

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6744397号  
(P6744397)

(45) 発行日 令和2年8月19日 (2020.8.19)

(24) 登録日 令和2年8月3日 (2020.8.3)

(51) Int. Cl.	F I				
G O 3 F 7/20 (2006.01)	G O 3 F 7/20	5 O 3			
H O 5 G 2/00 (2006.01)	H O 5 G 2/00	K			
H O 1 S 3/00 (2006.01)	G O 3 F 7/20	5 2 1			
H O 1 S 3/10 (2006.01)	H O 1 S 3/00	A			
H O 1 S 3/23 (2006.01)	H O 1 S 3/00	G			
請求項の数 15 (全 35 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号	特願2018-506293 (P2018-506293)	(73) 特許権者	504151804
(86) (22) 出願日	平成28年8月10日 (2016.8.10)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー、
(65) 公表番号	特表2018-532138 (P2018-532138A)		ブイ、
(43) 公表日	平成30年11月1日 (2018.11.1)		オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/046301		4 ディー アール、デ ラン 6501
(87) 国際公開番号	W02017/027566	(74) 代理人	100079108
(87) 国際公開日	平成29年2月16日 (2017.2.16)		弁理士 稲葉 良幸
審査請求日	令和1年7月12日 (2019.7.12)	(74) 代理人	100109346
(31) 優先権主張番号	14/824, 141		弁理士 大貫 敏史
(32) 優先日	平成27年8月12日 (2015.8.12)	(74) 代理人	100117189
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		弁理士 江口 昭彦
(31) 優先権主張番号	14/824, 147	(74) 代理人	100134120
(32) 優先日	平成27年8月12日 (2015.8.12)		弁理士 内藤 和彦
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 極端紫外光源におけるターゲット膨張率制御

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマに変換されたときに極端紫外線 (EUV) 光を放出する成分を含むターゲット材料を提供すること、

第1の放射ビームを前記ターゲット材料の方に誘導してエネルギーを前記ターゲット材料へと送出し、前記ターゲット材料の幾何分布を修正して修正されたターゲットを形成すること、

前記ターゲット材料へと前記第1の放射ビームを誘導した直後に、前記修正されたターゲットの少なくとも一部をEUV光を放出するプラズマに変換する第2の放射ビームを、前記修正されたターゲットの方に誘導すること、

前記ターゲット材料および前記修正されたターゲットの一又は複数と、前記第1の放射ビームとの間の相互作用に関連する一又は複数の特性を測定すること、及び

前記第1の放射ビームから前記ターゲット材料に送出される放射露光の量を、前記一又は複数の測定された特性に基づいて所定のエネルギーの範囲内に制御すること、を備える、

方法。

【請求項 2】

前記ターゲット材料および前記修正されたターゲットの一又は複数と、前記第1の放射ビームとの間の相互作用に関連する前記一又は複数の特性を測定することは、第1の放射ビームのエネルギーを測定することを備える、請求項1に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記第 1 の放射ビームの前記エネルギーを測定することは、前記ターゲット材料の光反射面から反射された前記第 1 の放射ビームの前記エネルギーを測定すること、又は、前記ターゲット材料の方に誘導される前記第 1 の放射ビームのエネルギーを測定することを備える、請求項 2 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記第 1 の放射ビームの前記エネルギーを測定することは、前記第 1 の放射ビームの伝搬の方向に垂直な方向を横切って空間的に積分されたエネルギーを測定することを備える、請求項 2 に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記第 1 の放射ビームを前記ターゲット材料の方に誘導することは、前記ターゲット材料を前記第 1 の放射ビームの共焦点パラメータを包含するエリアと重ね合わせることを備える、請求項 4 に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記ターゲット材料と前記修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する前記一又は複数の特性を測定することは、ターゲット位置に対する前記ターゲット材料の位置を測定することを備える、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記ターゲット材料と前記修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する前記一又は複数の特性を測定することは、

前記第 2 の放射ビームが前記修正されたターゲットの少なくとも一部をプラズマに変換する前の前記修正されたターゲットの大きさを検出すること、及び

前記修正されたターゲットの膨張率を推定すること、  
のうち一又は複数を備える、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 8】**

前記第 1 の放射ビームから前記ターゲット材料に送出される前記放射露光の量を前記一又は複数の測定された特性に基づいて制御することは、前記修正されたターゲットの膨張率を制御することを備える、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記第 1 の放射ビームから前記ターゲット材料に送出される前記放射露光の量を前記一又は複数の測定された特性に基づいて制御することは、前記第 1 の放射ビームの特徴が前記一又は複数の測定された特性に基づいて調整されるべきかどうかを決定することを備える、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 10】**

第 1 の放射ビームを受信する初期ターゲットロケーションと第 2 の放射ビームを受信するターゲットロケーションとを定義するチャンバと、

プラズマに変換されたときに極端紫外線 (EUV) 光を放出する材料を含むターゲット材料を前記初期ターゲットロケーションに提供するように構成されたターゲット材料デリバリシステムと、

前記第 1 の放射ビーム及び前記第 2 の放射ビームを生成するように構成された光学源と、

前記第 1 の放射ビームを前記初期ターゲットロケーションの方に誘導してエネルギーを前記ターゲット材料へと送出し、前記ターゲット材料の幾何分布を修正して修正されたターゲットを形成するように、及び、

前記ターゲット材料へと前記第 1 の放射ビームを誘導した直後に、前記第 2 の放射ビームを前記ターゲットロケーションの方に誘導して、前記修正されたターゲットの少なくとも一部を EUV 光を放出するプラズマに変換するように構成された光操向システムと、

前記ターゲット材料および前記修正されたターゲットの一又は複数と、前記第 1 の放射ビームとの間の相互作用に関連する一又は複数の特性を測定する測定システムと、

前記ターゲット材料デリバリシステムと、前記光学源と、前記光操向システムと、前記

10

20

30

40

50

測定システムとに接続され、前記一又は複数の測定された特性を前記測定システムから受信するように、及び、一又は複数の信号を前記光学源に送信して、前記第1の放射ビームから前記ターゲット材料へと送出される放射露光の量を前記一又は複数の測定された特性に基づいて制御するように構成された制御システムと、  
を備える装置。

【請求項11】

前記光操向システムは、前記第1の放射ビームを前記初期ターゲットロケーション又はその付近に合焦させるように、及び、前記第2の放射ビームを前記ターゲットロケーション又はその付近に合焦させるように構成された合焦装置を備える、請求項10に記載の装置。

10

【請求項12】

ビーム調整システムをさらに備え、前記ビーム調整システムは前記光学源及び前記制御システムに接続されており、前記制御システムは、一又は複数の信号を前記光学源に送信して、一又は複数の信号を前記ビーム調整システムに送信することにより前記ターゲット材料に送出される前記エネルギーの量を制御するように構成されており、前記ビーム調整システムは、前記光学源の一又は複数の特徴を調整し、それによって前記ターゲット材料へと送出される前記エネルギーの量を維持するように構成されている、請求項10に記載の装置。

【請求項13】

前記ビーム調整システムは前記第1の放射ビームに結合されたパルス幅調整システムを備え、前記パルス幅調整システムは前記第1の放射ビームのパルスのパルス幅を調整するように構成されている、請求項12に記載の装置。

20

【請求項14】

前記ビーム調整システムは前記第1の放射ビームに結合されたパルスパワー調整システムを備え、前記パルスパワー調整システムは前記第1の放射ビームのパルス内の平均パワーを調整するように構成されている、請求項12に記載の装置。

【請求項15】

前記光学源は、  
前記第1の放射ビームが通過する第1組の一又は複数の光アンプを含む第1組の光学コンポーネントと、  
前記第2の放射ビームが通過する第2組の一又は複数の光アンプを含む第2組の光学コンポーネントと、  
を備える、請求項10に記載の装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、「TARGET EXPANSION RATE CONTROL IN AN EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT SOURCE」と題され2015年8月12日に提出された米国出願第14/824,141号、及び「STABILIZING EUV LIGHT POWER IN AN EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT SOURCE」と題され2015年8月12日に提出された米国出願第14/824,147号の利益を主張するものであり、両文献は参照により本明細書に組み込まれる。

40

【0002】

開示される主題は、レーザ生成プラズマ極端紫外光源のターゲット材料の膨張率を制御することに関する。

【背景技術】

【0003】

50

極端紫外線（EUV）光、例えば、約50nm以下の波長を有し（軟X線と称されることもある）、約13nmの波長の光を含む電磁放射が、フォトリソグラフィプロセスにおいて、基板、例えばシリコンウェーハに極めて小さなフィーチャを作製するために用いられ得る。

#### 【0004】

EUV光を生成する方法は、例えばキセノン、リチウム、又はスズといった、プラズマ状態でEUV領域に輝線を持つ元素を有する材料を変換することを含むが、必ずしもこれに限定されない。レーザ生成プラズマ（「LPP」）と呼ばれることの多い1つのそのような方法においては、必要とされるプラズマは、例えば材料の液滴、板、テープ、流れ、又はクラスタなどの形態をとるターゲット材料を、ドライブレザと称され得る増幅光ビームで照射することによって、生成可能である。このプロセスのため、プラズマは一般的に密閉容器、例えば真空チャンバ内で生成され、様々な種類のメトロロジ（計測）設備を用いて監視される。

#### 【発明の概要】

#### 【0005】

いくつかの一般的な態様において、ある方法は、プラズマに変換されたときに極端紫外線（EUV）光を放出する成分を含むターゲット材料を提供すること、第1の放射ビームをターゲット材料の方に誘導してエネルギーをターゲット材料へと送出し、ターゲット材料の幾何分布を修正して修正されたターゲットを形成すること、修正されたターゲットの少なくとも一部をEUV光を放出するプラズマに変換する第2の放射ビームを修正されたターゲットの方に誘導すること、ターゲット材料と第1の放射ビームに関して修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性を測定すること、及び、一又は複数の測定された第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光の量を特性に基づいて所定のエネルギーの範囲内に制御すること、を含む。

#### 【0006】

実装形態は以下の特徴のうち一又は複数を含み得る。例えば、ターゲット材料と修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性は、第1の放射ビームのエネルギーを測定することによって測定可能である。第1の放射ビームのエネルギーは、ターゲット材料の光反射面から反射された第1の放射ビームのエネルギーを測定することによって測定可能である。第1の放射ビームのエネルギーは、ターゲット材料の方に誘導される第1の放射ビームのエネルギーを測定することによって測定可能である。第1の放射ビームのエネルギーは、第1の放射ビームの伝搬の方向に垂直な方向を横切って空間的に積分されたエネルギーを測定することによって測定可能である。

#### 【0007】

第1の放射ビームは、ターゲット材料を第1の放射ビームの共焦点パラメータを包含するエリアと重ね合わせることによって、ターゲット材料の方に誘導可能である。共焦点パラメータは1.5mmよりも大きくてもよい。

#### 【0008】

ターゲット材料と修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性は、ターゲット位置に対するターゲット材料の位置を測定することによって測定可能である。ターゲット位置は第1の放射ビームのビームウエストと一致していてもよい。第1の放射ビームは第1のビーム軸に沿って誘導されてもよく、ターゲット材料の位置は第1のビーム軸に平行な方向に沿って測定可能である。ターゲット位置は、放出されたEUV光を収集するコレクタデバイスの主焦点に対して測定可能である。ターゲット材料の位置は、2つ以上の非平行の方向に沿ってターゲット材料の位置を測定することによって測定されてもよい。

#### 【0009】

ターゲット材料と修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性は、第2の放射ビームが修正されたターゲットの少なくとも一部をプラズマに変換する前に、修正されたターゲットの大きさを検出することによって測定可能である。ターゲッ

ト材料と修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性は、修正されたターゲットの膨張率を推定することによって測定可能である。

【0010】

第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光の量は、修正されたターゲットの膨張率を制御することによって制御可能である。

【0011】

第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光の量は、第1の放射ビームの特徴が一又は複数の測定された特性に基づいて調整されるべきかどうかを決定することによって制御可能である。第1の放射ビームの特徴が調整されるべきであるという決定は、一又は複数の特性が測定される間に行われ得る。

10

【0012】

第1の放射ビームの特徴が調整されるべきであると決定される場合には、第1の放射ビームのパルスのエネルギー含量とターゲット材料と相互作用する第1の放射ビームのエリアとのうち一又は複数が調整され得る。第1の放射ビームのパルスのエネルギー含量は、第1の放射ビームのパルス幅と、第1の放射ビームのパルスの持続時間と、第1の放射ビームのパルス内の平均パワーとのうち一又は複数を調整することによって調整可能である。

【0013】

第1の放射ビームは、第1の放射のパルスをターゲット材料の方に誘導することによってターゲット材料の方に誘導され得る。一又は複数の特性は、第1の放射の各パルスについて一又は複数の特性を測定することによって測定可能である。第1の放射ビームの特徴が調整されるべきかどうかは、第1の放射の各パルスについて特徴が調整されるべきかどうかを決定することによって決定され得る。

20

【0014】

第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光は、放出されるEUV光の少なくとも一部がウェーハを露光している間に第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光を制御することによって制御可能である。

【0015】

ターゲット材料は、ターゲット材料の液滴を提供することによって提供され得る。ターゲット材料の幾何分布は、ターゲット材料の液滴を熔融金属のディスク状の塊に変態させることによって修正されてもよい。ターゲット材料の液滴は膨張率に従ってディスク状の塊へと変態され得る。

30

【0016】

この方法は、放出されるEUV光の少なくとも一部を収集すること、及び、収集されたEUV光をウェーハの方に誘導してウェーハをEUV光に露光させることも含み得る。

【0017】

一又は複数の特性は、ターゲット材料の方に誘導される第1の放射ビームの各パルスについて少なくとも1つの特性を測定することによって測定可能である。

【0018】

第1の放射ビームは、ターゲット材料の一部がEUV光を放出するプラズマに変換されるように、及び、ターゲット材料から変換されたプラズマからは修正されたターゲットから変換されたプラズマから放出されるよりも少ないEUV光が放出されるように、ターゲット材料の方に誘導されてもよく、ターゲット材料に対する主な作用は、ターゲット材料の幾何分布を修正して修正されたターゲットを形成することである。

40

【0019】

ターゲット材料の幾何分布は、ターゲット材料の形状を修正されたターゲットへと変態させることによって修正可能であり、これは修正されたターゲットを少なくとも1つの軸に沿って膨張率に従い膨張させることを含む。ターゲット材料へと送出される放射露光の量は、修正されたターゲットへのターゲット材料の膨張率を制御することによって制御可能である。

【0020】

50

修正されたターゲットは、第2の放射ビームの光軸と平行でない少なくとも1つの軸に沿って膨張され得る。

【0021】

ターゲット材料と修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性は、修正されたターゲットから反射された光子の数を測定することによって測定可能である。修正されたターゲットから反射された光子の数は、修正されたターゲットから反射される光子の数をいくつかの光子がターゲット材料に衝突するのかの関数として測定することによって測定可能である。

【0022】

第1の放射ビームは、第1の放射のパルスをターゲット材料の方に誘導することによってターゲット材料の方に誘導され得る。第2の放射ビームは、第2の放射のパルスを修正されたターゲットの方に誘導することによって修正されたターゲットの方に誘導され得る。

10

【0023】

第1の放射ビームは、第1組の一又は複数の光アンプを通じて第1の放射ビームを誘導することによって誘導され得る。第2の放射ビームは、第2組の一又は複数の光アンプを通じて第2の放射ビームを誘導することによって誘導され得る。ここで、第1組の光アンプのうち少なくとも1つは第2組にある。

【0024】

ターゲット材料と修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性は、ターゲット材料の方に誘導される第1の放射ビームのエネルギーを測定することによって測定可能である。ターゲット材料へと送出される放射露光の量は、測定されたエネルギーに基づいて第1の放射ビームからターゲット材料へと誘導されるエネルギーの量を調整することによって制御可能である。第1の放射ビームは、ターゲット材料を第1の放射ビームのうち共焦点パラメータを包含するエリアと重ね合わせることによって、ターゲット材料の方に誘導可能である。共焦点パラメータは2mm以下であってもよい。

20

【0025】

第1の放射ビームからターゲット材料へと送出されるエネルギーの量は、第1の放射ビームのプロパティを調整することによって調整可能である。

【0026】

第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光の量は、第1の放射ビームがエネルギーをターゲット材料へと送出する直前の第1の放射ビームのエネルギーと、ターゲット材料の位置と、第1の放射ビームと相互作用するターゲット材料の領域とのうち一又は複数を調整することによって制御可能である。

30

【0027】

第1の放射ビームは、一又は複数の第1の光アンプを含む第1組の光学コンポーネントを通じて第1の放射ビームを誘導することによって誘導され得る。第2の放射ビームは、一又は複数の第2の光アンプを含む第2組の光学コンポーネントを通じて第2の放射ビームを誘導することによって誘導され得る。ここで、第1組の光学コンポーネントは第2組の光学コンポーネントとは異なり及び分離している。

40

【0028】

他の一般的な態様において、ある装置は、第1の放射ビームを受信する初期ターゲットロケーションと第2の放射ビームを受信するターゲットロケーションとを定義するチャンバと、プラズマに変換されたときに極端紫外線(EUV)光を放出する材料を含むターゲット材料を初期ターゲットロケーションに提供するように構成されたターゲット材料デリバリシステムと、第1の放射ビーム及び第2の放射ビームを生成するように構成された光学源と、光操向システムと、を含む。光操向システムは、第1の放射ビームを初期ターゲットロケーションの方に誘導してエネルギーをターゲット材料へと送出し、ターゲット材料の幾何分布を修正して修正されたターゲットを形成するように、及び、第2の放射ビームをターゲットロケーションの方に誘導して修正されたターゲットの少なくとも一部をEUV

50

V光を放出するプラズマに変換するように構成されている。装置は、ターゲット材料と第1の放射ビームに関して修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性を測定する測定システムと、ターゲット材料デリバリシステム、光学源、光操向システム、及び測定システムに接続された制御システムと、を含む。制御システムは、一又は複数の測定された特性を測定システムから受信するように、及び、一又は複数の信号を光学源に送信して、第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光の量を一又は複数の測定された特性に基づいて制御するように構成されている。

【0029】

実装形態は以下の特徴のうち一又は複数を含み得る。例えば、光操向システムは、第1の放射ビームを初期ターゲットロケーション又はその付近に合焦させるように、及び、第2の放射ビームをターゲットロケーション又はその付近に合焦させるように構成された合焦装置を含み得る。

10

【0030】

装置はビーム調整システムを含み得る。ここで、ビーム調整システムは光学源及び制御システムに接続されており、制御システムは、一又は複数の信号を光学源に送信して、一又は複数の信号をビーム調整システムに送信することによりターゲット材料へと送出されるエネルギーの量を制御するように構成されており、ビーム調整システムは、光学源の一又は複数の特徴を調整し、それによってターゲット材料へと送出されるエネルギーの量を維持するように構成されている。ビーム調整システムは、第1の放射ビームに結合されたパルス幅調整システムを含んでいてもよく、パルス幅調整システムは第1の放射ビームのパルス幅を調整するように構成されている。パルス幅調整システムは電気光学変調器を含んでいてもよい。

20

【0031】

ビーム調整システムは、第1の放射ビームに結合されたパルスパワー調整システムを含んでいてもよく、パルスパワー調整システムは第1の放射ビームのパルス内の平均パワーを調整するように構成されている。パルスパワー調整システムは音響光学変調器を含んでいてもよい。

【0032】

ビーム調整システムは、一又は複数の信号を光学源に送信して、一又は複数の信号をビーム調整システムに送信することによりターゲット材料へと誘導されるエネルギーの量を制御するように構成されており、ビーム調整システムは、光学源の一又は複数の特徴を調整し、それによってターゲット材料へと誘導されるエネルギーの量を制御するように構成されている。

30

【0033】

光学源は、第1の放射ビームが通過する第1組の一又は複数の光アンプと、第2の放射ビームが通過する第2組の一又は複数の光アンプとを含んでいてもよく、第1組の光アンプのうち少なくとも1つは第2組にある。測定システムは、第1の放射ビームが初期ターゲットロケーションの方に誘導される際に第1の放射ビームのエネルギーを測定可能である。制御システムは、測定されたエネルギーを測定システムから受信するように、及び、一又は複数の信号を光学源に送信して、第1の放射ビームからターゲット材料へと誘導されるエネルギーの量を測定されたエネルギーに基づいて制御するように構成されていてもよい。

40

【0034】

いくつかの一般的な態様において、ある方法は、プラズマに変換されたときに極端紫外線(EUV)光を放出する成分を含むターゲット材料を提供すること、第1の放射ビームをターゲット材料の方に誘導してエネルギーをターゲット材料へと送出し、ターゲット材料の幾何分布を修正して修正されたターゲットを形成すること、修正されたターゲットの少なくとも一部をEUV光を放出するプラズマに変換する第2の放射ビームを修正されたターゲットの方に誘導すること、第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光を所定の放射露光の範囲内に制御すること、及び、第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光を所定の放射露光の範囲内に制御することによってプラズマ

50

から放出されるEUV光のパワーを安定化すること、を含む。

【0035】

実装形態は以下の特徴のうち一又は複数を含み得る。例えば、第1の放射ビームは、一又は複数の第1の光アンプを含む第1組の光学コンポーネントを通じて第1の放射ビームを誘導することによって誘導され得る。第2の放射ビームは、一又は複数の第2の光アンプを含む第2組の光学コンポーネントを通じて第2の放射ビームを誘導することによって誘導され得る。第1組の光学コンポーネントは第2組の光学コンポーネントとは異なり及び分離していてもよい。

【0036】

第1の放射ビームは、第1組の一又は複数の光アンプを通じて第1の放射ビームを誘導することによって誘導され得る。第2の放射ビームは、第2組の一又は複数の光アンプを通じて第2の放射ビームを誘導することによって誘導され得る。ここで、第1組の光アンプのうち少なくとも1つは第2組にある。

10

【0037】

ターゲット材料は、ターゲット材料の液滴を提供することによって提供され得る。ターゲット材料の幾何分布は、ターゲット材料の液滴を略平面を有する熔融金属のディスク状の塊に変態させることによって修正可能である。

【0038】

ターゲット材料は、ターゲット材料の液滴を提供することによって提供され得る。ターゲット材料の幾何分布は、ターゲット材料の液滴を熔融金属粒子の霧状の塊に変態させることによって修正可能である。

20

【0039】

ターゲット材料は膨張率に従って修正されたターゲットへと変態されてもよい。

【0040】

第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光は、ターゲット材料と第1の放射ビームに関して修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性を測定すること、及び、第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光の量を一又は複数の測定された特性に基づいて所定の放射露光の範囲内に維持することによって制御可能である。

【0041】

30

第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光は、修正されたターゲットの膨張率を推定することによって制御されてもよい。第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光は、修正されたターゲットの膨張率を維持することによって制御されてもよい。

【0042】

第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光は、第1の放射ビームの特徴が調整されるべきかどうかを決定することによって制御されてもよい。第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光は、第1の放射ビームの各パルスのエネルギー含量とターゲット材料と相互作用する第1の放射ビームのエリアとのうち一又は複数を調整することで第1の放射ビームの特徴を調整することによって制御可能である。第1の放射ビームの各パルスのエネルギー含量は、第1の放射ビームの各パルスの幅と、第1の放射ビームの各パルスの持続時間と、第1の放射ビームの各パルスのパワーとのうち一又は複数を調整することによって調整可能である。

40

【0043】

プラズマから放出されるEUV光のパワーは、プラズマから放出されるEUV光の少なくとも一部がウェーハを露光している間にEUV光のパワーを安定させることによって安定化することができる。

【0044】

この方法は、放出されるEUV光の少なくとも一部を収集すること、及び、収集されたEUV光をウェーハの方に誘導してウェーハをEUV光に露光させることも含み得る。

50



## 【 0 0 4 5 】

ターゲット材料の幾何分布は、ターゲット材料の形状を修正されたターゲットへと変態させることによって修正可能であり、これは修正されたターゲットを少なくとも1つの軸に沿って膨張率に従い膨張させることを含む。

## 【 0 0 4 6 】

第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光は、第1の放射ビームのプロパティを調整することによって制御可能である。第1の放射ビームのプロパティは、第1の放射ビームのエネルギーを調整することによって調整可能である。

## 【 0 0 4 7 】

他の一般的な態様において、ある装置は、第1の放射ビームを受信する初期ターゲットロケーションと第2の放射ビームを受信するターゲットロケーションとを定義するチャンバと、プラズマに変換されたときに極端紫外線（EUV）光を放出する材料を含むターゲット材料を初期ターゲットロケーションに提供するように構成されたターゲット材料デリバリシステムと、第1の放射ビーム及び第2の放射ビームを生成するように構成された光学源と、光操向システムと、を含む。光操向システムは、第1の放射ビームを初期ターゲットロケーションの方に誘導してエネルギーをターゲット材料へと送出し、ターゲット材料の幾何分布を修正して修正されたターゲットを形成するように、及び、第2の放射ビームをターゲットロケーションの方に誘導して修正されたターゲットの少なくとも一部をEUV光を放出するプラズマに変換するように構成されている。装置は、ターゲット材料デリバリシステムと、光学源と、光操向システムとに接続され、及び、一又は複数の信号を光学源に送信して第1の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光の量を所定の放射露光の範囲内に制御することによってプラズマから放出されるEUV光のパワーを安定化するように構成された、制御システムを含む。

## 【 0 0 4 8 】

実装形態は以下の特徴のうち一又は複数を含み得る。例えば、装置は、ターゲット材料と第1の放射ビームに関して修正されたターゲットとのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性を測定する測定システムも含んでいてもよく、制御システムは測定システムに接続されている。

## 【 0 0 4 9 】

装置はビーム調整システムも含み得る。ここで、ビーム調整システムは光学源及び制御システムに接続されており、制御システムは、一又は複数の信号を光学源に送信して、一又は複数の信号をビーム調整システムに送信することによりターゲット材料へと送出される放射露光の量を制御するように構成されており、ビーム調整システムは、光学源の一又は複数の特徴を調整し、それによってターゲット材料へと送出される放射露光の量を制御するように構成されている。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 5 0 】

【図1】ターゲット材料へと誘導される第1の放射ビーム及び修正されたターゲットへと誘導される第2の放射ビームを生成する光学源を含み、修正されたターゲットの一部をEUV光を放出するプラズマに変換する、レーザ生成プラズマ極端紫外光源のブロック図である。

【図2】第1のターゲットロケーションに誘導される第1の放射ビーム及び第2のターゲットロケーションに誘導される第2の放射ビームを示す模式図である。

【図3A】図1の光源において用いられる例示的な光学源のブロック図である。

【図3B】図1の光学源において用いられ得る例示的なビームパスコンバイナのブロック図である。

【図3C】図1の光学源において用いられ得る例示的なビームパスセパレータのブロック図である。

【図4A】図3Aの光学源において用いられ得る例示的な光アンブシステムのブロック図である。

10

20

30

40

50

【図４Ｂ】図３Ａの光学源において用いられ得る例示的な光アンプシステムのブロック図である。

【図５】図３Ａの光学源において用いられ得る例示的な光アンプシステムのブロック図である。

【図６】第１のターゲットロケーションに誘導される第１の放射ビーム及び第２のターゲットロケーションに誘導される第２の放射ビームの別の実装形態を示す模式図である。

【図７Ａ】第１のターゲットロケーションに誘導される第１の放射ビームの実装形態を示す模式図である。

【図７Ｂ】第１のターゲットロケーションに誘導される第１の放射ビームの実装形態を示す模式図である。

10

【図８Ａ】ターゲット材料、修正されたターゲット、及び第１の放射ビームのうち任意の一又は複数と関連した少なくとも１つの特性を測定する測定システムの実装形態の模式図である。

【図８Ｂ】ターゲット材料、修正されたターゲット、及び第１の放射ビームのうち任意の一又は複数と関連した少なくとも１つの特性を測定する測定システムの実装形態の模式図である。

【図８Ｃ】ターゲット材料、修正されたターゲット、及び第１の放射ビームのうち任意の一又は複数と関連した少なくとも１つの特性を測定する測定システムの実装形態の模式図である。

【図９Ａ】ターゲット材料、修正されたターゲット、及び第１の放射ビームのうち任意の一又は複数と関連した少なくとも１つの特性を測定する測定システムの実装形態の模式図である。

20

【図９Ｂ】ターゲット材料、修正されたターゲット、及び第１の放射ビームのうち任意の一又は複数と関連した少なくとも１つの特性を測定する測定システムの実装形態の模式図である。

【図９Ｃ】ターゲット材料、修正されたターゲット、及び第１の放射ビームのうち任意の一又は複数と関連した少なくとも１つの特性を測定する測定システムの実装形態の模式図である。

【図１０】図１の光源の例示的な制御システムのブロック図である。

【図１１】修正されたターゲットの膨張率（ $ER$ ）を維持又は制御することによって光源の変換効率を高めるために（制御システムの制御下にある）光源によって実施される例示的な手順のフローチャートである。

30

【図１２】第１の放射ビームからターゲット材料へと送出される放射露光を制御することによってプラズマから放出される $EUV$ 光のパワーを安定化するために光源によって実施される例示的な手順のフローチャート。

【図１３】第１及び第２の放射ビームを生成する例示的な光学源と、第１及び第２の放射ビームを修正するとともに第１及び第２の放射ビームをそれぞれ第１及び第２のターゲットロケーションに合焦させる例示的なビームデリバリシステムとのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【００５１】

40

極端紫外線（ $EUV$ ）光生成の変換効率を高めるための技術が開示される。図１を参照すると、以下で詳述するように、ターゲット材料１２０と第１の放射ビーム１１０との相互作用がターゲット材料を変形させるとともに幾何学的に膨張させ、それによって修正されたターゲット１２１が形成される。修正されたターゲット１２１の幾何学的な膨張率は、修正されたターゲット１２１と第２の放射ビーム１１５との相互作用によって生じるプラズマから変換された使用可能な $EUV$ 光１３０の量を増大させるように制御される。使用可能な $EUV$ 光１３０の量とは、光学装置１４５での使用のために利用することのできる $EUV$ 光１３０の量である。したがって、使用可能な $EUV$ 光１３０の量は、 $EUV$ 光１３０を利用するために使用される光学コンポーネントの帯域幅又は中心波長など、様々な観点（*aspect*）によって決まり得る。

50

## 【 0 0 5 2 】

修正されたターゲット 1 2 1 の幾何学的な膨張率の制御は、修正されたターゲット 1 2 1 が第 2 の放射ビーム 1 1 5 と相互作用するときの修正されたターゲット 1 2 1 の大きさ又は幾何学的な観点の制御を可能にする。例えば、修正されたターゲット 1 2 1 の幾何学的な膨張率を調整すると、第 2 の放射ビーム 1 1 5 と相互作用するときの修正されたターゲット 1 2 1 の密度が調整される。なぜなら、修正されたターゲット 1 2 1 が第 2 の放射ビーム 1 1 5 と相互作用するときの修正されたターゲット 1 2 1 の密度は、修正されたターゲット 1 2 1 によって吸収される放射の総量及びそのような放射が吸収される範囲に影響するからである。修正されたターゲット 1 2 1 の密度が高まるにつれ、E U V 光 1 3 0 はいつしか修正されたターゲット 1 2 1 から逃れられなくなり、したがって使用可能な E U V 光 1 3 0 の量は低下し得る。別の一例としては、修正されたターゲット 1 2 1 の幾何学的な膨張率を調整すると、修正されたターゲット 1 2 1 が第 2 の放射ビーム 1 1 5 と相互作用するときの修正されたターゲット 1 2 1 の表面積が調整される。

10

## 【 0 0 5 3 】

このようにして、生成される使用可能な E U V 光 1 3 0 の全体量は、修正されたターゲット 1 2 1 の膨張率を制御することによって増大又は制御され得る。特に、修正されたターゲット 1 2 1 の大きさ及び膨張率は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 からターゲット材料 1 2 0 に適用される放射露光に依存する。この放射露光とは、第 1 の放射ビーム 1 1 0 によってターゲット材料 1 2 0 のうちあるエリアに送出されるエネルギーの量である。したがって、修正されたターゲット 1 2 1 の膨張率は、単位面積当たりターゲット材料 1 2 0 に送出されるエネルギーの量を維持又は制御することによって維持又は制御可能である。ターゲット材料 1 2 0 に送出されるエネルギーの量は、ターゲット材料の表面に衝突する直前の第 1 の放射ビーム 1 1 0 のエネルギーに依存する。

20

## 【 0 0 5 4 】

第 1 の放射ビーム 1 1 0 のパルスのエネルギーは、高速フォトディテクタによって測定されたレーザパルス信号を積分することによって決定され得る。ディテクタは、長波長赤外 ( L W I R ) 放射に適した光電磁 ( P E M ) ディテクタ、近赤外 ( I R ) 放射を測定するための I n G a A s ダイオード、又は可視赤外放射もしくは近赤外放射用のシリコンダイオードであってもよい。

## 【 0 0 5 5 】

修正されたターゲット 1 2 1 の膨張率は、少なくとも部分的には、ターゲット材料 1 2 0 によってインターセプトされる第 1 の放射ビーム 1 1 0 のパルスのエネルギーの量に依存する。仮定的な基本設計では、ターゲット材料 1 2 0 は常に同じ大きさであり及び合焦された第 1 の放射ビーム 1 1 0 のウエストに配置されるものとされる。しかし、実用では、ターゲット材料 1 2 0 は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 のビームウエストに対して小さいが大体一定の軸方向の位置オフセットを有し得る。これらの要因のすべてが一定のままである場合、修正されたターゲット 1 2 1 の膨張率を制御する 1 つの要因は、数 n s 乃至 1 0 0 n s の持続時間を有する第 1 の放射ビームのパルスについての第 1 の放射ビーム 1 1 0 のパルスエネルギーである。第 1 の放射ビーム 1 1 0 のパルスが 1 0 0 n s 以下の持続時間を有する場合に修正されたターゲット 1 2 1 の膨張率を制御することのできる別の 1 つの要因は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 の瞬時ピークパワーである。後述するように、第 1 の放射ビーム 1 1 0 のパルスがより短い、例えばピコ秒 ( p s ) 程度の持続時間を有する場合には、他の要因が修正されたターゲット 1 2 1 の膨張率を制御し得る。

30

40

## 【 0 0 5 6 】

図 1 に示すように、レーザ生成プラズマ ( L P P ) 極端紫外線 ( E U V ) 光源 1 0 0 を駆動するために、光学源 1 0 5 ( 駆動源又はドライブレーザとも称される ) が用いられる。光学源 1 0 5 は、第 1 のターゲットロケーション 1 1 1 に提供される第 1 の放射ビーム 1 1 0 及び第 2 のターゲットロケーション 1 1 6 に提供される第 2 の放射ビーム 1 1 5 を生成する。第 1 及び第 2 の放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 はパルス状の増幅光ビームであってもよい。

50

## 【 0 0 5 7 】

第1のターゲットロケーション111はターゲット材料供給システム125からスズなどのターゲット材料120を受け取る。第1の放射ビーム110とターゲット材料120との相互作用がエネルギーをターゲット材料120へと送出してその形状を修正又は変更(例えば変形)するので、ターゲット材料120の幾何分布は変形されて修正されたターゲット121となる。ターゲット材料120は一般的に、ターゲット材料供給システム125から-X方向に沿って、又はターゲット材料120を第1のターゲットロケーション111内に配置する方向に沿って、誘導される。第1の放射ビーム110がエネルギーをターゲット材料120に送出して修正されたターゲット121へと変形させた後、修正されたターゲット121は、Z方向に平行な方向など別の方向に沿って移動することに加え、-X方向に沿って移動し続けてもよい。修正されたターゲット121が第1のターゲットロケーション111から遠ざかるように移動するにつれ、幾何分布は、修正されたターゲット121が第2のターゲットロケーション116に到達するまで、変形し続ける。(第2のターゲットロケーション116における)第2の放射ビーム115と修正されたターゲット121との相互作用は、修正されたターゲット121の少なくとも一部を、EUV光又は放射130を放出するプラズマ129に変換する。光コレクタシステム(又は光コレクタ)135は、EUV光130を収集し、収集されたEUV光140としてリソグラフィツールなどの光学装置145の方に誘導する。第1及び第2のターゲットロケーション111, 116ならびに光コレクタ135は、EUV光140の生成に適した制御環境を提供するチャンバ165内に収容されていてもよい。

10

20

## 【 0 0 5 8 】

ターゲット材料120のうちいくらかは第1の放射ビーム110と相互作用するときにプラズマに変換されることが可能であり、したがってそのようなプラズマがEUV放射を放出し得る。しかしながら、第1の放射ビーム110のプロパティは、第1の放射ビーム110によるターゲット材料120への主たる作用が、ターゲット材料120の幾何分布を変形又は修正して修正されたターゲット121を形成することであるように、選択及び制御される。

## 【 0 0 5 9 】

第1の放射ビーム110及び第2の放射ビーム115の各々は、ビームデリバリシステム150によって各ターゲットロケーション111, 116の方へと誘導される。ビームデリバリシステム150は、光学操向コンポーネント152と、第1又は第2の放射ビーム110, 115をそれぞれ第1及び第2の焦点領域に合焦させる焦点アセンブリ156とを含み得る。第1及び第2の焦点領域は、それぞれ第1のターゲットロケーション111及び第2のターゲットロケーション116と重なり合っているようにもよい。光学コンポーネント152は、レンズ及び/又はミラーなど、屈折及び/又は反射によって放射ビーム110, 115を誘導する光学素子を含み得る。ビームデリバリシステム150は、光学コンポーネント152を制御及び/又は移動する要素も含み得る。例えば、ビームデリバリシステム150は、光学コンポーネント152内の光学素子を移動させるように制御可能なアクチュエータを含んでいてもよい。

30

## 【 0 0 6 0 】

図2も参照すると、焦点アセンブリ156は、第1の放射ビーム110の直径D1が第1の焦点領域210において最小になるように、第1の放射ビーム110を合焦させる。換言すれば、焦点アセンブリ156は、第1の放射ビーム110を、第1の放射ビーム110の伝搬の一般方向である第1の軸方向212で第1の焦点領域210に向かって伝搬するにつれて収束させる。第1の軸方向212はX-Z軸によって定義される平面に沿って延びている。第1の軸方向212は、この例においてはZ方向に平行又は略平行であるが、Zに対してある角度に沿っていてもよい。ターゲット材料120がない場合には、第1の放射ビーム110は、第1の焦点領域210から第1の軸方向212で遠ざかるように伝搬するにつれて分散する。

40

## 【 0 0 6 1 】

50

また、焦点アセンブリ 1 5 6 は、第 2 の放射ビーム 1 1 5 の直径 D 2 が第 2 の焦点領域 2 1 5 において最小になるように、第 2 の放射ビーム 1 1 5 を合焦させる。したがって、焦点アセンブリは、第 2 の放射ビーム 1 1 5 を、第 2 の放射ビーム 1 1 5 の伝搬の一般方向である第 2 の軸方向 2 1 7 で第 2 の焦点領域 2 1 5 に向かって伝搬するにつれて収束させる。第 2 の軸方向 2 1 7 もまた X - Z 軸によって定義される平面に沿って延びており、この例では、第 2 の軸方向 2 1 7 は Z 方向に平行又は略平行である。修正されたターゲット 1 2 1 がない場合には、第 2 の放射ビーム 1 1 5 は、第 2 の焦点領域 2 1 5 から第 2 の軸方向 2 1 7 に沿って遠ざかるように伝搬するにつれて分散する。

#### 【 0 0 6 2 】

後述するように、EUV 光源 1 0 0 は、一又は複数の測定システム 1 5 5、制御システム 1 6 0、及びビーム調整システム 1 8 0 も含む。制御システム 1 6 0 は、例えば測定システム 1 5 5、ビームデリバリシステム 1 5 0、ターゲット材料供給システム 1 2 5、ビーム調整システム 1 8 0、及び光学源 1 0 5 など、光源 1 0 0 内の他のコンポーネントに接続されている。測定システム 1 5 5 は、光源 1 0 0 内の一又は複数の特性を測定することができる。この一又は複数の特性は、例えば、ターゲット材料 1 2 0 又は第 1 の放射ビーム 1 1 0 に関して修正されたターゲット 1 2 1 に関連する特性であり得る。別の一例としては、一又は複数の特性は、ターゲット材料 1 2 0 の方に誘導される第 1 の放射ビーム 1 1 0 のパルスエネルギーであり得る。これらの例については以降で詳細に述べる。制御システム 1 6 0 はこの一又は複数の測定された特性を測定システムから受信するように構成されているので、第 1 の放射ビーム 1 1 0 がターゲット材料 1 2 0 とどのように相互作用するかを制御することができる。例えば、制御システム 1 6 0 は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 からターゲット材料 1 2 0 に送出されるエネルギーの量を所定のエネルギーの範囲内に維持するように構成され得る。別の一例としては、制御システム 1 6 0 は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 からターゲット材料 1 2 0 に誘導されるエネルギーの量を制御するように構成され得る。ビーム調整システム 1 8 0 は、光学源 1 0 5 内のコンポーネント又は光学源 1 0 5 内のコンポーネントを調整するコンポーネントを含むシステムであり、それによって第 1 の放射ビーム 1 1 0 のプロパティ（パルス幅、パルスエネルギー、パルス内の瞬時パワー、又はパルス内の平均パワーなど）を制御する。

#### 【 0 0 6 3 】

図 3 A を参照すると、実装形態によっては、光学源 1 0 5 は、一連の一又は複数の光アンプを含み第 1 の放射ビーム 1 1 0 がそれらを通過する第 1 の光アンプシステム 3 0 0 と、一連の一又は複数の光アンプを含み第 2 の放射ビーム 1 1 5 がそれらを通過する第 2 の光アンプシステム 3 0 5 とを含む。第 1 のシステム 3 0 0 の一又は複数のアンプが第 2 のシステム 3 0 5 にあってもよい。又は、第 2 のシステム 3 0 5 の一又は複数のアンプが第 1 のシステム 3 0 0 にあってもよい。代替的には、第 1 の光アンプシステム 3 0 0 は第 2 の光アンプシステム 3 0 5 と完全に分離していてもよい。

#### 【 0 0 6 4 】

また、必須ではないが、光学源 1 0 5 は、第 1 のパルス光ビーム 3 1 1 を生成する第 1 の光発生装置 3 1 0 と、第 2 のパルス光ビーム 3 1 6 を生成する第 2 の光発生装置 3 1 5 とを含み得る。光発生装置 3 1 0、3 1 5 は、それぞれが例えばレーザ、主発振器などのシードレーザ、又はランプであってもよい。光発生装置 3 1 0、3 1 5 として用いられ得る例示的な光発生装置は、例えば、1 0 0 k H z の反復率で動作可能な Q スイッチ発振器、無線周波数 ( R F ) 励起発振器 ( r a d i o f r e q u e n c y ( R F ) p u m p e d )、軸流発振器、二酸化炭素 ( C O <sub>2</sub> ) 発振器である。

#### 【 0 0 6 5 】

光アンプシステム 3 0 0、3 0 5 内の光アンプはそれぞれが各ビームパス上に利得媒質を含んでおり、各光発生装置 3 1 0、3 1 5 からの光ビーム 3 1 1、3 1 6 はそのビームパスに沿って伝搬する。光アンプの利得媒質が励起されると、利得媒質は光ビームに光子を提供し、光ビーム 3 1 1、3 1 6 を増幅して、第 1 の放射ビーム 1 1 0 又は第 2 の放射ビーム 1 1 5 を形成する増幅光ビームを生成する。

## 【 0 0 6 6 】

光ビーム 3 1 1 , 3 1 6 又は放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 の波長は、放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 が光学源 1 0 5 内の任意の点で結合される場合に互いに分離することができるように、互いに異なってもよい。放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 が  $\text{CO}_2$  アンプによって生成される場合には、第 1 の放射ビーム 1 1 0 は  $10.26 \mu\text{m}$  (  $\mu\text{m}$  ) 又は  $10.207 \mu\text{m}$  の波長を有し得るとともに、第 2 の放射ビーム 1 1 5 は  $10.59 \mu\text{m}$  の波長を有し得る。波長は、分散光学系又はダイクロイックミラー又はビームスプリッタ被覆を用いた 2 つの放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 の分離をより容易に可能にするように選択される。両放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 が同じアンプチェーンで一緒に伝搬する状況 (例えば、光アンプシステム 3 0 0 のアンプのうちいくつかは光アンプシステム 3 0 5 にある状況) では、2 つの放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 が同じアンプを通り抜けていても、それらの相対利得を、異なる波長を用いて調整することができる。

10

## 【 0 0 6 7 】

例えば、放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 は、いったん分離されると、チャンバ 1 6 5 内の 2 つの別々のロケーション (それぞれ第 1 及び第 2 のターゲットロケーション 1 1 1 , 1 1 6 など) に操向又は合焦され得る。特に、放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 の分離は、修正されたターゲット 1 2 1 が、第 1 の放射ビーム 1 1 0 との相互作用の後で第 1 のターゲットロケーション 1 1 1 から第 2 のターゲットロケーション 1 1 6 へと進みつつ膨張することも可能にする。

## 【 0 0 6 8 】

20

光学源 1 0 5 は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 と第 2 の放射ビーム 1 1 5 とを重ね合わせて放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 を光学源 1 0 5 とビームデリバリシステム 1 5 0 との間の距離のうち少なくともいくつかについて同一の光路に配置するビームパスコンバイナ 3 2 5 を含み得る。例示的なビームパスコンバイナ 3 2 5 が図 3 B に示されている。ビームパスコンバイナ 3 2 5 は一対のダイクロイックビームスプリッタ 3 4 0 , 3 4 2 と一対のミラー 3 4 4 , 3 4 6 とを含む。ダイクロイックビームスプリッタ 3 4 0 は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 を、ダイクロイックビームスプリッタ 3 4 2 に至る第 1 のパスに沿って通過させる。ダイクロイックビームスプリッタ 3 4 0 は、第 2 の放射ビーム 1 1 5 を第 2 のパスに沿って反射する。この第 2 のパスにおいて、第 2 の放射ビーム 1 1 5 はミラー 3 4 4 , 3 4 6 から反射され、これによって第 2 の放射ビーム 1 1 5 はダイクロイックビームスプリッタ 3 4 2 の方へと誘導し直される。第 1 の放射ビーム 1 1 0 はダイクロイックビームスプリッタ 3 4 2 を自由に通過して出力パスに至り、その一方で第 2 の放射ビーム 1 1 5 はダイクロイックビームスプリッタ 3 4 2 から反射されて出力パスに至るので、第 1 及び第 2 の放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 の両方が出力パス上で重なり合う。

30

## 【 0 0 6 9 】

また、光学源 1 0 5 は、2 つの放射ビーム 1 1 0 , 1 1 5 が別個に操向されチャンバ 1 6 5 内で合焦され得るように、第 1 の放射ビーム 1 1 0 を第 2 の放射ビーム 1 1 5 から分離するビームパスセパレータ 3 2 6 を含んでもよい。例示的なビームパスセパレータ 3 2 6 が図 3 C に示されている。ビームパスセパレータ 3 2 6 は一対のダイクロイックビームスプリッタ 3 5 0 , 3 5 2 と一対のミラー 3 5 4 , 3 5 6 とを含む。ダイクロイックビームスプリッタ 3 5 0 は、重ね合わされた放射ビーム対 1 1 0 , 1 1 5 を受信し、第 2 の放射ビーム 1 1 5 を第 2 のパスに沿って反射し、第 1 の放射ビーム 1 1 0 を第 1 のパスに沿ってダイクロイックビームスプリッタ 3 5 2 の方へと透過する。第 1 の放射ビーム 1 1 0 は第 1 のパスに沿って自由にダイクロイックビームスプリッタ 3 5 2 を通過する。第 2 の放射ビーム 1 1 5 は、ミラー 3 5 4 , 3 5 6 から反射し、ダイクロイックビームスプリッタ 3 5 2 へと戻って、第 1 のパスとは異なる第 2 のパスへと反射される。

40

## 【 0 0 7 0 】

さらに、第 1 の放射ビーム 1 1 0 は、第 2 の放射ビーム 1 1 5 のパルスエネルギーよりも少ないパルスエネルギーを有するように構成され得る。これは、第 1 の放射ビーム 1 1 0 はターゲット材料 1 2 0 のジオメトリを修正するために用いられるが、第 2 の放射ビーム 1

50

15は修正されたターゲット121を変換してプラズマ129にするために用いられるからである。例えば、第1の放射ビーム110のパルスエネルギーは、第2の放射ビーム115のパルスエネルギーの5分の1乃至100分の1であってもよい。

#### 【0071】

いくつかの実装形態においては、図4A及び4Bに示されるように、光アンプシステム300又は305はそれぞれ3つの光アンプ401, 402, 403の組と406, 407, 408の組とを含むが、1つだけのアンプ又は3つよりも多くのアンプが用いられてもよい。いくつかの実装形態においては、光アンプ406, 407, 408の各々がCO<sub>2</sub>を含む利得媒質を備え、約9.1乃至約11.0 μm、とりわけ約10.6 μmの波長の光を1000よりも大きい利得で増幅し得る。光アンプ401, 402, 403は、同様の又は異なる波長で動作されることが可能である。光アンプシステム300, 305での使用に適したアンプ及びレーザは、例えばDC励起又はRF励起によって約9.3 μm又は約10.6 μmの放射を生成し、例えば10 kW以上の比較的高パワー及び例えば50 kHz以上の高パルス反復率で動作する、パルスガス放電CO<sub>2</sub>アンプのようなパルスレーザデバイスを含み得る。例示的な光アンプ401, 402, 403又は406, 407, 408は、コネチカット州ファーマントンのTRUMPF Inc.によって製造されるTruFlow CO<sub>2</sub>のような、摩滅のないガス循環及び容量性のRF励起を有する軸流高パワーCO<sub>2</sub>レーザである。

#### 【0072】

また、必須ではないが、光アンプシステム300及び305のうち一又は複数は、それぞれプリアンプ411, 421として作用する第1のアンプを備えていてもよい。プリアンプ411, 421は、存在する場合には、コネチカット州ファーマントンのTRUMPF Inc.によって製造されるTruCoax CO<sub>2</sub>レーザシステムのような、拡散冷却CO<sub>2</sub>レーザシステムであり得る。

#### 【0073】

光アンプシステム300, 305は、各光ビーム311, 316を誘導及び整形するために、図4A及び4Bには示されていない光学素子を含んでいてもよい。例えば、光アンプシステム300, 305は、ミラーのような反射光学系、ビームスプリッタ又は部分透過性ミラーのような部分透過性光学系、及びダイクロイックビームスプリッタを含み得る。

#### 【0074】

光学源105は光学系320も含み、この光学系は、光学源105を通じて光ビーム311, 316を誘導するための、一又は複数の光学系（例えばミラーのような反射光学系、ビームスプリッタのような部分反射性及び部分透過性の光学系、プリズム又はレンズのような屈折光学系、受動光学系、能動光学系など）を含んでいてもよい。

#### 【0075】

光アンプ401, 402, 403と406, 407, 408とは別個のブロックとして示されているが、アンプ401, 402, 403のうち少なくとも1つが光アンプシステム305にあり、アンプ406, 407, 408のうち少なくとも1つが光アンプシステム300にあることが可能である。例えば、図5に示されるように、アンプ402, 403はアンプ407, 408にそれぞれ対応しており、光アンプシステム300, 305は、アンプ401, 406から出力された2つの光ビームを結合してアンプ402/407及びアンプ403/408を通過する単一のパスにするための（ビームパスコンバイナ325のような）追加的な光学素子500を含む。アンプ及び光学系のうち少なくともいくつかは光アンプシステム300, 305の間で重なり合うそのようなシステムにおいては、第1の放射ビーム110と第2の放射ビーム115とは、第1の放射ビーム110の一又は複数の特性の変化が第2の放射ビーム115の一又は複数の特性を変化させ得るように、及びその逆もまた同様であるように、結合され得る。したがって、システム内で第1の放射ビーム110のエネルギー又はターゲット材料120に送出されるエネルギーなどのエネルギーを制御することがさらに重要になる。また、光アンプシステム300, 305は、

2つの光ビーム110, 115が各ターゲットロケーション111, 116に誘導されることを可能にするようにアンプ403/408から出力された2つの光ビーム110, 115を分離するための(ビームパスセパレータ326のような)光学素子505も含む。

#### 【0076】

ターゲット材料120は、プラズマに変換されたときにEUV光を放出するターゲット材料を含む任意の材料であり得る。ターゲット材料120は、ターゲット物質と非ターゲット粒子などの不純物とを含むターゲット混合物であってもよい。ターゲット物質とは、EUV領域に輝線を有するプラズマ状態に変換され得る物質である。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、固体の粒子はクラスタ、液体小滴に含有される固体の粒子、ターゲット材料の発泡体、又は液体流の一部に含有される固体の粒子であり得る。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ときにEUV領域に輝線を有する任意の材料であり得る。例えば、ターゲット物質は、純スズ(Sn)として、例えばSnBr<sub>4</sub>、SnBr<sub>2</sub>、SnH<sub>4</sub>などのスズ化合物として、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-ガリウム合金といったスズ合金として、又はこれらの合金の任意の組み合わせとして用いられ得る元素スズであってもよい。また、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。以下の議論は、ターゲット材料120がスズなどの熔融金属からなる液滴である一例を提示する。しかしながら、ターゲット材料120は他の形態をとってもよい。

#### 【0077】

ターゲット材料120は、熔融ターゲット材料にターゲット材料供給装置125のノズルを通過させること及びターゲット材料120を第1のターゲットロケーション111へと漂流させることによって、第1のターゲットロケーション111へと提供され得る。いくつかの実装形態においては、ターゲット材料120は、力によって第1のターゲットロケーション111へと誘導されてもよい。

#### 【0078】

ターゲット材料120の形状は、第2のターゲットロケーション116に到達する前に、第1の放射ビーム110からの放射のパルスでターゲット材料120を照射することによって、変更又は修正(例えば変形)される。

#### 【0079】

第1の放射ビーム110とターゲット材料120との相互作用は、ターゲット材料120(及び修正されたターゲット121)の表面から材料を除去し、この除去が、ターゲット材料120を、ターゲット材料120の形状とは異なる形状を有する修正されたターゲット121へと変形させる力を提供する。例えば、ターゲット材料120は液滴に類似の形状を有し得るが、修正されたターゲット121の形状は、第2のターゲットロケーション116に到達するときにディスクの形状(パンケーキ形状など)により近い形状となるように変形する。修正されたターゲット121は、イオン化されていない材料(プラズマでない材料)、又は最小限イオン化された材料であり得る。修正されたターゲット121は、例えば、液体又は熔融金属のディスク、ボイド又は大きなギャップを有さないターゲット材料の連続するセグメント、マイクロ粒子もしくはナノ粒子の霧、又は原子蒸気の雲であってもよい。例えば、図2に示されるように、修正されたターゲット121は膨張して、大体時間T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>(数マイクロ秒(μs)程度であり得る)後に、第2のターゲットロケーション116内で熔融金属のディスク形状片121となる。

#### 【0080】

また、ターゲット材料120(及び修正されたターゲット121)の表面から材料を除去する第1の放射ビーム110とターゲット材料120との相互作用は、修正されたターゲット121にZ方向に沿ったいくらかの推進力又は速度を得させることのできる力を提供し得る。修正されたターゲット121のX方向の膨張及び得られるZ方向の速度は、第1の放射ビーム110のエネルギーと、特に、ターゲット材料120に送出される(つまりターゲット材料120によってインターセプトされる)エネルギーとに依存する。



## 【0081】

例えば、ターゲット材料120の大きさが一定であり、及び第1の放射ビーム110のパルスが長い（長いパルスとは数ナノ秒（ns）乃至100nsの持続時間を有するパルスである）場合には、膨張率は第1の放射ビーム110の単位面積当たりのエネルギー（ジュール/cm<sup>2</sup>）に線形比例する。単位面積当たりのエネルギーは、放射露光又はフルエンスとも称される。放射露光とは、ターゲット材料120の表面が単位面積当たり受信する放射エネルギーであり、又は、ターゲット材料120が照射される時間にわたって積算されたターゲット材料120の表面の照射でもある。

## 【0082】

別の一例として、ターゲット材料120の大きさが一定であり、及びパルスが短い（数百ピコ秒（ps）未満の持続時間を有するもの）場合には、膨張率と第1の放射ビーム110のエネルギーとの関係は異なり得る。このレジームでは、短いパルス長はターゲット材料120と相互作用する第1の放射ビーム110の強度の増加と相関し、第1の放射ビーム110は衝撃波のように作用する。このレジームでは、膨張率は、第1の放射ビーム110の強度Iに主に依存し、この強度は、第1の放射ビームのエネルギーEを、ターゲット材料120と相互作用する第1の放射ビーム110のスポットの大きさ（断面積A）とパルス長（ ）とで割ったものに等しい。すなわち、 $I = E / (A \cdot \text{パルス長})$ である。このpsパルス長レジームでは、修正されたターゲット121は、霧を形成するように膨張する。

## 【0083】

また、修正されたターゲット121のディスク形状の角度配向（Z方向又はX方向に対する角度）は、ターゲット材料120に衝突する際の第1の放射ビーム110の位置に依存する。したがって、第1の放射ビーム110がターゲット材料を包含し及び第1の放射ビーム110のビームウエストがターゲット材料120を中心とするように第1の放射ビーム110がターゲット材料120に衝突する場合には、修正されたターゲット121のディスク形状は、X方向に平行な長軸230及びZ方向に平行な短軸235に合わせて整列される可能性が高くなる。

## 【0084】

第1の放射ビーム110は放射のパルスからなり、各パルスは持続時間を有し得る。同様に、第2の放射ビーム115は放射のパルスからなり、各パルスは持続時間を有し得る。パルス長は、最大値に対するパーセント値（例えば半値）の全幅、すなわち、パルスが少なくともパルスの最大強度のパーセント値である強度を有する時間の量によって表すことができる。もっとも、パルス長を決定するためには他のメトリクスが用いられてもよい。第1の放射ビーム110内のパルスのパルス長は、例えば30ナノ秒（ns）、60ns、130ns、50乃至250ns、10乃至200ピコ秒（ps）、又は1ns未満であり得る。第1の放射ビーム110のエネルギーは、例えば1乃至100ミリジュール（mJ）であり得る。第1の放射ビーム110の波長は、例えば1.06μm、1乃至10.6μm、10.59μm、又は10.26μmであり得る。

## 【0085】

上述のように、修正されたターゲット121の膨張率は、ターゲット材料120をインターセプトする第1の放射ビーム110の放射露光（単位面積当たりのエネルギー）に依存する。したがって、約60nsの持続時間及び約50mJのエネルギーを有する第1の放射ビーム110のパルスについては、実際の放射露光は、第1の放射ビーム110が第1の焦点領域210にどれほど密に合焦されるかによって決まる。いくつかの例においては、放射露光はターゲット材料120において約400乃至700ジュール/cm<sup>2</sup>であり得る。しかしながら、放射露光は、第1の放射ビーム110に対するターゲット材料120のロケーションに非常に敏感である。

## 【0086】

第2の放射ビーム115は主ビームとも称され得るもので、ある反復率で解放されたパルスからなる。第2の放射ビーム115は、修正されたターゲット121内のターゲット物質をEUV光130を放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1

の放射ビーム 1 1 0 のパルスと第 2 の放射ビーム 1 1 5 のパルスとは、例えば 1 乃至 3 マイクロ秒 (  $\mu s$  )、 $1.3 \mu s$ 、1 乃至  $2.7 \mu s$ 、3 乃至  $4 \mu s$ 、又は修正されたターゲット 1 2 1 が図 2 に示される所望の大きさのディスク形状へと膨張することを可能にする任意の量の時間などの遅延時間だけ時間的に分離される。したがって、修正されたターゲット 1 2 1 は、修正されたターゲット 1 2 1 が X - Y 平面で膨張及び伸長するにつれて二次元的な膨張を行う。

【 0 0 8 7 】

第 2 の放射ビーム 1 1 5 は、修正されたターゲット 1 2 1 に衝突する際にわずかにデフォーカスするように構成され得る。そのようなデフォーカスの体系が図 2 に示されている。この場合、第 2 の焦点領域 2 1 5 は、修正されたターゲット 1 2 1 の長軸 2 3 0 とは Z 方向に沿って異なるロケーションにある。さらに、第 2 の焦点領域 2 1 5 は第 2 のターゲットロケーション 1 1 6 の外にある。この体系では、第 2 の焦点領域 2 1 5 は、Z 方向に沿って、修正されたターゲット 1 2 1 の前に配置されている。すなわち、第 2 の放射ビーム 1 1 5 は、第 2 の放射ビーム 1 1 5 が修正されたターゲット 1 2 1 に衝突する前に焦点 (又はビームウエスト) に来る。他のデフォーカス体系が可能である。例えば、図 6 に示されるように、第 2 の焦点領域 2 1 5 は、Z 方向に沿って、修正されたターゲット 1 2 1 の後に配置される。こうすると、第 2 の放射ビーム 1 1 5 は、第 2 の放射ビーム 1 1 5 が修正されたターゲット 1 2 1 に衝突した後で焦点 (又はビームウエスト) に来る。

【 0 0 8 8 】

再び図 2 を参照すると、修正されたターゲット 1 2 1 が第 1 のターゲットロケーション 1 1 1 から第 2 のターゲットロケーション 1 1 6 へと移動 (例えば漂流) する際に膨張する割合は、膨張率 ( E R ) と称され得る。第 1 のターゲットロケーション 1 1 1 では、ターゲット材料 1 2 0 が時刻 T 1 で第 1 の放射ビーム 1 1 0 によって衝突された直後、修正されたターゲット 1 2 1 は長軸 2 3 0 に沿って範囲 (又は長さ) S 1 を有する。修正されたターゲット 1 2 1 が時刻 T 2 で第 2 のターゲットロケーション 1 1 6 に到達する際には、修正されたターゲット 1 2 1 は長軸 2 3 0 に沿って範囲 (又は長さ) S 2 を有する。膨張率とは、修正されたターゲット 1 2 1 の長軸 2 3 0 に沿った範囲の差 ( S 2 - S 1 ) を時間の差 ( T 2 - T 1 ) で割ったものであるから、

【 数 1 】

$$ER = \frac{S2 - S1}{T2 - T1}$$

となる。修正されたターゲット 1 2 1 は長軸 2 3 0 に沿って膨張するが、修正されたターゲット 1 2 1 を短軸 2 3 5 に沿って圧縮し又は薄くすることも可能である。

【 0 0 8 9 】

第 1 の放射ビーム 1 1 0 をターゲット材料 1 2 0 と相互作用させることによって修正されたターゲット 1 2 1 が形成され、その後修正されたターゲット 1 2 1 を第 2 の放射ビーム 1 1 5 と相互作用させることによって修正されたターゲット 1 2 1 がプラズマに変換される、上述の二段階アプローチは、約 3 乃至 4 % の変換効率をもたらす。一般に、光学源 1 0 5 からの光の E U V 放射 1 3 0 への変換は増大させるのが望ましい。なぜなら、変換効率が低すぎると、光学源 1 0 5 が送出することを要するパワーの量の増大が必要となり得るためであり、これは光学源 1 0 5 を動作させるためのコストを増大させるとともに、光源 1 0 0 内のすべてのコンポーネントに対する熱負荷を増大させ、第 1 及び第 2 のターゲットロケーション 1 1 1、1 1 6 を収容するチャンバ内でのデブリ生成の増大に繋がり得る。変換効率を高めることは、大量生産ツールの要件を満たすと同時に光学源パワー要件を許容可能な限度内に保つのに役立ち得る。例えば第 1 及び第 2 の放射ビーム 1 1 0、1 1 5 の波長、ターゲット材料 1 2 0、及びパルスの形状、エネルギー、パワー、及び放射ビーム 1 1 0、1 1 5 の強度など、様々なパラメータが変換効率に影響を及ぼす。変換効

率は、EUV光130によって2 ステラジアン及び光コレクタシステム135と光学装置145内の照明及び投影光学系とのうち一方又は両方において用いられる(多層)ミラーの反射率曲線の中心波長を中心として2%の帯域幅に生成されたEUVエネルギーを、第2の放射ビーム115の照射パルスのエネルギーで割ったものとして定義され得る。一例においては、反射率曲線の中心波長は13.5ナノメートル(nm)である。

#### 【0090】

変換効率を高め、維持し、又は最適化する1つの手法は、EUV光130のエネルギーを制御又は安定化することであり、これをするためには、パラメータの中でも、修正されたターゲット121の膨張率を許容可能な値の範囲内に維持することが重要になる。修正されたターゲット121の膨張率は、ターゲット材料120に対する第1の放射ビーム110からの放射露光を維持することによって、許容可能な値の範囲内に維持される。また、放射露光は、ターゲット材料120又は第1の放射ビーム110に関して修正されたターゲット121に関連する一又は複数の測定された特性に基づいて維持され得る。放射露光とは、ターゲット材料120の表面が単位面積当たり受信する放射エネルギーである。したがって、放射露光は、ターゲット材料120の面積がパルス毎に一定のままである場合には、ターゲット材料120の表面に向かって誘導されるエネルギーの量として推定又は近似され得る。

#### 【0091】

修正されたターゲット121の膨張率を許容可能な値の範囲内に維持するためには様々な方法又は技術がある。そして、用いられる方法又は技術は、第1の放射ビーム110に関連する一定の特性によって決まり得る。変換効率は、ターゲット材料120の大きさもしくは厚さ、第1の焦点領域210に対するターゲット材料120の位置、x-y平面に対するターゲット材料120の角度など、他のパラメータによっても影響される。

#### 【0092】

放射露光がどのように維持されるかに影響を及ぼし得る1つのプロパティは、第1の放射ビーム110の共焦点パラメータである。放射ビームの共焦点パラメータは放射ビームのレーリ長の2倍であり、ローリー長とはウエストから断面積が2倍になるところまでの伝搬方向に沿った距離である。図2を参照すると、放射ビーム110に関しては、レーリ長は、この第1のビームのウエスト(D1/2)から断面が2倍になるところまでの、第1の放射ビーム110の伝搬方向212に沿った距離である。

#### 【0093】

例えば、図7Aに示されるように、第1の放射ビーム110の共焦点パラメータは、ビームウエスト(D1/2)がターゲット材料120を容易に包含するほど長く、第1の放射ビーム110によってインターセプトされるターゲット材料120の表面の面積(X方向にわたって測定される)は、たとえターゲット材料120の位置がビームウエストD1/2のロケーションから外れても、比較的一定のままである。例えば、ロケーションL1で第1の放射ビーム110によってインターセプトされるターゲット材料120の表面の面積は、ロケーションL2で第1の放射ビーム110によってインターセプトされるターゲット材料120の表面の面積の20%以内である。第1の放射ビーム110によってインターセプトされるターゲット材料120の表面の面積が(後述する第2のシナリオと比べて)平均値から外れ難いこの第1のシナリオにおいては、放射露光及びひいては膨張率は、第1の放射ビーム110からターゲット材料120へと誘導されるエネルギーの量を維持することによって(第1の放射ビーム110によって露光されるターゲット材料120の表面積を要因として含めることを要せずに)維持又は制御可能である。

#### 【0094】

別の一例としては、図7Bに示されるように、第1の放射ビーム110の共焦点パラメータは、ビームウエスト(D1/2)がターゲット材料120を包含しないほど短く、第1の放射ビーム110によってインターセプトされるターゲット材料120の表面の面積は、ターゲット材料120の位置がビームウエストD1/2のロケーションL1から外れれば、平均値から外れる。例えば、ロケーションL1で第1の放射ビーム110によって

10

20

30

40

50

インターセプトされるターゲット材料 120 の表面の面積は、ロケーション L2 で第 1 の放射ビーム 110 によってインターセプトされるターゲット材料 120 の表面の面積とは大きく異なる。第 1 の放射ビーム 110 によってインターセプトされるターゲット材料 120 の表面の面積が（第 1 のシナリオにおけるよりも）平均値から外れ易いこの第 2 のシナリオにおいては、放射露光及びひいては膨張率は、第 1 の放射ビーム 110 からターゲット材料 120 へと送出されるエネルギーの量を制御することによって維持又は制御可能である。放射露光を制御するためには、ターゲット材料 120 の表面が単位面積当たり受信する第 1 の放射ビーム 110 の放射エネルギーが制御される。したがって、第 1 の放射ビーム 110 のパルスのエネルギーと、第 1 の放射ビーム 110 のうちターゲット材料 120 が第 1 の放射ビーム 110 をインターセプトする面積とを制御することが重要である。第 1 の放射ビーム 110 のうちターゲット材料 120 が第 1 の放射ビーム 110 をインターセプトする面積は、第 1 の放射ビーム 110 によってインターセプトされるターゲット材料 120 の表面と相関する。第 1 の放射ビーム 110 のうちターゲット材料 120 が第 1 の放射ビーム 110 をインターセプトする面積に影響を及ぼし得る別の要因は、第 1 の放射ビーム 110 のビームウエスト D1/2 のロケーション及び大きさの安定性である。例えば、第 1 の放射ビーム 110 のウエストの大きさ及び位置が一定であれば、ターゲット材料 120 のロケーションをビームウエスト D1/2 に対して制御することができる。第 1 の放射ビーム 110 のウエストの大きさ及び位置は、例えば光学源 105 における熱影響に起因して変化し得る。概して、第 1 の放射ビーム 110 においてパルスの一定のエネルギーを維持すること、及び、光学源 105 の他の観点を制御して、ターゲット材料 120 がビームウエスト D1/2 に対して既知の軸方向（Z 方向）の位置に、その位置について変動し過ぎることなく到着するようにすることが重要となる。

#### 【0095】

修正されたターゲット 121 の膨張率を許容可能な値の範囲内に維持又は制御するための説明した方法はすべて、測定システム 155 の使用を採用する。これを次に説明する。

#### 【0096】

再び図 1 を参照すると、測定システム 155 は、ターゲット材料 120、修正されたターゲット 121、及び第 1 の放射ビーム 110 のうち任意の一又は複数と関連した少なくとも 1 つの特性を測定する。例えば、測定システム 155 は、第 1 の放射ビーム 110 のエネルギーを測定し得る。図 8A に示されるように、例示的な測定システム 855A は、ターゲット材料 120 へと誘導される第 1 の放射ビーム 110 のエネルギーを測定する。

#### 【0097】

図 8B に示されるように、例示的な測定システム 855B は、第 1 の放射ビーム 110 がターゲット材料 120 と相互作用した後でターゲット材料 120 から反射された放射 860 のエネルギーを測定する。ターゲット材料 120 からの放射 860 の反射は、第 1 の放射ビーム 110 の実際の位置に対するターゲット材料 120 のロケーションを決定するために用いられ得る。

#### 【0098】

いくつかの実装形態においては、図 8C に示されるように、例示的な測定システム 855B は光学源 105 の光アンプシステム 300 内に配置されてもよい。この例では、測定システム 855B は、光アンプシステム 300 内の光学素子のうち 1 つ（薄膜ポラライザなど）に衝突するか又はそこから反射する、反射された放射 860 におけるエネルギーの量を測定するために配置され得る。ターゲット材料 120 から反射される放射 860 の量は、ターゲット材料 120 に送出されるエネルギーの量に比例する。したがって、反射された放射 860 を測定することによって、ターゲット材料 120 に送出されたエネルギーの量を制御又は維持することができる。また、第 1 の放射ビーム 110 又は反射された放射 860 のいずれかにおいて測定されるエネルギーの量は、ビーム中の光子の数と相関する。したがって、測定システム 855A 又は 855B は各ビーム中の光子の数を測定すると言える。さらに、測定システム 855B は、（第 1 の放射ビーム 110 によって衝突されるとすぐに修正されたターゲット 121 になる）ターゲット材料 120 から反射された光子の数

を、いくつかの光子がターゲット材料 1 2 0 に衝突するかの関数として、測定するものと考えられ得る。

【 0 0 9 9 】

測定システム 8 5 5 A 又は 8 5 5 B は、光電池のアレイ（例えば 2 × 2 のアレイ又は 3 × 3 のアレイ）などの光電センサであってもよい。光電池は、測定される光の波長に対する感度を有するとともに、測定される光パルスの持続時間に適した十分な速度又は帯域幅を有する。

【 0 1 0 0 】

一般に、測定システム 8 5 5 A 又は 8 5 5 B は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 の伝搬の方向に垂直な方向を横切って空間的に積分されたエネルギーを測定することによって、放射ビーム 1 1 0 のエネルギーを測定することができる。ビームのエネルギーの測定は迅速に実施され得るので、第 1 の放射ビーム 1 1 0 において放出された各パルスについて測定を行うことが可能であり、したがって、この測定及び制御はパルス毎に行われ得る。

10

【 0 1 0 1 】

測定システム 8 5 5 A、8 5 5 B は、長波長赤外（LWIR）放射に適した光電磁（PEM）ディテクタのような高速フォトディテクタであってもよい。PEM ディテクタは、近赤外放射もしくは可視放射を測定するためのシリコンダイオード又は近赤外放射を測定するための InGaAs ダイオードであり得る。第 1 の放射ビーム 1 1 0 のパルスのエネルギーは、測定システム 8 5 5 A、8 5 5 B によって測定されたレーザパルス信号を積分することによって決定され得る。

20

【 0 1 0 2 】

図 9 A を参照すると、測定システム 1 5 5 は、ターゲット位置に対するターゲット材料 1 2 0 の位置 T p o s を測定する例示的な測定システム 9 5 5 A であり得る。ターゲット位置は第 1 の放射ビーム 1 1 0 のビームウエストにあってもよい。ターゲット材料 1 2 0 の位置は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 のビーム軸に平行な方向（第 1 の軸方向 2 1 2 など）に沿って測定可能である。

【 0 1 0 3 】

図 9 B を参照すると、測定システム 1 5 5 は、光コレクタ 1 3 5 の主焦点 9 9 0 に対するターゲット材料 1 2 0 の位置 T p o s を測定する例示的な測定システム 9 5 5 B であり得る。そのような測定システム 9 5 5 B は、チャンバ 1 6 5 内の座標系に対するターゲット材料 1 2 0 の位置及びターゲット材料 1 2 0 の到着時間を測定するためにターゲット材料 1 2 0 が接近する際にターゲット材料 1 2 0 で反射するレーザ及び／又はカメラを含んでいてもよい。

30

【 0 1 0 4 】

図 9 C を参照すると、測定システム 1 5 5 は、修正されたターゲット 1 2 1 が第 2 の放射ビーム 1 1 5 と相互作用する前の位置における修正されたターゲット 1 2 1 の大きさを測定する例示的な測定システム 9 5 5 C であり得る。例えば、測定システム 9 5 5 C は、修正されたターゲット 1 2 1 が第 2 のターゲットロケーション 1 1 6 内にあるが修正されたターゲット 1 2 1 が第 2 の放射ビーム 1 1 5 によって衝突される前に、修正されたターゲット 1 2 1 の大きさ S m t を測定するように構成されていてもよい。測定システム 9 5 5 C は、修正されたターゲット 1 2 1 の配向も決定し得る。測定システム 9 5 5 C は、パルスバックライト照明装置及びカメラ（電荷結合素子カメラなど）のシャドウグラフ技術を用いてもよい。

40

【 0 1 0 5 】

測定システム 1 5 5 は一組の測定サブシステムを含んでいてもよく、各サブシステムは、特定の特性を異なる速度又はサンプリング間隔で測定するように設計されている。そのような一組のサブシステムは、協働して、第 1 の放射ビーム 1 1 0 がどのようにターゲット材料 1 2 0 と相互作用して修正されたターゲット 1 2 1 を形成するののかの鮮明な画像を提供し得る。

【 0 1 0 6 】

50

測定システム 155 は、チャンバ 165 内に、修正されたターゲット 121 が第 2 の放射ビーム 115 と相互作用した後でこの修正されたターゲットによって生成されるプラズマから放出された EUV エネルギーを検出するための複数の EUV センサを含んでいてもよい。放出された EUV エネルギーを検出することによって、修正されたターゲット 121 の角度又は第 2 の放射ビーム 115 に対する第 2 のビームの横方向のオフセットについての情報を得ることができる。

#### 【0107】

ビーム調整システム 180 は、制御システム 160 の制御下で、ターゲット材料 120 に送出されるエネルギーの量（放射露光）の制御を可能にするために使用される。放射露光は、第 1 の放射ビーム 110 がターゲット材料 120 と相互作用する位置における第 1 の放射ビームの面積が一定であると想定され得る場合には、第 1 の放射ビーム 110 内のエネルギーの量を制御することによって制御可能である。ビーム調整システム 180 は制御システム 160 から一又は複数の信号を受信する。ビーム調整システム 180 は、光学源 105 の一又は複数の特徴を調整して、ターゲット材料 120 へと送出されるエネルギーの量（すなわち放射露光）を維持するように、又は、ターゲット材料 120 へと誘導されるエネルギーの量を制御するように構成されている。したがって、ビーム調整システム 180 は、光学源 105 の特徴を制御する一又は複数のアクチュエータを含んでいてもよく、これらのアクチュエータは、機械力装置、電気力装置、光学力装置、電磁力装置、又は光学源 105 の特徴を修正する任意の適当な力装置であり得る。

#### 【0108】

いくつかの実装形態においては、ビーム調整システム 180 は、第 1 の放射ビーム 110 に結合されたパルス幅調整システムを含む。パルス幅調整システムは、第 1 の放射ビーム 110 のパルス幅を調整するように構成されている。この実装形態においては、パルス幅調整システムは、例えばポッケルスセルのような電気光学変調器を含み得る。例えば、ポッケルスセルは光発生装置 310 内に配置され、このポッケルスセルをより短い又は長い期間にわたって開くことにより、ポッケルスセルによって伝達されるパルス（及びひいては光発生装置 310 から放出されるパルス）は、より短く又は長くなるように調整され得る。

#### 【0109】

他の実装形態においては、ビーム調整システム 180 は、第 1 の放射ビーム 110 に結合されたパルスパワー調整システムを含む。パルスパワー調整システムは、第 1 の放射ビーム 110 の各パルスのパワーを、例えば各パルス内の平均パワーを調整することによって、調整するように構成されている。この実装形態においては、パルスパワー調整システムは音響光学変調器を含み得る。音響光学変調器は、変調器の端部において圧電トランスデューサに印加される RF 信号の変化が変更され、それによって、音響光学変調器から回折されたパルスのパワーが変化し得るように配置されてもよい。

#### 【0110】

いくつかの実装形態においては、ビーム調整システム 180 は、第 1 の放射ビーム 110 に結合されたエネルギー調整システムを含む。エネルギー調整システムは、第 1 の放射ビーム 110 のエネルギーを調整するように構成されている。例えば、エネルギー調整システムは、電氣的に可変のアテニュエータ（0 V と半波電圧との間で変化するポッケルスセル又は外部の音響光学変調器）であってもよい。

#### 【0111】

いくつかの実装形態においては、ビームウエスト D1/2 に対するターゲット材料 120 の位置又は角度は大きく変化するので、ビーム調整システム 180 は、第 1 のターゲットロケーション 111 に対する又はチャンバ 165 の座標系におけるチャンバ 165 内の別のロケーションに対するビームウエスト D1/2 のロケーション又は角度を制御する装置を含む。この装置は焦点アセンブリ 156 の一部であってもよく、ビームウエストを Z 方向に沿って、又は Z 方向を横切る方向に沿って（例えば X 方向及び Y 方向によって定義される平面に沿って）移動させるために用いられ得る。

## 【 0 1 1 2 】

上述したように、制御システム 1 6 0 は、測定システム 1 5 5 から受信した情報を分析し、第 1 の放射ビーム 1 1 0 の一又は複数のプロパティをどのように調整するかを決定し、それによって修正されたターゲット 1 2 1 の膨張率を制御又は維持する。図 1 0 を参照すると、制御システム 1 6 0 は、光学源 1 0 5 とインターフェイスする（光学源 1 0 5 から情報を受信するとともにこれに情報を送信する）ように特に構成されたサブコントローラ 1 0 0 0、測定システム 1 5 5 とインターフェイスするように特に構成されたサブコントローラ 1 0 0 5、ビームデリバリシステム 1 5 0 とインターフェイスするように構成されたサブコントローラ 1 0 1 0、及びターゲット材料供給システム 1 2 5 とインターフェイスするように構成されたサブコントローラ 1 0 1 5 のような、光源 1 0 0 の他の部分とインターフェイスする一又は複数のサブコントローラ 1 0 0 0、1 0 0 5、1 0 1 0、1 0 1 5 を含み得る。光源 1 0 0 は、図 1 及び 1 0 には示されていないが制御システム 1 6 0 とインターフェイスし得る他のコンポーネントを含んでいてもよい。例えば、光源 1 0 0 は、液滴位置検出フィードバックシステム及び一又は複数のターゲット又は液滴イメージャのような診断システムを含み得る。ターゲットイメージャは、例えば特定の位置（光コレクタ 1 3 5 の主焦点 9 9 0 など）に対する液滴の位置を示す出力を提供するとともに、この出力を液滴位置検出フィードバックシステムに提供し、このシステムが例えば液滴の位置及び軌道を算出して、そこから液滴毎に又は平均で液滴の位置の誤差が算出され得る。こうして、液滴位置検出フィードバックシステムは、液滴の位置の誤差を入力として制御システム 1 6 0 のサブコントローラに提供する。制御システム 1 6 0 は、レーザ位置、方向、及びタイミング補正信号を、例えば、一例としてレーザタイミング回路を制御するために用いられ得る光学源 1 0 5 内のレーザ制御システムに、及び／又は、ビーム伝送システムの増幅光ビームの位置及び整形を制御するためのビーム制御システムに提供して、第 1 の放射ビーム 1 1 0 又は第 2 の放射ビーム 1 1 5 の焦点面のロケーション及び／又は集光力を変化させる。

## 【 0 1 1 3 】

ターゲット材料デリバリシステム 1 2 5 はターゲット材料送出制御システムを含んでおり、これは、制御システム 1 6 0 からの信号に応答して、例えば、内部送出機構によって解放されるターゲット材料 1 2 0 の液滴の解放点を、所望のターゲットロケーション 1 1 1 に到着する液滴の誤差を補正するように修正するべく動作可能である。

## 【 0 1 1 4 】

制御システム 1 6 0 は概して、デジタル電子回路、コンピュータハードウェア、ファームウェア、及びソフトウェアのうち一又は複数を含む。制御システム 1 6 0 は、適切な入力及び出力デバイス 1 0 2 0、一又は複数のプログラム可能プロセッサ 1 0 2 5、及びプログラム可能プロセッサによる実行のために機械可読記憶デバイスにおいて有形に具現化された一又は複数のコンピュータプログラム製品 1 0 3 0 も含み得る。また、サブコントローラ 1 0 0 0、1 0 0 5、1 0 1 0、1 0 1 5 のようなサブコントローラの各々は、固有の適切な入力及び出力デバイス、一又は複数のプログラム可能プロセッサ、及びプログラム可能プロセッサによる実行のために機械可読記憶デバイスにおいて有形に具現化された一又は複数のコンピュータプログラム製品を含み得る。

## 【 0 1 1 5 】

一又は複数のプログラム可能プロセッサは、各々が、入力データに対して動作し適切な出力を生成することによって所望の機能を実施するように、命令のプログラムを実行し得る。一般に、プロセッサは、読み出し専用メモリ及び／又はランダムアクセスメモリから命令及びデータを受信する。コンピュータプログラム命令及びデータを有形に具現化するのに適した記憶デバイスはあらゆる形態の不揮発性メモリを含み、これは例えば、EPROM、EEPROM、及びフラッシュメモリデバイスのような半導体メモリデバイスや、内部ハードディスク及びリムーバブルディスクのような磁気ディスクや、光磁気ディスクや、CD-ROM ディスクを含む。前述のものはいずれも、特別に設計されたASIC（特定用途向け集積回路）によって補われてもよいし、又はそこに組み込まれてもよい。

## 【0116】

そのため、制御システム160は、一又は複数の測定システム155から測定データを受信する分析プログラム1040を含んでいる。一般に、分析プログラム1040は、第1の放射ビーム110からターゲット材料120へと送出されるエネルギーをどのように修正もしくは制御するかを決定するため、又は、第1の放射ビーム110のエネルギーを修正もしくは制御するために必要な分析のすべてを実施するものであって、そうした分析は、測定データがパルス毎に得られるのであれば、パルス毎に行われ得る。

## 【0117】

図11を参照すると、(制御システム160の制御下にある)光源100は、修正されたターゲット121の膨張率(ER)を維持又は制御し、それによって光源100の変換効率を高めるために、手順1100を実施する。光源100は、ターゲット材料120を提供する(1105)。例えば、(制御システム160の制御下にある)ターゲット材料供給システム125がターゲット材料120を第1のターゲットロケーション111へと送出してもよい。ターゲット材料供給システム125は、(制御システム160に接続された)固有の作動システムと、ターゲット材料を送り出すノズルとを含んでいてもよく、作動システムは、ノズルを通じて誘導されるターゲット材料の量を制御して、第1のターゲットロケーション111の方に誘導される液滴流を生成する。

## 【0118】

次に、光源100は、第1の放射ビーム110をターゲット材料120の方に誘導してエネルギーをターゲット材料120へと送出し、ターゲット材料120の幾何分布を修正して、修正されたターゲット121を形成する(1110)。特に、第1の放射ビーム110は、一又は複数の光アンプの第1の組300を通じてターゲット材料120の方に誘導される。例えば、光学源105は制御システム160によって作動されて(パルスの形態の)第1の放射ビーム110を生成してもよく、これが図2に示されるようにターゲットロケーション111内のターゲット材料120の方に誘導され得る。第1の放射ビーム110の焦点面(ビームウエストD1/2にある)は、ターゲットロケーション111と交差するように構成されてもよい。また、いくつかの実装形態においては、焦点面はターゲット材料120又は第1の放射ビーム110に対向するターゲット材料120の端部と重なり合っているもよい。第1の放射ビーム110は、例えばビームデリバリシステム150を通じて第1の放射ビーム110を誘導することによって、ターゲット材料120へと誘導され得る(1110)。ビームデリバリシステムでは、放射110がターゲット材料120と相互作用するように放射110の方向又は形状又は発散度を修正するために様々な光学系が用いられ得る。

## 【0119】

第1の放射ビーム110は、ターゲット材料120を第1の放射ビーム110のうち共焦点パラメータを包含するエリアと重ね合わせることによって、ターゲット材料120の方に誘導可能である(1110)。いくつかの実装形態においては、第1の放射ビーム110の共焦点パラメータは、ビームウエスト(D1/2)がターゲット材料120を容易に包含するほど長く、第1の放射ビーム110によってインターセプトされるターゲット材料120の表面の面積(X方向にわたって測定される)は、たとえターゲット材料120の位置が(図7Aに示されるように)ビームウエストD1/2のロケーションから外れても、比較的一定のままである。例えば、第1の放射ビーム110の共焦点パラメータは、1.5mmよりも大きくてもよい。他の実装形態においては、第1の放射ビーム110の共焦点パラメータは、ビームウエスト(D1/2)がターゲット材料120を包含しないほど短く、第1の放射ビーム110によってインターセプトされるターゲット材料120の表面の面積は、ターゲット材料120の位置が(図7Bに示されるように)ビームウエストD1/2のロケーションL1から外れれば、かなり外れる。例えば、共焦点パラメータは一例として2mm以下であってもよい。

## 【0120】

修正されたターゲット121は、第1の放射ビーム110による衝突の直後のターゲッ

10

20

30

40

50



ト材料 1 2 0 の形状から膨張形状へと形状を変化させ、この膨張形状は、第 1 のターゲットロケーション 1 1 1 から遠ざかるように第 2 のターゲットロケーション 1 1 6 の方へと漂流するにつれて変形し続ける。修正されたターゲット 1 2 1 は、ターゲット材料の形状から（図 1 及び 2 に示されるもののよう）略平坦面を有する熔融金属のディスク状の塊へと変形する幾何分布を有し得る。修正されたターゲット 1 2 1 は膨張率に従ってディスク状の塊へと変態される。修正されたターゲット 1 2 1 は、修正されたターゲット 1 2 1 を少なくとも 1 つの軸に沿って膨張率に従い膨張することによって変態される。例えば、図 2 に示されるように、修正されたターゲット 1 2 1 は少なくとも X 方向に概ね平行な長軸 2 3 0 に沿って膨張される。修正されたターゲット 1 2 1 は、第 2 の放射ビーム 1 1 5 の光軸（これは第 2 の軸方向 2 1 7 である）と平行でない少なくとも 1 つの軸に沿って膨張される。

10

#### 【 0 1 2 1 】

第 1 の放射ビーム 1 1 0 は主としてターゲット材料 1 2 0 の形状を変化させることによってターゲット材料 1 2 0 と相互作用するが、第 1 の放射ビーム 1 1 0 は、他の手法でターゲット材料 1 2 0 と相互作用することが可能である。例えば、第 1 の放射ビーム 1 1 0 は、ターゲット材料 1 2 0 の一部を、EUV 光を放出するプラズマに変換し得る。もっとも、ターゲット材料 1 2 0 から作り出されるプラズマからは、（修正されたターゲット 1 2 1 と第 2 の放射ビーム 1 1 5 との後続の相互作用によって）修正されたターゲット 1 2 1 から作り出されるプラズマからよりも少ない EUV 光が放出され、第 1 の放射ビームは 1 1 0 からのターゲット材料 1 2 0 に対する主な作用は、ターゲット材料 1 2 0 の幾何分布を修正して修正されたターゲット 1 2 1 を形成することである。

20

#### 【 0 1 2 2 】

光源 1 0 0 は、第 2 の放射ビーム 1 1 5 が修正されたターゲット 1 2 1 の少なくとも一部を EUV 光を放出するプラズマ 1 2 9 に変換するように、第 2 の放射ビームを修正されたターゲット 1 2 1 の方に誘導する（1 1 1 5）。特に、光源 1 0 0 は、第 2 の放射ビーム 1 1 5 を、一又は複数の光アンプの第 2 の組 3 0 5 を通じて、修正されたターゲット 1 2 1 の方に誘導する。例えば、光学源 1 0 5 は制御システム 1 6 0 によって作動されて（パルスの形態の）第 2 の放射ビーム 1 1 5 を生成してもよく、これが図 2 に示されるように第 2 のターゲットロケーション 1 1 6 内の修正されたターゲット 1 2 1 の方に誘導され得る。図 5 に示される例のように、第 1 の組 3 0 0 の少なくとも 1 つの光アンプが第 2 の組 3 0 5 にあってもよい。

30

#### 【 0 1 2 3 】

光源 1 0 0 は、ターゲット材料 1 2 0 と第 1 の放射ビーム 1 1 0 に関して修正されたターゲット 1 2 1 とのうち一又は複数に関連する一又は複数の特性（例えばエネルギー）を測定する（1 1 2 0）。例えば、測定システム 1 5 5 が制御システム 1 6 0 の制御下で特性を測定し、制御システム 1 6 0 が測定システム 1 5 5 から測定データを受信する。光源 1 0 0 は、ターゲット材料 1 2 0 における第 1 の放射ビーム 1 1 0 からの放射露光を、一又は複数の測定された特性に基づいて制御する（1 1 2 5）。上述のように、放射露光とは、第 1 の放射ビーム 1 1 0 からターゲット材料 1 2 0 に送出される、単位面積当たりの放射エネルギーの量である。換言すれば、放射露光とは、ターゲット材料 1 2 0 の表面が単位面積当たり受信する放射エネルギーである。

40

#### 【 0 1 2 4 】

いくつかの実装形態においては、測定可能な特性（1 1 2 0）は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 のエネルギーである。他の一般的な実装形態においては、測定可能な特性（1 1 2 0）は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 の位置に対する（例えば第 1 の放射ビーム 1 1 0 のビームウエストに対する）ターゲット材料 1 2 0 の位置であり、そのような位置は、長手（Z）方向又はその長手方向を横切る（例えば X - Y 平面の）方向で決定され得る。

#### 【 0 1 2 5 】

第 1 の放射ビーム 1 1 0 のエネルギーは、（図 8 B 及び 8 C に示されるように）ターゲット材料 1 2 0 の光反射面から反射された放射 8 6 0 のエネルギーを測定することによって測

50

定可能である。ターゲット材料 1 2 0 の光反射面から反射された放射 8 6 0 のエネルギーは、4 つの個々の光電池にわたる放射 8 6 0 の全強度を測定することによって測定可能である。

【 0 1 2 6 】

後方反射された放射 8 6 0 の全エネルギー含量は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 についての他の情報と組み合わせて、Z 方向又は Z 方向を横切る ( X - Y 平面などの ) 方向のいずれかに沿ったターゲット材料 1 2 0 と第 1 の放射ビーム 1 1 0 のビームウエストとの相対的な位置を決定するために用いられ得る。あるいは、後方反射された放射 8 6 0 の全エネルギー含量は、( 他の情報とともに ) Z 方向に沿ったターゲット材料 1 2 0 と第 1 の放射ビームのビームウエストとの相対的な位置を決定するために用いられ得る。

10

【 0 1 2 7 】

第 1 の放射ビーム 1 1 0 のエネルギーは、( 図 8 A に示されるように ) ターゲット材料 1 2 0 の方に誘導される第 1 の放射ビーム 1 1 0 のエネルギーを測定することによって測定可能である。第 1 の放射ビーム 1 1 0 のエネルギーは、第 1 の放射ビーム 1 1 0 の伝搬の方向 ( 第 1 の軸方向 2 1 2 ) に垂直な方向を横切って空間的に積分されたエネルギーを測定することによって測定可能である。

【 0 1 2 8 】

いくつかの実装形態においては、測定可能な特性 ( 1 1 2 0 ) は、( 図 8 A に示されるように ) 第 1 の放射ビーム 1 1 0 がターゲット材料 1 2 0 の方へと進む際のポインティング又は方向である。このポインティングについての情報は、ターゲット材料 1 2 0 の位置と第 1 の放射ビーム 1 1 0 の軸との重ね合わせ誤差を決定するために用いられ得る。

20

【 0 1 2 9 】

いくつかの実装形態においては、測定可能な特性 ( 1 1 2 0 ) は、ターゲット位置に対するターゲット材料 1 2 0 の位置である。ターゲット位置は Z 方向に沿った第 1 の放射ビーム 1 1 0 のビームウエスト ( D 1 / 2 ) にあってもよい。ターゲット材料 1 2 0 の位置は、第 1 の軸方向 2 1 2 に平行な方向に沿って測定可能である。ターゲット位置は、光コレクタ 1 3 5 の主焦点 9 9 0 に対して測定可能である。ターゲット材料 1 2 0 の位置は、2 つ以上の非平行の方向に沿って測定されてもよい。

【 0 1 3 0 】

いくつかの実装形態においては、測定可能な特性 ( 1 1 2 0 ) は、第 2 の放射ビームが修正されたターゲットの少なくとも一部をプラズマに変換する前の修正されたターゲットの大きさである。

30

【 0 1 3 1 】

いくつかの実装形態においては、測定可能な特性 ( 1 1 2 0 ) は、修正されたターゲットの膨張率の推定に対応する。

【 0 1 3 2 】

いくつかの実装形態においては、測定可能な特性 ( 1 1 2 0 ) は、( 図 8 B 及び 8 C に示されるように ) ターゲット材料 1 2 0 の光反射面から反射された放射 8 6 0 の空間的特性に対応する。そのような情報は、( 例えば Z 方向に沿った ) ターゲット材料 1 2 0 と第 1 の放射ビーム 1 1 0 のビームウエストとの相対的な位置を決定するために用いられ得る。この空間的特性は、反射された放射 8 6 0 のパス内に配置された非点収差撮像システムを用いることによって決定又は測定可能である。

40

【 0 1 3 3 】

いくつかの実装形態においては、測定可能な特性 ( 1 1 2 0 ) は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 の角度に対して放射 8 6 0 が向けられる角度に対応する。この測定された角度は、Z 方向を横切る方向に沿ったターゲット材料 1 2 0 と第 1 の放射ビーム 1 1 0 のビーム軸との間の距離を決定するために用いられ得る。

【 0 1 3 4 】

他の実装形態においては、測定可能な特性 ( 1 1 2 0 ) は、第 1 の放射ビーム 1 1 0 がターゲット材料 1 2 0 と相互作用した後で形成される修正されたターゲット 1 2 1 の空間

50

的な観点に対応する。例えば、修正されたターゲット121の角度は、ある方向、例えばZ方向を横切るX-Y平面内の方向に対して測定されてもよい。修正されたターゲット121の角度についてのそのような情報は、Z方向を横切る方向に沿ったターゲット材料120と第1の放射ビーム110の軸との間の距離を決定するために用いられ得る。別の一例としては、修正されたターゲット121の大きさ又は膨張率は、ターゲット材料120と第1の放射ビーム110との相互作用によって修正されたターゲットが最初に形成されてから所定の又は設定された時間の後で測定されてもよい。修正されたターゲット121の大きさ又は膨張率についてのそのような情報は、第1の放射ビーム110のエネルギーが一定であることが分かっているのであれば、長手方向(Z方向)に沿ったターゲット材料120と第1の放射ビーム110のビームウエストとの間の距離を決定するために用いられ得る。

10

#### 【0135】

特性は、第1の放射ビーム110の各パルスについてと同じように速く測定可能である(1120)。例えば、測定システム155がPEM又はクワッドセル(4つのPEMを配置したもの)を含む場合、測定速度はパルス毎と同じように速くなり得る。

#### 【0136】

その一方で、ターゲット材料120又は修正されたターゲット121の大きさ又は膨張率などの特性を測定している測定システム155については、その測定システム155にはカメラを用いることが可能であるが、カメラは一般にずっと遅く、例えばカメラは約1Hz乃至約200Hzの速度で測定し得る。

20

#### 【0137】

いくつかの実装形態においては、第1の放射ビーム110からターゲット材料120に送出される放射露光の量は、修正されたターゲットの膨張率をそれによって制御又は維持するように制御可能である(1125)。他の実装形態においては、第1の放射ビーム110からターゲット材料120に送出される放射露光の量は、第1の放射ビーム110の特徴が一又は複数の測定された特性に基づいて調整されるべきかどうかを決定することによって、制御可能である(1125)。したがって、第1の放射ビーム110の特徴が調整されるべきであると決定される場合には、例えば、第1の放射ビーム110のパルスのエネルギー含量が調整されてもよく、又は、ターゲット材料120の位置における第1の放射ビーム110の面積が調整されてもよい。第1の放射ビーム110のパルスのエネルギー含量は、第1の放射ビーム110のパルス幅と、第1の放射ビーム110のパルス長と、第1の放射ビーム110のパルスの平均パワー又は瞬時パワーとのうち一又は複数の調整することによって調整可能である。ターゲット材料120と相互作用する第1の放射ビーム110の面積は、ターゲット材料120と第1の放射ビーム110のビームウエストとの(Z方向に沿った)相対的な軸方向の位置を調整することによって調整可能である。

30

#### 【0138】

いくつかの実装形態においては、一又は複数の特性は、第1の放射ビーム110の各パルスについて測定可能である(1120)。このようにして、第1の放射ビーム110の特徴が第1の放射ビーム110の各パルスについて調整されるべきかどうか決定され得る。

40

#### 【0139】

いくつかの実装形態においては、第1の放射ビーム110からターゲット材料120に送出される放射露光は、放出され収集されるEUV光140の少なくとも一部がリソグラフィツールのウェーハを露光している間に放射露光を制御することによって、(例えば許容可能な放射露光の範囲内に)制御可能である。

#### 【0140】

手順1100は、プラズマから放出されたEUV光130の少なくとも一部を(光コレクタ135を用いて)収集すること、及び、収集されたEUV光140をウェーハの方に誘導してウェーハをEUV光140に露光させることも含み得る。

#### 【0141】

50

いくつかの実装形態においては、一又は複数の測定される特性(1120)は、修正されたターゲット121から反射された光子の数を含む。修正されたターゲット121から反射された光子の数は、いくつかの光子がターゲット材料120に衝突するのかの関数として測定可能である。

#### 【0142】

上述のように、手順1100は、ターゲット材料120における第1の放射ビーム110からの放射露光を一又は複数の特性に基づいて制御すること(1125)を含む。例えば、放射露光は、所定の放射露光の範囲内に維持されるように制御され得る1125。放射露光とは、第1の放射ビーム110からターゲット材料120に送出される、単位面積当たりの放射エネルギーの量である。換言すれば、放射露光とは、ターゲット材料120の表面が単位面積当たり受信する放射エネルギーである。第1の放射ビーム110に露光されるか又はこれによってインターセプトされるターゲット材料120の表面の単位面積が制御される(又は許容可能な範囲内に維持される)場合には、この放射露光という要因は比較的一定のままであり、第1の放射ビーム110のエネルギーを許容可能なエネルギーの範囲内に維持することによって、ターゲット材料120における放射露光を制御すること又は放射露光を維持すること(1125)が可能である。第1の放射ビーム110に露光されるターゲット材料120の表面の単位面積を許容可能な面積の範囲に維持するためには様々な手法がある。次にこれらについて述べる。

#### 【0143】

ターゲット材料120における第1の放射ビーム110からの放射露光(1125)は、第1の放射ビーム110のパルスのエネルギーが、エネルギーを変動させ得る擾乱にもかかわらず、(測定された特性1120を用いたフィードバック制御によって)一定のレベル又は許容可能な値の範囲内に維持されるように制御され得る。

#### 【0144】

他の態様では、ターゲット材料120における第1の放射ビーム110からの放射露光(1125)は、第1の放射ビーム110のパルスのエネルギーが、測定された特性1120を用いたフィードバック制御によって、第1の放射ビーム110のビームウエストに対するターゲット材料120の位置の長手方向(Z方向)の配置の誤差を補償するべく調整(例えば増大又は減少)されるように制御され得る。

#### 【0145】

第1の放射ビーム110は、光のパルスがターゲット材料120の方に誘導されるように、パルス状の放射ビームであってもよい(1110)。同様に、第2の放射ビーム115は、光のパルスが修正されたターゲット121の方に誘導されるように、パルス状の放射ビームであってもよい(1115)。

#### 【0146】

ターゲット材料120は、ターゲット材料供給システム125から生成されたターゲット材料120の液滴であってもよい。こうしてターゲット材料120の幾何分布が修正されて修正されたターゲット121となってもよく、これが略平坦面を有する熔融金属のディスク状の塊へと変態される。ターゲット材料の液滴は膨張率に従ってディスク状の塊へと変態される。

#### 【0147】

図12を参照すると、光源100によって(制御システム160の制御下で)、修正されたターゲット121と第2の放射ビーム115との相互作用により形成されたプラズマ129によって生成されるEUV光エネルギーを安定化するための手順1200が実施される。上述の手順1100と同様に、光源100はターゲット材料120を提供し(1205)、光源100は第1の放射ビーム110をターゲット材料120の方に誘導してエネルギーをターゲット材料120へと送出し、ターゲット材料120の幾何分布を修正して修正されたターゲット121を形成し(1210)、光源100は、第2の放射ビームが修正されたターゲット121の少なくとも一部をEUV光を放出するプラズマ129に変換するように、第2の放射ビーム115を修正されたターゲット121の方に誘導する(1

215)。光源100は、第1の放射ビーム110からターゲット材料120に適用される放射露光を、手順1110を用いて制御する(1220)。

【0148】

EUV光130のパワー又はエネルギーは、放射露光を制御することによって安定化される(1225)。プラズマ129によって生成されるEUVエネルギー(又はパワー)は少なくとも2つの関数に依存し、その第1は変換効率CEであり、第2は第2の放射ビーム115のエネルギーである。変換効率とは、第2の放射ビーム115によってプラズマ129に変換される、修正されたターゲット121のパーセント値である。変換効率は、第2の放射ビーム115のピークパワー、第2の放射ビーム115と相互作用するときの修正されたターゲット121の大きさ、所望の位置に対する修正されたターゲット121の位置、修正されたターゲット121と相互作用する時点での第2の放射ビーム115の横断面積又は大きさを含むいくつかの変数に依存する。修正されたターゲット121の位置及び修正されたターゲット121の大きさはターゲット材料120が第1の放射ビーム110とどのように相互作用するのかによって決まるので、第1の放射ビーム110からターゲット材料120に適用される放射露光を制御することによって、修正されたターゲット121の膨張率を制御することが可能であり、ひいてはこれらの2つの要因を制御することができる。このようにして、放射露光を制御することによって変換効率が安定化又は制御されることが可能となり(1220)、したがってプラズマ129によって生成されるEUVエネルギーが安定する(1225)。

【0149】

図13も参照すると、いくつかの実装形態においては、第1の放射ビーム110は光学源105内の専用のサブシステム1305Aによって生成されてもよく、第2の放射ビーム115は光学源105内の専用及び別個のサブシステム1305Bによって生成されてもよいので、放射ビーム110、115は、第1及び第2のターゲットロケーション111、116のそれぞれへと向かう途上で、2つの別個のパスを辿る。こうすると、放射ビーム110、115の各々は、ビームデリバリシステム150の各サブシステムを通じて進み、したがってそれぞれ別個の光学操向コンポーネント1352A、1352Bと焦点アセンブリ1356A、1356Bとを通じて進む。

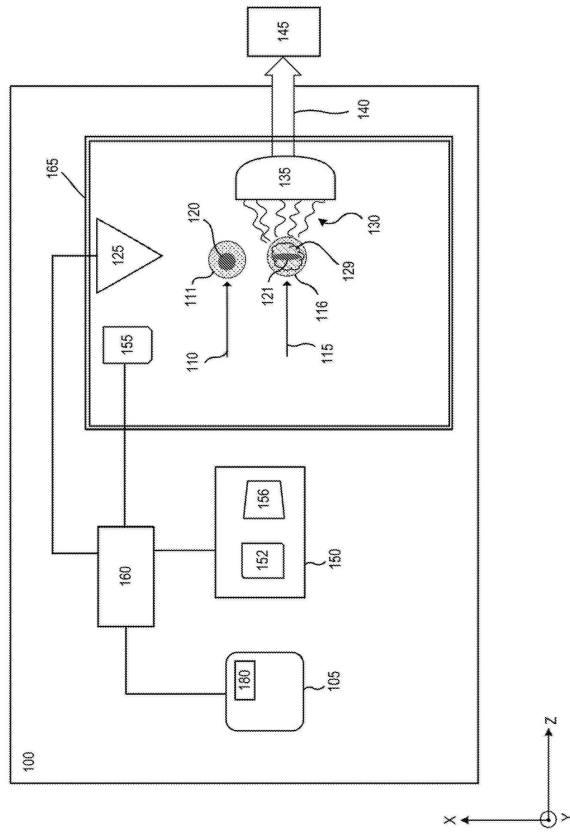
【0150】

例えば、サブシステム1305Aは固体利得媒質に基づくシステムであってもよく、その一方でサブシステム1305BはCO<sub>2</sub>アンプによって生成されるもののような気体利得媒質に基づくシステムであってもよい。サブシステム1305Aとして用いられ得る例示的な固体利得媒質は、エルビウム添加ファイバレーザ及びネオジウム添加イットリウムアルミニウムガーネット(Nd:YAG)レーザを含む。この例においては、第1の放射ビーム110の波長は第2の放射ビーム115の波長とは異なり得る。例えば、固体利得媒質を用いる第1の放射ビーム110の波長は約1µm(例えば約1.06µm)であってもよく、気体媒質を用いる第2の放射ビーム115の波長は約10.6µmであってもよい。

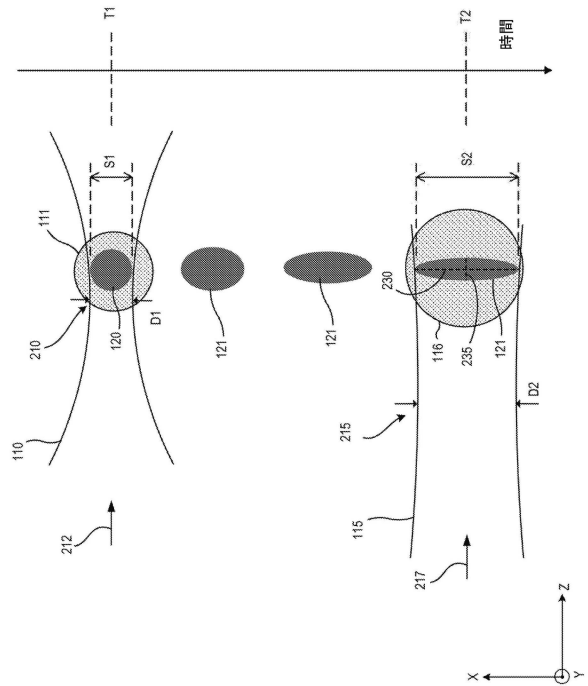
【0151】

他の実装形態は特許請求の範囲に記載の範囲内にある。

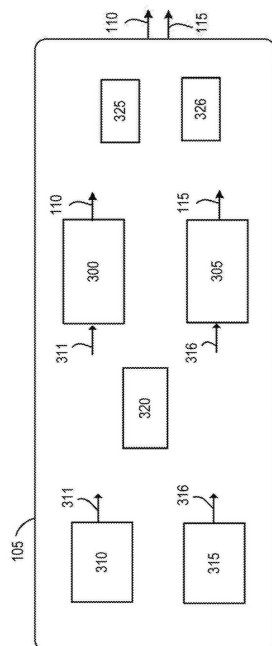
【図 1】



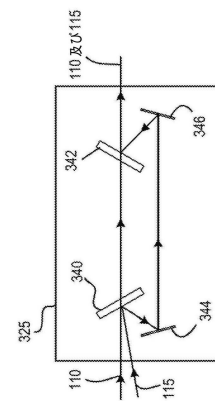
【図 2】



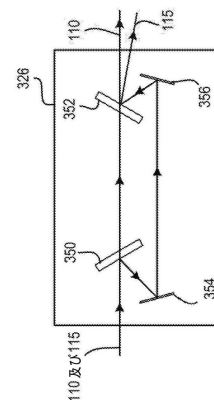
【図 3 A】



【図 3 B】

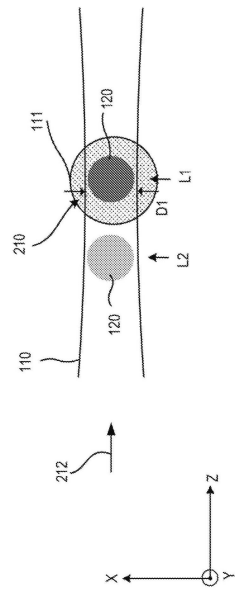


【図 3 C】

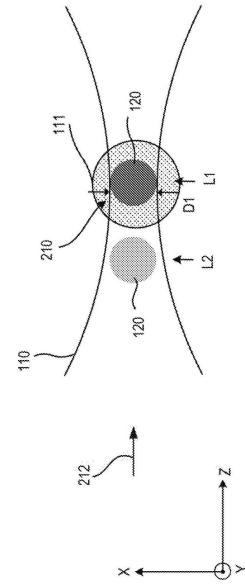




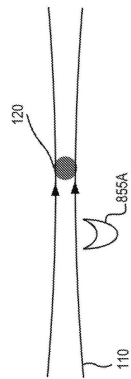
【図 7 A】



【図 7 B】



【図 8 A】

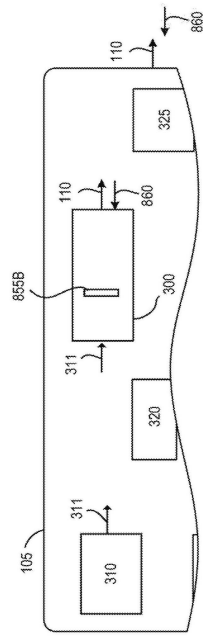


【図 8 B】

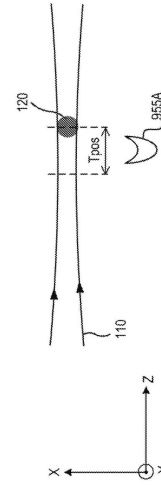




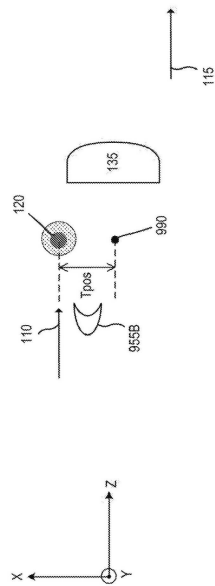
【図 8 C】



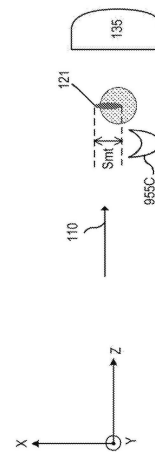
【図 9 A】



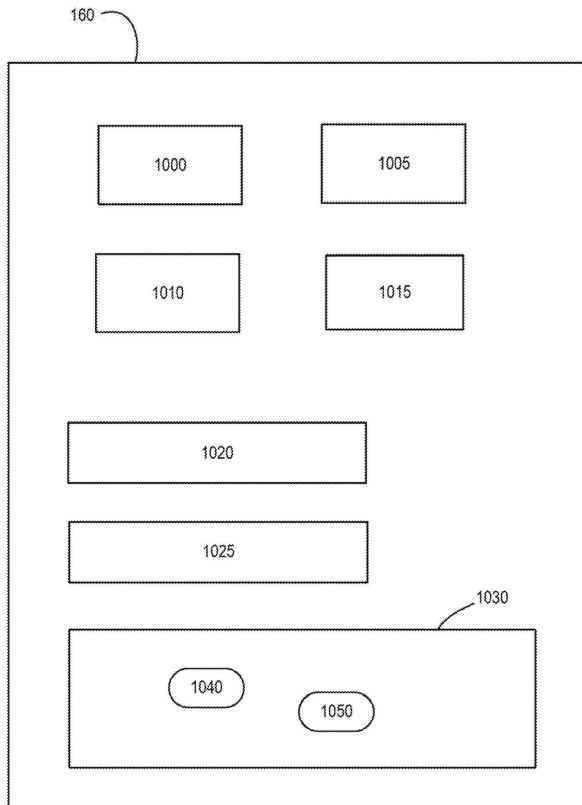
【図 9 B】



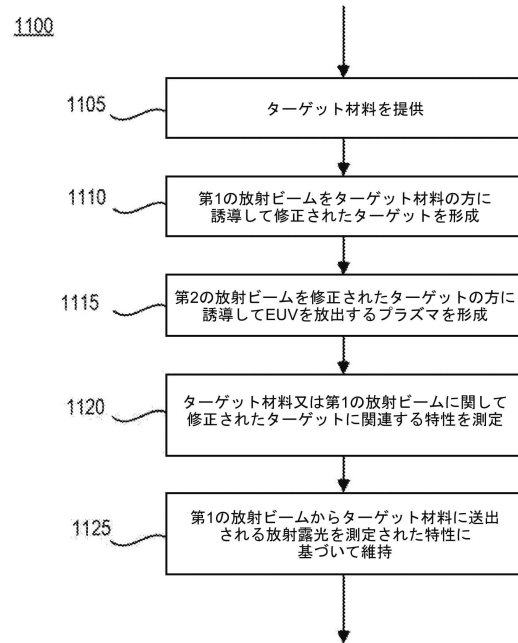
【図 9 C】



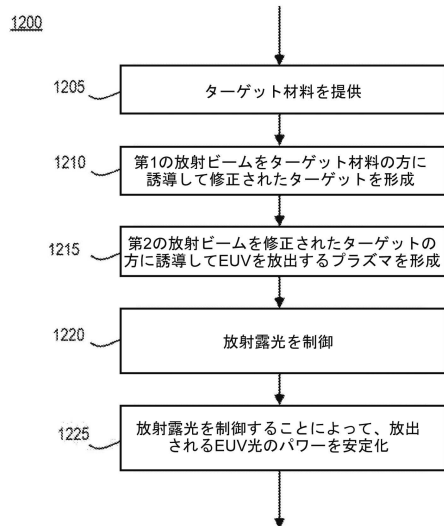
【図 10】



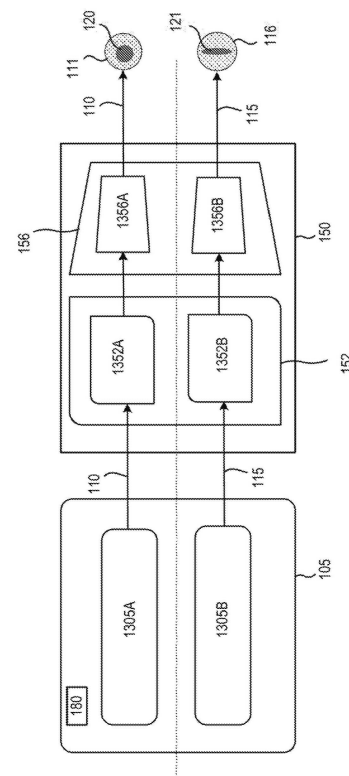
【図 11】



【図 12】



【図 13】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 1 S 3/10 Z  
H 0 1 S 3/23

(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 9 2 1 2 7 - 2 4 1 3, サン ディエゴ, ソーンミント コ  
ート 1 7 0 7 5

(72)発明者 リッグス, ダニエル ジェイソン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 9 2 1 2 7 - 2 4 1 3, サン ディエゴ, ソーンミント コ  
ート 1 7 0 7 5

審査官 右 高 孝幸

(56)参考文献 特開2013-105725(JP, A)  
特開2013-004258(JP, A)  
国際公開第2014/143504(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G 0 3 F 7 / 2 0  
H 0 1 S 3 / 0 0  
H 0 5 G 2 / 0 0