

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年9月22日(22.09.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/147308 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/00 (2006.01) H01S 3/0975 (2006.01)
H01L 21/20 (2006.01) H01S 3/23 (2006.01)
H01L 21/268 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/057779
- (22) 国際出願日: 2015年3月16日(16.03.2015)
- (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: 国立大学法人九州大学(KYUSHU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒8128581 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 Fukuoka (JP). 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: 大久保 智幸(OHKUBO Tomoyuki); 〒8128581 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 国立大学法人九州大学内 Fukuoka (JP). 池上 浩(IKENOUE Hiroshi); 〒8128581 福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号 国立大学法人九州大学内 Fukuoka (JP). 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). 上場

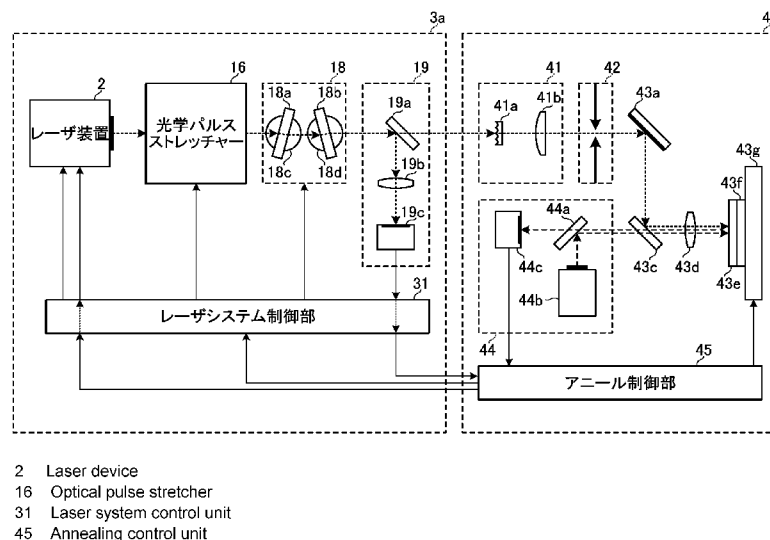
康弘(KAMBA Yasuhiro); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 若林 理(WAKABAYASHI Osamu); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

- (74) 代理人: 保坂 延寿(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

[続葉有]

(54) Title: LASER SYSTEM AND LASER ANNEALING DEVICE

(54) 発明の名称: レーザシステム及びレーザアニール装置



(57) Abstract: This laser system is a light source for a laser annealing device that applies pulsed laser light to a subject to be processed. The laser system may be provided with: a laser device that generates the pulsed laser light; a pulse time waveform variable device that varies the pulse time waveform of the pulsed laser light; and a control unit, which receives pulse time waveform generation parameters from the laser annealing device, and controls the pulse time waveform variable device.

(57) 要約: このレーザシステムは、被加工物にパルスレーザ光を照射するレーザアニール装置の光源であるレーザシステムにおいて、パルスレーザ光を生成するレーザ装置と、パルスレーザ光のパルス時間波形を可変するパルス時間波形可変装置と、レーザアニール装置からパルス時間波形生成パラメータを受信して、パルス時間波形可変装置を制御する制御部と、を備えてもよい。

WO 2016/147308 A1



ロツパ (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： レーザシステム及びレーザアニール装置

技術分野

[0001] 本開示は、レーザシステム及びレーザアニール装置に関する。

背景技術

[0002] ガラス基板を用いたフラットパネルディスプレイの駆動素子にはTFT（薄膜トランジスタ）が用いられている。高精細ディスプレイの実現には、駆動力の高いTFTの作製が必要となる。TFTのチャネル材である半導体薄膜には、多結晶シリコンやIGZO（Indium gallium zinc oxide）などが用いられている。多結晶シリコンやIGZOは、アモルファスシリコンよりもキャリア移動度が高く、トランジスタのオン／オフ特性に優れている。

[0003] また、薄膜半導体は、より高機能なデバイスを実現する3D-ICへの適用も期待されている。3D-ICは、集積回路デバイスの最上層にセンサや増幅回路、CMOS回路などの能動素子を形成することにより実現され得る。そのため、より高品質な半導体薄膜を製造する技術が求められている。

[0004] さらに、情報端末機器の多様化にともない、小型・軽量で消費電力が少なく自由に折り曲げが可能なフレキシブルディスプレイやフレキシブルコンピュータに対する要求が高まりつつある。そのため、PET（Polyethylene terephthalate）などのプラスチック基板上に高品質な半導体薄膜を形成する技術の確立が求められている。

[0005] ガラス基板上、集積回路上、あるいはプラスチック基板上に高品質な半導体薄膜を形成するためには、これらの基板に熱損傷を与えることなく半導体薄膜の結晶化を行う必要がある。ディスプレイに用いられるガラス基板では400℃、集積回路では400℃、プラスチック基板であるPETでは200℃以下のプロセス温度が求められている。

[0006] 半導体薄膜の下地基板に熱損傷を与えることなく結晶化を行う技術としてレーザアニール法が用いられている。この方法では、熱拡散による基板への

損傷を抑制するため、上層の半導体薄膜で吸収されるパルス紫外レーザ光が
用いられる。

- [0007] 半導体薄膜がシリコンである場合には、波長351nmのXeFエキシマレーザ、
波長308nmのXeClエキシマレーザ、波長248nmのKrFエキシマレーザなどが用い
られる。これら紫外領域のガスレーザは、固体レーザと比較してレーザ光の
干渉性が低く、レーザ光照射面でのエネルギー均一性に優れ、高いパルスエ
ネルギーで広い領域を均一にアニールできるという特徴を有する。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開平 1 0 - 0 1 2 9 5 0 号公報
特許文献2：米国特許公開第 2 0 1 2 / 0 2 6 0 8 4 7 号明細書
特許文献3：国際公開第 2 0 1 4 / 1 5 6 8 1 8 号
特許文献4：特許第 4 3 7 3 1 1 5 号公報
特許文献5：特開 2 0 0 8 - 2 1 1 1 3 6 号公報
特許文献6：米国特許第 8 7 3 7 4 3 8 号明細書

概要

- [0009] 本開示の 1 つの観点に係るレーザシステムは、被加工物にパルスレーザ光
を照射するレーザアニール装置の光源であるレーザシステムにおいて、パル
スレーザ光を生成するレーザ装置と、パルスレーザ光のパルス時間波形を可
変するパルス時間波形可変装置と、レーザアニール装置からパルス時間波形
生成パラメータを受信して、パルス時間波形可変装置を制御する制御部と、
を備えてもよい。
- [0010] 本開示の他の 1 つの観点に係るレーザアニール装置は、被加工物にパルス
レーザ光を照射するレーザアニール装置において、パルスレーザ光を生成す
るレーザ装置と、パルスレーザ光のパルス時間波形を可変するパルス時間波
形可変装置と、被加工物にパルスレーザ光を照射する光学系と、被加工物に
おけるパルスレーザ光のフルーエンスを可変するフルーエンス可変部と、パ
ルス時間波形生成パラメータと、被加工物におけるパルスレーザ光のフルー

エンスの目標値と、を含む照射条件パラメータに基づいて、パルス時間波形可変装置とフルーエンス可変部とを制御する制御部と、を備えてもよい。

図面の簡単な説明

[0011] 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具体的構成を示す。

[図3]図3は、図2に示されるレーザチャンバの内部構成と、パルスパワーモジュールの構成とを示す。

[図4]図4は、レーザ装置から出力されるパルスレーザ光の時間波形の例を示すグラフである。

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

[図6A]図6Aは、図5に示される光学パルスストレッチャーの構成を示す。

[図6B]図6Bは、ビームスプリッタを図6Aと異なる位置に移動させ、且つ、凹面ミラーの姿勢が図6Aと異なる状態を示す。

[図6C]図6Cは、凹面ミラーの姿勢が図6Bと異なる状態を示す。

[図6D]図6Dは、ビームスプリッタ、ホルダ、アーム、移動テーブル及び1軸ステージを、ビームスプリッタの反射面に垂直な方向から見た図である。

[図6E]図6Eは、ビームスプリッタを図6Dと異なる位置に移動させた状態を示す。

[図7]図7は、図5に示されるアニール制御部によるパルス時間波形の設定処理を示すフローチャートである。

[図8A]図8Aは、図7に示されるビームスプリッタの反射率を最小にしてパルス時間幅を計算する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図8B]図8Bは、ビームスプリッタの反射率を最小に設定して光学パルスストレッチャーから出力されたパルスレーザ光の時間波形の例を示す。

[図9A]図9Aは、図7に示される照射条件パラメータを作成する処理の詳細

を示すフローチャートである。

[図9B]図9Bは、照射条件パラメータをテーブル形式で記憶する場合のデータ構造の例を示す。

[図10]図10は、図7に示される照射条件パラメータにレーザシステムを設定する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図11A]図11Aは、図7に示されるパルスパラメータを計算する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図11B]図11Bは、光学パルスストレッチャーから出力されたパルスレーザ光の時間波形の例を示す。

[図12A]図12Aは、図7に示される溶融持続時間と結晶状態を計測する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図12B]図12Bは、被加工物の照射領域におけるレーザ光の反射率の時間変化の例を示す。

[図13]図13は、図7に示される最適な照射条件パラメータを選出する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図14]図14は、被加工物に照射するパルスレーザ光のフルーエンスと被加工物に形成される結晶粒径との関係、及び、被加工物に照射するパルスレーザ光のフルーエンスと溶融持続時間との関係を示すグラフである。

[図15]図15は、好ましいパルス時間波形の例を示すグラフである。

[図16A]図16Aは、本開示の第2の実施形態に係るレーザアニール装置において用いられる光学パルスストレッチャーの構成を示す。

[図16B]図16Bは、図16Aに示される光学パルスストレッチャーにおいて用いられる複数のビームスプリッタを、これらのビームスプリッタの反射面に垂直な方向から見た図である。

[図17A]図17Aは、本開示の第3の実施形態に係るレーザアニール装置において最適な照射条件パラメータを選出する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図17B]図17Bは、溶融持続時間とフルーエンスとの関係の例を示す。

[図18]図 1 8 は、本開示の第 4 の実施形態に係るレーザアニール装置の構成を概略的に示す。

[図19]図 1 9 は、図 1 8 に示されるアニール制御部によるパルス時間波形の設定処理を示すフローチャートである。

[図20]図 2 0 は、図 1 9 に示される 1 台のレーザ部から出力されるパルスレーザ光のパルス時間幅を計算する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図21A]図 2 1 A は、図 1 9 に示される照射条件パラメータを作成する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図21B]図 2 1 B は、レーザシステムから出力されるパルスレーザ光の時間波形の例を示す。

[図21C]図 2 1 C は、照射条件パラメータをテーブル形式で記憶する場合のデータ構造の例を示す。

[図22]図 2 2 は、本開示の第 5 の実施形態における照射条件パラメータの設定処理を示すフローチャートである。

[図23A]図 2 3 A は、図 2 2 に示される照射条件パラメータを受信する処理の第 1 の例を示すフローチャートである。

[図23B]図 2 3 B は、図 2 2 に示される照射条件パラメータを受信する処理の第 2 の例を示すフローチャートである。

[図24A]図 2 4 A は、図 2 2 に示される受信した照射条件パラメータに設定する処理の第 1 の例を示すフローチャートである。

[図24B]図 2 4 B は、図 2 2 に示される受信した照射条件パラメータに設定する処理の第 2 の例を示すフローチャートである。

[図25]図 2 5 は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

実施形態

[0012] <内容>

1. 概要
2. 比較例に係るレーザアニール装置
 2. 1 レーザアニール装置の構成

- 2. 2 レーザアニール装置の動作
- 2. 3 レーザ装置の詳細
- 2. 4 課題
- 3. 光学パルスストレッチャーを含むレーザアニール装置（第 1 の実施形態）
 - 3. 1 構成
 - 3. 2 動作
 - 3. 3 光学パルスストレッチャーの構成
 - 3. 4 光学パルスストレッチャーの動作
 - 3. 5 アニール制御部の処理
 - 3. 5. 1 メインフロー
 - 3. 5. 2 S 1 0 0 の詳細
 - 3. 5. 3 S 1 1 0 の詳細
 - 3. 5. 4 S 1 3 0 の詳細
 - 3. 5. 5 S 1 5 0 の詳細
 - 3. 5. 6 S 1 6 0 の詳細
 - 3. 5. 7 S 2 0 0 の詳細
 - 3. 6 照射条件の選定
- 4. ビームスプリッタのバリエーション（第 2 の実施形態）
- 5. 照射条件の選定のバリエーション（第 3 の実施形態）
- 6. 複数のレーザ部を含むレーザアニール装置（第 4 の実施形態）
 - 6. 1 構成及び動作
 - 6. 2 アニール制御部の処理
 - 6. 2. 1 メインフロー
 - 6. 2. 2 S 1 0 0 b の詳細
 - 6. 2. 3 S 1 1 0 b の詳細
 - 6. 3 作用
- 7. 外部装置から照射条件パラメータを受信する例（第 5 の実施形態）

7. 1 メインフロー

7. 2 S 3 2 0の詳細（第 1 の例）

7. 3 S 3 2 0の詳細（第 2 の例）

7. 4 S 3 3 0の詳細（第 1 の例）

7. 5 S 3 3 0の詳細（第 2 の例）

8. 制御部の構成

[0013] 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。

[0014] 1. 概要

レーザアニール装置から出力されるパルスレーザ光のパルス時間波形によって、生成される多結晶の特性は異なり得る。従来のレーザアニール装置では、パルスレーザ光のパルス時間波形を最適化することが困難であり得る。

本開示は、レーザアニール装置の光源であるレーザシステムから出力されるパルスレーザ光のパルス時間波形を可変するレーザアニール装置に関する。

[0015] 2. 比較例に係るレーザアニール装置

2. 1 レーザアニール装置の構成

図 1 は、比較例に係る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は、レーザシステム 3 と、アニール装置 4 とを備えていてもよい。

[0016] レーザシステム 3 は、レーザ装置 2 と、アッテネータ 1 8 とを含んでもよい。レーザ装置 2 は、ArF、KrF、XeCl、XeFのいずれかをレーザ媒質とするレーザ装置であってもよい。アッテネータ 1 8 は、レーザ装置 2 から出力されるパルスレーザ光の光路に配置され、2 枚の部分反射ミラー 1 8 a 及び 1 8

bと、これらの部分反射ミラーの回転ステージ18c及び18dと、を含んでもよい。2枚の部分反射ミラー18a及び18b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。

[0017] アニール装置4は、スリット42と、高反射ミラー43a及び43bと、転写光学系43dと、テーブル43fと、XYZステージ43gと、を含んでもよい。スリット42は、アッテネータ18を通過したパルスレーザ光の光路に配置されていてもよい。スリット42は、パルスレーザ光のビーム断面のうちの光強度分布が均一な領域が通過するように配置されていてもよい。

[0018] 高反射ミラー43a及び43bは、スリット42を通過したパルスレーザ光が転写光学系43dに入射するように配置されていてもよい。転写光学系43dは、1つ又は複数の凸レンズを含む光学系でもよいし、1つ又は複数の凸レンズと1つ又は複数の凹レンズとを含む光学系であってもよい。

[0019] テーブル43fは、被加工物43eを支持していてもよい。被加工物43eは、ガラス基板上にアモルファスシリコン薄膜が製膜されたものであってもよい。XYZステージ43gは、テーブル43fを支持していてもよい。XYZステージ43gは、テーブル43f上の被加工物43eの表面に、スリット42の転写像が結像するように調整されてもよい。

[0020] 2. 2 レーザアニール装置の動作

2枚の部分反射ミラー18a及び18b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、回転ステージ18c及び18dによって姿勢を制御されてもよい。これにより、レーザ装置2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18を通過し得る。

[0021] アッテネータ18を通過したパルスレーザ光は、スリット42を通過し、高反射ミラー43a及び43bを経由して、転写光学系43dに入射してもよい。転写光学系43dは、被加工物43eにスリット42の転写像を結像し得る。これにより、パルスレーザ光が被加工物43eに照射され、照射領

域のアモルファスシリコンが溶融し得る。溶融したアモルファスシリコンは、パルスレーザ光の照射が終了した後、結晶化し得る。

[0022] 2. 3 レーザ装置の詳細

図2は、図1に示されるレーザ装置の具体的構成を示す。図2に示されるレーザ装置2は、レーザチャンバ10と、一对の電極11a及び11bと、充電器12と、パルスパワーモジュール（PPM）13と、を含んでもよい。図2においては、レーザ光の進行方向に略垂直な方向から見たレーザチャンバ10の内部構成が示されている。

[0023] レーザ装置2は、さらに、クロスフローファン21と、モータ22と、を含んでもよい。レーザ装置2は、さらに、高反射ミラー14と、出力結合ミラー15と、パルスエネルギー計測部17と、レーザ制御部30と、を含んでもよい。

[0024] レーザチャンバ10は、上述のレーザ媒質が封入されるチャンバでもよい。一对の電極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内に配置され得る。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20が塞いでいてもよい。電極11aは電気絶縁部20に支持され、電極11bはレーザチャンバ10の内部仕切板10cに支持されていてもよい。電気絶縁部20には、導電部20aが埋め込まれていてもよい。導電部20a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に印加するように、パルスパワーモジュール13の高電圧端子と電極11aとを電氣的に接続してもよい。

[0025] クロスフローファン21の回転軸は、レーザチャンバ10の外部に配置されたモータ22に接続されていてもよい。モータ22がクロスフローファン21を回転させることにより、レーザガスがレーザチャンバ10の内部で循環してもよい。

[0026] 充電器12は、例えば電源装置に接続されたコンデンサによって構成されてもよく、一对の電極11a及び11b間に高電圧を印加するための電気エネルギーを保持し得る。パルスパワーモジュール13は、レーザ制御部30

によって制御されるスイッチ 13 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、充電器 12 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。

[0027] 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 間に放電が起こり得る。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波長の光を放出し得る。

[0028] 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。

[0029] 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、レーザチャンバ 10 内に戻してもよい。

出力結合ミラー 15 の表面には、部分反射膜がコーティングされていてもよい。従って、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。

[0030] 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、パルスレーザ光として出力され得る。

[0031] 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。ビームスプリッタ 17 a は、出力結合ミラー 15 を透過した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 17 b に向けて反射してもよい。集光光学系 17 b は、ビームスプリッタ 17 a によって反射された光を光

センサ 17c の感光面に集光してもよい。光センサ 17c は、感光面に集光されたレーザ光のパルスエネルギーを検出し、パルスエネルギーの検出データをレーザ制御部 30 に出力してもよい。

[0032] レーザ制御部 30 は、例えば、充電器 12 に対して充電電圧の設定信号を送信したり、パルスパワーモジュール 13 に対してスイッチ ON 又は OFF の発光トリガ信号を送信したりしてもよい。

[0033] レーザ制御部 30 は、パルスエネルギー計測部 17 からパルスエネルギーの検出データを受信してもよく、このパルスエネルギーの検出データを参照して充電器 12 の充電電圧を制御してもよい。充電器 12 の充電電圧を制御することにより、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。また、レーザ制御部 30 は、パルスエネルギー計測部 17 から受信したデータに基づいて、エキシマレーザ装置の発振パルス数を計数してもよい。

[0034] 図 3 は、図 2 に示されるレーザチャンバの内部構成と、パルスパワーモジュールの構成とを示す。図 3 においては、レーザ光の進行方向に略平行な方向から見たレーザチャンバ 10 の内部構成が示されている。レーザチャンバ 10 の内部仕切板 10c 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 は内部仕切板 10c を介して接地電位に接続されていてもよい。

[0035] レーザチャンバ 10 の内部には、一对の電極 11a 及び 11b と、クロスフローファン 21 との他に、熱交換器 26 が配置されてもよい。クロスフローファン 21 が回転することにより、レーザガスは、矢印 A で示されるようにレーザチャンバ 10 の内部で循環してもよい。熱交換器 26 は、放電によって高温となったレーザガスの熱エネルギーをレーザチャンバ 10 の外部に排出してもよい。

[0036] パルスパワーモジュール 13 は、充電コンデンサ C0 と、スイッチ 13a と、昇圧トランス TC1 と、複数の磁気スイッチ Sr1 ~ Sr3 と、複数のコンデンサ C1、C2、C3 と、を含んで構成されてもよい。

[0037] 磁気スイッチ Sr1 ~ Sr3 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 $S_{r1} \sim S_{r3}$ 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。

[0038] 充電器12には、レーザ制御部30により充電電圧が設定されてもよい。充電器12は、設定された充電電圧に基づいて、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のスイッチ13aには、レーザ制御部30により発光トリガ信号が入力されてもよい。発光トリガ信号がスイッチ13aに入力されると、スイッチ13aがONになってもよい。スイッチ13aがONになると、充電コンデンサC0から昇圧トランスTC1の1次側に電流が流れ得る。

[0039] 昇圧トランスTC1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TC1の2次側に逆方向の電流が流れ得る。昇圧トランスTC1の2次側に電流が流れると、やがて磁気スイッチ S_{r1} に印加される電圧の時間積分値が閾値に達し得る。

[0040] 磁気スイッチ S_{r1} 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_{r1} は磁気飽和した状態となり、磁気スイッチ S_{r1} は閉じ得る。

磁気スイッチ S_{r1} が閉じると、昇圧トランスTC1の2次側からコンデンサC1に電流が流れ、コンデンサC1が充電され得る。

[0041] コンデンサC1が充電されることにより、やがて磁気スイッチ S_{r2} 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C1からコンデンサC2に電流が流れ、コンデンサC2が充電され得る。このとき、コンデンサC1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C2が充電されてもよい。

[0042] コンデンサC2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。

[0043] 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、高電圧化され得る。

[0044] 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得る。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。

[0045] 2. 4 課題

図4は、レーザ装置から出力されるパルスレーザ光の時間波形の例を示すグラフである。図4における破線は、コンデンサ C_2 の容量 C_{P-1} に対するコンデンサ C_3 の容量 C_P の比 $K = C_P / C_{P-1}$ が0.7である場合のパルスレーザ光の時間波形を示し、実線は、比 K が0.95である場合のパルスレーザ光の時間波形を示す。

[0046] 比 K が1より小さい値である場合、コンデンサ C_2 に充電されるエネルギーよりもコンデンサ C_3 に充電されるエネルギーの方が少なくなるため、余剰エネルギーが生じ得る。そうすると、コンデンサ C_3 に充電されたエネルギーにより放電電極 $11a$ 、 $11b$ で放電が起こった後に、余剰エネルギーにより反転して再度放電が起こるので、パルスレーザ光のパルス時間幅が長くなり得る。

[0047] 特開平10-012950号公報においては、この放電によるパルスストレッチによって、アニールに適したパルス時間幅を実現することが開示されている。しかし、放電は、レーザガス条件の変化や放電状態によって、1パ

ルスごとにパルス時間波形が変動し得る。パルス時間波形が変動すると、アニールによって生成された多結晶の特性が変わってしまうことがある。

[0048] また、米国特許公開第2012/0260847号明細書及び米国特許第8737438号明細書においては、光学パルスストレッチャーを利用してパルス時間幅を長くすることが開示されている。しかし、光学パルスストレッチャーを利用するだけではパルス時間波形を最適化することは困難であり得る。

[0049] 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、光学パルスストレッチャーに含まれるビームスプリッタの反射率を変更可能としてもよい。さらに、光学パルスストレッチャーに含まれる遅延光学系の遅延光路の光路長を変更可能としてもよい。また、パルスパワーモジュール13のコンデンサC2の容量 C_{P-1} に対するコンデンサC3の容量 C_P の比 $K = C_P / C_{P-1}$ を、以下の範囲としてもよい。

好ましくは、 $0.85 \leq K \leq 1.15$

さらに好ましくは、 $0.9 \leq K \leq 1.05$

比 K を1に近い値とすることにより、余剰エネルギーが低減され、反転電流が発生するのを抑制し得る。その結果、安定した放電が生成され、そのため出力されるパルスレーザ光の時間波形が安定し得る。

[0050] 3. 光学パルスストレッチャーを含むレーザアニール装置（第1の実施形態）

3. 1 構成

図5は、本開示の第1の実施形態に係るレーザアニール装置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装置において、レーザシステム3aは、図1を参照しながら説明したレーザシステムに加えて、光学パルスストレッチャー16と、パルス時間波形計測部19と、レーザシステム制御部31と、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装置において、アニール装置4aは、図1を参照しながら説明したアニール装置4に加えて、ビームホモジナイザ41と、溶融計測部44と、ア

ニール制御部 4 5 と、を備えていてもよい。アニール装置 4 a において、高反射ミラー 4 3 b の代わりに、高反射ミラー 4 3 c が配置されてもよい。

[0051] 光学パルスストレッチャー 1 6 は、レーザ装置 2 とアッテネータ 1 8 との間のパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。光学パルスストレッチャー 1 6 は、ビームスプリッタと、遅延光学系と、を含んでもよい。光学パルスストレッチャー 1 6 の詳細については、図 6 A～図 6 E を参照しながら後述する。

[0052] パルス時間波形計測部 1 9 は、アッテネータ 1 8 とアニール装置 4 a との間のパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。パルス時間波形計測部 1 9 は、ビームスプリッタ 1 9 a と、集光光学系 1 9 b と、光センサ 1 9 c とを含んでもよい。ビームスプリッタ 1 9 a は、アッテネータ 1 8 を通過した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 1 9 b に向けて反射してもよい。集光光学系 1 9 b は、ビームスプリッタ 1 9 a によって反射された光を光センサ 1 9 c の感光面に集光してもよい。光センサ 1 9 c は、高速のフォトダイオード又はバイプラナ管であってもよい。

[0053] ビームホモジナイザ 4 1 は、パルス時間波形計測部 1 9 とスリット 4 2 との間のパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。ビームホモジナイザ 4 1 は、フライアイレンズ 4 1 a と、コンデンサ光学系 4 1 b と、を含んでもよい。コンデンサ光学系 4 1 b は、その後側焦点の位置がスリット 4 2 の位置と略一致するように配置されてもよい。フライアイレンズ 4 1 a は、フライアイレンズ 4 1 a に含まれる複数のレンズの前側焦点を含む焦点面の位置とコンデンサ光学系 4 1 b の前側焦点面の位置とが略一致するように配置されてもよい。

[0054] 高反射ミラー 4 3 c は、レーザ装置 2 から出力された紫外領域のパルスレーザ光を高い反射率で反射し、可視光を透過させるダイクロイックミラーであってもよい。

[0055] 溶融計測部 4 4 は、ビームスプリッタ 4 4 a と、半導体レーザ 4 4 b と、

光センサ 44 c と、を含んでもよい。半導体レーザ 44 b は、可視光領域のレーザ光を出力してもよい。たとえば、半導体レーザ 44 b は、波長 $1\ \mu\text{m}$ ～ $660\ \text{nm}$ のレーザ光を出力する半導体レーザであってもよい。ビームスプリッタ 44 a は、レーザ光の一部を反射し、他の一部を透過させるハーフミラーであってもよい。

[0056] 半導体レーザ 44 b から出力されたレーザ光の一部は、ビームスプリッタ 44 a によって反射され、高反射ミラー 43 c を透過し、被加工物 43 e によって反射されて、高反射ミラー 43 c 及びビームスプリッタ 44 a をこの順で透過してもよい。光センサ 44 c は、高反射ミラー 43 c 及びビームスプリッタ 44 a をこの順で透過した光の光路に配置されてもよい。光センサ 44 c は、半導体レーザ 44 b から出力されたレーザ光の波長に感度を有するフォトダイオードであってもよい。あるいは、半導体レーザ 44 b から出力されたレーザ光の波長を選択的に透過させるバンドパスフィルタが、高反射ミラー 43 c と光センサ 44 c との間のレーザ光の光路に配置されていてもよい。

[0057] 3. 2 動作

アニール制御部 45 は、被加工物 43 e が所定の位置に配置されるように、XYZ ステージ 43 g を制御してもよい。アニール制御部 45 は、被加工物 43 e におけるパルスレーザ光のフルエンスが所定の値となるように、アッテネータ 18 を通過したパルスレーザ光の目標パルスエネルギー E_t のデータをレーザシステム制御部 31 に送信してもよい。

[0058] レーザシステム制御部 31 は、レーザ装置 2 に、レーザ装置 2 から出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーの目標値 E_L1 を送信してもよい。次に、レーザシステム制御部 31 は、アッテネータ 18 を通過したパルスレーザ光の目標パルスエネルギー $E_t = T_1 \cdot T_2 \cdot E_L1$ となるように、アッテネータ 18 の透過率 T_2 を制御する信号を送信してもよい。ここで、 T_1 は光学パルスストレッチャー 16 の透過率であってもよい。

[0059] アニール制御部 45 は、レーザシステム制御部 31 を介して、レーザ装置

2に発光トリガ信号を送信してもよい。レーザ装置2に発光トリガ信号が入力されると、レーザ装置2からパルスエネルギー E_L1 のパルスレーザ光が出力され得る。この出力されたパルスレーザ光は、光学パルスストレッチャー16に入射し、パルスストレッチされ得る。

[0060] パルスストレッチされたパルスレーザ光は、アッテネータ18によって所望のパルスエネルギーとなるように減光されてもよい。その後、パルスレーザ光は、パルス時間波形計測部19のビームスプリッタ19aによって、一部反射され、集光光学系19bを介して、光センサ19cに入射し得る。

[0061] レーザシステム制御部31は、光センサ19cからの信号を受信して、パルスレーザ光のパルス時間波形を計測してもよい。また、このパルス時間波形を積分して、パルスエネルギーを計算して、目標パルスエネルギー E_t となっているか確認してもよい。また、計測されたパルス時間波形のデータは、アニール制御部45に送信されてもよい。

[0062] パルス時間波形計測部19を通過したパルスレーザ光は、アニール装置4aに入射し得る。アニール装置4aに入射したパルスレーザ光は、ビームホモジナイザ41によって、スリット42をケーラー照明し得る。その結果、パルスレーザ光の光強度分布が均一化され得る。スリット42を通過したパルスレーザ光は、高反射ミラー43a及び43cによって順次反射され、転写光学系43dによって、スリット42の転写像が被加工物43eに結像され得る。これにより、被加工物43eにおいて、アモルファスシリコンの一部が溶融し、その後結晶化し得る。

[0063] 一方、溶融計測部44の半導体レーザ44bから出力されたレーザ光は、ビームスプリッタ44aによって反射されて、高反射ミラー43c及び転写光学系43dを介して、被加工物43eにおけるパルスレーザ光の照射エリアに入射し得る。

[0064] 被加工物43eにおいて、アモルファスシリコンが溶融し、その後結晶化する過程で、半導体レーザ44bから出力されたレーザ光の反射率が変化し得る。アニール制御部45は、この半導体レーザ44bから出力されたレー

ザ光の反射光の光強度の時間変化を光センサ44cによって計測してもよい。そして、被加工物43eにおける反射率の時間変化を計算してもよい。反射率の計算は、予め、被加工物の位置に反射率の高いサンプルを配置して、そのサンプルからの反射光の光強度を基準とすることにより行われてもよい。

[0065] 3. 3 光学パルスストレッチャーの構成

図6Aは、図5に示される光学パルスストレッチャーの構成を示す。光学パルスストレッチャー16は、ビームスプリッタ16nと、凹面ミラー16a～16hとを含んでもよい。

[0066] ビームスプリッタ16nは、パルスレーザ光を高い透過率で透過させる基板を含んでもよい。この基板の第1の面161には減反射膜がコートされ、この基板の第2の面162には、矢印B方向に反射率分布を有する部分反射膜がコートされていてもよい。ビームスプリッタ16nは、ホルダ16oを介してアーム16pに支持されてもよい。アーム16pは、移動テーブル16qに支持され、移動テーブル16qは、1軸ステージ16rに支持されてもよい。

[0067] 図6D及び図6Eは、ビームスプリッタ16n、ホルダ16o、アーム16p、移動テーブル16q及び1軸ステージ16rを、ビームスプリッタ16nの反射面に垂直な方向から見た図である。図6B、図6C及び図6Eは、ビームスプリッタ16n等を図6A及び図6Dと異なる位置に移動させた状態を示す。1軸ステージ16rは、ビームスプリッタ16n、ホルダ16o、アーム16p及び移動テーブル16qを、矢印B方向に往復移動できるように構成されてもよい。1軸ステージ16rは、レーザシステム制御部31（図5）によって制御されてもよい。これにより、ビームスプリッタ16nは、パルスレーザ光の入射角度を維持した状態で、矢印B方向に往復移動できるように構成されてもよい。

[0068] 凹面ミラー16a～16hは、遅延光学系を構成し得る。凹面ミラー16a～16hの各々は、互いに略等しい焦点距離Fを有する凹面ミラーであつ

てもよい。これらの凹面ミラーのうち、凹面ミラー16c、16d、16e、16fは、それぞれ、回転ステージ16i、16j、16k、16mに支持されてもよい。回転ステージ16i、16j、16k、16mは、それぞれ凹面ミラー16c、16d、16e、16fを紙面の面内で回転させ、それぞれの姿勢を制御できるように構成されてもよい。回転ステージ16i、16j、16k、16mは、レーザシステム制御部31（図5）によって制御されてもよい。焦点距離Fは、例えば、ビームスプリッタ16nから凹面ミラー16aまでの距離に相当してもよい。

[0069] 3. 4 光学パルスストレッチャーの動作

図中の左側からビームスプリッタ16nに入射するパルスレーザ光は、第1の面161を高い透過率で透過し、第2の面162の部分反射膜に入射し得る。第2の面162に入射したパルスレーザ光は、第1の光路と第2の光路に分岐され得る。すなわち、第2の面162に入射したパルスレーザ光の一部は透過し、第1の光路に進んで、第1の出力パルスP1となり得る。第2の面162に入射したパルスレーザ光の他の一部は反射され、第2の光路に進んで、凹面ミラー16aによって反射され得る。

[0070] 凹面ミラー16c、16d、16e、16fの姿勢が図6Aに示される状態のとき、凹面ミラー16aによって反射されたパルスレーザ光は、凹面ミラー16d、16e、16h、16g、16f、16c、16bの順で反射されて、ビームスプリッタ16nに図中の上側から入射してもよい。図中の上側からビームスプリッタ16nに入射したパルスレーザ光の一部は反射され、上記第1の光路に進んで第2の出力パルスP2となり得る。図中の上側からビームスプリッタ16nに入射したパルスレーザ光の他の一部はビームスプリッタ16nを透過して再び上記第2の光路に進み得る。

[0071] 図中の左側からビームスプリッタ16nに入射して透過した第1の出力パルスP1と、図中の上側からビームスプリッタ16nに入射して反射された第2の出力パルスP2とが略同一の光路軸で、光学パルスストレッチャー16から図中の右側に向けて出力され得る。凹面ミラー16a、16d、16

e、16h、16g、16f、16c、16bを経由した遅延光路の光路長は、凹面ミラー16a～16hの各々の焦点距離Fの16倍に相当し得る。この場合、第1の出力パルスP1に対する第2の出力パルスP2の遅延時間は、光速をcとしたとき、 $16F/c$ となり得る。

[0072] 図中の上側からビームスプリッタ16nに入射して透過したパルスレーザ光は、再び凹面ミラー16aによって反射され、上述と同じ遅延光路を通して、再びビームスプリッタ16nに図中の上側から入射してもよい。再びビームスプリッタ16nに図中の上側から入射したパルスレーザ光の一部は反射されて、光学パルスストレッチャー16から図中の右側に向けて出力され得る。これを繰り返すことにより、第1及び第2の出力パルスP1及びP2と略同一の光路軸で、図示しない第3及び第4の出力パルスが出力され、パルスレーザ光がパルスストレッチされてもよい。

[0073] 図6Bは、凹面ミラー16c、16d、16e、16fの姿勢が図6Aと異なる状態を示す。凹面ミラー16c、16d、16e、16fの姿勢が図6Bに示される状態のとき、凹面ミラー16aによって反射されたパルスレーザ光は、凹面ミラー16d、16e、16f、16c、16bの順で反射されてもよい。すなわち、凹面ミラー16h及び16gをスキップしてもよい。この場合の遅延光路の光路長は、凹面ミラー16a～16hの各々の焦点距離Fの約12倍に相当し得る。

[0074] 図6Cは、凹面ミラー16c、16d、16e、16fの姿勢が図6A及び図6Bと異なる状態を示す。凹面ミラー16c、16d、16e、16fの姿勢が図6Cに示される状態のとき、凹面ミラー16aによって反射されたパルスレーザ光は、凹面ミラー16d、16c、16bの順で反射されてもよい。すなわち、凹面ミラー16e、16h、16g及び16fをスキップしてもよい。この場合の遅延光路の光路長は、凹面ミラー16a～16hの各々の焦点距離Fの約8倍に相当し得る。

[0075] このように、凹面ミラー16c、16d、16e、16fの姿勢によって、遅延光路の光路長を、 $8F$ 、 $12F$ 及び $16F$ と可変することができる。

これらの場合のいずれにおいても、図中の左側からビームスプリッタ 16 n の第 2 の面 16 2 に入射するパルスレーザ光のビーム断面の転写像が、ビームスプリッタ 16 n の第 2 の面 16 2 に結像し得る。遅延光路の光路長を変更することにより、第 1 の出力パルス P 1 に対する第 2 の出力パルス P 2 や上述の第 3、第 4 の出力パルスの遅延時間を変更できるので、光学パルスストレッチャー 16 から出力されるパルスレーザ光の時間波形を変更し得る。回転ステージ 16 i、16 j、16 k、16 m は、本開示における光路長可変部に相当し得る。

[0076] ビームスプリッタ 16 n の位置を 1 軸ステージ 16 r が矢印 B 方向に往復移動させることによって、ビームスプリッタ 16 n におけるパルスレーザ光の反射率を変更することができる。ビームスプリッタ 16 n におけるパルスレーザ光の反射率を変更することにより、第 1 の出力パルス P 1 に対する第 2 の出力パルス P 2 や第 3、第 4 の出力パルスの強度比を変更できるので、光学パルスストレッチャー 16 から出力されるパルスレーザ光の時間波形を変更し得る。1 軸ステージ 16 r は、本開示における反射率可変部に相当し得る。

[0077] 以上のように、光学パルスストレッチャー 16 に含まれるビームスプリッタの反射率と遅延光路の光路長を変化させることによって、第 1～第 4 の出力パルスのパルス時間間隔や、第 1～第 4 の出力パルスの光強度比を変更し得る。なお、光学パルスストレッチャー 16 は、本開示におけるパルス時間波形可変装置に相当し得る。

[0078] なお、図 6 A～図 6 E においては、8 枚の凹面ミラーを用いる例を示したが、本開示はこの例に限定されることなく、さらに多くの凹面ミラーが同様に配置されてもよい。

他の点については、図 1～図 3 を参照しながら説明したレーザアニール装置と同様でよい。

[0079] 3. 5 アニール制御部の処理

3. 5. 1 メインフロー

図 7 は、図 5 に示されるアニール制御部によるパルス時間波形の設定処理を示すフローチャートである。アニール制御部 45 は、以下の処理により、複数の照射条件によるアニールを行い、それぞれの照射条件における熔融状態を計測して、最適な照射条件を選定してもよい。

[0080] まず、S 100において、アニール制御部 45 は、ビームスプリッタ 16 n の反射率を最小にして、パルスレーザ光の時間波形を計測し、パルス時間幅を計算してもよい。これにより、レーザ装置 2 から出力されて光学パルスストレッチャー 16 に入射する前のパルスレーザ光の時間波形に近い波形を取得し得る。この処理の詳細については、図 8 A 及び図 8 B を参照しながら後述する。

[0081] 次に、S 110において、アニール制御部 45 は、番号 $N = 1$ から番号 $N = N_{max}$ までの照射条件パラメータを作成し、メモリに記憶させてもよい。メモリについては、図 25 を参照しながら後述する。照射条件パラメータは、光学パルスストレッチャー 16 の遅延光路の光路長の目標値と、ビームスプリッタ 16 n の反射率の目標値と、被加工物 43 e におけるパルスレーザ光のフルエンスの目標値と、に関する N_{max} 通りの組み合わせを含んでもよい。この S 110 の処理の詳細については、図 9 A を参照しながら後述する。照射条件パラメータは、図 9 B を参照しながら後述するデータテーブルの形式で記憶されてもよい。

[0082] ここで、照射条件パラメータは、パルス時間波形生成パラメータと、被加工物 43 e におけるフルエンスの目標値と、を含んでもよい。パルス時間波形生成パラメータは、パルス時間波形を生成するために必要なパラメータであって、この場合は、ビームスプリッタ 16 n の反射率の目標値と、光学パルスストレッチャー 16 の遅延光路の光路長の目標値と、を含んでもよい。

[0083] 次に、S 120において、アニール制御部 45 は、番号 N の値を 1 にセットしてもよい。

[0084] 次に、S 130において、アニール制御部 45 は、番号 N の照射条件パラ

メータにレーザシステム 3 a を設定してもよい。すなわち、アニール制御部 4 5 は、光学パルスストレッチャー 1 6 の遅延光路の光路長の目標値と、ビームスプリッタ 1 6 n の反射率の目標値と、被加工物 4 3 e におけるフルエンスの目標値とを、レーザシステム制御部 3 1 に送信してもよい。この処理の詳細については、図 1 0 を参照しながら後述する。

次に、S 1 4 0 において、アニール制御部 4 5 は、発光トリガ信号をレーザシステム制御部 3 1 に出力してもよい。

[0085] 次に、アニール制御部 4 5 は、処理を S 1 5 0 及び S 1 6 0 に進めてもよい。S 1 5 0 及び S 1 6 0 の処理は、並行して行われてもよい。

[0086] S 1 5 0 において、アニール制御部 4 5 は、光学パルスストレッチャー 1 6 から出力されたパルスレーザ光の時間波形を、パルス時間波形計測部 1 9 によって計測し、パルスパラメータを計算してもよい。パルスパラメータは、パルス時間波形計測部 1 9 によって計測されたパルスレーザ光の時間波形から計算される値であって、以下の値を含んでもよい。

I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} : 第 1 ~ 第 3 ピークの光強度

T_d : ピーク間隔

ΔT_{TIS} : $[\int I(t) dt]^2 / \int I(t)^2 dt$ で算出されるパルス時間幅

このパルスパラメータを計算する処理の詳細については、図 1 1 A 及び図 1 1 B を参照しながら後述する。

[0087] S 1 6 0 において、アニール制御部 4 5 は、光センサ 4 4 c を用いて計測された被加工物 4 3 e の照射領域におけるレーザ光の反射率の時間変化に基づいて、被加工物 4 3 e の溶融持続時間 T_m と、結晶状態とを計測してもよい。結晶状態の計測は、結晶化の有無の計測を含んでもよい。この処理の詳細については、図 1 2 A 及び図 1 2 B を参照しながら後述する。

[0088] S 1 5 0 及び S 1 6 0 の処理が終わったら、アニール制御部 4 5 は、処理を S 1 7 0 に進めてもよい。

S 1 7 0 において、アニール制御部 4 5 は、番号 N の照射条件パラメータ

に関し、S 1 5 0 及び S 1 6 0 における計測結果をメモリに記憶させてもよい。この計測結果は、図 9 B を参照しながら後述するデータテーブルの形式で記憶されてもよい。

[0089] 次に、S 1 8 0 において、アニール制御部 4 5 は、番号 $N = 1$ から番号 $N = N_{max}$ までのすべての照射条件パラメータで計測が終了したか否かを判定してもよい。すべての照射条件パラメータでの計測が終了していない場合には、アニール制御部 4 5 は、処理を S 1 9 0 に進めてもよい。すべての照射条件パラメータでの計測が終了した場合には、アニール制御部 4 5 は、処理を S 2 0 0 に進めてもよい。

[0090] S 1 9 0 において、アニール制御部 4 5 は、番号 N の値に 1 を加えて、番号 N の値を更新してもよい。S 1 9 0 の後、アニール制御部 4 5 は、処理を上述の S 1 3 0 に戻してもよい。

S 2 0 0 において、アニール制御部 4 5 は、番号 $N = 1$ から番号 $N = N_{max}$ までの照射条件パラメータから、最適な照射条件パラメータを選出してもよい。この処理の詳細については、図 1 3 を参照しながら後述する。

[0091] 次に、S 2 1 0 において、アニール制御部 4 5 は、選出された照射条件パラメータにレーザシステム 3 a を設定してもよい。すなわち、光学パルスストレッチャー 1 6 の遅延光路の光路長の目標値と、ビームスプリッタ 1 6 n の反射率の目標値と、被加工物 4 3 e におけるフルーエンスの目標値とを、レーザシステム制御部 3 1 に送信してもよい。この処理は、照射条件パラメータの番号が異なり得る他は、上述の S 1 3 0 と同様でよい。

S 2 1 0 の後、アニール制御部 4 5 は、本フローチャートの処理を終了してもよい。あるいは、アニール制御部 4 5 は、選出された照射条件の近辺でさらに細かい照射条件を複数設定し、本フローチャートの処理を再度実行してもよい。

[0092] 3. 5. 2 S 1 0 0 の詳細

図 8 A は、図 7 に示されるビームスプリッタの反射率を最小にしてパルス時間幅を計算する処理の詳細を示すフローチャートである。図 8 A に示され

る処理は、図 7 に示される S 1 0 0 のサブルーチンとして、アニール制御部 4 5 によって行われてもよい。

[0093] まず、S 1 0 1 において、アニール制御部 4 5 は、ビームスプリッタ 1 6 n の反射率を最小に設定してもよい。ビームスプリッタ 1 6 n の反射率は、1 軸ステージ 1 6 r の制御によってビームスプリッタ 1 6 n を移動させることにより、設定されてもよい。

[0094] 次に、S 1 0 2 において、アニール制御部 4 5 は、発光トリガ信号をレーザシステム制御部 3 1 に出力してもよい。

次に、S 1 0 3 において、アニール制御部 4 5 は、光学パルスストレッチャー 1 6 から出力されたパルスレーザ光の時間波形を、パルス時間波形計測部 1 9 によって計測してもよい。

[0095] 次に、S 1 0 4 において、アニール制御部 4 5 は、計測したパルスレーザ光の時間波形から、以下のパルス時間幅を計算してもよい。

ΔT_{FWHM} : 半値全幅

$\Delta T_{1/20}$: 5 % 全幅

[0096] 図 8 B は、ビームスプリッタの反射率を最小に設定して光学パルスストレッチャーから出力されたパルスレーザ光の時間波形の例を示す。このパルスレーザ光のピーク強度を I_{max} とすると、上述の ΔT_{FWHM} は、光強度が $I_{max}/2$ である部分のパルス時間幅でもよい。上述の $\Delta T_{1/20}$ は、光強度が $I_{max}/20$ である部分のパルス時間幅でもよい。

[0097] 上述の S 1 0 4 の後、アニール制御部 4 5 は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0098] 3. 5. 3 S 1 1 0 の詳細

図 9 A は、図 7 に示される照射条件パラメータを作成する処理の詳細を示すフローチャートである。図 9 A に示される処理は、図 7 に示される S 1 1 0 のサブルーチンとして、アニール制御部 4 5 によって行われてもよい。

[0099] まず、S 1 1 1 において、アニール制御部 4 5 は、光学パルスストレッチャー 1 6 の遅延光路の 3 通りの光路長 L_1 、 L_2 、 L_3 を決定してもよい。

遅延光路の光路長は、遅延光路を経由したパルスレーザ光の遅延時間が ΔT_{FWHM} 以上、 $\Delta T_{1/20}$ 以下の範囲で選定されてよい。

[0100] 次に、S 1 1 2において、アニール制御部4 5は、ビームスプリッタ1 6 nの3通りの反射率R 1、R 2、R 3を決定してもよい。ビームスプリッタ1 6 nの反射率は、例えば、2 5 %以上、6 5 %以下の範囲で選定されてもよい。ビームスプリッタ1 6 nの反射率が2 5 %未満であると、パルスストレッチの効果は十分ではなく、図1 1 Bを参照しながら後述する第2ピーク以降のピークが表れない場合がある。ビームスプリッタ1 6 nの反射率が6 5 %を超えると、図1 1 Bを参照しながら後述する第1ピークの光強度に対する第2ピークの光強度の強度比が7 5 %を超えて、理想的なパルス時間波形とならない場合がある。

[0101] 次に、S 1 1 3において、アニール制御部4 5は、被加工物4 3 eにおけるパルスレーザ光の3通りのフルーエンスの目標値F 1、F 2、F 3を決定してもよい。被加工物4 3 eにおけるパルスレーザ光のフルーエンスの目標値は、被加工物4 3 eの少なくとも一部が溶融するような値となるように決定されてもよい。

[0102] 次に、S 1 1 4において、アニール制御部4 5は、S 1 1 1～S 1 1 3において決定された照射条件パラメータをメモリに記憶させてもよい。

図9 Bは、照射条件パラメータをテーブル形式で記憶する場合のデータ構造の例を示す。上述のように、光学パルスストレッチャー1 6の遅延光路の光路長の目標値と、ビームスプリッタ1 6 nの反射率の目標値と、被加工物4 3 eにおけるパルスレーザ光のフルーエンスの目標値と、についてそれぞれ3通りの値を決定した場合には、照射条件パラメータは2 7通りとなり得る。図9 Bに示されるテーブルには、番号N = 1から番号N = 2 7までの照射条件パラメータが記憶されてもよい。

また、上述のS 1 7 0においては、図9 Bに示されるテーブルに、2 7通りの照射条件パラメータのそれぞれについての計測結果が記憶されてもよい。

なお、照射条件パラメータは27通りである場合に限らず、2通り以上であればよい。

[0103] 上述のS 1 1 4の後、アニール制御部45は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0104] 3. 5. 4 S 1 3 0の詳細

図10は、図7に示される照射条件パラメータにレーザシステムを設定する処理の詳細を示すフローチャートである。図10に示される処理は、図7に示されるS 1 3 0のサブルーチンとして、アニール制御部45によって行われてもよい。

[0105] まず、S 1 3 1において、アニール制御部45は、番号Nの照射条件パラメータを読み出してもよい。

[0106] 次に、S 1 3 2において、アニール制御部45は、読み出された照射条件パラメータにレーザシステム3aを設定してもよい。レーザシステム3aのレーザシステム制御部31は、アニール制御部45から照射条件パラメータを受信してもよい。レーザシステム制御部31は、光学パルスストレッチャー16の遅延光路の光路長が目標値に近づくように、光学パルスストレッチャー16の凹面ミラー16c、16d、16e、16fをそれぞれ回転させる回転ステージ16i、16j、16k、16mを制御してもよい。レーザシステム制御部31は、ビームスプリッタ16nの反射率が目標値に近づくように、ビームスプリッタ16nを移動させる1軸ステージ16rを制御してもよい。レーザシステム制御部31は、被加工物43eにおけるフルエンスが目標値に近づくように、アッテネータ18の透過率を制御してもよい。アッテネータ18は、本開示におけるフルエンス可変部に相当し得る。

[0107] S 1 3 2の後、アニール制御部45は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0108] 3. 5. 5 S 1 5 0の詳細

図11Aは、図7に示されるパルスパラメータを計算する処理の詳細を示すフローチャートである。図11Aに示される処理は、図7に示されるS 1

50のサブルーチンとして、アニール制御部45によって行われてもよい。

[0109] まず、S151において、アニール制御部45は、光学パルスストレッチャー16から出力されたパルスレーザ光の時間波形を、パルス時間波形計測部19によって計測してもよい。

[0110] 図11Bは、光学パルスストレッチャーから出力されたパルスレーザ光の時間波形の例を示す。図11Bに示される波形において最も大きい光強度を有するのは、図6A中の左側からビームスプリッタ16nに入射して透過した第1の出力パルスP1（図6A）で構成される第1ピークPe1であってもよい。

[0111] 図11Bに示される波形は、第1ピークPe1の他に、図6A中の上側からビームスプリッタ16nに入射して反射された第2の出力パルスP2で構成される第2ピークPe2を含んでもよい。第2ピークPe2の光強度Ip2は、第1ピークPe1の光強度Ip1より小さくてもよい。

[0112] 図6A中の上側からビームスプリッタ16nに入射して透過し、図6A中の上側からビームスプリッタ16nに再び入射して反射された第3の出力パルスは、第3ピークPe3を構成してもよい。第3ピークPe3の光強度Ip3は、第2ピークPe2の光強度Ip2より小さくてもよい。同様に、第3ピークPe3の後に、さらに光強度の小さい第4ピークPe4及び第5ピークPe5があってもよい。

[0113] 第1ピークPe1と第2ピークPe2との時間差が、ピーク間隔Tdとして測定されてもよい。第2ピークPe2と第3ピークPe3との時間差は、ピーク間隔Tdと略等しくてもよい。すなわち、遅延光路の光路長がLの場合、光速をcとすると、ピーク間隔 $Td = L / c$ となり得る。

[0114] 第1ピークPe1の光強度Ip1を大きくした理由は、被加工物を熔融させるためのエネルギーを第1ピークPe1によって被加工物に与えるためであってもよい。但し、レーザアブレーションを抑制するため、第1ピークPe1の光強度Ip1は大き過ぎないことが好ましい。第2ピークPe2以降の光強度が第1ピークPe1の光強度Ip1より小さくて済む理由は、第2

ピーク P_{e2} 以降においては被加工物の溶融状態を維持すればよいためであってもよい。

[0115] 図 11A を再び参照し、S152 において、アニール制御部 45 は、計測したパルスレーザ光の時間波形から、以下のパルスパラメータを計算してもよい。

I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} : 第 1 ～ 第 3 ピークの光強度

T_d : ピーク間隔

ΔT_{TIS} : $[\int I(t) dt]^2 / \int I(t)^2 dt$ で算出されるパルス時間幅

[0116] S152 の後、アニール制御部 45 は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0117] 3. 5. 6 S160 の詳細

図 12A は、図 7 に示される溶融持続時間と結晶状態を計測する処理の詳細を示すフローチャートである。図 12A に示される処理は、図 7 に示される S160 のサブルーチンとして、アニール制御部 45 によって行われてもよい。

[0118] まず、S161 において、アニール制御部 45 は、被加工物 43e の照射領域におけるレーザ光の反射率の時間変化を計測してもよい。具体的には、アニール制御部 45 は、被加工物 43e の照射領域によって反射されたレーザ光の反射光の光強度を光センサ 44c によって計測し、この反射光の光強度に基づいて、反射率の時間変化を計測してもよい。

[0119] 図 12B は、被加工物の照射領域におけるレーザ光の反射率の時間変化の例を示す。図 12B に示されるように、被加工物 43e にパルスレーザ光を照射する前は、反射率は約 40% となり得る。

[0120] 次に、被加工物 43e へのパルスレーザ光の照射を開始すると、被加工物 43e の照射領域が溶融し始める。被加工物 43e の照射領域が固体部分と液体部分とを有するときは、被加工物 43e の照射領域の表面形状が複雑となり、反射率が一旦低下し得る。

[0121] 次に、被加工物43eの照射領域が液面で覆われると、被加工物43eの照射領域の表面形状が平坦化し、パルスレーザ光を照射する前よりも反射率が高くなり、約70%となり得る。

[0122] 被加工物43eへのパルスレーザ光の照射が終了すると、被加工物43eの照射領域が固化し始める。被加工物43eの照射領域が固体部分と液体部分とを有するときは、被加工物43eの照射領域の表面形状が複雑となり、反射率が低下し得る。

[0123] 被加工物43eの照射領域が完全に固化するとき、被加工物43eの照射領域が結晶化した場合には、パルスレーザ光を照射する前と同等の反射率となり得る。被加工物43eの照射領域が結晶化しなかった場合には、被加工物43eの照射領域に凝集が生じて表面形状が複雑となり、パルスレーザ光が散乱されるので、パルスレーザ光を照射する前より反射率が低くなり、約10%となり得る。

[0124] 図12Aを再び参照し、S162において、アニール制御部45は、反射率の経時変化から、溶融持続時間 T_m を計算してもよい。溶融持続時間 T_m は、反射率が第1の閾値 R_{th1} よりも高い状態が持続した時間として算出されてもよい。第1の閾値 R_{th1} は、たとえば、約55%でもよい。

[0125] 次に、S163において、アニール制御部45は、反射率の経時変化から、固化後の反射率 R_s を計算してもよい。固化後の反射率は、溶融持続時間 T_m の終了後、一定時間経過したときの反射率として算出されてもよい。

次に、S164において、アニール制御部45は、固化後の反射率 R_s が第2の閾値 R_{th2} 以上であるか否かを判定してもよい。第2の閾値 R_{th2} は、第1の閾値 R_{th1} より小さい値でもよい。第2の閾値 R_{th2} は、たとえば、約25%でもよい。

[0126] 固化後の反射率 R_s が第2の閾値 R_{th2} 以上である場合（S164；YES）、S165において、アニール制御部45は、被加工物43eの照射領域が結晶化したと判定し、その判定結果を示すフラグをセットしてもよい。具体的には、変数Fの値を1にセットしてもよい。

固化後の反射率 R_s が第2の閾値 R_{th2} 以上ではない場合（S164；NO）、S166において、アニール制御部45は、被加工物43eの照射領域が結晶化していないと判定し、その判定結果を示すフラグをセットしてもよい。具体的には、変数Fの値を0にセットしてもよい。

[0127] S165又はS166の後、アニール制御部45は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0128] 3. 5. 7 S200の詳細

図13は、図7に示される最適な照射条件パラメータを選出する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7に示されるS200のサブルーチンとして、アニール制御部45によって行われてもよい。

[0129] まず、S201において、アニール制御部45は、 $F=1$ 、かつ、熔融持続時間が最大の照射条件パラメータを、最適な照射条件パラメータとして選出してもよい。 $F=1$ を条件としたのは、被加工物が結晶化する照射条件を選出するためである。熔融持続時間が最大の照射条件パラメータを選出する理由については、図14を参照しながら後述する。

次に、S202において、アニール制御部45は、最適な照射条件パラメータにおけるパルスパラメータを、上述のS170で記憶したデータから読出してもよい。

[0130] S202の後、アニール制御部45は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0131] 3. 6 照射条件の選定

図14は、被加工物に照射するパルスレーザ光のフルーエンスと被加工物に形成される結晶粒径との関係、及び、被加工物に照射するパルスレーザ光のフルーエンスと熔融持続時間との関係を示すグラフである。図14においては、光学パルスストレッチャーを用いない場合の測定結果と、図5及び図6A～図6Eを参照しながら説明したように光学パルスストレッチャーを用いた場合の測定結果とが示されている。

[0132] 光学パルスストレッチャーを用いない場合と、光学パルスストレッチャーを用いる場合のいずれにおいても、パルスレーザ光のフルエンスを大きくすると、熔融持続時間が長くなり得る。そして、パルスレーザ光のフルエンスを大きくして、熔融持続時間を長くすると、被加工物にダメージが発生し、好ましい大きな粒径は得られない傾向がある。

[0133] しかしながら、光学パルスストレッチャーを用いない場合に比べて、光学パルスストレッチャーを用いる場合には、パルスレーザ光のフルエンスをある程度大きくして、熔融持続時間をある程度長くしても、好ましい大きな粒径が得られることがわかった。

[0134] そこで、本開示においては、光学パルスストレッチャーを用いて、第1ピークの光強度よりも光強度の低い第2、第3ピークを有するパルスレーザ光を被加工物に照射することとした。そして、被加工物が結晶化する照射条件であって、且つ、熔融持続時間が最大となる照射条件を選出することにより、大きな粒径の多結晶シリコンを得ることを可能にした。

[0135] 図15は、好ましいパルス時間波形の例を示すグラフである。図15に示されるパルス時間波形は、第1ピークと、第2ピークと、第3ピークとを含んでもよい。

第1ピークの光強度 I_1 は、 36 MW/cm^2 以上、 90 MW/cm^2 以下が好ましい。

第1ピークと第2ピークとの間における最低強度 I_2 は、 13 MW/cm^2 以上、第2ピークの光強度以下が好ましい。

第1ピークの光強度 I_1 に対する第2ピークの光強度 I_3 の比率は、74%以下が好ましい。

第1ピークと第2ピークとの時間差 T_4 は、 12 ns 以上、 100 ns 以下、あるいは、第1ピークの半値全幅以上、第1ピークの5%全幅以下が好ましい。

第1ピークの半値全幅 T_5 は、 15 ns 以上、 50 ns 以下が好ましい。

[0136] 4. ビームスプリッタのバリエーション（第2の実施形態）

図16Aは、本開示の第2の実施形態に係るレーザアニール装置において用いられる光学パルスストレッチャーの構成を示す。図16Bは、図16Aに示される光学パルスストレッチャーにおいて用いられる複数のビームスプリッタを、これらのビームスプリッタの反射面に垂直な方向から見た図である。

[0137] 第2の実施形態において用いられる光学パルスストレッチャー16zは、複数のビームスプリッタ16s、16t、16u、16vを含んでもよい。複数のビームスプリッタ16s、16t、16u、16vは、互いに異なる反射率を有していてもよい。複数のビームスプリッタ16s、16t、16u、16vは、ホルダ16wに支持され、ホルダ16wは、ステップモータ16xによって回転可能に支持されていてもよい。

[0138] レーザシステム制御部31（図5）は、ステップモータ16xを制御することにより、パルスレーザ光の光路にビームスプリッタ16s、16t、16u、16vを選択的に配置することができてもよい。パルスレーザ光の光路にビームスプリッタ16s、16t、16u、16vのいずれが位置する場合でも、パルスレーザ光の入射角度は一定であって、反射率だけが互いに異なってもよい。これにより、光学パルスストレッチャー16zから出力されるパルスレーザ光の時間波形を変更し得る。ステップモータ16xは、本開示における反射率可変部に相当し得る。

他の点については、第1の実施形態と同様でよい。

[0139] 5. 照射条件の選定のバリエーション（第3の実施形態）

図17Aは、本開示の第3の実施形態に係るレーザアニール装置において最適な照射条件パラメータを選出する処理の詳細を示すフローチャートである。第3の実施形態に係るレーザアニール装置の構成は、第1又は第2の実施形態に係るレーザアニール装置の構成と同様でもよい。図17Aに示される処理は、図7に示されるS200のサブルーチンとして、アニール制御部45によって行われてもよい。

[0140] 図14を再び参照すると、光学パルスストレッチャーを用いた場合に、被

加工物に照射するパルスレーザ光のフルーエンスと溶融持続時間との関係は、直線Bと略平行に、フルーエンスを大きくするのに従って溶融持続時間が大きくなる部分を含み得る。フルーエンスをさらに大きくすると、フルーエンスと溶融持続時間との関係が、直線Bから離れて、やがて溶融持続時間が小さくなり得る。そして、フルーエンスと溶融持続時間との関係が直線Bから離れる直前で、結晶の粒径がほぼ最大となり得る。

[0141] 同様のことが、光学パルスストレッチャーを用いない場合にも、直線Aとの関係で導かれ得る。そこで、第3の実施形態においては、以下の処理により、最適な照射条件パラメータを選出してもよい。

[0142] 図17AのS201aにおいて、アニール制御部45は、 $F=1$ 、かつ、溶融持続時間が最大の照射条件パラメータを選出してもよい。

[0143] 次に、S202aにおいて、アニール制御部45は、上記選出された照射条件パラメータとパルス時間波形生成パラメータが同じで、上記選出された照射条件パラメータとフルーエンスの目標値が異なる、複数の照射条件パラメータを、上述のS110（図7）で記憶したデータから読出してもよい。さらに、アニール制御部45は、読出された複数の照射条件パラメータにおける溶融持続時間を、上述のS170で記憶したデータからそれぞれ読出して、溶融持続時間とフルーエンスとの関係を求めてもよい。すなわち、上記選出された照射条件パラメータのパルス時間波形生成パラメータを固定して、フルーエンスを変化させた場合の、溶融持続時間とフルーエンスとの関係を求めてもよい。

[0144] 次に、S203aにおいて、アニール制御部45は、溶融持続時間とフルーエンスとの関係から、近似直線を求めてもよい。

図17Bは、溶融持続時間とフルーエンスとの関係の例を示す。S203aにおいて、アニール制御部45は、図17Bに示されるように近似直線を求めてもよい。この近似直線は、溶融持続時間が最大となる部分よりもフルーエンスが小さい領域について求められてもよい。

[0145] 次に、S204aにおいて、アニール制御部45は、近似直線上またはそ

の近傍にあって、かつ、溶融持続時間が最大の照射条件パラメータを、最適な照射条件パラメータとして選出してもよい。

[0146] 次に、S 2 0 5 aにおいて、アニール制御部 4 5は、最適な照射条件パラメータにおけるパルスパラメータを、上述のS 1 7 0で記憶したデータから読出してもよい。

[0147] S 2 0 5 aの後、アニール制御部 4 5は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

他の点については、図 7～図 1 3を参照しながら説明した処理と同様でよい。但し、第 3の実施形態においては、図 9 Aを参照しながら説明したS 1 1 3の処理において、フルーエンスのサンプル数を 3 個より大きくするのが好ましい。例えば、フルーエンスのサンプル数を 4 個～1 0 個程度とするのが好ましい。

[0148] 第 3の実施形態によれば、フルーエンスと溶融持続時間との関係から結晶粒径が大きくなる条件を抽出できる。従って、第 1 又は第 2の実施形態よりも良好な多結晶シリコン膜を形成し得る。

[0149] 6. 複数のレーザ部を含むレーザアニール装置（第 4 の実施形態）

6. 1 構成及び動作

図 1 8 は、本開示の第 4 の実施形態に係るレーザアニール装置の構成を概略的に示す。第 4 の実施形態に係るレーザアニール装置において、レーザシステム 3 bは、第 1、第 2、第 3のレーザ部 2 a、2 b、2 cと、遅延回路 5と、高反射ミラー 6 a、6 bと、ナイフエッジミラー 6 c、6 dと、を備えていてもよい。また、第 4 の実施形態に係るレーザアニール装置において、レーザシステム 3 bは、光学パルスストレッチャーを備えていなくてもよい。

他の点については、第 1～第 3の実施形態の構成と同様でよい。

[0150] 第 1、第 2、第 3のレーザ部 2 a、2 b、2 cの各々は、上述のレーザ装置 2と同様の構成を備えていてもよい。それぞれのレーザ部は、レーザシステム制御部 3 1から目標パルスエネルギーのデータを受信してもよい。目標

パルスエネルギーのデータは、第1、第2、第3のレーザ部2 a、2 b、2 cで互いに異なってもよい。それぞれのレーザ部において、受信した目標パルスエネルギーのデータに基づいて、充電器12による充電コンデンサC0の充電電圧が、レーザ制御部30によって設定されてもよい。

[0151] 遅延回路5は、レーザシステム制御部31から遅延時間の設定データを受信してもよい。遅延回路5は、アニール制御部45から出力された発光トリガ信号を、レーザシステム制御部31を介して受信してもよい。遅延回路5は、この発光トリガ信号を受信したときから、設定された遅延時間が経過したタイミングで、第1、第2、第3のレーザ部2 a、2 b、2 cのそれぞれに、この順で発光トリガ信号を出力してもよい。

[0152] 高反射ミラー6 a及びナイフエッジミラー6 cは、第1のレーザ部2 aから出力されたパルスレーザ光を高い反射率で反射することにより光路を変更してもよい。第1のレーザ部2 aから出力されて光路を変更されたパルスレーザ光は、第2のレーザ部2 bから出力されたパルスレーザ光と略平行に且つ近接してアッテネータ18に向けて出力されてもよい。

[0153] 高反射ミラー6 b及びナイフエッジミラー6 dは、第3のレーザ部2 cから出力されたパルスレーザ光を高い反射率で反射することにより光路を変更してもよい。第3のレーザ部2 cから出力されて光路を変更されたパルスレーザ光は、第2のレーザ部2 bから出力されたパルスレーザ光と略平行に且つ近接してアッテネータ18に向けて出力されてもよい。

[0154] 第1、第2、第3のレーザ部2 a、2 b、2 cからそれぞれ出力されたパルスレーザ光は、アッテネータ18及びパルス時間波形計測部19を介してビームホモジナイザ41に入射してもよい。ビームホモジナイザ41により、スリット42がケーラー照明されることにより、これらのパルスレーザ光の光路がスリット42において重なり合って、スリット42の開口部におけるビームの光強度プロファイルが均一化され得る。

[0155] 6. 2 アニール制御部の処理

6. 2. 1 メインフロー

図 19 は、図 18 に示されるアニール制御部によるパルス時間波形の設定処理を示すフローチャートである。アニール制御部 45 は、以下の処理により、最適な照射条件を選定してもよい。

[0156] まず、S100bにおいて、アニール制御部45は、1台のレーザ部から出力されるパルスレーザ光の時間波形を計測し、パルス時間幅を計算してもよい。この処理の詳細については、図20を参照しながら後述する。

[0157] 次に、S110bにおいて、アニール制御部45は、番号 $N=1$ から番号 $N=N_{max}$ までの照射条件パラメータを作成し、メモリに記憶させてもよい。メモリについては、図25を参照しながら後述する。照射条件パラメータは、第1、第2、第3のレーザ部2a、2b、2cから出力されるパルスレーザ光のパルス時間間隔の目標値と、第1、第2、第3のレーザ部2a、2b、2cから出力されるパルスレーザ光の光強度比の目標値と、被加工物43eにおけるパルスレーザ光のフルエンスの目標値と、に関する N_{max} 通りの組み合わせを含んでもよい。この処理の詳細については、図21A及び図21Bを参照しながら後述する。照射条件パラメータは、図21Cを参照しながら後述するデータテーブルの形式で記憶されてもよい。

[0158] ここで、照射条件パラメータは、パルス時間波形生成パラメータと被加工物におけるフルエンスの目標値と、を含んでもよい。この場合のパルス時間波形生成パラメータは、第1、第2、第3のレーザ部2a、2b、2cから出力されるパルスレーザ光のパルス時間間隔の目標値と、第1、第2、第3のレーザ部2a、2b、2cから出力されるパルスレーザ光の光強度比の目標値と、を含んでもよい。

[0159] S120以降の処理は、第1～第3の実施形態における処理と同様でよい。

アニール制御部45によって設定されるパルスレーザ光の光強度比の目標値に基づいて、第1、第2、第3のレーザ部2a、2b、2cの各々の目標パルスエネルギーのデータが、レーザシステム制御部31によって設定されてもよい。それぞれのレーザ部において、充電器12による充電コンデンサ

C Oの充電電圧が、それぞれのレーザ部から出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーが各々の目標パルスエネルギーに近づくように設定されてもよい。このようにして充電電圧が設定される結果、それぞれのレーザ部から出力されるパルスレーザ光の光強度比が上記光強度比の目標値に近づいてもよい。

[0160] アニール制御部45によって設定されるパルスレーザ光のパルス時間間隔の目標値に基づいて、第1、第2、第3のレーザ部2a、2b、2cの各々に対する発光トリガ信号の遅延時間の設定データが、レーザシステム制御部31によって設定されてもよい。遅延時間は、第1、第2、第3のレーザ部2a、2b、2cからそれぞれ出力されるパルスレーザ光のパルス時間間隔が上記目標値に近づくように設定されてもよい。

[0161] 6. 2. 2 S100bの詳細

図20は、図19に示される1台のレーザ部から出力されるパルスレーザ光のパルス時間幅を計算する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S100bのサブルーチンとして、アニール制御部45によって行われてもよい。

[0162] まず、S102bにおいて、アニール制御部45は、第1のレーザ部2aに出力するための発光トリガ信号をレーザシステム制御部31に出力してもよい。

次に、S103において、アニール制御部45は、パルスレーザ光の時間波形を、パルス時間波形計測部19によって計測してもよい。

[0163] 次に、S104において、アニール制御部45は、計測したパルスレーザ光の時間波形から、以下のパルス時間幅を計算してもよい。

ΔT_{FWHM} : 半値全幅

$\Delta T_{1/20}$: 5%全幅

これらのパルス時間幅は、第1の実施形態におけるものと同様でもよい。

[0164] 上述のS104の後、アニール制御部45は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0165] 6. 2. 3 S 1 1 0 bの詳細

図 2 1 A は、図 1 9 に示される照射条件パラメータを作成する処理の詳細を示すフローチャートである。図 2 1 A に示される処理は、図 1 9 に示される S 1 1 0 b のサブルーチンとして、アニール制御部 4 5 によって行われてもよい。

[0166] まず、S 1 1 1 b において、アニール制御部 4 5 は、第 1、第 2、第 3 のレーザ部 2 a、2 b、2 c から出力されるパルスレーザ光の 3 通りのパルス時間間隔の目標値 T_{d1} 、 T_{d2} 、 T_{d3} を決定してもよい。パルス時間間隔の目標値は、 ΔT_{FWHM} 以上、 $\Delta T_{1/20}$ 以下の範囲となるように決定されてもよい。

[0167] 次に、S 1 1 2 b において、アニール制御部 4 5 は、第 1 のレーザ部 2 a から出力されるパルスレーザ光のピーク強度に対する第 2、第 3 のレーザ部 2 b、2 c から出力されるパルスレーザ光の 3 通りの光強度比の目標値 I_{r1} 、 I_{r2} 、 I_{r3} を決定してもよい。光強度比の目標値は、例えば、10% 以上、75% 以下の範囲となるように決定されてもよい。

[0168] 図 2 1 B は、レーザシステム 3 b から出力されるパルスレーザ光の時間波形の例を示す。第 1、第 2、第 3 のレーザ部 2 a、2 b、2 c から出力されるパルスレーザ光をパルス時間間隔 T_d で重ね合わせるにより、図 2 1 B に示されるような波形でレーザシステム 3 b から出力されてもよい。

[0169] 第 1 のレーザ部 2 a から出力される第 1 パルスに対して、第 2 のレーザ部 2 b から出力される第 2 パルスは、パルス時間間隔 T_d の遅れを有していてもよい。第 2 のレーザ部 2 b から出力される第 2 パルスに対して、第 3 のレーザ部 2 c から出力される第 3 パルスは、パルス時間間隔 T_d の遅れを有していてもよい。

[0170] また、第 1 のレーザ部 2 a から出力される第 1 パルスで構成される第 1 ピークの光強度 I_{p1} に対して、第 2 のレーザ部 2 b から出力される第 2 パルスで構成される第 2 ピークの光強度 I_{p2} は、光強度比 I_r を有していてもよい。

第1のレーザ部2aから出力される第1パルスで構成される第1ピークの光強度 I_{p1} に対して、第3のレーザ部2cから出力される第3パルスで構成される第3ピークの光強度 I_{p3} は、光強度比 I_r を有していてもよい。

このように、第2ピークの光強度 I_{p2} と第3ピークの光強度 I_{p3} とは略同じでもよい。

[0171] 図21Aを再び参照し、S113において、アニール制御部45は、被加工物43eにおけるパルスレーザ光の3通りのフルエンスの目標値 F_1 、 F_2 、 F_3 を決定してもよい。被加工物43eにおけるパルスレーザ光のフルエンスの目標値は、被加工物43eの少なくとも一部が溶融するような値となるように決定されてもよい。

[0172] 次に、S114において、アニール制御部45は、S111b～S113において決定された照射条件パラメータをメモリに記憶させてもよい。

図21Cは、照射条件パラメータをテーブル形式で記憶する場合のデータ構造の例を示す。上述のように、第1、第2、第3のレーザ部2a、2b、2cから出力されるパルスレーザ光のパルス時間間隔の目標値と、第1、第2、第3のレーザ部2a、2b、2cから出力されるパルスレーザ光の光強度比の目標値と、被加工物43eにおけるパルスレーザ光のフルエンスの目標値と、についてそれぞれ3通りの値を決定した場合には、照射条件パラメータは27通りとなり得る。図21Cに示されるテーブルには、番号 $N=1$ から番号 $N=27$ までの照射条件パラメータが記憶されてもよい。

また、S170においては、図21Cに示されるテーブルに、27通りの照射条件パラメータのそれぞれについての計測結果が記憶されてもよい。

なお、照射条件パラメータは27通りである場合に限られず、2通り以上であればよい。

[0173] 上述のS114の後、アニール制御部45は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0174] 6. 3 作用

以上のように、第4の実施形態においては、複数のレーザ部によるパルス

レーザ光の出力タイミングは、遅延回路 5 によって設定され得る。また、複数のレーザ部によるパルスレーザ光の光強度比は、それぞれのレーザ部の充電器 1 2 による充電コンデンサ C 0 の充電電圧によって設定され得る。従って、遅延回路 5 及びレーザ部の充電器 1 2 は、本開示におけるパルス時間波形可変装置に相当し得る。

第 4 の実施形態によれば、複数のレーザ部によるパルスレーザ光の出力タイミングと光強度比を個別に設定することができる。従って、これらのパルスレーザ光を重ね合わせたパルスレーザ光の時間波形の自由度が、第 1 ～ 第 3 の実施形態と比べて向上し得る。

[0175] 7. 外部装置から照射条件パラメータを受信する例（第 5 の実施形態）

7. 1 メインフロー

図 2 2 は、本開示の第 5 の実施形態における照射条件パラメータの設定処理を示すフローチャートである。アニール制御部 4 5 は、以下の処理により、外部装置から入力される照射条件パラメータを受信して、照射条件パラメータを設定してもよい。溶融計測部 4 4 による計測は、行われなくてもよい。

[0176] まず、S 3 1 0 において、アニール制御部 4 5 は、外部装置から照射条件パラメータが入力されたか否かを判定してもよい。外部装置は、例えば、ネットワークを介して接続されたコンピュータシステムであってもよい。あるいは、外部装置は、キーボードやタッチパネルディスプレイなどの入力装置であってもよい。

[0177] 外部装置から照射条件パラメータが入力されない場合（S 3 1 0 ; N O）、アニール制御部 4 5 は、照射条件パラメータが入力されるまで待機してもよい。外部装置から照射条件パラメータが入力された場合（S 3 1 0 ; Y E S）、アニール制御部 4 5 は、処理を S 3 2 0 に進めてもよい。

[0178] S 3 2 0 において、アニール制御部 4 5 は、入力された照射条件パラメータを受信してもよい。この処理については、図 2 3 A 及び図 2 3 B を参照しながら後述する。

次に、S 3 3 0において、アニール制御部4 5は、受信した照射条件パラメータに各種装置を設定してもよい。この処理については、図2 4 A及び図2 4 Bを参照しながら後述する。

[0179] 次に、S 3 4 0において、アニール制御部4 5は、発光トリガ信号をレーザシステム制御部3 1に出力してもよい。これにより、パルスレーザ光が被加工物に照射されてもよい。

[0180] 次に、S 3 5 0において、アニール制御部4 5は、照射条件パラメータが変更されたか否かを判定してもよい。照射条件パラメータが変更された場合（S 3 5 0 ; Y E S）、アニール制御部4 5は、処理を上述のS 3 1 0に戻して、照射条件パラメータを再度受信してもよい。

[0181] 照射条件パラメータが変更されない場合（S 3 5 0 ; N O）、アニール制御部4 5は、処理をS 3 6 0に進めてもよい。S 3 6 0において、アニール制御部4 5は、パルスレーザ光の照射を停止するか否かを判定してもよい。パルスレーザ光の照射を停止しない場合（S 3 6 0 ; N O）、アニール制御部4 5は、処理を上述のS 3 4 0に戻して発光トリガ信号の出力を繰り返してもよい。パルスレーザ光の照射を停止する場合（S 3 6 0 ; Y E S）、アニール制御部4 5は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0182] 7. 2 S 3 2 0の詳細（第1の例）

図2 3 Aは、図2 2に示される照射条件パラメータを受信する処理の第1の例を示すフローチャートである。図2 3 Aに示される処理は、図2 2に示されるS 3 2 0のサブルーチンとして、アニール制御部4 5によって行われてもよい。図2 3 Aに示される処理は、上述の第1又は第2の実施形態において説明した光学パルスストレッチャー1 6の制御によって照射条件を変更する構成において、実行されてもよい。

[0183] まず、S 3 2 1において、アニール制御部4 5は、ビームスプリッタ1 6 nの反射率Rの目標値と遅延光路の光路長Lの目標値とをそれぞれ受信してもよい。

次に、S 3 2 2において、アニール制御部4 5は、フルーエンスFの目標

値を受信してもよい。

S 3 2 2の後、アニール制御部4 5は、本フローチャートの処理を終了して、処理を図2 2のS 3 3 0に進めてもよい。

[0184] 7. 3 S 3 2 0の詳細（第2の例）

図2 3 Bは、図2 2に示される照射条件パラメータを受信する処理の第2の例を示すフローチャートである。図2 3 Bに示される処理は、図2 2に示されるS 3 2 0のサブルーチンとして、アニール制御部4 5によって行われてもよい。図2 3 Bに示される処理は、上述の第4の実施形態において説明した遅延回路5と複数のレーザ部2 a～2 cの制御によって照射条件を変更する構成において、実行されてもよい。

[0185] まず、S 3 2 3において、アニール制御部4 5は、パルス時間間隔T dの目標値と光強度比I rの目標値とをそれぞれ受信してもよい。

次に、S 3 2 4において、アニール制御部4 5は、フルエンスFの目標値を受信してもよい。

S 3 2 4の後、アニール制御部4 5は、本フローチャートの処理を終了して、処理を図2 2のS 3 3 0に進めてもよい。

[0186] 7. 4 S 3 3 0の詳細（第1の例）

図2 4 Aは、図2 2に示される受信した照射条件パラメータに設定する処理の第1の例を示すフローチャートである。図2 4 Aに示される処理は、図2 2に示されるS 3 3 0のサブルーチンとして、アニール制御部4 5によって行われてもよい。図2 4 Aに示される処理は、上述の第1又は第2の実施形態において説明した光学パルスストレッチャー1 6の制御によって照射条件を変更する構成において、図2 3 Aに示される処理に引き続いて、実行されてもよい。

[0187] まず、S 3 3 1において、アニール制御部4 5は、ビームスプリッタ1 6 nの反射率Rが、受信した目標値に近づくように、レーザシステム制御部3 1を介して1軸ステージ1 6 rあるいはステップモータ1 6 xを制御してもよい。

次に、S 3 3 2において、アニール制御部 4 5は、遅延光路の光路長 L が、受信した目標値に近づくように、レーザシステム制御部 3 1を介して回転ステージ 1 6 i、1 6 j、1 6 k、1 6 mを制御してもよい。

[0188] 次に、S 3 3 3において、アニール制御部 4 5は、フルーエンス F が受信した目標値に近づくように、レーザシステム制御部 3 1を介してアッテネータ 1 8を制御してもよい。

S 3 3 3の後、アニール制御部 4 5は、本フローチャートの処理を終了して、処理を図 2 2のS 3 4 0に進めてもよい。

[0189] 7. 5 S 3 3 0の詳細（第2の例）

図 2 4 Bは、図 2 2に示される受信した照射条件パラメータに設定する処理の第2の例を示すフローチャートである。図 2 4 Bに示される処理は、図 2 2に示されるS 3 3 0のサブルーチンとして、アニール制御部 4 5によって行われてもよい。図 2 4 Bに示される処理は、上述の第4の実施形態において説明した遅延回路 5と複数のレーザ部 2 a～2 cの制御によって照射条件を変更する構成において、図 2 3 Bに示される処理に引き続いて、実行されてもよい。

[0190] まず、S 3 3 4において、アニール制御部 4 5は、パルス時間間隔 T_d が、受信した目標値に近づくように、レーザシステム制御部 3 1を介して遅延回路 5を制御してもよい。

次に、S 3 3 5において、アニール制御部 4 5は、光強度比 I_r が、受信した目標値に近づくように、レーザシステム制御部 3 1を介して複数のレーザ部 2 a～2 cを制御してもよい。

[0191] 次に、S 3 3 6において、アニール制御部 4 5は、フルーエンス F が受信した目標値に近づくように、レーザシステム制御部 3 1を介してアッテネータ 1 8を制御してもよい。

S 3 3 6の後、アニール制御部 4 5は、本フローチャートの処理を終了して、処理を図 2 2のS 3 4 0に進めてもよい。

[0192] 第5の実施形態により、溶融計測部 4 4による計測をしなくても、外部装

置からの設定により照射条件パラメータを設定することができる。

[0193] 8. 制御部の構成

図25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アニール制御部45、レーザシステム制御部31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。

[0194] (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。

[0195] (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。

[0196] 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。

[0197] 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。

- 。
- [0198] 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。
- [0199] 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。
- 。
- [0200] 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。
- [0201] 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、レーザ装置2、他の制御部等の発光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、レーザ装置2、光学パルスストレッチャー16、アッテネータ18、XYZステージ43g、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、パルス時間波形計測部19、溶融計測部44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。

[0202] 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。

[0203] 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] 被加工物にパルスレーザ光を照射するレーザアニール装置の光源であるレーザシステムにおいて、
前記パルスレーザ光を生成するレーザ装置と、
前記パルスレーザ光のパルス時間波形を可変するパルス時間波形可変装置と、
前記レーザアニール装置からパルス時間波形生成パラメータを受信して、前記パルス時間波形可変装置を制御する制御部と、
を備えるレーザシステム。
- [請求項2] 前記パルス時間波形可変装置は、
前記レーザ装置から出力された前記パルスレーザ光を第1の光路及び第2の光路に分岐させるビームスプリッタと、
前記ビームスプリッタに入射する前記パルスレーザ光の反射率を可変する反射率可変部と、
前記第2の光路に進んだパルスレーザ光を、前記ビームスプリッタがさらに前記第1の光路及び前記第2の光路に分岐させるように再び前記ビームスプリッタに入射させる遅延光路を形成する遅延光学系と、
前記遅延光路の光路長を可変する光路長可変部と、
を備え、
前記パルス時間波形生成パラメータは、前記反射率の目標値と前記光路長の目標値とを含み、
前記制御部は、前記反射率と前記光路長とが前記反射率の目標値と前記光路長の目標値とにそれぞれ近づくように、前記反射率可変部と前記光路長可変部とを制御する
請求項1記載のレーザシステム。
- [請求項3] 前記レーザ装置は、第1のパルスレーザ光を出力する第1のレーザ部と、第2のパルスレーザ光を出力する第2のレーザ部と、を備え、

前記パルス時間波形可変装置は、

前記第 1 のレーザ部及び前記第 2 のレーザ部からそれぞれ出力される前記第 1 のパルスレーザ光及び前記第 2 のパルスレーザ光のパルス時間間隔を可変する遅延回路と、

前記第 1 のレーザ部及び前記第 2 のレーザ部にそれぞれ備えられ、前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光との光強度比を可変するために充電コンデンサの充電電圧を可変する充電器と、を備え、

前記パルス時間波形生成パラメータは、前記第 1 のパルスレーザ光及び前記第 2 のパルスレーザ光のパルス時間間隔の目標値と、前記第 1 のパルスレーザ光及び前記第 2 のパルスレーザ光の光強度比の目標値とを含み、

前記制御部は、前記パルス時間間隔と前記光強度比とが、前記パルス時間間隔の目標値と前記光強度比の目標値とにそれぞれ近づくように、前記遅延回路と前記第 1 のレーザ部に備えられた前記充電器と前記第 2 のレーザ部に備えられた前記充電器とを制御する請求項 1 記載のレーザシステム。

[請求項 4] 被加工物にパルスレーザ光を照射するレーザアニール装置において、

前記パルスレーザ光を生成するレーザ装置と、

前記パルスレーザ光のパルス時間波形を可変するパルス時間波形可変装置と、

前記被加工物に前記パルスレーザ光を照射する光学系と、

前記被加工物における前記パルスレーザ光のフルーエンスを可変するフルーエンス可変部と、

パルス時間波形生成パラメータと、前記被加工物における前記パルスレーザ光のフルーエンスの目標値と、を含む照射条件パラメータに基づいて、前記パルス時間波形可変装置と前記フルーエンス可変部と

を制御する制御部と、
を備えるレーザアニール装置。

[請求項5] 前記照射条件パラメータを外部装置から受信し、
前記制御部は、前記受信した照射条件パラメータに基づいて、前記パルス時間波形可変装置と前記フルエンス可変部とを制御する
請求項4記載のレーザアニール装置。

[請求項6] 前記パルス時間波形可変装置は、
前記レーザ装置から出力された前記パルスレーザ光を第1の光路及び第2の光路に分岐させるビームスプリッタと、
前記ビームスプリッタに入射する前記パルスレーザ光の反射率を可変する反射率可変部と、
前記第2の光路に進んだパルスレーザ光を、前記ビームスプリッタがさらに前記第1の光路及び前記第2の光路に分岐させるように再び前記ビームスプリッタに入射させる遅延光路を形成する遅延光学系と、
前記遅延光路の光路長を可変する光路長可変部と、
を備え、
前記パルス時間波形生成パラメータは、前記反射率の目標値と前記光路長の目標値とを含み、
前記制御部は、前記反射率と前記光路長とが前記反射率の目標値と前記光路長の目標値とにそれぞれ近づくように、前記反射率可変部と前記光路長可変部とを制御する
請求項4記載のレーザアニール装置。

[請求項7] 前記レーザ装置は、第1のパルスレーザ光を出力する第1のレーザ部と、第2のパルスレーザ光を出力する第2のレーザ部と、を備え、
前記パルス時間波形可変装置は、
前記第1のレーザ部及び前記第2のレーザ部からそれぞれ出力される前記第1のパルスレーザ光及び前記第2のパルスレーザ光のパルス

時間間隔を可変する遅延回路と、

前記第 1 のレーザ部及び前記第 2 のレーザ部にそれぞれ備えられ、
前記第 1 のパルスレーザ光と前記第 2 のパルスレーザ光との光強度比
を可変するために充電コンデンサの充電電圧を可変する充電器と、
を備え、

前記パルス時間波形生成パラメータは、前記第 1 のパルスレーザ光
及び前記第 2 のパルスレーザ光のパルス時間間隔の目標値と、前記第
1 のパルスレーザ光及び前記第 2 のパルスレーザ光の光強度比の目標
値とを含み、

前記制御部は、前記パルス時間間隔と前記光強度比とが、前記パルス
時間間隔の目標値と前記光強度比の目標値とにそれぞれ近づくよう
に、前記遅延回路と前記第 1 のレーザ部に備えられた前記充電器と前
記第 2 のレーザ部に備えられた前記充電器とを制御する

請求項 4 記載のレーザアニール装置。

[請求項 8] 前記被加工物の少なくとも 1 部の溶融状態が持続する時間である溶
融持続時間と、前記溶融持続時間が終了した後の結晶状態と、を計測
する計測部をさらに備える

請求項 4 記載のレーザアニール装置。

[請求項 9] 前記制御部は、複数の照射条件パラメータのそれぞれにおける前記
計測部による計測結果を取得し、前記計測部により計測された結晶状
態が、前記被加工物の少なくとも 1 部が結晶化したことを示す照射条
件パラメータであって、かつ、前記計測部により計測された溶融持続
時間が、より長くなった照射条件パラメータを、前記複数の照射条件
パラメータから選択する、請求項 8 記載のレーザアニール装置。

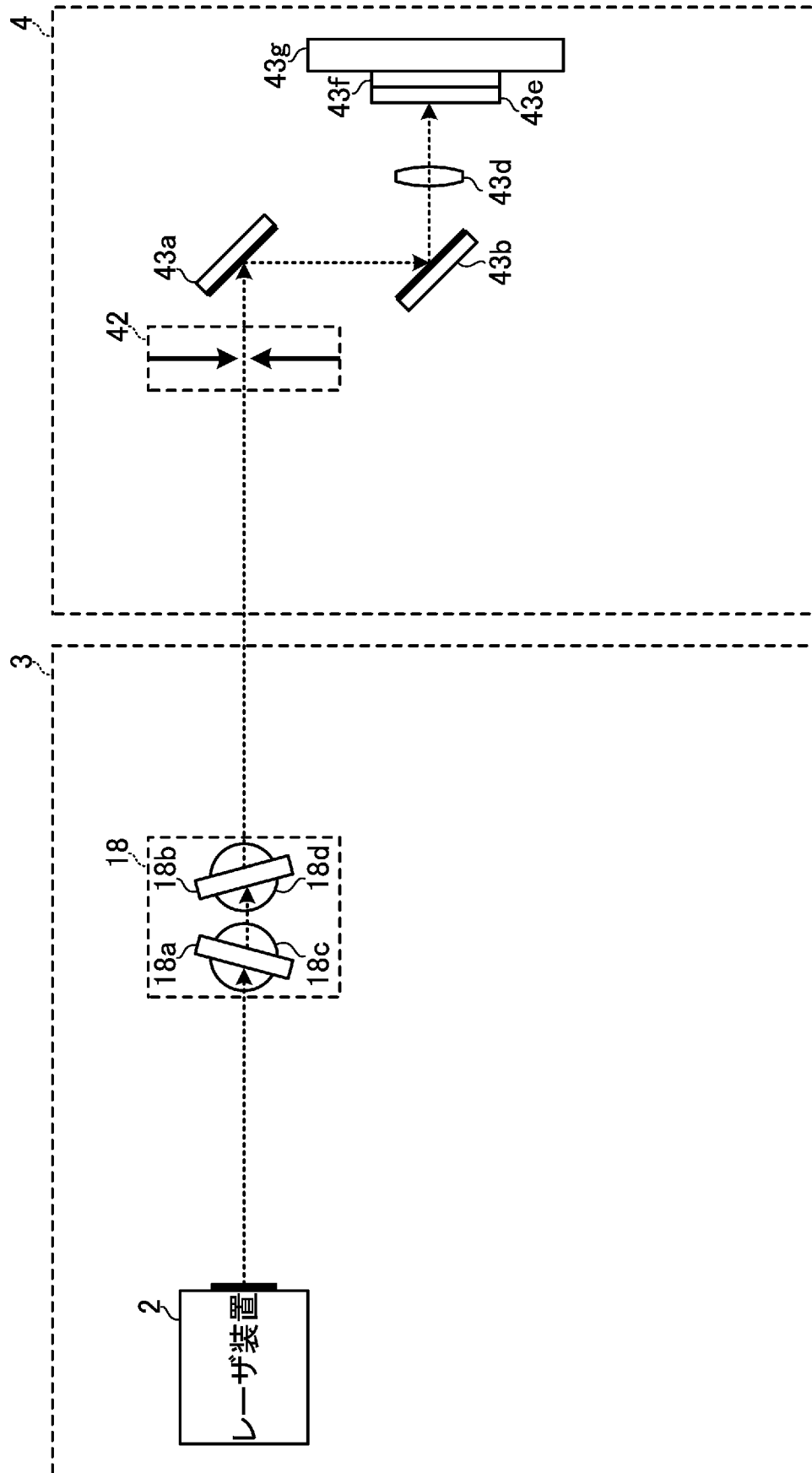
[請求項 10] 前記制御部は、前記選択された照射条件パラメータに含まれるパルス
時間波形生成パラメータと同じパルス時間波形生成パラメータを含
み、前記選択された照射条件パラメータに含まれるフルーエンスの目
標値と異なるフルーエンスの目標値を含む、複数の照射条件パラメー

タを取得し、前記取得した複数の照射条件パラメータの各々において前記計測部により計測された溶融持続時間とフルーエンスとの関係を求め、近似直線から外れる直前のフルーエンスを選定する、請求項9記載のレーザアニール装置。

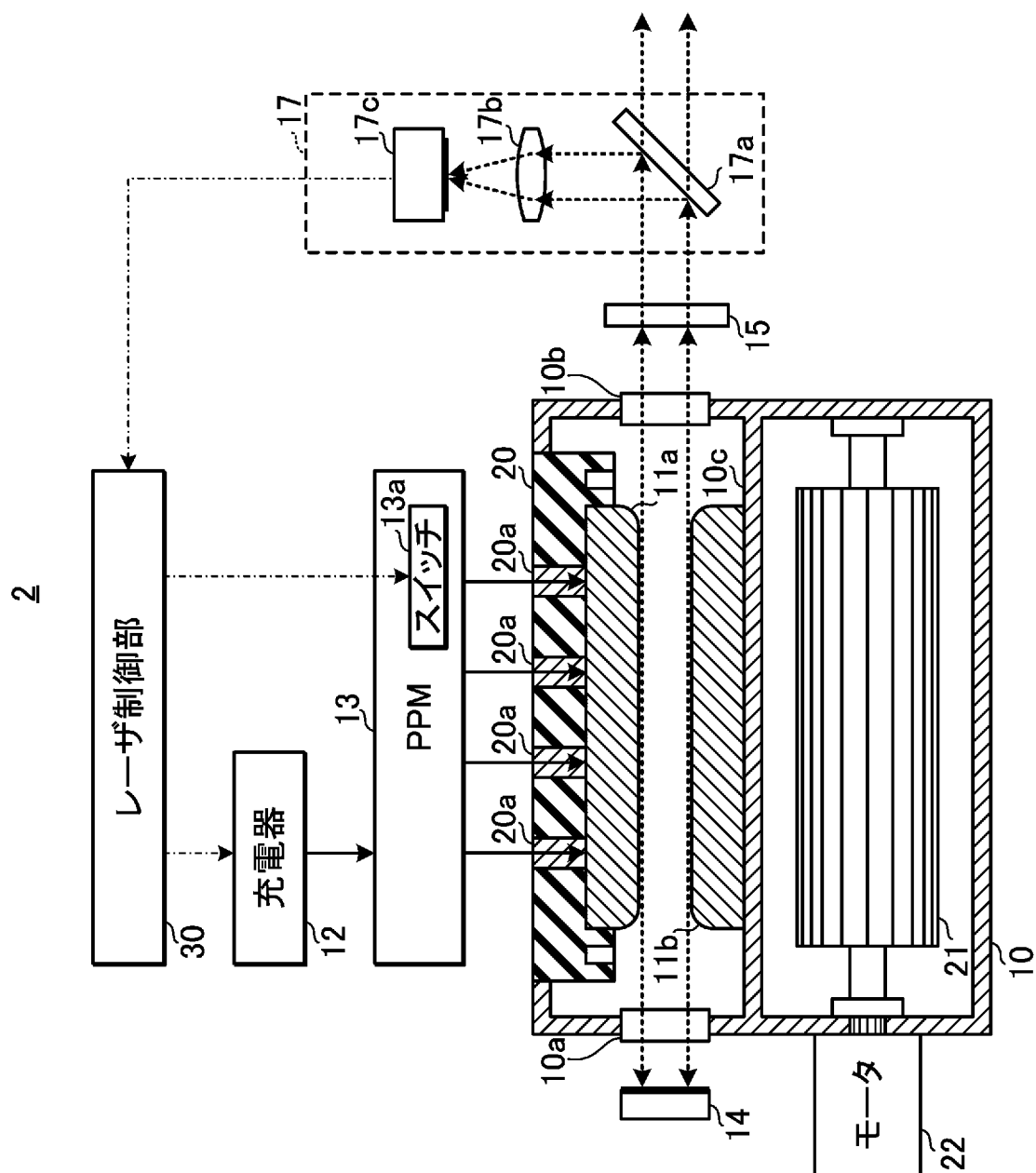
[請求項11] 前記フルーエンス可変部は、前記パルスレーザ光の透過率を可変するアッテネータである請求項4記載のレーザアニール装置。

[請求項12] フライアイレンズとコンデンサ光学系とを含むビームホモジナイザをさらに含み、前記ビームホモジナイザは、前記第1のパルスレーザ光と前記第2のパルスレーザ光とを結合させるように構成された、請求項7記載のレーザアニール装置。

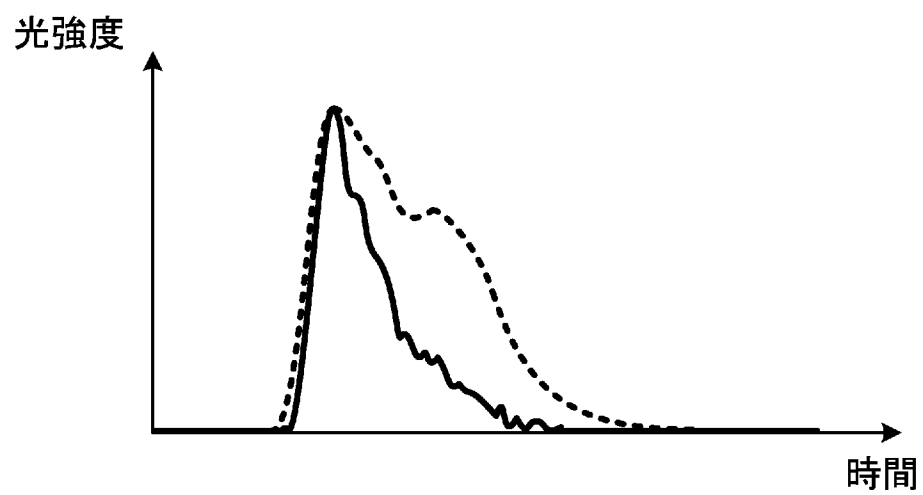
[図1]



[図2]

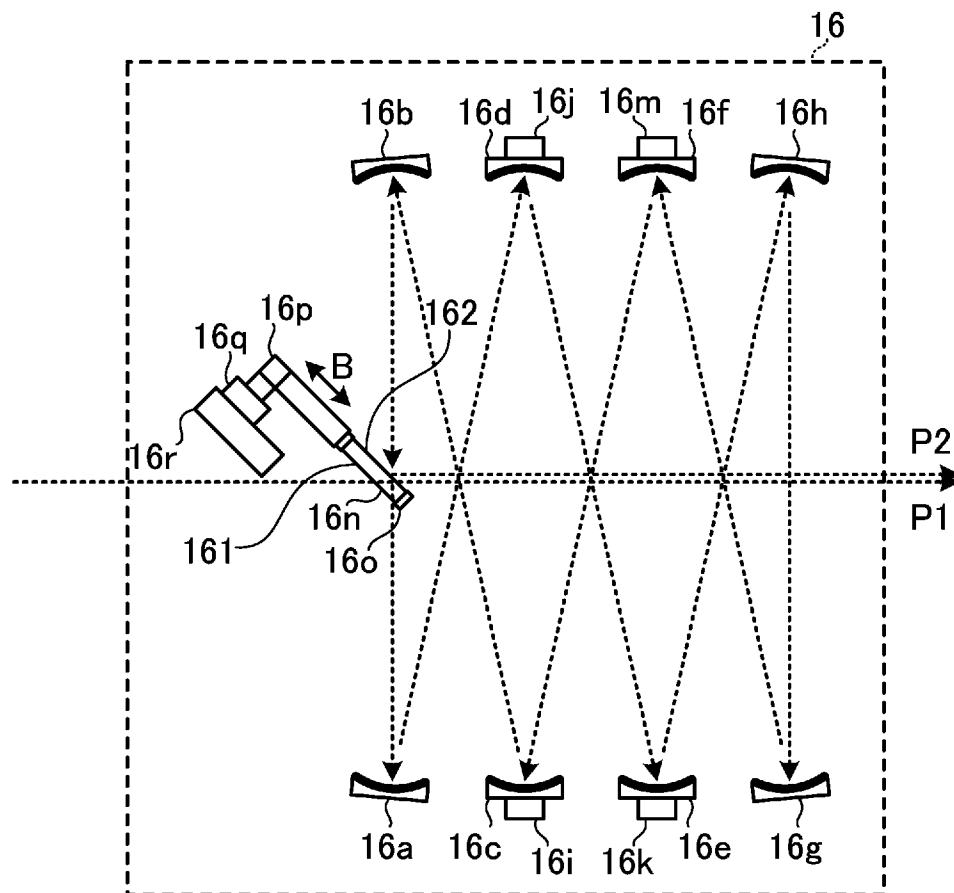


[図4]

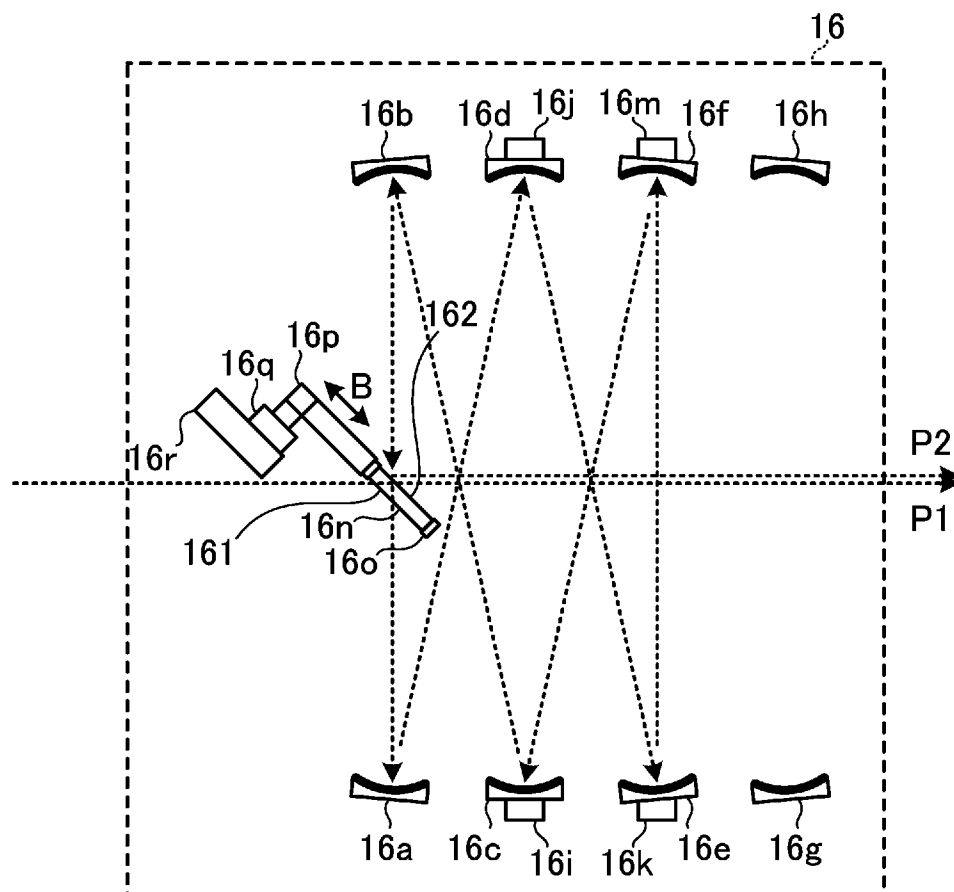


The diagram illustrates a laser system control system (3a) and an annealing control system (4a). The laser system control system (3a) includes a laser device (2) connected to an optical switch (16). The optical switch (16) is controlled by a laser system control unit (31). The laser system control unit (31) is also connected to an annealing control unit (45). The annealing control unit (45) is connected to an annealing system (44). The annealing system (44) includes a laser device (44a) and a control unit (44b). The laser device (44a) is controlled by the annealing control unit (45). The annealing control unit (45) is also connected to a control unit (43g). The control unit (43g) is connected to a control unit (43f). The control unit (43f) is connected to a control unit (43e). The control unit (43e) is connected to a control unit (43d). The control unit (43d) is connected to a control unit (43c). The control unit (43c) is connected to a control unit (43b). The control unit (43b) is connected to a control unit (43a). The control unit (43a) is connected to a control unit (43g).

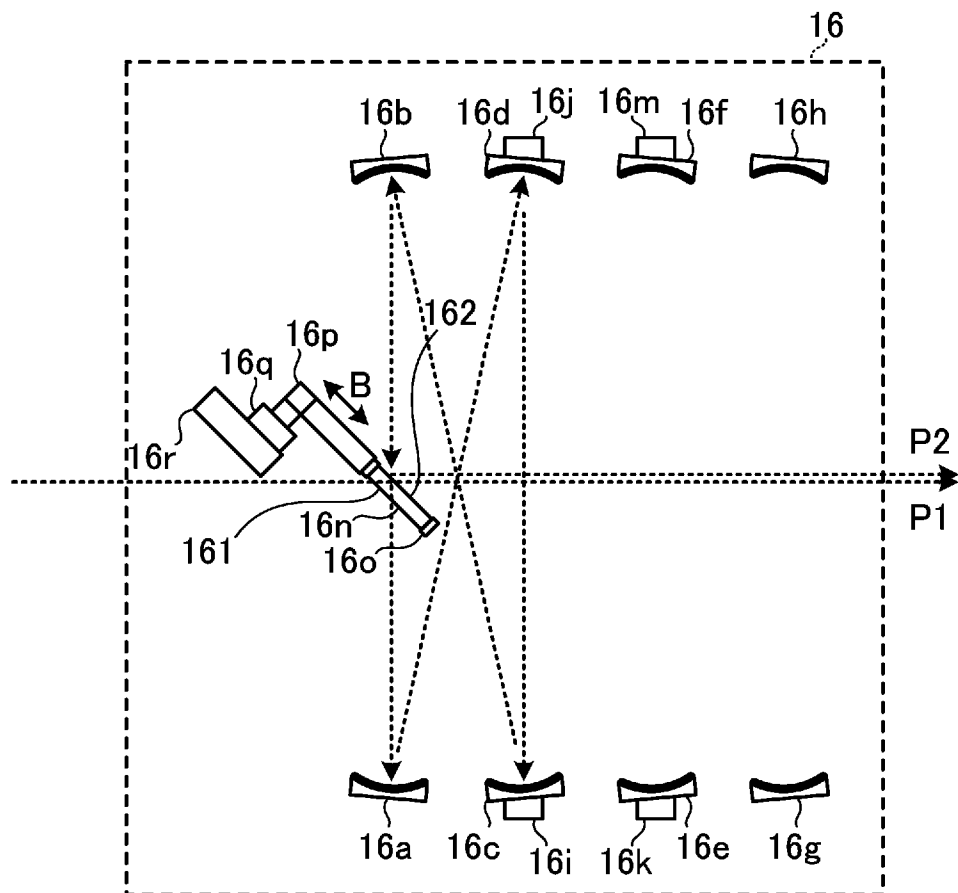
[図6A]



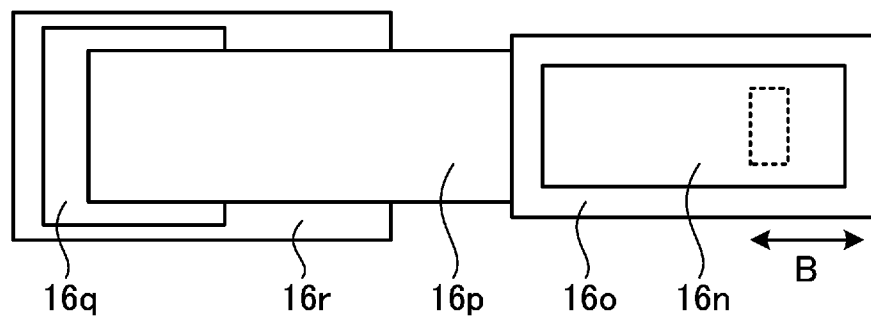
[図6B]



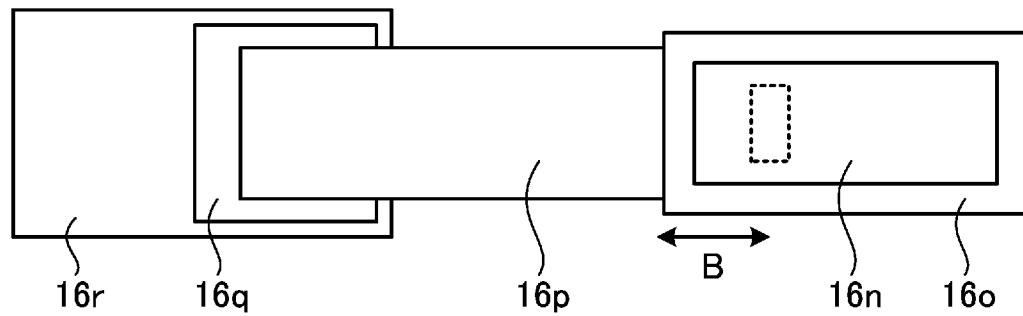
[図6C]



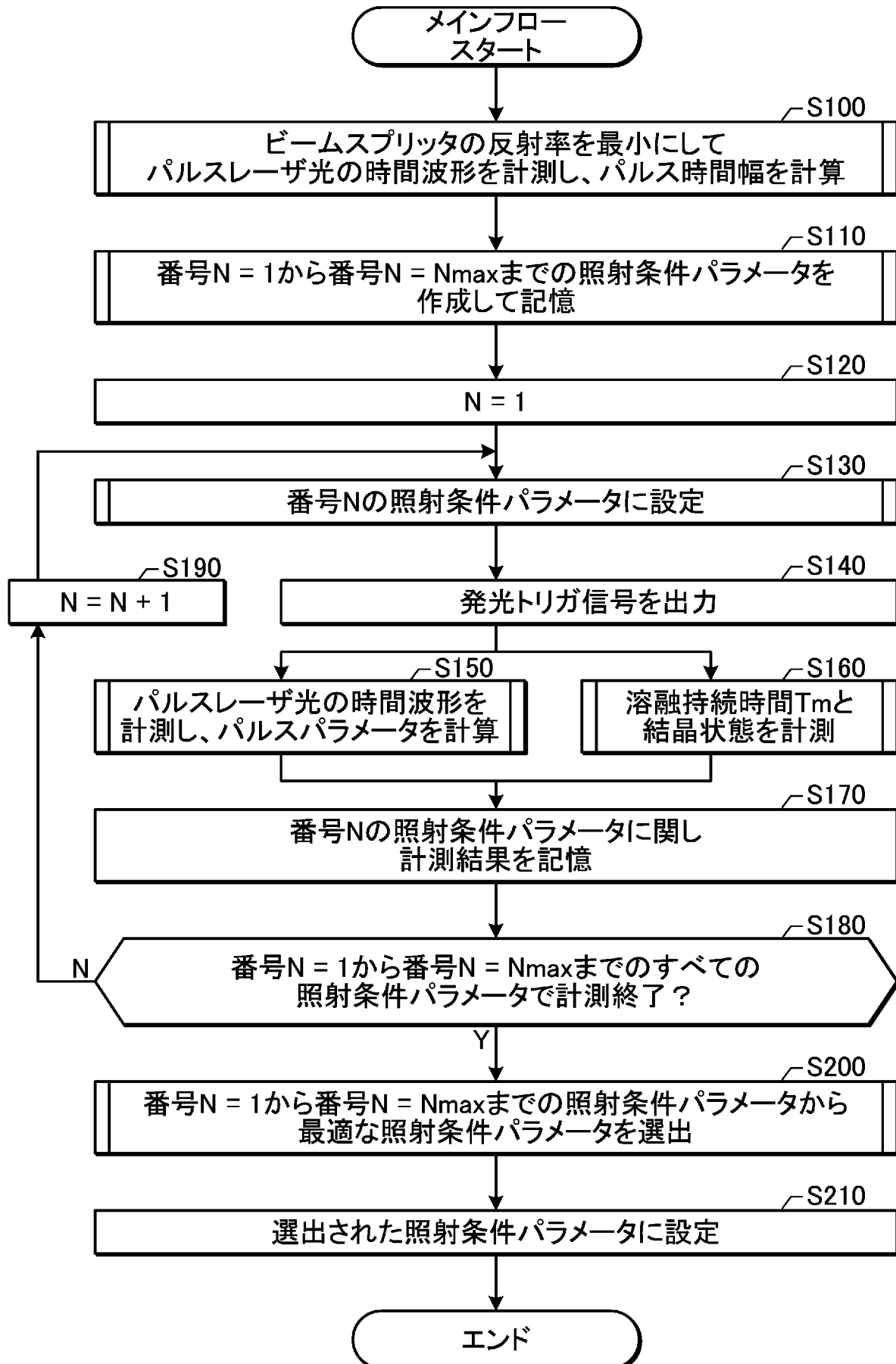
[図6D]



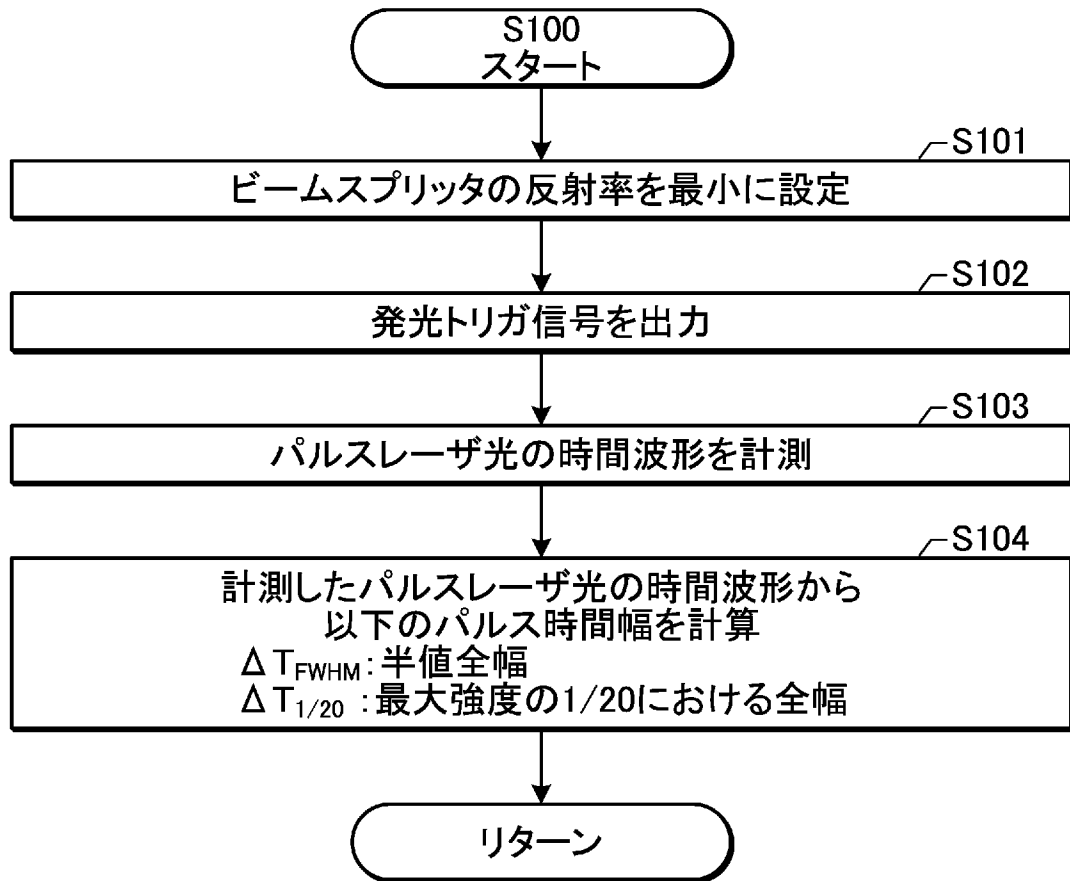
[図6E]



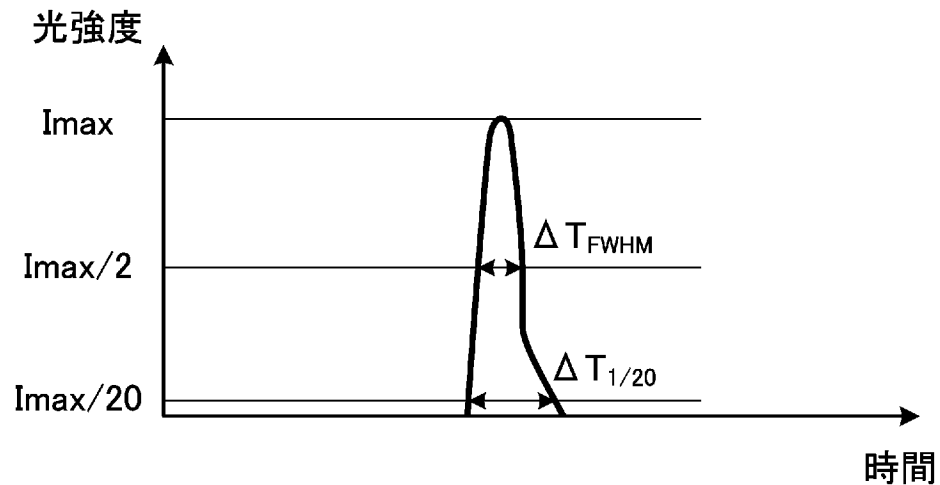
[図7]



[図8A]



[図8B]

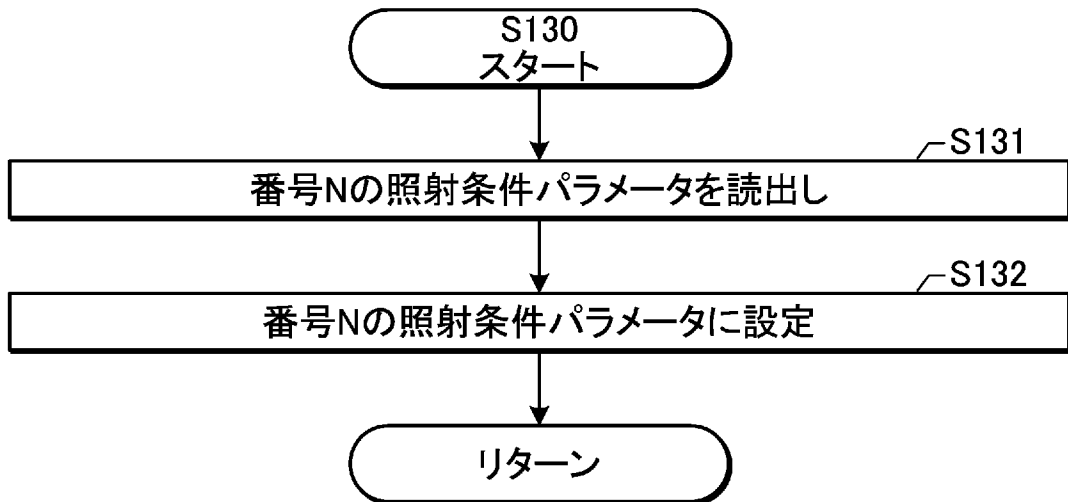


```

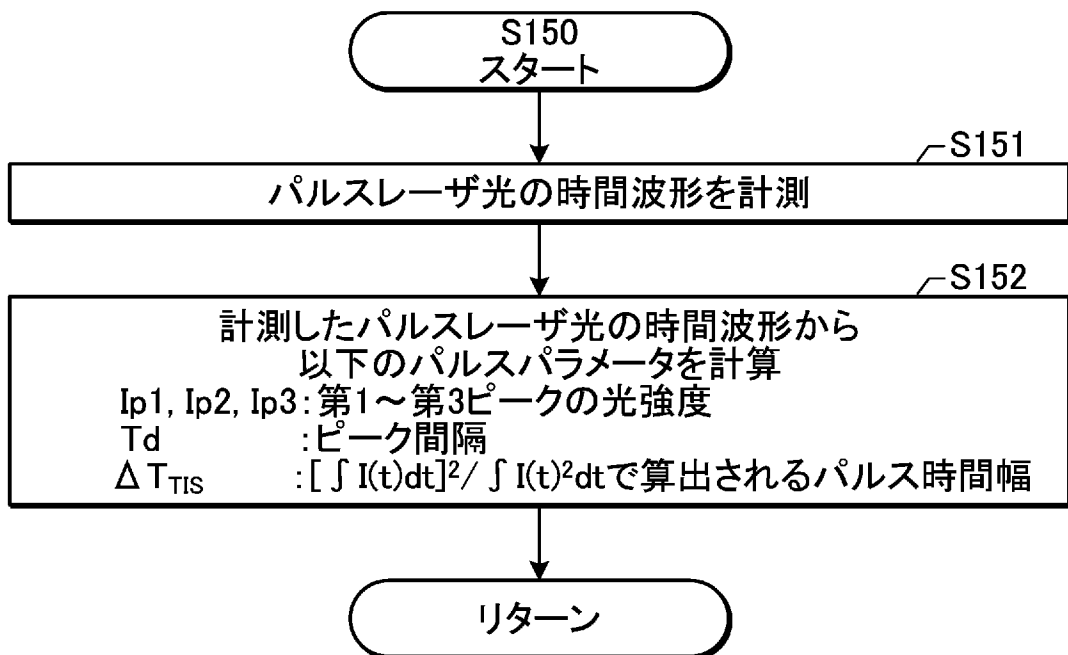
graph TD
    S110([S110  
スタート]) --> S111[S111  
遅延光路の3通りの光路長の目標値L1, L2, L3を決定  
例えば、遅延時間  $\Delta T_{FWHM}$  以上、 $\Delta T_{1/20}$  以下の範囲の  
光路長の目標値]
    S111 --> S112[S112  
ビームスプリッタの3通りの反射率の目標値R1, R2, R3を決定  
例えば、25%以上、65%以下の範囲の反射率の目標値]
    S112 --> S113[S113  
3通りのフルエンスの目標値F1, F2, F3を決定]
    S113 --> S114[S114  
照射条件パラメータを記憶]
    S114 --> RETN([リターン])
  
```

[illegible]

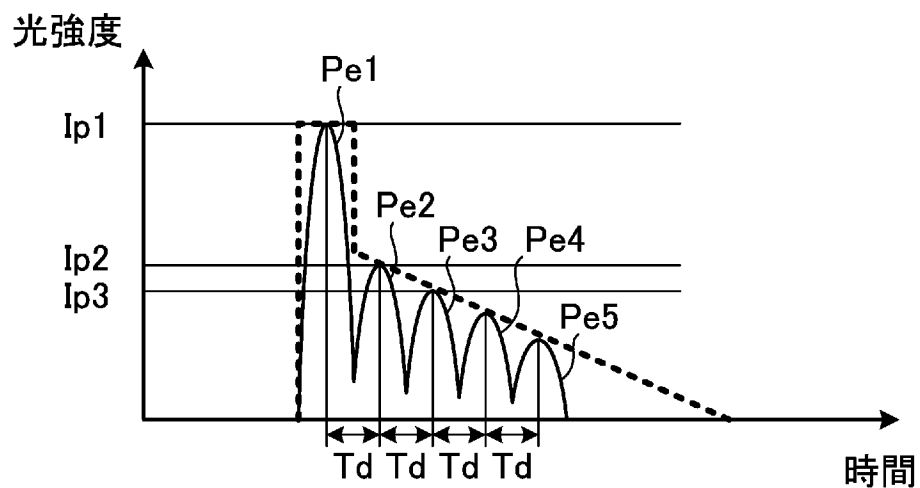
[図10]



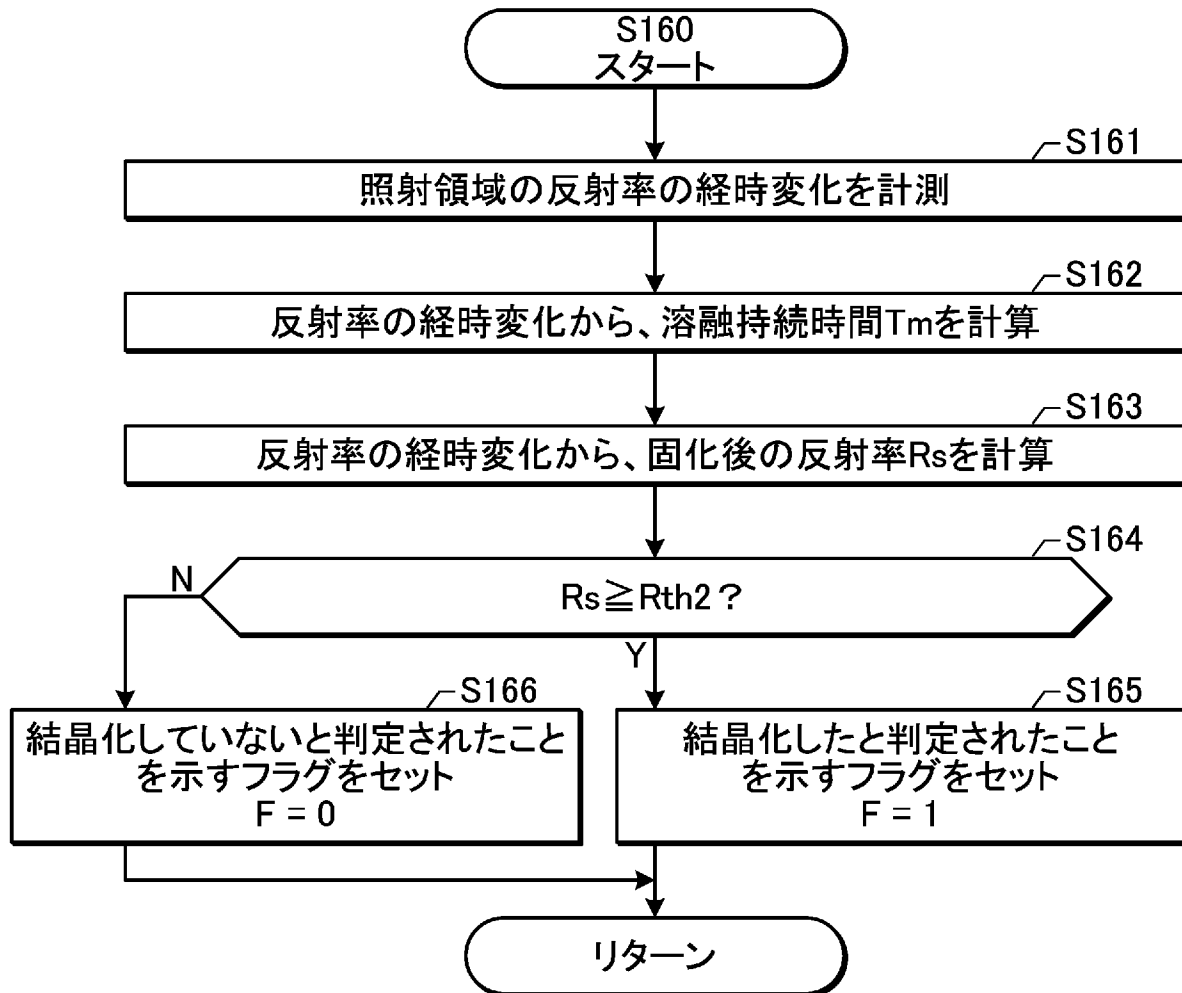
[図11A]



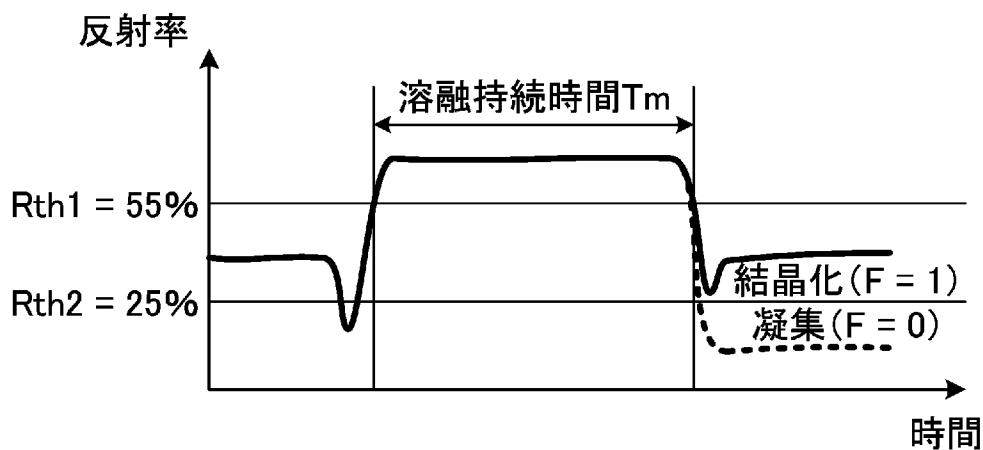
[図11B]



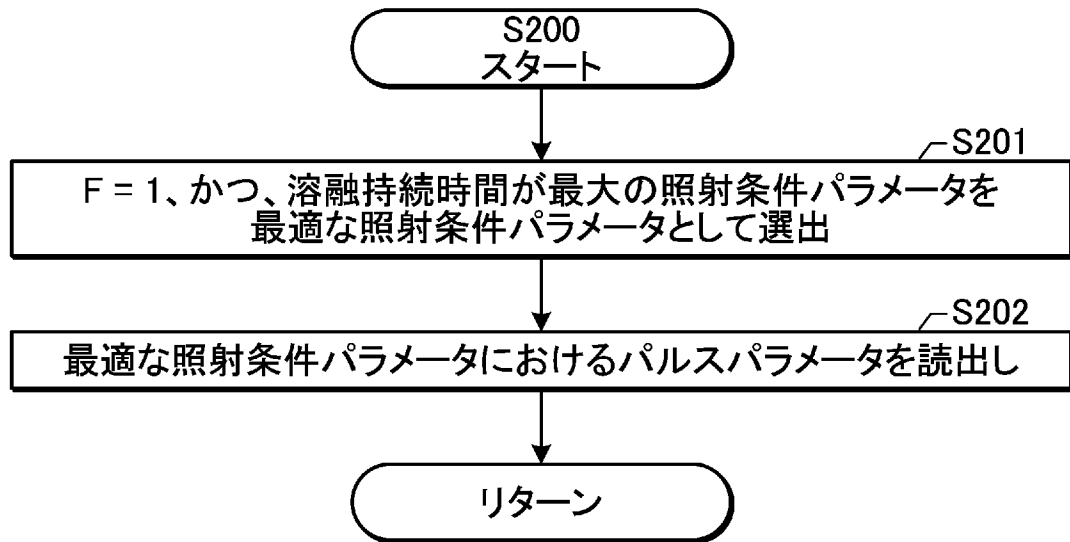
[図12A]



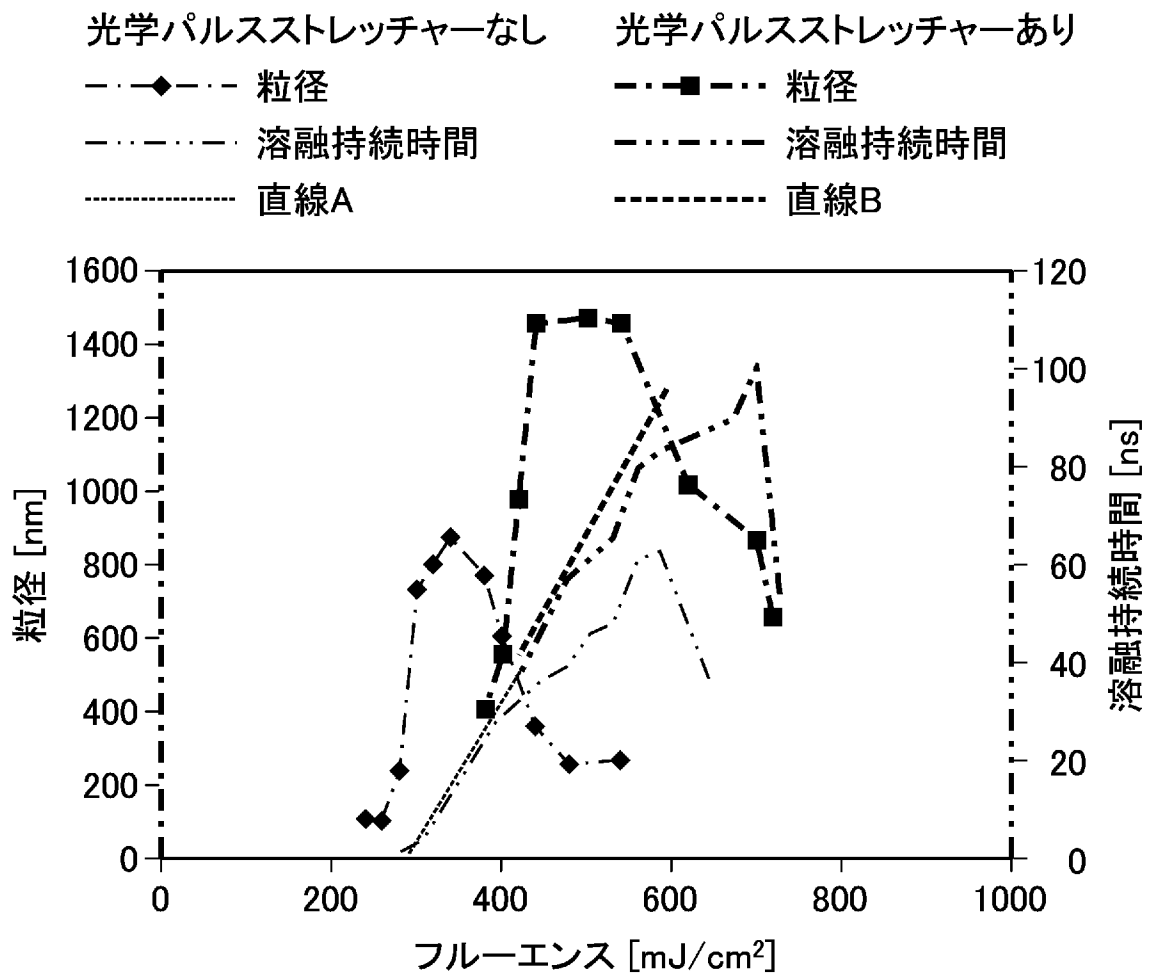
[図12B]



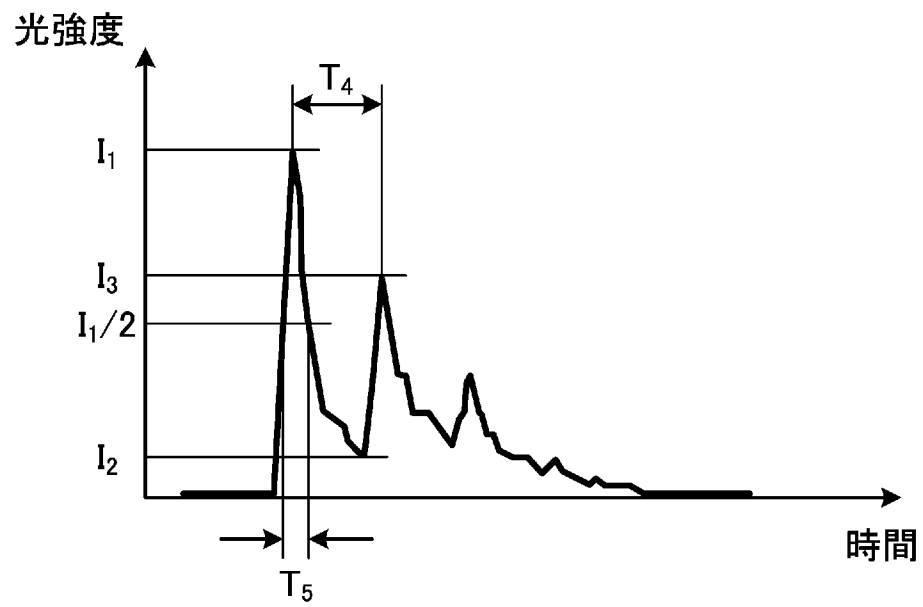
[図13]



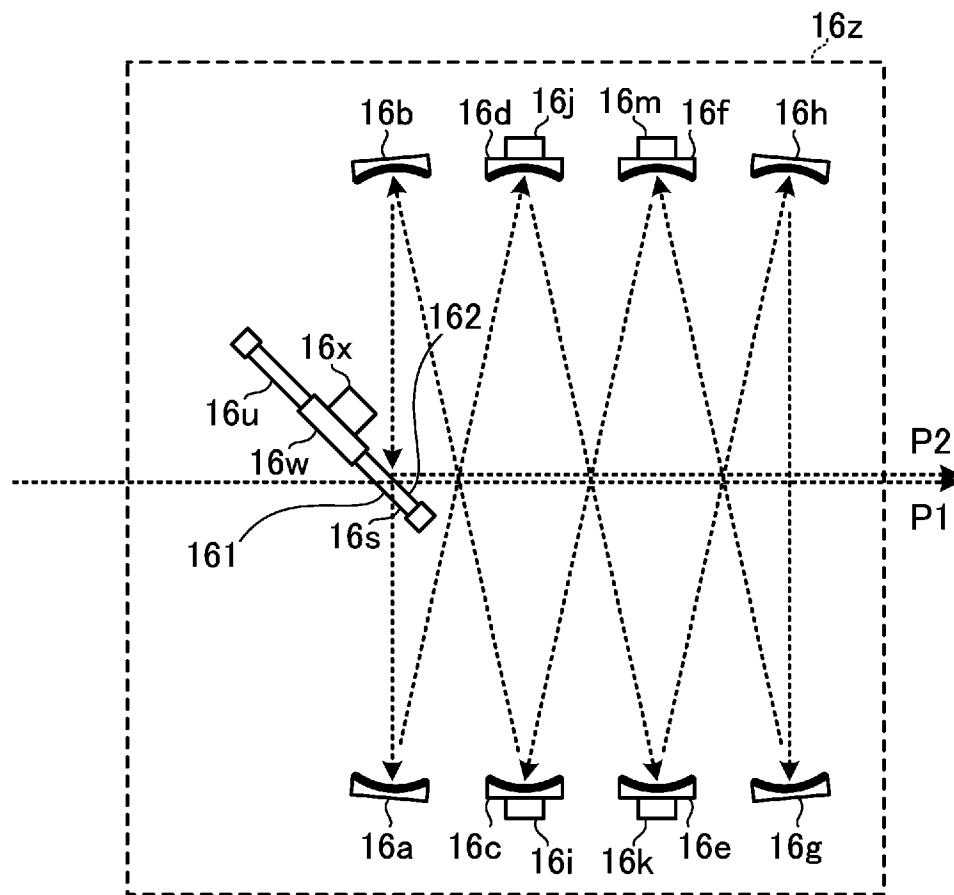
[図14]



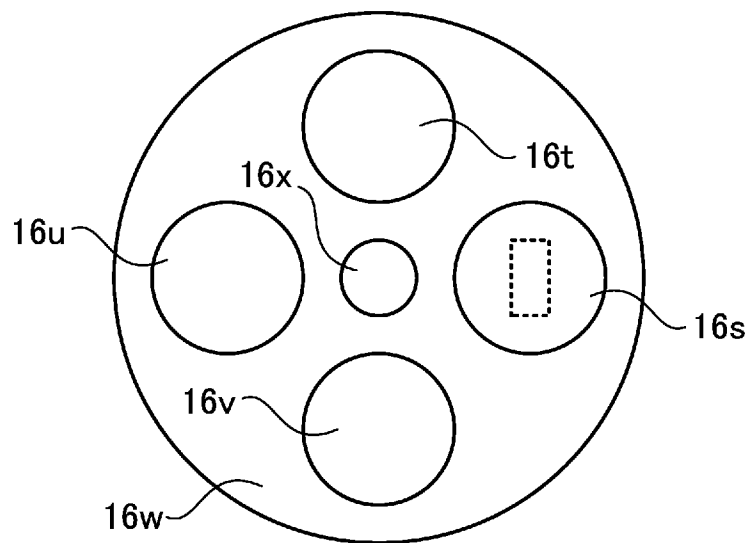
[図15]



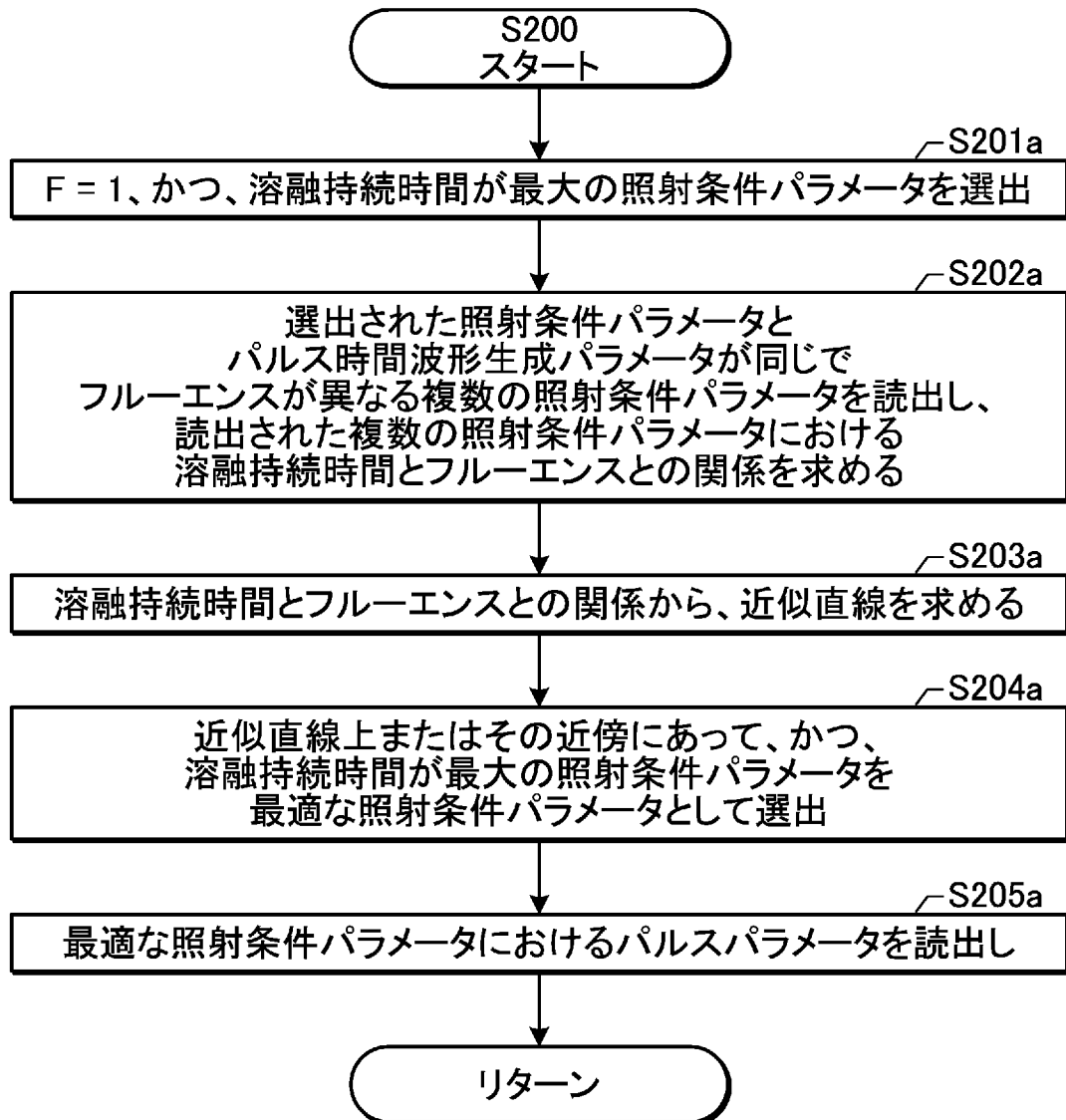
[図16A]



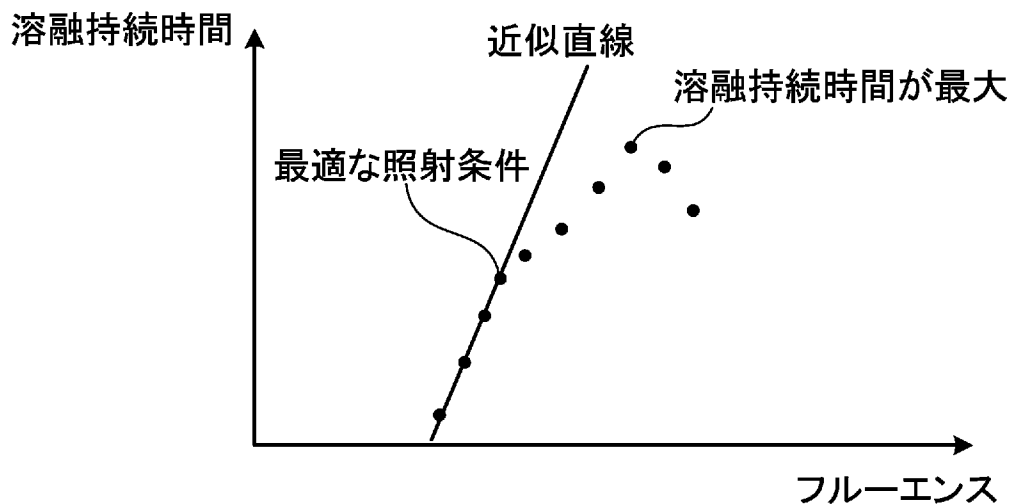
[図16B]



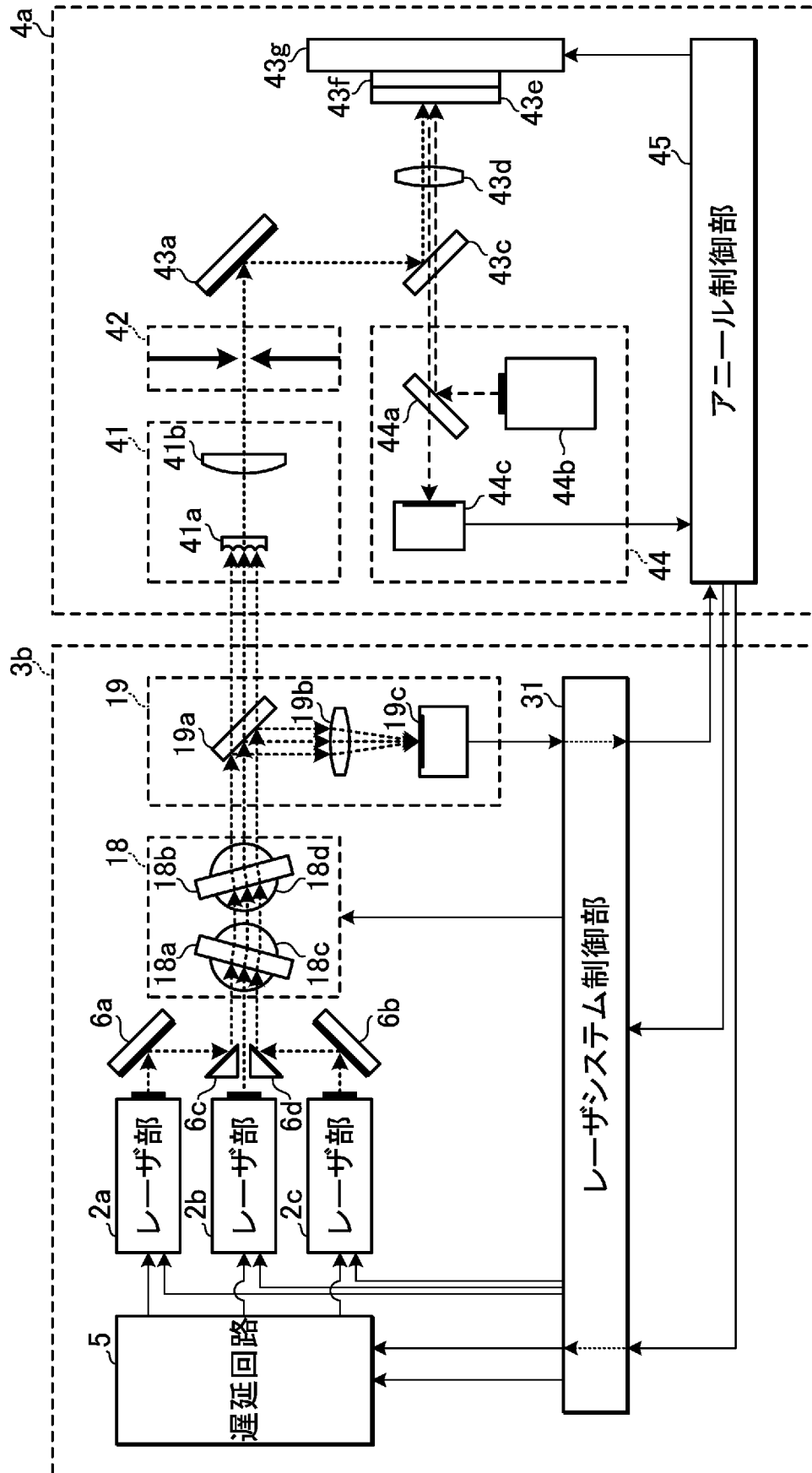
[図17A]



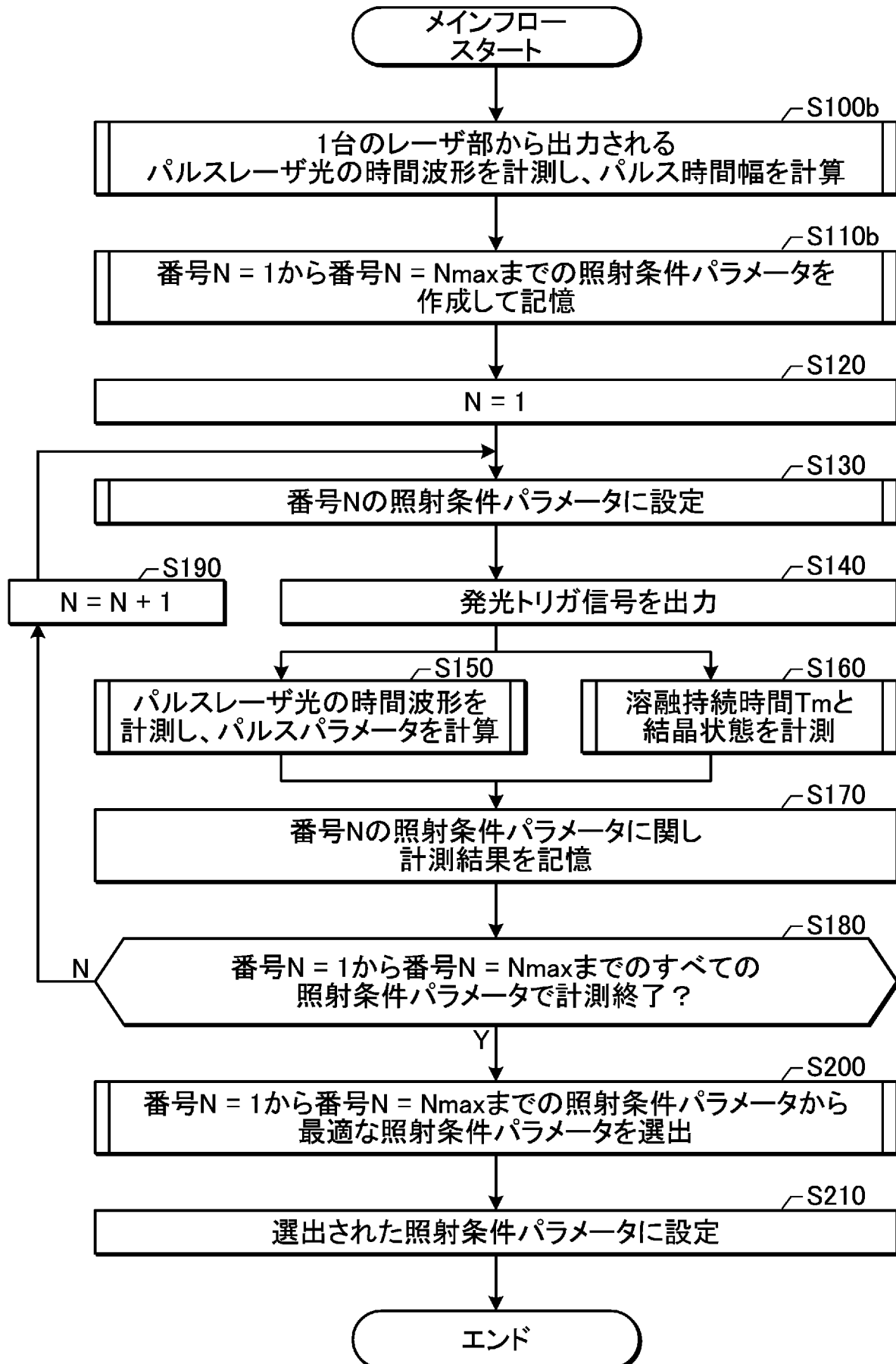
[図17B]



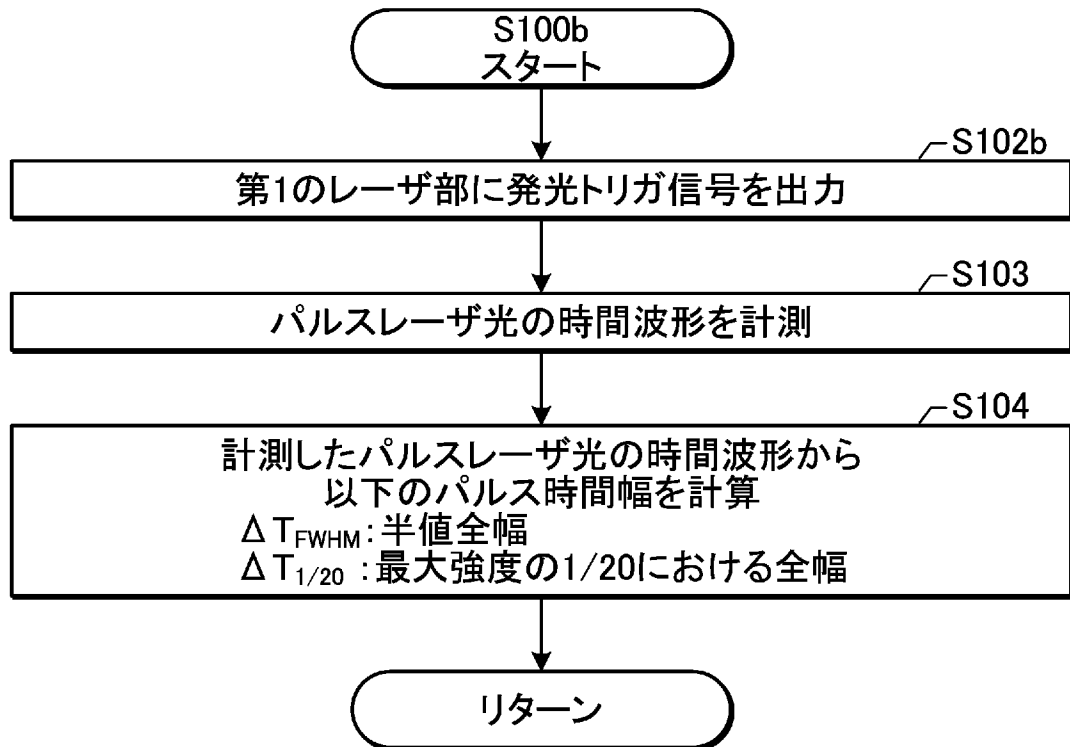
[図18]



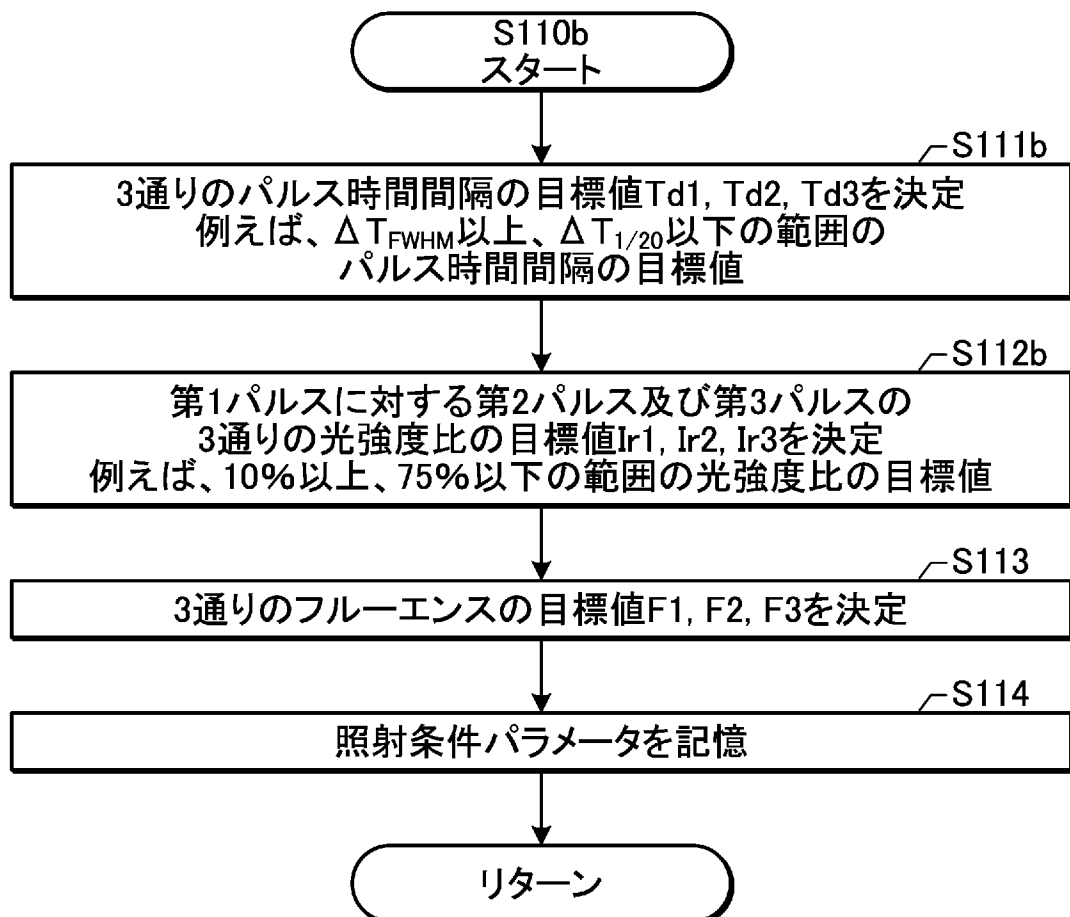
[図19]

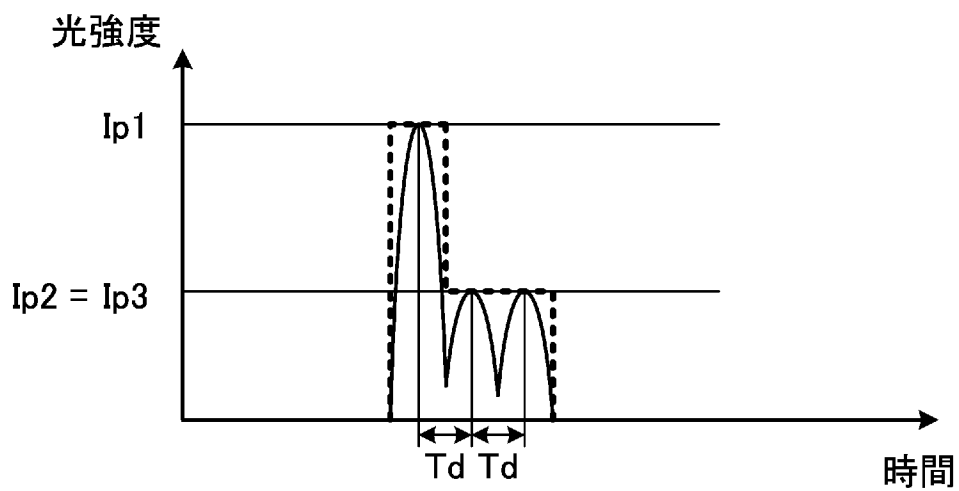


[図20]

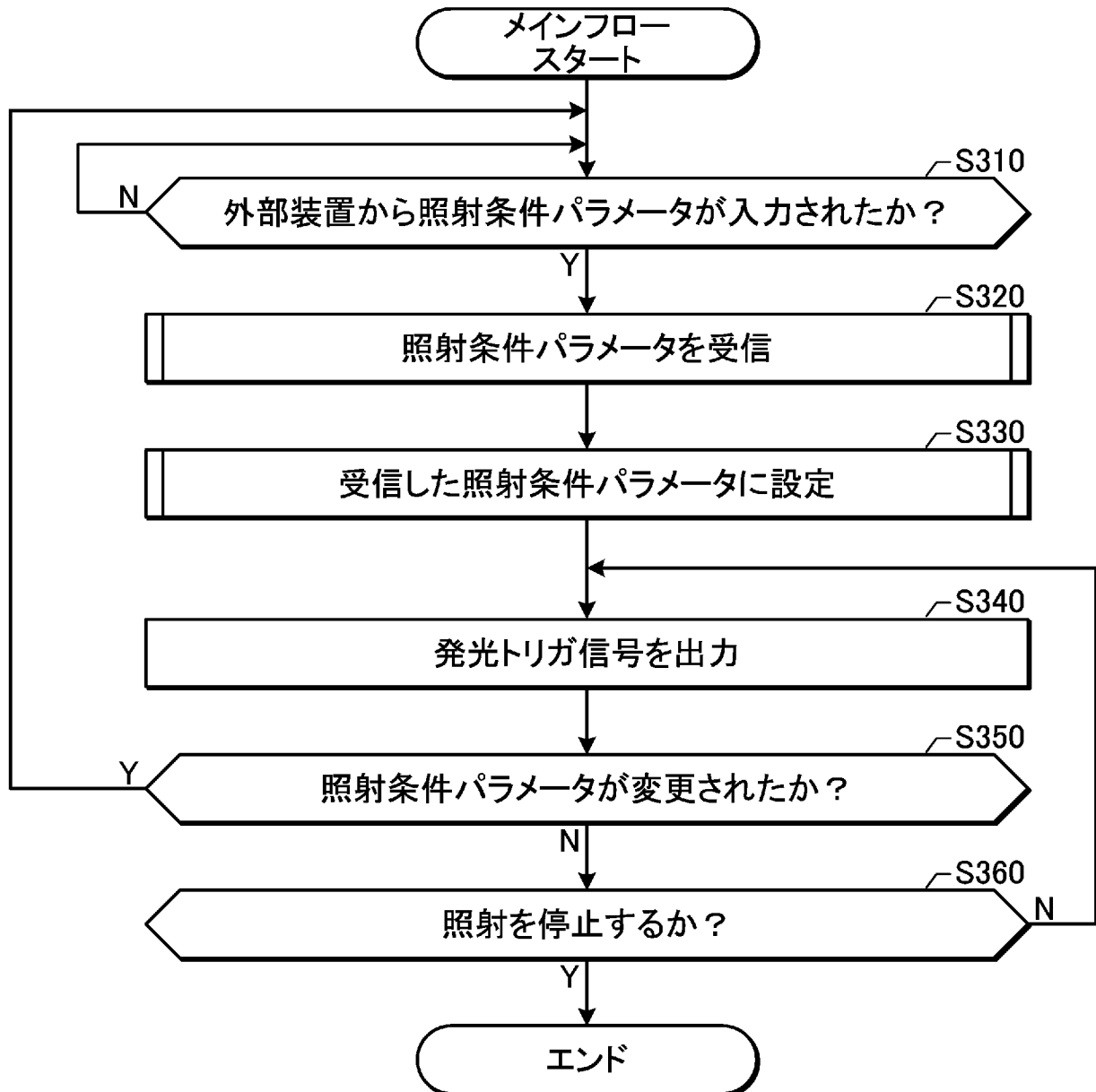


[図21A]

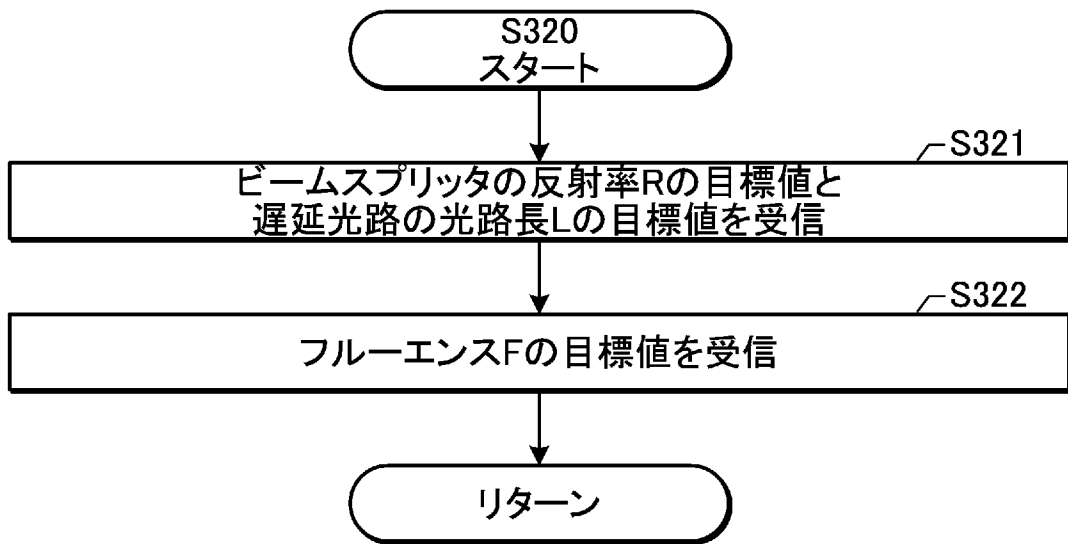


[illegible]

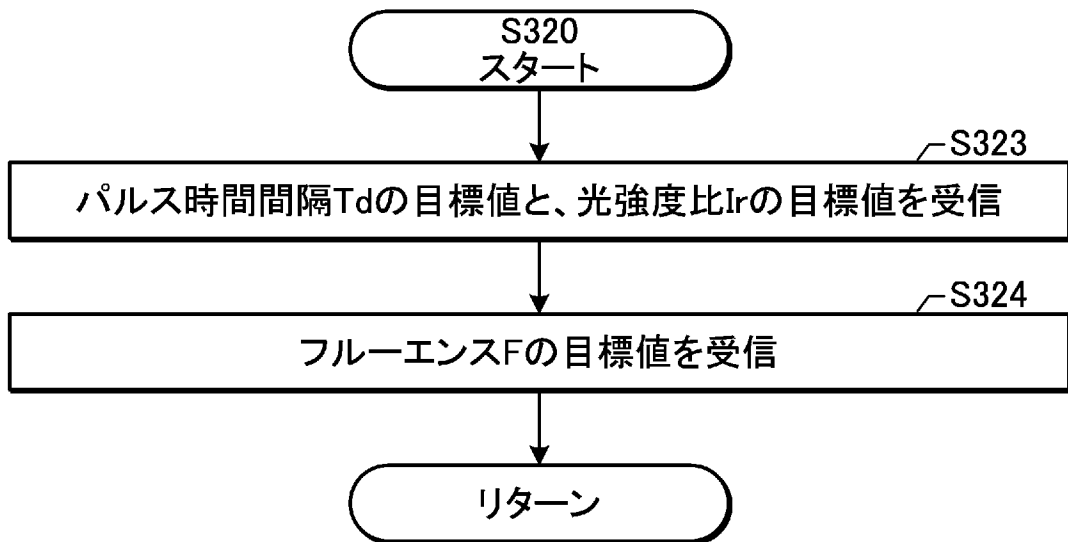
[図22]



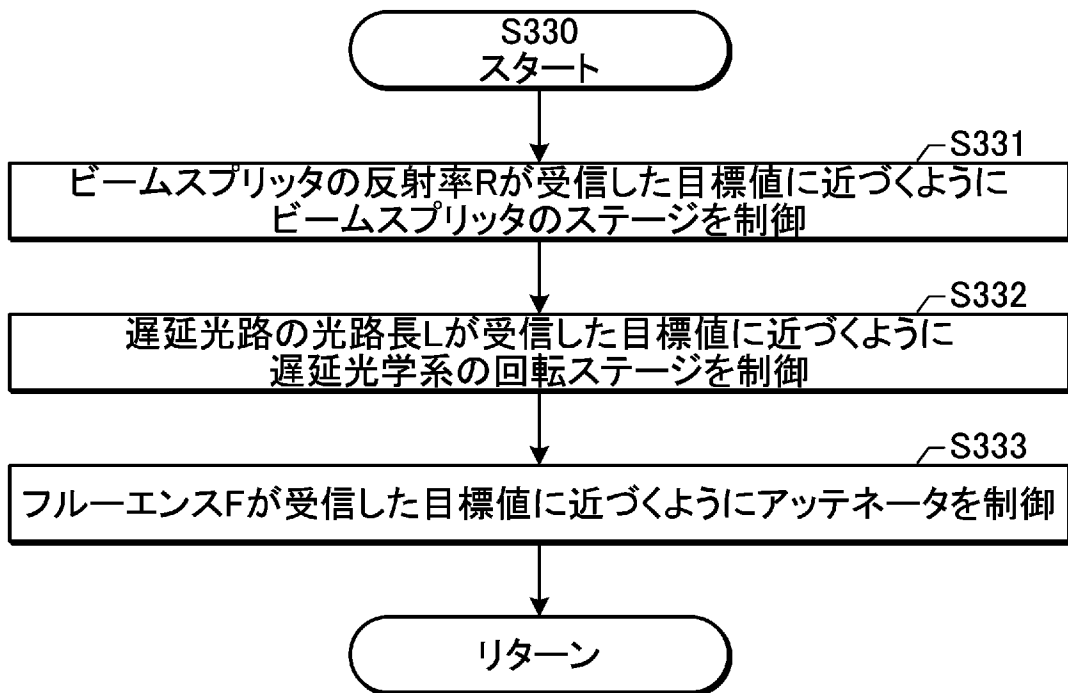
[図23A]



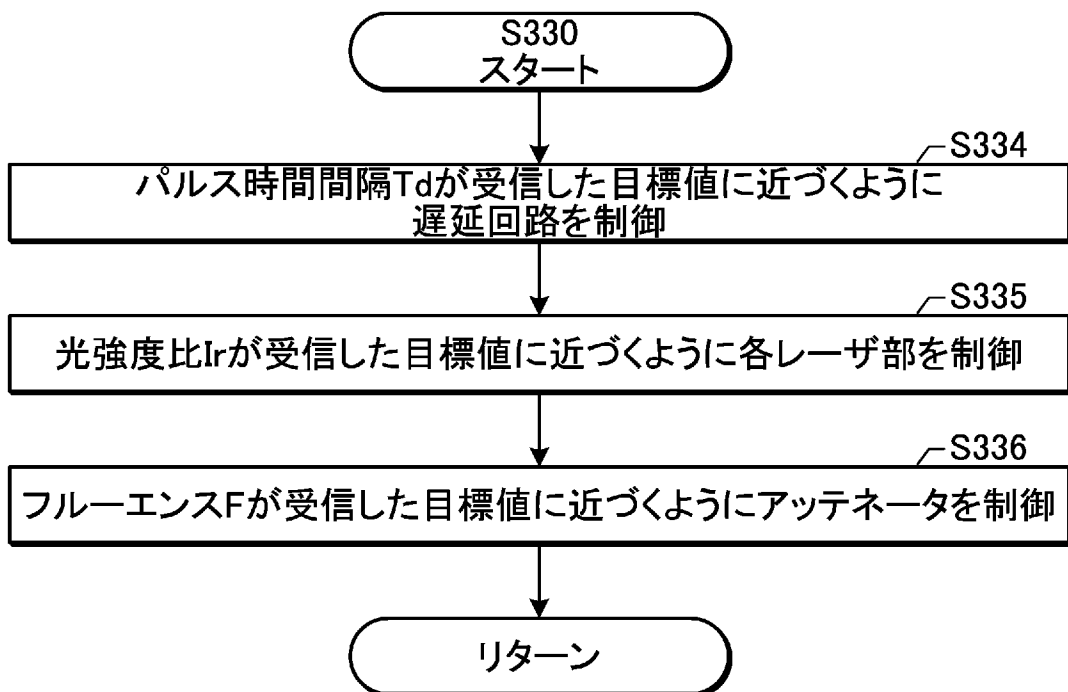
[図23B]



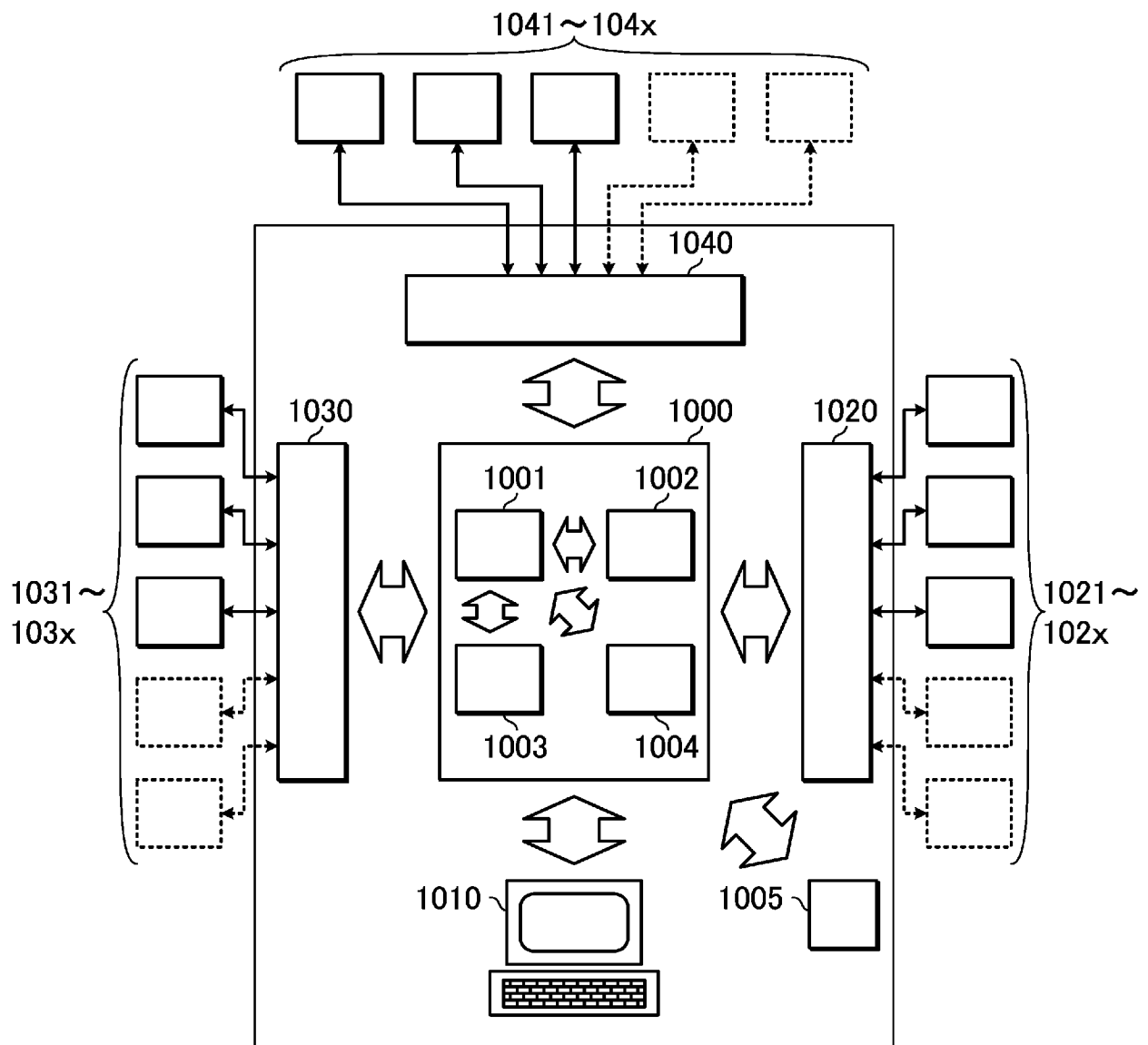
[図24A]



[図24B]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/057779

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/00(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i, H01L21/268(2006.01)i, H01S3/0975(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)

H01S3/00-3/30, H01L21/20, H01L21/268

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.
X Y A	JP 2011-14685 A (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.), 20 January 2011 (20.01.2011), claims 1, 8; paragraphs [0022] to [0045], [0080]; fig. 1 (Family: none)	1, 4-5, 8-11 12 2-3, 6-7
Y	JP 2004-198513 A (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.), 15 July 2004 (15.07.2004), paragraph [0005]; fig. 1 (Family: none)	12

☒ 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
26 May 2015 (26.05.15)

Date of mailing of the international search report
02 June 2015 (02.06.15)

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/JP2015/057779

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 2005-525001 A (Saima Inc.), 18 August 2005 (18.08.2005), entire text; all drawings & US 2002/0191654 A1 & US 2004/0022291 A1 & US 2003/0118072 A1 & US 2003/0099269 A1 & US 6535531 B1 & WO 2003/100826 A2 & WO 2003/021731 A1 & WO 2003/021732 A1 & WO 2003/096492 A2 & EP 1421653 A1 & EP 1430573 A1	1-12
A	JP 2011-249818 A (Komatsu Ltd., Ushio Inc.), 08 December 2011 (08.12.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-12
A	US 2012/0260847 A1 (P.C.Van der Wilt), 18 October 2012 (18.10.2012), entire text; all drawings & WO 2012/140122 A1 & TW 201247947 A	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/00(2006.01)i, H01L21/20(2006.01)i, H01L21/268(2006.01)i, H01S3/0975(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（I P C））

Int.Cl. H01S3/00-3/30, H01L21/20, H01L21/268

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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
X	JP 2011-14685 A（住友重機械工業株式会社）2011.01.20, 請求項 1, 8, 段落[0022]-[0045], [0080], 図 1（ファミリーなし）	1, 4-5, 8-11
Y		12
A		2-3, 6-7
Y	JP 2004-198513 A（住友重機械工業株式会社）2004.07.15, 段落[0005], 図 1（ファミリーなし）	12

☒ 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

2 6 . 0 5 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 6 . 2 0 1 5

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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 2005-525001 A (サイマー インコーポレイテッド) 2005.08.18, 全文、全図 & US 2002/0191654 A1 & US 2004/0022291 A1 & US 2003/0118072 A1 & US 2003/0099269 A1 & US 6535531 B1 & WO 2003/100826 A2 & WO 2003/021731 A1 & WO 2003/021732 A1 & WO 2003/096492 A2 & EP 1421653 A1 & EP 1430573 A1	1-12
A	JP 2011-249818 A (株式会社小松製作所、ウシオ電機株式会社) 2011.12.08, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-12
A	US 2012/0260847 A1 (P.C.Van der Wilt) 2012.10.18, 全文、全図 & WO 2012/140122 A1 & TW 201247947 A	1-12