波長が存在するため、波長不安定性が生ずる。

[0028] 本発明の課題は、光源からのレーザ光と、グレーティング素子の光導波路との軸ずれトレランスを大きくしつつ、ブラッググレーティングによる外部共振器型レーザの波長安定性を向上することである。

課題を解決するための手段

[0029] 本発明に係るグレーティング素子は、
支持基板、
前記支持基板上に設けられた光学材料層、
前記光学材料層に設けられ、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端を有するリッジ型光導波路、および
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を備えており、

前記リッジ型光導波路が、前記入射面と前記ブラッググレーティングとの間に設けられている入射部および前記入射部と前記ブラッググレーティングとの間に設けられているテーパ部を含んでおり、少なくとも前記ブラッググレーティングにおいて伝搬光がシングルモード伝搬し、前記入射部における前記リッジ型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リッジ型光導波路の幅よりも大きく、前記テーパ部における前記リッジ型光導波路の幅が前記入射部から前記ブラッググレーティングに向かって小さくなっており、下記式（１）～式（４）の関係が満足されることを特徴とする。

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

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

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

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

（式（１）において、 $\Delta \lambda_g$ は、前記ブラッググレーティングのブラッグ反射率のピークにおける半値全幅である。

式（２）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（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。

式（４）において、 n_b は、前記光学材料層を構成する材質の屈折率である。）

また、本発明は、

支持基板、

前記支持基板上に設けられた光学材料層、

前記光学材料層に設けられ、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端を有するリッジ型光導波路、および

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を備えており、

前記リッジ型光導波路が、前記入射面と前記ブラッググレーティングとの間に設けられている入射部および前記入射部と前記ブラッググレーティングとの間に設けられているテーパ部を含んでおり、少なくとも前記ブラッググレーティングにおいて伝搬光がシングルモード伝搬し、前記入射部における前記リッジ型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リッジ型光導波路の幅よりも大きく、前記テーパ部における前記リッジ型光導波路の幅が前記入射部から前記ブラッググレーティングに向かって小さくなっており、下記式（１）～式（３）の関係が満足され、前記光学材料層を構成する材質が、ガリウム砒素、ニオブ酸リチウム単結晶、酸化タンタル、酸化亜鉛、酸化アルミニウム、タンタル酸リチウム、酸化マグネシウム、酸化ニオブ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、グレーティング素子。

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

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

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

（式（１）において、 $\Delta \lambda_g$ は、前記ブラッググレーティングのブラッグ反射率のピークにおける半値全幅である。

式（２）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（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。）

[0030] また、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のものであることを特徴とする。

発明の効果

- [0031] 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。
- [0032] このため、グレーティングが形成される導波路基板の屈折率を高くすることが好ましい。これにより屈折率の温度係数を大きくでき、 $d\lambda_g/dT$ が大きくなるので、 $|d\lambda_g/dT - d\lambda_{TM}/dT|$ 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。
- [0033] そして、本発明では、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 $\Delta\lambda_g$ を大きめに設定している。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、グレーティング素子の長さ L_g を $300\mu m$ 以下と短くした。
- [0034] 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ことを見出した。
- [0035] その上で、入射部におけるリッジ型光導波路幅をレーザ光の水平方向のモードフィールド径よりも大きくし、例えば1.5倍以上とすると、光源との軸ずれトレランスを大きくすることができる。ただし、光導波路幅を大きくすると、ブラッググレーティングにおいて伝搬光がマルチモード化するために、波長安定性が損なわれてしまう。このため、本発明においては、ブラッググレーティングにおけるリッジ型光導波路幅を相対的に小さくし、入射部

とブラッググレーティングとの間に、リッジ型光導波路幅が小さくなるテーパー部を設けることとした。これによって、ブラッググレーティングにおいて伝搬光をシングルモードとする条件下において、軸ずれトレランスを改善することに成功した。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]図1 (a)、図1 (b)は、それぞれ、グレーティング素子2 A、2 Bを模式的に示す平面図である。

[図2] (a)は、グレーティング素子2 Aを模式的に示す平面図であり、(b)は、グレーティング素子2 Aを模式的に示す側面図である。

[図3] (a)は、グレーティング素子2 Bを模式的に示す平面図であり、(b)は、グレーティング素子2 Bを模式的に示す側面図である。

[図4]グレーティング素子の斜視図である。

[図5]グレーティング素子の横断面図である。

[図6]他のグレーティング素子の横断面図である。

[図7]さらに他のグレーティング素子の横断面図である。

[図8]外部共振器型発光装置を模式的に示す平面図である。

[図9]外部共振器型発光装置を模式的に示す側面図である。

[図10]他の外部共振器型発光装置を模式的に示す平面図である。

[図11]他の外部共振器型発光装置を模式的に示す平面図である。

[図12]更に他の実施形態に係る外部共振器型発光装置を模式的に示す平面図である。

[図13]図1 2の装置を模式的に示す縦断面図である。

[図14]レーザ発振条件を説明する図である。

[図15]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16]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17]モードフィールドパターンの例である。

[図18]モードフィールドパターンの例である。

[図19]リッジ型光導波路の幅と実効屈折率との関係を示すグラフである。

[図20]リッジ型光導波路の幅と導波路における伝搬高率との関係を示すグラフである。

[図21]本発明における、離散的な位相条件例を示す。

発明を実施するための形態

[0037] 図1(a)、(b)に示すように、グレーティング素子2A、2Bには、レーザ光が入射する入射面1aと所望波長の出射光を出射する出射面1bを有する光学材料層1が設けられている。光学材料層1内には、リッジ型光導波路3A、3Bが設けられている。

[0038] リッジ型光導波路3Aは、入射部3a、テーパ部3b、連結部3c、グレーティング部3d、出射部3eを備えており、グレーティング部3dにはブラッググレーティング20が形成されている。出射部3eの幅は一定である。リッジ型光導波路3Bは、入射部3a、テーパ部3b、連結部3c、グレーティング部3d、出射部3e、およびグレーティング部と出射部3eとの間の連結部3fを備えており、グレーティング部3dにはブラッググレーティング20が形成されている。連結部3fの幅は一定であるが、出射部3eの幅は、出射面に近づくにつれて徐々に縮小している。

[0039] 図2(a)、(b)に示すように、グレーティング素子2Aの場合には、支持基板5上に下部クラッド層4を介して光学材料層1が形成されている。1cは上面である。クラッド層は光学材料層よりも屈折率の小さい材料であればよく、接着層であってもよい。接着層の場合には、光学材料層の底面1dが支持基板5上に接着されている。

[0040] 図3(a)、(b)に示すように、グレーティング素子2Bの場合には、支持基板5上に下側クラッド層4を介して光学材料層1が形成されている。1cは上面である。前記下側クラッド層は光学材料層よりも屈折率の小さい材料であればよく、接着層であってもよい。接着層の場合には、光学材料層の底面1dが支持基板5上に接着されている。

[0041] 図4には、グレーティング素子2Aの斜視図を模式的に示す。グレーティング素子4Bもほぼ同様である。

[0042] 図5、図6、図7は、それぞれ、グレーティング素子をブラッググレーティングで切ってみた横断面を示す。

[0043] 図5の例では、支持基板5上に接着層7、下側バッファ層4を介して光学材料層1が形成されており、光学材料層1上に上側バッファ層8が形成されている。光学材料層1には、例えば一对のリッジ溝9が形成されており、リッジ溝9の間にリッジ型光導波路のグレーティング部3dが形成されている。

[0044] この場合、ブラッググレーティングは上面1c側に形成していてもよく、底面1d側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からは、ブラッググレーティングを平坦な底面1d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9とを基板の反対側に設けることが好ましい。

[0045] 図6の例は、図5の例と同様である。ただし、光学材料層1は支持基板5の上に下側にバッファ層4を介して形成されている。また光学材料層1の上には上側バッファ層8が形成されている。

[0046] 図7の例では、支持基板5上に接着層7、下側バッファ層4を介して光学材料層1が形成されており、光学材料層1上に上側バッファ層8が形成されている。光学材料層1の支持基板5側には、例えば一对のリッジ溝9が形成されており、リッジ溝9の間にリッジ型光導波路3d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な上面1c側に形成していてもよく、リッジ溝のある底面1d側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な上面1c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8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。

- [0047] しかしながら、支持基板 5 が光学材料層 1 よりも屈折率が高い場合には、上側バッファ層は形成されていた方が導波路の伝搬損失を低減するという観点で好ましい。
- [0048] 図 8、図 9 に模式的に示す発光装置 10 は、レーザ光を発振する光源 11 と、グレーティング素子 2A とを備えている。光源 11 とグレーティング素子 2A とは、共通基板 17 上にマウントされている。
- [0049] 光源 11 は、半導体レーザ光を発振する活性層 12 を備えている。本実施形態では、活性層 12 は基体 15 に設けられている。光源の外側端面には反射膜 16 が設けられており、活性層 12 のグレーティング素子側の端面には無反射層 13A が形成されている。
- [0050] グレーティング素子の入射部は活性層 12 と間隙 14 を介して対向している。13B は、光学材料層 1 の入射面側に設けられた無反射膜であり、13C は、光学材料層 1 の出射面側に設けられた無反射膜である。
- [0051] 無反射層 13A、13B、13C 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、無反射層の代わりに反射膜を設けることもできる。
- [0052] この場合、レーザ光の発振波長は、ブラッググレーティングにより反射される波長で決定される。ブラッグ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。
- [0053] 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方が好ましい。
- [0054] 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 1064 nm 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。

[0055] レーザ光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、波長が短くなると、半導体の屈折率変化 Δn 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。また、活性層の材質や波長も適宜選択できる。

[0056] 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)

[0057] リッジ型光導波路は、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。

[0058] 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、Cr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。

リッジ型光導波路も、グレーティング溝と同じように形成することができる。

[0059] 光学材料層中には、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。

[0060] 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。

[0061] 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11は支持基体に直接形成されている。または、支持基体に下側バッファ層を形成した後に光学材料層を形成することができる。

[0062] 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。

[0063] 支持基体の屈折率が光学材料層の屈折率よりも大きい場合には下部クラッド層は必須であるが、導波路損失の低減という観点で上部クラッド層を設けることが好ましい。

下部、上部クラッド層は、それぞれ下部、上部バッファ層であってよく、またこれらの屈折率は、光学材料層の屈折率よりも低い。

[0064] 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などの酸化物で積層した膜や、金属類も使用可能である。

[0065] 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2の例では接着固定だが、直接接合でもよい。

[0066] 好適な実施形態においては、入射面と出射面との少なくとも一方に、光学材料層を構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる単層膜が形成されている。こうした単層膜の厚さは、ARコートのように厳密に決定する必要はなく、単に単層膜を形成することによって端面反射を低減することができる。ここで、多層膜にすると、多層膜間の屈折率と厚さの関係によっては、反射抑制の度合いが低下したり、無くなったりする可能性がある。

り、多層膜の各層の厚さを制御する必要があるので、単層膜の方が優れている。これによりグレーティング素子の端面反射率は単層膜がない場合よりも確実に低減することができる。単層膜の厚みは、好適には $1\ \mu\text{m}$ 以下である。

[0067] 図 10 の例では、光源 11 に対してグレーティング素子 2A が光学結合されているとともに、グレーティング素子 2A の出射部 3e の出射面に対して、別体の光導波路基板 21 の光導波路 22 が光学的に結合されている。

[0068] 図 11 の例では、光源 11 に対してグレーティング素子 2B が光学結合されているとともに、グレーティング素子 2B の出射部 3e の出射面に対して、別体の光導波路基板 21 の光導波路 22 が光学的に結合されている。

[0069] 図 12、図 13 の例では、光源 11 およびグレーティング素子 22 が共通基板 24 上に実装されている。接着層 7、25 を設けることも可能である。

[0070] グレーティング素子 22 のリッジ型光導波路 23A は、入射部 23a、テーパ部 23b、グレーティング部 23d、出射部 23e を備えており、グレーティング部 23d にはブラッググレーティング 20 が形成されている。素子の上面から見ると（図 12）、入射部 23a における光導波路幅 W_{in} は、ブラッググレーティングにおける光導波路幅 W_{gr} よりも大きくなっている。テーパ部 23b における光導波路幅 W_t は、 W_{in} から W_{gr} へと向かって単調減少している。また、本例では、出射部 23e における光導波路幅 W_{out} は一定である。

[0071] また、素子の側面側から見ると（図 13）、入射部 23a における光学材料層厚さ W_{inv} は、ブラッググレーティングにおける光学材料層厚さ W_{grv} よりも大きくなっている。テーパ部 23b における光学材料層厚さ W_{tv} は、 W_{inv} から W_{grv} へと向かって単調減少している。また、本例では、出射部 23e における光学材料層厚さ W_{outv} は一定である。

[0072] 以下、図 14 に示すような構成において本発明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

形態と本発明の実施形態とを端的に比較し、本発明の特徴を述べる。次いで、本発明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]

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

(2-1) 式

[0075] 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

[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、 $\zeta_t g_{th}$ 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 $\xi_{tg_{th}}$ (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、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] 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15と図16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。

[0080] 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。

[0081] 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 $d\lambda_s/dT=0.05\text{nm}/^\circ\text{C}$ と大きく、その差は $0.04\text{nm}/^\circ\text{C}$ となる。

[0082] 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。

[0083] [数9]

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

[0084] これより従来の場合、モードホップが起こる温度 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。

[0085] 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。

[0086] これに対し、本発明は、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)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化マグネシウム (MgO)、酸化ニオブ (Nb_2O_5)、酸化チタン (TiO_2) が好ましい。

[0087] 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。

[0088] すなわち、本発明構造は、例えば、LN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 $100\mu m$ とし、 ΔG_{TM} を大きくするために L_a は例えば $250\mu m$ としている。

[0089] 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。

$$\Delta\lambda_g = 0.4nm$$

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

$$\text{グレーティング長}L_b = 3mm$$

$$\text{LD活性層長さ}L_a = 600\mu m$$

$$\text{伝搬部の長さ} = 1.5mm$$

[0090] 以下、本発明の以下の各条件について更に具体的に述べる。

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

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

$$20nm \leq t_d \leq 250nm \cdots (3)$$

[0091] ブラッググレーティングを構成する材質の屈折率 n_b を1.7以上とすることが好ましく、1.8以上とすることが更に好ましい。

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、屈折率が高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_{m1} 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。

[0092] 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15、図16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。

[0093] 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5 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。

[0094] ブラッググレーティングの長さ L_b は300 μm 以下とする（式2：図9参照）。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300 μm 以下と従来に比べて短くすることは、本発明の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200 μm 以下とすることがいっそう好ましい。

[0095] 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。

[0096] 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、5 μm 以上が好ましく、5%以上の反射率を得るためには、10 μm 以上が更に好ましい。

[0097] 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(図4参照)。 $20\text{ nm} \leq t_d \leq 250\text{ nm}$ 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。

[0098] 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。

[0099] レーザ発振条件は、図14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21に示される。すなわち、本願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。

[0100] 好適な実施形態においては、活性層の長さ L_a も $500\text{ }\mu\text{m}$ 以下とする(図9)。この観点からは、活性層の長さ L_a を $300\text{ }\mu\text{m}$ 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、 $150\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。

[0101] 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。

[0102] 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り、 λ_{TM} は図 15 で示される。

[0103] 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。

[0104] 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。

[0105] 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 $600\ \mu\text{m}$ 以下とする（図 9）。 L_{WG} は $400\ \mu\text{m}$ 以下が好ましく、 $300\ \mu\text{m}$ 以下が更に好ましい。また、 L_{WG} は $50\ \mu\text{m}$ 以上が好ましい。

[0106] 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_0 は、 $1\ \mu\text{m}$ 以上、 $10\ \mu\text{m}$ 以下とする（図 9 参照）。これによって安定した発振が可能となる。

[0107] 好適な実施形態においては、入射部およびテーパ部の全長 L_m は、 $100\ \mu\text{m}$ 以下とする。これによって安定した発振が促進される。また、伝搬部の長さ L_m の下限値は特にないが、 $10\ \mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $20\ \mu\text{m}$ 以上が更に好ましい。

[0108] 光源との軸ずれトレランスを大きくするという観点からは、入射部におけるリッジ型光導波路の幅 W_{in} （図 10、図 11、図 13 参照）は、レーザ光の水平方向のモードフィールド径 W_h の 1.5 倍以上とすることが好ましい。また、入射部におけるリッジ型光導波路の幅 W_{in} をレーザ光の水平方向のモードフィールド径 W_h の 2.5 倍以下とすることがさらに好ましい。

[0109] また、光源との軸ずれトレランスを大きくするという観点からは、入射部における光学材料層の厚さ W_{inv} （図 13）は、レーザ光の垂直方向のモードフィールド径 W_v の 1.5 倍以上とすることが好ましい。また、入射部におけ

る光学材料層の厚さ W_{inv} は、レーザ光の垂直方向のモードフィールド径 W_v の2.5倍以下とすることが好ましい。

[0110] レーザ光の水平方向、垂直方向のモードフィールド径は、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、モードフィールド径と定義する。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。

[0111] 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。

[0112] 好適な実施形態においては、入射部における光学材料層の厚さを W_{inv} としたとき、 W_{inv}/λ を2以上とする。しかし、光学材料層はあまり厚いと結合損失が大きくなってしまうので、 W_{inv}/λ は3以下が好ましい。

レーザ光の波長が $0.85\mu\text{m}$ の場合に、 W_{inv} は $1.7\mu\text{m}$ 以上、 $2.55\mu\text{m}$ 以下となる。

[0113] 本発明では、入射部におけるリッジ型光導波路幅 W_{in} は、グレーティング部におけるリッジ型光導波路幅 W_{gr} よりも大きい。ただし、リッジ型光導波路の幅とは、光導波路を構成するリッジ部分の上面の横断面の二つのコーナー間の間隔のことを意味する（図5参照）。

[0114] 本発明の観点からは、 W_{in}/W_{gr} は、1.5以上が好ましく、2以上がさらに好ましい。また、 W_{in}/W_{gr} が大きすぎると、ブラッググレーティングにおける基板放射が増加する傾向があるので、 W_{in}/W_{gr} は3.5以下が好ましい。

[0115] たとえばレーザ光の波長が $0.85\mu\text{m}$ の場合には、入射部のリッジ型光導波路幅は $5\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $10\mu\text{m}$ 以下にすることが好ましい。ま

た、グレーティング部のリッジ幅は 3λ 以上、 5λ 以下であることが好ましい。波長が $0.85\mu\text{m}$ の場合に、リッジ幅は $2.55\mu\text{m}$ 以上が好ましく、 $4.25\mu\text{m}$ 以下にすることが好ましい。

[0116] 入射部とグレーティング部とはテーパ部によって連結されている。テーパ部においては、入射部からグレーティング部へと向かってなめらかにリッジ幅 W_t が減少することが好ましく、素子長手方向に対して一次関数的に減少することがさらに好ましい。

[0117] なお、出射部 $3e$ 、 $23e$ の幅 W_{out} は、グレーティング素子におけるリッジ型光導波路の幅 W_{gr} と同一であって良いが、 W_{gr} より小さくなっていてもよい。 W_{out}/W_{gr} は、 1.0 以下が好ましく、 0.5 以下でも良いが、伝搬効率の点からは 0.7 以上が好ましい。

[0118] グレーティング部のリッジ型光導波路幅を小さくしすぎるとモード形状が歪化して基板モードに放射するだけでなく、グレーティングの反射率が低減することがわかった。

[0119] すなわち、グレーティング部では伝搬光はシングルモード化するために、リッジ幅を小さくすると、図17のようなスポット形状になる。図17は、波長 $0.85\mu\text{m}$ 、リッジ幅 $2\mu\text{m}$ のときのスポット形状である。このとき光電界は基板に漏れ出しており、リッジ上面の光電界は小さくなる。このため、リッジ型導波路の上面にグレーティングを形成する場合には、溝の段差を光電界が感じにくくなり反射率は大きくなる。

[0120] これに対して、図18は、リッジ型光導波路幅 $3\mu\text{m}$ のときのスポット形状である。この場合、形状は楕円形状で基板モードへの漏れ出しはないことがわかる。

[0121] 一方、グレーティング部のリッジ幅を大きくしすぎるとマルチモード化することから、最適なリッジ幅が存在する。

[0122] 図19は、光学材料層の厚み $W_{inv}2\mu\text{m}$ 、 $T_r1.2\mu\text{m}$ の場合のリッジ幅 1 から $10\mu\text{m}$ における導波路の基本モードの実効屈折率の計算値を示す。この結果からリッジ幅 $1\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ については実効屈折率の立ち上がり傾

域であり、カットオフに近い領域である。

[0123] また、図20は、同じリッジ幅について伝搬効率の計算値である。この結果、リッジ幅 $1\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ では基板モードへの放射により伝搬効率が低下していることがわかる。また $5\mu\text{m}$ 以上では伝搬効率が低下する傾向があるが、これはマルチモードによるものである。

[0124] グレーティング部のシングルモード性をさらに向上するために、グレーティング部3d、23dの光学材料層の厚さを、入射部3a、23aにおける光学材料層の厚さよりも小さくすることができる（図3（b）、図13参照）。

[0125] この観点からは、グレーティング部3d、23dの光学材料層の厚さ／入射部3a、23aにおける光学材料層の厚さ（ W_{grv}/W_{inv} ）は、1.0以下であることが好ましく、0.7以下であって良いが、伝搬効率の点からは、0.3以上であることが好ましい。

実施例

[0126] （実施例1）

図1（a）、図2、図4に示すようなグレーティング素子を作製した。

具体的には、石英からなる支持基板5にスパッタ装置にて SiO_2 を $1\mu\text{m}$ 成膜し、さらに Ta_2O_5 を $2\mu\text{m}$ 成膜して光学材料層1を形成した。次に、光学材料層1上にTiを成膜して、フォトリソグラフィ技術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 $\Lambda 205.4\text{nm}$ 、長さ $L_b 25\mu\text{m}$ 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 t_d は 100nm とした。さらに導波路のパターンをフォトリソグラフィ技術にてパターンニングして反応性イオンエッチングにより、入射部の幅 $W_{in} 8\mu\text{m}$ 、 $T_r 1\mu\text{m}$ 、グレーティング部の幅 $W_g 3\mu\text{m}$ 、 $T_r 1\mu\text{m}$ のリッジ溝加工を実施した。入射面からグレーティング部開始点までの長さは $25\mu\text{m}$ とした。

[0127] その後、ドライエッチングにて素子の入力側、出力側を石英基板までエッチングして端面を鏡面にした。最後に SiO_2 をスパッタ形成することにより両端

面に90nmの単層膜を形成した。このとき端面の反射率は3%となった。素子サイズは幅1mm、長さ L_{wg} 100 μ mとした。

[0128] 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。

測定した素子の反射中心波長は850nmであった。

[0129] 次に、図8、図9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系レーザを使用した。

光源素子仕様：

中心波長： 847nm

出力： 50mW

半値幅： 0.1nm

レーザ素子長 250 μ m

実装仕様：

L_g ： 1 μ m

W_{in} ： 8 μ m

W_h ： 3 μ m

W_{in}/W_h ： 2.7

W_{inv} ： 2 μ m

W_v ： 1 μ m

W_{inv}/W_v ： 2

[0130] 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、グレーティングの反射波長に対応した中心波長850nm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。出力の変動は1%以内で安定な出力特性であった。また動作温度が20℃から40℃の温度範囲でレーザ発振波長の温度依存性を測定した。その結果、発振波長の温度係数は0.05nm/℃であった。

[0131] (比較例1)

実施例1と同様な方法で同様な構造のグレーティング素子を形成した。ただし、光源入力部の幅 W_{in} $8\text{ }\mu\text{m}$ 、 T_r $1\text{ }\mu\text{m}$ 、グレーティング部の幅 W_{gr} $8\text{ }\mu\text{m}$ 、 T_r $1\text{ }\mu\text{m}$ のリッジ溝加工を実施した。入力端面からグレーティング部開始点までの長さは $25\text{ }\mu\text{m}$ とした。

[0132] その後、ドライエッチングにて素子の入力側、出力側を石英基板までエッチングして端面を鏡面にした。最後に SiO_2 をスパッタ形成することにより両端面に 90nm の単層膜を形成した。このとき端面の反射率は 3% となった。素子サイズは幅 1mm 、長さ L_{wg} $100\text{ }\mu\text{m}$ とした。

[0133] 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。

測定した素子の反射中心波長は 850nm であった。しかし、これよりも短波長側に複数の波長 845nm 、 840nm 、 836nm で反射が測定された。

[0134] 次に、図9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系レーザを使用した。

光源素子仕様：

中心波長： 847nm

出力： 50mW

半値幅： 0.1nm

レーザ素子長 $250\text{ }\mu\text{m}$

実装仕様：

L_g ： $1\text{ }\mu\text{m}$

W_{in} ： $8\text{ }\mu\text{m}$

W_h ： $3\text{ }\mu\text{m}$

W_{in}/W_h ： 2.7

$$W_{inv} : 2 \mu m$$

$$W_v : 1 \mu m$$

$$W_{inv}/W_v : 2$$

[0135] 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、グレーティングの反射波長に対応した中心波長845nm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実施例1とほぼ同等の出力30mWのレーザ特性であった。また動作温度が20℃から40℃の温度範囲でレーザ発振波長の温度依存性を測定した。その結果、発振波長の温度係数は0.05nm/℃であったが、30℃付近で850.4nmに波長が大きく変化して、出力が大きく変動した。

[0136] （実施例2）

実施例1と同様な方法で同様な構造のグレーティング素子を形成した。ただし、光源入力部の幅 W_{in} 8 μm 、 T_r 1 μm 、グレーティング部の幅 W_{gr} 2 μm 、 T_r 1 μm のリッジ溝加工を実施した。入力端面からグレーティング部開始点までの長さは25 μm とした。

[0137] その後、ドライエッチングにて素子の入力側、出力側を石英基板までエッチングして端面を鏡面にした。最後にSiO₂をスパッタ形成することにより両端面に90nmの単層膜を形成した。このとき端面の反射率は3%となった。素子サイズは幅1mm、長さ L_{wg} 100 μm とした。

[0138] 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。

測定した素子の反射中心波長は849.5nmであった。

[0139] 次に、図8、図9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系レーザを使用した。

光源素子仕様：

$$\text{中心波長：} \quad 847 \text{ nm}$$

出力： 50mW
 半値幅： 0.1nm
 レーザ素子長 250 μ m

実装仕様：

L_g ： 1 μ m
 W_{in} ： 8 μ m
 W_h ： 3 μ m
 W_{in}/W_h ： 2.7
 W_{inv} ： 2 μ m
 W_v ： 1 μ m
 W_{inv}/W_v ： 2

[0140] 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、グレーティングの反射波長に対応した中心波長849.5nmで発振し、出力は実施例1よりも小さく10mWのレーザ特性であった。これは、伝搬損失が大きくなったためであった。しかし出力の変動は1%以内で安定な出力特性であった。また動作温度が20℃から40℃の温度範囲でレーザ発振波長の温度依存性を測定した。その結果、実施例1と同様に変動はなく、発振波長の温度係数は0.05nm/℃であった。

[0141] （実施例3）

図1（a）、図3に示すような素子を作製した。

具体的には、石英からなる支持基板5にスパッタ装置にてSiO₂を2 μ m成膜し、さらにTa₂O₅を2 μ m成膜して光学材料層1を形成した。次に、光学材料層1上にTiを成膜して、フォトリソグラフィ技術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 205.4nm、長さ L_b 25 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 t_d は100nmとした。さらに導波路のパターンをフォトリソグラフィ技術にてパターニングして反応性イオンエッチングにより、入射部の幅 W_{in} 8 μ m、 T_r 1.6 μ m、グレーティング

部の幅 W_g 、 $3\mu\text{m}$ 、 T_r 、 $1.6\mu\text{m}$ のリッジ溝加工を実施した。入力端面からグレーティング部開始点までの長さは $25\mu\text{m}$ とした。

その後、入力部とテーパ部をマスキングしてグレーティング部を反応性イオンエッチングにて全体に Ta_2O_5 の厚みを $1\mu\text{m}$ エッチングした。これによって、図3(b)に示すように、グレーティング素子における光学材料層厚さを入射部およびテーパ部における光学材料層厚さよりも小さくした。このときグレーティングの溝深さ t_g は 40nm になるようにし、リッジ導波路の溝深さは $0.6\mu\text{m}$ となるようにした。

[0142] 次いで、ドライエッチングにて素子の入力側、出力側を石英基板までエッチングして端面を鏡面にした。最後に SiO_2 をスパッタ形成することにより両端面に 90nm の単層膜を形成した。このとき端面の反射率は 3% となった。素子サイズは幅 1mm 、長さ L_{wg} 、 $100\mu\text{m}$ とした。

[0143] 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。

測定した素子の反射中心波長は 848nm であった。

[0144] 次に、図9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系レーザを使用した。

光源素子仕様：

中心波長：	847nm
出力：	50mW
半値幅：	0.1nm
レーザ素子長	$250\mu\text{m}$

実装仕様：

L_g ：	$1\mu\text{m}$
W_{in} ：	$8\mu\text{m}$
W_h ：	$3\mu\text{m}$

$$W_{in}/W_h : 2.7$$

$$W_{inv} : 2 \mu m$$

$$W_v : 1 \mu m$$

$$W_{inv}/W_v : 2$$

$$W_{grv} : 1 \mu m$$

$$W_{inv}/W_{grv} : 2$$

[0145] 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、グレーティングの反射波長に対応した中心波長848nm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。出力の変動は1%以内で安定な出力特性であった。また動作温度が20℃から40℃の温度範囲でレーザ発振波長の温度依存性を測定した。その結果、発振波長の温度係数は0.05nm/℃であった。

[0146] 追加実験として半導体レーザとグレーティング素子の軸ずれトレランスの測定を行った。まず、光源素子である半導体レーザとグレーティング素子を光学調芯装置に装着して、光軸を調整してグレーティング素子から出力される光量を最大になるようにした。この状態から水平方向のみに軸を0.1μm刻みにずらし、光量の変化を測定した。水平方向の軸ずれトレランスは、光量が25mWになる
ときの軸ずれ量と定義する。同じように垂直方向についても測定し軸ずれ量を測定した。

実施例1、3、比較例1について測定した結果を以下に示す。

[0147]

[表1]

	軸ずれトレランス	
	水平方向	垂直方向
実施例 1	± 2	± 0.8
実施例 3	± 2	± 0.8
比較例 1	± 2	± 0.8

単位 (μm)

[0148] (比較例 2)

実施例 1 と同様にグレーティング素子を形成し、図 9 に示すようなレーザーモジュールを実装した。

光源素子仕様：

中心波長： 847 nm

出力： 50mW

半値幅： 0.1nm

レーザー素子長 250 μm

実装仕様：

L_g ： 1 μm

W_{in} ： 3 μm

W_h ： 3 μm

W_{in}/W_h ： 1

W_{inv} ： 2 μm

W_v ： 1 μm

W_{inv}/W_v ： 2

[0149] 本素子について、軸ずれトレランスを測定した結果、水平方向 $\pm 1.3 \mu\text{m}$ 、垂直方向 $\pm 0.8 \mu\text{m}$ であった。

[0150] 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、グレーティングの反射波長に対応した中心波長850nmで発振し、出力は30mWのレーザ特性であった。出力の変動は1%以内で安定な出力特性であった。また動作温度が20℃から40℃の温度範囲でレーザ発振波長の温度依存性を測定した。その結果、実施例1と同様に変動はなく、発振波長の温度係数は0.05nm/℃であった。

[0151] （比較例3）

図1（a）、図3に示すような素子を作製し、図9に示すようなレーザモジュールを実装した。

光源素子仕様：

中心波長： 847nm

出力： 50mW

半値幅： 0.1nm

レーザ素子長 250μm

実装仕様：

L_g ： 1μm

W_{in} ： 3μm

W_h ： 3μm

W_{in}/W_h ： 1

W_{inv} ： 2μm

W_v ： 1μm

W_{inv}/W_v ： 2

W_{grv} ： 1μm

W_{inv}/W_{grv} ： 2

[0152] 本素子について、軸ずれトレランスを測定した結果、水平方向±1.3μm、垂直方向±0.8μmであった。

[0153] 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、グレーティングの反射波長に対応した中心波長848nm

で発振し、出力は30mWのレーザ特性であった。出力の変動は1%以内で安定な出力特性であった。また動作温度が20℃から40℃の温度範囲でレーザ発振波長の温度依存性を測定した。その結果、発振波長の温度係数は0.05nm/℃であった。

[0154] (比較例4)

実施例1と同様にグレーティング素子を形成し、図9に示すようなレーザモジュールを実装した。

光源素子仕様：

中心波長： 847nm
出力： 50mW
半値幅： 0.1nm
レーザ素子長 250μm

実装仕様：

L_g ： 1μm
 W_{in} ： 3μm
 W_h ： 3μm
 W_{in}/W_h ： 1
 W_{inv} ： 1μm
 W_v ： 1μm
 W_{inv}/W_v ： 1

[0155] 本素子について、軸ずれトレランスを測定した結果、水平方向±1.3μm、垂直方向±0.4μmであった。

[0156] 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、グレーティングの反射波長に対応した中心波長848nmで発振し、出力は35mWのレーザ特性であった。出力の変動は1%以内で安定な出力特性であった。また動作温度が20℃から40℃の温度範囲でレーザ発振波長の温度依存性を測定した。その結果、実施例1と同様に変動はなく、発振波長の温度係数は0.05nm/℃であった。

請求の範囲

[請求項1]

支持基板、

前記支持基板上に設けられた光学材料層、

前記光学材料層に設けられ、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端を有するリッジ型光導波路、および

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を備えており、

前記リッジ型光導波路が、前記入射面と前記ブラッググレーティングとの間に設けられている入射部および前記入射部と前記ブラッググレーティングとの間に設けられているテーパ部を含んでおり、少なくとも前記ブラッググレーティングにおいて伝搬光がシングルモード伝搬し、前記入射部における前記リッジ型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リッジ型光導波路の幅よりも大きく、前記テーパ部における前記リッジ型光導波路の幅が前記入射部から前記ブラッググレーティングに向かって小さくなっており、下記式（１）～式（４）の関係が満足されることを特徴とする、グレーティング素子。

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

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

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

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

（式（１）において、 $\Delta \lambda_g$ は、前記ブラッググレーティングのブラッグ反射率のピークにおける半値全幅である。

式（２）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（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。

式（４）において、 n_b は、前記光学材料層を構成する材質の屈折率である。）

[請求項2]

支持基板、

前記支持基板上に設けられた光学材料層、

前記光学材料層に設けられ、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端を有するリッジ型光導波路、および

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を備えており、

前記リッジ型光導波路が、前記入射面と前記ブラッググレーティングとの間に設けられている入射部および前記入射部と前記ブラッググレーティングとの間に設けられているテーパ部を含んでおり、少なくとも前記ブラッググレーティングにおいて伝搬光がシングルモード伝搬し、前記入射部における前記リッジ型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リッジ型光導波路の幅よりも大きく、前記テーパ部における前記リッジ型光導波路の幅が前記入射部から前記ブラッググレーティングに向かって小さくなっており、下記式（１）～式（３）の関係が満足され、前記光学材料層を構成する材質が、ガリウム砒素、ニオブ酸リチウム単結晶、酸化タンタル、酸化亜鉛、酸化アルミニウム、タンタル酸リチウム、酸化マグネシウム、酸化ニオブ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、グレーティング素子。

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

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

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

(式(1)において、 $\Delta\lambda_g$ は、前記ブラッググレーティングのブラッグ反射率のピークにおける半値全幅である。

式(2)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(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。)

[請求項3] 前記入射部における前記光学材料層の厚さが前記ブラッググレーティングにおける前記光学材料層の厚さよりも大きく、前記テーパ部における前記光学材料層の厚さが前記入射部から前記ブラッググレーティングに向かって小さくなっていることを特徴とする、請求項1または2記載の素子。

[請求項4] 前記レーザ光の波長が λ であり、少なくとも前記入射部における前記光学材料層の厚さが W_{inv} であり、 W_{inv}/λ が2以上、3以下であり、前記ブラッググレーティングにおける前記リッジ型光導波路の幅が 3λ 以上、 5λ 以下であ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素子。

[請求項5] 前記ブラッググレーティングにおける前記光学材料層の厚さ W_{grv} / λ が1以上、2以下であることを特徴とする。請求項4記載の素子。

[請求項6] 前記入射面と前記出射端との少なくとも一方に、前記光学材料層を構成する前記材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる単層膜が形成されてい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素子。

[請求項7] 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、請求項1～6のいずれか一つの請求項に記載の

グレーティング素子であることを特徴とする、外部共振器型発光装置。
。

[請求項8] 前記入射部における前記リッジ型光導波路の幅が前記レーザ光の水平方向のモードフィールド径の1.5倍以上であることを特徴とする、請求項7記載の装置。

[請求項9] 前記入射部における前記光学材料層の厚さが、前記レーザ光の垂直方向のモードフィールド径の1.5倍以上であ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(5)の関係が満足されることを特徴とする、請求項7～9のいずれか一つの請求項に記載の装置。

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

(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7～10のいずれか一つの請求項に記載の装置。

[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7～11のいずれか一つの請求項に記載の装置。

[数10]

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

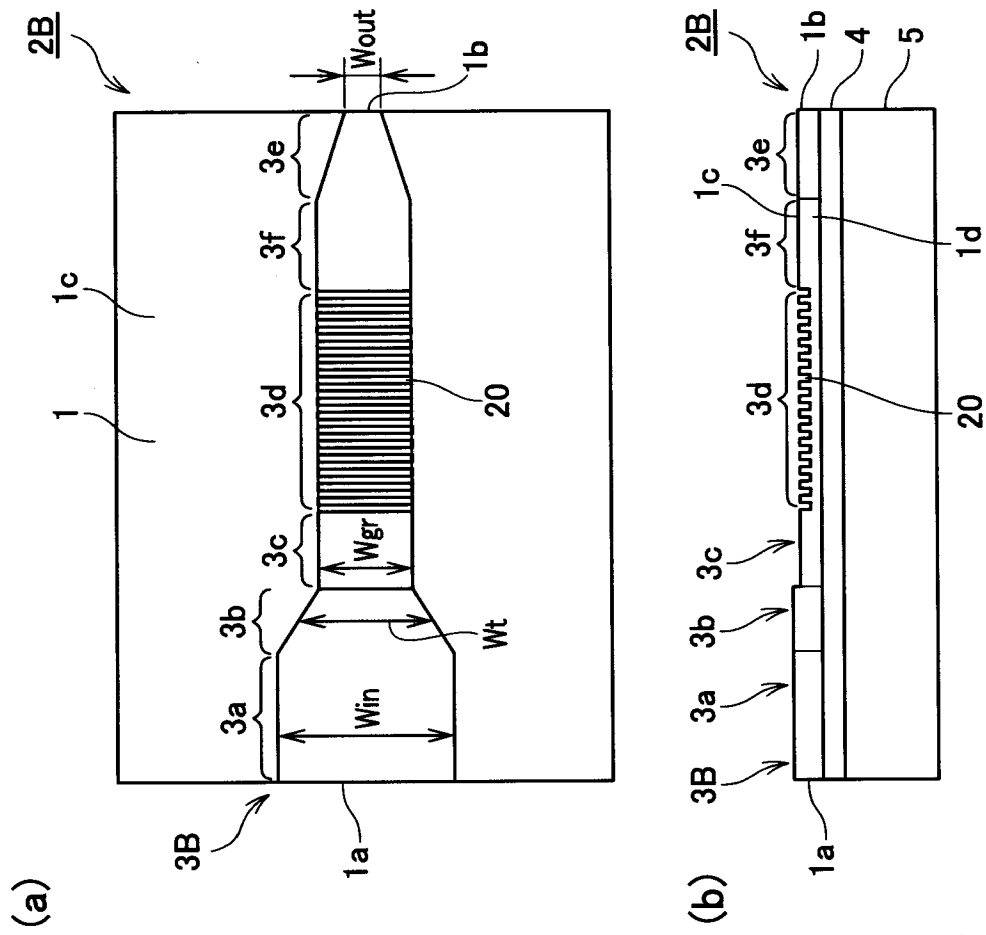
・・・ (6)

(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。

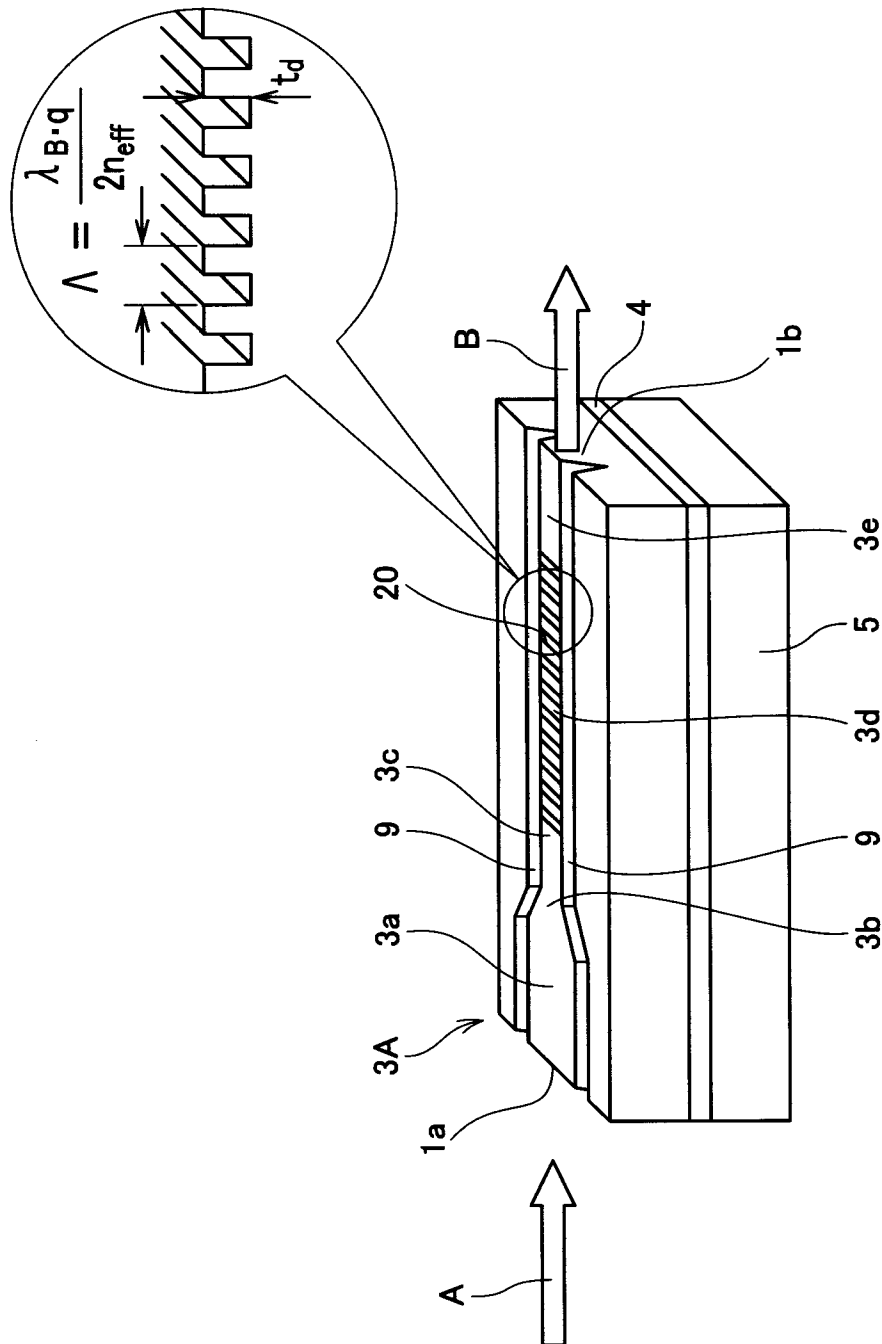
$d\lambda_{TM}/dT$ は、外部共振器レーザの位相条件を満足する波長の温度係数である。)

Figure 1 consists of two cross-sectional views, (a) and (b), of a tapered member 20. Both views show a member with a central threaded section 3d and a wider base 3a. The member is labeled 1 and 1c. The base is labeled 1a and 1b. The tapered section is labeled 3b. The dimensions Win, Wt, Wgr, and Wout are indicated. The views are labeled 2A and 2B.

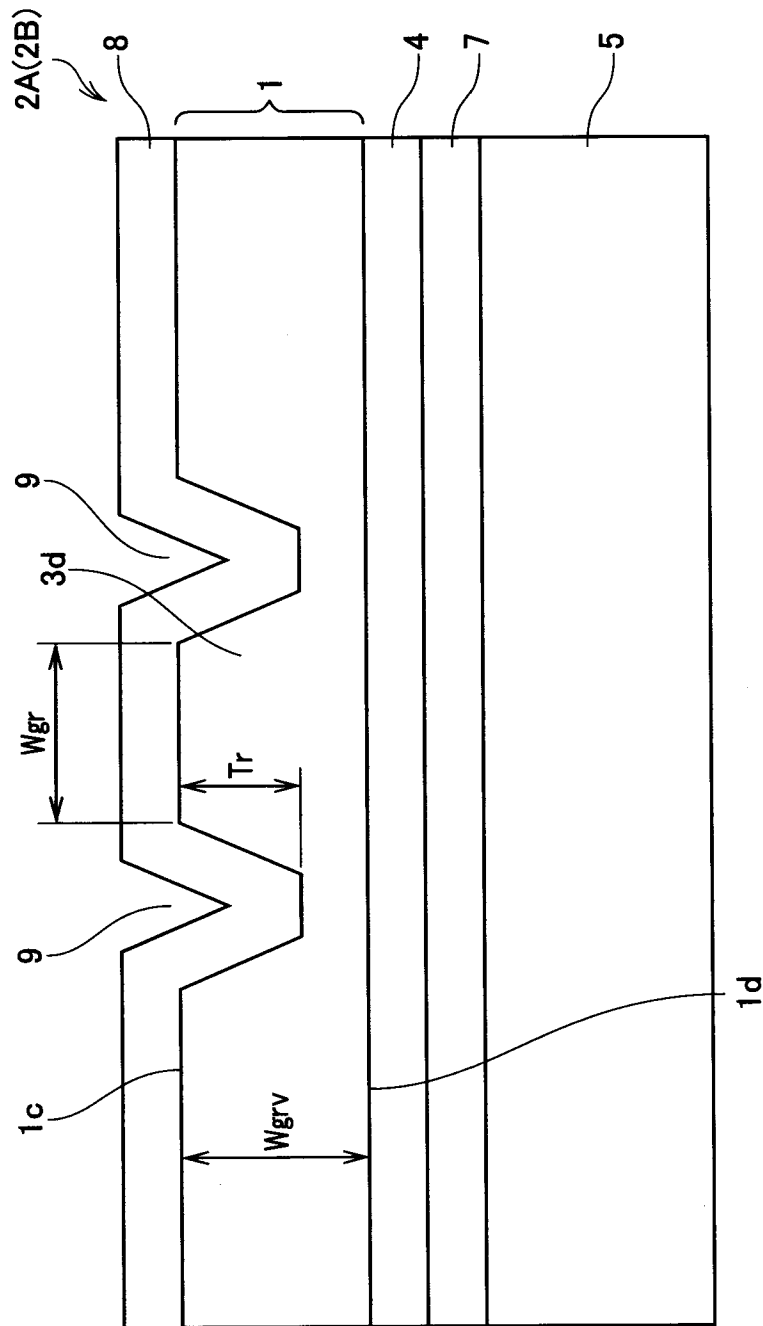
[図3]



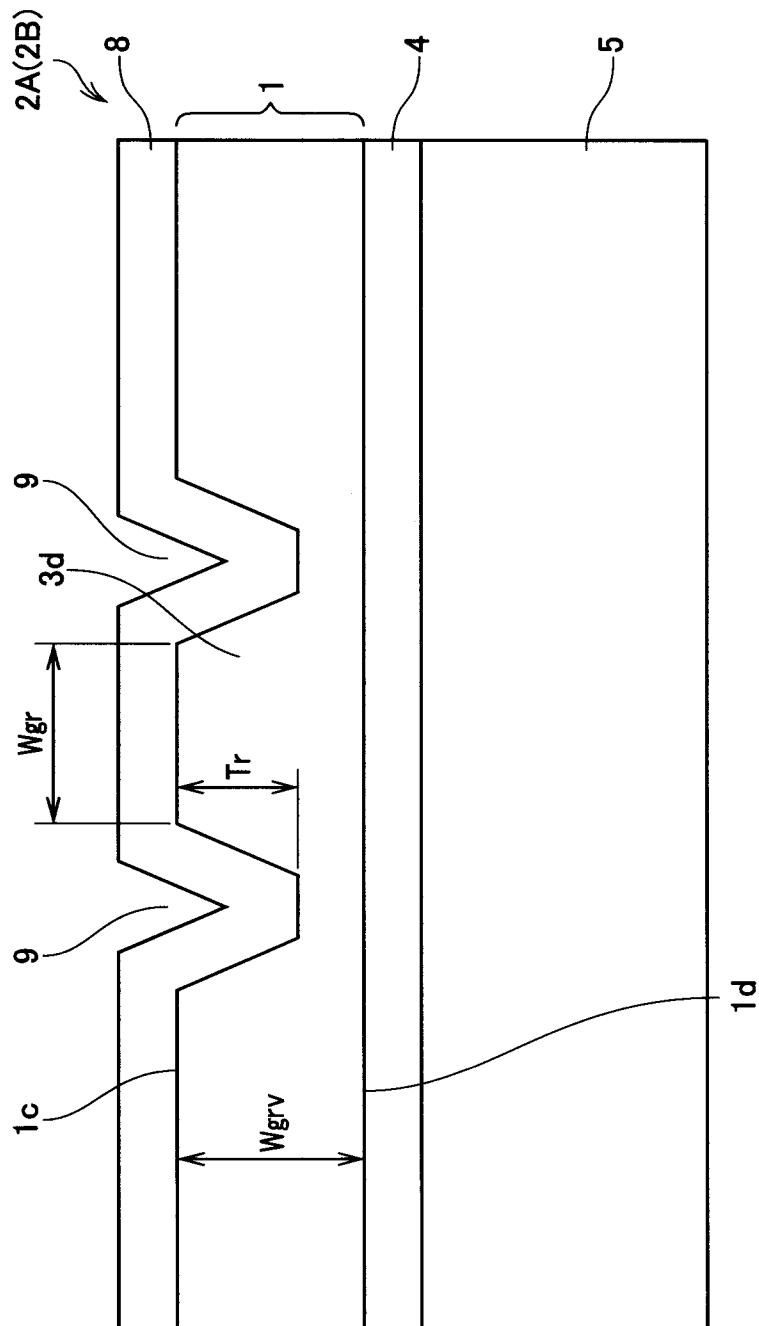
[図4]



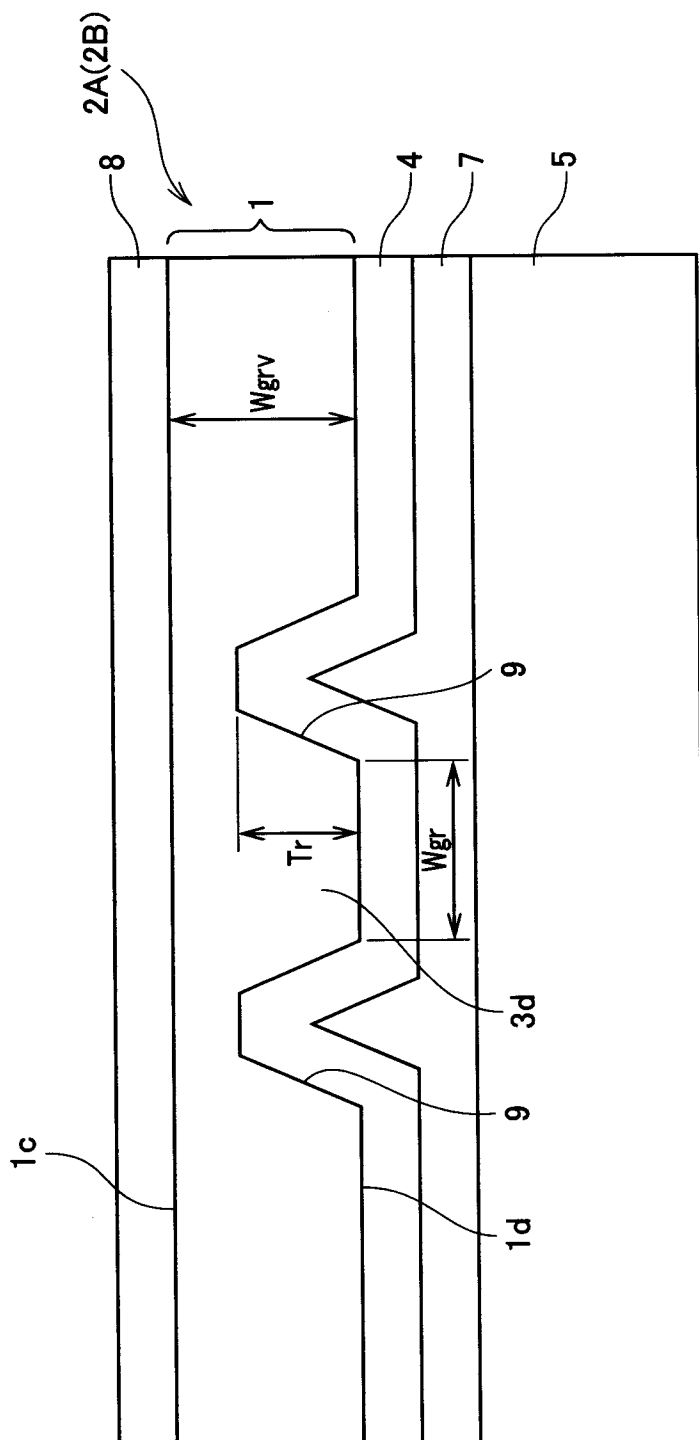
[図5]



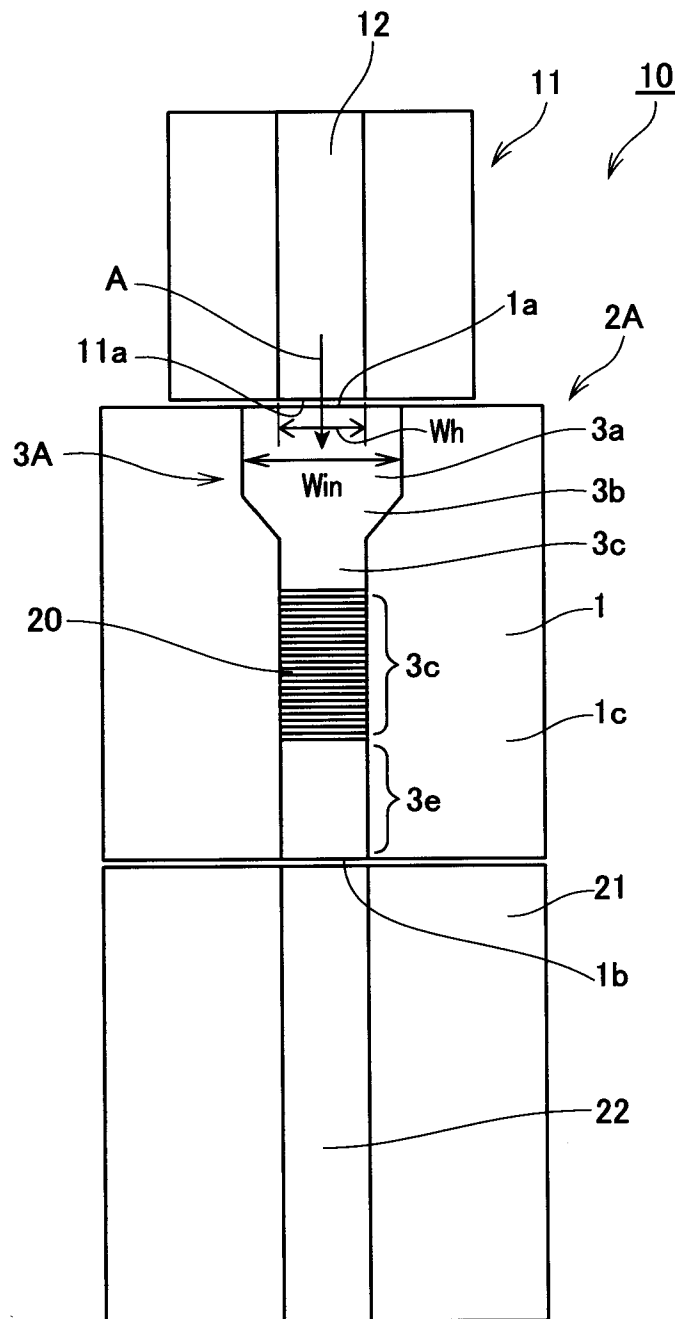
[図6]



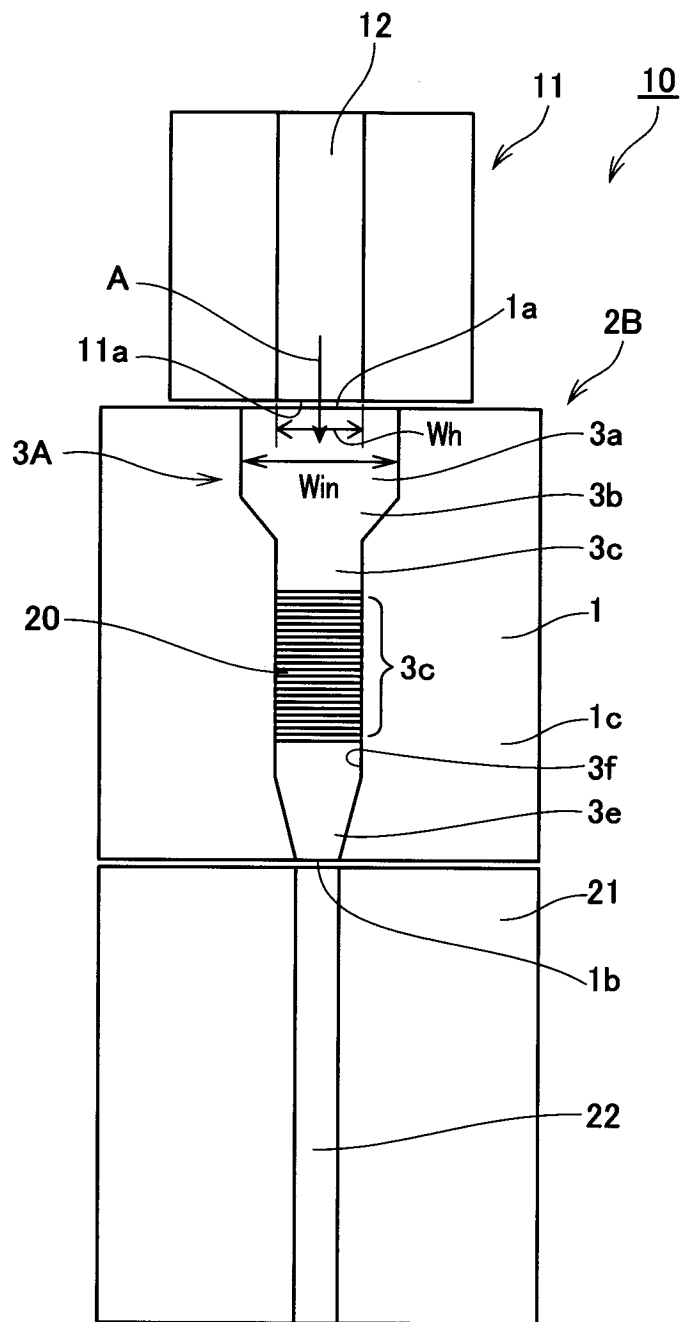
[図7]



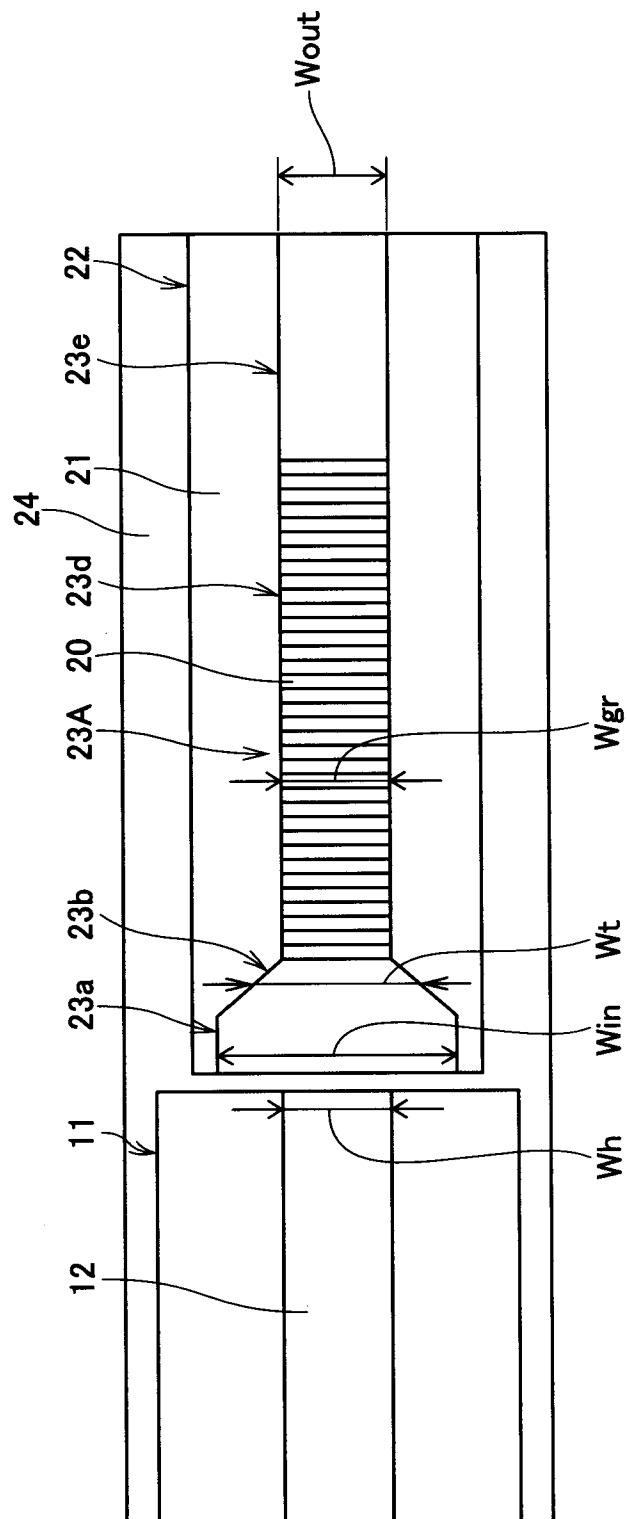
[図10]



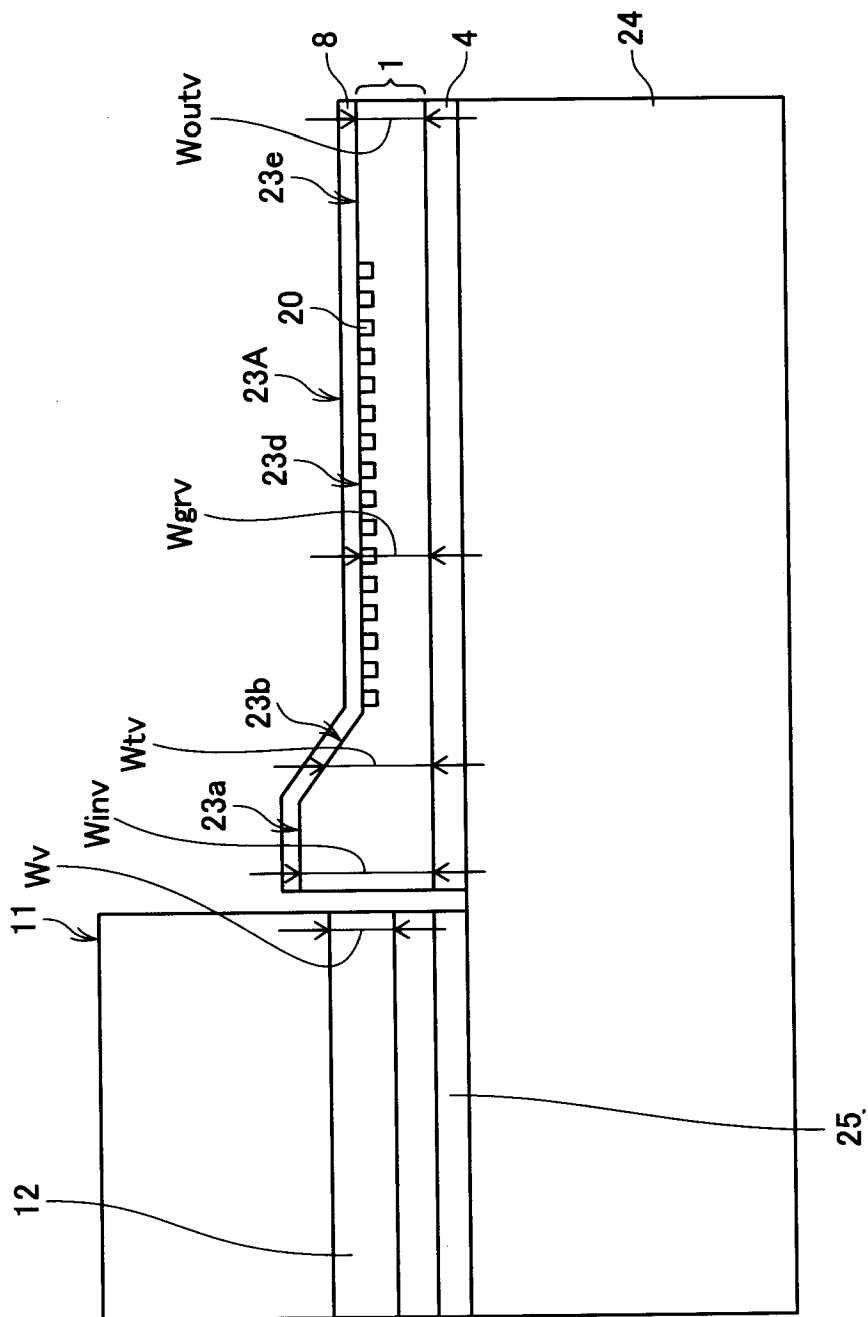
[図11]



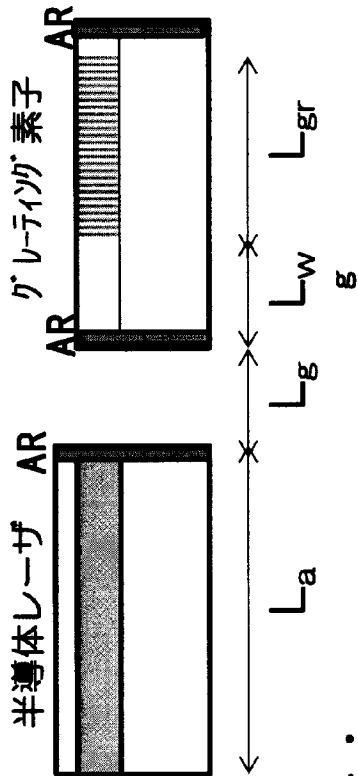
[図12]



[図13]



[図14]



レーザ発振条件：

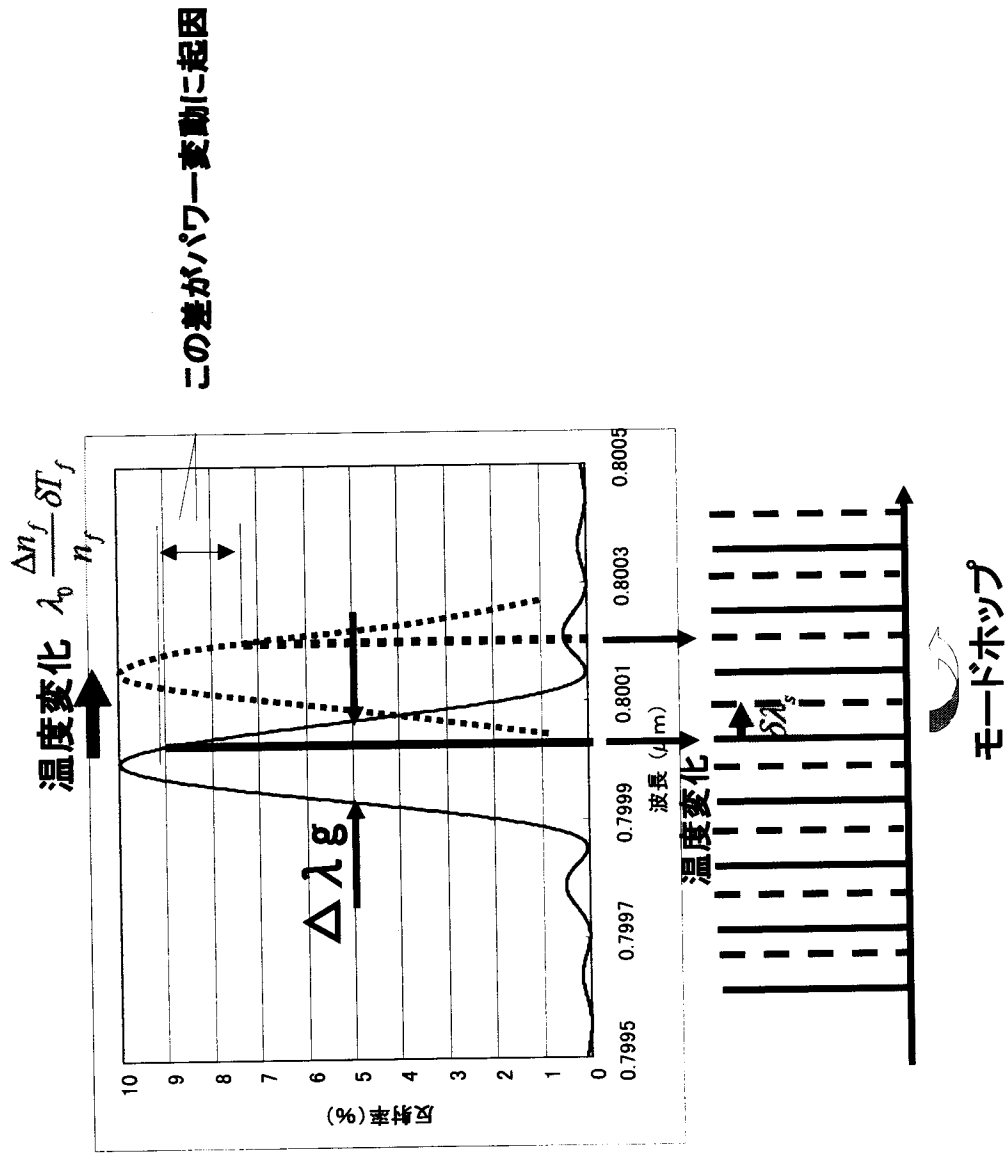
$$C_{out}^2 r_1 r_2 \exp \left\{ (\xi_{th} g_{th} - \alpha_a) L_a - \alpha_g L_g - \alpha_{wg} L_{wg} - \alpha_{gr} L_{gr} \right\} \times \exp \left\{ -j(2\beta_a L_a + 2\beta_g L_g + 2\beta_{wg} L_{wg} + \phi_{gr}) \right\} = 1$$

ゲイン条件

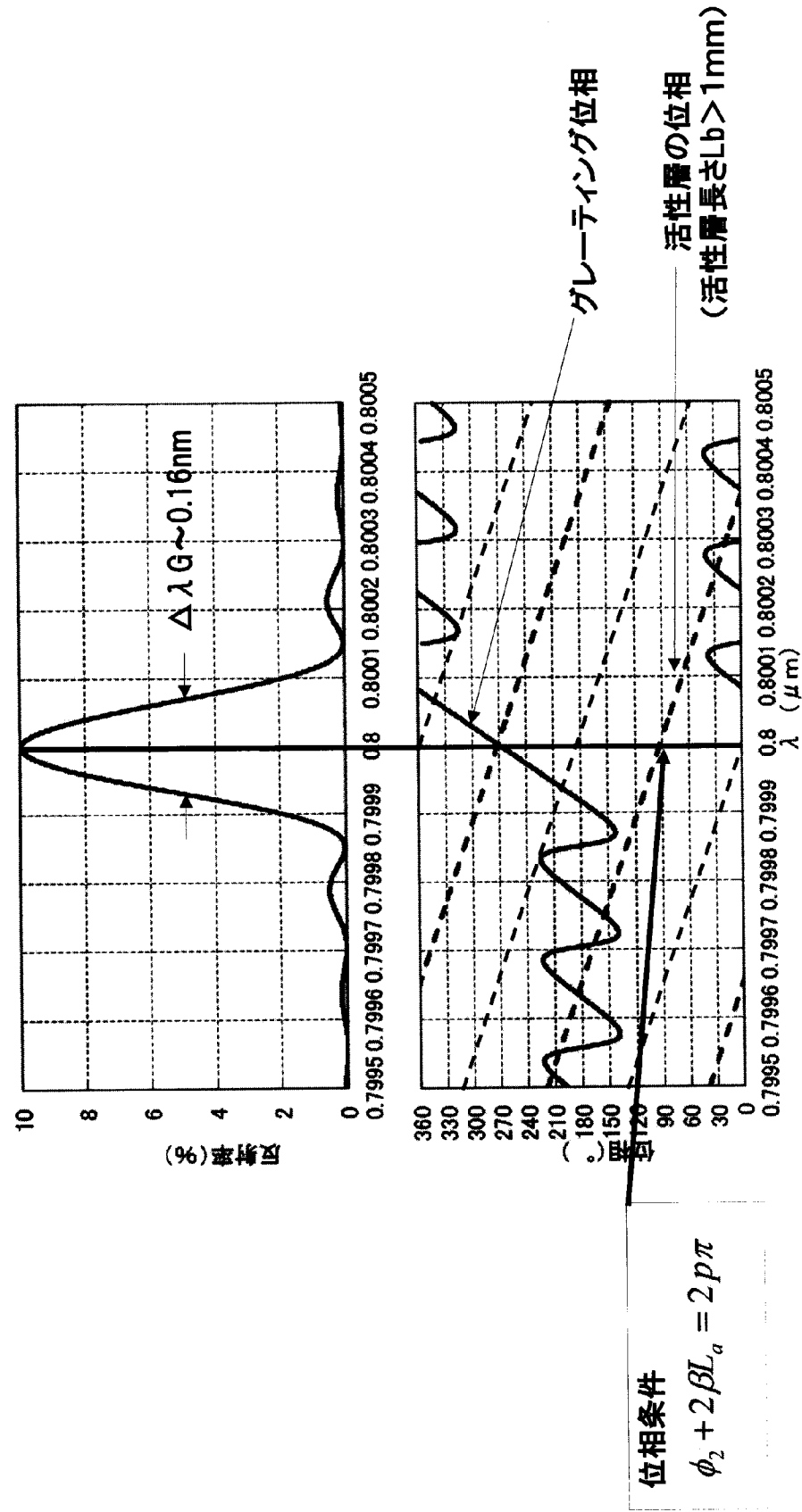
位相条件

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

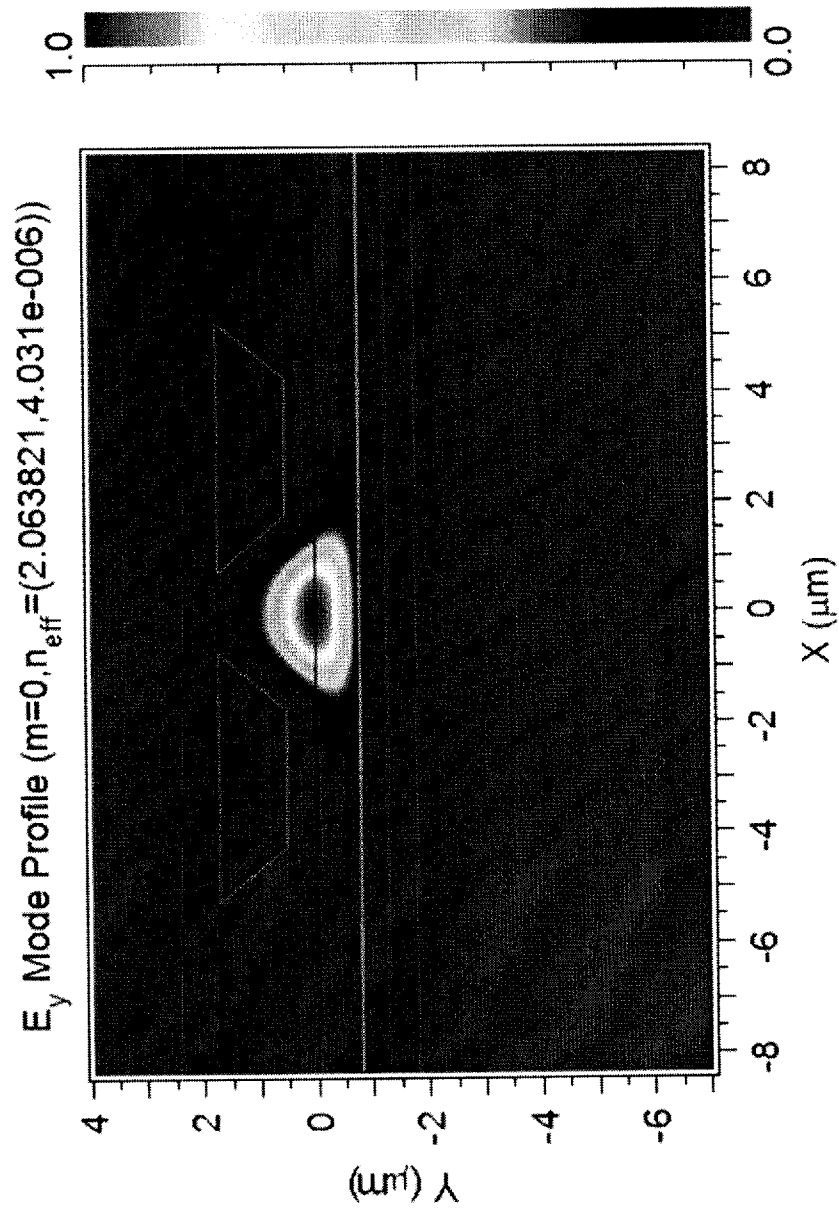
[図15]



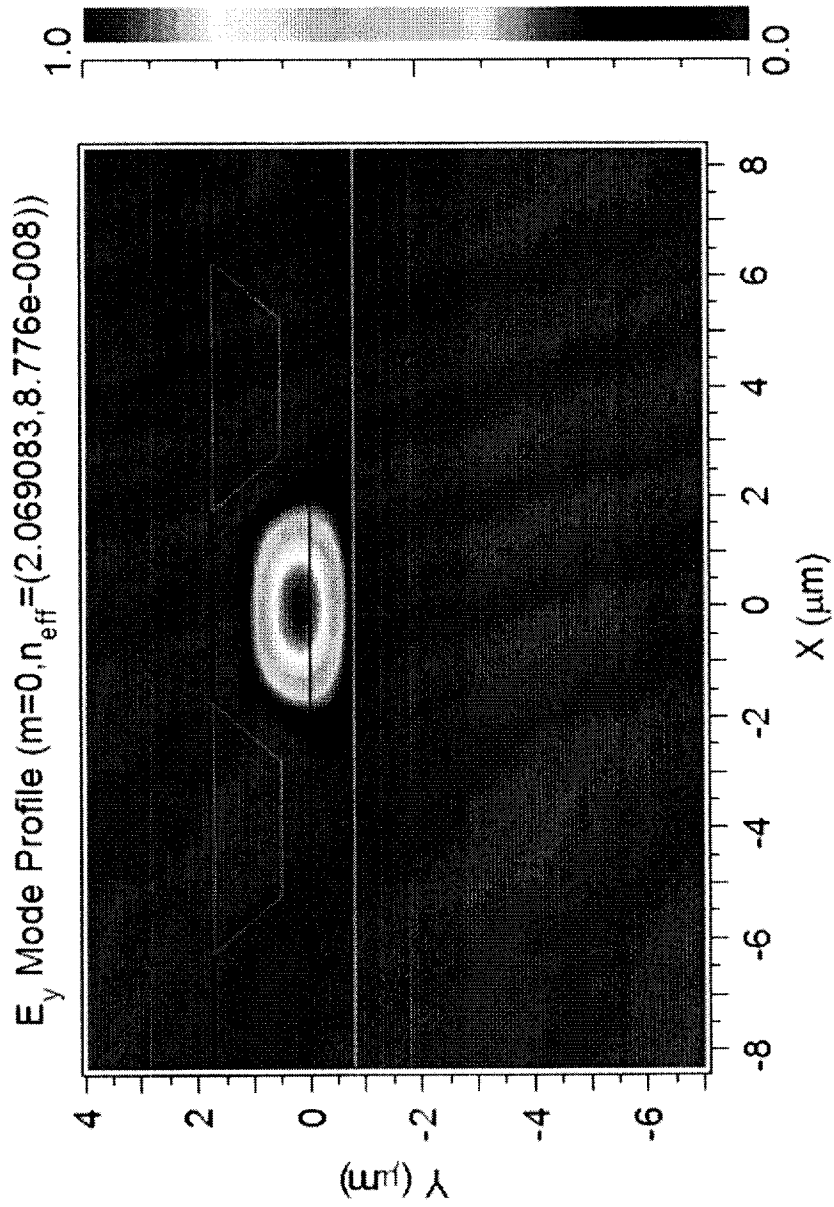
[図16]



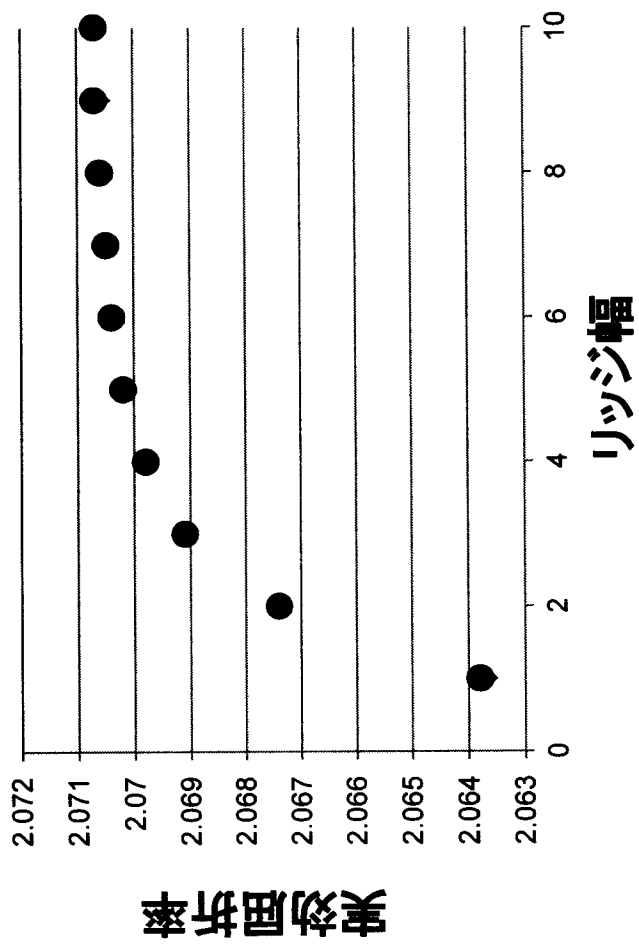
[図17]



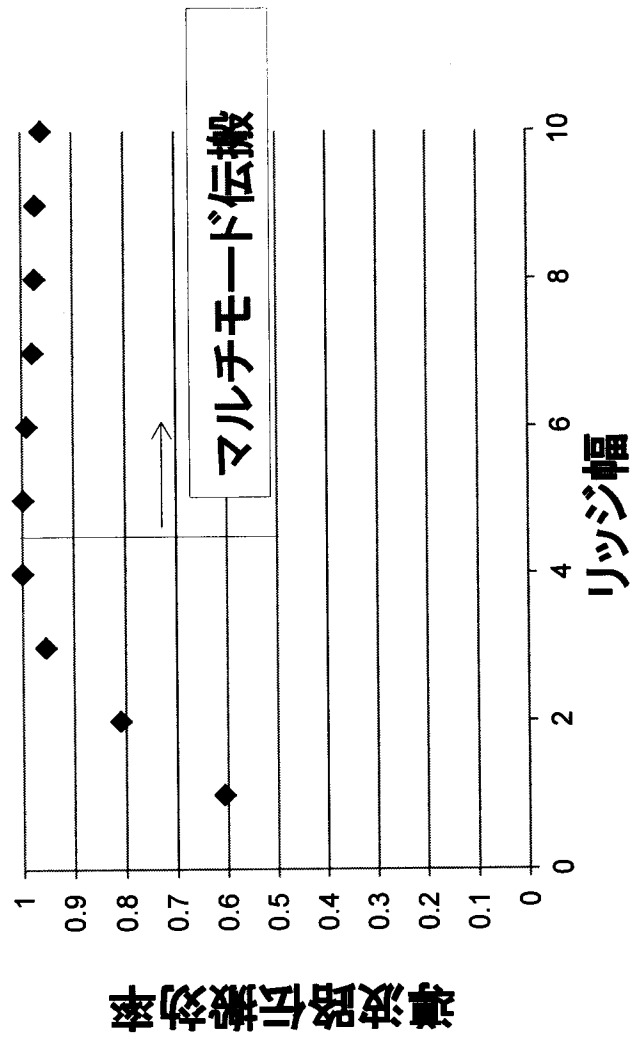
[図18]



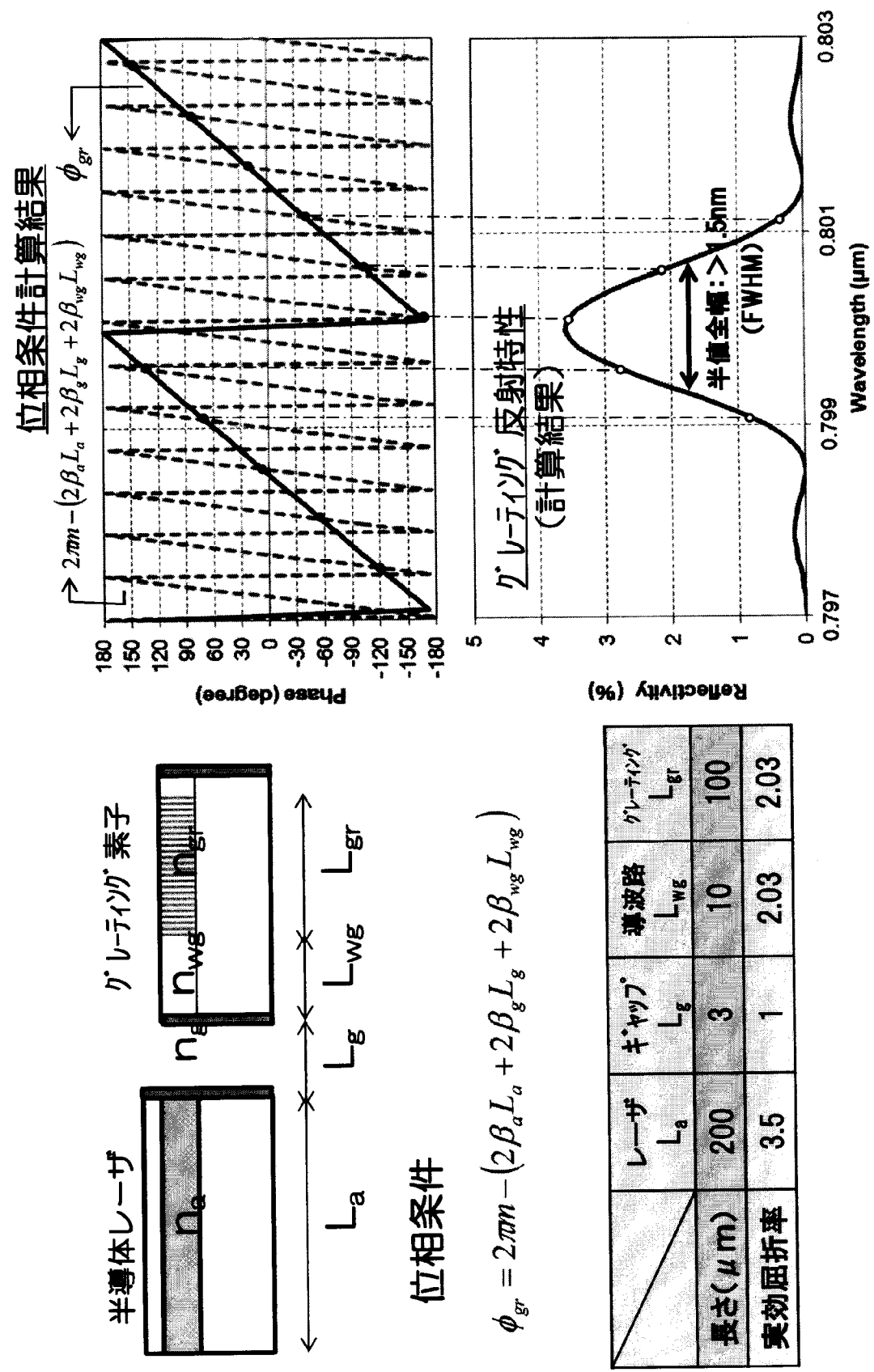
[図19]



[図20]



[図21]



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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/061385

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/122(2006.01)i, G02B6/124(2006.01)i, G02B6/42(2006.01)i, H01S5/14(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)

G02B6/122, G02B6/124, G02B6/42, H01S5/00-5/50

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
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 4271704 B1 (Panasonic Corp.), 03 June 2009 (03.06.2009), fig. 5; paragraphs [0035] to [0041] & US 2007/0133638 A1 & US 7463664 B2 & WO 2005/099054 A1 & CN 1918759 A & CN 100407523 C	1-12
Y	JP 3667209 B1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd., Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 06 July 2005 (06.07.2005), entire text; all drawings & JP 2002-50827 A	1-12

☒ 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
16 June 2015 (16.06.15)

Date of mailing of the international search report
30 June 2015 (30.06.15)

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/JP2015/061385

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 10-98230 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 14 April 1998 (14.04.1998), entire text; all drawings (Family: none)	12
A	JP 2002-185076 A (Hitachi Cable, Ltd.), 28 June 2002 (28.06.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B6/122(2006.01)i, G02B6/124(2006.01)i, G02B6/42(2006.01)i, H01S5/14(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. G02B6/122, G02B6/124, G02B6/42, H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 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
Y	JP 4271704 B1（パナソニック株式会社）2009.06.03, 第5図、 [0035]-[0041] & US 2007/0133638 A1 & US 7463664 B2 & WO 2005/099054 A1 & CN 1918759 A & CN 100407523 C	1-12
Y	JP 3667209 B1（住友電気工業株式会社、日本電信電話株式会社） 2005.07.06, 全文、全図 & JP 2002-50827 A	1-12
Y	JP 10-98230 A（日本電信電話株式会社）1998.04.14, 全文、全図（フ ァミリーなし）	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

1 6 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

3 0 . 0 6 . 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 宙子

2 X

9 3 1 6

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
A	JP 2002-185076 A (日立電線株式会社) 2002. 06. 28, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-12