

(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12月23日(23.12.2015)



(10) 国際公開番号

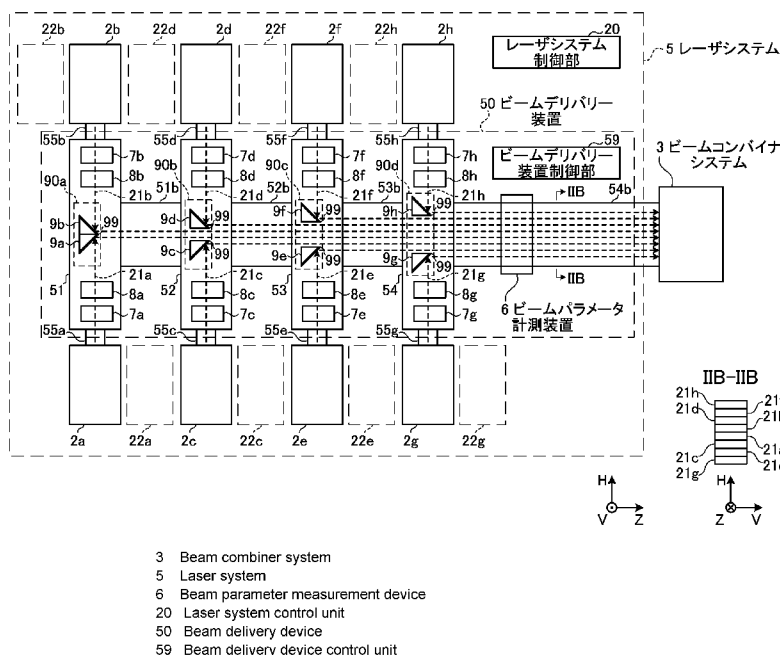
WO 2015/194056 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/23 (2006.01) H01S 3/10 (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/069982
- (22) 国際出願日: 2014年7月29日(29.07.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
PCT/JP2014/066396 2014年6月20日(20.06.2014) JP
PCT/JP2014/068581 2014年7月11日(11.07.2014) JP
- (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: 若林 理(WAKABAYASHI Osamu); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 荒川 正樹(ARAKAWA Masaki); 〒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). 柿崎 弘司(KAKIZAKI Kouji); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).
- (74) 代理人: 保坂 延寿, 外(HOSAKA Nobuhisa et al.); 〒1010025 東京都千代田区神田佐久間町3-2 神田SKビル4階 新井・橋本・保坂国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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).

[続葉有]

(54) Title: LASER SYSTEM

(54) 発明の名称: レーザシステム



(57) Abstract: This laser system may be provided with: a plurality of laser devices; a beam delivery device configured in a manner so as to output pulsed laser light formed into a beam by grouping a plurality of pulsed laser light respectively output from a plurality of laser devices; and a beam parameter measurement device that is disposed at the light path of the pulsed laser light formed into a beam and that measures the beam parameters of each pulsed laser light contained in the plurality of pulsed laser light and the beam parameters of the pulsed laser light formed into a beam.

(57) 要約: このレーザシステムは、複数のレーザ装置と、複数のレーザ装置からそれぞれ出力された複数のパルスレーザ光を束ねて、光束化されたパルスレーザ光を出射するように構成されたビームデリバリー装置と、光束化されたパルスレーザ光の光路に配置され、複数のパルスレーザ光に含まれる個々のパルスレーザ光のビームパラメータと、光束化されたパルスレーザ光のビームパラメータと、を計測するビームパラ

メータ計測装置と、を備えてもよい。

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： レーザシステム

技術分野

[0001] 本開示は、レーザシステムに関する。

背景技術

[0002] レーザアニール装置は、基板上に成膜されたアモルファス（非結晶）シリコン膜にエキシマレーザ等のレーザシステムから出力された紫外線領域の波長を有するパルスレーザ光を照射し、ポリシリコン膜に改質する装置である。アモルファスシリコン膜をポリシリコン膜に改質することにより、TFT（薄膜トランジスタ）を作製することができる。このTFTは、比較的大きな液晶ディスプレイに使用されている。

概要

[0003] 本開示の1つの観点に係るレーザシステムは、複数のレーザ装置と、複数のレーザ装置からそれぞれ出力された複数のパルスレーザ光を束ねて、光束化されたパルスレーザ光を出射するように構成されたビームデリバリー装置と、光束化されたパルスレーザ光の光路に配置され、複数のパルスレーザ光に含まれる個々のパルスレーザ光のビームパラメータと、光束化されたパルスレーザ光のビームパラメータと、を計測するビームパラメータ計測装置と、を備えてもよい。

図面の簡単な説明

[0004] 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、例示的なレーザシステム5を含むレーザアニール装置1の構成を概略的に示す。

[図2]図2は、本開示の第1の実施形態に係るレーザシステムの構成を概略的に示す。

[図3]図3は、本開示の第1の実施形態におけるレーザシステム制御部20と

ビームデリバリー装置制御部 5 9 及びその周辺のブロック図である。

[図4]図 4 は、図 2 に示されるビームパラメータ計測装置 6 の具体的構成を示す。

[図5]図 5 A 及び図 5 B は、第 1 のビームダイバージェンス調節器 7 2 a の構成を概略的に示す。

[図6]図 6 は、第 1 のビームステアリング装置 8 a の構成を概略的に示す。

[図7]図 7 A ～図 7 C は、図 2 に示される第 1 及び第 2 のミラー 9 a 及び 9 b を移動させるためのミラー移動機構 9 0 a を示す。

[図8]図 8 は、図 2 に示されるレーザ装置の構成例を示す。

[図9]図 9 は、図 2 に示されるビームデリバリー装置制御部 5 9 の動作を示すフローチャートである。

[図10]図 1 0 は、図 9 に示される第 N のパルスレーザ光のビームダイバージェンスを計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図11]図 1 1 は、図 1 0 に示されるビームダイバージェンスを計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図12]図 1 2 は、第 N のパルスレーザ光の集光位置における光強度分布のデータと、集光位置におけるスポット径との関係を示す。

[図13]図 1 3 は、図 9 に示される第 N のパルスレーザ光のビームポインティングを計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図14]図 1 4 は、図 1 3 に示されるビームポインティングを計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図15]図 1 5 は、第 N のパルスレーザ光の集光位置における光強度分布のデータと、集光位置におけるスポット中心との関係を示す。

[図16]図 1 6 は、図 9 に示される第 N のパルスレーザ光のビーム位置を計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図17]図 1 7 は、図 1 6 に示されるビーム位置を計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図18]図 1 8 は、第 N のパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータ

と、ビーム位置との関係を示す。

[図19]図19は、図9に示される光束化されたレーザ光のビームパラメータを計測する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図20]図20は、図19に示される第1～第Nmaxのパルスレーザ光のビーム位置を計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図21]図21は、第1～第Nmaxのパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータと、第1～第Nmaxのパルスレーザ光のビーム位置との関係を示す。

[図22]図22は、本開示の第2の実施形態におけるビームデリバリー装置制御部59の動作を示すフローチャートである。

[図23]図23は、図22に示される第Nのパルスレーザ光のビームサイズを計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図24]図24は、図23に示されるビームサイズを計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図25]図25は、第Nのパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータと、ビームサイズとの関係を示す。

[図26]図26は、図22に示される光束化されたレーザ光のビームパラメータを計測する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図27]図27は、図26に示される第1～第Nmaxのパルスレーザ光のビームサイズを計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図28]図28は、第1～第Nmaxのパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータと、第1～第Nmaxのパルスレーザ光のビームサイズとの関係を示す。

[図29]図29は、本開示の第3の実施形態におけるレーザシステム制御部20とビームデリバリー装置制御部59及びその周辺のブロック図である。

[図30]図30は、光路長調節器の構成を概略的に示す。

[図31]図31は、図29に示されるレーザ装置の構成例を示す。

[図32]図32は、本開示の第3の実施形態におけるビームデリバリー装置制御部59の動作を示すフローチャートである。

[図33]図33は、図32に示される光束化されたレーザ光のビームパラメータを計測する処理の詳細を示すフローチャートである。

[図34]図34A及び図34Bは、本開示の第4の実施形態において用いられるマスターオシレータの構成例を示す。

[図35]図35は、本開示の第5の実施形態において用いられるレーザ装置の構成例を示す。

[図36]図36は、本開示の第6の実施形態におけるレーザシステムのブロック図である。

[図37]図37は、上記各実施形態において用いることのできるビームコンバイナの例を示す。

[図38]図38は、上記各実施形態において用いることのできる露光装置の例を示す。

[図39]図39は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

実施形態

[0005] <内容>

1. 概要

2. レーザアニール装置の構成

2. 1 ビームコンバイナシステム

2. 2 露光装置

2. 3 複数のレーザ装置

2. 4 ビームデリバリー装置

2. 5 レーザシステム制御部とビームデリバリー装置制御部

2. 6 ビームパラメータ計測装置

2. 7 ビームダイバージェンス調節器

2. 8 ビームステアリング装置

- 2. 9 ミラー移動機構
- 2. 10 レーザ装置
- 3. 制御動作
 - 3. 1 メインフロー
 - 3. 2 ビームダイバージェンスの計測及び制御
 - 3. 3 ビームポインティングの計測及び制御
 - 3. 4 ビーム位置の計測及び制御
 - 3. 5 光束化されたレーザ光の計測
- 4. 第2の実施形態
 - 4. 1 メインフロー
 - 4. 2 ビームサイズの計測及び制御
 - 4. 3 光束化されたレーザ光の計測
- 5. 第3の実施形態
 - 5. 1 レーザシステム制御部とビームデリバリー装置制御部
 - 5. 2 光路長調節器
 - 5. 3 レーザ装置
 - 5. 4 メインフロー
 - 5. 5 光束化されたレーザ光の計測
- 6. 第4の実施形態
- 7. 第5の実施形態
- 8. 第6の実施形態
- 9. フライアイレンズを含むビームコンバイナ
- 10. ラインフォーカス光学系を含む露光装置
- 11. 制御部の構成

[0006] 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。

[0007] 1. 概要

レーザアニール装置は、ガラス基板上のアモルファスシリコン膜にパルスレーザ光を所定のエネルギー密度で照射することによって、レーザアニールを行ってもよい。近年のようにますます大きな液晶ディスプレイが製造されるようになると、所定のエネルギー密度での照射面積を広げるために、パルスレーザ光の1つのパルスあたりのエネルギーを増加させることが求められ得る。1つのパルスあたりのエネルギーを増加させるために、複数台のレーザ装置からそれぞれ出力されたパルスレーザ光を結合してもよい。結合されたパルスレーザ光を、アモルファスシリコン膜に照射してもよい。

[0008] しかしながら、複数台のレーザ装置からそれぞれ出力されたパルスレーザ光を結合する場合、複数台のレーザ装置のうちの1つのレーザ装置から出力されたパルスレーザ光のビームパラメータが、許容範囲を超えることがあり得る。1つのレーザ装置から出力されたパルスレーザ光のビームパラメータが許容範囲を超えると、アニールの品質が悪化し得る。

[0009] 本開示の1つの観点によれば、複数のレーザ装置からそれぞれ出力された複数のパルスレーザ光を結合して、結合されたパルスレーザ光の光路に、ビームパラメータ計測装置を配置してもよい。このビーム計測装置は、個々のパルスレーザ光のビームパラメータと、結合されたパルスレーザ光のビームパラメータと、の両方を計測できてもよい。

[0010] 2. レーザアニール装置の構成

図1は、例示的なレーザシステム5を含むレーザアニール装置1の構成を概略的に示す。レーザアニール装置1は、レーザシステム5と、ビームコンバイナシステム3と、露光装置4とを備えてもよい。

レーザシステム5は、後述される複数のレーザ装置からそれぞれ出力された複数のパルスレーザ光を束ねて、第1～第6のパルスレーザ光21a～21fとして出力してもよい。第1～第6のパルスレーザ光21a～21fは

、互いに略平行な光路軸を有してもよい。パルスレーザ光の「光路軸」は、パルスレーザ光の光路の中心軸を意味し得る。

[0011] 2. 1 ビームコンバイナシステム

ビームコンバイナシステム3は、入射光学系33と、ビームコンバイナ34と、を備えてもよい。

入射光学系33は、二次光源光学系31と、コンデンサ光学系32とを含み、ケーラー照明を構成するように設計されてもよい。

二次光源光学系31は、第1～第6凹レンズ31a～31fを含んでもよい。

[0012] 第1凹レンズ31aは、第1のパルスレーザ光21aの光路であって、レーザシステム5と、コンデンサ光学系32との間に配置されてもよい。第1凹レンズ31aは、第1のパルスレーザ光21aをコンデンサ光学系32に向けて透過させるときに、第1のパルスレーザ光21aのビーム幅を拡大させてもよい。

[0013] 第1～第6凹レンズ31a～31fは、互いに実質的に同一の構成を有していてもよい。

第2凹レンズ31bは、第2のパルスレーザ光21bの光路に配置されてもよい。

第3凹レンズ31cは、第3のパルスレーザ光21cの光路に配置されてもよい。

第4凹レンズ31dは、第4のパルスレーザ光21dの光路に配置されてもよい。

第5凹レンズ31eは、第5のパルスレーザ光21eの光路に配置されてもよい。

第6凹レンズ31fは、第6のパルスレーザ光21fの光路に配置されてもよい。

[0014] 第1～第6凹レンズ31a～31fにそれぞれ入射する第1～第6のパルスレーザ光21a～21fは、いずれも略同じ大きさであって、略同じビー

ムダイバージェンスを有するレーザ光であってもよい。

第1～第6凹レンズ31a～31fをそれぞれ透過した第1～第6のパルスレーザ光21a～21fの光路軸は、互いにほぼ平行であってもよい。

[0015] コンデンサ光学系32は、以下に説明するように、第1～第6のパルスレーザ光21a～21fが、ビームコンバイナ34の入射面において略同じ領域に入射し、かつ、それぞれ所定の入射角度で入射するように、配置されてもよい。

コンデンサ光学系32は、第1～第6のパルスレーザ光21a～21fの光路にまたがる領域であって、二次光源光学系31とビームコンバイナ34との間の位置に配置されてもよい。コンデンサ光学系32は、第1～第6のパルスレーザ光21a～21fを、ビームコンバイナ34に向けて透過させ得る。このとき、コンデンサ光学系32は、第1～第6のパルスレーザ光21a～21fの光路軸の方向を、予め定められたそれぞれの所定方向に変化させ得る。

[0016] コンデンサ光学系32は、当該コンデンサ光学系32の前側焦点面の位置が、第1～第6凹レンズ31a～31fのそれぞれの焦点の位置とほぼ一致するように、配置されてもよい。従って、コンデンサ光学系32は、第1～第6凹レンズ31a～31fをそれぞれ透過した第1～第6のパルスレーザ光21a～21fを、それぞれほぼ平行光となるように、コリメートし得る。

[0017] コンデンサ光学系32は、当該コンデンサ光学系32の後側焦点面の位置がビームコンバイナ34の入射側の面の位置とほぼ一致するように配置されてもよい。従って、コンデンサ光学系32は、第1～第6のパルスレーザ光21a～21fを、ビームコンバイナ34の互いにほぼ同じ領域に、所定の入射角度で入射させ得る。

[0018] 図1において、コンデンサ光学系32は1つの凸レンズを含むものとして図示したが、図示しない他の凸レンズ又は凹レンズとの組み合わせや、凹面ミラー等を含んでもよい。

[0019] ビームコンバイナ34は、回折光学素子（Diffractive Optical Element : DOE）を含んでもよい。この回折光学素子は、例えば合成石英やフッ化カルシウム基板等の紫外線を透過させる基板上に、所定形状の溝が所定間隔で形成されたものでもよい。

[0020] コンデンサ光学系32によってそれぞれの所定方向に光路軸を変化させられた第1～第6のパルスレーザ光21a～21fが、ビームコンバイナ34に入射し得る。ビームコンバイナ34に入射した第1～第6のパルスレーザ光21a～21fは、互いにほぼ同一の方向にビームコンバイナ34から出射し得る。すなわち、上述したそれぞれの所定方向は、ビームコンバイナ34によって第1～第6のパルスレーザ光21a～21fが結合されるような方向であってもよい。このようなビームコンバイナ34として、例えば、米国特許出願公開第2009/0285076号明細書に開示された回折光学素子が用いられてもよい。

[0021] ビームコンバイナ34から出射した第1～第6のパルスレーザ光21a～21fは、ほぼ同一の光路を通過して露光装置4に入射してもよい。

[0022] このようにして、第1～第6のパルスレーザ光21a～21fがビームコンバイナシステム3によって結合されてもよい。以下の説明において、複数のパルスレーザ光が結合されたパルスレーザ光を、結合されたレーザ光と称することがある。結合されたレーザ光は、第1～第6のパルスレーザ光21a～21fを含んでもよい。結合されたレーザ光は、1台のレーザ装置から出力されたパルスレーザ光に対して約6倍のパルスエネルギーを有してもよい。また、パルスレーザ光を「結合」するとは、第1のパルスレーザ光と第2のパルスレーザ光との光路を重ね合わせることを含んでもよい。

[0023] 2. 2 露光装置

露光装置4は、高反射ミラー41と、照明光学系42と、マスク43と、転写光学系44とを備えてもよい。露光装置4は、ビームコンバイナシステム3から出射された結合されたレーザ光を所定のマスクパターンに成形し、被照射物Pに照射してもよい。

- [0024] 高反射ミラー４１は、レーザシステム５から出射されたパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。高反射ミラー４１は、ビームコンバイナシステム３から出射された結合されたレーザ光を反射して照明光学系４２に入射させてもよい。照明光学系４２に入射する結合されたレーザ光は、ほぼ平行光であってもよい。
- [0025] 照明光学系４２は、ビームコンバイナシステム３から出射された結合されたレーザ光の光路であって、高反射ミラー４１とマスク４３との間に配置されてもよい。照明光学系４２は、フライアイレンズ４２１と、コンデンサ光学系４２２とを含み、ケーラー照明を構成するように設計されてもよい。
- [0026] フライアイレンズ４２１は、ビームコンバイナシステム３から出射された結合されたレーザ光の光路であって、高反射ミラー４１とコンデンサ光学系４２２との間に配置されてもよい。フライアイレンズ４２１は、結合されたレーザ光の断面に沿って配列された複数のレンズを含んでもよい。当該複数のレンズのそれぞれは、結合されたレーザ光の各一部をコンデンサ光学系４２２に向けて透過させるときに、当該各一部のビーム幅を拡大させてもよい。
- [0027] コンデンサ光学系４２２は、ビームコンバイナシステム３から出射された結合されたレーザ光の光路であって、フライアイレンズ４２１とマスク４３との間に配置されてもよい。コンデンサ光学系４２２は、フライアイレンズ４２１から出射された結合されたレーザ光をマスク４３に向けて照明してもよい。
- [0028] コンデンサ光学系４２２は、当該コンデンサ光学系４２２の後側焦点面の位置がマスク４３の位置とほぼ一致するように配置されてもよい。従って、コンデンサ光学系４２２は、フライアイレンズ４２１に含まれる複数のレンズのそれぞれを透過した結合されたレーザ光を、マスク４３の互いにほぼ同じ領域に入射させ得る。
- [0029] 図１において、コンデンサ光学系４２２は１つの凸レンズを含むものとして図示したが、図示しない他の凸レンズ又は凹レンズとの組み合わせや、凹

面ミラー等を含んでもよい。

以上の構成により、照明光学系 4 2 は、マスク 4 3 に照射される結合されたレーザ光のビーム断面における光強度分布のばらつきを低減してもよい。

[0030] マスク 4 3 は、長方形形状の開口が形成されたスリットであってもよい。当該スリットの開口形状は、マスク 4 3 のマスクパターンを構成し得る。マスク 4 3 のマスクパターンは、長方形形状に限定されず、所望形状のパターンであってもよい。

[0031] 転写光学系 4 4 は、ビームコンバイナシステム 3 から出射された結合されたレーザ光の光路であって、マスク 4 3 と被照射物 P との間に配置されてもよい。転写光学系 4 4 は、当該転写光学系 4 4 によって結像されるマスク 4 3 の像の位置が被照射物 P の被照射位置とほぼ一致するように配置されてもよい。これにより、転写光学系 4 4 は、結合されたレーザ光が照射されたマスク 4 3 のマスクパターンを被照射物 P に転写してもよい。

[0032] 転写光学系 4 4 は、1 つ又は複数の凸レンズを含んでもよい。転写光学系 4 4 は、1 つ又は複数の凸レンズに限定されず、例えば凸レンズと凹レンズの組み合わせや、凹面ミラー等を含んでもよい。転写光学系 4 4 は、長方形形状のマスクパターンの短手方向だけを被照射物 P に転写するシリンドリカルレンズによって構成されてもよい。

[0033] 以上のように、レーザシステム 5 は、ビームコンバイナシステム 3 を介して、1 台のレーザ装置から出力されたパルスレーザ光よりもパルスエネルギーの高い結合されたレーザ光を出力し得る。その結果、レーザアニール装置 1 は、大面積の被照射物 P に広い照射面積でアニールに必要な所定のパルスエネルギー密度で照射し得る。そして、大面積の液晶ディスプレイの効率的な製造が可能となり得る。

[0034] 上述の説明においては、レーザシステム 5 から出力された互いに略平行な複数のパルスレーザ光 2 1 a ~ 2 1 f を、ビームコンバイナシステム 3 によって結合させてから、露光装置 4 の照明光学系 4 2 に入射させたが、本開示はこれに限定されない。ビームコンバイナシステム 3 を設けずに、レーザシ

ステム5から出力された互いに略平行な複数のパルスレーザ光21a～21fを、そのまま露光装置4の照明光学系42に入射させてもよい。

[0035] 2. 3 複数のレーザ装置

図2は、本開示の第1の実施形態に係るレーザシステムの構成を概略的に示す。レーザシステム5は、複数のレーザ装置2a～2hと、ビームデリバリー装置50と、レーザシステム制御部20とを含んでもよい。以下の説明において、パルスレーザ光の出射方向をZ方向としてもよい。Z方向と垂直で且つ重力と平行な方向をV方向としてもよい。Z方向と垂直で且つV方向と垂直な水平方向をH方向としてもよい。

[0036] 複数のレーザ装置2a～2hは、第1のレーザ装置2aと、第2のレーザ装置2bと、第3のレーザ装置2cと、第4のレーザ装置2dと、第5のレーザ装置2eと、第6のレーザ装置2fと、第7のレーザ装置2gと、第8のレーザ装置2hと、を含んでもよい。図2においては8台のレーザ装置2a～2hを図示しているが、レーザ装置の台数は特に限定されず、2以上の任意の台数であってもよい。

[0037] 第1～第8のレーザ装置2a～2hのそれぞれは、例えば、XeF、XeCl、KrF、又はArFをレーザ媒質とするエキシマレーザ装置であってもよい。第1～第8のレーザ装置2a～2hのそれぞれは、互いに実質的に同一の構成を有してもよい。第1～第8のレーザ装置2a～2hは、レーザシステム制御部20からそれぞれ発振トリガ信号を受信して、それぞれ第1～第8のパルスレーザ光21a～21hを出力してもよい。第1～第8のパルスレーザ光21a～21hは、紫外線の波長領域を有してもよい。

[0038] 第1のレーザ装置2aは、ビームデリバリー装置50に向かって、第1の方向に第1のパルスレーザ光21aを出力するように配置されてもよい。第1の方向は、図2におけるH方向に相当してもよい。

第3、第5及び第7のレーザ装置2c、2e及び2gは、ビームデリバリー装置50に向かって、第1の方向と略平行に、それぞれ第3、第5及び第7のパルスレーザ光21c、21e及び21gを出力するように配置されて

もよい。第1、第3、第5及び第7のレーザ装置2 a、2 c、2 e及び2 gは、互いに略同じ方向に並んで配置されていてもよい。

[0039] 第2のレーザ装置2 bは、ビームデリバリー装置5 0に向かって、第1の方向と異なる第2の方向に第2のパルスレーザ光2 1 bを出力するように配置されてもよい。第2の方向は、図2における－H方向に相当してもよい。

第4、第6及び第8のレーザ装置2 d、2 f及び2 hは、ビームデリバリー装置5 0に向かって、第2の方向と略平行に、それぞれ第4、第6及び第8のパルスレーザ光2 1 d、2 1 f及び2 1 hを出力するように配置されてもよい。第2、第4、第6及び第8のレーザ装置2 b、2 d、2 f及び2 hは、互いに略同じ方向に並んで配置されていてもよい。

[0040] 2. 4 ビームデリバリー装置

ビームデリバリー装置5 0は、複数のビーム調節装置7 a～7 hと、複数のビームステアリング装置8 a～8 hと、複数のミラー9 a～9 hと、ビームパラメータ計測装置6と、ビームデリバリー装置制御部5 9とを含んでもよい。

複数のビーム調節装置7 a～7 hは、複数のレーザ装置2 a～2 hの台数に対応する数だけ設けられてもよい。複数のビームステアリング装置8 a～8 hは、複数のレーザ装置2 a～2 hの台数に対応する数だけ設けられてもよい。複数のミラー9 a～9 hは、複数のレーザ装置2 a～2 hの台数に対応する数だけ設けられてもよい。

[0041] 第1～第8のビーム調節装置7 a～7 hは、それぞれ、第1～第8のパルスレーザ光2 1 a～2 1 hの光路に配置されてもよい。第1～第8のビームステアリング装置8 a～8 hは、それぞれ、第1～第8のビーム調節装置7 a～7 hを通過した第1～第8のパルスレーザ光2 1 a～2 1 hの光路に配置されてもよい。第1～第8のミラー9 a～9 hは、それぞれ、第1～第8のビームステアリング装置8 a～8 hを通過した第1～第8のパルスレーザ光2 1 a～2 1 hの光路に配置されてもよい。

[0042] 第1～第8のビーム調節装置7 a～7 hは、それぞれ、第1～第8のパル

スレーザ光 2 1 a ~ 2 1 h のビームダイバージェンスを調節してもよい。第 1 ~ 第 8 のビーム調節装置 7 a ~ 7 h は、それぞれ、第 1 ~ 第 8 のビームダイバージェンス調節器 7 2 a ~ 7 2 h（後述）を含んでもよい。

[0043] 第 1 ~ 第 8 のビームステアリング装置 8 a ~ 8 h は、それぞれ、第 1 ~ 第 8 のパルスレーザ光 2 1 a ~ 2 1 h の光路軸を調節してもよい。第 1 ~ 第 8 のビームステアリング装置 8 a ~ 8 h は、パルスレーザ光のビームポインティングとパルスレーザ光のビーム位置とを制御し得る。

[0044] 第 1 ~ 第 8 のミラー 9 a ~ 9 h の各々は、略直角二等辺三角形形状の底面を有する角柱の一側面に高反射膜をコーティングされたプリズムミラーであってもよい。第 1 ~ 第 8 のミラー 9 a ~ 9 h の各々は、ビームコンバイナシステム 3 に最も近い辺がナイフエッジ 9 9 となるように加工されていてもよい。ナイフエッジ 9 9 は、その断面形状が 4 5 度以下の角度を有してもよい。第 1 ~ 第 8 のミラー 9 a ~ 9 h の各々は、プリズムミラーに限定されず、1 つの辺がナイフエッジ 9 9 となるように加工された基板に高反射膜をコーティングされたものであってもよい（図 7 A ~ 図 7 C 参照）。

[0045] 第 1、第 3、第 5 及び第 7 のミラー 9 a、9 c、9 e 及び 9 g は、上記高反射膜をコーティングされた反射面が互いに略平行であってもよい。第 2、第 4、第 6 及び第 8 のミラー 9 b、9 d、9 f 及び 9 h は、上記高反射膜をコーティングされた反射面が互いに略平行であってもよい。

[0046] 第 1 ~ 第 8 のパルスレーザ光 2 1 a ~ 2 1 h は、それぞれ、第 1 ~ 第 8 のミラー 9 a ~ 9 h の反射面であってナイフエッジ 9 9 の近傍の位置に入射してもよい。第 1 ~ 第 8 のパルスレーザ光 2 1 a ~ 2 1 h は、それぞれ、第 1 ~ 第 8 のミラー 9 a ~ 9 h によってビームデリバリー方向に反射されてもよい。ビームデリバリー方向は、図 2 における Z 方向に相当してもよい。第 1 ~ 第 8 のミラー 9 a ~ 9 h によって反射された第 1 ~ 第 8 のパルスレーザ光 2 1 a ~ 2 1 h の光路軸は、互いに略平行であってもよい。

[0047] 第 1 及び第 2 のミラー 9 a 及び 9 b は、互いに近接して配置されてもよい。第 1 及び第 2 のミラー 9 a 及び 9 b のそれぞれのナイフエッジ 9 9 は、互

いに接していてもよい。

[0048] 第3及び第4のミラー9 c及び9 dは、第1の所定の間隔をあけて配置されてもよい。第1及び第2のミラー9 a及び9 bによってそれぞれ反射された第1及び第2のパルスレーザ光2 1 a及び2 1 bは、第3及び第4のミラー9 c及び9 dの間を通過してもよい。

[0049] 第5及び第6のミラー9 e及び9 fは、第2の所定の間隔をあけて配置されてもよい。第1～第4のミラー9 a～9 dによってそれぞれ反射された第1～第4のパルスレーザ光2 1 a～2 1 dは、第5及び第6のミラー9 e及び9 fの間を通過してもよい。

[0050] 第7及び第8のミラー9 g及び9 hは、第3の所定の間隔をあけて配置されてもよい。第1～第6のミラー9 a～9 fによってそれぞれ反射された第1～第6のパルスレーザ光2 1 a～2 1 fは、第7及び第8のミラー9 g及び9 hの間を通過してもよい。

[0051] 以上のようにして、ビームデリバリー装置5 0は、第1～第8のパルスレーザ光2 1 a～2 1 hを束ねてもよい。以下の説明において、ビームデリバリー装置5 0によって束ねられた複数のパルスレーザ光を「光束化されたレーザ光」と称することがある。パルスレーザ光を「束ねる」とは、第1の方向に入射する第1のパルスレーザ光と、第2の方向に入射する第2のパルスレーザ光とを、第3の方向に向けて出射することを含むものとしてもよい。第1の方向と第2の方向は、略同じ方向でもよいし、異なる方向でもよい。第3の方向は、第1及び第2の方向のいずれとも異なる方向でもよい。第3の方向に向けて出射される第1及び第2のパルスレーザ光は、光路が近接していてもよい。例えば、第3の方向は第1の方向及び第2の方向の両方に対して直交する方向であってもよい。

[0052] ビームパラメータ計測装置6は、光束化されたレーザ光の光路に配置されていてもよい。ビームパラメータ計測装置6は、光束化されたレーザ光のビームプロファイルを計測したり、光束化されたレーザ光に含まれる個々のパルスレーザ光のビームプロファイルを計測したりしてもよい。

[0053] 図2の右下に、 $11B-11B$ 線における第1～第8のパルスレーザ光21a～21hのビーム断面を示す。第1～第8のパルスレーザ光21a～21hの断面形状は、互いにほぼ同一であってもよい。第1～第8のミラー9a～9hによってそれぞれ反射された第1～第8のパルスレーザ光21a～21hのそれぞれの光路軸は、 HZ 面に平行な1つの面内にほぼ位置していてもよい。第1及び第2のパルスレーザ光21a及び21bは、第3及び第4のパルスレーザ光21c及び21dの間に位置してもよい。第3及び第4のパルスレーザ光21c及び21dは、第5及び第6のパルスレーザ光21e及び21fの間に位置してもよい。第5及び第6のパルスレーザ光21e及び21fは、第7及び第8のパルスレーザ光21g及び21hの間に位置してもよい。第1～第8のパルスレーザ光21a～21hのうち隣り合うパルスレーザ光同士は、互いに近接していてもよい。

[0054] 第1及び第2のミラー9a及び9bは、第1のミラー移動機構90a（後述）によって移動可能であってもよい。第3及び第4のミラー9c及び9dは、第2のミラー移動機構90b（後述）によって移動可能であってもよい。第5及び第6のミラー9e及び9fは、第3のミラー移動機構90c（後述）によって移動可能であってもよい。第7及び第8のミラー9g及び9hは、第4のミラー移動機構90d（後述）によって移動可能であってもよい。例えば、第9及び第10のレーザ装置（図示せず）を増設して、第9及び第10のパルスレーザ光（図示せず）が第1及び第2のミラー9a及び9bの間を通るようにする場合に、第1～第8のミラー9a～9hが移動されてもよい。

[0055] 第1～第8のレーザ装置2a～2hは、それぞれ、パルスレーザ光の出力方向に向かって右側に、メンテナンス領域22a～22hを必要とし得る。メンテナンス領域22a～22hは、各々のレーザ装置に含まれる各種部品を取り出したり、交換したりするための作業スペースであり得る。

[0056] 第1～第4ユニット51～54は、それぞれの筐体に収容されてもよい。第1のレーザ装置2a及び第2のレーザ装置2bと第1ユニット51との間

は、それぞれ光路管 5 5 a 及び 5 5 b によって連結されてもよい。第 3 のレーザ装置 2 c 及び第 4 のレーザ装置 2 d と第 2 ユニット 5 2 との間は、それぞれ光路管 5 5 c 及び 5 5 d によって連結されてもよい。第 5 のレーザ装置 2 e 及び第 6 のレーザ装置 2 f と第 3 ユニット 5 3 との間は、それぞれ光路管 5 5 e 及び 5 5 f によって連結されてもよい。第 7 のレーザ装置 2 g 及び第 8 のレーザ装置 2 h と第 4 ユニット 5 4 との間は、それぞれ光路管 5 5 g 及び 5 5 h によって連結されてもよい。第 1 ユニット 5 1 と第 2 ユニット 5 2 との間、第 2 ユニット 5 2 と第 3 ユニット 5 3 との間、第 3 ユニット 5 3 と第 4 ユニット 5 4 との間、第 4 ユニット 5 4 とビームコンバイナシステム 3 との間は、それぞれ光路管 5 1 b、5 2 b、5 3 b、5 4 b によって連結されてもよい。それぞれの光路管の内部には、不活性ガスがパージされていてもよい。例えば、不活性ガスは、高純度の窒素ガスやヘリウム、アルゴンガス等であってもよい。

[0057] 2. 5 レーザシステム制御部とビームデリバリー装置制御部

図 3 は、本開示の第 1 の実施形態におけるレーザシステム制御部 2 0 とビームデリバリー装置制御部 5 9 及びその周辺のブロック図である。

[0058] 露光装置 4 に含まれる露光装置制御部 4 0 は、被照射物 P を保持するための図示しないステージの移動、被照射物 P やマスク 4 3 の交換などの制御を行ってもよい。露光装置制御部 4 0 は、レーザシステム制御部 2 0 に対し、トリガ信号を出力してもよい。

[0059] レーザシステム制御部 2 0 は、露光装置 4 に含まれる露光装置制御部 4 0 からトリガ信号を受信して、複数のレーザ装置 2 a ~ 2 h にそれぞれ発振トリガ信号を送信してもよい。複数のレーザ装置 2 a ~ 2 h は、レーザシステム制御部 2 0 から受信したそれぞれの発振トリガ信号に基づいて、パルスレーザ光を出力してもよい。

[0060] ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、レーザシステム制御部 2 0 を介して受信するビームパラメータの目標値等のデータに従って、第 1 ~ 第 8 のビームステアリング装置 8 a ~ 8 h と、第 1 ~ 第 8 のビームダイバージェンス調

節器 7 2 a ~ 7 2 h と、第 1 ~ 第 4 のミラー移動機構 9 0 a ~ 9 0 d とを制御してもよい。

[0061] 2. 6 ビームパラメータ計測装置

図 4 は、図 2 に示されるビームパラメータ計測装置 6 の具体的構成を示す。

ビームパラメータ計測装置 6 は、ビームスプリッタ 6 1 及び 6 2 と、集光光学系 6 3 と、イメージセンサ 6 4 と、転写光学系 6 5 と、イメージセンサ 6 6 と、ビーム選択機構 6 7 と、を含んでもよい。

図 4 においては、光束化されたレーザ光が第 1 ~ 第 6 のパルスレーザ光 2 1 a ~ 2 1 f を含む場合を示したが、第 1 ~ 第 8 のパルスレーザ光 2 1 a ~ 2 1 h、あるいはそれ以外の数の複数のパルスレーザ光を含んでもよい。

[0062] ビームスプリッタ 6 1 は、ビームデリバリー装置 5 0 の出力位置に設けられてもよい。ビームスプリッタ 6 1 は、ビームデリバリー装置 5 0 によって束ねられた光束化されたレーザ光を高い透過率で第 1 方向に透過させるとともに、光束化されたレーザ光の一部を第 2 方向に向けて反射してもよい。

[0063] ビーム選択機構 6 7 は、スリット板 6 8 と、移動機構 6 9 とを含んでもよい。ビーム選択機構 6 7 は、ビームスプリッタ 6 1 によって第 2 方向に向けて反射された光束化されたレーザ光の光路に位置してもよい。移動機構 6 9 は、光束化されたレーザ光の光路軸をスリット板 6 8 が横切るように、スリット板 6 8 を移動させてもよい。スリット板 6 8 には、光束化されたレーザ光に含まれる複数のパルスレーザ光のうちの 1 つのパルスレーザ光のみを通過させることのできる幅を有する隙間が形成されていてもよい。移動機構 6 9 を制御して、スリット板 6 8 の位置を調整することにより、光束化されたレーザ光に含まれる複数のパルスレーザ光のすべて又は 1 つのパルスレーザ光を選択して、ビーム選択機構 6 7 を通過させ得る。

[0064] ビームスプリッタ 6 2 は、ビーム選択機構 6 7 を第 2 方向に向けて通過した光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光の光路に位置してもよい。ビームスプリッタ 6 2 は、光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ

光の一部を転写光学系 6 5 に向けて透過させるとともに、他の一部を集光光学系 6 3 に向けて反射してもよい。

[0065] 転写光学系 6 5 は、ビームスプリッタ 6 2 を透過した光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光のビーム断面におけるビームプロファイルを、イメージセンサ 6 6 の受光面に転写してもよい。

イメージセンサ 6 6 は、転写光学系 6 5 によって転写された光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光のビーム断面における光強度分布のデータを、ビームデリバリー装置制御部 5 9 に出力してもよい。

[0066] ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、イメージセンサ 6 6 から出力されたビーム断面の光強度分布のデータに基づいて、光強度分布の中心の位置を、光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光のビーム位置として算出してもよい。

ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、イメージセンサ 6 6 から出力されたビーム断面の光強度分布のデータに基づいて、光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光のビームサイズを算出してもよい。エキシマレーザの場合のビームサイズは、H 方向と V 方向で異なるため、H 方向と V 方向の強度分布からそれぞれの幅を計算してもよい。

[0067] 集光光学系 6 3 は、ビームスプリッタ 6 2 によって反射された光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光を、イメージセンサ 6 4 の受光面に集光し得る。

イメージセンサ 6 4 は、集光光学系 6 3 の焦点面の位置に配置されてもよい。イメージセンサ 6 4 は、集光光学系 6 3 によって集光された、光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光を受光してもよい。イメージセンサ 6 4 は、光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光の集光位置における光強度分布のデータをビームデリバリー装置制御部 5 9 に出力してもよい。

[0068] ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、イメージセンサ 6 4 から出力された集光位置における光強度分布のデータに基づいて、光強度分布の中心の位置

を、光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光のスポット中心として算出してもよい。この中心の位置を集光光学系63の焦点距離で除算することにより、光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光のビームポインティングすなわちレーザ光の進行方向を算出してもよい。

ビームデリバリー装置制御部59は、イメージセンサ64から出力された集光位置における光強度分布のデータに基づいて、スポット径を算出してもよい。このスポット径を集光光学系63の焦点距離で除算することにより、光束化されたレーザ光又は個々のパルスレーザ光のビームダイバージェンスを算出してもよい。エキシマレーザの場合のビームダイバージェンスは、H方向とV方向で異なるため、H方向とV方向の強度分布からそれぞれの幅を計算してもよい。

[0069] 以上の構成によれば、光束化されたレーザ光のビーム位置と、個々のパルスレーザ光のビーム位置と、を算出するために、同じ転写光学系65を介して、同じイメージセンサ66で受光したデータを用いることができる。ビームサイズに関しても同様である。このように、同じ転写光学系65を介して、同じイメージセンサ66で受光したデータを用いることによって、それぞれのレーザ光のビームの位置やビームサイズの計測精度が向上し得る。

また、光束化されたレーザ光のビームポインティングと、個々のパルスレーザ光のビームポインティングと、を算出するために、同じ集光光学系63を介して、同じイメージセンサ64で受光したデータを用いることができる。ビームダイバージェンスに関しても同様である。このように、同じ集光光学系63を介して、同じイメージセンサ64で受光したデータを用いることによって、それぞれのレーザ光のビームポインティングやビームダイバージェンスの計測精度が向上し得る。

[0070] 2. 7 ビームダイバージェンス調節器

図2に示される第1～第8のビーム調節装置7a～7eは、それぞれ、第1～第8のビームダイバージェンス調節器72a～72h（図3参照）を含んでもよい。第1～第8のビームダイバージェンス調節器72a～72hは

、それぞれ、ビームデリバリー装置制御部 59 による制御に従って、第 1 ～ 第 8 のパルスレーザ光 21 a ～ 21 h のビームダイバージェンスを変更してもよい。

[0071] 図 5 A 及び図 5 B に、第 1 のビームダイバージェンス調節器 72 a の構成を概略的に示す。図 5 A は平面図であり、図 5 B は側面図である。第 1 のビームダイバージェンス調節器 72 a は、第 1 シリンドリカル凹レンズ 72 1 と、第 1 シリンドリカル凸レンズ 72 2 と、第 2 シリンドリカル凹レンズ 72 3 と、第 2 シリンドリカル凸レンズ 72 4 と、を含んでもよい。第 2 ～ 第 8 のビームダイバージェンス調節器 72 b ～ 72 h も同様でよい。

[0072] 第 1 シリンドリカル凹レンズ 72 1 は、ホルダー 72 1 a によってプレート 72 7 に保持されてもよい。第 1 シリンドリカル凸レンズ 72 2 は、ホルダー 72 2 a によって 1 軸ステージ 72 5 に保持されてもよい。第 2 シリンドリカル凹レンズ 72 3 は、ホルダー 72 3 a によってプレート 72 7 に保持されてもよい。第 2 シリンドリカル凸レンズ 72 4 は、ホルダー 72 4 a によって 1 軸ステージ 72 6 に保持されてもよい。1 軸ステージ 72 5 は、第 1 のパルスレーザ光 21 a の光路軸に沿って第 1 シリンドリカル凸レンズ 72 2 を移動させてもよい。1 軸ステージ 72 6 は、第 1 のパルスレーザ光 21 a の光路軸に沿って第 2 シリンドリカル凸レンズ 72 4 を移動させてもよい。

[0073] 第 1 シリンドリカル凹レンズ 72 1 の凹面と、第 1 シリンドリカル凸レンズ 72 2 の凸面とは、いずれも、H 方向に略平行な中心軸を有する円筒面であってもよい。従って、第 1 シリンドリカル凹レンズ 72 1 と、第 1 シリンドリカル凸レンズ 72 2 とは、V 方向にビーム幅を拡大又は縮小するものであってもよい。

[0074] 第 1 シリンドリカル凹レンズ 72 1 の焦点の位置と、第 1 シリンドリカル凸レンズ 72 2 の焦点の位置とが一致するとき、第 1 のビームダイバージェンス調節器 72 a から出射する第 1 のパルスレーザ光 21 a の V 方向のビームダイバージェンス B_{divout} は、以下の式で表され得る。

$$Bdvout = Bdvin \cdot F1 / F2$$

但し、 $Bdvin$ は第1のビームダイバージェンス調節器72aに入射する第1のパルスレーザ光21aのV方向のビームダイバージェンスでもよい。 $F1$ は第1シリンドリカル凹レンズ721の焦点距離でもよく、 $F2$ は第1シリンドリカル凸レンズ722の焦点距離でもよい。

1軸ステージ725が、第1のパルスレーザ光21aの光路軸に沿って第1シリンドリカル凸レンズ722を移動させて、第1シリンドリカル凹レンズ721の焦点の位置と、第1シリンドリカル凸レンズ722の焦点の位置とをずらしてもよい。第1シリンドリカル凹レンズ721の焦点の位置と、第1シリンドリカル凸レンズ722の焦点の位置とがずれたとき、第1のビームダイバージェンス調節器72aは、パルスレーザ光21aの波面をV方向に変化させ得る。パルスレーザ光の波面をV方向に変化させることにより、パルスレーザ光のV方向のビームダイバージェンスを変化させ得る。

[0075] 第2シリンドリカル凹レンズ723の凹面と、第2シリンドリカル凸レンズ724の凸面とは、いずれも、V方向に略平行な中心軸を有する円筒面であってもよい。従って、第2シリンドリカル凹レンズ723と、第2シリンドリカル凸レンズ724とは、H方向にビーム幅を拡大又は縮小するものであってもよい。

[0076] 第2シリンドリカル凹レンズ723の焦点の位置と、第2シリンドリカル凸レンズ724の焦点の位置とが一致するとき、第1のビームダイバージェンス調節器72aから出射する第1のパルスレーザ光21aのH方向のビームダイバージェンス $Bdhout$ は、以下の式で表され得る。

$$Bdhout = Bdhin \cdot F3 / F4$$

但し、 $Bdhin$ は第1のビームダイバージェンス調節器72aに入射する第1のパルスレーザ光21aのH方向のビームダイバージェンスでもよい。 $F3$ は第2シリンドリカル凹レンズ723の焦点距離でもよく、 $F4$ は第2シリンドリカル凸レンズ724の焦点距離でもよい。

1軸ステージ726が、第1のパルスレーザ光21aの光路軸に沿って第

2 シリンドリカル凸レンズ 7 2 4 を移動させて、第 2 シリンドリカル凹レンズ 7 2 3 の焦点の位置と、第 2 シリンドリカル凸レンズ 7 2 4 の焦点の位置とをずらしてもよい。第 2 シリンドリカル凹レンズ 7 2 3 の焦点の位置と、第 2 シリンドリカル凸レンズ 7 2 4 の焦点の位置とがずれたとき、第 1 のビームダイバージェンス調節器 7 2 a は、パルスレーザ光 2 1 a の波面を H 方向に変化させ得る。パルスレーザ光の波面を H 方向に変化させることにより、パルスレーザ光の H 方向のビームダイバージェンスを変化させ得る。

[0077] このように、第 1 のビームダイバージェンス調節器 7 2 a によれば、V 方向のビームダイバージェンスと H 方向のビームダイバージェンスとを独立に制御し得る。

[0078] 図 5 A 及び図 5 B においては、H 方向と V 方向のビームダイバージェンスをそれぞれ変化させる場合について説明したが、H 方向と V 方向のいずれか一方だけを変化可能にしてもよい。例えば、H 方向のビームダイバージェンスよりも V 方向のビームダイバージェンスに要求される目標値が厳しい場合に、第 1 シリンドリカル凹レンズ 7 2 1 と第 1 シリンドリカル凸レンズ 7 2 2 との距離だけを変更可能にしてもよい。

[0079] また、シリンドリカル凸レンズとシリンドリカル凹レンズとの組み合わせによってパルスレーザ光のビームダイバージェンスを変更する場合について説明したが、本開示はこれに限られない。例えば、2 個のシリンドリカル凸レンズの組み合わせによって、パルスレーザ光のビームダイバージェンスを変更してもよい。

[0080] 2. 8 ビームステアリング装置

図 2 に示される第 1 ～第 8 のビームステアリング装置 8 a ～8 h は、それぞれ、ビームデリバリー装置制御部 5 9 による制御に従って、第 1 ～第 8 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 h の光路軸を調節してもよい。

[0081] 図 6 は、第 1 のビームステアリング装置 8 a の構成を概略的に示す。第 1 のビームステアリング装置 8 a は、第 1 の高反射ミラー 8 1 と、第 2 の高反射ミラー 8 2 と、表面と裏面が略平行の透明基板 8 5 と、アクチュエータ 8

3及び84とを含んでもよい。第2～第8のビームステアリング装置8b～8hについても同様でよい。

[0082] 第1の高反射ミラー81は、第1のビーム調節装置7aを第1の方向に通過した第1のパルスレーザ光21aの光路に配置されてもよい。アクチュエータ83は、ビームデリバリー装置制御部59によって出力される駆動信号に従って、第1の高反射ミラー81の姿勢を変化させてもよい。例えば、アクチュエータ83は、互いに直交する2軸の方向に高反射ミラー81の姿勢角を変化させてもよい。第1の高反射ミラー81は、アクチュエータ83によって変化させられた姿勢に応じた方向に、第1のパルスレーザ光21aを反射してもよい。

[0083] 透明基板85は、第1の高反射ミラー81によって反射された第1のパルスレーザ光21aの光路に配置されてもよい。アクチュエータ84は、ビームデリバリー装置制御部59によって出力される駆動信号に従って、透明基板85の姿勢を変化させてもよい。例えば、アクチュエータ84は互いに直交する2軸の方向に透明基板85の姿勢角を変化させてもよい。透明基板85の姿勢角の変化により、第1のパルスレーザ光21aは、透明基板85への入射角が変化してもよい。第1のパルスレーザ光21aは、透明基板85への入射面と透明基板85からの出射面とで互いに反対方向に屈折し得る。これにより、透明基板85の姿勢角を変化させることによって、第1のパルスレーザ光21aのビームポインティングすなわち進行方向の変化を抑制しつつ、第1のパルスレーザ光21aのビーム位置を変化させ得る。

[0084] 高反射ミラー81の姿勢角と透明基板85の姿勢角とをそれぞれ調整することにより、第1のビームステアリング装置8aは、第1のパルスレーザ光21aのビームポインティング及びパルスレーザ光のビーム位置の両方を独立に制御し得る。

[0085] 透明基板85から出射した第1のパルスレーザ光21aは、第2の高反射ミラー82に入射してもよい。

[0086] 第2の高反射ミラー82は、透明基板85から出射した第1のパルスレー

ザ光 2 1 a の光路に配置されてもよい。第 2 の高反射ミラー 8 2 は、第 1 のパルスレーザ光 2 1 a を反射してもよい。

[0087] 第 2 の高反射ミラー 8 2 によって反射された第 1 のパルスレーザ光 2 1 a は、第 1 のミラー 9 a に入射してもよい。

[0088] 図 6 に示される第 1 のビームステアリング装置 8 a の代わりに、図 3 5 を参照しながら後述する第 1 のビームステアリング装置 8 a y が、ビームデリバリー装置 5 0 に設けられてもよい。

[0089] 2. 9 ミラー移動機構

図 7 A ~ 図 7 C は、図 2 に示される第 1 及び第 2 のミラー 9 a 及び 9 b を移動させるためのミラー移動機構 9 0 a を示す。図 7 A は斜視図であり、図 7 B はミラーの間隔が広い状態の平面図であり、図 7 C はミラーの間隔が狭められた状態の平面図である。

ミラー移動機構 9 0 a により、第 1 及び第 2 のミラー 9 a 及び 9 b は、それぞれ第 1 及び第 2 のミラー 9 a 及び 9 b に入射する第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 2 1 a 及び 2 1 b の光路軸に沿って、移動可能であってもよい。第 3 ~ 第 8 のミラー 9 c ~ 9 h を移動させる機構についても同様であってもよい。

[0090] ミラー移動機構 9 0 a は、ケーシング 9 1 と、リニアガイド 9 2 と、ミラーホルダ 9 3 a 及び 9 3 b と、自動マイクロメータ 9 6 a 及び 9 6 b と、を含んでもよい。ケーシング 9 1 は、リニアガイド 9 2 と、ミラーホルダ 9 3 a 及び 9 3 c と、を収容していてもよい。

[0091] リニアガイド 9 2 は、その長手方向が H 方向と略一致するように配置されてもよい。ミラーホルダ 9 3 a 及び 9 3 b は、それぞれ、第 1 及び第 2 のミラー 9 a 及び 9 b を保持していてもよい。ミラーホルダ 9 3 a 及び 9 3 c は、リニアガイド 9 2 の長手方向に沿ってそれぞれ移動できるように、リニアガイド 9 2 に取り付けられていてもよい。ミラーホルダ 9 3 a 及び 9 3 b は、図示しないばね等によって、互いに離れる方向に押圧されていてもよい。

[0092] 自動マイクロメータ 9 6 a 及び 9 6 b は、ケーシング 9 1 に取り付けられ

ており、それぞれ可動部 9 7 a 及び 9 7 b によってミラーホルダ 9 3 a 及び 9 3 c を互いに近づける方向に押圧できるように構成されていてもよい。

[0093] 自動マイクロメータ 9 6 a が、ビームデリバリー装置制御部 5 9 によって出力される駆動信号に従って、可動部 9 7 a を伸長させることにより、ミラーホルダ 9 3 a を押圧してもよい。これにより、ミラーホルダ 9 3 a が H 方向に移動して、第 1 及び第 2 のミラー 9 a 及び 9 b の間隔を狭くし得る。

自動マイクロメータ 9 6 a が可動部 9 7 a を収縮させることにより、ミラーホルダ 9 3 a が図示しないばねに押圧されて、ミラーホルダ 9 3 a が H 方向に移動し得る。

[0094] 自動マイクロメータ 9 6 b が、ビームデリバリー装置制御部 5 9 によって出力される駆動信号に従って、可動部 9 7 b を伸長させることにより、ミラーホルダ 9 3 b を押圧してもよい。これにより、ミラーホルダ 9 3 b が H 方向に移動して、第 1 及び第 2 のミラー 9 a 及び 9 b の間隔を狭くし得る。

自動マイクロメータ 9 6 b が可動部 9 7 b を収縮させることにより、ミラーホルダ 9 3 b が図示しないばねに押圧されて、ミラーホルダ 9 3 b が H 方向に移動し得る。

[0095] 2. 1 0 レーザ装置

図 8 は、図 2 に示されるレーザ装置の構成例を示す。例えば、第 1 のレーザ装置 2 a は、マスターオシレータ MO と、増幅器 PA と、パルスエネルギー計測部 1 7 と、シャッター 1 8 と、レーザ制御部 1 9 とを含んでもよい。第 2 ～第 8 のレーザ装置 2 b ～2 h の構成も同様でもよい。

[0096] マスターオシレータ MO は、レーザチャンバ 1 0 と、一対の電極 1 1 a 及び 1 1 b と、充電器 1 2 と、パルスパワーモジュール (PPM) 1 3 と、を含んでもよい。マスターオシレータ MO は、さらに、高反射ミラー 1 4 と、出力結合ミラー 1 5 と、を含んでもよい。図 8 においては、H 方向からみたレーザチャンバ 1 0 の内部構成が示されている。

[0097] レーザチャンバ 1 0 は、例えばレアガスとしてアルゴンまたはクリプトンまたはキセノン、バッファガスとしてネオンまたはヘリウム、ハロゲンガ

スとして塩素またはフッ素等を含む、レーザ媒質としてのレーザガスが封入されるチャンバでもよい。一对の電極 11a 及び 11b は、レーザ媒質を放電により励起するための電極として、レーザチャンバ 10 内に配置されてもよい。レーザチャンバ 10 には開口が形成され、この開口を電気絶縁部 29 が塞いでいてもよい。電極 11a は電気絶縁部 29 に支持され、電極 11b はリターンプレート 10d に支持されていてもよい。このリターンプレート 10d は図示しない配線によってレーザチャンバ 10 の内面と接続されてもよい。電気絶縁部 29 には、導電部 29a が埋め込まれていてもよい。導電部 29a は、パルスパワーモジュール 13 から供給される高電圧を電極 11a に印加するものであってもよい。

[0098] 充電器 12 は、パルスパワーモジュール 13 の中の図示しない充電コンデンサに所定の電圧で充電する直流電源装置であってもよい。パルスパワーモジュール 13 は、レーザ制御部 19 によって制御されるスイッチ 13a を含んでもよい。スイッチ 13a が OFF から ON になると、パルスパワーモジュール 13 は、充電器 12 に保持されていた電気エネルギーからパルス状の高電圧を生成し、この高電圧を一对の電極 11a 及び 11b 間に印加してもよい。

[0099] 一对の電極 11a 及び 11b 間に高電圧が印加されると、一对の電極 11a 及び 11b 間が絶縁破壊され、放電が起こり得る。この放電のエネルギーにより、レーザチャンバ 10 内のレーザ媒質が励起されて高エネルギー準位に移行し得る。励起されたレーザ媒質が、その後低エネルギー準位に移行するとき、そのエネルギー準位差に応じた光を放出し得る。

[0100] レーザチャンバ 10 の両端にはウインドウ 10a 及び 10b が設けられてもよい。レーザチャンバ 10 内で発生した光は、ウインドウ 10a 及び 10b を介してレーザチャンバ 10 の外部に出射し得る。

[0101] 高反射ミラー 14 は、レーザチャンバ 10 のウインドウ 10a から出射された光を高い反射率で反射してレーザチャンバ 10 に戻してもよい。

出力結合ミラー 15 は、レーザチャンバ 10 のウインドウ 10b から出力

される光のうちの一部を透過させて出力し、他の一部を反射させてレーザチャンバ１０内に戻してもよい。

[0102] 従って、高反射ミラー１４と出力結合ミラー１５とで、光共振器が構成され得る。レーザチャンバ１０から出射した光は、高反射ミラー１４と出力結合ミラー１５との間で往復し、電極１１ａと電極１１ｂとの間のレーザゲイン空間を通過する度に増幅され得る。増幅された光の一部が、出力結合ミラー１５を介して、パルスレーザ光として出力され得る。

[0103] 増幅器ＰＡは、マスターオシレータＭＯの出力結合ミラー１５から出力されたパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。増幅器ＰＡは、マスターオシレータＭＯと同様に、レーザチャンバ１０と、一对の電極１１ａ及び１１ｂと、充電器１２と、パルスパワーモジュール（ＰＰＭ）１３と、を含んでもよい。これらの構成は、マスターオシレータに含まれているものと同様でもよい。増幅器ＰＡは、高反射ミラー１４又は出力結合ミラー１５を含まなくてもよい。増幅器ＰＡのウィンドウ１０ａに入射したパルスレーザ光は、電極１１ａと電極１１ｂとの間のレーザゲイン空間を１回通過して、ウィンドウ１０ｂから出力されてもよい。

[0104] パルスエネルギー計測部１７は、増幅器ＰＡから出力されたパルスレーザ光の光路に配置されていてもよい。パルスエネルギー計測部１７は、ビームスプリッタ１７ａと、集光光学系１７ｂと、光センサ１７ｃとを含んでもよい。

[0105] ビームスプリッタ１７ａは、増幅器ＰＡから出力されたパルスレーザ光を高い透過率でシャッター１８に向けて透過させるとともに、パルスレーザ光の一部を集光光学系１７ｂに向けて反射してもよい。集光光学系１７ｂは、ビームスプリッタ１７ａによって反射された光を光センサ１７ｃの受光面に集光してもよい。光センサ１７ｃは、受光面に集光されたパルスレーザ光のパルスエネルギーを検出し、検出されたパルスエネルギーのデータをレーザ制御部１９に出力してもよい。

[0106] レーザ制御部１９は、上述のレーザシステム制御部２０との間で各種信号

を送受信してもよい。例えば、レーザ制御部 19 は、レーザシステム制御部 20 から、発振トリガ信号、目標パルスエネルギーのデータ等を受信してもよい。また、レーザ制御部 19 は、充電器 12 に対して充電電圧の設定信号を送信したり、パルスパワーモジュール 13 に対してスイッチ ON 又は OFF の指令信号を送信したりしてもよい。

[0107] レーザ制御部 19 は、パルスエネルギー計測部 17 からパルスエネルギーのデータを受信してもよく、このパルスエネルギーのデータを参照して充電器 12 の充電電圧を制御してもよい。充電器 12 の充電電圧を制御することにより、レーザ光のパルスエネルギーが制御されてもよい。

さらに、レーザ制御部 19 は、発振トリガに対して所定の一定の時間で放電させるように、設定された充電電圧値に応じて、発振トリガのタイミングを補正してもよい。

[0108] シャッター 18 は、パルスエネルギー計測部 17 のビームスプリッタ 17a を透過したパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。レーザ制御部 19 は、レーザ発振の開始後、パルスエネルギー計測部 17 から受信するパルスエネルギーと目標パルスエネルギーとの差が許容範囲内となるまでの間は、シャッター 18 を閉じるように制御してもよい。レーザ制御部 19 は、パルスエネルギー計測部 17 から受信するパルスエネルギーと目標パルスエネルギーとの差が許容範囲内になったら、シャッター 18 を開くように制御してもよい。この信号はパルスレーザ光 21 のタイミングを示す信号としてレーザシステム制御部 20 に送信されてもよい。

[0109] なお、図 8 にはレーザ装置が増幅器 PA を含む場合を示したが、これに限らず、増幅器 PA はなくてもよい。

また、レーザ装置は、エキシマレーザ装置に限られず、固体レーザ装置であってもよい。例えば、YAGレーザの第 3 高調波光 (355 nm) や第 4 高調波光 (266 nm) を発生する固体レーザ装置であってもよい。

[0110] 3. 制御動作

3. 1 メインフロー

図9は、図2に示されるビームデリバリー装置制御部59の動作を示すフローチャートである。以下の説明において、レーザシステム5に含まれる複数のレーザ装置の数を N_{max} とする。ビームデリバリー装置制御部59は、第1～第 N_{max} のパルスレーザ光のそれぞれについてビームパラメータを調整し、その後、光束化されたレーザ光のビームパラメータが許容範囲か否かを判定してもよい。

[0111] まず、S100において、ビームデリバリー装置制御部59は、第1～第 N_{max} のパルスレーザ光のビームパラメータの目標値を設定してもよい。ビームパラメータの目標値は、ビームダイバージェンスの目標値と、ビームポインティングの目標値と、ビーム位置の目標値とを含んでもよい。ビームパラメータの目標値は、光束化されたレーザ光のビームパラメータとして露光装置4の露光装置制御部40から要求される値に基づいて、設定されてもよい。

[0112] 次に、S110において、ビームデリバリー装置制御部59は、第1～第 N_{max} のミラーの位置を設定してもよい。第1～第 N_{max} のミラーの位置は、図2に示されるようなミラー9a～9hの位置であってもよい。

[0113] 次に、S120において、ビームデリバリー装置制御部59は、レーザシステム制御部20を介して、露光装置4の露光装置制御部40に、露光OKでないことを示す信号を出力してもよい。

[0114] 次に、S130において、ビームデリバリー装置制御部59は、カウンタNの値を1にセットしてもよい。カウンタNの値は、第1～第 N_{max} のレーザ装置のいずれかを特定する値であってもよい。

[0115] 次に、S200において、ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパルスレーザ光のビームダイバージェンスを計測してもよい。ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパルスレーザ光のビームダイバージェンスが所望の値となるように、第Nのビーム調節装置を制御してもよい。この処理の詳細については、図10～図12を参照しながら後述する。

[0116] 次に、S400において、ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパ

ルスレーザ光のビームポインティングを計測してもよい。ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのルスレーザ光のビームポインティングが所望の値となるように、第Nのビームステアリング装置を制御してもよい。この処理の詳細については、図13～図15を参照しながら後述する。

[0117] 次に、S500において、ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのルスレーザ光のビーム位置を計測してもよい。ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのルスレーザ光のビーム位置が所望の値となるように、第Nのビームステアリング装置を制御してもよい。この処理の詳細については、図16～図18を参照しながら後述する。

[0118] 次に、S600において、ビームデリバリー装置制御部59は、カウンターNの値がNmaxに達したか否かを判定してもよい。カウンターNの値がNmaxに達していない場合(S600; NO)、S610において、ビームデリバリー装置制御部59は、現在のカウンターNの値に1を加えてカウンターNの値を更新してもよい。その後、ビームデリバリー装置制御部59は、上述のS200に処理を戻すことにより、次のルスレーザ光のビームパラメータを計測してもよい。

[0119] カウンターNの値がNmaxに達した場合(S600; YES)、S700において、ビームデリバリー装置制御部59は、光束化されたレーザ光のビームパラメータを計測してもよい。この処理の詳細については、図19～図21を参照しながら後述する。

[0120] 次に、S800において、ビームデリバリー装置制御部59は、光束化されたレーザ光のビームパラメータと目標値との差が許容範囲内か否かを判定してもよい。

光束化されたレーザ光のビームパラメータと目標値との差が許容範囲内でない場合(S800; NO)、ビームデリバリー装置制御部59は、処理を上述のS120に戻してもよい。これにより、ビームデリバリー装置制御部59は、レーザシステム制御部20を介して露光装置4の露光装置制御部40に露光OKでないことを示す信号を出力し、個別のビームパラメータの計

測及び制御をやり直してもよい。

[0121] 光束化されたレーザ光のビームパラメータと目標値との差が許容範囲内である場合（S800；YES）、S810において、ビームデリバリー装置制御部59は、レーザシステム制御部20を介して、露光装置4の露光装置制御部40に、露光OKであることを示す信号を出力してもよい。

[0122] 次に、S820において、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームパラメータの制御を中止するか否かを判定してもよい。ビームパラメータの制御を中止しない場合（S820；NO）、ビームデリバリー装置制御部59は、処理を上述のS130に戻してもよい。

ビームパラメータの制御を中止する場合（S820；YES）、ビームデリバリー装置制御部59は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0123] 3. 2 ビームダイバージェンスの計測及び制御

図10は、図9に示される第Nのパルスレーザ光のビームダイバージェンスを計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。図10に示される処理は、図9に示されるS200のサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部59によって行われてもよい。

[0124] まず、S210において、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームパラメータ計測装置6のビーム選択機構67を制御することにより、第Nのパルスレーザ光を選択してもよい。

[0125] 次に、S220において、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームパラメータ計測装置6から出力されるデータを用いて、第Nのパルスレーザ光のビームダイバージェンスを計測してもよい。ビームダイバージェンスは、V方向のビームダイバージェンス B_{dv} と、H方向のビームダイバージェンス B_{dh} とを含んでもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームダイバージェンス B_{dv} 及び B_{dh} とそれぞれの目標値との差 ΔB_{dv} 及び ΔB_{dh} を、算出してもよい。これらの処理の詳細については、図11及び図12を参照しながら後述する。

[0126] 次に、S230において、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームダ

イバージェンス Bdv 及び Bdh とそれぞれの目標値との差 ΔBdv 及び ΔBdh が 0 に近づくように、第 N のビーム調節装置を制御してもよい。第 N のビーム調節装置として、第 N のビームダイバージェンス調節器が制御されてもよい。

[0127] 次に、S 2 4 0 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、再度、第 N のパルスレーザ光のビームダイバージェンスを計測し、ビームダイバージェンス Bdv 及び Bdh とそれぞれの目標値との差 ΔBdv 及び ΔBdh を算出してもよい。この処理は、上述の S 2 2 0 の処理と同様でよい。

[0128] 次に、S 2 5 0 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームダイバージェンスと目標値との差 ΔBdv 及び ΔBdh の絶対値が、以下のよう

$$|\Delta Bdv| \leq \Delta Bdv_{max}$$

$$|\Delta Bdh| \leq \Delta Bdh_{max}$$

ΔBdv_{max} は、ビームダイバージェンスと目標値との差 ΔBdv の許容範囲を規定する閾値であってもよい。 ΔBdh_{max} は、ビームダイバージェンスと目標値との差 ΔBdh の許容範囲を規定する閾値であってもよい。

[0129] ビームダイバージェンスと目標値との差 ΔBdv 及び ΔBdh の絶対値の、いずれかが閾値以下でない場合 (S 2 5 0 ; NO)、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、処理を上述の S 2 3 0 に戻して、第 N のビーム調節装置を制御してもよい。

ビームダイバージェンスと目標値との差 ΔBdv 及び ΔBdh の絶対値が、両方とも閾値以下である場合 (S 2 5 0 ; YES)、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、本フローチャートの処理を終了して、図 9 の S 4 0 0 に処理を移行してもよい。

[0130] 図 1 1 は、図 1 0 に示されるビームダイバージェンスを計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。図 1 1 に示される処理は、図 1 0 に示される S 2 2 0 及び S 2 4 0 のサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部 5 9 によって行われてもよい。

[0131] まず、S 2 2 1 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、第 N のレーザ装置がレーザ発振したか否かを判定してもよい。

第 N のレーザ装置がレーザ発振していない場合 (S 2 2 1 ; NO)、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、第 N のレーザ装置がレーザ発振するまで待機してもよい。

第 N のレーザ装置がレーザ発振している場合 (S 2 2 1 ; YES)、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、処理を S 2 2 2 に進めてもよい。

[0132] S 2 2 2 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームパラメータ計測装置 6 の集光光学系 6 3 による集光位置に配置されたイメージセンサ 6 4 のデータを読み込んでもよい。イメージセンサ 6 4 のデータは、第 N のパルスレーザ光の集光位置における光強度分布のデータを含んでもよい。ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、第 N のパルスレーザ光の集光位置における光強度分布のデータに基づいて、第 N のパルスレーザ光の集光位置におけるスポット径の両端の座標を検出してもよい。

[0133] 図 1 2 は、第 N のパルスレーザ光の集光位置における光強度分布のデータと、集光位置におけるスポット径との関係を示す。第 N のパルスレーザ光の集光位置におけるスポット径は、ピーク強度に対して所定比率以上の光強度を有する部分の幅であってもよい。この所定比率は、 $1/e^2$ でもよいし、50% でもよいし、5% でもよい。第 N のパルスレーザ光の集光位置におけるスポット径は、V 方向のスポット径と、H 方向のスポット径とを含んでもよい。V 方向のスポット径は、第 1 の閾値 $Vd1$ と第 2 の閾値 $Vd2$ との間隔であってもよい。H 方向のスポット径は、第 1 の閾値 $Hd1$ と第 2 の閾値 $Hd2$ との間隔であってもよい。これらの閾値 $Vd1$ 、 $Vd2$ 、 $Hd1$ 及び $Hd2$ における光強度が、ピーク強度に対して上記所定比率を有していてもよい。

[0134] 図 1 1 を再び参照し、S 2 2 2 においてイメージセンサ 6 4 のデータを読み込んだら、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、処理を S 2 2 3 に進めてもよい。

S 2 2 3において、ビームデリバリー装置制御部59は、以下の式によって、V方向及びH方向のビームダイバージェンス B_{dv} 及び B_{dh} をそれぞれ算出してもよい。

$$B_{dv} = (V_{d2} - V_{d1}) / f$$

$$B_{dh} = (H_{d2} - H_{d1}) / f$$

f は、集光光学系63の焦点距離でもよい。ビームダイバージェンスは、イメージセンサ64が受光したスポット径を集光光学系63の焦点距離で除算した値であってもよい。

[0135] 次に、S 2 2 4において、ビームデリバリー装置制御部59は、以下のようにして、ビームダイバージェンス B_{dv} 及び B_{dh} とそれぞれの目標値との差 ΔB_{dv} 及び ΔB_{dh} を算出してもよい。

$$\Delta B_{dv} = B_{dv} - B_{dvt}$$

$$\Delta B_{dh} = B_{dh} - B_{dht}$$

B_{dvt} 及び B_{dht} は、それぞれ、V方向及びH方向のビームダイバージェンスの目標値であってもよい。

[0136] 3. 3 ビームポインティングの計測及び制御

図13は、図9に示される第Nのパルスレーザ光のビームポインティングを計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。図13に示される処理は、図9に示されるS 4 0 0のサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部59によって行われてもよい。

以下に述べるように、図13に示される処理は、ビームダイバージェンスではなくビームポインティングを計測する点と、ビーム調整装置ではなくビームステアリング装置を制御する点の他は、図10に示される処理と同様でよい。

[0137] まず、S 4 1 0の処理は、図10に示されるS 2 1 0の処理と同様でよい。

次に、S 4 2 0において、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームパラメータ計測装置6から出力されるデータを用いて、第Nのパルスレーザ光

のビームポインティング P_{ov} 及び P_{oh} を計測してもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部 59 は、ビームポインティング P_{ov} 及び P_{oh} とそれぞれの目標値との差 ΔP_{ov} 及び ΔP_{oh} を、算出してもよい。これらの処理の詳細については、図 14 及び図 15 を参照しながら後述する。

[0138] 次に、S430において、ビームデリバリー装置制御部 59 は、ビームポインティング P_{ov} 及び P_{oh} とそれぞれの目標値との差 ΔP_{ov} 及び ΔP_{oh} が 0 に近づくように、第 N のビームステアリング装置を制御してもよい。

[0139] 次の S440 の処理は、上述の S420 の処理と同様でよい。

次に、S450において、ビームデリバリー装置制御部 59 は、ビームポインティングと目標値との差 ΔP_{ov} 及び ΔP_{oh} の絶対値が、以下のようにそれぞれ所定の閾値以下であるか否かを判定してもよい。

$$|\Delta P_{ov}| \leq \Delta P_{ovmax}$$

$$|\Delta P_{oh}| \leq \Delta P_{ohmax}$$

ΔP_{ovmax} は、ビームポインティングと目標値との差 ΔP_{ov} の許容範囲を規定する閾値であってもよい。 ΔP_{ohmax} は、ビームポインティングと目標値との差 ΔP_{oh} の許容範囲を規定する閾値であってもよい。

[0140] ビームポインティングと目標値との差 ΔP_{ov} 及び ΔP_{oh} の絶対値の、いずれかが閾値以下でない場合 (S450; NO)、ビームデリバリー装置制御部 59 は、処理を上述の S430 に戻して、第 N のビームステアリング装置を制御してもよい。

ビームポインティングと目標値との差 ΔP_{ov} 及び ΔP_{oh} の絶対値が、両方とも閾値以下である場合 (S450; YES)、ビームデリバリー装置制御部 59 は、本フローチャートの処理を終了して、図 9 の S500 に処理を移行してもよい。

[0141] 図 14 は、図 13 に示されるビームポインティングを計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。図 14 に示される処理は、図 13 に示される S420 及び S440 のサブルーチンとして、ビー

ムデリバリー装置制御部 59 によって行われてもよい。

[0142] まず、S 4 2 1 及び S 4 2 2 の処理は、図 1 1 を参照しながら説明した S 2 2 1 及び S 2 2 2 の処理と同様でよい。

[0143] 図 1 5 は、第 N のパルスレーザ光の集光位置における光強度分布のデータと、集光位置におけるスポット中心との関係を示す。第 N のパルスレーザ光の集光位置におけるスポット中心は、ピーク強度に対して所定比率以上の光強度を有する部分の幅の中心であってもよい。この所定比率は、 $1/e^2$ でもよいし、50%でもよいし、5%でもよい。あるいは、スポット中心は、光強度分布の重心であってもよい。第 N のパルスレーザ光の集光位置におけるスポット中心は、V 方向のスポット中心と、H 方向のスポット中心とを含んでもよい。V 方向のスポット中心は、第 1 の閾値 $Vd1$ と第 2 の閾値 $Vd2$ との中央位置であってもよい。H 方向のスポット中心は、第 1 の閾値 $Hd1$ と第 2 の閾値 $Hd2$ との中央位置であってもよい。これらの閾値 $Vd1$ 、 $Vd2$ 、 $Hd1$ 及び $Hd2$ における光強度が、ピーク強度に対して上記所定比率を有していてもよい。

[0144] 図 1 4 を再び参照し、S 4 2 3 において、ビームデリバリー装置制御部 59 は、以下の式によって、V 方向及び H 方向のビームポインティング Pov 及び Poh を算出してもよい。

$$Pov = (Vd2 + Vd1) / 2f$$

$$Poh = (Hd2 + Hd1) / 2f$$

f は、集光光学系 63 の焦点距離でもよい。ビームポインティングは、イメージセンサ 64 が受光したスポット中心を集光光学系 63 の焦点距離で除算した値であってもよい。

[0145] 次に、S 4 2 4 において、ビームデリバリー装置制御部 59 は、以下のようにして、ビームポインティング Pov 及び Poh とそれぞれの目標値との差 ΔPov 及び ΔPoh を算出してもよい。

$$\Delta Pov = Pov - Povt$$

$$\Delta Poh = Poh - Poh_t$$

P o v t 及び P o h t は、それぞれ、V 方向及び H 方向のビームポインティングの目標値であってもよい。

[0146] 3. 4 ビーム位置の計測及び制御

図 1 6 は、図 9 に示される第 N のパルスレーザ光のビーム位置を計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。図 1 6 に示される処理は、図 9 に示される S 5 0 0 のサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部 5 9 によって行われてもよい。

以下に述べるように、図 1 6 に示される処理は、ビームポインティングではなくビーム位置を計測する点の他は、図 1 3 に示される処理と同様でよい。

[0147] まず、S 5 1 0 の処理は、図 1 3 に示される S 4 1 0 の処理と同様でよい。

次に、S 5 2 0 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームパラメータ計測装置 6 から出力されるデータを用いて、第 N のパルスレーザ光のビーム位置 B p v 及び B p h を計測してもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビーム位置 B p v 及び B p h とそれぞれの目標値との差 $\Delta B p v$ 及び $\Delta B p h$ を、算出してもよい。これらの処理の詳細については、図 1 7 及び図 1 8 を参照しながら後述する。

[0148] 次に、S 5 3 0 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビーム位置 B p v 及び B p h とそれぞれの目標値との差 $\Delta B p v$ 及び $\Delta B p h$ が 0 に近づくように、第 N のビームステアリング装置を制御してもよい。

[0149] 次の S 5 4 0 の処理は、上述の S 5 2 0 の処理と同様でよい。

次に、S 5 5 0 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビーム位置と目標値との差 $\Delta B p v$ 及び $\Delta B p h$ の絶対値が、以下のようにそれぞれ所定の閾値以下であるか否かを判定してもよい。

$$|\Delta B p v| \leq \Delta B p v m a x$$

$$|\Delta B p h| \leq \Delta B p h m a x$$

$\Delta B p v m a x$ は、ビーム位置と目標値との差 $\Delta B p v$ の許容範囲を規定す

る閾値であってもよい。 $\Delta B_{ph\max}$ は、ビーム位置と目標値との差 ΔB_{ph} の許容範囲を規定する閾値であってもよい。

[0150] ビーム位置と目標値との差 ΔB_{pv} 及び ΔB_{ph} の絶対値の、いずれかが閾値以下でない場合（S550；NO）、ビームデリバリー装置制御部59は、処理を上述のS530に戻して、第Nのビームステアリング装置を制御してもよい。

ビーム位置と目標値との差 ΔB_{pv} 及び ΔB_{ph} の絶対値が、両方とも閾値以下である場合（S550；YES）、ビームデリバリー装置制御部59は、本フローチャートの処理を終了して、図9のS600に処理を移行してもよい。

[0151] 図17は、図16に示されるビーム位置を計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。図17に示される処理は、図16に示されるS520及びS540のサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部59によって行われてもよい。

[0152] まず、S521の処理は、図14を参照しながら説明したS421の処理と同様でよい。

[0153] S522において、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームパラメータ計測装置6の転写光学系65による転写位置に配置されたイメージセンサ66のデータを読み込んでもよい。イメージセンサ66のデータは、第Nのパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータを含んでもよい。ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータに基づいて、第Nのパルスレーザ光のビーム幅の両端の座標を検出してもよい。

[0154] 図18は、第Nのパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータと、ビーム位置との関係を示す。第Nのパルスレーザ光のビーム位置は、ピーク強度に対して所定比率以上の光強度を有する部分の幅の中心であってもよい。この所定比率は、 $1/e^2$ でもよいし、50%でもよいし、5%でもよい。あるいは、ビーム位置は、光強度分布の重心であってもよい。第Nのパルス

レーザ光のビーム位置は、V方向のビーム位置と、H方向のビーム位置とを含んでもよい。V方向のビーム位置は、第1の閾値V1と第2の閾値V2との中央位置であってもよい。H方向のビーム位置は、第1の閾値H1と第2の閾値H2との中央位置であってもよい。これらの閾値V1、V2、H1及びH2における光強度が、ピーク強度に対して上記所定比率を有していてもよい。

[0155] 図17を再び参照し、S523において、ビームデリバリー装置制御部59は、以下の式によって、V方向及びH方向のビーム位置 B_{pv} 及び B_{ph} を算出してもよい。

$$B_{pv} = (V2 + V1) / 2M$$

$$B_{ph} = (H2 + H1) / 2M$$

Mは、転写光学系65の倍率でもよい。ビーム位置は、イメージセンサ66が受光したビーム中心を転写光学系65の倍率で除算した値であってもよい。

[0156] 次に、S524において、ビームデリバリー装置制御部59は、以下のようにして、ビーム位置 B_{pv} 及び B_{ph} とそれぞれの目標値との差 ΔB_{pv} 及び ΔB_{ph} を算出してもよい。

$$\Delta B_{pv} = B_{pv} - B_{pv t}$$

$$\Delta B_{ph} = B_{ph} - B_{ph t}$$

$B_{pv t}$ 及び $B_{ph t}$ は、それぞれ、V方向及びH方向のビーム位置の目標値であってもよい。

[0157] 3. 5 光束化されたレーザ光の計測

図19は、図9に示される光束化されたレーザ光のビームパラメータを計測する処理の詳細を示すフローチャートである。図19に示される処理は、図9に示されるS700のサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部59によって行われてもよい。

[0158] まず、S710において、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームパラメータ計測装置6のビーム選択機構67を制御することにより、第1～第

N_{max} のパルスレーザ光をすべて選択してもよい。すなわち、第 1 ～ 第 N_{max} のパルスレーザ光を含む光束化されたレーザ光が、ビーム選択機構 67 を通過するようにしてもよい。

[0159] 次に、S720において、ビームデリバリー装置制御部59は、光束化されたレーザ光のビームダイバージェンス B_{dv} 及び B_{dh} を計測してもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームダイバージェンス B_{dv} 及び B_{dh} とそれぞれの目標値との差 ΔB_{dv} 及び ΔB_{dh} を、算出してもよい。これらの処理は、光束化されたレーザ光を対象とする他は、図9～図12を参照しながら説明したS200の処理と同様でよい。

[0160] 次に、S740において、ビームデリバリー装置制御部59は、光束化されたレーザ光のビームポインティング P_{ov} 及び P_{oh} を計測してもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームポインティング P_{ov} 及び P_{oh} とそれぞれの目標値との差 ΔP_{ov} 及び ΔP_{oh} を、算出してもよい。これらの処理は、光束化されたレーザ光を対象とする他は、図9及び図13～図15を参照しながら説明したS400の処理と同様でよい。

[0161] 次に、S750において、ビームデリバリー装置制御部59は、第1～第 N_{max} のパルスレーザ光に含まれる個々の第 N のパルスレーザ光のビーム位置 $B_{pv}(N)$ 及び $B_{ph}(N)$ を計測してもよい。 $B_{pv}(N)$ は、 $B_{pv}(1)$ 、 $B_{pv}(2)$ 、 $\dots$ 、 $B_{pv}(N_{max})$ を含んでもよい。 $B_{ph}(N)$ は、 $B_{ph}(1)$ 、 $B_{ph}(2)$ 、 $\dots$ 、 $B_{ph}(N_{max})$ を含んでもよい。なお、「 $\dots$ 」は、2と N_{max} との間の整数によって識別される値を省略したことを示してもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部59は、ビーム位置 $B_{pv}(N)$ 及び $B_{ph}(N)$ とそれぞれの目標値との差 $\Delta B_{pv}(N)$ 及び $\Delta B_{ph}(N)$ を、算出してもよい。 $\Delta B_{pv}(N)$ は、 $\Delta B_{pv}(1)$ 、 $\Delta B_{pv}(2)$ 、 $\dots$ 、 $\Delta B_{pv}(N_{max})$ を含んでもよい。 $\Delta B_{ph}(N)$ は、 $\Delta B_{ph}(1)$ 、 $\Delta B_{ph}(2)$ 、 $\dots$ 、 $\Delta B_{ph}(N_{max})$ を含んでもよい。これらの処理の詳細については、図20及び図21を参照しながら後述する。

[0162] 次に、S 7 6 0において、ビームデリバリー装置制御部5 9は、計測されたビームパラメータと目標値との差の絶対値が、以下のようにそれぞれ所定の閾値以下であるか否かを判定してもよい。

$$|\Delta B d v| \leq \Delta B d v m a x$$

$$|\Delta B d h| \leq \Delta B d h m a x$$

$$|\Delta P o v| \leq \Delta P o v m a x$$

$$|\Delta P o h| \leq \Delta P o h m a x$$

$$|\Delta B p v (1)| \leq \Delta B p v m a x$$

$$|\Delta B p h (1)| \leq \Delta B p h m a x$$

$$|\Delta B p v (2)| \leq \Delta B p v m a x$$

$$|\Delta B p h (2)| \leq \Delta B p h m a x$$

...

$$|\Delta B p v (N m a x)| \leq \Delta B p v m a x$$

$$|\Delta B p h (N m a x)| \leq \Delta B p h m a x$$

[0163] 計測されたビームパラメータと目標値との差の絶対値の、いずれかが閾値以下でない場合 (S 7 6 0 ; N O)、ビームデリバリー装置制御部5 9は、S 7 8 0において、判定結果を示すフラグFを0にセットして、本フローチャートの処理を終了してもよい。

計測されたビームパラメータと目標値との差の絶対値が、すべて閾値以下である場合 (S 7 6 0 ; Y E S)、ビームデリバリー装置制御部5 9は、S 7 7 0において、判定結果を示すフラグFを1にセットして、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0164] 本フローチャートの処理を終了したら、図9のS 8 0 0に処理を移行してもよい。判定結果を示すフラグFが0である場合 (S 7 6 0 ; N O)、図9のS 8 0 0において、光束化されたレーザ光のビームパラメータと目標値との差が許容範囲内でない判定されてもよい (S 8 0 0 ; N O)。判定結果を示すフラグFが1である場合 (S 7 6 0 ; Y E S)、図9のS 8 0 0において、光束化されたレーザ光のビームパラメータと目標値との差が許容範囲

内であると判定されてもよい（S 8 0 0 ; Y E S）。

[0165] 図 2 0 は、図 1 9 に示される第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のビーム位置を計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。図 2 0 に示される処理は、図 1 9 に示される S 7 5 0 のサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部 5 9 によって行われてもよい。

[0166] まず、S 7 5 1 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、第 1 ～第 N m a x のレーザ装置がレーザ発振したか否かを判定してもよい。

第 1 ～第 N m a x のレーザ装置がレーザ発振していない場合（S 7 5 1 ; N O）、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、第 1 ～第 N m a x のレーザ装置がレーザ発振するまで待機してもよい。

第 1 ～第 N m a x のレーザ装置がレーザ発振している場合（S 7 5 1 ; Y E S）、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、処理を S 7 5 2 に進めてもよい。

[0167] S 7 5 2 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームパラメータ計測装置 6 の転写光学系 6 5 による転写位置に配置されたイメージセンサ 6 6 のデータを読み込んでもよい。イメージセンサ 6 6 のデータは、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータを含んでもよい。

[0168] 図 2 1 は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータと、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のビーム位置との関係を示す。第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のビーム位置は、それぞれのパルスレーザ光のピーク強度に対して所定比率以上の光強度を有する部分の幅の中心であってもよい。この所定比率は、 $1/e^2$ でもよいし、50%でもよいし、5%でもよい。あるいは、ビーム位置は、光強度分布の重心であってもよい。

[0169] 図 2 0 を再び参照し、S 7 5 2 においてイメージセンサ 6 6 のデータを読み込んだら、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、処理を S 7 5 3 に進めてもよい。

S 7 5 3 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光に含まれる個々の第 N のパルスレーザ光のビーム位置 (B p h (N) , B p v (N)) を算出してもよい。ビーム位置 (B p h (N) , B p v (N)) として、以下の値が算出されてもよい。

$$(B p h (1) , B p v (1))$$

$$(B p h (2) , B p v (2))$$

...

$$(B p h (N m a x) , B p v (N m a x))$$

[0170] 次に、S 7 5 4 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、以下のようにして、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光に含まれる個々の第 N のパルスレーザ光のビーム位置とそれぞれの目標値との差 $\Delta B p v (N)$ 及び $\Delta B p h (N)$ を算出してもよい。

$$\Delta B p v (N) = B p v (N) - B p v t$$

$$\Delta B p h (N) = B p h (N) - B p h t (N)$$

B p v t は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光の V 方向のビーム位置の目標値であってもよい。

B p h t (N) は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光に含まれる個々の第 N のパルスレーザ光の H 方向のビーム位置の目標値であってもよい。H 方向のビーム位置の目標値は、N の値に応じて異なってもよい。

[0171] 以上説明したように、第 1 の実施形態においては、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のそれぞれについてビームパラメータを調整した後で、光束化されたレーザ光のビームパラメータが許容範囲か否かを判定してもよい。これにより、光束化されたレーザ光のビームパラメータを安定化させ、アニールの品質を向上し得る。

[0172] 4. 第 2 の実施形態

4. 1 メインフロー

図 2 2 は、本開示の第 2 の実施形態におけるビームデリバリー装置制御部 5 9 の動作を示すフローチャートである。第 2 の実施形態においては、第 N

のパルスレーザ光のビームダイバージェンスの代わりに、第Nのパルスレーザ光のビームサイズを計測してもよい（S300）。また、第2の実施形態においては、光束化されたレーザ光のビームダイバージェンスを計測する代わりに、第1～第Nmaxのパルスレーザ光のビームサイズを計測してもよい。その他の点については、第1の実施形態と同様でよい。

[0173] 図22に示されるS100からS130までの処理は、図9に示されるS100からS130までの処理と同様でよい。S130の後、ビームデリバリー装置制御部59は、処理をS300aに移行してもよい。

S300aにおいて、ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパルスレーザ光のビームサイズを計測してもよい。ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパルスレーザ光のビームサイズが所望の値となるように、第Nのビーム調節装置を制御してもよい。この処理の詳細については、図23～図25を参照しながら後述する。

[0174] 次のS400からS610までの処理は、図9に示されるS400からS610までの処理と同様でよい。S600においてカウンタNの値がNmaxに達した場合（S600；YES）、ビームデリバリー装置制御部59は、処理をS700aに移行してもよい。

S700aにおいて、ビームデリバリー装置制御部59は、光束化されたレーザ光のビームパラメータを計測してもよい。この処理の詳細については、図26～図28を参照しながら後述する。

その後のS800からS820までの処理は、図9に示されるS800からS820までの処理と同様でよい。

[0175] 4. 2 ビームサイズの計測及び制御

図23は、図22に示される第Nのパルスレーザ光のビームサイズを計測及び制御する処理の詳細を示すフローチャートである。図23に示される処理は、図22に示されるS300aのサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部59によって行われてもよい。

以下に述べるように、図23に示される処理は、ビームダイバージェンス

ではなくビームサイズを計測する点の他は、図 10 に示される処理と同様でよい。

[0176] まず、S 3 1 0 a の処理は、図 10 に示される S 2 1 0 の処理と同様でよい。

次に、S 3 2 0 a において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームパラメータ計測装置 6 から出力されるデータを用いて、第 N のパルスレーザー光のビームサイズ B_{wv} 及び B_{wh} を計測してもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームサイズ B_{wv} 及び B_{wh} とそれぞれの目標値との差 ΔB_{wv} 及び ΔB_{wh} を、算出してもよい。これらの処理の詳細については、図 2 4 及び図 2 5 を参照しながら後述する。

[0177] 次に、S 3 3 0 a において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームサイズ B_{wv} 及び B_{wh} とそれぞれの目標値との差 ΔB_{wv} 及び ΔB_{wh} が 0 に近づくように、第 N のビーム調節装置を制御してもよい。第 N のビーム調節装置として、第 N のビームダイバージェンス調節器が制御されてもよい。

[0178] 次の S 3 4 0 a の処理は、上述の S 3 2 0 a の処理と同様でよい。

次に、S 3 5 0 a において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームサイズと目標値との差 ΔB_{wv} 及び ΔB_{wh} の絶対値が、以下のようにそれぞれ所定の閾値以下であるか否かを判定してもよい。

$$|\Delta B_{wv}| \leq \Delta B_{wvmax}$$

$$|\Delta B_{wh}| \leq \Delta B_{whmax}$$

ΔB_{wvmax} は、ビームサイズと目標値との差 ΔB_{wv} の許容範囲を規定する閾値であってもよい。 ΔB_{whmax} は、ビームサイズと目標値との差 ΔB_{wh} の許容範囲を規定する閾値であってもよい。

[0179] ビームサイズと目標値との差 ΔB_{wv} 及び ΔB_{wh} の絶対値の、いずれかが閾値以下でない場合 (S 3 5 0 a ; NO)、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、処理を上述の S 3 3 0 a に戻して、第 N のビーム調節装置を制御してもよい。

ビームサイズと目標値との差 ΔB_{wv} 及び ΔB_{wh} の絶対値の、両方が閾

値以下である場合（S 3 5 0 a ; Y E S）、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、本フローチャートの処理を終了して、図 2 2 の S 4 0 0 に処理を移行してもよい。

[0180] 図 2 4 は、図 2 3 に示されるビームサイズを計測して目標値との差を算出する処理の詳細を示すフローチャートである。図 2 4 に示される処理は、図 2 3 に示される S 3 2 0 a 及び S 3 4 0 a のサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部 5 9 によって行われてもよい。

[0181] まず、S 3 2 1 a 及び S 3 2 2 a の処理は、図 1 7 を参照しながら説明した S 5 2 1 及び S 5 2 2 の処理と同様でよい。

[0182] 図 2 5 は、第 N のパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータと、ビームサイズとの関係を示す。第 N のパルスレーザ光のビームサイズは、ピーク強度に対して所定比率以上の光強度を有する部分の幅であってもよい。この所定比率は、 $1/e^2$ でもよいし、50% でもよいし、5% でもよい。第 N のパルスレーザ光のビームサイズは、V 方向のビームサイズと、H 方向のビームサイズとを含んでもよい。V 方向のビームサイズは、第 1 の閾値 V 1 と第 2 の閾値 V 2 との間隔であってもよい。H 方向のビームサイズは、第 1 の閾値 H 1 と第 2 の閾値 H 2 との間隔であってもよい。これらの閾値 V 1、V 2、H 1 及び H 2 における光強度が、ピーク強度に対して上記所定比率を有していてもよい。

[0183] 図 2 4 を再び参照し、S 3 2 3 a において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、以下の式によって、V 方向及び H 方向のビームサイズ B_{wv} 及び B_{wh} を算出してもよい。

$$B_{wv} = (V2 - V1) / M$$

$$B_{wh} = (H2 - H1) / M$$

M は、転写光学系 6 5 の倍率でもよい。ビームサイズは、イメージセンサ 6 6 が受光したビーム幅を転写光学系 6 5 の倍率で除算した値であってもよい。

[0184] 次に、S 3 2 4 a において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、以下の

ようにして、ビームサイズ B_{wv} 及び B_{wh} とそれぞれの目標値との差 ΔB_{wv} 及び ΔB_{wh} を算出してもよい。

$$\Delta B_{wv} = B_{wv} - B_{wvt}$$

$$\Delta B_{wh} = B_{wh} - B_{wh t}$$

B_{wvt} 及び $B_{wh t}$ は、それぞれ、V方向及びH方向のビームサイズの目標値であってもよい。

[0185] 4. 3 光束化されたレーザ光の計測

図26は、図22に示される光束化されたレーザ光のビームパラメータを計測する処理の詳細を示すフローチャートである。図26に示される処理は、図22に示されるS700aのサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部59によって行われてもよい。

以下に述べるように、図26に示される処理は、ビームダイバージェンスではなくビームサイズを計測する点の他は、図19に示される処理と同様でよい。

[0186] まず、S710の処理は、図19に示されるS710の処理と同様でよい。

次に、S730aにおいて、ビームデリバリー装置制御部59は、第1～第Nmaxのパルスレーザ光に含まれる個々の第Nのパルスレーザ光のビームサイズ $B_{wv}(N)$ 及び $B_{wh}(N)$ を計測してもよい。 $B_{wv}(N)$ は、 $B_{wv}(1)$ 、 $B_{wv}(2)$ 、 $\dots$ 、 $B_{wv}(N_{max})$ を含んでもよい。 $B_{wh}(N)$ は、 $B_{wh}(1)$ 、 $B_{wh}(2)$ 、 $\dots$ 、 $B_{wh}(N_{max})$ を含んでもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部59は、ビームサイズ $B_{wv}(N)$ 及び $B_{wh}(N)$ とそれぞれの目標値との差 $\Delta B_{wv}(N)$ 及び $\Delta B_{wh}(N)$ を、算出してもよい。 $\Delta B_{wv}(N)$ は、 $\Delta B_{wv}(1)$ 、 $\Delta B_{wv}(2)$ 、 $\dots$ 、 $\Delta B_{wv}(N_{max})$ を含んでもよい。 $\Delta B_{wh}(N)$ は、 $\Delta B_{wh}(1)$ 、 $\Delta B_{wh}(2)$ 、 $\dots$ 、 $\Delta B_{wh}(N_{max})$ を含んでもよい。これらの処理の詳細については、図27及び図28を参照しながら後述する。

[0187] 次のS 7 4 0及びS 7 5 0の処理は、図 1 9に示されるS 7 4 0及びS 7 5 0の処理と同様でよい。

次に、S 7 6 0 aにおいて、ビームデリバリー装置制御部5 9は、計測されたビームパラメータと目標値との差の絶対値が、以下のようにそれぞれ所定の閾値以下であるか否かを判定してもよい。

$$\begin{aligned}
 &|\Delta B_{wv}(1)| \leq \Delta B_{wvmax} \\
 &|\Delta B_{wh}(1)| \leq \Delta B_{whmax} \\
 &|\Delta B_{wv}(2)| \leq \Delta B_{wvmax} \\
 &|\Delta B_{wh}(2)| \leq \Delta B_{whmax} \\
 &\dots \\
 &|\Delta B_{wv}(N_{max})| \leq \Delta B_{wvmax} \\
 &|\Delta B_{wh}(N_{max})| \leq \Delta B_{whmax} \\
 &|\Delta P_{ov}| \leq \Delta P_{ovmax} \\
 &|\Delta P_{oh}| \leq \Delta P_{ohmax} \\
 &|\Delta B_{pv}(1)| \leq \Delta B_{pvmax} \\
 &|\Delta B_{ph}(1)| \leq \Delta B_{phmax} \\
 &|\Delta B_{pv}(2)| \leq \Delta B_{pvmax} \\
 &|\Delta B_{ph}(2)| \leq \Delta B_{phmax} \\
 &\dots \\
 &|\Delta B_{pv}(N_{max})| \leq \Delta B_{pvmax} \\
 &|\Delta B_{ph}(N_{max})| \leq \Delta B_{phmax}
 \end{aligned}$$

[0188] 計測されたビームパラメータと目標値との差の絶対値の、いずれかが閾値以下でない場合（S 7 6 0 a；NO）、ビームデリバリー装置制御部5 9は、S 7 8 0において、判定結果を示すフラグFを0にセットして、本フローチャートの処理を終了してもよい。

計測されたビームパラメータと目標値との差の絶対値が、すべて閾値以下である場合（S 7 6 0 a；YES）、ビームデリバリー装置制御部5 9は、S 7 7 0において、判定結果を示すフラグFを1にセットして、本フローチ

ャートの処理を終了してもよい。本フローチャートの処理を終了したら、図 22 の S 8 0 0 に処理を移行してもよい。

[0189] 図 27 は、図 26 に示される第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のビームサイズを計測して目標値との差を算出する処理の詳細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 に示される S 7 3 0 a のサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部 59 によって行われてもよい。

[0190] まず、S 7 3 1 a 及び S 7 3 2 a の処理は、図 20 を参照しながら説明した S 7 5 1 及び S 7 5 2 の処理と同様でよい。

[0191] 図 28 は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のビーム断面の光強度分布のデータと、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のビームサイズとの関係を示す。第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光のビームサイズは、それぞれのパルスレーザ光のピーク強度に対して所定比率以上の光強度を有する部分の幅であってもよい。この所定比率は、 $1/e^2$ でもよいし、50% でもよいし、5% でもよい。

[0192] 図 27 を再び参照し、S 7 3 3 a において、ビームデリバリー装置制御部 59 は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光に含まれる個々の第 N のパルスレーザ光のビームサイズ $B_{wv}(N)$ 及び $B_{wh}(N)$ を算出してもよい。 $B_{wv}(N)$ は、 $B_{wv}(1)$ 、 $B_{wv}(2)$ 、 $\dots$ 、 $B_{wv}(N_{max})$ を含んでもよい。 $B_{wh}(N)$ は、 $B_{wh}(1)$ 、 $B_{wh}(2)$ 、 $\dots$ 、 $B_{wh}(N_{max})$ を含んでもよい。

[0193] 次に、S 7 3 4 a において、ビームデリバリー装置制御部 59 は、以下のようにして、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光に含まれる個々の第 N のパルスレーザ光のビームサイズとそれぞれの目標値との差 $\Delta B_{wv}(N)$ 及び $\Delta B_{wh}(N)$ を算出してもよい。

$$\Delta B_{wv}(N) = B_{wv}(N) - B_{wvt}$$

$$\Delta B_{wh}(N) = B_{wh}(N) - B_{wh t}$$

B_{wvt} は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光の V 方向のビームサイズの目標値であってもよい。

B w h t は、第 1 ～第 N m a x のパルスレーザ光の H 方向のビームサイズの目標値であってもよい。

[0194] 5. 第 3 の実施形態

5. 1 レーザシステム制御部とビームデリバリー装置制御部

図 29 は、本開示の第 3 の実施形態におけるレーザシステム制御部 20 とビームデリバリー装置制御部 59 及びその周辺のブロック図である。第 3 の実施形態においては、第 1 ～第 8 のビーム調節装置 7 a ～7 h として、ビームダイバージェンス調節器の代わりに、第 1 ～第 8 の光路長調節器 7 1 a ～7 1 h を含んでもよい。さらに、図 31 を参照しながら後述するように、第 1 ～第 8 のレーザ装置 2 a x ～2 h x が、それぞれビームダイバージェンス調節器 1 4 x を含んでもよい。その他の点については、第 1 の実施形態と同様の構成でよい。

[0195] ビームデリバリー装置制御部 59 は、レーザシステム制御部 20 を介して受信するビームパラメータの目標値等のデータに従って、第 1 ～第 8 の光路長調節器 7 1 a ～7 1 h を制御してもよい。第 1 ～第 8 の光路長調節器 7 1 a ～7 1 h は、それぞれ、ビームデリバリー装置制御部 59 による制御に従って、第 1 ～第 8 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 h の光路長を変更してもよい。

[0196] レーザシステム制御部 20 は、ビームデリバリー装置制御部 59 から受信する計測データに従って、第 1 ～第 8 のレーザ装置 2 a x ～2 h x にそれぞれ含まれるビームダイバージェンス調節器 1 4 x を制御してもよい。ビームダイバージェンス調節器 1 4 x は、レーザシステム制御部 20 による制御に従って、第 1 ～第 8 のパルスレーザ光 2 1 a ～2 1 h のビームダイバージェンスを変更してもよい。

[0197] 5. 2 光路長調節器

図 30 に、光路長調節器の構成を概略的に示す。第 1 の光路長調節器 7 1 a は、第 1 のパルスレーザ光 2 1 a の光路を迂回させて、第 1 のパルスレーザ光 2 1 a の光路長を変更できる装置でもよい。

[0198] 第1の光路長調節器71aは、直角プリズム711と、2枚の高反射ミラー712、713と、プレート714と、プレート715と、1軸ステージ716と、を含んでもよい。

第2～第8の光路長調節器71b～71hも、同様の構成でよい。第1～第8の光路長調節器71a～71hは、それぞれのレーザ装置からレーザシステム5の出口までの光路長が略一致するようにそれぞれの光路長を調節してもよい。

[0199] 直角プリズム711の直交する第1の面701と第2の面702には、高反射膜がコートされていてもよい。直角プリズム711は、ホルダー717に保持され、ホルダー717は、プレート714に固定されていてもよい。直角プリズム711は、第1のパルスレーザ光21aの光路に位置していてもよい。

[0200] 2枚の高反射ミラー712、713は、これらの反射面が直交するようにホルダー718に保持され、ホルダー718は、プレート715に固定されていてもよい。プレート715は、1軸ステージ716に固定されていてもよい。1軸ステージ716は、直角プリズム711の第1の面701によって反射された第1のパルスレーザ光21aの光路軸と平行に、2枚の高反射ミラー712、713を移動可能であってもよい。

[0201] 直角プリズム711の第1の面701によって反射された第1のパルスレーザ光21aは、2枚の高反射ミラー712、713によって反射され、直角プリズム711の第2の面702に入射してもよい。直角プリズム711の第2の面702に入射した第1のパルスレーザ光21aは、直角プリズム711の第1の面701に入射した第1のパルスレーザ光21aの光路軸のほぼ延長線上にあたる光路軸に沿って、直角プリズム711の第2の面702から出射してもよい。

[0202] ビームデリバリー装置制御部59は、1軸ステージ716のモータ719を駆動することにより、2枚の高反射ミラー712、713を移動させてもよい。2枚の高反射ミラー712、713を距離X移動させることにより、

第1のパルスレーザ光21aの光路長を2X変化させてもよい。光路長を変化させることにより、第1のパルスレーザ光21aのビームサイズを変化させてもよい。

[0203] 5. 3 レーザ装置

図31は、図29に示されるレーザ装置の構成例を示す。例えば、第1のレーザ装置2axは、高反射ミラー14の姿勢角を変更可能なアクチュエータを備えたビームダイバージェンス調節器14xを含んでもよい。ビームダイバージェンス調節器14xは、高反射ミラー14の姿勢角をV方向とH方向とに変更可能であってもよい。

[0204] 例えば、マスターオシレータMOのアライメントがずれることによりパルスレーザ光のビームダイバージェンスが変化し得る。そのような場合に、ビームダイバージェンス調節器14xが高反射ミラー14の姿勢角を調節することにより、ビームダイバージェンスの安定性を改善し得る。

他の点については、図8を参照しながら説明したレーザ装置の構成と同様でよい。第2～第8のレーザ装置2bx～2hxの構成も同様でもよい。

[0205] 5. 4 メインフロー

図32は、本開示の第3の実施形態におけるビームデリバリー装置制御部59の動作を示すフローチャートである。第3の実施形態においては、第Nのパルスレーザ光のビームダイバージェンスと、第Nのパルスレーザ光のビームサイズとの両方を計測してもよい(S200b、S300b)。また、第3の実施形態においては、光束化されたレーザ光のビームダイバージェンスと、第1～第Nmaxのパルスレーザ光のビームサイズの両方を計測してもよい。その他の点については、第1の実施形態と同様でよい。

[0206] 図32に示されるS100からS130までの処理は、図9に示されるS100からS130までの処理と同様でよい。

[0207] S200bにおいて、ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパルスレーザ光のビームダイバージェンスを計測してもよい。ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパルスレーザ光のビームダイバージェンスが所望の

値となるように、第Nのレーザ装置に含まれるビームダイバージェンス調節器14xを制御してもよい。この処理は、第Nのレーザ装置に含まれるビームダイバージェンス調節器14xを制御する他は、図10～図12を参照しながら説明した第1の実施形態と同様でよい。ビームダイバージェンス調節器14xの制御は、レーザシステム制御部20を介して行われてもよい。

[0208] S300bにおいて、ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパルスレーザ光のビームサイズを計測してもよい。ビームデリバリー装置制御部59は、第Nのパルスレーザ光のビームサイズが所望の値となるように、第Nの光路長調節器を制御してもよい。この処理は、光路長調節器を制御する他は、図23～図25を参照しながら説明した第2の実施形態と同様でよい。但し、光路長調節器は、V方向のビームサイズとH方向のビームサイズとを独立に変更できない場合があってもよい。

[0209] 次のS400からS610までの処理は、図9に示されるS400からS610までの処理と同様でよい。S600においてカウンタNの値がNmaxに達した場合（S600；YES）、ビームデリバリー装置制御部59は、処理をS700bに移行してもよい。

[0210] S700bにおいて、ビームデリバリー装置制御部59は、光束化されたレーザ光のビームパラメータを計測してもよい。この処理の詳細については、図33を参照しながら後述する。

その後のS800からS820までの処理は、図9に示されるS800からS820までの処理と同様でよい。

[0211] 5. 5 光束化されたレーザ光の計測

図33は、図32に示される光束化されたレーザ光のビームパラメータを計測する処理の詳細を示すフローチャートである。図33に示される処理は、図32に示されるS700bのサブルーチンとして、ビームデリバリー装置制御部59によって行われてもよい。

以下に述べるように、図33に示される処理は、ビームダイバージェンスとビームサイズの両方を計測する点の他は、図19に示される処理と同様で

よい。

[0212] まず、S 7 1 0 の処理は、図 1 9 に示される S 7 1 0 の処理と同様でよい。

次に、S 7 2 0 において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、光束化されたレーザ光のビームダイバージェンス $B d v$ 及び $B d h$ を計測してもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームダイバージェンス $B d v$ 及び $B d h$ とそれぞれの目標値との差 $\Delta B d v$ 及び $\Delta B d h$ を、算出してもよい。これらの処理は、図 1 9 に示される S 7 2 0 の処理と同様でよい。

[0213] 次に、S 7 3 0 a において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、第 1 ～ 第 $N m a x$ のパルスレーザ光に含まれる個々の第 N のパルスレーザ光のビームサイズ $B w v (N)$ 及び $B w h (N)$ を計測してもよい。さらに、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、ビームサイズ $B w v (N)$ 及び $B w h (N)$ とそれぞれの目標値との差 $\Delta B w v (N)$ 及び $\Delta B w h (N)$ を、算出してもよい。これらの処理は、図 2 6 に示される S 7 3 0 a の処理と同様でよい。

[0214] 次の S 7 4 0 及び S 7 5 0 の処理は、図 1 9 に示される S 7 4 0 及び S 7 5 0 の処理と同様でよい。

次に、S 7 6 0 b において、ビームデリバリー装置制御部 5 9 は、計測されたビームパラメータと目標値との差の絶対値が、以下のようにそれぞれ所定の閾値以下であるか否かを判定してもよい。

$$|\Delta B d v| \leq \Delta B d v m a x$$

$$|\Delta B d h| \leq \Delta B d h m a x$$

$$|\Delta B w v (1)| \leq \Delta B w v m a x$$

$$|\Delta B w h (1)| \leq \Delta B w h m a x$$

$$|\Delta B w v (2)| \leq \Delta B w v m a x$$

$$|\Delta B w h (2)| \leq \Delta B w h m a x$$

...

$$\begin{aligned}
&|\Delta B_{wv}(N_{max})| \leq \Delta B_{wvmax} \\
&|\Delta B_{wh}(N_{max})| \leq \Delta B_{whmax} \\
&|\Delta P_{ov}| \leq \Delta P_{ovmax} \\
&|\Delta P_{oh}| \leq \Delta P_{ohmax} \\
&|\Delta B_{pv}(1)| \leq \Delta B_{pvmax} \\
&|\Delta B_{ph}(1)| \leq \Delta B_{phmax} \\
&|\Delta B_{pv}(2)| \leq \Delta B_{pvmax} \\
&|\Delta B_{ph}(2)| \leq \Delta B_{phmax} \\
&\dots \\
&|\Delta B_{pv}(N_{max})| \leq \Delta B_{pvmax} \\
&|\Delta B_{ph}(N_{max})| \leq \Delta B_{phmax}
\end{aligned}$$

[0215] 計測されたビームパラメータと目標値との差の絶対値の、いずれかが閾値以下でない場合（S760b；NO）、ビームデリバリー装置制御部59は、S780において、判定結果を示すフラグFを0にセットして、本フローチャートの処理を終了してもよい。

計測されたビームパラメータと目標値との差の絶対値が、すべて閾値以下である場合（S760b；YES）、ビームデリバリー装置制御部59は、S770において、判定結果を示すフラグFを1にセットして、本フローチャートの処理を終了してもよい。本フローチャートの処理を終了したら、図32のS800に処理を移行してもよい。

[0216] 第3の実施形態によれば、第1～第8のレーザ装置2ax～2hxのマスターオシレータが、それぞれビームダイバージェンス調節器14xを含んでいるので、ビームパラメータの安定性を一層向上し得る。

第3の実施形態において、第Nのパルスレーザ光のビームサイズを計測及び制御する処理（S300b）は行われなくてもよい。すなわち、光路長調節器の制御をしなくてもよい。

[0217] 6. 第4の実施形態

図34A及び図34Bは、本開示の第4の実施形態において用いられるマ

スターオシレータの構成例を示す。図34AはV方向から見た断面図であり、図34BはH方向から見た断面図である。第4の実施形態においては、レーザ装置に含まれるマスターオシレータMOが、ビームダイバージェンス調節器を含んでもよい。マスターオシレータMOに含まれるビームダイバージェンス調節器は、第1シリンドリカル凹レンズ151と、第1シリンドリカル凸レンズ152と、第2シリンドリカル凹レンズ143と、第2シリンドリカル凸レンズ144と、を含んでもよい。

[0218] 第1シリンドリカル凸レンズ152及び第2シリンドリカル凸レンズ144は、いずれも平凸レンズであってよい。第1シリンドリカル凸レンズ152及び第2シリンドリカル凸レンズ144は、それらの凸面側が内側に互いに向き合い、平面側がいずれも外側を向くように配置されてもよい。第1シリンドリカル凸レンズ152及び第2シリンドリカル凸レンズ144の間に、第1シリンドリカル凹レンズ151及び第2シリンドリカル凹レンズ143が配置されてもよい。第1シリンドリカル凹レンズ151及び第2シリンドリカル凹レンズ143の内側に、レーザチャンバ10が配置されてもよい。

[0219] 第1シリンドリカル凹レンズ151は、ホルダー151aによって1軸ステージ155に保持されてもよい。第1シリンドリカル凸レンズ152は、ホルダー152aによってプレート157に保持されてもよい。第2シリンドリカル凹レンズ143は、ホルダー143aによって1軸ステージ146に保持されてもよい。第2シリンドリカル凸レンズ144は、ホルダー144aによってプレート147に保持されてもよい。

[0220] 第1シリンドリカル凸レンズ152の平面側には、パルスレーザ光の一部を透過させ、一部を反射する部分反射膜がコーティングされていてもよい。第2シリンドリカル凸レンズ144の平面側には、パルスレーザ光を高い反射率で反射する高反射膜がコーティングされていてもよい。第1シリンドリカル凸レンズの凸面側と、第2シリンドリカル凸レンズ144の凸面側と、第1シリンドリカル凹レンズ151の両面と、第2シリンドリカル凹レンズ

143の両面とには、パルスレーザ光の反射を抑制する減反射膜がコーティングされている。図34A及び図34Bにおいては、第1シリンドリカル凸レンズ152の平面側に部分反射膜がコーティングされている場合について説明したが、図示しない部分反射ミラーと、両面に減反射膜がコーティングされた第1シリンドリカル凸レンズとが、別々に設けられてもよい。

[0221] 第1シリンドリカル凹レンズ151の凹面と、第1シリンドリカル凸レンズ152の凸面とは、いずれも、H方向に略平行な中心軸を有する円筒面であってもよい。従って、第1シリンドリカル凹レンズ151と、第1シリンドリカル凸レンズ152とは、V方向にビーム幅を拡大又は縮小するものであってもよい。

1軸ステージ155が、パルスレーザ光の光路軸に沿って第1シリンドリカル凹レンズ151を移動させることにより、パルスレーザ光の波面をV方向に変化させ得る。パルスレーザ光の波面をV方向に変化させることにより、パルスレーザ光のV方向のビームダイバージェンスを変化させ得る。

[0222] 第2シリンドリカル凹レンズ143の凹面と、第2シリンドリカル凸レンズ144の凸面とは、いずれも、V方向に略平行な中心軸を有する円筒面であってもよい。従って、第2シリンドリカル凹レンズ143と、第2シリンドリカル凸レンズ144とは、H方向にビーム幅を拡大又は縮小するものであってもよい。

1軸ステージ146が、パルスレーザ光の光路軸に沿って第2シリンドリカル凹レンズ143を移動させることにより、パルスレーザ光の波面をH方向に変化させ得る。パルスレーザ光の波面をH方向に変化させることにより、パルスレーザ光のH方向のビームダイバージェンスを変化させ得る。

[0223] このように、ビームダイバージェンス調節器によれば、V方向のビームダイバージェンスとH方向のビームダイバージェンスとを独立に制御し得る。

図34A及び図34Bにおいては、第1シリンドリカル凸レンズ152の平面側に部分反射膜がコーティングされている場合について説明したが、図示しない部分反射ミラーと、両面に減反射膜がコーティングされた第1シリンドリカル凸レンズとが、別々に設けられてもよい。

第4の実施形態においては、第2シリンドリカル凸レンズ144の平面側に高反射膜がコーティングされている場合について説明したが、図示しない

高反射ミラーと、両面に減反射膜がコーティングされた第2シリンドリカル凸レンズとが、別々に設けられてもよい。

[0224] 図34A及び図34Bにおいては、H方向とV方向のビームダイバージェンスをそれぞれ変化させる場合について説明したが、H方向とV方向のいずれか一方だけを変化可能にしてもよい。例えば、V方向のビームダイバージェンスよりもH方向のビームダイバージェンスに要求される目標値が厳しい場合に、第2シリンドリカル凹レンズ143と第2シリンドリカル凸レンズ144との距離だけを変更可能にしてもよい。

[0225] また、シリンドリカル凸レンズとシリンドリカル凹レンズの組み合わせによってパルスレーザ光のビームダイバージェンスを変更する場合について説明したが、本開示はこれに限られない。例えば、2個のシリンドリカル凸レンズの組み合わせによって、パルスレーザ光のビームダイバージェンスを変更してもよい。また例えば、図8に示される高反射ミラー14を1次元のデフォーマブルミラーとすることによって、反射面の形状をシリンドリカル状に変化させることにより、パルスレーザ光のビームダイバージェンスを変更してもよい。

その他の点については、上述の第3の実施形態と同様でよい。

[0226] 第4の実施形態によれば、第1～第8のレーザ装置2ax～2hxのマスターオシレータが、それぞれビームダイバージェンス調節器を含んでいるので、ビームパラメータの安定性を一層向上し得る。

[0227] 7. 第5の実施形態

図35は、本開示の第5の実施形態において用いられるレーザ装置の構成例を示す。第5の実施形態においては、第1のレーザ装置2ayが、ビームパラメータ計測装置6ayを含んでもよい。また、マスターオシレータMOとビームパラメータ計測装置6ayとの間に、ビームステアリング装置8ayが配置されてもよい。また、マスターオシレータMOが、ビームダイバージェンス調節器14xを含んでもよい。

[0228] 図35においては、増幅器PAの図示が省略されているが、マスターオシ

レータMOとビームステアリング装置8 a yとの間に、増幅器PAがあってもなくてもよい。他の点については、図8に示される構成と同様でよい。第2～第8のレーザ装置は、第1のレーザ装置2 a yと同様の構成を有してよい。

[0229] ビームパラメータ計測装置6 a yは、ビームスプリッタ6 1 a及び6 2 aと、集光光学系6 3 aと、イメージセンサ6 4 aと、転写光学系6 5 aと、イメージセンサ6 6 aと、を含んでもよい。

[0230] ビームパラメータ計測装置6 a yは、ビーム選択機構を有しなくてもよい。ビームパラメータ計測装置6 a yは、光束化されたレーザ光の光路ではなく、第1のレーザ装置2 a yのビームステアリング装置8 a yから出力されたパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。その他の点については、ビームパラメータ計測装置6 a yは、図4を参照しながら説明したビームパラメータ計測装置6と同様の構成でよい。

[0231] ビームステアリング装置8 a yは、第1の高反射ミラー8 1 aと、第2の高反射ミラー8 2 aと、アクチュエータ8 3 a及び8 4 aとを含んでもよい。

[0232] 第1の高反射ミラー8 1 aは、第1のレーザ装置2 a yのマスターオシレータMOから出力されたパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。アクチュエータ8 3 aは、レーザシステム制御部2 0によって出力される駆動信号に従って、第1の高反射ミラー8 1 aの姿勢を変化させてもよい。第1の高反射ミラー8 1 aは、アクチュエータ8 3 aによって変化させられた姿勢に応じた方向に、パルスレーザ光を反射してもよい。例えば、アクチュエータ8 3 aは互いに直交する2軸の方向に高反射ミラー8 1 aの姿勢角を変化させてもよい。

[0233] 第2の高反射ミラー8 2 aは、第1の高反射ミラー8 1 a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もよい。アクチュエータ8 4 aは、レーザシステム制御部2 0によって出力される駆動信号に従って、第2の高反射ミラー8 2 aの姿勢を変化させてもよい。第2の高反射ミラー8 2 aは

、アクチュエータ 84 a によって変化させられた姿勢に応じた方向に、パルスレーザ光を反射してもよい。例えば、アクチュエータ 84 a は互いに直交する 2 軸の方向に高反射ミラー 82 a の姿勢角を変化させてもよい。

[0234] 高反射ミラー 81 a 及び 82 a の姿勢角をそれぞれ調整することにより、ビームステアリング装置 8 a y は、パルスレーザ光のビームポインティング及びパルスレーザ光のビーム位置の両方を制御し得る。

[0235] ビームステアリング装置 8 a y の代わりに、図 6 を参照しながら説明した第 1 のビームステアリング装置 8 a が、第 1 のレーザ装置 2 a y に設けられてもよい。

[0236] ビームダイバージェンス調節器 14 x の構成は、図 31 を参照しながら説明したものと同様でよい。

[0237] 第 5 の実施形態においては、それぞれのレーザ装置において、ビームパラメータ計測装置 6 a y を用いて計測されたビームダイバージェンス、ビームポインティング、ビーム位置、ビームサイズ等のビームパラメータに基づいて、ビームステアリング装置 8 a y と、ビームダイバージェンス調節器 14 x とが制御されてもよい。さらに、第 1 又は第 2 の実施形態と同様に、ビームデリバリー装置 50 に設けられたビームパラメータ計測装置 6 を用いて計測されたビームパラメータに基づいて、第 1 ～第 8 のビームステアリング装置 8 a ～8 h と、第 1 ～第 8 のビーム調節装置 7 a ～7 h とが制御されてもよい。これにより、ビームパラメータの安定性を一層向上し得る。

[0238] 8. 第 6 の実施形態

図 36 は、本開示の第 6 の実施形態におけるレーザシステムのブロック図である。第 6 の実施形態においては、ビームデリバリー装置制御部 59 やレーザシステム制御部 20 の代わりに、露光装置 4 に含まれる露光装置制御部 40 が、各種制御を行ってもよい。

露光装置制御部 40 は、第 1 ～第 8 のビームステアリング装置 8 a ～8 h と、第 1 ～第 8 のビームダイバージェンス調節器 72 a ～72 h と、ミラー移動機構 90 a ～90 d と、第 1 ～第 8 のレーザ装置 2 a ～2 h と、を制御

してもよい。

その他の点については上述の各実施形態と同様でよい。

[0239] 9. フライアイレンズを含むビームコンバイナ

図37は、上記各実施形態において用いることのできるビームコンバイナの例を示す。なお、図37においては、露光装置4にある高反射ミラー41の図示を省略している。図1に示される回折光学素子を用いたビームコンバイナ34に限られず、フライアイレンズ342aと、コンデンサ光学系342bとを含むビームコンバイナ342が用いられてもよい。

[0240] フライアイレンズ342aは、例えば合成石英やフッ化カルシウム基板等の紫外線を透過させる基板上に複数の凹レンズ又は凸レンズを配列して形成されてもよい。フライアイレンズ342aは、入射光学系33から出射された第1～第6のパルスレーザ光21a～21fが重なる位置に配置されてもよい。

[0241] 図37においては、入射光学系33から出射されたパルスレーザ光が第1～第6のパルスレーザ光21a～21fを含む場合を示したが、第1～第8のパルスレーザ光21a～21h、あるいはそれ以外の数の複数のパルスレーザ光を含んでもよい。

[0242] フライアイレンズ342aに含まれる複数のレンズは、パルスレーザ光の断面に沿って配列されてもよい。当該複数のレンズのそれぞれは、パルスレーザ光の各一部をコンデンサ光学系342bに向けて透過させるときに、当該各一部のビーム幅を拡大させてもよい。このように、フライアイレンズ342aは、入射したパルスレーザ光に対する二次光源として多数の点光源の集合を構成し得る。フライアイレンズ342aは、多数のシリンドリカルの凹レンズ又は凸レンズが直交するように加工されたものでもよい。

[0243] コンデンサ光学系342bは、少なくとも1つの凸レンズを含んでもよい。コンデンサ光学系342bは、フライアイレンズ342aの複数のレンズによってそれぞれ拡大されたパルスレーザ光の光路にまたがる領域に配置されてもよい。

[0244] フライアイレンズ342aは、当該フライアイレンズ342aの複数の焦点の位置がコンデンサ光学系342bの前側焦点面の位置と略一致するように配置されてもよい。従って、フライアイレンズ342aの複数のレンズによってそれぞれ拡大されたパルスレーザ光が、コンデンサ光学系342bを透過することによってほぼ平行光となるようにコリメートされてもよい。

[0245] コンデンサ光学系342bは、当該コンデンサ光学系342bの後側焦点面の位置が露光装置4のフライアイレンズ421の入射側の面の位置と略一致するように配置されてもよい。従って、コンデンサ光学系342bは、フライアイレンズ342aの複数のレンズによってそれぞれ拡大されたパルスレーザ光を、フライアイレンズ421の互いにほぼ同じ領域に入射させてもよい。

[0246] その結果、露光装置4のフライアイレンズ421の入射側の面に重ね合されたパルスレーザ光は、ビーム断面の光強度分布のばらつきが低減されたパルスレーザ光となり得る。

[0247] 10. ラインフォーカス光学系を含む露光装置

図38は、上記各実施形態において用いることのできる露光装置の例を示す。図38に示される露光装置4aは、高反射ミラー41aと、ラインフォーカス光学系45aとを含んでもよい。図38においては、光束化されたレーザ光が第1～第6のパルスレーザ光21a～21fを含む場合を示したが、第1～第8のパルスレーザ光21a～21h、あるいはそれ以外の数の複数のパルスレーザ光を含んでもよい。

[0248] 光束化されたレーザ光は、露光装置4aの高反射ミラー41aに入射してもよい。光束化されたレーザ光は、高反射ミラー41aによって反射されて、ラインフォーカス光学系45aに入射してもよい。ラインフォーカス光学系45aは、例えば、シリンドリカル凸レンズを含んでもよい。ラインフォーカス光学系45aは、光束化されたレーザ光に含まれる個々のパルスレーザ光がライン状に重なるように、光束化されたレーザ光を被照射物Pの照射面に集光してもよい。

[0249] 11. 制御部の構成

図39は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

上述した実施の形態におけるレーザシステム制御部20、ビームデリバリー装置制御部59等の制御部は、コンピュータやプログラマブルコントローラ等汎用の制御機器によって構成されてもよい。例えば、以下のように構成されてもよい。

[0250] (構成)

制御部は、処理部1000と、処理部1000に接続される、ストレージメモリ1005と、ユーザインターフェイス1010と、パラレルI/Oコントローラ1020と、シリアルI/Oコントローラ1030と、A/D、D/Aコンバータ1040とによって構成されてもよい。また、処理部1000は、CPU1001と、CPU1001に接続された、メモリ1002と、タイマー1003と、GPU1004とから構成されてもよい。

[0251] (動作)

処理部1000は、ストレージメモリ1005に記憶されたプログラムを読み出してもよい。また、処理部1000は、読み出したプログラムを実行したり、プログラムの実行に従ってストレージメモリ1005からデータを読み出したり、ストレージメモリ1005にデータを記憶させたりしてもよい。

[0252] パラレルI/Oコントローラ1020は、パラレルI/Oポートを介して通信可能な機器1021～102xに接続されてもよい。パラレルI/Oコントローラ1020は、処理部1000がプログラムを実行する過程で行うパラレルI/Oポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0253] シリアルI/Oコントローラ1030は、シリアルI/Oポートを介して通信可能な機器1031～103xに接続されてもよい。シリアルI/Oコントローラ1030は、処理部1000がプログラムを実行する過程で行うシリアルI/Oポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

。

[0254] A/D、D/Aコンバータ1040は、アナログポートを介して通信可能な機器1041～104xに接続されてもよい。A/D、D/Aコンバータ1040は、処理部1000がプログラムを実行する過程で行うアナログポートを介した、アナログ信号による通信を制御してもよい。

[0255] ユーザインターフェイス1010は、オペレータが処理部1000によるプログラムの実行過程を表示したり、オペレータによるプログラム実行の中止や割り込み処理を処理部1000に行わせたりするよう構成されてもよい。

。

[0256] 処理部1000のCPU1001はプログラムの演算処理を行ってもよい。メモリ1002は、CPU1001がプログラムを実行する過程で、プログラムの一時記憶や、演算過程でのデータの一時記憶を行ってもよい。タイマー1003は、時刻や経過時間を計測し、プログラムの実行に従ってCPU1001に時刻や経過時間を出力してもよい。GPU1004は、処理部1000に画像データが入力された際、プログラムの実行に従って画像データを処理し、その結果をCPU1001に出力してもよい。

[0257] パラレルI/Oコントローラ1020に接続される、パラレルI/Oポートを介して通信可能な機器1021～102xは、第1～第8のレーザ装置2a～2h、露光装置制御部40、他の制御部等の発振トリガ信号やタイミングを示す信号の受送信に使用してもよい。

シリアルI/Oコントローラ1030に接続される、シリアルI/Oポートを介して通信可能な機器1031～103xは、第1～第8のレーザ装置2a～2h、露光装置制御部40、他の制御部等のデータの受送信に使用してもよい。A/D、D/Aコンバータ1040に接続される、アナログポートを介して通信可能な機器1041～104xは、ビームパラメータ計測装置6や、パルスエネルギー計測部17等の各種センサであってもよい。

以上のように構成されることで、制御部は各実施形態に示された動作を実現可能であってよい。

[0258] 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。

[0259] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書及び添付の特許請求の範囲に記載される修飾句「1つの」は、「少なくとも1つ」又は「1又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

請求の範囲

- [請求項1] 複数のレーザ装置と、
- 前記複数のレーザ装置からそれぞれ出力された複数のパルスレーザ光を束ねて、光束化されたパルスレーザ光を出射するように構成されたビームデリバリー装置と、
- 前記光束化されたパルスレーザ光の光路に配置され、前記複数のパルスレーザ光に含まれる個々のパルスレーザ光のビームパラメータと、前記光束化されたパルスレーザ光のビームパラメータと、を計測するビームパラメータ計測装置と、
- を備えるレーザシステム。
- [請求項2] 前記ビームパラメータ計測装置は、前記複数のパルスレーザ光に含まれる1つ又は複数のパルスレーザ光を選択する選択機構を含み、前記選択機構によって前記複数のパルスレーザ光に含まれる1つ又は複数のパルスレーザ光を選択して、前記複数のパルスレーザ光に含まれる1つ又は複数のパルスレーザ光のビームパラメータを計測するように構成された、
- 請求項1記載のレーザシステム。
- [請求項3] 前記ビームパラメータ計測装置は、イメージセンサと、前記複数のパルスレーザ光に含まれる1つ又は複数のパルスレーザ光を選択して前記イメージセンサに入射させる選択機構とを含み、前記選択機構によって前記複数のパルスレーザ光に含まれる1つ又は複数のパルスレーザ光を選択して前記イメージセンサに入射させ、前記イメージセンサによって、前記複数のパルスレーザ光に含まれる1つ又は複数のパルスレーザ光のビームパラメータを計測するように構成された、
- 請求項1記載のレーザシステム。
- [請求項4] 前記複数のレーザ装置と、前記ビームパラメータ計測装置との間のそれぞれの光路に配置された複数のビームステアリング装置と、
- 前記ビームパラメータ計測装置の計測結果に基づいて前記複数のビ

ームステアリング装置を制御する制御部と、
をさらに備える、請求項 1 記載のレーザシステム。

[請求項5] 前記複数のレーザ装置と、前記複数のビームステアリング装置との間のそれぞれの光路に配置された複数のビームダイバージェンス調節器

をさらに備え、

前記制御部は、前記ビームパラメータ計測装置の計測結果に基づいて前記複数のビームステアリング装置及び前記複数のビームダイバージェンス調節器を制御する、

請求項 4 記載のレーザシステム。

[請求項6] 前記複数のレーザ装置と、前記複数のビームステアリング装置との間のそれぞれの光路に配置された複数の光路長調節器

をさらに備え、

前記制御部は、前記ビームパラメータ計測装置の計測結果に基づいて前記複数のビームステアリング装置及び前記複数の光路長調節器を制御する、

請求項 4 記載のレーザシステム。

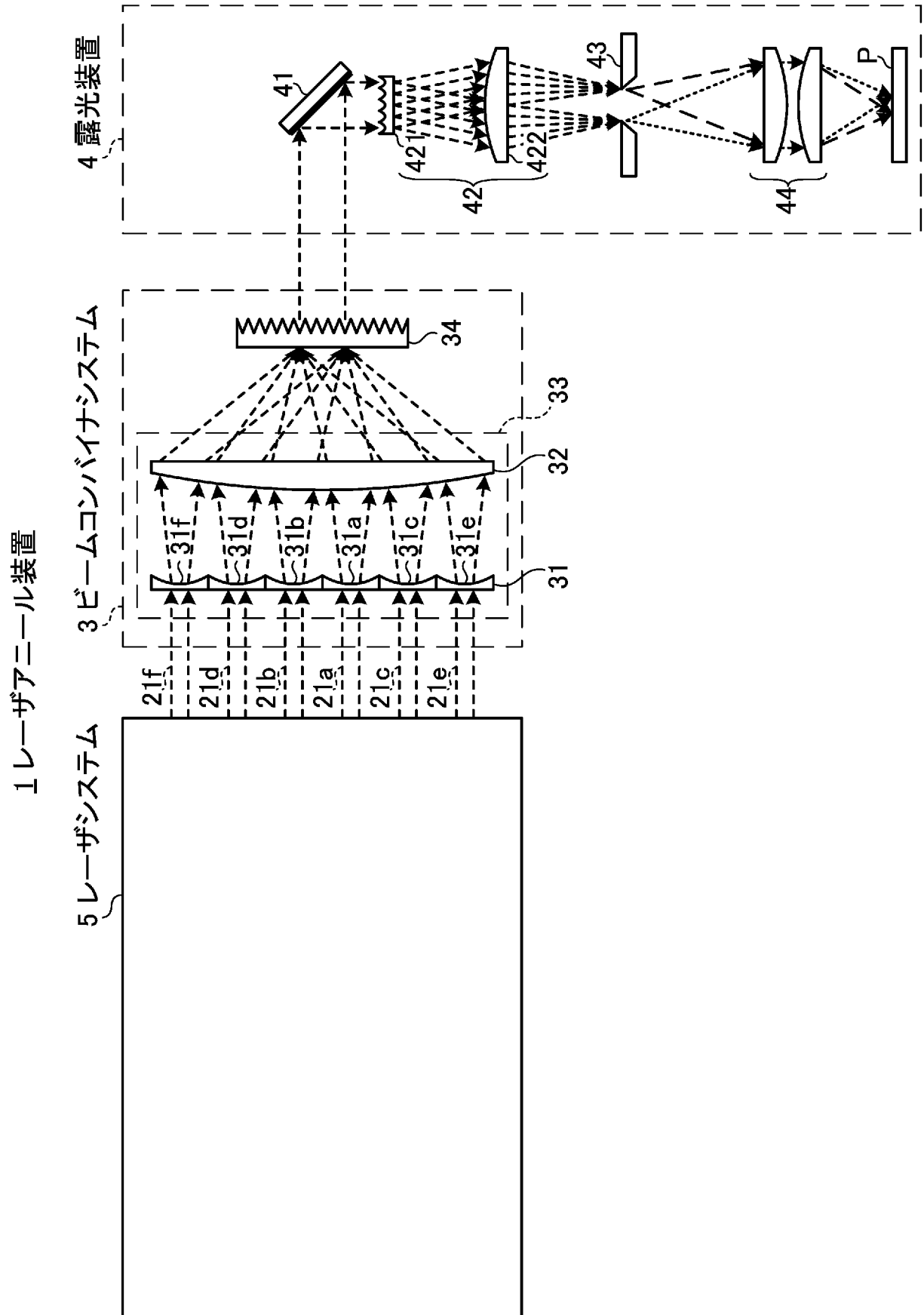
[請求項7] 前記複数のレーザ装置のそれぞれの内部に配置された複数のビームダイバージェンス調節器

をさらに備え、

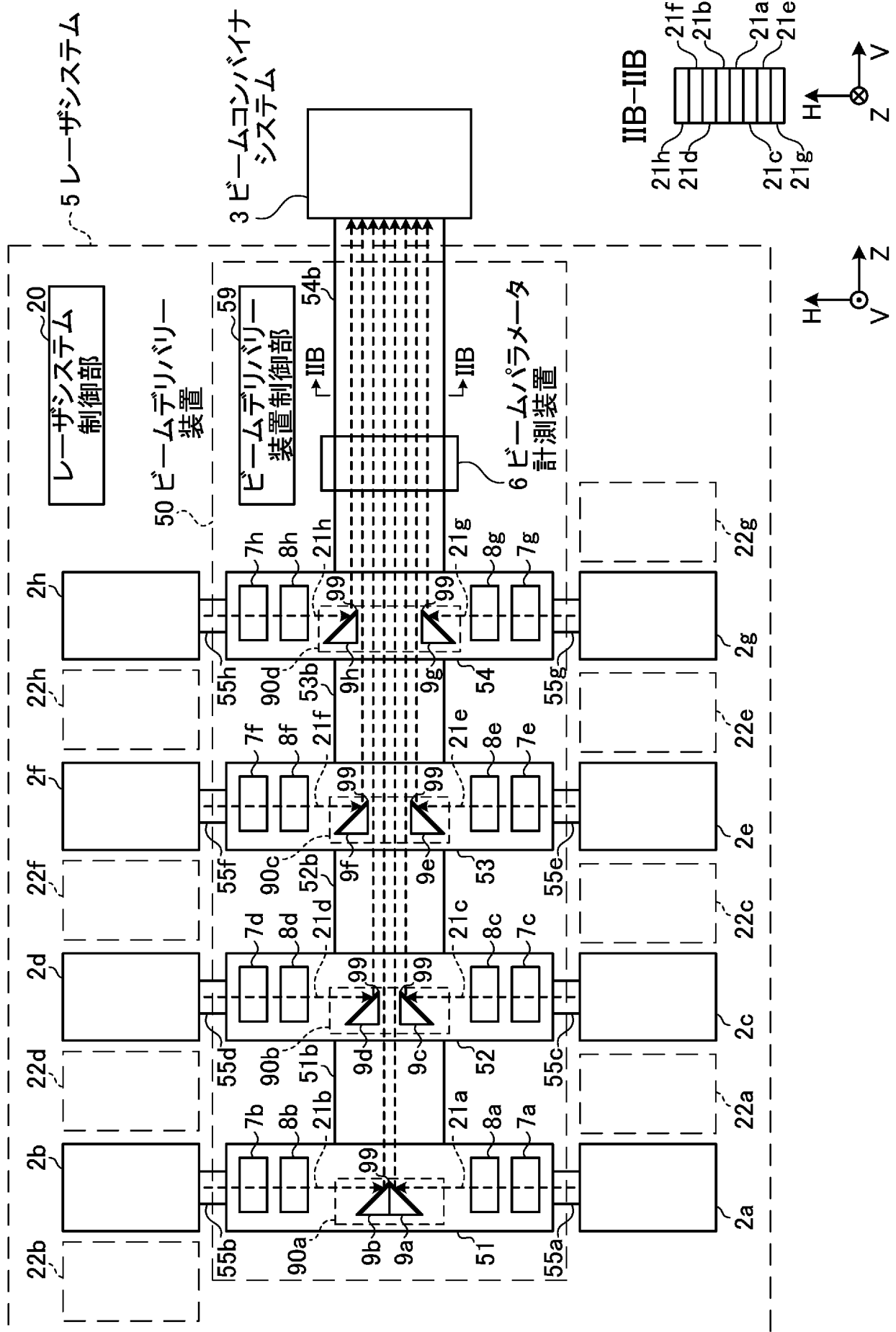
前記制御部は、前記ビームパラメータ計測装置の計測結果に基づいて前記複数のビームステアリング装置、前記複数のビームダイバージェンス調節器を制御する、

請求項 4 記載のレーザシステム。

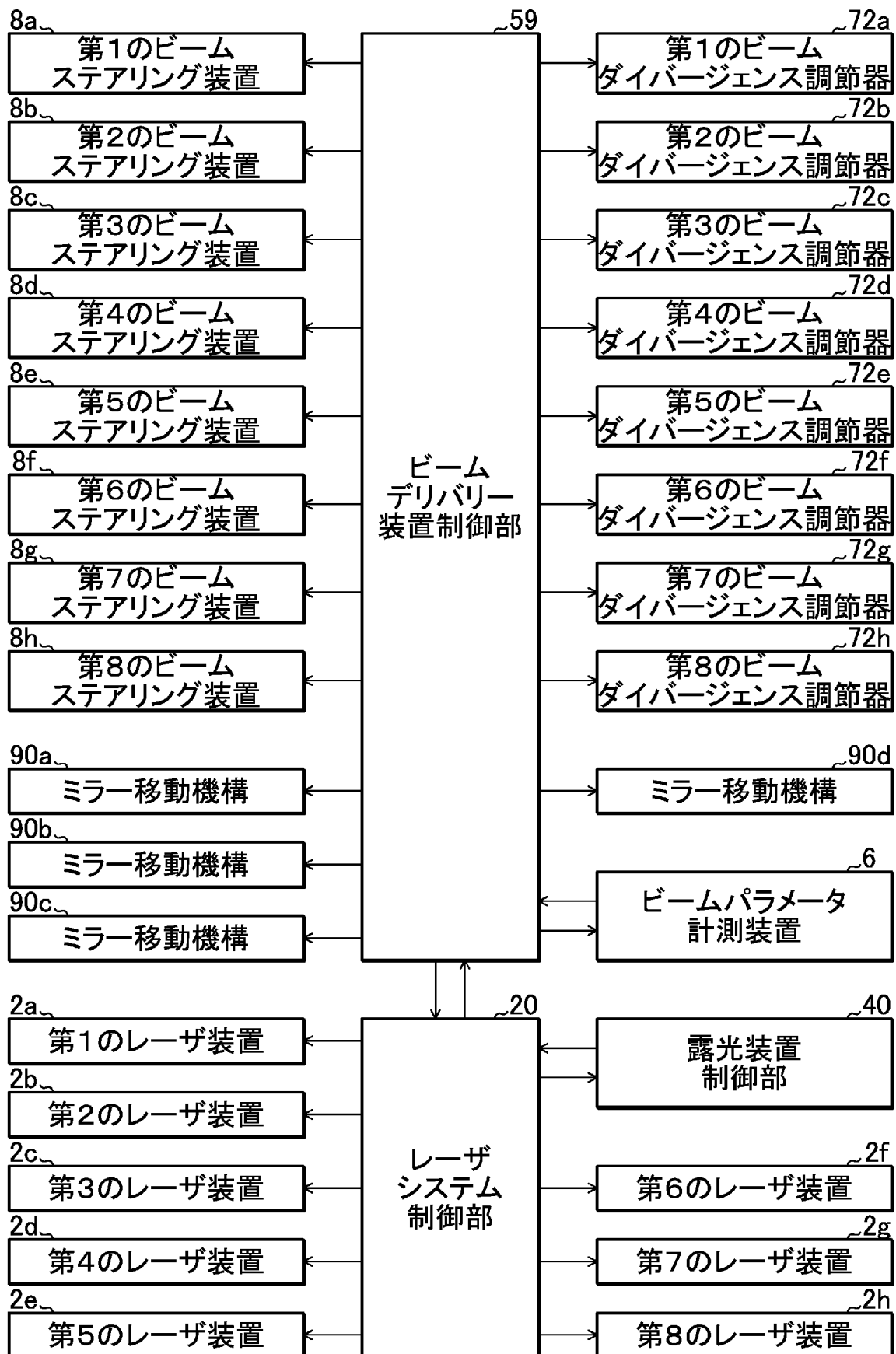
[図1]



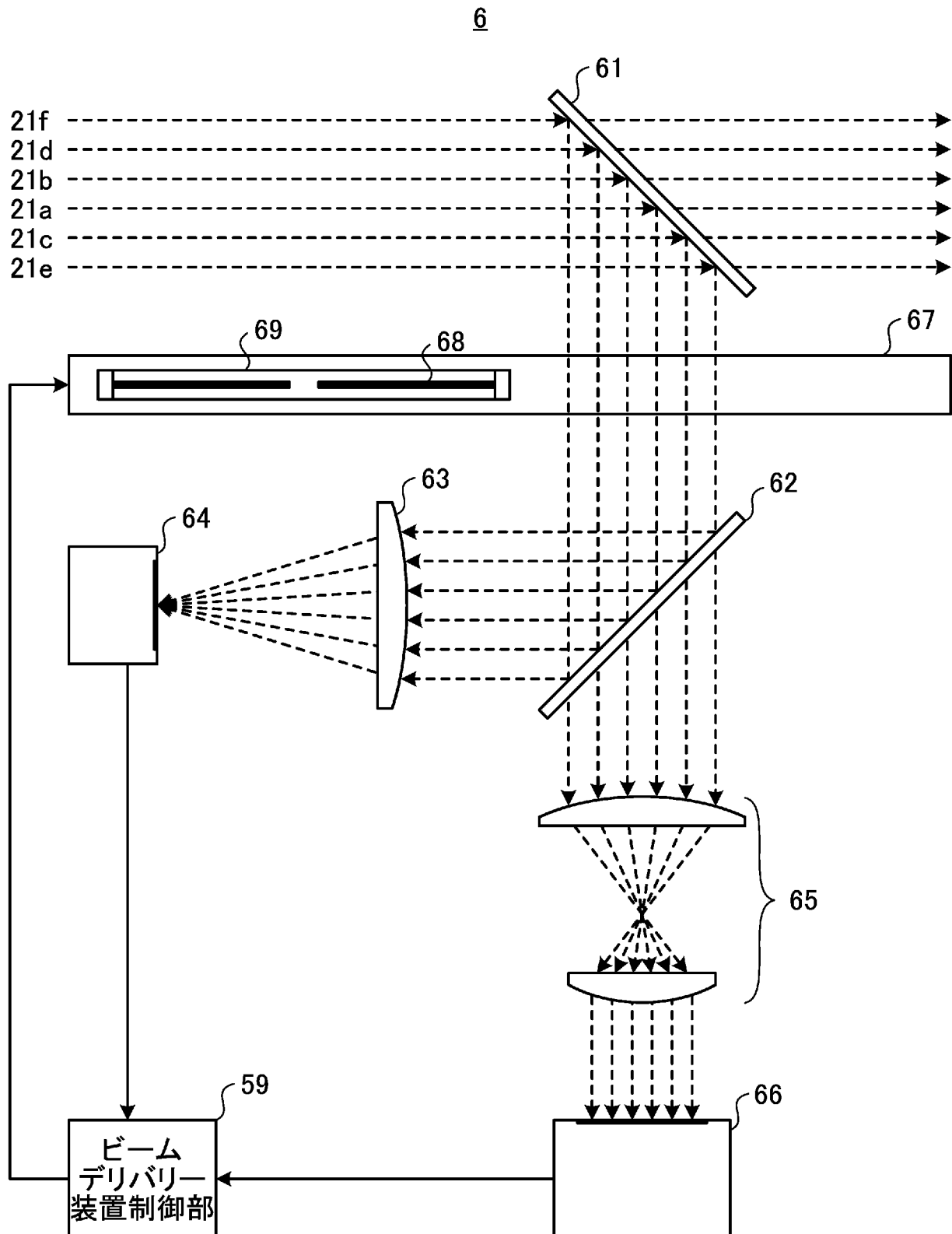
[図2]



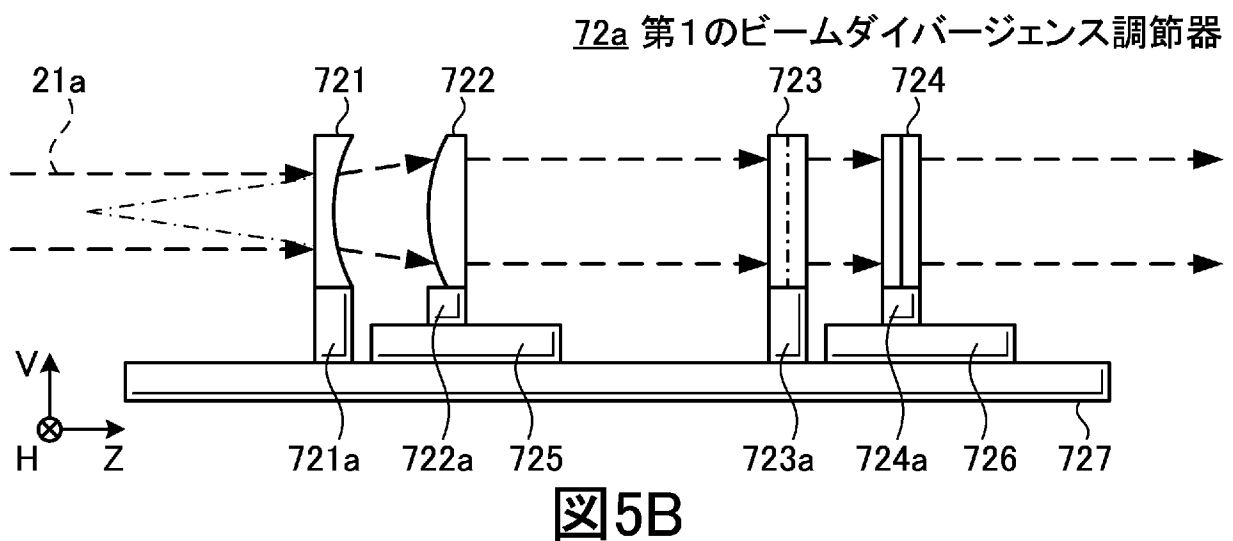
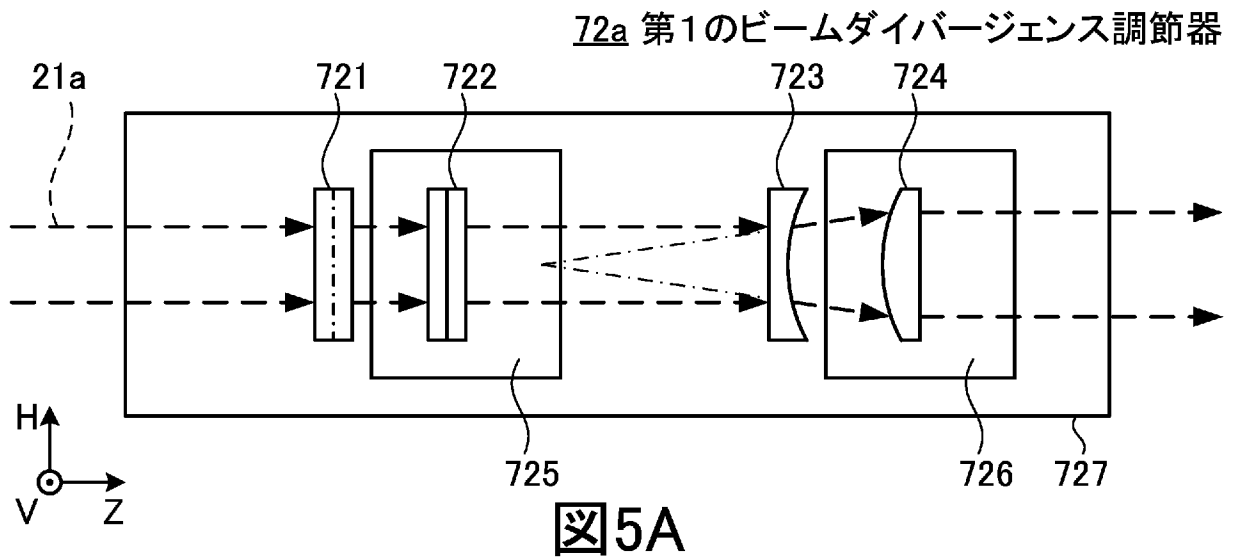
[図3]



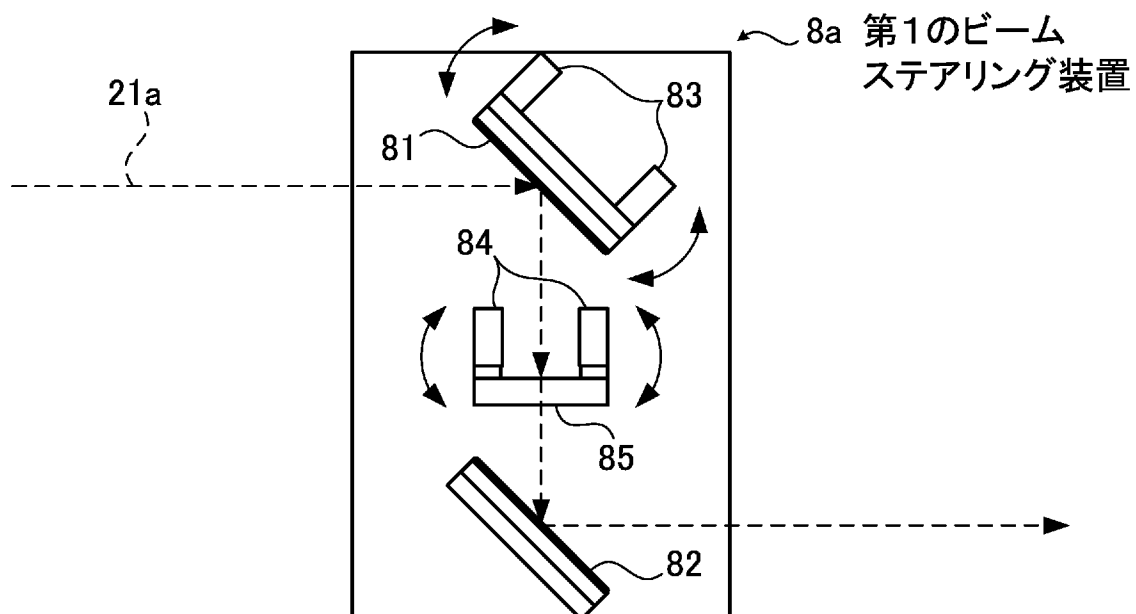
[図4]



[図5]



[図6]



[図7]

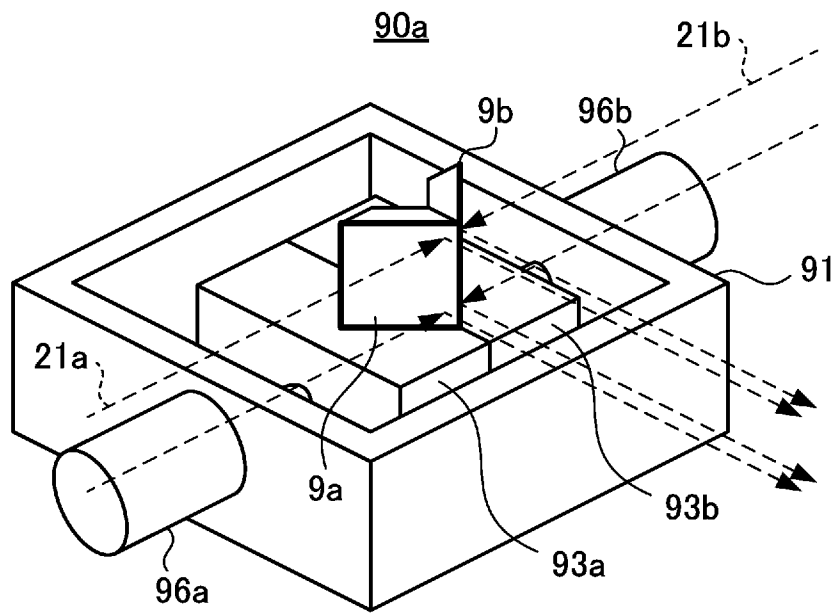


図7A

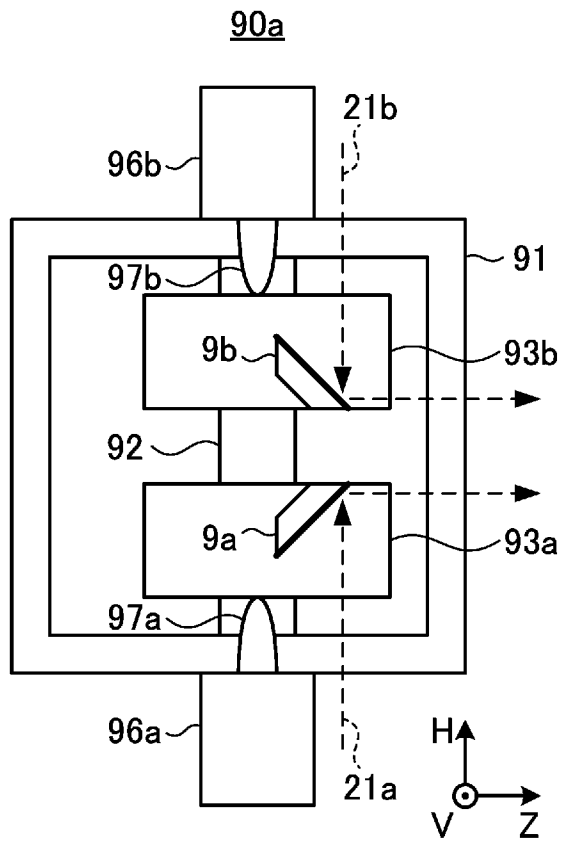


図7B

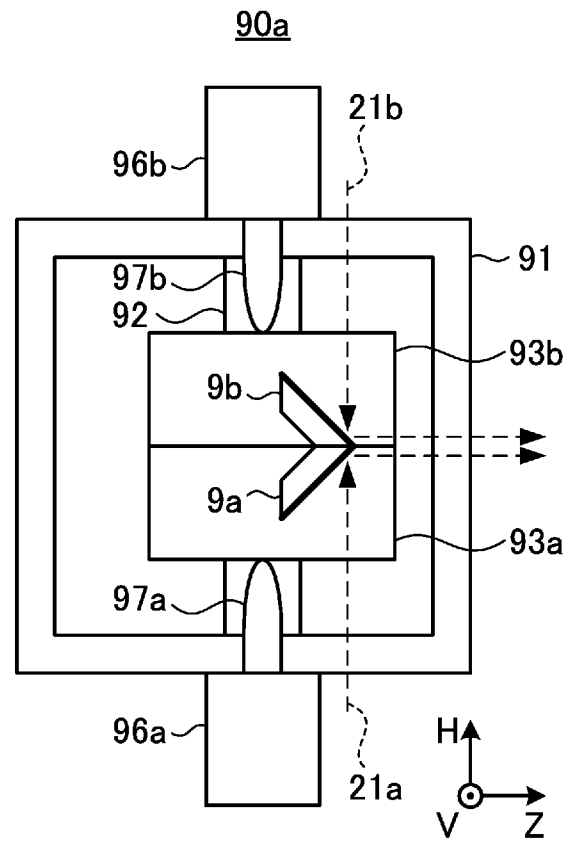
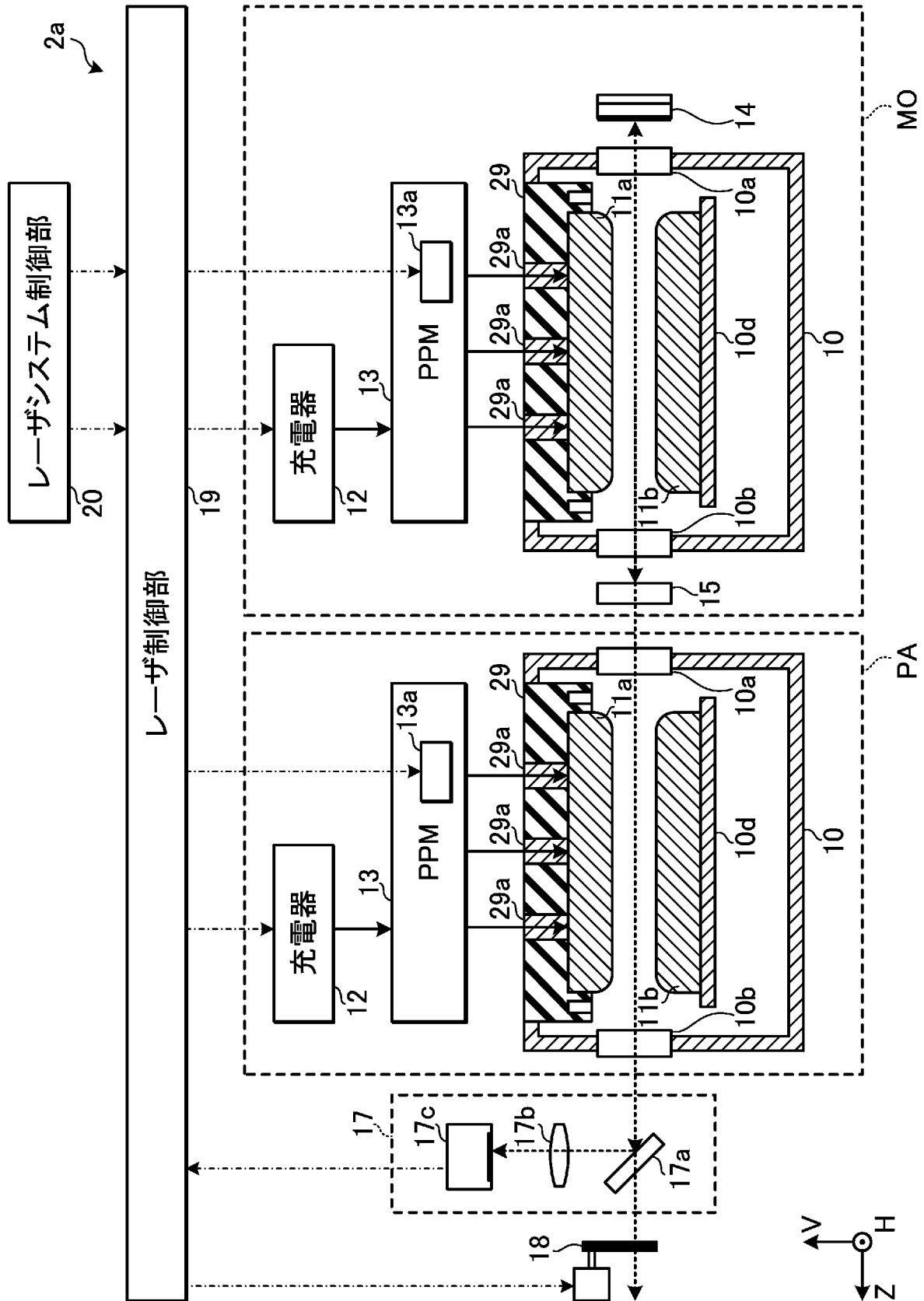
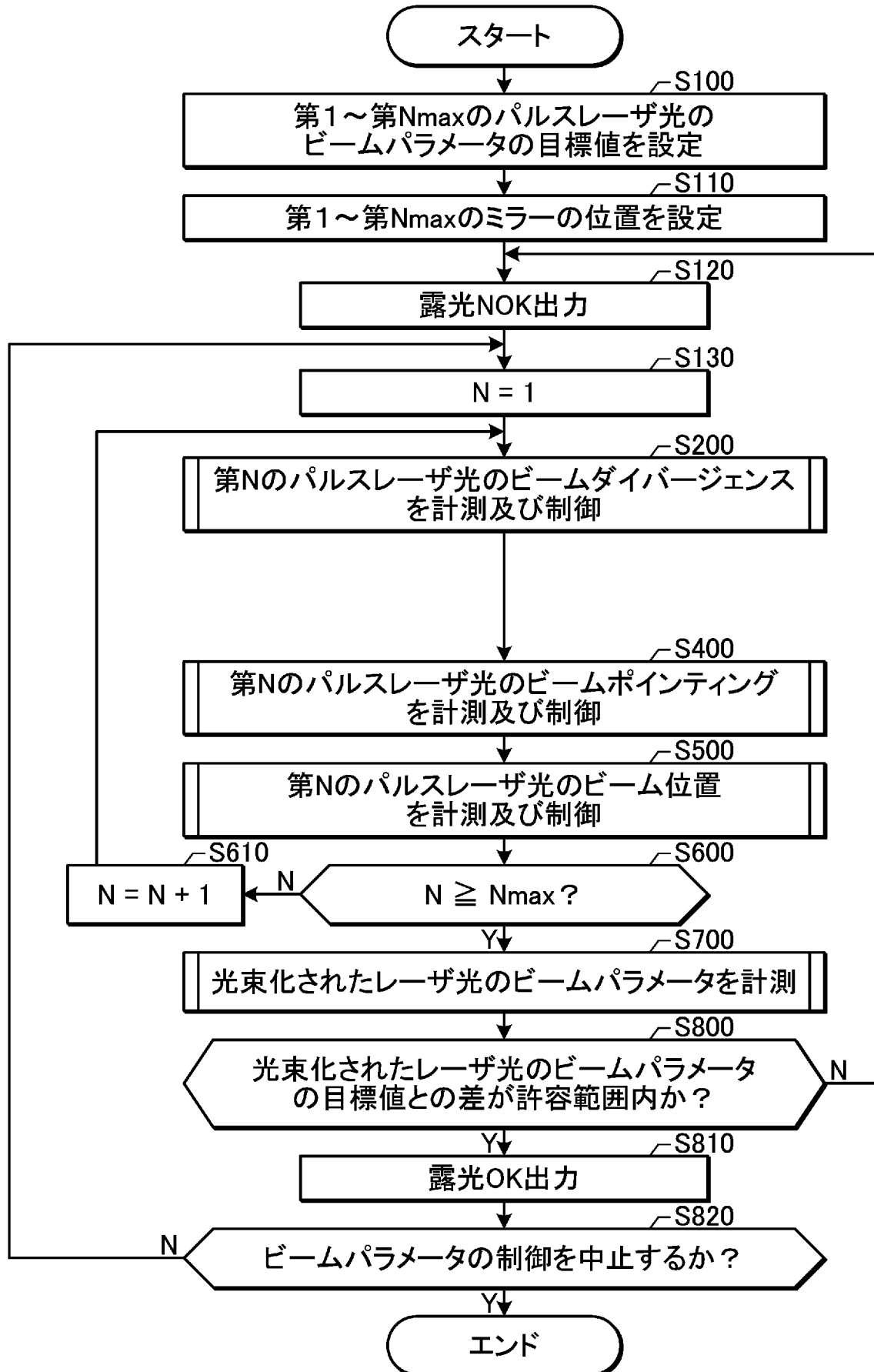


図7C

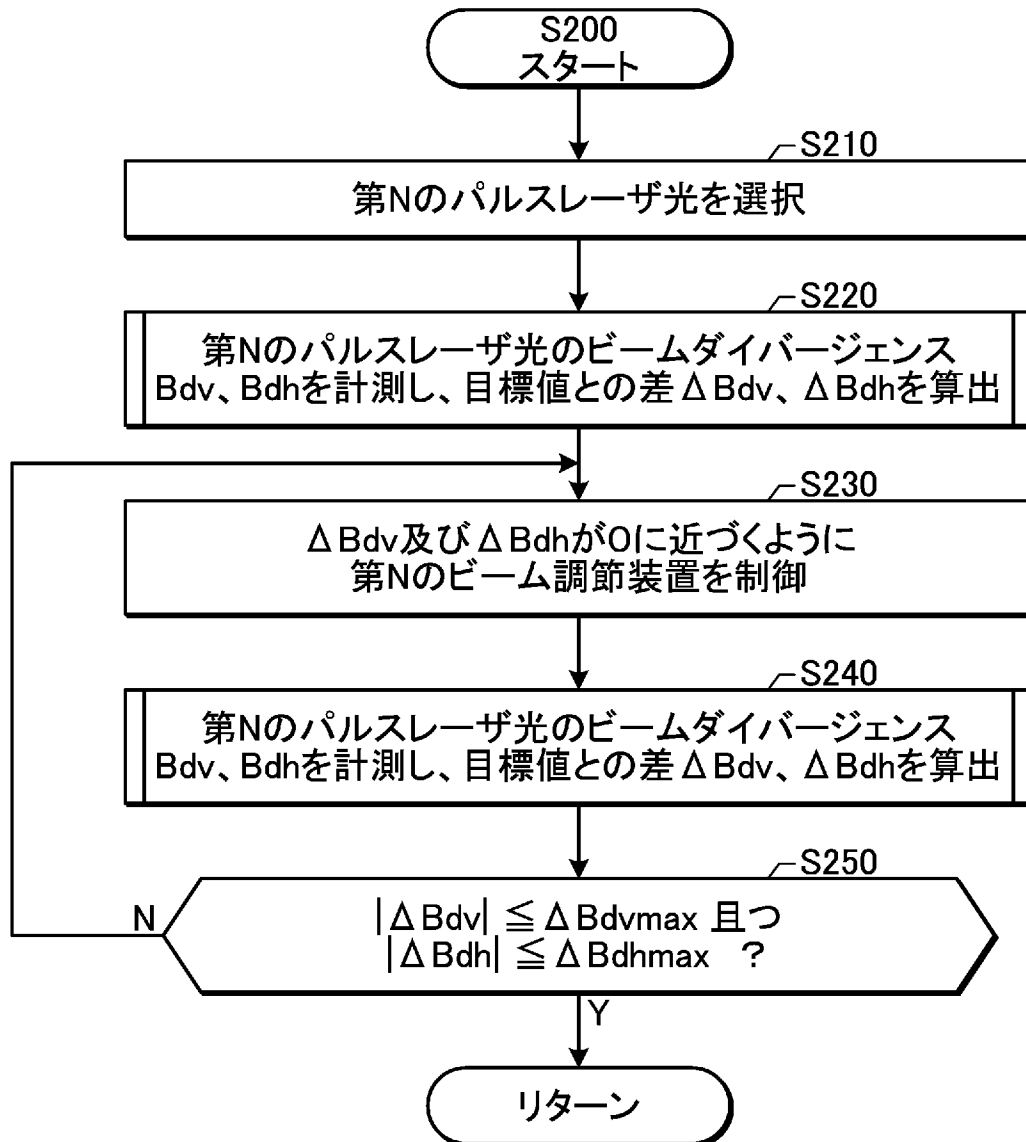
【図8】



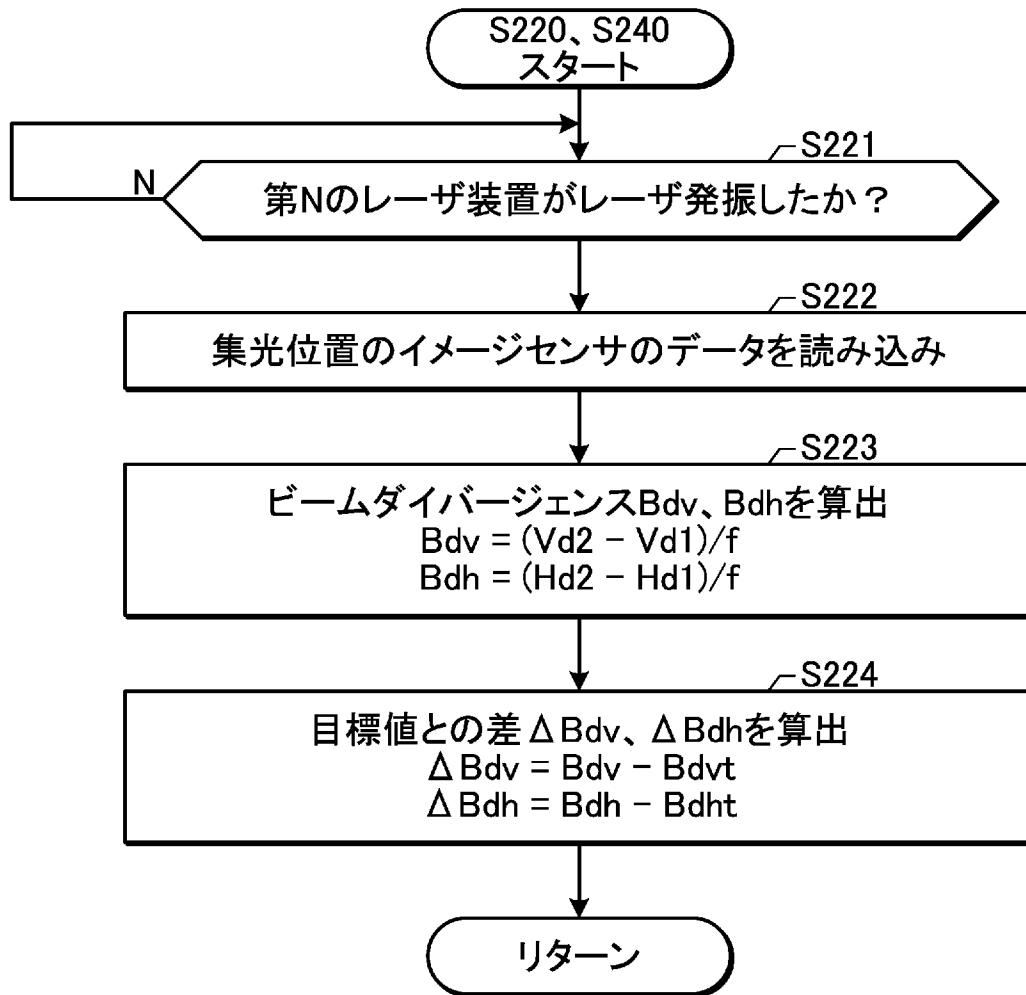
[図9]



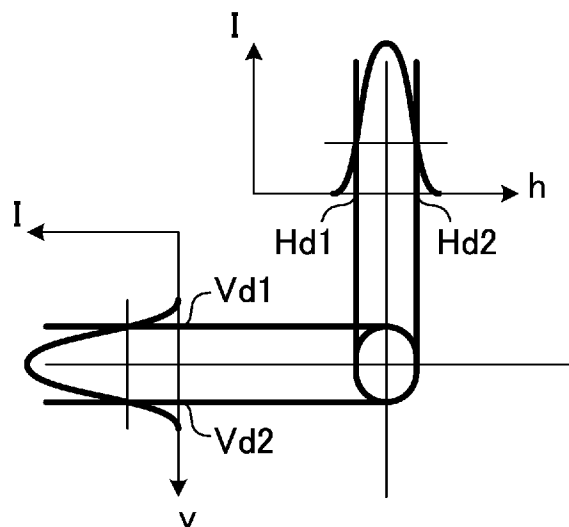
[図10]



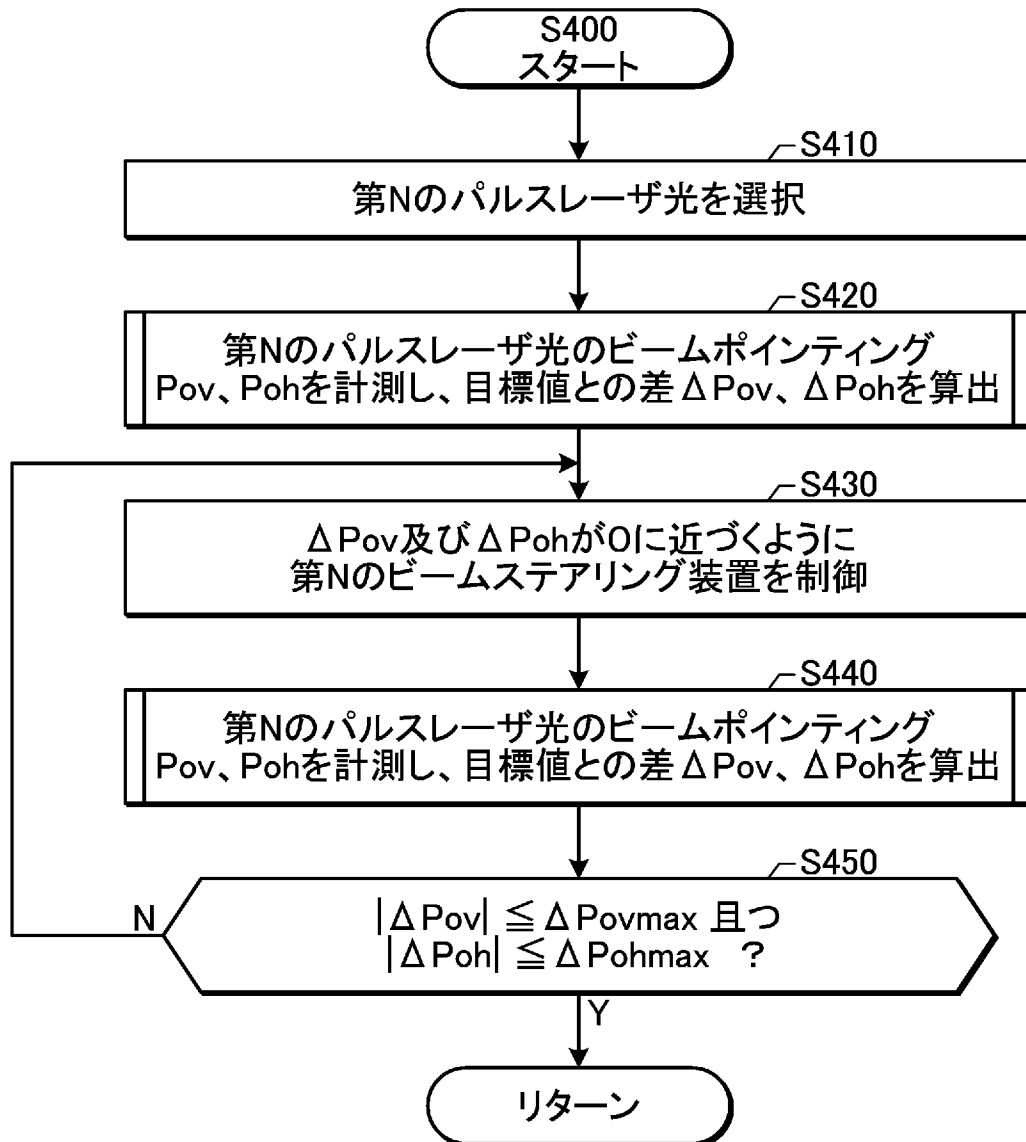
[図11]



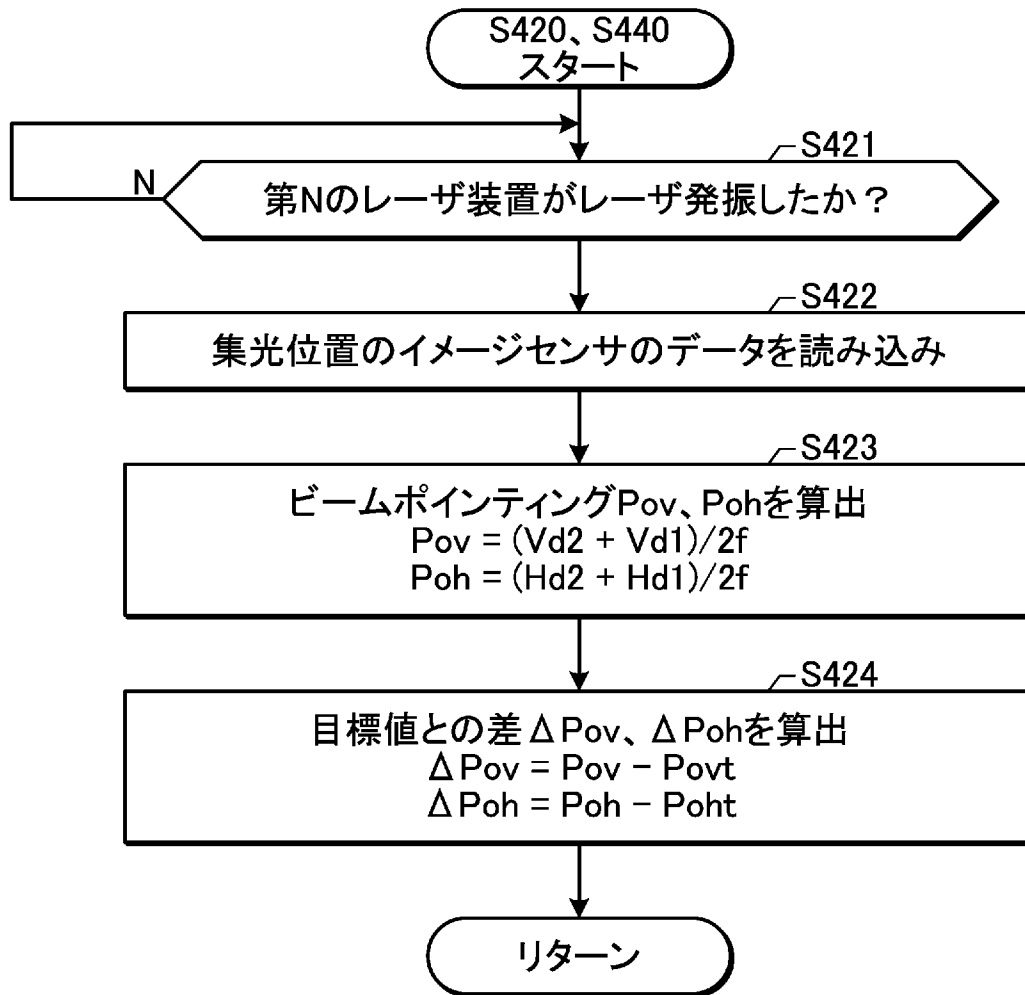
[図12]



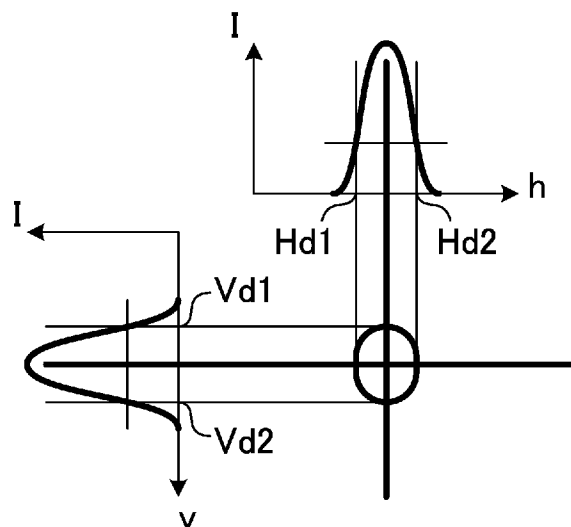
[図13]



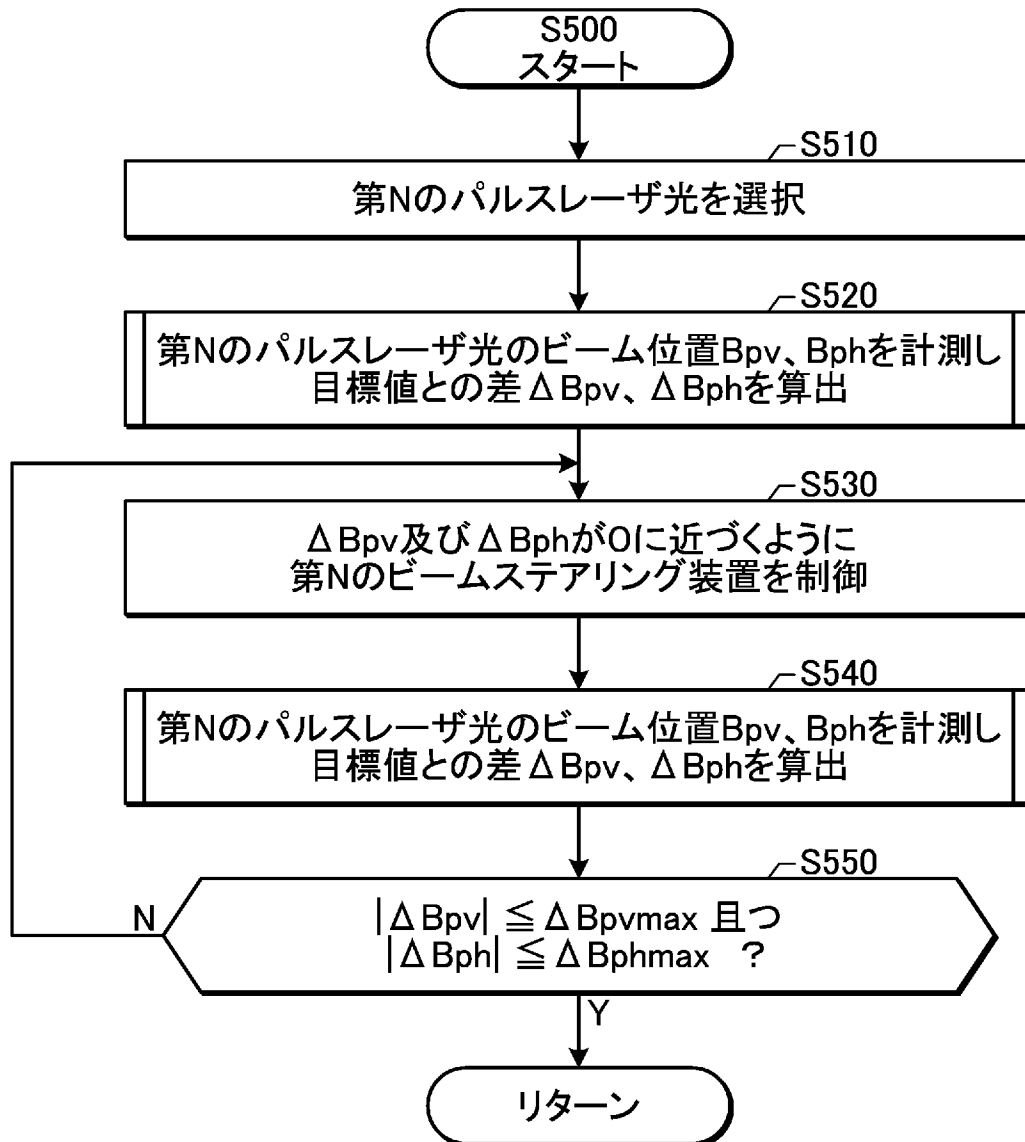
[図14]



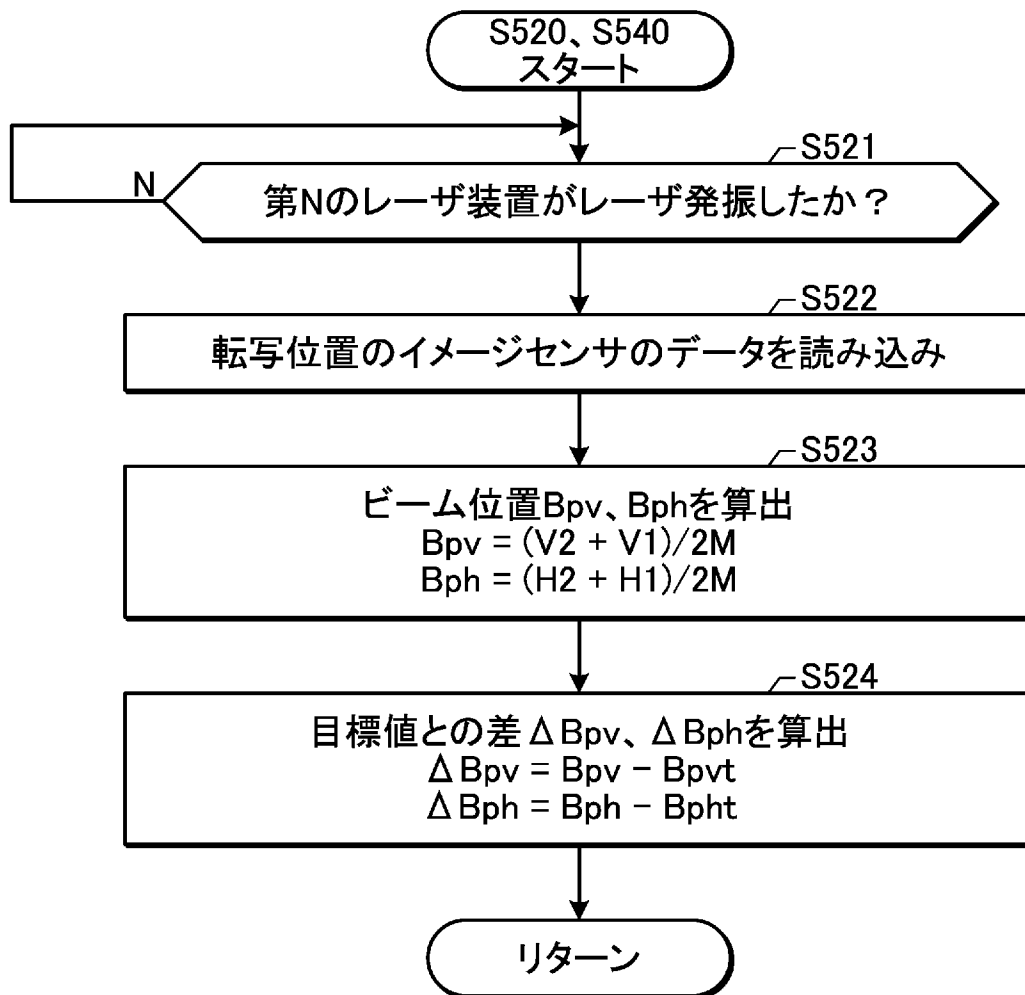
[図15]



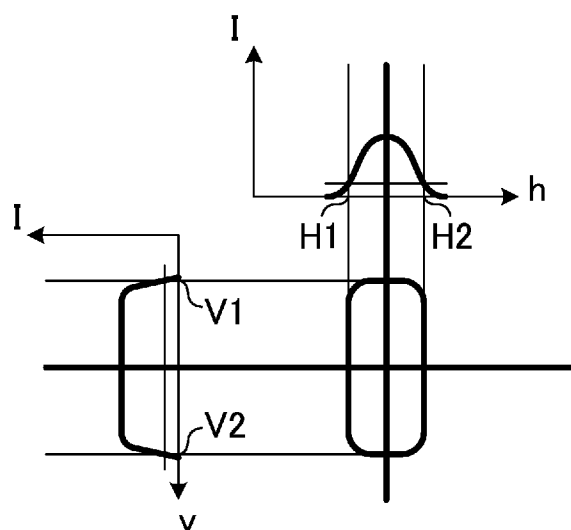
[図16]



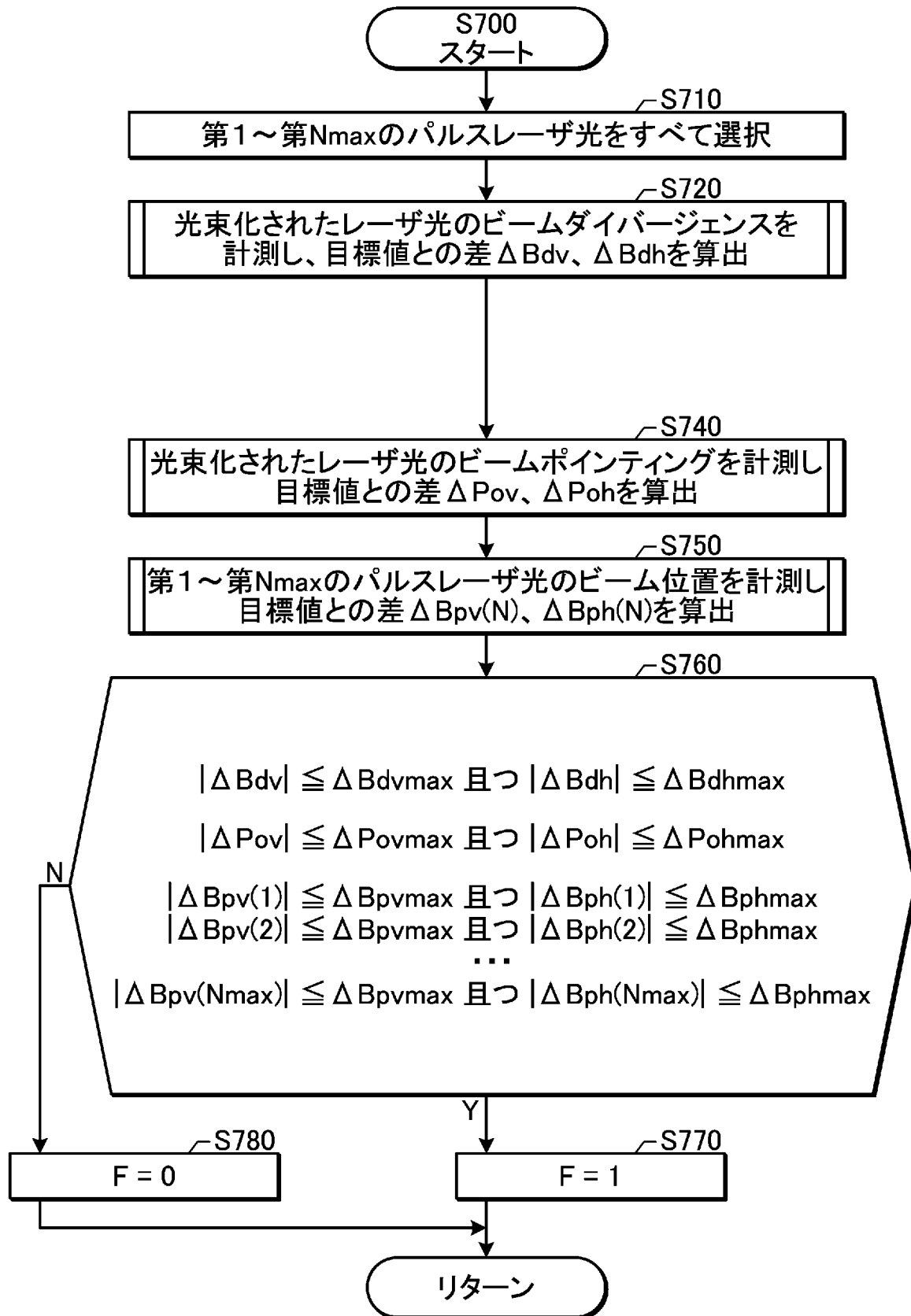
[図17]



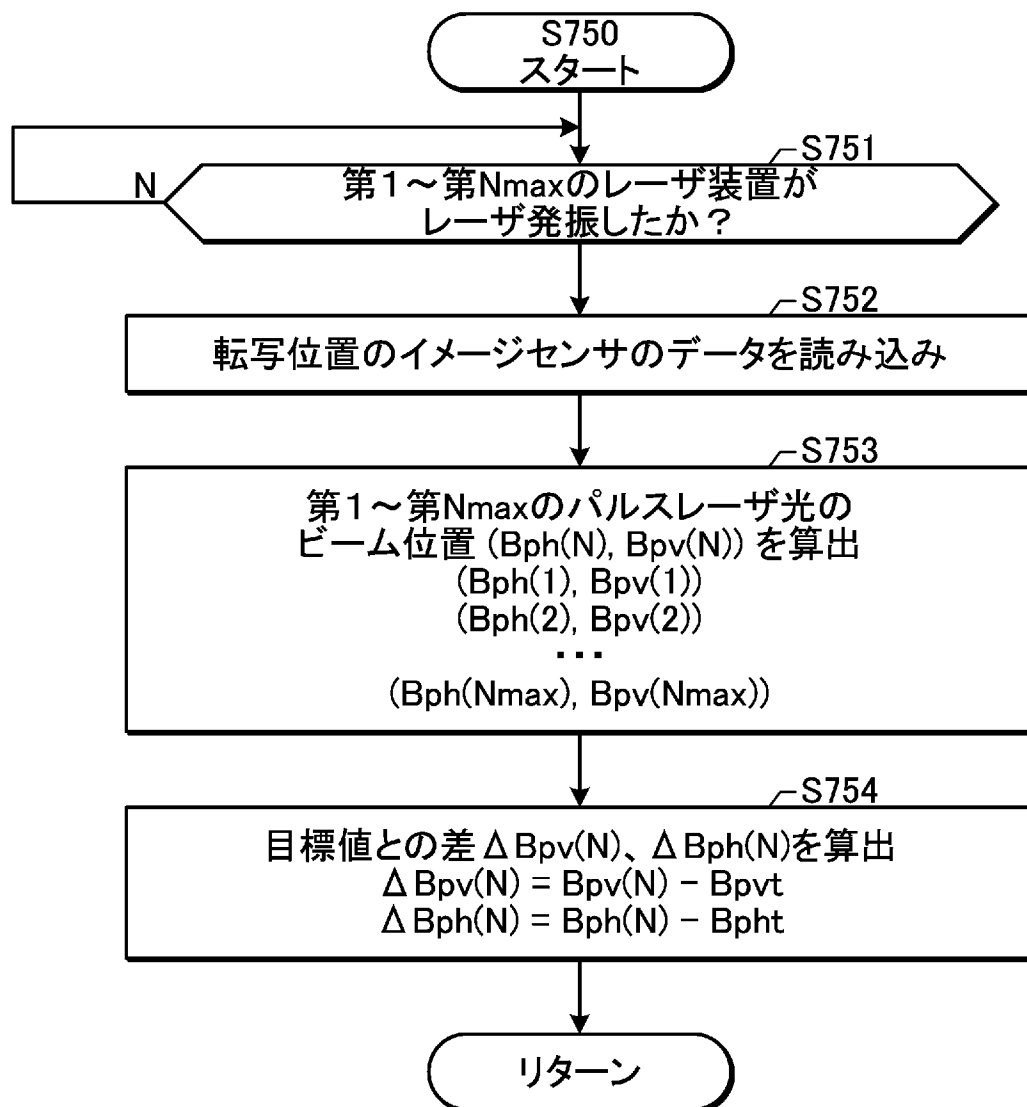
[図18]



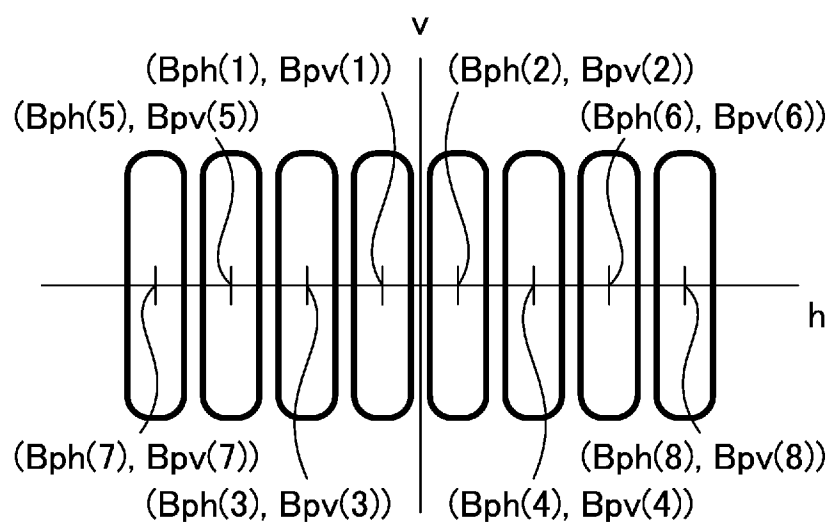
[図19]



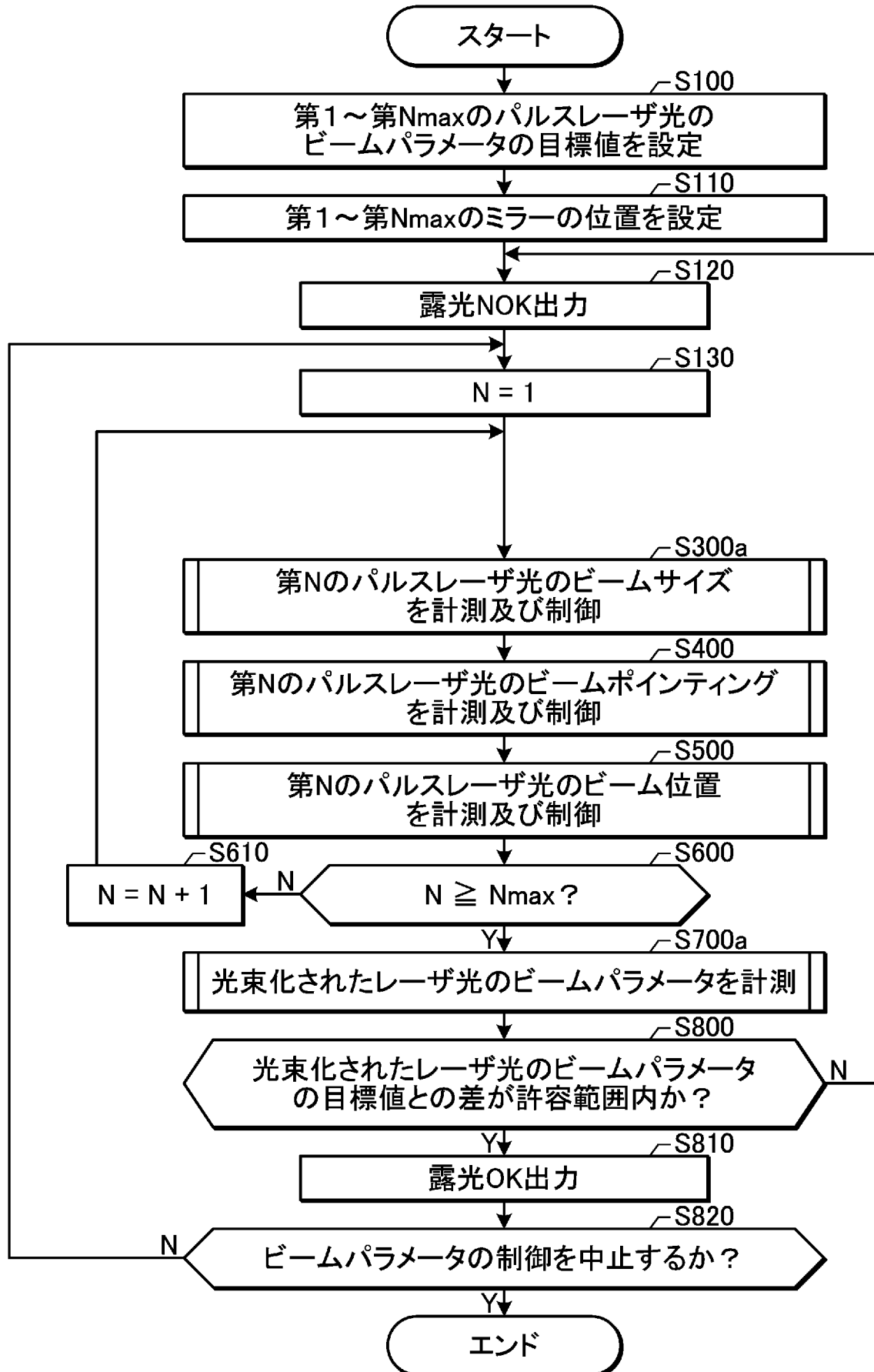
[図20]



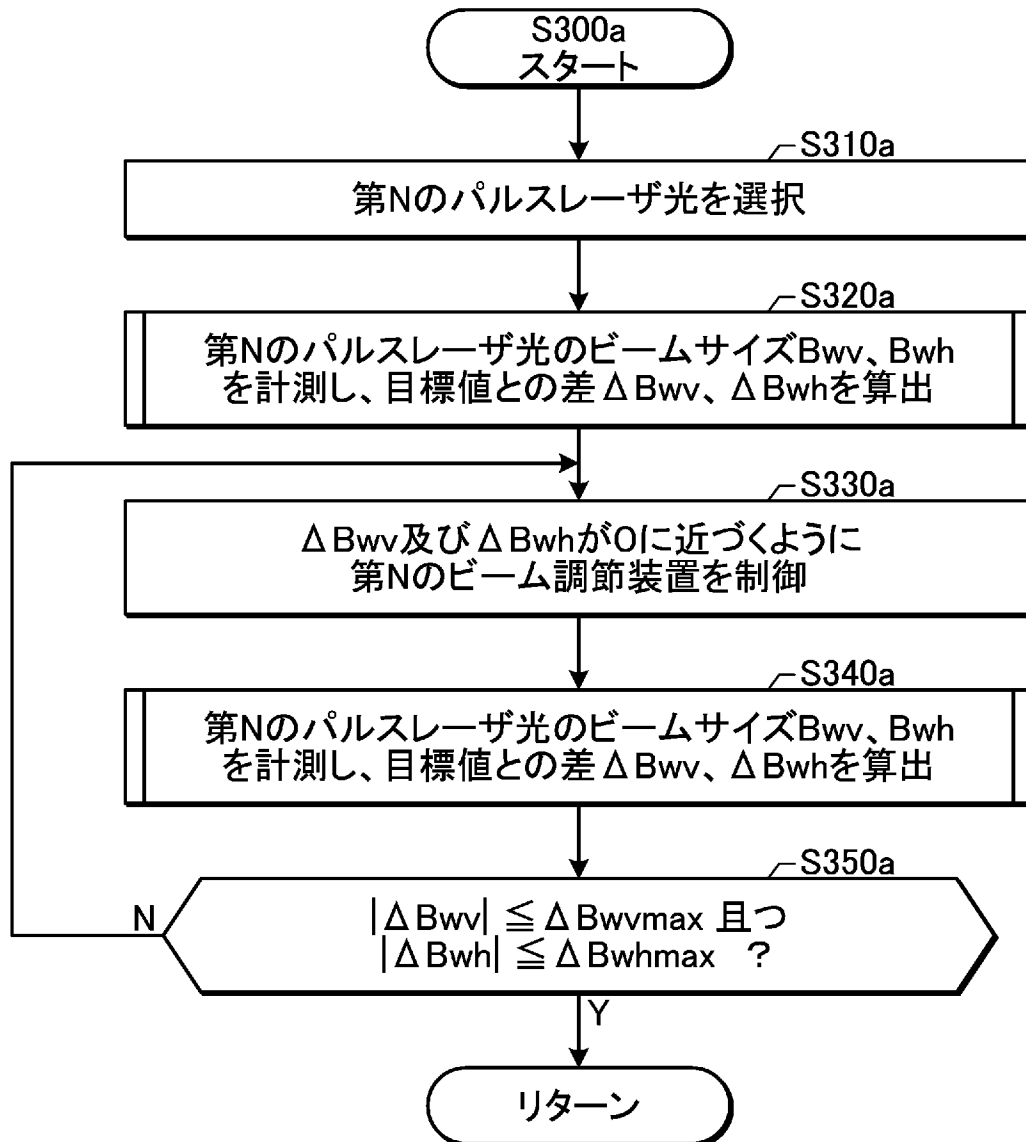
[図21]



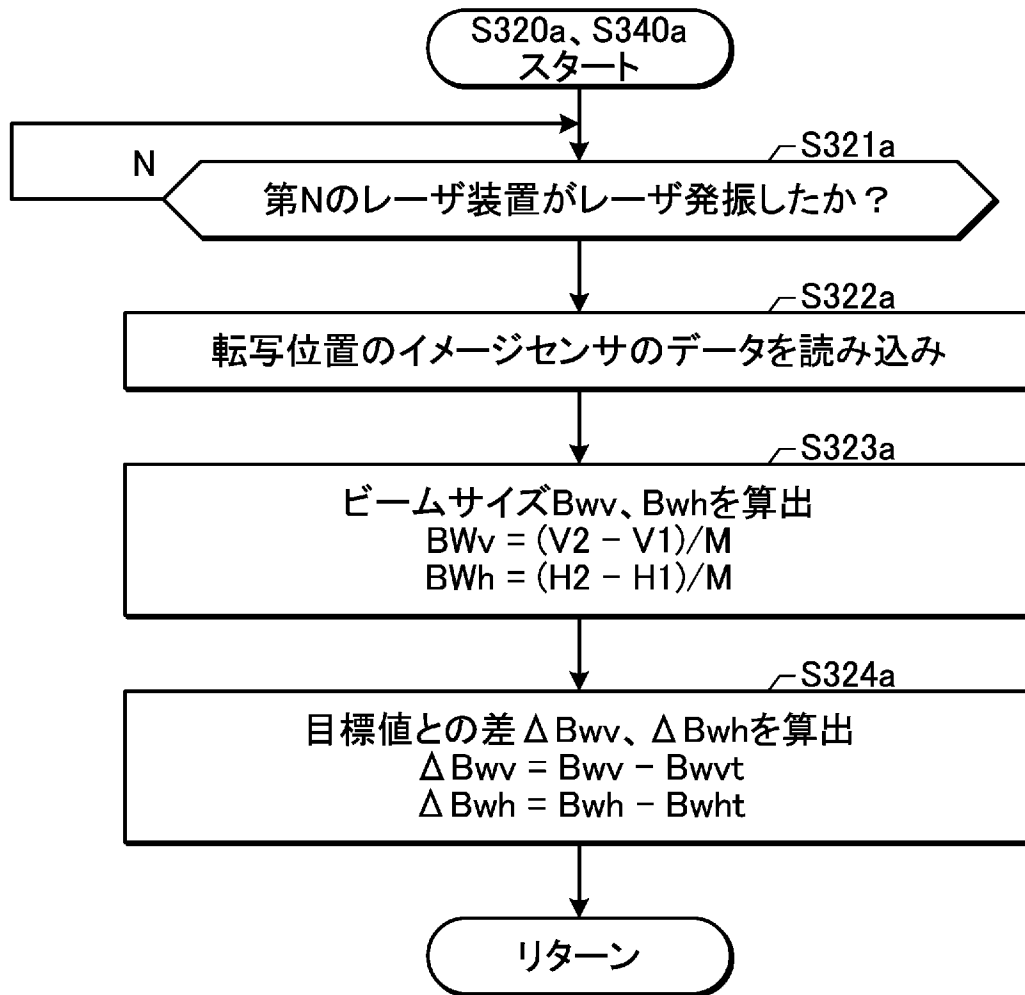
[図22]



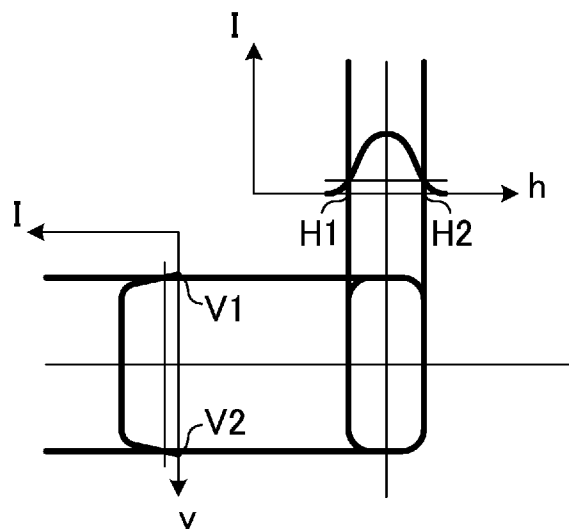
[図23]



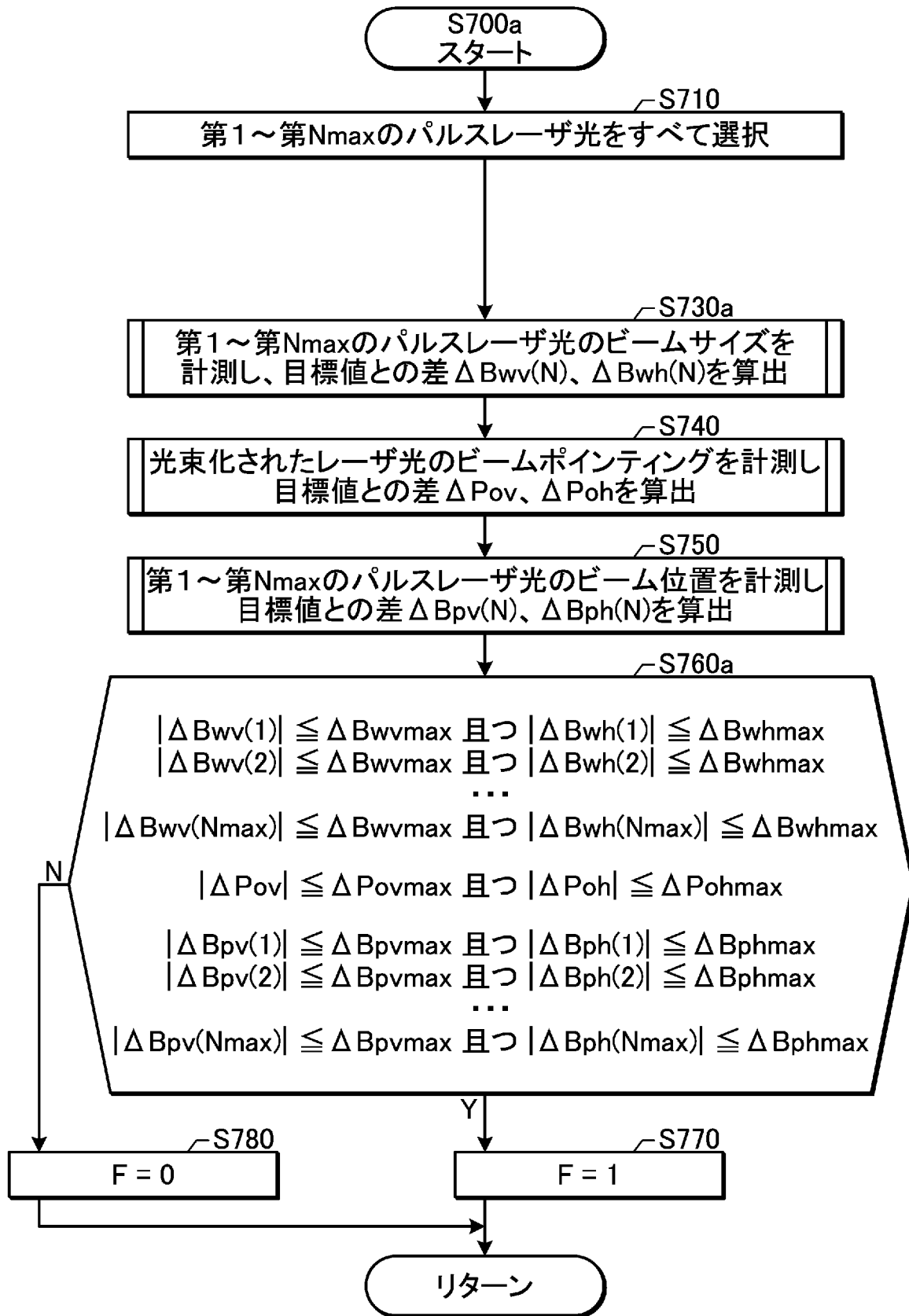
[図24]



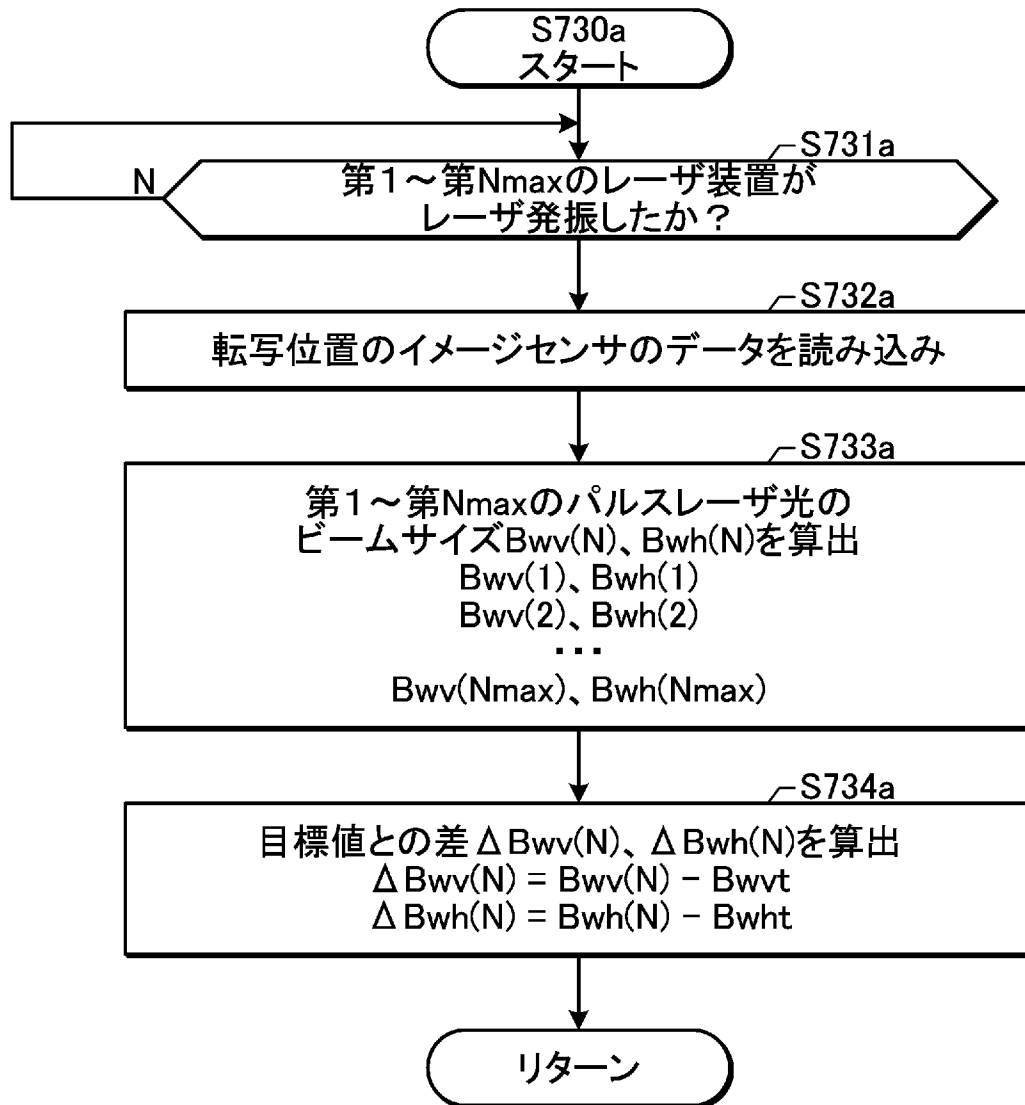
[図25]



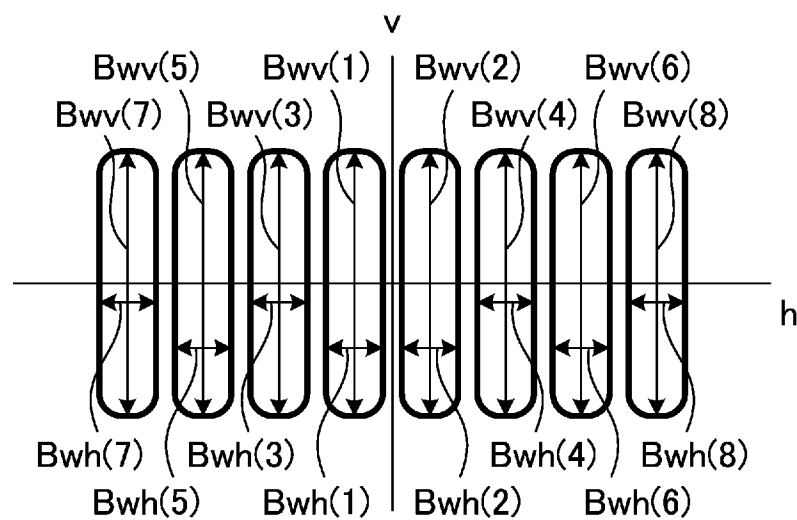
[図26]



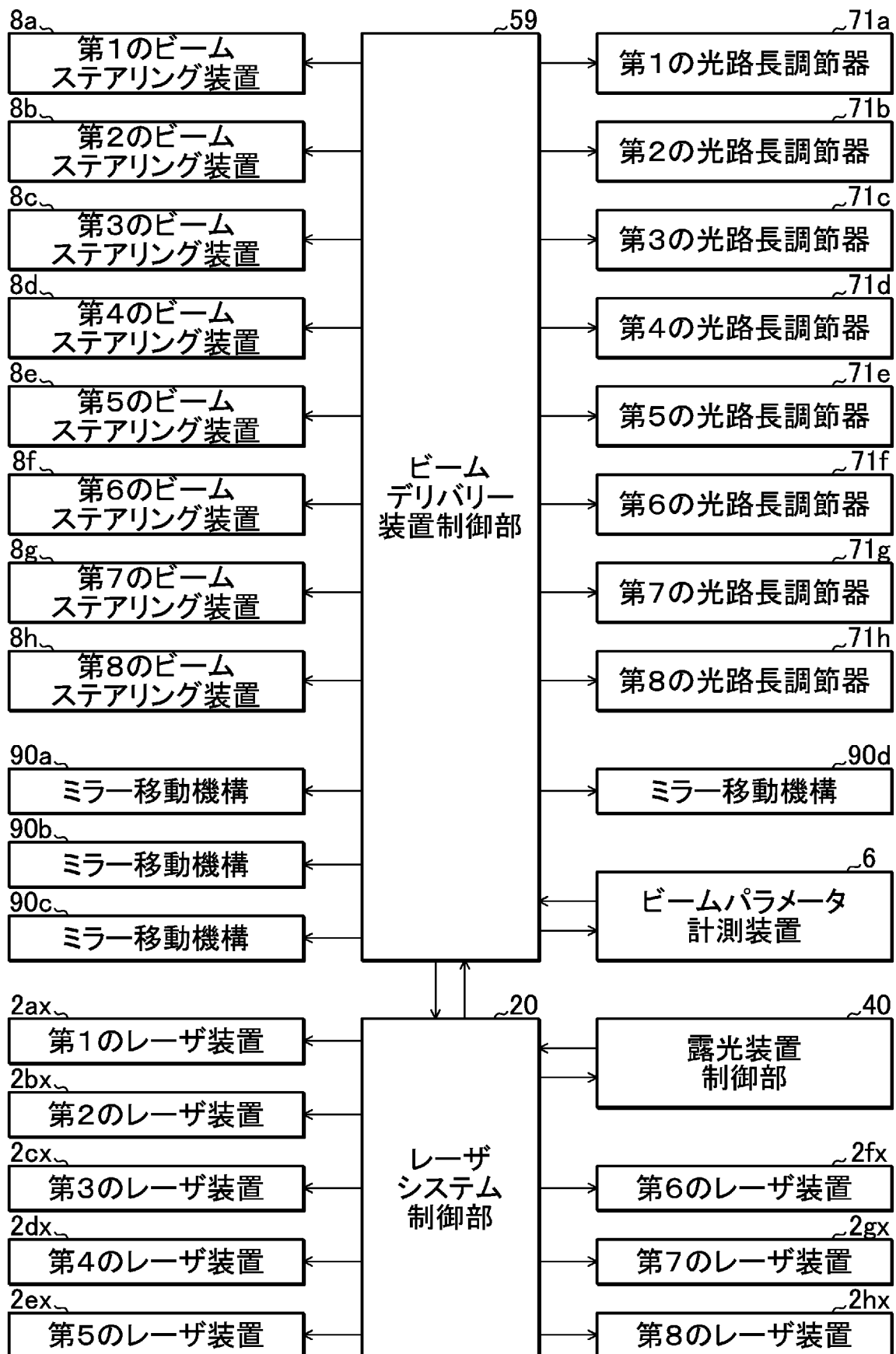
[図27]



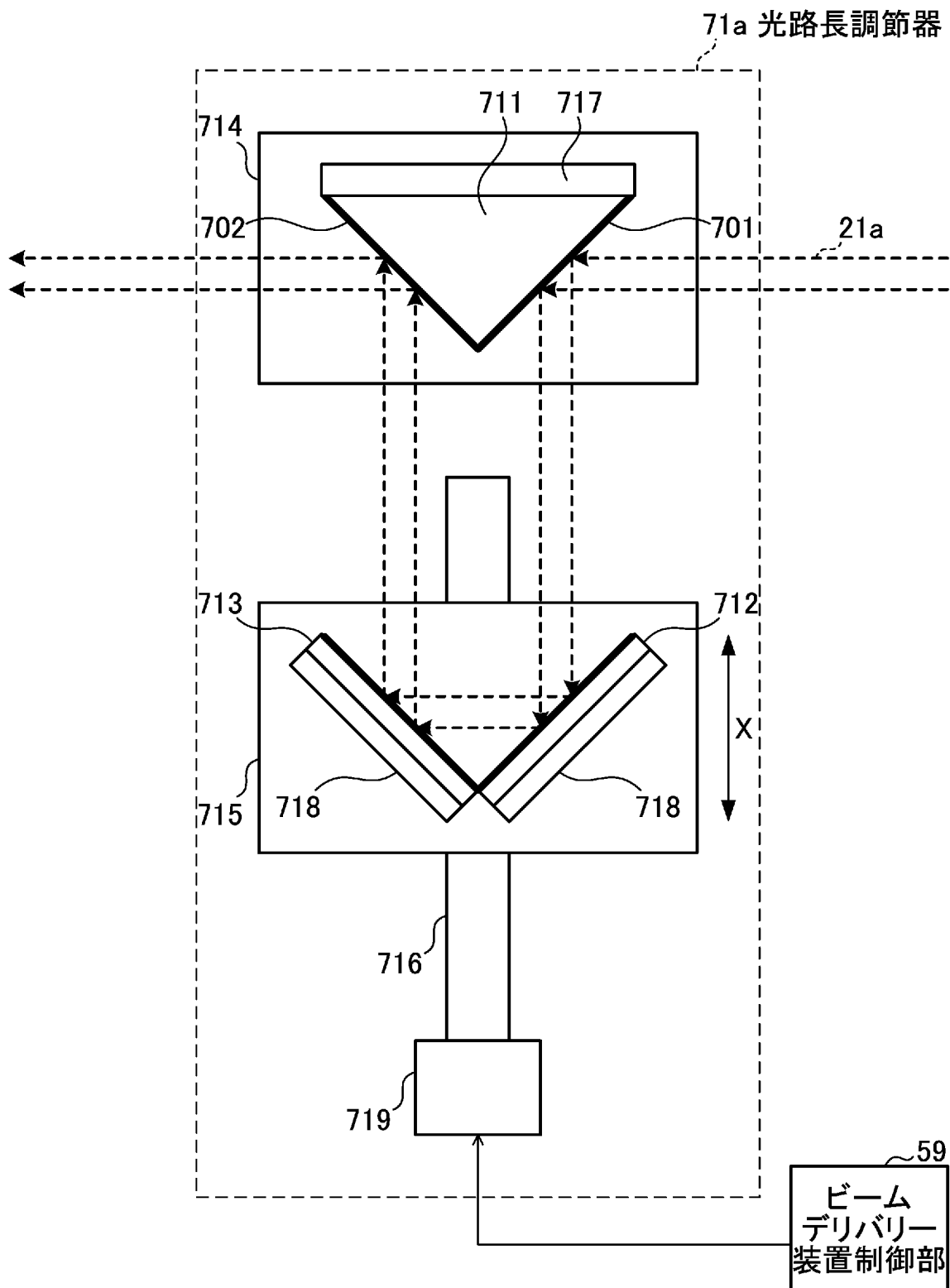
[図28]



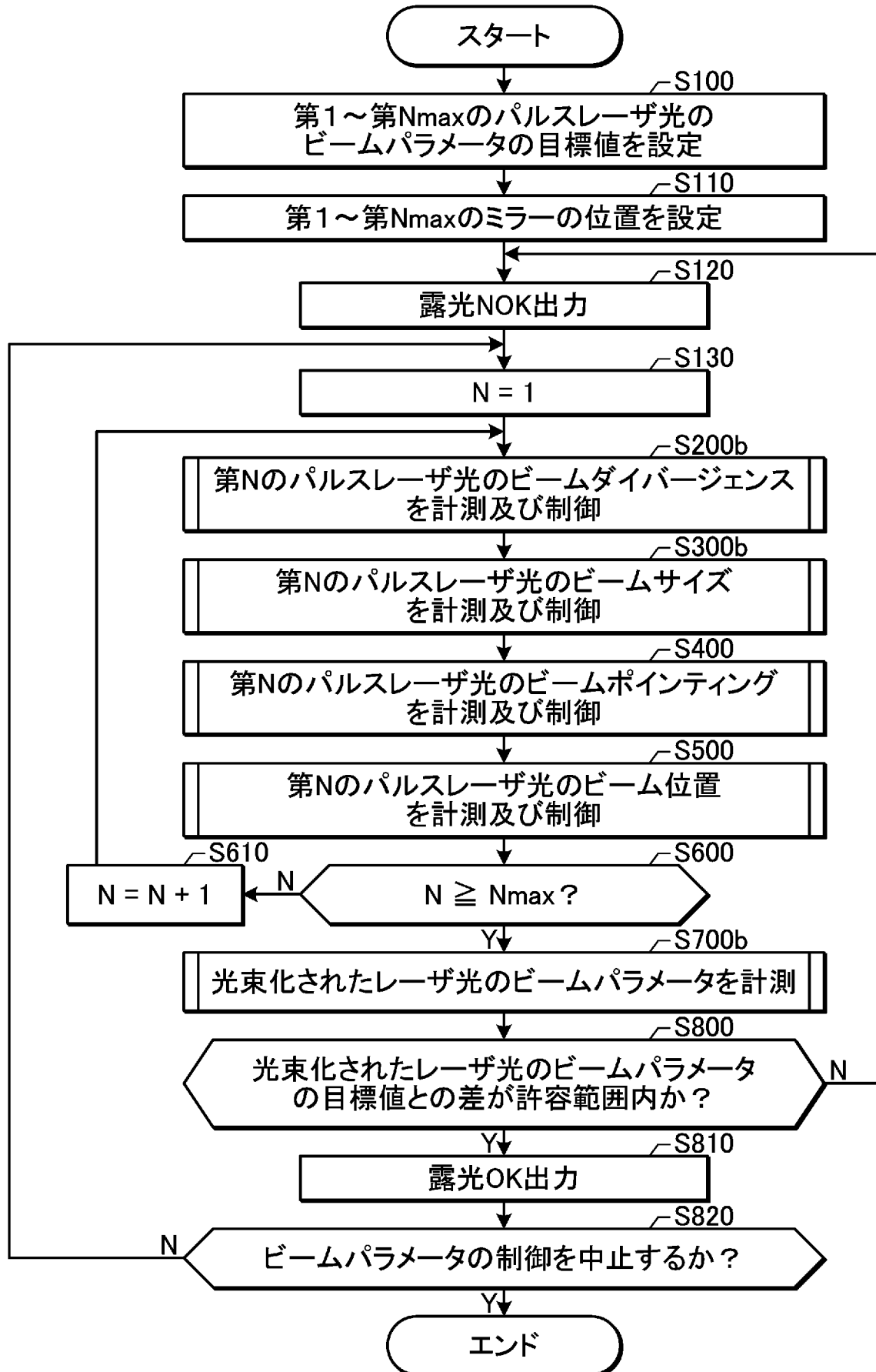
[図29]



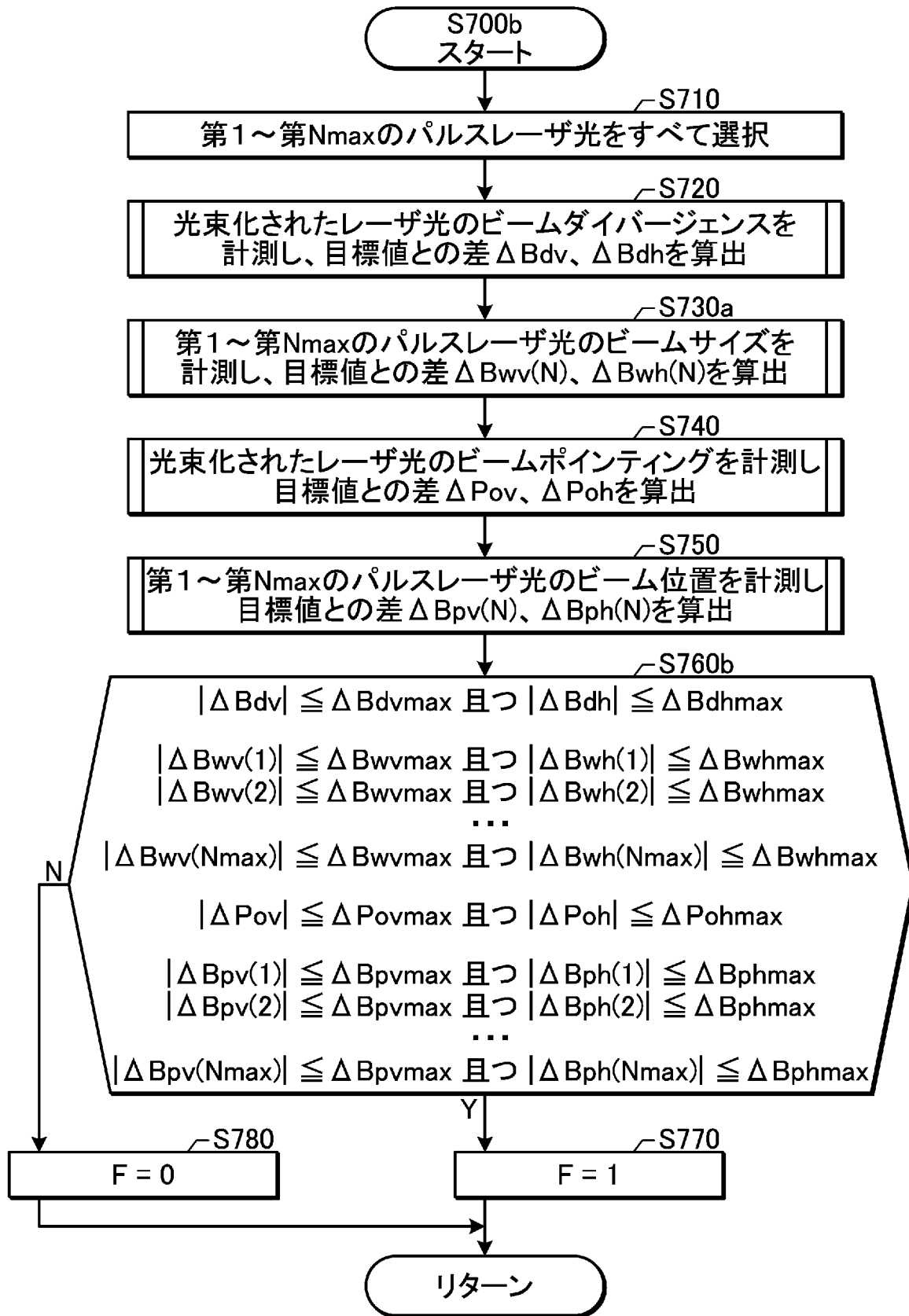
[図30]



[図32]



[図33]



[図34]

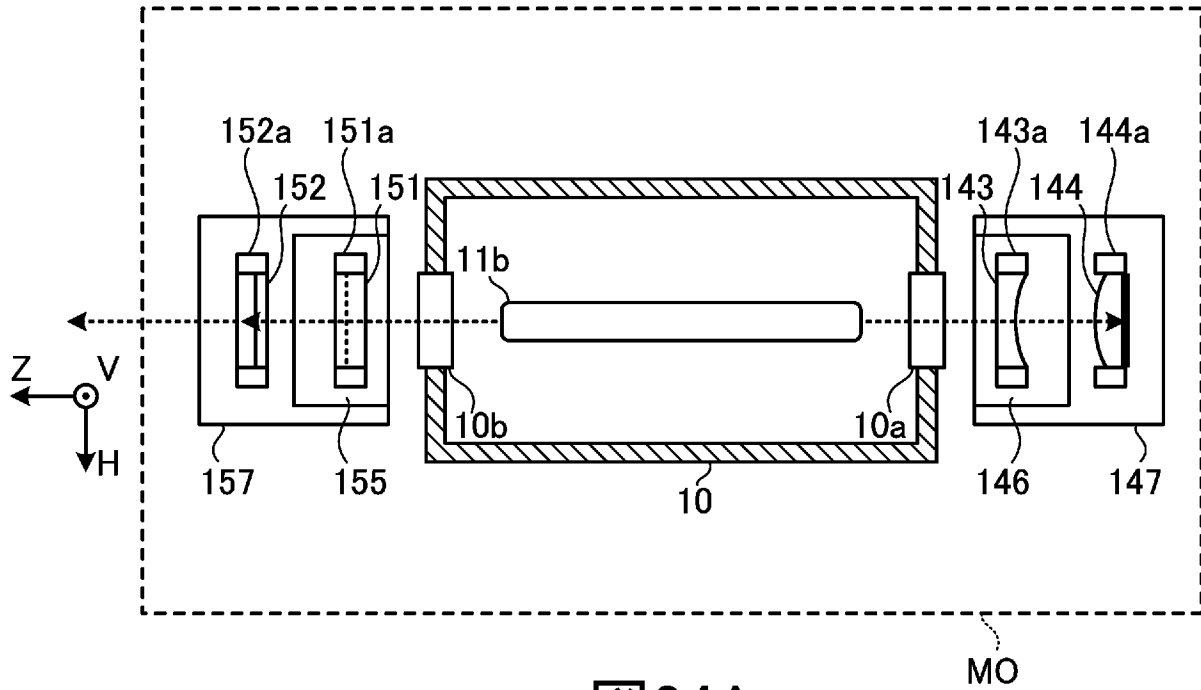


図34A

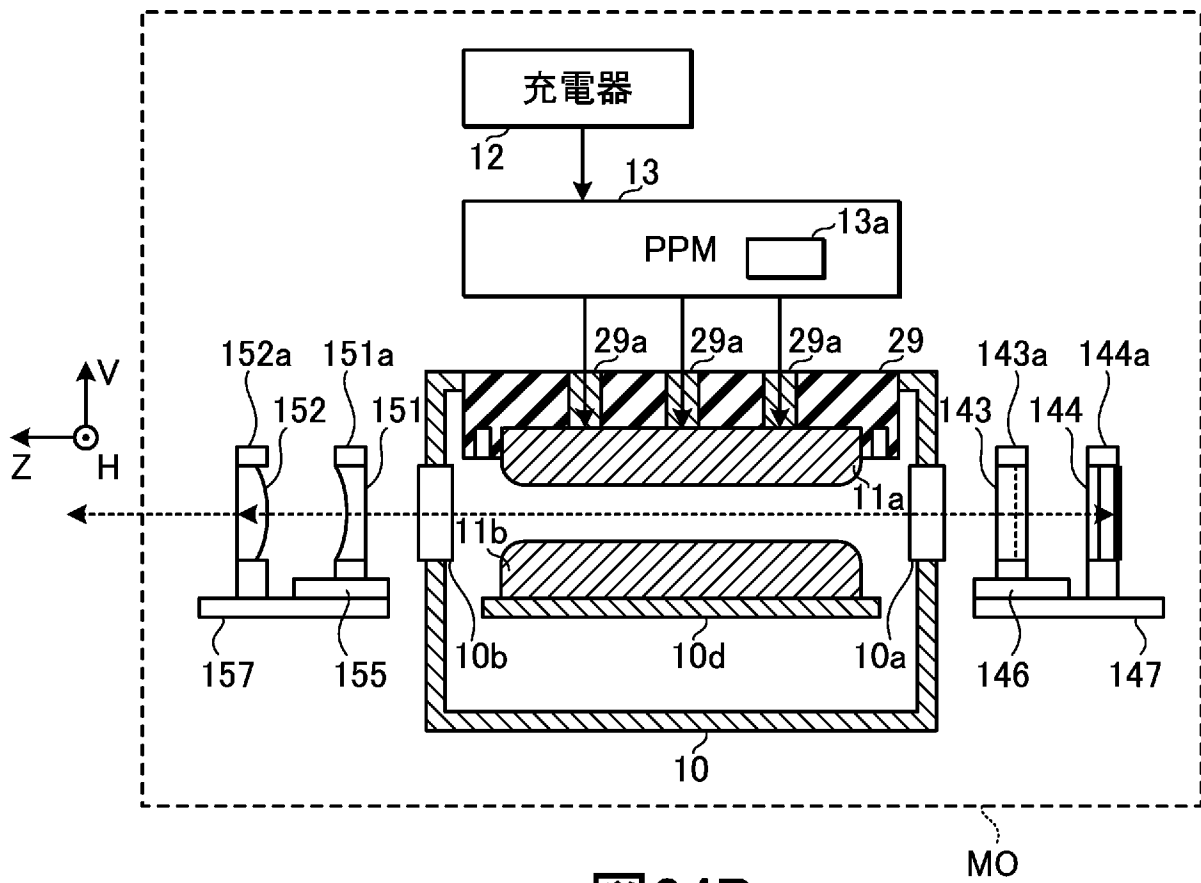
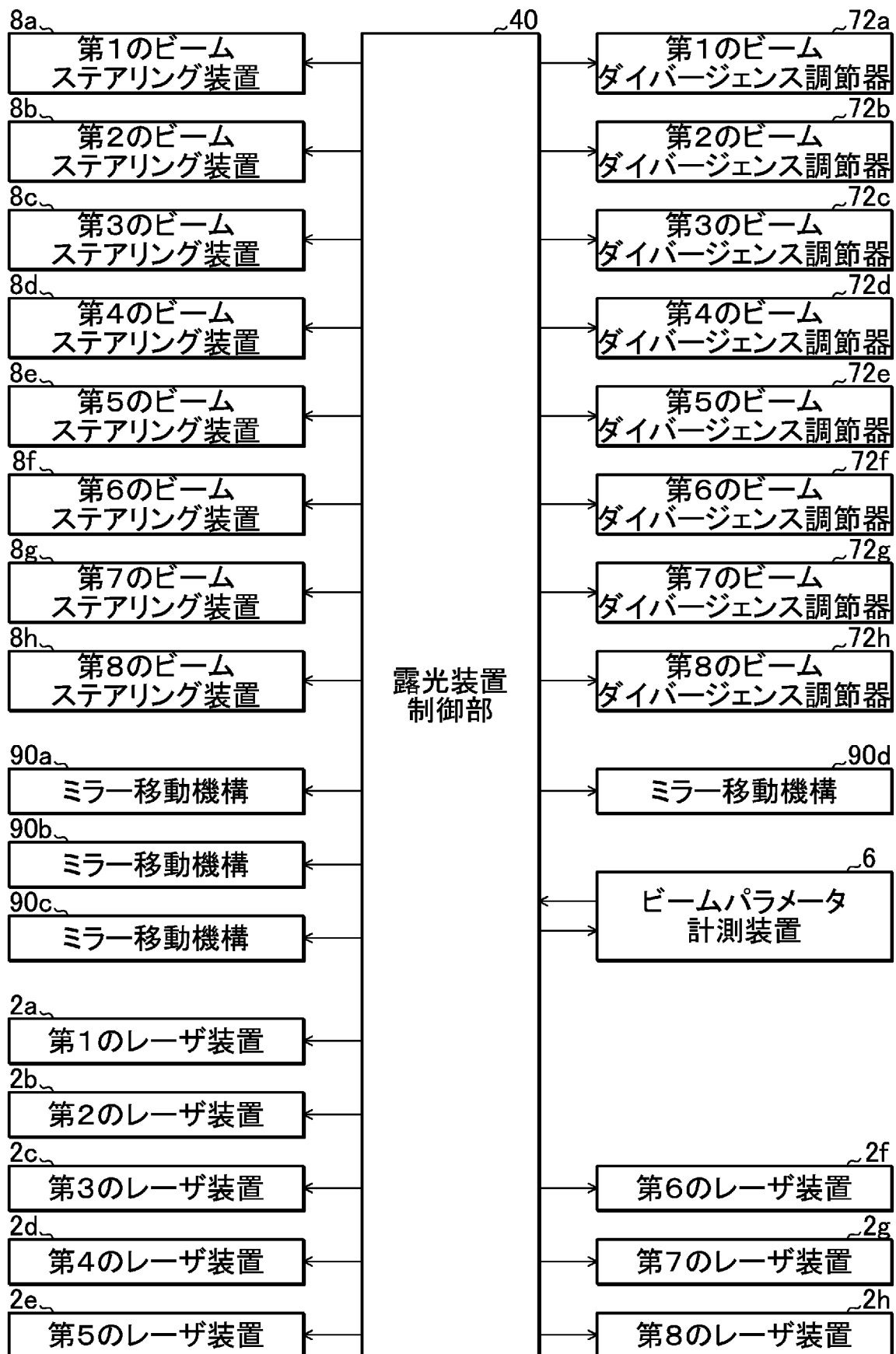
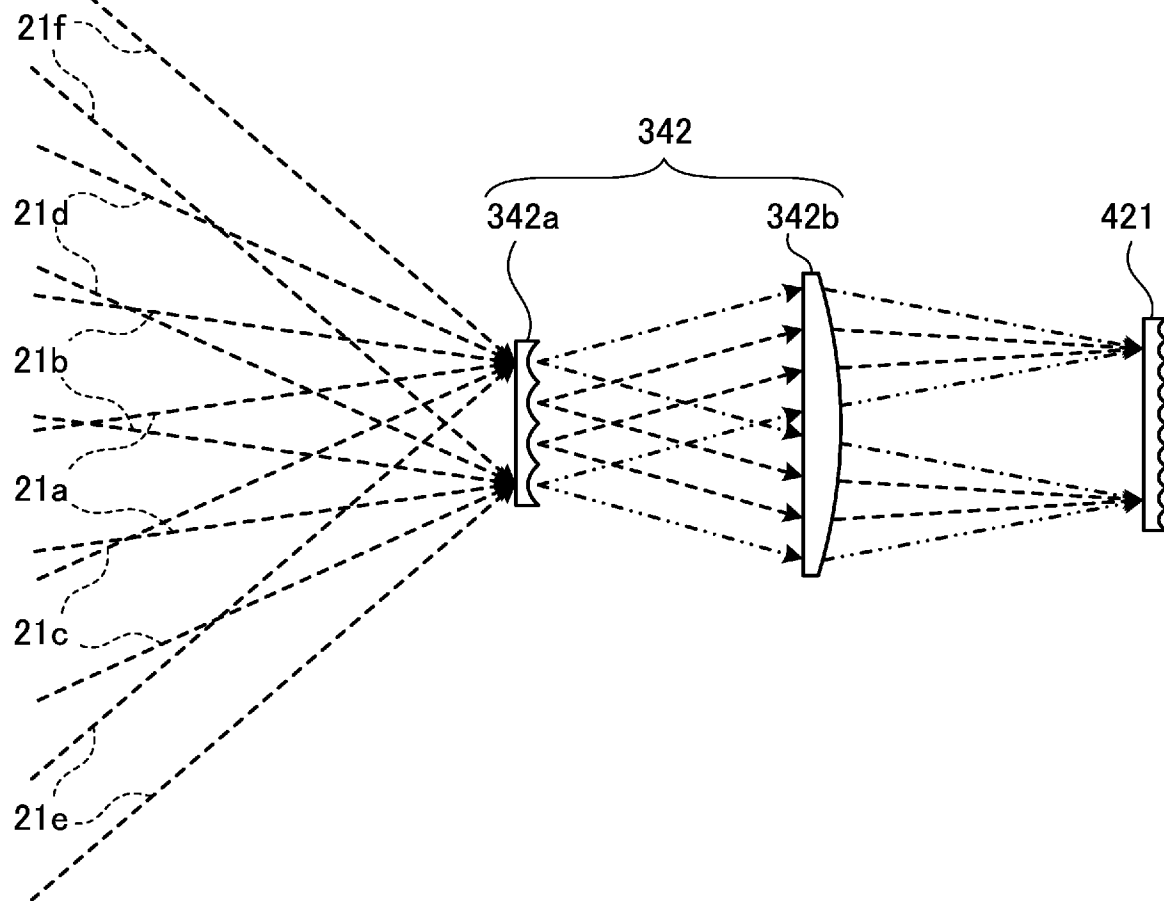


図34B

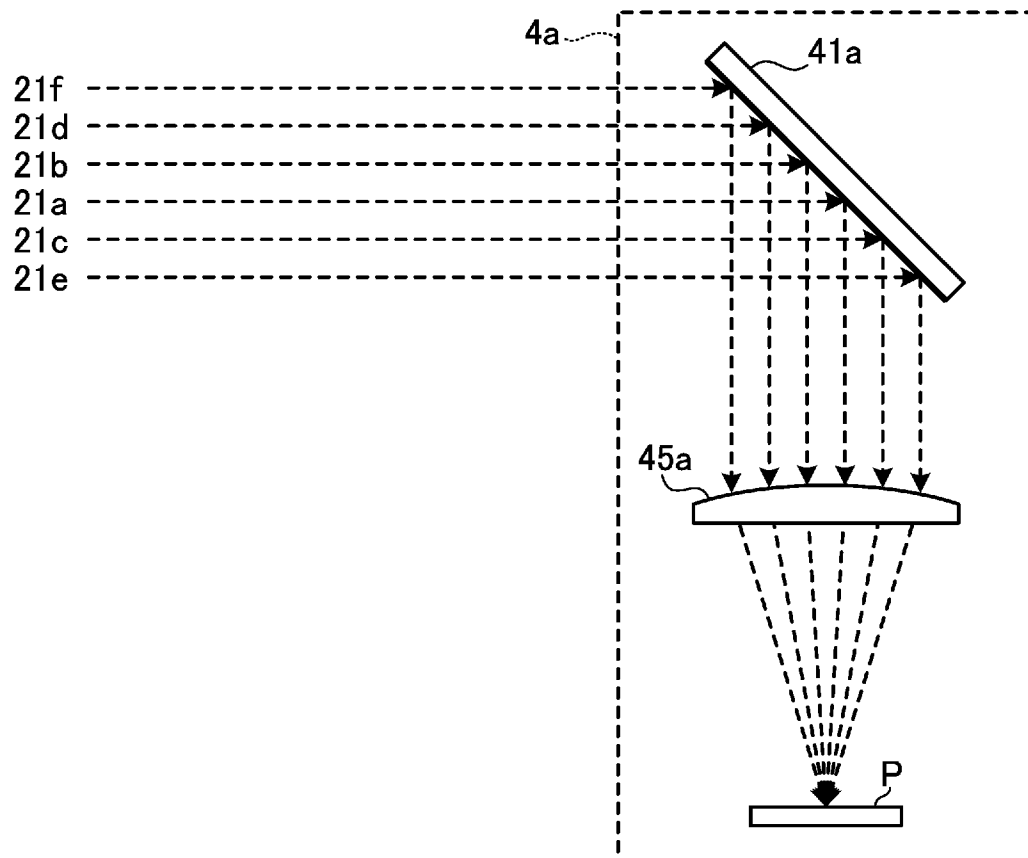
[図36]



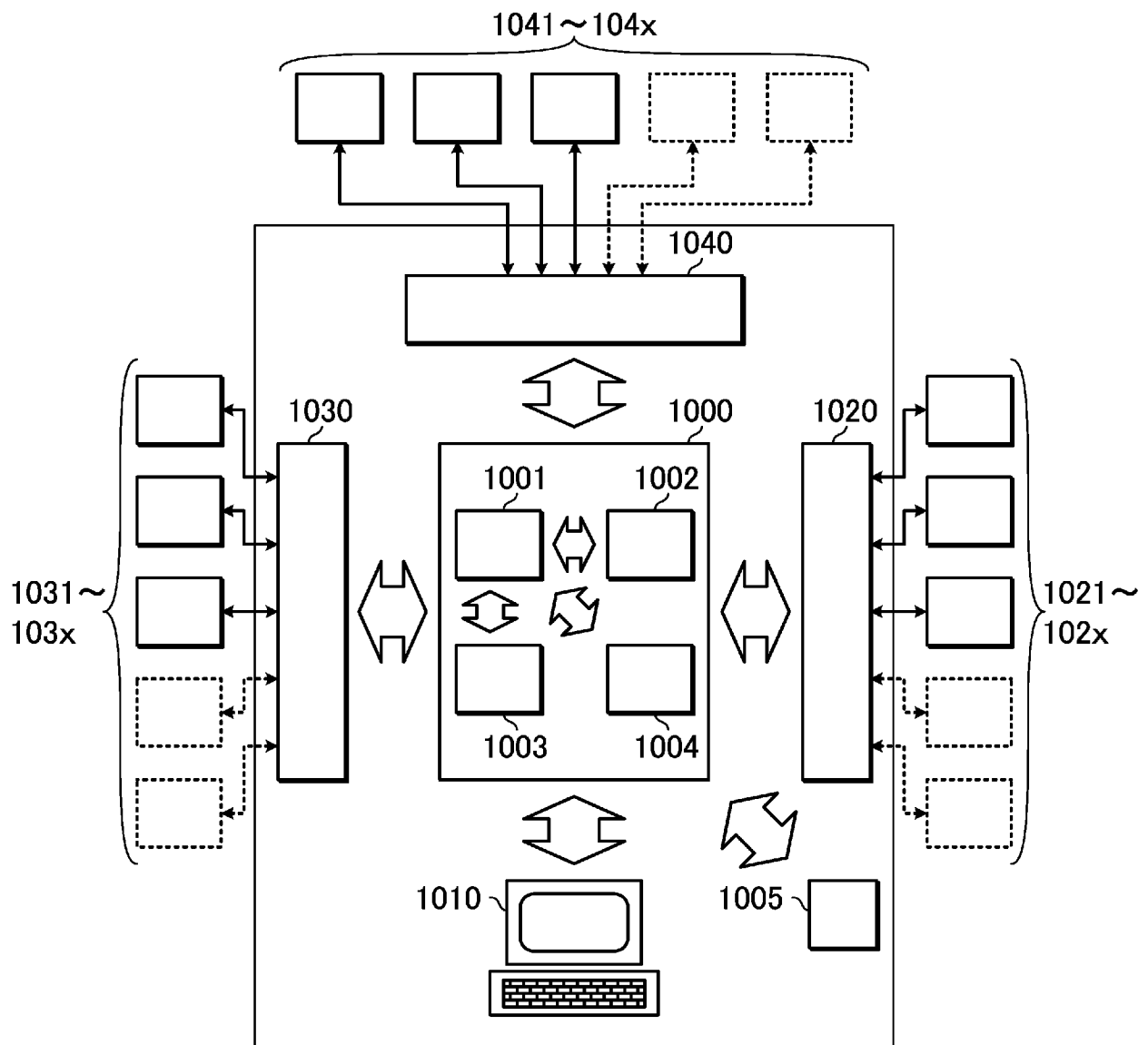
[図37]



[図38]



[図39]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/069982

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/23(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H01S3/10(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S3/00-3/30

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.
X A	JP 2005-294409 A (Mitsubishi Electric Corp.), 20 October 2005 (20.10.2005), paragraphs [0010] to [0021], [0025], [0026]; fig. 1 (Family: none)	1-3 4-7
X A	JP 2002-176007 A (Mitsubishi Electric Corp.), 21 June 2002 (21.06.2002), paragraphs [0026] to [0028]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-3 4-7
X A	JP 2000-56280 A (TRW Inc.), 25 February 2000 (25.02.2000), paragraphs [0010] to [0017]; fig. 1, 2 & EP 980123 A2 & CA 2278071 A1	1-3 4-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26 December 2014 (26.12.14)

Date of mailing of the international search report
13 January 2015 (13.01.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/069982

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 4-174580 A (Toshiba Corp.), 22 June 1992 (22.06.1992), page 2, lower left column, line 11 to page 3, upper right column, line 6; fig. 1, 2 (Family: none)	1-4 5-7
X A	JP 8-213716 A (Toshiba Corp.), 20 August 1996 (20.08.1996), paragraphs [0014] to [0023]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-4 5-7
X A	WO 2010/100898 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 10 September 2010 (10.09.2010), paragraphs [0029] to [0033]; fig. 7, 8 & US 2011/0228230 A1 & EP 2405541 A1 & CA 2751231 A1	1,2 3-7
A	JP 2006-93586 A (Sony Corp.), 06 April 2006 (06.04.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2000-114620 A (Mitsubishi Electric Corp.), 21 April 2000 (21.04.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2013-201388 A (Gigaphoton Inc.), 03 October 2013 (03.10.2013), entire text; all drawings & WO 2013/144690 A1	1-7
A	JP 2012-134447 A (Gigaphoton Inc.), 12 July 2012 (12.07.2012), entire text; all drawings & US 2013/0015319 A1 & EP 2646875 A1 & WO 2012/073087 A1	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/23(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H01S3/10(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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
X A	JP 2005-294409 A（三菱電機株式会社）2005. 10. 20, 段落【0010】－【0021】、【0025】、【0026】、図1 （ファミリーなし）	1-3 4-7
X A	JP 2002-176007 A（三菱電機株式会社）2002. 06. 21, 段落【0026】－【0028】、図1－5 （ファミリーなし）	1-3 4-7

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 6 . 1 2 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 3 . 0 1 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号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

2 X

9 0 1 7

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2000-56280 A (ティーアールダブリュー・インコーポレーテッド) 2000.02.25, 段落【0010】－【0017】, 図1, 図2 & EP 980123 A2 & CA 2278071 A1	1-3 4-7
X A	JP 4-174580 A (株式会社東芝) 1992.06.22, 2頁左下欄第11行－3頁右上欄第6行, 図1, 図2 (ファミリーなし)	1-4 5-7
X A	JP 8-213716 A (株式会社東芝) 1996.08.20, 段落【0014】－【0023】, 図1, 図2 (ファミリーなし)	1-4 5-7
X A	WO 2010/100898 A1 (三菱電機株式会社) 2010.09.10, 段落[0029]－[0033], 図7, 図8 & US 2011/0228230 A1 & EP 2405541 A1 & CA 2751231 A1	1, 2 3-7
A	JP 2006-93586 A (ソニー株式会社) 2006.04.06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2000-114620 A (三菱電機株式会社) 2000.04.21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2013-201388 A (ギガフォトン株式会社) 2013.10.03, 全文, 全図 & WO 2013/144690 A1	1-7
A	JP 2012-134447 A (ギガフォトン株式会社) 2012.07.12, 全文, 全図 & US 2013/0015319 A1 & EP 2646875 A1 & WO 2012/073087 A1	1-7