

明 細 書

発明の名称： レーザ装置

技術分野

[0001] 本発明は、信号光をファイバ光増幅器により増幅して出力するレーザ装置に関する。

背景技術

[0002] 信号光をファイバ光増幅器により増幅して出力するレーザ装置は、例えば顕微鏡や形状測定装置、露光装置などの光源として広く用いられている。レーザ装置の出力波長は、組み込まれる装置の用途及び機能に応じて設定され、当該出力波長に応じた励起媒質がドープされたファイバ光増幅器が用いられる。ファイバ光増幅器として、例えば、石英系の光ファイバに、エルビウム（Er）がドープされたエルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器（EDFA）、イッテルビウム（Yb）がドープされたイッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器（YDFA）などが知られている（特許文献1、特許文献2を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2000-200747号公報

特許文献2：日本国特開2002-050815号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ファイバ光増幅器は、コアにドープされたレーザ媒質に応じた増幅特性を有している。例えば、YDFA（イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器）の増幅帯域は、主に1030～1100nmである。YDFAによりNd-YAGレーザの発振波長と同じ1064nmの増幅光を出力させようとした場合に、波長1030nm付近の寄生発振が発生しやすい。これは、YDFAの利得分布は、短波長側で利得が高く、長波長側で利得が低くなって

おり、波長 $\lambda = 1064\text{ nm}$ よりも $\lambda = 1030\text{ nm}$ の方が利得が顕著に高いためである。

[0005] この結果、例えばレーザ光源の損傷等があった場合、Y D F Aが励起された状態においてファイバ光増幅器に入射する信号光の強度が大きく低下し、あるいは信号光の強度が0になると、イッテルビウム反転分布密度が急激に上昇して増幅器の利得が異常に増大し、波長 1030 nm 付近で発振するようになる。この結果、ファイバ光増幅器自体や周辺の光学素子に損傷を与えるおそれがあるという課題があった。

[0006] また、例えば、ファイバの入出射面や、ファイバ光増幅器から出射された光を波長変換する波長変換光学素子等の入出射面等に汚れ等により、励起状態にあるY D F Aの増幅部以外の場所に何らかの反射体があった場合、自然放出により発生した 1030 nm 付近の自然放出光（A S E光：Amplified Spontaneous Emission）が反射してファイバ光増幅器の内部に戻り、これが発振することもある。この場合にも、上記と同様にファイバ内を伝播する増幅光及び出射される出力光が高出力となり、ファイバ光増幅器自身や周辺の光学素子に損傷を与えるおそれがあるという課題があった。

[0007] また、例えば、ファイバ光増幅器の入出射面や、ファイバ光増幅器から出射された光を波長変換する波長変換光学素子等の入出射面等に汚れ等により、ファイバ光増幅器の増幅部外に何らかの反射体がある状態でY D F Aが励起された場合、A S E光が反射してファイバ内に戻り、これが発振することがある。この結果、ファイバ光増幅器自体や周辺の光学素子に損傷を与えるおそれがあるという課題があった。

[0008] 本発明は上記のような事情に鑑みてなされたものであり、ファイバ光増幅器における意図しない発振を未然に防止しうるレーザ装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明を例示する第1の態様は、レーザ装置であって、信号光を含む波長帯域で利得を有し信号光を増幅して出射するファイバ光増幅器と、ファイバ

光増幅器に伝播される信号光を検出する信号光検出器と、ファイバ光増幅器を励起するための励起電力を制御する制御部とを備え、制御部は信号光検出器により検出された信号光の強度が所定の信号基準値以下となったときに、ファイバ光増幅器に供給する励起電力を抑制する。

[0010] 第1の態様において、所定の信号基準値は、ファイバ光増幅器に伝播される信号光の強度低下に伴って上昇するファイバ光増幅器の利得分布における、信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの信号光の強度に基づいて設定することが好ましい。また、信号光検出器により検出された信号光の強度が所定の信号基準値以下となったのち励起電力が抑制されるまでの時間は、ファイバ光増幅器に入射する信号光の強度低下に伴って上昇するファイバ光増幅器の利得分布における、信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定することが好ましい。

[0011] また、前記ファイバ光増幅器から出射する、ファイバ光増幅器の利得分布における信号光よりも利得が高い波長の光を検出するASE光検出器を備え、前記制御部は、ASE光検出器により検出された自然放出光の強度が所定のASE基準値以上となったときに、励起電力を抑制するように構成することが好ましい。

[0012] このとき、所定のASE基準値は、ファイバ光増幅器における信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの自然放出光の強度に基づいて設定することが好ましい。また、ASE光検出器により検出された自然放出光の強度が所定の基準値以上となったのち励起電力が抑制されるまでの時間は、ファイバ光増幅器における信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定することが好ましい。また、ASE光検出器はファイバ光増幅器における信号光の入射側に設けられ、ファイバ光増幅器を入射側に向かう後方伝搬自然放出光を検出することが好ましい。

[0013] 本発明を例示する第2の態様のレーザ装置は、信号光を含む波長帯域で利

得を有し信号光を増幅して出射するファイバ光増幅器と、ファイバ光増幅器から出射する、ファイバ光増幅器の利得分布における信号光よりも利得が高い波長の光を検出するASE光検出器と、ファイバ光増幅器の励起電力を制御する制御部とを備え、制御部は、ASE光検出器により検出された自然放出光の強度が所定のASE基準値以上となったときに、前記ファイバ光増幅器を励起するための励起電力を抑制するように構成される。

[0014] 第2の態様において、所定のASE基準値は、ファイバ光増幅器における信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの自然放出光の強度に基づいて設定することが好ましい。また、ASE光検出器により検出された自然放出光の強度が所定のASE基準値以上となったのち励起電力が抑制されるまでの時間は、ファイバ光増幅器における信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定することが好ましい。また、ASE光検出器はファイバ光増幅器における信号光の入射側に設けられ、ファイバ光増幅器を入射側に向かう後方伝搬自然放出光を検出することが好ましい。

[0015] また、ファイバ光増幅器に伝播される信号光を検出する信号光検出器を備え、制御部は信号光検出器により検出された信号光の強度が所定の信号基準値以下となったときに、励起電力を抑制するように構成することが好ましい。

[0016] このとき、所定の信号基準値は、ファイバ光増幅器に入射する信号光の強度低下に伴って上昇するファイバ光増幅器の利得分布における、信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの信号光の強度に基づいて設定することが好ましい。また、信号光検出器により検出された信号光の強度が所定の信号基準値以下となったのち励起電力が抑制されるまでの時間は、ファイバ光増幅器に入射する信号光の強度低下に伴って上昇するファイバ光増幅器の利得分布における、信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定することが好ましい。

[0017] なお、第2の態様のレーザ装置においては、ASE光検出器をファイバ光増幅器における信号光の入射側に設け、ファイバ光増幅器を入射側に向かう後方伝搬自然放出光を検出するように構成することがもできる。

[0018] また、第1および第2態様のレーザ装置において、ファイバ光増幅器の入射側に4つのポートを有する光ファイバカプラを設け、信号光、ファイバ光増幅器、信号光検出器、及びASE光検出器を接続して構成することが好ましい。

[0019] 第1および第2態様のレーザ装置においては、ファイバ光増幅器はイッテルビウムを励起媒体とするイッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器であり、信号光の波長は1.06 μm 帯とすることが好ましい。

発明の効果

[0020] 本発明の第1の態様のレーザ装置によれば、ファイバ光増幅器に入射する信号光の強度が所定の信号基準値以下となったときに励起電力が抑制され、ファイバ光増幅器の利得が減殺される。このため、信号光の入射状態に起因したファイバ光増幅器の意図しない発振を未然に防止可能なレーザ装置を提供することができる。

[0021] ASE光検出器を備えた第1の態様のレーザ装置によれば、ファイバ光増幅器で発生する自然放出光の強度が所定のASE基準値以上となったときにも励起電力が抑制され、ファイバ光増幅器の利得が減殺される。このため、自然放出光に起因したファイバ光増幅器の意図しない発振をも未然に防止可能なレーザ装置を提供することができる。

[0022] 本発明の第2の態様のレーザ装置によれば、ファイバ光増幅器で発生する自然放出光の強度が所定のASE基準値以上となったときに励起電力が抑制され、ファイバ光増幅器の利得が減殺される。このため、自然放出光に起因したファイバ光増幅器の意図しない発振をも未然に防止可能なレーザ装置を提供することができる。

[0023] 信号光検出器を備えた第2の態様のレーザ装置によれば、ファイバ光増幅器に入射する信号光の強度が所定の信号基準値以下となったときにも励起電

力が抑制され、ファイバ光増幅器の利得が減殺される。このため、信号光の入射状態に起因したファイバ光増幅器の意図しない発振を未然に防止可能なレーザ装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]図1は、本発明の第1の態様における、第1構成形態のレーザ装置を例示する概要構成図である。

[図2]図2は、本発明の第1の態様において、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器が励起された状態で信号光が突然途切れたときの波長1030nm帯の利得の時間変化を例示するシミュレーション結果である。

[図3]図3は、本発明の第1の態様において、不随意発振防止装置による励起電流の抑制状況を観察した実験結果である。

[図4]図4は、本発明の第1の態様における、第2構成形態のレーザ装置を例示する概要構成図である。

[図5]図5は、本発明の第1の態様において、光ファイバカプラの接続構成例である。

[図6]図6は、本発明の第1の態様において、部分反射鏡等を用いた接続構成例である。

[図7]図7は、本発明の第2の態様における、第3構成形態のレーザ装置を例示する概要構成図である。

[図8]図8は、本発明の第2の態様において、イッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器が励起された状態で信号光が突然途切れたときの波長1030nm帯の利得の時間変化を例示するシミュレーション結果である。

[図9]図9は、本発明の第2の態様における、第4構成形態のレーザ装置を例示する概要構成図である。

[図10]図10は、本発明の第2の態様において、光ファイバカプラの接続構成例である。

[図11]図11は、本発明の第2の態様において、部分反射鏡等を用いた接続構成例である。

[図12]図 1 2 は、本発明の第 2 の態様において、不随意発振防止装置による励起電流の抑制状況を観察した実験結果である。

発明を実施するための形態

[0025] [第 1 の形態]

以下、本発明を実施するための第 1 の形態について、図面を参照しながら説明する。図 1 に本発明の第 1 の態様における、第 1 構成形態のレーザ装置 1 の概要構成図を示す。レーザ装置 1 は、信号光を発生する信号光発生部 10 と、信号光発生部により発生された信号光を増幅して出射する増幅部 20 と、信号光発生部 10 及び増幅部 20 の作動を制御する制御装置 40 とを備えて構成される。

[0026] 信号光発生部 10 は、増幅部 20 で増幅される信号光を発生する部位であり、半導体レーザやバルク固体レーザ、ファイバーレーザ等のレーザ光源 11 を備える。図 1 には、レーザ光源 11 として DFB 半導体レーザを用い、併せて電気光学変調素子 (EOM) や音響光学変調素子 (AOM)、半導体光増幅器 (SOA) 等の外部変調器 15 を設けた構成を示す。DFB 半導体レーザは、CW 及びパルスで発振させることができるとともに、電流波形を制御することにより出力光のパルス波形を高速で制御することができ、また温度制御することにより所定の波長範囲で狭帯域化された単一波長のパルス光を出力させることができる。

[0027] 本構成形態では、レーザ光源 11 から波長 1064 nm で繰り返し周波数 2 MHz、ON 時間が 10 nsec 程度のパルス光を出射させ、外部変調器 15 により 1 ~ 2 nsec を切り出して ON 時間が短いパルス光を出力するようにした構成例を示す。このように外部変調器 15 を使用すると、レーザ光源 11 を直接パルス発振させたときに発生するチャープ (周波数変調) を抑制してフーリエ限界に近いパルス光を発生させることができる。これにより、信号光発生部 10 から極めて狭帯域の単色性が高いパルスの信号光を出力することができる。信号光発生部 10 で発生された信号光 L_s はアイソレータ 17 を介して増幅部 20 に入射される。

- [0028] 増幅部20は、信号光L_sを増幅するファイバ光増幅器21を主体として構成される。波長1064nmの信号光を増幅するファイバ光増幅器として、1030～1100nmの波長帯域に利得を有するイッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器(YDFA)が好適に用いられる。ファイバ光増幅器21は、コアにイッテルビウム(Yb)がドープされた光ファイバ22と、Ybを励起するポンプ光源23と、ポンプ光源23に供給する励起電力を制御する制御部25などから構成される。
- [0029] 本構成形態においては、光ファイバ22としてダブルクラッド構造のファイバを用い、ポンプコンバイナ24を介して、レーザ光出力部10から出力された信号光L_sをコアに入射させ、ポンプ光源23から出力された波長976nmの励起光を第1クラッドに入射させている。制御部25には、励起電力を発生する電流源26と、発生された励起電力のポンプ光源23への供給を高速遮断する電力遮断器55とが設けられている。なお、光ファイバ22としてシングルクラッド構造のファイバを用いても良く、また複数のファイバ光増幅器を直列または並列に接続して増幅部20を構成しても良い。
- [0030] 制御装置40は、信号光発生部10及び増幅部20の作動を制御し、信号光発生部10で発生され増幅部20において数W～数十W程度のパワーに増幅された信号光(便宜的に増幅光という)L_aをレーザ装置1から出力させる。
- [0031] このように構成されるレーザ装置1において、ファイバ光増幅器21が意図しない発振を起こすことを未然に防止する不随意発振防止装置50(50A)が設けられている。第1構成形態の不随意発振防止装置50Aは、ファイバ光増幅器21に入射する信号光L_sを検出する信号光検出器51と、制御部25に設けられた電力遮断器55とを備えて構成される。
- [0032] 信号光検出器51は、レーザ光源11とファイバ光増幅器21との間から分岐させた光路上に設けられており、例えば、信号光を1～数%程度反射する部分反射鏡53や、信号光の1～数%程度を分岐する溶融延伸型の分岐カップラ等を介して、信号光発生部10から出射された信号光L_sの一部が入力

される。信号光検出器 51 は、MHz オーダー、またはそれ以上の帯域を持つ高速の赤外光センサであり、例えば InGaAs フォトダイオードを利用したセンサを用いることができる。信号光検出器 51 の検出信号は制御部 25 に入力される。

[0033] 制御部 25 は、信号光検出器 51 により検出された信号光 L_s の強度が所定の信号基準値以下となったときに、電力遮断器 55 に、ポンプ光源 23 への電力供給を抑制する指令信号を出力し、電流源 26 からポンプ光源 23 への励起電力の供給を抑制する。

[0034] 上記「信号基準値」は、ファイバ光増幅器 21 が励起状態で光ファイバ 22 に入射する信号光 L_s の強度が低下したときに、これに伴って上昇する波長 1030 nm 帯域の利得の大きさに基づいて設定される。

[0035] すなわち、ファイバ光増幅器 21 が励起状態のときに、光ファイバ 22 に入射する信号光 L_s の強度が低下すると、信号光強度の低下に伴って Y_b の反転分布率が上昇し、利得分布全体が利得の高い状態に上昇する。このとき、利得分布において波長 1064 nm よりも波長 1030 nm 帯の方が利得が高くなり、その結果、上昇した波長 1030 nm の利得が発振閾値を超える（即ち、波長 1030 nm の片道利得が、ファイバ光増幅器 21 の反射減衰量を超える）と、ファイバ光増幅器 21 において 1030 nm でレーザ発振するようになる。

[0036] 「信号基準値」は、ファイバ光増幅器 21 に入射する信号光 L_s の強度低下に伴って上昇する利得分布において、1030 nm 帯の利得が発振閾値と等しくなるときの信号光の強度に基づいて設定される。例えば、信号光 L_s の強度と同等または所定のマージンを加えた値以上に設定される。信号基準値は、制御部 25 に設けられたメモリ（不図示）に設定記憶される。

[0037] 信号光検出器 51 により検出された信号光 L_s の強度が信号基準値以下となったのち電力遮断機 55 により励起電力が実質的に遮断されるまでの時間は、ファイバ光増幅器 21 に入射する信号光 L_s の強度低下に伴って上昇する利得分布において、1030 nm 帯の利得が発振閾値と等しくなるまでの

時間に基づいて設定され、その時間と同等以下、例えばゼロ～その時間の数十分の一以内に設定される。設定された時間は、制御部 25 に設けられたメモリ（不図示）に設定記憶される。

[0038] 具体例として、ファイバ光増幅器 21 に入射する信号光 L_s のパワーが 0.5 W、ポンプ光源 23 による励起光のパワーが 120 W で作動している状態で、ファイバ光増幅器 21 への信号光 L_s の入射が突然途切れたときの、波長 1030 nm 帯の利得の時間変化についてのシミュレーション結果を図 2 に示す。図 2 における横軸は信号光 L_s の入射が途切れたときからの経過時間、縦軸は波長 1030 nm の光の利得である。なお、ファイバ光増幅器 21 は、長さ 3 m、コア径 25 μm 、クラッド径 250 μm 、コアに添加された Yb の濃度は $6.9 \times 10^{25} / \text{m}^3$ とした。

[0039] 信号光 L_s が途切れた後もファイバ光増幅器 21 に励起光が入射され続けると、Yb の反転分布率が急激に高まり、波長 1030 nm の利得 g が時間の経過とともに指数関数的に増大する。発振閾値はファイバ光増幅器 21 に残存する反射光量等に依存し、ファイバ光増幅器の構成により異なった値となる。ファイバ光増幅器 21 の反射減衰量を -50 dB とすると、片道利得が 50 dB を超えたときに 1030 nm で発振する。図 2 から、信号光 L_s が途切れた時点から約 10 μsec で発振に至ることが分かる。

[0040] ファイバ光増幅器 21 の片道利得が反射減衰量を超えるまでの時間は、励起光のパワーにほぼ反比例するため、励起光のパワーがより大きい場合には、より短い時間で発振に至り、励起光のパワーがより小さい場合には、より長い時間をかけて発振に至ることになる。信号光 L_s の入射パワーが大きく減少したときから 6～8 μsec 程度以内に励起電力を実質的に遮断すれば、反転分布の増大が抑えられ、ファイバ光増幅器 21 が意図しない発振を起こすことを抑止することができる。

[0041] 不随意発振防止装置 50A においては、信号光検出器 51 から入力される検出信号が信号基準値以下となったときに、制御部 25 が電力遮断器 55 に電力供給を遮断する指令信号を出力し、電流源 26 からポンプ光源 23 への

励起電力の供給を数 μsec 以内に遮断させる。具体例として、信号光検出器 51 から入力される検出信号において、光パルス 2 ～ 6 パルス分に相当する 1 ～ 3 μse の時間（例えば、4 パルス分に相当する 2 μse の時間）、信号光 L_s が検出されなかったときに、ポンプ光源 23 への励起電力の供給を即時遮断する構成が例示される。

[0042] 図 3 に、不随意発振防止装置による励起電流の遮断状況を観察した実験結果を示す。図 3 における横軸は時間（1 $\mu\text{sec}/\text{div}$ ）、縦軸は励起電力及び信号光 L_s の光強度である。本実施例では、光パルス 4 パルス分に相当する 2 μse の間途切れたのを確認後にポンプ光源 23 への励起電力を遮断しており、電力遮断器 55 が励起電力を遮断するのに要した時間は 1 μsec 未満である。

[0043] 不随意発振防止装置 50A を備えたレーザ装置 1 では、ファイバ光増幅器 21 が励起状態のまま信号光 L_s の入射パワーが大きく減少したときに、波長 1030 nm の利得が発振閾値まで上昇する以前に励起電力が実質的に遮断され、ファイバ光増幅器 21 が意図しない発振を起こすことを抑止できる。本構成形態によれば、ファイバ光増幅器 21 が励起状態においてレーザ光源 11 がオフになった場合に加えて、例えば、レーザ光源 11 や外部変調器 15 の破損や断線、レーザ光源 11 とファイバ光増幅部 21 との間の光路上への異物の進入や光ファイバ 22 の導入部の断線などにより、信号光 L_s の遮断が生じた場合でも、ファイバ光増幅器 21 が意図しない発振を起こすことを防止し、その結果、構成部材が損傷すること等を未然に防止することができる。

[0044] 次に、第 2 構成形態の不随意発振防止装置 50（50B）について図 4 を参照して説明する。図 4 は不随意発振防止装置 50B を含むレーザ装置 2 全体の概要構成を示している。レーザ装置 1 と同様の構成部分には同一番号を付して重複説明を省略する。第 2 構成形態の不随意発振防止装置 50B は、第 1 構成形態の不随意発振防止装置 50A に加えて、ファイバ光増幅器 21 から出射する波長 1030 nm 帯の光を検出する ASE 光検出器 52 を備え

て構成される。

[0045] 図4に示すレーザ装置2においては、レーザ光源11とファイバ光増幅器21との間に、図5に示すような4ポートの 2×2 溶融延伸型の光ファイバカプラ54が設けられ、各ポートに信号光 L_s 、ファイバ光増幅器21、前述の信号光検出器51、及びASE光検出器52が結合されている。光ファイバカプラ54は、例えば分岐比を99:1とし、信号光発生部10側から入射する信号光 L_s の1%を信号光検出器51に分岐し、ファイバ光増幅器21で発生して入射側に進行する後方伝播自然放出光(Backward ASE光)の1%をASE光検出器52に分岐するように構成することができる。図5には波長1030nm帯の後方伝播自然放出光のみを透過するバンドパスフィルタBPFを設けた構成を例示する。

[0046] なお、上記光ファイバカプラ54に代えて、波長1064nmの光について99%透過(1%反射)する一方、波長1030nm帯の光については全反射する波長選択性の部分反射鏡を用い、信号光発生部10側から入射して反射された波長1064nmの反射光を信号光検出器51に入射させ、増幅部20側から入射して反射された波長1030nm帯のASE光をASE光検出器52に入射させるように構成しても良い。あるいは、図6に示すように、波長1064nmの光について99%透過(1%反射)する部分反射鏡541と、波長1064nmの光を透過し波長1030nm帯の光を反射するダイクロイックミラー542とを組み合わせ構成し、両者の間に波長1030nm帯の光を遮断するアイソレータ545を設けて構成しても良い。

[0047] ASE光検出器52は、MHzオーダー、またはそれ以上の帯域を持つ高速の赤外光検出器であり、例えばInGaAsフォトダイオードを利用したセンサを用いることができる。信号光検出器51の検出信号、及びASE光検出器52の検出信号は制御部25に入力されている。なお、信号光検出器51の検出信号に基づく制御部25の作用は、第1構成形態の不随意発振防止装置50Aの説明において詳述したとおりであるため重複説明を省略する。以降、ASE光検出器52の検出信号に基づく制御部25の作用について説明す

る。

[0048] 制御部 25 は、ASE 光検出器 52 により検出された ASE 光の強度が所定の ASE 基準値以上となったときに、電力遮断器 55 に電力供給を抑制する指令信号を出力し、電流源 26 からポンプ光源 23 への励起電力の供給を遮断する。

[0049] 「ASE 基準値」は、ファイバ光増幅器 21 における 1030 nm 帯の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの後方伝播 ASE 光の強度に基づいて設定される。前述したように、Yb の利得分布では波長 1064 nm よりも波長 1030 nm 帯の方が利得が高いため、ファイバ光増幅器 21 が励起状態において、信号光 L_s の入射が途絶えたり、ファイバ光増幅器 21 の外部に何らかの反射体があった場合、自然放出により放射された 1030 nm 付近の ASE 光がこれらの反射体で反射されて増幅器へのフィードバックレベルが高くなる。その結果、ASE 光のパワーレベルが増大する。ファイバ光増幅器 21 の外部の反射体としては、例えば、光ファイバ 22 の入出射面や、ファイバ光増幅器 21 から出射された増幅光を波長変換する波長変換光学素子等の入出射面等の汚れ等が挙げられる。このような場合、実効的にファイバ増幅器の反射減衰量が増加し発振閾値が下がることになる。そして、波長 1030 nm の利得が発振閾値を超えるとファイバ光増幅器 21 において 1030 nm でレーザ発振するようになる。

[0050] 「ASE 基準値」は、ファイバ光増幅器 21 における 1030 nm 帯の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの後方伝播 ASE 光の強度に基づいて設定され、そのときの後方伝播 ASE 光の強度と同等以下、例えば $1/10 \sim 1/100$ 程度に設定される。

[0051] ASE 光検出器 52 により検出された後方伝播 ASE 光の強度が ASE 基準値以上となったのち電力遮断機 55 により励起電力が実質的に遮断されるまでの時間は、波長 1030 nm 帯の利得が発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定され、その時間と同等以下、例えば数分の一程度に設定される。ASE 基準値は、制御部 25 に設けられたメモリ（不図示）に設定記

憶される。

[0052] 図2に、ファイバ光増幅器21が励起状態において、信号光Lsの入射が突然途絶えたときの波長1030nm帯の利得の時間変化についてのシミュレーション結果を示した。図2に示したように、信号光Lsが途切れるとYbの反転分布率が急激に高まり、波長1030nmの利得gが時間の経過とともに指数関数的に増大する。信号光Lsが途切れたのち発振に至るまでの時間は、ファイバ光増幅器21の反射減衰量を-50dBとしたときに約10μsecであった。

[0053] ASE基準値を、波長1030nm帯の光の利得が発振閾値と等しくなるときの後方伝播ASE光の強度の1/50程度としたとき、当該ASE強度を超えたのち発振に至るまでの時間は、概ね5μsec程度である。そのため、後方伝播ASE光の強度がASE基準値以上となったときから2~4μsec程度以内に励起電力を実質的に遮断すれば、反転分布の増大が抑えられ、ファイバ光増幅器21が意図しない発振を起こすことを抑止できる。励起電力を遮断するまでの時間は、制御部25に設けられたメモリ（不図示）に設定記憶される。

[0054] レーザ装置2においては、ASE光検出器52から入力される検出信号がASE基準値以上となったときに、制御部25が電力遮断器55に電力供給を抑制する指令信号を出力し、電流源26からポンプ光源23への励起電力の供給を即時遮断させる。指令信号に基づいて電力遮断器55が励起電力を抑制するまでに要する時間は1μsec未満である。これにより、波長1030nmの利得が発振閾値まで上昇する以前に励起電力が実質的に遮断され、ファイバ光増幅器21が意図しない発振をすることを抑止できる。

[0055] 不随意発振防止装置50Bを備えたレーザ装置2によれば、前述した不随意発振防止装置50Aを備えた場合の効果に加えて、光ファイバ22の入出射面や後段の波長変換光学素子の入出射面の汚れやゴミの付着がある場合や、加工対象物などから反射した自然放出の戻り光がある場合でも、ファイバ光増幅器21が意図しない発振を起こすことによりその構成部材が損傷するこ

と等を未然に防止することができる。更に、ファイバ光増幅器 21 の入射側にファイバカップラ 54 と信号光検出器 51 と ASE 光検出器とを設けた簡明な構成で、安全性及び長期信頼性の高いレーザ装置を提供することができる。

[0056] 以上の説明では、ポンプ光源 23 と電流源 26 との間に設けた電力遮断器 55 によりポンプ光源 23 への供給電力を抑制する構成を例示したが、電流源 26 そのものをオフにするように構成しても良い。また、信号光 λ_s の波長を 1060 nm 帯とし、ファイバ光増幅器 21 としてイッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器 (YDFA) を用いた構成を例示したが、信号光の波長は他の帯域であっても良く、ファイバ光増幅器は他のレーザ媒質がドープされたもの、例えば、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器 (EDFA) などであっても良い。

[0057] [第 2 の形態]

次に、本発明を実施するための第 2 の形態について、図 7 を参照しながら説明する。図 7 に本発明を適用した第 3 構成形態のレーザ装置 3 の概要構成図を示す。レーザ装置 3 は、信号光を発生する信号光発生部 10 と、信号光発生部により発生された信号光を増幅して出射する増幅部 20 と、信号光発生部 10 及び増幅部 20 の作動を制御する制御装置 40 とを備えて構成される。

[0058] 信号光発生部 10 は、増幅部 20 で増幅される信号光を発生する部位であり、半導体レーザやバルク固体レーザ、ファイバーレーザ等のレーザ光源 11 を備える。図 7 には、レーザ光源 11 として DFB 半導体レーザを用い、併せて電気光学変調素子 (EOM) や音響光学変調素子 (AOM)、半導体光増幅器 (SOA) 等の外部変調器 15 を設けた構成を示す。DFB 半導体レーザは、CW 及びパルスで発振させることができるとともに、電流波形を制御することにより出力光のパルス波形を高速で制御することができ、また温度制御することにより所定の波長範囲で狭帯域化された単一波長のパルス光を出力させることができる。

[0059] 本構成形態では、レーザ光源 11 から波長 1064 nm で繰り返し周波数 2 MHz、ON 時間が 10 nsec 程度のパルス光を出射させ、外部変調器 15 により 1 ~ 2 nsec を切り出して ON 時間が短いパルス光を出力するようにした構成例を示す。このように外部変調器 15 を使用すると、レーザ光源 11 を直接パルス発振させたときに発生するチャープ（周波数変調）を抑制してフーリエ限界に近いパルス光を発生させることができる。これにより、信号光発生部 10 から極めて狭帯域の単色性が高いパルスの信号光を出力することができる。信号光発生部 10 で発生された信号光 L_s はアイソレータ 17 を介して増幅部 20 に入射される。

[0060] 増幅部 20 は、信号光 L_s を増幅するファイバ光増幅器 21 を主体として構成される。波長 1064 nm の信号光を増幅するファイバ光増幅器として、1030 ~ 1100 nm の波長帯域に利得を有するイッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器（YDFA）が好適に用いられる。ファイバ光増幅器 21 は、コアにイッテルビウム（Yb）がドープされた光ファイバ 22 と、Yb を励起するポンプ光源 23 と、ポンプ光源 23 に供給する励起電力を制御する制御部 25 などから構成される。

[0061] 本構成形態においては、光ファイバ 22 としてダブルクラッド構造のファイバを用い、ポンプコンバイナ 24 を介して、レーザ光出力部 10 から出力された信号光 L_s をコアに入射させ、ポンプ光源 23 から出力された波長 976 nm の励起光を第 1 クラッドに入射させている。制御部 25 には、励起電力を発生する電流源 26 と、発生された励起電力のポンプ光源 23 への供給を高速遮断する電力遮断器 55 とが設けられている。なお、光ファイバ 22 としてシングルクラッド構造のファイバを用いても良く、また複数のファイバ光増幅器を直列または並列に接続して増幅部 20 を構成しても良い。

[0062] 制御装置 40 は、信号光発生部 10 及び増幅部 20 の作動を制御し、信号光発生部 10 で発生され増幅部 20 において数 W ~ 数十 W 程度のパワーに増幅された信号光（便宜的に増幅光という） L_a をレーザ装置 3 から出力させる。

- [0063] このように構成されるレーザ装置 3 に、ファイバ光増幅器 2 1 が意図しない発振を起こすことを未然に防止する不随意発振防止装置 6 0 (6 0 A) が設けられている。第 3 構成形態の不随意発振防止装置 6 0 A は、ファイバ光増幅器 2 1 から出射する波長 1 0 3 0 n m 帯の光を検出する A S E 光検出器 5 2 と、制御部 2 5 に設けられた電力遮断器 5 5 とを備えて構成される。
- [0064] ここで、ファイバ光増幅器 2 1 において自然放出により発生する A S E 光には、光ファイバ 2 2 を増幅光の出射側に進行する前方伝播自然放出光 (Forward A S E 光) と、信号光の入射側に進行する後方伝播自然放出光 (Backward A S E 光) とがある。光ファイバ 2 2 の出射側から分岐させた光路上に A S E 光検出器を設けた場合には前方伝播自然放出光を検出し、光ファイバ 2 2 の入射側から分岐させた光路上に A S E 光検出器を設けた場合には後方伝播自然放出光を検出することができる。
- [0065] 本構成形態では、後方伝播自然放出光を検出する場合を例示する。図 7 には、レーザ光源 1 1 とファイバ光増幅器 2 1 との間に、波長 1 0 6 4 n m の光を透過し、波長 1 0 3 0 n m 帯の光を反射するダイクロイックミラー 5 6 を設け、このダイクロイックミラー 5 6 により反射された後方伝播自然放出光を A S E 光検出器 5 2 で検出するようにした構成を示す。なお、ダイクロイックミラー 5 6 に代えて WDM カプラを用いても良い。
- [0066] A S E 光検出器 5 2 は、M H z オーダー、またはそれ以上の帯域を持つ高速の赤外光検出器であり、例えば I n G a A s フォトダイオードを利用したセンサを用いることができる。A S E 光検出器 5 2 の検出信号は制御部 2 5 に入力されている。
- [0067] 制御部 2 5 は、A S E 光検出器 5 2 により検出された A S E 光の強度が所定の A S E 基準値以上となったときに、電力遮断器 5 5 に電力供給を抑制する指令信号を出力し、電流源 2 6 からポンプ光源 2 3 への励起電力の供給を実質的に遮断する。
- [0068] 「A S E 基準値」は、ファイバ光増幅器 2 1 における 1 0 3 0 n m 帯の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの後方伝播 A S E 光の強度に基づいて

設定される。前述したように、Ybの利得分布では波長1064nmよりも波長1030nm帯の方が利得が高いため、ファイバ光増幅器21が励起状態において、信号光Lsの入射が途絶えた場合や、ファイバ光増幅器21の外部に何らかの反射体があった場合、自然放出により放射された1030nm付近のASE光がこれらの反射体で反射されて増幅器へのフィードバックレベルが高くなる。その結果、ASE光のパワーレベルが増大する。ファイバ光増幅器21の外部の反射体としては、例えば、光ファイバ22の入出射面や、ファイバ光増幅器21から出射された増幅光を波長変換する波長変換光学素子等の入出射面等の汚れ等が挙げられる。このような場合、実効的にファイバ増幅器の反射減衰量が増加し、発振閾値が下がることになる。そして、波長1030nmの利得が発振閾値を超えると（波長1030nmの片道利得が、ファイバ光増幅器21の反射減衰量を超えると）ファイバ光増幅器21において1030nmでレーザ発振するようになる。

[0069] 「ASE基準値」は、ファイバ光増幅器21における1030nm帯の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの後方伝播ASE光の強度に基づいて設定され、そのときの後方伝播ASE光の強度と同等以下、例えば1/10～1/100程度に設定される。

[0070] ASE光検出器52により検出された後方伝播ASE光の強度がASE基準値以上となったのち電力遮断機55により励起電力が実質的に遮断されるまでの時間は、波長1030nm帯の利得が発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定され、その時間と同等以下、例えば即時～数十分の一以内に設定される。ASE基準値は、制御部25に設けられたメモリ（不図示）に設定記憶される。

[0071] 具体例として、ファイバ光増幅器21に入射する信号光Lsのパワーが0.5W、ポンプ光源23による励起光のパワーが120Wで作動している状態で、ファイバ光増幅器21への信号光Lsの入射が突然途切れたときの、波長1030nm帯の利得の時間変化についてのシミュレーション結果を図8に示す。図8における横軸は信号光Lsの入射が途切れたときからの経過

時間、縦軸は波長 1030 nm の光の利得である。なお、ファイバ光増幅器 21 は、長さ 3 m、コア径 25 μm 、クラッド径 250 μm 、コアに添加された Yb の濃度は $6.9 \times 10^{25} / \text{m}^3$ とした。

[0072] 信号光 L_s が途切れた後もファイバ光増幅器 21 に励起光が入射され続けると、Yb の反転分布率が急激に高まり、波長 1030 nm の利得 g が時間の経過とともに指数関数的に増大する。発振閾値はファイバ光増幅器 21 に残存する反射光量等に依存し、ファイバ光増幅器の構成により異なった値となる。ファイバ光増幅器 21 の反射減衰量を -50 dB とすると、片道利得が 50 dB を超えたときに 1030 nm で発振する。図 8 から、信号光 L_s が途切れた時点から約 10 μsec で発振に至ることが分かる。ファイバ光増幅器 21 の片道利得が反射減衰量を超えるまでの時間は、励起光のパワーにほぼ反比例するため、励起光のポンプパワーが大きければ上記よりも短い時間で発振に至り、ポンプパワーが小さければより長い時間をかけて発振に至ることになる。

[0073] ASE 基準値を、波長 1030 nm 帯の光の利得が発振閾値と等しくなる時の後方伝播 ASE 光の強度の $1/50$ 程度としたとき、当該 ASE 強度を超えたのち発振に至るまでの時間は、概ね 5 μsec 程度である。そのため、後方伝播 ASE 光の強度が ASE 基準値以上となったときから 2~4 μsec 程度以内に励起電力を実質的に遮断すれば、反転分布の増大が抑えられ、ファイバ光増幅器 21 が意図しない発振を起こすことを抑止できる。

[0074] レーザ装置 3 においては、ASE 光検出器 52 から入力される検出信号が ASE 基準値以上となったときに、制御部 25 が電力遮断器 55 に電力供給を抑制する指令信号を出力し、電流源 26 からポンプ光源 23 への励起電力の供給を即時抑制させる。指令信号に基づいて電力遮断器 55 が励起電力を抑制する時間は 1 μsec 未満である（励起電力の抑制時間については後述する）。これにより、波長 1030 nm の利得が発振閾値まで上昇する以前に励起電力が抑制され、意図しない発振を抑止することができる。励起電力を遮断するまでの時間は、制御部 25 に設けられたメモリ（不図示）に設定記憶

される。

[0075] 不随意発振防止装置 60A を備えたレーザ装置 3 によれば、光ファイバ 2 の入出射面や後段の波長変換光学素子の入出射面の汚れやゴミの付着がある場合や、加工対象物などから反射した自然放出の戻り光がある場合でも、ファイバ光増幅器 21 が意図しない発振を起こすことより構成部材が損傷すること等を未然に防止することができる。

[0076] 次に、第 4 構成形態の不随意発振防止装置 60 (60B) について図 9 を参照して説明する。図 9 は不随意発振防止装置 60B を含むレーザ装置 4 全体の概要構成を示している。レーザ装置 3 と同様の構成部分には同一番号を付して重複説明を省略する。第 4 構成形態の不随意発振防止装置 60B は、第 3 構成形態の不随意発振防止装置 60A に加えて、ファイバ光増幅器 21 に伝播する信号光 L_s を検出する信号光検出器 51 を備えて構成される。

[0077] 図 9 に示すレーザ装置 4 においては、レーザ光源 11 とファイバ光増幅器 21 との間に、図 10 に示すような 4 ポートの 2×2 溶融延伸型の光ファイバカプラ 54 が設けられ、各ポートに信号光 L_s 、ファイバ光増幅器 21、信号光検出器 51、及び前述した ASE 光検出器 52 が結合されている。光ファイバカプラ 54 は、例えば分岐比を 99 : 1 とし、信号光発生部 10 側から入射する信号光 L_s の 1 % を信号光検出器 51 に分岐し、ファイバ光増幅器 21 で発生して入射側に進行する後方伝播自然放出光の 1 % を ASE 光検出器 52 に分岐するように構成することができる。図 10 には波長 1030 nm 帯の後方伝播自然放出光のみを透過するバンドパスフィルタ BPF を設けた構成を例示する。

[0078] なお、上記光ファイバカプラ 54 に代えて、波長 1030 nm 帯の光については全反射する一方、波長 1064 nm の光については 99 % 透過し 1 % 反射するような波長選択性の部分反射鏡を用い、信号光発生部 10 側から入射して反射された波長 1064 nm の反射光を信号光検出器 51 に入射させ、増幅部 20 側から入射して反射された波長 1030 nm 帯の ASE 光を ASE 光検出器 52 に入射させるように構成しても良い。あるいは、図 11 に示

すように、波長1064nmの光について99%透過（1%反射）する部分反射鏡541と、波長1064nmの光を透過し波長1030nm帯の光を反射するダイクロイックミラー542とを組み合わせ構成し、両者の間に波長1030nm帯の光を抑制するアイソレータ545を設けて構成しても良い。

[0079] 信号光検出器51は、MHzオーダー、またはそれ以上の帯域を持つ高速の赤外光センサであり、例えばInGaAsフォトダイオードを利用したセンサを用いることができる。信号光検出器51の検出信号、及びASE光検出器52の検出信号は制御部25に入力されている。なお、ASE光検出器52の検出信号に基づく制御部25の作用は、第1構成形態の不随意発振防止装置50Aの説明において詳述したとおりであるため重複説明を省略する。以降、信号光検出器51の検出信号に基づく制御部25の作用について説明する。

[0080] 制御部25は、信号光検出器51により検出された信号光Lsの強度が所定の信号基準値以下となったときに、電力遮断器55に電力供給を抑制する指令信号を出力し、電流源26からポンプ光源23への励起電力の供給を遮断する。

[0081] 「信号基準値」は、ファイバ光増幅器21が励起状態で光ファイバ22に入射する信号光Lsの強度が低下したときに、これに伴って上昇する波長1030nm帯域の利得の大きさに基づいて設定される。

[0082] すなわち、ファイバ光増幅器21が励起状態のときに、光ファイバ22に入射する信号光Lsの強度が低下すると、信号光強度の低下に伴ってYbの反転分布率が上昇し、利得分布全体が利得の高い状態に上昇する。このとき、利得分布において波長1064nmよりも波長1030nm帯の方が利得が高くなり、その結果、上昇した波長1030nmの利得が発振閾値を超えると、ファイバ光増幅器21において1030nmでレーザ発振するようになる。

[0083] 「信号基準値」は、ファイバ光増幅器21に入射する信号光Lsの強度低

下に伴って上昇する利得分布において、 1030 nm 帯の利得が発振閾値と等しくなるときの信号光の強度に基づいて設定される。例えば、信号光 L_s の強度と同等または所定のマージンを加えた値以上に設定される。信号基準値は、制御部25に設けられたメモリ（不図示）に設定記憶される。

[0084] 信号光検出器51により検出された信号光 L_s の強度が信号基準値以下となったのち電力遮断機55により励起電力が実質的に遮断されるまでの時間は、ファイバ光増幅器21に入射する信号光 L_s の強度低下に伴って上昇する利得分布において、 1030 nm 帯の利得が発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定され、その時間と同等以下、例えばその時間の数分の一程度に設定される。設定された時間は、制御部25に設けられたメモリ（不図示）に設定記憶される。

[0085] 図8にファイバ光増幅器21が励起状態において、信号光 L_s の入射が突然途絶えたときの波長 1030 nm 帯の利得の時間変化についてのシミュレーション結果を示した。図8に示したように、信号光 L_s が途切れると Y_b の反転分布率が急激に高まり、波長 1030 nm の利得 g が時間の経過とともに指数関数的に増大する。信号光 L_s が途切れたのち発振に至るまでの時間は、ファイバ光増幅器21の反射減衰量を -50 dB としたときに約 $10\text{ }\mu\text{sec}$ であった。

[0086] ファイバ光増幅器21の片道利得が反射減衰量を超えるまでの時間は、励起光のパワーにほぼ反比例するため、励起光のパワーがより大きい場合には、より短い時間で発振に至り、励起光のパワーがより小さい場合には、より長い時間をかけて発振に至ることになる。信号光 L_s の入射パワーが大きく減少したときから $6\sim 8\text{ }\mu\text{sec}$ 程度以内に励起電力を実質的に遮断すれば、反転分布の増大が抑えられ、ファイバ光増幅器21が意図しない発振を起こすことを抑止できる。

[0087] 不随意発振防止装置60Bにおいては、信号光検出器51から入力される検出信号が信号基準値以下となった場合に、制御部25が電力遮断器55に電力供給を抑制する指令信号を出力し、電流源26からポンプ光源23への

励起電力の供給を数 μsec 以内に抑制させる。具体例として、信号光検出器 51 から入力される検出信号において、光パルス 2 ～ 6 パルス分に相当する 1 ～ 3 μse の時間（例えば、4 パルス分に相当する 2 μse の時間）、信号光 L_s が検出されなかったときに、ポンプ光源 23 への励起電力の供給を即時抑制する構成が例示される。

[0088] 図 12 に、不随意発振防止装置による励起電流の遮断状況を観察した実験結果を示す。図 12 における横軸は時間（1 $\mu\text{sec}/\text{div}$ ）、縦軸は励起電力及び信号光 L_s の光強度である。本実施例では、光パルス 4 パルス分に相当する 2 μse の間途切れたのを確認後にポンプ光源 23 への励起電力を遮断しており、電力遮断器 55 が励起電力を遮断するのに要した時間は 1 μsec 未満である。

[0089] 不随意発振防止装置 60B を備えたレーザ装置 4 では、ファイバ光増幅器 21 が励起状態のまま信号光 L_s の入射パワーが大きく減少したときに、波長 1030 nm の利得が発振閾値まで上昇する以前に励起電力が実質的に遮断され、ファイバ光増幅器 21 が意図しない発振を起こすことを抑止できる。本構成形態によれば、前述した不随意発振防止装置 60A を備えた場合の効果に加え、ファイバ光増幅器 21 が励起状態でレーザ光源 11 がオフになった場合に加えて、例えば、レーザ光源 11 や外部変調器 15 の破損や断線、レーザ光源 11 とファイバ光増幅部 21 との間の光路上への異物の進入や光ファイバ 22 の導入部の断線などにより、信号光 L_s の遮断が生じた場合でも、ファイバ光増幅器 21 が意図しない発振を起こすことを防止し、その結果、構成部材が損傷すること等を未然に防止することができる。更に、ファイバ光増幅器 21 の入射側にファイバカプラ 54 と信号光検出器 51 と ASE 光検出器とを設けた簡明な構成で、安全性及び長期信頼性の高いレーザ装置を提供することができる。

[0090] 以上の説明では、ポンプ光源 23 と電流源 26 との間に設けた電力遮断器 55 によりポンプ光源 23 への供給電力を抑制する構成を例示したが、電流源 26 そのものをオフにするように構成しても良い。また、信号光 L_s の波

長を1060nm帯とし、ファイバ光増幅器21としてイッテルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器(YDFA)を用いた構成を例示したが、信号光の波長は他の帯域であっても良く、ファイバ光増幅器は他のレーザ媒質がドープされたもの、例えば、エルビウム・ドープ・ファイバ光増幅器(EDFA)などであっても良い。

[0091] 上記の通り、種々の実施の形態および変形例を説明したが、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。

[0092] 次の優先権基礎出願の開示内容は引用文としてここに組み込まれる。

日本国出願2011年第009122号(2011年1月19日)

日本国出願2011年第009126号(2011年1月19日)

請求の範囲

[請求項1]

レーザ装置であって、

信号光を含む波長帯域で利得を有し信号光を増幅して出射するファイバ光増幅器と、

前記ファイバ光増幅器を励起するための励起電力を制御する制御部と、

前記ファイバ光増幅器に伝播される信号光を検出する信号光検出器か、または、前記ファイバ光増幅器から出射する、前記ファイバ光増幅器の利得分布における前記信号光よりも利得が高い波長の光を検出するASE光検出器を備え、

前記信号光検出器により検出された信号光の強度が所定の信号基準値以下となったときか、または、前記ASE光検出器により検出された自然放出光の強度が所定のASE基準値以上となったときに、前記制御部は、前記ファイバ光増幅器を励起するための前記励起電力を抑制するレーザ装置。

[請求項2]

レーザ装置であって、

信号光を含む波長帯域で利得を有し信号光を増幅して出射するファイバ光増幅器と、

前記ファイバ光増幅器に伝播される信号光を検出する信号光検出器と、

前記ファイバ光増幅器を励起するための励起電力を制御する制御部とを備え、

前記制御部は、前記信号光検出器により検出された信号光の強度が所定の信号基準値以下となったときに、前記ファイバ光増幅器を励起するための前記励起電力を抑制するレーザ装置。

[請求項3]

請求項1または2に記載のレーザ装置において前記所定の信号基準値は、前記ファイバ光増幅器に伝播される信号光の強度低下に伴って上昇する前記ファイバ光増幅器の利得分布における、前記信号光より

も利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの前記信号光の強度に基づいて設定されるレーザ装置。

[請求項4] 請求項1～3のいずれか一項に記載のレーザ装置において、前記信号光検出器により検出された信号光の強度が前記所定の信号基準値以下となったのち前記励起電力が抑制されるまでの時間は、前記ファイバ光増幅器に入射する信号光の強度低下に伴って上昇する前記ファイバ光増幅器の利得分布における、前記信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定されるレーザ装置。

[請求項5] 請求項1～4のいずれか一項に記載のレーザ装置において、前記ファイバ光増幅器から出射する、前記ファイバ光増幅器の利得分布における前記信号光よりも利得が高い波長の光を検出するASE光検出器を備え、前記制御部は、前記ASE光検出器により検出された自然放出光の強度が所定のASE基準値以上となったときに、前記励起電力を抑制するレーザ装置。

[請求項6] 請求項5に記載のレーザ装置において、前記所定のASE基準値は、前記ファイバ光増幅器における前記信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの自然放出光の強度に基づいて設定されるレーザ装置。

[請求項7] 請求項5または6に記載のレーザ装置において、前記ASE光検出器により検出された自然放出光の強度が前記所定のASE基準値以上となったのち前記励起電力が抑制されるまでの時間は、前記ファイバ光増幅器における前記信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定されるレーザ装置。

[請求項8] 請求項5～7のいずれか一項に記載のレーザ装置において、前記ASE光検出器は前記ファイバ光増幅器における信号光の入射側に設けられ、前記ファイバ光増幅器を入射側に向かう後方伝搬自然放出光を検出するレーザ装置。

- [請求項9] レーザ装置であって、
信号光を含む波長帯域で利得を有し信号光を増幅して出射するファイバ光増幅器と、
前記ファイバ光増幅器から出射する、前記ファイバ光増幅器の利得分布における前記信号光よりも利得が高い波長の光を検出するASE光検出器と、
前記ファイバ光増幅器の励起電力を制御する制御部とを備え、
前記制御部は、前記ASE光検出器により検出された自然放出光の強度が所定のASE基準値以上となったときに、前記ファイバ光増幅器を励起するための前記励起電力を抑制するレーザ装置。
- [請求項10] 請求項1または9に記載のレーザ装置において、前記所定のASE基準値は、前記ファイバ光増幅器における前記信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの自然放出光の強度に基づいて設定されるレーザ装置。
- [請求項11] 請求項1、9および10のいずれか一項に記載のレーザ装置において、前記ASE光検出器により検出された自然放出光の強度が前記所定のASE基準値以上となったのち前記励起電力が抑制されるまでの時間は、前記ファイバ光増幅器における前記信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定されるレーザ装置。
- [請求項12] 請求項1および9～11のいずれか一項に記載のレーザ装置において、前記ASE光検出器は前記ファイバ光増幅器における信号光の入射側に設けられ、前記ファイバ光増幅器を入射側に向かう後方伝搬自然放出光を検出するレーザ装置。
- [請求項13] 請求項1および9～12のいずれか一項に記載のレーザ装置において、前記ファイバ光増幅器に入射する信号光を検出する信号光検出器を備え、前記制御部は、前記信号光検出器により検出された信号光の強度が所定の信号基準値以下となったときに、前記励起電力を抑制す

るように構成されるレーザ装置。

[請求項14] 請求項13に記載のレーザ装置において、前記所定の信号基準値は、前記ファイバ光増幅器に入射する信号光の強度低下に伴って上昇する前記ファイバ光増幅器の利得分布における、前記信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるときの前記信号光の強度に基づいて設定されるレーザ装置。

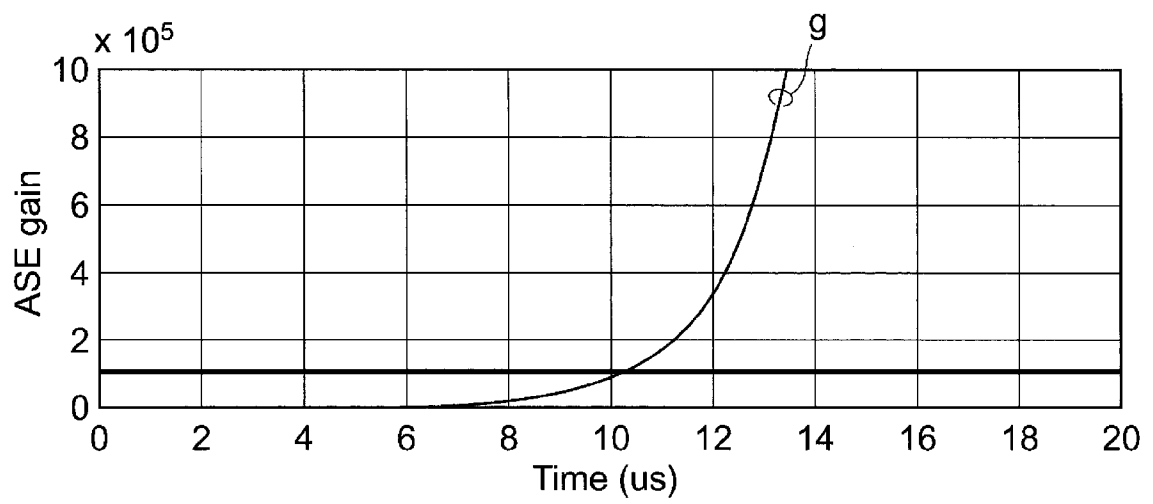
[請求項15] 請求項13または14に記載のレーザ装置において、前記信号光検出器により検出された信号光の強度が前記所定の信号基準値以下となったのち前記励起電力が抑制されるまでの時間は、前記ファイバ光増幅器に入射する信号光の強度低下に伴って上昇する前記ファイバ光増幅器の利得分布における、前記信号光よりも利得が高い波長の光の利得が、発振閾値と等しくなるまでの時間に基づいて設定されるレーザ装置。

[請求項16] 請求項5～8および12～15に記載のいずれか一項に記載のレーザ装置において、前記ファイバ光増幅器の入射側に4つのポートを有する光ファイバカプラが設けられ、前記4つのポートに、前記信号光、前記ファイバ光増幅器、前記信号光検出器、及び前記ASE光検出器が接続されて構成されるレーザ装置。

[請求項17] 請求項1～16のいずれか一項に記載のレーザ装置において、前記ファイバ光増幅器はイットリビウムをレーザ媒質とするイットリビウム・ドープ・ファイバ光増幅器であり、前記信号光の波長は1.06 μm 帯であるレーザ装置。

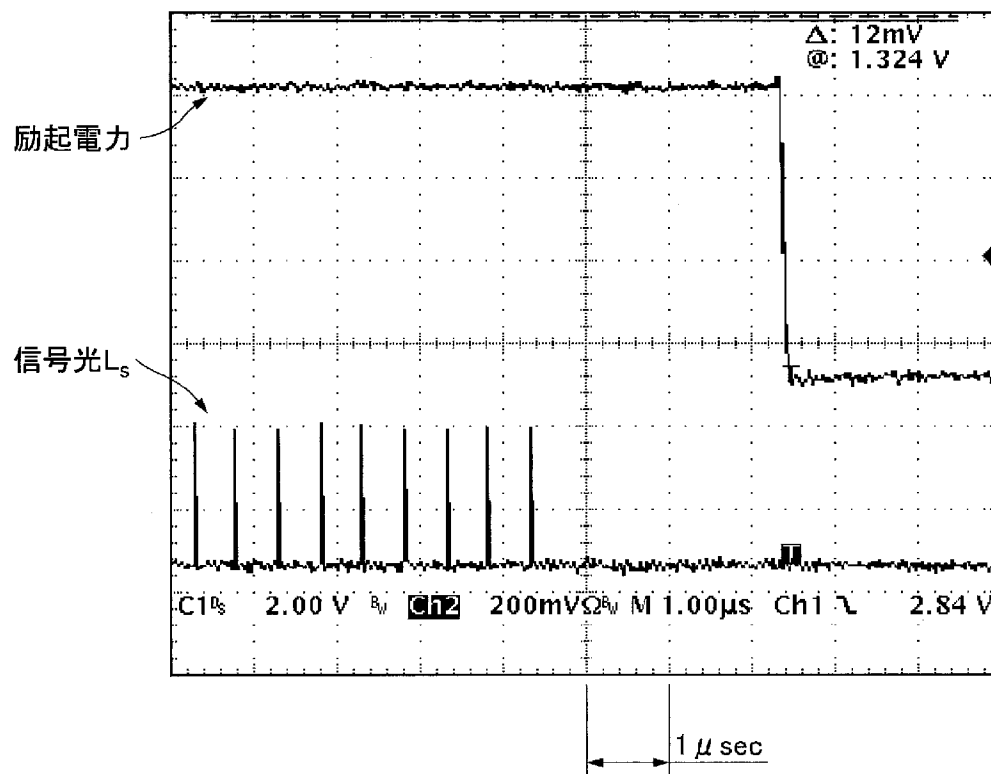
[図2]

【図 2】



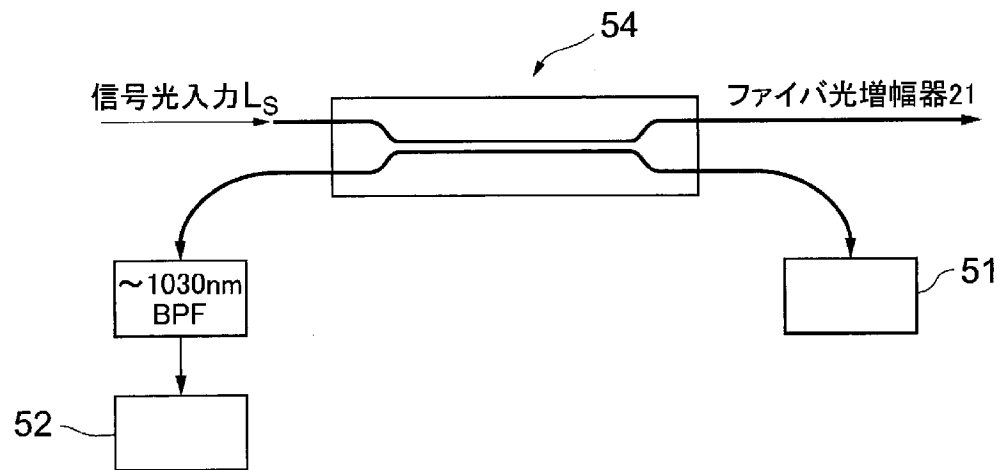
[図3]

【図3】



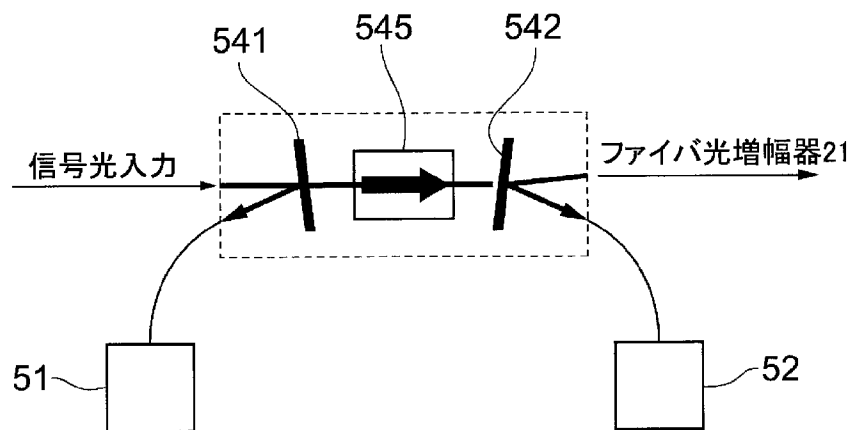
[図5]

【図 5】

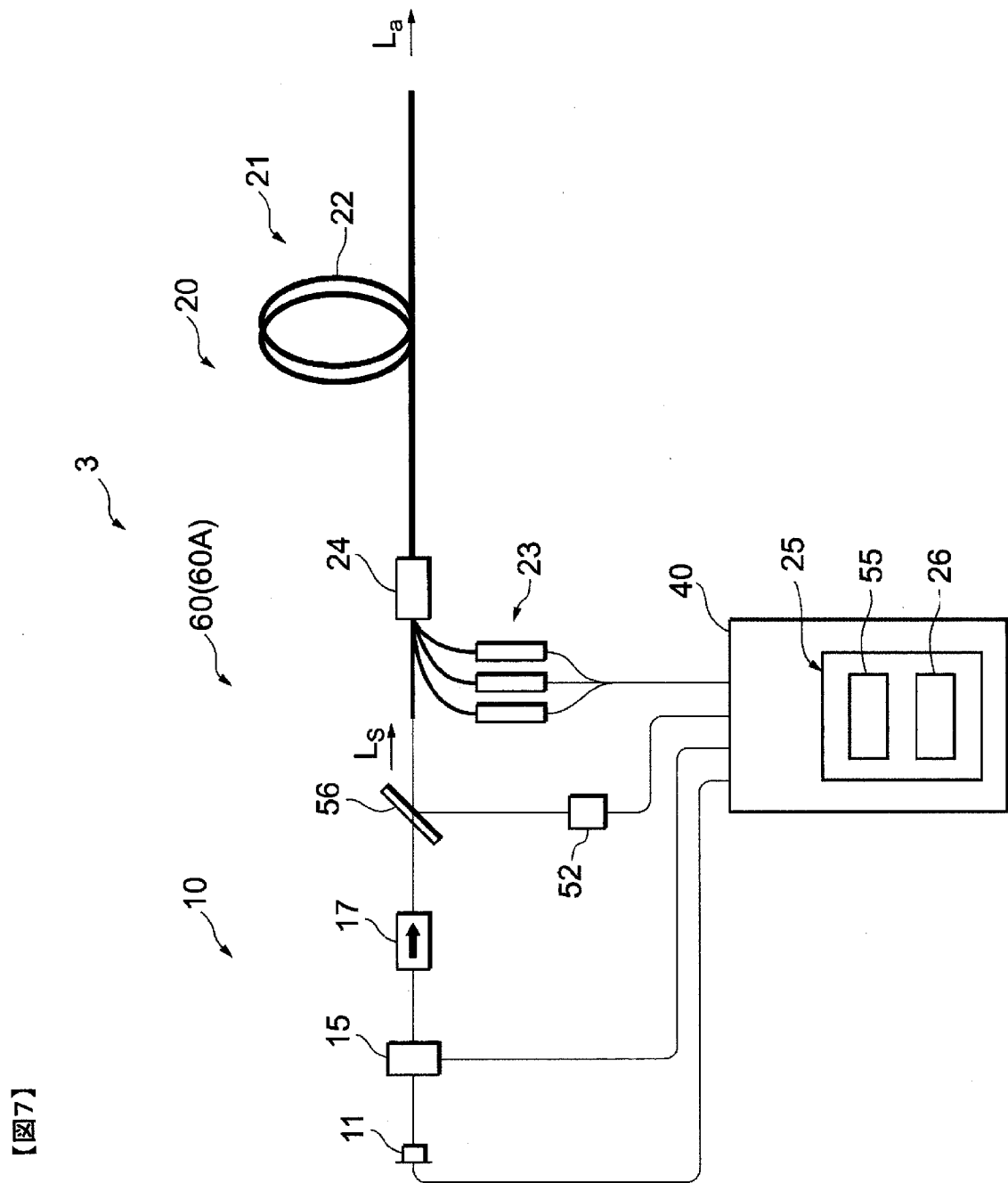


[図6]

【図 6】

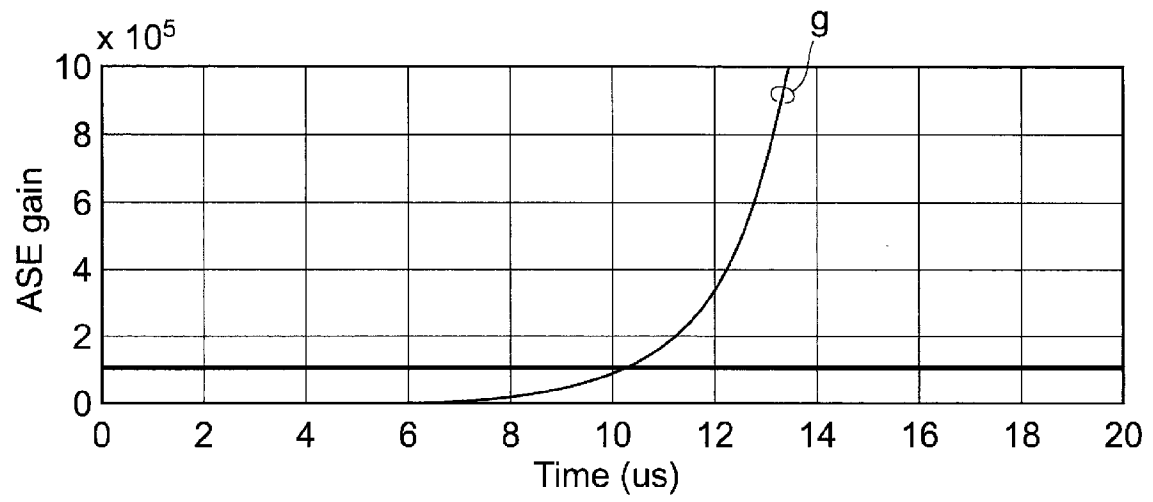


【図7】

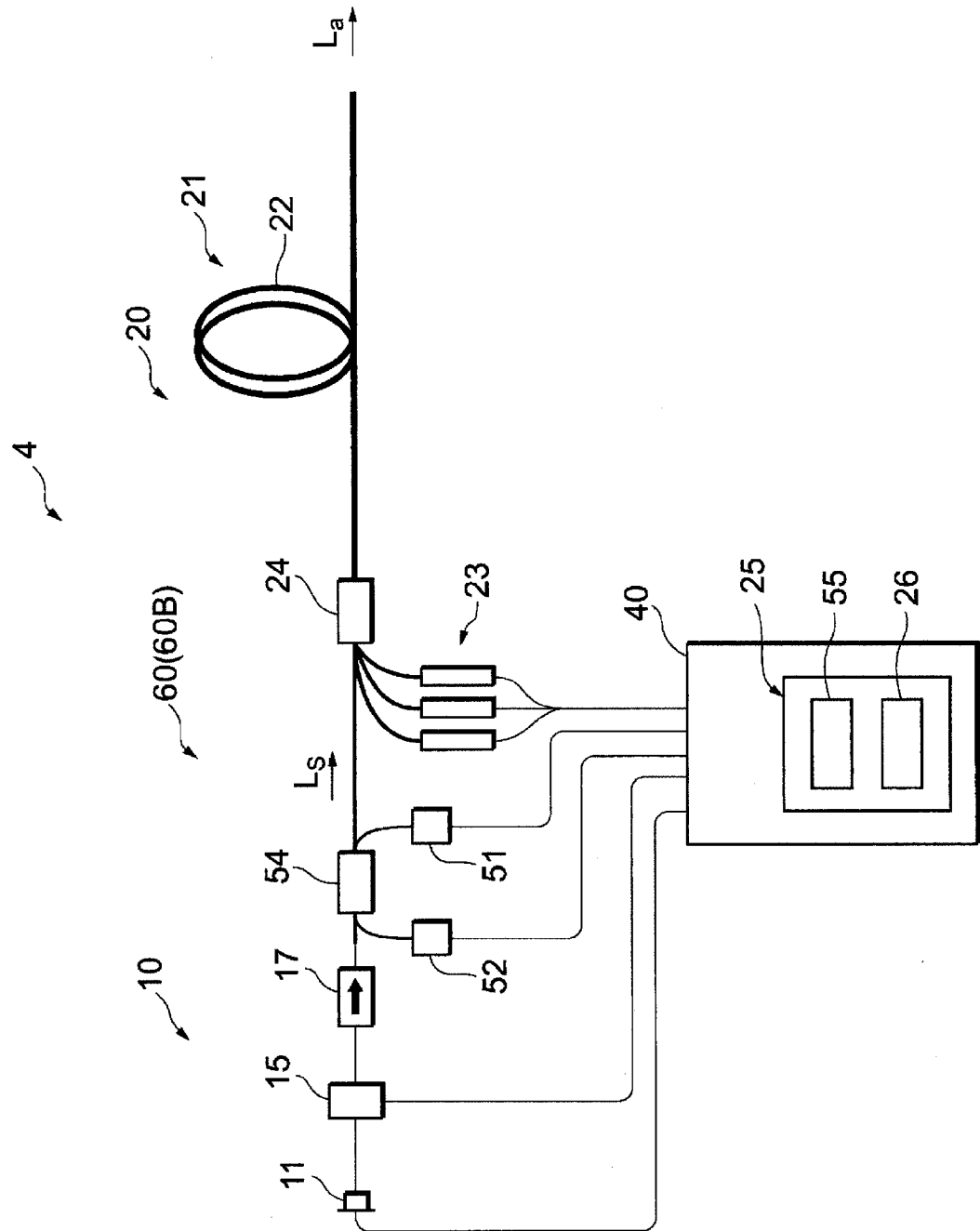


[図8]

【図8】

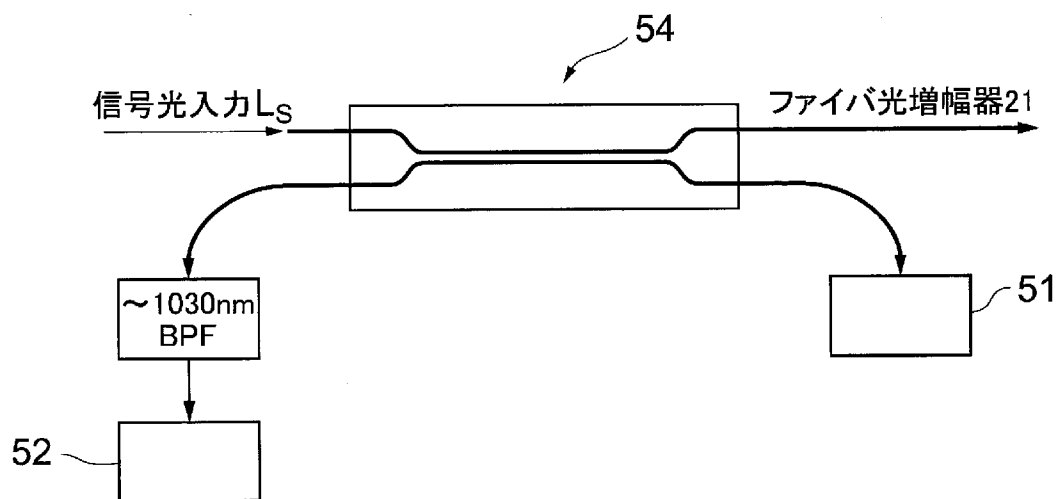


【図9】



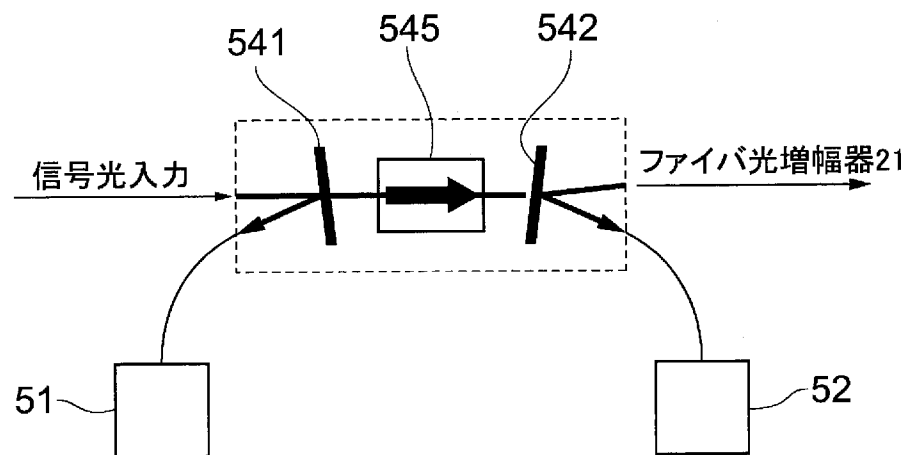
[図10]

【図10】



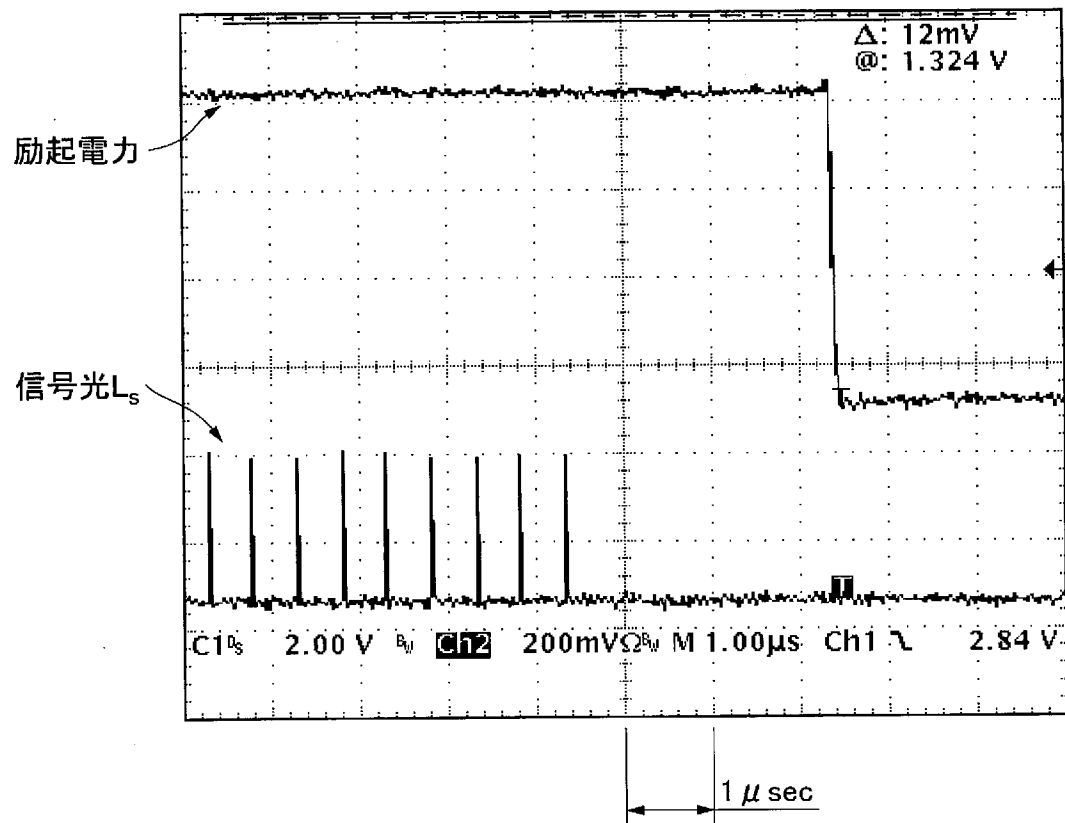
[図11]

【図11】



[図12]

【図12】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/050963

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/10(2006.01)i, H04B10/08(2006.01)i, H04B10/16(2006.01)i, H04B10/17(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)

H01S3/06-3/139, H04B10/00-10/28

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 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 4-68830 A (Fujitsu Ltd.), 04 March 1992 (04.03.1992), entire text; all drawings (Family: none)	1-4, 17 5-8, 13-17
X Y	JP 5-130043 A (Pirelli Cavi S.p.A.), 25 May 1993 (25.05.1993), entire text; all drawings & US 5355250 A & EP 507367 A1 & DE 69222881 T2	1-4, 17 5-8, 13-17
X Y	JP 5-206557 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 13 August 1993 (13.08.1993), entire text; all drawings & US 5589975 A & EP 515179 A2 & DE 69229893 T2	1-4, 17 5-8, 13-17

☒ 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
28 February, 2012 (28.02.12)Date of mailing of the international search report
06 March, 2012 (06.03.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/050963

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 6-120899 A (Alcatel N.V.), 28 April 1994 (28.04.1994), entire text; all drawings & US 5475521 A & EP 569769 A1 & DE 4215338 A1	1-4, 17 5-8, 13-17
X Y	JP 2007-294931 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 08 November 2007 (08.11.2007), paragraphs [0004] to [0007], [0028], [0041] to [0042], [0044] to [0047]; fig. 10 to 11 & US 2008/0130101 A1	1, 9-12, 17 5-8, 13-17
A	JP 10-51395 A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), 20 February 1998 (20.02.1998), entire text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 8-65249 A (Fujitsu Ltd.), 08 March 1996 (08.03.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-17

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/10(2006.01)i, H04B10/08(2006.01)i, H04B10/16(2006.01)i, H04B10/17(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. H01S3/06-3/139, H04B10/00-10/28

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

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 4-68830 A（富士通株式会社） 1992.03.04, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-4, 17 5-8, 13-17
X Y	JP 5-130043 A（ピレリー・カビ・ソチエタ・ペル・アツイオーニ） 1993.05.25, 全文, 全図 & US 5355250 A & EP 507367 A1 & DE 69222881 T2	1-4, 17 5-8, 13-17

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 8 . 0 2 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 6 . 0 3 . 2 0 1 2

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）

日夏 貴史

2 K

9 4 1 1

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
X Y	JP 5-206557 A (古河電気工業株式会社) 1993.08.13, 全文, 全図 & US 5589975 A & EP 515179 A2 & DE 69229893 T2	1-4, 17 5-8, 13-17
X Y	JP 6-120899 A (アルカテル・エヌ・ブイ) 1994.04.28, 全文, 全図 & US 5475521 A & EP 569769 A1 & DE 4215338 A1	1-4, 17 5-8, 13-17
X Y	JP 2007-294931 A (住友電気工業株式会社) 2007.11.08, 段落【0004】 - 【0007】, 【0028】, 【0041】 - 【0042】, 【0044】 - 【0047】, 図 10-11 & US 2008/0130101 A1	1, 9-12, 17 5-8, 13-17
A	JP 10-51395 A (沖電気工業株式会社) 1998.02.20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 8-65249 A (富士通株式会社) 1996.03.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17