

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 8 月 4 日(04.08.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/121281 A1

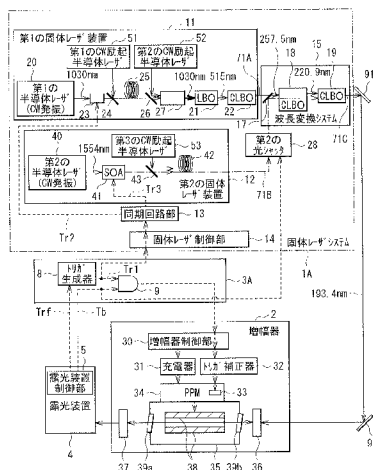
- (51) 国際特許分類:
H01S 3/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/086160
- (22) 国際出願日: 2015 年 12 月 25 日(25.12.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
PCT/JP2015/052651 2015 年 1 月 30 日(30.01.2015) JP
- (71) 出願人: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.)[JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田 4 〇 〇 番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 小野瀬 貴士(ONOSE, Takashi); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田 4 〇 〇 番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 若林 理(WAKABAYASHI, Osamu); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田 4 〇 〇 番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人つばさ国際特許事務所(TSUBASA PATENT PROFESSIONAL CORPORATION); 〒1600022 東京都新宿区新宿 1 丁目 1 5 番 9 号さわだビル 3 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) Title: SOLID-STATE LASER SYSTEM

(54) 発明の名称: 固体レーザシステム

[図6]



- 1A Solid-state laser system
2 Amplifier
4 Exposure device
5 Exposure device control unit
8 Trigger generator
11 First solid-state laser device
12 Second solid-state laser device
13 Synchronization circuit unit
14 Solid-state laser control unit
15 Wavelength conversion system
20 First semiconductor laser (CW oscillation)
28 Second optical shutter
30 Amplifier control unit
31 Charger
32 Trigger corrector
40 Second semiconductor laser (CW oscillation)
51 First CW excitation semiconductor laser
52 Second CW excitation semiconductor laser
53 Third CW excitation semiconductor laser

(57) Abstract: This solid-state laser system may be provided with an optical shutter which is arranged in the optical path of a first pulse laser or a second pulse laser, and with the control unit which causes a first and second solid-state laser device to continuously output the first pulse laser and the second pulse laser, respectively; when a burst signal from an external device is ON, by executing control to open the optical shutter such that the first pulse laser and the second pulse laser enter a wavelength conversion system approximately simultaneously, the wavelength conversion system is made to output a third pulse laser obtained by wavelength conversion from the first wavelength and the second wavelength to a third wavelength; when the burst signal is OFF, by executing control to close the optical shutter to ensure that the timing at which the first pulse laser and the second pulse laser enter the wavelength conversion system do not coincide, output of the third pulse laser from the wavelength conversion system is stopped.

(57) 要約: 本開示による固体レーザシステムは、第1のパルスレーザ光、及び第2のパルスレーザ光のうちいずれか一方の光路上に配置された光シャッタと、第1及び第2の固体レーザ装置からそれぞれ第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光とを連続出力させると共に、外部装置からのバースト信号がオンのときには、光シャッタを開ける制御を行うことにより、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光とを波長変換システムに略同時に入射させることにより、第1の波長と第2の波長とから第3の波長へと波長変換された第3のパルスレーザ光を波長変換システムから出力させ、バースト信号がオフのときには、光シャッタを閉じる制御を行うことにより、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光との波長変換システムへの入射タイミングが時間的に重ならないようにすることにより、波長変換システムからの第3のパルスレーザ光の出力を停止させる制御部とを備えてもよい。



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,

GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 固体レーザシステム

技術分野

[0001] 本開示は、固体レーザシステムに関する。

背景技術

[0002] 半導体集積回路の微細化、高集積化につれて、半導体露光装置においては解像力の向上が要請されている（半導体露光装置を以下、単に「露光装置」という）。このため、露光用光源から出力される光の短波長化が進められている。露光用光源には、従来の水銀ランプに代わってガスレーザ装置が用いられている。現在、露光用のガスレーザ装置としては、波長248nmの紫外線を出力するKrFエキシマレーザ装置並びに、波長193.4nmの紫外線を出力するArFエキシマレーザ装置が用いられている。

[0003] 現在の露光技術としては、露光装置側の投影レンズとウエハ間の間隙を液体で満たして、当該間隙の屈折率を変えることによって、露光用光源の見かけの波長を短波長化する液浸露光が実用化されている。ArFエキシマレーザ装置を露光用光源として用いて液浸露光が行われた場合は、ウエハには水中における波長134nmの紫外光が照射される。この技術をArF液浸露光という。ArF液浸露光はArF液浸リソグラフィーとも呼ばれる。

[0004] KrF、ArFエキシマレーザ装置の自然発振におけるスペクトル線幅は約350～400pmと広いため、露光装置側の投影レンズによってウエハ上に縮小投影されるレーザ光（紫外線光）の色収差が発生して解像力が低下する。そこで色収差が無視できる程度となるまでガスレーザ装置から出力されるレーザ光のスペクトル線幅を狭帯域化する必要がある。スペクトル線幅はスペクトル幅とも呼ばれる。このためガスレーザ装置のレーザ共振器内には狭帯域化素子を有する狭帯域化モジュール（Line Narrow Module）が設けられ、この狭帯域化モジュールによりスペクトル幅の狭帯域化が実現されている。なお、狭帯域化素子はエタロンやグレーティング等であってもよい。

このようにスペクトル幅が狭帯域化されたレーザ装置を狭帯域化レーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2012-199425号公報

特許文献2：特開2013-222173号公報

特許文献3：米国特許第8634441号明細書

特許文献4：米国特許出願公開第2013/0279526号明細書

概要

[0006] 本開示の第1の観点に係る固体レーザシステムは、第1の波長の第1のパルスレーザ光を出力する第1の固体レーザ装置と、第2の波長の第2のパルスレーザ光を出力する第2の固体レーザ装置と、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光とが入射する波長変換システムと、第1のパルスレーザ光、及び第2のパルスレーザ光のうちいずれか一方の光路上に配置された光シャッタと、第1及び第2の固体レーザ装置からそれぞれ第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光とを連続出力させると共に、外部装置からのバースト信号がオンのときには、光シャッタを開ける制御を行うことにより、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光とを波長変換システムに略同時に入射させることにより、第1の波長と第2の波長とから第3の波長へと波長変換された第3のパルスレーザ光を波長変換システムから出力させ、バースト信号がオフのときには、光シャッタを閉じる制御を行うことにより、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光との波長変換システムへの入射タイミングが時間的に重ならないようにすることにより、波長変換システムからの第3のパルスレーザ光の出力を停止させる制御部とを備えてもよい。

[0007] 本開示の第2の観点に係る固体レーザシステムは、第1の波長の第1のパルスレーザ光を出力する第1の固体レーザ装置と、第2の波長の第2のパルスレーザ光を出力する第2の固体レーザ装置と、第1のパルスレーザ光と第

2 のパルスレーザ光とが入射する波長変換システムと、第 1 及び第 2 の固体レーザ装置からそれぞれ第 1 のパルスレーザ光と第 2 のパルスレーザ光とを連続出力させると共に、外部装置からのバースト信号がオンのときには、第 1 のパルスレーザ光と第 2 のパルスレーザ光とを波長変換システムに略同時に入射させることにより、第 1 の波長と第 2 の波長とから第 3 の波長へと波長変換された第 3 のパルスレーザ光を波長変換システムから出力させ、バースト信号がオフのときには、第 1 のパルスレーザ光のパルス幅と第 2 のパルスレーザ光のパルス幅との和以上の互いに異なるタイミングで、第 1 のパルスレーザ光と第 2 のパルスレーザ光とを波長変換システムに入射させることにより、波長変換システムからの第 3 のパルスレーザ光の出力を停止させる制御部とを備えてもよい。

[0008] 本開示の第 3 の観点に係る固体レーザシステムは、第 1 の波長の第 1 のパルスレーザ光を出力する第 1 の固体レーザ装置と、第 2 の波長の第 2 のパルスレーザ光を出力する第 2 の固体レーザ装置と、第 1 のパルスレーザ光と第 2 のパルスレーザ光とが入射する波長変換システムと、第 1 のパルスレーザ光と第 2 のパルスレーザ光との少なくとも一方の光強度を可変する光強度可変部と、第 1 のパルスレーザ光と第 2 のパルスレーザ光とを波長変換システムに略同時に入射させると共に、光強度可変部を制御することにより、外部装置からのバースト信号がオンのときには、第 1 の波長と第 2 の波長とから第 3 の波長へと波長変換された第 3 のパルスレーザ光が波長変換システムから出力されるように第 1 のパルスレーザ光と第 2 のパルスレーザ光との光強度を制御し、バースト信号がオフのときには、波長変換システムからの第 3 のパルスレーザ光の出力が停止されるように第 1 のパルスレーザ光と第 2 のパルスレーザ光との少なくとも一方の光強度を制御する制御部とを備えてもよい。

図面の簡単な説明

[0009] 本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。

[図1]図1は、比較例に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図2]図2は、図1に示した固体レーザシステムの第1の固体レーザ装置においてパルス状のシード光を連続的に出力して増幅する動作例を概略的に示す。

[図3]図3は、図1に示した固体レーザシステムの第1の固体レーザ装置においてパルス状のシード光を連続的に出力して増幅した場合のファイバ増幅器の利得の変化を概略的に示す。

[図4]図4は、図1に示した固体レーザシステムの第1の固体レーザ装置においてパルス状のシード光をバースト出力して増幅する動作例を概略的に示す。

[図5]図5は、図1に示した固体レーザシステムの第1の固体レーザ装置においてパルス状のシード光をバースト出力して増幅した場合のファイバ増幅器の利得の変化を概略的に示す。

[図6]図6は、第1の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図7]図7は、図6に示した固体レーザシステムの動作の一例を示すタイミングチャートである。

[図8]図8は、第2の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図9]図9は、図8に示した固体レーザシステムの動作の一例を示すタイミングチャートである。

[図10]図10は、第3の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図11]図11は、図10に示した固体レーザシステムの動作の一例を示すタイミングチャートである。

[図12]図12は、図10に示した固体レーザシステムにおけるバースト信号がオフの期間における第1の動作例を示すタイミングチャートである。

[図13]図 1 3 は、図 1 0 に示した固体レーザシステムにおけるバースト信号がオフの期間における第 2 の動作例を示すタイミングチャートである。

[図14]図 1 4 は、第 4 の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図15]図 1 5 は、図 1 4 に示した固体レーザシステムの動作の一例を示すタイミングチャートである。

[図16]図 1 6 は、光シャッタの一構成例を概略的に示す。

[図17]図 1 7 は、バースト信号がオフのときの、第 1 のパルスレーザ光と第 2 のパルスレーザ光との波長変換システムへの入射タイミングの一例を概略的に示す。

[図18]図 1 8 は、制御部のハードウェア環境の一例を示す。

実施形態

[0010] <内容>

[1 . 概要]

[2 . 比較例] (固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置)

2 . 1 構成 (図 1)

2 . 2 動作

2 . 3 課題 (図 3 ～図 5)

[3 . 第 1 の実施形態] (図 6 、図 7)

3 . 1 構成

3 . 2 動作

3 . 3 作用

3 . 4 変形例

[4 . 第 2 の実施形態] (図 8 、図 9 、図 1 7)

4 . 1 構成

4 . 2 動作

4 . 3 作用

[5 . 第 3 の実施形態] (図 1 0 ～図 1 3)

5. 1 構成

5. 2 動作

5. 3 作用

[6. 第 4 の実施形態] (図 1 4、図 1 5)

6. 1 構成

6. 2 動作

6. 3 作用

6. 4 変形例

[7. 光シャッタの構成例] (図 1 6)

7. 1 構成

7. 2 動作

[8. 制御部のハードウェア環境] (図 1 8)

[9. その他]

[0011] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。

以下に説明される実施形態は、本開示のいくつかの例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

[0012] [1. 概要]

本開示は、例えば、バーストパルスを生成する固体レーザシステムに関する。

[0013] [2. 比較例]

まず、本開示の実施形態に対する比較例の固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置について説明する。

[0014] 露光装置用レーザ装置として、MO（マスタオシレータ）とPO（パワーオシレータ）とを含む構成があり得る。そのような露光装置用レーザ装置では、MOとPOとに、エキシマレーザガスをレーザ媒質とするレーザが使用

され得る。しかしながら、省エネルギーの観点から、MOを非線形結晶と固体レーザとを組み合わせた紫外光のパルスレーザ光を出力する固体レーザシステムとする露光装置用レーザ装置の開発が進みつつある。以下では、そのような固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の構成例を説明する。

[0015] (2. 1 構成)

図1は、本開示の実施形態に対する比較例の露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示している。

[0016] 露光装置用レーザ装置は、固体レーザシステム1と、増幅器2と、バーストパルス制御部3と、高反射ミラー91, 92とを備えてもよい。固体レーザシステム1は、第1の固体レーザ装置11と、第2の固体レーザ装置12と、同期回路部13と、固体レーザ制御部14と、波長変換システム15とを含んでもよい。バーストパルス制御部3は、トリガ生成器8と、AND回路9とを含んでもよい。

[0017] 露光装置用レーザ装置は、露光時に所定の繰り返し周波数 f で所定の時間の間、ウエハにパルスレーザ光を照射した後、次のウエハの露光に移行するために所定の時間の間、パルスレーザ光の発振を停止するというバースト運転を行う必要があり得る。パルスレーザ光の所定の繰り返し周波数 f は、例えば、50kHz~100kHzであり得る。所定の繰り返し周波数 f で所定の時間にわたってパルス光を出力することを、バーストと称することもある。また、バースト出力されたパルス光をバーストパルスと呼ぶ場合がある。

[0018] このようなバーストによるパルスレーザ光の生成を指示するバースト信号 T_b が、外部装置としての露光装置4からバーストパルス制御部3に供給されてもよい。また、所定の繰り返し周波数 f を示す周波数信号 T_{rf} が、露光装置4からバーストパルス制御部3に供給されてもよい。露光装置4は露光装置制御部5を含んでもよい。周波数信号 T_{rf} 及びバースト信号 T_b は、露光装置4の露光装置制御部5から供給するようにしてもよい。

[0019] AND回路9には、露光装置制御部5からのバースト信号 T_b と、トリガ

生成器 8 からの第 1 のトリガ信号 T_{r1} とが入力されてもよい。トリガ生成器 8 は、露光装置制御部 5 からの周波数信号 T_{rf} を受信して、第 1 のトリガ信号 T_{r1} を生成する構成となってもよい。

[0020] 第 1 の固体レーザ装置 11 は、第 1 の波長の第 1 のパルスレーザ光 71A を波長変換システム 15 に向けて出力するように構成されていてもよい。第 1 の波長は、257.5 nm であってもよい。第 1 の固体レーザ装置 11 は、第 1 の半導体レーザ 20 と、第 1 の光シャッタ 23 と、ビームスプリッタ 24 と、第 1 のファイバ増幅器 25 と、ビームスプリッタ 26 と、固体増幅器 27 とを含んでもよい。また、第 1 の固体レーザ装置 11 は、 LiB_3O_5 結晶 21 と、 $CLBO$ ($CsLiB_6O_{10}$) 結晶 22 と、第 1 の CW (連続波) 励起半導体レーザ 51 と、第 2 の CW 励起半導体レーザ 52 とを含んでもよい。

[0021] 第 1 の半導体レーザ 20 は、CW 発振して波長 1030 nm のシード光を出力する分布帰還型の半導体レーザであってもよい。第 1 の光シャッタ 23 は、例えば EO (Electro Optical) ポッケルスセルと偏光子とを組み合わせた構成であってもよい。

[0022] 第 2 の固体レーザ装置 12 は、第 2 の波長の第 2 のパルスレーザ光 71B を波長変換システム 15 に向けて出力するように構成されていてもよい。第 2 の波長は、1554 nm であってもよい。第 2 の固体レーザ装置 12 は、第 2 の半導体レーザ 40 と、半導体光増幅器 (SOA: Semiconductor Optical Amplifier) 41 と、第 2 のファイバ増幅器 42 と、ビームスプリッタ 43 と、第 3 の CW 励起半導体レーザ 53 とを含んでもよい。

[0023] 第 2 の半導体レーザ 40 は、CW 発振して波長 1554 nm のシード光を出力する分布帰還型の半導体レーザであってもよい。

[0024] 波長変換システム 15 は、ビームスプリッタ 17 と、2 つの $CLBO$ ($CsLiB_6O_{10}$) 結晶 18, 19 とを含んでもよい。波長変換システム 15 は、第 1 の波長の第 1 のパルスレーザ光 71A と、第 2 の波長の第 2 のパルスレーザ光 71B とが略同時に入射するように構成されていてもよい。波長

変換システム 15 は、第 1 の波長と第 2 の波長とから第 3 の波長へと波長変換された第 3 のパルスレーザ光 71C を出力するように構成されていてもよい。第 3 の波長は、193.4 nm であってもよい。

[0025] 第 1 の半導体レーザ 20 及び第 2 の半導体レーザ 40 のスペクトル線幅は、波長変換システム 15 で変換された 193.4 nm の第 3 のパルスレーザ光 71C のスペクトル線幅が、露光装置 4 の許容線幅となるように設定されてもよい。

[0026] 固体レーザ制御部 14 は、第 1 の半導体レーザ 20 及び第 2 の半導体レーザ 40 と、第 1 の CW 励起半導体レーザ 51、第 2 の CW 励起半導体レーザ 52、及び第 3 の CW 励起半導体レーザ 53 とに図示しない信号ラインで接続されていてもよい。

[0027] 同期回路部 13 は、第 1 の固体レーザ装置 11 の第 1 の光シャッタ 23 に第 2 のトリガ信号 Tr2 を出力するように構成されてもよい。また、同期回路部 13 は、第 2 の固体レーザ装置 12 の半導体光増幅器 41 に第 3 のトリガ信号 Tr3 を出力するように構成されてもよい。

[0028] 増幅器 2 は、増幅器制御部 30 と、充電器 31 と、トリガ補正器 32 と、スイッチ 33 を含むパルスパワーモジュール (PPM) 34 と、チャンバ 35 と、部分反射ミラー 36 と出力結合ミラー 37 とを含んでいてもよい。

[0029] チャンバ 35 にはウインドウ 39a, 39b が設けられていてもよい。チャンバ 35 の中には例えば Ar ガスと F₂ ガスと Ne ガスとを含むレーザガスが入っていてもよい。チャンバ 35 の中には 1 対の放電電極 38 が配置されていてもよい。1 対の放電電極 38 は、PPM 34 の出力端子に接続されていてもよい。

[0030] 増幅器 2 において、部分反射ミラー 36 と出力結合ミラー 37 とを含む光共振器が構成されていてもよい。部分反射ミラー 36 は例えば、波長 193.4 nm の光を透過する CaF₂ 結晶からなる基板に、反射率が 70~90% の部分反射膜がコートされていてもよい。出力結合ミラー 37 は例えば、波長 193.4 nm の光を透過する CaF₂ 結晶からなる基板に反射率が 10~

20%の部分反射膜がコートされていてもよい。

[0031] バーストパルス制御部3は、第3のパルスレーザ光71Cが増幅器2の光共振器に注入されるのと同期して1対の放電電極38が放電するように、増幅器制御部30を介してトリガ補正器32に発振トリガを出力するように構成されていてもよい。

[0032] (2. 2 動作)

第1の固体レーザ装置11は、固体レーザ制御部14からの指令に基づいて、第1の半導体レーザ20と、第1及び第2のCW励起半導体レーザ51, 52とをCW発振させてもよい。第2の固体レーザ装置12は、固体レーザ制御部14からの指令に基づいて、第2の半導体レーザ40と、第3のCW励起半導体レーザ53とをCW発振させてもよい。

[0033] 露光装置4は、バースト信号Tbと周波数信号Trfとをバーストパルス制御部3に出力してもよい。バースト信号Tbは、オンのときにバーストパルスを生成し、オフのときにバーストパルスの生成を停止させることを指示する信号であってもよい。

[0034] バーストパルス制御部3において、トリガ生成器8は、露光装置4から周波数信号Trfを受信すると、所定の繰り返し周波数fの第1のトリガ信号Tr1を発生させてもよい。バーストパルス制御部3において、AND回路9は、バースト信号Tbがオンのときには所定の繰り返し周波数fのバーストトリガ信号を出力してもよい。AND回路9は、バースト信号Tbがオフのときにはバーストトリガ信号の出力を停止してもよい。

[0035] AND回路9からのバーストトリガ信号は、増幅器制御部30に入力されてもよい。また、バーストトリガ信号は、増幅器制御部30及びトリガ補正器32を介してPPM34のスイッチ33に入力されてもよい。

[0036] また、バーストトリガ信号は、固体レーザ制御部14を介して同期回路部13に入力されてもよい。同期回路部13は、バーストトリガ信号を受信すると、第1のパルスレーザ光71Aと第2のパルスレーザ光71Bとを略同時に波長変換システム15に入射させるように第2のトリガ信号Tr2と第

3のトリガ信号Tr3とを出力してもよい。同期回路部13は、第1の固体レーザ装置11の第1の光シャッタ23に第2のトリガ信号Tr2を出力してもよい。同期回路部13は、第2の固体レーザ装置12の半導体光増幅器41に第3のトリガ信号Tr3を出力してもよい。

[0037] 第1の固体レーザ装置11では、第1の半導体レーザ20から波長1030nmのCW発振光がシード光として出力され得る。波長1030nmのCW発振のシード光は、第2のトリガ信号Tr2に基づいて第1の光シャッタ23によってパルス状にトリミングされ得る。次に、第1の光シャッタ23から出力されたパルス状のシード光と、第1のCW励起半導体レーザ51からの第1のCW励起光とが、ビームスプリッタ24を介して第1のファイバ増幅器25に入射することで、シード光が第1のファイバ増幅器25で増幅され得る。次に、第1のファイバ増幅器25によって増幅されたシード光と、第2のCW励起半導体レーザ52からの第2のCW励起光とが、ビームスプリッタ26を介して固体増幅器27に入射することで、シード光が固体増幅器27で増幅され得る。次に、LBO結晶21とCLBO結晶22とによって、固体増幅器27によって増幅されたシード光から波長257.5nmの第4高調波光が生成され得る。これにより、第1の固体レーザ装置11から波長257.5nmの第1のパルスレーザ光71Aが出力され得る。

[0038] 一方、第2の固体レーザ装置12では、第2の半導体レーザ40から波長1554nmのCW発振光がシード光として出力され得る。波長1554nmのCW発振のシード光は、第3のトリガ信号Tr3に基づいて半導体光増幅器41によってパルス状に増幅され得る。次に、半導体光増幅器41から出力されたパルス状のシード光と、第3のCW励起半導体レーザ53からの第3のCW励起光とが、ビームスプリッタ43を介して第2のファイバ増幅器42に入射することで、シード光が第2のファイバ増幅器42で増幅され得る。これにより、第2の固体レーザ装置12から波長1554nmの第2のパルスレーザ光71Bが出力され得る。

[0039] 波長変換システム15では、ビームスプリッタ17によってCLBO結晶

18に第1及び第2のパルスレーザ光71A, 71Bが略同時に入射し、CLBO結晶18上で第1及び第2のパルスレーザ光71A, 71Bが重なり得る。CLBO結晶18では、波長257.5nmと波長1554nmとの和周波を取り、波長220.9nmのパルスレーザ光を生成し得る。次に、CLBO結晶19では、波長220.9nmと波長1554nmとの和周波を取り、波長193.4nmの第3のパルスレーザ光71Cを生成し得る。この第3のパルスレーザ光71Cが高反射ミラー91, 92を介して、増幅器2の部分反射ミラー36に入射し得る。

[0040] この第3のパルスレーザ光71Cはシード光として、出力結合ミラー37と部分反射ミラー36を含む増幅器2の光共振器中に注入され得る。この注入に同期して、増幅器2のチャンバ35内では1対の放電電極38による放電で反転分布を作り得る。ここで、トリガ補正器32は、波長193.4nmの固体レーザシステム1からの第3のパルスレーザ光71Cが増幅器2で効率よく増幅されるようにPPM34のスイッチ33のタイミングを調整してもよい。その結果、増幅器2の光共振器によって増幅発振して、出力結合ミラー37から増幅されたパルスレーザ光を出力し得る。

[0041] 以上のようにして、固体レーザシステム1から波長193.4nmのバーストパルスを生成し、そのパルスに同期して、増幅器2を運転させることによって、さらに増幅されたバーストパルスを露光装置4に出力し得る。

[0042] (2.3 課題)

図2は、図1に示した固体レーザシステム1の第1の固体レーザ装置11においてパルス状のシード光を連続的に出力して増幅する動作例を概略的に示している。図3は、同様に第1の固体レーザ装置11においてパルス状のシード光を連続的に出力して増幅した場合の第1のファイバ増幅器25の利得の変化を概略的に示している。

[0043] 図4は、図1に示した固体レーザシステム1の第1の固体レーザ装置11においてパルス状のシード光をバースト出力して増幅する動作例を概略的に示している。図5は、同様に第1の固体レーザ装置11においてパルス状の

シード光をバースト出力して増幅した場合の第 1 のファイバ増幅器 25 の利得の変化を概略的に示している。

[0044] 図 3 及び図 5 において、上段には、第 1 のファイバ増幅器 25 による増幅前のシード光 54 の状態を、横軸を時間、縦軸を光強度として示している。中段には、第 1 のファイバ増幅器 25 による増幅後のシード光 55 の状態を、横軸を時間、縦軸を光強度として示している。下段には、第 1 のファイバ増幅器 25 の利得の変化を、横軸を時間、縦軸を利得として示している。

[0045] 第 1 のファイバ増幅器 25 では、図 2 及び図 3 に示したように、第 1 の CW 励起半導体レーザ 51 からの第 1 の CW 励起光を CW 入力し、利得が釣り合うようにシード光 54 の強度を調整してパルスエネルギーの調整を行う場合があり得る。この条件で、図 4 及び図 5 に示したように、シード光 54 をバースト動作で第 1 のファイバ増幅器 25 に入力すると、シード光 54 が入力されるタイミングの変化によって第 1 のファイバ増幅器 25 の利得のバランスが崩れ得る。その結果、増幅後のシード光 55 の光強度にばらつきが発生し、特に、バーストの先頭のパルスの光強度が高くなり得る。そして、最悪の場合、例えば第 1 のファイバ増幅器 25 のファイバや、その下流にある非線形結晶等の光学素子が損傷し得る。また、非線形結晶等の光学素子の熱負荷が大きくなることによって、波面が変化して、その後の波長の変換効率が低下したり、波長変換されたパルスレーザ光の波面が歪む可能性があり得る。

[0046] [3. 第 1 の実施形態]

次に、本開示の第 1 の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置について説明する。なお、以下では図 1 に示した比較例の固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0047] (3. 1 構成)

図 6 は、本開示の第 1 の実施形態に係る固体レーザシステム 1A を含む露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示している。

[0048] 本実施形態に係る露光装置用レーザ装置は、図1に示した比較例の構成におけるバーストパルス制御部3及び固体レーザシステム1に代えて、バーストパルス制御部3A及び固体レーザシステム1Aを備えてもよい。

[0049] 本実施形態に係る固体レーザシステム1Aは、図1に示した比較例の構成に加えて、第2の光シャッタ28をさらに備えた構成であってもよい。第2の光シャッタ28は、第2の固体レーザ装置12と波長変換システム15との間の光路上に配置されてもよい。第2の光シャッタ28には、バーストパルス制御部3Aを介して露光装置4からのバースト信号Tbが入力されてもよい。第2の光シャッタ28は、露光装置4からのバースト信号Tbに同期して、シャッタ開（OPEN）とシャッタ閉（CLOSE）との切り替え動作が制御される構成であってもよい。

[0050] 図1に示した比較例の構成では、AND回路9から出力されたバーストリガ信号が固体レーザ制御部14を介して同期回路部13に入力されてもよい。これに対して、本実施形態では、トリガ生成器8で生成された所定の繰り返し周波数fの第1のトリガ信号Tr1が、固体レーザ制御部14を介して同期回路部13に入力されるような構成であってもよい。

[0051] その他の構成は、図1に示した露光装置用レーザ装置と略同様であってもよい。

[0052] （3. 2 動作）

図7は、図6に示した固体レーザシステム1Aの動作の一例を示すタイミングチャートである。図7の各タイミングチャートは、上側から順に、露光装置4からのバースト信号Tbの出力タイミングと、トリガ生成器8からの第1のトリガ信号Tr1の出力タイミングとであってもよい。さらに、第2のトリガ信号Tr2に基づく第1の光シャッタ23のオン／オフのタイミングと、第3のトリガ信号Tr3に基づく半導体光増幅器41のオン／オフのタイミングとであってもよい。さらに、第1の固体レーザ装置11からの第1のパルスレーザ光71Aの出力タイミングと、第2の固体レーザ装置12からの第2のパルスレーザ光71Bの出力タイミングとであってもよい。さ

らに、バースト信号T_bに基づく第2の光シャッタ28の開閉タイミングと、波長変換システム15からの第3のパルスレーザ光71Cの出力タイミングとであってもよい。

[0053] 図7の各タイミングチャートの横軸は時間であってもよい。図7の第1、第2及び第3のパルスレーザ光71A、71B、71Cのタイミングチャートの縦軸は光強度であってもよい。図7のその他の各タイミングチャートの縦軸は信号値であってもよい。

[0054] 同期回路部13は、トリガ生成器8で生成された所定の繰り返し周波数fの第1のトリガ信号T_{r1}に同期して、第1の固体レーザ装置11の第1の光シャッタ23に第2のトリガ信号T_{r2}を出力してもよい。また、同期回路部13は、第1のトリガ信号T_{r1}に同期して、第2の固体レーザ装置12の半導体光増幅器41に第3のトリガ信号T_{r3}を出力してもよい。これにより、第1の固体レーザ装置11は、所定の繰り返し周波数fで第1のパルスレーザ光71Aを連続的に出力し得る。また、第2の固体レーザ装置12は、所定の繰り返し周波数fで第2のパルスレーザ光71Bを連続的に出力し得る。

[0055] 一方、第2の光シャッタ28は、バーストパルス制御部3Aを介して入力されたバースト信号T_bに同期して、バースト信号T_bがオンのときにはシャッタ開（OPEN）となり、バースト信号T_bがオフのときにはシャッタ閉（CLOSE）となるように動作し得る。その結果、波長変換システム15においては、バースト信号T_bがオンのときには、第1のパルスレーザ光71Aと第2のパルスレーザ光71Bとが略同じタイミングで入射することで、波長193.4nmの第3のパルスレーザ光71Cを生成し得る。バースト信号T_bがオフのときには、第2の光シャッタ28によって第2のパルスレーザ光71Bの透過が抑制され、第2のパルスレーザ光71Bの波長変換システム15への入射が抑制され得る。これにより、バースト信号T_bがオフのときには、波長193.4nmの第3のパルスレーザ光71Cへの変換が抑制され得る。

[0056] 以上のようにして、固体レーザシステム 1 A において、露光装置 4 のバースト信号 T b に応じたバースト状の第 3 のパルスレーザ光 7 1 C が出力され得る。

[0057] (3. 3 作用)

本実施形態の固体レーザシステム 1 A によれば、バースト信号 T b のオン／オフに関わらず、第 1 及び第 2 の固体レーザ装置 1 1, 1 2 からそれぞれ第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 7 1 A, 7 1 B が所定の繰り返し周波数 f で連続的に出力され得る。バースト信号 T b がオンのときには、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 7 1 A, 7 1 B を波長変換システム 1 5 に略同時に入射させることにより、波長 1 9 3. 4 nm に波長変換された第 3 のパルスレーザ光 7 1 C が波長変換システム 1 5 から出力され得る。バースト信号 T b がオフのときには、第 2 の光シャッタ 2 8 によって、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 7 1 A, 7 1 B の波長変換システム 1 5 への入射タイミングが時間的に重ならないようにすることにより、第 3 のパルスレーザ光 7 1 C の出力が停止され得る。

[0058] このように、第 2 の光シャッタ 2 8 によって、波長変換システム 1 5 に入射する第 2 のパルスレーザ光 7 1 B の入射を制御することによって、波長 1 9 3. 4 nm のバーストパルスを生成しているので、以下の作用があり得る。バースト先頭の波長 1 9 3. 4 nm の第 3 のパルスレーザ光 7 1 C のエネルギーが高くなるのを抑制し得る。また、第 1 及び第 2 の固体レーザ装置 1 1, 1 2 がそれぞれ、所定の繰り返し周波数 f で常に第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 7 1 A, 7 1 B を出力しているので、装置内の非線形結晶等の光学素子の熱負荷の変動が抑制され得る。その結果、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 7 1 A, 7 1 B のビームの特性の悪化を抑制し得る。第 1 の固体レーザ装置 1 1 から出力される波長 2 5 7. 5 nm の紫外光の第 1 のパルスレーザ光 7 1 A は、波長変換システム 1 5 に常に入射しているので、波長 2 5 7. 5 nm の紫外光の吸収による熱負荷の変動を抑制し得る。

[0059] (3. 4 変形例)

本実施形態に係る固体レーザシステム 1 A において、第 2 の固体レーザ装置 1 2 と波長変換システム 1 5 との間に限らず、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 7 1 A, 7 1 B のうちいずれか一方の光路上の他の位置に第 2 の光シャッタ 2 8 を配置してもよい。例えば、第 1 の固体レーザ装置 1 1 における固体増幅器 2 7 と L B O 結晶 2 1 との間、又は L B O 結晶 2 1 と C L B O 結晶 2 2 との間の光路上に第 2 の光シャッタ 2 8 を配置してもよい。

[0060] [4. 第 2 の実施形態]

次に、本開示の第 2 の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置について説明する。なお、以下では上記比較例、又は上記第 1 の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0061] (4. 1 構成)

図 8 は、本開示の第 2 の実施形態に係る固体レーザシステム 1 B を含む露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示している。

[0062] 本実施形態に係る露光装置用レーザ装置は、図 1 に示した比較例の構成におけるバーストパルス制御部 3 及び固体レーザシステム 1 に代えて、バーストパルス制御部 3 B 及び固体レーザシステム 1 B を備えてもよい。

[0063] 図 1 に示した比較例の構成では、AND 回路 9 から出力されたバーストリガ信号が固体レーザ制御部 1 4 を介して同期回路部 1 3 に入力されている。これに対して、本実施形態では、トリガ生成器 8 で生成された所定の繰り返し周波数 f の第 1 のトリガ信号 $T_r 1$ が、固体レーザ制御部 1 4 を介して同期回路部 1 3 B に入力されるような構成であってもよい。また、本実施形態では、露光装置 4 からのバースト信号 T_b が、固体レーザ制御部 1 4 を介さずに同期回路部 1 3 B に入力されるような構成であってもよい。

[0064] 同期回路部 1 3 B は、バースト信号 T_b がオンのときには、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 7 1 A, 7 1 B が略同じタイミングで波長変換システム 1 5 に入射することとなるような第 2 及び第 3 のトリガ信号 $T_r 2$, $T_r 3$ を出力してもよい。また、同期回路部 1 3 B は、バースト信号 T_b がオフのと

きには、第1及び第2のパルスレーザ光71A, 71Bが互いに異なるタイミングで波長変換システム15に入射することとなるような第2及び第3のトリガ信号Tr2, Tr3を出力してもよい。

[0065] その他の構成は、図1に示した露光装置用レーザ装置と略同様であってもよい。

[0066] (4. 2 動作)

図9は、図8に示した固体レーザシステム1Bの動作の一例を示すタイミングチャートである。図9の各タイミングチャートは、上側から順に、露光装置4からのバースト信号Tbの出力タイミングと、トリガ生成器8からの第1のトリガ信号Tr1の出力タイミングとであってもよい。さらに、第2のトリガ信号Tr2に基づく第1の光シャッタ23のオン／オフのタイミングと、第3のトリガ信号Tr3に基づく半導体光増幅器41のオン／オフのタイミングとであってもよい。さらに、第1の固体レーザ装置11からの第1のパルスレーザ光71Aの出力タイミングと、第2の固体レーザ装置12からの第2のパルスレーザ光71Bの出力タイミングとであってもよい。さらに、波長変換システム15からの第3のパルスレーザ光71Cの出力タイミングであってもよい。

[0067] 図9の各タイミングチャートの横軸は時間であってもよい。図9の第1、第2及び第3のパルスレーザ光71A, 71B, 71Cのタイミングチャートの縦軸は光強度であってもよい。図9のその他の各タイミングチャートの縦軸は信号値であってもよい。

[0068] 固体レーザ制御部14は、同期回路部13Bを制御することにより、バースト信号Tbがオンのときには、第1及び第2のパルスレーザ光71A, 71Bを互いにほぼ同じタイミングで波長変換システム15に入射させてもよい。例えば図9に示したように、同期回路部13Bから出力する第2のトリガ信号Tr2と第3のトリガ信号Tr3とを同期させてもよい。これにより、バースト信号Tbがオンのときには、第1及び第2のパルスレーザ光71A, 71Bが略同時に波長変換システム15に入射し得る。これにより、波

長変換システム 15 からは、波長 193.4 nm に波長変換された第 3 のパルスレーザ光 71 C が出力され得る。

[0069] また、固体レーザ制御部 14 は、同期回路部 13 B を制御することにより、バースト信号 T b がオフのときには、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 71 A, 71 B の同期タイミングをずらしてもよい。これにより、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 71 A, 71 B を互いに異なるタイミングで波長変換システム 15 に入射させてもよい。例えば図 9 に示したように、第 2 のトリガ信号 T r 2 に対して第 3 のトリガ信号 T r 3 の同期タイミングをずらすようにしてもよい。これにより、バースト信号 T b がオフのときには、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 71 A, 71 B の波長変換システム 15 への入射タイミングが時間的にずれるので、波長変換システム 15 における波長 193.4 nm への波長変換が抑制され得る。

[0070] 以上のようにして、固体レーザシステム 1 A において、露光装置 4 のバースト信号 T b に応じたバースト状の第 3 のパルスレーザ光 71 C が出力され得る。

[0071] なお、図 9 のタイミングチャートでは、第 2 のトリガ信号 T r 2 に対して第 3 のトリガ信号 T r 3 の同期タイミングをずらし、第 2 のパルスレーザ光 71 B の同期タイミングをずらしているが、第 1 のパルスレーザ光 71 A の同期タイミングをずらしてもよい。また、バースト信号 T b がオンの期間に対してオフの期間における第 2 及び第 3 のトリガ信号 T r 2, T r 3 の双方の同期タイミングをずらし、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 71 A, 71 B の双方の同期タイミングをずらすようにしてもよい。

[0072] ここで、具体例を示す。バースト信号 T b がオフのときだけ、第 1 のパルスレーザ光 71 A のパルス立ち上がりをわずかに、例えば 100 ns だけずらしてもよい。その結果、波長変換システム 15 における第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 71 A, 71 B の時間的な重なりがなくなるため、和周波の発生を抑制し得る。例えば、トリガ生成器 8 の繰り返し周波数が 6 kHz の場合、パルスの間隔は 167 μ s となる。そこで、約 100 ns の同期タイミ

ングをずらしても第1のパルスレーザ光71Aの出力タイミングの変化は小さいので、バースト動作の影響を受けることを抑制し得る。

[0073] 図17は、バースト信号Tbがオフのときの、第1のパルスレーザ光71Aと第2のパルスレーザ光71Bとの波長変換システム15への入射タイミングの一例を示している。

[0074] 図17において、上段は波長変換システム15に入射する第1のパルスレーザ光71Aの一例を示し、下段は波長変換システム15に入射する第2のパルスレーザ光71Bの一例を示している。また、図17において、 $\Delta T p 1$ は、波長変換システム15に入射する第1のパルスレーザ光71Aのパルス幅を示している。 $\Delta T p 2$ は、波長変換システム15に入射する第2のパルスレーザ光71Bのパルス幅を示している。パルス幅 $\Delta T p 1$ とパルス幅 $\Delta T p 2$ はそれぞれ、例えば半値全幅であってもよい。 ΔD は、波長変換システム15に入射する第1のパルスレーザ光71Aと第2のパルスレーザ光71Bとの入射タイミングの時間差を示している。

[0075] バースト信号Tbがオフのときには、第1のパルスレーザ光71Aのパルス幅 $\Delta T p 1$ と第2のパルスレーザ光71Bのパルス幅 $\Delta T p 1$ との和以上の互いに異なるタイミングで、第1のパルスレーザ光71Aと第2のパルスレーザ光71Bとを波長変換システム15に入射させるようにしてもよい。

[0076] すなわち、下記(1)式を満たすように、波長変換システム15に入射する第1のパルスレーザ光71Aと第2のパルスレーザ光71Bとの入射タイミングの時間差 ΔD をずらしてもよい。

$$|\Delta D| \geq \Delta T p 1 + \Delta T p 2 \quad \cdots \cdots (1)$$

[0077] (4.3 作用)

本実施形態の固体レーザシステム1Bによれば、バースト信号Tbのオン／オフに関わらず、第1及び第2の固体レーザ装置11, 12からそれぞれ第1及び第2のパルスレーザ光71A, 71Bが連続的に出力され得る。バースト信号Tbがオンのときには、第1及び第2のパルスレーザ光71A, 71Bを波長変換システム15に略同時に入射させることにより、波長19

3. 4 nmに波長変換された第3のパルスレーザ光71Cが波長変換システム15から出力され得る。バースト信号Tbがオフのときには、第1及び第2のパルスレーザ光71A, 71Bの波長変換システム15への入射タイミングが時間的に重ならないようにすることにより、第3のパルスレーザ光71Cの出力が停止され得る。波長変換システム15には、バースト信号Tbがオフのときにおいても、タイミングは異なるものの、第1及び第2のパルスレーザ光71A, 71Bの双方が入射し得る。このため、上記第1の実施形態に比べて、波長変換システム15の熱負荷の変動がさらに抑制され得る。

[0078] [5. 第3の実施形態]

次に、本開示の第3の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置について説明する。なお、以下では上記比較例、又は上記第1若しくは第2の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0079] (5. 1 構成)

図10は、本開示の第3の実施形態に係る固体レーザシステム1Cを含む露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示している。

[0080] 本実施形態に係る露光装置用レーザ装置は、図1に示した比較例の構成におけるバーストパルス制御部3及び固体レーザシステム1に代えて、バーストパルス制御部3C及び固体レーザシステム1Cを備えてもよい。

[0081] 本実施形態に係る固体レーザシステム1Cは、図1に示した比較例の構成に加えて、配線切り替え回路61と、信号生成器62とをさらに備えた構成であってもよい。

[0082] 図1に示した比較例の構成では、AND回路9から出力されたバーストリガ信号が固体レーザ制御部14を介して同期回路部13に入力されてもよい。これに対して、本実施形態では、トリガ生成器8で生成された所定の繰り返し周波数fの第1のトリガ信号Tr1が、固体レーザ制御部14を介し

て同期回路部 13 に入力されるような構成であってもよい。また、本実施形態では、露光装置 4 からのバースト信号 T b が、AND 回路 9 と配線切り替え回路 61 とに入力されるような構成であってもよい。

[0083] 信号生成器 62 は、バースト信号 T b がオフの期間における第 1 の光シャッタ 23 の動作を制御する制御信号を生成する回路であってもよい。信号生成器 62 は、生成した制御信号を配線切り替え回路 61 に出力してもよい。信号生成器 62 は、制御信号の第 1 の例として、一定の低い電圧を出力してもよい。また、信号生成器 62 は、制御信号の第 2 の例として、トリガ生成器 8 で生成される所定の繰り返し周波数 f よりも高い繰り返し周波数のパルス信号を生成する回路であってもよい。例えば、トリガ生成器 8 で生成される所定の繰り返し周波数 f は 6 kHz であってもよい。信号生成器 62 は、例えば 6 kHz よりも高い $10\text{ kHz} \sim 100\text{ kHz}$ のパルス信号を生成してもよい。

[0084] 配線切り替え回路 61 は、バースト信号 T b がオンのときには、同期回路部 13 からの第 2 のトリガ信号 T r 2 を第 1 の光シャッタ 23 に向けて出力するように構成されていてもよい。また、配線切り替え回路 61 は、バースト信号 T b がオフのときには、信号生成器 62 からの制御信号を第 1 の光シャッタ 23 に向けて出力するように構成されていてもよい。配線切り替え回路 61 は例えば、アナログスイッチで構成されていてもよい。

[0085] 本実施形態において、第 1 の光シャッタ 23 は第 1 のパルスレーザ光 71 A の光強度を可変する光強度可変部であってもよい。

[0086] その他の構成は、図 1 に示した露光装置用レーザ装置と略同様であってもよい。

[0087] (5. 2 動作)

図 11 及び図 12 は、図 10 に示した固体レーザシステム 1C の動作の一例を示すタイミングチャートである。図 11 の各タイミングチャートは、上側から順に、露光装置 4 からのバースト信号 T b の出力タイミングと、トリガ生成器 8 からの第 1 のトリガ信号 T r 1 の出力タイミングとであってもよ

い。さらに、第2のトリガ信号 T_r2 又は信号生成器62で生成された制御信号に基づく第1の光シャッタ23の透過率の変化のタイミングと、第3のトリガ信号 T_r3 に基づく半導体光増幅器41のオン／オフのタイミングとであってもよい。さらに、第1の固体レーザ装置11からの第1のパルスレーザ光71Aの出力タイミングと、第2の固体レーザ装置12からの第2のパルスレーザ光71Bの出力タイミングとであってもよい。さらに、波長変換システム15からの第3のパルスレーザ光71Cの出力タイミングであってもよい。

[0088] 図11の各タイミングチャートの横軸は時間であってもよい。図11の第1、第2及び第3のパルスレーザ光71A、71B、71Cのタイミングチャートの縦軸は光強度であってもよい。図11のその他の各タイミングチャートの縦軸は信号値であってもよい。

[0089] 図12の各タイミングチャートは、上側から順に、第1のファイバ増幅器25による増幅前のシード光54の光強度の変化を示すタイミングと、第1のファイバ増幅器25による増幅後のシード光55の光強度の変化を示すタイミングとであってもよい。さらに、第1のファイバ増幅器25の利得の変化を示すタイミングと、波長変換システム15からの第3のパルスレーザ光71Cの出力タイミングであってもよい。

[0090] 図12の各タイミングチャートの横軸は時間であってもよい。図12の増幅前のシード光54、増幅後のシード光55及び第3のパルスレーザ光71Cのタイミングチャートの縦軸は光強度であってもよい。図12の第1のファイバ増幅器25のタイミングチャートの縦軸は利得であってもよい。

[0091] 同期回路部13は、トリガ生成器8で生成された所定の繰り返し周波数 f の第1のトリガ信号 T_r1 に同期して、配線切り替え回路61に第2のトリガ信号 T_r2 を出力してもよい。また、同期回路部13は、第1のトリガ信号 T_r1 に同期して、第2の固体レーザ装置12の半導体光増幅器41に第3のトリガ信号 T_r3 を出力してもよい。信号生成器62は、配線切り替え回路61にバースト信号 T_b がオフの期間における第1の光シャッタ23の

動作を制御する制御信号を出力してもよい。

[0092] 配線切り替え回路 61 は、バースト信号 T_b がオンのときには、第 1 の光シャッタ 23 に同期回路部 13 で生成された第 2 のトリガ信号 T_r 2 を出力してもよい。その結果、波長変換システム 15 においては、バースト信号 T_b がオンのときには、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 71 A, 71 B が略同じタイミングで、かつ、波長変換可能な光強度で入射することで、波長 193.4 nm の第 3 のパルスレーザ光 71 C を生成し得る。

[0093] 配線切り替え回路 61 は、バースト信号 T_b がオフのときには、第 1 の光シャッタ 23 に信号生成器 62 で生成された制御信号を出力してもよい。信号生成器 62 からの制御信号として、一定の低い電圧を出力することにより、第 1 の光シャッタ 23 の透過率が一定の低い状態に制御され得る。これにより、バースト信号 T_b がオフのときには、第 1 の光シャッタ 23 を介して、第 1 の半導体レーザ 20 からの CW 発振のシード光 54 が光強度が低い状態で CW 出力され得る。これにより、第 1 の固体レーザ装置 11 から、波長 257.5 nm の第 1 のパルスレーザ光 71 A が光強度が低い状態で出力され得る。ここで、波長変換システム 15 において、波長変換の効率は光強度のピーク値で決まるため、バースト信号 T_b がオフのときには、第 1 のパルスレーザ光 71 A と第 2 のパルスレーザ光 71 B との和周波による波長 193.4 nm への波長変換が抑制され得る。

[0094] ここで、図 1 の比較例では、図 5 に示したように、シード光 54 をバースト動作で第 1 のファイバ増幅器 25 に入力すると、シード光 54 が入力されるタイミングの変化によって第 1 のファイバ増幅器 25 の利得のバランスが崩れ得る。その結果、増幅後のシード光 55 の光強度にばらつきが発生し、特に、バーストの先頭のパルスの光強度が高くなり得る。これに対して、本実施形態の固体レーザシステム 1C では、図 12 に示したように、バースト信号 T_b がオフの期間では、シード光 54 が光強度が低い状態で第 1 のファイバ増幅器 25 に入力し得る。これにより、バースト信号 T_b がオフの期間において、第 1 のファイバ増幅器 25 の利得の上昇が抑制され、利得が低い

状態が維持され得る。その結果、バーストの先頭のパルスの光強度が高くなることが抑制され得る。

[0095] なお、第1のファイバ増幅器25の利得の上昇の傾きに合わせて、バースト信号Tbが次にオンとなるタイミングで利得が最適値となるように、シード光54の光強度を一定の低い状態にする時間を適宜調整してもよい。例えば図12に示したように、バースト信号Tbがオフの期間内において、略前半の期間だけ一定の低い状態とし、続く残りの期間では光強度をほぼ0に近くなるように調整してもよい。なお、第1の固体レーザ装置11において、シード光の光強度のピーク値がLBO結晶21とCLBO結晶22とにおける波長変換閾値に到達していなければ、第1の固体レーザ装置11から第1のパルスレーザ光71Aが出力されるのを抑制し得る。

[0096] 次に、信号生成器62から、制御信号として、トリガ生成器8で生成される所定の繰り返し周波数fよりも高い繰り返し周波数のパルス信号を出力する場合のタイミングチャートの例を図13に示す。

[0097] 図13の各タイミングチャートは、上側から順に、第1のファイバ増幅器25による増幅前のシード光54の光強度の変化を示すタイミングと、第1のファイバ増幅器25による増幅後のシード光55の光強度の変化を示すタイミングとであってもよい。さらに、第1のファイバ増幅器25の利得の変化を示すタイミングと、波長変換システム15からの第3のパルスレーザ光71Cの出力タイミングであってもよい。

[0098] 図13の各タイミングチャートの横軸は時間であってもよい。図13の増幅前のシード光54、増幅後のシード光55及び第3のパルスレーザ光71Cのタイミングチャートの縦軸は光強度であってもよい。図13の第1のファイバ増幅器25のタイミングチャートの縦軸は利得であってもよい。

[0099] 図13に示したように、バースト信号Tbがオフのときに、トリガ生成器8で生成される所定の繰り返し周波数fよりも高い繰り返し周波数でシード光54が透過するように、第1の光シャッタ23を制御してもよい。第1のファイバ増幅器25に高い繰り返し周波数でシード光54を入力すると、第

1のファイバ増幅器25の利得の上昇が抑制され得る。このため、バースト信号Tbがオフの期間では、第1のファイバ増幅器25による増幅後のシード光55は、光強度のピーク値が低い状態になり得る。これにより、バースト信号Tbがオフの期間では、第1の固体レーザ装置11から波長257.5nmの第1のパルスレーザ光71Aが光強度が低い状態で出力され得る。その結果、バースト信号Tbがオフの期間では、波長変換システム15において、波長193.4nmへの波長変換が抑制され得る。

[0100] なお、第1のファイバ増幅器25の利得の上昇の傾きに合わせて、バースト信号Tbが次にオンとなるタイミングで利得が最適値となるように、上記高い繰り返し周波数にする時間を適宜調整してもよい。例えば図13に示したように、バースト信号Tbがオフの期間内において、略前半の期間だけ一定の高い繰り返し周波数とし、続く残りの期間ではシード光55を出力しないように調整してもよい。

[0101] (5.3 作用)

本実施形態の固体レーザシステム1Cによれば、バースト信号Tbがオフのときには、波長変換システム15での波長変換が抑制され、第3のパルスレーザ光71Cの出力が停止するように第1のパルスレーザ光71Aの光強度が制御され得る。バースト信号Tbがオンのときには、第1の波長と第2の波長とから第3の波長へと波長変換された第3のパルスレーザ光71Cが波長変換システム15から出力されるように第1及び第2のパルスレーザ光71A、71Bの光強度が制御され得る。バースト信号Tbがオフのときには、波長変換システム15での波長変換の閾値以下の光強度となるように、第1の固体レーザ装置11内でシード光の光強度が抑制され得る。これにより、第1のファイバ増幅器25や固体増幅器27の利得を低下させ得る。これにより、バーストの先頭のパルスの光強度が高くなることが抑制され得る。

[0102] [6. 第4の実施形態]

次に、本開示の第4の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置

用レーザ装置について説明する。なお、以下では上記比較例、又は上記第1ないし第3の実施形態に係る固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置の構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0103] (6. 1 構成)

図14は、本開示の第4の実施形態に係る固体レーザシステム1Dを含む露光装置用レーザ装置の一構成例を概略的に示している。

[0104] 本実施形態に係る露光装置用レーザ装置は、図1に示した比較例の構成におけるバーストパルス制御部3及び固体レーザシステム1に代えて、バーストパルス制御部3D及び固体レーザシステム1Dを備えてもよい。

[0105] 本実施形態に係る固体レーザシステム1Dは、図1に示した比較例の構成に加えて、配線切り替え回路61と、信号生成器62とをさらに備えた構成であってもよい。

[0106] 図1に示した比較例の構成では、AND回路9から出力されたバーストリガ信号が固体レーザ制御部14を介して同期回路部13に入力されてもよい。これに対して、本実施形態では、トリガ生成器8で生成された所定の繰り返し周波数 f の第1のトリガ信号 T_{r1} が、固体レーザ制御部14を介して同期回路部13に入力されるような構成であってもよい。また、本実施形態では、露光装置4からのバースト信号 T_b が、AND回路9と配線切り替え回路61とに入力されるような構成であってもよい。

[0107] 信号生成器62は、バースト信号 T_b がオフの期間における半導体光増幅器41の動作を制御する制御信号を生成する回路であってもよい。信号生成器62は、生成した制御信号を配線切り替え回路61に出力してもよい。信号生成器62は、制御信号の第1の例として、一定の低い電流を出力してもよい。また、信号生成器62は、制御信号の第2の例として、トリガ生成器8で生成される所定の繰り返し周波数 f よりも高い繰り返し周波数のパルス電流を出力してもよい。例えば、トリガ生成器8で生成される所定の繰り返し周波数 f は6kHzであってもよい。信号生成器62は、例えば6kHz

よりも高い10kHz～100kHzのパルス電流を生成してもよい。

[0108] 配線切り替え回路61は、バースト信号Tbがオンのときには、同期回路部13からの第3のトリガ信号Tr3を半導体光増幅器41に向けて出力するように構成されていてもよい。また、配線切り替え回路61は、バースト信号Tbがオフのときには、信号生成器62からの制御信号を半導体光増幅器41に向けて出力するように構成されていてもよい。配線切り替え回路61は例えば、アナログスイッチで構成されていてもよい。

[0109] 本実施形態において、半導体光増幅器41は第2のパルスレーザ光71Bの光強度を可変する光強度可変部であってもよい。

[0110] その他の構成は、図1に示した露光装置用レーザ装置と略同様であってもよい。

[0111] (6.2 動作)

図15は、図14に示した固体レーザシステム1Dの動作の一例を示すタイミングチャートである。図15の各タイミングチャートは、上側から順に、露光装置4からのバースト信号Tbの出力タイミングと、トリガ生成器8からの第1のトリガ信号Tr1の出力タイミングとであってもよい。さらに、タイミングチャートは、第2のトリガ信号Tr2に基づく第1の光シャッタ23の透過率の変化のタイミングと、第3のトリガ信号Tr3又は信号生成器62で生成された制御信号に基づく半導体光増幅器41の電流値の変化のタイミングとであってもよい。さらに、第1の固体レーザ装置11からの第1のパルスレーザ光71Aの出力タイミングと、第2の固体レーザ装置12からの第2のパルスレーザ光71Bの出力タイミングとであってもよい。さらに、波長変換システム15からの第3のパルスレーザ光71Cの出力タイミングであってもよい。

[0112] 図15の各タイミングチャートの横軸は時間であってもよい。図15の第1、第2及び第3のパルスレーザ光71A、71B、71Cのタイミングチャートの縦軸は光強度であってもよい。図15のその他の各タイミングチャートの縦軸は信号値又は電流値であってもよい。

- [0113] 同期回路部 13 は、トリガ生成器 8 で生成された所定の繰り返し周波数 f の第 1 のトリガ信号 $T_r 1$ に同期して、配線切り替え回路 61 に第 2 のトリガ信号 $T_r 2$ を出力してもよい。また、同期回路部 13 は、第 1 のトリガ信号 $T_r 1$ に同期して、第 2 の固体レーザ装置 12 の半導体光増幅器 41 に第 3 のトリガ信号 $T_r 3$ を出力してもよい。信号生成器 62 は、配線切り替え回路 61 にバースト信号 T_b がオフの期間における半導体光増幅器 41 の動作を制御する制御信号を出力してもよい。
- [0114] 配線切り替え回路 61 は、バースト信号 T_b がオンのときには、半導体光増幅器 41 に同期回路部 13 で生成された第 3 のトリガ信号 $T_r 3$ を出力してもよい。その結果、波長変換システム 15 においては、バースト信号 T_b がオンのときには、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 71 A, 71 B が略同じタイミングで、かつ、波長変換可能な光強度で入射することで、波長 193 . 4 nm の第 3 のパルスレーザ光 71 C を生成し得る。
- [0115] 配線切り替え回路 61 は、バースト信号 T_b がオフのときには、半導体光増幅器 41 に信号生成器 62 で生成された制御信号を出力してもよい。信号生成器 62 からの制御信号として、一定の低い電流を出力することにより、半導体光増幅器 41 に印加される電流が一定の低い電流値に制御され、増幅率が低くなり得る。これにより、バースト信号 T_b がオフのときには、半導体光増幅器 41 を介して、第 2 の半導体レーザ 40 からの CW 発振のシード光が光強度が低い状態で CW 出力され得る。これにより、第 2 の固体レーザ装置 12 から、第 2 のパルスレーザ光 71 B が光強度が低い状態で出力され得る。ここで、波長変換システム 15 において、波長変換の効率は光強度のピーク値で決まるため、バースト信号 T_b がオフのときには、第 1 のパルスレーザ光 71 A と第 2 のパルスレーザ光 71 B との和周波による波長 193 . 4 nm への波長変換が抑制され得る。
- [0116] また、信号生成器 62 から、制御信号として、トリガ生成器 8 で生成される所定の繰り返し周波数 f よりも高い繰り返し周波数のパルス電流を出力した場合には、第 2 のファイバ増幅器 42 に高い繰り返し周波数でシード光が

入力され得る。これにより、第2のファイバ増幅器42の利得の上昇が抑制され得る。このため、バースト信号Tbがオフの間では、第2のファイバ増幅器42による増幅後のシード光は、光強度のピーク値が低い状態になり得る。これにより、バースト信号Tbがオフの間では、第2の固体レーザ装置12から第2のパルスレーザ光71Bが光強度が低い状態で出力され得る。その結果、バースト信号Tbがオフの間では、波長変換システム15において、波長193.4nmへの波長変換が抑制され得る。

[0117] (6.3 作用)

本実施形態の固体レーザシステム1Dによれば、バースト信号Tbがオフのときには、波長変換システム15での波長変換が抑制され、第3のパルスレーザ光71Cの出力が停止するように第2のパルスレーザ光71Bの光強度が制御され得る。バースト信号Tbがオンのときには、第1の波長と第2の波長とから第3の波長へと波長変換された第3のパルスレーザ光71Cが波長変換システム15から出力されるように第1及び第2のパルスレーザ光71A、71Bの光強度が制御され得る。バースト信号Tbがオフのときには、波長変換システム15での波長変換の閾値以下の光強度となるように、第2の固体レーザ装置12内でシード光の光強度が抑制され得る。これにより、第2のファイバ増幅器42の利得を低下させ得る。これにより、バーストの先頭のパルスの光強度が高くなることが抑制され得る。

[0118] (6.4 変形例)

本実施形態と上記第3の実施形態とを組み合わせた実施形態であってもよい。この場合、第1の光シャッタ23と半導体光増幅器41との双方を光強度可変部としてもよい。これにより、バースト信号Tbがオフのときに、第1及び第2のパルスレーザ光71A、71Bの双方の光強度が低くなるように制御してもよい。

[0119] [7. 光シャッタの構成例]

次に、図16を参照して、上記の第1の光シャッタ23及び第2の光シャッタ28として適用可能な光シャッタ310の具体的な構成例を説明する。

[0120] (7. 1 構成)

図16は、光シャッタ310の一構成例を示している。光シャッタ310は、ポッケルスセル394と、偏光子396とを含んでもよい。ポッケルスセル394は、高電圧電源393と、第1の電極395aと、第2の電極395bと、電気光学結晶395cとを含んでもよい。第1の電極395aと第2の電極395bとは対向配置され、それらの間に電気光学結晶395cが配置されていてもよい。高電圧電源393は、透過率設定部311、及び同期回路312によって制御されてもよい。

[0121] (7. 2 動作)

高電圧電源393は、外部回路312から、所定の電圧と0Vを繰り返すパルス信号を光シャッタ310の制御信号として受信してもよい。高電圧電源393は、このパルス信号の電圧に応じて、第1の電極395aと、第2の電極395bの電極間に高電圧を印加してもよい。ここで、光シャッタ310の制御信号として光シャッタ310を開状態にする電圧を受信した場合に、0Vではない透過率が最大となる高電圧を生成し、その電圧を第1の電極395aと第2の電極395bとの間に印加してもよい。高電圧電源393は、光シャッタ310の制御信号として光シャッタ310を閉状態にする0Vを受信した場合に、第1の電極395aと第2の電極395bとの間に印加する電圧を0Vにしてもよい。

ここで、外部回路312は、たとえば、同期回路部13、13B及びバーストパルス制御部3A等であってもよい。

[0122] ポッケルスセル394は、第1の電極395aと第2の電極395bとの間に透過率が最大となる高電圧を印加したときに、 $\lambda/2$ 板と等価な機能を有してもよい。第1の電極395aと第2の電極395bとの間に0Vが印加されているときは、紙面に対して、垂直な直線偏光方向の光は、そのままの偏光状態で、電気光学結晶395cを透過し、偏光子396によって反射され得る。図16においては、紙面に対して垂直な方向に直線偏光した光はレーザ光路上に描画された黒丸で示し得る。ここで、透過率が最大となる高

電圧を印加すると、位相が $\lambda/2$ ずれて、紙面に対して垂直な方向の直線偏光が、紙面を含む方向の直線偏光に変換され得る。図16においては、紙面を含む方向に直線偏光した光はレーザ光路上に描画された光路に垂直な矢印で示し得る。この光は、偏光子396を透過し得る。以上のように、光シャッタ310は、電気光学結晶395cに高電圧を印加している期間、光が高透過し得る。

[0123] ポッケルスセル394は、1ns程度の応答性を有するので、高速の光シャッタとして使用可能である。また、光シャッタ310として、例えばAO（音響光学）素子を使用してもよい。この場合は、数100ns程度の応答性を有するので使用可能である。また、外部回路312からの電圧波形に応じて、第1の電極395aと第2の電極395bとの間に印加する電圧を変えることで、透過率を変化させることもできる。

[0124] なお、図16の光シャッタ310の構成に対して、上流側の光路に、偏光子と $\lambda/2$ 板とをさらに追加して光アイソレータとして機能させてもよい。なお、図16において左側が上流側、右側が下流側であってもよい。その場合、光アイソレータは、ポッケルスセル394の第1の電極395aと第2の電極395bとの間に所定の高電圧を印加したときには、上流側と下流側の双方からの光を高透過し得る。すなわち、光アイソレータは開状態になり得る。第1の電極395aと第2の電極395bとの間に所定の高電圧を印加しないときには、上流側と下流側の双方からの光の透過を抑制し得る。すなわち、光アイソレータは閉状態になり得る。

[0125] [8. 制御部のハードウェア環境]

当業者は、汎用コンピュータ又はプログラマブルコントローラにプログラムモジュール又はソフトウェアアプリケーションを組み合わせ、ここに述べられる主題が実行されることを理解するだろう。一般的に、プログラムモジュールは、本開示に記載されるプロセスを実行できるルーチン、プログラム、コンポーネント、データストラクチャーなどを含む。

[0126] 図18は、開示される主題の様々な側面が実行され得る例示的なハードウ

エア環境を示すブロック図である。図18の例示的なハードウェア環境100は、処理ユニット1000と、ストレージユニット1005と、ユーザインターフェイス1010と、パラレルI/Oコントローラ1020と、シリアルI/Oコントローラ1030と、A/D、D/Aコンバータ1040とを含んでもよいが、ハードウェア環境100の構成は、これに限定されない。

[0127] 処理ユニット1000は、中央処理ユニット(CPU)1001と、メモリ1002と、タイマ1003と、画像処理ユニット(GPU)1004とを含んでもよい。メモリ1002は、ランダムアクセスメモリ(RAM)とリードオンリーメモリ(ROM)とを含んでもよい。CPU1001は、市販のプロセッサのいずれでもよい。デュアルマイクロプロセッサや他のマルチプロセッサアーキテクチャが、CPU1001として使用されてもよい。

[0128] 図18におけるこれらの構成物は、本開示において記載されるプロセスを実行するために、相互に接続されていてもよい。

[0129] 動作において、処理ユニット1000は、ストレージユニット1005に保存されたプログラムを読み込んで、実行してもよい。また、処理ユニット1000は、ストレージユニット1005からプログラムと一緒にデータを読み込んでもよい。また、処理ユニット1000は、ストレージユニット1005にデータを書き込んでもよい。CPU1001は、ストレージユニット1005から読み込んだプログラムを実行してもよい。メモリ1002は、CPU1001によって実行されるプログラム及びCPU1001の動作に使用されるデータを、一時的に保管する作業領域であってもよい。タイマ1003は、時間間隔を計測して、プログラムの実行に従ってCPU1001に計測結果を出力してもよい。GPU1004は、ストレージユニット1005から読み込まれるプログラムに従って、画像データを処理し、処理結果をCPU1001に出力してもよい。

[0130] パラレルI/Oコントローラ1020は、トリガ生成器8、増幅器制御部30、及び充電器31等の、処理ユニット1000と通信可能なパラレルI

／Ｏデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれらパラレルＩ／Ｏデバイスとの間の通信を制御してもよい。シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、バーストパルス制御部３、３Ａ、３Ｂ、３Ｃ、３Ｄ、露光装置制御部５、固体レーザ制御部１４、及び同期回路部１３等の、処理ユニット１０００と通信可能な複数のシリアルＩ／Ｏデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれら複数のシリアルＩ／Ｏデバイスとの間の通信を制御してもよい。Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、アナログポートを介して、各種センサや、第１の光シャッタ２３、第２の光シャッタ２８、及び半導体光増幅器４１等のアナログデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれらアナログデバイスとの間の通信を制御したり、通信内容のＡ／Ｄ、Ｄ／Ａ変換を行ってもよい。

[0131] ユーザインターフェイス１０１０は、操作者が処理ユニット１０００にプログラムの停止や、割込みルーチンの実行を指示できるように、処理ユニット１０００によって実行されるプログラムの進捗を操作者に表示してもよい。

[0132] 例示的なハードウェア環境１００は、本開示におけるバーストパルス制御部３、３Ａ、３Ｂ、３Ｃ、３Ｄ、及び固体レーザ制御部１４等の構成に適用されてもよい。当業者は、それらのコントローラが分散コンピューティング環境、すなわち、通信ネットワークを介して繋がっている処理ユニットによってタスクが実行される環境において実現されてもよいことを理解するだろう。本開示において、バーストパルス制御部３、３Ａ、３Ｂ、３Ｃ、３Ｄ、及び固体レーザ制御部１４等を統括制御する図示しない露光装置レーザ用制御部等は、イーサネット（登録商標）やインターネットといった通信ネットワークを介して互いに接続されてもよい。分散コンピューティング環境において、プログラムモジュールは、ローカル及びリモート両方のメモリストレージデバイスに保存されてもよい。

[0133] [９．その他]

上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図したものである。従って、

添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本開示の実施形態に変更を加えることができることは、当業者には明らかであろう。

- [0134] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書、及び添付の特許請求の範囲に記載される不定冠詞「1つの」は、「少なくとも1つ」又は「1又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

請求の範囲

- [請求項1] 第1の波長の第1のパルスレーザ光を出力する第1の固体レーザ装置と、
- 第2の波長の第2のパルスレーザ光を出力する第2の固体レーザ装置と、
- 前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光とが入射する波長変換システムと、
- 前記第1のパルスレーザ光、及び前記第2のパルスレーザ光のうちいずれか一方の光路上に配置された光シャッタと、
- 前記第1及び第2の固体レーザ装置からそれぞれ前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光とを連続出力させると共に、外部装置からのバースト信号がオンのときには、前記光シャッタを開ける制御を行うことにより、前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光とを前記波長変換システムに略同時に入射させることにより、前記第1の波長と前記第2の波長とから第3の波長へと波長変換された第3のパルスレーザ光を前記波長変換システムから出力させ、前記バースト信号がオフのときには、前記光シャッタを閉じる制御を行うことにより、前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光との前記波長変換システムへの入射タイミングが時間的に重ならないようにすることにより、前記波長変換システムからの前記第3のパルスレーザ光の出力を停止させる制御部と
- を備える固体レーザシステム。
- [請求項2] 前記外部装置は露光装置である
- 請求項1に記載の固体レーザシステム。
- [請求項3] 第1の波長の第1のパルスレーザ光を出力する第1の固体レーザ装置と、
- 第2の波長の第2のパルスレーザ光を出力する第2の固体レーザ装置と、

前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光とが入射する波長変換システムと、

前記第 1 及び第 2 の固体レーザ装置からそれぞれ前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光とを連続出力させると共に、外部装置からのバースト信号がオンのときには、前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光とを前記波長変換システムに略同時に入射させることにより、前記第 1 の波長と前記第 2 の波長とから第 3 の波長へと波長変換された第 3 のパルスレーザ光を前記波長変換システムから出力させ、前記バースト信号がオフのときには、前記第 1 のパルスレーザ光のパルス幅と前記第 2 のパルスレーザ光のパルス幅との和以上の互いに異なるタイミングで、前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光とを前記波長変換システムに入射させることにより、前記波長変換システムからの前記第 3 のパルスレーザ光の出力を停止させる制御部と

を備える固体レーザシステム。

[請求項4]

第 1 のトリガ信号に同期して、前記第 1 の固体レーザ装置から前記第 1 のパルスレーザ光を出力させる第 2 のトリガ信号を出力すると共に、前記第 2 の固体レーザ装置から前記第 2 のパルスレーザ光を出力させる第 3 のトリガ信号を出力する同期回路をさらに備え、

前記制御部は、前記バースト信号に同期して前記同期回路を制御することにより、前記バースト信号がオンのときには、前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光とを略同時のタイミングで前記波長変換システムに入射させ、前記バースト信号がオフのときには、前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光とを異なるタイミングで前記波長変換システムに入射させる

請求項 3 に記載の固体レーザシステム。

[請求項5]

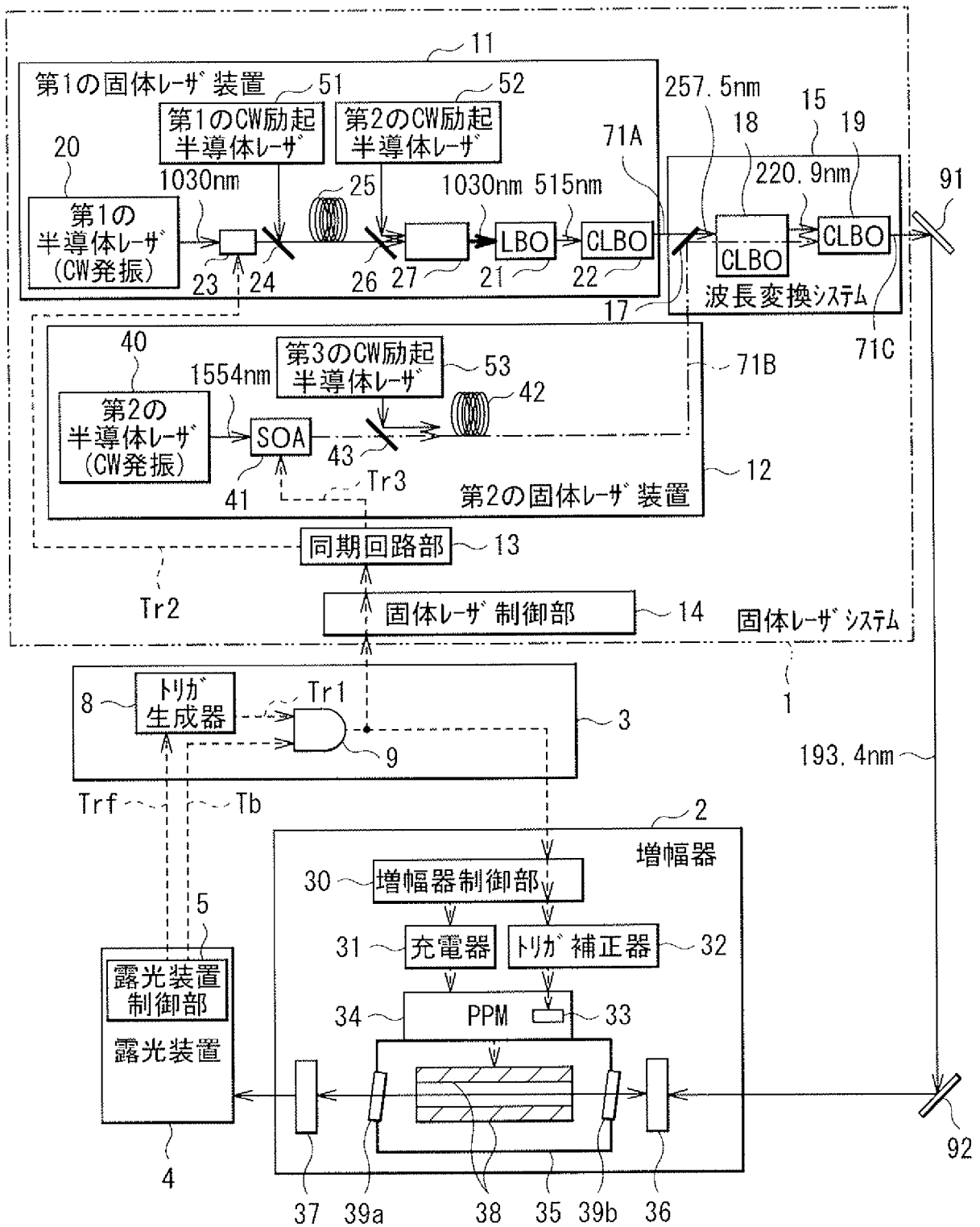
前記外部装置は露光装置である

請求項 3 に記載の固体レーザシステム。

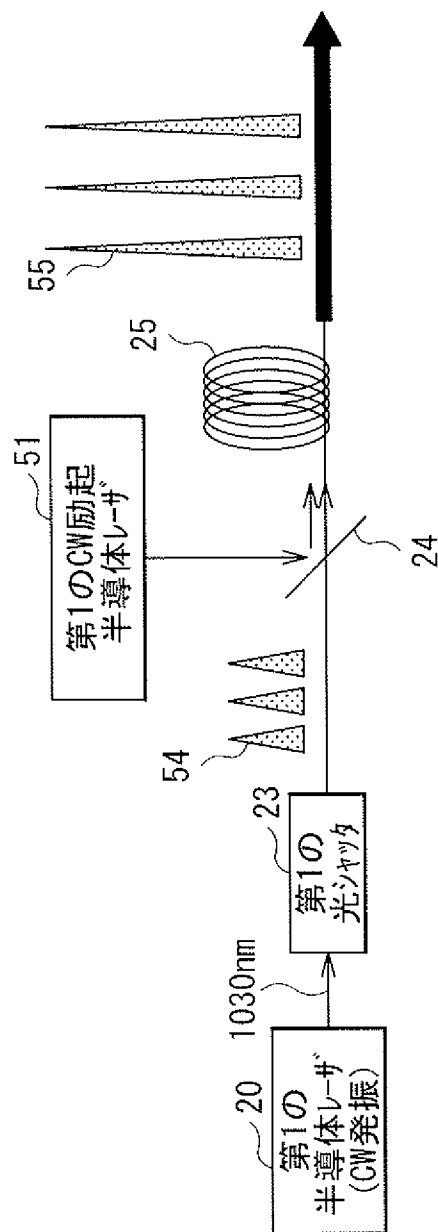
- [請求項6] 第1の波長の第1のパルスレーザ光を出力する第1の固体レーザ装置と、
 第2の波長の第2のパルスレーザ光を出力する第2の固体レーザ装置と、
 前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光とが入射する波長変換システムと、
 前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光との少なくとも一方の光強度を可変する光強度可変部と、
 前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光とを前記波長変換システムに略同時に入射させると共に、前記光強度可変部を制御することにより、外部装置からのバースト信号がオンのときには、前記第1の波長と前記第2の波長とから第3の波長へと波長変換された第3のパルスレーザ光が前記波長変換システムから出力されるように前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光との光強度を制御し、前記バースト信号がオフのときには、前記波長変換システムからの前記第3のパルスレーザ光の出力が停止されるように前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光との少なくとも一方の光強度を制御する制御部と
 を備える固体レーザシステム。
- [請求項7] 前記光強度可変部は光シャッタであり、
 前記制御部は、前記光シャッタの透過率を制御することにより前記第1のパルスレーザ光の光強度を制御する
 請求項6に記載の固体レーザシステム。
- [請求項8] 前記光強度可変部は光増幅器であり、
 前記制御部は、前記光増幅器の増幅率を制御することにより前記第2のパルスレーザ光の光強度を制御する
 請求項6に記載の固体レーザシステム。
- [請求項9] 前記外部装置は露光装置である

請求項 6 に記載の固体レーザシステム。

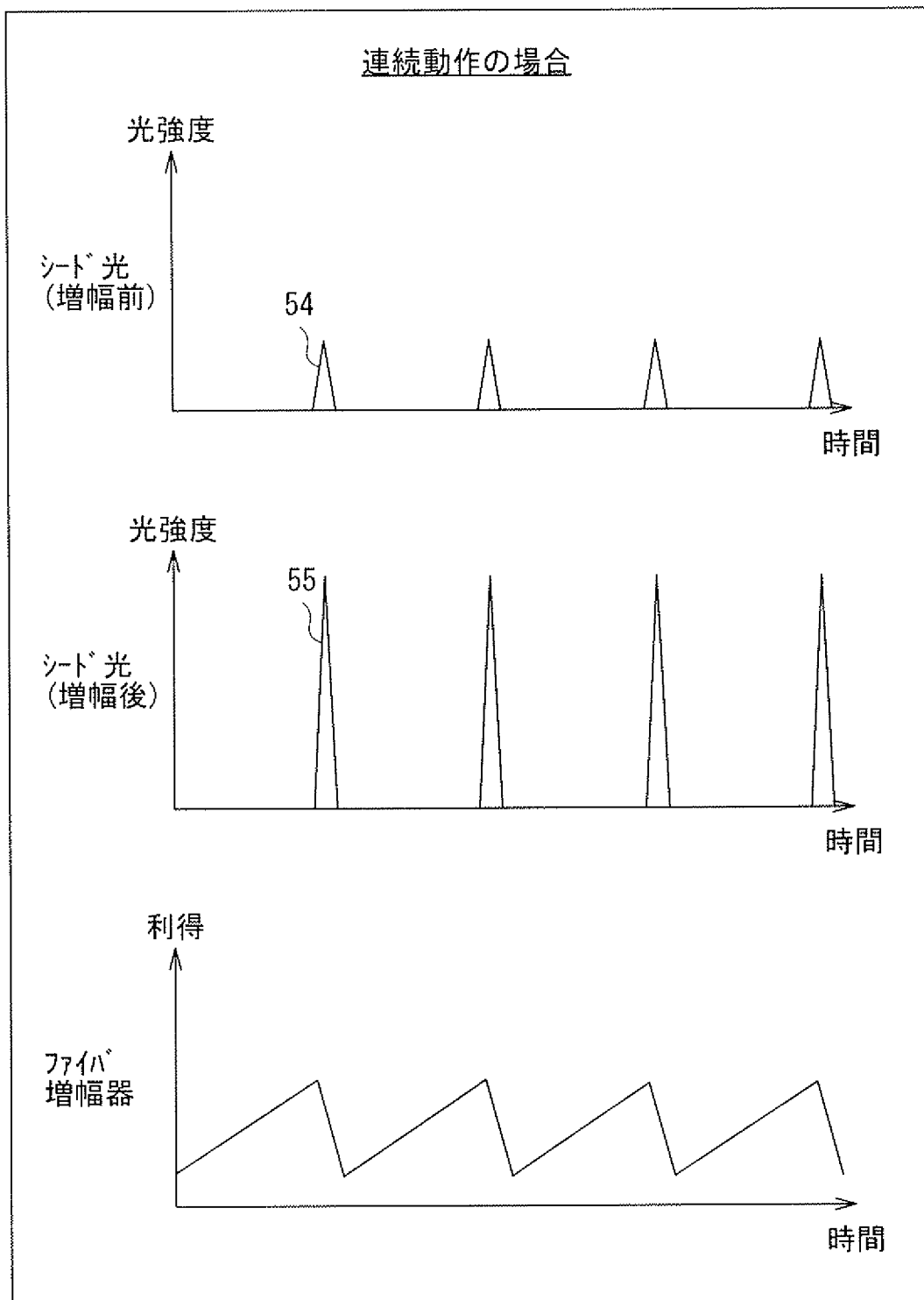
[図1]



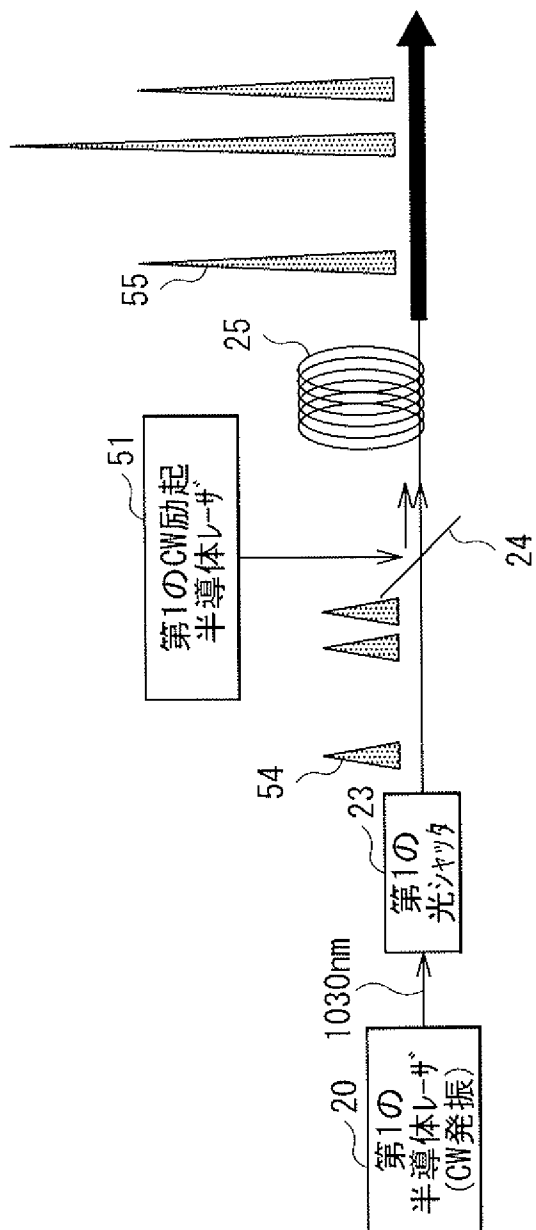
[図2]



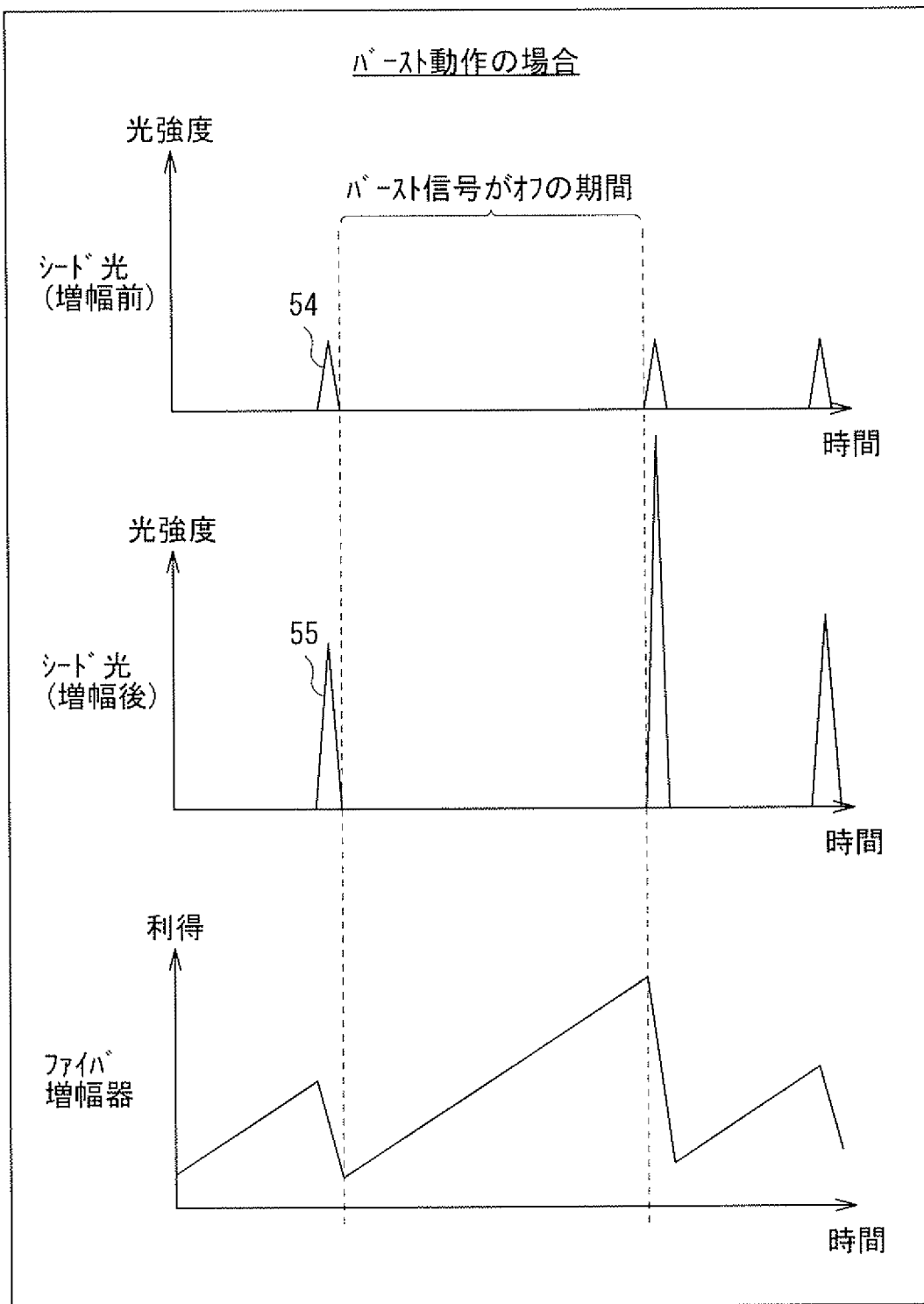
[図3]



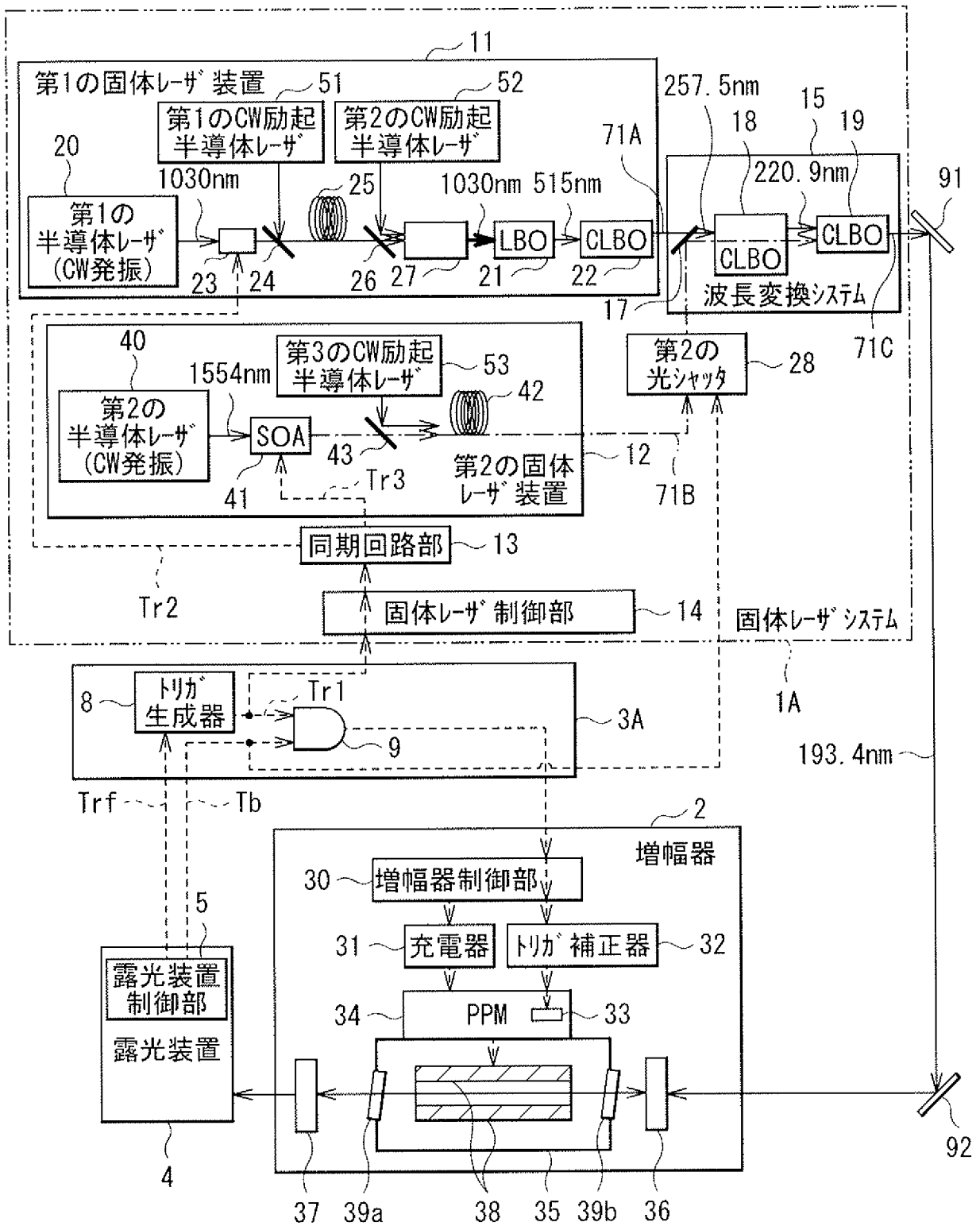
[図4]



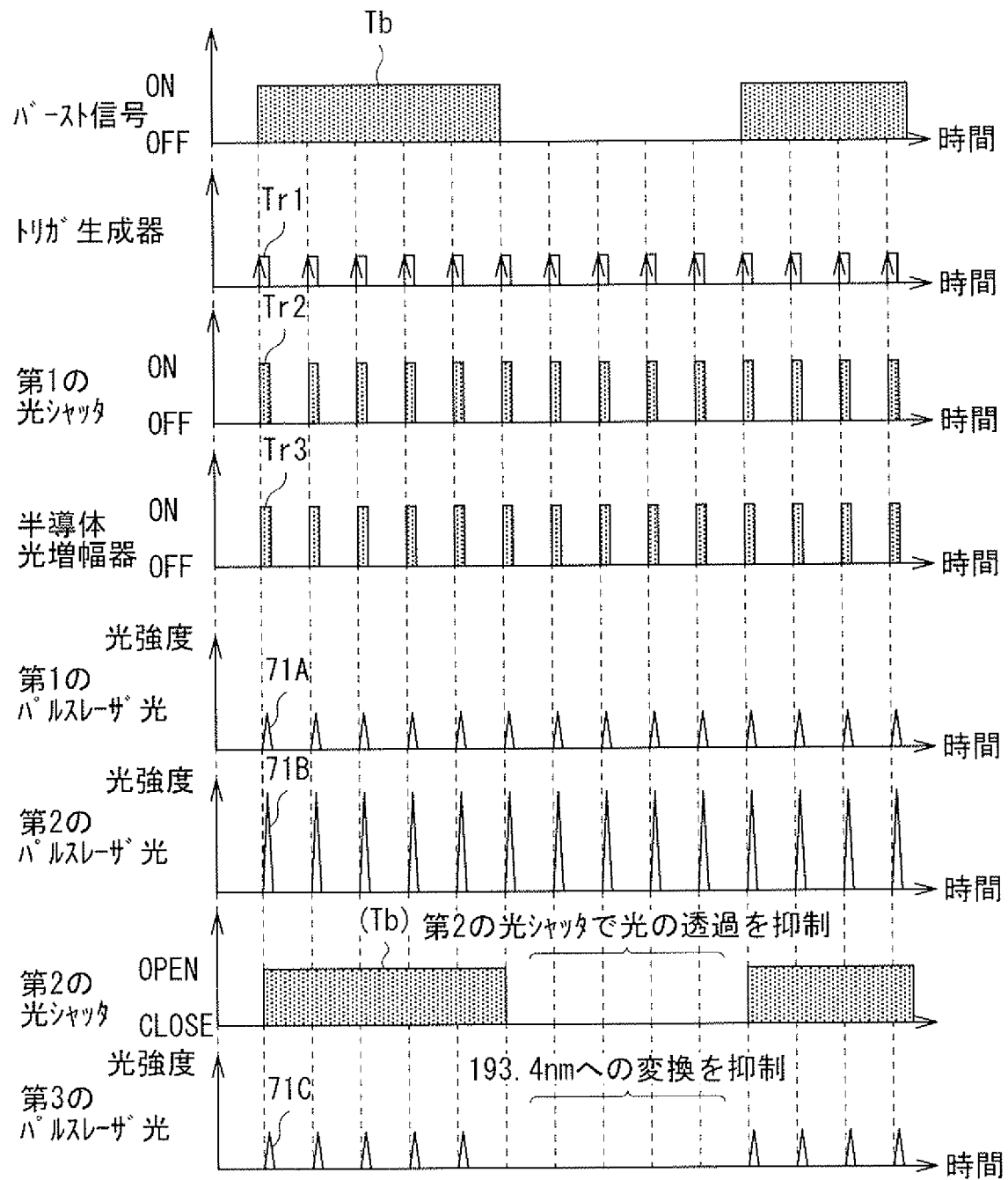
[図5]



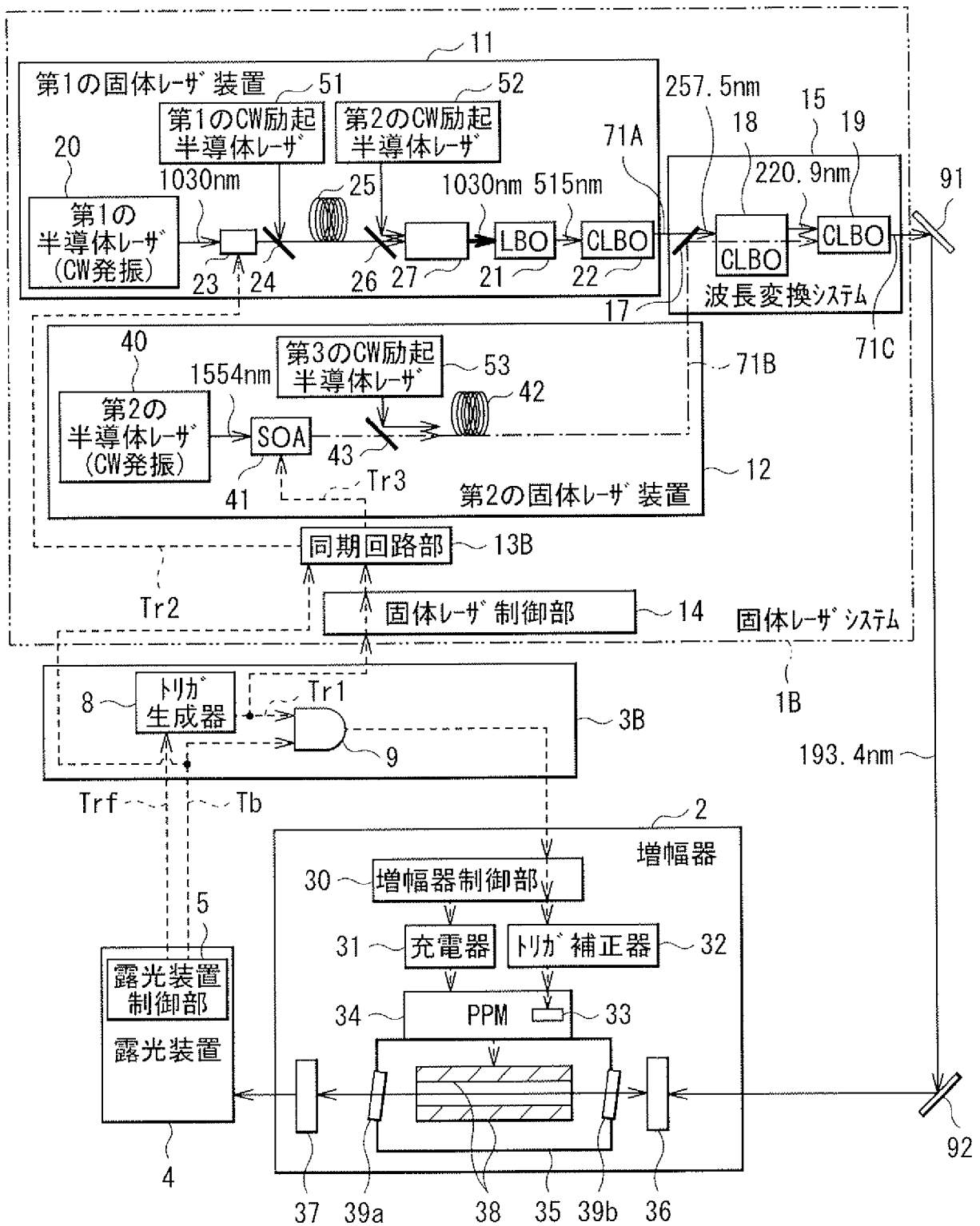
[図6]



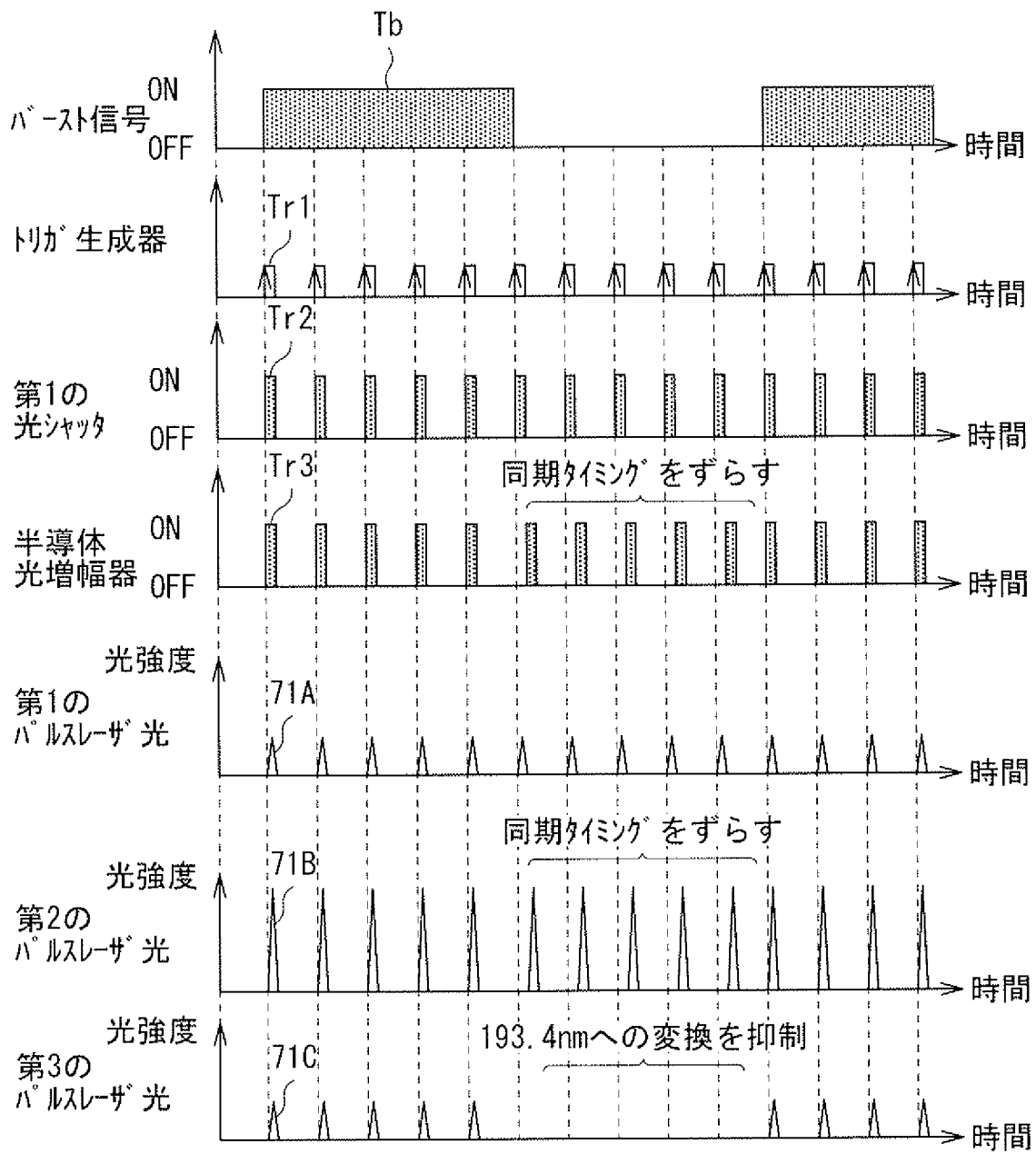
[図7]



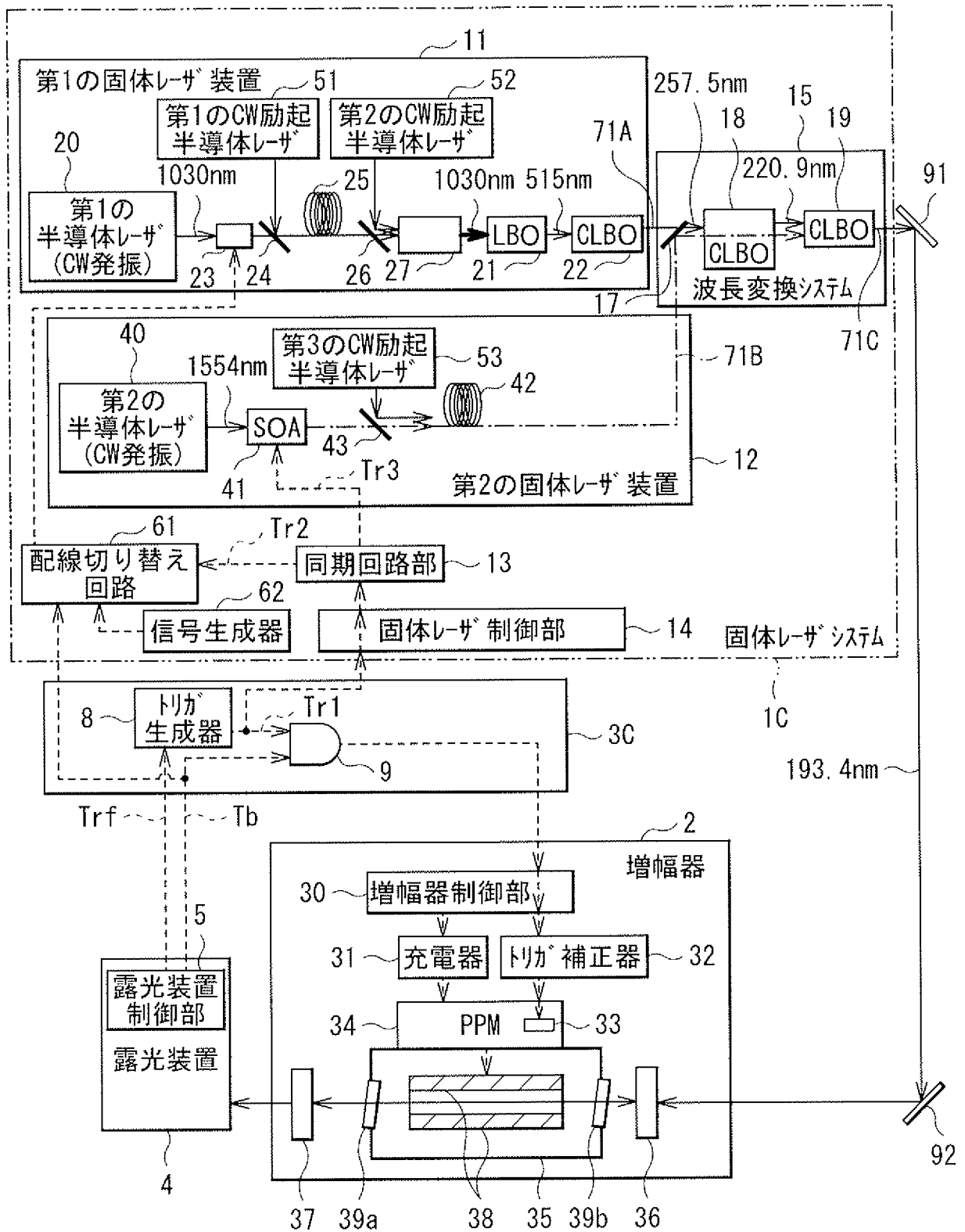
[図8]



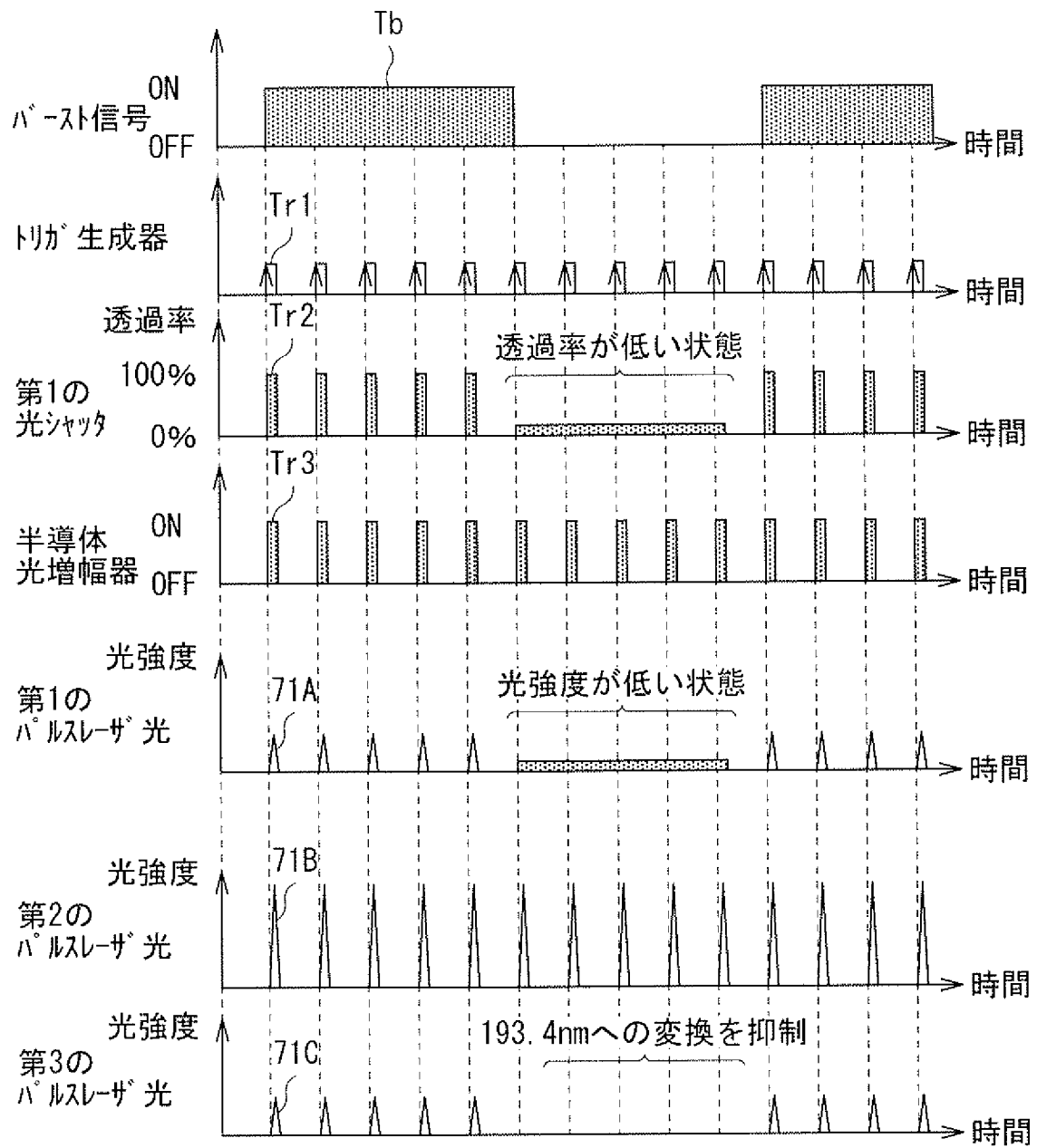
[図9]



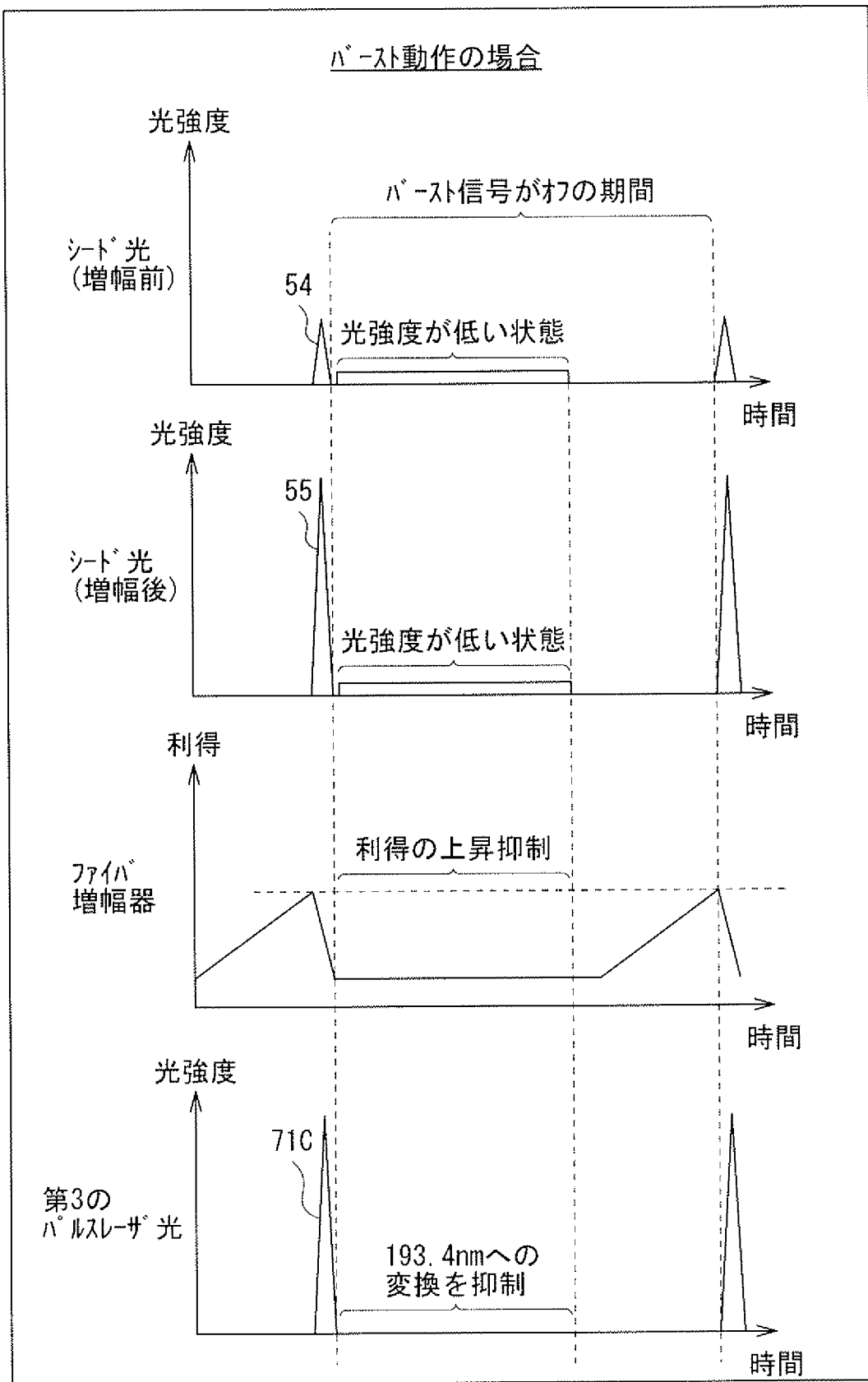
[図10]



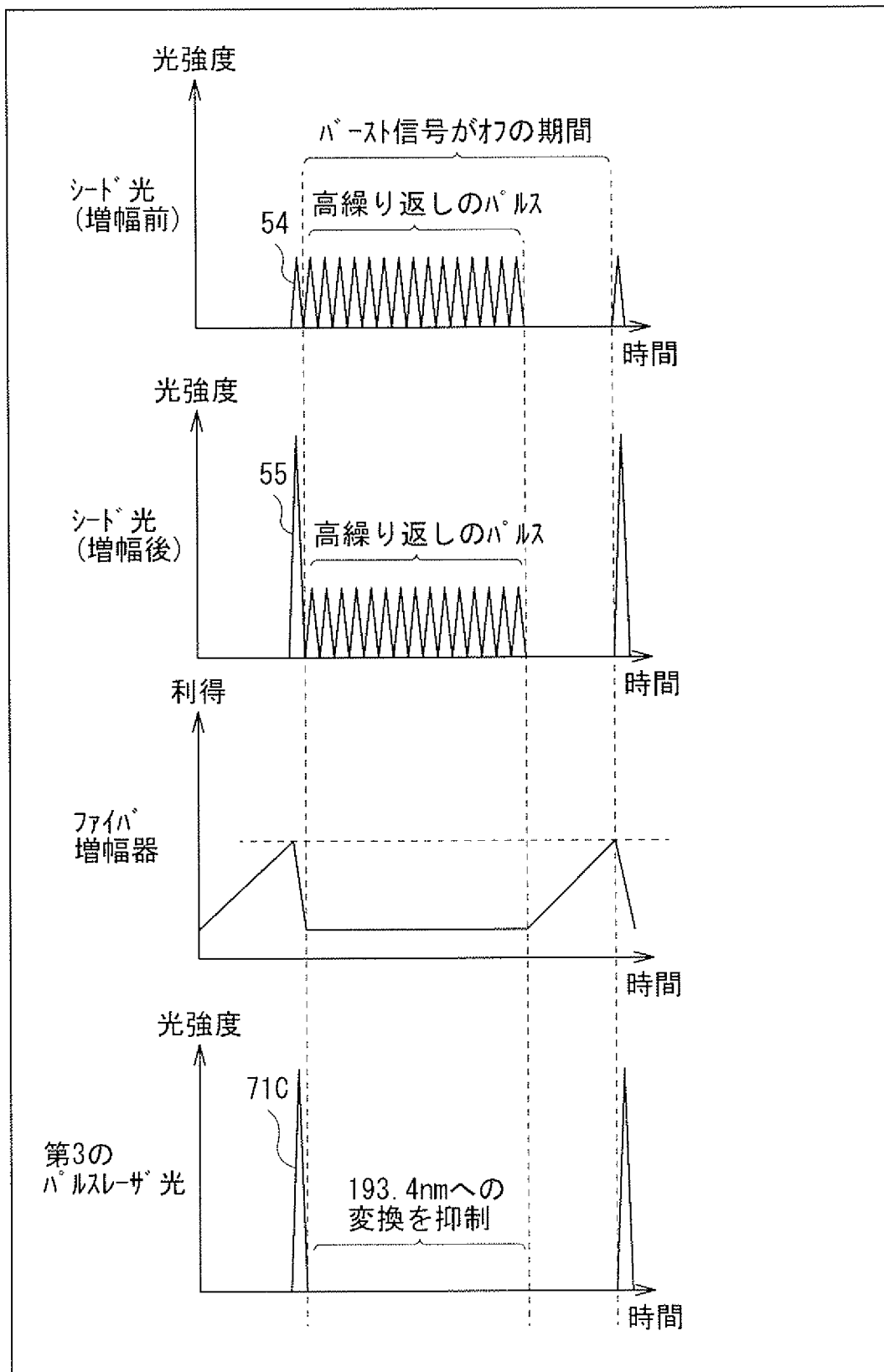
[図11]



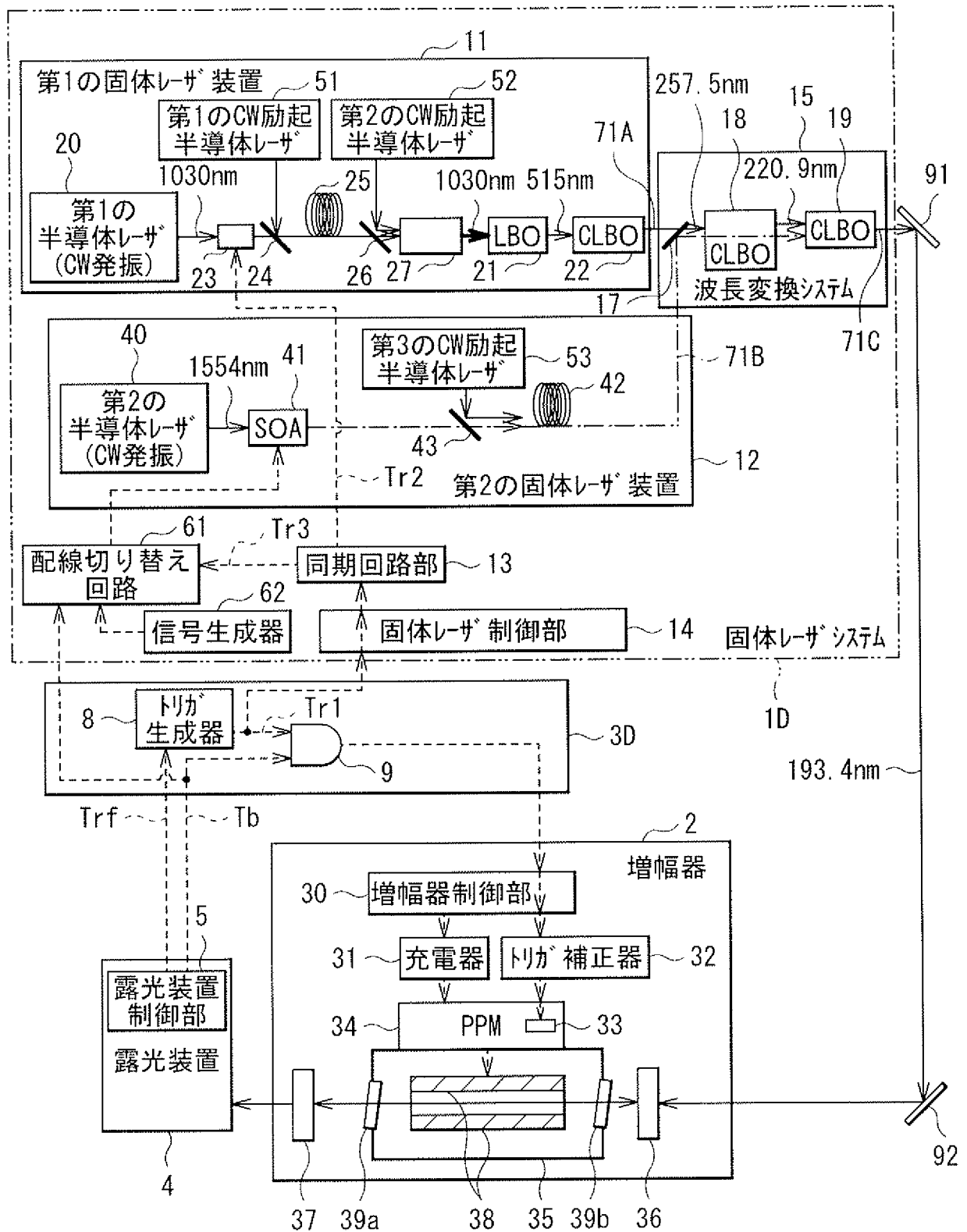
[図12]



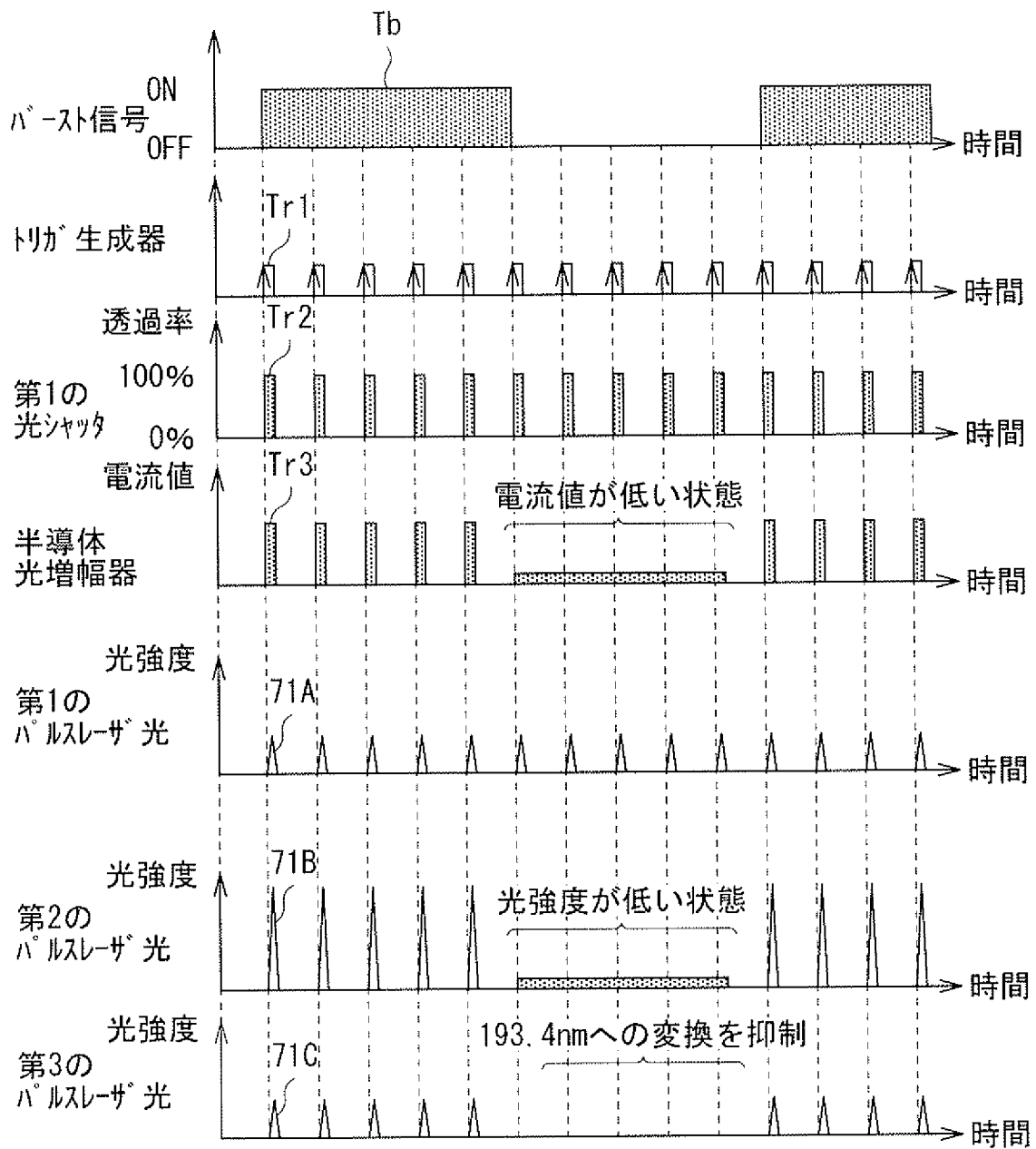
[図13]



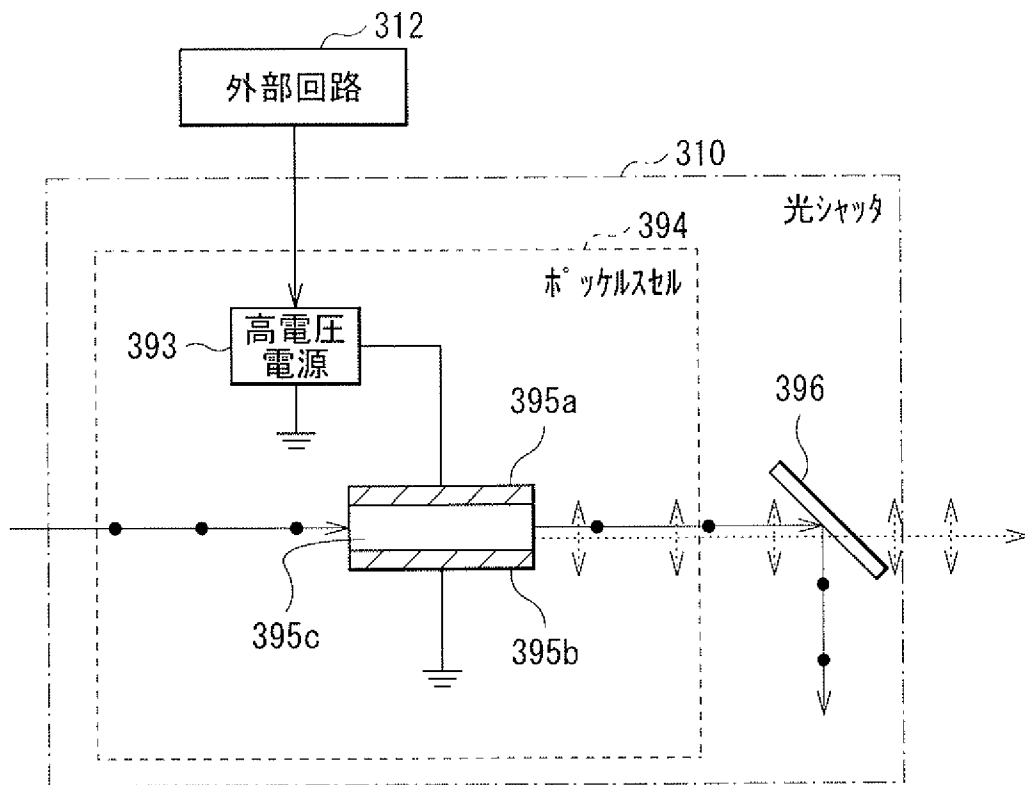
[図14]



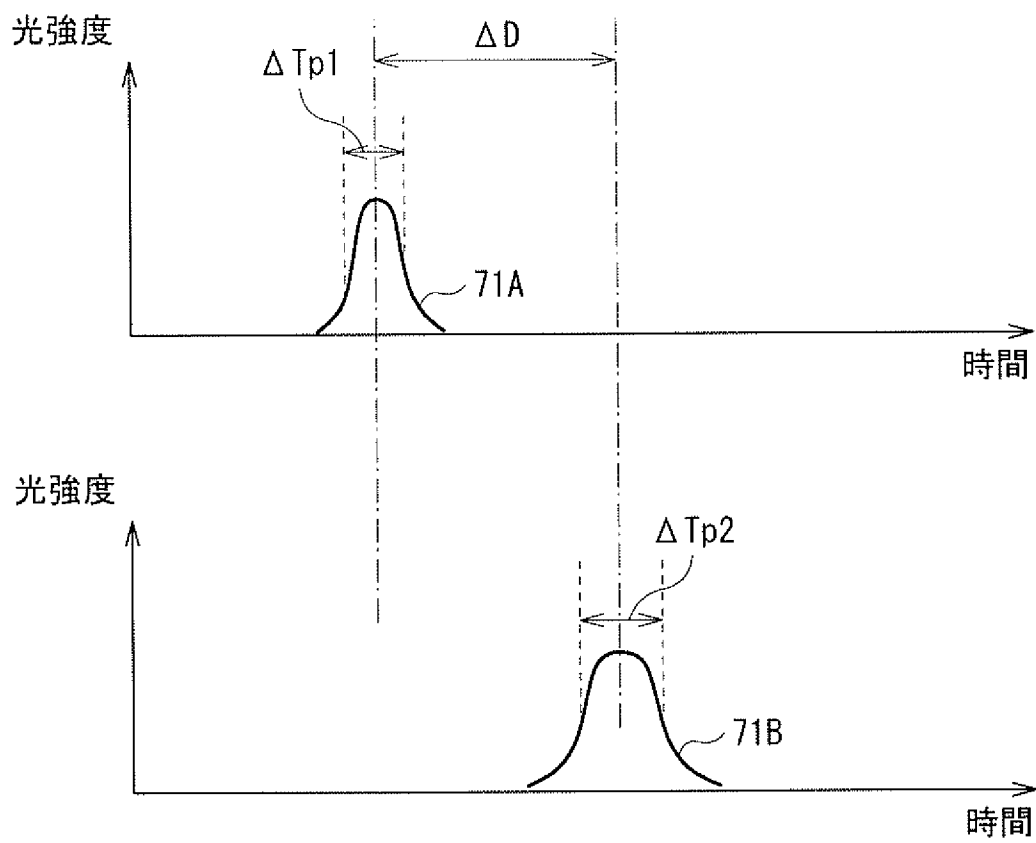
[図15]



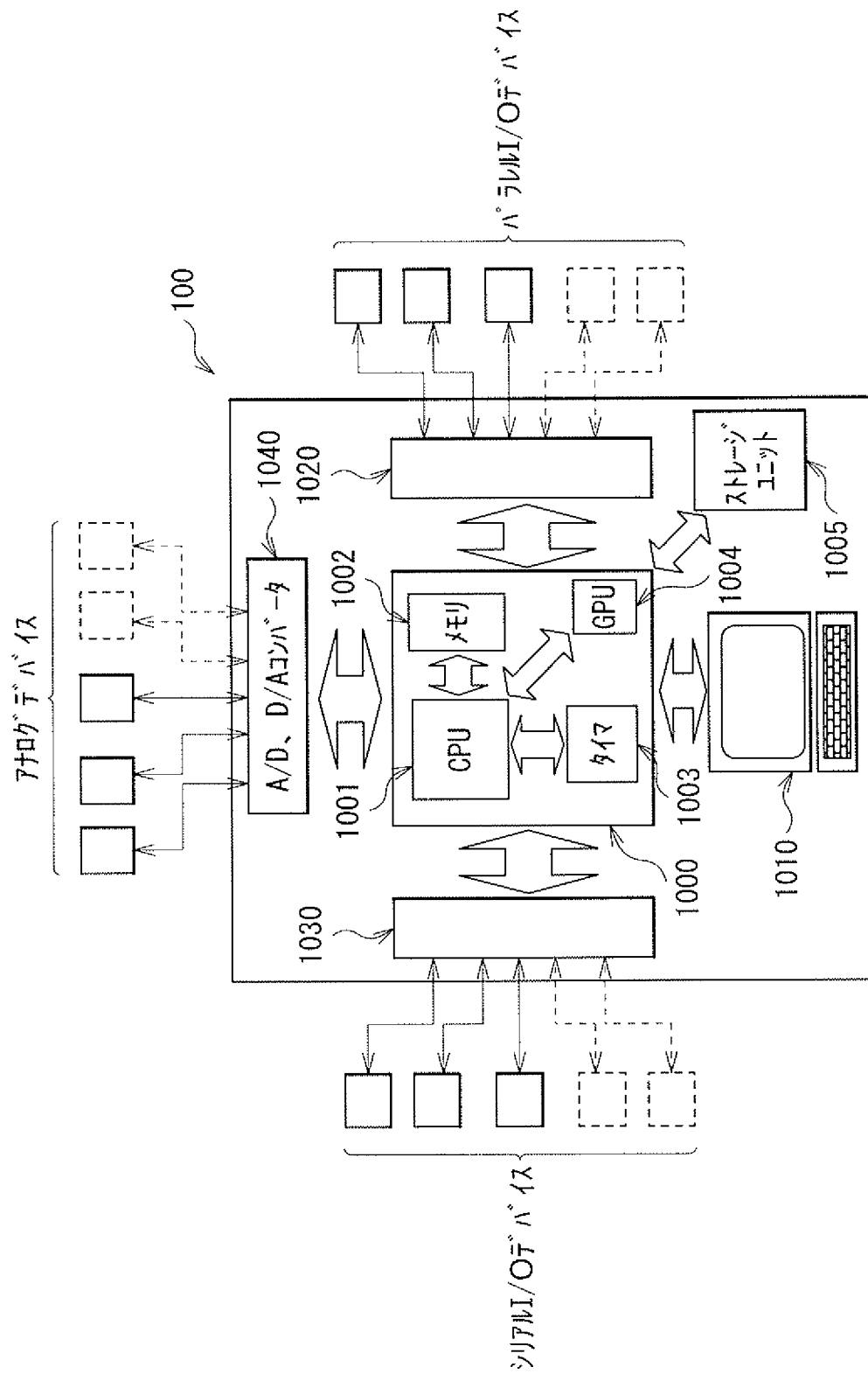
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/086160

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/10(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)

H01S3/10-3/30, G02F1/35-1/39

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
Y	WO 2014/021370 A1 (Nikon Corp.), 06 February 2014 (06.02.2014), paragraphs [0014] to [0044]; fig. 1 to 5 & JP 2015-180902 A & JP 2015-180903 A & US 2015/0303647 A1 paragraphs [0040] to [0070]; fig. 1 to 5 & KR 10-2015-0038516 A & CN 104685414 A	3-5
Y	JP 2001-230478 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 24 August 2001 (24.08.2001), paragraphs [0002], [0003] (Family: none)	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 March 2016 (15.03.16)

Date of mailing of the international search report
29 March 2016 (29.03.16)

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/JP2015/086160

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-233396 A (Hitachi, Ltd.), 27 August 1999 (27.08.1999), paragraph [0021] (Family: none)	1-9
Y	JP 10-339891 A (Nikon Corp.), 22 December 1998 (22.12.1998), paragraph [0002] (Family: none)	1-9
Y	JP 2011-158749 A (Nikon Corp.), 18 August 2011 (18.08.2011), claims 1, 2; paragraphs [0033] to [0049]; fig. 2, 3, 5 (Family: none)	1-2, 6-9
Y	JP 2012-199425 A (Gigaphoton Inc.), 18 October 2012 (18.10.2012), paragraph [0051]; fig. 8 & US 8634441 B2 & US 2012/0243565 A1 paragraph [0114]; fig. 8	1-2, 6-7, 9
Y	JP 2014-53627 A (Mobius Photonics, Inc.), 20 March 2014 (20.03.2014), paragraphs [0055] to [0058]; fig. 4 & JP 2013-500583 A & JP 2015-122542 A & US 2011/0019705 A1 paragraphs [0076] to [0079]; fig. 4 & WO 2011/011461 A1 & EP 2457337 A1	8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/10(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. H01S3/10-3/30, G02F1/35-1/39

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
Y	WO 2014/021370 A1（株式会社ニコン）2014.02.06, 段落 [0014] - [0044]、図1-5 & JP 2015-180902 A & JP 2015-180903 A & US 2015/0303647 A1 [0040]-[0070], Fig. 1-5 & KR 10-2015-0038516 A & CN 104685414 A	3-5
Y	JP 2001-230478 A（三菱重工株式会社）2001.08.24, 段落 [0002]、[0003]（ファミリーなし）	1-9

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.03.2016

国際調査報告の発送日

29.03.2016

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）

林 祥恵

2 X

4 0 8 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

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
Y	JP 11-233396 A (株式会社日立製作所) 1999. 08. 27, 段落 [0021] (ファミリーなし)	1-9
Y	JP 10-339891 A (株式会社ニコン) 1998. 12. 22, 段落 [0002] (ファミリーなし)	1-9
Y	JP 2011-158749 A (株式会社ニコン) 2011. 08. 18, 請求項 1、2、段落 [0033] - [0049]、図 2、3、5 (ファミリーなし)	1-2, 6-9
Y	JP 2012-199425 A (ギガフォトン株式会社) 2012. 10. 18, 段落 [0051]、図 8 & US 8634441 B2 & US 2012/0243565 A1 [0114], Fig. 8	1-2, 6-7, 9
Y	JP 2014-53627 A (モビアス フォトニクス、インク.) 2014. 03. 20, 段落 [0055] - [0058]、図 4 & JP 2013-500583 A & JP 2015-122542 A & US 2011/0019705 A1 [0076]-[0079], Fig. 4 & WO 2011/011461 A1 & EP 2457337 A1	8