

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年6月25日(25.06.2015)

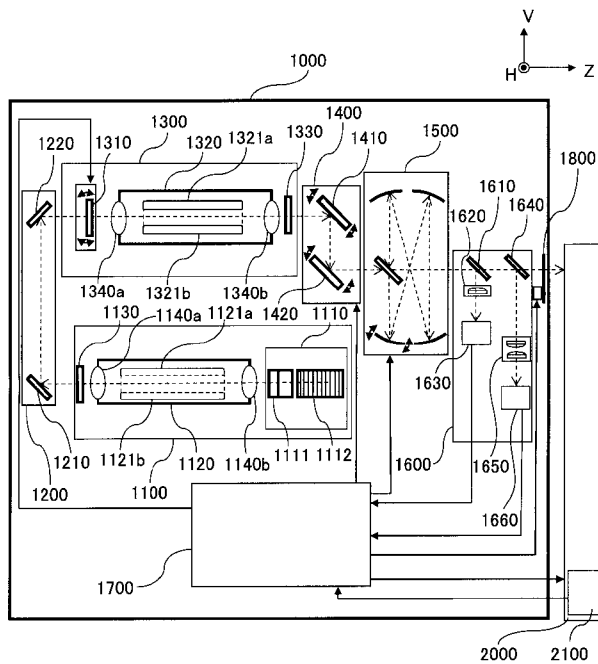


(10) 国際公開番号
WO 2015/092855 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/139 (2006.01) H01S 3/23 (2006.01)
H01S 3/225 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/083658
 - (22) 国際出願日: 2013年12月16日(16.12.2013)
 - (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 栃木県小山市横倉新田400 Tochigi (JP).
 - (72) 発明者: 若林 理(WAKABAYASHI, Osamu); 〒3238558 栃木県小山市横倉新田400 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 松永 隆(MATSUNAGA, Takashi); 〒3238558 栃木県小山市横倉新田400 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).
 - (74) 代理人: 伊東 忠重, 外(ITO, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).
 - (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
 - (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: LASER DEVICE
(54) 発明の名称: レーザ装置

[図1]



(57) Abstract: Provided is a laser device that may comprise: a first laser resonator that is configured so as to generate a laser beam; a first optical element that is configured so as to adjust the divergence of the laser beam in a first direction; a second optical element that is configured so as to adjust the divergence of the laser beam in a second direction that is perpendicular to the first direction; a measurement device that is configured so as to measure the divergence of the laser beam in the first direction and the second direction; and a control unit that is configured so as to control at least one of the first optical element and the second optical element on the basis of the divergence of the laser beam in the first direction and the second direction as measured by the measurement device.

(57) 要約: レーザ装置は、レーザビームを発生させるように構成された第一のレーザ共振器、第一の方向における前記レーザビームのダイバージェンスを調整するように構成された第一の光学素子、前記第一の方向に対して垂直な第二の方向における前記レーザビームのダイバージェンスを調整するように構成された第二の光学素子、前記第一の方向及び前記第二の方向における前記レーザビームのダイバージェンスを計測するように構成された計測装置、並びに、前記計測装置によって計測された前記第一の方向及び前記第二の方向における前記レーザビームのダイバージェンスに基づいて前記第一の光学素子及び前記第二の光学素子の少なくとも一

方を制御するように構成された制御部を含む、レーザ装置であってもよい。

WO 2015/092855 A1

明 細 書

発明の名称： レーザ装置

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体露光装置（以下、「露光装置」という）においては、半導体集積回路の微細化およ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。一般的に、露光用光源には、従来の水銀ランプに代わってガスレーザ装置が用いられる。たとえば、露光用のガスレーザ装置としては、波長248nmの紫外線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193nmの紫外線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] 次世代の露光技術としては、露光装置側の露光用レンズとウエハとの間が液体で満たされる液浸露光が実用化されている。この液浸露光では、露光用レンズとウエハとの間の屈折率が変化するため、露光用光源の見かけの波長が短波長化する。ArFエキシマレーザ装置を露光用光源として液浸露光が行われた場合、ウエハには水中における波長134nmの紫外光が照射される。この技術をArF液浸露光（又はArF液浸リソグラフィー）という。

[0004] KrFエキシマレーザ装置およびArFエキシマレーザ装置の自然発振幅は、約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、グレーティング等）を有する狭帯域化モジュール（Line Narrow

wing Module : LNM) が設けられる場合がある。以下では、スペクトル線幅が狭帯域化されるレーザ装置を狭帯域化レーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特許第4290001号公報
特許文献2：米国特許第6693939号
特許文献3：特許第4818871号公報
特許文献4：特許第5096035号公報
特許文献5：特許第5111930号公報
特許文献6：特許第5178047号公報

概要

- [0006] レーザ装置は、レーザビームを発生させるように構成された第一のレーザ共振器、第一の方向における前記レーザビームのダイバージェンスを調整するように構成された第一の光学素子、前記第一の方向に対して垂直な第二の方向における前記レーザビームのダイバージェンスを調整するように構成された第二の光学素子、前記第一の方向及び前記第二の方向における前記レーザビームのダイバージェンスを計測するように構成された計測装置、並びに、前記計測装置によって計測された前記第一の方向及び前記第二の方向における前記レーザビームのダイバージェンスに基づいて前記第一の光学素子及び前記第二の光学素子の少なくとも一方を制御するように構成された制御部を含む、レーザ装置であってもよい。

図面の簡単な説明

- [0007] 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。
- [0008] 図において、実線の矢印は、信号の入力及び出力の少なくとも一つを意味する。図において、点線の矢印は、光の進行を意味する。
- [図1]図1は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置の構成の全体を例示

する図である。

[図2A]図2 Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビーム特性計測装置の一部を例示する断面図である。

[図2B]図2 Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビーム特性計測装置の一部を例示する斜視図である。

[図3A]図3 Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビーム特性計測装置の一部を例示する断面図である。

[図3B]図3 Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビーム特性計測装置の一部を例示する斜視図である。

[図4A]図4 Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたパワーオシレータ共振器におけるミラーの制御の動作を例示する図である。

[図4B]図4 Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたパワーオシレータ共振器におけるミラーの制御の効果を例示する図である。

[図5A]図5 Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれた光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御の動作を例示する図である。

[図5B]図5 Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれた光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御の効果を例示する図である。

[図6]図6は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたパワーオシレータビームステアリングユニットにおけるミラーの制御を例示する図である。

[図7]図7は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のメインルーチンを例示する図である。

[図8]図8は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[図9]図9は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[図10A]図10 Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[図10B]図10Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置におけるレーザビームのダイバージェンス及びポインティングを例示する図である。

[図11A]図11Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[図11B]図11Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置におけるレーザビームの位置を例示する図である。

[図12]図12は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[図13]図13は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[図14]図14は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[図15A]図15Aは、本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置に含まれた二つの光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御の動作を例示する図である。

[図15B]図15Bは、本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置に含まれた二つの光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御の効果を例示する図である。

[図16]図16は、本開示の第三の実施形態に係るレーザ装置に含まれたパワーオシレータ共振器におけるミラーの制御の動作を例示する図である。

[図17]図17は、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置の構成の全体を例示する図である。

[図18A]図18Aは、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビームダイバージェンス制御部の第一の例を例示する上面図である。

[図18B]図18Bは、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビームダイバージェンス制御部の第一の例を例示する側面図である。

[図19A]図19Aは、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビームダイバージェンス制御部の第二の例を例示する上面図である。

[図19B]図19Bは、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビームダイバージェンス制御部の第二の例を例示する側面図である。

[図20]図20は、本開示の実施形態におけるアクチュエータ付きミラーホルダを例示する図である。

[図21]図21は、本開示の実施形態における制御部を例示する図である。

実施形態

[0009] 内容

1. 概要

2. 本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置

2. 1 レーザ装置の構成

2. 2 レーザ装置の動作

2. 3 レーザ装置に含まれたビーム特性計測装置

2. 4 パワーオシレータ共振器におけるミラーの制御

2. 5 光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御

2. 6 パワーオシレータビームステアリングユニットにおけるミラーの制御

2. 7 ビーム特性の安定化のためのフローチャート

3. 本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置

4. 本開示の第三の実施形態に係るレーザ装置

5. 本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置

6. その他

6. 1 アクチュエータ付きミラーホルダ

6. 2 制御部（コントローラ）

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、本開示の一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. 概要

本開示の実施形態は、レーザ装置に関するものであってもよい。本開示の実施形態は、レーザ装置から出力されるレーザビームの特性を所定の範囲内に安定化することが可能なレーザ装置に関するものであってもよい。レーザ装置から出力されるレーザビームの特性は、例えば、レーザビームのダイバージェンス（レーザビームの広がり角）、レーザビームのポインティング（レーザビームの進行方向）、レーザビームの位置（レーザビームの中心の位置）などであってもよい。

[0011] 本開示の実施形態に係るレーザ装置は、露光用レーザ装置であってもよい。露光用レーザ装置は、半導体露光装置用のレーザ装置であってもよい。

[0012] 本開示の実施形態に係るレーザ装置は、放電励起式ガスレーザ装置であってもよい。放電励起式ガスレーザ装置は、レーザ発振のために、チャンバの中に配置された一对の電極に所定の電圧を印加することによってチャンバに供給されるレーザガスを放電及び励起する装置であってもよい。レーザガスは、例えば、希ガス、ハロゲンガス、及びバッファガスの混合物であるエキシマレーザガスであってもよい。希ガスは、例えば、アルゴン（Ar）ガス又はクリプトン（Kr）ガスであってもよい。ハロゲンガスは、例えば、フッ素（F₂）ガスであってもよい。バッファガスは、例えば、ネオン（Ne）ガスであってもよい。

[0013] レーザ装置は、より長時間レーザビームの特性を所定の範囲内に安定化することが要求されることがあってもよい。例えば、ウエハを露光する露光装置の性能を安定化させるために、レーザ装置から出力されるレーザ光のビーム特性を所定の範囲内に安定化することが要求されることがあってもよい。

[0014] 例えば、レーザ装置の停止からレーザ装置の高負荷運転への切り替えのときに、レーザビームの特性が変動することがあり得る。例えば、レーザ装置の低負荷運転からレーザ装置の高負荷運転への切り替えのときに、レーザビームの特性が変動することがあり得る。例えば、レーザ装置の高負荷運転からレーザ装置の低負荷運転への切り替えのときに、レーザビームの特性が変

動することがあり得る。低負荷運転は、相対的に低い平均出力の運転（例えば、バースト運転のデューティ＝5～20%）を意味してもよい。高負荷運転は、相対的に高い平均出力の運転（例えば、バースト運転のデューティ＝60～100%を意味してもよい。上述したようなレーザ装置の運転の切り替えのときに、例えば、レーザ装置から出力されるレーザビームのダイバージェンス及びポインティングがそれぞれの許容範囲を超えることがあり得る。上述したようなレーザ装置の運転の切り替えのときに、例えば、レーザ装置から出力されるレーザビームのダイバージェンス及びポインティングをそれぞれの許容範囲内に安定化することが要求されることがあってもよい。

[0015] 本開示の一つの実施形態の目的は、レーザ装置から出力されるレーザビームの特性を所定の範囲内に安定化することが可能なレーザ装置を提供することであってもよい。

[0016] 本開示の一つの実施形態に係るレーザ装置は、第一のレーザ共振器、第一の光学素子、第二の光学素子、計測装置、及び、制御部を含む、レーザ装置であってもよい。第一のレーザ共振器は、レーザビームを発生させるように構成されたものであってもよい。第一の光学素子は、第一の方向におけるレーザビームのダイバージェンスを調整するように構成されたものであってもよい。第二の光学素子は、第一の方向に対して垂直な第二の方向におけるレーザビームのダイバージェンスを調整するように構成されたものであってもよい。計測装置は、第一の方向及び第二の方向におけるレーザビームのダイバージェンスを計測するように構成されたものであってもよい。制御部は、計測装置によって計測された第一の方向及び第二の方向におけるレーザビームのダイバージェンスに基づいて第一の光学素子及び第二の光学素子の少なくとも一方を制御するように構成されたものであってもよい。

[0017] レーザ装置は、さらに、第三の光学素子を含む、レーザ装置であってもよい。第三の光学素子は、レーザビームのポインティングを調整することが可能なものであってもよい。計測装置は、さらに、レーザビームのポインティングを計測するように構成されたものであってもよい。制御部は、さらに

、計測装置によって計測されたレーザビームのポインティングに基づいて第三の光学素子を制御するように構成されたものであってもよい。

[0018] レーザ装置は、さらに、第四の光学素子を含む、レーザ装置であってよい。第四の光学素子は、レーザビームの位置を調整することが可能なものであってもよい。計測装置は、さらに、レーザビームの位置を計測するように構成されたものであってもよい。制御部は、さらに、計測装置によって計測されたレーザビームの位置に基づいて第四の光学素子を制御するように構成されたものであってもよい。

[0019] 本開示の一つの実施形態によれば、レーザ装置から出力されるレーザビームの特性を所定の範囲内に安定化することが可能なレーザ装置を提供することができてもよい。

[0020] 例えば、レーザ装置は、計測装置によって計測された第一の方向及び第二の方向におけるレーザビームのダイバージェンスに基づいて第一の光学素子及び第二の光学素子の少なくとも一方を制御することで、レーザ装置から出力されるレーザビームのダイバージェンスを所定の範囲内に安定化することができてもよい。

[0021] 例えば、レーザ装置は、計測装置によって計測されたレーザビームのポインティングに基づいて第三の光学素子を制御することで、レーザ装置から出力されるレーザビームのポインティングを所定の範囲内に安定化することができてもよい。

[0022] 例えば、レーザ装置は、計測装置によって計測されたレーザビームの位置に基づいて第四の光学素子を制御することで、レーザ装置から出力されるレーザビームの位置を所定の範囲内に安定化することができてもよい。

[0023] 2. 本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置

2. 1 レーザ装置の構成

図1は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置の構成の全体を例示する図である。

[0024] 放電励起式ガスレーザ装置であるレーザ装置1000は、半導体露光装置

2000と共に使用されてもよい。レーザ装置1000から出力されたレーザビームは、半導体露光装置2000へ入射してもよい。半導体露光装置2000は、露光装置制御部2100を含んでもよい。露光装置制御部2100は、半導体露光装置2000を制御するように構成されてもよい。

[0025] レーザ装置1000は、マスタオシレータ (Master Oscillator: MO) 1100及びマスタオシレータビームステアリングユニット (MOビームステアリングユニット) 1200を含んでもよい。レーザ装置1000は、パワーオシレータ (Power Oscillator: PO) 1300及びパワーオシレータビームステアリングユニット (POビームステアリングユニット) 1400を含んでもよい。レーザ装置1000は、光学パルスストレッチャ (Optical Pulse Stretcher: OPS) 1500、ビーム特性計測装置1600、制御部1700、及びシャッタ1800を含んでもよい。

[0026] マスタオシレータ1100は、狭帯域化モジュール (Line Narrowing Module: LNM) 1110、第一のチャンバ1120、及び第一の出力結合ミラー (Output Coupler: OC) 1130を含んでもよい。

[0027] 狭帯域化モジュール1110は、スペクトル幅を狭帯域化するためのプリズムビームエキスパンダ1111及びグレーティング1112を含んでもよい。プリズムビームエキスパンダ1111及びグレーティング1112の配置は、レーザ光の入射角度及びレーザ光の回折角度が一致するように、リトロ配置であってもよい。

マスタオシレータ1100は、固体レーザであってもよい。例えば、マスタオシレータ1100は、狭帯域化されたチタンサファイヤレーザ及び非線形結晶の組み合わせにより構成されてもよい。

[0028] 第一の出力結合ミラー1130は、部分反射ミラー (反射率20%~30%) であってもよい。狭帯域化モジュール1110及び第一の出力結合ミラー1130は、共振器を構成するように配置されてもよい。第一のチャンバ

1120は、共振器の光路上に配置されてもよい。

[0029] 第一のチャンバ1120は、一对の放電電極1121a, 1121b、及び二枚のウィンドウ1140a, 1140bを含んでもよい。一对の放電電極1121a, 1121bは、互いに対向するように配置されてもよい。第一のチャンバ1120にはエキシマレーザガスが充填されていてもよい。エキシマレーザガスは、例えば、希ガス（Ar又はKrガス）、ハロゲンガス（F₂ガス）、及びバッファガス（Neガス）の混合物であってもよい。二枚のウィンドウ1140a, 1140bは、レーザビームが透過するようなものであってもよい。

[0030] マスタオシレータビームステアリングユニット1200は、第一の高反射ミラー1210及び第二の高反射ミラー1220を含んでもよい。第一の高反射ミラー1210及び第二の高反射ミラー1220は、マスタオシレータ1100から出力されたレーザビームが、パワーオシレータ1300に入射するように配置されてもよい。

[0031] パワーオシレータ1300は、リアミラー1310、第二のチャンバ1320、及び第二の出力結合ミラー1330を含んでもよい。リアミラー1310及び第二の出力結合ミラー1330は、共振器を構成するように配置されてもよい。第二のチャンバ1320は、共振器の光路上に配置されてもよい。パワーオシレータ1300は、リング型の共振器を含んでもよい。

[0032] 第二のチャンバ1320は、第一のチャンバ1121と同様に、一对の放電電極1321a, 1321b、及び二枚のウィンドウ1340a, 1340bを含んでもよい。第二のチャンバ1320にはエキシマレーザガスが充填されていてもよい。

[0033] リアミラー1310は、部分反射ミラー（反射率80%~90%）であってもよい。第二の出力結合ミラー1330は、部分反射ミラー（反射率20%~30%）であってもよい。リアミラー1310は、リアミラー1310の姿勢角度を変化させることが可能なアクチュエータ付きミラーホルダに保持されてもよい。

[0034] パワーオシレータステアリングユニット 1400 は、第三の高反射ミラー 1410 及び第四の高反射ミラー 1420 を含んでもよい。第三の高反射ミラー 1410 は、第三の高反射ミラー 1410 の姿勢角度を変化させることが可能なアクチュエータ付きミラーホルダに保持されてもよい。第四の高反射ミラー 1420 は、第四の高反射ミラー 1420 の姿勢角度を変化させることが可能なアクチュエータ付きミラーホルダに保持されてもよい。第三の高反射ミラー 1410 及び第四の高反射ミラー 1420 は、パワーオシレータ 1400 から出力されたレーザビームが、光学パルスストレッチャ 1500 に入射するように配置されてもよい。

[0035] 光学パルスストレッチャ 1500 は、ビームスプリッタ（反射率：約 60%）及び四枚の凹面高反射ミラーを含んでもよい。ビームスプリッタ及び四枚の凹面高反射ミラーは、ビームスプリッタから反射されたレーザビームが、四枚の凹面高反射ミラーによって反射された後にビームスプリッタに結像するように、配置されてもよい。四枚の凹面高反射ミラーのうち少なくとも一枚の凹面高反射ミラーは、姿勢角度を変化させることが可能なアクチュエータ付きミラーホルダに保持されてもよい。レーザ装置 1000 は、複数の光学パルスストレッチャ S を含んでもよい。

[0036] ビーム特性計測装置 1600 は、レーザビームのダイバージェンス及びポインティングを計測するシステム並びにレーザビームのプロファイル及び位置を計測するシステムを含んでもよい。レーザビームのダイバージェンス及びポインティングを計測するシステムは、第一のビームスプリッタ 1610、集光光学系 1620、及び第一のイメージセンサ 1630 を含んでもよい。第一のイメージセンサ 1630 は、集光光学系 1620 の焦点の位置に配置されてもよい。レーザビームのプロファイル及び位置を計測するシステムは、第二のビームスプリッタ 1640、転写光学系 1650、及び第二のイメージセンサ 1660 を含んでもよい。第二のイメージセンサ 1660 は、転写光学系 1650 の焦点の位置に配置されてもよい。

[0037] 2. 2 レーザ装置の動作

制御部 1700 は、半導体露光装置 2000 へレーザビームの特性の異常を示す信号を通知すると共にシャッタ 1800 を閉じてよい。

[0038] 制御部 1700 は、マスタオシレータ 1100 の図示しない電源を介して、所定の繰り返し周波数（例えば、1000 Hz の繰り返し周波数）で、一对の放電電極 1121 a, 1121 b の間にパルス状の高電圧を印加してもよい。

[0039] 制御部 1700 は、パワーオシレータ 1300 の図示しない電源を介して、所定の繰り返し周波数（例えば、1000 Hz の繰り返し周波数）で、一对の放電電極 1321 a, 1321 b の間にパルス状の高電圧を印加してもよい。第一のチャンバ 1120 において放電を引き起こすとき、エキシマレーザガスが励起されてもよい。エキシマレーザガスが励起される時、狭帯域化モジュール 1110 及び第一の出力結合ミラー 1130 で構成される共振器によって、狭帯域化されたパルスレーザビームが第一の出力結合ミラー 1130 から出力されてもよい。

[0040] マスタオシレータ 1100 から出力されたパルスレーザビームは、マスタオシレータビームステアリングユニット 1200 によって、パワーオシレータ 1300 のリアミラー 1310 に入射してもよい。

[0041] パルスレーザビームがリアミラー 1310 を透過した後、第二のチャンバ 1320 において放電を引き起こして、第二のチャンバ 1320 におけるレーザガスを励起してもよい。パルスレーザビームは、リアミラー 1310 及び第二の出力結合ミラー 1330 で構成されるファブリペロ型の共振器によって、増幅されてもよい。第二の出力結合ミラー 1330 から増幅されたパルスレーザビームが出力されてもよい。

[0042] 第二の出力結合ミラー 1330 から出力されたパルスレーザビームは、パワーオシレータステアリングユニット 1400 を通過すると共に、光学パルスストレッチャ 1500 に入射してもよい。パルスレーザビームのパルス幅は、光学パルスストレッチャ 1500 によって、伸長されてもよい。

[0043] 光学パルスストレッチャ 1500 を通過したパルスレーザビームは、図示

しないモニタモジュールを通過すると共に、ビーム特性計測装置1600に入射してもよい。モニタモジュールは、パルスレーザービームのパルスエネルギー、スペクトル線幅、及び波長等を計測するように構成されてもよい。

[0044] ビーム特性計測装置1600では、パルスレーザービームの一部が第一のビームスプリッタ1610によって反射され、集光光学系1620を通過し、第一のイメージセンサ1630に集束されてもよい。第一のイメージセンサ1630に集束されたパルスレーザービームからレーザービームのダイバージェンス及びポインティングを計測してもよい。ビーム特性計測装置1600では、パルスレーザービームの一部が第二のビームスプリッタ1640によって反射され、転写光学系1650を通過し、第二のイメージセンサ1660に集束されてもよい。第二のイメージセンサ1660に集束されたパルスレーザービームからレーザービームのプロファイル及び位置を計測してもよい。

[0045] 制御部1700は、ビーム特性計測装置1600によって計測されたレーザービームの特性に基づいて、パワーオシレータ1300のリアミラー1310の姿勢角度を制御してもよい。制御部1700は、ビーム特性計測装置1600によって計測されたレーザービームの特性に基づいて、光学パルスストレッチャ1500の凹面高反射ミラーの姿勢角度を制御してもよい。制御部1700は、ビーム特性計測装置1600によって計測されたレーザービームの特性に基づいて、パワーオシレータステアリングユニット1400の第三の高反射ミラー1410及び第四の高反射ミラー1420の姿勢角度の少なくとも一つを制御してもよい。

[0046] (a) 制御部1700は、ビーム特性計測装置1600によって計測された水平方向及び垂直方向におけるレーザービームのダイバージェンスに基づいて、パワーオシレータ1300のリアミラー1310の姿勢角度を制御してもよい。パワーオシレータ1300のリアミラー1310の姿勢角度は、レーザービームの目標のダイバージェンスが得られるように、制御されてもよい。制御部1700は、ビーム特性計測装置1600によって計測された水平方向及び垂直方向におけるレーザービームのダイバージェンスに基づいて、光

学パルスストレッチャ1500の凹面高反射ミラーの姿勢角度を制御してもよい。光学パルスストレッチャ1500の凹面高反射ミラーの姿勢角度は、レーザビームの目標のダイバージェンスが得られるように、制御されてもよい。

[0047] (b) 制御部1700は、ビーム特性計測装置1600によって計測された水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのポインティング及び位置に基づいて、パワーオシレータステアリングユニット1400の第三の高反射ミラー1410及び第四の高反射ミラー1420の姿勢角度を制御してもよい。パワーオシレータステアリングユニット1400の第三の高反射ミラー1410及び第四の高反射ミラー1420の姿勢角度は、レーザビームの目標のポインティング及び位置が得られるように制御されてもよい。

[0048] (c) ビーム特性計測装置1600によって計測されたレーザビームの特性がその許容範囲内になるまで、(a)及び(b)の制御を繰り返してもよい。

[0049] (d) 制御部1700は、ビーム特性計測装置1600によって計測されたレーザビームの特性がその許容範囲内になったとき、上述したような調整発振を中止し、シャッタ1800を開けてもよい。制御部1700は、半導体露光装置2000の露光装置制御部2100へレーザビームの特性の承認を通知してもよい。

[0050] 制御部1700は、露光装置制御部2100からレーザ発振のトリガを受信してもよい。

[0051] 制御部1700は、露光装置制御部2100から受信したトリガに同期して、マスタオシレータ1100の一对の放電電極1121a, 1121b及びパワーオシレータ1300の一对の放電電極1321a, 1321bに電圧を印加してもよい。マスタオシレータ1100の第一のチャンバ1120及びパワーオシレータ1300の第二のチャンバ1320に含まれるレーザガスの放電を引き起こしてもよい。レーザ装置1000から所望の特性のレーザビームが出力されてもよい。

[0052] 制御部1700は、半導体露光装置2000によるウエハの露光の間に、上述した(a)及び(b)の制御を繰り返してもよい。半導体露光装置2000によるウエハの露光の間においても、レーザビームの特性を安定化させることができてもよい。

[0053] ビーム特性計測装置1600によって計測されたレーザビームの特性に基づいて、パワーオシレータ1300のリアミラー1310の姿勢角度、光学パルスストレッチャ1500の凹面高反射ミラーの姿勢角度、及び、パワーオシレータステアリングユニット1400の第三の高反射ミラー1410及び第四の高反射ミラー1420の姿勢角度の少なくとも一つを制御することで、レーザ装置1000から出力されるパルスレーザビームの特性を安定化させることができてもよい。

[0054] 2.3 レーザ装置に含まれたビーム特性計測装置

図2Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビーム特性計測装置の一部を例示する断面図である。図2Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビーム特性計測装置の一部を例示する斜視図である。

[0055] 図2A及び図2Bに例示するビーム特性計測装置1600の一部は、レーザビームのダイバージェンス及びポインティングを計測するシステムであってもよい。光学パルスストレッチャ1500から出力されたレーザビームの一部は、第一のビームスプリッタ1610によって反射され、集光光学系1620に入射してもよい。集光光学系1620は、例えば、単一のレンズ又は複数のレンズで構成されてもよい。集光光学系1620を透過したレーザビームは、集光光学系1620の焦点距離 f の位置に配置された第一のイメージセンサ1630に集束されてもよい。第一のイメージセンサ1630は、二次元の電荷結合素子(Charge Coupled Device: CCD)であってもよい。集光光学系1620によって集束されたレーザビームのプロファイルを第一のイメージセンサ1630によって計測してもよい。第一のイメージセンサ1630によって計測されたレーザビームのプロ

ファイルは、制御部1700に送信されてもよい。

[0056] 制御部1700は、レーザビームのダイバージェンス θ を、 $\theta = W / f$ の式によって計算してもよい。fは、集光光学系の焦点距離であってもよい。Wは、レーザビームのプロファイルの所定の高さにおけるレーザビームのプロファイルの幅であってもよい。例えば、Wは、レーザビームのプロファイルの高さの $1 / e^2$ の高さにおけるレーザビームのプロファイルの全幅であってもよい。

[0057] 制御部1700は、第一のイメージセンサ1630によって計測されたレーザビームのプロファイルの所定の高さにおけるレーザビームのプロファイルの幅Wからレーザビームのダイバージェンス θ を計算してもよい。

[0058] 一般に、放電励起式ガスレーザ装置であるレーザ装置1000についての水平方向Hにおけるレーザビームのダイバージェンス θ_H 及び垂直方向Vにおけるレーザビームのダイバージェンス θ_V は、 $\theta_V > \theta_H$ の関係を満たしてもよい。垂直方向Vは、一对の放電電極1321a, 1321bによって印加される電場の方向であってもよい。水平方向Hは、垂直方向V及びレーザビームの進行方向Zと垂直な方向であってもよい。制御部1700は、第一のイメージセンサ1630によって計測されたレーザビームのプロファイルの所定の高さにおけるレーザビームのプロファイルの水平方向Hにおける幅から水平方向Hにおけるレーザビームのダイバージェンス θ_H を計算してもよい。制御部1700は、第一のイメージセンサ1630によって計測されたレーザビームのプロファイルの所定の高さにおけるレーザビームのプロファイルの垂直方向Vにおける幅から垂直方向Vにおけるレーザビームのダイバージェンス θ_V を計算してもよい。

[0059] 制御部1700は、第一のイメージセンサ1630によって計測されたレーザビームのプロファイルの中心の位置からレーザビームのポインティング（レーザビームの進行方向）を計算してもよい。

[0060] 図3Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビーム特性計測装置の一部を例示する断面図である。図3Bは、本開示の第一の実施

形態に係るレーザ装置に含まれたビーム特性計測装置の一部を例示する斜視図である。

[0061] 図3A及び図3Bに例示するビーム特性計測装置1600の一部は、レーザビームのプロファイル及び位置を計測するシステムであってもよい。光学パルスストレッチャ1500から出力されたレーザビームの一部は、第二のビームスプリッタ1640によって反射され、転写光学系1650に入射してもよい。転写光学系1650は、例えば、複数のレンズで構成されてもよい。転写光学系1650を透過したレーザビームは、第二のイメージセンサ1660に転写されてもよい。転写光学系1650の構成及び第二のイメージセンサの配置は、レーザビームのプロファイルの倍率が所定の倍率Mになるように、決定されてもよい。第二のイメージセンサ1660は、二次元の電荷結合素子 (Charge Coupled Device: CCD) であってもよい。転写光学系1650によって転写されたレーザビームのプロファイルを第二のイメージセンサ1660によって計測してもよい。第二のイメージセンサ1660によって計測されたレーザビームのプロファイルは、制御部1700に送信されてもよい。

[0062] 制御部1700は、第二のイメージセンサ1660によって計測されたレーザビームのプロファイルの中心の位置からレーザビームの位置を計算してもよい。

[0063] 制御部1700は、第二のイメージセンサ1660によって計測されたレーザビームのプロファイルの水平方向Hにおける中心の位置から水平方向Hにおけるレーザビームの位置を計算してもよい。制御部1700は、第二のイメージセンサ1660によって計測されたレーザビームのプロファイルの垂直方向Vにおける中心の位置から垂直方向Vにおけるレーザビームの位置を計算してもよい。垂直方向Vは、一对の放電電極1321a, 1321bによって印加される電場の方向であってもよい。水平方向Hは、垂直方向V及びレーザビームの進行方向Zと垂直な方向であってもよい。

[0064] 2. 4 パワーオシレータ共振器におけるミラーの制御

図4 Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたパワーオシレータ共振器におけるミラーの制御の動作を例示する図である。図4 Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたパワーオシレータ共振器におけるミラーの制御の効果を例示する図である。

[0065] 図4 Aに例示されるパワーオシレータ1300は、ファブリペロ型の共振器の構成を有してもよい。パワーオシレータ1300は、リアミラー1310、放電電極及び二枚のウィンドウ1340 a, 1340 bが設けられた第二のチャンバ1320、第二の出力結合ミラー1330を含んでもよい。リアミラー1310は、アクチュエータ付きホルダ1315によって保持されてもよい。アクチュエータ付きホルダ1315は、リアミラー1310の姿勢角度を変化させるように、制御部1700によって制御されてもよい。

[0066] パワーオシレータ1300におけるリアミラー1310及び第二の出力結合ミラー1330の少なくとも一つの姿勢角度を変化させることで、レーザビームのダイバージェンスを制御してもよい。例えば、パワーオシレータ1300におけるリアミラー1310の姿勢角度を変化させることで、レーザビームのダイバージェンスを制御してもよい。

[0067] リアミラー1310は、共振器の光軸に対して僅かに傾斜するように配置されてもよい。パワーオシレータ1300のリアミラー1310の姿勢角度を、リアミラー1310及び第二の出力結合ミラー1330の間におけるレーザビームの往復の回数に依存して、水平方向Hにおけるレーザビームの射出角が変化するように、配置してもよい。

[0068] パワーオシレータ1300の共振器の光路長は、マスタオシレータ1100のレーザビームの時間的コヒーレント長よりも大きくてもよい。

[0069] 図4 Aに例示されるように、第二の高反射ミラー1220によって反射されたレーザビームは、パワーオシレータ1300のリアミラー1310からウィンドウ1340 aを通過して、共振器の光軸に対して斜めに第二のチャンバ1320に入射してもよい。第二のチャンバ1320に入射するレーザビームは、より狭いスペクトル幅を有してもよい。レーザビームは、第二の

チャンバ1320に設けられた放電電極間における放電によって増幅されてもよい。増幅されたレーザビームは、ウィンドウ1340bを透過してもよい。ウィンドウ1340bを透過したレーザビームの一部は、第二の出力結合ミラー1330を透過して、パワーオシレータ1300から0.5回の往復のレーザビームとして出力されてもよい。反射角 $\alpha 1$ で第二の出力結合ミラー1330から反射されたレーザビームは、ウィンドウ1340bを透過して、第二のチャンバ1320内で増幅されてもよい。第二のチャンバ1320内で増幅されたレーザビームは、ウィンドウ1340aを通過して、リアミラー1310に入射してもよい。

[0070] 反射角 $\beta 1$ でリアミラー1310から反射されたレーザビームは、ウィンドウ1340aを通過し、第二のチャンバ1320内で増幅され、ウィンドウ1340bを通過し、第二の出力結合ミラー1330に入射してもよい。反射角 $\alpha 2$ で第二の出力結合ミラー1330から反射されたレーザビームは、ウィンドウ1340bを通過し、第二のチャンバ1320内で増幅され、ウィンドウ1340aを通過し、リアミラー1310に入射してもよい。反射角 $\beta 2$ でリアミラー1310から反射されたレーザビームは、ウィンドウ1340aを通過し、第二のチャンバ1320内で増幅され、ウィンドウ1340bを通過し、第二の出力結合ミラー1330に入射してもよい。

[0071] リアミラー1310及び第二の出力結合ミラー1330からの反射されたレーザビームの反射角は、 $\alpha 1 > \beta 1 > \alpha 2 > \beta 2 > \dots$ の関係を有してもよい。

[0072] このように第二の出力結合ミラー1330の光軸に対して水平方向Hにおけるリアミラー1310の姿勢角度を変化させることで、レーザビームの往復毎に第二の出力結合ミラー1330から出力されるレーザビームの方向が変化してもよい。第二の出力結合ミラー1330から出力されるレーザビームのダイバージェンスを増加させることができてもよい。第二の出力結合ミラー1330を透過するレーザビーム及び第二の出力結合ミラー1330から反射された後にリアミラー1310から反射されて第二の出力結合ミラー

1330を透過するレーザビームの干渉性は、抑制されてもよい。

[0073] 図4Bに例示されるように、第二の出力結合ミラー1330を透過するレーザビームは、リアミラー1310及び第二の出力結合ミラー1330の間におけるレーザビームの往復に依存して、水平方向Hにおいて移動してもよい。水平方向Hにおいて移動する、第二の出力結合ミラー1330を透過するレーザビームが合成されたものは、水平方向Hにおいてより大きいダイバージェンスのレーザビームであってもよい。

[0074] このように水平方向Hにおいてリアミラー1310の姿勢角度を変化させることによって、水平方向Hにおけるレーザビームのダイバージェンスを増加させてもよい。

[0075] 同様に、垂直方向Vにおいてリアミラー1310の姿勢角度を変化させることによって、垂直方向Vにおけるレーザビームのダイバージェンスを増加させてもよい。

[0076] 同様に、第二の出力結合ミラー1330の光軸に対するリアミラー1310の姿勢角度を変化させる代わりに、リアミラー1310の光軸に対する第二の出力結合ミラー1330の姿勢角度を変化させてもよい。第二の出力結合ミラー1330から出力されるレーザビームの方向及び位置の変化を低減するためには、第二の出力結合ミラー1330の光軸に対するリアミラー1310の姿勢角度を変化させることが好ましくてもよい。

[0077] 2. 5 光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御

図5Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれた光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御の動作を例示する図である。図5Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれた光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御の効果を例示する図である。

[0078] 図5Aに例示される光学パルスストレッチャ1500は、ビームスプリッタ1510及び四枚の凹面高反射ミラー1520, 1530, 1540, 1550を含んでもよい。ビームスプリッタ1510は、ビームスプリッタホルダ1515に保持されてもよい。第一の凹面高反射ミラー1520は、第

一のミラーホルダ1525に保持されてもよい。第二の凹面高反射ミラー1530は、第二のミラーホルダ1535に保持されてもよい。第三の凹面高反射ミラー1540は、第三のミラーホルダ1545に保持されてもよい。第四の凹面高反射ミラー1550は、アクチュエータ付きミラーホルダ1555に保持されてもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ1555は、第四の凹面高反射ミラー1550の姿勢角度を変化させるように制御部1700によって制御されてもよい。

[0079] 第一の凹面高反射ミラー1520、第二の凹面高反射ミラー1530、第三の凹面高反射ミラー1540、及び第四の凹面高反射ミラー1550は、焦点距離Fの同一の凹面ミラーであってもよい。

[0080] ビームスプリッタ1510及び四枚の凹面高反射ミラー1520, 1530, 1540, 1550は、ビームスプリッタ1510から反射されたレーザービームが、再度、ビームスプリッタ1510に入射するように配置されてもよい。第一の凹面高反射ミラー1520及び第二の凹面高反射ミラー1530は、ビームスプリッタ1510から反射されたレーザービームのプロファイルが、1の倍率で転写されるように、配置されてもよい。第三の凹面高反射ミラー1540及び第四の凹面高反射ミラー1550は、第二の凹面高反射ミラー1520から反射されたレーザービームのプロファイルが、ビームスプリッタ1510の位置で1の倍率で転写されるように、配置されてもよい。ビームスプリッタ1510及び四枚の凹面高反射ミラー1520, 1530, 1540, 1550は、ビームスプリッタ1510から反射されたレーザービームのプロファイルが、ビームスプリッタ1510の位置で1の倍率で転写されるように、配置されてもよい（正転写型の光学パルスストレッチャ）。

[0081] 図1に例示されるように、パワーオシレータ1300から出力された増幅されたレーザービームは、パワーオシレータビームステアリングユニット1400を通じて、光学パルスストレッチャ1500に入射してもよい。光学パルスストレッチャ1500に入射するレーザービームの一部は、ビームスプリ

ッタ1510を透過すると共に、光学パルスストレッチャ1500に入射するレーザービームの一部は、ビームスプリッタ1510によって反射されてもよい。ビームスプリッタ1510によって反射されたレーザービームは、第一の凹面高反射ミラー1520に入射してもよい。

[0082] 第一の凹面高反射ミラー1520に入射したレーザービームは、第一の凹面高反射ミラー1520によって反射させられてもよい。第一の凹面高反射ミラー1520によって反射させられたレーザービームは、ビームスプリッタ1510におけるレーザービームの倒立像として集束させられてもよい。第一の凹面高反射ミラー1520によって反射させられたレーザービームは、第二の凹面高反射ミラー1530に入射してもよい。

[0083] 第二の凹面高反射ミラー1530に入射したレーザービームは、第二の凹面高反射ミラー1530によって反射させられてもよい。第二の凹面高反射ミラー1530によって反射させられたレーザービームは、上述したレーザービームの倒立像の倒立像、すなわち、ビームスプリッタ1510におけるレーザービームの正立像として集束させられてもよい。第二の凹面高反射ミラー1530によって反射させられたレーザービームは、第三の凹面高反射ミラー1540に入射してもよい。

[0084] 第三の凹面高反射ミラー1540に入射したレーザービームは、第三の凹面高反射ミラー1540によって反射させられてもよい。第三の凹面高反射ミラー1540によって反射させられたレーザービームは、上述したレーザービームの正立像の倒立像、すなわち、ビームスプリッタ1510におけるレーザービームの倒立像として集束させられてもよい。第三の凹面高反射ミラー1540によって反射させられたレーザービームは、第四の凹面高反射ミラー1550に入射してもよい。

[0085] 第四の凹面高反射ミラー1550に入射したレーザービームは、第四の凹面高反射ミラー1550によって反射させられてもよい。第四の凹面高反射ミラー1550によって反射させられたレーザービームは、上述したレーザービームの倒立像の倒立像、すなわち、ビームスプリッタ1510におけるレーザー

ビームの正立像として集束させられてもよい。第四の凹面高反射ミラー1550によって反射させられたレーザビームは、再度、ビームスプリッタ1510に入射してもよい。このように第四の凹面高反射ミラー1550によって反射させられたレーザビームは、ビームスプリッタ1510におけるレーザビームの正立像としてビームスプリッタ1510に入射してもよい。

[0086] ビームスプリッタ1510に再度入射した光の一部は、ビームスプリッタ1510によって反射させられ、光学パルスストレッチャ1500から出力されてもよい。ビームスプリッタ1510に再度入射した光の一部は、ビームスプリッタ1510を透過して、四枚の高反射ミラー1520, 1530, 1540, 1550を通じてビームスプリッタ1510に入射してもよい。

[0087] 光学パルスストレッチャ1500は、遅延回路としての四つの凹面高反射ミラー1520, 1530, 1540, 1550を使用することで、ビームスプリッタ1510に入射するレーザビームの一部の出力を遅延させてもよい。それにより、光学パルスストレッチャ1500は、ビームスプリッタ1510に入射するレーザビームの一部のパルス幅を伸長させてもよい。上述した遅延回路の光路長がレーザビームの時間的コヒーレント長よりも大きいてもよい。それにより、ビームスプリッタ1510を透過するレーザビームの一部及び遅延回路を通じてビームスプリッタ1510によって反射させられるレーザビームの干渉縞の発生は抑制されてもよい。

[0088] 四つの凹面高反射ミラー1520, 1530, 1540, 1550の少なくとも一つの姿勢角度を変化させることによって、遅延回路を通じて出力されるレーザビームの進行方向を変化させてもよい。光学パルスストレッチャ1500において、遅延回路を通じて出力されるレーザビームの進行方向を変化させることによって、レーザ装置1000から出力されるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。

[0089] 例えば、図5Aに例示されるように、光学パルスストレッチャ1500から出力されるレーザビームが垂直方向Vにおいて移動するように、垂直方向

Vにおいて第四の凹面高反射ミラー1550の姿勢角度を変化させてもよい。垂直方向Vにおいて第四の凹面高反射ミラー1550の姿勢角度を変化させることによって、例えば、図5Bに例示されるように、遅延回路を通じて光学パルスストレッチャ1500から出力されるレーザビームは、垂直方向Vにおいて移動してもよい。垂直方向Vにおいて移動する、遅延回路を通じて光学パルスストレッチャ1500から出力されるレーザビームが合成されたものは、垂直方向Vにおいてより大きいダイバージェンスのレーザビームであってもよい。このように垂直方向Vにおいて第四の凹面高反射ミラー1550の姿勢角度を変化させることによって、垂直方向Vにおけるレーザ装置1000から出力されるレーザビームのダイバージェンスを増加させてもよい。

[0090] ビームスプリッタ1510によって反射させられたレーザビームの一部は、遅延回路を通じてビームスプリッタ1510から正立像として出力させられてもよい。遅延回路を通じて光学パルスストレッチャ1500から出力されるレーザビームの正立像は、垂直方向Vにおいて移動してもよい。

[0091] 垂直方向Vにおいて四つの凹面高反射ミラー1520, 1530, 1540, 1550の少なくとも一つの姿勢角度を変化させることによって、垂直方向Vにおけるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。水平方向Hにおいて四つの凹面高反射ミラー1520, 1530, 1540, 1550の少なくとも一つの姿勢角度を変化させることによって、水平方向Hにおけるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。

[0092] 垂直方向Vにおいてビームスプリッタ1510の姿勢角度を変化させることによって、垂直方向Vにおけるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。水平方向Hにおいてビームスプリッタ1510の姿勢角度を変化させることによって、水平方向Hにおけるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。

[0093] 2. 6 パワーオシレータビームステアリングユニットにおけるミラーの制御

図6は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置に含まれたパワーオシレータビームステアリングユニットにおけるミラーの制御を例示する図である。

[0094] 図6に例示するパワーオシレータステアリングユニット1400は、第三の高反射ミラー1410及び第四の高反射ミラー1420を含んでもよい。第三の高反射ミラー1410は、アクチュエータ付きミラーホルダ1415に保持されてもよい。第四の高反射ミラー1420は、アクチュエータ付きミラーホルダ1425に保持されてもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ1415は、二軸（例えば、水平方向H及び垂直方向V）に関して第三の高反射ミラー1410の姿勢角度を変化させるものであってもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ1425は、二軸（例えば、水平方向H及び垂直方向V）に関して第四の高反射ミラー1420の姿勢角度を変化させるものであってもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ1415、1425は、制御部1700によって制御されてもよい。

[0095] 第三の高反射ミラー1410及び第四の高反射ミラー1420は、パワーオシレータ1300から光学パルスストレッチャ1500までのレーザビームの光路上に配置されてもよい。

[0096] 制御部1700は、第三の高反射ミラー1410及び第四の高反射ミラー1420の姿勢角度を変化させるように、アクチュエータ付きミラーホルダ1415、1425を制御してもよい。

[0097] 二軸に関して第三の高反射ミラー1410及び第四の高反射ミラー1420の各々の姿勢角度を変化させることによって、レーザビームのポインティング（進行方向）及び位置（中心の位置）を変化させてもよい。

[0098] 2. 7 ビーム特性の安定化のためのフローチャート

図7は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のメインルーチンを例示する図である。

[0099] ステップS1010において、制御部1700は、レーザ装置1000から出力されるレーザビームの特性（ダイバージェンス、ポインティング、及

び位置)の目標値及び許容範囲を取得するためのサブルーチンを実行してもよい。制御部1700は、レーザビームの特性の目標値及び許容範囲のデータを露光装置制御部2100から受信してもよい。制御部1700は、レーザビームの特性の目標値及び許容範囲のデータを制御部1700における図示されない記憶部から読み出しもよい。

[0100] パワーオシレータ1300の共振器におけるリアミラー1310は、リアミラー1310の光軸が第二の出力結合ミラー1330の光軸と略一致するように、予め配置されてもよい。光学パルスストレッチャ1500における第四の凹面高反射ミラー1550は、第四の凹面高反射ミラー1550の光軸の方向がビームスプリッタ1510に入射するレーザビームの進行方向と略直交するように、予め配置されてもよい。

[0101] ステップS1020において、制御部1700は、レーザビームの調整発振のために、露光装置制御部2100にレーザビームの特性の不良を通知してもよい。

[0102] ステップS1030において、制御部1700は、レーザビームの調整発振においてレーザ装置1000から露光装置2000へレーザビームを出力することを予防するために、シャッタ1800を閉じてもよい。

[0103] ステップS1040において、制御部1700は、レーザビームの特性を制御するためにレーザビームの調整発振を行ってもよい。制御部1700は、レーザ装置1000において、所定の繰り返し周波数(例えば、1000 Hz)及び所定の放電電圧でレーザ発振を行ってもよい。

[0104] ステップS1050において、制御部1700は、レーザビームの特性(ダイバージェンス、ポインティング、及び位置)を計測するためのサブルーチンを実行してもよい。

[0105] ステップS1060において、制御部1700は、水平方向Hにおけるレーザビームのダイバージェンスを制御するためのサブルーチンを実行してもよい。水平方向Hにおけるレーザビームのダイバージェンスが水平方向Hにおけるレーザビームのダイバージェンスの目標値に近づくように、制御部1

700は、例えば、パワーオシレータ1300のリアミラー1310の姿勢角度を制御してもよい。

[0106] ステップS1070において、制御部1700は、垂直方向Vにおけるレーザビームのダイバージェンスを制御するためのサブルーチンを実行してもよい。垂直方向Vにおけるレーザビームのダイバージェンスが垂直方向Vにおけるレーザビームのダイバージェンスの目標値に近づくように、制御部1700は、例えば、光学パルスストレッチャ1500における第四の凹面高反射ミラー1550の姿勢角度を制御してもよい。

[0107] ステップS1080において、制御部1700は、レーザビームのポインティング及びレーザビームの位置を制御するためのサブルーチンを実行してもよい。レーザビームのポインティング及び位置が、それぞれ、レーザビームのポインティング及び位置の目標値に近づくように、制御部1700は、例えば、パワーオシレータステアリングユニット1400の第三の高反射ミラー1410及び第四の高反射ミラー1420の姿勢角度を制御してもよい。

[0108] ステップS1100において、制御部1700は、レーザビームの特性を計測するためのサブルーチンを実行してもよい。

[0109] ステップS1110において、制御部1700は、計測されたレーザビームの特性（ダイバージェンス、ポインティング、及び位置）がレーザビームの特性の許容範囲内にあるか否かについて判断をしてもよい。計測されたレーザビームの特性がレーザビームの特性の許容範囲内にある場合には、制御部1700は、ステップS1120に進んでもよい。計測されたレーザビームの特性がレーザビームの特性の許容範囲内にはない場合には、制御部1700は、ステップS1020に戻ってもよい。

[0110] ステップS1120において、制御部1700は、レーザ装置1000から露光装置2000へレーザビームを出力するために、露光装置制御部2100にレーザビームの特性の承認を通知してもよい。

[0111] ステップS1130において、制御部1700は、レーザ装置1000か

ら露光装置2000へレーザービームを出力するために、シャッタ1800を開いてもよい。

- [0112] ステップS1140において、制御部1700は、レーザービームの発振を行ってもよい。
- [0113] ステップS1150において、制御部1700は、レーザービームの特性の制御を中止するか否かについて判断をしてもよい。制御部1700が、レーザービームの特性の制御を中止する場合には、制御部1700は、レーザー装置を制御する方法のメインルーチンを終了してもよい。制御部1700が、レーザービームの特性の制御を中止しない場合には、制御部1700は、ステップS1050に戻ってもよい。
- [0114] 図8は、本開示の第一の実施形態に係るレーザー装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。
- [0115] 図8に例示するサブルーチンは、図7に例示するビームの特性の目標値及び許容範囲を取得するためのサブルーチン(S1010)である。
- [0116] ステップS1011において、制御部1700は、レーザービームのダイバージェンスの許容範囲を取得してもよい。制御部1700は、水平方向におけるレーザービームのダイバージェンスの許容範囲の最小値 θ_{Hmin} 及び最大値 θ_{Hmax} を取得してもよい。制御部1700は、垂直方向におけるレーザービームのダイバージェンスの許容範囲の最小値 θ_{Vmin} 及び最大値 θ_{Vmax} を取得してもよい。
- [0117] ステップS1012において、制御部1700は、レーザービームのダイバージェンスの目標値を計算してもよい。制御部1700は、水平方向におけるレーザービームのダイバージェンスの目標値 θ_{Ht} を計算してもよい。水平方向におけるレーザービームのダイバージェンスの目標値 θ_{Ht} は、水平方向におけるレーザービームのダイバージェンスの許容範囲内の値であってもよい($\theta_{Hmin} \leq \theta_{Ht} \leq \theta_{Hmax}$)。制御部1700は、垂直方向におけるレーザービームのダイバージェンスの目標値 θ_{Vt} を計算してもよい。垂直方向におけるレーザービームのダイバージェンスの目標値 θ_{Vt} は、垂直方向におけるレー

ザビームのダイバージェンスの許容範囲内の値であってもよい ($\theta_{v \min} \leq \theta_{vt} \leq \theta_{v \max}$)。水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの目標値 θ_{ht} は、水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの許容範囲の最小値 $\theta_{h \min}$ 及び最大値 $\theta_{h \max}$ の平均値 ($(\theta_{h \min} + \theta_{h \max}) / 2$) であってもよい。垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスの目標値 θ_{vt} は、垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスの許容範囲の最小値 $\theta_{v \min}$ 及び最大値 $\theta_{v \max}$ の平均値 ($(\theta_{v \min} + \theta_{v \max}) / 2$) であってもよい。

[0118] ステップS1013において、制御部1700は、レーザビームのポインティングの許容範囲を取得してもよい。制御部1700は、水平方向におけるレーザビームのポインティングの許容範囲の最小値 $P_{o \min}$ 及び最大値 $P_{o \max}$ を取得してもよい。制御部1700は、垂直方向におけるレーザビームのポインティングの許容範囲の最小値 $P_{o \min}$ 及び最大値 $P_{o \max}$ を取得してもよい。

[0119] ステップS1014において、制御部1700は、レーザビームのポインティングの目標値を計算してもよい。制御部1700は、水平方向におけるレーザビームのポインティングの目標値 $P_{o \min}$ を計算してもよい。水平方向におけるレーザビームのポインティングの目標値 $P_{o \min}$ は、水平方向におけるレーザビームのポインティングの許容範囲内の値であってもよい ($P_{o \min} \leq P_{o \min} \leq P_{o \max}$)。制御部1700は、垂直方向におけるレーザビームのポインティングの目標値 $P_{o \min}$ を計算してもよい。垂直方向におけるレーザビームのポインティングの目標値 $P_{o \min}$ は、垂直方向におけるレーザビームのポインティングの許容範囲内の値であってもよい ($P_{o \min} \leq P_{o \min} \leq P_{o \max}$)。水平方向におけるレーザビームのポインティングの目標値 $P_{o \min}$ は、水平方向におけるレーザビームのポインティングの許容範囲の最小値 $P_{o \min}$ 及び最大値 $P_{o \max}$ の平均値 ($(P_{o \min} + P_{o \max}) / 2$) であってもよい。垂直方向におけるレーザビームのポインティングの目標値 $P_{o \min}$ は、垂直方向におけるレーザビームのポインテ

ィングの許容範囲の最小値 P_{o_vmin} 及び最大値 P_{o_vmax} の平均値 ($(P_{o_vmin} + P_{o_vmax}) / 2$) であってもよい。

[0120] ステップ S1015 において、制御部 1700 は、レーザビームの位置の許容範囲を取得してもよい。制御部 1700 は、水平方向におけるレーザビームの位置の許容範囲の最小値 B_{p_Hmin} 及び最大値 B_{p_Hmax} を取得してもよい。制御部 1700 は、垂直方向におけるレーザビームの位置の許容範囲の最小値 B_{p_Vmin} 及び最大値 B_{p_Vmax} を取得してもよい。

[0121] ステップ S1016 において、制御部 1700 は、レーザビームの位置の目標値を計算してもよい。制御部 1700 は、水平方向におけるレーザビームの位置の目標値 B_{p_Ht} を計算してもよい。水平方向におけるレーザビームの位置の目標値 B_{p_Ht} は、水平方向におけるレーザビームの位置の許容範囲内の値であってもよい ($B_{p_Hmin} \leq B_{p_Ht} \leq B_{p_Hmax}$)。制御部 1700 は、垂直方向におけるレーザビームの位置の目標値 B_{p_Vt} を計算してもよい。垂直方向におけるレーザビームの位置の目標値 B_{p_Vt} は、垂直方向におけるレーザビームの位置の許容範囲内の値であってもよい ($B_{p_Vmin} \leq B_{p_Vt} \leq B_{p_Vmax}$)。水平方向におけるレーザビームの位置の目標値 B_{p_Ht} は、水平方向におけるレーザビームの位置の許容範囲の最小値 B_{p_Hmin} 及び最大値 B_{p_Hmax} の平均値 ($(B_{p_Hmin} + B_{p_Hmax}) / 2$) であってもよい。垂直方向におけるレーザビームの位置の目標値 B_{p_Vt} は、垂直方向におけるレーザビームの位置の許容範囲の最小値 B_{p_Vmin} 及び最大値 B_{p_Vmax} の平均値 ($(B_{p_Vmin} + B_{p_Vmax}) / 2$) であってもよい。

[0122] 図 9 は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[0123] 図 9 に例示するサブルーチンは、図 7 及び図 14 に例示するビームの特性を計測するためのサブルーチン (S1050、S1100、S1084、及び S1089) である。

[0124] ステップ S1051 において、制御部 1700 は、レーザビームのダイバ

ージェンス及びレーザビームのポインティングを計測するためのサブルーチンを実行してもよい。

[0125] ステップS 1 0 5 6において、制御部1 7 0 0は、レーザビームの位置を計測するためのサブルーチンを実行してもよい。

[0126] 図1 0 Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。図1 0 Bは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置におけるレーザビームのダイバージェンス及びポインティングを例示する図である。

[0127] 図1 0 Aに例示するサブルーチンは、図9、図1 2、及び図1 3に例示するビームのダイバージェンス及びビームのポインティングを計測するためのサブルーチン（S 1 0 5 1、S 1 0 6 3、及びS 1 0 7 3）である。

[0128] ステップS 1 0 5 2において、制御部1 7 0 0は、第一のイメージセンサ1 6 3 0のピクセルにおけるレーザビームの強度のデータを読み出してもよい。制御部1 7 0 0は、第一のイメージセンサ1 6 3 0のピクセルにおけるレーザビームの強度のデータに基づいて、第一のイメージセンサ1 6 3 0におけるレーザビームの強度プロファイルを得てもよい。

[0129] ステップS 1 0 5 3において、制御部1 7 0 0は、第一のイメージセンサ1 6 3 0におけるレーザビームの強度プロファイルから、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの幅及び中心の位置を計算してもよい。

[0130] 水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの幅 W_h は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の間隔によって計算されてもよい。例えば、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの幅 W_h は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの $1/e^2$ （ e ：自然対数の底）倍の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の間隔（ $|H_2 - H_1|$ ）によって計算されてもよい。水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さは、水平方向におけるレーザビームの強

度プロファイルのピークの高さの5%以上10%以下の高さであってもよい。

[0131] 垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの幅 W_v は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の間隔によって計算されてもよい。例えば、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの幅 W_v は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの $1/e^2$ (e :自然対数の底)倍の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の間隔 ($|V_2 - V_1|$) によって計算されてもよい。垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さは、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの5%以上10%以下の高さであってもよい。

[0132] 水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 P_{ph} は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の中心によって計算されてもよい。例えば、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 P_{ph} は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの $1/e^2$ (e :自然対数の底)倍の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の中心 ($(H_1 + H_2)/2$) によって計算されてもよい。水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さは、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの5%以上10%以下の高さであってもよい。

[0133] 垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 P_{pv} は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の中心によって計算されてもよい。例えば、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 P_{pv} は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの $1/e^2$ (e :自然対数の底)倍の高さにおけるレーザビームの強度プロフ

アイルの座標の中心 ($(V_1 + V_2) / 2$) によって計算されてもよい。垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さは、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの5%以上10%以下の高さであってもよい。

[0134] ステップS1054において、制御部1700は、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンス及びレーザビームのポインティングを計算してもよい。

[0135] 水平方向におけるレーザビームのダイバージェンス θ_H は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの幅 W_h 及び集光光学系1620の焦点距離 f に基づいて、 $\theta_H = W_h / f$ の式に従って計算されてもよい。

[0136] 垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンス θ_v は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの幅 W_v 及び集光光学系1620の焦点距離 f に基づいて、 $\theta_v = W_v / f$ の式に従って計算されてもよい。

[0137] 水平方向におけるレーザビームのポインティング P_{oH} は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 P_{ph} 及び集光光学系1620の焦点距離 f に基づいて、 $P_{oH} = P_{ph} / f$ の式に従って計算されてもよい。

[0138] 垂直方向におけるレーザビームのポインティング P_{ov} は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 P_{pv} 及び集光光学系1620の焦点距離 f に基づいて、 $P_{ov} = P_{pv} / f$ の式に従って計算されてもよい。

[0139] 水平方向におけるレーザビームのポインティング P_{oH} は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの重心の位置及び集光光学系1620の焦点距離 f に基づいて、計算されてもよい。

[0140] 垂直方向におけるレーザビームのポインティング P_{ov} は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの重心の位置及び集光光学系1620の焦点距離 f に基づいて、計算されてもよい。

[0141] 図11Aは、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法の

サブルーチンを例示する図である。図 11B は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置におけるレーザビームの位置を例示する図である。

[0142] 図 11A に例示するサブルーチンは、図 9 に例示するビームの位置を計測するためのサブルーチン (S1056) である。

[0143] ステップ S1057 において、制御部 1700 は、第二のイメージセンサ 1660 のピクセルにおけるレーザビームの強度のデータを読み出してもよい。制御部 1700 は、第二のイメージセンサ 1660 のピクセルにおけるレーザビームの強度のデータに基づいて、第二のイメージセンサ 1660 におけるレーザビームの強度プロファイルを得てもよい。

[0144] ステップ S1058 において、制御部 1700 は、第二のイメージセンサ 1660 におけるレーザビームの強度プロファイルから、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの中心の位置を計算してもよい。

[0145] 水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 B_{ph} は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の中心によって計算されてもよい。例えば、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 B_{ph} は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの $1/e^2$ (e : 自然対数の底) 倍の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の中心 ($(H_1 + H_2) / 2$) によって計算されてもよい。水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さは、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの 5% 以上 10% 以下の高さであってもよい。

[0146] 垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 B_{pv} は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さにおけるレーザビームの強度プロファイルの座標の中心によって計算されてもよい。例えば、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 B_{pv} は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの $1/e^2$ (e : 自然対数の底) 倍の高さにおけるレーザビームの強度プロフ

ァイルの座標の中心 ($(V_1 + V_2) / 2$) によって計算されてもよい。垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの所定の高さは、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルのピークの高さの5%以上10%以下の高さであってもよい。

[0147] ステップS1059において、制御部1700は、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの位置を計算してもよい。

[0148] 水平方向におけるレーザビームの位置 B_{pH} は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 B_{ph} 及び転写光学系1650の倍率 M に基づいて、 $B_{pH} = B_{ph} / M$ の式に従って計算されてもよい。

[0149] 垂直方向におけるレーザビームのポインティング B_{pV} は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの中心の位置 B_{pV} 及び転写光学系1650の倍率 M に基づいて、 $B_{pV} = B_{pV} / M$ の式に従って計算されてもよい。

[0150] 水平方向におけるレーザビームの位置 B_{pH} は、水平方向におけるレーザビームの強度プロファイルの重心の位置及び転写光学系1650の倍率 M に基づいて、計算されてもよい。

[0151] 垂直方向におけるレーザビームのポインティング B_{pV} は、垂直方向におけるレーザビームの強度プロファイルの重心の位置及び転写光学系1650の倍率 M に基づいて、計算されてもよい。

[0152] 図12は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[0153] 図12に例示するサブルーチンは、図7に例示する水平方向のビームのダイバージェンスを制御するためのサブルーチン(S1060)である。

[0154] ステップS1061において、制御部1700は、水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの目標値 θ_{Ht} に対する水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_H の差 $\Delta\theta_H$ を、 $\Delta\theta_H = \theta_H - \theta_{Ht}$ の式に従って計算してもよい。

[0155] ステップS1062において、制御部1700は、上述した差 $\Delta\theta_H$ が0に

近づくように、水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスを変化させる反射ミラーの姿勢角度を制御してもよい。水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスを変化させる反射ミラーは、例えば、図4 Aに例示されるように、パワーオシレータ1300におけるリアミラー1310であってもよい。

[0156] ステップS1063において、制御部1700は、図9に例示されるような、レーザビームのダイバージェンス及びレーザビームのポインティングを計測するためのサブルーチン(S1051)を実行してもよい。

[0157] ステップS1064において、制御部1700は、水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_H が、水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの許容範囲内にあるか否かについて、判断をしてもよい。制御部1700は、水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_H が、 $\theta_{Hmin} \leq \theta_H \leq \theta_{Hmax}$ を満たすか否かについて、判断をしてもよい。 θ_{Hmin} 及び θ_{Hmax} は、それぞれ、水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの許容範囲の最小値及び最大値であってもよい。水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_H が、 $\theta_{Hmin} \leq \theta_H \leq \theta_{Hmax}$ を満たす場合には、制御部1700は、メインルーチンに戻ってもよい。水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_H が、 $\theta_{Hmin} \leq \theta_H \leq \theta_{Hmax}$ を満たさない場合には、制御部1700は、ステップS1061に戻ってもよい。

[0158] 図13は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。

[0159] 図13に例示するサブルーチンは、図7に例示する垂直方向のビームのダイバージェンスを制御するためのサブルーチン(S1070)である。

[0160] ステップS1071において、制御部1700は、垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスの目標値 θ_{vt} に対する垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_v の差 $\Delta\theta_v$ を、 $\Delta\theta_v = \theta_v - \theta_{vt}$ の式に従って計算してもよい。

- [0161] ステップS 1 0 7 2において、制御部 1 7 0 0は、上述した差 $\Delta \theta_v$ が0に近づくように、垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスを変化させる反射ミラーの姿勢角度を制御してもよい。垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスを変化させる反射ミラーは、例えば、図5 Aに例示されるように、光学パルスストレッチャ 1 5 0 0における第四の凹面高反射ミラー 1 5 5 0であってもよい。
- [0162] ステップS 1 0 7 3において、制御部 1 7 0 0は、図9に例示されるような、レーザビームのダイバージェンス及びレーザビームのポインティングを計測するためのサブルーチン (S 1 0 5 1) を実行してもよい。
- [0163] ステップS 1 0 7 4において、制御部 1 7 0 0は、垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_v が、垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスの許容範囲内にあるか否かについて、判断をしてもよい。制御部 1 7 0 0は、垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_v が、 $\theta_{v \min} \leq \theta_v \leq \theta_{v \max}$ を満たすか否かについて、判断をしてもよい。 $\theta_{v \min}$ 及び $\theta_{v \max}$ は、それぞれ、水平方向におけるレーザビームのダイバージェンスの許容範囲の最小値及び最大値であってもよい。垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_v が、 $\theta_{v \min} \leq \theta_v \leq \theta_{v \max}$ を満たす場合には、制御部 1 7 0 0は、メインルーチンに戻ってもよい。垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスの計測値 θ_v が、 $\theta_{v \min} \leq \theta_v \leq \theta_{v \max}$ を満たさない場合には、制御部 1 7 0 0は、ステップS 1 0 7 1に戻ってもよい。
- [0164] 図 1 4は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置を制御する方法のサブルーチンを例示する図である。
- [0165] 図 1 4に例示するサブルーチンは、図7に例示するビームのポインティング及びビームの位置を制御するためのサブルーチン (S 1 0 8 0) である。
- [0166] ステップS 1 0 8 1において、制御部 1 7 0 0は、水平方向におけるレーザビームのポインティングの目標値 $P_{o_H t}$ に対する水平方向におけるレーザビームのポインティングの計測値 P_{o_H} の差 ΔP_{o_H} を、 $\Delta P_{o_H} = P_{o_H} - P$

- $P_{o_H t}$ の式に従って計算してもよい。
- [0167] ステップS1082において、制御部1700は、垂直方向におけるレーザービームのポインティングの目標値 $P_{o_V t}$ に対する垂直方向におけるレーザービームのポインティングの計測値 P_{o_V} の差 ΔP_{o_V} を、 $\Delta P_{o_V} = P_{o_V} - P_{o_V t}$ の式に従って計算してもよい。
- [0168] ステップS1083において、制御部1700は、上述した差 ΔP_{o_H} 及び ΔP_{o_V} の両方が0に近づくように、水平方向及び垂直方向におけるレーザービームのポインティングを変化させる反射ミラーの姿勢角度を制御してもよい。水平方向及び垂直方向におけるレーザービームのポインティングを変化させる反射ミラーは、例えば、図6に例示されるように、パワーオシレータビームステアリングユニット1400における第四の高反射ミラー1420であってもよい。
- [0169] ステップS1084において、制御部1700は、図9に例示されるような、ビームの特性を計測するためのサブルーチン(S1051)を実行してもよい。
- [0170] ステップS1085において、制御部1700は、水平方向及び垂直方向におけるレーザービームのポインティングの計測値 P_{o_H} 及び P_{o_V} が、水平方向及び垂直方向におけるレーザービームのポインティングの許容範囲内にあるか否かについて、判断をしてもよい。制御部1700は、水平方向及び垂直方向におけるレーザービームのポインティングの計測値 P_{o_H} 及び P_{o_V} が、 $P_{o_H \min} \leq P_{o_H} \leq P_{o_H \max}$ 及び $P_{o_V \min} \leq P_{o_V} \leq P_{o_V \max}$ を満たすか否かについて、判断をしてもよい。 $P_{o_H \min}$ 及び $P_{o_H \max}$ は、それぞれ、水平方向におけるレーザービームのポインティングの許容範囲の最小値及び最大値であってもよい。 $P_{o_V \min}$ 及び $P_{o_V \max}$ は、それぞれ、垂直方向におけるレーザービームのポインティングの許容範囲の最小値及び最大値であってもよい。水平方向及び垂直方向におけるレーザービームのポインティングの P_{o_H} 及び P_{o_V} が、 $P_{o_H \min} \leq P_{o_H} \leq P_{o_H \max}$ 及び $P_{o_V \min} \leq P_{o_V} \leq P_{o_V \max}$ を満たす場合には、制御部1700は、ステッ

プ1086に進んでもよい。水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのポインティングの P_{o_H} 及び P_{o_V} が、 $P_{o_{Hmin}} \leq P_{o_H} \leq P_{o_{Hmax}}$ 及び $P_{o_{Vmin}} \leq P_{o_V} \leq P_{o_{Vmax}}$ を満たさない場合には、制御部1700は、ステップS1081に戻ってもよい。

[0171] ステップS1086において、制御部1700は、水平方向におけるレーザビームの位置の目標値 $B_{p_{Ht}}$ に対する水平方向におけるレーザビームの位置の計測値 B_{p_H} の差 ΔB_{p_H} を、 $\Delta B_{p_H} = B_{p_H} - B_{p_{Ht}}$ の式に従って計算してもよい。

[0172] ステップS1087において、制御部1700は、垂直方向におけるレーザビームの位置の目標値 $B_{p_{Vt}}$ に対する垂直方向におけるレーザビームの位置の計測値 B_{p_V} の差 ΔB_{p_V} を、 $\Delta B_{p_V} = B_{p_V} - B_{p_{Vt}}$ の式に従って計算してもよい。

[0173] ステップS1088において、制御部1700は、上述した差 ΔB_{p_H} 及び ΔB_{p_V} の両方が0に近づくように、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの位置を変化させる反射ミラーの姿勢角度を制御してもよい。水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの位置を変化させる反射ミラーは、例えば、図6に例示されるように、パワーオシレータビームステアリングユニット1400における第三の高反射ミラー1410であってもよい。

[0174] ステップS1089において、制御部1700は、図9に例示されるような、ビームの特性を計測するためのサブルーチン(S1051)を実行してもよい。

[0175] ステップS1090において、制御部1700は、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの位置の計測値 B_{p_H} 及び B_{p_V} が、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの位置の許容範囲内にあるか否かについて、判断をしてもよい。制御部1700は、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの位置の計測値 B_{p_H} 及び B_{p_V} が、 $B_{p_{Hmin}} \leq B_{p_H} \leq B_{p_{Hmax}}$ 及び $B_{p_{Vmin}} \leq B_{p_V} \leq B_{p_{Vmax}}$ を満たすか否かについて、判断をしてもよい。 $B_{p_{Hmin}}$ 及び $B_{p_{Hmax}}$ は、それぞれ、水平方向におけるレーザ

ビームの位置の許容範囲の最小値及び最大値であってもよい。 $B_{p_{vmin}}$ 及び $B_{p_{vmax}}$ は、それぞれ、垂直方向におけるレーザビームの位置の許容範囲の最小値及び最大値であってもよい。水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの位置 B_{p_H} 及び B_{p_V} が、 $B_{p_{Hmin}} \leq B_{p_H} \leq B_{p_{Hmax}}$ 及び $B_{p_{vmin}} \leq B_{p_V} \leq B_{p_{vmax}}$ を満たす場合には、制御部1700は、ステップ1091に進んでもよい。水平方向及び垂直方向におけるレーザビームの位置の B_{p_H} 及び B_{p_V} が、 $B_{p_{Hmin}} \leq B_{p_H} \leq B_{p_{Hmax}}$ 及び $B_{p_{vmin}} \leq B_{p_V} \leq B_{p_{vmax}}$ を満たさない場合には、制御部1700は、ステップS1086に戻ってもよい。

[0176] ステップS1091において、制御部1700は、再度、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのポインティングの計測値 P_{o_H} 及び P_{o_V} が、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのポインティングの許容範囲内にあるか否かについて、判断をしてもよい。制御部1700は、再度、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのポインティングの計測値 P_{o_H} 及び P_{o_V} が、 $P_{o_{Hmin}} \leq P_{o_H} \leq P_{o_{Hmax}}$ 及び $P_{o_{vmin}} \leq P_{o_V} \leq P_{o_{vmax}}$ を満たすか否かについて、判断をしてもよい。水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのポインティングの P_{o_H} 及び P_{o_V} が、 $P_{o_{Hmin}} \leq P_{o_H} \leq P_{o_{Hmax}}$ 及び $P_{o_{vmin}} \leq P_{o_V} \leq P_{o_{vmax}}$ を満たす場合には、制御部1700は、メインルーチンに戻ってもよい。水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのポインティングの P_{o_H} 及び P_{o_V} が、 $P_{o_{Hmin}} \leq P_{o_H} \leq P_{o_{Hmax}}$ 及び $P_{o_{vmin}} \leq P_{o_V} \leq P_{o_{vmax}}$ を満たさない場合には、制御部1700は、ステップS1081を繰り返してもよい。

[0177] 本開示の第一の実施形態は、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスをパワーオシレータ1300のリアミラー1310の姿勢角度及び光学パルスストレッチャ1500の第四の凹面高反射ミラー1550の姿勢角度によって制御する例に限定されない。水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスは、それぞれ、光学パルスストレッチャ1500に含まれる反射ミラーの姿勢角度及びパワーオシレータ13

00に含まれる反射ミラーの姿勢角度によって制御されてもよい。光学パルスストレッチャ1500に含まれる反射ミラーは、例えば、第四の凹面高反射ミラー1550であってもよい。パワーオシレータ1300に含まれる反射ミラーは、例えば、リアミラー1310であってもよい。

[0178] 3. 本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置

図15Aは、本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置に含まれた二つの光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御の動作を例示する図である。

図15Bは、本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置に含まれた二つの光学パルスストレッチャにおけるミラーの制御の効果を例示する図である。

[0179] 本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置は、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置1000における一つの光学パルスストレッチャ1500を図15Aに例示するような二つの光学パルスストレッチャ1450a, 1450bに変更したようなものであってもよい。

[0180] 本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置は、第一の光学パルスストレッチャ1450a及び第二の光学パルスストレッチャ1450bを含んでもよい。

[0181] 第一の光学パルスストレッチャ1450aは、第一のビームスプリッタ1451、第一の凹面高反射ミラー1452、第二の凹面高反射ミラー1453、第三の凹面高反射ミラー1454、及び第四の凹面高反射ミラー1455を含んでもよい。第一の凹面高反射ミラー1452、第二の凹面高反射ミラー1453、第三の凹面高反射ミラー1454、及び第四の凹面高反射ミラー1455の少なくとも一つは、制御部1700によって制御されるアクチュエータ付きミラーホルダに保持されてもよい。例えば、第一の凹面高反射ミラー1452、第二の凹面高反射ミラー1453、及び第三の凹面高反射ミラー1454が、ミラーホルダに保持される一方、第四の凹面高反射ミラー1455は、アクチュエータ付きミラーホルダに保持されてもよい。第四の凹面高反射ミラー1455を保持するアクチュエータ付きミラーホルダは、例えば、水平方向Hに第四の凹面高反射ミラー1455の姿勢角度を変

化させるように、制御部1700によって制御されてもよい。

[0182] 第二の光学パルスストレッチャ1450bは、第二のビームスプリッタ1456、第五の凹面高反射ミラー1457、第六の凹面高反射ミラー1458、第七の凹面高反射ミラー1459、及び第八の凹面高反射ミラー1460を含んでもよい。第五の凹面高反射ミラー1457、第六の凹面高反射ミラー1458、第七の凹面高反射ミラー1459、及び第八の凹面高反射ミラー1460の少なくとも一つは、制御部1700によって制御されるアクチュエータ付きミラーホルダに保持されてもよい。例えば、第五の凹面高反射ミラー1457、第六の凹面高反射ミラー1458、及び第七の凹面高反射ミラー1459が、ミラーホルダに保持される一方、第八の凹面高反射ミラー1460は、アクチュエータ付きミラーホルダに保持されてもよい。第八の凹面高反射ミラー1460を保持するアクチュエータ付きミラーホルダは、例えば、垂直方向Vに第八の凹面高反射ミラー1460の姿勢角度を変化させるように、制御部1700によって制御されてもよい。

[0183] 第一のビームスプリッタ1451に入射するレーザビームの一部は、第一のビームスプリッタ1451を透過してもよい。第一のビームスプリッタ1451に入射するレーザビームの一部は、第一のビームスプリッタ1451によって反射されてもよい。第一のビームスプリッタ1451によって反射されたレーザビームは、第一の凹面高反射ミラー1452、第二の凹面高反射ミラー1453、第三の凹面高反射ミラー1454、及び第四の凹面高反射ミラー1455によって反射されて第一のビームスプリッタ1451に再度入射してもよい。第一のビームスプリッタ1451に再度入射したレーザビームの一部は、第一の光学パルスストレッチャ1450aから出力されると共に第二のビームスプリッタ1456に入射してもよい。制御部1700は、水平方向Hに第四の凹面高反射ミラー1455の姿勢角度を変化させてもよい。水平方向における第一の光学パルスストレッチャ1450aから出力されるレーザビームは、図15Aに例示するように、水平方向Hに第四の凹面高反射ミラー1455の姿勢角度を変化させることによって、水平方向

に移動してもよい。

[0184] 第二のビームスプリッタ1456に入射するレーザビームの一部は、第二のビームスプリッタ1456を透過してもよい。第二のビームスプリッタ1456に入射するレーザビームの一部は、第二のビームスプリッタ1456によって反射されてもよい。第二のビームスプリッタ1456によって反射されたレーザビームは、第五の凹面高反射ミラー1457、第六の凹面高反射ミラー1458、第七の凹面高反射ミラー1459、及び第八の凹面高反射ミラー1460によって反射されて第二のビームスプリッタ1456に再度入射してもよい。第二のビームスプリッタ1456に再度入射したレーザビームの一部は、第二の光学パルスストレッチャ1450bから出力されてもよい。制御部1700は、垂直方向Vに第八の凹面高反射ミラー1460の姿勢角度を変化させてもよい。垂直方向における第二の光学パルスストレッチャ1450bから出力されるレーザビームは、図15Aに例示するように、垂直方向Vに第八の凹面高反射ミラー1460の姿勢角度を変化させることによって、垂直方向に移動してもよい。

[0185] 図15Bに例示するように、第二の光学パルスストレッチャ1450bから出力されるレーザビームの水平方向Hにおけるダイバージェンスは、図15Aに例示するように、水平方向Hに第四の凹面高反射ミラー1455の姿勢角度を変化させることによって、変化させられてもよい。図15Bに例示するように、第二の光学パルスストレッチャ1450bから出力されるレーザビームの垂直方向Vにおけるダイバージェンスは、図15Aに例示するように、垂直方向Vに第八の凹面高反射ミラー1460の姿勢角度を変化させることによって、変化させられてもよい。

[0186] 本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置においては、本開示の第一の実施形態に係るレーザ装置1000におけるパワーオシレータ1300に含まれるリアミラー1310は、アクチュエータ無しのミラーホルダに保持されてもよい。本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置においては、リアミラー1310及び第二の出力結合ミラー1330の姿勢角度のいずれも制御す

ることなく、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスが制御されてもよい。

[0187] 本開示の第二の実施形態に係るレーザ装置において、光学パルスストレッチャの数は、三つ以上であってもよい。三つ以上の光学パルスストレッチャのうち二つの光学パルスストレッチャの各々に含まれる一つの凹面高反射ミラーをアクチュエータ付きミラーホルダによって保持してもよい。二つの光学パルスストレッチャに含まれるアクチュエータ付きミラーホルダによって保持された二つの凹面高反射ミラーの姿勢角度を変化させることで、例えば、水平方向及び垂直方向におけるレーザビームのダイバージェンスを制御してもよい。

[0188] 4. 本開示の第三の実施形態に係るレーザ装置

図16は、本開示の第三の実施形態に係るレーザ装置に含まれたパワーオシレータ共振器におけるミラーの制御の動作を例示する図である。

[0189] 本開示の第三の実施形態に係るレーザ装置は、図4Aに例示されるようなファブリペロ型の共振器を有するパワーオシレータ1300の代わりに、図16に例示するようなリング型の共振器を有するパワーオシレータ1301を含んでもよい。

[0190] パワーオシレータ1301は、第二のチャンバ1320、二つの放電電極1321a、1321b、二つのウィンドウ1340a、1340b、出力結合ミラー1350a、第五の高反射ミラー1351、第六の高反射ミラー1352、第七の高反射ミラー1353、及び第八の高反射ミラー1354を含んでもよい。出力結合ミラー1350aの他方の表面には部分透過コート1350bが設けられてもよい。出力結合ミラー1350aの一方の表面には反射防止コート1350cが設けられてもよい。部分透過コート1350b及び反射防止コート1350cが設けられた出力結合ミラー1350aは、出力結合ミラーホルダ1360によって保持されてもよい。第六の高反射ミラー1352は、制御部1700によって制御されるアクチュエータ付きミラーホルダ1362によって保持されてもよい。第七の高反射ミラー1

353は、ミラーホルダ1363に保持されてもよい。第八の高反射ミラー1354は、ミラーホルダ1364に保持されてもよい。部分透過コート1350b及び反射防止コート1350cが設けられた出力結合ミラー1350a、第七の高反射ミラー1353、及び第八の高反射ミラー1354は、リング型共振器を構成してもよい。

[0191] パワーオシレータ1301においては、第五の高反射ミラー1351に入射するレーザビームは、第五の高反射ミラー1351によって反射されてもよい。第五の高反射ミラー1351によって反射されたレーザビームは、反射防止コート1350c、出力結合ミラー1350a、部分透過コート1350bを透過して第六の高反射ミラー1352に入射してもよい。第六の高反射ミラー1352に入射したレーザビームは、第六の高反射ミラー1352、第七の高反射ミラー1353、及び第八の高反射ミラー1354によって反射されてもよい。第八の高反射ミラー1354によって反射されたレーザビームは、ウィンドウ1340b、第二のチャンバ1320、及びウィンドウ1340aを通過すると共に増幅されてもよい。増幅されたレーザビームの一部は、部分透過コート1350b及び反射防止コート1350cが設けられた出力結合ミラー1350aを透過してパワーオシレータ1301から出力されてもよい。

[0192] パワーオシレータ1301から出力されるレーザビームは、例えば、図16に例示されるように、水平方向Hに第六の高反射ミラー1352の姿勢角度を変化させることによって、水平方向Hに移動させられてもよい。パワーオシレータ1301から出力されるレーザビームのダイバージェンスは、例えば、水平方向Hに第六の高反射ミラー1352の姿勢角度を変化させることによって、水平方向Hに変化させられてもよい。

[0193] パワーオシレータ1301から出力されるレーザビームは、例えば、垂直方向Vに第六の高反射ミラー1352の姿勢角度を変化させることによって、垂直方向Vに移動させられてもよい。パワーオシレータ1301から出力されるレーザビームのダイバージェンスは、例えば、垂直方向Vに第六の高

反射ミラー 1352 の姿勢角度を変化させることによって、垂直方向 V に変化させられてもよい。

[0194] パワーオシレータ 1301 におけるリング共振器を構成する反射ミラーの少なくとも一つをアクチュエータ付きミラーホルダによって保持すると共に反射ミラーの少なくとも一つの姿勢角度を変化させてもよい。本開示の第三の実施形態に係るレーザ装置においては、第六の高反射ミラー 1352 に代えて、第七の高反射ミラー 1353 及び第八の高反射ミラー 1354 の一つをアクチュエータ付きミラーホルダによって保持すると共にその姿勢角度を変化させてもよい。本開示の第三の実施形態に係るレーザ装置においては、第六の高反射ミラー 1352、第七の高反射ミラー 1353、及び第八の高反射ミラー 1354 の二つ以上をアクチュエータ付きミラーホルダによって保持すると共にその姿勢角度を変化させてもよい。

[0195] 5. 本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置

図 17 は、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置の構成の全体を例示する図である。図 1 に例示するレーザ装置の構成要素と同一の又は同様の図 17 に例示するレーザ装置の構成要素には同一の参照符号を付与すると共にその構成要素についての記述を省略することにする。

[0196] 図 17 に例示される本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置 1001 は、ビームダイバージェンス制御部 1900 を含んでもよい。ビームダイバージェンス制御部 1900 は、レーザ装置 1001 から出力されるレーザビームのダイバージェンスを制御するように構成されたものでもよい。例えば、ビームダイバージェンス制御部 1900 は、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザ装置 1001 から出力されるレーザビームのダイバージェンスを制御するように構成されたものでもよい。

[0197] ビームダイバージェンス制御部 1900 は、マスタオシレータ 1100 及びパワーオシレータ 1300 の間の光路上に設けられてもよい。例えば、ビームダイバージェンス制御部 1900 は、マスタオシレータ 1100 に含まれる第一の出力結合ミラー 1130 及びマスタオシレータビームステアリン

グユニット 1200 に含まれる第一の高反射ミラー 1210 の間に設けられてもよい。

[0198] レーザ装置 1001 においては、パワーオシレータ 1300 に含まれるリアミラー 1310 は、アクチュエータ無しのミラーホルダに保持されてもよい。レーザ装置 1001 においては、リアミラー 1310 及び第二の出力結合ミラー 1330 の姿勢角度のいずれも制御することなく、ビームダイバージェンス制御部 1900 によってレーザビームのダイバージェンスが制御されてもよい。

[0199] レーザ装置 1001 においては、光学パルスストレッチャ 1500 に含まれる第四の凹面高反射ミラー 1550 は、アクチュエータ無しのミラーホルダに保持されてもよい。レーザ装置 1001 においては、光学パルスストレッチャ 1500 に含まれる四つの凹面高反射ミラーの姿勢角度のいずれも制御することなく、ビームダイバージェンス制御部 1900 によってレーザビームのダイバージェンスが制御されてもよい。

[0200] 図 18A は、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビームダイバージェンス制御部の第一の例を例示する上面図である。図 18B は、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビームダイバージェンス制御部の第一の例を例示する側面図である。

[0201] 図 18A 及び図 18B に例示されるビームダイバージェンス制御部 1901 は、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザビームのダイバージェンスを制御するように、制御部 1700 によって制御されてもよい。

[0202] ビームダイバージェンス制御部 1901 は、第一のシリンダリカル凹レンズ 1911、第一のシリンダリカル凸レンズ 1912、第二のシリンダリカル凹レンズ 1913、及び第二のシリンダリカル凸レンズ 1914 を含んでもよい。ビームダイバージェンス制御部 1901 は、第一の自動マイクロメータ 1923 を備えた第一のリニアステージ 1921 及び第二の自動マイクロメータ 1924 を備えた第二のリニアステージ 1922 を含んでもよい。第一の自動マイクロメータ 1923 及び第二の自動マイクロメータ 1924

は、制御部1700によって制御されてもよい。

[0203] 第一のシリンドリカル凹レンズ1911、第一のシリンドリカル凸レンズ1912、第二のシリンドリカル凹レンズ1913、及び第二のシリンドリカル凸レンズ1914は、順にレーザビームの光路上に配置されてもよい。

[0204] 第一のシリンドリカル凹レンズ1911のラインフォーカスの方向及び第一のシリンドリカル凸レンズ1912のラインフォーカスの方向は、相互に略同一であってもよい。第一のシリンドリカル凹レンズ1911のラインフォーカスの方向及び第一のシリンドリカル凸レンズ1912のラインフォーカスの方向は、水平方向Hと略同一であってもよい。

[0205] 第二のシリンドリカル凹レンズ1913のラインフォーカスの方向及び第二のシリンドリカル凸レンズ1914のラインフォーカスの方向は、相互に略同一であってもよい。第二のシリンドリカル凹レンズ1913のラインフォーカスの方向及び第二のシリンドリカル凸レンズ1914のラインフォーカスの方向は、垂直方向Vと略同一であってもよい。

[0206] 第一のシリンドリカル凸レンズ1912は、第一の自動マイクロメータ1923を備えた第一のリニアステージ1921に配置されてもよい。レーザビームの進行方向Zにおける第一のシリンドリカル凹レンズ1911及び第一のシリンドリカル凸レンズ1912の間の間隔は、第一の自動マイクロメータ1923を備えた第一のリニアステージ1921によって調整されてもよい。

[0207] 第二のシリンドリカル凸レンズ1914は、第二の自動マイクロメータ1924を備えた第二のリニアステージ1922に配置されてもよい。レーザビームの進行方向Zにおける第二のシリンドリカル凹レンズ1913及び第二のシリンドリカル凸レンズ1914の間の間隔は、第二の自動マイクロメータ1924を備えた第二のリニアステージ1922によって調整されてもよい。

[0208] 第一のシリンドリカル凹レンズ1911及び第一のシリンドリカル凸レンズ1912の間の間隔を変化させることで、垂直方向Vにおけるビームダイ

バージェンス制御部 1900 を通過するレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。それによって、垂直方向 V におけるレーザ装置 1001 から出力されるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。

[0209] 第二のシリンドリカル凹レンズ 1913 及び第二のシリンドリカル凸レンズ 1914 の間の間隔を変化させることで、水平方向 H におけるビームダイバージェンス制御部 1901 を通過するレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。それによって、水平方向 H におけるレーザ装置 1001 から出力されるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。

[0210] シリンドリカル凹レンズ及びシリンドリカル凸レンズの組み合わせの二組を使用することで、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるビームダイバージェンス制御部 1901 を通過するレーザビームのダイバージェンスを独立に変化させてもよい。それによって、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザ装置 1001 から出力されるレーザビームのダイバージェンスを独立に変化させてもよい。パワーオシレータ 1300 に含まれる反射ミラーの姿勢角度を制御することなく、ビームダイバージェンス制御部 1901 を使用することで、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。光学パルスストレッチャ 1500 に含まれる反射ミラーの姿勢角度を制御することなく、ビームダイバージェンス制御部 1901 を使用することで、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。

[0211] ビームダイバージェンス制御部 1901 によって、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザビームのダイバージェンスの一方のみを変化させてもよい。パワーオシレータ 1300 又は光学パルスストレッチャ 1500 に含まれる反射ミラーの姿勢角度を制御することによって、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザビームのダイバージェンスの他方を変化させてもよい。

[0212] 図 19A は、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビームダイバージェンス制御部の第二の例を例示する上面図である。図 19B は、本開示の第四の実施形態に係るレーザ装置に含まれたビームダイバージェン

ス制御部の第二の例を例示する側面図である。

- [0213] 図19A及び図19Bに例示されるビームダイバージェンス制御部1902は、水平方向H及び垂直方向Vにおけるレーザビームのダイバージェンスを制御するように、制御部1700によって制御されてもよい。
- [0214] ビームダイバージェンス制御部1902は、両面シリンダリカル凹レンズ1931、第一のシリンダリカル凸レンズ1932、及び第二のシリンダリカル凸レンズ1933を含んでもよい。ビームダイバージェンス制御部1902は、第一の自動マイクロメータ1943を備えた第一のリニアステージ1941及び第二の自動マイクロメータ1944を備えた第二のリニアステージ1942を含んでもよい。第一の自動マイクロメータ1943及び第二の自動マイクロメータ1944は、制御部1700によって制御されてもよい。
- [0215] 両面シリンダリカル凹レンズ1931、第一のシリンダリカル凸レンズ1932、及び第二のシリンダリカル凸レンズ1933は、順にレーザビームの光路上に配置されてもよい。
- [0216] 両面シリンダリカル凹レンズ1931の二つのラインフォーカスの方向は、水平方向H及び垂直方向Vに略同一であってもよい。
- [0217] 第一のシリンダリカル凸レンズ1932のラインフォーカスの方向は、両面シリンダリカル凹レンズ1931のラインフォーカスの一方の方向と略同一であってもよい。第一のシリンダリカル凸レンズ1932のラインフォーカスの方向は、例えば、水平方向Hと略同一であってもよい。
- [0218] 第二のシリンダリカル凸レンズ1933のラインフォーカスの方向は、両面シリンダリカル凹レンズ1931のラインフォーカスの他方の方向と略同一であってもよい。第二のシリンダリカル凸レンズ1933のラインフォーカスの方向は、例えば、垂直方向Vと略同一であってもよい。
- [0219] 第一のシリンダリカル凸レンズ1932は、第一の自動マイクロメータ1943を備えた第一のリニアステージ1941に配置されてもよい。レーザビームの進行方向Zにおける両面シリンダリカル凹レンズ1931及び第一

のシリンドリカル凸レンズ1932の間の間隔は、第一の自動マイクロメータ1943を備えた第一のリニアステージ1941によって調整されてもよい。

[0220] 第二のシリンドリカル凸レンズ1933は、第二の自動マイクロメータ1944を備えた第二のリニアステージ1942に配置されてもよい。レーザービームの進行方向Zにおける両面シリンドリカル凹レンズ1931及び第二のシリンドリカル凸レンズ1933の間の間隔は、第二の自動マイクロメータ1944を備えた第二のリニアステージ1942によって調整されてもよい。

[0221] 両面シリンドリカル凹レンズ1931及び第一のシリンドリカル凸レンズ1932の間の間隔を変化させることで、垂直方向Vにおけるビームダイバージェンス制御部1902を通過するレーザービームのダイバージェンスを変化させてもよい。それによって、垂直方向Vにおけるレーザー装置1001から出力されるレーザービームのダイバージェンスを変化させてもよい。

[0222] 両面シリンドリカル凹レンズ1931及び第二のシリンドリカル凸レンズ1933の間の間隔を変化させることで、水平方向Hにおけるビームダイバージェンス制御部1902を通過するレーザービームのダイバージェンスを変化させてもよい。それによって、水平方向Hにおけるレーザー装置1001から出力されるレーザービームのダイバージェンスを変化させてもよい。

[0223] 両面シリンドリカル凹レンズ及び二つのシリンドリカル凸レンズの組み合わせを使用することで、水平方向H及び垂直方向Vにおけるビームダイバージェンス制御部1902を通過するレーザービームのダイバージェンスを独立に変化させてもよい。それによって、水平方向H及び垂直方向Vにおけるレーザー装置1001から出力されるレーザービームのダイバージェンスを独立に変化させてもよい。パワーオシレータ1300に含まれる反射ミラーの姿勢角度を制御することなく、ビームダイバージェンス制御部1902を使用することで、水平方向H及び垂直方向Vにおけるレーザービームのダイバージェンスを変化させてもよい。光学パルスストレッチャ1500に含まれる反射

ミラーの姿勢角度を制御することなく、ビームダイバージェンス制御部 1902 を使用することで、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザビームのダイバージェンスを変化させてもよい。

[0224] 図 19A 及び図 19B に例示されるビームダイバージェンス制御部 1902 に含まれる光学素子の数は、図 18A 及び図 18B に例示されるビームダイバージェンス制御部 1901 に含まれる光学素子の数よりも少なくともよい。

[0225] ビームダイバージェンス制御部 1902 によって、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザビームのダイバージェンスの一方のみを変化させてもよい。パワーオシレータ 1300 又は光学パルスストレッチャ 1500 に含まれる反射ミラーの姿勢角度を制御することによって、水平方向 H 及び垂直方向 V におけるレーザビームのダイバージェンスの他方を変化させてもよい。

[0226] 6. その他

6. 1 アクチュエータ付きミラーホルダ

図 20 は、本開示の実施形態におけるアクチュエータ付きミラーホルダを例示する図である。

[0227] 図 20 に例示されるアクチュエータ付きミラーホルダ 3000 は、二軸のジンバル機構付きのミラーホルダであってもよい。

[0228] アクチュエータ付きミラーホルダ 3000 は、プレート 3001、ミラー保持部 3002、L 型プレート 3003、第一の引っ張りバネ 3004、第二の引っ張りバネ 3005、支点 3006、第一の稼働ピン 3007、第一の自動マイクロメータ 3008、第二の稼働ピン 3009、及び第二の自動マイクロメートル 3010 を含んでもよい。

[0229] 本開示の実施形態に係るレーザ装置に使用される反射ミラーは、ミラー保持部 3002 に設けられてもよい。ミラー保持部 3002 は、プレート 3001 に設けられてもよい。プレート 3001 及び L 型プレート 3003 は、支点 3006、第一の自動マイクロメータ 3008 の第一の稼働ピン 3007、及び第二のマイクロメータ 3010 の第二の稼働ピン 3009 によって

支持されてもよい。プレート30001は、支点3006、第一の稼働ピン3007、及び第二の稼働ピン3009によって、L型プレート3003に対して三点で支持されてもよい。プレート3001及びL型プレート3003は、第一の引っ張りバネ3004及び第二の引っ張りバネ3005によって、互いに引っ張られると共に互いに固定されてもよい。第一の稼働ピン3007を有する第一の自動マイクロメータ3008は、第一の稼働ピン3007が移動するように、制御部1700によって制御されてもよい。第二の稼働ピン3009を有する第二の自動マイクロメータ3010は、第二の稼働ピン3009が移動するように、制御部1700によって制御されてもよい。

[0230] 支点3006から第一の稼働ピン3007までの方向におけるL型プレート3003に対するプレート3001の傾斜の角度は、第一の自動マイクロメータ3008の第一の稼働ピン3007の移動によって調整されてもよい。支点3006から第一の稼働ピン3007までの方向におけるミラー保持部3002の傾斜の角度（ミラーの姿勢角度）は、第一の自動マイクロメータ3008の第一の稼働ピン3007の移動によって調整されてもよい。

[0231] 支点3006から第二の稼働ピン3009までの方向におけるL型プレート3003に対するプレート3001の傾斜の角度は、第二の自動マイクロメータ3010の第二の稼働ピン3009の移動によって調整されてもよい。支点3006から第二の稼働ピン3009までの方向におけるミラー保持部3002の傾斜の角度（ミラーの姿勢角度）は、第二の自動マイクロメータ3010の第二の稼働ピン3009の移動によって調整されてもよい。

[0232] 第一の自動マイクロメータ3008及び第二の自動マイクロメータ3010の両方を制御することによって、ミラー保持部3002によって保持された反射ミラーの姿勢角度が二軸で制御されてもよい。第一の自動マイクロメータ3008及び第二の自動マイクロメータ3010の一方を制御することによって、ミラー保持部3002によって保持された反射ミラーの姿勢角度が一軸で制御されてもよい。

ミラー保持部3002によって保持された反射ミラーの姿勢角度の制御を要求しない方向については、第一の自動マイクロメータ3008及び第二の自動マイクロメータ3010の一方を手動のマイクロメータに変更してもよい。

[0233] アクチュエータ付きミラーホルダは、二軸のジンバル機構付きのミラーホルダ以外の反射ミラーの姿勢角度を調整することが可能な機構を有するミラーホルダであってもよい。

[0234] アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータ1300に含まれるリアミラー1310を保持するために使用されてもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータ1300に含まれるリアミラー1310の姿勢角度を変化させるために使用されてもよい。一軸のアクチュエータ付きミラーホルダとして、第一の自動マイクロメータ3008及び第二の自動マイクロメータ3010の一方のみが制御部1700によって制御されてもよい。

[0235] アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータ1300に含まれる第二の出力結合ミラー1330を保持するために使用されてもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータ1300に含まれる第二の出力結合ミラー1330の姿勢角度を変化させるために使用されてもよい。一軸のアクチュエータ付きミラーホルダとして、第一の自動マイクロメータ3008及び第二の自動マイクロメータ3010の一方のみが制御部1700によって制御されてもよい。

[0236] アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータ1300に含まれる第二の出力結合ミラー1330を保持するために使用されてもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータ1300に含まれる第二の出力結合ミラー1330の姿勢角度を変化させるために使用されてもよい。一軸のアクチュエータ付きミラーホルダとして、第一の自動マイクロメータ3008及び第二の自動マイクロメータ3010の一方のみが制御部1700によって制御されてもよい。

[0237] アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、光学パルスストレッチャ1500に含まれる第四の凹面高反射ミラー1550を保持するために使用されてもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、光学パルスストレッチャ1500に含まれる第四の凹面高反射ミラー1550の姿勢角度を変化させるために使用されてもよい。一軸のアクチュエータ付きミラーホルダとして、第一の自動マイクロメータ3008及び第二の自動マイクロメータ3010の一方のみが制御部1700によって制御されてもよい。

[0238] アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータビームステアリングユニット1400に含まれる第三の高反射ミラー1410を保持するために使用されてもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータビームステアリングユニット1400に含まれる第三の高反射ミラー1410の姿勢角度を変化させるために使用されてもよい。二軸のアクチュエータ付きミラーホルダとして、第一の自動マイクロメータ3008及び第二の自動マイクロメータ3010の両方が制御部1700によって制御されてもよい。

[0239] アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータビームステアリングユニット1400に含まれる第四の高反射ミラー1420を保持するために使用されてもよい。アクチュエータ付きミラーホルダ3000は、例えば、パワーオシレータビームステアリングユニット1400に含まれる第四の高反射ミラー1420の姿勢角度を変化させるために使用されてもよい。二軸のアクチュエータ付きミラーホルダとして、第一の自動マイクロメータ3008及び第二の自動マイクロメータ3010の両方が制御部1700によって制御されてもよい。

[0240] 6. 2 制御部（コントローラ）

図21は、本開示の実施形態における制御部を例示する図である。

[0241] 上述した実施の形態における各制御部は、コンピュータやプログラマブルコントローラ等汎用の制御機器によって構成されてもよい。たとえば、以下

のように構成されてもよい。

<構成>

制御部は、処理部4000と、処理部4000に接続される、ストレージメモリ4005と、ユーザインターフェイス4010と、パラレルI/Oコントローラ4020と、シリアルI/Oコントローラ4030と、A/D、D/Aコンバータ4040とによって構成されてもよい。また、処理部4000は、CPU4001と、CPU4001に接続された、メモリ4002、タイマ4003、GPU4004とから構成されてもよい。

<動作>

処理部4000は、ストレージメモリ4005に記憶されたプログラムを読み出してもよい。また、処理部4000は、読み出したプログラムを実行したり、プログラムの実行に従ってストレージメモリ4005からデータを読み出したり、ストレージメモリ4005にデータを記憶させたりしてもよい。

[0242] パラレルI/Oコントローラ4020は、パラレルI/Oポートを介して通信可能な機器に接続されてもよい。パラレルI/Oコントローラ4020は、処理部4000がプログラムを実行する過程で行うパラレルI/Oポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0243] シリアルI/Oコントローラ4030は、シリアルI/Oポートを介して通信可能な機器に接続されてもよい。シリアルI/Oコントローラ4030は、処理部4000がプログラムを実行する過程で行うシリアルI/Oポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0244] A/D、D/Aコンバータ4040は、アナログポートを介して通信可能な機器に接続されてもよい。A/D、D/Aコンバータ4040は、処理部4000がプログラムを実行する過程で行うアナログポートを介した、アナログ信号による通信を制御してもよい。

[0245] ユーザインターフェイス4010は、オペレータが処理部4000によるプログラムの実行過程を表示したり、オペレータによるプログラム実行の中

止や割り込み処理を処理部4000に行わせるよう構成されてもよい。

[0246] 処理部4000のCPU4001はプログラムの演算処理を行ってもよい。メモリ4002は、CPU4001がプログラムを実行する過程で、プログラムの一時記憶や、演算過程でのデータの一時的記憶を行ってもよい。タイマ4003は、時刻や経過時間を計測し、プログラムの実行に従ってCPU4001に時刻や経過時間を出力してもよい。GPU4004は、処理部4000に画像データが入力された際、プログラムの実行に従って画像データを処理し、その結果をCPU4001に出力してもよい。

[0247] パラレルI/Oコントローラ4020に接続される、パラレルI/Oポートを介して通信可能な機器は、他の制御部等であってもよい。

[0248] シリアルI/Oコントローラ4030に接続される、シリアルI/Oポートを介して通信可能な機器は、DC高圧電源等であってもよい。

[0249] A/D、D/Aコンバータ4040に接続される、アナログポートを介して通信可能な機器は、第一のイメージセンサ及び第二のイメージセンサのようなセンサ等であってもよい。

[0250] 上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図したものである。従って、添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本開示の実施形態に変更を加えることができることは、当業者には明らかであろう。

[0251] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書、及び添付の特許請求の範囲に記載される不定冠詞「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。

符号の説明

[0252] 1000 レーザ装置
1001 レーザ装置

- 1 1 0 0 マスタオシレータ
- 1 1 1 0 狭帯域化モジュール
- 1 1 1 1 プリズムビームエキスパンダ
- 1 1 1 2 回折格子
- 1 1 2 0 第一のチャンバ
- 1 1 2 1 a, 1 1 2 1 b 放電電極
- 1 1 3 0 第一の出力結合ミラー
- 1 1 4 0 a, 1 1 4 0 b ウィンドウ
- 1 2 0 0 マスタオシレータビームステアリングユニット
- 1 2 1 0 第一の高反射ミラー
- 1 2 2 0 第二の高反射ミラー
- 1 3 0 0, 1 3 0 1 パワーオシレータ
- 1 3 1 0 リアミラー
- 1 3 1 5 アクチュエータ付きミラーホルダ
- 1 3 2 0 第二のチャンバ
- 1 3 2 1 a, 1 3 2 1 b 放電電極
- 1 3 3 0 第二の出力結合ミラー
- 1 3 4 0 a, 1 3 4 0 b ウィンドウ
- 1 3 5 0 a 出力結合ミラー
- 1 3 5 0 b 反射防止コート
- 1 3 5 0 c 部分反射コート
- 1 3 5 1 第五の高反射ミラー
- 1 3 5 2 第六の高反射ミラー
- 1 3 5 3 第七の高反射ミラー
- 1 3 5 4 第八の高反射ミラー
- 1 3 6 0 出力結合ミラーホルダ
- 1 3 6 2 アクチュエータ付きミラーホルダ
- 1 3 6 3, 1 3 6 4 ミラーホルダ

- 1 4 0 0 パワーオシレータビームステアリングユニット
- 1 4 1 0 第三の高反射ミラー
- 1 4 1 5 アクチュエータ付きミラーホルダ
- 1 4 2 0 第四の高反射ミラー
- 1 4 2 5 アクチュエータ付きミラーホルダ
- 1 4 5 0 a 第一の光学パルスストレッチャ
- 1 4 5 0 b 第二の光学パルスストレッチャ
- 1 4 5 1 第一のビームスプリッタ
- 1 4 5 2 第一の凹面高反射ミラー
- 1 4 5 3 第二の凹面高反射ミラー
- 1 4 5 4 第三の凹面高反射ミラー
- 1 4 5 5 第四の凹面高反射ミラー
- 1 4 5 6 第二のビームスプリッタ
- 1 4 5 7 第五の凹面高反射ミラー
- 1 4 5 8 第六の凹面高反射ミラー
- 1 4 5 9 第七の凹面高反射ミラー
- 1 4 1 0 第八の凹面高反射ミラー
- 1 5 0 0 光学パルスストレッチャ
- 1 5 1 0 ビームスプリッタ
- 1 5 1 5 ビームスプリッタホルダ
- 1 5 2 0 第一の凹面高反射ミラー
- 1 5 2 5 第一のミラーホルダ
- 1 5 3 0 第二の凹面高反射ミラー
- 1 5 3 5 第二のミラーホルダ
- 1 5 4 0 第三の凹面高反射ミラー
- 1 5 4 5 第三のミラーホルダ
- 1 5 5 0 第四の凹面高反射ミラー
- 1 5 5 5 アクチュエータ付きミラーホルダ

- 1 6 0 0 ビーム特性計測装置
- 1 6 1 0 第一のビームスプリッタ
- 1 6 2 0 集光光学系
- 1 6 3 0 第一のイメージセンサ
- 1 6 4 0 第二のビームスプリッタ
- 1 6 5 0 転写光学系
- 1 6 6 0 第二のイメージセンサ
- 1 7 0 0 制御部
- 1 8 0 0 シャッタ
- 1 9 0 0, 1 9 0 1, 1 9 0 2 ビームダイバージェンス制御部
- 1 9 1 1 第一のシリンドリカル凹レンズ
- 1 9 1 2 第一のシリンドリカル凸レンズ
- 1 9 1 3 第二のシリンドリカル凹レンズ
- 1 9 1 4 第二のシリンドリカル凸レンズ
- 1 9 2 1 第一のリニアステージ
- 1 9 2 2 第二のリニアステージ
- 1 9 2 3 第一の自動マイクロメータ
- 1 9 2 4 第二の自動マイクロメータ
- 1 9 3 1 両面シリンドリカル凹レンズ
- 1 9 3 2 第一のシリンドリカル凸レンズ
- 1 9 3 3 第二のシリンドリカル凸レンズ
- 1 9 4 1 第一のリニアステージ
- 1 9 4 2 第二のリニアステージ
- 1 9 4 3 第一の自動マイクロメータ
- 1 9 4 4 第二の自動マイクロメータ
- 2 0 0 0 半導体露光装置
- 2 1 0 0 露光装置制御部
- 3 0 0 0 アクチュエータ付きミラーホルダ

- 3001 プレート
- 3002 ミラー保持部
- 3003 L型プレート
- 3004 第一の引っ張りバネ
- 3005 第二の引っ張りバネ
- 3006 支点
- 3007 第一の稼働ピン
- 3008 第一の自動マイクロメータ
- 3009 第二の稼働ピン
- 3010 第二の自動マイクロメータ
- 4000 処理部
- 4001 CPU
- 4002 メモリ
- 4003 タイマ
- 4004 GPU
- 4005 ストレージメモリ
- 4010 ユーザインターフェイス
- 4020 パラレルI/Oコントローラ
- 4030 シリアルI/Oコントローラ
- 4040 A/D、D/Aコンバータ

請求の範囲

[請求項1]

レーザ装置であって、
レーザビームを発生させるように構成された第一のレーザ共振器、
第一の方向における前記レーザビームのダイバージェンスを調整する
ように構成された第一の光学素子、
前記第一の方向に対して垂直な第二の方向における前記レーザビームのダイバージェンスを調整するように構成された第二の光学素子、
前記第一の方向及び前記第二の方向における前記レーザビームのダイバージェンスを計測するように構成された計測装置、並びに、
前記計測装置によって計測された前記第一の方向及び前記第二の方向における前記レーザビームのダイバージェンスに基づいて前記第一の光学素子及び前記第二の光学素子の少なくとも一方を制御するように構成された制御部
を含む、レーザ装置。

[請求項2]

請求項1に記載のレーザ装置において、
前記レーザ装置は、さらに、前記レーザビームのポインティングを調整するように構成された第三の光学素子を含むと共に、
前記計測装置は、さらに、前記レーザビームのポインティングを計測するように構成されたものであると共に、
前記制御部は、さらに、前記計測装置によって計測された前記レーザビームのポインティングに基づいて前記第三の光学素子を制御するように構成されたものである、
レーザ装置。

[請求項3]

請求項2に記載のレーザ装置において、
前記レーザ装置は、さらに、前記レーザビームの位置を調整するように構成された第四の光学素子を含むと共に、
前記計測装置は、さらに、前記レーザビームの位置を計測するように構成されたものであると共に、

前記制御部は、さらに、前記計測装置によって計測された前記レーザービームの位置に基づいて前記第四の光学素子を制御するように構成されたものである、

レーザー装置。

[請求項4]

請求項1に記載のレーザー装置において、

前記レーザー装置は、さらに、前記レーザービームの出力を増幅させるように構成された第二の共振器及び前記レーザービームのパルスを伸長させるように構成された光学パルスストレッチャを含むと共に、

前記第二の共振器は、前記第一の光学素子を含むと共に、

前記光学パルスストレッチャは、前記第二の光学素子を含む、

レーザー装置。

[請求項5]

請求項1に記載のレーザー装置において、

前記レーザー装置は、さらに、前記レーザービームのパルスを伸長させるように構成された第一の光学パルスストレッチャ及び第二の光学パルスストレッチャを含むと共に、

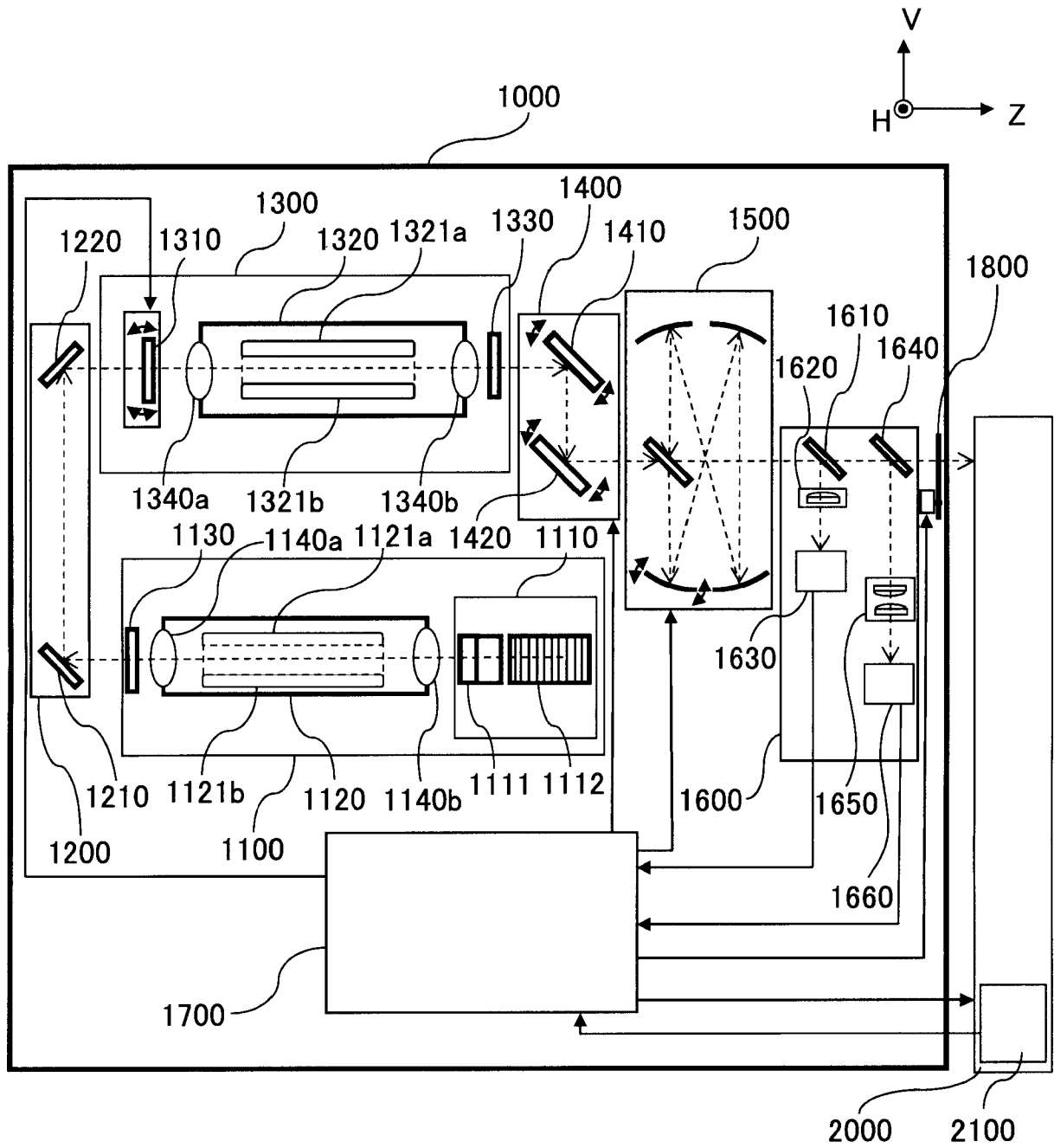
前記第一の光学パルスストレッチャは、前記第一の光学素子を含むと共に、

前記第二の光学パルスストレッチャは、前記第二の光学素子を含む

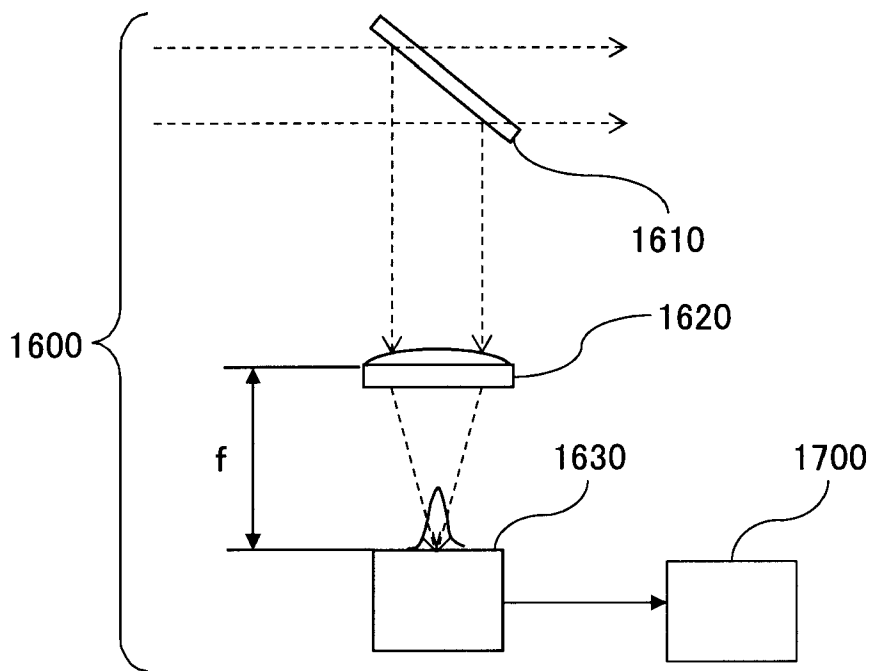
、

レーザー装置。

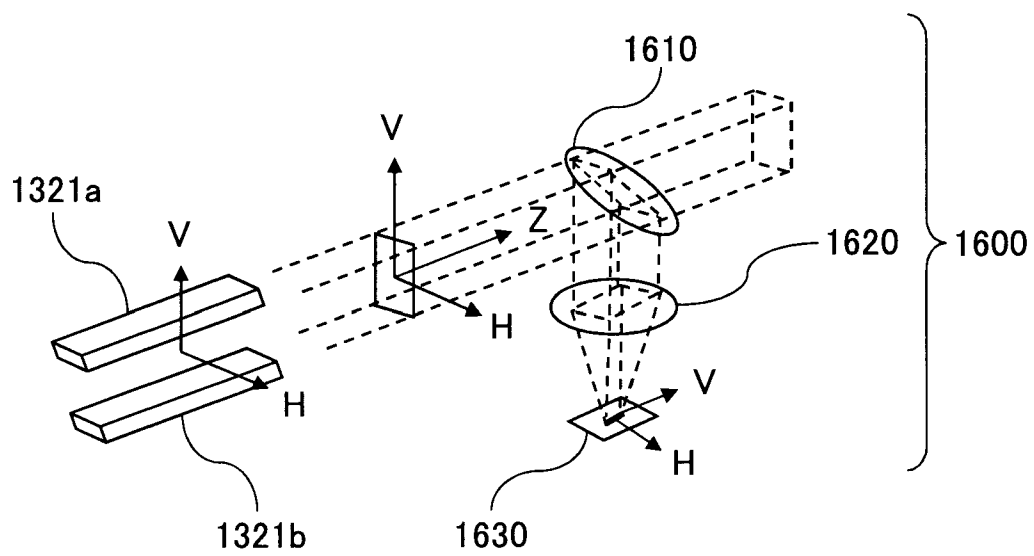
[図1]



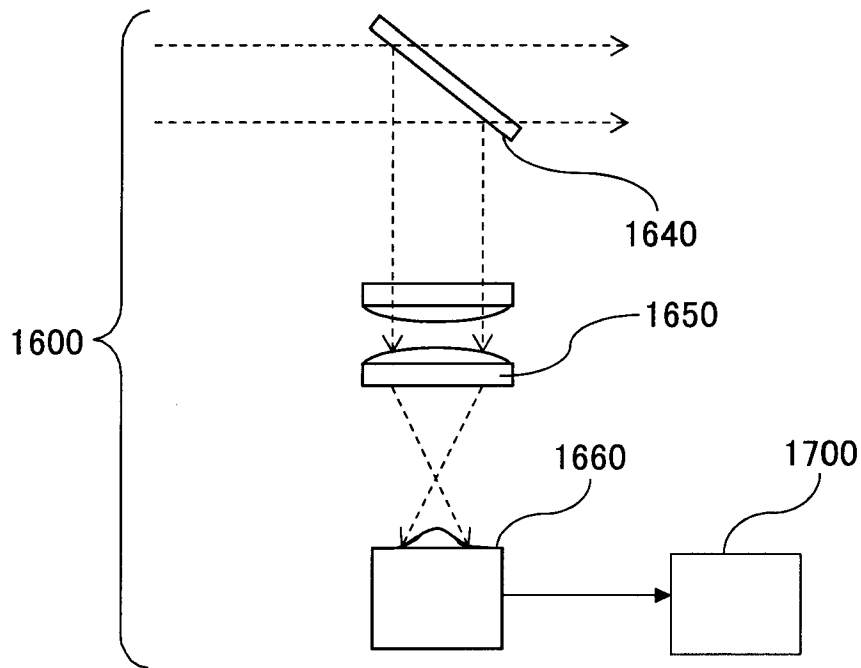
[図2A]



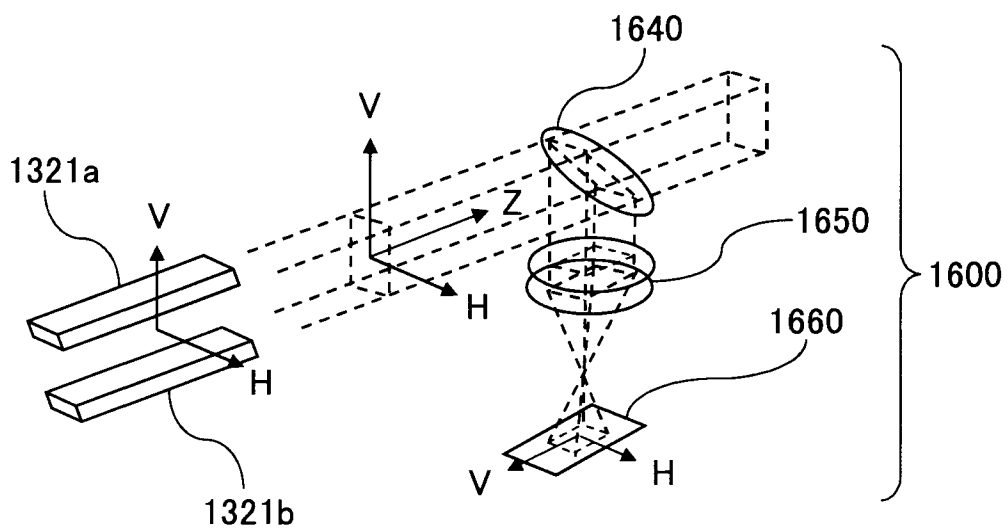
[図2B]



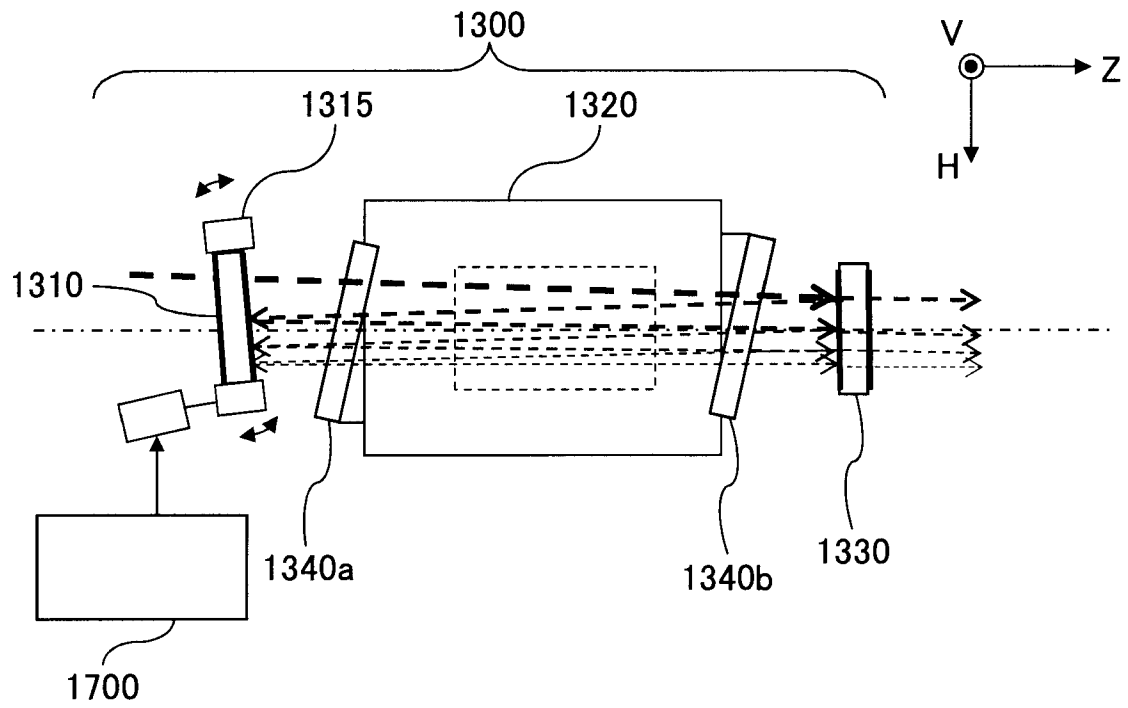
[図3A]



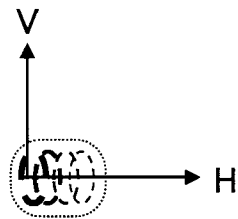
[図3B]



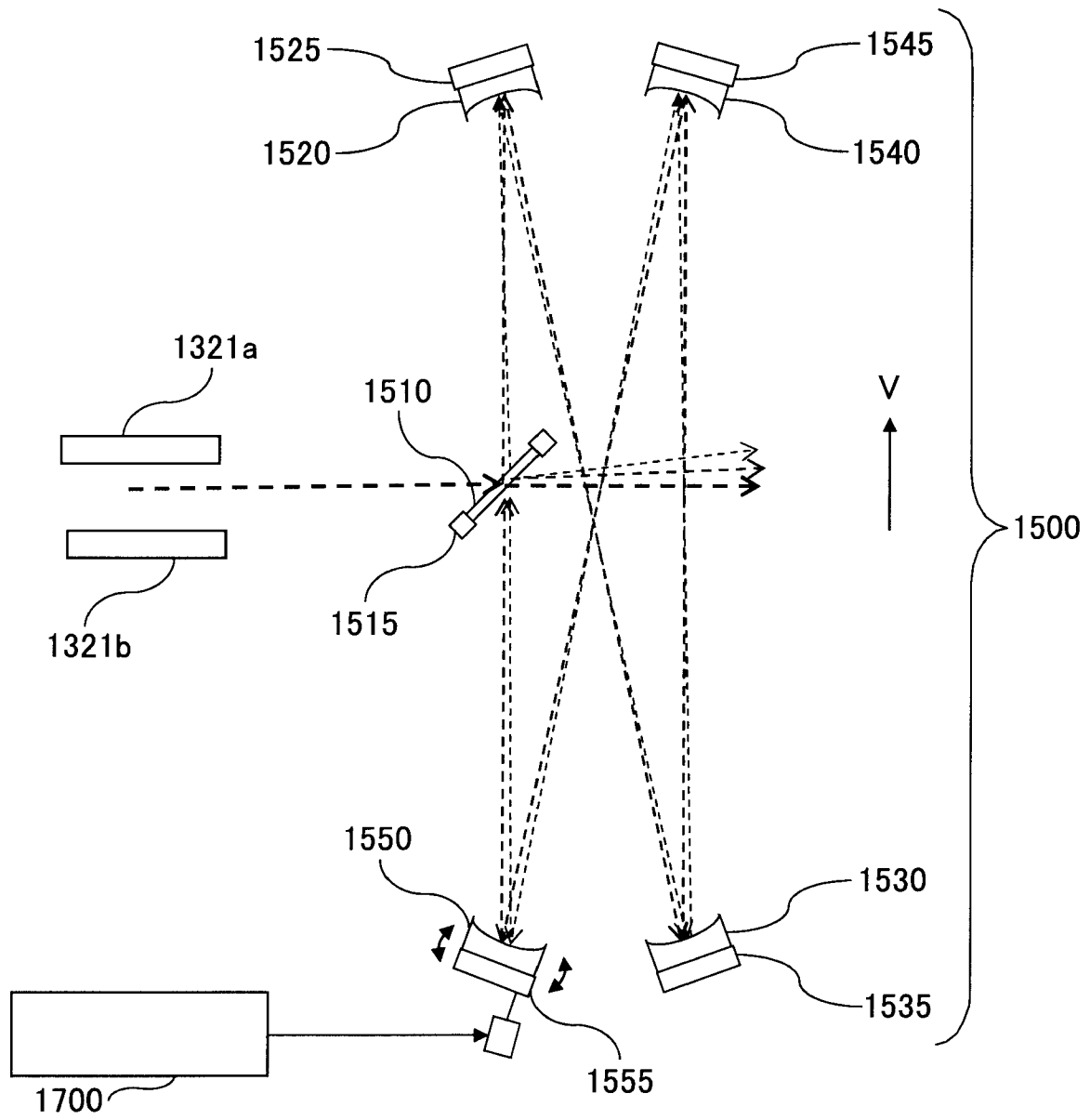
[図4A]



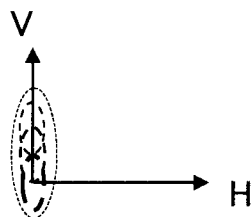
[図4B]



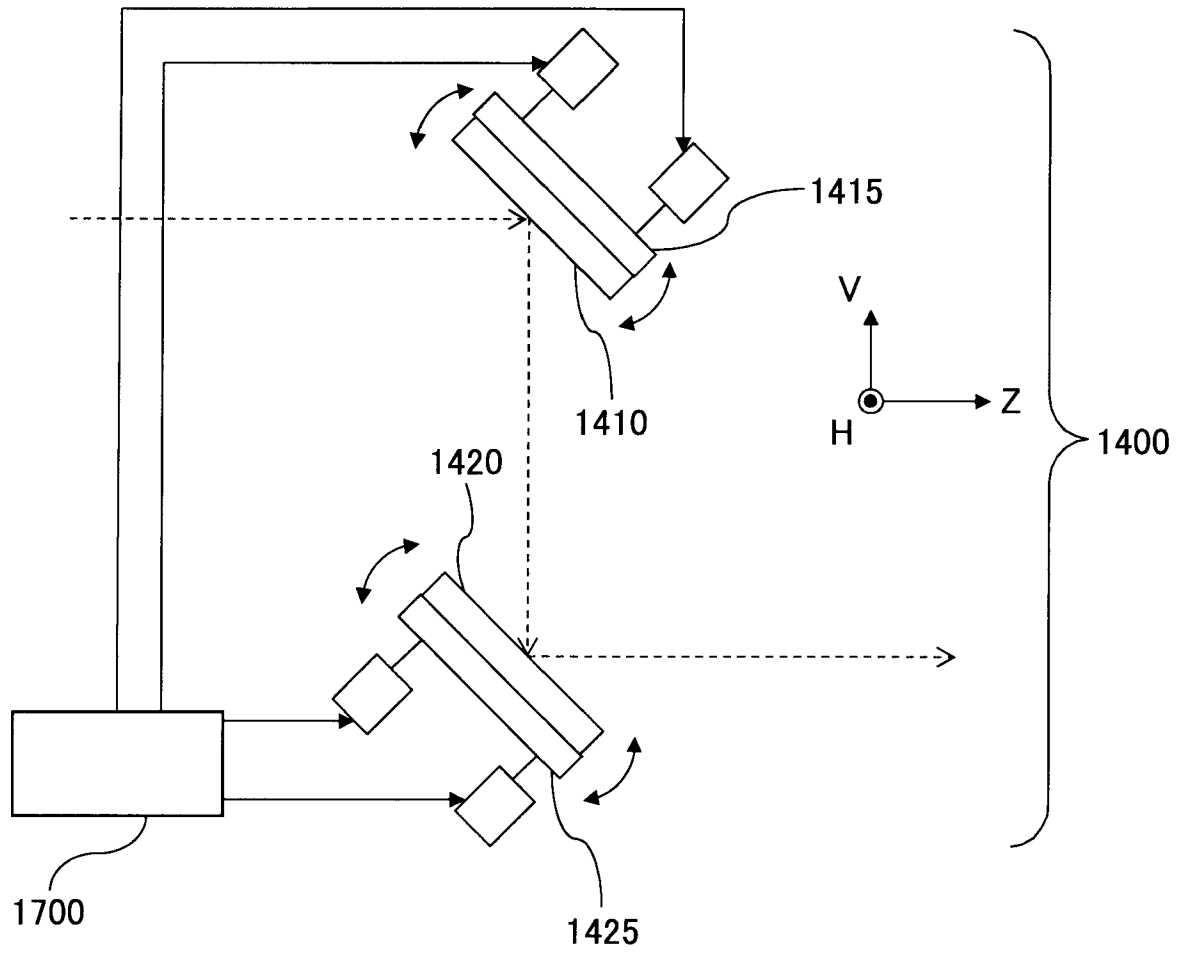
[図5A]



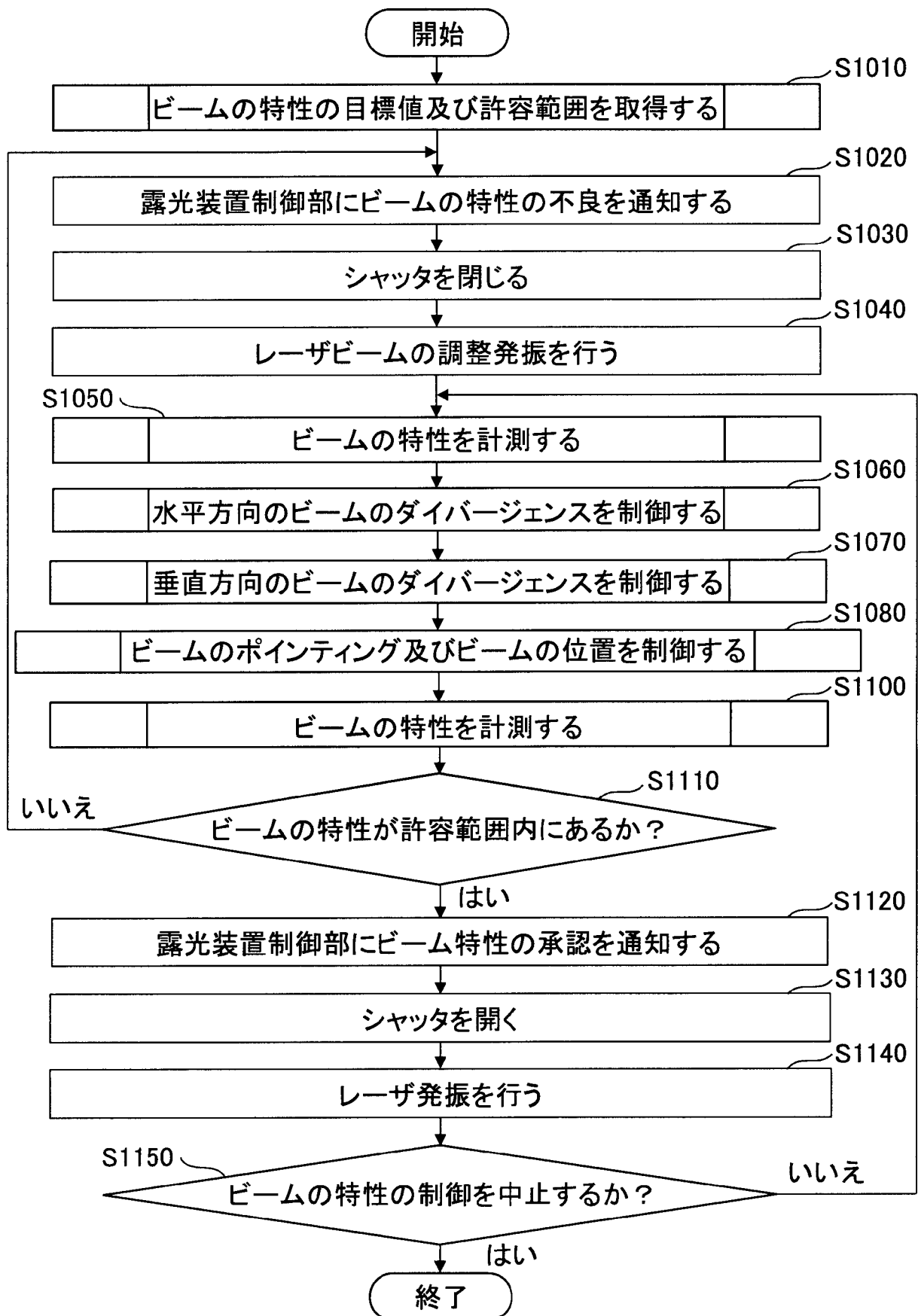
[図5B]



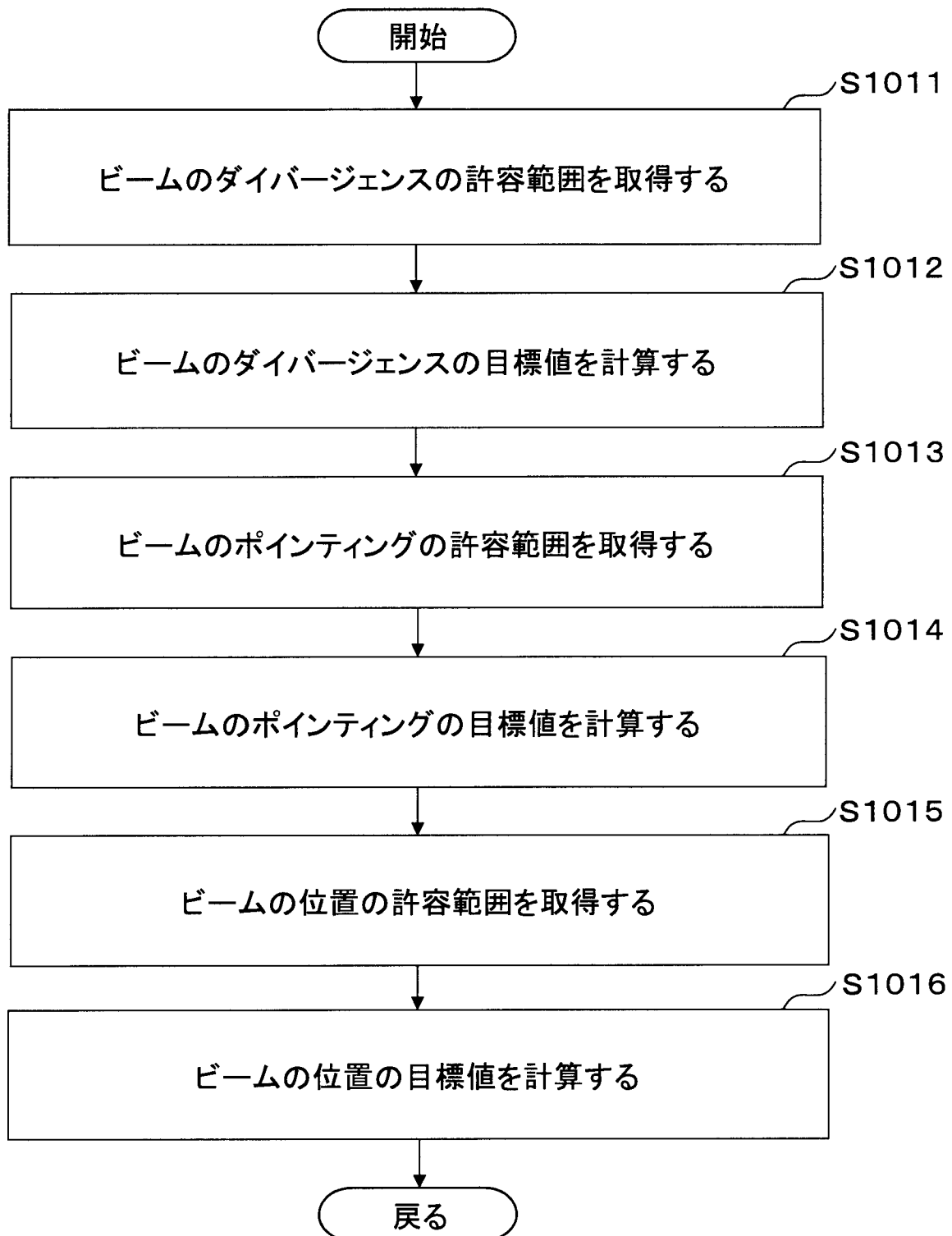
[図6]



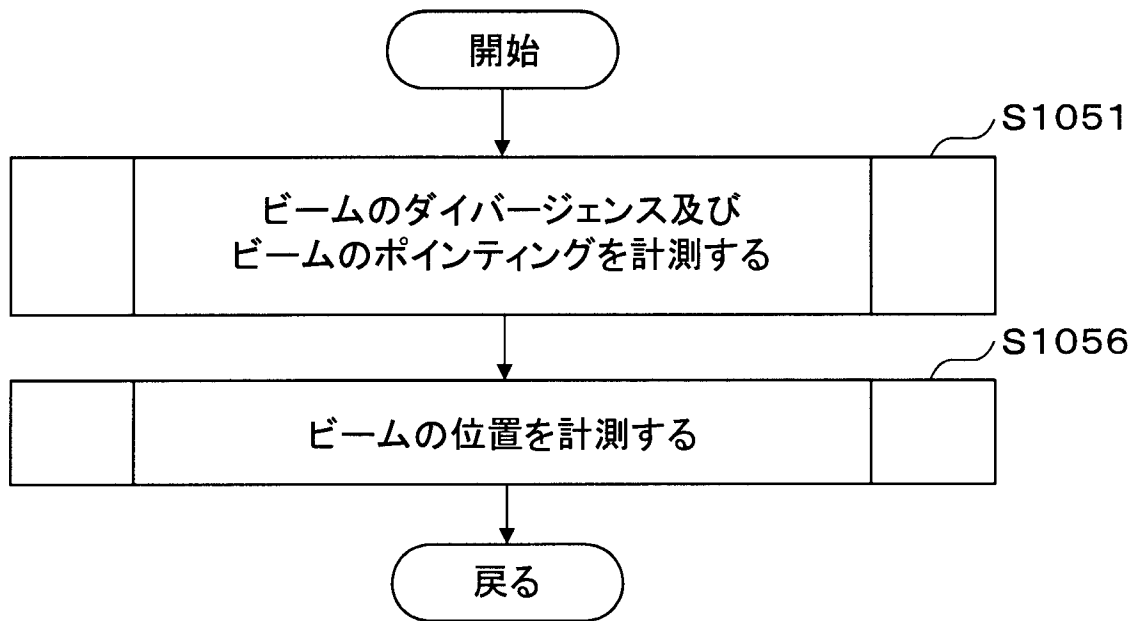
[図7]



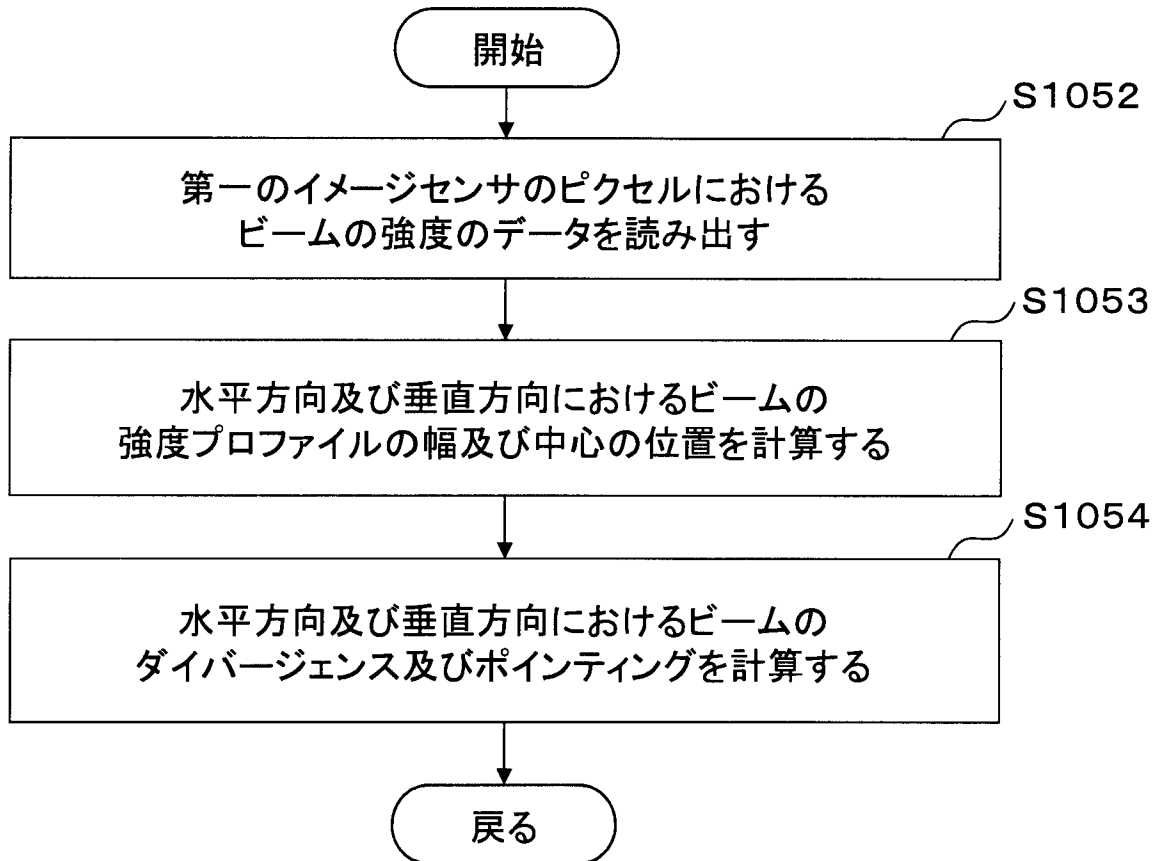
[図8]



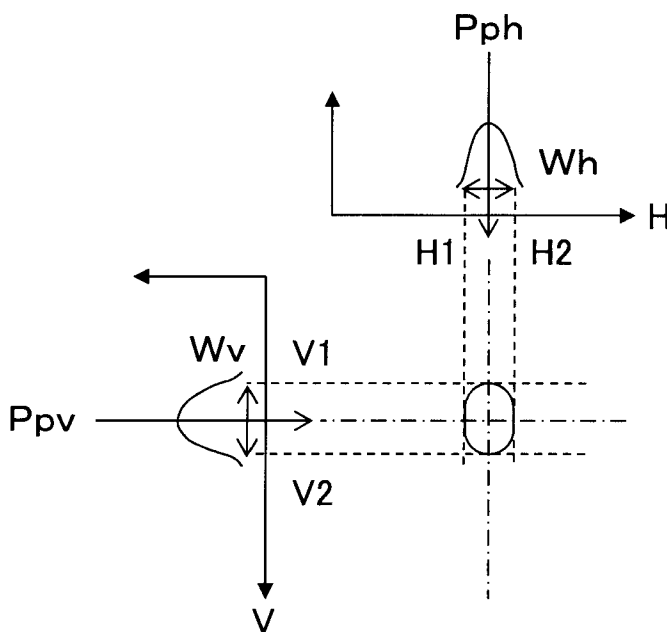
[図9]



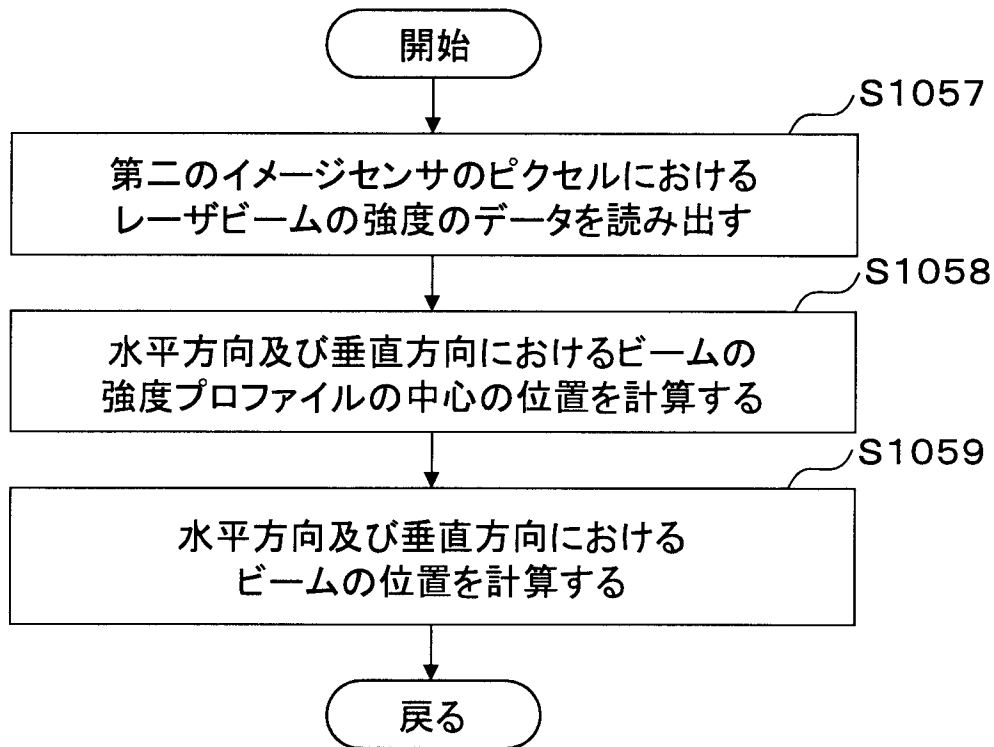
[図10A]



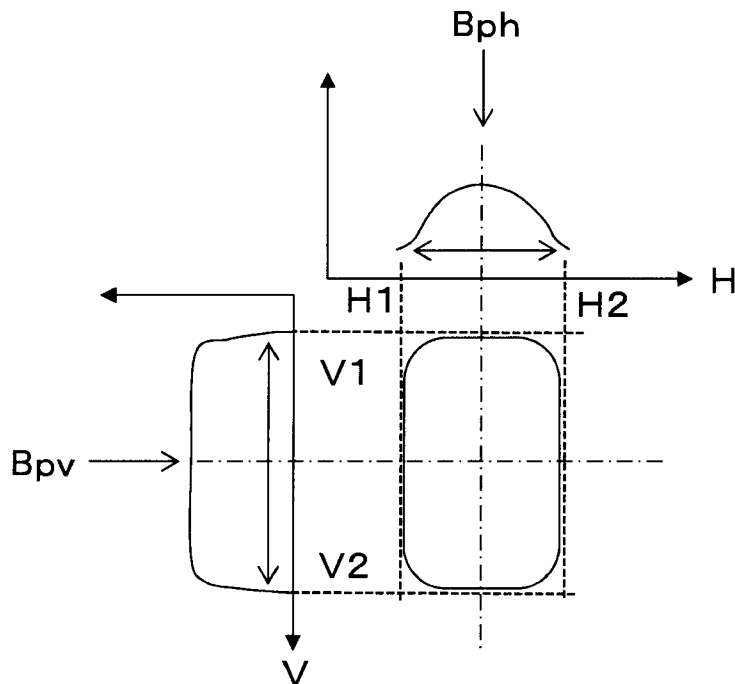
[図10B]



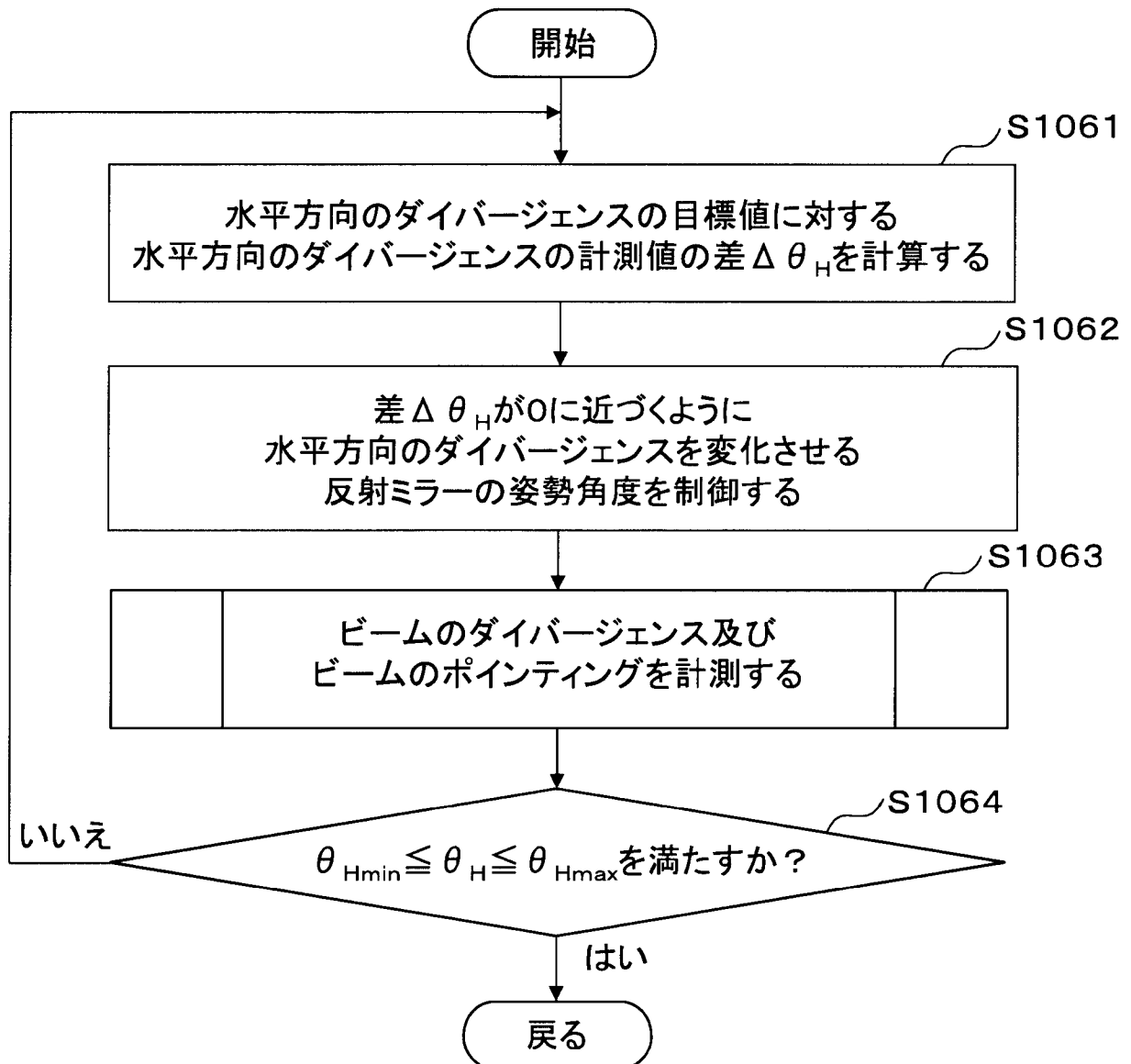
[図11A]



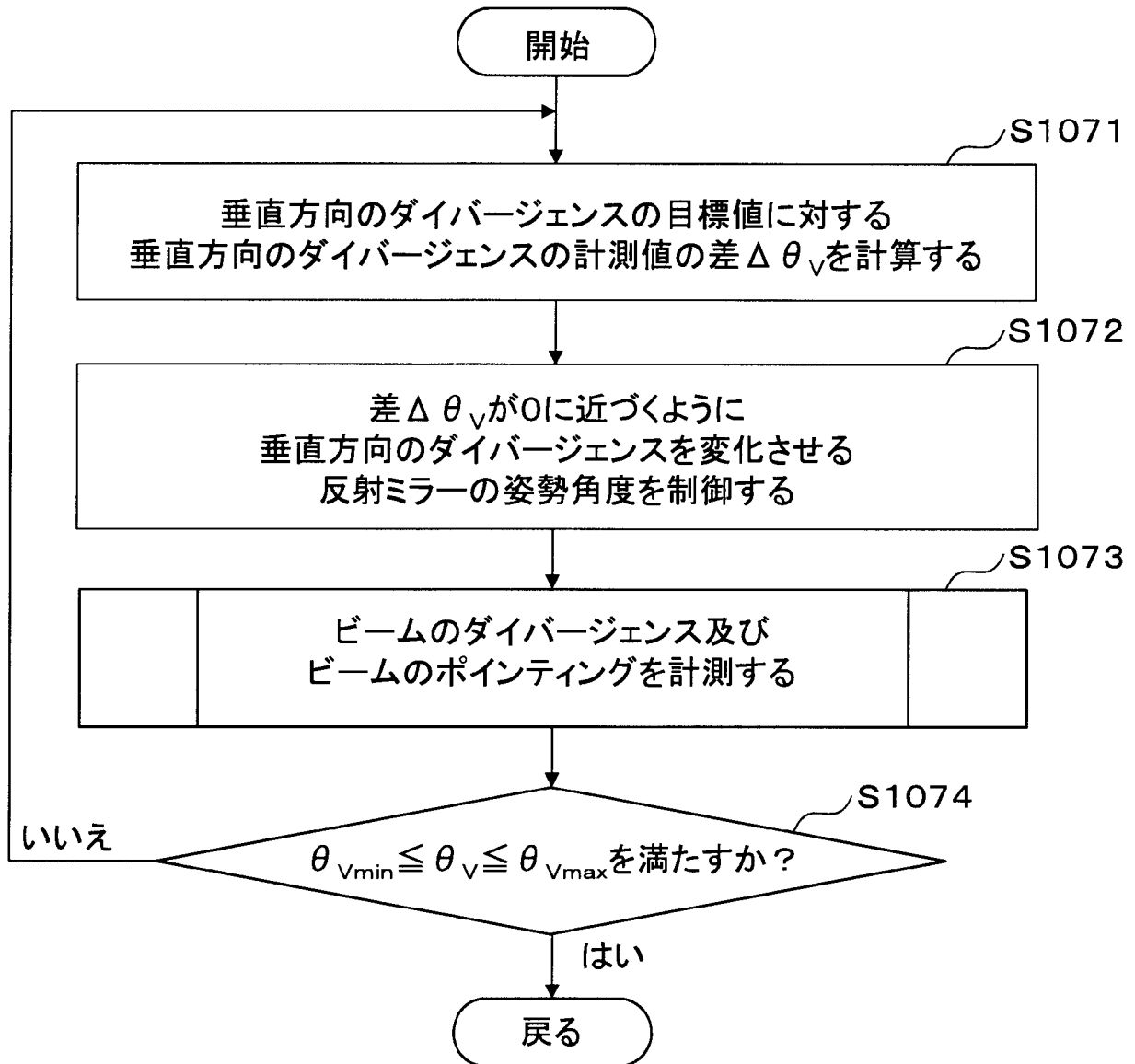
[図11B]



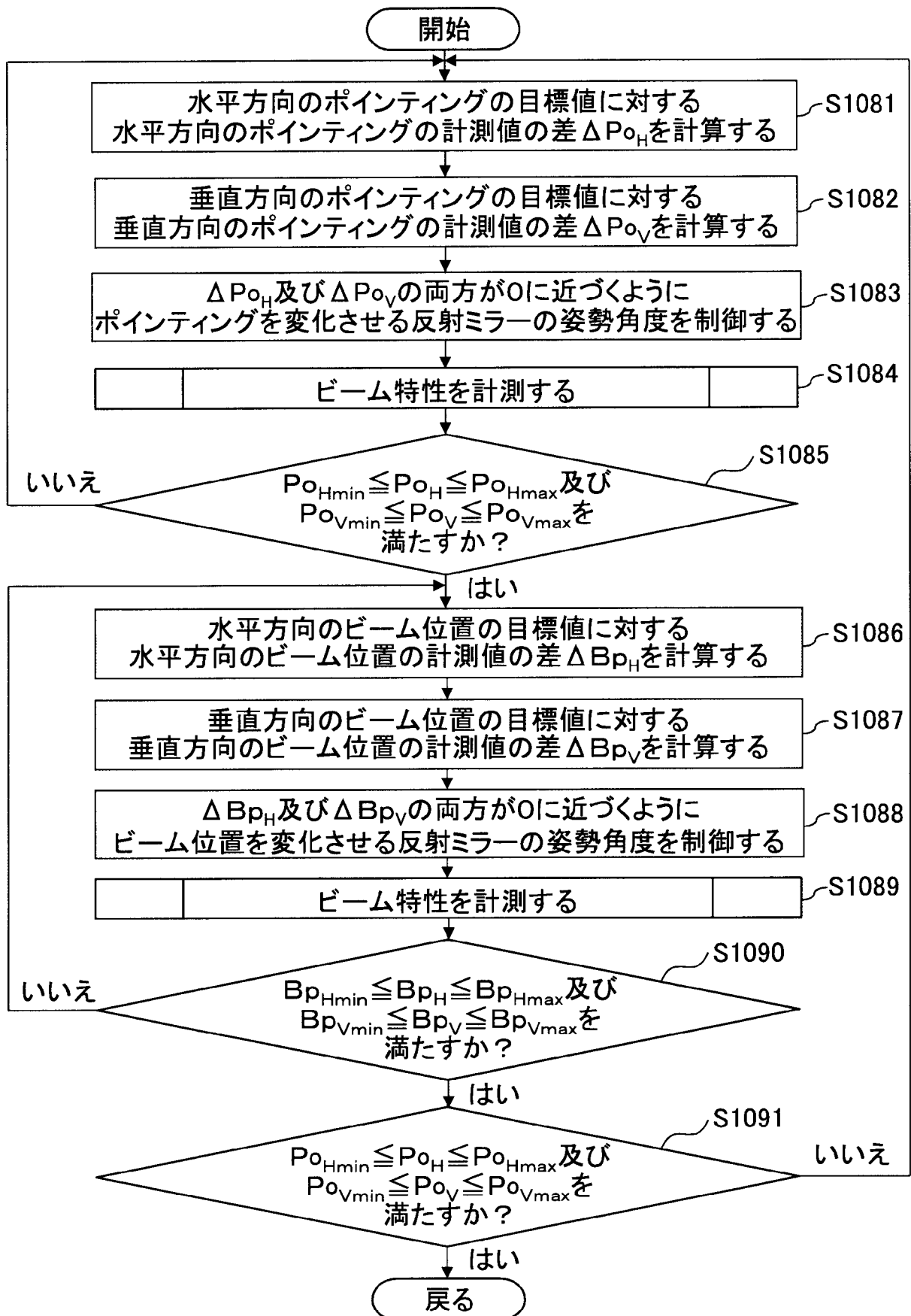
[図12]



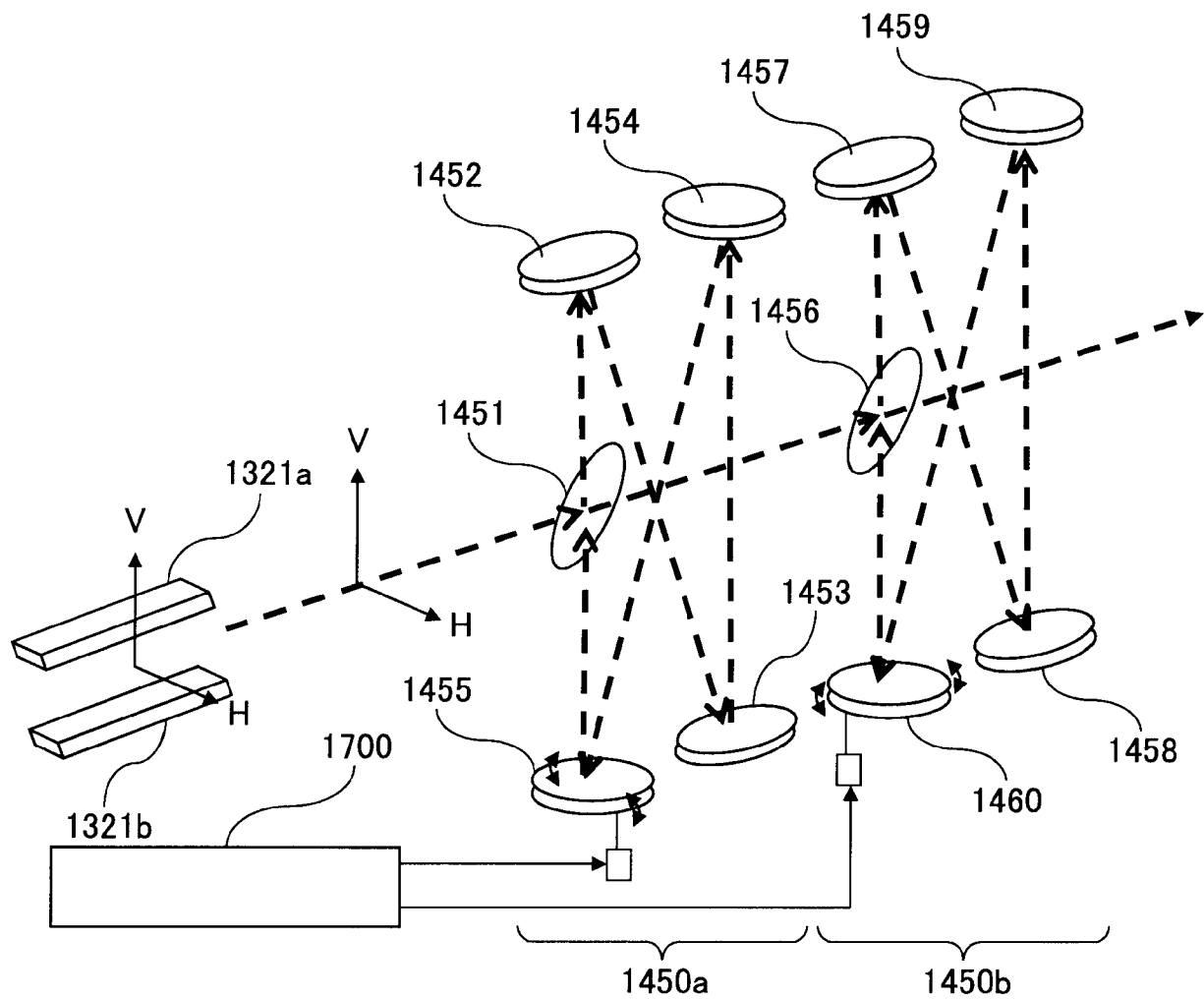
[図13]



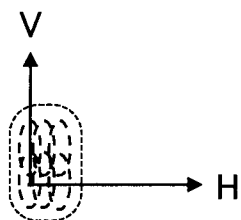
[図14]



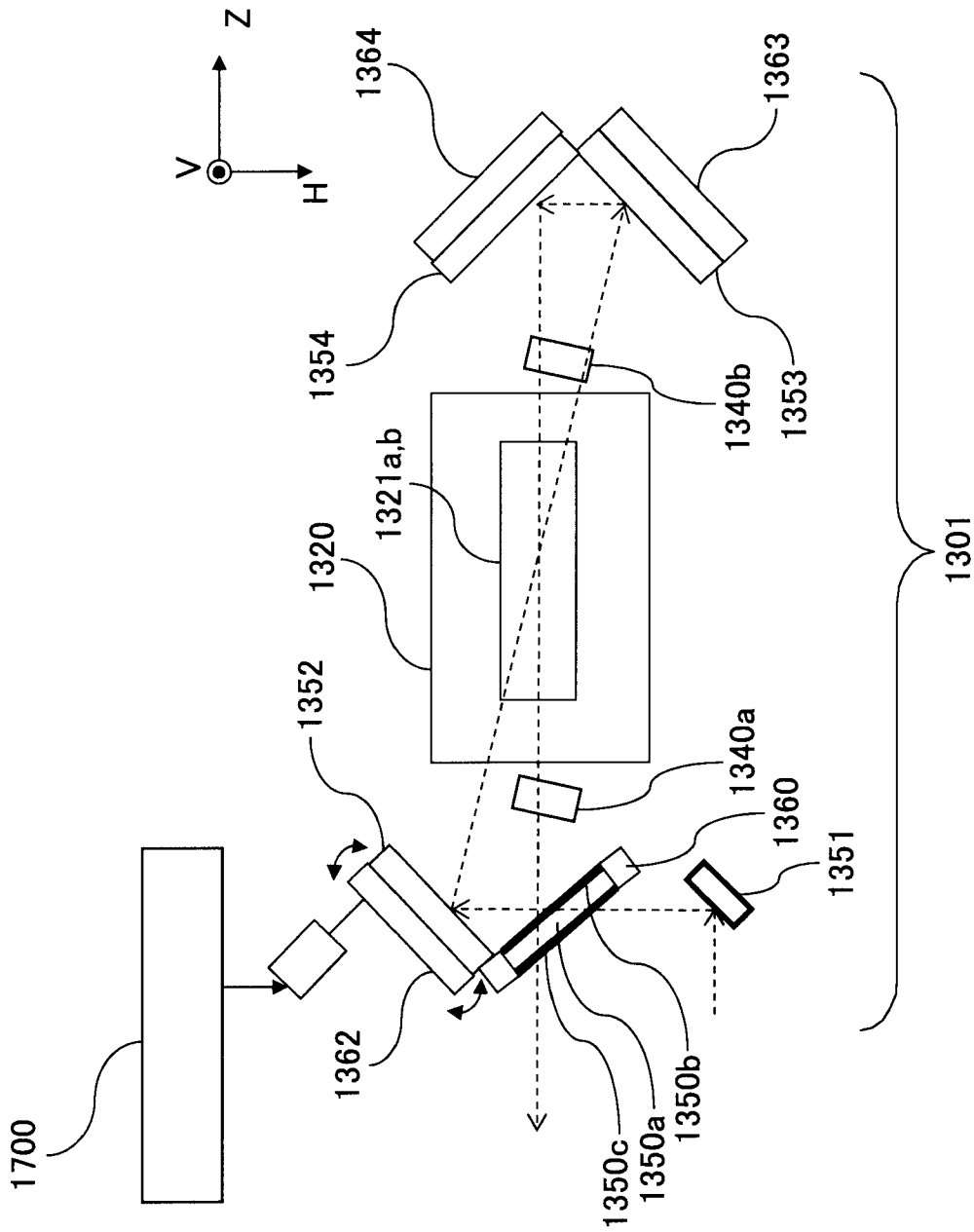
[図15A]



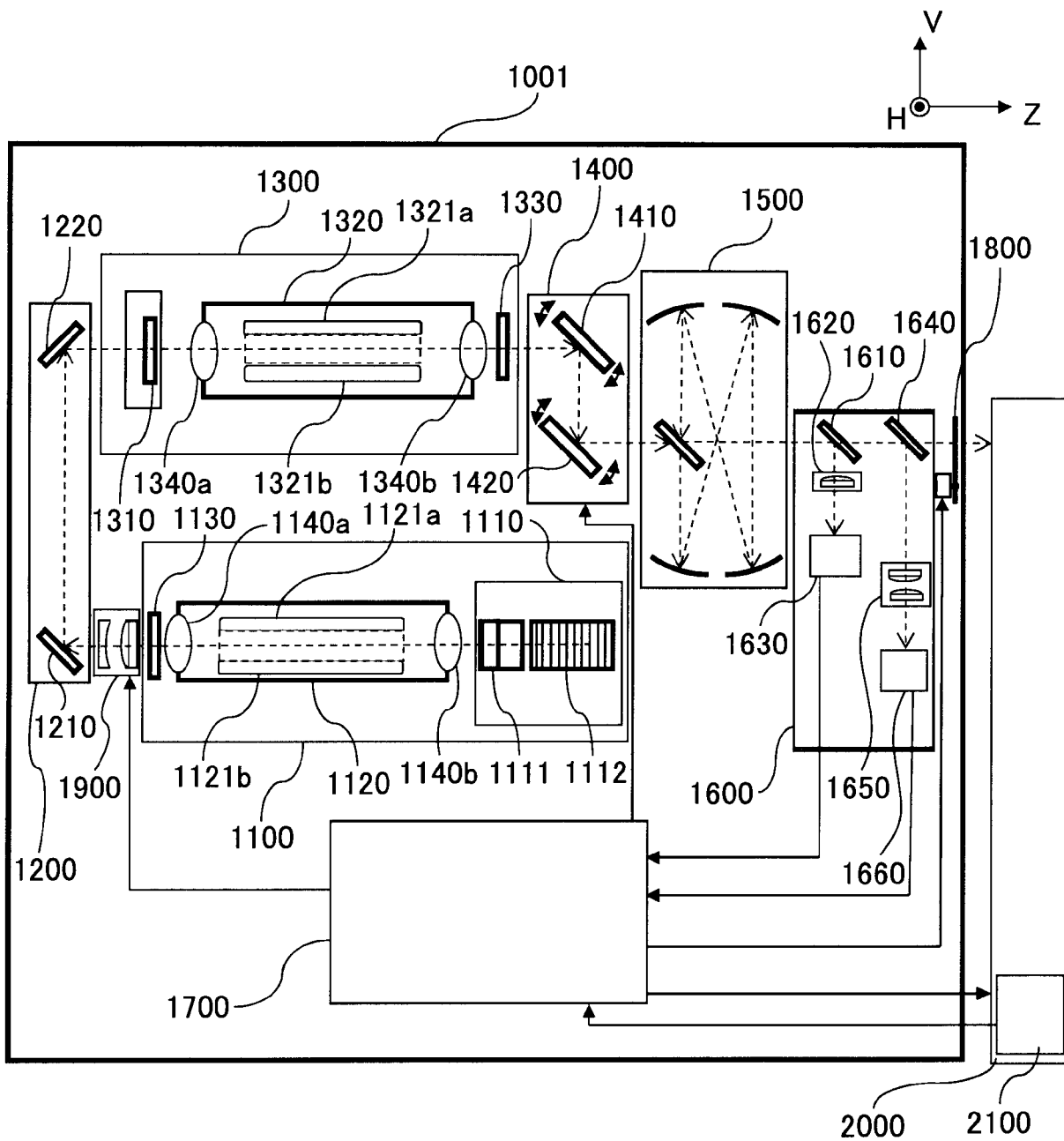
[図15B]



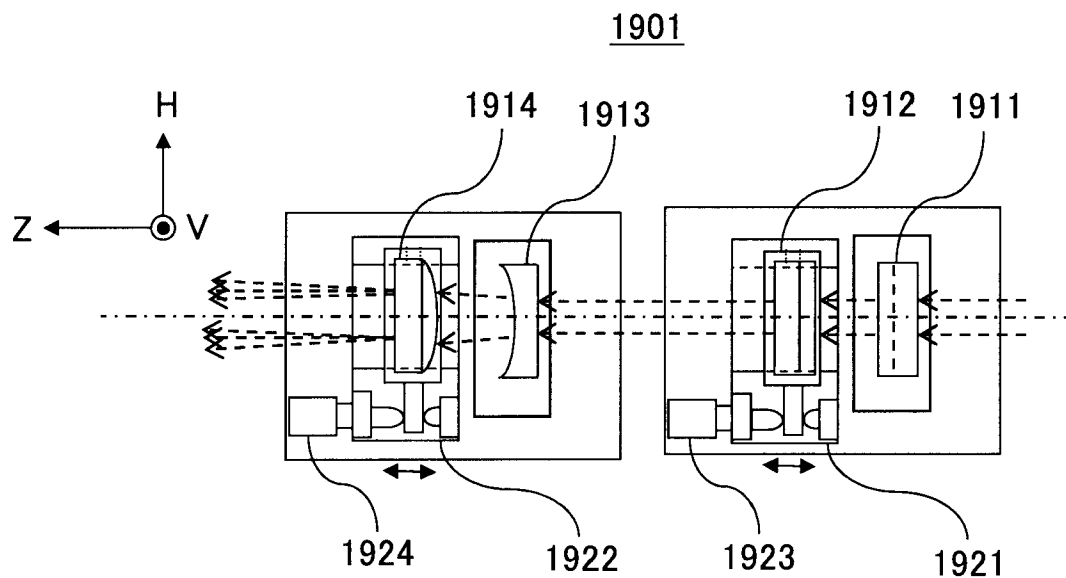
[図16]



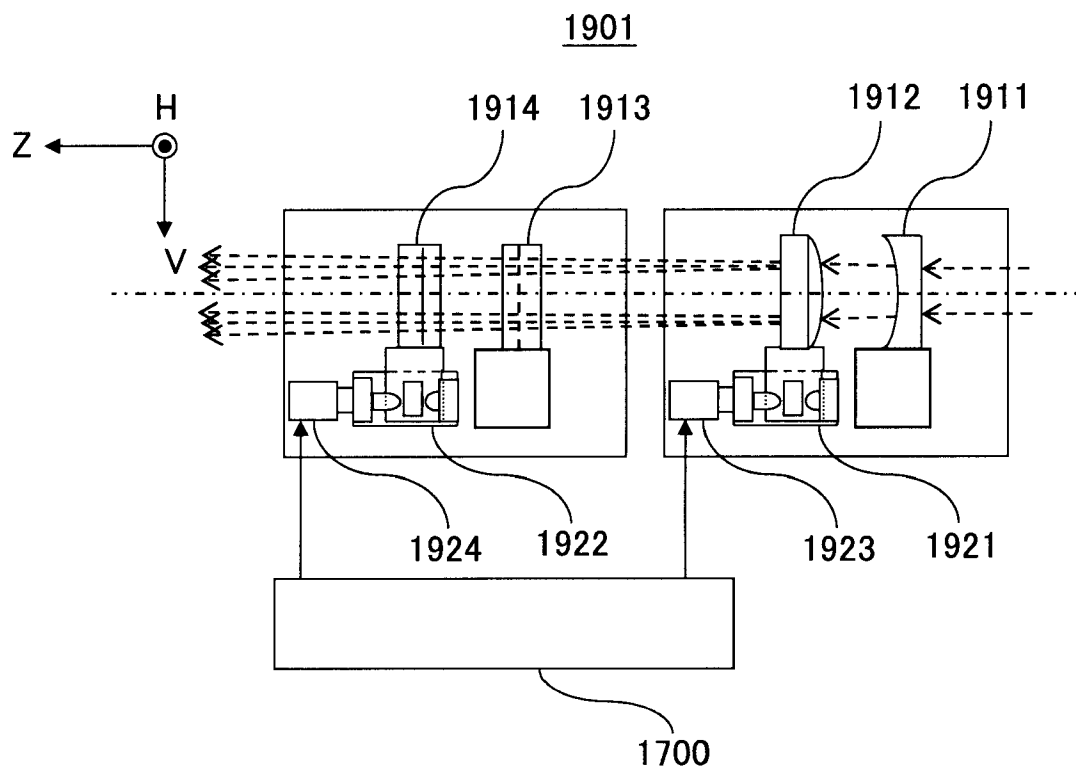
[図17]



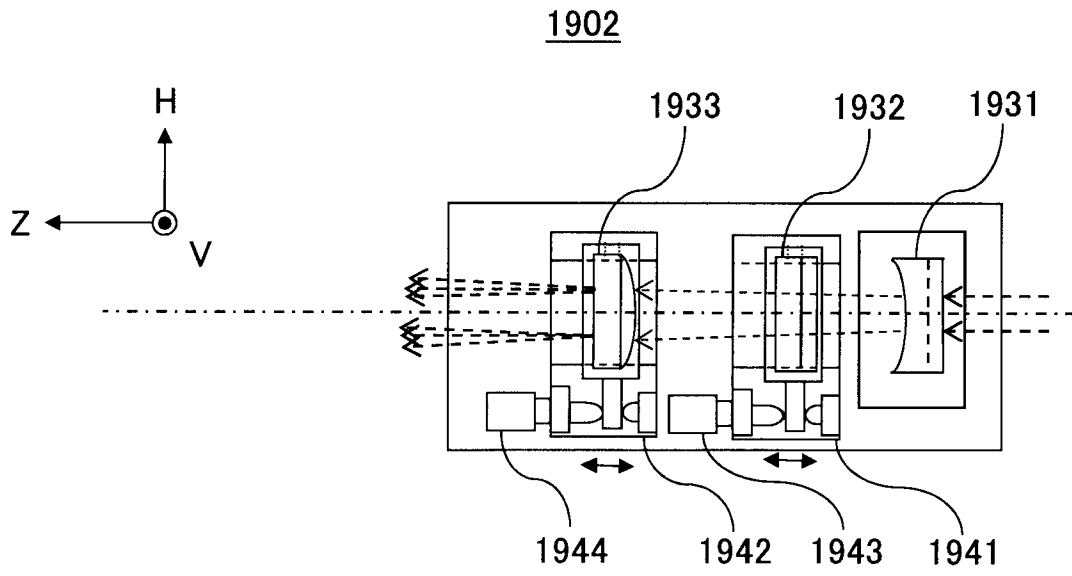
[図18A]



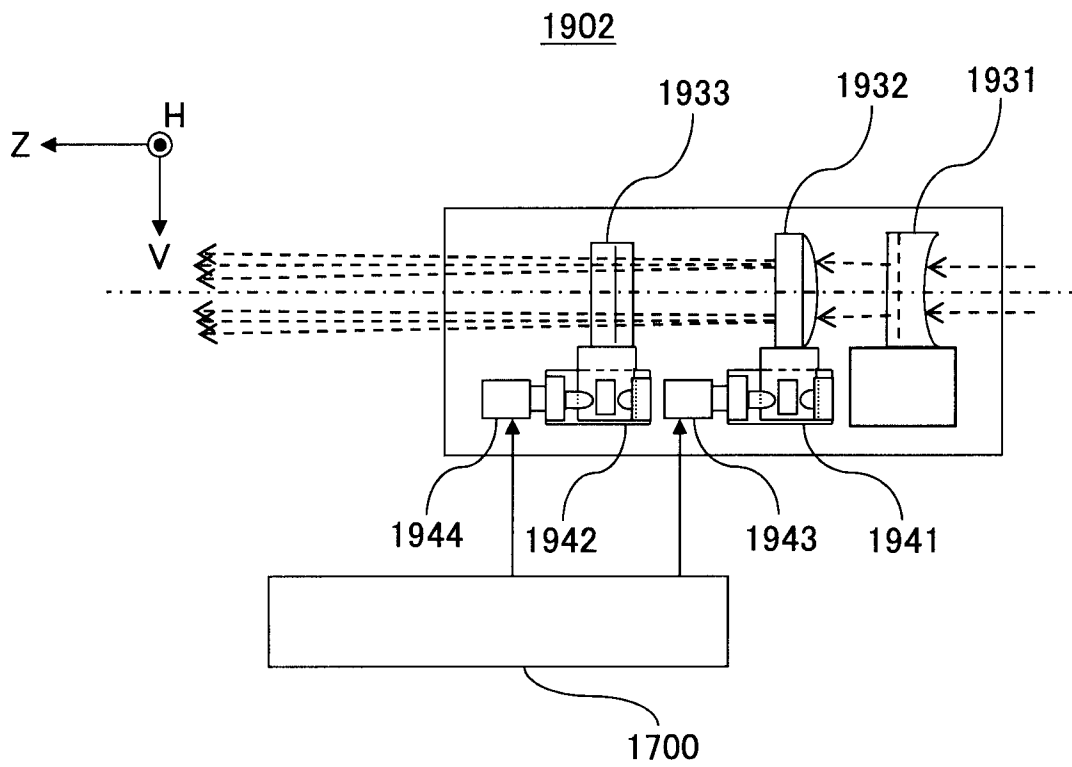
[図18B]



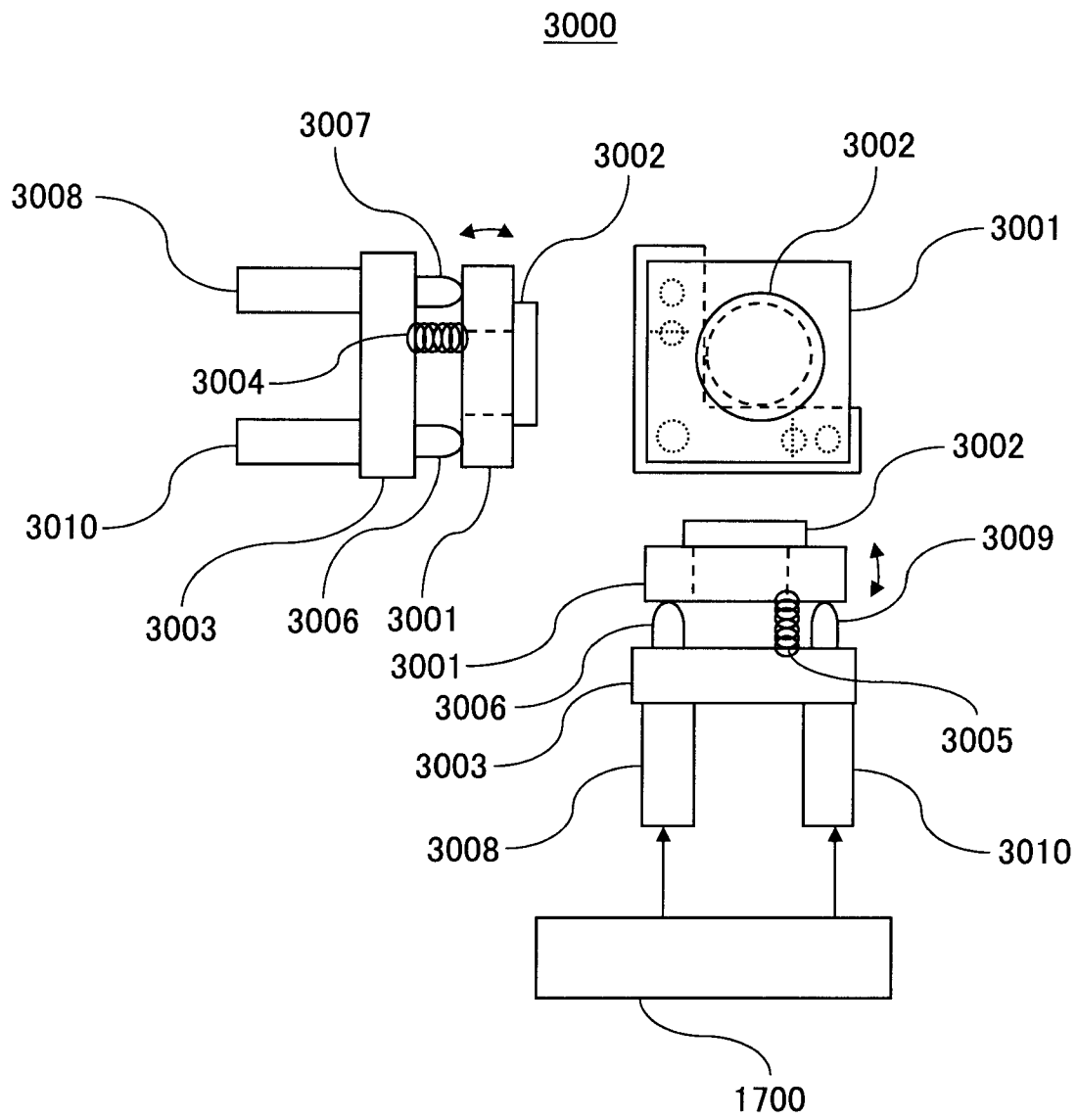
[図19A]



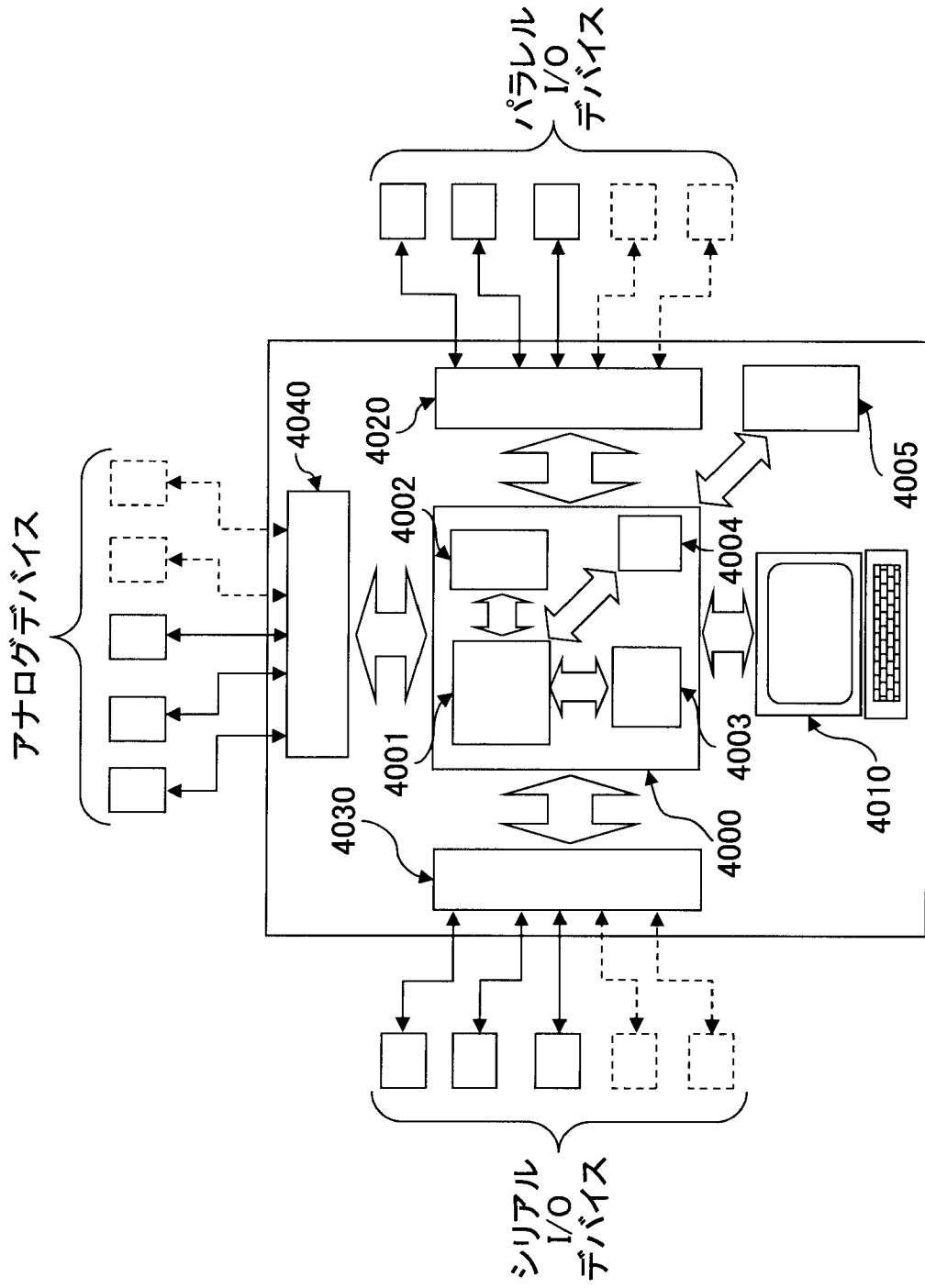
[図19B]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/083658

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/139(2006.01)i, H01S3/225(2006.01)i, H01S3/23(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01S3/10-3/139, H01S3/225, H01S3/23

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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	JP 2008-277617 A (Gigaphoton Inc.), 13 November 2008 (13.11.2008), paragraphs [0010] to [0054]; fig. 1 to 17 (Family: none)	1-5
Y	JP 2008-277618 A (Gigaphoton Inc.), 13 November 2008 (13.11.2008), paragraphs [0024] to [0033]; fig. 5 to 6 (Family: none)	1-4
Y	WO 2004/095661 A1 (Komatsu Ltd. et al.), 04 November 2004 (04.11.2004), description, page 32, line 23 to page 33, line 13; fig. 13 & JP 4657103 B & US 2007/0091968 A1	3

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 02 September, 2014 (02.09.14)	Date of mailing of the international search report 16 September, 2014 (16.09.14)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/083658

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-186046 A (Komatsu Ltd. et al.), 13 July 2006 (13.07.2006), entire text; all drawings (Family: none)	5
A	JP 2001-332793 A (Komatsu Ltd.), 30 November 2001 (30.11.2001), paragraphs [0027] to [0029]; fig. 4 (Family: none)	1-5
A	JP 2012-175006 A (Komatsu Ltd. et al.), 10 September 2012 (10.09.2012), paragraphs [0055] to [0062] (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01S3/139(2006.01)i, H01S3/225(2006.01)i, H01S3/23(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01S3/10-3/139, H01S3/225, H01S3/23		
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 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014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 2008-277617 A（ギガフォトン株式会社）2008.11.13, 段落【0010】－【0054】，図1－17 （ファミリーなし）	1-5
Y	JP 2008-277618 A（ギガフォトン株式会社）2008.11.13, 段落【0024】－【0033】，図5－6 （ファミリーなし）	1-4
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 02.09.2014		国際調査報告の発送日 16.09.2014
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 河原 正 電話番号 03-3581-1101 内線 3294
		2 X 9 0 1 7

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2004/095661 A1 (株式会社小松製作所 他1名) 2004. 11. 04, 明細書 3 2 頁 2 3 行 - 3 3 頁 1 3 行, 図 1 3 & JP 4657103 B & US 2007/0091968 A1	3
Y	JP 2006-186046 A (株式会社小松製作所 他1名) 2006. 07. 13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	5
A	JP 2001-332793 A (株式会社小松製作所) 2001. 11. 30, 段落【0027】 - 【0029】, 図4 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2012-175006 A (株式会社小松製作所 他1名) 2012. 09. 10, 段落【0055】 - 【0062】 (ファミリーなし)	1-5