

(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
2023年6月8日(08.06.2023)



(10) 国際公開番号

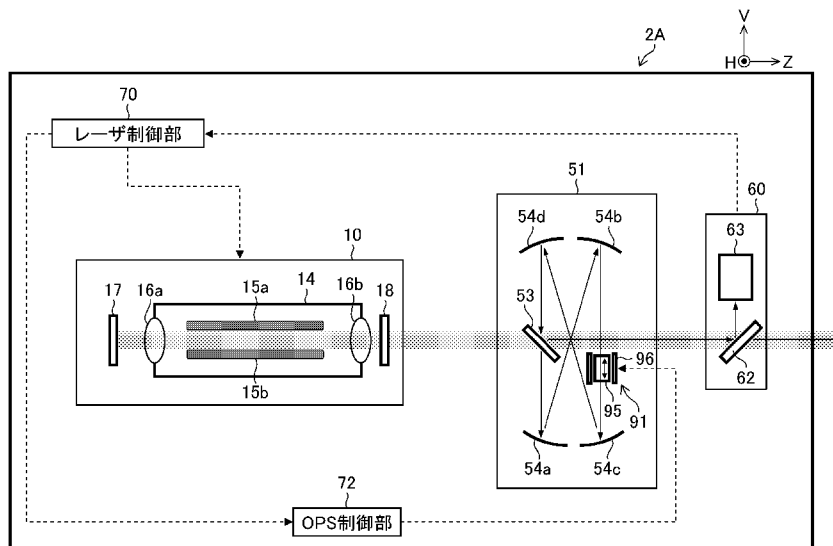
WO 2023/100293 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/10 (2006.01) *G02F 1/09* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/044119
- (22) 国際出願日: 2021年12月1日(01.12.2021)
- (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). 大学共同利用機関法人自然科学研究機構(INTER-UNIVERSITY RESEARCH INSTITUTE CORPORATION, NATIONAL INSTITUTES OF NATURAL SCIENCES) [JP/JP]; 〒1818588 東京都三鷹市大沢二丁目21番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 田丸 裕基(TAMARU, Yuki); 〒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). 三浦 泰祐(MIURA, Taisuke); 〒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). 安原 亮(YASUHARA, Ryo); 〒5095292 岐阜県土岐市下石町322-6 大学共同利用機関法人自然科学研究機構 核融合科学研究所内 Gifu (JP).
- (74) 代理人: 松浦 憲三(MATSUURA, Kenzo); 〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号 新宿住友ビル23階 新都心国際特許事務所 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,

(54) Title: OPTICAL PULSE STRETCHER, LASER APPARATUS, AND METHOD FOR MANUFACTURING ELECTRONIC DEVICE

(54) 発明の名称: 光学パルスストレッチャ、レーザ装置及び電子デバイスの製造方法

[図3]



70... LASER CONTROL UNIT
72... OPS CONTROL UNIT

(57) Abstract: An optical pulse stretcher for stretching the pulse width of pulsed laser light, the optical pulse stretcher comprising: a polarizer that separates a component of incident pulsed laser light that has a specific polarization direction; delay optics including a plurality of mirrors for propagating the pulsed laser light that has been reflected by or transmitted through the polarizer; and a first Faraday rotator that includes a first magnet and a first Faraday material, is disposed on the optical path of the delay optics, and rotates the polarization direction of the pulsed laser light.

[続葉有]

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: パルスレーザ光のパルス幅を伸長する光学パルスストレッチャは、入射したパルスレーザ光の特定の偏光方向の成分を分離する偏光子と、偏光子を反射又は透過したパルスレーザ光が伝搬する複数のミラーを含む遅延光学系と、第1の磁石と第1のファラデー材料とを含み、遅延光学系の光路上に配置されパルスレーザ光の偏光方向を回転させる第1のファラデー回転子と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

光学パルスストレッチャ、レーザ装置及び電子デバイスの製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、光学パルスストレッチャ、レーザ装置及び電子デバイスの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体露光装置においては、半導体集積回路の微細化及び高集積化につれて、解像力の向上が要請されている。このため、露光用光源から放出される光の短波長化が進められている。例えば、露光用のガスレーザ装置としては、波長約248nmのレーザ光を出力するKrFエキシマレーザ装置、並びに波長約193nmのレーザ光を出力するArFエキシマレーザ装置が用いられる。

[0003] KrFエキシマレーザ装置及びArFエキシマレーザ装置の自然発振光のスペクトル線幅は、350～400pmと広い。そのため、KrF及びArFレーザ光のような紫外線を透過する材料で投影レンズを構成すると、色収差が発生してしまう場合がある。その結果、解像力が低下し得る。そこで、ガスレーザ装置から出力されるレーザ光のスペクトル線幅を、色収差が無視できる程度となるまで狭帯域化する必要がある。そのため、ガスレーザ装置のレーザ共振器内には、スペクトル線幅を狭帯域化するために、狭帯域化素子（エタロンやグレーティング等）を含む狭帯域化モジュール（Line Narrowing Module：LNM）が備えられる場合がある。以下では、スペクトル線幅が狭帯域化されるガスレーザ装置を狭帯域化ガスレーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許第6067311号

特許文献2：特開2006-186046号公報

概要

- [0005] 本開示の1つの観点に係る光学パルスストレッチャは、パルスレーザ光のパルス幅を伸長する光学パルスストレッチャであって、入射したパルスレーザ光の特定の偏光方向の成分を分離する偏光子と、偏光子を反射又は透過したパルスレーザ光が伝搬する複数のミラーを含む遅延光学系と、第1の磁石と第1のファラデー材料とを含み、遅延光学系の光路上に配置されパルスレーザ光の偏光方向を回転させる第1のファラデー回転子と、を備える。
- [0006] 本開示の他の1つの観点に係るレーザ装置は、パルスレーザ光を出力する発振器と、パルスレーザ光のパルス幅を伸長する光学パルスストレッチャと、を備え、光学パルスストレッチャは、入射したパルスレーザ光の特定の偏光方向を分離する偏光子と、偏光子を反射又は透過したパルスレーザ光が伝搬する複数のミラーを含む遅延光学系と、第1の磁石と第1のファラデー材料とを含み、遅延光学系の光路上に配置されパルスレーザ光の偏光方向を回転させる第1のファラデー回転子と、を備える。
- [0007] 本開示の他の1つの観点に係る電子デバイスの製造方法は、パルスレーザ光を出力する発振器と、パルスレーザ光のパルス幅を伸長する光学パルスストレッチャと、を備え、光学パルスストレッチャは、入射したパルスレーザ光の特定の偏光方向を分離する偏光子と、偏光子を反射又は透過したパルスレーザ光が伝搬する複数のミラーを含む遅延光学系と、第1の磁石と第1のファラデー材料とを含み、遅延光学系の光路上に配置されパルスレーザ光の偏光方向を回転させる第1のファラデー回転子と、を備える、レーザ装置によってパルス幅が伸長されたレーザ光を生成し、レーザ光を露光装置に出力し、電子デバイスを製造するために、露光装置内で感光基板にレーザ光を露光することを含む。

図面の簡単な説明

- [0008] 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、偏光子の透過軸と入射光の偏光方向とのなす角と、透過率との

関係の例を示すグラフである。

[図2]図2は、比較例に係るレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図3]図3は、実施形態1に係るレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図4]図4は、ファラデー回転子の構成の詳細を示す断面図である。

[図5]図5は、図4中の5-5線における断面図である。

[図6]図6は、光学パルスストレッチャ（OPS）に入射するパルスレーザ光の偏光方向と、OPSを通過したパルスレーザ光の偏光方向との例を示す説明図である。

[図7]図7は、実施形態1に係るレーザ装置における制御処理の例1を示すフローチャートである。

[図8]図8は、実施形態1に係るレーザ装置における制御処理の例2を示すフローチャートである。

[図9]図9は、図7のステップS14又は図8のステップS24に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図10]図10は、実施形態1に係るレーザ装置におけるTIS制御の変形例を示すフローチャートである。

[図11]図11は、図10のステップS40に適用される処理のサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図12]図12は、図10のステップS46に適用される処理のサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図13]図13は、実施形態1の変形例1に係るレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図14]図14は、実施形態1の変形例2に係るレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図15]図15は、実施形態2に係るレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図16]図16は、第2のファラデー回転子に入射するパルスレーザ光の偏光方向と、OPSを通過したパルスレーザ光の偏光方向との例を示す説明図である。

[図17]図 1 7 は、実施形態 2 に係るレーザ装置における制御処理の例を示すフローチャートである。

[図18]図 1 8 は、図 1 7 のステップ S 7 4 に適用される処理のサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[図19]図 1 9 は、実施形態 2 の変形例 1 に係るレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図20]図 2 0 は、実施形態 2 の変形例 2 に係るレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図21]図 2 1 は、露光装置の構成例を概略的に示す。

実施形態

[0009] ー目次ー

1. 用語の説明

1. 1 偏光子

1. 2 T I S (Time-Integral Square)

2. 比較例に係るレーザ装置の概要

2. 1 構成

2. 2 動作

2. 3 課題

3. 実施形態 1

3. 1 構成

3. 2 動作

3. 3 制御フローの例 1

3. 4 制御フローの例 2

3. 5 効果

3. 6 変形例 1

3. 6. 1 構成

3. 6. 2 動作

3. 6. 3 効果

3. 7 変形例 2

3. 7. 1 構成

3. 7. 2 動作

3. 7. 3 効果

4. 実施形態 2

4. 1 構成

4. 2 動作

4. 3 制御フローの例

4. 4 効果

4. 5 変形例 1

4. 5. 1 構成

4. 5. 2 動作

4. 5. 3 効果

4. 6 変形例 2

4. 6. 1 構成

4. 6. 2 動作

4. 6. 3 効果

5. レーザ装置の変形例

6. 電子デバイスの製造方法について

7. その他

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
。

[0010] 1. 用語の説明

1. 1 偏光子

偏光子とは、特定の偏光方向（透過軸方向）の光とそれと偏光方向が直交する光を分離する光学素子をいう。偏光子の透過軸に対して光の偏光方向が θ 度傾いている場合、各偏光成分は下式の割合で分離される。下式の間係をマリュー（Malus）の法則という。

[0011] [数1]

$$I_T(\theta) = I \cos^2 \theta$$

$$I_R(\theta) = I - I \cos^2 \theta = I \sin^2 \theta$$

[0012] 図1は、偏光子の透過軸と入射光の偏光方向とのなす角と、透過率との関係の例を示すグラフである。図1の横軸は偏光子の透過軸と偏光とのなす角 θ を表し、縦軸は透過率を表す。

[0013] 1. 2 T I S (Time-Integral Square)

T I Sは、レーザ光のパルス幅の長さを表す指標であり、下式より計算される。

[0014] [数2]

$$TIS = \frac{(\int I(t) \cdot dt)^2}{\int I(t)^2 dt}$$

[0015] ここで、 $I(t)$ は時間ごとの光強度を表す。

[0016] 2. 比較例に係るレーザ装置の概要

2. 1 構成

図2は、比較例に係るレーザ装置2の構成を概略的に示す。本開示の比較例とは、出願人のみによって知られていると出願人が認識している形態であって、出願人が自認している公知例ではない。レーザ装置2は、発振器10と、光学パルスストレッチャ（Optical Pulse Stretcher：OPS）50と、モータモジュール60と、レーザ制御部70と、を含む。

- [0017] 発振器 10 から出力されるパルスレーザ光の光路上に、OPS50 と、モニタモジュール 60 と、がこの順序で配置される。発振器 10 はチャンバ 14 と、リアミラー 17 と、出力結合ミラー 18 と、を含む。出力結合ミラー 18 とリアミラー 17 とで光共振器を構成するように配置される。
- [0018] チャンバ 14 は、光共振器の光路上に配置され、1 対の放電電極 15 a、15 b と、レーザ光が透過する 2 枚のウィンドウ 16 a、16 b と、を含む。チャンバ 14 内にはエキシマレーザガスが導入される。エキシマレーザガスは、例えば、レアガスとして Ar ガス又は Kr ガス、ハロゲンガスとして F₂ ガス、バッファガスとして Ne ガスを含んでいてもよい。
- [0019] OPS50 は、ビームスプリッタ 52 と、凹面ミラー 54 a、54 b、54 c、54 d とを含み、これらにより遅延光路を形成する。ビームスプリッタ 52 は、レーザ光の光路上に配置され、入射したパルスレーザ光のうちの一部のパルスレーザ光を透過させ、他の一部のパルスレーザ光を反射させる膜がコートされている。ビームスプリッタ 52 の反射率は約 60% が好ましい。ビームスプリッタ 52 は、上記のようにビームスプリッタ 52 を透過したパルスレーザ光をレーザ装置 2 から出力させる。
- [0020] 凹面ミラー 54 a ~ 54 d は、焦点距離が全て略同じ f の凹面ミラーである。凹面ミラー 54 a ~ 54 d は、以下の関係となるように配置される。すなわち、ビームスプリッタ 52 で反射されたレーザ光のビームスプリッタ 52 の位置での像が凹面ミラー 54 a と凹面ミラー 54 b とによって反転して結像し、凹面ミラー 54 c と凹面ミラー 54 d とによって、再び、ビームスプリッタ 52 に戻り、正転して結像するように、凹面ミラー 54 a ~ 54 d が配置される。この場合は、遅延光路長 L は 8 f となる。
- [0021] モニタモジュール 60 は、ビームスプリッタ 62 と、光センサ 63 と、を含む。光センサ 63 は、例えばバイプラナ放電管やフォトダイオードでもよい。光センサ 63 を用いて計測されたデータは、レーザ制御部 70 に送信される。
- [0022] 2. 2 動作

レーザ制御部 70 の制御に基づき、不図示の電源より高電圧パルスがチャンバ 14 内の放電電極 15 a、15 b 間に印加される。チャンバ 14 内の放電電極 15 a、15 b 間で放電が発生すると、レーザガスが励起され、出力結合ミラー 18 とリアミラー 17 とで構成される光共振器によって、波長が 150 nm から 380 nm の紫外線波長のパルスレーザ光が出力結合ミラー 18 から出力される。

[0023] 出力結合ミラー 18 から出力されたパルスレーザ光は、OP S 50 に入射し、一部のパルスレーザ光が OP S 50 内の遅延光路を複数回通過することによって所定のパルス幅まで伸長される。

[0024] OP S 50 を通過したパルスレーザ光の一部は、ビームスプリッタ 62 を透過してレーザ装置 2 から出力される。OP S 50 を通過したパルスレーザ光の他の一部は、ビームスプリッタ 62 によって反射され、光センサ 63 に入射する。光センサ 63 によってパルスエネルギー E が計測され、得られたデータがモニタモジュール 60 からレーザ制御部 70 に送信される。

[0025] レーザ制御部 70 は、目標パルスエネルギー E_t と、計測されたパルスエネルギー E との差 ΔE が 0 に近づくように、不図示の電源より出力される高電圧パルスの電圧を制御する。

[0026] 2. 3 課題

OP S 50 で伸長されるパルス幅又はパルス波形を変更する方法には例えば以下の 2 つがある。

[0027] [方法 1] 周回光路長の変更

[方法 2] ビームスプリッタ 52 の反射率の変更

方法 1 は、周回光路長が異なる複数種類の OP S の筐体の水準品を事前に用意しておく必要がある。方法 2 は、ビームスプリッタ 52 の反射率が異なる複数種類の水準品を事前に用意しておく必要がある。さらに、方法 1 及び方法 2 のどちらの方法も水準品への交換が必要で交換作業の手間が大きくかかる。また、変更できるのは、用意した水準品の構成のみであり、変更の自由度も小さく、パルス幅又はパルス波形の最適化が困難である。

[0028] 3. 実施形態 1

3. 1 構成

図 3 は、実施形態 1 に係るレーザ装置 2 A の構成を概略的に示す。図 3 に示すレーザ装置 2 A について、図 2 に示す構成と異なる点を説明する。

[0029] チャンバ 1 4 のウィンドウ 1 6 b は、例えばブリュースタ角に配置されていてもよい。チャンバ 1 4 から出射されるパルスレーザ光の偏光は直線偏光やランダム偏光でもよい。

[0030] レーザ装置 2 A は、図 2 の OPS 5 0 の代わりに、OPS 5 1 を含む。OPS 5 1 は、凹面ミラー 5 4 a ~ 5 4 d により構成される遅延光路上にファラデー回転子 9 1 が配置される。ファラデー回転子 9 1 は、例えば、凹面ミラー 5 4 b と凹面ミラー 5 4 c との間の光路上に配置される。ファラデー回転子 9 1 は、遅延光路上であればどこに配置されてもよい。ファラデー回転子 9 1 は、コリメート光の光路上に配置されることが好ましい。

[0031] また、図 2 のビームスプリッタ 5 2 の代わりに、OPS 5 1 内には偏光子 5 3 が配置される。偏光子 5 3 は、P 偏光を高透過し、S 偏光を高反射する膜がコートされている。

[0032] ファラデー回転子 9 1 は、ファラデー材料 9 5 と、磁石 9 6 とを含む。ファラデー材料 9 5 は、フッ化カルシウム (CaF_2) 結晶又は合成石英であってもよい。磁石 9 6 は永久磁石であってもよいし、電磁石であってもよい。

[0033] 図 4 は、ファラデー回転子 9 1 の構成の詳細を示す断面図である。図 4 は、パルスレーザ光の光軸と平行な断面を示す。図 4 中の中心線 CL は磁石 9 6 の中央を表す。図 5 は、図 4 中の 5 - 5 線における断面図である。

[0034] ファラデー回転子 9 1 に偏光方向の回転量を制御するアクチュエータ 1 2 0 が配置される。アクチュエータ 1 2 0 は、例えば、磁石 9 6 に対してファラデー材料 9 5 をパルスレーザ光の光軸方向に移動させる機構であってもよい。アクチュエータ 1 2 0 によるファラデー材料 9 5 の移動可能量（最大移動量）は、ファラデー材料 9 5 のパルスレーザ光の光軸方向の長さの半量以上が望ましい。アクチュエータ 1 2 0 によるファラデー材料 9 5 の最小移動単

位は、例えば0.2mm程度でもよい。なお、アクチュエータ120は、ファラデー材料95に対して磁石96をパルスレーザ光の光軸方向に移動させる構成であってもよい。

[0035] ファラデー回転子91は本開示における「第1のファラデー回転子」の一例である。ファラデー材料95及び磁石96は本開示における「第1のファラデー材料」及び「第1の磁石」の一例である。アクチュエータ120は本開示における「第1のアクチュエータ」の一例である。

[0036] アクチュエータ120は、ファラデー材料95と磁石96とを相対的に移動させる移動機構に限らず、例えば、磁石96を電磁石とし、電磁石に流す電流を制御する機構であってもよいし、または、ヒータなどを用いて磁石96の温度を制御する機構であってもよい。本明細書において「アクチュエータ」という用語は、機械的な動作を行う装置に限らず、電流や温度などを変更することによってファラデー回転子91による偏光方向の回転量を変更可能な仕組み（機構）をも含む概念の用語として用いる。

[0037] パルスレーザ光の光軸に垂直な断面の形状は縦長の長方形であるので、ファラデー材料95の断面形状も縦長の長方形にしてもよい。ファラデー材料95が配置される磁石96の磁場発生部97の断面形状は、ファラデー材料95の断面形状と同じ向きの縦長の長方形でもよい。

[0038] ファラデー材料95は、ファラデー材料ホルダ100に保持された状態で磁石96の磁場発生部97に配置される。ファラデー材料ホルダ100のパルスレーザ光の光軸に垂直な断面の形状は、ファラデー材料95と同様に縦長の長方形でもよい。ファラデー材料ホルダ100の縦長の長方形の長手方向の一端には貫通穴101が形成され、他端にはメスネジの穴102が形成されている。

[0039] 貫通穴101にはガイドシャフト124が挿入され、メスネジの穴102には棒状のオスネジ126がねじ込まれている。ファラデー材料ホルダ100は、ガイドシャフト124とオスネジ126とを介してプレート121aとプレート121bとに保持されている。なお、オスネジ126は回転可能

に保持され、アクチュエータ 120 に接続されている。また、プレート 121a とプレート 121b とは磁石 96 も保持している。アクチュエータ 120 は本開示における「第 1 の移動機構」の一例である。

[0040] また、図 3 に示すように、レーザ装置 2A は、光センサ 63 の計測結果を受けて、アクチュエータ 120 を制御する OPS 制御部 72 を含む。OPS 制御部 72 は、レーザ制御部 70 と接続される。OPS 制御部 72 は、レーザ制御部 70 を介して光センサ 63 の計測結果を受信し得る。

[0041] レーザ制御部 70 及び OPS 制御部 72 のそれぞれは、プロセッサを用いて構成される。本開示のプロセッサとは、制御プログラムが記憶された記憶装置と、制御プログラムを実行する CPU (Central Processing Unit) とを含む処理装置である。プロセッサは、本開示に含まれる各種処理を実行するために特別に構成又はプログラムされている。プロセッサは、FPGA (Field Programmable Gate Array) や ASIC (Application Specific Integrated Circuit) に代表される集積回路を含んでもよい。OPS 制御部 72 の処理機能はレーザ制御部 70 の中に組み込まれていてもよい。レーザ制御部 70 及び OPS 制御部 72 の機能は、1 つ以上のプロセッサにより実現し得る。

[0042] 3. 2 動作

特定の方向に偏光したパルスレーザ光が、磁場が印加されたファラデー材料 95 を透過するとき、偏光方向が回転する。ファラデー回転子 91 でのパルスレーザ光の偏光方向の回転量は、磁場の強さ、ファラデー材料 95 が持つ屈折率などの物理量及びファラデー材料 95 の長さで決まる。

[0043] 磁石 96 の磁場発生部 97 の磁場の強さは、光軸方向の位置により変わる。このため、磁石 96 に対するファラデー材料 95 のパルスレーザ光の光軸方向の位置をアクチュエータ 120 で変えることにより、ファラデー回転子 91 でのパルスレーザ光の偏光の回転量を制御できる。

[0044] 発振器 10 から出力された特定の方向に偏光したパルスレーザ光は、偏光子 53 によって、偏光子 53 の透過軸に平行な成分は透過し、OPS 51 を

通過する。また、偏光子 5 3 の透過軸に直交する成分は、偏光子 5 3 によって反射され、O P S 5 1 内の遅延光路を伝搬する。

[0045] 図 6 は、O P S 5 1 に入射するパルスレーザ光の偏光方向と、O P S 5 1 を通過したパルスレーザ光の偏光方向との例を示す説明図である。図 6 中の円内に示す両向き矢印はパルスレーザ光の偏光方向を表している。図 6 では、パルスレーザ光の伝搬方向を向いて見たときのパルスレーザ光の偏光方向を表している。

[0046] 図 6 に示すように、発振器 1 0 から出力されたパルスレーザ光の偏光方向と、偏光子 5 3 の透過軸が直交する場合は、パルスレーザ光は全成分が反射され、O P S 5 1 内の遅延光路を伝搬する。なお、発振器 1 0 から出力されたパルスレーザ光の偏光方向と、偏光子 5 3 の透過軸とが平行な場合は、パルスレーザ光は全成分が透過し、O P S 5 1 内の遅延光路を伝搬しないのでパルス幅の伸長及びパルス波形の変更はできない。

[0047] 図 6 では、偏光子 5 3 を透過したパルスレーザ光の成分は O P S 5 1 を通過し、偏光子 5 3 で反射したパルスレーザ光の成分は O P S 5 1 内の遅延光路を伝搬しているが、偏光子 5 3 を透過したパルスレーザ光の成分は O P S 5 1 内の遅延光路を伝搬し、偏光子 5 3 で反射したパルスレーザ光の成分は O P S 5 1 を通過してもよい。

[0048] 偏光子 5 3 と、凹面ミラー 5 4 a と、凹面ミラー 5 4 b とで反射されたパルスレーザ光はファラデー回転子 9 1 により偏光方向が回転する。偏光方向が回転したパルスレーザ光は偏光子 5 3 に戻り、偏光子 5 3 の透過軸に平行な成分は透過し、再び O P S 2 内の遅延光路を伝搬する。偏光子 5 3 の透過軸に直交する成分は反射され、O P S 5 1 を通過する。

[0049] なお、本明細書における「直交」又は「垂直」という用語は、文脈から明らかな場合を除き、明記がない限り、厳密に直交又は垂直である場合に限らず、技術的意義が失われることのない実用上許容される角度差の範囲を含む略直交又は略垂直の概念が含まれる。また、本明細書において「平行」という用語についても、文脈から明らかな場合を除き、明記がない限り、厳密に

平行である場合に限らず、技術的意義が失われることのない実用上許容される角度差の範囲を含む略平行の概念が含まれる。

[0050] OPS制御部72は、ファラデー回転子91のアクチュエータ120を制御して偏光方向の回転量を変更し得る。OPS制御部72は、ファラデー材料95を光軸方向に所定の移動量により移動させて偏光方向を変えるようにアクチュエータ120を制御し、ファラデー材料95の位置ごとの光センサ63の計測結果を基に、ファラデー回転子91の回転量を決定してもよい。

[0051] OPS51の遅延光路を形成する凹面ミラー54a、54b、54c、54dは、本開示における「遅延光学系」の一例である。凹面ミラー54a、54b、54c、54dは、本開示における「複数のミラー」の一例である。

[0052] 3.3 制御フローの例1

図7は、実施形態1に係るレーザ装置2Aにおける制御処理の例1を示すフローチャートである。図7には、OPS制御部72が光センサ63よりパルス波形を取得してパルス幅(TIS)を計算し、TISが目標を満たすように、ファラデー回転子91を制御するフローが示されている。

[0053] ステップS11において、OPS制御部72は、目標TISを受信する。目標TISは、例えば、不図示の加工装置又は露光装置から受信してもよい。

[0054] その後、ステップS12において、OPS制御部72は、目標TISの設定の発振の要求を出す。

[0055] ステップS13において、OPS制御部72は、TIS設定の発振は許可されたか否かを判定する。ステップS13の判定結果がNo判定である場合、OPS制御部72は、ステップS13を繰り返す。

[0056] ステップS13の判定結果がYes判定である場合、OPS制御部72は、ステップS14に進む。ステップS14において、OPS制御部72は、第1のTIS制御を行う。なお、図面において、例えば第1のTIS制御を「TIS制御1」と表記する。ステップS14に適用される第1のTIS制

御のサブルーチンについては図8を用いて後述する。

[0057] ステップS14の後のステップS15において、OPS制御部72は、目標TISの設定の終了を示す信号を送信する。

[0058] ステップS15の後にOPS制御部72は、図7のフローチャートを終了する。

[0059] 図8は、実施形態1に係るレーザ装置2Aにおける制御処理の例2を示すフローチャートである。図8に示すフローチャートは、例えば、図7のフローチャートが終了した後に実行されてよい。

[0060] ステップS20において、レーザ制御部70は、レーザ装置2Aの稼働を開始する。

[0061] ステップS21において、OPS制御部72は、目標TISを受信したか否かを判定する。ステップS21の判定結果がYes判定である場合、OPS制御部72は、ステップS22に進む。ステップS22からステップS25の各ステップは、図7におけるステップS12からステップS15の対応するステップと同様であってよく、重複する説明を省略する。

[0062] ステップS25の後のステップS26において、レーザ制御部70は、レーザ装置2Aの稼働を終了するか否かを判定する。ステップS26の判定結果がNo判定である場合、ステップS21に戻る。

[0063] また、ステップS21の判定結果がNo判定である場合、OPS制御部72は、ステップS26に進む。

[0064] ステップS26の判定結果がYes判定である場合、レーザ制御部70はレーザ装置2Aを停止させ、図8のフローチャートを終了する。

[0065] 図9は、図7のステップS14又は図8のステップS24に適用されるサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[0066] 図9のフローチャートが開始されると、ステップS30において、OPS制御部72は、磁石96に対するファラデー材料95の光軸方向の位置を初期位置に移動させる。ファラデー材料95の光軸方向の位置は、例えば、ファラデー材料95の中央位置で規定される。ファラデー材料95の初期位置

は、例えば、磁石 9 6 の中央位置であってよい。

[0067] 次に、ステップ S 3 2 において、O P S 制御部 7 2 は、発振器 1 0 からパルスレーザ光を出力させる。

[0068] ステップ S 3 3 において、O P S 制御部 7 2 は、光センサ 6 3 でパルス波形を計測する。

[0069] そして、ステップ S 3 4 において、O P S 制御部 7 2 は、計測されたパルス波形から T I S を計算し、算出された T I S の値をファラデー材料 9 5 の位置と関連付けて記憶する。

[0070] その後、ステップ S 3 6 において、O P S 制御部 7 2 は、ファラデー材料 9 5 の位置は移動最終位置か否かを判定する。ステップ S 3 6 の判定結果が N o 判定である場合、O P S 制御部 7 2 は、ステップ S 3 7 に進み、ファラデー材料 9 5 を光軸方向に移動させる。この時の移動量は例えば、0. 5 m m など、予め定められた移動量であってよい。ステップ S 3 7 の後、ステップ S 3 3 に戻る。

[0071] ステップ S 3 6 の判定結果が Y e s 判定である場合、O P S 制御部 7 2 は、ステップ S 3 8 に進む。

[0072] ステップ S 3 8 において、O P S 制御部 7 2 は、パルスレーザ光の出力を停止させる。

[0073] その後、ステップ S 3 9 において、O P S 制御部 7 2 は、T I S の目標値（目標 T I S）を満たす位置へファラデー材料 9 5 を移動させる。なお、ステップ S 3 9 の代わりに、O P S 制御部 7 2 は、T I S が最も長くなる位置にファラデー材料 9 5 を移動させてもよい。O P S 制御部 7 2 は、T I S が目標値以上になるようにアクチュエータ 1 2 0 を制御する。

[0074] ステップ S 3 9 の後、O P S 制御部 7 2 は、図 9 のフローチャートを終了し、図 7 又は図 8 のフローチャートに復帰する。

[0075] 3. 4 制御フローの例 2

図 1 0 は、実施形態 1 に係るレーザ装置 2 A における T I S 制御の変形例を示すフローチャートである。図 1 0 のフローチャートは、予め T I S とフ

ァラデー材料 95 の位置との関係を記述したテーブルデータを作成しておき、このテーブルデータに基づいてファラデー回転子 91 を制御する方法の例である。

[0076] ステップ S 40 において、O P S 制御部 72 はテーブルデータの作成及び記憶の処理を行う。ステップ S 40 に適用される処理のサブルーチンについては図 11 を用いて後述する。

[0077] ステップ S 40 の後、ステップ S 41 において、O P S 制御部 72 は発振準備完了の信号を送信する。

[0078] ステップ S 42 において、レーザ制御部 70 はレーザ装置 2 A の稼働を開始する。ステップ S 43 ～ S 48 の各ステップは、図 8 におけるステップ S 21 からステップ S 26 の対応するステップと同様であってよい。ただし、図 8 のステップ S 24 の代わりに、図 10 ではステップ S 46 を含む。

[0079] ステップ S 46 において、O P S 制御部 72 は、第 2 の T I S 制御を行う。ステップ S 46 に適用される第 2 の T I S 制御のサブルーチンについては図 12 を用いて後述する。

[0080] 図 11 は、図 10 のステップ S 40 に適用される処理のサブルーチンの例を示すフローチャートである。

[0081] 図 11 のフローチャートがスタートすると、ステップ S 50 において、O P S 制御部 72 は、磁石 96 に対するファラデー材料 95 の光軸方向の位置を初期位置に移動させる。このステップ S 50 からステップ S 54 の各ステップは、図 9 のステップ S 30 からステップ S 34 の対応するステップと同様であってよい。

[0082] ステップ S 54 の後のステップ S 55 において、O P S 制御部 72 は、ファラデー材料 95 の位置と T I S のデータとをテーブルデータに記録する。

[0083] その後、ステップ S 56 において、O P S 制御部 72 は、ファラデー材料 95 の位置は移動最終位置か否かを判定する。ステップ S 56 からステップ S 58 の各ステップは、図 9 のステップ S 36 からステップ S 38 の対応するステップと同様であってよい。

[0084] ステップS 5 3からステップS 5 7のループを繰り返すことにより、ファラデー材料9 5の位置とT I Sとの関係を示すテーブルデータが取得される。なお、ファラデー材料9 5の位置はアクチュエータ1 2 0の制御量と対応しているため、テーブルデータは、T I Sとアクチュエータ1 2 0の制御量との関係を規定したものであってもよい。

[0085] ステップS 5 8の後、O P S制御部7 2は、図1 1のフローチャートを終了し、図1 0のフローチャートに復帰する。

[0086] 図1 2は、図1 0のステップS 4 6に適用される処理のサブルーチンの例を示すフローチャートである。図1 2のフローチャートがスタートすると、ステップS 6 0において、O P S制御部7 2は、テーブルデータより目標T I Sを達成可能なファラデー材料9 5の目標位置を読み出す。

[0087] そして、ステップS 6 1において、O P S制御部7 2は、目標位置へファラデー材料9 5を移動させるように、アクチュエータ1 2 0を駆動する。

[0088] ステップS 6 1の後、O P S制御部7 2は図1 2のフローチャートを終了し、図1 0のフローチャートに復帰する。

[0089] 3. 5 効果

実施形態1に係るO P S 5 1によれば、周回光路長の変更や光学部品の変更といった光学系の構成要素の変更を行うことなく、任意のパルス幅（T I S）に変更できる。また、実施形態1に係るO P S 5 1によれば、光学系の構成要素を変更せずに、パルス幅（T I S）の目標値を満たすことができる。

[0090] 3. 6 変形例1

3. 6. 1 構成

図1 3は、実施形態1の変形例1に係るレーザ装置2 Bの構成を概略的に示す。図1 3に示す構成について、図3と異なる点を説明する。

[0091] レーザ装置2 Bの発振器1 0 Aは、図3のリアミラー1 7の代わりに、狭帯域化モジュール（L N M）1 1を含む。L N M 1 1は、スペクトル線幅を狭帯域化するためのプリズムビームエキスパンダ1 2と、グレーティング1

3とを含む。プリズムビームエキスパンダ12とグレーティング13とは、入射角度と回折角度とが一致するリトロ配置とされる。LNM11は本開示における「狭帯域化光学系」の一例である。

[0092] 出力結合ミラー18は、反射率が40%~60%の反射ミラーである。出力結合ミラー18とLNM11とは、光共振器を構成するように配置される。

[0093] 3.6.2 動作

レーザ制御部70の制御に基づき、不図示の電源より高電圧パルスがチャンバ14内の放電電極15a、15bに印加される。チャンバ14内の放電電極15a、15b間で放電が発生すると、レーザガスが励起され、出力結合ミラー18とLNM11とで構成される光共振器によって、狭帯域化された波長が150nmから380nmの紫外線波長のパルスレーザ光が出力結合ミラー18から出力される。その他の動作は、図3で説明した実施形態1に係るレーザ装置2Aの動作と同様である。

[0094] 3.6.3 効果

実施形態1の変形例1に係るレーザ装置2Bによれば、狭帯域化された紫外線波長のパルスレーザ光のパルス幅を伸長及びパルス波形を変更することができる。

[0095] また、レーザ装置2Bによれば、光学系の構成要素を変更せずに、狭帯域化された紫外線波長のパルスレーザ光を任意のパルス幅及びパルス波形に変更することができる。

[0096] 3.7 変形例2

3.7.1 構成

図14は、実施形態1の変形例2に係るレーザ装置2Cの構成を概略的に示す。図14に示す構成について、図3と異なる点を説明する。

[0097] レーザ装置2Cは、図3の発振器10の部分が、発振段レーザ10Aと増幅段レーザ30とを含むMOPPO (Master Oscillator Power Oscillator) 方式のシステムで構成される。発振段レーザ10Aと増幅段レーザ30との

間にはMOビームステアリングユニット20が配置され、増幅段レーザ30とOPS51との間にはPOビームステアリングユニット40が配置されている。

[0098] 発振段レーザ10Aは、LNM11と、チャンバ14と、出力結合ミラー18と、を含む。発振段レーザ10Aの構成は、図13で説明した発振器10と同様であってよい。

[0099] MOビームステアリングユニット20は、高反射ミラー21と、高反射ミラー22と、を含み、発振段レーザ10Aから出力されたパルスレーザ光が増幅段レーザ30に入射するように配置される。

[0100] 増幅段レーザ30は、チャンバ34と、リアミラー37と、出力結合ミラー38と、を含む。出力結合ミラー38とリアミラー37とは光共振器を構成し、この光共振器の光路上にチャンバ34が配置される。増幅段レーザ30は本開示における「増幅器」の一例である。

[0101] チャンバ34の構成は、チャンバ14と同様の構成であってもよい。チャンバ34は、1対の放電電極35a、35bと、2枚のウィンドウ36a、36bと、を含み、チャンバ34内にはエキシマレーザガスが導入される。

[0102] リアミラー37は、反射率50%~90%の部分反射ミラーであってよい。出力結合ミラー38は、反射率10%~30%の部分反射ミラーであってよい。

[0103] POビームステアリングユニット40は、高反射ミラー43と、高反射ミラー44と、を含み、増幅段レーザ30から出力されたパルスレーザ光がOPS51に入射するように配置される。

[0104] 3. 7. 2 動作

レーザ制御部70の制御に基づき、不図示の電源より高電圧パルスがチャンバ14内の放電電極15a、15b間に印加される。チャンバ14内の放電電極15a、15b間で放電が発生すると、レーザガスが励起され、出力結合ミラー18とLNM11とで構成される光共振器によって、狭帯域化された波長が150nmから380nmの紫外線波長のパルスレーザ光が出力

結合ミラー 18 から出力される。

[0105] 出力結合ミラー 18 から出力されたパルスレーザ光は、MO ビームステアリングユニット 20 を介して、増幅段レーザ 30 のリアミラー 37 にシード光として入射する。出力結合ミラー 18 から出力されるパルスレーザ光は本開示における「第 1 のパルスレーザ光」の一例である。

[0106] リアミラー 37 を透過したシード光がチャンバ 34 に入射するタイミングで、不図示の電源より高電圧パルスがチャンバ 34 内の放電電極 35 a、35 b 間に印加される。チャンバ 34 内の放電電極 35 a、35 b 間で放電が発生すると、レーザガスが励起され、出力結合ミラー 38 とリアミラー 37 とで構成されるファブリペロー型の光共振器によってシード光が増幅され、出力結合ミラー 38 から増幅されたパルスレーザ光が出力される。

[0107] 増幅段レーザ 30 から出力されたパルスレーザ光は、PO ビームステアリングユニット 40 を介して OPS 51 に入射する。OPS 51 の動作については、実施形態 1 と同様である。

[0108] 3. 7. 3 効果

実施形態 1 の変形例 2 に係るレーザ装置 2 C によれば、狭帯域化された紫外線波長の高エネルギーのパルスレーザ光のパルス幅を伸長及びパルス波形を変更することができる。

[0109] また、レーザ装置 2 C によれば、光学系の構成要素を変更せずに、狭帯域化された紫外線波長の高エネルギーのパルスレーザ光を任意のパルス幅及びパルス波形に変更することができる。

[0110] 4. 実施形態 2

4. 1 構成

図 15 は、実施形態 2 に係るレーザ装置 2 D の構成を概略的に示す。図 15 に示す構成について、図 3 と異なる点を説明する。

[0111] レーザ装置 2 D は、OPS 51 の上流にファラデー回転子 202 が配置される。ファラデー回転子 202 は、ファラデー材料 205 と、磁石 206 とを含む。ファラデー回転子 202 の構造は、図 4 及び図 5 で説明したファラ

デー回転子 91 の構造と同様であってよい。

[0112] ファラデー回転子 202 は、磁石 206 に対してファラデー材料 205 をパルスレーザ光の光軸方向に移動させる不図示のアクチュエータが配置される。以後、表記の便宜上、OPS51 の遅延光路内に配置されるファラデー回転子 91 を第 1 のファラデー回転子 91 と記載し、OPS51 の上流に配置されるファラデー回転子 202 を第 2 のファラデー回転子 202 と記載する。また、第 1 のファラデー回転子 91 のファラデー材料 95、磁石 96、及びアクチュエータ 120 を、第 1 のファラデー材料 95、第 1 の磁石 96、及び第 1 のアクチュエータ 120 と記載し、第 2 のファラデー回転子 202 のファラデー材料 205、磁石 206、及びアクチュエータを、第 2 のファラデー材料 205、第 2 の磁石 206、及び第 2 のアクチュエータと記載する。

[0113] 第 2 のアクチュエータによる第 2 のファラデー材料 205 の最大移動量は、第 2 のファラデー材料 205 のパルスレーザ光の光軸方向の長さの半量以上が望ましい。第 2 のアクチュエータの最小移動単位は、例えば 0.2 mm 程度でもよい。なお、第 2 のアクチュエータは、第 2 のファラデー材料 205 に対して第 2 の磁石 206 をパルスレーザ光の光軸方向に移動させてもよい。第 2 のアクチュエータは本開示における「第 2 の移動機構」の一例である。

[0114] 4. 2 動作

図 16 は、第 2 のファラデー回転子 202 に入射するパルスレーザ光の偏光方向と、OPS51 を通過したパルスレーザ光の偏光方向との例を示す説明図である。

[0115] 増幅段レーザ 30 から出力された特定の方向に偏光したパルスレーザ光は、第 2 のファラデー回転子 202 により偏光方向が回転する。図 16 では、偏光方向が時計回りに回転している例が示されている。

[0116] 偏光方向が回転したパルスレーザ光は偏光子 53 によって、偏光子 53 の透過軸に平行な成分は透過し、OPS51 を通過する。偏光子 53 の透過軸

に直交する成分は、偏光子 5 3 で反射し、O P S 5 1 内の遅延光路を伝搬する。

[0117] 図 1 6 では、偏光子 5 3 を透過したパルスレーザ光の成分は O P S 5 1 を通過し、偏光子 5 3 を反射したパルスレーザ光の成分は O P S 5 1 内の遅延光路を伝搬しているが、偏光子 5 3 を透過したパルスレーザ光の成分は O P S 5 1 内の遅延光路を伝搬し、反射したパルスレーザ光の成分は O P S 5 1 を通過してもよい。

[0118] 偏光子 5 3 によって反射されたパルスレーザ光は O P S 5 1 内の遅延光路上の第 1 のファラデー回転子 9 1 で偏光方向が回転する。第 1 のファラデー回転子 9 1 で偏光方向が回転したパルスレーザ光は偏光子 5 3 に戻り、偏光子 5 3 の透過軸に平行な成分は透過し、再び O P S 5 1 内の遅延光路を伝搬する。遅延光路を伝搬して偏光子 5 3 に戻ったパルスレーザ光のうち偏光子 5 3 の透過軸に直交する成分は反射され、O P S 5 1 を通過する。

[0119] 図 1 6 の構成によれば、O P S 5 1 の遅延光路を周回せずに、偏光子 5 3 を透過して O P S 5 1 から出力される 0 周回光の偏光方向と、遅延光路を 1 周回以上周回した後に O P S 5 1 から出力される 1 周回以降の周回光の偏光方向とが異なり、偏光の回転量の調整を 2 箇所で行うことができるため、実施形態 1 の構成に比べて、パルス幅等の変更の自由度がさらに大きい。

[0120] O P S 制御部 7 2 は、第 1 のファラデー回転子 9 1 の第 1 のアクチュエータ 1 2 0 を制御して、偏光方向の回転量を変更してもよい。O P S 制御部 7 2 は、第 2 のファラデー回転子 2 0 2 の第 2 のアクチュエータを制御して、偏光方向の回転量を変更してもよい。

[0121] O P S 制御部 7 2 は、光センサ 6 3 の計測結果を基に第 1 のファラデー回転子 9 1 の回転量を決定してもよい。O P S 制御部 7 2 は、光センサ 6 3 の計測結果を基に第 2 のファラデー回転子 2 0 2 の回転量を決定してもよい。O P S 制御部 7 2 は、レーザ装置 2 D から出力されるパルスレーザ光のパルス波形の前半部分の波形を変えるために第 2 のファラデー回転子 2 0 2 の回転量を制御してもよい。O P S 制御部 7 2 は、レーザ装置 2 D から出力され

るパルスレーザ光のパルス波形の後半部分の波形を変えるために第1のファラデー回転子91の回転量を制御してもよい。

[0122] 4. 3 制御フローの例

図17は、実施形態2に係るレーザ装置2Dにおける制御処理の例を示すフローチャートである。図17のフローチャートについて、図7と異なる点を説明する。

[0123] 図17のステップS71からステップS73は図7のステップS11からステップS13の対応するステップと同様である。図17のフローチャートは、図7のステップS14に代えて、ステップS74を含む。

[0124] ステップS73の判定結果がYes判定である場合、OPS制御部72は、ステップS74に進む。ステップS74において、OPS制御部72は、第3のTIS制御を行う。ステップS74に適用される第3のTIS制御のサブルーチンについては図18を用いて後述する。

[0125] ステップS74の後のステップS75は、図7のステップS15と同様である。ステップS75の後にOPS制御部72は、図17のフローチャートを終了する。

[0126] 図18は、第3のTIS制御の例を示すフローチャートである。図18のフローチャートは、図17のステップS74に適用される処理のサブルーチンの例である。図18において、図示の便宜上、第1のファラデー材料95を「ファラデー材料1」、第1の磁石96を「磁石1」、第2のファラデー材料205を「ファラデー材料2」、第2の磁石206を「磁石2」と表記する。

[0127] 図18のフローチャートが開始されると、ステップS80において、OPS制御部72は、第1の磁石96に対する第1のファラデー材料95の光軸方向の位置を初期位置に移動させる。ステップS80は、図9のステップS30と同様であってよい。

[0128] 次に、ステップS81において、OPS制御部72は、第2の磁石206に対する第2のファラデー材料205の光軸方向の位置を初期位置に移動さ

せる。第2のファラデー材料205の光軸方向の位置は、例えば、第2のファラデー材料205の中央位置で規定される。第2のファラデー材料205の初期位置は、例えば、第2の磁石206の中央位置であってよい。ステップS81の後、OPS制御部72はステップS82に進む。

[0129] 次に、ステップS82において、OPS制御部72は、発振器10からパルスレーザ光を出力させる。

[0130] ステップS83において、OPS制御部72は、光センサ63でパルス波形を計測する。そして、ステップS84において、OPS制御部72は、計測されたパルス波形からTISを計算し、その値を第1のファラデー材料95の位置及び第2のファラデー材料205の位置と関連付けて記憶する。

[0131] その後、ステップS86において、OPS制御部72は、第1のファラデー材料95の位置は移動最終位置か否かを判定する。ステップS86の判定結果がNo判定である場合、OPS制御部72は、ステップS87に進み、第1のファラデー材料95を光軸方向に移動させる。ステップS86及びステップS87は、図9のステップS36及びステップS37と同様である。ステップS87の後、ステップS83に戻る。

[0132] ステップS86の判定結果がYes判定である場合、OPS制御部72は、ステップS90に進む。ステップS90において、OPS制御部72は、第2のファラデー材料205の位置は移動最終位置か否かを判定する。ステップS90の判定結果がNo判定である場合、OPS制御部72は、ステップS91に進み、第1のファラデー材料95を初期位置に移動させる。

[0133] その後、ステップS92において、OPS制御部72は、第2のファラデー材料205を光軸方向に移動させる。この時の移動量は例えば、0.5mmなど、予め定められた移動量であってよい。ステップS92の後、ステップS83に戻る。

[0134] ステップS90の判定結果がYes判定である場合、OPS制御部72は、ステップS94に進む。ステップS94において、OPS制御部72は、パルスレーザ光の出力を停止させる。

[0135] その後、ステップS 9 6において、O P S制御部7 2は、T I Sの目標値（目標T I S）を満たす位置へ第1のファラデー材料9 5と第2のファラデー材料2 0 5とを移動させる。ステップS 9 6の代わりに、O P S制御部7 2は、T I Sが最も長くなる位置に第1のファラデー材料9 5と第2のファラデー材料2 0 5とを移動させてもよい。

[0136] ステップS 9 6の後、O P S制御部7 2は、図1 8のフローチャートを終了し、図1 7のフローチャートに復帰する。

[0137] なお、図1 7及び図1 8で説明したフローチャートに限らず、図1 0及び図1 1で説明した例と同様に、T I Sと第1のファラデー材料9 5の位置と第2のファラデー材料2 0 5の位置との関係を記述したテーブルデータを作成しておき、このテーブルデータに基づいて第1のファラデー回転子9 1及び第2のファラデー回転子2 0 2を制御してもよい。

[0138] 4. 4 効果

実施形態2によれば、周回光路長の変更や光学部品の変更といった光学系の構成要素の変更を行うことなく、パルスレーザ光のパルス幅を伸長及びパルス波形を変更することができる。また、実施形態2によれば、光学系の構成要素を変更せずに、パルス幅（T I S）の目標値を満たすことができる。

[0139] O P S 5 1に入射するパルスレーザ光の偏光方向と偏光子5 3の透過軸とを直交させた場合、パルスレーザ光は、偏光子5 3で全成分が反射され遅延光路を伝搬する。そして、偏光子5 3の透過軸に直交するパルスレーザ光の成分のみが偏光子5 3で反射され、O P S 5 1を通過する。このため、O P S 5 1を透過したパルスレーザ光は偏光子5 3の透過軸に直交する成分のみ（偏光純度が高い）になる。実施形態2の構成は、露光装置用光源等、高い偏光純度が要求される用途に適用できる。

[0140] 4. 5 変形例1

4. 5. 1 構成

図1 9は、実施形態2の変形例1に係るレーザ装置2 Eの構成を概略的に示す。図1 9に示す構成について、図1 5と異なる点を説明する。

[0141] レーザ装置 2 E の発振器 1 0 A は、図 1 5 のリアミラー 1 7 の代わりに、L N M 1 1 を含む。L N M 1 1 の構成は、図 1 3 と同様であってよい。

[0142] 4. 5. 2 動作

レーザ装置 2 E の発振器 1 0 A の動作は、図 1 3 の発振器 1 0 A と同様である。その他の動作は、図 1 5 で説明した実施形態 2 に係るレーザ装置 2 D の動作と同様である。

[0143] 4. 5. 3 効果

実施形態 2 の変形例 1 に係るレーザ装置 2 E によれば、狭帯域化された紫外線波長のパルスレーザ光のパルス幅を伸長及びパルス波形を変更することができる。

[0144] また、レーザ装置 2 E によれば、光学系の構成要素を変更せずに、狭帯域化された紫外線波長のパルスレーザ光を任意のパルス幅及びパルス波形に変更することができる。

[0145] 4. 6 変形例 2

4. 6. 1 構成

図 2 0 は、実施形態 2 の変形例 2 に係るレーザ装置 2 F の構成を概略的に示す。図 2 0 に示す構成について、図 1 5 と異なる点を説明する。

[0146] レーザ装置 2 F は、図 1 9 の発振器 1 0 A の部分が、発振段レーザ 1 0 A と増幅段レーザ 3 0 とを含む M O P O (Master Oscillator Power Oscillator) 方式のシステムで構成される。発振段レーザ 1 0 A と増幅段レーザ 3 0 との間には M O ビームステアリングユニット 2 0 が配置され、増幅段レーザ 3 0 と O P S 5 1 との間には P O ビームステアリングユニット 4 0 が配置されている。

[0147] 発振段レーザ 1 0 A、M O ビームステアリングユニット 2 0、増幅段レーザ 3 0 及び P O ビームステアリングユニット 4 0 の構成は、図 1 4 と同様であってよい。

[0148] 4. 6. 2 動作

レーザ装置 2 F の動作は、レーザ装置 2 C の動作と同様である。

[0149] 4. 6. 3 効果

実施形態2の変形例2に係るレーザ装置2Fによれば、狭帯域化された紫外線波長の高エネルギーのパルスレーザ光のパルス幅を伸長及びパルス波形を変更することができる。

[0150] また、レーザ装置2Fによれば、光学系の構成要素を変更せずに、狭帯域化された紫外線波長の高エネルギーのパルスレーザ光を任意のパルス幅及びパルス波形に変更することができる。

[0151] 5. レーザ装置の変形例

図14及び図19に示す発振段レーザ10Aの構成に限らず、例えば、半導体レーザと、波長変換システムとを含む固体レーザシステムを採用してもよい。波長変換システムは非線形光学結晶を用いて構成し得る。すなわち、発振段レーザは、ガスレーザに限らず、紫外線波長のパルスレーザ光を出力する紫外線固体レーザであってもよい。例えば、発振段レーザは、波長約193.4nmを発振する固体レーザ、あるいは、チタンサファイヤレーザ（波長約774nm）の第4高調波光を出力する紫外線固体レーザでもよい。

[0152] 増幅器は、図14に示す増幅段レーザ30のようなファブリペロー型の共振器を有する構成に限らず、リング共振器を有する構成であってもよい。また、増幅器は、光共振器を有する構成に限らず、単なる増幅器、例えば、エキシマ増幅器であってもよい。増幅器は、シード光をシリンドリカルミラーで反射して放電空間を3回通過させることにより増幅を行う3パス増幅器などのマルチパス増幅器であってもよい。

[0153] 6. 電子デバイスの製造方法について

図21は、露光装置80の構成例を概略的に示す。露光装置80は、照明光学系804と投影光学系806とを含む。レーザ装置2Aはレーザ光を生成し、レーザ光を露光装置80に出力する。照明光学系804は、レーザ装置2Aから入射したレーザ光によって、レチクルステージRT上に配置された不図示のレチクルのレチクルパターンを照明する。投影光学系806は、レチクルを透過したレーザ光を、縮小投影してワークピーステーブルWT上

に配置された不図示のワークピースに結像させる。ワークピースはフォトリソが塗布された半導体ウエハ等の感光基板である。

[0154] 露光装置 80 は、レチクルステージ RT とワークピーステーブル WT とを同期して平行移動させることにより、レチクルパターンを反映したレーザ光をワークピースに露光する。以上のような露光工程によって半導体ウエハにレチクルパターンを転写後、複数の工程を経ることで半導体デバイスを製造できる。半導体デバイスは本開示における「電子デバイス」の一例である。レーザ装置 2A に限らず、レーザ装置 2B ～ 2F などを用いてもよい。

[0155] 7. その他

上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図している。したがって、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る。また、本開示の実施形態を組み合わせ使用することも当業者には明らかである。

[0156] 本明細書及び特許請求の範囲全体で使用される用語は、明記が無い限り「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」、「有する」、「備える」、「具備する」などの用語は、「記載されたもの以外の構成要素の存在を除外しない」と解釈されるべきである。また、修飾語「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。また、「A、B及びCの少なくとも1つ」という用語は、「A」「B」「C」「A+B」「A+C」「B+C」又は「A+B+C」と解釈されるべきである。さらに、それらと「A」「B」「C」以外のものとの組み合わせも含むと解釈されるべきである。

請求の範囲

- [請求項1] パルスレーザー光のパルス幅を伸長する光学パルスストレッチャであって、
- 入射した前記パルスレーザー光の特定の偏光方向の成分を分離する偏光子と、
- 前記偏光子を反射又は透過した前記パルスレーザー光が伝搬する複数のミラーを含む遅延光学系と、
- 第1の磁石と第1のファラデー材料とを含み、前記遅延光学系の光路上に配置され前記パルスレーザー光の偏光方向を回転させる第1のファラデー回転子と、
- を備える、
- 光学パルスストレッチャ。
- [請求項2] 請求項1に記載の光学パルスストレッチャであって、
- 前記第1のファラデー回転子における前記パルスレーザー光の偏光方向の回転量を変更可能な第1のアクチュエータと、
- 前記第1のアクチュエータを制御するプロセッサと、をさらに備える、
- 光学パルスストレッチャ。
- [請求項3] 請求項2に記載の光学パルスストレッチャであって、
- 前記第1のアクチュエータは、前記第1の磁石に対する前記第1のファラデー材料の前記パルスレーザー光の光軸方向の位置を変える第1の移動機構である、
- 光学パルスストレッチャ。
- [請求項4] 請求項1に記載の光学パルスストレッチャであって、
- 第2の磁石と第2のファラデー材料とを含み、前記偏光子に入射する前記パルスレーザー光の偏光方向を回転させる第2のファラデー回転子を
- さらに備える、光学パルスストレッチャ。

- [請求項5] 請求項4に記載の光学パルスストレッチャであって、
 前記第1のファラデー回転子における前記パルスレーザ光の偏光方向の回転量を変更可能な第1のアクチュエータと、
 前記第2のファラデー回転子における前記パルスレーザ光の偏光方向の回転量を変更可能な第2のアクチュエータと、
 前記第1のアクチュエータ及び前記第2のアクチュエータを制御するプロセッサと、
 をさらに備える、光学パルスストレッチャ。
- [請求項6] 請求項5に記載の光学パルスストレッチャであって、
 前記第1のアクチュエータは、前記第1の磁石に対する前記第1のファラデー材料の前記パルスレーザ光の光軸方向の位置を変える第1の移動機構であり、
 前記第2のアクチュエータは、前記第2の磁石に対する前記第2のファラデー材料の前記パルスレーザ光の光軸方向の位置を変える第2の移動機構である、
 光学パルスストレッチャ。
- [請求項7] 請求項1に記載の光学パルスストレッチャであって、
 前記光学パルスストレッチャに入射する前記パルスレーザ光の偏光方向と前記偏光子の透過軸とが直交する、
 光学パルスストレッチャ。
- [請求項8] 請求項1に記載の光学パルスストレッチャであって、
 前記複数のミラーは、4枚の凹面ミラーを含む、
 光学パルスストレッチャ。
- [請求項9] 請求項4に記載の光学パルスストレッチャであって、
 前記第1のファラデー材料及び前記第2のファラデー材料のそれぞれは、フッ化カルシウム又は合成石英である、
 光学パルスストレッチャ。
- [請求項10] パルスレーザ光を出力する発振器と、

前記パルスレーザ光のパルス幅を伸長する光学パルスストレッチャと、を備え、

前記光学パルスストレッチャは、

入射した前記パルスレーザ光の特定の偏光方向を分離する偏光子と、

前記偏光子を反射又は透過した前記パルスレーザ光が伝搬する複数のミラーを含む遅延光学系と、

第1の磁石と第1のファラデー材料とを含み、前記遅延光学系の光路上に配置され前記パルスレーザ光の偏光方向を回転させる第1のファラデー回転子と、

を備える、レーザ装置。

[請求項11]

請求項10に記載のレーザ装置であって、

前記パルスレーザ光の偏光方向の回転量を変更可能な第1のアクチュエータと、

前記第1のアクチュエータを制御するプロセッサと、

をさらに備える、レーザ装置。

[請求項12]

請求項11に記載のレーザ装置であって、

前記第1のアクチュエータは、前記第1の磁石に対する前記第1のファラデー材料の前記パルスレーザ光の光軸方向の位置を変える第1の移動機構である、

レーザ装置。

[請求項13]

請求項11に記載のレーザ装置であって、

前記光学パルスストレッチャを通過した前記パルスレーザ光のパルス波形を計測する光センサをさらに備え、

前記プロセッサは、前記パルス波形からパルス幅を算出し、前記パルス幅が目標値以上になるように前記第1のアクチュエータを制御する、

レーザ装置。

- [請求項14] 請求項 1 1 に記載のレーザ装置であって、
前記プロセッサは、前記光学パルスストレッチャを通過した前記パルスレーザ光のパルス幅と、前記第 1 のアクチュエータの制御量との関係を示すテーブルデータを用いて、前記パルス幅が目標値以上になるように前記第 1 のアクチュエータを制御する、
レーザ装置。
- [請求項15] 請求項 1 0 に記載のレーザ装置であって、
前記光学パルスストレッチャに入射する前記パルスレーザ光の偏光方向と前記偏光子の透過軸とが直交する、
レーザ装置。
- [請求項16] 請求項 1 0 に記載のレーザ装置であって、
前記発振器は、紫外線波長の前記パルスレーザ光のスペクトル線幅を狭帯域化する狭帯域化光学系を含む、
レーザ装置。
- [請求項17] 請求項 1 0 に記載のレーザ装置であって、
前記発振器は、
紫外線波長の第 1 のパルスレーザ光を出力する発振段レーザと、
前記発振段レーザから出力された前記第 1 のパルスレーザ光を増幅して出力する増幅器と、を含む、
レーザ装置。
- [請求項18] 請求項 1 0 に記載のレーザ装置であって、
第 2 の磁石と第 2 のファラデー材料とを含み、前記光学パルスストレッチャに入射する前記パルスレーザ光の偏光方向を回転させる第 2 のファラデー回転子を
さらに備える、レーザ装置。
- [請求項19] 請求項 1 8 に記載のレーザ装置であって、
前記第 1 のファラデー回転子における前記パルスレーザ光の偏光方向の回転量を変更可能な第 1 のアクチュエータと、

前記第2のファラデー回転子における前記パルスレーザ光の偏光方向の回転量を変更可能な第2のアクチュエータと、

前記第1のアクチュエータ及び前記第2のアクチュエータを制御するプロセッサと、

をさらに備える、レーザ装置。

[請求項20]

電子デバイスの製造方法であって、

パルスレーザ光を出力する発振器と、

前記パルスレーザ光のパルス幅を伸長する光学パルスストレッチャと、を備え、

前記光学パルスストレッチャは、

入射した前記パルスレーザ光の特定の偏光方向を分離する偏光子と

、

前記偏光子を反射又は透過した前記パルスレーザ光が伝搬する複数のミラーを含む遅延光学系と、

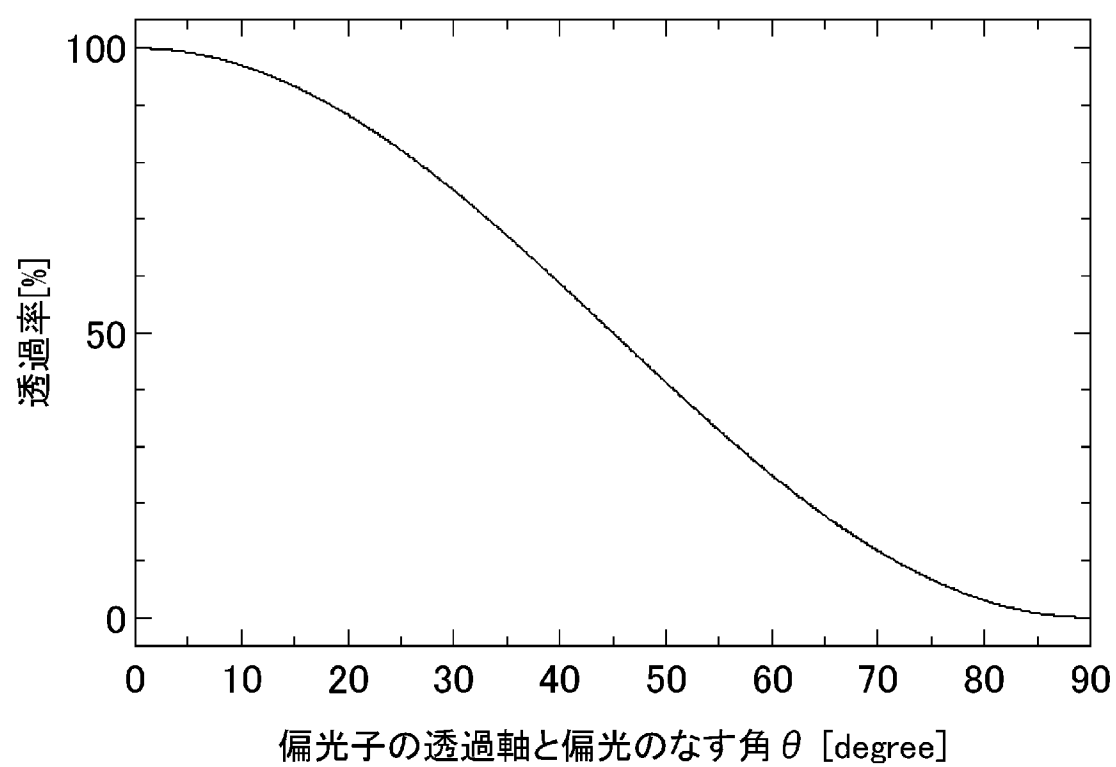
第1の磁石と第1のファラデー材料とを含み、前記遅延光学系の光路上に配置され前記パルスレーザ光の偏光方向を回転させる第1のファラデー回転子と、

を備える、レーザ装置によって前記パルス幅が伸長されたレーザ光を生成し、

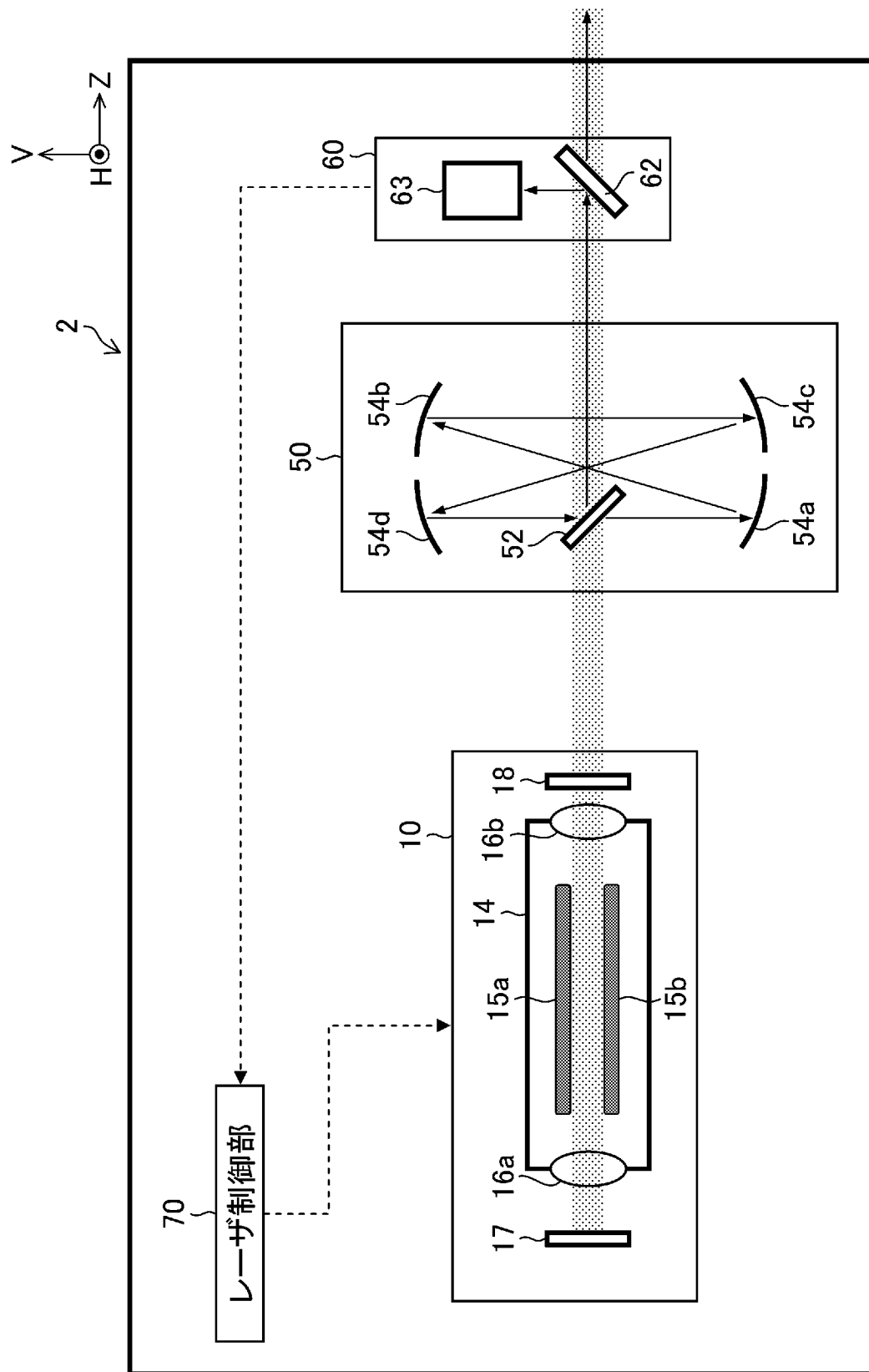
前記レーザ光を露光装置に出力し、

電子デバイスを製造するために、前記露光装置内で感光基板に前記レーザ光を露光することを含む電子デバイスの製造方法。

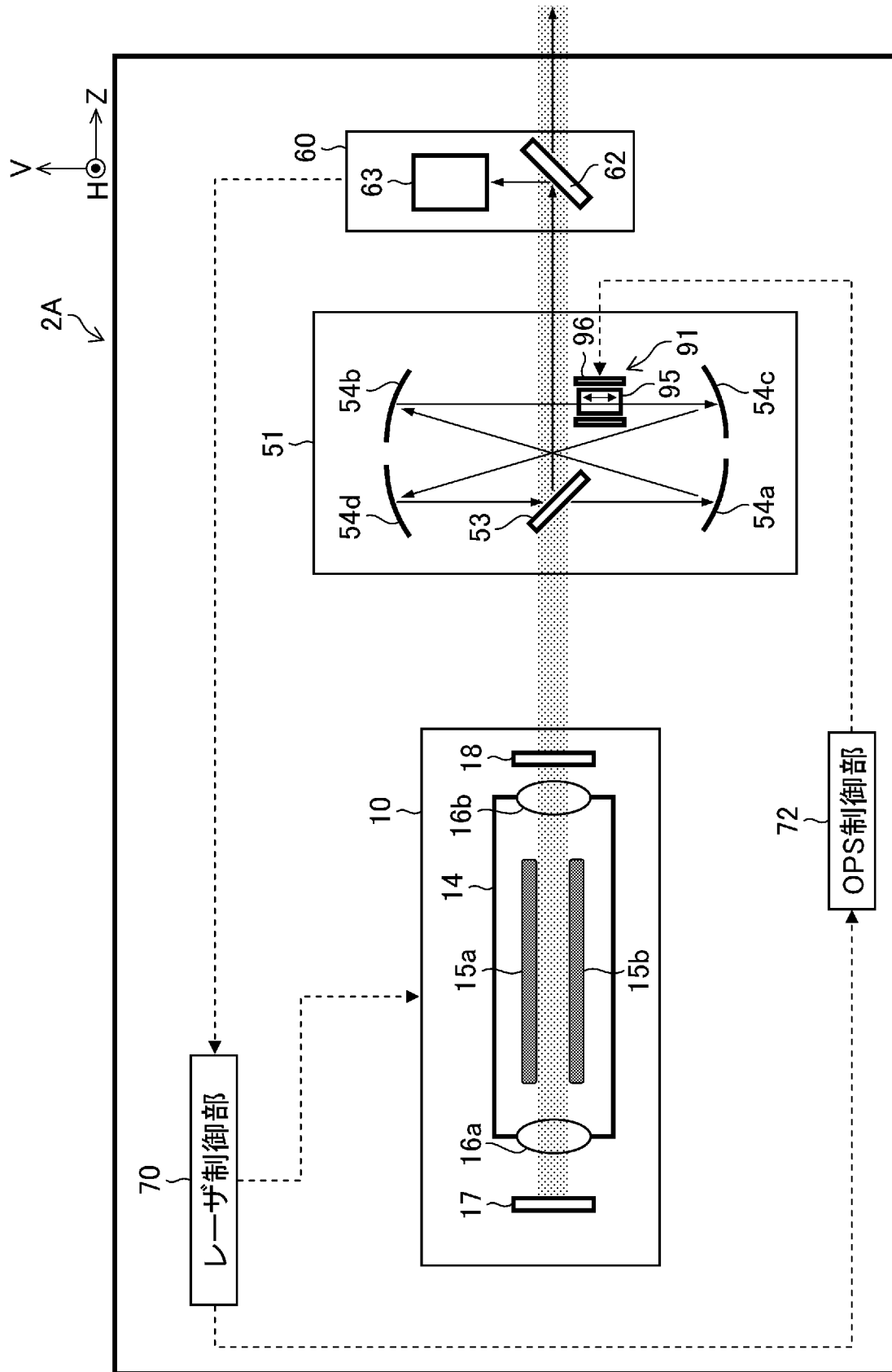
[図1]



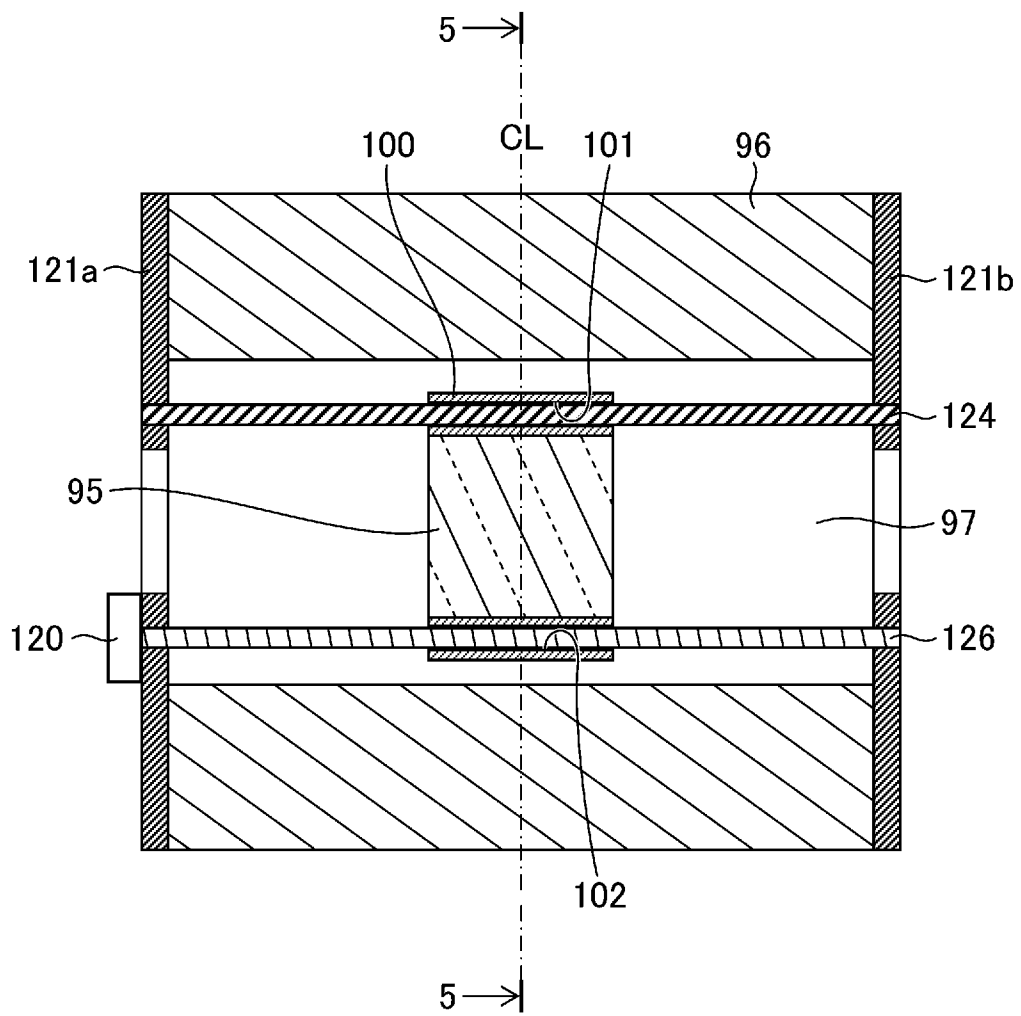
[図2]



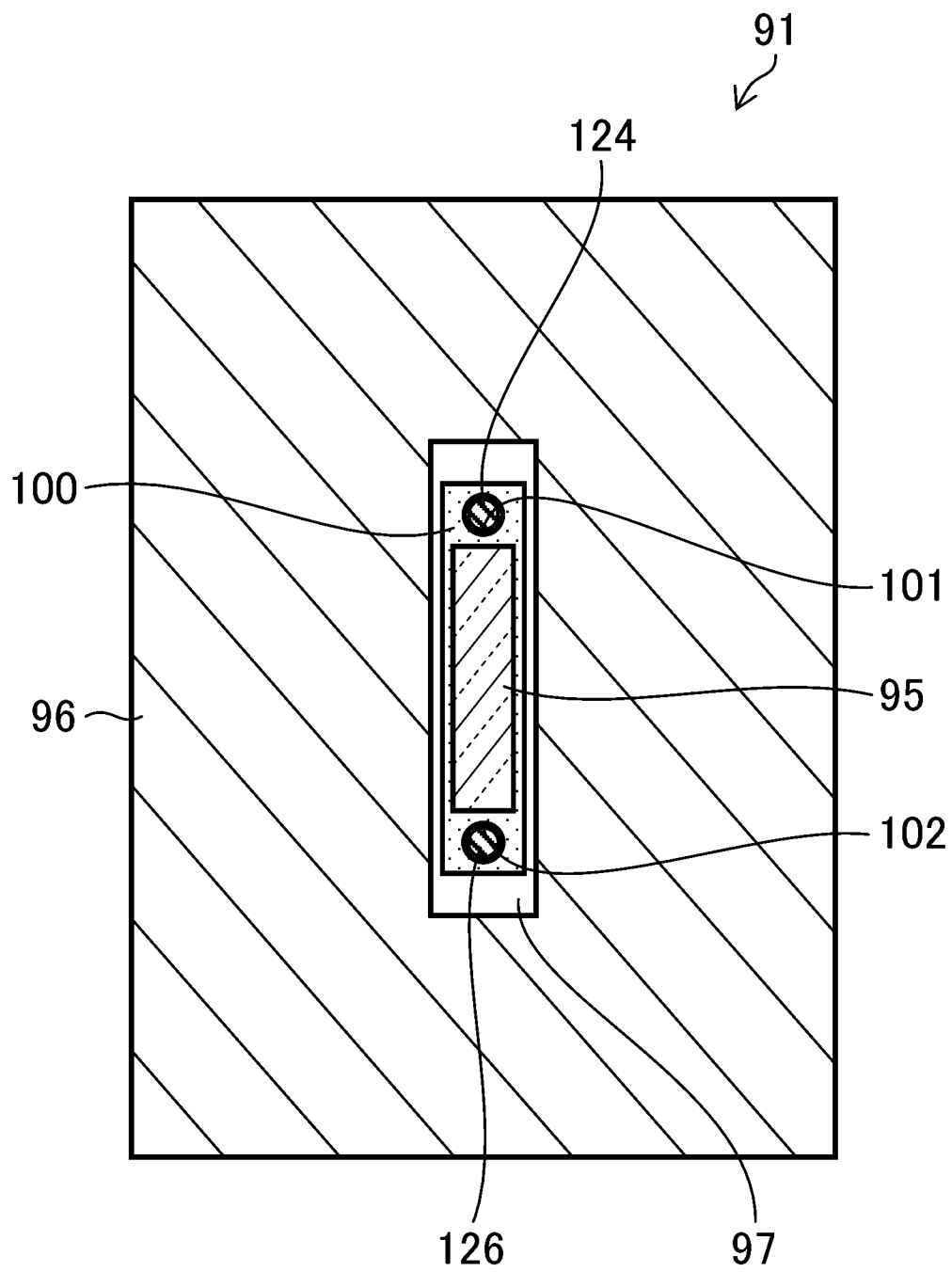
[図3]



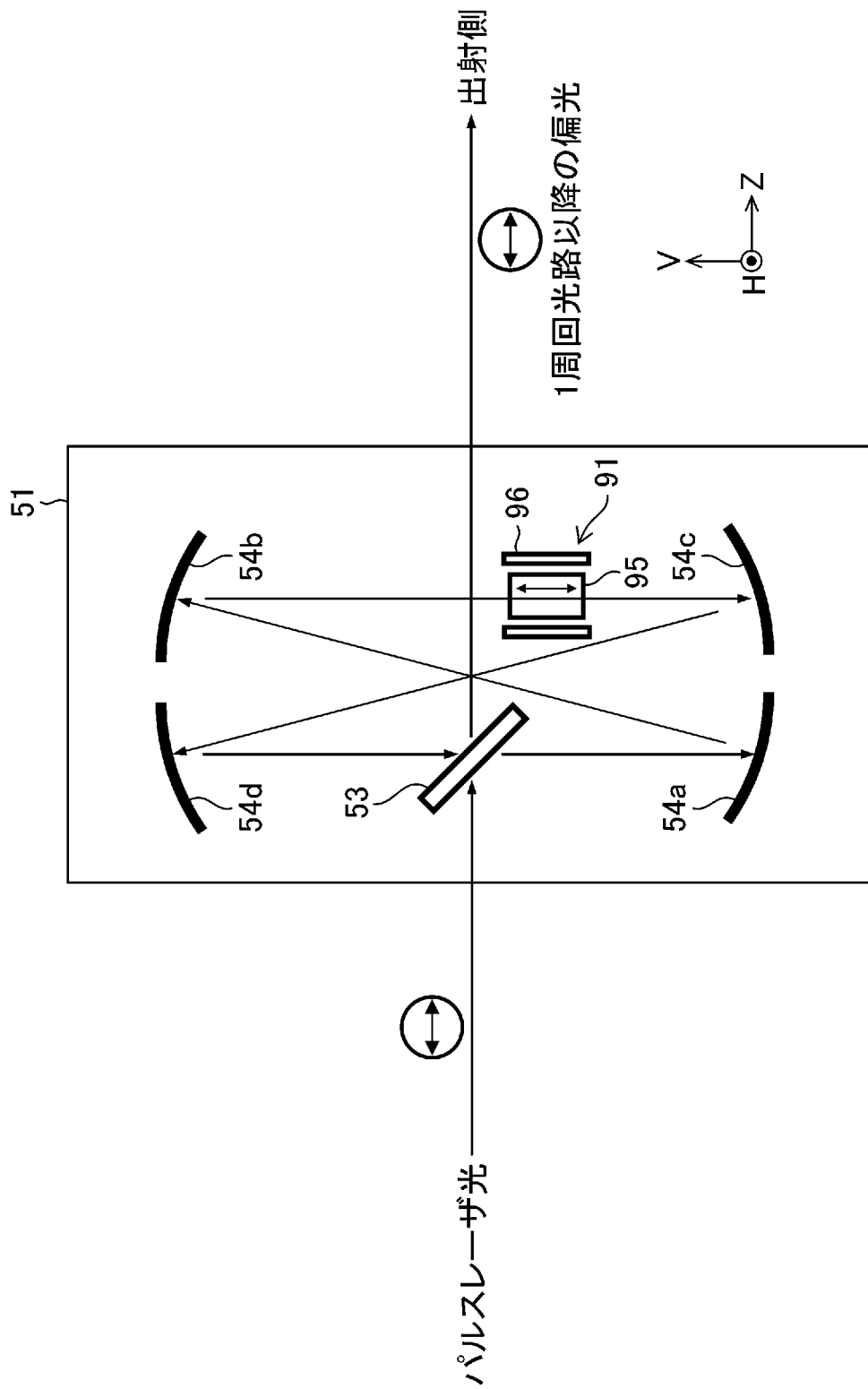
[図4]



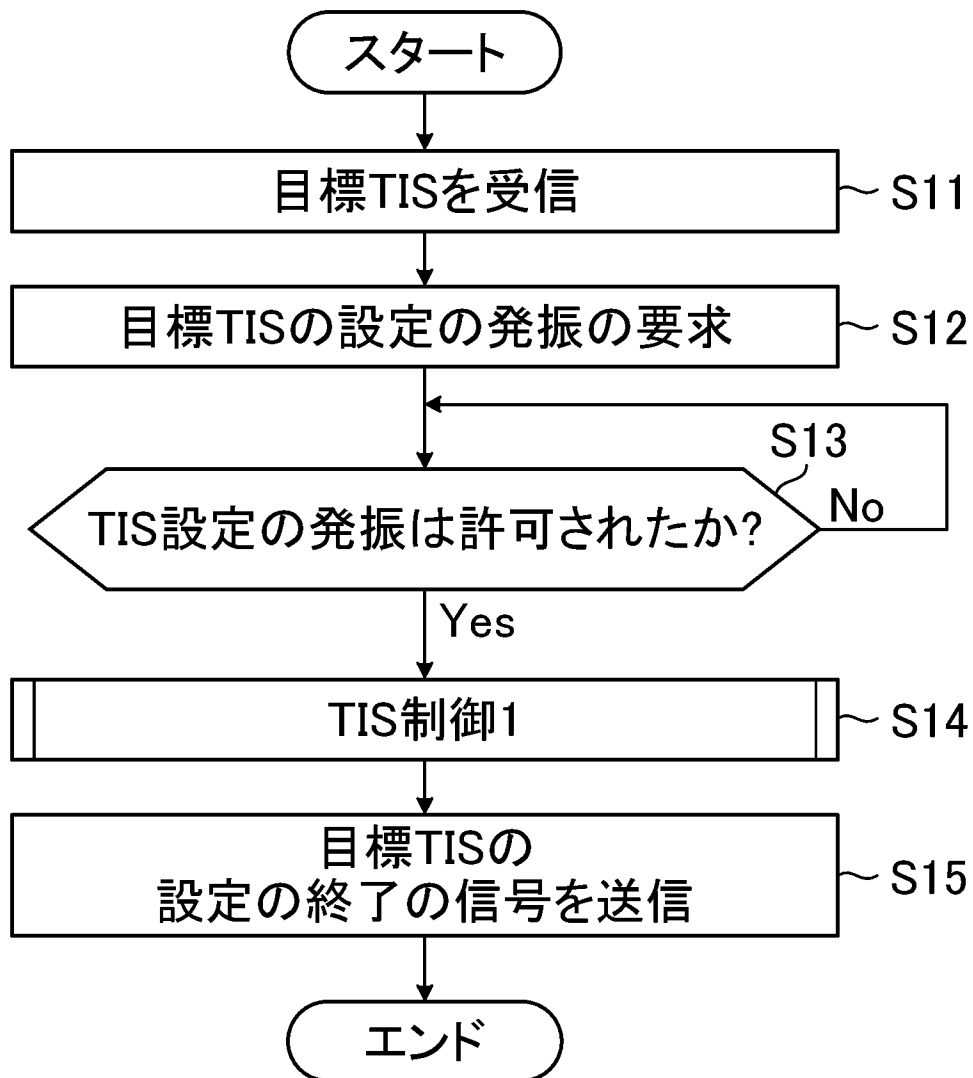
[図5]



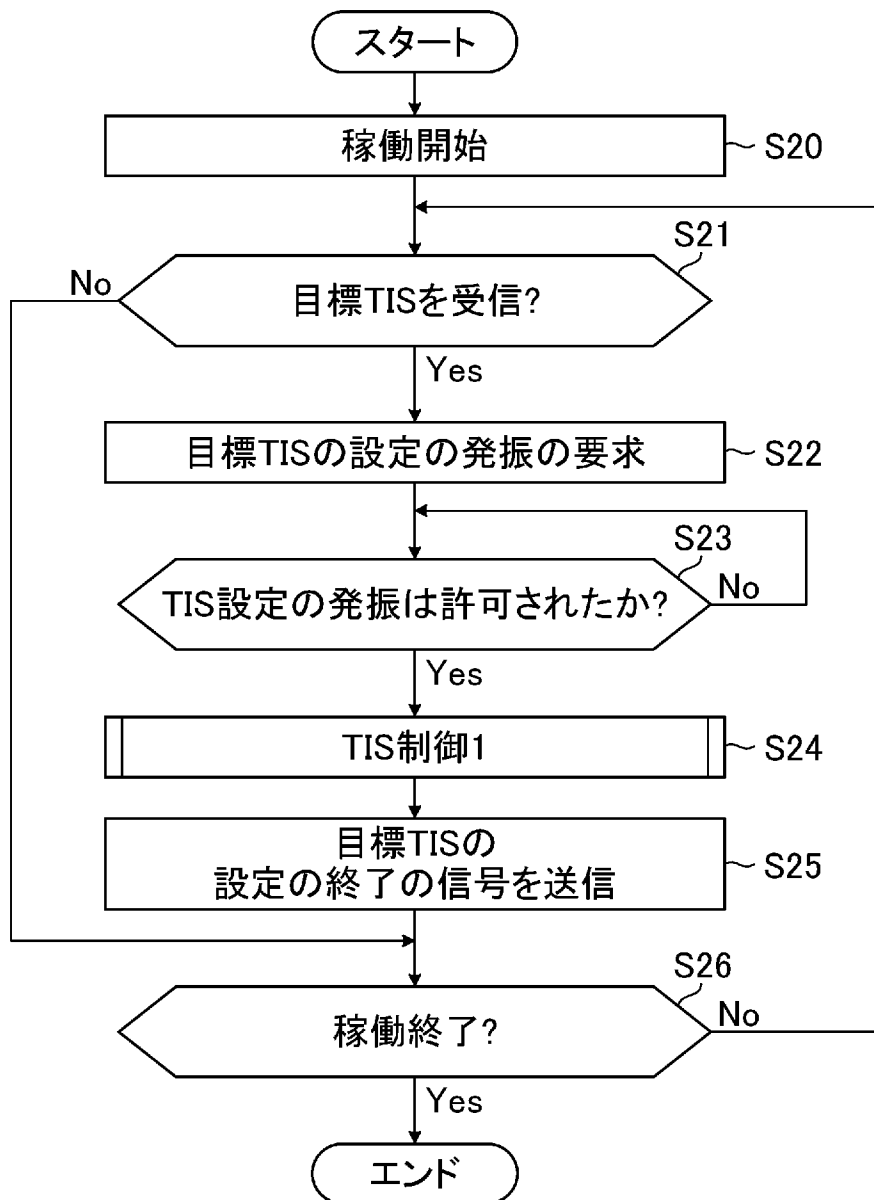
[図6]



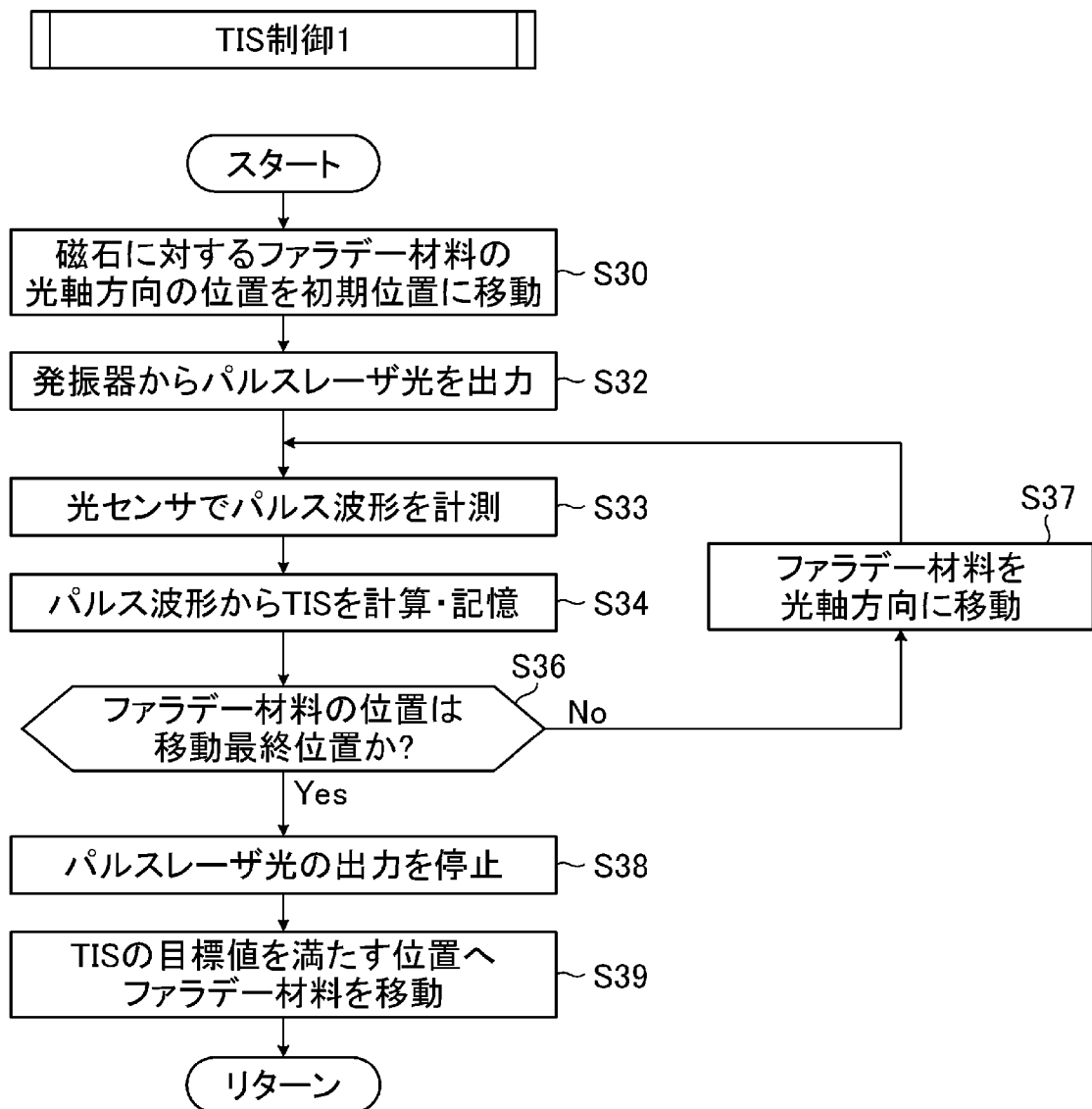
[図7]



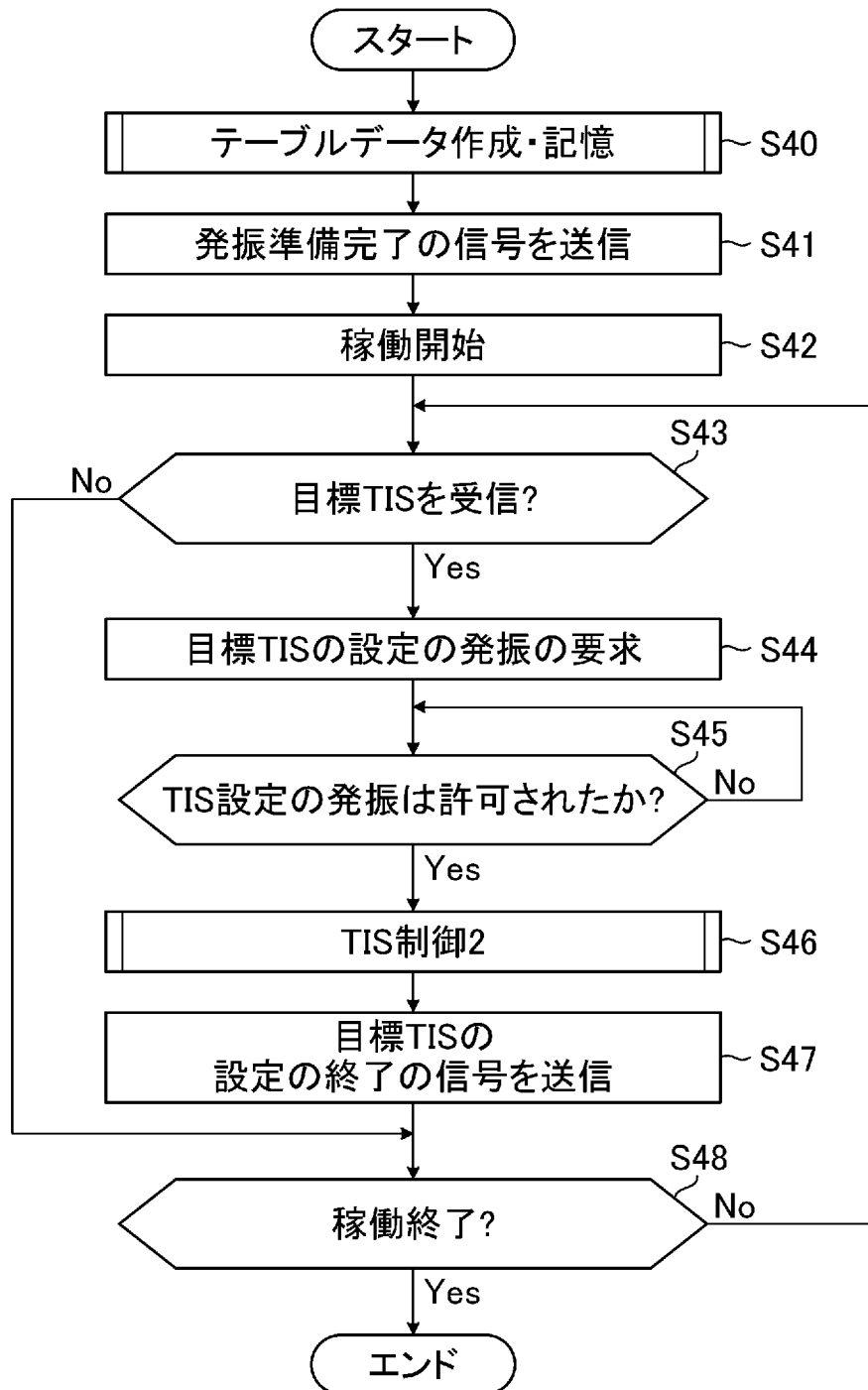
[図8]



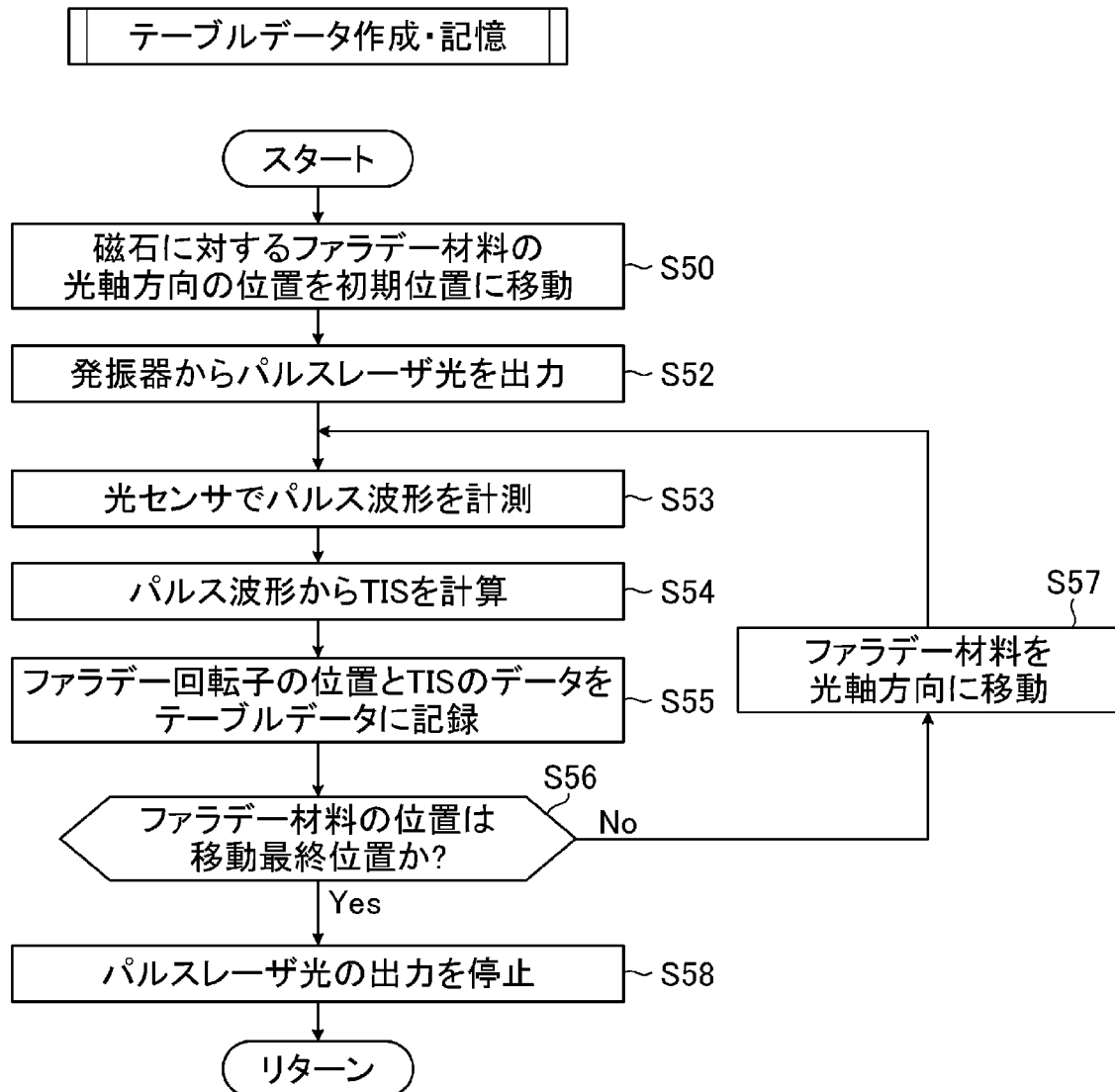
[図9]



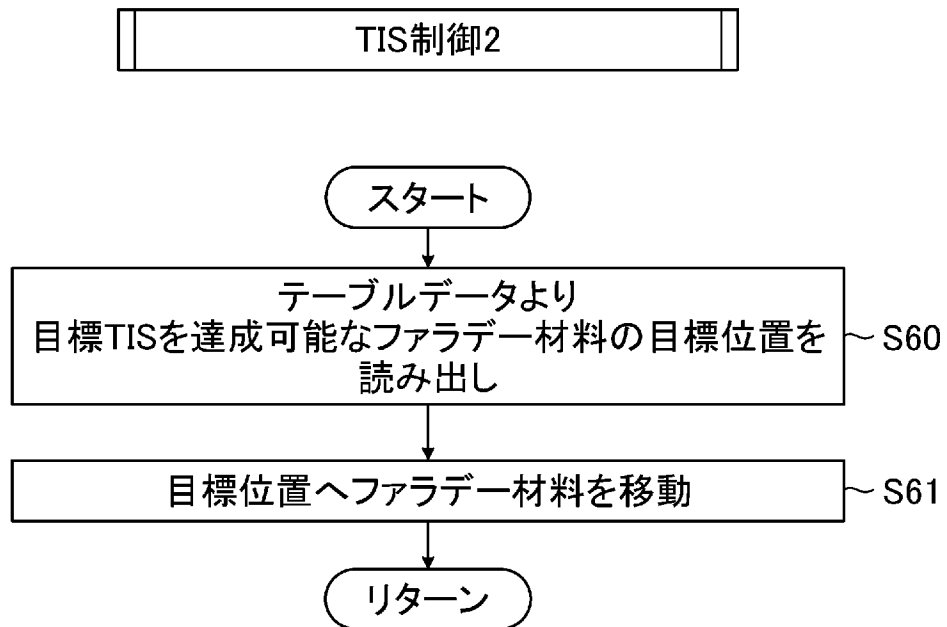
[図10]



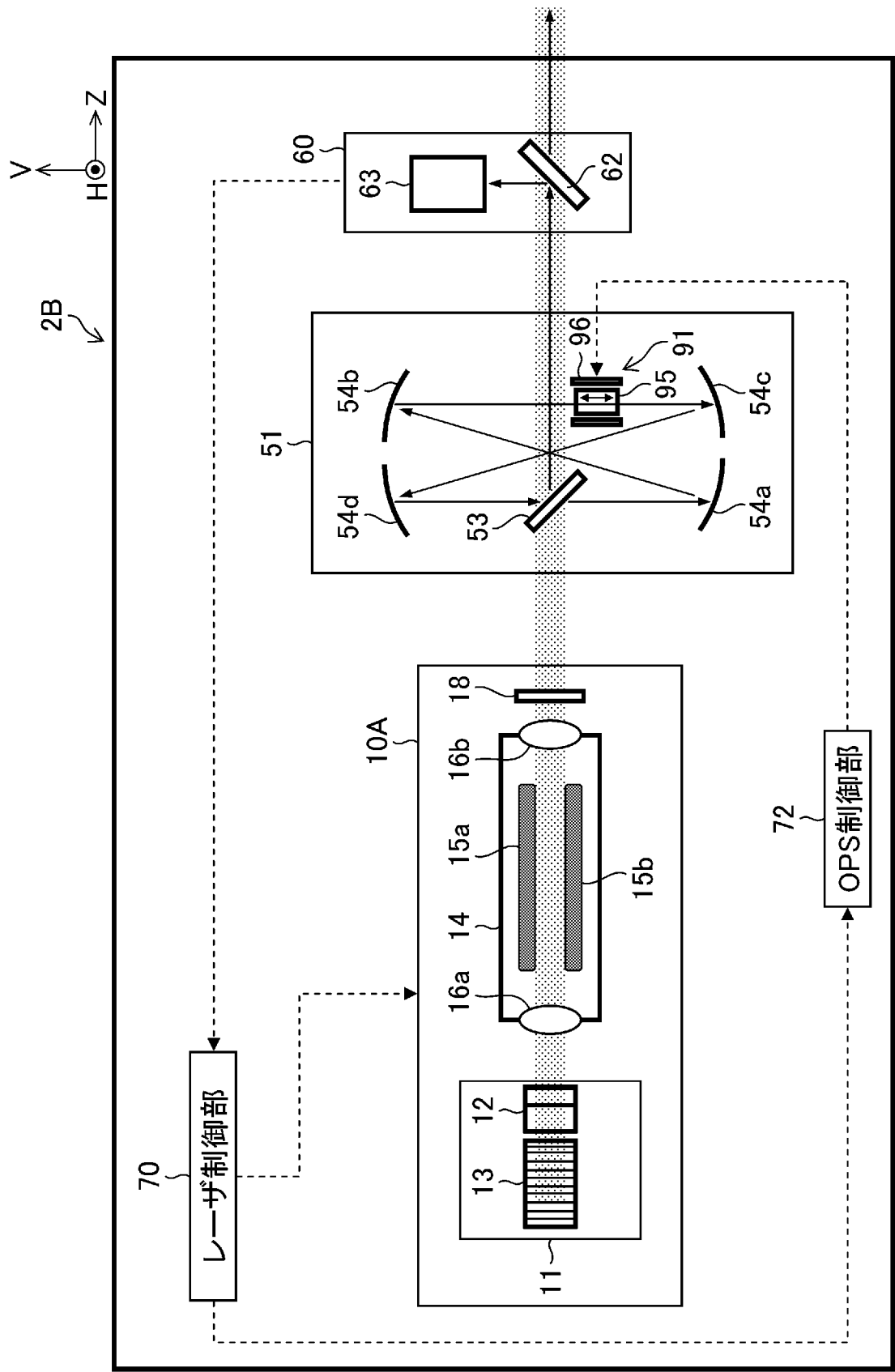
[図11]



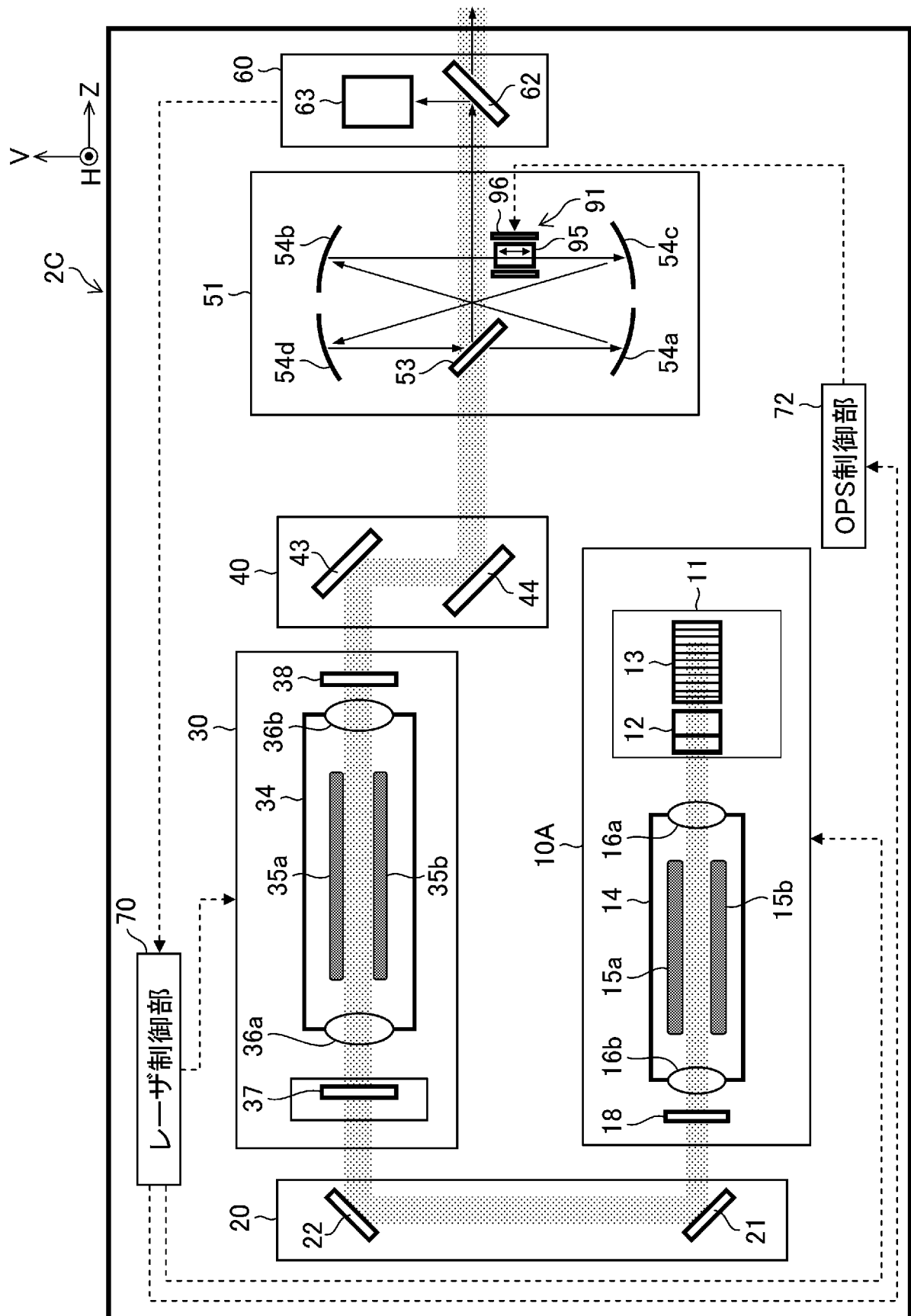
[図12]



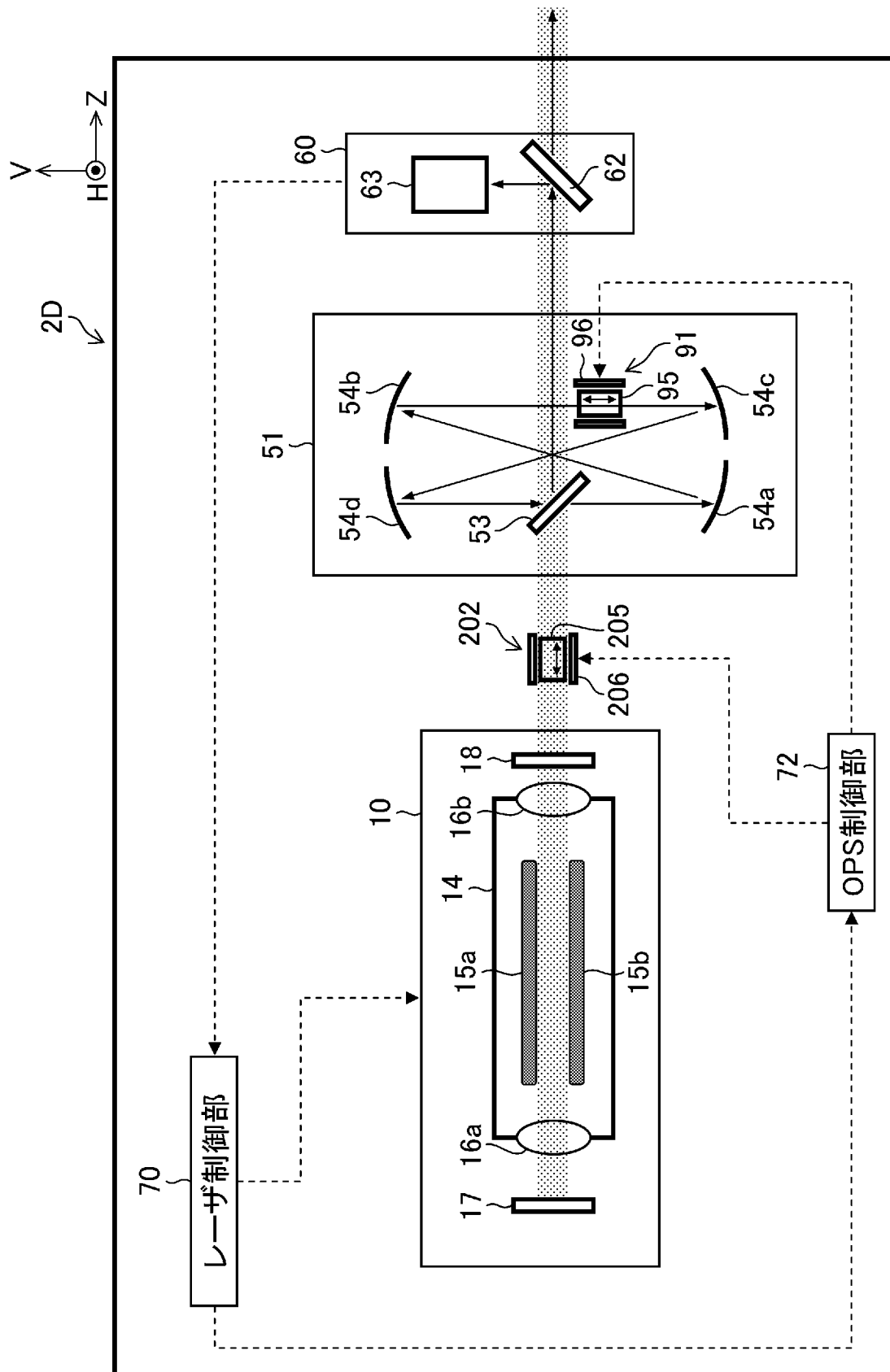
[図13]



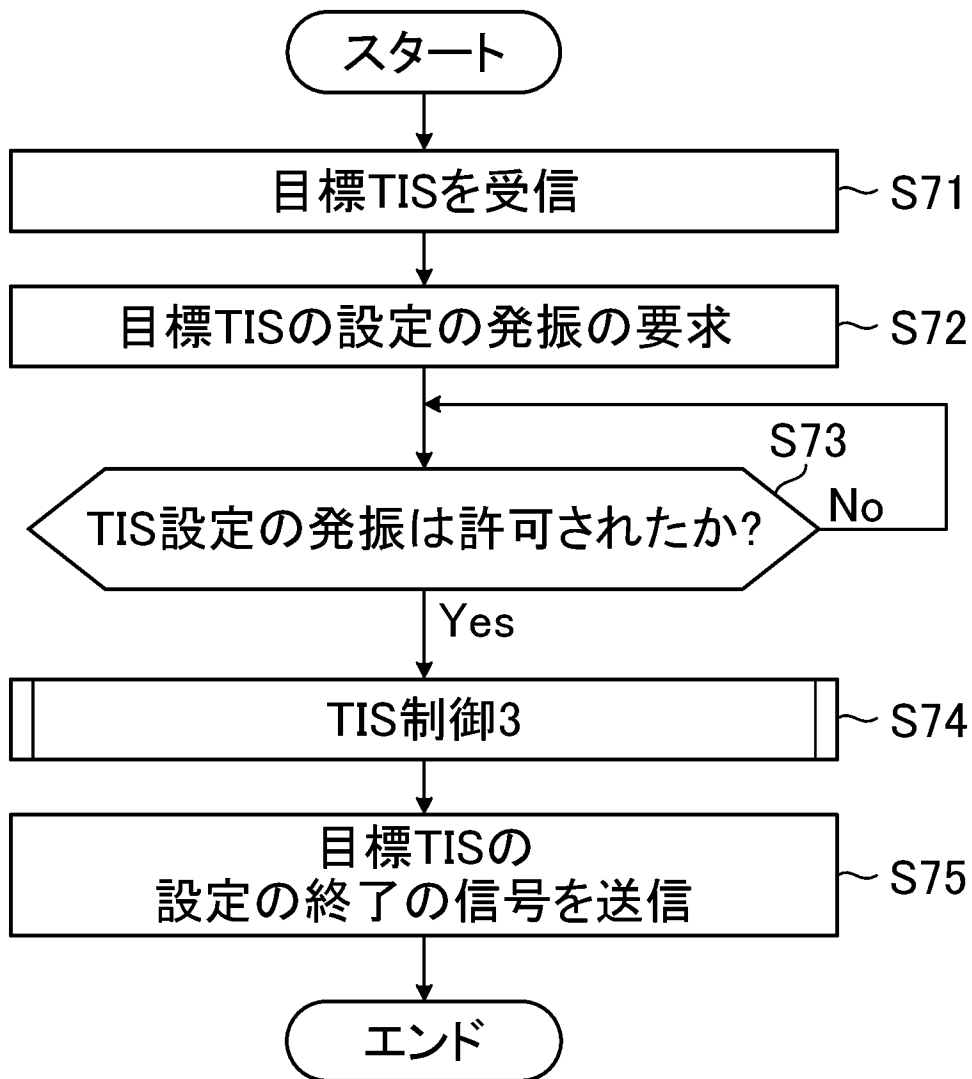
[図14]



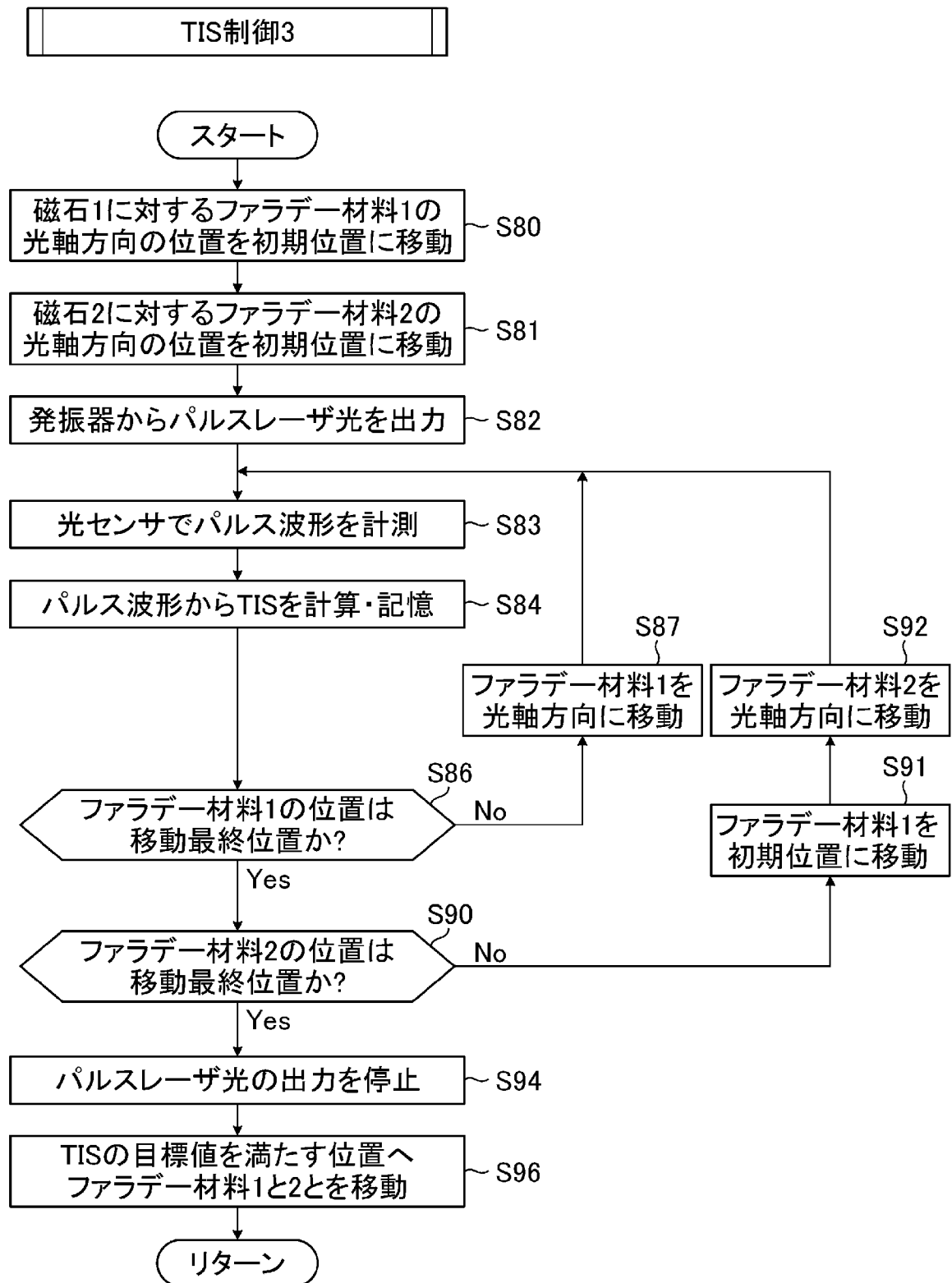
[図15]



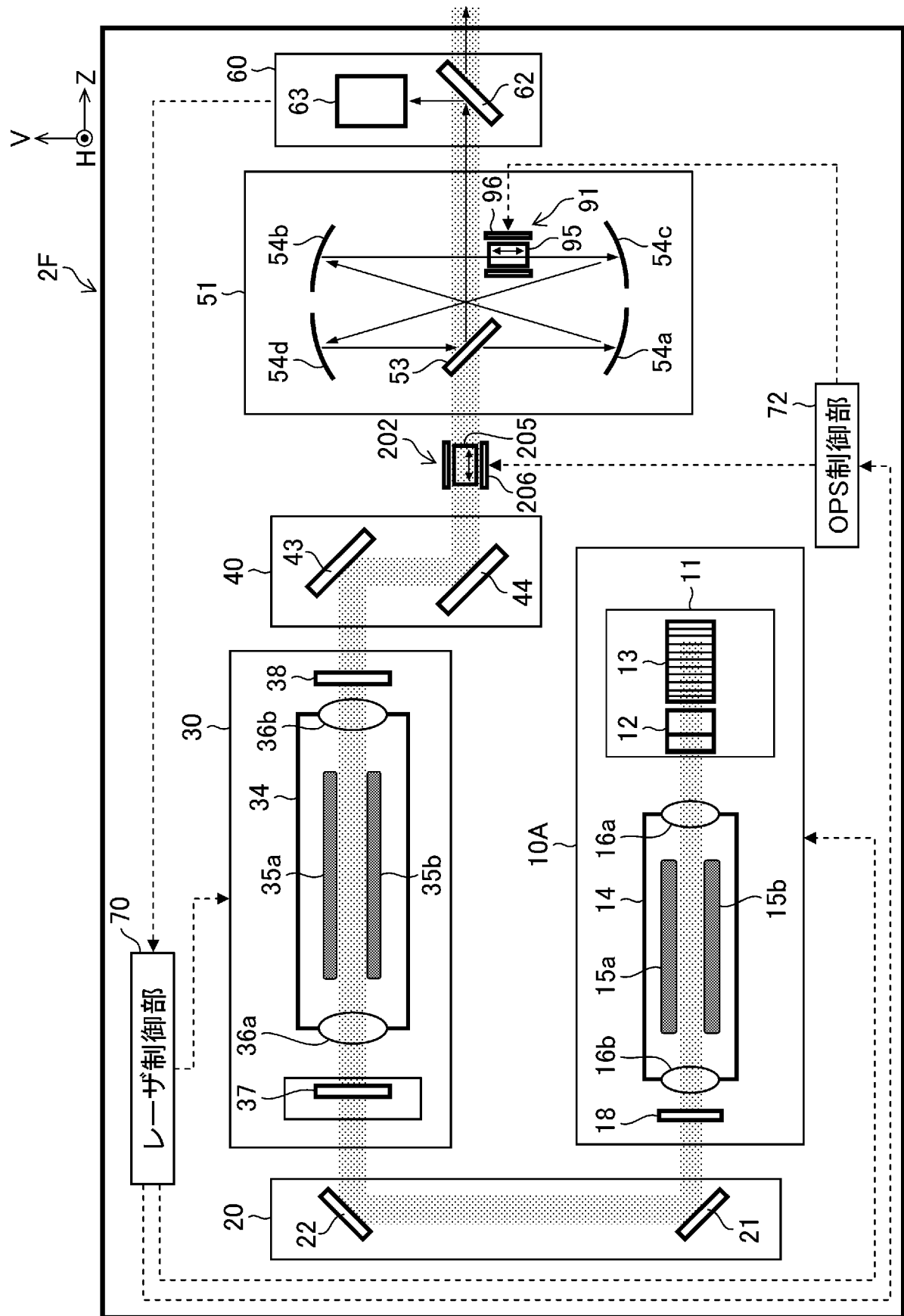
[図17]



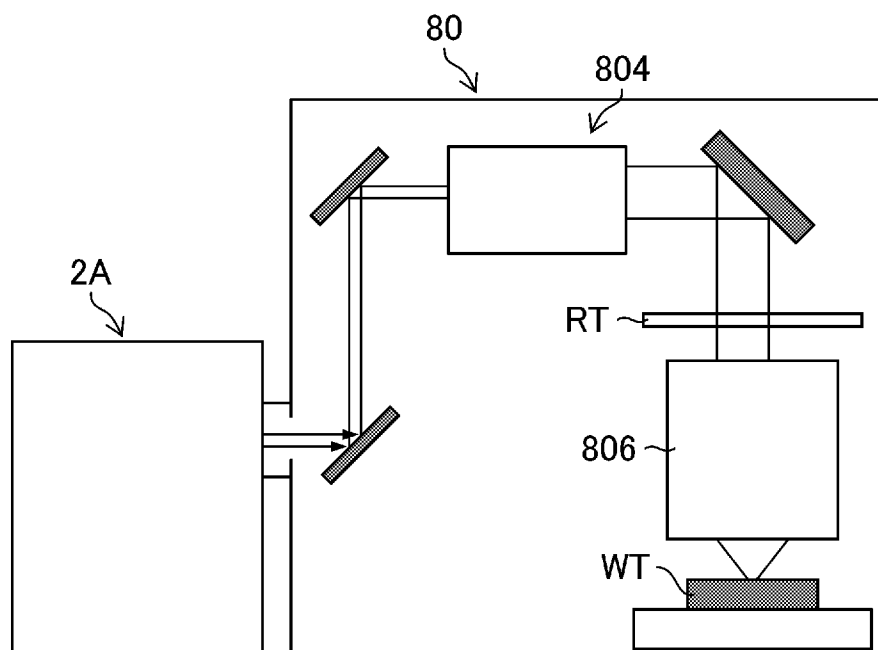
[図18]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/044119

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01S 3/10**(2006.01)i; **G02F 1/09**(2006.01)i

FI: H01S3/10 Z; G02F1/09

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)

H01S3/00-3/02,3/04-3/0959,3/098-3/102,3/105-3/131,3/136-3/213,3/23-4/00, 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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2021/171516 A1 (GIGAPHOTON INC.) 02 September 2021 (2021-09-02) paragraphs [0003], [0041]-[0042], [0053]-[0060], [0181]-[0184], fig. 5-6, 24	1, 8, 10, 16-17, 20
A		2-7, 9, 11-15, 18-19
Y	JP 2019-207989 A (HAMAMATSU PHOTONICS KK) 05 December 2019 (2019-12-05) paragraph [0051], fig. 4	1, 8, 10, 16-17, 20
A	WO 2020/038707 A1 (ASML NETHERLANDS B.V.) 27 February 2020 (2020-02-27) entire text, all drawings	1-20
A	WO 2020/256885 A1 (CYMER, LLC) 24 December 2020 (2020-12-24) entire text, all drawings	1-20
A	CN 107565360 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 09 January 2018 (2018-01-09) entire text, all drawings	1-20

☐ 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

04 January 2022

Date of mailing of the international search report

18 January 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/044119

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2021/171516	A1	02 September 2021	(Family: none)	
JP	2019-207989	A	05 December 2019	US 2019/0372299 A1 paragraph [0056], fig. 4	
				EP 3576231 A2	
WO	2020/038707	A1	27 February 2020	CN 112585542 A	
				NL 2023606 A	
WO	2020/256885	A1	24 December 2020	(Family: none)	
CN	107565360	A	09 January 2018	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 3/10(2006.01)i; G02F 1/09(2006.01)i FI: H01S3/10 Z; G02F1/09		
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）） H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/098-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-4/00, 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 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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 A	WO 2021/171516 A1（ギガフォトン株式会社）02.09.2021（2021-09-02） 段落0003, 0041-0042, 0053-0060, 0181-0184, 図5-6, 24	1, 8, 10, 16-17, 20 2-7, 9, 11-15, 18-19
Y	JP 2019-207989 A（浜松ホトニクス株式会社）05.12.2019（2019-12-05） 段落0051, 図4	1, 8, 10, 16-17, 20
A	WO 2020/038707 A1（ASML NETHERLANDS B.V.）27.02.2020（2020-02-27） 全文, 全図	1-20
A	WO 2020/256885 A1（CYMER, LLC）24.12.2020（2020-12-24） 全文, 全図	1-20
A	CN 107565360 A（HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY）09.01.2018 （2018-01-09） 全文, 全図	1-20
☐ 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抵触するものではなく、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 04.01.2022		国際調査報告の発送日 18.01.2022
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 高 椋 健 司 2K 3715 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/044119

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2021/171516	A1	02.09.2021	(ファミリーなし)	
JP	2019-207989	A	05.12.2019	US 2019/0372299	A1
				段落0056, 図4	
				EP 3576231	A2
WO	2020/038707	A1	27.02.2020	CN 112585542	A
				NL 2023606	A
WO	2020/256885	A1	24.12.2020	(ファミリーなし)	
CN	107565360	A	09.01.2018	(ファミリーなし)	