

(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2012-169241
(P2012-169241A)

(43) 公開日 平成24年9月6日(2012.9.6)

| | | |
|------------------------------|-----------------|----------------|
| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
| H05G 2/00 (2006.01) | H05G 1/00 K | 4C092 |
| H01L 21/027 (2006.01) | H01L 21/30 531S | 5F046 5F146 |

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 30 頁)

- (21) 出願番号 特願2011-58026 (P2011-58026)
- (22) 出願日 平成23年3月16日 (2011. 3. 16)
- (31) 優先権主張番号 特願2010-74256 (P2010-74256)
- (32) 優先日 平成22年3月29日 (2010. 3. 29)
- (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
- (31) 優先権主張番号 特願2010-265791 (P2010-265791)
- (32) 優先日 平成22年11月29日 (2010. 11. 29)
- (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
- (31) 優先権主張番号 特願2011-15695 (P2011-15695)
- (32) 優先日 平成23年1月27日 (2011. 1. 27)
- (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

- (71) 出願人 300073919
ギガフoton株式会社
栃木県小山市大字横倉新田400番地
- (74) 代理人 100110777
弁理士 宇都宮 正明
- (74) 代理人 100105212
弁理士 保坂 延寿
- (74) 代理人 100100413
弁理士 渡部 温
- (74) 代理人 100110858
弁理士 柳瀬 睦肇
- (72) 発明者 若林 理
神奈川県平塚市四之宮3-25-1 ギガ
フoton株式会社内

最終頁に続く

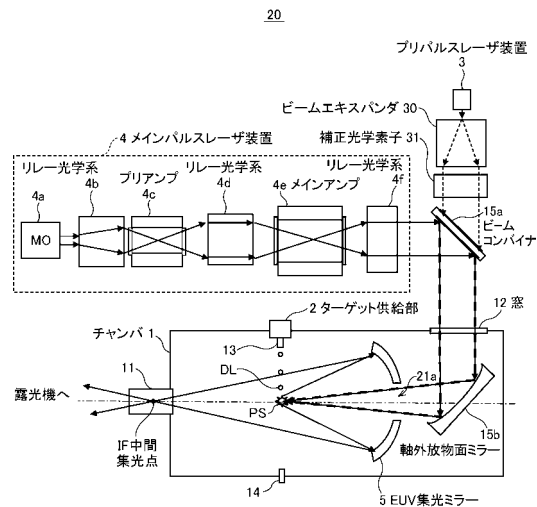
(54) 【発明の名称】 極端紫外光生成装置

(57) 【要約】

【課題】 極端紫外光生成装置に用いた場合生成される極端紫外光の強度を安定化させる。

【解決手段】 チャンバ装置は、少なくとも1つのレーザービーム生成装置と共に用いられるチャンバ装置であって、前記少なくとも1つのレーザービーム生成装置から出力される少なくとも1つのレーザービームを内部に導入するための少なくとも1つの入射口が設けられたチャンバと、前記チャンバに設けられ、前記チャンバ内の所定の領域にターゲット物質を供給するターゲット供給部と、前記少なくとも1つのレーザービームを前記所定の領域で集光させるレーザー集光光学系と、前記少なくとも1つのレーザービームの前記所定の領域におけるビーム断面の光強度分布を補正する光学素子と、を備えてもよい。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

少なくとも 1 つのレーザビーム生成装置と共に用いられるチャンバ装置であって、
前記少なくとも 1 つのレーザビーム生成装置から出力される少なくとも 1 つのレーザビームを内部に導入するための少なくとも 1 つの入射口が設けられたチャンバと、
前記チャンバに設けられ、前記チャンバ内の所定の領域にターゲット物質を供給するターゲット供給部と、
前記少なくとも 1 つのレーザビームを前記所定の領域で集光させるレーザ集光光学系と、
前記少なくとも 1 つのレーザビームの前記所定の領域におけるビーム断面の光強度分布を補正する光学素子と、
を備えるチャンバ装置。

10

【請求項 2】

前記光学素子は、前記少なくとも 1 つのレーザビームの前記前記所定の領域における前記ビーム断面の前記光強度分布が、前記ビーム断面の所定の領域において所定の均一性を有するように、前記光強度分布を補正する、請求項 1 記載のチャンバ装置。

【請求項 3】

前記所定の領域の面積は、前記チャンバ内の前記所定の領域における前記ターゲット物質の、前記少なくとも 1 つのレーザビームの進行方向に垂直な断面における最大面積を超える大きさである、請求項 2 記載のチャンバ装置。

20

【請求項 4】

前記レーザビームの進行方向に垂直な方向における前記所定の領域の寸法の最小値は、前記チャンバ内の前記所定の領域における前記ターゲット物質の、前記垂直な方向における寸法の最大値に、前記所定の領域における前記ターゲット物質の位置のばらつきの範囲を加えた値以上の大きさである、請求項 2 記載のチャンバ装置。

【請求項 5】

前記所定の領域において、最も低い光強度と最も高い光強度との差が、前記最も低い光強度と前記最も高い光強度との和の 20% 以下となる、請求項 2 記載のチャンバ装置。

【請求項 6】

前記チャンバ内に供給されるターゲット物質はドロップレットである、請求項 1 記載のチャンバ装置。

30

【請求項 7】

前記ターゲット物質は金属を含む、請求項 1 記載のチャンバ装置。

【請求項 8】

前記少なくとも 1 つのレーザビームは前記チャンバ内に供給される前記ターゲット物質を照射するプリパルスレーザビームと、前記プリパルスレーザビームに照射されたターゲット物質を照射するメインパルスレーザビームと、を含み、
前記光学素子は、前記プリパルスレーザビームの前記光強度分布を補正する、
請求項 1 記載のチャンバ装置。

【請求項 9】

前記メインパルスレーザビームの前記所定の領域におけるビーム断面の面積は、前記プリパルスレーザビームに照射された前記ターゲット物質の、前記メインパルスレーザビームの進行方向に垂直な断面における最大面積を超える大きさである、請求項 8 記載のチャンバ装置。

40

【請求項 10】

前記メインパルスレーザビームの前記所定の領域におけるビーム断面の寸法の最小値は、前記プリパルスレーザビームに照射された前記ターゲット物質の、前記メインパルスレーザビームの進行方向に垂直な方向における寸法の最大値に、前記プリパルスレーザビームに照射された前記ターゲット物質の位置のばらつきの範囲を加えた値以上の大きさである、請求項 8 記載のチャンバ装置。

50

【請求項 1 1】

前記少なくとも 1 つのレーザービームは前記チャンバ内に供給される前記ターゲット物質を照射するプリパルスレーザービームと、前記プリパルスレーザービームに照射されたターゲット物質を照射するメインパルスレーザービームと、を含み、

前記プリパルスレーザービームと前記メインパルスレーザービームとは、略同一方向から前記チャンバ内に入射する、

請求項 1 記載のチャンバ装置。

【請求項 1 2】

少なくとも 1 つのレーザービーム生成装置と、

前記少なくとも 1 つのレーザービーム生成装置から出力される少なくとも 1 つのレーザービームを内部に導入するための少なくとも 1 つの入射口が設けられたチャンバと、

前記チャンバに設けられ、前記チャンバ内の所定の領域にターゲット物質を供給するターゲット供給部と、

前記少なくとも 1 つのレーザービームを前記所定の領域で集光させるレーザ集光光学系と、

、

前記少なくとも 1 つのレーザービームの集光位置におけるビーム断面の光強度分布を補正する光学素子と、

前記レーザービーム生成装置における前記少なくとも 1 つのレーザービームの出力タイミングを制御するレーザ制御部と、

を備える、極端紫外光生成装置。

【請求項 1 3】

前記少なくとも 1 つのレーザービームは前記チャンバ内に供給される前記ターゲット物質を照射するプリパルスレーザービームと、前記プリパルスレーザービームに照射されたターゲット物質を照射するメインパルスレーザービームと、を含み、

前記プリパルスレーザービームの光強度は、 $6.4 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$ 以上、 $3.2 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2$ 以下であり、

前記レーザ制御部は、前記プリパルスレーザービームが前記ターゲット物質に照射された時点から、 $0.5 \sim 2 \mu\text{s}$ の範囲内のタイミングで、前記メインパルスレーザービームが前記プリパルスレーザービームが照射された前記ターゲット物質に照射されるように、前記メインパルスレーザービームの前記出力タイミングを制御する、

請求項 1 2 記載の極端紫外光生成装置。

【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光リソグラフィにおける微細化が急速に進展しており、次世代においては、 $60 \text{ nm} \sim 45 \text{ nm}$ 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。そのため、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 EUV 光を発生させる EUV 光生成装置と縮小投影反射光学系とを組み合わせた露光装置の開発が期待されている。

【0003】

EUV 光生成装置としては、ターゲットにレーザー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) 方式装置、放電によって生成されるプラズマを用いた DPP (discharge produced plasma) 方式装置、及び軌道放射光を用いた SR (synchrotron radiation) 方式装置の 3 種類がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

10

20

30

40

50

【特許文献 1】米国特許第 7 2 3 9 6 8 6 号明細書

【概要】

【0005】

本開示の 1 つの観点に係るチャンバ装置は、少なくとも 1 つのレーザビーム生成装置と共に用いられるチャンバ装置であって、前記少なくとも 1 つのレーザビーム生成装置から出力される少なくとも 1 つのレーザビームを内部に導入するための少なくとも 1 つの入射口が設けられたチャンバと、前記チャンバに設けられ、前記チャンバ内の所定の領域にターゲット物質を供給するターゲット供給部と、前記少なくとも 1 つのレーザビームを前記所定の領域で集光させるレーザ集光光学系と、前記少なくとも 1 つのレーザビームの前記所定の領域におけるビーム断面の光強度分布を補正する光学素子と、を備えてもよい。

10

【0006】

本開示の別の観点に係る極端紫外光生成装置は少なくとも 1 つのレーザビーム生成装置と、前記少なくとも 1 つのレーザビーム生成装置から出力される少なくとも 1 つのレーザビームを内部に導入するための少なくとも 1 つの入射口が設けられたチャンバと、前記チャンバに設けられ、前記チャンバ内の所定の領域にターゲット物質を供給するターゲット供給部と、前記少なくとも 1 つのレーザビームを前記所定の領域で集光させるレーザ集光光学系と、前記少なくとも 1 つのレーザビームの集光位置におけるビーム断面の光強度分布を補正する光学素子と、前記レーザビーム生成装置における前記少なくとも 1 つのレーザビームの出力タイミングを制御するレーザ制御部と、を備えてもよい。

20

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図 1 A】図 1 A は、本開示における技術課題例を説明するための図である。

【図 1 B】図 1 B は、本開示における技術課題例を説明するための図である。

【図 1 C】図 1 C は、本開示における技術課題例を説明するための図である。

【図 2 A】図 2 A は、本開示において、プリパルスレーザビームをドロップレットに照射したときのターゲット物質の挙動についての 1 つの例を示す図である。

【図 2 B】図 2 B は、本開示において、プリパルスレーザビームをドロップレットに照射したときのターゲット物質の挙動についての 1 つの例を示す図である。

【図 2 C】図 2 C は、本開示において、プリパルスレーザビームをドロップレットに照射したときのターゲット物質の挙動についての 1 つの例を示す図である。

30

【図 3 A】図 3 A は、本開示において、プリパルスレーザビームをドロップレットに照射したときのターゲット物質の挙動についての他の例を示す図である。

【図 3 B】図 3 B は、本開示において、プリパルスレーザビームをドロップレットに照射したときのターゲット物質の挙動についての他の例を示す図である。

【図 3 C】図 3 C は、本開示において、プリパルスレーザビームをドロップレットに照射したときのターゲット物質の挙動についての他の例を示す図である。

【図 4 A】図 4 A は、本開示におけるドロップレット径とビーム径との関係をビームの軸方向に見た図である。

【図 4 B】図 4 B は、本開示におけるドロップレット径とビーム径との関係をビームの軸方向に見た図である。

40

【図 5】図 5 は、本開示におけるドロップレットのばらつきに関する X の値の設定例を示す表である。

【図 6】図 6 は、本開示におけるドロップレットの位置のばらつき方向とビーム径との関係をビームの軸方向に見た図である。

【図 7 A】図 7 A は、本開示におけるプリパルスレーザビームの光強度分布の例を説明するための図である。

【図 7 B】図 7 B は、本開示におけるプリパルスレーザビームの光強度分布の例を説明するための図である。

【図 7 C】図 7 C は、本開示におけるプリパルスレーザビームの光強度分布の例を説明するための図である。

50

【図 8】図 8 は、ターゲット物質に照射されるレーザービームの光強度分布について説明するための図である。

【図 9】図 9 は、第 1 の実施形態に係る E U V 光生成装置の概略構成を示す図である。

【図 10】図 10 は、補正光学素子に関する 1 つの例を示す概念図である。

【図 11】図 11 は、補正光学素子に関する別の例を示す概念図である。

【図 12】図 12 は、補正光学素子に関するさらなる別の例を示す概念図である。

【図 13】図 13 は、補正光学素子に関するさらなる別の例を示す概念図である。

【図 14】図 14 は、第 2 の実施形態に係る E U V 光生成装置の概略構成を示す図である。

【図 15 A】図 15 A は、第 3 の実施形態に係る E U V 光生成装置の概略構成を示す図である。 10

【図 15 B】図 15 B は、図 15 A に示す E U V 光生成装置の X V B - X V B 線における断面図である。

【図 16】図 16 は、第 4 の実施形態に係る E U V 光生成装置の概略構成を示す図である。

【図 17 A】図 17 A は、第 5 の実施形態に係る E U V 光生成装置の概略構成を示す図である。

【図 17 B】図 17 B は、図 17 A に示す E U V 光生成装置の X V I I B - X V I I B 線における断面図である。

【図 18】図 18 は、第 6 の実施形態に係る E U V 光生成装置の概略構成を示す図である。 20

【図 19 A】図 19 A は、ドロップレットにプリパルスレーザービームを照射した様子を示す概念図である。

【図 19 B】図 19 B は、ドロップレットにプリパルスレーザービームを照射したことによって形成されたトラス型の拡散ターゲットにトップハット型の光強度分布を有するメインパルスレーザービームを照射する様子を示す概念図である。

【図 19 C】図 19 C は、ドロップレットにプリパルスレーザービームを照射したことによって形成されたトラス型の拡散ターゲットにトップハット型の光強度分布を有するメインパルスレーザービームを照射する様子を示す概念図である。

【図 20】図 20 は、第 7 の実施形態に係る E U V 光生成装置においてプリパルスレーザービームを発生させるチタンサファイヤレーザの構成例を示す概念図である。 30

【図 21】図 21 は、第 8 の実施形態に係る E U V 光生成装置においてプリパルスレーザービームを発生させるファイバレーザの構成例を示す概念図である。

【図 22】図 22 は、本開示におけるプリパルスレーザービームの照射条件の例を示す表である。

【図 23】図 23 は、第 9 の実施形態に係る E U V 光生成装置の概略構成を示す図である。

【図 24】図 24 は、第 10 の実施形態に係る E U V 光生成装置の概略構成を示す図である。

【実施形態】 40

【0008】

以下、幾つかの実施形態について、単なる例として、図面を参照しながら詳しく説明する。以下に説明する実施形態は、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、以下の実施形態で説明される構成の全てが本開示の構成として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

【0009】

< 1 . 実施形態の背景 >

図 1 A ~ 図 1 C は、本開示における技術課題例を説明するための図である。この技術課題例は、1 次ターゲット (primary target) である金属ドロップレットにプリパルス (レ 50

ーザビームを照射して2次ターゲット (secondary target) を発生させ、この2次ターゲットにメインパルスレーザービームを照射する方式において、新たに生じたものである。

【0010】

図1A～図1Cは、ターゲット物質のドロップレットDLにプリパルスレーザービームPを照射したときのターゲット物質の挙動の一例を示している。プリパルスレーザービームPは、図1Bに示すように、ドロップレットDLが図中の一点鎖線の交点に到来するタイミングで、当該交点に向けて照射されるのが好ましい。

【0011】

ドロップレットDLの径やプリパルスレーザービームPの光強度などの条件にもよるが、ドロップレットDLにプリパルスレーザービームPを照射すると、プリパルスレーザービームPが照射されたドロップレットDLの表面から、プリプラズマが発生し得る。図1Bに示すように、プリプラズマは、プリパルスレーザービームPの進行方向に対してほぼ逆方向に噴出する。プリプラズマとは、ドロップレットDLの内、プリパルスレーザービームPの照射表面付近の部分がイオン又は中性粒子を含む蒸気になったものをいう。このプリプラズマが発生する現象をレーザーアブレーションともいう。

10

【0012】

また、ドロップレットDLにプリパルスレーザービームPを照射すると、ドロップレットDLが破壊され得る。図1Bに示すように、破壊されたドロップレットは、プリプラズマの噴出による反力などによって、プリパルスレーザービームPの進行方向に対してほぼ同方向に飛散する。

20

【0013】

このように、ドロップレットに対するプリパルスレーザービームの照射により生成されたプリプラズマ及び破壊されたドロップレットの少なくともいずれか一方を含むターゲットを、以下では拡散ターゲットと称する。

【0014】

プリパルスレーザービームPの照射時におけるドロップレットDLの位置は不安定であり、図1Aに示すように一点鎖線の交点より紙面上側にずれている場合や、図1Cに示すように一点鎖線の交点より紙面下側にずれている場合等があり得る。1つの方法においては、プリパルスレーザービームのビーム径を大きくすることにより、プリパルスレーザービームがドロップレットに照射されるようにしている。

30

【0015】

しかしながら、レーザー装置から出力されるレーザービームの光強度分布は、通常は、ビーム軸に垂直な断面における中央部で光強度が高く、周辺部で光強度が低いガウス分布となっている。そのような通常のレーザービームをプリパルスレーザービームPとしてドロップレットDLに照射した場合に、上記の方法においては、図1A及び図1Cに示すように、ガウス分布の中心以外の部分にドロップレットDLの中心が位置するように、ドロップレットDLにプリパルスレーザービームPが照射されてしまう可能性がある。

【0016】

プリパルスレーザービームPの中で、ガウス分布の中心以外の部分にドロップレットDLの中心が位置するようにプリパルスレーザービームPが照射された場合には、ドロップレットDLの照射表面の中で、プリパルスレーザービームPにおけるガウス分布の中心に近い部分に、照射エネルギーが偏って与えられる。その結果、プリプラズマは、プリパルスレーザービームPのビーム軸方向とは異なる方向に噴出する。また、上述の破壊されたドロップレットも、プリプラズマの噴出による反力などによって、プリパルスレーザービームPのビーム軸とは異なる方向に飛散する。

40

【0017】

このように、ドロップレットへのプリパルスレーザービームの照射により生成された拡散ターゲットは、プリパルスレーザービーム照射時のドロップレットの位置によって異なる方向に拡散してしまう。このため、メインパルスレーザービームMを拡散ターゲットに照射することが困難となる場合がある。

50

【 0 0 1 8 】

< 2 . 実施形態の概要 >

図 2 A ~ 図 2 C は、本開示において、プリパルスレーザービームをドロップレットに照射したときのターゲット物質の挙動についての 1 つの例を示している。図 2 A ~ 図 2 C においては、図 1 A ~ 図 1 C に示す場合と同様に、プリパルスレーザービーム P の照射時におけるドロップレット D L の位置が不安定である（例えば、図 2 A、図 2 C）。しかし、図 2 A ~ 図 2 C においては、プリパルスレーザービーム P のビーム軸に垂直な断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域（径 D t）が含まれる。

【 0 0 1 9 】

図 2 A ~ 図 2 C の何れにおいても、プリパルスレーザービーム P の光強度分布において所定の均一性を有する領域（径 D t）の中にドロップレット D L が位置している。このため、プリパルスレーザービーム P がドロップレット D L の全体に均一な光強度で照射される。従って、プリパルスレーザービーム P がドロップレット D L に照射される時において、ドロップレット D L の位置がばらついていても、プリパルスレーザービーム P のビーム軸に沿う方向にターゲットを拡散させることができる。その結果、メインパルスレーザービーム M を拡散ターゲットの全体に照射することができる。

10

【 0 0 2 0 】

図 3 A ~ 図 3 C は、本開示において、プリパルスレーザービームをドロップレットに照射したときのターゲット物質の挙動についての他の例を示している。図 3 A ~ 図 3 C においても、図 2 A ~ 図 2 C に示す場合と同様に、プリパルスレーザービーム P のビーム軸に垂直な断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域（径 D t）が含まれる。

20

【 0 0 2 1 】

図 3 A ~ 図 3 C においては、図 2 A ~ 図 2 C に示す場合と異なり、ドロップレット D L が粉々に破壊されて、円盤状に分散することにより拡散ターゲットとなる。ターゲット物質のこのような挙動は、例えば、ドロップレット D L の径を略マスリミテッド（約 1 0 μ m）とし、プリパルスレーザービーム P の光強度が所定の強度に調節される場合に得られる。

【 0 0 2 2 】

図 3 A ~ 図 3 C において、プリパルスレーザービーム P に対するドロップレット D L の位置が不安定である場合（例えば、図 3 A、図 3 C）でも、プリパルスレーザービーム P の光強度分布において所定の均一性を有する領域（径 D t）の中にドロップレット D L が位置している。このため、プリパルスレーザービーム P がドロップレット D L の全体に均一な光強度で照射される。従って、プリパルスレーザービーム P は、ドロップレット D L の位置がばらついていても、プリパルスレーザービーム P のビーム軸に沿う方向にターゲット物質を拡散させることができる。その結果、メインパルスレーザービーム M を拡散ターゲットの全体に照射することができる。

30

【 0 0 2 3 】

< 3 . 所定の均一性を有する領域の径 >

次に、図 2 A ~ 図 2 C 及び図 3 A ~ 図 3 C を参照しながら、レーザービームの光強度分布において所定の均一性を有する領域の径 D t について説明する。

40

【 0 0 2 4 】

ドロップレット D L にプリパルスレーザービーム P を照射するときに、プリパルスレーザービーム P のビーム軸方向にターゲットを拡散させるには、ビーム断面において光強度が所定の均一性を有する部分がドロップレット D L の半球面全体に照射されることが好ましい。従って、ドロップレット D L の径を D d としたとき、プリパルスレーザービーム P のビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域の径 D t は、ドロップレット D L の径 D d を超える大きさであることが好ましい。

【 0 0 2 5 】

また、プリパルスレーザービーム P を照射する時のドロップレット D L の位置のばらつきが想定される場合には、想定されるばらつき X を考慮することが好ましい。例えば、プ

50

リパルスレーザービーム P のビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域の径 D_t は、以下の条件を満足することが望ましい。

$$D_t \geq D_d + 2 \cdot X$$

すなわち、プリパルスレーザービーム P のビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域の径 D_t は、ドロップレット D_L の径 D_d に、ドロップレット D_L の位置のばらつき X を加えた大きさ以上であることが好ましい。ここでは、ビーム軸方向に見て上下及び左右両方向のばらつきが想定されるものとして、ドロップレット D_L の径 D_d に X の 2 倍を加えている。

【0026】

図 4 A 及び図 4 B は、本開示におけるドロップレット径とビーム径との関係をビームの軸方向から見た図である。図 4 A に示すように、プリパルスレーザービーム P のビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域の径 D_t は、ドロップレット D_L の径 D_d に X の 2 倍を加えた大きさ以上であることが好ましい。

【0027】

次に、図 4 B に示すように、メインパルスレーザービーム M を拡散ターゲットの全体に照射できるように、メインパルスレーザービーム M のビーム径 D_m は、拡散ターゲットの径 D_e 以上の大きさであることが好ましい。

【0028】

さらに、プリパルスレーザービーム P のビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域が存在する場合には、拡散ターゲットの位置のばらつきについて、以下のことが言える。拡散ターゲットは、プリパルスレーザービーム P のビーム軸方向に拡散する。従って、拡散ターゲットの位置のばらつきは、拡散ターゲットの拡散方向に起因しているのではない。拡散ターゲットの位置のばらつきは、主として、プリパルスレーザービーム P を照射したときに生じていたドロップレットの位置のばらつき X に起因している。従って、メインパルスレーザービーム M のビーム径 D_m は、例えば以下の条件を満足することが好ましい。

$$D_m \geq D_e + 2 \cdot X$$

すなわち、メインパルスレーザービーム M のビーム径 D_m は、拡散ターゲットの径 D_e に、ドロップレット D_L の位置のばらつき X を加えた大きさ以上であることが好ましい。ここでは、ビーム軸方向に見て上下及び左右両方向のばらつきが想定されるものとして、拡散ターゲットの径 D_e に X の 2 倍を加えている。

【0029】

図 5 は、本開示におけるドロップレットの位置のばらつきに関する X の値の設定例を示す表である。プリパルスレーザービームの中心とドロップレットの中心との間の距離の標準偏差を σ としたとき、 X としては、例えば、 σ 、 2σ 、 3σ 、 \dots に設定することが考えられる。

【0030】

ここで、プリパルスレーザービームの中心とドロップレットの中心との間の距離が正規分布に従うと仮定すると、上述の $D_t \geq D_d + 2 \cdot X$ の条件下で、プリパルスレーザービームのビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域がドロップレットを照射する確率（又は照射しない確率）を算出できる。

【0031】

図 5 の右欄は、プリパルスレーザービーム P のビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域 D_t がドロップレットに照射されない確率を示したものである。図示するように、所定の均一性を有する領域 D_t がドロップレットに照射されない確率は、 $X = \sigma$ の場合は 15.9%、 $X = 2\sigma$ の場合は 2.28%、 $X = 3\sigma$ の場合は 0.135% である。EUV 光の強度を安定化させるには、 X を 2 以上の値に設定することが好ましい。

【0032】

なお、プリパルスレーザービーム及びメインパルスレーザービームのビーム断面が円形であ

10

20

30

40

50

り、ドロップレット及び拡散ターゲットの断面（レーザビームのビーム軸に垂直な断面）が円形であ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。例えば、プリパルスレーザビームの所定の均一性を有する領域の面積が、ドロップレットの断面における最大面積を超える大きさであっても良い。また、プリパルスレーザビームの所定の均一性を有する領域の寸法の最小値が、ドロップレットの断面における寸法の最大値に、ドロップレットの位置のばらつきの範囲を加えた値以上の大きさであっても良い。また、メインパルスレーザビームのビーム断面の面積が、拡散ターゲットの断面における最大面積を超える大きさであっても良い。また、メインパルスレーザビームのビーム断面の寸法の最小値が、拡散ターゲットの断面における寸法の最大値に、拡散ターゲットの位置のばらつきの範囲を加えた値以上の大きさであっても良い。

10

【 0 0 3 3 】

図 6 は、本開示におけるドロップレットの位置のばらつき方向とビーム径との関係をビームの軸方向に見た図である。図 6 に示すように、プリパルスレーザビーム P のビーム軸に垂直な方向へのドロップレットの位置のばらつきは、複数の方向において評価してもよい。図 6 においては、プリパルスレーザビームの中心からのドロップレット中心位置の X 方向（紙面の横方向）のばらつきの最大値とドロップレットの半径との和を X_{dmax} とし、プリパルスレーザビームの中心からのドロップレット中心位置の Y 方向（紙面の縦方向）のばらつきの最大値とドロップレットの半径との和を Y_{dmax} としている。そして、例えば X 方向のばらつきの最大値が Y 方向のばらつきの最大値より大きい場合を示している（ $X_{dmax} > Y_{dmax}$ ）。

20

【 0 0 3 4 】

このような場合、例えば、ばらつきの大きい X 方向を基準としてプリパルスレーザビーム P のビーム断面の寸法を決めてもよい。例えば、プリパルスレーザビーム P のビーム断面において光強度が所定の均一性を有する領域は、半径の長さ $F R$ が X_{dmax} 以上である円形であるようにするとよい。または、プリパルスレーザビーム P のビーム断面において光強度が所定の均一性を有する領域は、X 方向の寸法（ビーム軸の中心から所定の均一性を有する領域の縁までの長さ）が X_{dmax} 以上である楕円形又はその他の形状を有するようにしてもよい。また、プリパルスレーザビーム P のビーム断面において光強度が所定の均一性を有する領域の寸法にもばらつき $T R$ があり得ることを考慮し、所定の均一性を有する領域は、X 方向の寸法が $(X_{dmax} + T R)$ 以上である形状を有するようにしてもよい。

30

【 0 0 3 5 】

また、ドロップレットの位置のばらつきに応じて、プリパルスレーザビーム P のビーム径を変更できるようにしてもよい。プリパルスレーザビーム P の光エネルギーを一定にしたままビーム径を変更すると、プリパルスレーザビーム P の照射面における光強度（単位面積あたりの光エネルギー）がビーム径の二乗に反比例して変化する。従って、光強度を一定にするために、光エネルギーを調整してもよい。また、例えば、プリパルスレーザビーム P のビーム断面において光強度が所定の均一性を有する領域の形状（ビームの断面形状）を、X 方向の寸法が $(X_{dmax} + T R)$ であり、Y 方向の寸法が $(Y_{dmax} + T R)$ である楕円形状となるように調整してもよい。メインパルスレーザビームについても、例えば拡散ターゲットの X 方向のばらつきと Y 方向のばらつきに応じて、ビーム断面の寸法や形状を調整してもよい。

40

【 0 0 3 6 】

< 4 . 光強度分布の例 >

図 7 A ~ 図 7 C は、本開示におけるプリパルスレーザビームの光強度分布の例を説明するための図である。図 7 A に示すように、プリパルスレーザビーム P が、ビーム断面の全範囲において均一な光強度を有する場合には、当該プリパルスレーザビーム P の光強度分布は、均一なトップハット（top hat）型であり、均一性を有すると言える。

【 0 0 3 7 】

また、図 7 B に示すように、プリパルスレーザビーム P が、ビーム径方向の端部付近において光強度が漸減する領域を有している場合でも、当該端部に囲まれた中央部付近にお

50

いて均一な光強度を有する場合には、均一性を有する領域を含むと言える。

【0038】

また、図7Cに示すように、プリパルスレーザービームPが、ビーム径方向の端部付近において光強度が高い領域を有している場合でも、当該端部に囲まれた中央部付近において均一な光強度を有する場合には、均一性を有する領域を含むと言える。

【0039】

ドロップレットDLにプリパルスレーザービームPを照射したときに、プリパルスレーザービームPのビーム軸方向にターゲットを拡散させるには、図7A～図7Cに示すように、プリパルスレーザービームPが均一な光強度を有する領域を含むことが好ましい。しかし、以下に説明するように、レーザービームの光強度分布は、完全に均一でなくても、ビーム軸に垂直な断面の内の一定の領域において所定の均一性を有していればよい。

10

【0040】

図8は、ターゲット物質に照射されるレーザービームの光強度分布について説明するための図である。図8に示すように、レーザービームのビーム軸に垂直な断面の内の一定の領域(径Dt)において最も高い光強度の値Imaxと、当該領域において最も低い光強度の値Iminとの差が大きすぎる場合には、所定の均一性を有するとは言えない。所定の均一性を有すると言えるためには、例えば、以下に示すばらつきCの値が20(%)以下であることが好ましい。

$$C = \{ (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \} \times 100 (\%)$$

より好ましくは、上記のばらつきCの値は10(%)以下である。

20

【0041】

また、レーザービームのビーム断面における光強度分布が、上記所定の均一性を有する領域内において複数のピークP1～P6を有する場合には、ピーク間の間隔PがドロップレットDLの径Ddの半分以下であることが好ましい。

【0042】

< 5 . 第1の実施形態 >

図9は、第1の実施形態に係るEUV光生成装置の概略構成を示す図である。第1の実施形態に係るEUV光生成装置は、レーザービームをターゲット物質に照射して励起することによりEUV光を発生させるレーザー生成プラズマ(LPP)方式を採用している。図9に示すように、このEUV光生成装置20は、チャンバ1と、ターゲット供給部2と、プリパルスレーザー装置3と、メインパルスレーザー装置4と、EUV集光ミラー5とを有し得る。ここで、プリパルスレーザー装置3及びメインパルスレーザー装置4は、レーザービーム生成機構を構成している。

30

【0043】

チャンバ1は、EUV光の生成が内部で行われる真空チャンバである。チャンバ1には、露光機接続ポート11と、窓12とが設けられている。露光機接続ポート11を介して、チャンバ1内で発生したEUV光は外部の露光機(縮小投影反射光学系)に出力される。窓12を介して、プリパルスレーザー装置3及びメインパルスレーザー装置4によって生成されたレーザービームがチャンバ1内に入射する。

【0044】

ターゲット供給部2は、EUV光を発生させるために用いられるスズ(Sn)やリチウム(Li)等のターゲット物質をチャンバ1内に供給する装置である。チャンバ1内において、ターゲット物質は、ターゲットノズル13を介して噴出されて、球状のドロップレットDLとなる。ドロップレットDLは、例えば10μm以上100μm以下の径を有している。チャンバ1内に供給された複数のドロップレットDLの中で、レーザービームが照射されなかったものは、ターゲット回収筒14に回収される。

40

【0045】

プリパルスレーザー装置3及びメインパルスレーザー装置4は、ターゲット物質を励起するために用いられる駆動用のレーザービームを発生させる発振増幅型レーザー装置である。プリパルスレーザー装置3及びメインパルスレーザー装置4によって生成されるレーザービームは、

50

高い繰返し周波数（例えば、パルス時間幅が数 ns ~ 数十 ns 程度、繰返し周波数が 10 kHz ~ 100 kHz 程度）を有するパルスレーザービームである。プリパルスレーザー装置 3 はプリパルスレーザービームを生成し、メインパルスレーザー装置 4 はメインパルスレーザービームを生成する。プリパルスレーザー装置 3 としては、例えば YAG (Yttrium Aluminum Garnet) レーザ装置が用いられ、メインパルスレーザー装置 4 としては、例えば CO₂ レーザ装置が用いられるが、他のレーザー装置が用いられてもよい。

【0046】

プリパルスレーザー装置 3 によって生成されたプリパルスレーザービームは、ビームコンバイナ 15 a、軸外放物面ミラー 15 b 等を含むレーザー集光光学系と、上述の窓 12 と、EUV 集光ミラー 5 の中央部に形成された貫通孔 21 a とを介して、チャンバ 1 内のドロップレット DL 上に集光される。

10

【0047】

一方、メインパルスレーザー装置 4 によって生成されたメインパルスレーザービームは、ビームコンバイナ 15 a、軸外放物面ミラー 15 b 等を含むレーザー集光光学系と、上述の窓 12 と、貫通孔 21 a とを介して、チャンバ 1 内の拡散ターゲット上に集光される。

【0048】

プリパルスレーザービームがドロップレット DL に照射されると、ドロップレット DL が拡散して、拡散ターゲット（例えば、図 2 A ~ 図 2 C に示すようなプリプラズマ、又は、図 2 A ~ 図 2 C 及び図 3 A ~ 図 3 C に示すような破壊されたドロップレット）が形成される。

20

【0049】

メインパルスレーザービームは、ドロップレット DL へのプリパルスレーザービームの照射によって形成された拡散ターゲットに照射される。メインパルスレーザービームのエネルギーによって、拡散ターゲットが励起されてプラズマ化されると、そこから EUV 光を含む様々な波長の光が放射される。

【0050】

EUV 集光ミラー 5 は、プラズマから放射される様々な波長の光の内から、所定の波長（例えば、13.5 nm 付近の波長を有する EUV 光）の光を集光反射する集光光学系である。EUV 集光ミラー 5 は、例えば、波長が 13.5 nm 付近の EUV 光を選択的に反射するモリブデン (Mo) / シリコン (Si) 多層膜が形成された回転楕円面の凹面状反射面を有するミラーである。EUV 集光ミラー 5 は、回転楕円面の第 1 の焦点がプラズマ生成領域 PS となるように配置されており、EUV 集光ミラー 5 で反射された EUV 光は、回転楕円面の第 2 の焦点位置、即ち、中間集光点 (IF に集光され、外部の露光機に出力される。

30

【0051】

第 1 の実施形態においては、プリパルスレーザー装置 3 によって生成されるプリパルスレーザービームと、メインパルスレーザー装置 4 によって生成されるメインパルスレーザービームとが、ビームコンバイナ 15 a によってそれらのビーム軸を略一致させられてチャンバ 1 内に供給される。

【0052】

プリパルスレーザー装置 3 は、第 1 の所定波長を有するプリパルスレーザービームを生成する。プリパルスレーザービームは、ビームエキスパンダ 30 においてビーム径が拡大された後、補正光学素子 31 に入射する。

40

【0053】

補正光学素子 31 は、ドロップレット DL に照射されるプリパルスレーザービームの光強度分布を補正する素子である。補正光学素子 31 は、ドロップレット DL への照射位置におけるプリパルスレーザービームのビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域を含み、且つ、当該所定の均一性を有する領域の径がドロップレット DL の径を超える大きさとなるように、プリパルスレーザービーム P の光強度分布を補正する。補正光学素子 31 から出射されたプリパルスレーザービーム P は、ビームコンバイナ 15 a に入射する

50

。

【0054】

メインパルスレーザ装置4は、マスターオシレータ4aと、プリアンプ4cと、メインアンプ4eと、それらの下流側に、それぞれリレー光学系4b、4d、4fを配置して構成されている。マスターオシレータ4aは、第2の特定波長を有するシード光を生成する。マスターオシレータ4aによって生成されたシード光は、プリアンプ4c及びメインアンプ4eによって所望の光強度に増幅され、メインパルスレーザビームとしてビームコンバイナ15aに入射する。

【0055】

ビームコンバイナ15aは、プリパルスレーザ装置3から出力されたレーザビームに含まれる第1の特定波長を有する光を高い透過率で透過させ、メインパルスレーザ装置4から出力されたレーザビームに含まれる第2の特定波長を有する光を高い反射率で反射する光学素子である。ビームコンバイナ15aは、プリパルスレーザビームのビーム軸とメインパルスレーザビームのビーム軸とが略一致するようにこれらのビームを同軸化してチャンバ1内に供給する。ここで、ビームコンバイナ15aは、例えば、波長 $1.06\mu\text{m}$ のプリパルスレーザビームを高い透過率で透過させ、波長 $10.6\mu\text{m}$ のメインパルスレーザビームを高い反射率で反射する光学素子でよい。具体的には、ビームコンバイナ15aは、ダイヤモンド基板上に、上記反射透過特性を有する多層膜がコートされた光学素子でよい。或いは、ビームコンバイナ15aは、プリパルスレーザビームを高い反射率で反射し、メインパルスレーザビームを高い透過率で透過させる光学素子でもよい。その場合には、プリパルスレーザ装置3の位置とメインパルスレーザ装置4の位置とを入れ替えて配置するとよい。

10

20

【0056】

第1の実施形態によれば、プリパルスレーザビームのビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域を含むようにし、且つ、当該所定の均一性を有する領域の径がドロップレットの径を超える大きさとなるようにしている。これにより、ドロップレットの位置のばらつきに起因する拡散ターゲットの位置のばらつきを低減され、生成されるEUV光のエネルギーと光学性能の安定性を改善させることができる。

【0057】

また、第1の実施形態によれば、プリパルスレーザビームとメインパルスレーザビームとを略同軸でプラズマ生成領域PSに照射できる。このため、EUV集光ミラー5に形成されるレーザビーム導入用の貫通孔の数を少なくすることができる。

30

【0058】

第1の実施形態においては、プリパルスレーザ装置3及びメインパルスレーザ装置4を含むEUV光生成装置20について説明したが、本開示はこれに限定されない。例えば、プリパルスレーザ装置3及びメインパルスレーザ装置4等の励起エネルギー源とは別個に製造され、これらのレーザ装置等から励起エネルギーを導入することにより、チャンバ内のターゲット物質を励起してEUV光を生成する装置にも、本発明を適用することができる。このように、プリパルスレーザ装置3及びメインパルスレーザ装置4等を外部装置として組み合わせてEUV光を生成する装置のことを、本願においては、単に「装置」という。

40

【0059】

<6. 補正光学素子の例>

図10は、補正光学素子に関する1つの例を示す概念図である。図10に示す補正光学素子は、回折光学素子(31aを含んでいる。回折光学素子31aは、例えば、入射光を回折させるための微小な凹凸が形成された透明板によって構成されている。回折光学素子31aの凹凸パターンは、回折光を集光光学系によって集光した場合に集光点において光強度分布を均一化させるように設計されている。回折光学素子31aから出射された回折光は、集光光学系15(図9に示す軸外放物面ミラー15b等)を用いて集光される。これにより、トップハット型の光強度分布を有するプリパルスレーザビームが、ドロップレ

50

ットDLに照射される。

【0060】

図11は、補正光学素子に関する別の例を示す概念図である。図11に示す補正光学素子は、位相シフト光学系31bを含んでいる。位相シフト光学系31bは、例えば、中央部を周辺部より肉厚とした透明板によって構成される。この位相シフト光学系31bは、中央部を透過する光と周辺部を透過する光との間に位相差を与える。これにより、光強度分布がガウス分布である入射光は、エアリー関数に近似した電界強度分布を有する出射光に変換されて、位相シフト光学系31bから出射する。

【0061】

そして、例えば、集光光学系15の後焦点の位置がドロップレットDLの通過点と一致するように当該集光光学系15を配置し、当該集光光学系15の前焦点の位置に位相シフト光学系31bを配置する。これにより、エアリー関数をフーリエ変換したトップハット型の光強度分布を有するプリパルスレーザービームが、ドロップレットDLに照射される。なお、ここでは透過型の位相シフト光学系31bを用いる例について説明したが、これに限らず、反射型の位相シフト光学系を用いてもよい。

【0062】

図12は、補正光学素子に関するさらなる別の例を示す概念図である。図12に示す補正光学素子は、所定形状の開口を有するマスク32を含んでいる。マスク32と、コリメータレンズ33と、集光光学系15とにより、縮小投影光学系31cが構成される。マスク32は、入射するプリパルスレーザービームの光強度分布が均一性を有する領域の光のみを透過させる。縮小投影光学系31cは、マスク32部分における像をコリメータレンズ33と集光光学系15とによってドロップレットDL上に縮小投影して結像させる。これにより、トップハット型の光強度分布を有するプリパルスレーザービームが、ドロップレットDLに照射される。

【0063】

図13は、補正光学素子に関するさらなる別の例を示す概念図である。図13に示す補正光学素子は、多数の凹レンズを配列したフライアイレンズ34を含んでいる。フライアイレンズ34と集光光学系15とにより、ケイラー照明光学系31dが構成される。ケイラー照明光学系31dは、入射光をフライアイレンズ34の各々の凹レンズによって各々所定の角度で広げ、その光を、集光光学系15の焦点位置において、重ね合わせることができる。その結果、集光光学系15の焦点位置においてレーザービームの光強度分布を均一化させることができる。これにより、トップハット型の光強度分布を有するプリパルスレーザービームが、ドロップレットDLに照射される。なお、ここではフライアイレンズ34を用いる例について説明したが、これに限らず、反射型のフライアイ光学系を用いてもよい。また、フライアイレンズは多数の凸レンズを配列したものでもよいし、微小なレンズで構成したマイクロフライアイレンズでもよい。

【0064】

さらに、図10～図13においては、レーザービームをドロップレットに集光する機能を有する集光光学系と、レーザービームの光強度分布を補正する機能を有する補正光学素子とを組み合わせた場合を示したが、1つの素子がこれらの機能を有するようにしてもよい。例えば、集光レンズに回折光学素子のような凹凸が形成された光学素子や、集光ミラーに位相シフトの機能を有する光学素子を用いてもよい。

【0065】

<7. 第2の実施形態>

図14は、第2の実施形態に係るEUV光生成装置の概略構成を示す図である。第2の実施形態に係るEUV光生成装置は、プリパルスレーザー装置3によって生成されたプリパルスレーザービームと、メインパルスレーザー装置4によって生成されたメインパルスレーザービームとを別々の経路からチャンバ1内に供給する構成を有している。

【0066】

プリパルスレーザー装置3によって生成されたプリパルスレーザービームは、高反射ミラー

15cと、チャンバ1に設けられた窓12bと、軸外放物面ミラー15dと、EUV集光ミラー5に形成された1つの貫通孔21bとを介して、チャンバ1内のドロップレットDL上に集光される。これにより、拡散ターゲットが形成される。

【0067】

メインパルスレーザー装置4によって生成されたメインパルスレーザービームは、高反射ミラー15eと、窓12と、軸外放物面ミラー15bと、EUV集光ミラー5に形成されたもう1つの貫通孔21aとを介して、拡散ターゲット上に集光される。

【0068】

第2の実施形態によれば、プリパルスレーザービームとメインパルスレーザービームとを別々の光学系を介してターゲットに照射できる。このため、プリパルスレーザービームとメインパルスレーザービームとがそれぞれ所望の大きさの集光点を形成するように、光学系の設計及び製作をすることが容易となる。また、プリパルスレーザービームとメインパルスレーザービームとを同軸化するためのビームコンバイナ等の光学素子を用いなくても、ドロップレットDL及び拡散ターゲットに、それぞれ、プリパルスレーザービーム及びメインパルスレーザービームを略同一方向から照射することができる。その他の点については、第1の実施形態におけるのと同様である。

10

【0069】

< 8 . 第3の実施形態 >

図15Aは、第3の実施形態に係るEUV光生成装置の概略構成を示す図であり、図15Bは、図15Aに示すEUV光生成装置のXVB-XVB線における断面である。第3の実施形態に係るEUV光生成装置は、プリパルスレーザー装置3によって生成されるプリパルスレーザービームを、図15Bに示す軸外放物面ミラー15fを介して、EUV光のビーム軸に対して略垂直な方向からチャンバ1内に供給する構成を有している。

20

【0070】

第3の実施形態によれば、プリパルスレーザービームを導入するための貫通孔をEUV集光ミラー5に形成する必要がないので、第2の実施形態と比較してEUV集光ミラー5によるEUV光の集光効率を高めることができる。その他の点については、第2の実施形態と同様である。

【0071】

< 9 . 第4の実施形態 >

図16は、第4の実施形態に係るEUV光生成装置の概略構成を示す図である。第4の実施形態に係るEUV光生成装置は、図9に示す第1の実施形態に係るEUV光生成装置に、ドロップレットの位置検出機構を追加した構成を有している。第4の実施形態に係るEUV光生成装置においては、検出されたドロップレットの位置に応じてレーザービームの出力タイミング等を制御する。ドロップレットの位置検出機構は、ドロップレットZ方向検出器70と、ドロップレットXY方向検出器80とを含んでいる。

30

【0072】

ドロップレットZ方向検出器70は、ドロップレットの進行方向(Z方向)の位置を検出する。具体的には、ドロップレットZ方向検出器70は、ドロップレットがZ方向の所定位置に到着したときに、レーザートリガ生成機構71に対してZ位置検出信号を出力する。

40

【0073】

レーザートリガ生成機構71は、Z位置検出信号を受信すると、所定の遅延時間が経過した時に、プリパルスレーザー装置3に対してプリパルスレーザー発振トリガ信号を出力する。プリパルスレーザー装置3は、プリパルスレーザー発振トリガ信号に基づいてプリパルスレーザービームを出力する。この所定の遅延時間は、ドロップレットDLがプラズマ生成領域PSに到着するタイミングでプリパルスレーザー装置3がプリパルスレーザービームを出力するように設定される。

【0074】

レーザートリガ生成機構71がプリパルスレーザー装置3に対してプリパルスレーザー発振ト

50

リガ信号を出力した後、ドロップレットDLにプリパルスレーザが照射されて、ドロップレットDLが拡散する。そして、レーザトリガ生成機構71は、所定の遅延時間が経過した時に、メインパルスレーザ装置4に対してメインパルスレーザ発振トリガ信号を出力する。メインパルスレーザ装置4は、メインパルスレーザ発振トリガ信号に基づいてメインパルスレーザビームを出力する。この所定の遅延時間は、拡散ターゲットが所望の大きさにまで拡散するタイミングでメインパルスレーザ装置4がメインパルスレーザビームを出力するように設定される。

【0075】

以上のようにして、ドロップレットのZ方向の位置の検出結果に応じてそれぞれのパルスレーザビームの生成タイミングが制御される。

10

【0076】

ドロップレットZ方向検出器70と、レーザトリガ生成機構71と、プリパルスレーザ装置3とにおいては、各種のジッター（時間軸上のゆらぎ）が存在すると考えられる。このようなジッターとしては、（1）ドロップレットZ方向検出器が信号出力に要する時間のジッター（a）、（2）信号の送受信に要する時間のジッター（b）、（3）信号の処理に要する時間のジッター（c）、（4）プリパルスレーザ装置3からパルスレーザビームが出力される時間のジッター（d）及び（5）メインパルスレーザ装置4からパルスレーザビームが出力される時間のジッター（f）等が挙げられる。上記ジッターの標準偏差jは、以下の式で表現される。

$$j = (a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + f^2 + \dots)^{1/2}$$

20

レーザの照射位置とドロップレットの位置との間におけるZ方向のずれは、例えば、 $j \times v$ （但し、vはドロップレットの移動速度）で表される。その場合、プリパルスレーザビームのビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域の径Dtzは、以下の条件を満足すればよい。

$$Dtz \leq Dd + 2j \times v$$

【0077】

ドロップレットXY方向検出器80は、ターゲット供給部2から順次供給されるドロップレットの進行方向に垂直な面上の位置（ドロップレットのXY方向の位置）を検出し、ドロップレットXYコントローラ81に対してXY位置検出信号を出力する。

【0078】

ドロップレットXYコントローラ81は、XY位置検出信号を受信すると、検出されたドロップレットの位置が所定の許容範囲内の位置であるか否かを判定する。ドロップレットの位置が所定の許容範囲内にはない場合、ドロップレットXYコントローラ81は、ドロップレットXY制御機構82に対してXY駆動信号を出力する。

30

【0079】

ドロップレットXY制御機構82は、XY駆動信号に基づいて、ターゲット供給部2に設けられた駆動モータを駆動することにより、ドロップレットの出力位置を制御する。以上のようにして、ドロップレットのXY方向の位置の検出結果に応じてドロップレットのXY方向の出力位置が制御される。

【0080】

なお、このように制御する場合においても、ドロップレット毎に出力位置を変更することはできない。従って、XY方向の短期変動（標準偏差）をxとすると、プリパルスレーザビームのビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域の径Dtxは、例えば、以下の条件を満足することが好ましい。

$$Dtx \leq Dd + 2x$$

40

第4の実施形態において、ドロップレットの出力位置をXY方向に制御する例を示したが、これに限定されることなく、ノズル13から出力されるドロップレットの出力角度を制御するようにしてもよい。

【0081】

< 10 . 第5の実施形態 >

50

図17Aは、第5の実施形態に係るEUV光生成装置の概略構成を示す図であり、図17Bは、図17Aに示すEUV光生成装置のXVII B - XVII B線における断面図である。第5の実施形態に係るEUV光生成装置は、図9に示す第1の実施形態に係るEUV光生成装置に、磁石6a及び6bが追加された構成を有している。第5の実施形態においては、磁石6a及び6bによってチャンバ1内に磁場を生成することにより、チャンバ1内において発生したイオンを回収する。

【0082】

磁石6a及び6bは、コイル巻き線やコイル巻き線の冷却機構等を含んだ電磁石である。これらの磁石6a及び6bには、電源コントローラ6dによって制御される電源装置6cが接続されている。電源装置6cから磁石6a及び6bに供給される電流を電源コントローラ6dが調節することにより、所定方向の磁場がチャンバ1内に生成される。磁石6a及び6bとしては、例えば超伝導電磁石が用いられる。なお、ここでは2個の磁石6a及び6bを用いる例について説明したが、1個の磁石を用いてもよい。さらに、永久磁石を用いてもよい。さらに、磁石をチャンバ内に配置してもよい。

10

【0083】

メインパルスレーザービームの照射によって生成されるターゲット物質のプラズマは、正イオン及び負イオン(又は電子)を含んでいる。チャンバ1内を移動する正イオン及び負イオンは、磁場中でローレンツ力を受けるため、磁力線に沿って螺旋状に移動する。これにより、ターゲット物質のイオンが磁場にトラップされ、磁場中に設けられたイオン回収器19a及び19bに回収される。これにより、チャンバ1内のイオンの飛散を低減することができ、EUV集光ミラー5などのチャンバ内光学素子へのイオンの付着によるチャンバ内光学素子の劣化が抑制される。なお、図17Bにおいて、磁場は紙面下向きとなっているが、紙面上向きであっても同様な機能を果たす。

20

【0084】

なお、イオンによる汚染を低減するミチゲーション技術は、磁場を用いるものに限らず、エッチングガスを利用して、EUV集光ミラー5等を汚染した物質をエッチングするものでもよい。また、ミチゲーション技術は、磁場において水素ガス(H_2)又は水素ラジカル(H)を作用させてイオンを除去するものでもよい。

【0085】

< 11. 第6の実施形態 >

図18は、第6の実施形態に係るEUV光生成装置の概略構成を示す図である。第6の実施形態に係るEUV光生成装置は、メインパルスレーザー装置4とビームコンバイナ15aとの間に、メインパルスレーザービームの光強度分布を補正する補正光学素子41を有している。

30

【0086】

補正光学素子41の構成は、プリパルスレーザービームの光強度分布を補正する補正光学素子31の構成と同様である。補正光学素子41によってメインパルスレーザービームのビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有するように補正される。これにより、メインパルスレーザービームが拡散ターゲットを均等に照射できるようになる。その他の点については、第1の実施形態と同一である。

40

【0087】

図19Aは、ドロップレットにプリパルスレーザービームを照射した様子を示す概念図である。図19B及び図19Cは、ドロップレットにプリパルスレーザービームを照射したことによって形成されたトラス型の拡散ターゲットにトップハット型の光強度分布を有するメインパルスレーザービームを照射する様子を示す概念図である。図19A及び図19Bは、プリパルスレーザービームP及びメインパルスレーザービームMのビーム軸の方向に垂直な方向からターゲット物質を見たものである。図19Cは、メインパルスレーザービームMのビーム軸の方向の方向からターゲット物質を見たものである。

【0088】

図19Aに示すように、プリパルスレーザービームPをドロップレットDLに集光して照

50

射した時、プリパルスレーザービーム P が照射されたドロップレット D L の表面付近においてレーザーアブレーションが生じる。その結果、レーザーアブレーションのエネルギーによって、プリパルスレーザービーム P が照射されたドロップレット D L の表面からドロップレット D L 内部に向かって衝撃波が発生する。この衝撃波はドロップレット D L の全体に伝わる。ここで、プリパルスレーザービーム P の光強度が第 1 の所定値（例えば $1 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$ ）以上の光強度である場合には、この衝撃波によってドロップレット D L が粉々に破壊され拡散する。

【 0 0 8 9 】

そして、プリパルスレーザービーム P の光強度が第 2 の所定値（例えば $6.4 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$ ）以上の光強度である場合には、ドロップレット D L が粉々に破壊され、図 1 9 B 及び図 1 9 C に示すようなトーラス型の拡散ターゲットが形成され得る。図 1 9 B 及び図 1 9 C に示すように、トーラス型の拡散ターゲットは、ドロップレット D L が、プリパルスレーザービーム P のビーム軸に対して軸対称に、かつ、トーラス状に拡散したものである。

10

【 0 0 9 0 】

なお、トーラス型の拡散ターゲットを形成するための具体的条件は、例えば以下のとおりである。プリパルスレーザービーム P の光強度範囲は、 $6.4 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$ 以上、 $3.2 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2$ 以下とする。ドロップレット D L の直径は、 $1.2 \mu\text{m}$ 以上、 $40 \mu\text{m}$ 以下とする。

【 0 0 9 1 】

次に、トーラス型の拡散ターゲットへのメインパルスレーザービーム M の照射について説明する。トーラス型の拡散ターゲットは、プリパルスレーザービーム P をドロップレット D L に照射した後、例えば $0.5 \mu\text{s} \sim 2.0 \mu\text{s}$ のタイミングで形成される。従って、プリパルスレーザービーム P をドロップレット D L に照射した後の上記タイミングで、メインパルスレーザービーム M を拡散ターゲットに照射することが好ましい。

20

【 0 0 9 2 】

また、図 1 9 B 及び図 1 9 C に示すように、トーラス型の拡散ターゲットの形状は、プリパルスレーザービーム P のビーム軸方向の長さが、プリパルスレーザービーム P のビーム軸方向に垂直な方向の長さよりも短い形状となっている。この拡散ターゲットに対して、メインパルスレーザービーム M は、プリパルスレーザービーム P と略同一方向に照射されるのが好ましい。これにより、拡散ターゲットにメインパルスレーザービーム M をより均一に照射することができ、ターゲット物質にメインパルスレーザービーム M を効率的に吸収させることができる。従って、L P P 式 E U V 光生成装置における C E を向上することができる場合がある。

30

【 0 0 9 3 】

少なくともメインパルスレーザービーム M のビーム断面における光強度分布は、図 1 8 を参照しながら説明した補正光学素子 4 1 によって、所定の均一性を有するように補正される。なお、トーラス型の拡散ターゲットを生成する目的に関しては、プリパルスレーザービーム P のビーム断面における光強度分布は、所定の均一性を有していなくてもよい。この目的に特化した場合、図 1 8 に示す第 6 の実施形態において補正光学素子 3 1 は設けなくてもよい。しかし、これに限らず、補正光学素子 3 1 を設けて、ドロップレットの位置のばらつきに起因する拡散ターゲットの位置のばらつきを低減するようにしてもよい。

40

【 0 0 9 4 】

光強度分布が所定の均一性を有するメインパルスレーザービームを、トーラス型の拡散ターゲットに照射することにより、トーラス型の拡散ターゲットから円筒状にプラズマが放出されると推定される。そして、円筒内部に向かって拡散するプラズマをその円筒内に閉じ込められる効果が期待できる。従って、プラズマを高温かつ高密度に生成し、C E を向上させることが期待できる。なお、「トーラス型」とは円環体の形状を意味するが、拡散ターゲットは必ずしも円環体である必要はなく、実質的に環状に拡散したものであればよい。

50

【0095】

ここで、トーラス型の拡散ターゲットの位置のばらつきを X とすると、メインパルスレーザービーム M の光強度分布が所定の均一性を有する領域の径 D_{top} は、トーラス型の拡散ターゲットの外径 D_{out} に対して、以下の関係を有することが好ましい。

$$D_{top} = D_{out} + 2X$$

すなわち、メインパルスレーザービーム M のビーム断面において光強度分布が所定の均一性を有する領域の径 D_{top} は、トーラス型の拡散ターゲットの外径 D_{out} に拡散ターゲットの位置のばらつき X の2倍を加えた大きさ以上であることが好ましい。このようにすることにより、トーラス型の拡散ターゲットの全体に、光強度が均一なメインパルスレーザービーム M を照射できる。このため、拡散ターゲットのより多くの部分をプラズマ化することができる。その結果、ターゲット物質のデブリの発生を低減することができる。

10

【0096】

< 12 . 第7の実施形態 >

図20は、第7の実施形態に係るEUV光生成装置においてプリパルスレーザービームを発生させるチタンサファイアレーザーの構成例を示す概念図である。第7の実施形態におけるチタンサファイアレーザー50aは、上述の第1～第6の実施形態においてドロップレットを拡散させるためのプリパルスレーザービームを発生させるパルスレーザー装置として、チャンバの外に設けられる。

【0097】

第7の実施形態におけるチタンサファイアレーザー50aは、半導体可飽和吸収ミラー51aと出力結合ミラー52aとの間に、凹面ミラー53a、第1のポンピング用ミラー54a、チタンサファイア結晶55a、第2のポンピング用ミラー56a、並びに、2つのプリズム57a及び58aが、半導体可飽和吸収ミラー51a側からこの順に配置されたレーザー共振器を含む。さらに、チタンサファイアレーザー50aは、このレーザー共振器に励起光を導入する励起光源59aを含む。

20

【0098】

第1のポンピング用ミラー54aは、レーザー共振器外部からの励起光を高い透過率で透過させ、レーザー共振器内側からの光を高い反射率で反射するミラーである。チタンサファイア結晶55aは、励起光を受けて誘導放出を行うレーザー媒質である。2つのプリズム57a及び58aは、特定の波長の光を選択的に透過させる。出力結合ミラー52aは、このレーザー共振器内で増幅された光の一部を透過させて出力し、他の一部を反射してレーザー共振器内に戻す。半導体可飽和吸収ミラー51aは、反射層と可飽和吸収体層とが積層されたミラーであり、入射光の光強度が弱い部分は可飽和吸収体層が吸収し、入射光の光強度が強い部分は可飽和吸収体層が透過させて反射層が反射することにより、入射光を短パルス化する。

30

【0099】

励起光源59aとして、例えば半導体励起Nd:YVO₄レーザーを用いる。この励起光源59aからの第2高調波の光を第1のポンピング用ミラー54aを介してレーザー共振器内に導入する。半導体可飽和吸収ミラー51aの位置を調整し、このレーザー共振器の縦モードを同期させて発振させることにより、出力結合ミラー52aからピコ秒オーダーのパルス時間幅を有するパルスレーザービームが出力される。なお、パルスエネルギーが小さい場合は、再生増幅器により、このパルスレーザービームを増幅してもよい。

40

【0100】

第7の実施形態によれば、ピコ秒オーダーのパルス時間幅を有する短パルスレーザービームをプリパルスレーザービームとしてドロップレットに照射するので、小さなパルスエネルギーでドロップレットを拡散させることができる。

【0101】

< 13 . 第8の実施形態 >

図21は、第8の実施形態に係るEUV光生成装置においてプリパルスレーザービームを発生させるファイバレーザーの構成例を示す概念図である。第8の実施形態におけるファイ

50

バレーザ 50b は、上述の第 1 ~ 第 6 の実施形態においてドロップレットを拡散させるためのプリパルスレーザービームを発生させるパルスレーザー装置として、チャンバの外に設けられる。

【0102】

第 8 の実施形態におけるファイバレーザ 50b は、高反射ミラー 51b と半導体可飽和吸収ミラー 52b との間に、グレーティングペア 53b、第 1 の偏光維持ファイバ 54b、マルチプレクサ 55b、分離素子 56b、第 2 の偏光維持ファイバ 57b、及び、集光光学系 58b が、高反射ミラー 51b 側からこの順に配置されたレーザ共振器を含む。さらに、ファイバレーザ 50b は、このレーザ共振器に励起光を導入する励起光源 59b を含んでいる。

10

【0103】

マルチプレクサ 55b は、励起光源 59b からの励起光を第 1 の偏光維持ファイバ 54b に導入するとともに、第 1 の偏光維持ファイバ 54b と第 2 の偏光維持ファイバ 57b との間で光を透過させる。第 1 の偏光維持ファイバ 54b は、イッテルビウム (Yb) がドープされており、励起光を受けて誘導放出を行う。グレーティングペア 53b は、特定の波長の光を選択的に反射する。半導体可飽和吸収ミラー 52b は、反射層と可飽和吸収体層とが積層されたミラーであり、入射光の光強度が弱い部分は可飽和吸収体層が吸収し、入射光の光強度が強い部分は可飽和吸収体層が透過させて反射層が反射することにより、入射光を短パルス化する。分離素子 56b は、このレーザ共振器内で増幅された光の一部を分離して出力し、他の一部をレーザ共振器内に戻す。マルチプレクサ 55b に光ファイバで接続された励起光源 59b から、励起光が導入されると、分離素子 56b を介してピコ秒オーダーのパルス時間幅を有するパルスレーザービームが出力される。

20

【0104】

ここで、ピコ秒オーダーのパルス時間幅を有するパルスレーザービームを出力するピコ秒パルスレーザーとは、パルス時間幅 T が 1 ns 未満 ($T < 1 \text{ ns}$) のパルスレーザービームを出力するパルスレーザーを意味する。さらに、フェムト秒オーダーのパルス時間幅を有するパルスレーザービームを出力するフェムト秒パルスレーザーを適用しても、同様の効果を得ることができる。

【0105】

第 8 の実施形態によれば、第 7 の実施形態と同様の効果を奏する他、プリパルスレーザービームを光ファイバで導入できるため、プリパルスレーザービームの進行方向の調整が容易となる。

30

【0106】

なお、レーザービームの波長が短くなるほど、スズによるレーザービームの吸収率は高くなる。従って、スズによる吸収を重視する場合は、短波長の方が有利である。例えば、Nd : YAG レーザから出力される基本波の波長 1064 nm に対し、高調波 $2 = 532 \text{ nm}$ 、 $3 = 355 \text{ nm}$ 、 $4 = 266 \text{ nm}$ の順で、吸収効率が高くなる。

【0107】

なお、ここではピコ秒オーダーのパルス時間幅を有する短パルスレーザービームを用いる例を示したが、ナノ秒オーダーのパルス時間幅を有するパルスレーザービームを用いても、ドロップレットを拡散させることができる。例えば、パルス時間幅約 15 ns 、繰返し周波数 100 kHz 、パルスエネルギー 1.5 mJ 、波長 $1.03 \mu\text{m}$ 、 M^2 値 1.5 未満のファイバレーザでも十分使用可能である。

40

【0108】

< 14 . プリパルスレーザービームの照射条件 >

図 22 は、本開示におけるプリパルスレーザービームの照射条件の例を示す表である。照射パルスエネルギーを E (J)、パルス時間幅を T (s)、光強度分布が所定の均一性を有する領域の径を D_t (m) とすると、レーザービームの光強度 W (W / m^2) は、次の式で表される。

$$W = E / (T (D_t / 2)^2)$$

50

【0109】

図22は、プリパルスレーザービームの照射条件として、4通りの例(ケース1~ケース4)を示している。ケース1~ケース4は、例えば溶融金属スズのドロップレットの径が $10\mu\text{m}$ であり、光強度分布が所定の均一性を有する領域の径 D_t を $30\mu\text{m}$ とする場合を想定している。そのようなドロップレットを拡散させて所望の拡散ターゲットを形成するために、照射パルスエネルギー E 及びパルス時間幅 T を、それぞれ 0.3mJ 及び 20ns に設定した場合(ケース1)には、 $2.12 \times 10^9\text{W}/\text{cm}^2$ のレーザービームの光強度 W が得られる。このようなプリパルスレーザービームにより、例えば図2Bに示すような拡散ターゲットの形成が可能となる。

【0110】

図22のケース2は、照射パルスエネルギー E 及びパルス時間幅 T を、それぞれ 0.3mJ 及び 10ns に設定した場合であり、この場合は、 $4.24 \times 10^9\text{W}/\text{cm}^2$ のレーザービームの光強度 W が得られる。このようなプリパルスレーザービームにより、例えば図2Bに示すような拡散ターゲットの形成が可能となる。

【0111】

図22のケース3は、照射パルスエネルギー E 及びパルス時間幅 T を、それぞれ 0.3mJ 及び 0.1ns に設定した場合であり、この場合は、 $4.24 \times 10^{11}\text{W}/\text{cm}^2$ のレーザービームの光強度 W が得られる。このようなプリパルスレーザービームにより、例えば図3Bに示すような拡散ターゲットの形成が可能となる。

【0112】

図22のケース4は、照射パルスエネルギー E 及びパルス時間幅 T を、それぞれ 0.5mJ 及び 0.05ns に設定した場合であり、この場合は、 $1.41 \times 10^{12}\text{W}/\text{cm}^2$ のレーザービームの光強度 W が得られる。このようなプリパルスレーザービームにより、例えば図3Bに示すような拡散ターゲットの形成が可能となる。このように、レーザービームをピコ秒オーダーにまで短パルス化することにより、高い光強度 W を得ることができる。

【0113】

図22においては、 $10\mu\text{m}$ 径のドロップレットに対する一例を示したが、本開示は、このドロップレット径に限定されない。例えば、 $16\mu\text{m}$ 径のドロップレットに対して、ドロップレットの位置の安定性が $X=7\mu\text{m}$ であれば、所定の均一性を有する領域の径 D_t を $30\mu\text{m}$ としてもよい。

【0114】

<15.第9の実施形態>

図23は、第9の実施形態に係るEUV光生成装置の概略構成を示す図である。第9の実施形態に係るEUV光生成装置は、プリパルスレーザー装置3(図18参照)を含んでおらず、メインパルスレーザービームのみによってターゲット物質をプラズマ化する点で、図18を参照しながら説明した第6の実施形態に係るEUV光生成装置と異なる。

【0115】

第9の実施形態において、補正光学素子41は、メインパルスレーザービームの光強度分布を、所定の均一性を有する領域が存在する分布となるように補正する。この構成によれば、メインパルスレーザービームの光強度が均一な範囲内でドロップレットの位置が変化したとしても、ドロップレットへの照射強度の変化が小さくて済む。その結果、発生するプラズマの密度の安定性を向上させ、EUV光の強度の安定性を向上させることができる。その他の点については、第6の実施形態と同一である。

【0116】

<16.第10の実施形態>

図24は、第10の実施形態に係るEUV光生成装置の概略構成を示す図である。第10の実施形態に係るEUV光生成装置は、プリパルスレーザービーム及びメインパルスレーザービームの両方を出力するレーザー装置7を含む。

【0117】

レーザー装置7は、第1のマスターオシレータ7aと、第2のマスターオシレータ7bと

10

20

30

40

50

、光路調整器 7 c と、プリアンプ 4 c と、メインアンプ 4 e と、リレー光学系 4 b、4 d 及び 4 f とを含む。第 1 のマスターオシレータ 7 a は、プリパルスレーザビームのシード光を生成する。第 2 のマスターオシレータ 7 b は、メインパルスレーザビームのシード光を生成する。第 1 のマスターオシレータ 7 a 及び第 2 のマスターオシレータ 7 b によって生成されるこれらのシード光は、同一の波長域を含むレーザビームであることが好ましい。光路調整器 7 c は、これらのシード光の光路が空間的に略一致するように調整してリレー光学系 4 b に出力する。

【0118】

レーザ装置 7 から出力されたプリパルスレーザビーム及びメインパルスレーザビームは、何れも、補正光学素子 4 1 によって、レーザビームの光強度分布が所定の均一性を有する領域が含まれる分布となるように補正される。プリパルスレーザビーム及びメインパルスレーザビームが同一の波長域を含むレーザビームであれば、これらのレーザビームは、1 つの補正光学素子 4 1 によって光強度分布を補正することができる。その他の点については、第 6 の実施形態におけるのと同様である。

10

【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。

20

【符号の説明】

【0121】

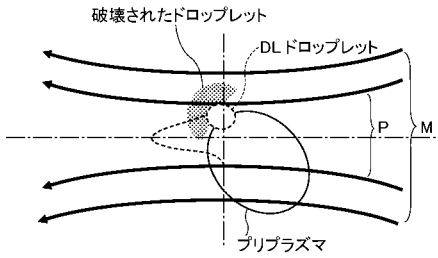
D L ... ドロップレット、D d ... ドロップレットの径、D e ... 拡散ターゲットの径、D m ... メインパルスレーザのビーム径（照射スポット径）、D t ... 所定の均一性を有する領域の径、I F ... 中間集光点、M ... メインパルスレーザビーム、P ... プリパルスレーザビーム、P 1 ~ P 6 ... ピーク、P ... ピーク間の間隔、P S ... プラズマ生成領域、1 ... チャンバ、2 ... ターゲット供給部、3 ... プリパルスレーザ装置、4 ... メインパルスレーザ装置、4 a ... マスターオシレータ、4 b、4 d、4 f ... リレー光学系、4 c ... プリアンプ、4 e ... メインアンプ、5 ... E U V 集光ミラー、6 a、6 b ... 磁石、6 c ... 電源装置、6 d ... 電源コントローラ、7 ... レーザ装置、7 a ... 第 1 のマスターオシレータ、7 b ... 第 2 のマスターオシレータ、7 c ... 光路調整器、1 1 ... 露光機接続ポート、1 2 ... 窓、1 3 ... ターゲットノズル、1 4 ... ターゲット回収筒、1 5 ... 集光光学系、1 5 a ... ビームコンバイナ、1 5 b、1 5 d、1 5 f ... 軸外放物面ミラー、1 5 c、1 5 e ... 高反射ミラー、1 9 a、1 9 b ... イオン回収器、2 0 ... E U V 光生成装置、2 1 a、2 1 b ... 開口、3 0 ... ビームエキスパンダ、3 1 ... 補正光学素子、3 1 a ... 回折光学素子、3 1 b ... 位相シフト光学系、3 1 c ... 縮小投影光学系、3 1 d ... ケイラー照明光学系、3 2 ... マスク、3 3 ... 光学素子、3 4 ... フライアイレンズ、4 1 ... 補正光学素子、5 0 a ... チタンサファイヤレーザ、5 0 b ... ファイバレーザ、5 1 a ... 半導体可飽和吸収ミラー、5 1 b ... 高反射ミラー、5 2 a ... 出力結合ミラー、5 2 b ... 半導体可飽和吸収ミラー、5 3 a ... 凹面ミラー、5 3 b ... グレーティングペア、5 4 a ... 第 1 のポンピング用ミラー、5 4 b ... 第 1 の偏光維持ファイバ、5 5 a ... チタンサファイア結晶、5 5 b ... マルチプレクサ、5 6 a ... 第 2 のポンピング用ミラー、5 6 b ... 分離素子、5 7 a ... プリズム、5 7 b ... 第 2 の偏光維持ファイバ、5 8 b ... 集光光学系、5 9 a ... 励起光源、5 9 b ... 励起光源、7 0 ... ドロップレット Z 方向検出器、7 1 ... レーザトリガ生成機構、8 0 ... ドロップレット X Y 方向検出器、8 1 ... ドロップレット X Y コントローラ、8 2 ... ドロップレット X Y 制御機構

30

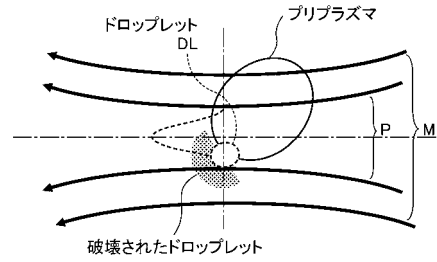
40

50

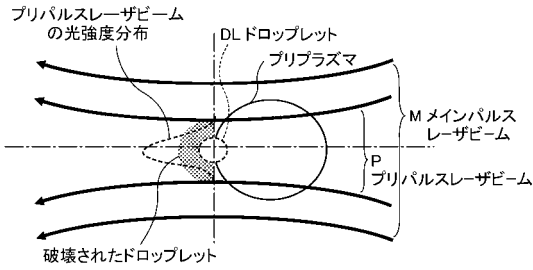
【図 1 A】



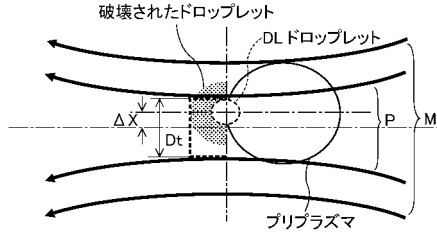
【図 1 C】



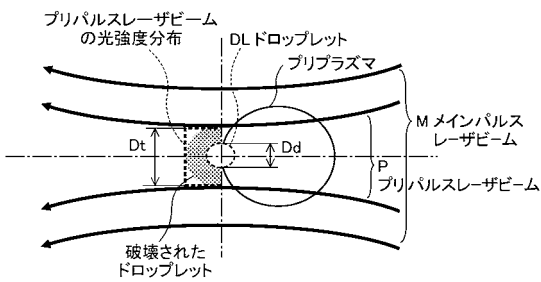
【図 1 B】



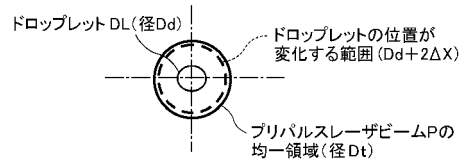
【図 2 A】



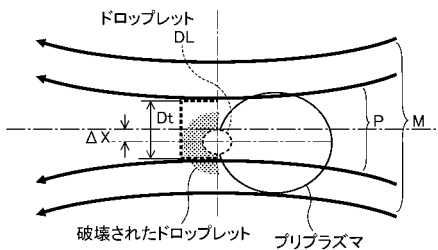
【図 2 B】



【図 4 A】



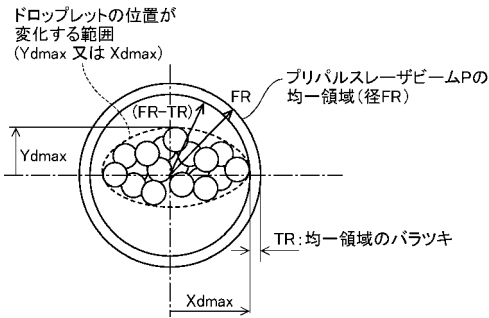
【図 2 C】



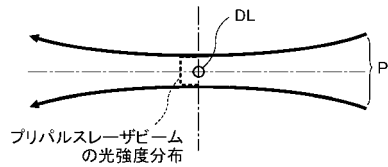
【図 5】

| ドロップレットのばらつき ΔX | ドロップレットが均一領域によって照射されない確率 |
|-------------------------|--------------------------|
| 1σ | 1.59×10^{-1} |
| 2σ | 2.28×10^{-2} |
| 3σ | 1.35×10^{-3} |
| 4σ | 3.17×10^{-5} |
| 5σ | 2.87×10^{-7} |
| 6σ | 9.87×10^{-10} |
| 7σ | 1.28×10^{-12} |
| 8σ | 6.22×10^{-16} |
| 9σ | 1.13×10^{-19} |
| 10σ | 7.62×10^{-24} |

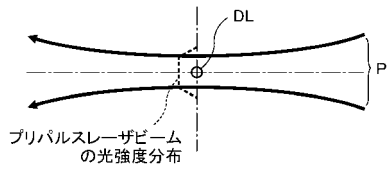
【 図 6 】



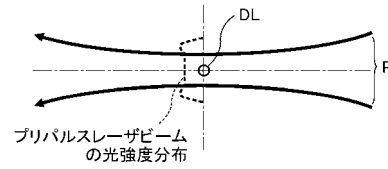
【 図 7 A 】



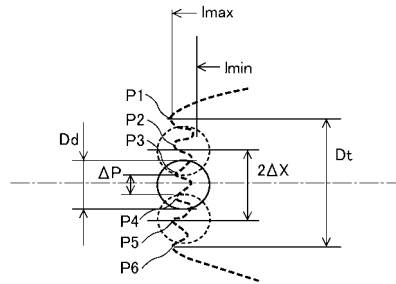
【 図 7 B 】



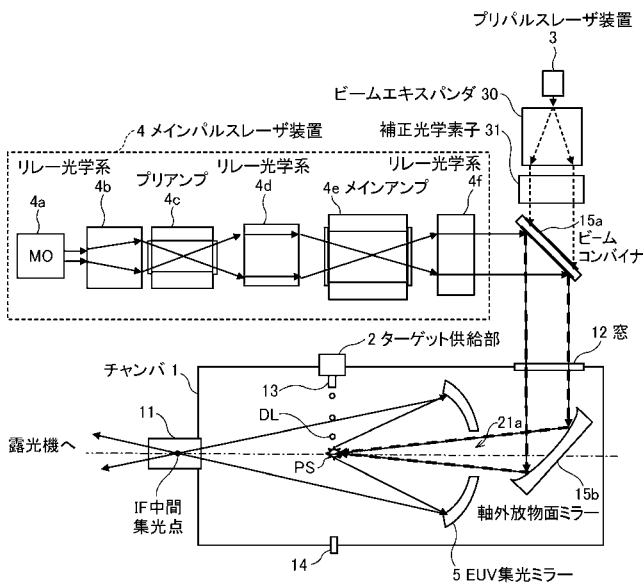
【 図 7 C 】



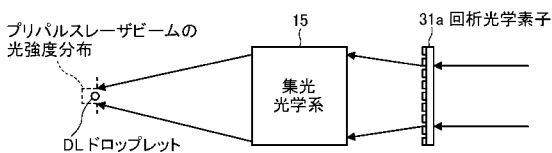
【 図 8 】



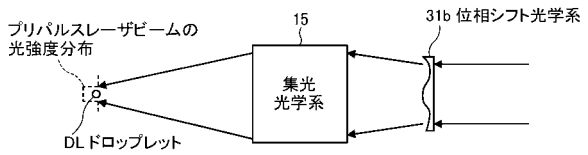
【 図 9 】



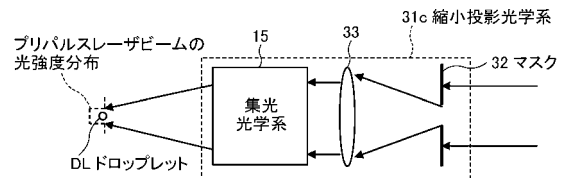
【 図 1 0 】



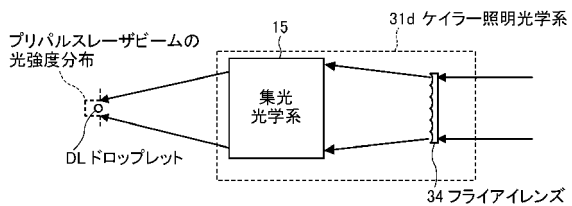
【 図 1 1 】



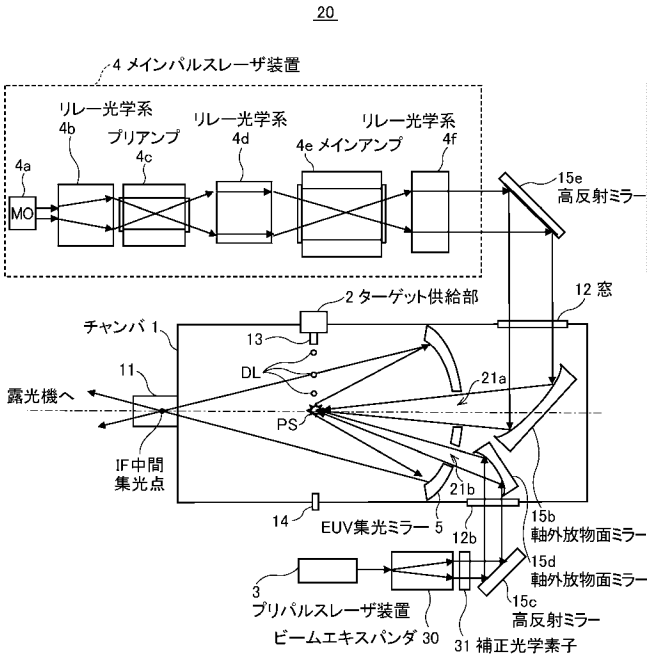
【 図 1 2 】



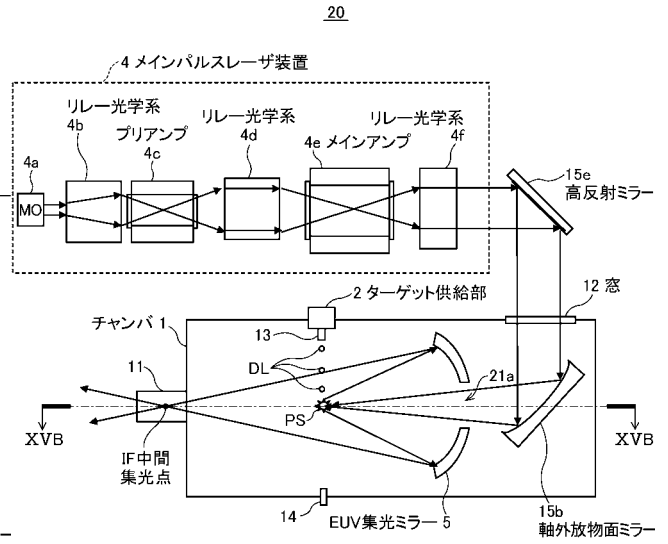
【 図 1 3 】



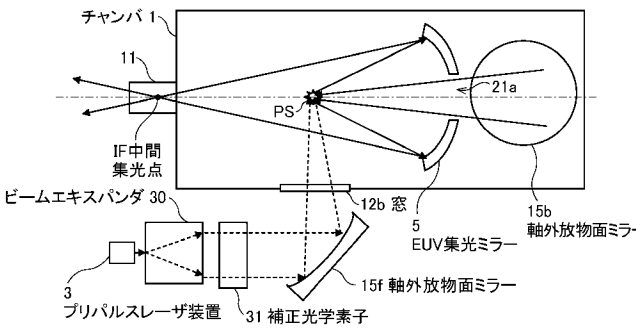
【図14】



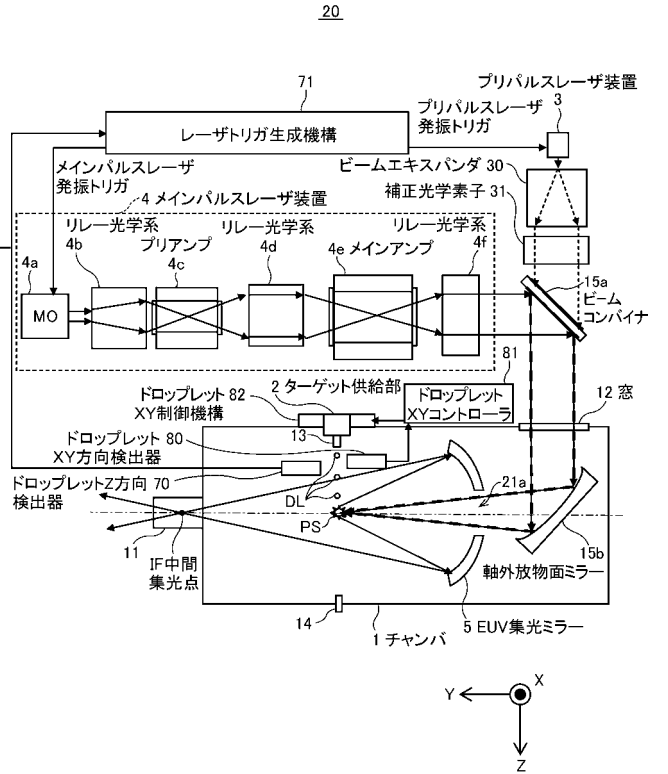
【図15A】



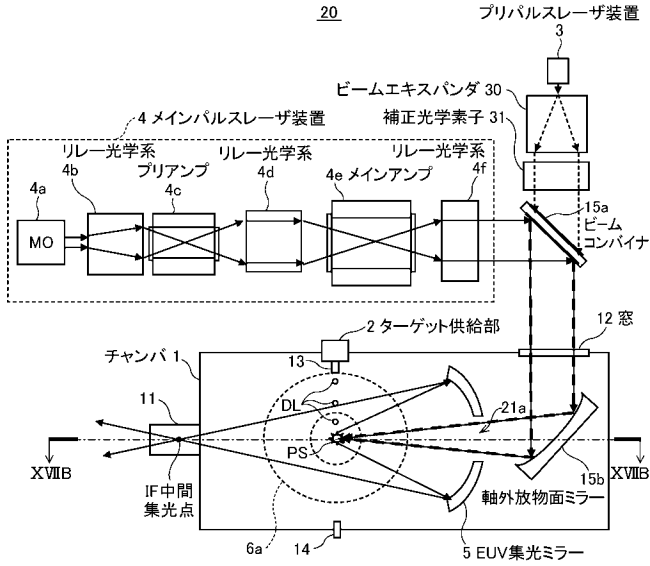
【図15B】



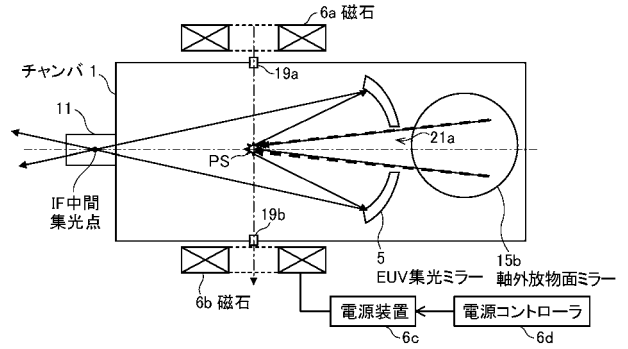
【図16】



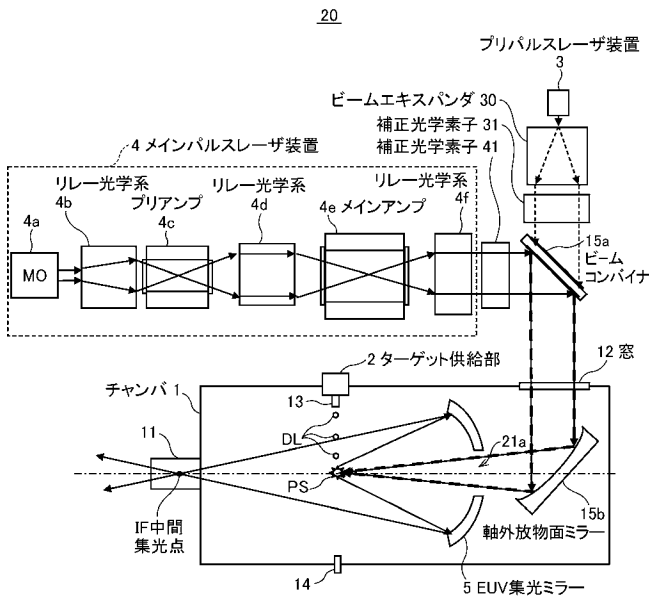
【図17A】



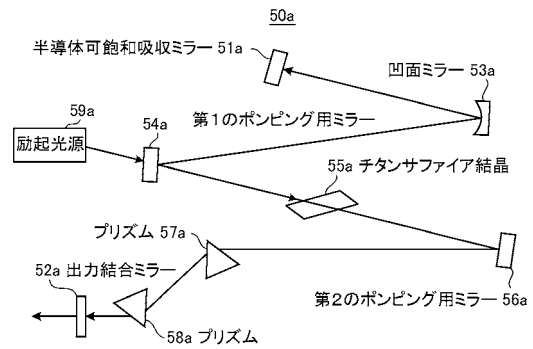
【図17B】



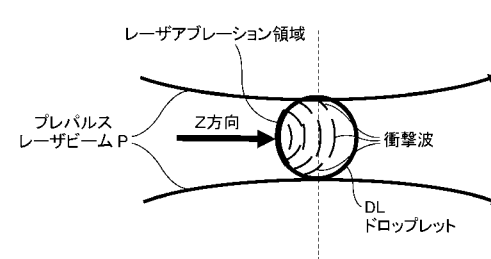
【図18】



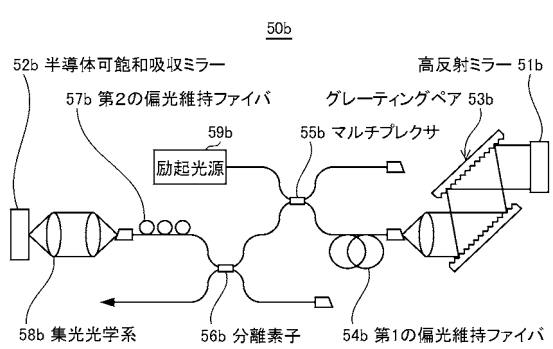
【図20】



【図19A】



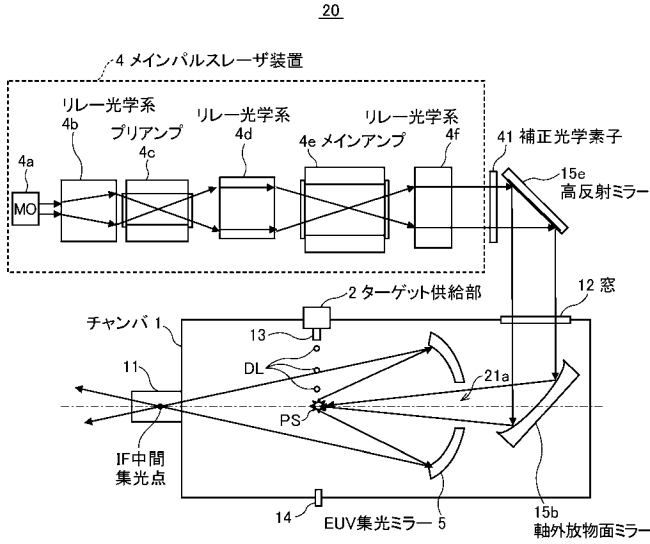
【図21】



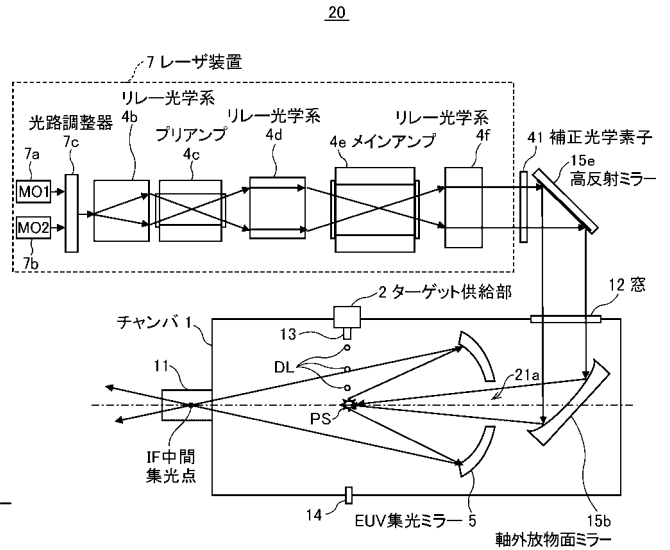
【 図 2 2 】

| | ケース1 | ケース2 | ケース3 | ケース4 |
|--------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| ビーム形状 | トップハット | トップハット | トップハット | トップハット |
| パルスエネルギーE(mJ) | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| パルス時間幅T(ns) | 20 | 10 | 0.1 | 0.05 |
| 均一領域の径Dt(μm) | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 光強度W(W/cm ²) | 2.12×10^9 | 4.24×10^9 | 4.24×10^{11} | 1.41×10^{12} |

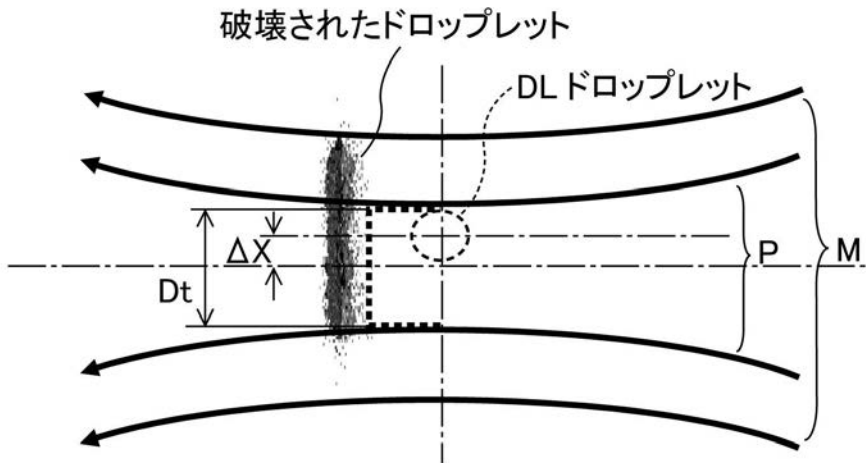
【 図 2 3 】



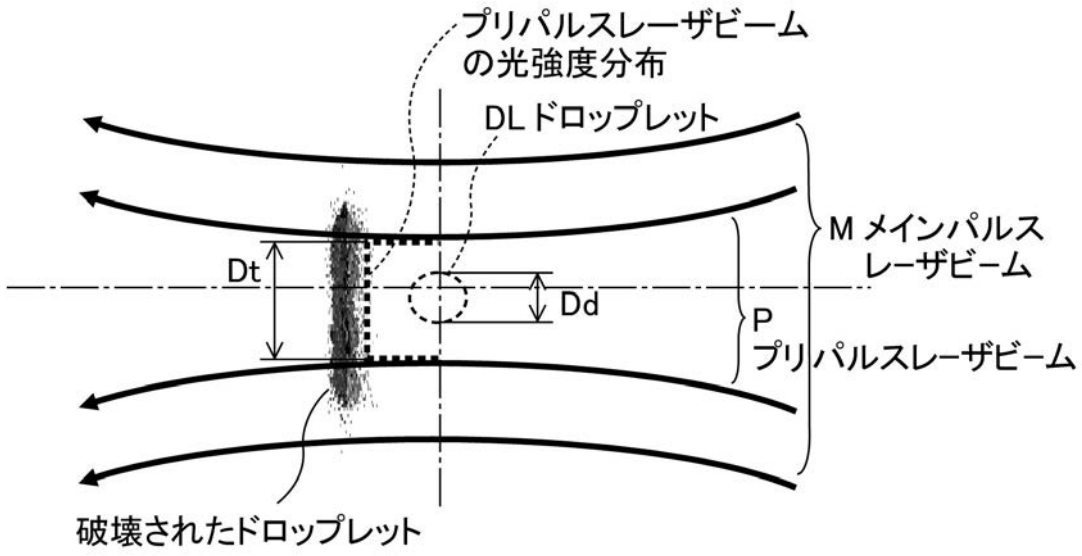
【 図 2 4 】



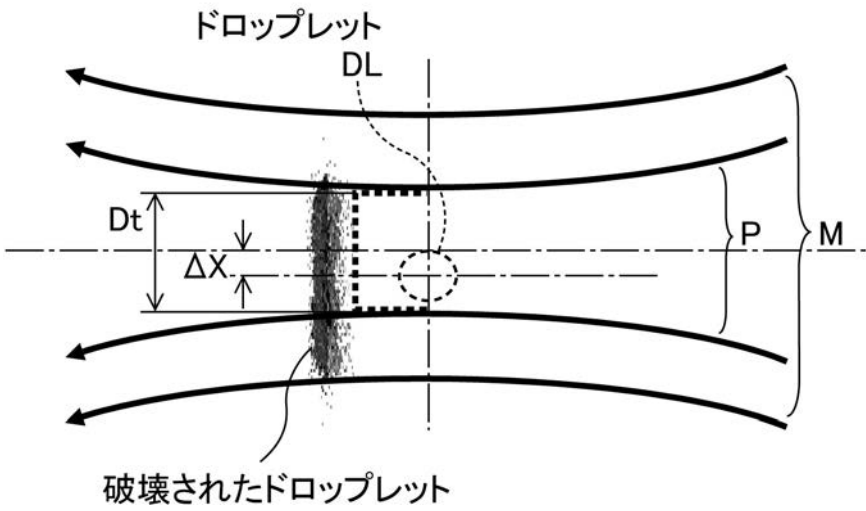
【 図 3 A 】



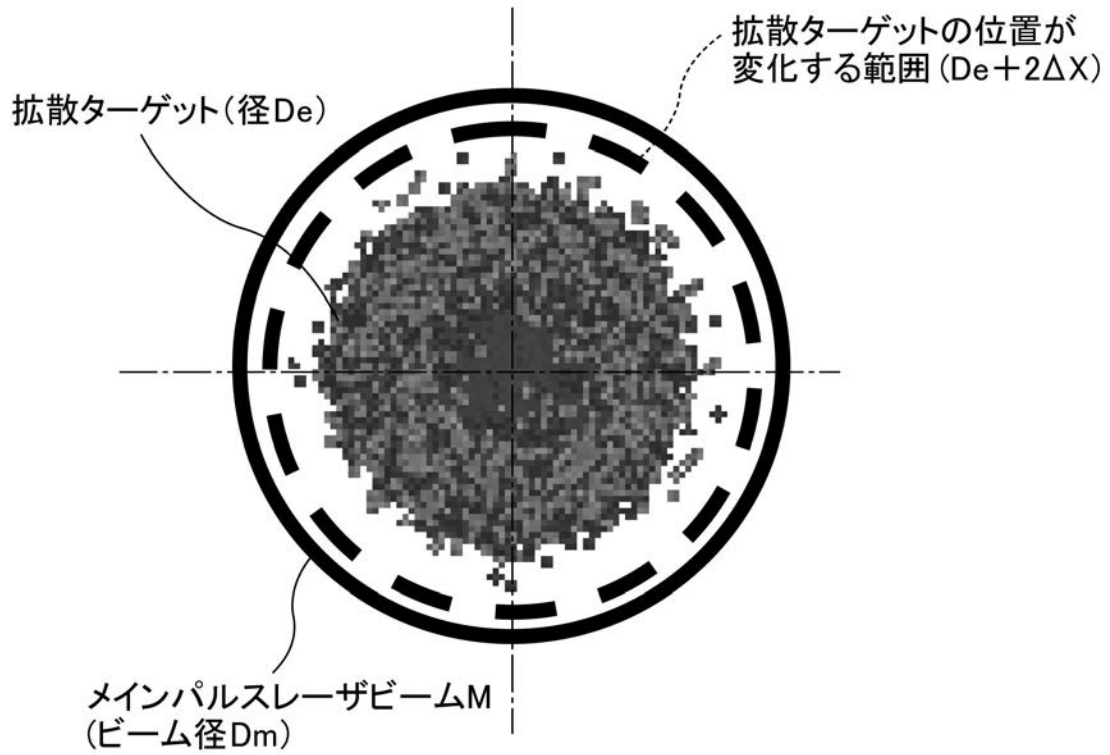
【 図 3 B 】



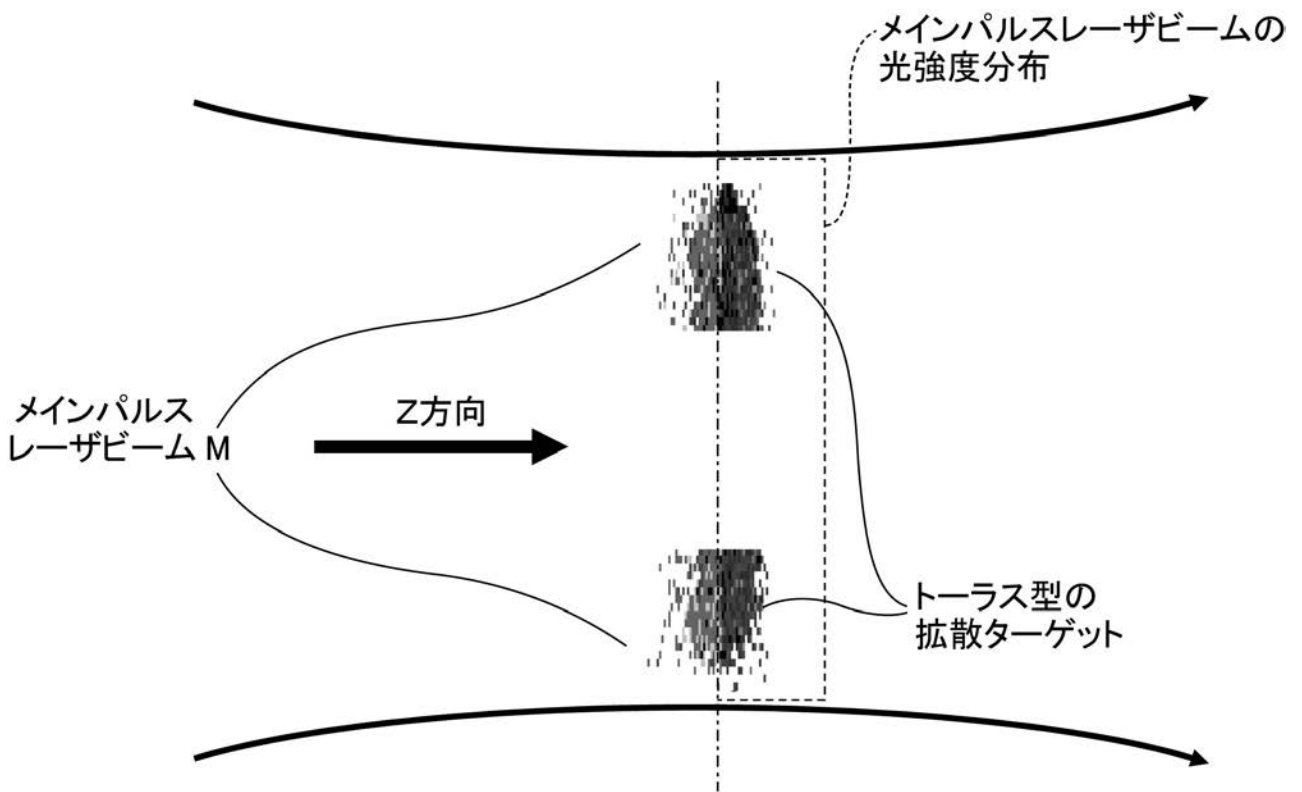
【 図 3 C 】



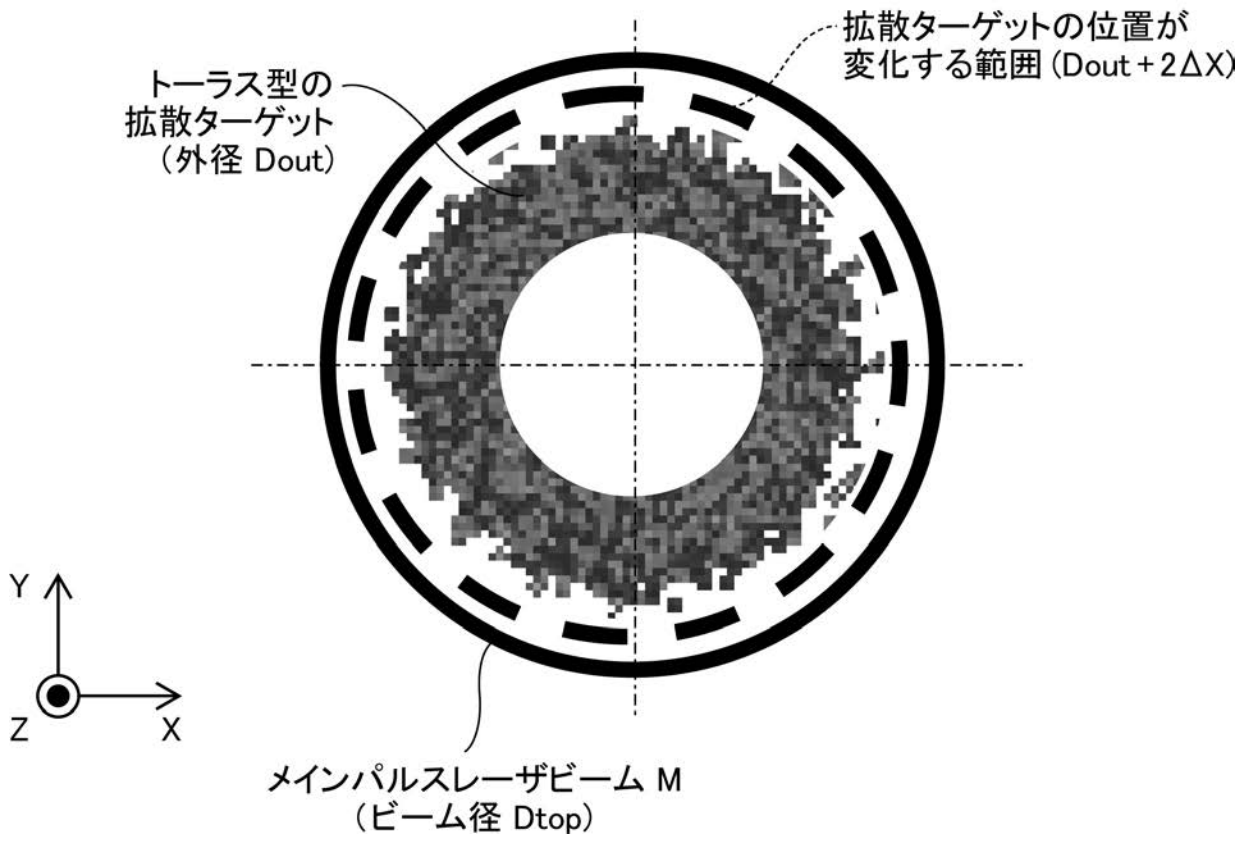
【図4B】



【図19B】



【図 19C】



フロントページの続き

(72)発明者 柳田 達哉

神奈川県平塚市四之宮 3 - 2 5 - 1 株式会社小松製作所研究本部内

Fターム(参考) 4C092 AA06 AB21 AB22 AC09 BD05 BD18 BD19

5F046 GC03

5F146 GC11