

(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2017-528005

(P2017-528005A)

(43) 公表日 平成29年9月21日(2017.9.21)

| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
|----------------------|------------|-------------|
| HO1S 3/10 (2006.01) | HO1S 3/10 | 2K102 |
| HO1S 3/083 (2006.01) | HO1S 3/083 | 5F172 |
| HO1S 3/11 (2006.01) | HO1S 3/11 | |
| GO2F 1/35 (2006.01) | HO1S 3/10 | D |
| | GO2F 1/35 | |

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2017-526752 (P2017-526752)
 (86) (22) 出願日 平成27年7月21日 (2015.7.21)
 (85) 翻訳文提出日 平成29年2月6日 (2017.2.6)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2015/066645
 (87) 国際公開番号 W02016/020188
 (87) 国際公開日 平成28年2月11日 (2016.2.11)
 (31) 優先権主張番号 LT2014505
 (32) 優先日 平成26年8月6日 (2014.8.6)
 (33) 優先権主張国 リトアニア (LT)

(71) 出願人 517038992
 バルスティビニス モクスリニウ トリム
 インスティチュータス フィジニウ ア
 イアール テクノロジヨス モクスル
 セントラス
 リトアニア共和国 02300 ビルニウ
 ス サバノリウ ピーアール 231
 (74) 代理人 100079049
 弁理士 中島 淳
 (74) 代理人 100084995
 弁理士 加藤 和詳
 (72) 発明者 レゲルスキス、 ケスチューティス
 リトアニア共和国 05129 ビルニウ
 ス オゾ ジー 5-41

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超短光パルス発生のための方法及び発生器

(57) 【要約】

本発明はレーザ技術の分野に関し、特に超短光パルス発生方法及び発生器に関する。発生器の光学ループ内部での超短光パルス形成の1往復の行程には、光パルスを増幅し、光学透明媒体内における光Kerr効果により増幅された光パルスをスペクトル拡幅し、第1のスペクトル感知光学素子を利用したスペクトル拡幅された光パルスの所定スペクトル成分を選択し、選択された光パルスをその後再増幅し、光学透明媒体内における光Kerr効果により増幅された光パルスをスペクトル拡幅し、第2のスペクトル感知光学素子を利用してスペクトル拡幅された光パルスの所定スペクトル成分を選択する、ステップが含まれる。ここで、第1のスペクトル感知光学素子を用いて選択された光パルスのスペクトル成分は、第2のスペクトル感知光学素子を用いて選択された光パルスのスペクトル成分とは異なる。

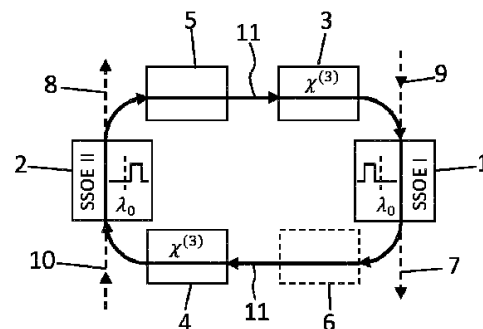


Fig.1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超短光パルスを発生する方法であって、パルスが閉軌道内を伝播する発生器光学ループ内部における前記超短光パルス形成の一往復の行程において、

増幅器（5、6）において光パルスを増幅し、

第1の光学透明材料（3）における光 K e r r 効果によって、前記増幅された光パルスをスペクトル拡幅し、

第1のスペクトル感知光学素子（1）を用いて、前記スペクトル拡幅された光パルスのスペクトル成分を選択し、

前記第1のスペクトル感知光学素子（1）は、光パルスの中から第1の所定範囲の波長に対応する前記スペクトル成分を選択し、他の波長の光パルスのスペクトル成分は前記発生器光学ループの外に向けられ、

前記第1のスペクトル感知光学素子を用いて選択された前記第1の所定範囲の波長の光パルスは、再度増幅可能であり、さらに第2の光学透明材料（4）又は上記の第1の光学透明材料（3）における光 K e r r 効果によって2度目のスペクトル拡幅がなされ、

前記2度目のスペクトル拡幅がなされた光パルスは、第2のスペクトル感知光学素子（2）を用いて、光パルスの中から第2の所定範囲の波長に対応するスペクトル成分を選択することによって分離され、他の波長を有する前記光パルスのスペクトル成分は前記発生器光学ループの外へ向けられ、

前記光パルスを前記発生器光学ループ内で伝播することにより上記の運転手順のサイクルが反復され、前記超短光パルスが形成される、

ステップを含む、方法であって、

前記第1のスペクトル感知光学素子（1）を用いて選択された光パルスの第1の所定範囲の波長は、前記第2のスペクトル感知光学素子（2）を用いて選択された前記光パルスの前記第2の所定範囲の波長とはスペクトル的に重ならない、

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記光パルスが伝播する前記閉軌道は円形軌道であり、前記超短光パルス発生器のリング型光学ループを形成する、ことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記光パルスが伝播する前記閉軌道は、前記光パルスが同一の重畳軌道を往復して伝播する直線型であり、前記超短光パルス発生器の直線型光学ループを形成する、ことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 4】

光学ループ（11）を備える光パルスを発生するための超短光パルス発生器であって、前記光学ループには、

少なくとも1つの光パルス増幅器（5、6）と、

光 K e r r 効果を現す、少なくとも1つの光学透明材料（3、4）と、

第1の所定範囲の波長の光パルスのスペクトル成分を選択するように設計された第1のスペクトル感知光学素子（1）と、

前記光学ループの外へ前記光パルスを抽出する手段（7、8）と、

前記光学ループ内へ種パルスを投入するように設計された手段（9、10）と、

第2の所定範囲の波長の光パルスのスペクトル成分を選択するように設計された第2のスペクトル感知光学素子（2）と

が配置され、

光 K e r r 効果を現す前記光学透明材料（3、4）及び前記光増幅器（5、6）は、前記超短光パルス発生器の前記光学ループ（11）内の前記スペクトル感知光学素子（1）と（2）の間に配置された、

発生器であって、

前記第1と第2のスペクトル感知光学素子（1）と（2）とは、前記第1の所定範囲の

10

20

30

40

50

波長と前記第 2 の所定範囲の波長とが異なり、且つ重なり合わないよう選択され、

前記発生器光学ループの外へ前記光パルス抽出する前記手段(7、8)は、前記スペクトル感知光学素子(1)と(2)で選択される前記第 1 と第 2 の所定範囲の波長とは異なる波長の光パルスを抽出するように設計されている、

ことを特徴とする発生器。

【請求項 5】

前記発生器の前記光学ループ(11)はリング型であり、

前記リング型の光学ループ(11)には、

少なくとも 1 つの増幅器(5、6)と、

対応する前記スペクトル感知光学素子(1)と(2)に対して交互に配置された、光 K e r r 効果を現す 2 つの前記光学透明材料(3)と(4)と、

が配置される、

ことを特徴とする、請求項 4 に記載の発生器。

【請求項 6】

前記発生器の前記光学ループ(11)は直線型であり、

前記直線型の光学ループ(11)には、2 つのスペクトル感知光学素子(1)と(2)が配置され、その間には、

光 K e r r 効果を現す、少なくとも 1 つの上記光学透明材料(3、4)と、

少なくとも 1 つの増幅器(5、6)と、

が配置され、

前記選択された波長の前記光パルスを反射し、前記パルス発生器の光学ループ(11)に戻す、前記直線型光学ループのエンドリフレクタを備える、

ことを特徴とする、請求項 4 に記載の発生器。

【請求項 7】

前記種パルスを投入するための前記手段は、パルス光源、好ましくはパルスレーザ光源に光学的に連結された、前記発生器の少なくとも 1 つの入力ブランチ(9、10)を備える、ことを特徴とする請求項 4 ~ 請求項 6 のいずれか一項に記載の発生器。

【請求項 8】

前記発生器の外へ前記光パルスを抽出するための前記手段(7、8)は、前記パルス発生器の光パルス出力ブランチ(7、8)を備え、

前記出力ブランチ(7、8)の少なくとも 1 つは前記発生器の種パルス入力ブランチ(9、10)の少なくとも 1 つに光学手段を介して光学的に連結され、

前記光学手段は、前記レーザの Q スイッチ又は光学スイッチである、

ことを特徴とする請求項 4 ~ 請求項 6 のいずれか一項に記載の発生器。

【請求項 9】

前記発生器出力ブランチ(7)又は(8)のいずれかに光学的に連結された外部増幅器、好ましくはファイバ増幅器がさらに備えられている、ことを特徴とする請求項 4 ~ 請求項 8 のいずれか一項に記載の発生器。

【請求項 10】

超短光パルス発生器は、全てファイバで設計されている、即ち全て光ファイバとファイバ部品とで構築されている、ことを特徴とする請求項 4 ~ 請求項 8 のいずれか一項に記載の発生器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本提案の発明は、レーザ技術の分野に関し、具体的には、パルス発生器の異なる部分における、光学透明材料内の光 K e r r 効果で生じる増幅光パルスのスペクトル拡幅と光パルスの二重分光と、による超短光パルス発生の方法と発生器とに関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

光ファイバのテーパ部分の周りを関連ポリマーとカーボンナノチューブの混合物で包んで作製された可飽和吸収体を利用して実現されるモード同期である、縦方向レーザモード同期に基づく運転により、超短光パルスを発生させる方法と装置が知られている。光ファイバのテーパ部を通して伝播する光は、外へ突き抜けてカーボンナノチューブと相互作用する。カーボンナノチューブの特異な特性により、可飽和吸収とモード同期が可能である。既知の方法及び装置は、米国特許出願公開第2011/0280263号明細書(2011)に記載されている。

【0003】

この方法と装置の欠点は、カーボンナノチューブとポリマー混合物とによる可飽和吸収体は、半導体可飽和吸収体(SESAM)と同様に劣化しやすいことである。発振器の寿命は、この不利な特性によって強く制約される。さらに、この方法では、カーボンナノチューブの不適當なスペクトル、時間及びエネルギー特性のためにモード同期を達成できないことがある。

10

【0004】

光ファイバ内部での光Kerr効果による非線形偏光回転効果によるモードの縦方向レーザモード同期に基づく運転による、超短光パルス発生の方法と装置が知られている。ここでは、正常分散を有する共振器内部でのパルス発生は、光学透明材料内の光Kerr効果による自己位相変調によって生じるスペクトル拡幅されたパルスをスペクトルフィルタリングすることによって達成される。スペクトルフィルタリングにより強くチャープされた(chirped)ピコ秒パルスが発振器の共振器内に発生され、レーザパルスは発振器の出力部ではフェムト秒の長さまで圧縮可能である。この既知の方法と装置は、米国特許出願公開第2010/220751号明細書(2010)に記載されている。

20

【0005】

この既知の方法と装置の不利な点は、全ての外部擾乱に対して非常に不安定であり、周辺温度の変動に対して敏感であり、実験室条件下での使用にしか適していないことである。その場合においても、モード同期が非偏向維持光ファイバを利用して達成されるために、発生パルスのパラメータは、予測できないことが多い。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の目的は、発生した超短光パルスの出力安定性、光学方式の信頼性と簡略性、外部環境の擾乱に対する耐力、経時劣化に対する耐力、を向上させ、コストを低減することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の問題を解決するために、本提案の超短光パルス発生方法によれば、パルスが閉軌道内を伝播する発生器光学ループ内部における一往復の超短光パルス形成行程において、光パルスの増幅し、光学透明材料における光Kerr効果によって、増幅された光パルスをスペクトル拡幅し、第1のスペクトル感知光学素子を用いたスペクトル拡幅された光パルスのスペクトル成分を選択することによって、異なる波長の拡幅された光パルスの二重スペクトル選択を行う、ステップとを含む。第1のスペクトル感知光学素子が所定の波長の光パルスを選択し、そこでその他の波長の光パルスは発生器の光学ループの外に向けられる。第1のスペクトル感知光学素子を用いて選択された所定の波長の光パルスは再度増幅することが可能であり、さらに別の光学透明材料又は上記の光学透明材料における光Kerr効果によって2度目のスペクトル拡幅をされ、2度目のスペクトル拡幅された光パルスは、第2のスペクトル感知光学素子を用いて、光パルスの中から所定波長のスペクトル成分を選択することによってスペクトル成分に分離され、そこでその他の波長を有する光パルスは、発生器光学ループの外に向けられる。ここで、第1のスペクトル感知光学素子を用いて選択された光パルスの所定の波長は、第2のスペクトル感知光学素子を用いて選択された光パルスの波長とは異なる。この運転手順のサイクルが発生器光学ループ内で

40

50

の光パルスの伝播によって反復されて超短光パルスが発生する。

【0008】

光パルスが伝播する閉軌道は円形軌道であってよく、超短光パルス発生器のリング型光学ループを形成する。

【0009】

光パルスが伝播する閉軌道は光パルスが同一の重畳軌道を往復して伝播する直線型であってよく、超短光パルス発生器の直線型光学ループを形成する。

【0010】

本発明の別の実施形態によれば、超短光パルス発生器が提案される。これは光学ループを備え、そこには、少なくとも1つの光パルス増幅器と、光K e r r効果を現す少なくとも1つの光学透明材料と、スペクトル感知光学素子と、光学ループの外へ光パルスを抽出する手段と、光学ループ内へ種パルスを投入するための手段と、が配置される。ここで、所定の波長の光パルスのスペクトル成分を選択するように設計された2つのスペクトル感知光学素子が備えられ、第1のスペクトル感知光学素子を利用して選択される所定の波長は、第2のスペクトル感知光学素子を利用して選択される所定の波長とは異なる。光K e r r効果を現す光学透明材料と光増幅器は、超短光パルス発生器の光学ループ内の複数のスペクトル感知光学素子の間に配置される。上記の少なくとも1つの光学透明材料内で光パルスのスペクトルが拡幅されるまでは選択されたそのスペクトルが重ならないか、又はスペクトルの重なりにより光学ループ内に形成されたレーザ共振子の損失がその振幅よりも大きくなるまでは選択スペクトルが重なるかのいずれかとなるように第1と第2のスペクトル感知光学素子は選択される。発生器光学ループの外へ光パルスを抽出する手段は、スペクトル感知光学素子で選択される所定の波長とは異なる波長の光パルスを抽出するように設計されている。

10

20

【0011】

発生器の光学ループは、リング型であってよい。このリング型光学ループには、少なくとも1つの増幅器と、対応するスペクトル感知光学素子に対して交互に配置された光K e r r効果を発現する2つの光学透明材料と、が配置される。

【0012】

発生器の光学ループは、直線型であってよい。この直線型光学ループには、2つのスペクトル感知光学素子があり、その間には光K e r r効果を発現する少なくとも1つの上記の光学透明材料と、少なくとも1つの増幅器とが配置される。ここで直線型光学ループのエンドリフレクタが備えられて、選択された波長の光パルスを反射してパルス発生器の光学ループに戻す。

30

【0013】

種パルスを投入するための手段は、パルス発生器の少なくとも1つの入力ブランチを備え、これはパルス光源、好ましくはパルスレーザ光源に光学的に連結されてよい。

【0014】

発生器の外へ光パルスを抽出するための手段は、パルス発生器のパルス出力ブランチを備え、出力ブランチの少なくとも1つは、発生器の種パルス入力ブランチに光学手段を介して光学的に連結されてよい。この光学手段は、レーザのQスイッチ又は光学スイッチであり得る。

40

【0015】

スペクトル感知光学素子は、上記の増幅器であり、光パルスのスペクトル選択フィルタ機能は、増幅器の波長依存利得バンドによって遂行される。

【0016】

光パルスは、例えば利得ファイバ又はレーザ利得媒体などの同一の光学透明利得材料内の光K e r r効果により、増幅されかつスペクトル拡幅される。

【0017】

任意の発生器出力ブランチに光学的に連結された外部増幅器、好ましくはファイバ増幅器が備えられる。

50

【0018】

超短光パルス発生器は全てファイバで設計されている。即ち、全てが光ファイバとファイバ部品とで構築されている。超短光パルス発生器全体は、ファイバ要素、即ち、光ファイバとファイバ部品で構築されている。

【発明の効果】

【0019】

本方法は、エネルギーが数ナノジュール (nJ) で、持続時間が約 1 ps の光パルスの発生を可能とする。多くの場合パルス発生器の設計の特徴に依存して、発生した光パルスは直線的にチャープされる。そうして外部パルス圧縮器を利用してフェムト秒の持続時間にまで圧縮可能である。パルス発生器は、光ファイバを用いて構築可能である。これは偏波保持ファイバ又は偏波非保持ファイバであってよい。またパルス発生器は、極めて安定で温度変動耐力がある。これは半導体可飽和吸収体 (SESAM) のような劣化要素がないために安定であって信頼性が高い。設計特性 (受動光ファイバ及び強制光ファイバの長さ、ファイバのコア直径、スペクトル選択性光学素子のスペクトル特性、増幅器の特性および利得) により、発生した光パルスのパラメータ (パルス持続時間、エネルギー、反復速度、時間特性、スペクトル特性、など) について非常に広範囲な実用的な選択が可能である。パルス発生は、パルス発生器の全方式分散とは無関係とすることが可能であり、パルス発生器方式の全分散を、ゼロ、ノーマル、アノーマルとすることができる。パルスの時間特性とスペクトル特性のみが、パルス発生器の方式分散に依存する。

【0020】

光パルスのスペクトル拡幅は、光 Kerr 効果に関する任意の非線形効果、即ち、自己位相変調、相互位相変調、四光波混合の任意のものを利用して実現可能である。一般に、パルススペクトル拡幅は、光 Kerr 効果が発現する (3 次非線形性が 0 でない、即ち、 $(^3) 0$) 任意の光学透明材料 (ガラス、光ファイバ、液体、フォトニック結晶、気体、など) において実現可能である。光パルスは、レーザ (量子) 増幅器、光学パラメトリック増幅器 (三光波または四光波非線形相互作用原理で動作する)、ラマン増幅器、ブリルアン増幅器、半導体光増幅器、ファイバ増幅器の任意の増幅器を利用して増幅可能である。光パルスのスペクトル選択は、誘電体フィルタ (バンドパス、ショートパス、ロングパス、マルチパス、等)、ブラッグミラー、ファイバブラッグ格子、回折格子、リオフィルタ、音響光学チューナブルフィルタ、ファブリ・ペロ干渉計、又は波長感度によって特徴づけられる他の任意の光学素子を利用して遂行可能である。

【0021】

超短光パルス発生器は、種入力ブランチを介して種パルスを注入するか、発生器の種入力ブランチを発生器の出力ブランチに短時間連結することにより運転を開始可能である。こうして、発生器の光学ループが短時間の間 (この連結の時間は光パルスが発生器の光学ループを 1 周する時間にほぼ等しいかそれよりも短い) 分光的に開放され、それがレーザ共振子を形成して、そこに自発ノイズから種パルスが生じる。発生器の種入力ブランチと出力ブランチは、周知の、強制と受動の両方のスイッチである、パルスレーザ Q スイッチ、高速光学スイッチ (音響光学変調器、ポッケルスセル、電気光学変調器、機械的スイッチ、回転プリズム又は回転ミラー、圧電スイッチ、半導体可飽和吸収体 SESAM、など) を利用することで光学的に連結可能である。または、スペクトル選択光学素子のスペクトル特性を短時間重ねて、それによって自発ノイズから種パルスが生じるレーザ共振子を形成することによって超短パルス発生器を開始させることが可能である。種パルスのパラメータは発生器出力パルスのパラメータ (持続時間、エネルギー、スペクトル幅、スペクトル位相、時間的形狀など) と近似的に合致してさえいればよく、数オーダで異なってもよい。種パルスが発生器光学ループ内に入ると、数往復の後に関連する特性を有する発生器パルスが形成され、発生器の出力ブランチにおいて安定した特性 (エネルギー、時間特性、スペクトル) を有する超短光パルスが発生する。パルス発生器の光学ループ内に、 1 つの循環パルスのみではなく、いくつかのパルスを励起、発生させることができる。パルス発生器をリング回路構成とすることで、逆伝搬パルスの発生が可能である。パルス発

生器は、発生器光学ループ内に生じるフレネル反射及びファブリ・ペロエタロンに対する耐力があり、このために発生器光学ループは異なる種類の光ファイバから成ることが可能である。光学ループ内部では、潜在的に発生器の稼働を妨げる可能性のあるフレネル反射を危惧せずに、中空のフォトニック結晶ファイバ（PCF）を接合することができる。パルス発生器は、ファイバを相互接合し、またその他のファイバ部品（ファイバハブ、WDM、ファイバブラッグ格子、ファイバ偏光子、ファイバミラー、ピグテール型ファイバポンプダイオード）と接合することにより、全ファイバ型とすることができる。発生器は、偏波保持及び非保持光ファイバ、単一モード及び広モード域ファイバから作ることが可能である。発生したパルスは、異常群速度分散を有する適切な長さの中空PCFファイバ（例えばNKTフォトニクス社のHC-1060ファイバ）を発生器の出力ブランチに連結

10

【0022】

使用される用語

スペクトル選択性光学素子SSOE（波長感知光学素子）：誘電体フィルタ、干渉フィルタ、ダイクロイックミラー、ファイバブラッグ格子、ポリウムブラッグ格子、回折格子、プリズム、リオフィルタ、音響光学チューナブルフィルタ、ファブリ・ペロ干渉計、対応利得幅の増幅器、及びその他のスペクトル選択性を有する手段。

【0023】

増幅器：レーザ（量子）増幅器、光学パラメトリック増幅器（三光波または四光波非線形相互作用原理で動作する）、ラマン増幅器、 Brillouin 増幅器、半導体光増幅器、光ファイバ増幅器、及びその他の光増幅手段。

20

【0024】

光Kerr効果を特徴とする光学透明材料：光ファイバ、フォトニック結晶ファイバ、フォトニック結晶、ガラス、液体、光学利得ファイバ、又は3次（キュービク）光学非線形性（³）₀を有するその他の任意の光学透明材料。

【0025】

Qスイッチ又は光学スイッチ：音響光学変調器、ポッケルスセル、電気光学変調器、機械的スイッチ、回転プリズム又は回転ミラー、圧電スイッチ、SESAM、半導体可飽和吸収体など。

30

【0026】

光学的手段：増幅器、光Kerr効果を特徴とする（3次光学非線形性（³）₀を有する）光学透明材料、及びスペクトル選択性光学素子。

【0027】

パルス発生器光学ループ：光パルスが伝播し、パルス発生器の光学手段が配置された、閉軌道。レーザ共振子との類似性から、パルス発生器の光学ループは、光パルスが円形の一方に伝播する円形構成であってよく、あるいはパルス発生器の光学ループは、光パルスが同一の閉鎖重畳軌道を往復する直線構成であってよい。

【0028】

光学透明材料を通して伝播する光パルスは、光Kerr効果によってスペクトル拡幅される。スペクトル拡幅されたパルスが第1のスペクトル選択性光学素子（SSOE I）に入り、そこで光パルスの特定の波長が選択され、それが増幅器に向けられる。他の波長は第1の出力ブランチに向けられる。SSOE Iによってスペクトル分離された光パルスは、（ただし必ずしもそうではないが）第2の増幅器で増幅されて、光学透明材料内で光Kerr効果によって再度スペクトル拡幅される。スペクトル拡幅された光パルスは第2のスペクトル選択素子（SSOE II）に入り、SSOE Iで選択されたのと同じではない、光パルスの特定の波長が選択され、それが第1の増幅器へ向けられる。SSOE IIの他の波長は第2の出力ブランチに向けられる。SSOE IIによってスペクトル選択された光パルスは、第1の増幅器で再度増幅されて光学透明材料内の光Kerr効果によってスペクトル拡幅される。この光パルス増幅、光Kerr効果による光パルスのスペクト

40

50

ル拡幅、及びスペクトル分離が連続的に反復されて、超短光パルスが発生する。第1と第2のスペクトル選択性光学素子は、任意のスペクトル特性であってもよい。ただし、SSOEIとSSOEIIは同時に同じ波長を選択しない。その結果発生器光学ループに戻ってくる光パルスのスペクトルは分離され、光パルスが完全に1往復した光パルスに対してスペクトル的に閉じられる。発生器の光学ループがスペクトル的に閉じられた結果、縦方向レーザモードは存在し得ず、このために本提案のパルス発生方法は通常モード同期には関係しない。

【0029】

パルス発生器光学ループの長さは、光パルスが元の位置に戻って同一方向に伝播するまでの発生器の光学ループ内の光パルスの全伝播経路である。パルス発生器の光学ループは、パルスが光学ループの周りを一方向に進むリング構成であってもよい。あるいはパルス発生器の光学ループは、パルスが同一の重畳軌道を前後に進む直線構成であってもよい

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】全ての光学手段が円形に順番に配置され、超短光パルス発生器のリング型光学ループを構成する、本提案の発生器の光学ループである。

【図2】全ての光学手段が順番に配置され、光パルスが同一の重畳閉軌道を前後に伝播し、複数の手段が超短光パルス発生器の線形光学ループを形成している、本提案の装置の光学方式ある。さらに、この方式には、超短光パルス発生器の励起用のQスイッチも示されている。

【図3】第1と第2のスペクトル選択性光学素子、この特定の場合にはスペクトルフィルタ、の波長に依存する透過特性の例である。

【図4】全てがファイバとファイバ部品から成り、ファイバ発生器の方式構成が直線的である、本提案の発生器の方式を示す。

【発明を実施するための形態】

【0031】

提案された超短光パルスを発生させる方法であって、パルスが閉軌道内を伝播する発生器光学ループ内部における一往復の超短光パルス形成において、光パルスを増幅し、光学透明材料における光Kerr効果により、増幅された光パルスのスペクトルを拡幅し、第1のスペクトル選択性光学素子(SSOEI)を用いてスペクトル拡幅された光パルスのスペクトル成分を選択することであって、所定の波長の光パルスを分離して、その他の波長を発生器光学ループから外へ向けさせ、スペクトル分離した光パルスをSSOEIで(必要があれば)増幅し、増幅された光パルスのスペクトルを光学透明材料での光Kerr効果により拡幅し、スペクトル拡幅された光パルスを第2のスペクトル選択性光学素子(SSOEII)を用いてスペクトル分離し、SSOEIによって分離された波長とは異なる所定の波長の光パルスを選択し、その他の波長は第2の出力ブランチに向けさせる、ステップを含む。SSOEIIでスペクトル分離された光パルスは、元の位置に戻され、運転手順が周期的に反復される。

【0032】

提案された超短光パルス発生器であって、図1に示す光学透明材料(3、4)内の光Kerr効果により光パルスがスペクトル拡幅される。全ての光学手段(5、3、1、6、4、2)は、円の中に一貫して配置され、光パルスの伝播軌道経路がリング型の光学ループ11を形成する。増幅器5で増幅される光パルスは、光学透明材料3内でスペクトル拡幅される。スペクトル拡幅された光パルスは、特定の波長の光パルスを選択するSSOEI1を通過して伝播する。他の波長の光パルスは、第1の出力ブランチ7へ向けられる。SSOEI1を透過するスペクトル分離された光パルスは、増幅器6へ向けられる。増幅器6で増幅された(ただし必ずしも必要ではない)光パルスは、光学透明材料4で再度スペクトル拡幅され、特定の波長の光パルスを選択するSSOEII2に入る。その他の波長の光パルスは、第2の出力ブランチ8へ向けられる。SSOEI1とSSOEII2は、同一波長の光パルスを選択(透過)しない。SSOEII2を通過するスペクトル分離さ

10

20

30

40

50

れた光パルスは、増幅器 5 へ向けられる。その後、この運転手順が周期的に再度反復される。超短光パルス発生器は、種入力ブランチ (9、10) のいずれかを通して種パルスを注入する、又は、第 1 の出力ブランチ 7 を第 1 の種入力ブランチ 9 に又は第 2 の出力ブランチ 8 を第 2 の種入力ブランチ 10 に光学的に短時間連結することによって開始される。さらに、超短光パルス発生器は、SSOEI 1 と SSOEII 2 のスペクトル特性を時間的に重ねることによって開始可能である。したがって、パルス発生器の光学ループ 11 は、スペクトル的に開放され、レーザ共振子が形成され、種パルスが自発ノイズから発生する。さらに、SSOEI 1 によりスペクトル選択された光パルスのピーク出力が、光学透明材料 4 内でのスペクトル拡幅に十分であれば、増幅器 6 は必要ない。

【 0033 】

図 1 は、リング型回路を有する超短光パルス発生装置である。ここで、1 は第 1 のスペクトル選択性光学素子である。2 は第 2 のスペクトル選択性光学素子である。3、4 は、光学透明材料であり、光 Kerr 効果 (自己位相変調、又は相互位相変調、又は四波混合) により光パルスのスペクトルが拡幅される。5、6 は増幅器であり、光パルスが増幅される。7、8 は、超短光パルス発生器の第 1 と第 2 の出力ブランチである。9、10 は第 1 と第 2 の種入力ブランチである。11 はリング型方式の超短光パルス発生器である。

【 0034 】

図 2 は、直線型光学ループ (11) を有する別の超短光パルス発生装置を示す。ここで、全ての光学手段 (2、4、5、3、1) は順番に配置され、前進と後退の光パルス伝播経路が重なって直線型の光学ループ 11 を構成する。光パルスは光学透明材料 3、4 における光 Kerr 効果によりスペクトル拡幅される。増幅器 5 で増幅された光パルスは、光学透明材料 3 内でスペクトル拡幅される。そしてスペクトル拡幅された光パルスは、特定の波長の光パルスのみが選択されて戻される SSOE I 1 に入る。他の波長の光パルスは第 1 の出力ブランチ 7 へ送られる。SSOE I 1 でスペクトル分離されて戻された光パルスは、再度光学透明材料 3 に入る。パルスが後退方向に光学透明材料 3 を貫通して伝播する間に、スペクトル分離されて戻されるパルスのピーク出力が不十分であれば、パルススペクトルはわずかに拡幅され得る。その後、光パルスは増幅器 5 に再入力され、増幅器 5 で増幅された光パルスはもう 1 つの光学透明材料 4 でスペクトル拡幅され、特定の波長の光パルスだけを分離して戻す SSOE II 2 に入る。他の波長は、第 2 の出力ブランチ 8 へ到達する。SSOE I 1 と SSOE II 2 は、ともに同じ波長をもつ光パルスを分離して発生器ループ 11 へ戻すことはしない。SSOE II 2 でスペクトル分離された光パルスは戻され、光学透明材料 4 に再度入る。スペクトル分離され戻されたパルスのピーク出力が不十分であれば、光パルスは、光学透明材料 4 中を後退方向に伝播する間に、パルススペクトルが僅かに拡幅され得る。その後パルスは再び増幅器 5 に再入射され、こうして運転手順が周期的に繰り返される。超短パルス発生器は、種入力ブランチ (9、10) のいずれかを介して種パルスを注入するか、又は出力ブランチ 8 を種入力ブランチ 10 に短時間連結するかによって開始される。Q スイッチ 12 が短時間開かれ、ミラー 13 が出力ブランチ 8 を種入力ブランチ 10 に連結した状態で、レーザ共振子が形成されて種パルスが自発ノイズから生成される。同様に、第 1 の発生器出力ブランチ 7 を有する、第 1 の種入力ブランチ 9 を連結することも可能である。または、SSOE I 1 と SSOE II 2 のスペクトル特性を短時間重ねることによって、超短光パルス発生器を開始することも可能である。これはパルス発生器の直線光学ループ 11 がスペクトル的に開放されてレーザ共振子が形成され、種パルスが自発ノイズから成長するからである。さらに、SSOE I 1 から戻る光パルスの強度が十分に大きくて光学透明材料 3 内で適切なスペクトル拡幅を達成するので、光学透明材料 4 は必要でない。

【 0035 】

図 2 は、種パルス生成のための Q スイッチ 12 を備えた、直線型方式の超短光パルス発生器である。1 は第 1 のスペクトル選択性光学素子である。2 は第 2 のスペクトル選択性光学素子である。3、4 は光学透明材料であり、ここで光 Kerr 効果 (自己位相変調、又は相互位相変調、又は四波混合) により光パルスのスペクトルが拡幅される。5 は増幅

10

20

30

40

50

器であり、ここで光パルスが増幅される。7、8は光パルス発生器の第1と第2の出力ブランチである。9、10は第1と第2の種入力ブランチである。11はパルス発生器の直線型回路である。12はQスイッチ(変調器)である。13はミラーである。

【0036】

図3は、この例ではフィルタである第1と第2のスペクトル選択性光学素子(1、2)の波長に依存する透過特性の例を示す。図3aは、バンドパスフィルタのスペクトル特性を示し、第1と第2のフィルタ(1、2)の透過帯域が分離されている。スペクトルフィルタ(1、2)の透過帯域は、形成されたレーザ共振子の損失が増幅よりも大きくなるまではわずかに重なり、レーザ放出は開始されない。図3bは、エッジフィルタの特性を示す。第1のフィルタ1は短波長のみを通し、第2のフィルタ2は長波長のみを通す。図3cは、マルチバンドフィルタの特性を示す。第1と第2のフィルタ(1、2)の帯域は重ならないか、重なってもレーザ放出を開始しない。図3cには、第1のフィルタ1がバンドパスフィルタであり、第2のフィルタ2が長波長のみを透過するエッジカットフィルタである場合が示されている。全ての例において、第1のフィルタ1と第2のフィルタ2のスペクトル透過関数は重ならないか、形成されたレーザキャビティの損失が増幅より大きくなるまでは重ならず、自励発生は開始されない。

10

【0037】

図3は、この例ではフィルタである第1のスペクトル選択性光学素子1と第2のスペクトル選択性光学素子2の波長に依存する透過特性の例である。aは、第1のフィルタ1と第2のフィルタ2がバンドパスフィルタの例である。bは、エッジフィルタの例である。第1のフィルタ1はショートパスフィルタ、第2のフィルタ2はロングパスフィルタである。cは、マルチバンドフィルタの例である。第1のフィルタ1と第2のフィルタ2の帯域は重ならないか、レーザ共振子が形成されて自励発生が始まるまで、即ち、形成されたレーザ共振子の損失がその増幅よりも大きくなるまで重なる。

20

【0038】

図4は、直線型光学ループを有する別の全ファイバ製の超短光パルス発生装置を示す。超短光パルス発生装置の全体は、相互に接合された、光ファイバとファイバ部品とで構築されている。この特定の場合には、スペクトル選択性光学素子(1、2)は、ファイバブラッグ格子(14、15)であり、光パルスは、イッテルビウム(Yb)イオン添加であり得る利得ファイバ22内で増幅され、光パルスは光ファイバ3、4内でスペクトル拡幅される。利得ファイバ22で増幅された光パルスは、信号-ポンプ結合器19を通過して伝播し、光ファイバ3でスペクトル拡幅される。スペクトル拡幅されたパルスは、第1のファイバブラッグ格子14に入り、光パルススペクトルの特定部分がファイバブラッグ格子14から反射されて戻され、パルススペクトルの透過部分はコネクタ16を有する第1の出力ブランチ/種入力ブランチを通過して出て行く。戻りのスペクトル分離された光パルスは再度光ファイバ3を通り、信号-ポンプ結合器19を通過して利得ファイバ22に入る。増幅された光パルスは、信号-ポンプ結合器20を通り、光ファイバ4でスペクトル拡幅される。スペクトル拡幅されたパルスは、第2のファイバブラッグ格子15に入り、光パルススペクトルの特定部分がファイバブラッグ格子で反射されて戻され、パルススペクトルの透過部分は、コネクタ17を有する第2の出力ブランチ/種入力ブランチを通過して出て行く。ファイバブラッグ格子15から反射されて戻された光パルスは、再び光ファイバ(4)を通過して伝播し、信号-ポンプ結合器20を通過して利得ファイバ22に入る。この後は、この運転手順が周期的に何度も反復される。第1と第2のファイバブラッグ格子14、15の反射スペクトルは重ならないか、形成されたレーザ共振子の損失がその増幅よりも大きくなるまでしか重ならない。超短光パルス発生器は、コネクタ(16、17)を有する任意の種入力/出力ブランチを介して種パルスを注入するか、又は発生器で発生した放射をコネクタ(16、17)の有る任意の出力ブランチに短時間反射してレーザ共振子を発生させて自発ノイズから種パルスを成長させることによって開始される。ポンプ放射が信号-ポンプファイバ結合器19のポンプ放射入力ブランチ18を介して利得ファイバ22に入射される。ファイバ22に吸収されないポンプ放射は、ポンプ-信号ファイバ

30

40

50

結合器 20 のポンプ放射出力ブランチ 21 を介して遂行される。

【 0 0 3 9 】

図 4 は、全ファイバ製の超短光パルス発生器である。スペクトル拡幅された光パルスはファイバブラッグ格子 (1 4 、 1 5) によりフィルタリングされる。3、4 は、パルスが光 K e r r 効果によりスペクトル拡幅される受動光ファイバである。16、17 はコネクタを有する超短光パルス出力及び種入力ブランチである。19、20 は、ポンプと信号の結合器 (W D M) である。18 は、ポンプ入力ブランチである。21 は、非吸収ポンプ放射の出力ブランチである。22 は、利得ファイバである。

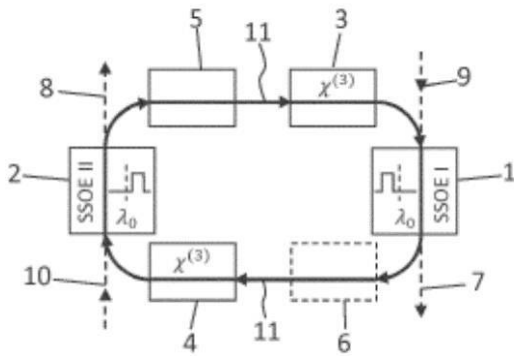
【 0 0 4 0 】

超短光パルス発生器は、所定の波長の光パルス成分を分離することを意図した 3 つ以上のスペクトル選択性光学素子を持ち得る。そうして他の波長の光パルスは発生器から出力ブランチを介して搬出される。本発生器においては、スペクトル選択性光学素子の間に、発生器方式を形成する光 K e r r 効果の特徴とする光学透明材料が配置される。そこには少なくとも 1 つの光増幅器が配置され、そのスペクトル選択性光学素子のそれぞれが異なる波長の光パルスをスペクトル分離し、隣接するスペクトル選択性光学素子間を伝播するときはスペクトルの重なりは可能である。しかしながら、発生器光学ループ内の閉軌道にある上記の全てのスペクトル選択性光学素子を光パルスが通過した後は、上記の光学透明材料内での光 K e r r 効果によって光パルスのスペクトルがスペクトル拡幅されるまではこれらのスペクトルは重ならない。あるいは、形成されたレーザ共振子の損失がスペクトルの重なりによってその増幅よりも高くなるまではスペクトルが重なる。

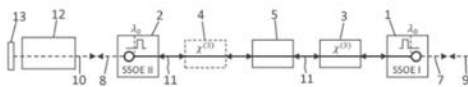
10

20

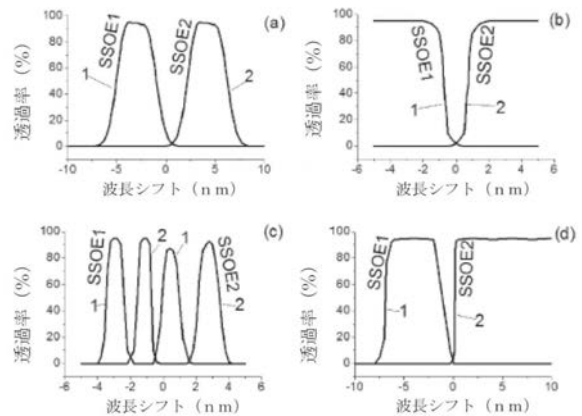
【 図 1 】



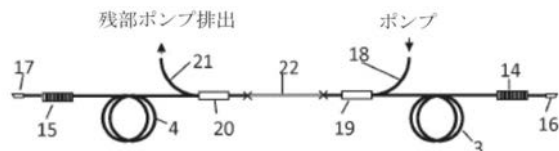
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

| |
|---|
| International application No PCT/EP2015/066645 |
|---|

| | | |
|--|--|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER | | |
| INV. | H01S3/067 | H01S3/11 |
| | H01S3/082 | H01S3/08 |
| | | H01S3/10 |
| | | H01S3/106 |
| ADD. | | |
| 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, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | FERMANN M E ET AL: "Generation of 10 nJ picosecond pulses from a modelocked fibre laser", ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 31, no. 3, 2 February 1995 (1995-02-02), pages 194-195, XP006002406, ISSN: 0013-5194, DOI: 10.1049/EL:19950147 the whole document | 1-12 |
| A | US 2012/275474 A1 (AGUERGARAY CLAUDE [NZ] ET AL) 1 November 2012 (2012-11-01) sentence 164 - sentence 178; figures 1,2 figures 3B, 6B | 1-12 |
| | ----- -/-- | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "B" document member of the same patent family |
| Date of the actual completion of the international search | | Date of mailing of the international search report |
| 6 November 2015 | | 26/11/2015 |
| 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 Hervé, Denis |

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/066645

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|---|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | EP 1 720 223 A1 (UNIV AARHUS [DK]) 8 November 2006 (2006-11-08) paragraph [0042] - paragraph [0045] paragraph [0070] - paragraph [0073]; figures 1-3 ----- | 1-12 |

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/066645

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|-------------------------|------------------|
| US 2012275474 | A1 | 01-11-2012 | NONE |
| ----- | | | |
| EP 1720223 | A1 | 08-11-2006 | NONE |
| ----- | | | |

フロントページの続き

(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 ラシウカイトイス、 ゲディミナス

リトアニア共和国 06226 ビルニユス スマリンズ ジー 3 - 12

Fターム(参考) 2K102 AA03 BA21 BB03 BC01 DA01 DB02 DC07 DD07 EB06 EB16
EB20
5F172 AF06 AM08 CC04 DD04 NN13 NN17 NN19 NQ23 NQ24 NQ25
NQ34 NQ47 NQ53 NQ61 NR28