(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
2017 年 1 月 19 日(19.01.2017)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2017/009945 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 3/104 (2006.01) *H01S 3/225* (2006.01)
H01S 3/10 (2006.01) *H01S 3/23* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/070133

(22) 国際出願日: 2015 年 7 月 14 日(14.07.2015)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(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: 柿崎 弘司(KAKIZAKI Kouji); 〒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). 諏訪 輝(SUWA Akira); 〒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). 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).

(74) 代理人: 保坂 延寿(HOSAKA Nobuhisa); 〒1010025 東京都千代田区神田佐久間町３－２２ 神田ＳＫビル４階 新井・橋本・保坂国際特許事務所 Tokyo (JP).

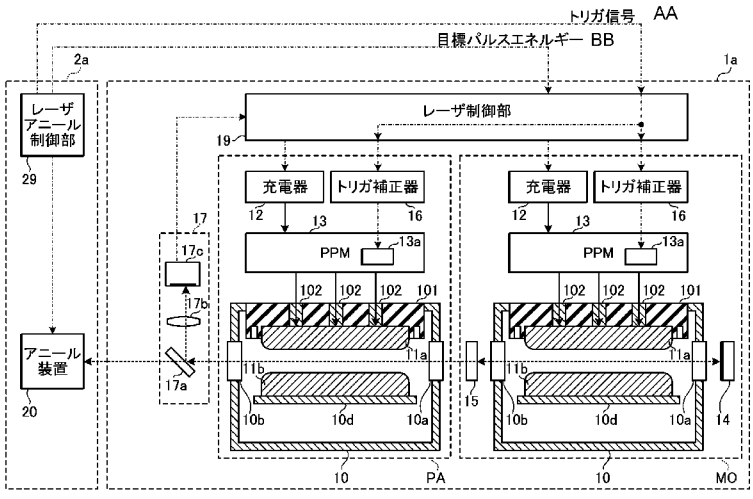
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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.

(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).

[続葉有]

(54) **Title**: EXCIMER LASER DEVICE

(54) 発明の名称 : エキシマレーザ装置



12 Charger
16 Trigger compensator
19 Laser control unit
20 Annealing device
29 Laser-annealing control unit
AA Trigger signal
BB Target pulse energy

(57) **Abstract**: This excimer laser device is an excimer laser device that receives data on target pulse energy from an external device and that outputs a pulsed laser beam, and may be provided with: at least one amplifier each including a master oscillator, a chamber placed in the optical path of a pulsed laser beam output from the master oscillator, a pair of electrodes placed in the chamber, and a power supply for applying a voltage to the pair of electrodes; and a control unit that, on the basis of the target pulse energy, causes the power supply to stop applying the voltage to the pair of electrodes for one amplifier of the at least one amplifier.

(57) 要約: このエキシマレーザ装置は、外部装置から目標パルスエネルギーのデータを受信して、パルスレーザ光を出力するエキシマレーザ装置であって、マスターオシレータと、マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路に配置されたチャンバと、チャンバに配置された一対の電極と、一対の電極に電圧を印加する電源と、をそれぞれ含む少なくとも１つの増幅器と、目標パルスエネルギーに基づいて、少なくとも１つの増幅器のうちの１つの増幅器について、電源による一対の電極への電圧の印加を停止させる制御部と、を備えてもよい。

WO 2017/009945 A1

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 ： エキシマレーザ装置

技術分野

[0001]　本開示は、エキシマレーザ装置に関する。

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装置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：米国特許出願公開第２００８／００３０８７７号明細書

特許文献2：米国特許出願公開第２０１２／０２６７３４８号明細書

特許文献3：特開２０００－２６９５７０号公報

特許文献4：米国特許第５８８１０７９号明細書

特許文献5：国際公開第２００７／１２７３５６号

特許文献6：米国特許第７０６１９５９号明細書

概要

[0004]　本開示の１つの観点に係るエキシマレーザ装置は、外部装置から目標パルスエネルギーのデータを受信して、パルスレーザ光を出力するエキシマレーザ装置であって、マスターオシレータと、マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路に配置されたチャンバと、チャンバに配置された一対の電極と、一対の電極に電圧を印加する電源と、をそれぞれ含む少なくとも１つの増幅器と、目標パルスエネルギーに基づいて、少なくとも１つの増幅器のうちの１つの増幅器について、電源による一対の電極への電圧の印加

を停止させる制御部と、を備えてもよい。

[0005] 本開示の別の観点に係るエキシマレーザ装置は、外部装置から目標パルスエネルギーのデータを受信して、パルスレーザ光を出力するエキシマレーザ装置であって、マスターオシレータと、マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路に配置されたチャンバと、チャンバに配置された一対の電極と、一対の電極に電圧を印加する電源と、をそれぞれ含む少なくとも１つの増幅器と、目標パルスエネルギーに基づいて、少なくとも１つの増幅器のうちの１つの増幅器について、パルスレーザ光が一対の電極の間を通過するタイミングでの電源による一対の電極への電圧の印加を停止させる制御部と、を備えてもよい。

図面の簡単な説明

[0006] 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、比較例に係るエキシマレーザ装置を備えたレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図2]図２は、本開示の第１の実施形態に係るエキシマレーザ装置を備えたレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図3]図３は、図２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4]図４は、図３に示されるデータを読み込む処理の詳細を示すフローチャートである。

[図5]図５は、充電電圧の設定値Ｖとパルスエネルギーとの関係を記述したデータの一例を示す。

[図6]図６は、充電電圧の設定値Ｖとパルスエネルギーとの関係と、パルスエネルギー閾値Ｐｐａの一例を示す。

[図7]図７は、図３に示されるマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡの動作設定の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図8]図８は、図３に示されるマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡの動作

設定の処理の第１の変形例を示すフローチャートである。

[図9]図９は、図３に示されるマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡの動作設定の処理の第２の変形例を示すフローチャートである。

[図10]図１０は、図３に示されるマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡの動作設定の処理の第３の変形例を示すフローチャートである。

[図11]図１１は、本開示の第２の実施形態に係るエキシマレーザ装置を備えたレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図12]図１２は、図１１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13]図１３は、図１２に示される計測処理の詳細を示すフローチャートである。

[図14]図１４は、図１３に示されるＭＯのみ運転する場合の計測処理の詳細を示すフローチャートである。

[図15]図１５は、図１３に示されるＭＯ及びＰＡを同期して運転する場合の計測処理の詳細を示すフローチャートである。

[図16]図１６は、図１２に示される近似式等の計算の詳細を示すフローチャートである。

[図17]図１７は、充電電圧の設定値Ｖとパルスエネルギーとの関係、及び、パルスエネルギー閾値Ｐｐａの一例を示す。

[図18]図１８は、本開示の第３の実施形態に係るエキシマレーザ装置を備えたレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。

[図19]図１９は、図１８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20]図２０は、図１９に示される計測処理の詳細を示すフローチャートである。

[図21]図２１は、図２０に示されるＭＯ及びＰＡ（１）からＰＡ（ｋ）までを同期して運転する場合の計測処理の詳細を示すフローチャートである。

[図22]図２２は、充電電圧の設定値Ｖとパルスエネルギーとの関係と、パル

スエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）の一例を示す。

[図23]図２３は、図１９に示される近似式等の計算の詳細を示すフローチャートである。

[図24]図２４は、図１９に示される運転される増幅器の台数を計算する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図25]図２５は、図１９に示されるマスターオシレータＭＯ及び複数の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までの動作設定の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図26]図２６は、上記の各実施形態において用いられるアニール装置の側面図である。

[図27]図２７は、図２６に示されるアニール装置の正面図である。

[図28A]図２８Ａは、図２６及び図２７に示されるアニール装置２０によって照射される被加工物Ｓの平面図である。

[図28B]図２８Ｂは、図２６及び図２７に示されるアニール装置２０によって照射される被加工物Ｓの平面図である。

[図28C]図２８Ｃは、図２６及び図２７に示されるアニール装置２０によって照射される被加工物Ｓの平面図である。

[図29]図２９は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

実施形態

[0007] ＜内容＞

１．概要

２．比較例に係るレーザアニールシステム

２．１　レーザアニール装置

２．２　マスターオシレータ

２．２．１　レーザチャンバ

２．２．２　光共振器

２．３　パルスエネルギー計測部

２．４　レーザ制御部

２．５　課題
３．増幅器の停止制御を行うレーザアニールシステム（第１の実施形態）
３．１　構成
３．２　パルスエネルギーの制御
３．２．１　メインフロー
３．２．２　データ読み込みの詳細
３．２．３　動作設定の詳細
３．２．４　動作設定の第１の変形例
３．２．５　動作設定の第２の変形例
３．２．６　動作設定の第３の変形例
４．調整発振を行うレーザアニールシステム（第２の実施形態）
４．１　構成
４．２　パルスエネルギーの制御
４．２．１　メインフロー
４．２．２　計測処理の詳細
４．２．３　近似式の計算の詳細
５．複数の増幅器を含むレーザアニールシステム（第３の実施形態）
５．１　構成
５．２　パルスエネルギーの制御
５．２．１　メインフロー
５．２．２　計測処理の詳細
５．２．３　近似式の計算の詳細
５．２．４　運転される増幅器の台数の計算の詳細
５．２．５　動作設定の詳細
６．その他
６．１　アニール装置
６．２　制御部の構成

[0008]　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。

[0009] １．概要

レーザアニール装置においては、エキシマレーザ装置から出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーを、大きなダイナミックレンジで制御することが求められている。パルスエネルギーを制御するには、パルスレーザ光の光路に配置されたアッテネータを制御する方法がある。

[0010] しかしながら、アッテネータの動作には時間がかかるので、パルスエネルギーを大きく変化させたいときには、パルス毎の制御ができない場合があり得る。また、アッテネータは、その透過率を変更することによりパルスエネルギーを制御するものであるので、パルスレーザ光の一部を無駄にすることがあり得る。

[0011] 本開示の１つの観点において、エキシマレーザ装置のレーザ制御部は、目標パルスエネルギーに基づいて、少なくとも１つの増幅器について、一対の電極への電圧の印加を停止させてもよい。例えば、少なくとも１つの増幅器について、一対の電極への電圧の印加をするためのトリガ信号の入力を停止してもよい。また例えば、少なくとも１つの増幅器について、一対の電極における放電が起こらないような充電電圧を設定してもよい。

[0012] ２．比較例に係るレーザアニールシステム

図１は、比較例に係るエキシマレーザ装置を備えたレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。図１に示されるレーザアニールシステムは、エキシマレーザ装置１と、レーザアニール装置２と、を含んでもよい。エキシマレーザ装置１は、マスターオシレータＭＯと、パルスエネルギー計測部１７と、レーザ制御部１９と、を含んでもよい。

[0013] ２．１ レーザアニール装置

レーザアニール装置２は、アニール装置２０と、アッテネータ２６と、レーザアニール制御部２９と、を含んでもよい。アニール装置２０は、レーザアニール制御部２９による制御により、マスターオシレータＭＯから出力されたパルスレーザ光を用いてレーザアニールを行ってもよい。

[0014] アッテネータ２６は、マスターオシレータＭＯとアニール装置２０との間のパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。アッテネータ２６は、２枚の部分反射ミラー２６１及び２６２と、これらの部分反射ミラーの回転ステージ２６３及び２６４と、を含んでいてもよい。２枚の部分反射ミラー２６１及び２６２は、パルスレーザ光の入射角度によって、透過率が変化する光学素子であってもよい。

[0015] アッテネータ２６に含まれる２枚の部分反射ミラー２６１及び２６２は、パルスレーザ光の入射角度が互いに略等しくなるように、且つパルスレーザ光の透過率が所望の透過率となるように、姿勢を制御されてもよい。レーザアニール制御部２９は、回転ステージ２６３及び２６４を駆動するドライバ２７を制御してもよい。これにより、エキシマレーザ装置１から出力されたパルスレーザ光は、所望のパルスエネルギーに減光されてアッテネータ２６を通過し得る。

[0016] ２．２ マスターオシレータ

マスターオシレータＭＯは、レーザチャンバ１０と、一対の電極１１ａ及び１１ｂと、充電器１２と、パルスパワーモジュール（ＰＰＭ）１３と、トリガ補正器１６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、を含んでもよい。図１においては、パルスレーザ光の進行方向と一対の電極１１ａ及び１１ｂ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１０の内部構成が示されている。

[0017] ２．２．１ レーザチャンバ

レーザチャンバ１０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ューム、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。一対の電極１１ａ及び１１ｂ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１０内に配置されてもよい。レーザチャンバ１０には開口が形成され、この開口を電気絶縁部１０１が塞いでいてもよい。電極１１ａは電気絶縁部１０１に支持され、電極１１ｂはリターンプレート１０ｄに支持されていてもよい。このリターンプレート１０ｄは図示しない配線によってレーザチャンバ１０の内面と接続されてもよい。電気絶縁部１０１には、導電部１０２が埋め込まれていてもよい。導電部１０２は、パルスパワーモジュール１３から供給される高電圧を電極１１ａに印加するものであってもよい。

[0018] 充電器１２は、パルスパワーモジュール１３の中の図示しない充電コンデンサ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１３は、スイッチ１３ａを含んでもよい。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、上記充電コンデンサ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、この高電圧を一対の電極１１ａ及び１１ｂ間に印加してもよい。

[0019] 一対の電極１１ａ及び１１ｂ間に高電圧が印加されると、一対の電極１１ａ及び１１ｂ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。

[0020] レーザチャンバ１０の両端にはウインドウ１０ａ及び１０ｂ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１０ａ及び１０ｂを介してレーザチャンバ１０の外部に出射し得る。

[0021] ２．２．２ 光共振器

高反射ミラー１４は、レーザチャンバ１０のウインドウ１０ａ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１０ｂから出射

された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。

[0022] 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１１ａと電極１１ｂ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、パルスレーザ光として出力され得る。

[0023] ２．３ パルスエネルギー計測部

パルスエネルギー計測部１７は、マスターオシレータＭＯから出力されたパルスレーザ光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１７ａと、集光光学系１７ｂと、光センサ１７ｃとを含んでもよい。

[0024] ビームスプリッタ１７ａは、パルスレーザ光を高い透過率で透過させるとともに、パルスレーザ光の一部を集光光学系１７ｂ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。

[0025] ２．４ レーザ制御部

レーザ制御部１９は、レーザアニール装置２のレーザアニール制御部２９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、レーザアニール制御部２９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。

[0026] レーザ制御部１９は、レーザアニール制御部２９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による充電電圧の設定値を制御してもよい。充電器１２による充電電圧を制御することにより、パルスレー

ザ光のパルスエネルギーが制御されてもよい。

[0027] レーザ制御部１９は、レーザアニール制御部２９から受信したトリガ信号を、トリガ補正器１６に送信してもよい。トリガ補正器１６は、レーザ制御部１９から受信したトリガ信号に所定の遅延時間を与えたスイッチ信号を、パルスパワーモジュール１３のスイッチ１３ａに出力してもよい。このスイッチ信号により、スイッチ１３ａがＯＦＦからＯＮとなってもよい。レーザ制御部１９は、所定の遅延時間をトリガ補正器１６に設定することにより、一対の電極１１ａ及び１１ｂ間における放電タイミングを制御してもよい。

[0028] ２．５ 課題

図１に示されたレーザアニールシステムにおいては、アッテネータ２６によってパルスレーザ光のパルスエネルギーが制御されている。しかしながら、アッテネータ２６の動作には時間がかかるので、パルスエネルギーを大きく変化させたいときには、パルス毎の制御ができない場合があり得る。

また、アッテネータ２６は、その透過率を変更することによりパルスエネルギーを制御するものであるので、パルスレーザ光の一部を無駄にすることがあり得る。

[0029] 以下に説明される実施形態においては、この課題を解決するために、マスターオシレータＭＯから出力されたパルスレーザ光の光路に少なくとも１つの増幅器が配置されてもよい。目標パルスエネルギーが所定値以下の場合、少なくとも１つの増幅器においては増幅動作が行われないようにしてもよい。その結果、パルスエネルギーの制御を、大きなダイナミックレンジで、高速に行うことができる。

[0030] ３．増幅器の停止制御を行うレーザアニールシステム（第１の実施形態）

３．１ 構成

図２は、本開示の第１の実施形態に係るエキシマレーザ装置を備えたレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。第１の実施形態に係るレーザアニールシステムにおいて、エキシマレーザ装置１ａは、図１を参照しながら説明したエキシマレーザ装置１に加えて、増幅器ＰＡを備えていてもよい。

また、第１の実施形態に係るレーザアニールシステムにおいて、レーザアニール装置２ａは、図１を参照しながら説明したレーザアニール装置２におけるアッテネータ２６及びドライバ２７を含まなくてもよい。

[0031] 増幅器ＰＡの構成は、光共振器を含まない点でマスターオシレータＭＯと異なってもよい。すなわち、増幅器ＰＡは、高反射ミラー１４及び出力結合ミラー１５を含なくてもよい。増幅器ＰＡのレーザチャンバ１０は、マスターオシレータＭＯから出力されたパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。その他の構成については、増幅器ＰＡはマスターオシレータＭＯと同様でよい。

[0032] マスターオシレータＭＯから出力されたパルスレーザ光が増幅器ＰＡの一対の電極１１ａ及び１１ｂ間を通過するタイミングで、増幅器ＰＡの一対の電極１１ａ及び１１ｂ間で放電が起こるように、増幅器ＰＡのトリガ補正器１６が制御されてもよい。この放電のエネルギーにより、増幅器ＰＡのレーザチャンバ１０内のレーザ媒質が励起されてもよい。マスターオシレータＭＯから出力されたパルスレーザ光は、励起されたレーザ媒質を通過するときに増幅されてもよい。この増幅されたパルスレーザ光が、パルスエネルギー計測部１７及びアニール装置２０に向けて出力されてもよい。

[0033] 第１の実施形態において、レーザ制御部１９は、パルスエネルギーを所定の閾値以下に制御する場合に、増幅器ＰＡの運転を停止してもよい。例えば、増幅器ＰＡのレーザチャンバ１０内で放電が起こらないように、増幅器ＰＡの一対の電極１１ａ及び１１ｂへの電圧の印加を停止させてもよい。この結果、増幅器ＰＡの内部のレーザ媒質は励起されなくてもよい。レーザ媒質が励起されていない増幅器ＰＡに入射したパルスレーザ光は、増幅されることなく当該増幅器ＰＡを通過して、エキシマレーザ装置１ａから出力されてもよい。増幅器ＰＡの一対の電極１１ａ及び１１ｂ間で放電させるか否かは、パルスレーザ光に含まれる１パルス毎に制御することが可能であり得る。従って、第１の実施形態においては、パルスエネルギーを高速に制御し得る。

[0034] ３．２　パルスエネルギーの制御

３．２．１　メインフロー

図３は、図２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の実施形態において、レーザ制御部１９は、以下の処理により、増幅器ＰＡにおける放電を制御して、エキシマレーザ装置１ａから出力されるパルスエネルギーを制御してもよい。

[0035] まず、Ｓ３００において、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと、エキシマレーザ装置１ａから出力されるパルスエネルギーと、の関係を記述したデータを記憶装置から読み込んでもよい。ここでは説明を簡略化するために、充電電圧の設定値Ｖは、マスターオシレータＭＯにおける充電電圧と増幅器ＰＡにおける充電電圧とで共通の値であるものとして説明するが、別々の値であってもよい。

レーザ制御部１９は、さらに、パルスエネルギー閾値Ｐｐａの値を記憶装置から読み込んでもよい。

記憶装置については、図２９を参照しながら後述する。

Ｓ３００の処理の詳細については、図４を参照しながら後述する。

[0036] 次に、Ｓ４００において、レーザ制御部１９は、レーザアニール制御部２９から、目標パルスエネルギーＰｔの値を受信してもよい。目標パルスエネルギーＰｔの値は、例えば、レーザアニールにおいて必要とされるアニール深さや結晶粒径などの特性に応じて決められてもよい。

[0037] 次に、Ｓ６００において、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡのそれぞれの動作を設定してもよい。例えば、目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ未満である場合に、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯのみを運転し、増幅器ＰＡの運転を停止してもよい。目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ以上である場合に、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯに同期して増幅器ＰＡを運転し、パルスレーザ光を増幅して出力してもよい。こうして、エキシマレーザ装置１ａから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギー

を制御してもよい。

Ｓ６００の処理の詳細については、図７を参照しながら後述する。

[0038] 次に、Ｓ７００において、レーザ制御部１９は、レーザアニール制御部２９からトリガ信号が入力されたか否かを判定してもよい。トリガ信号が入力されていない場合（Ｓ７００；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、トリガ信号が入力されるまで待機してもよい。トリガ信号が入力された場合（Ｓ７００；ＹＥＳ）、エキシマレーザ装置１ａからパルスレーザ光が出力されてもよい。レーザ制御部１９は、処理を上述のＳ４００に戻してその後の処理を繰り返し、新たな目標パルスエネルギーＰｔの値に応じて次のパルスのパルスエネルギーを制御してもよい。

[0039] ３．２．２ データ読み込みの詳細

図４は、図３に示されるデータを読み込む処理の詳細を示すフローチャートである。図４に示される処理は、図３に示されるＳ３００のサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。

[0040] まず、Ｓ３１０において、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯのみを運転する場合の、充電電圧の設定値Ｖと、出力されるパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$と、の関係を記述したデータを記憶装置から読み込んでもよい。

[0041] 次に、Ｓ３３０において、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡを同期して運転する場合の、充電電圧の設定値Ｖと、出力されるパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$と、の関係を記述したデータを記憶装置から読み込んでもよい。

[0042] 次に、Ｓ３４０において、レーザ制御部１９は、パルスエネルギー閾値Ｐｐａの値を、記憶装置から読み込んでもよい。

[0043] 図５は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係を記述したデータの一例を示す。充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係を記述したデータは、テーブル形式で記憶装置に記憶されていてもよい。

[0044] 図５に示されるように、充電電圧の設定値Ｖとして、Ｖ１からＶＮまでの

値が設定可能であってもよい。それぞれの設定値Ｖを用いた場合にエキシマレーザ装置１ａから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーが、予め計測されて、記憶装置に記憶されていてもよい。

[0045] 例えば、設定値Ｖ１、Ｖ２、・・・、ＶＮでマスターオシレータＭＯと増幅器ＰＡとを同期して運転した場合に出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーとして、それぞれ、$Ｐ１_{MOPA}$、$Ｐ２_{MOPA}$、・・・、$ＰＮ_{MOPA}$の各値が記憶されていてもよい。

[0046] また、例えば、設定値Ｖ１、Ｖ２、・・・、ＶＮでマスターオシレータＭＯのみを運転した場合に出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーとして、それぞれ、$Ｐ１_{MO}$、$Ｐ２_{MO}$、・・・、$ＰＮ_{MO}$の各値が記憶されていてもよい。

[0047] 図６は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係と、パルスエネルギー閾値Ｐｐａの一例とを示す。図６に示されるように、充電電圧の設定値Ｖが大きいほど、マスターオシレータＭＯのみ運転した場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$が大きくなってもよい。また、充電電圧の設定値Ｖが大きいほど、マスターオシレータＭＯと増幅器ＰＡとを同期して運転した場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$が大きくなってもよい。

[0048] 充電電圧の設定値Ｖが同じであれば、パルスエネルギー$Ｐ_{MO}$よりも、パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$の方が大きくてもよい。

従って、目標パルスエネルギーＰｔが小さい場合には、マスターオシレータＭＯのみ運転してもよい。さらに、充電電圧の設定値Ｖを制御することにより、エキシマレーザ装置１ａから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーを目標パルスエネルギーＰｔに近づけることができる。

また、目標パルスエネルギーＰｔが大きい場合には、マスターオシレータＭＯと増幅器ＰＡとを同期して運転してもよい。さらに、充電電圧の設定値Ｖを制御することにより、エキシマレーザ装置１ａから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーを目標パルスエネルギーＰｔに近づけることができる。

[0049] マスターオシレータＭＯのみを運転する場合のパルスエネルギーP_{MO}の最大値$P_{MO}max$は、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡを同期して運転する場合のパルスエネルギーP_{MOPA}の最小値$P_{MOPA}min$よりも大きいことが望ましい。これにより、パルスエネルギーP_{MO}のダイナミックレンジと、パルスエネルギーP_{MOPA}のダイナミックレンジとが、$P_{MOPA}min$から$P_{MO}max$まで重複し得る。従って、エキシマレーザ装置１ａから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーのダイナミックレンジの切れ目が生じることを抑制し得る。

[0050] パルスエネルギー閾値Ｐｐａの値は、パルスエネルギーP_{MO}の最大値$P_{MO}max$と、パルスエネルギーP_{MOPA}の最小値$P_{MOPA}min$との間の値に設定されてもよい。図７を参照しながら詳述するように、目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ未満である場合に、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯのみを運転し、増幅器ＰＡの運転を停止してもよい。目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ以上である場合に、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯに同期して増幅器ＰＡを運転し、パルスレーザ光を増幅して出力してもよい。

[0051] ３．２．３ 動作設定の詳細

図７は、図３に示されるマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡの動作設定の処理の詳細を示すフローチャートである。図７に示される処理は、図３に示されるＳ６００のサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。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Ｐｔの値に応じて、マスターオシレータＭＯのみを運転したり、マスターオシレータＭＯと増幅器ＰＡとを同期して運転したりしてもよい。

[0052] まず、Ｓ６１０において、レーザ制御部１９は、レーザアニール制御部２９から受信した目標パルスエネルギーＰｔの値がパルスエネルギー閾値Ｐｐａ未満であるか否かを判定してもよい。

[0053] 上述のＳ６１０において、目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ未満である場合に（Ｓ６１０；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、

処理をＳ６２０に進めてもよい。

Ｓ６２０において、レーザ制御部１９は、エキシマレーザ装置１ａから出力されるパルスエネルギーを目標パルスエネルギーＰｔに一致させるための、マスターオシレータＭＯにおける充電電圧の設定値Ｖを計算してもよい。この計算は、例えば、上述の図５に示される充電電圧の設定値ＶとパルスエネルギーP_{MO}との関係を記述したデータに基づいて行われてもよい。

[0054] 次に、Ｓ６３０において、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯにおける充電電圧を、Ｓ６２０において算出された設定値Ｖに設定してもよい。レーザ制御部１９は、増幅器ＰＡにおける充電電圧を０に設定してもよい。なお、増幅器ＰＡにおける充電電圧は、０でなくてもよく、一対の電極１１ａ及び１１ｂ間で放電が起こらないような電圧であればよい。

[0055] 次に、Ｓ６４０において、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯに接続されるトリガ信号の信号ラインを接続してもよい。レーザ制御部１９は、増幅器ＰＡに接続されるトリガ信号の信号ラインを切断してもよい。

[0056] Ｓ６２０からＳ６４０までの処理により、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯのみを運転して、パルスエネルギーの小さいパルスレーザ光がエキシマレーザ装置１ａから出力されるようにしてもよい。

[0057] 上述のＳ６１０において、目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ以上である場合に（Ｓ６１０；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ６５０に進めてもよい。

Ｓ６５０において、レーザ制御部１９は、出力されるパルスエネルギーを目標パルスエネルギーＰｔに一致させるための、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡのそれぞれにおける充電電圧の設定値Ｖを計算してもよい。この計算は、例えば、上述の図５に示される充電電圧の設定値ＶとパルスエネルギーP_{MOPA}との関係に基づいて行われてもよい。

[0058] 次に、Ｓ６６０において、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯにおける充電電圧と、増幅器ＰＡにおける充電電圧との両方を、Ｓ６５０において算出された設定値Ｖに設定してもよい。

[0059] 次に、Ｓ６７０において、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯに接続されるトリガ信号の信号ラインと、増幅器ＰＡに接続されるトリガ信号の信号ラインとの両方を接続してもよい。

[0060] Ｓ６５０からＳ６７０までの処理により、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯと増幅器ＰＡとを運転して、パルスエネルギーの大きいパルスレーザ光がエキシマレーザ装置１ａから出力されるようにしてもよい。

[0061] 上述のＳ６４０又はＳ６７０の後、レーザ制御部１９は、本フローチャートの処理を終了し、図３を参照しながら説明したメインフローに処理を戻してもよい。

[0062] ３．２．４ 動作設定の第１の変形例

図８は、図３に示されるマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡの動作設定の処理の第１の変形例を示すフローチャートである。図８に示される処理は、図３に示されるＳ６００のサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。図８に示される処理は、図７を参照しながら説明した処理の代わりに行われてもよい。

[0063] 図８に示される処理においては、マスターオシレータＭＯのみを運転する場合に、増幅器ＰＡに接続されるトリガ信号の信号ラインが接続してあってもよい（Ｓ６４１）。上述のＳ６３０において、増幅器ＰＡにおける充電電圧が０に設定されているので、信号ラインが接続されていても増幅器ＰＡが運転されないようにすることができる。

他の点については、図７を参照しながら説明した処理と同様でよい。

[0064] ３．２．５ 動作設定の第２の変形例

図９は、図３に示されるマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡの動作設定の処理の第２の変形例を示すフローチャートである。図９に示される処理は、図３に示されるＳ６００のサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。図９に示される処理は、図７を参照しながら説明した処理の代わりに行われてもよい。

[0065] 図９に示される処理においては、マスターオシレータＭＯのみを運転する

場合に、増幅器ＰＡにおける充電電圧が設定値Ｖに設定されてもよい（Ｓ６３２）。上述のＳ６４０において、増幅器ＰＡに接続されるトリガ信号の信号ラインが切断されるので、充電電圧が設定値Ｖに設定されていても増幅器ＰＡが運転されないようにすることができる。

他の点については、図７を参照しながら説明した処理と同様でよい。

[0066] ３．２．６　動作設定の第３の変形例

図１０は、図３に示されるマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡの動作設定の処理の第３の変形例を示すフローチャートである。図１０に示される処理は、図３に示されるＳ６００のサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。図１０に示される処理は、図９を参照しながら説明した処理の代わりに行われてもよい。

[0067] 図１０に示される処理においては、目標パルスエネルギーＰｔが小さい場合に、増幅器ＰＡのトリガ信号のタイミングをずらすように、増幅器ＰＡのトリガ補正器１６を設定してもよい（Ｓ６４２）。例えば、パルスレーザ光が増幅器ＰＡを通過していないタイミングで増幅器ＰＡにおける放電が生じるように、増幅器ＰＡのトリガタイミングが補正されてもよい。

これにより、Ｓ６３２において増幅器ＰＡにおける充電電圧が設定値Ｖに設定されていても、増幅器ＰＡによる増幅動作が行われないようにすることができる。

他の点については、図９を参照しながら説明した処理と同様でよい。

[0068] 以上に説明した第１の実施形態によれば、目標パルスエネルギーＰｔの値に応じて、増幅器ＰＡによる増幅の有無を制御するので、広範囲でパルスエネルギーを変更することができる。また、第１の実施形態によるパルスエネルギーの制御は、パルス毎に行うことができる。さらに、アッテネータによるパルスエネルギーの損失を抑制し得るので、エネルギー効率を高くすることができる。

[0069] ４．調整発振を行うレーザアニールシステム（第２の実施形態）

４．１　構成

図１１は、本開示の第２の実施形態に係るエキシマレーザ装置を備えたレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。第１の実施形態において説明した充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係は、レーザチャンバ１０の内部のレーザガスの劣化などによって変化し得る。そこで、第２の実施形態においては、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係に関するデータをとって更新するための調整発振を可能としてもよい。

[0070] 第２の実施形態において、エキシマレーザ装置１ｂの出力端には、開閉可能なシャッタ１８が配置されていてもよい。シャッタ１８は、調整発振の際に、閉状態とすることにより、パルスレーザ光がアニール装置２０に入力されるのを抑制し得る。

また、第２の実施形態において、エキシマレーザ装置１ｂのレーザ制御部１９とレーザアニール装置２ｂのレーザアニール制御部２９との間に、調整発振の制御信号を送受信するための信号線が接続されていてもよい。

[0071] ４．２　パルスエネルギーの制御

４．２．１　メインフロー

図１２は、図１１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。以下に説明するように、レーザ制御部１９は、出力されるパルスエネルギーを制御する他に、調整発振を行ってデータを更新してもよい。

[0072] まず、Ｓ１００ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係を計測して、計測されたデータを記憶装置に記憶させてもよい。具体的には、アニール装置２０にパルスレーザ光を出力しない状態で調整発振を行い、この調整発振のときにパルスエネルギーの計測が行われてもよい。

Ｓ１００ｂの処理の詳細については、図１３を参照しながら後述する。

[0073] 次に、Ｓ３００ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係の近似式と、パルスエネルギー閾値Ｐｐａと、を計算してもよい。近似式は、Ｓ１００ｂにおいて計測されたパル

スエネルギーのデータに基づいて算出されてもよい。

Ｓ３００ｂの処理の詳細については、図１６を参照しながら後述する。

[0074] Ｓ３００ｂの後、Ｓ４００からＳ７００までの処理は、図３を参照しながら説明した第１の実施形態と同様でよい。

[0075] Ｓ７００において、トリガ信号が入力された場合（Ｓ７００；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ８００ｂに進めてもよい。

[0076] Ｓ８００ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係のデータを更新するか否かを判定してもよい。例えば、前回のデータ更新から所定時間経過した場合に、データを更新することとしてもよい。また、目標パルスエネルギーＰｔと出力されたパルスエネルギーとの差の絶対値が所定値を超えた場合に、データを更新することとしてもよい。

[0077] データを更新する場合（Ｓ８００ｂ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、処理を上述のＳ１００ｂに戻して、新たに計測を行ってもよい。データを更新しない場合（Ｓ８００ｂ；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ４００に戻して、計測済みのデータに基づいてパルスエネルギーの制御を続けてもよい。

[0078] ４．２．２ 計測処理の詳細

図１３は、図１２に示される計測処理の詳細を示すフローチャートである。図１３に示される処理は、図１２に示されるＳ１００ｂのサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。以下に説明するように、レーザ制御部１９は、シャッタ１８を閉めて調整発振を行い、充電電圧の設定値Ｖを変えながらパルスエネルギーを計測してもよい。

[0079] まず、Ｓ１１０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、調整発振要求信号をレーザアニール制御部２９に出力してもよい。

[0080] 次に、Ｓ１２０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、レーザアニール制御部２９から調整発振ＯＫ信号を受信したか否かを判定してもよい。調整発振ＯＫ信号を受信していない場合（Ｓ１２０ｂ；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、

調整発振ＯＫ信号を受信するまで待機してもよい。調整発振ＯＫ信号を受信した場合（Ｓ１２０ｂ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ１３０ｂに進めてもよい。レーザアニール制御部２９は、調整発振が行われている間、レーザアニールされる被加工物のステージの制御を中止してもよい。

Ｓ１３０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、シャッタ１８を閉めてもよい。

[0081] 次に、Ｓ１４０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯのみ運転する場合の、充電電圧の設定値Ｖと、出力されるパルスエネルギーP_{MO}と、の関係を計測してもよい。また、レーザ制御部１９は、計測結果に基づいて、マスターオシレータＭＯのみ運転する場合の最大パルスエネルギー$P_{MO}max$を計算してもよい。

Ｓ１４０ｂの処理の詳細については、図１４を参照しながら後述する。

[0082] 次に、Ｓ１７０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡを同期して運転する場合の、充電電圧の設定値Ｖと、出力されるパルスエネルギーP_{MOPA}と、の関係を計測してもよい。また、レーザ制御部１９は、計測結果に基づいて、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡを同期して運転する場合の最小パルスエネルギー$P_{MOPA}min$を計算してもよい。

Ｓ１７０ｂの処理の詳細については、図１５を参照しながら後述する。

[0083] 次に、Ｓ２１０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、シャッタ１８を開いてもよい。

次に、Ｓ２２０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、調整発振完了信号をレーザアニール制御部２９に出力してもよい。

Ｓ２２０ｂの後、レーザ制御部１９は、本フローチャートの処理を終了し、図１２を参照しながら説明したメインフローに処理を戻してもよい。

[0084] 図１４は、図１３に示されるＭＯのみ運転する場合の計測処理の詳細を示すフローチャートである。図１４に示される処理は、図１３に示されるＳ１４０ｂのサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。

以下に説明するように、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖを、最小値Ｖｍｉｎから最大値Ｖｍａｘまで変化させながら、それぞれの場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$を計測してもよい。

[0085] まず、Ｓ１４１ｂにおいて、レーザ制御部１９は、増幅器ＰＡにおける充電電圧を０に設定してもよい。

次に、Ｓ１４２ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖを、最小値Ｖｍｉｎに設定してもよい。

[0086] 次に、Ｓ１４３ｂにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯにおける充電電圧を、設定値Ｖに設定してもよい。

次に、Ｓ１４４ｂにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯにのみトリガ信号を送信開始してもよい。トリガ信号の繰り返し周波数は、実際にレーザアニールするときの繰り返し周波数と略同じでもよい。

[0087] 次に、Ｓ１４５ｂにおいて、レーザ制御部１９は、パルスエネルギー計測部１７の出力信号に基づいて、マスターオシレータＭＯのみ運転した場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$を計測してもよい。

次に、Ｓ１４６ｂにおいて、レーザ制御部１９は、Ｓ１４４ｂにおいて開始したマスターオシレータＭＯへのトリガ信号の送信を停止してもよい。

[0088] 次に、Ｓ１４７ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$との関係を記憶装置に記憶させてもよい。充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$との関係は、図５を参照しながら説明したテーブル形式で記憶されてもよい。例えば、Ｓ１４３ｂで設定された最新の充電電圧の設定値Ｖと、Ｓ１４５ｂでの最新の計測結果であるパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$との組を記憶してもよい。

記憶装置については図２９を参照しながら後述する。

[0089] 次に、Ｓ１５０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、最新の充電電圧の設定値Ｖが最大値Ｖｍａｘ以上であるか否かを判定してもよい。

[0090] Ｓ１５０ｂにおいて、充電電圧の設定値Ｖが最大値Ｖｍａｘ以上ではない場合（Ｓ１５０ｂ；ＮＯ）、レーザ制御部は、Ｓ１５１ｂに処理を進めても

よい。

Ｓ１５１ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖの値に所定値ΔＶを加えて、充電電圧の設定値Ｖの値を更新してもよい。Ｓ１５１ｂの後、レーザ制御部１９は、処理を上述のＳ１４３ｂに戻して、更新された設定値Ｖの値を新たに設定し、新たな設定値Ｖによるパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$を計測してもよい。

[0091] Ｓ１５０ｂにおいて、充電電圧の設定値Ｖが最大値Ｖｍａｘ以上である場合（Ｓ１５０ｂ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、Ｓ１５２ｂに処理を進めてもよい。

Ｓ１５２ｂにおいて、レーザ制御部１９は、Ｓ１４５ｂでの最新の計測結果であるパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$の値を、マスターオシレータＭＯのみ運転した場合の最大パルスエネルギー$Ｐ_{MO}ｍａｘ$として記憶装置に記憶させてもよい。

Ｓ１５２ｂの後、レーザ制御部１９は、本フローチャートによる処理を終了し、図１３に示されるフローに処理を戻してもよい。

[0092] 以上のようにして、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖを変えながら、マスターオシレータＭＯのみを運転した場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$を計測してもよい。

[0093] 図１５は、図１３に示されるＭＯ及びＰＡを同期して運転する場合の計測処理の詳細を示すフローチャートである。図１５に示される処理は、図１３に示されるＳ１７０ｂのサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。以下に説明するように、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖを、最小値Ｖｍｉｎから最大値Ｖｍａｘまで変化させながら、それぞれの場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$を計測してもよい。

[0094] まず、Ｓ１７２ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖを、最小値Ｖｍｉｎに設定してもよい。

次に、Ｓ１７３ｂにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡにおける充電電圧を、設定値Ｖに設定してもよい。

[0095] 次に、Ｓ１７４ｂにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡにトリガ信号を送信開始してもよい。トリガ信号の繰り返し周波数は、実際にレーザアニールするときの繰り返し周波数と略同じでもよい。

次に、Ｓ１７５ｂにおいて、レーザ制御部１９は、パルスエネルギー計測部１７の出力信号に基づいて、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡを同期して運転した場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$を計測してもよい。

次に、Ｓ１７６ｂにおいて、レーザ制御部１９は、Ｓ１７４ｂにおいて開始したマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡへのトリガ信号の送信を停止してもよい。

[0096] 次に、Ｓ１７７ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$との関係を記憶装置に記憶させてもよい。充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$との関係は、図５を参照しながら説明したテーブル形式で記憶されてもよい。例えば、Ｓ１７３ｂで設定された最新の充電電圧の設定値Ｖと、Ｓ１７５ｂでの最新の計測結果であるパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$との組を記憶してもよい。

記憶装置については図２９を参照しながら後述する。

[0097] 次に、Ｓ１７８ｂにおいて、レーザ制御部１９は、Ｓ１７３ｂで設定された最新の充電電圧の設定値Ｖが最小値Ｖｍｉｎであるか否かを判定してもよい。

[0098] Ｓ１７８ｂにおいて、最新の充電電圧の設定値Ｖが最小値Ｖｍｉｎである場合（Ｓ１７８ｂ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、Ｓ１７９ｂに処理を進めてもよい。

Ｓ１７９ｂにおいて、レーザ制御部１９は、Ｓ１７５ｂでの最新の計測結果であるパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$の値を、最小パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}ｍｉｎ$として記憶装置に記憶させてもよい。

[0099] Ｓ１７９ｂの処理を終了した場合、又は、Ｓ１７８ｂにおいて、最新の充電電圧の設定値Ｖが最小値Ｖｍｉｎではなかった場合（Ｓ１７８ｂ；ＮＯ）

、レーザ制御部１９は、Ｓ１８０ｂに処理を進めてもよい。

Ｓ１８０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、最新の充電電圧の設定値Ｖが最大値Ｖｍａｘ以上であるか否かを判定してもよい。

[0100] Ｓ１８０ｂにおいて、充電電圧の設定値Ｖが最大値Ｖｍａｘ以上ではない場合（Ｓ１８０ｂ；ＮＯ）、レーザ制御部は、Ｓ１８１ｂに処理を進めてもよい。

Ｓ１８１ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖの値に所定値ΔＶを加えて、充電電圧の設定値Ｖの値を更新してもよい。Ｓ１８１ｂの後、レーザ制御部１９は、処理を上述のＳ１７３ｂに戻して、新たな設定値Ｖを設定し、新たな設定値Ｖによるパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$を計測してもよい。

[0101] Ｓ１８０ｂにおいて、充電電圧の設定値Ｖが最大値Ｖｍａｘ以上である場合（Ｓ１８０ｂ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、本フローチャートによる処理を終了し、図１３に示されるフローに処理を戻してもよい。

[0102] 以上のようにして、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖを変えながら、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡを同期して運転した場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA}$を計測してもよい。

[0103] ４．２．３ 近似式の計算の詳細

図１６は、図１２に示される近似式等の計算の詳細を示すフローチャートである。図１６に示される処理は、図１２に示されるＳ３００ｂのサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。

[0104] まず、Ｓ３１０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、上述のＳ１００ｂによる計測結果に基づいて、充電電圧の設定値Ｖと、出力されるパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$と、の関係についての近似式を計算してもよい。例えば、以下に示されるような３次曲線による近似式を、最小二乗法などにより計算してもよい。

$$Ｅ_{MO}＝Ａ_{1}Ｖ^{3}＋Ｂ_{1}Ｖ^{2}＋Ｃ_{1}Ｖ＋Ｄ_{1}$$

[0105] 次に、Ｓ３３０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、上述のＳ１００ｂによ

る計測結果に基づいて、充電電圧の設定値Ｖと、出力されるパルスエネルギーＰ$_{MOPA}$と、の関係についての近似式を計算してもよい。例えば、以下に示されるような３次曲線による近似式を、最小二乗法などにより計算してもよい。

$$E_{MOPA}=A_2V^3+B_2V^2+C_2V+D_2$$

[0106] このように近似式を計算しておけば、目標パルスエネルギーＥｔを与えられたときに３次方程式を解くことにより、充電電圧の設定値Ｖを算出し得る。

[0107] 次に、Ｓ３４０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、パルスエネルギー閾値Ｐｐａの値を、以下の式により計算してもよい。

$$Ppa=(P_{MO}max+P_{MOPA}min)/2$$

[0108] 図１７は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係、及び、パルスエネルギー閾値Ｐｐａの一例を示す。図１７に多数の小円で示されるように、パルスエネルギーＰ$_{MO}$及びパルスエネルギーＰ$_{MOPA}$は、充電電圧の設定値Ｖに応じて離散的な複数の値として計測されてもよい。レーザ制御部１９は、この離散的な値に基づいて、上述の近似式を計算してもよい。

[0109] パルスエネルギー閾値Ｐｐａは、Ｐ$_{MO}$ｍａｘとＰ$_{MOPA}$ｍｉｎとの平均値としたので、パルスエネルギー閾値ＰｐａとＰ$_{MO}$ｍａｘとの差や、パルスエネルギー閾値ＰｐａとＰ$_{MOPA}$ｍｉｎとの差が均等に設定され得る。これにより、Ｐ$_{MO}$ｍａｘ又はＰ$_{MOPA}$ｍｉｎが変動したとしても、パルスエネルギー閾値ＰｐａがＰ$_{MO}$ｍａｘとＰ$_{MOPA}$ｍｉｎとの間からずれることを抑制し得る。

[0110] 第２の実施形態によれば、エキシマレーザ装置１ｂの特性が変化したとしても、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係に関するデータを更新するので、パルスエネルギーを的確に制御し得る。

他の点については、第１の実施形態と同様でよい。

[0111] ５．複数の増幅器を含むレーザアニールシステム（第３の実施形態）

５．１ 構成

図１８は、本開示の第３の実施形態に係るエキシマレーザ装置を備えたレーザアニールシステムの構成を概略的に示す。第３の実施形態においては、エキシマレーザ装置１ｃが、複数の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までを含んでいる点で、第１及び第２の実施形態と異なってもよい。第３の実施形態において、ｎは２以上の整数でもよく、ｎの値は、エキシマレーザ装置１ｃに含まれる増幅器の台数を示していてもよい。複数の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までの各々の構成は、第１及び第２の実施形態における増幅器ＰＡの構成と同様でよい。

[0112] 複数の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までは、パルスレーザ光の光路の下流側から番号順に直列に配置されていてもよい。すなわち、増幅器ＰＡ（ｎ）が、マスターオシレータＭＯから出力されたパルスレーザ光の光路の最も上流側に配置されてもよい。図示しない増幅器ＰＡ（ｎ－１）が、増幅器ＰＡ（ｎ）から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（１）が、パルスレーザ光の光路の最も下流側に配置されてもよい。

[0113] 以下に詳述されるように、第３の実施形態においては、目標パルスエネルギーＰｔの値に基づいて、複数の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までの内の、運転する増幅器の台数を決定してもよい。運転する増幅器の台数が多いほど、出力されるパルスエネルギーを大きくすることができる。

[0114] また、複数の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までの内のｋ台の増幅器を運転する場合には、パルスレーザ光の光路の下流側の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｋ）までが運転されてもよい。パルスレーザ光の光路の上流側の増幅器ＰＡ（ｋ＋１）からＰＡ（ｎ）までは運転停止されてもよい。

[0115] 仮に、上流側の増幅器ＰＡ（ｎ）が運転され、下流側の増幅器ＰＡ（１）が運転停止されると、せっかく上流側の増幅器ＰＡ（ｎ）でパルスレーザ光が増幅されても、下流側の増幅器ＰＡ（１）ではパルスエネルギーが所定の割合で減衰され得る。第３の実施形態においては、下流側の増幅器ＰＡ（１）が運転され、上流側の増幅器ＰＡ（ｎ）が運転停止されるようにしたので、エネルギーの効率が向上し得る。

[0116] 第３の実施形態において、ｋは１からｎまでの整数の内の任意の数となることができる変数であり、後述のフローチャートではカウンタとして用いられてもよい。

ｋ＝１の場合に、「ＰＡ（１）からＰＡ（ｋ）まで」とは、ＰＡ（１）のみを意味してもよい。

ｋ＝ｎ－１の場合に、「ＰＡ（ｋ＋１）からＰＡ（ｎ）まで」とは、ＰＡ（ｎ）のみを意味してもよい。

ｋ＝ｎの場合に、「ＰＡ（ｋ＋１）からＰＡ（ｎ）まで」とは、該当する増幅器がないことを意味してもよい。すなわち、ｋ＝ｎの場合に、「ＰＡ（ｋ＋１）からＰＡ（ｎ）までが運転停止」との表記は、運転停止される増幅器がないことを意味してもよい。

[0117] ５．２　パルスエネルギーの制御

５．２．１　メインフロー

図１９は、図１８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３の実施形態において、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Ｐｔの値に基づいて、レーザアニールのために運転される増幅器の台数を決定してもよい。

[0118] まず、Ｓ１００ｃにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係を計測して、計測されたデータを記憶装置に記憶させてもよい。この処理は、第２の実施形態におけるＳ１００ｂの処理と似ているが、計測のために運転される増幅器の台数を変えながら、それぞれ計測が行われる点で、第２の実施形態と異なってもよい。

Ｓ１００ｃの処理の詳細については、図２０を参照しながら後述する。

[0119] 次に、Ｓ３００ｃにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係の近似式と、パルスエネルギー閾値Ｐｐａ（１）からＰｐａ（ｎ）までと、を計算してもよい。この処理は、第２の実施形態におけるＳ３００ｂの処理と似ているが、計測のために運転された増幅器の台数に応じて、それぞれ計算が行われる点で、第２の実施形態と

異なってもよい。

Ｓ３００ｃの処理の詳細については、図２３を参照しながら後述する。

[0120] 次に、Ｓ４００において、レーザ制御部１９は、レーザアニール制御部２９から、目標パルスエネルギーＰｔの値を読み込んでもよい。この処理は、図３を参照しながら説明した第１の実施形態における処理と同様でよい。

[0121] 次に、Ｓ５００ｃにおいて、レーザ制御部１９は、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐを計算してもよい。レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐは、０からｎまでの整数の内のいずれかであってもよい。目標パルスエネルギーＰｔの値が大きいときは、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐが大きくなってもよい。目標パルスエネルギーＰｔの値が小さいときは、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐが小さくなってもよい。

Ｓ５００ｃの処理の詳細については、図２４を参照しながら後述する。

[0122] 次に、Ｓ６００ｃにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯ及び複数の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までのそれぞれの動作を設定してもよい。この処理は、第１及び第２の実施形態におけるＳ６００の処理と似ているが、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐに応じた処理が行われる点で、第１及び第２の実施形態と異なってもよい。

Ｓ６００ｃの処理の詳細については、図２５を参照しながら後述する。

[0123] 次のＳ７００の処理は、第１及び第２の実施形態で説明したＳ７００の処理と同様でよい。次のＳ８００ｂの処理は、第２の実施形態で説明したＳ８００ｂの処理と同様でよい。

[0124] ５．２．２ 計測処理の詳細

図２０は、図１９に示される計測処理の詳細を示すフローチャートである。図２０に示される処理は、図１９に示されるＳ１００ｃのサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。第２の実施形態におけるＳ１００ｂの処理と同様に、レーザ制御部１９は、シャッタ１８を閉めて調整発振を行い、充電電圧の設定値Ｖを変えながらパルスエネルギーを計測し

てもよい。但し、第３の実施形態においては、以下に説明するように、複数の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までの内の運転する増幅器の台数に応じてそれぞれ計測を行ってもよい。

[0125] まず、Ｓ１１０ｂからＳ１４０ｂまでの処理は、図１３を参照しながら説明した第２の実施形態の処理と同様でよい。Ｓ１４０ｂの処理の詳細も、図１４を参照しながら説明した第２の実施形態の処理と同様でよい。Ｓ１４０ｂの処理により、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーP_{MO}との関係を計測し、且つ、最大パルスエネルギー$P_{MO}max$を計算してもよい。

[0126] 次に、Ｓ１６０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、カウンタｋの値を１にセットしてもよい。カウンタｋの値により、計測のために運転される増幅器の台数がｋ台に決められてもよい。

[0127] 次に、Ｓ１７０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと、出力されるパルスエネルギー$P_{MOPA(k)}$と、の関係を計測してもよい。この計測結果に基づいて、レーザ制御部１９は、最小パルスエネルギー$P_{MOPA(k)min}$及び最大パルスエネルギー$P_{MOPA(k)max}$を計算してもよい。

Ｓ１７０ｃの処理の詳細については、図２１を参照しながら後述する。

[0128] 次に、Ｓ１９０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、カウンタｋの値がｎ以上であるか否かを判定してもよい。

[0129] Ｓ１９０ｃにおいて、カウンタｋの値がｎ以上ではない場合（Ｓ１９０ｃ；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ２００ｃに進めてもよい。

Ｓ２００ｃにおいて、レーザ制御部１９は、カウンタｋの値に１を加えてカウンタｋの値を更新し、処理を上述のＳ１７０ｃに戻すことによって、さらに多くの増幅器を運転した場合の計測結果を取得してもよい。

[0130] Ｓ１９０ｃにおいて、カウンタｋの値がｎ以上である場合（Ｓ１９０ｃ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ２１０ｂに進めてもよい。Ｓ２１０ｂ及びその次のＳ２２０ｂの処理は、第２の実施形態において説明したものと同様でよい。Ｓ２２０ｂの後、レーザ制御部１９は、本フローチャート

の処理を終了し、図１９を参照しながら説明したメインフローに処理を戻してもよい。

[0131] 図２１は、図２０に示されるＭＯ及びＰＡ（１）からＰＡ（ｋ）までを同期して運転する場合の計測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２０に示されるＳ１７０ｃのサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。図２１に示される処理の前提として、図２０に示されるＳ１６０ｃ又はＳ２００ｃの処理で設定されたカウンタｋの値により、計測のために運転される増幅器の台数がｋ台に決められていてもよい。

以下に説明するように、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖを、最小値Ｖｍｉｎから最大値Ｖｍａｘまで変化させながら、それぞれの場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$を計測してもよい。

[0132] まず、Ｓ１７１ｃにおいて、レーザ制御部１９は、増幅器ＰＡ（ｋ＋１）からＰＡ（ｎ）までにおける充電電圧を０に設定してもよい。すなわち、増幅器ＰＡ（ｋ＋１）からＰＡ（ｎ）までが運転停止されるように設定されてもよい。

次に、Ｓ１７２ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖを、最小値Ｖｍｉｎに設定してもよい。

[0133] 次に、Ｓ１７３ｃにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｋ）までにおける充電電圧を、設定値Ｖに設定してもよい。

次に、Ｓ１７４ｃにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｋ）までにトリガ信号を送信開始してもよい。トリガ信号の繰り返し周波数は、実際にレーザアニールするときの繰り返し周波数と略同じでもよい。

[0134] 次に、Ｓ１７５ｃにおいて、レーザ制御部１９は、パルスエネルギー計測部１７の出力信号に基づいて、パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$を計測してもよい。

次に、Ｓ１７６ｂにおいて、レーザ制御部１９は、Ｓ１７４ｃにおいて開始したマスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｋ）までへのトリガ信号の送信を停止してもよい。

[0135] 次に、Ｓ１７７ｃにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギー$P_{MOPA(k)}$との関係を記憶装置に記憶させてもよい。例えば、Ｓ１７３ｃで設定された最新の充電電圧の設定値Ｖと、Ｓ１７５ｃでの最新の計測結果であるパルスエネルギー$P_{MOPA(k)}$との組を記憶してもよい。

記憶装置については図２９を参照しながら後述する。

[0136] 次に、Ｓ１７８ｂにおいて、レーザ制御部１９は、Ｓ１７３ｃで設定された最新の充電電圧の設定値Ｖが最小値Ｖｍｉｎであるか否かを判定してもよい。

[0137] Ｓ１７８ｂにおいて、最新の充電電圧の設定値Ｖが最小値Ｖｍｉｎである場合（Ｓ１７８ｂ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、Ｓ１７９ｃに処理を進めてもよい。

Ｓ１７９ｃにおいて、Ｓ１７５ｃでの最新の計測結果であるパルスエネルギー$P_{MOPA(k)}$の値を、最小パルスエネルギー$P_{MOPA(k)}min$として記憶装置に記憶させてもよい。

[0138] Ｓ１７９ｃの処理を終了した場合、又は、Ｓ１７８ｂにおいて、最新の充電電圧の設定値Ｖが最小値Ｖｍｉｎではなかった場合（Ｓ１７８ｂ；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、Ｓ１８０ｂに処理を進めてもよい。

Ｓ１８０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、最新の充電電圧の設定値Ｖが最大値Ｖｍａｘ以上であるか否かを判定してもよい。

[0139] Ｓ１８０ｂにおいて、充電電圧の設定値Ｖが最大値Ｖｍａｘ以上ではない場合（Ｓ１８０ｂ；ＮＯ）、レーザ制御部は、Ｓ１８１ｂに処理を進めてもよい。

Ｓ１８１ｂにおいて、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖの値に所定値ΔＶを加えて、充電電圧の設定値Ｖの値を更新してもよい。Ｓ１８１ｂ

の後、レーザ制御部１９は、処理を上述のＳ１７３ｃに戻して、新たな設定値Ｖを設定し、新たな設定値Ｖによるパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$を計測してもよい。

[0140] Ｓ１８０ｂにおいて、充電電圧の設定値Ｖが最大値Ｖｍａｘ以上である場合（Ｓ１８０ｂ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ１８２ｃに進めてもよい。

Ｓ１８２ｃにおいて、レーザ制御部１９は、Ｓ１７５ｃでの最新の計測結果であるパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$の値を、最大パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)ｍａｘ}$として記憶装置に記憶させてもよい。

Ｓ１８２ｃの後、レーザ制御部１９は、本フローチャートによる処理を終了し、図１９に示されるフローに処理を戻してもよい。

[0141] 以上のようにして、レーザ制御部１９は、充電電圧の設定値Ｖを変えながら、パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$を計測してもよい。

[0142] 図２２は、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーとの関係と、パルスエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）の一例とを示す。図２２に示されるように、充電電圧の設定値Ｖが大きいほど、マスターオシレータＭＯのみ運転した場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MO}$が大きくなってもよい。また、充電電圧の設定値Ｖが大きいほど、マスターオシレータＭＯ及び増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｋ）までを同期して運転した場合のパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$が大きくなってもよい。

[0143] 充電電圧の設定値Ｖが同じであれば、パルスエネルギー$Ｐ_{MO}$よりも、パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$の方が大きくてもよい。ｋの値を大きくして、より多くの増幅器を運転した方が、より大きいパルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$が得られてもよい。

[0144] パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k-1)}$の最大値$Ｐ_{MOPA(k-1)ｍａｘ}$は、パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$の最小値$Ｐ_{MOPA(k)ｍｉｎ}$よりも大きいことが望ましい。これにより、パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k-1)}$のダイナミックレンジと、パルスエネルギー$Ｐ_{MOPA(k)}$のダイナミックレンジとが、$Ｐ_{MOPA(k)ｍｉｎ}$か

らP$_{MOPA(k-1)}$ｍａｘまで重複し得る。従って、エキシマレーザ装置１ｃから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーのダイナミックレンジの切れ目が生じることを抑制し得る。

[0145] パルスエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）の値は、パルスエネルギーP$_{MOPA(k-1)}$の最大値P$_{MOPA(k-1)}$ｍａｘと、パルスエネルギーP$_{MOPA(k)}$の最小値P$_{MOPA(k)}$ｍｉｎとの間の値に設定されてもよい。後述するように、目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）未満である場合に、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯと増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｋ－１）までとを同期して運転し、他の増幅器の運転を停止してもよい。

[0146] ５．２．３ 近似式の計算の詳細

図２３は、図１９に示される近似式等の計算の詳細を示すフローチャートである。図２３に示される処理は、図１９に示されるＳ３００ｃのサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。

[0147] まず、Ｓ３１０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、上述のＳ１００ｃによる計測結果に基づいて、充電電圧の設定値Ｖと出力されるパルスエネルギーP$_{MO}$との関係についての近似式を計算してもよい。例えば、以下に示されるような３次曲線による近似式を、最小二乗法などにより計算してもよい。

$$E_{MO}=A_1V^3+B_1V^2+C_1V+D_1$$

[0148] 次に、Ｓ３２０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、カウンタｋの値を１にセットしてもよい。

[0149] 次に、Ｓ３３０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、上述のＳ１００ｃによる計測結果に基づいて、充電電圧の設定値Ｖと、出力されるパルスエネルギーP$_{MOPA(k)}$と、の関係についての近似式を計算してもよい。例えば、以下に示されるような３次曲線による近似式を、最小二乗法などにより計算してもよい。

$$E_{MOPA(k)}=A_2V^3+B_2V^2+C_2V+D_2$$

[0150] 次に、Ｓ３４０ｂにおいて、レーザ制御部１９は、ｋ台目の増幅器ＰＡ（ｋ）を運転するか否かを判定するためのパルスエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）

の値を、以下の式により計算してもよい。

$$Ppa(k)=(P_{MOPA(k-1)}max+P_{MOPA(k)}min)/2$$

なお、ｋ＝１の場合に、$P_{MOPA(k-1)}max$は、図１３のＳ１４０ｂで計算された$P_{MO}max$を意味していてもよい。

[0151] 次に、Ｓ３５０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、カウンタｋの値がｎ以上であるか否かを判定してもよい。

[0152] Ｓ３５０ｃにおいて、カウンタｋの値がｎ以上ではない場合（Ｓ３５０ｃ；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ３６０ｃに進めてもよい。

Ｓ３６０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、カウンタｋの値に１を加えてカウンタｋの値を更新し、処理を上述のＳ３３０ｃに戻してもよい。これにより、さらに多くの増幅器を運転した場合の近似式を計算してもよい。

[0153] Ｓ３５０ｃにおいて、カウンタｋの値がｎ以上である場合（Ｓ３５０ｃ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、本フローチャートの処理を終了し、図１９を参照しながら説明したメインフローに処理を戻してもよい。

[0154] ５．２．４　運転される増幅器の台数の計算の詳細

図２４は、図１９に示される運転される増幅器の台数を計算する処理の詳細を示すフローチャートである。図２４に示される処理は、図１９に示されるＳ５００ｃのサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。

[0155] 以下に説明されるように、目標パルスエネルギーＰｔの値が、最も低いパルスエネルギー閾値Ｐｐａ（１）から順番に、複数のパルスエネルギー閾値と比較されてもよい。この比較の結果により、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐが決定されてもよい。

目標パルスエネルギーＰｔの値が大きいときは、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐが大きくなってもよい。目標パルスエネルギーＰｔの値が小さいときは、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐが小さくなってもよい。

[0156] まず、Ｓ５１０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、カウンタｋの値を１に

セットしてもよい。このカウンタｋの値により、目標パルスエネルギーＰｔとパルスエネルギー閾値Ｐｐａ（１）からＰｐａ（ｎ）までの内のいずれとを比較するかが決定されてもよい。

[0157] 次に、Ｓ５２０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、目標パルスエネルギーＰｔとパルスエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）とを比較し、目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）未満であるか否かを判定してもよい。

[0158] 目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）未満である場合（Ｓ５２０ｃ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ５３０ｃに進めてもよい。

Ｓ５３０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐを、カウンタｋの値から１を減算した値、すなわち（ｋ－１）に設定してもよい。

[0159] 目標パルスエネルギーＰｔがパルスエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）未満ではない場合（Ｓ５２０ｃ；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ５４０ｃに進めてもよい。

Ｓ５４０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、カウンタｋの値がｎ以上であるか否かを判定してもよい。

[0160] Ｓ５４０ｃにおいて、カウンタｋの値がｎ以上ではない場合（Ｓ５４０ｃ；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ５５０ｃに進めてもよい。

Ｓ５５０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、カウンタｋの値に１を加えてカウンタｋの値を更新し、処理を上述のＳ５２０ｃに戻してもよい。これにより、目標パルスエネルギーＰｔをさらに別のパルスエネルギー閾値Ｐｐａ（ｋ）と比較してもよい。

[0161] Ｓ５４０ｃにおいて、カウンタｋの値がｎ以上である場合（Ｓ５４０ｃ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ５６０ｃに進めてもよい。

Ｓ５６０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐを、ｎに設定してもよい。

[0162] 上述のＳ５３０ｃ又はＳ５６０ｃの後、レーザ制御部１９は、本フローチャートの処理を終了し、図１９を参照しながら説明したメインフローに処理を戻してもよい。

[0163] ５．２．５ 動作設定の詳細

図２５は、図１９に示されるマスターオシレータＭＯ及び複数の増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までの動作設定の処理の詳細を示すフローチャートである。図２５に示される処理は、図１９に示されるＳ６００ｃのサブルーチンとして、レーザ制御部１９によって行われてもよい。レーザ制御部１９は、以下の処理により、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐに応じて、マスターオシレータＭＯのみを運転したり、マスターオシレータＭＯとｋｏｐ台の増幅器とを同期して運転したりしてもよい。

[0164] まず、Ｓ６１０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、Ｓ５００ｃにおいて決められた、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐの値が０であるか否かを判定してもよい。

[0165] 上述のＳ６１０ｃにおいて、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐの値が０である場合に（Ｓ６１０ｃ；ＹＥＳ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ６２０に進めてもよい。

Ｓ６２０において、レーザ制御部１９は、出力されるパルスエネルギーを目標パルスエネルギーＰｔに一致させるための、マスターオシレータＭＯにおける充電電圧の設定値Ｖを計算してもよい。この計算は、例えば、図２２に示される充電電圧の設定値ＶとパルスエネルギーP_{MO}との関係に基づいて行われてもよい。

[0166] 次に、Ｓ６３０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯにおける充電電圧を、Ｓ６２０において算出された設定値Ｖに設定してもよい。レーザ制御部１９は、すべての増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までにおける充電電圧を０に設定してもよい。

[0167] 次に、Ｓ６４０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯに接続されるトリガ信号の信号ラインを接続してもよい。レーザ制御部１

９は、すべての増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｎ）までのそれぞれについて、当該増幅器に接続されるトリガ信号の信号ラインを切断してもよい。

[0168] Ｓ６２０からＳ６４０ｃまでの処理により、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯのみを運転して、パルスエネルギーの小さいパルスレーザ光がエキシマレーザ装置１ｃから出力されるようにしてもよい。

[0169] 上述のＳ６１０ｃにおいて、レーザアニールのために運転される増幅器の台数ｋｏｐの値が０ではない場合に（Ｓ６１０ｃ；ＮＯ）、レーザ制御部１９は、処理をＳ６５０ｃに進めてもよい。

Ｓ６５０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、出力されるパルスエネルギーを目標パルスエネルギーＰｔに一致させるための、増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｋｏｐ）までのそれぞれにおける充電電圧の設定値Ｖを計算してもよい。この計算は、例えば、図２２に示される充電電圧の設定値Ｖとパルスエネルギー$P_{MOPA(k)}$との関係に基づいて行われてもよい。なお、ｋｏｐ＝１の場合に、「ＰＡ（１）からＰＡ（ｋｏｐ）まで」とは、ＰＡ（１）のみを意味してもよい。

[0170] 次に、Ｓ６６０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯにおける充電電圧と、増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｋｏｐ）までにおける充電電圧との両方を、設定値Ｖに設定してもよい。レーザ制御部１９は、レーザアニールのために運転される増幅器以外の増幅器ＰＡ（ｋｏｐ＋１）からＰＡ（ｎ）までのそれぞれにおける充電電圧を０に設定してもよい。なお、ｋｏｐ＝ｎ－１の場合に、「ＰＡ（ｋｏｐ＋１）からＰＡ（ｎ）まで」とは、ＰＡ（ｎ）のみを意味してもよい。ｋｏｐ＝ｎの場合に、「ＰＡ（ｋｏｐ＋１）からＰＡ（ｎ）まで」とは、該当する増幅器がないことを意味してもよい。

[0171] Ｓ６７０ｃにおいて、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯと増幅器ＰＡ（１）からＰＡ（ｋｏｐ）までとのそれぞれに接続されるトリガ信号の信号ラインを接続してもよい。レーザ制御部１９は、レーザアニールのために運転される増幅器以外の増幅器ＰＡ（ｋｏｐ＋１）からＰＡ（ｎ）ま

でのそれぞれについて、当該増幅器に接続されるトリガ信号の接続ラインを切断してもよい。

[0172] Ｓ６５０ｃからＳ６７０ｃまでの処理により、レーザ制御部１９は、マスターオシレータＭＯと少なくとも１つの増幅器ＰＡとを運転して、パルスエネルギーの大きいパルスレーザ光が出力されるようにしてもよい。

Ｓ６４０ｃ又はＳ６７０ｃの後、レーザ制御部１９は、本フローチャートの処理を終了し、図１９を参照しながら説明したメインフローに処理を戻してもよい。

[0173] ６．その他

６．１ アニール装置

図２６及び図２７は、上記の各実施形態において用いられるアニール装置の構成を概略的に示す。アニール装置２０は、フレーム２２と、ＸＹＺステージ２３と、テーブル２４と、光学システム３と、を備えてもよい。

[0174] フレーム２２は、光学システム３を収容してもよい。また、フレーム２２は、上述のＸＹＺステージ２３及びテーブル２４を保持してもよい。光路管２１は、エキシマレーザ装置１ａとフレーム２２との間に接続されていてもよい。エキシマレーザ装置１ａ（図２参照）の代わりに、エキシマレーザ装置１ｂ（図１１参照）又はエキシマレーザ装置１ｃ（図１８参照）が用いられてもよい。

[0175] エキシマレーザ装置１ａから出力されて光学システム３に入射するパルスレーザ光の進行方向はＹ方向であってもよい。このパルスレーザ光は、Ｘ方向よりもＺ方向に長いビーム断面を有する扁平状のパルスレーザ光であってもよい。以下の説明において、Ｘ方向及びＹ方向は、被加工物Ｓに対するパルスレーザ光の照射面に沿った方向であってもよい。Ｚ方向は、被加工物Ｓに対するパルスレーザ光の照射方向と反対の方向であってもよい。Ｘ方向、Ｙ方向及びＺ方向は、互いに垂直の方向であってもよい。

ここで、被加工物Ｓは、たとえば、アモルファスシリコンを成膜したガラス基板であってもよい。

[0176] 光学システム３は、複数の高反射ミラー３１、３２及び３３と、ビームホモジナイザ５０と、を含んでもよい。複数の高反射ミラー３１、３２及び３３は、エキシマレーザ装置１ａから出力されたパルスレーザ光をビームホモジナイザ５０に導くように構成されてもよい。ビームホモジナイザ５０は、フライアイレンズ５０１と、コンデンサ光学系５０２とを含み、パルスレーザ光の光強度分布を均一化するケーラー照明を構成するように設計されてもよい。フライアイレンズ５０１は、複数の高反射ミラー３１、３２及び３３によって反射されたパルスレーザ光の光路軸に垂直なビーム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、パルスレーザ光の各一部をコンデンサ光学系５０２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。

[0177] コンデンサ光学系５０２は、当該コンデンサ光学系５０２の前側焦点面の位置にフライアイレンズ５０１の焦点位置が略一致し、当該コンデンサ光学系５０２の後側焦点面の位置に被加工物Ｓの表面の位置が略一致するように配置されてもよい。その結果、コンデンサ光学系５０２は、フライアイレンズ５０１に含まれる複数のレンズからそれぞれ出射された複数のパルスレーザ光のビームをコリメートし得る。そして、複数のパルスレーザ光はコンデンサ光学系５０２の後側焦点位置で重ね合わされて被加工物Ｓに照射され得る。ここで、フライアイレンズ５０１の個々のレンズの形状は長方形の形状であってもよい。

[0178] 以上の構成により、ビームホモジナイザ５０は、被加工物Ｓに照射されるパルスレーザ光のビーム断面における光強度分布のばらつきを低減し得る。ビームホモジナイザ５０から出力されて被加工物Ｓに入射するパルスレーザ光の進行方向は－Ｚ方向であってもよい。このパルスレーザ光のビーム断面は、Ｘ方向よりもＹ方向に長い長方形であってもよく、このビーム断面のＹ方向の幅は、被加工物ＳのＹ方向の幅よりも長くてもよい。

[0179] レーザアニール制御部２９は、エキシマレーザ装置１ａ及びＸＹＺステージ２３に対して制御信号を送信するように構成されてもよい。テーブル２４

は、被加工物Ｓを保持してもよい。ＸＹＺステージ２３は、テーブル２４をＸ方向、Ｙ方向及びＺ方向に移動可能に構成されてもよい。

[0180] 図２８Ａ～図２８Ｃは、図２６及び図２７に示されるアニール装置２０によって照射される被加工物Ｓの平面図である。レーザアニール制御部２９は、ビームホモジナイザ５０から出力されるパルスレーザ光Ｂが、被加工物ＳのＸ方向側の端部に照射されるように、ＸＹＺステージ２３を制御してもよい。

[0181] レーザアニール制御部２９は、Ｘ方向にテーブル２４を所定速度で移動させるようにＸＹＺステージ２３を制御してもよい。これにより、パルスレーザ光Ｂの照射位置が－Ｘ方向に移動してもよい。

[0182] レーザアニール制御部２９は、Ｘ方向にテーブル２４を所定速度で移動させ、所定の繰り返し周波数でトリガ信号を出力しながら、目標パルスエネルギーＰｔの値を変化させてもよい。これにより、図２８Ｃに示されるように、被加工物Ｓに照射されるパルスレーザ光のフルーエンスが、Ｘ方向に所望の分布を有するようにしてもよい。

[0183] これによれば、テーブル２４の移動速度を一定値にした場合でも、被加工物Ｓに照射されるパルスレーザ光のフルーエンスが、Ｘ方向に所望の分布を有するようにすることができる。また、トリガ信号の繰り返し周波数を一定値にした場合でも、被加工物Ｓに照射されるパルスレーザ光のフルーエンスが、Ｘ方向に所望の分布を有するようにすることができる。

従って、テーブル２４の移動速度を変化させたり、パルスレーザ光の繰り返し周波数を変化させたりする必要がないので、レーザアニール処理のスループットを向上し得る。

[0184] ６．２ 制御部の構成

図２９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制御部１９、レーザアニール制御部２９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。

[0185] （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。

[0186] （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出してもよい。また、処理部１０００は、読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。

[0187] 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。

[0188] 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。

[0189] 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。

[0190] 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。

[0191] 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。

[0192] 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、エキシマレーザ装置１ａ、レーザアニール装置２ａ、他の制御部等の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、エキシマレーザ装置１ａ、レーザアニール装置２ａ、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。

[0193] 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。

[0194] 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] 外部装置から目標パルスエネルギーのデータを受信して、パルスレーザ光を出力するエキシマレーザ装置であって、

マスターオシレータと、

前記マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路に配置されたチャンバと、前記チャンバに配置された一対の電極と、前記一対の電極に電圧を印加する電源と、をそれぞれ含む少なくとも１つの増幅器と、

前記目標パルスエネルギーに基づいて、前記少なくとも１つの増幅器のうちの１つの増幅器について、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加を停止させる制御部と、

を備えるエキシマレーザ装置。

[請求項2] 前記制御部は、前記目標パルスエネルギーが所定値よりも小さい場合に、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加を停止させる、請求項１記載のエキシマレーザ装置。

[請求項3] 前記所定値は、

前記電源による前記一対の電極への電圧の印加を停止させた場合に前記エキシマレーザ装置から出力されるパルスレーザ光の最大のパルスエネルギーと、

前記電源による前記一対の電極への電圧の印加をさせた場合に前記エキシマレーザ装置から出力されるパルスレーザ光の最小のパルスエネルギーと、

の間の値である、請求項２記載のエキシマレーザ装置。

[請求項4] 前記制御部は、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加をさせるためのトリガ信号を前記電源に入力することを停止することにより、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加を停止させる、請求項１記載のエキシマレーザ装置。

[請求項5] 前記制御部は、前記電源の充電器における充電電圧を、前記一対の

電極の間で放電が起こらないような値に設定することにより、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加を停止させる、請求項１記載のエキシマレーザ装置。

[請求項6] 前記電源の充電器における充電電圧の設定値と、前記エキシマレーザ装置から出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーと、の関係を記述したデータテーブルを、前記制御部によって読み取り可能に記憶した記憶媒体をさらに備える、請求項１記載のエキシマレーザ装置。

[請求項7] 前記制御部は、

前記電源の充電器における充電電圧の設定値を変えながら前記マスターオシレータにレーザ発振させて、前記充電電圧の設定値と、前記エキシマレーザ装置から出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーと、の関係を計測する第１の処理と、

前記第１の処理によって得られたデータを用いて前記データテーブルを更新する第２の処理と、

を実行可能に構成された、請求項６記載のエキシマレーザ装置。

[請求項8] 前記少なくとも１つの増幅器は、第１の増幅器と、前記第１の増幅器から出力されたパルスレーザ光の光路に配置された第２の増幅器と、を含む、請求項１記載のエキシマレーザ装置。

[請求項9] 前記制御部は、前記第１の増幅器について、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加を停止させ、前記第２の増幅器について、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加をさせる、請求項８記載のエキシマレーザ装置。

[請求項10] 前記少なくとも１つの増幅器は、前記第２の増幅器から出力されたパルスレーザ光の光路に配置された第３の増幅器をさらに含み、

前記制御部は、前記第１及び第２の増幅器について、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加を停止させ、前記第３の増幅器について、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加をさせる、請求

項９記載のエキシマレーザ装置。

[請求項11] 外部装置から目標パルスエネルギーのデータを受信して、パルスレーザ光を出力するエキシマレーザ装置であって、

マスターオシレータと、

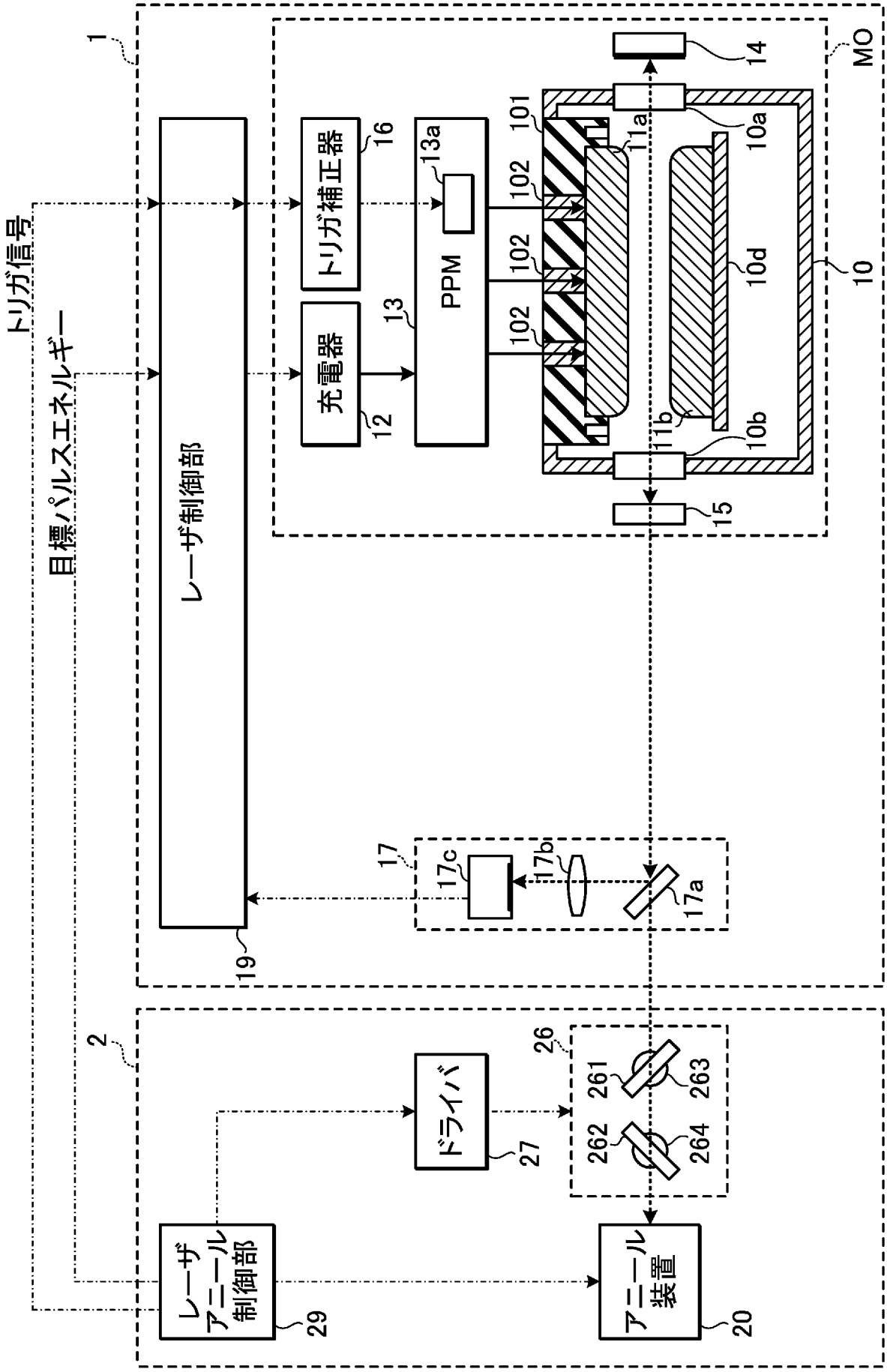
前記マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路に配置されたチャンバと、前記チャンバに配置された一対の電極と、前記一対の電極に電圧を印加する電源と、をそれぞれ含む少なくとも１つの増幅器と、

前記目標パルスエネルギーに基づいて、前記少なくとも１つの増幅器のうちの１つの増幅器について、前記パルスレーザ光が前記一対の電極の間を通過するタイミングでの前記電源による前記一対の電極への電圧の印加を停止させる制御部と、

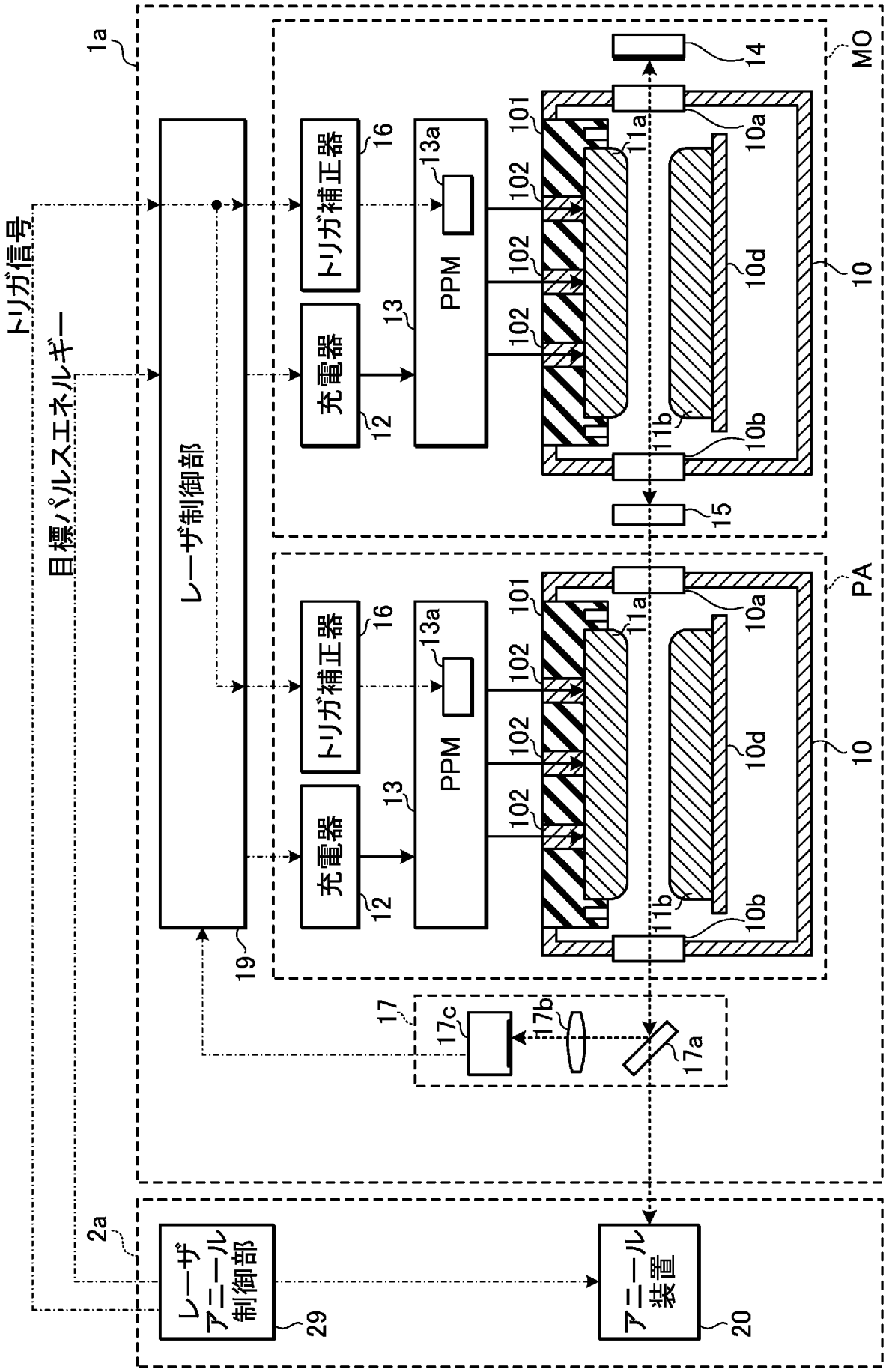
を備えるエキシマレーザ装置。

[請求項12] 前記制御部は、前記パルスレーザ光が前記一対の電極の間を通過していないタイミングで前記一対の電極の間で放電が起こるように、前記電源による前記一対の電極への電圧の印加をさせる、請求項１１記載のエキシマレーザ装置。

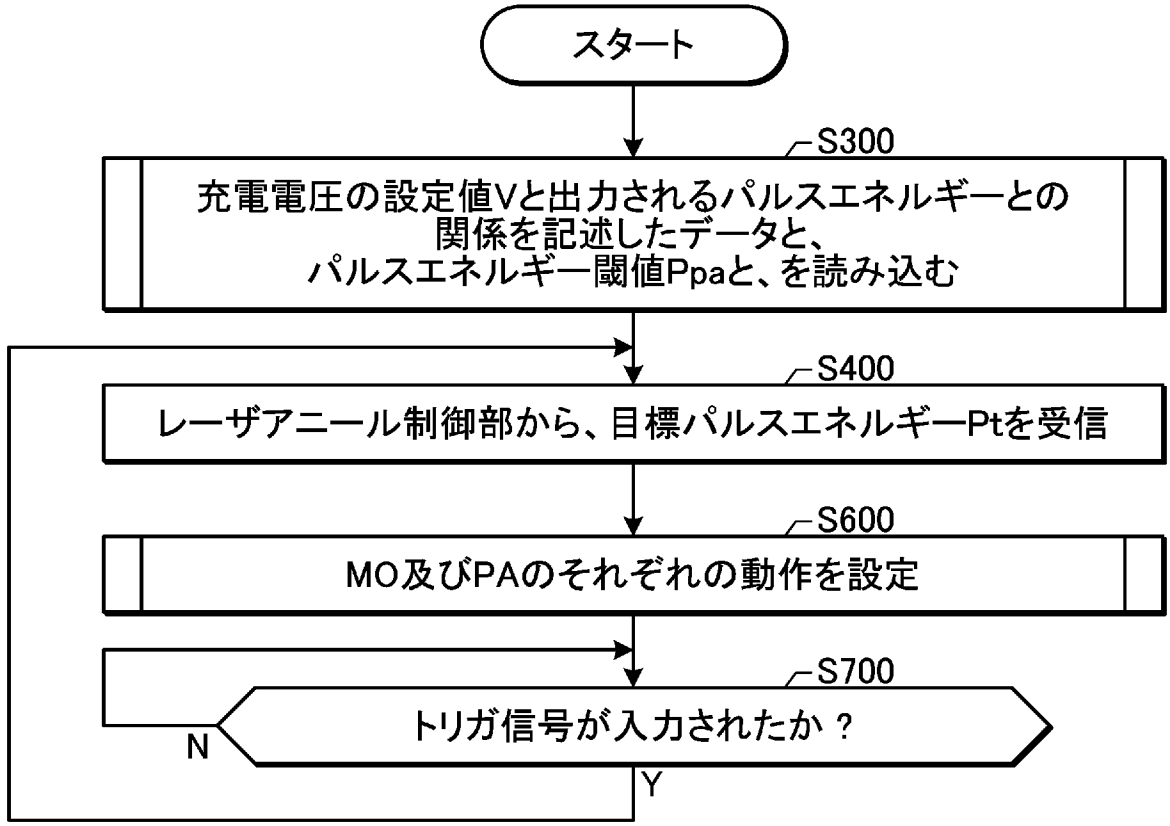
[図1]


1
MO
トリガ信号
目標パルスエネルギー
レーザ制御部
トリガ補正器
16
充電器
12
13
PPM
13a
101
102
102
102
11a
11b
10a
10b
10d
10
14
15
17
17c
17b
17a
19
2
ドライバ
27
26
261
262
263
264
レーザ
アニール
制御部
29
アニール
装置
20

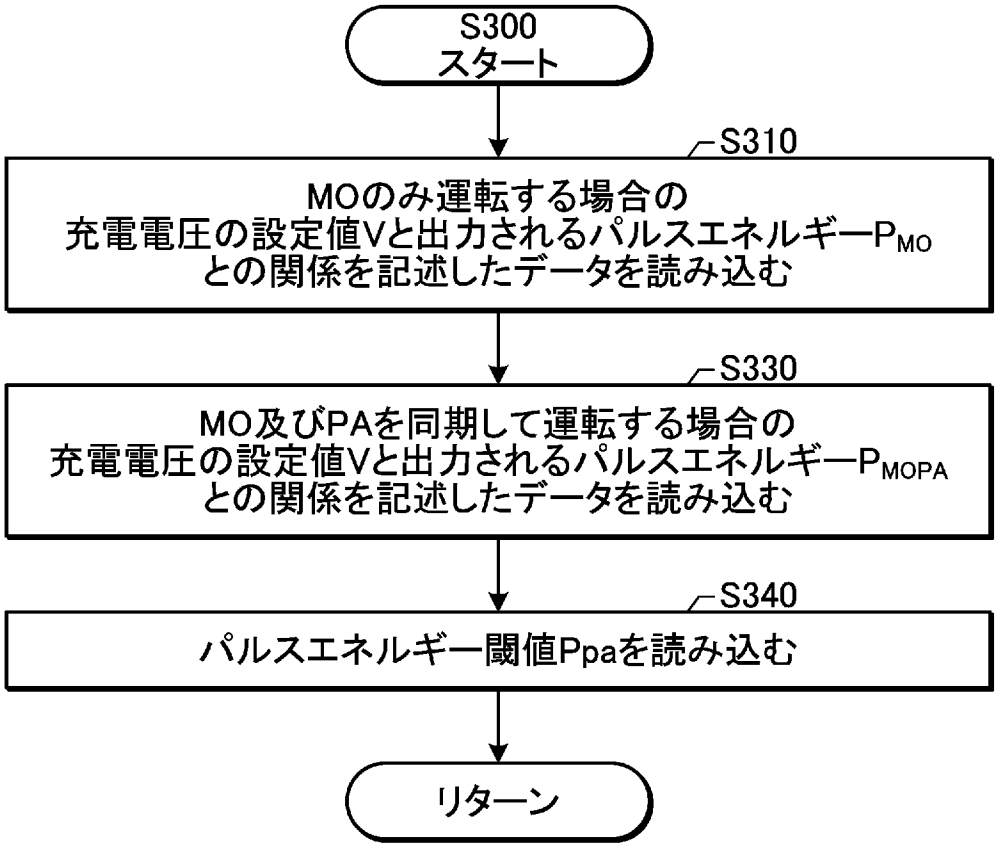
[図2]


1a
MO
PA
10
トリガ信号
目標パルスエネルギー
レーザ制御部
トリガ補正器
充電器
PPM
12
13
13a
16
19
101
102
10a
10b
10d
11a
11b
14
15
17
17a
17b
17c
2a
レーザアニール制御部
29
アニール装置
20

[図3]


スタート
S300
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーとの
関係を記述したデータと、
パルスエネルギー閾値Ppaと、を読み込む
S400
レーザアニール制御部から、目標パルスエネルギーPtを受信
S600
MO及びPAのそれぞれの動作を設定
S700
トリガ信号が入力されたか？
N
Y

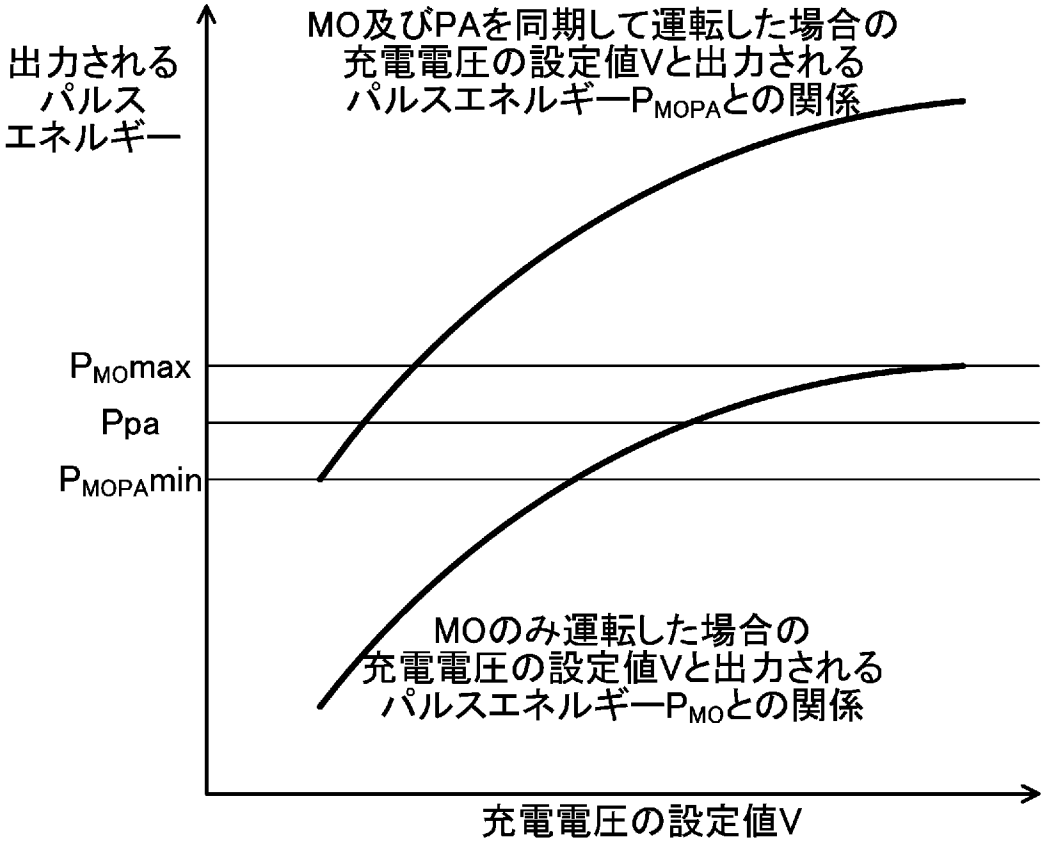
[図4]


S300
スタート
S310
MOのみ運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_{MO}
との関係を記述したデータを読み込む
S330
MO及びPAを同期して運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_{MOPA}
との関係を記述したデータを読み込む
S340
パルスエネルギー閾値Ppaを読み込む
リターン

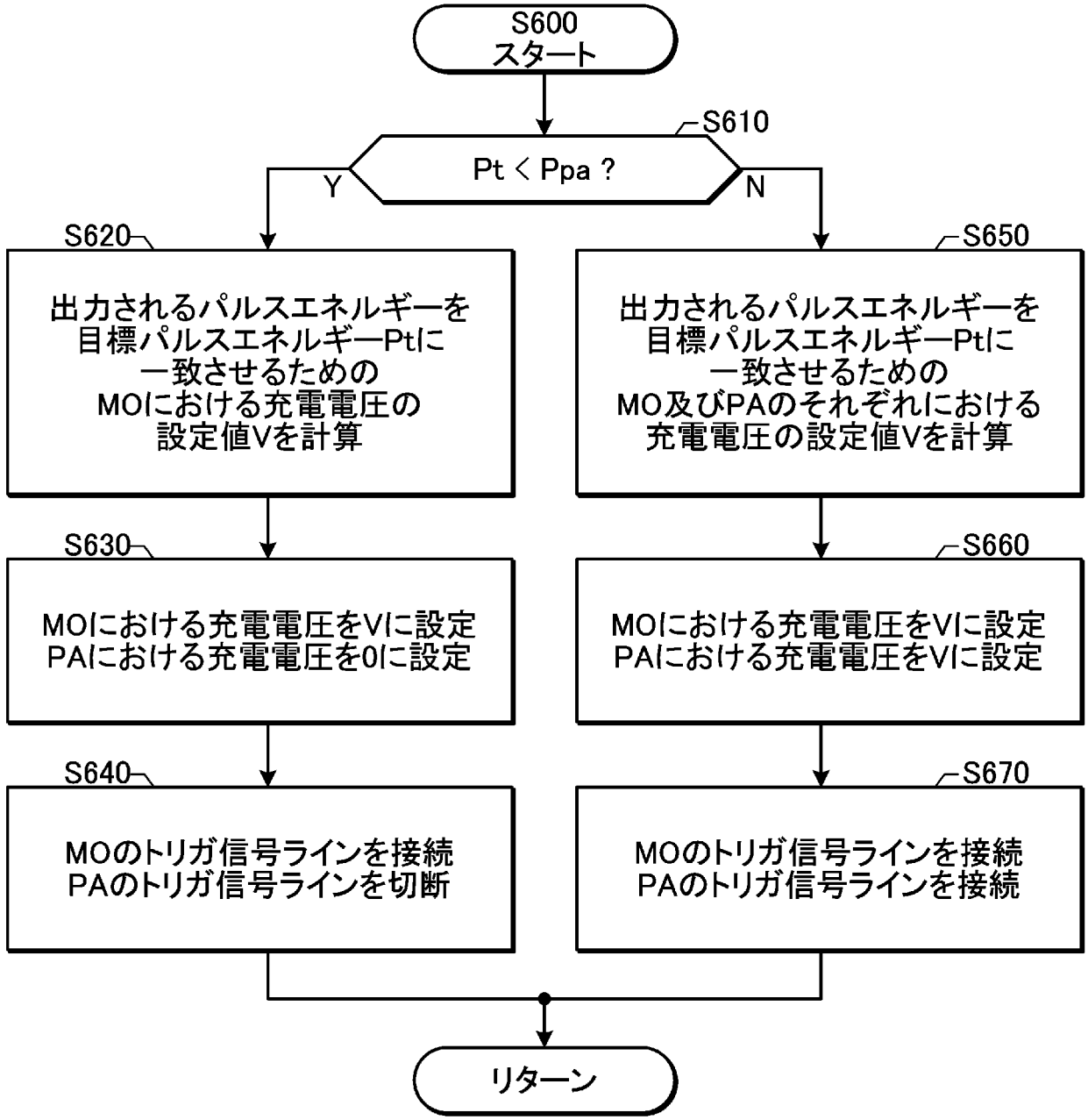
[図5]

充電電圧の設定値 V	V1	V2	V3	・・・	VN
MOとPAを同期して運転した場合に出力されるパルスエネルギー P_{MOPA}	$P1_{MOPA}$	$P2_{MOPA}$	$P3_{MOPA}$	・・・	PN_{MOPA}
MOのみ運転した場合に出力されるパルスエネルギー P_{MO}	$P1_{MO}$	$P2_{MO}$	$P3_{MO}$	・・・	PN_{MO}

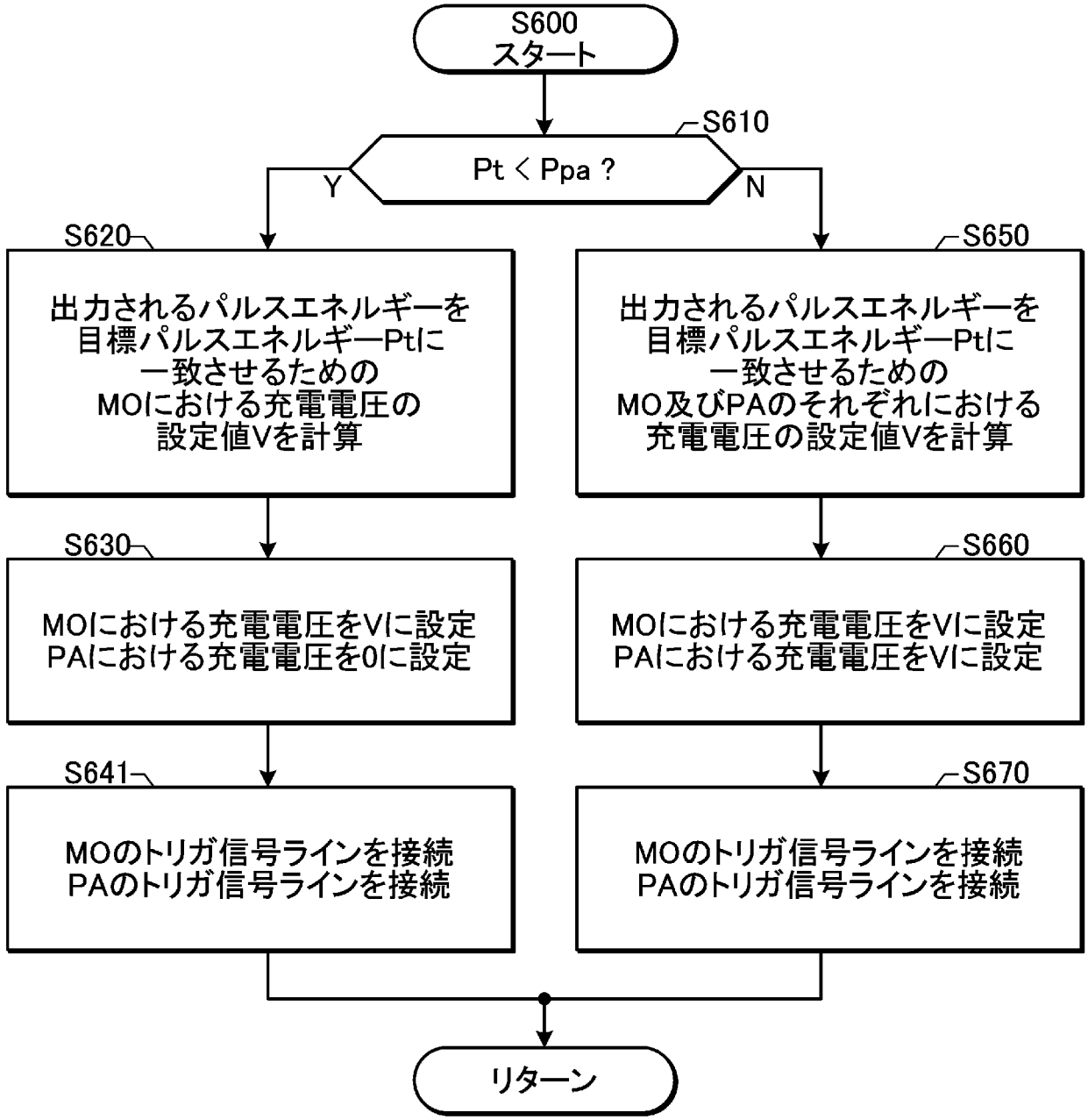
[図6]



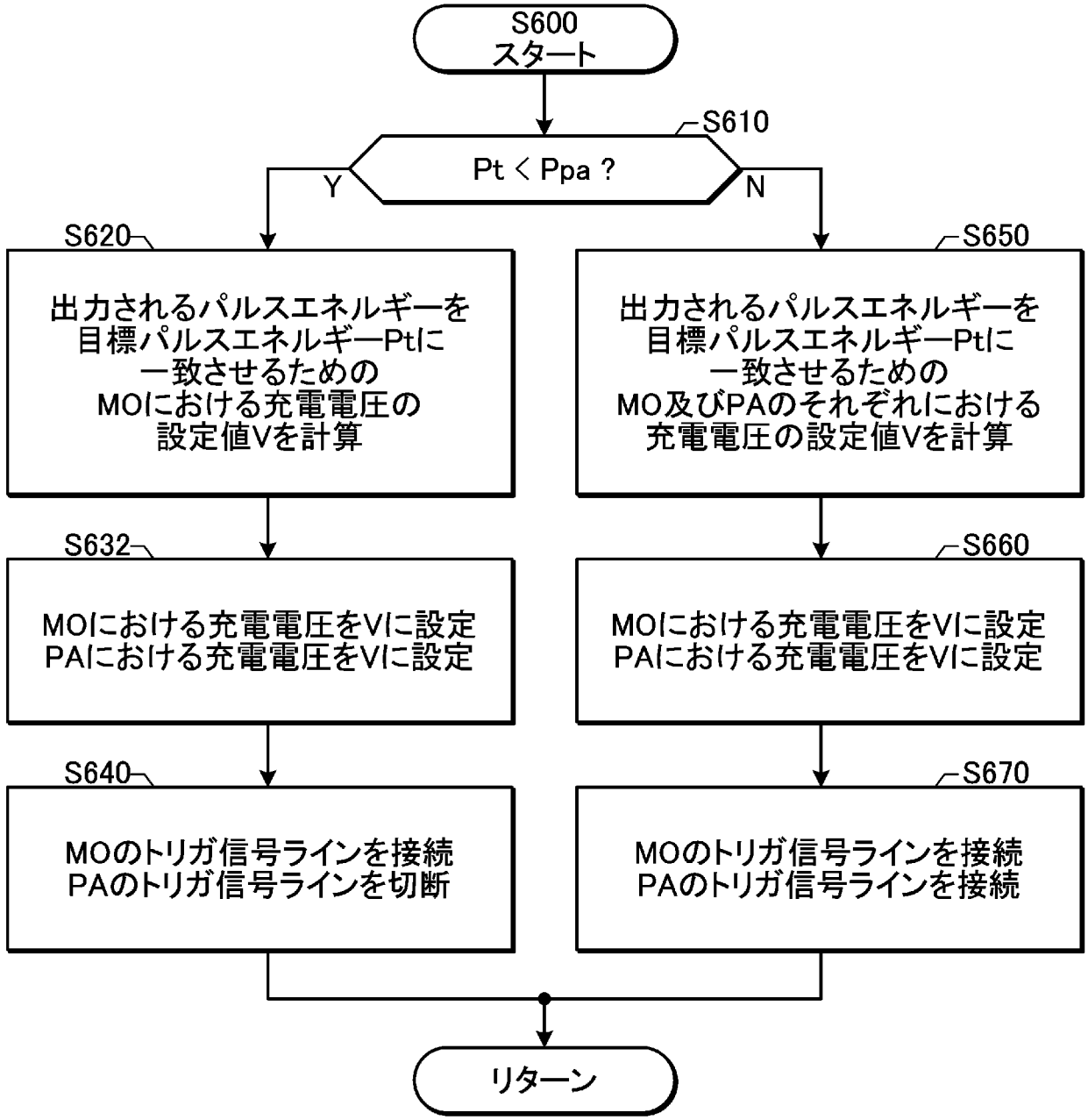
[図7]


S600
スタート
S610
Pt < Ppa ?
Y
N
S620
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MOにおける充電電圧の
設定値Vを計算
S630
MOにおける充電電圧をVに設定
PAにおける充電電圧を0に設定
S640
MOのトリガ信号ラインを接続
PAのトリガ信号ラインを切断
S650
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MO及びPAのそれぞれにおける
充電電圧の設定値Vを計算
S660
MOにおける充電電圧をVに設定
PAにおける充電電圧をVに設定
S670
MOのトリガ信号ラインを接続
PAのトリガ信号ラインを接続
リターン

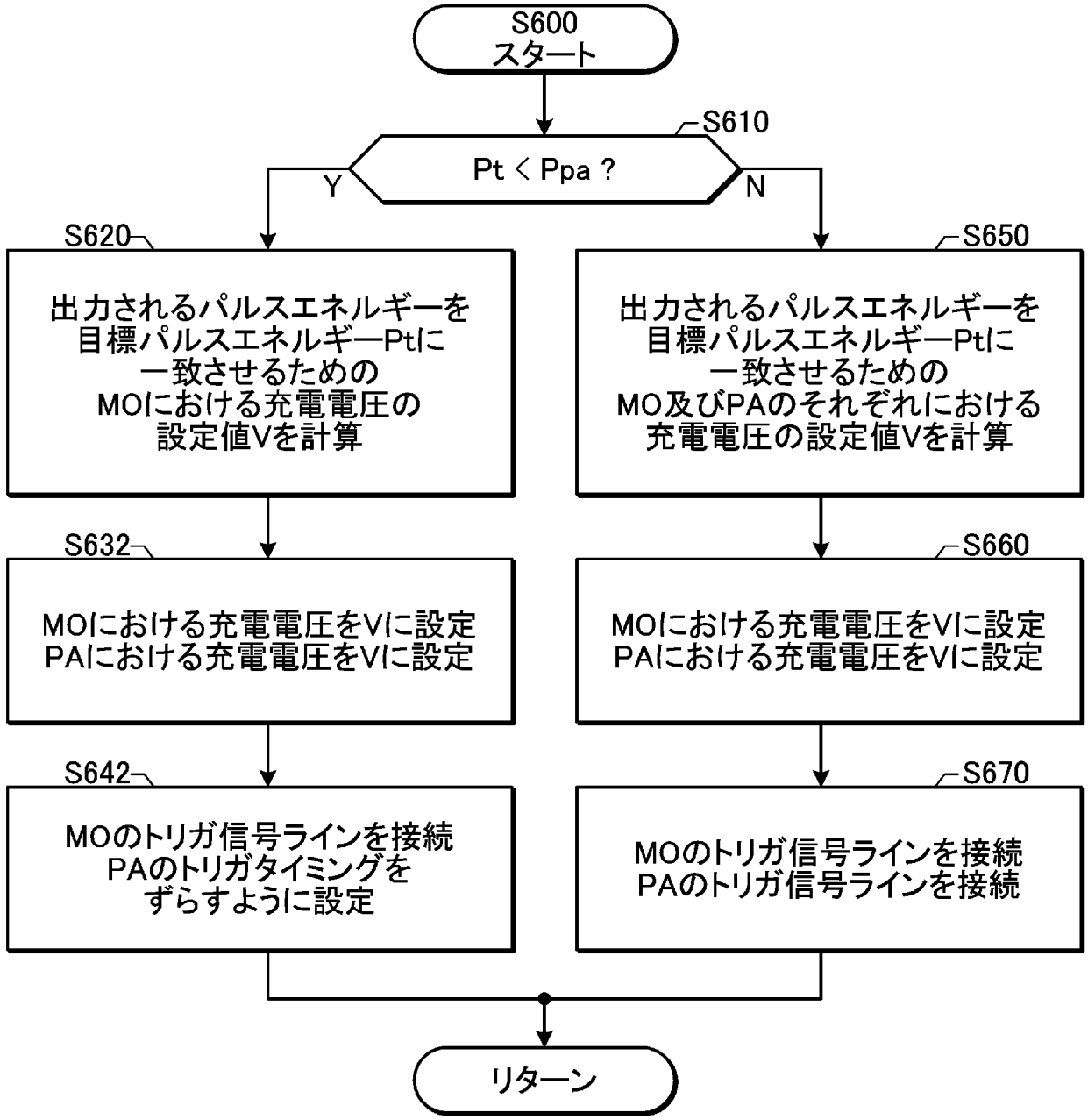
[図8]


S600
スタート
S610
Pt < Ppa ?
Y
N
S620
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MOにおける充電電圧の
設定値Vを計算
S650
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MO及びPAのそれぞれにおける
充電電圧の設定値Vを計算
S630
MOにおける充電電圧をVに設定
PAにおける充電電圧を0に設定
S660
MOにおける充電電圧をVに設定
PAにおける充電電圧をVに設定
S641
MOのトリガ信号ラインを接続
PAのトリガ信号ラインを接続
S670
MOのトリガ信号ラインを接続
PAのトリガ信号ラインを接続
リターン

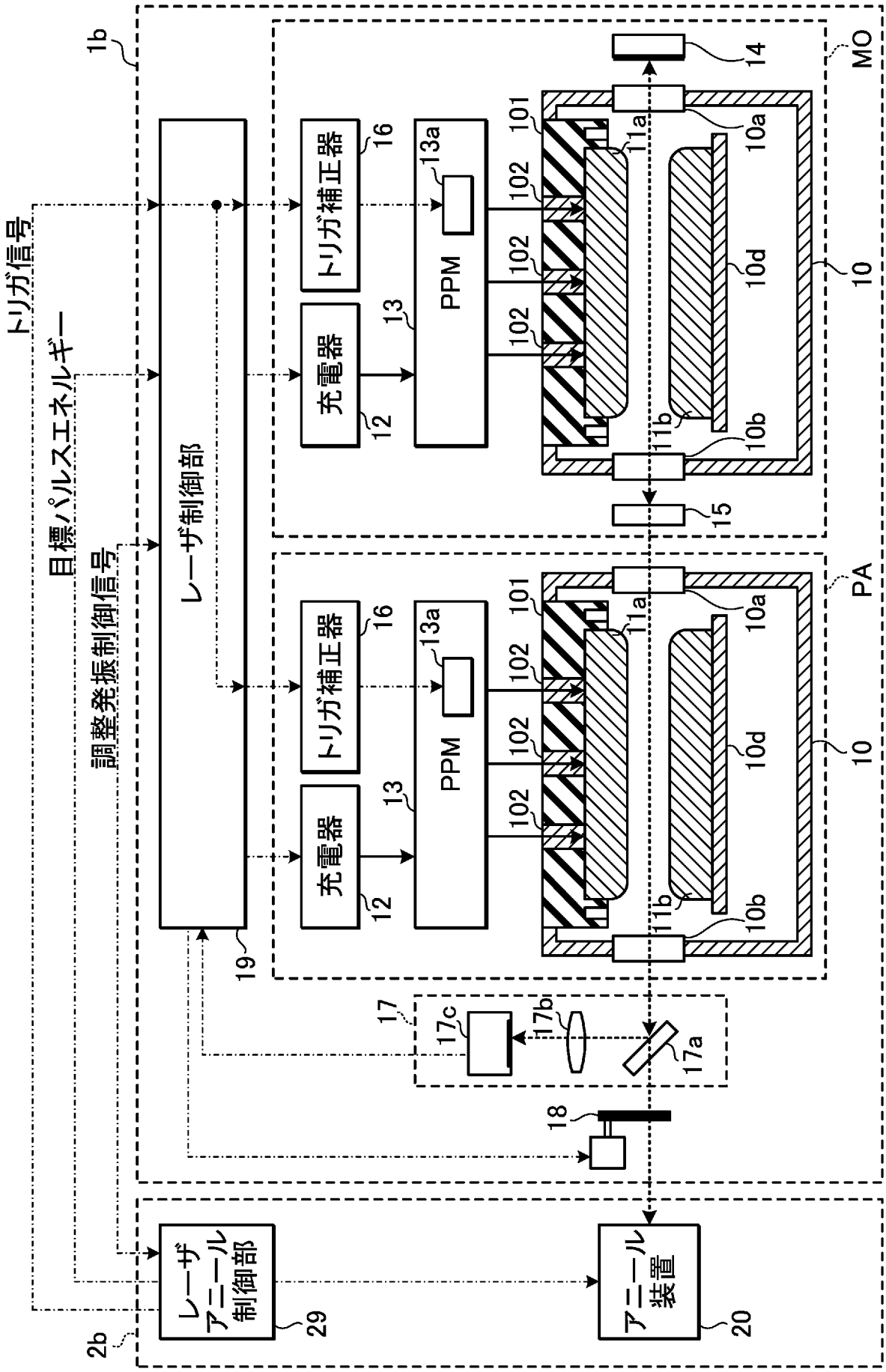
[図9]


S600
スタート
S610
Pt < Ppa ?
Y
N
S620
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MOにおける充電電圧の
設定値Vを計算
S650
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MO及びPAのそれぞれにおける
充電電圧の設定値Vを計算
S632
MOにおける充電電圧をVに設定
PAにおける充電電圧をVに設定
S660
MOにおける充電電圧をVに設定
PAにおける充電電圧をVに設定
S640
MOのトリガ信号ラインを接続
PAのトリガ信号ラインを切断
S670
MOのトリガ信号ラインを接続
PAのトリガ信号ラインを接続
リターン

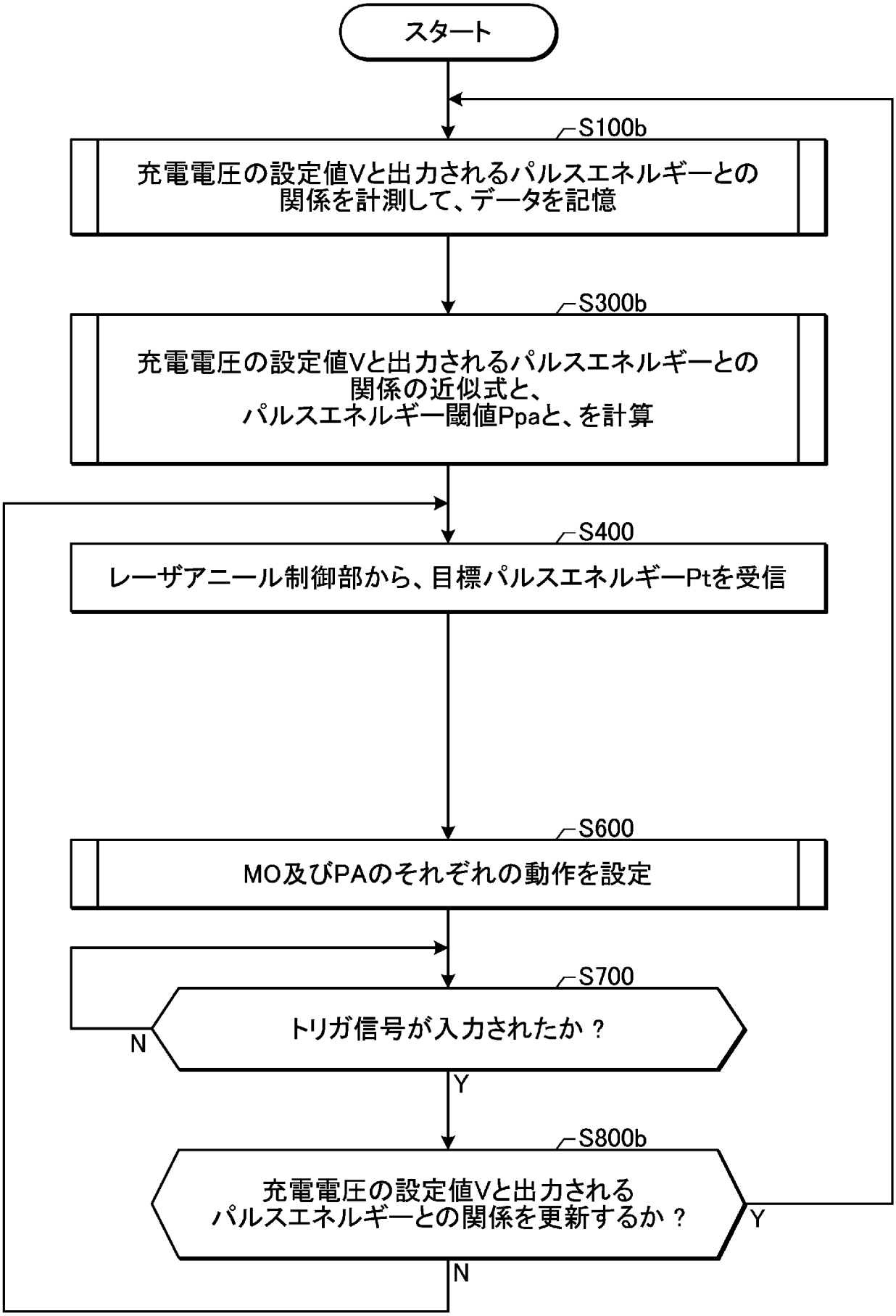
[図10]


S600
スタート
S610
Pt < Ppa ?
Y
N
S620
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MOにおける充電電圧の
設定値Vを計算
S650
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MO及びPAのそれぞれにおける
充電電圧の設定値Vを計算
S632
MOにおける充電電圧をVに設定
PAにおける充電電圧をVに設定
S660
MOにおける充電電圧をVに設定
PAにおける充電電圧をVに設定
S642
MOのトリガ信号ラインを接続
PAのトリガタイミングを
ずらすように設定
S670
MOのトリガ信号ラインを接続
PAのトリガ信号ラインを接続
リターン

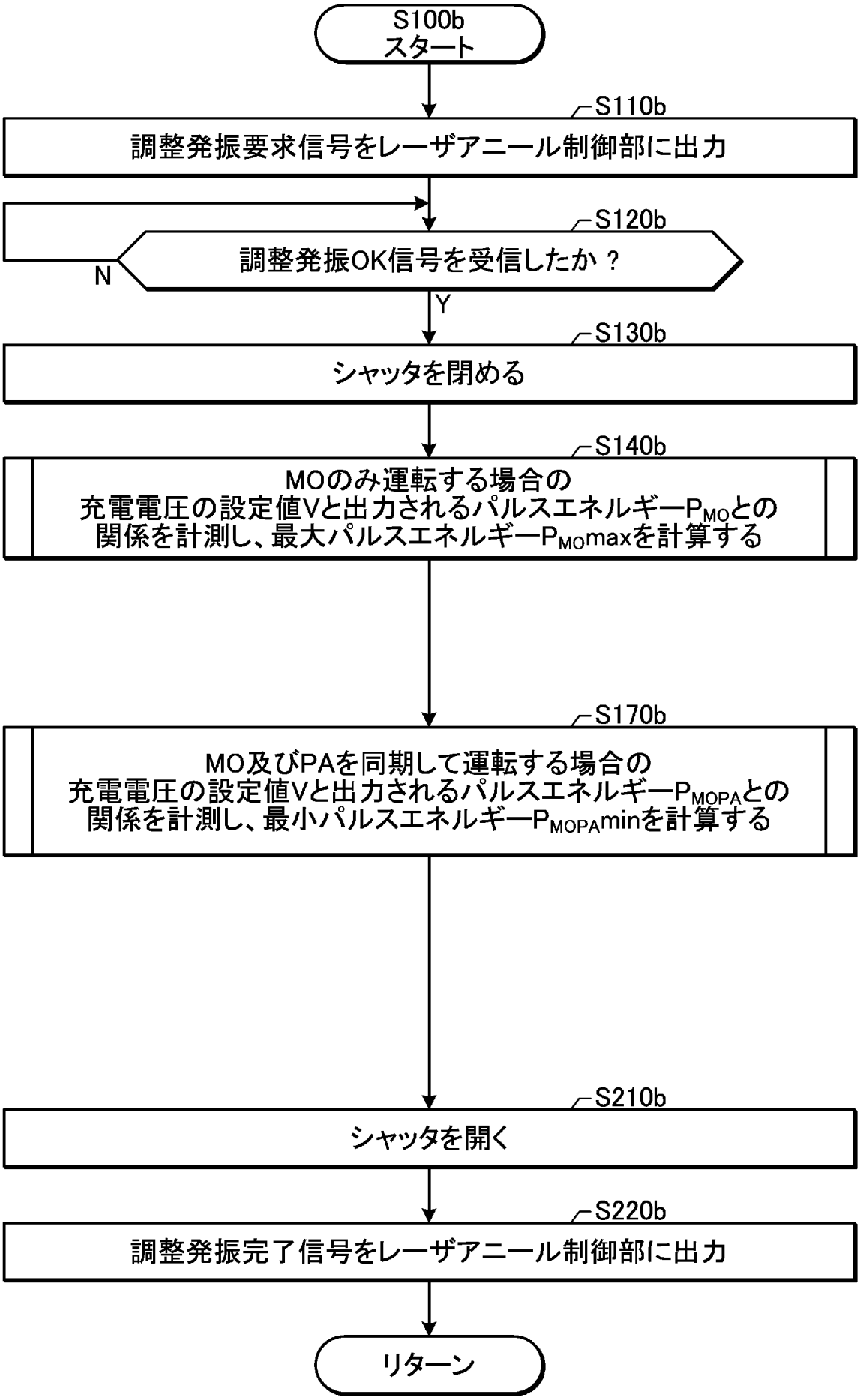
[図11]


1b
トリガ信号
目標パルスエネルギー
調整発振制御信号
レーザ制御部
19
トリガ補正器
16
充電器
12
13
PPM
13a
101
102
11a
11b
10a
10b
10d
10
14
15
MO
PA
17
17c
17b
17a
18
レーザアニール制御部
29
2b
アニール装置
20

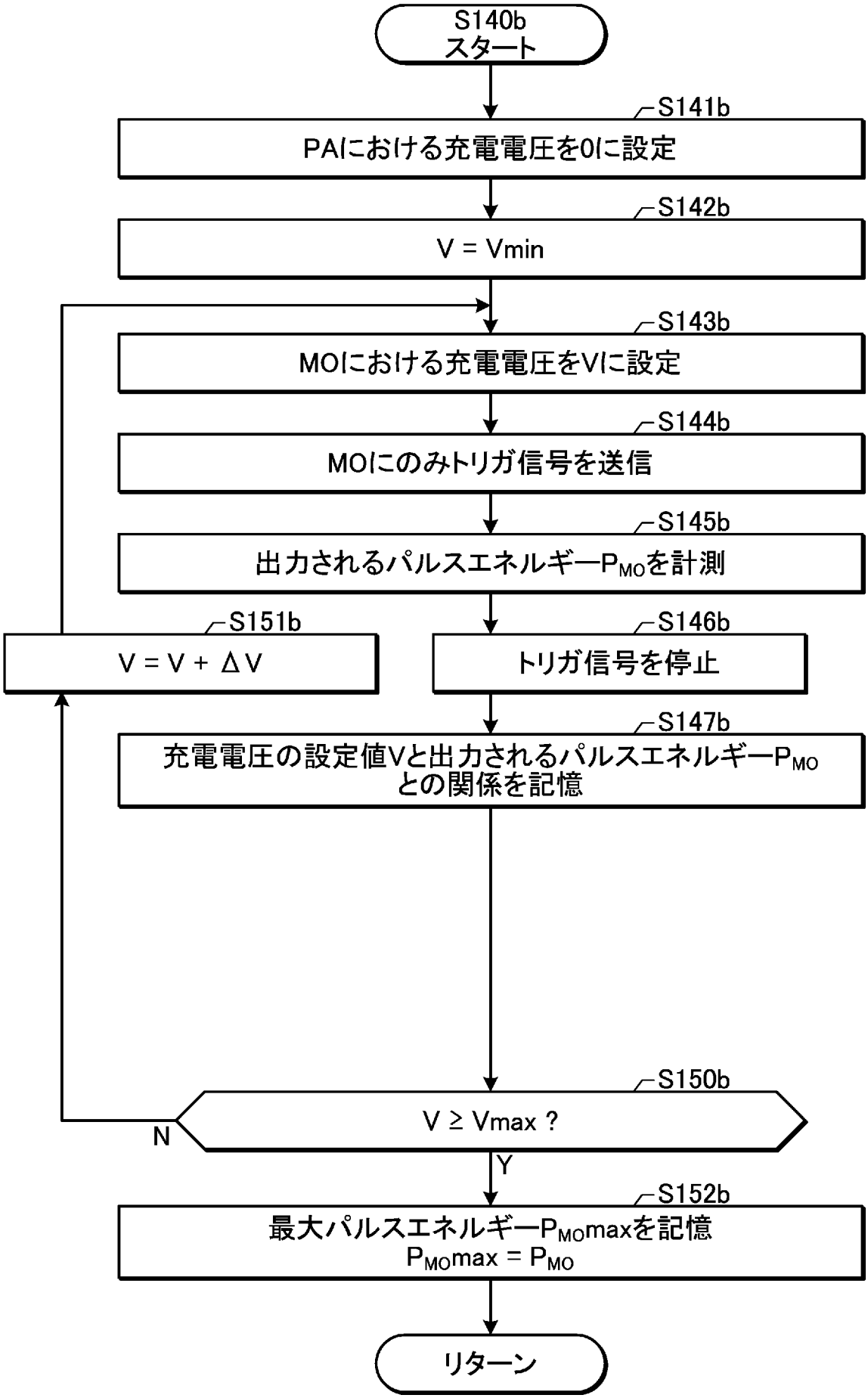
[図12]


スタート
S100b
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーとの関係を計測して、データを記憶
S300b
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーとの関係の近似式と、パルスエネルギー閾値Ppaと、を計算
S400
レーザアニール制御部から、目標パルスエネルギーPtを受信
S600
MO及びPAのそれぞれの動作を設定
S700
トリガ信号が入力されたか？
N
Y
S800b
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーとの関係を更新するか？
Y
N

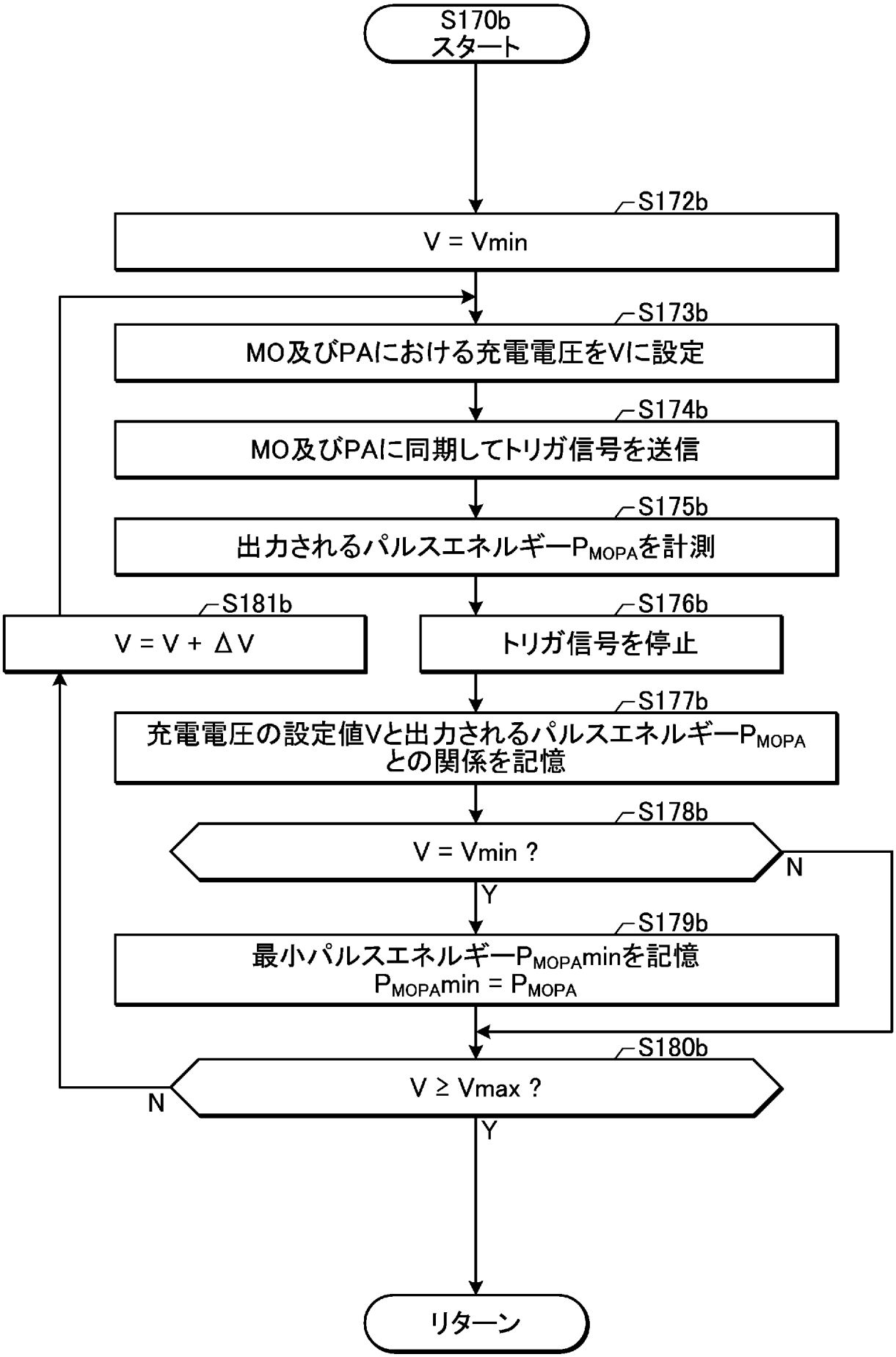
[図13]


S100b
スタート
S110b
調整発振要求信号をレーザアニール制御部に出力
S120b
調整発振OK信号を受信したか？
N
Y
S130b
シャッタを閉める
S140b
MOのみ運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_MOとの
関係を計測し、最大パルスエネルギーP_MOmaxを計算する
S170b
MO及びPAを同期して運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_MOPAとの
関係を計測し、最小パルスエネルギーP_MOPAminを計算する
S210b
シャッタを開く
S220b
調整発振完了信号をレーザアニール制御部に出力
リターン

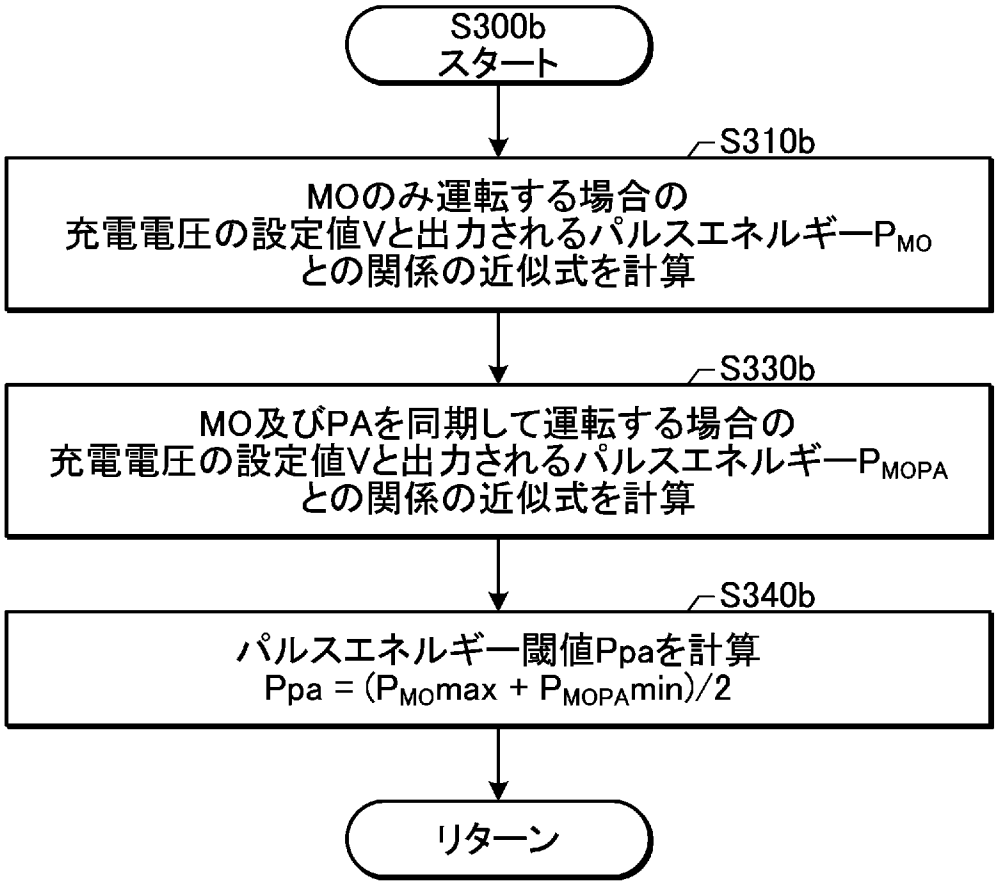
[図14]


S140b
スタート
S141b
PAにおける充電電圧を0に設定
S142b
V = Vmin
S143b
MOにおける充電電圧をVに設定
S144b
MOにのみトリガ信号を送信
S145b
出力されるパルスエネルギーPMOを計測
S151b
V = V + ΔV
S146b
トリガ信号を停止
S147b
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーPMO
との関係を記憶
S150b
V ≥ Vmax ?
N
Y
S152b
最大パルスエネルギーPMOmaxを記憶
PMOmax = PMO
リターン

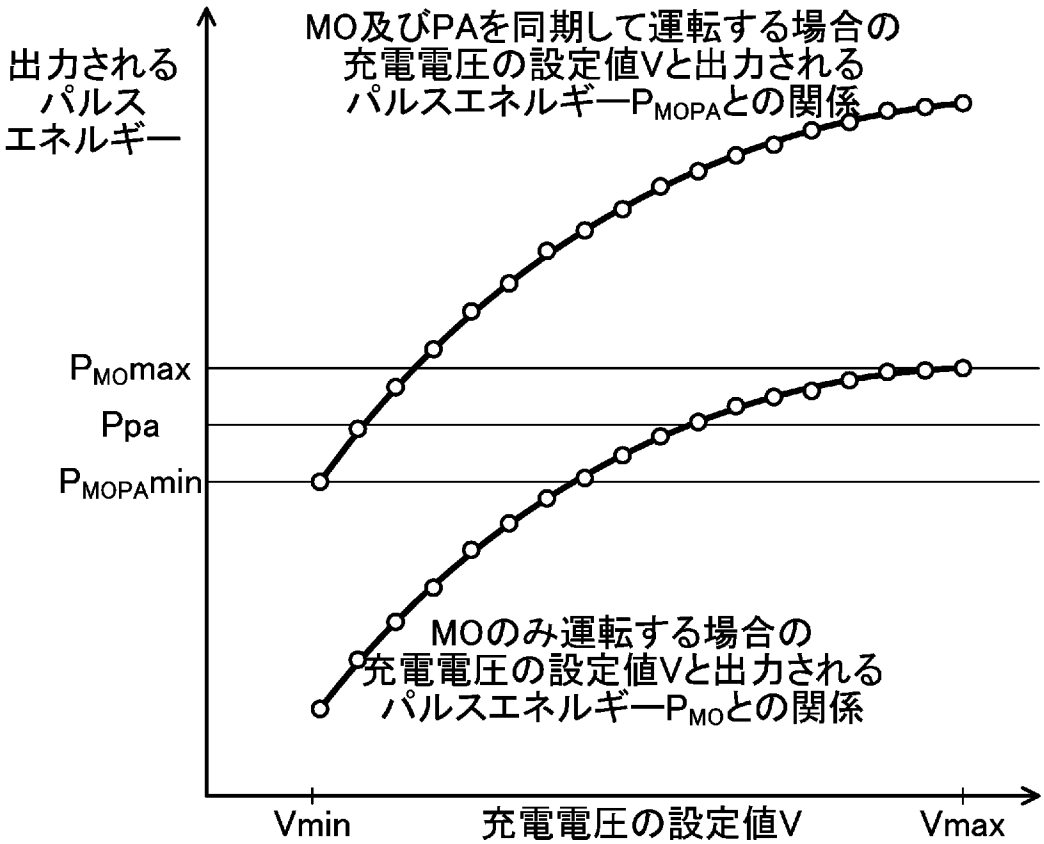
[図15]


S170b
スタート
S172b
V = Vmin
S173b
MO及びPAにおける充電電圧をVに設定
S174b
MO及びPAに同期してトリガ信号を送信
S175b
出力されるパルスエネルギーP_MOPAを計測
S181b
V = V + ΔV
S176b
トリガ信号を停止
S177b
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_MOPA
との関係を記憶
S178b
V = Vmin ?
N
Y
S179b
最小パルスエネルギーP_MOPAminを記憶
P_MOPAmin = P_MOPA
S180b
V ≥ Vmax ?
N
Y
リターン

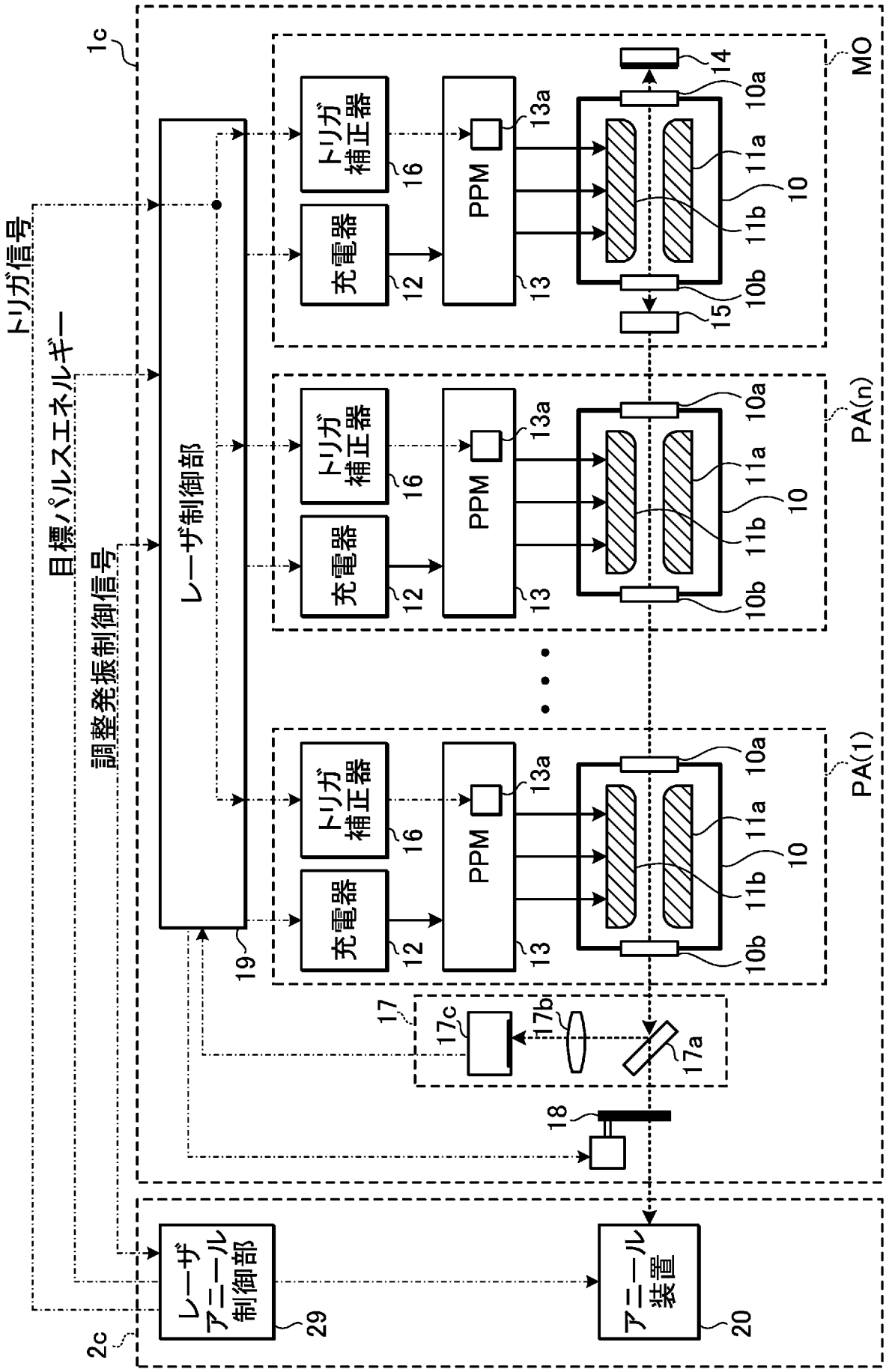
[図16]


S300b
スタート
S310b
MOのみ運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_MO
との関係の近似式を計算
S330b
MO及びPAを同期して運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_MOPA
との関係の近似式を計算
S340b
パルスエネルギー閾値Ppaを計算
Ppa = (P_MOmax + P_MOPAmin)/2
リターン

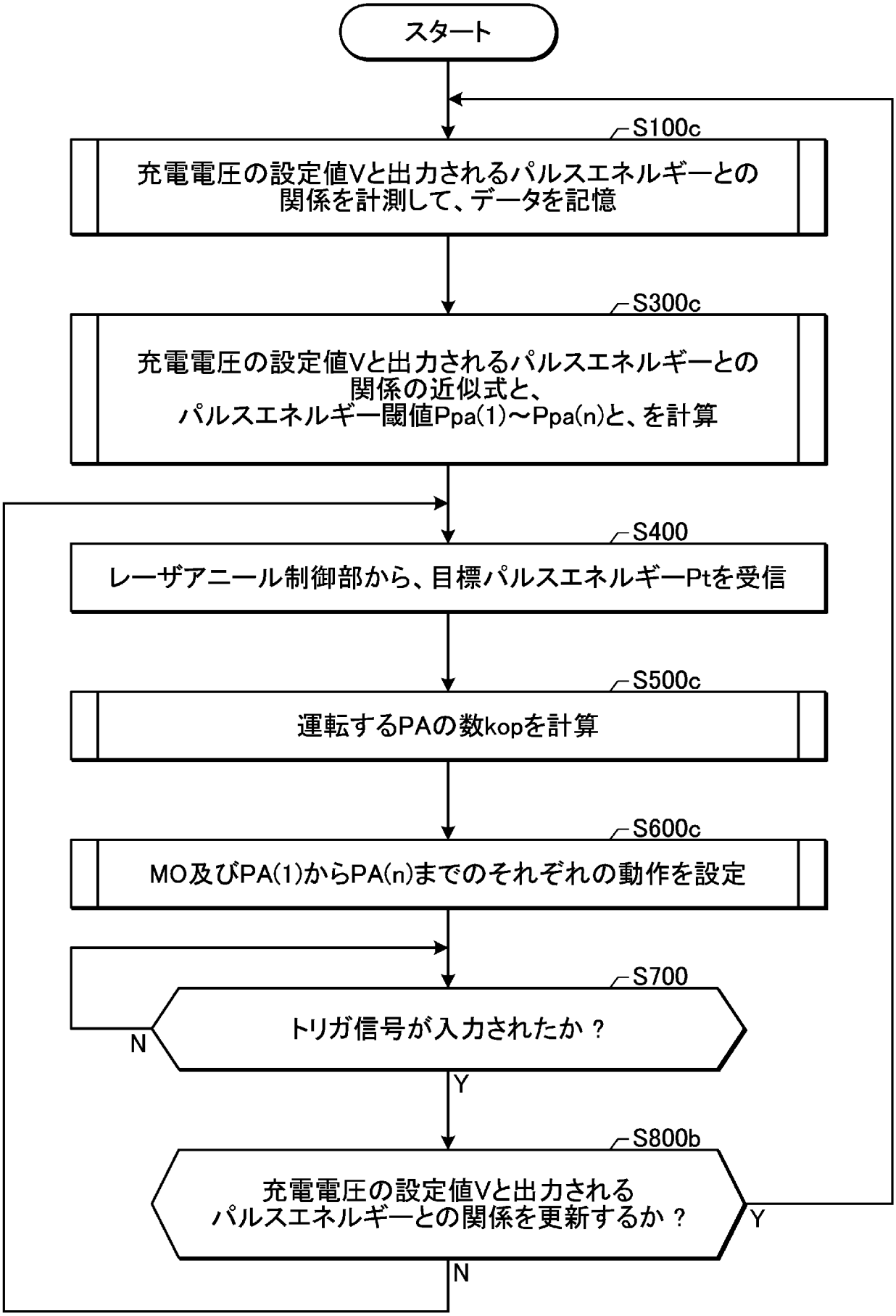
[図17]


出力される
パルス
エネルギー
MO及びPAを同期して運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力される
パルスエネルギーP_MOPAとの関係
P_MOmax
Ppa
P_MOPAmin
MOのみ運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力される
パルスエネルギーP_MOとの関係
Vmin
充電電圧の設定値V
Vmax

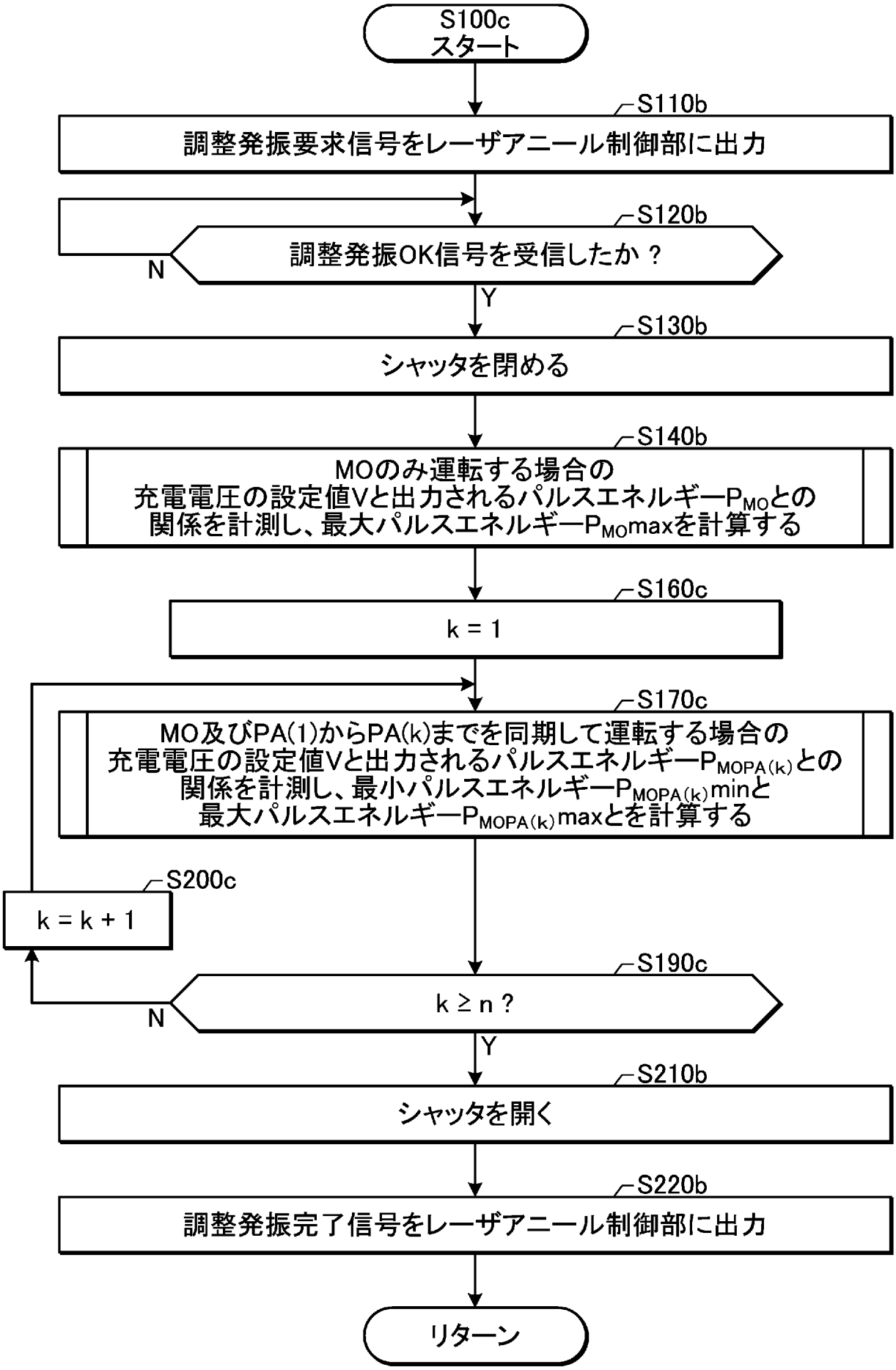
[図18]


1c
MO
PA(n)
PA(1)
トリガ信号
目標パルスエネルギー
調整発振制御信号
レーザ制御部
トリガ補正器
充電器
PPM
10
10a
10b
11a
11b
12
13
13a
14
15
16
17
17a
17b
17c
18
19
レーザアニール制御部
29
アニール装置
20
2c

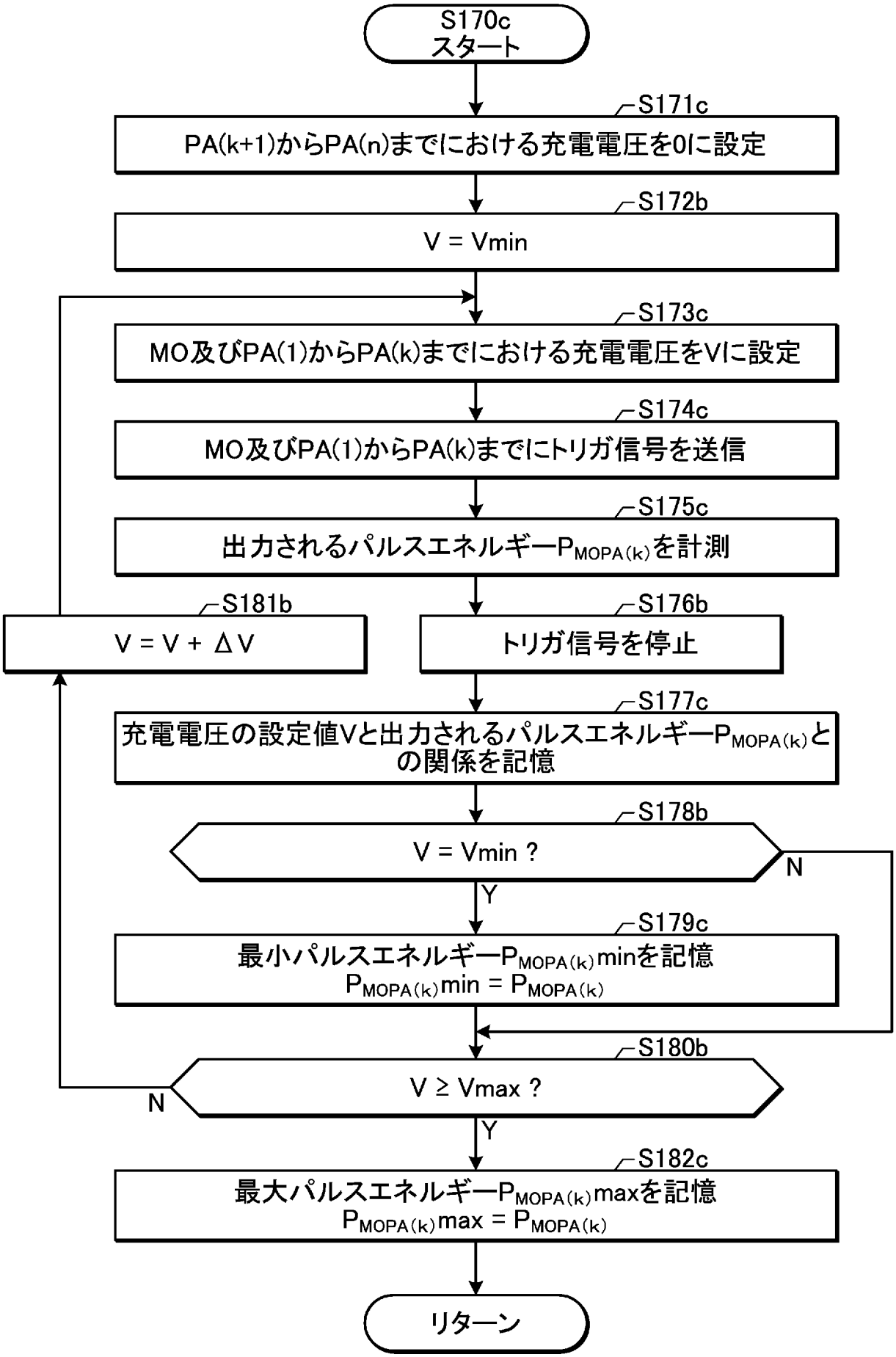
[図19]


スタート
S100c
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーとの関係を計測して、データを記憶
S300c
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーとの関係の近似式と、パルスエネルギー閾値Ppa(1)～Ppa(n)と、を計算
S400
レーザアニール制御部から、目標パルスエネルギーPtを受信
S500c
運転するPAの数kopを計算
S600c
MO及びPA(1)からPA(n)までのそれぞれの動作を設定
S700
トリガ信号が入力されたか？
N
Y
S800b
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーとの関係を更新するか？
Y
N

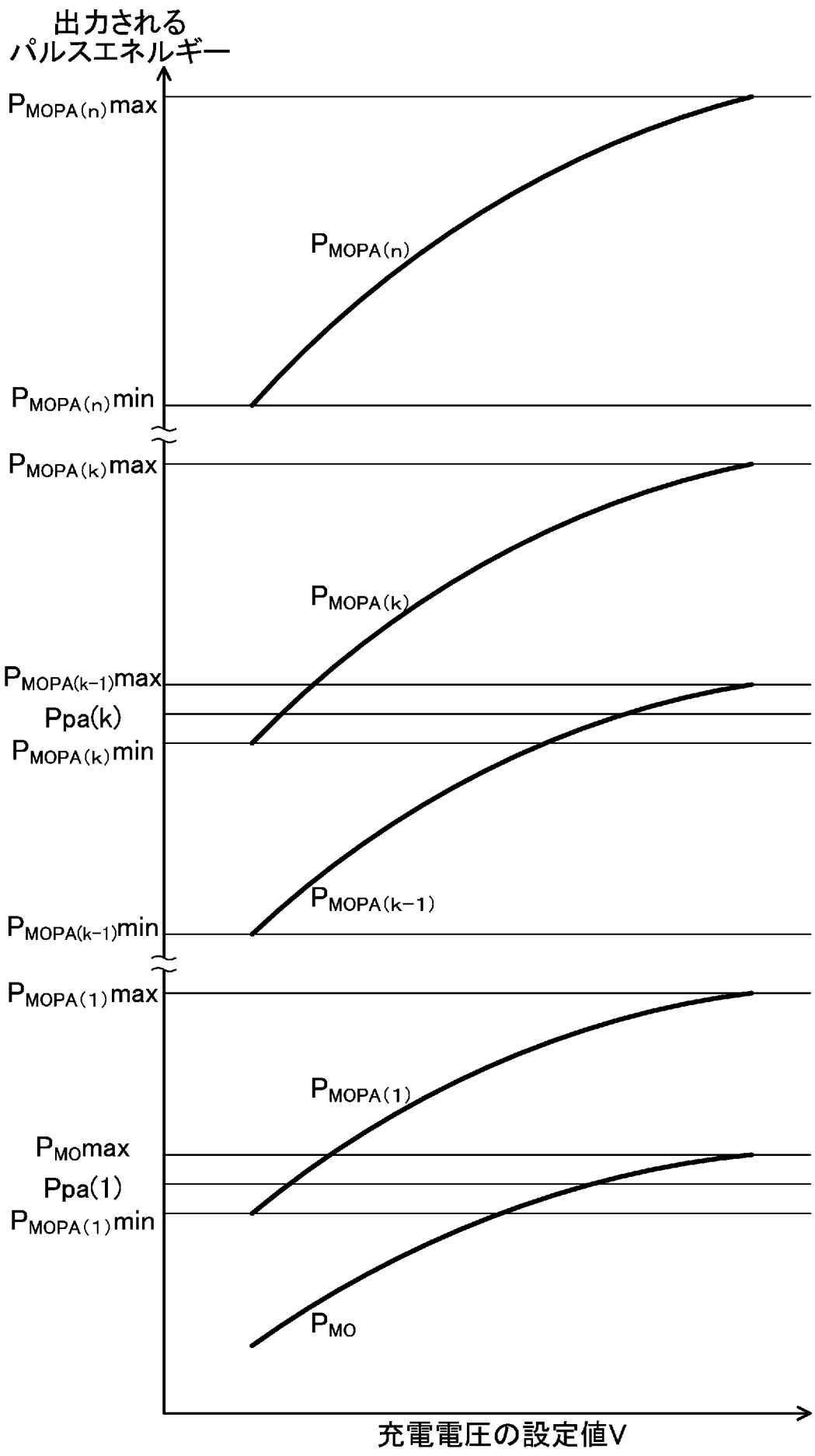
[図20]


S100c
スタート
S110b
調整発振要求信号をレーザアニール制御部に出力
S120b
調整発振OK信号を受信したか？
N
Y
S130b
シャッタを閉める
S140b
MOのみ運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_MOとの
関係を計測し、最大パルスエネルギーP_MOmaxを計算する
S160c
k = 1
S170c
MO及びPA(1)からPA(k)までを同期して運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_MOPA(k)との
関係を計測し、最小パルスエネルギーP_MOPA(k)minと
最大パルスエネルギーP_MOPA(k)maxとを計算する
S200c
k = k + 1
S190c
k ≥ n ?
N
Y
S210b
シャッタを開く
S220b
調整発振完了信号をレーザアニール制御部に出力
リターン

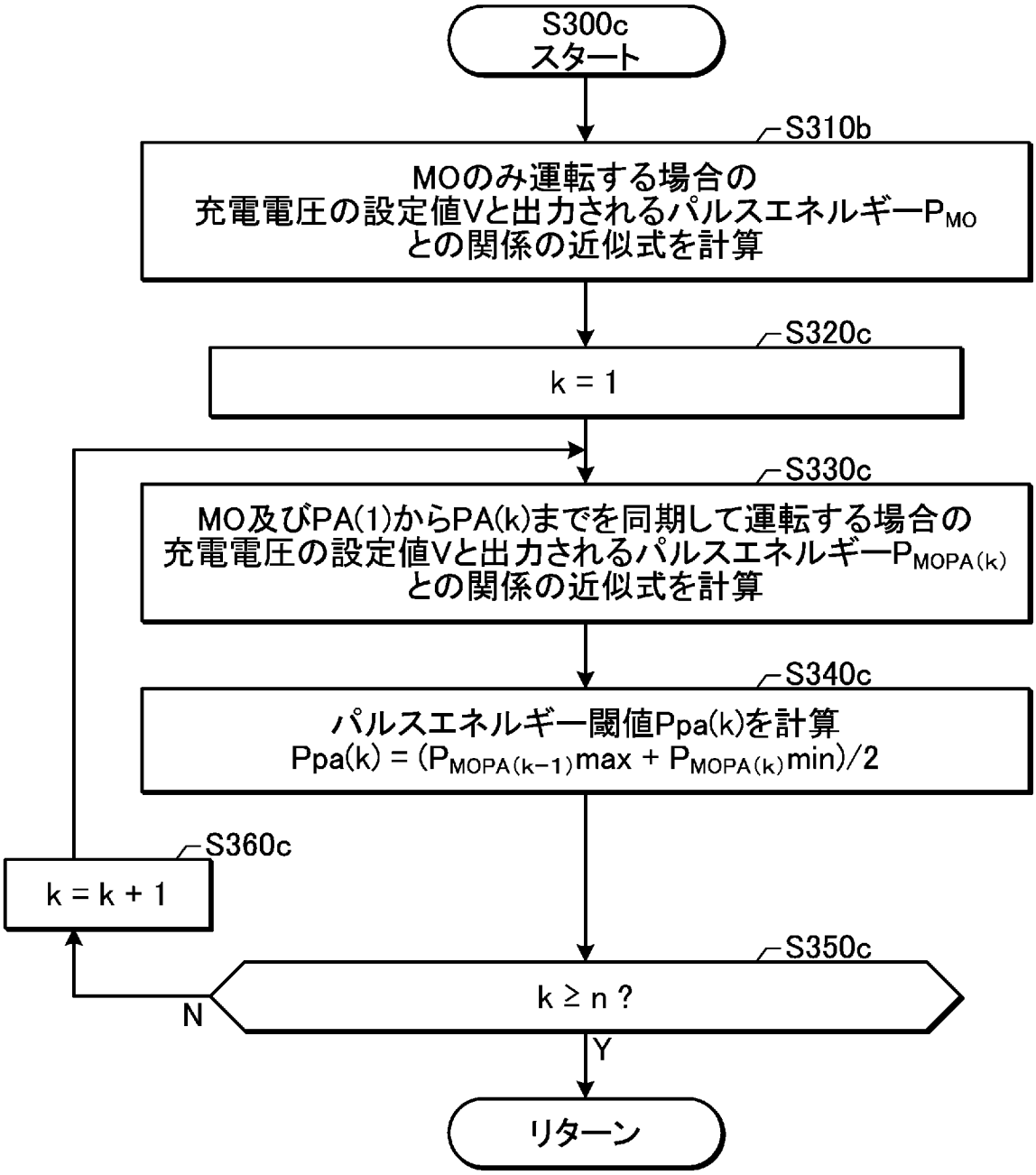
[図21]


S170c
スタート
S171c
PA(k+1)からPA(n)までにおける充電電圧を0に設定
S172b
V = Vmin
S173c
MO及びPA(1)からPA(k)までにおける充電電圧をVに設定
S174c
MO及びPA(1)からPA(k)までにトリガ信号を送信
S175c
出力されるパルスエネルギーPMOPA(k)を計測
S181b
V = V + ΔV
S176b
トリガ信号を停止
S177c
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーPMOPA(k)との関係を記憶
S178b
V = Vmin ?
N
Y
S179c
最小パルスエネルギーPMOPA(k)minを記憶
PMOPA(k)min = PMOPA(k)
S180b
V ≥ Vmax ?
N
Y
S182c
最大パルスエネルギーPMOPA(k)maxを記憶
PMOPA(k)max = PMOPA(k)
リターン

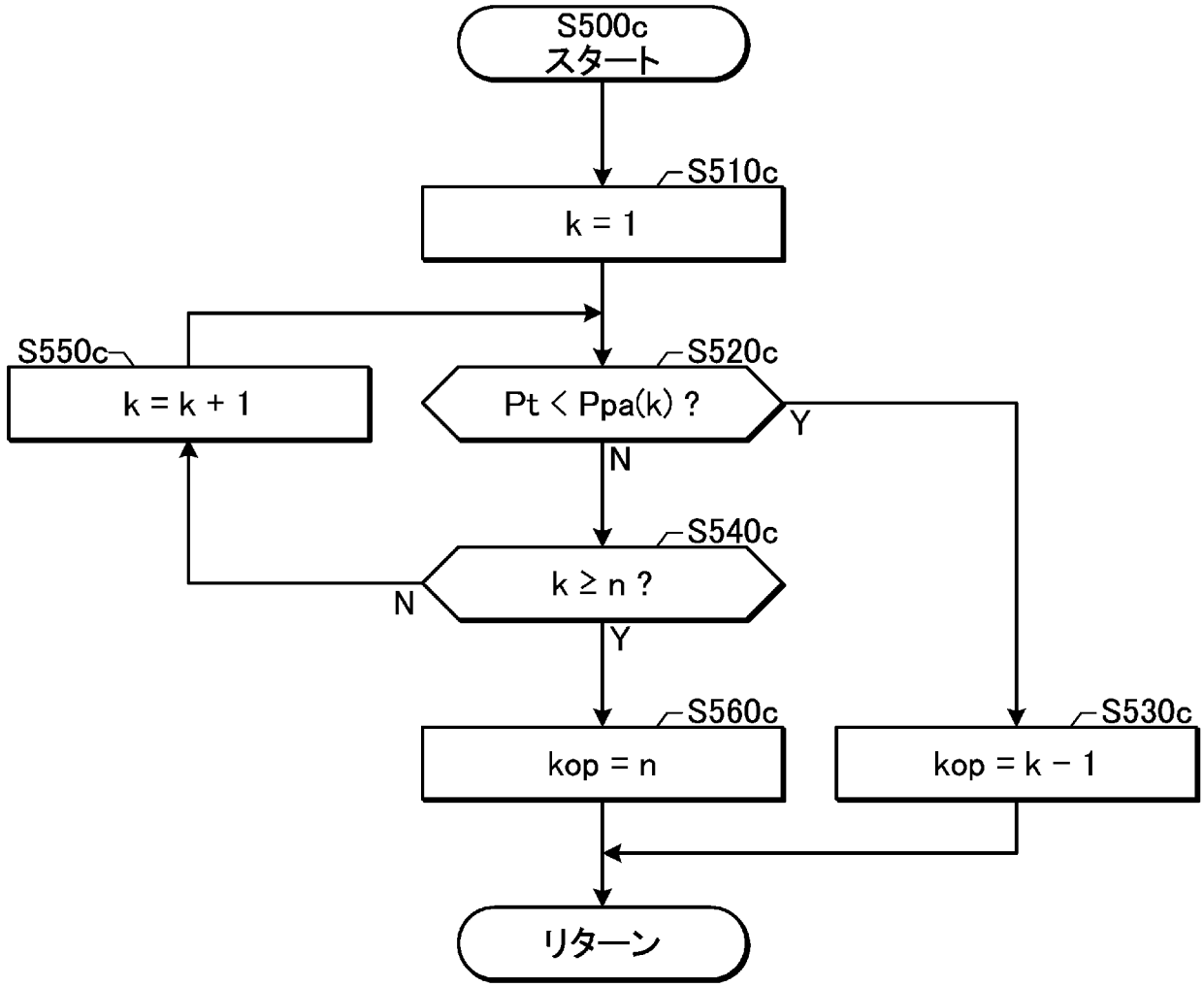
[図22]


出力される
パルスエネルギー
$P_{MOPA(n)}max$
$P_{MOPA(n)}$
$P_{MOPA(n)}min$
$P_{MOPA(k)}max$
$P_{MOPA(k)}$
$P_{MOPA(k-1)}max$
Ppa(k)
$P_{MOPA(k)}min$
$P_{MOPA(k-1)}$
$P_{MOPA(k-1)}min$
$P_{MOPA(1)}max$
$P_{MOPA(1)}$
$P_{MO}max$
Ppa(1)
$P_{MOPA(1)}min$
P_{MO}
充電電圧の設定値V

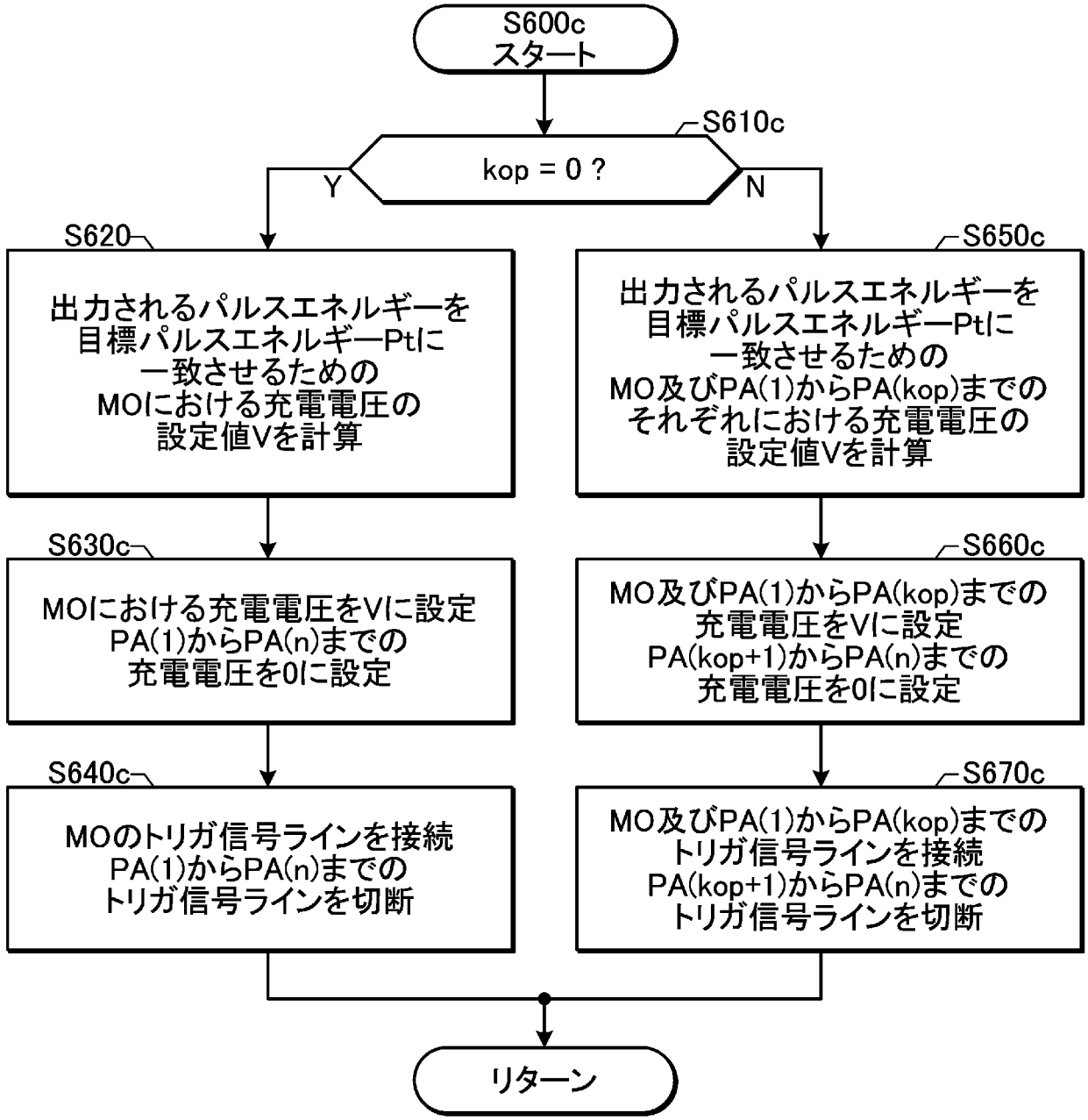
[図23]


S300c
スタート
S310b
MOのみ運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_MO
との関係の近似式を計算
S320c
k = 1
S330c
MO及びPA(1)からPA(k)までを同期して運転する場合の
充電電圧の設定値Vと出力されるパルスエネルギーP_MOPA(k)
との関係の近似式を計算
S340c
パルスエネルギー閾値Ppa(k)を計算
Ppa(k) = (P_MOPA(k-1)max + P_MOPA(k)min)/2
S360c
k = k + 1
S350c
k ≥ n ?
N
Y
リターン

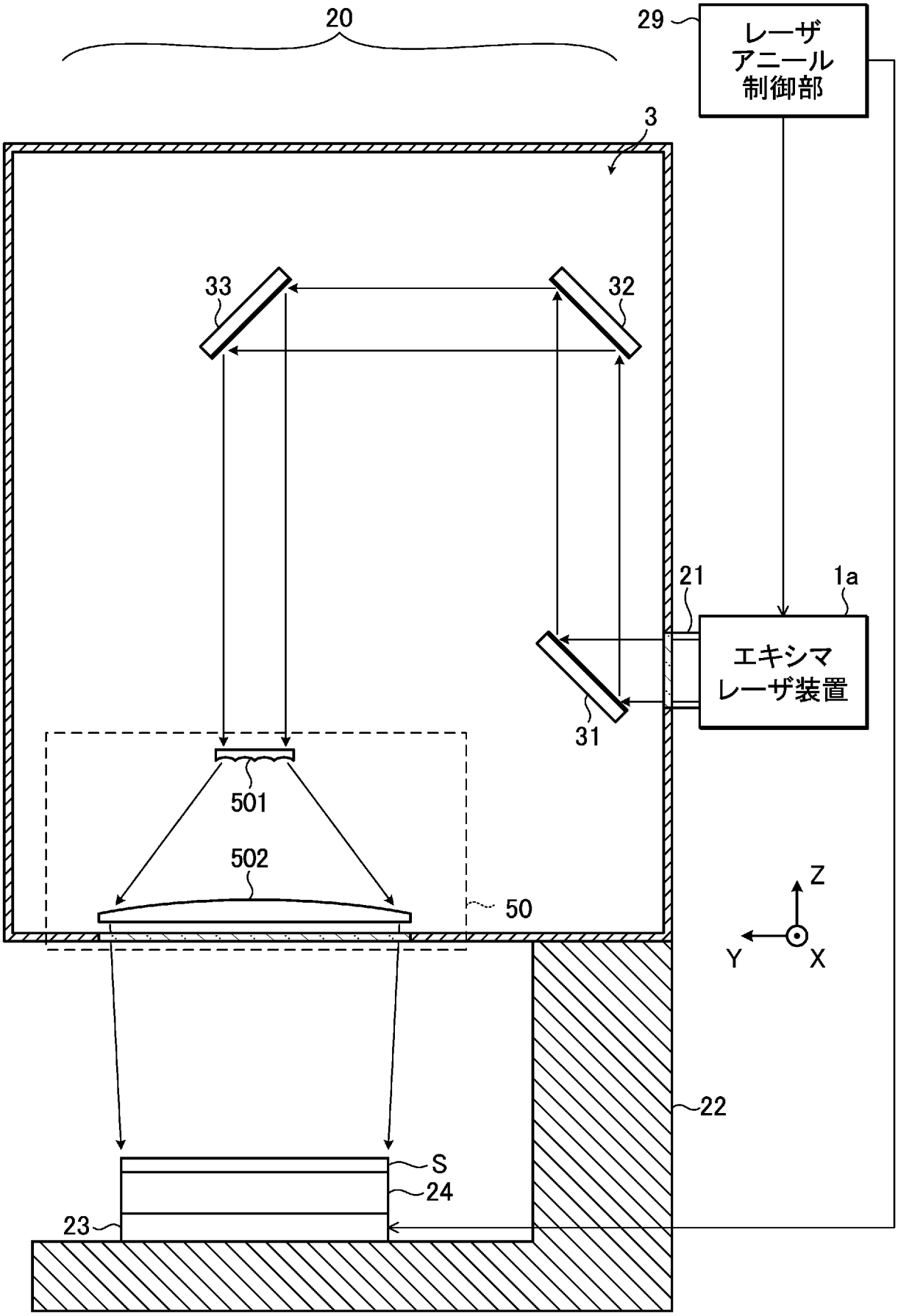
[図24]


S500c
スタート
S510c
k = 1
S520c
Pt < Ppa(k) ?
Y
N
S530c
kop = k − 1
S540c
k ≥ n ?
N
Y
S550c
k = k + 1
S560c
kop = n
リターン

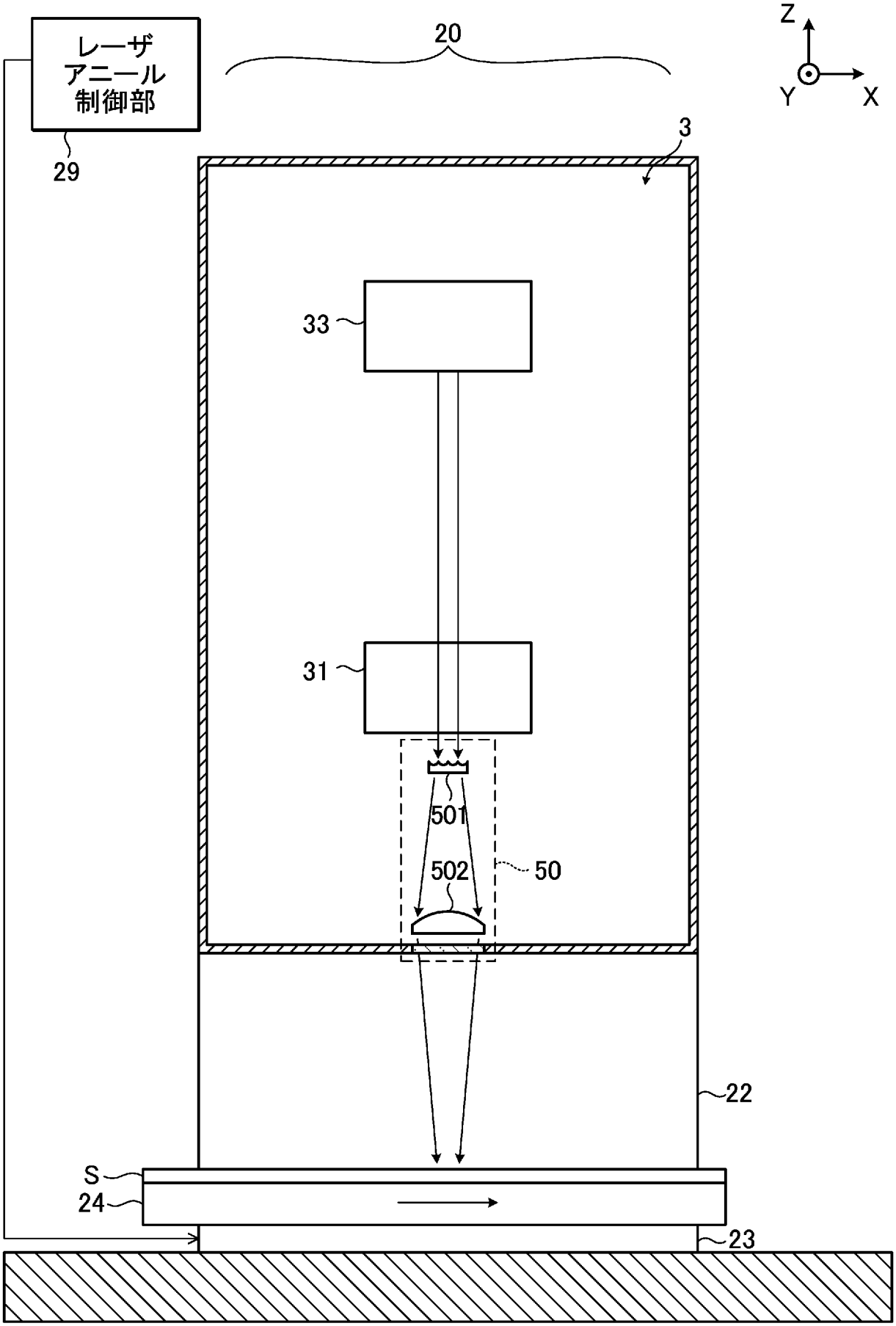
[図25]


S600c
スタート
S610c
kop = 0 ?
Y
N
S620
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MOにおける充電電圧の
設定値Vを計算
S650c
出力されるパルスエネルギーを
目標パルスエネルギーPtに
一致させるための
MO及びPA(1)からPA(kop)までの
それぞれにおける充電電圧の
設定値Vを計算
S630c
MOにおける充電電圧をVに設定
PA(1)からPA(n)までの
充電電圧を0に設定
S660c
MO及びPA(1)からPA(kop)までの
充電電圧をVに設定
PA(kop+1)からPA(n)までの
充電電圧を0に設定
S640c
MOのトリガ信号ラインを接続
PA(1)からPA(n)までの
トリガ信号ラインを切断
S670c
MO及びPA(1)からPA(kop)までの
トリガ信号ラインを接続
PA(kop+1)からPA(n)までの
トリガ信号ラインを切断
リターン

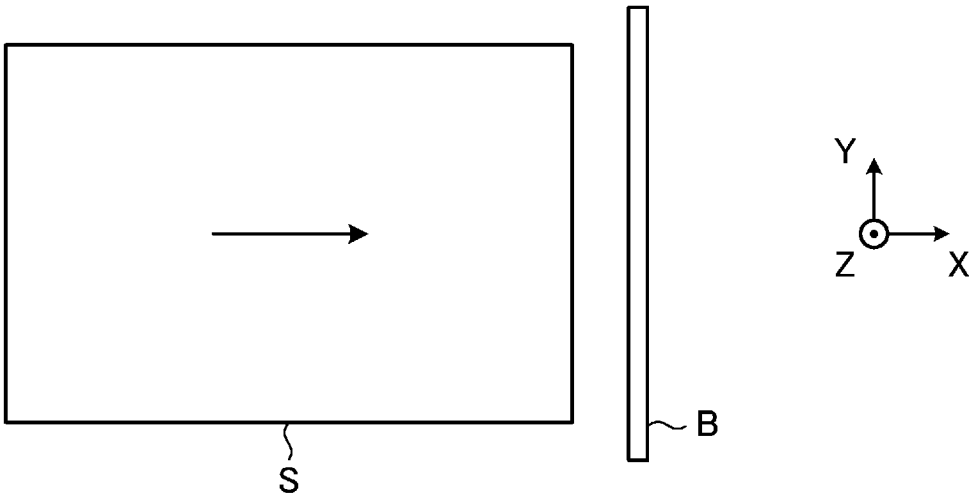
[図26]


20
29
レーザ
アニール
制御部
3
33
32
21
1a
エキシマ
レーザ装置
31
501
502
50
Z
Y
X
22
S
24
23

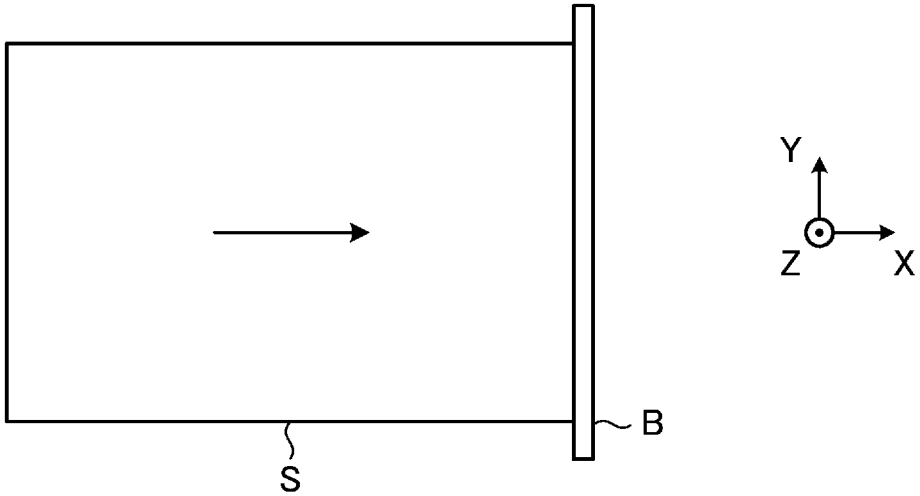
[図27]



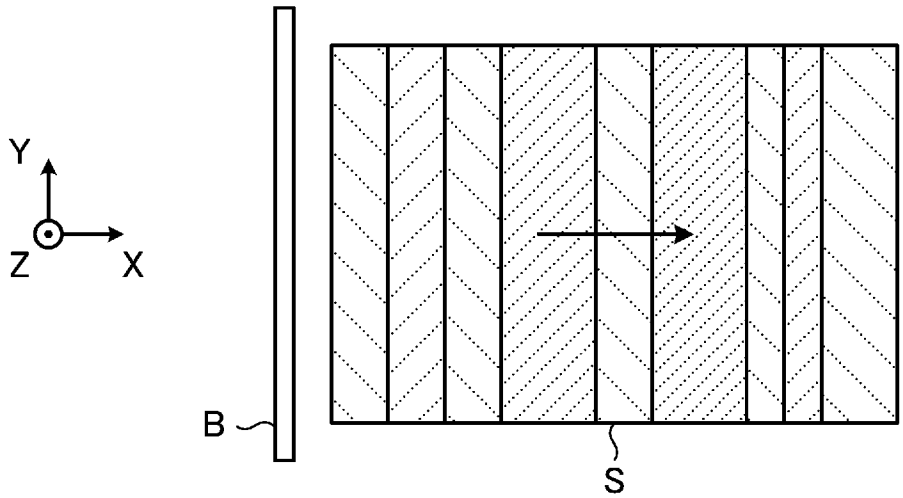
[図28A]



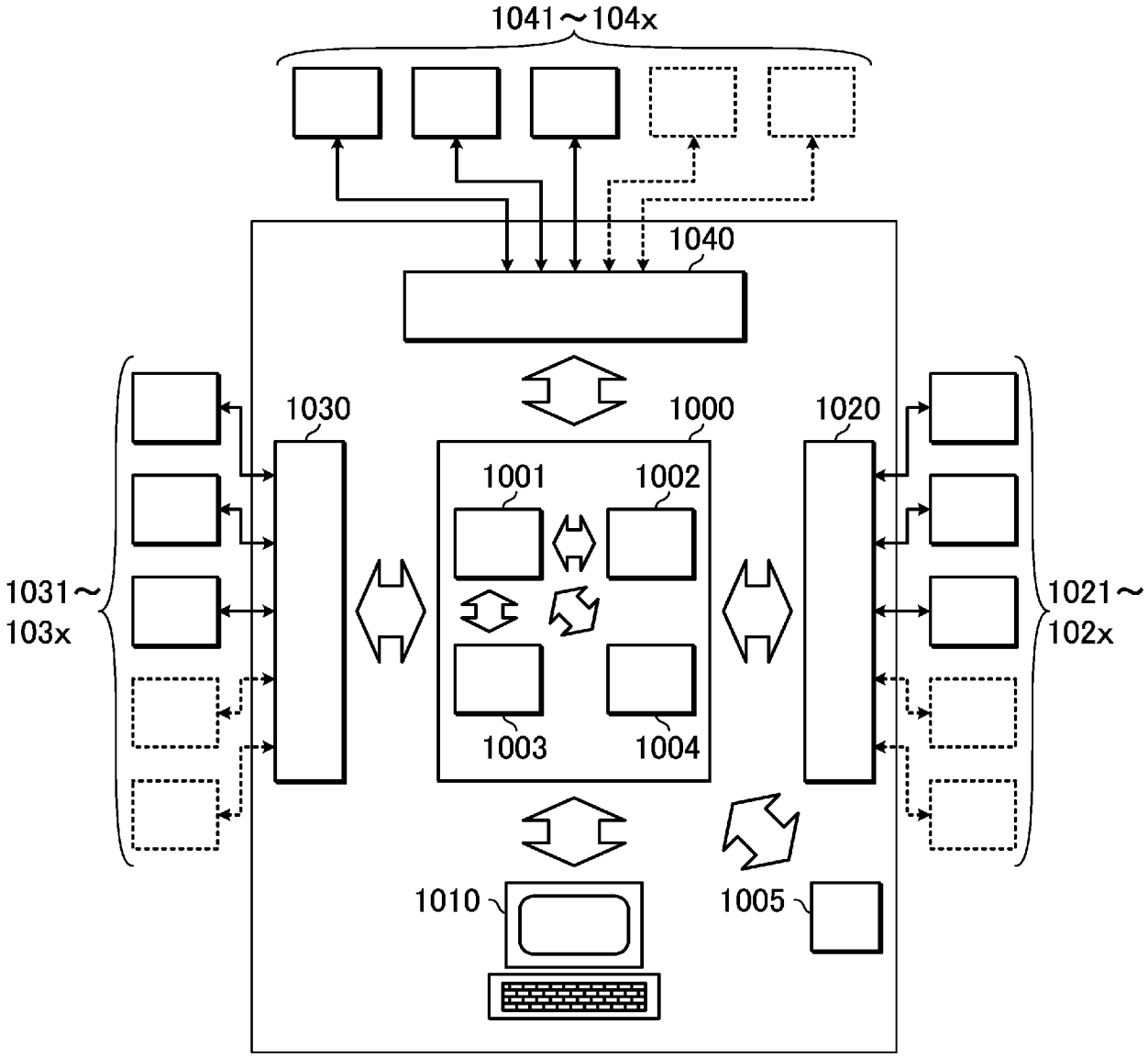
[図28B]



[図28C]



[図29]


1041～104x
1040
1030
1000
1020
1001
1002
1031～
103x
1021～
102x
1003
1004
1010
1005

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/070133

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/104(2006.01)i, *H01S3/10*(2006.01)i, *H01S3/225*(2006.01)i, *H01S3/23*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01S3/00-5/50, G02F1/00-1/125, 1/21-7/00

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	WO 2011/102486 A1 (Gigaphoton Inc.), 25 August 2011 (25.08.2011), paragraphs [0006] to [0027]; fig. 1 & US 2012/0236885 A1 paragraphs [0045] to [0066]; fig. 1	1-8,11-12 9-10
Y A	JP 2010-533373 A (SPI Lasers UK Ltd.), 21 October 2010 (21.10.2010), paragraphs [0017], [0020], [0024], [0026], [0038]; fig. 1, 6 & US 2010/0177797 A1 paragraphs [0021], [0024], [0028], [0030], [0040]; fig. 1, 6 & WO 2009/007721 A2 & EP 2165394 A2 & CA 2693496 A1 & CN 101689747 A & KR 10-2010-0041803 A	1-8,11-12 9-10

☒ 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	Date of mailing of the international search report
28 September 2015 (28.09.15)	06 October 2015 (06.10.15)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/070133

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 4-252013 A (Nikon Corp.), 08 September 1992 (08.09.1992), paragraph [0032] (Family: none)	7
A	JP 2007-59788 A (Komatsu Ltd.), 08 March 2007 (08.03.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-12
A	JP 2000-58955 A (Mitsubishi Electric Corp.), 25 February 2000 (25.02.2000), paragraphs [0014] to [0018]; fig. 1 (Family: none)	11-12

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０７０１３３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S3/104(2006.01)i, H01S3/10(2006.01)i, H01S3/225(2006.01)i, H01S3/23(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S3/00-5/50, G02F1/00-1/125, 1/21-7/00

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）

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 2011/102486 A1（ギガフォトン株式会社）	1-8,11-12
A	2011.08.25, 段落[0006]-[0027], 図１	9-10
	& US 2012/0236885 A1, 段落[0045]-[0066], 第１図	

☑　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	国際調査報告の発送日
２８．０９．２０１５	０６．１０．２０１５

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｘ　５２６３
廣崎　拓登
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 A	JP 2010-533373 A（エスピーアイ　レーザーズ　ユーケー　リミテッド） 2010.10.21，段落【0017】，【0020】，【0024】，【0026】，【0038】，図１，図６ & US 2010/0177797 A1，段落[0021]，[0024]，[0028]，[0030]，[0040]，第１図，第６図 & WO 2009/007721 A2 & EP 2165394 A2 & CA 2693496 A1 & CN 101689747 A & KR 10-2010-0041803 A	1-8,11-12 9-10
Y	JP 4-252013 A（株式会社ニコン） 1992.09.08，段落【0032】（ファミリーなし）	7
A	JP 2007-59788 A（株式会社小松製作所） 2007.03.08，全文，全図（ファミリーなし）	1-12
A	JP 2000-58955 A（三菱電機株式会社） 2000.02.25，段落【0014】－【0018】，図１（ファミリーなし）	11-12