(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
2022年3月3日(03.03.2022)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2022/044308 A1

(51) 国際特許分類:
G03F 7/20 (2006.01) *H01S 3/1055* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2020/032816

(22) 国際出願日： 2020年8月31日(31.08.2020)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人:ギガフォトン株式会社(**GIGAPHOTON INC.**) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田４００番地 Tochigi (JP).

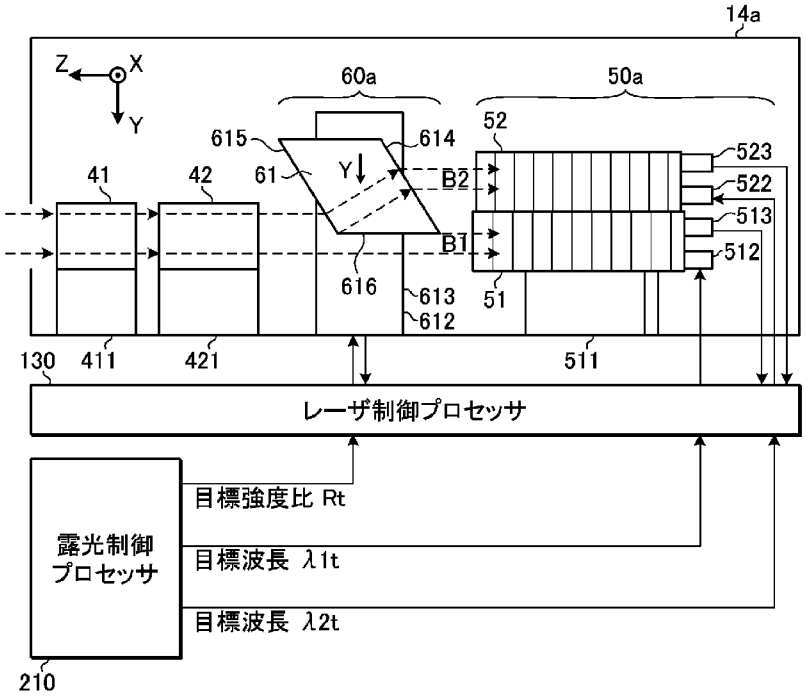
(72) 発明者: 藤本 准一 (**FUJIMOTO Junichi**); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田４００番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 熊▲崎▼ 貴仁 (**KUMAZAKI Takahito**); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田４００番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 鈴木 章義(**SUZUKI Akiyoshi**); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田４００番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

(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, 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,

(54) **Title:** LASER APPARATUS, WAVELENGTH CONTROL METHOD, AND METHOD FOR MANUFACTURING ELECTRONIC DEVICE

(54) 発明の名称： レーザ装置、波長制御方法、及び電子デバイスの製造方法



130 Laser control processor
210 Exposure control processor
Rt Target intensity ratio
λ1t, λ2t Target wavelength

(57) **Abstract:** A laser apparatus (100) comprises: a first optical element (51) and a second optical element (52); a first actuator (512) that changes a first wavelength component included in pulsed laser light by changing the posture of the first optical element (51); a second actuator (522) that changes a second wavelength component included in the pulsed laser light by changing the posture of the second optical element (52); a first encoder (513) that measures the position of the first actuator (512); a second encoder (523) that measures the position of the second actuator (522); and a processor (130). The

WO 2022/044308 A1

[続葉有]

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)）

processor (130) reads a first relationship between the position of the first actuator (512) and the first wavelength component, and a second relationship between the position of the second actuator (522) and the second wavelength component, and performs control of the first actuator (512) on the basis of the first relationship and the position of the first actuator (512) measured by the first encoder (513), and control of the second actuator (522) on the basis of the second relationship and the position of the second actuator (522) measured by the second encoder.

(57) 要約：レーザ装置（１００）は、第１の光学素子（５１）及び第２の光学素子（５２）と、第１の光学素子（５１）の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第１の波長成分を変化させる第１のアクチュエータ（５１２）と、第２の光学素子（５２）の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第２の波長成分を変化させる第２のアクチュエータ（５２２）と、第１のアクチュエータ（５１２）の位置を計測する第１のエンコーダ（５１３）と、第２のアクチュエータ（５２２）の位置を計測する第２のエンコーダ（５２３）と、プロセッサ（１３０）と、を備える。プロセッサ（１３０）は、第１のアクチュエータ（５１２）の位置と第１の波長成分との第１の関係、及び第２のアクチュエータ（５２２）の位置と第２の波長成分との第２の関係を読込み、第１の関係と第１のエンコーダ（５１３）によって計測される第１のアクチュエータ（５１２）の位置とに基づく第１のアクチュエータ（５１２）の制御と、第２の関係と第２のエンコーダによって計測される第２のアクチュエータ（５２２）の位置とに基づく第２のアクチュエータ（５２２）の制御と、を行う。

明　細　書

発明の名称 ：

レーザ装置、波長制御方法、及び電子デバイスの製造方法

技術分野

[0001]　本開示は、レーザ装置、波長制御方法、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。半導体露光装置を以下、単に「露光装置」という。このため、露光用光源から出力される光の短波長化が進められている。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、ならびに波長約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、３５０ｐｍ～４００ｐｍと広い。そのため、露光装置の投影レンズによって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、狭帯域化素子を含む狭帯域化モジュール（Line Narrow Module）が備えられる場合がある。狭帯域化素子は、例えばエタロン又はグレーティングを含む。このように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：米国特許出願公開第２０１１／０１１６５２２号明細書

特許文献2：特開２００６－２６９６２８号公報

概要

[0005] 本開示の１つの観点に係るレーザ装置は、第１の光学素子及び第２の光学素子と、第１の光学素子の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第１の波長成分を変化させる第１のアクチュエータと、第２の光学素子の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第２の波長成分を変化させる第２のアクチュエータと、第１のアクチュエータの位置を計測する第１のエンコーダと、第２のアクチュエータの位置を計測する第２のエンコーダと、プロセッサと、を備える。プロセッサは、第１のアクチュエータの位置と第１の波長成分との第１の関係、及び第２のアクチュエータの位置と第２の波長成分との第２の関係を読込み、第１の関係と第１のエンコーダによって計測される第１のアクチュエータの位置とに基づく第１のアクチュエータの制御と、第２の関係と第２のエンコーダによって計測される第２のアクチュエータの位置とに基づく第２のアクチュエータの制御と、を行う。

[0006] 本開示の１つの観点に係る波長制御方法は、第１の光学素子及び第２の光学素子と、第１の光学素子の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第１の波長成分を変化させる第１のアクチュエータと、第２の光学素子の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第２の波長成分を変化させる第２のアクチュエータと、第１のアクチュエータの位置を計測する第１のエンコーダと、第２のアクチュエータの位置を計測する第２のエンコーダと、プロセッサと、を備えるレーザ装置の波長制御方法である。プロセッサは、第１のアクチュエータの位置と第１の波長成分との第１の関係、及び第２のアクチュエータの位置と第２の波長成分との第２の関係を読込み、第１の関係と第１のエンコーダによって計測される第１のアクチュエータの位置とに基づく第１のアクチュエータの制御と、第２の関係と第２のエンコーダによって計測される第２のアクチュエータの位置とに基づく第２のアクチュエータの制御と、を行う。

[0007] 本開示の１つの観点に係る電子デバイスの製造方法は、第１の光学素子及

び第２の光学素子と、第１の光学素子の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第１の波長成分を変化させる第１のアクチュエータと、第２の光学素子の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第２の波長成分を変化させる第２のアクチュエータと、第１のアクチュエータの位置を計測する第１のエンコーダと、第２のアクチュエータの位置を計測する第２のエンコーダと、プロセッサであって、第１のアクチュエータの位置と第１の波長成分との第１の関係、及び第２のアクチュエータの位置と第２の波長成分との第２の関係を読込み、第１の関係と第１のエンコーダによって計測される第１のアクチュエータの位置とに基づく第１のアクチュエータの制御と、第２の関係と第２のエンコーダによって計測される第２のアクチュエータの位置とに基づく第２のアクチュエータの制御と、を行うプロセッサと、を備えるレーザ装置によってパルスレーザ光を生成し、パルス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上にパルス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、比較例における露光システムの構成を概略的に示す。

[図2]図２は、比較例における露光システムの構成を概略的に示す。

[図3]図３は、比較例における狭帯域化装置の構成を概略的に示す。

[図4]図４は、比較例における狭帯域化装置の構成を概略的に示す。

[図5]図５は、比較例における光計測器の構成を概略的に示す。

[図6]図６は、光計測器に含まれる分光センサによる干渉縞の計測結果の一例を示すグラフである。

[図7]図７は、波長λ１のパルスレーザ光と波長λ２のパルスレーザ光とを別々に分光センサに入射させた場合の干渉縞の計測結果の一例を示すグラフである。

[図8]図８は、波長λ１のパルスレーザ光と波長λ２のパルスレーザ光とを同

時に分光センサに入射させた場合の干渉縞の計測結果の一例を示すグラフである。

[図9]図９は、第１の実施形態における狭帯域化装置の構成を概略的に示す。

[図10]図１０は、第１の実施形態における狭帯域化装置の構成を概略的に示す。

[図11]図１１は、第１の実施形態において光ビームの全体が第１の部分としてグレーティングに入射する場合の平行平面基板の配置を示す。

[図12]図１２は、第１の実施形態において光ビームの全体が第２の部分としてグレーティングに入射する場合の平行平面基板の配置を示す。

[図13]図１３は、第１の実施形態における第１の回転ステージ及びエンコーダの構成例を示す。

[図14]図１４は、第１の実施形態におけるレーザ装置から出力されるパルスレーザ光のスペクトル波形の一例を示すグラフである。

[図15]図１５は、第１の実施形態におけるレーザ制御プロセッサの動作を示すフローチャートである。

[図16]図１６は、第１の実施形態における波長λ１キャリブレーションの処理を示すフローチャートである。

[図17]図１７は、第１の実施形態における波長λ２キャリブレーションの処理を示すフローチャートである。

[図18]図１８は、第１の実施形態における強度比Ｒキャリブレーションの処理を示すフローチャートである。

[図19]図１９は、フリースペクトラルレンジの半分の波長差を有する波長λ１及び波長λ２のパルスレーザ光を別々に分光センサに入射させた場合の干渉縞の計測結果の一例を示すグラフである。

[図20]図２０は、フリースペクトラルレンジの半分の波長差を有する波長λ１及び波長λ２のパルスレーザ光を同時に分光センサに入射させた場合の干渉縞の計測結果の一例を示すグラフであり、Ｅλ１／（Ｅλ１＋Ｅλ２）で定義される強度比が１／２である場合の干渉縞の計測結果の一例を示す。

[図21]図２１は、フリースペクトラルレンジの半分の波長差を有する波長λ１及び波長λ２のパルスレーザ光を同時に分光センサに入射させた場合の干渉縞の計測結果の一例を示すグラフであり、Ｅλ１／（Ｅλ１＋Ｅλ２）で定義される強度比が１０／１１である場合の干渉縞の計測結果の一例を示す。

[図22]図２２は、波長λ１キャリブレーションによって取得される第１の関係の一例を示す。

[図23]図２３は、波長λ２キャリブレーションによって取得される第２の関係の一例を示す。

[図24]図２４は、強度比Ｒキャリブレーションによって取得される第３の関係の一例を示す。

[図25]図２５は、第１の実施形態における露光光の出力の処理を示すフローチャートである。

[図26]図２６は、第２の実施形態におけるレーザ制御プロセッサの動作を示すフローチャートである。

[図27]図２７は、第２の実施形態における第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーションの処理を示すフローチャートである。

[図28]図２８は、第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーションによってメモリに記憶されるデータの一例を示す。

[図29]図２９は、第２の実施形態における露光光の出力の処理を示すフローチャートである。

[図30]図３０は、第３の実施形態におけるレーザ制御プロセッサの動作を示すフローチャートである。

[図31]図３１は、第３の実施形態におけるリニアステージの位置Ｙの設定の処理を示すフローチャートである。

[図32]図３２は、第３の実施形態における露光光の出力の処理を示すフローチャートである。

[図33]図３３は、第４の実施形態における狭帯域化装置の構成を概略的に示

す。

[図34]図３４は、第４の実施形態における狭帯域化装置の構成を概略的に示す。

[図35]図３５は、第４の実施形態の第１の変形例における狭帯域化装置の構成を概略的に示す。

[図36]図３６は、第４の実施形態の第１の変形例における狭帯域化装置の構成を概略的に示す。

[図37]図３７は、第４の実施形態の第２の変形例における狭帯域化装置の構成を概略的に示す。

[図38]図３８は、第４の実施形態の第２の変形例における狭帯域化装置の構成を概略的に示す。

実施形態

[0009] ＜内容＞

１．比較例
１．１　露光システム
１．２　露光装置２００
１．２．１　構成
１．２．２　動作
１．３　レーザ装置１００
１．３．１　構成
１．３．２　動作
１．４　狭帯域化装置１４
１．４．１　構成
１．４．１．１　プリズム４１及び４２
１．４．１．２　グレーティングシステム５０
１．４．２　動作
１．５　光計測器１７
１．５．１　構成

１．５．２　動作
１．６　比較例の課題
２．エンコーダ出力に基づく回転ステージの制御により波長を調整するレーザ装置
２．１　構成
２．２　動作
２．３　エンコーダの例
２．４　強度比Ｒの例
２．５　レーザ制御プロセッサ１３０の動作
２．５．１　メインフロー
２．５．２　波長λ１キャリブレーション
２．５．３　波長λ２キャリブレーション
２．５．４　強度比Ｒキャリブレーション
２．５．５　露光光の出力
２．６　作用
３．繰返し周波数ｆ及び充電電圧Ｖに応じて第３の関係ＲＹを選定するレーザ装置
３．１　メインフロー
３．２　第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーション
３．３　露光光の出力
３．４　作用
４．第３の関係ＲＹを用いずに強度比Ｒを調整するレーザ装置
４．１　メインフロー
４．２　リニアステージ６１２の位置Ｙの設定
４．３　露光光の出力
４．４　作用
５．複数のプリズム４３及び４４をＸＺ面内に配置した狭帯域化装置１４ｄ
５．１　構成

５．２　動作

５．３　第１の変形例

５．４　第２の変形例

６．その他

[0010]　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。

[0011] １．比較例

１．１　露光システム

図１及び図２は、比較例における露光システム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。

露光システムは、レーザ装置１００と、露光装置２００と、を含む。図１においてはレーザ装置１００が簡略化して示されている。図２においては露光装置２００が簡略化して示されている。

[0012]　レーザ装置１００は、レーザ制御プロセッサ１３０を含む。レーザ装置１００は、パルスレーザ光を露光装置２００に向けて出力するように構成されている。

[0013]　１．２　露光装置２００

１．２．１　構成

図１に示されるように、露光装置２００は、照明光学系２０１と、投影光学系２０２と、露光制御プロセッサ２１０と、を含む。

[0014]　照明光学系２０１は、レーザ装置１００から入射したパルスレーザ光によって、レチクルステージＲＴ上に配置された図示しないレチクルのレチクルパターンを照明する。

[0015] 投影光学系２０２は、レチクルを透過したパルスレーザ光を、縮小投影してワークピーステーブルＷＴ上に配置された図示しないワークピースに結像させる。ワークピースはレジスト膜が塗布された半導体ウエハ等の感光基板である。

[0016] 露光制御プロセッサ２１０は、制御プログラムが記憶されたメモリ２１２と、制御プログラムを実行するＣＰＵ（central processing unit）２１１と、を含む処理装置である。露光制御プロセッサ２１０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。露光制御プロセッサ２１０は、露光装置２００の制御を統括するとともに、レーザ制御プロセッサ１３０との間で各種データ及び各種信号を送受信する。

[0017] １．２．２ 動作

露光制御プロセッサ２１０は、露光条件に関する各種パラメータを設定し、照明光学系２０１及び投影光学系２０２を制御する。

露光制御プロセッサ２１０は、目標波長のデータ、パルスエネルギーの目標値のデータ、及びトリガ信号をレーザ制御プロセッサ１３０に送信する。レーザ制御プロセッサ１３０は、これらのデータ及び信号に従ってレーザ装置１００を制御する。

露光制御プロセッサ２１０は、レチクルステージＲＴとワークピーステーブルＷＴとを同期して互いに逆方向に平行移動させる。これにより、レチクルパターンを反映したパルスレーザ光でワークピースが露光される。

こ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が転写される。その後、複数の工程を経ることで電子デバイスを製造することができる。

[0018] １．３ レーザ装置１００

１．３．１ 構成

図２に示されるように、レーザ装置１００は、レーザ制御プロセッサ１３０の他に、レーザチャンバ１０と、充電器１２と、パルスパワーモジュール（ＰＰＭ）１３と、狭帯域化装置１４と、出力結合ミラー１５と、光計測器

１７と、シャッター１８と、を含む。狭帯域化装置１４及び出力結合ミラー１５は光共振器を構成する。

[0019] レーザチャンバ１０は、光共振器の光路に配置されている。レーザチャンバ１０にはウインドウ１０ａ及び１０ｂが設けられている。

レーザチャンバ１０は、一対の電極１１ａ及び１１ｂを内部に備え、さらにレーザ媒質の素となるレーザガスを収容している。レーザ媒質は、例えば、F_2、ＡｒＦ、ＫｒＦ、ＸｅＣｌ、又はＸｅＦである。

[0020] 充電器１２は、パルスパワーモジュール１３に供給するための電気エネルギーを保持する。パルスパワーモジュール１３はスイッチ１３ａを含んでいる。

狭帯域化装置１４は、後述のプリズム４１及び４２、グレーティング５１及び５２などの波長選択素子を含む。狭帯域化装置１４は、狭帯域化モジュールと呼ばれる場合がある。

出力結合ミラー１５は、部分反射ミラーで構成されている。

[0021] 光計測器１７は、ビームスプリッタ１７ａと、センサユニット１７ｂとを含む。ビームスプリッタ１７ａは、出力結合ミラー１５から出力されたパルスレーザ光の光路に配置されている。ビームスプリッタ１７ａは、パルスレーザ光の一部を高い透過率で透過させるとともに、パルスレーザ光の他の一部を反射してセンサユニット１７ｂに入射させるように構成されている。センサユニット１７ｂは、図５を参照しながら後述するエネルギーセンサ１７ｅと、分光センサ１７ｆ及び１７ｇと、を含む。

[0022] シャッター１８は、ビームスプリッタ１７ａを透過したパルスレーザ光の光路に配置されている。シャッター１８が閉じられているとき、ビームスプリッタ１７ａを透過したパルスレーザ光は露光装置２００に入射しないように遮断される。シャッター１８が開かれているとき、ビームスプリッタ１７ａを透過したパルスレーザ光は遮断されずに露光装置２００に入射する。

[0023] レーザ制御プロセッサ１３０は、制御プログラムが記憶されたメモリ１３２と、制御プログラムを実行するＣＰＵ１３１と、を含む処理装置である。

レーザ制御プロセッサ１３０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。メモリ１３２は本開示における記憶装置に相当する。

[0024] １．３．２　動作

レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から目標波長のデータを取得する。レーザ制御プロセッサ１３０は、目標波長に基づいて狭帯域化装置１４に初期設定信号を送信する。パルスレーザ光の出力が開始された後は、レーザ制御プロセッサ１３０は、光計測器１７から波長の計測データを受信し、目標波長と波長の計測データとに基づいて狭帯域化装置１４にフィードバック制御信号を送信する。

[0025] レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０からパルスエネルギーの目標値のデータを取得する。レーザ制御プロセッサ１３０は、パルスエネルギーの目標値に基づいて充電器１２に充電電圧Ｖの初期設定信号を送信する。パルスレーザ光の出力が開始された後は、レーザ制御プロセッサ１３０は、光計測器１７からパルスエネルギーの計測データを受信し、パルスエネルギーの目標値とパルスエネルギーの計測データとに基づいて充電器１２に充電電圧Ｖのフィードバック制御信号を送信する。

[0026] レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０からトリガ信号を受信する。レーザ制御プロセッサ１３０は、トリガ信号に基づく発振トリガ信号をパルスパワーモジュール１３のスイッチ１３ａに送信する。

[0027] スイッチ１３ａは、レーザ制御プロセッサ１３０から発振トリガ信号を受信するとオン状態となる。パルスパワーモジュール１３は、スイッチ１３ａがオン状態となると、充電器１２に保持された電気エネルギーからパルス状の高電圧を生成する。パルスパワーモジュール１３は、この高電圧を電極１１ａ及び１１ｂに印加する。

[0028] 電極１１ａ及び１１ｂに高電圧が印加されると、電極１１ａ及び１１ｂの間に放電が起こる。この放電のエネルギーにより、レーザチャンバ１０内のレーザガスが励起されて高エネルギー準位に移行する。励起されたレーザガ

スが、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する。

[0029] レーザチャンバ１０内で発生した光は、ウインドウ１０ａ及び１０ｂを介してレーザチャンバ１０の外部に出射する。ウインドウ１０ａから出射した光は、光ビームとして狭帯域化装置１４に入射する。狭帯域化装置１４に入射した光のうちの所望波長付近の光が、狭帯域化装置１４によって折り返されてレーザチャンバ１０に戻される。

[0030] 出力結合ミラー１５は、ウインドウ１０ｂから出射した光のうちの一部を透過させて出力し、他の一部を反射してレーザチャンバ１０に戻す。

[0031] このようにして、レーザチャンバ１０から出射した光は、狭帯域化装置１４と出力結合ミラー１５との間で往復する。この光は、一対の電極１１ａ及び１１ｂ間の放電空間を通過する度に増幅される。こうしてレーザ発振し狭帯域化された光が、出力結合ミラー１５からパルスレーザ光として出力される。

レーザ装置１００から出力されたパルスレーザ光は、露光装置２００へ入射する。

[0032] １．４ 狭帯域化装置１４

１．４．１ 構成

図３及び図４は、比較例における狭帯域化装置１４の構成を概略的に示す。図３及び図４の各々に、互いに垂直なＸ軸、Ｙ軸、及びＺ軸が示されている。図３は、＋Ｙ方向に見た狭帯域化装置１４を示し、図４は、－Ｘ方向に見た狭帯域化装置１４を示す。＋Ｙ方向及び－Ｙ方向は、電極１１ａ及び１１ｂ（図２参照）が向かい合う方向に一致している。－Ｚ方向は、ウインドウ１０ａから出射した光ビームの進行方向に一致している。＋Ｚ方向は、ウインドウ１０ｂから出射して出力結合ミラー１５を介して出力されるパルスレーザ光の進行方向に一致している。

狭帯域化装置１４は、プリズム４１及び４２と、グレーティングシステム５０と、を含む。

[0033] １．４．１．１　プリズム４１及び４２

プリズム４１は、ウインドウ１０ａから出射した光ビームの光路に配置されている。プリズム４１はホルダ４１１によって支持されている。

プリズム４２は、プリズム４１を通過した光ビームの光路に配置されている。プリズム４２はホルダ４２１によって支持されている。

[0034] プリズム４１及び４２は、光ビームが入出射するプリズム４１及び４２の表面が、いずれもＹ軸に平行となるように配置されている。

[0035] １．４．１．２　グレーティングシステム５０

グレーティングシステム５０は、グレーティング５１及び５２を含む。グレーティング５１及び５２は、プリズム４２を通過した光ビームの光路において、Ｙ軸の方向に互いに異なる位置に配置されている。グレーティング５１及び５２の各々の溝の方向は、Ｙ軸の方向に一致している。グレーティング５１及び５２の位置は、プリズム４２を通過した光ビームがグレーティング５１及び５２にまたがって入射するように設定されている。

[0036] グレーティング５１及び５２は、ホルダ５１１によって支持されている。グレーティング５１は、第１の回転ステージ５１２により、Ｙ軸に平行な軸周りに回転可能となっている。グレーティング５２は、第２の回転ステージ５２２により、Ｙ軸に平行な軸周りに回転可能となっている。

[0037] １．４．２　動作

ウインドウ１０ａから出射した光ビームは、プリズム４１及び４２の各々によって、Ｙ軸に垂直な面であるＸＺ面に平行な面内で進行方向を変えられ、ＸＺ面に平行な面内でビーム幅を拡大させられる。プリズム４１及び４２の両方を通過してグレーティング５１及び５２へ向かう光ビームの進行方向は、一例として、－Ｚ方向にほぼ一致する。

[0038] プリズム４２からグレーティング５１及び５２に入射した光は、グレーティング５１及び５２の各々の複数の溝によって反射されるとともに、光の波長に応じた方向に回折させられる。これにより、グレーティング５１及び５２の各々の複数の溝によって反射された光はＸＺ面に平行な面内で分散させ

られる。グレーティング５１は、プリズム４２からグレーティング５１に入射する光ビームの入射角と、所望の波長λ１の回折光の回折角と、が一致するようにリトロー配置とされる。グレーティング５２は、プリズム４２からグレーティング５２に入射する光ビームの入射角と、所望の波長λ２の回折光の回折角と、が一致するようにリトロー配置とされる。プリズム４２からグレーティング５１及び５２に入射する光ビームの入射角が互いに異なる場合、グレーティング５１からプリズム４２に戻される回折光の波長である波長λ１と、グレーティング５２からプリズム４２に戻される回折光の波長である波長λ２との間に波長差が生じる。

[0039] 図３及び図４において、光ビームを示す破線矢印はプリズム４１からグレーティング５１及び５２に向かう方向のみを示しているが、狭帯域化装置１４による選択波長の光ビームは、これらの破線矢印と逆の経路でグレーティング５１及び５２からプリズム４１へ向かう。

[0040] プリズム４２及び４１は、グレーティング５１及び５２から戻された光のビーム幅をＸＺ面に平行な面内で縮小させるとともに、その光を、ウインドウ１０ａを介してレーザチャンバ１０内に戻す。

[0041] 第１の回転ステージ５１２及び第２の回転ステージ５２２は、レーザ制御プロセッサ１３０によって制御される。

第１の回転ステージ５１２がグレーティング５１を僅かに回転させると、プリズム４２からグレーティング５１に入射する光ビームの入射角が僅かに変化する。よって、波長λ１が変化する。

第２の回転ステージ５２２がグレーティング５２を僅かに回転させると、プリズム４２からグレーティング５２に入射する光ビームの入射角が僅かに変化する。よって、波長λ２が変化する。

[0042] 露光制御プロセッサ２１０は、レーザ制御プロセッサ１３０に、波長λ１の目標波長λ１ｔ及び波長λ２の目標波長λ２ｔのそれぞれの値を送信する。ここで、波長λ１及び波長λ２は、例えば、それぞれ半導体ウエハに塗布されたレジスト膜の上面及び底面の２つの位置で結像する波長である。

レーザ制御プロセッサ１３０は、目標波長λ１ｔに基づいて第１の回転ステージ５１２を制御する。これにより、第１の回転ステージ５１２が、グレーティング５１の姿勢を変化させ、光ビームのグレーティング５１に対する入射角を調整する。

レーザ制御プロセッサ１３０は、目標波長λ２ｔに基づいて第２の回転ステージ５２２を制御する。これにより、第２の回転ステージ５２２が、グレーティング５２の姿勢を変化させ、光ビームのグレーティング５２に対する入射角を調整する。

[0043] 以上の構成及び動作により、レーザチャンバ１０のウインドウ１０ａから出射した光ビームのうちの波長λ１と波長λ２とが選択されて、レーザチャンバ１０内に戻される。これにより、レーザ装置１００は、２波長発振を行うことができる。第１の回転ステージ５１２及び第２の回転ステージ５２２を制御することにより、波長λ１と波長λ２とを別々に設定することもできる。

[0044] ２波長発振してレーザ装置１００から出力されたパルスレーザ光は、波長λ１と波長λ２との２つの波長成分を含む。このパルスレーザ光は、波長λ１を有する第１のパルスレーザ光と波長λ２を有する第２のパルスレーザ光とが時間的及び空間的に重なったパルスを含む。あるいは、波長λ１を有する第１のパルスレーザ光と波長λ２を有する第２のパルスレーザ光とが時間的に重なっており、空間的には重なっていなくてもよい。

[0045] 露光装置２００（図１参照）における焦点距離は、パルスレーザ光の波長に依存する。２波長発振してレーザ装置１００から出力されたパルスレーザ光は、露光装置２００のワークピーステーブルＷＴにおいて、パルスレーザ光の光路軸の方向において異なる２つの位置で結像させることができ、実質的に焦点深度を大きくすることができる。例えば、膜厚の大きいレジスト膜を露光する場合でも、レジスト膜の厚み方向での結像性能を維持し得る。

[0046] １．５ 光計測器１７

１．５．１ 構成

図５は、比較例における光計測器１７の構成を概略的に示す。光計測器１７に含まれるセンサユニット１７ｂは、ビームスプリッタ１７ｃ及び１７ｄと、エネルギーセンサ１７ｅと、分光センサ１７ｆ及び１７ｇと、を含む。ビームスプリッタ１７ｃは、ビームスプリッタ１７ａによって反射されたパルスレーザ光の光路に配置され、パルスレーザ光の一部を反射し他の一部を透過させるように構成されている。

[0047] エネルギーセンサ１７ｅは、ビームスプリッタ１７ｃによって反射されたパルスレーザ光の光路に配置されている。エネルギーセンサ１７ｅは、拡散板１７ｈとフォトダイオード１７ｉとを含む。

[0048] ビームスプリッタ１７ｄは、ビームスプリッタ１７ｃを透過したパルスレーザ光の光路に配置され、パルスレーザ光の一部を反射し他の一部を透過させるように構成されている。

分光センサ１７ｆは、ビームスプリッタ１７ｄによって反射されたパルスレーザ光の光路に配置されている。分光センサ１７ｆは、拡散板１７ｊと、エタロン１７ｋと、集光レンズ１７ｍと、イメージセンサ１７ｎと、を含む。

分光センサ１７ｇは、ビームスプリッタ１７ｄを透過したパルスレーザ光の光路に配置されている。分光センサ１７ｇは、拡散板１７ｏと、エタロン１７ｐと、集光レンズ１７ｑと、イメージセンサ１７ｒと、を含む。

[0049] １．５．２ 動作

エネルギーセンサ１７ｅにおいて、拡散板１７ｈを透過したパルスレーザ光がフォトダイオード１７ｉに入射する。フォトダイオード１７ｉは、パルスレーザ光の光強度に応じた電流を発生させる。この電流をパルスレーザ光の１パルス分の時間にわたって積分することによりパルスレーザ光のパルスエネルギーが得られる。

[0050] 分光センサ１７ｆにおいて、拡散板１７ｊ、エタロン１７ｋ、及び集光レンズ１７ｍをこの順で透過したパルスレーザ光は、イメージセンサ１７ｎにおいて干渉縞を形成する。

[0051] 図６は、光計測器１７に含まれる分光センサ１７ｆによる干渉縞の計測結果の一例を示すグラフである。図６及び後述の図７、図８、図１９～図２１において、横軸は干渉縞の半径Ｌを示し、縦軸は光強度Ｉを示す。単位はいずれも任意単位である。光強度Ｉがピークとなる Ｌ軸の値から、パルスレーザ光の中心波長を計算することができる。

[0052] 分光センサ１７ｇの動作は分光センサ１７ｆの動作と同様である。分光センサ１７ｇ及び分光センサ１７ｆのいずれにおいても、パルスレーザ光の波長変化に応じて、干渉縞の半径Ｌは周期的に変化する。この周期的変化の１周期分に相当する波長変化の範囲をフリースペクトラルレンジ（ＦＳＲ）という。分光センサ１７ｇのフリースペクトラルレンジが分光センサ１７ｆのフリースペクトラルレンジより大きい場合、分光センサ１７ｇによれば広範囲の波長計測ができ、分光センサ１７ｆによれば高精度の波長計測ができる。これらを組み合わせることにより、広範囲かつ高精度の波長計測を行うことができる。

[0053] １．６ 比較例の課題

図７は、波長λ１のパルスレーザ光と波長λ２のパルスレーザ光とを別々に分光センサ１７ｆに入射させた場合の干渉縞の計測結果の一例を示すグラフである。波長λ１と波長λ２とが近い値であっても、別々に計測した場合には光強度Ｉのピークをそれぞれ特定して精度よく波長を計測することができる。

[0054] 図８は、波長λ１のパルスレーザ光と波長λ２のパルスレーザ光とを同時に分光センサ１７ｆに入射させた場合の干渉縞の計測結果の一例を示すグラフである。図８に示される波形は、図７における波長λ１の干渉縞の波形と波長λ２の干渉縞の波形との合成波形にほぼ相当する。波長λ１と波長λ２とが近い値を有する場合、図８に示される計測結果からは、光強度Ｉのピークを特定することが困難なことがある。その場合は波長λ１及び波長λ２を計測することが困難となる。

[0055] 以下に説明する幾つかの実施形態においては、波長λ１を変化させる第１

の回転ステージ５１２及び波長λ２を変化させる第２の回転ステージ５２２に、それぞれエンコーダ５１３及び５２３が取り付けられている。第１の回転ステージ５１２の位置θ１と波長λ１との第１の関係λ１θ１と、第２の回転ステージ５２２の位置θ２と波長λ２との第２の関係λ２θ２と、がメモリ１３２に記憶される。第１の関係λ１θ１とエンコーダ５１３によって計測される第１の回転ステージ５１２の位置θ１とに基づいて第１の回転ステージ５１２が制御され、第２の関係λ２θ２とエンコーダ５２３によって計測される第２の回転ステージ５２２の位置θ２とに基づいて第２の回転ステージ５２２が制御される。

[0056] ２．エンコーダ出力に基づく回転ステージの制御により波長を調整するレーザ装置

２．１　構成

図９及び図１０は、第１の実施形態における狭帯域化装置１４ａの構成を概略的に示す。図９は、＋Ｙ方向に見た狭帯域化装置１４ａを示し、図１０は、－Ｘ方向に見た狭帯域化装置１４ａを示す。

[0057] 狭帯域化装置１４ａは、グレーティングシステム５０の代わりにグレーティングシステム５０ａを含む。また、狭帯域化装置１４ａは、プリズム４２とグレーティングシステム５０ａとの間にビーム分離光学系６０ａを含む。

[0058] グレーティングシステム５０ａにおいて、グレーティング５１の第１の回転ステージ５１２にはエンコーダ５１３が取り付けられている。グレーティング５２の第２の回転ステージ５２２にはエンコーダ５２３が取り付けられている。図１０においては、第１の回転ステージ５１２とエンコーダ５１３とが分離されて示されているが、これらは図１３を参照しながら後述するように一体化されていてもよい。第２の回転ステージ５２２及びエンコーダ５２３についても同様である。

第１の実施形態において、グレーティング５１は本開示における第１の光学素子に相当し、グレーティング５２は本開示における第２の光学素子に相当する。第１の回転ステージ５１２は本開示における第１のアクチュエータ

に相当し、第２の回転ステージ５２２は本開示における第２のアクチュエータに相当する。エンコーダ５１３は本開示における第１のエンコーダに相当し、エンコーダ５２３は本開示における第２のエンコーダに相当する。

[0059] ビーム分離光学系６０ａは、平行平面基板６１を含む。

平行平面基板６１は、プリズム４２を通過した光ビームの光路の断面の一部と重なる位置に配置できるようになっている。平行平面基板６１は、ホルダ６１１によって支持されている。平行平面基板６１は、リニアステージ６１２によって、－Ｙ方向及び＋Ｙ方向に移動できるように構成されている。リニアステージ６１２にはエンコーダ６１３が取り付けられている。

第１の実施形態において、リニアステージ６１２は本開示における第３のアクチュエータに相当する。エンコーダ６１３は本開示における第３のエンコーダに相当する。

[0060] 平行平面基板６１は、プリズム４２を通過した光ビームの一部が入射する入射表面６１５と、入射表面６１５を通って平行平面基板６１に入射した光が平行平面基板６１の内部からグレーティング５２に向けて出射する出射表面６１４と、を含む（図１０参照）。入射表面６１５と出射表面６１４とは、いずれもＸ軸に平行であり、Ｙ軸に対して傾いている。入射表面６１５と出射表面６１４とは、互いに平行である。

平行平面基板６１は、＋Ｙ側の端面６１６をさらに含む。端面６１６は、出射表面６１４と鋭角をなす。端面６１６は、ＸＺ面と平行でもよい。

[0061] ２．２ 動作

図１０に示されるように、プリズム４２を通過した光ビームのうちの第１の部分Ｂ１は、平行平面基板６１の外側を通過してグレーティング５１に入射し、光ビームのうちの第２の部分Ｂ２は、平行平面基板６１の内部を透過してグレーティング５２に入射する。このとき、平行平面基板６１は、光ビームの第２の部分Ｂ２の光路軸を第１の部分Ｂ１の光路軸に対して－Ｙ方向にシフトさせる。

[0062] リニアステージ６１２が平行平面基板６１を＋Ｙ方向に移動させることに

より、光ビームのうちの平行平面基板６１に入射する第２の部分Ｂ２を多くすると、グレーティング５２に入射する光が多くなる。

リニアステージ６１２が平行平面基板６１を－Ｙ方向に移動させることにより、光ビームのうちの平行平面基板６１に入射する第２の部分Ｂ２を少なくすると、グレーティング５２に入射する光が少なくなる。

このように、リニアステージ６１２がＹ軸の方向における平行平面基板６１の位置を変化させることにより、第１の部分Ｂ１と第２の部分Ｂ２との割合が変化し、波長λ１と波長λ２との強度比Ｒが変化する。

リニアステージ６１２による平行平面基板６１の移動方向は、Ｙ軸の方向でなくてもよい。リニアステージ６１２は、Ｙ軸に垂直な面であるＸＺ面と交差する方向に平行平面基板６１を移動させればよい。

[0063] 露光制御プロセッサ２１０は、レーザ制御プロセッサ１３０に、目標波長λ１ｔと、目標波長λ２ｔと、目標強度比Ｒｔと、を送信する。

レーザ制御プロセッサ１３０は、目標波長λ１ｔに基づいて第１の回転ステージ５１２を制御する。これにより、第１の回転ステージ５１２が、グレーティング５１の姿勢を変化させ、グレーティング５１によって選択される波長λ１を調整する。

レーザ制御プロセッサ１３０は、目標波長λ２ｔに基づいて第２の回転ステージ５２２を制御する。これにより、第２の回転ステージ５２２が、グレーティング５２の姿勢を変化させ、グレーティング５２によって選択される波長λ２を調整する。

レーザ制御プロセッサ１３０は、目標強度比Ｒｔに基づいてリニアステージ６１２を制御する。これにより、リニアステージ６１２が、平行平面基板６１の位置を調整し、波長λ１と波長λ２との強度比Ｒを調整する。

[0064] 図１１は、第１の実施形態において光ビームの全体が第１の部分Ｂ１としてグレーティング５１に入射する場合の平行平面基板６１の配置を示す。リニアステージ６１２は、光ビームの光路から平行平面基板６１を退避させることにより、第１の部分Ｂ１に対する第２の部分Ｂ２の割合を０にしてもよ

い。

図１２は、第１の実施形態において光ビームの全体が第２の部分Ｂ２としてグレーティング５２に入射する場合の平行平面基板６１の配置を示す。リニアステージ６１２は、光ビームの全体が通過する位置に平行平面基板６１を配置することにより、第２の部分Ｂ２に対する第１の部分Ｂ１の割合を０にしてもよい。

[0065] ２．３　エンコーダの例

図１３は、第１の実施形態における第１の回転ステージ５１２及びエンコーダ５１３の構成例を示す。第１の回転ステージ５１２及びエンコーダ５１３は共通の筐体５１９に収容されていてもよい。

[0066] 第１の回転ステージ５１２は、ロータ５１４及びステータ５１５を含む。ロータ５１４は、軸受５１６に支持された回転シャフトＡに固定され、回転シャフトＡとともに回転するようになっている。ロータ５１４及びステータ５１５の詳細は図示していないが、例えば、ロータ５１４が永久磁石を含み、ステータ５１５が電磁石を含む。ステータ５１５の電磁石によって発生する磁界を切り替えることによりロータ５１４が回転する。

[0067] エンコーダ５１３は、円板５１７及び計測ヘッド５１８を含む。円板５１７は回転シャフトＡに固定され、回転シャフトＡとともに回転するようになっている。円板５１７及び計測ヘッド５１８の詳細は図示していないが、例えば、円板５１７はホログラム回折格子を含む。また、例えば、計測ヘッド５１８は、レーザダイオードと、レーザダイオードから出力された光のホログラム回折格子による＋１次回折光と－１次回折光とを干渉させる光学系と、干渉光を計測するフォトディテクタと、を含む。

[0068] 第１の回転ステージ５１２によって回転シャフトＡが回転すると円板５１７が回転し、計測ヘッド５１８に対してホログラム回折格子が円板５１７の周方向に移動する。ホログラム回折格子の移動距離に対する干渉光の強度の変化パターンは、ほぼ正弦曲線となる。このため、干渉光の強度を計測することにより、ホログラム回折格子の１ピッチ分の長さよりも短い移動距離を

高精度で計測することができる。

また、ホログラム回折格子の１ピッチ分の移動ごとに、干渉光の明暗が複数回にわたって繰返されるように工夫された光学系も提案されている。そのような光学系を用いればさらに分解能を向上できる。

[0069] 図１３においては第１の回転ステージ５１２及びエンコーダ５１３の例を示したが、第２の回転ステージ５２２及びエンコーダ５２３についても同様でよい。

また、リニアステージ６１２は、グレーティング５１を回転させるのではなく平行平面基板６１を直線運動させる点で第１の回転ステージ５１２と異なり、エンコーダ６１３はホログラム回折格子が周方向に移動するのではなく直線状に移動する点でエンコーダ５１３と異なる。しかし、ホログラム回折格子の移動距離を計測する原理については、エンコーダ６１３はエンコーダ５１３と同様でよいので、詳細な説明を省略する。

[0070] ２．４ 強度比Ｒの例

図１４は、第１の実施形態におけるレーザ装置１００から出力されるパルスレーザ光のスペクトル波形の一例を示すグラフである。図１４において、横軸は波長λを示し、縦軸は光強度Ｉを示す。パルスレーザ光は、波長λ１の波長成分と波長λ２の波長成分とを含む。波長λ１は本開示における第１の波長成分に相当し、波長λ２は本開示における第２の波長成分に相当する。

[0071] 波長λ１の波長成分のパルスエネルギーＥをＥλ１とし、波長λ２の波長成分のパルスエネルギーＥをＥλ２とすると、波長λ１の波長成分と波長λ２の波長成分との強度比Ｒは以下の式で定義される。

Ｒ＝Ｅλ１／（Ｅλ１＋Ｅλ２）

あるいは、強度比Ｒは以下の式で定義されてもよい。

Ｒ＝Ｅλ１／Ｅλ２

あるいは、強度比Ｒは、比Ｅλ１：Ｅλ２で表現されてもよい。

[0072] 図１４に示されるスペクトル波形において、波長λ１を中心波長とする波

長成分の光強度Ｉの積分値ＳをＳλ１とし、波長λ２を中心波長とする波長成分の光強度Ｉの積分値ＳをＳλ２とする。強度比Ｒは、以下の式で定義されてもよい。

Ｒ＝Ｓλ１／（Ｓλ１＋Ｓλ２）

あるいは、強度比Ｒは以下の式で定義されてもよい。

Ｒ＝Ｓλ１／Ｓλ２

あるいは、強度比Ｒは、比Ｓλ１：Ｓλ２で表現されてもよい。

[0073] 波長λ１を中心波長とする波長成分と、波長λ２を中心波長とする波長成分と、のスペクトル線幅が同一である場合、これらの波長成分においては光強度Ｉのピーク値と積分値Ｓとが比例関係にある。そこで、波長λ１の波長成分の光強度Ｉのピーク値をＩλ１とし、波長λ２の波長成分の光強度Ｉのピーク値をＩλ２とすると、強度比Ｒは、以下の式で定義されてもよい。

Ｒ＝Ｉλ１／（Ｉλ１＋Ｉλ２）

あるいは、強度比Ｒは以下の式で定義されてもよい。

Ｒ＝Ｉλ１／Ｉλ２

あるいは、強度比Ｒは、比Ｉλ１：Ｉλ２で表現されてもよい。

[0074] ２．５　レーザ制御プロセッサ１３０の動作

２．５．１　メインフロー

図１５は、第１の実施形態におけるレーザ制御プロセッサ１３０の動作を示すフローチャートである。レーザ制御プロセッサ１３０は、以下に説明するように、波長λ１及びλ２の制御及び強度比Ｒの制御のためのデータを取得した後、露光光が出力されるようにレーザ装置１００を制御する。

[0075] Ｓ１１において、レーザ制御プロセッサ１３０は、シャッター１８を閉じる。これにより、パルスレーザ光が露光装置２００に入射しないようにすることができる。

[0076] Ｓ１２において、レーザ制御プロセッサ１３０は、各種エンコーダによって計測される各種アクチュエータの位置を記憶する。各種アクチュエータは、第１の回転ステージ５１２、第２の回転ステージ５２２、及びリニアステ

ージ６１２を含む。各種エンコーダは、エンコーダ５１３、５２３、及び６２３を含む。第１の回転ステージ５１２の所定位置を基準とした回転角度を、第１の回転ステージ５１２の位置θ１とする。位置θ１は、エンコーダ５１３によって計測される。第２の回転ステージ５２２の所定位置を基準とした回転角度を、第２の回転ステージ５２２の位置θ２とする。位置θ２は、エンコーダ５２３によって計測される。リニアステージ６１２の所定位置を基準とした移動距離を、リニアステージ６１２の位置Ｙとする。位置Ｙは、エンコーダ６１３によって計測される。

[0077] Ｓ１３において、レーザ制御プロセッサ１３０は、波長λ１キャリブレーションを行う。レーザ制御プロセッサ１３０は、波長λ１キャリブレーションにより、位置θ１を制御して波長λ１を調整するためのデータを取得する。波長λ１キャリブレーションの詳細については図１６を参照しながら後述する。

[0078] Ｓ１４において、レーザ制御プロセッサ１３０は、波長λ２キャリブレーションを行う。レーザ制御プロセッサ１３０は、波長λ２キャリブレーションにより、位置θ２を制御して波長λ２を調整するためのデータを取得する。波長λ２キャリブレーションの詳細については図１７を参照しながら後述する。

[0079] Ｓ１６において、レーザ制御プロセッサ１３０は、強度比Ｒキャリブレーションを行う。レーザ制御プロセッサ１３０は、強度比Ｒキャリブレーションにより、位置Ｙを制御して強度比Ｒを調整するためのデータを取得する。強度比Ｒキャリブレーションの詳細については図１８を参照しながら後述する。

[0080] Ｓ１８において、レーザ制御プロセッサ１３０は、Ｓ１２において記憶した位置に各種アクチュエータを復帰させる。

[0081] Ｓ１９において、レーザ制御プロセッサ１３０は、シャッター１８を開き、露光装置２００の露光制御プロセッサ２１０に準備ＯＫ信号を送信する。

[0082] Ｓ２０において、レーザ制御プロセッサ１３０は、各種キャリブレーショ

ンで記憶したパラメータを読込む。各種キャリブレーションは、波長λ１キャリブレーションと、波長λ２キャリブレーションと、強度比Ｒキャリブレーションと、を含む。各種キャリブレーションで記憶したパラメータは、第１の関係λ１θ１のパラメータ、第２の関係λ２θ２のパラメータ、及び第３の関係ＲＹのパラメータを含む。各種キャリブレーション及びパラメータについては図１６～図１８を参照しながら後述する。

[0083] Ｓ２１において、レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から受信する各種信号に応じて、露光光の出力を行う。露光光の出力の詳細については、図２５を参照しながら後述する。

[0084] Ｓ２２において、レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から休止信号を受信したか否かを判定する。休止信号は、例えば、露光装置２００においてレチクルを交換するとき、あるいは半導体ウエハを交換するときなど、露光を実施しないことを通知する信号である。

休止信号を受信しない場合（Ｓ２２：ＮＯ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ２１に戻す。

休止信号を受信した場合（Ｓ２２：ＹＥＳ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ２３に進める。

[0085] Ｓ２３において、レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０に準備ＮＯＫ信号を送信する。その後、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１１に戻す。

[0086] ２．５．２ 波長λ１キャリブレーション

図１６は、第１の実施形態における波長λ１キャリブレーションの処理を示すフローチャートである。図１６に示される処理は、図１５のＳ１３のサブルーチンに相当する。

[0087] Ｓ１３１において、レーザ制御プロセッサ１３０は、リニアステージ６１２の位置Ｙを第１の位置Ｙｍｉｎに設定する。これにより、図１１に示されるように光ビームの光路から退避した位置に平行平面基板６１が移動する。従って、パルスレーザ光における波長λ１の波長成分の割合が波長λ２の波

長成分の割合より大きくなる。

[0088] Ｓ１３２において、レーザ制御プロセッサ１３０は、第１の回転ステージ５１２の位置θ１をθ１ｍｉｎに設定する。θ１ｍｉｎは、例えば、第１の回転ステージ５１２の可動範囲内におけるθ１の最小値である。

[0089] Ｓ１３３において、レーザ制御プロセッサ１３０は、レーザ装置１００がレーザ発振を行うように、発振トリガ信号をパルスパワーモジュール１３のスイッチ１３ａ（図２参照）に送信する。レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０からトリガ信号を受信することなく、この発振トリガ信号を出力する。

[0090] Ｓ１３４において、レーザ制御プロセッサ１３０は、光計測器１７を用いて波長λ１を計測する。

[0091] Ｓ１３５において、レーザ制御プロセッサ１３０は、位置θ１と波長λ１とを対応付けてメモリ１３２に記憶させる。

[0092] Ｓ１３６において、レーザ制御プロセッサ１３０は、位置θ１を次の位置θ１＋Δθ１に設定する。Δθ１は、波長λ１キャリブレーションのための位置θ１の移動量である。

[0093] Ｓ１３７において、レーザ制御プロセッサ１３０は、位置θ１を示す値がθ１ｍａｘ未満であるか否かを判定する。θ１ｍａｘは、例えば、第１の回転ステージ５１２の可動範囲内におけるθ１の最大値である。

位置θ１を示す値がθ１ｍａｘ未満である場合（Ｓ１３７：ＹＥＳ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１３３に戻す。

位置θ１を示す値がθ１ｍａｘ以上である場合（Ｓ１３７：ＮＯ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１３８に進める。

[0094] Ｓ１３８において、レーザ制御プロセッサ１３０は、エンコーダ５１３によって計測された第１の回転ステージ５１２の位置θ１と、光計測器１７を用いて計測された波長λ１と、の第１の関係λ１θ１を示す式を算出する。

[0095] Ｓ１３９において、レーザ制御プロセッサ１３０は、第１の関係λ１θ１のパラメータをメモリ１３２に記憶させる。第１の関係λ１θ１のパラメー

タは、例えば、第１の関係λ１θ１を示す式の係数である。

Ｓ１３９の後、レーザ制御プロセッサ１３０は、本フローチャートの処理を終了し、図１５に示される処理に戻る。

[0096] 図２２は、波長λ１キャリブレーションによって取得される第１の関係λ１θ１の一例を示す。第１の回転ステージ５１２の位置θ１をθ１ｍｉｎからθ１ｍａｘまで変化させると、グレーティング５１の姿勢が変化し、波長λ１が変化する。レーザ制御プロセッサ１３０は、エンコーダ５１３によって計測される第１の回転ステージ５１２の位置θ１と、光計測器１７を用いて計測される波長λ１と、の関係を示す以下のような近似式を図１６のＳ１３８において作成してもよい。

λ１＝ａ１・θ１＋ｂ１

また、このような近似式に含まれる係数ａ１、ｂ１等のパラメータを図１６のＳ１３９においてメモリ１３２に記憶させてもよい。

[0097] ２．５．３ 波長λ２キャリブレーション

図１７は、第１の実施形態における波長λ２キャリブレーションの処理を示すフローチャートである。図１７に示される処理は、図１５のＳ１４のサブルーチンに相当する。

[0098] Ｓ１４１において、レーザ制御プロセッサ１３０は、リニアステージ６１２の位置Ｙを第２の位置Ｙｍａｘに設定する。これにより、図１２に示されるように光ビームの全体が通過する位置に平行平面基板６１が移動する。従って、パルスレーザ光における波長λ２の波長成分の割合が波長λ１の波長成分の割合より大きくなる。

[0099] Ｓ１４２～Ｓ１４９の処理は、図１６における波長λ１及び位置θ１をそれぞれ波長λ２及び位置θ２に置換えた他、付随する置換えを行ったものであり、詳細な説明を省略する。

[0100] 図２３は、波長λ２キャリブレーションによって取得される第２の関係λ２θ２の一例を示す。第２の回転ステージ５２２の位置θ２をθ２ｍｉｎからθ２ｍａｘまで変化させると、グレーティング５２の姿勢が変化し、波長

λ２が変化する。レーザ制御プロセッサ１３０は、エンコーダ５２３によって計測される第２の回転ステージ５２２の位置θ２と、光計測器１７を用いて計測される波長λ２と、の関係を示す以下のような近似式を図１７のＳ１４８において作成してもよい。

λ２＝ａ２・θ２＋ｂ２

また、このような近似式に含まれる係数ａ２、ｂ２等のパラメータを図１７のＳ１４９においてメモリ１３２に記憶させてもよい。

[0101] ２．５．４　強度比Ｒキャリブレーション

図１８は、第１の実施形態における強度比Ｒキャリブレーションの処理を示すフローチャートである。図１８に示される処理は、図１５のＳ１６のサブルーチンに相当する。

[0102] Ｓ１６０において、レーザ制御プロセッサ１３０は、波長λ１が第１の計測波長となるように、第１の回転ステージ５１２の位置θ１を設定する。第１の計測波長としては、例えば、露光光として使用されるパルスレーザ光の波長に近い値が選択される。位置θ１は、波長λ１キャリブレーション（図１６参照）によって取得された第１の関係λ１θ１を用いて設定されてもよい。あるいは、リニアステージ６１２の位置Ｙを第１の位置Ｙｍｉｎに設定して実際にレーザ発振を行い、光計測器１７を用いて計測される波長λ１が第１の計測波長となるように、位置θ１が設定されてもよい。

[0103] Ｓ１６１において、レーザ制御プロセッサ１３０は、波長λ２が第２の計測波長λ１＋ＦＳＲ／２となるように、第２の回転ステージ５２２の位置θ２を設定する。第２の計測波長は、第１の計測波長にフリースペクトラルレンジの半分を加算して得られた値である。すなわち、波長λ１と波長λ２との波長差がフリースペクトラルレンジの半分となるように、波長λ１及び波長λ２が設定される。図６に示される分光センサ１７ｇのフリースペクトラルレンジが分光センサ１７ｆのフリースペクトラルレンジより大きい場合、波長λ１と波長λ２との波長差は、分光センサ１７ｆのフリースペクトラルレンジの半分となるように設定してもよい。

[0104] 図１９は、フリースペクトラルレンジの半分の波長差を有する波長λ１及び波長λ２のパルスレーザ光を別々に分光センサ１７ｆに入射させた場合の干渉縞の計測結果の一例を示すグラフである。波長差をフリースペクトラルレンジの半分とした場合には、波長λ１の干渉縞のピークと、波長λ２の干渉縞のピークとが互いに大きな間隔をあけて交互に現れる。

[0105] 図２０及び図２１は、フリースペクトラルレンジの半分の波長差を有する波長λ１及び波長λ２のパルスレーザ光を同時に分光センサ１７ｆに入射させた場合の干渉縞の計測結果の一例を示すグラフである。図２０に示される波形は、図１９における波長λ１の干渉縞の波形と波長λ２の干渉縞の波形との合成波形にほぼ相当する。

[0106] 図１８を再び参照し、Ｓ１６２において、レーザ制御プロセッサ１３０は、リニアステージ６１２の位置Ｙを第１の位置Ｙｍｉｎに設定する。

[0107] Ｓ１６３において、レーザ制御プロセッサ１３０は、レーザ装置１００がレーザ発振を行うように、発振トリガ信号をパルスパワーモジュール１３のスイッチ１３ａに送信する。この処理はＳ１３３（図１６参照）と同様である。

[0108] Ｓ１６４において、レーザ制御プロセッサ１３０は、光計測器１７を用いて強度比Ｒを計測する。

図２０は、Ｅλ１／（Ｅλ１＋Ｅλ２）で定義される強度比Ｒが１／２である場合の干渉縞の計測結果の一例を示す。

図２１は、Ｅλ１／（Ｅλ１＋Ｅλ２）で定義される強度比Ｒが１０／１１である場合の干渉縞の計測結果の一例を示す。

図２０及び図２１からわかるように、波長λ１と波長λ２との波長差がフリースペクトラルレンジの半分に近い値である場合、波長λ１の干渉縞のピークと、波長λ２の干渉縞のピークとを区別して特定することができる。第１の計測波長と第２の計測波長とが既知であれば、干渉縞の区別は一層容易である可能性がある。干渉縞を区別できたら、それぞれの干渉縞の光強度Ｉの値から、強度比Ｒを計算することができる。

[0109] 図１８を再び参照し、Ｓ１６５において、レーザ制御プロセッサ１３０は、位置Ｙと強度比Ｒとを対応付けてメモリ１３２に記憶させる。

[0110] Ｓ１６６において、レーザ制御プロセッサ１３０は、位置Ｙを次の位置Ｙ＋ΔＹに設定する。ΔＹは、強度比Ｒキャリブレーションのための位置Ｙの移動量である。

[0111] Ｓ１６７において、レーザ制御プロセッサ１３０は、位置Ｙを示す値がＹｍａｘ未満であるか否かを判定する。

位置Ｙを示す値がＹｍａｘ未満である場合（Ｓ１６７：ＹＥＳ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１６３に戻す。

位置Ｙを示す値がＹｍａｘ以上である場合（Ｓ１６７：ＮＯ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１６８に進める。

[0112] Ｓ１６８において、レーザ制御プロセッサ１３０は、エンコーダ６１３によって計測されたリニアステージ６１２の位置Ｙと、光計測器１７を用いて計測された強度比Ｒと、の第３の関係ＲＹを示す式を算出する。

[0113] Ｓ１６９において、レーザ制御プロセッサ１３０は、第３の関係ＲＹのパラメータをメモリ１３２に記憶させる。第３の関係ＲＹのパラメータは、例えば、第３の関係ＲＹを示す式の係数である。

Ｓ１６９の後、レーザ制御プロセッサ１３０は、本フローチャートの処理を終了し、図１５に示される処理に戻る。

[0114] 図２４は、強度比Ｒキャリブレーションによって取得される第３の関係ＲＹの一例を示す。リニアステージ６１２の位置Ｙを第１の位置Ｙｍｉｎから第２の位置Ｙｍａｘまで変化させると、平行平面基板６１の位置が変化し、強度比Ｒが変化する。但し、ＹｍｉｎからＹａまでの間は強度比Ｒが１となっている。すなわち、波長λ１キャリブレーション（図１６参照）においては平行平面基板６１に光ビームが入射しないように、平行平面基板６１と光ビームとの間に十分なクリアランスが確保されている。また、Ｙａ＋１／αからＹｍａｘまでの間は強度比Ｒが０となっている。すなわち、波長λ２キャリブレーション（図１７参照）においては光ビームの全体が平行平面基板

６１に入射するように、光ビームの下端位置よりも下方に平行平面基板６１の端面６１６が配置されている。

[0115] 第３の関係ＲＹは、例えば以下のような式で表される。

Ｒ＝１－α×（Ｙ－Ｙａ）

但し、ＹがＹａ以下であれば、Ｒは１であり、ＹがＹａ＋１／α以上であれば、Ｒは０でよい。

レーザ制御プロセッサ１３０は、このような第３の関係ＲＹを示す式を図１８のＳ１６８において作成してもよい。

また、このような式に含まれる係数α、Ｙａ等のパラメータを図１８のＳ１６９においてメモリ１３２に記憶させてもよい。

[0116] ２．５．５ 露光光の出力

図２５は、第１の実施形態における露光光の出力の処理を示すフローチャートである。図２５に示される処理は、図１５のＳ２１のサブルーチンに相当する。

[0117] Ｓ２１２において、レーザ制御プロセッサ１３０は、目標波長λ１ｔ及びλ２ｔ、及び目標強度比Ｒｔを読込む。目標波長λ１ｔ及びλ２ｔ、及び目標強度比Ｒｔは、露光制御プロセッサ２１０から受信したものでもよい。

あるいは、レーザ制御プロセッサ１３０は、目標波長λ１ｔ及びλ２ｔの代わりに、目標の平均波長（λ１ｔ＋λ２ｔ）／２と、目標波長差λ１ｔ－λ２ｔと、を露光制御プロセッサ２１０から受信してもよい。あるいは、レーザ制御プロセッサ１３０は、目標波長λ１ｔと、目標波長差λ１ｔ－λ２ｔと、を露光制御プロセッサ２１０から受信してもよい。レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から受信したこれらの値から目標波長λ１ｔ及びλ２ｔを計算し、計算結果を読込んでもよい。

また、レーザ制御プロセッサ１３０は、目標強度比Ｒｔの代わりに、それぞれの波長成分の目標パルスエネルギーＥλ１ｔ及びＥλ２ｔを露光制御プロセッサ２１０から受信してもよい。レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から受信したこれらの値から目標強度比Ｒｔを計算し

、計算結果を読込んでもよい。

[0118] Ｓ２１３において、レーザ制御プロセッサ１３０は、第１の回転ステージ５１２の目標位置θ１ｔ、第２の回転ステージ５２２の目標位置θ２ｔ、及びリニアステージ６１２の目標位置Ｙｔを計算する。

目標位置θ１ｔは、波長λ１キャリブレーションで取得した第１の関係λ１θ１と、露光制御プロセッサ２１０から受信した目標波長λ１ｔとに基づいて計算される。

目標位置θ２ｔは、波長λ２キャリブレーションで取得した第２の関係λ２θ２と、露光制御プロセッサ２１０から受信した目標波長λ２ｔとに基づいて計算される。

目標位置Ｙｔは、強度比Ｒキャリブレーションで取得した第３の関係ＲＹと、露光制御プロセッサ２１０から受信した目標強度比Ｒｔとに基づいて計算される。

[0119] Ｓ２１４において、レーザ制御プロセッサ１３０は、各種アクチュエータの位置θ１、θ２、及びＹをそれぞれの目標位置θ１ｔ、θ２ｔ、及びＹｔに設定する。そして、レーザ制御プロセッサ１３０は以下のように各種アクチュエータを制御する。

レーザ制御プロセッサ１３０は、エンコーダ５１３によって計測される第１の回転ステージ５１２の位置θ１が目標位置θ１ｔに近づくように、第１の回転ステージ５１２を制御する。

レーザ制御プロセッサ１３０は、エンコーダ５２３によって計測される第２の回転ステージ５２２の位置θ２が目標位置θ２ｔに近づくように、第２の回転ステージ５２２を制御する。

レーザ制御プロセッサ１３０は、エンコーダ６１３によって計測されるリニアステージ６１２の位置Ｙが目標位置Ｙｔに近づくように、リニアステージ６１２を制御する。

[0120] Ｓ２１５において、レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０からトリガ信号を受信したか否かを判定する。

トリガ信号を受信していない場合（Ｓ２１５：ＮＯ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、トリガ信号を受信するまで待機する。

トリガ信号を受信した場合（Ｓ２１５：ＹＥＳ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ２１６に進める。

[0121] Ｓ２１６において、レーザ制御プロセッサ１３０は、発振トリガ信号をパルスパワーモジュール１３のスイッチ１３ａに送信し、レーザ発振が行われるようにレーザ装置１００を制御する。

[0122] Ｓ２１６の後、レーザ制御プロセッサ１３０は、本フローチャートの処理を終了し、図１５に示される処理に戻る。

[0123] ２．６ 作用

（１）第１の実施形態によれば、レーザ装置１００は、グレーティング５１及びグレーティング５２、グレーティング５１の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる波長λ１を変化させる第１の回転ステージ５１２、グレーティング５２の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる波長λ２を変化させる第２の回転ステージ５２２、第１の回転ステージ５１２の位置θ１を計測するエンコーダ５１３、第２の回転ステージ５２２の位置θ２を計測するエンコーダ５２３、及びレーザ制御プロセッサ１３０を含む。

[0124] レーザ制御プロセッサ１３０は、第１の回転ステージ５１２の位置θ１と波長λ１との第１の関係λ１θ１、及び第２の回転ステージ５２２の位置θ２と波長λ２との第２の関係λ２θ２を読込む（Ｓ２０）。

また、レーザ制御プロセッサ１３０は、第１の関係λ１θ１とエンコーダ５１３によって計測される第１の回転ステージ５１２の位置θ１とに基づく第１の回転ステージ５１２の制御と、第２の関係λ２θ２とエンコーダ５２３によって計測される第２の回転ステージ５２２の位置θ２とに基づく第２の回転ステージ５２２の制御と、を行う（Ｓ２１３、Ｓ２１４）。

[0125] これによれば、第１の関係λ１θ１とエンコーダ５１３の出力とに基づいて第１の回転ステージ５１２を制御し、第２の関係λ２θ２とエンコーダ５

２３の出力とに基づいて第２の回転ステージ５２２を制御する。従って、露光光を出力するときに波長λ１と波長λ２とを計測しなくてもこれらの波長を調整することができる。波長の算出は、分光センサで得られる干渉縞のデータに、光計測器１７の装置関数を用いたデコンボリューション処理を施すことが多い。通常、波長の算出にはレーザ装置１００の最短発振周期よりも長い時間を要する。このため、任意の２波長を１パルス毎に制御しながら出力することが困難であった。しかし第１の実施形態によれば、露光光を出力するときに波長λ１と波長λ２とを計測しないため、露光光出力時に波長算出に伴うデコンボリューション処理も不要である。したがって、任意の２波長を１パルス毎に制御しながら出力することが可能である。

[0126] （２）第１の実施形態によれば、レーザ装置１００は、波長λ１及び波長λ２を計測する光計測器１７を備える。

[0127] レーザ制御プロセッサ１３０は、光計測器１７を用いて波長λ１を計測し（Ｓ１３４）、エンコーダ５１３によって計測される第１の回転ステージ５１２の位置θ１と、波長λ１と、の関係を第１の関係λ１θ１としてメモリ１３２に記憶させる処理（Ｓ１３８、Ｓ１３９）を行う。

また、レーザ制御プロセッサ１３０は、光計測器１７を用いて波長λ２を計測し（Ｓ１４４）、エンコーダ５２３によって計測される第２の回転ステージ５２２の位置θ２と、波長λ２と、の関係を第２の関係λ２θ２としてメモリ１３２に記憶させる処理（Ｓ１４８、Ｓ１４９）を行う。

[0128] これによれば、光計測器１７を用いて計測される波長λ１と、エンコーダ５１３によって計測される第１の回転ステージ５１２の位置θ１と、の第１の関係λ１θ１を記憶する。また、光計測器１７を用いて計測される波長λ２と、エンコーダ５２３によって計測される第２の回転ステージ５２２の位置θ２と、の第２の関係λ２θ２を記憶する。このように第１の関係λ１θ１及び第２の関係λ２θ２を予め計測して記憶するので、エンコーダ５１３及び５２３を用いた波長λ１及びλ２の制御を精度よく行うことができる。

[0129] （３）第１の実施形態によれば、レーザ装置１００は、波長λ１と波長λ

２との強度比Ｒを変化させるリニアステージ６１２を備える。

[0130] レーザ制御プロセッサ１３０は、リニアステージ６１２により波長λ１の割合を波長λ２の割合より大きくした状態で（Ｓ１３１）、光計測器１７を用いて波長λ１を計測する（Ｓ１３４）。レーザ制御プロセッサ１３０は、リニアステージ６１２により波長λ２の割合を波長λ１の割合より大きくした状態で（Ｓ１４１）、光計測器１７を用いて波長λ２を計測する（Ｓ１４４）。

[0131] これによれば、波長λ１と波長λ２との強度比Ｒを変えて波長λ１と波長λ２とを個別に計測するので、これらの波長を精度よく計測することができる。

[0132] （４）第１の実施形態によれば、レーザ装置１００は、波長λ１と波長λ２との強度比Ｒを変化させるリニアステージ６１２と、リニアステージ６１２の位置Ｙを計測するエンコーダ６１３と、を備える。

[0133] レーザ制御プロセッサ１３０は、リニアステージ６１２の位置Ｙと強度比Ｒとの第３の関係ＲＹを読込み（Ｓ２０）、第３の関係ＲＹと、エンコーダ６１３によって計測されるリニアステージ６１２の位置Ｙと、に基づいてリニアステージ６１２の制御を行う（Ｓ２１３、Ｓ２１４）。

[0134] これによれば、第３の関係ＲＹとエンコーダ６１３の出力とに基づいてリニアステージ６１２を制御する。従って、露光光を出力するときに波長λ１と波長λ２との強度比Ｒを計測しなくても、強度比Ｒを調整することができる。

[0135] （５）第１の実施形態によれば、レーザ装置１００は、波長λ１と波長λ２との強度比Ｒを計測する光計測器１７を備える。レーザ制御プロセッサ１３０は、光計測器１７を用いて強度比Ｒを計測し（Ｓ１６４）、エンコーダ６１３によって計測されるリニアステージ６１２の位置Ｙと、強度比Ｒと、の関係を第３の関係ＲＹとしてメモリ１３２に記憶させる（Ｓ１６８、Ｓ１６９）。

[0136] これによれば、光計測器１７を用いて計測される強度比Ｒと、エンコーダ

６１３によって計測されるリニアステージ６１２の位置Ｙと、の第３の関係ＲＹを記憶する。このように第３の関係ＲＹを予め計測して記憶するので、エンコーダ６１３を用いた強度比Ｒの制御を精度よく行うことができる。

[0137] （６）第１の実施形態によれば、レーザ制御プロセッサ１３０は、波長λ１と波長λ２との波長差が光計測器１７のフリースペクトラルレンジの半分に近づくように第１の回転ステージ５１２及び第２の回転ステージ５２２の制御を行い（Ｓ１６０、Ｓ１６１）、その後、光計測器１７を用いて強度比Ｒを計測する（Ｓ１６４）。

[0138] これによれば、波長λ１と波長λ２との波長差をフリースペクトラルレンジの半分に近づくように調整することにより、波長λ１と波長λ２との両方を同時に出力した場合でもこれらの強度比Ｒを計測することができる。

他の点については、第１の実施形態は上述の比較例と同様である。

[0139] ３．繰返し周波数ｆ及び充電電圧Ｖに応じて第３の関係ＲＹを選定するレーザ装置

３．１　メインフロー

図２６は、第２の実施形態におけるレーザ制御プロセッサ１３０の動作を示すフローチャートである。第２の実施形態に係るレーザ装置１００の構成は第１の実施形態と同様である。第２の実施形態は、強度比Ｒキャリブレーション（Ｓ１６）の代わりに第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーション（Ｓ１５ｂ）を行う点で、第１の実施形態と異なる。また、第２の実施形態においては、露光光の出力（Ｓ２１）の代わりに露光光の出力（Ｓ２１ｂ）が行われる。

[0140] ３．２　第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーション

図２７は、第２の実施形態における第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーションの処理を示すフローチャートである。図２７に示される処理は、図２６のＳ１５ｂのサブルーチンに相当する。

[0141] Ｓ１５１において、レーザ制御プロセッサ１３０は、パルスレーザ光の繰返し周波数ｆをｆｍｉｎに設定する。ここで、ｆｍｉｎは露光制御プロセッ

サ２１０から要求され得る繰返し周波数ｆの最小値である。

[0142] Ｓ１５２において、レーザ制御プロセッサ１３０は、充電器１２（図２参照）の充電電圧ＶをＶｍｉｎに設定する。ここで、Ｖｍｉｎは露光制御プロセッサ２１０から要求され得るパルスエネルギーの範囲に応じた充電電圧Ｖの最小値である。

[0143] Ｓ１５２の次に、Ｓ１６において、レーザ制御プロセッサ１３０は、強度比Ｒキャリブレーションを行う。Ｓ１６の処理は、第１の実施形態における強度比Ｒキャリブレーションと同様である。但し、第２の実施形態における強度比Ｒキャリブレーションは、本フローチャートによるループ処理に従って、波長λ１キャリブレーションや波長λ２キャリブレーションよりも多数回行われる点で、第１の実施形態における強度比Ｒキャリブレーションと異なる。

[0144] Ｓ１６の次に、Ｓ１５４において、レーザ制御プロセッサ１３０は、充電電圧Ｖを次の値Ｖ＋ΔＶに設定する。ΔＶは、第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーションのための充電電圧Ｖの変化量である。

[0145] Ｓ１５５において、レーザ制御プロセッサ１３０は、充電電圧ＶがＶｍａｘ未満であるか否かを判定する。

充電電圧ＶがＶｍａｘ未満である場合（Ｓ１５５：ＹＥＳ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１６に戻す。

充電電圧ＶがＶｍａｘ以上である場合（Ｓ１５５：ＮＯ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１５６に進める。

[0146] Ｓ１５６において、レーザ制御プロセッサ１３０は、繰返し周波数ｆを次の値ｆ＋Δｆに設定する。Δｆは、第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーションのための繰返し周波数ｆの変化量である。

[0147] Ｓ１５７において、レーザ制御プロセッサ１３０は、繰返し周波数ｆがｆｍａｘ未満であるか否かを判定する。

繰返し周波数ｆがｆｍａｘ未満である場合（Ｓ１５７：ＹＥＳ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１５２に戻す。

繰返し周波数ｆがｆｍａｘ以上である場合（Ｓ１５７：ＮＯ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、本フローチャートの処理を終了し、図２６に示される処理に戻る。

[0148] 図２８は、第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーションによってメモリ１３２に記憶されるデータの一例を示す。第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）キャリブレーションにおいては、強度比Ｒキャリブレーション（Ｓ１６）が、繰返し周波数ｆ及び充電電圧Ｖに応じて複数回行われる。その結果、メモリ１３２には、繰返し周波数ｆ及び充電電圧Ｖに応じた複数の第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）が記憶される。メモリ１３２は、複数の第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）をテーブルの形式で記憶してもよい。このテーブルを以下の説明で「第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）テーブル」ということがある。

[0149] 図２８において、第３の関係ＲＹ（ｆｉ、Ｖｊ）は、ｉ番目の繰返し周波数ｆｉと、ｊ番目の充電電圧Ｖｊを設定して、強度比Ｒキャリブレーションを行って得られる強度比Ｒとリニアステージ６１２の位置Ｙとの関係である。第３の関係ＲＹ（ｆｉ、Ｖｊ）の数は、ｉの最大値とｊの最大値とを乗算して得られる数に相当する。

[0150] ３．３　露光光の出力

図２９は、第２の実施形態における露光光の出力の処理を示すフローチャートである。図２９に示される処理は、図２６のＳ２１ｂのサブルーチンに相当する。

[0151] Ｓ２１０ｂにおいて、レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から受信する信号に基づいて、繰返し周波数ｆ及び充電電圧Ｖを設定する。

[0152] Ｓ２１１ｂにおいて、レーザ制御プロセッサ１３０は、設定された繰返し周波数ｆ及び充電電圧Ｖで、第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）テーブルを検索する。レーザ制御プロセッサ１３０は、設定された繰返し周波数ｆ及び充電電圧Ｖに対応する第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）を特定する。

例えば、Ｓ２１０ｂで設定された繰返し周波数ｆがｆ１以上、ｆ２未満で

あり、設定された充電電圧ＶがＶ１以上、Ｖ２未満である場合には、図２８の第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）テーブルから、第３の関係ＲＹ（ｆ１，Ｖ１）が特定される。

[0153] Ｓ２１２以降の処理は、第１の実施形態において対応する処理と同様である。すなわち、Ｓ２１１ｂにおいて特定された第３の関係ＲＹ（ｆ１，Ｖ１）に基づいて、波長λ１、λ２及び強度比Ｒがそれぞれ目標値に近づくように、第１の回転ステージ５１２、第２の回転ステージ５２２、及びリニアステージ６１２が制御される。その後、露光光が出力される。

[0154] ３．４ 作用

（７）第２の実施形態によれば、第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）は、パルスレーザ光の繰返し周波数ｆと関連付けてメモリ１３２に記憶される。レーザ制御プロセッサ１３０は、パルスレーザ光の繰返し周波数ｆと関連付けられた第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）と、エンコーダ６１３によって計測されるリニアステージ６１２の位置Ｙと、に基づいてリニアステージ６１２の制御を行う。

[0155] 第１及び第２の実施形態においては、光ビームを第１の部分Ｂ１と第２の部分Ｂ２とに空間的に分割してそれぞれ波長制御しているので、光ビームの光路においてガス密度が均一であることが望ましい。しかし、繰返し周波数ｆが変わると光ビームの光路においてガス密度の揺らぎが生じ、強度比Ｒに影響する場合がある。第２の実施形態によれば、繰返し周波数ｆに応じて適切な第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）が選定されるので、強度比Ｒの制御の精度を向上し得る。

[0156] （８）第２の実施形態によれば、レーザ装置１００は、レーザチャンバ１０と、レーザチャンバ１０に配置された一対の電極１１ａ及び１１ｂと、電極１１ａ及び１１ｂに電圧を印加するための電気エネルギーを保持する充電器１２と、を備える。

[0157] 第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）は、充電器１２の充電電圧Ｖと関連付けてメモリ１３２に記憶される。レーザ制御プロセッサ１３０は、充電器１２の充電

電圧Ｖと関連付けられた第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）と、エンコーダ６１３によって計測されるリニアステージ６１２の位置Ｙと、に基づいてリニアステージ６１２の制御を行う。

[0158] 第１及び第２の実施形態においては、充電電圧Ｖが変わると光ビームの光路においてガス密度の揺らぎが生じ、強度比Ｒに影響する場合がある。第２の実施形態によれば、充電電圧Ｖに応じて適切な第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）が選定されるので、強度比Ｒの制御の精度を向上し得る。

[0159] ３．５ 他の構成例

第２の実施形態においては、リニアステージ６１２の位置Ｙと強度比Ｒとの第３の関係ＲＹに、繰返し周波数ｆと充電電圧Ｖとを加味して第３の関係ＲＹ（ｆ，Ｖ）テーブルとして記憶する場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。リニアステージ６１２の位置Ｙ、強度比Ｒ、繰返し周波数ｆ、及び充電電圧Ｖの関係を、例えば以下のような式で表現してもよい。

$$R = a1 \cdot Y + a2 \cdot Y^2 + b1 \cdot f + b2 \cdot f^2 + c1 \cdot V + c1 \cdot V^2 + d$$

他の点については、第２の実施形態は第１の実施形態と同様である。

[0160] ４．第３の関係ＲＹを用いずに強度比Ｒを調整するレーザ装置

４．１ メインフロー

図３０は、第３の実施形態におけるレーザ制御プロセッサ１３０の動作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装置１００の構成は第１の実施形態と同様である。第３の実施形態は、強度比Ｒキャリブレーション（Ｓ１６）の代わりにリニアステージ６１２の位置Ｙの設定（Ｓ１７ｃ）を行う点で、第１の実施形態と異なる。また、第３の実施形態においては、露光光の出力（Ｓ２１）の代わりに露光光の出力（Ｓ２１ｃ）が行われる。また、第１の実施形態における各種アクチュエータの位置を記憶する処理（Ｓ１２）及び記憶した位置に各種アクチュエータを復帰させる処理（Ｓ１８）は、第３の実施形態においては省略される。

[0161] ４．２　リニアステージ６１２の位置Ｙの設定

図３１は、第３の実施形態におけるリニアステージ６１２の位置Ｙの設定の処理を示すフローチャートである。図３１に示される処理は、図３０のＳ１７ｃのサブルーチンに相当する。

[0162] Ｓ１７０及びＳ１７１の処理は、図１８のＳ１６０及びＳ１６１の処理と同様である。すなわち、レーザ制御プロセッサ１３０は、波長λ１と波長λ２との波長差が光計測器１７のフリースペクトラルレンジの半分となるように第１の回転ステージ５１２及び第２の回転ステージ５２２を制御する。

[0163] Ｓ１７２において、レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から受信する信号に基づいて、繰返し周波数ｆ及び充電電圧Ｖを設定する。繰返し周波数ｆ及び充電電圧Ｖを設定した後でリニアステージ６１２の位置Ｙを設定することにより、強度比Ｒを精度良く調整し得る。

[0164] Ｓ１７３において、レーザ制御プロセッサ１３０は、目標強度比Ｒｔを読込む。目標強度比Ｒｔは、露光制御プロセッサ２１０から受信したものでもよい。

[0165] Ｓ１７４において、レーザ制御プロセッサ１３０は、レーザ装置１００がレーザ発振を行うように、発振トリガ信号をパルスパワーモジュール１３のスイッチ１３ａ（図２参照）に送信する。この処理はＳ１３３（図１６参照）と同様である。

[0166] Ｓ１７５において、レーザ制御プロセッサ１３０は、光計測器１７を用いて強度比Ｒを計測する。

[0167] Ｓ１７６において、レーザ制御プロセッサ１３０は、強度比Ｒと目標強度比Ｒｔとの差が許容範囲内か否かを判定する。

強度比Ｒと目標強度比Ｒｔとの差が許容範囲内である場合（Ｓ１７６：ＹＥＳ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、本フローチャートの処理を終了し、図３０に示される処理に戻る。

強度比Ｒと目標強度比Ｒｔとの差が許容範囲内ではない場合（Ｓ１７６：ＮＯ）、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１７７に進める。

[0168] Ｓ１７７において、レーザ制御プロセッサ１３０は、計測される強度比Ｒが目標強度比Ｒｔに近づくように、リニアステージ６１２を制御する。

Ｓ１７７の後、レーザ制御プロセッサ１３０は、処理をＳ１７４に戻す。

[0169] ４．３ 露光光の出力

図３２は、第３の実施形態における露光光の出力の処理を示すフローチャートである。図３２に示される処理は、図３０のＳ２１ｃのサブルーチンに相当する。

[0170] 図３２に示される処理は、目標強度比Ｒｔに基づくリニアステージ６１２の制御を含まない点で、図２５に示される第１の実施形態の処理と異なる。他の点については、図３２に示される処理は図２５に示される処理と同様である。すなわち、第１の関係λ１θ１及び第２の関係λ２θ２に基づいて、第１の回転ステージ５１２の目標位置θ１ｔと、第２の回転ステージ５２２の目標位置θ２ｔと、が計算される（Ｓ２１３ｃ）。さらに、エンコーダ５１３によって計測される第１の回転ステージ５１２の位置θ１、及びエンコーダ５２３によって計測される第２の回転ステージ５２２の位置θ２がそれぞれ目標位置θ１ｔ及びθ２ｔに近づくように、これらの回転ステージが制御される（Ｓ２１４ｃ）。その後、露光光が出力される。

[0171] ４．４ 作用

（９）第３の実施形態によれば、レーザ装置１００は、波長λ１と波長λ２との強度比Ｒを変化させるリニアステージ６１２と、波長λ１と波長λ２との強度比Ｒを計測する光計測器１７と、を備える。

[0172] レーザ制御プロセッサ１３０は、目標強度比Ｒｔを読込み（Ｓ１７３）、光計測器１７を用いて計測される強度比Ｒが目標強度比Ｒｔに近づくようにリニアステージ６１２の制御を行う（Ｓ１７７）。その後、レーザ制御プロセッサ１３０は、第１の関係λ１θ１とエンコーダ５１３によって計測される第１の回転ステージ５１２の位置θ１とに基づく第１の回転ステージ５１２の制御と、第２の関係λ２θ２とエンコーダ５２３によって計測される第２の回転ステージ５２２の位置θ２とに基づく第２の回転ステージ５２２の

制御と、を行う（Ｓ２１４ｃ）。

[0173] これによれば、レーザ制御プロセッサ１３０は、強度比Ｒの計測結果に基づいてリニアステージ６１２を制御した後で、第１の関係λ１θ１及び第２の関係λ２θ２とエンコーダ５１３及び５２３による計測結果とに基づいて第１の回転ステージ５１２及び第２の回転ステージ５２２を制御する。従って、第３の関係ＲＹを予め計測しなくても強度比Ｒを調整することができ、露光光を出力するときは第１の関係λ１θ１及び第２の関係λ２θ２に基づいて波長λ１及び波長λ２を調整することができる。

[0174] （１０）第３の実施形態によれば、レーザ制御プロセッサ１３０は、波長λ１と波長λ２との波長差が光計測器１７のフリースペクトラルレンジの半分に近づくように第１の回転ステージ５１２及び第２の回転ステージ５２２の制御を行う（Ｓ１７０、Ｓ１７１）。その後、レーザ制御プロセッサ１３０は、光計測器１７を用いて計測される強度比Ｒが目標強度比Ｒｔに近づくようにリニアステージ６１２の制御を行う（Ｓ１７５、Ｓ１７７）。

[0175] これによれば、波長λ１と波長λ２との波長差をフリースペクトラルレンジの半分に近づくように調整することにより、波長λ１と波長λ２との両方を同時に出力してこれらの強度比Ｒを計測し、リニアステージ６１２を制御することができる。その後、露光光を出力するときは第１の関係λ１θ１及び第２の関係λ２θ２を用いることにより、波長λ１及び波長λ２をそれぞれ目標波長λ１ｔ及び目標波長λ２ｔに調整することができる。

他の点については、第３の実施形態は上述の第１の実施形態と同様である。

[0176] ５．複数のプリズム４３及び４４をＸＺ面内に配置した狭帯域化装置１４ｄ

５．１ 構成

図３３及び図３４は、第４の実施形態における狭帯域化装置１４ｄの構成を概略的に示す。図３３は、＋Ｙ方向に見た狭帯域化装置１４ｄを示し、図３４は、－Ｘ方向に見た狭帯域化装置１４ｄを示す。狭帯域化装置１４ｄは、第１の実施形態におけるグレーティングシステム５０ａ及びビーム分離光

学系６０ａの代わりに、プリズム４３及び４４と、グレーティング５３と、平行平面基板７１と、を含む。

[0177] プリズム４３及び４４は、プリズム４２を通過した光ビームの光路において、プリズム４３及び４４のいずれかの波長分散方向ＤＤにおいて互いに異なる位置に配置されている。プリズム４３はホルダ４３１によって支持され、プリズム４４はホルダ４４１によって支持されている。プリズム４３及び４４の位置は、プリズム４２を通過した光ビームがプリズム４３及び４４にまたがって入射するように設定されている。プリズムの波長分散方向ＤＤとは、プリズムの表面における光の屈折角が波長に応じて分散する方向をいう。図３３及び図３４に示される例では、プリズム４３及び４４の波長分散方向ＤＤは同一である。

[0178] プリズム４３及び４４は、光ビームが入出射するプリズム４３及び４４の表面が、いずれもＹ軸に平行となるように配置されている。

プリズム４３は、第３の回転ステージ４３２によって、Ｙ軸に平行な軸周りに回転可能であり、プリズム４４は、第４の回転ステージ４４２によって、Ｙ軸に平行な軸周りに回転可能となっている。

プリズム４３の第３の回転ステージ４３２にはエンコーダ４３３が取り付けられている。プリズム４４の第４の回転ステージ４４２にはエンコーダ４４３が取り付けられている。

[0179] 第４の実施形態において、プリズム４３は本開示における第１の光学素子に相当し、プリズム４４は本開示における第２の光学素子に相当する。第３の回転ステージ４３２は本開示における第１のアクチュエータに相当し、第４の回転ステージ４４２は本開示における第２のアクチュエータに相当する。エンコーダ４３３は本開示における第１のエンコーダに相当し、エンコーダ４４３は本開示における第２のエンコーダに相当する。

[0180] グレーティング５３は、プリズム４３を通過した光ビームの第１の部分Ｂ１及びプリズム４４を通過した光ビームの第２の部分Ｂ２の両方の光路にまたがって配置されている。グレーティング５３の溝の方向は、Ｙ軸の方向に

一致している。グレーティング５３は、ホルダ５３１によって支持されている。

[0181] 平行平面基板７１は、ウインドウ１０ａから出射した光ビームの光路に配置されている。例えば、平行平面基板７１は、ウインドウ１０ａとプリズム４１との間の光ビームの光路に配置される。平行平面基板７１は、ホルダ７１１によって支持されている。平行平面基板７１は、光ビームが入出射する平行平面基板７１の表面が、いずれもＹ軸に平行となるように配置されている。平行平面基板７１は、第５の回転ステージ７１２によって、Ｙ軸に平行な軸周りに回転できるように構成されている。平行平面基板７１の第５の回転ステージ７１２にはエンコーダ７１３が取り付けられている

第４の実施形態における第５の回転ステージ７１２は本開示における第３のアクチュエータに相当する。エンコーダ７１３は本開示における第３のエンコーダに相当する。

[0182] ５．２ 動作

平行平面基板７１は、ウインドウ１０ａから出射した光ビームが入射する表面と、光ビームがプリズム４１に向けて出射する表面と、で同じ角度ずつ互いに逆向きに光ビームを屈折させて光ビームを透過させる。従って、平行平面基板７１に入射する光ビームに対して、平行平面基板７１から出射する光ビームは、進行方向が同じであり、平行平面基板７１の姿勢に応じて、Ｘ軸の方向に光路軸がシフトする。光路軸とは光路の中心軸をいう。

[0183] 平行平面基板７１を透過した光ビームは、プリズム４１に入射し、その後プリズム４２に入射する。プリズム４１及び４２は、光ビームのビーム幅をＸＺ面に平行な面内で拡大させながら、光ビームを透過させる。

[0184] プリズム４２を通過した光ビームの第１の部分Ｂ１がプリズム４３に入射し、第２の部分Ｂ２がプリズム４４に入射する。プリズム４３及び４４に入射する光ビームの入射角は、プリズム４３及び４４のそれぞれの姿勢に依存する。プリズム４３及び４４に入射した光ビームは、プリズム４３及び４４のそれぞれの姿勢に応じて進行方向を変えられて、グレーティング５３に向

けて出射する。

[0185] プリズム４３及び４４からグレーティング５３に入射した光は、グレーティング５３の複数の溝によって反射されるとともに、光の波長に応じた方向に回折させられる。これにより、グレーティング５３の複数の溝によって反射された光はＸＺ面に平行な面内で分散させられる。プリズム４３は、プリズム４３からグレーティング５３に入射する光ビームの第１の部分Ｂ１の入射角と、グレーティング５３によって回折させられた回折光のうちの波長λ１の光の回折角と、が一致するような姿勢に配置される。プリズム４４は、プリズム４４からグレーティング５３に入射する光ビームの第２の部分Ｂ２の入射角と、グレーティング５３によって回折させられた回折光のうちの波長λ２の光の回折角と、が一致するような姿勢に配置される。プリズム４３及び４４からグレーティング５３に入射する光ビームの入射角が互いに異なる場合、グレーティング５３からプリズム４３に戻される回折光の波長λ１と、グレーティング５３からプリズム４４に戻される回折光の波長λ２との間に波長差が生じる。

[0186] 図３３及び図３４において、光ビームを示す破線矢印はプリズム４１からグレーティング５３に向かう方向のみを示しているが、狭帯域化装置１４ｄによる選択波長の光ビームは、これらの破線矢印と逆の経路でグレーティング５３からプリズム４１へ向かう。

[0187] プリズム４１～４４は、グレーティング５３から戻された光のビーム幅をＸＺ面に平行な面内で縮小させるとともに、その光を、ウインドウ１０ａを介してレーザチャンバ１０内に戻す。

[0188] 第３の回転ステージ４３２及び第４の回転ステージ４４２は、レーザ制御プロセッサ１３０によって制御される。

第３の回転ステージ４３２がプリズム４３を僅かに回転させると、プリズム４３からグレーティング５３に向けて出射する光ビームの第１の部分Ｂ１の進行方向がＸＺ面に平行な面内で僅かに変化する。これにより、プリズム４３からグレーティング５３に入射する光ビームの第１の部分Ｂ１の入射角

が僅かに変化する。よって、波長λ１が変化する。

第４の回転ステージ４４２がプリズム４４を僅かに回転させると、プリズム４４からグレーティング５３に向けて出射する光ビームの第２の部分Ｂ２の進行方向がＸＺ面に平行な面内で僅かに変化する。これにより、プリズム４４からグレーティング５３に入射する光ビームの第２の部分Ｂ２の入射角が僅かに変化する。よって、波長λ２が変化する。

[0189] 以上の構成及び動作により、レーザチャンバ１０のウインドウ１０ａから出射した光ビームのうちの波長λ１と波長λ２とが選択されて、レーザチャンバ１０内に戻される。これにより、レーザ装置１００は、２波長発振を行うことができる。第３の回転ステージ４３２及び第４の回転ステージ４４２を制御することにより、波長λ１と波長λ２とを別々に設定することもできる。

[0190] 第５の回転ステージ７１２が平行平面基板７１の姿勢を変化させることにより、光ビームが平行平面基板７１を通過するときのＸ軸の方向へのシフト量が変化し、プリズム４１～４４に入射する光ビームの位置がそれぞれＸ軸の方向に変化する。これにより、第１の部分Ｂ１と第２の部分Ｂ２との割合が変化する。例えば、平行平面基板７１を図３３における時計回りに回転させた場合には、第１の部分Ｂ１の割合が減少し、反時計回りに回転させた場合には、第１の部分Ｂ１の割合が増加する。これにより、パルスレーザ光に含まれる波長λ１の波長成分と波長λ２の波長成分との強度比Ｒを調整することができる。

[0191] レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から受信した目標波長λ１ｔに基づいて第３の回転ステージ４３２を制御する。これにより、第３の回転ステージ４３２が、プリズム４３の姿勢を変化させる。

レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から受信した目標波長λ２ｔに基づいて第４の回転ステージ４４２を制御する。これにより、第４の回転ステージ４４２が、プリズム４４の姿勢を変化させる。

レーザ制御プロセッサ１３０は、露光制御プロセッサ２１０から受信した

目標強度比Ｒｔに基づいて第５の回転ステージ７１２を制御する。これにより、第５の回転ステージ７１２が、平行平面基板７１の姿勢を調整する。

[0192] 他の点については、第４の実施形態は第１～第３の実施形態の任意の１つと同様である。但し、第１～第３の実施形態のフローチャートにおいて、第１の実施形態の構成要素は第４の実施形態の対応する構成要素で置換えられる。例えば、第１の実施形態における第１の回転ステージ５１２、第２の回転ステージ５２２、及びリニアステージ６１２は、第４の実施形態の第３の回転ステージ４３２、第４の回転ステージ４４２、及び第５の回転ステージ７１２で置換えられる。

[0193] ５．３ 第１の変形例

図３５及び図３６は、第４の実施形態の第１の変形例における狭帯域化装置１４ｅの構成を概略的に示す。図３５は、＋Ｙ方向に見た狭帯域化装置１４ｅを示し、図３６は、－Ｘ方向に見た狭帯域化装置１４ｅを示す。

[0194] 狭帯域化装置１４ｅにおいて、プリズム４２は、第６の回転ステージ４２２によって、Ｙ軸に平行な軸周りに回転可能となっている。プリズム４２の第６の回転ステージ４２２にはエンコーダ４２３が取り付けられている。

第１の変形例におけるプリズム４２は本開示における第１の光学素子に相当する。第６の回転ステージ４２２は本開示における第１のアクチュエータに相当する。エンコーダ４２３は本開示における第１のエンコーダに相当する。

狭帯域化装置１４ｅにおいて、プリズム４３は一定の姿勢を維持するようにホルダ４３１によって支持されている。

[0195] 第１の変形例においては、第６の回転ステージ４２２がプリズム４２を回転させる。これにより、プリズム４２からプリズム４３及び４４を介してグレーティング５３に入射する光ビームの入射角が変化する。よって、波長λ１と波長λ２との両方が変化する。また、第４の回転ステージ４４２によってプリズム４４を回転させることにより、波長λ２を波長λ１とは独立に変化させ、波長λ１と波長λ２との波長差を変化させることができる。従って

、第６の回転ステージ４２２及び第４の回転ステージ４４２の両方を制御することにより、波長λ１と波長λ２とをそれぞれ目標波長λ１ｔ及びλ２ｔに近づけることができる。

[0196] プリズム４２を回転させると、プリズム４２からプリズム４３及び４４への光ビームの入射位置も変化する。このため、プリズム４２を回転させると、第１の部分Ｂ１と第２の部分Ｂ２との割合が変動し、波長λ１と波長λ２との強度比Ｒが変化する。プリズム４２を回転させることによって波長λ１と波長λ２との強度比Ｒが許容範囲外となる場合には、平行平面基板７１の姿勢を制御することにより、波長λ１と波長λ２の強度比Ｒを調整してもよい。

[0197] 他の点については、第１の変形例は、図３３及び図３４を参照しながら説明した第４の実施形態と同様である。但し、各フローチャートにおいて、第４の実施形態の第３の回転ステージ４３２は、第１の変形例の第６の回転ステージ４２２で置換えられる。

[0198] ５．４ 第２の変形例

図３７及び図３８は、第４の実施形態の第２の変形例における狭帯域化装置１４ｆの構成を概略的に示す。図３７は、＋Ｙ方向に見た狭帯域化装置１４ｆを示し、図３８は、－Ｘ方向に見た狭帯域化装置１４ｆを示す。

狭帯域化装置１４ｆは、リニアステージ４５２を含む。リニアステージ４５２には、エンコーダ４５３が取り付けられている。

[0199] リニアステージ４５２は、プリズム４３及び４４を、それぞれのホルダ４３１及び４４１、第３及び第４の回転ステージ４３２及び４４２、及びエンコーダ４３３及び４４３とともに、一体的に移動させるように構成されている。リニアステージ４５２によるプリズム４３及び４４の移動方向は、ＹＺ面と交差する方向である。ＹＺ面と交差する方向は、プリズム４２からプリズム４３及び４４に入射する光ビームの光路軸とグレーティング５３の溝との両方に平行な面と交差する方向であり、例えば、プリズム４３及び４４のいずれかの波長分散方向ＤＤ（図３３参照）である。

[0200] 第２の変形例において、リニアステージ４５２は、本開示における第３のアクチュエータに相当する。エンコーダ４５３は本開示における第３のエンコーダに相当する。第２の変形例において、平行平面基板７１（図３３及び図３４参照）はなくてもよい。

[0201] リニアステージ４５２がプリズム４３及び４４を移動させると、プリズム４２から出射した光ビームのうちのプリズム４３に入射する第１の部分Ｂ１とプリズム４４に入射する第２の部分Ｂ２との割合が変化する。例えば、プリズム４３及び４４を－Ｈ方向に移動させると、第１の部分Ｂ１の割合が減少し、プリズム４３及び４４を＋Ｈ方向に移動させると、第１の部分Ｂ１の割合が増加する。

他の点については、第２の変形例は、図３３及び図３４を参照しながら説明した第４の実施形態と同様である。但し、第４の実施形態の第５の回転ステージ７１２は、第２の変形例のリニアステージ４５２で置換えられる。

[0202] ６．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。従って、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て使用することも当業者には明らかである。

[0203] 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。たとえば、「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、不定冠詞「１つの」は、「少なくとも１つ」又は「１又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。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] 第１の光学素子及び第２の光学素子と、

前記第１の光学素子の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第１の波長成分を変化させる第１のアクチュエータと、

前記第２の光学素子の姿勢を変化させることにより前記パルスレーザ光に含まれる第２の波長成分を変化させる第２のアクチュエータと、

前記第１のアクチュエータの位置を計測する第１のエンコーダと、

前記第２のアクチュエータの位置を計測する第２のエンコーダと、

プロセッサであって、

前記第１のアクチュエータの位置と前記第１の波長成分との第１の関係、及び前記第２のアクチュエータの位置と前記第２の波長成分との第２の関係を読込み、

前記第１の関係と前記第１のエンコーダによって計測される前記第１のアクチュエータの位置とに基づく前記第１のアクチュエータの制御と、前記第２の関係と前記第２のエンコーダによって計測される前記第２のアクチュエータの位置とに基づく前記第２のアクチュエータの制御と、を行う

前記プロセッサと、

を備える、レーザ装置。

[請求項2] 請求項１記載のレーザ装置であって、

前記第１の波長成分及び前記第２の波長成分を計測する光計測器をさらに備え、

前記プロセッサは、

前記光計測器を用いて前記第１の波長成分を計測し、前記第１のエンコーダによって計測される前記第１のアクチュエータの位置と、前記第１の波長成分と、の関係を前記第１の関係として記憶装置に記憶させる処理と、

前記光計測器を用いて前記第２の波長成分を計測し、前記第２のエンコーダによって計測される前記第２のアクチュエータの位置と、前記第２の波長成分と、の関係を前記第２の関係として前記記憶装置に記憶させる処理と、を行う

レーザ装置。

[請求項3] 請求項２記載のレーザ装置であって、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を変化させる第３のアクチュエータをさらに備え、

前記プロセッサは、

前記第３のアクチュエータにより前記第１の波長成分の割合を前記第２の波長成分の割合より大きくした状態で、前記光計測器を用いて前記第１の波長成分を計測し、

前記第３のアクチュエータにより前記第２の波長成分の割合を前記第１の波長成分の割合より大きくした状態で、前記光計測器を用いて前記第２の波長成分を計測する

レーザ装置。

[請求項4] 請求項１記載のレーザ装置であって、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を変化させる第３のアクチュエータと、

前記第３のアクチュエータの位置を計測する第３のエンコーダと、をさらに備え、

前記プロセッサは、

前記第３のアクチュエータの位置と前記強度比との第３の関係を読込み、

前記第３の関係と、前記第３のエンコーダによって計測される前記第３のアクチュエータの位置と、に基づいて前記第３のアクチュエータの制御を行う

レーザ装置。

[請求項5] 請求項４記載のレーザ装置であって、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を計測する光計測器をさらに備え、

前記プロセッサは、

前記光計測器を用いて前記強度比を計測し、前記第３のエンコーダによって計測される前記第３のアクチュエータの位置と、前記強度比と、の関係を前記第３の関係として記憶装置に記憶させる

レーザ装置。

[請求項6] 請求項５記載のレーザ装置であって、

前記プロセッサは、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との波長差が前記光計測器のフリースペクトラルレンジの半分に近づくように前記第１のアクチュエータ及び前記第２のアクチュエータの制御を行い、

その後、前記光計測器を用いて前記強度比を計測する

レーザ装置。

[請求項7] 請求項４記載のレーザ装置であって、

前記第３の関係は、前記パルスレーザ光の繰返し周波数と関連付けて記憶装置に記憶され、

前記プロセッサは、前記パルスレーザ光の繰返し周波数と関連付けられた前記第３の関係と、前記第３のエンコーダによって計測される前記第３のアクチュエータの位置と、に基づいて前記第３のアクチュエータの制御を行う

レーザ装置。

[請求項8] 請求項４記載のレーザ装置であって、

レーザチャンバと、

前記レーザチャンバに配置された一対の電極と、

前記電極に電圧を印加するための電気エネルギーを保持する充電器と、

をさらに備え、

前記第３の関係は、前記充電器の充電電圧と関連付けて記憶装置に記憶され、

前記プロセッサは、前記充電器の充電電圧と関連付けられた前記第３の関係と、前記第３のエンコーダによって計測される前記第３のアクチュエータの位置と、に基づいて前記第３のアクチュエータの制御を行う

レーザ装置。

[請求項9] 請求項１記載のレーザ装置であって、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を変化させる第３のアクチュエータと、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を計測する光計測器と、

をさらに備え、

前記プロセッサは、

目標強度比を読込み、

前記光計測器を用いて計測される前記強度比が前記目標強度比に近づくように前記第３のアクチュエータの制御を行い、

その後、前記第１の関係と、前記第１のエンコーダによって計測される前記第１のアクチュエータの位置と、に基づく前記第１のアクチュエータの制御と、前記第２の関係と、前記第２のエンコーダによって計測される前記第２のアクチュエータの位置と、に基づく前記第２のアクチュエータの制御と、を行う

レーザ装置。

[請求項10] 請求項９記載のレーザ装置であって、

前記プロセッサは、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との波長差が前記光計測器のフリースペクトラルレンジの半分に近づくように前記第１のア

クチュエータ及び前記第２のアクチュエータの制御を行い、

その後、前記光計測器を用いて計測される前記強度比が前記目標強度比に近づくように前記第３のアクチュエータの制御を行う

レーザ装置。

[請求項11] 第１の光学素子及び第２の光学素子と、

前記第１の光学素子の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第１の波長成分を変化させる第１のアクチュエータと、

前記第２の光学素子の姿勢を変化させることにより前記パルスレーザ光に含まれる第２の波長成分を変化させる第２のアクチュエータと、

前記第１のアクチュエータの位置を計測する第１のエンコーダと、

前記第２のアクチュエータの位置を計測する第２のエンコーダと、

プロセッサと、

を備えるレーザ装置の波長制御方法であって、

前記プロセッサが、

前記第１のアクチュエータの位置と前記第１の波長成分との第１の関係、及び前記第２のアクチュエータの位置と前記第２の波長成分との第２の関係を読込み、

前記第１の関係と前記第１のエンコーダによって計測される前記第１のアクチュエータの位置とに基づく前記第１のアクチュエータの制御と、前記第２の関係と前記第２のエンコーダによって計測される前記第２のアクチュエータの位置とに基づく前記第２のアクチュエータの制御と、を行う

波長制御方法。

[請求項12] 請求項１１記載の波長制御方法であって、

前記レーザ装置は、前記第１の波長成分及び前記第２の波長成分を計測する光計測器をさらに備え、

前記プロセッサが、

前記光計測器を用いて前記第１の波長成分を計測し、前記第１のエンコーダによって計測される前記第１のアクチュエータの位置と、前記第１の波長成分と、の関係を前記第１の関係として記憶装置に記憶させる処理と、

前記光計測器を用いて前記第２の波長成分を計測し、前記第２のエンコーダによって計測される前記第２のアクチュエータの位置と、前記第２の波長成分と、の関係を前記第２の関係として前記記憶装置に記憶させる処理と、を行う

波長制御方法。

[請求項13] 請求項１２記載の波長制御方法であって、

前記レーザ装置は、前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を変化させる第３のアクチュエータをさらに備え、

前記プロセッサが、

前記第３のアクチュエータにより前記第１の波長成分の割合を前記第２の波長成分の割合より大きくした状態で、前記光計測器を用いて前記第１の波長成分を計測し、

前記第３のアクチュエータにより前記第２の波長成分の割合を前記第１の波長成分の割合より大きくした状態で、前記光計測器を用いて前記第２の波長成分を計測する

波長制御方法。

[請求項14] 請求項１１記載の波長制御方法であって、

前記レーザ装置は、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を変化させる第３のアクチュエータと、

前記第３のアクチュエータの位置を計測する第３のエンコーダと、をさらに備え、

前記プロセッサが、

前記第３のアクチュエータの位置と前記強度比との第３の関係を

読込み、

前記第３の関係と、前記第３のエンコーダによって計測される前記第３のアクチュエータの位置と、に基づいて前記第３のアクチュエータの制御を行う

波長制御方法。

[請求項15] 請求項１４記載の波長制御方法であって、

前記レーザ装置は、前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を計測する光計測器をさらに備え、

前記プロセッサが、

前記光計測器を用いて前記強度比を計測し、前記第３のエンコーダによって計測される前記第３のアクチュエータの位置と、前記強度比と、の関係を前記第３の関係として記憶装置に記憶させる

波長制御方法。

[請求項16] 請求項１５記載の波長制御方法であって、

前記プロセッサが、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との波長差が前記光計測器のフリースペクトラルレンジの半分に近づくように前記第１のアクチュエータ及び前記第２のアクチュエータの制御を行い、

その後、前記光計測器を用いて前記強度比を計測する

波長制御方法。

[請求項17] 請求項１４記載の波長制御方法であって、

前記第３の関係は、前記パルスレーザ光の繰返し周波数と関連付けて記憶装置に記憶され、

前記プロセッサが、前記パルスレーザ光の繰返し周波数と関連付けられた前記第３の関係と、前記第３のエンコーダによって計測される前記第３のアクチュエータの位置と、に基づいて前記第３のアクチュエータの制御を行う

波長制御方法。

[請求項18] 請求項１４記載の波長制御方法であって、

前記レーザ装置は、

レーザチャンバと、

前記レーザチャンバに配置された一対の電極と、

前記電極に電圧を印加するための電気エネルギーを保持する充電器と、

をさらに備え、

前記第３の関係は、前記充電器の充電電圧と関連付けて記憶装置に記憶され、

前記プロセッサは、前記充電器の充電電圧と関連付けられた前記第３の関係と、前記第３のエンコーダによって計測される前記第３のアクチュエータの位置と、に基づいて前記第３のアクチュエータの制御を行う

波長制御方法。

[請求項19] 請求項１１記載の波長制御方法であって、

前記レーザ装置は、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を変化させる第３のアクチュエータと、

前記第１の波長成分と前記第２の波長成分との強度比を計測する光計測器と、

をさらに備え、

前記プロセッサが、

目標強度比を読込み、

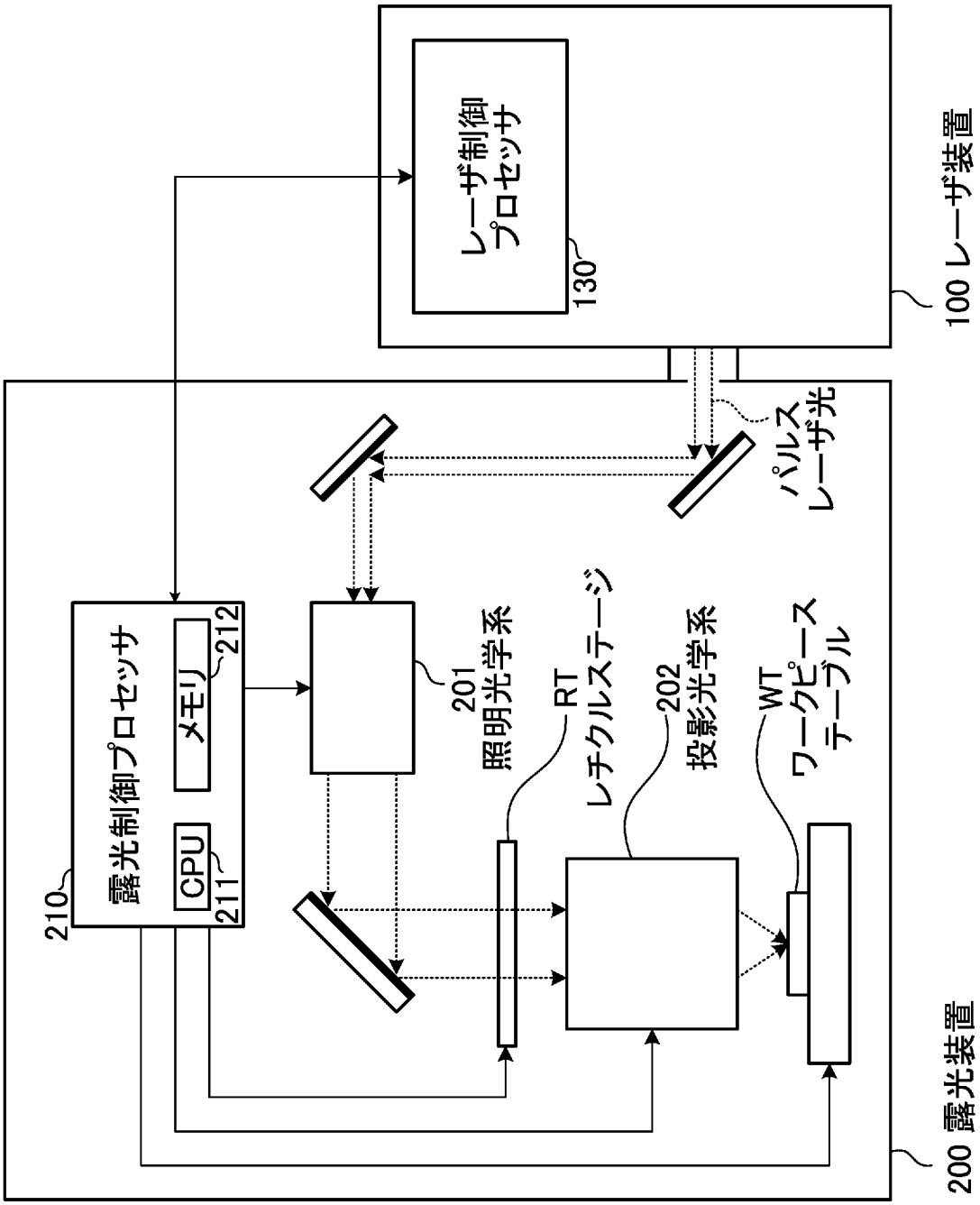
前記光計測器を用いて計測される前記強度比が前記目標強度比に近づくように前記第３のアクチュエータの制御を行い、

その後、前記第１の関係と、前記第１のエンコーダによって計測される前記第１のアクチュエータの位置と、に基づく前記第１のアクチュエータの制御と、前記第２の関係と、前記第２のエンコーダによ

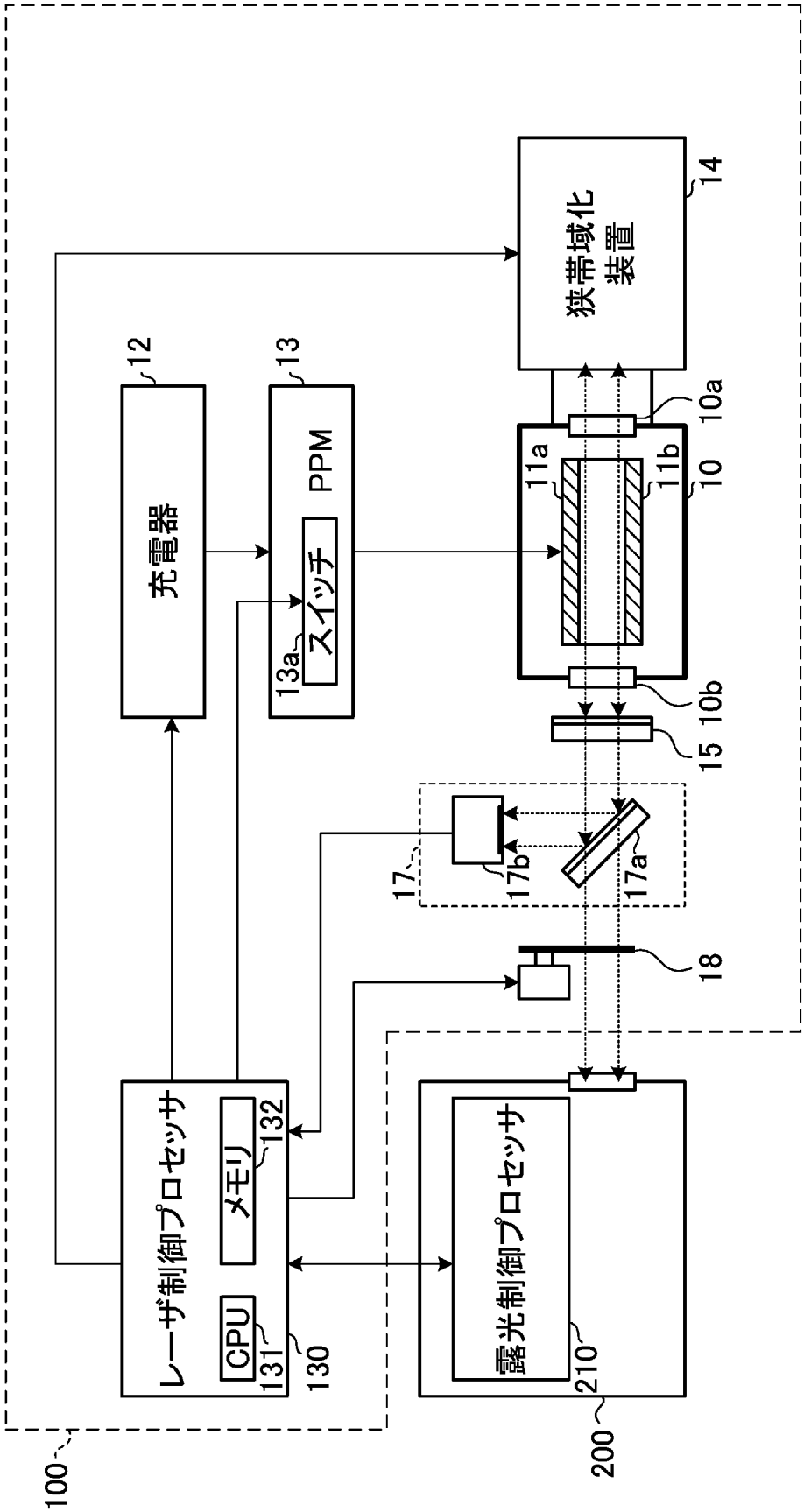
って計測される前記第２のアクチュエータの位置と、に基づく前記第２のアクチュエータの制御と、を行う
波長制御方法。

[請求項20] 電子デバイスの製造方法であって、
第１の光学素子及び第２の光学素子と、
前記第１の光学素子の姿勢を変化させることによりパルスレーザ光に含まれる第１の波長成分を変化させる第１のアクチュエータと、
前記第２の光学素子の姿勢を変化させることにより前記パルスレーザ光に含まれる第２の波長成分を変化させる第２のアクチュエータと、
前記第１のアクチュエータの位置を計測する第１のエンコーダと、
前記第２のアクチュエータの位置を計測する第２のエンコーダと、
プロセッサであって、
前記第１のアクチュエータの位置と前記第１の波長成分との第１の関係、及び前記第２のアクチュエータの位置と前記第２の波長成分との第２の関係を読込み、
前記第１の関係と前記第１のエンコーダによって計測される前記第１のアクチュエータの位置とに基づく前記第１のアクチュエータの制御と、前記第２の関係と前記第２のエンコーダによって計測される前記第２のアクチュエータの位置とに基づく前記第２のアクチュエータの制御と、を行う
前記プロセッサと、
を備えるレーザ装置によって前記パルスレーザ光を生成し、
前記パルス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上に前記パルス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。

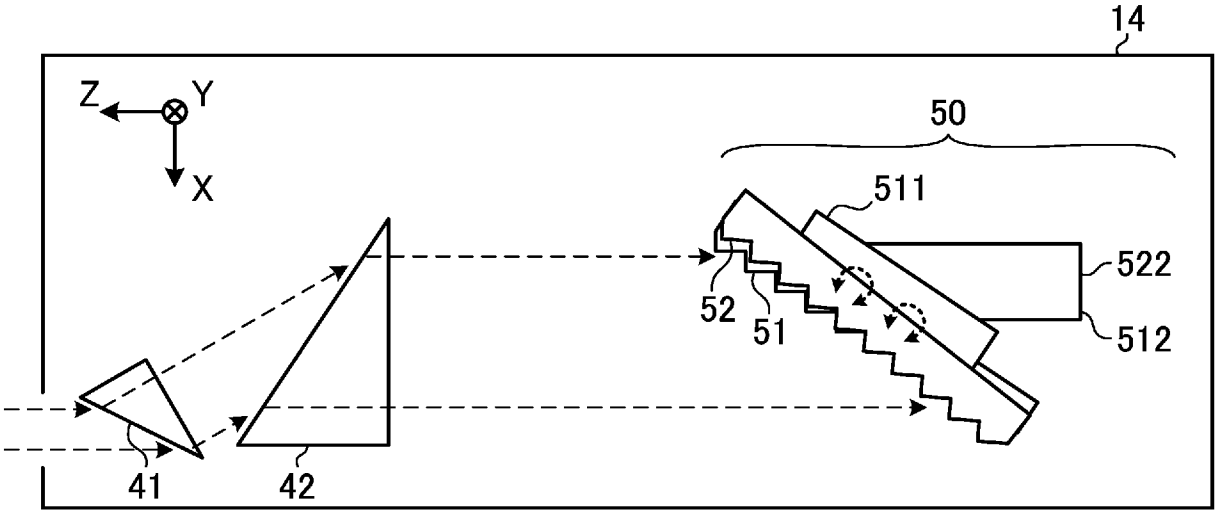
[図1]


レーザ制御
プロセッサ
130
100 レーザ装置
パルス
レーザ光
露光制御プロセッサ
メモリ
212
CPU
211
210
201
照明光学系
RT
レチクルステージ
202
投影光学系
WT
ワークピース
テーブル
200 露光装置

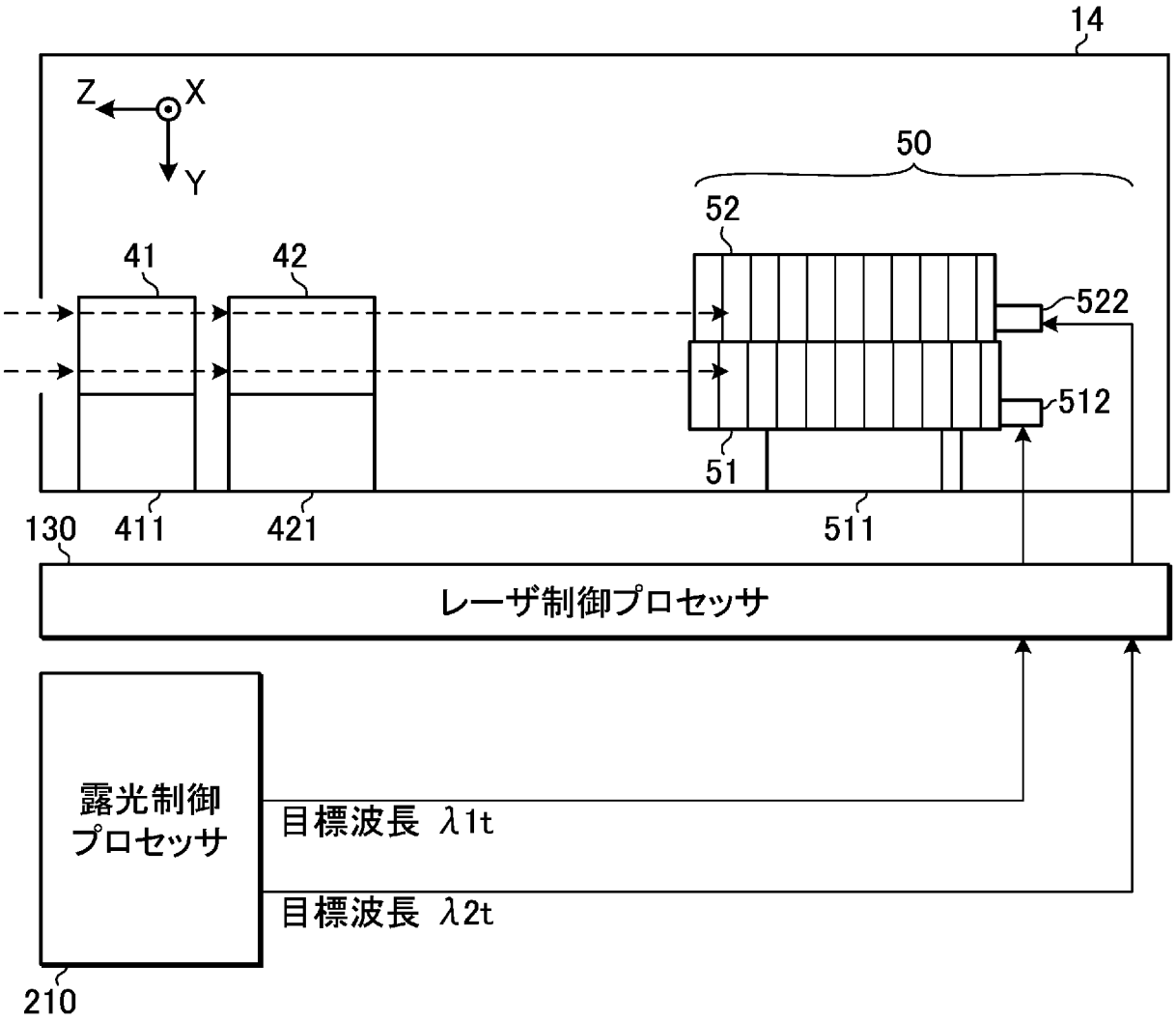
[図2]


100
200
レーザ制御プロセッサ
CPU
131
メモリ
132
130
充電器
12
PPM
スイッチ
13a
13
狭帯域化
装置
14
露光制御プロセッサ
210
11a
11b
10
10a
10b
15
17
17b
17a
18

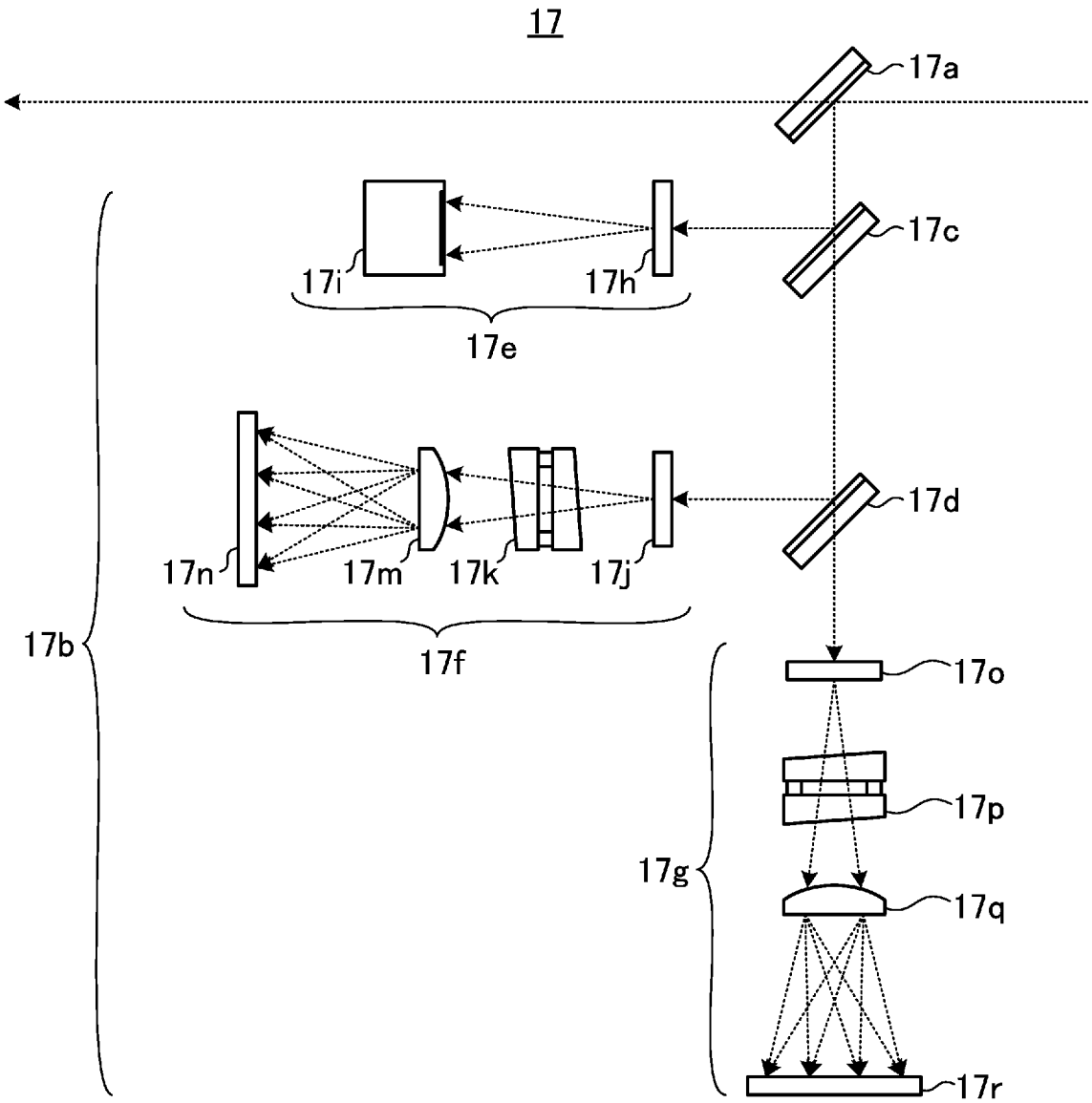
[図3]


14
Z
Y
X
50
511
522
52
51
512
41
42

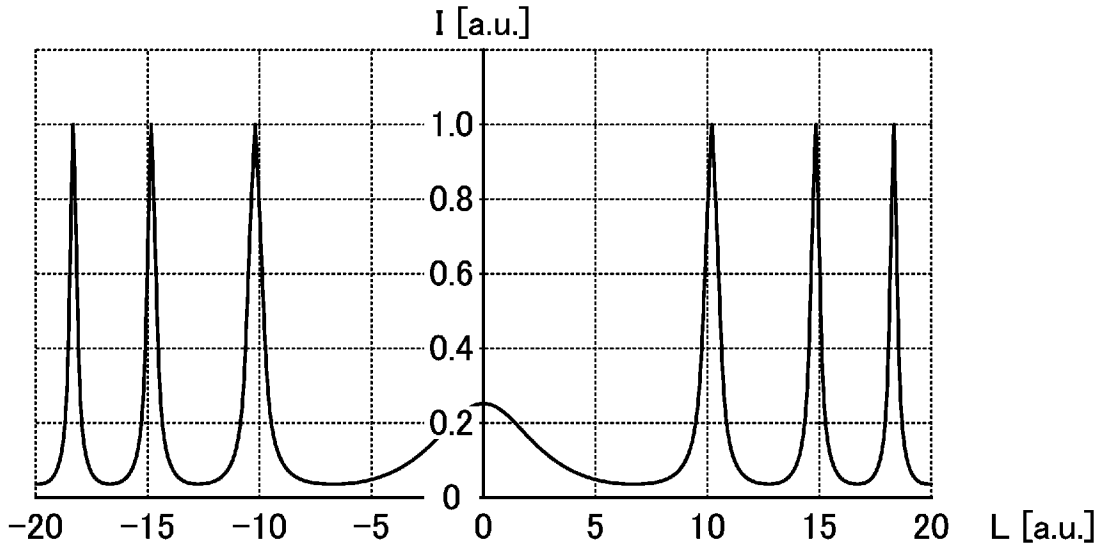
[図4]


14
Z
X
Y
50
52
41
42
522
512
51
130
411
421
511
レーザ制御プロセッサ
露光制御
プロセッサ
目標波長 λ1t
目標波長 λ2t
210

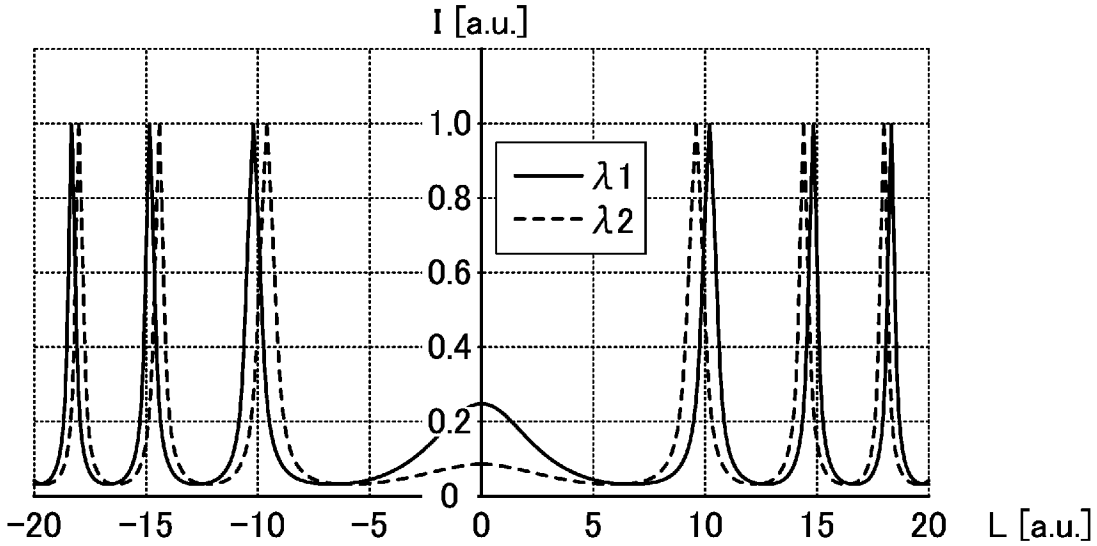
[図5]


17
17a
17c
17i
17h
17e
17d
17n
17m
17k
17j
17f
17b
17o
17p
17g
17q
17r

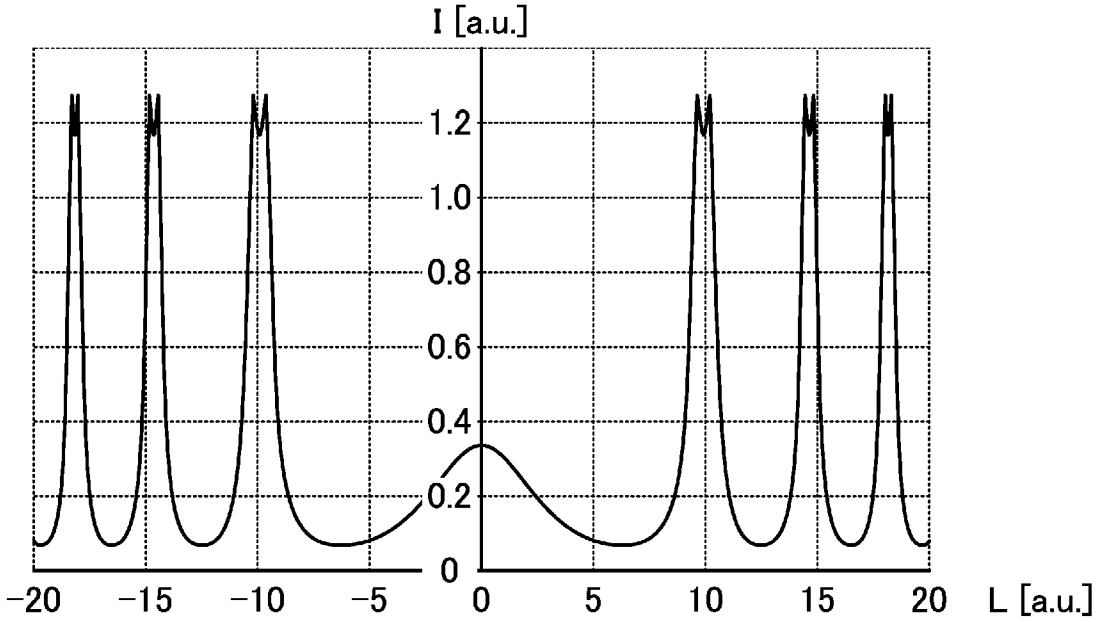
[図6]


I [a.u.]
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−20
−15
−10
−5
0
5
10
15
20
L [a.u.]

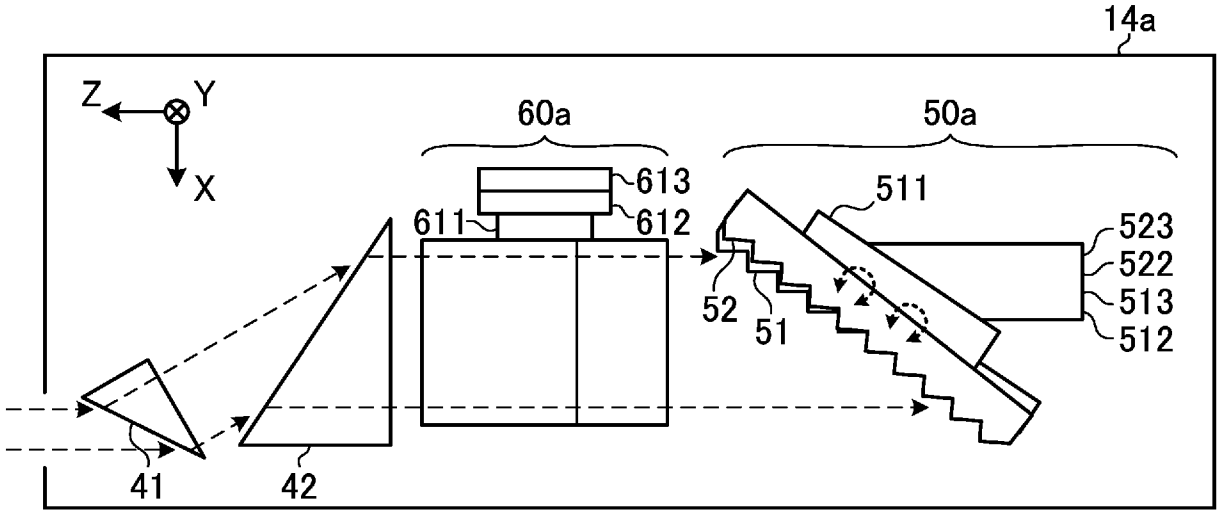
[図7]


I [a.u.]
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
λ1
λ2
−20
−15
−10
−5
0
5
10
15
20
L [a.u.]

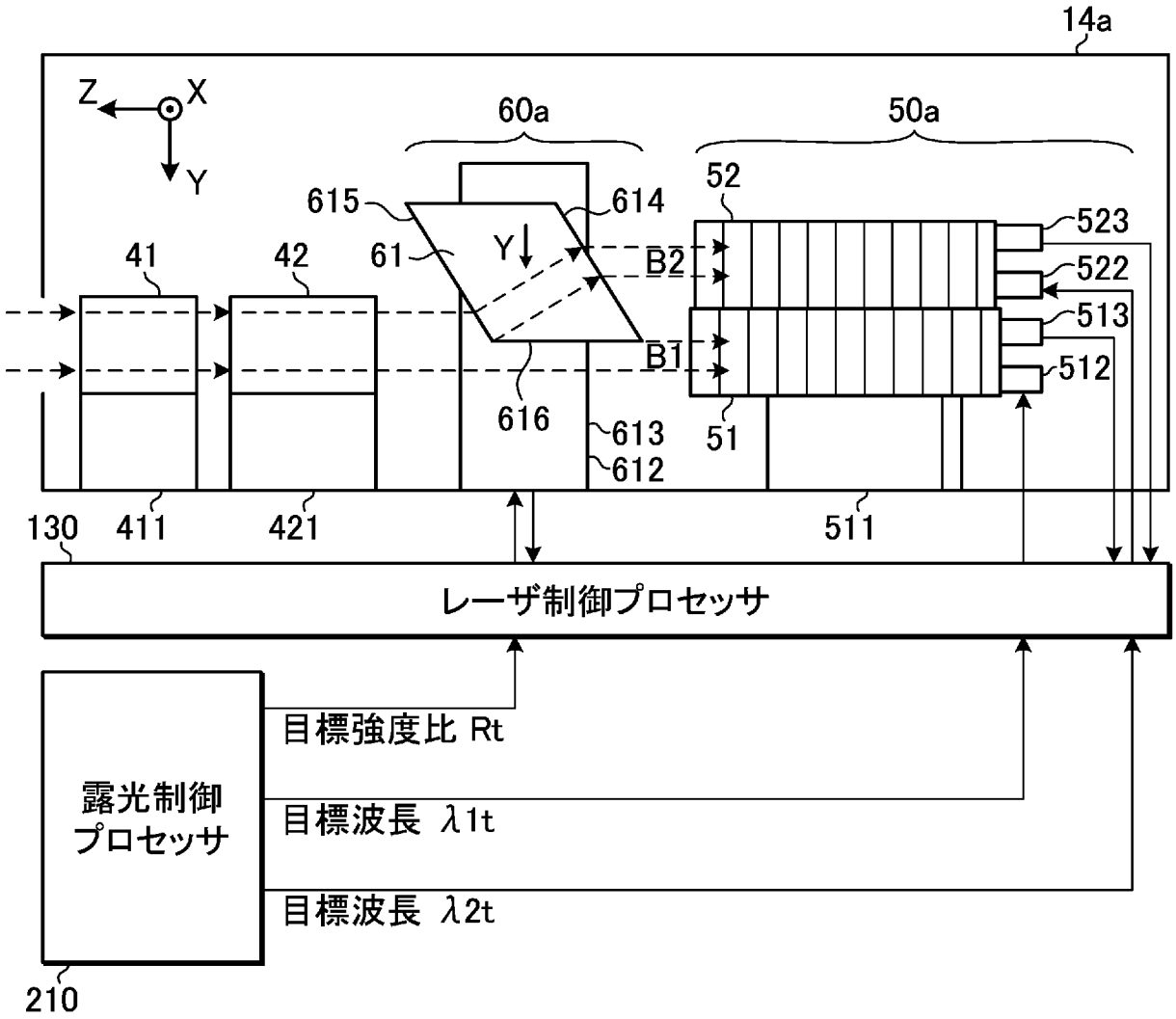
[図8]


I [a.u.]
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−20
−15
−10
−5
0
5
10
15
20
L [a.u.]

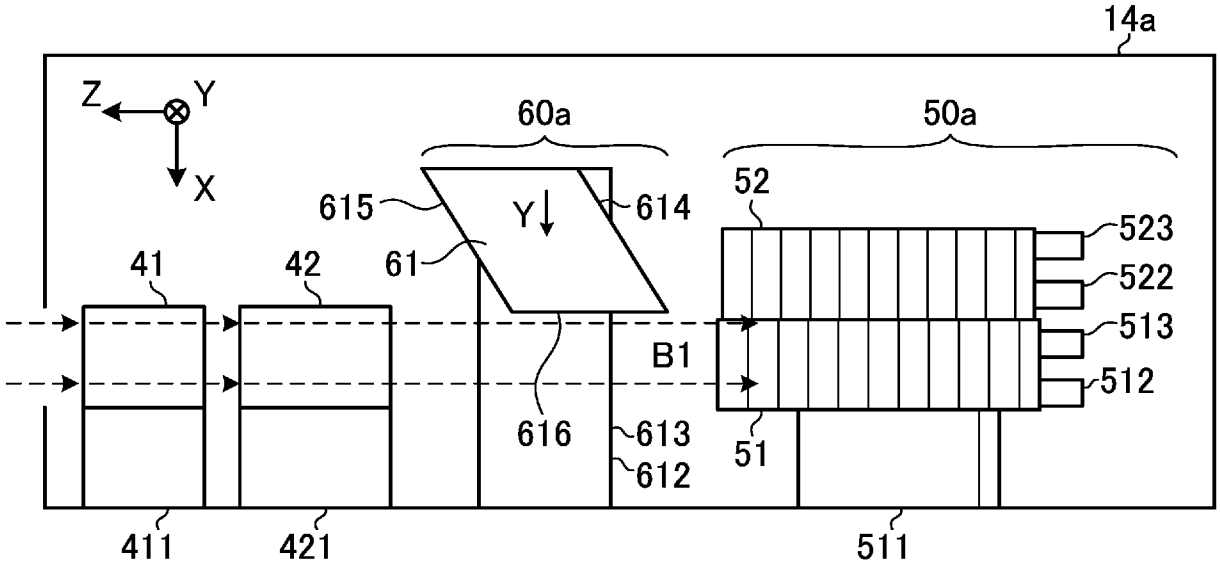
[図9]


14a
Z
Y
X
60a
50a
613
612
611
511
523
522
513
512
52
51
41
42

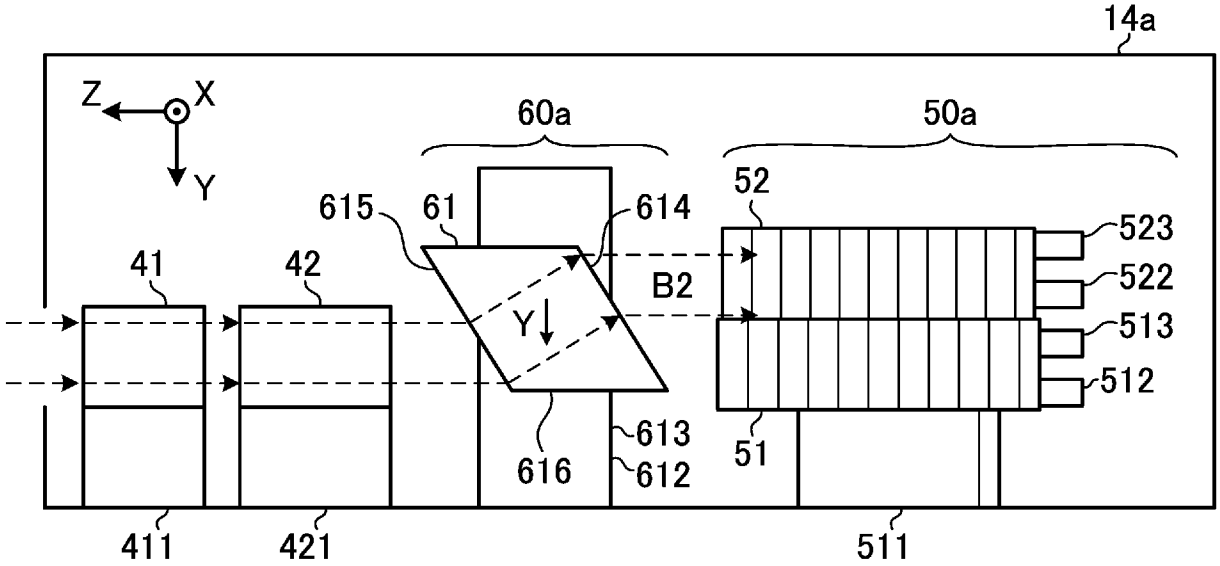
[図10]


14a
Z
X
Y
60a
50a
615
614
61
52
523
522
513
512
41
42
B2
B1
616
613
612
51
130
411
421
511
レーザ制御プロセッサ
露光制御
プロセッサ
目標強度比 Rt
目標波長 λ1t
目標波長 λ2t
210

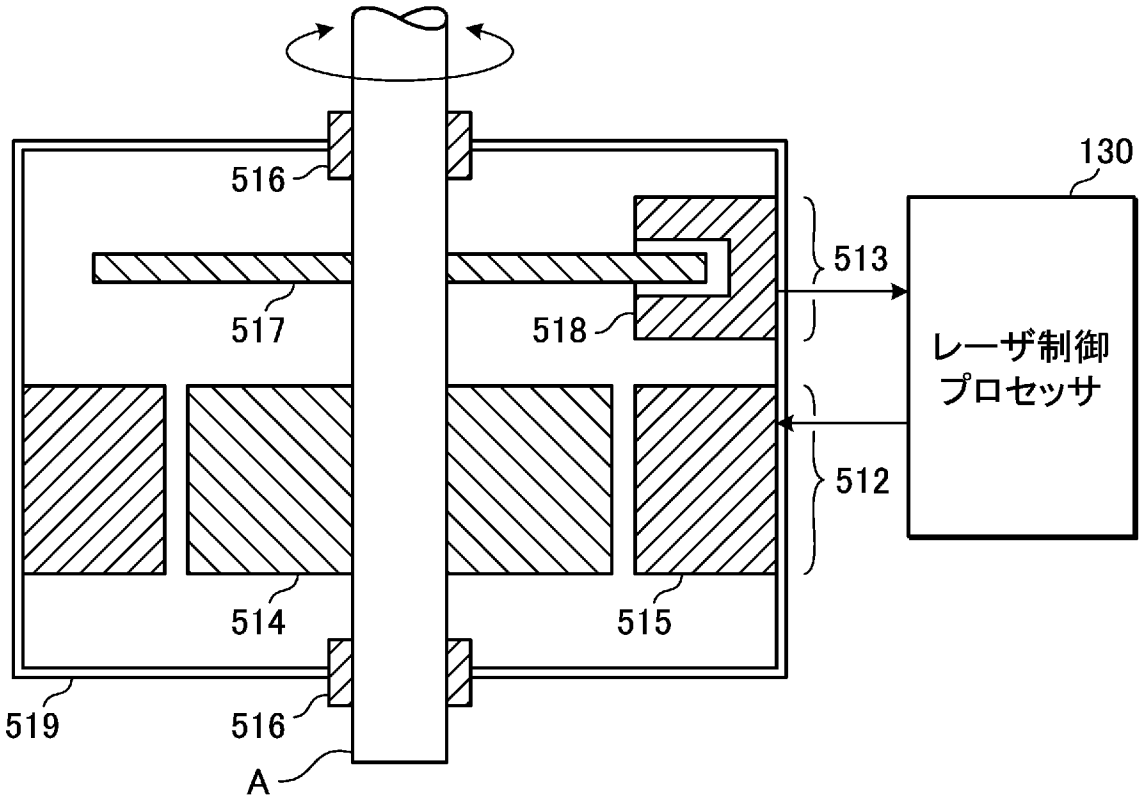
[図11]


14a
Z
Y
X
60a
50a
615
Y
614
52
523
41
42
61
522
513
B1
512
616
613
612
51
411
421
511

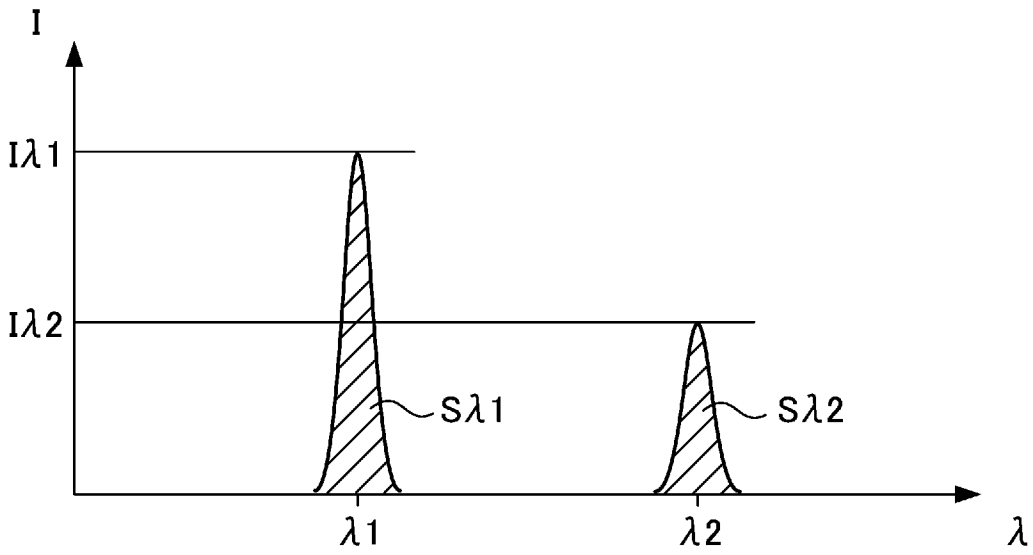
[図12]


14a
Z
X
Y
60a
50a
615
61
614
52
523
41
42
B2
522
Y
513
512
613
616
612
51
411
421
511

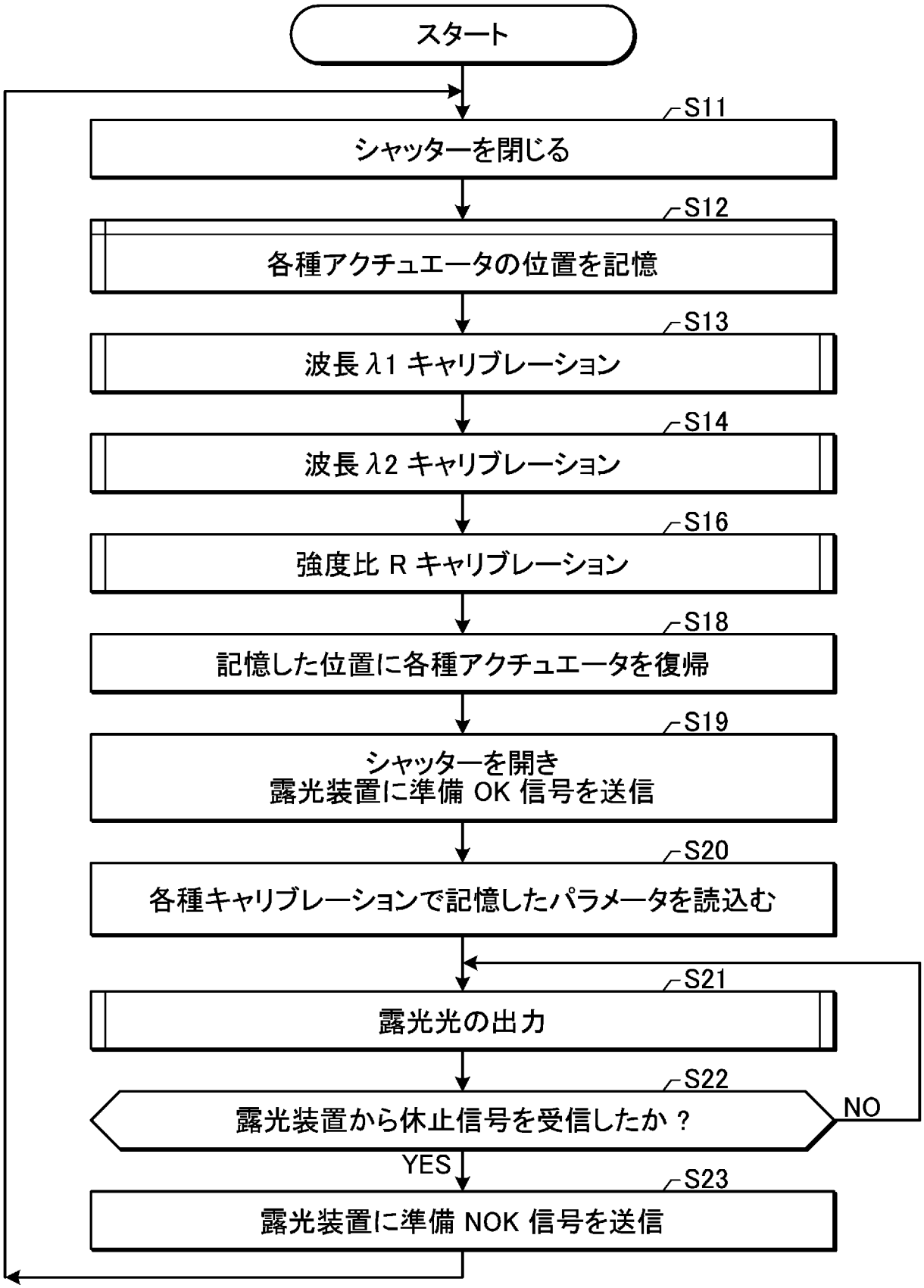
[図13]


130
516
513
517
518
レーザ制御
プロセッサ
512
514
515
519
516
A

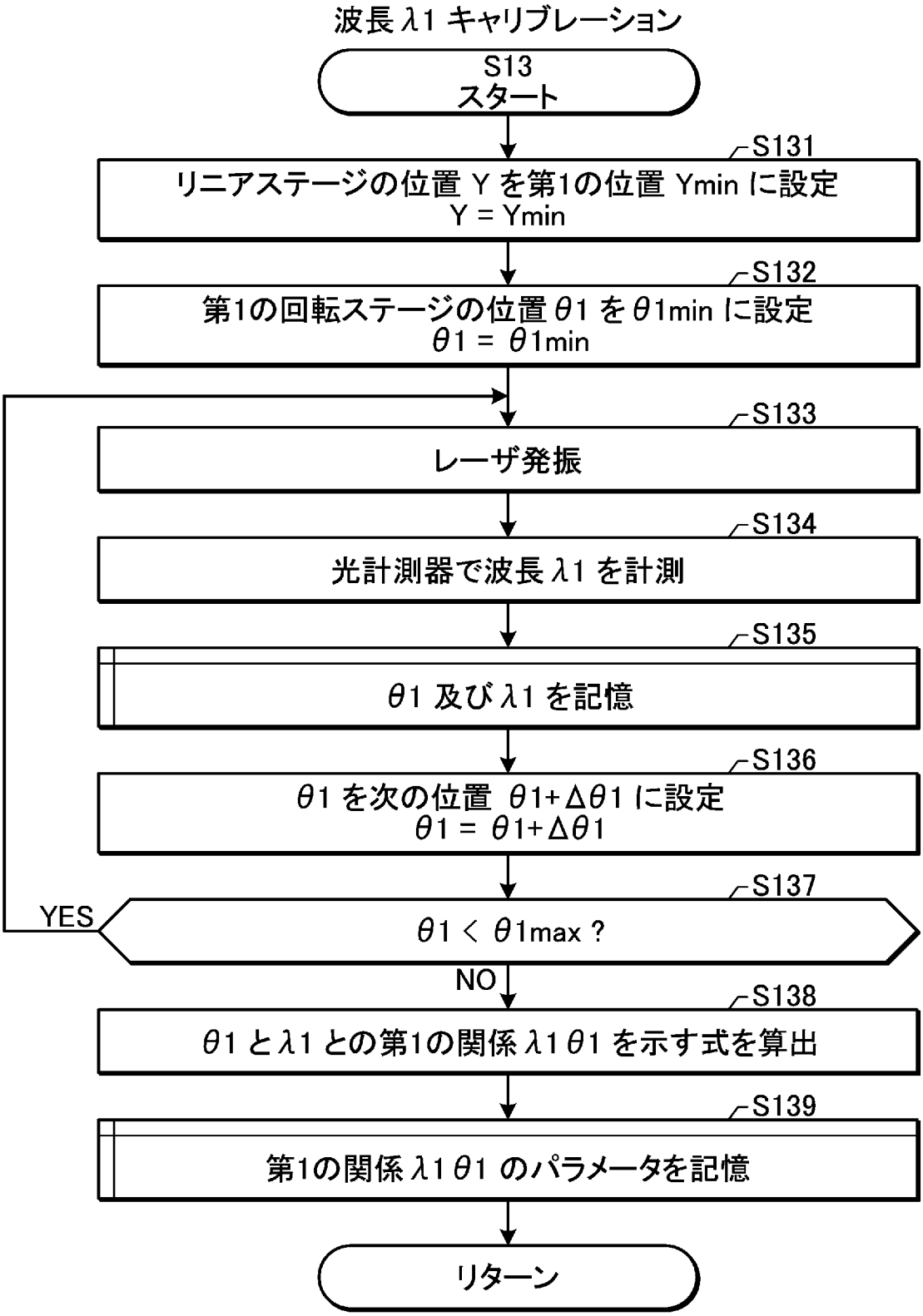
[図14]


I
Iλ1
Iλ2
Sλ1
Sλ2
λ1
λ2
λ

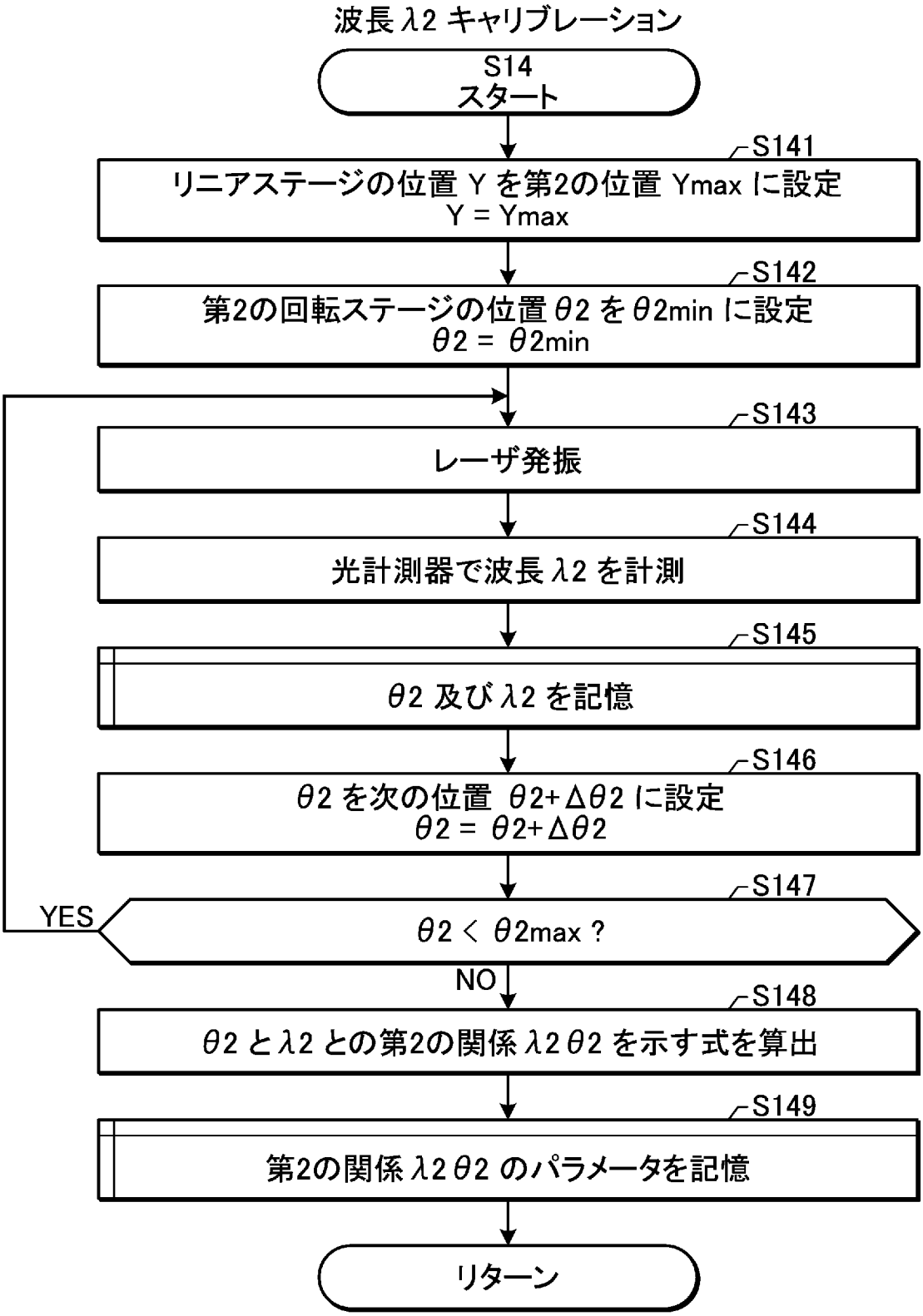
[図15]


スタート
S11
シャッターを閉じる
S12
各種アクチュエータの位置を記憶
S13
波長 λ1 キャリブレーション
S14
波長 λ2 キャリブレーション
S16
強度比 R キャリブレーション
S18
記憶した位置に各種アクチュエータを復帰
S19
シャッターを開き
露光装置に準備 OK 信号を送信
S20
各種キャリブレーションで記憶したパラメータを読込む
S21
露光光の出力
S22
露光装置から休止信号を受信したか？
NO
YES
S23
露光装置に準備 NOK 信号を送信

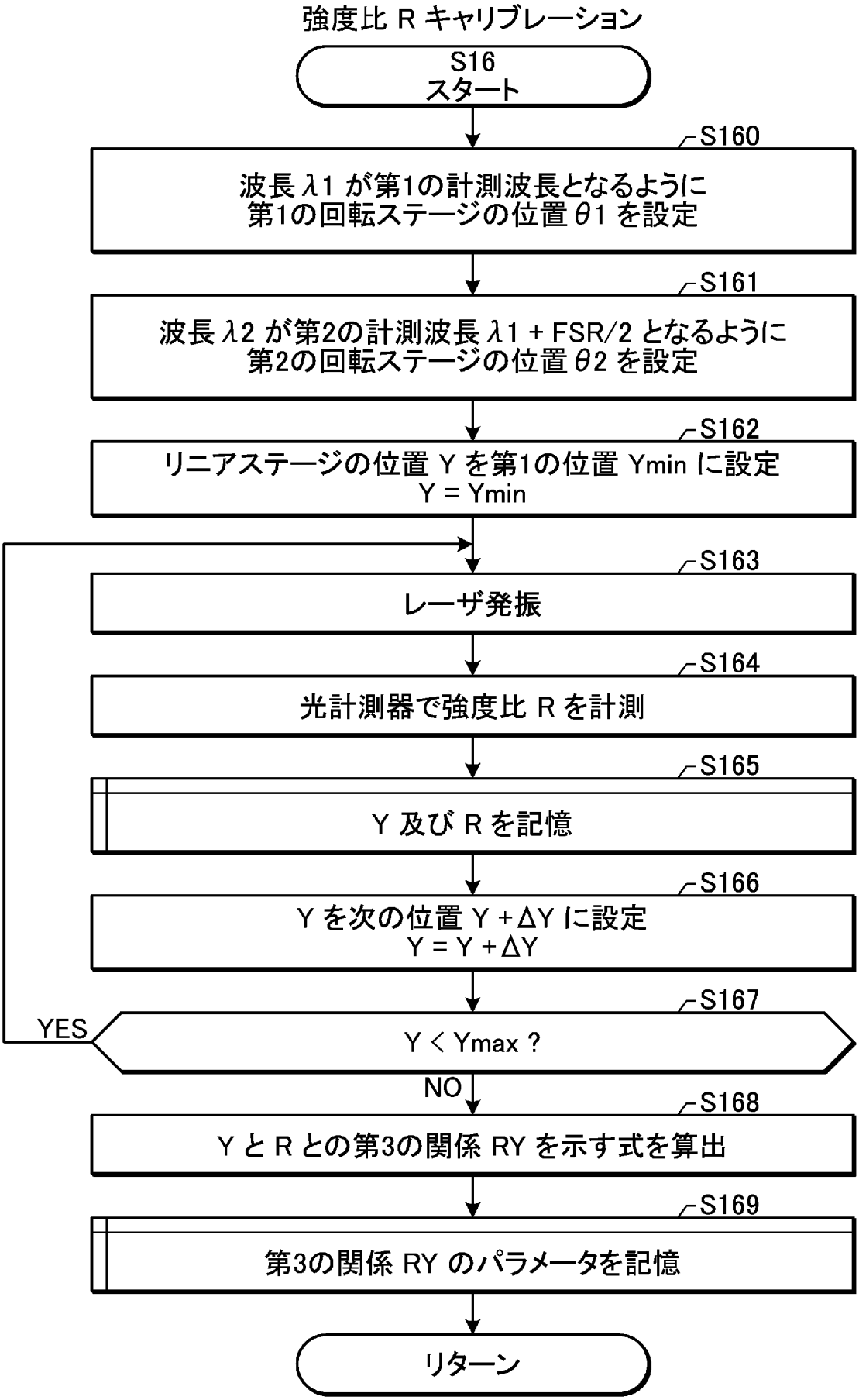
[図16]


波長λ1 キャリブレーション
S13
スタート
S131
リニアステージの位置 Y を第1の位置 Ymin に設定
Y = Ymin
S132
第1の回転ステージの位置θ1 をθ1min に設定
θ1 = θ1min
S133
レーザ発振
S134
光計測器で波長λ1 を計測
S135
θ1 及びλ1 を記憶
S136
θ1 を次の位置 θ1+Δθ1 に設定
θ1 = θ1+Δθ1
S137
YES
θ1 < θ1max ?
NO
S138
θ1 とλ1 との第1の関係λ1θ1 を示す式を算出
S139
第1の関係λ1θ1 のパラメータを記憶
リターン

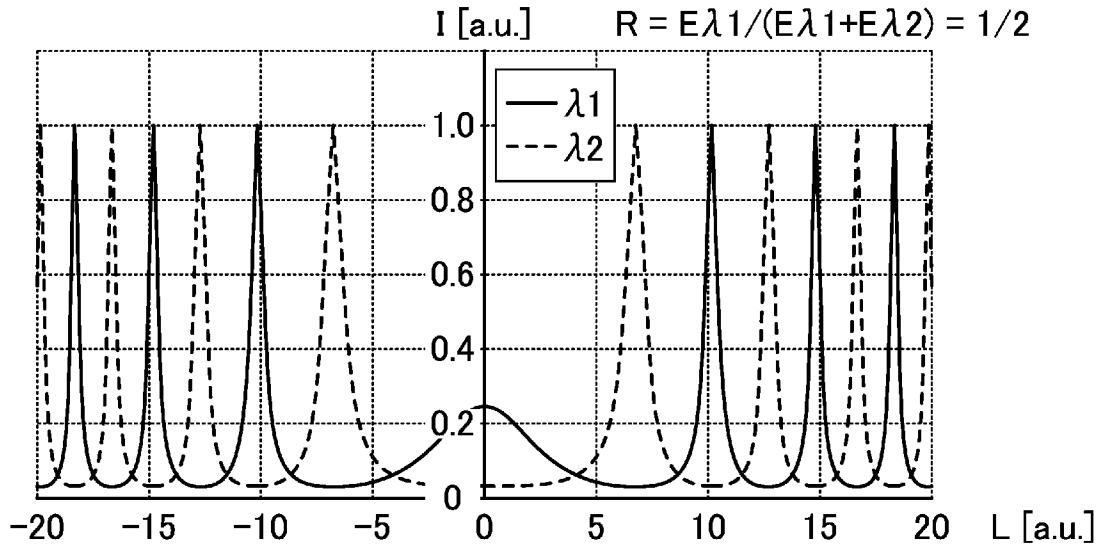
[図17]


波長λ2 キャリブレーション
S14
スタート
S141
リニアステージの位置 Y を第2の位置 Ymax に設定
Y = Ymax
S142
第2の回転ステージの位置 θ2 を θ2min に設定
θ2 = θ2min
S143
レーザ発振
S144
光計測器で波長 λ2 を計測
S145
θ2 及び λ2 を記憶
S146
θ2 を次の位置 θ2+Δθ2 に設定
θ2 = θ2+Δθ2
S147
YES
θ2 < θ2max ?
NO
S148
θ2 と λ2 との第2の関係 λ2 θ2 を示す式を算出
S149
第2の関係 λ2 θ2 のパラメータを記憶
リターン

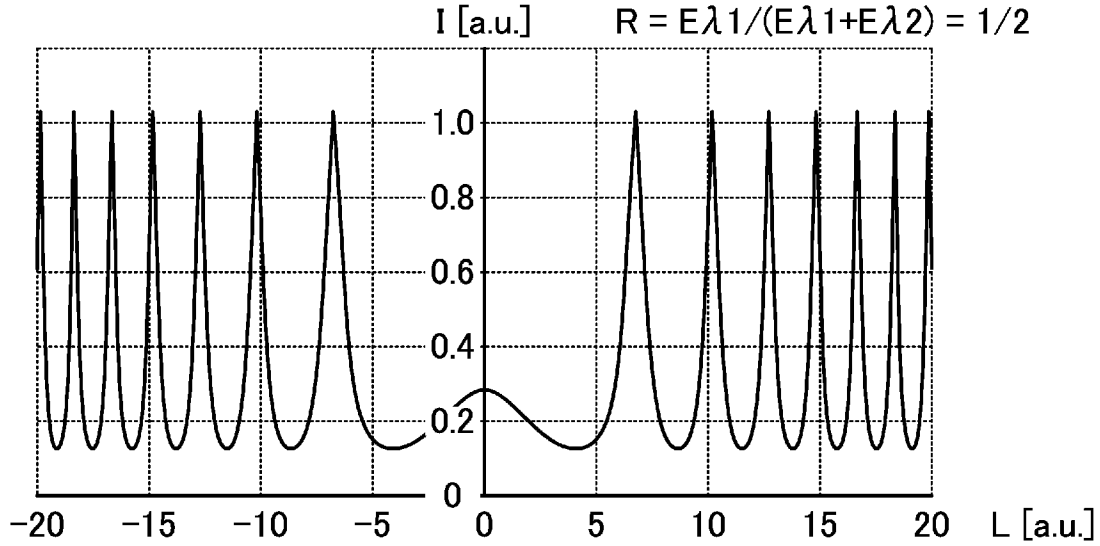
[図18]


強度比 R キャリブレーション
S16
スタート
S160
波長 λ1 が第1の計測波長となるように
第1の回転ステージの位置 θ1 を設定
S161
波長 λ2 が第2の計測波長 λ1 + FSR/2 となるように
第2の回転ステージの位置 θ2 を設定
S162
リニアステージの位置 Y を第1の位置 Ymin に設定
Y = Ymin
S163
レーザ発振
S164
光計測器で強度比 R を計測
S165
Y 及び R を記憶
S166
Y を次の位置 Y + ΔY に設定
Y = Y + ΔY
S167
YES
Y < Ymax ?
NO
S168
Y と R との第3の関係 RY を示す式を算出
S169
第3の関係 RY のパラメータを記憶
リターン

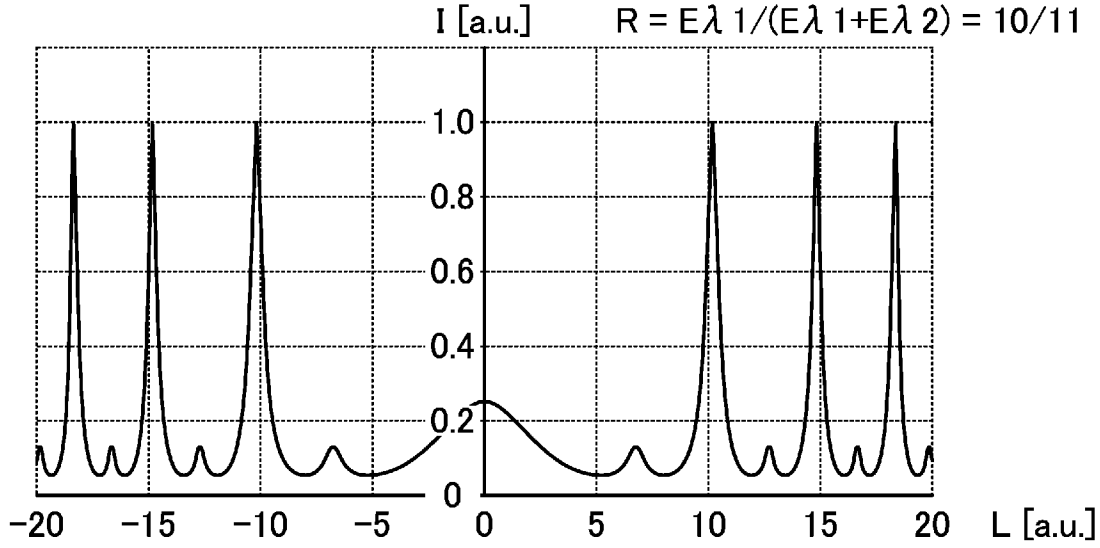
[図19]


I [a.u.]
R = Eλ1/(Eλ1+Eλ2) = 1/2
λ1
λ2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−20
−15
−10
−5
0
5
10
15
20
L [a.u.]

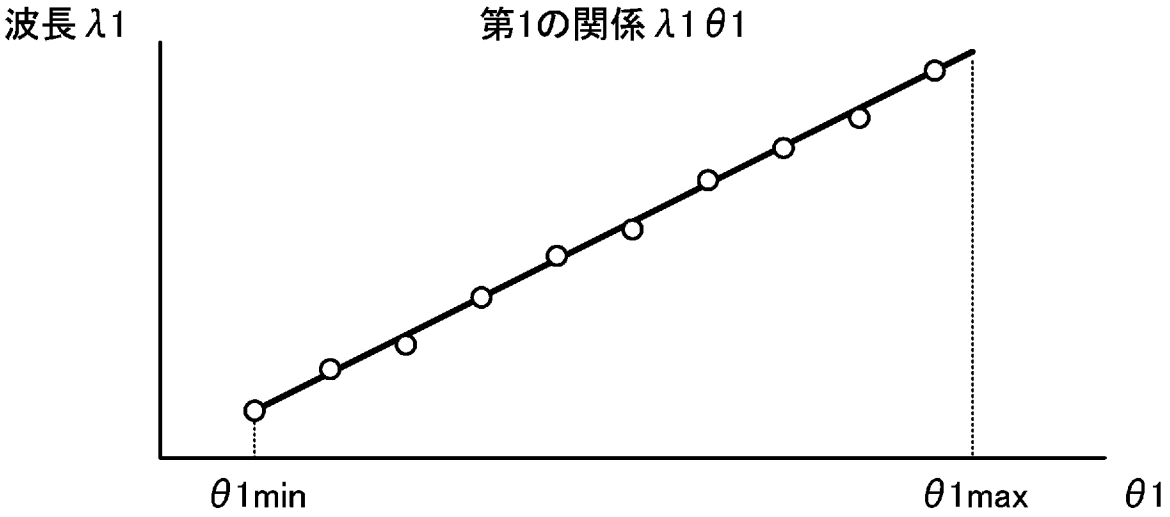
[図20]


I [a.u.]
R = Eλ1/(Eλ1+Eλ2) = 1/2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−20
−15
−10
−5
0
5
10
15
20
L [a.u.]

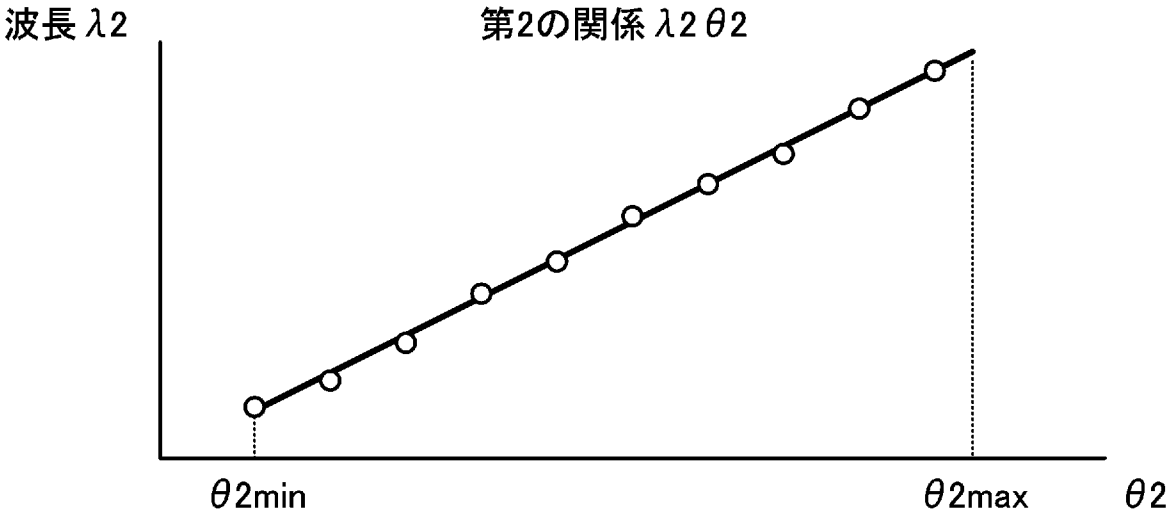
[図21]


I [a.u.]
R = Eλ 1/(Eλ 1+Eλ 2) = 10/11
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−20
−15
−10
−5
0
5
10
15
20
L [a.u.]

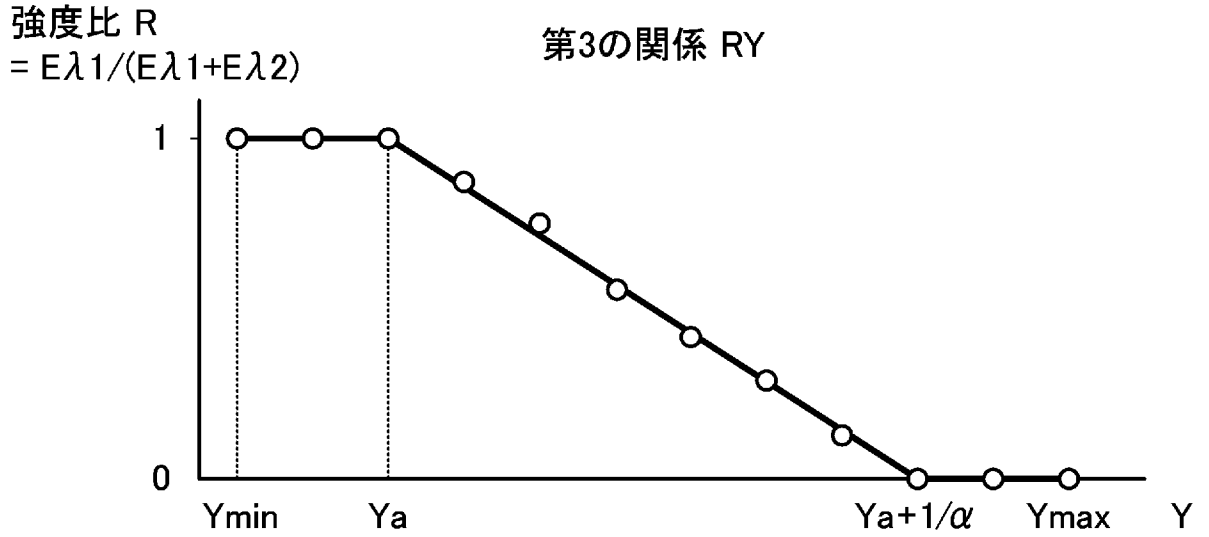
[図22]


波長 λ1
第1の関係 λ1 θ1
θ1min
θ1max
θ1

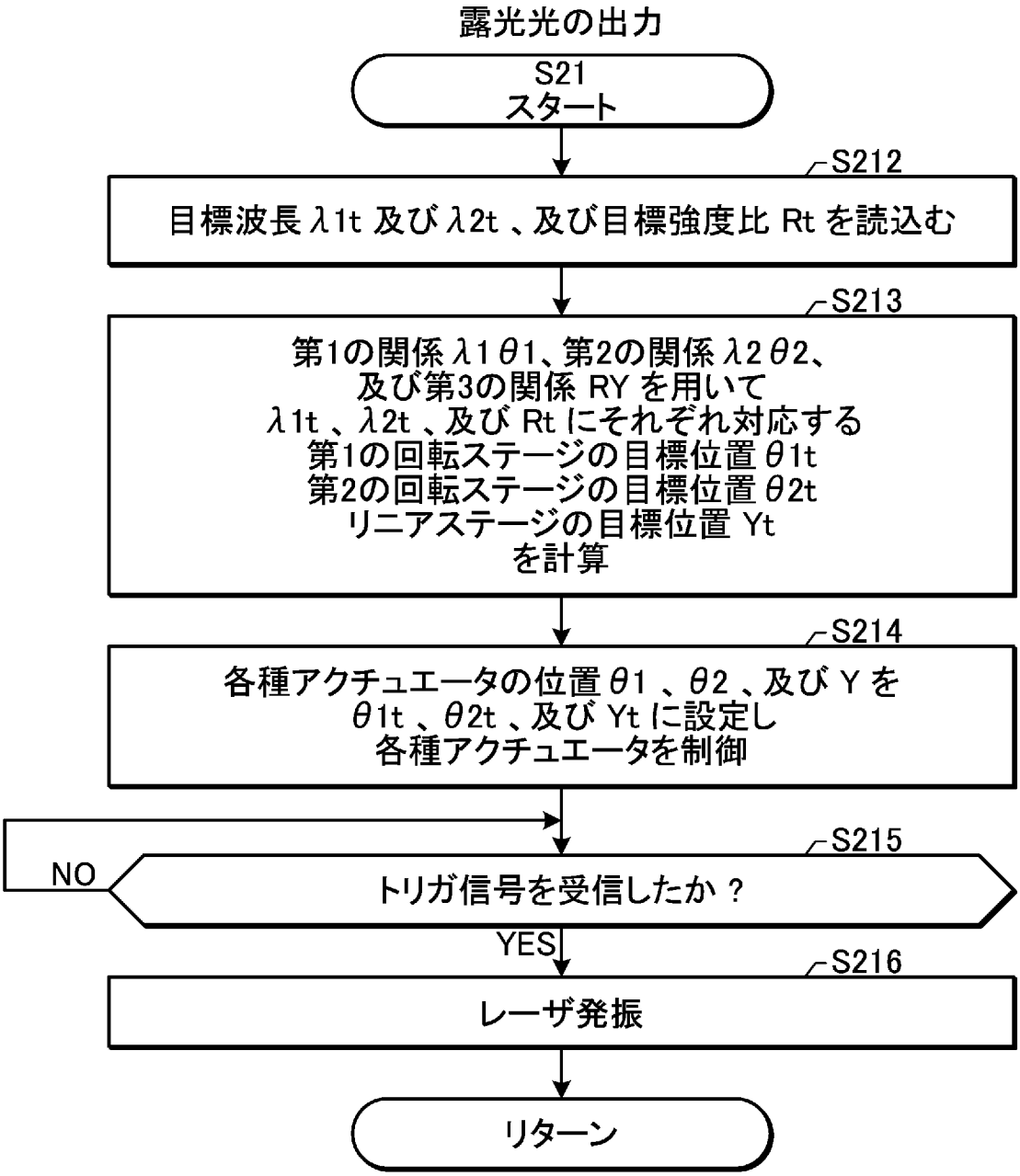
[図23]


波長 λ2
第2の関係 λ2 θ2
θ2min
θ2max
θ2

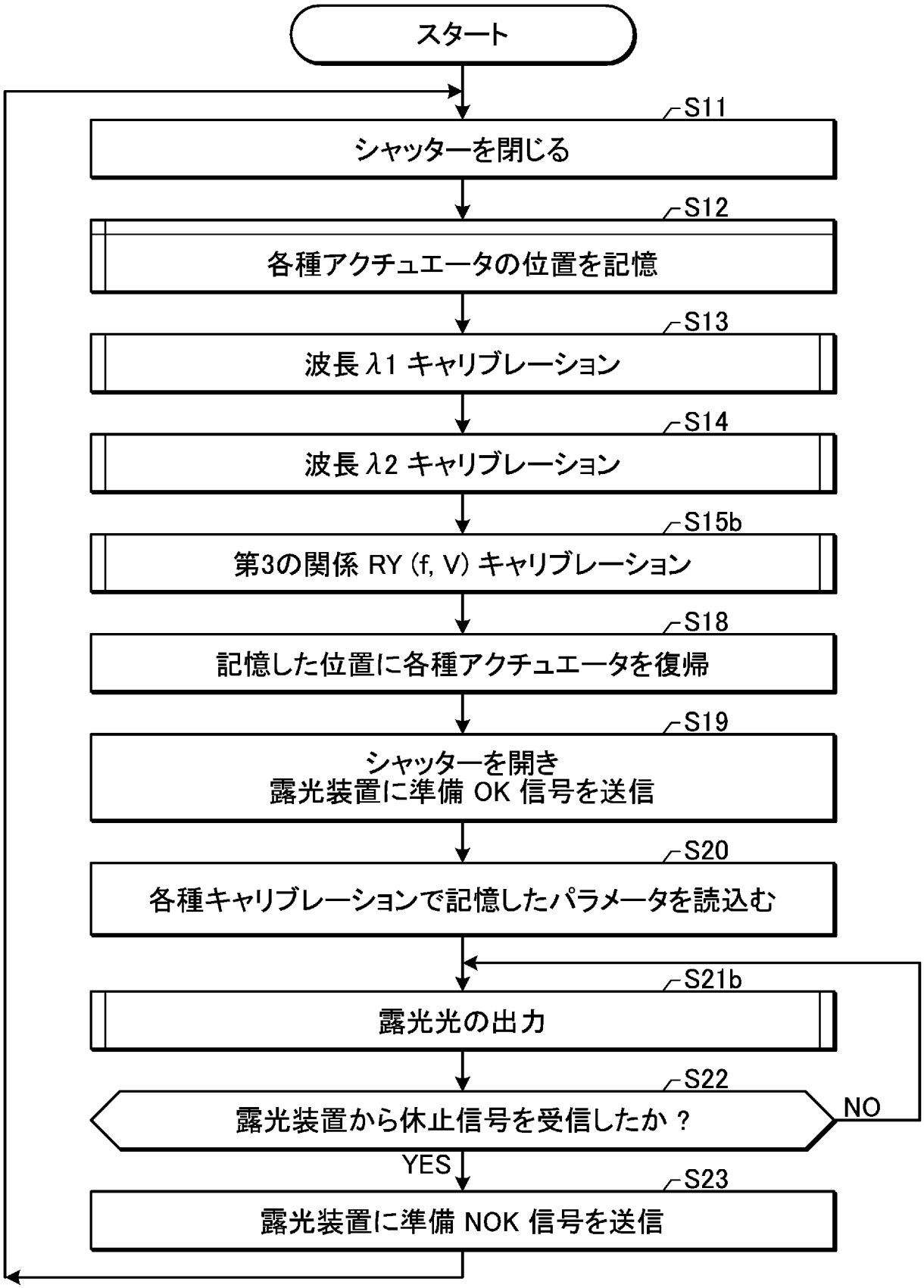
[図24]


強度比 R
= Eλ1/(Eλ1+Eλ2)
第3の関係 RY
1
0
Ymin
Ya
Ya+1/α
Ymax
Y

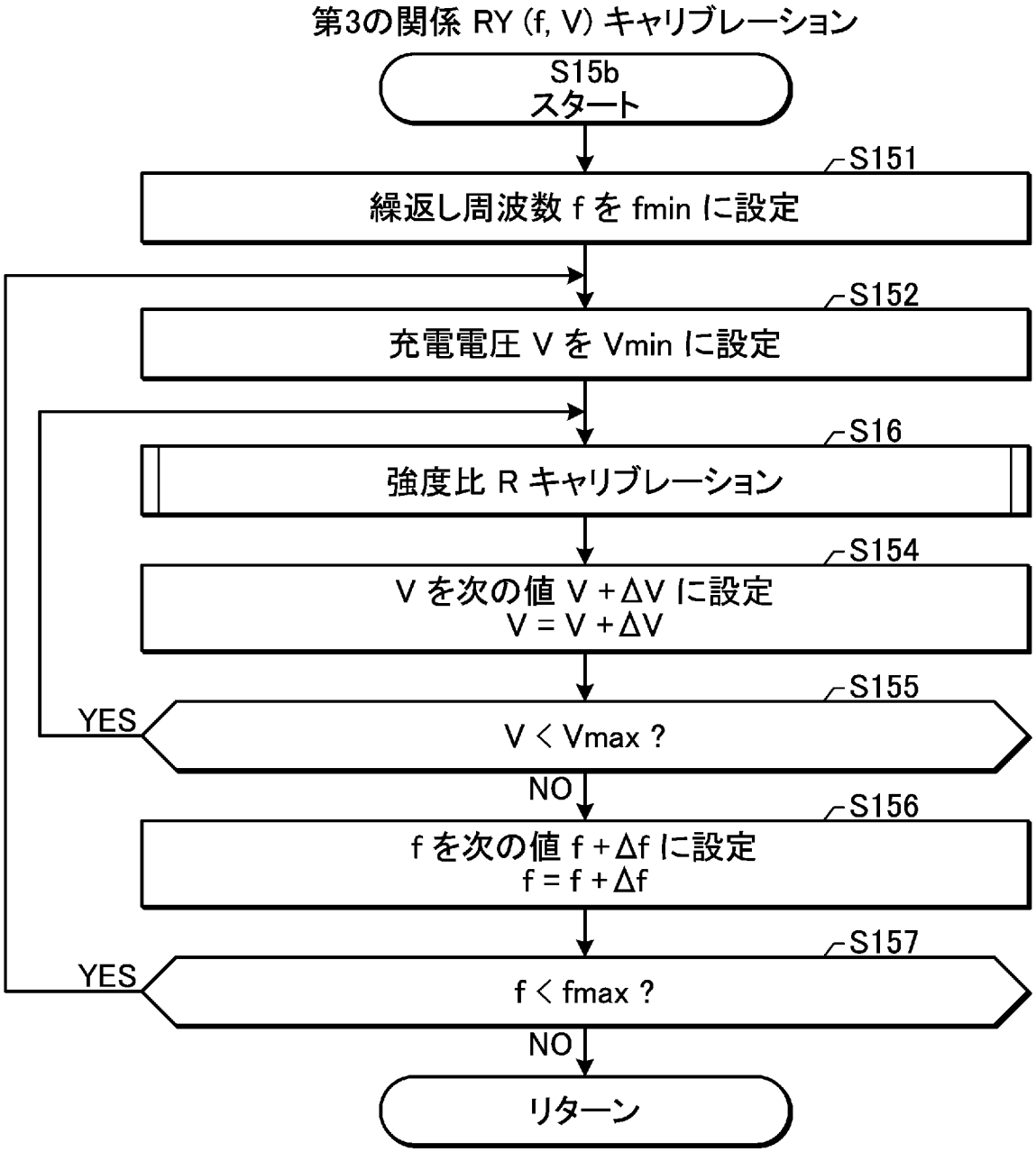
[図25]


露光光の出力
S21
スタート
S212
目標波長 λ1t 及び λ2t 、及び目標強度比 Rt を読込む
S213
第1の関係 λ1 θ1、第2の関係 λ2 θ2、
及び第3の関係 RY を用いて
λ1t 、λ2t 、及び Rt にそれぞれ対応する
第1の回転ステージの目標位置 θ1t
第2の回転ステージの目標位置 θ2t
リニアステージの目標位置 Yt
を計算
S214
各種アクチュエータの位置 θ1 、θ2 、及び Y を
θ1t 、θ2t 、及び Yt に設定し
各種アクチュエータを制御
S215
NO
トリガ信号を受信したか ？
YES
S216
レーザ発振
リターン

[図26]


スタート
S11
シャッターを閉じる
S12
各種アクチュエータの位置を記憶
S13
波長 λ1 キャリブレーション
S14
波長 λ2 キャリブレーション
S15b
第3の関係 RY (f, V) キャリブレーション
S18
記憶した位置に各種アクチュエータを復帰
S19
シャッターを開き
露光装置に準備 OK 信号を送信
S20
各種キャリブレーションで記憶したパラメータを読込む
S21b
露光光の出力
S22
露光装置から休止信号を受信したか？
NO
YES
S23
露光装置に準備 NOK 信号を送信

[図27]

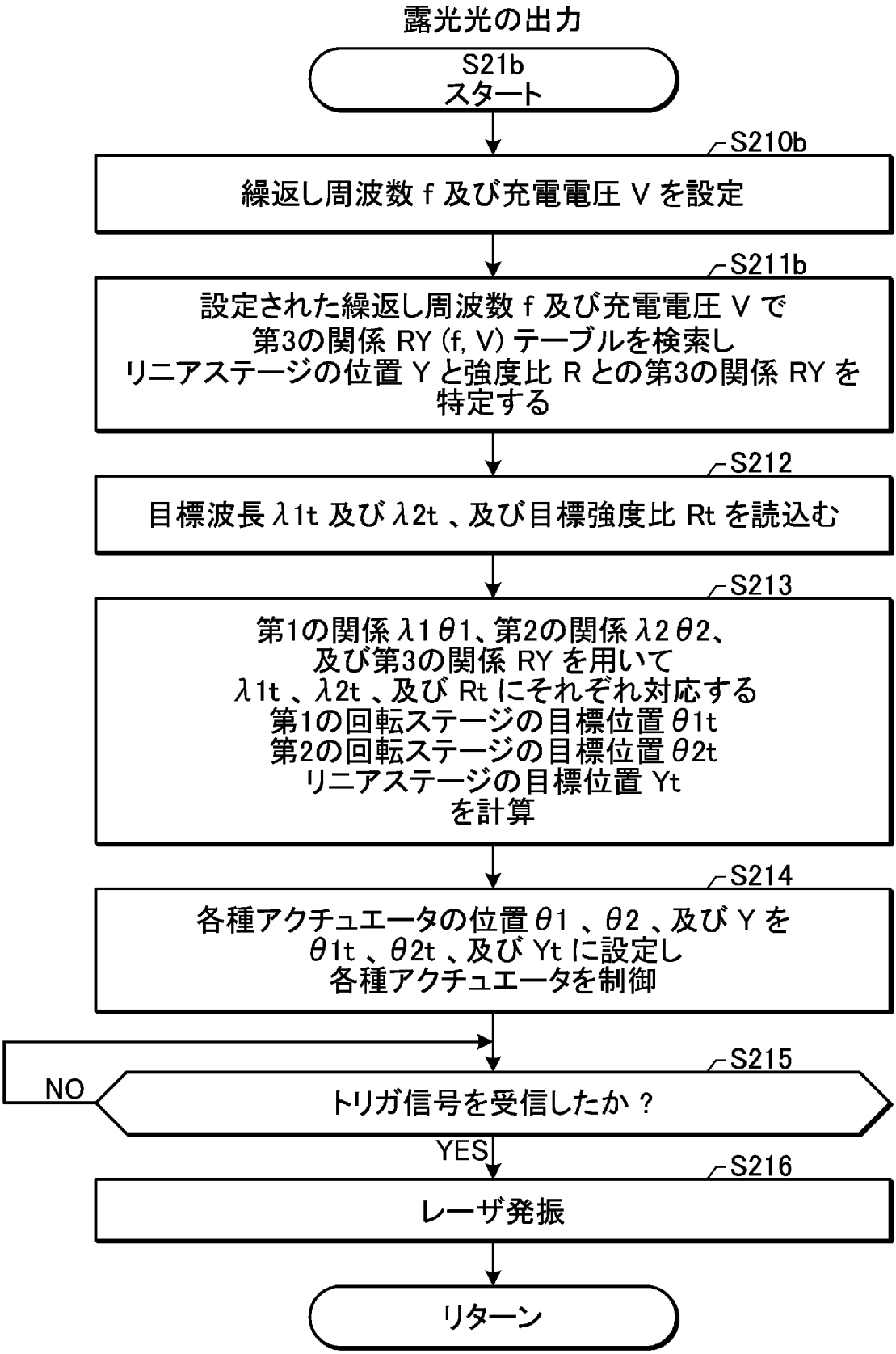


[図28]

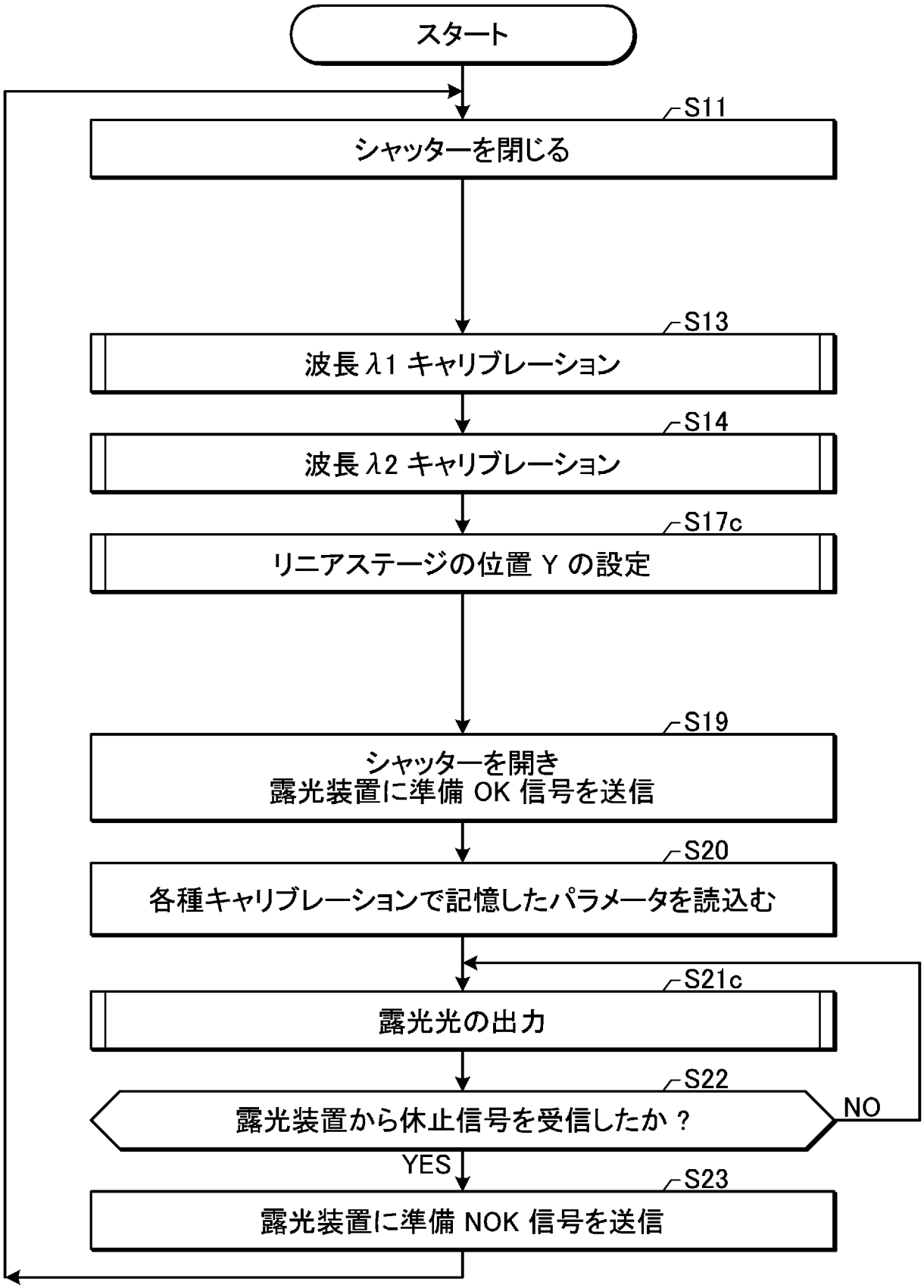
第3の関係 RY (f, V) テーブル

繰返し周波数 f	充電電圧 V				
	V1 – V2	V2 – V3	V3 – V4	V4 – V5	V5 – V6
f1 – f2	RY (f1, V1)	RY (f1, V2)	RY (f1, V3)	RY (f1, V4)	RY (f1, V5)
f2 – f3	RY (f2, V1)	RY (f2, V2)	RY (f2, V3)	RY (f2, V4)	RY (f2, V5)
f3 – f4	RY (f3, V1)	RY (f3, V2)	RY (f3, V3)	RY (f3, V4)	RY (f3, V5)
f4 – f5	RY (f4, V1)	RY (f4, V2)	RY (f4, V3)	RY (f4, V4)	RY (f4, V5)
f5 – f6	RY (f5, V1)	RY (f5, V2)	RY (f5, V3)	RY (f5, V4)	RY (f5, V5)

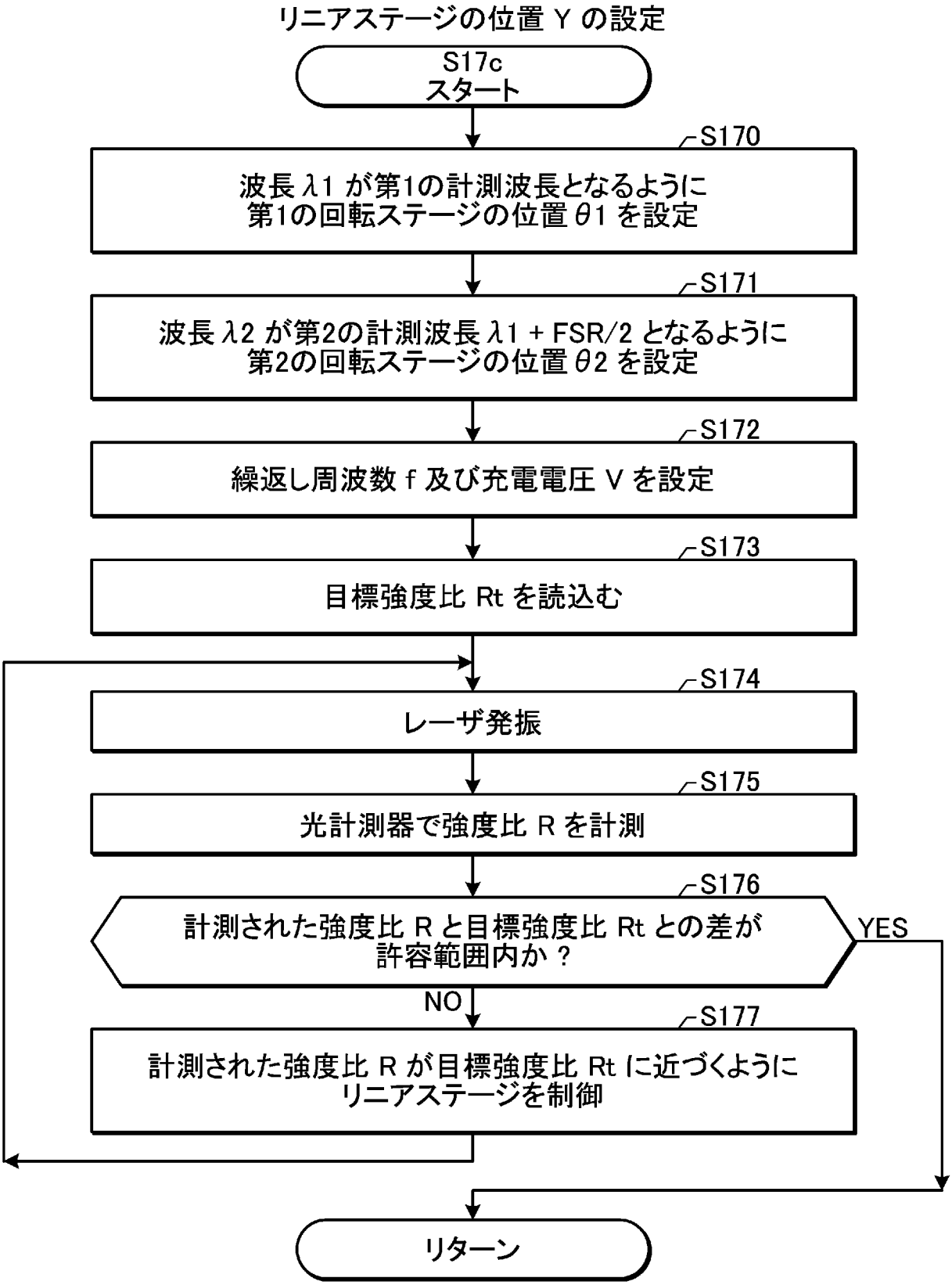
[図29]


露光光の出力
S21b
スタート
S210b
繰返し周波数 f 及び充電電圧 V を設定
S211b
設定された繰返し周波数 f 及び充電電圧 V で
第3の関係 RY (f, V) テーブルを検索し
リニアステージの位置 Y と強度比 R との第3の関係 RY を
特定する
S212
目標波長 λ1t 及び λ2t 、及び目標強度比 Rt を読込む
S213
第1の関係 λ1 θ1、第2の関係 λ2 θ2、
及び第3の関係 RY を用いて
λ1t 、λ2t 、及び Rt にそれぞれ対応する
第1の回転ステージの目標位置 θ1t
第2の回転ステージの目標位置 θ2t
リニアステージの目標位置 Yt
を計算
S214
各種アクチュエータの位置 θ1 、θ2 、及び Y を
θ1t 、θ2t 、及び Yt に設定し
各種アクチュエータを制御
S215
NO
トリガ信号を受信したか ?
YES
S216
レーザ発振
リターン

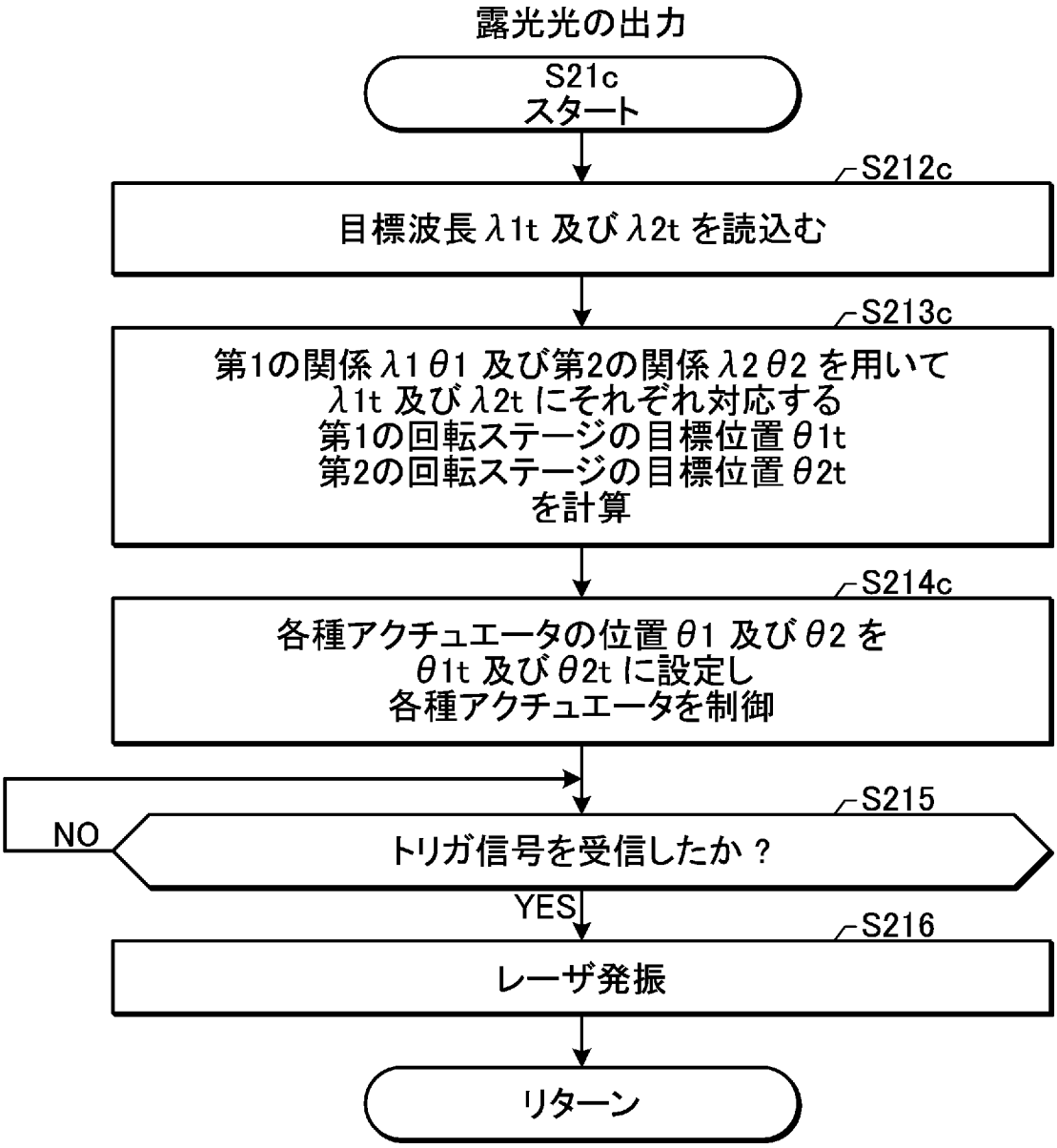
[図30]


スタート
S11
シャッターを閉じる
S13
波長 λ1 キャリブレーション
S14
波長 λ2 キャリブレーション
S17c
リニアステージの位置 Y の設定
S19
シャッターを開き
露光装置に準備 OK 信号を送信
S20
各種キャリブレーションで記憶したパラメータを読込む
S21c
露光光の出力
S22
露光装置から休止信号を受信したか？
NO
YES
S23
露光装置に準備 NOK 信号を送信

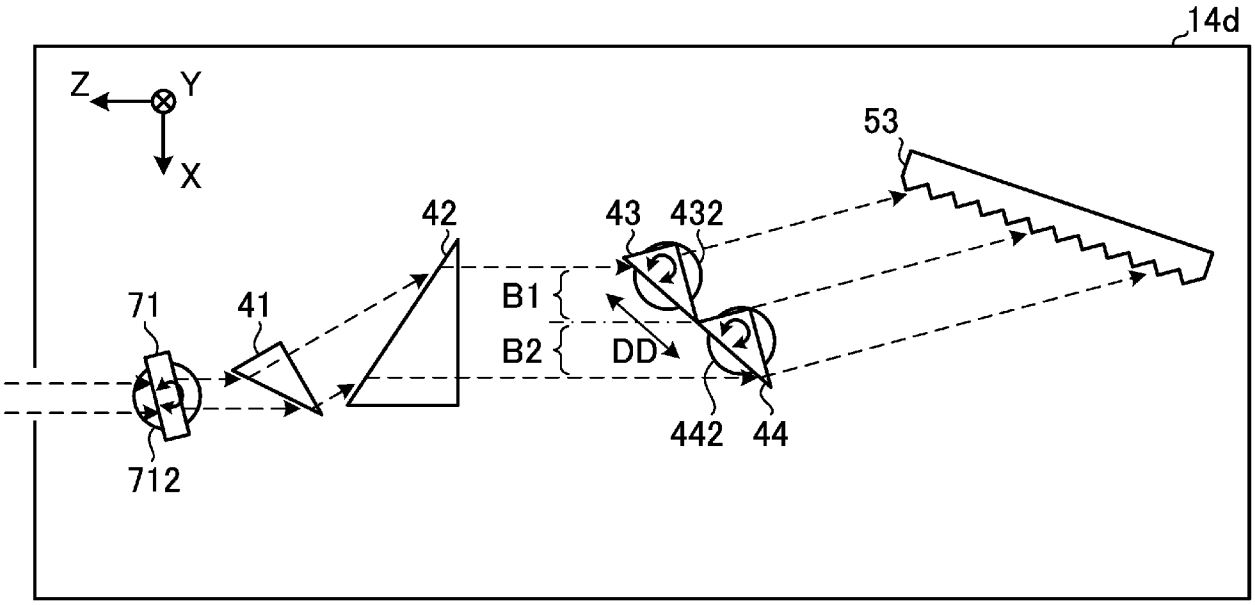
[図31]


リニアステージの位置 Y の設定
S17c
スタート
S170
波長 λ1 が第1の計測波長となるように
第1の回転ステージの位置 θ1 を設定
S171
波長 λ2 が第2の計測波長 λ1 + FSR/2 となるように
第2の回転ステージの位置 θ2 を設定
S172
繰返し周波数 f 及び充電電圧 V を設定
S173
目標強度比 Rt を読込む
S174
レーザ発振
S175
光計測器で強度比 R を計測
S176
計測された強度比 R と目標強度比 Rt との差が
許容範囲内か？
YES
NO
S177
計測された強度比 R が目標強度比 Rt に近づくように
リニアステージを制御
リターン

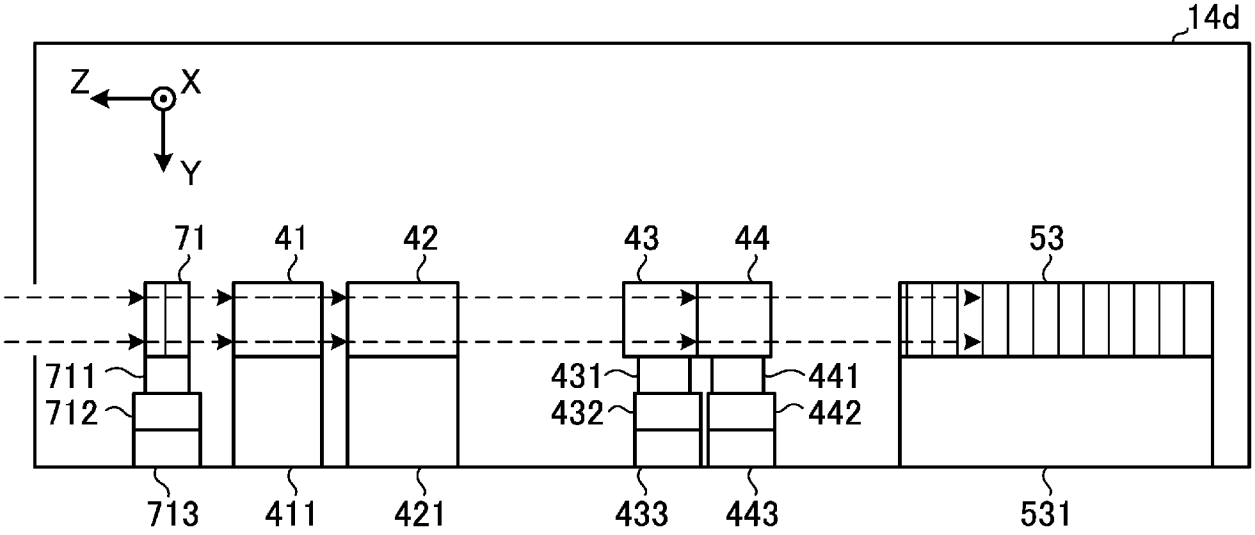
[図32]


露光光の出力
S21c
スタート
S212c
目標波長 λ1t 及び λ2t を読込む
S213c
第1の関係 λ1 θ1 及び第2の関係 λ2 θ2 を用いて
λ1t 及び λ2t にそれぞれ対応する
第1の回転ステージの目標位置 θ1t
第2の回転ステージの目標位置 θ2t
を計算
S214c
各種アクチュエータの位置 θ1 及び θ2 を
θ1t 及び θ2t に設定し
各種アクチュエータを制御
S215
NO
トリガ信号を受信したか？
YES
S216
レーザ発振
リターン

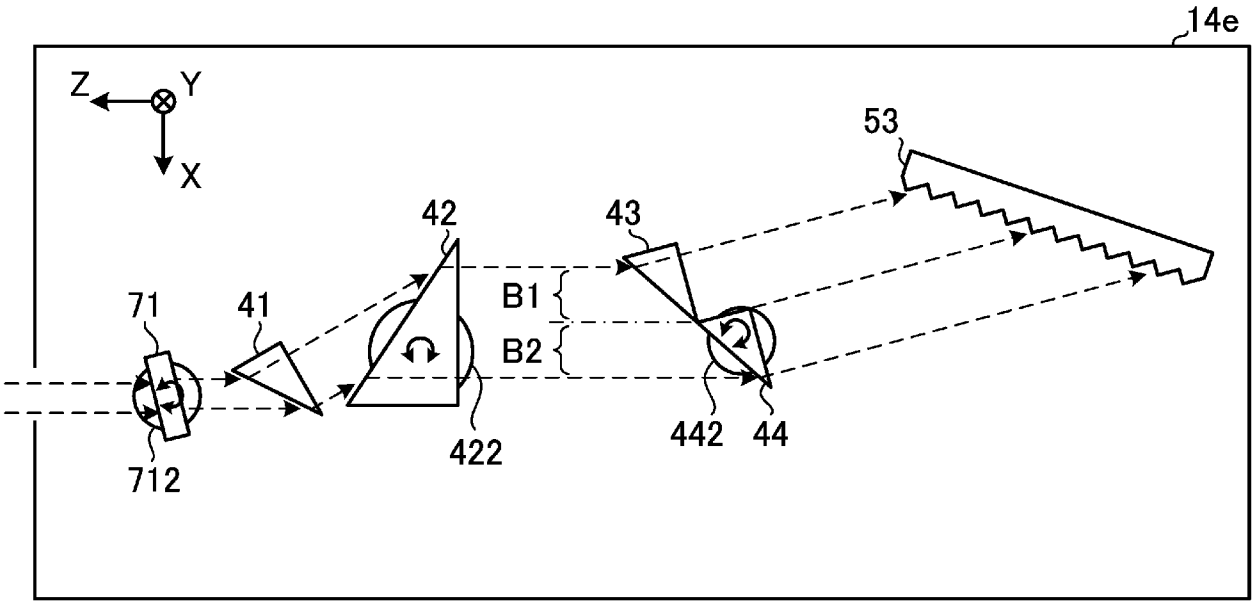
[図33]


14d
Z
Y
X
53
42
43
432
71
41
B1
B2
DD
712
442
44

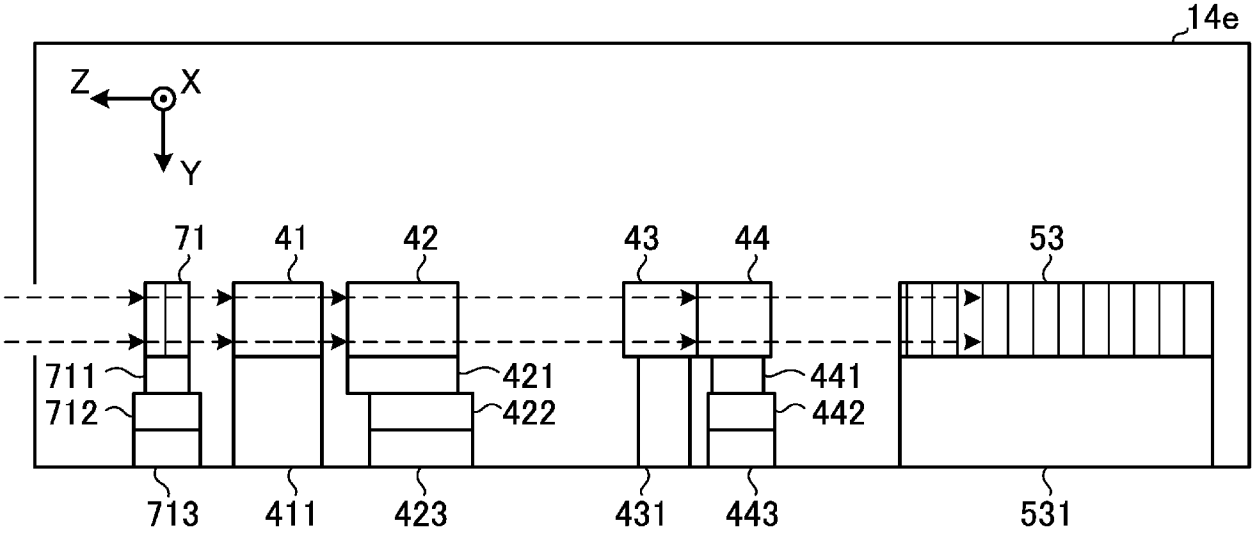
[図34]


14d
Z
X
Y
71
41
42
43
44
53
711
712
431
432
441
442
713
411
421
433
443
531

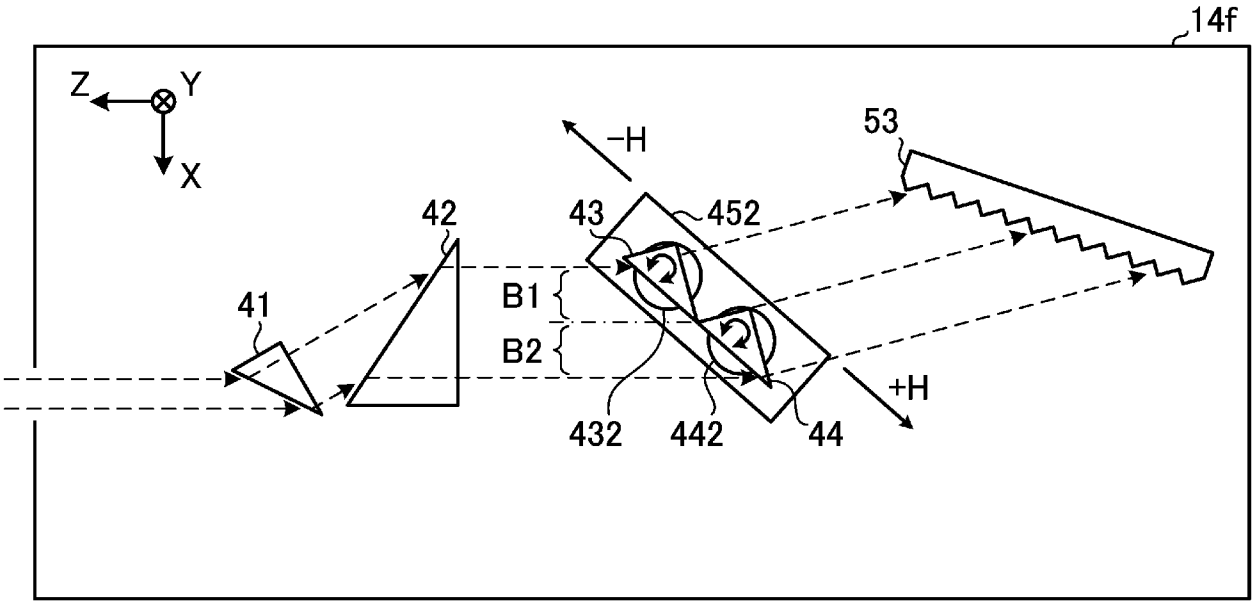
[図35]


14e
Z
Y
X
53
42
43
71
41
B1
B2
712
422
442
44

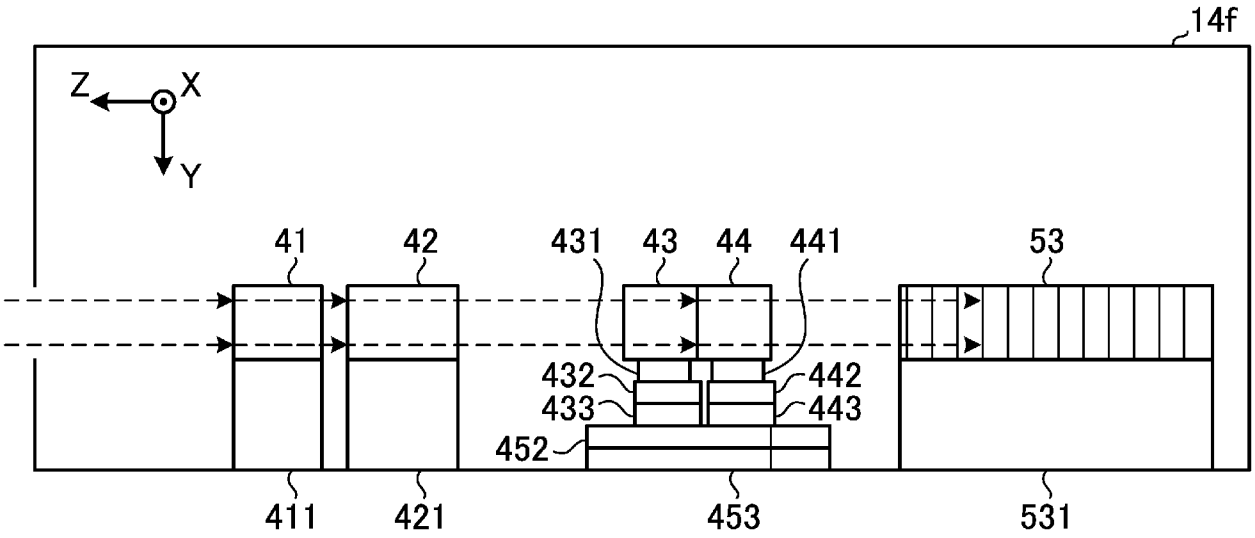
[図36]


14e
Z
X
Y
71
41
42
43
44
53
711
712
421
422
441
442
713
411
423
431
443
531

[図37]


14f
Z
Y
X
-H
53
42
43
452
41
B1
B2
+H
432
442
44

[図38]


14f
Z
X
Y
41
42
431
43
44
441
53
432
433
442
443
452
411
421
453
531

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/032816

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G03F7/20(2006.01)i, H01S3/1055(2006.01)i
FI: H01S3/1055, G03F7/20505, G03F7/20521
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)
Int.Cl. H01S3/00-3/02, 3/04-3/0959, 3/098-3/102, 3/105-3/131, 3/136-3/213, 3/23-4/00

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2013-062484 A (GIGAPHOTON INC.) 04 April 2013 (2013-04-04), paragraphs [0014]-[0018], [0050]-[0058], fig. 1, 12, 13	1-2, 11-12, 20 3-10, 13-19
Y A	JP 2005-507156 A (INTEL CORPORATION) 10 March 2005 (2005-03-10), paragraphs [0037], [0038], fig. 1	1-2, 11-12, 20 3-10, 13-19
A	JP 2003-008122 A (GIGAPHOTON INC.) 10 January 2003 (2003-01-10), entire text, all drawings	1-20
A	WO 2006/006499 A1 (KOMATSU LTD.) 19 January 2006 (2006-01-19), entire text, all drawings	1-20
A	JP 2006-269628 A (GIGAPHOTON INC.) 05 October 2006 (2006-10-05), entire text, all drawings	1-20
A	JP 2007-005538 A (KOMATSU LTD.) 11 January 2007 (2007-01-11), 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	Date of mailing of the international search report
10 November 2020	17 November 2020
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/JP2020/032816

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 2013-247240 A (GIGAPHOTON INC.) 09 December 2013 (2013-12-09), entire text, all drawings	1-20
A	US 2004/0190577 A1 (ALBRECHT et al.) 30 September 2004 (2004-09-30), entire text, all drawings	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/032816

JP 2013-062484 A	04 April 2013	US 2013/0215916 A1 paragraphs [0110]-[0115], [0156]-[0166], fig. 1, 12, 13
JP 2005-507156 A	10 March 2005	US 2003/0007522 A1 paragraphs [0043], [0044], fig. 1 WO 2003/005501 A2 EP 1421657 A2 CN 1524326 A KR 10-2004-0068918 A AU 2002320312 A
JP 2003-008122 A	10 January 2003	(Family: none)
WO 2006/006499 A1	19 January 2006	US 2008/0285602 A1 entire text, all drawings JP 2006-24855 A
JP 2006-269628 A	05 October 2006	(Family: none)
JP 2007-005538 A	11 January 2007	(Family: none)
JP 2013-247240 A	09 December 2013	US 2013/0315270 A1 entire text, all drawings
US 2004/0190577 A1	30 September 2004	(Family: none)

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/032816

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G03F 7/20(2006.01)i; H01S 3/1055(2006.01)i
FI: H01S3/1055; G03F7/20 505; G03F7/20 521

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

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	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０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	JP 2013-062484 A (ギガフォトン株式会社) 04.04.2013 (2013-04-04) 段落[0014]-[0018],[0050]-[0058],図1,12-13	1-2,11-12,20
A		3-10,13-19
Y	JP 2005-507156 A (インテル・コーポレーション) 10.03.2005 (2005-03-10) 段落[0037]-[0038] ,図1	1-2,11-12,20
A		3-10,13-19
A	JP 2003-008122 A (ギガフォトン株式会社) 10.01.2003 (2003-01-10) 全文,全図	1-20
A	WO 2006/006499 A1 (株式会社小松製作所) 19.01.2006 (2006-01-19) 全文,全図	1-20
A	JP 2006-269628 A (ギガフォトン株式会社) 05.10.2006 (2006-10-05) 全文,全図	1-20
A	JP 2007-005538 A (株式会社小松製作所) 11.01.2007 (2007-01-11) 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	国際調査報告の発送日
10.11.2020	17.11.2020

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）
大西　孝宣 2K 6006
電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2013-247240 A (ギガフォトン株式会社) 09.12.2013 (2013-12-09) 全文,全図	1-20
A	US 2004/0190577 A1 (ALBRECHT et al.) 30.09.2004 (2004-09-30) 全文,全図	1-20

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/JP2020/032816

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2013-062484 A	04.04.2013	US 2013/0215916 A1 段落[0110]-[0115],[0156]-[0166],図1,12-13	
JP 2005-507156 A	10.03.2005	US 2003/0007522 A1 段落[0043]-[0044] ,図1 WO 2003/005501 A2 EP 1421657 A2 CN 1524326 A KR 10-2004-0068918 A AU 2002320312 A	
JP 2003-008122 A	10.01.2003	（ファミリーなし）	
WO 2006/006499 A1	19.01.2006	US 2008/0285602 A1 全文,全図 JP 2006-24855 A	
JP 2006-269628 A	05.10.2006	（ファミリーなし）	
JP 2007-005538 A	11.01.2007	（ファミリーなし）	
JP 2013-247240 A	09.12.2013	US 2013/0315270 A1 全文,全図	
US 2004/0190577 A1	30.09.2004	（ファミリーなし）	