

(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
2015年12月17日(17.12.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/190012 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/23 (2006.01) H01S 3/10 (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/081659
- (22) 国際出願日: 2014年11月28日(28.11.2014)
- (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/JP2014/065242 2014年6月9日(09.06.2014) 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400番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 梅田 博(UMEDA Hiroshi); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 浅山 武志(ASAYAMA Takeshi); 〒3238558 栃木県小山市大字

横倉新田400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400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

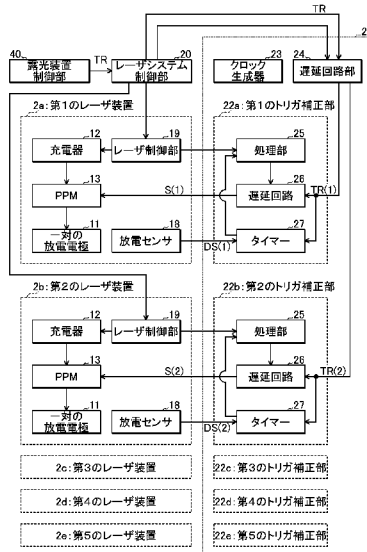
(74) 代理人: 保坂 延寿, 外(HOSAKA Nobuhisa et al.); 〒1010025 東京都千代田区神田佐久間町3-2 2 神田SKビル4階 新井・橋本・保坂国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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.

[続葉有]

(54) Title: LASER SYSTEM

(54) 発明の名称: レーザシステム



(57) Abstract: This laser system may be provided with: a delay circuit unit for receiving a trigger signal and outputting a first delay signal that shows that a first delay time has elapsed since the trigger signal was received, and a second delay signal that shows that a second delay time has elapsed since the trigger signal was received; a first trigger-correcting unit for receiving the first delay signal and outputting a first switch signal that shows that a first correction time has elapsed since the first delay signal was received; a second trigger-correcting unit for receiving the second delay signal and outputting a second switch signal that shows that a second correction time has elapsed since the second delay signal was received; and a clock generator for generating clock signals shared by the delay circuit unit, the first trigger-correcting unit, and the second trigger-correcting unit.

(57) 要約: このレーザシステムは、トリガ信号を受信し、トリガ信号を受信した時から第1の遅延時間が経過したことを示す第1の遅延信号と、トリガ信号を受信した時から第2の遅延時間が経過したことを示す第2の遅延信号と、を出力する遅延回路部と、第1の遅延信号を受信し、第1の遅延信号を受信した時から第1の補正時間が経過したことを示す第1のスイッチ信号を出力する第1のトリガ補正部と、第2の遅延信号を受信し、第2の遅延信号を受信した時から第2の補正時間が経過したことを示す第2のスイッチ信号を出力する第2のトリガ補正部と、遅延回路部と、第1のトリガ補正部と、第2のトリガ補正部と、に共通のクロック信号を生成するクロック生成器と、を備えてもよい。

- 2a First laser device
2b Second laser device
2c Third laser device
2d Fourth laser device
2e Fifth laser device
11 Pair of electrical discharge electrodes
12 Electrical discharger
18 Electrical discharge sensor
19 Laser-controlling unit
20 Laser system-controlling unit
22a First trigger-correcting unit
22b Second trigger-correcting unit
22c Third trigger-correcting unit
22d Fourth trigger-correcting unit
22e Fifth trigger-correcting unit
23 Clock generator
24 Delay circuit unit
25 Processing unit
26 Delay circuit
27 Timer
40 Exposure device-controlling unit

WO 2015/190012 A1



(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, 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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： レーザシステム

技術分野

[0001] 本開示は、レーザシステムに関する。

背景技術

[0002] レーザアニール装置は、基板上に成膜されたアモルファス（非結晶）シリコン膜にエキシマレーザ等のレーザシステムから出力された紫外線領域の波長を有するパルスレーザ光を照射し、ポリシリコン膜に改質する装置である。アモルファスシリコン膜をポリシリコン膜に改質することにより、TFT（薄膜トランジスタ）を作製することができる。このTFTは、比較的大きな液晶ディスプレイに使用されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2004-342964号公報

特許文献2：米国特許第8238400号明細書

特許文献3：米国特許第6865210号明細書

概要

[0004] 本開示の1つの観点に係るレーザシステムは、トリガ信号を受信し、トリガ信号を受信した時から第1の遅延時間が経過したことを示す第1の遅延信号と、トリガ信号を受信した時から第2の遅延時間が経過したことを示す第2の遅延信号と、を出力する遅延回路部と、第1の遅延信号を受信し、第1の遅延信号を受信した時から第1の補正時間が経過したことを示す第1のスイッチ信号を出力する第1のトリガ補正部と、第2の遅延信号を受信し、第2の遅延信号を受信した時から第2の補正時間が経過したことを示す第2のスイッチ信号を出力する第2のトリガ補正部と、第1のレーザ装置であって、第1のコンデンサと、第1のコンデンサに電圧を印加する第1の充電器と、第1のスイッチ信号を受信して前記第1のコンデンサから電流パルスを生

成させる第1のスイッチと、第1のコンデンサからの電流パルスを圧縮する第1の磁気圧縮回路と、レーザガスを含む第1のチャンバと、第1のチャンバ内に配置され、前記第1の磁気圧縮回路に接続された第1の一对の放電電極と、第1の一对の放電電極間での放電を検出して第1の放電検出信号を出力する第1の放電タイミング検出器と、を含む第1のレーザ装置と、第2のレーザ装置であって、第2のコンデンサと、第2のコンデンサに電圧を印加する第2の充電器と、第2のスイッチ信号を受信して前記第2のコンデンサから電流パルスを生成させる第2のスイッチと、第2のコンデンサからの電流パルスを圧縮する第2の磁気圧縮回路と、レーザガスを含む第2のチャンバと、第2のチャンバ内に配置され、前記第2の磁気圧縮回路に接続された第2の一对の放電電極と、第2の一对の放電電極間での放電を検出して第2の放電検出信号を出力する第2の放電タイミング検出器と、を含む第2のレーザ装置と、遅延回路部と、第1のトリガ補正部と、第2のトリガ補正部と、に共通のクロック信号を生成するクロック生成器と、を備え、第1のトリガ補正部は、第1の放電検出信号を受信し、第1の遅延信号を受信してから第1の放電検出信号を受信するまでの第1の経過時間が第1の目標値に近づくように第1の補正時間を設定し、第2のトリガ補正部は、第2の放電検出信号を受信し、第2の遅延信号を受信してから第2の放電検出信号を受信するまでの第2の経過時間が第2の目標値に近づくように第2の補正時間を設定してもよい。

本開示の別の観点に係るレーザシステムは、第1のレーザ装置であって、トリガ信号を受信し、前記トリガ信号を受信した時から第1の遅延時間が経過したことを示す第1の遅延信号を出力する第1の遅延回路部と、前記第1の遅延信号を受信し、前記第1の遅延信号を受信した時から第1の補正時間が経過したことを示す第1のスイッチ信号を出力する第1のトリガ補正部と、前記第1の遅延回路部と、前記第1のトリガ補正部と、に共通のクロック信号を生成する第1のクロック生成器と、第1のコンデンサと、前記第1のコンデンサに電圧を印加する第1の充電器と、前記第1のスイッチ信号を受

信して前記第1のコンデンサから電流パルスを生成させる第1のスイッチと、前記第1のコンデンサからの電流パルスを圧縮する第1の磁気圧縮回路と、レーザガスを含む第1のチャンバと、前記第1のチャンバ内に配置され、前記第1の磁気圧縮回路に接続された第1の一对の放電電極と、前記第1の一对の放電電極間での放電を検出して第1の放電検出信号を出力する第1の放電タイミング検出器と、を含む前記第1のレーザ装置と、第2のレーザ装置であって、前記トリガ信号を受信し、前記トリガ信号を受信した時から第2の遅延時間が経過したことを示す第2の遅延信号を出力する第2の遅延回路部と、前記第2の遅延信号を受信し、前記第2の遅延信号を受信した時から第2の補正時間が経過したことを示す第2のスイッチ信号を出力する第2のトリガ補正部と、前記第2の遅延回路部と、前記第2のトリガ補正部と、に共通のクロック信号を生成する第2のクロック生成器と、第2のコンデンサと、前記第2のコンデンサに電圧を印加する第2の充電器と、前記第2のスイッチ信号を受信して前記第2のコンデンサから電流パルスを生成させる第2のスイッチと、前記第2のコンデンサからの電流パルスを圧縮する第2の磁気圧縮回路と、レーザガスを含む第2のチャンバと、前記第2のチャンバ内に配置され、前記第2の磁気圧縮回路に接続された第2の一对の放電電極と、前記第2の一对の放電電極間での放電を検出して第2の放電検出信号を出力する第2の放電タイミング検出器と、を含む前記第2のレーザ装置と、を備え、前記第1のトリガ補正部は、前記第1の放電検出信号を受信し、前記第1の遅延信号を受信してから前記第1の放電検出信号を受信するまでの第1の経過時間が第1の目標値に近づくように前記第1の補正時間を設定し、前記第2のトリガ補正部は、前記第2の放電検出信号を受信し、前記第2の遅延信号を受信してから前記第2の放電検出信号を受信するまでの第2の経過時間が第2の目標値に近づくように前記第2の補正時間を設定してもよい。

図面の簡単な説明

[0005] 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、本開示の第1の実施形態に係るレーザシステムを含むレーザアニール装置の構成を概略的に示す。

[図2]図2は、図1に示されるレーザ装置の構成例を示す。

[図3]図3は、図2に示されるパルスパワーモジュールの構成と、レーザ光の進行方向に略平行な方向からみたレーザチャンバの内部構成を示す。

[図4]図4は、図1に示される同期制御部及びその周辺の構成を示すブロック図である。

[図5]図5は、図1に示されるレーザシステムにおけるタイミングチャートである。

[図6]図6は、図4に示される第1及び第2のトリガ補正部におけるタイミングチャートである。

[図7]図7は、第nのトリガ補正部における具体的な補正方法を示すタイミングチャートである。

[図8]図8は、図1に示されるレーザシステム制御部の処理を示すフローチャートである。

[図9]図9は、図4に示されるレーザ制御部の処理を示すフローチャートである。

[図10]図10は、図4に示される第nのトリガ補正部の処理を示すフローチャートである。

[図11]図11は、本開示の第2の実施形態に係るレーザシステムに含まれるレーザ装置の構成例を示す。

[図12]図12は、第2の実施形態における同期制御部及びその周辺の構成を示すブロック図である。

[図13]図13は、第2の実施形態の第nのトリガ補正部における具体的な補正方法を示すタイミングチャートである。

[図14A]図14Aは、第2の実施形態における第nのトリガ補正部の処理を示すフローチャートである。

[図14B]図14Bは、第2の実施形態における第nのトリガ補正部の処理を示すフローチャートである。

[図15]図15は、本開示の第3の実施形態に係るレーザシステムの構成を示すブロック図である。

[図16]図16は、本開示の第4の実施形態に係るレーザシステムの構成を示すブロック図である。

[図17]図17は、本開示の第5の実施形態に係るレーザシステム5を含むレーザアニール装置1の構成を概略的に示す。

[図18]図18は、図17に示されるパルス波形計測器6の具体的構成を示す。

[図19]図19は、図17に示されるレーザシステム制御部20の処理を示すフローチャートである。

[図20]図20は、図19に示される第nのパルスレーザ光を計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図21]図21は、図19に示される第1～第Nmaxのパルスレーザ光全体のパルス波形を計測する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図22]図22は、図1及び図17に示された光路長調節器の構成を概略的に示す。

[図23]図23は、光束化装置のさらに別の例を示す。

[図24]図24は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

実施形態

[0006] <内容>

1. 概要

2. 同期制御部を含むレーザアニール装置（第1の実施形態）

2. 1 レーザ装置の概要

2. 2 光束化装置

2. 3 露光装置

2. 4 制御部

- 2. 5 レーザ装置の詳細
- 2. 6 同期制御部の詳細
- 2. 7 タイミングチャート
- 2. 8 フローチャート
 - 2. 8. 1 レーザシステム制御部の処理
 - 2. 8. 2 レーザ制御部の処理
 - 2. 8. 3 第nのトリガ補正部の処理
- 3. 増幅器を含むレーザシステム（第2の実施形態）
 - 3. 1 レーザ装置の構成
 - 3. 2 同期制御部の詳細
 - 3. 3 タイミングチャート
 - 3. 4 第nのトリガ補正部の処理
- 4. 各レーザ装置がトリガ補正部を含むレーザシステム
 - 4. 1 第3の実施形態
 - 4. 2 第4の実施形態
- 5. パルス波形計測器を含むレーザシステム（第5の実施形態）
 - 5. 1 構成
 - 5. 2 パルス波形計測器
 - 5. 3 制御動作
- 6. その他
 - 6. 1 光路長調節器
 - 6. 2 平面鏡を用いた光束化装置
 - 6. 3 制御部の構成

[0007] 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

。

[0008] 1. 概要

レーザアニール装置は、ガラス基板上のアモルファスシリコン膜にパルスレーザ光を所定のエネルギー密度で照射することによって、レーザアニールを行ってもよい。近年のようにますます大きな液晶ディスプレイが製造されるようになると、所定のエネルギー密度での照射面積を広げるために、パルスレーザ光の1つのパルスあたりのエネルギーを増加させることが求められ得る。1つのパルスあたりのエネルギーを増加させるために、複数台のレーザ装置からそれぞれ出力されたパルスレーザ光を光束化してもよい。光束化された光束化レーザ光を、アモルファスシリコン膜に照射してもよい。

[0009] 複数台のレーザ装置からそれぞれ出力されるパルスレーザ光のエネルギーを安定化させるには、それぞれのレーザ装置の充電器による充電電圧を、互いに独立に制御する必要がある。しかしながら、これらのレーザ装置における放電タイミングは、充電器による充電電圧によって変動し得る。このため、複数台のレーザ装置からそれぞれ出力されて光束化された光束化レーザ光のパルス波形を安定化させることが困難となっていた。光束化レーザ光のパルス波形が不安定となると、アニールの品質が低下する可能性があった。

。

[0010] 本開示の1つの観点において、第1のトリガ補正部は、第1の遅延信号 $T_R(1)$ を受信した時から第1の補正時間 $T_d(1)$ が経過したことを示す第1のスイッチ信号 $S(1)$ を出力してもよい。第1のレーザ装置においては、第1のスイッチ信号 $S(1)$ を受信した時から第1のパルスレーザ光を生成する時までの第1の所要時間が変動してもよい。第1のトリガ補正部は、第1の補正時間 $T_d(1)$ と、第1の所要時間と、の合計時間が目標値 T_{Rdt} に近づくように、第1の補正時間 $T_d(1)$ を設定してもよい。

[0011] 第2のトリガ補正部は、第2の遅延信号 $T_R(2)$ を受信した時から第2の補正時間 $T_d(2)$ が経過したことを示す第2のスイッチ信号 $S(2)$ を出力してもよい。第2のレーザ装置においては、第2のスイッチ信号 $S(2)$

）を受信した時から第2のパルスレーザ光を生成する時までの第2の所要時間が、第1の所要時間とは別に変動してもよい。第2のトリガ補正部は、第2の補正時間 $T_d(2)$ と、第2の所要時間と、の合計時間が目標値 T_{Rdt} に近づくように、第2の補正時間 $T_d(2)$ を設定してもよい。

[0012] 2. 同期制御部を含むレーザアニール装置（第1の実施形態）

図1は、本開示の第1の実施形態に係るレーザシステムを含むレーザアニール装置の構成を概略的に示す。レーザアニール装置1は、レーザシステム5と、露光装置4とを備えてもよい。レーザシステム5は、第1～第5のレーザ装置2a～2eと、高反射ミラー30a～30eと、高反射ミラー35a～35eと、第1～第5の光路長調節器7a～7eと、光束化装置3と、を含んでもよい。

[0013] 2. 1 レーザ装置の概要

第1～第5のレーザ装置2a～2eのそれぞれは、例えば、XeF、XeCl、KrF、又はArFをレーザ媒質とするエキシマレーザ装置であってもよい。第1～第5のレーザ装置2a～2eのそれぞれは、互いに実質的に同一の構成を有してもよい。第1～第5のレーザ装置2a～2eは、それぞれ第1～第5のパルスレーザ光21a～21eを出力してもよい。第1～第5のパルスレーザ光21a～21eは、紫外線の波長領域を有してもよい。

[0014] 第1～第5の光路長調節器7a～7eが、それぞれ第1～第5のパルスレーザ光21a～21eの光路に配置されてもよい。第1～第5の光路長調節器7a～7eは、第1～第5のレーザ装置2a～2eのそれぞれの出力位置から光束化装置3の出射位置までの第1～第5のパルスレーザ光21a～21eの光路長が互いに等しくなるように、それぞれの光路長を調節してもよい。高反射ミラー30a～30eと、高反射ミラー35a～35eとが、それぞれ第1～第5のパルスレーザ光21a～21eの光路に配置されてもよい。第1～第5のパルスレーザ光21a～21eは、光束化装置3に導かれてもよい。図1においては5台のレーザ装置を図示しているが、レーザ装置の台数は特に限定されず、2以上の任意の台数であってもよい。

[0015] 2. 2 光束化装置

光束化装置 3 は、入射光学系 3 3 と、ビームコンバイナ 3 4 と、を備えてもよい。

入射光学系 3 3 は、二次光源光学系 3 1 と、コンデンサ光学系 3 2 とを含み、ケーラー照明を構成するように設計されてもよい。

二次光源光学系 3 1 は、第 1 ～第 5 凹レンズ 3 1 a ～3 1 e を含んでもよい。

[0016] 第 1 凹レンズ 3 1 a は、第 1 のパルスレーザ光 2 1 a の光路であって、第 1 の光路長調節器 7 a と、コンデンサ光学系 3 2 との間に配置されてもよい。第 1 凹レンズ 3 1 a は、第 1 のパルスレーザ光 2 1 a をコンデンサ光学系 3 2 に向けて透過させるときに、第 1 のパルスレーザ光 2 1 a のビーム幅を拡大させてもよい。

[0017] 第 1 ～第 5 凹レンズ 3 1 a ～3 1 e は、互いに実質的に同一の構成を有していてもよい。

第 2 凹レンズ 3 1 b は、第 2 のパルスレーザ光 2 1 b の光路に配置されてもよい。

第 3 凹レンズ 3 1 c は、第 3 のパルスレーザ光 2 1 c の光路に配置されてもよい。

第 4 凹レンズ 3 1 d は、第 4 のパルスレーザ光 2 1 d の光路に配置されてもよい。

第 5 凹レンズ 3 1 e は、第 5 のパルスレーザ光 2 1 e の光路に配置されてもよい。

[0018] 第 1 ～第 5 凹レンズ 3 1 a ～3 1 e にそれぞれ入射する第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e は、いずれも略同じ大きさのビーム形状であって、略同じビームダイバージェンスを有するレーザ光であってもよい。

第 1 ～第 5 凹レンズ 3 1 a ～3 1 e をそれぞれ透過した第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e の光路軸は、互いにほぼ平行であってもよい。本明細書では、パルスレーザ光の「光路軸」は、パルスレーザ光の光路の中心

軸を意味する。

[0019] コンデンサ光学系 3 2 は、以下に説明するように、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e が、ビームコンバイナ 3 4 の入射面において略同じ領域に入射し、かつ、それぞれの所定の入射角度で入射するように、配置されてもよい。

コンデンサ光学系 3 2 は、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e の光路にまたがる領域であって、二次光源光学系 3 1 とビームコンバイナ 3 4 との間の位置に配置されてもよい。コンデンサ光学系 3 2 は、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e を、ビームコンバイナ 3 4 に向けて透過させ得る。このとき、コンデンサ光学系 3 2 は、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e の光路軸の方向を、それぞれの所定方向に変化させ得る。

[0020] コンデンサ光学系 3 2 は、当該コンデンサ光学系 3 2 の前側焦点面の位置が、第 1 ～第 5 凹レンズ 3 1 a ～3 1 e のそれぞれの焦点の位置とほぼ一致するように、配置されてもよい。従って、コンデンサ光学系 3 2 は、第 1 ～第 5 凹レンズ 3 1 a ～3 1 e をそれぞれ透過した第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e を、それぞれほぼ平行光となるように、コリメートし得る。

[0021] コンデンサ光学系 3 2 は、当該コンデンサ光学系 3 2 の後側焦点面の位置がビームコンバイナ 3 4 の入射側の面の位置とほぼ一致するように配置されてもよい。従って、コンデンサ光学系 3 2 は、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e を、ビームコンバイナ 3 4 の互いにほぼ同じ領域に、それぞれの所定の入射角度で入射させ得る。

[0022] 図 1 において、コンデンサ光学系 3 2 は 1 つの凸レンズを含むものとして図示したが、図示しない他の凸レンズ又は凹レンズとの組み合わせや、凹面ミラー等を含んでもよい。

[0023] ビームコンバイナ 3 4 は、回折光学素子 (Diffractive Optical Element : DOE) を含んでもよい。この回折光学素子は、例えば合成石英やフッ化カルシウム基板等の紫外線を透過させる基板上に、所定形状の溝が所定間隔で

形成されたものでもよい。

[0024] コンデンサ光学系 3 2 によって所定方向に光路軸を変化させられた第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～ 2 1 e が、ビームコンバイナ 3 4 に入射し得る。ビームコンバイナ 3 4 に入射した第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～ 2 1 e は、ほぼ同一の方向にビームコンバイナ 3 4 から出射し得る。すなわち、上述した所定方向は、ビームコンバイナ 3 4 によって第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～ 2 1 e が結合されるような方向であってもよい。このようなビームコンバイナ 3 4 として、例えば、米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 2 8 5 0 7 6 号明細書に開示された回折光学素子が用いられてもよい。

[0025] ビームコンバイナ 3 4 から出射した第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～ 2 1 e は、ほぼ同一の光路を通して露光装置 4 に入射してもよい。

[0026] このようにして、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～ 2 1 e が光束化装置 3 によって光束化されてもよい。以下の説明において、複数のパルスレーザ光が束ねられたパルスレーザ光を、光束化レーザ光 2 1 と称することがある。光束化レーザ光 2 1 は、1 台のレーザ装置から出力されたパルスレーザ光に対して約 5 倍のパルスエネルギーを有してもよい。

[0027] 複数のパルスレーザ光を「光束化」するとは、複数のパルスレーザ光の光路を重ね合わせることを含んでもよい。あるいは、複数のパルスレーザ光を「光束化」するとは、図 2 3 を参照しながら後述するように、複数のパルスレーザ光と光路を近接させて出射することを含んでもよい。

[0028] 2. 3 露光装置

露光装置 4 は、高反射ミラー 4 1 と、照明光学系 4 2 と、マスク 4 3 と、転写光学系 4 4 とを備えてもよい。露光装置 4 は、レーザシステム 5 から出射された光束化レーザ光 2 1 を所定のマスクパターンに成形し、被照射物 P に照射してもよい。

[0029] 高反射ミラー 4 1 は、レーザシステム 5 から出射された光束化レーザ光 2 1 の光路に配置されてもよい。高反射ミラー 4 1 は、光束化レーザ光 2 1 を反射して照明光学系 4 2 に入射させてもよい。照明光学系 4 2 に入射する光

束化レーザ光 2 1 は、ほぼ平行光であってもよい。

[0030] 照明光学系 4 2 は、光束化レーザ光 2 1 の光路であって、高反射ミラー 4 1 とマスク 4 3 との間に配置されてもよい。照明光学系 4 2 は、フライアイレンズ 4 2 1 と、コンデンサ光学系 4 2 2 とを含み、ケーラー照明を構成するように設計されてもよい。

[0031] フライアイレンズ 4 2 1 は、光束化レーザ光 2 1 の光路であって、高反射ミラー 4 1 とコンデンサ光学系 4 2 2 との間に配置されてもよい。フライアイレンズ 4 2 1 は、光束化レーザ光 2 1 の断面に沿って配列された複数のレンズを含んでもよい。当該複数のレンズのそれぞれは、光束化レーザ光 2 1 の各一部をコンデンサ光学系 4 2 2 に向けて透過させるときに、当該各一部のビーム幅を拡大させてもよい。

[0032] コンデンサ光学系 4 2 2 は、光束化レーザ光 2 1 の光路であって、フライアイレンズ 4 2 1 とマスク 4 3 との間に配置されてもよい。コンデンサ光学系 4 2 2 は、フライアイレンズ 4 2 1 から出射された光束化レーザ光 2 1 をマスク 4 3 に向けて照明してもよい。

[0033] コンデンサ光学系 4 2 2 は、当該コンデンサ光学系 4 2 2 の後側焦点面の位置がマスク 4 3 の位置とほぼ一致するように配置されてもよい。従って、コンデンサ光学系 4 2 2 は、フライアイレンズ 4 2 1 に含まれる複数のレンズのそれぞれを透過した光束化レーザ光 2 1 を、マスク 4 3 の互いにほぼ同じ領域に入射させ得る。

[0034] 図 1 において、コンデンサ光学系 4 2 2 は 1 つの凸レンズを含むものとして図示したが、図示しない他の凸レンズ又は凹レンズとの組み合わせや、凹面ミラー等を含んでもよい。

以上の構成により、照明光学系 4 2 は、マスク 4 3 に照射される光束化レーザ光 2 1 のビーム断面における光強度分布のばらつきを低減してもよい。

[0035] マスク 4 3 は、長方形形状の開口が形成されたスリットであってもよい。当該スリットの開口形状は、マスク 4 3 のマスクパターンを構成し得る。マスク 4 3 のマスクパターンは、長方形形状に限定されず、所望形状のパター

ンであってもよい。

[0036] 転写光学系44は、光束化レーザ光21の光路であって、マスク43と被照射物Pとの間に配置されてもよい。転写光学系44は、当該転写光学系44によって結像されるマスク43の像の位置が被照射物Pの被照射位置とほぼ一致するように配置されてもよい。これにより、転写光学系44は、光束化レーザ光21が照射されたマスク43のマスクパターンを被照射物Pに転写してもよい。

[0037] 転写光学系44は、1つ又は複数の凸レンズを含んでもよい。転写光学系44は、1つ又は複数の凸レンズに限定されず、例えば凸レンズと凹レンズの組み合わせや、凹面ミラー等を含んでもよい。転写光学系44は、長方形形状のマスクパターンの短手方向だけを被照射物Pに転写するシリンドリカルレンズによって構成されてもよい。

[0038] 以上のように、レーザシステム5は、1台のレーザ装置から出力されたパルスレーザ光よりもパルスエネルギーの高い光束化レーザ光21を出力し得る。その結果、レーザアニール装置1は、アニールに必要な所定のパルスエネルギー密度で、且つ、広い照射面積で、光束化レーザ光21を被照射物Pに照射し得る。そして、大面積の液晶ディスプレイの効率的な製造が可能となり得る。

[0039] 2. 4 制御部

露光装置4は、露光装置制御部40を含んでもよい。露光装置制御部40は、被照射物Pを保持するための図示しないステージの移動、被照射物Pやマスク43の交換などの制御を行ってもよい。露光装置制御部40は、レーザシステム制御部20に対し、トリガ信号TRを出力してもよい。

[0040] レーザシステム5は、レーザシステム制御部20と、同期制御部22とを含んでもよい。レーザシステム制御部20は、露光装置制御部40から受信したトリガ信号TRを、同期制御部22に送信してもよい。同期制御部22は、レーザシステム制御部20から受信したトリガ信号TRに基づいて、第1～第5のスイッチ信号S(1)～S(5)をそれぞれ第1～第5のレ

ーザ装置 2 a ~ 2 e に送信してもよい。第 1 ~ 第 5 のレーザ装置 2 a ~ 2 e は、同期制御部 2 2 から受信したそれぞれのスイッチ信号に基づいて、パルスレーザ光を出力してもよい。

[0041] 2. 5 レーザ装置の詳細

図 2 は、図 1 に示されるレーザ装置の構成例を示す。例えば、第 1 のレーザ装置 2 a は、レーザチャンバ 1 0 と、一对の放電電極 1 1 a 及び 1 1 b と、充電器 1 2 と、パルスパワーモジュール (P P M) 1 3 と、を含んでもよい。第 1 のレーザ装置 2 a は、さらに、高反射ミラー 1 4 と、出力結合ミラー 1 5 と、パルスエネルギー計測部 1 7 と、レーザ制御部 1 9 と、を含んでもよい。第 2 ~ 第 5 のレーザ装置 2 b ~ 2 e の構成も同様でもよい。図 2 においては、パルスレーザ光 2 1 a の進行方向と一对の放電電極 1 1 a 及び 1 1 b 間の放電方向との両方に垂直な方向からみたレーザチャンバ 1 0 の内部構成が示されている。

[0042] レーザチャンバ 1 0 は、例えばレアガスとしてアルゴンまたはクリプトンまたはキセノン、バッファガスとしてネオンまたはヘリウム、ハロゲンガスとして塩素またはフッ素等を含む、レーザ媒質としてのレーザガスが封入されるチャンバでもよい。一对の電極 1 1 a 及び 1 1 b は、レーザ媒質を放電により励起するための電極として、レーザチャンバ 1 0 内に配置されてもよい。レーザチャンバ 1 0 には開口が形成され、この開口を電気絶縁部 2 9 が塞いでいてもよい。電極 1 1 a は電気絶縁部 2 9 に支持され、電極 1 1 b はリターンプレート 1 0 d に支持されていてもよい。このリターンプレート 1 0 d は図 3 を参照しながら後述する配線 1 0 e 及び 1 0 f によってレーザチャンバ 1 0 の内面と接続されてもよい。電気絶縁部 2 9 には、導電部 2 9 a が埋め込まれていてもよい。導電部 2 9 a は、パルスパワーモジュール 1 3 から供給される高電圧を電極 1 1 a に印加するものであってもよい。

[0043] 充電器 1 2 は、パルスパワーモジュール 1 3 の中の後述する充電コンデンサ C 0 に所定の電圧で充電する直流電源装置であってもよい。パルスパワーモジュール 1 3 は、レーザ制御部 1 9 によって制御されるスイッチ 1 3 a を

含んでもよい。スイッチ 13 a が OFF から ON になると、パルスパワーモジュール 13 は、充電コンデンサ C0 に保持されていた電気エネルギーからパルス状の高電圧を生成し、この高電圧を一对の電極 11 a 及び 11 b 間に印加してもよい。

[0044] 一对の電極 11 a 及び 11 b 間に高電圧が印加されると、一对の電極 11 a 及び 11 b 間が絶縁破壊され、放電が起こり得る。この放電のエネルギーにより、レーザチャンバ 10 内のレーザ媒質が励起されて高エネルギー準位に移行し得る。励起されたレーザ媒質が、その後低エネルギー準位に移行するとき、そのエネルギー準位差に応じた光を放出し得る。

[0045] レーザチャンバ 10 の両端にはウインドウ 10 a 及び 10 b が設けられてもよい。レーザチャンバ 10 内で発生した光は、ウインドウ 10 a 及び 10 b を介してレーザチャンバ 10 の外部に出射し得る。

[0046] 高反射ミラー 14 は、レーザチャンバ 10 のウインドウ 10 a から出射された光を高い反射率で反射してレーザチャンバ 10 に戻してもよい。

出力結合ミラー 15 は、レーザチャンバ 10 のウインドウ 10 b から出力される光のうちの一部を透過させて出力し、他の一部を反射させてレーザチャンバ 10 内に戻してもよい。

[0047] 従って、高反射ミラー 14 と出力結合ミラー 15 とで、光共振器が構成され得る。レーザチャンバ 10 から出射した光は、高反射ミラー 14 と出力結合ミラー 15 との間で往復し、電極 11 a と電極 11 b との間のレーザゲイン空間を通過する度に増幅され得る。増幅された光の一部が、出力結合ミラー 15 を介して、パルスレーザ光 21 a として出力され得る。

[0048] パルスエネルギー計測部 17 は、出力結合ミラー 15 を介して出力されたパルスレーザ光 21 a の光路に配置されていてもよい。パルスエネルギー計測部 17 は、ビームスプリッタ 17 a と、集光光学系 17 b と、光センサ 17 c とを含んでもよい。

[0049] ビームスプリッタ 17 a は、パルスレーザ光 21 a を高い透過率で透過させるとともに、パルスレーザ光 21 a の一部を集光光学系 17 b に向けて反

射してもよい。集光光学系 17b は、ビームスプリッタ 17a によって反射されたパルスレーザ光を光センサ 17c の受光面に集光してもよい。光センサ 17c は、受光面に集光されたパルスレーザ光のパルスエネルギーを検出し、検出されたパルスエネルギーのデータをレーザ制御部 19 に出力してもよい。

[0050] レーザ制御部 19 は、上述のレーザシステム制御部 20 との間で各種信号を送受信してもよい。例えば、レーザ制御部 19 は、レーザシステム制御部 20 から、トリガ信号、目標パルスエネルギーのデータ等を受信してもよい。また、レーザ制御部 19 は、パルスエネルギー計測部 17 からパルスエネルギーのデータを受信してもよい。

[0051] レーザ制御部 19 は、レーザシステム制御部 20 から受信した目標パルスエネルギーのデータと、パルスエネルギー計測部 17 から受信したパルスエネルギーのデータと、を参照して充電器 12 の充電電圧の設定値を制御してもよい。充電器 12 の充電電圧を制御することにより、レーザ光のパルスエネルギーが制御されてもよい。

[0052] 図 3 は、図 2 に示されるパルスパワーモジュールの構成と、レーザ光の進行方向に略平行な方向からみたレーザチャンバの内部構成を示す。レーザチャンバ 10 の壁面を含む導電性部材は、接地電位に接続されてもよい。電極 11b は、リターンプレート 10d と配線 10e 及び 10f とレーザチャンバ 10 の壁面を介して接地電位に接続されていてもよい。

[0053] 第 1 のレーザ装置 2a は、放電センサ 18 を含んでもよい。放電センサ 18 は、レーザチャンバ 10 に取り付けられたウインドウ 10c と、集光光学系 181 と、光センサ 182 と、を含んでもよい。放電センサ 18 は、放電タイミング検出器に相当し得る。

[0054] ウインドウ 10c は、一对の電極 11a 及び 11b の間の放電によって発生した光を透過させてもよい。集光光学系 181 は、ウインドウ 10c を透過した光を光センサ 182 の受光面に集光してもよい。光センサ 182 は、フォトダイオード又は光電管を含んでもよい。光センサ 182 は、一对の電

極 1 1 a 及び 1 1 b の間の放電によって発生した光を検出することにより、放電検出信号を同期制御部 2 2 に送信してもよい。

[0055] パルスパワーモジュール 1 3 は、充電コンデンサ C 0 と、スイッチ 1 3 a と、磁気圧縮回路としての昇圧トランス T C 1 と、複数の磁気スイッチ S r 1 ～ S r 3 と、複数のコンデンサ C 1、C 2、C 3 と、を含んで構成されてもよい。

[0056] 磁気スイッチ S r 1 ～ S r 3 は、いずれも、可飽和リアクトルを含んでもよい。磁気スイッチ S r 1 ～ S r 3 の各々は、その両端に印加された電圧の時間積分値が、各磁気スイッチの特性で決まる所定の値になったときに、低インピーダンスになるようにしもよい。

[0057] 充電器 1 2 には、レーザ制御部 1 9 により充電電圧 V (n) が設定されてもよい。充電器 1 2 は、設定された充電電圧 V (n) に基づいて、充電コンデンサ C 0 を充電してもよい。

パルスパワーモジュール 1 3 のスイッチ 1 3 a には、同期制御部 2 2 によりスイッチ信号が入力されてもよい。スイッチ信号がスイッチ 1 3 a に入力されると、スイッチ 1 3 a が ON になってもよい。スイッチ 1 3 a が ON になると、充電コンデンサ C 0 から昇圧トランス T C 1 の 1 次側に電流が流れ得る。

[0058] 昇圧トランス T C 1 の 1 次側に電流が流れると、電磁誘導によって昇圧トランス T C 1 の 2 次側に逆方向の電流が流れ得る。昇圧トランス T C 1 の 2 次側に電流が流れると、やがて磁気スイッチ S r 1 に印加される電圧の時間積分値が閾値に達し得る。

[0059] 磁気スイッチ S r 1 に印加される電圧の時間積分値が閾値に達すると、磁気スイッチ S r 1 は磁気飽和した状態となり、磁気スイッチ S r 1 は閉じ得る。

磁気スイッチ S r 1 が閉じると、昇圧トランス T C 1 の 2 次側からコンデンサ C 1 に電流が流れ、コンデンサ C 1 が充電され得る。

[0060] コンデンサ C 1 が充電されることにより、やがて磁気スイッチ S r 2 は磁

気飽和した状態となり、磁気スイッチ S_{r2} は閉じ得る。

磁気スイッチ S_{r2} が閉じると、コンデンサ C_1 からコンデンサ C_2 に電流が流れ、コンデンサ C_2 が充電され得る。このとき、コンデンサ C_1 を充電する際の電流のパルス幅よりも短いパルス幅で、コンデンサ C_2 が充電されてもよい。

[0061] コンデンサ C_2 が充電されることにより、やがて磁気スイッチ S_{r3} は磁気飽和した状態となり、磁気スイッチ S_{r3} は閉じ得る。

磁気スイッチ S_{r3} が閉じると、コンデンサ C_2 からコンデンサ C_3 に電流が流れ、コンデンサ C_3 が充電され得る。このとき、コンデンサ C_2 を充電する際の電流のパルス幅よりも短いパルス幅で、コンデンサ C_3 が充電されてもよい。

[0062] このように、コンデンサ C_1 からコンデンサ C_2 、コンデンサ C_2 からコンデンサ C_3 へと電流が順次流れることにより、当該電流のパルス幅は圧縮され得る。

[0063] コンデンサ C_3 の電圧がレーザガスのブレイクダウン電圧に達したときに、一对の電極 $11a$ 及び $11b$ 間のレーザガスに絶縁破壊が生じてもよい。これにより、レーザガスが励起され、レーザ発振して、パルスレーザ光が出力され得る。このような放電動作が、スイッチ $13a$ のスイッチング動作によって繰り返されることにより、所定の発振周波数で、パルスレーザ光が出力されてもよい。放電タイミング検出器として、放電電流を検出する電流計 $18b$ が用いられてもよい。この電流計 $18b$ は電流プローブであって、放電のタイミングを検出してもよい。

また、放電センサの代わりの放電タイミング検出器として、パルスエネルギー計測部 17 のパルスレーザ光の出力信号を使用してもよい。放電センサのタイミング信号またはパルスレーザ光の出力信号は、放電検出信号として、後述する同期制御部 22 に入力されてもよい。

[0064] 2. 6 同期制御部の詳細

図4は、図1に示される同期制御部及びその周辺の構成を示すブロック図

である。同期制御部 22 は、第 1～第 5 のトリガ補正部 22 a～22 e と、クロック生成器 23 と、遅延回路部 24 と、を含んでもよい。第 1～第 5 のトリガ補正部 22 a～22 e の各々は、処理部 25 と、遅延回路 26 と、タイマー 27 とを含んでもよい。図 4 においては、第 1 及び第 2 のトリガ補正部 22 a 及び 22 b の構成を示し、第 3～第 5 のトリガ補正部 22 c～22 e についての説明を適宜省略するが、これらはいずれも同様であってよい。

[0065] 図 4 に示されるように、第 1～第 5 のレーザ装置 2 a～2 e の各々は、一対の放電電極 11 と、充電器 12 と、パルスパワーモジュール 13 と、放電センサ 18 と、レーザ制御部 19 と、を含んでもよい。図 4 においては、第 1 及び第 2 のレーザ装置 2 a 及び 2 b の構成を示し、第 3～第 5 のレーザ装置 2 c～2 e についての説明を適宜省略するが、これらはいずれも同様であってよい。

[0066] 同期制御部 22 は、レーザシステム制御部 20 から第 1 の遅延信号 TR (1) の第 1 の遅延時間 TR d (1) のデータと、と第 2 の遅延信号 TR (2) の第 2 の遅延時間 TR d (2) のデータと、を受信してもよい。

同期制御部 22 において、クロック生成器 23 は、第 1～第 5 のトリガ補正部 22 a～22 e と、遅延回路部 24 と、に共通のクロック信号を生成してもよい。遅延回路部 24 は、レーザシステム制御部 20 から出力されたトリガ信号 TR を受信してもよい。遅延回路部 24 は、トリガ信号 TR を受信した時から第 1 の遅延時間 TR d (1) (図 5、図 6 参照) が経過したことを示す第 1 の遅延信号 TR (1) を、第 1 のトリガ補正部 22 a の遅延回路 26 及びタイマー 27 に出力してもよい。遅延回路部 24 は、トリガ信号 TR を受信した時から第 2 の遅延時間 TR d (2) (図 5、図 6 参照) が経過したことを示す第 2 の遅延信号 TR (2) を、第 2 のトリガ補正部 22 b の遅延回路 26 及びタイマー 27 に出力してもよい。

[0067] 第 1 のトリガ補正部 22 a の遅延回路 26 は、第 1 の遅延信号 TR (1) を受信した時から第 1 の補正時間 T d (1) (図 6 参照) が経過したことを示す第 1 のスイッチ信号 S (1) を、第 1 のレーザ装置 2 a のパルスパワー

モジュール 13 に出力してもよい。第 1 の補正時間 $T_d(1)$ は、第 1 のトリガ補正部 22a の処理部 25 によって設定されてもよい。第 2 のトリガ補正部 22b の遅延回路 26 は、第 2 の遅延信号 $T_R(2)$ を受信した時から第 2 の補正時間 $T_d(2)$ (図 6 参照) が経過したことを示す第 2 のスイッチ信号 $S(2)$ を、第 2 のレーザ装置 2b のパルスパワーモジュール 13 に出力してもよい。第 2 の補正時間 $T_d(2)$ は、第 2 のトリガ補正部 22b の処理部 25 によって設定されてもよい。

[0068] 第 1 及び第 2 のレーザ装置 2a 及び 2b の各々において、レーザ制御部 19 は、レーザシステム制御部 20 から目標パルスエネルギーのデータを受信してもよい。レーザ制御部 19 は、目標パルスエネルギーのデータに基づいて、充電電圧の設定値を算出してもよい。レーザ制御部 19 は、充電電圧の設定値を、充電器 12 と、対応するトリガ補正部の処理部 25 と、に送信してもよい。充電器 12 は、充電電圧の設定値に従い、パルスパワーモジュール 13 の中の充電コンデンサ C_0 を充電してもよい。パルスパワーモジュール 13 は、図 3 を参照しながら説明した磁気圧縮回路を含んで構成されてもよい。

[0069] 第 1 及び第 2 のレーザ装置 2a 及び 2b のパルスパワーモジュール 13 は、それぞれ、遅延回路 26 から出力された第 1 及び第 2 のスイッチ信号 $S(1)$ 及び $S(2)$ を受信してもよい。第 1 及び第 2 のレーザ装置 2a 及び 2b のパルスパワーモジュール 13 のスイッチ 13a は、それぞれスイッチ信号 $S(1)$ 及び $S(2)$ によって OFF から ON になってもよい。スイッチ 13a が OFF から ON になると、パルスパワーモジュール 13 は、充電コンデンサ C_0 に保持されていた電気エネルギーからパルス状の高電圧を生成してもよい。この高電圧は、一对の放電電極 11 に印加されてもよい。

[0070] 一对の放電電極 11 に高電圧が印加されると、一对の放電電極 11 間が絶縁破壊され、放電が起こり得る。この放電のエネルギーにより励起されたレーザ媒質から放出された光が、上述の光共振器によって往復させられることにより、パルスレーザ光が生成され得る。

[0071] 第1及び第2のレーザ装置2a及び2bの放電センサ18は、一対の放電電極11間に発生した放電を検出し、それぞれ第1及び第2の放電検出信号DS(1)及びDS(2)を出力してもよい。第1及び第2の放電検出信号DS(1)及びDS(2)は、それぞれ第1及び第2のトリガ補正部22a及び22bのタイマー27に入力されてもよい。

[0072] 第1のトリガ補正部22aのタイマー27は、第1の遅延信号TR(1)を受信した時から、第1の放電検出信号DS(1)を受信した時までの第1の経過時間TRdm(1)を計測し、処理部25に送信してもよい。第2のトリガ補正部22bのタイマー27は、第2の遅延信号TR(2)を受信した時から、第2の放電検出信号DS(2)を受信した時までの第2の経過時間TRdm(2)を計測し、処理部25に送信してもよい。

[0073] 第1のトリガ補正部22aの処理部25は、第1のレーザ装置2aのレーザ制御部19から送信された充電電圧の設定値と、タイマー27から送信された第1の経過時間TRdm(1)とに基づいて、第1の補正時間Td(1)を設定してもよい。

第2のトリガ補正部22bの処理部25は、第2のレーザ装置2bのレーザ制御部19から送信された充電電圧の設定値と、タイマー27から送信された第2の経過時間TRdm(2)とに基づいて、第2の補正時間Td(2)を設定してもよい。

[0074] 2. 7 タイミングチャート

図5は、図1に示されるレーザシステムにおけるタイミングチャートである。レーザシステム制御部20は、露光装置制御部40から受信したトリガ信号TRを、同期制御部22に送信してもよい。

同期制御部22の遅延回路部24は、第1～第5のトリガ補正部22a～22eに対し、それぞれ第1～第5の遅延信号TR(1)～TR(5)を出力してもよい。第1～第5の遅延信号は、それぞれ、トリガ信号TRを受信した時から互いに異なる第1～第5の遅延時間TRd(1)～TRd(5)が経過したことを示すものでもよい。

[0075] 第1～第5の遅延信号TR(1)～TR(5)の出力タイミングから、第1～第5の放電検出信号DS(1)～DS(5)の出力タイミングまでの時間は、互いにほぼ等しくなるように制御されることが望ましい。その場合、第1～第5の遅延信号TR(1)～TR(5)の間の時間差とほぼ同じ時間差で、第1～第5の放電検出信号DS(1)～DS(5)が出力され得る。

[0076] 第1～第5のレーザ装置2a～2eからは第1～第5のパルスレーザ光21a～21eがそれぞれ出力されてもよい。第1～第5のパルスレーザ光21a～21eは、第1～第5の放電検出信号DS(1)～DS(5)とそれぞれほぼ同じタイミングで、あるいは、第1～第5の放電検出信号DS(1)～DS(5)からそれぞれわずかに遅れたタイミングで、出力されてもよい。

[0077] 第1～第5のレーザ装置2a～2eのそれぞれの出力位置から光束化装置3の出射位置までの光路長は、上述の通り、互いにほぼ等しくなるように調節されてもよい。その場合、光束化装置3から出射される光束化レーザ光21は、第1～第5の遅延信号TR(1)～TR(5)の時間差とほぼ同じ時間差を有する第1～第5のパルスレーザ光21a～21eが、組み合わせられたものでもよい。第1～第5の遅延信号TR(1)～TR(5)のタイミングを制御することにより、光束化レーザ光21のパルス波形を調節することができる。

[0078] 第1～第5のレーザ装置2a～2eのそれぞれの出力位置から光束化装置3の出射位置までの光路長が互いに異なる場合には、その光路長差を光速で除算した値を用いて、第1～第5の遅延信号TR(1)～TR(5)のタイミングを補正してもよい。

[0079] 図6は、図4に示される第1及び第2のトリガ補正部におけるタイミングチャートである。

図6においては、第3～第5のトリガ補正部22c～22eが出力する第3～第5の遅延信号TR(3)～TR(5)や、第3～第5のレーザ装置2c～2eが出力する第3～第5の放電検出信号DS(3)～DS(5)の図

示は省略されている。

[0080] 図6に示されるように、第1の遅延信号 $TR(1)$ と第2の遅延信号 $TR(2)$ とは所定の時間差を有してもよい。ここで、第1のレーザ装置2aが第1のスイッチ信号 $S(1)$ を受信した時から第1のパルスレーザ光を生成する時までの第1の所要時間は、第1のレーザ装置2aの充電器12の充電電圧によって変動し得る。第2のレーザ装置2bが第2のスイッチ信号 $S(2)$ を受信した時から第2のパルスレーザ光を生成する時までの第2の所要時間は、第2のレーザ装置2bの充電器12の充電電圧によって変動し得る。そして、これらの充電電圧は、第1のレーザ装置2aと第2のレーザ装置2bとで互いに別々に制御され得る。従って、第1の所要時間と第2の所要時間とは、互いに別々に変動し得る。また、第1の所要時間及び第2の所要時間は、それぞれのパルスパワーモジュール13に含まれる磁気圧縮回路の温度によっても、変動し得る。

[0081] タイマー27が第1の遅延信号 $TR(1)$ を受信した時から、第1の放電検出信号 $DS(1)$ を受信した時までの第1の経過時間 $TRdm(1)$ は、第1の補正時間 $Td(1)$ と、第1の所要時間と、の合計時間に相当してもよい。タイマー27が第2の遅延信号 $TR(2)$ を受信した時から、第2の放電検出信号 $DS(2)$ を受信した時までの第2の経過時間 $TRdm(2)$ は、第2の補正時間 $Td(2)$ と、第2の所要時間と、の合計時間に相当してもよい。

[0082] 第1の経過時間 $TRdm(1)$ を目標値に近づけるためには、第1の所要時間の変動に応じて、第1の補正時間 $Td(1)$ を変更する必要がある。第2の経過時間 $TRdm(2)$ を目標値に近づけるためには、第2の所要時間の変動に応じて、第2の補正時間 $Td(2)$ を変更する必要がある。

[0083] 第1の経過時間 $TRdm(1)$ 及び第2の経過時間 $TRdm(2)$ を目標値に近づけることにより、第1の遅延信号 $TR(1)$ と第2の遅延信号 $TR(2)$ との時間差とほぼ等しい時間差で、第1のパルスレーザ光21a及び

第2のパルスレーザ光21bを生成することができる。

[0084] 図7は、第nのトリガ補正部における具体的な補正方法を示すタイミングチャートである。以下の説明において、第1～第5のトリガ補正部22a～22eの各々を第nのトリガ補正部22nとすることがある。また、第nのトリガ補正部22nが入力又は出力する信号に(n)を付して示し、あるいは、第nのトリガ補正部22nに設定される時間に(n)を付して示すことがある。

[0085] 第nの補正時間 $T_d(n)$ は、以下の式で算出されるものでもよい。

$$T_d(n) = T_{d0}(n) + \Delta T V(n)$$

ここで、 $T_{d0}(n)$ を第1の補正要素とし、 $\Delta T V(n)$ を第2の補正要素としてもよい。

[0086] 第1の補正要素 $T_{d0}(n)$ の初期値は、以下の式で設定されてもよい。

$$\begin{aligned} & T_{d0}(n) \text{ の初期値} \\ & = T R d t - F(V_0(n)) \end{aligned}$$

ここで、 $T R d t$ は、第nの経過時間 $T R d m(n)$ の目標値であってもよい。第nの経過時間 $T R d m(n)$ は、タイマー27が第nの遅延信号 $T R(n)$ を受信した時から、第nの放電検出信号 $D S(n)$ を受信した時までの経過時間であってもよい。ここでは、第nの経過時間 $T R d m(n)$ の目標値 $T R d t$ が、第1～第5のトリガ補正部22a～22eに共通の値である場合について説明するが、別々の目標値が設定されるようにしてもよい。

[0087] 上記の式において、 $F(V_0(n))$ は、第nのレーザ装置2nにおいて設定される充電電圧の値が所定の基準電圧値 $V_0(n)$ である場合の、第nのスイッチ信号 $S(n)$ の入力から第nの放電検出信号 $D S(n)$ の出力までの所要時間の計算値であってもよい。パルスパワーモジュール13に含まれる磁気圧縮回路において、充電器12による充電電圧 V のみが変更された場合には、この充電電圧 V と、第nのスイッチ信号 $S(n)$ がスイッチ13aに入力されてからパルス状の高電圧が放電電極11間に印加されるまでの

所要時間 T と、の積がほぼ一定値 K となり得る。従って、 $F(V_0(n))$ の計算は、以下の式で行われてもよい。

$$F(V_0(n)) = K / V_0(n)$$

$V_0(n)$ は、基準電圧値でもよい。

[0088] 第 n のレーザ装置 $2n$ において設定される充電電圧の値が所定の基準電圧値 $V_0(n)$ と異なる電圧値 $V(n)$ である場合に、第2の補正要素 $\Delta TV(n)$ が、以下の式で算出されてもよい。

$$\Delta TV(n) = F(V_0(n)) - F(V(n))$$

ここで、 $F(V(n))$ は、第 n のレーザ装置 $2n$ において設定される充電電圧の電圧値を $V(n)$ とした場合の、第 n のスイッチ信号 $S(n)$ の入力から第 n の放電検出信号 $DS(n)$ の出力までの所要時間の計算値であってもよい。 $F(V(n))$ の計算は、以下の式で行われてもよい。

$$F(V(n)) = K / V(n)$$

[0089] 以上のように、充電電圧の設定値 $V(n)$ に基づいて、第2の補正要素 $\Delta TV(n)$ を算出することにより、第 n のスイッチ信号 $S(n)$ のタイミング制御を高速で行うことができる。

[0090] 第 n のトリガ補正部 $22n$ の処理部 25 は、タイマー 27 が第 n の遅延信号 $TR(n)$ を受信した時から、第 n の放電検出信号 $DS(n)$ を受信した時までの第 n の経過時間 $TRdm(n)$ を受信した場合に、目標値 $TRdt$ との差 $\Delta TRd(n)$ を算出してもよい。差 $\Delta TRd(n)$ は、以下の式により算出されてもよい。

$$\Delta TRd(n) = AVG(TRdm(n)) - TRdt$$

$AVG(TRdm(n))$ は、 $TRdm(n)$ を複数回にわたって計測した場合の $TRdm(n)$ の平均値であってもよい。

[0091] こうして算出された差 $\Delta TRd(n)$ に基づいて、第1の補正要素 $Td0(n)$ が、以下の式により更新されてもよい。

$$Td0(n) = Td0(n) - \Delta TRd(n)$$

[0092] 以上のように、第 n の経過時間 $TRdm(n)$ の平均値と目標値 $TRdt$

との差 $\Delta T R d(n)$ に基づいて、第1の補正要素 $T d 0(n)$ を更新することにより、例えば、磁気圧縮回路の温度変化やレーザチャンバのガス圧の変化等による第 n の所要時間の変動に応じた補正が可能となる。これにより、第 n のスイッチ信号 $S(n)$ のタイミング制御を精度よく行うことができる。本明細書では、磁気圧縮回路の温度変化やレーザチャンバのガス圧の変化等による放電タイミングの変化を「ドリフト変化」と定義する。

[0093] 2. 8 フローチャート

2. 8. 1 レーザシステム制御部の処理

図8は、図1に示されるレーザシステム制御部の処理を示すフローチャートである。レーザシステム制御部20は、以下の処理により、第1～第5のレーザ装置2a～2eから出力される第 n のパルスレーザ光21nの各々について、目標パルスエネルギー $E t(n)$ 及び第 n の遅延時間 $T R d(n)$ を算出してもよい。

[0094] まず、S102において、レーザシステム制御部20は、露光装置4の露光装置制御部40から、光束化レーザ光21の目標パルス波形のデータと、光束化レーザ光21の目標パルスエネルギーのデータとを受信してもよい。

[0095] 次に、S103において、レーザシステム制御部20は、第 n のパルスレーザ光21nの各々について、目標パルスエネルギー $E t(n)$ 及び第 n の遅延時間 $T R d(n)$ を算出してもよい。例えば、光束化レーザ光21の目標パルス波形が短いパルス幅を有するものである場合には、第 n の遅延時間 $T R d(n)$ の各々を互いに近接した値としてもよい。また、第 n のパルスレーザ光21nの目標パルスエネルギー $E t(n)$ の合計が、光束化レーザ光21の目標パルスエネルギーに近づくように、第 n のパルスレーザ光21nの各々の目標パルスエネルギー $E t(n)$ が決められてもよい。

[0096] 第 n のパルスレーザ光21nの各々について、目標パルスエネルギー $E t(n)$ を算出したら、レーザシステム制御部20は、それぞれの値を対応するレーザ装置のレーザ制御部19に送信してもよい。

第 n のパルスレーザ光21nの各々について、第 n の遅延時間 $T R d(n)$

）を算出したら、レーザシステム制御部 20 は、これらの値を同期制御部 22 の遅延回路部 24 に送信してもよい。

[0097] 次に、S 113 において、レーザシステム制御部 20 は、光束化レーザ光 21 の目標パルス波形と、光束化レーザ光 21 の目標パルスエネルギーを変更するか否かを判定してもよい。これらの値を変更する場合（S 113 ; YES）、レーザシステム制御部 20 は、処理を上述の S 102 に戻してもよい。変更しない場合（S 113 ; NO）、レーザシステム制御部 20 は、処理を S 114 に進めてもよい。

[0098] 次に、S 114 において、レーザシステム制御部 20 は、パルス波形の制御を停止するか否かを判定してもよい。パルス波形の制御を停止しない場合（S 114 ; NO）、レーザシステム制御部 20 は、処理を上述の S 113 に戻してもよい。パルス波形の制御を停止する場合（S 114 ; YES）、レーザシステム制御部 20 は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0099] 以上のようにして、レーザシステム制御部 20 は、目標パルスエネルギー $E_t(n)$ 及び第 n の遅延時間 $T_{Rd}(n)$ を算出してもよい。

[0100] 2. 8. 2 レーザ制御部の処理

図 9 は、図 4 に示されるレーザ制御部の処理を示すフローチャートである。第 1 ～第 5 のレーザ装置 2a ～ 2e にそれぞれ含まれるレーザ制御部 19 は、以下の処理により、目標パルスエネルギー $E_t(n)$ に基づいて充電電圧の設定値 $V(n)$ を算出してもよい。

[0101] まず、S 201 において、レーザ制御部 19 は、当該レーザ装置 2n の充電電圧の設定値 $V(n)$ を、初期値に設定してもよい。充電電圧の設定値の初期値は、上述の基準電圧値 $V_0(n)$ であってもよい。

[0102] 次に、S 202 において、レーザ制御部 19 は、レーザシステム制御部 20 から、当該レーザ装置 2(n) の目標パルスエネルギー $E_t(n)$ を読出してもよい。

[0103] 次に、S 203 において、レーザ制御部 19 は、当該レーザ装置 2(n) がレーザ発振したか否かを判定してもよい。当該レーザ装置 2(n) がレー

ザ発振していない場合（S 2 0 3 ; N O）、レーザ制御部 1 9 は、レーザ発振するまで待機してもよい。当該レーザ装置 2（n）がレーザ発振した場合（S 2 0 3 ; Y E S）、レーザ制御部 1 9 は、処理を S 2 0 4 に進めてもよい。

[0104] S 2 0 4 において、レーザ制御部 1 9 は、当該レーザ装置 2 n から出力されたパルスレーザ光 2 1 n のパルスエネルギー E（n）を検出してもよい。パルスエネルギー E（n）は、パルスエネルギー計測部 1 7 によって検出されてもよい。

[0105] 次に、S 2 0 5 において、レーザ制御部 1 9 は、検出されたパルスエネルギー E（n）と、目標パルスエネルギー E t（n）との差 $\Delta E（n）$ を、以下の式により算出してもよい。

$$\Delta E（n）= E（n）- E t（n）$$

[0106] 次に、S 2 0 6 において、レーザ制御部 1 9 は、目標パルスエネルギーとの差 $\Delta E（n）$ に基づいて、充電電圧の設定値の変化量 $\Delta V（n）$ を以下の式により算出してもよい。

$$\Delta V（n）= H \cdot \Delta E（n）$$

ここで、H は比例定数であってもよい。充電電圧の設定値の変化量 $\Delta V（n）$ は、次の充電電圧の設定値をどのくらい変化させればよいかを示してもよい。レーザ制御部 1 9 は、次の充電電圧の設定値 V（n）を以下の式により算出してもよい。

$$V（n）= V（n）+ \Delta V（n）$$

[0107] 次に、S 2 0 7 において、レーザ制御部 1 9 は、充電器 1 2 と、第 n のトリガ補正部 2 2 n の処理部 2 5 と、に次の充電電圧の設定値 V（n）を送信してもよい。

[0108] 次に、S 2 0 8 において、レーザ制御部 1 9 は、目標パルスエネルギー E t（n）を変更するか否かを判定してもよい。目標パルスエネルギー E t（n）を変更する場合（S 2 0 8 ; Y E S）、レーザ制御部は、処理を上述の S 2 0 2 に戻してもよい。目標パルスエネルギー E t（n）を変更しない場

合（S 2 0 8 ; N O）、レーザ制御部は、処理を上述のS 2 0 3に戻してもよい。

[0109] 以上のようにして、レーザ制御部 1 9 は、充電電圧の設定値 $V(n)$ を算出してもよい。

[0110] 2. 8. 3 第 n のトリガ補正部の処理

図 1 0 は、図 4 に示される第 n のトリガ補正部の処理を示すフローチャートである。第 n のトリガ補正部 2 2 n は、以下の処理により、第 n の補正時間 $T_d(n)$ を構成する第 1 の補正要素 $T_{d0}(n)$ 及び第 2 の補正要素 $\Delta T_V(n)$ を算出してもよい。

[0111] まず、S 3 0 1 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、以下のように、いくつかの変数を初期値に設定してもよい。

$$J = 0$$

$$TR_{dmsum}(n) = 0$$

$$T_{d0}(n) = TR_{dt} - F(V_0(n))$$

ここで、 J は発振パルス数を数えるためのカウンタでもよい。 $TR_{dmsum}(n)$ は、タイマー 2 7 が第 n の遅延信号 $TR(n)$ を受信した時から、第 n の放電検出信号 $DS(n)$ を受信した時までの第 n の経過時間 $TR_{dm}(n)$ の平均値を算出するための、 $TR_{dm}(n)$ の合計値であってもよい。 $T_{d0}(n)$ は、第 1 の補正要素であって、 $TR_{dt} - F(V_0(n))$ は、上述した第 1 の補正要素の初期値であってもよい。

[0112] 次に、S 3 0 2 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、レーザ制御部 1 9 から、充電電圧の設定値 $V(n)$ を読出してもよい。

[0113] 次に、S 3 0 3 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、充電電圧の設定値 $V(n)$ に基づいて、第 2 の補正要素 $\Delta T_V(n)$ を以下の式により算出してもよい。

$$\Delta T_V(n) = F(V_0(n)) - F(V(n))$$

[0114] 次に、S 3 0 4 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、第 n の補正時間 $T_d(n)$ を以下の式により算出してもよい。

$$T d (n) = T d 0 (n) + \Delta T V (n)$$

ここで、 $T d 0 (n)$ は第1の補正要素であり、 $\Delta T V (n)$ は第2の補正要素であってもよい。

[0115] 次に、S 3 0 6において、第 n のトリガ補正部2 2 n は、第 n のレーザ装置2 n がレーザ発振したか否かを判定してもよい。第 n のレーザ装置2 n がレーザ発振したか否かは、放電センサ1 8からの放電検出信号 $D S (n)$ をタイマー2 7が受信したか否かによって判定されてもよい。第 n のレーザ装置2 n がレーザ発振した場合 (S 3 0 6 ; Y E S)、第 n のトリガ補正部2 2 n は、処理をS 3 0 7に進めてもよい。第 n のレーザ装置2 n がレーザ発振していない場合 (S 3 0 6 ; N O)、第 n のトリガ補正部2 2 n は、第 n のレーザ装置2 n がレーザ発振するまで待機してもよい。

[0116] S 3 0 7において、第 n のトリガ補正部2 2 n は、現在のカウンタ J の値に1を加算して J の値を更新してもよい。

[0117] 次に、S 3 0 8において、第 n のトリガ補正部2 2 n は、タイマー2 7が第 n の遅延信号 $T R (n)$ を受信した時から、第 n の放電検出信号 $D S (n)$ を受信した時までの第 n の経過時間 $T R d m (n)$ を、タイマー2 7から読出してもよい。

[0118] 次に、S 3 0 9において、第 n のトリガ補正部2 2 n は、以下の式により、 $T R d m (n)$ の合計値 $T R d m s u m (n)$ を更新してもよい。

$$T R d m s u m (n) = T R d m s u m (n) + T R d m (n)$$

[0119] 次に、S 3 1 2において、第 n のトリガ補正部2 2 n は、カウンタ J の値が所定のサンプル数 $J m a x$ に達したか否かを判定してもよい。カウンタ J の値が所定のサンプル数 $J m a x$ に達していない場合 (S 3 1 2 ; N O)、第 n のトリガ補正部2 2 n は、処理を上述のS 3 0 2に戻してもよい。カウンタ J の値が所定のサンプル数 $J m a x$ に達した場合 (S 3 1 2 ; Y E S)、第 n のトリガ補正部2 2 n は、処理をS 3 1 3に進めてもよい。

[0120] S 3 1 3において、第 n のトリガ補正部2 2 n は、 $T R d m (n)$ の平均値と、目標値 $T R d t$ との差 $\Delta T R d (n)$ を算出してもよい。差 $\Delta T R d$

(n) は、以下の式により算出されてもよい。

$$\begin{aligned}\Delta T R d (n) &= A V G (T R d m (n)) - T R d t \\ &= T R d m s u m (n) / J m a x - T R d t\end{aligned}$$

[0121] 次に、S 3 1 4 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、第 1 の補正要素 $T d 0 (n)$ を、以下の式により更新してもよい。

$$T d 0 (n) = T d 0 (n) - \Delta T R d (n)$$

[0122] 第 1 の補正要素 $T d 0 (n)$ を更新したら、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、処理を上述の S 3 0 2 に戻してもよい。

[0123] 以上のようにして、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、第 1 の補正要素 $T d 0 (n)$ 及び第 2 の補正要素 $\Delta T V (n)$ を更新しながら、第 n の補正時間 $T d (n)$ を算出してもよい。第 2 の補正要素 $\Delta T V (n)$ は、上述のように、1 回のパルス発振ごとに更新されてもよい。第 1 の補正要素 $T d 0 (n)$ は、上述のように、所定のサンプル数 $J m a x$ のパルス発振ごとに更新されてもよい。所定のサンプル数 $J m a x$ は、例えば 2 0 0 回～1 0 0 0 0 回であってもよい。このように、第 1 の補正要素 $T d 0 (n)$ の更新により第 n の補正時間 $T d (n)$ を設定する設定処理の頻度は、第 2 の補正要素 $\Delta T V (n)$ の更新により第 n の補正時間 $T d (n)$ を設定する設定処理の頻度より小さくてもよい。

[0124] 第 1 の実施形態によれば、第 n のトリガ補正部 2 2 n が、第 n の所要時間の変動に応じて第 n の補正時間 $T d (n)$ を補正することにより、第 n の経過時間 $T R d m (n)$ を目標値 $T R d t$ に近づけることができる。具体的には、充電器 1 2 の充電電圧に基づく補正時間の制御と、ドリフト変化による第 n の所要時間の変動に応じた補正時間の制御と、が可能となる。これにより、各レーザ装置の放電タイミングを安定化させ、光束化レーザ光のパルス波形を安定化し得る。

[0125] 光束化レーザ光のパルス波形の制御は、遅延回路部 2 4 が第 n の遅延時間 $T R d (n)$ を制御することにより実現されるので、第 n のトリガ補正部 2 2 n による制御とは別々に行うことができる。

[0126] また、第1の実施形態によれば、クロック生成器23が、第1～第5のトリガ補正部22(1)～22(5)と、遅延回路部24と、に共通のクロック信号を生成している。これにより、それぞれの遅延時間 $T_{Rd}(n)$ あるいは補正時間 $T_d(n)$ の相互の誤差を低減することができる。

なお、同期制御部22と各レーザ装置との配線が長い場合には、配線の長さを l とすると電気信号は l/c 遅れ得る。 c は光速でもよい。そこで、それぞれのスイッチ信号 $S(n)$ とそれぞれの放電センサのタイミング信号の電線の長さから信号の遅れ分を補正してもよい。また、配線の代わりに光ファイバによる通信を行ったとしても同様の遅れが発生し得るので、この補正を行ってもよい。

また、本実施形態では、光束化レーザ光のパルス波形の制御は、遅延回路部24が、第 n の遅延時間 $T_{Rd}(n)$ を制御することにより実現しているが、この実施形態に限定されることなく、以下の構成であってもよい。遅延回路部24の代わりに露光装置制御部40からのトリガ信号 TR を遅延することなく分配する分配器を配置し、各レーザ装置に対応するトリガ補正部22 n に、それぞれ、異なる目標値 $T_{Rdt}(n)$ を設定することによって、各レーザ装置から出力されるパルスレーザ光のタイミングを制御してもよい。

[0127] 上述の説明においては、レーザシステム制御部20、同期制御部22及び各レーザ装置のレーザ制御部19がレーザ装置の制御を行ったが、本開示はこれに限定されない。露光装置4に含まれる露光装置制御部40が、各種制御を行ってもよい。

[0128] 3. 増幅器を含むレーザシステム（第2の実施形態）

3.1 レーザ装置の構成

図11は、本開示の第2の実施形態に係るレーザシステムに含まれるレーザ装置の構成例を示す。レーザアニール装置1の全体的な構成は、図1と同様でよい。

[0129] 第2の実施形態において、例えば、第1のレーザ装置2aは、マスターオ

シレータMOと、増幅器PAと、を含んでもよい。第2～第5のレーザ装置2b～2eの構成も同様でもよい。

[0130] マスターオシレータMOは、レーザチャンバ10moと、一对の電極11a及び11bと、充電器12moと、パルスパワーモジュール13moと、を含んでもよい。マスターオシレータMOは、さらに、高反射ミラー14と、出力結合ミラー15と、放電センサ18moと、を含んでもよい。これらの構成及び機能は、図2を参照しながら説明したものと同様でよい。

[0131] 増幅器PAは、マスターオシレータMOから出力結合ミラー15を介して出力されたパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。増幅器PAは、マスターオシレータMOと同様に、レーザチャンバ10paと、一对の電極11a及び11bと、充電器12paと、パルスパワーモジュール13paと、放電センサ18paと、を含んでもよい。これらの構成は、マスターオシレータMOに含まれているものと同様でもよい。増幅器PAは、高反射ミラー14又は出力結合ミラー15を含まなくてもよい。増幅器PAのウィンドウ10aに入射したパルスレーザ光は、電極11aと電極11bとの間のレーザゲイン空間を1回通過して、ウィンドウ10bから出力されてもよい。

[0132] レーザ制御部19は、マスターオシレータMOの充電器12moの充電電圧の設定値と、増幅器PAの充電器12paの充電電圧の設定値と、を制御してもよい。これらの充電電圧を制御することにより、レーザ光のパルスエネルギーが制御されてもよい。

[0133] 3. 2 同期制御部の詳細

図12は、第2の実施形態における同期制御部及びその周辺の構成を示すブロック図である。図12においては、第1のトリガ補正部22aの構成を第nのトリガ補正部22nとして示し、第2～第5のトリガ補正部22b～22eについての説明を適宜省略するが、これらはいずれも同様であってよい。第2の実施形態において、第nのトリガ補正部22nは、第nのレーザ装置2nのマスターオシレータMOと増幅器PAとのそれぞれについてスイッチ信号のタイミングを設定してもよい。

[0134] 第 n のトリガ補正部22 n の遅延回路26は、第 n のレーザ装置2 n のマスターオシレータMOのパルスパワーモジュール13 m oに、第 n のスイッチ信号 $S(n)$ を出力してもよい。マスターオシレータMOに出力する第 n のスイッチ信号 $S(n)$ は、第1の実施形態において説明した第 n のスイッチ信号 $S(n)$ と同様でよい。第 n のトリガ補正部22 n の遅延回路26は、第 n のレーザ装置2 n の増幅器PAのパルスパワーモジュール13 p aに、マスターオシレータMOに出力する第 n のスイッチ信号 $S(n)$ とは別の第 n の増幅器スイッチ信号 $S_{pa}(n)$ を出力してもよい。増幅器PAに出力する第 n の増幅器スイッチ信号 $S_{pa}(n)$ は、第 n のトリガ補正部22 n が第 n の遅延信号 $TR(n)$ を受信した時から第 n の設定時間 $T_{dpa}(n)$ が経過したことを示す信号であってもよい。

[0135] 第 n のレーザ装置2 n において、レーザ制御部19は、レーザシステム制御部20から目標パルスエネルギーのデータを受信してもよい。レーザ制御部19は、目標パルスエネルギーのデータに基づいて、充電電圧の設定値を算出してもよい。レーザ制御部19は、充電電圧の設定値を、充電器12 m oと、充電器12 p aと、第 n のトリガ補正部22 n の処理部25と、に送信してもよい。ここでは、充電器12 m o及び充電器12 p aに送信される充電電圧の設定値は、同じ値である場合について説明するが、互いに異なる値であってもよい。充電器12 m o及び充電器12 p aは、充電電圧の設定値に従い、それぞれ、パルスパワーモジュール13 m o及び13 p aの中の充電コンデンサC0を充電してもよい。パルスパワーモジュール13 m o及び13 p aの各々は、図3を参照しながら説明した磁気圧縮回路を含んで構成されてもよい。

[0136] 第 n のレーザ装置2 n のパルスパワーモジュール13 m o及び13 p aは、それぞれ、遅延回路26から出力された第 n のスイッチ信号 $S(n)$ 及び第 n の増幅器スイッチ信号 $S_{pa}(n)$ を受信してもよい。パルスパワーモジュール13 m o及び13 p aのそれぞれのスイッチ13 a は、これらのスイッチ信号によって、OFFからONになってもよい。パルスパワーモジュ

ール 13 m o 及び 13 p a は、それぞれのスイッチ 13 a が OFF から ON になると、それぞれの充電コンデンサ C 0 に保持されていた電気エネルギーからそれぞれのパルス状の高電圧を生成してもよい。それぞれの放電電極 11 m o 及び 11 p a 間にそれぞれ高電圧が印加され得る。

[0137] マスターオシレータ M O の放電センサ 18 m o は、マスターオシレータ M O の放電電極 11 間に生成した放電を検出し、放電検出信号 D S (n) を出力してもよい。増幅器 P A の放電センサ 18 p a は、増幅器 P A の放電電極 11 間に生成した放電を検出し、増幅器放電検出信号 D S p a (n) を出力してもよい。マスターオシレータ M O からの放電検出信号 D S (n) 及び増幅器 P A からの増幅器放電検出信号 D S p a (n) は、タイマー 27 に入力されてもよい。

[0138] 第 n のトリガ補正部 22 n のタイマー 27 は、第 n の遅延信号 T R (n) を受信した時から、マスターオシレータ M O からの放電検出信号 D S (n) を受信した時までの第 n の経過時間 T R d m (n) を計測し、処理部 25 に送信してもよい。第 n のトリガ補正部 22 n のタイマー 27 は、マスターオシレータ M O からの放電検出信号 D S (n) を受信した時から、増幅器 P A からの増幅器放電検出信号 D S p a (n) を受信した時までのタイミング差 D m (n) を計測し、処理部 25 に送信してもよい。

[0139] 処理部 25 は、レーザ制御部 19 から送信された充電電圧の設定値と、タイマー 27 から送信された第 n の経過時間 T R d m (n) とに基づいて、マスターオシレータ M O に出力する第 n のスイッチ信号 S (n) の第 n の補正時間を設定してもよい。

処理部 25 は、タイマー 27 から送信されたタイミング差 D m (n) に基づいて、増幅器 P A に出力する第 n の増幅器スイッチ信号 S p a (n) の第 n の設定時間 T d p a (n) を設定してもよい。

[0140] 3. 3 タイミングチャート

図 13 は、第 2 の実施形態の第 n のトリガ補正部における具体的な補正方法を示すタイミングチャートである。

マスターオシレータMOに出力する第nのスイッチ信号S(n)の制御については、第1の実施形態において図7を参照しながら説明したものと同様でよい。

[0141] 増幅器PAに出力する第nの増幅器スイッチ信号S_{pa}(n)の第nの設定時間T_{d pa}(n)は、以下の式で算出されるものでもよい。

$$T_{d pa}(n) = T_d(n) + D(n)$$

ここで、T_d(n)は、マスターオシレータMOに出力する第nのスイッチ信号S(n)の第nの補正時間であってもよい。D(n)は、マスターオシレータMOと増幅器PAのスイッチ信号の時間差であってもよい。すなわち、D(n)は、マスターオシレータMOに出力する第nのスイッチ信号S(n)の出力タイミングから、増幅器PAに出力する第nの増幅器スイッチ信号S_{pa}(n)の出力タイミングまでの時間差であってもよい。

[0142] 第nのトリガ補正部22nのタイマー27は、マスターオシレータMOからの放電検出信号DS(n)を受信した時から、増幅器PAからの増幅器放電検出信号DS_{pa}(n)を受信した時までのタイミング差D_m(n)を、処理部25に出力してもよい。

[0143] 第nのトリガ補正部22nの処理部25は、タイマー27からタイミング差D_m(n)を受信した場合に、目標値D_t(n)との差ΔD(n)を算出してもよい。差ΔD(n)は、以下の式により算出されてもよい。

$$\Delta D(n) = AVG(D_m(n)) - D_t(n)$$

AVG(D_m(n))は、タイミング差D_m(n)を複数回にわたって計測した場合のタイミング差D_m(n)の平均値であってもよい。

タイミング差D_m(n)の目標値D_t(n)は、第1～第5のトリガ補正部22a～22eにおいて別々の値であってもよい。目標値D_t(n)は、増幅器PAにおける増幅効率が高くなるような値であってもよい。

[0144] こうして算出された差ΔD(n)に基づいて、マスターオシレータMOと増幅器PAのスイッチ信号の時間差D(n)が、以下の式により更新されてもよい。

$$D(n) = D(n) - \Delta D(n)$$

[0145] 以上のように、タイミング差 $D_m(n)$ と目標値 $D_t(n)$ との差 $\Delta D(n)$ に基づいて、マスターオシレータ MO と増幅器 PA のスイッチ信号の時間差 $D(n)$ を更新することにより、増幅器 PA に出力する第 n の増幅器スイッチ信号 $S_{pa}(n)$ のタイミング制御を精度よく行うことができる。

[0146] 3. 4 第 n のトリガ補正部の処理

図 1 4 A 及び図 1 4 B は、第 2 の実施形態における第 n のトリガ補正部の処理を示すフローチャートである。第 n のトリガ補正部 2 2 n は、以下の処理により、マスターオシレータ MO に出力する第 n のスイッチ信号 $S(n)$ の第 n の補正時間 $T_d(n)$ と、マスターオシレータ MO と増幅器 PA のスイッチ信号の時間差 $D(n)$ と、を算出してもよい。

[0147] まず、図 1 4 A に示されるように、S 3 0 1 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、以下のように、いくつかの変数を初期値に設定してもよい。

$$J = 0$$

$$TRdmsum(n) = 0$$

$$Td0(n) = TRdt - F(V0(n))$$

$$Dsum(n) = 0$$

$$D(n) = D_t(n)$$

ここで、 J と、 $TRdmsum(n)$ と、 $Td0(n)$ とは、第 1 の実施形態において説明したものと同様でよい。

$Dsum(n)$ は、タイマー 2 7 がマスターオシレータ MO からの放電検出信号 $DS(n)$ を受信した時から増幅器 PA からの増幅器放電検出信号 $D_{Spa}(n)$ を受信した時までのタイミング差 $D_m(n)$ の平均値を算出するための、タイミング差 $D_m(n)$ の合計値であってもよい。 $D(n)$ は、マスターオシレータ MO と増幅器 PA のスイッチ信号の時間差であってもよい。 $D_t(n)$ は、タイミング差 $D_m(n)$ の目標値であってもよい。

[0148] 次の S 3 0 2 及び S 3 0 3 の処理は、第 1 の実施形態におけるものと同様でよい。

次に、S 3 0 4 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、マスターオシレータ MO に出力する第 n のスイッチ信号 $S(n)$ の第 n の補正時間 $Td(n)$ を以下の式により算出してもよい。

$$Td(n) = Td0(n) + \Delta TV(n)$$

この処理も、第 1 の実施形態におけるものと同様でよい。

[0149] 次に、S 3 0 5 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、増幅器 PA に出力する第 n の増幅器スイッチ信号 $Spa(n)$ の第 n の設定時間 $Tdpa(n)$ を以下の式により算出してもよい。

$$Tdpa(n) = Td(n) + D(n)$$

[0150] 次に、S 3 0 6 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、第 n のレーザ装置 2 n がレーザ発振したか否かを判定してもよい。第 n のレーザ装置 2 n がレーザ発振した場合 (S 3 0 6 ; YES)、S 3 0 7 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、現在のカウンタ J の値に 1 を加算して J の値を更新してもよい。これらの処理は、第 1 の実施形態におけるものと同様でよい。

[0151] 次に、図 1 4 B に示されるように、S 3 0 8 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、タイマー 2 7 が第 n の遅延信号 $TR(n)$ を受信した時から、マスターオシレータ MO からの放電検出信号 $DS(n)$ を受信した時までの第 n の経過時間 $TRdm(n)$ を、タイマー 2 7 から読出してもよい。

次に、S 3 0 9 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、以下の式により、 $TRdm(n)$ の合計値 $TRdmsum(n)$ を更新してもよい。

$$TRdmsum(n) = TRdmsum(n) + TRdm(n)$$

これらの処理も、第 1 の実施形態におけるものと同様でよい。

[0152] 次に、S 3 1 0 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、タイマー 2 7 がマスターオシレータ MO からの放電検出信号 $DS(n)$ を受信した時から、増幅器 PA からの増幅器放電検出信号 $DSpa(n)$ を受信した時までのタイミング差 $Dm(n)$ を、タイマー 2 7 から読出してもよい。

次に、S 3 1 1 において、第 n のトリガ補正部 2 2 n は、以下の式により、タイミング差 $Dm(n)$ の合計値 $Dsum(n)$ を更新してもよい。

$$Dsum(n) = Dsum(n) + Dm(n)$$

[0153] 次に、S312において、第nのトリガ補正部22nは、カウンタJの値が所定のサンプル数Jmaxに達したか否かを判定してもよい。カウンタJの値が所定のサンプル数Jmaxに達していない場合(S312; NO)、第nのトリガ補正部22nは、処理を上述のS302に戻してもよい。カウンタJの値が所定のサンプル数Jmaxに達した場合(S312; YES)、第nのトリガ補正部22nは、処理をS313に進めてもよい。

S313及びその次のS314の処理は、第1の実施形態におけるものと同様でよい。

[0154] 次に、S315において、第nのトリガ補正部22nは、タイミング差Dm(n)の平均値と、目標値Dt(n)との差ΔD(n)を算出してもよい。差ΔD(n)は、以下の式により算出されてもよい。

$$\begin{aligned}\Delta D(n) &= AVG(Dm(n)) - Dt(n) \\ &= Dsum(n) / Jmax - Dt(n)\end{aligned}$$

[0155] 次に、S316において、第nのトリガ補正部22nは、マスターオシレータMOと増幅器PAのスイッチ信号の時間差D(n)を、以下の式により更新してもよい。

$$D(n) = D(n) - \Delta D(n)$$

[0156] マスターオシレータMOと増幅器PAのスイッチ信号の時間差D(n)を更新したら、第nのトリガ補正部22nは、処理を上述のS302に戻してもよい。

[0157] 以上のようにして、第nのトリガ補正部22nは、マスターオシレータMOに出力する第nのスイッチ信号S(n)の第nの補正時間Td(n)と、マスターオシレータMOと増幅器PAのスイッチ信号の時間差D(n)と、を算出してもよい。

[0158] 第2の実施形態によれば、レーザ装置がマスターオシレータMOと増幅器PAとを含む場合にも、適切なタイミング制御が可能となる。その結果、各レーザ装置の放電タイミングを安定化させ、光束化レーザ光のパルス波形を

安定化し得る。

他の点については、第 1 の実施形態と同様でよい。なお、1 つのレーザ装置が 1 つのマスタースレータ MO と 1 つの増幅器 PA とを含む場合に限らず、1 つのレーザ装置が 1 つのマスタースレータ MO と複数の増幅器 PA とを含んでもよい。

[0159] 4. 各レーザ装置がトリガ補正部を含むレーザシステム

4. 1 第 3 の実施形態

図 15 は、本開示の第 3 の実施形態に係るレーザシステムの構成を示すブロック図である。第 3 の実施形態において、第 1 ～第 5 のトリガ補正部 22 a ～22 e は、それぞれ第 1 ～第 5 のレーザ装置 2 a ～2 e に含まれていてもよい。レーザシステム 5 は、同期制御部 22 の代わりに、分配器 28 を含んでもよい。同期制御部 22 に含まれていたクロック生成器 23 の代わりに、第 1 ～第 5 のレーザ装置 2 a ～2 e にそれぞれクロック生成器 23 a ～23 e が含まれてもよい。但し、クロック生成器 23 c ～23 e については図示を省略している。同期制御部 22 に含まれていた遅延回路部 24 の代わりに、第 1 ～第 5 のレーザ装置 2 a ～2 e にそれぞれ遅延回路部 24 a ～24 e が含まれてもよい。但し、遅延回路部 24 c ～24 e については図示を省略している。

[0160] 第 1 ～第 5 のレーザ装置 2 a ～2 e にそれぞれ含まれる遅延回路部 24 a ～24 e は、第 1 ～第 5 の遅延信号 TR (1) ～TR (5) のそれぞれの遅延時間 TR d (1) ～TR d (5) のデータを、レーザシステム制御部 20 から受信してもよい。

分配器 28 は、レーザシステム制御部 20 からトリガ信号 TR を受信し、このトリガ信号 TR を、第 1 ～第 5 のレーザ装置 2 a ～2 e にそれぞれ含まれる遅延回路部 24 a ～24 e に送信してもよい。遅延回路部 24 a ～24 e は、それぞれ、第 1 ～第 5 の遅延信号 TR (1) ～TR (5) を生成し、第 1 ～第 5 のトリガ補正部 22 a ～22 e に送信してもよい。クロック生成器 23 a ～23 e は、それぞれ、第 1 ～第 5 のレーザ装置 2 a ～2 e におい

てクロック信号を生成してもよい。第1～第5のレーザ装置2 a～2 eの各々において、クロック信号はトリガ補正部と遅延回路部とに共通であってもよい。

他の点については第1の実施形態と同様でよい。

第3の実施形態では、トリガ補正部2 2 a～2 2 eと遅延回路部2 4 a～2 4 eとがそれぞれのレーザ装置に含まれているので、トリガ補正部2 2とパルスパワーモジュール1 3の間の配線の距離が短くなるので、配線の長さによる信号の遅れを抑制し得る。

なお、第3の実施形態では、トリガ補正部2 2 a～2 2 eと遅延回路部2 4 a～2 4 eとがそれぞれのレーザ装置に含まれている場合の例を示したがこの例に限定されることなく、たとえば、遅延回路部2 4 a～2 4 eをなくして、トリガ補正部2 2 a～2 2 eに、それぞれ、異なる目標値 $TRdt(n)$ を設定することによって、各レーザ装置から出力されるパルスレーザ光のタイミングを制御してもよい。

[0161] 4. 2 第4の実施形態

図1 6は、本開示の第4の実施形態に係るレーザシステムの構成を示すブロック図である。第4の実施形態において、第1～第5のトリガ補正部2 2 a～2 2 eは、それぞれ第1～第5のレーザ装置2 a～2 eに含まれていてもよい。レーザシステム5は、同期制御部2 2の代わりに、分配器2 8を含んでもよい。同期制御部2 2に含まれていたクロック生成器2 3の代わりに、第1～第5のレーザ装置2 a～2 eにそれぞれクロック生成器2 3 a～2 3 eが含まれてもよい。但し、クロック生成器2 3 b～2 3 eについては図示を省略している。同期制御部2 2に含まれていた遅延回路部2 4の代わりに、第1～第5のレーザ装置2 a～2 eにそれぞれ遅延回路部2 4 a～2 4 eが含まれてもよい。但し、遅延回路部2 4 b～2 4 eについては図示を省略している。

[0162] 第1～第5のレーザ装置2 a～2 eにそれぞれ含まれる遅延回路部2 4 a～2 4 eは、第1～第5の遅延信号 $TR(1) \sim TR(5)$ のそれぞれの遅

延時間 $TR_d(1) \sim TR_d(5)$ のデータを、レーザシステム制御部 20 から受信してもよい。

分配器 28 は、レーザシステム制御部 20 からトリガ信号 TR を受信し、このトリガ信号 TR を、第 1 ～ 第 5 のレーザ装置 2a ～ 2e にそれぞれ含まれる遅延回路部 24a ～ 24e に送信してもよい。遅延回路部 24a ～ 24e は、それぞれ、第 1 ～ 第 5 の遅延信号 $TR(1) \sim TR(5)$ を生成し、第 1 ～ 第 5 のトリガ補正部 22a ～ 22e に送信してもよい。クロック生成器 23a ～ 23e は、それぞれ、第 1 ～ 第 5 のレーザ装置 2a ～ 2e においてクロック信号を生成してもよい。第 1 ～ 第 5 のレーザ装置 2a ～ 2e の各々において、クロック信号はトリガ補正部と遅延回路部とに共通であってもよい。

他の点については第 2 の実施形態と同様でよい。

第 3 の実施形態と同様に第 4 の実施形態では、トリガ補正部 22a ～ 22e と遅延回路部 24a ～ 24e とがそれぞれのレーザ装置に含まれているので、トリガ補正部 22 とパルスパワーモジュール 13 の間の配線の距離が短くなるので、配線の長さによる信号の遅れを抑制し得る。

なお、第 4 の実施形態では、トリガ補正部 22a ～ 22e と遅延回路部 24a ～ 24e とがそれぞれのレーザ装置に含まれている場合の例を示したがこの例に限定されることなく、たとえば、遅延回路部 24a ～ 24e をなくして、トリガ補正部 22a ～ 22e に、それぞれ、異なる目標値 $TR_{dt}(n)$ を設定することによって、各レーザ装置から出力されるパルスレーザ光のタイミングを制御してもよい。

[0163] 5. パルス波形計測器を含むレーザシステム（第 5 の実施形態）

5. 1 構成

図 17 は、本開示の第 5 の実施形態に係るレーザシステム 5 を含むレーザアニール装置 1 の構成を概略的に示す。第 5 の実施形態において、レーザシステム 5 は、パルス波形計測器 6 と、シャッタ 36 と、を含んでもよい。

[0164] パルス波形計測器 6 は、第 1 ～ 第 5 のレーザ装置 2a ～ 2e の出力位置と

、光束化装置 3 との間の第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e の光路にまたがって配置されていてもよい。パルス波形計測器 6 に入射する第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e は、互いにほぼ平行であってもよい。

[0165] シャッタ 3 6 は、光束化装置 3 から出力された光束化レーザ光 2 1 の光路の近傍に配置されてもよい。シャッタ 3 6 は、遮蔽板 3 6 a と、アクチュエータ 3 6 b とを含んでもよい。アクチュエータ 3 6 b によって、光束化レーザ光 2 1 の光路に遮蔽板 3 6 a を移動させ、あるいは光束化レーザ光 2 1 の光路から遮蔽板 3 6 a を退避させることができてもよい。

他の点については、第 1 ～第 4 の実施形態と同様でよい。

[0166] 5. 2 パルス波形計測器

図 1 8 は、図 1 7 に示されるパルス波形計測器 6 の具体的構成を示す。

パルス波形計測器 6 は、ビームスプリッタ 6 1 と、集光光学系 6 3 と、光センサ 6 4 と、ビーム選択機構 6 7 と、を含んでもよい。

[0167] ビームスプリッタ 6 1 は、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e の光路に配置されていてもよい。ビームスプリッタ 6 1 は、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e を高い透過率で透過させるとともに、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e の各一部を反射してもよい。

[0168] ビーム選択機構 6 7 は、スリット板 6 8 と、移動機構 6 9 とを含んでもよい。ビーム選択機構 6 7 は、ビームスプリッタ 6 1 によって反射された第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e の光路に位置してもよい。移動機構 6 9 は、スリット板 6 8 が第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e の光路軸を横切るように、スリット板 6 8 を移動させてもよい。スリット板 6 8 には、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e のうちの 1 つのパルスレーザ光のみを通過させることのできる幅を有する隙間が形成されていてもよい。移動機構 6 9 を制御して、スリット板 6 8 の位置を調整することにより、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e のすべて又は第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 e に含まれる 1 つのパルスレーザ光を選択して、ビーム選択機構 6 7 を通過させ得る。

[0169] 集光光学系 63 は、ビーム選択機構 67 を通過した第 1～第 5 のパルスレーザ光 21 a～21 e の全体又は個々のパルスレーザ光を、光センサ 64 の受光面に集光し得る。

光センサ 64 は、集光光学系 63 の焦点面の位置に配置されてもよい。光センサ 64 は、高速応答のフォトダイオード又は光電管であってもよい。光センサ 64 は、集光光学系 63 によって集光された、第 1～第 5 のパルスレーザ光 21 a～21 e の全体又は個々のパルスレーザ光を受光してもよい。光センサ 64 は、第 1～第 5 のパルスレーザ光 21 a～21 e の全体又は個々のパルスレーザ光のパルス波形のデータ及びパルスの通過タイミングのデータをレーザシステム制御部 20 に出力してもよい。第 1～第 5 のパルスレーザ光 21 a～21 e の全体を計測することにより、そのデータは光束化レーザ光の計測データと同等に扱われてもよい。

[0170] 5. 3 制御動作

図 19 は、図 17 に示されるレーザシステム制御部 20 の処理を示すフローチャートである。以下の説明において、レーザシステム 5 に含まれる複数のレーザ装置の数を N_{max} とする。レーザシステム制御部 20 は、第 1～第 N_{max} のパルスレーザ光のそれぞれについてのパルスエネルギーとパルスの通過タイミングに基づいて、各パルスレーザ光の目標パルスエネルギー $E_t(n)$ 及び第 n の遅延時間 $T_{rd}(n)$ の補正を行ってもよい。また、レーザシステム制御部 20 は、第 1～第 N_{max} のパルスレーザ光全体のパルス波形に基づいて、各パルスレーザ光の目標パルスエネルギー $E_t(n)$ 及び第 n の遅延時間 $T_{rd}(n)$ の補正を行ってもよい。

[0171] まず、S101において、レーザシステム制御部 20 は、シャッタ 36 を閉じて露光装置 4 への光束化レーザ光 21 の出力を中止してもよい。

[0172] 次に、S102において、レーザシステム制御部 20 は、露光装置 4 の露光装置制御部 40 から、光束化レーザ光 21 の目標パルス波形のデータと、光束化レーザ光 21 の目標パルスエネルギーのデータとを受信してもよい。この点については、図 8 を参照しながら説明したものと同様でよい。

[0173] 次に、S 1 0 3において、レーザシステム制御部20は、第nのパルスレーザ光21nの各々について、目標パルスエネルギー $E_t(n)$ 及び第nの遅延時間 $T_{Rd}(n)$ を算出してもよい。この点についても、図8を参照しながら説明したものと同様でよい。

[0174] 次に、S 1 0 4において、レーザシステム制御部20は、nの値を1にセットしてもよい。

次に、S 1 0 5において、レーザシステム制御部20は、第nのパルスレーザ光21nの計測及び制御を行ってもよい。例えば、nの値が1である場合、第1のパルスレーザ光21aの計測及び制御が行われてもよい。S 1 0 5の処理の詳細については、図20を参照しながら後述する。

[0175] 次に、S 1 0 6において、レーザシステム制御部20は、nの値が N_{max} に達したか否かを判定してもよい。nの値が N_{max} に達していない場合（S 1 0 6 ; NO）、レーザシステム制御部20は、S 1 0 7において、nの値に1を加えてnの値を更新し、さらに、処理を上述のS 1 0 5に戻してもよい。nの値が N_{max} に達した場合（S 1 0 6 ; YES）、レーザシステム制御部20は、処理をS 1 0 8に進めてもよい。

[0176] S 1 0 8において、レーザシステム制御部20は、第1～第 N_{max} のパルスレーザ光全体のパルス波形を計測してもよい。S 1 0 8の処理の詳細については、図21を参照しながら後述する。

[0177] 次に、S 1 0 9において、レーザシステム制御部20は、第1～第 N_{max} のパルスレーザ光全体のパルス波形と、光束化レーザ光の目標パルス波形との差が許容範囲内か否かを判定してもよい。目標パルス波形との差が許容範囲内ではない場合（S 1 0 9 ; NO）、レーザシステム制御部20は、処理をS 1 1 0に進めてもよい。目標パルス波形との差が許容範囲内である場合（S 1 0 9 ; YES）、レーザシステム制御部20は、処理をS 1 1 2に進めてもよい。

[0178] S 1 1 0において、レーザシステム制御部20は、シャッタ36を閉じて露光装置4への光束化レーザ光21の出力を中止してもよい。すでにシャッ

タ 3 6 が閉じられている場合、S 1 1 0 の処理は実行されなくてもよい。次に、S 1 1 1 において、レーザシステム制御部 2 0 は、第 n のパルスレーザ光 2 1 n の各々について、目標パルスエネルギー $E_t(n)$ 及び第 n の遅延時間 $T_{Rd}(n)$ を補正してもよい。例えば、S 1 0 5 において計測された個々のパルスレーザ光のデータに基づいて、第 1 ～第 N_{max} のパルスレーザ光全体のパルス波形が目標パルス波形に近づくように、目標パルスエネルギー $E_t(n)$ 及び第 n の遅延時間 $T_{Rd}(n)$ を補正してもよい。S 1 1 1 の後、レーザシステム制御部 2 0 は、処理を上述の S 1 0 4 に戻して、個々のパルスレーザ光の計測及び制御をやり直してもよい。

[0179] S 1 1 2 において、レーザシステム制御部 2 0 は、シャッタ 3 6 を開いて、露光装置 4 への光束化レーザ光 2 1 の出力を開始してもよい。

次に、S 1 1 3 において、レーザシステム制御部 2 0 は、光束化レーザ光 2 1 の目標パルス波形と、光束化レーザ光 2 1 の目標パルスエネルギーを変更するか否かを判定してもよい。これらの値を変更する場合 (S 1 1 3 ; YES)、レーザシステム制御部 2 0 は、処理を上述の S 1 0 1 に戻してもよい。変更しない場合 (S 1 1 3 ; NO)、レーザシステム制御部 2 0 は、処理を S 1 1 4 に進めてもよい。

[0180] 次に、S 1 1 4 において、レーザシステム制御部 2 0 は、パルス波形の制御を停止するか否かを判定してもよい。パルス波形の制御を停止しない場合 (S 1 1 4 ; NO)、レーザシステム制御部 2 0 は、処理を上述の S 1 0 4 に戻してもよい。パルス波形の制御を停止する場合 (S 1 1 4 ; YES)、レーザシステム制御部 2 0 は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0181] 図 2 0 は、図 1 9 に示される第 n のパルスレーザ光を計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。図 2 0 に示される処理は、図 1 9 に示される S 1 0 5 のサブルーチンとして、レーザシステム制御部 2 0 によって行われてもよい。

[0182] まず、S 5 0 1 において、レーザシステム制御部 2 0 は、第 n のパルスレーザ光が選択されるように、パルス波形計測器 6 のビーム選択機構 6 7 を制

御してもよい。これにより、パルス波形計測器 6 が第 n のパルスレーザ光のパルス波形の計測を開始してもよい。

[0183] 次に、S 5 0 2 において、レーザシステム制御部 2 0 は、 k 個のパルスのパルス波形データを取得したか否かを判定してもよい。 k 個のパルスのパルス波形データの取得が完了していない場合 (S 5 0 2 ; N O)、レーザシステム制御部 2 0 は、取得が完了するまで待機してもよい。 k 個のパルスのパルス波形データの取得が完了した場合 (S 5 0 2 ; Y E S)、レーザシステム制御部 2 0 は、処理を S 5 0 3 に進めてもよい。 k は、第 n のパルスレーザ光の平均パルス波形を取得するための任意の定数である。

[0184] S 5 0 3 において、レーザシステム制御部 2 0 は、 k 個のパルス波形から、第 n のパルスレーザ光の平均パルス波形を取得してもよい。例えば、同一の時間における光強度の平均値を時間ごとに算出することにより、平均パルス波形が計算されてもよい。同一時間とは、たとえば、レーザ光のパルスが立ち上がる時間や、パルス波形のピークの時間を同じ時間として計算してもよい。

[0185] 次に、S 5 0 4 において、レーザシステム制御部 2 0 は、平均パルス波形を積分することにより、第 n のパルスレーザ光のパルスエネルギー $E_m(n)$ を算出してもよい。

次に、S 5 0 5 において、レーザシステム制御部 2 0 は、算出されたパルスエネルギー $E_m(n)$ とパルスエネルギーの目標値 $E_t(n)$ との差 $\Delta E_m(n)$ を、以下の式により算出してもよい。

$$\Delta E_m(n) = E_m(n) - E_t(n)$$

[0186] 次に、S 5 0 6 において、レーザシステム制御部 2 0 は、平均パルス波形のパルスタイミング $T(n)$ を算出してもよい。例えば、平均パルス波形のピークの半値となる 2 つのタイミングの平均値を、パルスタイミング $T(n)$ としてもよい。

[0187] 次に、S 5 0 7 において、レーザシステム制御部 2 0 は、 n の値が 2 以上であるか否かを判定してもよい。 n の値が 2 以上である場合 (S 5 0 7 ; Y

ES)、レーザシステム制御部20は、S508~S510の処理を行ってもよい。n=1である場合(S507; NO)、レーザシステム制御部20は、S508~S510をとばして、処理をS511に進めてもよい。

[0188] S508において、レーザシステム制御部20は、第1のパルスレーザ光21aのタイミングT(1)と第nのパルスレーザ光21nのタイミングT(n)との差 $\Delta T(n)$ を、以下の式により算出してもよい。

$$\Delta T(n) = T(n) - T(1)$$

[0189] S508の次に、S509において、レーザシステム制御部20は、第nのパルスレーザ光21nの第nの遅延時間TRd(n)の補正量 $\Delta\Delta T(n)$ を、以下の式により算出してもよい。

$$\Delta\Delta T(n) = TRd(n) - TRd(1) - \Delta T(n)$$

[0190] S509の次に、S510において、レーザシステム制御部20は、第nのパルスレーザ光21nの第nの遅延時間TRd(n)を以下の通り更新してもよい。

$$TRd(n) = TRd(n) + \Delta\Delta T(n)$$

S510の後、レーザシステム制御部20は、処理をS511に進めてもよい。

[0191] S511において、レーザシステム制御部20は、目標パルスエネルギーEt(n)を以下の通り更新してもよい。

$$Et(n) = Et(n) + \Delta Em(n)$$

S511の後、レーザシステム制御部20は、本フローチャートの処理を終了して、図19のS106に処理を移行してもよい。

[0192] 図21は、図19に示される第1~第Nmaxのパルスレーザ光全体のパルス波形を計測する処理の詳細を示すフローチャートである。図21に示される処理は、図19に示されるS108のサブルーチンとして、レーザシステム制御部20によって行われてもよい。

[0193] まず、S801において、レーザシステム制御部20は、第1~第Nmaxのパルスレーザ光がすべて選択されるように、パルス波形計測器6を制御

してもよい。これにより、パルス波形計測器 6 が第 1 ～第 N_{max} のパルスレーザ光全体のパルス波形の計測を開始してもよい。

[0194] 次に、S 8 0 2 において、レーザシステム制御部 2 0 は、 k 個のパルスのパルス波形データを取得したか否かを判定してもよい。 k 個のパルスのパルス波形データの取得が完了していない場合 (S 8 0 2 ; N O)、レーザシステム制御部 2 0 は、取得が完了するまで待機してもよい。 k 個のパルスのパルス波形データの取得が完了した場合 (S 8 0 2 ; Y E S)、レーザシステム制御部 2 0 は、処理を S 8 0 3 に進めてもよい。 k は、第 1 ～第 N_{max} のパルスレーザ光全体の平均パルス波形を取得するための任意の定数であり、S 5 0 2 で用いられた k と同じであってもよいし異なってもよい。

[0195] S 8 0 3 において、レーザシステム制御部 2 0 は、 k 個のパルス波形から、平均パルス波形を取得してもよい。例えば、同一の時間における光強度の平均値を時間ごとに算出することにより、平均パルス波形が計算されてもよい。同一時間とは、たとえば、レーザ光のパルスが立ち上がる時間や、パルス波形のピークの時間を同じ時間として計算してもよい。

[0196] 次に、S 8 0 4 において、レーザシステム制御部 2 0 は、平均パルス波形と目標パルス波形との差分の絶対値を積分してもよい。例えば、同一の時間における光強度の差分の絶対値を時間ごとに算出し、これらの絶対値の総和を算出することにより、積分値 S が計算されてもよい。

[0197] 次に、S 8 0 5 において、レーザシステム制御部 2 0 は、積分値 S が許容範囲内か否かを以下の式により判定してもよい。

$$S \leq S_0$$

S_0 は、許容範囲内か否かを判定するための閾値でよい。積分値 S が閾値 S_0 以下であれば、許容範囲内であると判定されてもよい。許容範囲内である場合 (S 8 0 5 ; Y E S)、レーザシステム制御部 2 0 は、処理を S 8 0 6 に進めてもよい。積分値 S が閾値 S_0 を超えている場合、許容範囲内ではないと判定されてもよい。許容範囲内ではない場合 (S 8 0 5 ; N O)、レーザシステム制御部 2 0 は、処理を S 8 0 7 に進めてもよい。

[0198] S 8 0 6 において、レーザシステム制御部 2 0 は、フラグ F を、許容範囲内であることを示す値 1 にセットしてもよい。

S 8 0 7 において、レーザシステム制御部 2 0 は、フラグ F を、許容範囲内ではないことを示す値 0 にセットしてもよい。

S 8 0 6 又は S 8 0 7 の後、レーザシステム制御部 2 0 は、本フローチャートの処理を終了して、図 1 9 の S 1 0 9 に処理を移行してもよい。上記のフラグ F の値は、図 1 9 に示される S 1 0 9 の判定において用いられてもよい。

[0199] 以上のようにして、レーザシステム制御部 2 0 は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のそれぞれについてのパルスエネルギーとパルスの通過タイミングに基づいて、各パルスレーザ光の目標パルスエネルギー $E_t(n)$ 及び第 n の遅延時間 $T_{Rd}(n)$ の補正を行ってもよい。また、レーザシステム制御部 2 0 は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光全体のパルス波形に基づいて、各パルスレーザ光の目標パルスエネルギー $E_t(n)$ 及び第 n の遅延時間 $T_{Rd}(n)$ の補正を行ってもよい。これにより、光束化レーザ光のパルス波形を高精度に制御し得る。

[0200] 第 5 の実施形態においては、パルス波形計測器 6 がビーム選択機構 6 7 を備える場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。例えば、第 n のパルスレーザ光 2 1 n だけを計測する場合に、第 n のレーザ装置 2 n だけをレーザ発振するようにしてもよい。

[0201] 6. その他

6. 1 光路長調節器

図 2 2 は、図 1 及び図 1 7 に示された光路長調節器の構成を概略的に示す。例えば、第 1 の光路長調節器 7 a は、第 1 のパルスレーザ光 2 1 a の光路を迂回させて、第 1 のパルスレーザ光 2 1 a の光路長を変更できる装置でもよい。

第 2 ～第 5 の光路長調節器 7 b ～7 e も、同様でよい。第 1 ～第 5 の光路長調節器 7 a ～7 e は、それぞれのレーザ装置からレーザシステム 5 の出口

までの光路長が略一致するようにそれぞれの光路長を調節してもよい。

[0202] 第1の光路長調節器7aは、直角プリズム711と、2枚の高反射ミラー712、713と、プレート714と、プレート715と、1軸ステージ716と、を含んでもよい。

直角プリズム711の直交する第1の面701と第2の面702には、高反射膜がコートされていてもよい。直角プリズム711は、ホルダー717に保持され、ホルダー717は、プレート714に固定されていてもよい。直角プリズム711は、第1のパルスレーザ光21aの光路に位置していてもよい。

[0203] 2枚の高反射ミラー712、713は、これらの反射面が直交するようにホルダー718に保持され、ホルダー718は、プレート715に固定されていてもよい。プレート715は、1軸ステージ716に固定されていてもよい。1軸ステージ716は、直角プリズム711の第1の面701によって反射された第1のパルスレーザ光21aの光路軸と平行に、2枚の高反射ミラー712、713を移動可能であってもよい。

[0204] 直角プリズム711の第1の面701によって反射された第1のパルスレーザ光21aは、2枚の高反射ミラー712、713によって反射され、直角プリズム711の第2の面702に入射してもよい。直角プリズム711の第2の面702に入射した第1のパルスレーザ光21aは、直角プリズム711の第1の面701に入射した第1のパルスレーザ光21aの光路軸のほぼ延長線上にあたる光路軸に沿って、直角プリズム711の第2の面702から出射してもよい。

[0205] レーザシステム制御部20は、1軸ステージ716のモータ719を駆動することにより、2枚の高反射ミラー712、713を移動させてもよい。2枚の高反射ミラー712、713を距離X移動させることにより、第1のパルスレーザ光21aの光路長を2X変化させてもよい。

[0206] 6. 2 平面鏡を用いた光束化装置

図23は、光束化装置の別の例を示す。なお、図23においては、露光装

置 4 にあるフライアイレンズ 4 2 1 も示しているが、露光装置 4 にある高反射ミラー 4 1 の図示は省略している。光束化装置 3 7 は、第 1 直角プリズム 3 7 1 と、第 2 直角プリズム 3 7 2 と、台形プリズム 3 7 3 とを含んでもよい。

[0207] 第 1 直角プリズム 3 7 1 は、紙面に平行な面である底面が直角三角形である三角柱形状に形成されてもよい。第 1 直角プリズム 3 7 1 の直角を成す 2 つの側面には、高反射膜がコートされてもよい。第 1 直角プリズム 3 7 1 の直角を成す 2 つの側面は、それぞれ第 1 反射面 3 7 1 a 及び第 2 反射面 3 7 1 b を構成し得る。

[0208] 第 1 直角プリズム 3 7 1 は、当該第 1 直角プリズム 3 7 1 の第 1 反射面 3 7 1 a が、台形プリズム 3 7 3 の後述する第 1 反射面 3 7 3 a と平行となるように配置されてもよい。第 1 直角プリズム 3 7 1 は、当該第 1 直角プリズム 3 7 1 の第 1 反射面 3 7 1 a が、第 1 のパルスレーザ光 2 1 a の光路軸と 45° の角度を成して交差するように配置されてもよい。第 1 直角プリズム 3 7 1 は、当該第 1 直角プリズム 3 7 1 の第 2 反射面 3 7 1 b が、第 2 のパルスレーザ光 2 1 b の光路軸と 45° の角度を成して交差するように配置されてもよい。

[0209] 第 2 直角プリズム 3 7 2 は、紙面に平行な面である底面が直角三角形である三角柱形状に形成されてもよい。第 2 直角プリズム 3 7 2 の直角を成す 2 つの側面には、高反射膜がコートされてもよい。第 2 直角プリズム 3 7 2 の直角を成す 2 つの側面は、それぞれ第 1 反射面 3 7 2 a 及び第 2 反射面 3 7 2 b を構成し得る。

[0210] 第 2 直角プリズム 3 7 2 は、当該第 2 直角プリズム 3 7 2 の第 1 反射面 3 7 2 a が、台形プリズム 3 7 3 の後述する第 2 反射面 3 7 3 b と平行となるように配置されてもよい。第 2 直角プリズム 3 7 2 は、当該第 2 直角プリズム 3 7 2 の第 1 反射面 3 7 2 a が、第 4 のパルスレーザ光 2 1 d の光路軸と 45° の角度を成して交差するように配置されてもよい。第 2 直角プリズム 3 7 2 は、当該第 2 直角プリズム 3 7 2 の第 2 反射面 3 7 2 b が、第 5 のパ

ルスレーザ光 2 1 e の光路軸と 45° の角度を成して交差するように配置されてもよい。

[0211] 台形プリズム 3 7 3 は、例えば合成石英やフッ化カルシウム等の紫外線を透過させる材料を用いて形成されてもよい。台形プリズム 3 7 3 は、紙面に平行な面である底面が四角形である四角柱形状に形成されてもよい。台形プリズム 3 7 3 の底面は、2つの脚の成す角度が直角である等脚台形状に形成されてもよい。台形プリズム 3 7 3 の対向する2側面であって、互いに平行でない2側面には、高反射膜がコートされてもよい。台形プリズム 3 7 3 の対向する2側面であって、互いに平行でない2側面は、それぞれ第1反射面 3 7 3 a 及び第2反射面 3 7 3 b を構成し得る。台形プリズム 3 7 3 の対向する2側面であって、互いに平行な2側面には、反射防止膜がコートされてもよい。台形プリズム 3 7 3 の対向する2側面であって、互いに平行な2側面は、第1照射面 3 7 3 c 及び第2照射面 3 7 3 d を構成し得る。

[0212] 台形プリズム 3 7 3 は、当該台形プリズム 3 7 3 の第2照射面 3 7 3 d が、第3のパルスレーザ光 2 1 c の光路軸と直交するように配置されてもよい。

[0213] 第1のレーザ装置 2 a から出力された第1のパルスレーザ光 2 1 a は、第1直角プリズム 3 7 1 の第1反射面 3 7 1 a で反射されてもよい。さらに、第1のパルスレーザ光 2 1 a は、台形プリズム 3 7 3 の第1反射面 3 7 3 a で反射され、フライアイレンズ 4 2 1 の入射側の面に垂直に入射してもよい。

[0214] 第2のレーザ装置 2 b から出力された第2のパルスレーザ光 2 1 b は、第1直角プリズム 3 7 1 の第2反射面 3 7 1 b で反射されてもよい。さらに、第2のパルスレーザ光 2 1 b は、台形プリズム 3 7 3 の第1反射面 3 7 3 a で反射され、フライアイレンズ 4 2 1 の入射側の面に垂直に入射してもよい。

[0215] 第3のレーザ装置 2 c から出力された第3のパルスレーザ光 2 1 c は、台形プリズム 3 7 3 の第2照射面 3 7 3 d に入射し、内部を直進してもよい。

台形プリズム 373 の内部を直進した第 3 のパルスレーザ光 21c は、第 1 照射面 373c から出射されて、フライアイレンズ 421 の入射側の面に垂直に入射してもよい。

[0216] 第 4 のレーザ装置 2d から出力された第 4 のパルスレーザ光 21d は、第 2 直角プリズム 372 の第 1 反射面 372a で反射されてもよい。さらに、第 4 のパルスレーザ光 21d は、台形プリズム 373 の第 2 反射面 373b で反射され、フライアイレンズ 421 の入射側の面に垂直に入射してもよい。

[0217] 第 5 のレーザ装置 2e から出力された第 5 のパルスレーザ光 21e は、第 2 直角プリズム 372 の第 2 反射面 372b で反射されてもよい。さらに、第 5 のパルスレーザ光 21e は、台形プリズム 373 の第 2 反射面 373b で反射され、フライアイレンズ 421 の入射側の面に垂直に入射してもよい。

[0218] このように、光束化装置 37 は、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 21a ～ 21e を、それらの光路軸が互いに平行となるようにして、光束化レーザ光 21 として出射させてもよい。そして、光束化装置 37 から出射した光束化レーザ光 21 はフライアイレンズ 421 に入射してもよい。すなわち、光束化装置 37 は、第 1 ～第 5 のパルスレーザ光 21a ～ 21e を重ね合わせなくてもよい。

[0219] このような光束化装置 37 を用いる場合には、図 18 を参照しながら説明したビーム選択機構 67 を含むパルス波形計測器 6 を、光束化装置 37 から出力された光束化レーザ光 21 の光路に配置してもよい。

[0220] 6. 3 制御部の構成

図 24 は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

上述した実施の形態におけるレーザシステム制御部 20、同期制御部 22 等の制御部は、コンピュータやプログラマブルコントローラ等汎用の制御機器によって構成されてもよい。例えば、以下のように構成されてもよい。

[0221] (構成)

制御部は、処理部１０００と、処理部１０００に接続される、ストレージメモリ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とによって構成されてもよい。また、処理部１０００は、ＣＰＵ１００１と、ＣＰＵ１００１に接続された、メモリ１００２と、タイマー１００３と、ＧＰＵ１００４とから構成されてもよい。

[0222] (動作)

処理部１０００は、ストレージメモリ１００５に記憶されたプログラムを読み出してもよい。また、処理部１０００は、読み出したプログラムを実行したり、プログラムの実行に従ってストレージメモリ１００５からデータを読み出したり、ストレージメモリ１００５にデータを記憶させたりしてもよい。

[0223] パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０は、パラレルＩ／Ｏポートを介して通信可能な機器１０２１～１０２ｘに接続されてもよい。パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０は、処理部１０００がプログラムを実行する過程で行うパラレルＩ／Ｏポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0224] シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、シリアルＩ／Ｏポートを介して通信可能な機器１０３１～１０３ｘに接続されてもよい。シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、処理部１０００がプログラムを実行する過程で行うシリアルＩ／Ｏポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0225] Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、アナログポートを介して通信可能な機器１０４１～１０４ｘに接続されてもよい。Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、処理部１０００がプログラムを実行する過程で行うアナログポートを介した、アナログ信号による通信を制御してもよい。

[0226] ユーザインターフェイス１０１０は、オペレータが処理部１０００によるプログラムの実行過程を表示したり、オペレータによるプログラム実行の中止や割り込み処理を処理部１０００に行わせたりするよう構成されてもよい。

。

[0227] 処理部1000のCPU1001はプログラムの演算処理を行ってもよい。メモリ1002は、CPU1001がプログラムを実行する過程で、プログラムの一時記憶や、演算過程でのデータの一時記憶を行ってもよい。タイマー1003は、時刻や経過時間を計測し、プログラムの実行に従ってCPU1001に時刻や経過時間を出力してもよい。GPU1004は、処理部1000に画像データが入力された際、プログラムの実行に従って画像データを処理し、その結果をCPU1001に出力してもよい。

[0228] パラレルI/Oコントローラ1020に接続される、パラレルI/Oポートを介して通信可能な機器1021～102xは、第1～第5のレーザ装置2a～2e、露光装置制御部40、他の制御部等の発振トリガ信号やタイミングを示す信号の受送信に使用してもよい。

シリアルI/Oコントローラ1030に接続される、シリアルI/Oポートを介して通信可能な機器1031～103xは、第1～第5のレーザ装置2a～2e、露光装置制御部40、他の制御部等のデータの受送信に使用してもよい。A/D、D/Aコンバータ1040に接続される、アナログポートを介して通信可能な機器1041～104xは、パルス波形計測器6や、パルスエネルギー計測部17等の各種センサであってもよい。

以上のように構成されることで、制御部は各実施形態に示された動作を実現可能であってよい。

[0229] 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。

[0230] 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修飾句「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]

トリガ信号を受信し、前記トリガ信号を受信した時から第1の遅延時間が経過したことを示す第1の遅延信号と、前記トリガ信号を受信した時から第2の遅延時間が経過したことを示す第2の遅延信号と、を出力する遅延回路部と、

前記第1の遅延信号を受信し、前記第1の遅延信号を受信した時から第1の補正時間が経過したことを示す第1のスイッチ信号を出力する第1のトリガ補正部と、

前記第2の遅延信号を受信し、前記第2の遅延信号を受信した時から第2の補正時間が経過したことを示す第2のスイッチ信号を出力する第2のトリガ補正部と、

第1のレーザ装置であって、第1のコンデンサと、前記第1のコンデンサに電圧を印加する第1の充電器と、前記第1のスイッチ信号を受信して前記第1のコンデンサから電流パルスを生成させる第1のスイッチと、前記第1のコンデンサからの電流パルスを圧縮する第1の磁気圧縮回路と、レーザガスを含む第1のチャンバと、前記第1のチャンバ内に配置され、前記第1の磁気圧縮回路に接続された第1の一对の放電電極と、前記第1の一对の放電電極間での放電を検出して第1の放電検出信号を出力する第1の放電タイミング検出器と、を含む前記第1のレーザ装置と、

第2のレーザ装置であって、第2のコンデンサと、前記第2のコンデンサに電圧を印加する第2の充電器と、前記第2のスイッチ信号を受信して前記第2のコンデンサから電流パルスを生成させる第2のスイッチと、前記第2のコンデンサからの電流パルスを圧縮する第2の磁気圧縮回路と、レーザガスを含む第2のチャンバと、前記第2のチャンバ内に配置され、前記第2の磁気圧縮回路に接続された第2の一对の放電電極と、前記第2の一对の放電電極間での放電を検出して第2の放電検出信号を出力する第2の放電タイミング検出器と、を含む

前記第2のレーザ装置と、

前記遅延回路部と、前記第1のトリガ補正部と、前記第2のトリガ補正部と、に共通のクロック信号を生成するクロック生成器と、を備え、

前記第1のトリガ補正部は、前記第1の放電検出信号を受信し、前記第1の遅延信号を受信してから前記第1の放電検出信号を受信するまでの第1の経過時間が第1の目標値に近づくように前記第1の補正時間を設定し、

前記第2のトリガ補正部は、前記第2の放電検出信号を受信し、前記第2の遅延信号を受信してから前記第2の放電検出信号を受信するまでの第2の経過時間が第2の目標値に近づくように前記第2の補正時間を設定する、

レーザシステム。

[請求項2]

前記第1のトリガ補正部は、

前記第1の充電器により前記第1のコンデンサに印加される電圧の設定値をさらに受信し、

前記電圧の設定値に基づいて前記第1の補正時間を設定する第1の設定処理と、

前記第1の経過時間に基づいて前記第1の補正時間を設定する第2の設定処理と、を行う、

請求項1記載のレーザシステム。

[請求項3]

前記第1のトリガ補正部は、

前記第1の設定処理を、第1の頻度で行い、

前記第2の設定処理を、前記第1の頻度より小さい第2の頻度で行う、

請求項2記載のレーザシステム。

[請求項4]

前記第1のレーザ装置は、前記第1のスイッチ信号を受信して第1のパルスレーザ光を生成する第1の発振器と、前記第1のパルスレー

ザ光を増幅して出力する第1の増幅器と、を含み、

前記第2のレーザ装置は、前記第2のスイッチ信号を受信して第2のパルスレーザ光を生成する第2の発振器と、前記第2のパルスレーザ光を増幅して出力する第2の増幅器と、を含む、
請求項1記載のレーザシステム。

[請求項5] 前記第1のトリガ補正部は、前記第1の遅延信号を受信した時から第1の設定時間が経過したことを示す第1の増幅器スイッチ信号をさらに出力し、

前記第1の発振器は、前記第1のコンデンサと、前記第1の充電器と、前記第1のスイッチと、前記第1の磁気圧縮回路と、前記第1のチャンバと、前記第1の一对の放電電極と、前記第1の放電タイミング検出器と、を含み、

前記第1の増幅器は、第3のコンデンサと、前記第3のコンデンサに電圧を印加する第3の充電器と、前記第1の増幅器スイッチ信号を受信して前記第3のコンデンサから電流パルスを生成させる第3のスイッチと、前記第3のコンデンサからの電流パルスを圧縮する第3の磁気圧縮回路と、レーザガスを含む第3のチャンバと、前記第3のチャンバ内に配置され、前記第3の磁気圧縮回路に接続された第3の一对の放電電極と、前記第3の一对の放電電極間での放電を検出して第1の増幅器放電検出信号を出力する第3の放電タイミング検出器と、を含み、

前記第1のトリガ補正部は、前記第1の放電検出信号と前記第1の増幅器放電検出信号とを受信し、前記第1の放電検出信号を受信してから前記第1の増幅器放電検出信号を受信するまでのタイミング差が第3の目標値に近づくように前記第1の設定時間を設定する、
請求項4記載のレーザシステム。

[請求項6] 第1のレーザ装置であって、
トリガ信号を受信し、前記トリガ信号を受信した時から第1の遅延時

間が経過したことを示す第1の遅延信号を出力する第1の遅延回路部と、

前記第1の遅延信号を受信し、前記第1の遅延信号を受信した時から第1の補正時間が経過したことを示す第1のスイッチ信号を出力する第1のトリガ補正部と、

前記第1の遅延回路部と、前記第1のトリガ補正部と、に共通のクロック信号を生成する第1のクロック生成器と、

第1のコンデンサと、前記第1のコンデンサに電圧を印加する第1の充電器と、前記第1のスイッチ信号を受信して前記第1のコンデンサから電流パルスを生成させる第1のスイッチと、前記第1のコンデンサからの電流パルスを圧縮する第1の磁気圧縮回路と、レーザガスを含む第1のチャンバと、前記第1のチャンバ内に配置され、前記第1の磁気圧縮回路に接続された第1の一对の放電電極と、前記第1の一对の放電電極間での放電を検出して第1の放電検出信号を出力する第1の放電タイミング検出器と、

を含む前記第1のレーザ装置と、

第2のレーザ装置であって、

前記トリガ信号を受信し、前記トリガ信号を受信した時から第2の遅延時間が経過したことを示す第2の遅延信号を出力する第2の遅延回路部と、

前記第2の遅延信号を受信し、前記第2の遅延信号を受信した時から第2の補正時間が経過したことを示す第2のスイッチ信号を出力する第2のトリガ補正部と、

前記第2の遅延回路部と、前記第2のトリガ補正部と、に共通のクロック信号を生成する第2のクロック生成器と、

第2のコンデンサと、前記第2のコンデンサに電圧を印加する第2の充電器と、前記第2のスイッチ信号を受信して前記第2のコンデンサから電流パルスを生成させる第2のスイッチと、前記第2のコンデン

サからの電流パルスを圧縮する第2の磁気圧縮回路と、レーザガスを含む第2のチャンバと、前記第2のチャンバ内に配置され、前記第2の磁気圧縮回路に接続された第2の一对の放電電極と、前記第2の一对の放電電極間での放電を検出して第2の放電検出信号を出力する第2の放電タイミング検出器と、
を含む前記第2のレーザ装置と、
を備え、

前記第1のトリガ補正部は、前記第1の放電検出信号を受信し、前記第1の遅延信号を受信してから前記第1の放電検出信号を受信するまでの第1の経過時間が第1の目標値に近づくように前記第1の補正時間を設定し、

前記第2のトリガ補正部は、前記第2の放電検出信号を受信し、前記第2の遅延信号を受信してから前記第2の放電検出信号を受信するまでの第2の経過時間が第2の目標値に近づくように前記第2の補正時間を設定する、
レーザシステム。

[請求項7] 前記第1のレーザ装置から出力されたパルスレーザ光と前記第2のレーザ装置から出力されたパルスレーザ光とを束ねて、光束化レーザ光を出射する光束化装置と、

前記光束化レーザ光のパルス波形を計測するパルス波形計測器と、
をさらに備える、

請求項1記載のレーザシステム。

[請求項8] 前記遅延回路部は、前記パルス波形計測器によって計測されたパルス波形に基づいて、前記第1の遅延時間及び前記第2の遅延時間を設定する、

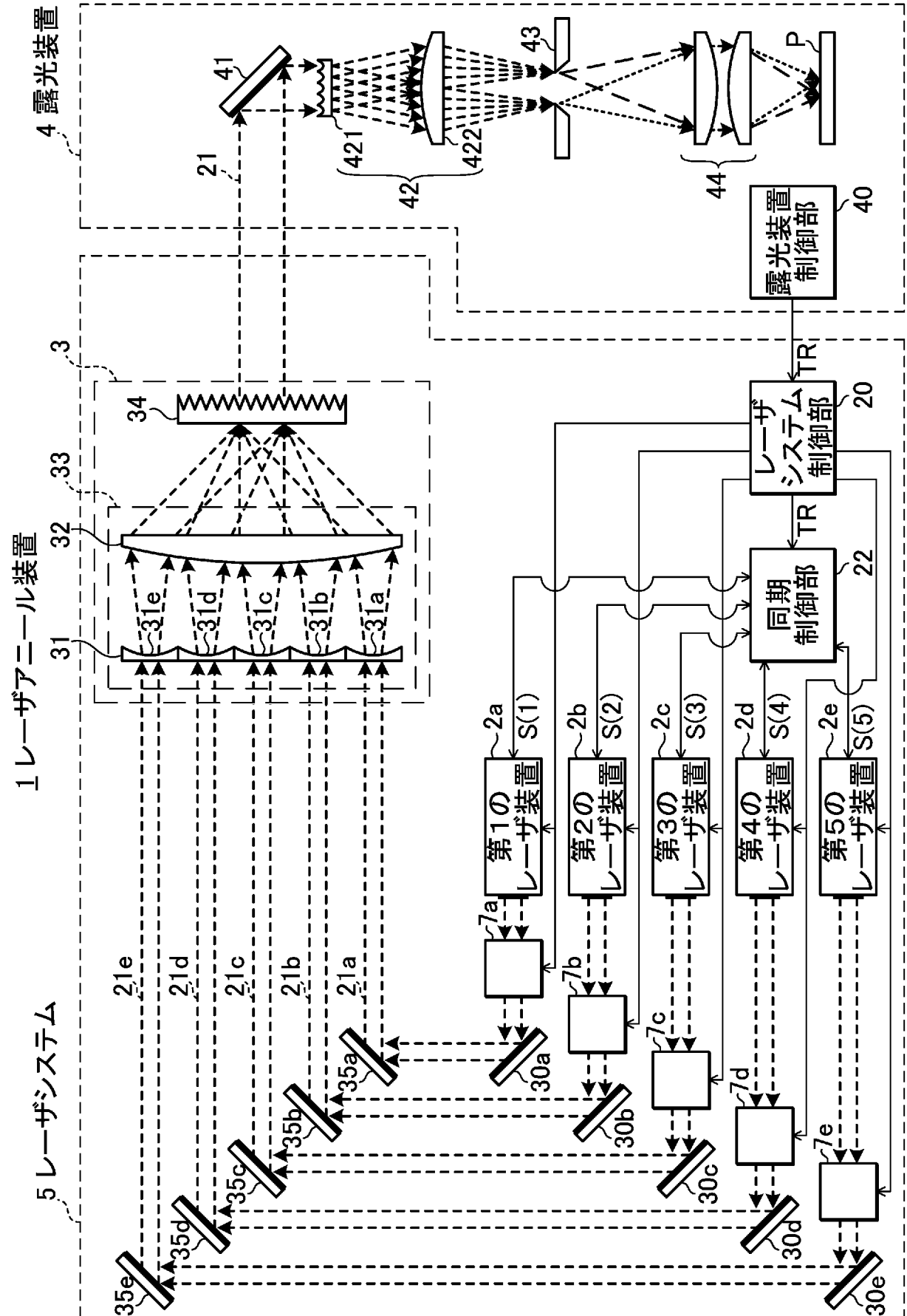
請求項7記載のレーザシステム。

[請求項9] 前記第1のレーザ装置の出力位置から前記光束化装置の出射位置までの第1の光路長と、前記第2のレーザ装置の出力位置から前記光束

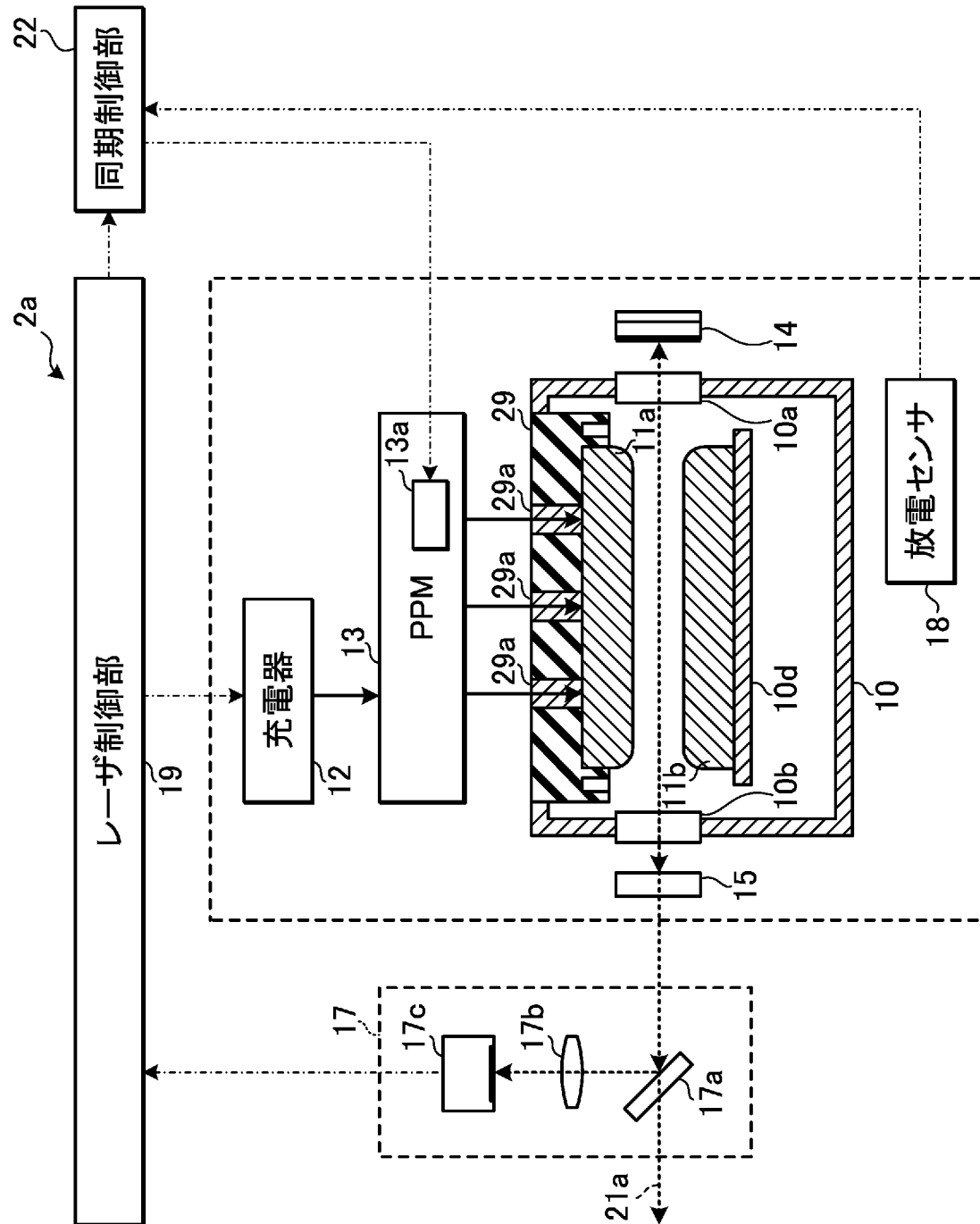
化装置の出射位置までの第2の光路長との差が小さくなるように前記第1の光路長と前記第2の光路長とを調節する光路長調節器をさらに備え、

前記第1の目標値と前記第2の目標値とが実質的に等しい、
請求項8記載のレーザシステム。

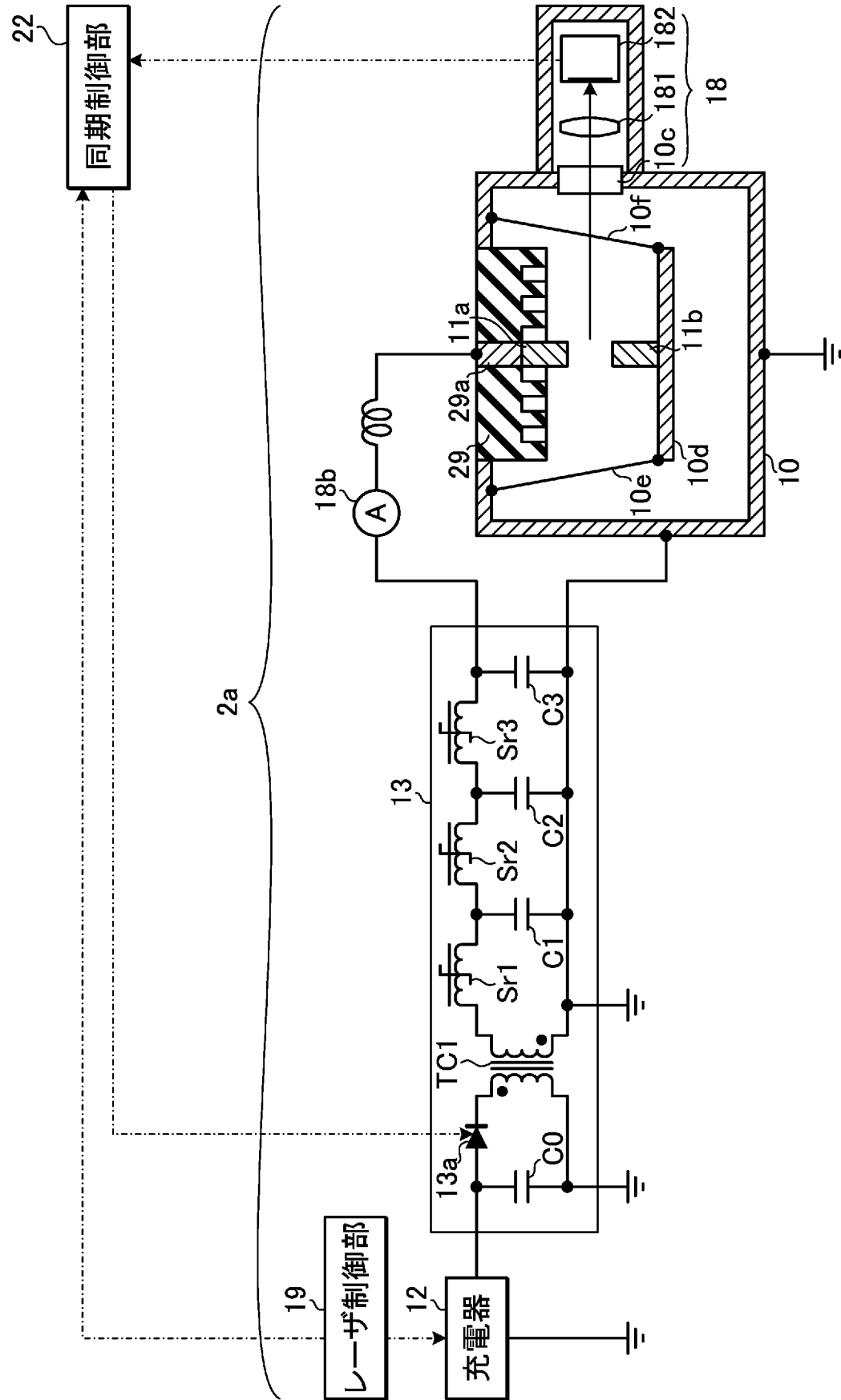
[図1]



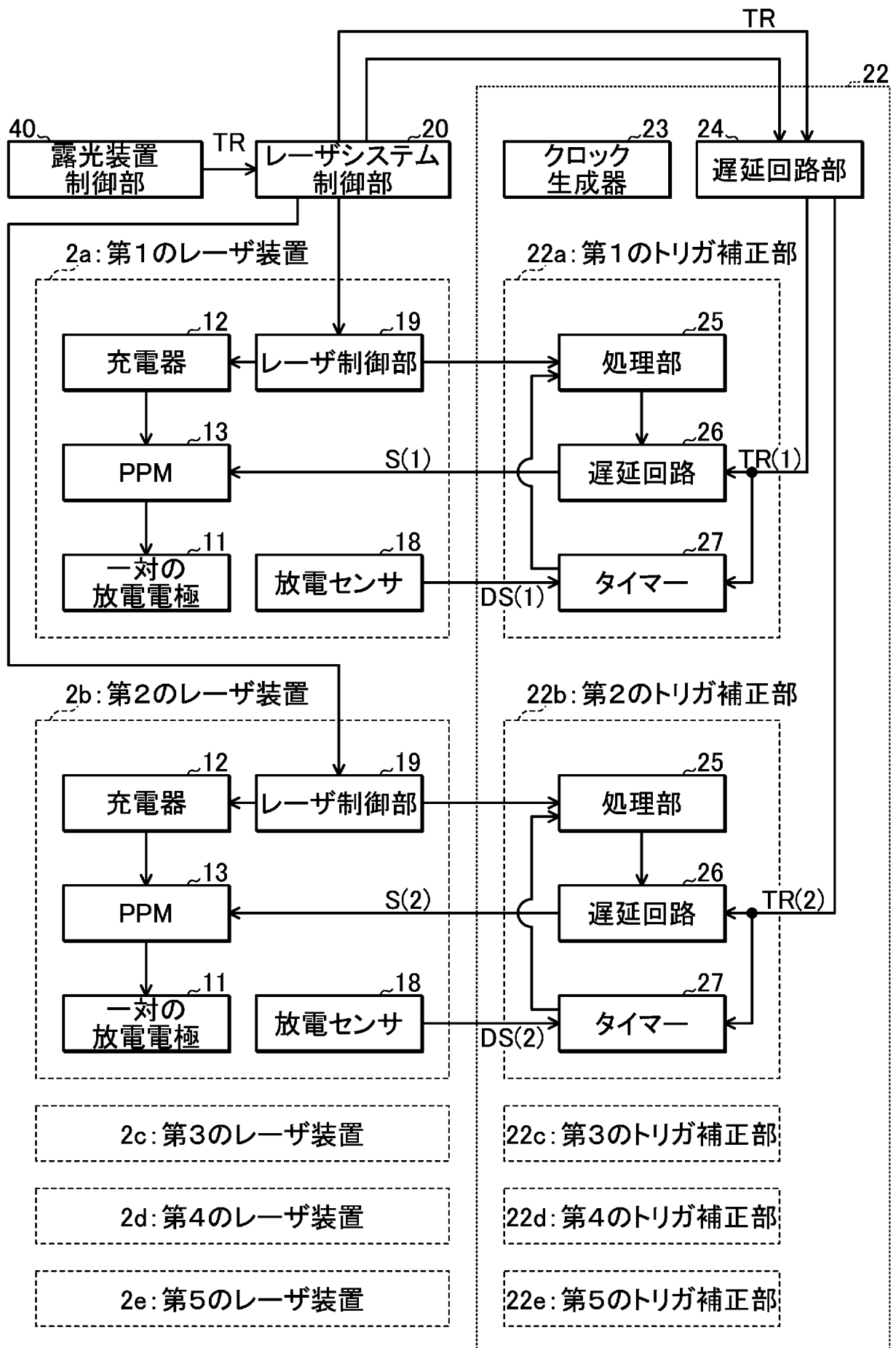
[図2]



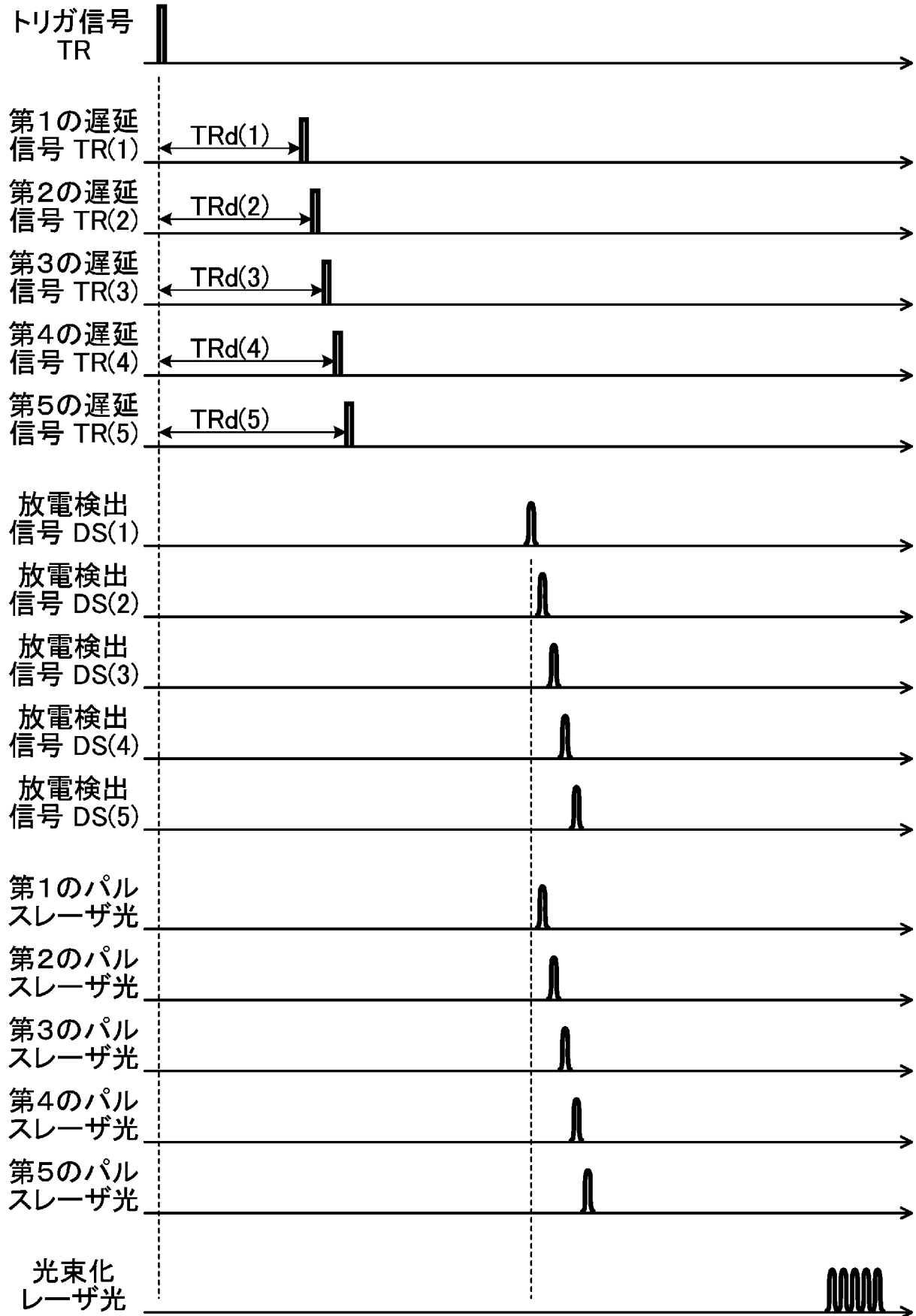
[図3]



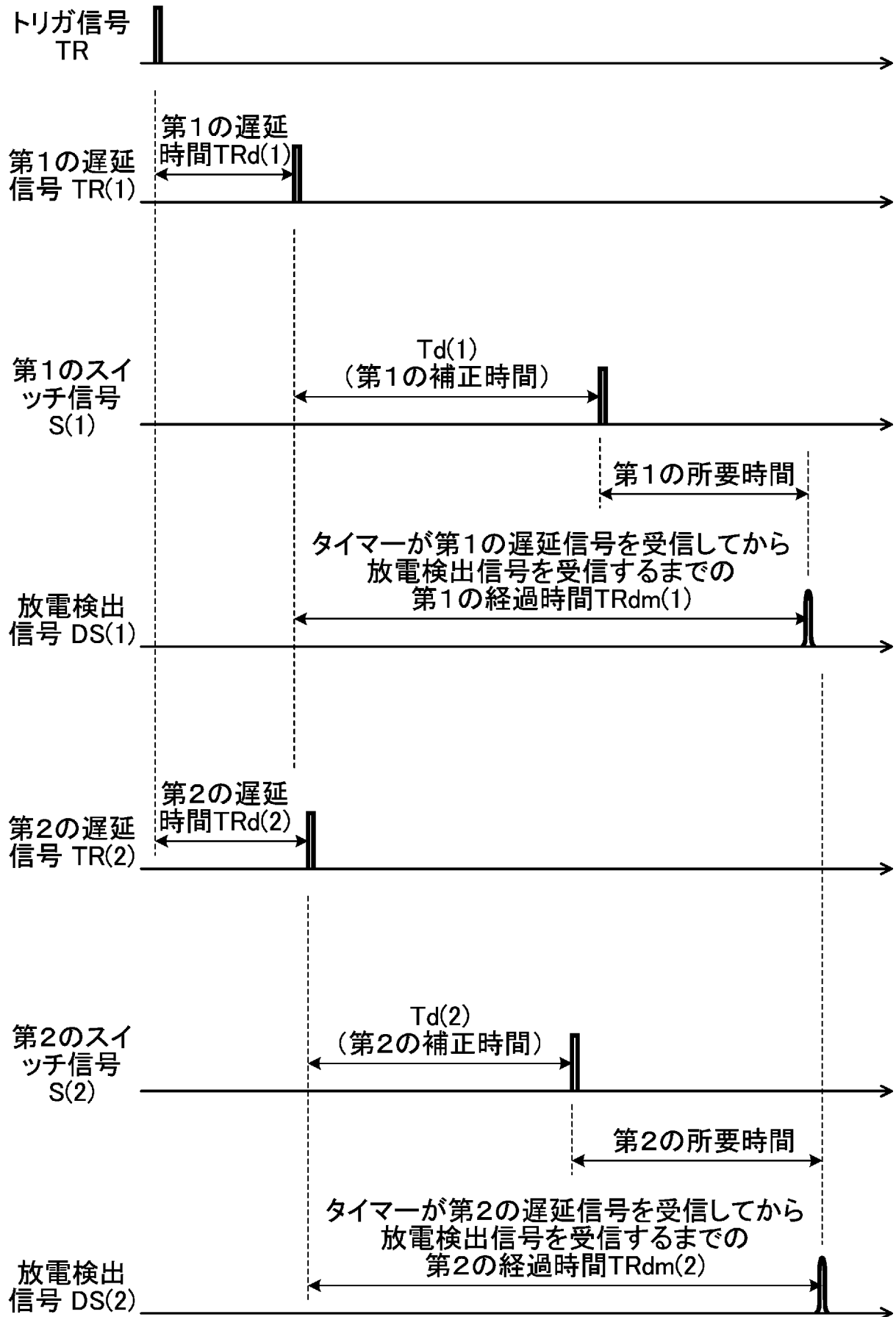
[図4]



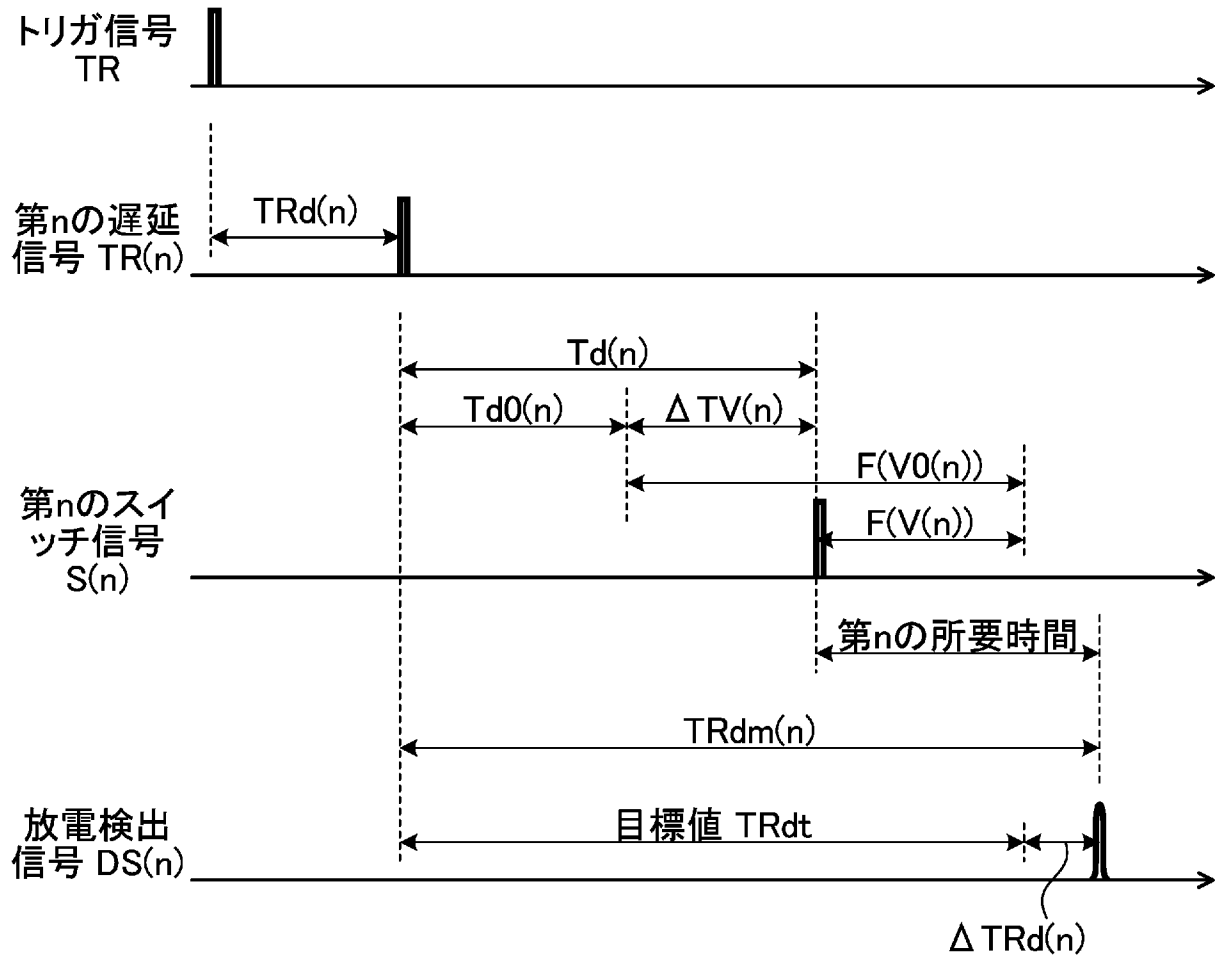
[図5]



[図6]



[図7]

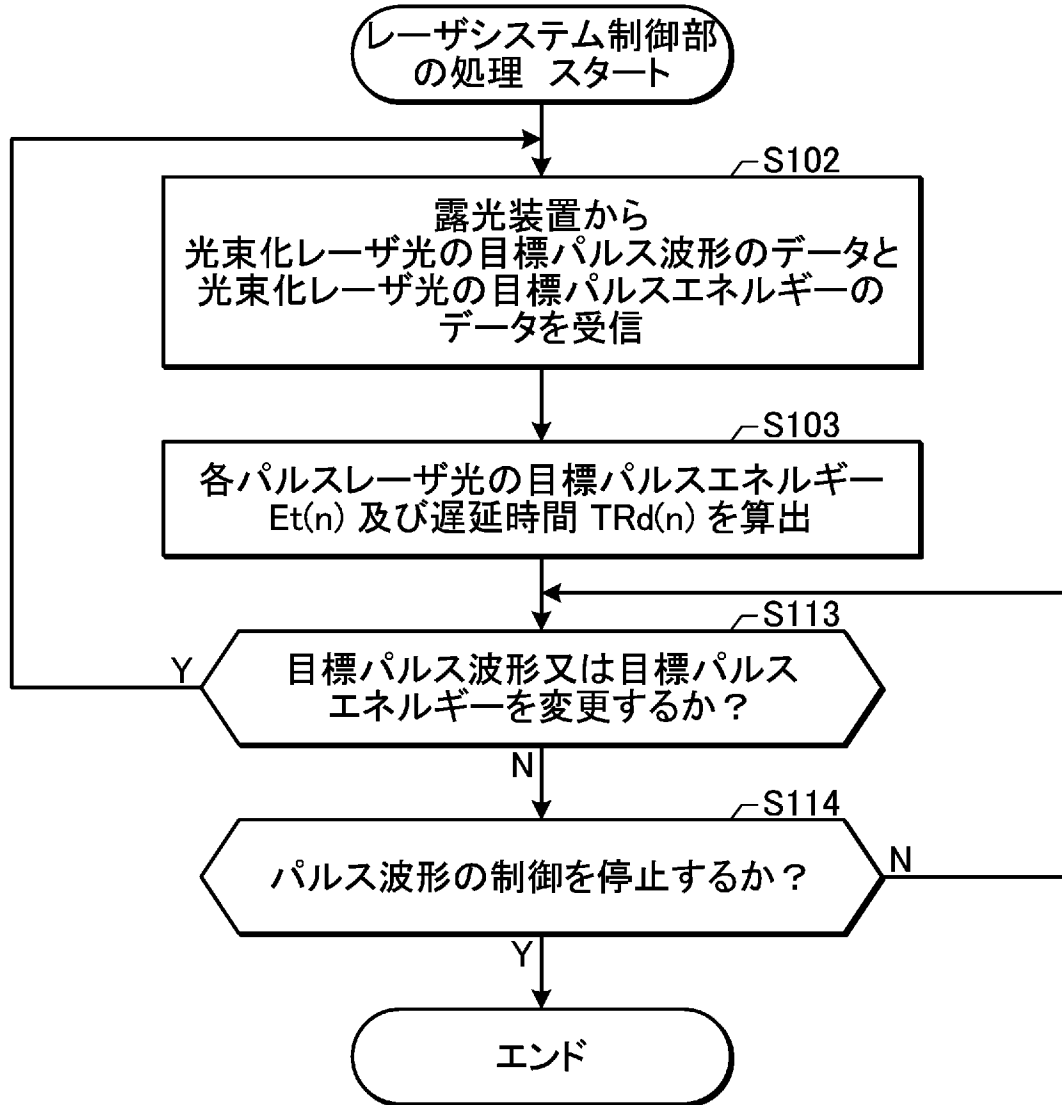


$$Td0(n) \text{の初期値} \\ = TRdt - F(V0(n))$$

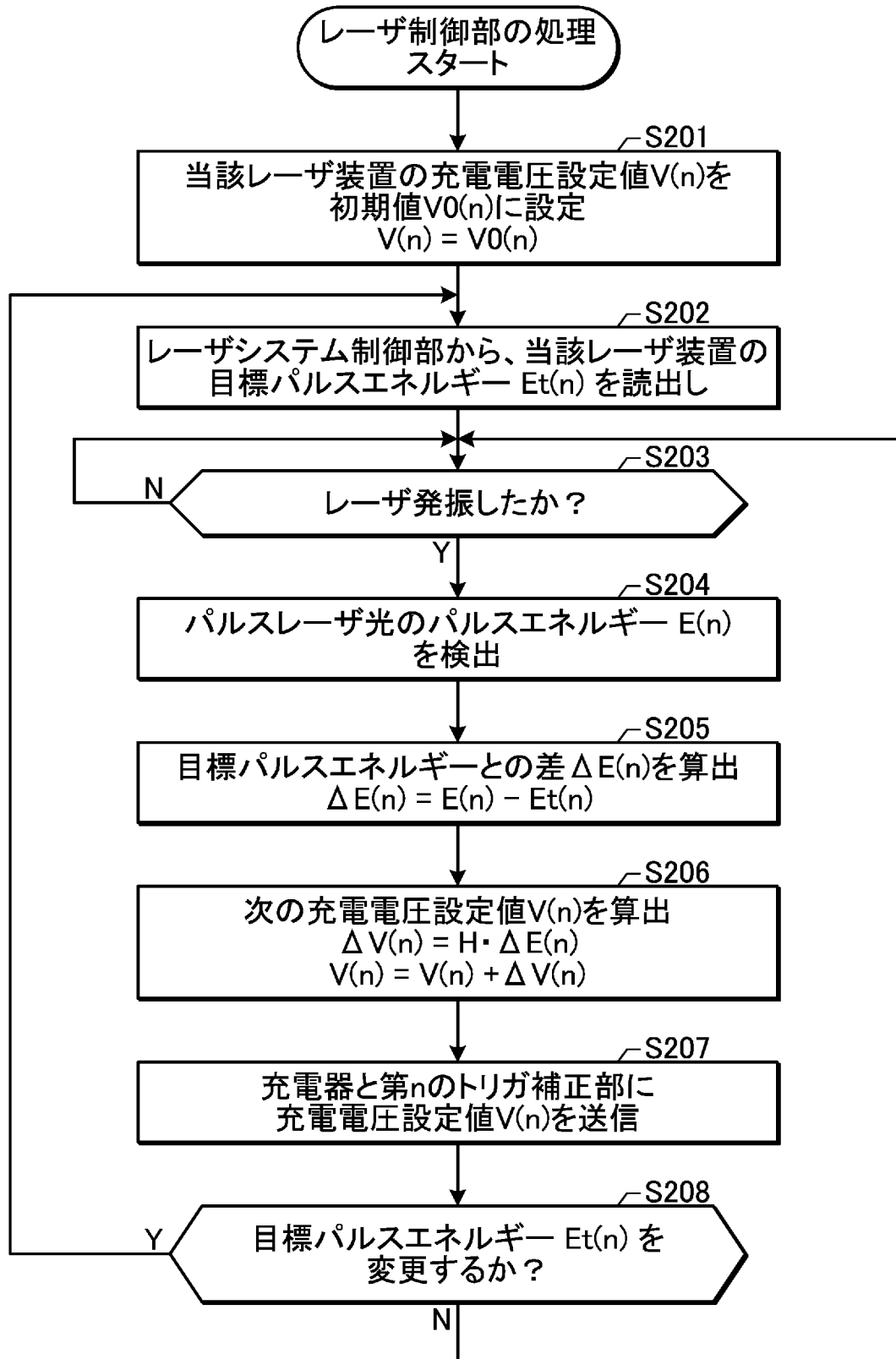
$$\begin{aligned} & \text{(充電電圧による補正)} \\ & \Delta TV(n) \\ & = F(V0(n)) - F(V(n)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{(目標値との差による補正)} \\ & Td0(n) \\ & = Td0(n) - \Delta TRd(n) \end{aligned}$$

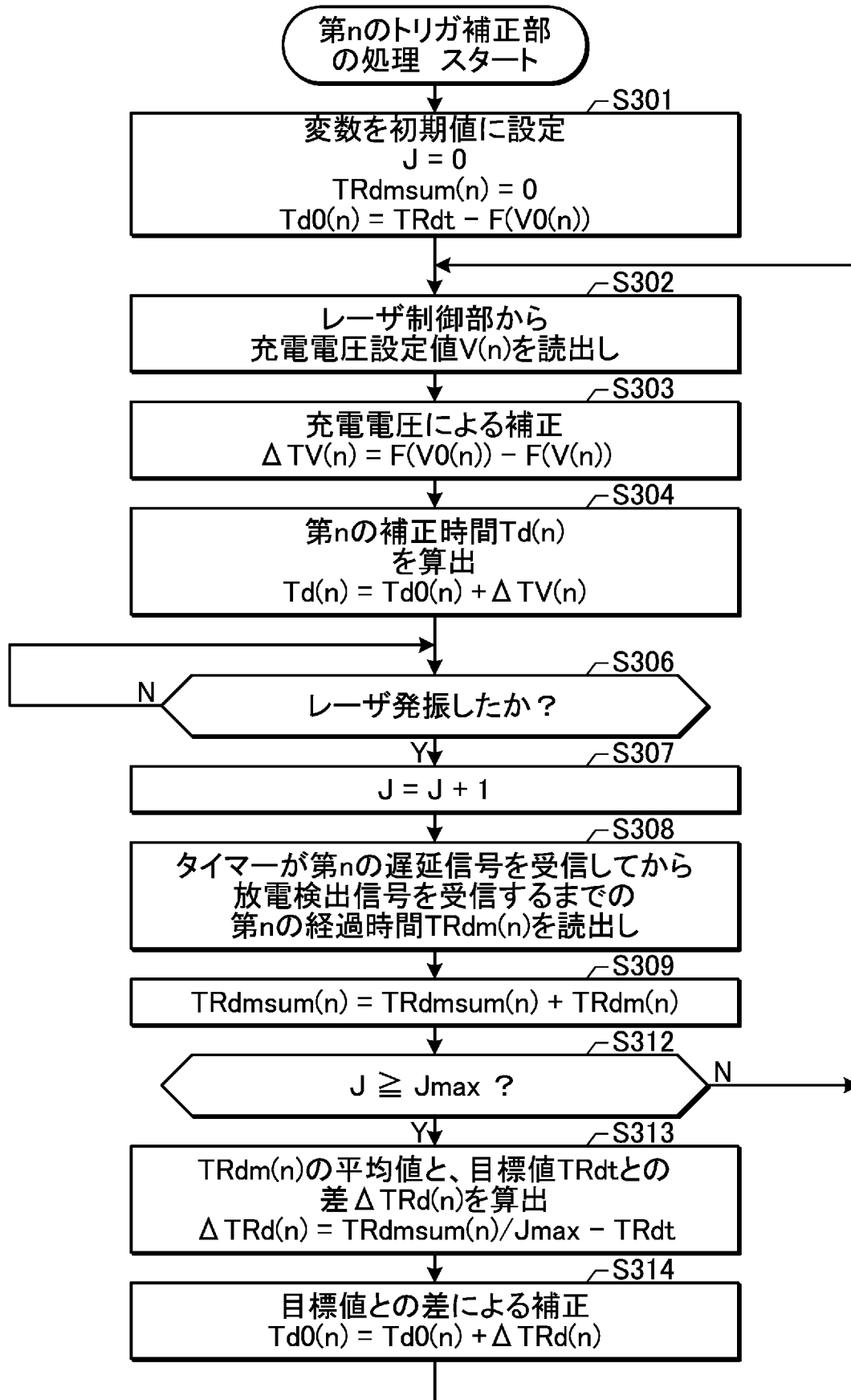
[図8]



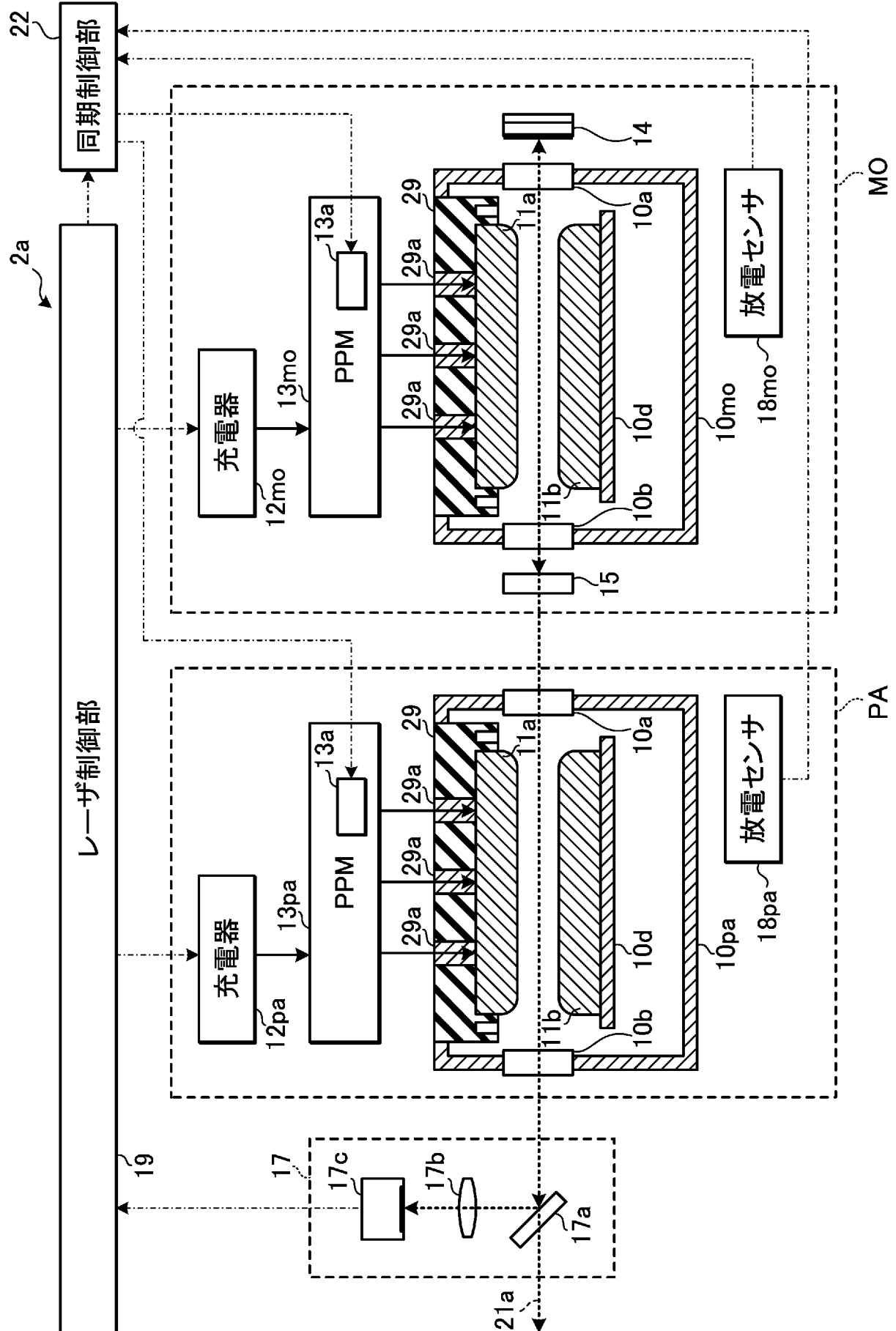
[図9]

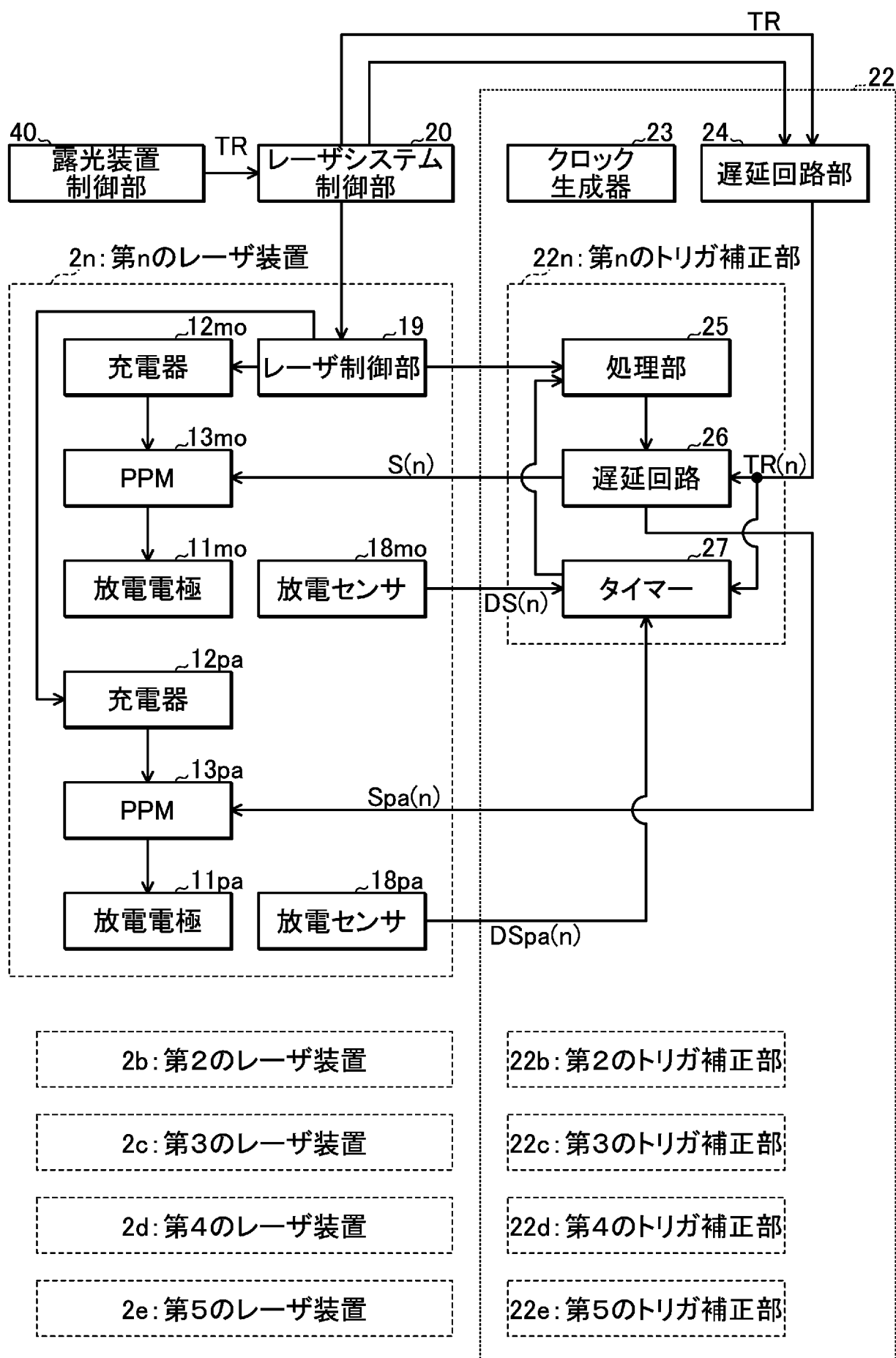


[図10]

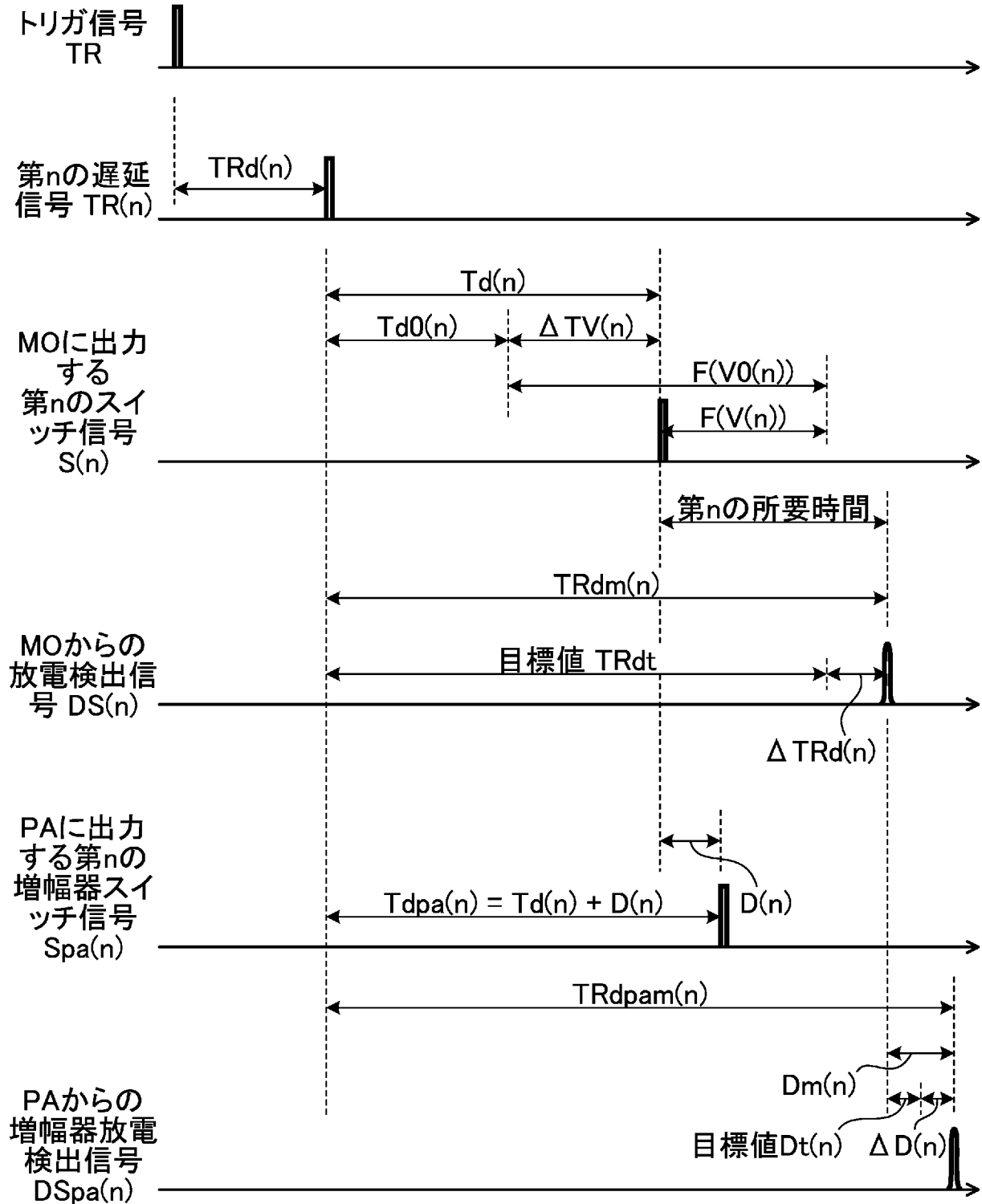


[図11]

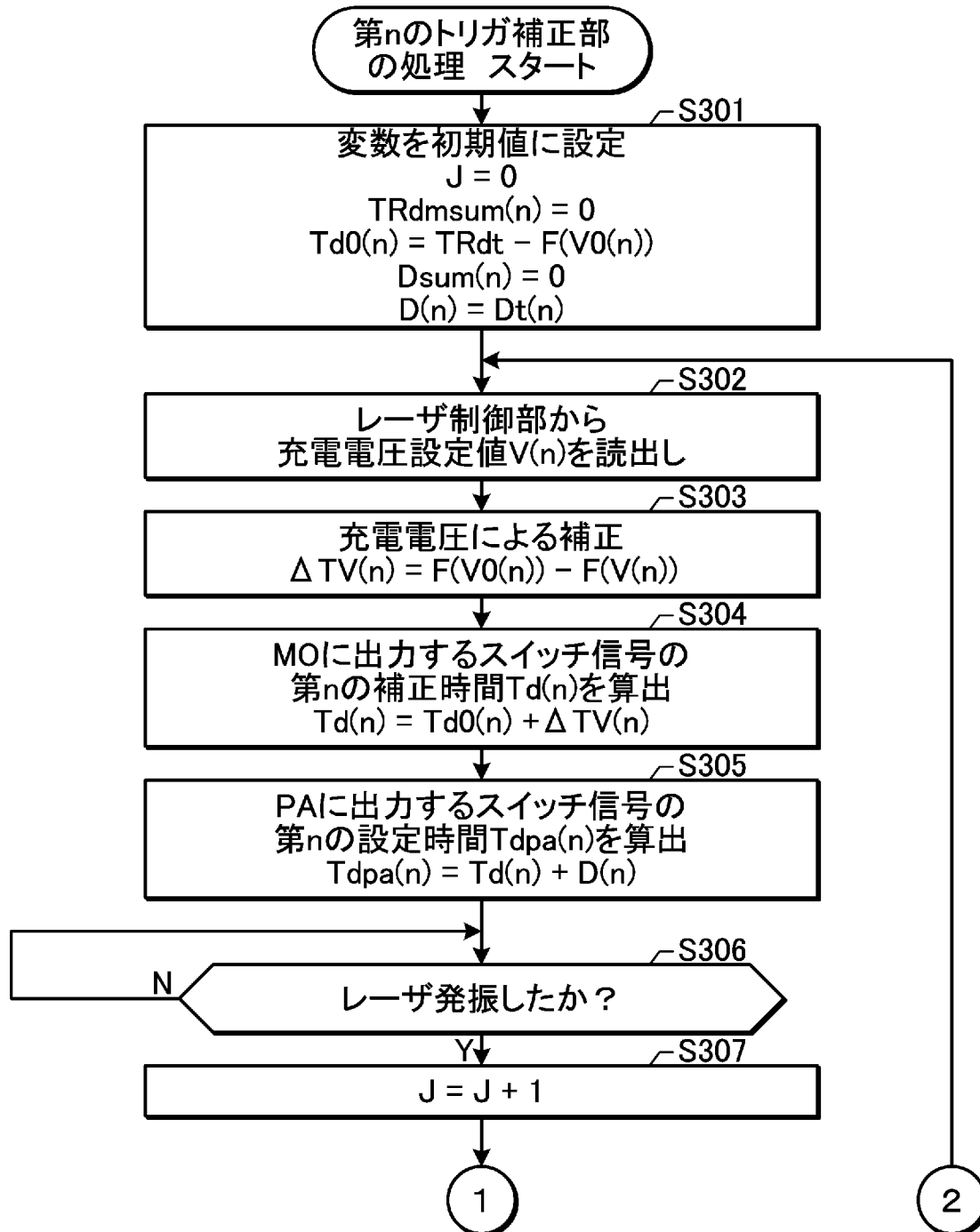




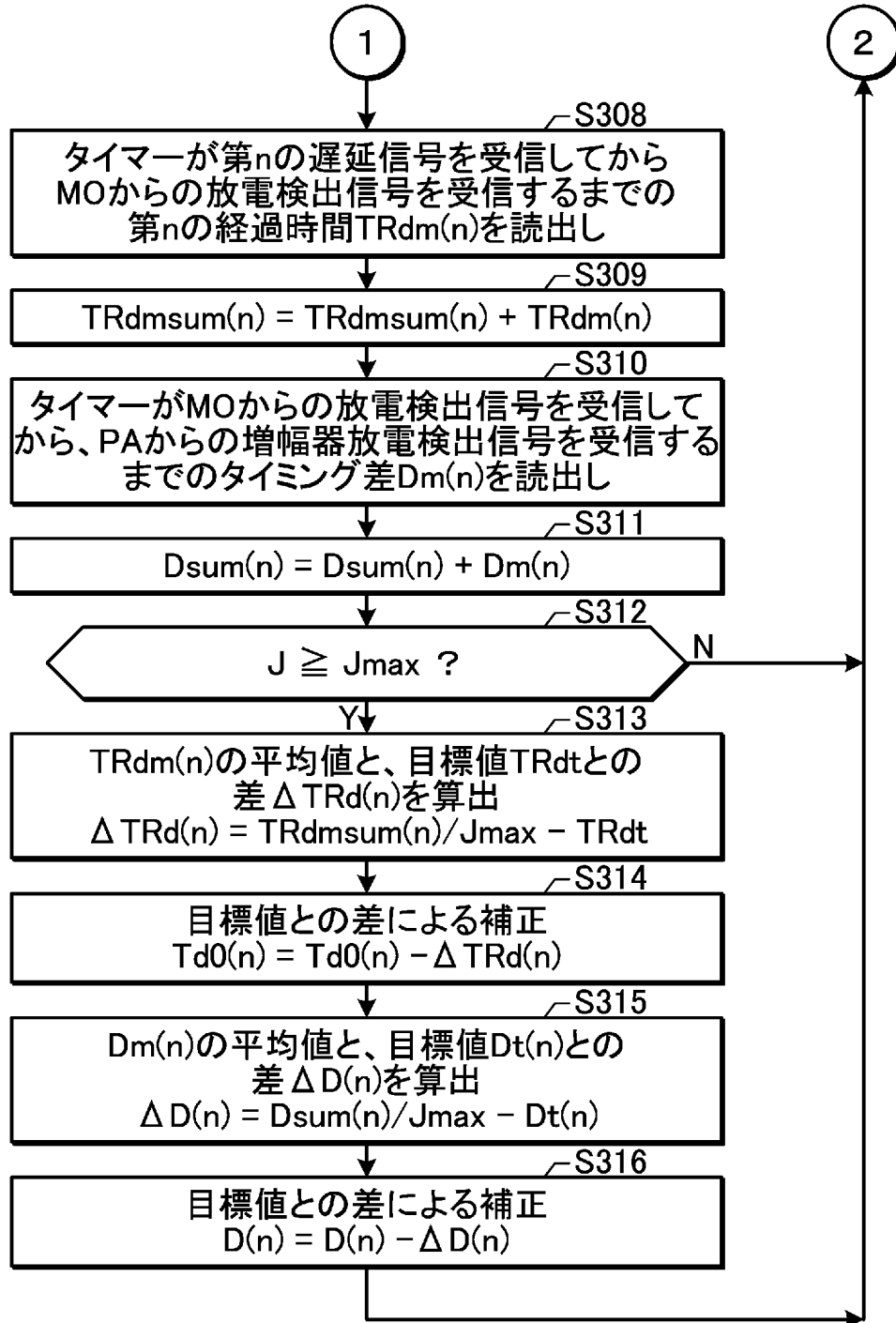
[図13]



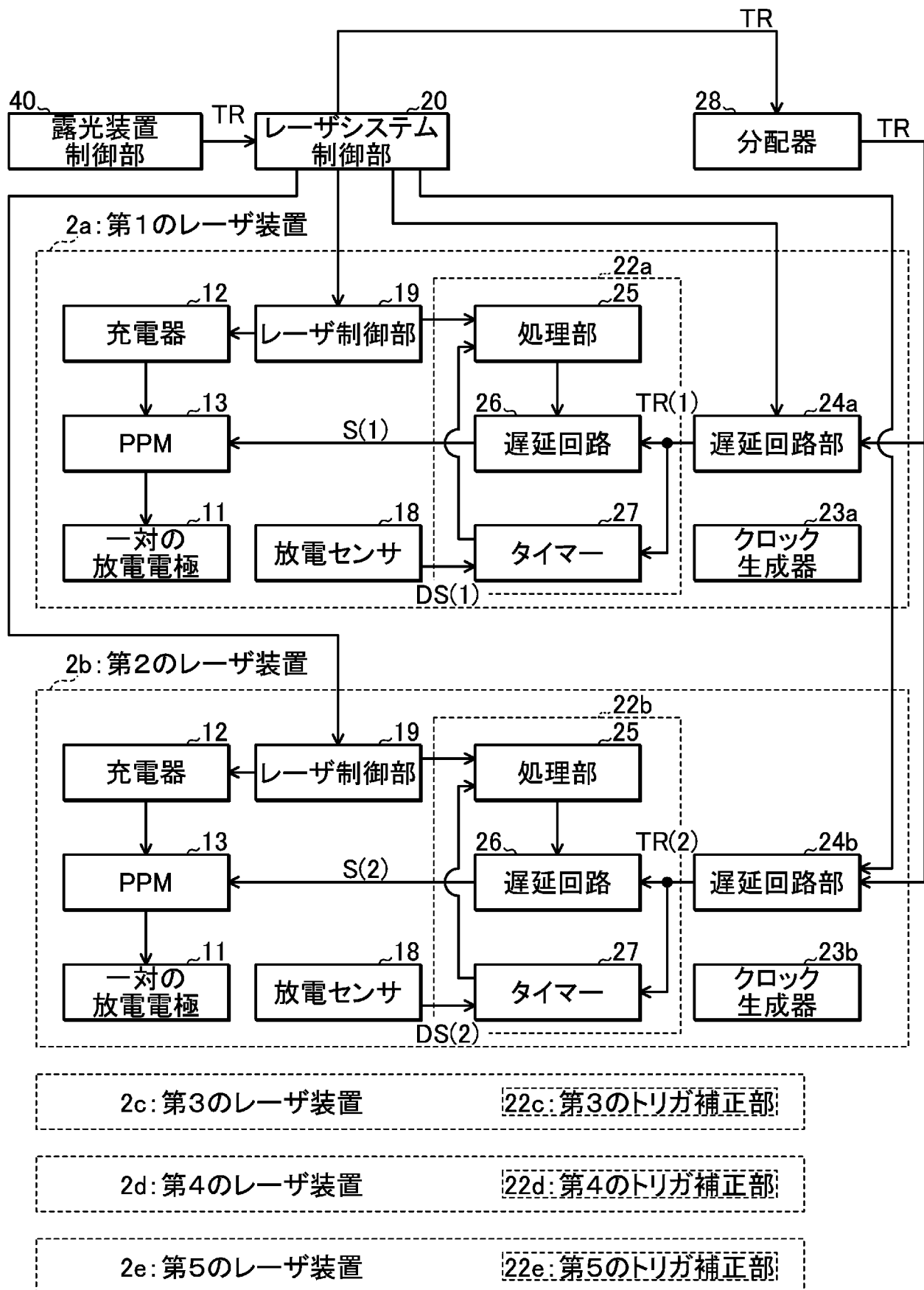
[図14A]



[図14B]



[図15]



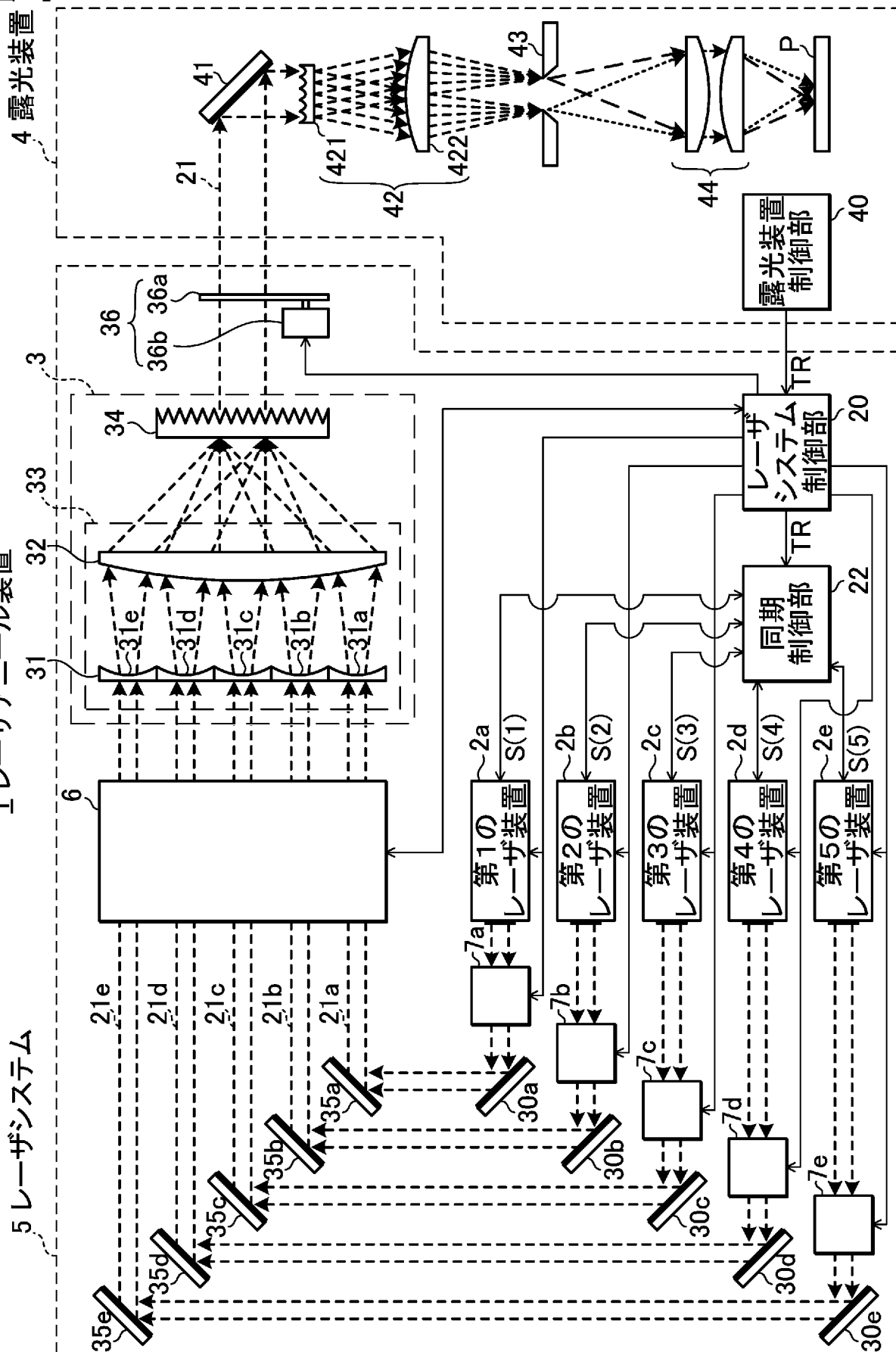
22b: 第2のトリガ補正部

22c: 第3のトリガ補正部

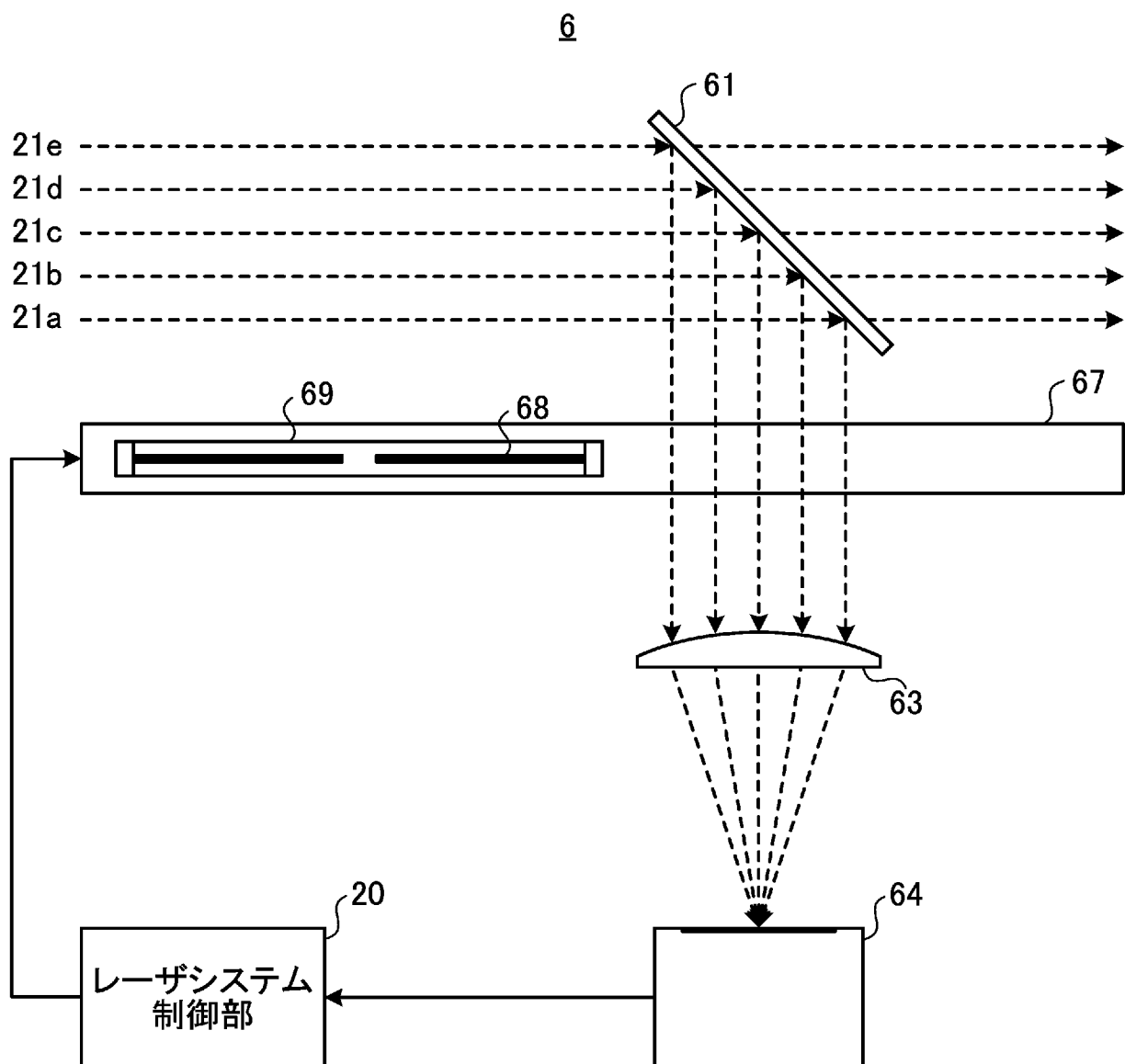
22d: 第4のトリガ補正部

22e: 第5のトリガ補正部

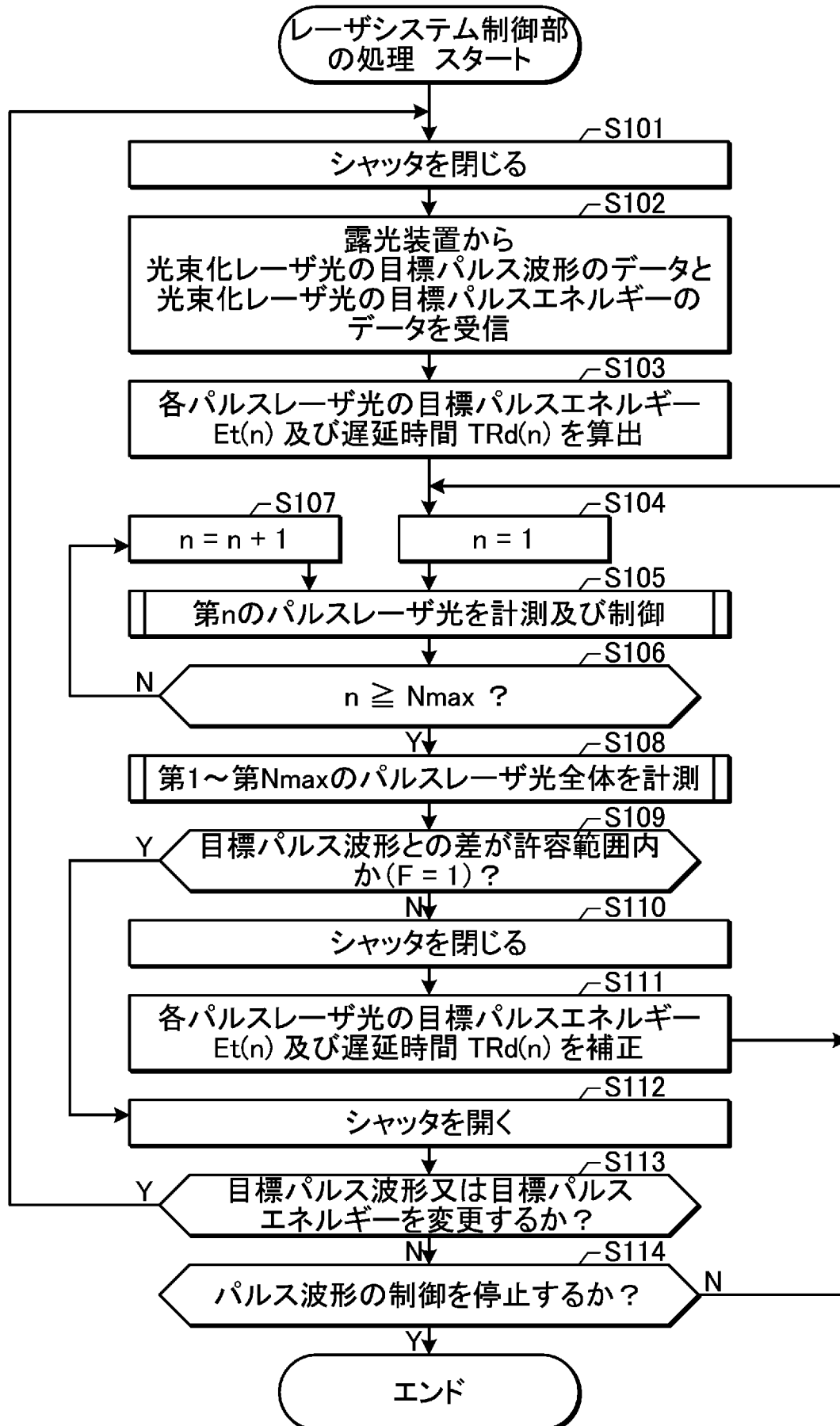
5レーザーシステム



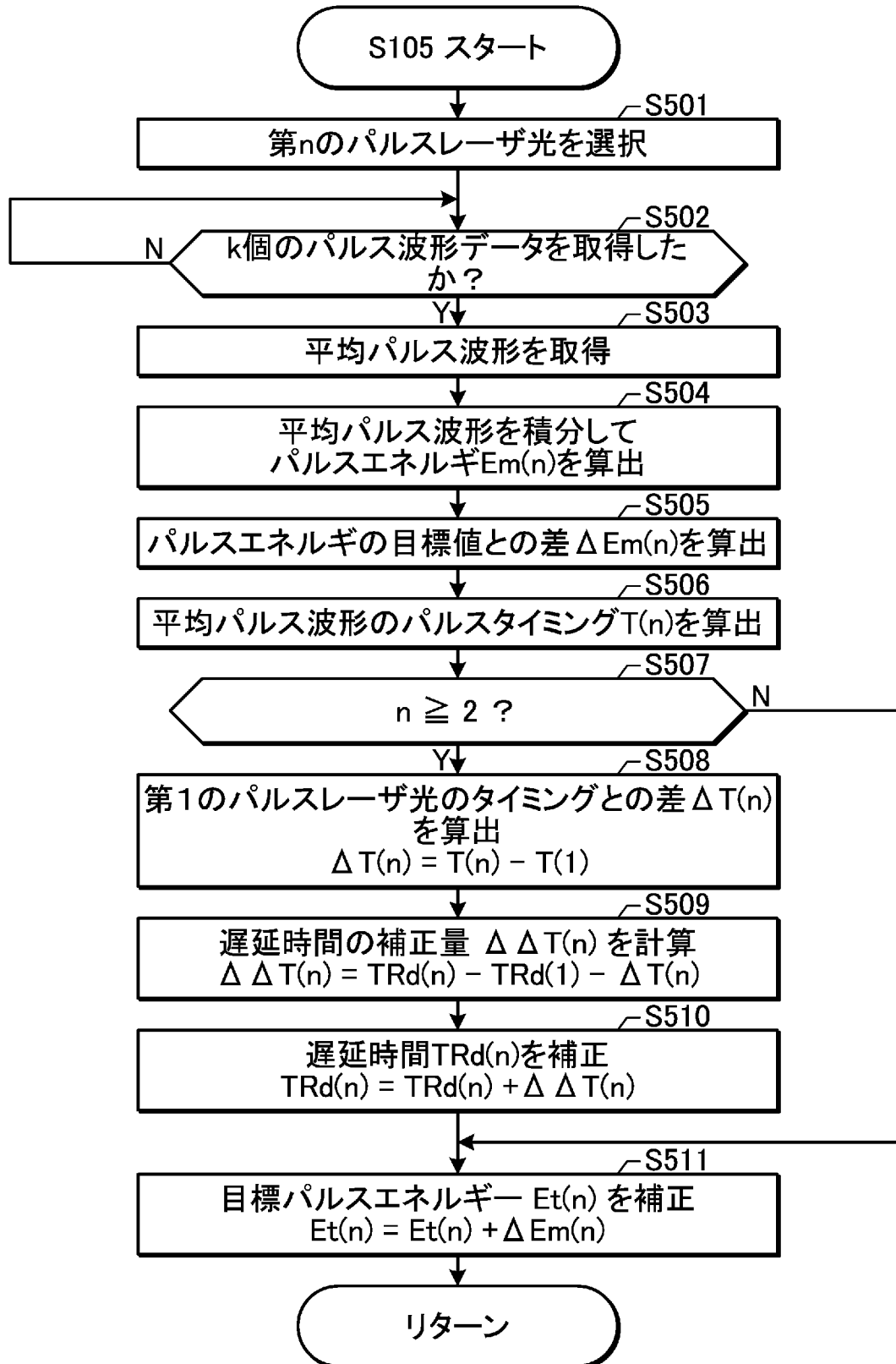
[図18]



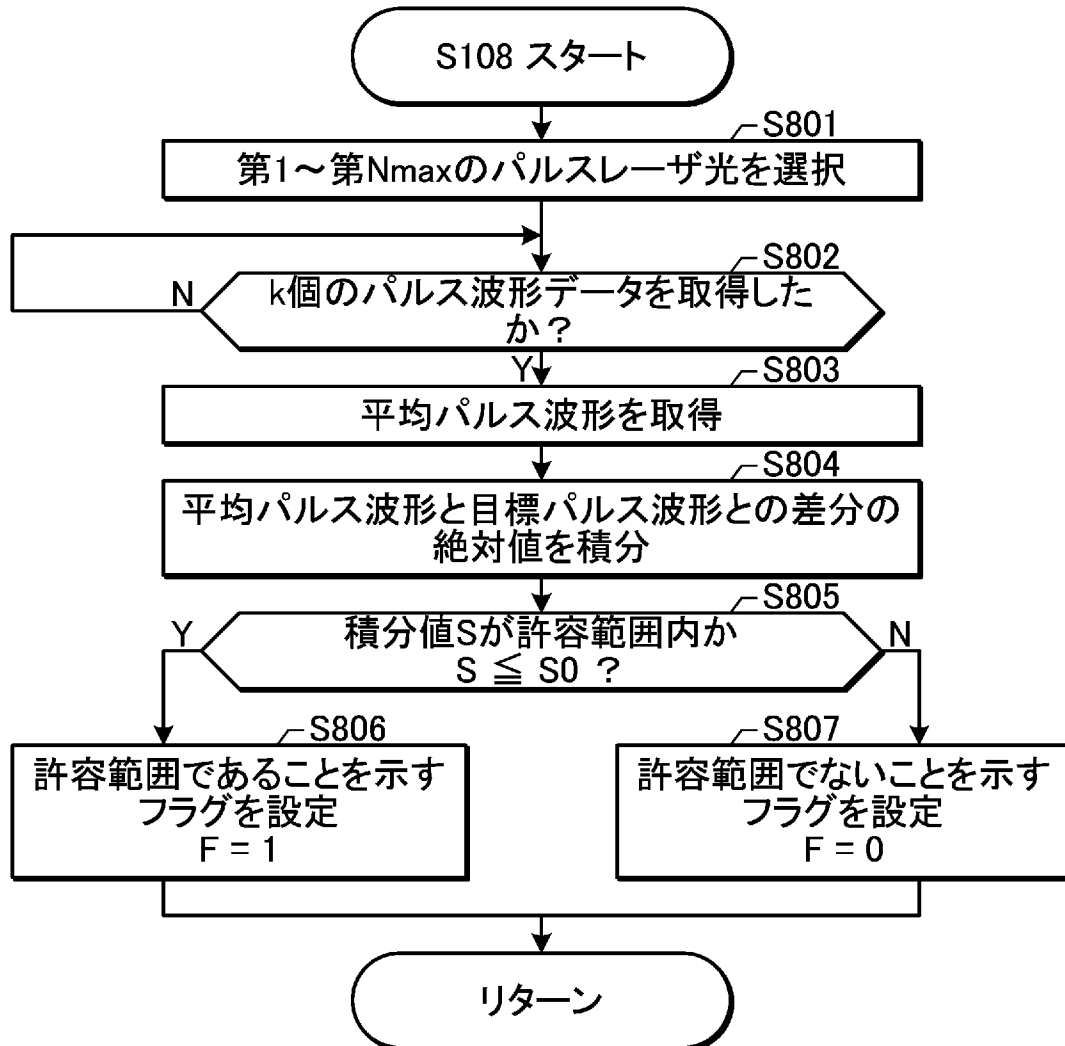
[図19]



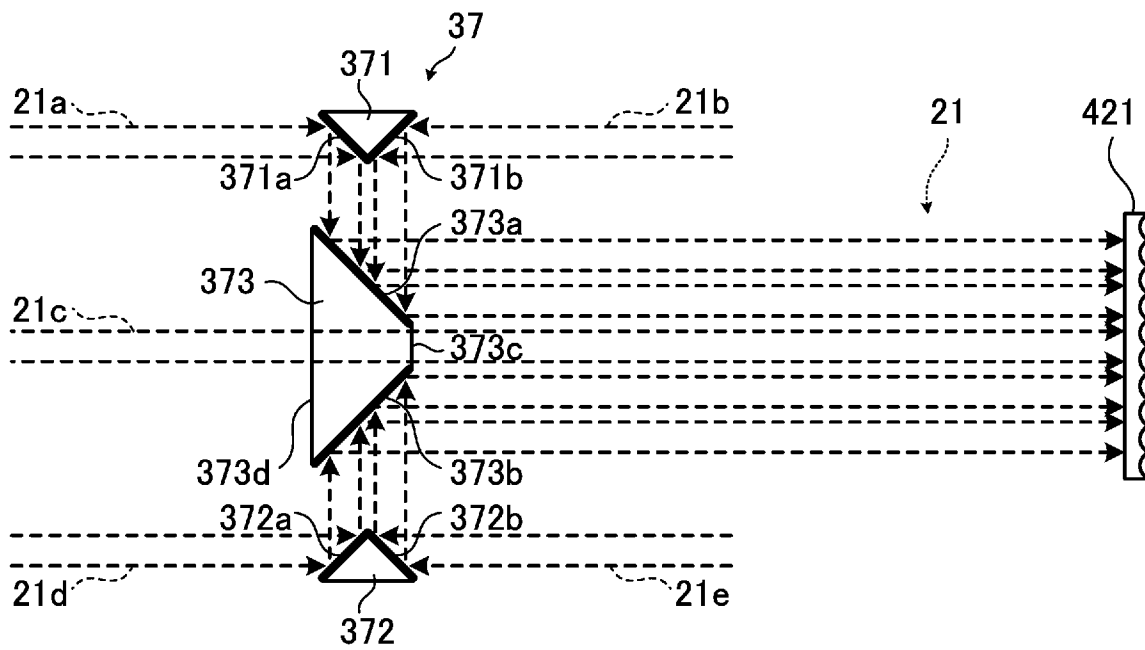
[図20]



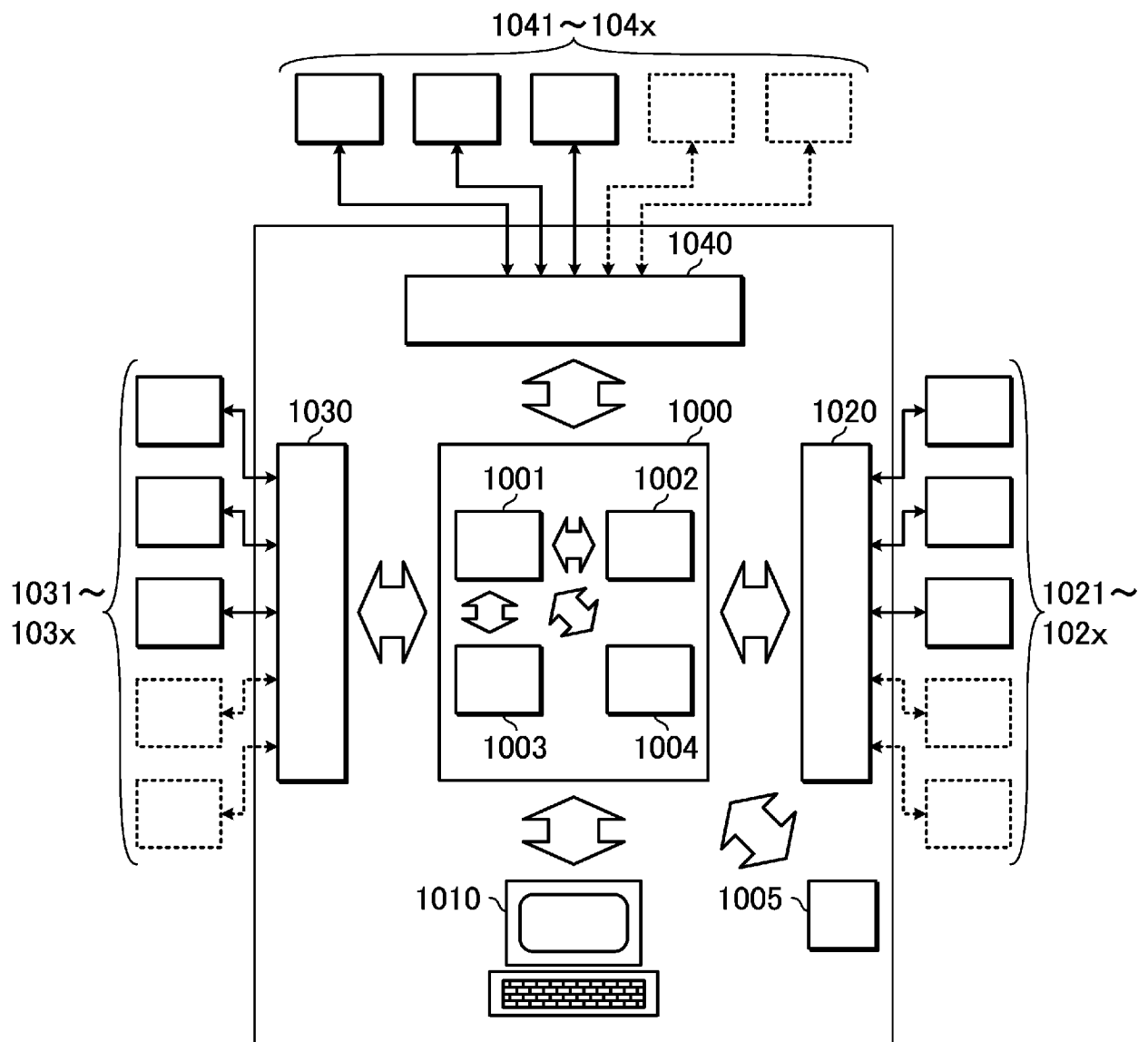
[図21]



[図23]



[図24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/081659

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/23(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, 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)

H01S3/23, H01S3/00, H01S3/10

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-94845 A (TOWA Corp., Okayama University), 20 May 2013 (20.05.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	US 2013/0250263 A1 (K.Jain), 26 September 2013 (26.09.2013), entire text; all drawings & US 2013/0003032 A1	1-9
A	JP 2005-64184 A (Komatsu Ltd., Gigaphoton Inc.), 10 March 2005 (10.03.2005), entire text; all drawings & US 2006/0239309 A1 & WO 2005/015699 A1	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
19 January 2015 (19.01.15)

Date of mailing of the international search report
03 February 2015 (03.02.15)

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/JP2014/081659

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-19250 A (Komatsu Ltd.), 26 January 2012 (26.01.2012), entire text; all drawings & JP 2002-353545 A & US 2002/0141470 A1 & US 2005/0281306 A1 & US 2006/0239307 A1	1-9
A	US 2005/0031004 A1 (D.Basting, et al.), 10 February 2005 (10.02.2005), entire text; all drawings & US 2004/0202219 A1	1-9
A	JP 2009-99727 A (Gigaphoton Inc.), 07 May 2009 (07.05.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/23(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, 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（I P C））

Int.Cl. H01S3/23, H01S3/00, H01S3/10

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	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015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）

JSTPlus/JST7580(JDreamIII)

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
A	JP 2013-94845 A (TOWA株式会社、国立大学法人 岡山大学) 2013.05.20, 全文、全図（ファミリーなし）	1-9
A	US 2013/0250263 A1 (K.Jain) 2013.09.26, 全文、全図 & US 2013/0003032 A1	1-9
A	JP 2005-64184 A (株式会社小松製作所、ギガフォトン株式会社) 2005.03.10, 全文、全図 & US 2006/0239309 A1 & WO 2005/015699 A1	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

19.01.2015

国際調査報告の発送日

03.02.2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/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
A	JP 2012-19250 A (株式会社小松製作所) 2012.01.26, 全文、全図 & JP 2002-353545 A & US 2002/0141470 A1 & US 2005/0281306 A1 & US 2006/0239307 A1	1-9
A	US 2005/0031004 A1 (D.Basting, et al.) 2005.02.10, 全文、全図 & US 2004/0202219 A1	1-9
A	JP 2009-99727 A (ギガフォトン株式会社) 2009.05.07, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9