

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-199512

(P2012-199512A)

(43) 公開日 平成24年10月18日(2012.10.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 3 1 S	4 C 0 9 2
HO 5 G 2/00 (2006.01)	HO 5 G 1/00 K	5 F 1 4 6

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2011-271331 (P2011-271331)  
 (22) 出願日 平成23年12月12日 (2011.12.12)  
 (31) 優先権主張番号 特願2011-52917 (P2011-52917)  
 (32) 優先日 平成23年3月10日 (2011.3.10)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 300073919  
 ギガフォトン株式会社  
 栃木県小山市大字横倉新田400番地  
 (74) 代理人 100089118  
 弁理士 酒井 宏明  
 (72) 発明者 守屋 正人  
 栃木県小山市横倉新田400 株式会社小松製作所研究本部内  
 (72) 発明者 林 英行  
 神奈川県平塚市四之宮3丁目25番1号  
 株式会社小松製作所研究本部内  
 (72) 発明者 若林 理  
 神奈川県平塚市四之宮3丁目25番1号  
 ギガフォトン株式会社内

最終頁に続く

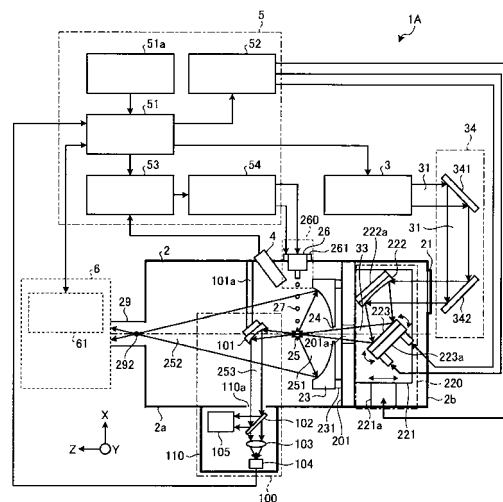
(54) 【発明の名称】 極端紫外光生成装置及び極端紫外光生成方法

(57) 【要約】

【課題】 安定してEUV光を生成する。

【解決手段】 レーザ装置を備えた極端紫外光生成装置は、前記レーザ装置から出力されたレーザ光を導入するウィンドウを備えたチャンバと、前記チャンバ内部の所定位置付近にターゲットを出力するターゲット供給部と、前記所定位置付近に前記レーザ光を集光するレーザ集光光学系と、前記所定位置付近を通過したレーザ光の像を検出する検出器と、前記所定位置付近における前記ターゲットの通過位置を調整するターゲット位置調整装置と、前記所定位置付近における前記レーザ光の集光位置を調整するレーザ集光位置調整装置と、前記検出器で検出された像に基づいて、前記ターゲット位置調整装置と前記レーザ集光位置調整装置とを制御する制御部と、を備えてもよい。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

レーザ装置を備えた極端紫外光生成装置において、  
 前記レーザ装置から出力されたレーザ光を導入するウィンドウを備えたチャンバと、  
 前記チャンバ内部の所定位置付近にターゲットを出力するターゲット供給部と、  
 前記所定位置付近に前記レーザ光を集光するレーザ集光光学系と、  
 前記所定位置付近を通過したレーザ光の像を検出する検出器と、  
 前記所定位置付近における前記ターゲットの通過位置を調整するターゲット位置調整装置と、

前記所定位置付近における前記レーザ光の集光位置を調整するレーザ集光位置調整装置と、

前記検出器で検出された像に基づいて、前記ターゲット位置調整装置と前記レーザ集光位置調整装置とを制御する制御部と、

を備える極端紫外光生成装置。

## 【請求項 2】

前記制御部は、前記検出器で検出された像から、前記ターゲットの像における位置と前記レーザ光の像における位置との差を算出し、該算出した差に基づいて前記ターゲット位置調整装置と前記レーザ集光位置調整装置を制御する、

請求項 1 記載の極端紫外光生成装置。

## 【請求項 3】

前記レーザ光の広がり角を調節する広がり角調整機構をさらに備え、  
 前記制御部は、前記検出器で検出された像から、前記レーザ光の集光サイズを算出し、  
 該算出した差に基づいて前記広がり角調整機構を制御する、

請求項 2 記載の極端紫外光生成装置。

## 【請求項 4】

前記制御部は、前記検出器で検出された像から、前記ターゲットの像における位置と前記レーザ光の像における位置との差を算出し、該算出した差に基づいて前記ターゲット供給部が前記ターゲットを供給するタイミング、または、前記レーザ装置が前記レーザ光を出力するタイミングを制御する、

請求項 2 記載の極端紫外光生成装置。

## 【請求項 5】

前記レーザ装置は、  
 第 1 レーザ光を出力する第 1 レーザ装置と、  
 第 2 レーザ光を出力する第 2 レーザ装置とを含み、  
 前記レーザ集光光学系は、前記第 1 および第 2 レーザ光を前記所定位置付近に集光し、  
 前記検出器は、前記所定位置付近を通過した第 2 レーザ光の像を検出し、  
 前記レーザ集光位置調整装置は、前記所定位置付近における前記第 1 および第 2 レーザ光のうち少なくとも一方の集光位置を調整し、

前記制御部は、前記検出器で検出された像に基づいて、前記ターゲット位置調整装置と前記レーザ集光位置調整装置とを制御する、

請求項 1 記載の極端紫外光生成装置。

## 【請求項 6】

レーザ装置から出力されたレーザ光を導入するウィンドウを備えたチャンバと、  
 前記チャンバ内部の所定位置付近にターゲットを供給するターゲット供給部と、  
 前記所定位置付近に前記レーザ光を集光するレーザ集光光学系と、  
 前記所定位置付近を通過したレーザ光の像を検出する検出器と、  
 を備えた装置の極端紫外光生成方法であって、

前記検出器で検出された像に基づいて、前記ターゲットの通過位置と前記レーザ光の集光位置とを制御する、極端紫外光生成方法。

## 【請求項 7】

10  
20  
30  
40  
50

前記検出器で検出された像から、前記ターゲットの通過位置と前記レーザ光の集光位置との差を算出し、該算出した差に基づいて、前記ターゲットの通過位置を調節する、  
請求項 6 記載の極端紫外光生成方法。

【請求項 8】

前記検出器で検出された像から、前記ターゲットの通過位置と前記レーザ光の集光位置との差を算出し、該算出した差に基づいて、前記レーザ光の通過位置を調節する、  
請求項 6 記載の極端紫外光生成方法。

【請求項 9】

前記検出器で検出された像から、前記ターゲットの通過位置と前記レーザ光の集光位置との差を算出し、該算出した差に基づいて、前記レーザ光の広がり角を調節する、  
請求項 8 記載の極端紫外光生成方法。

10

【請求項 10】

前記検出器で検出された像から、前記ターゲットの通過位置と前記レーザ光の集光位置との差を算出し、該算出した差に基づいて前記ターゲット供給部が前記ターゲットを供給するタイミング、または、前記レーザ装置が前記レーザ光を出力するタイミングを制御する、

請求項 9 記載の極端紫外光生成方法。

【請求項 11】

前記レーザ装置は、第 1 レーザ光を出力する第 1 レーザ装置と、第 2 レーザ光を出力する第 2 レーザ装置とを含み、

20

前記レーザ集光光学系は、前記第 1 および第 2 レーザ光を前記所定位置付近に集光し、

前記検出器は、前記所定位置付近を通過した第 2 レーザ光の像を検出し、

前記検出器で検出された像に基づいて、前記ターゲットの通過位置と前記第 1 および第 2 レーザ光のうち少なくとも一方の集光位置とを制御する、

請求項 10 記載の極端紫外光生成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、極端紫外 (EUV) 光を生成するための装置、及びその方法に関する。

【背景技術】

30

【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、70 nm ~ 45 nm の微細加工、さらには 32 nm 以下の微細加工が要求されるようになる。このため、たとえば 32 nm 以下の微細加工の要求に応えるべく、波長 13 nm 程度の極端紫外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】

極端紫外光生成装置としては、ターゲット物質にレーザビームを照射することによって生成されるプラズマを用いた LPP (Laser Produced Plasma: レーザ励起プラズマ) 方式の装置と、放電によって生成されるプラズマを用いた DPP (Discharge Produced Plasma) 方式の装置と、軌道放射光を用いた SR (Synchrotron Radiation) 方式の装置との 3 種類の装置が提案されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2010 / 0327192 号明細書

【概要】

【0005】

本開示の一態様による極端紫外光生成装置は、レーザ装置を備えた極端紫外光生成装置

50

において、前記レーザ装置から出力されたレーザ光を導入するウィンドウを備えたチャンバと、前記チャンバ内部の所定位置付近にターゲットを出力するターゲット供給部と、前記所定位置付近に前記レーザ光を集光するレーザ集光光学系と、前記所定位置付近を通過したレーザ光の像を検出する検出器と、前記所定位置付近における前記ターゲットの通過位置を調整するターゲット位置調整装置と、前記所定位置付近における前記レーザ光の集光位置を調整するレーザ集光位置調整装置と、前記検出器で検出された像に基づいて、前記ターゲット位置調整装置と前記レーザ集光位置調整装置とを制御する制御部と、を備えてもよい。

【 0 0 0 6 】

本開示の他の態様による極端紫外光生成方法は、レーザ装置から出力されたレーザ光を導入するウィンドウを備えたチャンバと、前記チャンバ内部の所定位置付近にターゲットを供給するターゲット供給部と、前記所定位置付近に前記レーザ光を集光するレーザ集光光学系と、前記所定位置付近を通過したレーザ光の像を検出する検出器と、を備えた装置の極端紫外光生成方法であって、前記検出器で検出された像に基づいて、前記ターゲットの通過位置と前記レーザ光の集光位置とを制御してもよい。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 7 】

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、本開示の一態様による例示的な L P P 方式の E U V 光生成装置の概略構成を示す。

【 図 2 】 図 2 は、本開示の一実施の形態によるレーザ照射像検出器を含む E U V 光生成装置の概略構成を示す模式図である。

【 図 3 】 図 3 は、本実施の形態においてターゲットにパルスレーザ光を照射した際の位置関係の一例を示す。

【 図 4 】 図 4 は、本実施の形態においてレーザ照射像検出器のイメージセンサで検出されたパルスレーザ光の像を示す。

【 図 5 】 図 5 は、本実施の形態における E U V 光生成制御システムのメインフローを示す。

【 図 6 】 図 6 は、図 5 に示されるパラメータ初期設定サブルーチンを示す。

【 図 7 】 図 7 は、図 5 に示される E U V 光生成位置設定サブルーチンを示す。

【 図 8 】 図 8 は、図 5 に示される E U V 光生成サブルーチンを示す。

【 図 9 】 図 9 は、図 5 に示されるレーザ照射像検出サブルーチンを示す。

【 図 1 0 】 図 1 0 は、図 5 に示される位置判定サブルーチンを示す。

【 図 1 1 】 図 1 1 は、図 5 に示されるターゲット位置制御サブルーチンを示す。

【 図 1 2 】 図 1 2 は、図 5 に示されるターゲット位置制御サブルーチンの変形例を示す。

【 図 1 3 】 図 1 3 は、図 5 に示されるレーザ集光位置制御サブルーチンを示す。

【 図 1 4 】 図 1 4 は、本開示の他の実施の形態による E U V 光生成装置の概略構成を示す模式図である。

【 図 1 5 】 図 1 5 は、本実施の形態においてターゲットにプリパルスレーザ光を照射することで生成した拡散ターゲットとメインパルスレーザ光との位置関係の一例を示す。

【 図 1 6 】 図 1 6 は、本実施の形態においてレーザ照射像検出器のイメージセンサで検出されたメインパルスレーザ光の像を示す。

【 図 1 7 】 図 1 7 は、本実施の形態においてターゲットがトップハットプリパルスレーザ光の光軸に対して + X 方向に X ずれた場合を示す。

【 図 1 8 】 図 1 8 は、本実施の形態においてトップハットプリパルスレーザ光の光軸がターゲットの中心を通る場合を示す。

【 図 1 9 】 図 1 9 は、本実施の形態においてターゲットがトップハットプリパルスレーザ光の光軸に対して - X 方向に X ずれた場合を示す。

【 図 2 0 】 図 2 0 は、本実施の形態においてターゲットがプリパルスレーザ光の光軸に対

10

20

30

40

50

して + X 方向に X ずれた場合を示す。

【図 2 1】図 2 1 は、本実施の形態においてプリパルスレーザー光の光軸がターゲットの中心を通る場合を示す。

【図 2 2】図 2 2 は、本実施の形態においてターゲットがプリパルスレーザー光の光軸に対して - X 方向に X ずれた場合を示す。

【図 2 3】図 2 3 は、本実施の形態によるパラメータ初期設定サブルーチンを示す。

【図 2 4】図 2 4 は、本実施の形態による E U V 光生成サブルーチンを示す。

【図 2 5】図 2 5 は、本開示のさらに他の実施の形態による E U V 光生成装置の概略構成を示す模式図である。

【図 2 6】図 2 6 は、2 軸傾斜ステージの一例を示す斜視図である。

10

【図 2 7】図 2 7 は、Z 方向レーザー集光点調節器の一例を示す。

【図 2 8】図 2 8 は、Z 方向レーザー集光点調節器の変形例を示す（その 1）。

【図 2 9】図 2 9 は、Z 方向レーザー集光点調節器の変形例を示す（その 2）。

【図 3 0】図 3 0 は、Z 方向レーザー集光点調節器の変形例を示す（その 3）。

【図 3 1】図 3 1 は、トップハット機構の一例の構成を模式的に示す。

【図 3 2】図 3 2 は、トップハット機構の変形例 1 の構成を模式的に示す。

【図 3 3】図 3 3 は、トップハット機構の変形例 2 の構成を模式的に示す。

【実施の形態】

【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、本開示の一例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

20

【0009】

（一実施の形態）

以下、本開示の一実施の形態による極端紫外（E U V）光を生成するための装置、及びその方法を、図面を参照して詳細に説明する。なお、以下の説明では、下記目次の流れに沿って説明する。

【0010】

30

目次

- 1 . 概要
- 2 . 用語の説明
- 3 . E U V 光生成装置の全体説明
  - 3 . 1 構成
  - 3 . 2 動作
- 4 . ターゲットにレーザー光が照射された時の像検出器を含む E U V 光生成装置
  - 4 . 1 構成
  - 4 . 2 動作
  - 4 . 3 作用
  - 4 . 4 ターゲットにレーザー光が照射された時の像
  - 4 . 5 制御フロー
    - 4 . 5 . 1 メインフロー
    - 4 . 5 . 2 パラメータ初期設定サブルーチン
    - 4 . 5 . 3 E U V 光生成位置設定サブルーチン
    - 4 . 5 . 4 E U V 光生成サブルーチン
    - 4 . 5 . 5 レーザ照射像検出サブルーチン
    - 4 . 5 . 6 位置判定サブルーチン
    - 4 . 5 . 7 ターゲット位置制御サブルーチン
      - 4 . 5 . 7 . 1 ターゲット位置制御サブルーチンの変形例

40

50

4.5.8	レーザ集光位置制御サブルーチン	
5.	ドロレットにプリパルスとメインパルスレーザ光が照射された時の像検出器を含むEUV光生成装置	
5.1	構成	
5.2	動作	
5.3	作用	
5.4	ターゲットにメインパルスレーザ光が照射された時の像	
5.5	制御フロー	
5.5.1	パラメータ初期設定サブルーチン	
5.5.2	EUV光生成サブルーチン	10
6.	ビームデリバリーシステムにレーザの集光点のアクチュエータを含むEUV光生成装置	
6.1	構成	
6.2	動作	
6.3	作用	
7.	補足説明	
7.1	2軸傾斜ステージ	
7.2	集光位置調節機構	
7.3	集光位置調節機構の変形例	
7.4	トップハット機構	20
7.5	トップハット機構の変形例1	
7.6	トップハット機構の変形例2	

## 【0011】

### 1. 概要

本実施の形態の概要について、以下に説明する。以下で説明する実施の形態では、レーザ装置と共に用いられるEUV光生成装置が、ターゲットに照射されたレーザ光の像を検出してもよい。EUV光生成装置は、この検出結果に基づいて、レーザ光の集光点位置とターゲット位置とを制御してもよい。

## 【0012】

### 2. 用語の説明

つぎに、本開示において使用する用語について、以下のように定義する。「ドロレット」とは、溶融したターゲット物質の液滴である。したがって、その形状は、表面張力によって略球形となる。「プラズマ生成領域」とは、プラズマを生成する空間として予め設定された3次元空間である。「ビーム拡大」とは、ビーム断面積が徐々に広がることをいう。レーザ光の光路において、レーザ光の発生源側を「上流」とし、レーザ光の到達目標側を「下流」とする。また、「所定繰返し周波数」とは、略所定の繰返し周波数であればよく、必ずしも一定の繰返し周波数でなくてもよい。拡散ターゲットとは、プリプラズマとフラグメントの少なくとも一方を含む状態のターゲットと定義される。プリプラズマとは、プラズマ状態またはプラズマと原子や分子との混合状態と定義される。フラグメントとは、レーザ照射によりターゲット物質が分裂して変容したクラスタ、マイクロドロレット等の微粒子またはそれらが混在する微粒子群と定義される。オブスキュレーション領域とは、EUV光の影となる3次元領域である。このオブスキュレーション領域を通過するEUV光は、通常、露光装置においては使用されない。

## 【0013】

### 3. EUV光生成装置の全体説明

#### 3.1 構成

図1に例示的なLPP方式のEUV光生成装置1（極端紫外光生成装置）の概略構成を示す。EUV光生成装置1は、少なくとも1つのレーザシステム3と共に用いることができる（EUV光生成装置1及びレーザシステム3を含むシステムを、以下、EUV光生成システム11（極端紫外光生成システム）と称する）。図1に示し、かつ以下に詳細に説

明するように、EUV光生成装置1は、チャンバ2を含むことができる。チャンバ2は、チャンバ2内を真空にすることができるように構成されていてもよい。あるいは、チャンバ2は、チャンバ2の内部にEUV光の透過率が高いガスが存在することができるように構成されていてもよい。また、EUV光生成装置1は、ターゲット供給システムを更に含むことができる。ターゲット供給システムは、ドロップレット生成器26を含んでもよい。ドロップレット生成器26は、ドロップレットの形態でターゲット27をプラズマ生成領域25に供給してもよい。ターゲット供給システムは、例えばチャンバ2に取り付けられていてもよい。ターゲット供給システムが供給するターゲットの材料は、スズ、テルビウム、ガドリニウム、リチウム、キセノン、又はそのいずれかの組合せを含むことができるが、これらに限定されない。

10

#### 【0014】

チャンバ2には、その壁を貫通する少なくとも1つの孔が設けられている。その貫通孔はレーザ光を透過し得るウィンドウ21によって塞がれていてもよい。チャンバ2の内部には例えば、回転楕円面形状の反射面を有するEUV集光ミラー23が配置されてもよい。EUV集光ミラー23は、第1の焦点、及び第2の焦点を有する。EUV集光ミラー23の表面には例えば、モリブデンとシリコンとが交互に積層された多層反射膜が形成されていてもよい。EUV集光ミラー23は、例えば、その第1の焦点がプラズマ発生位置(プラズマ生成領域25)又はその近傍に位置し、その第2の焦点がEUV光の集光位置(中間焦点(IF)292)に位置するように配置されるのが好ましい。EUV集光ミラー23の中央部には、パルスレーザ光33が通過することができる貫通孔24が設けられてい

20

#### 【0015】

再び図1を参照に、EUV光生成装置1は、EUV光生成制御システム5を含むことができる。EUV光生成装置1は、ターゲットセンサ4を含むことができる。ターゲットセンサ4は、ターゲットの存在、軌道、位置の少なくとも1つを検出可能であるとよい。ターゲットセンサ4は、撮像機能を有していてもよい。

#### 【0016】

また、EUV光生成装置1は、チャンバ2内部と露光装置6内部とを連通する接続部29を含むことができる。接続部29内部にはアパーチャを備えた壁291を含むことができる。壁291は、アパーチャが第2の焦点位置に位置するように接続部29内に設置されてもよい。

30

#### 【0017】

更に、EUV光生成装置1は、レーザ光進行方向制御アクチュエータ部34、レーザ光集光ミラー22、ターゲット27のターゲット回収器28などを含むことができる。

#### 【0018】

### 3.2 動作

図1を参照に、レーザシステム3から出射されたパルスレーザ光31は、レーザ光進行方向制御アクチュエータ部34を経て、ウィンドウ21を透過してチャンバ2内に入射してもよい。レーザ光進行方向制御アクチュエータ部34は、レーザシステム3からチャンバ2までの少なくとも1つのレーザビーム経路を構成してもよい。チャンバ2内に進入したパルスレーザ光31は、レーザ光集光ミラー22で反射してもよい。これにより、平行光であったパルスレーザ光31が集光するパルスレーザ光33に変換されてもよい。パルスレーザ光33は、チャンバ2内のプラズマ生成領域25で、少なくとも1つのターゲットに照射されてもよい。

40

#### 【0019】

ドロップレット生成器26は、ターゲット27をチャンバ2内部のプラズマ生成領域25に向けて出力してもよい。ターゲット27には、少なくとも1つのパルスレーザ光33が照射されてもよい。パルスレーザ光33に照射されたターゲット27はプラズマ化してもよい。そのプラズマからは、EUV光252が発生してもよい。なお、1つのターゲット27に、複数のパルスレーザ光が照射されてもよい。照射されるパルスレーザ光は、パ

50

ルスレーザ光 3 3 に限られない。

【 0 0 2 0 】

E U V 光生成制御システム 5 は、E U V 光生成システム 1 1 全体の制御を統括してもよい。E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲットセンサ 4 によって撮像されたターゲット 2 7 のイメージ情報等処理してもよい。E U V 光生成制御システム 5 はまた、例えばターゲット 2 7 を出力するタイミングの制御、ターゲット 2 7 の出力方向、及び出力位置の制御のうちの少なくとも 1 つを実行してもよい。E U V 光生成制御システム 5 は更に、例えばレーザシステム 3 のレーザ出力タイミングの制御、パルスレーザ光 3 1 の進行方向の制御、及び集光位置変更の制御のうちの少なくとも 1 つを実行してもよい。上述の様々な制御は単なる例示に過ぎず、必要に応じて他の制御が追加されてもよい。

10

【 0 0 2 1 】

4 . ターゲットにレーザ光が照射された時の像検出器を含む E U V 光生成装置

つづいて、ターゲットを通過したレーザ光の像を検出するレーザ照射像検出器を含む E U V 光生成装置について、図面を用いて詳細に説明する。図 2 は、レーザ照射像検出器 1 0 0 を含む E U V 光生成装置 1 A の概略構成を示す模式図である。

【 0 0 2 2 】

4 . 1 構成

図 2 に示されるように、E U V 光生成装置 1 A は、E U V 光生成制御システム 5、レーザシステム 3、レーザ光進行方向制御アクチュエータ部（以下、ビームデリバリーシステムともいう）3 4、およびチャンバ 2 を含んでもよい。

20

【 0 0 2 3 】

チャンバ 2 は、ターゲット 2 7 が内部に供給されるメインチャンバ 2 a と、レーザ集光光学系 2 2 0 を収容するサブチャンバ 2 b と、を含んでもよい。メインチャンバ 2 a とサブチャンバ 2 b とは、中央にパルスレーザ光 3 3 が通過するための貫通孔 2 0 1 a が形成された間仕切りプレート 2 0 1 によって区画されていてもよい。メインチャンバ 2 a とサブチャンバ 2 b とは、分離可能な個別のチャンバであってもよい。ただし、これに限らず、メインチャンバ 2 a およびサブチャンバ 2 b は、たとえば 1 つのチャンバを間仕切りプレート 2 0 1 によって区画することでそれぞれ形成されてもよい。

【 0 0 2 4 】

サブチャンバ 2 b 内のレーザ集光光学系 2 2 0 は、たとえば軸外放物面凹面ミラー 2 2 2 と、高反射ミラー 2 2 3 とを含んでもよい。軸外放物面凹面ミラー 2 2 2 は、たとえばミラーホルダ 2 2 2 a を用いてベースプレート 2 2 1 に固定されてもよい。高反射ミラー 2 2 3 は、たとえば 2 軸傾斜ステージ 2 2 3 a を用いてベースプレート 2 2 1 に固定されてもよい。ベースプレート 2 2 1 は、たとえば 1 軸ステージ 2 2 1 a によって Z 軸方向に移動可能であってもよい。高反射ミラー 2 2 3 は、2 軸傾斜ステージ 2 2 3 a によってそのアオリ角度  $x$  および  $y$  が調整されてもよい。高反射ミラー 2 2 3 の反射面中心における垂線を想定した場合、ベースプレート 2 2 1 の 2 軸傾斜ステージ 2 2 3 a 設置面に対して、アオリ角度  $x$  はピッチ角度、アオリ角度  $y$  はヨウ角度であってもよい。

30

【 0 0 2 5 】

パルスレーザ光 3 1 は、ビームデリバリーシステム 3 4 の複数の高反射ミラー 3 4 1 および 3 4 2 を経由して、チャンバ 2 のウィンドウ 2 1 に入射してもよい。ウィンドウ 2 1 を介してサブチャンバ 2 b 内に入射したパルスレーザ光 3 1 は、軸外放物面凹面ミラー 2 2 2 で集光するように反射されてもよい。これにより、パルスレーザ光 3 1 が集光するパルスレーザ光 3 3 に変換されてもよい。その後、パルスレーザ光 3 3 は、高反射ミラー 2 2 3 で反射されることで、貫通孔 2 0 1 a を介してメインチャンバ 2 a 内に進入してもよい。

40

【 0 0 2 6 】

メインチャンバ 2 a は、E U V 集光ミラー 2 3、ターゲット供給部 2 6 0、ターゲットセンサ 4、およびレーザ照射像検出器 1 0 0 を含んでもよい。E U V 集光ミラー 2 3 は、たとえば E U V 集光ミラーホルダ 2 3 1 を用いて間仕切りプレート 2 0 1 に固定されても

50

よい。EUV集光ミラー23の貫通孔24および間仕切りプレート201の貫通孔201aは、パルスレーザー光33がそれぞれの孔を通過する際にEUV集光ミラー23および間仕切りプレート201がパルスレーザー光33を遮らない程度の開口の大きさを形成されていてもよい。ターゲット供給部260は、ドロップレット生成器26と、2軸ステージ261とを含んでもよい。ドロップレット生成器26は、2軸ステージ261を用いてメインチャンバ2aに固定されてもよい。2軸ステージ261は、ドロップレット生成器26をY軸方向およびZ軸方向に移動させることで、ターゲット27のプラズマ生成領域25付近における空間の通過位置を調節してもよい。

#### 【0027】

レーザー照射像検出器100は、軸外放物面ミラー101、ビームスプリッタ102、結像レンズ103、イメージセンサ104、およびダンパ105を含んでもよい。軸外放物面ミラー101は、たとえば支柱101aによってメインチャンバ2aの内壁に固定されてもよい。支柱101aは、EUV光252のオブスキュレーション領域内に配置されてもよい。

10

#### 【0028】

ビームスプリッタ102、結像レンズ103、イメージセンサ104、およびダンパ105は、メインチャンバ2aに連通した検出器チャンバ110内に配置されてもよい。メインチャンバ2a内の空間と検出器チャンバ110内の空間とは、たとえば連結穴110aを介して連通していてもよい。プラズマ生成領域25を通過したパルスレーザー光33は軸外放物面ミラー101で反射されてもよい。軸外放物面ミラー101によって反射されたパルスレーザー光253は、連結穴110aを通して検出器チャンバ110内に進入してもよい。その後、パルスレーザー光253は、ビームスプリッタ102を通過した後、結像レンズ103によってイメージセンサ104の受光面に結像されてもよい。このとき、イメージセンサ104は撮像状態となっていてよい。たとえば、イメージセンサ104がシャッター等を備えている場合、シャッターはパルスレーザー光253の出力に同期してシャッターが一定時間、開となるように動作されてもよい。このようにイメージセンサ104は、プラズマ生成領域25を通過したパルスレーザー光33の像を検出するように配置されてもよい。ビームスプリッタ102は、軸外放物面ミラー101で反射された光のうち少なくともパルスレーザー光253の波長を含む光の一部を透過し、他の光を反射してもよい。ビームスプリッタ102の透過率は、イメージセンサ104に入射する光量が飽和光量以下となるように調節されていてもよい。ビームスプリッタ102によって反射された光は、ダンパ105によって吸収されてもよい。

20

30

#### 【0029】

EUV光生成制御システム5は、基準クロック生成器51a、EUV光生成点コントローラ51、レーザー集光点制御ドライバ52、ターゲットコントローラ53、およびターゲット供給ドライバ54を含んでもよい。このEUV光生成制御システム5は、EUV光生成装置1A全体の動作を制御してもよい。

#### 【0030】

具体的には、基準クロック生成器51aは、動作基準となる基準クロックを生成してもよい。EUV光生成点コントローラ51は、レーザー集光点制御ドライバ52、ターゲットコントローラ53、およびレーザーシステム3に、各種信号を入力することで、これらを動作させてもよい。レーザー集光点制御ドライバ52には、EUV光生成点コントローラ51からの制御信号に基づいて、レーザー集光光学系220における1軸ステージ221aおよび2軸傾斜ステージ223aを駆動してもよい。ターゲットコントローラ53は、EUV光生成点コントローラ51から入力された制御信号およびターゲットセンサ4から入力されたイメージデータに基づいて、ターゲット供給ドライバ54に制御信号を入力してもよい。ターゲット供給ドライバ54は、ターゲットコントローラ53から入力された制御信号に基づいて、ドロップレット生成器26にターゲット27を出力させる出力信号を送信してもよい。また、ターゲット供給ドライバ54は、ターゲットコントローラ53から入力された制御信号に基づいて、2軸ステージ261を駆動してもよい。EUV光生成点コ

40

50

ントローラ 5 1 からレーザシステム 3 には、パルスレーザ光 3 1 の出力トリガが送信されてもよい。

【0031】

#### 4.2 動作

つぎに、図 2 に示される E U V 光生成装置 1 A の動作を説明する。なお、E U V 光生成装置 1 A の動作は、E U V 光生成制御システム 5 によって制御され得る。そこで以下では、E U V 光生成制御システム 5 の動作を説明する。

【0032】

E U V 光生成制御システム 5 は、露光装置 6 から E U V 光生成要求信号と E U V 光生成位置指定信号とを受信してもよい。E U V 光生成要求信号は、E U V 光 2 5 2 の生成開始を要求する信号であってもよい。E U V 光生成位置指定信号は、チャンバ 2 内部での E U V 光 2 5 2 の生成位置を指定する情報が含まれていてもよい。これらの信号を受信した E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲット供給部 2 6 0 にターゲット 2 7 の出力信号を出力してもよい。そして、E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲット 2 7 がプラズマ生成領域 2 5 に到達した時にパルスレーザ光 3 3 がターゲット 2 7 に照射されるように、レーザシステム 3 にパルスレーザ光 3 1 の出力トリガ（レーザ出力タイミング）を送信してもよい。

【0033】

レーザシステム 3 から出力されたパルスレーザ光 3 1 は、略平行光のパルスレーザ光 3 1 として 2 枚の高反射ミラー 3 4 1 および 3 4 2 を含むビームデリバリーシステム 3 4 を経由した後、ウィンドウ 2 1 を透過してチャンバ 2 内に入射してもよい。

【0034】

このパルスレーザ光 3 1 は、軸外放物面凹面ミラー 2 2 2 と高反射ミラー 2 2 3 とを備えたレーザ集光光学系 2 2 0 によって、プラズマ生成領域 2 5 に集光するパルスレーザ光 3 3 に変換されてもよい。このプラズマ生成領域 2 5 には、ターゲット 2 7 の通過タイミングに合わせるように、パルスレーザ光 3 3 が供給されてもよい。

【0035】

ターゲット 2 7 にパルスレーザ光 3 3 が照射されると、ターゲット 2 7 がプラズマ化してもよい。このプラズマからは、E U V 光 2 5 2 を含む光 2 5 1 が放射されてもよい。

【0036】

放射された光 2 5 1 のうち E U V 光 2 5 2 は、E U V 集光ミラー 2 3 によって、中間焦点 ( I F ) 2 9 2 に集光するように反射されてもよい。中間焦点 2 9 2 を通過した E U V 光 2 5 2 は、その後、露光装置 6 に入射してもよい。

【0037】

また、プラズマ生成領域 2 5 を通過したパルスレーザ光 3 3 は、軸外放物面ミラー 1 0 1 によって 4 5 度で反射されてもよい。軸外放物面ミラー 1 0 1 は、パルスレーザ光 3 3 を平行光であるパルスレーザ光 2 5 3 に変換してもよい。パルスレーザ光 2 5 3 は、連結穴 1 1 0 a を経由して検出器チャンバ 1 1 0 内のビームスプリッタ 1 0 2 に入射してもよい。

【0038】

ビームスプリッタ 1 0 2 は、少なくともパルスレーザ光 2 5 3 の波長を含む光の一部を透過するとともに、それ以外の光を反射してもよい。ビームスプリッタ 1 0 2 によって反射された光は、ダンパ 1 0 5 によって吸収されてもよい。

【0039】

一方、ビームスプリッタ 1 0 2 を透過したパルスレーザ光 2 5 3 は、結像レンズ 1 0 3 を介して、イメージセンサ 1 0 4 に入射してもよい。これにより、プラズマ生成領域 2 5 を通過したパルスレーザ光 3 3 の像が、イメージセンサ 1 0 4 上に結像されてもよい。パルスレーザ光 3 3 がターゲット 2 7 に照射された場合、パルスレーザ光 2 5 3 の像にはターゲット 2 7 の影が含まれてもよい。

【0040】

10

20

30

40

50

イメージセンサ 104 によって取得されたイメージデータは、EUV 光生成制御システム 5 の EUV 光生成点コントローラ 51 に送信されてもよい。EUV 光生成点コントローラ 51 はイメージデータに基づいて、レーザ集光点制御ドライバ 52 と、ターゲット供給ドライバ 54 に制御信号を送信してもよい。ターゲット供給ドライバ 54 には、ターゲットコントローラ 53 を介して制御信号が入力されてもよい。これにより、パルスレーザ光 33 およびターゲット 27 が EUV 光生成位置指定信号によって指定された EUV 光生成位置に到達し得るように、レーザ集光光学系 220 とターゲット供給部 260 とが調整されてもよい。

#### 【0041】

具体的には、レーザ集光点制御ドライバ 52 は、高反射ミラー 223 の 2 軸傾斜ステージ 223a と、1 軸ステージ 221a とに、それぞれ駆動信号を送信してもよい。これにより、パルスレーザ光 33 が EUV 光生成位置を通過するように、レーザ集光光学系 220 が制御されてもよい。また、ターゲット供給ドライバ 54 は、2 軸ステージ 261 に駆動信号を送信してもよい。これにより、ターゲット 27 が EUV 光生成位置を通過するように、ターゲット供給部 260 の位置が制御されてもよい。

10

#### 【0042】

EUV 光生成点コントローラ 51 はイメージセンサ 104 によって取得されたイメージデータに基づいて、ドロップレット生成器 26 にターゲット 27 を出力させる出力信号をドロップレット生成器 26 に送信してもよい。この出力信号は、ターゲットコントローラ 53 およびターゲット供給ドライバ 54 を経由してドロップレット生成器 26 に入力されてもよい。EUV 光生成点コントローラ 51 はイメージデータに基づいて、レーザシステム 3 にパルスレーザ光 31 を出力させる出力トリガを送信してもよい。これにより、ターゲット 27 が EUV 光生成位置に到達するタイミングと略同じタイミングで、パルスレーザ光 33 が EUV 光生成位置に到達することが可能となってもよい。

20

#### 【0043】

以上の動作を繰り返すことによって、EUV 光生成位置を通過する各ターゲット 27 にパルスレーザ光 33 が順次照射され得る。その結果、所望の EUV 光生成位置で EUV 光 252 が発生するように EUV 光生成装置 1A が制御され得る。なお、EUV 光生成位置は、上述のように露光装置コントローラ 61 から指定されてもよいし、その他の装置から指定されてもよい。もしくは、EUV 光生成位置は、予め定められた固定位置であってもよい。

30

#### 【0044】

##### 4.3 作用

以上のように、プラズマ生成領域 25 を通過したパルスレーザ光 33 の像とターゲット 27 の像とが検出されてもよい。これにより、ターゲット 27 に対するパルスレーザ光 33 の照射位置と、パルスレーザ光 33 の集光位置との両方が、直接的に検出され得る。

#### 【0045】

また、この検出結果に基づいて、パルスレーザ光 33 の集光位置とターゲット 27 の通過位置とが制御可能となり得る。これによれば、EUV 光の生成位置が高精度に制御され得る。

40

#### 【0046】

##### 4.4 ターゲットにレーザ光が照射された時の像

ここで、図 3 に、ターゲット 27 にパルスレーザ光 33 を照射した際の位置関係の一例を示す。また、図 4 に、レーザ照射像検出器 100 のイメージセンサ 104 で検出されたパルスレーザ光 253 の像の一例を示す。図 3 において、軸 Ab は、パルスレーザ光 33 の光軸である。軸 Ao は、基準点 O を通過する軸である。この軸 Ao は、たとえば Z 軸に相当してもよい。図 4 において、中心位置 E (Xt, Yt) は、EUV 光生成位置を示し、中心位置 L (Xb, Yb) は、パルスレーザ光 253 の像 G33 の中心位置 (光軸 Ab に相当) を示し、中心位置 T (Xd, Yd) は、ターゲット 27 の像 (影) G27 の中心位置を示す。

50

## 【0047】

図3に示されるように、ターゲット27にパルスレーザー光33が照射すると、パルスレーザー光33が照射された側にプリプラズマ271が発生するとともに、反対側からターゲット物質が飛散し、フラグメント272が発生してもよい。また、図4に示されるように、イメージセンサ104は、パルスレーザー光253の像G33と、ターゲット27の像G27とを撮像してもよい。ターゲットの像G27はパルスレーザー光253によるターゲット27の影を含んでもよい。そこで、パルスレーザー光253の像G33の中心位置L( $X_b, Y_b$ )と、ターゲット27の像G27の中心位置T( $X_d, Y_d$ )とが、それぞれEUV光生成位置E( $X_t, Y_t$ )に近づくように、各ステージの位置およびタイミングが制御されてもよい。

10

## 【0048】

## 4.5 制御フロー

つぎに、図2に示されるEUV光生成装置1Aの動作を、フローチャートを用いて詳細に説明する。なお、以下の動作は、図2の基準クロック生成器51aから与えられる基準クロックに基づいて実行されてもよい。以下では、説明の簡略化のため、基準クロックの周波数が、タイミング調整をしない場合の出力トリガの繰返し周波数と同等とする。

## 【0049】

## 4.5.1 メインフロー

図5は、EUV光生成制御システム5のメインフローを示す。図5に示されるように、EUV光生成制御システム5は、起動後、まず、各種パラメータに初期値を設定するパラメータ初期設定サブルーチンを実行してもよい(ステップS101)。つぎに、EUV光生成制御システム5は、たとえば露光装置コントローラ61から指定されたEUV光生成位置を設定するEUV光生成位置設定サブルーチンを実行してもよい(ステップS102)。

20

## 【0050】

つぎに、EUV光生成制御システム5は、露光装置6(具体的には露光装置コントローラ61)からEUV光の生成を要求するEUV光生成要求信号を受信するまで待機してもよい(ステップS103; NO)。EUV光生成要求信号を受信すると(ステップS103; YES)、EUV光生成制御システム5は、EUV光を生成するEUV光生成サブルーチン(ステップS104)、ターゲット27を通過したパルスレーザー光33の像を検出するレーザー照射像検出サブルーチン(ステップS105)、および実際のEUV光生成位置が許容範囲内であるか否かを判定する位置判定サブルーチン(ステップS106)を順次実行してもよい。

30

## 【0051】

つぎに、EUV光生成制御システム5は、位置判定サブルーチン(ステップS106)で実際のEUV光生成位置が、予め設定された、または、露光装置6などの外部から入力された許容範囲内であるか否かを判定してもよい(ステップS107)。実際のEUV光生成位置が許容範囲内である場合(ステップS107; YES)、EUV光生成制御システム5は、露光装置6へEUV光生成位置が正常であることを示すEUV光生成位置正常信号を送信してもよい(ステップS108)。その後、EUV光生成制御システム5は、ステップS112へ移行してもよい。一方、実際のEUV光生成位置が許容範囲外である場合(ステップS107; NO)、EUV光生成制御システム5は、露光装置6へEUV光生成位置が異常であることを示すEUV光生成位置異常信号を送信してもよい(ステップS109)。その後、EUV光生成制御システム5は、ステップS110へ移行してもよい。

40

## 【0052】

ステップS110では、EUV光生成制御システム5は、ターゲット27の通過位置およびタイミングを制御するターゲット位置制御サブルーチンを実行してもよい。つぎに、EUV光生成制御システム5は、パルスレーザー光33の集光位置およびタイミングを制御するレーザー集光位置制御サブルーチンを実行してもよい(ステップS111)。この2つ

50

のサブルーチン（ステップ S 1 1 0 および S 1 1 1）により、パルスレーザ光 3 3 が指定された E U V 光生成位置でターゲット 2 7 に照射するように、E U V 光生成装置 1 A が制御されてもよい。

【 0 0 5 3 】

その後、E U V 光生成制御システム 5 は、E U V 光の生成位置を制御する本動作を終了するか否かを判定してもよい（ステップ S 1 1 2）。動作を終了する場合（ステップ S 1 1 2 ; Y E S）、E U V 光生成制御システム 5 は、本動作を終了してもよい。一方、動作を終了しない場合（ステップ S 1 1 2 ; N O）、E U V 光生成制御システム 5 は、ステップ S 1 0 2 へ帰還して、以降の動作を繰り返してもよい。

【 0 0 5 4 】

4 . 5 . 2 パラメータ初期設定サブルーチン

つぎに、図 5 のステップ S 1 0 1 に示されるパラメータ初期設定サブルーチンが、図 6 を用いて詳細に説明される。図 6 に示されるように、パラメータ初期設定サブルーチンでは、E U V 光生成制御システム 5 は、E U V 光生成位置の初期値 E ( X t 0 , Y t 0 ) を読み込んでもよい（ステップ S 1 2 1）。この初期値 E ( X t 0 , Y t 0 ) は、たとえば不図示のメモリ等に記憶されていてもよい。

【 0 0 5 5 】

つぎに、E U V 光生成制御システム 5 は、ドロップレット生成器 2 6 に入力する出力信号の基準クロックからの遅延時間 D d に初期値 D d 0 を設定してもよい（ステップ S 1 2 2）。この初期値 D d 0 は、たとえば不図示のメモリ等に記憶されていてもよい。また、E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲット 2 7 の所定位置通過タイミングに対するパルスレーザ光 3 1 の出力トリガの遅延時間 L d に初期値 L d 0 を設定してもよい（ステップ S 1 2 3）。この初期値 L d 0 は、たとえば不図示のメモリ等に記憶されていてもよい。なお、遅延時間 L d とは、たとえばターゲットセンサ 4 からターゲット 2 7 の通過信号が出力されてから、E U V 光生成位置上でターゲット 2 7 にパルスレーザ光 3 3 を照射するのに必要となる出力トリガの遅延時間であってよい。

【 0 0 5 6 】

つづいて、E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲット供給部 2 6 0 の 2 軸ステージ 2 6 1 やレーザ集光光学系 2 2 0 の 1 軸ステージ 2 2 1 a などの各種アクチュエータを駆動する際のパラメータとして、比例定数 k を読み込んでもよい（ステップ S 1 2 4）。この比例定数 k は、たとえば不図示のメモリ等に記憶されていてもよいし、露光装置 6 などの外部装置から与えられてもよい。

【 0 0 5 7 】

その後、E U V 光生成制御システム 5 は、実際の E U V 光生成位置に対する許容範囲を読み込んでもよい（ステップ S 1 2 5）。その後、E U V 光生成制御システム 5 は、図 5 に示される動作へリターンしてもよい。なお、許容範囲には、パルスレーザ光 3 3 の光軸に対する許容範囲 L t r と、ターゲット 2 7 の通過位置に対する許容範囲 L b r とが含まれていてもよい。

【 0 0 5 8 】

4 . 5 . 3 E U V 光生成位置設定サブルーチン

つぎに、図 5 のステップ S 1 0 2 に示される E U V 光生成位置設定サブルーチンが、図 7 を用いて詳細に説明される。図 7 に示されるように、E U V 光生成位置設定サブルーチンでは、E U V 光生成制御システム 5 は、露光装置 6 から目標とする E U V 光生成位置 E の再設定データ E s を受信したか否かを判定してもよい（ステップ S 1 3 1）。この再設定データ E s は、たとえば露光装置 6 において E U V 光生成装置 1 に対して要求する E U V 光生成位置 E が変更された際に、露光装置コントローラ 6 1 から E U V 光生成制御システム 5 に送信されてもよい。また、本例では、再設定データ E が現在要求している E U V 光生成位置 E ( X t , Y t ) からのずれ量 ( X s , Y s ) であるとするが、これに限られない。再設定データ E は、新たな E U V 光生成位置（座標）であってよい。

。

10

20

30

40

50

## 【0059】

ステップS131の判定の結果、再設定データ  $E_s$ を受信していない場合（ステップS131；NO）、EUV光生成制御システム5は、そのまま図5に示される動作へリターンしてもよい。一方、再設定データ  $E_s$ を受信していた場合（ステップS131；YES）、EUV光生成制御システム5は、この再設定データ  $E_s$  ( $X_s$ ,  $Y_s$ )を読み込んでよい（ステップS132）。つづいて、EUV光生成制御システム5は、現在のEUV光生成位置  $E$  ( $X_t$ ,  $Y_t$ )に対して再設定データ  $E_s$  ( $X_s$ ,  $Y_s$ )を加算することで、新たなEUV光生成位置  $E$  ( $X_t$ ,  $Y_t$ )を算出してもよい（ステップS133）。これにより、目標とするEUV光生成位置  $E$ が更新されてもよい。その後、EUV光生成制御システム5は、図5に示される動作へリターンしてもよい。

10

## 【0060】

## 4.5.4 EUV光生成サブルーチン

つぎに、図5のステップS104に示されるEUV光生成サブルーチンが、図8を用いて詳細に説明される。図8に示されるように、EUV光生成サブルーチンでは、EUV光生成制御システム5は、基準クロックを受信するまで待機してもよい（ステップS141；NO）。基準クロックを受信すると（ステップS141；YES）、EUV光生成制御システム5は、不図示のタイマTをリセットしてもよい（ステップS142）。

## 【0061】

つぎに、EUV光生成制御システム5は、タイマTのカウント値Tが遅延時間  $D_d$ 以上となるまで待機してもよい（ステップS143；NO）。カウント値Tが遅延時間  $D_d$ 以上となると（ステップS143；YES）、EUV光生成制御システム5は、ターゲット供給部260にターゲット27を出力させる出力信号を送信してもよい（ステップS144）。

20

## 【0062】

その後、EUV光生成制御システム5は、ターゲットセンサ4からターゲット27が所定の位置を通過したことを示す通過信号を受信するまで待機してもよい（ステップS145；NO）。通過信号を受信すると（ステップS145；YES）、EUV光生成制御システム5は、タイマTをリセットしてもよい（ステップS146）。つづいて、EUV光生成制御システム5は、タイマTのカウント値Tが遅延時間  $L_d$ 以上となるまで待機してもよい（ステップS147；NO）。遅延時間  $L_d$ 以上となると（ステップS147；YES）、EUV光生成制御システム5は、レーザシステム3に1パルス分の出力トリガを送信してもよい（ステップS148）。その後、EUV光生成制御システム5は、図5に示される動作へリターンしてもよい。これにより、ターゲット27のEUV光生成位置通過タイミングに合わせてパルスレーザ光33がEUV光生成位置に集光するように、EUV光生成装置1Aが動作してもよい。

30

## 【0063】

## 4.5.5 レーザ照射像検出サブルーチン

つぎに、図5のステップS105に示されるレーザ照射像検出サブルーチンが、図9を用いて詳細に説明される。図9に示されるように、レーザ照射像検出サブルーチンでは、EUV光生成制御システム5は、レーザ照射像検出器100のイメージセンサ104から、EUV光生成位置通過後のパルスレーザ光33のイメージデータ（像データ）を取得してもよい（ステップS151）。つぎに、EUV光生成制御システム5は、取得したイメージデータに含まれるターゲット27の像（影）G27と、パルスレーザ光253の像G33とを検出してもよい（ステップS152）。つづいて、EUV光生成制御システム5は、検出した像（影）G27の中心位置T ( $X_d$ ,  $Y_d$ )および検出した像G33の中心位置B ( $X_b$ ,  $Y_b$ )をそれぞれ検出してもよい（ステップS153）。その後、EUV光生成制御システム5は、図5に示される動作へリターンしてもよい。

40

## 【0064】

## 4.5.6 位置判定サブルーチン

つぎに、図5のステップS106に示される位置判定サブルーチンが、図10を用いて

50

詳細に説明される。図10に示されるように、位置判定サブルーチンでは、EUV光生成制御システム5は、まず、EUV光生成位置Eとターゲット27の位置（たとえば中心位置 $T(X_d, Y_d)$ ）との距離 $L_t$ を算出してもよい（ステップS161）。距離 $L_t$ は、EUV光生成位置Eに対するターゲット27の座標差 $T(X_d, Y_d)$ を算出することで求められてもよい。座標差 $T(X_d, Y_d)$ は、たとえば目標とするEUV光生成位置E( $X_t, Y_t$ )とターゲット27の位置（たとえば中心位置 $T(X_d, Y_d)$ ）とから求めることができる。算出した座標差 $T$ および距離 $L_t$ は、たとえば不図示のメモリ等に保存されてもよい。なお、ここでは、Z方向のずれは考慮しないものとしてもよい。ただし、Z方向のずれを考慮する場合は、イメージデータにおけるターゲット27の像G27の大きさを用いるとよい。

10

#### 【0065】

また、EUV光生成制御システム5は、EUV光生成位置Eとパルスレーザ光33の位置（たとえば中心位置 $L(X_b, Y_b)$ ）との距離 $L_b$ を算出してもよい（ステップS162）。距離 $L_b$ は、EUV光生成位置Eに対するパルスレーザ光33の座標差 $B(X_b, Y_b)$ を算出することで求められてもよい。座標差 $B(X_b, Y_b)$ は、たとえば目標とするEUV光生成位置E( $X_t, Y_t$ )とパルスレーザ光33の位置（たとえば中心位置 $L(X_b, Y_b)$ ）とから求めることができる。算出した座標差 $B$ および距離 $L_b$ は、たとえば不図示のメモリ等に保存されてもよい。なお、ここでは、Z方向のずれ、すなわち焦点位置のZ方向のずれは考慮しないものとしてもよい。ただし、Z方向のずれを考慮する場合は、イメージデータにおけるパルスレーザ光33の像G33の大きさをを用いるとよい。

20

#### 【0066】

つぎに、EUV光生成制御システム5は、距離 $L_t$ および $L_b$ が、それぞれ許容範囲 $L_{tr}$ および $L_{br}$ 内であるか否かを判定してもよい（ステップS163）。許容範囲内である場合（ステップS163；YES）、EUV光生成制御システム5は、たとえば不図示のメモリ内に設けた位置正常フラグに正常であることを示す“true”をセットしてもよい（ステップS164）。その後、EUV光生成制御システム5は、図5に示される動作へリターンしてもよい。一方、許容範囲外である場合（ステップS163；NO）、EUV光生成制御システム5は、位置正常フラグに異常であることを示す“false”をセットしてもよい（ステップS165）。その後、EUV光生成制御システム5は、図5に示される動作へリターンしてもよい。図5のステップS107では、この位置正常フラグを用いて判定が実行されてもよい。

30

#### 【0067】

#### 4.5.7 ターゲット位置制御サブルーチン

つぎに、図5のステップS110に示されるターゲット位置制御サブルーチンが、図11を用いて詳細に説明される。図11に示されるように、ターゲット位置制御サブルーチンでは、EUV光生成制御システム5は、図10のステップS161で取得した座標差 $T(X_d, Y_d)$ を読み込んでもよい（ステップS171）。つづいて、EUV光生成制御システム5は、この座標差 $T$ に基づいて、ターゲット供給部260にターゲット27を出力させる出力信号の遅延時間 $D_d$ を $k \cdot X_d$ 分、調整してもよい（ $D_d = D_d + k \cdot X_d$ ）（ステップS172）。つぎに、EUV光生成制御システム5は、ターゲット供給部260の2軸ステージ261をY方向にY調整量 $Y_d$ 分、移動させてもよい（ステップS173）。これにより、ターゲット27とパルスレーザ光31が所定のタイミングで目標とするEUV光生成位置Eに到達するように制御されてもよい。その後、EUV光生成制御システム5は、図5に示される動作へリターンしてもよい。

40

#### 【0068】

#### 4.5.7.1 ターゲット位置制御サブルーチンの変形例

また、図5のステップS110に示されるターゲット位置制御サブルーチンは、図12に示されるようにも変形することができる。図12に示されるように、変形例によるターゲット位置制御サブルーチンでは、EUV光生成制御システム5は、図10のステップS

50

161で取得した座標差  $T(X_d, Y_d)$  を読み込んでもよい(ステップS175)。つづいて、EUV光生成制御システム5は、この座標差  $T$  に基づいて、レーザシステム3にパルスレーザ光31を出力させる出力トリガの遅延時間  $L_d$  を  $X$  調整量  $k \cdot X_d$  分、調整してもよい( $L_d = L_d + k \cdot X_d$ ) (ステップS176)。つぎに、EUV光生成制御システム5は、ターゲット供給部260の2軸ステージ261を  $Y$  方向に  $Y$  調整量  $Y_d$  分、移動させてもよい(ステップS177)。このように、パルスレーザ光31の出力タイミングを制御して所定のタイミングをシフトすることによっても、ターゲット27とパルスレーザ光31が所定のタイミングで目標とするEUV光生成位置Eに到達するように制御することができてもよい。その後、EUV光生成制御システム5は、図5に示される動作へリターンしてもよい。

【0069】

#### 4.5.8 レーザ集光位置制御サブルーチン

つぎに、図5のステップS111に示されるレーザ集光位置制御サブルーチンが、図13を用いて詳細に説明される。図13に示されるように、レーザ集光位置制御サブルーチンでは、EUV光生成制御システム5は、図10のステップS162で取得した座標差  $B(X_b, Y_b)$  を読み込んでもよい(ステップS181)。つづいて、EUV光生成制御システム5は、この座標差  $B$  に基づいて、レーザ集光光学系220の高反射ミラー223の  $X$  方向および  $Y$  方向の角度変化量  $x$  および  $y$  それぞれを計算してもよい( $x = f(X_b)$ 、 $y = f(Y_b)$ ) (ステップS182)。つぎに、EUV光生成制御システム5は、高反射ミラー223を保持する2軸傾斜ステージ223aを  $x$  および  $y$  変化させる制御信号を送信してもよい(ステップS183)。これにより、パルスレーザ光33が所定のタイミングで目標とするEUV光生成位置Eを通過するように制御されてもよい。その後、EUV光生成制御システム5は、図5に示される動作へリターンしてもよい。なお、パルスレーザ光33の焦点位置も制御する場合は、レーザ集光光学系220の1軸ステージ221aを移動させるように制御してもよい。

【0070】

以上のように、EUV光生成位置を通過したパルスレーザ光253の像検出結果に基づいて、パルスレーザ光33の集光位置とターゲット27の通過位置とを制御することで、高精度にEUV光の生成位置を制御してもよい。

【0071】

#### 5. ドロブレットにプリパルスとメインパルスレーザ光が照射された時の像検出器を含むEUV光生成装置

つぎに、ターゲットを複数回レーザ照射する多段レーザ照射方式のEUV光生成装置1Bを、図面を用いて詳細に説明する。図14は、多段レーザ照射方式のEUV光生成装置1Bの概略構成を示す模式図である。なお、図2に示されるEUV光生成装置1Aと同様の構成については、同一の符号を付し、その重複する説明を省略する。

【0072】

##### 5.1 構成

図14に示されるEUV光生成装置1Bは、図2に示されるEUV光生成装置1Aと同様の構成を備えてもよい。ただし、EUV光生成装置1Bは、以下の点で、EUV光生成装置1Aと異なる構成を備えてもよい。

【0073】

EUV光生成装置1Bでは、レーザシステム3がレーザシステム3Bに置き換えられていてもよい。また、EUV光生成装置1Bでは、ビームデリバリーシステム34がビームデリバリーシステム34Bに置き換えられていてもよい。

【0074】

レーザシステム3Bは、パルスレーザ光(以下、これをメインパルスレーザ光という)31を出力するメインパルスレーザ装置MLと、プリパルスレーザ光41を出力するプリパルスレーザ装置PLとを含んでもよい。ビームデリバリーシステム34Bは、ビームコンパイナ341Bと、高反射ミラー342および343とを含んでもよい。EUV光生成

10

20

30

40

50

点コントローラ 5 1 は、メインパルスレーザ装置 M L とプリパルスレーザ装置 P L とにそれぞれ接続していてもよい。

【 0 0 7 5 】

高反射ミラー 3 4 3 の反射面には、プリパルスレーザ光 4 1 を高反射する膜がコートされていてもよい。ビームコンバイナ 3 4 1 B のメインパルスレーザ光 3 1 が入射する面には、プリパルスレーザ光 4 1 を高透過させる膜がコートされていてもよい。ビームコンバイナ 3 4 1 B の他方の面には、プリパルスレーザ光 4 1 を高透過し、メインパルスレーザ光 3 1 を高反射する膜がコートされていてもよい。

【 0 0 7 6 】

プリパルスレーザ装置 P L から出力されたプリパルスレーザ光 4 1 は、高反射ミラー 3 4 3 で反射されてもよい。反射されたプリパルスレーザ光 4 1 は、ビームコンバイナ 3 4 1 B に入射してもよい。メインパルスレーザ装置 M L から出力されたメインパルスレーザ光 3 1 は、ビームコンバイナ 3 4 1 B に、プリパルスレーザ光 4 1 とは反対側の面から入射してもよい。ビームコンバイナ 3 4 1 B は、たとえばダイクロイックミラーなどで構成されてもよい。このビームコンバイナ 3 4 1 B は、メインパルスレーザ光 3 1 を高反射してもよく、プリパルスレーザ光 4 1 を高透過してもよい。ビームコンバイナ 3 4 1 B は、反射したメインパルスレーザ光 3 1 の光路と透過したプリパルスレーザ光 4 1 の光路とが重なるように配置されてもよい。これにより、ビームコンバイナ 3 4 1 B は、メインパルスレーザ光 3 1 の光路とプリパルスレーザ光 4 1 の光路とを重ね合わせる光路調整部として機能し得る。ビームコンバイナ 3 4 1 B を透過したプリパルスレーザ光 4 1 は、その後、レーザ集光光学系 2 2 0 を通過することで、プリパルスレーザ光 4 3 として E U V 光生成位置に集光されてもよい。

10

20

【 0 0 7 7 】

## 5 . 2 動作

つづいて、図 1 4 に示される E U V 光生成装置 1 B の動作を説明する。なお、E U V 光生成装置 1 B の動作は、E U V 光生成制御システム 5 によって制御されるため、以下では、E U V 光生成制御システム 5 の動作を説明する。

【 0 0 7 8 】

E U V 光生成制御システム 5 は、露光装置 6 から E U V 光生成要求信号と E U V 光生成位置指定信号とを受信すると、ターゲット供給部 2 6 0 にターゲット 2 7 の出力信号を出力してもよい。そして、E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲット 2 7 がプラズマ生成領域 2 5 に到達した時にプリパルスレーザ光 4 3 がターゲット 2 7 に照射されるように、プリパルスレーザ装置 P L にプリパルスレーザ光 4 1 の出力トリガ ( レーザ出力タイミング ) を送信してもよい。

30

【 0 0 7 9 】

そして、E U V 光生成制御システム 5 は、プリパルスレーザ光 4 3 の照射によってターゲット 2 7 がある程度拡散した後に、この発生した拡散ターゲットにメインパルスレーザ光 3 3 が照射されるように、メインパルスレーザ装置 M L に出カトリガ ( レーザ出力タイミング ) を送信してもよい。ターゲット 2 7 がある程度拡散したか否かは、プリパルスレーザ光 4 1 へ出力トリガを送信したタイミングから所定の遅延時間経過したか否かに基づいて判定されてもよい。

40

【 0 0 8 0 】

プリパルスレーザ光 4 1 は、ビームデリバリーシステム 3 4 B を経由してもよい。具体的には、プリパルスレーザ光 4 1 は、ビームデリバリーシステム 3 4 B の高反射ミラー 3 4 3 により高反射されてよく、ビームコンバイナ 3 4 1 B を透過してよく、高反射ミラー 3 4 2 により反射されてもよい。その後、プリパルスレーザ光 4 1 は、チャンバ 2 のウィンドウ 2 1 を透過してチャンバ 2 内に進入してもよい。

【 0 0 8 1 】

このプリパルスレーザ光 4 1 は、軸外放物面凹面ミラー 2 2 2 と高反射ミラー 2 2 3 とを備えたレーザ集光光学系 2 2 0 によって、プラズマ生成領域 2 5 に集光するプリパルス

50

レーザー光 4 3 に変換されてもよい。このプラズマ生成領域 2 5 には、プリパルスレーザー光 4 3 の通過タイミングに合わせるように、ターゲット 2 7 が供給されてもよい。

【 0 0 8 2 】

ターゲット 2 7 にプリパルスレーザー光 4 3 が照射されると、ターゲット 2 7 が飛散して拡散ターゲットが生成されてもよい。この拡散ターゲットにメインパルスレーザー光 3 が照射されることで、高効率にターゲット物質がプラズマ化されてもよい。それにより、E U V 光のエネルギー変換効率 C E が向上し得る。

【 0 0 8 3 】

メインパルスレーザー光 3 3 は、たとえばプリパルスレーザー光 4 3 と同一光路で拡散ターゲットに照射されてもよい。拡散ターゲットは微粒子等によって構成され得る。そのため、メインパルスレーザー光 3 3 の一部は、これら微粒子のいずれにも照射されずに拡散ターゲットを通過し得る。拡散ターゲットを通過したメインパルスレーザー光 3 3 は、軸外放物面ミラー 1 0 1 によって 4 5 度で反射されてもよい。この際、メインパルスレーザー光 3 3 は、平行光であるメインパルスレーザー光 2 5 3 にコリメートされてもよい。レーザー照射像検出器 1 0 0 は、この拡散ターゲットを通過したメインパルスレーザー光 2 5 3 の像を検出してよい。メインパルスレーザー光 3 3 が拡散ターゲットに照射された場合、メインパルスレーザー光 2 5 3 の像には拡散ターゲットの影が含まれ得る。メインパルスレーザー光 3 3 の光路は、ターゲット 2 7 に対する拡散ターゲットの発生位置、およびプリパルスレーザー光 4 3 の照射からメインパルスレーザー光 3 3 の照射までの時間に拡散ターゲットがドリフトする距離等を考慮して、プリパルスレーザー光 4 3 の光路からずれた光路に設定されてもよい。

【 0 0 8 4 】

E U V 光生成点コントローラ 5 1 は、レーザー集光点制御ドライバ 5 2 とターゲット供給ドライバ 5 4 とに制御信号を送信してもよい。これにより、露光装置コントローラ 6 1 から受信した E U V 光生成位置指定信号で指定された E U V 光生成位置でメインパルスレーザー光 3 3 が拡散ターゲットに照射されるように、ターゲット供給部 2 6 0 およびレーザー集光光学系 2 2 0 が制御されてもよい。

【 0 0 8 5 】

その他の構成および動作は、図 2 に示される E U V 光生成装置 1 A と同様であるため、ここでは詳細な説明を省略する。

【 0 0 8 6 】

5 . 3 作用

以上のように、拡散ターゲットを通過したメインパルスレーザー光 3 3 の像を検出することによって、拡散ターゲットに対するメインパルスレーザー光 3 3 の照射位置と、メインパルスレーザー光 3 3 の集光位置との両方を、直接的に検出することができてよい。

【 0 0 8 7 】

また、この検出結果に基づいて、プリパルスレーザー光 4 3 およびメインパルスレーザー光 3 3 の集光位置とターゲット 2 7 の通過位置とが制御可能であってもよい。それによれば、E U V 光の生成位置が高精度に制御され得る。

【 0 0 8 8 】

5 . 4 ターゲットにメインパルスレーザー光が照射された時の像

拡散ターゲットにメインパルスレーザー光を照射する場合の一例として、フラグメントにメインパルスレーザー光を照射する場合を説明する。図 1 5 に、ターゲット 2 7 にプリパルスレーザー光 4 3 を照射することで生成したフラグメント 3 7 2 とメインパルスレーザー光 3 3 との位置関係の一例を示す。また、図 1 6 に、レーザー照射像検出器 1 0 0 のイメージセンサ 1 0 4 で検出されたメインパルスレーザー光 2 5 3 の像を示す。図 1 5 において、破線 4 3 1 は、プリパルスレーザー光 4 3 のビーム断面における光強度分布を示す。破線 4 3 1 から分かるように、本例で使用するプリパルスレーザー光 4 3 は、ビーム断面の各位置における光強度が略等しい、いわゆるトップハット型の光強度分布を持ってよい。以下、このような光強度分布を持つプリパルスレーザー光を、トップハットプリパルスレーザー光 4 3

10

20

30

40

50

Tという。

【0089】

図15に示されるように、ターゲット27にトップハットプリパルスレーザ光43Tが照射されると、ターゲット27が飛散してもよい。この結果、トップハットプリパルスレーザ光43Tの照射側とは反対側に、ターゲット物質が飛散したフラグメント372が生成され得る。図16に示されるように、フラグメント372は略円盤状に形成されてもよい。トップハットプリパルスレーザ光43Tのようにビーム断面の光強度分布が略均一の場合、イメージセンサ104で検出された像においては、円盤状フラグメントの中心位置 $T(X_s, Y_s)$ は、ターゲット27の中心位置 $T(X_d, Y_d)$ と略一致し得る。この理由を図17~図19によって説明する。図17~図19では、光軸Abと平行かつ、ターゲット27の中心を通る中心線Adがトップハットプリパルスレーザ光43Tの光軸Abからずれた場合を例示する。また、トップハット型の光強度分布をもつトップハットプリパルスレーザ光43Tの光束内にターゲット27全体が位置しているとする。このとき、ターゲット27が光束内に位置するかぎり、ターゲット27表面においてレーザ光が照射される部位はほぼ同一の部位であり得る。つまり、ターゲット27表面における入熱範囲および入熱分布はほぼ一定となり得る。この入熱条件が一定であればフラグメント372の飛散方向はトップハットプリパルスレーザ光43Tの入射方向に対してほぼ平行となり得る。結果として、光軸Abと平行かつ、フラグメント372の中心を通る中心線は、中心線Adと略一致し得る。なお、図17は、ターゲット27がトップハットプリパルスレーザ光43Tの光軸Abに対して+X方向にXずれた場合を示す。図18は、トップハットプリパルスレーザ光43Tの光軸Abがターゲット27の中心を通る場合を示す。図19は、ターゲット27がトップハットプリパルスレーザ光43Tの光軸Abに対して-X方向にXずれた場合を示す。図17~図19に示されるように、レーザ光軸と同軸の方向から観測する場合、フラグメント中心位置 $T(X_s, Y_s)$ とターゲット中心位置 $T(X_d, Y_d)$ とは略一致して検出され得る。

10

20

【0090】

イメージセンサ104で検出された像を解析することで、目標とするEUV光生成位置 $E(X_t, Y_t)$ とメインパルスレーザ光33の中心位置 $L_m(X_b, Y_b)$ との座標差Bが求められてもよい。トップハットプリパルスレーザ光43T(およびメインパルスレーザ光33)の中心位置は、求められた結果に基づいて制御されてもよい。もしくは、目標とするEUV光生成位置 $E(X_t, Y_t)$ とフラグメント372の中心位置 $T(X_s, Y_s)$ との座標差Tを求めて、その結果に基づいてターゲット27の中心位置が制御されてもよい。

30

【0091】

一方、図20~図22に示の破線432に示されるように、プリパルスレーザ光43Gの強度分布がガウシアン形状である場合、発生したフラグメント372の中心位置 $T(X_s, Y_s)$ は、ターゲット27の中心位置 $T(X_d, Y_d)$ とプリパルスレーザ光43Gの中心位置 $L_p(X_b, Y_b)$ との関係によって変化する可能性がある。すなわち、フラグメント372は、プリパルスレーザ光43Gの中心位置 $L_p(X_b, Y_b)$ に対してターゲット27の中心位置 $T(X_d, Y_d)$ が変位している方向に発生し得る。この方向は、プリパルスレーザ光43Gのターゲット27への入射方向と平行ではない場合がある。なお、図20は、ターゲット27がプリパルスレーザ光43Gの光軸Abに対して+X方向にXずれた場合を示す。図21は、プリパルスレーザ光43Gの光軸Abがターゲット27の中心を通る場合を示す。図22は、ターゲット27がプリパルスレーザ光43Gの光軸Abに対して-X方向にXずれた場合を示す。プリパルスレーザ光43Gの強度分布がガウシアン形状である場合は、目標とするEUV光生成位置 $E(X_t, Y_t)$ とメインパルスレーザ光33の中心位置 $L_m(X_b, Y_b)$ との座標差Bに対して、上記変位分が考慮されるとよい。トップハットプリパルスレーザ光43T(およびメインパルスレーザ光33)の中心位置またはターゲット27の中心位置は、上記変位分が考慮された座標差に基づいて制御されるとよい。

40

50

## 【 0 0 9 2 】

## 5 . 5 制御フロー

つぎに、図 1 4 に示される E U V 光生成装置 1 B の動作を、図面を用いて詳細に説明する。E U V 光生成装置 1 B の動作は、図 5 ~ 図 1 3 に示される E U V 光生成装置 1 A の動作と略同様であってよい。ただし、図 6 に示されるパラメータ初期設定サブルーチン（図 5 のステップ S 1 0 1 ）は、図 2 3 に示されるパラメータ初期設定サブルーチンに置き換えられてもよい。また、図 8 に示される E U V 光生成サブルーチン（図 5 のステップ S 1 0 4 ）は、図 2 4 に示される E U V 光生成サブルーチンに置き換えられてもよい。

## 【 0 0 9 3 】

## 5 . 5 . 1 パラメータ初期設定サブルーチン

図 2 3 に示されるように、本例によるパラメータ初期設定サブルーチンでは、E U V 光生成制御システム 5 は、E U V 光生成位置の初期値  $E ( X t 0 , Y t 0 )$  を読み込んでよい（ステップ S 2 2 1 ）。この初期値  $E ( X t 0 , Y t 0 )$  は、たとえば不図示のメモリ等に記憶されていてもよい。

## 【 0 0 9 4 】

つぎに、E U V 光生成制御システム 5 は、ドロップレット生成器 2 6 に入力する出力信号の基準クロックからの遅延時間  $D d$  に初期値  $D d 0$  を設定してもよい（ステップ S 2 2 2 ）。この初期値  $D d 0$  は、たとえば不図示のメモリ等に記憶されていてもよい。また、E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲット 2 7 の所定位置通過タイミングに対するプリパルスレーザ光 4 1 の出力トリガの遅延時間  $L d p$  に初期値  $L d p 0$  を設定してもよい（ステップ S 2 2 3 ）。また、E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲット 2 7 の所定位置通過タイミングに対するメインパルスレーザ光 3 1 の出力トリガの遅延時間  $L d m$  に初期値  $L d m 0$  を設定してもよい（ステップ S 2 2 4 ）。この初期値  $L d p 0$  および  $L d m 0$  は、たとえば不図示のメモリ等に記憶されていてもよい。なお、遅延時間  $L d p$  とは、たとえばターゲットセンサ 4 からターゲット 2 7 の所定位置通過を検出した信号が出力されてから、E U V 光生成位置上でターゲット 2 7 にプリパルスレーザ光 4 3 を照射するまでに必要となる出力トリガの遅延時間であってよい。また、遅延時間  $L d m$  とは、プリパルスレーザ光 4 3 に対するメインパルスレーザ光 3 3 の照射タイミングの遅延時間であってよい。

## 【 0 0 9 5 】

つづいて、E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲット供給部 2 6 0 の 2 軸ステージ 2 6 1 やレーザ集光光学系 2 2 0 の 1 軸ステージ 2 2 1 a などの各種アクチュエータを駆動する際のパラメータとして、比例定数  $k$  を読み込んでよい（ステップ S 2 2 5 ）。この比例定数  $k$  は、たとえば不図示のメモリ等に記憶されていてもよいし、露光装置 6 などの外部装置から与えられてもよい。

## 【 0 0 9 6 】

その後、E U V 光生成制御システム 5 は、実際の E U V 光生成位置に対する許容範囲を読み込んでよい（ステップ S 2 2 6 ）。その後、E U V 光生成制御システム 5 は、図 5 に示される動作へリターンしてもよい。なお、許容範囲には、メインパルスレーザ光 3 3 およびプリパルスレーザ光 4 1 の光軸に対する許容範囲  $L t r$  と、ターゲット 2 7 の通過位置に対する許容範囲  $L b r$  とが含まれていてもよい。

## 【 0 0 9 7 】

## 5 . 5 . 2 E U V 光生成サブルーチン

また、図 2 4 に示されるように、本例による E U V 光生成サブルーチンでは、E U V 光生成制御システム 5 は、基準クロックを受信するまで待機してもよい（ステップ S 2 4 1 ; N O ）。基準クロックを受信すると（ステップ S 2 4 1 ; Y E S ）、E U V 光生成制御システム 5 は、不図示のタイマ  $T$  をリセットしてもよい（ステップ S 2 4 2 ）。

## 【 0 0 9 8 】

つぎに、E U V 光生成制御システム 5 は、タイマ  $T$  のカウント値  $T$  が遅延時間  $D d$  以上となるまで待機してもよい（ステップ S 2 4 3 ; N O ）。遅延時間  $D d$  以上となると（ス

10

20

30

40

50

テップ S 2 4 3 ; Y E S )、E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲット供給部 2 6 0 にターゲット 2 7 を出力させる出力信号を送信してもよい (ステップ S 2 4 4 )。

【 0 0 9 9 】

その後、E U V 光生成制御システム 5 は、ターゲットセンサ 4 からターゲット 2 7 が所定の位置を通過したことを示す通過信号を受信するまで待機してよい (ステップ S 2 4 5 ; N O )。通過信号を受信すると (ステップ S 2 4 5 ; Y E S )、E U V 光生成制御システム 5 は、タイマ T をリセットしてもよい (ステップ S 2 4 6 )。つづいて、E U V 光生成制御システム 5 は、タイマ T のカウント値 T がプリパルスレーザ光 4 1 の遅延時間 L d p 以上となるまで待機してよい (ステップ S 2 4 7 ; N O )。遅延時間 L d p 以上となると (ステップ S 2 4 7 ; Y E S )、E U V 光生成制御システム 5 は、プリパルスレーザ装置 P L に 1 パルス分の出力トリガを送信してもよい (ステップ S 2 4 8 )。

10

【 0 1 0 0 】

つぎに、E U V 光生成制御システム 5 は、タイマ T のカウント値 T がメインパルスレーザ光 3 1 の遅延時間 L d m 以上となるまで待機してよい (ステップ S 2 4 9 ; N O )。カウント値 T が遅延時間 L d m 以上となると (ステップ S 2 4 9 ; Y E S )、E U V 光生成制御システム 5 は、メインパルスレーザ装置 M L に 1 パルス分の出力トリガを送信してよい (ステップ S 2 5 0 )。その後、E U V 光生成制御システム 5 は、図 5 に示される動作ヘリターンしてもよい。これにより、ターゲット 2 7 の E U V 光生成位置通過タイミングに合わせて、プリパルスレーザ光 4 3 とメインパルスレーザ光 3 3 とが順次、適切なタイミングでプリパルスレーザ光 4 3 またはメインパルスレーザ光 3 3 を出力するように動作してもよい。

20

【 0 1 0 1 】

以上のように、E U V 光生成位置を通過したパルスレーザ光 2 5 3 の像検出結果に基づいて、プリパルスレーザ光 4 3 およびメインパルスレーザ光 3 3 の集光位置とターゲット 2 7 の通過位置とが制御されてもよい。それによれば、E U V 光の生成位置が高精度に制御され得る。

【 0 1 0 2 】

6 . ビームデリバリーシステムにレーザの集光点のアクチュエータを含む E U V 光生成装置

30

つぎに、メインパルスレーザ光 3 3 またはプリパルスレーザ光 4 3 の焦点位置を制御する Z 方向レーザ集光点調節器 3 4 5 がビームデリバリーシステム 3 4 C 内に設けられた場合の E U V 光生成装置 1 C を、図面を用いて詳細に説明する。図 2 5 は、ビームデリバリーシステム 3 4 C を備えた E U V 光生成装置 1 C の概略構成を示す模式図である。なお、図 2 または図 1 4 に示される E U V 光生成装置 1 A または 1 B と同様の構成については、同一の符号を付し、その重複する説明を省略する。

【 0 1 0 3 】

6 . 1 構成

図 2 5 に示される E U V 光生成装置 1 C は、図 1 4 に示される E U V 光生成装置 1 B と同様の構成を備えてもよい。ただし、E U V 光生成装置 1 C は、以下の点で、E U V 光生成装置 1 B と異なる構成を備えてもよい。

40

【 0 1 0 4 】

E U V 光生成装置 1 C では、ビームデリバリーシステム 3 4 B がビームデリバリーシステム 3 4 C に置き換えられていてもよい。また、E U V 光生成装置 1 C では、レーザ集光光学系 2 2 0 がレーザ集光光学系 2 2 0 C に置き換えられていてもよい。

【 0 1 0 5 】

ビームデリバリーシステム 3 4 C は、ビームデリバリーシステム 3 4 B と同様の構成を備えてもよい。ただし、ビームデリバリーシステム 3 4 C では、高反射ミラー 3 4 2 が 2 軸傾斜ステージ 3 4 2 a によって保持されていてもよい。なお、高反射ミラー 3 4 2 および 2 軸傾斜ステージ 3 4 2 a はチャンバ 2 内に配置されてもよい。

【 0 1 0 6 】

50

また、ビームデリバリーシステム 3 4 C では、高反射ミラー 3 4 3 とビームコンバイナ 3 4 1 B との間に、トップハット機構 3 4 4 が設けられていてもよい。トップハット機構 3 4 4 は、プリパルスレーザ装置 P L と高反射ミラー 3 4 3 との間に設けられていてもよい。なお、プリパルスレーザ装置 P L がビーム断面における強度分布がトップハット形状のプリパルスレーザ光 4 1 を出力する場合は、トップハット機構 3 4 4 が省略されてもよい。ビームデリバリーシステム 3 4 C では、ビームコンバイナ 3 4 1 B と高反射ミラー 3 4 2 との間に、Z 方向レーザ集光点調節器 3 4 5 が設けられていてもよい。

【 0 1 0 7 】

#### 6 . 2 動作

ビームデリバリーシステム 3 4 C の高反射ミラー 3 4 2 を保持する 2 軸傾斜ステージ 3 4 2 a は、レーザ集光点制御ドライバ 5 2 からの制御の下で駆動してもよい。これにより、2 軸傾斜ステージ 3 4 2 a は、図 1 4 のレーザ集光光学系 2 2 0 における高反射ミラー 2 2 3 および 2 軸傾斜ステージ 2 2 3 a と同様の機能を果たしてもよい。その場合、図 2 5 に示される例では、レーザ集光光学系 2 2 0 C がサブチャンバ 2 b または間仕切りプレート 2 0 1 に固定されていてもよい。

10

【 0 1 0 8 】

トップハット機構 3 4 4 は、プリパルスレーザ光 4 1 のビーム断面における強度分布をトップハット形状に変換してもよい。Z 方向レーザ集光点調節器 3 4 5 は、メインパルスレーザ光 3 1 およびプリパルスレーザ光 4 1 のダイバージェンスを調節することで、メインパルスレーザ光 3 3 およびプリパルスレーザ光 4 3 の集光点を Z 方向に移動させることが可能であってよい。

20

【 0 1 0 9 】

レーザ集光光学系 2 2 0 C は、軸外放物面凸面ミラー 2 2 4 と、軸外放物面凹面ミラー 2 2 5 とを含んでもよい。軸外放物面凸面ミラー 2 2 4 は、ウィンドウ 2 1 を介して入射したプリパルスレーザ光 4 1 およびメインパルスレーザ光 3 1 をビーム拡大してもよい。軸外放物面凹面ミラー 2 2 5 は、軸外放物面凸面ミラー 2 2 4 によってビーム拡大されたプリパルスレーザ光 4 1 およびメインパルスレーザ光 3 1 を、それぞれプリパルスレーザ光 4 3 およびメインパルスレーザ光 3 3 として E U V 光生成位置に集光してもよい。軸外放物面凸面ミラー 2 2 4 および軸外放物面凹面ミラー 2 2 5 は、それぞれおよそ 4 5 ° 入射となるように、ベースプレート 2 2 1 に固定されてもよい。このベースプレート 2 2 1 は、サブチャンバ 2 b または間仕切りプレート 2 0 1 に固定されてもよい。

30

【 0 1 1 0 】

#### 6 . 3 作用

図 2 5 に示される E U V 光生成装置 1 C では、メインパルスレーザ光 3 3 がフラグメント 3 7 2 を通過した後の像を検出することによって、フラグメント 3 7 2 に対するメインパルスレーザ光 3 3 の照射位置と、メインパルスレーザ光 3 3 の集光位置との両方が直接的に検出されてもよい。

【 0 1 1 1 】

また、この検出結果に基づいて、メインパルスレーザ光 3 3 の集光位置とターゲット 2 7 の通過位置と制御可能であってよい。それによれば、E U V 光の生成位置が高精度に制御され得る。

40

【 0 1 1 2 】

さらに、メインパルスレーザ光 3 3 およびプリパルスレーザ光 4 3 の集光点を制御する機構 ( 2 軸傾斜ステージ 3 4 2 a および Z 方向レーザ集光点調節器 3 4 5 ) がビームデリバリーシステム 3 4 C 内に設置されてもよい。これによれば、チャンバ 2 内に配置するレーザ集光光学系 2 2 0 C の構成が簡略化され得る。なお、2 軸傾斜ステージ 3 4 2 a がチャンバ 2 内に配置された場合であっても、チャンバ 2 内に 1 軸ステージ 2 2 1 a が設置されなくともよい。この場合、レーザ集光光学系 2 2 0 C が簡単で機械的に安定な構成となり得る。

【 0 1 1 3 】

50

## 7. 補足説明

### 7.1 2軸傾斜ステージ

ここで、上述した2軸傾斜ステージ223aおよび342aの一例を、図面を参照して説明する。図26は、2軸傾斜ステージ223a/342aの一例を示す斜視図である。図26に示されるように、2軸傾斜ステージ223a/342aは、高反射ミラー223/342が固定されるホルダ2231およびたとえば2つの自動マイクロメータ2233、2234を備えてもよい。ホルダ2231が自動マイクロメータ2233、2234を介して取り付けられることで、ホルダ2231に固定された高反射ミラー223/342のX軸方向のアオリ角度  $x$  およびY軸方向のアオリ角度  $y$  の調節が可能となり得る。なお、高反射ミラー223/342の反射面中心における垂線がZ軸と定義された場合、アオリ角度  $x$  はX軸を中心に回転するピッチ角度、アオリ角度  $y$  はY軸を中心に回転するヨー角度であってよい。このような2軸傾斜ステージを備えたホルダ2231には市販品を用いることができる。このような市販品には、たとえばNEWPORT社製AG-M100NV6などがある。

10

【0114】

### 7.2 集光位置調節機構

つぎに、上述したZ方向レーザ集光点調節器345の一例が、図27を参照して説明される。図27に示されるように、Z方向レーザ集光点調節器345は、高反射ミラー3451および3453ならびに軸外放物面凹面ミラー3454および3455を含んでもよい。高反射ミラー3453および軸外放物面凹面ミラー3454は、たとえば高反射ミラー3451および軸外放物面凹面ミラー3455に対して移動可能なステージ3452に固定されていてもよい。このステージ3452が移動することで、軸外放物面凹面ミラー3454と軸外放物面凹面ミラー3455との距離が調節されてもよい。その場合、入射したパルスレーザ光31の波面が目的の波面に調節され得る。その結果、メインパルスレーザ光31およびプリパルスレーザ光41のダイバージェンスを調節することが可能となり得る。

20

【0115】

### 7.3 集光位置調節機構の変形例

また、Z方向レーザ集光点調節器345は、図28～図30に示されるようにも変形することができる。図28～図30は、変形例によるZ方向レーザ集光点調節器345の一例を示す。図28～図30に示されるように、Z方向レーザ集光点調節器345Aは、たとえば反射面の曲率を変更することが可能なデフォーダブルミラー3456を用いて構成されてもよい。デフォーダブルミラー3456は、たとえば反射面が平面である場合、図28に示されるように、平行光で入射するパルスレーザ光31をそのまま平行光として反射してもよい。また、たとえば反射面が凹面となるように曲率が調整されていた場合、図29に示されるように、デフォーダブルミラー3456は、平行光で入射するパルスレーザ光31を焦点距離が+F離れた焦点F12に集光されるように反射してもよい。一方、たとえば反射面が凸面となるように曲率が調整されていた場合、図30に示されるように、デフォーダブルミラー3456は、平行光で入射するパルスレーザ光31を、ビーム断面積が拡大されたパルスレーザ光として反射してもよい。このビーム断面積が拡大されたパルスレーザ光は、焦点距離-F離れた位置に焦点F13を持っていてもよい。このように、反射面の曲率を変更可能なデフォーダブルミラー3456を用いることで、入射光に対する反射光の波面を所定の波面に調節することが可能であってよい。その結果、メインパルスレーザ光31およびプリパルスレーザ光41のダイバージェンスを調節することが可能であってよい。

30

40

【0116】

### 7.4 トップハット機構

つぎに、上述したトップハット機構344について、図面を参照して詳細に説明する。図31は、トップハット機構344の一例であるトップハット機構344Aの構成を模式的に示す。図31に示されるように、トップハット機構344Aは、高精度回折光学素子

50

(Diffractive Optical Element: DOE) 344aを含んでもよい。DOE 344aは、プリパルスレーザー光41が入射する面または出射する面に高精度の回折格子を備えてもよい。DOE 344aから出射したプリパルスレーザー光41は、3次元回折されてもよい。この結果、プリパルスレーザー光41の回折光が合成されてもよい。合成された回折光は、その光強度分布がトップハット形状のトップハットプリパルスレーザー光41Tであってもよい。出力されたトップハットプリパルスレーザー光41Tは、レーザ集光光学系220を介することで、トップハットプリパルスレーザー光43Tとなつてよい。トップハットプリパルスレーザー光43Tは、ターゲット27への照射位置においてその光強度分布がほぼ均一となるように、チャンバ2内のEUV光生成位置に集光してもよい。なお、図31には、透過型のDOEを例示したが、これに限らず、反射型のDOEが用いられてもよい。

10

#### 【0117】

##### 7.5 トップハット機構の変形例1

また、図32は、変形例1によるトップハット機構344Bの構成を模式的に示す。図32に示されるように、トップハット機構344Bは、位相光学素子344bを用いて構成されてもよい。位相光学素子344bは、プリパルスレーザー光41が入射する面または出射する面が波打った形状を有してよい。このため、位相光学素子344bを通過したプリパルスレーザー光41は、通過する位置に応じた位相シフトを受けていてもよい。部分的に異なる位相シフトを受けたプリパルスレーザー光41は、その光強度分布がトップハット形状のトップハットプリパルスレーザー光41Tであってもよい。その後、トップハットプリパルスレーザー光41Tは、レーザ集光光学系220によってトップハットプリパルスレーザー光43Tとなつてよい。なお、図32には、透過型の位相光学素子を例示したが、これに限らず、反射型の位相光学素子を用いてもよい。

20

#### 【0118】

##### 7.6 トップハット機構の変形例2

図33は、変形例2によるトップハット機構344Cの構成を模式的に示す。図33に示されるように、トップハット機構344Cは、マスク344cと、コリメートレンズ344dとを備えてもよい。マスク344cは、プリパルスレーザー光41における光強度分布が比較的平坦な部分のみを通過させてもよい。コリメートレンズ344dは、マスク344cを通過後に広がったプリパルスレーザー光41をコリメートしてもよい。このようなトップハット機構344Cによれば、マスク344cの像がコリメートレンズ344dとレーザ集光光学系220とによって、EUV光生成位置に結像され得る。

30

#### 【0119】

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。

#### 【0120】

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

40

#### 【符号の説明】

#### 【0121】

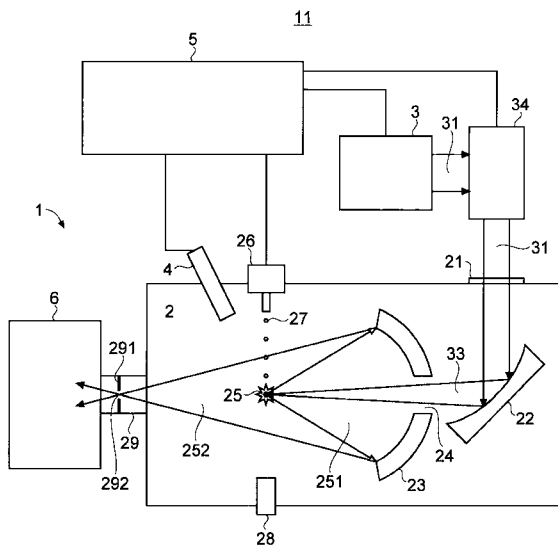
- 1、1A、1B、1C EUV光生成装置
- 2 チャンバ
- 2a メインチャンバ
- 2b サブチャンバ
- 3、3B レーザシステム

50

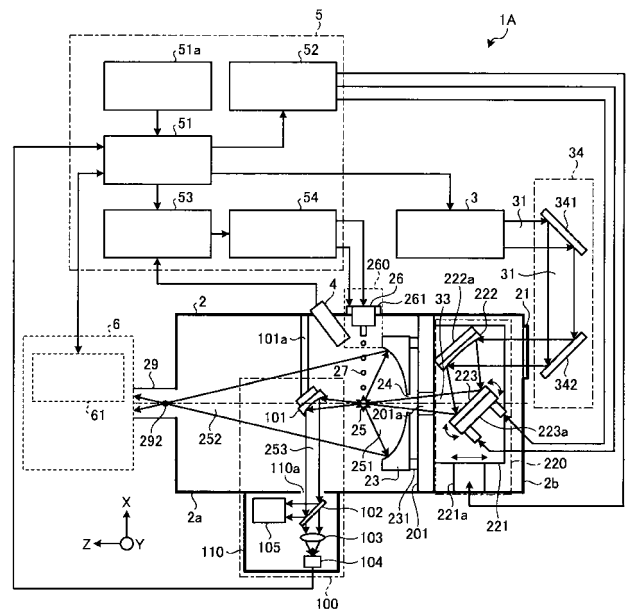
4	ターゲットセンサ	
5	EUV光生成制御システム	
6	露光装置	
2 1	ウィンドウ	
2 2	レーザ光集光ミラー	
2 3	EUV集光ミラー	
2 4、2 0 1 a	貫通孔	
2 5	プラズマ生成領域	
2 6	ドロップレット生成器	
2 7	ターゲット	10
2 8	ターゲット回収器	
2 9	接続部	
2 9 1	壁	
2 9 2	中間焦点 ( I F )	
3 1、3 3	パルスレーザ光 (メインパルスレーザ光)	
3 4、3 4 B、3 4 C	レーザ光進行方向制御アクチュエータ部 (ビームデリバリーシステム)	
4 1、4 3、4 3 G	プリパルスレーザ光	
4 1 T、4 3 T	トップハットプリパルスレーザ光	
5 1 a	基準クロック生成器	20
5 1	EUV光生成点コントローラ	
5 2	レーザ集光点制御ドライバ	
5 3	ターゲットコントローラ	
5 4	ターゲット供給ドライバ	
1 0 0	レーザ照射像検出器	
1 0 1	軸外放物面ミラー	
1 0 1 a	支柱	
1 0 2、3 4 1 B	ビームスプリッタ	
1 0 3	結像レンズ	
1 0 4	イメージセンサ	30
1 0 5	ダンパ	
1 1 0	検出器チャンバ	
1 1 0 a	連結穴	
2 0 1	間仕切りプレート	
2 2 0、2 2 0 C	レーザ集光光学系	
2 2 1	ベースプレート	
2 2 1 a	1軸ステージ	
2 2 2、2 2 5	軸外放物面凹面ミラー	
2 2 2 a	ミラーホルダ	
2 2 3、3 4 1、3 4 2、3 4 3	高反射ミラー	40
2 2 3 a、3 4 2 a	2軸傾斜ステージ	
2 2 4	軸外放物面凸面ミラー	
2 6 0	ターゲット供給部	
2 6 1	2軸ステージ	
2 7 1	プリプラズマ	
2 7 2、3 7 2	フラグメント	
3 4 4	トップハット機構	
3 4 5	Z方向レーザ集光点調節器	
A b	光軸	
A d	中心線	50

G 2 7、G 3 3、G 3 7 2 像  
M L メインパルスレーザ装置  
P L プリパルスレーザ装置

【 図 1 】

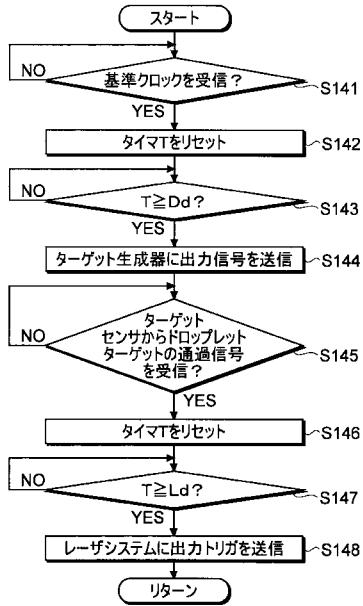


【 図 2 】

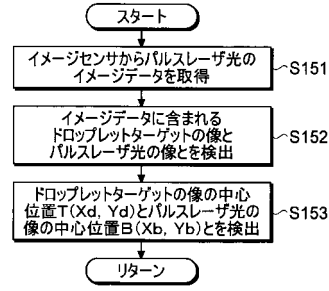




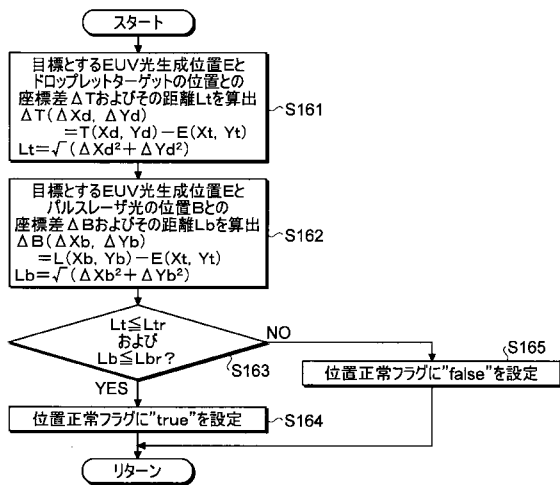
【 図 8 】



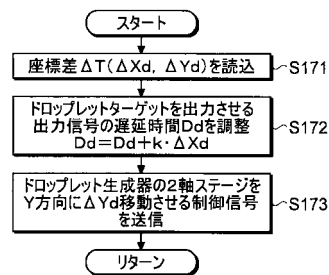
【 図 9 】



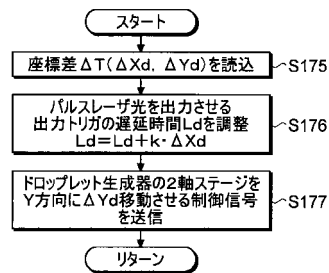
【 図 10 】



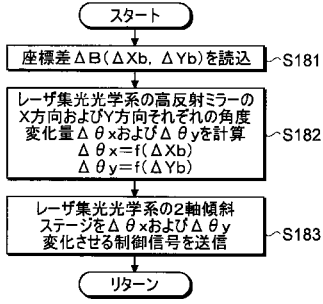
【 図 11 】



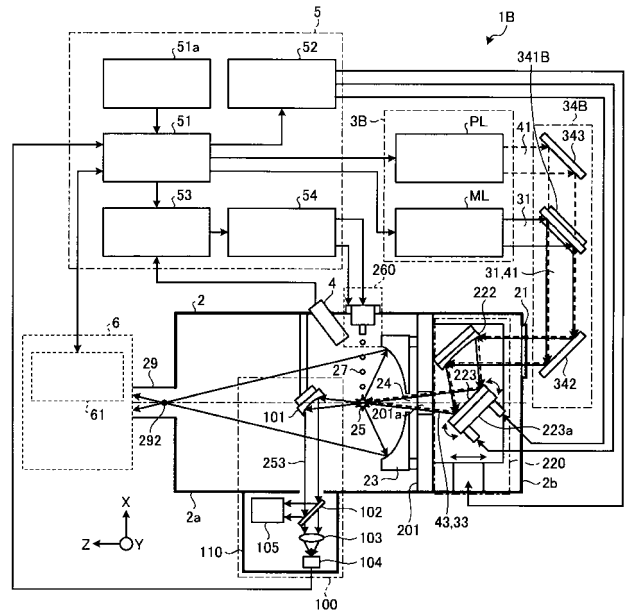
【 図 12 】



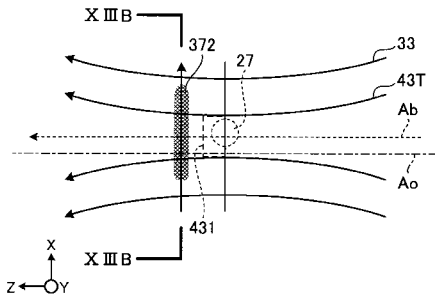
【 図 1 3 】



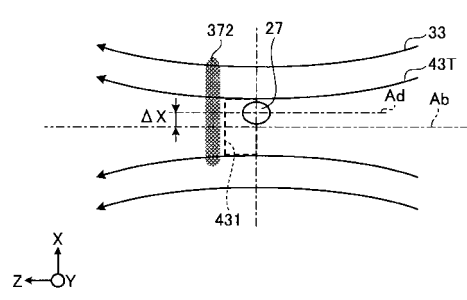
【 図 1 4 】



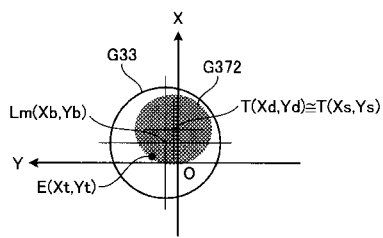
【 図 1 5 】



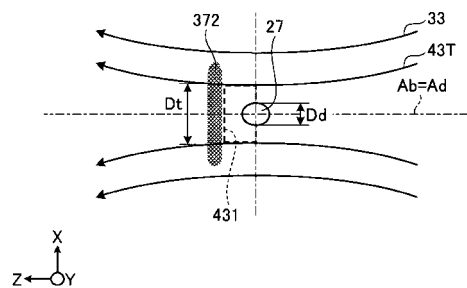
【 図 1 7 】



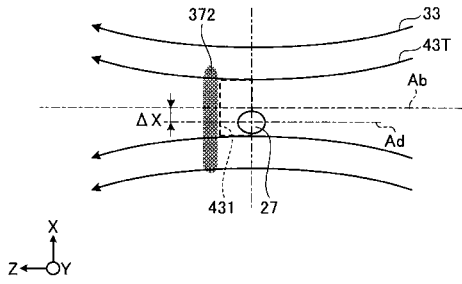
【 図 1 6 】



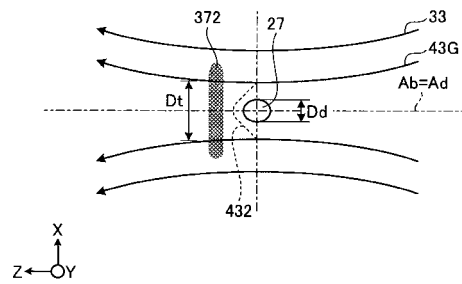
【 図 1 8 】



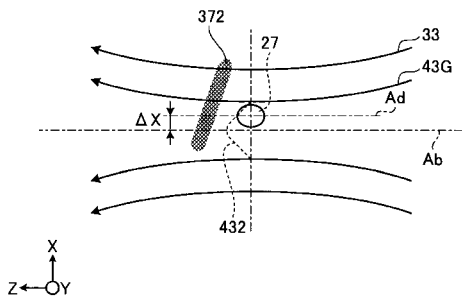
【図19】



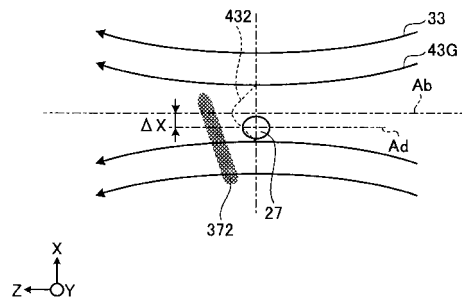
【図21】



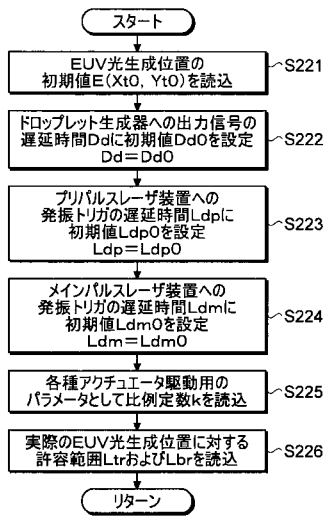
【図20】



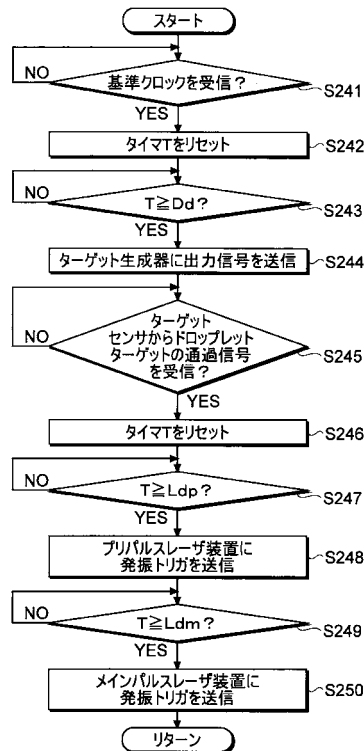
【図22】



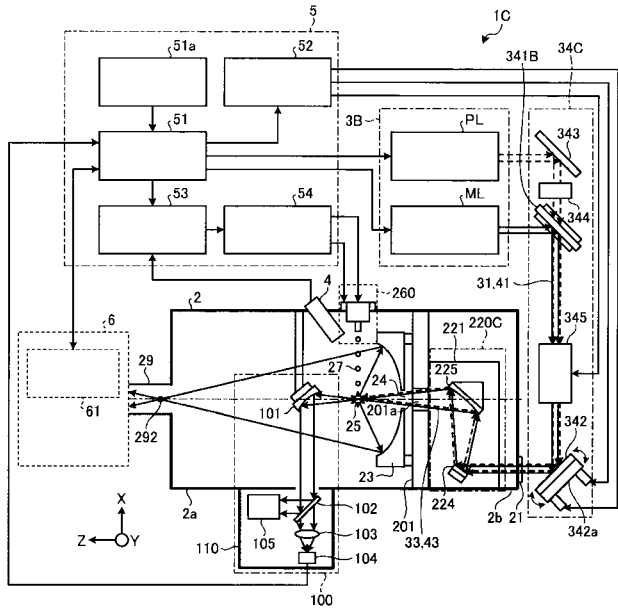
【図23】



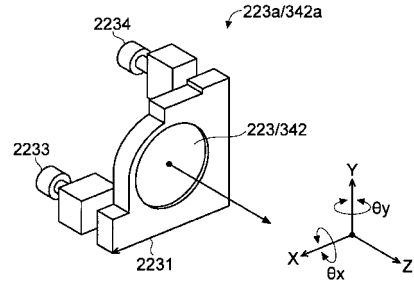
【図24】



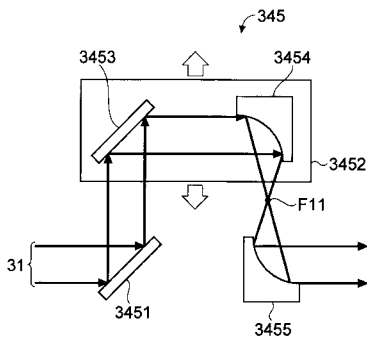
【 図 2 5 】



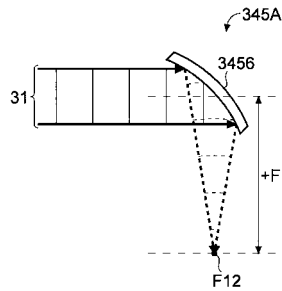
【 図 2 6 】



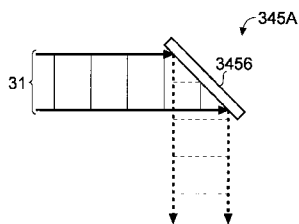
【 図 2 7 】



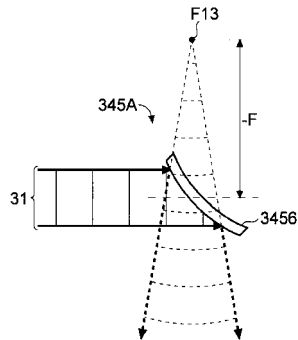
【 図 2 9 】



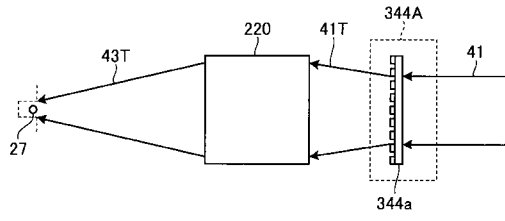
【 図 2 8 】



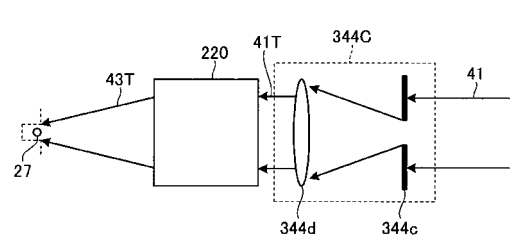
【 図 3 0 】



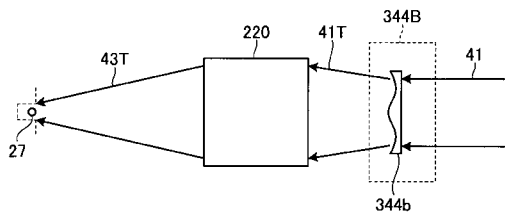
【 図 3 1 】



【 図 3 3 】



【 図 3 2 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4C092 AA06 AA15 AB12 AC09 BD05 BD19  
5F146 GA21 GC12