

(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.

G03F 7/20 (2006.01)  
H05G 2/00 (2006.01)

F 1

G03F 7/20  
H05G 2/00503  
K

請求項の数 12 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2016-500295 (P2016-500295)  
 (86) (22) 出願日 平成26年2月18日 (2014.2.18)  
 (65) 公表番号 特表2016-512382 (P2016-512382A)  
 (43) 公表日 平成28年4月25日 (2016.4.25)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2014/016967  
 (87) 國際公開番号 WO2014/143504  
 (87) 國際公開日 平成26年9月18日 (2014.9.18)  
 審査請求日 平成29年1月31日 (2017.1.31)  
 (31) 優先権主張番号 13/830,461  
 (32) 優先日 平成25年3月14日 (2013.3.14)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 504151804  
 エーエスエムエル ネザーランズ ピー. ブイ.  
 オランダ国 ヴェルトホーフェン 550  
 O エーエイチ, ピー. オー. ボックス  
 324  
 (74) 代理人 100079108  
 弁理士 稲葉 良幸  
 (74) 代理人 100109346  
 弁理士 大貫 敏史  
 (74) 代理人 100117189  
 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、增幅光ビームを誘導するステップであって、前記增幅光ビームが、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、前記吸收材料が、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、前記吸收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、10μmの波長、40nsのパルス持続時間及び20mJ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、1μmの波長、10nsのパルス持続時間及び5mJ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、10μmの波長、20～70nsのパルス持続時間及び15～60mJ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、1～10μmの波長、10nsのパルス持続時間及び1～10mJ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】**

前記增幅光ビームが光パルスを含み、前記增幅光ビームが前記吸收材料に向かって誘導された後25μs以内に後続の光パルスが第2吸收材料に向かって誘導され、及び、前記第2吸收材料が、前記吸收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、

增幅光ビーム、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、

前記增幅光ビーム、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、前記增幅光ビーム、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、

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、

前記增幅光ビームが、前記吸收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、

前記增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ソースが前記增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、前記增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 1 2】

前記第1ソースがCO<sub>2</sub>レーザを含み、前記增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50nm以下の波長を有する電磁放射（軟X線と呼ばれることがある）及び約13nm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、流れ又はクラスターの形態のターゲット材料に、ドライブレーザと呼ぶことができる增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機器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增幅光ビームを誘導することであって、增幅光ビームが、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、10μmの波長、40nsのパルス持続時間及び20mJ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、1μmの波長、10nsのパルス持続時間及び5mJ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、10μmの波長、20～70ns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 μm 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 μm 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 μm 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 μs 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 μs 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。

【0021】

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】

【0022】

【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プロック図である。

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

【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10A】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10B】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10C】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10D】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10E】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。

【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】

図1A及び図1B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ます。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、例えば液体又は溶融金属の小滴、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ます。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ます。例えば、ターゲット物質は元素のスズとことができ、これは純粋なスズ（Sn）として、スズ化合物、例えば、SnBr<sub>4</sub>、SnBr<sub>2</sub>、SnH<sub>4</sub>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、溶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。

【0025】

図1A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1Bは、図1A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。

【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

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、增幅光ビーム 8 の表示も示す。增幅光ビーム 8 は、主ビーム又は主パルスと呼ぶことができる。增幅光ビーム 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 と增幅光ビーム 8 とは、第 2 遅延時間 1 3 だけ時間的に分離され、增幅光ビーム 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 との相互作用について説明する。

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、例えば液体又は溶融金属の円板、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ます。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 つの効果を有することができる。

【 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でき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すぎることがある。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 光を遮断することができる。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、增幅光ビーム 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ます。プリプラズマは、（プリパルス 7 又は增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、球形ボリュー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（50 kHz ~ 100 kHz）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ます。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 5 5 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 6 0 の例示的なプロットを示す。波形 6 0 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 6 1 及び 6 2 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 6 1 及び 6 2 は、EUV 光源の繰り返し率の逆数である時間 6 4 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 6 1 と 6 2 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 とすることができます。

【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。

【0040】

図 2 A、図 2 B 及び図 3 A ~ 図 3 C は、ターゲット 5 5 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 1 0 0 は、ターゲット位置 1 0 5 にあるターゲット混合物 1 1 4 に、ビーム経路に沿ってターゲット混合物 1 1 4 に向かって進行する增幅光ビーム 1 1 0 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 1 0 5 は、真空チャンバ 1 3 0 の内部 1 0 7 にある。增幅光ビーム 1 1 0 がターゲット混合物 1 1 4 に当たると、ターゲット混合物 1 1 4 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 1 1 4 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。

【0042】

光源 1 0 0 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 1 1 4 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 1 2 5 も含む。ターゲット混合物 1 1 4 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 1 1 4 は、ターゲット材料デリバリシステム 1 2 5 によってチャンバ 1 3 0 の内部 1 0 7 に及びターゲット位置 1 0 5 に送出される。

【0043】

光源 1 0 0 は、レーザシステム 1 1 5 の 1 以上の利得媒体内の反転分布により、增幅光ビーム 1 1 0 を生成するドライブレーザシステム 1 1 5 を含む。光源 1 0 0 は、レーザシステム 1 1 5 とターゲット位置 1 0 5 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 1 2 0 と、焦点アセンブリ 1 2 2 と、を含む。

10

20

30

40

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。

10

【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。

20

【0046】

30

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。

40

【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ます。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ァクシス放物線ミラーとすることができる。空間フィルタ

50

187は、アパー・チャ197がドライプレーザシステム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とするアパー・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次焦点を有する橢円面鏡とすることができる、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を含むことができる、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る、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ーシステム124を含む。他の実施態様では、メトロロジーシステム124はビーム輸送システム120内に配置される。メトロロジーシステム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ーシステム 124 及び主制御装置 155 から形成される。なぜなら、主制御装置 155 が、ガイドレーザ 175 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 158 を通して焦点アセンブリ 122 内のコンポーネントを調整するからである。

【0054】

要約すると、このように光源 100 は増幅光ビーム 110 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 105 にてターゲット混合物 114 を照射し、混合物 114 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 110 は、レーザシステム 115 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 110 は、ターゲット材料がコピ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 115 に提供した場合、又はドライブレーザシステム 115 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。

【0055】

図 3A を参照すると、例示的な光学的撮像システム 300 の上面図が示されている。光学的撮像システム 300 は、EUV 光をリソグラフィツール 310 に提供する LPP EUV 光源 305 を含む。光源 305 は、図 2A 及び図 2B の光源 100 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 55 を光源 305 内で使用して、光源 305 によって射出される光の量を増加させることができる。

【0056】

光源 305 は、ドライブレーザシステム 315 と、光学要素 322 と、プリパルス光源 324 と、集束アセンブリ 326 と、真空チャンバ 340 と、EUV 集光光学系 346 と、を含む。EUV 集光光学系 346 は、ターゲット 55 によって射出された EUV 光をリソグラフィツール 310 へと誘導する。EUV 集光光学系 346 は、図 2A のコレクタミラー 135 とすることができます。

【0057】

ドライブレーザシステム 315 は増幅光ビーム 316 を生成する。増幅光ビーム 316 は、図 1A ~ 図 1C の増幅光ビーム 18 と同様とすることができます、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 316 は、ターゲット 55 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。

【0058】

プリパルス光源 324 は、放射パルス 317 及び 318 を射出する。放射パルス 317 及び 318 は、図 1B の第 1 プリパルス 6 及び第 2 プリパルス 7 と同様のものとすることができます。プリパルス光源 324 は、例えば 50 kHz の繰り返し率で動作する Qスイッチ Nd : YAG レーザとすることができます、放射パルス 317 及び 318 は、1.06 μm の波長を有する Nd : YAG レーザからのパルスとすることができます。プリパルス光源 324 の繰り返し率は、プリパルス光源 324 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 324 が 50 kHz の繰り返し率を有する場合、放射パルス 317 は光源 324 から 20 マイクロ秒 (μs) 毎に射出される。

【0059】

プリパルス光源 324 として他の光源を使用することができます。例えば、プリパルス光源 324 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 : YAG 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ます。プリパルス光源 324 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ます。

【0060】

光学要素 322 は、増幅光ビーム 316 、及びプリパルス光源 324 からの放射パルス 317 及び 318 をチャンバ 340 へと誘導する。光学要素 322 は、増幅光ビーム 316 及び放射パルス 317 及び 318 を同様の経路に沿って誘導し、増幅光ビーム 316 及

10

20

30

40

50

び放射パルス 317 及び 318 をチャンバ 340 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 322 は、增幅光ビーム 316 を受けて、チャンバ 340 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 322 は、放射パルス 317 及び 318 を受けて、パルスを光学チャンバ 340 へと伝送する。ダイクロイックビームスプリッタは、增幅光ビーム 316 の波長を反射し、放射パルス 317 及び 318 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。

#### 【 0061 】

他の実施態様では、光学要素 322 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、增幅光ビーム 316 は、ミラー表面で反射して、チャンバ 340 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 340 へと伝播する。

10

#### 【 0062 】

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 316、プリパルス 317、及びプリパルス 318 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 322 に追加して使用することができる、又は光学要素 322 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 326 の（「z」方向で）すぐ上流に位置決めすることができる。

#### 【 0063 】

さらに、パルス 317 及び 318 は他の方法でチャンバ 340 に送出することができる。例えばパルス 317 及び 318 は、光学要素 322 又は他の誘導要素を使用せずに、パルス 317 及び 318 をチャンバ 340 に送出する光ファイバ及び／又は集束アセンブリ 326 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 317 及び 318 を、チャンバ 340 の壁に形成された開口を通してチャンバ 340 の内部へと直接搬送する。

20

#### 【 0064 】

図 3 A の例に戻ると、ドライブレーザシステム 315 からの増幅光ビーム 316 は、光学要素 322 で反射し、集束アセンブリ 326 を通して伝播する。集束アセンブリ 326 は、増幅光ビーム 316 をターゲット位置 342 に集束させる。放射パルス 317 及び 318 は、光学要素 322 を通過し、集束アセンブリ 326 を通してチャンバ 340 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 316、放射パルス 317 及び放射パルス 318 はそれぞれ、「x」方向に沿ってチャンバ 340 内の異なる位置に誘導される。

30

#### 【 0065 】

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 342 へと放出するターゲット材料供給装置 347 の上面図が示されている。流れは小滴 348 a 及び 348 b を含む。ターゲット位置 342 は、増幅光ビーム 316 を受ける位置であり、また、EUV 集光光学系 346 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 340 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 340 を示し、図 3 C は、 $t = t_2$  の後に生じる  $t = t_3$  の時点におけるチャンバ 340 を示す。

40

#### 【 0066 】

増幅光ビーム 316 及び放射パルス 317 及び 318 はそれぞれ、異なる時にチャンバ 340 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 342 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 55 に変換中のターゲット材料小滴（ターゲット材料小滴 348 a）の例を示す。時間 =  $t_1$ （図 3 B）では、放射パルス状ビーム 317 が、ターゲット位置 342 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 348 a を照射する。放射パルス状ビーム 317 は、ターゲット材料小滴 348 b を中間ターゲット 51 に変形させる。時間 =  $t_2$ （図 3 C）では、中間ターゲット 51 が「x」方向にターゲット位置 342 へと近づいており、ターゲット位置 342 に対して「-x」方

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ます、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ます。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ます。例えば、パルス317は、10.6 μmの波長を有し、CO<sub>2</sub>レーザによって生成されることができ、パルス318は、1.06 μm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ます。

10

#### 【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ます。例えば、ドライブレーザシステムは、2つのCO<sub>2</sub>シードレーザサブシステムと、1つの増幅器と、を含むすることができます。シードレーザサブシステムの一方は、10.26 μmの波長を有する増幅光ビームを生成することができます、他方のシードレーザサブシステムは、10.59 μmの波長を有する増幅光ビームを生成することができます。これらの2つの波長は、CO<sub>2</sub>レーザの異なる線に由来することがある。他の例では、CO<sub>2</sub>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ます。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 μm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ます、波長が10.59 μm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ます。

20

#### 【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ます。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ます、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。

30

#### 【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ます。

#### 【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ます。第1放射パルスは、少なくとも1nsの持続時間を持つことができ、例えば第1放射パルスは、1~100nsの持続時間及び1μm又は10 μmの波長を有することができます。一例では、第1放射パルスは、15~60mJのエネルギー、20~70nsのパルス持続時間及び1~10 μmの波長を有するレーザパルスとすることができます。ある例では、第1放射パルスは、1ns未満の持続時間を持つことができる。例えば、第1放射パルスは、300ps以下、100ps以下、100ps~300psの間、又は10ps~100psの間の持続時間を持つことができる。

40

#### 【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)とすることができます。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)とすることができます。ターゲ

50

ット材料小滴 5 0 は、スズ又はプラズマに変換された場合に E U V を発する任意の他の材料などの溶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 5 0 が第 1 プリパルス 6 に当たることにより形成された溶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る、これは約 1 ~ 3 マイクロ秒 (  $\mu$  s ) 後に膨張して円板形状の溶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 5 1 と見なすことができる。図 6 C 及び図 8 C は、円板形状の例示的な中間ターゲット 6 1 3 を示す。

【 0 0 7 3 】

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 1 n s 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 10 C は、半球形状を有する例示的な中間ターゲット 1 0 1 4 を示す。図 10 C に示す例では、中間ターゲット 1 0 1 4 は、溶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。

【 0 0 7 4 】

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 ( 4 2 0 )。吸収材料は、增幅光ビームを受けて、( 増幅光ビームとターゲット 5 5 との相互作用による電離によって ) E U V 光を発するプラズマへと変換するターゲット 5 5 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、( 4 2 0 ) 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。

【 0 0 7 5 】

第 2 放射パルスは、少なくとも 1 n s の持続時間及び 1 ~ 1 0 m J 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 1 0 n s の持続時間及び 5 m J 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 . 0 6  $\mu$  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 1 B ) 又は放射パルス 3 1 8 ( 図 3 A ~ 図 3 D ) とすることができる。

【 0 0 7 6 】

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 5 5 など ) は、ターゲット 5 5 を E U V 光の生成に好ましいものにする物理特性を有する。

【 0 0 7 7 】

一例では、中間ターゲット 5 1 は、ターゲット材料小滴 5 0 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溶融スズの円板である。中間ターゲット 5 1 は、ターゲット材料小滴 5 0 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 5 1 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 5 1 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 5 0 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、增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 E U V 光の生成量の増加につながることができる。図 7 は、中間ターゲット 5 1 を、ターゲット材料のフラグメントを含むターゲット 5 5 へと変形させる第 2 放射パルスの例を示す。

【 0 0 7 8 】

別の例では、中間ターゲット 5 1 は、これもターゲット材料小滴より薄く、幅広い溶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 5 1 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 5 1 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

10

20

30

40

50

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形させる様子を示す。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 μ m 又は 1 0 . 6 μ 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 μ 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 ( μ s ) とすることができます。

【 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ます。

【 0 0 8 5 】

図 6 A ~ 図 6 E は、 5 つの異なる時間  $t_1$  ~  $t_5$  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 610 の前にノズル 624 から放出される。図 6 A ~ 図 6 E は、ターゲット材料小滴 610 が、增幅光ビーム 506 に当たると E U V 光を発するターゲット 614 に変形している様子を示す。

【 0086 】

図 6 A を参照すると、ターゲット材料小滴 610 が第 1 プリパルス 502 に当たっている。図 6 B に示すように。第 1 プリパルス 502 が衝突すると、ターゲット材料小滴 610 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 612 内に広げる。細長いセグメント 612 は円板様の形状を有することができ、細長いセグメント 612 は溶融ターゲット材料とすることができます。ターゲット材料の細長いセグメント 612 は、ターゲット位置 626 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 612 は、1 ~ 3  $\mu$  s ( 遅延時間 508 ) の間、膨張する。 10

【 0087 】

図 6 C を参照すると、第 1 プリパルス 502 がターゲット材料小滴 610 に当たってから 1 ~ 3  $\mu$  s 後である時間  $t_3$  にて、長円形の材料 612 は、ターゲット位置 626 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 613 になる。また図 6 F を参照すると、中間ターゲット 613 は幅 632 及び厚さ 630 を有する。中間ターゲット 613 の厚さ 630 は幅より小さい。図 6 C 及び図 6 F に示す例では、幅 632 は「x」方向にあり、厚さ 630 は「y」方向にあって、幅 632 は、第 2 プリパルス 504 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 613 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 613 は、第 2 プリパルス 504 の伝播方向に対して 45° の角度を付けることができる。中間ターゲット 613 が第 2 プリパルス 504 の経路に対して角度がある場合でも、プリパルス 504 の伝播方向に沿って測定した中間ターゲット 613 の厚さ 631 は、中間ターゲット 613 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 504 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 610 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

【 0088 】

図 6 D を参照すると、第 2 プリパルス 504 と中間ターゲット 613 との相互作用がターゲット 614 を形成する。相互作用は、バルクターゲット材料 616 に近いプリプラズマ 615 を生成する。バルクターゲット材料 616 は、ターゲット材料とすることができます、溶融金属とすることができます。プリプラズマ 615 は、遅延時間 509 にわたって膨張することができ、膨張したプラズマ 615 及びバルクターゲット材料 616 がターゲット 614 を形成する。時間  $t_4$  にて、ターゲット 614 はターゲット位置 626 に到達する。 30

【 0089 】

さらに詳細に述べると、第 2 プリパルス 504 は、中間ターゲット 613 の表面に衝突し、表面を加熱して、プリプラズマ 615 を形成する。中間ターゲット 613 はプリパルス 504 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 615 が、バルク材料 616 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 615 が 1 ~ 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 616 をまとめてターゲット 614 と呼ぶ。增幅光ビーム 8 は、プリプラズマ 615 が吹き飛ぶか散逸する前に、ターゲット 614 に到達する。例えば、增幅光ビーム 8 は、第 2 プリパルス 504 が中間ターゲット 613 に当たった 10 ~ 100 ns 又は 1 ~ 200 ns 後に到達することができる。增幅光ビーム 506 が到達したときにプリプラズマ 615 が存在するので、增幅光ビーム 506 は、下にあるバルクターゲット材料 616 に届く前にプリプラズマ 615 に遭遇する。下にあるバルクターゲット材料 616 と比較して、プリプラズマ 615 は反射性が低く、より容易に增幅光ビーム 506 を吸収する。従って、プリプラズマ 615 が存在することにより、增幅光ビーム 506 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、增幅光ビーム 506 がバルクターゲット材料 616 に直接衝突する。この場合、增幅光ビーム 8 は、金属表面に遭遇して、大部分が反射し、少量の增幅光ビーム 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 ~ 20 ns 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 ~ 20 ns に鋭い前縁を有する。增幅光ビーム 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 ~ 20 ns 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できる前に、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、增幅光ビーム 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。

## 【0091】

図 6 E を参照すると、增幅光ビーム 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 8 A ~ 図 8 E 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 8 A ~ 図 8 E 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。

## 【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 ~ 70 ns であるパルス持続時間 703 及び 17 ~ 60 mJ のエネルギーを有する。第 1 プリパルス 702 は、1 μm 又は 10.6 μm 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 40 ns であり、エネルギーは 20 mJ である。第 2 プリパルス 704 は、1 ~ 10 ns であるパルス持続時間 705 及び 1 ~ 10 mJ のエネルギーを有する。第 2 プリパルス 704 は 1.06 μm 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 10 ns であり、第 2 プリパルスのエネルギーは 5 mJ である。別の例では、第 2 プリパルス 703 の持続時間 705 は 10 ns であり、第 2 プリパルスのエネルギーは 10 mJ である。

## 【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(μs) とすることができます。

## 【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(μs) とすることができます。

## 【0096】

図 8 A ~ 図 8 E 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 8 A から右側の図 8 E へと経過する。図 8 A ~ 図 8 C は、図

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 613 を生成する。図 8 D はターゲット 814 の生成を示す。ターゲット 814 は、中間ターゲット 613 を第 2 プリパルス 704 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 704 が衝突すると、中間ターゲット 613 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 613 より小さい。

【0097】

中間ターゲット 613 が破壊されてフラグメントになると、增幅光ビーム 706 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 613 は薄いので、第 2 プリパルス 704 は、ターゲット材料小滴 610 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。

10

【0098】

ターゲット 814 は、ターゲット位置 626 に到達して、增幅光ビームを受け取る。E UV 光 818 が生成される。

【0099】

図 9 を参照すると、ターゲット材料小滴を、E UV 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 900 のプロットが示されている。図 10 A ~ 図 10 E は、波形 900 が、ターゲット材料小滴を、E UV 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 10 A ~ 図 10 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。

20

【0100】

波形 900 は、第 1 プリパルス 902 の表示、第 2 プリパルス 904 の表示及び增幅光ビーム 906 の表示を示す。第 1 プリパルス 902 は 1 ns 未満のパルス持続時間 903 を有する。例えば、第 1 プリパルス 902 は 1.06 μm の波長、300 ps 以内のパルス持続時間及び 1 mJ ~ 10 mJ 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 100 ps ~ 300 ps の持続時間、1.06 μm の波長、及び 1 mJ ~ 10 mJ 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 902 は 150 ps の持続時間、1.06 μm の波長及び 5 mJ のエネルギーを有する。

【0101】

30

第 2 プリパルス 904 は、1 ~ 10 ns であるパルス持続時間 905 及び 1 ~ 10 mJ のエネルギーを有する。第 2 プリパルス 904 は 1.06 μm の波長を有する。一例では、第 2 プリパルス 903 の持続時間 905 は 10 ns であり、第 2 プリパルスのエネルギーは 5 mJ である。別の例では、第 2 プリパルス 903 の持続時間 905 は 10 ns であり、第 2 プリパルスのエネルギーは 10 mJ である。

【0102】

第 1 プリパルス 902 及び第 2 プリパルス 904 は、時間的に遅延時間 908 だけ分離され、第 2 プリパルス 904 が第 1 プリパルス 902 の後に生じる。遅延時間 908 は、第 1 プリパルス 902 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 908 は約 1000 ns とすることができる。遅延時間 909 は、第 2 プリパルス 904 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 909 は 10 ~ 100 ナノ秒 (ns) 又は 1 ~ 200 ns とすることができる。

40

【0103】

図 10 A ~ 図 10 E 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 10 A から右側の図 10 E へと経過する。第 1 プリパルス 902 がターゲット材料小滴 610 を照射して、半球形のボリューム 1012 を形成する。半球形ボリューム 1012 は、半球形の空間全体に分散した粒子 1013 の霧又は集合である。粒子 1013 は、第 2 プリパルス 904 に面する表面 1002 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 1012 によって吸収される

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、半球形の中間ターゲット 1014 を形成する。

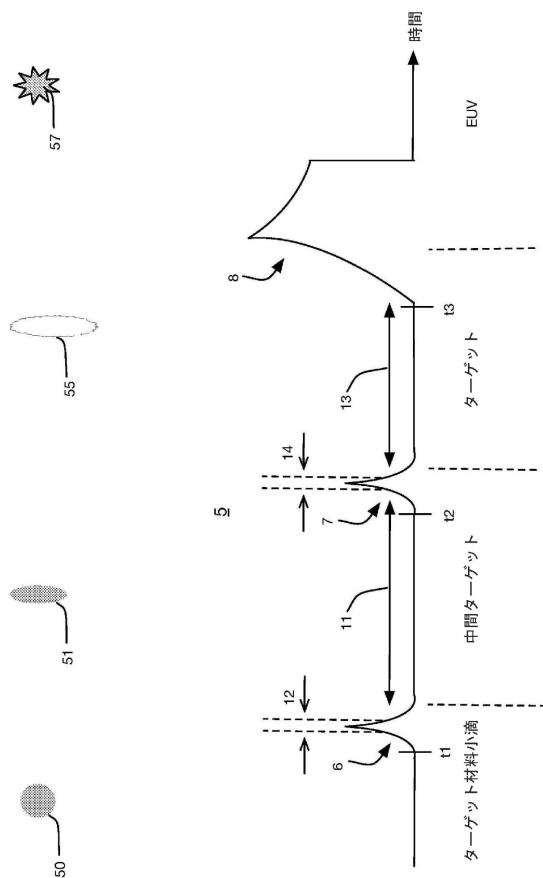
【0104】

第 2 プリパルス 904 は、半球形の中間ターゲット 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。增幅光ビーム 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。

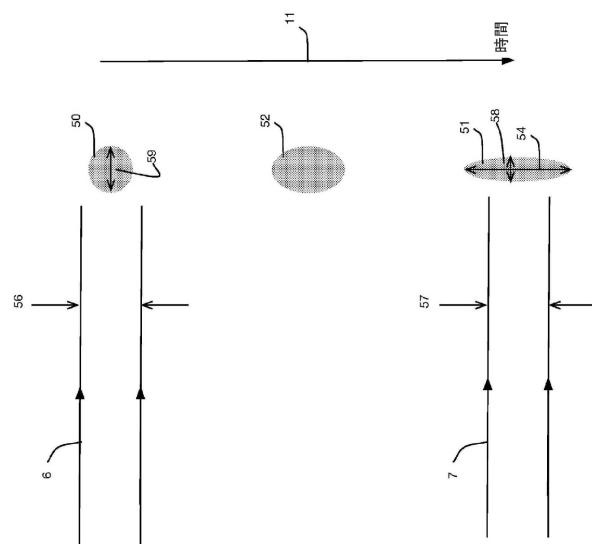
【0105】

他の実施態様も添付の請求の範囲に入る。例えば、円板形状の中間ターゲット 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。

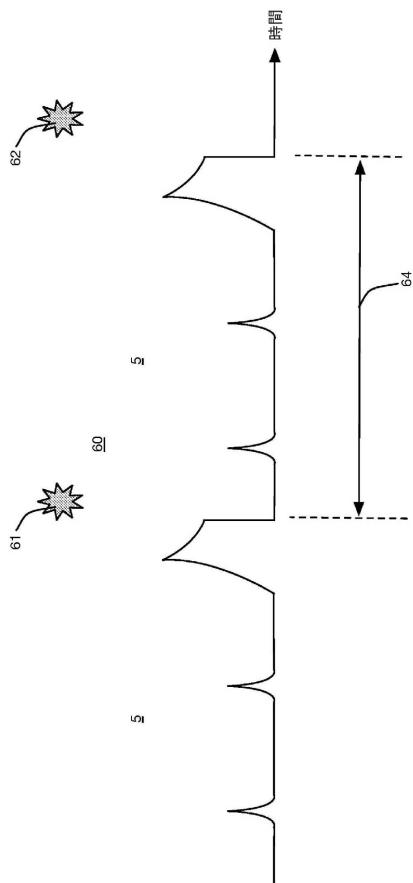
【図 1 A - B】



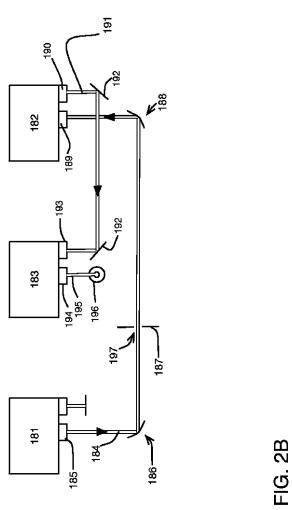
【図 1 C】



### 【図 1 D】



## 【図2B】



【図2A】

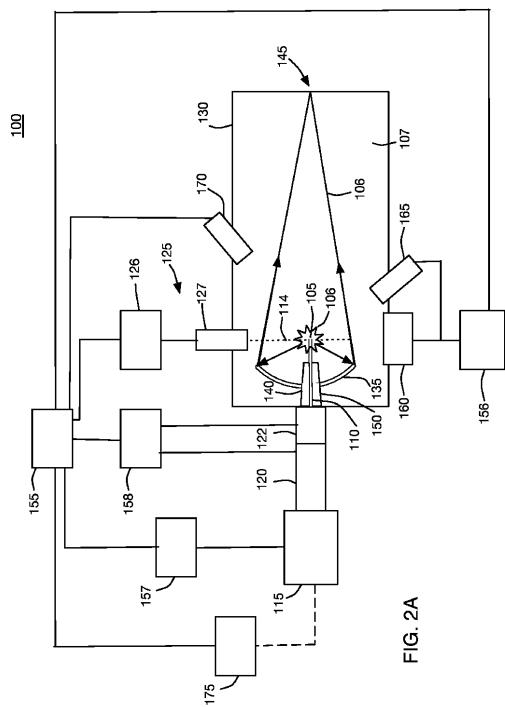


FIG. 2A

### 【図3A】

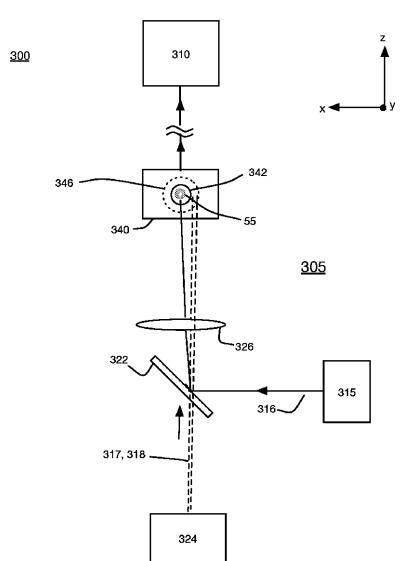
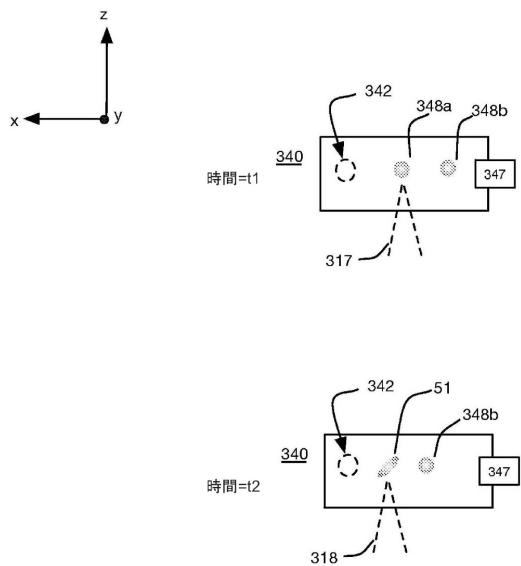
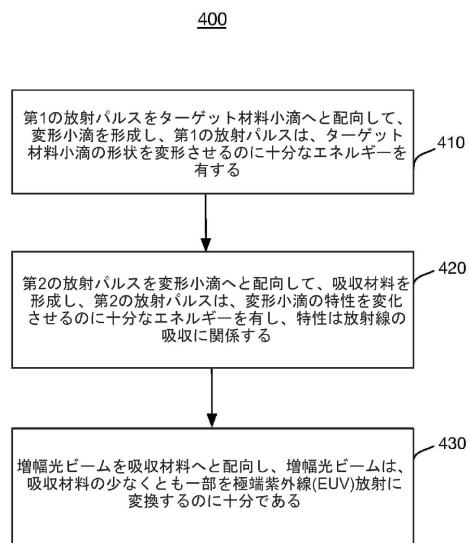


FIG. 3A

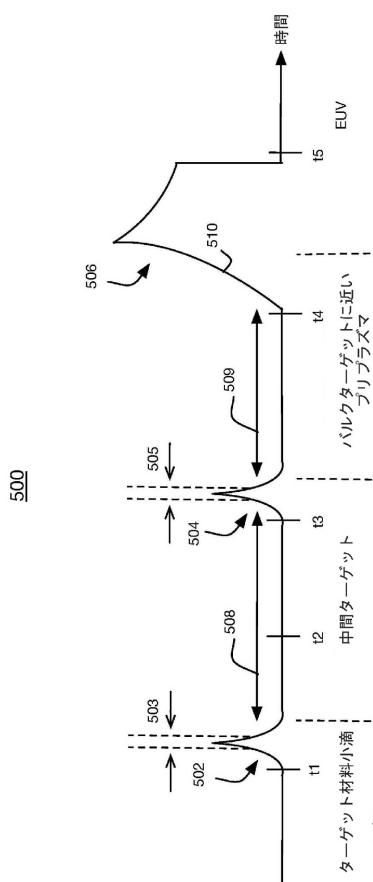
【図3B-D】



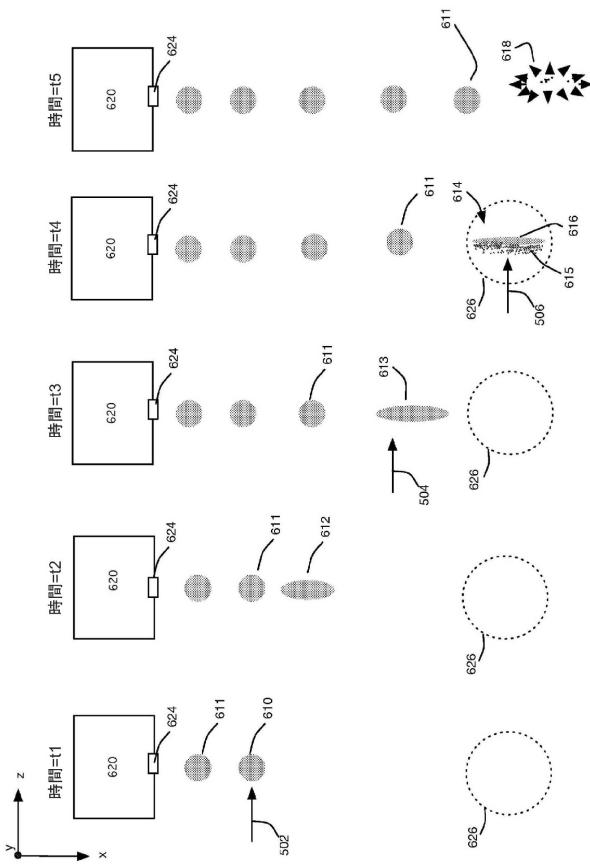
【図4】



【図5】



【図6A-E】



【図 6 F - G】

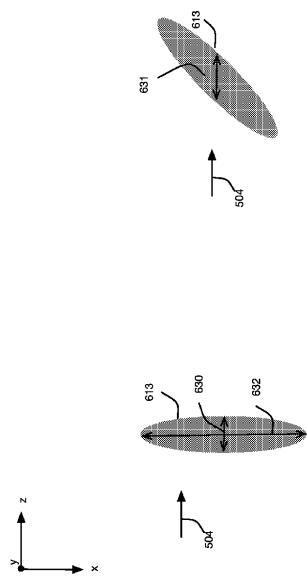
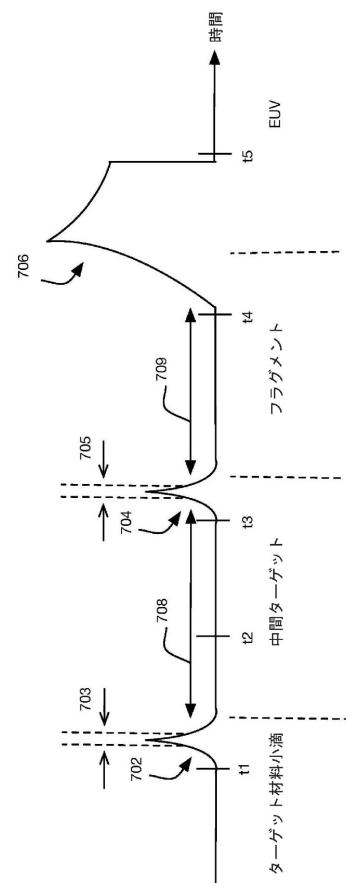


FIG. 6G

【図 7】



700

900

EUV

t4

t5

t6

t7

t8

t9

t10

t11

t12

t13

t14

t15

【図 8 A - E】

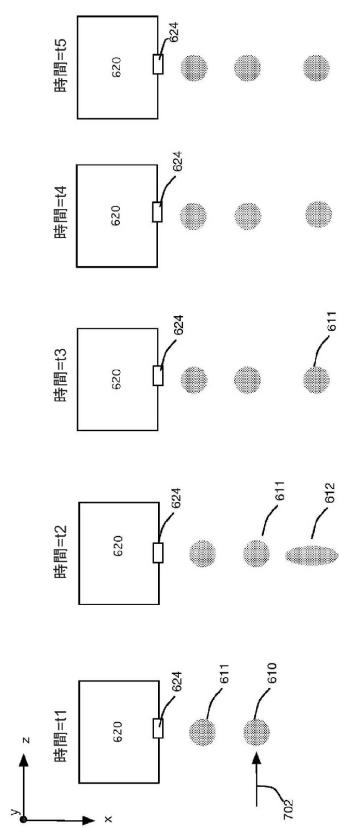
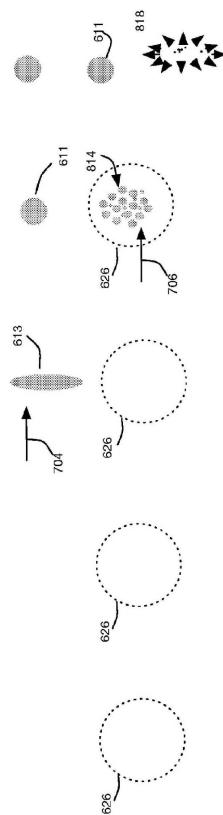


FIG. 6F

【図 9】



700

900

EUV

t4

t5

t6

t8

t9

t10

t11

t12

t13

t14

t15

t16

t17

t18

t19

t20

t21

t22

t23

t24

t25

t26

t27

t28

t29

t30

t31

t32

t33

t34

t35

t36

t37

t38

t39

t40

t41

t42

t43

t44

t45

t46

t47

t48

t49

t50

t51

t52

t53

t54

t55

t56

t57

t58

t59

t60

t61

t62

t63

t64

t65

t66

t67

t68

t69

t70

t71

t72

t73

t74

t75

t76

t77

t78

t79

t80

t81

t82

t83

t84

t85

t86

t87

t88

t89

t90

t91

t92

t93

ターゲット材  
料小滴

t1

t2

t3

t4

t5

t6

t7

t8

t9

t10

t11

t12

t13

t14

t15

t16

t17

t18

t19

t20

t21

t22

t23

t24

t25

t26

t27

t28

t29

t30

t31

t32

t33

t34

t35

t36

t37

t38

t39

t40

t41

t42

t43

t44

t45

t46

半球形ターゲット

t1

t2

t3

t4

t5

t6

t7

t8

t9

t10

t11

t12

t13

t14

t15

t16

t17

t18

t19

t20

t21

t22

t23

t24

t25

t26

t27

t28

t29

t30

t31

t32

t33

t34

t35

t36

t37

t38

t39

t40

t41

t42

t43

t44

t45

t46

t47

t48

t49

t50

ターゲット材  
料小滴

t1

t2

t3

t4

t5

t6

t7

t8

t9

t10

t11

t12

t13

t14

t15

t16

t17

t18

t19

t20

t21

t22

t23

t24

t25

t26

t27

t28

t29

t30

t31

t32

t33

t34

t35

t36

t37

t38

t39

t40

t41

t42

t43

ターゲット材  
料小滴

t1

t2

t3

t4

t5

t6

t7

t8

t9

t10

t11

t12

t13

t14

t15

t16

t17

t18

t19

t20

t21

t22

t23

t24

t25

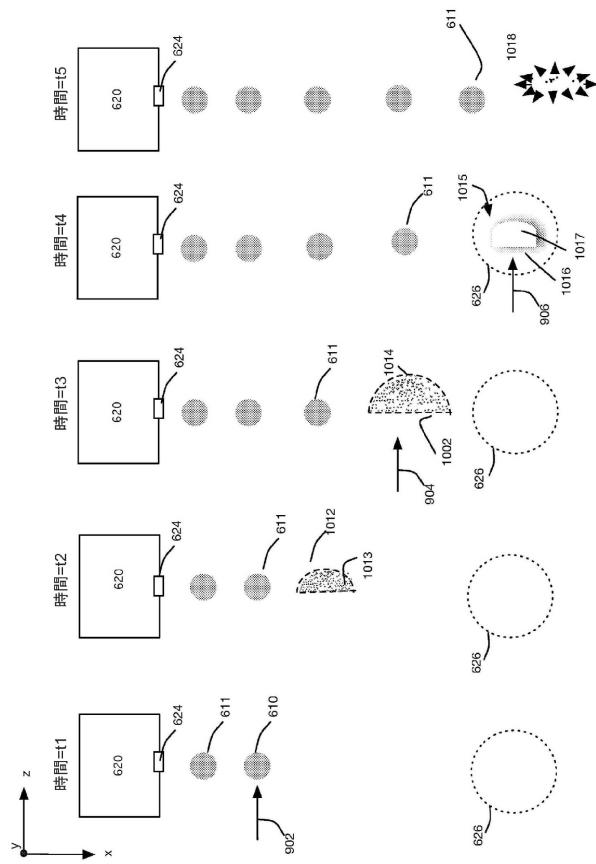
t26

t27

t28

t29

【図 10 A - 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 デイエゴ, 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 デイエゴ, 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  
G03F 7/20 - 7/24, 9/00 - 9/02