

(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
2017年9月14日(14.09.2017)

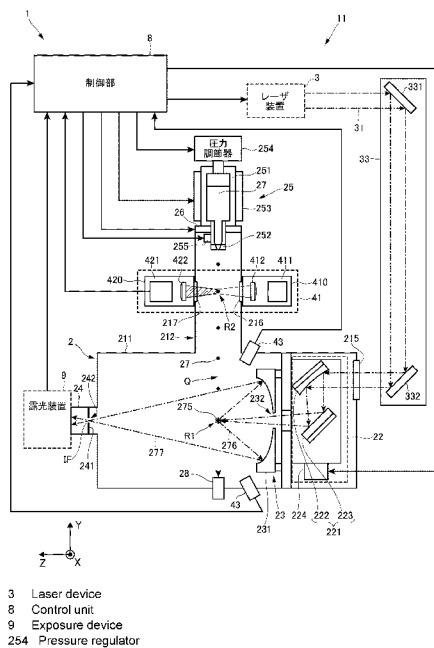


(10) 国際公開番号
WO 2017/154111 A1

- (51) 国際特許分類:
H05G 2/00 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/057196
 - (22) 国際出願日: 2016年3月8日(08.03.2016)
 - (25) 国際出願の言語: 日本語
 - (26) 国際公開の言語: 日本語
 - (71) 出願人: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP).
 - (72) 発明者: 西村 祐一(NISHIMURA Yuichi); 〒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). 藪 隆之(YABU Takayuki); 〒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: 松浦 憲三(MATSUURA Kenzo); 〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号 新宿住友ビル23階 私書箱第176号 新都市国際特許事務所 Tokyo (JP).
 - (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
 - (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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: EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT GENERATION DEVICE

(54) 発明の名称: 極端紫外光生成装置



(57) Abstract: Disclosed is an extreme ultraviolet light generation device that moves, on the basis of a command given from an external device, the generation position of extreme ultraviolet light. The extreme ultraviolet light generation device is provided with: a chamber, in which extreme ultraviolet light is generated from a target by irradiating the target with laser light, said target having been supplied to the inside; a target supplying apparatus that outputs and supplies the target to the inside of the chamber; a light collecting mirror that collects the laser light to the target supplied to the inside of the chamber; a stage that regulates the position of the target supplying apparatus; a manipulator that regulates the position of the light collecting mirror; and a control unit configured such that laser irradiation timing with respect to the stage and/or laser irradiation timing with respect to the manipulator and/or laser irradiation timing with respect to the target can be controlled by means of a feed forward system at the time of moving the generation position while generating the extreme ultraviolet light.

(57) 要約: 極端紫外光生成装置は、外部装置からの指令に基づいて極端紫外光の生成位置を移動させる極端紫外光生成装置であって、内部に供給されたターゲットに対してレーザー光が照射されることでターゲットから極端紫外光が生成されるチャンバと、ターゲットを出力しチャンバ内に供給するターゲット供給器と、チャンバ内に供給されたターゲットにレーザー光を集光する集光ミラーと、ターゲット供給器の位置を調整するステージと、集光ミラーの位置を調整するマニピュレータと、極端紫外光の生成中に生成位置を移動させる際、ステージ、マニピュレータ、及び、ターゲットに対するレー

ザ光の照射タイミングのうちの少なくとも1つをフィードフォワード方式で制御可能に構成された制御部と、を備える。

WO 2017/154111 A1

明 細 書

発明の名称： 極端紫外光生成装置

技術分野

[0001] 本開示は、極端紫外光生成装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体プロセスの微細化に伴って、半導体プロセスの光リソグラフィにおける転写パターンの微細化が急速に進展している。次世代においては、20nm以下の微細加工が要求されるようになる。このため、波長13nm程度の極端紫外（EUV）光を生成する極端紫外（EUV）光生成装置と縮小投影反射光学系とを組み合わせた露光装置の開発が期待されている。

[0003] EUV光生成装置としては、ターゲットにレーザ光を照射することによって生成されるプラズマが用いられるLPP（Laser Produced Plasma）式の装置と、放電によって生成されるプラズマが用いられるDPP（Discharge Produced Plasma）式の装置と、軌道放射光が用いられるSR（Synchrotron Radiation）式の装置との3種類の装置が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2013-12465号公報

特許文献2：特開2011-210704号公報

概要

[0005] 本開示の1つの観点に係る極端紫外光生成装置は、外部装置からの指令に基づいて極端紫外光の生成位置を移動させる極端紫外光生成装置であって、内部に供給されたターゲットに対してレーザ光が照射されることでターゲットから極端紫外光が生成されるチャンバと、ターゲットを出力しチャンバ内に供給するターゲット供給器と、チャンバ内に供給されたターゲットにレーザ光を集光する集光ミラーと、ターゲット供給器の位置を調整するステージと、集光ミラーの位置を調整するマニピュレータと、極端紫外光の生成中に

生成位置を移動させる際、ステージ、マニピュレータ、及び、ターゲットに対するレーザ光の照射タイミングのうちの少なくとも1つをフィードフォワード方式で制御可能に構成された制御部と、を備える。

図面の簡単な説明

[0006] 本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。

[図1]図1は、比較例のEUV光生成装置の構成を説明するための図を示す。

[図2]図2は、図1に示された照明部及び検出部の配置を説明するための図を示す。

[図3]図3は、EUV光の生成位置を移動させる際に、図2に示されるように配置されたターゲット検出センサを備えるEUV光生成装置によってパルスレーザ光の照射タイミングを変更するために変更される遅延時間を説明するための図を示す。

[図4]図4は、第1実施形態のEUV光生成装置の構成を説明するための図を示す。

[図5]図5は、図4に示されたEUV光センサの配置を説明するための図を示す。

[図6]図6は、図5に示されたEUV光センサの配置をX軸方向の逆方向から視た図を示す。

[図7]図7は、EUV光移動処理の概略を説明するためのフローチャートを示す。

[図8]図8は、第1実施形態に係る制御部によって実行されるEUV光移動処理のフローチャートを示す。

[図9]図9は、第2実施形態のEUV光生成装置の構成を説明するための図を示す。

[図10]図10は、図9に示された第1及び第2画像センサの構成を説明するための図を示す。

[図11]図11は、図10に示された第1画像センサに含まれる撮像部によっ

て取得された画像を説明するための図を示す。

[図12]図12は、図10に示された第2画像センサに含まれる撮像部によって取得された画像を説明するための図を示す。

[図13]図13は、図10に示された第2画像センサに含まれる撮像部によって取得された画像を説明するための図を示す。

[図14]図14は、第2実施形態に係る制御部によって実行されるEUV光移動処理のフローチャートを示す。

[図15]図15は、第3実施形態のEUV光生成装置の構成を説明するための図を示す。

[図16]図16は、図15に示された複数の第1画像センサの構成を説明するための図を示す。

[図17]図17は、図16に示された第1画像センサに含まれる撮像部によって取得された画像を説明するための図を示す。

[図18]図18は、図16に示された第1画像センサに含まれる撮像部によって取得された画像を説明するための図を示す。

[図19]図19は、第4実施形態に係る制御部によって実行されるEUV光移動処理のフローチャートを示す。

実施形態

[0007] <内容>

1. 用語の説明
2. 課題
 2. 1 比較例の構成
 2. 2 比較例の動作
 2. 3 課題
3. 第1実施形態
 3. 1 構成
 3. 2 動作
 3. 3 作用効果

4. 第2実施形態

4. 1 構成

4. 2 動作

4. 3 作用効果

5. 第3実施形態

5. 1 構成

5. 2 動作

5. 3 作用効果

6. 第4実施形態

7. その他

[0008] 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。

[0009] [1. 用語の説明]

「ターゲット」は、チャンバ内に導入されたレーザ光の被照射物である。レーザ光が照射されたターゲットは、プラズマ化してEUV光を含む光を放射する。

「プラズマ生成領域」は、チャンバ内の所定領域である。プラズマ生成領域は、チャンバ内に出力されたターゲットに対してレーザ光が照射され、ターゲットがプラズマ化される領域である。

「ターゲット軌道」は、チャンバ内に出力されたターゲットが進行する経路である。ターゲット軌道は、プラズマ生成領域において、チャンバ内に導入されたレーザ光の光路と交差する。

「光路軸」は、レーザ光の進行方向に沿ってレーザ光のビーム断面の中心を通る軸である。

「光路」は、レーザ光が通る経路である。光路には、光路軸が含まれる。

「Z軸方向」は、チャンバ内に導入されたレーザ光がプラズマ生成領域に向かって進行する際の当該レーザ光の進行方向である。Z軸方向は、EUV光生成装置がEUV光を出力する方向と略同一であってもよい。

「Y軸方向」は、ターゲット供給器がチャンバ内にターゲットを出力する方向の逆方向である。Y軸方向は、X軸方向及びZ軸方向に垂直な方向である。

「X軸方向」は、Y軸方向及びZ軸方向に垂直な方向である。

[0010] [2. 課題]

図1乃至図3を用いて、比較例のEUV光生成装置1について説明する。

比較例のEUV光生成装置1は、LPP方式のEUV光生成装置である。EUV光生成装置1は、少なくとも1つのレーザ装置3と共に用いられる。

EUV光生成装置1及びレーザ装置3を含むシステムを、EUV光生成システム11ともいう。

[0011] EUV光生成装置1は、レーザ装置3から出力された少なくとも1つのパルスレーザ光31をターゲット27に照射することによって、ターゲット27のプラズマ275を生成する。生成されたプラズマ275は、放射光276を放射する。放射光276は、EUV光277の他、様々な波長の光を含む。EUV光生成装置1は、放射光276に含まれるEUV光277を捕集して、露光装置9に出力する。

このようにして、EUV光生成装置1は、EUV光277を生成し得る。

[0012] なお、1つのターゲット27には、複数のパルスレーザ光31が照射されてもよい。この場合、レーザ装置3は、異なる波長のパルスレーザ光31を出力する複数のレーザ装置3から構成される。EUV光生成装置1は、複数のレーザ装置3からそれぞれ出力された複数のパルスレーザ光31が1つのターゲット27を照射するよう、複数のパルスレーザ光31のそれぞれの出力タイミングを制御する。

[0013] [2. 1 比較例の構成]

図1は、比較例のEUV光生成装置1の構成を説明するための図を示す。図2は、図1に示された照明部410及び検出部420の配置を説明するための図を示す。

比較例のEUV光生成装置1は、チャンバ2と、レーザ光集光光学系22と、EUV光集光光学系23と、接続部24と、レーザ光伝送光学系33とを備える。加えて、比較例のEUV光生成装置1は、ターゲット供給器25と、ステージ26と、ターゲット回収器28と、ターゲット検出センサ41と、制御部8とを備える。

[0014] チャンバ2は、内部に供給されたターゲット27にパルスレーザ光31が照射されることで、ターゲット27からプラズマ275が生成され、EUV光277が生成される容器である。

チャンバ2の壁211は、チャンバ2の内部空間を形成し、チャンバ2の内部空間を外界から隔絶する。

壁211には、パルスレーザ光31をチャンバ2内に導入するためのウインドウ215が設けられている。

また、チャンバ2は、チャンバ2内にターゲット27を供給するためのターゲット供給路212を含む。

[0015] レーザ光伝送光学系33は、レーザ装置3から出力されたパルスレーザ光31を、ウインドウ215を介してチャンバ2内に導入する光学系である。

レーザ光伝送光学系33は、チャンバ2の外部に配置される。

レーザ光伝送光学系33は、レーザ装置3から出力されたパルスレーザ光31の光路上であって、レーザ装置3とウインドウ215との間に配置される。

レーザ光伝送光学系33は、高反射ミラー331と、高反射ミラー332とを含む。

高反射ミラー331及び332のそれぞれは、それらの位置及び姿勢の少なくとも1つを調整する不図示のステージに搭載される。高反射ミラー331及び332を搭載するステージの動作は、制御部8によって制御される。

[0016] レーザ光集光光学系 22 は、ウインドウ 215 を介してチャンバ 2 内に導入されたパルスレーザー光 31 を、プラズマ生成領域 R1 に集光する光学系である。

レーザ光集光光学系 22 は、チャンバ 2 の内部に配置される。

レーザ光集光光学系 22 は、ウインドウ 215 を透過したパルスレーザー光 31 の光路上であって、ウインドウ 215 とプラズマ生成領域 R1 との間に配置される。

レーザ光集光光学系 22 は、レーザ光集光ミラー 221 と、マニピュレータ 224 とを含む。

[0017] レーザ光集光ミラー 221 は、ウインドウ 215 を透過したパルスレーザー光 31 を、プラズマ生成領域 R1 に向けて反射する。レーザ光集光ミラー 221 は、反射されたパルスレーザー光 31 を、プラズマ生成領域 R1 に集光する。

レーザ光集光ミラー 221 は、マニピュレータ 224 に搭載される。

レーザ光集光ミラー 221 は、軸外放物面ミラー 222 及び平面ミラー 223 を用いて構成される。

[0018] マニピュレータ 224 は、レーザ光集光ミラー 221 の位置を調整する機構である。マニピュレータ 224 は、X 軸及び Y 軸の少なくとも 1 つに沿った方向において、レーザ光集光ミラー 221 を移動させる機構である。

マニピュレータ 224 は、プラズマ生成領域 R1 においてパルスレーザー光 31 がターゲット 27 に照射されるよう、レーザ光集光ミラー 221 の位置を調整する機構である。

マニピュレータ 224 の駆動は、制御部 8 によって制御される。

マニピュレータ 224 は、レーザ光集光ミラー 221 の位置だけでなくその姿勢を調整してもよい。マニピュレータ 224 は、X 軸及び Y 軸に加えて Z 軸に沿った方向において、レーザ光集光ミラー 221 を移動させる機構であってもよい。

[0019] EUV 光集光光学系 23 は、放射光 276 に含まれる EUV 光 277 を捕

集し、中間集光点 I F に集光する光学系である。

EUV 光集光光学系 23 は、チャンバ 2 の内部に配置される。

EUV 光集光光学系 23 は、EUV 光集光ミラー 231 を含む。

[0020] EUV 光集光ミラー 231 は、プラズマ生成領域 R1 においてプラズマ 275 から放射された放射光 276 のうちから選択的に EUV 光 277 を反射する。EUV 光集光ミラー 231 は、選択的に反射された EUV 光 277 を、接続部 24 内に位置する中間集光点 I F に集光する。

EUV 光集光ミラー 231 の反射面は、例えば、モリブデン及びシリコンが交互に積層された多層反射膜によって形成される。

EUV 光集光ミラー 231 の反射面は、例えば、第 1 及び第 2 焦点を有する回転楕円面の一部で形成される。

EUV 光集光ミラー 231 は、第 1 焦点がプラズマ生成領域 R1 に位置し、第 2 焦点が中間集光点 I F に位置するように配置される。

EUV 光集光ミラー 231 の中央部には、貫通孔 232 が形成される。

貫通孔 232 は、レーザ光集光ミラー 221 で反射されたパルスレーザ光 31 をプラズマ生成領域 R1 に向けて通過させるための孔である。

[0021] 接続部 24 は、チャンバ 2 と露光装置 9 との接続部である。

接続部 24 は、中間集光点 I F に集光された EUV 光 277 を露光装置 9 へ出力するための不図示のゲートバルブを含む。接続部 24 に含まれるゲートバルブは、チャンバ 2 の内部と露光装置 9 の内部とを気密的に連通又は隔離させる。

接続部 24 の内部には、壁 241 が設けられる。壁 241 には、アパーチャ 242 が形成される。アパーチャ 242 は、中間集光点 I F に位置するように形成される。

[0022] ターゲット供給器 25 は、チャンバ 2 内に供給されるターゲット 27 を溶解させ、ドロップレットの形態で、プラズマ生成領域 R1 に向けて出力する機器である。ターゲット供給器 25 は、いわゆるコンティニューアスジェット方式でターゲット 27 を出力する機器である。

ターゲット供給器 25 によって供給されるターゲット 27 は、金属材料で形成される。ターゲット 27 を形成する金属材料は、スズ、テルビウム、ガドリニウム、又は、それらの内のいずれか 2 つ以上の組合せを含む材料である。好適には、ターゲット 27 を形成する金属材料は、スズである。

ターゲット供給器 25 は、ステージ 26 に搭載される。

ターゲット供給器 25 は、タンク 251、ノズル 252、ヒータ 253、圧力調節器 254 及び piezo 素子 255 を用いて構成される。

ターゲット供給器 25 の動作は、制御部 8 によって制御される。

[0023] ステージ 26 は、ターゲット供給器 25 の位置を調整する機構である。ステージ 26 は、X 軸及び Z 軸の少なくとも 1 つに沿った方向において、ターゲット供給器 25 の移動させる機構である。

ステージ 26 は、ターゲット供給器 25 から出力されたターゲット 27 がプラズマ生成領域 R1 に供給されるよう、ターゲット供給器 25 の位置を調整する機構である。

ステージ 26 の駆動は、制御部 8 によって制御される。

[0024] ターゲット回収器 28 は、チャンバ 2 内に出力されたターゲット 27のうち、パルスレーザー光 31 が照射されなかったターゲット 27 を回収する機器である。

ターゲット回収器 28 は、ターゲット軌道 Q の延長線上にあるチャンバ 2 の壁 211 に設けられる。

[0025] ターゲット検出センサ 41 は、ターゲット検出領域 R2 を通過するターゲット 27 を検出するセンサである。

ターゲット検出領域 R2 は、チャンバ 2 内の所定領域であって、ターゲット供給器 25 とプラズマ生成領域 R1 との間にあるターゲット軌道 Q 上の所定位置に位置する領域である。すなわち、ターゲット検出領域 R2 は、ターゲット供給器 25 から出力されてからパルスレーザー光 31 が照射される前の間にターゲット 27 が通過する領域である。

ターゲット検出センサ 41 は、照明部 410 と、検出部 420 とを含む。

[0026] 照明部410及び検出部420は、それぞれウインドウ216及びウインドウ217を介して、ターゲット供給路212の壁211に接続される。

照明部410及び検出部420は、ターゲット軌道Q上のターゲット検出領域R2を挟んで互いに対向するように配置される。

照明部410及び検出部420は、照明部410の照明光軸及び検出部420の検出光軸が、図1に示されるように、互いに略同軸でターゲット検出領域R2を通るように配置される。加えて、照明部410及び検出部420は、照明部410の照明光軸及び検出部420の検出光軸が、図2に示されるように、XY平面に略平行な平面内に含まれると共にX軸に対して所定角度 θ だけ傾斜するように配置される。

所定角度 θ は、 0° 以上 90° 未満である。所定角度 θ が 0° である場合、照明部410及び検出部420は、照明光軸及び検出光軸が、ターゲット軌道Qに略直交するように配置される。

なお、照明部410の照明光軸とは、照明部410からターゲット検出領域R2に向けて出力された照明光の光路軸である。検出部420の検出光軸とは、照明部410からターゲット検出領域R2に向けて出力された照明光のうち、検出部420によって検出される照明光の光路軸である。

[0027] 照明部410は、ターゲット検出領域R2を通過するターゲット27を照明するように、ターゲット検出領域R2に向けて照明光を出力する。

照明部410は、光源411及び照明光学系412を用いて構成される。

[0028] 検出部420は、ターゲット検出領域R2を通過するターゲット27を照明するように出力された照明光の光強度を検出することで、ターゲット検出領域R2を通過するターゲット27を検出する。

検出部420は、光センサ421及び受光光学系422を用いて構成される。

[0029] 制御部8は、外部装置である露光装置9からの各種指令に基づいて、EUV光生成システム11の各構成要素の動作を統括的に制御する。

制御部8は、レーザ装置3を制御し、レーザ装置3からのパルスレーザ光

31の出力を制御する。

制御部8は、ターゲット供給器25を制御し、ターゲット供給器25からのターゲット27の出力を制御する。

制御部8は、高反射ミラー331及び332を搭載する不図示のステージを制御し、高反射ミラー331及び332のそれぞれの位置及び姿勢の少なくとも1つを制御する。

制御部8は、マニピュレータ224を制御し、レーザ光集光ミラー221の位置を制御する。

制御部8は、ステージ26を制御し、ターゲット供給器25の位置を制御する。

[0030] なお、制御部8は、プロセッサ等のハードウェアとプログラムモジュール等のソフトウェアとを組み合わせたコンピュータで構成される。制御部8に含まれるソフトウェアによる情報処理は、制御部8に含まれるハードウェアを用いて具体的に実現される。

[0031] [2.2 比較例の動作]

制御部8は、ターゲット供給器25を制御し、ターゲット供給器25からプラズマ生成領域R1に向けてターゲット27を出力させる。

具体的には、制御部8は、ターゲット供給器25のヒータ253をターゲット27の融点以上の温度まで加熱させ、ターゲット供給器25のタンク251に收容された固体のターゲット27を溶融させる。ターゲット27を形成する金属材料がスズである場合、スズの融点が232℃であることから、制御部8は、例えば250℃以上290℃以下の温度でヒータ253を加熱させる。

制御部8は、ターゲット供給器25の圧力調節器254を制御して、タンク251内のターゲット27が所定速度で連続的にノズル252から出力されるよう、タンク251内のターゲット27に所定圧力を加える。

制御部8は、ターゲット供給器25の piezo素子255を所定波形で振動させ、連続的に出力されたターゲット27を所定周期で分断してドロップレ

ット状のターゲット27を形成し、ノズル252から所定周波数で出力させる。

[0032] チャンバ2内へ出力されたターゲット27は、ドロップレットの形態でターゲット軌道Q上を進行し、ターゲット検出領域R2を通過する。ターゲット検出領域R2を通過したターゲット27は、プラズマ生成領域R1に供給される。

[0033] ターゲット検出センサ41は、ターゲット27がターゲット検出領域R2を通過したタイミングを検出する。

具体的には、照明部410の光源411は、ターゲット検出領域R2を通過するターゲット27を照明するように、照明光学系412を介して、ターゲット検出領域R2に向けて照明光を出力する。

検出部420の光センサ421は、ターゲット検出領域R2に出力された照明光を受光光学系422を介して検出することで、ターゲット検出領域R2を通過するターゲット27を検出する。光センサ421で検出された照明光の光強度は、ターゲット27がターゲット検出領域R2を通過する毎に低下し得る。光センサ421は、検出された照明光の光強度の変化に応じた出力信号を生成し、制御部8に送信する。

なお、光センサ421によって検出された照明光の光強度の変化に応じた出力信号を、通過タイミング信号ともいう。

[0034] 制御部8は、ターゲット検出センサ41から送信された通過タイミング信号を受信する。

制御部8は、通過タイミング信号が所定の閾値より低くなったタイミングを、ターゲット27がターゲット検出領域R2を通過したタイミングと判定する。すなわち、制御部8は、ターゲット検出センサ41の検出結果に基づいて、ターゲット27がターゲット検出領域R2を通過したタイミングを特定する。

制御部8は、通過タイミング信号が所定の閾値より低くなったタイミングで、ターゲット27がターゲット検出領域R2を通過したことを示すターゲ

ット検出信号を生成する。

なお、ターゲット27がターゲット検出領域R2を通過したタイミングを、ターゲット検出領域R2の通過タイミングともいう。

[0035] 制御部8は、ターゲット検出信号を生成したタイミングから遅延時間 T_d だけ遅延したタイミングで、レーザ装置3にトリガ信号を送信する。すなわち、制御部8は、ターゲット検出領域R2の通過タイミングに遅延時間 T_d を付加したタイミングで、レーザ装置3からパルスレーザ光31を出力させる。

遅延時間 T_d は、パルスレーザ光31がプラズマ生成領域R1に集光されるタイミングを、ターゲット27がプラズマ生成領域R1に供給されるタイミングに略一致させるための時間である。遅延時間 T_d は、EUV光277の生成位置に供給されたターゲット27にパルスレーザ光31が照射されるタイミングを規定する。したがって、EUV光277の生成位置を少なくともY軸に沿った方向に移動させる場合、制御部8は、遅延時間 T_d を変更する。遅延時間 T_d は、制御部8に予め記憶されている。

なお、チャンバ2内に供給されたターゲット27に対するパルスレーザ光31の照射タイミングを、単に、パルスレーザ光31の照射タイミングともいう。

[0036] レーザ装置3は、トリガ信号を受信すると、パルスレーザ光31を出力する。

[0037] レーザ装置3から出力されたパルスレーザ光31は、レーザ光伝送光学系33の高反射ミラー331及び332で反射され、ウインドウ215を透過して、チャンバ2内に導入される。チャンバ2内に導入されたパルスレーザ光31は、レーザ光集光光学系22によってプラズマ生成領域R1に集光される。プラズマ生成領域R1に集光されたパルスレーザ光31は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27に照射される。

[0038] プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27は、パルスレーザ光31が照射されることによって、プラズマ化し、放射光276を放射する。放

射光 276 に含まれる E U V 光 277 は、E U V 光集光光学系 23 の E U V 光集光ミラー 231 で選択的に反射され、接続部 24 の中間集光点 I F に集光される。中間集光点 I F に集光された E U V 光 277 は、露光装置 9 に向かって出力される。

[0039] また、制御部 8 は、E U V 光 277 の生成位置を移動させるための露光装置 9 からの指令を受信する。

制御部 8 は、露光装置 9 からの指令に基づいて、E U V 光 277 の生成位置が移動するよう、ステージ 26、マニピュレータ 224 及びパルスレーザー光 31 の照射タイミングの少なくとも 1 つを制御する。

[0040] 具体的には、制御部 8 は、E U V 光 277 の生成位置を X Z 平面に略平行な平面内で移動させる場合、ステージ 26 を駆動させ、ターゲット供給器 25 の位置を移動させる。それにより、制御部 8 は、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 27 の位置を移動させる。

加えて、制御部 8 は、マニピュレータ 224 を駆動させ、レーザー光集光ミラー 221 の位置を移動させる。それにより、制御部 8 は、プラズマ生成領域 R 1 におけるパルスレーザー光 31 の集光位置を移動させる。

加えて、制御部 8 は、E U V 光 277 の生成位置の移動前後においてターゲット 27 へのパルスレーザー光 31 の照射状態が維持されるよう、遅延時間 T d を変更してパルスレーザー光 31 の照射タイミングを変更する。ターゲット 27 へのパルスレーザー光 31 の照射状態が維持されることは、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 27 の位置とパルスレーザー光 31 の集光位置との相対的な位置関係が維持されることである。これらの相対的な位置関係がずれると、パルスレーザー光 31 が照射されたターゲット 27 がレーザーアブレーションによって拡散される領域が変更され、E U V 光 277 の生成位置が所望の位置とならないことがあるためである。また、これらの相対的な位置関係がずれると、パルスレーザー光 31 がターゲット 27 に適切に照射されず、E U V 光生成装置 1 から出力される E U V 光 277 の性能が劣化することがあるためである。

なお、EUV光277の性能を評価する指標は、例えば、EUV光277のパルスエネルギー又はエネルギー安定性である。EUV光277の性能が劣化するとは、例えば、EUV光生成装置1から出力されるEUV光277のパルスエネルギー又はエネルギー安定性がそれらの許容範囲から外れることである。EUV光277のエネルギー安定性とは、EUV光277のパルスエネルギーのばらつきであり、例えば3σで記述される。

[0041] 図3は、EUV光277の生成位置を移動させる際に、図2に示されるように配置されたターゲット検出センサ41を備えるEUV光生成装置1によってパルスレーザ光31の照射タイミングを変更するために変更される遅延時間Tdを説明するための図を示す。

図3の破線は、EUV光277の生成位置を移動させる前のターゲット27及びそのプラズマ275を示す。図3の実線は、EUV光277の生成位置を移動させた後のターゲット27及びそのプラズマ275を示す。

図3では、X軸及びY軸に沿った方向におけるEUV光277の生成位置の移動距離を、それぞれΔx及びΔyとする。EUV光277の生成位置が移動されると、プラズマ275の位置が移動される。

[0042] 図3のようにEUV光277の生成位置を移動させる場合、制御部8は、遅延時間Tdを、数式1に示されるように変更することで、パルスレーザ光31の照射タイミングを変更する。

[数1]

$$Td' = Td + \Delta t$$

Td'は、変更後の遅延時間Tdを示す。Δtは、遅延時間Tdの変更量を示す。

[0043] 遅延時間Tdの変更量Δtは、数式2に示されるように記述される。

[数2]

$$\Delta t = (\Delta x \cdot \tan \theta + \Delta y) / V_{DL}$$

V_DLは、チャンバ内に出力されたターゲット27の進行速度を示す。

[0044] 制御部8は、数式1及び数式2を用いて遅延時間T_dを変更することで、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置とパルスレーザー光31の集光位置との相対的な位置関係を維持するように、パルスレーザー光31の照射タイミングを変更し得る。言い換えると、制御部8は、数式1及び数式2を用いて遅延時間T_dを変更することで、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置とパルスレーザー光31の集光位置との相対的な位置関係を維持して、EUV光277の生成位置を移動させ得る。

[0045] また、制御部8は、EUV光277の生成位置をZ軸に沿った方向にだけ移動させる場合、ステージ26だけを駆動させ、ターゲット供給器25の位置を移動させてもよい。パルスレーザー光31のプラズマ生成領域R1におけるレイリー長は、100μm以上1000μm以下である。このため、パルスレーザー光31の集光位置をZ軸に沿った方向に移動させることは、EUV光277の生成位置の移動には大きな影響を及ぼさない。よって、EUV光277の生成位置をZ軸に沿った方向にだけ移動させる場合、制御部8は、ステージ26だけを駆動させてもよい。

[0046] また、制御部8は、EUV光277の生成位置をY軸に沿った方向に移動させる場合、マニピュレータ224を駆動させ、レーザー光集光ミラー221の位置を移動させる。

加えて、制御部8は、数式1及び数式2を用いて遅延時間T_dを変更し、パルスレーザー光31の照射タイミングを変更する。

[0047] [2.3 課題]

EUV光生成装置1は、露光装置9からの指令に基づいて、EUV光277の生成中にその生成位置を移動させる等の露光装置9との連動動作を行うことがある。このとき、EUV光生成装置1は、出力されるEUV光277の性能を維持しながら短時間で連動動作を完了する必要がある。

[0048] 露光装置9からの指令に基づいてEUV光277の生成位置を移動させる

際、比較例に係る制御部 8 は、上述のようにステージ 26 及びマニピュレータ 224 を駆動させる。この際、比較例に係る制御部 8 は、EUV 光 277 の生成位置の移動を短時間で完了させるために、EUV 光 277 の生成位置の移動距離にかかわらず、ステージ 26 及びマニピュレータ 224 を 1 回の制御で駆動させる。

なお、EUV 光 277 の生成位置の移動距離は、移動前の EUV 光 277 の生成位置から移動後の EUV 光 277 の生成位置までの距離である。言い換えると、EUV 光 277 の生成位置の移動距離は、現在の EUV 光 277 の生成位置から、露光装置 9 からの指令に応じた EUV 光 277 の生成位置までの距離である。

[0049] 一方、ステージ 26 の駆動速度とマニピュレータ 224 の駆動速度との間には差があることが多い。

[0050] このため、比較例の EUV 光生成装置 1 では、ステージ 26 及びマニピュレータ 224 の駆動中に、プラズマ生成領域 R1 に供給されたターゲット 27 の位置とパルスレーザー光 31 の集光位置との相対的な位置関係がずれることがある。これらの相対的な位置関係がずれると、上述のように、EUV 光 277 の生成位置が所望の位置とならなかったり、EUV 光 277 の性能が劣化することがある。

それにより、比較例の EUV 光生成装置 1 は、露光装置 9 からの指令に基づいて EUV 光 277 の生成位置を移動させる途中で、EUV 光 277 の性能劣化の検出によるエラーを発報して稼働を停止することがある。

EUV 光 277 の性能が劣化したまま EUV 光生成装置 1 の稼働を続けると、EUV 光生成装置 1 では、EUV 光 277 の生成に寄与しないターゲット 27 であるデブリが多量に発生することがある。デブリが多量に発生すると、EUV 光生成装置 1 では、チャンバ 2 内がデブリで汚染され易くなり、EUV 光生成装置 1 の寿命が短くなることがある。加えて、デブリが多量に発生すると、EUV 光 277 の生成効率が低下することがある。

[0051] したがって、EUV 光 277 の性能を維持しつつ、EUV 光 277 の生成

中にその生成位置を短時間で移動させ得る技術が望まれている。

[0052] なお、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 に対してパルスレーザ光 3 1 を照射することを、シューティングともいう。

プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の位置とパルスレーザ光 3 1 の集光位置との相対的な位置関係がずれることを、シューティングずれともいう。

[0053] [3. 第 1 実施形態]

図 4 乃至図 8 を用いて、第 1 実施形態の E U V 光生成装置 1 について説明する。

第 1 実施形態の E U V 光生成装置 1 は、比較例の E U V 光生成装置 1 に対して、E U V 光センサ 4 3 が追加された構成を備える。更に、第 1 実施形態の E U V 光生成装置 1 は、比較例の E U V 光生成装置 1 に対して、制御部 8 の機能が異なる。

第 1 実施形態の E U V 光生成装置 1 の構成及び動作において、比較例の E U V 光生成装置 1 と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0054] [3. 1 構成]

図 4 は、第 1 実施形態の E U V 光生成装置 1 の構成を説明するための図を示す。図 5 は、図 4 に示された E U V 光センサ 4 3 の配置を説明するための図を示す。図 6 は、図 5 に示された E U V 光センサ 4 3 の配置を X 軸方向の逆方向から視た図を示す。

E U V 光センサ 4 3 は、プラズマ 2 7 5 から放射された放射光 2 7 6 に含まれる E U V 光 2 7 7 のエネルギーを計測するセンサである。

E U V 光センサ 4 3 は、複数の E U V 光センサ 4 3 から構成される。複数の E U V 光センサ 4 3 は、例えば E U V 光センサ 4 3 a 乃至 4 3 c から構成される。

複数の E U V 光センサ 4 3 a 乃至 4 3 c のそれぞれは、プラズマ生成領域 R 1 と対向するようにチャンバ 2 の壁 2 1 1 に設けられる。

複数の E U V 光センサ 4 3 a 乃至 4 3 c のそれぞれは、E U V 光集光ミラ

— 2 3 1 によって反射された E U V 光 2 7 7 の光路を遮らないように配置される。

複数の E U V 光センサ 4 3 a 乃至 4 3 c のそれぞれは、E U V 光集光ミラ— 2 3 1 の外周縁に沿って配置される。

複数の E U V センサ光 4 3 a 乃至 4 3 c のそれぞれは、プラズマ生成領域 R 1 においてプラズマ 2 7 5 が生成された際にそれらによって計測されるエネルギーの差が小さくなるよう、プラズマ生成領域 R 1 に対して等方的に配置される。

複数の E U V 光センサ 4 3 a 乃至 4 3 c のそれぞれは、E U V 光 2 7 7 のエネルギーを計測し、その計測値を制御部 8 に送信する。

複数の E U V 光センサ 4 3 a 乃至 4 3 c のそれぞれの動作は、制御部 8 によって制御される。

[0055] 複数の E U V 光センサ 4 3 a 乃至 4 3 c のそれぞれは、E U V 光 2 7 7 の重心位置を評価し易いような位置に配置される。

例えば、複数の E U V 光センサ 4 3 a 乃至 4 3 c は、図 5 に示されるような直角二等辺三角形の各頂点にそれぞれ配置される。図 5 に示された直角二等辺三角形は、その長辺の中点がプラズマ生成領域 R 1 に位置し、その頂角が Z 軸上に位置し、その 2 つの短辺が X 軸及び Y 軸にそれぞれ沿うように配置された直角二等辺三角形である。

E U V 光センサ 4 3 a は、図 5 に示された直角二等辺三角形の Y 軸に沿った軸上に位置する頂点に配置された E U V 光センサ 4 3 である。

E U V 光センサ 4 3 b は、図 5 に示された直角二等辺三角形の X 軸に沿った軸上に位置する頂点に配置された E U V 光センサ 4 3 である。

E U V 光センサ 4 3 c は、図 5 に示された直角二等辺三角形の Z 軸上に位置する頂点に配置された E U V 光センサ 4 3 である。

[0056] E U V 光 2 7 7 の重心位置は、E U V 光 2 7 7 のエネルギー分布の重心位置である。すなわち、E U V 光 2 7 7 の重心位置は、E U V 光 2 7 7 のエネルギー分布における加重平均の位置である。具体的には、E U V 光 2 7 7 の重心

位置は、EUV光277のエネルギーを複数のEUV光センサ43a乃至43cで計測して得られた複数の計測値から算出された空間的な位置である。

EUV光277の重心位置は、ターゲット27に対するパルスレーザー光31の照射位置を反映する指標である。EUV光277の重心位置は、ターゲット27に対するパルスレーザー光31の照射条件がEUV光277の性能を満たすような条件であるかを評価する指標である。EUV光277の重心位置が所定位置となるように制御されることは、パルスレーザー光31がターゲット27に適切に照射されることを意味する。

[0057] 第1実施形態に係る制御部8は、数式3の計算値を、X軸に沿った方向におけるEUV光277の重心位置を評価する指標として定義する。制御部8は、数式4の計算値を、Y軸に沿った方向におけるEUV光277の重心位置を評価する指標として定義する。

[数3]

$$EUV\ Centroid_x [\%] = \{(E2 - E3)/(E2 + E3)\} \times 100$$

[数4]

$$EUV\ Centroid_y [\%] = \{(E1 - E3)/(E1 + E3)\} \times 100$$

E1は、EUV光センサ43aの計測値である。E2は、EUV光センサ43bの計測値である。E3は、EUV光センサ43cの計測値である。

$EUV\ Centroid_x$ は、X軸に沿った方向におけるEUV光277のエネルギー分布の偏在性を示す。 $EUV\ Centroid_x$ は、現在のEUV光277の重心位置のX軸座標成分についての所定位置に対する偏差を規格化した値である。この所定位置は、プラズマ生成領域R1である。 $EUV\ Centroid_y$ は、Y軸に沿った方向におけるEUV光277のエネルギー分布の偏在性を示す。 $EUV\ Centroid_y$ は、現在のEUV光277の重心位置のY軸座標成分についての所定位置に対する偏差を規格化した

値である。

[0058] 制御部 8 は、EUV 光重心制御を実行可能に構成される。

EUV 光重心制御とは、EUV 光 277 の生成中に複数の EUV 光センサ 43 a 乃至 43 c のそれぞれの計測結果に基づいて EUV 光 277 の重心位置が所定位置となるようマニピュレータ 224 をフィードバック方式で制御することである。

具体的には、制御部 8 は、EUV 光重心制御として次のような処理を実行する機能を備える。

[0059] 制御部 8 は、ターゲット検出信号を生成したタイミングから所定の遅延時間だけ遅延したタイミングで、複数の EUV 光センサ 43 a 乃至 43 c のそれぞれに第 1 ゲート信号を送信する。

第 1 ゲート信号は、EUV 光 277 のエネルギーを計測する契機を複数の EUV 光センサ 43 a 乃至 43 c のそれぞれに与える信号である。

複数の EUV 光センサ 43 a 乃至 43 c は、それぞれ第 1 ゲート信号を受信すると、それぞれ EUV 光 277 のエネルギーを計測し、その計測値 E1 乃至 E3 を制御部 8 に送信する。

制御部 8 は、数式 3 及び数式 4 を用いて、EUV 光 277 の重心位置を評価する。

制御部 8 は、数式 3 及び数式 4 の計算値から、現在の EUV 光 277 の重心位置と所定位置との偏差を特定する。そして、制御部 8 は、現在のパルスレーザ光 31 の集光位置と所定の集光位置との偏差を特定する。そして、制御部 8 は、パルスレーザ光 31 の集光位置における偏差が無くなるようなマニピュレータ 224 の駆動量を決定する。制御部 8 は、決定された駆動量に応じてマニピュレータ 224 を駆動させ、パルスレーザ光 31 の集光位置を移動させる。

なお、EUV 光重心制御において、制御部 8 は、マニピュレータ 224 の代わりに、高反射ミラー 331 を搭載する上述のステージ及び高反射ミラー 332 を搭載する上述のステージを駆動させることによって、パルスレーザ

光 3 1 の集光位置を移動させてもよい。また、制御部 8 は、パルスレーザ光 3 1 の集光位置の移動量や移動速度に応じて、マニピュレータ 2 2 4、高反射ミラー 3 3 1 を搭載する上述のステージ、及び、高反射ミラー 3 3 2 を搭載する上述のステージの何れかを駆動させてもよい。

制御部 8 がこのような処理を実行することにより、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の位置とパルスレーザ光 3 1 の集光位置との相対的な位置関係が適切な位置関係となり、EUV 光 2 7 7 の重心位置が所定位置に制御される。すなわち、シューティングずれが抑制され得る。

[0060] 第 1 実施形態の EUV 光生成装置 1 の他の構成については、比較例の EUV 光生成装置 1 と同様である。

[0061] [3. 2 動作]

第 1 実施形態の EUV 光生成装置 1 の動作について説明する。具体的には、EUV 光 2 7 7 の生成中にその生成位置を移動させる際に、第 1 実施形態に係る制御部 8 が実行する処理について説明する。

EUV 光 2 7 7 の生成中にその生成位置を移動させるために制御部 8 が実行する処理を、単に、EUV 光移動処理ともいう。

[0062] 図 7 は、EUV 光移動処理の概略を説明するためのフローチャートを示す。

[0063] ステップ S 1 において、制御部 8 は、EUV 光 2 7 7 の生成位置を移動させるための露光装置 9 からの指令を受信する。

[0064] ステップ S 2 において、制御部 8 は、EUV 光重心制御の実行を停止する。

[0065] ステップ S 3 において、制御部 8 は、現在のプラズマ 2 7 5 の位置を取得し、プラズマ 2 7 5 の移動距離を特定する。

現在のプラズマ 2 7 5 の位置は、EUV 光移動処理の開始時点で制御部 8 が保持しているプラズマ 2 7 5 の位置である。現在のプラズマ 2 7 5 の位置は、前回の EUV 光移動処理の際に露光装置 9 によって指令された EUV 光 2 7 7 の生成位置であってもよい。

EUV光277を含む放射光276はプラズマ275から放射状に放射されるため、EUV光277の生成位置は、プラズマ275の位置と相関がある。EUV光277の生成位置が移動されると、プラズマ275の位置が移動される。

そこで、制御部8は、チャンバ2内で生成されたプラズマ275の位置を、EUV光277の生成位置と推定する。そして、制御部8は、露光装置9からの指令に応じて移動されるプラズマ275の移動距離を、EUV光277の生成位置の移動距離と推定する。

プラズマ275の移動距離は、現在のプラズマ275の位置であるプラズマ現在位置と、露光装置9からの指令に応じて移動された後のプラズマ275の位置であるプラズマ目標位置との距離である。プラズマ275の移動距離は、プラズマ現在位置とプラズマ目標位置との差分値から特定される。すなわち、EUV光277の生成位置の移動距離は、プラズマ現在位置とプラズマ目標位置との差分値から特定される。

[0066] ステップS4において、制御部8は、プラズマ275の移動距離が許容値Lth以下であるか否かを判定する。

許容値Lthは、ステージ26の駆動速度及びマニピュレータ224の駆動速度に差があっても、EUV光277の性能を維持しながらEUV光277の生成位置を移動可能な距離である。許容値Lthは、プラズマ生成領域R1におけるパルスレーザー光31のスポット直径Dから特定される。許容値Lthの取り得る範囲は、 $(D/20)$ 以上 $(D/5)$ 以下である。許容値Lthの取り得る範囲は、例えば5 μm 以上30 μm 以下である。

制御部8は、プラズマ275の移動距離が許容値Lth以下であれば、ステップS8に移行する。一方、制御部8は、プラズマ275の移動距離が許容値Lthより大きければ、ステップS5に移行する。

[0067] ステップS5において、制御部8は、プラズマ275の位置が許容値Lthだけ移動するよう、ステージ26、マニピュレータ224及び照射タイミングの少なくとも1つを制御する。

具体的には、制御部 8 は、ステージ 2 6 の駆動量、マニピュレータ 2 2 4 の駆動量及び遅延時間 T_d の変更量の少なくとも 1 つを、許容値 L_{th} を用いて決定する。そして、制御部 8 は、決定されたステージ 2 6 の駆動量、マニピュレータ 2 2 4 の駆動量及び遅延時間 T_d の変更量の少なくとも 1 つに応じて、ステージ 2 6、マニピュレータ 2 2 4 及び照射タイミングの少なくとも 1 つを制御する。

[0068] ステップ S 6 において、制御部 8 は、残余距離が許容値 L_{th} 未満となるまでプラズマ 2 7 5 を移動させたか否かを判定する。

残余距離は、プラズマ 2 7 5 の位置をプラズマ目標位置に到達させるために残りどの位の移動が必要かを示す距離である。

制御部 8 は、残余距離が許容値 L_{th} 未満となるまでプラズマ 2 7 5 を移動させていなければ、ステップ S 5 に移行する。一方、制御部 8 は、残余距離が許容値 L_{th} 未満となるまでプラズマ 2 7 5 を移動させたならば、ステップ S 7 に移行する。

[0069] ステップ S 7 において、制御部 8 は、ステージ 2 6 の駆動量、マニピュレータ 2 2 4 の駆動量及び遅延時間 T_d の変更量の少なくとも 1 つを、残余距離に応じて決定する。

[0070] ステップ S 8 において、制御部 8 は、ステージ 2 6、マニピュレータ 2 2 4 及び照射タイミングの少なくとも 1 つを一度に制御する。

[0071] 具体的には、制御部 8 は、ステップ S 4 からステップ S 8 に移行された場合、ステージ 2 6、マニピュレータ 2 2 4 及び照射タイミングの少なくとも 1 つを次のように制御する。

すなわち、制御部 8 は、ステップ S 3 で特定されたプラズマ 2 7 5 の移動距離に応じて、ステージ 2 6 の駆動量、マニピュレータ 2 2 4 の駆動量及び遅延時間 T_d の変更量の少なくとも 1 つを決定する。そして、制御部 8 は、決定されたステージ 2 6 の駆動量、マニピュレータ 2 2 4 の駆動量及び遅延時間 T_d の変更量の少なくとも 1 つに応じて、ステージ 2 6、マニピュレータ 2 2 4 及び照射タイミングの少なくとも 1 つを一度に制御する。

[0072] また、制御部 8 は、ステップ S 7 からステップ S 8 に移行された場合、ステージ 2 6、マニピュレータ 2 2 4 及び照射タイミングの少なくとも 1 つを次のように制御する。

すなわち、制御部 8 は、ステップ S 7 で決定されたステージ 2 6 の駆動量、マニピュレータ 2 2 4 の駆動量及び遅延時間 T d の変更量の少なくとも 1 つに応じて、ステージ 2 6、マニピュレータ 2 2 4 及び照射タイミングの少なくとも 1 つを一度に制御する。

[0073] ステップ S 9 において、制御部 8 は、E U V 光重心制御の実行を再開する。その後、制御部 8 は、本処理を終了する。

このように、制御部 8 は、E U V 光移動処理をフィードフォワード方式で制御する。

[0074] 図 8 は、第 1 実施形態に係る制御部 8 によって実行される E U V 光移動処理のフローチャートを示す。

図 8 並びに後述する図 1 4 及び図 1 9 は、図 7 に示された E U V 光移動処理を各実施形態ごとで詳細に示したフローチャートである。

[0075] ステップ S 1 1 において、制御部 8 は、E U V 光 2 7 7 の生成位置を移動させるための露光装置 9 からの指令を受信する。

露光装置 9 からの指令には、プラズマ現在位置とプラズマ目標位置との差分値 ΔP (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ) が含まれている。すなわち、差分値 ΔP は、プラズマ現在位置とプラズマ目標位置との偏差である。露光装置 9 からの指令は、差分値 ΔP に応じてプラズマ 2 7 5 の位置を移動させるよう制御部 8 に命じる指令である。

[0076] ステップ S 1 2 において、制御部 8 は、数式 5 に示されるように、プラズマ 2 7 5 の移動距離 ΔL を計算する。すなわち、制御部 8 は、差分値 ΔP からプラズマ 2 7 5 の移動距離 ΔL を特定する。

[数5]

$$\Delta L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

[0077] ステップS13において、制御部8は、EUV光重心制御の実行を停止する。

制御部8は、EUV光重心制御の実行を停止する際、EUV光277の重心位置における制御目標値である目標重心位置（EUV-Cent_Xi、EUV-Cent_Yi）を記憶する。

[0078] ステップS14において、制御部8は、現在のシューティング条件に関する各情報を取得する。

具体的には、制御部8は、現在のプラズマ275の位置（Xi、Yi、Zi）、現在のステージ26の位置（X_DLS_i、Z_DLS_i）、現在のマニピュレータ224の位置（X_FU_i、Y_FU_i）、及び、現在の遅延時間Tdを取得する。加えて、制御部8は、ターゲットの進行速度V_DLを取得する。

[0079] ステップS15において、制御部8は、数式6を用いて、プラズマ275の移動距離ΔLが許容値Lth以下であるか否かを判定する。

[数6]

$$\Delta L \leq Lth$$

制御部8は、プラズマ275の移動距離ΔLが許容値Lth以下であれば、ステップS21に移行する。一方、制御部8は、プラズマ275の移動距離ΔLが許容値Lthより大きければ、ステップS16に移行する。

[0080] ステップS16において、制御部8は、数式7乃至数式9に示されるように、プラズマ275の位置を許容値Lthだけ移動させるためのパラメータN、dP及びkを設定する。

[数7]

$$N = \Delta L / Lth$$

[数8]

$$dP = \Delta P / N$$

[数9]

$$k = 1$$

制御部8は、数式7の右辺を計算して得られた商をNに設定する。Nは、自然数であって、数式7の右辺を計算して得られた剰余を切り捨てた値である。Nは、プラズマ275の位置を許容値L t hずつ移動させる回数である。すなわち、Nは、プラズマ275の位置を移動距離ΔLだけ移動させるに際して、プラズマ275の位置を許容値L t hだけ移動させるような制御を、制御部8が何回実行するかを定めた数である。数式7の右辺を計算して得られた剰余は、上述の剰余距離に相当する。

また、制御部8は、数式8の右辺の計算値をdP (dX、dY、dZ)に設定する。dP (dX、dY、dZ)は、制御部8の1回の制御での移動先となるプラズマ275の位置と、その移動前のプラズマ275の位置との偏差である。dP (dX、dY、dZ)を数式8のように設定することは、制御部8における1回の制御でプラズマ275の位置が許容値L t hだけ移動することを意味する。

また、制御部8は、数式9に示されるように、初期値として1をkに設定する。kは、Nに関する引数である。kは、1以上N以下の自然数である。

[0081] ステップS17において、制御部8は、数式10に示されるように、引数kがNになるまでステップS18及びS19の処理を繰り返すループ1を実行する。

[数10]

$$\begin{aligned} & \text{while } k \neq N \\ & \quad (k = 1 \sim N) \end{aligned}$$

[0082] ステップS18において、制御部8は、数式11乃至数式13に示されるように、ステージ26の駆動量、マニピュレータ224の駆動量及び遅延時間Tdの変更量の少なくとも1つを、数式8のdp (dX、dY、dZ)を用いて決定する。

[数11]

$$\begin{aligned} X_{DLS_i} &= X_{DLS_i} + dX \\ Z_{DLS_i} &= Z_{DLS_i} + dZ \end{aligned}$$

[数12]

$$\begin{aligned} X_{FU_i} &= X_{FU_i} + dX \\ Y_{FU_i} &= Y_{FU_i} + dY \end{aligned}$$

[数13]

$$\begin{aligned} Td &= Td + dt \\ dt &= (dX \cdot \tan \theta + dY) / V_{DL} \end{aligned}$$

具体的には、制御部8は、数式11に示されるように、ステージ26のX軸に沿った方向における駆動量をdXに決定し、ステージ26のZ軸に沿った方向における駆動量をdZに決定する。制御部8は、数式12に示されるように、マニピュレータ224のX軸に沿った方向における駆動量をdXに決定し、マニピュレータ224のY軸に沿った方向における駆動量をdYに

決定する。制御部8は、数式13に示されるように、遅延時間 T_d の変更量 d_t を d_X 及び d_Y を用いて決定する。

[0083] そして、制御部8は、決定されたステージ26の駆動量、マニピュレータ224の駆動量及び遅延時間 T_d の変更量の少なくとも1つに応じて、ステージ26、マニピュレータ224及び照射タイミングの少なくとも1つを一度に制御する。

具体的には、制御部8は、ステージ26の位置(X_{DLS_i} 、 Z_{DLS_i})が、数式11に示された位置に移動するよう、ステージ26を駆動させる。制御部8は、マニピュレータ224の位置(X_{FU_i} 、 Y_{FU_i})が、数式12に示された位置に移動するよう、マニピュレータ224を駆動させる。制御部8は、パルスレーザ光31の照射タイミングが、数式13に示された遅延時間 T_d で規定されるよう、遅延時間 T_d を変更する。

[0084] ステップS19において、制御部8は、数式14に示されるように、引数 k をインクリメントする。

[数14]

$$k = k + 1$$

[0085] ステップS18及びS19の処理を繰り返すループ1が実行されると、プラズマ275の位置は、許容値 L_{th} ずつ N 回移動し得る。この際、プラズマ275の位置は、プラズマ目標位置に向かって直線的に移動し得る。

但し、許容値 L_{th} ずつ N 回移動されたプラズマ275の位置は、プラズマ目標位置には到達しないことがある。その場合、制御部8は、プラズマ275の位置を、数式7の右辺を計算して得られた剰余に相当する上述の剰余距離だけ更に移動させる必要がある。

[0086] ステップS20において、制御部8は、数式15に示されるように、 ΔP (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ)を更新する。

具体的には、制御部8は、数式15に示されるように、差分値 ΔP (ΔX

、 ΔY 、 ΔZ) が、ループ1を実行後のプラズマ275の位置とプラズマ目標位置との偏差となるよう、差分値 ΔP (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ) を更新する。それにより、制御部8は、ステップS21において、プラズマ275の位置を、数式7の右辺を計算して得られた剰余に相当する上述の残余距離だけ更に移動させ得る。

[数15]

$$\Delta X = \Delta X - N \cdot dX$$

$$\Delta Y = \Delta Y - N \cdot dY$$

$$\Delta Z = \Delta Z - N \cdot dZ$$

[0087] ステップS21において、制御部8は、数式16乃至数式18に示されるように、ステージ26の駆動量、マニピュレータ224の駆動量及び遅延時間Tdの変更量の少なくとも1つを、差分値 ΔP (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ) を用いて決定する。

[数16]

$$X_{DLS_i} = X_{DLS_i} + \Delta X$$

$$Z_{DLS_i} = Z_{DLS_i} + \Delta Z$$

[数17]

$$X_{FU_i} = X_{FU_i} + \Delta X$$

$$Y_{FU_i} = Y_{FU_i} + \Delta Y$$

[数18]

$$Td = Td + \Delta t$$

$$\Delta t = (\Delta X \cdot \tan \theta + \Delta Y) / V_{DL}$$

具体的には、制御部8は、数式16に示されるように、ステージ26のX軸に沿った方向における駆動量を ΔX に決定し、ステージ26のZ軸に沿った方向における駆動量を ΔZ に決定する。制御部8は、数式17に示されるように、マニピュレータ224のX軸に沿った方向における駆動量を ΔX に決定し、マニピュレータ224のY軸に沿った方向における駆動量を ΔY に決定する。制御部8は、数式18に示されるように、遅延時間 T_d の変更量 Δt を ΔX 及び ΔY を用いて決定する。

[0088] そして、制御部8は、決定されたステージ26の駆動量、マニピュレータ224の駆動量及び遅延時間 T_d の変更量の少なくとも1つに応じて、ステージ26、マニピュレータ224及び照射タイミングの少なくとも1つを一度に制御する。

具体的には、制御部8は、ステージ26の位置(X_{DLS_i} 、 Z_{DLS_i})が、数式16に示された位置に移動するよう、ステージ26を駆動させる。制御部8は、マニピュレータ224の位置(X_{FU_i} 、 Y_{FU_i})が、数式17に示された位置に移動するよう、マニピュレータ224を駆動させる。制御部8は、パルスレーザ光31の照射タイミングが、数式18に示された遅延時間 T_d で規定されるよう、遅延時間 T_d を変更する。

[0089] ステップS22において、制御部8は、EUV光重心制御の実行を再開する。

制御部8は、EUV光重心制御の実行を再開する際、ステップS13において記憶された目標重心位置($EUV-Cent_Xi$ 、 $EUV-Cent_Yi$)を、EUV光277の目標重心位置に設定する。

EUV光重心制御の実行が再開されることにより、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置とパルスレーザ光31の集光位置との相対的な位置関係が、EUV光移動処理の後に微調整される。

[0090] ステップS23において、制御部8は、数式19に示されるように、プラズマ275の位置(Xi 、 Yi 、 Zi)を更新する。その後、制御部8は、本処理を終了する。

[数19]

$$X_i = X_i + \Delta X$$

$$Y_i = Y_i + \Delta Y$$

$$Z_i = Z_i + \Delta Z$$

[0091] 第1実施形態のEUV光生成装置1の他の動作については、比較例のEUV光生成装置1と同様である。

[0092] [3.3 作用効果]

第1実施形態に係る制御部8は、EUV光277の移動距離が許容値L_{t h}以下である場合、ステージ26の駆動量、マニピュレータ224の駆動量及び遅延時間T_dの変更量を、差分値ΔPを用いて決定し得る。そして、制御部8は、差分値ΔPを用いて決定された上記の各駆動量及び変更量に応じて、ステージ26、マニピュレータ224及び照射タイミングを一度に制御し得る。

このため、制御部8は、1回の制御で、EUV光277の生成中にその生成位置を、露光装置9からの指令に応じた位置に移動させ得る。この際、制御部8は、EUV光277の性能を維持しながら直線的に、EUV光277の生成位置を移動させ得る。

また、第1実施形態に係る制御部8は、EUV光277の移動距離が許容値L_{t h}より大きい場合、ステージ26の駆動量、マニピュレータ224の駆動量及び遅延時間T_dの変更量を、許容値L_{t h}を用いて決定し得る。そして、制御部8は、許容値L_{t h}を用いて決定された上記の各駆動量及び変更量に応じて、ステージ26、マニピュレータ224及び照射タイミングを一度に制御し得る。そして、制御部8は、ステージ26、マニピュレータ224及び照射タイミングの制御を複数回繰り返し得る。

このため、制御部8は、プラズマ275の位置を許容値L_{t h}ずつ複数回移動させながら、EUV光277の生成中にその生成位置を、露光装置9からの指令に応じた位置に移動させ得る。この際、制御部8は、EUV光27

7の性能を維持しながら可能な限り直線的に、EUV光277の生成位置を移動させ得る。

それにより、第1実施形態のEUV光生成装置1は、露光装置9からの指令に基づいてEUV光277の生成位置を移動させる際、EUV光277の性能を維持しつつ、EUV光277の生成中にその生成位置を短時間で移動させ得る。

その結果、第1実施形態のEUV光生成装置1は、エラー発報による稼働停止、デブリ汚染による短寿命化及びEUV光277の生成効率の低下を抑制しつつ、所望性能のEUV光277を生成中にその生成位置を短時間で移動させ得る。

[0093] [4. 第2実施形態]

図9乃至図14を用いて、第2実施形態のEUV光生成装置1について説明する。

第2実施形態のEUV光生成装置1は、第1実施形態のEUV光生成装置1に対して、第1及び第2画像センサ45及び47が追加された構成を備える。更に、第2実施形態のEUV光生成装置1は、第1実施形態のEUV光生成装置1に対して、制御部8の動作が異なる。

第2実施形態のEUV光生成装置1の構成及び動作において、第1実施形態のEUV光生成装置1と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0094] [4. 1 構成]

図9は、第2実施形態のEUV光生成装置1の構成を説明するための図を示す。図10は、図9に示された第1及び第2画像センサ45及び47の構成を説明するための図を示す。

第1及び第2画像センサ45及び47のそれぞれは、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置を含む領域を撮像領域とし、撮像領域の画像を取得するセンサである。

[0095] 第1画像センサ45は、プラズマ生成領域R1を含む領域の画像を取得するセンサである。第1画像センサ45は、プラズマ生成領域R1に供給され

たターゲット27の画像を取得するセンサである。

第1画像センサ45は、プラズマ生成領域R1と対向するようにチャンバ2の壁211に設けられる。

第1画像センサ45は、図10に示されるように、照明部451と、撮像部452とを含む。

[0096] 照明部451及び撮像部452は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置における少なくともY軸座標成分が、撮像部452によって取得された画像から計測可能なように配置される。

具体的には、照明部451及び撮像部452は、プラズマ生成領域R1を挟んで互いに対向するように配置される。すなわち、照明部451及び撮像部452は、照明部451の照明光軸及び撮像部452の検出光軸が、互いに略同軸でプラズマ生成領域R1を通るように配置される。加えて、照明部451及び撮像部452は、照明部451の照明光軸及び撮像部452の検出光軸が、XZ平面に略平行な平面内に含まれるように配置される。加えて、照明部451及び撮像部452は、照明部451の照明光軸及び撮像部452の検出光軸が、XY平面に略平行な平面と交差するように配置される。

なお、照明部451の照明光軸とは、照明部451からプラズマ生成領域R1に向けて出力された照明光の光路軸である。

撮像部452の検出光軸とは、照明部451からプラズマ生成領域R1に向けて出力された照明光のうち、撮像部452によって検出される照明光の光路軸である。

[0097] 照明部451は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27を照明するように、プラズマ生成領域R1に向けて照明光を出力する。

照明部451は、レーザ光源又はフラッシュランプ等の輝度が高く時間幅の短いパルス光を出力する光源を用いて構成される。

照明部451の動作は、制御部8によって制御される。

[0098] 撮像部452は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27を照明するように出力された照明光の画像を取得することで、プラズマ生成領域

R 1 に供給されたターゲット 2 7 の画像を取得する。

撮像部 4 5 2 は、CCD (Charge-Coupled Device) 等の検出素子と、I I U (Image Intensifier Unit) 等のシャッタとを用いて構成される。

撮像部 4 5 2 は、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の周囲を通過する照明光を撮像部 4 5 2 の検出素子に露光させて検出することで、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の影の画像を取得する。撮像部 4 5 2 は、取得された画像を含む信号を制御部 8 に送信する。

撮像部 4 5 2 の動作は、制御部 8 によって制御される。

[0099] 第 2 画像センサ 4 7 は、プラズマ生成領域 R 1 を含む領域の画像を取得するセンサである。第 2 画像センサ 4 7 は、プラズマ生成領域 R 1 付近のターゲット軌道 Q の画像を取得するセンサである。第 2 画像センサ 4 7 は、プラズマ生成領域 R 1 付近のターゲット軌道 Q を進行するターゲット 2 7 の画像を取得するセンサである。

第 2 画像センサ 4 7 は、プラズマ生成領域 R 1 と対向するようにチャンバ 2 の壁 2 1 1 に設けられる。

第 2 画像センサ 4 7 は、図 1 0 に示されるように、照明部 4 7 1 と、撮像部 4 7 2 と、撮像部 4 7 3 とを含む。

[0100] 照明部 4 7 1 と撮像部 4 7 2 及び 4 7 3 とは、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の位置における Z 軸座標成分及び X 軸座標成分が、撮像部 4 7 2 及び 4 7 3 によって取得された画像から計測可能なように配置される。

具体的には、照明部 4 7 1 と撮像部 4 7 2 及び 4 7 3 とは、照明部 4 7 1 の照明光軸と撮像部 4 7 2 及び 4 7 3 の各検出光軸とが、平行でない同じ方向からプラズマ生成領域 R 1 を通るように配置される。加えて、照明部 4 7 1 と撮像部 4 7 2 及び 4 7 3 とは、照明部 4 7 1 の照明光軸と撮像部 4 7 2 及び 4 7 3 の各検出光軸とが、X Z 平面に略平行な平面内に含まれるように配置される。加えて、撮像部 4 7 2 及び 4 7 3 は、撮像部 4 7 2 及び 4 7 3 の各検出光軸が、Y Z 平面に略平行な平面及び X Y 平面に略平行な平面とそ

れぞれ交差するように配置される。好適には、撮像部472及び473は、撮像部472及び473の各検出光軸が、YZ平面に略平行な平面及びXY平面に略平行な平面とそれぞれ略直交するように配置される。

なお、照明部471の照明光軸とは、照明部471からプラズマ生成領域R1に向けて出力された照明光の光路軸である。

撮像部472の検出光軸とは、照明部471からプラズマ生成領域R1に向けて出力され、プラズマ生成領域R1付近のターゲット軌道Qを進行するターゲット27によって反射された照明光のうち、撮像部472によって検出される照明光の光路軸である。

撮像部473の検出光軸とは、照明部471からプラズマ生成領域R1に向けて出力され、プラズマ生成領域R1付近のターゲット軌道Qを進行するターゲット27によって反射された照明光のうち、撮像部473によって検出される照明光の光路軸である。

また、照明部471からプラズマ生成領域R1に向けて出力され、プラズマ生成領域R1付近のターゲット軌道Qを進行するターゲット27によって反射された照明光を、単に、ターゲット27からの反射光ともいう。

[0101] 照明部471は、プラズマ生成領域R1付近のターゲット軌道Qを進行するターゲット27を照明するように、プラズマ生成領域R1付近に向けて照明光を出力する。

照明部471は、CWレーザ等の連続光を出力する光源を用いて構成される。

照明部471の動作は、制御部8によって制御される。

なお、照明部471は、撮像部472及び473のそれぞれに対応する複数の照明部471から構成されてもよい。

[0102] 撮像部472及び473は、ターゲット27からの反射光の画像を互いに異なる方向から取得することで、プラズマ生成領域R1付近のターゲット軌道Qの画像を取得する。

撮像部472及び473のそれぞれは、CCD等の検出素子と、I I U等

のシャッタとを用いて構成される。

撮像部472及び473のそれぞれは、ターゲット27からの反射光を各検出素子に露光させて検出することで、プラズマ生成領域R1付近のターゲット軌道Qの画像を取得する。撮像部472及び473のそれぞれは、取得された画像を含む信号を制御部8に送信する。

撮像部472及び473のそれぞれの動作は、制御部8によって制御される。

[0103] 第2実施形態のEUV光生成装置1の他の構成については、第1実施形態のEUV光生成装置1と同様である。

[0104] [4.2 動作]

第2実施形態のEUV光生成装置1の動作について説明する。

まず、図11乃至図13を用いて、第2実施形態に係る第1及び第2画像センサ45及び47とこれらの動作を制御する制御部8の処理について説明する。

図11は、図10に示された第1画像センサ45に含まれる撮像部452によって取得された画像を説明するための図を示す。図12は、図10に示された第2画像センサ47に含まれる撮像部472によって取得された画像を説明するための図を示す。図13は、図10に示された第2画像センサ47に含まれる撮像部473によって取得された画像を説明するための図を示す。

[0105] 第2実施形態に係る制御部8は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の画像が適切に取得されるよう、第1画像センサ45に第2ゲート信号を送信する。制御部8は、第2ゲート信号の送信タイミングに同期して、照明部451から照明光を出力させるための制御信号を第1画像センサ45に送信する。

第2ゲート信号は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の画像を取得する契機を第1画像センサ45に与える信号である。第2ゲート信号は、その時間幅だけ撮像部452のシャッタを開いて撮像部452の検

出素子を露光させ、画像を取得させる信号である。

具体的には、制御部 8 は、ターゲット検出信号に対応するターゲット 27 がプラズマ生成領域 R 1 に到達するタイミングにシャッタが開くよう、ターゲット検出信号を生成したタイミングから所定の遅延時間だけ遅延したタイミングで第 2 ゲート信号を送信する。制御部 8 は、ターゲット検出信号に対応するターゲット 27 からプラズマ 275 が生成される前にシャッタが閉じるよう、所定の時間幅を有する第 2 ゲート信号を出力する。

[0106] 制御部 8 は、プラズマ生成領域 R 1 付近のターゲット軌道 Q の画像が適切に取得されるよう、第 2 画像センサ 47 に第 3 ゲート信号を送信する。制御部 8 は、予め、照明部 471 から照明光を出力させるための制御信号を第 2 画像センサ 47 に送信し続けている。

第 3 ゲート信号は、プラズマ生成領域 R 1 付近のターゲット軌道 Q の画像を取得する契機を第 2 画像センサ 47 に与える信号である。第 3 ゲート信号は、その時間幅だけ撮像部 472 及び 473 の各シャッタを開いて撮像部 472 及び 473 の各検出素子を露光させ、画像を取得させる信号である。

具体的には、制御部 8 は、ターゲット検出信号に対応するターゲット 27 がプラズマ生成領域 R 1 に到達するタイミングにシャッタが開くよう、ターゲット検出信号を生成したタイミングから所定の遅延時間だけ遅延したタイミングで第 3 ゲート信号を送信する。制御部 8 は、ターゲット検出信号に対応するターゲット 27 からプラズマ 275 が生成される前にシャッタが閉じるよう、所定の時間幅を有する第 3 ゲート信号を出力する。

[0107] 第 1 画像センサ 45 は、第 2 ゲート信号を受信すると、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 27 の画像を取得する。例えば、第 1 画像センサ 45 は、図 11 に示されるように、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 27 の位置における Y 軸座標成分が計測可能な画像を取得する。

第 1 画像センサ 45 の照明部 451 から出力される照明光は輝度が高く時間幅の短いパルス光である。このため、第 2 ゲート信号の時間幅は、照明光の時間幅に応じて短かくてよい。第 2 ゲート信号の時間幅が短いと、撮像部

452の検出素子が露光される時間は短くなる。

よって、第1画像センサ45は、図11に示されるように、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の静止画像を取得し得る。図11に示された静止画像によって、制御部8は、ある時刻にプラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置におけるY軸座標成分を計測可能である。

第1画像センサ45は、取得された画像を含む信号を制御部8に送信する。

[0108] 第2画像センサ47は、第3ゲート信号を受信すると、プラズマ生成領域R1付近のターゲット軌道Qの画像を取得する。例えば、第2画像センサ47の撮像部472及び473は、それぞれ図12及び図13に示されるように、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置におけるZ軸座標成分及びX軸座標成分が計測可能な画像を取得する。

第2画像センサ47の照明部471から出力される照明光は、連続光である。このため、第3ゲート信号の時間幅は、第2ゲート信号よりも比較的長くてもよい。また、第3ゲート信号の時間幅は、ターゲット検出信号の生成周期より短くてもよい。更に、第3ゲート信号は、ターゲット検出信号の生成タイミングに同期して複数回送信されてよい。第3ゲート信号の時間幅が第2ゲート信号よりも比較的長くターゲット検出信号の生成周期より短いと、撮像部472及び473の各検出素子が露光される時間は、撮像部452の検出素子が露光される時間より長くターゲット検出信号の生成周期より短くなる。更に、第3ゲート信号がターゲット検出信号の生成タイミングに同期して複数回送信されると、撮像部472及び473の各検出素子が露光される周期は、ターゲット検出信号の生成周期と略同一となる。

よって、第2画像センサ47は、図12及び図13に示されるように、プラズマ生成領域R1付近のターゲット軌道Qを進行する複数のターゲット27についての複数の軌跡が破線状に連なった画像を取得する。図12及び図13に示された2つの画像によって、制御部8は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置におけるZ軸座標成分及びX軸座標成分を

計測可能である。

第2画像センサ47は、取得された画像を含む信号を制御部8に送信する。

[0109] 制御部8は、第2画像センサ47によって取得された画像を用いて、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置におけるX軸及びZ軸座標成分を計測する。そして、制御部8は、計測されたターゲット27のX軸及びZ軸に沿った方向における位置が所望の位置となるよう、ステージ26を駆動させる。

制御部8は、第1画像センサ45によって取得された画像を用いて、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置におけるY軸座標成分を計測する。そして、制御部8は、計測されたターゲット27のY軸に沿った方向における位置が所望の位置となるよう、数式1及び数式2を用いて、遅延時間 T_d を変更する。

制御部8は、所望の位置に移動させたターゲット27に対してパルスレーザ光31が適切に照射されるよう、マニピュレータ224を駆動させる。

[0110] 続いて、図14を用いて、第2実施形態に係る制御部8が実行するEUV光移動処理について説明する。

図14は、第2実施形態に係る制御部8によって実行されるEUV光移動処理のフローチャートを示す。

第2実施形態に係る制御部8は、EUV光移動処理を実行する際、第1及び第2画像センサ45及び47によって取得された複数の画像を用いて計測されたターゲット27の位置をプラズマ現在位置と推定することによって、プラズマ現在位置を特定する。

また、制御部8は、EUV光移動処理において、特定されたプラズマ現在位置と、露光装置9からの指令に含まれる差分値 ΔP とに基づいて、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置における制御目標位置を設定する。そして、制御部8は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27の位置が、設定された制御目標位置となるよう、ステージ26を制

御する。

なお、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の位置における制御目標位置を、単に、ターゲット 2 7 の位置における制御目標位置ともいう。

[0111] ステップ S 3 1 乃至 S 3 3 において、制御部 8 は、図 8 に示されたステップ S 1 1 乃至 1 3 と同様の処理を実行する。

[0112] ステップ S 3 4 において、制御部 8 は、現在のシューティング条件に関する各情報を取得する。

具体的には、制御部 8 は、現在のプラズマ 2 7 5 の位置 (X_i 、 Y_i 、 Z_i)、及び、ターゲット 2 7 の位置における現在の制御目標位置 (X_{DL}_i 、 Y_{DL}_i 、 Z_{DL}_i) を取得する。加えて、制御部 8 は、現在のマニピュレータ 2 2 4 の位置 (X_{FU}_i 、 Y_{FU}_i)、現在の遅延時間 T_d 、及び、ターゲットの進行速度 V_{DL} を取得する。

この際、制御部 8 は、上述のように、第 1 及び第 2 画像センサ 4 5 及び 4 7 によって取得された複数の画像を用いて計測されたターゲット 2 7 の位置を、現在のプラズマ 2 7 5 の位置 (X_i 、 Y_i 、 Z_i) と推定する。

[0113] ステップ S 3 5 において、制御部 8 は、図 8 に示されたステップ S 1 5 と同様に、数式 6 を用いて、プラズマ 2 7 5 の移動距離 ΔL が許容値 L_{th} 以下であるか否かを判定する。

制御部 8 は、プラズマ 2 7 5 の移動距離 ΔL が許容値 L_{th} 以下であれば、ステップ S 4 1 に移行する。一方、制御部 8 は、プラズマ 2 7 5 の移動距離 ΔL が許容値 L_{th} より大きければ、ステップ S 3 6 に移行する。

[0114] ステップ S 3 6 において、制御部 8 は、図 8 に示されたステップ S 1 6 と同様の処理を実行する。

[0115] ステップ S 3 7 において、制御部 8 は、図 8 に示されたステップ S 1 7 と同様に、数式 1 0 に示されるように、引数 k が N になるまでステップ S 3 8 及び S 3 9 の処理を繰り返すループ 2 を実行する。

[0116] ステップ S 3 8 において、制御部 8 は、数式 2 0 乃至数式 2 2 に示される

ように、ターゲット 27 の位置における制御目標位置の変更量、マニピュレータ 224 の駆動量及び遅延時間 Td の変更量の少なくとも 1 つを、 dp (dX 、 dY 、 dZ) を用いて決定する。

[数20]

$$\begin{aligned} X_{DL_i} &= X_{DL_i} + dX \\ Y_{DL_i} &= Y_{DL_i} + dY \\ Z_{DL_i} &= Z_{DL_i} + dZ \end{aligned}$$

[数21]

$$\begin{aligned} X_{FU_i} &= X_{FU_i} + dX \\ Y_{FU_i} &= Y_{FU_i} + dY \end{aligned}$$

[数22]

$$\begin{aligned} Td &= Td + dt \\ dt &= (dX \cdot \tan \theta + dY) / V_{DL} \end{aligned}$$

具体的には、制御部 8 は、数式 20 に示されるように、ターゲット 27 の位置における制御目標位置の X 軸座標成分の変更量を dX に決定し、制御目標位置の Y 軸座標成分の変更量を dY に決定し、制御目標位置の Z 軸座標成分の変更量を dZ に決定する。制御部 8 は、数式 21 に示されるように、マニピュレータ 224 の X 軸に沿った方向における駆動量を dX に決定し、マニピュレータ 224 の Y 軸に沿った方向における駆動量を dY に決定する。制御部 8 は、数式 22 に示されるように、遅延時間 Td の変更量 dt を dX 及び dY を用いて決定する。

[0117] そして、制御部 8 は、プラズマ生成領域 R1 に供給されたターゲット 27 の X 軸及び Z 軸に沿った方向における位置が数式 20 に示された制御目標位置 (X_{DL_i} 、 Z_{DL_i}) となるよう、ステージ 26 を駆動させる。又

は、制御部 8 は、決定された制御目標位置 (X_{DL_i} 、 Z_{DL_i}) の変更量 dX 及び dZ に応じてステージ 26 を駆動させる。すなわち、制御部 8 は、ターゲット 27 の位置における制御目標位置又はその変更量を決定することによって、ステージ 26 を駆動させる。よって、第 2 実施形態に係るステージ 26 の駆動量は、ターゲット 27 の位置における制御目標位置の変更量によって決定される。

制御部 8 は、プラズマ生成領域 R1 に供給されたターゲット 27 の Y 軸に沿った方向における位置を数式 20 に示された制御目標位置とすべく、パルスレーザ光 31 の照射タイミングが数式 22 に示された遅延時間 T_d で規定されるよう、遅延時間 T_d を変更する。

制御部 8 は、マニピュレータ 224 の位置が、数式 21 に示された位置に移動するよう、マニピュレータ 224 を駆動させる。

なお、制御部 8 は、図 8 に示されたステップ S18 と同様に、ステージ 26、マニピュレータ 224 及び照射タイミングを一度に制御する。

[0118] ステップ S39 及び S40 において、制御部 8 は、図 8 に示されたステップ S19 及び S20 と同様の処理を実行する。

[0119] ステップ S41 において、制御部 8 は、数式 23 乃至数式 25 に示されるように、ターゲット 27 の位置の制御目標位置の変更量、マニピュレータ 224 の駆動量及び遅延時間 T_d の変更量の少なくとも 1 つを、差分値 ΔP (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ) を用いて決定する。

[数23]

$$\begin{aligned} X_{DL_i} &= X_{DL_i} + \Delta X \\ Y_{DL_i} &= Y_{DL_i} + \Delta Y \\ Z_{DL_i} &= Z_{DL_i} + \Delta Z \end{aligned}$$

[数24]

$$\begin{aligned} X_{FU_i} &= X_{FU_i} + \Delta X \\ Y_{FU_i} &= Y_{FU_i} + \Delta Y \end{aligned}$$

[数25]

$$Td = Td + \Delta t$$
$$\Delta t = (\Delta X \cdot \tan \theta + \Delta Y) / V_{DL}$$

具体的には、制御部8は、数式23に示されるように、ターゲット27の位置における制御目標位置のX軸座標成分の変更量を ΔX に決定し、制御目標位置のY軸座標成分の変更量を ΔY に決定し、制御目標位置のZ軸座標成分の変更量を ΔZ に決定する。制御部8は、数式24に示されるように、マニピュレータ224のX軸に沿った方向における駆動量を ΔX に決定し、マニピュレータ224のY軸に沿った方向における駆動量を ΔY に決定する。制御部8は、数式25に示されるように、遅延時間Tdの変更量 Δt を ΔX 及び ΔY を用いて決定する。

[0120] そして、制御部8は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27のX軸及びZ軸に沿った方向における位置が数式23に示された制御目標位置となるよう、決定された制御目標位置の変更量 ΔX 及び ΔZ に応じてステージ26を駆動させる。すなわち、制御部8は、ターゲット27の位置における制御目標位置の変更量を決定することによって、ステージ26の駆動量を決定する。

制御部8は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27のY軸に沿った方向における位置を数式23に示された制御目標位置とすべく、パルスレーザ光31の照射タイミングが数式25に示された遅延時間Tdで規定されるよう、遅延時間Tdを変更する。

制御部8は、マニピュレータ224の位置が、数式24に示された位置に移動するよう、マニピュレータ224を駆動させる。

なお、制御部8は、図8に示されたステップS21と同様に、ステージ26、マニピュレータ224及び照射タイミングを一度に制御する。

[0121] ステップS 4 2 及びS 4 3 において、制御部 8 は、図 8 に示されたステップS 2 2 及びS 2 3 と同様の処理を実行する。その後、制御部 8 は、本処理を終了する。

[0122] 第 2 実施形態の E U V 光生成装置 1 の他の動作については、第 1 実施形態の E U V 光生成装置 1 と同様である。

[0123] [4 . 3 作用効果]

第 2 実施形態に係る制御部 8 は、E U V 光移動処理を実行する際、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の位置を実際に計測し、計測されたターゲット 2 7 の位置を、プラズマ現在位置と推定する。このようにして、制御部 8 は、E U V 光移動処理の基準となるプラズマ現在位置を特定する。

このため、制御部 8 は、E U V 光移動処理の初期において、ターゲット 2 7 にパルスレーザ光 3 1 が照射されていなくても、E U V 光移動処理を実行し得る。例えば、E U V 光生成装置 1 が、バースト運転等の、パルスレーザ光 3 1 の照射と照射停止とが頻繁に繰り返される動作で運転される場合、制御部 8 は、パルスレーザ光 3 1 の照射が停止中であっても E U V 光移動処理を実行し得る。

それにより、制御部 8 は、任意のタイミングで E U V 光移動処理を実行し得るため、E U V 光移動処理の実行中にパルスレーザ光 3 1 の照射が開始されてもシューティングずれを抑制しつつ、E U V 光 2 7 7 の生成位置を移動させ得る。

その結果、第 2 実施形態の E U V 光生成装置 1 は、E U V 光 2 7 7 の性能を維持しつつ、任意のタイミングで E U V 光 2 7 7 の生成位置を短時間で移動させ得る。

[0124] なお、バースト運転とは、所定繰り返し周波数で所定期間に亘って E U V 光 2 7 7 を生成するバースト発光期間と、所定期間に亘って E U V 光 2 7 7 の生成を休止するバースト休止期間とを、一定時間繰り返す E U V 光生成装置 1 の運転動作である。バースト発光期間ではパルスレーザ光 3 1 の照射が

所定繰り返し周波数で行われるのに対し、バースト休止期間ではパルスレーザ光 31 の照射が停止される。

[0125] [5. 第3実施形態]

図15乃至図18を用いて、第3実施形態のEUV光生成装置1について説明する。

第3実施形態のEUV光生成装置1は、第2実施形態のEUV光生成装置1に対して、第2画像センサ47の代りに第1画像センサ45が追加された構成を備える。すなわち、第3実施形態のEUV光生成装置1は、複数の第1画像センサ45を備える。

第3実施形態のEUV光生成装置1の構成及び動作において、第2実施形態のEUV光生成装置1と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0126] [5. 1 構成]

図15は、第3実施形態のEUV光生成装置1の構成を説明するための図を示す。図16は、図15に示された複数の第1画像センサ45の構成を説明するための図を示す。

[0127] 第3実施形態に係る複数の第1画像センサ45のそれぞれは、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27ではなくプラズマ275の画像を取得する。

第3実施形態に係る複数の第1画像センサ45は、図16に示されるように、それぞれ撮像部453及び撮像部454を含む。第3実施形態に係る複数の第1画像センサ45は、第2実施形態に係る第1画像センサ45の照明部451を含まない。

[0128] 撮像部453及び454は、プラズマ275の画像を互いに異なる方向から取得する。

撮像部453及び454のそれぞれは、第2実施形態に係る第1画像センサ45に含まれる撮像部452と同様の構成を備える。すなわち、撮像部453及び454のそれぞれは、CCD等の検出素子と、IIU等のシャッタを用いて構成される。

撮像部453及び454は、撮像部453及び454の各検出光軸が、平行でない同じ方向からプラズマ生成領域R1を通るように配置される。加えて、撮像部453及び454は、撮像部453及び454の各検出光軸が、XZ平面に略平行な平面内に含まれるように配置される。加えて、撮像部453及び454は、撮像部453及び454の各検出光軸が、YZ平面に略平行な平面及びXY平面に略平行な平面とそれぞれ交差するように配置される。好適には、撮像部453及び454は、撮像部453及び454の各検出光軸が、YZ平面に略平行な平面及びXY平面に略平行な平面とそれぞれ略直交するように配置される。

撮像部453の検出光軸とは、プラズマ275から放射された放射光276のうち、撮像部453によって検出される放射光276の光路軸である。

撮像部454の検出光軸とは、プラズマ275から放射された放射光276のうち、撮像部454によって検出される放射光276の光路軸である。

[0129] 撮像部453及び454のそれぞれは、プラズマ275から放射された放射光276を各検出素子に露光させて検出することで、プラズマ275の画像を取得する。撮像部453及び454のそれぞれは、取得された画像を含む信号を制御部8に送信する。

撮像部453及び454のそれぞれの動作は、制御部8によって制御される。

[0130] 第3実施形態のEUV光生成装置1の他の構成については、第2実施形態のEUV光生成装置1と同様である。

[0131] [5.2 動作]

第3実施形態のEUV光生成装置1の動作について説明する。

まず、図17及び図18を用いて、第3実施形態に係る複数の第1画像センサ45とこれらの動作を制御する制御部8の処理について説明する。

図17は、図16に示された第1画像センサ45に含まれる撮像部453によって取得された画像を説明するための図を示す。図18は、図16に示された第1画像センサ45に含まれる撮像部454によって取得された画像

を説明するための図を示す。

[0132] 第3実施形態に係る制御部8は、プラズマ275の画像が適切に取得されるよう、複数の第1画像センサ45のそれぞれに一度に第4ゲート信号を送信する。

第4ゲート信号は、プラズマ275の画像を取得する契機を複数の第1画像センサ45のそれぞれに与える信号である。第4ゲート信号は、その時間幅だけ撮像部453及び454の各シャッタを開いて撮像部453及び454の各検出素子を露光させ、画像を取得させる信号である。

具体的には、制御部8は、ターゲット検出信号に対応するターゲット27からプラズマ275が生成されたタイミングにシャッタが開くよう、ターゲット検出信号を生成したタイミングから所定の遅延時間だけ遅延したタイミングで第4ゲート信号を送信する。制御部8は、ターゲット検出信号に対応するターゲット27から生成されたプラズマ275が発光している時間帯にシャッタが開いているよう、所定の時間幅を有する第4ゲート信号を出力する。

[0133] 第3実施形態に係る複数の第1画像センサ45のそれぞれは、第4ゲート信号を受信すると、プラズマ275の画像を取得する。例えば、第1画像センサ45に含まれる撮像部453は、図17に示されるように、プラズマ275の位置におけるY軸及びZ軸座標成分が計測可能な画像を取得する。第1画像センサ45に含まれる撮像部454は、図18に示されるように、プラズマ275の位置におけるX軸及びY軸座標成分が計測可能な画像を取得する。

プラズマ275から放射される放射光276は、輝度が高く時間幅の短いパルス光である。このため、第4ゲート信号の時間幅は、放射光276の時間幅に応じて短かくてよい。第4ゲート信号の時間幅が短いと、撮像部453及び454の各検出素子が露光される時間は短くなる。

よって、複数の第1画像センサ45に含まれる撮像部453及び454は、図17及び図18に示されるように、プラズマ275の静止画像を取得し

得る。図 1 7 及び図 1 8 に示された静止画像によって、制御部 8 は、ある時刻に生成されたプラズマ 2 7 5 の位置における各座標成分を計測可能である。

複数の第 1 画像センサ 4 5 のそれぞれは、取得された画像を含む信号を制御部 8 に送信する。

[0134] 制御部 8 は、複数の第 1 画像センサ 4 5 によって取得された複数の画像を用いて、プラズマ 2 7 5 の位置における各座標成分を計測する。そして、制御部 8 は、計測されたプラズマ 2 7 5 の位置が所望の位置となるよう、ステージ 2 6 及びマニピュレータ 2 2 4 を駆動させると共に遅延時間 T_d を変更する。

[0135] 続いて、第 3 実施形態に係る制御部 8 が実行する E U V 光移動処理について説明する。

第 3 実施形態に係る制御部 8 が実行する E U V 光移動処理は、図 1 4 に示された第 2 実施形態に係る制御部 8 が実行する E U V 光移動処理と同様である。

すなわち、第 3 実施形態に係る制御部 8 は、E U V 光移動処理を実行する際、複数の第 1 画像センサ 4 5 によって取得された複数の画像を用いて、プラズマ現在位置を特定する。また、制御部 8 は、E U V 光移動処理において、特定されたプラズマ現在位置と、露光装置 9 からの指令に含まれる差分値 ΔP とに基づいて、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の位置における制御目標位置を設定する。そして、制御部 8 は、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の位置が、設定された制御目標位置となるよう、ステージ 2 6 を制御する。

但し、第 3 実施形態に係る制御部 8 は、図 1 4 のステップ S 3 4 において、複数の第 1 画像センサ 4 5 によって取得された複数の画像を用いて計測されたプラズマ 2 7 5 の位置からプラズマ現在位置を直接的に特定する。

[0136] 第 3 実施形態の E U V 光生成装置 1 の他の動作については、第 2 実施形態の E U V 光生成装置 1 と同様である。

[0137] [5. 3 作用効果]

第3実施形態に係る制御部8は、EUV光移動処理を実行する際、プラズマ275の位置を直接計測することによって、EUV光移動処理の基準となるプラズマ現在位置を特定する。

それにより、第3実施形態のEUV光生成装置1は、シューティングずれを抑制しつつ、EUV光277の生成位置を更に高い精度で移動させ得る。

[0138] [6. 第4実施形態]

図19を用いて、第4実施形態のEUV光生成装置1について説明する。

第4実施形態のEUV光生成装置1は、第1、第2又は第3実施形態のEUV光生成装置1と同様の構成を備える。

但し、第4実施形態のEUV光生成装置1は、第1、第2又は第3実施形態のEUV光生成装置1に対して、EUV光移動処理に関する制御部8の動作が異なる。

第4実施形態のEUV光生成装置1の構成及び動作において、第1、第2又は第3実施形態のEUV光生成装置1と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0139] 図19は、第4実施形態に係る制御部8によって実行されるEUV光移動処理のフローチャートを示す。

第4実施形態に係る制御部8は、EUV光移動処理においてマニピュレータ224を制御する場合、マニピュレータ224の制御をEUV光重心制御の一環として実行する。すなわち、制御部8は、EUV光移動処理においてマニピュレータ224を制御する場合、EUV光重心制御を実行することによって、マニピュレータを制御する。

[0140] ステップS51及びS52において、制御部8は、図8に示されたステップS11及びS12と同様の処理を実行する。

[0141] ステップS53において、制御部8は、EUV光重心制御が実行中であるか否かを判定する。

制御部8は、EUV光重心制御が実行中であれば、ステップS55に移行

する。一方、制御部8は、EUV光重心制御が実行中でなければ、ステップS54に移行する。

[0142] ステップS54において、制御部8は、EUV光重心制御を実行する。

制御部8は、EUV光重心制御を実行する際、EUV光277の目標重心位置(EUV-Cent_Xi、EUV-Cent_Yi)を記憶する。

[0143] ステップS55において、制御部8は、現在のシューティング条件に関する各情報を取得する。

具体的には、制御部8は、現在のプラズマ275の位置(Xi、Yi、Zi)、ターゲット27の位置における現在の制御目標位置(X_DL_i、Y_DL_i、Z_DL_i)、現在の遅延時間Td、及び、ターゲットの進行速度V_DLを取得する。

この際、制御部8は、マニピュレータ224の制御をEUV光重心制御の一環として実行するため、現在のマニピュレータ224の位置(X_FU_i、Y_FU_i)を取得する必要がない。

また、制御部8は、第1実施形態と同様に、EUV光移動処理の開始時点で制御部8が保持しているプラズマ275の位置を、現在のプラズマ275の位置(Xi、Yi、Zi)とする。又は、制御部8は、第2実施形態と同様に、第1及び第2画像センサ45及び47によって取得された複数の画像を用いて計測されたターゲット27の位置を、現在のプラズマ275の位置(Xi、Yi、Zi)と推定する。或いは、制御部8は、第3実施形態と同様に、複数の第1画像センサ45によって取得された複数の画像を用いて計測されたプラズマ275の位置を、現在のプラズマ275の位置(Xi、Yi、Zi)とする。

[0144] ステップS56において、制御部8は、図8に示されたステップS15と同様に、数式6を用いて、プラズマ275の移動距離ΔLが許容値Lth以下であるか否かを判定する。

制御部8は、プラズマ275の移動距離ΔLが許容値Lth以下であれば、ステップS62に移行する。一方、制御部8は、プラズマ275の移動距

離 ΔL が許容値 L_{th} より大きければ、ステップS57に移行する。

[0145] ステップS57において、制御部8は、図8に示されたステップS16と同様の処理を実行する。

[0146] ステップS58において、制御部8は、図8に示されたステップS17と同様に、数式10に示されるように、引数 k が N になるまでステップS59及びS60の処理を繰り返すループ3を実行する。

[0147] ステップS59において、制御部8は、数式26及び数式27に示されるように、ターゲット27の位置における制御目標位置の変更量及び遅延時間 Td の変更量の少なくとも1つを、 dp (dX 、 dY 、 dZ)を用いて決定する。

[数26]

$$\begin{aligned} X_{DL_i} &= X_{DL_i} + dX \\ Y_{DL_i} &= Y_{DL_i} + dY \\ Z_{DL_i} &= Z_{DL_i} + dZ \end{aligned}$$

[数27]

$$\begin{aligned} Td &= Td + dt \\ dt &= (dX \cdot \tan \theta + dY) / V_{DL} \end{aligned}$$

具体的には、制御部8は、数式26に示されるように、ターゲット27の位置における制御目標位置の X 軸座標成分の変更量を dX に決定し、制御目標位置の Y 軸座標成分の変更量を dY に決定し、制御目標位置の Z 軸座標成分の変更量を dZ に決定する。制御部8は、数式27に示されるように、遅延時間 Td の変更量 dt を dX 及び dY を用いて決定する。

[0148] そして、制御部8は、プラズマ生成領域 $R1$ に供給されたターゲット27の X 軸及び Z 軸に沿った方向における位置が数式26の制御目標位置となるよう、決定された制御目標位置又は制御目標位置の変更量 dX 及び dZ に応

じてステージ26を駆動させる。

制御部8は、プラズマ生成領域R1に供給されたターゲット27のY軸に沿った方向における位置を数式26に示された制御目標位置とすべく、パルスレーザ光31の照射タイミングが数式27に示された遅延時間Tdで規定されるよう、遅延時間Tdを変更する。

なお、制御部8は、図8に示されたステップS18と同様に、ステージ26及び照射タイミングを一度に制御する。

[0149] また、制御部8は、上述のように、マニピュレータ224の制御をEUV光重心制御の一環として実行する。このため、ステップS59において、制御部8は、マニピュレータ224の駆動量を決定してマニピュレータ224を駆動させる必要がない。

プラズマ275の位置を許容値Lthずつ移動するためにターゲット27の位置における制御目標位置及び遅延時間Tdが変更されると、EUV光277の重心位置が変化する。この際、制御部8は、EUV光重心制御の実行中であるため、EUV光277の重心位置の変化を自動的に検出し、EUV光277の重心位置と目標重心位置との偏差が無くなるようマニピュレータ224を自動的に駆動させる。

[0150] 一方、複数のEUV光センサ43a乃至43cのそれぞれとプラズマ275の位置との各距離が取り得る範囲は、200mm以上500mm以下である。これに対し、プラズマ275の移動距離 ΔL は、1.5mm以下であり、許容値Lthは、30 μ m以下である。すなわち、プラズマ275の移動距離 ΔL 及び許容値Lthは、複数のEUV光センサ43a乃至43cのそれぞれとプラズマ275の位置との各距離よりも格段に小さい。このため、プラズマ275の位置の移動に伴って制御部8によって検出されるEUV光277の重心位置の変化は、極めて小さい。

よって、ステップS59において、制御部8は、マニピュレータ224の制御をEUV光重心制御の一環として実行する場合、EUV光277の目標重心位置を変更する必要がない。

[0151] ステップS 6 0 及びS 6 1 において、制御部 8 は、図 8 に示されたステップS 1 9 及びS 2 0 と同様の処理を実行する。

[0152] ステップS 6 2 において、制御部 8 は、数式 2 8 及び数式 2 9 に示されるように、ターゲット 2 7 の位置の制御目標位置の変更量及び遅延時間 T d の変更量の少なくとも 1 つを、差分値 ΔP (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ) を用いて決定する。

[数28]

$$\begin{aligned} X_{DL_i} &= X_{DL_i} + \Delta X \\ Y_{DL_i} &= Y_{DL_i} + \Delta Y \\ Z_{DL_i} &= Z_{DL_i} + \Delta Z \end{aligned}$$

[数29]

$$\begin{aligned} Td &= Td + \Delta t \\ \Delta t &= (\Delta X \cdot \tan \theta + \Delta Y) / V_{DL} \end{aligned}$$

具体的には、制御部 8 は、数式 2 8 に示されるように、ターゲット 2 7 の位置における制御目標位置の X 軸座標成分の変更量を ΔX に決定し、制御目標位置の Y 軸座標成分の変更量を ΔY に決定し、制御目標位置の Z 軸座標成分の変更量を ΔZ に決定する。制御部 8 は、数式 2 9 に示されるように、遅延時間 T d の変更量 Δt を ΔX 及び ΔY を用いて決定する。

[0153] そして、制御部 8 は、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の X 軸及び Z 軸に沿った方向における位置が数式 2 8 に示された制御目標位置となるよう、決定された制御目標位置の変更量 ΔX 及び ΔZ に応じてステージ 2 6 を駆動させる。

制御部 8 は、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の Y 軸に沿った方向における位置を数式 2 8 に示された制御目標位置とすべく、パルスレーザ光 3 1 の照射タイミングが数式 2 9 に示された遅延時間 T d で規定されるよう、遅延時間 T d を変更する。

なお、制御部 8 は、図 8 に示されたステップ S 2 1 と同様に、ステージ 2 6 及び照射タイミングを一度に制御する。

また、ステップ S 6 2 において、制御部 8 は、ステップ S 5 9 と同様に、マニピュレータ 2 2 4 の駆動量を決定してマニピュレータ 2 2 4 を駆動させる必要がない。加えて、制御部 8 は、ステップ S 5 9 と同様に、EUV 光 2 7 7 の目標重心位置を変更する必要がない。

[0154] ステップ S 6 3 において、制御部 8 は、図 8 に示されたステップ S 2 3 と同様の処理を実行する。その後、制御部 8 は、本処理を終了する。

[0155] 第 4 実施形態の EUV 光生成装置 1 の他の動作については、第 1、第 2 又は第 3 実施形態の EUV 光生成装置 1 と同様である。

[0156] 第 4 実施形態に係る制御部 8 は、EUV 光移動処理と並列に EUV 光重心制御を実行するため、プラズマ生成領域 R 1 に供給されたターゲット 2 7 の位置とパルスレーザ光 3 1 の集光位置との相対的な位置関係を、EUV 光移動処理の後に微調整しなくてよい。

それにより、第 4 実施形態の EUV 光生成装置 1 は、シューティングズレを迅速に抑制しつつ、EUV 光 2 7 7 の生成位置を移動させ得る。

[0157] [7. その他]

上記で説明した実施形態は、変形例を含めて各実施形態同士で互いの技術を適用し得ることは、当業者には明らかであろう。

[0158] 上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図している。従って、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。

[0159] 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語「1つの」は、「少なくとも1つ」

又は「1又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

符号の説明

[0160]	1	…EUV光生成装置
	1 1	…EUV光生成システム
	2	…チャンバ
	2 1 1	…壁
	2 1 2	…ターゲット供給路
	2 1 5	…ウインドウ
	2 1 6	…ウインドウ
	2 1 7	…ウインドウ
	2 2	…レーザ光集光光学系
	2 2 1	…レーザ光集光ミラー
	2 2 2	…軸外放物面ミラー
	2 2 3	…平面ミラー
	2 2 4	…マニピュレータ
	2 3	…EUV光集光光学系
	2 3 1	…EUV光集光ミラー
	2 3 2	…貫通孔
	2 4	…接続部
	2 4 1	…壁
	2 4 2	…アパーチャ
	2 5	…ターゲット供給器
	2 5 1	…タンク
	2 5 2	…ノズル
	2 5 3	…ヒータ
	2 5 4	…圧力調節器
	2 5 5	…ピエゾ素子
	2 6	…ステージ

2 7	…ターゲット
2 7 5	…プラズマ
2 7 6	…放射光
2 7 7	…E U V 光
2 8	…ターゲット回収器
3	…レーザ装置
3 1	…パルスレーザ光
3 3	…レーザ光伝送光学系
3 3 1	…高反射ミラー
3 3 2	…高反射ミラー
4 1	…ターゲット検出センサ
4 1 0	…照明部
4 1 1	…光源
4 1 2	…照明光学系
4 2 0	…検出部
4 2 1	…光センサ
4 2 2	…受光光学系
4 3	…E U V 光センサ
4 3 a	…E U V 光センサ
4 3 b	…E U V 光センサ
4 3 c	…E U V 光センサ
4 5	…第 1 画像センサ
4 5 1	…照明部
4 5 2	…撮像部
4 5 3	…撮像部
4 5 4	…撮像部
4 7	…第 2 画像センサ
4 7 1	…照明部

4 7 2	…撮像部
4 7 3	…撮像部
8	…制御部
9	…露光装置
I F	…中間集光点
Q	…ターゲット軌道
R 1	…プラズマ生成領域
R 2	…ターゲット検出領域

請求の範囲

- [請求項1] 外部装置からの指令に基づいて極端紫外光の生成位置を移動させる極端紫外光生成装置であって、
- 内部に供給されたターゲットに対してレーザー光が照射されることで前記ターゲットから前記極端紫外光が生成されるチャンバと、
- 前記ターゲットを出力し前記チャンバ内に供給するターゲット供給器と、
- 前記チャンバ内に供給された前記ターゲットに前記レーザー光を集光する集光ミラーと、
- 前記ターゲット供給器の位置を調整するステージと、
- 前記集光ミラーの位置を調整するマニピュレータと、
- 前記極端紫外光の生成中に前記生成位置を移動させる際、前記ステージ、前記マニピュレータ、及び、前記ターゲットに対する前記レーザー光の照射タイミングのうちの少なくとも1つをフィードフォワード方式で制御可能に構成された制御部と、
- を備える極端紫外光生成装置。
- [請求項2] 前記極端紫外光のエネルギーを互いに異なる方向から計測する複数のEUV光センサを更に備え、
- 前記制御部は、
- 前記極端紫外光の生成中において、前記複数のEUV光センサの計測結果に基づいて算出された前記極端紫外光の重心位置が所定位置となるよう前記マニピュレータをフィードバック方式で制御するEUV光重心制御
- が実行可能に構成されている
- 請求項1に記載の極端紫外光生成装置。
- [請求項3] 前記制御部は、前記極端紫外光の生成中に前記生成位置を移動させる際、前記EUV光重心制御の実行を停止し、前記ステージ、前記マニピュレータ及び前記照射タイミングのうちの少なくとも1つを制御

した後に、前記EUV光重心制御の実行を再開する

請求項2に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項4]

前記制御部は、前記極端紫外光の生成中に前記生成位置を移動させる際に前記マニピュレータを制御する場合、前記EUV光重心制御を実行することによって前記マニピュレータを制御する

請求項2に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項5]

前記ターゲット供給器から出力されてから前記レーザ光が照射される前の間に前記ターゲットが通過する前記チャンバ内の所定領域において前記ターゲットを検出するターゲット検出センサを更に備え、

前記制御部は、

前記ターゲット検出センサの検出結果に基づいて、前記ターゲットが前記所定領域を通過したタイミングである通過タイミングを特定し、

前記所定領域を通過した前記ターゲットに対して前記レーザ光が照射されるよう、前記通過タイミングに遅延時間を付加したタイミングでレーザ装置から前記レーザ光を出力させ、

前記遅延時間を変更することによって前記照射タイミングを制御する

請求項2に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項6]

前記制御部は、前記極端紫外光の生成中に前記生成位置を移動させる際、

前記指令に応じた前記生成位置の移動距離に基づいて、前記ステージの駆動量、前記マニピュレータの駆動量及び前記遅延時間の変更量のうちの少なくとも1つを決定し、

決定された前記ステージの前記駆動量、前記マニピュレータの前記駆動量及び前記遅延時間の前記変更量のうちの少なくとも1つに応じて、前記ステージ、前記マニピュレータ及び前記照射タイミングのうちの少なくとも1つを制御する

請求項 5 に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項7]

前記極端紫外光は、前記レーザ光が前記ターゲットに照射されることで前記ターゲットから生成されたプラズマが、前記極端紫外光を含む光を放射することによって生成され、

前記指令には、現在の前記プラズマの位置であるプラズマ現在位置と、前記指令に応じて移動された後の前記プラズマの前記位置であるプラズマ目標位置との差分値が含まれており、

前記制御部は、

前記プラズマの前記位置を前記生成位置と推定し、

前記差分値から前記移動距離を特定する

請求項 6 に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項8]

前記制御部は、

特定された前記移動距離が許容値以下であれば、前記ステージの前記駆動量、前記マニピュレータの前記駆動量及び前記遅延時間の前記変更量のうちの少なくとも1つを前記差分値を用いて決定し、

特定された前記移動距離が許容値より大きければ、前記ステージの前記駆動量、前記マニピュレータの前記駆動量及び前記遅延時間の前記変更量のうちの少なくとも1つを前記許容値を用いて決定する

請求項 7 に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項9]

前記制御部は、

特定された前記移動距離が前記許容値以下であれば、前記ステージ、前記マニピュレータ及び前記照射タイミングのうちの少なくとも1つを1回制御し、

特定された前記移動距離が前記許容値より大きければ、前記ステージ、前記マニピュレータ及び前記照射タイミングのうちの少なくとも1つを複数回制御する

請求項 8 に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項10]

前記チャンバ内に供給された前記ターゲットの位置を含む領域の画

像を取得する画像センサを更に備え、

前記制御部は、

前記画像センサによって取得された画像を用いて、前記プラズマ現在位置を特定し、

特定された前記プラズマ現在位置と前記差分値とに基づいて、前記チャンバ内に供給された前記ターゲットの前記位置における制御目標位置を設定する

請求項 9 に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項11]

前記制御部は、特定された前記移動距離に基づいて前記制御目標位置の変更量を決定することによって、前記ステージの前記駆動量を決定する

請求項 10 に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項12]

前記画像センサは、

前記チャンバ内に供給された前記ターゲットの画像を取得する第 1 画像センサと、

前記チャンバ内に供給された前記ターゲットの軌道の画像を取得する第 2 画像センサと、

を含み、

前記制御部は、

前記第 1 及び第 2 画像センサによって取得された複数の前記画像を用いて、前記チャンバ内に供給された前記ターゲットの前記位置を計測し、

計測された前記ターゲットの前記位置を前記プラズマ現在位置と推定することによって、前記プラズマ現在位置を特定する

請求項 11 に記載の極端紫外光生成装置。

[請求項13]

前記画像センサは、前記チャンバ内に供給された前記ターゲットから生成された前記プラズマの画像を互いに異なる方向から取得する複数の第 1 画像センサを含み、

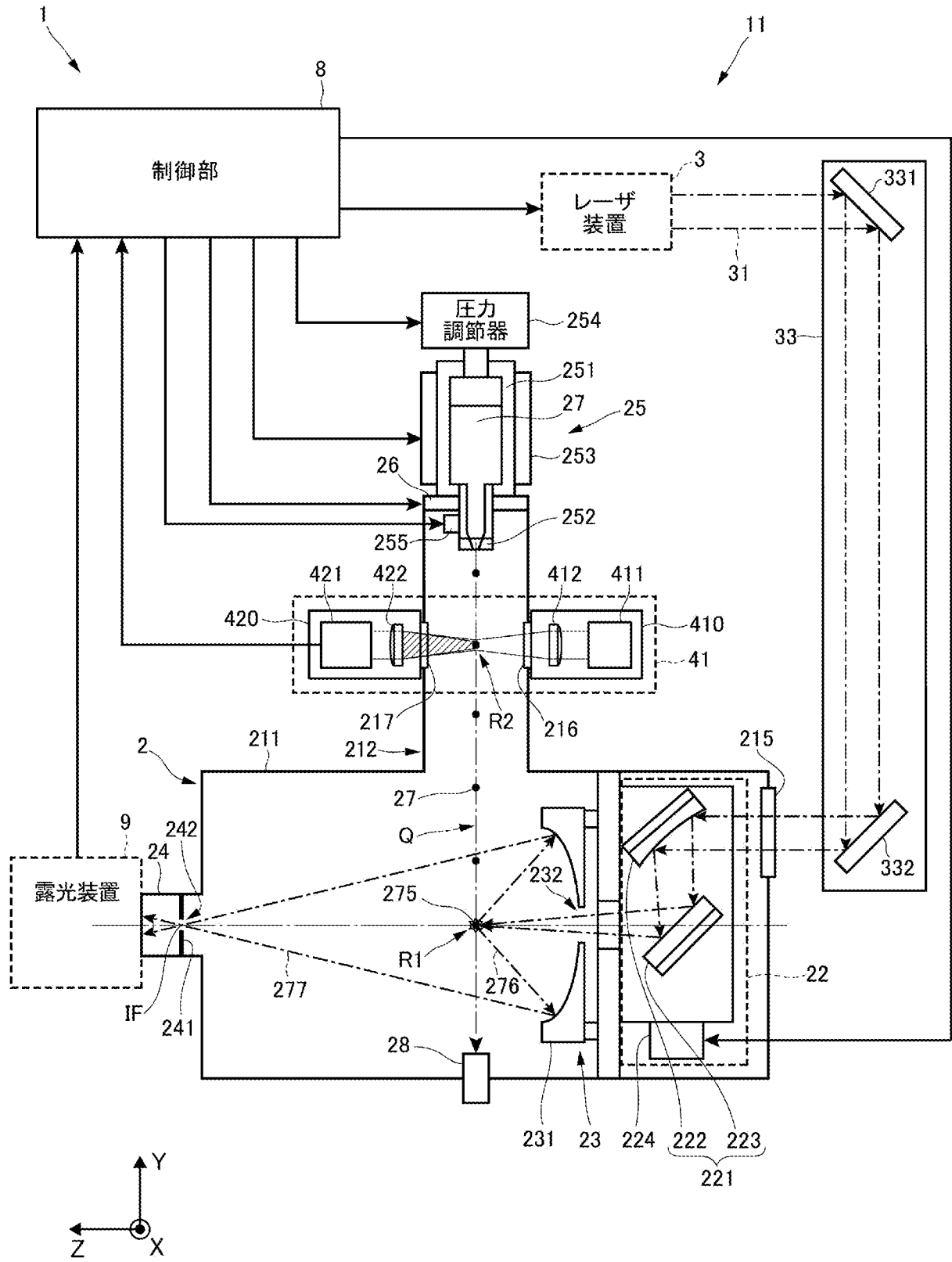
前記制御部は、

前記複数の第1画像センサによって取得された複数の前記画像を用いて、前記プラズマの前記位置を計測し、

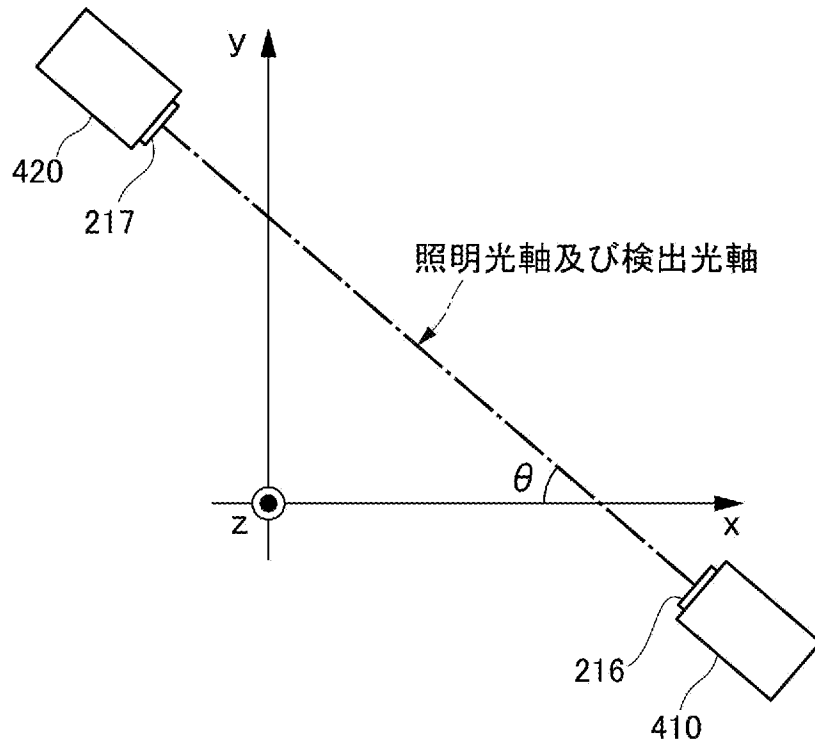
計測された前記プラズマの前記位置から前記プラズマ現在位置を特定する

請求項11に記載の極端紫外光生成装置。

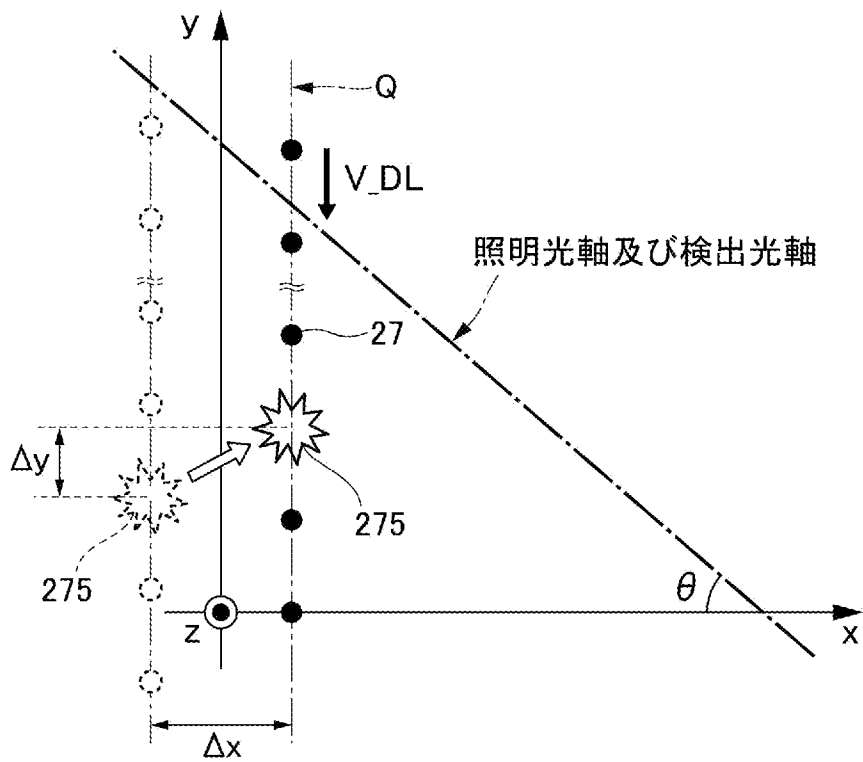
[図1]



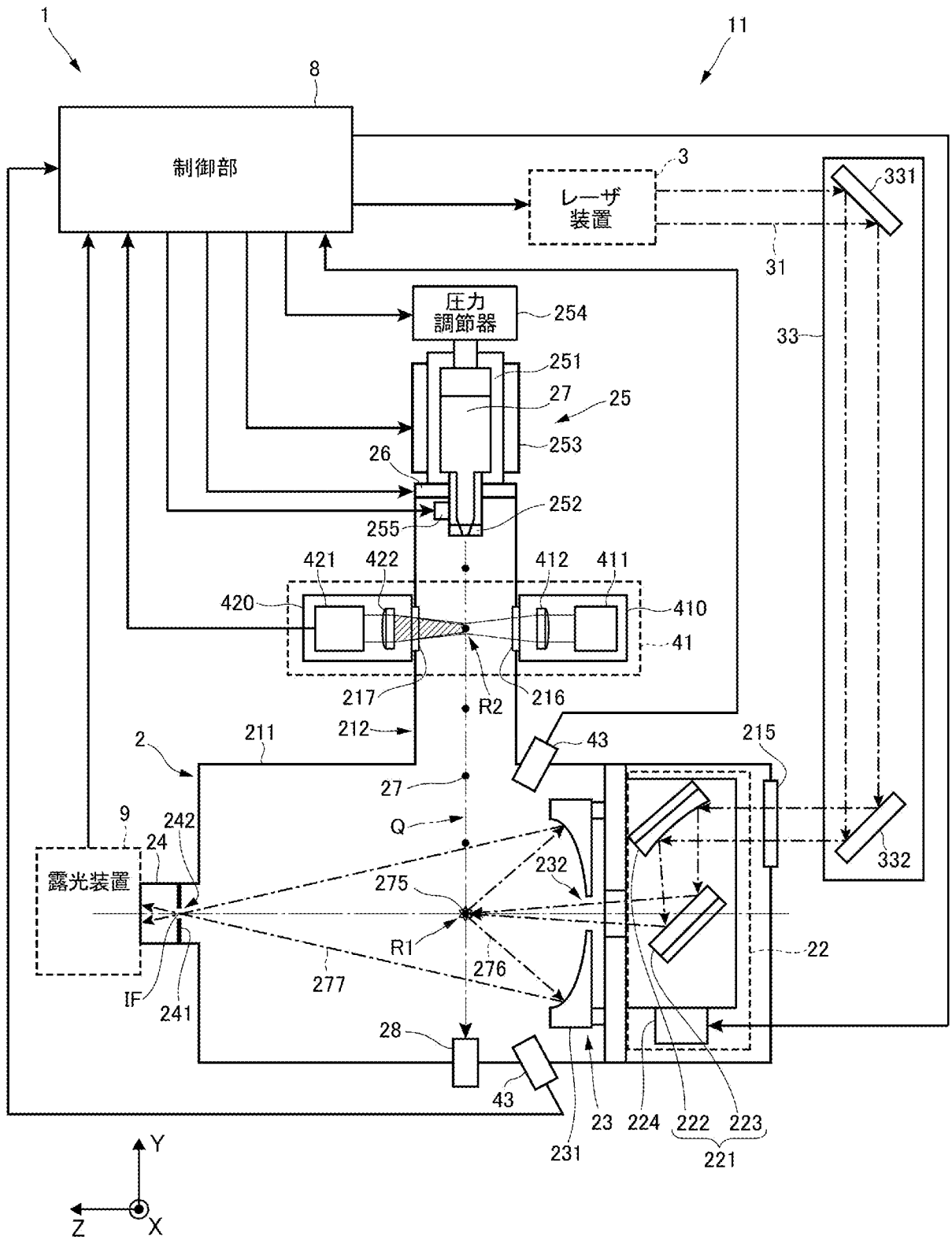
[図2]



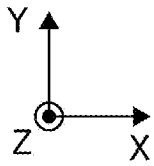
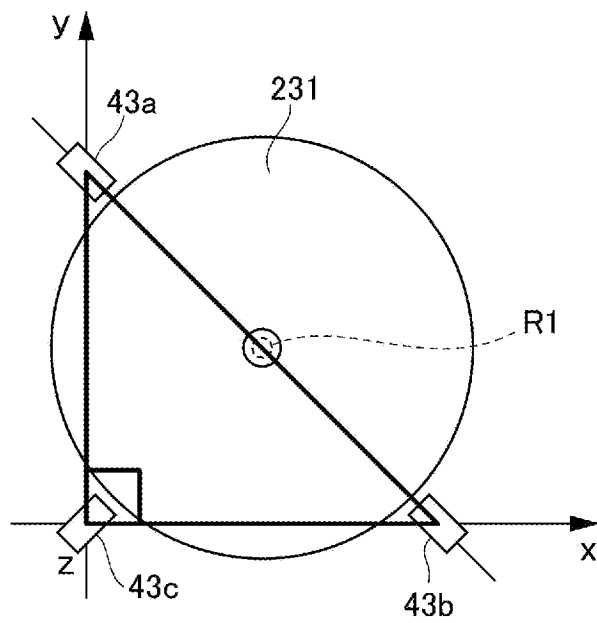
[図3]



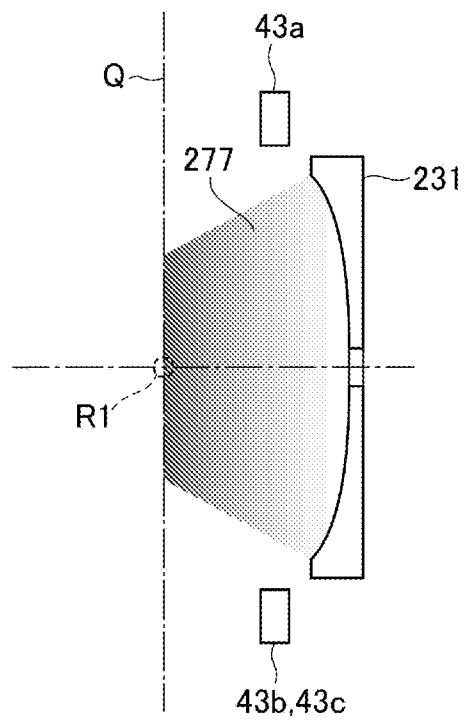
[図4]



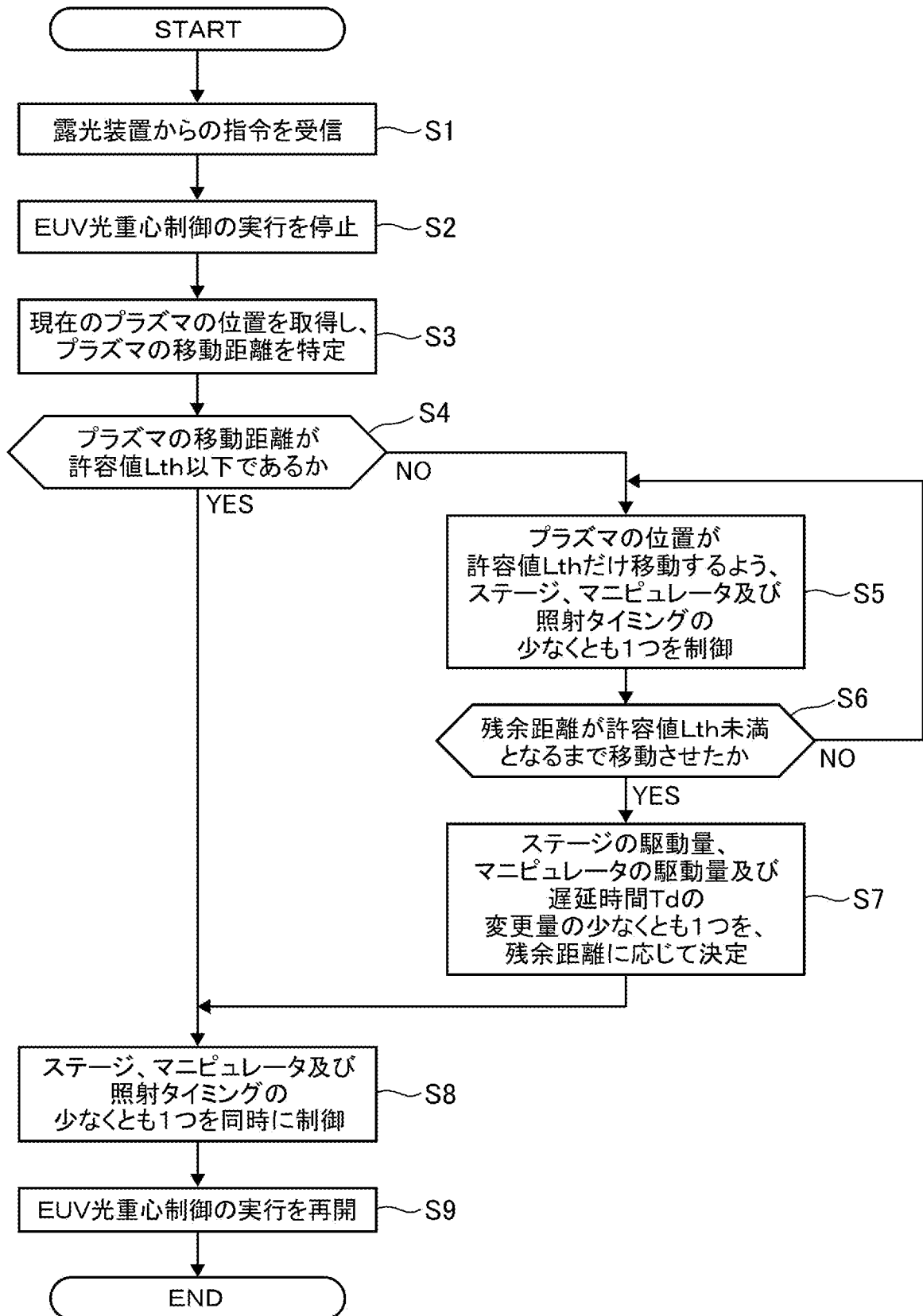
[図5]



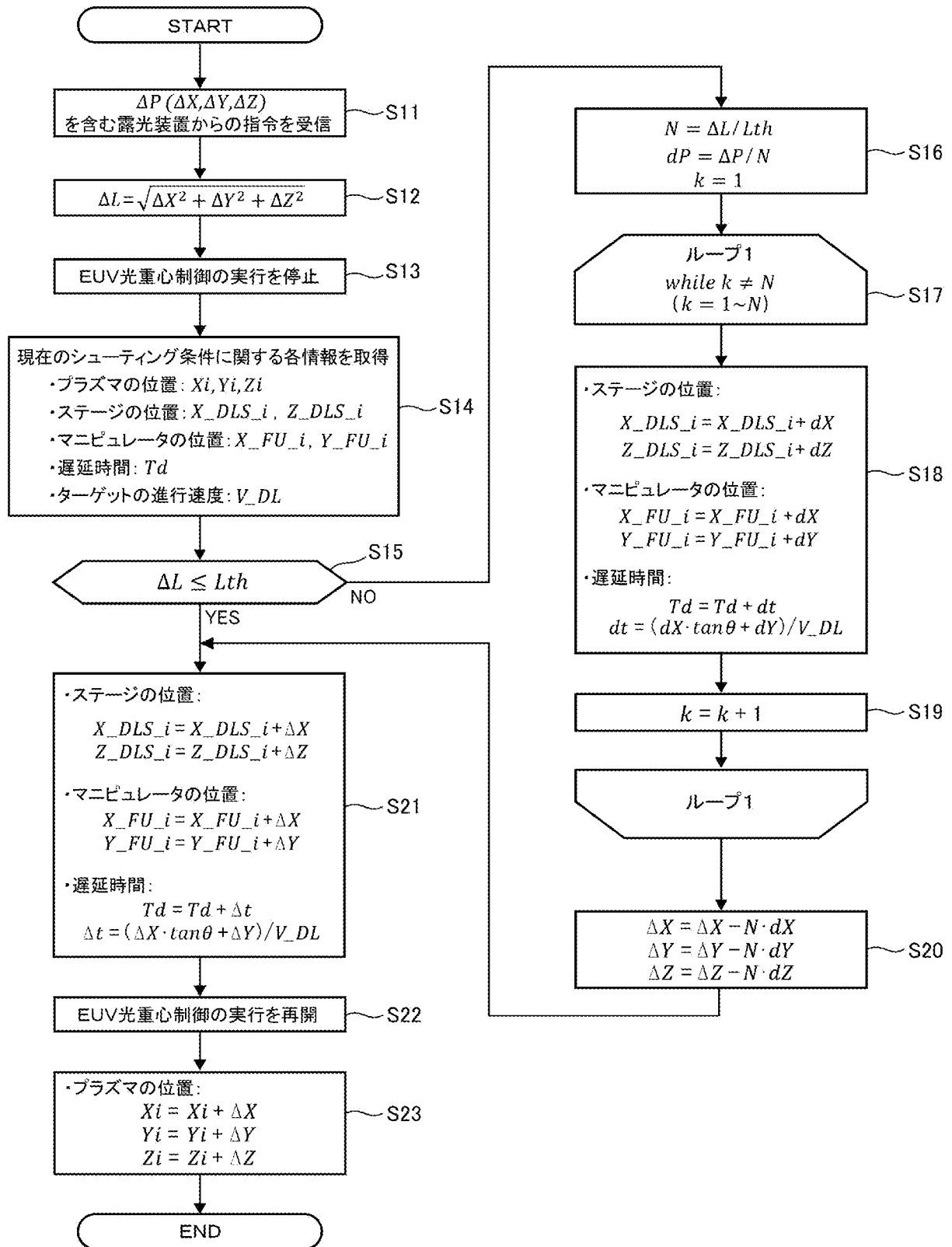
[図6]



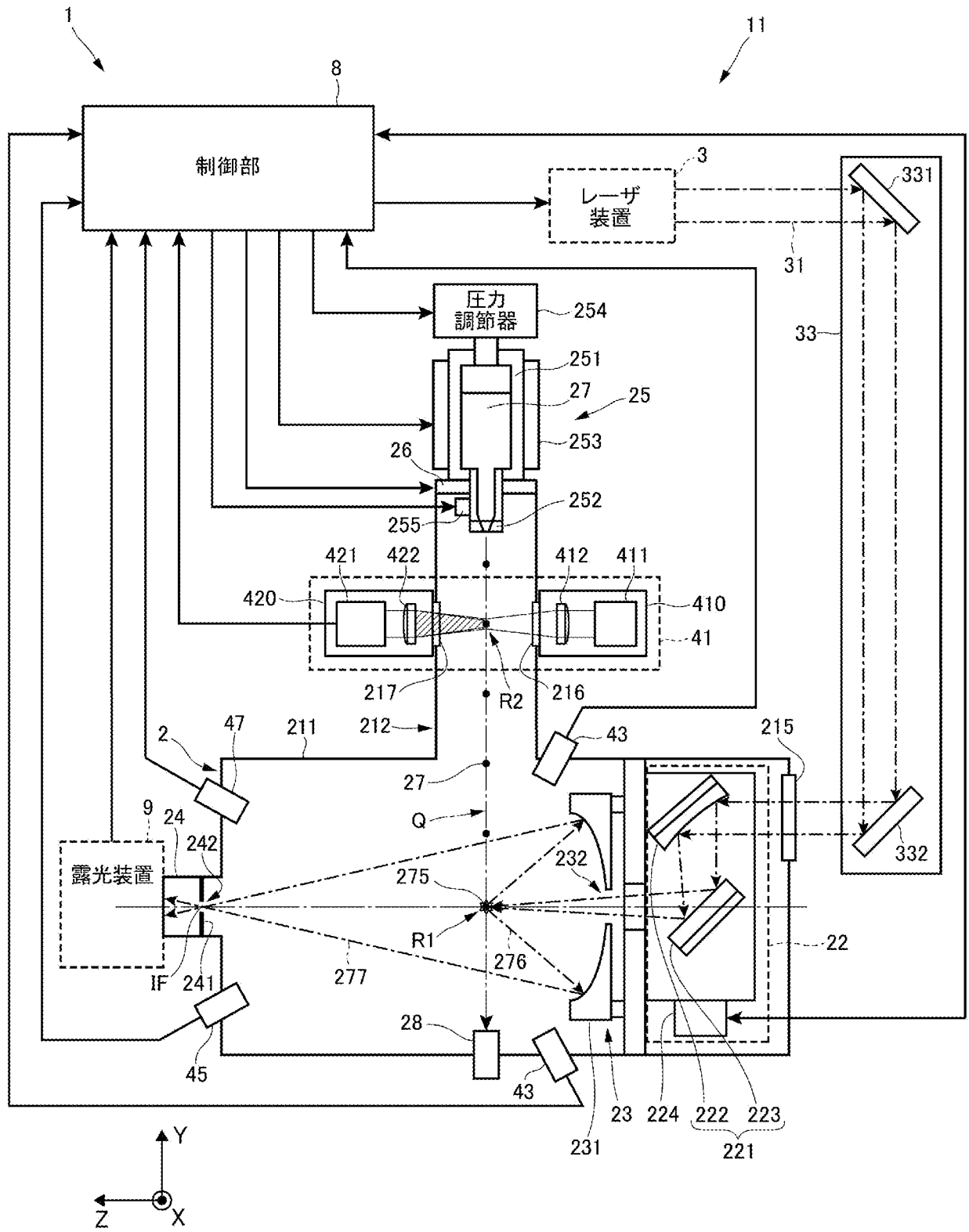
[図7]



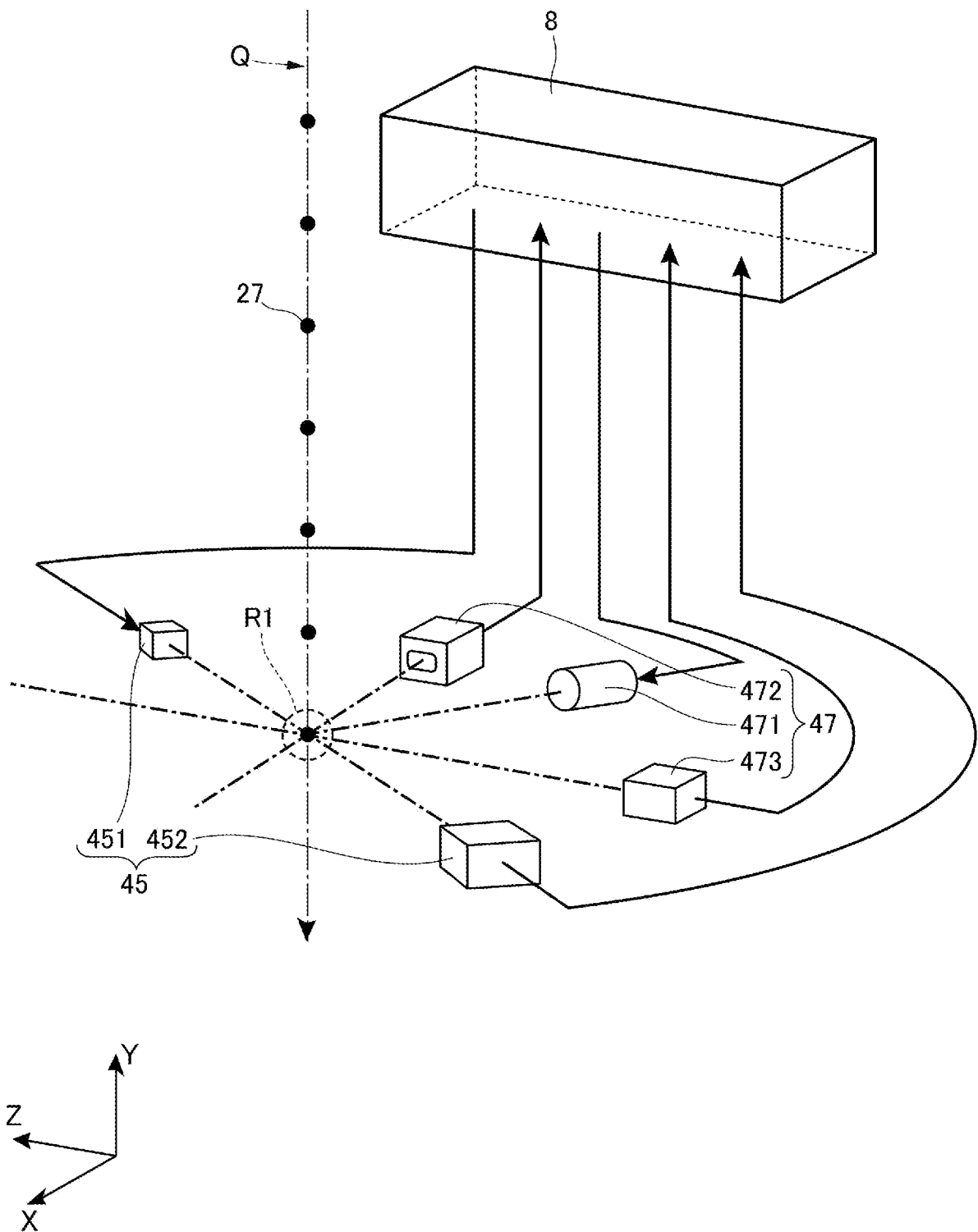
[図8]



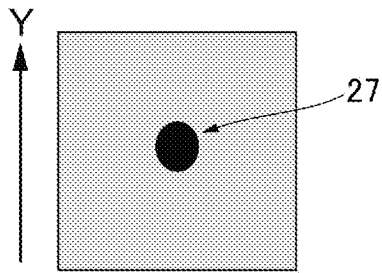
[図9]



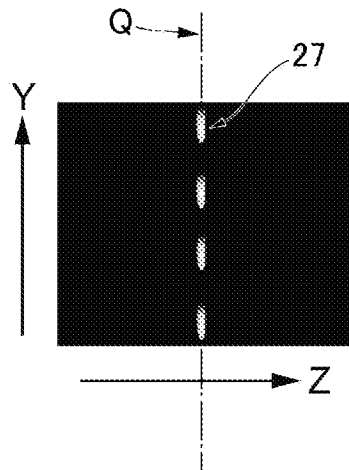
[図10]



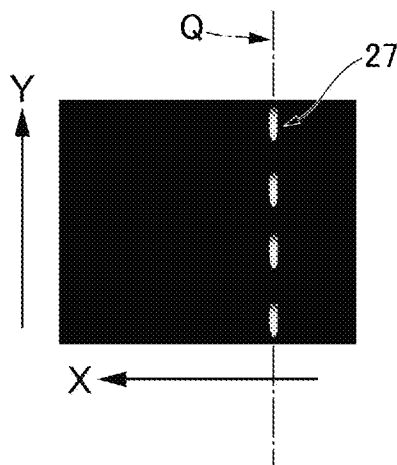
[図11]



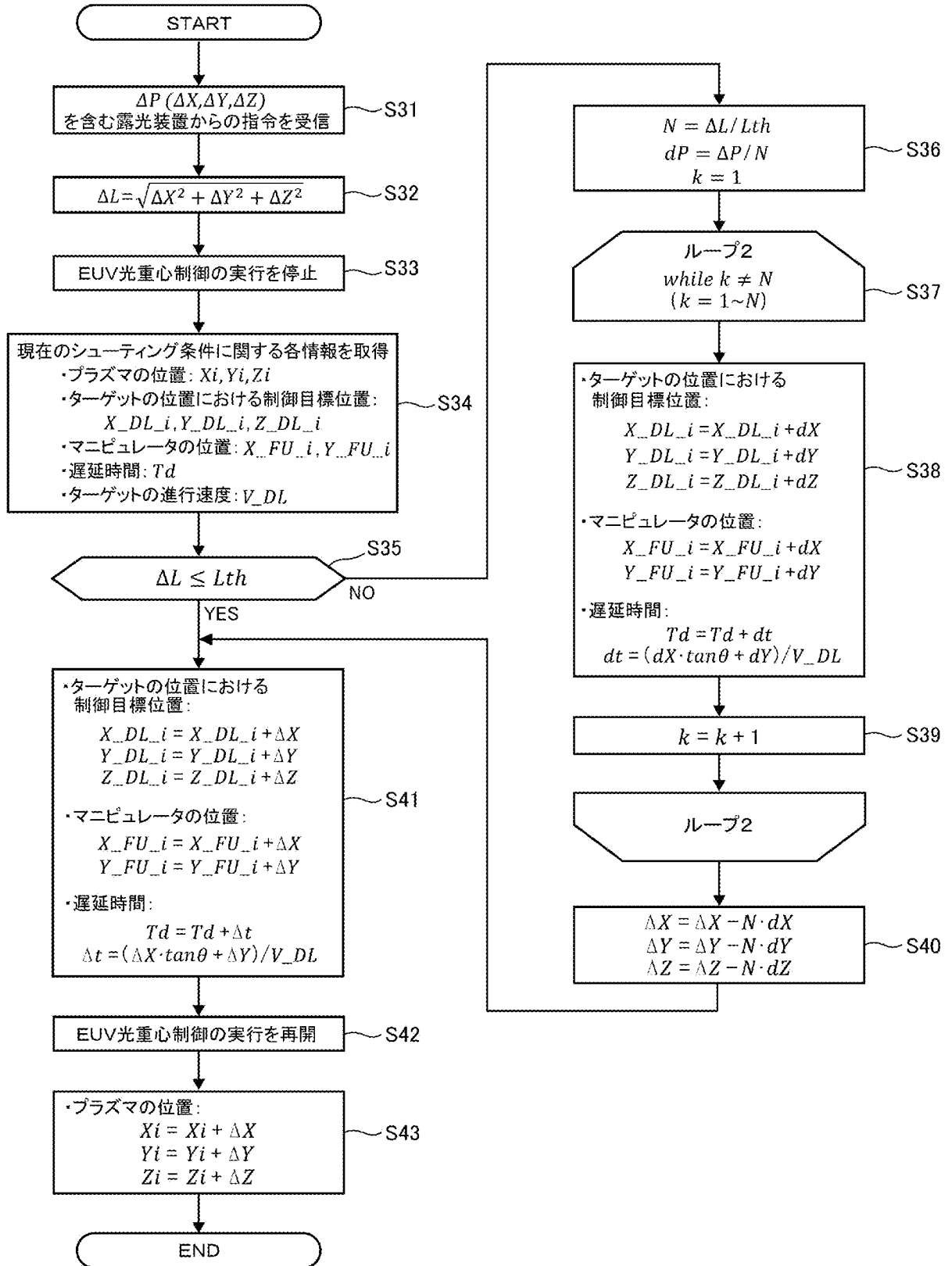
[図12]



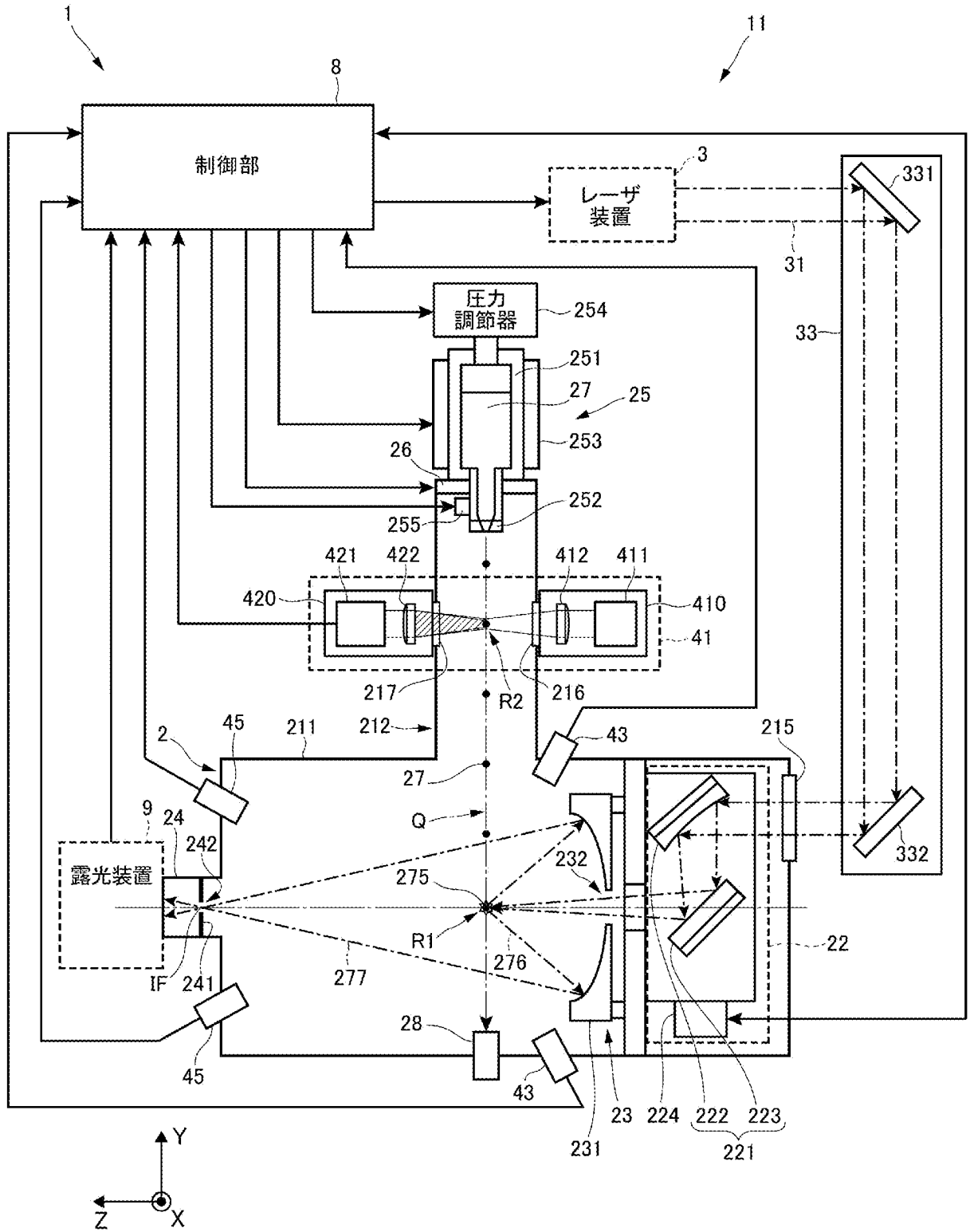
[図13]



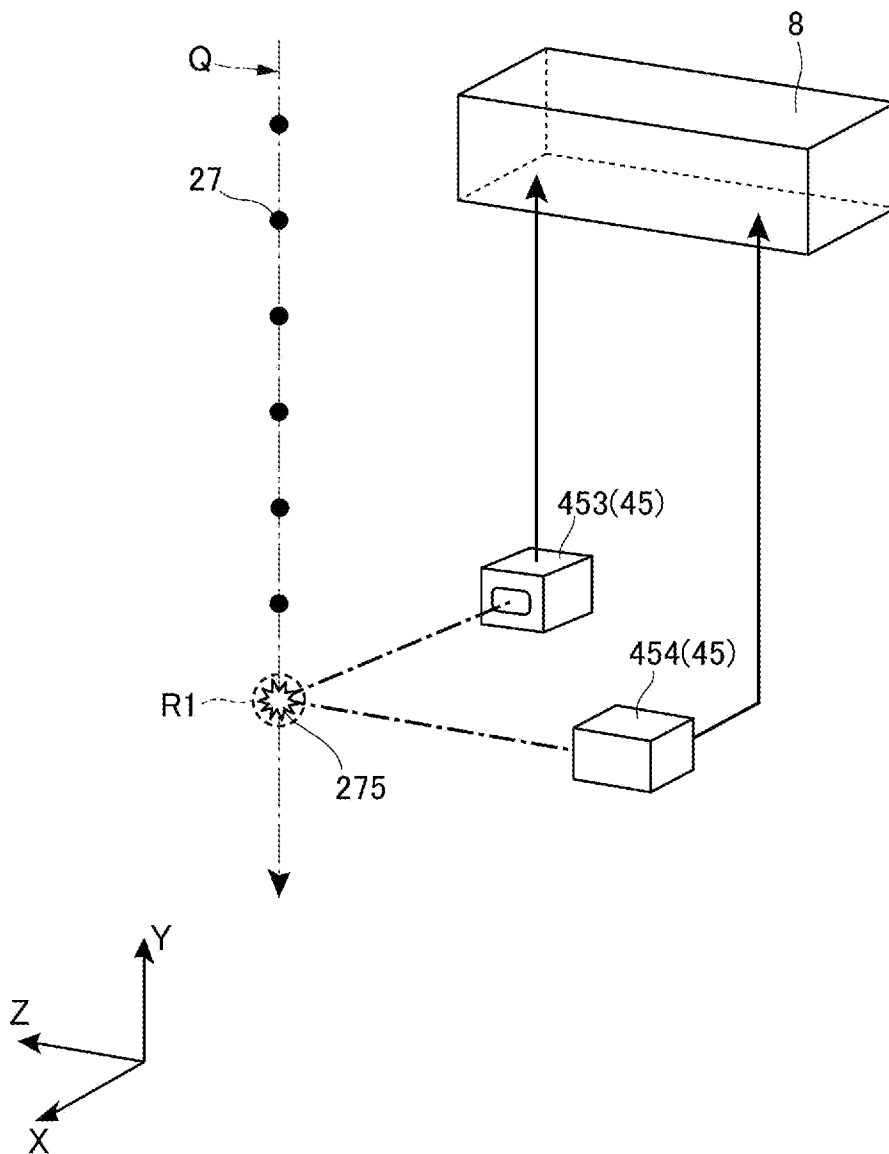
[図14]



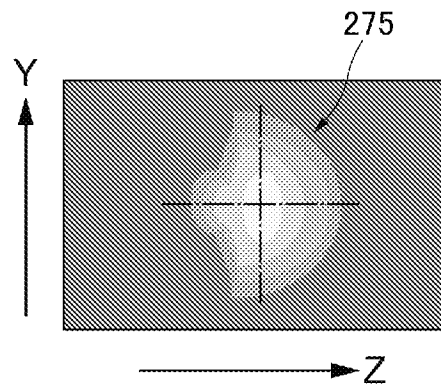
[図15]



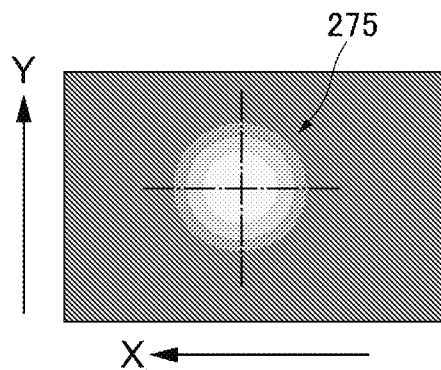
[図16]



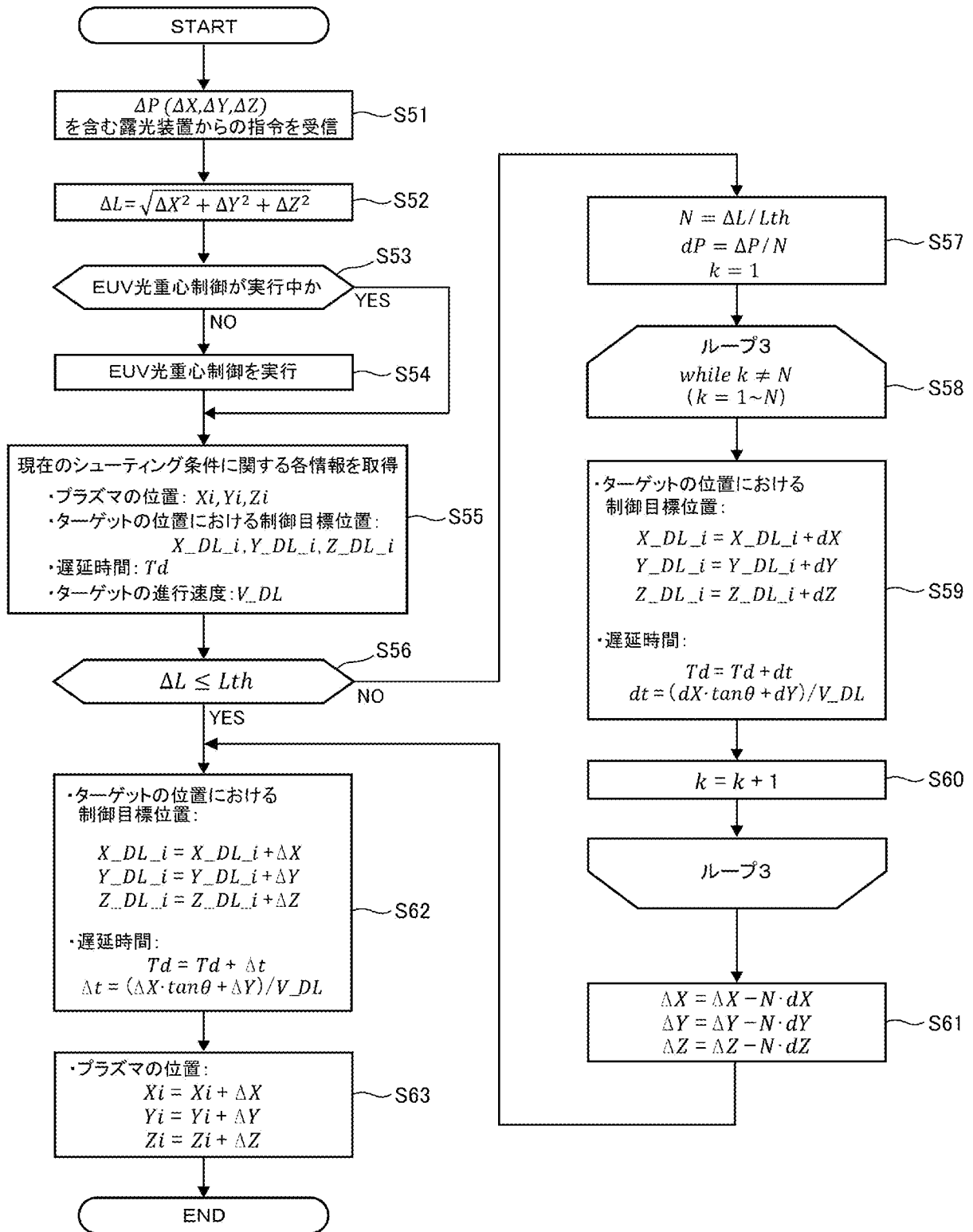
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/057196

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H05G2/00(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)
H05G2/00

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 Y	JP 2015-532505 A (ASML Netherlands B.V.), 09 November 2015 (09.11.2015), fig. 2, 6 & US 2014-91239 A1 fig. 2, 6 & WO 2014-51891 A1	1 2-7
Y	JP 2014-531743 A (ASML Netherlands B.V.), 27 November 2014 (27.11.2014), fig. 2 & US 2013-43401 A1 fig. 2 & EP 2745650 A1 & CN 103748967 A	2-7

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 30 May 2016 (30.05.16)	Date of mailing of the international search report 07 June 2016 (07.06.16)
---	---

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/057196

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 2013-105725 A (Gigaphoton Inc.), 30 May 2013 (30.05.2013), fig. 2 & US 2013-119232 A1 fig. 2	5-7
A	JP 2014-86523 A (Gigaphoton Inc.), 12 May 2014 (12.05.2014), & US 2014-111635 A1	1-13
A	JP 2015-15251 A (Gigaphoton Inc.), 22 January 2015 (22.01.2015), & US 2012-175533 A1 & WO 2011-13779 A1	1-13
A	JP 2007-528607 A (Saima Inc.), 11 October 2007 (11.10.2007), & US 2006-131515 A1 & EP 1037510 A2	1-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H05G2/00(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. H05G2/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 Y	JP 2015-532505 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.) 2015. 11. 09, 【図 2】、【図 6】 & US 2014-91239 A1, FIG2, 6 & WO 2014-51891 A1	1 2-7
Y	JP 2014-531743 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.) 2014. 11. 27, 【図 2】 & US 2013-43401 A1, FIG2 & EP 2745650 A1 & CN 103748967 A	2-7

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

30.05.2016

国際調査報告の発送日

07.06.2016

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)

小田倉 直人

2U

9163

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

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	JP 2013-105725 A (ギガフォトン株式会社) 2013.05.30, 【図2】 & US 2013-119232 A1, FIG2	5 - 7
A	JP 2014-86523 A (ギガフォトン株式会社) 2014.05.12, & US 2014-111635 A1	1 - 13
A	JP 2015-15251 A (ギガフォトン株式会社) 2015.01.22, & US 2012-175533 A1 & WO 2011-13779 A1	1 - 13
A	JP 2007-528607 A (サイマー インコーポレイテッド) 2007.10.11, & US 2006-131515 A1 & EP 1037510 A2	1 - 13