(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 6 月 4 日(04.06.2015)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2015/079939 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 5/14 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/080301

(22) 国際出願日: 2014 年 11 月 17 日(17.11.2014)

(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 2013-244747 2013 年 11 月 27 日(27.11.2013) JP
特願 2014-115389 2014 年 6 月 4 日(04.06.2014) 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). 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).

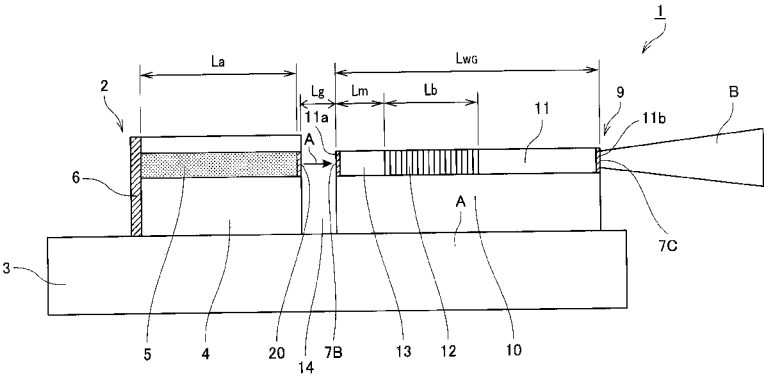
(74) 代理人: 細田　益稔, 外(HOSODA Masutoshi et al.); 〒1080074 東京都港区高輪一丁目５番４号常和高輪ビル７階 Tokyo (JP).

(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.

[続葉有]

(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 mode hopping, increase wavelength stability, and suppress beam power fluctuations without the use of a Peltier element. [Solution] An external-resonator-type light emitting device equipped with: a light source that independently oscillates a semiconductor laser beam; and a grating element that comprises the light source and an external resonator and oscillates in single mode. The light source includes an active layer that oscillates the semiconductor laser beam. The grating element includes: an optical waveguide containing an irradiation surface onto which a semiconductor laser beam is irradiated, and an emission surface that emits emission light of a desired wavelength; a Bragg grating formed inside the optical waveguide; and a propagating unit arranged between the irradiation surface and the Bragg grating. The relationship of formulae (1) - (5) is satisfied.

(57) 要約: 【課題】ペルチェ素子を使用することなく、モードホップを抑制し、波長安定性を高くし、光パワー変動を抑制できるようにする。 【解決手段】外部共振器型発光装置は、単独で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し、単一モード発振するグレーティング素子を備える。光源が、半導体レーザ光を発振する活性層を備えている。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、光導波路内に形成されたブラッググレーティング、および入射面とブラッググレーティングとの間に設けられている伝搬部を備える。式（１）～式（５）の関係が満足される。

WO 2015/079939 A1

(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)）

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、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]　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。

[0005]　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。

[0006] 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。

[0007] 特許文献７（特開2010-171252）には、SiO_2、$SiO_{1-x}N_x$（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。

[0008] 特許文献８（特許第3667209）には、石英、ＩｎＰ、ＧａＡｓ、$LiNbO_3$、$LiTaO_3$、ポリイミド樹脂とす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Ｒｅ（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

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

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：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：特開2010-171252

特許文献8：特許第3667209

発明の概要

[0011]　非特許文献１には、温度上昇に伴う波長安定性を損なうモードホップのメカニズムと、その改善策について言及している。温度による外部共振器レーザの波長変化量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。

[0012] [数1]

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

[0013] ここで、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。

[0014] [数2]

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

[0015] 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。

[0016] [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△λは、近似的に下式となる。

[数4]

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

[0018] 数式３と数式４より、数式５が成立する。

[数5]

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

[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] 本発明の課題は、ペルチェ素子を使用することなく、モードホップを抑制し、波長安定性を高くし、光パワー変動を抑制できるようにすることである。

課題を解決するための手段

[0024] 本発明は、単独で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、単一モード発振する外部共振器型発光装置であって、

前記光源が、前記半導体レーザ光を発振する活性層を備えており、

前記グレーティング素子が、前記半導体レーザ光が入射する入射面と所望波長の出射光を出射する出射面を有する光導波路、この光導波路内に形成されたブラッググレーティング、および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伝搬部を備えており、下記式（１）～式（５）の関係が満足されることを特徴とする。

$\Delta\lambda_G \geqq 0.8\,nm$ ・・・（1）

$L_b \leqq 500\,\mu m$ ・・・（2）

$L_a \leqq 500\,\mu m$ ・・・（3）

$n_b \geqq 1.8$ ・・・（4）

[数6]

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

・・・・（5）

（式（1）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（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、L_aは、前記活性層の長さである。

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。

式（5）において、$d\lambda_G/dT$は、ブラッグ波長の温度係数であり、$d\lambda_{TM}/dT$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。）

[0025] 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い、モードホップしやすくなってしまう。

[0026] このため本発明では、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

λ_G／dTが大きくできるので、｜dλ_G／dT－dλ_{TM}／dT｜を小さくでき、モードホップがおこる温度域△Tを大きくで
きる。

[0027] 好適な実施形態においては、下記式（６）～（８）の関係が満足される。

L_{WG} ≦６００μｍ ・・・（６）

１μｍ ≦L_g ≦１０μｍ ・・（７）

２０μｍ≦L_m ≦１００μｍ ・・（８）

（式（６）において、L_{WG}は、前記グレーティング素子の長さである。

式（７）において、L_gは、前記光源の出射面と前記光導波路の前記入射面との距離である。

式（８）において、L_mは、前記伝搬部の長さである。）

[0028] 本発明によれば、ペルチェ素子を使用することなく、モードホップを抑制し、波長安定性を高くし、光パワー変動を抑制できる。

図面の簡単な説明

[0029] [図1]図１は、外部共振器型発光装置の模式図である。

[図2]図２は、グレーティング素子の横断面図である。

[図3]図３は、グレーティング素子を模式的に示す斜視図である。

[図4]図４は、他のグレーティング素子の横断面図である。

[図5]図５は、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6]図６は、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7]図７は、本発明例によるモードホップの形態を説明する図である。

[図8]図８は、実施例２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9]図９は、従来構造における反射特性（ゲイン条件）および位相条件を示す。

[図10]図１０は、本発明構造における反射特性（ゲイン条件）および位相条件を示す。

[図11]（ａ）、（ｂ）、（ｃ）は、それぞれ、細長いストライプ状の光導波

路３０、３０Ａを用いたグレーティング素子２１Ａ、２１Ｂ、２１Ｃの横断面を示す模式図である。

[図12]（ａ）、（ｂ）は、それぞれ、細長いストライプ状の光導波路３０、３０Ａを用いたグレーティング素子２１Ｄ、２１Ｅの横断面を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0030] 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。

[0031] 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。

ここで、光源２は、単独でレーザ発振可能な光源とする。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。

[0032] 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。

基体４の外側端面には高反射膜６が設けられており、グレーティング素子側の端面には反射膜７Ａが形成されている。

[0033] 図１、図３に示すように、グレーティング素子７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。光学材料層１１の入射面１１ａとブラッググレーティング１２との間には、回折格子のない伝搬部１３が設けられており、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、光学材料層１１の入射面側に設けられた無反射膜であり、７Ｃは、光学材料層１１の出射面側に設けられた無反射膜である。本例では、光学材料層１１はリッジ型光導波路であり、基板１０に設けられている。光学材料層１１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。

[0034] 好適な実施形態においては、ブラッググレーティングの反射率が、光源の出射端の反射率、グレーティング素子の入射面の反射率、およびグレーティング素子の出射面の反射率よりも大きい。この観点からは、グレーティング素子の入射面の反射率、およびグレーティング素子の出射面の反射率は、０．１％以下が好ましい。このためにグレーティング素子の入射面と出射面には無反射層７Ｂ、７Ｃを形成することが好ましい。無反射層の反射率は、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。

[0035] 図２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には例えば一対のリッジ溝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。

[0036] また、図４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、例えば一対のリッジ溝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。

[0037] この場合、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。

[0038] 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。

[0039] 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。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△ｎａ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。

[0040] 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。

[0041] バッファ層は、光導波路のクラッド層として機能することができる。この観点からは、バッファ層の屈折率は、光学材料層の屈折率よりも低いことが好ましく、その屈折率差は０．２以上が好ましく、０．４以上が更に好ましい。

[0042] 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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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。

また、光学材料層の厚さは０．５～３．０μｍであることが更に好ましい。

[0047] 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。

[0048] 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、五酸化タンタルなどの酸化物で積層した膜や、金属類も使用可能である。

[0049] 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。

[0050] 以下、式（１）～式（８）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。

[0051] まず、半導体レーザの発振条件は、下式のようにゲイン条件×位相条件で決まる。

[数7]

$$(C_{out}^2)^4 |r_1||r_2| \exp\{(\zeta_t g_{th} - \alpha_a)L_a - \alpha_b L_b\} \times \exp\{j(-\phi_1 - \phi_2 - 2\beta L_a)\} = 1$$

（２－１）

[0052] ゲイン条件は、(2-1) 式より下式となる。

[数8]

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

（2-2）式

[0053] ただし、αa、αbは、それぞれ、活性層、グレーティング層の損失係数であり、La、Lbは、それぞれ、活性層、グレーティング層の長さであり、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、Cout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。

[0054] (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、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。

[0055] 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9]

$$\phi_2 + 2\beta L_a = 2p\pi \qquad (\text{p は整数})$$

（2-3）式

[0056] 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。

[0057] 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、表１および図５、図６に示すように、グレーティングの反射特性は△λg=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、△λg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。

[0058]

[表1]

	従来構造	本願
反射特性 （ゲイン条件） および 位相条件	図９	図１０
材料	ＦＢＧ、ガラス導波路	ＬＮ（常光利用）、ＧａＡｓ、Ｔａ2O5 ＺｎＯ、Al203
グレーティング長Ｌｂ	比較例 1mm	実施例 100μｍ
ＬＤ活性層長	比較例 2.1mm	実施例 300μｍ
モードホップ温度（動作温度範囲）	比較例５℃	実施例６０℃
波長変化	０．０１ｎｍ／℃	０．０５ｎｍ／℃
パワー変動	モードホップによるパワー変動５％以上	３％以下
備考	ペルチェ素子による温度制御必須	ペルチェ素子必要なし

[0059] 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、$d\lambda_G/dT=0.01$nm/℃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。

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$d\lambda_s/dT=d\lambda_{TM}/dT$ ＝0.05nm/℃と大きく、その差は0.04nm/℃となる。

[0060] また、コア層としてSiO_2やSiO(1-x)Nxを使用する場合、屈折率の温度変化率△ｎｆは 1×10^{-5}／℃と小さく、波長1.3μｍではλgの温度依存性は非常に小さく$d\lambda_G/dT$＝0.01nm/℃となる。一方、外部共振器の位相条件が成り立つ波長（発振波長）の温度係数について、InGaAsP系レーザを使用した場合、 光源の等価屈折率3.6、屈折率の温度変化3×10^{-4}／℃、長さＬａ＝400μｍ、回折格子の等価屈折率1.54、1×10^{-5}／℃、長さ155μｍとすると$d\lambda_G/dT=d\lambda_{TM}/dT$＝ 0.09nm/℃となる。したがって、その差は0.08 nm/℃となる。

[0061] このようにしてレーザ発振したレーザ光のスペクトル波形は、線幅が０．２ｎｍ以下となる。広い温度範囲でレーザ発振するために、さらにモードホップしない温度範囲をより広くするために、室温２５℃における外部共振器によるレーザ発振波長はグレーティング反射率の中心波長よりも短波長側であることが好ましい。この場合、温度が上昇するにつれてレーザ発振波長は長波長側にシフトしてグレーティング反射率の中心波長よりも長波長側でレーザ発振することになる。

[0062] また広い温度範囲でレーザ発振するために、さらにモードホップしない温度範囲をより広くするために、室温２５℃における外部共振器によるレーザ発振波長は光源２の同じ温度での発振波長よりも長波長側で発振することが好ましい。この場合、温度が上昇するにつれて外部共振器によるレーザ発振波長は光源２の発振波長に対して短波長側でレーザ発振することになる。

[0063] 室温での外部共振器によるレーザ発振波長と光源２の発振波長の差は、レーザ発振の温度許容範囲を広くする観点において０．５ｎｍ以上が好ましく、さらに２ｎｍ以上であってもよい。しかし、波長差を大きくしすぎるとパワーの温度変動が大きくなるのでこの観点から１０ｎｍ以下が好ましく、さらに６ｎｍ以下が好ましい。

[0064] 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。

[数10]

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

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 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/℃以下にすることが必要であり、具体的な材料としては、ガリウム砒素（GaAs）、ニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$）、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。例えば、ニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$）を利用する場合、$\Delta\lambda_G$を1.3nm程度に設計し、位相条件を満足する波長を$\Delta\lambda_G$内に2点となるように活性層の長さを250μｍに設定すると、ΔG_{TM}は例えば1.2nmとなり、T_{mh}は60℃となり、動作温度範囲を広くすることができる。図７にこの例を示す。

[0068] 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りにくく、安定なレーザ発振条件で、かつ縦モードがシングルモ

ードで発振が動作が可能である。このような条件でレーザ発振した出力のスペクトル幅は0.1ｎｍ以下となる。

[0069] すなわち、本発明構造は、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0.05nm／℃で変化するが、モードホップは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Lbは100μｍとし、ΔG_{TM}を大きくするためにLaは250μｍとしている。

[0070] 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縦モードの温度係数を近づけることで温度無依存を実現するもので、このために共振器構造をコンパクトにでき、かつ付加するものが不要である。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Lb＝3mm

LD活性層長さLa＝600μｍ

伝搬部の長さ＝1.5mm

[0071] 以下、本発明の各条件について更に述べる。

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５、図６、図７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。

[0072] 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以上とするのは、図７に示すように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５ｎｍ以下とすることが好ましく、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。

[0073] ブラッググレーティングの長さL_bは５００μｍ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５００μｍ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。この観点からは、ブラッググレーティングの長さL_bを３００μｍ以下とすることが更に好ましい。また、L_bは２００μｍ以下とすることがいっそう好ましい。

[0074] 活性層の長さL_aも５００μｍ以下とする（式３）。活性層の長さL_aを従来と比べて短くすることも、本発明の設計思想の前提である。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、活性層の長さL_aは、１５０μｍ以上とすることが好ましい。

[0075] 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（式４）。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以下であるが、さらに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。

[0076] その上で、式（５）に示す条件が重要である。

式（５）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。

[0077] 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。

[0078] 以下、縦モードについて補足する。

(2.3) 式は、$\phi 2+2\beta La=2p\pi$、かつ、$\beta=2\pi/\lambda$なので、これを満足するλがλ_{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り、下式で算出する。

[0079] [数11]

$$r_2=\frac{-j\kappa\tanh(\gamma L_b)}{\gamma+(\alpha/2+j\delta)\tanh(\gamma L_b)}\equiv|r_2|\exp(-j\phi)$$

[0080] 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。

[0081] したがって、式（５）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（５）の数値は、0.025以下とすることが更に好ましい。

[0082] グレーティング素子の長さL_{WG}も６００μｍ以下とする（式６）。これもＬｂと同様に短くすることが本発明の前提となる。この観点からは、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。

[0083] 光源の出射面と光導波路の入射面との距離L_gは、1μｍ以上、１０μｍ以下とする（式（７））。これによって安定した発振が可能となる。

伝搬部の長さL_mは、２０μｍ以上、１００μｍ以下とする（式８）。これによって安定した発振が可能となる。

[0084] 好適な実施形態においては、光源とグレーティング素子が直接光学的に接続されており、活性層の出射面と反対側の外側端面とブラッググレーティングとの間で共振器構造を形成しており、活性層の外側端面とブラッググレーティングの出射側終点との間の長さが９００μｍ以下である。グレーティング部では光は徐々に反射されていくために反射ミラーのように明確な反射点を観測することはできない。実効的な反射点は数学的に定義することはできるが、ブラッググレーティングの出射側終点よりレーザ側に存在する。このよう

なことから本願では、出射側の終点で共振器の長さを定義している。本発明によれば、非常に短い共振器長であっても、高い効率で目的波長の光を発振させることができる。この観点からは、活性層の外側端面とブラッググレーティングの出射側終点との間の長さが８００μｍ以下であることが更に好ましく、７００μｍ以下であることが特に好ましい。また、レーザの出力を高めるという観点からこの長さは、３００μｍ以上であることが好ましい。

[0085] 上述の各例では、光導波路が、リッジ部と、このリッジ部を成形する少なくとも一対のリッジ溝からなるリッジ型光導波路である。この場合には、リッジ溝の下に光学材料が残されており、かつリッジ溝の外側にもそれぞれ光学材料からなる延在部が形成されている。

[0086] しかし、リッジ型光導波路において、リッジ溝の下にある光学材料を除去してしまうことで、ストライプ状の細長いコアを形成することもできる。この場合には、リッジ型光導波路が、光学材料からなる細長いコアからなり、コアの横断面が凸図形をなしている。このコアの周りには、バッファ層（クラッド層）や空気層が存在しており、バッファ層や空気層がクラッドとして機能する。

[0087] 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。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。

[0088] 図１１、図１２は、この実施形態に係るものである。

図１１（ａ）のグレーティング素子２１Ａでは、支持基板１０上にバッファ層１６が形成されており、バッファ層１６上に光導波路３０が形成されている。光導波路３０は、前述したような屈折率１．８以上の光学材料からなるコアからなる。光導波路の横断面（光伝搬方向と垂直な方向の断面）形状は台形であり、光導波路は細長く伸びている。本例では、光導波路３０の上側面が下側面よりも狭くなっている。光導波路３０内には、前述したような入射側伝搬部、ブラッググレーティング、出射側伝搬部が形成されている。

[0089] 図１１（ｂ）のグレーティング素子２１Ｂでは、支持基板１０上にバッファ層２２が形成されており、バッファ層２２内に光導波路３０が埋設されている。光導波路の横断面（光伝搬方向と垂直な方向の断面）形状は台形であり、光導波路は細長く伸びている。本例では、光導波路３０の上側面が下側面よりも狭くなっている。バッファ層２２は、光導波路３０上の上側バッファ２２ｂ、下側バッファ２２ａおよび光導波路３０の側面を被覆する側面バッファ２２ｃを含む。

[0090] 図１１（ｃ）のグレーティング素子２１Ｃでは、支持基板１０上にバッファ層２２が形成されており、バッファ層２２内に光導波路３０Ａが埋設されている。光導波路３０Ａは、前述したような屈折率１．８以上の光学材料からなるコアからなる。光導波路の横断面（光伝搬方向と垂直な方向の断面）形状は台形であり、光導波路は細長く伸びている。本例では、光導波路３０Ａの下側面が上側面よりも狭くなっている。

[0091] 図１２（ｄ）のグレーティング素子２１Ｄでは、支持基板１０上にバッファ層１６が形成されており、バッファ層１６上に光導波路３０が形成されている。そして、光導波路２０が、別のバッファ層２３によって包含され、埋設されている。バッファ層２３は、上側バッファ２３ａおよび側面バッファ２３ｂからなる。本例では、光導波路３０の上側面が下側面よりも狭くなっている。

[0092] 図１０（ｅ）のグレーティング素子２１Ｅでは、支持基板１０上にバッファ層１６が形成されており、バッファ層１６上に光導波路３０Ａが形成されている。そして、光導波路３０Ａが、別のバッファ層２３によって包含され、埋設されている。バッファ層２３は、上側バッファ２３ａおよび側面バッファ２３ｂからなる。本例では、光導波路３０Ａの下側面が上側面よりも狭くなっている。

なお、光導波路の幅Ｗｍは、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。

実施例

[0093] （実施例１）

図１～図３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ー技術により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Λ180nm、長さLb100μｍ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300nmであった。また、ｙ軸伝搬の光導波路を形成するために、エキシマレーザにて、グレーティング部に、幅Wm3μｍ、Tr0.5μｍの溝加工を実施した。さらに、溝形成面にSiO_2からなるバッファ層１７をスパッタ装置で0.5μｍ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。

[0094] 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1μｍの厚み（Ｔｓ）とした。その後、定盤からはずし研磨面をスパッタにてSiO_2からなるバッファ層１6を0.5μｍ成膜した。

[0095] 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％以下の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。

[0096] 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、ｘ軸方向の偏光（常光）に対して中心波長800nm、最大反射率は３％で、半値全幅$\Delta\lambda_G$は1.3nmの特性を得た。

[0097] 次に、このグレーティング素子を使用した外部共振器型レーザの特性評価のために、図１に示すようにレーザモジュールを実装した。光源素子としてGaAs系レーザ構造を有し、片端面には高反射膜、もう一方の端面は反射率0.1％のARコートを成膜したものを用意した。

光源素子仕様：

中心波長： 800nm

レーザ素子長 250μｍ

実装仕様：

Lg： 3μｍ

Lm： 20μｍ

[0098] 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、中心波長800nm、出力50ｍＷのレーザ特性であった。また動作温度範囲を評価するために恒温槽内にモジュールを設置し、レーザ発振波長の温度依存性、モードホップが起こる温度、出力変動を測定した。その結果、発振波長の温度係数は0.05nm／℃、モードホップ温度60℃、パワー出力変動は１％以内であった(図５、図７)。

[0099] （比較例１）

実施例１と同様に、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ー技術により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Λ180nm、長さLb1000μｍ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300nmであった。また、ｙ軸伝搬の光導波路を形成するためにエキシマレーザにてグレーティング部に幅Wm3μｍ、Tr 0.5μｍの溝加工を実施した。

[0100] さらに、溝形成面にSiO_2からなるバッファ層17をスパッタ装置で0.5μｍ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。

[0101] 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1μｍの厚み(Ts)とした。その後、定盤からはずし研磨面をスパッタにてSiO_2からなるバッファ層16を0.5μｍ成膜した。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%以下の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} 1500μｍとした。

[0102] 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、ｘ軸方向の偏光（常光）に対して中心波長800nm、最大反射率は10%で、半値全幅$\Delta\lambda_G$は0.2nmの特性を得た。

[0103] 次に、このグレーティング素子を使用した外部共振器型レーザの特性評価のために、別図のようなレーザモジュールを実装した。光源素子としてGaAs系レーザ構造を有し、片端面には高反射膜、もう一方の端面は反射率0.1%のARコートを成膜したものを用意した。

光源素子仕様：

中心波長： 800nm

レーザ素子長： 1000μｍ

実装仕様：

Lg： 3μｍ

Lm： 20μｍ

[0104] モジュール実装後、パ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、中心波長800nm、出力50ｍＷのレーザ特性であった。また動作温度範囲を評価するために恒温槽内にモジュールを設置し、レーザ発振波長の温度依存性、モードホップが起こる温度、出力変動を測定した。その

結果、発振波長の温度係数は0.05nm／℃、モードホップ温度6℃、パワー出力変動は10％であった。

[0105] （実施例２）

図１および図４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ー技術により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Λ214nm、長さLb 100μｍ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、エキシマレーザにて、グレーティング部に、幅Wm3μｍ、Tr0.5μｍの溝加工を実施した。さらに、溝形成面にSiO_2からなるバッファ層１７をスパッタ装置で0.5μｍ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。ブラックＬＮとは、酸素欠損状態にしたニオブ酸リチウムのことであり、焦電による電荷発生を抑制できる。これにより温度変動があった場合の耐サージによる基板クラックを防止できる。

[0106] 次に、支持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支持基板の裏面を精密研磨して1μｍの厚み（Ｔｓ）とした。その後、定盤からはずし研磨面をスパッタにてSiO_2からなるバッファ層１6を0.5μｍ成膜した。

[0107] 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。

[0108] 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945nm、最大反射率は２０％で、半値全幅$\Delta\lambda_G$は2nmの特性を得た。

[0109] 次に、このグレーティング素子を使用した外部共振器型レーザの特性評価

のために、図１に示すようにレーザモジュールを実装した。光源素子としてGaAs系レーザ構造を有し、片端面には高反射膜、もう一方の端面は反射率0.1％のARコートを成膜したものを用意した。

光源素子仕様：

中心波長：　950nm

出力　20mW

半値幅：　50nm

レーザ素子長　250μm

実装仕様：

Lg：　1μm

Lm：　20μm

[0110]　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、中心波長945nm、出力50ｍＷのレーザ特性であった。レーザのスペクトル特性を図８に示す。また動作温度範囲を評価するために恒温槽内にモジュールを設置し、レーザ発振波長の温度依存性、出力変動を測定した。その結果、発振波長の温度係数は0.05nm／℃、モードホップによる出力変動が大きくなる温度域は80℃、この温度域でのパワー出力変動はモードホップが起こっても１％以内であった。

[0111]（実施例３）

実施例２と同じ方法で、ピッチ間隔Λ222nm、長さLb 100μｍ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とした。グレーティング素子の光学特性は、広帯域波長光源であるスーパ・ルミネッセンス・ダイオード（SLD）を使用して、グレーティング素子に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。

[0112]　次に、図１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：　50mW

半値幅：　0.1nm

レーザ素子長　250μm

実装仕様：

Lg：　1μm

Lm：　20μm

[0113]　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40ｍＷのレーザ特性であった。また動作温度範囲を評価するために恒温槽内にモジュールを設置し、レーザ発振波長の温度依存性、出力変動を測定した。その結果、発振波長の温度係数は0.05nm／℃、モードホップによる出力変動が大きくなる温度域は80℃、この温度域でのパワー出力変動はモードホップが起こっても１％以内であった。

[0114]（比較例２）

実施例３において、グレーティング素子がない場合には、レーザ発振波長の温度係数は0.3nm／℃で大きく、モードホップ温度は10℃程度とであった。10℃以上ではパワー変動が大きくなり、出力変動は１０％以上となった。

[0115]（実施例４）

石英基板にスパッタ装置にてTa205を1.2μｍ成膜して光学材料層を形成した。次に、Ta205上にＴｉを成膜して、フォトリソグラフィー技術により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Λ232nm、長さLb 100μｍ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とした。次に、上記と同様にして反応性イオンエッチングにより、明細書図２、３に示す形状の光導波路を形成した。グレーティング素子の光学特性は

、広帯域波長光源であるスーパ・ルミネッセンス・ダイオード（SLD）を使用して、グレーティング素子に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945nm、最大反射率は２０％で、半値全幅$\Delta\lambda_G$は2nmの特性を得た。

[0116] 次に、図１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0.1％ARコートを成膜した。

光源素子仕様：

中心波長： 950nm

出力： 20mW

半値幅： 50nm

レーザ素子長 250μm

実装仕様：

Lg： 1μm

Lm： 20μm

[0117] 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945nm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40ｍＷのレーザ特性であった。また動作温度範囲を評価するために恒温槽内にモジュールを設置し、レーザ発振波長の温度依存性、出力変動を測定した。その結果、発振波長の温度係数は0.03nm／℃、モードホップによる出力変動が大きくなる温度域は50℃、その温度域でのパワー出力変動はモードホップが起こっても１％以内であった。

[0118] （実施例５）

実施例１と同様にして、図１、図３に示すような装置を作製した。ただし、グレーティング素子２１Ｄの横断面形状は、図１２（ａ）に示す形状とした。

[0119] 具体的には、石英からなる支持基板１０にスパッタ装置にて下側クラッド

層になるSiO_2層１６を0.5μｍ成膜し、またその上にTa205を1.2μｍ成膜して光学材料層を形成した。

次に、Ta205上にＴｉを成膜して、ＥＢ描画装置によりグレーティングパターンを作製した。その後、Ｔｉパターンをマスクにしてフッ素系の反応性イオンエッチングにより、ピッチ間隔Λ238.5nm、長さLb　１００μｍのブラッググレーティングを形成した。グレーティングの溝深さｔｄは40nmとした。

[0120]　さらに光導波路３０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Wm３μｍ、両サイドは光導波路３０を残して光学材料層を完全に切り込むようにエッチングした。光導波路３０の厚さＴｓは１．２μｍである。

最後に、上側クラッドとなるSiO_2からなるバッファ層２３を光導波路３０を覆うように２μｍスパッタにて形成した。

[0121]　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Lwg　500μmとした。

[0122]　グレーティング素子の光学特性は、広帯域波長光源であるスーパ・ルミネッセンス・ダイオード（SLD）を使用して、グレーティング素子にTEモードの光を入力して出力光を光スペクトルアナライザで分析することにより、その透過特性から反射特性を評価した。測定したグレーティング素子の反射中心波長は、975ｎｍであり、反射率は１８%、半値全幅$\Delta\lambda_G$は2nmの特性を得た。

[0123]　次に、図１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：	50mW
半値幅：	0.1nm
レーザ素子長	250μｍ

実装仕様：

Lg：　　1μm

Lm：　　20μm

[0124]　モジュール実装後、ペルチェ素子を使用することなく電流制御（ＡＣＣ）で駆動したところ、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40ｍＷのレーザ特性であった。また動作温度範囲を評価するために恒温槽内にモジュールを設置し、レーザ発振波長の温度依存性、出力変動を測定した。その結果、発振波長の温度係数は0.03nm／℃、モードホップによる出力変動が大きくなる温度域は40℃、この温度域でのパワー出力変動はモードホップが起こっても１％以内であった。

請求の範囲

[請求項1] 単独で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、単一モード発振する外部共振器型発光装置であって、

前記光源が、前記半導体レーザ光を発振する活性層を備えており、

前記グレーティング素子が、前記半導体レーザ光が入射する入射面と所望波長の出射光を出射する出射面を有する光導波路、この光導波路内に形成されたブラッググレーティング、および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伝搬部を備えており、下記式（１）～式（５）の関係が満足されることを特徴とする、外部共振器型発光装置。

$\Delta\lambda_G \geqq 0.8\,nm$ ・・・（１）

$L_b \leqq 500\,\mu m$ ・・・（２）

$L_a \leqq 500\,\mu m$ ・・・（３）

$n_b \geqq 1.8$ ・・・（４）

[数12]

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

・・・・（５）

（式（１）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（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、L_aは、前記活性層の長さである。

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。

式（５）において、$d\lambda_G/dT$は、ブラッグ波長の温度係数であり、$d\lambda_{TM}/dT$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。）

[請求項2] 前記光源と前記グレーティング素子が直接光学的に接続されており、前記活性層の出射面と反対側の外側端面と前記ブラッググレーティングとの間で前記外部共振器を形成しており、前記活性層の前記外側端面と前記ブラッググレーティングの出射側終点との間の長さが９１０μｍ以下であることを特徴とする、請求項１記載の装置。

[請求項3] 下記式（６）～（８）の関係が満足されることを特徴とする、請求項１または２記載の装置。

$L_{WG} \leqq 600\mu m$ ・・・（６）

$1\mu m \leqq L_g \leqq 10\mu m$ ・・（７）

$20\mu m \leqq L_m \leqq 100\mu m$ ・・（８）

（式（６）において、L_{WG}は、前記グレーティング素子の長さである。

式（７）において、L_gは、前記光源の出射面と前記光導波路の前記入射面との距離である。

式（８）において、L_mは、前記伝搬部の長さである。）

[請求項4] 前記ブラッググレーティングの反射率が、前記光源の出射端の反射率、前記グレーティング素子の入射面の反射率、および前記グレーティング素子の出射面の反射率よりも大きいことを特徴とする、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] 前記光導波路が細長いコアからなり、前記コアの横断面が凸図形をなしていることを特徴とする、請求項１～４のいずれか一つの請求項

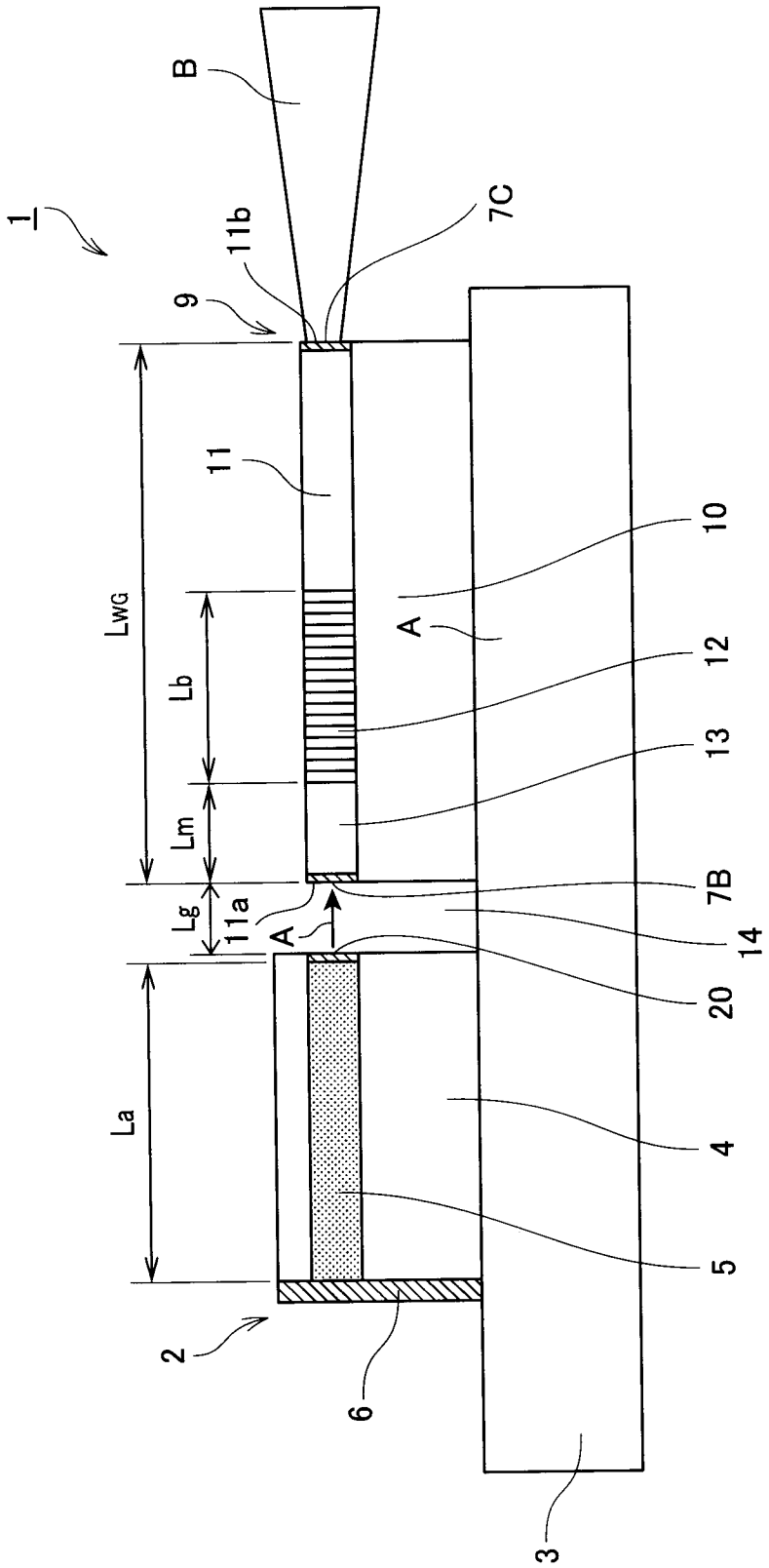
に記載の装置。

［請求項6］　前記光導波路が、リッジ部と、このリッジ部を成形する少なくとも一対のリッジ溝からな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。

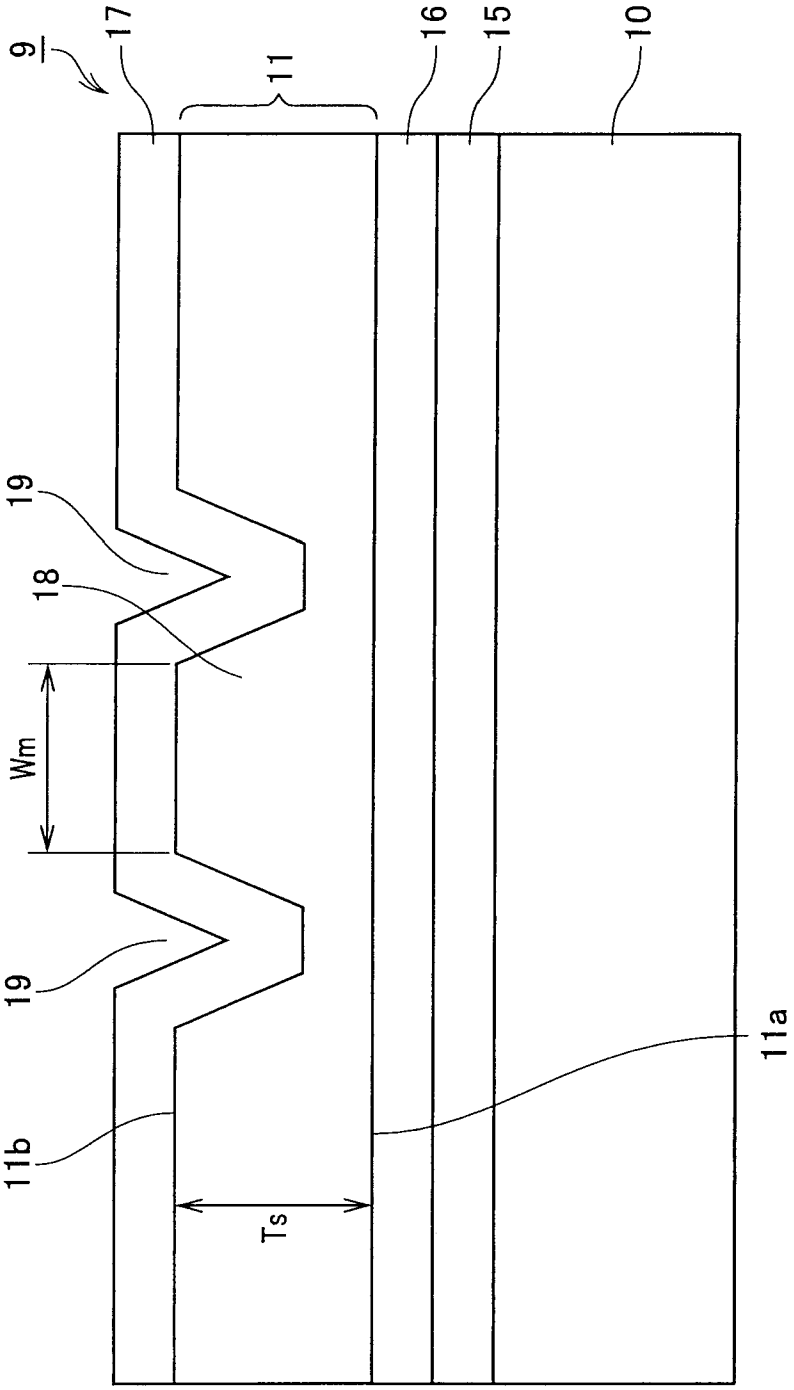
［請求項7］　前記ブラッググレーティングの前記材質が、ガリウム砒素、ニオブ酸リチウム単結晶、酸化タンタル、酸化亜鉛および酸化アルミナからなる群より選択されることを特徴とする、請求項１～６のいずれか一つの請求項に記載の装置。

［請求項8］　前記光導波路上に設けられたバッファ層を有す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。

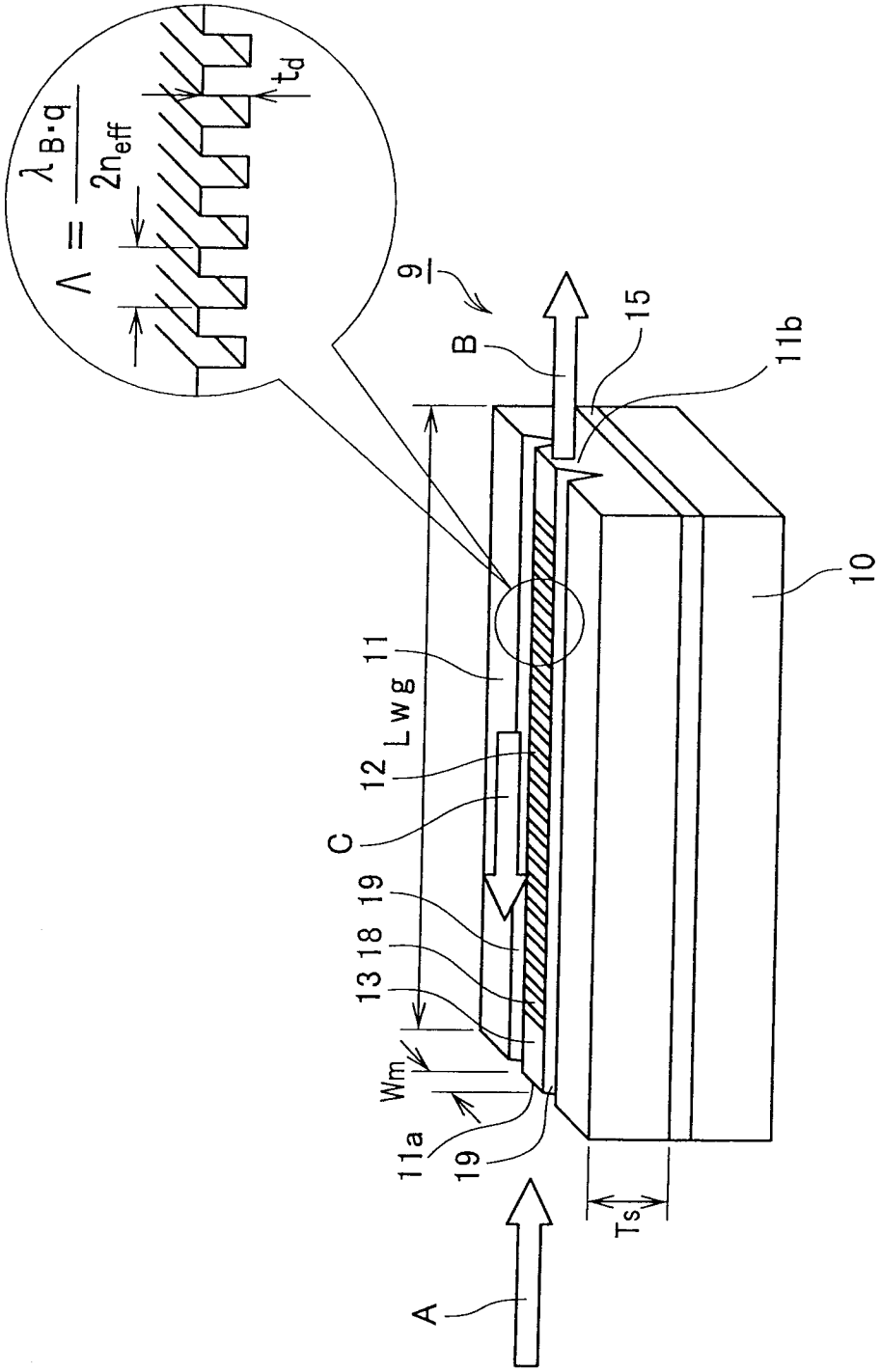
[図1]



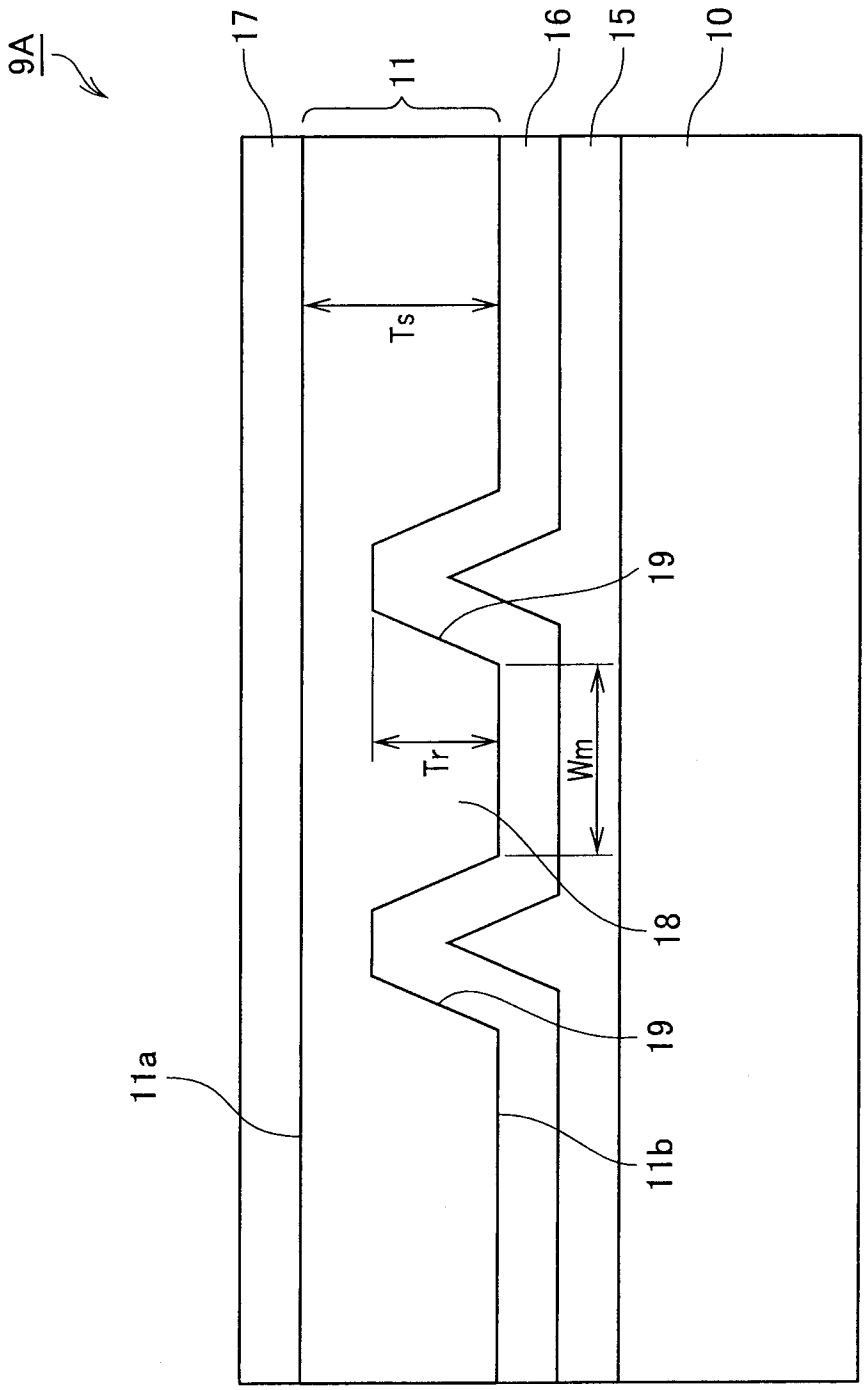
[図2]



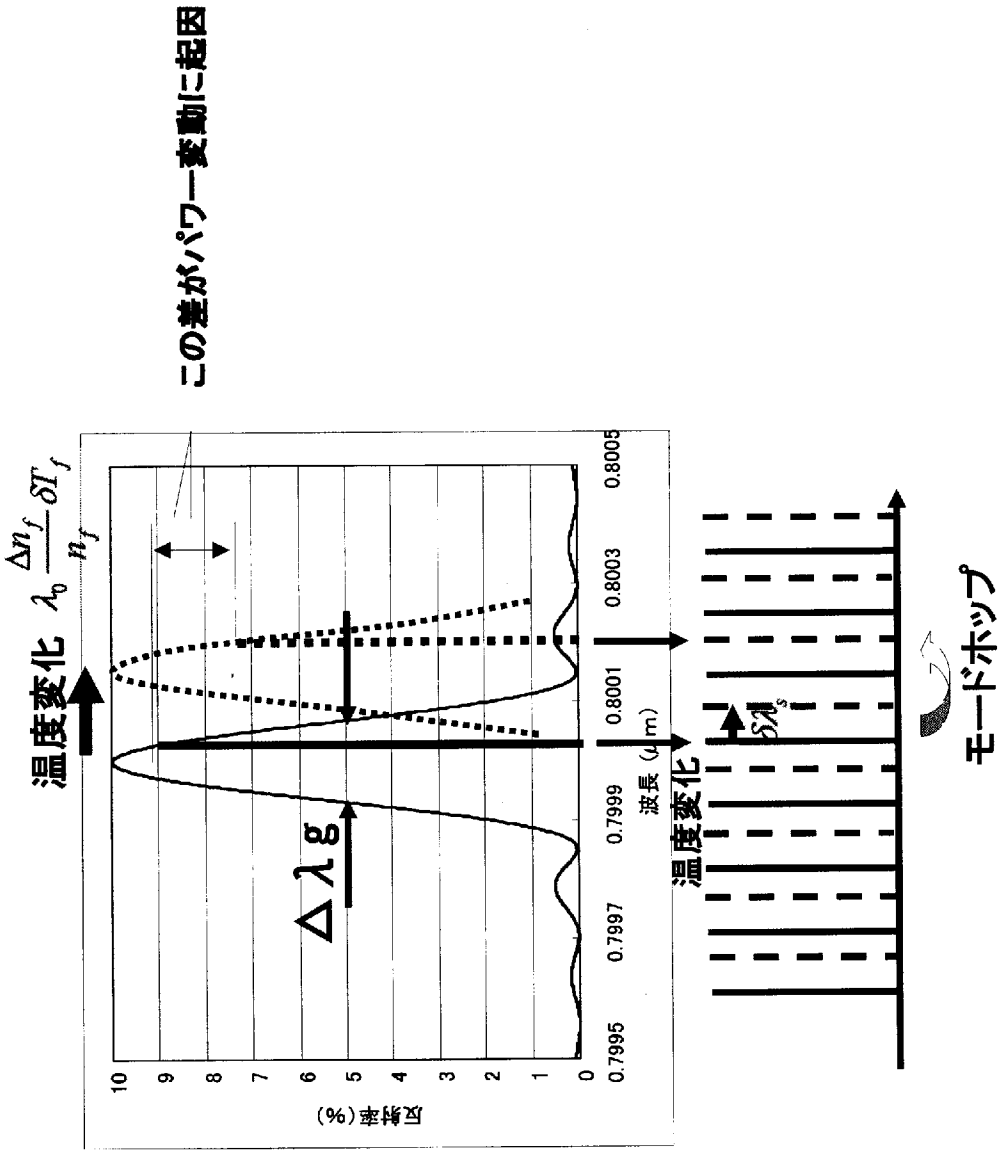
[図3]


$\Lambda = \frac{\lambda_{B \cdot q}}{2n_{eff}}$
t_d
9
B
15
11b
10
11
Lwg
12
C
19
18
13
Wm
11a
19
Ts
A

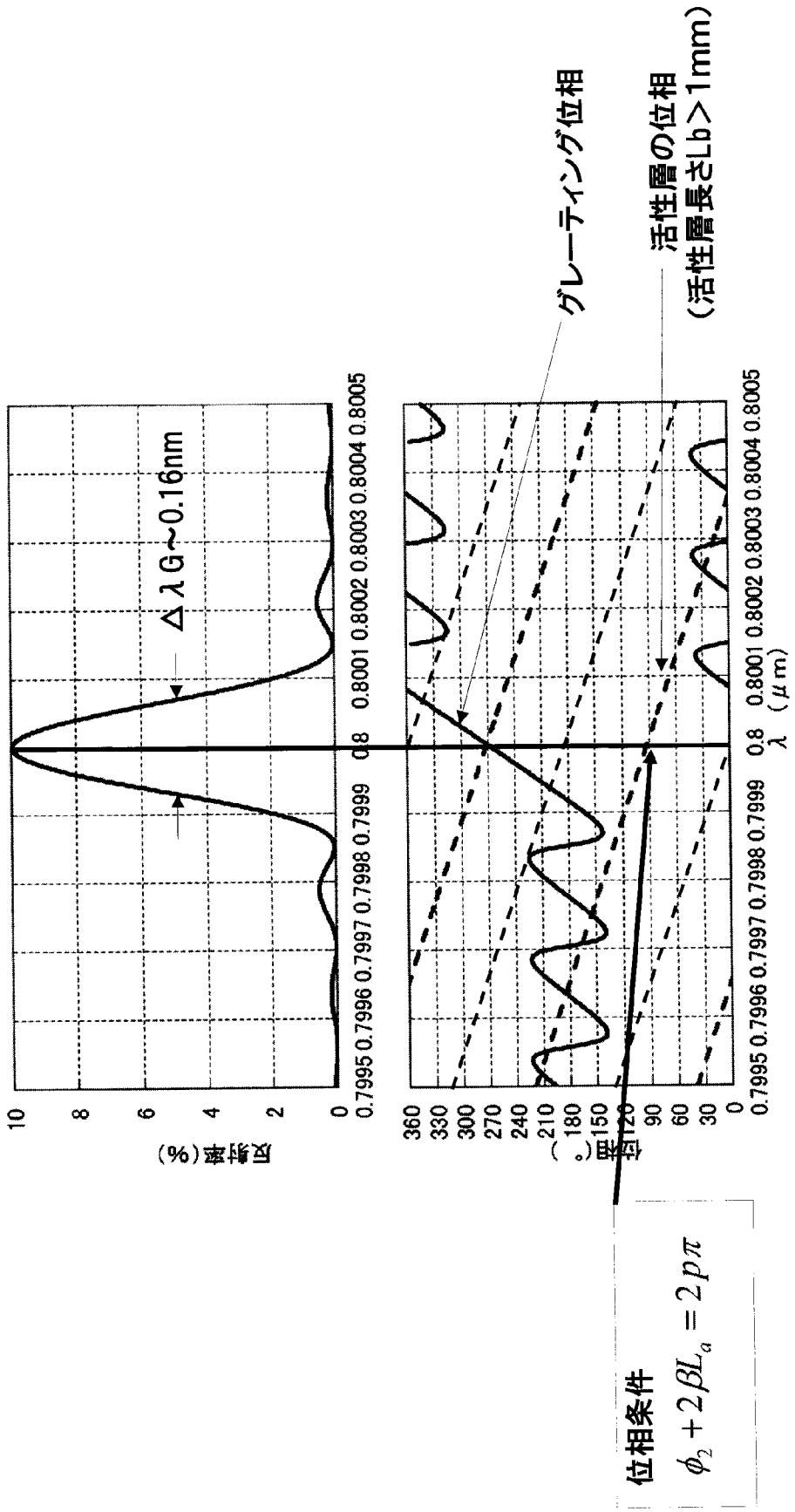
[図4]



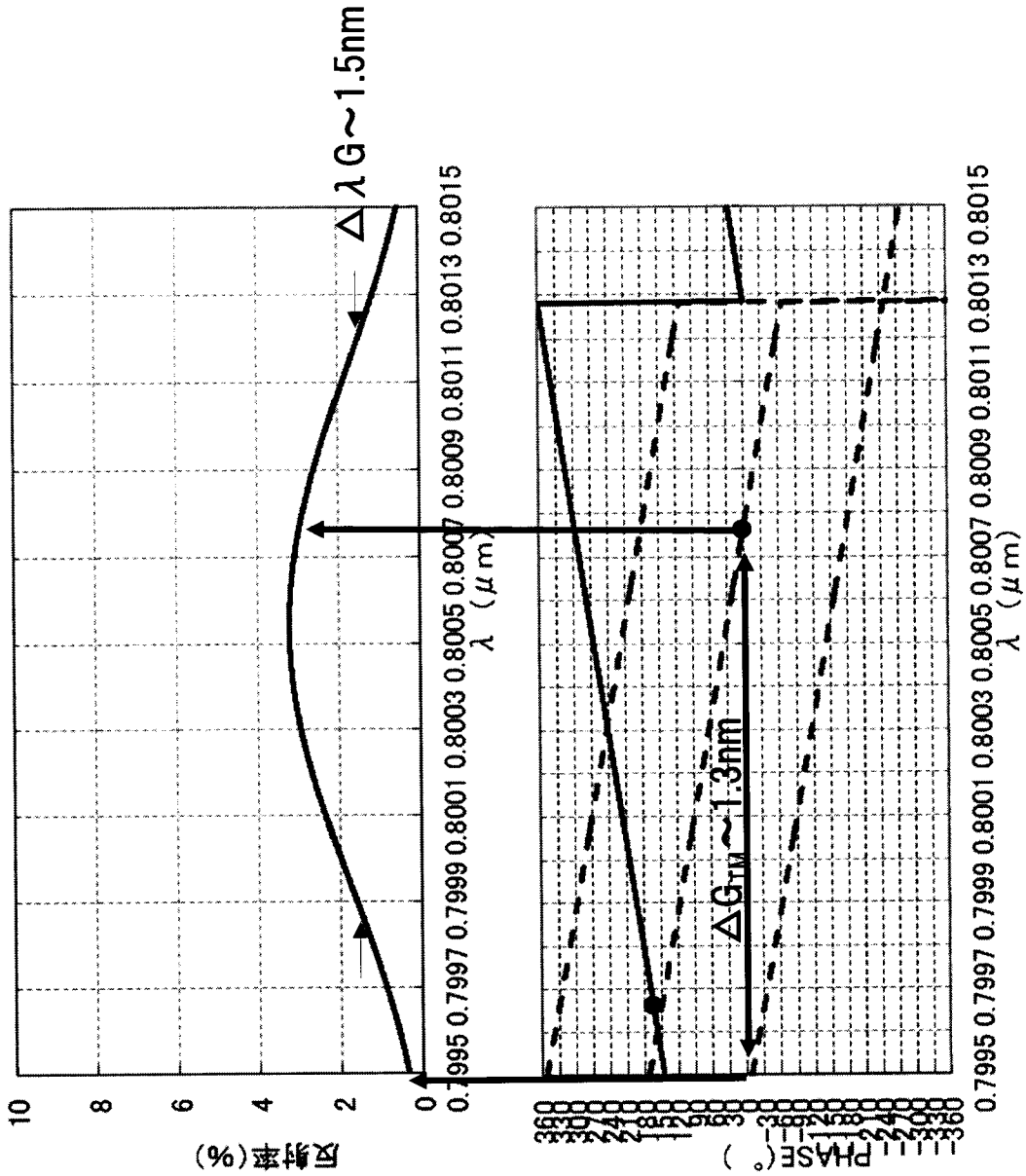
[図5]


この差がパワー変動に起因
温度変化 $\lambda_0 \frac{\Delta n_f}{n_f} \delta T_f$
Δλg
反射率(%)
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0.7995
0.7997
0.7999
0.8001
0.8003
0.8005
波長(μm)
温度変化
$\delta\lambda_s$
モードホップ

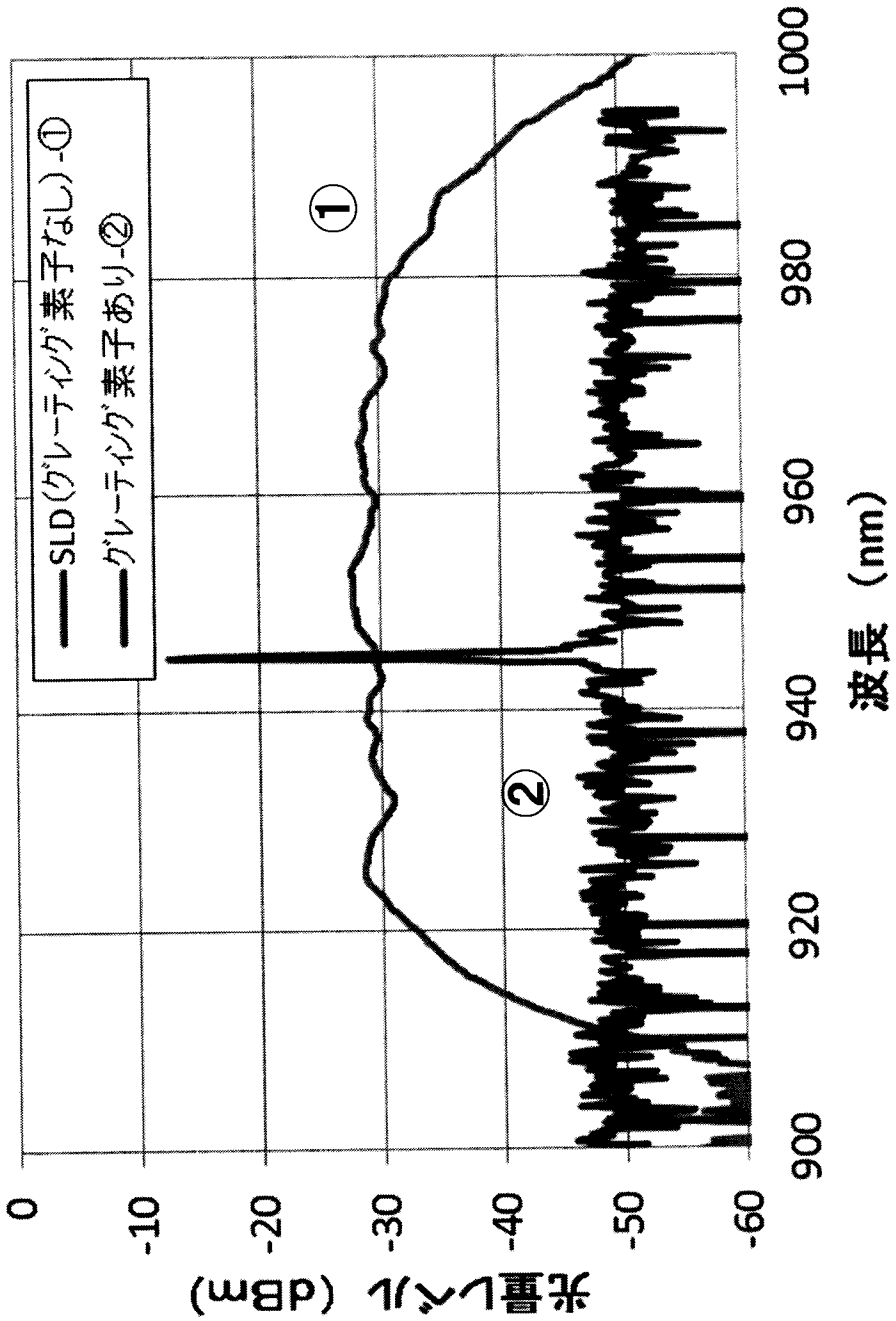
[図6]


反射率(%)
10
8
6
4
2
0
0.7995 0.7996 0.7997 0.7998 0.7999 0.8 0.8001 0.8002 0.8003 0.8004 0.8005
ΔλG~0.16nm
位相(°)
360
330
300
270
240
210
180
150
120
90
60
30
0
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
$\phi_2 + 2\beta L_a = 2p\pi$

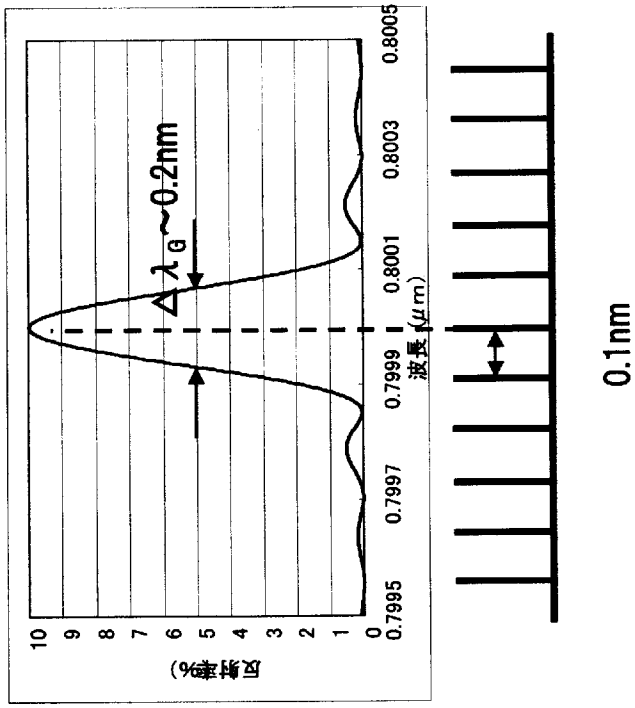
[図7]


反射率(%)
10
8
6
4
2
0
0.7995 0.7997 0.7999 0.8001 0.8003 0.8005 0.8007 0.8009 0.8011 0.8013 0.8015
λ (μm)
ΔλG～1.5nm
PHASE(°)
360
330
300
270
240
210
180
150
120
90
60
30
0
-30
-60
-90
-120
-150
-180
-210
-240
-270
-300
-330
-360
ΔG_TM～1.3nm
0.7995 0.7997 0.7999 0.8001 0.8003 0.8005 0.8007 0.8009 0.8011 0.8013 0.8015
λ (μm)

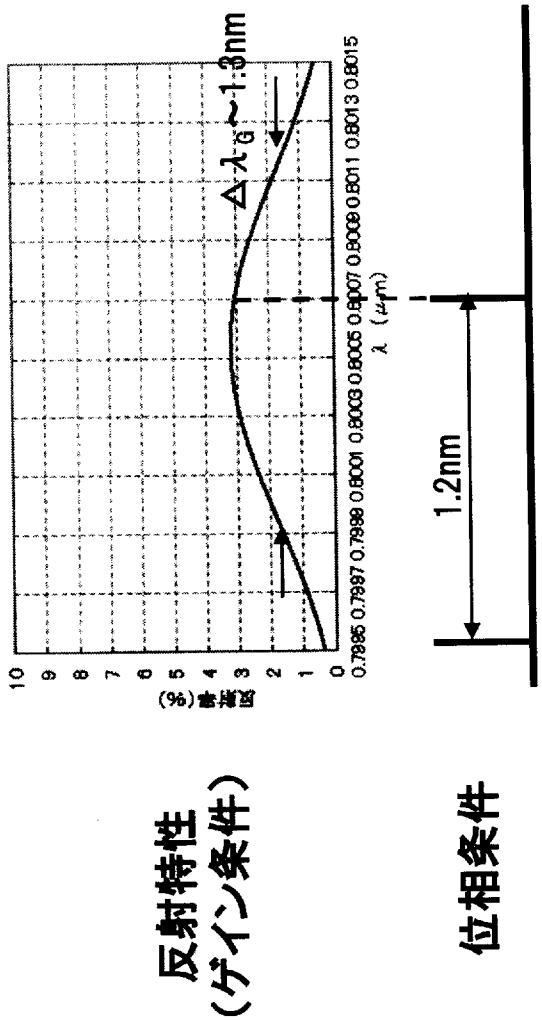
[図8]


SLD(グレーティング素子なし)-①
グレーティング素子あり-②
①
②
光量レベル (dBm)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
900
920
940
960
980
1000
波長 (nm)

[図9]

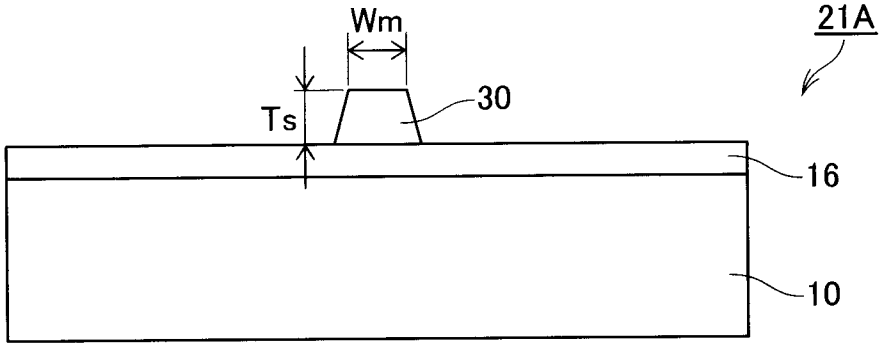

反射特性
(ゲイン条件)
反射率(%)
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0.7995
0.7997
0.7999
0.8001
0.8003
0.8005
波長(μm)
Δλ_G~0.2nm
位相条件
0.1nm

[図10]

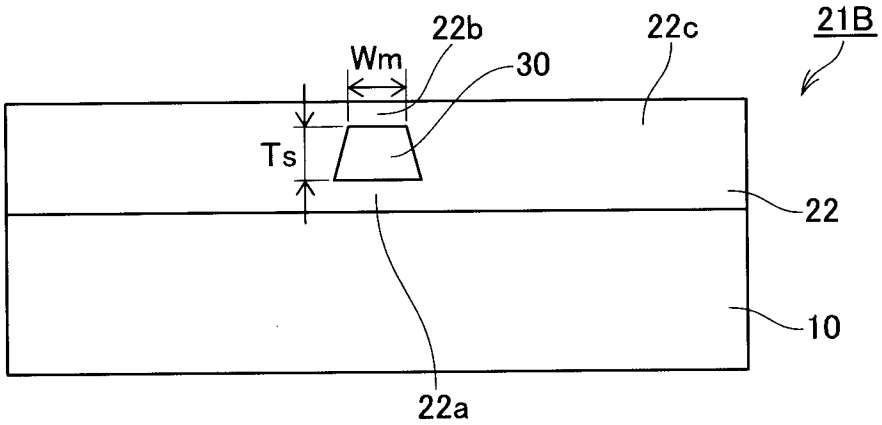

反射特性
(ゲイン条件)
反射率(%)
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0.7985 0.7997 0.7998 0.8001 0.8003 0.8005 0.8007 0.8009 0.8011 0.8013 0.8015
λ (μm)
Δλ_G~1.3nm
位相条件
1.2nm

[図11]

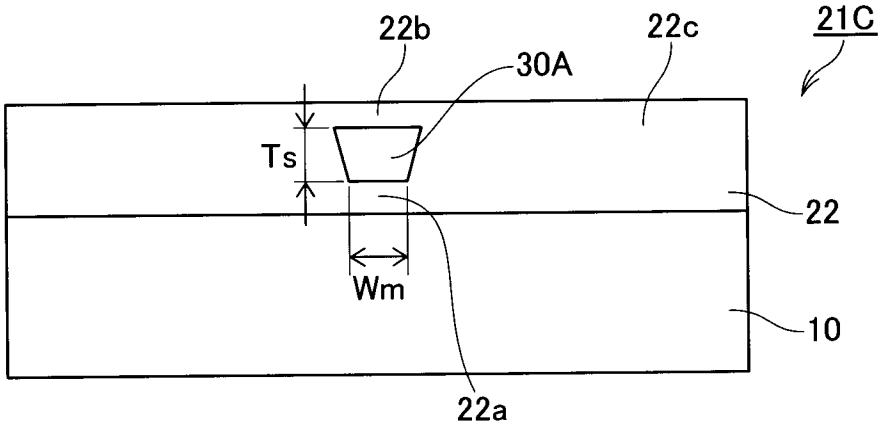
(a)


Wm
21A
30
Ts
16
10

(b)

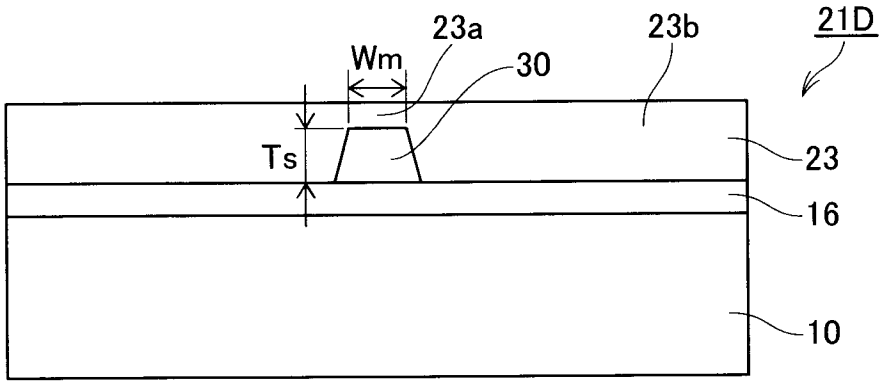

22b
22c
21B
Wm
30
Ts
22
10
22a

(b)

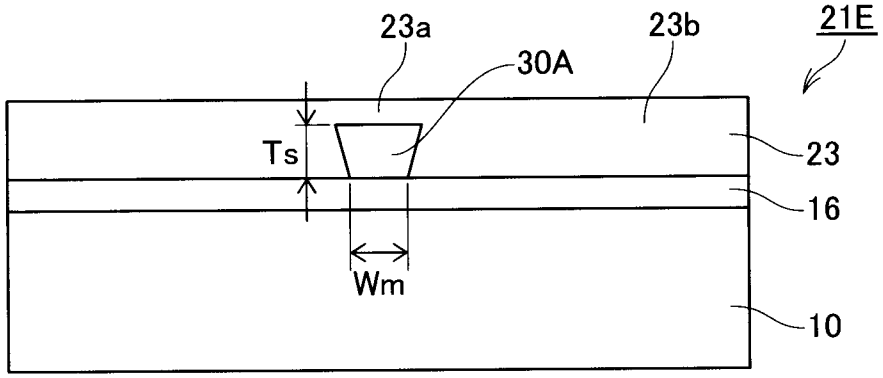

22b
22c
21C
30A
Ts
22
Wm
10
22a

[図12]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/080301

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
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)
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.
A	JP 2010-171252 A (Fujitsu Ltd.), 05 August 2010 (05.08.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2003-110193 A (Nanoplus GmbH Nanosystems and Technologies), 11 April 2003 (11.04.2003), paragraph [0034]; fig. 1d & US 2003/0043874 A1 & US 2006/0172446 A1 & US 2009/0117678 A1 & EP 1283571 A1	8
A	JP 2002-50827 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 15 February 2002 (15.02.2002), claim 5; paragraphs [0048] to [0050]; fig. 11 (Family: none)	7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 January 2015 (27.01.15)

Date of mailing of the international search report
10 February 2015 (10.02.15)

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/JP2014/080301

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-98230 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 14 April 1998 (14.04.1998), abstract; all drawings (Family: none)	1
A	JP 5-60927 A (Shimadzu Corp.), 12 March 1993 (12.03.1993), paragraph [0012] (Family: none)	1
A	US 2012/0099611 A1 (Byoung Whi Kim), 26 April 2012 (26.04.2012), abstract; fig. 1 to 2 & WO 2010/143763 A1 & KR 10-2010-0133797 A	5
A	US 2007/0127538 A1 (Jie Hyun Lee), 07 January 2007 (07.01.2007), paragraph [0023] & US 2010/0014545 A1 & KR 10-2007-0059896 A & KR 10-2007-0104504 A	1
A	US 2004/0020893 A1 (John Paul Drake), 05 February 2004 (05.02.2004), abstract; fig. 4 & GB 2384321 A	6
P,X	JP 5641631 B1 (NGK Insulators, Ltd.), 07 November 2014 (07.11.2014), entire text; all drawings & JP 2014-239222 A & WO 2014/196553 A1	1-8

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０８０３０１

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

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

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
A	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）	1-8
A	JP 2003-110193 A（ナノプロス ゲーエムベーハー ナノシステムズ アンド テクノロジーズ）2003.04.11, 段落３４，図１ｄ & US 2003/0043874 A1 & US 2006/0172446 A1 & US 2009/0117678 A1 & EP 1283571 A1	8

☑　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
２７．０１．２０１５	１０．０２．２０１５

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	２Ｘ	３０１３
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	古田　敦浩 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
A	JP 2002-50827 A（住友電気工業株式会社）2002.02.15, 請求項５，段落４８－５０，図１１（ファミリーなし）	7
A	JP 10-98230 A（日本電信電話株式会社）1998.04.14, 要約，全図（ファミリーなし）	1
A	JP 5-60927 A（株式会社島津製作所）1993.03.12, 段落１２（ファミリーなし）	1
A	US 2012/0099611 A1 (Byoung Whi Kim) 2012.04.26, 要約，図１－２ & WO 2010/143763 A1 & KR 10-2010-0133797 A	5
A	US 2007/0127538 A1 (Jie Hyun Lee) 2007.01.07, 段落２３ & US 2010/0014545 A1 & KR 10-2007-0059896 A & KR 10-2007-0104504 A	1
A	US 2004/0020893 A1 (John Paul Drake) 2004.02.05, 要約，図４ & GB 2384321 A	6
P，X	JP 5641631 B1（日本碍子株式会社）2014.11.07, 全文全図 & JP 2014-239222 A & WO 2014/196553 A1	1-8