

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6283684号
(P6283684)

(45) 発行日 平成30年2月21日(2018.2.21)

(24) 登録日 平成30年2月2日(2018.2.2)

(51) Int.Cl. F I
H05G 2/00 (2006.01) H05G 2/00 K

請求項の数 9 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2015-546197 (P2015-546197)	(73) 特許権者	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
(86) (22) 出願日	平成25年11月7日(2013.11.7)	(74) 代理人	110001678 特許業務法人藤央特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/080076	(72) 発明者	堀 司 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
(87) 国際公開番号	W02015/068230	(72) 発明者	岩本 文男 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
(87) 国際公開日	平成27年5月14日(2015.5.14)	(72) 発明者	梅田 博 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
審査請求日	平成28年10月5日(2016.10.5)		

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装置の制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

連続するドロップレットを結合してターゲットドロップレットを生成し、前記ターゲットドロップレットにプラズマ生成領域においてパルスレーザー光を照射して、極端紫外光を生成する、極端紫外光生成装置であって、

ドロップレット材料を収容し、ドロップレットを順次供給するドロップレット供給部と、

前記ドロップレット供給部と前記プラズマ生成領域との間に配置され、前記ドロップレット供給部から供給されたドロップレットの帯電を制御する帯電電極と、

連続するドロップレットが結合してターゲットドロップレットを形成するように、前記帯電電極の電位を制御して、前記ドロップレット供給部から供給される各ドロップレットの電気極性を制御する、ターゲット制御部と、を含み、

前記帯電電極により帯電が制御されたドロップレットは、それぞれ、連続したドロップレットからなる複数のグループを含み、

前記複数のグループのそれぞれにおいて、

一端のドロップレットは、正帯電又は負帯電であり、

他端のドロップレットは、無帯電又は前記他端のドロップレットに隣接するグループ内の隣接ドロップレットと同一の極性に帯電しており、

前記連続したドロップレットが前記一端のドロップレットのクーロン力による速度変化を利用して結合し、ターゲットドロップレットを形成する、極端紫外光生成装置。

10

20

【請求項 2】

請求項 1 に記載の極端紫外光生成装置であって、
前記複数のグループのそれぞれにおいて、前記一端のドロップレットのみが帯電し、他のドロップレットは無帯電である、極端紫外光生成装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の極端紫外光生成装置であって、
前記他端のドロップレットは、前記一端のドロップレットの極性と反対の極性に帯電している、極端紫外光生成装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の極端紫外光生成装置であって、
前記複数のグループのそれぞれは、正帯電のドロップレット、負帯電のドロップレット及び無帯電のドロップレットを含み、グループとして無帯電である、極端紫外光生成装置。

10

【請求項 5】

請求項 1 に記載の極端紫外光生成装置であって、
前記帯電電極と前記プラズマ生成領域との間に、帯電したドロップレットの速度を変化させる速度制御電極をさらに含む、極端紫外光生成装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の極端紫外光生成装置であって、
前記速度制御電極の電位の絶対値は、前記帯電電極の電位の絶対値よりも大きい、極端紫外光生成装置。

20

【請求項 7】

請求項 1 に記載の極端紫外光生成装置であって、
前記ドロップレット材料を前記ドロップレット供給部から吐出するために前記ドロップレット供給部の内部圧力を調節する、圧力調節部をさらに含む、
前記ターゲット制御部は、前記ドロップレット供給部がドロップレットの吐出を開始してから第 1 期間及び前記ドロップレット供給部がドロップレットの吐出を停止するまでの第 2 期間の少なくとも一方の期間において、前記帯電電極を所定電位に維持して前記ドロップレット供給部から連続して吐出されるドロップレットを帯電させる、極端紫外光生成装置。

30

【請求項 8】

プラズマ生成領域においてターゲットドロップレットにパルスレーザー光を照射して、極端紫外光を生成する、極端紫外光生成装置であって、

ドロップレット材料を収容し、ドロップレットを順次供給するドロップレット供給部と、

前記ドロップレット供給部と前記プラズマ生成領域との間に配置され、前記ドロップレット供給部から供給されたドロップレットの帯電を制御する帯電電極と、

回収電位を与えられ、前記帯電電極により帯電されたドロップレットの動きをクーロン力により制御する回収電極と、

前記回収電極及び前記帯電電極の電位を制御するターゲット制御部と、
前記回収電極により動きが制御されたドロップレットを、前記プラズマ生成領域に達する前に回収する回収タンクと、を含み、

40

前記ターゲット制御部は、
前記ドロップレット供給部がドロップレットの吐出を開始してから第 1 期間及び前記ドロップレット供給部がドロップレットの吐出を停止するまでの第 2 期間の少なくとも一つの期間において、前記回収電極における前記回収電位を維持し、

前記少なくとも一つの期間の終了後、前記回収電極は電位の絶対値を減じて、前記回収タンクによるドロップレットの回収を停止する、極端紫外光生成装置。

【請求項 9】

ターゲットドロップレットにプラズマ生成領域においてパルスレーザー光を照射して、極

50

端紫外光を生成する、極端紫外光生成装置において、連続するドロップレットを結合して前記ターゲットドロップレットを生成する、極端紫外光生成装置の制御方法であって、

前記極端紫外光生成装置は、

ドロップレット材料を収容し、ドロップレットを順次供給するドロップレット供給部と

前記ドロップレット供給部と前記プラズマ生成領域との間に配置され、前記ドロップレット供給部から供給されたドロップレットの帯電を制御する帯電電極と、を含み、

前記制御方法は、

前記ドロップレット供給部から吐出された連続するドロップレットからなる第1グループにおける、最後のドロップレットを、前記帯電電極によって第1極性に帯電させる第1ステップと、

前記最後のドロップレットの次のドロップレットを含み、連続するドロップレットからなる第2グループにおける最初のドロップレットを、無帯電又は前記帯電電極によって前記第1極性に帯電させる第2ステップと、

前記第2グループにおける最後のドロップレットを、前記帯電電極によって前記第1極性と反対の第2の極性に帯電させる第3ステップと、

前記第1ステップから前記第3ステップを繰り返すステップと、を含む制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、極端紫外光生成装置及び極端紫外光生成装置の制御方法に関する。

【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、70nm～45nmの微細加工、さらには32nm以下の微細加工が要求されるようになる。このため、例えば32nm以下の微細加工の要求に応えるべく、波長13nm程度の極端紫外(EUV)光を生成するための装置と縮小投影反射光学系(reduced projection reflective optics)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、ターゲット材料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を用いたLPP(Laser Produced Plasma)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。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許第7405413号

【特許文献2】米国特許第7838845号

【特許文献3】米国特許第8158960号

【特許文献4】国際公開第2013/029902号

【特許文献5】特許第5156192号

【特許文献6】国際公開第2010/137625号

【特許文献7】米国特許第7608846号

【概要】

【0005】

本開示の一例は、連続するドロップレットを結合してターゲットドロップレットを生成し、前記ターゲットドロップレットにプラズマ生成領域においてパルスレーザ光を照射し

10

20

30

40

50

て、極端紫外光を生成する、極端紫外光生成装置であって、ドロップレット材料を収容し、ドロップレットを順次供給するドロップレット供給部と、前記ドロップレット供給部と前記プラズマ生成領域との間に配置され、前記ドロップレット供給部から供給されたドロップレットの帯電を制御する帯電電極と、連続するドロップレットが結合してターゲットドロップレットを形成するように、前記帯電電極の電位を制御して、前記ドロップレット供給部から供給される各ドロップレットの電気極性を制御する、ターゲット制御部と、を含み、前記帯電電極により帯電が制御されたドロップレットは、それぞれ、連続したドロップレットからなる複数のグループを含み、前記複数のグループのそれぞれにおいて、一端のドロップレットは、正帯電又は負帯電であり、他端のドロップレットは、無帯電又は前記他端のドロップレットに隣接するグループ内の隣接ドロップレットと同一の極性に帯電しており、前記連続したドロップレットが前記一端のドロップレットのクーロン力による速度変化を利用して結合し、ターゲットドロップレットを形成してもよい。

10

【0006】

本開示の他の一例は、プラズマ生成領域においてターゲットドロップレットにパルスレーザー光を照射して、極端紫外光を生成する、極端紫外光生成装置であって、ドロップレット材料を収容し、ドロップレットを順次供給するドロップレット供給部と、前記ドロップレット供給部と前記プラズマ生成領域との間に配置され、前記ドロップレット供給部から供給されたドロップレットの帯電を制御する帯電電極と、回収電位を与えられ、前記帯電電極により帯電されたドロップレットの動きをクーロン力により制御する回収電極と、前記回収電極及び前記帯電電極の電位を制御するターゲット制御部と、前記回収電極により動きが制御されたドロップレットを、前記プラズマ領域に達する前に回収する回収タンクと、を含んでもよい。

20

【0007】

本開示の他の一例は、ターゲットドロップレットにプラズマ生成領域においてパルスレーザー光を照射して、極端紫外光を生成する極端紫外光生成装置において、連続するドロップレットを結合して前記ターゲットドロップレットを生成する極端紫外光生成装置の制御方法であって、前記極端紫外光生成装置は、ドロップレット材料を収容し、ドロップレットを順次供給するドロップレット供給部と、前記ドロップレット供給部と前記プラズマ生成領域との間に配置され、前記ドロップレット供給部から供給されたドロップレットの帯電を制御する帯電電極と、を含んでよく、前記制御方法は、前記ドロップレット供給部から吐出された連続するドロップレットからなる第1グループにおける、最後のドロップレットを、前記帯電電極によって第1極性に帯電させる第1ステップと、前記最後のドロップレットの次のドロップレットを含み、連続するドロップレットからなる第2グループにおける最初のドロップレットを、無帯電又は前記帯電電極によって前記第1極性に帯電させる第2ステップと、前記第2グループにおける最後のドロップレットを、前記帯電電極によって前記第1極性と反対の第2の極性に帯電させる第3ステップと、前記第1ステップから前記第3ステップを繰り返すステップと、を含んでもよい。

30

【0008】

本開示の他の一例は、プラズマ生成領域においてターゲットドロップレットにパルスレーザー光を照射して、極端紫外光を生成する極端紫外光生成装置の制御方法であって、帯電電極に所定電位を与えて、ドロップレット材料を収容するドロップレット供給部から連続して吐出されたドロップレットを帯電させ、回収電極に回収電位を与えて、前記帯電されたドロップレットの動きをクーロン力により制御し、前記回収電極により動きが制御されたドロップレットを、前記プラズマ領域に達する前に回収タンクに回収してもよい。

40

【図面の簡単な説明】**【0009】**

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

【図1】図1は、例示的なLPP方式のEUV光生成システムの構成を概略的に示す。

【図2】図2は、比較例としてのターゲット生成部を含むEUV光生成システムの一部構

50

成を模式的に示す。

【図 3 A】図 3 A は、ターゲット生成部の比較例における課題を示す。

【図 3 B】図 3 B は、ターゲット生成部の比較例における他の課題を示す。

【図 4】図 4 は、本実施形態のターゲット生成部の構成例を模式的に示す。

【図 5】図 5 は、本実施形態のターゲット生成部の他の構成例を模式的に示す。

【図 6】図 6 は、ターゲット生成部が定常運転状態にあるときの、ピエゾ電圧、帯電電極電位及び結合前のドロップレットの帯電状態の関係例を示す。

【図 7】図 7 は、ターゲット生成部が定常運転状態にあるときの、ピエゾ電圧、帯電電極電位及び結合前のドロップレットの帯電状態の、他の関係例を示す。

【図 8 A】図 8 A は、ノズルからのターゲット材料の吐出開始期間と、定常吐出期間と、吐出停止期間における、タンク内の液体ターゲット材料に印加される圧力パターンと、帯電電極電位のパターンとを示す。

10

【図 8 B】図 8 B は、吐出開始期間、吐出定常期間及び吐出停止期間のそれぞれにおける、ドロップレットの吐出状態を模式的に示す。

【図 9】図 9 は、ターゲット制御部によるタンク内圧力及び帯電電極電位の制御方法のフローチャート例を示す。

【図 10】図 10 は、加速電極を含むターゲット生成部の構成例を示す。

【図 11】図 11 は、ターゲット生成部が定常運転状態にあるときの、ピエゾ電圧、帯電電極電位、加速電極電位及び結合前のドロップレットの帯電状態の関係例を示す。

【図 12】図 12 は、中和器を含むターゲット生成部の構成例を模式的に示す。

20

【図 13】図 13 は、ターゲット生成部が定常運転状態にあるときの、ピエゾ電圧、帯電電極電位、加速電極電位及び結合前のドロップレットの帯電状態の関係例を示す。

【図 14】図 14 は、ドロップレット回収電極を含むターゲット生成部の構成例を模式的に示す。

【図 15 A】図 15 A は、ノズルからのターゲット材料の吐出開始期間、定常吐出期間及び吐出停止期間における、タンク内の液体ターゲット材料に印加される圧力パターン、帯電電極の電位パターン及び回収電極の電位パターンを示す。

【図 15 B】図 15 B は、吐出開始期間、吐出定常期間及び吐出停止期間のそれぞれにおける、ドロップレットの吐出状態を模式的に示す。

【図 16 A】図 16 A は、ドロップレット回収電極を含むターゲット生成部の他の構成例を模式的に示す。

30

【図 16 B】図 16 B は、図 16 A の X V I B 切断線における断面を模式的に示す。

【図 17】図 17 は、ドロップレット回収タンクを含むターゲット生成部の他の構成例を模式的に示す。

【実施形態】

【0010】

< 内容 >

1. 概要

2. 用語の説明

3. E U V 光生成システムの全体説明

40

3.1 構成

3.2 動作

4. ターゲット生成部の比較例

4.1 構成

4.2 動作

4.3 課題

5. 帯電電極を含むターゲット生成部

5.1 構成

5.2 動作

5.3 作用

50

- 5.4 定常状態の動作パターン
- 5.5 吐出開始期間及び吐出停止期間における動作パターン
- 5.6 加速電極を含むターゲット生成部
- 5.7 中和器を含むターゲット生成部
- 6. 帯電ドロップレットの回収電極を含むターゲット生成部
 - 6.1 構成例1
 - 6.2 構成例2

【0011】

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。

10

【0012】

1. 概要

LPP方式EUV光生成システムは、レーザ装置から出力されたレーザ光をターゲットドロップレットに照射することによってプラズマ化し、EUV光を生成し得る。露光装置用のLPP方式EUV光生成システムは、50~100kHz以上の高い繰り返し周波数でレーザ光パルスを生成し、ターゲットドロップレットに照射し得る。

【0013】

LPP方式EUV光生成システムは、所望の直径と間隔でターゲットドロップレットを生成することが重要であり得る。具体的には、高変換効率化し、かつ、パルスレーザ光の照射によるデブリの生成を抑制するために、ターゲットドロップレットの直径を所望の値、例えば、約10 μm ~30 μm にすることが重要であり得る。さらに、プラズマ生成時に、次のターゲットドロップレットが影響を受けるのを抑制するために、ターゲットドロップレットの間隔は、例えば、約500 μm ~1000 μm であることが重要であり得る。

20

【0014】

また、ドロップレットが重力方向に対して傾いてドロップレット供給部から吐出される場合に、ドロップレット供給部からのドロップレット吐出開始時と吐出停止時とに、ドロップレットの移動方向が安定せず、ドロップレットがEUV集光ミラー表面等に落下することがあり得る。

30

【0015】

本開示の1つの観点では、ドロップレット供給部から供給される連続するドロップレットが結合してターゲットドロップレットを形成するように、帯電電極の電位を制御して、各ドロップレットの電気極性を制御してもよい。連続したドロップレットからなる複数のグループのそれぞれにおいて、一端のドロップレットは、正帯電又は負帯電であり、他端のドロップレットは、無帯電又は前記他端のドロップレットに隣接するグループ内の隣接ドロップレットと同一の極性に帯電しており、前記連続したドロップレットが前記一端のドロップレットのクーロン力による速度変化を利用して結合し、ターゲットドロップレットを形成してもよい。

40

【0016】

本開示の1つの観点によれば、ドロップレット供給部から吐出されたドロップレットを帯電電極によって適切に帯電させることによって、連続する複数ドロップレットを結合させてターゲットドロップレットを生成し、プラズマ生成領域に、所望の径及び間隔でターゲットドロップレットを供給し得る。

【0017】

本開示の他の観点では、ドロップレット供給部から供給されたドロップレットの帯電を制御する帯電電極と、回収電位を与えられ、前記帯電電極により帯電されたドロップレットの動きをクーロン力により制御する回収電極と、前記回収電極及び前記帯電電極の電位

50

を制御するターゲット制御部と、前記回収電極により動きが制御されたドロップレットを、プラズマ領域に達する前に回収する回収タンクと、を含んでもよい。

【0018】

本開示の他の観点によれば、吐出方向が不安定なドロップレットを帯電させてクーロン力で回収し、ドロップレットが望ましくない部位に付着するのを抑制し得る。

【0019】

2. 用語の説明

本開示において使用される用語を以下に説明する。「ターゲット」は、パルスレーザー光が照射されることでプラズマ化し、EUV光を生成するためのドロップレットを意味し得る。「ターゲット」は、「ターゲットドロップレット」とも呼ばれ得る。「ターゲットドロップレット」はドロップレット供給部から吐出され他のドロップレットと結合しない一つのドロップレット、又は、複数のドロップレットが結合して生成されたドロップレットであり得る。「ターゲットドロップレット」は、ドロップレットの一つであり得る。

【0020】

「プラズマ生成領域」は、EUV光を生成するためのプラズマの生成が開始される領域を意味し得る。プラズマ生成領域においてプラズマの生成が開始されるためには、プラズマ生成領域にターゲットが供給され、かつ、ターゲットがプラズマ生成領域に到達するタイミングでプラズマ生成領域にパルスレーザー光が集光される必要があり得る。

【0021】

3. EUV光生成システムの全体説明

3.1 構成

図1に、例示的なLPP方式のEUV光生成システムの構成を概略的に示す。EUV光生成装置1は、少なくとも一つのレーザー装置3と共に用いられてもよい。本願においては、EUV光生成装置1及びレーザー装置3を含むシステムを、EUV光生成システム11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、ターゲット供給部26を含んでもよい。

【0022】

チャンバ2は、密閉可能であってもよい。ターゲット供給部26は、例えば、チャンバ2の壁を貫通するように取り付けられてもよい。ターゲット供給部26から供給され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、それらの内のいずれか2つ以上の組合せを含んでもよいが、これらに限定されない。

【0023】

チャンバ2の壁には、少なくとも一つの貫通孔が設けられてもよい。その貫通孔には、ウインドウ21が設けられてもよく、ウインドウ21をレーザー装置3から出力されるパルスレーザー光32が透過してもよい。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及び第2の焦点を有し得る。

【0024】

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の焦点がプラズマ生成領域25に位置し、その第2の焦点が中間集光点(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の中央部には貫通孔24が設けられていてもよく、貫通孔24をパルスレーザー光33が通過してもよい。

【0025】

EUV光生成装置1は、EUV光生成制御部5、ターゲットセンサ4等を含んでもよい。ターゲットセンサ4は、撮像機能を有してもよく、ターゲット27の存在、軌跡、位置、速度の少なくとも一つを検出するよう構成されてもよい。ターゲット27は、ターゲットドロップレット27とも呼ばれ得る。

【0026】

また、EUV光生成装置1は、チャンバ2の内部と露光装置6の内部とを連通させる接

10

20

30

40

50

続部 29 を含んでもよい。接続部 29 内部には、アパーチャが形成された壁 291 が設けられてもよい。壁 291 は、そのアパーチャが E U V 集光ミラー 23 の第 2 の焦点位置に位置するように配置されてもよい。

【 0 0 2 7 】

さらに、E U V 光生成装置 1 は、レーザ光進行方向制御部 34、レーザ光集光ミラー 22、ターゲット 27 を回収するためのターゲット回収部 28 等を含んでもよい。レーザ光進行方向制御部 34 は、レーザ光の進行方向を規定するための光学素子と、この光学素子の位置、姿勢等を調整するためのアクチュエータとを備えてもよい。

【 0 0 2 8 】

3.2 動作

図 1 を参照すると、レーザ装置 3 から出力されたパルスレーザ光 31 は、レーザ光進行方向制御部 34 を経て、パルスレーザ光 32 としてウインドウ 21 を透過してチャンバ 2 内に入射してもよい。パルスレーザ光 32 は、少なくとも 1 つのレーザ光経路に沿ってチャンバ 2 内を進み、レーザ光集光ミラー 22 で反射されて、パルスレーザ光 33 として少なくとも 1 つのターゲット 27 に照射されてもよい。

【 0 0 2 9 】

ターゲット供給部 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 に向けて吐出するよう構成されてもよい。ターゲット 27 には、パルスレーザ光 33 に含まれる少なくとも 1 つのパルスが照射されてもよい。パルスレーザ光が照射されたターゲット 27 はプラズマ化し、そのプラズマから放射光 251 が放射され得る。

【 0 0 3 0 】

放射光 251 に含まれる E U V 光 252 は、E U V 集光ミラー 23 によって選択的に反射されてもよい。E U V 集光ミラー 23 によって反射された E U V 光 252 は、中間集光点 292 で集光され、露光装置 6 に出力されてもよい。なお、1 つのターゲット 27 に、パルスレーザ光 33 に含まれる複数のパルスが照射されてもよい。

【 0 0 3 1 】

E U V 光生成制御部 5 は、E U V 光生成システム 11 全体の制御を統括するよう構成されてもよい。E U V 光生成制御部 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 27 のイメージデータ等処理するよう構成されてもよい。また、E U V 光生成制御部 5 は、例えば、ターゲット 27 が供給されるタイミング、ターゲット 27 の出力方向等を制御するよう構成されてもよい。

【 0 0 3 2 】

さらに、E U V 光生成制御部 5 は、例えば、レーザ装置 3 の発光タイミングの制御、パルスレーザ光 32 の進行方向の制御および、パルスレーザ光 33 の集光位置の制御の内少なくとも 1 つを行うよう構成されてもよい。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。

【 0 0 3 3 】

4. ターゲット生成部の比較例

4.1 構成

図 2 は、比較例としてのターゲット生成部 275 を含む E U V 光生成システム 11 の一部構成を模式的に示している。E U V 光生成制御部 5 は、ターゲット制御部 51 とレーザ制御部 55 とを含んでもよい。ターゲット制御部 51 は、ターゲット生成部 275 の他の構成要素の動作を制御してもよい。レーザ制御部 55 は、レーザ装置 3 の動作を制御してもよい。

【 0 0 3 4 】

ターゲット生成部 275 は、ターゲット制御部 51、温度制御部 511、ヒータ電源 512、圧力調節部 513、ピエゾ電源 514、及びドロップレット供給部 260 を含んでもよい。

【 0 0 3 5 】

ドロップレット供給部 260 は、チャンバ 2 に取り付けられてもよい。ドロップレット

10

20

30

40

50

供給部 260 は、タンク 61、ヒータ 261、温度センサ 262 及び piezo 素子 264 を有してもよい。タンク 61 は、その先端にノズル 265 を有してもよい。

【0036】

タンク 61 の一部が、チャンバ 2 の壁面に形成された貫通孔を貫通しており、タンク 61 に形成されたノズル 265 がチャンバ 2 の内部に位置してもよい。ノズル 265 には、ドロップレット材料を吐出するためのノズル孔が形成されてもよい。ヒータ 261 及び温度センサ 262 は、タンク 61 の外側に固定されてもよい。piezo 素子 264 は、ノズル 265 の外側に固定されてもよい。

【0037】

ターゲット回収部 28 は、ドロップレットを受ける筒状のタンクであってもよい。ターゲット回収部 28 は、ターゲットドロップレット 27 の軌道の延長線上に配置されてもよい。

10

【0038】

4.2 動作

ドロップレット供給部 260 は、ヒータ 261 を用いて、融解した状態のターゲットの材料をタンク 61 内に貯蔵してもよい。ターゲットの材料は、例えば、スズであってもよい。ターゲット制御部 51 は、タンク 61 内のスズが液体となるように、温度制御部 51 を介してヒータ電源 512 を制御することで、ヒータ 261 の温度を制御してもよい。その結果、タンク 61 内に貯蔵されたスズは融解し得る。

【0039】

20

ターゲット制御部 51 は、piezo 電源 514 を制御して、piezo 素子 264 に、ノズル 265 から吐出された液体スズがドロップレットを生成する周波数の電気信号を送ってもよい。

【0040】

ターゲット制御部 51 は、ターゲットドロップレット 27 が所定の速度、例えば $60 \sim 100 \text{ m/s}$ 、でプラズマ生成領域 25 に到達するように、圧力調節部 513 を制御してもよい。圧力調節部 513 は、ターゲット制御部 51 からの指示に応じて不活性ガス供給部 521 からの圧力を制御することで、タンク 61 内の圧力を調節してもよい。

【0041】

タンク 61 内の圧力は、例えば、 $10 \text{ MPa} \sim 20 \text{ MPa}$ に達してもよい。その結果、ノズル 265 からターゲット材料を吐出し、プラズマ生成領域 25 にターゲットドロップレット 27 を供給し得る。

30

【0042】

吐出されたターゲットドロップレット 27 の直径は $20 \mu\text{m} \sim 30 \mu\text{m}$ 、移動速度は $60 \text{ m/s} \sim 110 \text{ m/s}$ であってもよい。レーザ制御部 55 はレーザ装置 3 を制御して、プラズマ生成領域 25 にターゲットドロップレット 27 が到達するのと同期して、プラズマ生成領域 25 にパルスレーザ光 33 を照射してもよい。その結果、ターゲットドロップレット 27 はプラズマ化し、EUV 光が生成され得る。

【0043】

一方、パルスレーザ光 33 が照射されなかったターゲットドロップレット 27 は、プラズマ生成領域 25 を通過してドロップレットの軌道上を進行し、ターゲット回収部 28 に入り、液体スズとして貯蔵され得る。

40

【0044】

4.3 課題

図 3A は、上記ターゲット生成部 275 の比較例における課題を示す。レイリの微小擾乱の安定性理論によれば、速度 v で流れる直径 d のターゲット材料のジェット 277 を、周波数 f で振動させるとき、ジェット 277 に生じた振動の波長 $(\lambda = v / f)$ が所定の条件を満たす場合に、均一な大きさのドロップレットが形成され得る。波長 λ の所定の条件は、例えば、 $\lambda / d = 4.51$ であり得る。また、均一な大きさのドロップレットは、周波数 f で繰り返し形成され得る。

50

【 0 0 4 5 】

均一な大きさのドロップレットを繰り返し形成し得る周波数を、キャリア周波数 f_c と定義する。キャリア周波数は、レイリ周波数とも呼ばれ得る。ドロップレットの上記生成法を、コンティニューアスジェット法と呼び得る。

【 0 0 4 6 】

ここで、ノズル 2 6 5 から吐出されるドロップレット 2 7 1 (ターゲットドロップレット 2 7) の間隔は、 v / f_c で表され得る。キャリア周波数 f_c によっては、ドロップレット間隔が短くなり得る。

【 0 0 4 7 】

図 3 A に示すように、ドロップレット間隔が短すぎると、ターゲットドロップレット 2 7 __ a によるプラズマ生成の影響を受けて、次のターゲットドロップレット 2 7 __ b が破壊され得る。若しくは、次のターゲットドロップレット 2 7 __ b 又は後続のターゲットドロップレット 2 7 __ c の軌道が変化し得る。

【 0 0 4 8 】

そこで、所望のドロップレット速度、所望のドロップレット径、所望のドロップレット間隔のターゲットドロップレット 2 7 を生成し、プラズマ生成領域 2 5 に提供することが重要であり得る。

【 0 0 4 9 】

図 3 B は、上記ターゲット生成部 2 7 5 の比較例における他の課題を示す。図 3 B において、図 3 B (a) は、ノズル 2 6 5 からドロップレット材料の吐出を開始した直後のドロップレット 2 7 1 の状態を模式的に示している。図 3 B (b) は、ノズル 2 6 5 から定期的にジェット 2 7 7 及びドロップレット 2 7 1 を吐出している状態を模式的に示している。図 3 B (c) は、ノズル 2 6 5 からドロップレット材料の吐出を停止する直前のドロップレット 2 7 1 の状態を模式的に示している。ドロップレット供給部 2 6 0 の動作状態は、図 3 B (a) 、図 3 B (b) 、図 3 (c) の順で変化し得る。

【 0 0 5 0 】

ノズル 2 6 5 からのドロップレット材料の吐出開始直後と吐出停止直前は、タンク 6 1 内でドロップレット材料に印加される圧力は低くてもよい。例えば、吐出開始直後において印加圧力は 0 M P a から 1 M P a へ変化し、吐出停止直前において、印加圧力は 1 M P a から 0 M P a へ変化し得る。そのため、ドロップレット材料の吐出開始直後と吐出停止直前において、ドロップレット 2 7 1 の生成と軌道が不安定になり得る。その結果、ドロップレット 2 7 1 がターゲット回収部 2 8 で回収されず、E U V 光集光ミラー表面等に落下することもあり得る。

【 0 0 5 1 】

5 . 帯電電極を含むターゲット生成部

以下において上記課題を解決するための構成例を説明する。以下に説明するターゲット生成部は、ドロップレット供給部から吐出されるドロップレットを帯電させる帯電電極を含んでもよい。帯電電極は、連続ドロップレットが結合して一つのターゲットドロップレットを形成するように、ドロップレット供給部から吐出される各ドロップレットの電気極性を制御してもよい。

【 0 0 5 2 】

ドロップレット供給部から吐出されるドロップレットは、それぞれ k 個の連続ドロップレットからなるグループを含んでもよい。各グループは、帯電している 1 又は複数のドロップレットを含んでもよい。帯電しているドロップレットのクーロン力による速度変化により、グループを構成する k 個のドロップレットが結合し、一つのターゲットドロップレットを形成してもよい。ターゲットドロップレットは、プラズマ生成領域の手前で生成されてもよい。

【 0 0 5 3 】

各グループにおいて、少なくとも一端のドロップレットは、正又は負に帯電してもよい。他端のドロップレットは、無帯電又は当該他端のドロップレットに隣接するグループ内

10

20

30

40

50

の隣接ドロップレットと同一の極性で帯電してもよい。

【0054】

上述のように帯電電極によりドロップレットを帯電させ、複数ドロップレットを結合して一つのターゲットドロップレットを形成することで、ターゲットドロップレットの速度、径及び間隔を適切に制御し得る。各グループ内の両端のドロップレットの帯電を上述のように制御することで、隣接グループからの引力によるターゲットドロップレット生成に対する影響を低減し得る。

【0055】

5.1 構成

図4は、本実施形態のターゲット生成部275の構成例を模式的に示している。EUV光生成制御部5は、ターゲット制御部51とレーザ制御部55とを含んでもよい。ターゲット制御部51は、ターゲット生成部275の他の構成要素の動作を制御してもよい。レーザ制御部55は、レーザ装置3の動作を制御してもよい。

【0056】

ターゲット生成部275は、ターゲット制御部51、温度制御部511、ヒータ電源512、圧力調節部513、 piezo電源514、帯電電極267、遮蔽電極268、帯電電極電源516、ドロップレット供給部260を含んでもよい。

【0057】

ドロップレット供給部260は、チャンバ2に取り付けられてもよい。ドロップレット供給部260は、タンク61、ヒータ261、温度センサ262及びpiezo素子264を有してもよい。タンク61は、その先端にノズル265を有してもよい。タンク61は、たとえば、モリブデン金属で構成され、グラウンドに接続されてもよい。

【0058】

タンク61の一部が、チャンバ2の壁面に形成された貫通孔を貫通しており、タンク61に形成されたノズル265がチャンバ2の内部に位置してもよい。ノズル265には、ドロップレット材料を吐出するためのノズル孔が形成されてもよい。

【0059】

ヒータ261及び温度センサ262は、タンク61の外側に固定されてもよい。ヒータ261は、ヒータ電源512の出力に接続されてもよい。piezo素子264は、ノズル265の外側に固定されてもよい。piezo素子264は、piezo電源514の出力に接続されてもよい。

【0060】

圧力調節部513は、不活性ガス供給部521からタンク61内に供給される不活性ガスの圧力を調節するよう、不活性ガス供給部521とタンク61との間の配管上に設置されてもよい。

【0061】

圧力調節部513は、圧力制御部と、バルブと、圧力センサと、を含んでもよい。圧力制御部は、ターゲット制御部51から圧力の目標値を受信し、圧力センサの検出値が目標値と略同じとなるように、バルブの開度を制御してもよい。

【0062】

ターゲット回収部28は、ドロップレットを受ける筒状のタンクであってもよい。ターゲット回収部28は、ターゲットドロップレット27の軌道の延長線上に配置されてもよい。ターゲット回収部28は、不図示の電源の出力に接続されてもよい。

【0063】

帯電電極267は、ドロップレット供給部260のノズル265とプラズマ生成領域25との間に配置されてもよい。帯電電極267は、ドロップレット供給部260から吐出されたドロップレット271が通過する貫通孔を含むリング状の電極であってもよい。

【0064】

帯電電極267は、ジェット277がドロップレット271に分離した後のドロップレット271の軌道と、貫通孔の中心軸が略一致するように、配置されてもよい。ジェット

10

20

30

40

50

の先端が、帯電電極 267 の貫通孔内に位置するように、帯電電極 267 は配置されてもよい。これにより、ドロップレット 271 の帯電量を適切に制御し得る。帯電電極 267 は、帯電電極電源 516 の出力に接続されてもよい。

【0065】

遮蔽電極 268 は、ドロップレット 271 が通過する貫通孔を含むリング状の電極であってもよい。遮蔽電極 268 は、帯電電極 267 とプラズマ生成領域 25 との間に配置されてもよい。遮蔽電極 268 は、帯電電極 267 を通過したドロップレット 271 の軌道と、貫通孔の中心軸が略一致するように配置されてもよい。遮蔽電極 268 はグラウンドに接続されてもよい。遮蔽電極 268 は、プラズマ生成領域 25 からの電荷を遮蔽し得る。

【0066】

図 5 は、ターゲット生成部 275 の他の構成例を模式的に示している。ターゲット生成部 275 は、リング状の遮蔽電極 268 の代わりに、ドロップレット 271 が通過可能な貫通孔を持った筒状のカバー 269 を有していてもよい。カバー 269 は、円筒状の側壁 681 を有してもよい。カバー 269 は、グラウンドに接続されてもよい。

【0067】

カバー 269 は、金属で形成されたカバー固定部材 682 を介してドロップレット供給部 260 に固定されてもよい。カバー 269 は、内部に、帯電電極 267 を載置、固定する固定部材 683 を有してもよい。固定部材 683 は絶縁体で形成されてもよい。

【0068】

カバー 269 は、 piezo 電源 514 と piezo 素子 264 とを相互接続するための端子 685 を側面に有してもよい。カバー 269 は、帯電電極電源 516 と帯電電極 267 とを相互接続するための端子 686 を側壁 681 に有してもよい。

【0069】

カバー 269 は、ノズル 265 の周囲を囲んでいてもよい。カバー 269 は、ノズル 265 の先端とプラズマ生成領域 25 との間に、ドロップレット 271 が通過可能な貫通孔を持った板状部 688 を有してもよい。板状部 688 は、プラズマ生成領域 25 からの電荷を遮蔽し得る。

【0070】

5.2 動作

EUV 光生成制御部 5 の他の機能部からターゲット生成信号が入ると、ターゲット制御部 51 は、温度センサ 262 の測定値に基づいてヒータ 261 を制御してもよい。温度制御部 511 は、ターゲット制御部 51 からの指示に応じて、ヒータ電源 512 がヒータ 261 に与える電力を制御してもよい。

【0071】

ターゲット制御部 51 は、タンク 61 内のスズが融点以上の所定の温度になるように、ヒータ 261 を制御してもよい。その結果、タンク 61 に貯蔵されたスズは融解し得る。スズの融点は 232 であり、所定の温度は、例えば、232 ~ 270 の温度であってよい。

【0072】

ターゲット制御部 51 は、ターゲット回収部 28 が回収したスズが液体となるように、ターゲット回収部 28 の温度を所定温度に制御してもよい。所定の温度は、例えば、232 ~ 270 の温度であってよい。ターゲット回収部 28 には、不図示のヒータと温度センサが固定されてもよい。ターゲット制御部 51 は、温度センサの検出温度に基づき、不図示の温度制御部を介してヒータを制御してもよい。

【0073】

ターゲット制御部 51 は、圧力調節部 263 によりタンク 61 内の圧力を制御してもよい。圧力調節部 263 は、ターゲット制御部 51 の指示に応じて、ターゲットドロップレット 27 が所定の速度でプラズマ生成領域 25 に到達するように、タンク 61 内の圧力を所定値に調節してもよい。所定の速度は、例えば、60 m/s ~ 100 m/s であってもよい。タンク 61 内の圧力の所定値は、10 MPa ~ 20 MPa であってもよい。その結

10

20

30

40

50

果、ノズル 265 の孔から所定の速度で、ターゲット材料のジェット 277 が吐出され得る。

【0074】

ターゲット制御部 51 は、ピエゾ電源 514 にキャリア周波数 f_c の電気信号を送ることによって、ピエゾ素子 264 をキャリア周波数 f_c で振動させてもよい。ノズル 265 は、ピエゾ素子 264 の振動により、キャリア周波数 f_c で振動し得る。キャリア周波数 f_c は、例えば 1500 kHz であってもよい。

【0075】

ノズル 265 がキャリア周波数 f_c で振動することによって、ジェット 277 はキャリア周波数 f_c で振動し得る。その結果、ジェット 277 からドロップレット 271 が、

10

【0076】

ターゲット制御部 51 はドロップレット 271 の吐出タイミングに合わせて、帯電電極 267 の電位（帯電電極電位）を制御してもよい。ターゲット制御部 51 は帯電電極電源 516 に制御信号を送信することで、帯電電極 267 の電位を制御してもよい。帯電電極 267 の電位に応じて、ドロップレット 271 が、正に帯電、負に帯電、又は無帯電となり得る。ターゲット制御部 51 は、所定数のドロップレット 271 が結合して一つのターゲットドロップレット 27 を形成するように、ドロップレット 271 の帯電を制御してもよい。帯電電極 267 の電位制御については後述する。

【0077】

20

帯電電極 267 によって、少なくとも一部のドロップレット 271 は正または負に帯電し、帯電したドロップレット 271 に対するクーロン力によって所定数のドロップレットは結合し、ターゲットドロップレット 27 を生成し得る。

【0078】

レーザ制御部 55 はレーザ装置 3 を制御して、プラズマ生成領域 25 にターゲットドロップレット 27 が到達するのと同期して、プラズマ生成領域 25 にパルスレーザ光 33 を照射してもよい。ターゲットセンサ 4 は、複数ドロップレット 271 が結合することで生成されたターゲットドロップレット 27 を検出してもよい。ターゲットドロップレット 27 はパルスレーザ光 33 によりプラズマ化し、EUV 光が生成され得る。

【0079】

30

一方、パルスレーザ光 33 が照射されなかったターゲットドロップレット 27 は、プラズマ生成領域 25 を通過してターゲットドロップレット 27 の軌道上を進行し、ターゲット回収部 28 に入り、液体スズとして貯蔵され得る。

【0080】

5.3 作用

上記構成によれば、キャリア周波数 f_c で生成されたドロップレット 271 を、所定のパターンで帯電させることによって、クーロン力による速度変化によって所定数のドロップレット 271 を結合させ、一つのターゲットドロップレット 27 を生成し得る。

【0081】

結合してターゲットドロップレット 27 を生成するドロップレット 271 において、正に帯電するドロップレット 271 と負に帯電するドロップレット 271 の数を一致させることで、生成されるターゲットドロップレット 27 を無帯電にし得る。これにより、ターゲットドロップレット 27 間のクーロン力を抑制し、ターゲットドロップレット 27 の安定な直線状の軌道を生成し得る。

40

【0082】

複数ドロップレット 271 の結合によってターゲットドロップレット 27 の間隔が広がるので、ターゲットドロップレット 27 によるプラズマ生成による、次のターゲットドロップレット 27 の破壊及び後続ターゲットドロップレット 27 の軌道変化を抑制し得る。

【0083】

50

接地された遮蔽電極 268 又はカバー 269 は、帯電電極 267 をプラズマの生成に伴う電荷に対して遮蔽し得る。プラズマ生成領域 25 から帯電電極 267 に達する電荷を低減し、帯電電極 267 の不安定動作を抑制し得る。

【0084】

5.4 定常運転状態の動作パターン

図6は、ターゲット生成部 275 が定常運転状態にあるときの、 piezo 電圧、帯電電極電位及び結合前のドロップレット 271 の帯電状態の関係例を示している。piezo 電圧、帯電電極電位及びドロップレット 271 の時間軸は一致している。piezo 電圧及び帯電電極電位は同期している。吐出されたドロップレット 271 は、図6において右から左に移動する。

10

【0085】

帯電電極 267 の電位が、piezo 素子 264 の電圧と同期して、正の電位又は負の電位に維持されると、ドロップレット 271 は、負又は正に帯電し得る。タンク 61 は接地されているため、ドロップレット 271 がジェット 277 から離れるとき、ジェット 277 は負又は正に帯電し得る。その結果、ドロップレット 271 が負又は正に帯電し得る。

【0086】

帯電電極電位は、各パルス期間において、0V から正又は負の所定電位に変化し、正又は負の所定電位が維持された後、0V に戻る。帯電電極 267 の正の電位は、例えば、+5V ~ +250V であってもよく、帯電電極 267 の負の電位は、例えば、-5V ~ -250V であってもよい。帯電電極 267 の電位が 0V に維持される場合、ドロップレット 271 は帯電され得ない。

20

【0087】

ターゲット制御部 51 は、上記原理を利用して、piezo 電圧に同期して帯電電極電位を制御することで、各ドロップレット 271 を、正帯電、負帯電、又は無帯電から選択した一つの状態になり得る。

【0088】

図6の例において、ドロップレット供給部 260 は、piezo 電圧の各ピークにおいて、ドロップレット 271 を吐出してもよい。ターゲット制御部 51 は、ドロップレット 271 を正又は負に帯電させる場合、当該ドロップレット 271 に対応する piezo 電圧のピーク時刻を含む所定期間、負又は正の所定電位を帯電電極 267 に与えてもよい。電位の印加期間は、隣接ドロップレット 271 の piezo 電圧ピークの時刻を含まず、隣接ドロップレット 271 の電荷に影響を与えないように決定され得る。

30

【0089】

ターゲット制御部 51 は、帯電電極 273 を正の電位に維持することによって、ドロップレット 271 を負に帯電し得る。ターゲット制御部 51 は、帯電電極 273 を負の電位に維持することによって、ドロップレット 271 を正に帯電し得る。ターゲット生成部 275 は、同一の帯電電極電位パターンを繰り返して、ドロップレット 271 を帯電し得る。一つ帯電電極電位パターンは、1又は複数のグループを帯電し得る。

【0090】

図6の例において、1番目のドロップレット 271__1 は負に帯電し、7番目のドロップレット 271__7 は正に帯電してもよい。ドロップレット 271__1 とドロップレット 271__7 の間のドロップレットは、無帯電であってもよい。

40

【0091】

8番目のドロップレット 271__8 は正に帯電し、14番目のドロップレット 271__14 は負に帯電してもよい。ドロップレット 271__8 とドロップレット 271__14 の間のドロップレットは、無帯電であってもよい。15番目のドロップレット 271__15 は負に帯電し、21番目のドロップレット 271__21 は正に帯電してもよい。ドロップレット 271__15 とドロップレット 271__21 の間のドロップレットは、無帯電であってもよい。22番目のドロップレット 271__22 は正に帯電してもよい。

【0092】

50

ドロップレット271__1からドロップレット271__7が1番目のグループを構成してもよい。ドロップレット271__8からドロップレット271__14が2番目のグループを構成してもよい。ドロップレット271__15からドロップレット271__21が3番目のグループを構成してもよい。2番目のグループは、1番目のグループ及び3番目のグループに隣接している。

【0093】

1番目のグループにおいて、ドロップレット271__1とドロップレット271__7は、クーロン力の引力によって近づき得る。その結果、ドロップレット271__1からドロップレット271__7の7つのドロップレットが結合し、1番目のターゲットドロップレット27__1を形成し得る。

10

【0094】

2番目のグループにおいて、ドロップレット271__8とドロップレット271__14は、クーロン力の引力によって近づき得る。その結果、ドロップレット271__8からドロップレット271__14の7つのドロップレットが結合し、2番目のターゲットドロップレット27__2を形成し得る。

【0095】

3番目のグループにおいて、ドロップレット271__15とドロップレット271__21は、クーロン力の引力によって近づき得る。その結果、ドロップレット271__15からドロップレット271__21の7つのドロップレットが結合し、3番目のターゲットドロップレット27__3を形成し得る。

20

【0096】

グループ内において無帯電のドロップレットの数を調節することによって、結合するドロップレットの数を容易に制御し得る。正又は負に帯電させるドロップレット271の数を小さくすることで、ドロップレット271の帯電制御をより容易に行うことができる。

【0097】

隣接グループ間において、隣接ドロップレット271の極性は同一であってもよい。これにより、隣接グループ間においてクーロン斥力が働き、グループ毎に適切にターゲットドロップレット27を形成し得る。また、クーロン斥力により、ターゲットドロップレット27の間隔の減少を抑制し得る。

30

【0098】

例えば、図6の例において、1番目のグループの最後のドロップレット271__7は正に帯電し、2番目のグループの最初のドロップレット271__8も正に帯電してもよい。2番目のグループの最後のドロップレット271__14は負に帯電し、3番目のグループの最初のドロップレット271__15も負に帯電してもよい。3番目のグループの最後のドロップレット271__21は正に帯電し、直後のドロップレット271__22も正に帯電してもよい。

【0099】

図6の例において、グループは、全体として無帯電であってもよい。つまり、グループにおいて正帯電したドロップレット271と負帯電したドロップレット271の数は同一であり、総電荷量は0であってもよい。これにより、グループのドロップレット271の結合により、グループ内の電荷が中和し得る。結合ドロップレットであるターゲットドロップレット27を無帯電とし、ターゲットドロップレット27間のクーロン力による軌道変化を低減し得る。

40

【0100】

図7は、ターゲット生成部275が定常運転状態にあるときの、ピエゾ電圧、帯電電極電位及び結合前のドロップレット271の帯電状態の、他の関係例を示している。以下においては、図6の構成との相違点を主に説明する。なお、図7の帯電電極電位において、隣接する同極性のパルスは一つのパルスであってもよい。

【0101】

図7の例において、1番目のドロップレット271__1から6番目のドロップレット2

50

7 1 _ 6 が 1 番目のグループを構成し、結合して 1 番目のターゲットドロップレット 2 7 _ 1 を生成し得る。7 番目のドロップレット 2 7 1 _ 7 から 1 2 番目のドロップレット 2 7 1 _ 1 2 が 2 番目のグループを構成し、結合して 2 番目のターゲットドロップレット 2 7 _ 2 を生成し得る。

【 0 1 0 2 】

1 3 番目のドロップレット 2 7 1 _ 1 3 から 1 8 番目のドロップレット 2 7 1 _ 1 8 が 3 番目のグループを構成し、結合して 3 番目のターゲットドロップレット 2 7 _ 3 を生成し得る。1 9 番目のドロップレット 2 7 1 _ 1 9 から 2 4 番目のドロップレット 2 7 1 _ 2 4 が 4 番目のグループを構成し、結合して 4 番目のターゲットドロップレット 2 7 _ 4 を生成し得る。

10

【 0 1 0 3 】

各グループにおいて、全てのドロップレット 2 7 1 がそれぞれ正又は負に帯電してもよい。各グループにおいて、隣接するドロップレット 2 7 1 の極性は、互いに逆であってもよい。クーロン引力により、各グループの全てのドロップレット 2 7 1 を早く確実に結合し得る。図 7 の例において、各グループは、少なくとも一つの無帯電ドロップレットを含んでもよい。

【 0 1 0 4 】

各グループにおいて正帯電したドロップレット 2 7 1 と負帯電したドロップレット 2 7 1 の数は同一であり、総電荷量は 0 であってもよい。これにより、ターゲットドロップレット 2 7 を無帯電とし、ターゲットドロップレット 2 7 間のクーロン力による軌道変化を低減し得る。

20

【 0 1 0 5 】

隣接グループ間において、隣接ドロップレット 2 7 1 の極性は同一であってもよい。これにより、隣接グループ間においてクーロン斥力が働き、グループ毎に適切にターゲットドロップレット 2 7 を形成し得る。また、クーロン斥力により、ターゲットドロップレット 2 7 の間隔の減少を抑制し得る。

【 0 1 0 6 】

例えば、図 7 の例において、1 番目のグループの最後のドロップレット 2 7 1 _ 6 は正に帯電し、2 番目のグループの最初のドロップレット 2 7 1 _ 7 も正に帯電してもよい。2 番目のグループの最後のドロップレット 2 7 1 _ 1 2 は負に帯電し、3 番目のグループの最初のドロップレット 2 7 1 _ 1 3 も負に帯電してもよい。3 番目のグループの最後のドロップレット 2 7 1 _ 1 8 は正に帯電し、4 番目のグループの最初のドロップレット 2 7 1 _ 1 9 も正に帯電してもよい。

30

【 0 1 0 7 】

5 . 5 吐出開始期間及び吐出停止期間における動作パターン

図 3 B を参照して説明したように、ドロップレット材料の吐出開始直後及び吐出停止直前においては、ドロップレット 2 7 1 の吐出方向、つまり軌道が不安定であり得る。本例のターゲット制御部 5 1 は、ドロップレット材料の吐出開始直後及び吐出停止直前を含む期間のそれぞれにおいて、帯電電極 2 6 7 によりドロップレット 2 7 1 を帯電させ、ドロップレット 2 7 1 の直線状軌道を実現し得る。

40

【 0 1 0 8 】

図 8 A は、ノズル 2 6 5 からのターゲット材料の吐出開始期間と、定常吐出期間と、吐出停止期間における、タンク 6 1 内の液体ターゲット材料、例えば、液体スズに印加される圧力パターンと、帯電電極電位のパターンとを示す。

【 0 1 0 9 】

圧力調節部 5 1 3 は、ターゲット制御部 5 1 からの指示に従って、タンク 6 1 内圧力を制御してもよい。図 8 A に示すように、圧力調節部 5 1 3 は、時刻 T 1 までタンク 6 1 内の圧力を初期値とし、時刻 T 1 にタンク 6 1 内での加圧を開始してもよい。タンク 6 1 内の圧力は、時刻 T 2 に P t h に達し、さらに、時刻 T 3 に定常圧力 P t に達し得る。時刻 T 1 から時刻 T 3 は、吐出開始期間であってもよい。

50

【 0 1 1 0 】

タンク 6 1 内の圧力が P_{th} 以上である場合、ドロップレット 2 7 1 は、所望の方向に吐出され得る。ターゲットドロップレット 2 7 の生成のため、タンク 6 1 内の圧力は、 P_t に維持されるように制御されてもよい。

【 0 1 1 1 】

時刻 T_3 から時刻 T_4 は、定常吐出期間であってもよい。定常吐出期間において、圧力調節部 5 1 3 は、タンク 6 1 内の圧力を定常圧力 P_t に維持してもよい。

【 0 1 1 2 】

圧力調節部 5 1 3 は、時刻 T_4 にタンク 6 1 内での減圧を開始してもよい。タンク 6 1 内の圧力は、時刻 T_5 に P_{th} に達し、さらに、時刻 T_6 に初期値に戻り得る。時刻 T_4 から時刻 T_6 は、吐出停止期間であってもよい。

10

【 0 1 1 3 】

ターゲット制御部 5 1 は、タンク 6 1 内の圧力制御に同期して、帯電電極 2 6 7 の電位を制御してもよい。ターゲット制御部 5 1 は、時刻 T_1 より前の時刻 T_0 に帯電電極 2 6 7 の電位を所定電位 V_1 に変化させ、時刻 T_2 まで、帯電電極 2 6 7 の電位を所定電位 V_1 に維持してもよい。ターゲット制御部 5 1 は、タンク内圧力が P_{th} に達する時刻 T_2 に、帯電電極 2 6 7 の電位を $0V$ に戻してもよい。所定電位 V_1 は、負でもよいし、又は、正でもよい。

【 0 1 1 4 】

ターゲット制御部 5 1 は、定常吐出期間、つまり、時刻 T_3 から時刻 T_4 において、上述のように、ドロップレット 2 7 1 を結合させるために帯電電極 2 6 7 の電位を制御してもよい。

20

【 0 1 1 5 】

ターゲット制御部 5 1 は、吐出停止期間において、タンク内圧力が P_{th} に達する時刻 T_5 に、帯電電極 2 6 7 の電位を所定電位 V_1 に変化させてもよい。ターゲット制御部 5 1 は、吐出停止期間より後の時刻 T_7 まで、帯電電極 2 6 7 の電位を所定電位 V_1 に維持してもよい。ターゲット制御部 5 1 は、時刻 T_7 に帯電電極 2 6 7 の電位を $0V$ に戻してもよい。吐出開始期間における帯電電極電位と吐出停止期間における帯電電極電位は、同一でも異なってもよい。

【 0 1 1 6 】

図 8 B は、吐出開始期間、吐出定常期間及び吐出停止期間のそれぞれにおける、ドロップレット 2 7 1 の吐出状態を模式的に示している。図 8 B (a) は吐出開始期間における、ドロップレット 2 7 1 の吐出状態を模式的に示している。図 8 B (b) は吐出定常期間における、ドロップレット 2 7 1 の吐出状態を模式的に示している。図 8 B (c) は吐出停止期間における、ドロップレット 2 7 1 の吐出状態を模式的に示している。

30

【 0 1 1 7 】

いずれの期間においても、ドロップレット 2 7 1 の吐出方向は安定化され、ドロップレット 2 7 1 は、帯電電極 2 6 7 の貫通孔を通過し得る。

【 0 1 1 8 】

ドロップレット 2 7 1 は、帯電電極 2 6 7 の電位と反対極性で帯電し得る。その結果、ドロップレット 2 7 1 は、帯電電極 2 6 7 からのクーロン引力を受け、帯電電極 2 6 7 の貫通孔の略中心を通過し得る。このように、帯電電極 2 6 7 からのクーロン力によって、ドロップレット 2 7 1 の軌道が安定化され得る。吐出開始期間及び吐出停止期間における帯電電極電位の絶対値は、ドロップレット 2 7 1 の結合のための電位の絶対値よりも大きくてもよい。これにより、ドロップレット 2 7 1 の軌道の安定性を高め得る。

40

【 0 1 1 9 】

図 9 は、ターゲット制御部 5 1 によるタンク内圧力及び帯電電極電位の制御方法のフローチャート例を示している。ターゲット制御部 5 1 は、吐出開始の信号を待ってもよい ($S101:N$)。EUV 光生成制御部 5 の他の機能部から吐出開始の信号を受信すると ($S101:Y$)、ターゲット制御部 5 1 は、帯電電極電源 5 1 6 を介して、帯電電極 2 6

50

7の電位を所定電位 V_1 に変化させてもよい(S102)。当該所定電位 V_1 は、 $-0.5\text{ kV} \sim -2\text{ kV}$ の値であってもよい。

【0120】

つぎに、ターゲット制御部51は、タンク61内の液体スズに印加される圧力が目標圧力 P_t となるように、圧力調節部513を制御してタンク61内への加圧を開始してもよい(S103)。目標圧力 P_t は、例えば、 10 MPa であってもよい。

【0121】

ターゲット制御部51は、圧力調節部513内の圧力センサから計測値を受信して、タンク内圧力を計測してもよい(S104)。計測された圧力が閾値 P_{th} に到達するまで、ノズル孔の液体スズと帯電電極267の間に高い電位勾配が存在するため、クーロン力によって、液体スズが引っ張られて、帯電ドロップレットの軌道が安定化され得る。

10

【0122】

タンク内圧力の計測値が閾値 P_{th} に達すると(S104:Y)、ターゲット制御部51は、帯電電極267の電位が 0 V となるように、帯電電極電源516を制御してもよい(S105)。その後、ターゲット制御部51は、 piezo電源514から、piezo素子264にキャリア周波数の電圧信号を与えてもよい(S106)。これにより、キャリア周波数のドロップレット271が生成され得る。

【0123】

ターゲット制御部51は、タンク内圧力の計測値が目標値 P_t を含む許容圧力範囲に達すると、タンク内圧力の計測値が許容圧力範囲に維持されるように、圧力調節部513を制御してもよい(S107)。許容圧力範囲の許容下限値は、例えば、 9.99 MPa であり、許容上限値は、例えば、 10.01 MPa であってもよい。

20

【0124】

ターゲット制御部51は、タンク内圧力を許容圧力範囲に維持しつつ、帯電電極電位を所定パターンで制御してもよい(S108)。ドロップレット271はキャリア周波数で生成され、さらに、帯電電極電位のパターンに応じてドロップレット271が帯電され得る。所定数の連続するドロップレット271が結合して、ターゲットドロップレット27を生成し得る。

【0125】

ターゲット制御部51は、吐出停止の信号を待ってもよい(S109:N)。ターゲット制御部51は、EUV光生成制御部5の他の機能部から吐出停止の信号を受信すると(S109:Y)、帯電電極267の電位を 0 V に変更し(S110)、piezo素子264への電圧信号の印加を停止してもよい(S111)。その後、ターゲット制御部51は、タンク内の減圧を開始してもよい(S112)。ターゲット制御部51は、圧力調節部513に目標圧力(例えば 0 MPa)を設定し、圧力調節部513は、計測圧力値が設定圧力になるようタンク内圧力の調節を開始してもよい。

30

【0126】

ターゲット制御部51は、圧力調節部513の計測データを受信して、タンク内圧力を計測してもよい(S113)。タンク内圧力の計測値が閾値 P_{th} に達すると(S113:Y)、ターゲット制御部51は、帯電電極電源516を制御して、帯電電極267の電位を所定値 V_1 に変化させてもよい(S114)。

40

【0127】

ターゲット制御部51はタンク内圧力を計測し(S115)、計測値が所定値に到達すると(S115:Y)、帯電電極の電位を 0 V に変更してもよい。当該所定値は、ターゲット材料がノズル265から吐出しない圧力であり、例えば、チャンバ2内の圧力値であってもよい。

【0128】

吐出開始期間内の所定期間と吐出停止期間内の所定期間に、帯電電極267の電位を所定値 V_1 に維持することによって、帯電電極267からのクーロン力によって、ドロップレット271の吐出方向を安定化し得る。その結果、EUV光集光ミラー表面等にドロップ

50

プレート 271 が落下するのを抑制し得る。なお、ドロップレット 271 を回収する他の構成が存在する場合、吐出開始期間と吐出停止期間の一方のみにおいて、帯電電極 267 の電位を所定値 V_1 に維持してもよい。

【0129】

5.6 加速電極を含むターゲット生成部

以下において、加速電極を含むターゲット生成部 275 の例を説明する。図 10 は、加速電極を含むターゲット生成部 275 の構成例を示す。以下において、図 4、図 6 及び図 7 との相違点を主に説明する。ターゲット生成部 275 は、帯電電極 267 と遮蔽電極 268 との間に配置された、リング状の加速電極 281 を有してもよい。加速電極 281 は、ドロップレット 271 又はターゲットドロップレット 27 が通過する貫通孔を有してもよい。貫通孔の中心は、ドロップレット 271 又はターゲットドロップレット 27 の軌道上にあってもよい。

10

【0130】

加速電極 281 は、加速電極電源 517 に接続されてもよい。ターゲット制御部 51 は、加速電極電源 517 を制御して、加速電極 281 の電位を制御してもよい。ターゲット制御部 51 は、ピエゾ電圧のキャリア周波数に同期させて、加速電極 281 の電位を制御してもよい。

【0131】

図 11 は、ターゲット生成部 275 が定常運転状態にあるときの、ピエゾ電圧、帯電電極電位、加速電極電位及び結合前のドロップレット 271 の帯電状態の関係例を示している。ピエゾ電圧、帯電電極電位及び加速電極電位は同期している。吐出されたドロップレット 271 は、図 11 において右から左に移動する。

20

【0132】

帯電電極電位は、各パルス期間において、0 V から正又は負の所定電位に変化し、正又は負の所定電位が維持された後、0 V に戻る。加速電極電位は、各パルス期間において、0 V から正又は負の所定電位に変化し、所定電位が維持された後、0 V に戻る。加速電極電位の正の所定電位の絶対値と負の所定電位の絶対値とは異なってもよい。

【0133】

ターゲット制御部 51 は、帯電されたドロップレット 271 をクーロン引力により加速するように、加速電極電位を制御してもよい。図 11 に示すように、帯電電極電位のパルスの期間と対応する加速電極電位のパルスの期間は、同一のピエゾ電圧ピーク時刻を含んでもよい。加速電極電位のパルス期間は、対応する帯電電極電位のパルス後端の時刻を含んでもよい。

30

【0134】

対応する帯電電極電位パルスの電位と加速電極電位パルスの電位は、同極性であってもよい。これにより、帯電電極電位により正又は負に帯電されたドロップレットは、負又は正の電位の加速電極 281 に、クーロン力により引き付けられ、加速され得る。

【0135】

帯電したドロップレット 271 を加速するために加速電極 281 に与えられる電位の絶対値は、ドロップレット 271 を帯電させるために帯電電極 267 に与えられる電位の絶対値よりも大きくてもよい。これにより、より適切に帯電したドロップレット 271 を加速し得る。

40

【0136】

ターゲット制御部 51 は、帯電電極 273 を正の電位に維持することによって、ドロップレット 271 を負に帯電し得る。ターゲット制御部 51 は、帯電電極 273 を負の電位に維持することによって、ドロップレット 271 を正に帯電し得る。

【0137】

図 11 の例において、4 番目のドロップレット 271__4、10 番目のドロップレット 271__10、16 番目のドロップレット 271__16、22 番目のドロップレット 271__22 は、負に帯電してもよい。6 番目のドロップレット 271__6、12 番目のドロ

50

ップレット271__12、18番目のドロップレット271__18、24番目のドロップレット271__24は、正に帯電してもよい。他のドロップレット271は無帯電であってもよい。

【0138】

ドロップレット271__1からドロップレット271__6が1番目のグループを構成してもよい。ドロップレット271__7からドロップレット271__12が2番目のグループを構成してもよい。ドロップレット271__13からドロップレット271__18が3番目のグループを構成してもよい。ドロップレット271__19からドロップレット271__24が4番目のグループを構成してもよい。

【0139】

ターゲット制御部51は、加速電極281を正の電位に維持することによって、負に帯電したドロップレット271をクーロン引力により加速し得る。ターゲット制御部51は、加速電極281を負の電位に維持することによって、正に帯電したドロップレット271をクーロン引力により加速し得る。

【0140】

1番目のグループにおいて、ドロップレット271__4とドロップレット271__6は、それぞれ、加速電極281からのクーロン力の引力によって加速され、他のドロップレット271は加速され得ない。また、ドロップレット271__4とドロップレット271__6はクーロン力により引き付けられる。その結果、ドロップレット271__1からドロップレット271__6の6つのドロップレットが結合し、1番目のターゲットドロップレット27__1を形成し得る。

【0141】

2番目のグループにおいて、ドロップレット271__10とドロップレット271__12は、それぞれ、加速電極281からのクーロン力の引力によって加速され、他のドロップレット271は加速され得ない。また、ドロップレット271__10とドロップレット271__12はクーロン力により引き付けられる。その結果、ドロップレット271__7からドロップレット271__12の6つのドロップレットが結合し、2番目のターゲットドロップレット27__2を形成し得る。

【0142】

3番目のグループにおいて、ドロップレット271__16とドロップレット271__18は、それぞれ、加速電極281からのクーロン力の引力によって加速され、他のドロップレット271は加速され得ない。また、ドロップレット271__16とドロップレット271__18はクーロン力により引き付けられる。その結果、ドロップレット271__13からドロップレット271__18の6つのドロップレットが結合し、3番目のターゲットドロップレット27__3を形成し得る。

【0143】

4番目のグループにおいて、ドロップレット271__22とドロップレット271__24は、それぞれ、加速電極281からのクーロン力の引力によって加速され、他のドロップレット271は加速され得ない。また、ドロップレット271__22とドロップレット271__24はクーロン力により引き付けられる。その結果、ドロップレット271__19からドロップレット271__24の6つのドロップレットが結合し、4番目のターゲットドロップレット27__4を形成し得る。

【0144】

各グループは、全体として無帯電であってもよい。つまり、各グループにおいて正帯電したドロップレット271と負帯電したドロップレット271の数は同一であり、総電荷量は0であってもよい。これにより、各グループのドロップレット271の結合により、各グループ内の電荷が中和し得る。結合ドロップレットであるターゲットドロップレット27を無帯電とし、ターゲットドロップレット27間のクーロン力による軌道変化を低減し得る。

【0145】

10

20

30

40

50

それぞれ異なるグループに属する隣接ドロップレットのペアにおいて、一方の隣接ドロップレットは帯電しており、他方のドロップレットは無帯電であってもよい。一方のドロップレット271が無帯電であるので、隣接グループ間でのクーロン引力により異なるグループのドロップレット271の結合及びターゲットドロップレット27間の間隔減少を低減し得る。

【0146】

各グループの無帯電のドロップレット数及び帯電したドロップレット数は設計に依存し得る。各グループ内の正帯電のドロップレット数と負帯電のドロップレット数は同一でなくてもよい。帯電しているドロップレットの位置及び帯電したドロップレット271の間に存在する無帯電のドロップレット271の数は、設計に依存し得る。各グループ内で帯電しているドロップレット271において、隣接するドロップレット271は逆極性であってもよい。

10

【0147】

加速電極281は、ドロップレット271の速度を制御する速度制御電極の一つであり得る。ターゲット生成部275は、速度制御電極により、ドロップレット271を減速してもよい。例えば、各グループ内の1番目のドロップレット271が正に帯電し、4番目のドロップレット271が負に帯電し得る。ターゲット制御部51は、1番目のドロップレット271を減速するために、速度制御電極を正の電位に維持してもよい。ターゲット制御部51は、4番目のドロップレット271を減速するために、速度制御電極を負の電位に維持してもよい。

20

【0148】

帯電したドロップレット271が減速し、無帯電のドロップレット271よりも遅くなることで、各グループのドロップレット271が結合し、ターゲットドロップレット27を生成し得る。

【0149】

加速電極281は省略されてもよい。図8A及び図8Bを参照して説明したように、帯電電極267は、ノズル265が吐出されるドロップレット271を正又は負に帯電させると共に、帯電されたドロップレット271をクーロン引力により加速し得る。無帯電のドロップレット271と帯電されたドロップレット271の速度が異なるため、複数のドロップレット271が結合し得る。ターゲット制御部51は、ドロップレット271を帯電させると共に、帯電電極273を通過した帯電ドロップレット271を減速させないように、帯電電極273の電位を制御してもよい。

30

【0150】

5.7 中和器を含むターゲット生成部

以下において、中和器を含むターゲット生成部の例を説明する。図12は、中和器を含むターゲット生成部275の構成例を示す。以下においては、図10及び図11との相違点を主に説明する。ターゲット生成部275は、加速電極281と遮蔽電極268との間に配置された、中和器285を有してもよい。ターゲット生成部275は、中和器285を駆動する電源518、電源519を有していてもよい。

【0151】

中和器285は、フィラメント862と、電子を捕集する捕集電極861と、を含んでもよい。フィラメント862は例えばタングステン金属で形成されてもよい。フィラメント862は、電源518に接続されてもよい。捕集電極861は電源519に接続されてもよい。捕集電極861とフィラメント862の間を、帯電したターゲットドロップレット27が通過し得る。

40

【0152】

ターゲット制御部51は、電源518を動作させてもよい。電源518からフィラメント862に電流を流すことによって、フィラメント862は熱電子を生成し得る。ターゲット制御部51は、電源519によって、捕集電極861の電位を正の電位に維持してもよい。これによって、熱電子を、ドロップレット271が通過する空間に流し得る。

50

【 0 1 5 3 】

図 1 3 は、ターゲット生成部 2 7 5 が定常運転状態にあるときの、ピエゾ電圧、帯電電極電位、加速電極電位及び結合前のドロップレット 2 7 1 の帯電状態の関係例を示している。ピエゾ電圧及び帯電電極電位は同期してもよい。帯電電極電位において、各パルスの電位は負であってもよい。加速電極電位は、一定値に維持されてもよい。

【 0 1 5 4 】

図 1 3 の例において、6 番目のドロップレット 2 7 1 _ 6、1 2 番目のドロップレット 2 7 1 _ 1 2、1 8 番目のドロップレット 2 7 1 _ 1 8、2 4 番目のドロップレット 2 7 1 _ 2 4 は、正に帯電してもよい。他のドロップレット 2 7 1 は無帯電であってもよい。

【 0 1 5 5 】

ドロップレット 2 7 1 _ 1 からドロップレット 2 7 1 _ 6 が 1 番目のグループを構成してもよい。ドロップレット 2 7 1 _ 7 からドロップレット 2 7 1 _ 1 2 が 2 番目のグループを構成してもよい。ドロップレット 2 7 1 _ 1 3 からドロップレット 2 7 1 _ 1 8 が 3 番目のグループを構成してもよい。ドロップレット 2 7 1 _ 1 9 からドロップレット 2 7 1 _ 2 4 が 4 番目のグループを構成してもよい。

【 0 1 5 6 】

各グループにおいて、最後のドロップレット 2 7 1 _ 6、2 7 1 _ 1 2、2 7 1 _ 1 8、2 7 1 _ 2 4 が加速され得る。第 1 のグループから第 6 のグループが、それぞれ、ターゲットドロップレット 2 7 _ 1 からターゲットドロップレット 2 7 _ 4 を生成し得る。生成される各ターゲットドロップレット 2 7 は、正に帯電し得る。正に帯電したドロップレット 2 7 は、中和器 2 8 5 を通過してもよい。正に帯電したターゲットドロップレット 2 7 の電荷は、中和器 2 8 5 内で生成されている熱電子により中和され得る。

【 0 1 5 7 】

中和器 2 8 5 によってターゲットドロップレット 2 7 の電荷を中和することで、ターゲットドロップレット 2 7 を形成するグループにおける、正帯電又は負帯電のドロップレット数の選択の幅を広げ得る。各グループ内の帯電ドロップレット数を小さくすることで、ドロップレット 2 7 1 の帯電制御が容易となり、より正確な帯電制御を実現し得る。

【 0 1 5 8 】

なお、ターゲット生成部 2 7 5 は、負帯電のターゲットドロップレット 2 7 を中和する中和器を使用してもよい。ターゲット生成部 2 7 5 において、加速電極 2 8 1 は省略されてもよい。上述のように、帯電電極 2 6 7 からのクーロン引力により帯電ドロップレット 2 7 1 を加速し得る。

【 0 1 5 9 】

6 . 帯電ドロップレットの回収電極を含むターゲット生成部

以下に説明するターゲット生成部 2 7 5 は、吐出開始期間及び吐出停止期間において、クーロン力を使用して、帯電ドロップレット 2 7 1 を軌道から外れた位置に配置されたドロップレット回収タンクに回収する。これにより、E U V 光集光ミラー表面等に付着するドロップレット 2 7 1 を低減し得る。

【 0 1 6 0 】

6 . 1 構成例 1

図 1 4 は、ドロップレット回収電極を含むターゲット生成部 2 7 5 の構成例を示す。以下においては、図 4 の構成との相違点を主に説明する。ターゲット生成部 2 7 5 は、回収タンク 2 9 5、回収電極 2 9 6 及び回収電極電源 5 1 5 を有してもよい。

【 0 1 6 1 】

回収タンク 2 9 5 は、帯電電極 2 6 7 と遮蔽電極 2 6 8 の間の空間であって、定常吐出期間におけるドロップレット 2 7 1 の軌道からはずれた位置に配置されてもよい。回収電極 2 9 6 は、回収タンク 2 9 5 内に配置されてもよい。回収電極 2 9 6 は、回収電極電源 5 1 5 に接続されてもよい。回収タンク 2 9 5 及び回収電極 2 9 6 は、ターゲット材料を融解し得る温度に加熱されてもよい。

【 0 1 6 2 】

10

20

30

40

50

図15Aは、ノズル265からのターゲット材料の吐出開始期間、定常吐出期間及び吐出停止期間における、タンク61内の液体ターゲット材料に印加される圧力パターン、帯電電極267の電位パターン及び回収電極296の電位パターンを示す。以下においては、図8Aとの相違点を主に説明する。

【0163】

ターゲット制御部51は、回収電極電源515を制御して、回収電極296の電位（回収電極電位）を制御してもよい。回収電極電位は、帯電電極電位と同期してもよい。例えば、ターゲット制御部51は、同時刻に帯電電極電位と回収電極電位とを変化させてもよい。

【0164】

ターゲット制御部51は、ドロップレット271を回収するための電位として、V2の電位を回収電極296に与えてもよい。回収電極296の電位V2の極性は、帯電電極267の電位V1の極性と同一であってもよい。回収電極296の電位V2の絶対値は、帯電電極267の電位V1の絶対値よりも大きくてもよい。

【0165】

図15Bは、吐出開始期間、吐出定常期間及び吐出停止期間のそれぞれにおける、ドロップレット271の吐出状態を模式的に示している。図15B(a)は吐出開始期間における、ドロップレット271の吐出状態を模式的に示している。図15B(b)は吐出定常期間における、ドロップレット271の吐出状態を模式的に示している。図15B(c)は吐出停止期間における、ドロップレット271の吐出状態を模式的に示している。

【0166】

図15B(a)及び図15(c)に示すように、吐出開始期間及び吐出停止期間において、帯電したドロップレット271は、クーロン引力によって回収電極296に引き付けられ得る。ドロップレット271は、回収電極296を収容する回収タンク295に回収され得る。具体的には、吐出開始から時刻T2までの期間及び時刻T5から吐出停止までの期間のそれぞれにおいて、全てのドロップレットを帯電させ、回収し得る。

【0167】

図15B(b)に示すように、定常吐出期間において回収電極296の電位は0Vに維持され、ドロップレット271は、回収タンク295に回収されなくてよい。

【0168】

EUV光生成制御部5の他の機能部から吐出開始の信号を受信すると、ターゲット制御部51は、帯電電極電源516を介して帯電電極267の電位をV1に維持し、回収電極電源515を介して回収電極296の電位V2に維持してもよい。電位V1及びV2の極性は同一であり、例えば、負であってもよい。電位V2の絶対値は、電位V1の絶対値よりも大きくてもよい。

【0169】

タンク内圧力が閾値 P_{th} に到達するまでの間、生成されたドロップレット271は全て正に帯電し得る。生成されたドロップレット271は、クーロン力によって回収電極296に引付けられて、回収タンク295に落下し得る。タンク内圧力が P_{th} よりも高くなると、ターゲット制御部51は、帯電電極267の電位と回収電極296の電位を、共に0Vに変化させてもよい。

【0170】

EUV光生成制御部5の他の機能部から吐出停止の信号を受信して、タンク内圧力が閾値 P_{th} に達すると、ターゲット制御部51は、帯電電極267の電位をV1に変化させ、回収電極296の電位をV2に変化させてもよい。生成されたドロップレット271は、全て正に帯電し得る。生成されたドロップレット271は、クーロン力によって、回収電極296に引付けられて、回収タンク295に落下し得る。タンク圧力がターゲット材料の吐出が停止する圧力 P_{min} に達すると、ターゲット制御部51は、帯電電極267の電位と回収電極296電位を、共に0Vに変化させてもよい。

【0171】

10

20

30

40

50

吐出開始期間と吐出停止期間において、帯電電極 267 の電位と回収電極 296 の電位をそれぞれ所定の電位に維持することによって、生成されたドロップレット 271 は全て帯電し、クーロン力によって回収電極 296 に引き寄せられ得る。ドロップレット 271 は、回収タンク 295 に回収され得る。これにより、EUV 光集光ミラー表面等にドロップレット 271 が落下するのを抑制し得る。

【0172】

ドロップレット 271 の回収は、吐出開始期間及び吐出停止期間の一方のみにおいて実行されてもよい。回収電極 296 を使用したドロップレット 271 の回収は、複数のドロップレット 271 を結合した一つのターゲットドロップレット 27 の生成とは、独立して利用され得る。

10

【0173】

6.2 構成例 2

図 16A、図 16B は、ドロップレット回収タンクを含むターゲット生成部 275 の他の構成例を示す。図 16B は、図 16A の X V I B 切断線における断面を示している。本例において、定常吐出期間におけるドロップレット 271 の軌道は、重力方向に対して傾いてもよい。

【0174】

カバー 269 は、回収電極 296 を支持する支持部材 689 及び回収電極電源 515 と回収電極 296 を相互接続するための端子 687 を有してもよい。支持部材 689 は電気絶縁物で構成されてもよい。例えば、回収電極 296 は、定常運転期間におけるドロップレット 271 の軌道に対して、重力方向に対して斜め上の位置に配置されてもよい。回収電極 296 は、たとえば、炭素繊維で構成されるフェルトであってもよい。

20

【0175】

回収タンク 295 は、定常運転期間におけるドロップレット 271 の軌道について、回収電極 296 の反対側に配置されてもよい。回収タンク 295 は、カバー 269 の中であって、ドロップレット 271 の軌道から外れ、回収電極 296 から重力によって落ちる液体ターゲット材料を回収し得る位置に配置しされてもよい。

【0176】

吐出開始期間及び/又は吐出停止期間において、帯電電極 267 により帯電されたドロップレット 271 は、全て同一極性に帯電され得る。帯電されたドロップレット 271 は、正又は負の電位に維持された回収電極 296 に、クーロン力によって引きつけられ、回収電極 296 に衝突し得る。回収電極 296 に付着した液体ターゲット材料は、重力によって、回収タンク 295 に落ち得る。回収タンク 295 及び回収電極 296 は、ターゲット材料を融解し得る温度に加熱されていてもよい。

30

【0177】

本構成例によれば、定常運転期間のドロップレット軌道が重力方向に対して傾いている場合において、吐出開始期間及び/又は吐出停止期間に、軌道が不安定なドロップレット 271 を回収電極 296 にクーロン力で引き付け、回収タンク 295 に回収し得る。これにより、EUV 光集光ミラー表面等にドロップレット 271 が落下するのを抑制し得る。回収電極 296 が、定常運転期間におけるドロップレット軌道に対して、重力方向に対して斜め上の位置に配置されているので、EUV 光集光ミラー表面等へのドロップレット 271 の落下をさらに抑制し得る。

40

【0178】

回収電極 296 は、定常運転期間のドロップレット軌道上のドロップレット 271 を避ける位置であれば、どこの位置に配置されてもよい。回収タンク 295 は、チャンバ 2 内において、カバー 269 の外部に配置されてもよい。

【0179】

図 17 に示すように、回収電極 296 は、ドロップレット 271 と同一極性の電位に維持され、クーロン斥力によって、ドロップレット 271 を回収タンク 295 に向かわせてもよい。これにより、ドロップレット 271 を回収電極 296 に衝突させることなく回収

50

タンク 295 に回収し得る。回収タンク 295 の位置は図 17 の位置に限定されず、回収電極 296 によって偏向されたドロップレット軌道の先に配置されていればよい。

【0180】

ターゲット生成部 275 は、複数の回収電極 296 を使用してドロップレット 271 を偏向してもよい。複数の回収電極 296 の電位は全て同一極性でもよく、異なる極性の電位が複数の回収電極 296 に与えられてもよい。斥力によるドロップレット 271 の偏向は、定常吐出期間におけるドロップレット 271 の軌道と重力方向とが、図 17 の関係と異なる関係を有する装置に適用し得る。

【0181】

以上、実施形態を参照して本発明を説明したが、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、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。

【0182】

ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換え得る。ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加え得る。各実施形態の構成の一部について、削除、他の構成の追加、他の構成による置換をし得る。

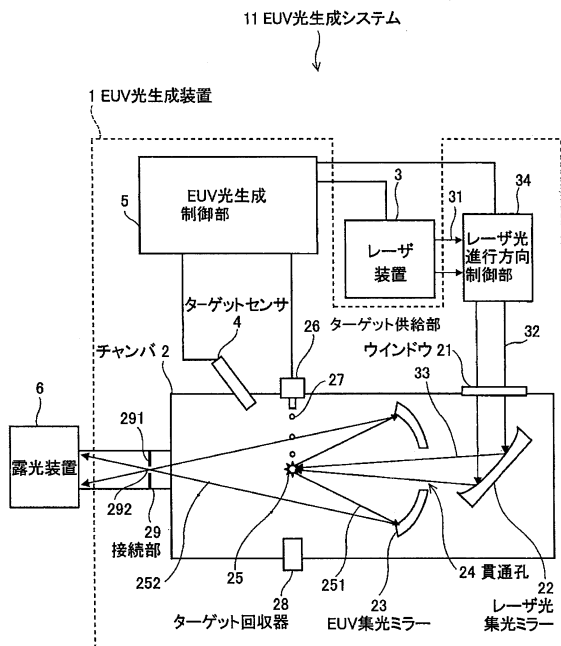
【0183】

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

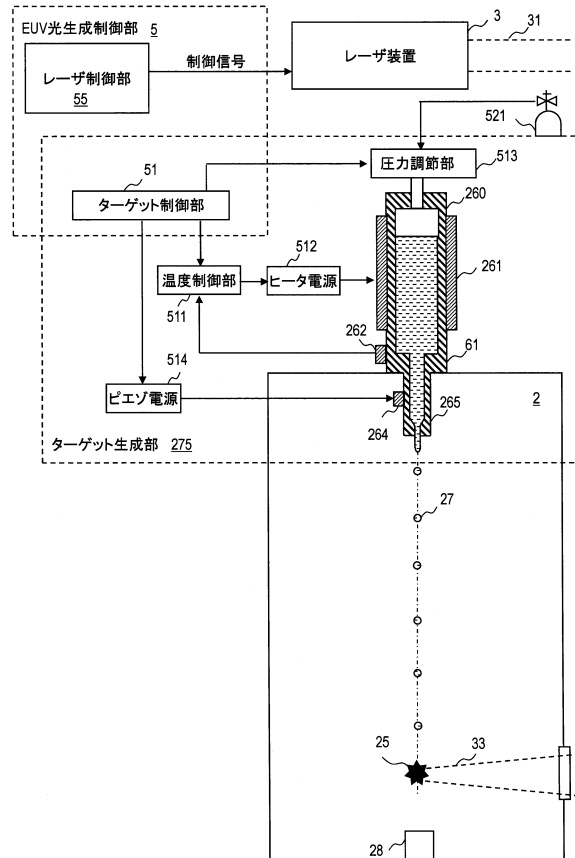
10

20

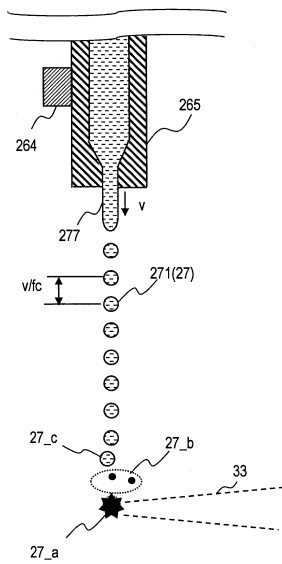
【図 1】



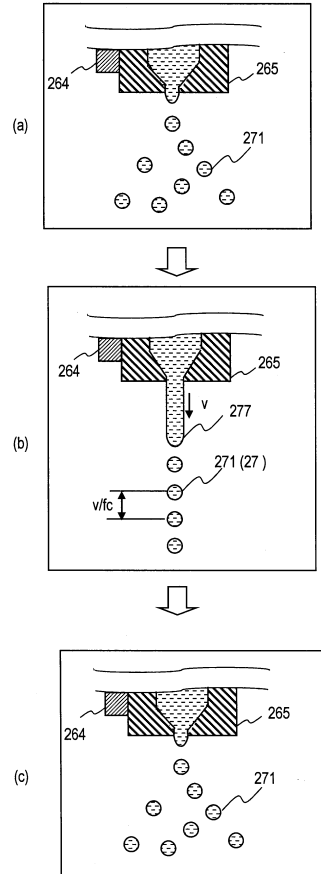
【図 2】



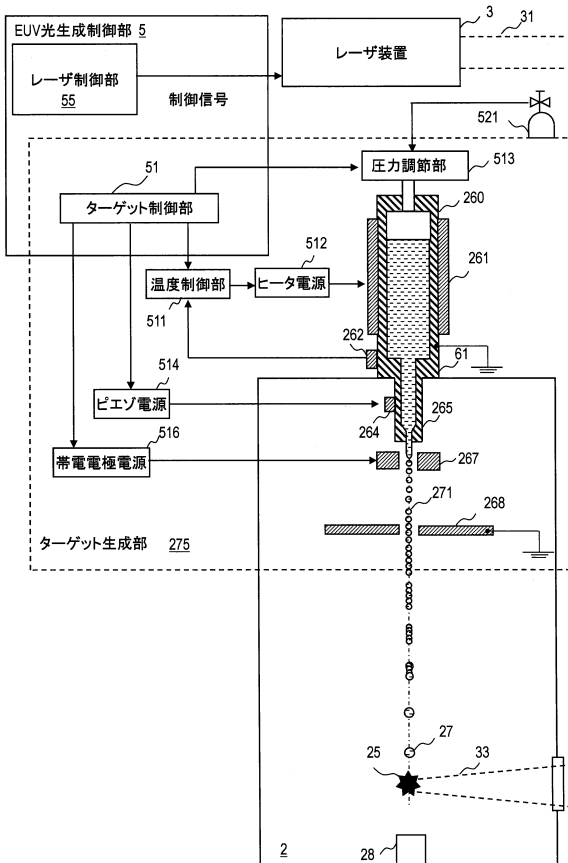
【図3A】



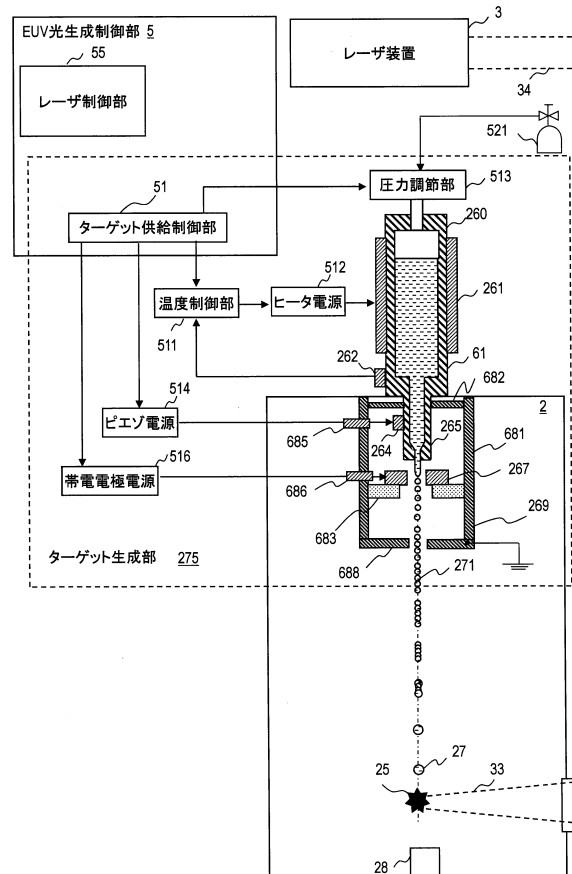
【図3B】



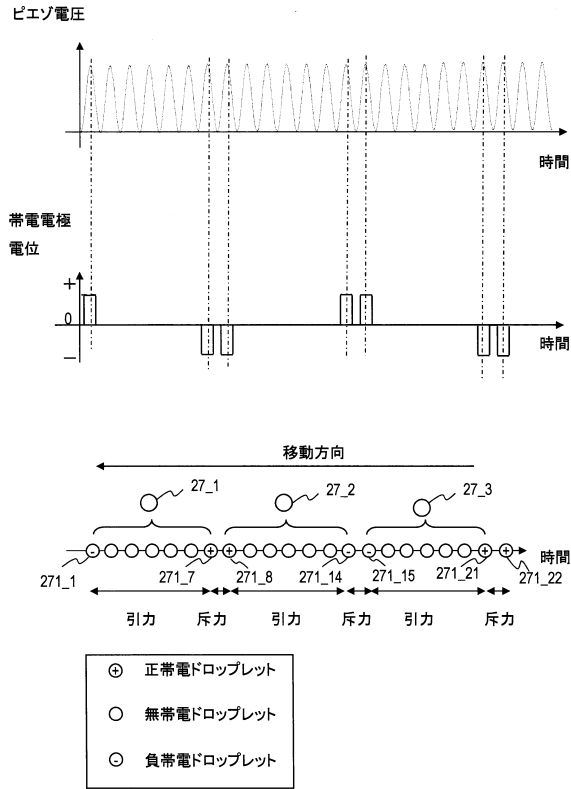
【図4】



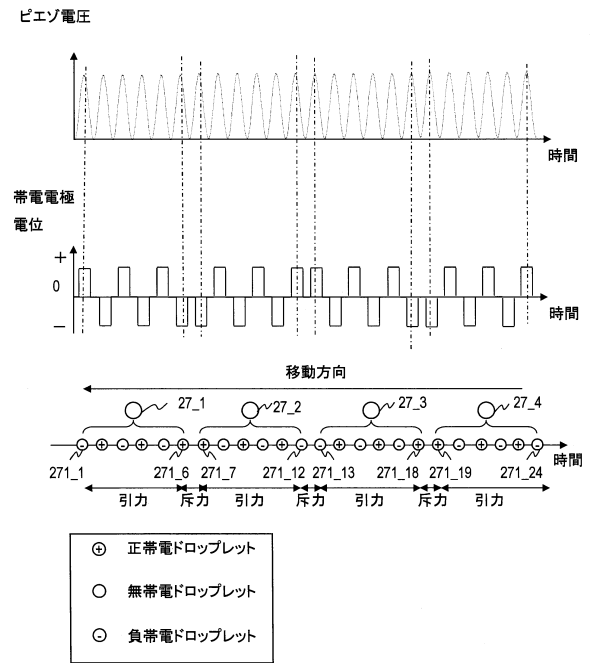
【図5】



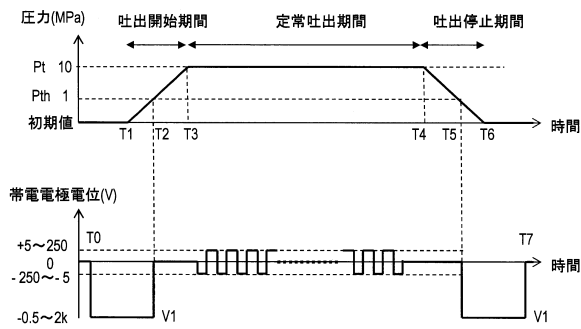
【図6】



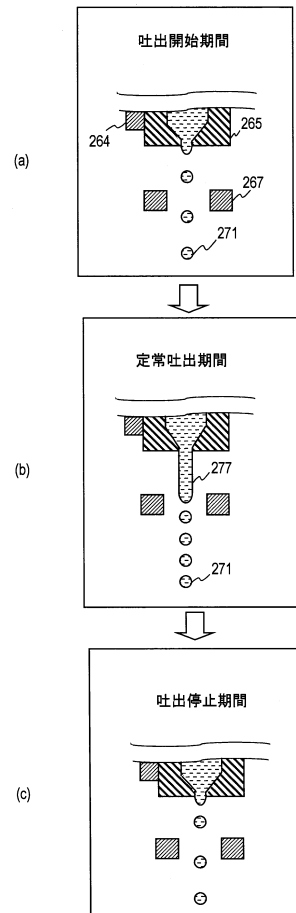
【図7】



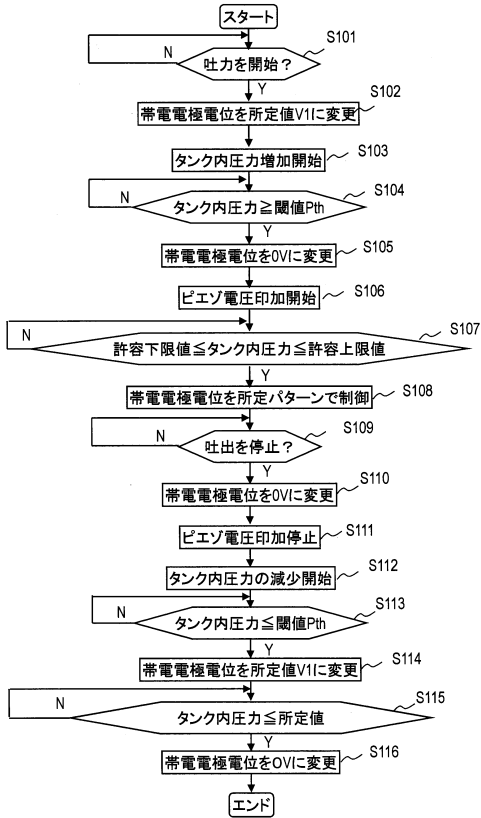
【図8A】



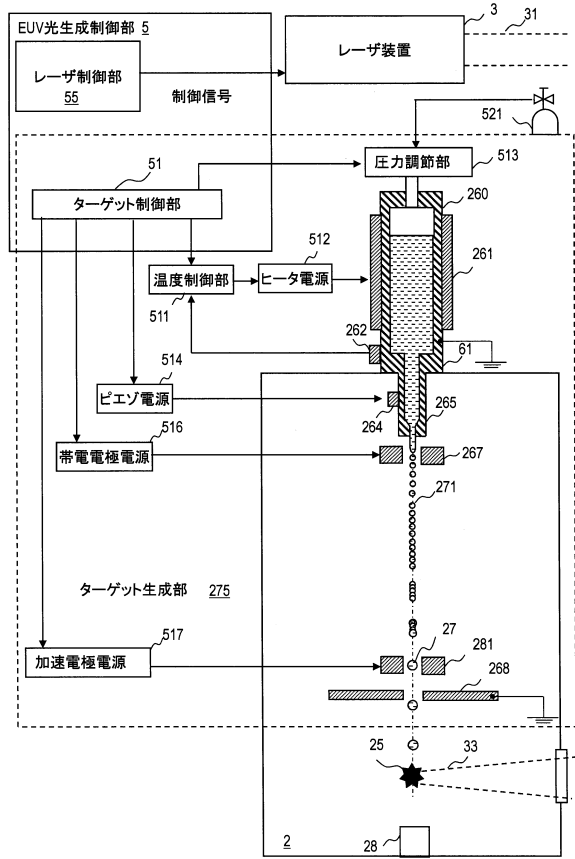
【図8B】



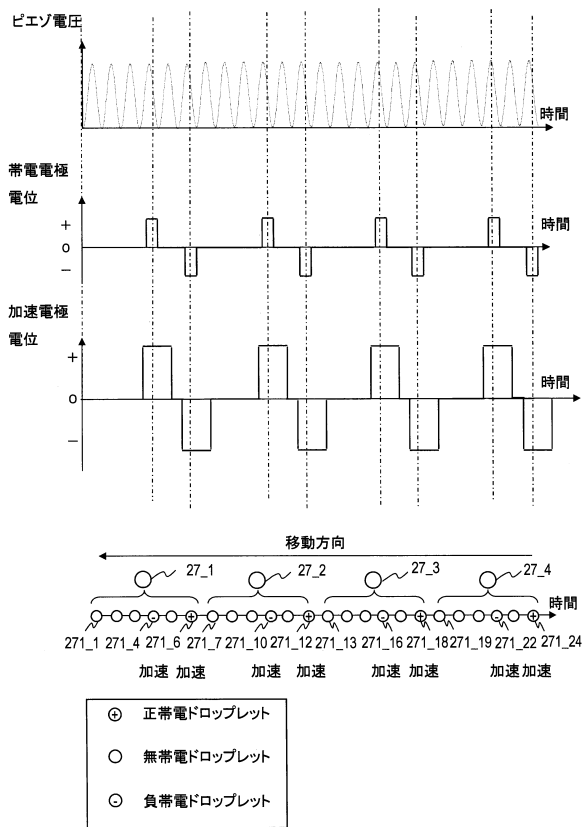
【図9】



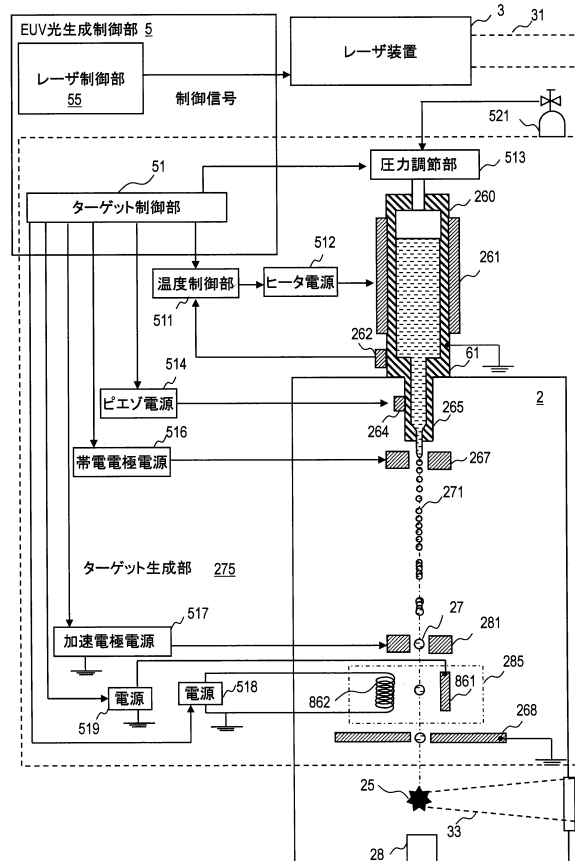
【図10】



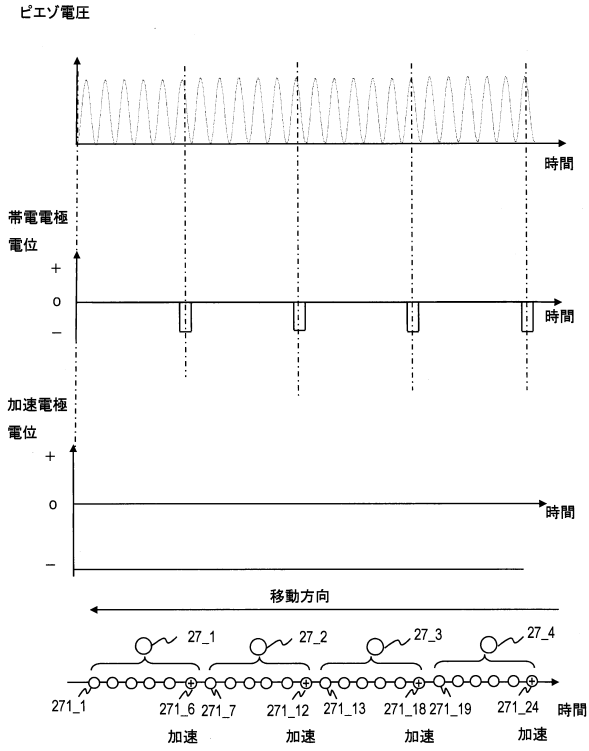
【図11】



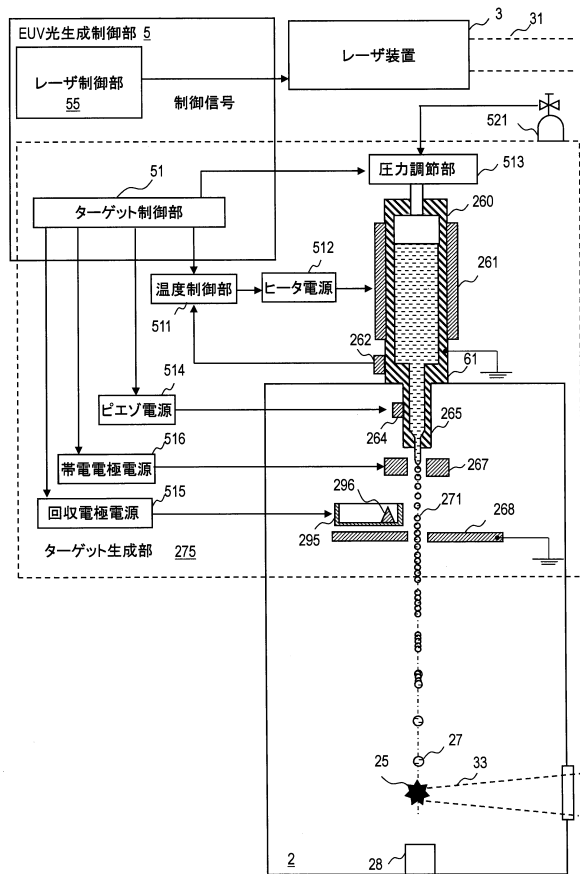
【図12】



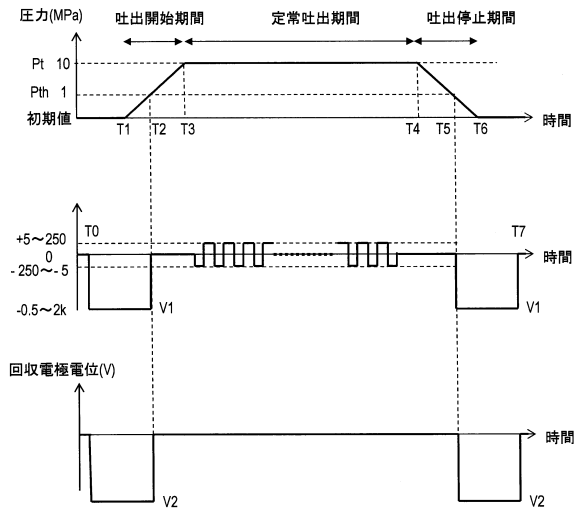
【図13】



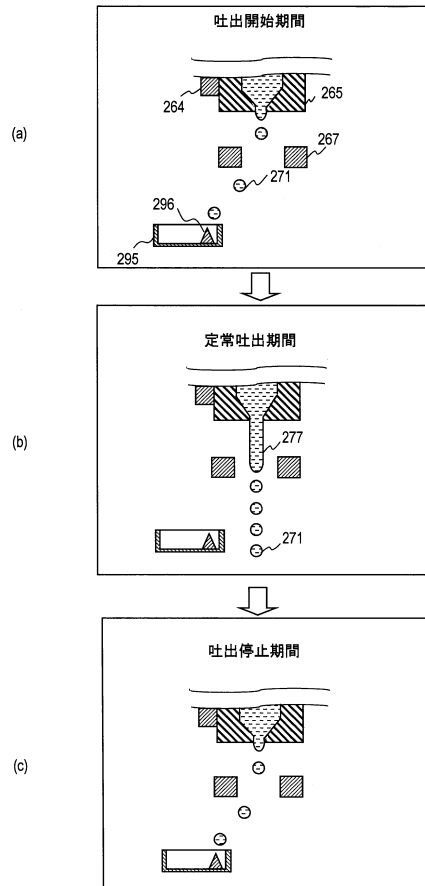
【図14】



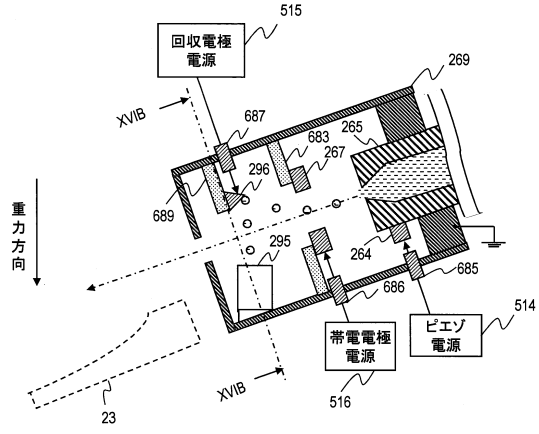
【図15A】



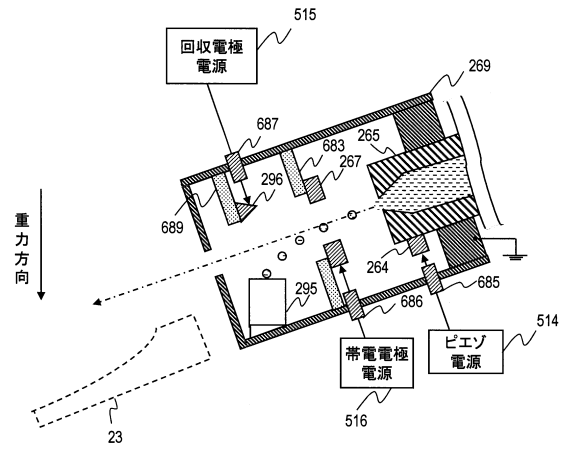
【図15B】



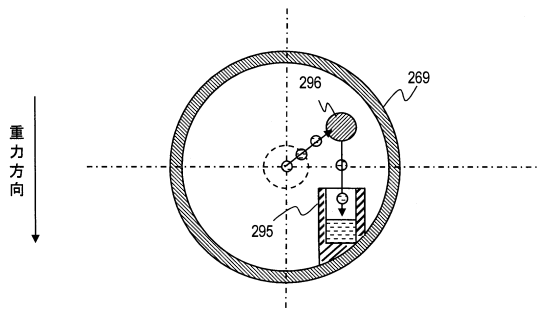
【図16A】



【図17】



【図16B】



フロントページの続き

審査官 遠藤 直恵

(56)参考文献 特開2006-074005(JP,A)
特開2007-200615(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H05G 2/00