

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6397884号  
(P6397884)

(45) 発行日 平成30年9月26日 (2018. 9. 26)

(24) 登録日 平成30年9月7日 (2018. 9. 7)

(51) Int. Cl.	F I
<b>G03F 7/20 (2006.01)</b>	G03F 7/20 503
<b>H05G 2/00 (2006.01)</b>	H05G 2/00 K

請求項の数 12 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2016-500295 (P2016-500295)	(73) 特許権者	504151804
(86) (22) 出願日	平成26年2月18日 (2014. 2. 18)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
(65) 公表番号	特表2016-512382 (P2016-512382A)		ブイ.
(43) 公表日	平成28年4月25日 (2016. 4. 25)		オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/016967		0 エーエイチ, ビー. オー. ボックス
(87) 国際公開番号	W02014/143504		324
(87) 国際公開日	平成26年9月18日 (2014. 9. 18)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成29年1月31日 (2017. 1. 31)		弁理士 稲葉 良幸
(31) 優先権主張番号	13/830, 461	(74) 代理人	100109346
(32) 優先日	平成25年3月14日 (2013. 3. 14)		弁理士 大貫 敏史
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100117189
前置審査			弁理士 江口 昭彦
		(74) 代理人	100134120
			弁理士 内藤 和彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ生成プラズマ極端紫外線光源のターゲット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

EUV光を生成する方法であって、

溶融金属の円板形状のセグメントを含む修正小滴を形成するためにターゲット材料小滴に向かって、第1放射パルスを誘導するステップであって、前記第1放射パルスが、前記ターゲット材料小滴の形状を変形させるのに十分なエネルギーを有する、誘導するステップと、

吸収材料を形成するために前記修正小滴に向かって、第2放射パルスを誘導するステップであって、前記第2放射パルスが、前記修正小滴の特性を変化させるのに十分なエネルギーを有し、前記特性が放射の吸収に関連し、前記吸収材料は、バルク材料に隣接するプリプラズマを備え、前記バルク材料は、前記ターゲット材料の連続セグメントを備える、誘導するステップと、

前記吸収材料に向かって、増幅光ビームを誘導するステップであって、前記増幅光ビームが、前記吸収材料の少なくとも一部を、極端紫外線 (EUV) 光を照射するプラズマへと変換するのに十分なエネルギーを有する、誘導するステップと、を含む方法。

【請求項 2】

前記修正小滴が、第1方向に沿って延在する幅、及び、前記第1方向とは異なる第2方向に沿って延在するとともに前記第2放射パルスの伝播方向に厚さを有するターゲット材料の連続セグメントを含み、

前記幅が前記厚さより大きい、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記第 1 方向を含む面が、前記第 2 放射パルスの前記伝播方向に対して角度が付けられる、請求項 2 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記修正小滴の前記特性が、電子密度及びイオン密度のうちの 1 以上を含み、前記吸収材料が、前記ターゲット材料の連続セグメントの表面に隣接してプラズマを含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記修正小滴の前記特性が表面積を含み、前記吸収材料が前記ターゲット材料の複数の部片を含み、前記複数の部片が、前記修正小滴より大きい集合的表面積を有する、請求項 1 に記載の方法。

10

**【請求項 6】**

前記第 1 放射パルスが、 $10\ \mu\text{m}$ の波長、 $40\ \text{ns}$ のパルス持続時間及び $20\ \text{mJ}$ のエネルギーを有する光パルスを含み、

前記第 2 放射パルスが、 $1\ \mu\text{m}$ の波長、 $10\ \text{ns}$ のパルス持続時間及び $5\ \text{mJ}$ のエネルギーの光パルスを含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記第 1 放射パルスが、 $10\ \mu\text{m}$ の波長、 $20\sim 70\ \text{ns}$ のパルス持続時間及び $15\sim 60\ \text{mJ}$ のエネルギーを有する光パルスを含み、

前記第 2 放射パルスが、 $1\sim 10\ \mu\text{m}$ の波長、 $10\ \text{ns}$ のパルス持続時間及び $1\sim 10\ \text{mJ}$ のエネルギーの光パルスを含む、請求項 1 に記載の方法。

20

**【請求項 8】**

前記増幅光ビームが光パルスを含み、前記増幅光ビームが前記吸収材料に向かって誘導された後 $25\ \mu\text{s}$ 以内に後続の光パルスが第 2 吸収材料に向かって誘導され、及び、前記第 2 吸収材料が、前記吸収材料の後に形成され、第 2 ターゲット材料小滴から形成される、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 9】**

極端紫外線光源であって、

増幅光ビーム、第 1 放射パルス及び第 2 放射パルスを生成するソースと、

ターゲット材料デリバリシステムと、

前記ターゲット材料デリバリシステムに結合された真空チャンバと、

前記増幅光ビーム、前記第 1 放射パルス及び前記第 2 放射パルスを操縦し、前記真空チャンバ内で前記ターゲット材料デリバリシステムからターゲット材料を受け取るターゲット位置に向かって、前記増幅光ビーム、前記第 1 放射パルス及び前記第 2 放射パルスを集束させるステアリングシステムと、を備え、

30

前記第 1 放射パルスが、前記ターゲット材料小滴の形状を変形させて、溶融金属の円板形状のセグメントを含む修正小滴を生成するのに十分なエネルギーを有し、

前記第 2 放射パルスが、放射の吸収に関連した前記修正小滴の特性を変化させるのに十分なエネルギーを有し、

前記増幅光ビームが、前記吸収材料の少なくとも一部を、極端紫外線 (EUV) 光を照射するプラズマに変換するのに十分であり、

40

前記増幅光ビーム及び前記第 2 放射パルスは、1 ナノ秒と 200 ナノ秒との間の遅延時間だけ時間的に分離される、極端紫外線光源。

**【請求項 10】**

前記ソースが第 1、第 2 及び第 3 ソースを備え、前記第 1 ソースが前記第 1 放射パルスを生成し、前記第 2 ソースが前記第 2 放射パルスを生成し、前記第 3 ソースが前記増幅光ビームを生成する、請求項 9 に記載の極端紫外線光源。

**【請求項 11】**

前記ソースが、前記増幅光ビーム及び前記第 1 放射パルスを生成する第 1 ソースと、前記第 2 放射パルスを生成する第 2 ソースと、を備える、請求項 9 に記載の極端紫外線光源

50

。

## 【請求項 12】

前記第 1 ソースが  $\text{CO}_2$  レーザを含み、前記増幅光ビームと前記第 1 放射パルスとが異なる波長を有する、請求項 10 に記載の極端紫外線光源。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

開示される主題は、レーザ生成プラズマ極端紫外線光源のターゲットに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

極端紫外線（「EUV」）光、例えば約 50 nm 以下の波長を有する電磁放射（軟 x 線と呼ばれることもある）及び約 13 nm の波長の光を含む電磁放射は、基板、例えばシリコンウェーハ内に極めて小さいフィーチャを生成するフォトリソグラフィプロセスに使用可能である。

## 【0003】

EUV 光を生成する方法には、プラズマ状態で EUV 範囲に輝線がある元素、例えばキセノン、リチウム又はスズを有する物質を変換することが含まれるが、必ずしもそれに限定されない。1 つのこのような方法では、必要なプラズマは、多くの場合、レーザ生成プラズマ（「LPP」）と呼ばれ、例えば材料の小滴、プレート、テープ、流れ又はクラスタの形態のターゲット材料に、ドライブレザと呼ぶことができる増幅光ビームを照射することによって生成することができる。このプロセスでは、プラズマは通常、密封容器、例えば真空チャンバ内で生成され、様々なタイプのメトロロジーマシナリーを使用して監視される。

## 【発明の概要】

## 【0004】

一般的な一態様では、EUV 光を生成する方法は、修正小滴を形成するためにターゲット材料小滴に向かって第 1 放射パルスを誘導するステップであって、第 1 放射パルスが、ターゲット材料小滴の形状を変形させるのに十分なエネルギーを有する、誘導するステップと、吸収材料を形成するために修正小滴に向かって第 2 放射パルスを誘導するステップであって、第 2 放射パルスが、修正小滴の特性を変化させるのに十分なエネルギーを有し、特性が放射の吸収に関連する、誘導するステップと、吸収材料に向かって増幅光ビームを誘導することであって、増幅光ビームが、吸収材料の少なくとも一部を極端紫外線（EUV）光へと変換するのに十分なエネルギーを有する、誘導するステップと、を含む。

## 【0005】

実施態様は、以下のフィーチャのうち 1 以上を含むことができる。修正小滴は、第 1 方向に延びる幅、及び、第 1 方向とは異なる第 2 方向に延びる厚さを有するターゲット材料の連続セグメントを含んでもよい。第 2 方向は第 2 放射パルスの伝播方向にあり、幅は厚さより大きい。第 1 方向を含む面は、第 2 放射パルスの伝播方向に対して角度を付けることができる。吸収材料は、ターゲット材料の連続セグメントを含むことができる。

## 【0006】

修正小滴の特性は、電子密度及びイオン密度のうち 1 以上であってもよく、吸収材料は、ターゲット材料の連続セグメントの表面に隣接するプラズマを含んでもよい。修正小滴の特性は表面積であってもよい。吸収材料は、ターゲット材料の複数の部片を含んでもよく、複数の部片は、修正小滴より大きい集合的表面積を有する。

## 【0007】

第 1 放射パルスは、10  $\mu\text{m}$  の波長、40 ns のパルス持続時間及び 20 mJ のエネルギーを有する光パルスであってもよく、第 2 放射パルスは、1  $\mu\text{m}$  の波長、10 ns のパルス持続時間及び 5 mJ のエネルギーの光パルスであってもよい。

## 【0008】

第 1 放射パルスは、10  $\mu\text{m}$  の波長、20 ~ 70 ns のパルス持続時間、及び 15 ~ 6

10

20

30

40

50

0 mJ のエネルギーを有する光パルスであってもよく、第 2 放射パルスは、1 ~ 10  $\mu\text{m}$  の波長、10 ns のパルス持続時間及び 1 ~ 10 mJ のエネルギーの光パルスであってもよい。

【0009】

第 1 放射パルスは、1 ~ 10  $\mu\text{m}$  の波長、40 ns のパルス持続時間及び 20 mJ のエネルギーを有する光パルスであってもよく、第 2 放射パルスは、1  $\mu\text{m}$  の波長、10 ns のパルス持続時間及び 1 mJ のエネルギーを有する光パルスであってもよい。

【0010】

第 1 放射パルス及び第 2 放射パルスは、1 ns 以上の持続時間を有する光パルスであってもよい。

10

【0011】

第 2 放射パルスは、1 ns ~ 100 ns の持続時間を有する光パルスであってもよい。

【0012】

ターゲット材料の小滴に向かって第 1 放射パルスを誘導した後、第 2 放射パルスを修正小滴に向かって 1 ~ 3  $\mu\text{s}$  誘導してもよい。

【0013】

第 1 放射パルスは、少なくとも 1 ns の持続時間を有する光パルスであってもよく、第 2 放射パルスは、少なくとも 1 ns の持続時間を有する光パルスであってもよい。

【0014】

ある実施態様では、増幅した光ビームの少なくとも 2 % を EUV 放射に変換してもよい。

20

【0015】

増幅された光ビームは光パルスであってもよく、その後の光パルスは、増幅された光ビームを吸収材料に向かって誘導した後 25  $\mu\text{s}$  以内に第 2 吸収材料に向かって誘導されてもよい。第 2 吸収材料は、吸収材料後に形成され、第 2 ターゲット材料の小滴から形成される。

【0016】

第 1 放射パルスは、300 ps 以下の持続時間を有する放射パルスであってもよい。第 1 放射パルスは、100 ps ~ 300 ps の持続時間を有する放射パルスであってもよい。修正小滴は、ターゲット材料の粒子の半球形ボリュームであってもよい。

30

【0017】

別の一般的態様では、極端紫外線光源は、増幅光ビーム、第 1 放射パルス及び第 2 放射パルスを生成するソースと、ターゲット材料デリバリシステムと、ターゲット材料デリバリシステムに結合された真空チャンバと、増幅光ビーム、第 1 放射パルス及び第 2 放射パルスを操縦し、真空チャンバ内でターゲット材料デリバリシステムからターゲット材料を受け取るターゲット位置に向かって増幅光ビーム、第 1 放射パルス及び第 2 放射パルスを集束させるように構成されたステアリングシステムと、を含む。第 1 放射パルスは、ターゲット材料小滴の形状を変形させて修正小滴を生成するのに十分なエネルギーを有し、第 2 放射パルスは、放射の吸収に関係する修正小滴の特性を変化させるのに十分なエネルギーを有し、増幅光ビームは、吸収材料の少なくとも一部を極端紫外線 (EUV) 光に変換するのに十分である。

40

【0018】

実施態様は、以下のフィーチャのうちの 1 以上を含むことができる。ソースは第 1、第 2 及び第 3 ソースを含むことができ、第 1 ソースは第 1 放射パルスを生成し、第 2 ソースは第 2 放射パルスを生成し、第 3 ソースは、増幅された光ビームを生成する。

【0019】

ソースは、増幅された光ビーム及び第 1 放射パルスを生成する第 1 ソースと、第 2 放射パルスを生成する第 2 ソースと、を含んでもよい。

【0020】

第 1 光源は CO<sub>2</sub> レーザを含んでもよく、増幅された光ビームと第 1 放射パルスとは、

50

異なる波長を有してもよい。

【 0 0 2 1 】

上述した技術のうちいずれかの実施態様は、レーザ生成プラズマEUV光源、EUV光源、EUV光源を改装するシステム、方法、プロセス、デバイス、コンピュータ可読媒体に記憶された実行可能な命令又は装置を含むことができる。1以上の実施態様の詳細について、添付図面及び以下の発明を実施するための形態で示す。他の特徴は発明を実施するための形態及び図面から、及び請求の範囲から明白になる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 2 】

【図1A】例示的なターゲットに変換されるターゲット材料の小滴を示す。

10

【図1B】図1Aのターゲットを生成する例示的な波形のプロットである。

【図1C】ターゲット材料に衝突する2つの放射パルスの側面図を示す。

【図1D】EUV光源の例示的な波形のプロットである。

【図2A】レーザ生成プラズマ極端紫外線光源のブロック図である。

【図2B】図2Aの光源に使用することができるドライブレザシステムの例のブロック図である。

【図3A】別のレーザ生成プラズマ極端紫外線(EUV)光源、及びEUV光源に結合したリソグラフィツールの上面図である。

【図3B】異なる3つの時間における図3AのEUV出力光源の真空チャンバの上面図である。

20

【図3C】異なる3つの時間における図3AのEUV出力光源の真空チャンバの上面図である。

【図3D】異なる3つの時間における図3AのEUV出力光源の真空チャンバの上面図である。

【図4】EUV光を生成する例示的なプロセスの流れ図である。

【図5】EUV出力光を生成する別の例示的な波形のプロットである。

【図6A】図5の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図6B】図5の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

30

【図6C】図5の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図6D】図5の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図6E】図5の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図6F】図6Cの中間ターゲットの側面図である。

【図6G】図6Cの中間ターゲットの側面図である。

【図7】EUV光を生成する別の例示的な波形のプロットである。

【図8A】図7の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

40

【図8B】図7の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図8C】図7の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図8D】図7の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図8E】図7の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図9】EUV光を生成する別の例示的な波形のプロットである。

50

【図 10 A】図 9 の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図 10 B】図 9 の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図 10 C】図 9 の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図 10 D】図 9 の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

【図 10 E】図 9 の波形との相互作用を通してターゲットに変形されるターゲット材料小滴の側面図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0023】

レーザ生成プラズマ (LPP) 極端紫外線 (EUV) 光源に使用するターゲットを生成する技術を開示する。ターゲットは、2つの光パルスを連続してターゲット材料に照射することによって生成される。第1パルスが中間ターゲットを生成し、第2パルスが中間ターゲットと相互作用して、ターゲットを生成する。次に、ターゲット中のターゲット材料をEUV光を射出するプラズマに変換するのに十分なエネルギーを有する増幅光ビームでターゲットを照射する。幾つかの実施態様では、2つの光パルスはそれぞれ、一時的持続時間又は少なくとも1ナノ秒 (ns) のパルス幅を有する。

【0024】

20

図 1 A 及び図 1 B を参照すると、例示的な波形 5 はターゲット材料 50 をターゲット 55 に変形させる。ターゲット 55 は、プラズマに変換されると EUV 光 57 を射出するターゲット材料を含む。ターゲット材料 50 は、ターゲット物質及び非ターゲット粒子のような不純物を含むターゲット混合物とすることができる。ターゲット物質は、EUV 範囲に輝線を有するプラズマ状態に変換される物質である。ターゲット物質は、例えば液体又は熔融金属の小滴、液体流の一部、固体粒子又はクラスタ、液体小滴に含まれる固体粒子、ターゲット材料の泡、又は液体流の一部に含まれる固体粒子とすることができる。ターゲット物質は、例えば、水、スズ、リチウム、キセノン、又はプラズマ状態に変換された場合に EUV 範囲に輝線を有する任意の材料とすることができる。例えば、ターゲット物質は元素のスズとすることができ、これは純粋なスズ (Sn) として、スズ化合物、例えば、 $\text{SnBr}_4$ 、 $\text{SnBr}_2$ 、 $\text{SnH}_4$  として、スズ合金、例えばスズ - ガリウム合金、スズ - インジウム合金、スズ - インジウム - ガリウム合金、又はこれらの合金の任意の組み合わせとして使用することができる。さらに、不純物がない状況では、ターゲット材料はターゲット物質のみを含む。以下の説明では、ターゲット材料 50 が、熔融金属でできたターゲット材料小滴である例を提供する。ターゲット材料 50 はターゲット材料小滴 50 と呼ばれる。しかしながら、ターゲット材料 50 は他の形態をとることもできる。

30

【0025】

図 1 A は、ターゲット材料小滴 50 が、ある期間にわたって中間ターゲット 51 に、次にターゲット 55 へと物理的に変形することを示す。ターゲット材料小滴 50 は、波形 5 に従って正しいタイミングで送出される放射との相互作用により変形する。図 1 B は、図 1 A の期間にわたる時間の関数として、波形 5 のエネルギーのプロットである。ターゲット材料小滴 50 及び中間ターゲット 51 と比較して、ターゲット 55 は、増幅した光ビーム 8 の吸収量が多く、増幅した光ビーム 8 のエネルギーのうち EUV 光 57 に変換する部分が多い。

40

【0026】

波形 5 は、ある期間にわたってターゲット材料小滴 50 及びその修正形態と相互作用するエネルギーを表示する。波形 5 は、時間の関数として単一の波形で示されているが、波形 5 の様々な部分を異なる光源によって生成することができる。波形 5 は、第1放射パルス 6 (第1プリパルス 6) の表示及び第2放射パルス 7 (第2プリパルス 7) の表示を含む。第1プリパルス 6 及び第2プリパルス 7 は、それぞれターゲット材料小滴 50 及び中

50

間ターゲット 5 1 に作用するのに十分なエネルギーを有する任意のタイプのパルス状放射とすることができる。プリパルスの例を、図 3 A ~ 図 3 D、図 4、図 5、図 7 及び図 9 に関して説明する。

【 0 0 2 7 】

第 1 プリパルス 6 は、時間  $t = t_1$  で発生し、パルス持続時間 1 2 を有し、第 2 プリパルス 7 は、時間  $t = t_2$  で発生し、パルス持続時間 1 4 を有する。パルス持続時間は、最大半減時における全幅によって表すことができ、これは、パルスがパルスの最大強度の少なくとも半分である強度を有する時間の量である。しかしながら、他の測定基準を使用して、パルス持続時間を判定することができる。時間  $t_1$  及び  $t_2$  は第 1 遅延時間 1 1 だけ分離され、第 2 プリパルス 7 は第 1 プリパルス 6 の後に発生する。

10

【 0 0 2 8 】

波形 5 は、増幅光ビーム 8 の表示も示す。増幅光ビーム 8 は、主ビーム又は主パルスとすることができる。増幅光ビーム 8 は、ターゲット 5 5 のターゲット材料を、EUV 光を射出するプラズマに変換するのに十分なエネルギーを有する。第 2 プリパルス 7 と増幅光ビーム 8 とは、第 2 遅延時間 1 3 だけ時間的に分離され、増幅光ビーム 8 が第 2 プリパルス 7 後に発生する。

【 0 0 2 9 】

ターゲット 5 5 を生成及び / 又は使用することができる EUV 光源の例を図 2 A、図 2 B 及び図 3 A ~ 図 3 E に示す。EUV 光源について説明する前に、第 1 プリパルス 6 及び第 2 プリパルス 7 を含む光パルスと、ターゲット材料小滴 5 0 及び中間ターゲット 5 1 と

20

【 0 0 3 0 】

レーザパルスが金属質のターゲット材料小滴に衝突する（当たる）と、パルスの前縁が反射性金属である表面を見る（それと相互作用する）。ターゲット材料小滴 5 0 は、パルスの前縁におけるエネルギーの大部分を反射し、わずかを吸収する。吸収された少量は小滴の表面を加熱し、表面を蒸発させて切除する。小滴の表面から蒸発したターゲット材料は、表面付近で電子及びイオンの雲を形成する。放射パルスがターゲット材料小滴に衝突し続けるので、レーザパルスの電界が雲中の電子を移動させることができる。移動する電子は、付近のイオンと衝突し、雲中の電子及びイオンの密度の積とほぼ比例する率で運動エネルギーを伝達することにより、イオンを加熱する。イオンと当たる移動電子とイオンの加熱との組み合わせにより、雲はパルスを吸収する。

30

【 0 0 3 1 】

雲がレーザパルスの後方部分に曝露されると、雲中の電子は引き続き移動してイオンと衝突し、雲中のイオンが加熱し続ける。電子が広がり、ターゲット材料小滴（又は雲の下にあるバルク材料）の表面に熱を伝達し、ターゲット材料小滴の表面をさらに蒸発させる。雲中の電子密度は、ターゲット材料小滴の表面に最も近い雲の部分で上昇する。雲は、雲の一部がレーザパルスを吸収するのではなく、反射するように電子の密度が上昇するポイントへと到達することができる。

【 0 0 3 2 】

LPP EUV 光源のターゲットを生成する本発明の技術は、2つのプリパルスをターゲット材料小滴に適用して、ターゲット材料小滴を、さらに容易にエネルギーを吸収するターゲットへと物理的に変形させる。第 1 プリパルス 6 は、中間ターゲット 5 1 になるターゲット材料の幾何分布を形成する。第 2 プリパルス 7 は中間ターゲット 5 1 をターゲット 5 5 に変形する。次に、第 1 プリパルス 6 及び第 2 プリパルス 7 について以下で説明する。

40

【 0 0 3 3 】

また図 1 C を参照すると、第 1 プリパルス 6 はターゲット材料小滴をターゲット材料の幾何分布 5 2 に物理的に変形させる。幾何分布 5 2 は、電離していない材料（プラズマではない材料）とすることができる。幾何分布 5 2 は、例えば液体又は熔融金属の円板、空隙又は実質的なギャップを有していないターゲット材料の連続セグメント、微粒子又はナ

50

ノ粒子の霧、又は原子蒸気の雲とすることができる。幾何分布 5 2 は、第 1 遅延時間 1 1 の間に空間的に膨張し、中間ターゲット 5 1 になる。第 1 プリパルス 6 は、ターゲット材料小滴 5 0 を空間的に分散させる。ターゲット材料小滴 5 0 の分散は 2 つの効果をもつことができる。

#### 【 0 0 3 4 】

第一に、第 1 プリパルス 6 によって生成された中間ターゲット 5 1 は、接近中の放射パルス（プリパルス 7 など）に対して、より大きい面積を提示する形態を有する。中間ターゲット 5 1 は、プリパルス 7 のビーム直径 5 7 より大きい断面直径 5 4 を有し、従って、中間ターゲットはプリパルス 7 全体を受ける。さらに、中間ターゲット 5 1 は、プリパルス 7 の伝播方向でターゲット材料小滴 5 0 の厚さ 5 9 より薄い厚さ 5 8 を有することができる。中間ターゲット 5 1 が相対的に薄いことにより、中間ターゲット 5 1 内のターゲット材料、例えば中間ターゲット 5 1 に最初に到達した場合にプリパルス 7 によって照射されないターゲット材料のうち、プリパルスビーム 7 が照射可能な部分が多くなる。

#### 【 0 0 3 5 】

第二に、小滴 5 0 のターゲット材料が空間的に分散すると、強力なパルス 8 によるプラズマの加熱中に、材料密度が過度に高く、生成された E U V 光を遮断することがある領域の発生を最小限に抑えることができる。レーザパルスによって照射される領域全体でプラズマ密度が高い場合、レーザパルスの吸収は、レーザパルスを最初に受けた領域の部分に制限される。この吸収によって生成された熱は、パルス 8 の有限の持続時間中にバルクターゲット材料の有意義な量を使用する（蒸発させる）のに十分な長さだけ、ターゲット材料表面を蒸発させ、加熱するプロセスを維持するには、バルクターゲット材料から遠ざかることがある。領域が高い電子密度を有する場合、光パルスは、光パルスが反射するほど電子密度が高い「臨界表面」に到達する前に、領域までの経路の一部しか浸透しない。光パルスは、領域のこれらの部分内に進行することができず、これらの領域のターゲット材料から生成される E U V 光は少ない。プラズマ密度が高い領域は、E U V 光を射出する領域の部分から射出される E U V 光を遮断することもできる。その結果、領域から射出される E U V 光の総量は、領域にプラズマ密度が高い部分がない場合よりも少なくなる。従って、ターゲット材料小滴 1 0 がより大きい体積の中間ターゲット 5 1 内に分散することは、入射光ビームが、反射する前に中間ターゲット 5 1 内のより多くの材料に到達することを意味する。これで、その後に生成される E U V 光の量を増加させることができる。

#### 【 0 0 3 6 】

波形 5 は、第 2 プリパルス 7 の表示も示す。第 2 プリパルス 7 は、増幅光ビーム 8 が到達する前に中間ターゲット 5 1 に衝突し、ターゲット 5 5 を形成する。ターゲット 5 5 は多くの形態を取ることができる。例えば、ターゲット 5 5 は、バルクターゲット材料に空間的に近いプリプラズマとすることができる。プリプラズマは、（プリパルス 7 又は増幅光ビームのような）入射光の吸収を増大させるために使用されるプラズマである。プリプラズマは、場合によっては少量の E U V 光を射出することができるが、射出される E U V 光は、ターゲット 5 5 により射出される波長又は量の光ではない。他の実施態様では、ターゲット 5 5 はターゲット材料のある体積のフラグメント又は霧である。プリプラズマを形成することができる第 2 プリパルスを含む波形の例を、以下で図 5 に関して説明する。ターゲット材料のフラグメントを形成することができる第 2 プリパルスを含む波形の例を、以下で図 7 に関して説明する。さらに他の実施態様では、ターゲット 5 5 は、球形ポリウム全体に分布したターゲット材料の粒子の集まり付近に形成されたプリプラズマである。このようなターゲットの例を、以下で図 9 に関して説明する。

#### 【 0 0 3 7 】

ある実施態様では、第 1 プリパルス 6 のパルス持続時間 1 2 及び第 2 プリパルス 7 のパルス持続時間 1 4 は 1 n s 以上である。1 n s より大きい 2 つのプリパルスを使用すると、ピコ秒（p s）以下のパルスを生成するレーザを使用せずに生成する放射パルスを使用してターゲット 5 5 を生成することができる。持続時間が n s 単位のパルスを射出し、比較的高い繰り返し率（5 0 k H z ~ 1 0 0 k H z）を有するレーザは、p s 単位のパルス

10

20

30

40

50



を射出するレーザより容易に入手可能とすることができる。繰り返し率がさらに高く、 $n_s$  単位のパルスを生成するレーザを使用して、プリパルス 6 及び 7 を生成すると、ターゲット 55 を使用する EUV 光源が、より高い全体的システム繰り返し率を有することができる。

#### 【0038】

図 1 D は、EUV 光源の連続する 2 サイクルにわたる波形 60 の例示的なプロットを示す。波形 60 は、波形 5 (図 1 A) の 2 つのインスタンスであり、EUV 光源の各サイクルが波形 5 のインスタンスを 2 つの別個のターゲット材料小滴に (1 サイクルに 1 つ) 適用して、1 サイクルに 1 回、EUV 光を射出する。図 1 D に示す例では、EUV 光の発光 61 及び 62 は、波形 5 のインスタンスをターゲット材料小滴に適用した後に生じる。発光 61 及び 62 は、EUV 光源の繰り返し率の逆数である時間 64 だけ、時間的に分離される。EUV 光源の繰り返し率は、2 つの連続する EUV 光の発光の間の時間の最小量と見なすこともできる。EUV 光の発光 61 と 62 との間の時間は、波形 5 のインスタンスをいかに素早く生成することができるかに依存するので、プリパルス 6 及び 7 を生成する光源の繰り返し率が、少なくとも部分的にシステム繰り返し率を決定する。2 つの  $n_s$  単位の持続時間のパルスをプリパルス 6 及び 7 として使用する場合、EUV 光源のシステム繰り返し率は、例えば 40 kHz ~ 100 kHz とすることができる。

10

#### 【0039】

図 1 D の例は、EUV 光の連続発光を示しているが、EUV 光が、システム繰り返し率によって決定された周期的間隔で射出される場合、EUV 光源は、生成された EUV 光を受けるリソグラフィツールの要求に応じて、他のモードで操作することができる。例えば、EUV 光源は、時間的にシステム繰り返し率より高い量だけ、又は不規則な間隔だけ分離されているバーストで EUV 光を発するように操作又は設定することもできる。図 1 A に関して説明したシステム繰り返し率は、EUV 光の発光の間の時間の最大量の例として提供されている。

20

#### 【0040】

図 2 A、図 2 B 及び図 3 A ~ 図 3 C は、ターゲット 55 を使用することができる例示的な LPP EUV 光源を示す。

#### 【0041】

図 2 A を参照すると、LPP EUV 光源 100 は、ターゲット位置 105 にあるターゲット混合物 114 に、ビーム経路に沿ってターゲット混合物 114 に向かって進行する増幅光ビーム 110 を照射することによって形成される。照射サイトとも呼ばれるターゲット位置 105 は、真空チャンバ 130 の内部 107 にある。増幅光ビーム 110 がターゲット混合物 114 に当たると、ターゲット混合物 114 内のターゲット材料が、EUV 範囲に輝線がある元素を有するプラズマ状態に変換される。形成されたプラズマは、ターゲット混合物 114 内のターゲット材料の組成に依存する特定の特徴を有する。これらの特徴には、プラズマによって生成された EUV 光の波長、及びプラズマから放出されたデブリのタイプ及び量などがある。

30

#### 【0042】

光源 100 はまた、液体小滴、液体流、固体粒子又はクラスタ、液体小滴内に含まれる固体粒子又は液体流に含まれる固体粒子の形態のターゲット混合物 114 を送出、制御、及び誘導するターゲット材料デリバリシステム 125 も含む。ターゲット混合物 114 は、非ターゲット粒子などの不純物も含むことがある。ターゲット混合物 114 は、ターゲット材料デリバリシステム 125 によってチャンバ 130 の内部 107 に及びターゲット位置 105 に送出される。

40

#### 【0043】

光源 100 は、レーザシステム 115 の 1 以上の利得媒体内の反転分布により、増幅光ビーム 110 を生成するドライブレザシステム 115 を含む。光源 100 は、レーザシステム 115 とターゲット位置 105 との間にビームデリバリシステムを含み、ビームデリバリシステムは、ビーム輸送システム 120 と、焦点アセンブリ 122 と、を含む。

50

ビーム輸送システム 120 は、レーザシステム 115 から増幅光ビーム 110 を受け、必要に応じて増幅光ビーム 110 を操縦及び修正して、増幅光ビーム 110 を焦点アセンブリ 122 へと出力する。焦点アセンブリ 122 は、増幅光ビーム 110 を受け、ビーム 110 をターゲット位置 105 に集束させる。

#### 【0044】

ある実施態様では、レーザシステム 115 は、1 以上の主パルスを、及び場合によっては、1 以上のプリパルスを提供するために、1 以上の光増幅器、レーザ及び/又はランプを含むことができる。各光増幅器は、高い利得で所望の波長を光学的に増幅することができる利得媒体と、励起光源と、内部光学系と、を含む。光増幅器は、レーザミラー、又はレーザキャビティを形成する他のフィードバックデバイスを有しても、有していなくてもよい。従って、レーザシステム 115 は、レーザキャビティがない場合でも、レーザ増幅器の利得媒体の反転分布により増幅された光ビーム 110 を生成する。さらに、レーザシステム 115 は、レーザシステム 115 に十分なフィードバックを提供するレーザキャビティがある場合に、コヒーレントレーザビームである増幅光ビーム 110 を生成することができる。「増幅光ビーム」という用語は、単に増幅されているが、必ずしもコヒーレントレーザ振幅ではないレーザシステム 115 からの光、及び(外部又は発振器の利得媒体内で)増幅され、またコヒーレントレーザ振幅であるレーザシステム 115 からの光のうち 1 以上を包含する。

#### 【0045】

レーザシステム 115 内の光増幅器は、利得媒体として、CO<sub>2</sub> を含み、1000 以上の利得にて約 9100 nm と約 11000 nm との間、特に約 10.6 μm の波長の光を増幅することができる充填ガスを含むことができる。ある例では、光増幅器は 10.59 μm の波長の光を増幅する。レーザシステム 115 に使用するために適切な増幅器及びレーザは、パルス状レーザデバイス、例えば DC 又は RF 励起で例えば約 9300 nm 又は約 10600 nm の放射を生成し、比較的高い電力、例えば 10 kW 以上及び高いパルス繰り返し率、例えば 50 kHz 以上で動作するパルス状ガス放電 CO<sub>2</sub> レーザデバイスを含むことができる。レーザシステム 115 の光増幅器は、レーザシステム 115 を比較的高い電力で操作する場合に使用することができる水などの冷却システムも含むことができる。

#### 【0046】

図 2B は、例示的なドライブレーザシステム 180 のブロック図を示す。ドライブレーザシステム 180 は、光源 100 内のドライブレーザシステム 115 として使用することができる。ドライブレーザシステム 180 は、3 つの電力増幅器 181、182 及び 183 を含む。電力増幅器 181、182 及び 183 のいずれか又は全部は、内部光学要素(図示せず)を含むことができる。電力増幅器 181、182 及び 183 はそれぞれ、外部電源又は光源でポンピングすると増幅が生じる利得媒体を含む。

#### 【0047】

光 184 は、出力窓 185 を通して電力増幅器 181 を出て、湾曲ミラー 186 で反射する。反射後、光 184 は、空間フィルタ 187 を通過し、湾曲ミラー 188 で反射して、入力窓 189 を通して電力増幅器 182 に入る。光 184 は、電力増幅器 182 で増幅され、出力窓 190 を通して光 191 として電力増幅器 182 から再誘導される。光 191 は、折り返しミラー 192 で増幅器 183 に向かって誘導され、入力窓 193 を通して増幅器 183 に入る。増幅器 183 は、光 191 を増幅し、光 191 を出力ビーム 195 として出力窓 194 を通して増幅器 183 から誘導する。折り返しミラー 196 は、出力ビーム 195 を上方向に(ページの外側に)、及びビーム輸送システム 120 へと誘導する。

#### 【0048】

空間フィルタ 187 はアパーチャ 197 を規定し、これは例えば光 184 が通過する円とすることができる。湾曲ミラー 186 及び 188 は、例えばそれぞれ約 1.7 m 及び 2.3 m の焦点距離を有するオフアクシス放物線ミラーとすることができる。空間フィルタ

10

20

30

40

50

187は、アパーチャ197がドライブレザシステム180の焦点と一致するように位置決めすることができる。図2Bの例は、3つの電力増幅器を示す。しかしながら、異なる数の電力増幅器を使用することもできる。

#### 【0049】

再び図2Aを参照すると、光源100は、増幅光ビーム110が通過して、ターゲット位置105に到達することができるようにするアパーチャ140を有するコレクタミラー135を含む。コレクタミラー135は、例えばターゲット位置105に1次焦点、中間位置145（中間焦点とも呼ばれる）に2次焦点を有する楕円面鏡とすることができ、ここでEUV光106を光源100から出力し、例えば集積回路ビーム位置決めシステムツール（図示せず）に入力することができる。光源100はまた、コレクタミラー135からターゲット位置105に向かって先細になり、増幅光ビーム110がターゲット位置105に到達できるようにしながら、焦点アセンブリ122及び/又はビーム輸送システム120に入るプラズマ生成デブリの量を低減する開放式で中空の円錐形シュラウド150（例えばガスコーン）も含むことができる。そのために、シュラウド内に、ターゲット位置105へと誘導されたガス流を提供することができる。

#### 【0050】

光源100は、小滴位置検出フィードバックシステム156、レーザ制御システム157、及びビーム制御システム158に接続された主制御装置155も含むことができる。光源100は、1以上のターゲット又は小滴撮像装置160を含むことができ、これは、例えばターゲット位置105に対する小滴の位置を示す出力を提供し、この出力を小滴位置検出フィードバックシステム156に提供して、これは例えば小滴の位置及び軌跡を計算することができ、そこから小滴位置の誤差を小滴毎に、又は平均で計算することができる。このように、小滴位置検出フィードバックシステム156は、小滴位置の誤差を入力として主制御装置155に提供する。従って、主制御装置155は、レーザの位置、方向及びタイミングの補正信号を、例えばレーザタイミング回路の制御に使用することができるレーザ制御システム157に及び/又はビーム制御システム158に提供し、ビーム輸送システム120の増幅光ビームの位置及び整形を制御して、チャンバ130内のビーム焦点の位置及び/又は集光力を変化させることができる。

#### 【0051】

ターゲット材料デリバリシステム125は、ターゲット材料デリバリ制御システム126を含み、これは例えば主制御装置155からの信号に応答して、ターゲット材料供給装置127から放出されたままの小滴の放出点を修正し、所望のターゲット位置105に到達する小滴の誤差を補正するように動作可能である。

#### 【0052】

また、光源100は光源検出器165を含むことができ、これは、パルスエネルギー、波長の関数としてのエネルギー分布、波長の特定の帯域内のエネルギー、波長の特定の帯域外のエネルギー、及びEUV強度及び/又は平均電力の角分布を含むが、それらに限定されない1以上のEUV光のパラメータを測定する。光源検出器165は、主制御装置155が使用するフィードバック信号を生成する。フィードバック信号は、レーザパルスのタイミング及び焦点などのパラメータの誤差を示して、EUV光を効果的かつ効率的に生成するために適正な場所及び時間で小滴を適切に遮断することができる。

#### 【0053】

光源100はまた、光源100の様々な区間を位置合わせする、又はターゲット位置105への増幅光ビーム110の操縦を補助するために使用することができるガイドレーザ175も含むことができる。ガイドレーザ175に関して、光源100は、焦点アセンブリ122内に配置されて、ガイドレーザ175及び増幅光ビーム110からの光の一部をサンプリングするメトロロジシステム124を含む。他の実施態様では、メトロロジシステム124はビーム輸送システム120内に配置される。メトロロジシステム124は、光の部分集合をサンプリング又は再誘導する光学要素を含むことができ、このような光学要素は、ガイドレーザビーム及び増幅光ビーム110のパワーに耐えることができ

10

20

30

40

50

る任意の材料から作成される。ビーム分析システムはメトロロジシステム 1 2 4 及び主制御装置 1 5 5 から形成される。なぜなら、主制御装置 1 5 5 が、ガイドレーザ 1 7 5 からサンプリングした光を分析し、この情報を使用して、ビーム制御システム 1 5 8 を通して焦点アセンブリ 1 2 2 内のコンポーネントを調整するからである。

#### 【 0 0 5 4 】

要約すると、このように光源 1 0 0 は増幅光ビーム 1 1 0 を生成し、これはビーム経路に沿って誘導されて、ターゲット位置 1 0 5 にてターゲット混合物 1 1 4 を照射し、混合物 1 1 4 内のターゲット材料を、EUV 範囲の光を発するプラズマに変換する。増幅光ビーム 1 1 0 は、レーザシステム 1 1 5 の設計及び特性に基づいて決定された特定の波長（光源波長とも呼ばれる）にて動作する。さらに、増幅光ビーム 1 1 0 は、ターゲット材料がコヒーレントレーザ光を生成するのに十分なフィードバックをレーザシステム 1 1 5 に提供した場合、又はドライブレーザシステム 1 1 5 がレーザキャビティを形成するのに適切な光学的フィードバックを含む場合に、レーザビームとなることができる。

#### 【 0 0 5 5 】

図 3 A を参照すると、例示的な光学的撮像システム 3 0 0 の上面図が示されている。光学的撮像システム 3 0 0 は、EUV 光をリソグラフィツール 3 1 0 に提供する LPP EUV 光源 3 0 5 を含む。光源 3 0 5 は、図 2 A 及び図 2 B の光源 1 0 0 と同様である、及び/又は、そのコンポーネントの一部又はすべてを含むことができる。以下で説明するように、ターゲット 5 5 を光源 3 0 5 内で使用して、光源 3 0 5 によって射出される光の量を増加させることができる。

#### 【 0 0 5 6 】

光源 3 0 5 は、ドライブレーザシステム 3 1 5 と、光学要素 3 2 2 と、プリパルス光源 3 2 4 と、集束アセンブリ 3 2 6 と、真空チャンバ 3 4 0 と、EUV 集光光学系 3 4 6 と、を含む。EUV 集光光学系 3 4 6 は、ターゲット 5 5 によって射出された EUV 光をリソグラフィツール 3 1 0 へと誘導する。EUV 集光光学系 3 4 6 は、図 2 A のコレクタミラー 1 3 5 とすることができる。

#### 【 0 0 5 7 】

ドライブレーザシステム 3 1 5 は増幅光ビーム 3 1 6 を生成する。増幅光ビーム 3 1 6 は、図 1 A ~ 図 1 C の増幅光ビーム 1 8 と同様とすることができ、主パルス又は主ビームと呼ぶことができる。増幅光ビーム 3 1 6 は、ターゲット 5 5 内のターゲット材料を、EUV 光を発するプラズマへと変換するのに十分なエネルギーを有する。

#### 【 0 0 5 8 】

プリパルス光源 3 2 4 は、放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 を射出する。放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 は、図 1 B の第 1 プリパルス 6 及び第 2 プリパルス 7 と同様のものとしてすることができる。プリパルス光源 3 2 4 は、例えば 5 0 k H z の繰り返し率で動作する Q スイッチ Nd : Y A G レーザとすることができ、放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 は、1 . 0 6  $\mu$  m の波長を有する Nd : Y A G レーザからのパルスとすることができる。プリパルス光源 3 2 4 の繰り返し率は、プリパルス光源 3 2 4 が放射パルスを生成する回数を示す。例えば、プリパルス光源 3 2 4 が 5 0 k H z の繰り返し率を有する場合、放射パルス 3 1 7 は光源 3 2 4 から 2 0 マイクロ秒 (  $\mu$  s ) 毎に射出される。

#### 【 0 0 5 9 】

プリパルス光源 3 2 4 として他の光源を使用することができる。例えば、プリパルス光源 3 2 4 は、エルビウムドープファイバ ( Er : ガラス ) レーザのように、Nd : Y A G 以外の任意の希土類ドープ固体レーザとすることができる。プリパルス光源 3 2 4 は、第 1 プリパルス 6 及び第 2 プリパルス 7 に使用されたエネルギー及び波長を有する光パルスを生成する任意の他の放射源又は光源とすることができる。

#### 【 0 0 6 0 】

光学要素 3 2 2 は、増幅光ビーム 3 1 6 、及びプリパルス光源 3 2 4 からの放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 をチャンバ 3 4 0 へと誘導する。光学要素 3 2 2 は、増幅光ビーム 3 1 6 及び放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 を同様の経路に沿って誘導し、増幅光ビーム 3 1 6 及

び放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 をチャンバ 3 4 0 に送出することができる任意の要素である。図 3 A に示す例では、光学要素 3 2 2 は、増幅光ビーム 3 1 6 を受けて、チャンバ 3 4 0 に向かって反射するダイクロイックビームスプリッタである。光学要素 3 2 2 は、放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 を受けて、パルスを光学チャンバ 3 4 0 へと伝送する。ダイクロイックビームスプリッタは、増幅光ビーム 3 1 6 の波長を反射し、放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 の波長を伝送するコーティングを有する。ダイクロイックビームスプリッタは、例えばダイヤモンドで作成することができる。

#### 【 0 0 6 1 】

他の実施態様では、光学要素 3 2 2 はアパーチャ（図示せず）を規定するミラーである。この実施態様では、増幅光ビーム 3 1 6 は、ミラー表面で反射して、チャンバ 3 4 0 へと誘導され、放射パルスはアパーチャを通過して、チャンバ 3 4 0 へと伝播する。

#### 【 0 0 6 2 】

さらに他の実施態様では、くさび形光学系（例えばプリズム）を使用して、主パルス 3 1 6、プリパルス 3 1 7、及びプリパルス 3 1 8 をその波長に従って異なる角度に分離することができる。くさび形光学系は、光学要素 3 2 2 に追加して使用することができる、又は光学要素 3 2 2 として使用することができる。くさび形光学系は、集束アセンブリ 3 2 6 の（「z」方向で）すぐ上流に位置決めすることができる。

#### 【 0 0 6 3 】

さらに、パルス 3 1 7 及び 3 1 8 は他の方法でチャンバ 3 4 0 に送出することができる。例えばパルス 3 1 7 及び 3 1 8 は、光学要素 3 2 2 又は他の誘導要素を使用せずに、パルス 3 1 7 及び 3 1 8 をチャンバ 3 4 0 に送出する光ファイバ及び／又は集束アセンブリ 3 2 6 を通して進行することができる。これらの実施態様では、ファイバは放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 を、チャンバ 3 4 0 の壁に形成された開口を通してチャンバ 3 4 0 の内部へと直接搬送する。

#### 【 0 0 6 4 】

図 3 A の例に戻ると、ドライブレザシステム 3 1 5 からの増幅光ビーム 3 1 6 は、光学要素 3 2 2 で反射し、集束アセンブリ 3 2 6 を通して伝播する。集束アセンブリ 3 2 6 は、増幅光ビーム 3 1 6 をターゲット位置 3 4 2 に集束させる。放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 は、光学要素 3 2 2 を通過し、集束アセンブリ 3 2 6 を通してチャンバ 3 4 0 へと誘導される。図 3 B ~ 図 3 D を参照すると、増幅光ビーム 3 1 6、放射パルス 3 1 7 及び放射パルス 3 1 8 はそれぞれ、「x」方向に沿ってチャンバ 3 4 0 内の異なる位置に誘導される。

#### 【 0 0 6 5 】

また図 3 B ~ 図 3 D を参照すると、ターゲット材料小滴の流れを「x」方向にターゲット位置 3 4 2 へと放出するターゲット材料供給装置 3 4 7 の上面図が示されている。流れは小滴 3 4 8 a 及び 3 4 8 b を含む。ターゲット位置 3 4 2 は、増幅光ビーム 3 1 6 を受ける位置であり、また、EUV 集光光学系 3 4 6 の焦点でもよい。図 3 B は、 $t = t_1$  の時点におけるチャンバ 3 4 0 を示し、図 3 C は、 $t = t_1$  の後に生じる  $t = t_2$  の時点におけるチャンバ 3 4 0 を示し、図 3 D は、 $t = t_2$  の後に生じる  $t = t_3$  の時点におけるチャンバ 3 4 0 を示す。

#### 【 0 0 6 6 】

増幅光ビーム 3 1 6 及び放射パルス 3 1 7 及び 3 1 8 はそれぞれ、異なる時にチャンバ 3 4 0 内で「x」方向に沿って異なる位置へと誘導される。これによって、ターゲット位置 3 4 2 に到達する前に、ターゲット材料小滴をターゲットに変換することができる。図 3 B ~ 図 3 D は、ターゲット 5 5 に変換中のターゲット材料小滴（ターゲット材料小滴 3 4 8 a）の例を示す。時間 =  $t_1$ （図 3 B）では、放射パルス状ビーム 3 1 7 が、ターゲット位置 3 4 2 から「-x」方向に変位した位置で時間「 $t_1$ 」でターゲット材料小滴 3 4 8 a を照射する。放射パルス状ビーム 3 1 7 は、ターゲット材料小滴 3 4 8 b を中間ターゲット 5 1 に変形させる。時間 =  $t_2$ （図 3 C）では、中間ターゲット 5 1 が「x」方向にターゲット位置 3 4 2 へと近づいており、ターゲット位置 3 4 2 に対して「-x」方

10

20

30

40

50

向に変位した別の位置に到達する。放射パルスビーム 318 は、中間ターゲット 51 を照射して、それをターゲット 55 に変形させる。ターゲット 55 は「x」方向に進行し、実質的に電離せずにターゲット位置 342 に到達する。この方法で、ターゲット 55 は、ターゲット 55 がターゲット位置 342 に入る前の時点で形成されている予備形成ターゲットになり得る。時間 =  $t_3$  (図 3D) では、増幅光ビーム 316 がターゲット 55 を照射して、EUV 光を発するプラズマを生成する。

#### 【0067】

図 3A に示す例では、1つのブロックがプリパルス光源 324 を表す。プリパルス光源 324 は、1つの光源又は複数の光源とすることができ、例えば 2つの別個の光源を使用して、パルス 317 及び 318 を生成することができる。2つの別個の光源は、異なる波長及びエネルギーを有する放射パルスを生成する異なるタイプの光源とすることができ、例えば、パルス 317 は、 $10.6\text{ }\mu\text{m}$  の波長を有し、 $\text{CO}_2$  レーザによって生成されることができ、パルス 318 は、 $1.06\text{ }\mu\text{m}$  の波長を有し、希土類ドープ固体レーザによって生成されることができ、

#### 【0068】

ある実施態様では、放射パルス 317 は、ドライブレーザシステム 315 によって生成することができる。例えば、ドライブレーザシステムは、2つの  $\text{CO}_2$  シードレーザサブシステムと、1つの増幅器と、を含むことができる。シードレーザサブシステムの一つは、 $10.26\text{ }\mu\text{m}$  の波長を有する増幅光ビームを生成することができ、他方のシードレーザサブシステムは、 $10.59\text{ }\mu\text{m}$  の波長を有する増幅光ビームを生成することができる。これらの 2つの波長は、 $\text{CO}_2$  レーザの異なる線に由来することがある。他の例では、 $\text{CO}_2$  レーザの他の線を使用して、2つの増幅光ビームを生成することができる。2つのシードレーザサブシステムからの増幅光ビームは両方とも、同じ電力増幅器系統で増幅され、次に角分散してチャンバ 340 内の異なる位置に到達する。波長が  $10.26\text{ }\mu\text{m}$  の増幅光ビームをプリパルス 317 として使用することができ、波長が  $10.59\text{ }\mu\text{m}$  の増幅光ビームを増幅光ビーム 316 として使用することができる。

#### 【0069】

さらに、増幅光ビーム 316、放射パルス 317 及び放射パルス 318 はすべて、同じ増幅器で増幅される。例えば、3つの電力増幅器 181、182 及び 183 (図 1B) を使用して、増幅光ビーム 316、プリパルス 317 及びプリパルス 318 のすべてを増幅することができる。この実施態様では、増幅器は 3つのシードレーザを有することができ、その 1つを用いて増幅光ビーム 316、放射パルス 317 及び放射パルス 318 のそれぞれを生成する。異なる数のシードレーザを使用することもできる。

#### 【0070】

図 4 を参照すると、EUV 光を生成する例示的なプロセス 400 の流れ図が示されている。プロセス 400 は、光源 100 又は光源 305 を使用して実行することができる。

#### 【0071】

第 1 放射パルスはターゲット材料小滴へと誘導されて、変形小滴 (410) を形成する。第 1 放射パルスは、ターゲット材料小滴の形状を変形させるのに十分なエネルギーを有するパルスとすることができ、第 1 放射パルスは、少なくとも  $1\text{ ns}$  の持続時間を有することができ、例えば第 1 放射パルスは、 $1\sim 100\text{ ns}$  の持続時間及び  $1\text{ }\mu\text{m}$  又は  $10\text{ }\mu\text{m}$  の波長を有することができ、一例では、第 1 放射パルスは、 $15\sim 60\text{ mJ}$  のエネルギー、 $20\sim 70\text{ ns}$  のパルス持続時間及び  $1\sim 10\text{ }\mu\text{m}$  の波長を有するレーザパルスとすることができ、ある例では、第 1 放射パルスは、 $1\text{ ns}$  未満の持続時間を有することができる。例えば、第 1 放射パルスは、 $300\text{ ps}$  以下、 $100\text{ ps}$  以下、 $100\text{ ps}\sim 300\text{ ps}$  の間、又は  $10\text{ ps}\sim 100\text{ ps}$  の間の持続時間を有することができ、

#### 【0072】

第 1 放射パルスは、第 1 プリパルス 6 (図 1B) 又は放射パルス 317 (図 3A ~ 図 3D) とすることができ、変形小滴は、ターゲット材料小滴 50 を第 1 プリパルス 6 で照射することによって形成した中間ターゲット 51 (図 1A) とすることができ、ターゲ

10

20

30

40

50

ット材料小滴50は、スズ又はプラズマに変換された場合にEUVを発する任意の他の材料などの熔融金属の小滴とすることができる。例えば、変形小滴は、ターゲット材料小滴50が第1プリパルス6に当たることにより形成された熔融スズの円板とすることができる。第1プリパルス6が衝突する力は、小滴を変形して、円板により近い形状にすることができ、これは約1～3マイクロ秒( $\mu s$ )後に膨張して円板形状の熔融金属の部片になる。この例では、円板形状部片を中間ターゲット51と見なすことができる。図6C及び図8Cは、円板形状の例示的な中間ターゲット613を示す。

#### 【0073】

変形小滴又は中間ターゲットは他の幾何形状になることもできる。例えば、第1放射パルスの持続時間が1ns未満である実施態様では、変形小滴は、半球状の形状のように、面に沿って回転楕円面を薄く切断することによって形成された形状を有することができる。図10Cは、半球形状を有する例示的な中間ターゲット1014を示す。図10Cに示す例では、中間ターゲット1014は、熔融スズの円板形状セグメントではなく、大量の粒子である。

#### 【0074】

第2放射パルスは、変形小滴へと誘導されて、吸収材料を形成する(420)。吸収材料は、増幅光ビームを受けて、(増幅光ビームとターゲット55との相互作用による電離によって)EUV光を発するプラズマへと変換するターゲット55である。第2放射パルスは、放射の吸収に関する変形小滴の特性を変化させるのに十分なエネルギーを有する。すなわち、(420)で形成された変形小滴が第2放射パルスに当たると、変形小滴が光などの放射を吸収する能力が変化する。さらに、吸収材料が、変形小滴よりも多くの部分の入射放射を吸収できるように、放射の吸収に関する特性が変化する。

#### 【0075】

第2放射パルスは、少なくとも1nsの持続時間及び1～10mJのエネルギーを有することができる。例えば、第2放射パルスは10nsの持続時間及び5mJのエネルギーを有することができる。第2放射パルスは1.06 $\mu m$ の波長を有することができる。第2放射パルスは、第2プリパルス7(図1B)又は放射パルス318(図3A～図3D)とすることができる。

#### 【0076】

ターゲット材料小滴に直接適用されるプリパルスより、第2放射パルスのエネルギーを低くすることができる、及び/又はパルス持続時間を長くすることができるが、吸収材料(ターゲット55など)は、ターゲット55をEUV光の生成に好ましいものにする物理特性を有する。

#### 【0077】

一例では、中間ターゲット51は、ターゲット材料小滴50と比較すると、入射放射パルスの伝播方向に沿って薄くなっている熔融スズの円板である。中間ターゲット51は、ターゲット材料小滴50よりも容易にターゲット材料のフラグメントに破壊され、中間ターゲット51をフラグメントにするのに必要なエネルギーを少なくすることができる。この例では、第2放射パルスは、中間ターゲット51をターゲット材料の部片の雲に変形し、これはまとめる又は集合すると、ターゲット材料小滴50と比較して、接近中の放射パルスの経路にあるターゲット材料の表面積が大きくなる。表面積が大きくなると、増幅光ビームと相互作用するターゲット材料が多くなり、ターゲット材料の電離の増加、従ってEUV光の生成量の増加につなげることができる。図7は、中間ターゲット51を、ターゲット材料のフラグメントを含むターゲット55へと変形させる第2放射パルスの例を示す。

#### 【0078】

別の例では、中間ターゲット51は、これもターゲット材料小滴より薄く、幅広い熔融スズの円板である。この例では、第2プリパルスが中間ターゲット51を照射し、第2放射パルスを受ける中間ターゲットの表面付近に電子及びイオン(プリプラズマ)の雲を生成する。中間ターゲット51の表面に電子及びイオンの雲を生成することにより、第2放

射パルスは中間ターゲット 5 1 の少なくとも一部の電子密度及び / 又はイオン密度を変更する。図 5 は、修正小滴の少なくとも一部の電子密度及び / 又はイオン密度を変化させる第 2 放射パルスの例を示す。

【 0 0 7 9 】

増幅光ビームが吸収材料へと誘導される ( 4 3 0 )。増幅光ビームは、吸収材料 ( 中間ターゲット 5 1 ) 内のターゲット材料を電離し、従って E U V 光を発するプラズマへと変換するのに十分なエネルギーを有する。増幅光ビームは、増幅光ビーム 8 ( 図 1 B ) とすることができる。

【 0 0 8 0 】

以上で説明したターゲット 5 5 及び波形 5 の例を提供する。図 5、図 7 及び図 9 は、ターゲットを生成する他の例示的な波形 5 0 0、7 0 0 及び 9 0 0 の表示をそれぞれ示す。図 6 A ~ 図 6 E、図 8 A ~ 図 8 E 及び図 1 0 A ~ 図 1 0 E は、ターゲット材料小滴に適用されている波形 5 0 0、7 0 0 及び 9 0 0 のエネルギーを示す。

【 0 0 8 1 】

図 5 を参照すると、ターゲット材料小滴を、E U V 光を発するターゲットへと変換するために使用することができる例示的な波形 5 0 0 のプロットが示されている。図 6 A ~ 図 6 D は、波形 5 0 0 がターゲット材料小滴を、E U V 光を発するターゲットへと変換させる様子を示す。図 5 及び図 6 A ~ 図 6 D の例のターゲットは、接近中の増幅光ビームに面する表面に形成されたプリプラズマを有する溶融金属の平坦な円板である。表面が増幅光ビームの伝播方向を横断していない場合でも、表面は、増幅光ビームを指している場合は接近中の増幅光ビームに面することができる。

【 0 0 8 2 】

波形 5 0 0 は、第 1 プリパルス 5 0 2 の表示、第 2 プリパルス 5 0 4 の表示及び増幅光ビーム 5 0 6 の表示を示す。この例では、第 1 プリパルス 5 0 2 は、2 0 ~ 7 0 n s のパルス持続時間 5 0 3 及び 1 5 ~ 6 0 m J のエネルギーを有する。例えば、第 1 プリパルス 5 0 2 は、1  $\mu$  m 又は 1 0 . 6  $\mu$  m の波長を有することができる。一例では、パルス持続時間 5 0 3 は 4 0 n s であり、エネルギーは 2 0 m J である。第 2 プリパルス 5 0 4 は、1 ~ 1 0 n s のパルス持続時間 5 0 5、1 ~ 1 0 m J のエネルギー及び 1 . 0 6  $\mu$  m の波長を有することができる。一例では、第 2 プリパルス 5 0 3 の持続時間 5 0 5 は 1 0 n s であり、第 2 プリパルスのエネルギーは 1 m J である。

【 0 0 8 3 】

第 1 プリパルス 5 0 2 及び第 2 プリパルス 5 0 4 は、時間的に遅延時間 5 0 8 だけ分離され、第 2 プリパルス 5 0 4 が第 1 プリパルス 5 0 2 の後に生じる。遅延時間 5 0 8 は、第 1 プリパルス 5 0 2 との相互作用により幾何学的に変更されるターゲット材料小滴が膨張して、中間ターゲット 5 1 を形成できるほど十分に長い時間である。遅延時間 5 0 8 は 1 ~ 3 マイクロ秒 (  $\mu$  s ) とすることができる。

【 0 0 8 4 】

第 2 プリパルス 5 0 4 及び増幅光ビーム 5 0 6 は、時間的に遅延時間 5 0 9 だけ分離され、増幅光ビーム 5 0 6 は第 2 プリパルス 5 0 4 の後に生じる。遅延時間 5 0 9 は、第 2 プリパルス 5 0 4 が円板形状のターゲットの表面に形成するプリプラズマが膨張できるほど十分に長い。遅延時間 5 0 9 は、1 0 ~ 1 0 0 n s の間又は 1 ~ 2 0 0 ナノ秒 ( n s ) の間とすることができる。

【 0 0 8 5 】

図 6 A ~ 図 6 E は、5 つの異なる時間  $t_1 \sim t_5$  にターゲット位置 6 2 6 に向かってターゲット材料小滴を放出するターゲット材料供給装置の側面図を示す。ターゲット位置 6 2 6 は、チャンバ ( チャンバ 3 4 0 など ) 内で増幅光ビーム 5 0 6 を受け、集光光学系 3 4 6 ( 図 3 A ) 又はミラー 1 3 5 ( 図 1 A ) の焦点にある位置である。図 6 A は、最も早い時間  $t_1$  を示し、時間は左から右へと経過して、図 6 E が最も遅い時間  $t_5$  を示す。ターゲット材料供給装置 6 2 0 は、ノズル 6 2 4 を通して小滴の流れを放出する。小滴の流れはターゲット材料小滴 6 1 1 及び 6 1 0 を含み、ターゲット材料小滴 6 1 0 はターゲッ

10

20

30

40

50



ト材料小滴 6 1 0 の前にノズル 6 2 4 から放出される。図 6 A ~ 図 6 E は、ターゲット材料小滴 6 1 0 が、増幅光ビーム 5 0 6 に当たると E U V 光を発するターゲット 6 1 4 に変形している様子を示す。

【 0 0 8 6 】

図 6 A を参照すると、ターゲット材料小滴 6 1 0 が第 1 プリパルス 5 0 2 に当たっている。図 6 B に示すように、第 1 プリパルス 5 0 2 が衝突すると、ターゲット材料小滴 6 1 0 を幾何学的に変形させ、ターゲット材料の細長いセグメント 6 1 2 内に広げる。細長いセグメント 6 1 2 は円板様の形状を有することができ、細長いセグメント 6 1 2 は溶融ターゲット材料とすることができる。ターゲット材料の細長いセグメント 6 1 2 は、ターゲット位置 6 2 6 に向かって進行すると、空間的に膨張する。ターゲット材料の細長いセグメント 6 1 2 は、 $1 \sim 3 \mu s$  ( 遅延時間 5 0 8 ) の間、膨張する。

10

【 0 0 8 7 】

図 6 C を参照すると、第 1 プリパルス 5 0 2 がターゲット材料小滴 6 1 0 に当たってから  $1 \sim 3 \mu s$  後である時間  $t_3$  にて、長円形の材料 6 1 2 は、ターゲット位置 6 2 6 に向かう軌跡を辿るにつれ膨張して、円板形状の中間ターゲット 6 1 3 になる。また図 6 F を参照すると、中間ターゲット 6 1 3 は幅 6 3 2 及び厚さ 6 3 0 を有する。中間ターゲット 6 1 3 の厚さ 6 3 0 は幅より小さい。図 6 C 及び図 6 F に示す例では、幅 6 3 2 は「x」方向にあり、厚さ 6 3 0 は「y」方向にあって、幅 6 3 2 は、第 2 プリパルス 5 0 4 の伝播方向を横断する方向に沿っている。しかしながら、中間ターゲット 6 1 3 は他の角度配置も有することができる。例えば、図 6 G に示すように、中間ターゲット 6 1 3 は、第 2 プリパルス 5 0 4 の伝播方向に対して  $45^\circ$  の角度を付けることができる。中間ターゲット 6 1 3 が第 2 プリパルス 5 0 4 の経路に対して角度がある場合でも、プリパルス 5 0 4 の伝播方向に沿って測定した中間ターゲット 6 1 3 の厚さ 6 3 1 は、中間ターゲット 6 1 3 の幅より小さい。このように、接近中の光ビーム ( 第 2 プリパルス 5 0 4 など ) が遭遇するターゲット面積は、接近中の光ビームがターゲット材料小滴 6 1 0 を直接通過する場合にそれが進行するような経路に対して垂直な面に沿った場合よりも伝播方向に沿った場合の方が小さい。

20

【 0 0 8 8 】

図 6 D を参照すると、第 2 プリパルス 5 0 4 と中間ターゲット 6 1 3 との相互作用がターゲット 6 1 4 を形成する。相互作用は、バルクターゲット材料 6 1 6 に近いプリプラズマ 6 1 5 を生成する。バルクターゲット材料 6 1 6 は、ターゲット材料とすることができる。プリプラズマ 6 1 5 は、遅延時間 5 0 9 にわたって膨張することができ、膨張したプラズマ 6 1 5 及びバルクターゲット材料 6 1 6 がターゲット 6 1 4 を形成する。時間  $t_4$  にて、ターゲット 6 1 4 はターゲット位置 6 2 6 に到達する。

30

【 0 0 8 9 】

さらに詳細に述べると、第 2 プリパルス 5 0 4 は、中間ターゲット 6 1 3 の表面に衝突し、表面を加熱して、プリプラズマ 6 1 5 を形成する。中間ターゲット 6 1 3 はプリパルス 5 0 4 に提示された薄い寸法を有する円板のように整形されるので、プリプラズマ 6 1 5 が、バルク材料 6 1 6 内のターゲット材料を使用できる部分が多くなる。プリプラズマが  $1 \sim 200 ns$  膨張した後、プリプラズマ及びバルクターゲット材料 6 1 6 をまとめてターゲット 6 1 4 と呼ぶ。増幅光ビーム 8 は、プリプラズマ 6 1 5 が吹き飛ぶか散逸する前に、ターゲット 6 1 4 に到達する。例えば、増幅光ビーム 8 は、第 2 プリパルス 5 0 4 が中間ターゲット 6 1 3 に当たった  $10 \sim 100 ns$  又は  $1 \sim 200 ns$  後に到達することができる。増幅光ビーム 5 0 6 が到達したときにプリプラズマ 6 1 5 が存在するので、増幅光ビーム 5 0 6 は、下にあるバルクターゲット材料 6 1 6 に届く前にプリプラズマ 6 1 5 に遭遇する。下にあるバルクターゲット材料 6 1 6 と比較して、プリプラズマ 6 1 5 は反射性が低く、より容易に増幅光ビーム 5 0 6 を吸収する。従って、プリプラズマ 6 1 5 が存在することにより、増幅光ビーム 5 0 6 のさらに大きい部分を吸収することができる。

40

50

## 【0090】

さらに、プリプラズマ615が存在しない状態では、増幅光ビーム506がバルクターゲット材料616に直接衝突する。この場合、増幅光ビーム8は、金属表面に遭遇して、大部分が反射し、少量の増幅光ビーム8が吸収されて、バルクターゲット材料616の表面を切除し、表面付近にプリプラズマの雲を形成する。雲は、パルスが表面に衝突した5~20ns後に形成することができる。しかしながら、ターゲット材料を、EUV光を発するプラズマに変換するのに十分なエネルギーを有する多くのパルスは、パルスの最初の10~20nsに鋭い前縁を有する。増幅光ビーム506は前縁510を有する(図5)。前縁510(パルスとターゲットとの相互作用の最初の10~20nsでターゲット表面に到達するパルスの部分)の強度は、時間の関数として急速に上昇し、電子及びイオンの雲が形成される可能性がある前に、及び加熱及び蒸発プロセスが開始する前に上昇する。従って、プリプラズマ615がない状態で、増幅光ビーム8の高エネルギーの前縁510の多くは反射することになり、ほとんど使用されない。しかしながら、プリプラズマ615が、前縁510のエネルギーの一部を吸収し、それをバルクターゲット材料616を切除する熱へと変換する。

10

## 【0091】

図6Eを参照すると、増幅光ビーム506は、プリプラズマ615及びバルクターゲット材料616の大部分又はほぼすべてをEUV光618に変換する。

## 【0092】

図7を参照すると、ターゲット材料小滴を、EUV光を発するターゲットへと変換するために使用することができる別の例示的な波形700のプロットが示されている。図8A~図8Eは、波形700がターゲット材料小滴を、EUV光を発するターゲットへと変形させる様子を示す。図7及び図8A~図8Eの例のターゲットは、フラグメント化したターゲット材料の集合である。

20

## 【0093】

波形700は、第1プリパルス702の表示、第2プリパルス704の表示及び増幅光ビーム706の表示を示す。第1プリパルス702は、20~70nsであるパルス持続時間703及び17~60mJのエネルギーを有する。第1プリパルス702は、1 $\mu$ m又は10.6 $\mu$ mの波長を有することができる。一例では、パルス持続時間703は40nsであり、エネルギーは20mJである。第2プリパルス704は、1~10nsであるパルス持続時間705及び1~10mJのエネルギーを有する。第2プリパルス704は1.06 $\mu$ mの波長を有する。一例では、第2プリパルス703の持続時間705は10nsであり、第2プリパルスのエネルギーは5mJである。別の例では、第2プリパルス703の持続時間705は10nsであり、第2プリパルスのエネルギーは10mJである。

30

## 【0094】

第1プリパルス702及び第2プリパルス704は時間的に遅延時間708だけ分離され、第2プリパルス704が第1プリパルス702の後に生じる。遅延時間708は、第1プリパルス702により幾何学的に変形するターゲット材料小滴が膨張して、円板形状の中間ターゲットを形成できるほど十分に長い時間である。遅延時間708は1~3マイクロ秒( $\mu$ s)とすることができる。

40

## 【0095】

第2プリパルス704及び増幅光ビーム706は、時間的に遅延時間709だけ分離され、増幅光ビーム706が第2プリパルス704の後に生じる。遅延時間709は、第2プリパルス704によって形成されるフラグメントが最適な距離まで分散できるほど十分に長い。遅延時間709は、100ナノ秒(ns)~1マイクロ秒( $\mu$ s)とすることができる。

## 【0096】

図8A~図8Eを参照すると、ターゲット材料供給装置620の5つのスナップショットが示され、時間は左側の図8Aから右側の図8Eへと経過する。図8A~図8Cは、図

50

6 A ~ 図 6 C に関して説明したような円板形状の中間ターゲット 6 1 3 を生成する。図 8 D はターゲット 8 1 4 の生成を示す。ターゲット 8 1 4 は、中間ターゲット 6 1 3 を第 2 プリパルス 7 0 4 で照射することによって形成されたターゲット材料の部片又は粒子の集合である。第 2 プリパルス 7 0 4 が衝突すると、中間ターゲット 6 1 3 が破壊されてターゲット材料の多くのフラグメントになり、それぞれが中間ターゲット 6 1 3 より小さい。

【 0 0 9 7 】

中間ターゲット 6 1 3 が破壊されてフラグメントになると、増幅光ビーム 7 0 6 のターゲット材料が多くなる。なぜなら、フラグメントが集合すると、プラズマに変換するためのターゲット材料の表面積が大きくなるからである。さらに、中間ターゲット 6 1 3 は薄いので、第 2 プリパルス 7 0 4 は、ターゲット材料小滴 6 1 0 をフラグメントの集合に変形することができるプリパルスよりも相対的にエネルギーを低く、及び / 又は持続時間を長くすることができる。

【 0 0 9 8 】

ターゲット 8 1 4 は、ターゲット位置 6 2 6 に到達して、増幅光ビームを受け取る。EUV 光 8 1 8 が生成される。

【 0 0 9 9 】

図 9 を参照すると、ターゲット材料小滴を、EUV 光を発するターゲットへと変換するために使用することができる別の例示的な波形 9 0 0 のプロットが示されている。図 1 0 A ~ 図 1 0 E は、波形 9 0 0 が、ターゲット材料小滴を、EUV 光を発するターゲットへと変形させる様子を示す。図 9 及び図 1 0 A ~ 図 1 0 E の例のターゲットは、半球形のターゲットの付近に形成されるプリプラズマである。

【 0 1 0 0 】

波形 9 0 0 は、第 1 プリパルス 9 0 2 の表示、第 2 プリパルス 9 0 4 の表示及び増幅光ビーム 9 0 6 の表示を示す。第 1 プリパルス 9 0 2 は 1 n s 未満のパルス持続時間 9 0 3 を有する。例えば、第 1 プリパルス 9 0 2 は 1 . 0 6  $\mu$  m の波長、3 0 0 p s 以内のパルス持続時間及び 1 m J ~ 1 0 m J のエネルギーを有することができる。別の例では、第 1 プリパルスは 1 0 0 p s ~ 3 0 0 p s の持続時間、1 . 0 6  $\mu$  m の波長、及び 1 m J ~ 1 0 m J のエネルギーを有する。さらに別の例では、第 1 プリパルス 9 0 2 は 1 5 0 p s の持続時間、1 . 0 6  $\mu$  m の波長及び 5 m J のエネルギーを有する。

【 0 1 0 1 】

第 2 プリパルス 9 0 4 は、1 ~ 1 0 n s であるパルス持続時間 9 0 5 及び 1 ~ 1 0 m J のエネルギーを有する。第 2 プリパルス 9 0 4 は 1 . 0 6  $\mu$  m の波長を有する。一例では、第 2 プリパルス 9 0 3 の持続時間 9 0 5 は 1 0 n s であり、第 2 プリパルスのエネルギーは 5 m J である。別の例では、第 2 プリパルス 9 0 3 の持続時間 9 0 5 は 1 0 n s であり、第 2 プリパルスのエネルギーは 1 0 m J である。

【 0 1 0 2 】

第 1 プリパルス 9 0 2 及び第 2 プリパルス 9 0 4 は、時間的に遅延時間 9 0 8 だけ分離され、第 2 プリパルス 9 0 4 が第 1 プリパルス 9 0 2 の後に生じる。遅延時間 9 0 8 は、第 1 プリパルス 9 0 2 によって幾何学的に変形したターゲット材料小滴が膨張して、半球形ターゲットを形成することができるほど十分に長い時間である。例えば遅延時間 9 0 8 は約 1 0 0 0 n s とすることができる。遅延時間 9 0 9 は、第 2 プリパルス 9 0 4 によって半球形ターゲットの表面に形成されたプリプラズマが膨張できるほど十分に長い。遅延時間 9 0 9 は 1 0 ~ 1 0 0 ナノ秒 ( n s ) 又は 1 ~ 2 0 0 n s とすることができる。

【 0 1 0 3 】

図 1 0 A ~ 図 1 0 E を参照すると、ターゲット材料供給装置 6 2 0 の 5 つのスナップショットが示され、時間は左側の図 1 0 A から右側の図 1 0 E へと経過する。第 1 プリパルス 9 0 2 がターゲット材料小滴 6 1 0 を照射して、半球形のボリューム 1 0 1 2 を形成する。半球形ボリューム 1 0 1 2 は、半球形の空間全体に分散した粒子 1 0 1 3 の霧又は集合である。粒子 1 0 1 3 は、第 2 プリパルス 9 0 4 に面する表面 1 0 0 2 にて最小になる密度分布で分布する。密度分布の上昇の方向は、ボリューム 1 0 1 2 によって吸収される

10

20

30

40

50

光の量の増加に寄与する。なぜなら、光を反射することができる高密度の面に光が到達する前に、光の大部分がボリューム１０１２によって吸収されるからである。半球形ボリューム１０１２は、遅延時間９０９にわたって膨張し、半球形の間中ターゲット１０１４を形成する。

#### 【０１０４】

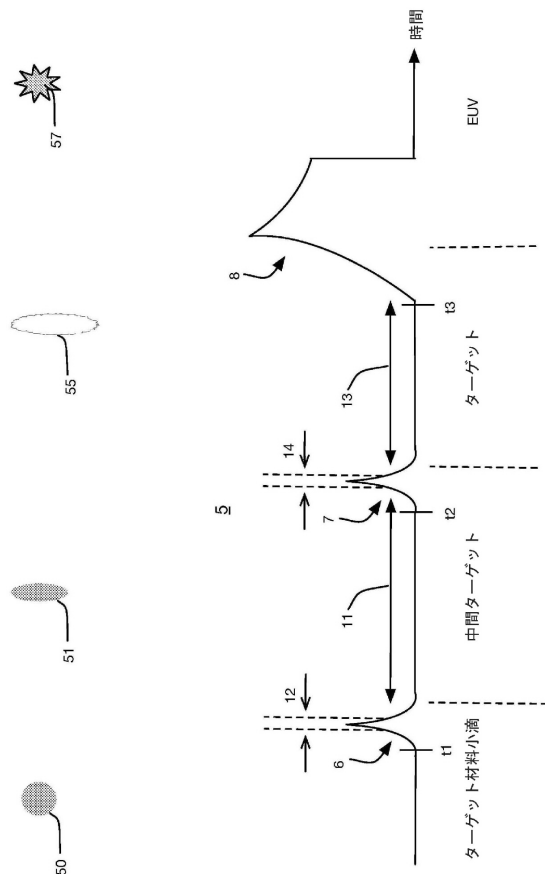
第２プリパルス９０４は、半球形の間中ターゲット１０１４を照射し、中間ターゲット１０１４の縁部にプリプラズマを生成し、さらに粒子１０１３の少なくとも一部をプリプラズマに変換する。粒子１０１３は小さいので、粒子１０１３からプリプラズマを生成することは比較的容易である。プリプラズマは遅延時間９０９にわたって膨張し、ターゲット１０１５を形成する。ターゲット１０１５は、半球形ボリューム１０１７と、プリプラズマ１０１６と、を含む。増幅光ビーム９０６がターゲット１０１５を照射して、ＥＵＶ光を生成する。プリプラズマ１０１６は、増幅光ビーム９０６を容易に吸収する媒体を提供し、従ってプリプラズマ１０１６は、増幅光ビームのＥＵＶ光への変換を強化し、改良することができる。

#### 【０１０５】

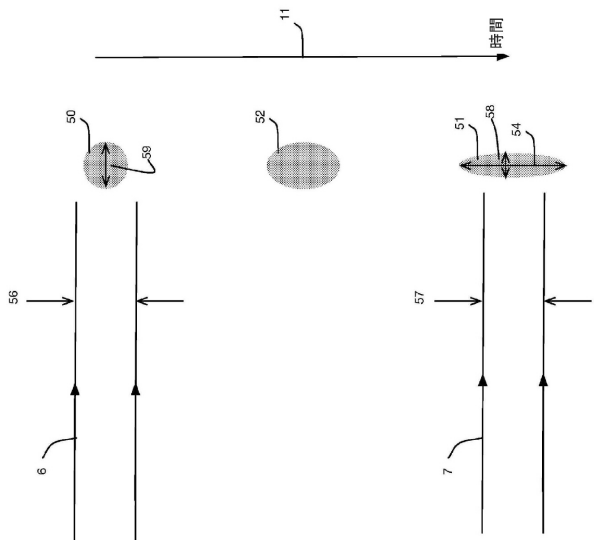
他の実施態様も添付の請求の範囲に入る。例えば、円板形状の間中ターゲット６１３は、円板に類似した、又は表面の１つに窪みを含む形状を有することができる。以上で説明した波形５、５００、７００及び９００のいずれも、ターゲット材料と相互作用するプリパルスを２つより多く有することができる。

10

【図１Ａ－Ｂ】

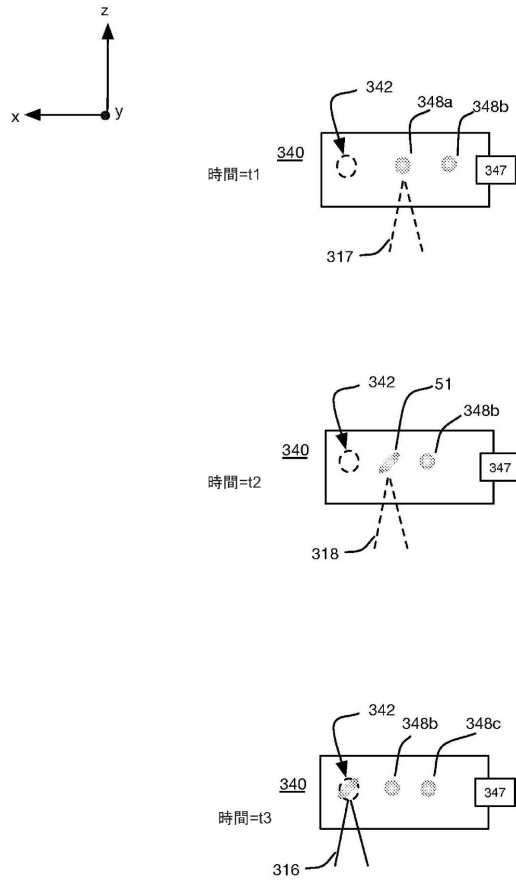


【図１Ｃ】

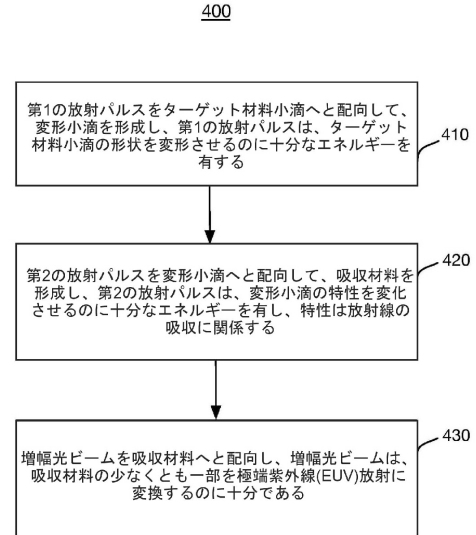




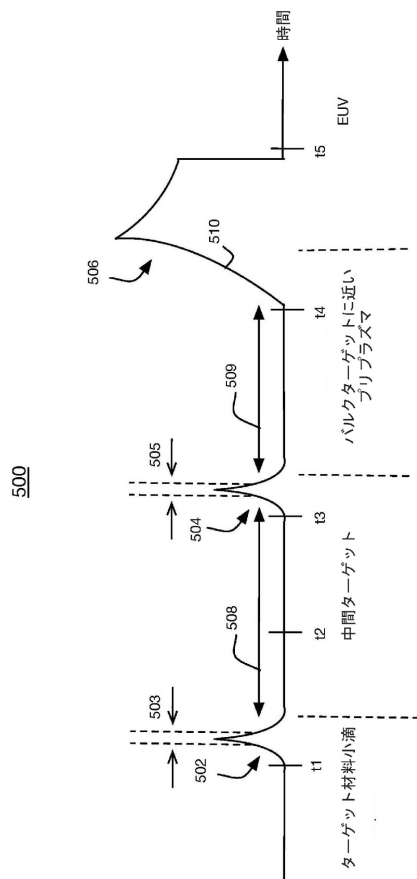
【図3B-D】



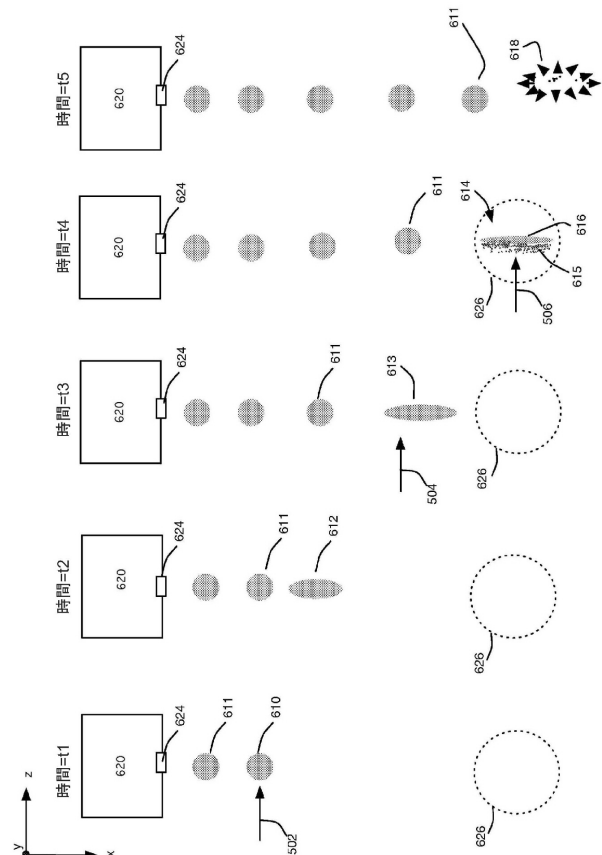
【図4】



【図5】



【図6A-E】



【図 6 F - G】

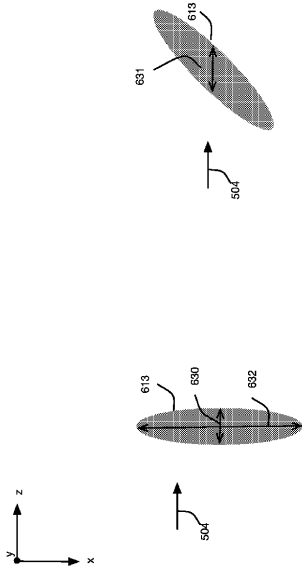
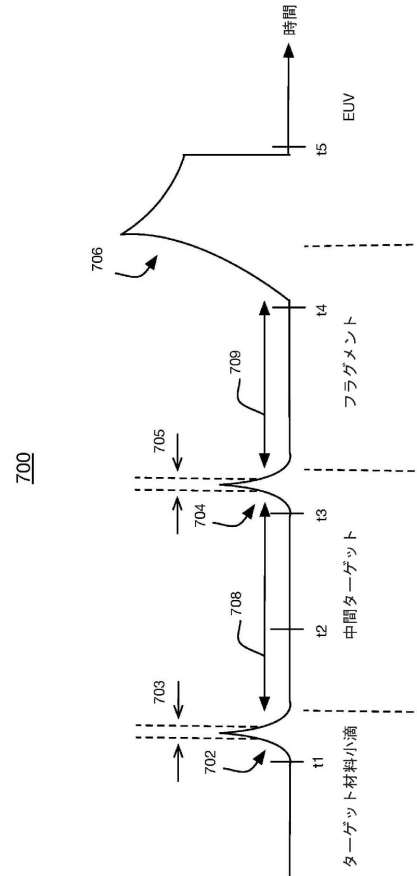


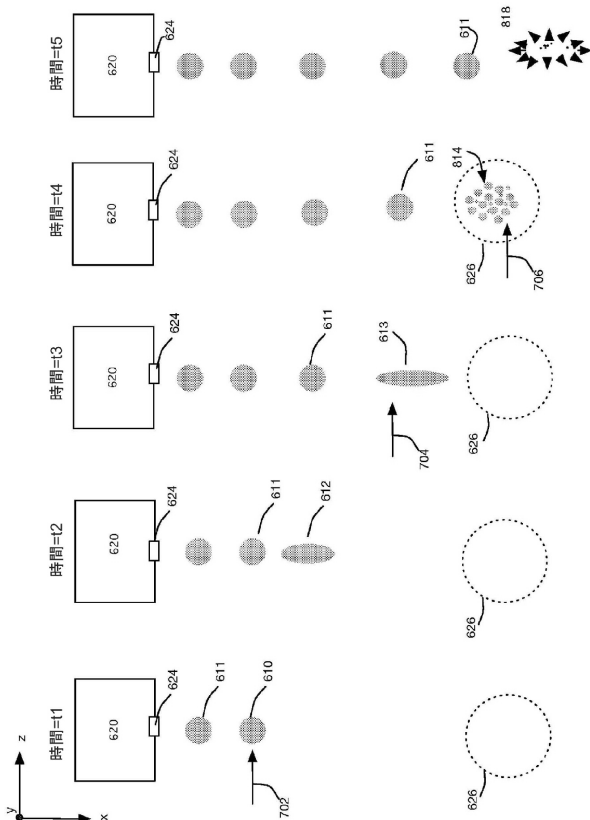
FIG. 6G

FIG. 6F

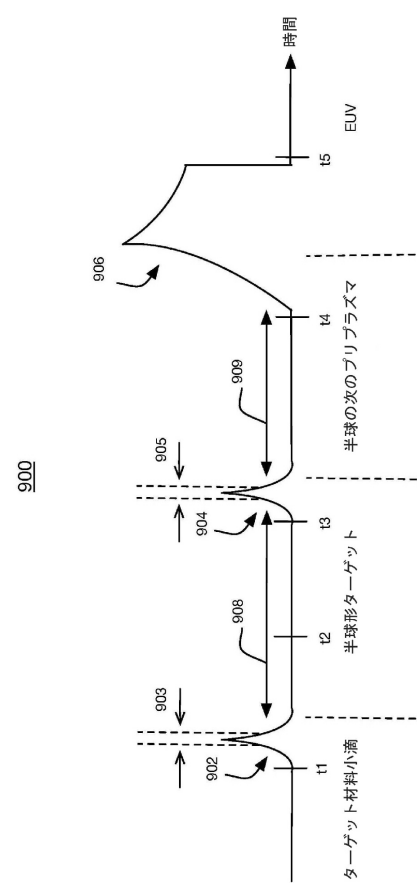
【図 7】



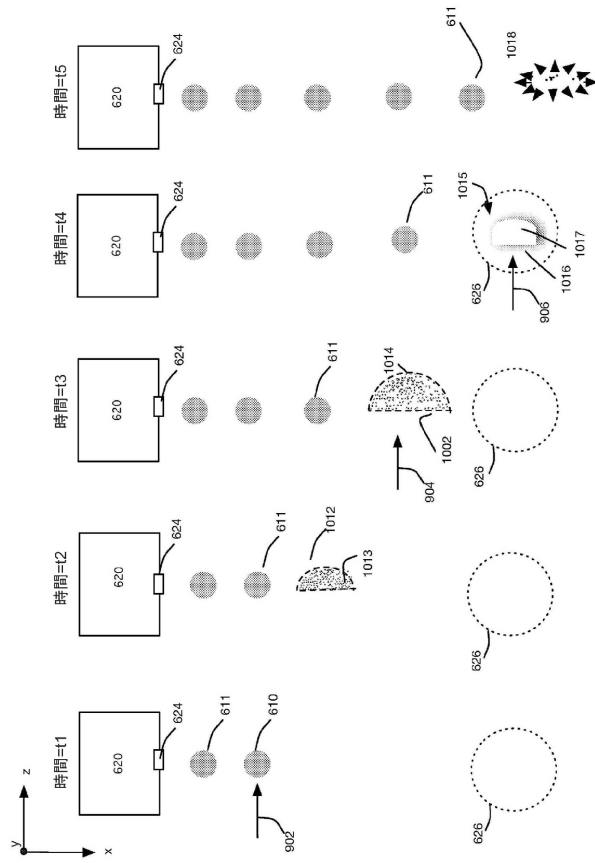
【図 8 A - E】



【図 9】



## 【図 10A - E】





---

フロントページの続き

(72)発明者 ラファック, ロバート ジェイ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 92127, サン ディエゴ, ソーンミント コート 17  
075

(72)発明者 タオ, イエジョン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 92127, サン ディエゴ, ソーンミント コート 17  
075

審査官 松岡 智也

(56)参考文献 特開2013-004258(JP, A)  
特開2006-303461(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H05G 1/00 - 2/00  
G03F7/20 - 7/24、9/00 - 9/02