

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日

2014 年 6 月 26 日(26.06.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/098181 A1

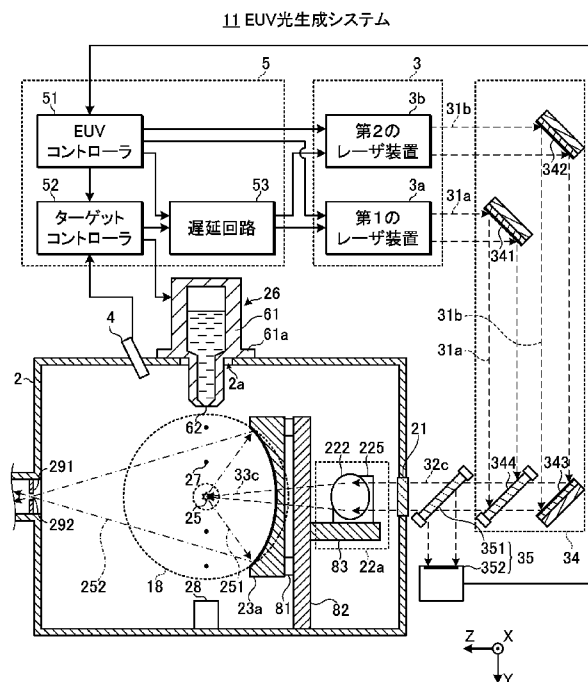


- | | |
|---|--|
| (51) 国際特許分類:
H05G 2/00 (2006.01) | (74) 代理人: 宇都宮 正明, 外(UTSUNOMIYA Mas-
aaki et al.); 〒1690075 東京都新宿区高田馬場 1 丁
目 3 2 番 1 4 号 U K ビル 8 階 進歩国際特許
事務所 Tokyo (JP). |
| (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/084082 | (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW. |
| (22) 国際出願日: 2013 年 12 月 19 日(19.12.2013) | |
| (25) 国際出願の言語: 日本語 | |
| (26) 国際公開の言語: 日本語 | |
| (30) 優先権データ:
特願 2012-278197 2012 年 12 月 20 日(20.12.2012) JP | |
| (71) 出願人: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON
INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市横倉新田 4
0 0 Tochigi (JP). | (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, |
| (72) 発明者: 永井 伸治(NAGAI Shinji); 〒3238558 栃
木県小山市横倉新田 4 0 0 ギガフォトン株式
会社内 Tochigi (JP). 斎藤 隆志(SAITO Takashi);
〒3238558 栃木県小山市横倉新田 4 0 0 ギガ
フォトン株式会社内 Tochigi (JP). | |

〔続葉有〕

(54) Title: EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT GENERATION SYSTEM AND EXTREME ULTRAVIOLET GENERATION APPARATUS

(54) 発明の名称：極端紫外光生成システム及び極端紫外光生成装置



- 3a First laser device
- 3b Second laser device
- 11 EUV light generation system
- 51 EUV controller
- 52 Target controller
- 53 Delay circuit

(57) Abstract: This extreme ultraviolet light generation system may include a light-focusing optical system configured in such a manner that pre-pulse laser light and main pulse laser light are focused in a plasma generation region; and in such a manner that the optical path axis of the pre-pulse laser light and the optical path axis of the main pulse laser light pass through the plasma generation region at an angle less than or equal to the angle of a loss cone relative to the center axis of a magnetic field generated by a magnetic field generator. A first laser device and a second laser device may be controlled in such a manner that, after irradiating a target outputted from a target generation unit with the pre-pulse laser light in the plasma generation region, the target is irradiated with the main pulse laser light within a delay time ranging from 0.5 μ s to 7 μ s.

(57) 要約: この極端紫外光生成システムは、プラズマ生成領域にプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を集光するように、且つプリパルスレーザ光の光路軸及びメインパルスレーザ光の光路軸が、磁場生成器によって生成される磁場の中心軸に対してロスコーン角以下の角度でプラズマ生成領域を通してように構成された集光光学系を含んでもよい。ターゲット生成部から出力されたターゲットに、プラズマ生成領域においてプリパルスレーザ光が照射された後、このターゲットに、 $0.5\ \mu\text{s}$ 以上 $7\ \mu\text{s}$ 以下の範囲の遅延時間でメインパルスレーザ光が照射されるように、第1のレーザ装置及び第2のレーザ装置が制御されてもよい。



GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 極端紫外光生成システム及び極端紫外光生成装置

技術分野

[0001] 本開示は、極端紫外光生成システム及び極端紫外光生成装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体プロセスの微細化に伴って、半導体プロセスの光リソグラフィにおける転写パターンの微細化が急速に進展している。次世代においては、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、例えば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（EUV: Extreme Ultra Violet）光を生成するための極端紫外光生成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] 極端紫外光生成装置としては、ターゲット物質にレーザ光を照射することによって生成されるプラズマが用いられるLPP（Laser Produced Plasma：レーザ励起プラズマ）式の装置と、放電によって生成されるプラズマが用いられるDPP（Discharge Produced Plasma）式の装置と、軌道放射光が用いられるSR（Synchrotron Radiation）式の装置との3種類の装置が提案されている。

概要

[0004] 本開示の1つの観点に係る極端紫外光生成システムは、第1のレーザ装置と、第2のレーザ装置と、第1のレーザ装置から出力されたプリパルスレーザ光と第2のレーザ装置から出力されたメインパルスレーザ光とが通過するための貫通孔が設けられたチャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域を含む領域に磁場を生成するように構成された磁場生成器と、プラズマ生成領域にプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を集光するように、且つプリパルスレーザ光の光路軸及びメインパルスレーザ光の光路軸が、磁場生成

器によって生成される磁場の中心軸に対してロスコーン角以下の角度でプラズマ生成領域を通るように構成された集光光学系と、ターゲット生成部と、ターゲット生成部から出力されたターゲットに、プラズマ生成領域においてプリパルスレーザ光が照射された後、このターゲットに、 $0.5\ \mu\text{s}$ 以上 $7\ \mu\text{s}$ 以下の範囲の遅延時間でメインパルスレーザ光が照射されるように、第1のレーザ装置及び第2のレーザ装置を制御するEUV光生成制御部と、を含んでもよい。

[0005] 本開示の他の1つの観点に係る極端紫外光生成装置は、パルスレーザ光が通過するための貫通孔が設けられたチャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域にパルスレーザ光を集光するように構成された集光光学系と、プラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、プラズマ生成領域を含む領域に磁場を生成するように構成された磁場生成器と、プラズマ生成領域と磁場生成器との間に位置し、プラズマ生成領域において生成されたイオンを回収するように構成され、且つ、パルスレーザ光を通過させるレーザ光通路を画定するイオン回収部と、を含んでもよい。

[0006] 本開示の他の1つの観点に係る極端紫外光生成装置は、第1のレーザ装置から出力されたプリパルスレーザ光と第2のレーザ装置から出力されたメインパルスレーザ光とが通過するための貫通孔が設けられたチャンバと、チャンバ内のプラズマ生成領域を含む領域に磁場を生成するように構成された磁場生成器と、ターゲット生成部と、プリパルスレーザ光とメインパルスレーザ光とを合流させるビームコンバイナと、ビームコンバイナから出力されたプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を、磁場生成器によって生成される磁場の中心軸と交差してプラズマ生成領域に集光するように構成された集光光学系と、プリパルスレーザ光の光路軸及びメインパルスレーザ光の光路軸と磁場生成器によって生成される磁場の中心軸とを含む面に対向する反射面を有し、前記プラズマ生成領域において生成された極端紫外光を集光するEUV集光ミラーと、を含んでもよい。

図面の簡単な説明

[0007] 本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。

[図1]図1は、例示的なL P P式のE U V光生成システムの構成を概略的に示す。

[図2A]図2 Aは、第1の実施形態に係るE U V光生成システムの構成を示す一部断面図である。

[図2B]図2 Bは、図2 Aに示されるE U V光生成装置のZ X平面に平行な断面を示す。

[図3]図3は、E U V光生成システムにおけるプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の照射条件とC Eとの関係の計測結果を示すグラフである。

[図4]図4は、ロスコーン角について説明するための図である。

[図5A]図5 Aは、ターゲットにプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を照射したときに発生した正イオンの電荷量分布の計測結果を示す。

[図5B]図5 Bは、図5 Aに示されるイオン電荷量の分布を極座標平面に示す。

[図6]図6は、第2の実施形態に係るE U V光生成装置の一部断面図である。

[図7]図7 A及び図7 Bは、図6に示されたイオン回収部の詳細な構成を示す。

[図8]図8は、第3の実施形態に係るE U V光生成装置の一部断面図である。

[図9A]図9 Aは、第4の実施形態に係るE U V光生成システムを示す一部断面図である。

[図9B]図9 Bは、図9 Aに示されるE U V光生成装置のZ X平面に平行な断面を示す。

[図10]図10は、磁場によるイオン収束範囲Aを概略的に示す。

[図11]図11は、上述の各実施形態に係るE U V光生成装置において用いることができる第1のレーザ装置のブロック図である。

[図12]図12は、プラズマから放射されるE U V光の光強度分布の計測結果を極座標平面に示す。

実施形態

[0008] <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
 3. 1 構成
 3. 2 動作
4. 磁場生成器を含む E U V 光生成装置（第 1 の実施形態）
 4. 1 構成
 4. 2 動作
 4. 3 第 5 の遅延時間について
 4. 4 ロスコーン角
 4. 5 イオン回収率の向上
5. 第 2 の実施形態（レーザ光路軸が磁場軸に一致する場合）
6. 第 3 の実施形態（磁場が非対称な場合）
7. 第 4 の実施形態（レーザ軸と磁場軸が直交する場合）
8. その他（第 1 のレーザ装置）

[0009] 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すべてが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

[0010] 1. 概要

L P P 式の E U V 光生成装置においては、ターゲット生成部がターゲットを出力し、チャンバ内のプラズマ生成領域に到達させてもよい。ターゲットがプラズマ生成領域に到達した時点で、レーザシステムがターゲットにパルスレーザ光を照射することで、ターゲットがプラズマ化し、このプラズマが

らEUV光が放射され得る。

[0011] プラズマは、ターゲットの材料が電離したことによって生成されたイオン及び電子を含み得る。プラズマに含まれるイオンは、チャンバ内の光学装置に付着した場合に、当該光学装置の性能を低下させ得る。そこで、イオンを回収するために、磁場生成器によってプラズマ生成領域を含む領域に磁場を生成する場合がある。

[0012] プラズマ生成領域から放出されて拡散しようとするイオンは、磁場によってローレンツ力を受けることにより移動方向を変えられ、磁場に沿ってらせん状に移動し得る。プラズマ生成領域から、磁場に対してロスコーン角と呼ばれる角度範囲内の方向に放出されたイオンは、プラズマ生成領域と磁場生成器との間に設けられたイオン回収部によって回収され得る。しかしながら、磁場に対してロスコーン角を超える方向に放出されたイオンは、磁場に閉じ込められてしまい、イオン回収部に到達できない場合があり得る。イオン回収部に到達できなかったイオンは、チャンバ内の光学装置に付着してしまう場合があり得る。

[0013] 本発明者らは、プラズマに含まれるイオンの量の分布が、ターゲットに照射されるパルスレーザ光の照射方向に依存し得ることを見出した。多くのイオンが磁場に対してロスコーン角以下の角度で放出されれば、多くのイオンがイオン回収部に到達し、効率的に回収され得る。一方、多くのイオンが磁場に対してロスコーン角を超える角度で放出されれば、イオンの回収効率が低くなり得る。

[0014] 本開示の1つの観点によれば、ターゲットに照射されるパルスレーザ光の光路軸が、磁場の中心軸に対してロスコーン角以下の角度でプラズマ生成領域を通ってもよい。

本開示のもう1つの観点によれば、プラズマ生成領域と磁場生成器の1つとの間に、パルスレーザ光を通過させるイオン回収部が設けられてもよい。

これらの観点によれば、多くのイオンを、磁場に対してロスコーン角以下の角度で放出させることができ、イオン回収部によって効率的に回収し得る

。

[0015] また、多くのイオンが磁場に対してロスコーン角を超える角度で放出されるとしても、その放出方向がEUV集光ミラーに向かう方向でない場合には、イオンがEUV集光ミラーに付着することを抑制し得る。

本開示の別の観点によれば、ターゲットに照射されるパルスレーザ光の光路軸と磁場の中心軸とを含む面と、EUV集光ミラーの反射面とが対向していてもよい。

この観点によれば、磁場に対してロスコーン角を超える角度で放出されたイオンがEUV集光ミラーに到達することを抑制し得る。

[0016] 2. 用語の説明

本願において使用される幾つかの用語を以下に説明する。

「ロスコーン角」は、イオンが磁場に閉じ込められずに磁場に沿って排出されるようなイオンの移動方向の閾値を意味し得る。ロスコーンという用語は、イオンを磁場に閉じ込めて利用する核融合炉などの分野において、磁場に閉じ込められずに損失となるイオンの移動方向の範囲が円錐の形状を有することに由来し得る。

ターゲットの「軌道」は、ターゲット生成部から出力されるターゲットの理想的な経路、あるいは、ターゲット生成部の設計に従ったターゲットの経路であってもよい。

ターゲットの「軌跡」は、ターゲット生成部から出力されたターゲットの実際の経路であってもよい。

「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向けてターゲットが出力され、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光が集光される必要があり得る。

[0017] 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 L P P 式の E U V 光生成システムの構成を概略的に示す。E U V 光生成装置 1 は、少なくとも 1 つのレーザシステム 3 と共に用いられてもよい。本願においては、E U V 光生成装置 1 及びレーザシステム 3 を含むシステムを、E U V 光生成システム 1 1 と称する。図 1 に示し、かつ、以下に詳細に説明するように、E U V 光生成装置 1 は、チャンバ 2、ターゲット生成部 2 6 を含んでもよい。チャンバ 2 は、密閉可能であってもよい。ターゲット生成部 2 6 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。ターゲット生成部 2 6 から出力されるターゲット物質の材料は、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。

[0018] チャンバ 2 の壁には、少なくとも 1 つの貫通孔が設けられていてもよい。その貫通孔には、ウインドウ 2 1 が設けられてもよく、ウインドウ 2 1 をレーザシステム 3 から出力されるパルスレーザ光 3 2 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 E U V 集光ミラー 2 3 が配置されてもよい。E U V 集光ミラー 2 3 は、第 1 及び第 2 の焦点を有し得る。E U V 集光ミラー 2 3 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。E U V 集光ミラー 2 3 は、例えば、その第 1 の焦点がプラズマ生成領域 2 5 に位置し、その第 2 の焦点が中間集光点 (I F) 2 9 2 に位置するように配置されるのが好ましい。必要な場合には、E U V 集光ミラー 2 3 の中央部には貫通孔 2 4 が設けられていてもよく、貫通孔 2 4 をパルスレーザ光 3 3 が通過してもよい。

[0019] E U V 光生成装置 1 は、E U V 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 2 7 の存在、軌跡、位置、速度等を検出するよう構成されてもよい。

[0020] また、E U V 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続部 2 9 を含んでもよい。接続部 2 9 内部には、アパーチャが

形成された壁 2 9 1 が設けられてもよい。壁 2 9 1 は、そのアパーチャが E U V 集光ミラー 2 3 の第 2 の焦点位置に位置するように配置されてもよい。

[0021] さらに、E U V 光生成装置 1 は、レーザ光進行方向制御部 3 4、レーザ光集光ミラー 2 2、ターゲット 2 7 を回収するためのターゲット回収部 2 8 等を含んでもよい。レーザ光進行方向制御部 3 4 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。

[0022] 3. 2 動作

図 1 を参照に、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、レーザ光進行方向制御部 3 4 を経て、パルスレーザ光 3 2 としてウインドウ 2 1 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 3 2 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 2 2 で反射されて、パルスレーザ光 3 3 として少なくとも 1 つのターゲット 2 7 に照射されてもよい。

[0023] ターゲット生成部 2 6 は、ターゲット 2 7 をチャンバ 2 内部のプラズマ生成領域 2 5 に向けて出力するよう構成されてもよい。ターゲット 2 7 には、パルスレーザ光 3 3 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 2 7 はプラズマ化し、そのプラズマから放射光 2 5 1 が放射され得る。E U V 集光ミラー 2 3 は、放射光 2 5 1 に含まれる E U V 光を、他の波長域の光に比べて高い反射率で反射してもよい。E U V 集光ミラー 2 3 によって反射された E U V 光を含む反射光 2 5 2 は、中間集光点 2 9 2 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 2 7 に、パルスレーザ光 3 3 に含まれる複数のパルスが照射されてもよい。

[0024] E U V 光生成制御部 5 は、E U V 光生成システム 1 1 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 2 7 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 2 7 が出

力されるタイミング、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。さらに、EUV 光生成制御部 5 は、例えば、レーザシステム 3 の発振タイミング、パルスレーザ光 32 の進行方向、パルスレーザ光 33 の集光位置等を制御する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。

[0025] 4. 磁場生成器を含む EUV 光生成装置

4. 1 構成

図 2 A は、第 1 の実施形態に係る EUV 光生成システム 11 の構成を示す一部断面図である。図 2 A は、EUV 光生成装置 1 の YZ 平面に平行な断面を示す。図 2 B は、図 2 A に示される EUV 光生成装置 1 の ZX 平面に平行な断面を示す。ここで、X 方向は、磁場 18 a の中心軸 18 b の方向に相当し得る。Y 方向は、ターゲット 27 の進行方向に相当し、且つ、好ましくは重力の方向に相当し得る。Z 方向は、EUV 光を含む反射光 252 の中心軸の方向に相当し得る。X 方向、Y 方向及び Z 方向は、互いに垂直であり得る。図 2 A 及び図 2 B に示されるように、チャンバ 2 の内部には、集光光学系 22 a と、EUV 集光ミラー 23 a と、ターゲット回収部 28 と、イオン回収部 28 a と、EUV 集光ミラーホルダ 81 と、プレート 82 及び 83 とが設けられてもよい。チャンバ 2 には、ターゲット生成部 26 が取り付けられてもよい。

[0026] チャンバ 2 の外部には、レーザ光進行方向制御部 34 と、光検出器 35 と、EUV 光生成制御部 5 と、磁場生成器 18 とが設けられてもよい。レーザ光進行方向制御部 34 は、高反射ミラー 341、342 及び 343 と、ダイクロイックミラー 344 とを含んでもよい。光検出器 35 は、ビームスプリッタ 351 と光センサ 352 とを含んでもよい。EUV 光生成制御部 5 は、EUV コントローラ 51 と、ターゲットコントローラ 52 と、遅延回路 53 とを含んでもよい。

[0027] チャンバ 2 の外部には、さらに、EUV 光生成システムを構成するレーザシステム 3 が設けられてもよい。レーザシステム 3 は、第 1 のレーザ装置 3

a 及び第 2 のレーザ装置 3 b を含んでもよい。第 1 のレーザ装置 3 a は、プリパルスレーザ光 3 1 a を出力してもよい。第 2 のレーザ装置 3 b は、メインパルスレーザ光 3 1 b を出力してもよい。

[0028] プレート 8 2 は、チャンバ 2 に固定されてもよい。プレート 8 2 には、プレート 8 3 が固定されてもよい。EUV 集光ミラー 2 3 a は、EUV 集光ミラーホルダ 8 1 を介してプレート 8 2 に固定されてもよい。EUV 集光ミラー 2 3 a には、貫通孔 2 4 (図 1) が形成されていなくてもよい。

[0029] 集光光学系 2 2 a は、平面ミラー 2 2 1、軸外放物面ミラー 2 2 2 及び平面ミラー 2 2 3 と、ホルダ 2 2 4 ~ 2 2 6 とを含んでもよい。平面ミラー 2 2 1 は、ホルダ 2 2 4 によって保持されてもよい。軸外放物面ミラー 2 2 2 は、ホルダ 2 2 5 によって保持されてもよい。平面ミラー 2 2 3 は、ホルダ 2 2 6 によって保持されてもよい。ホルダ 2 2 4 及び 2 2 5 は、プレート 8 3 に固定されてもよい。ホルダ 2 2 6 は、チャンバ 2 に固定されてもよい。平面ミラー 2 2 1、軸外放物面ミラー 2 2 2 及び平面ミラー 2 2 3 によって反射されたプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光 3 3 c がプラズマ生成領域 2 5 で集光するように、これらのミラーの位置及び姿勢が保持されてもよい。

[0030] ターゲット生成部 2 6 は、リザーバ 6 1 を有していてもよい。リザーバ 6 1 は、図示しないヒータを用いてターゲットの材料を溶融した状態で内部に貯蔵してもよい。リザーバ 6 1 の一部が、チャンバ 2 の壁面に形成された貫通孔 2 a を貫通しており、リザーバ 6 1 の先端がチャンバ 2 の内部に位置していてもよい。リザーバ 6 1 の上記先端には、開口 6 2 が形成されていてもよい。貫通孔 2 a の周囲のチャンバ 2 の壁面には、リザーバ 6 1 のフランジ部 6 1 a が密着して固定されてもよい。

[0031] 磁場生成器 1 8 は、一対の磁石を含んでもよい。これらの磁石は、電源 1 9 に接続されたトロイダル状のコイルを含む電磁石でもよい。磁場生成器 1 8 は、これらのコイルの中心軸がターゲット 2 7 の進行方向とほぼ直交するように配置されてもよい。磁場生成器 1 8 は、チャンバ 2 の内部に磁場 1 8

aを生成するように構成されてもよい。磁場生成器18に含まれる2つのコイルの中心軸は、磁場18aの中心軸18bとほぼ一致し得る。磁場18aは、中心軸18bの周りに軸対称であってもよい。磁場18aは、プラズマ生成領域25を含む領域に生成されるのが好ましい。

[0032] 4. 2 動作

図2Aを参照し、ターゲット生成部26は、開口62を介して、溶融したターゲットの材料をドロップレット状のターゲット27としてチャンバ2内のプラズマ生成領域25に向けて出力してもよい。ターゲット回収部28は、ターゲット27の軌道の延長線上に配置され、プラズマ生成領域25を通過したターゲット27を回収してもよい。

[0033] レーザ光進行方向制御部34に含まれる高反射ミラー341は、第1のレーザ装置3aが出力するプリパルスレーザ光31aの光路に配置されてもよい。高反射ミラー341は、プリパルスレーザ光31aを高い反射率で反射してもよい。

[0034] 高反射ミラー341によって反射されたプリパルスレーザ光31aは、ダイクロイックミラー344に図中上側から入射してもよい。ダイクロイックミラー344は、プリパルスレーザ光31aを高い反射率で図中左側に向けて反射してもよい。

[0035] 第2のレーザ装置3bが出力するメインパルスレーザ光31bは、プリパルスレーザ光31aに含まれる波長成分と異なる波長成分を含んでもよい。メインパルスレーザ光31bの光路には、高反射ミラー342及び343が配置されてもよい。高反射ミラー342及び343は、メインパルスレーザ光31bを高い反射率で順次反射してもよい。

[0036] 高反射ミラー342及び343によって反射されたメインパルスレーザ光31bは、ダイクロイックミラー344に図中右側から入射してもよい。ダイクロイックミラー344は、メインパルスレーザ光31bを高い透過率で図中左側に向けて透過させてもよい。

これにより、プリパルスレーザ光31aと、メインパルスレーザ光31b

とは、ダイクロイックミラー３４４によって合波され得る。すなわち、ダイクロイックミラー３４４はビームコンバイナとして機能し得る。合波されたプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光３２ｃは、集光光学系２２ａに導かれ得る。

[0037] 図２Ｂを参照し、集光光学系２２ａに含まれる平面ミラー２２１は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光３２ｃの光路に配置されてもよい。平面ミラー２２１は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光３２ｃを軸外放物面ミラー２２２に向けて反射してもよい。平面ミラー２２１及び軸外放物面ミラー２２２は、ＥＵＶ集光ミラー２３ａの反射面より後方の位置に配置されていてもよい。「後方」とは、ＥＵＶ集光ミラー２３ａの反射面から、ＥＵＶ集光ミラー２３ａの反射面と反対側の面へ向かう方向でもよい。

[0038] 平面ミラー２２３は、軸外放物面ミラー２２２によって反射されたプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光３３ｃの光路に配置されてもよい。平面ミラー２２３は、ＥＵＶ集光ミラー２３ａの反射面より前方の位置に配置されていてもよい。「前方」とは、ＥＵＶ集光ミラー２３ａの反射面と反対側の面から、ＥＵＶ集光ミラー２３ａの反射面へ向かう方向でもよい。軸外放物面ミラー２２２によって反射されたプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光３３ｃは、ＥＵＶ集光ミラー２３ａの反射面の外縁より外側の光路を通して平面ミラー２２３に達してもよい。なお、平面ミラー２２３は、図２Ａにおいては省略されている。

[0039] 平面ミラー２２３は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光３３ｃを反射することにより、これらの光をプラズマ生成領域２５に導いてもよい。プラズマ生成領域２５を通るときの、プリパルスレーザ光の光路軸３３ａの向き及びメインパルスレーザ光の光路軸３３ｂの向きは、磁場生成器１８によって生成される磁場１８ａの中心軸１８ｂの向きと僅かに異なってもよい。平面ミラー２２３の位置は、プラズマ生成領域２５からみて、イオン回収部２８ａと重ならない位置であってもよい。

[0040] 図2Aを再び参照し、光検出器35は、レーザ光進行方向制御部34と集光光学系22aとの間に配置されてもよい。光検出器35に含まれるビームスプリッタ351は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光32cを集光光学系22aに向けて高い透過率で透過させてもよい。これとともに、ビームスプリッタ351は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光32cの一部を光センサ352に向けて反射してもよい。光センサ352は、ビームスプリッタ351によって反射されたプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光32cの一部を受光してもよい。光センサ352は、それらの受光タイミングを示す受光タイミング信号をEUV光生成制御部5に出力してもよい。

[0041] EUV光生成制御部5に含まれるEUVコントローラ51は、露光装置6(図1)からEUV光生成指令信号が出力された場合に、当該EUV光生成指令信号を受信してもよい。EUV光生成制御部5は、以下の第1の機能及び第2の機能のいずれかを有していてもよい。EUV光生成指令信号とは、露光装置6からEUV光生成制御部5に対して送信されるトリガ信号であってもよい。

[0042] 第1の機能は、以下の機能でもよい。

EUVコントローラ51は、EUV光生成指令信号に基づき、ターゲットコントローラ52にターゲット生成信号を出力してもよい。ターゲットコントローラ52は、EUVコントローラ51から受信したターゲット生成信号をターゲット生成部26に出力してもよい。ターゲット生成部26は、ターゲット生成信号が出力されている間、略一定の繰り返し周波数で連続的にターゲット27をチャンバ2内に出力してもよい。

[0043] ターゲットコントローラ52は、ターゲットセンサ4から出力されたターゲット27の検出タイミングを示すターゲット検出信号を受信してもよい。ターゲットコントローラ52は、ターゲット検出信号を、遅延回路53に出力してもよい。遅延回路53は、ターゲット検出信号に第1の遅延時間を与えた第1遅延信号を第1のレーザ装置3aに出力してもよい。遅延回路53

は、ターゲット検出信号に第2の遅延時間を与えた第2遅延信号を第2のレーザ装置3bに出力してもよい。

[0044] 第1の遅延時間は、ターゲットセンサ4によって検出されたターゲット27がプラズマ生成領域25に到達するタイミングでプリパルスレーザ光がターゲット27に照射されるような遅延時間でもよい。第2の遅延時間は、プリパルスレーザ光が照射されたターゲット27が拡散して所定の拡散ターゲットとなるタイミングでメインパルスレーザ光が拡散ターゲットに照射されるような遅延時間でもよい。以上が第1の機能でもよい。

[0045] 第2の機能は、以下の機能でもよい。

EUVコントローラ51は、EUV光生成指令信号に基づき、ターゲットコントローラ52及び遅延回路53に、EUV光生成トリガ信号を出力してもよい。ターゲットコントローラ52は、EUVコントローラ51から受信したEUV光生成トリガ信号をターゲット生成部26に出力してもよい。ターゲット生成部26は、EUV光生成トリガ信号のタイミングに応じて、オンデマンドでターゲット27をチャンバ2内に出力してもよい。

[0046] 遅延回路53は、EUV光生成トリガ信号に第3の遅延時間を与えた第3遅延信号を第1のレーザ装置3aに出力してもよい。遅延回路53は、EUV光生成トリガ信号に第4の遅延時間を与えた第4遅延信号を第2のレーザ装置3bに出力してもよい。

[0047] 第3の遅延時間は、ターゲット生成部26から出力されるターゲット27がプラズマ生成領域25に到達するタイミングでプリパルスレーザ光がターゲット27に照射されるような遅延時間でもよい。第4の遅延時間は、プリパルスレーザ光が照射されたターゲット27が拡散して所定の拡散ターゲットとなるタイミングでメインパルスレーザ光が拡散ターゲットに照射されるような遅延時間でもよい。以上が第2の機能でもよい。

[0048] 第1の機能における第1及び第2の遅延時間、あるいは、第2の機能における第3及び第4の遅延時間は、光検出器35の光センサ352から出力された受光タイミング信号に基づいて設定されてもよい。光検出器35は、プ

プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路のうち、ダイクロイックミラー 344 より下流側に配置されていてもよい。従って、ターゲット 27 へのプリパルスレーザ光の照射タイミングに対するメインパルスレーザ光の照射タイミングの遅延時間を、高い正確さで検出し得る。ターゲット 27 へのプリパルスレーザ光の照射タイミングに対するメインパルスレーザ光の照射タイミングの遅延時間を、以下「第 5 の遅延時間」という。

[0049] 4. 3 第 5 の遅延時間について

図 3 は、EUV 光生成システム 11 におけるプリパルスレーザ光 31a 及びメインパルスレーザ光 31b の照射条件と変換効率 (CE) との関係の計測結果を示すグラフである。図 3 においては、第 5 の遅延時間 (μs) を横軸にとり、メインパルスレーザ光のエネルギーから EUV 光のエネルギーへの変換効率すなわち CE (%) を縦軸にとっている。また、図 3 においては、プリパルスレーザ光のパルス幅 (半値全幅) とフルエンス (エネルギー密度) との組合せを 7 通り設定し、それぞれの組合せについて、測定を行い、その結果を折れ線で示した。なお、フルエンスとは、パルスレーザ光のエネルギーを、集光スポット径 (集光点の強度分布において、ピーク強度の $1/e^2$ 以上の強度を有する部分の直径) の円の面積で除算した値とする。

[0050] 測定条件の詳細は次の通りである。ターゲット物質としてスズ (Sn) を用い、これを溶融させて直径約 $21\mu\text{m}$ のドロップレット状のターゲットとした。

第 1 のレーザ装置としては、パルス幅を 10ns とする場合には、Nd:YAG レーザ装置を用い、波長を $1.06\mu\text{m}$ とし、パルスエネルギーを $0.5\text{mJ} \sim 2.7\text{mJ}$ とした。パルス幅を 10ps とする場合には、マスターオシレータとして Nd:YVO₄ の結晶を含むモードロックレーザ装置を用い、再生増幅器として Nd:YAG の結晶を含むレーザ装置を用い、波長を $1.06\mu\text{m}$ とし、パルスエネルギーを $0.25\text{mJ} \sim 2\text{mJ}$ とした。これらの第 1 のレーザ装置によるプリパルスレーザ光の集光スポット径は、 $70\mu\text{m}$ とした。

第2のレーザ装置としては、CO₂レーザ装置を用い、波長を10.6 μmとし、パルスエネルギーを135 mJ～170 mJとした。この第2のレーザ装置によるメインパルスレーザ光のパルス幅は15 nsとし、集光スポット径を300 μmとした。

[0051] 図3に示された結果から、プリパルスレーザ光のパルス幅をピコ秒オーダーとし、フルエンスを13 J/cm²～52 J/cm²とする場合には、第5の遅延時間は、0.5 μs以上、1.8 μs以下の範囲とするのが好ましい。第5の遅延時間は、0.7 μs以上、1.6 μs以下の範囲とするのがより好ましく、1.0 μs以上、1.4 μs以下とするのがさらに好ましい。

[0052] また、プリパルスレーザ光のパルス幅をナノ秒オーダーとし、フルエンスを26 J/cm²～70.2 J/cm²とする場合には、第5の遅延時間は、1 μs以上、7 μs以下の範囲とするのが好ましい。第5の遅延時間は、2 μs以上、4 μs以下の範囲とするのがより好ましく、2.5 μs以上、3.5 μs以下とするのがさらに好ましい。

[0053] 4.4 ロスコーン角

図4は、ロスコーン角について説明するための図である。プラズマ生成領域25において生成されるプラズマには、ターゲット物質（スズ等）のイオン（Sn²⁺等の陽イオン）及び電子が含まれ得る。磁場18aが無い場合、これらのイオン及び電子は、プラズマ生成領域25から放射状に拡散し得る。

[0054] 磁場生成器18によって生成される磁場18aの中を、イオンが拡散しながら移動しようとする、このイオンは、磁力線の方角と、イオンの移動方向とに垂直な方向のローレンツ力を受け得る。その結果、プラズマに含まれるイオンは、ローレンツ力を受けて移動方向を変えられ、磁力線に沿ってらせん状に移動し、イオン回収部28aによって回収され得る。

[0055] これにより、イオンがEUV集光ミラー23aに向かって飛散することが抑制され得る。従って、EUV集光ミラー23aがイオンによって汚染され

ることが抑制され得る。しかしながら、以下に説明するように、すべてのイオンがイオン回収部 28a によって回収されるわけではない。

[0056] 磁場生成器 18 によって生成される磁場 18a は、磁場生成器 18 付近の位置よりも、磁場生成器 18 から離れた位置において弱くなり得る。プラズマ生成領域 25 を挟んで 2 つの磁場生成器 18 が配置される場合には、プラズマ生成領域 25 付近の磁場 B_o よりも、磁場生成器 18 付近の各位置における磁場 B_m の方が強くなり得る。すなわち、 $B_o < B_m$ であり得る。

[0057] ここで、プラズマ生成領域 25 付近におけるイオンの速度が、磁場に平行な速度成分 v_{p_o} と、磁場に垂直な速度成分 v_{s_o} と、を含むものとする。また、プラズマ生成領域 25 付近から磁場生成器 18 付近に向かってイオンが螺旋状に移動し、磁場生成器 18 付近に達したときのイオンの速度が、磁場に平行な速度成分 v_{p_m} と、磁場に垂直な速度成分 v_{s_m} と、を含むものとする。このとき、 m をイオンの質量として、以下の式 (1) で表されるように、イオンの磁気モーメント μ は保存され得る。

$$\begin{aligned}\mu &= (m v_{s_o}^2 / 2) / B_o \\ &= (m v_{s_m}^2 / 2) / B_m \quad \dots \text{式 (1)}\end{aligned}$$

[0058] 上述の通り、 $B_o < B_m$ であるので、式 (1) より、 $v_{s_o} < v_{s_m}$ であり得る。すなわち、プラズマ生成領域 25 付近から磁場生成器 18 付近に向かってイオンが螺旋状に移動すると、当該イオンが到達した位置における磁場が強くなり、磁場に垂直な速度成分が大きくなり得る。

[0059] 但し、イオンの運動量は保存されるので、イオンの速度の絶対値 $|v|$ は、以下の式 (2) で表されるように、一定であり得る。

$$\begin{aligned}|v| &= (v_{p_o}^2 + v_{s_o}^2)^{1/2} \\ &= (v_{p_m}^2 + v_{s_m}^2)^{1/2} \quad \dots \text{式 (2)}\end{aligned}$$

[0060] すなわち、磁場に垂直な速度成分が大きくなると、磁場に平行な速度成分が小さくなる。従って、プラズマ生成領域 25 付近から磁場生成器 18 付近に向かってイオンが移動し、磁場が強くなると、あるところで磁場に平行なイオンの速度成分は 0 となり、イオンはプラズマ生成領域 25 へ向かう方向

に戻され得る。例えば、 $v_{pm}=0$ となると仮定すると、式(2)より、 $|v| = |v_{sm}|$ となり得る。

[0061] また、プラズマ生成領域25付近におけるイオンの移動方向の磁場に対する角度を α_0 とした場合に、 $v_{pm}=0$ となると仮定すると、以下の式(3)が導かれ得る。

$$\begin{aligned} \sin \alpha_0 &= |v_{so}| / |v| \\ &= |v_{so}| / |v_{sm}| \quad \dots \text{式(3)} \end{aligned}$$

[0062] 式(1)及び式(3)より以下のようにして導かれる角度 α_0 は、ロスコーン角と呼ばれ、 $v_{pm}=0$ となるようなイオンの移動方向の閾値を示し得る。

$$\begin{aligned} B_o / B_m &= v_{so}^2 / v_{sm}^2 \\ &= \sin^2 \alpha_0 \\ \alpha_0 &= \sin^{-1} (B_o / B_m)^{1/2} \end{aligned}$$

[0063] 以上より、ロスコーン角を超える角度で拡散しようとするイオンは、強い磁場 B_m によって反射されてプラズマ生成領域25又はその周辺に戻され得る。ロスコーン角以下の角度で拡散しようとするイオンは、強い磁場 B_m によって反射されずに、イオン回収部28aによって回収され得る。磁場18aの中心軸18bとの角度が α_0 である曲面を側面とする円錐が、ロスコーン18c(図2B参照)と呼ばれる。

[0064] 4.5 イオン回収率の向上

図5Aは、ターゲットにプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を照射したときに発生した正イオンの電荷量分布の計測結果を示す。図5Aにおいて、横軸は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路軸33a及び33bに対して垂直な方向に対する角度を示す。角度 $\theta = 90 \text{ deg}$ は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の照射側の方向、すなわち、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路の上流側の方向に相当する。角度 $\theta = 0 \text{ deg}$ は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路軸33a及び33bに対して垂直な方向に相当する。角度 $\theta = -90 \text{ deg}$ は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の照射側と

反対側の方向、すなわち、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路の下流側の方向に相当する。図5 Aにおいて、縦軸は、各角度における1ステラジアンあたりのイオン電荷量を示す。

[0065] 図5 Aは、磁場生成器18を電源19から遮断した状態で測定した結果を示している。ターゲットとしては、直径 $20\mu\text{m}$ の液体のスズ(Sn)を用いた。プリパルスレーザ光は、波長 $1.06\mu\text{m}$ 、パルス幅 10ns 、パルスエネルギー 2.6mJ 、スポット径 $70\mu\text{m}$ であった。メインパルスレーザ光は、波長 $10.6\mu\text{m}$ 、パルス幅 15ns 、パルスエネルギー 170mJ 、スポット径 $300\mu\text{m}$ であった。第5の遅延時間は、 $3\mu\text{s}$ であった。なお、上述の「スポット径」は、パルスレーザ光の集光位置において、ピーク強度に対して $1/e^2$ 以上の強度を有する部分の直径である。

[0066] 図5 Aに示されるように、イオンは等方的に発生していたのではなかった。イオンは、ターゲット27に照射されるプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路軸33a及び33bに平行な2方向には多く、光路軸に垂直な方向には少ない分布を有していた。

[0067] 図5 Bは、図5 Aに示されるイオン電荷量の分布を極座標平面に示す。図5 Bにおける水平方向に対する角度 θ は、図5 Aの横軸の値に相当する。図5 Bにおける原点からの距離 r は、図5 Aの縦軸の値に相当する。イオン電荷量の分布は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路軸33a及び33bに対して軸対称となり得る。すなわち、イオン電荷量の分布は、この分布が極座標空間に示される場合には、図5 Bに示された右半分の分布を示す曲線を、 $\theta = 90\text{deg}$ の直線を軸として回転させた軌跡によって得られる曲面となり得る。そして、この曲面の形状は、2つの回転楕円体が接合した「ひょうたん」のような回転体の表面形状に相当し得る。

[0068] 図2 Bには、プラズマ生成領域25を中心とした各方向でのイオン電荷量の分布を示す曲線Cが示されている。この曲線Cの形状は、図5 Bに示されたイオン電荷量の分布を示す曲線の形状に相当する。すなわち、図2 Bにおいて、プラズマ生成領域25から曲線C上の各点までの距離が大きいほど、

当該点への方向におけるイオン電荷量が大きいことを示す。図 2 B に示されるように、曲線 C のうち、イオン電荷量が高いことを示す部分が、磁場のロスコーン 18 c 内に位置する場合には、プラズマ生成領域 25 において発生したイオンの多くをイオン回収部 28 a によって回収し得る。本実施形態においては、プリパルスレーザ光の光路軸 33 a 及びメインパルスレーザ光の光路軸 33 b が、磁場の中心軸 18 b に対してロスコーン角以下の角度でプラズマ生成領域 25 を通るように、集光光学系 22 a が配置されている。これにより、曲線 C のうちイオン電荷量が高いことを示す部分が、磁場のロスコーン 18 c 内に位置するようになり、プラズマ生成領域 25 において発生したイオンの多くをイオン回収部 28 a によって回収し得る。

[0069] 5. 第 2 の実施形態（レーザ光路軸が磁場軸に一致する場合）

図 6 は、第 2 の実施形態に係る E U V 光生成装置 1 a の一部断面図である。第 2 の実施形態においては、平面ミラー 223 を、磁場 18 a の中心軸 18 b 上に配置してもよい。これにより、プリパルスレーザ光の光路軸 33 a 及びメインパルスレーザ光の光路軸 33 b を、磁場 18 a の中心軸 18 b と略同じ方向となるようにしてもよい。筒型の形状を有する 2 つのイオン回収部 28 b が、支持部 28 d によってチャンバ 2 に支持されていてもよい。イオン回収部 28 b の 1 つは、平面ミラー 223 とプラズマ生成領域 25 との間に配置されてもよい。筒型の形状を有するイオン回収部 28 b によって、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光 33 c を通過させるレーザ光通路が画定されてもよい。

[0070] 図 7 A 及び図 7 B に、図 6 に示されたイオン回収部 28 b の詳細な構成を示す。図 7 A は、プラズマ生成領域 25 からみたイオン回収部 28 b を、イオンの動きとともに示す。図 7 B は、図 7 A に示されたイオン回収部 28 b の X Y 平面に平行な断面を示す。イオン回収部 28 b は、電源 280 と、一対の電極 281 及び 282 と、ホルダ 283 と、ターゲット捕集部 284 とを含んでもよい。

[0071] 電極 281 は電源 280 の出力端子に電氣的に接続され、電極 282 は接

地電位に電氣的に接続されてもよい。一対の電極 281 及び 282 は、向かい合わせに配置されてもよい。ホルダ 283 は、電気絶縁性を有し、一対の電極 281 及び 282 を保持してもよい。ターゲット捕集部 284 は、一対の電極 281 及び 282 の各一端に沿って配置されてもよい。一対の電極 281 及び 282 と、ホルダ 283 と、ターゲット捕集部 284 とが、全体で筒型の形状をなすことにより、筒型のレーザ光通路 285 が画定されてもよい。

[0072] レーザ光通路 285 には、磁場生成器 18 によって、中心軸 18b を有する磁場 18a が生成されていてもよい。プラズマ生成領域 25 において生成されたプラズマに含まれるイオンは、磁場 18a に沿ってらせん状に移動し、一対の電極 281 及び 282 の間に到達してもよい。イオンが正の電荷を有し、磁場の中心軸 18b の方向が図 7A の手前方向であるとする、このイオンのらせん状の移動の方向は、図 7A に右回りの破線矢印で示す方向となり得る。図 7A の視点で見たイオンの軌跡は、例えば、 $\theta 1$ の位置から $\theta 2$ の位置へ、次に $\theta 3$ の位置へ、次に $\theta 4$ の位置へ、そして $\theta 1$ の位置へ移動する軌跡であり得る。

[0073] このとき、電源 280 によって電極 281 に負の電位 $-HV$ が印加され、電極 282 から電極 281 へ向かう方向の電界 E が生成された場合には、正の電荷を有するイオンは、電界 E と同一方向のクーロン力を受け得る。このクーロン力により、イオンは、 $\theta 4$ の位置から $\theta 1$ の位置を通して $\theta 2$ の位置に達するまでの間に、電界 E と同一方向に加速され得る。反対に、イオンは、 $\theta 2$ の位置から $\theta 3$ の位置を通して $\theta 4$ の位置に達するまでの間に減速され得る。

[0074] 従って、 $\theta 1 \sim \theta 4$ のうちで、磁場の中心軸 18b に垂直なイオンの速度成分が最大となるのは $\theta 2$ の位置においてであり、磁場の中心軸 18b に垂直なイオンの速度成分が最小となるのは $\theta 4$ の位置においてであり得る。磁場の中心軸 18b に垂直なイオンの速度成分が最大となる $\theta 2$ の位置においては、らせん状の移動の中心軸に向かってイオンを引っ張るローレンツ力が

最大となり、電界Eによるクーロン力に勝り得る。この結果、イオンのらせん状の移動の中心軸は、電界E及び磁場の中心軸18bの両方に垂直な矢印Dの方向に移動し得る。この現象は、ドリフトと呼ばれ得る。

[0075] イオンのらせん状の移動の中心軸が矢印Dの方向に移動することにより、イオンは、ターゲット捕集部284に捕集され得る。ターゲット捕集部284は、図示しないヒータによって加熱され得る。ターゲット捕集部284に捕集されたイオンは、電氣的に中性の状態に戻され、且つ溶融された状態のターゲット物質284bとして、窪み284aに溜められ得る。ターゲット物質284bは、窪み284aから、図示しない配管に流れ込んでチャンバ2の外部に排出され得る。

[0076] 第2の実施形態によれば、磁場の中心軸とレーザ光の光路軸とを同軸化することができるので、より多くのイオンをイオン回収部28bによって回収することができる。

他の点については、第1の実施形態と同様でよい。

なお、ここでは、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光33cをプラズマ生成領域25に集光する場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。第2の実施形態においては、プリパルスレーザ光を用いずに、図1を参照しながら説明したようにパルスレーザ光に含まれる少なくとも1つのパルスによってターゲット27がプラズマ化されてもよい。

[0077] 6. 第3の実施形態（磁場が非対称な場合）

図8は、第3の実施形態に係るEUV光生成装置1bの一部断面図である。第3の実施形態においては、磁場生成器によって生成される磁場を、プラズマ生成領域25を中心として一方の磁場生成器側と他方の磁場生成器側とで非対称にしてもよい。

[0078] 例えば、磁場生成器181に含まれるコイルの直径を、磁場生成器182に含まれるコイルの直径より小さくしてもよい。これにより、磁場生成器181側においては狭い範囲に磁力線を集中させ、磁場生成器182側においては磁力線を集中させないようにしてもよい。これにより、磁場生成器18

1側の磁場を相対的に強くすることができる。

[0079] また、磁場生成器181に含まれるコイルの直径と、磁場生成器182に含まれるコイルの直径とを同じにした場合でも、他の構成をとることにより、磁場を非対称にしてもよい。例えば、磁場生成器181に含まれるコイルの巻き数を、磁場生成器182に含まれるコイルの巻き数より多くしてもよい。あるいは、磁場生成器181に含まれるコイルに流す電流の値を、磁場生成器182に含まれるコイルに流す電流の値より大きくしてもよい。これにより、磁場生成器181側の磁場を、磁場生成器182側の磁場より強くすることができる。

[0080] 以上の構成により、プラズマ生成領域25で生成されたイオンが、磁場が弱い方の磁場生成器182に向かって移動した場合に、プラズマ生成領域25に向かって戻されることが抑制され得る。すなわち、磁場生成器181側のロスコーン角よりも、磁場生成器182側のロスコーン角が大きくなり得る。プラズマ生成領域25と磁場が弱い方の磁場生成器182との間には、磁場に略垂直な面の面積の大きいイオン回収部28cが配置されてもよい。

[0081] 好ましくは、磁場生成器181側に配置されたイオン回収部28bにおける磁場B1と、プラズマ生成領域25における磁場B0と、磁場生成器182側に配置されたイオン回収部28cにおける磁場B2とは、以下の関係を有してもよい。

$$B1 > B0 \geq B2$$

これにより、磁場生成器182側のロスコーン角をほぼ90度にし得る。

[0082] 第3の実施形態によれば、磁場生成器182側のロスコーン角をほぼ90度にし得るので、イオン回収部28cによって、より多くのイオンを回収することができる。

他の点については、第2の実施形態と同様でよい。

なお、ここでは、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光33cをプラズマ生成領域25に集光する場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。第3の実施形態においては、プリパルスレーザ光を用いずに

、図1を参照しながら説明したようにパルスレーザ光に含まれる少なくとも1つのパルスによってターゲット27がプラズマ化されてもよい。

[0083] 7. 第4の実施形態（レーザ軸と磁場軸が直交する場合）

図9Aは、第4の実施形態に係るEUV光生成システム11cを示す一部断面図である。図9Aは、EUV光生成装置1cのYZ平面に平行な断面を示す。図9Bは、図9Aに示されるEUV光生成装置1cのZX平面に平行な断面を示す。第4の実施形態においては、プリパルスレーザ光の光路軸33a及びメインパルスレーザ光の光路軸33bが、磁場18aの中心軸18bとほぼ垂直に交差するようにしてもよい。そして、光路軸33a及び光路軸33bと磁場18aの中心軸18bとを含む面と、EUV集光ミラー23aの反射面231とが対向するように配置してもよい。

[0084] また、光路軸33a及び光路軸33bと磁場18aの中心軸18bとを含む面と、EUV集光ミラー23aの中心軸232とがほぼ垂直であってもよい。なお、EUV集光ミラー23aの中心軸232は、EUV集光ミラー23aの反射面231が回転体の一部の形状である場合に、当該回転体の回転中心であってもよい。また、EUV集光ミラー23aの中心軸232は、EUV集光ミラー23aの反射面231が回転楕円体の一部の形状である場合に、当該回転楕円体の第1の焦点と第2の焦点とを結ぶ線であってもよい。

[0085] ここで具体的な構成例を説明すると、レーザ光進行方向制御部34から出力されたプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光32cの光路に、高反射ミラー345が配置されていてもよい。高反射ミラー345は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光32cを高い反射率で反射し、EUV集光ミラー23aの反射面231より前方の位置に配置されたウィンドウ21を介してチャンバ2内に入射させてもよい。チャンバ2内において、プレート82に固定されたプレート83には、EUV集光ミラー23aの反射面231より前方の位置に、平面ミラー221及び軸外放物面ミラー222が固定されていてもよい。平面ミラー221及び軸外放物面ミラー222は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光32cを反射し、プリパル

スレーザ光及びメインパルスレーザ光 33c としてプラズマ生成領域 25 に集光させてもよい。

[0086] プラズマ生成領域 25 に集光するプリパルスレーザ光の光路軸 33a 及びメインパルスレーザ光の光路軸 33b は、 $-Y$ 方向であってもよい。ターゲット生成部 26 は、ターゲット 27 がプラズマ生成領域 25 に供給されるように、ターゲット 27 をほぼ Y 方向に向けて供給してもよい。但し、ターゲット 27 は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光 33c を照射されずに、プラズマ生成領域 25 を通過する場合があります。そこで、ターゲット 27 がプラズマ生成領域 25 を通過した場合に軸外放物面ミラー 222 に当たらないように、ターゲット 27 は Y 方向から若干ずれた方向に供給されてもよい。なお、図示された構成に限らず、ターゲット 27 は X 方向に供給されてもよい。

[0087] 磁場 18a の中心軸 18b は、 X 方向であってもよい。すなわち、光路軸 33a 及び光路軸 33b と磁場 18a の中心軸 18b とを含む面は、 XY 平面に平行であってもよい。EUV 集光ミラー 23a の中心軸 232 は、 Z 方向であってもよい。そして、EUV 集光ミラー 23a の反射面 231 は、 Z 方向を向いて、光路軸 33a 及び光路軸 33b と磁場 18a の中心軸 18b とを含む面と対向していてもよい。

他の点については、第 1 の実施形態と同様でよい。

[0088] 図 10 は、磁場によるイオン収束範囲 A を概略的に示す。上述のイオン電荷量の分布を示す曲線 C は、磁場生成器 18 を電源 19 から遮断した場合のものであるのに対し、図 10 は、曲線 C のように分布するイオンが、磁場 18a によってどのように収束するかを示している。図 10 において、プリパルスレーザ光の光路軸 33a 及びメインパルスレーザ光の光路軸 33b と、磁場 18a の中心軸 18b とは直交してもよい。

[0089] 図 10 に示されるように、プラズマ生成領域 25 において生成されたターゲット物質のイオンは、磁場 18a に沿って、すなわち X 軸方向に、帯状に収束され得る。

磁場 18 a と交差する方向への収束形状は、Y 軸方向と Z 軸方向とで異なり得る。プリパルスレーザ光の光路軸 33 a 及びメインパルスレーザ光の光路軸 33 b と平行な Y 軸方向には、曲線 C で示されるようにイオンの放出量が多いので、磁場 18 a によって収束させても Y 軸方向には広がり易い。一方、プリパルスレーザ光の光路軸 33 a 及びメインパルスレーザ光の光路軸 33 b と垂直な Z 軸方向には、曲線 C で示されるようにイオンの放出量が少ないので、磁場 18 a による収束効果が強く働き得る。このため、イオンは、Y 軸方向には広く、Z 軸方向には狭い範囲に収束され得る。

[0090] 図 9 A 及び図 9 B を再び参照すると、図 10 に示されたイオン収束範囲 A が示されている。図 9 A 及び図 9 B に示される配置によれば、ターゲット物質のイオンが E U V 集光ミラー 23 a の反射面 23 1 に飛散することが抑制され得る。従って、ターゲット物質に由来するデブリが反射面 23 1 に堆積して E U V 集光ミラー 23 a の反射率を低下させることが抑制され得る。イオン回収部 28 a に到達できなかったイオンは、図示しない排気装置によって、チャンバ 2 内のガスとともにチャンバ 2 の外に排出されてもよい。

[0091] 8. その他（第 1 のレーザ装置）

図 11 は、上述の各実施形態に係る E U V 光生成装置において用いることができる第 1 のレーザ装置 3 a のブロック図である。図 11 に示される第 1 のレーザ装置 3 a は、パルス幅がピコ秒オーダーであるプリパルスレーザ光を出力し得る。

[0092] パルス幅の短いパルスレーザ光を出力する装置として、モードロックレーザ装置が考えられる。モードロックレーザ装置は、相対的に位相が固定された複数の縦モードでレーザ光を発振させ得る。そして、それらの縦モードの光が合波されることにより、パルス幅の短いパルスレーザ光が出力され得る。しかしながら、モードロックレーザ装置がパルスレーザ光の各パルスを出力するタイミングは、1 つ前のパルスを出力したタイミングと、当該モードロックレーザ装置の光共振器長に応じた繰り返し周波数とに依存し得る。従って、所望のタイミングで各パルスが出力されるようにモードロックレーザ

装置を制御することは容易ではない。そこで、チャンバ内に出力されるドロップレット状のターゲットにプリパルスレーザ光を照射するタイミング制御を実現するために、第1のレーザ装置3aは以下の構成を備えてもよい。

[0093] 第1のレーザ装置3aは、クロック生成器301と、モードロックレーザ装置302と、光共振器長調整ドライバ303と、パルスレーザ光検出器304と、再生増幅器305と、励起用電源306と、制御部310とを含んでもよい。

[0094] クロック生成器301は、例えば繰り返し周波数を100MHzとするクロック信号を出力してもよい。モードロックレーザ装置302は、例えばパルス幅がピコ秒オーダーであり、繰り返し周波数が100MHz程度であるパルスレーザ光を出力してもよい。モードロックレーザ装置302は、光共振器（図示せず）を含んでもよく、その光共振器長は、光共振器長調整ドライバ303によって調整可能であってもよい。光共振器長が調整されることにより、モードロックレーザ装置302から出力されるパルスレーザ光の繰り返し周波数が制御され得る。モードロックレーザ装置302から出力されるパルスレーザ光の繰り返し周波数は、クロック生成器301の繰り返し周波数に一致するように制御されてもよい。

[0095] モードロックレーザ装置302から出力されるパルスレーザ光の光路には、ビームスプリッタ307が配置されてもよい。ビームスプリッタ307によって2つの光路に分岐されたパルスレーザ光の一方の光路には、パルスレーザ光検出器304が配置されてもよい。パルスレーザ光検出器304は、パルスレーザ光を検出して検出信号を出力してもよい。

[0096] 再生増幅器305は、ビームスプリッタ307によって分岐されたパルスレーザ光の他方の光路に配置されてもよい。再生増幅器305は、光共振器（図示せず）を含んでもよく、その光共振器内でパルスレーザ光を複数回往復させて増幅し、パルスレーザ光が所定回数往復したタイミングでこのパルスレーザ光を取り出す装置であってもよい。再生増幅器305の光共振器にはレーザ媒質が配置され、このレーザ媒質を励起するためのエネルギーが、

励起用電源 306 を介して与えられてもよい。再生増幅器 305 は、内部にポッケルスセルを含んでもよい。

[0097] 制御部 310 は、位相調整部 311 と、AND 回路 312 とを含んでもよい。位相調整部 311 は、クロック生成器 301 によって出力されるクロック信号と、パルスレーザ光検出器 304 によって出力される検出信号とに基づいて、光共振器長調整ドライバ 303 をフィードバック制御してもよい。

[0098] また、制御部 310 は、クロック生成器 301 によって出力されるクロック信号と、図 2A の説明で述べた上述の遅延回路 53 からの第 1 又は第 3 遅延信号とに基づいて、再生増幅器 305 を制御してもよい。具体的には、AND 回路 312 が、クロック信号と第 1 又は第 3 遅延信号との AND 信号を生成し、この AND 信号によって再生増幅器 305 内のポッケルスセルを制御してもよい。

[0099] 再生増幅器 305 は、モードロックレーザ装置 302 から出力されたパルスレーザ光に含まれる複数のパルスのうち、ポッケルスセルに AND 信号が印加されたタイミングで再生増幅器 305 の光共振器内を進行しているパルスのみを、所定強度まで増幅してもよい。このようにして、第 1 のレーザ装置 3a は、ターゲットがプラズマ生成領域 25 に到達するタイミングでプラズマ生成領域 25 に集光されるパルスのみを所定強度まで増幅して、プリパルスレーザ光として出力し得る。このプリパルスレーザ光のパルス幅は、ピコ秒オーダーであり得る。

[0100] プリパルスレーザ光のパルス幅をピコ秒オーダーとすることにより、ターゲットを細かい粒子状に破壊して拡散させ得る。これにより、拡散したターゲットにメインパルスレーザ光を照射したときに、ターゲットが効率良くプラズマ化され得る。

[0101] 図 12 は、プラズマから放射される EUV 光の光強度分布の計測結果を極座標平面に示す。図 12 においては、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路軸 33a 及び 33b に垂直な方向からみた光強度分布が示されている。図 12 における上方向に対する角度 ϕ は、プリパルスレーザ光及

びメインパルスレーザ光の光路軸 3 3 a 及び 3 3 b に対する角度を示す。図 1 2 における原点からの距離は、プラズマ生成領域 2 5 から各角度に放射された E U V 光の光強度 I を示す。

[0102] ターゲットとしては、直径 $20\ \mu\text{m}$ の液体のスズ (S n) を用いた。メインパルスレーザ光は、波長 $10.6\ \mu\text{m}$ 、パルス幅 $15\ \text{ns}$ 、パルスエネルギー $150\ \text{mJ}$ 、スポット径 $300\ \mu\text{m}$ であった。

[0103] プリパルスレーザ光としては、ナノ秒オーダーのパルス幅を有するプリパルスレーザ光と、ピコ秒オーダーのパルス幅を有するプリパルスレーザ光とを用いて、結果を比較した。ナノ秒オーダーのパルス幅を有するプリパルスレーザ光は、波長 $1.06\ \mu\text{m}$ 、パルス幅 $10\ \text{ns}$ 、パルスエネルギー $2.7\ \text{mJ}$ 、スポット径 $70\ \mu\text{m}$ であった。ナノ秒オーダーのパルス幅を有するプリパルスレーザ光を照射した後にメインパルスレーザ光を照射する第 5 の遅延時間は、 $3\ \mu\text{s}$ であった。

[0104] ピコ秒オーダーのパルス幅を有するプリパルスレーザ光は、波長 $1.06\ \mu\text{m}$ 、パルス幅 $10\ \text{ps}$ 、パルスエネルギー $1\ \text{mJ}$ 、スポット径 $70\ \mu\text{m}$ であった。ピコ秒オーダーのパルス幅を有するプリパルスレーザ光を照射した後にメインパルスレーザ光を照射する第 5 の遅延時間は、 $1.1\ \mu\text{s}$ であった。

[0105] なお、上述の「スポット径」は、パルスレーザ光の集光位置において、ピーク強度に対して $1/e^2$ 以上の強度を有する部分の直径である。上述の第 5 の遅延時間としては、それぞれのプリパルスレーザ光の条件で最も高い C E が得られる値を選択した。

[0106] E U V 光の光強度の分布は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路軸 3 3 a 及び 3 3 b に対して軸対称となり得る。すなわち、E U V 光の光強度の分布は、この分布が極座標空間に示される場合には、図 1 2 に示された右半分の分布を示す曲線を、 $\phi = 0\ \text{deg}$ の直線を軸として回転させた軌跡によって得られる曲面となり得る。 $\phi = 0\ \text{deg}$ の直線は、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路軸 3 3 a 及び 3 3 b に相当し

得る。図 1 2 に示されるように、E U V 光は等方的に生成されていたのではなく、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路の上流側の方向と下流側の方向とで E U V 光の強度は異なっていた。

[0107] 第 1 ～第 4 の実施形態においては、E U V 集光ミラー 2 3 a の反射面より前方の位置からプラズマ生成領域 2 5 にプリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光を集光する場合が示されている。これらの実施形態において、プリパルスレーザ光及びメインパルスレーザ光の光路の上流側の方向と下流側の方向とで E U V 光の強度が異なっていると、E U V 集光ミラー 2 3 a によって集光される E U V 光のファーフィールドパターンの均一性が低下し得る。しかしながら、図 1 2 に示されるように、ピコ秒オーダーのパルス幅を有するプリパルスレーザ光をターゲットに照射した場合には、E U V 光の強度分布の均一性を改善し得る。

[0108] また、図 3 に示されるように、プリパルスレーザ光のパルス幅をピコ秒オーダーとした場合には、プリパルスレーザ光のパルス幅をナノ秒オーダーとした場合に比べて、C E が向上し得る。また、プリパルスレーザ光のパルス幅をピコ秒オーダーとした場合には、電荷を有しない中性粒子の発生割合が減少し得る。このため、デブリの多くを磁場生成器 1 8 によって生成される磁場及びイオン回収部 2 8 a によって回収し得る。

[0109] 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。

[0110] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書及び添付の特許請求の範囲に記載される修飾句「1 つの」は、「少なくとも 1 つ」又は「1 又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

請求の範囲

[請求項1]

第1のレーザ装置と、

第2のレーザ装置と、

前記第1のレーザ装置から出力されたプリパルスレーザ光と前記第2のレーザ装置から出力されたメインパルスレーザ光とが通過するための貫通孔が設けられたチャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域を含む領域に磁場を生成するように構成された磁場生成器と、

前記プラズマ生成領域に前記プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を集光するように、且つ前記プリパルスレーザ光の光路軸及び前記メインパルスレーザ光の光路軸が、前記磁場生成器によって生成される磁場の中心軸に対してロスコーン角以下の角度で前記プラズマ生成領域を通るように構成された集光光学系と、

ターゲット生成部と、

前記ターゲット生成部から出力されたターゲットに、前記プラズマ生成領域において前記プリパルスレーザ光が照射された後、このターゲットに、 $0.5\mu\text{s}$ 以上 $7\mu\text{s}$ 以下の範囲の遅延時間で前記メインパルスレーザ光が照射されるように、前記第1のレーザ装置及び前記第2のレーザ装置を制御するEUV光生成制御部と、

を含む

極端紫外光生成システム。

[請求項2]

前記プリパルスレーザ光の光路軸及び前記メインパルスレーザ光の光路軸が、前記磁場生成器によって生成される磁場の中心軸と略同じ方向となるように、前記集光光学系が配置されている、

請求項1記載の極端紫外光生成システム。

[請求項3]

パルスレーザ光が通過するための貫通孔が設けられたチャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域に前記パルスレーザ光を集光するように構成された集光光学系と、

前記プラズマ生成領域に向けてターゲットを出力するように構成されたターゲット生成部と、

前記プラズマ生成領域を含む領域に磁場を生成するように構成された磁場生成器と、

前記プラズマ生成領域と前記磁場生成器との間に位置し、前記プラズマ生成領域において生成されたイオンを回収するように構成され、且つ、前記パルスレーザ光を通過させるレーザ光通路を画定するイオン回収部と、

を含む極端紫外光生成装置。

[請求項4]

前記イオン回収部は、

電源と、

前記電源によって電圧が印加されたときに、前記磁場の方向と交差する方向の電界を生成するように構成された一对の電極と、

を含む請求項3記載の極端紫外光生成装置。

[請求項5]

第1のレーザ装置から出力されたプリパルスレーザ光と第2のレーザ装置から出力されたメインパルスレーザ光とが通過するための貫通孔が設けられたチャンバと、

前記チャンバ内のプラズマ生成領域を含む領域に磁場を生成するように構成された磁場生成器と、

ターゲット生成部と、

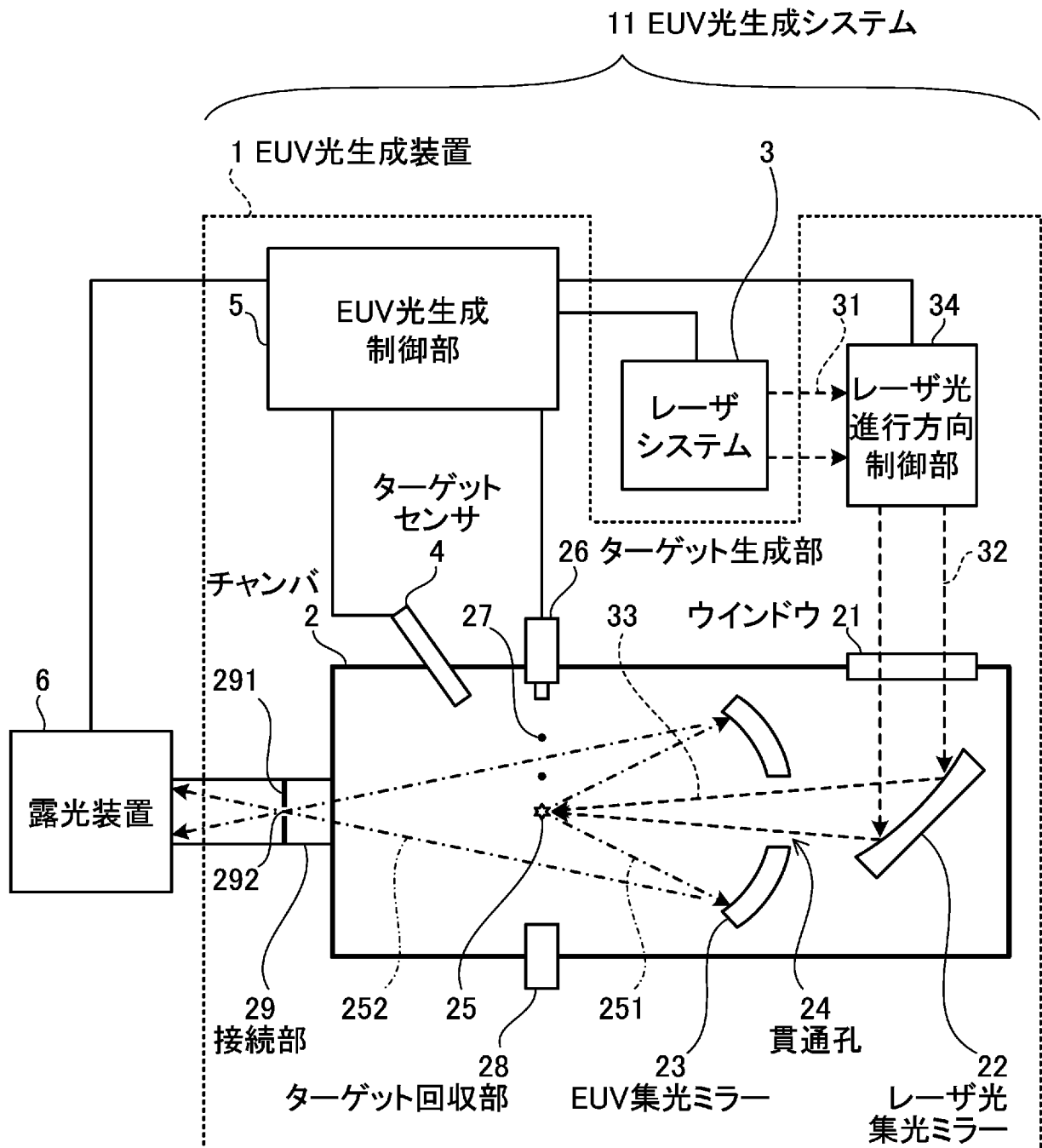
前記プリパルスレーザ光と前記メインパルスレーザ光とを合流させるビームコンバイナと、

前記ビームコンバイナから出力された前記プリパルスレーザ光及び前記メインパルスレーザ光を、前記磁場生成器によって生成される磁場の中心軸と交差して前記プラズマ生成領域に集光するように構成された集光光学系と、

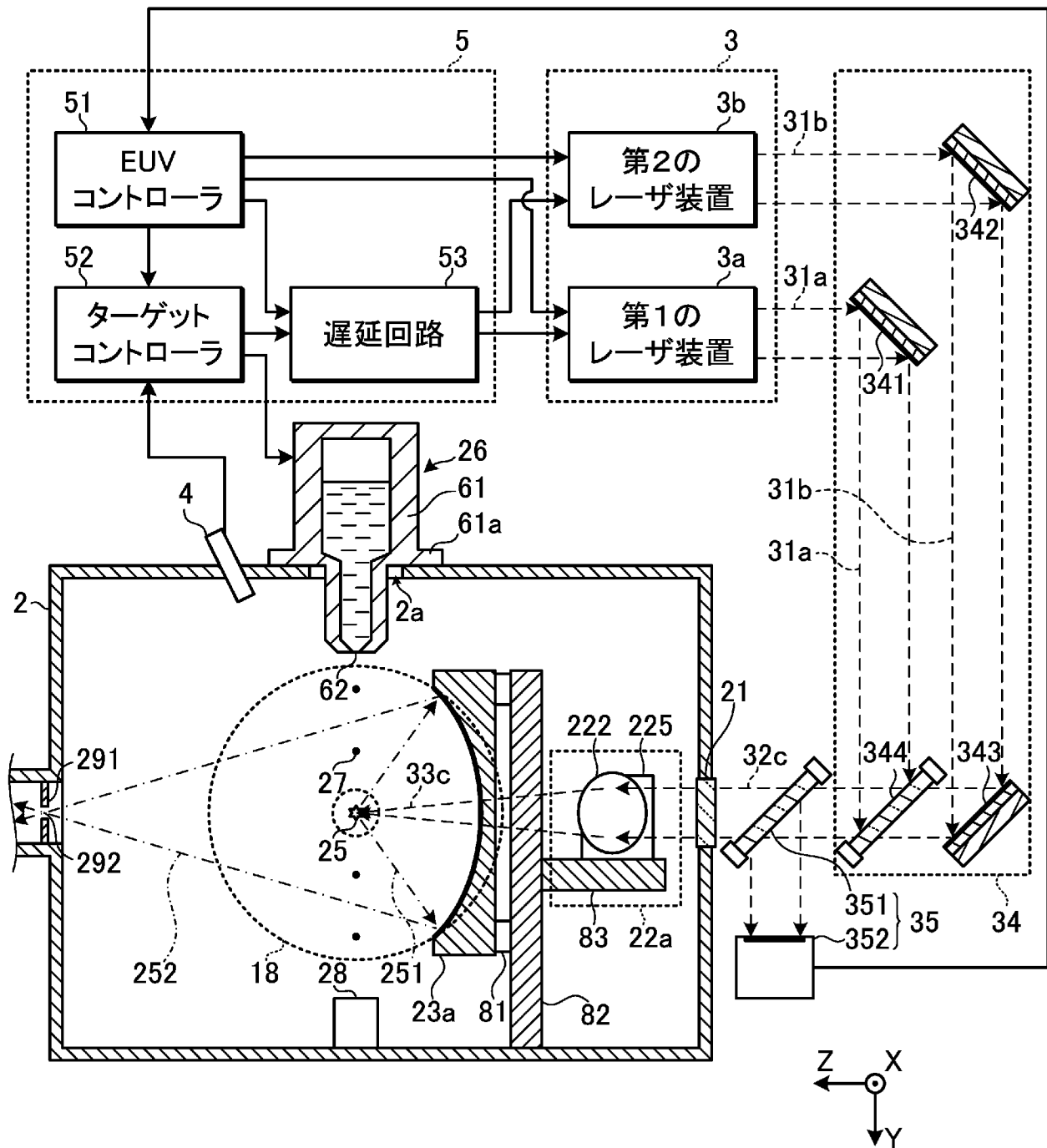
前記プリパルスレーザ光の光路軸及び前記メインパルスレーザ光の光路軸と前記磁場生成器によって生成される磁場の中心軸とを含む面

に対向する反射面を有し、前記プラズマ生成領域において生成された
極端紫外光を集光するEUV集光ミラーと、
を含む極端紫外光生成装置。

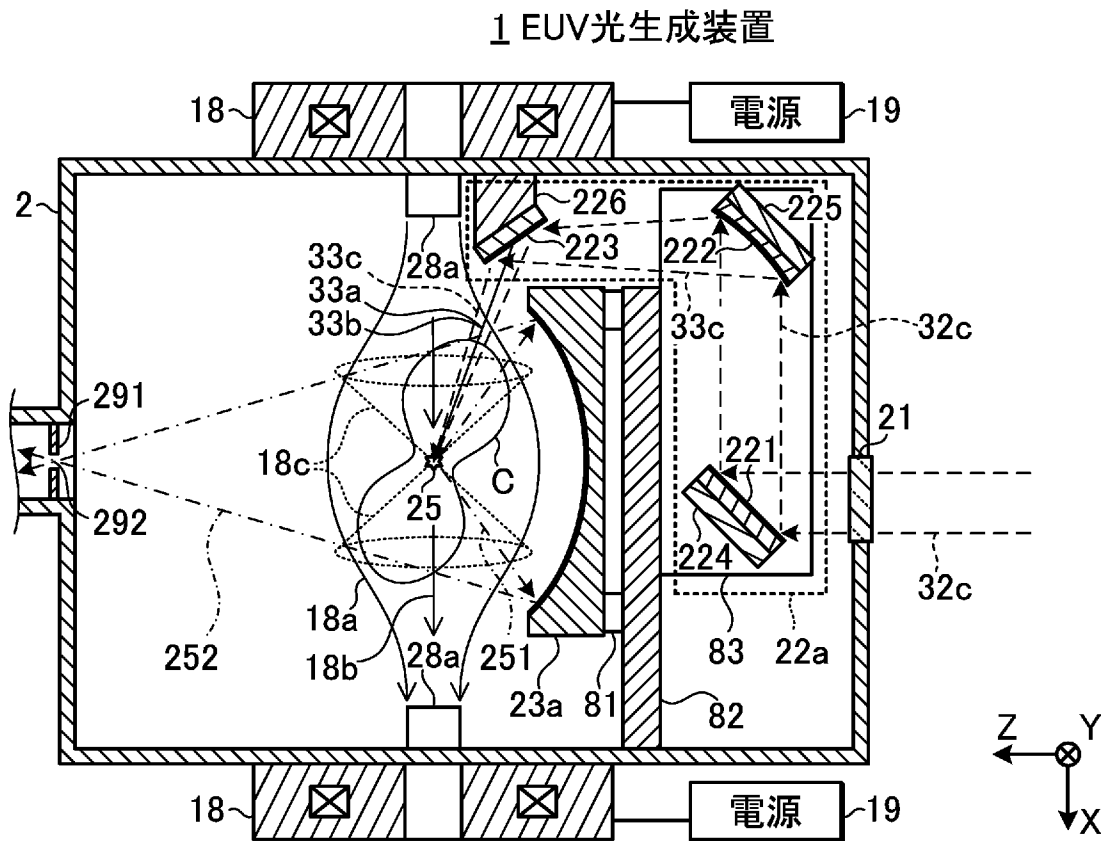
[図1]



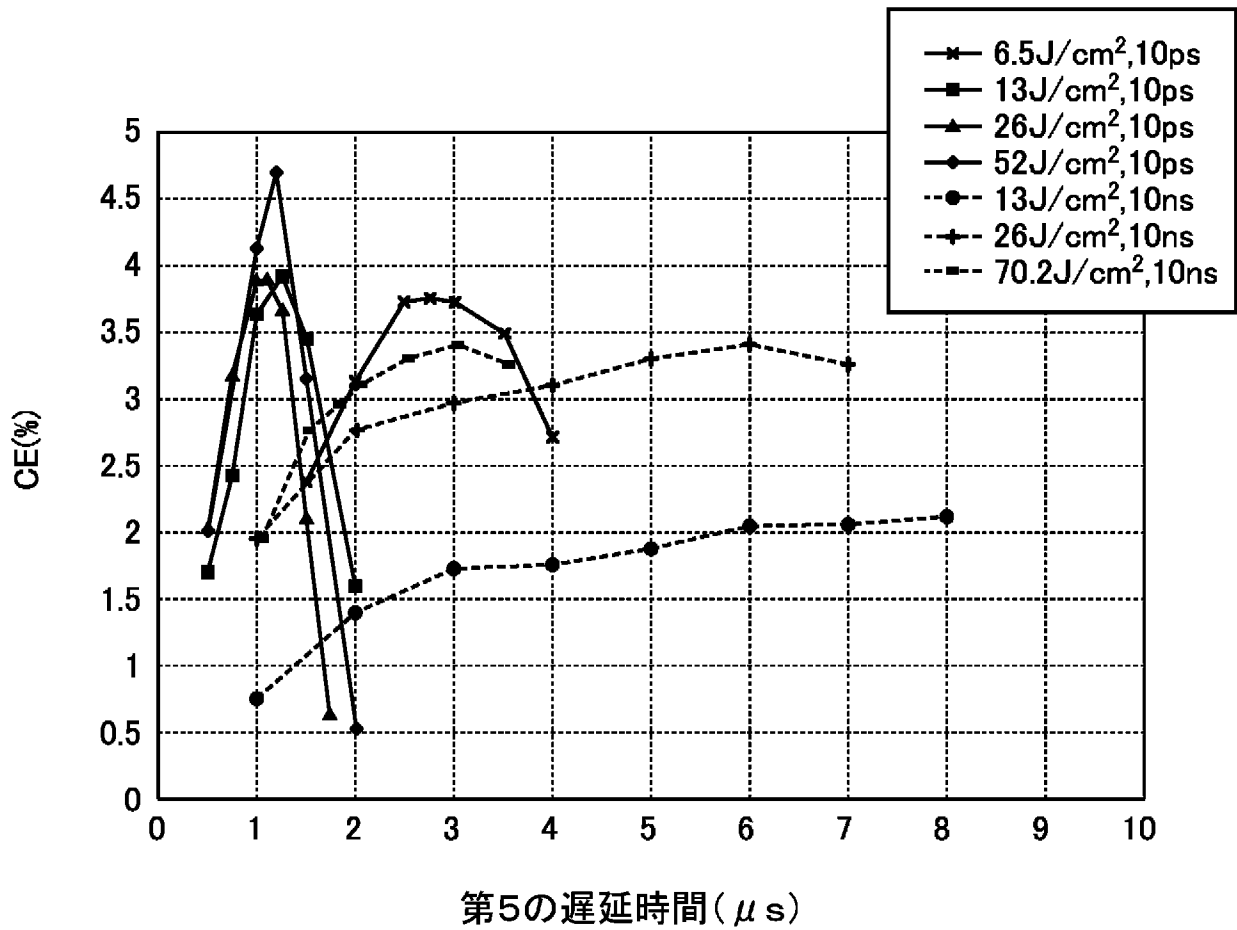
11 EUV光生成システム



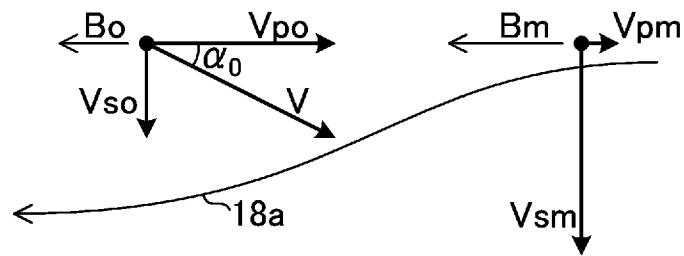
[図2B]



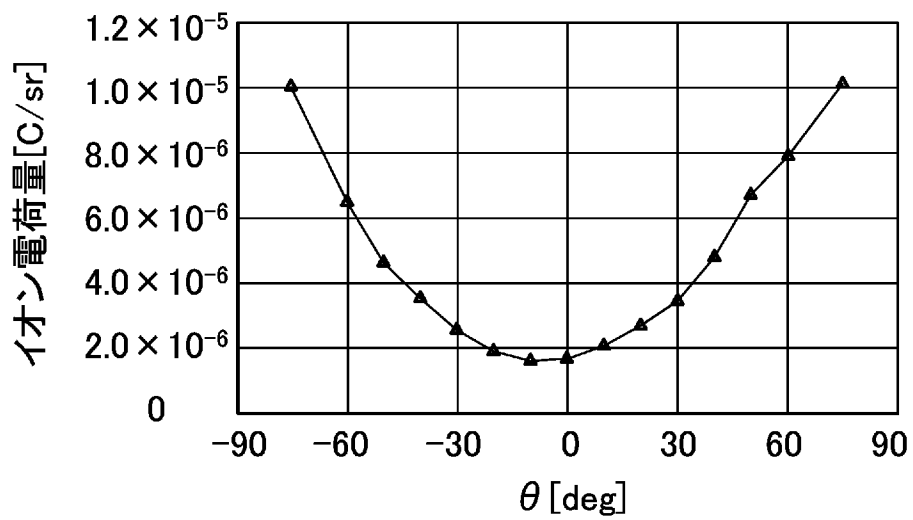
[図3]



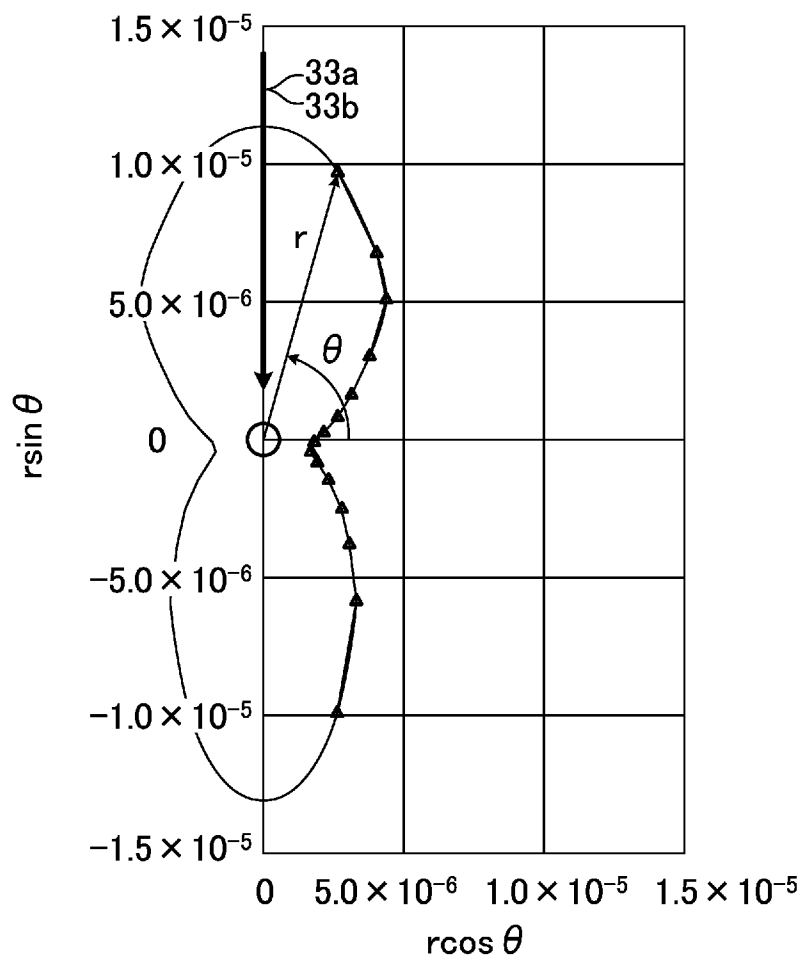
[図4]



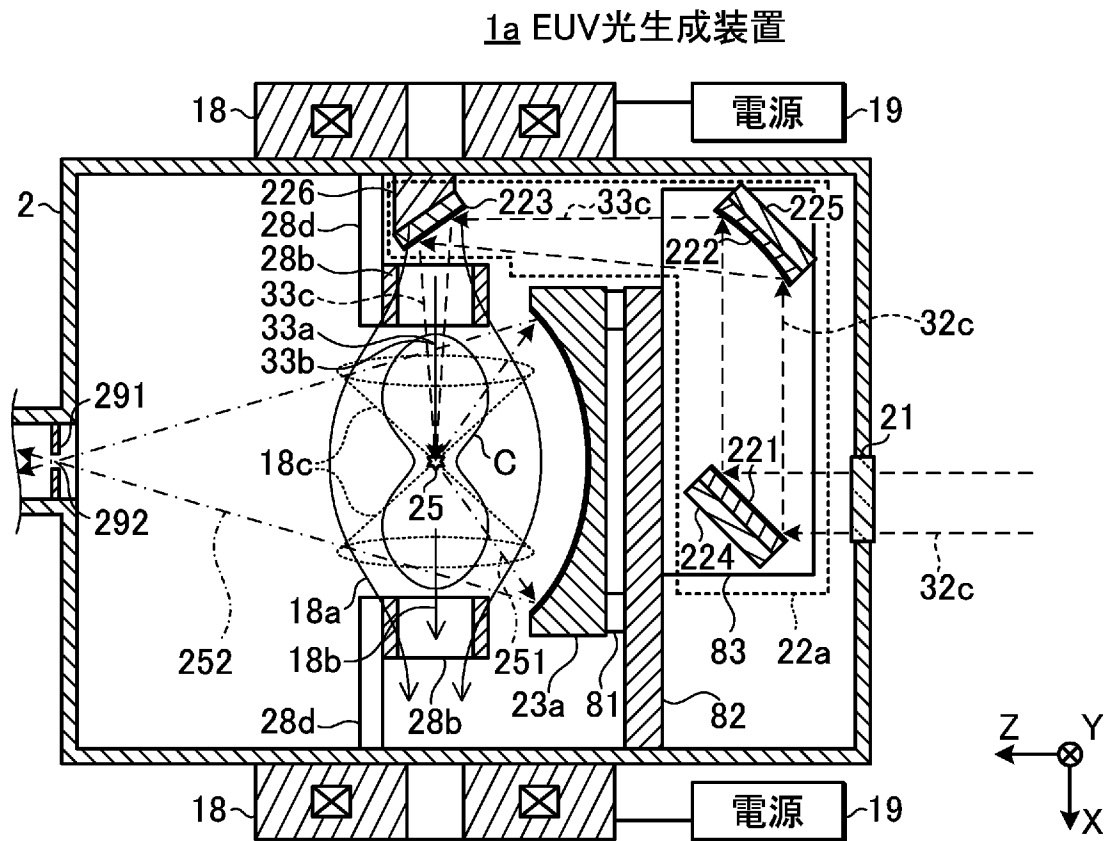
[図5A]



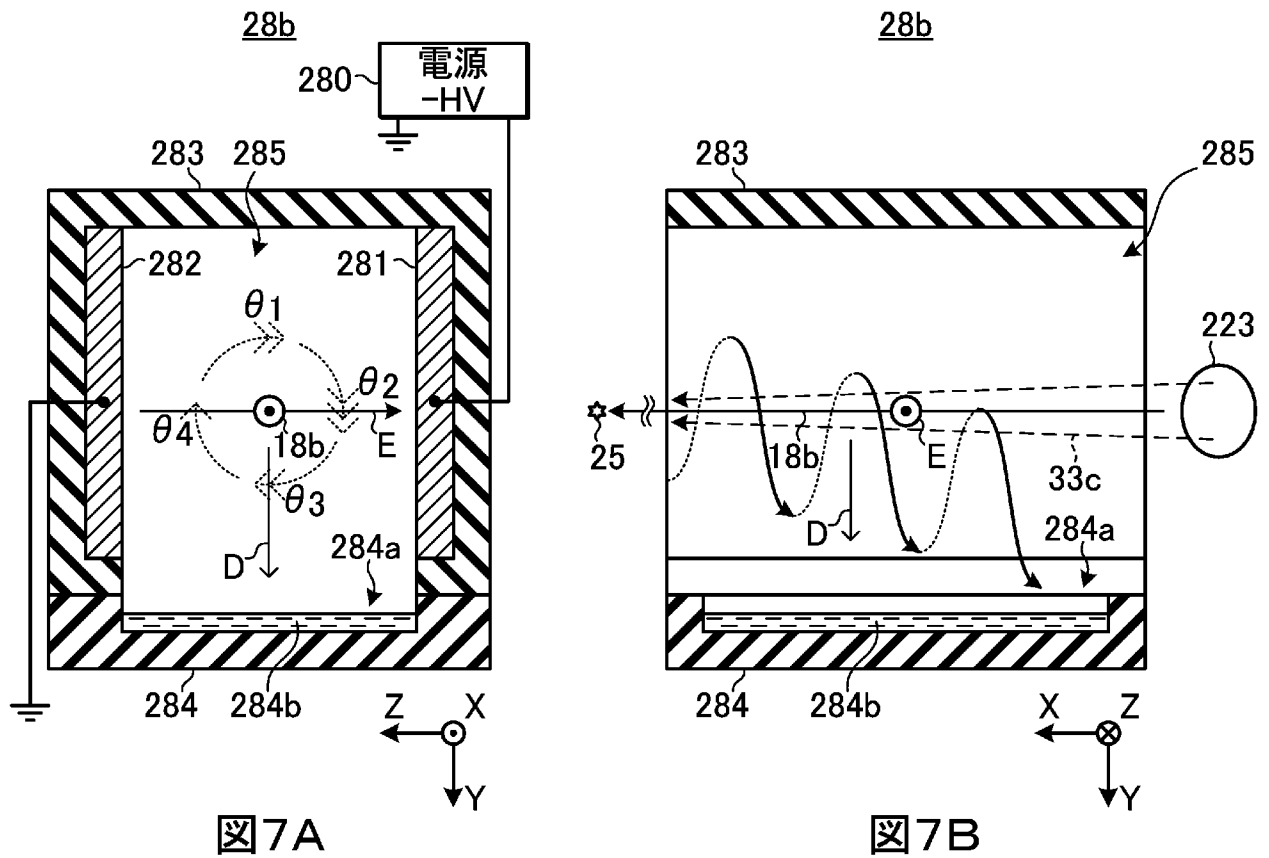
[図5B]



[図6]

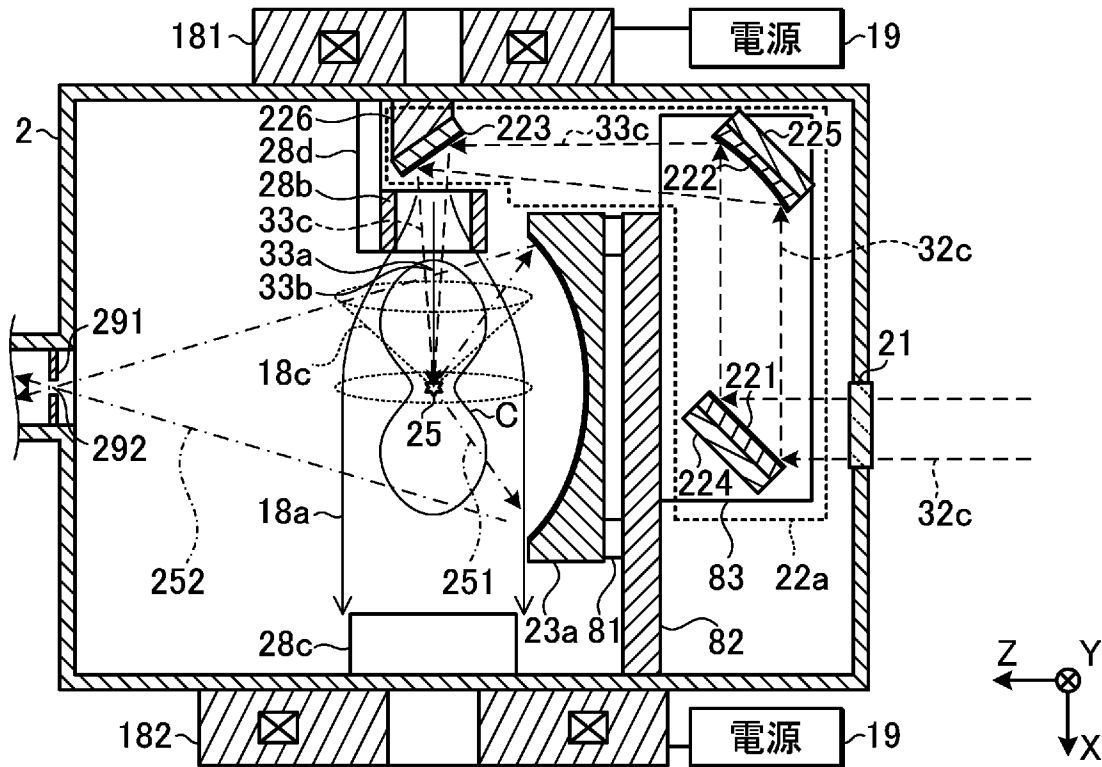


[図7]



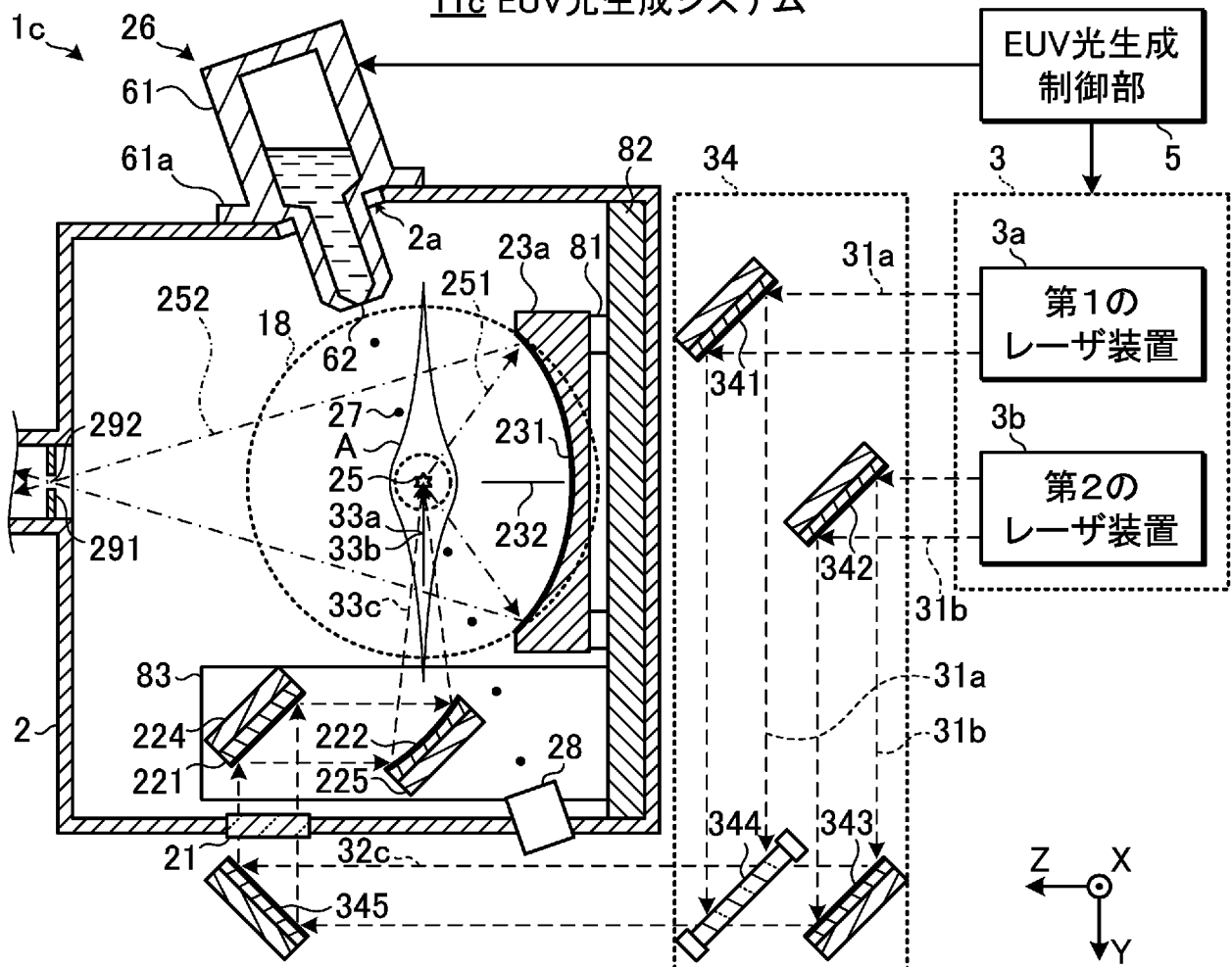
[図8]

1b EUV光生成装置

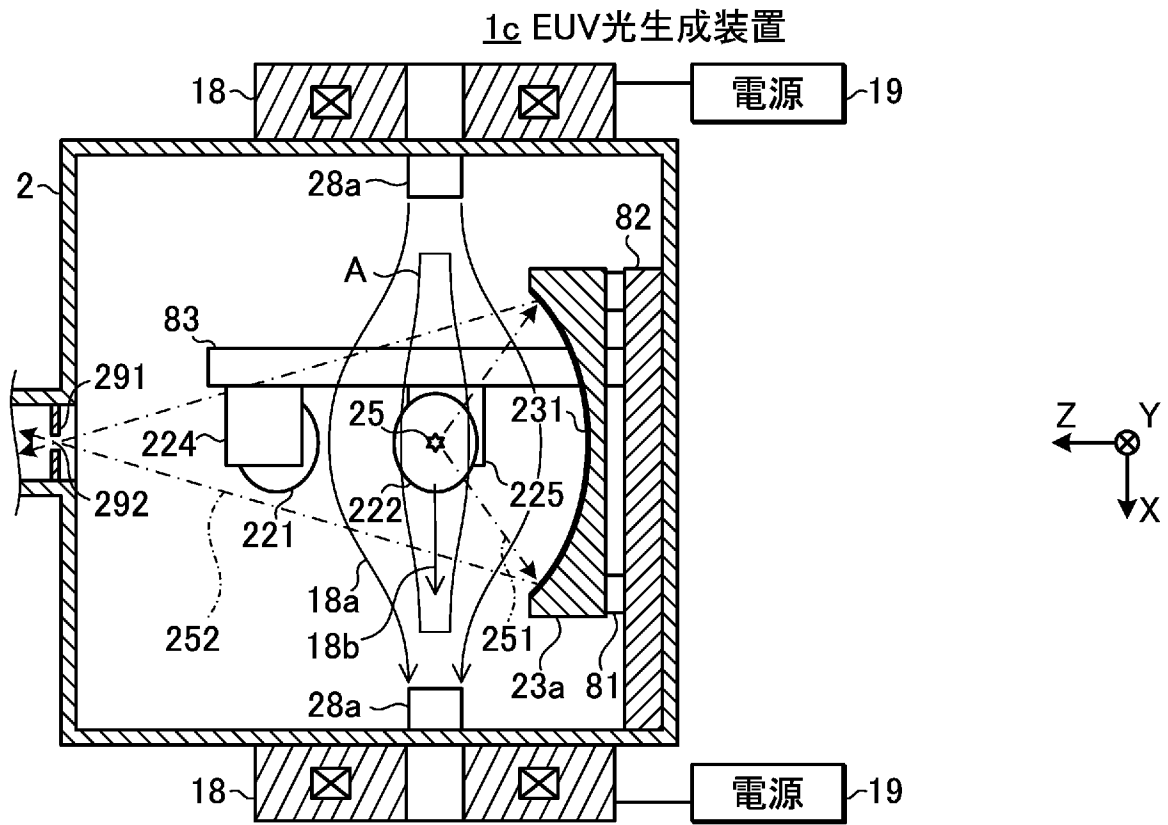


[図9A]

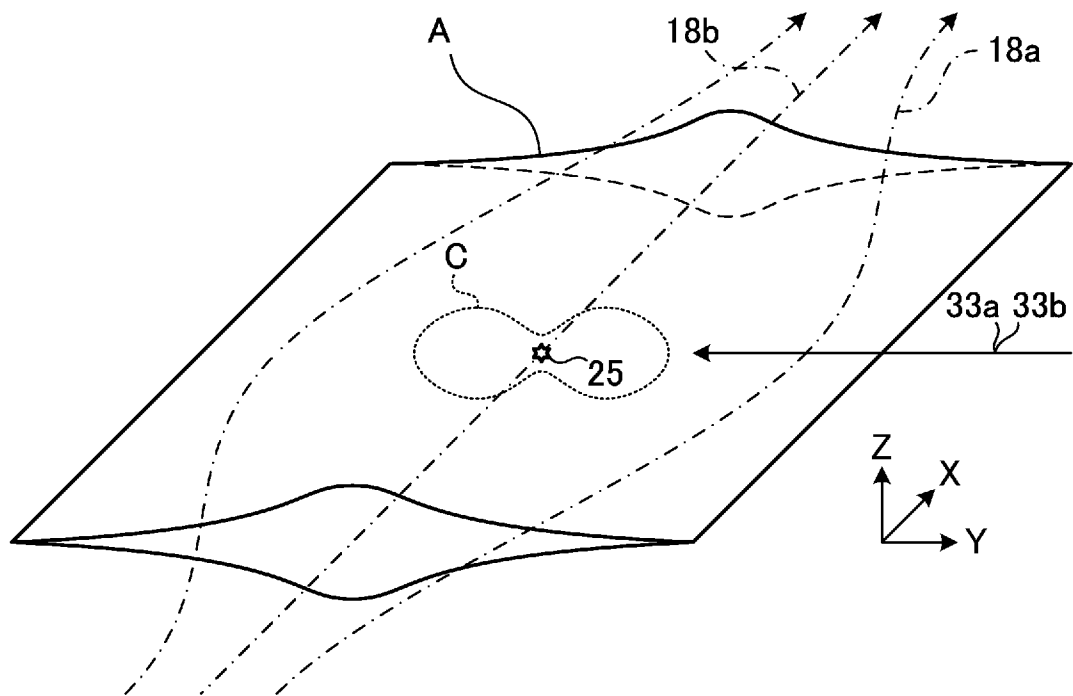
11c EUV光生成システム



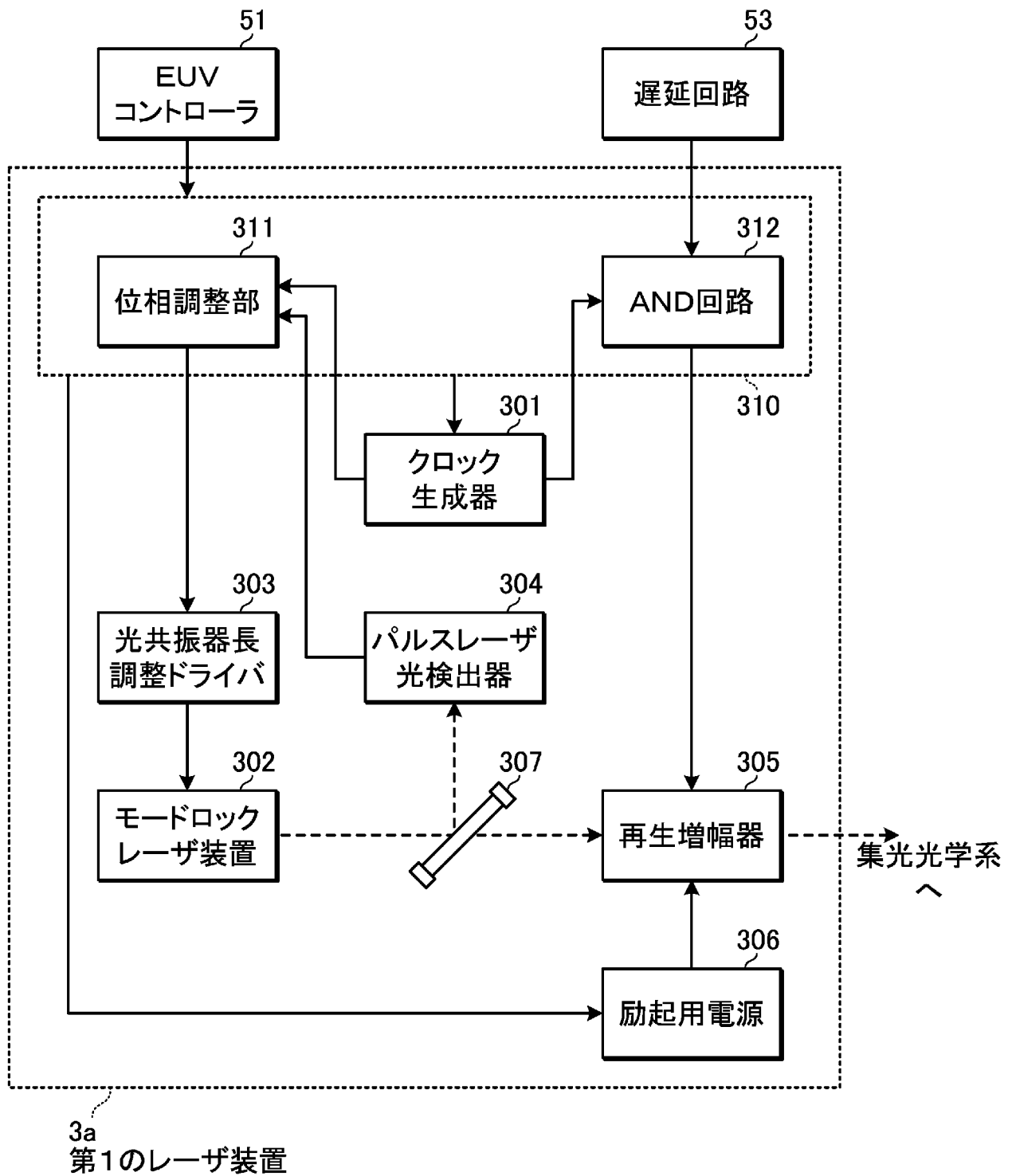
[図9B]



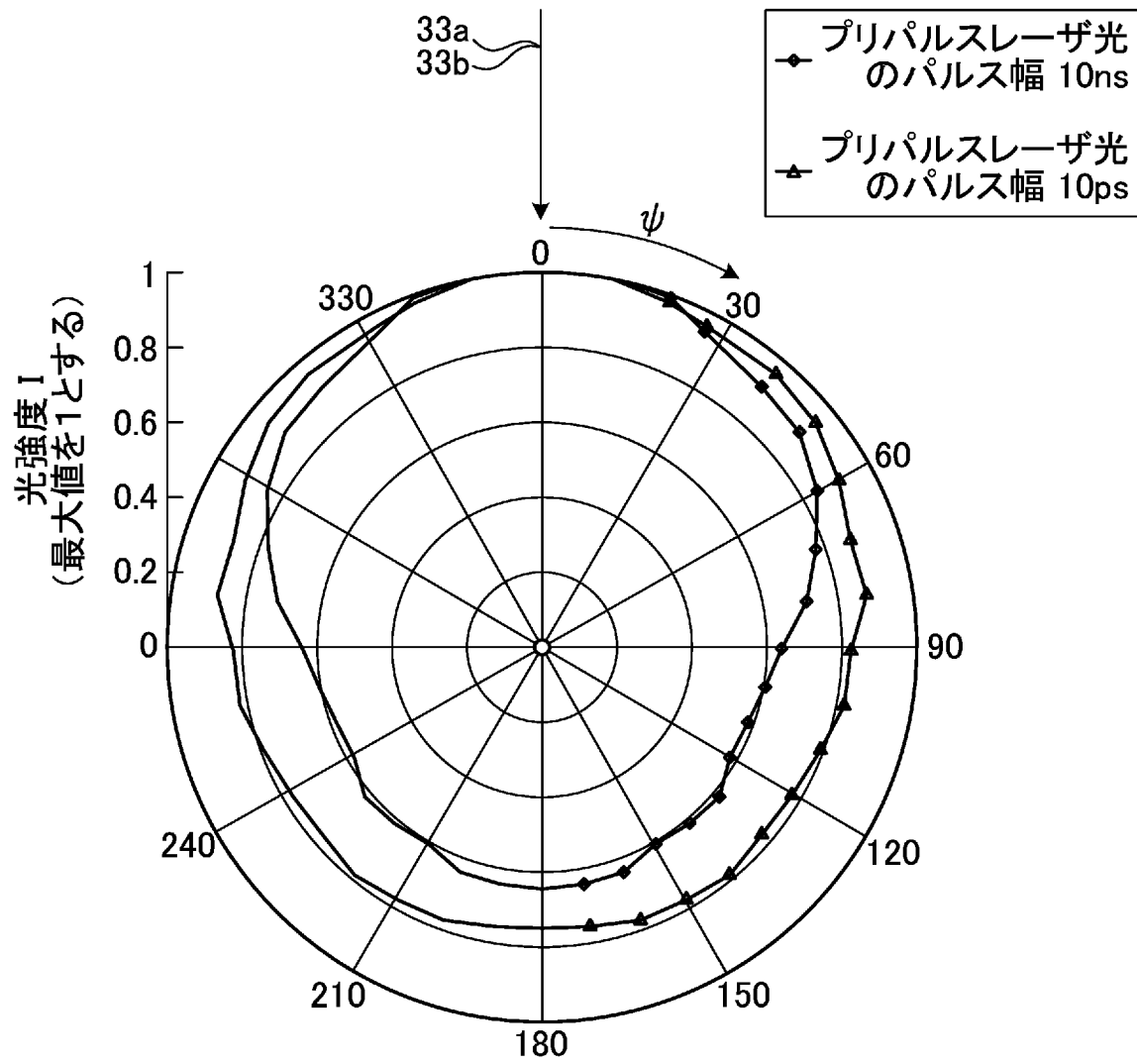
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/084082

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05G2/00(2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H05G2/00

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

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-260019 A (Komatsu Ltd.), 05 November 2009 (05.11.2009), paragraphs [0074] to [0080], [0090], [0091] & US 2009/261242 A1	1, 2
Y	JP 2012-169241 A (Gigaphoton Inc.), 06 September 2012 (06.09.2012), fig. 9 & US 2012/248344 A1 & EP 2563099 A1	1, 2, 5
Y	JP 2012-212641 A (Gigaphoton Inc.), 01 November 2012 (01.11.2012), paragraphs [0048] to [0051] & US 2013/105712 A1 & WO 2012/127290 A1	1, 2

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

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
10 February, 2014 (10.02.14)

Date of mailing of the international search report
25 February, 2014 (25.02.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/084082

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2011-9183 A (Gigaphoton Inc.), 13 January 2011 (13.01.2011), fig. 1 & US 2010/78579 A1	3 4, 5
Y	JP 2010-171405 A (Komatsu Ltd.), 05 August 2010 (05.08.2010), paragraph [0044] & US 2010/213395 A1	4
A	JP 2010-21543 A (Komatsu Ltd.), 28 January 2010 (28.01.2010), fig. 1 & US 2009/314967 A1	1-5
A	JP 2012-216854 A (Gigaphoton Inc.), 08 November 2012 (08.11.2012), fig. 2 & US 2009/267003 A1	1-5
A	JP 2012-212904 A (Gigaphoton Inc.), 01 November 2012 (01.11.2012), fig. 2 & US 2009/267003 A1	1-5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05G2/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05G2/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2009-260019 A（株式会社小松製作所） 2009.11.05, 段落【0074】－【0080】、【0090】、 【0091】 & US 2009/261242 A1	1, 2
Y	JP 2012-169241 A（ギガフォトン株式会社） 2012.09.06, 【図9】 & US 2012/248344 A1 & EP 2563099 A1	1, 2, 5

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

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

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

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

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

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

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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 0 . 0 2 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 5 . 0 2 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

小田倉 直人

2 Q

9 1 6 3

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2012-212641 A (ギガフォトン株式会社) 2012.11.01, 段落【0048】－【0051】 & US 2013/105712 A1 & WO 2012/127290 A1	1, 2
X	JP 2011-9183 A (ギガフォトン株式会社)	3
Y	2011.01.13, 【図1】 & US 2010/78579 A1	4, 5
Y	JP 2010-171405 A (株式会社小松製作所) 2010.08.05, 段落【0044】 & US 2010/213395 A1	4
A	JP 2010-21543 A (株式会社小松製作所) 2010.01.28, 【図1】 & US 2009/314967 A1	1－5
A	JP 2012-216854 A (ギガフォトン株式会社) 2012.11.08, 【図2】 & US 2009/267003 A1	1－5
A	JP 2012-212904 A (ギガフォトン株式会社) 2012.11.01, 【図2】 & US 2009/267003 A1	1－5