

(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
2010 年 4 月 22 日(22.04.2010)

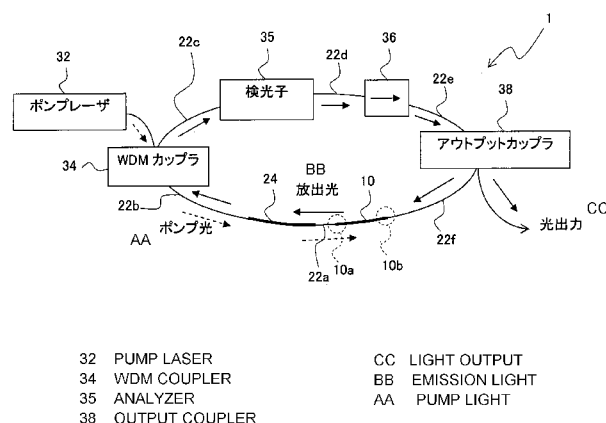
(10) 国際公開番号
WO 2010/044486 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/06 (2006.01) H01S 3/083 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/068089
- (22) 国際出願日: 2009 年 10 月 14 日(14.10.2009)
- (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 2008-266703 2008 年 10 月 15 日(15.10.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社アドバンテスト (ADVANTEST Corporation) [JP/JP]; 〒1790071 東京都練馬区旭町一丁目 3 2 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 増田伸(MASUDA, Shin) [JP/JP]; 〒1790071 東京都練馬区旭町一丁目 3 2 番 1 号株式会社アドバンテスト内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 細田 益 稔 (HOSODA, Masutoshi); 〒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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, 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: FIBER LASER

(54) 発明の名称: ファイバレーザ

第1図



(57) Abstract: In a fiber laser, a stable laser oscillation can be easily obtained. The fiber laser (1) comprises: an optical amplification portion (10) having a first end (10a) and a second end (10b), emitting spontaneous emission light from the first end (10a) upon receiving excitation light, and emitting stimulated emission light from the first end (10a) upon receiving spontaneous emission light at the second end (10b); and a light passing portion (PM fibers (22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f), single mode fiber (24)) which connects between the first end (10a) and the second end (10b) and through which the spontaneous emission light and the stimulated emission light pass. Further, the light passing portion includes the PM fibers (polarization plane maintaining portions) (22a, 22b, 22c, 22d, 22e, 22f) in which the change of the polarization plane of passing light is small and the single mode fiber (polarization plane changing portion) (24) in which the change of the polarization plane of passing light is large.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/044486 A1



本発明によれば、ファイバレーザにおいて、安定したレーザ発振が簡易に実現される。ファイバレーザ１が、第一の端部１０ａと第二の端部１０ｂとを有し、励起光を受けて第一の端部１０ａから自然放出光を放出し、第二の端部１０ｂで自然放出光を受けて第一の端部１０ａから誘導放出光を放出する光増幅部１０と、第一の端部１０ａと第二の端部１０ｂとを接続し、自然放出光および誘導放出光が通過する光通過部（PMファイバ２２ａ、２２ｂ、２２ｃ、２２ｄ、２２ｅ、２２ｆ、シングルモードファイバ２４）とを備える。しかも、光通過部が、通過する光の偏波面の変化が小さいPMファイバ（偏波面保持部）２２ａ、２２ｂ、２２ｃ、２２ｄ、２２ｅ、２２ｆと、通過する光の偏波面の変化が大きいシングルモードファイバ（偏波面変化部）２４とを有する。

1

明 細 書

ファイバレーザ

5

技術分野

本発明は、ファイバレーザに関する。

10

背景技術

従来より、ファイバレーザが知られている。ファイバレーザにおいては、例えば、共振器内の EDF(Erbium Doped Fiber : エルビウム添
15 加ファイバ)に、励起光が与えられる。すると、EDF の一端から自然
放出光が放出される。EDF の一端と他端とは光ファイバで接続されリ
ング共振器を構成しており、EDF の他端に自然放出光が戻され共振器
内を周回することにより、EDF の正帰還が行われ、レーザ発振が行わ
れる。また、レーザ発振光の偏波面を一定に保つために共振器内に検
20 光子が挿入される。

ここで、レーザ発振が安定するためには、検光子を透過するレーザ
発振光の偏波面が検光子の偏波面と一致することが必要である。しか
し、外乱（例えば、環境温度の変動）により、検光子の偏波面とレー
25 ザ発振光の偏波面とが一致しない場合が生じる。

2

そこで、EDF の一端と他端とを接続する光ファイバに、偏波コントローラ（Polarization Contoroller）を挿入し、偏波面を一致するように調整し、安定動作させるようにすることが知られている（例えば、非特許文献 1 の Fig.2、非特許文献 2 の Fig.1 を参照）。

- 5 （非特許文献 1）Eiji Yoshida et. al., “Femtosecond Erbium-Doped Fiber Laser with Nonlinear Polarization Rotation and Its Soliton Compression”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 33 (1994) pp. 5779-5783
（非特許文献 2）K. Tamura et. al., “77-fs pulse generation from a stretched-pulse mode-locked all-fiber ring laser”, OPTICS
10 LETTERS, Vol. 18, No. 13, July 1, 1993

しかしながら、上記のような従来技術によれば、偏波コントローラによる偏波面の微調整が必要であり、この微調整に多大な労力を要する。

15

そこで、本発明は、ファイバレーザにおいて、安定したレーザ発振を簡易に実現することを課題とする。

20 発明の開示

- 本発明にかかるファイバレーザは、第一の端部と第二の端部とを有し、励起光を受けて前記第一の端部から自然放出光を放出し、前記第二の端部で前記自然放出光を受けて前記第一の端部から誘導放出光を
25 放出する光増幅部と、前記第一の端部と前記第二の端部とを接続し、前記自然放出光および前記誘導放出光が通過する光通過部と、を備え、

3

前記光通過部が、通過する光の偏波面の変化が小さい偏波面保持部と、通過する光の偏波面の変化が大きい偏波面変化部とを有するように構成される。

- 5 上記のように構成されたファイバレーザによれば、光増幅部が、第一の端部と第二の端部とを有し、励起光を受けて前記第一の端部から自然放出光を放出し、前記第二の端部で前記自然放出光を受けて前記第一の端部から誘導放出光を放出する。光通過部が、前記第一の端部と前記第二の端部とを接続し、前記自然放出光および前記誘導放出光
- 10 が通過する。前記光通過部が、通過する光の偏波面の変化が小さい偏波面保持部と、通過する光の偏波面の変化が大きい偏波面変化部とを有する。

- 15 なお、本発明にかかるファイバレーザは、前記偏波面保持部が、第一の偏波面保持ファイバであるようにしてもよい。

20 なお、本発明にかかるファイバレーザは、前記偏波面変化部が、所定長さの半径で周回する第一周回部を有する光ファイバであるようにしてもよい。

25 なお、本発明にかかるファイバレーザは、前記偏波面変化部が、前記所定長さよりも短い半径で周回する第二周回部をさらに有する光ファイバであるようにしてもよい。

- 30 なお、本発明にかかるファイバレーザは、前記偏波面変化部が、複屈折材料であるようにしてもよい。

なお、本発明にかかるファイバレーザは、前記偏波面変化部が、前記第一の偏波面保持ファイバの偏波軸とは異なる偏波軸を有する第二の偏波面保持ファイバを有するようにしてもよい。

5

なお、本発明にかかるファイバレーザは、前記偏波面変化部が、前記第一の偏波面保持ファイバおよび前記第二の偏波面保持ファイバの偏波軸とは異なる偏波軸を有する第三の偏波面保持ファイバをさらに有するようにしてもよい。

10

なお、本発明にかかるファイバレーザは、所定の偏波面の光のみが通過する検光子を備え、前記偏波面変化部が、前記検光子の偏波軸とは異なる偏波軸を有する第四の偏波面保持ファイバを有するようにしてもよい。

15

なお、本発明にかかるファイバレーザは、前記光増幅部と、前記偏波面変化部とが一体であるようにしてもよい。

なお、本発明にかかるファイバレーザは、前記励起光を出射する励起光源と、前記励起光が前記第一の端部に向けて通過し、かつ、前記第一の端部から放出された光が前記第二の端部に向けて通過する第一カップラと、前記偏波面保持部を通過する光を、前記第二の端部および外部に向けて分岐する第二カップラと、所定の偏波面の光のみが通過する検光子と、を備え、前記偏波面保持部が、前記第一の端部から放出された光を前記第二の端部に向けて通過させ、前記第二の端部から放出された光を前記第一の端部に向けて通過させないアイソレータ

を有するようにしてもよい。

図面の簡単な説明

5

第1図は、本発明の第一の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

第2図は、シングルモードファイバ（偏波面変化部）24の作用を説明するための図である。

10 第3図は、本発明の第二の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

第4図は、本発明の第三の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

15 第5図は、本発明の第四の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

第6図は、本発明の第五の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

第7図は、本発明の第六の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

20 第8図は、本発明の第七の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

第9図は、安定動作の原理を説明するための図である。

25

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施形態を図面を参照しながら説明する。

第一の実施形態

5 第1図は、本発明の第一の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。第一の実施形態にかかるファイバレーザ1は、EDF（エルビウム添加光ファイバ）（光増幅部）10、PMファイバ（偏波面保持部）22a、22b、22c、22d、22e、22f、
10 シングルモードファイバ（偏波面変化部）24、ポンプレーザ（励起光源）32、WDMカップラ（第一カップラ）34、検光子35、アイソレータ36、アウトプットカップラ（第二カップラ）38を備える。

EDF（エルビウム添加光ファイバ）（光増幅部）10は、第一の
15 端部10aと第二の端部10bを有する。第1図においては、第一の端部10aはEDF10の左端であり、第二の端部10bはEDF10の右端である。

PMファイバ（偏波面保持部）22a、22b、22c、22d、
20 22e、22fは、それらを通過する光の波長の変化に対して、それらを通過する光の偏波面の変化が小さい（好ましくは、変化が無視できる程度に小さい）。なお、これらのPMファイバは、第一の偏波面保持ファイバである。

25 シングルモードファイバ（偏波面変化部）24は、PMファイバに比べて、それらを通過する光の波長の変化に対して、通過する光の偏

波面の変化が大きい。なお、EDF 10 とシングルモードファイバ 24 とを一体にすることも考えられる。

5 なお、PMファイバ（偏波面保持部）22 a、22 b、22 c、22 d、22 e、22 f およびシングルモードファイバ（偏波面変化部）24 が、光通過部に相当し、EDF 10 の第一の端部 10 a と第二の端部 10 b とを接続する。PMファイバ 22 a、22 b、22 c、22 d、22 e、22 f およびシングルモードファイバ（偏波面変化部）24 を、EDF 10 が放出する自然放出光および誘導放出光が通過する。ただし、PMファイバ 22 b、22 c、22 d、22 e、22 f
10 の間には、WDMカップラ 34、検光子 35、アイソレータ 36、アウトプットカップラ 38 が挿入されている。

具体的には、PMファイバ 22 a は、EDF 10 の第一の端部 10
15 a とシングルモードファイバ 24 とを接続する。PMファイバ 22 b は、シングルモードファイバ 24 とWDMカップラ 34 とを接続する。PMファイバ 22 c は、WDMカップラ 34 と検光子 35 とを接続する。PMファイバ 22 d は、検光子 35 とアイソレータ 36 とを接続する。PMファイバ 22 e は、アイソレータ 36 とアウトプットカップラ 38 とを接続する。PMファイバ 22 f は、アウトプットカップラ 38 とEDF 10 の第二の端部 10 b とを接続する。
20

ポンプレーザ（励起光源）32 は、励起光を出射する。

25 WDMカップラ（第一カップラ）34 は、励起光が第一の端部 10 a に向けて通過し、かつ、第一の端部 10 a から放出された光（自然

8

放出光および誘導放出光) が第二の端部 10b に向けて通過する。

検光子 35 は、所定の偏波面の光のみが通過する。

- 5 アイソレータ 36 は、第一の端部 10a から放出された光を第二の端部 10b に向けて通過させる。しかし、アイソレータ 36 は、第二の端部 10b から放出された光（自然放出光および誘導放出光）を第一の端部 10a に向けて通過させない。これにより、自然放出光および誘導放出光のファイバレーザ 1 における周回方向が規定される。

10

アウトプットカップラ（第二カップラ） 38 は、PMファイバ（偏波面保持部） 22e を通過する光（自然放出光および誘導放出光）を、第二の端部 10b および外部（光出力）に向けて分岐する。

- 15 次に、第一の実施形態の動作を説明する。

ポンプレーザ 32 は、励起光を出力する。励起光は、WDMカップラ 34、PMファイバ 22b、シングルモードファイバ 24、PMファイバ 22a を通過して、EDF 10 に与えられる。

20

EDF 10 は、第一の端部 10a において、励起光を受ける。EDF 10 のエルビウムは、励起光により励起されるが、後に基底状態に戻る。この際に、EDF 10 からは自然放出光が放出される。自然放出光は、第一の端部 10a および第二の端部 10b から放出される。

- 25 しかし、第二の端部 10b から放出された自然放出光は、アイソレータ 36 を通過できないので、無視する。

第一の端部 10 a から放出された自然放出光は、PMファイバ 22 a、シングルモードファイバ 24、PMファイバ 22 b、WDMカップラ 34、PMファイバ 22 c を通過し、検光子 35 に与えられる。

- 5 検光子 35 は、所定の偏波面の光のみが通過する。検光子 35 は、PMファイバ 22 c を通過した光が、所定の偏波面を有するか否かを検査する役割を持っている。PMファイバ 22 c を通過した光が、検光子 35 を通過すると、PMファイバ 22 d、アイソレータ 36、PMファイバ 22 e を通過し、アウトプットカップラ 38 に与えられる。
- 10 PMファイバ 22 e を通過した光は、アウトプットカップラ 38 により、第二の端部 10 b に向かう光および外部（光出力）に向けて分岐される。第二の端部 10 b に向かう自然放出光は、PMファイバ 22 f を通過して、第二の端部 10 b に与えられる。第二の端部 10 b で自然放出光を受けることになる。

15

- ここで、EDF 10 に励起光が与えられ続けているとする。すると、第二の端部 10 b に EDF 10 の自然放出光が与えられることにより、誘導放出が生じ、第一の端部 10 a から誘導放出光が生ずる。誘導放出光のパワーは、第二の端部 10 b に与えられた自然放出光のパワー
- 20 よりも大きい。EDF 10 は、増幅機能を果たすことになる。

- 第一の端部 10 a から放出された誘導放出光は、上記と同様にして、第二の端部 10 b に与えられる。これにより、EDF 10 に誘導放出が生じ、第一の端部 10 a から、さらなる誘導放出光が生ずる。さら
- 25 なる誘導放出光のパワーは、第二の端部 10 b に与えられた誘導放出光のパワーよりも大きい。このようにして、正帰還が実行され、ED

10

F 1 0 が放出する誘導放出光のパワーが大きくなる。このようにして、レーザ発振が生じる。

5 なお、E D F 1 0 により放出される誘導放出光（レーザ発振光）は、その一部がアウトプットカップラ 3 8 から外部（光出力）に出力される。

10 ここで、共振器内を周回するレーザ発振光の偏波面と、共振器内に挿入した検光子の偏波方向とが一致しないと、レーザ発振が安定しない。

15 このため、誘導放出光（レーザ発振光）が、PMファイバ（偏波面保持部）2 2 a、2 2 b、2 2 c、2 2 d、2 2 e、2 2 f を通過するようにして、偏波面を変化させないようにしている。

20 しかし、外乱（例えば、環境温度の変動）により、たとえPMファイバを用いたとしても、偏波面が変化し、第一の端部 1 0 a から放出された誘導放出光（レーザ発振光）の偏波面と、第二の端部 1 0 b に与えられる誘導放出光の偏波面とが一致しない場合がある。

25 これに対応するため、シングルモードファイバ 2 4 が配置されている。

30 第 2 図は、シングルモードファイバ（偏波面変化部）2 4 の作用を説明するための図である。シングルモードファイバ 2 4 による偏波面の変化（リタデーション Δ ）は、シングルモードファイバ 2 4 の長さ

を L 、 x 軸方向の屈折率を n_x 、 y 軸方向の屈折率を n_y 、シングルモードファイバ 24 を通過する偏光の波長を λ とすると、以下の式のように表される。ただし、 x 軸および y 軸は互いに直交する、複屈折の主軸である。

5

$$\Delta = 2 \pi L (n_x - n_y) / \lambda$$

なお、シングルモードファイバ 24 のリタデーション Δ は、シングルモードファイバ 24 を偏光が通過することにより生じる、偏光の x 軸成分および y 軸成分の位相の差である。

10

第 2 図 (a) は、シングルモードファイバ 24 によるリタデーション Δ と、シングルモードファイバ 24 を通過する偏光の波長 λ との関係を示すグラフである。ただし、グラフ P が、シングルモードファイバ 24 を用いた場合に対応する。グラフ Q が、シングルモードファイバ 24 に代えて、PMファイバを用いたと仮定した場合に対応する。ただし、シングルモードファイバ 24 も PMファイバも同じ長さであるとする。

15

前述のように、シングルモードファイバ 24 は、PMファイバに比べて、通過する光の偏波面の変化が大きい。これは、シングルモードファイバ 24 が、PMファイバよりも、 $n_x - n_y$ が大きいことを意味する。

20

すると、グラフ P、Q は一般的な反比例のグラフとなる。また、ファイバレーザ 1 においてレーザ発振が生じた場合、誘導放出光の波長

25

は $\lambda_{\min}$ 以上 $\lambda_{\max}$ 以下の値をとる。 $\lambda_{\min}$ 以上 $\lambda_{\max}$ 以下の範囲において、グラフPは、グラフQよりも上に位置する。

第2図(b)は、波長 $\lambda_{\min}$ 以上 $\lambda_{\max}$ 以下におけるグラフP、Q
5 の拡大図である。ただし、グラフP、Qは本来は曲線であるが、図示の便宜上直線にして図示している。なお、誘導放出光（レーザ発振光）の波長は $\lambda_{\min}$ 以上 $\lambda_{\max}$ 以下の範囲で離散的に変化する。そこで、グラフP、Qを点線とし、誘導放出光の波長がとる可能性のある値に対応する点を黒点で図示した。第2図(b)に示すように、波長 $\lambda_{\min}$
10 以上 $\lambda_{\max}$ 以下におけるリタデーション Δ の最大値と最小値との差 $\Delta d 1$ （グラフP）、 $\Delta d 2$ （グラフQ）は、 $\Delta d 1 > \Delta d 2$ の関係がある。

ある時点で、波長 λ_0 （ $\lambda_{\min}$ と $\lambda_{\max}$ との平均）の誘導放出光が
15 EDF 10から出射されて、レーザ発振が安定しているとする。ここで、外乱の影響により、波長 λ_0 の誘導放出光がEDF 10から出射された場合、PMファイバ22a、22b、22c、22d、22e、22fにより誘導放出光のx成分とy成分の位相差が変動してしまったとする（例えば、D[deg]だけ増えたとする）。これは、偏波面の変
20 動を意味しているので、このままでは、レーザ発振が安定しなくなってしまう。

誘導放出光のx成分とy成分の位相差がD[deg]だけ増えても、偏光の波長 λ が λ_0 よりも大きくなれば、誘導放出光のx成分とy成分の
25 位相差が減少する。よって、誘導放出光のx成分とy成分の位相差が、偏光の波長が λ_0 である場合よりもD[deg]だけ減少するような波長で

(この場合、偏波の x 成分と y 成分の位相差の変動が打ち消される)、
レーザ発振が安定する。

ここで、第 2 図 (b) において、グラフ P、Q を直線と近似した場合、PM ファイバ (グラフ Q) では、誘導放出光の波長が λ_0 から $\lambda_{\max}$ に変化しても、 $\Delta d_2 / 2$ しか、誘導放出光の x 成分と y 成分の位相差が小さくならない。もし、 $\Delta d_2 / 2 < D$ であれば、誘導放出光の波長が λ_0 から $\lambda_{\max}$ に変化しても、誘導放出光の x 成分と y 成分の位相差の変動が打ち消されない。よって、レーザ発振が安定しない。

ここで、シングルモードファイバ 24 (グラフ P) では、誘導放出光の波長が λ_0 から $\lambda_{\max}$ に変化すると、 $\Delta d_1 / 2 (> \Delta d_2 / 2)$ だけ、偏波の x 成分と y 成分の位相差が小さくなる。もし、 $\Delta d_2 / 2 < D < \Delta d_1 / 2$ であれば、誘導放出光 (レーザ発振光) の波長が λ_0 から大きくなれば (ただし、 $\lambda_{\max}$ 未満) に変化すれば、偏波の x 成分と y 成分の位相差の変動が打ち消され、レーザ発振が安定する。

よって、シングルモードファイバ 24 を使うことにより、レーザ発振が安定しやすくなる。

第一の実施形態によれば、EDF 10 の第一の端部 10 a から放出された自然放出光および誘導放出光 (レーザ発振光) を、PM ファイバ (偏波面保持部) 22 a、22 b、22 c、22 d、22 e、22 f を通過させて、EDF 10 の第二の端部 10 b に入射させることにより、自然放出光および誘導放出光の偏波面の変化を小さくしている。

しかも、外乱の影響により、PMファイバ22a、22b、22c、
22d、22e、22fによる偏波面の変化が、レーザ発振が安定し
ない程大きくなっても、レーザ発振が安定しやすい。すなわち、自然
5 放出光および誘導放出光の波長が変化することで、シングルモードフ
ファイバ24におけるリタデーション Δ が変化して、PMファイバ22
a、22b、22c、22d、22e、22fによる偏波面の変化を
打ち消すので、レーザ発振が安定する。

10 ここで、自然放出光および誘導放出光の波長に対する、シングルモ
ードファイバ24におけるリタデーション Δ の変化は、PMファイバ
におけるリタデーション Δ の変化よりも大きいので、シングルモード
ファイバ24をファイバレーザ1に備えることで、PMファイバ22
a、22b、22c、22d、22e、22fによる偏波面の変化を
15 打ち消すことができる可能性が大きくなる。

なお、安定動作の原理について、補足説明する。レーザ共振器内に
偏波特性が波長に対して大きく分散する素子を挿入し、共振器の位相
変化よりも十分大きな位相変化を与えられるようにする。レーザ発振
20 時の共振器内を周回する光がより安定な発振状態となるように、発振
波長を変化することにより共振器内の偏波状態とゲインが自動的に補
償され安定な発振状態が保たれる。発振波長 F は、 $F=N(c/nL)$ で与え
られている。ここで、 N は整数、 c は光速、 n は共振器を構成する媒
質の屈折率、 L は共振器長であり、屈折率 n は共振器内の光パワー密
25 度で変化する。ループゲインが1以上の $\Delta\lambda$ の範囲で位相発振条件を
満たし、且つループゲインが最も大きな波長で発振する（第9図の点

A参照)。なお、第9図は、安定動作の原理を説明するための図である。環境温度変動が生じた場合において、第9図に示すような、共振器内に大きな偏波特性が波長に対して大きく分散する媒質の効果により、大きな波長分散素子が挿入されていない共振器と比較して、より
5 小さな発振波長の変化で共振器内の光の偏波状態を大きく変化させることが可能であることから、周回偏波面が常に0になるように、発振波長をより安定な波長へシフトし共振器内の偏波状態を自動的に補償し、安定な発振状態を持続することが可能になる。また、温度に対して逆特性を持つ温度に対する偏波分散素子で補償する方法も考えられるが、本発明は温度に限らずあらゆる外乱（外乱に対する偏波分散特性が不明な場合でも）に対しても有効である。
10

次に、過飽和吸収体をモードロッカとして共振器に挿入しモードロック発振を得る場合は、本発明によりさらに大きな発振の安定効果を得ることができる。
15

モードロック発振の原理について簡単に述べる。発振開始時において、各モードの位相がばらばらの状態の時は、光パワーが小さく過飽和吸収体に吸収されてしまいパルス発振は起こらない。徐々に位相がそろい始めるとパルスピークパワーが大きくなり、共振器の損失が小さくなり過飽和吸収体を透過するようになるモードロック機構が生じパルス発振を得ることができる。すなわちモード間の位相のばらつきが減少するにしたがって、ピーク強度が大きくなり共振器の損失が減少するので、位相のばらつきの少ないパルスが発振しやすくなる。しかし、安定なパルス発振を得るためには、共振器内の偏波状態を一定
20
25 に保つため必要があるだけでなく、パルス発振時における大きな光

16

パワーにより誘起される、光ファイバの非線形複屈折による偏波状態の変化により安定な発振が妨げられる。モードロック発振時には、位相のばらつきが少ないモードを選択し発振する機構が自動的に働くが、外部温度変動により共振器長が変化したり、偏波が回転したりした場合、従来構成の場合は、この非線形複屈折の変化を補償することができず、周回する光パルスの偏光状態は、共振器内に挿入されている検光子の偏光方向とずれていき共振器内の損失が増加するためモードロック発振は不安定となり、さらに、ついにはパルス発振が停止することが一般的に起こる。

10

しかし、本発明において共振器内に、透過する光の偏波面の変化が波長に対して大きい偏波面変化部を有しているため、連続発振時と同様に、共振器内に偏波特性が波長に対して大きく分散する素子を挿入することにより、発振波長の小さな波長変化で大きく共振器内の位相を変化させることができることから、モードロック機構により自動的にモード間の位相ばらつきの少なくなる状態へと自動的に発振波長を変えて発振する。結果として共振器内の偏波状態は一定状態に維持され、安定動作が可能となる。さらに、共振器内に透過する光の偏波面の変化が波長に対して大きい偏波面変化部を有しているために、パルス発振時に特有の非線形複屈折による共振器内の偏波面の変動も、ファイバレーザ自身がレーザ発振波長を変化させることで安定な発振状態に補償することが可能となる。

15

20

第二の実施形態

第二の実施形態は、第一の実施形態におけるシングルモードファイバ24の形状を変化させたものである。

25

第3図は、本発明の第二の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

- 5 第二の実施形態におけるシングルモードファイバ24は、所定長さの半径で周回する第一周回部24aを有する。なお、第3図においては、第一周回部24aは一回だけ周回しているが、複数回周回させてもよい。他の構成要素は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

10

第二の実施形態の動作は第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

第二の実施形態によれば、第一の実施形態と同様の効果を奏する。

- 15 しかも、シングルモードファイバ24の第一周回部24aが屈曲することで、屈曲しない場合よりも大きな複屈折効果が得られる。よって、自然放出光および誘導放出光の波長に対する、シングルモードファイバ24におけるリタデーション Δ の変化が大きくなり、レーザ発振が安定しやすくなる。

20

第三の実施形態

第三の実施形態は、第二の実施形態におけるシングルモードファイバ24の形状を変化させたものである。

- 25 第4図は、本発明の第三の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

第三の実施形態におけるシングルモードファイバ 2 4 は、所定長さの半径で周回する第一周回部 2 4 a と、所定長さよりも短い半径で周回する第二周回部 2 4 b をさらに有する。なお、第 4 図においては、
5 第一周回部 2 4 a および第二周回部 2 4 b は一回だけ周回しているが、複数回周回させてもよい。他の構成要素は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

第三の実施形態の動作は第一の実施形態と同様であり、説明を省略
10 する。

第三の実施形態によれば、第一の実施形態と同様の効果を奏する。しかも、シングルモードファイバ 2 4 の第一周回部 2 4 a および第二周回部 2 4 b が屈曲することで、屈曲しない場合よりも大きな複屈折
15 効果が得られる。しかも、第一周回部 2 4 a および第二周回部 2 4 b が接続されることで、第一周回部 2 4 a のみ、または第二周回部 2 4 b のみの場合に比べても、より大きな複屈折効果が得られる。よって、自然放出光および誘導放出光の波長に対する、シングルモードファイバ 2 4 におけるリタデーション Δ の変化が大きくなり、レーザ発振が
20 安定しやすくなる。

第四の実施形態

第四の実施形態は、第一の実施形態におけるシングルモードファイバ 2 4 を複屈折材料 2 5 に代えたものである。

25

第 5 図は、本発明の第四の実施形態にかかるファイバレーザ 1 の構

成を示す図である。

- 第四の実施形態における複屈折材料 25 は、複屈折効果を奏するものであり、例えば、カルサイト、YVO₄、 α -BBO である。他の構成要素は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

第四の実施形態の動作は第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

- 10 第四の実施形態によれば、第一の実施形態と同様の効果を奏する。

第五の実施形態

第五の実施形態は、第一の実施形態におけるシングルモードファイバ 24 を PM ファイバ（偏波面変化部）26 に代えたものである。

15

第 6 図は、本発明の第五の実施形態にかかるファイバレーザ 1 の構成を示す図である。

- 第五の実施形態にかかる PM ファイバ（偏波面変化部）26 は、第二の偏波面保持ファイバである。なお、EDF 10 と PM ファイバ 26 とを一体にすることも考えられる。また、PM ファイバ 26 は、第一の偏波面保持ファイバ（PM ファイバ 22a、22b、22c、22d、22e、22f）の偏波軸とは異なる偏波軸を有する。他の構成要素は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

25

第五の実施形態の動作は第一の実施形態と同様であり、説明を省略

する。

第五の実施形態によれば、PMファイバ26の偏波軸が、第一の偏波面保持ファイバ（PMファイバ22a、22b、22c、22d、
5 22e、22f）の偏波軸とは異なるため、PMファイバ26により大きな複屈折効果が得られる。よって、PMファイバ22aを通過した光の偏波面を、PMファイバ（偏波面変化部）26により、大きく変化させることができる。よって、自然放出光および誘導放出光の波長に対する、PMファイバ（偏波面変化部）26におけるリタデーション Δ の変化が大きくなり、レーザ発振が安定しやすくなる。
10

第六の実施形態

第六の実施形態は、第一の実施形態におけるシングルモードファイバ24をPMファイバ（偏波面変化部）26a、26bに代えたもの
15 である。

第7図は、本発明の第六の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。

20 第六の実施形態にかかるPMファイバ（偏波面変化部）26a、26bは、それぞれ、第二の偏波面保持ファイバ、第三の偏波面保持ファイバである。なお、EDF10とPMファイバ26a、26bとを一体にすることも考えられる。また、PMファイバ26a、26bは、
25 第一の偏波面保持ファイバ（PMファイバ22a、22b、22c、22d、22e、22f）の偏波軸とは異なる偏波軸を有する。しかも、PMファイバ26aの偏波軸と、PMファイバ26bの偏波軸と

は異なる。他の構成要素は、第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

5 第六の実施形態の動作は第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

第六の実施形態によれば、PMファイバ26a、26bの偏波軸が、
第一の偏波面保持ファイバ（PMファイバ22a、22b、22c、
22d、22e、22f）の偏波軸とは異なるため、PMファイバ2
10 6により大きな複屈折効果が得られる。しかも、互いに偏波軸が異なるPMファイバ26aとPMファイバ26bとを接続することで、さらに大きな複屈折効果が得られる。よって、PMファイバ22aを通過した光の偏波面を、PMファイバ（偏波面変化部）26a、26bにより、大きく変化させることができる。よって、自然放出光および
15 誘導放出光の波長に対する、PMファイバ（偏波面変化部）26a、26bにおけるリタデーション Δ の変化が大きくなり、レーザ発振が安定しやすくなる。

第七の実施形態

20 第七の実施形態は、第一の実施形態におけるPMファイバ22aおよびシングルモードファイバ24を除去し、検光子35とPMファイバ22dとの間に、PMファイバ（偏波面変化部）28を挿入したものに相当する。

25 第8図は、本発明の第七の実施形態にかかるファイバレーザ1の構成を示す図である。PMファイバ22bは、EDF10の第一の端部

10 a と WDM カップラ 34 とを接続する。PM ファイバ（偏波面変化部）28 は第四の偏波面保持ファイバである。PM ファイバ（偏波面変化部）28 の偏波軸は、検光子 35 の偏波軸とは異なる。なお、EDF 10 と PM ファイバ 28 とを一体にすることも考えられる。

5

第七の実施形態の動作は第一の実施形態と同様であり、説明を省略する。

第七の実施形態によれば、PM ファイバ 28 の偏波軸が、検光子 35 の偏波軸とは異なるため、PM ファイバ 28 により大きな複屈折効果が得られる。よって、検光子 35 を通過した光の偏波面を、PM ファイバ（偏波面変化部）28 により、大きく変化させることができる。よって、自然放出光および誘導放出光の波長に対する、PM ファイバ（偏波面変化部）28 におけるリタデーション Δ の変化が大きくなり、
15 レーザ発振が安定しやすくなる。

請 求 の 範 囲

1. 第一の端部と第二の端部とを有し、励起光を受けて前記第一の端部から自然放出光を放出し、前記第二の端部で前記自然放出光を受けて前記第一の端部から誘導放出光を放出する光増幅部と、
- 5 前記第一の端部と前記第二の端部とを接続し、前記自然放出光および前記誘導放出光が通過する光通過部と、
- を備え、
- 前記光通過部が、
- 10 通過する光の波長の変化に対して、通過する光の偏波面の変化が小さい偏波面保持部と、
- 通過する光の波長の変化に対して、通過する光の偏波面の変化が大きい偏波面変化部と、
- を有するファイバレーザ。
- 15
2. 請求項 1 に記載のファイバレーザであって、
- 前記偏波面保持部は、第一の偏波面保持ファイバである、
- ファイバレーザ。
- 20 3. 請求項 1 に記載のファイバレーザであって、
- 前記偏波面変化部は、所定長さの半径で周回する第一周回部を有する光ファイバである、
- ファイバレーザ。
- 25 4. 請求項 3 に記載のファイバレーザであって、
- 前記偏波面変化部は、前記所定長さよりも短い半径で周回する第二

周回部をさらに有する光ファイバである、
ファイバレーザ。

5. 請求項 1 に記載のファイバレーザであって、

5 前記偏波面変化部は、複屈折材料である、
ファイバレーザ。

6. 請求項 2 に記載のファイバレーザであって、

前記偏波面変化部は、前記第一の偏波面保持ファイバの偏波軸とは
10 異なる偏波軸を有する第二の偏波面保持ファイバを有する、
ファイバレーザ。

7. 請求項 6 に記載のファイバレーザであって、

前記偏波面変化部は、前記第一の偏波面保持ファイバおよび前記第
15 二の偏波面保持ファイバの偏波軸とは異なる偏波軸を有する第三の偏
波面保持ファイバをさらに有する、
ファイバレーザ。

8. 請求項 1 に記載のファイバレーザであって、

20 所定の偏波面の光のみが通過する検光子を備え、
前記偏波面変化部が、前記検光子の偏波軸とは異なる偏波軸を有す
る第四の偏波面保持ファイバを有する、
ファイバレーザ。

25 9. 請求項 1 ないし 8 のいずれか一項に記載のファイバレーザであつ
て、

25

前記光増幅部と、前記偏波面変化部とが一体である、
ファイバレーザ。

10 請求項 1 ないし 9 のいずれか一項に記載のファイバレーザであ
5 って、

前記励起光を出射する励起光源と、

前記励起光が前記第一の端部に向けて通過し、かつ、前記第一の端
部から放出された光が前記第二の端部に向けて通過する第一カップラ
と、

10 前記偏波面保持部を通過する光を、前記第二の端部および外部に向
けて分岐する第二カップラと、

所定の偏波面の光のみが通過する検光子と、

を備え、

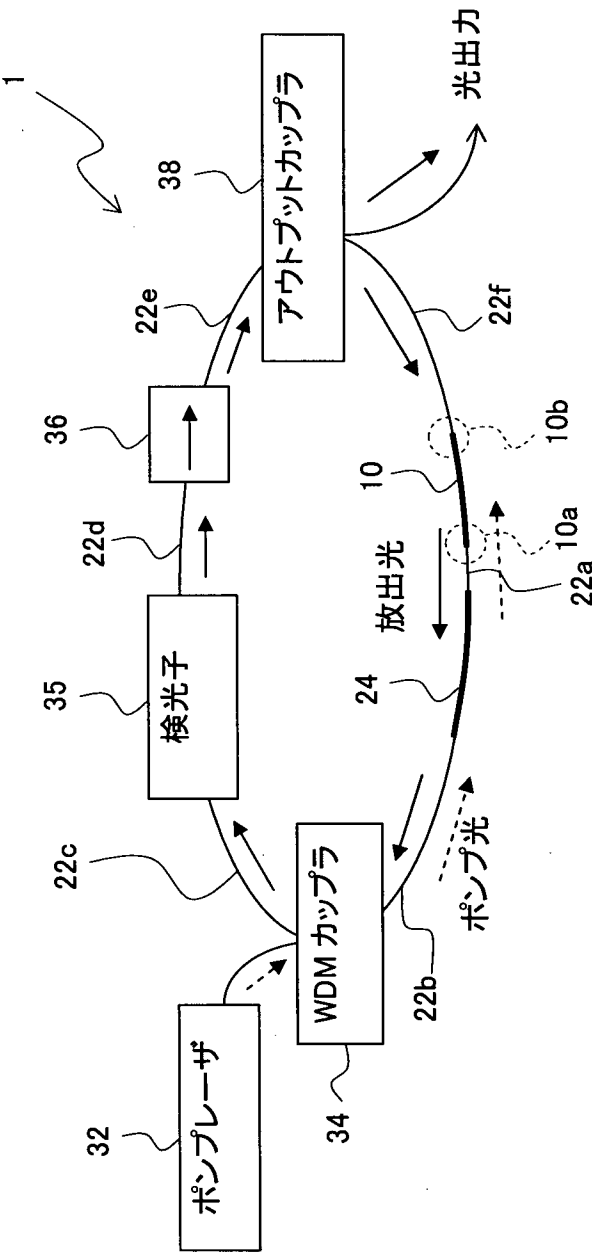
前記偏波面保持部が、

15 前記第一の端部から放出された光を前記第二の端部に向けて通過さ
せ、前記第二の端部から放出された光を前記第一の端部に向けて通過
させないアイソレータを有する、

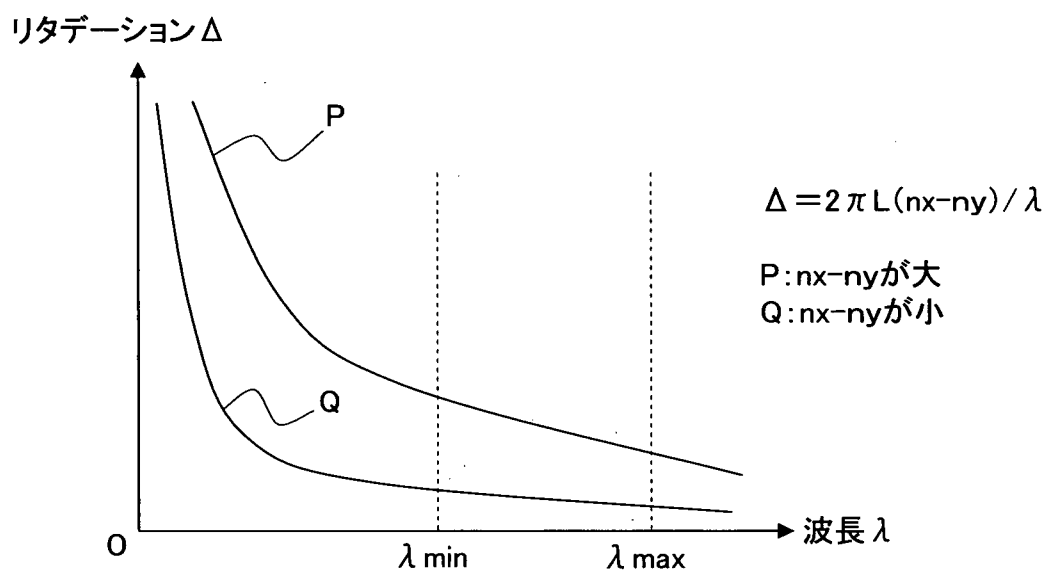
ファイバレーザ。

20

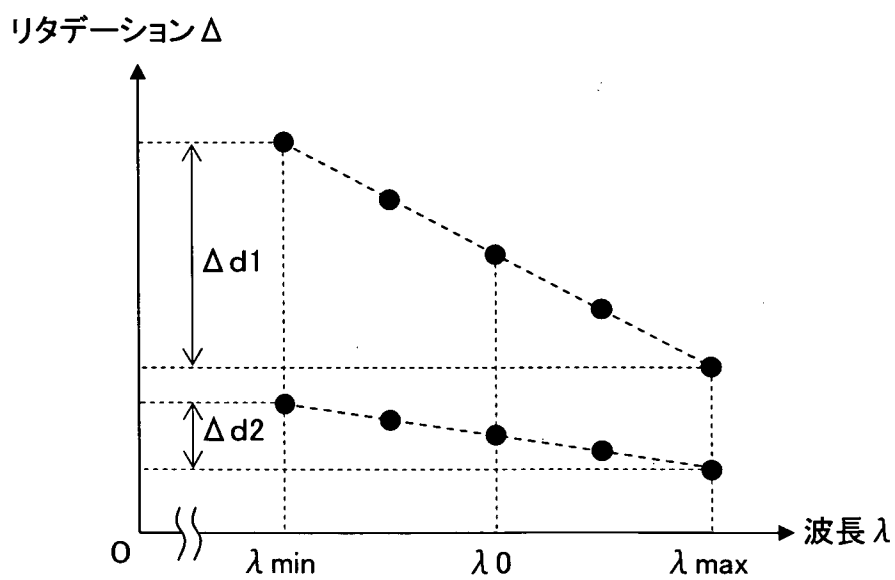
第1図



第2図

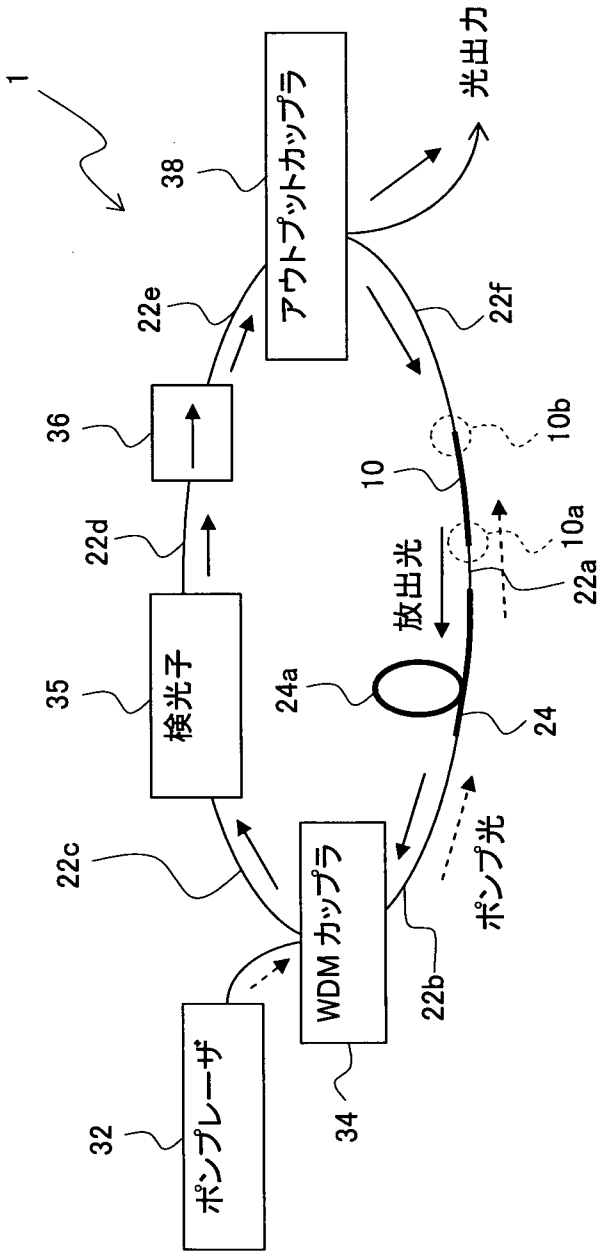


(a)

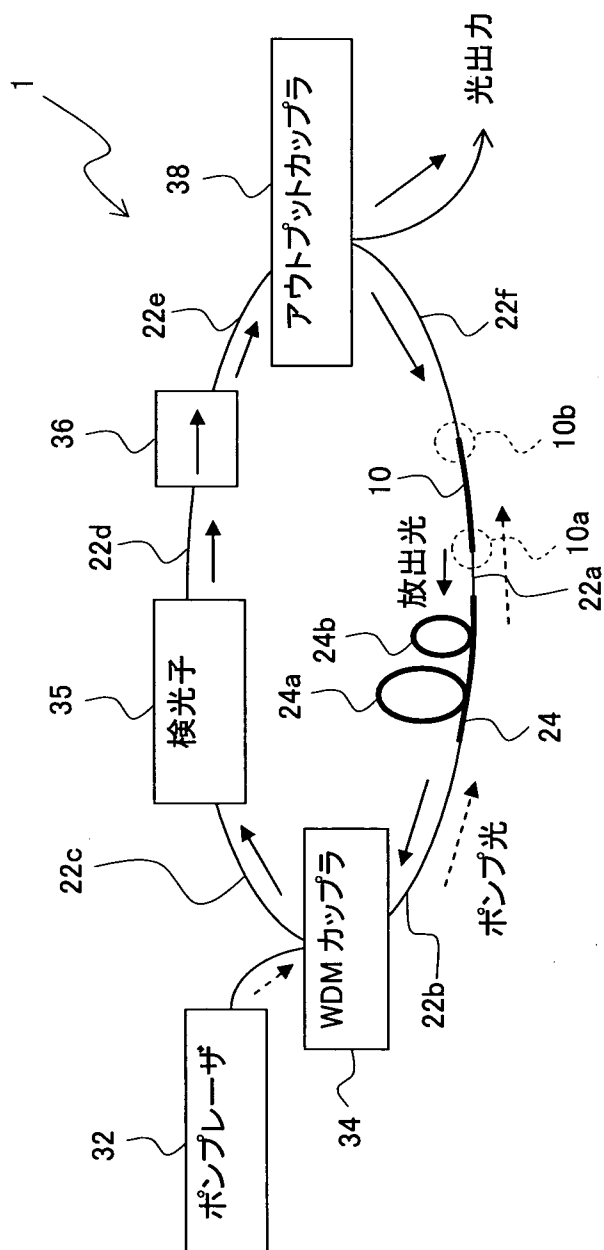


(b)

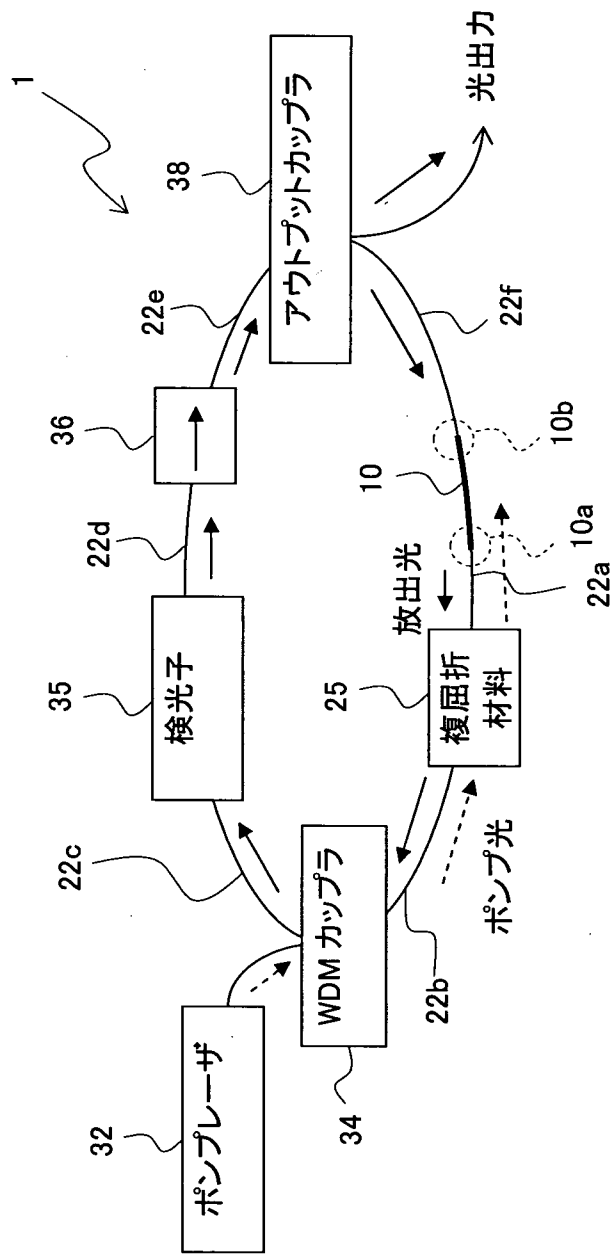
第 3 図



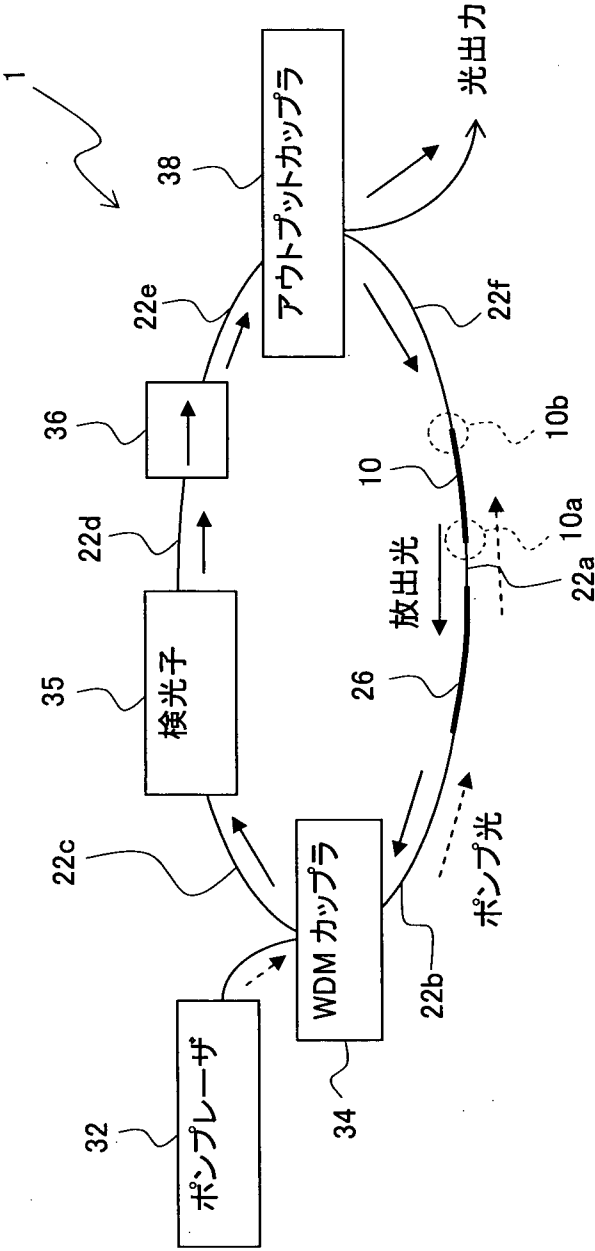
第4図



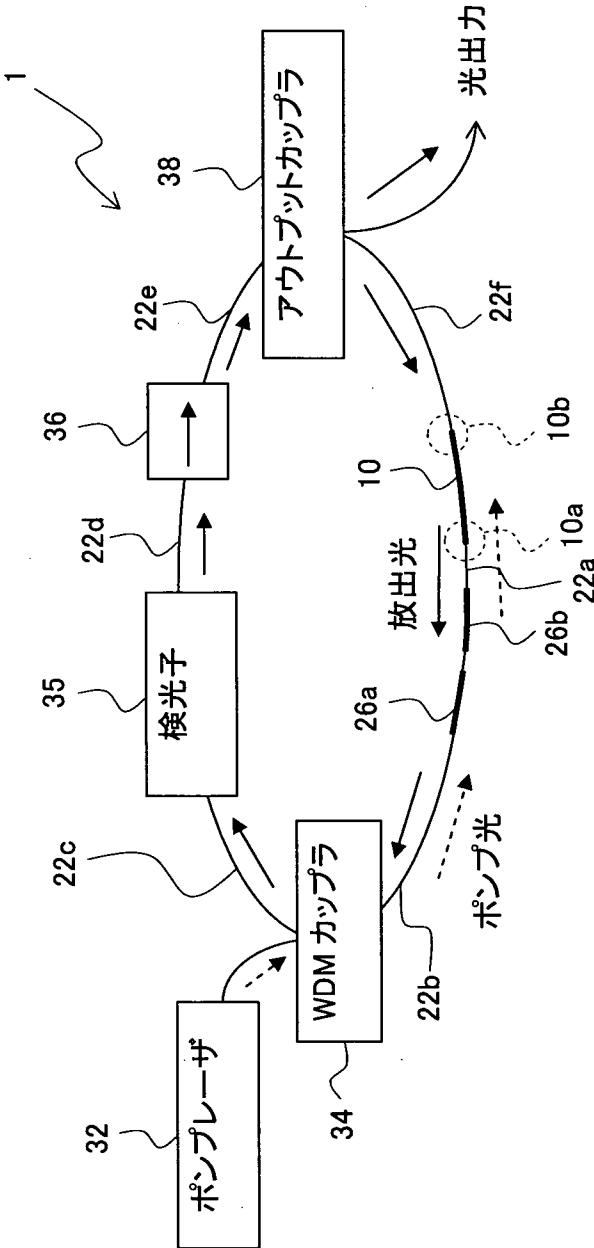
第 5 図



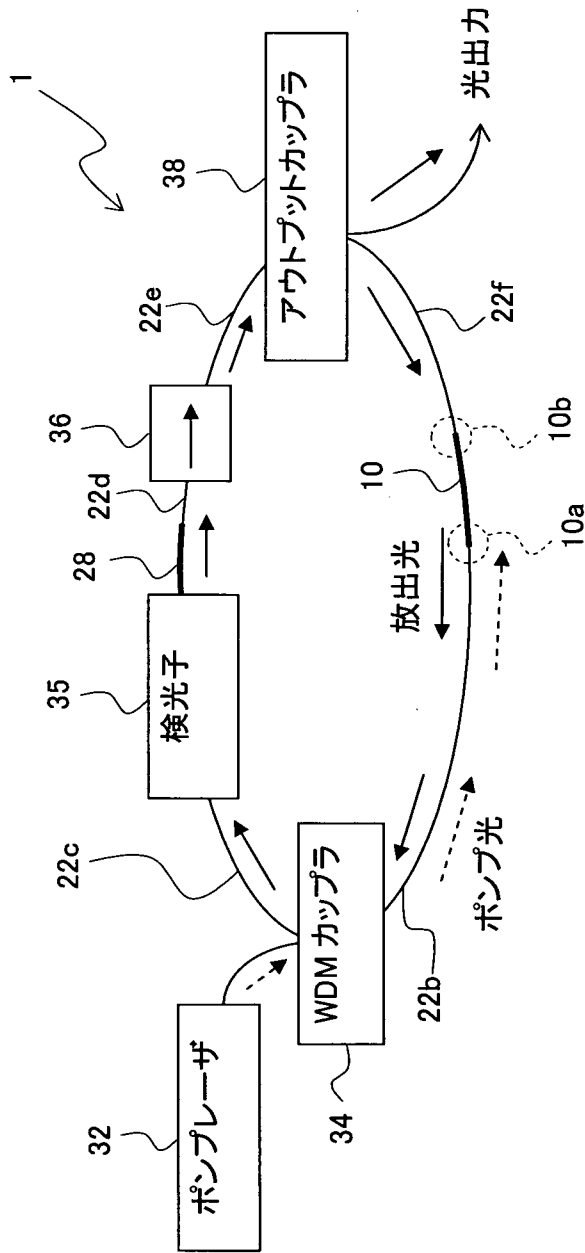
第 6 図



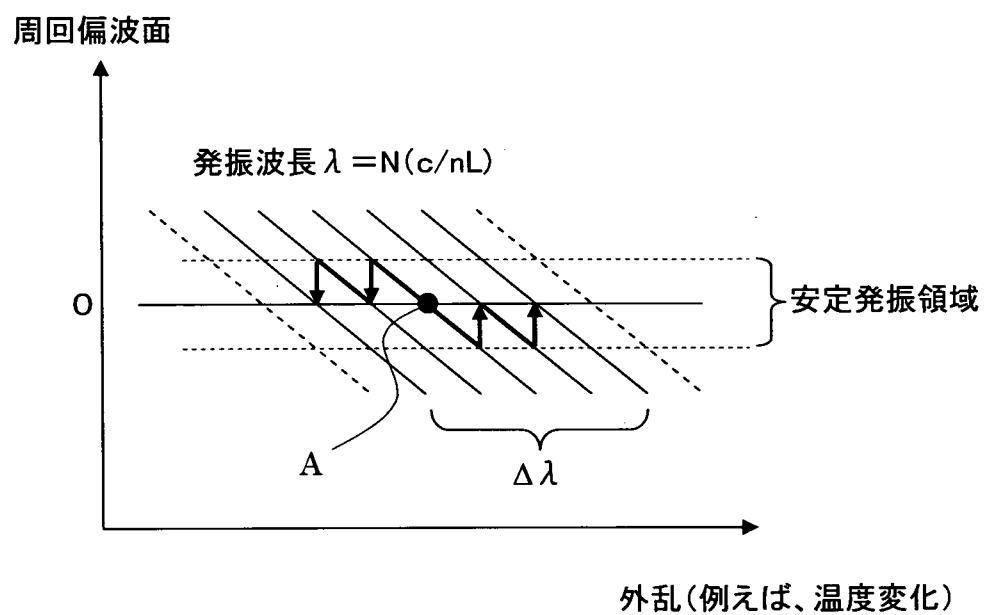
第 7 図



第 8 図



第 9 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/068089

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/06(2006.01) i, H01S3/083(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)

H01S3/06, H01S3/083

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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

CiNii, JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 5-75194 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 26 March 1993 (26.03.1993), entire text; all drawings & US 5267256 A	1-10
A	JP 9-92914 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 04 April 1997 (04.04.1997), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 11-284264 A (Imra America, Inc.), 15 October 1999 (15.10.1999), entire text; all drawings & US 6072811 A	1-10



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
05 November, 2009 (05.11.09)

Date of mailing of the international search report
17 November, 2009 (17.11.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/068089

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 2007-281093 A (Central Glass Co., Ltd.), 25 October 2007 (25.10.2007), entire text; all drawings (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. H01S3/06(2006.01)i, H01S3/083(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. H01S3/06, H01S3/083

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

CiNii, JSTPlus(JDreamII)

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	JP 5-75194 A (日本電信電話株式会社) 1993.03.26, 全文全図 & US 5267256 A	1-10
A	JP 9-92914 A (古河電気工業株式会社) 1997.04.04, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 11-284264 A (イムラ アメリカ インコーポレイテッド) 1999.10.15, 全文全図 & US 6072811 A	1-10

☒ 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

0 5 . 1 1 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

1 7 . 1 1 . 2 0 0 9

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)

傍島 正朗

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

2 K

3 7 1 9

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 2007-281093 A (セントラル硝子株式会社) 2007. 10. 25, 全文全 図 (ファミリーなし)	1-10