

(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1月7日(07.01.2010)

PCT

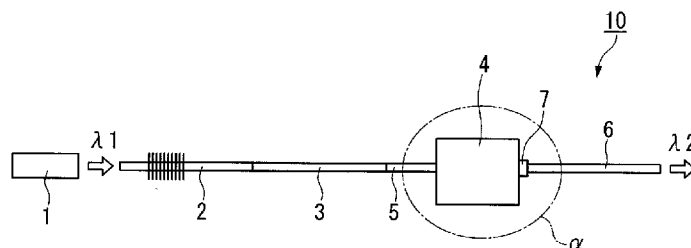
(10) 国際公開番号
WO 2010/002003 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/117 (2006.01) H01S 3/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/062223
- (22) 国際出願日: 2009年7月3日(03.07.2009)
- (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 2008-174905 2008年7月3日(03.07.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社フジクラ (Fujikura Ltd.) [JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場1丁目5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): 中居 道弘 (NAKAI Michihiro) [JP/JP]; 〒2858550 千葉県佐倉市六崎1-4-0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 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: PULSED LIGHT GENERATOR AND PULSED FIBER LASER

(54) 発明の名称: パルス光発生器及びパルスファイバレーザ

[図1A]



(57) Abstract: A pulsed light generator is provided with an excitation light source, a fiber grating which excitation light from the excitation light source enters, a rare-earth-doped optical fiber which is optically connected to the fiber grating, the core thereof that is an optical transmission portion being doped with a rare-earth element, an optical switch which is provided with a deflection element for a Q-switch operation, a first optical fiber which causes light from the rare-earth-doped optical fiber to enter the optical switch, and a second optical fiber which guides pulsed light outputted from the optical switch. One surface side of the optical switch which light enters is subjected to antireflection treatment in which the reflectivity with respect to the wavelength of the pulsed light outputted from the optical switch is equal to or less than 0.1%, and a low-reflection means, the reflectivity of which with respect to the wavelength of the pulsed light outputted from the optical switch is equal to or more than 1% and equal to or less than 60%, is disposed on the other surface side of the optical switch from which the light is emitted.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2010/002003 A1



本発明のパルス光発生器は、励起光源と；前記励起光源からの励起光を入射するファイバグレーティングと；前記ファイバグレーティングと光学的に結合し、光伝送部であるコアに希土類元素が添加された希土類添加光ファイバと；Qスイッチ動作させるための偏向素子を備えた光スイッチと；前記希土類添加光ファイバからの光を前記光スイッチに入射させる第一光ファイバと；前記光スイッチから出力されるパルス光を導波させる第二光ファイバと；を備え、前記光スイッチの、光が入射する一面側には、前記光スイッチから出力される前記パルス光の波長に対する反射率が0.1%以下の無反射処理がなされ、前記光スイッチの、光が出射される他面側には、前記光スイッチから出力される前記パルス光の波長に対する反射率が1%以上60%以下の低反射手段が配されている。

明 細 書

発明の名称： パルス光発生器及びパルスファイバレーザ

技術分野

[0001] 本発明は、パルス光発生器に係り、より詳しくは短パルスを出力可能とするパルス光発生器及びこのパルス光発生器を備えたパルスファイバレーザに関する。

本願は、２００８年０７月０３日に、日本国に出願された特願２００８－１７４９０５号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 例えば、特許文献１には、ファブリペロ型ファイバレーザについて開示されている。

このファブリペロ型ファイバレーザをＱスイッチ動作でパルスレーザとするためには、共振器内部に光透過率を瞬時に変化させる光スイッチを配置する。このような光スイッチとしては、ＬＮ変調器、光学音響素子変調器（ＡＯＭ）、メカニカルシャッターなどの可変減衰器（ＶＯＡ）が挙げられる。

[0003] パルスレーザにおいて、パルス幅を短くすることは加工性を高めるために重要な課題である。特にＱスイッチレーザの場合、パルス幅は１０ｎｓｅｃ～１００ｎｓｅｃのオーダーのパルスを発生するが、ファイバレーザは共振器長が長くなるため、固体レーザと比較して短パルスを発生させるのが難しい。

[0004] このように構成されたＱスイッチパルス発振器では、パルス幅を短くするための解決方法として、１：フィードバックを増やすことで発振器の周回利得を大きくする、２：増幅器の利得を大きくし、発振器の周回利得を大きくする、３：共振器長を短くするなどの方法が挙げられる。

[0005] しかしながら、フィードバックを増やすことで発振器の周回利得を大きくする方法では、パルス幅を短くする効果には限界がある。

増幅器の利得を大きくし、発振器の周回利得を大きくする方法では、増幅

器の利得を大きくすればパルス幅は単調に短くなるが、このためには励起デバイスをハイパワー化する必要があり、コストアップにつながる。

共振器長を短くする方法では、共振器長が短ければ短いほどパルス幅が短くなる。光ファイバを用いて共振器を構成する際、それぞれの部品ごとに接続されたファイバ同士の接続を行う。各部品には、一定の長さのピグテイルファイバが必要であるため、部品点数が増えると、その分のファイバ長が必要となり、共振器長が長くなる。

[0006] また、Qスイッチ化に伴い光スイッチの分だけ光部品が増える。そのため、部品間の接続点が増加し、作製工数の増加、接続損失の増加が生じる虞がある。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：日本国特許3219415号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、短い共振器長によりパルス幅を短くし、高繰り返しのパルス光が得られるパルス光発生器の提供を目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は、上記課題を解決して係る目的を達成するために以下の手段を採用した。

(1) 本発明のパルス光発生器は、励起光源と；前記励起光源からの励起光を入射するファイバグレーティングと；前記ファイバグレーティングと光学的に結合し、光伝送部であるコアに希土類元素が添加された希土類添加光ファイバと；Qスイッチ動作させるための偏向素子を備えた光スイッチと；前記希土類添加光ファイバからの光を前記光スイッチに入射させる第一光ファイバと；前記光スイッチから出力されるパルス光を導波させる第二光ファイ

バと；を備え、前記光スイッチの、光が入射する一面側には、前記光スイッチから出力される前記パルス光の波長に対する反射率が0.1%以下の無反射処理がなされ、前記光スイッチの、光が出射される他面側には、前記光スイッチから出力される前記パルス光の波長に対する反射率が1%以上60%以下の低反射手段が配されている。

（２）前記低反射手段は前記第二光ファイバが光スイッチと結合している一端に配されているのが好ましい。

（３）前記反射手段が前記光スイッチ内にあって、前記偏向素子と第二光ファイバとの間に配されているのが好ましい。

（４）前記反射手段が前記偏向素子の出射側端面に配されているのが好ましい。

[0010] （５）本発明のパルスファイバレーザは、マスターオシレータと光増幅器とからなるパルスファイバレーザであって、上記（１）～（４）のいずれかに記載のパルス光発生器を前記マスターオシレータとして用いる。

発明の効果

[0011] 上記（１）に記載のパルス光発生器によれば、光スイッチの出射側にファイバグレーティングが不要となる。そのため、共振器の長さを短くできる。ゆえに、短パルス化が可能となり、また、高繰り返しパルス光を得られる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1A]本発明の第１実施形態に係るパルス光発生器を模式的に示した図である。

[図1B]図１Aにおける光スイッチを模式的に示した図である。

[図2A]光スイッチから出力されるパルス光の波長に対する低反射手段の反射率を示した図である。

[図2B]光スイッチから出力されるパルス光の波長に対する低反射手段の反射率を示した図である。

[図3]本発明の第２実施形態に係るパルス光発生器の、光スイッチを模式的に示した図である。

[図4]本発明の第3実施形態に係るパルス光発生器の、光スイッチを模式的に示した図である。

[図5]本発明の第4実施形態に係るパルス光発生器の、光スイッチを模式的に示した図である。

[図6]本発明の第5実施形態に係るパルス光発生器の、光スイッチを模式的に示した図である。

[図7]本発明の第6実施形態に係るパルス光発生器の、光スイッチを模式的に示した図である。

[図8]本発明のパルス光発生器を適用したパルスファイバレーザを模式的に示した図である。

[図9A]実施例のパルス光発生器を模式的に示した図である。

[図9B]比較例のパルス光発生器を模式的に示した図である。

[図10A]従来のパルス光発生器を模式的に示した図である。

[図10B]従来のパルス光発生器を模式的に示した図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明を、図面を参照して詳細に説明するが、本発明はこれに限定されるものではなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

[0014] 「パルス光発生器」

<第1実施形態>

図1Aは、本発明の第1実施形態に係るパルス光発生器を模式的に示した図である。また、図1Bは、図1Aの α 部分、すなわち光スイッチを模式的に示した図である。

本発明のパルス光発生器は、励起光源1と；励起光源1からの励起光を入射するファイバグレーティング2と；光伝送部であるコアに希土類元素が添加された希土類添加光ファイバ3と；希土類添加光ファイバ3からの光を光スイッチ4に入射させる第一光ファイバ5と；Qスイッチ動作させるための偏向素子41を備えた光スイッチ4と；光スイッチ4から出力されるパルス

光を導波させる第二光ファイバ6と；から概略構成されている。光スイッチ4の励起光が入射する一端面4a側は、光スイッチ4から出力されるパルス光（以下、出力パルス光ということがある）の波長 λ_2 に対する反射率（以下、単に「反射率」ということがある）が0.1%以下の無反射処理がなされている。光スイッチ4から光が出射される他端面4b側には、光スイッチ4から出力されるパルス光の波長 λ_2 に対する反射率が1%以上60%以下の低反射手段7が配されている。

以下、それぞれについて詳細に説明する。

[0015] 励起光源1としては、レーザダイオード（LD）などが好適に用いられ、その発振波長 λ_1 は、適用するパルス光発生器により適宜変更でき、特に限定されるものではない。

[0016] ファイバグレーティング2としては、従来公知のものを用いることができるが、出力パルス光の波長 λ_2 に対して反射率が90%以上の高反射ファイバグレーティングを用いるのが好ましい。

励起光源1とファイバグレーティング2との結合は、融着接続により結合してもよいし、波長合成カプラ（WDMカプラ）、またはダイクロイックミラーなどを用いて結合してもよい。

[0017] 希土類添加光ファイバ3は、その光伝送部にイッテルビウム（Yb）、エルビウム（Er）、ツリウム（Tm）、ネオジム（Nd）、及びプラセオジム（Pr）等の希土類イオンが添加された光増幅用ファイバである。単一の元素を添加してもよいし、所望の割合でこれら希土類元素が混合されたものを用いてもよい。

[0018] 光スイッチ4への入射光を導波する第一光ファイバ5と、光スイッチ4からの出射光を導波する第二光ファイバ6としては、特に限定されるものではなく、従来公知のものを用いることができる。

ファイバグレーティング2の両端と、希土類添加光ファイバ3と、第一光ファイバ5と、第二光ファイバ6とのコア径、及びクラッド外径は、揃えておくのが好ましい。

[0019] 光スイッチ 4 は、図 1 B に示すように、内部に偏光素子 4 1 が配されており、この偏光素子の ON、OFF により Q スイッチ動作が行われる。

光スイッチ 4 の励起光の入射端面 4 a、すなわち、光スイッチ 4 と第一光ファイバ 5 との接続部位は、発振器の Q 値を十分に低くするために、出力パルス光の波長 λ_2 に対して反射率が 0.1% 以下の無反射処理をしておく。この反射率 0.1% 以下が満たされないと、Q 値が十分に低くならず、光スイッチ 4 がオフの状態にもかかわらず発振が始まり、正常に動作しなくなる。

この無反射処理は、励起光源 1 からのレーザ光を反射しない誘電体多層膜を蒸着するなどにより設けられる。

光スイッチ 4 における光透過損失は、4 dB 以下が好ましい。4 dB を超えると発振効率が著しく低下する。

[0020] 偏光素子 4 1 としては、音響光学変調器 (AOM) の他に、光可変減衰器 (VOA)、LN 変調器なども適用できる。偏光素子 4 1 の光が入射する側の端面 4 1 a は、光スイッチ 4 と第一光ファイバ 5 との結合部と同様に、出力パルス光の波長 λ_2 に対して反射率が 0.1% 以下の無反射処理をしておく。この反射率 0.1% 以下が満たされていないと、Q 値が十分に低くならず、光スイッチ 4 がオフの状態にもかかわらず発振が始まり、正常に動作しなくなる。

[0021] 低反射手段 7 は、誘電体の多層膜などにより形成されたもので、光スイッチ 4 からの出射光が入射する第二光ファイバ 6 の端面 6 a に配されている。

この低反射手段 7 の出力パルス光の波長 λ_2 に対する反射率は、1% 以上 60% 以下の範囲内で、光スイッチ 4 の透過損失に合わせて適宜調節して用いるのが好ましい。例えば、光スイッチ 4 の透過損失が 0 dB の理想状態であれば、この反射率は 1% 以上 10% 以下程度が望ましい。光スイッチ 4 の透過損失が 4 dB (往復で 16% となる) であれば、この反射率は 6% 以上 60% 以下が望ましい。

低反射手段 7 の出力パルス光の波長 λ_2 に対する反射率が 1% 以下である

と、急激にパルス幅が広くなり、発振が不安定となる。また、この反射率が60%を超えると、パルス幅は緩やかに広くなり、平均出力が急激に低下する。

[0022] 低反射手段7は、基材（例えばファイバ端面や石英板、偏向素子表面や可変減衰素子など）の表面に、誘電体の膜を形成することによって得られる。

例えば、ファイバ端面や石英板の表面に Ta_2O_5 の1層の薄膜を形成することによって、図2Aに示すように、反射率1%以上22%以下の反射率を有する膜（反射膜）が実現できる。

また、 $\text{Ta}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2-\text{Ta}_2\text{O}_5$ の三層の膜を形成することによって、図2Aに示すように、49%までの反射率を有する膜を実現できる。

さらに、 $\text{Ta}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2-\text{Ta}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2-\text{Ta}_2\text{O}_5$ の五層の膜を形成することによって、図2Aに示すように、70%までの反射率を有する膜を実現できる。

それぞれの反射膜において、最大の反射率を得るのは、各反射膜の厚さが反射したい光の $1/4\lambda$ に相当する場合である。膜厚をこの値からずらすことにより、所望の反射率に下げられる。

以上のように、反射膜の層の数を増やすほど実現できる最大反射率が上がり、設計自由度は増すことになるが、反射膜の形成に時間がかかるため、生産性の点からは層の数は少ないほうが望ましい。

[0023] 低反射手段7が形成される被成膜面の屈折率によっても、この低反射手段7の反射率を変えられる。図2Bは、1050nmに対する屈折率がそれぞれ1.45、1.7、2.0の基材に、 $\text{Ta}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2-\text{Ta}_2\text{O}_5-\text{SiO}_2-\text{Ta}_2\text{O}_5$ の五層の膜からなる低反射手段7を設けた際の反射率を示したものである。屈折率が1.45の基材としては、例えば光ファイバのクラッドをなす石英からなるものが挙げられる。屈折率が1.7の基材としては、例えばミラーやレンズで用いられている MgO からなる透明体などが挙げられる。屈折率が2.0の基材としては、例えば偏向素子41を構成する TeO_2 などが挙げられる。

以上のように、低反射手段7を設ける場所（例えば光ファイバや偏向素子など）によっても、反射率を変えられる。

[0024] 本実施形態においては、図1Bに示すように、低反射手段7は、スイッチがONとなるポート（スイッチの透過損失が小さくなる側の第二光ファイバ6の端面6a）に固定されており、光が入射するチャンネルは出力パルス光の波長 λ_2 に対して反射率0.1%以下の無反射処理がなされている。したがって、光スイッチ4がONになった際には、希土類添加光ファイバ3に対して1%~60%の光をフィードバックする。光スイッチ4がOFFの状態では、希土類添加光ファイバ3には光は戻らず、かつ出力もされない。光スイッチ4が一旦ONの状態になると、光のフィードバックと光の出力が同時に始まる。この結果、共振器はQスイッチ動作が可能となる。この際、この光スイッチ4を備えた本発明のパルス光発生器は、共振器の出力側の一端を、光スイッチを行なうための偏向素子の端面で構成するため、出力側にファイバグレーティングを配置する必要がなく、従来のパルス光発生器よりも共振器長の長さが短くなっているため、出力光のパルス幅を短くできる。

[0025] <第2実施形態>

図3は、第2実施形態に関わるパルス光発生器のうち、光スイッチ4を模式的に示した図である。本実施形態が第1実施形態と異なる点は、低反射手段7が光スイッチ4内にあって、偏光素子41と光スイッチ4の他端面4bとの間に配された透明板48上に配されている点である。

[0026] 透明板48は、出力パルス光の波長 λ_2 に対して反射率が0.1%以下の無反射処理がなされたものであって、例えばPMMA、 TiO_2 、合成石英といった樹脂やガラスからなる。その厚さは、適用する光スイッチによって適宜調節されるが、例えば $100\mu\text{m} \sim 2000\mu\text{m}$ である。

低反射手段7は、透明板48の一面48aにあって、光スイッチ4がONとなった際に、出射される光が通過するように配されている。

[0027] 本実施形態によれば、透明板48を構成する材料を変えるだけで、低反射手段7の反射率を、この透明板48を構成する材料の屈折率に応じて調節で

きる。また、この低反射手段 7 が設けられた透明板 4 8 を既存の光スイッチに配することで、第 1 実施形態と同様に、出力側にファイバグレーティングを配置する必要がなく、共振器長を短くすることができ、パルス幅を短くできる。また、高繰り返しパルス光を出射することが可能なパルス光発生器が容易に得られる。更に、融着のばらつきから開放され、生産性が向上する。

[0028] <第 3 実施形態>

図 4 は、第 3 実施形態に関わるパルス光発生器のうち、光スイッチ 4 を模式的に示した図である。本実施形態が第 1 実施形態と異なる点は、偏向素子 4 1 の出力部表面 4 1 b に、低反射手段 7 が配されている点である。

[0029] 本実施形態のように、偏向素子 4 8 の表面に低反射手段 7 を設けることで、この低反射手段 7 は、偏向素子 4 1 の屈折率に応じた反射率を備えられる。また、低反射手段 7 を備えた偏向素子 4 8 を既存の光スイッチに適用することで、第 1 実施形態と同様に、出力側にファイバグレーティングを配置する必要がなく、共振器長を短くでき、パルス幅を短くできる。また、高繰り返しパルス光を出射することが可能なパルス光発生器が容易に得られる。

[0030] 以上説明したように、本発明において低反射手段 7 の所望の反射率を得るために、共振器の端面を構成させる部位に応じて、低反射手段 7 の反射膜のパラメータを適宜設定する。なお、低反射手段 7 の反射率は、パルス光発生器の所望の出力特性（パルス幅や平均出力等）を得るために、共振器長や利得等と併せて最適値が決定される。

[0031] <第 4 実施形態>

図 5 は、第 4 実施形態に関わるパルス光発生器のうち、光スイッチを模式的に示した図である。本実施形態が第 1 実施形態と異なる点は、1 次回折光が入射される光ファイバ 6 の端面 6 a に、低反射手段 7 が配されている点である。

[0032] 本実施形態によれば、特定の波長域の 1 次回折光においても、第 1 実施形態と同様に、出力側にファイバグレーティングを配置する必要がなく、共振器長を短くでき、パルス幅を短くできる。また、高繰り返しパルス光を出射

することが可能なパルス光発生器が容易に得られる。

[0033] <第5実施形態>

図6は、第5実施形態に関わるパルス光発生器のうち、光スイッチ4を模式的に示した図である。本実施形態が第4実施形態と異なる点は、光スイッチ4内に配された透明板48に、低反射手段7が設けられている点である。透明板48としては、第2実施形態と同様なものを適宜用いればよい。

[0034] 本実施形態によれば、上述した第2実施形態の効果と第4実施形態の効果を得られる。すなわち、低反射手段7が設けられた透明板48を、既存の光スイッチに配することで、第1実施形態と同様に、出力側にファイバグレーティングを配置する必要がなく、共振器長を短くでき、パルス幅を短くできる。また、特定の波長域の1次回折光においても、高繰り返しパルス光を出射可能なパルス光発生器が容易に得られる。さらに、融着のばらつきから開放され、生産性の向上が図れる。

[0035] <第6実施形態>

図7は、第6実施形態に関わるパルス光発生器のうち、光スイッチ4を模式的に示した図である。本実施形態が第5実施形態と異なる点は、偏向素子41の他面41bのうち、1次回折光が出射する部位に低反射手段7が配されている点である。

[0036] 本実施形態によれば、上述した第3実施形態の効果と第4実施形態の効果を得られる。すなわち、偏向素子48の表面に低反射手段7を設けることで、この低反射手段7は、偏向素子41の屈折率に応じた反射率を備えられる。また、低反射手段7を備えた偏向素子48を既存の光スイッチに適用することで、第1実施形態と同様に、出力側にファイバグレーティングを配置する必要がなく、共振器長を短くでき、パルス幅を短くできる。また、特定の波長域の1次回折光においても、高繰り返しパルス光を出射可能なパルス光発生器が容易に得られる。

[0037] 「パルスファイバレーザ」

図8は、本発明のパルス光発生器10をマスターオシレータ（以下、MO

ということがある) 10として用いた際の、パルスファイバレーザ80を模式的に示した図の一例である。パルスファイバレーザ80は、MO10と光増幅器20とから概略構成されている。また、MO10の出力側が、段間アイソレータ31を介して光増幅器20に接続されている。MO10から出力されたレーザ光が、段間アイソレータ31を介して光増幅器20で増幅されて、出力される。

[0038] 光増幅器20としては、従来公知のものを用いることができ、例えば、複数の励起光源21からの励起光を入射する励起ポート22と; MO10からのレーザ光が入射される信号ポート24と; 励起ポート22から入射された励起光と信号ポート24から入射された信号光とがあわされて出射される出射ポート27を有する光結合器23と; 励起ポート22に接続された励起光源21と; 出射ポート27に接続された光ファイバ25と; からなるものが挙げられる。

[0039] MO10から出射されたレーザ光は、信号ポート24から光結合器23へと入射され、この光結合器23を介して光ファイバ27のコアへと入射される。一方、励起ポート22には励起光源21がそれぞれ接続されており、励起光が光結合器23を介して光ファイバ27へと入射される。

光ファイバ27へ入射された励起光は、その後アイソレータ26を介して出力される。

[0040] 光増幅器を構成する励起光源21と、励起ポート22と、光結合器23と、信号ポート24と、光ファイバ25と、アイソレータ26と、出射ポート27とに関しては、特に限定されるものではなく、従来公知のものを用いることができる。

[0041] 本発明のパルスファイバレーザ80によれば、マスターオシレータ10からの出力光のパルス幅を短くできるので、高出力なファイバレーザが得られる。

実施例

[0042] <実施例1>

図 1 A 及び図 1 B に示すパルス光発生器を作製し、これを実施例 1 とした。励起光源としては、発振波長 λ_1 が 976 nm、出力が 300 mW の半導体レーザを用いた。光ファイバとしては、吸収率 600 dB/m、長さ 30 cm の、Yb 添加シングルモードファイバを用いた。ファイバグレーティングとしては、1060 nm–1070 nm の波長に対する反射率が 95% のものを用いた。光スイッチとしては、1 ch の反射端が設けられた AOM を用いた。励起光源とファイバグレーティングとは融着により接続した。使用したファイバ（ファイバグレーティングの両端、光ファイバ、光スイッチ両端のファイバ）のコアは、直径 4 μ m 程度、クラッド外径は 125 μ m に揃えた。

低反射手段としては、 Ta_2O_5 の 1 層の薄膜を 45 nm 形成した。本実施例における低反射手段の反射率は、10% 程度であった。

[0043] <実施例 2>

低反射手段として Ta_2O_5 – SiO_2 – Ta_2O_5 の三層の膜を 350 nm 形成したこと以外は実施例 1 と同様にパルス光発生器を作製し、これを実施例 2 とした。本実施例における低反射手段の反射率は、30% 程度であった。

[0044] <実施例 3>

低反射手段として Ta_2O_5 – SiO_2 – Ta_2O_5 – SiO_2 – Ta_2O_5 の五層の膜を 700 nm 形成したこと以外は実施例 1 と同様にパルス光発生器を作製し、これを実施例 3 とした。本実施例における低反射手段の反射率は、60% 程度であった。

[0045] <比較例>

図 10 B に示す従来のパルス光発生器を作製し、これを比較例とした。ファイバグレーティング 102、106、光ファイバ 103、105 に関しては、実施例 1 と同様なものを用いた。

[0046] 図 9 A 及び図 9 B に、実施例及び比較例のパルス光発生器とその大きさを模式的に示す。図 9 A は、実施例 1～3 のパルス光発生器、図 9 B は比較例のパルス光発生器をそれぞれ示している。

図 9 A 及び図 9 B に示すように、実施例 1 ～ 3 のパルス光発生器では、比較例である従来のパルス光発生器よりも大幅に共振器長を短くできた（およそ、従来の 60 % 程度の共振器長）。

[0047] 実施例 1 ～ 3 及び比較例のパルス光発生器を用いて、出力を 100 mW、150 mW、200 mW とそれぞれ変えて、パルス幅を測定した。この結果を、表 1 に示す。

[0048] [表1]

Pump Power (mW)	パルス幅 (nsec)			
	実施例1	実施例2	実施例3	比較例
100	57	50	48	126
150	39	36	37	84
200	31	32	37	66

[0049] 表 1 より、実施例 1 ～ 3 のパルス光発生器では、比較例よりも 50 % 程度のパルス幅の低減効果が得られた。

産業上の利用可能性

[0050] 本発明は、ファブリペロ型ファイバレーザに適用できる。

符号の説明

- [0051]
- 1 励起光源
 - 2 ファイバグレーティング
 - 3 希土類添加光ファイバ
 - 4 光スイッチ
 - 5 第一光ファイバ
 - 5 a 第一光ファイバの出射端面
 - 6 第二光ファイバ
 - 6 a 第二光ファイバの入射端面
 - 7 低反射手段
 - 4 1 偏向素子

4 1 a 偏向素子の入射端面

4 1 b 偏向素子の出射端面

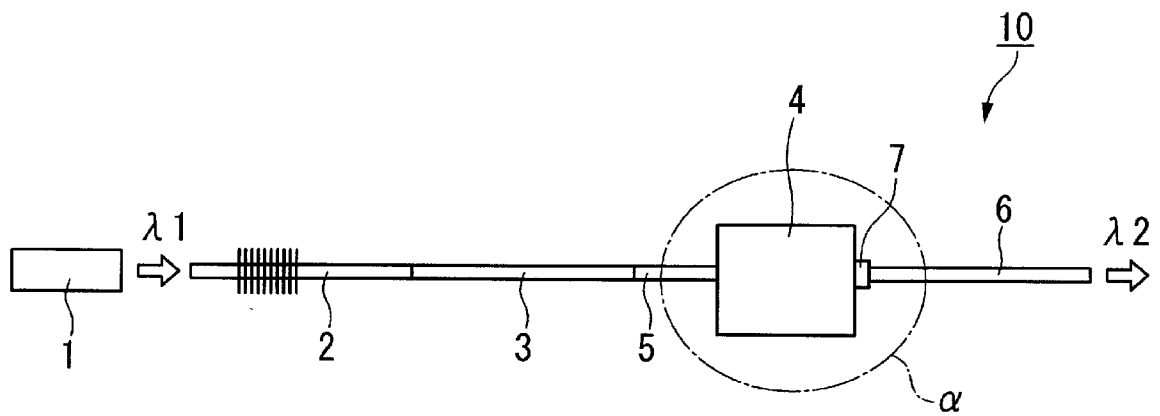
4 8 透明板

請求の範囲

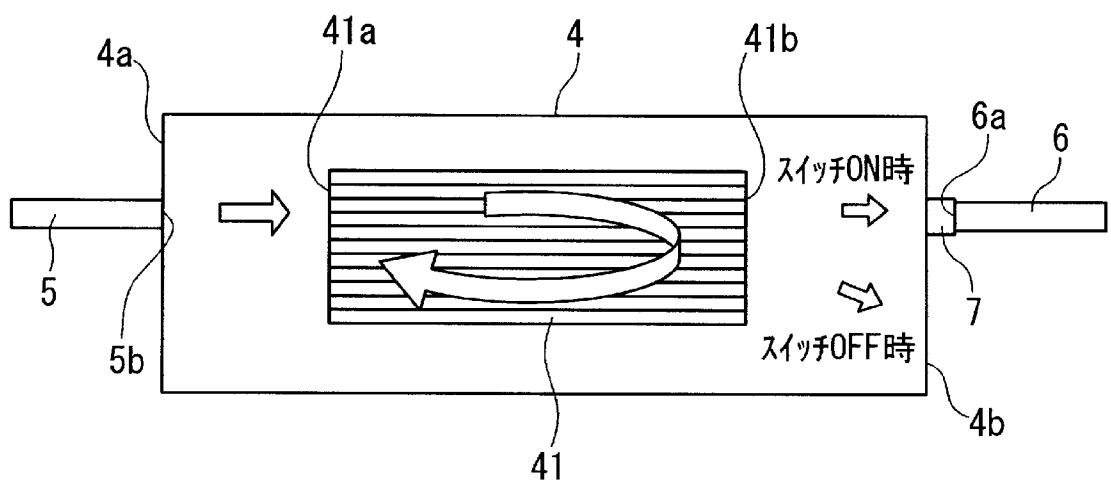
- [請求項1] 励起光源と；
前記励起光源からの励起光を入射するファイバグレーティングと；
前記ファイバグレーティングと光学的に結合し、光伝送部であるコアに希土類元素が添加された希土類添加光ファイバと；
Qスイッチ動作させるための偏向素子を備えた光スイッチと；
前記希土類添加光ファイバからの光を前記光スイッチに入射させる第一光ファイバと；
前記光スイッチから出力されるパルス光を導波させる第二光ファイバと；
を備え、
前記光スイッチの、光が入射する一面側には、前記光スイッチから出力される前記パルス光の波長に対する反射率が0.1%以下の無反射処理がなされ、
前記光スイッチの、光が出射される他面側には、前記光スイッチから出力される前記パルス光の波長に対する反射率が1%以上60%以下の低反射手段が配されている
ことを特徴とするパルス光発生器。
- [請求項2] 前記低反射手段は、前記第二光ファイバが前記光スイッチと結合している一端に配されていることを特徴とする請求項1に記載のパルス光発生器。
- [請求項3] 前記低反射手段は前記光スイッチ内であって、前記偏向素子と前記第二光ファイバとの間に配されていることを特徴とする請求項1に記載のパルス光発生器。
- [請求項4] 前記低反射手段は、前記偏向素子の出射端面の少なくとも一部に配されていることを特徴とする請求項1に記載のパルス光発生器。
- [請求項5] マスターオシレータと光増幅器とからなるパルスファイバレーザであって、

請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載のパルス光発生器を前記マスターオシレータとして用いることを特徴とするパルスファイバレーザ。

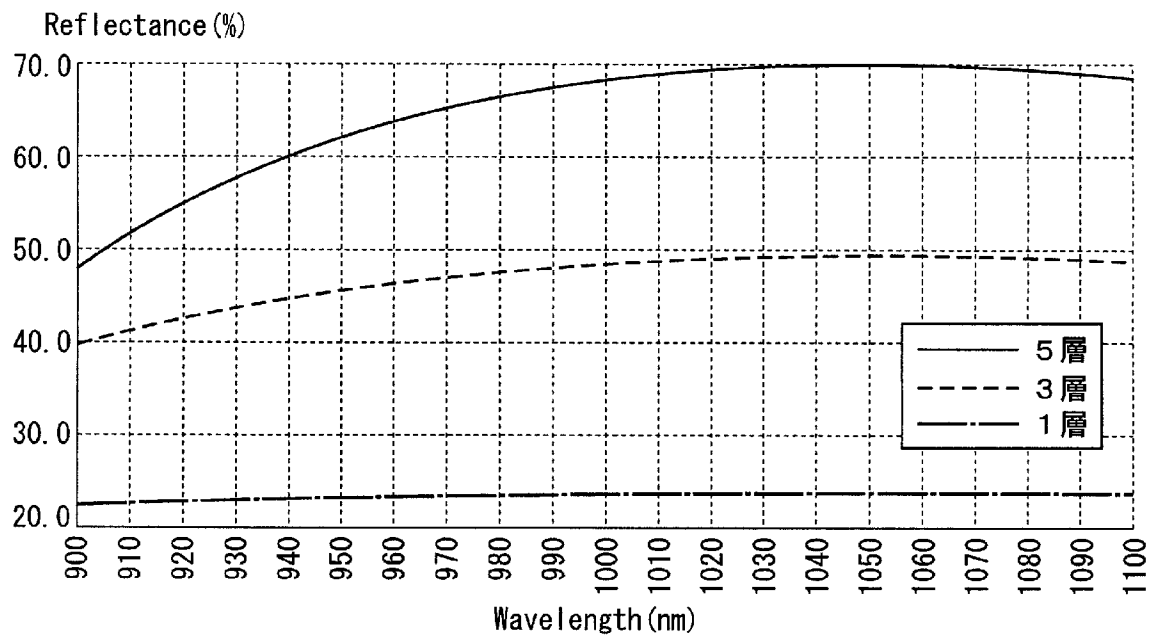
[図1A]



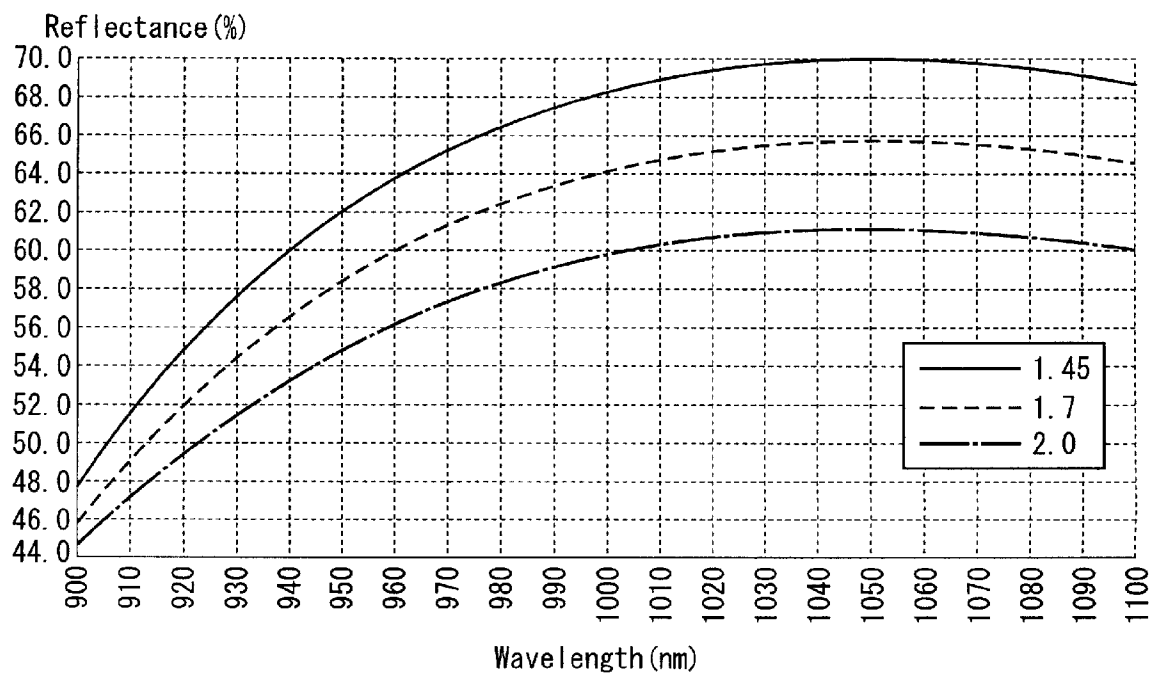
[図1B]



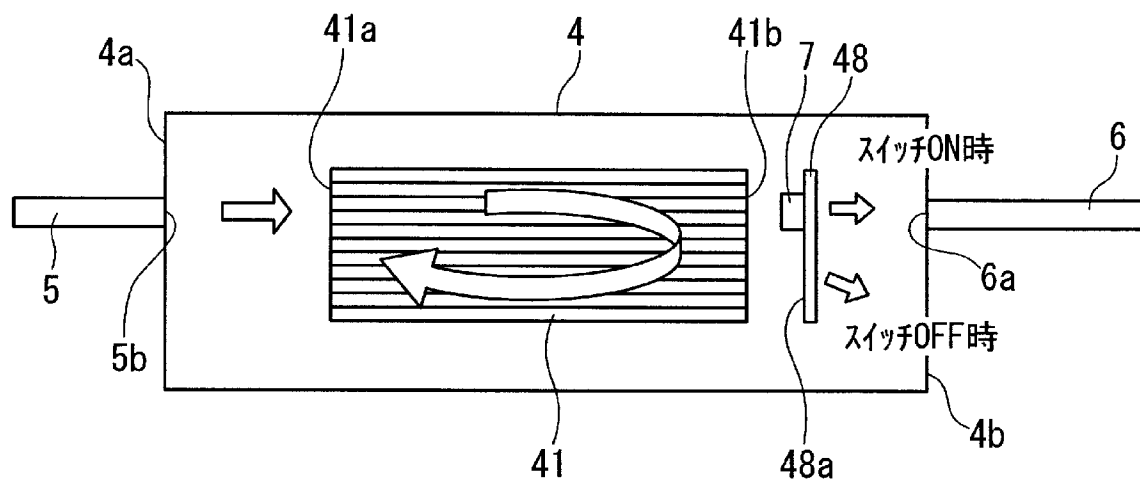
[図2A]



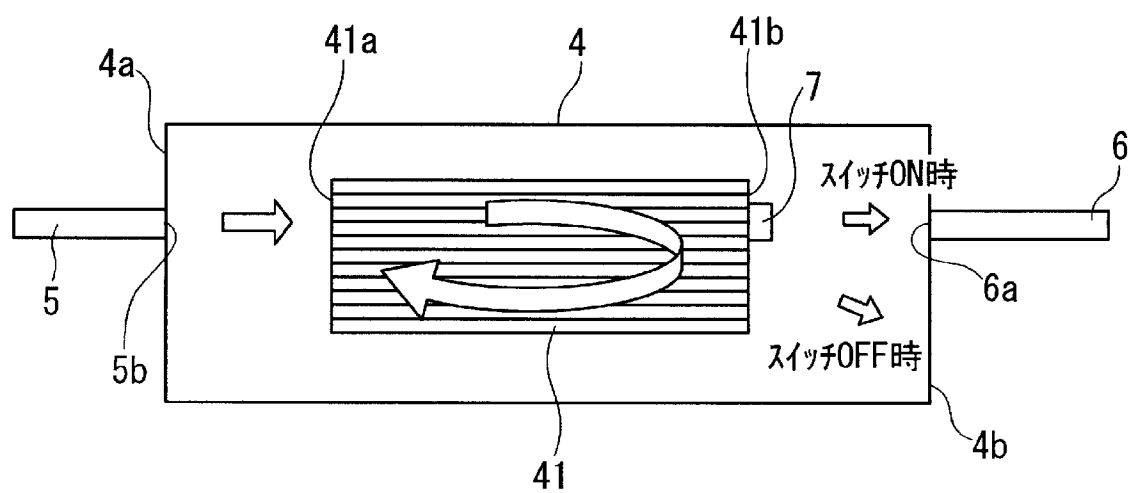
[図2B]



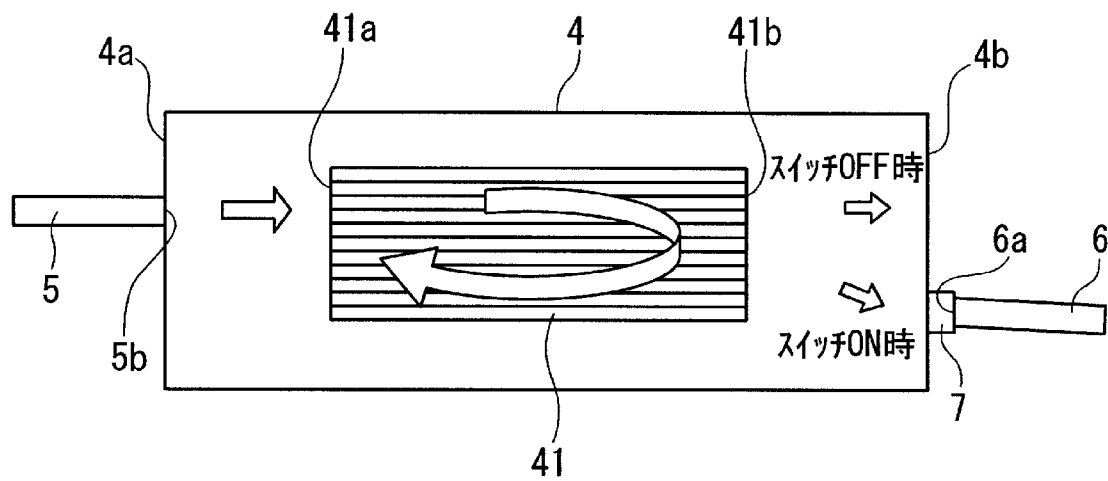
[図3]



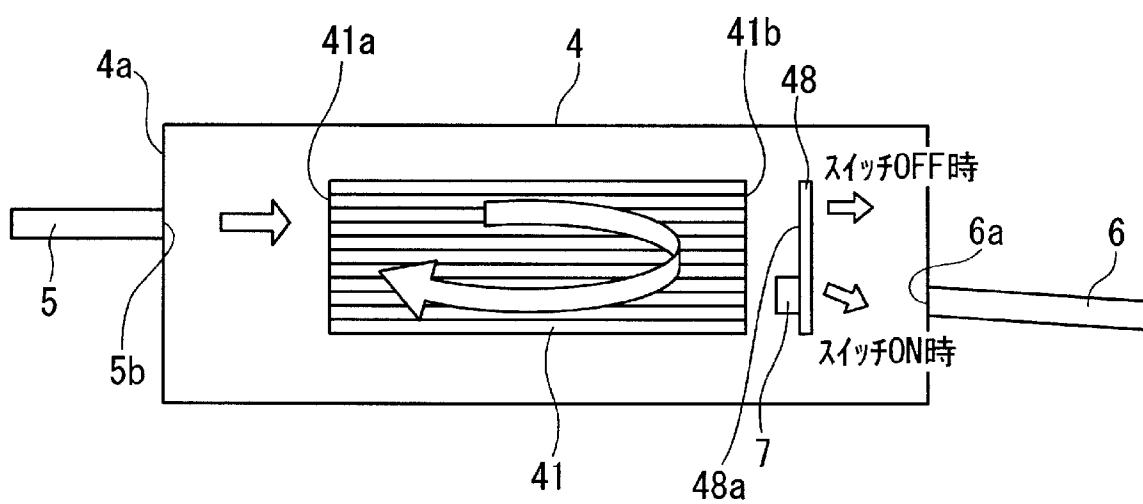
[図4]



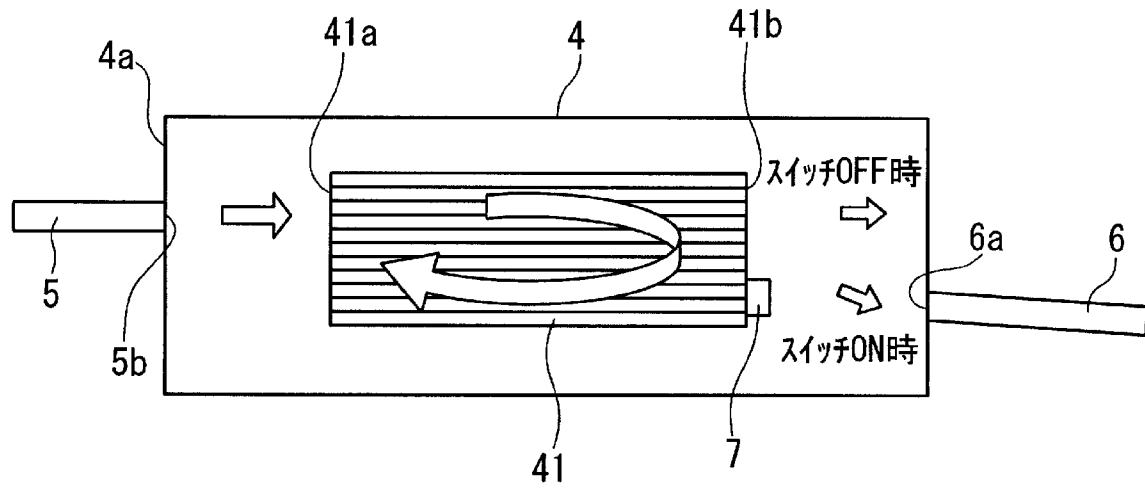
[図5]



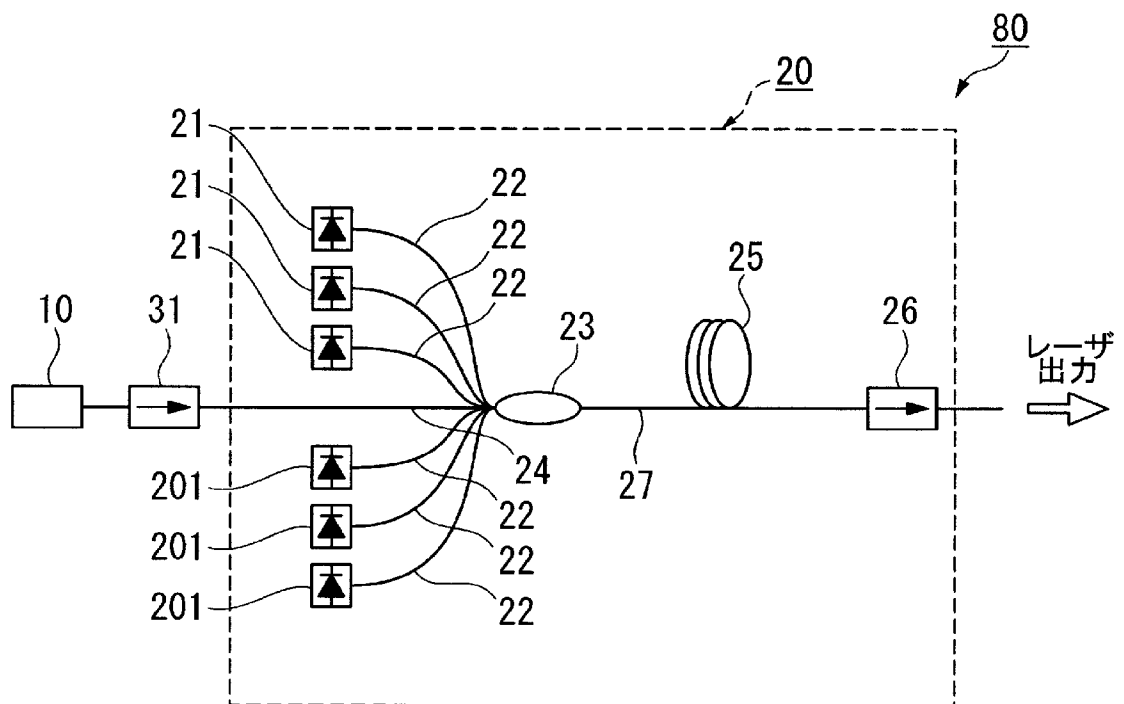
[図6]



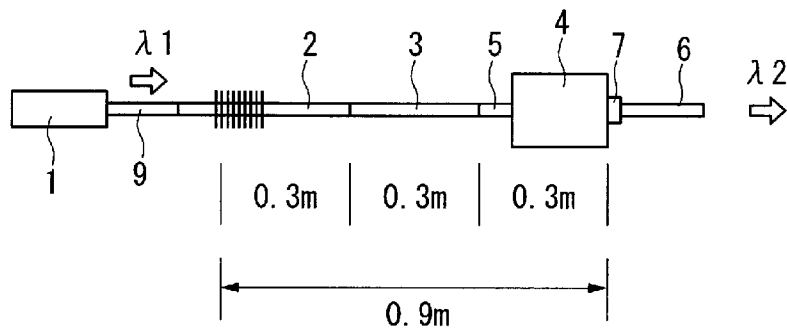
[図7]



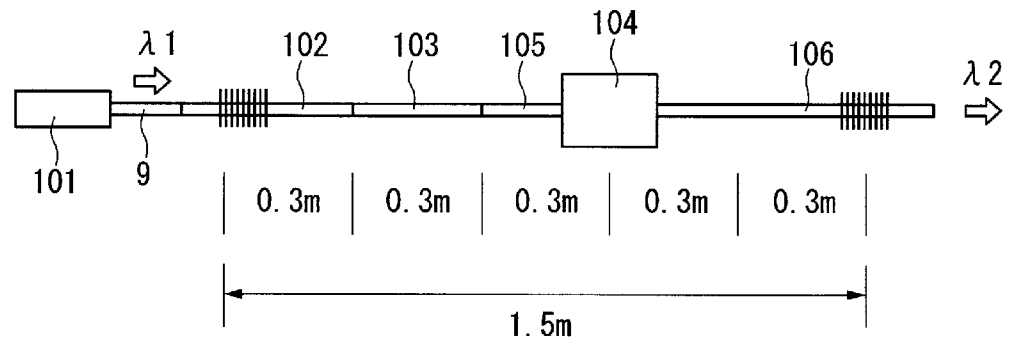
[図8]



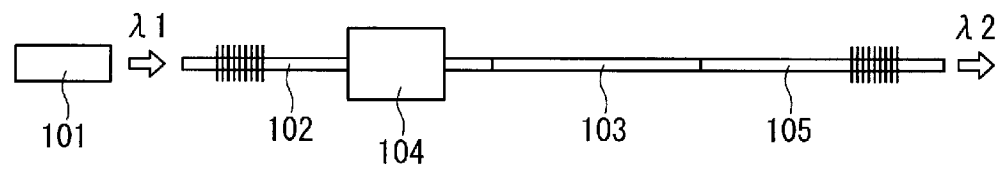
[図9A]



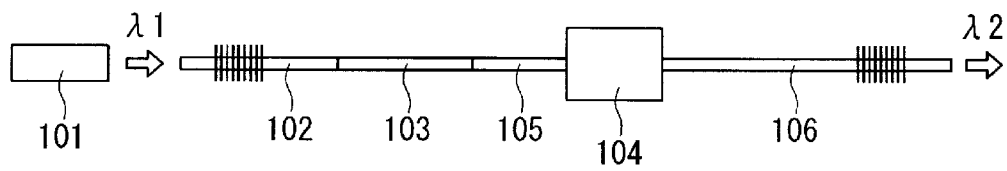
[図9B]



[図10A]



[図10B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/062223

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/117(2006.01) i, H01S3/06(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)

H01S3/117, H01S3/06

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.
Y	JP 2005-183853 A (Fujikura Ltd.), 07 July, 2005 (07.07.05), Par. No. [0003]; Fig. 1 (Family: none)	1-5
Y	JP 2006-5349 A (JDS Uniphase Inc.), 05 January, 2006 (05.01.06), Par. No. [0028]; Fig. 1 & US 2005/0276286 A1 & EP 1608048 A2	1-5
Y	JP 5-129684 A (Mitsubishi Electric Corp.), 25 May, 1993 (25.05.93), Par. Nos. [0012] to [0014]; Fig. 1 (Family: none)	1-5

☒ 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
15 July, 2009 (15.07.09)

Date of mailing of the international search report
28 July, 2009 (28.07.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/062223

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 2007-523499 A (Powerlase Ltd.), 16 August, 2007 (16.08.07), Par. No. [0070] & US 2008/0037597 A1 & GB 2411762 A & GB 424271 D0 & WO 2005/083851 A	3-5
A	Ding-Wei Huang, Wen-Fung Liu, C. C. Yang, Q-switched all-fiber laser with an acoustically modulated fiber attenuator, IEEE Photonics Technology Letters, 2000.09, Vol.12, No.9, pp.1153-1155	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01S3/117(2006.01)i, H01S3/06(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. H01S3/117, H01S3/06

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
Y	JP 2005-183853 A (株式会社フジクラ) 2005.07.07, 【0003】, 図1 (ファミリーなし)	1-5
Y	JP 2006-5349 A (ジェイディーエス ユニフェイズ コーポレーション) 2006.01.05, 【0028】, 図1 & US 2005/0276286 A1 & EP 1608048 A2	1-5
Y	JP 5-129684 A (三菱電機株式会社) 1993.05.25, 【0012】 - 【0014】, 図1 (ファミリーなし)	1-5

☒ 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 5 . 0 7 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

2 8 . 0 7 . 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

2 K

3 7 1 9

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

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2007-523499 A (パワーレイズ・リミテッド) 2007.08.16, 【O O 7 O】 & US 2008/0037597 A1 & GB 2411762 A & GB 424271 D0 & WO 2005/083851 A	3-5
A	Ding-Wei Huang, Wen-Fung Liu, C. C. Yang, Q-switched all-fiber laser with an acoustically modulated fiber attenuator, IEEE Photonics Technology Letters, 2000.09, Vol.12, No.9, pp.1153-1155	1-5