

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-513211

(P2017-513211A)

(43) 公表日 平成29年5月25日(2017.5.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01S 3/098 (2006.01)	H01S 3/098	2H052
G02F 1/37 (2006.01)	G02F 1/37	2K102
G02F 1/35 (2006.01)	G02F 1/35 502	4C026
G02F 1/39 (2006.01)	G02F 1/39	5F172
G02F 1/365 (2006.01)	G02F 1/365	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 33 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2016-553820 (P2016-553820)
 (86) (22) 出願日 平成27年2月24日 (2015.2.24)
 (85) 翻訳文提出日 平成28年10月14日 (2016.10.14)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/017245
 (87) 国際公開番号 W02015/130651
 (87) 国際公開日 平成27年9月3日 (2015.9.3)
 (31) 優先権主張番号 61/946,093
 (32) 優先日 平成26年2月28日 (2014.2.28)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 593185670
 イムラ アメリカ インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 ミシガン州48105
 アンアーバー ウッドリッジ・アベニュー
 1044
 (74) 代理人 100094112
 弁理士 岡部 譲
 (74) 代理人 100106183
 弁理士 吉澤 弘司
 (74) 代理人 100114915
 弁理士 三村 治彦
 (74) 代理人 100120363
 弁理士 久保田 智樹
 (74) 代理人 100125139
 弁理士 岡部 洋

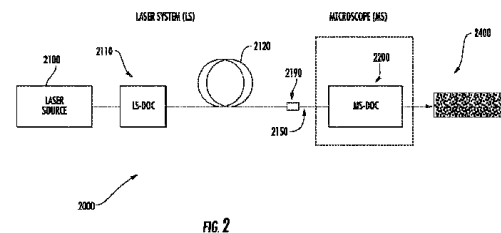
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 顕微鏡に適用される多波長超短パルスの生成及び放出

(57) 【要約】

一態様において、本開示は、多重波長範囲内のフェムト秒 (fs) パルスの生成及び放出に対するファイバレーザシステムを説明する。多光子顕微鏡における向上した多用途性について、920及び1060nmで利得を与えるNdファイバ源に基づいたデュアル波長ファイバシステムの例が記載される。780nm、940nm及び1050nmで出力を供給する3波長システムの例が含まれる。システムは、高品質のfsパルスが、顕微鏡における、例えば、多光子顕微鏡(MPM)システムにおけるアプリケーションに供給されるように分散補償を含む。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ ($n \geq 2$) において超短パルスを供給するように構成されたレーザシステムであって、

1 つ以上の波長を有する超短入力パルスを生成するように構成された少なくとも 1 つのモードロックレーザ、

前記少なくとも 1 つのモードロックレーザから下流に配置された分散的光学構成要素、及び、

光デリバリファイバであって、前記波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ の各々において前記レーザシステムから下流に配置された最終使用デバイスの正味の分散を前記少なくとも 1 つのモード
10
ロックレーザ、前記分散的光学構成要素及び前記光デリバリファイバによって示される正味の分散が補償するように構成され、前記最終使用デバイスが超短パルスでサンプルを照射するように構成された、光デリバリファイバ

を備え、

前記最終使用デバイスは選択された複数の前記出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ を有するフェムト秒パルスを前記サンプルに放出するように構成されており、前記フェムト秒パルスの各々が前記レーザシステム及び前記最終使用デバイスの正味の分散について実質的に補償されたものである、レーザシステム。

【請求項 2】

前記少なくとも 1 つのモードロックレーザが、少なくとも 1 つのモードロックファイバ
20
発振器を備える、請求項 1 に記載のレーザシステム。

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つのモードロックファイバ発振器が、Ndファイバ発振器、Ybファイバ発振器、Erファイバ発振器、Tmファイバ発振器又はHoファイバ発振器の 1 つ以上を備える、請求項 2 に記載のレーザシステム。

【請求項 4】

前記少なくとも 1 つのモードロックファイバ発振器が、前記複数の出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ の 1 つ以上の波長を有する入力パルスを生成する、請求項 2 又は 3 に記載のレーザシステム。

【請求項 5】

前記複数の波長でパルスを受信する光変調器であって、前記複数の波長で 1 つ以上のパルスを制御可能に選択するように、及び / 又は前記波長で出力パワーを制御するように構成された光学変調器を更に備える、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載のレーザシステム。
30

【請求項 6】

前記光変調器、音響光変調器、電気光学変調器又は集積マッハツェンダ変調器を備える、請求項 5 に記載のレーザシステム。

【請求項 7】

前記最終使用デバイスと通信するコントローラを更に備える請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載のレーザシステム。
40

【請求項 8】

前記光デリバリファイバは、前記複数の出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ の多重波長において予め選択された分散で構成された、請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 9】

$n = 2$ であり、前記波長は約 920 nm 及び 1060 nm である、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 10】

$n = 3$ であり、前記波長は約 920 nm、1060 nm 及び 1300 nm である、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載のレーザシステム。
50

【請求項 1 1】

$n = 3$ であり、前記波長は、約 780 nm、940 nm 及び 1050 nm 又は約 780 nm、950 nm 及び 1320 nm である、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 1 2】

前記システムが、ラマンソリトン伝搬のために構成されたラマンシフトファイバを備える、請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 1 3】

前記ラマンシフトファイバが、入力波長を前記複数の出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ の 1 つ以上にシフトさせる、請求項 12 に記載のレーザシステム。

10

【請求項 1 4】

前記ラマンシフトファイバが約 2600 nm の出力波長を生成し、前記システムが 1300 nm の光パルスを生成するように周波数増倍器を備える、請求項 12 に記載のレーザシステム。

【請求項 1 5】

前記システムが、光パルスの周波数をアップコンバートするために構成された周波数コンバータを備える、請求項 1 乃至 14 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 1 6】

前記システムは差周波発生 (DFG) のための結晶を備え、前記 DFG からの出力は 1 つ以上の波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ を備える請求項 1 乃至 15 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

20

【請求項 1 7】

前記光デリバリファイバが、中空コアフォトニック結晶ファイバ (HC-PCF)、中空コアフォトニックバンドギャップファイバ (HC-PBGF) 又はカゴメファイバを備える、請求項 1 乃至 16 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 1 8】

前記光デリバリファイバが、1 つ以上の出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ でわずかな異常分散を示す、請求項 1 乃至 17 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 1 9】

前記サンプルを照射する前記超短パルスはほぼ変形制限されており、超短パルスのピーク値の実質的に 10% 未満のパルスベデスタルを持つ約 100 fs から約 1 ps の範囲内のパルス幅を備える、請求項 1 乃至 18 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

30

【請求項 2 0】

前記少なくとも 1 つのモードロックレーザから下流に配置された前記分散的構成要素が、入力信号をプリチャープするように配置された特殊ファイバを備え、正常又は異常分散によって前記入力信号のパルス幅を変化させる、請求項 1 乃至 19 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 2 1】

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ が、920 nm 又はその近傍の波長を備える、請求項 1 乃至 20 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

40

【請求項 2 2】

前記波長が、 λ_1 として 900 から 950 nm の波長範囲を、 λ_2 として 1030 から 1080 nm の波長範囲を備え、前記システムが、前記 2 つの波長範囲 λ_1 及び λ_2 の各々においてそれぞれの波長を有する光パルスを同時に増幅する単一の Nd パワー増幅器で構成された、請求項 1 乃至 21 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 2 3】

前記少なくとも 1 つのモードロックレーザと前記光デリバリファイバとの間に配置された光パラメトリック増幅器 (OPA) を更に備え、前記 OPA は、前記最終使用デバイスでの使用のために複数の OPA 出力波長 ($n > 2$) を生成し、前記光デリバリファイバは、約 200 fs よりも小さいパルス幅を有する圧縮された光パルスが前記最終使用デバイ

50

スから供給されて前記サンプルを照射するように、前記 O P A 波長の各々で分散で構成された、請求項 1 乃至 22 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 24】

超短パルスを利用してサンプルを照射する最終使用デバイスであって、
請求項 1 乃至 23 のいずれか一項に記載のレーザシステムと、
複数の波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ ($n \geq 2$) の各々で所定の正味の分散を有する放出及び合焦光学素子と
を備え、

前記レーザシステム及び前記波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ の各々での前記最終使用デバイスの各々における正味の分散が、約 100 fs から約 1 ps の範囲内のパルス幅を有するほぼ変形制限された超短パルスをもたらすように補償される、最終使用デバイス。

10

【請求項 25】

前記デバイスが、多重波長の多光子顕微鏡 (M P M) として構成された、請求項 24 に記載の最終使用デバイス。

【請求項 26】

前記デバイスが、多重波長の多光子内視鏡顕微鏡 (E M P M) として構成された、請求項 24 に記載の最終使用デバイス。

【請求項 27】

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ は、920 nm で又はその近傍の波長を備える、請求項 24 に記載の最終使用デバイス。

20

【請求項 28】

サンプルを照射するように超短パルスを生成するよう構成されたレーザシステムであって、

入力パルスを生成するよう構成されたモードロックレーザ、

前記モードロックレーザの下流で周波数拡大されたスペクトルを生成するよう構成された高非線形ファイバであって、前記拡大されたスペクトルが信号波長範囲 $\Delta \lambda$ と少なくとも部分的に重畳している、高非線形ファイバ、

前記モードロックレーザから下流に配置された分散的光学構成要素、

前記モードロックレーザから下流に配置された光パラメトリック増幅器 (O P A) であって、前記波長範囲 $\Delta \lambda$ 内で対応するパルススペクトルで光パルスを増幅するよう構成された光パラメトリック増幅器、及び

30

光デリバリファイバであって、前記波長範囲 $\Delta \lambda$ 内において前記レーザシステムから下流に配置された最終使用装置の正味の分散を前記少なくとも 1 つのモードロックレーザ、前記分散的光学構成要素、前記 O P A 及び前記光デリバリファイバによって示される正味の分散が補償するよう構成され、前記最終使用装置は前記 O P A で生成されたフェムト秒パルスでサンプルを照射するよう構成された、光デリバリファイバを備えるレーザシステム。

【請求項 29】

前記 O P A が、前記信号波長範囲 $\Delta \lambda$ 内で調整可能なパルスを生成するよう構成された、請求項 28 に記載のレーザシステム。

40

【請求項 30】

前記システムが、前記モードロックレーザから下流に配置された 1 つ以上の光学増幅器を備える、請求項 28 又は 29 に記載のレーザシステム。

【請求項 31】

前記システムが、

第 1 の光学経路に配置され、圧縮された光パルスを供給する光パルス圧縮器、

第 2 の光学経路に設けられた前記高非線形ファイバであって、前記圧縮された光パルス及び前記スペクトル的に拡大された光パルスが前記 O P A に放出される高非線形ファイバ、及び

前記 O P A と前記光デリバリファイバとの間に配置された光変調器であって、光パルス

50

を選択し、前記出力波長を有するパルスを選択的に伝送し、及び／又は出力パルスの強度を制御するように構成された光変調器

を備える請求項 28 乃至 30 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 32】

前記高非線形ファイバが、ラマンシフト又はスーパーコンティニウム発生によって 1050 nm から 1700 nm の範囲で出力を生成する、請求項 31 に記載のレーザシステム。

【請求項 33】

前記 OPA が、約 1200 nm から 1700 nm の範囲内の波長を有するパルスを増幅するように構成された、請求項 28 乃至 32 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

10

【請求項 34】

前記光デリバリファイバが、少なくとも約 500 nm において出力波長範囲 $\Delta\lambda$ の出力の一部分に亘って低い又は平坦化された分散を有することによって特徴づけられたカゴメファイバを備える、請求項 28 乃至 33 のいずれか一項に記載のレーザシステム。

【請求項 35】

MPM に対して構成され、かつ請求項 28 乃至 34 のいずれか一項に記載されるレーザシステムと結合された、最終使用装置。

【請求項 36】

レーザ外科に対して構成され、かつ請求項 28 乃至 35 のいずれか一項に記載されるレーザシステムと結合された、最終使用装置。

20

【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、2014 年 2 月 28 日出願の米国特許出願第 61/946093 号、発明の名称「MULTI-WAVELENGTH、ULTRASHORT PULSE GENERATION AND DELIVERY、WITH APPLICATIONS IN MICROSCOPY」の優先権の利益を主張し、それによりその全体において参照によりここに取り込まれる。

【0002】

30

本開示は、ファイバ放出による超短パルス小型光源及びその適用例に関する。

【背景技術】

【0003】

光ファイバ又は導波路を介したレーザ光の放出は、目に安全な態様において対象点にレーザエネルギーを向けるための魅力的な方法である。関連する超短パルスのアプリケーションは、これらに限られないが、レーザの外科手術及び多光子顕微鏡を含む。

【0004】

近 IR（赤外）においてファイバ放出される超短パルス光源は、医療撮像及び多光子顕微鏡において多くの適用例を有する。医療のアプリケーションについては、このような光源は、非常にロバスト性があり、長期間の安定性を有し、かつ最小限の構成要素数で高度の光学的集積からなる必要がある。固体かつファイバレーザベースの近 IR 光源が、一般に使用されている。しかしながら、臨床環境におけるアプリケーションについては、ファイバレーザベースの超短パルス源のロバスト性が、一般に好まれる。

40

【0005】

2 光子顕微鏡に関して、現在利用可能なシステムは蛍光色素分子の所定のセットに基づき、それは標準的には 800 nm、920 nm、1050 nm、1300 nm 及び 1700 nm 近くの波長で励起される。1050 nm 及び 800 nm の波長を、例えば、 ytterbium (Yb) ファイバレーザ又は周波数倍増エルビウム (Er) ファイバレーザのそれぞれから得ることができる。1700 nm の波長を、光ファイバ中での Er ファイバレーザのラマンシフトから得ることができる。しかしながら、920 nm 及び 1300 nm

50

の波長域における高パワーのフェムト秒パルスの生成についての実行可能な商業的ソリューションは、特にファイバ放出と結合された場合には、いまだに実証されていない。

【 0 0 0 6 】

2光子等角顕微鏡でのアプリケーションについて、損傷及びフォトリチングの制約がない状態で、2光子励起によって励起された光子の数Mを最大化することが有用である。周知のように、Mを、

【数1】

$$M = \text{const} \times \overline{P^2} / f \tau$$

に比例するものと示すことができる。ここで、

【数2】

$\overline{P}$ は平均レーザーパワーであり、fはパルス列の繰り返し周波数であり、 τ はパルス幅である。2光子顕微鏡に要求される標準的な平均パワーは、約100MHzの繰り返しレートのパルス源について100mW - 1Wの範囲内である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 7 】

【特許文献1】米国特許第7257302号明細書

【特許文献2】米国特許第5880877号明細書

【特許文献3】米国特許第5862287号明細書

【特許文献4】米国特許第6249630号明細書

【特許文献5】米国特許第6236779号明細書

【特許文献6】米国特許第6389198号明細書

【特許文献7】米国特許第8040929号明細書

【特許文献8】米国特許第6885683号明細書

【特許文献9】米国特許第7257302号明細書

【特許文献10】米国特許出願公開第2012/0195330号明細書

【特許文献11】国際特許出願PCT/US2015/011802号

【特許文献12】米国特許出願公開第2012/0023993号明細書

【非特許文献】

【 0 0 0 8 】

【非特許文献1】<http://w3.biosci.utexas.edu/pmc/webdocs/Multiphoton.pdf>、「Multiphoton Microscopy」、Leica Microsystems

【非特許文献2】Leica TCS MP5、「Optimized for Multiphoton Imaging」、Brochure、Leica Microsystems

【発明の概要】

【 0 0 0 9 】

本開示の一態様は、920及び1300nmの波長範囲においてフェムト秒(fs)パルスの生成及び放出に対するファイバレーザシステムを特徴づける。920nmの波長範囲について、fs種(fs入力)源で生成されたパルスは、ネオジウム(Nd)ファイバ増幅器段階で増幅され、そこで、適切な手段(光ファイバ又は大きなコアのファイバの使用など)は、1060nm近くの増幅された自然放射に起因した利得減少を抑制するように実現される。920nm種源は、パッシブ型モードロックNdファイバレーザ発振器又は周波数シフトファイバレーザに基づいていてもよい。

【 0 0 1 0 】

少なくとも1つの実施例では、1.3 μ m(1300nm)のスペクトル範囲における波長は、1.9 μ mでのツリウム(Tm)ファイバレーザ動作を用いて780nmでの周

10

20

30

40

50

波数倍増 Er ファイバレーザ放射の差周波混合によって得られることができる。Tm又はホルミウム(Ho)ファイバレーザの2.6 μmへのラマンシフト及び後続の周波数倍増が実現され得る。ある実施形態では、光パラメトリック増幅(OPA)は利用されてもよく、それは、波長調整可能な光源を可能にする。

【0011】

多光子顕微鏡における向上した多用途性のために、920及び1060nmでの利得を提供するNdファイバ増幅器に基づくデュアル波長ファイバシステムを説明する。ある実施例では、3つ以上の出力波長、例えば、920nm、1060nm及び1300nmが提供されてもよい。

【0012】

種々の実施例では、ファイバ放出は、中空ファイバ、フォトリック結晶ファイバ及び/又はカゴメ(Kagome)ファイバを用いて提供されてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1A】図1Aは、レーザベースの顕微鏡の使用に適した分散補償されたパルスの放出のための従来システムの一部の構成要素を模式的に示す。

【図1B】図1Bは、多光子顕微鏡のためのシステム例であって、デリバリファイバを介して伝送された超短パルスを受信するシステムの幾つかの構成要素を模式的に示す。

【図1C】図1Cは、本開示の少なくとも1つの実施形態による構成を模式的に示す。システムは、例えば、多光子顕微鏡での使用に適した複数の所定の波長で超短パルスを生成する。

【図2】図2は、超短パルスの放出用のレーザシステム及び顕微鏡システムを含む単一波長の構成の例を模式的に示す。

【図3】図3は、920nmの超短パルスの生成及び放出の構成例を模式的に例示する図である。

【図3A】図3Aは、Ybベースシステム及びコンティニウム生成を用いた920nmの超短パルスの生成及び放出の構成例を模式的に示す。

【図4】図4は、1300nmの超短パルスの生成及び放出の第1の構成例を模式的に示す。

【図5】図5は、1300nmの超短パルスの生成及び放出の第2の構成例を模式的に示す。

【図6】図6は、920nm及び1060nmの超短レーザパルスの生成並びに放出の構成例を模式的に示す。

【図7】図7は、780nm、940nm及び1050nmの超短レーザパルスを含む複数の波長での超短パルスの生成及び放出の構成例を模式的に示す。

【図7A】図7Aは、光パラメトリック増幅を介した中IR光の生成のための構成例を模式的に示す。

【図7B】図7Bは、光パラメトリック増幅を介した中IR光の生成のための代替の構成例を模式的に示す。

【図8A】図8Aは、デリバリファイバを含むNdレーザ源で得られた種々のパルス特性を示し、 $D(\lambda) > 0$ で構成された正分散ファイバの長さの関数としてパルス幅の変化を示す図である。

【図8B】図8Bは、デリバリファイバを含むNdレーザ源で得られた種々のパルス特性を示し、 $\lambda_c \sim 926.5 \text{ nm}$ において $\Delta\lambda \sim 17.5 \text{ nm}$ の測定スペクトルを示す図である。

【図8C】図8Cは、デリバリファイバを含むNdレーザ源で得られた種々のパルス特性を示し、自己相関測定によって得られたパルスの時間形状を示す。

【図8D】図8Dは、デリバリファイバを含むNdレーザ源で得られた種々のパルス特性を示し、 $M^2_x \sim 1.32$ 、 $M^2_y \sim 1.34$ のデリバリファイバの出力で得られた M^2 を示す。

10

20

30

40

50

【図 9 A】図 9 A は、ある特殊ファイバについて対象波長での分散特性を示し、G L O フォトニクス S A S (「G L O」、リモージュ、フランス) から入手可能な中空コア (H C) ファイバの分散特性を示すプロットである。ファイバ損失は破線の曲線として示され、ファイバ分散 $D(\lambda)$ は実線の曲線として示されている。

【図 9 B】図 9 B は、ある特殊ファイバについて対象波長での分散特性を示し、G L O から入手可能であり、かつ G L O により作られたカゴメファイバの分散特性を示すプロットである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

文脈上特に断りがない限り、同じ符号は図中の同じ要素に言及する。

10

【0015】

ここで用いられるように、特に断りがない限りは、用語「分散」は、超短パルス光学の分野で一般に用いられる二次分散又は群速度分散に言及するものであり、ここでは δ_2 として表記される。例えば、光ファイバにおける分散効果及びパルス伝搬の詳述は、「超高速レーザ」において見られる。幾つかの開示では、群遅延分散 (G D D) は、同等の定義用語として用いられる。したがって、正分散及び負分散は、ここで用いられるときは、それぞれ正常分散及び異常分散を指す。例として、標準の光学構成要素は可視及び近 I R 領域での波長で正常分散を示す一方で、E r ドープファイバは $1.56 \mu\text{m}$ の波長で異常分散を示す。上述の定義に対して、 $D(\lambda)$ により表示された分散値は、ファイバ光学通信及びある光学テキストにて従来用いられるような、 $D(\lambda) = - (2 \pi c / \lambda^2) \cdot (d^2 k / d \omega^2)$ により与えられる分散を指す。ここで、 k は波数であり、 $d^2 k / d \omega^2 = \beta_2$ は群速度分散パラメータである。したがって、いずれかの特定の実施形態に関して、当業者は、どの分散の測定が言及されているのかを理解し、ある分散の測定から他の分散の測定に直ちに変換することができるであろう (例えば、群速度分散 δ_2 から $D(\lambda)$ へ又はその逆)。

20

【0016】

光ファイバ中のフェムト秒 (f s) パルスの放出は、例えば、米国特許第 7 2 5 7 3 0 2 号「In-line, high energy fiber chirped pulse amplification system」(特許文献 1) にて論じられている。近赤外スペクトル領域において近回折限界ビームで超短パルスを放出できる光ファイバは、米国特許第 5 8 8 0 8 7 7 号「Apparatus and method for the generation of high-power femtosecond pulses from a fiber amplifier」(特許文献 2) にて論じられているように、非線形イメージングのアプリケーションに対して特に興味深い。

30

【0017】

超短パルスに対するファイバデリバリシステムは、以前に、S t o c k 他の米国特許第 5 8 6 2 2 8 7 号 (特許文献 3) 及び米国特許第 6 2 4 9 6 3 0 号 (特許文献 4) 並びに K a f k a 他の米国特許第 6 2 3 6 7 7 9 号 (特許文献 5) 及び米国特許第 6 3 8 9 1 9 8 号 (特許文献 6) においても論じられている。特定の有用な実施例において、光パルスは、低非線形ホーリー又はフォトリックバンドギャップパルスデリバリファイバに結合可能であり、ファイバコアを囲む孔を介してガイドされた伝搬を与え、又は現行の技術で周知の空気孔の主に内部でガイドされた伝搬さえも与える。デリバリファイバの上流の分散的光学構成要素 (D O C) は、デリバリファイバの分散を補償し、かつ、最小パルス幅がデリバリファイバの出力において、又はデリバリファイバの下流に位置するターゲットにおいて得られることを保証する。

40

【0018】

米国特許第 6 2 3 6 7 7 9 号 (特許文献 5) / 米国特許第 6 3 8 9 1 9 8 号 (特許文献 6) は、フォトリックバンドギャップデリバリファイバの分散を補償するための方法及び構成を開示しなかった。ホーリー又はフォトリックバンドギャップファイバを、伸長され

50

たパルスを圧縮するためのパルス圧縮器又は部分パルス圧縮器として用いるために正確な分散を与えるように設計することもできる。ホーリー又はフォトリックバンドギャップファイバの、このようなパルス圧縮器及び部分パルス圧縮器の機能を、その同じファイバのパワーデリバリ機能との組合せで用いることができる。

【0019】

波長可変パルスの小型生成源としてのファイバレーザは、例えば、光パラメトリック増幅(OPA)に基づいた、Imeshev他の米国特許第8040929号(特許文献7)において論じられている。OPAに対する適切な信号及びポンプ周波数は、例えば、高パワーファイバパルス源から引き出されることができ、そして、そこでポンプ周波数での出力の一部分は、周波数の拡大並びに選択可能及び調整可能な種周波数での種信号の生成のために高い非線形ファイバに向けられることができる。

10

【0020】

以下の米国特許公報、公開特許公報及び国際公開公報は、その全体において参照によりここに取り込まれる。米国特許第5862287号('287)(特許文献3)及び米国特許第6249630号('630)(特許文献4)「Apparatus and method for delivery of dispersion-compensated ultrashort optical pulses with high peak power」;米国特許第5880877号('877)(特許文献2)「Apparatus and method for the generation of high-power femtosecond pulses from a fiber amplifier」;米国特許第6885683号('683)(特許文献8)「Modular, high energy, widely-tunable ultrafast fiber source」Fermann他;米国特許第7257302号('302)(特許文献9)「In-line, high energy fiber chirped pulse amplification system」;米国特許第8040929号('929)(特許文献7)「Optical parametric amplification, optical parametric generation, and optical pumping in optical fibers systems」Imeshev他;米国特許出願公開第2012/0195330号('330)(特許文献10)「Methods and systems for fiber delivery of high peak power optical pulses」;及び国際特許出願PCT/US2015/011802号('802)(特許文献11)「Methods and systems for high speed laser surgery」、2015年1月16日出願。

20

30

【0021】

図1Aは、米国特許第6249630号(特許文献4)に開示された、レーザベースの顕微鏡の使用に適した分散補償されたパルスの放出のための従来システムの一部の構成要素を模式的に示す。本例では、光パルス源1100は、光パルスを生成する。例えば、光パルス源1100は、正のモードロックファイバレーザであればよく、発振器及び増幅器を含んでもよい。米国特許第6249630号(特許文献4)では、エルビウムファイバレーザ源が論じられており、同様に種々の他のパルスレーザ源も論じられた。光パルスは、光パルス源1100からパルス伸長器1120に導入される。パルス伸長器1120は、次の、光ファイバ、チャープ光ファイバブラッグ格子、回折格子対又はプリズム対のいずれかを備えてもよい。あるいは、伸長されたパルスを、光パルス源1100自身によって生成させてもよい。パルス伸長器1120は、チャープ光パルスを形成しながら、入射光パルスのパルス幅を拡大する。パルス幅の拡大に起因して、光パルスのピークパワーは減少される。伸長された光パルスは、それから光パルスを所望の位置に放出するファイバ1130を介して伝送される。(受動又は能動(増幅器)ファイバのいずれかをを用いる)放出においてマルチモードファイバを用いることについての特に魅力的な場合の1つは、

40

50

マルチモードファイバにて最も低次のモードが励起される場合である。これは、より低い非線形効果のためにより高いピークパワーデリバリが可能となるので、より大きな実効モードフィールド径を利用し、一方で、ファイバを介した幾つかのモードの伝送に基づくモード分散の問題を回避する。実施形態によっては、偏光保持マルチモードファイバ(PM)が実装されてもよい。

【0022】

米国特許第6249630号(特許文献4)にて更に開示されたように、光ファイバ及び/又は光ファイバの終端に結合した出力ユニットは、パルスレーザ源及び伸長器によって導入された分散を補償する分散を導入し、再圧縮された光パルスを光学デバイスに送る。光ファイバデリバリシステムは光学デバイス内の光学構成要素によって導入された分散を好ましくは補償し、それはプリチャープといわれ、その結果、光パルスは被検査物又は検出器のような光学デバイス内の対象点で完全に再圧縮される。圧縮器1140は、ファイバ1130を通して伝送されてきた光パルスのパルス幅を圧縮するように動作する。圧縮器は、光ファイバ、回折格子対、チャープミラー、チャープ光ファイバブラッグ格子又はプリズム対の1つ以上であってもよい。1つの可能性は、光ファイバ1130自体が圧縮器の全体又は一部を提供するということである。光学デバイス1150内のある点への補償の場合、シングルモードファイバ1130の長さ内のチャープ及び光学デバイス1150を介したチャープ(分散)は、ファイバ1130でのその入射と等しく、かつ逆(例えば、光パルス源及び/又はパルス伸長器によって導入されたチャープと等しく、かつ逆)でなければならない。光ファイバデリバリシステムは、デリバリ光ファイバの前又は後のいずれかに周波数変換器1180を含んでもよい。周波数変換器によって、レーザ源によって生成された光パルス以外の周波数を有する光パルスを光学デバイスに効果的に放出することが可能となる。

【0023】

図1Bは、多光子顕微鏡のためのシステム1200の幾つかの構成要素を模式的に示す。多光子顕微鏡(MPM)1230は、レーザシステムに供給され得るデリバリファイバ(不図示)を介して伝送されたレーザシステム1220からの入力パルスを受信する。MPM1230は、本例ではX-Yガルバノメータ走査ミラーを含む光学スキャナを含む。撮像アプリケーションの要件と互換性があれば、他の構成を利用してもよく、例えば、ビデオレートスキャナのように、第1の方向での高速走査については音響光学スキャナを用い、第2の方向の走査についてはガルバノメータベースミラーを用いてもよい。走査ビームは、サンプル1240に合焦され、放出される。本例では、光学システムはレーザの入射方向と反対方向に沿った放射を受信するように示されているが、前方放射を分析することが望ましいということが理解されるべきである。MPMは、スペクトルフィルタFで更にフィルタリングされたサンプル1240から受信した多光子信号を反射するダイクロイックミラーDMを含む。次いで、フィルタをかけられた放射は、対象波長で信号を処理するための追加の光学構成要素及び検出電子機器に提供される。コントローラは、レーザシステム1220、MPM(例えば、走査ミラー、放出及び合焦光学素子など)、フィルタリング及び検出回路などの機能を制御するように使用可能である。MPMの追加の詳細は、少なくとも米国特許出願公開第2012/0023993号(特許文献12)('993)「Apparatus and methods for multiphoton microscopy」、Zeng他、<http://www3.biosci.utexas.edu/pmc/webdocs/Multiphoton.pdf>、「Multiphoton Microscopy」、Leica Microsystems(非特許文献1)及びLeica TCS MP5、「Optimized for Multiphoton Imaging」、Brochure、Leica Microsystems(非特許文献2)に見出すことができる。

【0024】

多光子顕微鏡において、サンプル上に高品質な超短パルスを合焦することが望ましい。超短波長では、特に約100fsから約1ピコ秒(ps)の範囲におけるパルスに対して

10

20

30

40

50

は、M P M 1 2 3 0における光学構成要素からの分散寄与は、レーザシステム設計において考慮されるべきである。現行技術のM P Mにおいて、レーザシステムは、レーザシステム1 2 2 0及びM P M 1 2 3 0の正味の分散を補償するように光パルスをプリチャープする構成要素を有する。特に、以下での詳述のために、合焦及び放出システムであるM P M システム1 2 3 0は、概して正味の正分散、 $\delta_2(\text{M P M}) > 0$ を示す。

【0025】

本開示の実施形態に従って、複数の超短パルスは、サンプルに対して同時に又は連続して放出されてもよい。図1Cは、本開示の少なくとも1つの実施形態に従った構成を模式的に示す。システムは、例えば、M P Mでの使用に適した複数の所定の波長 λ_1 、 λ_2 、 $\dots$ 、 λ_n ($n \geq 2$)において超短パルスを生成する。複数の波長の各々は、中心波長を有することにより特徴づけられてもよく、かつ、中心波長近く、予め選択された又は所定の波長の狭い範囲（例えば、波長範囲 $< 20 \text{ nm}$ 、 $< 50 \text{ nm}$ 、 $< 100 \text{ nm}$ 又は適切な部分範囲）を含んでもよい。中心波長は、近IR（例えば、 $0.7 - 1.4 \mu\text{m}$ ）、短波長IR（例えば、 $1.4 - 3 \mu\text{m}$ ）、中IR（ $3 - 8 \mu\text{m}$ ）、可視範囲（ $0.4 - 0.7 \mu\text{m}$ ）又は近UV（ $0.25 - 0.4 \mu\text{m}$ ）であってもよい。

【0026】

図1Cの例において、1つ以上のモードロックファイバ発振器は、光種源として作動して光パルスを生成する。1つ以上のモードロックファイバ発振器からの光パルスは、それぞれの波長範囲において出力を提供するように更に処理されてもよい。光源は、増幅された光パルスを生成する1つ以上の増幅器を含んでもよい。ある実装では、モードロック源及び増幅器は、波長 λ_1 、 λ_2 、 $\dots$ 、 λ_n で直接パルスを生成してもよい。ある実施例では、光源からの光パルスは、ラマンシフト、周波数アップコンバータ、周波数ダウンコンバータ、スーパーコンティニウム生成器及び/又は光パラメトリック増幅器の1つ以上に向けられて、選択された出力波長又は波長範囲を生成してもよい。

【0027】

レーザシステム1 3 0 0では、結果として得られる光パルスは、各々好ましくは光ファイバ又は他の統合された光学設計でプリチャープされるので、それぞれの波長で高品質な圧縮超短パルスがサンプル1 3 4 0に放出される。プリチャーピングは、パッシブ型シングルモードステップインデックスファイバ、フォトリック結晶ファイバ（PCF）又はフォトリックバンドギャップファイバ（PBGF）を含む特殊ファイバ若しくはチャープファイバブラッグ格子又はノンチャープファイバブラッグ格子で実行されてもよい。ある実施例では、バルクの光学構成要素は、単独で利用されてもよいし、あるいは、ファイバ、例えば、プリズム、グリズム、バルク格子又はチャープミラーとの組み合わせで利用されてもよい。レーザシステム及び最終使用デバイス（例えば、M P M）の分散は、波長 λ_1 、 λ_2 、 $\dots$ 、 λ_n の各々で十分に補償されるべきである。種々の実施例では、ファイバカプラ又は他の適切なビーム結合器（不図示）は、 λ_1 、 λ_2 、 $\dots$ 、 λ_n を有する光パルスを受信し、その光パルスを共通の光学経路に沿って向ける。

【0028】

少なくとも1つの好ましい実施例では、音響光学変調器（AOM）は、光パルスを選択的に伝送し、かつ、波長 λ_1 、 λ_2 、 $\dots$ 、 λ_n において有する光パルスの各々の相対的強度を制御するように構成されている。AOMは、コントローラを介してM P Mの最終使用アプリケーションと通信してもよい。少なくとも1つの実施例では、A P Mの出力1 3 1 0は、正の正味の分散 $\delta_2(Z1)_{net} > 0$ を示し得る。ここで、Z1は、図1Cに示したようにAOMの出力1 3 1 0である。

【0029】

AOMの出力は、下流にあるデリバリファイバ1 3 2 0に向けられ、デリバリファイバ1 3 2 0は中空コアファイバ（HCF）であってもよい。そのファイバは、中空コアフォトリック結晶ファイバ（HC-PCF）又は中空コアフォトリックバンドギャップ（HC-PBGF）であってもよい。他の中空コアファイバ、例えば、カゴメファイバを用いることができる。ある実施例では、HC-PCFは、種々の波長でわずかな負の分散を示す

ように構成されている。例えば、わずかな負の分散は、約 -1 ps^2 未満の $|\delta_2|$ を有し得る。標準的な MPM アプリケーションにおいては、最終使用者の光学システムは、正味の正の分散を示す光学構成要素で構成される。このように、デリバリファイバ 1320 は、レーザシステムにおける他の構成要素の中でもとりわけ、選択された波長で分散補償を与えるように構成されている。少なくとも 1 つの実施例において、HCF 1320 の出力 1330 は、HCF 構成の結果として、負の正味の分散 $\delta_2 (Z2)_{net}$ を示してもよい。ここで、Z2 は、HCF 1320 の出力 1330 である。図 1C を参照すると、好ましい実装では、最終使用デバイスへの入力での最大パルス幅は、約 1 ps であってもよい。最終使用デバイスによって予め補償されたパルスを受信したことに続いて、サンプルに合焦され、かつそこに向けられ、圧縮されたパルス幅は約 200 fs 未満であってもよいし、約 100 fs から 200 fs の範囲内であってもよい。種々の好ましい実施例において、最終使用デバイスの分散を実質的に補償するために、システムの全体の分散は、サンプルへの高質パルスの放出について、最も短い可能性のあるパルスを顕微鏡システム内の所望の位置で提供するように選択される。これは、例えば、光デリバリファイバ 1320 の長さ及び / 又はレーザシステム内の光ファイバの他の長さの適切な調整により達成可能である。したがって、システム (LS 及び最終使用デバイス) の全体の分散は、約 100 fs から 200 fs の範囲内、約 30 fs から約 1 ps の範囲内又は他の範囲内のパルスを生成するように選択可能であり、それは最終使用デバイスに依存してもよい。

【0030】

サンプルに放出された超短光パルスは、最終使用デバイス (例えば、MPM 光学システム) の通過後に $\delta_2 (Z3)_{net}$ の結果として、ほぼゼロの分散又はわずかに正の分散を有するほどに実質的に補償され得る。ここで、Z3 は、最終使用デバイスの出力である。システム設計間で幾つかの変形が予想されるが、例として、MPM は、 $\lambda \sim 1060 \text{ nm}$ において正味の正の分散 $\delta_2 (\text{MPM}) \sim 4500 \text{ fs}^2$ を示し得る。種々の実施形態では、Z3 でほぼゼロの分散又はわずかに正の分散は、最終使用デバイスの分散 δ_2 の約 25% 未満、約 20% 未満、約 15% 未満、約 10% 未満、約 5% 未満の絶対的な大きさを有し得る。例えば、レーザシステムの実施形態は、Z3 での光パルスの分散の絶対値が約 1200 fs^2 未満、約 900 fs^2 未満、約 700 fs^2 未満、約 450 fs^2 未満又は約 225 fs^2 未満となるように、MPM の正味の分散を実質的に補償することができる。他の実施形態では、分散の大きさは、約 1 ps^2 未満となり得る。したがって、レーザシステムの実施形態は、最終使用デバイスの設計に応じて、Z3 での出力パルスの分散の絶対値が 50 から 1000 fs^2 、 100 から 2000 fs^2 、 0 から 5000 fs^2 の範囲内又は他の適切な範囲内となるように、最終使用デバイス (例えば、MPM) の正味の分散を実質的に補償することができる。

【0031】

同様に時間的なパルス品質は、半値全幅 (FWHM) 及びパルスのペDESTAL によって少なくともある程度は特徴づけられ得る。図 1C に例示するように、最終使用デバイスに伝送された短パルスは、同時又は連続的にサンプル 1340 を照射する、対応する波長 λ_1 、 λ_2 、 $\dots$ 、 λ_n を有し、高品質で、低ペDESTAL の超短パルス 1、2、 $\dots$ 、 n に変換される。種々の好ましい実施形態では、ペDESTAL は、実質的にピーク値の 10% 未満であり、より好ましくはピーク値の 1% 未満である。

【0032】

図 2 は、超短パルスのサンプル 2500 への放出用のレーザシステム (LS) 及び顕微鏡システム (MS) を含む構成 2000 を模式的に示す。本例では、デリバリファイバ 2120 は、レーザシステムと共に提供され、最終使用アプリケーションのために顕微鏡に連結される。例えば、その連結部分は、図 2 に示されるように、精密ファイバレセプタクル (FR) 2190 又は分散光学構成要素を有するレーザ源に対する結合点、LS-DOC 2110 を含むことができる。種々の実施例では、FR は、顕微鏡システムにおいて、デリバリファイバの末端に設けられてもよい。例示の目的で、超短パルス (例えば、単一の動作波長のいずれか) の中心波長を一定値であると仮定する。上述のように、顕微鏡シ

10

20

30

40

50

システムは、レーザシステムへの連結のために考慮されるべき正味の分散を有する分散光学構成要素 (MS - DOC 2 2 0 0) を含む。

【0033】

好ましい実施例では、種源 2 1 0 0 は、光パルスを生成するためのモードロックファイバ発振器を含むが、1つ以上のファイバ増幅器を含んでもよい。顕微鏡 MS は正常分散を示す材料、例えば、融合したシリカを有する光学システムと共に提供されるので、レーザシステムにおいて分散補償 (プリチャープ) を提供して顕微鏡 MS の分散及びレーザシステムの全体の分散を補償することが望ましい。例えば、MS において正味の分散を実質的に補償するために、LS は、MS の分散の符号と反対の符号及び MS での分散の大きさと実質的に等しい大きさの正味の分散を有し得る。種々の実施形態では、LS の正味の分散の大きさは、実施形態に応じて、MS の分散の $\pm 20\%$ 以内、 $\pm 15\%$ 以内、 $\pm 10\%$ 以内又は $\pm 5\%$ 以内の大きさに等しくてもよい。

10

【0034】

本例では、デリバリファイバ 2 1 2 0 と共に分散光学構成要素 2 1 1 0 は、このような補償を提供する。約 $1.3\ \mu\text{m}$ を下回る波長で、顕微鏡の光学構成要素の分散は、正常分散型となる。レーザ入力波長の選択及び出力特性に応じて、プリチャープに対する分散光学構成要素が選択される。このような構成要素は、バルク光学構成要素、パッシブ型シングルモードステップインデックスファイバ、フォトリック結晶ファイバ (PCF)、フォトリックバンドギャップファイバ (PBGF)、プリズム、グリズム、バルク格子、チャープミラー又はチャープファイバブラッグ格子、ノンチャープファイバブラッグ格子を含んでもよい。特に、PCF、PBGF 又はチャープ格子の設計に関して、分散は、可視波長の光学素子が正常分散を示す波長で負の分散を提供するように設計されてもよい。シングルモード動作のために構成されたマルチモードファイバを含む、大きなコアのファイバ、PBGF 及び PCF 並びに中空コアの変形によって、減少した感受性という追加の効果が非線形効果に与えられる。好ましい実施例では、設計は、高度に集積され、全てのファイバの配置を構成してもよい。デリバリファイバは、顕微鏡システム 2 2 0 0 の正の分散を少なくとも部分的に補償し、より好ましくはサンプルに放出されるパルスに対してほぼゼロの正味の分散を与えるレーザシステムの出力 2 1 5 0 において、光パルスの幅を少なくとも部分的に圧縮するとともに正味の負の分散を生じさせるのに用いられる負の分散で構成された分散設計された中空コア PCF (HC - PCF) を備え得る。好ましい実施例では、ほぼ変形制限された超短パルスは、サンプル 2 4 0 0 に放出されることになる。

20

30

【0035】

図 3 は、 $920\ \text{nm}$ の超短パルスの生成及び放出の構成例 3 0 0 0 を模式的に示す。本例では、種源 3 1 0 0 は、約 $920\ \text{nm}$ の中心波長 (例えば、ピーク放射) でパルスを生成するように構成されたモードロック Nd ファイバ発振器を含んでもよい。1つ以上の Nd 増幅器 3 1 1 0 - a 及び / 又は 3 1 1 0 - b を、ピークパワーを増加させるために用いてもよい。バンドパスフィルタ BPF を、不要なスペクトル要素を減衰させ、ASE を制限するのに用いてもよい。光学分離器は、不要な戻り反射を抑制する。

【0036】

例として、Nd 源は、最大で約 $1\ \text{W}$ の平均出力パワーで、約 $920\ \text{nm}$ から $950\ \text{nm}$ の範囲内の中心波長で与えられてもよい。システムは、 $200\ \text{fs}$ 未満のパルス幅の超短パルスを提供してもよく、ある実施例では、約 $100\ \text{fs}$ から約 $150\ \text{fs}$ の範囲内のパルス幅の超短パルスを供給してもよい。パルスの繰り返し速度は、約 $10\ \text{MHz}$ から約 $100\ \text{MHz}$ の範囲内であってもよい。ある実施例では、出力パルスのエネルギーは、最大で数百 nJ 又は最大で約 $1\ \mu\text{J}$ であってもよく、MPM に対して要求されるものと一致してもよい。光デリバリファイバ 3 2 0 0 は、最終使用デバイス (例えば、MPM 又は MS) との結合のために最大で約 $1\ \text{m}$ 、 $4\ \text{m}$ 又は $10\ \text{m}$ の長さを有する、中空コアカゴメ、フォトリックバンドギャップ (HC - PBG) 又はフォトリック結晶ファイバ (HC - PCF) を含んでもよい。出力ビームの質は、 M^2 又は他の適した尺度によって特徴づけられてもよい。約 1.2 、 1.4 又は 1.5 未満の M^2 を有する出力ビームは、デリバリファ

40

50

イバによって供給されてもよい。ある実施例では、HC-PCFは、サンプルに送られたパルスの出力ビームの質を更に向上するように、シングルモードエンドキャップで構成されてもよい。

【0037】

少なくとも1つの実施形態では、種入力源3100は、1 μ mの範囲（例えば、1030nm、1050nmなど）で出力を生成する商業的に入手可能なYb発振器（及び光学増幅器）を含む。図3Aは、このような構成の例を個別に示す。Yb発振器3410及び増幅器3420は、920nmを含む広げられたスペクトル出力を生成するために、コンティニウム生成器3440との関係で用いられる。コンティニウム生成器は、広げられたスペクトルを生成するのに、図示するように所定長の高非線形ファイバ（HNLF）を含む。例として、HNLFは、NKTフォトニクスA/S（「NKT」）から入手可能であるモデルSC-5.0-1040であってもよく、それは4.8 μ mコアでシングルモード伝搬を与え、1 μ m波長ポンピングに対して最適化された分散である一方で曲げに対する非感受性を与える。結果として得られる出力スペクトルは、約920nmでMPM又は他のアプリケーションに対して適した範囲を選択するようにバンドパスフィルタBPFでフィルタリングされてもよい。例として、40mmの長さのファイバは、約400nmのスペクトルの広がり（約10%の点で測定した）を有するスーパーコンティニウムを生成した。1 μ mのカットオフ波長のショートパスフィルタは、約850nmから1000nmの範囲内のスペクトル成分をもたらした。中空コア（HC）ファイバ3430は、PBGF（HC-PBGF）又は中空コアPCF（HC-PCF）であればよく、HNLFとYb増幅器3420の間に設けられてもよい。そのファイバは、負（異常）分散 $\delta_2 < 0$ で構成され、Yb増幅器の経路中及び光学構成要素の下流で蓄積された正（正常）分散を少なくとも部分的に補償するように負のプリチャージを与える。分散的光学構成要素による拡大及び圧縮にもかかわらず、サブピコ秒パルス、例えば、約200fsから約1psの範囲のパルスは、Ybベースシステムにて維持されることができる。図2に対応する例のように、下流の分散補償デリバリファイバ3200は、AOM3150からの出力を受信する。ファイバ3200は、負の分散を中空コアPCF又はカゴメファイバを含んでもよい。

【0038】

現在のところ、ファイバデリバリに結合された、920nm及び1300nm波長における高パワーフェムト秒パルスの生成に対する商業的ソリューションは実証されていない。現在、光ファイバに関して1300nmでの高ピークパワーパルスの生成は、適切なファイバレーザ発振材料がないために幾つかの課題を提示する。図4は、1300nmの超短パルスの生成及び放出の第1の構成例を模式的に示す。本例では、種源は、約1560nmで光パルスを生成するモードロックErファイバ発振器/増幅器4100を含むが、その光パルスは、発振器の出力で及び/又は個別の光学経路においてEr又はEr/Yb増幅器で増幅されてもよい。Er又はEr/Yb増幅器は、好ましくは、高ピークパワーへの増幅を可能とするような10-50 μ mのコア径を持つ大モード領域の設計に基づく。パルス伸長及び圧縮に対する追加の構成要素が実装されてもよい。これらの構成要素は、例えば、チャープファイバ格子、ポリウムブラッグ格子、バルク格子、グリズム、プリズム、チャープミラー、その他ファイバ伸長器及び圧縮器を備え得る。個別のErファイバ増幅器による増幅を含み得る別個の光信号の処理動作は、以下に更に説明するように、非線形結晶4170における差周波発生（DFG）によって約1300nm波長をもたらす別個の光学経路（アーム）において実行される。特に、1300nmにて、ほぼゼロの分散が示され得る。本例では、中空コアファイバ4200は、わずかな負の分散で構成されている。例えば、 $\delta_2 < 0$ であり、約 -1ps^2 未満の $|\delta_2|$ である。少なくとも1つの実施形態では、例えば、GLOフォトニクスSAS（「GLO」）又はNKTフォトニクスA/S（「NKT」、ピアケレズ、デンマーク）によって提供されるように、商業的に入手可能なカゴメファイバが利用されてもよい。

【0039】

10

20

30

40

50

再び図4の例を参照すると、例えば、周期分極反転ニオブ酸リチウム (PPLN) 又は周期分極反転定比組成タンタル酸リチウム (PPSLT) は、780 nm 及び 1900 nm で入力を受信し、DFG によって約 1320 nm 出力を生成する。各々のアームにおける別個の光信号の処理機能は、DFG に対応するような波長シフトのための方法を含む。上側のアームでは、米国特許第 5880877 号 (特許文献 2) に概説されるように、増幅された光パルスは、例えば、第二次高調波発生による周波数倍増 4140 が続くファイバ 4110 における非線形圧縮によって圧縮される。780 nm の出力が得られる。上側のアームは、フィルタリング及び / 又は分散補償のための統合されたファイバの構成要素 F2 を含んでもよい。

【0040】

一方で、下側アームにおいては、Er ファイバ出力は、シリカ光ファイバを含み得る光ファイバ 4120 でラマンシフトされる。その結果シフトされた波長は、約 1900 nm である。下側アームはまた、フィルタリング及び / 又は分散補償のための統合されたファイバの構成要素 F1 を含んでもよい。超短パルスの幅は、例えば、米国特許出願公開第 2012/0195330 号 (特許文献 10) にて概説されているように、ファイバの長さにおけるラマンソリトン生成によって保持される。ラマンシフトされたパルスは、さらに、Tm ファイバ増幅器 (不図示) において増幅されてもよい。

【0041】

遅延線又はレーザパルス制御 (不図示) によって時間的重畳を最大化するように調整された個々の 780 nm 及び 1900 nm のパルスは、約 1320 nm の波長を生成するための DFG として構成された非線形結晶 4170 にて受信される。他の例のように、AOM は、下流側に配置され、複数の波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ を有するパルスを受信し、上述のようなパルス選択器及び / 又は強度変調器として構成される。パルスは、本例では、カゴメファイバである HC-PCF 4200 に向けられる。ファイバ 4200 中の伝搬の結果としてわずかな負の分散を示し得る 1300 nm の出力パルスは、MS 及びサンプルに向けられる。ある実施例では、追加の周波数変換の段階を 1900 nm 波長パルスの周波数倍増に含めることができるので、3つの波長 780 nm、950 nm 及び 1320 nm をたった1つの発振器を用いて生成することができる。デリバリファイバに連結するために3つ全ての波長を1つのビームに結合するのに適切な非線形結晶及びダイクロイックミラー又はビームスプリッタが実装されてもよい。

【0042】

図5は、1300 nm の超短パルスの生成及び放出の第2の構成例を模式的に示す。本例では、追加のラマンシフトが利用され、インラインの構成がもたらされる。本例では、種入力源は、Tm ファイバ発振器及び Tm ファイバ増幅器を含む。1つ以上のシリカファイバ、フッ化物ファイバ又はゲルマニウムドープファイバを含むラマンシフトは、増幅されたパルスの一部分を約 2600 nm の波長にシフトさせる。このようなラマンシフトは、数メートルの光ファイバで構成されてもよく、約 0.1 - 10 m の全長を有してもよい。超短パルスの幅は、ラマンソリトン伝搬によって得られる。パルスのピークパワーは、SHG で高効率な周波数倍増を補助するのに十分に高い。SHG の 1300 nm の出力は、パルス選択器及び / 又は強度変調器として動作する AOM に向けられる。図4の例のように、HC-PCF カゴメファイバは、圧縮された出力パルスを生成し、かつ、顕微鏡及びサンプルにパルスを放出するように、わずかな異常分散で用いられる。好ましい実施例では、サンプルを照射するパルスは、ほぼ変形制限されることになる。

【0043】

図6は、920 nm 及び 1060 nm のレーザパルスの生成並びにシングル中空コアファイバによる放出の構成例を模式的に示す。十分な強度の 1060 nm のパルスはある蛍光色素分子を励起することができるということが多光子顕微鏡の分野では知られている。好ましい実施例では、920 nm パルスは、図6に示されるように、モードロック Nd 又は Yb 発振器、Nd 又は Yb 前段増幅器及びシングル Nd ファイバパワー増幅器を含む光源で生成される。例えば、920 nm の波長は Nd モードロック発振器で生成されること

10

20

30

40

50

ができ、その一方で、1060 nmの波長はNd又はYbいずれかのファイバモードロック発振器で生成されることができ。次いで、適切なNd又はYb前段増幅器は2つの発振器に対して実装され、(HC-PCFファイバにおける適切な分散補償後の)前段増幅器からの出力は続いて波長分散多重化カプラ(不図示)によって結合される。次いで、最後のNdファイバ増幅器は、双方の波長を同時に増幅するように構成されている。920 nm及び1060 nmでの利得のバランスを採るために、10-50 μ mの範囲内のコア径の大きなコアのNdファイバ増幅器を用いるのが好ましい。また、920 nm及び1060 nmでの適切な出力は、例えば、パワー増幅器の上流側の追加の減衰器(不図示)によって、又は前段増幅器の利得及び出力パワーを調整することによって可能となる。各々の波長について1つの前段増幅器のみが示されているが、1つ以上の増幅器が用いられてもよい。Nd及びYb発振器/増幅器は、概して、本例では対象波長で正常分散 $\delta_2 > 0$ を示す。

【0044】

図6に示すように、異常分散を有するプリチャープされた圧縮光パルスを得るように、増幅された出力の各々は中空コアファイバ6110-a、6110-bにそれぞれ向けられ、それはHC-PCFであればよい。次いで、HCファイバ出力は、空間的に結合され、Ndパワー増幅器で更に増幅される。波長920 nm及び1060 nmの増幅された出力は、パルス選択器及び/又は強度変調器として作動するAOMに向けられる。図4及び5に示した例のように、HC-PCF6200は、圧縮された出力パルスを生成し、かつ、顕微鏡及びサンプルにパルスを放出するように、わずかな負の分散で構成されたカゴメファイバを含む。カゴメファイバは920 nm及び1060 nmの出力波長においていくらか異なる分散を示すので、分散は補償のためのHC-PCFの一方又は双方において調整される。好ましい実装では、サンプルを照射するパルスは、ほぼ変形制限されることになる。略変形制限されたパルスを取得するために、デリバリファイバは、比較的広い波長範囲(例えば、 $\Delta\lambda \sim 100$ nm、200 nm、400 nm、800 nm)に亘り、約-10から+10 ps/nm $\cdot$ km、-3 ps/nm $\cdot$ kmから+3 ps/nm $\cdot$ km又は約-1から1 ps/nm $\cdot$ kmの範囲の例において、その波長範囲に亘って $\delta_2 \sim 0$ とともに分散値D(λ)を生成するように構成されたカゴメファイバであってもよい。

【0045】

例として、MPMに対するデュアル波長源は、1060 nmで約1 Wの平均出力パワーを供給し、920 nmで約0.5 Wの平均パワーを供給し得る。パルス幅は、パルスの繰り返し速度が約10 MHzから約100 MHzの範囲内である状態で、各々の波長で約200 fs未満であってもよい。シングルHCデリバリファイバは、双方の波長を伝達するように利用されてもよく、各々波長で全体のシステム分散を補償するように設計された分散である。最小限のパルス継続時間は、デリバリファイバの出力で提供されてもよい。ピーク出力パワーは、約10 kWから100 kWの範囲内であってもよい。少なくとも1つの好ましい実施例では、AOMは、920 nm及び1060 nmのパルスを選択的にHC-PCFに向け、レーザコントローラ、MPMコントローラ又はシステムコントローラに動作可能に接続されてもよい。個々の波長に対する波長選択を、例えば、AOMへの変調周波数を変更することにより実行することができる。これにより、双方の波長に対して同じブラッグ回折角がもたらされ得る。このようなAOMは、例えば、AAオプトエレクトロニクス、特にモデルNo. MT110+MDSICから入手可能である。

【0046】

図7は、3つの波長システムを模式的に示す。本例では、シングルモードロックEr発振器7110からの出力は、前段増幅器7120において増幅される。次いで、それは、3つの光学経路に分岐され、3つの異なるファイバ増幅器、例えば、Yb増幅器7130-c、Er増幅器7130-b及びTm増幅器7130-aに種を提供するのに用いられる。追加のスーパーコンティニウムファイバの段階(不図示)は、適切な種波長を生成するようにTm及びYb増幅器の上流側に挿入されてもよく、そのような種波長は、適切な光学フィルタ(不図示)で更に選択され得る。図7では、1つのみのYb、Er及びTm

のパワー増幅器の段階が示され、2つ以上の増幅器の段階を、各々の光学経路上にそれぞれ用いることができる。Tm増幅器7130-aは、1840-2100nmの範囲内の出力を生成することができ、それは、SHG段階での周波数倍増の後、920nmから1050nmの範囲内の出力を生成することができる。Er増幅器7130-bの周波数倍増は780nmから800nmの範囲内の波長を生成し、Yb増幅器7130-cは1050nm付近の出力を生成する。2つの周波数倍増された出力は、例えば、ミラーM1及びダイクロイックミラーM2（及び例えばレンズである光学要素L1、L2）と結合され、AOMに向けられ、例えばHC-PCFである中空コアファイバ（HCF）7180-aを介して顕微鏡結合ステーションに放出され得る。Ybファイバ増幅器7130-aの出力を、第2のAOM及び第2の長さのHCF7180-b（例えば、HC-PCF）を介して顕微鏡システムにおける第2の結合ステーションに同様に向けることができる。HC-PCFの長さは、所望のターゲットでほぼバンド幅制限された出力を確保するように調整される。原則として、顕微鏡の要求に応じて、3つの異なる結合ステーションと同様に1つのみのMS結合ステーションが使用され得る。また、Nd増幅器又はHo増幅器及び差周波生成のような追加の段階は、上述のように、1300nm又は920nmの生成された出力に実施され得る。本質的に、Er、Nd、Yb、Ho及び/又はTm増幅器のいずれかの組合せが、ほぼバンド幅制限されたパルスサンプル上で生成するような適切な分散制御の所望の多重波長源を生成するのに使用され得る。

10

【0047】

図7において、Er種発振器が示されているのに対して、他の種発振器がまた用いられることができる。ある実施例において、構成要素、例えば、種入力源及び増幅器は、後続の増幅器に対する要件に従って、部品コストを低減するように成形され、かつ、周波数変換されてもよいということが理解されるべきである。MPMアプリケーションにおいて、780/940/1050nmの光源は、第二次高調波発生（SHG）を含むことができ、青（B）及び緑（G）の蛍光色素分子励起にそれぞれ適している。追加的に、その出力は、第三次高調波発生（THG）及び例えばコヒーレントアンチストークスラマン分光法（CARS）のような3光子顕微鏡におけるアプリケーション、その他レーザー外科手術及び組織変性における他のアプリケーションに適し得る。

20

【0048】

したがって、図7に関して説明したシステムは多くの波長を同時に放出するように設計されることができ、4つ以上の波長又は広く調整可能な出力の波長（又は波長を利用可能にすることが困難である）が必要となる場合、光パラメトリック増幅も有利に実施され得る。一例のOPA構成は、図4及び図7Bにおいてある程度再現されたImeshév他の米国特許第8040929号（特許文献7）の第7-11欄にてすでに説明された。この光源は、本出願の図7Aに関して説明するように、多光子顕微鏡に適合され得る。ここで、モードロックYb発振器7210で生成された出力はYb前段増幅器7210-aにて増幅され、増幅された出力の一部分は高非線形ファイバ（HNLF）7250へと方向転換され、それはラマンシフト又はスーパーコンティニウム生成によって1050-1700nmの範囲内で出力を生成することができる。分散補償要素（不図示）は、また、HNLFの上流で含まれ得る。次いで、Yb前段増幅器は、Ybパワー増幅器にて更に増幅され、例えば、パルス圧縮器モジュール（PCM）7240において、パルス圧縮器で変形限界近くに戻って圧縮される。PCM7240は、格子又はプリズム対、ポリウムブラッグ格子及び中空コアファイバHCFを含むことができる。次いで、圧縮器及びHNLF7250からの出力は、ミラーM2及びダイクロイックビームスプリッターM1で結合され、OPA段階7260に向けられる。100nJ程度のパルスエネルギーがあれば、1200-1700nmの範囲内の任意の信号の効率的な増幅を、例えばPPLN又はPPSLTのような例としての非線形結晶を用いて得ることができる。調整可能な変調周波数のAOM7270はOPA段階7260の下流側に挿入され、そのAOM出力は顕微鏡へのビーム放出及び結合のために中空コアファイバ7280において結合される。

30

40

【0049】

50

図 7 B における O P A の例を参照すると、短パルスファイバレーザ 7 1 3 0 の出力は、ビームスプリッタによって 2 つのアームに分岐される。一方のアームには、ポンプパワーを供給する O P A ポンプ 7 3 2 0 がある。O P A ポンプ 7 3 2 0 は、高エネルギーで狭いバンド幅のポンプパルスを出力する。第 2 のアームでは、コンティニウム源は、所定範囲の波長を選択するようにフィルタリングされる広いバンドの光パルスを生成する。非線形結晶 7 3 6 0 は、光ポンプパルス及びコンティニウム源からの広いバンドの光パルスを受信する。本例では、O P A システムは、上記非線形結晶によって受信される前に光ポンプパルス及び上記コンティニウム源からの広いバンドの光パルスが別個の光学経路に沿って一時に伝搬するように構成される。コンティニウム源から送られた広いバンドの光パルスは、非線形結晶 7 3 6 0 において光パラメトリック増幅によって増幅される。次いで、増幅されたパルスは、パルス圧縮器 7 3 8 0 で圧縮され、それは H C F であってもよく、ある好ましい実施例では、カゴメファイバを備えることになる。O P A 構成の 1 つの効果は、ポンプと信号との正確な同期である。O P A の出力は比較的広い分散であるが、設計された H C F は最終使用デバイスの出力で高い質の圧縮されたパルスを供給することができるが、その最終使用デバイスは、M P M、E M P M 又はレーザ外科手術デバイスであってもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

Y b 発振器のフロントエンドの代わりに、E r 発振器のフロントエンドを用いることもできる。図 7 に関して示したように高非線形ファイバでのスペクトル拡大によって 1 0 5 0 n m に近い種信号を生成するのに E r 発振器を用いることができ、高非線形ファイバでのスペクトル拡大によって 1 3 0 0 n m 及び 1 7 0 0 n m で種信号を生成するように E r 源を更に用いることもできる。E r 種源を使用することによって、1 7 0 0 n m 近くの信号の生成のために必要となるスペクトルシフトの量を減少させ、従って、増幅された Y b ファイバ増幅器によってポンプされた光パラメトリック増幅器における振幅ノイズの量を減少させることができる。このような構成は、個別には示されていない。

【 0 0 5 1 】

上述のシステムのいずれも、例えば、P C T 出願である国際特許出願 P C T / U S 2 0 1 5 / 0 1 1 8 0 2 号 (特許文献 1 1) に関して論じられているように、内視鏡的多光子顕微鏡に更に対応している。例えば、中空コアファイバの終端の適切な共鳴励起は、ターゲット領域を横切って走査するように小型化された x - y スキャナと連結して実施され得る。次いで、蛍光発光信号は、他のファイバで撮像され、画像分析システムに向けられる。このようなシステムは国際特許出願 P C T / U S 2 0 1 5 / 0 1 1 8 0 2 号 (特許文献 1 1) に関してすでに論じられ、それはその全体においてここに参照により取り込まれ、ここでは更には記載されない。

【 0 0 5 2 】

さらに、図 1 B から 7 B に関して記載及び説明されたシステムの例は、互いに排他的ではない。これらのシステムの例は、種々の特徴及び機能を説明するように示されており、限定的なものを意図していない。従って、種々のシステムの例からの構成要素は、所望の目標又はいずれかの特定の実施形態によって達成される効果に応じて、他の例示された実施形態で使用、交換、変形又は除外され得る。

【 0 0 5 3 】

実施例 1 - 9 2 0 n m 光源の特徴評価

9 2 0 n m 光源が、作製され、特徴づけられた。N d 種源 (1 8 0 n m 、 8 8 0 n m - 1 0 0 0 n m の範囲内の λ 、4 6 M H z) は、単一の N d 増幅器 (4 m 長) で使用された。G L O フォトニクスから得られた 4 m 長の P B G F (7 μ m / 1 1 0 μ m コア / クラッド比、7 / 1 1 0) は、その増幅器から下流に配置された。システムは、光学アイソレータ、フィルタ及び他の補助構成要素もまた含んだ。本例では、N d 増幅器は、分散値 $D (\lambda) \sim - 7 7$ p s / n m / k m、正味の正の分散 $\delta_2 > 0$ を示した。P B G F ファイバは、 $D (\lambda) \sim 1 4 0$ p s / n m / k m、正味の負の分散 $\delta_2 < 0$ を示した。システムの出力で (及び最終使用デバイス顕微鏡構成要素なしで)、約 1 7 . 5 n m のスペクトル幅 Δ

λ は、推定された 127 fs のパルス幅 (FWHM) で達成された。自己相関関数 (ACF) は、周知の ACF 畳み込み因子に起因して実際のパルス幅よりも長い 1.5 倍程度の 196 fs の FWHM を表示した。パルス幅は、 sech^2 近似に基づいて 127 fs と評価された。システムは、SM エンドキャップなしで $M^2 \sim 1.3$ を達成した。図 8 A - 8 D は、幾つかの実験結果を示す。

【0054】

図 8 A は、 $D(\lambda) > 0$ で構成された正分散ファイバの長さの関数としてパルス幅の変化を示す図である。カットバックテストの結果に基づいて、 4 m の長さで 127 fs のパルス幅となった。ファイバ長が 4 m から 6 m に増加されるにつれて、若干線形的にパルス幅が数百 fs から数 ps に増加し、分散の効果を示した。

10

【0055】

図 8 B は、 $\lambda_c \sim 926.5\text{ nm}$ で $\Delta\lambda \sim 17.5\text{ nm}$ の測定スペクトルを示す。

【0056】

図 8 C は、自己相関測定によって得られたパルスの時間形状を示す。ACF は、ACF の畳み込み因子を含む 196 fs の FWHM を表示した。パルス幅は、 sech^2 近似に基づいて 127 fs として評価された。

【0057】

図 8 D は、 $M^2_x \sim 1.32$ 、 $M^2_y \sim 1.34$ のデリバリファイバの出力で得られた M^2 を示す。

【0058】

20

実施例 2 - 920 nm 動作に対する分散設計された HC ファイバ

上述のように、HC - PBGF、HC、PCF 及びカゴメファイバを含む特殊ファイバは、波長の広範囲に渡って正常又は異常分散で分散設計されてもよい。上述のように、チャープファイバブラッグ格子及び他のオブションは短波長で異常分散を生成するために存在するが、アプリケーションは限られている。シングルモード伝搬は、多くのレーザアプリケーションについて無視できるほどの非線形効果を有する HC ファイバで与えられることができる。 920 nm での動作のための特殊ファイバの幾つかの例は以下の通りである。

【0059】

図 9 A は、GLO フォトニクス SAS (「GLO」) から入手可能な HC ファイバの分散特性を例示するプロットである。ファイバ損失は破線の曲線として示され、ファイバ分散 $D(\lambda)$ は実線の曲線として示されている。損失は 920 nm 近くで最少であることが分かる。評価された分散は対象波長について比較的平坦であり、ファイバは $D(\lambda) \sim 100\text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ のわずかな異常分散を示す状態である。このファイバは、 920 nm のパルスを生成する本開示の実施形態に従ってプリチャープすることに適している。

30

【0060】

図 9 B は、GLO フォトニクス SAS (「GLO」) から入手可能であり、かつ GLO により作られたカゴメファイバの分散特性を示すプロットである。本例では、約 900 nm から約 1300 nm の範囲に亘る平均で、 $D(\lambda) \sim 0$ である。 $D(\lambda)$ は、波長範囲に亘って約 $\pm 3\text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ だけ変化する。そのファイバは、 $50\text{ }\mu\text{m}$ よりも大きいコア径とともに大きなモードにおけるシングルモード伝搬を特徴とする。カゴメファイバは、約 -10 から $+10\text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ における分散値、 $D(\lambda)$ 、 δ_2 を生成するように構成されている。そのファイバは、本開示の実施形態に従ってデリバリファイバとして用いることに適しており、可視及び/又は近 IR における中心波長、 λ_c の比較的広い範囲に亘って用いることに適している。さらに、そのファイバは、少なくとも約 500 nm での波長範囲 $\Delta\lambda$ に亘って伝送するように構成されてもよく、低い又は平坦化された分散を有することによって特徴づけられてもよい。

40

【0061】

追加の実施例及び実施形態

本出願は、以下の態様に記載された種々の実施形態を開示する。

50

【 0 0 6 2 】

第 1 の態様では、レーザシステムは、複数の出力波長 λ_1 、 λ_2 、 $\dots$ 、 λ_n ($n \geq 2$) において超短パルスを供給するように構成されている。レーザシステムは、1 つ以上の波長を有する超短入力パルスを生成するように構成された少なくとも 1 つのモードロックレーザと、前記少なくとも 1 つのモードロックレーザから下流に配置された分散的光学構成要素、及び光デリバリファイバであって、前記波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ の各々において前記レーザシステムから下流に配置された最終使用デバイスの正味の分散を前記少なくとも 1 つのモードロックレーザ、前記分散的光学構成要素及び前記光デリバリファイバによって示される正味の分散が補償するように構成され、前記最終使用デバイスが超短パルスでサンプルを照射するように構成された、光デリバリファイバを備え、前記最終使用デバイスは選択された複数の前記出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ を有するフェムト秒パルスを前記サンプルに放出するように構成されており、前記フェムト秒パルスの各々が前記レーザシステム及び前記最終使用デバイスの正味の分散について実質的に補償されたものである。

10

【 0 0 6 3 】

第 2 の態様では、第 1 の態様に記載のレーザシステムにおいて、前記少なくとも 1 つのモードロックレーザは、少なくとも 1 つのモードロックファイバ発振器を備える。

【 0 0 6 4 】

第 3 の態様では、第 2 の態様に記載のレーザシステムにおいて、前記少なくとも 1 つのモードロックファイバ発振器は、Nd ファイバ発振器、Yb ファイバ発振器、Er ファイバ発振器、Tm ファイバ発振器又は Ho ファイバ発振器の 1 つ以上を備える。

20

【 0 0 6 5 】

第 4 の態様では、第 2 の態様又は第 3 の態様に記載のレーザシステムにおいて、前記少なくとも 1 つのモードロックファイバ発振器は、前記複数の出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ の 1 つ以上の波長を有する入力パルスを生成する。

【 0 0 6 6 】

第 5 の態様では、第 1 の態様乃至第 4 の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記複数の波長でパルスを受信する光学変調器であって、前記複数の波長で 1 つ以上のパルスを制御可能に選択するように、及び / 又は前記波長で出力パワーを制御するように構成された光学変調器を更に備える。

【 0 0 6 7 】

第 6 の態様では、第 5 の態様に記載のレーザシステムにおいて、前記光学変調器は、音響光学変調器、電気光学変調器又は集積マッハツェンダ変調器を備える。

30

【 0 0 6 8 】

第 7 の態様では、第 1 の態様乃至第 6 の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記最終使用デバイスと通信するコントローラを更に備える。

【 0 0 6 9 】

第 8 の態様では、第 1 の態様乃至第 7 の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記光デリバリファイバは、前記複数の出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ の多重波長にて予め選択された分散を持って構成された。

【 0 0 7 0 】

第 9 の態様では、第 1 の態様乃至第 8 の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、 $n = 2$ であり、前記波長は約 920 nm 及び 1060 nm である。

40

【 0 0 7 1 】

第 10 の態様では、第 1 の態様乃至第 9 の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、 $n = 3$ であり、前記波長は約 920 nm、1060 nm 及び 1300 nm である。

【 0 0 7 2 】

第 11 の態様では、第 1 の態様乃至第 10 の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、 $n = 3$ であり、前記波長は、約 780 nm、940 nm 及び 1050 nm である第 1 の態様乃至第 10 の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムである。他

50

の態様では、 $n = 3$ であり、前記波長は、約 780 nm 、 950 nm 及び 1320 nm である。

【0073】

第12の態様では、前記システムは、ラマンソリトン伝搬のために構成されたラマンシフトファイバを備える第1の態様乃至第11の態様のいずれか一項に記載のレーザシステムである。

【0074】

第13の態様では、第12の態様に記載のレーザシステムにおいて、前記ラマンシフトファイバは、入力波長を前記複数の出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ の1つ以上にシフトさせる。

【0075】

第14の態様では、第12の態様又は第13の態様に記載のレーザシステムにおいて、前記ラマンシフトファイバは約 2600 nm の出力波長を生成し、前記システムは 1300 nm の光パルスを生成するように周波数増倍器を備える。

【0076】

第15の態様では、前記システムは、光パルスの周波数をアップコンバートするために構成された周波数コンバータを備える第1の態様乃至第14の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムである。

【0077】

第16の態様では、前記システムはDFGのための結晶を備え、前記DFGからの出力は1つ以上の波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ を備える第1の態様乃至第15の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムである。

【0078】

第17の態様では、第1の態様乃至第16の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記光デリバリファイバは、HC-PCF、HC-PBGF又はカゴメファイバを備える。

【0079】

第18の態様では、第1の態様乃至第17の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記光デリバリファイバは、1つ以上の出力波長 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ でわずかな異常分散を示す。

【0080】

第19の態様では、第1の態様乃至第18の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記サンプルを照射する前記超短パルスは、ほぼ変形制限されており、超短パルスのピーク値の実質的に10%未満のパルスペデスタルを持つ約 100 fs から約 1 ps の範囲内のパルス幅を備える。

【0081】

第20の態様では、第1の態様乃至第19の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記少なくとも1つのモードロックレーザから下流に配置された前記分散的構成要素は、入力信号をプリチャージするよう配置された特殊ファイバを備え、正常又は異常分散によって前記入力信号のパルス幅を変化させる。

【0082】

第21の態様では、第1の態様乃至第20の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、 $\lambda_1 \dots \lambda_n$ は、 920 nm 又はその近傍の波長を備える。

【0083】

第22の態様では、第1の態様乃至第21の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記波長は、 λ_1 として 900 から 950 nm の波長範囲を、 λ_2 として 1030 から 1080 nm の波長範囲を備え、前記システムは、前記2つの波長範囲 λ_1 及び λ_2 の各々においてそれぞれの波長を有する光パルスを同時に増幅する単一のNdパワー増幅器で構成される。

【0084】

第23の態様では、第1の態様乃至第22の態様のいずれか一態様に記載のレーザシス

10

20

30

40

50

テムにおいて、前記少なくとも１つのモードロックレーザと前記光デリバリファイバとの間に配置された光パラメトリック増幅器（ＯＰＡ）を更に備え、前記ＯＰＡは、前記最終使用デバイスでの使用のために複数のＯＰＡ出力波長（ $n > 2$ ）を生成し、前記光デリバリファイバは、約 200 fs 未満のパルス幅を有する圧縮された光パルスが前記最終使用デバイスから供給されて前記サンプルを照射するように、前記ＯＰＡ波長の各々における分散で構成される。

【 0085 】

第 24 の態様では、超短パルスを利用してサンプルを照射する最終使用デバイスは、第 1 の態様乃至第 23 の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステム、複数の波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ ($n \geq 2$) の各々で所定の正味の分散を有する放出及び合焦光学素子を備え、前記レーザシステム及び前記波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ の各々での前記最終使用デバイスの各々における正味の分散は、約 100 fs から約 1 ps の範囲内のパルス幅を有する、ほぼ変形制限された超短パルスをもたらすように実質的に補償される。

10

【 0086 】

第 25 の態様では、前記デバイスは、多重波長の多光子顕微鏡（ＭＰＭ）として構成された、第 24 の態様に記載の最終使用デバイスである。

【 0087 】

第 26 の態様では、前記デバイスは、多重波長の多光子内視顕微鏡（ＥＭＰＭ）として構成された、第 24 の態様又は第 25 の態様に記載の最終使用デバイスである。

20

【 0088 】

第 27 の態様では、第 24 の態様乃至第 26 の態様のいずれか一態様に記載の最終使用デバイスにおいて、 $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ は、920 nm 又はその近傍の波長を備える。

【 0089 】

第 28 の態様では、サンプルを照射するように超短パルスを生成するように構成されたレーザシステムは、入力パルスを生成するように構成されたモードロックレーザ、前記モードロックレーザの下流で周波数拡大されたスペクトルを生成するように構成された高非線形ファイバであって、前記拡大されたスペクトルが信号波長範囲 $\Delta\lambda$ と少なくとも部分的に重畳している高非線形ファイバ、前記モードロックレーザから下流に配置された分散的光学構成要素、前記モードロックレーザから下流に配置された光パラメトリック増幅器（ＯＰＡ）であって、前記波長範囲 $\Delta\lambda$ 内で対応するパルススペクトルで光パルスを増幅するように構成された光パラメトリック増幅器、並びに光デリバリファイバであって、前記波長範囲 $\Delta\lambda$ 内において前記レーザシステムから下流に配置された最終使用装置の正味の分散を前記モードロックレーザ、前記分散的光学構成要素、前記ＯＰＡ及び前記光デリバリファイバによって示される正味の分散が実質的に補償するように構成され、前記最終使用装置は前記ＯＰＡで生成されたフェムト秒パルスでサンプルを照射するように構成された、光デリバリファイバを備える。

30

【 0090 】

第 29 の態様では、第 28 の態様に記載のレーザシステムにおいて、前記ＯＰＡは、前記信号波長範囲 $\Delta\lambda$ 内で調整可能なパルスを生成するように構成される。

【 0091 】

第 30 の態様では、前記システムは、前記モードロックレーザから下流に配置された 1 つ以上の光学増幅器を備えた第 28 の態様又第 29 の態様に記載のレーザシステムである。

40

【 0092 】

第 31 の態様では、前記システムは、第 1 の光学経路に配置され、圧縮された光パルスを供給する光パルス圧縮器、第 2 の光学経路に設けられた前記高非線形ファイバであって、前記圧縮された光パルス及びスペクトル的に拡大された光パルスが前記ＯＰＡに放出される高非線形ファイバ、並びに前記ＯＰＡと前記光デリバリファイバとの間に配置された光変調器であって、光パルスを選択し、前記出力波長を有するパルスを選択的に伝送し、かつ／又は出力パルスの強度を制御するように構成された光変調器を備える第 28 の態様

50

乃至第30の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムである。

【0093】

第32の態様では、第31の態様に記載のレーザシステムにおいて、前記高非線形ファイバは、ラマンシフト又はスーパーコンティニウム発生によって1050nmから1700nmの範囲で出力を生成する。

【0094】

第33の態様では、第28の態様乃至第32の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記OPAは、約1200nmから1700nmの範囲内の波長を有するパルスを増幅するように構成される。

【0095】

第34の態様では、第28の態様乃至第33の態様のいずれか一態様に記載のレーザシステムにおいて、前記光デリバリファイバは、少なくとも約500nmの出力波長範囲 $\Delta\lambda$ の出力の一部に亘って低い又は平坦化された分散を有することによって特徴づけられたカゴメファイバを備える。

【0096】

第35の態様では、MPMに対して構成され、かつ第28の態様乃至第34の態様のいずれか一態様によるレーザシステムに連結される最終使用装置である。

【0097】

第36の態様では、レーザ外科手術に対して構成され、かつ第28の態様乃至第35の態様のいずれか一態様によるレーザシステムと結合される最終使用装置である。

【0098】

以下の特許文献、特許出願及び非特許文献は、本開示に関連している。

【0099】

米国特許第5862287号明細書('287)及び米国特許第6249630号明細書('630)、「Apparatus and method for delivery of dispersion-compensated ultrashort optical pulses with high peak power」Stock 他

【0100】

米国特許第5880877号明細書('877)、「Apparatus and method for the generation of high-power femtosecond pulses from a fiber amplifier」Fermann 他

【0101】

米国特許第6236779号明細書('779)及び米国特許第6389198号明細書('198)、「Photonic crystal fiber system for sub-picosecond pulses」Kafka 他

【0102】

米国特許第6885683号明細書('683)、「Modular, high energy, widely-tunable ultrafast fiber source」Fermann 他

【0103】

米国特許第7257302号明細書('302)、「In-line, high energy fiber chirped pulse amplification system」Fermann 他

【0104】

米国特許第8040929号明細書('929)、「Optical parametric amplification, optical parametric generation, and optical pumping in optical fibers systems」Imeshev 他

10

20

30

40

50

【0105】

米国特許出願公開第2012/0195330号明細書('330)、「Method
s and systems for fiber delivery of high
peak power optical pulses」Cho他

【0106】

米国特許出願公開第2014/0023993号明細書(993)、「Apparat
us and method for multiphoton microscopy
」Zeng他

【0107】

国際特許出願PCT/US2015/011802号('802)、「Methods
and systems for high speed laser surger
y」、2015年1月16日出願

【0108】

「Ultrafast lasers、Technology and Applic
ations」、Section3.3:Liner pulse propagati
on in optical fibers.pgs.92-99、Fermann他著
、Marcel Dekker,2003(以下、「Ultrafast Lasers
」として参照)

【0109】

「Multiphoton Microscopy」、Leica Microsys
tems(Mannheim、ドイツ)による<http://w3.biosci.utexas.edu/pmc/webdocs/Multiphoton.pdf>から入手
可能

【0110】

Leica TCS MP5、「Optimized for Multiphoto
n Imaging」、Brochure、Leica Microsystems(M
annheim、ドイツ)による

【0111】

本開示を要約する目的のために、ある態様、効果、実施形態、実施例及び本開示の新規
特徴がここに記載されている。しかしながら、全てのこのような効果はいずれかの特定の
実施形態に従って必ずしも達成されなくてもよい。したがって、本開示の種々の態様は、
ここに教示又は示唆され得るような他の効果を必ずしも達成されずに1つ以上の効果を達
成する方法で実施又は実行されてもよい。各々の実施形態に対して必要又は必須な特徴又
は特徴の群はない。

【0112】

ここに記載された、例示の実験、実験データ、テーブル、グラフ、プロット、写真、図
面並びに処理及び/又は動作パラメータ(例えば、値及び/又は範囲)は、開示されたシ
ステム及び方法の動作条件を説明することを意図するものであり、ここに開示された方法
及びシステムの種々の実施形態に対する動作条件の範囲を限定することを意図するもので
はない。さらに、ここに開示された、実験、実験データ、計算データ、テーブル、グラフ
、プロット、写真、図面及び他のデータは、開示されたシステム及び方法の実施形態が1
つ以上の所望の結果を効率的に生成するように動作し得る種々の形態を実証する。このよ
うな動作形態及び所望の結果は、例えば、テーブル、グラフ、プロット、図面又は写真に
て示された動作パラメータ、条件又は結果の特定の値に限定されるだけでなく、これら特
定の値を含み、又は補う適切な範囲も含む。したがって、ここに開示された値は、テー
ブル、グラフ、プロット、図面、写真などにリスト化され又は示された値のいずれかの間の
値の範囲を含む。さらに、ここに開示された値は、テーブル、グラフ、プロット、図面、
写真などでリスト化され又は示された他の値によって実証され得るように、テーブル、グ
ラフ、プロット、図面、写真などに列挙又は図示された値のいずれかの上又は下の値の範
囲を含む。また、ここに開示されたデータは1つ以上の効果的な動作範囲及び/又はある

10

20

30

40

50

実施形態に対する 1 つ以上の所望の結果を立証し得るが、全ての実施形態が各々のこのような動作範囲において動作可能である必要はなく、又は各々のこのような所望の結果を生成する必要はないことが理解されるべきである。さらに、ここでのシステム及び方法の他の実施形態は、他の動作形態で動作してもよく、かつ / 又はここに開示された、例示の実験、実験データ、テーブル、グラフ、プロット、写真、図面及び他のデータを参照して示されかつ説明されたもの以外の結果を生じさせ得る。また、ここに開示された種々の値について、相対的な用語「約」、「実質的」などを用いてもよい。概して、特に断りがない限り、相対的な用語は、実施形態に応じて、 $\pm 20\%$ 内、 $\pm 15\%$ 内、 $\pm 10\%$ 内、 $\pm 5\%$ 内を意味する。

【0113】

10

他のシステム、セットアップ及びパラメータは他の実施例で用いられてもよく、それは同一又は他の結果をもたらし得る。多くの変形が可能であり、かつ本開示の範囲内で熟慮される。材料、構成要素、特徴、構造及び / 又は要素が、追加され、削除され、結合され、又は再配置されてもよい。さらに、プロセス又は方法ステップは、追加され、除去され、又は順序付けられてもよい。各々の実施形態に対して必須又は要求となる単一の特徴若しくはステップ又は特徴群若しくはステップ群はない。

【0114】

とりわけ、「can」、「could」、「might」、「may」、「例えば」などのここで用いられる条件付き言語は、特に明記されない限り、用いられるような文脈中でそれ以外に理解されるように、ある実施形態がある特徴、要素及び / 又はステップを含むが、他の実施形態は含まないということを伝えるように一般的には意図される。したがって、このような条件付き文言は、特徴、要素及び / 又はステップが、1 つ以上の実施形態についてあらゆる方法で要求されるということ、又は 1 つ以上の実施形態が著者による入力若しくは促すことの有無にかかわらず、これら特徴、要素及び / 又はステップがあらゆる特定の実施形態に含まれ、若しくは実行されるべきか否かを決定するというロジックを必ず含むということを示唆するように一般的には意図されない。用語「備える」、「含む」、「有する」などは、同義であり、かつオープンエンド形式で包括的に用いられ、追加の要素、特徴、行為、動作などを排除しない。また、用語「又は」は、例えば、要素の列挙に結び付けるように用いられるとき、用語「又は」は列挙中の要素の 1 つ、幾つか又は全てを意味するように、その包括的意味（その排他的な意味ではない）で用いられる。ここで用いられるように、項目のリストの「少なくとも 1 つ」というフレーズは、単一の部材を含む、それらの要素のあらゆる組み合わせに言及するものである。例として、「a、b 又は c の少なくとも 1 つ」は、a、b、c、a - b、a - c、b - c 及び a - b - c を含むことが意図されている。さらに、本出願及び添付の特許請求の範囲で用いられるような冠詞「a」及び「an」は、特に断りがない限り、「1 つ以上」又は「少なくとも 1 つ」を意味するものと解釈されるべきである。

20

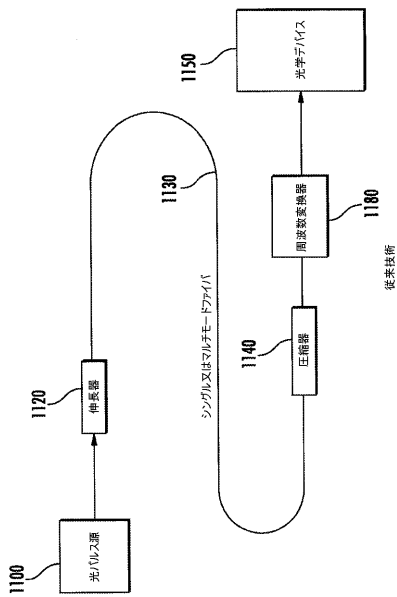
30

【0115】

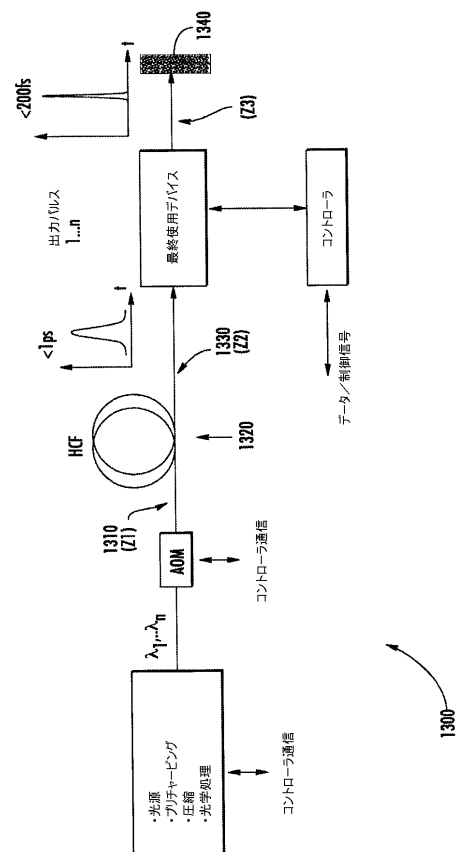
このように、ある実施形態のみがここで具体的に説明されてきたが、多数の変形例が本発明の精神及び範囲から逸脱することなくそれに対してなされ得ることが明白となる。さらに、頭字語は、単に本明細書及び特許請求の範囲を読み易くするために用いられている。これらの頭字語は使用される用語の一般性を減じるものではなく、特許請求の範囲をここに記載された実施形態に限定するものと解釈されるべきではないことが留意されるべきである。

40

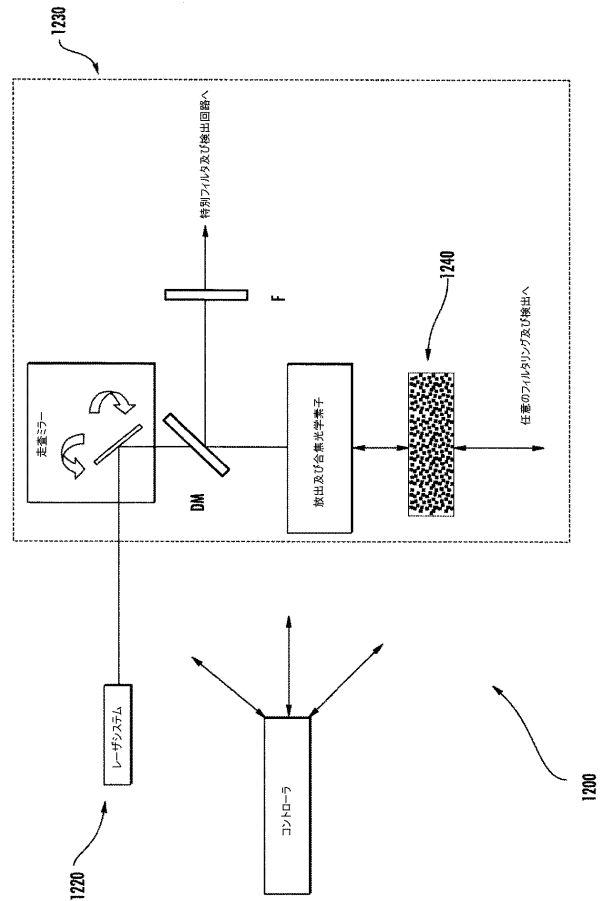
【図 1 A】



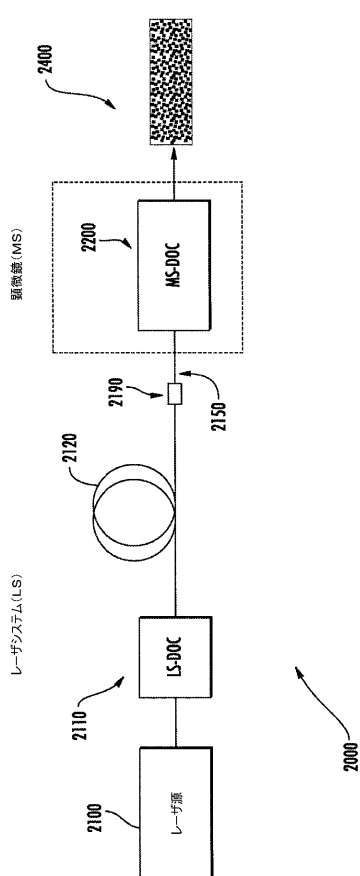
【図 1 C】



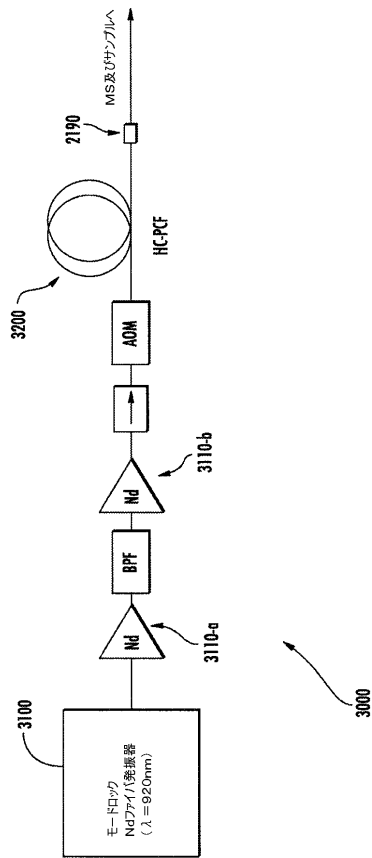
【図 1 B】



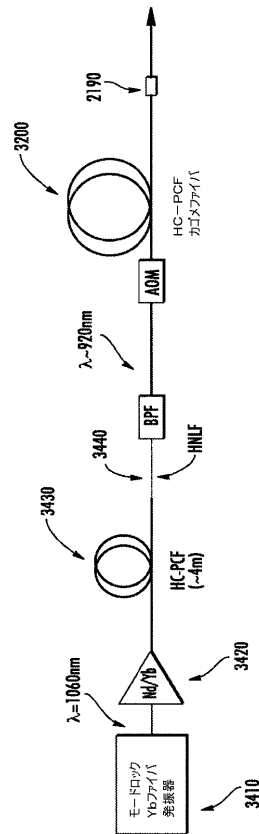
【図 2】



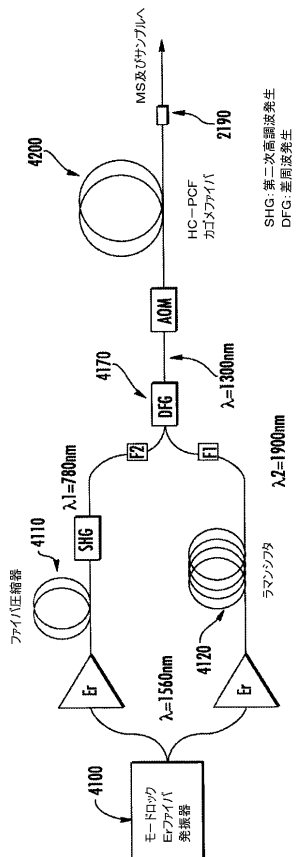
【図 3】



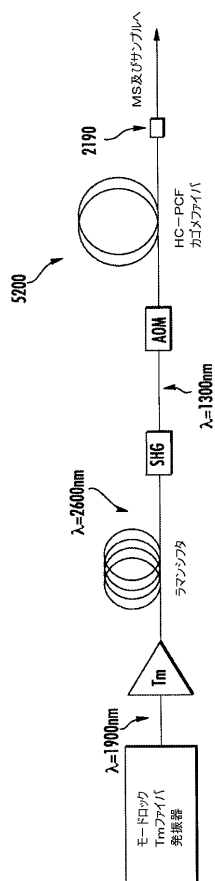
【図 3 A】



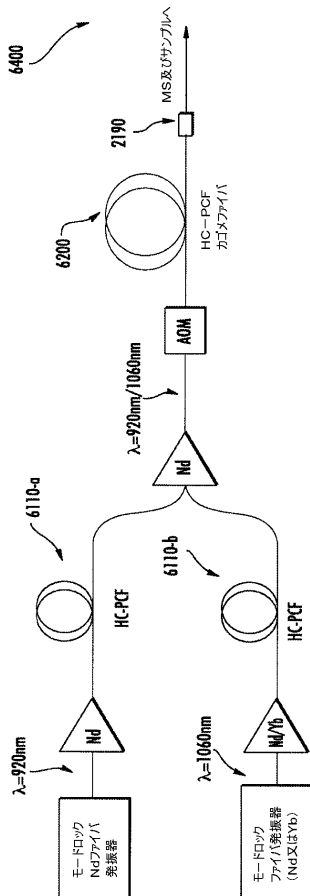
【図 4】



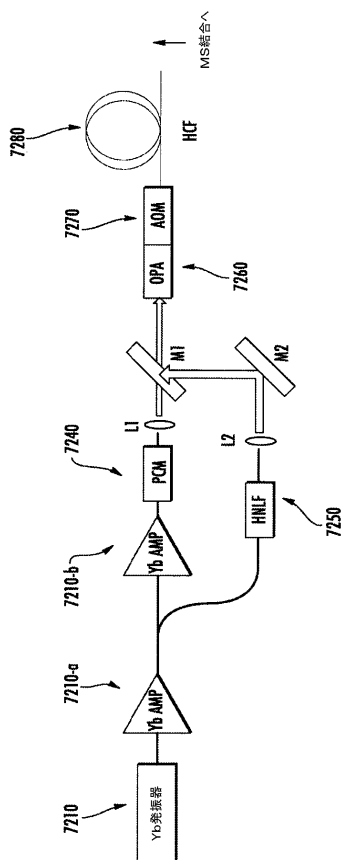
【図 5】



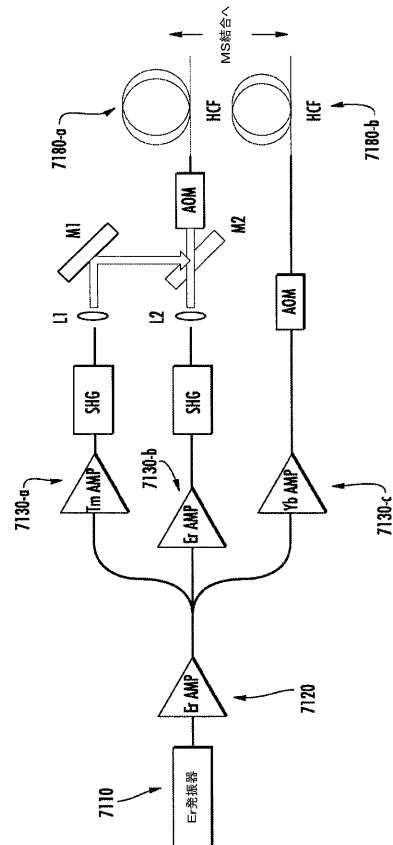
【 図 6 】



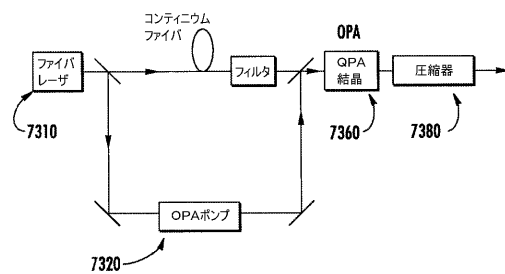
【圖 7 A】



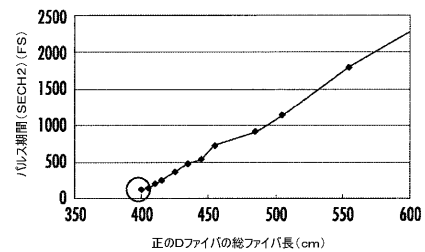
【 図 7 】



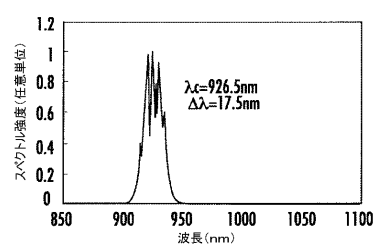
【 図 7 B 】



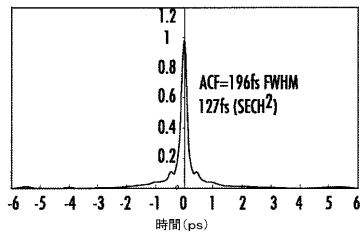
【 図 8 A 】



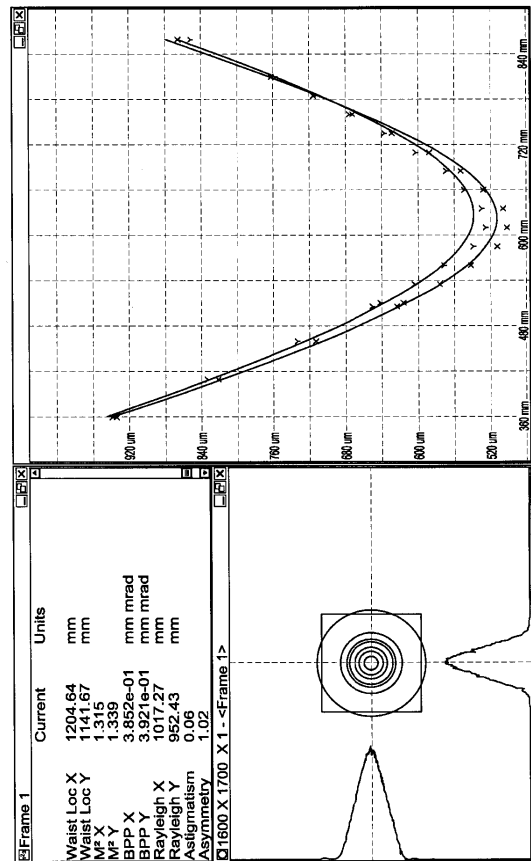
【 図 8 B 】



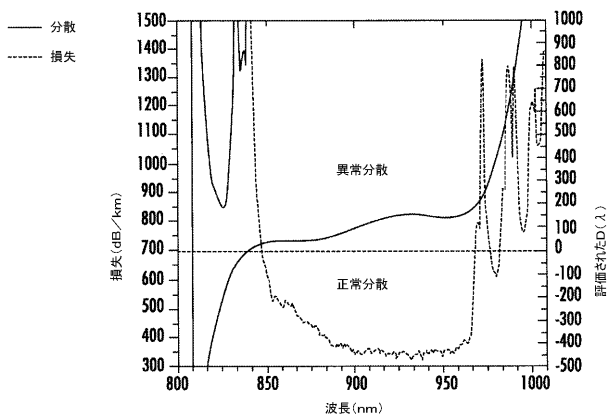
【図 8 C】



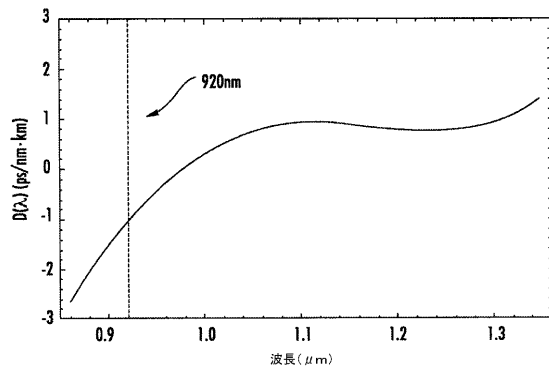
【図 8 D】



【図 9 A】



【図 9 B】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2015/017245

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01S3/00
ADD. H01S3/067 H01S3/16

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)
H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 862 287 A (STOCK MICHELLE L [US] ET AL) 19 January 1999 (1999-01-19) cited in the application	1-4,8, 15,16, 18,20, 23-25
Y	column 5, lines 13-60; claim 6; figure 1, column 6, line 20 - column 7, line 15 column 8, line 4 - column 10, line 34 -----	12-14, 21,22
Y	US 8 040 929 B2 (IMESHEV GENNADY [US] ET AL) 18 October 2011 (2011-10-18) cited in the application column 3, lines 61-67; claim 10; figures 4,5,12 column 7, lines 20-50 column 10, line 22 - column 11, line 5 column 11, line 62 - column 13, line 15 column 16, lines 28-57 column 20, lines 35-51 ----- -/--	12-14, 21,22, 28-36

☒ 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

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 June 2015

Date of mailing of the international search report

26/06/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Moskowitz, Pamela

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2015/017245

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 959 292 A2 (OLYMPUS CORP [JP]) 20 August 2008 (2008-08-20) paragraphs [0012] - [0016], [0043], [0041] - [0043], [0060], [0067], [0069]; claim 11; figures 1,2 -----	1,7,8, 17-19, 24,25
X	US 2007/290145 A1 (VIELLEROBE BERTRAND [FR] ET AL) 20 December 2007 (2007-12-20) paragraphs [0032], [0033], [0060], [0062], [0072], [0094], [0095], [0096]; figures 1,12 -----	1,7,8, 17,18, 24-26 36
X	US 2008/112709 A1 (OULIANOV DMITRI A [US] ET AL) 15 May 2008 (2008-05-15) paragraphs [0011], [0015], [0016]; figure 1 -----	1,5,6, 9-11,21, 24,25,27
X	EP 2 458 750 A2 (OLYMPUS CORP [JP]) 30 May 2012 (2012-05-30) paragraphs [0044], [0046], [0048], [0049], [0050], [0051], [0052], [0053], [0058], [0060], [0064], [0069], [0083], [0087], [0088], [0089], [0092]; figures 1,5,7,9-11 -----	1-8,15, 17-20, 24-26
Y	US 2013/083816 A1 (KUBO HIROKAZU [JP]) 4 April 2013 (2013-04-04) paragraphs [0036], [0042], [0050], [0081] - [0083], [0100]; figures 1,2,6 -----	28-35

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2015/017245

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5862287	A	19-01-1999	DE 19755361 A1 18-06-1998 JP 3546917 B2 28-07-2004 JP H10186424 A 14-07-1998 US 5862287 A 19-01-1999
US 8040929	B2	18-10-2011	EP 1812823 A2 01-08-2007 US 2005238070 A1 27-10-2005 US 2012062983 A1 15-03-2012 US 2013182724 A1 18-07-2013 WO 2005094275 A2 13-10-2005
EP 1959292	A2	20-08-2008	EP 1959292 A2 20-08-2008 JP 2008225454 A 25-09-2008 US 2008192339 A1 14-08-2008
US 2007290145	A1	20-12-2007	AU 2005298494 A1 04-05-2006 CA 2584748 A1 04-05-2006 EP 1817620 A2 15-08-2007 ES 2396426 T3 21-02-2013 FR 2877103 A1 28-04-2006 JP 5102622 B2 19-12-2012 JP 2008517291 A 22-05-2008 US 2007290145 A1 20-12-2007 WO 2006045936 A2 04-05-2006
US 2008112709	A1	15-05-2008	US 2008112709 A1 15-05-2008 US 2011311233 A1 22-12-2011
EP 2458750	A2	30-05-2012	EP 2458750 A2 30-05-2012 US 2012134011 A1 31-05-2012
US 2013083816	A1	04-04-2013	JP 2013083970 A 09-05-2013 US 2013083816 A1 04-04-2013

フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I			テーマコード (参考)		
H 0 1 S 3/00 (2006.01)	H 0 1 S	3/00		A		
H 0 1 S 3/10 (2006.01)	H 0 1 S	3/10		D		
G 0 2 B 21/06 (2006.01)	G 0 2 B	21/06				
G 0 2 B 1/02 (2006.01)	G 0 2 B	1/02				
A 6 1 B 18/22 (2006.01)	A 6 1 B	18/22				

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72) 発明者 堀 喬

アメリカ合衆国 4 8 1 0 5 ミシガン , アンアーバー , ウッドリッジ アヴェニュー 1 0 4 4

(72) 発明者 フェルマン , マーティン , イー .

アメリカ合衆国 4 8 1 0 5 ミシガン , アンアーバー , ウッドリッジ アヴェニュー 1 0 4 4

F ターム(参考) 2H052 AA07 AA09 AB24 AC13 AC14 AC15 AC26 AC27 AC34 AD34
 AF01 AF14
 2K102 AA05 AA07 AA08 AA10 AA15 BA13 BA18 BA20 BB02 BC01
 BD09 DA01 DA06 EB20
 4C026 AA01 BB07 HH15
 5F172 AF01 AF02 AF03 AF05 AF06 AM08 DD03 NN08 NN14 NN17
 NR03 NR14 NR21 NR23 NR24 ZZ03 ZZ04

专利名称(译)	应用于显微镜的多波长超短脉冲的产生和发射		
公开(公告)号	JP2017513211A	公开(公告)日	2017-05-25
申请号	JP2016553820	申请日	2015-02-24
[标]申请(专利权)人(译)	IMRA美国公司		
申请(专利权)人(译)	井村美国公司		
[标]发明人	堀 喬 フェルマンマーティンイー		
发明人	堀 喬 フェルマン,マーティン,イー.		
IPC分类号	H01S3/098 G02F1/37 G02F1/35 G02F1/39 G02F1/365 H01S3/00 H01S3/10 G02B21/06 G02B1/02 A61B18/22		
CPC分类号	H01S3/06758 G02F1/39 G02F2001/392 H01S3/005 H01S3/0057 H01S3/0085 H01S3/0092 H01S3/06708 H01S3/1106 H01S3/1608 H01S3/1611 H01S3/1616 H01S3/1618 H01S3/302 H01S2301/08 H01S2301/085		
FI分类号	H01S3/098 G02F1/37 G02F1/35.502 G02F1/39 G02F1/365 H01S3/00.A H01S3/10.D G02B21/06 G02B1/02 A61B18/22		
F-TERM分类号	2H052/AA07 2H052/AA09 2H052/AB24 2H052/AC13 2H052/AC14 2H052/AC15 2H052/AC26 2H052/AC27 2H052/AC34 2H052/AD34 2H052/AF01 2H052/AF14 2K102/AA05 2K102/AA07 2K102/AA08 2K102/AA10 2K102/AA15 2K102/BA13 2K102/BA18 2K102/BA20 2K102/BB02 2K102/BC01 2K102/BD09 2K102/DA01 2K102/DA06 2K102/EB20 4C026/AA01 4C026/BB07 4C026/HH15 5F172/AF01 5F172/AF02 5F172/AF03 5F172/AF05 5F172/AF06 5F172/AM08 5F172/DD03 5F172/NN08 5F172/NN14 5F172/NN17 5F172/NR03 5F172/NR14 5F172/NR21 5F172/NR23 5F172/NR24 5F172/ZZ03 5F172/ZZ04		
代理人(译)	吉泽博 三村治彦 久保田大树 冈部弘		
优先权	61/946093 2014-02-28 US		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

一方面，本公开描述了用于在多个波长范围内产生和传送飞秒（fs）脉冲的光纤激光系统。为了改善多光子显微镜的多功能性，描述了基于提供920和1060nm的增益的Nd光纤源的双波长光纤系统的示例。包括三波长系统的实例包括提供780nm，940nm和1050nm的输出。这些系统包括色散补偿，以便提供高质量的fs脉冲用于显微镜应用，例如在多光子显微镜（MPM）系统中。

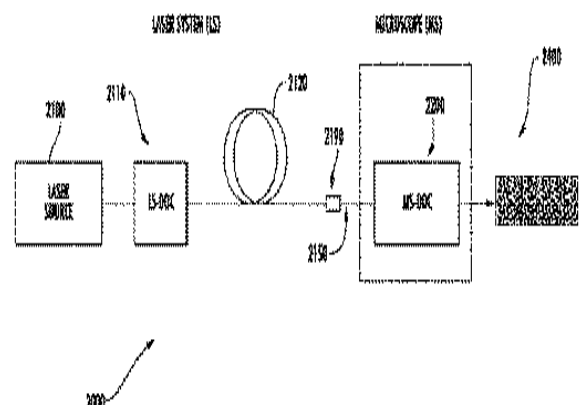


FIG. 2