

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7009412号

(P7009412)

(45)発行日 令和4年2月10日(2022.2.10)

(24)登録日 令和4年1月14日(2022.1.14)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 S	3/067(2006.01)	H 0 1 S	3/067
H 0 1 S	3/098(2006.01)	H 0 1 S	3/098
H 0 1 S	3/083(2006.01)	H 0 1 S	3/083
H 0 1 S	3/0941(2006.01)	H 0 1 S	3/0941
G 0 2 B	6/02 (2006.01)	G 0 2 B	6/02 3 7 6

請求項の数 9 外国語出願 (全10頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2019-92513(P2019-92513)	(73)特許権者	509094034
(22)出願日	令和1年5月16日(2019.5.16)		オーエフエス ファイテル, エルエルシー
(65)公開番号	特開2019-201208(P2019-201208 A)		アメリカ合衆国 3 0 0 7 1 ジョージア
(43)公開日	令和1年11月21日(2019.11.21)		, ノアクロス, ノースイースト エクス
審査請求日	令和1年9月30日(2019.9.30)	(74)代理人	100094112
(31)優先権主張番号	62/673,219		弁理士 岡部 譲
(32)優先日	平成30年5月18日(2018.5.18)	(74)代理人	100106183
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		弁理士 吉澤 弘司
(31)優先権主張番号	16/200,810	(74)代理人	100114915
(32)優先日	平成30年11月27日(2018.11.27)		弁理士 三村 治彦
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100125139
			弁理士 岡部 洋
		(72)発明者	ジェフリー ダブリュ. ニコルソン
			アメリカ合衆国 0 7 0 5 9 ニュージャ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 自己起動型受動モードロック8の字ファイバレーザ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

受動モードロック8の字ファイバレーザであって、
 2×2中央カブラによってともに結合されて8の字構成をなす一方向ファイバループ及び
 双方向ファイバループミラーを備え、
 前記一方向ファイバループが、
 希土類ドーブファイバの部分と、
 前記希土類ドーブファイバの部分に結合されてファイバループを形成するシングルモード
 ファイバの部分と、
 伝搬する光信号を増幅するために前記希土類ドーブファイバにポンプビームを導入するた
 めに前記希土類ドーブファイバの部分の入力端に配置された入力カブラと、
 前記受動モードロック8の字ファイバレーザによって生成される光パルスを外結合する
 ために前記シングルモードファイバの部分に沿って配置された出力カブラと、
 前記シングルモードファイバの部分に沿って配置されたバンドパスフィルタと
 を備え、
 前記双方向ファイバループミラーが、
 シングルモードファイバの部分と、
 前記シングルモードファイバの部分に結合されてループミラーを形成するラマンファイバ
 の部分であって、伝搬する前記光信号に対する既知の分散値に影響を与えるように選択さ
 れた所定長Lを有するラマンファイバの部分と

を備え、

前記 2 × 2 中央カプラは結合比によって規定され、出力として光パルスを生成するために受動モードロック低ノイズモードに自己起動するように構成され、前記 8 の字ファイバレーザはさらに、前記 2 × 2 中央カプラの前記結合比、前記出力カプラの前記結合比、前記シングルモードファイバ及びラマンファイバの部分に関連する累積分散に基づく前記 8 の字ファイバレーザの累積群速度分散 (GVD) 並びに前記バンドパスフィルタの特性からなるグループから選択される 1 以上の動作パラメータを制御することによって低ノイズモードで自己起動するように構成され、

前記 2 × 2 中央カプラは 0 . 1 7 から 0 . 2 3 の範囲内の結合比を呈するように構成され、前記出力カプラは 0 . 3 5 から 0 . 5 5 の範囲内の結合比を呈するように構成され、前記 GVD は 0 . 2 7 から 0 . 3 0 p s ² の範囲内である、
受動モードロック 8 の字ファイバレーザ。

【請求項 2】

前記動作パラメータのグループは、前記希土類ドープファイバに入力される初期高パワーポンプを搬送するようにポンプレーザダイオードに印加される初期駆動電流をさらに含む、請求項 1 に記載の受動モードロック 8 の字ファイバレーザ。

【請求項 3】

前記一方向ファイバグループ内で前記希土類ドープファイバの部分の前記出力に配置された光アイソレータをさらに備える、請求項 1 に記載の受動モードロック 8 の字ファイバレーザ。

【請求項 4】

前記 2 × 2 中央カプラは、0 . 1 7 から 0 . 2 3 の範囲内の結合比を呈するように構成された、請求項 1 に記載の受動モードロック 8 の字ファイバレーザ。

【請求項 5】

前記出力カプラは、0 . 3 5 から 0 . 5 5 の範囲内の結合比を呈するように構成された、請求項 1 に記載の受動モードロック 8 の字ファイバレーザ。

【請求項 6】

前記ラマンファイバの部分は、10メートルを超える長さ L を有する、請求項 1 に記載の受動モードロック 8 の字ファイバレーザ。

【請求項 7】

前記一方向ファイバグループは、希土類ドープ偏波保持ファイバの部分及び偏波保持シングルモードファイバの部分を備える、請求項 1 に記載の受動モードロック 8 の字ファイバレーザ。

【請求項 8】

前記双方向ファイバグループミラーは、偏波保持シングルモードファイバの部分及び偏波保持ラマンファイバの部分を備える、請求項 1 に記載の受動モードロック 8 の字ファイバレーザ。

【請求項 9】

前記一方向ファイバグループは、希土類ドープ偏波保持ファイバの部分及び偏波保持シングルモードファイバの部分を備え、

前記双方向ファイバグループミラーは、偏波保持シングルモードファイバの部分及び偏波保持ラマンファイバの部分を備える、

請求項 1 に記載の受動モードロック 8 の字ファイバレーザ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、2018年5月18日出願の米国仮特許出願第 62 / 673219 号の利益を主張し、参照によりここに取り込まれる。

【0002】

10

20

30

40

50

本発明は、ファイバベースの光レーザに関し、より詳細には、超短パルス生成のための低ノイズモードに自己起動するように具体的に構成された受動モードロック 8 の字ファイバレーザに関する。

【背景技術】

【0003】

ファイバベースのレーザは、超短光パルスを生成する際のそれらの有用性のために周知である。特に、ファイバベースのレーザキャビティにおける速い可飽和吸収体としての非線形ループミラー（すなわち、8 の字）設計の使用は、超短パルス生成のための十分に確立された技術である。

【0004】

しかし、8 の字設計は通常、光パルスの連続トレインを生成するために必要となるようなレーザキャビティのモードロック動作をキックスタートさせる何らかの摂動の使用を必要とする。「自己起動型」動作（すなわち、レーザの手動操作がモードロックを開始することを要することを回避すること）は、通常、キャビティ反復率における何らかの変調、より多くの厳格な位相制御を含むキャビティ構成の意図的な設計、又は 2 つのループ間でゲインを均衡化する追加のポンプダイオードなどの何らかのタイプの追加の機能を必要とする。現在のところ、余分な（通常は高価な）部品を基本的な 8 の字設計に付加することなく自己起動型モードロックを実現することは難しい。

【0005】

さらに、8 の字構造内でモードロックすることによって生成される可能なモードの全てが等しく望まれるわけではなく、8 の字レーザは無用なモードにモードロックすることになる事例があった。例えば、ファイバキャビティ内での分散管理における試行（所望の目的）は、多数の異なるレジーム及び物理的効果を活用してソリトン、分散ソリトン、伸長パルス、シミラリトンなどとして拳動するパルスを生成し得る。アプリケーションに応じて、ある場合にはこれらのモードの幾つかは望ましいものとなり得るが、他は不適切なものとなる。さらに、ロックはするが、8 の字レーザキャビティを介した周回から次の周回まで位相及び振幅の大きな変動を示す多様なモード（「ノイジー」モードという）が存在する。ほとんどのアプリケーションについて、振幅又は反復率が過度に変動可能なパルスは、パルストレインソースとするほどには安定しない。

【発明の概要】

【0006】

自己起動型 8 の字ファイバレーザを提供することに関する種々の問題が本発明によって対処され、それは、これに限定されないが、2 つのループ間の結合比、8 の字構造体内での累積分散及びキャビティに存在するパワー量を含む 1 以上の動作パラメータを制御することによって低ノイズモードに自己起動するように具体的に構成された 8 の字ファイバレーザに関する。

【0007】

本発明の 1 以上の実施形態によると、自己起動型受動モードロック 8 の字レーザはまた、最初にポンプパワーをそのレーザ発振閾値以上に増加させることによって自己起動するように作製され得る。レーザが低ノイズレーザ発振モードに移行することを確実にするように、一方向ループにおける何らかの損失源（例えば、タップカブラ）とともにバンドパスフィルタを含むことが見出された。

【0008】

本発明の例示の実施形態は、2 つのループ間に配された 2×2 中央カブラによってともに結合されて 8 の字構成を生成する一方向ファイバループ及び双方向ファイバループミラーを備えた受動モードロック 8 の字ファイバレーザの形態をとる。一方向ファイバループ自体は、以下の要素：希土類ドープファイバの部分と、希土類ドープファイバの部分に結合されてファイバループを形成するシングルモードファイバの部分と、そこを伝搬する光信号を増幅するために希土類ドープファイバにポンプビームを導入するための希土類ドープファイバの部分の入力端に配置された入力カブラと、受動モードロック 8 の字ファイバレ

10

20

30

40

50

ーザによって生成される光パルスを外結合するためにシングルモードファイバの部分に沿って配置された出力カプラと、シングルモードファイバの部分に沿って配置されたバンドパスフィルタとを備える。双方向ファイバルーブミラー自体は、シングルモードファイバの部分と、ファイバの部分に結合されてルーブミラーを形成するラマンファイバの部分とを備える。8の字ファイバレーザは、中央カプラの結合比（すなわち、おそらくは追加の損失要素との組合せにおける、それがキャビティに寄与する損失）、出力カプラの結合比、シングルモードファイバ及びラマンファイバの部分に関連する累積分散に基づく8の字ファイバレーザの累積群速度分散（GVD）並びにバンドパスフィルタの特性からなるグループから選択される1以上の動作パラメータを制御することによって低ノイズモードで自己起動するように構成される。

10

【0009】

本発明の他の及び更なる実施形態及び効果は、以降の記載の過程において、及び添付図面の参照によって明らかとなる。

【0010】

ここで図面を参照すると、幾つかの図において同様の符号は同様の部分を表す。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、本発明の原理によって構成された例示の自己起動型受動モードロック8の字ファイバレーザの図である。

【図2】図2は、8の字ファイバレーザに対して自己起動を与えることが見出された3つの動作パラメータ（ゲインファイバ長、2つのルーブ間の結合比（CR）及び合計キャビティ群速度分散（GVD））の組合せの例示の交差を示す表面マップをプロットする。

20

【図3】図3は、適切なキャビティパラメータ選択によって自己起動を与える能力を示す、3つの異なるレーザ発振モードについてのスペクトルプロットのグラフである。

【図4】図4は、図3の3つのレーザ発振モードに関連する3つの対応する時系列の出力パルスのセットを含む。

【図5】図5は、2つの異なるモードの8の字キャビティに対する反復率のアラン分散の対数プロットである。

【図6】図6は、図5に記載される同じ2つのモードに対するパルス振幅の相対アラン分散の対数プロットである。

30

【発明を実施するための形態】

【0012】

図1は、本発明の原理によって構成された例示の自己起動型受動モードロック8の字ファイバレーザ10を示す。8の字ファイバレーザ10は、一方向ルーブ12及び双方向ルーブ14（以下、「ルーブミラー14」という）を含むものとして示す。2×2中央カプラ16は、ルーブ12とルーブ14の間の通路をなすように含まれ、利用される。以下に詳細を示すように、中央カプラ16の結合比（CR）は、受動モードロック8の字ファイバレーザの好適な低ノイズモードへの自己起動を与えるように特に構成（及び制御）され得る1つの動作パラメータである。

【0013】

40

一方向ルーブ12は、希土類ドープゲインファイバ20の部分を含むものとして示され、光ポンプ光Pが波長分割マルチプレクサ（WDM）22を介してゲインファイバ20に導入される（WDM以外の他のタイプの結合構成が用いられてもよい）。通常はエルビウムがゲインファイバに対する希土類ドーパントとして利用され、波長980nmのポンプ光はゲインファイバを介して伝搬する光信号にゲインを導入するために必要な反転を与えるものとして知られている。ただし、ゲインファイバ20は（これに限定されないが、Yb、Tm、Hoなどを含む）他の希土類ドーパントを利用してもよく、各々は異なる波長のポンプ光と相互作用するので、異なる波長で出力パルスを生成することが理解されるべきである。

【0014】

50

当技術で知られているように、別個の光情報信号がない場合におけるゲイン媒体へのポンプ光の導入は、ゲインファイバに存在するあらゆる光ノイズの増幅をもたらす。増幅されたノイズは、8の字構造を介して巡回し、最終的にはモードは出力パルスを生成するようにロックする。

【0015】

光アイソレータ26は、一方向ループ12内での反射が最小化されるとともにループ12周辺のパルスの所望の伝搬方向が維持されることを確実にするように、通常はゲインファイバ20の出力部に配置される。一方向ループ12の残りは、偏波保持(PM)シングルモードファイバ28で構成される。出力カプラ30は、8の字レーザキャビティ10によって生成される超短パルスについて出射を与えるようにPMシングルモードファイバ26に沿って配置される。

10

【0016】

ループミラー14は、長い一連のPMラマンファイバ36(通常は数十メートルの範囲の長さLを有するラマンファイバ)のいずれかの端部において結合される一連のPMシングルモードファイバ34で構成されるものとして示される。ラマンファイバは、高屈折率コア領域及び比較的小さい有効面積を有する特殊タイプの偏波保持ファイバである。本発明の目的のため、ラマンファイバ36は、(波長1550nmにおいて約-20ps/(nm-km)のオーダーにおける)その分散特性のために利用される。以下に記載するように、規定範囲内において8の字構造の累積分散値を維持することによって低ノイズモードへの自己起動を与えるように制御され得るラマンファイバ36の長さは、1つの例示の動作パラメータである。なお、本発明の種々の実施形態はPMフィルタを利用するが、上述のように及び以下に詳細に記載するように、種々の実施形態は非PM(従来の)ファイバで構成されてもよい。この場合、ある偏波関連ノイズは、出力パルスに存在し、偏波ベースのフィルタリングを介して制御され得る。

20

【0017】

本発明の原理によると、8の字レーザキャビティを画定する動作パラメータ空間を注意深く精密に計画することによって、種々のセットのパラメータは、低ノイズモードに自己起動する8の字レーザ構成を提供することが分かった。上述したように、中央カプラ16の結合比(CR)は、8の字レーザキャビティの所望の自己起動の挙動を促進するように構成され得るパラメータの1つである。両ループのゲイン間での均衡を見出すようにこの結合比を微調整することは、自己起動の挙動を促進する。本発明の原理によると、0.17~0.23の範囲におけるCRで中央カプラを利用することが自己起動を与えることが分かった。CRについてのこれらの値は、ループミラー14の1つのアームに結合される光の割合を定義する。特に、一方向ループ12からの光の17~23%がループミラー14の一方のアームに向けられ、その光の83~77%がループミラー14の他方のアームに向けられる。

30

【0018】

本発明の原理によると、キャビティ損失は、受動モードロック8の字ファイバレーザの低ノイズ自己起動を与えるように調整され得る動作パラメータ空間における他の変数である。出力カプラ30の結合比(CR)によってキャビティ損失のレベルを調整するのが通常は便利である。図1に示す実施形態は出力カプラ30に対する43%(0.43)の結合値を示すが、0.35から0.55の範囲にわたる出力カプラ値の許容範囲が許容可能であることが分かった。

40

【0019】

図1にも示すように、バンドパスフィルタ32は、一方向ループ12内に含まれる。バンドパスフィルタ32の存在は、キャビティの所望の「低ノイズ」レーザ発振モードへのモードロックに好適に働くことが分かった。「低ノイズ」自己起動8の字ファイバレーザの選好が、図3~6に関連して以下に詳細に記載される。特に、バンドパスフィルタ32は、ゲインファイバ20に関連するゲインプロファイルのピーク領域を包含する比較的狭い帯域幅を有するように構成される。特に、7~15nmの範囲の帯域幅が(例示の好適な

50

値 10 nm において) 許容可能であることが分かった。

【0020】

受動モードロック 8 の字ファイバレーザ 10 の形成に利用される光ファイバの各部分は波長(色)分散値を呈し、正常(負)分散を呈するタイプのファイバもあれば、異常(正)分散を呈するものもある。レーザキャビティにおける及び完全なファイバレーザに対する種々の点での、群速度分散(GVD)として定義される累積分散値は、好適な低ノイズモードへの自己起動を与えるように本発明によって制御され得る他の動作パラメータである。特に、選択されたファイバ部分の長さは、当該部分によって寄与される分散の量を修正するように調整され得る。例えば、ラマンファイバ 36 の長さは、所望量の分散を与えるように特別に選択され得る。同様に、この分散の局所変化は GVD 値を変化させ、これは自己起動する能力に関連する値にシフトし得る。具体的には、 $0.27 \sim 0.30 \text{ ps}^2$ (場合によっては、 0.42 ps^2 まで) の範囲の値を有する合計 GVD について、図 1 に示すようなキャビティ設計は、上述した CR 値の範囲(すなわち、 $0.17 \sim 0.23$) に対する低ノイズモードロックに向かうことが分かった。

10

【0021】

さらに、ポンプ源 24 によって供給されるようなポンプ光 P の初期光パワーレベルは 8 の字ファイバレーザ 10 の受動モードロック動作の自己起動を与えるように本発明によって調整され得る他のパラメータであることが分かった。特に、 $300 \sim 400 \text{ mW}$ の範囲の比較的高い(すなわち、ポンプ源が光ビームを放射するのに必要な閾値を十分に上回る)ポンプパワーを用いることはシステムへの他の何らかの摂動を要することなく 8 の字レーザキャビティの自己起動を与えることになることが分かった。レーザキャビティが起動すると、ポンプパワーは、低ノイズ動作に十分に適した低いレベルに低減される。

20

【0022】

図 2 は、図 1 の 8 の字ファイバレーザ 10 が自己起動モードロックを示す例示の動作パラメータ空間をマッピングする。特に、図 2 は、構成が自己起動する 3 つの選択された動作パラメータ(ゲインファイバ 20 の長さ、中央カプラ 16 の CR 値及びファイバレーザ 10 の合計 GVD) の範囲をプロットする。動作パラメータ空間は、2次元表面マップ及び 3次元空間における自己起動の挙動が可能な具体的な点の双方を含む。図 2 の黒い点は特定の 3D 点に関連付けられ、灰色の点は GVD - 「ゲインファイバの長さ」平面へのこれらの動作点の投影を示す。図示する表面及び点の外部では、ロッキングは、ノイズ過多であるか、又は発生しない。

30

【0023】

図 2 に示す完全な動作パラメータ空間は自己起動を可能とするが、幾つかのセットの特定のパラメータは許容可能でないモードにロックすることが分かった。例えば、所与のモードは、狭く信頼性のあるパルスを生成する際の使用に対してはノイズ過多となり得る。

【0024】

図 3 は、図 2 に示す動作パラメータ空間から選択されたパラメータの自己起動用セットを用いることによって全て生成してきた 3 つの異なるレーザ発振モードのスペクトルをグラフ化する。図 3 においてグラフ N として識別される第 1 のレーザ発振モードは、安定した振幅で出力パルスを生成するにはノイズ過多なレーザ発振モードに関連付けられる。図 4 (a) は、図 3 のグラフ N に関連するパラメータによって生成される時系列のパルスのグラフであり、過度の振幅変動の許容可能でない結果を示す。

40

【0025】

図 3 のグラフ S は、グラフ N に示すノイジーモードのものよりも改善された振幅安定性を有するパルスを示すが、この伸長パルスのレーザモードに関連するパラメータのセットはパワー依存パルス継続時間を呈するもののやはり許容可能でない結果であることが分かった。伸長パルス構成に関連する出力パルスの時系列プロットを図 4 (b) に示す。

【0026】

図 3 のグラフ L は、本発明の原理による最適パラメータのセットで構成されたモードロック 8 の字レーザによって供給される低ノイズパルスのレーザ発振モードを示す。ここで、

50

パルスは、所望の短い継続時間を呈するとともに安定的振幅を呈する。図4(c)のプロットにおいて後者が特に示される。

【0027】

安定性の観点から、好適な低ノイズモードは、「反復率」及び「パルス振幅」についてそれぞれ図5及び6に示すように、アラン(Allan)分散によって特徴付けられる性能を示す。アラン分散は、アラン偏差の平方根として定義される。測定値が合計データセットの共通(平均)値と比較される従来の標準偏差に対して、アラン偏差は、サンプリング期間(「評価時間(平均化時間)」)にわたってサンプリングされた測定分散の連続読取り値間の差の時間平均の2分の1として定義される2サンプル偏差である。図5及び6のプロットを理解する目的のため、アラン偏差(及び同様にアラン分散)はそれゆえ1つのパルス到来時間から次のものまで(図5)又は1つの振幅値から次のものまで(図6)の測定-測定変動に基づく。これらのプロットは双方とも、対数-対数プロットである。

10

【0028】

特に、図5は、「伸長」パルス構成(図4のグラフS)及び「低ノイズ」パルス構成(図4のグラフL)に関連するファイバレーザパラメータに対する反復率のアラン分散を示す。アラン分散(Hzで測定)は、評価時間(秒)の関数としてプロットされる。ホワイトノイズトレンドWも、図5にプロットされる。このプロットは、好適な低ノイズ自己起動構成が伸長パルス自己起動構成よりも少ない分散を呈することを明確に示す。もちろん、好適な実施形態のトレンドは、伸長パルスベースラインにわたる改善となる結果を与える。

20

【0029】

図6に示す振幅安定性に関連する相対的なアラン分散は低ノイズ実施形態に関連する好適な結果を明確に示し、これは出力パルスの振幅が顕著なレベルの安定性(図4(c)のグラフ参照)を呈することが示される限りは期待されるものである。低ノイズ実施形態の相対的なアラン分散は、フリッカノイズ(すなわち「ピンク」ノイズ)により近似する伸長パルスとは対照的に、ホワイトノイズ特性に従うことも注記される。

【0030】

まとめると、バイパスフィルタ及びキャビティにおける比較的大きな損失(出力カブラに関連する損失など)を含むことは、低ノイズレーザ発振モードに移行する構成をもたらし、ことができることが分かった。損失、分散、分散の相対変化(例えば、コンポーネントの位置/順序を変化させること)、ループ間の結合比、幾つかのファイバ部分の長さ及びバンドパスフィルタの導入の間の相互作用は、低ノイズモードがポンプレーザ発振閾値以上のポンプ電流/パワーの範囲に対して支配的となるように工学設計可能となる。ファイバ部分の幾つかのものは偏波保持ファイバで構成され得るので、レーザに追加の偏波制御を提供する必要がなくなる。

30

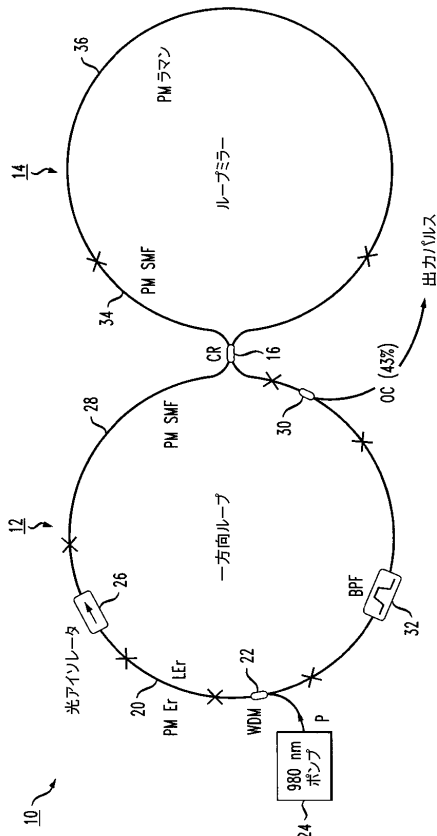
【0031】

種々の変形例及びバリエーションが主旨又はその範囲から逸脱することなく本発明に対してなされ得ることは当業者において明らかである。したがって、本発明は上記実施形態の変形例及びバリエーションを包含するものであり、その全ては付随する特許請求の範囲によって規定されるような発明の主旨及び範囲内のものとみなされる。

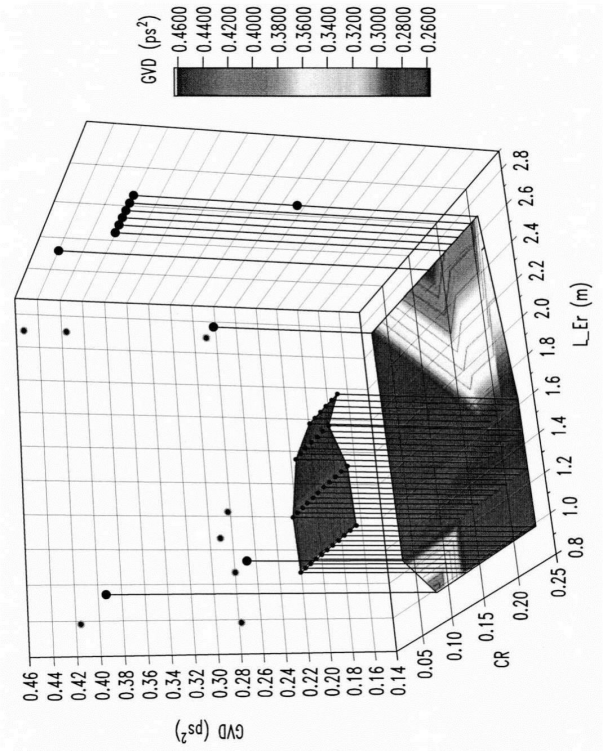
40

【図面】

【図 1】



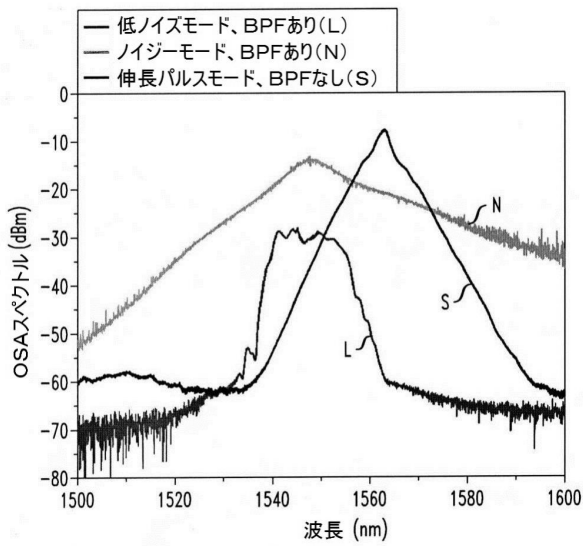
【図 2】



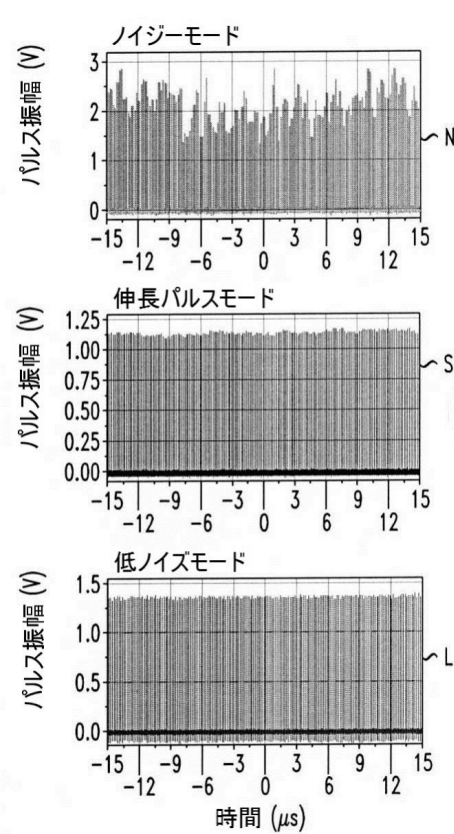
10

20

【図 3】



【図 4】

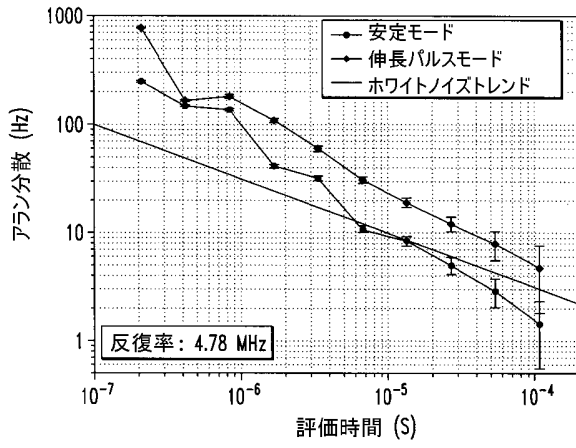


30

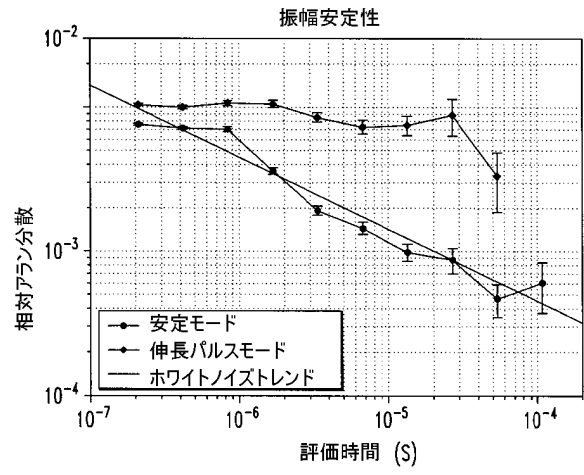
40

50

【 図 5 】



【 図 6 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

		F I		
G 0 2 B	6/024(2006.01)	G 0 2 B	6/024	
G 0 2 F	1/35 (2006.01)	G 0 2 B	6/02	4 1 1
		G 0 2 F	1/35	5 0 2

ーシィ, ウォーレン, リヴィングストン アヴェニュー 3 1

(72)発明者

フィリップ ジー. ヴェスタゴー

デンマーク デーケー - 1 8 7 5 , フレゼレクスベア シー, アマリーヴァイ 2 1 , 5 . テーヴィ

審査官 高椋 健司

(56)参考文献

特開 2 0 1 3 - 1 8 7 5 4 2 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 1 1 7 1 2 6 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 1 1 0 0 2 8 (J P , A)

特開 2 0 1 0 - 0 6 2 5 6 8 (J P , A)

特開 2 0 1 7 - 1 0 7 9 6 6 (J P , A)

特開 2 0 0 8 - 1 5 8 5 4 7 (J P , A)

特表 2 0 1 7 - 5 1 3 2 1 1 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 0 7 1 3 2 2 (U S , A 1)

米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 1 0 6 1 7 1 (U S , A 1)

Qiang Hao, et al. , “ Self-Started Mode-Locking With Dispersion-Imbalanced Nonlinear Amplifier Loop ” , IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS , 2016年01月01日 , Vol. 28, No. 1 , pages 87-90

Seong, N. H. et al. , “ Mode-locked fiber laser based on an attenuation-imbalanced nonlinear optical loop mirror ” , OPTICS COMMUNICATIONS , 2007年 , Vol. 280, No.2 , pages 438-442

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 S 3 / 0 0 - 3 / 0 2

H 0 1 S 3 / 0 4 - 3 / 0 9 5 9

H 0 1 S 3 / 0 9 8 - 3 / 1 0 2

H 0 1 S 3 / 1 0 5 - 3 / 1 3 1

H 0 1 S 3 / 1 3 6 - 3 / 2 1 3

H 0 1 S 3 / 2 3 - 4 / 0 0

G 0 2 B 6 / 0 2 - 6 / 0 3 6

G 0 2 B 6 / 1 0

G 0 2 B 6 / 4 4

G 0 2 F 1 / 0 0 - 1 / 1 2 5

G 0 2 F 1 / 2 1 - 7 / 0 0