

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

WO2017/222022

発行日 平成31年4月11日 (2019. 4. 11)

(43) 国際公開日 平成29年12月28日 (2017. 12. 28)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1S 3/067 (2006.01)	HO1S 3/067	2K102
HO1S 3/098 (2006.01)	HO1S 3/098	5F172
HO1S 3/10 (2006.01)	HO1S 3/10 D	
HO1S 3/23 (2006.01)	HO1S 3/23	
GO2F 1/37 (2006.01)	HO1S 3/10 Z	

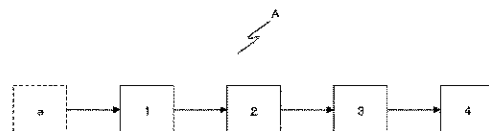
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 19 頁) 最終頁に続く

出願番号 特願2018-524163 (P2018-524163)	(71) 出願人 504151365 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 茨城県つくば市大穂1番地1
(21) 国際出願番号 PCT/JP2017/023085	(74) 代理人 110000855 特許業務法人浅村特許事務所
(22) 国際出願日 平成29年6月22日 (2017. 6. 22)	(72) 発明者 浦川 順治 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構内
(31) 優先権主張番号 62/353, 789	Fターム(参考) 2K102 AA08 BA18 BB02 BC01 BD10 DA01 DB01 EB02 EB20 5F172 AF06 AM01 AM08 DD01 NN14 NR03 NR12 NR22
(32) 優先日 平成28年6月23日 (2016. 6. 23)	
(33) 優先権主張国 米国 (US)	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ファイバーレーザー回路

(57) 【要約】

産業用レーザーを発生させることを可能にするファイバーレーザー回路を提供する。モードロック・レーザーパルスからのレーザーパルスをストレッチするパルスストレッチャー部1と、レーザーパルスの強度を10倍以上増幅する第1ファイバーレーザー増幅部2と、レーザーパルスの繰り返し周波数を変換する第1周波数変換部3と、繰り返し周波数が変換されたレーザーパルスの強度を10倍以上増幅する第2ファイバーレーザー増幅部4と、を基本構造とする回路Aを含むファイバーレーザー回路を提供する。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

モードロック・レーザーパルスのパルス幅をストレッチするパルスストレッチャー部と、

パルスストレッチャー部によりストレッチされたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第 1 ファイバーレーザー増幅部と、

前記第 1 ファイバーレーザー増幅部により増幅されたレーザーパルスの繰り返し周波数を変換する第 1 周波数変換部と、

前記第 1 周波数変換部により繰り返し周波数が変換されたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第 2 ファイバーレーザー増幅部と、

を含む、モードロック・レーザーパルスを光源に用いて産業用のレーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路。

【請求項 2】

前記第 1 周波数変換部が第 1 ファブリ・ペロー共振器であって、前記ファブリ・ペロー共振器により繰り返し周波数がギガヘルツ帯に遜倍増幅される請求項 1 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 3】

前記第 2 ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスの繰り返し周波数を 1 GHz 以上に増幅し、レーザー光を集束することにより高集光強度にする第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅器と、

前記第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅器からのレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第 3 ファイバーレーザー増幅部と、

前記第 3 ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスの強度を大増幅する第 4 ファイバーレーザー増幅部と、をさらに含む、請求項 1 または 2 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 4】

前記第 4 ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスを高調波に変換し、レーザー光を集束することにより高集光強度にする 4 枚鏡光共振器内 SHG 部をさらに含む、請求項 3 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 5】

前記 4 枚鏡光共振器内 SHG 部からの高調波レーザーパルスを複数のレーザーパルスに分配するレーザー分配器と、該レーザー分配器により分配されるレーザーを伝送するファイバーレーザー伝送部と、をさらに含む、請求項 4 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 6】

前記ファイバーレーザー伝送部からのレーザーパルスを紫外レーザーパルスに変換する紫外光変換部をさらに含む、請求項 5 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 7】

前記第 4 ファイバーレーザー増幅部が PCF を用いる PCF 増幅部である、請求項 3 ~ 6 のいずれか一つに記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 8】

前記第 1 周波数変換部がポッケルセルを含み、連続レーザーパルス列から一定時間幅内のパルス列を切り出し、パルス列繰り返し周波数を数十ヘルツ帯に変換する請求項 1 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 9】

ファイバーレーザー回路のモードロック発振器、増幅器、パルスストレッチャー部およびパルス圧縮器から得られる数 W 程度の連続 (CW) レーザーパルス列を利用し、バーストレザーパルス増幅により高周波光電子銃用レーザーパルス発生装置を構築できると数十フェムト秒高周波加速同期信号を供給できる、請求項 8 に記載のファイバーレーザー回路。

10

20

30

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ファイバーレーザー回路に関する。更に詳しくは、繰り返し周波数変換部を有しピコ秒乃至フェムト秒のパルス幅を持つ産業用レーザーを発生させることを可能にするファイバーレーザー回路に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、機械加工、溶接等の加工用レーザーのほとんどは、高出力固体レーザーを用いて発生させている。例えば、波長1060nm・繰り返し周波数100MHz・出力10kW程度のYAGレーザーが知られている。しかしながら、前記固体レーザーは、高出力である半面、レーザーの低品質性や低繰り返し数のために、クリアカットな精密加工が困難であるという問題、例えば加工むらやバリが生じるという問題がある。また、加工用レーザーに使用される固体レーザーの波長は、ほとんどが、694nm(ルビー)及び1060nm(ガラスまたはYAG)であるので、紫外レーザーのみが使用される半導体基板、化学、医学等における加工用途には不向きである。さらに、固体レーザーで作られる高出力レーザーは伝送が困難であるために、一装置一利用という非効率性の点において、産業利用上の大きな問題もある。

10

【0003】

他方、光通信用のレーザー発振は、専ら半導体レーザー光源で発生させる微弱の高繰り返しレーザーパルスを光ファイバー伝送することにより行われている。光通信用のレーザーは、フレキシブルな光ファイバーによる伝送が可能であるので産業利用上の自由度に優れており、また、GHz級の高繰り返しも可能である。しかし、出力が精々1W程度であるために、また、集光強度が非常に弱いために、加工用レーザーとして用いることは困難である(特開2000-244044号公報)。

20

【0004】

特開2000-244044号公報には、ファイバー共振器において、光発生させるための利得媒質と、励起光を注入及び出力光を取り出すための光カプラと、パルスを発生させるための光変調器と、光路長を調整するための光遅延と、偏波を調整するための偏波調整器と、共振器中に光の伝搬方向を指定するための光アイソレーターと、発振波長を指定するための光バンドパスフィルターと、FSR(Free Spectral Range)を固定又は可変可能なファブリペローフィルターとから成ることを特徴とするファブリペローフィルターを用いた再生モード同期レーザーが開示されている。

30

【0005】

特開2000-244044号公報の図1又は図3に開示されるファイバーリングレーザーの構成には、レーザー強度を増幅させるためのエルビウムドープファイバー3又は14とレーザーパルスの繰り返し周波数を数10GHz~THzに自由に変えることができるファブリペローフィルター13又は2.5GHzファブリペローフィルター29が含まれている。ファブリペローフィルター29は、レーザーパルスの繰り返し周波数を増幅させるためのものであるが、レーザー光を集束するものではないので、集光強度が非常に小さい。

40

【0006】

従来、フェムト秒の光パルス列を発生させる一般的な方法として、モード同期方式が知られている。しかし、モード同期方式によって、繰り返し周波数が1GHz以上でありパルス幅がフェムト秒の光パルス列を発生させることは困難である。なぜなら、レーザーの共振器長が繰り返し周波数に対応するからであり、また、繰り返し数とチューニング範囲も狭いからである。そのため、モード同期方式以外の方法がいくつか提案されている(A. Ishizawa, T. Nishikawa et al., Optics Express 23(2011)22402)。

【0007】

A. Ishizawa, T. Nishikawa et al., Optics Express 23(2011)22402には、光位相変

50

調器と光強度変調器及びシングルモードファイバーを用いたGHz繰り返しフェムト秒光パルス列を発生させる方法が提案されている。これによれば、この方法は、波長1552nmの連続発振半導体レーザー(CWLD)の位相をRFシンセサイザーからの25GHz正弦波で駆動する光位相変調器を用いて変調させ、25GHz繰り返しの周期的なアップアンドダウンチャープを生じさせる。そして線形なダウンチャープ部分を光強度変調器により切り出すことにより、バンド幅24nmのフラットな光周波数コムスペクトルを作る。次に、この光をシングルモードファイバーで分散補償することにより、パルス幅230fs・繰り返し周波数25GHzの光パルス列を発生させる。次に、光ゲートにより繰り返し周波数を1GHzにしてからエリビウム添加光ファイバー増幅器(EDFA)により平均出力1Wに増幅する。これによりEDFA内でのピーク強度は数kWに達しており、自己位相変調効果によりスペクトルブロードニングが生じる。次に、このスペクトルが広がったパルスを長さ1mのガラスブロックを用いて圧縮を行うことにより、繰り返し周波数1GHz・パルス幅120fs・平均出力1Wの光パルス列を得ることができる。

10

【0008】

A. Ishizawa, T. Nishikawa et al., Optics Express 23 (2011) 22402は、前述の如く、平均出力が1W程度のレーザーパルスである。また、レーザー光を集束させ線幅を細くするための手段を組み込んでいないために、照射レーザーのスポットサイズは少なくとも100μm以上はある。そのため、集光強度は非常に小さい。

【0009】

一方、時間分解電子顕微鏡用のフォトカソードRF電子銃の光源にチタン・サファイアレーザー発振器を用いることでフェムト秒時間分解 MeV 電子顕微鏡の実証が報告されている(J. Yang, K. Kan et al., FEMTOSECOND ELECTRON MICROSCOPY USING PHOTOCATHODE R F GUN, Proceedings of the 10th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 3 5, 2013, p.p.111 115)。

20

【発明の概要】

【0010】

前記の説明のように、従来の加工用レーザーが持っている様々な問題を解決するような高精度の加工能力及び利便性を有する加工用レーザーは知られていない。またフェムト秒クラスの時間分解能を有する電子顕微鏡用フォトカソードや電子加速器用フォトカソードのレーザー光源は産業用に使用できるような長期間の安定性に課題がある。

30

【0011】

前記の事情に鑑み、本発明の一実施形態によれば、ピコ秒乃至フェムト秒のパルス幅を持つ産業用レーザー(加工用、及び/又は、フォトカソード電子銃用レーザー)を発生させることが可能なファイバーレーザー回路が提供される。

【0012】

すなわち、本発明のそれぞれの実施形態は、

1. モードロック・レーザーパルスのパルス幅をストレッチするパルスストレッチャー部と、パルスストレッチャー部によりストレッチされたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第1ファイバーレーザー増幅部と、第1ファイバーレーザー増幅部により増幅されたレーザーパルスの繰り返し周波数を変換する第1周波数変換部と、第1周波数変換部により繰り返し周波数が変換されたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第2ファイバーレーザー増幅部と、を含む、モードロック・レーザーパルスを光源に用いて産業用のレーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路。

40

2. 第1周波数変換部が第1ファブリ・ペロー共振器であって、ファブリ・ペロー共振器により繰り返し周波数がギガヘルツ帯に遜倍増幅されるファイバーレーザー回路。

3. 第2ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスの繰り返し周波数を1GHz以上に増幅し、レーザー光を集束することにより高集光強度にする第2ファブリ・ペロー共振器増幅器と、第2ファブリ・ペロー共振器増幅器からのレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第3ファイバーレーザー増幅部と、第3ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスの強度を大増幅する第4ファイバーレーザー増幅部と、をさらに含む、ファイ

50

バーレーザー回路。

4. 第4ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスを高調波に変換し、レーザー光を集束することにより高集光強度にする4枚鏡光共振器内SHG部をさらに含む、ファイバーレーザー回路。

5. 4枚鏡光共振器内SHG部からの高調波レーザーパルスを複数のレーザーパルスに分配するレーザー分配器と、レーザー分配器により分配されるレーザーを伝送するファイバーレーザー伝送部と、をさらに含む、ファイバーレーザー回路。

6. ファイバーレーザー伝送部からのレーザーパルスを紫外レーザーパルスに変換する紫外光変換部をさらに含む、ファイバーレーザー回路。

7. 第4ファイバーレーザー増幅部がPCFを用いるPCF増幅部である、ファイバーレーザー回路。

8. 第1周波数変換部がポッケルセルを含み、連続レーザーパルス列から一定時間幅内のパルス列を切り出し、パルス列繰り返し周波数を数十ヘルツ帯に変換する、ファイバーレーザー回路。

9. ファイバーレーザー回路のモードロック発振器、増幅器、パルスストレッチャー部およびパルス圧縮器から得られる数W程度の連続(CW)レーザーパルス列を利用し、バーストレザーパルス増幅により高周波光電子銃用レーザーパルス発生装置を構築でき、数十フェムト秒高周波加速同期信号を供給できる、ファイバーレーザー回路。

【0013】

本発明の一実施形態は、波長が可視～紫外領域でパルス幅がピコ秒～フェムト秒の産業用レーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路である。本発明の他の実施形態によれば、繰り返し周波数変換部をファブリ・ペロー共振器とすることで繰り返し周波数が少なくとも1GHz以上であり、出力が100W～10kWの範囲にあり、線幅がサブミクロン程度の高集光強度のワイヤレーザーのパルスを発生させることが可能であり、これを多くの産業用精密加工用のレーザーとして利用できる。この構成により生成されるレーザー光の集光強度は $10^8 \sim 10^{15} \text{ W/cm}^2$ であり、この大きさは、通常の産業用連続(CW)レーザーと比較して100倍以上の大きさである。また、レーザーパルスの伝送をフレキシブルな光ファイバーにより行うことができるので、本発明により生成されるレーザーパルスを所望の場所に分配供給できるという産業利用上の利便性が優れている。一方、第1繰り返し周波数変換部にポッケルセルを用いレーザーパルス列の繰り返し周波数を10乃至100ヘルツで一定時間幅内のパルス列を切り出すことで安定に数十フェムト秒の同期精度を有する電子銃用レーザー光源を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の一実施形態のファイバーレーザー回路の基本構造を説明する概略図である。

【図2】本発明の一実施形態の大強度ファイバーレーザー回路を説明する概略図である。

【図3】本発明の一実施形態の高調波ファイバーレーザー回路を説明する概略図である。

【図4】本発明の一実施形態の高調波分配ファイバーレーザー回路を説明する概略図である。

【図5】本発明の一実施形態の紫外光ファイバーレーザー回路を説明する概略図である。

【図6】本発明の一実施形態のPCF増幅部及び4枚鏡共振器内SHG部を用いるファイバーレーザー回路を説明する概略図である。

【図7】本発明の一実施形態の高輝度光電子銃用ファイバーレーザー回路を説明する概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下に、本発明の実施の態様(以下、「実施例」という。)を図面の記載にしたがって説明するが、本発明は、下記の実施例だけに限定されるものではない。

【実施例1】

【 0 0 1 6 】

本発明の一実施形態のファイバーレーザー回路を図 1 に示す。図中の矢印は、レーザーパルスの流れ方向を示す。当該実施形態のファイバーレーザー回路 A は、モードロック・レーザーパルスのパルス幅をストレッチするパルスストレッチャー部 1 と、パルスストレッチャー部 1 によりパルスストレッチされたレーザーパルスの強度を増幅する第 1 ファイバーレーザー増幅部 2 と、第 1 ファイバーレーザー増幅部 2 により増幅されたレーザーパルスの繰り返し周波数を変換する第 1 周波数変換部 3 と、第 1 周波数変換部 3 により繰り返し周波数が変換されたレーザーパルスの強度を増幅する第 2 ファイバーレーザー増幅部 4 とを含むファイバーレーザー回路であって、モードロック・レーザー発振器 a からのモードロック・レーザーパルスがパルスストレッチャー部 1 に入れられ、フェムト秒レーザーパルスがピコ秒レーザーパルスにストレッチされ、続いて第 1 ファイバーレーザー増幅部 2 に入れられ、パルス強度が十倍以上増幅され、続いて第 1 周波数変換部 3 に入れられ、繰り返し周波数が変換され、続いて第 2 ファイバーレーザー増幅部 4 に入れられ、パルス強度が十倍以上増幅される。

10

【 0 0 1 7 】

前記レーザーパルス回路を加工用レーザーとして実施する場合の例を示す。この場合、第 1 周波数変換部 3 をファブリ・ペロー共振器（第 1 ファブリ・ペロー共振器）とし、繰り返し周波数を通倍増幅する。ファブリ・ペロー共振器は、他の型の光共振器に比べて非常に短い共振器長を有し、ギガヘルツ帯の高繰り返し周波数のレーザーパルスを生成させるため、また、線幅がサブミクロン程度の単一波長のワイヤーレーザーを生成させるために適しているが、その他の共振器を用いることもできる。第 1 ファブリ・ペロー共振器増幅部 3 において生成するワイヤーレーザー光の集光強度は、 $10^8 \sim 10^{15} \text{ W / cm}^2$ であり、この大きさは、通常の加工用連続（CW）レーザーと比較して 100 倍以上の大きさである。ワイヤーレーザー光の集光強度とは、ワイヤーレーザーの線幅に相当する断面積あたりのパルスエネルギー密度のことである。

20

【 0 0 1 8 】

第 1 ファブリ・ペロー共振器増幅部 3 のファブリ・ペロー共振器としては、往復共振器長 12 cm 程度のファブリ・ペロー共振器が用いられ得る。第 1 ファブリ・ペロー共振器増幅部 3 は、入射レーザーとのモードマッチング及び光学マッチングを行うマッチング光学系を備えてもよい。

30

【 0 0 1 9 】

ワット級のレーザーを安定的に生成させることを考慮すると、レーザーパルスのパルス強度を増幅するための増幅部をファイバーレーザー増幅部とすることが適しているが、その他の形態を用いることもできる。第 1 ファイバーレーザー増幅部 2 及び第 2 ファイバーレーザー増幅部 4 は、好適には、Yb ドープのシングルモードファイバーが用いられる。また、第 1 ファイバーレーザー増幅部 2 及び第 2 ファイバーレーザー増幅部 4 は、増幅媒質励起のための LD (Laser Diode) を備える。

【 実施例 2 】

【 0 0 2 0 】

本発明の一実施形態のファイバーレーザー回路を図 2 に示す。本実施形態のファイバーレーザー回路 B は、実施例 1 のファイバーレーザー回路 A に、第 2 ファイバーレーザー増幅部 4 からのレーザーパルスの繰り返し周波数を増幅する第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅部 5 と、第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅部 5 からのレーザーパルスの強度を増幅する第 3 ファイバーレーザー増幅部 6 と、第 3 ファイバーレーザー増幅部 6 からのレーザーパルスの強度を増幅する第 4 ファイバーレーザー増幅器 7 と、をさらに備えたファイバーレーザー回路であって、第 2 ファイバーレーザー増幅部 4 からのレーザーパルスが第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅部 5 に入れられ、レーザーパルスの繰り返し周波数が 1 GHz 以上に増幅され、続いて、第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅部 5 からのレーザーパルスが第 3 ファイバーレーザー増幅部 6 に入れられ、パルス強度が十倍以上増幅され、続いて、第 3 ファイバーレーザー増幅部 6 からのレーザーパルスが、第 4 ファイバーレーザー増幅

40

50

部 7 に入れられ、レーザーパルスの強度が大増幅される。

【 0 0 2 1 】

第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅部 5 により、第 2 ファイバーレーザー増幅部 4 からのレーザーパルスの繰り返し周波数が 1 GHz 以上、一般的には 10 GHz 程度まで容易に増幅されることが好適である。ギガヘルツ級の高繰り返し周波数のレーザーパルスを生成させるために、第 2 ファイバーレーザー増幅部 4 からのレーザーパルスの繰り返し周波数を過倍増幅するための増幅部は非常に短い共振器長を有することが望ましく、したがって、ファブリ・ペロー共振器増幅部 5 とすることが適しているが、その他の形態を用いることもできる。第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅部 5 のファブリ・ペロー共振器としては、往復共振器長 3 cm 程度のファブリ・ペロー光共振器を用いることができる。第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅部 5 は、入射レーザーとのモードマッチング及び光学マッチングを行うマッチング光学系を備え得る。また、第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅部 5 において生成するワイヤレーザー光の集光強度は、 $10^8 \sim 10^{15} \text{ W/cm}^2$ であり、この大きさは、通常の産業用連続 (CW) レーザーと比較して 100 倍以上の大きさであり得る。

10

【 0 0 2 2 】

第 3 ファイバーレーザー増幅部 6 には、Yb ドープのシングルモードファイバーを用いることができる。第 4 ファイバーレーザー増幅部 7 には、パルス強度を大増幅するファイバーレーザーを用いることができる。第 3 ファイバーレーザー増幅部 6 には第 4 ファイバーレーザー増幅部 7 と同じファイバーレーザー増幅部を用いることもできる。第 4 ファイバーレーザー増幅部 7 としては、PCF (Photo-Crystal-Fiber) を用いる PCF 増幅部 12 であることが好ましい。PCF 増幅部 12 は、パルス強度を 100 倍程度乃至それ以上増幅するのに適している。第 3 ファイバーレーザー増幅部 6 及び第 4 ファイバーレーザー増幅部 7 は、増幅媒質励起のための LD (Laser Diode) を備える。第 3 ファイバーレーザー増幅部 6 は、複数段のファイバーレーザー増幅部に分けて構成することができる。

20

【 実施例 3 】

【 0 0 2 3 】

本発明の一実施形態のファイバーレーザー回路を図 3 に示す。本実施形態のファイバーレーザー回路 C は、実施例 2 のファイバーレーザー回路 B の第 4 ファイバーレーザー増幅部 7 に続いて、高調波に変換する 4 枚鏡光共振器内 SHG 部 8 が設けられたファイバーレーザー回路であって、第 4 ファイバーレーザー増幅部 7 からのレーザーパルスが 4 枚鏡光共振器内 SHG 部 8 に入れられ、高調波に変換される。ここで、4 枚鏡光共振器内 SHG 部 8 とは、一対の反射ミラーと一対の共振ミラーとを有する光共振器 (4 枚鏡光共振器) の内部に設けられる一対の共振ミラー間のレーザー光路に SHG (Second-Harmonic-Generation) 素子を入れたものである。高調波変換のために 4 枚鏡光共振器内 SHG を用いることで、他の型の光共振器内 SHG に比べて、増幅レーザーの高調波変換を効率的に且つ安定して行うことができる。4 枚鏡光共振器内 SHG 部 8 と第 4 ファイバーレーザー増幅部 7 との間のフィードバック共振制御を行うためのフィードバック共振制御系を設けることができる。このフィードバック共振制御は、4 枚鏡光共振器内 SHG 部 8 内の共振レーザーの一部が、第 4 ファイバーレーザー増幅部 7 のフォトダイオード 18 に入れられ、フォトダイオード 18 と連結する前記フィードバック共振制御系 (図省略) を通して行われる。PCF 増幅部 12 と 4 枚鏡光共振器内 SHG 部 8 との連結は、前記フィードバック共振制御系により、100 倍以上のパルス強度の共振増幅を安定的に行うことを可能にする。また、4 枚鏡光共振器内 SHG 部 8 において生成するワイヤレーザー光の集光強度は、 $10^8 \sim 10^{15} \text{ W/cm}^2$ であり、この大きさは、通常の産業用連続 (CW) レーザーと比較して 100 倍以上の大きさであり得る。

30

40

【 実施例 4 】

【 0 0 2 4 】

本発明の一実施形態のファイバーレーザー回路を図 4 に示す。本実施形態のファイバー

50

レーザー回路Dには、実施例3のファイバーレーザー回路Cの4枚鏡光共振器内SHG部8に続いて、レーザーを分配するレーザー分配器9及び該レーザー分配器により分配されるレーザーを伝送するファイバーレーザー伝送部10が設けられており、4枚鏡光共振器内SHG部8からの高調波レーザーパルスがレーザー分配器9に入れられ、複数のレーザーパルスに分配され、該分配されたレーザーパルスがファイバーレーザー伝送部10に入れられ、所用の場所に光ファイバーにより伝送される。ファイバーレーザー伝送部10はフレキシブルな伝送用ファイバーレーザーから成る。これにより、高調波レーザーを任意の場所に自由に伝送することができる。

【実施例5】

【0025】

本発明の一実施形態のファイバーレーザー回路を図5に示す。本実施形態のファイバーレーザー回路Eには、実施例4のファイバーレーザー回路Dのファイバーレーザー伝送部10に続いて、紫外光変換部11が設けられており、ファイバーレーザー伝送部10からのレーザーパルスが紫外レーザーパルスに変換される。紫外光変換部11は、紫外光に変換する光学変換素子から成る。これにより、可視光では困難な精密加工を行うことができる。紫外光変換部11は、4枚鏡光共振器内SHGを含むことができる。

【実施例6】

【0026】

上述のファイバーレーザー回路Aを用いてピコ秒乃至フェムト秒・ギガヘルツ級・ワット級のレーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路の操作例を示す。モードロック・レーザー発振器aからの波長1040nm・パルス幅500fs・繰り返し周波数500MHz・パルス強度1nJ/パルス・出力500mW、パルスエネルギー密度0.5J/s・パルスのモードロック・レーザーパルスがパルスストレッチャー部1に入れられ、波長1040nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数500MHz・パルス強度0.5nJ/パルス・出力250mW、パルスエネルギー密度0.25J/s・パルスのレーザーパルスにパルスストレッチされ、続いて第1ファイバーレーザー増幅部2に入れられ、波長1040nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数500MHz・パルス強度10nJ/パルス・出力5W、パルスエネルギー密度5J/s・パルスのレーザーパルスに増幅され、続いて第1ファブリ・ペロー共振器増幅部3に入れられ、波長1040nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数2.5GHz・パルス強度0.2nJ/パルス・出力0.5Wのレーザーパルスに増幅され、続いて第2ファイバーレーザー増幅部4に入れられ、波長1040nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数2.5GHz・パルス強度2nJ/パルス・出力5W、パルスエネルギー密度5J/s・パルス、線幅約1μmのレーザーパルスが生成される。

【実施例7】

【0027】

上述のファイバーレーザー回路Bを用いてピコ秒乃至フェムト秒・ギガヘルツ級・キロワット級のレーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路の操作例を示す。実施例6の第2ファイバーレーザー増幅部4からの波長1040nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数2.5GHz・パルス強度2nJ/パルス・出力5W、パルスエネルギー密度5J/s・パルスのレーザーパルスが第2ファブリ・ペロー共振器増幅部5に入れられ、波長1040nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度0.1nJ/パルス・出力1W、パルスエネルギー密度1J/s・パルス、線幅約1μmのレーザーパルスに増幅され、続いて、第3ファイバーレーザー増幅部6に入れられ、パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度10nJ/パルス・出力100W、パルスエネルギー密度100J/s・パルスのレーザーパルスに増幅され、続いて第4ファイバーレーザー増幅部7に入れられ、波長1040nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度1μJ/パルス・出力10kW、パルスエネルギー密度1×10⁴J/s・パルスのレーザーパルスが生成される。

【実施例8】

【 0 0 2 8 】

上述のファイバーレーザー回路Cを用いてピコ秒乃至フェムト秒・ギガヘルツ級・キロワット級の高調波レーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路の操作例を示す。実施例7の第4ファイバーレーザー増幅部7において生成する波長1040nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度1μJ/パルス・出力10kWのレーザーパルスが、4枚鏡光共振器内SHG部8に入れられ、波長520nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度300nJ/パルス・出力3kW、パルスエネルギー密度 3×10^3 J/s・パルス、線幅約0.5μmの高調波レーザーパルスが生成される。

【実施例9】

10

【 0 0 2 9 】

上述のファイバーレーザー回路Dを用いてピコ秒乃至フェムト秒・ギガヘルツ級・キロワット級の高調波レーザーパルスを分配・伝送するファイバーレーザー回路の操作例を示す。実施例8の4枚鏡光共振器内SHG部8において生成する波長520nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度300nJ/パルス・出力3kWのレーザーパルスが、レーザー分配器9により例えば20枝分配され、波長520nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度15nJ/パルス・出力150W、パルスエネルギー密度150J/s・パルス、線幅約0.5μmの各分配レーザーパルスがファイバーレーザー伝送部10に入れられ、所用の場所に伝送される。

【実施例10】

20

【 0 0 3 0 】

上述のファイバーレーザー回路Eを用いてフェムト秒・ギガヘルツ級・ワット級の紫外レーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路の操作例を示す。実施例9のファイバーレーザー伝送部10において伝送される波長520nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度15nJ/パルス・出力150W、パルスエネルギー密度150J/s・パルス、線幅約0.5μmのレーザーパルスが、紫外光に変換する工程11に入れられ、波長260nm・パルス幅200fs・繰り返し周波数10GHz・パルス強度15nJ/パルス・出力100W、パルスエネルギー密度150J/s・パルス、線幅約0.26μmの紫外レーザーパルスが生成される。

【実施例11】

30

【 0 0 3 1 】

本発明ファイバーレーザー回路Fを用いてフェムト秒・ギガヘルツ級・キロワット級のレーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路の操作例を図6に示す。第3ファイバーレーザー増幅部6からのレーザーパルス(入射レーザー13)がコネクタ14及びPCF増幅部12のミラー16のレーザー光路を通過してPCF17に入り、そこでパルス強度が100倍程度乃至それ以上大增幅され、4枚鏡共振器内SHG8の反射ミラー19及び共振ミラー20のレーザー光路を通過してSHG21に入り高調波に変換される。PCF増幅部12内のLD15は、PCFの増幅媒質を励起するための励起光を供給する。LDの励起光の進行方向は、入射レーザー9のレーザーの進行方向と同じ方向であってもよいし、逆方向であってもよい。例えば、第3ファイバーレーザー増幅部6からのパルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度10nJ/パルス・出力100W、パルスエネルギー密度100J/s・パルス、線幅約0.26μmのレーザーパルスが、PCF増幅部12に入れられ、波長1040nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度1μJ/パルス・出力10kWのレーザーパルスが生成され、続いて、4枚鏡光共振器内SHG部8に入れられ、波長520nm・パルス幅20ps・繰り返し周波数10GHz・パルス強度300nJ/パルス・出力3kW、パルスエネルギー密度 1×10^4 J/s・パルス、線幅約0.26μmの高調波レーザーパルスが安定的に生成され、レーザー分配器9に送られる。

40

【実施例12】

【 0 0 3 2 】

50

本発明の実施形態であるファイバーレーザー回路を高輝度光電子銃用レーザーパルス源装置として使用する場合の実施例を図7に示す。本形態のファイバーレーザー回路Gは、実施例1のファイバーレーザー回路Aの第2ファイバーレーザー増幅部4からの出力をパルス圧縮器22によりレーザーパルス継続時間をフェムト秒級に圧縮し、紫外光変換部11によりフェムト秒・数十メガヘルツ級の紫外線レーザーパルスを生じさせるものである。この場合、レーザー発振器aからのレーザーの繰り返し周波数を上げないで、その範囲を40MHzから500MHzの出力数W程度の連続(CW)レーザーパルス列とし、第1繰り返し周波数変換部をポッケルセルとして時間幅100μs以下のレーザーパルス列をパルス列繰り返し周波数50Hz以下で切り出し、第2ファイバーレーザー増幅器4で増幅し、紫外光変換部でフェムト秒・数十メガヘルツ級の紫外線レーザーを生じさせることができる。第2ファイバーレーザー増幅部4は発熱を抑えることを考慮するとバースト増幅器とすることが適している。これらの条件は、光電子バンチ列生成に必要なレーザー強度を、汎用性が高く、かつ電子銃用レーザー装置を現実的なものにするために適した形態であるが、その他の形態を用いることもできる。

10

【0033】

図7の第2ファイバーレーザー増幅部4は、必要とされる強度に応じて多段とすることが可能であり、その場合でも、上記実施例3-11に示された構成要素を追加することが可能である。例えば、電子銃用のレーザーパルス列として波長260nmのレーザーパルス列を2段の非線形結晶BBOを使って生成することができる。ファイバーレーザー回路Aのモードロック・レーザー発振器a、第1及び第2ファイバーレーザー増幅部2、4、パルスストレッチャー部1およびパルス圧縮器から得られる3W程度の連続(CW)レーザーパルス列を利用して電子銃用レーザー発生装置が構築できる。加速器の電子加速に使う高周波源との時間同期はレーザー発振器aの発振信号、または図7の回路と同期した外部レーザー発振器の発振信号を用いることで、数十フェムト秒の同期精度を保證することができる。ファイバーレーザー回路のモードロック発振器から得られるレーザーパルス列の安定性とモードロックを実現する2枚の結晶格子の位置制御精度により、本同期精度が実現している。

20

【0034】

なお、本発明の上述の実施形態のファイバーレーザー回路は、いずれも、外部の擾乱の影響を低減するために、真空状態に置くことができる。

30

【産業上の利用可能性】

【0035】

本発明は、精密加工を必要とする産業加工用レーザーを生成するための利便性の高いファイバーレーザー回路を実現できる。またピコ秒乃至フェムト秒のパルス幅で数十フェムト秒の同期精度を持つ電子銃用レーザーパルス光源も実現でき、産業分野での利用範囲が広い。

【符号の説明】

【0036】

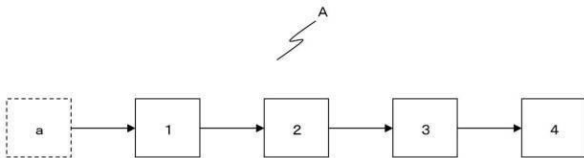
- a モードロック・レーザー発振器
- A ファイバーレーザー回路
- B ファイバーレーザー回路
- C ファイバーレーザー回路
- D ファイバーレーザー回路
- E ファイバーレーザー回路
- F ファイバーレーザー回路
- G ファイバーレーザー回路
- 1 パルスストレッチャー部
- 2 第1ファイバーレーザー増幅部
- 3 第1繰り返し周波数変換部
- 4 第2ファイバーレーザー増幅部

40

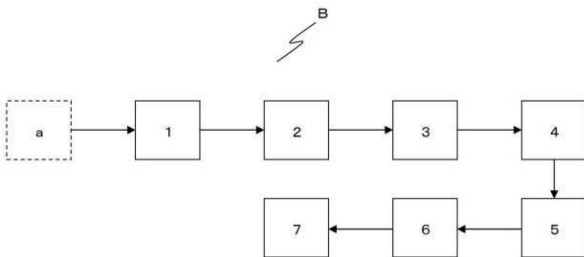
50

- 5 第2ファブリ・ペロー共振器増幅部
- 6 第3ファイバーレーザー増幅部
- 7 第4ファイバーレーザー増幅部
- 8 4枚鏡光共振器内SHG部
- 9 レーザー分配器
- 10 ファイバーレーザー伝送部
- 11 紫外光変換部
- 12 PCF増幅部
- 13 入射レーザー
- 14 コネクター
- 15 LD
- 16 ミラー
- 17 PCF
- 18 フォトダイオード
- 19 反射ミラー
- 20 共振ミラー
- 21 SHG素子
- 22 パルス圧縮器

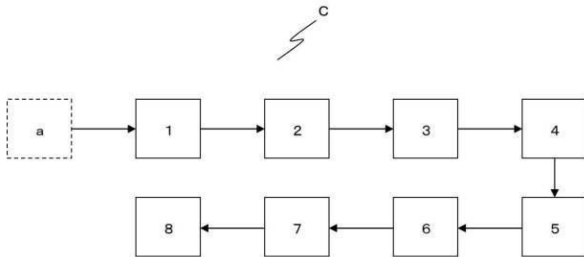
【図1】



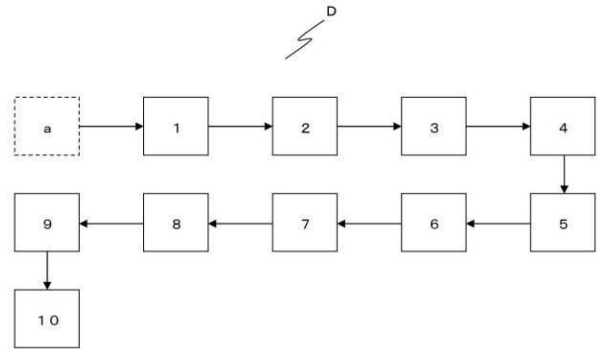
【図2】



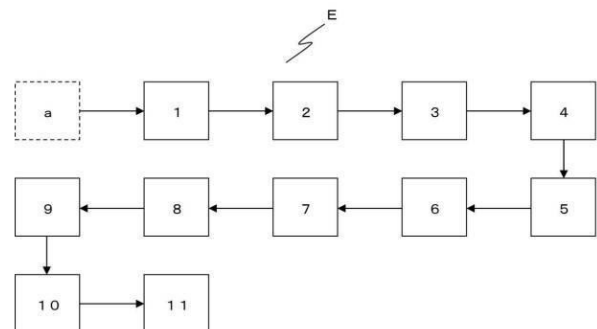
【図3】



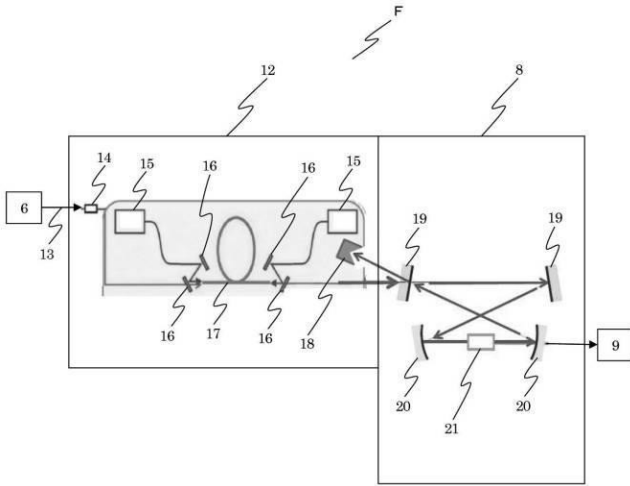
【図4】



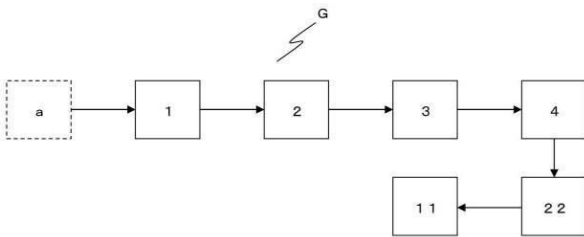
【図5】



【図 6】



【図 7】



【手続補正書】

【提出日】平成29年11月7日(2017.11.7)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

モードロック・レーザーパルスのパルス幅をストレッチするパルスストレッチャー部と

、パルスストレッチャー部によりストレッチされたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第1ファイバーレーザー増幅部と、

前記第1ファイバーレーザー増幅部により増幅されたレーザーパルスの繰り返し周波数を変換する第1周波数変換部と、

前記第1周波数変換部により繰り返し周波数が変換されたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第2ファイバーレーザー増幅部と、

を含む、モードロック・レーザーパルスを光源に用いて産業用のレーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路であって、

前記第1周波数変換部が第1ファブリ・ペロー共振器であって、前記ファブリ・ペロー共振器により繰り返し周波数がギガヘルツ帯に過倍増幅されるファイバーレーザー回路。

【請求項 2】

モードロック・レーザーパルスのパルス幅をストレッチするパルスストレッチャー部と

、パルスストレッチャー部によりストレッチされたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅

する第 1 ファイバーレーザー増幅部と、

前記第 1 ファイバーレーザー増幅部により増幅されたレーザーパルスの繰り返し周波数を変換する第 1 周波数変換部と、

前記第 1 周波数変換部により繰り返し周波数が変換されたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第 2 ファイバーレーザー増幅部と、

前記第 2 ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスの繰り返し周波数を 1 GHz 以上に増幅し、レーザー光を集束することにより高集光強度にする第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅器と、

前記第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅器からのレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第 3 ファイバーレーザー増幅部と、

前記第 3 ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスの強度を大増幅する第 4 ファイバーレーザー増幅部と、

を含む、モードロック・レーザーパルスを光源に用いて産業用のレーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路。

【請求項 3】

前記第 2 ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスの繰り返し周波数を 1 GHz 以上に増幅し、レーザー光を集束することにより高集光強度にする第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅器と、

前記第 2 ファブリ・ペロー共振器増幅器からのレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第 3 ファイバーレーザー増幅部と、

前記第 3 ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスの強度を大増幅する第 4 ファイバーレーザー増幅部と、

をさらに含む、請求項 1 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 4】

前記第 4 ファイバーレーザー増幅部からのレーザーパルスを高調波に変換し、レーザー光を集束することにより高集光強度にする 4 枚鏡光共振器内 SHG 部をさらに含む、請求項 2 または 3 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 5】

前記 4 枚鏡光共振器内 SHG 部からの高調波レーザーパルスを複数のレーザーパルスに分配するレーザー分配器と、該レーザー分配器により分配されるレーザーを伝送するファイバーレーザー伝送部と、をさらに含む、請求項 4 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 6】

前記ファイバーレーザー伝送部からのレーザーパルスを紫外レーザーパルスに変換する紫外光変換部をさらに含む、請求項 5 に記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 7】

前記第 4 ファイバーレーザー増幅部が PCF を用いる PCF 増幅部である、請求項 2 ~ 6 のいずれか一つに記載のファイバーレーザー回路。

【請求項 8】

モードロック・レーザーパルスのパルス幅をストレッチするパルスストレッチャー部と、

パルスストレッチャー部によりストレッチされたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第 1 ファイバーレーザー増幅部と、

前記第 1 ファイバーレーザー増幅部により増幅されたレーザーパルスの繰り返し周波数を変換する第 1 周波数変換部と、

前記第 1 周波数変換部により繰り返し周波数が変換されたレーザーパルスの強度を十倍以上増幅する第 2 ファイバーレーザー増幅部と、

を含む、モードロック・レーザーパルスを光源に用いて産業用のレーザーパルスを発生させるファイバーレーザー回路であって、

前記第 1 周波数変換部がポッケルセルを含み、連続レーザーパルス列から一定時間幅内のパルス列を切り出し、パルス列繰り返し周波数を数十ヘルツ帯に変換するファイバーレ

10

20

30

40

50

ーザー回路。

【請求項 9】

ファイバーレーザー回路のモードロック発振器、増幅器、パルスストレッチャー部およびパルス圧縮器から得られる数W程度の連続(CW)レーザーパルス列を利用し、バーストレーザーパルス増幅により高周波光電子銃用レーザーパルス発生装置を構築できると数十フェムト秒高周波加速同期信号を供給できる、請求項 8 に記載のファイバーレーザー回路。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2017/023085
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01S3/067(2006.01) i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01S3/00-3/30, B23K26/00-26/70		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2017 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2008-517460 A (Imra America, Inc.), 22 May 2008 (22.05.2008), paragraphs [0039] to [0049]; fig. 5, 6 & US 2005/0105865 A1 paragraphs [0055] to [0067]; fig. 5, 6 & WO 2006/057655 A2 & EP 2403076 A2 & KR 10-2007-0083562 A & CN 101076748 A	1 2-9
A	US 2014/0321492 A1 (CALMER OPTCOM, INC., DBA CALMER LAER), 30 October 2014 (30.10.2014), entire text; all drawings & US 2011/0002691 A1 the whole document & US 2012/0217375 A1 the whole document	1-9
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input 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	"J" 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	
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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	
"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)	"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	
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 31 August 2017 (31.08.17)	Date of mailing of the international search report 12 September 2017 (12.09.17)	
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/023085

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2005/0265407 A1 (ALAN MICHAEL, BRAUN), 01 December 2005 (01.12.2005), entire text; all drawings & US 7164699 B1 the whole document	1-9
A	US 2010/0046560 A1 (JIAN LIU), 25 February 2010 (25.02.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2013-546189 A (Imra America, Inc.), 26 December 2013 (26.12.2013), entire text; all drawings & US 2012/0133931 A1 the whole document & WO 2012/074623 A1 & DE 112011103954 T & CN 103460526 A	1-9
A	JP 2013-507005 A (Imra America, Inc.), 28 February 2013 (28.02.2013), entire text; all drawings & US 2015/0380892 A1 the whole document & WO 2011/041472 A1 & DE 112010003904 T & CN 102576971 A	1-9
A	SIZER et al, "Increase in Laser Repetition Rate by Spectral Slection", IEEE Journal of Quantum Electronics, 1989.01, VOL.25, NO.1, p.97-103	1-9
A	JP 2010-232650 A (Omron Corp.), 14 October 2010 (14.10.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2009-186660 A (Toshiba Corp.), 20 August 2009 (20.08.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2008-205486 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 04 September 2008 (04.09.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 8-18139 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 19 January 1996 (19.01.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 7 / 0 2 3 0 8 5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01S3/067 (2006, 01) i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01S3/00-3/30, B23K26/00-26/70		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2017年 日本国実用新案登録公報 1996-2017年 日本国登録実用新案公報 1994-2017年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2008-517460 A (イムラ アメリカ インコーポレイテッド) 2008.05.22, 段落 0039-0049, 図 5, 6 & US 2005/0105865 A1, paragraphs 0055-0067, FIGs. 5, 6 & WO 2006/057655 A2 & EP 2403076 A2 & KR 10-2007-0083562 A & CN 101076748 A	1 2-9
A	US 2014/0321492 A1 (CALMER OPTCOM, INC., DBA CALMER LAER) 2014.10.30, 全文、全図 & US 2011/0002691 A1, the whole document & US 2012/0217375 A1,	1-9
④ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ⑤ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 31.08.2017	国際調査報告の発送日 12.09.2017	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 佐藤 俊彦 電話番号 03-3581-1101 内線 3255	2K 4753

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 7 / 0 2 3 0 8 5
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
	the whole document	
A	US 2005/0265407 A1 (ALAN MICHAEL, BRAUN) 2005. 12. 01, 全文、全図 & US 7164699 B1, the whole document	1-9
A	US 2010/0046560 A1 (JIAN LIU) 2010. 02. 25, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2013-546189 A (イムラ アメリカ インコーポレイテッド) 2013. 12. 26, 全文、全図 & US 2012/0133931 A1, the whole document & WO 2012/074623 A1 & DE 112011103954 T & CN 103460526 A	1-9
A	JP 2013-507005 A (イムラ アメリカ インコーポレイテッド) 2013. 02. 28, 全文、全図 & US 2015/0380892 A1, the whole document & WO 2011/041472 A1 & DE 112010003904 T & CN 102576971 A	1-9
A	SIZER et al, "Increase in Laser Repetition Rate by Spectral Slection", IEEE Journal of Quantum Electronics, 1989. 01, VOL. 25, NO. 1, p. 97-103	1-9
A	JP 2010-232650 A (オムロン株式会社) 2010. 10. 14, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2009-186660 A (株式会社東芝) 2009. 08. 20, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2008-205486 A (浜松ホトニクス株式会社) 2008. 09. 04, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 8-18139 A (日本電信電話株式会社) 1996. 01. 19, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

G 0 2 F 1/37

(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,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,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

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。