

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2016-512913

(P2016-512913A)

(43) 公表日 平成28年5月9日(2016.5.9)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)		
H05G	2/00	(2006.01)	H05G	2/00	K	2H197
G03F	7/20	(2006.01)	G03F	7/20	503	4C092
H01S	3/00	(2006.01)	G03F	7/20	521	5F172
			H01S	3/00	A	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2016-500394 (P2016-500394)
 (86) (22) 出願日 平成26年2月25日 (2014. 2. 25)
 (85) 翻訳文提出日 平成27年10月14日 (2015. 10. 14)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2014/018422
 (87) 国際公開番号 W02014/149436
 (87) 国際公開日 平成26年9月25日 (2014. 9. 25)
 (31) 優先権主張番号 13/843, 626
 (32) 優先日 平成25年3月15日 (2013. 3. 15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 504151804
 エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
 ブイ.
 オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
 O エーエイチ, ビー. 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
 (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 92
 127, サン ディエゴ, ソーンミニト
 コート 17075

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 極端紫外線光源

(57) 【要約】

ターゲット位置に入る前に空間的に延在しているターゲット分布又は拡張ターゲットへと修正されているターゲット材料からのフィードバックで、極端紫外線光源からのパワーを強化する技術について説明する。空間的に延在しているターゲット分布からのフィードバックは非共振型の光学キャビティを提供する。なぜなら、フィードバックが生じる経路の往復の長さ及び方向などの幾何形状が経時変化することがある、又は、空間的に延在しているターゲット分布の形状が滑らかで十分な反射を提供しないことがあるからである。しかしながら、上述した幾何学的及び物理的制約を克服した場合、空間的に延在しているターゲット分布からのフィードバックが、共振型でコヒーレントな光学キャビティを提供することが可能になることがある。いかなる場合も、非発振器利得媒体から生成された自然放出光を使用して、フィードバックを発生させることができる。

【選択図】 図9

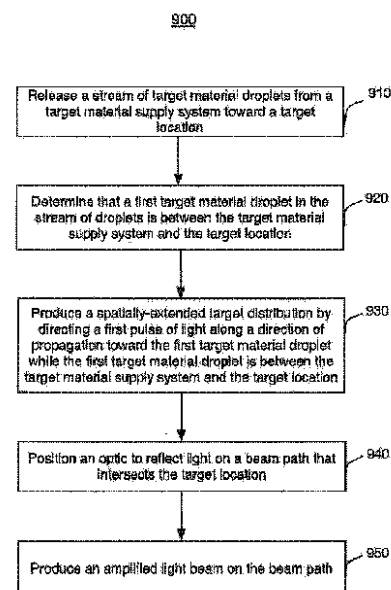


FIG. 9

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ターゲット領域に向かってターゲット材料小滴の流れを放出するステップであって、前記流れ内の前記小滴がターゲット材料供給システムから前記ターゲット領域への軌跡に沿って進行する、流れを放出するステップと、

前記第 1 ターゲット材料小滴が前記ターゲット材料供給装置と前記ターゲット領域との間にある間に、第 1 光パルスを伝播方向に沿って前記第 1 ターゲット材料小滴に向かって誘導することによって、空間的に延在するターゲット分布を生成するステップであって、前記第 1 光パルスの前記第 1 ターゲット材料小滴への衝突により、前記伝播方向に面する面で前記第 1 ターゲット材料小滴の断面直径を増加させ、前記伝播方向に平行な方向に沿って前記第 1 ターゲット材料小滴の厚さを減少させる、空間的に延在するターゲット分布を生成するステップと、

光学系を位置決めし、前記ターゲット位置に交差するビーム経路を確立するステップと、

前記ビーム経路に利得媒体を結合するステップと、

前記空間的に延在するターゲット分布に交差する増幅光ビームを生成し、前記空間的に延在するターゲット分布からの前記利得媒体から放出された光子を散乱させることによって極端紫外線（EUV）光を生成するプラズマを生成するステップであって、散乱した前記光子の少なくとも一部が、前記ビーム経路上に配置され、前記増幅光ビームを生成する、増幅光ビームを生成するステップと、を含む方法。

【請求項 2】

前記 EUV 光が、前記ビーム経路に外部光子を提供せずに生成される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記流れが複数のターゲット材料小滴を含み、各々が前記軌跡に沿って相互から分離され、前記流れ内の複数の前記小滴から別個の空間的に延在するターゲット分布が生成される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第 1 光パルスが $1.06 \mu\text{m}$ の波長を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記伝播方向を横断する前記面における前記空間的に延在するターゲット分布の断面直径が、前記第 1 ターゲット材料小滴の断面直径より 3 ~ 4 倍大きい、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 光パルスが前記第 1 ターゲット材料小滴に衝突した後の期間に、前記空間的に延在するターゲット分布が生成される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 1 光パルスが 10 ns の持続時間を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記増幅光ビームが、 $400 \sim 500 \text{ ns}$ のフット間持続時間を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記増幅光ビームが、 $10.6 \mu\text{m}$ の波長を有する光を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記増幅光ビームが、前記第 1 光パルスの波長の約 10 倍である波長を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記小滴の流れ内にある第 1 ターゲット材料小滴が、前記ターゲット材料供給システムと前記ターゲット領域との間にあることを感知するステップをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2】

前記空間的に延在するターゲット分布が円板の形態である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

前記円板が溶融金属の円板を含む、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記増幅光ビームが、前記空間的に延在するターゲット分布に交差して、コヒーレント放射線を全く生成せずに極端紫外線（EUV）光を生成する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記光学系が、前記ターゲット位置とは反対側の前記利得媒体の側に位置決めされ、光を反射して前記ビーム経路に戻す、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 1 6】

極端紫外線光源であって、

ビーム経路に光を提供するように位置決めされた光学系と、

ターゲット供給システムから前記ビーム経路に交差するターゲット位置への軌跡に沿ってターゲット材料小滴の流れを生成するターゲット供給システムと、

前記ターゲット供給システムと前記ターゲット位置との間の位置で、前記ターゲット材料小滴の流れ内のターゲット材料小滴を照射するように位置決めされた光源であって、ターゲット材料小滴を物理的に変形させて、空間的に延在するターゲット分布にするのに十分なエネルギーの光を放出する光源と、

前記ターゲット位置と前記光学系との間の前記ビーム経路上に位置決めされた利得媒体と、

20

前記ターゲット位置に少なくとも部分的に一致するように位置決め可能な空間的に延在するターゲット分布であって、前記ビーム経路に沿って、空間的に延在するターゲット分布と前記光学系との間に光学キャビティを規定する空間的に延在するターゲット分布と、を備え、

前記空間的に延在するターゲット分布及び前記ターゲット材料小滴が、プラズマ状態で EUV 光を放出する材料を含む、光源。

【請求項 1 7】

前記ターゲット材料がスズを含み、前記ターゲット材料小滴が溶融スズの小滴を含む、請求項 1 6 に記載の光源。

30

【請求項 1 8】

前記空間的に延在するターゲット分布が、前記光学キャビティによって生成された増幅光ビームの伝播方向に垂直である面に断面直径を有し、前記空間的に延在するターゲット分布の前記断面直径が、前記ターゲット材料小滴の断面直径より 3 ~ 4 倍大きい、請求項 1 6 に記載の光源。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

開示される主題は、空間的に延在しているターゲット分布からのフィードバックで極端紫外線光源からのパワーを強化することに関する。

40

【背景技術】**【0002】**

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

【0003】

EUV 光を生成する方法には、プラズマ状態に 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、プラズマは、多くの場合レーザ生成プラズマ（

50

L P P) と呼ばれ、例えば材料の小滴、流れ又はクラスタの形態のターゲット材料に、ドライブレザと呼ぶことができる増幅光ビームを照射することによって生成することができる。このプロセスでは、プラズマは通常、密封容器、例えば真空チャンバ内で生成され、様々なタイプのメトロロジーマ機器を使用して監視される。

【発明の概要】

【0004】

ある一般的な態様では、方法は、ターゲット領域に向かってターゲット材料小滴の流れを放出するステップであって、流れ内の小滴がターゲット材料供給システムからターゲット領域への軌跡に沿って進行する、放出するステップと、第1ターゲット材料小滴がターゲット材料供給装置とターゲット領域との間にある間に、第1光パルスを伝播方向に沿って第1小滴に向かって誘導することによって、空間的に延在しているターゲット分布を生成するステップであって、第1光パルスが第1ターゲット材料小滴に衝突することにより、伝播方向に面する面で第1ターゲット材料小滴の断面直径が増加して、伝播方向に平行な方向に沿って第1ターゲット材料小滴の厚さを減少させる、ターゲット分布を生成するステップと、ターゲット位置に交差するビーム経路を確立する光学系を位置決めするステップと、利得媒体をビーム経路に結合するステップと、空間的に延在しているターゲット分布からの利得媒体から放出した光子の散乱によって極端紫外線(EUV)光を発生させるプラズマを生成するために、空間的に延在しているターゲット分布と交差する増幅光ビームを生成するステップであって、散乱光子の少なくとも一部がビーム経路に配置される、増幅光ビームを生成するステップと、を含む。

10

20

【0005】

実施態様は、以下の特徴のうち1つ以上を含むことができる。例えば、ビーム経路に外部光子を提供せずにEUV光が生成されてもよい。

【0006】

流れは、複数のターゲット材料小滴を含むことができ、各々は軌跡に沿って相互から分離され、かつ、流れは、流れ内の複数の小滴から、別個の空間的に延在しているターゲット分布が生成される。

【0007】

第1光パルスは $1.06\mu\text{m}$ の波長を有してもよい。伝播方向を横断する面において空間的に延在しているターゲット分布の断面直径は、第1ターゲット材料小滴の断面直径より3倍～4倍大きくてもよい。

30

【0008】

空間的に延在しているターゲット分布は、第1光パルスが第1ターゲット材料小滴に衝突した後の期間に生成されてもよい。

【0009】

第1光パルスは 10ns の持続時間を有してもよい。増幅光ビームは、 $400\sim 500\text{ns}$ のフット間持続時間を有してもよい。

【0010】

増幅光ビームは $10.6\mu\text{m}$ の波長を有してもよい。増幅光ビームは、第1光パルスの波長の約10倍である波長を有してもよい。

40

【0011】

方法は、小滴の流れ内における第1ターゲット材料小滴がターゲット材料供給システムとターゲット領域との間にあることを感知するステップを含んでもよい。

【0012】

空間的に延在しているターゲット分布は円板の形態であってもよい。円板は溶融金属の円板を含んでもよい。

【0013】

増幅光ビームは、空間的に延在しているターゲット分布と相互作用して、いかなるコヒーレント放射線も生成せずに極端紫外線(EUV)光を発生させてもよい。

【0014】

50

光学系は、ターゲット位置とは反対側の利得媒体の側に位置決めされ、光を反射してビーム経路に戻されてもよい。

【0015】

他の一般的な態様では、極端紫外線光源は、ビーム経路に光を提供するように位置決めされた光学系と、自身とターゲット位置との間でビーム経路に交差する軌跡に沿ってターゲット材料小滴の流れを生成するターゲット供給システムと、ターゲット供給システムとターゲット位置との間の位置で、ターゲット材料小滴の流れ内にあるターゲット材料小滴を照射するように位置決めされ、ターゲット材料小滴を物理的に変形して空間的に延在しているターゲット分布にするのに十分なエネルギーの光を放出する光源と、ターゲット位置と光学系との間のビーム経路に位置決めされた利得媒体と、ビーム経路に沿って、自身と光学系との間に光学キャビティを規定するために、ターゲット位置に少なくとも部分的に一致するように位置決め可能である空間的に延在しているターゲット分布と、を含む。空間的に延在しているターゲット分布及びターゲット材料小滴は、プラズマ状態でEUV光を放出する材料を含む。

10

【0016】

実施態様は、以下の特徴のうち1つ以上を含むことができる。例えば、ターゲット材料はスズを含んでもよく、ターゲット材料小滴は溶融スズの小滴を含んでもよい。

【0017】

空間的に延在しているターゲット分布は、光学キャビティによって生成された増幅光ビームの伝播方向に対して垂直である面に断面直径を有することができ、空間的に延在しているターゲット分布の断面直径は、ターゲット材料小滴の断面直径より3～4倍大きくてもよい。

20

【0018】

上述した技術のうちいずれかの実施態様は、空間的に延在しているターゲット分布からの光学的フィードバックを発生させる方法、プロセス、ターゲット、アセンブリ又はデバイス、既存のEUV光源を改装するキット又は組み立て済みシステム、又は装置を含むことができる。1つ以上の実施態様の詳細を添付の図面及び以下の説明に記載する。その他の特徴は、説明及び図面から、また請求の範囲から明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

30

【図1】例示的なレーザ生成プラズマ極端紫外線光源のブロック図である。

【図2】図1の光源に使用することができるドライブレザシステムの例のブロック図である。

【図3】レーザ生成プラズマ極端紫外線(EUV)光源、及びEUV光源に結合されたりソグرافィツールの上面図である。

【図4】別の例示的なレーザ生成プラズマ極端紫外線光源の4つの異なる時間における側面図を示す。

【図5】別の例示的なレーザ生成プラズマ極端紫外線光源の4つの異なる時間における側面図を示す。

40

【図6】別の例示的なレーザ生成プラズマ極端紫外線光源の4つの異なる時間における側面図を示す。

【図7】別の例示的なレーザ生成プラズマ極端紫外線光源の4つの異なる時間における側面図を示す。

【図8】増幅光ビームのプリパルス及びパルスの例示的な波形を示す。

【図9】空間的に延在しているターゲット分布からのフィードバックを使用してEUV光源のパワーを強化する例示的なプロセスの流れ図である。

【図10】別の例示的なレーザ生成プラズマ極端紫外線光源を示す。

【発明を実施するための形態】

【0020】

ターゲット位置を空間的に延在しているターゲット分布又は延在ターゲットに入れる前

50

に修正してあるターゲット材料からのフィードバックで極端紫外線光源からのパワーを強化する技術について説明する。往復の長さ及び方向などのフィードバックが生じる経路の幾何形状を正しいタイミングで変化させることができるので、又は、空間的に延在しているターゲット分布の形状が十分に滑らかな反射を提供しないことがあるので、空間的に延在しているターゲット分布からのフィードバックは非共振型光学キャビティを提供する。しかしながら、上述した幾何形状及び物理的制約が克服された場合は、空間的に延在しているターゲット分布からのフィードバックが共振型でコヒーレントな光学キャビティを提供することが可能になることがある。いかなる場合も、非発振器利得媒体から生成された自然放出光を使用して、フィードバックを生じさせることができる。

【 0 0 2 1 】

10

特に、ターゲット材料の小滴の形状は、それがターゲット位置へと進行すると、プリパルス光ビームで修正され、したがってターゲット位置に到達した場合の修正ターゲット材料の反射率は、ターゲット材料小滴の反射率よりはるかに大きい。これにより、ターゲット位置に交差するビーム経路に光を反射するように反射光学系を位置決めした場合は、光利得媒体から生成された光で反射率が高く空間的に延在しているターゲット分布を照射することによって、利得媒体を含むビーム経路のフィードバックを提供することが可能であり、したがって修正ターゲット材料及び光学系が発振用光学キャビティを形成する。

【 0 0 2 2 】

空間的に延在しているターゲット分布から反射することによって生成される発振用光学キャビティは、空間的に延在しているターゲット分布から反射した光が、別個の経路に沿って光を反射する散乱面を提供し、したがって反射光が往復後に元の位置（例えば反射光学系）に戻らないことがある場合に、フィードバックが非コヒーレントであるランダムレーザと見なすことができる。このようなキャビティには電磁界の空間的共振がないことがあり、したがってこのようなレーザのフィードバックは、エネルギー又は光子の一部を利得媒体に戻すのに使用される。このシナリオでは、光学キャビティの多くのモードが全体としての利得媒体と相互作用し、この場合のレーザ放出の統計的特性を近似することができる、又はスペクトルの狭い範囲の極めて明るい黒体の放出の特性と近いことがある。また、空間的干渉がなくてもよい。

20

【 0 0 2 3 】

ターゲット材料小滴は、ターゲット位置に向かって放出されるターゲット材料の流れの一部である。ターゲット位置はビーム経路及び光利得媒体の軸上にある。プリパルスの光ビームは、ターゲット位置に到達する前にターゲット材料小滴を照射して、空間的に延在しているターゲット分布を形成し、これは、平坦な形状又は円板形状のターゲットのように、修正した形状のターゲット材料である。ターゲット材料の修正した形状は、円板形状のターゲットと同様の特性を有することができる霧、断片の雲、又は半球状のターゲットとすることができる。いかなる場合も、ターゲット材料の修正した形状は、ターゲット位置の増幅光ビームに面する範囲又は表面積が大きくなる。元のターゲット材料小滴と比較して、空間的に延在しているターゲット分布は、直径が大きくなり、反射率が上昇する。空間的に延在しているターゲット分布は、ビーム経路に位置合わせされたターゲット位置に到達し、利得媒体内でフィードバックの発生を開始する。

30

40

【 0 0 2 4 】

空間的に延在しているターゲット分布から反射した光が、ビーム経路に沿って光を反射する非散乱面を提供し、したがって反射光の一部が各往復後に元の位置（例えば反射光学系で）に戻る場合、発振用光学キャビティは、何らかのコヒーレントフィードバックを有するレーザと見なすことができる。このようなキャビティには電磁界の空間的共振が存在することができ、したがってこのようなレーザのフィードバックは、より多くのエネルギー又は光子を利得媒体に戻すのに使用される。

【 0 0 2 5 】

レーザ生成プラズマ（LPP）極端紫外線（EUV）光源内で、空間的に延在しているターゲット分布を使用することができる。空間的に延在しているターゲット分布は、プラ

50

ズマ状態にある場合にEUV光を放出するターゲット材料を含む。ターゲット材料は、ターゲット物質及び非ターゲット粒子のような不純物を含むターゲット混合物とすることができる。ターゲット物質は、EUV範囲に輝線を有するプラズマ状態に変換される物質である。ターゲット物質は、例えば液体又は熔融金属の小滴、液体流の一部、固体粒子又はクラスタ、液体小滴に含まれる固体粒子、ターゲット材料の泡、又は液体流の一部に含まれる固体粒子とすることができる。ターゲット物質は、例えば、水、スズ、リチウム、キセノン、又はプラズマ状態に変換された場合にEUV範囲に輝線を有する任意の材料とすることができる。例えば、ターゲット物質は元素のスズとすることができ、これは純粋なスズ(Sn)として、スズ化合物、例えば、 SnBr_4 、 SnBr_2 、 SnH_4 として、スズ合金、例えばスズ-ガリウム合金、スズ-インジウム合金、スズ-インジウム-ガリウム合金、又はこれらの合金の任意の組み合わせとして使用することができる。さらに、不純物がない状況では、ターゲット材料はターゲット物質のみを含む。以下の説明では、ターゲット材料が熔融金属でできたターゲット材料小滴である例を提供する。これらの例では、ターゲット材料はターゲット材料小滴と呼ばれる。しかしながら、ターゲット材料は他の形態をとることもできる。

10

【0026】

図1を参照すると、技術が実施されている例示的なレーザ生成プラズマ(LPP)極端紫外線(EUV)光源100が、最初に背景技術として提供されている。

【0027】

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

20

【0028】

光源100はまた、液体小滴、液体流、固体粒子又はクラスタ、液体小滴内に含まれる固体粒子、又は液体流に含まれる固体粒子の形態のターゲット混合物114を送出、制御及び誘導するターゲット材料デリバリシステム125も含む。ターゲット混合物114は、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るとEUV範囲に輝線を有する任意の材料のようなターゲット材料を含む。例えば、元素のスズは、純スズ(Sn)として、スズ化合物、例えば、 SnBr_4 、 SnBr_2 、 SnH_4 として、スズ合金、例えばスズ-ガリウム合金、スズ-インジウム合金、スズ-インジウム-ガリウム合金、又はこれらの合金の任意の組み合わせとして使用することができる。ターゲット混合物114はまた、非ターゲット粒子のような不純物も含むことができる。したがって、不純物がない状況では、ターゲット混合物114はターゲット材料のみで構成される。ターゲット混合物114は、非ターゲット粒子などの不純物も含むことがある。ターゲット混合物114は、ターゲット材料デリバリシステム125によってチャンバ130の内部107に及びターゲット位置105に送出される。

30

40

【0029】

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

50

10をターゲット位置105に集束させる。

【0030】

ある実施態様では、レーザシステム115は、1つ以上の主パルス、及び場合によっては1つ以上のプリパルスを提供するために、1つ以上の光増幅器、レーザ及び/又はランプを含むことができる。各光増幅器は、高い利得で所望の波長を光学的に増幅することができる利得媒体と、励起光源と、内部光学系と、を含む。光増幅器は、レーザミラー、又はレーザキャビティを形成する他のフィードバックデバイスを有しても、有していなくてもよい。したがって、レーザシステム115は、レーザキャビティを形成する永久的なフィードバックデバイスがない場合でも、レーザ増幅器の利得媒体の反転分布により、増幅した光ビーム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、永久的な光学的フィードバックデバイスがなく、したがって必ずしもコヒーレントレーザ発振ではないレーザシステム115からの光、及び永久的光学フィードバックデバイスにより、(外部又は発振器の利得媒体内で)増幅され、同様にコヒーレントレーザ発振であるレーザシステム115からの光のうち1つ以上を包含する。

10

【0031】

レーザシステム115内の光増幅器は、利得媒体として、CO₂を含み、1000以上の利得にて約9.1µm~約11µmの間、特に約10.6µm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10.59µm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9.3µm又は約10.6µmの放射線を生成し、比較的高い電力、例えば10kW以上及び高いパルス繰り返し率、例えば50kHz以上で動作するパルス状ガス放電CO₂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

【0032】

図2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。例えば、電力増幅器181、182、183はそれぞれ、利得媒体の各側に1対の電極を含み、外部電源を提供する。さらに、反射光学系112は、増幅器181、182、183の間に規定されたビーム経路に沿って配置される。

30

【0033】

増幅器181、182、183の利得媒体内から自然放出される光子は、空間的に延在しているターゲット分布がターゲット位置内にある場合に、(以下で説明するように)空間的に延在しているターゲット分布により散乱することができ、これらの散乱光子の少なくとも一部は、それらが増幅器181、182、183のそれぞれを通して進行するビーム経路に配置される。このビーム経路については、次で説明する。

40

【0034】

光184は、1対の湾曲ミラー186、186で反射することにより、電力増幅器181と電力増幅器との間を、電力増幅器181の結合窓185及び増幅器182の結合窓189を通して進行する。光184は空間フィルタ187も通過する。光184は、電力増幅器182で増幅され、別の結合窓190を通して電力増幅器182から出て光191として誘導される。光191は、折り返しミラー192で反射すると増幅器183と増幅器182との間を進行し、結合窓193を通して増幅器183に出入りする。増幅器183

50

は光 1 9 1 を増幅し、増幅器 1 8 3 を出てビーム輸送システム 1 2 0 に向かう光 1 9 1 は、増幅光ビーム 1 9 5 として結合窓 1 9 4 を通って進行する。折り返しミラー 1 9 6 は、増幅したビーム 1 9 5 を上方向に（ページの外側に）、及びビーム輸送システム 1 2 0 へと誘導するように位置することができる。

【 0 0 3 5 】

空間フィルタ 1 8 7 は、例えば光 1 8 4 が通過する円形開口であり得るアパーチャ 1 9 7 を規定する。湾曲ミラー 1 8 6 及び 1 8 8 は、例えばそれぞれ約 1 . 7 m 及び 2 . 3 m の焦点距離を有するオフアクシス放物線ミラーであってもよい。空間フィルタ 1 8 7 は、アパーチャ 1 9 7 がドライブレザシステム 1 8 0 の焦点と一致するように位置決めすることができる。図 2 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。

10

【 0 0 3 6 】

再び図 1 を参照すると、光源 1 0 0 は、増幅光ビーム 1 1 0 が通過して、ターゲット位置 1 0 5 に到達することができるようにするアパーチャ 1 4 0 を有するコレクタミラー 1 3 5 を含む。コレクタミラー 1 3 5 は、例えばターゲット位置 1 0 5 に 1 次焦点、中間位置 1 4 5（中間焦点とも呼ばれる）に 2 次焦点を有する楕円面鏡とすることができ、ここで E U V 光を光源 1 0 0 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 1 0 0 はまた、コレクタミラー 1 3 5 からターゲット位置 1 0 5 に向かって先細になり、増幅光ビーム 1 1 0 がターゲット位置 1 0 5 に到達できるようにしながら、焦点アセンブリ 1 2 2 及び / 又はビーム輸送システム 1 2 0 に入るプラズマ生成デブリの量を低減する開放式中空の円錐形シュラウド 1 5 0（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 1 0 5 へと誘導されたガス流を提供することができる。

20

【 0 0 3 7 】

光源 1 0 0 は、小滴位置検出フィードバックシステム 1 5 6、レーザ制御システム 1 5 7 及びビーム制御システム 1 5 8 に接続された主制御装置 1 5 5 も含むことができる。光源 1 0 0 は、1 つ以上のターゲット又は小滴撮像装置 1 6 0 を含むことができ、これは例えばターゲット位置 1 0 5 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 1 5 6 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 1 5 6 は、小滴位置の誤差を入力として主制御装置 1 5 5 に提供する。したがって、主制御装置 1 5 5 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 1 5 7 に、及び / 又はビーム制御システム 1 5 8 に提供し、ビーム輸送システム 1 2 0 の増幅光ビームの位置及び整形を制御して、チャンバ 1 3 0 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。

30

【 0 0 3 8 】

ターゲット材料デリバリシステム 1 2 5 は、ターゲット材料デリバリ制御システム 1 2 6 を含み、ターゲット材料デリバリ制御システム 1 2 6 は、例えば主制御装置 1 5 5 からの信号に応答して、ターゲット材料供給装置 1 2 7 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 1 0 5 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。

40

【 0 0 3 9 】

また、光源 1 0 0 は光源検出器 1 6 5 を含むことができ、光源検出器 1 6 5 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 E U V 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 つ以上の E U V 光のパラメータを測定する。光源検出器 1 6 5 は、主制御装置 1 5 5 が使用するフィードバック信号を発生する。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、E U V 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。

50

【 0 0 4 0 】

光源 1 0 0 はまた、光源 1 0 0 の様々な区間を位置合わせする、又はターゲット位置 1 0 5 への増幅光ビーム 1 1 0 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 1 7 5 も含むことができる。ガイドレーザ 1 7 5 に関して、光源 1 0 0 は、焦点アセンブリ 1 2 2 内に配置されて、ガイドレーザ 1 7 5 及び増幅光ビーム 1 1 0 からの光の一部をサンプリングするメトロロジシステム 1 2 4 を含む。他の実施態様では、メトロロジシステム 1 2 4 はビーム輸送システム 1 2 0 内に配置される。メトロロジシステム 1 2 4 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 1 1 0 のパワーに耐えることができる任意の材料から作成される。ビーム分析システムはメトロロジシステム 1 2 4 及び主制御装置 1 5 5 から形成される。なぜなら、主制御装置 1 5 5 が、ガイドレーザ 1 7 5 からサンプリングした光を分析し、この情報を使用して、ビーム制御システム 1 5 8 を通して焦点アセンブリ 1 2 2 内のコンポーネントを調整するからである。

10

【 0 0 4 1 】

したがって、要約すると、光源 1 0 0 は、レーザシステム 1 1 5 からビーム経路に自然放出される光子の少なくとも一部が、空間的に延在しているターゲット分布から、及び反射光学系 1 1 2 から反射して、ビーム経路に沿って利得媒体の利得帯域内の波長で、より多くの光を生成し、レーザシステム 1 1 5 にレーザ作用を提供する（十分な誘導放出がある）場合に、ビーム経路に沿って誘導される増幅光ビーム 1 1 0 を生成する。これにより、十分なエネルギーが空間的に延在しているターゲット分布内のターゲット材料に与えられ、それによってターゲット材料を、EUV 範囲の光を放出するプラズマへと変換する。増幅光ビーム 1 1 0 は、レーザシステム 1 1 5 の設計及び特性に基づいて決定された特定の波長（光源波長とも呼ばれる）で作用する。増幅光ビーム 1 1 0 の少なくとも一部が空間的に延在しているターゲット分布から反射してビーム経路内に戻り、レーザシステム 1 1 5 にフィードバックを提供する。

20

【 0 0 4 2 】

図 3 を参照すると、例示的な光学的撮像システム 3 0 0 の上面図が示されている。光学的撮像システム 3 0 0 は、EUV 光 3 0 6 をリソグラフィツール 3 1 0 に提供する LPP EUV 光源 3 0 5 を含む。光源 3 0 5 は、図 2 A 及び図 2 B の光源 1 0 0 と同様である、及び / 又はそのコンポーネントの一部又はすべてを含むことができる。

30

【 0 0 4 3 】

光源 3 0 5 は、ドライブレーザシステム 3 1 5 と、光学要素 3 2 2 と、プリパルス光源 3 2 4 と、集束アセンブリ 3 2 6 と、真空チャンバ 3 4 0 と、EUV 集光光学系 3 4 6 と、を含む。EUV 集光光学系 3 4 6 は、ターゲット位置 3 4 2 から射出された EUV 光をリソグラフィツール 3 1 0 へと誘導する。EUV 集光光学系 3 4 6 はコレクタミラー 1 3 5（図 1）でよく、ターゲット位置 3 4 2 は集光光学系 3 4 6 の焦点でもよい。

【 0 0 4 4 】

ドライブレーザシステム 3 1 5 は増幅光ビーム 3 1 6 を生成する。ドライブレーザシステム 3 1 5 は、例えば図 2 のドライブレーザシステム 1 8 0 でもよい。プリパルス光源 3 2 4 は放射パルス 3 1 7 を放出する。プリパルス光源 3 2 4 は、例えば Q スイッチ Nd : YAG レーザとすることができ、放射パルス 3 1 7 は Nd : YAG レーザからのパルスとすることができる。

40

【 0 0 4 5 】

光学要素 3 2 2 は、増幅光ビーム 3 1 6、及びプリパルス光源 3 2 4 からの放射パルス 3 1 7 をチャンバ 3 4 0 へと誘導する。光学要素 3 2 2 は、増幅光ビーム 3 1 6 及び放射パルス 3 1 7 を同様の経路に沿って誘導し、増幅光ビーム 3 1 6 及び放射パルス 3 1 7 をチャンバ 3 4 0 に送出することができる任意の要素である。

【 0 0 4 6 】

増幅光ビーム 3 1 6 は、チャンバ 3 4 0 内のターゲット位置 3 4 2 へと誘導される。放射パルス 3 1 7 は位置 3 4 1 に誘導される。位置 3 4 1 はターゲット位置 3 4 2 から「 -

50

「x」方向に変位される。この方法で、放射パルス 317 は、ターゲット位置 342 に到達する前にターゲット位置 342 とは物理的に異なる位置にあるターゲット材料小滴を照射することができる「プリパルス」である。

【0047】

図 4 は、EUV 光を生成する例示的な光源 400 の側面図を示す。図 4 は、第 1 時間 $t = t_1$ における光源 400 を示す。図 5 ~ 図 7 は、その後の時間 $t = t_2$ 、 $t = t_3$ 、及び $t = t_4$ における光源 400 を示し、各時間は上述の時間より後である。図 4 ~ 図 7 は、ターゲット材料小滴 405b が空間的に延在しているターゲット分布へと変形し、その後利得媒体を含むビーム経路に沿ってより多くの光子を提供し、利得媒体の利得帯域における利得を増加させることを示す。

10

【0048】

以下で説明するように、反射光学系 412 と空間的に延在しているターゲット分布との間に光学キャビティを形成することによって、光源 400 は、ビーム経路 410 上の利得媒体 420 の利得帯域内の波長で増幅した光を生成する。空間的に延在しているターゲット分布を発生させるために、ターゲット材料小滴 405b がターゲット材料供給装置 447 とターゲット位置 442 との間にある間に、ターゲット材料小滴 405b に放射パルス 417 を照射する。形成された空間的に延在しているターゲット分布がターゲット位置 442 に到達すると、光学系 412 と空間的に延在しているターゲット分布との間に光学キャビティ（非共振型でもよい）が形成される。

【0049】

20

図 4 を参照すると、光源 400 は、光学系 412 と、光利得媒体 420 と、真空チャンバ 440 と、EUV 集光光学系 446 と、ターゲット材料供給装置 447 と、を含む。光源 400 はまた、1 つ以上の小滴撮像装置 460 と、小滴位置検出フィードバックシステム 456 と、を含むこともできる。ターゲット材料供給装置 447 は、ターゲット材料供給装置 127（図 1）と同様とすることができる。小滴撮像装置 460 及び小滴位置検出フィードバックシステム 456 は、小滴撮像装置 160 及び小滴位置検出フィードバックシステム 156（図 1）と同様とすることができる。位置検出フィードバックシステム 456 は、電子処理装置と、有形のコンピュータ可読媒体とを含むことができ、これは実行されると電子処理装置に、小滴撮像装置 460 からの情報に基づいてターゲット材料小滴の位置を判定させる命令を記憶している。

30

【0050】

$t = t_1$ （図 4 に図示）で、ターゲット材料供給装置 447 は、ターゲット材料小滴 405b 及びターゲット材料小滴 405a を放出している。小滴 405a 及び 405b は、ターゲット位置 442 に向かって「x」方向に進行する。ターゲット位置 442 は、EUV 集光光学系 446 の焦点に対応するチャンバ 440 内の位置である。ターゲット位置 442 はまた、ビーム経路 410 に交差し、これは反射光学系 412 がそれに沿って光を誘導する経路である。ビーム経路 410 は、光利得媒体 420、及び光利得媒体 420 の構成内にすることができるアパーチャ及び空間フィルタの構成によって規定される。光学系 412 は、例えば部分又は完全反射性のミラーとすることができる。

【0051】

40

光源 400 はまた光利得媒体 420 を含む。図 4 の例では、光利得媒体 400 は複数の光増幅器 420a、420b、及び 420c を含む。光増幅器 420a、420b、420c はそれぞれ、個々の利得媒体の各側に 1 対の電極を含み、外部電源を提供する。増幅器 420a、420b、及び 420c は、図 2 に関して説明した増幅器 181、182、及び 183 と同様とすることができる。光利得媒体 420 は、ビーム経路 410 に結合され、ビーム経路 410 を部分的に規定する。すなわち、光学系 412 から反射した光は、光利得媒体 420 に入り、光利得媒体 420 を通過することができる。増幅器 420a、420b、及び 420c の利得媒体内から自然放出した光子は、利得媒体 420 を出て、ビーム経路 410 に沿って進行することができる。

【0052】

50

光源 400 はまた、小滴位置検出フィードバックシステム 456 に接続される 1 つ以上の小滴撮像装置 460 を含む。ターゲット材料小滴 405 b がターゲット位置 442 へと進行すると、撮像装置 460 は、小滴位置検出フィードバックシステム 456 が「x」方向のターゲット材料小滴 405 b の位置を判定するのに使用するデータを測定する。

【0053】

ターゲット材料小滴 405 b が、「-x」方向にビーム経路 410 から距離「d」にある位置に到達する直前に、放射パルス 417 がその位置に到達し、ターゲット材料小滴 405 b を照射する。距離「d」は、照射されたターゲット材料小滴がターゲット位置 442 に到達する前に、その形状を適切に変化できるのに十分な大きさである。距離「d」は、例えば約 100 μm と 200 μm の間、又は約 120 μm とすることができる。

10

【0054】

放射パルス 417 は、ブリパルス光源 324 (図 3A) と同様の光源から発生させることができる。幾つかの実施態様では、放射パルス 417 は、1 マイクロメートル (μm) の波長、10 ナノ秒 (ns) の (最大半減時における全幅として測定される) パルス持続時間、及び 1 mJ (ミリジュール) のエネルギーを有することができる。他の実施態様では、放射パルス 417 は 1 μm の波長、(最大半減時における全幅又は FWHM メトリックを用いて測定した場合の) 2 ns のパルス持続時間、及び 0.5 mJ のエネルギーを有することができる。さらに他の実施態様では、放射パルス 417 は 1 μm の波長、10 ns の FWHM パルス持続時間及び 0.5 mJ のエネルギーを有することができる。放射パルス 417 は、1 ~ 10 μm の波長、10 ~ 60 ns の FWHM 持続時間及び 10 ~ 50 mJ のエネルギーを有することができる。

20

【0055】

図 5 を参照すると、時間 $t = t_2$ 、すなわち、放射パルス 417 がターゲット材料小滴 405 b に当たった後の時間における光源 400 が示されている。放射パルス 417 がターゲット材料小滴 405 b に衝突すると、ターゲット材料小滴 405 b が物理的に変形して、ターゲット材料を含む幾何分布 505 になる。幾何分布 505 は、例えば空隙が少ない、又は空隙がない溶融金属の領域とすることができる。幾何分布 505 は、ターゲット材料小滴 405 b と比較すると「x」方向に細長い。幾何分布 505 は、ターゲット材料小滴 405 b より「z」方向に薄くなることもある。幾何分布 505 は、ターゲット位置 442 へと進行すると、「x」方向に拡張し続ける。

30

【0056】

図 6 を参照すると、時間 $t = t_3$ にて幾何分布 505 は拡張して空間的に延在しているターゲット分布 605 になり、「-x」方向にビーム経路 410 の直前の位置にある。円板形状ターゲット 605 は、実質的に電離せずにビーム経路軸 410 に到達する。すなわち、空間的に延在しているターゲット分布 605 は、ビーム経路軸 410 に到達する前に予備形成されたと見なすことができる。

【0057】

空間的に延在しているターゲット分布 605 は、経度方向の範囲 606 及び緯度方向の範囲 607 を有する。範囲 606 及び 607 は、 $t = t_1$ (ターゲット材料小滴 405 b に放射パルス 417 が当たったとき) と $t = t_3$ との間に経過した時間の量、さらに放射パルス 417 のパルス持続時間及びエネルギーによって決定される。範囲 606 は一般的に、経過時間の量が増加すると増大する。2000 ns の経過時間の場合、範囲 606 は約 80 ~ 300 μm とすることができる。比較すると、ターゲット材料小滴 405 a の同様の寸法は約 20 ~ 40 μm である。

40

【0058】

図 7 を参照すると、時間 $t = t_4$ にて、ターゲット 605 はビーム経路 410 に交差し、ターゲット 605 と光学系 412 との間に光学キャビティ 702 (実線の両方向の矢印で表す) が形成される。ビーム経路上に自然に放出された光子は、空間的に延在しているターゲット分布 605 から及び反射光学系 412 から反射して、ビーム経路 410 に沿って利得媒体 420 の利得帯域内により多くの光を生成し、十分なフィードバックが提供さ

50

れた場合、連鎖における損失は、フィードバックからの蓄積によって克服され、利得媒体に保存されたエネルギーがすべて、誘導放出に変換され（て、増幅光ビームを生成する）。空間的に延在しているターゲット分布 602 がターゲット位置 442 にあり、したがって、ビーム経路 410 と交差している間に、増幅光ビームが空間的に延在しているターゲット分布 602 を照射する。これにより、空間的に延在しているターゲット分布内のターゲット材料に十分なエネルギーが与えられ、それにより空間的に延在しているターゲット分布 605 を、EUV 範囲内の光を放出するプラズマに変換する。また、これは光子をターゲット位置に提供する別個のコヒーレント光源を使用せずに実行される。

【0059】

さらに、空間的に延在しているターゲット分布 605 は、空間的に延在しているターゲット分布 605 を形成する元となるターゲット材料小滴 408b よりも大きい範囲 606 を有するので、空間的に延在しているターゲット分布 605 は、より多くの光を反射して光増幅器 420 に戻す。それによって、光増幅器 420 の利得帯域内での光生成を向上させる。光学キャビティ 702 を形成するために空間的に延在しているターゲット分布 605 を使用して生成した光は、未修正ターゲット材料小滴を使用して発生させたような光より約 2 ~ 10 倍の光を発生させることができる。

【0060】

さらに、空間的に延在しているターゲット分布 605 は、光ビームが伝播する方向の方が小さい範囲 605 を有するので、空間的に延在しているターゲット分布 605 は、EUV 光を放出するプラズマへの変換がさらに容易になる。範囲 606 が相対的に薄いことは、空間的に延在しているターゲット分布 605 が光ビームに対して提示するターゲット材料が多くなるということを意味する（薄い形状によって、入射光ビームが空間的に延在しているターゲット分布内のより多くのターゲット材料を照射することができる）。その結果、より多くの空間的に延在しているターゲット分布がプラズマに変換される。その結果、変換効率が上昇し、デブリが減少する。最後に、放射パルス 417 を使用して、ターゲット材料小滴 405b の物理的形状を修正する技術により、範囲 606 が大きくなるので、使用する最初のターゲット材料小滴を小型化することができる。使用するターゲット材料小滴を小型化すると、光源 400 の寿命を改良することができる。

【0061】

図 8 は、ターゲット材料小滴を変形するのに使用されるパルス状放射線ビーム 802、及び発振用光学キャビティを形成するのに変形した材料を使用して生成された光ビーム 804 の例を示す。パルス状放射線ビーム 802 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。光ビーム 804 は、（ベースライン沿いに、例えば、フット間で測定した）400 ~ 500 ns の持続時間を有する。

【0062】

図 9 は、増幅光ビームを生成する例示的なプロセス 900 の流れ図である。プロセス 900 は、ターゲット材料小滴を変形することができるパルス状放射線ビームを放出する任意の EUV 光源で実行することができる。例示的なプロセス 900 を、EUV 光源 400 に関して説明する。

【0063】

ターゲット材料小滴の流れをターゲット材料供給装置 447 から放出する（910）。ターゲット材料小滴の流れはターゲット材料小滴 405a 及び 405b を含む。ターゲット材料小滴の流れは、ターゲット位置 442 に向かって放出され又は放射される。小滴位置フィードバックシステム 456 を使用して、小滴 405b がターゲット材料供給装置 447 とターゲット位置 442 との間にあることを判定することができる（920）。ターゲット材料小滴 405b がターゲット供給装置 447 とターゲット位置 442 との間にある例を図 4 に示す。ある実施態様では、ターゲット材料小滴 405b がターゲット供給装置 447 とターゲット位置 442 との間にある場合、ターゲット材料小滴 405b は「-x」方向に約 120 μm 変位している。

【0064】

10

20

30

40

50

空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 を生成する (9 3 0)。小滴 4 0 5 b がターゲット供給装置 4 4 7 とターゲット位置 4 4 2 との間にある間に、放射パルス 4 1 7 をターゲット材料小滴 4 0 5 b へと誘導し、その結果の物理的に変形したターゲット材料小滴が拡張できるようにすると、空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 が生成される。図 5 に示すように、放射パルス 4 1 7 とターゲット材料小滴 4 0 5 b との相互作用が小滴を変形して、幾何分布 5 0 5 にする。相互作用の後に有限の期間が経過し、幾何分布 5 0 5 は、ターゲット位置 4 4 2 へと移動する間に細長くなり、空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 を形成する。放射パルス 4 1 7 は、ターゲット位置 4 4 2 へ到達する前に、ターゲット材料小滴 4 0 5 b へと誘導される。この方法で、ターゲット 6 0 5 が予備形成され、ターゲット位置 4 4 2 に到達したときに実質的に電離されていない。

10

【 0 0 6 5 】

ターゲット材料小滴 4 0 5 b と比較した場合、空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 は、接近中のパルス状放射線ビームに面する面の断面直径が大きくなる。接近中のパルス状放射線ビームに面する面は、ビームの伝播方向を横断する面とすることができる。他の例では、面は、パルス状放射線ビームの伝播方向に対して、伝播方向を横断していないが、それでも空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 が光を増幅器 4 2 0 へと反射することができる角度で傾斜させることができる。断面直径が大きくなると、空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 が、ターゲット材料小滴 4 0 5 b より多くの光を増幅器 4 2 0 へと反射することができる。

【 0 0 6 6 】

20

反射光学系 4 1 2 を、光の一部をビーム経路 4 1 0 上で反射させるように位置決めする (9 4 0)。ビーム経路 4 1 0 がターゲット位置 4 4 2 に交差する。したがって、空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 が空間的にビーム経路 4 1 0 に一致すると、空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 及び反射光学系が光学キャビティ 7 0 2 を形成し、これは非共振型とすることができる (図 7)。増幅光ビームを、空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 と反射光学系 4 1 2 との間に生成する (9 5 0)。

【 0 0 6 7 】

プロセス 9 0 0 を別のターゲット材料小滴で繰り返して、利得媒体 4 2 0 の利得又は増幅を改良することができる。第 2 光ビームを、第 1 光ビームの 2 0 ~ 4 0 n s 後に形成することができる。これにより、ターゲット材料小滴を放射パルスで照射することによって形成された空間的に延在しているターゲット分布と反射光学系 4 1 2 との間に光学キャビティを繰り返し形成することにより、光パルスの列を発生させることができる。

30

【 0 0 6 8 】

図 1 0 は、別の例示的な E U V 光源 1 0 0 0 を示す。E U V 光源 1 0 0 0 は E U V 光源 4 0 0 と同様であり、E U V 光源 1 0 0 0 は、ターゲット材料小滴 4 0 5 b に放射パルス 4 1 7 を照射することによって、ターゲット材料小滴 4 0 5 b を物理的に変形して空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 にする。しかしながら、光源 1 0 0 0 は外部レーザ光源 1 0 0 2 を含む。外部レーザ光源 1 0 0 2 は、増幅器 4 2 0 の利得帯域内の光子を光学路 4 1 0 に供給する。

【 0 0 6 9 】

40

利得媒体 4 2 0 の連鎖の他方端でのように、例えばその端部で回転ミラーの穴を通してなど、光源 1 0 0 2 からの光を入射できる幾つかの方法がある。この光は、最初に空間的に延在しているターゲット分布で反射し、次にレーザに戻るることができる。

【 0 0 7 0 】

空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 がターゲット位置 4 4 2 に到達する直前の E U V 光源 1 0 0 0 が示されている。空間的に延在しているターゲット分布 6 0 5 がターゲット位置 4 4 2 に到達すると、(分布 6 0 5 からの反射により) 光学路 4 1 0 に供給された追加の光子が、増幅器 4 2 0 a、4 2 0 b、及び 4 2 0 c からの自然放出によって放出された光子に追加される。レーザ光源 1 0 0 2 からの光子は、増幅器 4 2 0 a、4 2 0 b、及び 4 2 0 c の利得帯域と同じ波長とすることができる。増幅器 4 2 0 a、4 2 0 b

50

、及び420cによって増幅された追加の光子が存在することで、空間的に延在しているターゲット分布605と反射光学系412との間に光を発生する補助とすることができる。例えば、レーザ光源1002がない同様のEUV光源と比較すると、空間的に延在しているターゲット分布605からの反射光が少ない状態で光を発生することができる。

【0071】

他の実施態様も請求の範囲に入る。例えば、空間的に延在しているターゲット分布605は、円板からわずかに変化した形状を有することができる。空間的に延在しているターゲット分布は、例えば1つ以上の平坦な側部及び/又は窪んだ面を有することができる。空間的に延在しているターゲット分布は、碗状の形状を有することができる。

【0072】

図3に示す例では、ドライブレザシステム315及びプリパルス光源324が別個の光源として示されている。しかしながら、他の実施態様では、放射パルス317（放射パルス417として使用することができる）及び増幅光ビーム316の両方をドライブレザシステム315で発生させることが可能である。このような実施態様では、ドライブレザシステム315は2つのCO₂シードレーザサブシステム及び1つの増幅器を含むことができる。シードレーザサブシステムの一方は、10.26μmの波長を有する増幅光ビームを生成することができ、他方のシードレーザサブシステムは、10.59μmの波長を有する増幅光ビームを生成することができる。これらの2つの波長は、CO₂レーザの異なる線に由来することがある。2つのシードレーザサブシステムからの増幅光ビームは、両方とも同じ電力増幅器系統で増幅され、次に角度分散してチャンバ340内の異なる位置に到達する。一例では、10.26μmの波長の増幅光ビームをプリパルス317として使用し、10.59μmの波長の増幅光ビームを増幅光ビーム316として使用する。他の例では、異なる波長を発生することができるCO₂レーザの他のラインを使用して、2つの増幅光ビームを発生させることができる（一方は放射パルス317であり、他方は増幅光ビーム316である）。

【0073】

増幅光ビーム316及び放射パルス317をチャンバ340へと誘導する光学要素322（図3）は、増幅光ビーム316及び放射パルス317を同様の経路に沿って誘導することができる任意の要素とすることができる。例えば、光学要素322は、増幅光ビーム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とすることができる。ダイクロイックビームスプリッタは、放射パルス317を受け、パルスをチャンバ340へと伝達する。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。

【0074】

他の実施態様では、光学要素322は、アパーチャを規定するミラーである。この実施態様では、増幅光ビーム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。

【0075】

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。

【0076】

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。

10

20

30

40

50

【図 1】

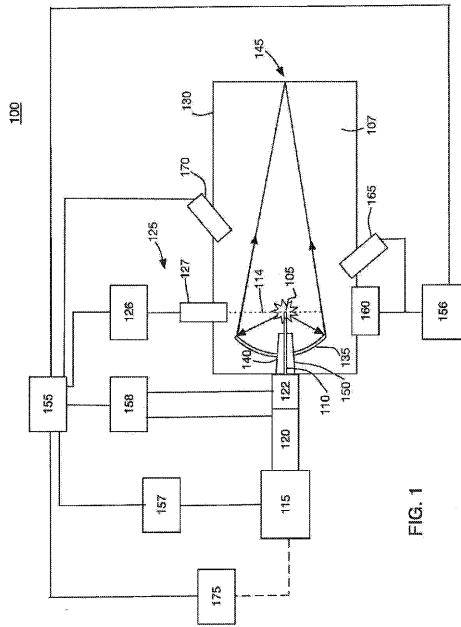


FIG. 1

【図 2】

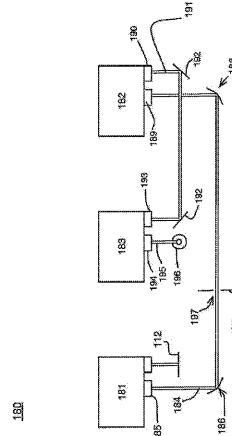


FIG. 2

【図 3】

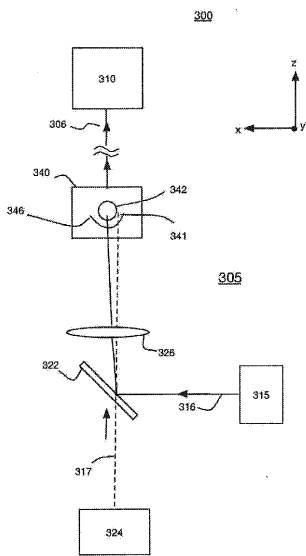
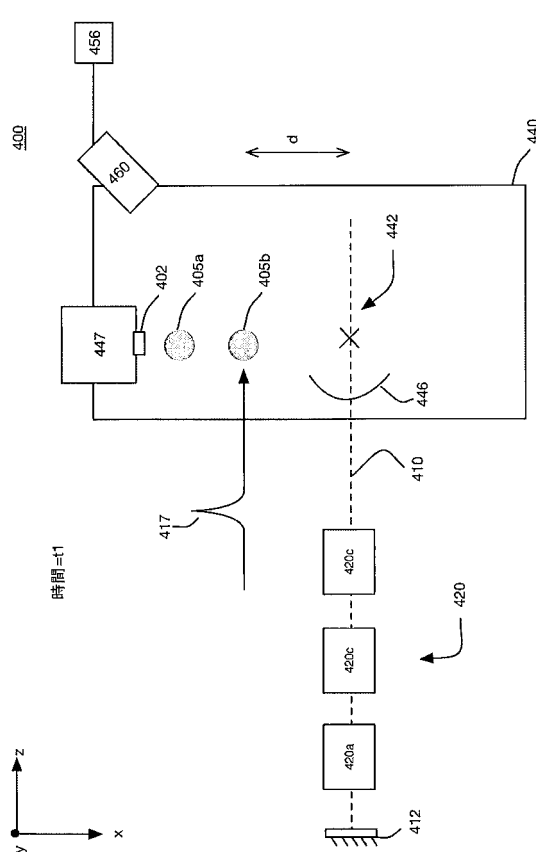
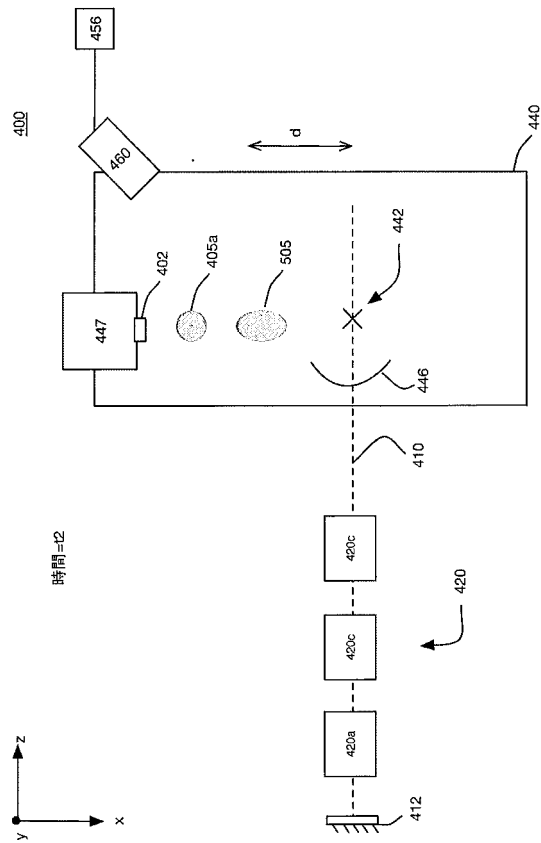


FIG. 3

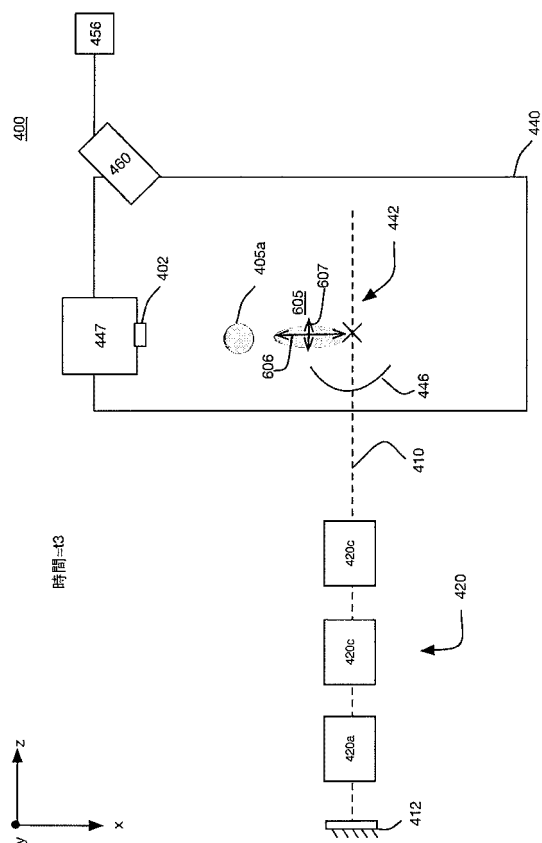
【図 4】



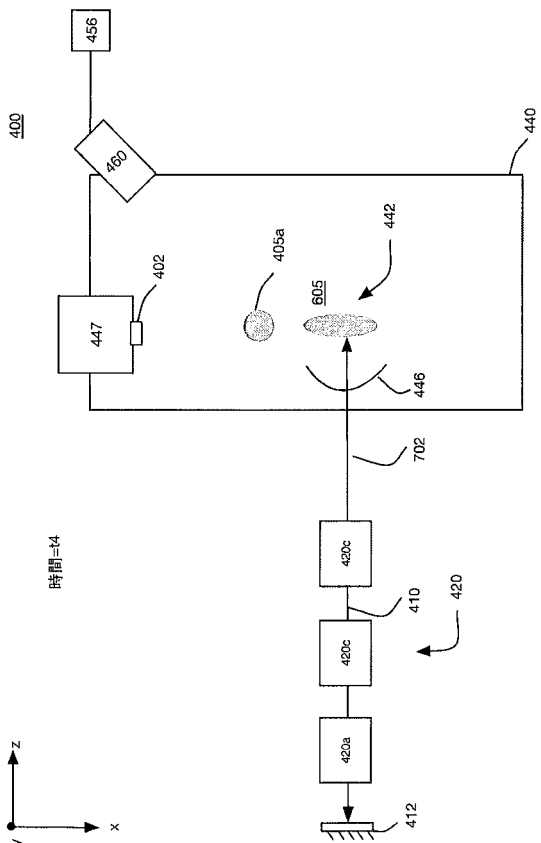
【図 5】



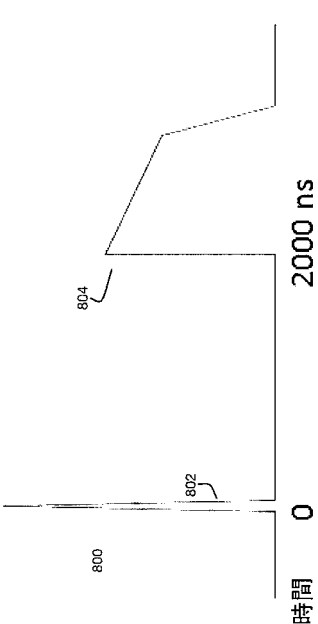
【図 6】



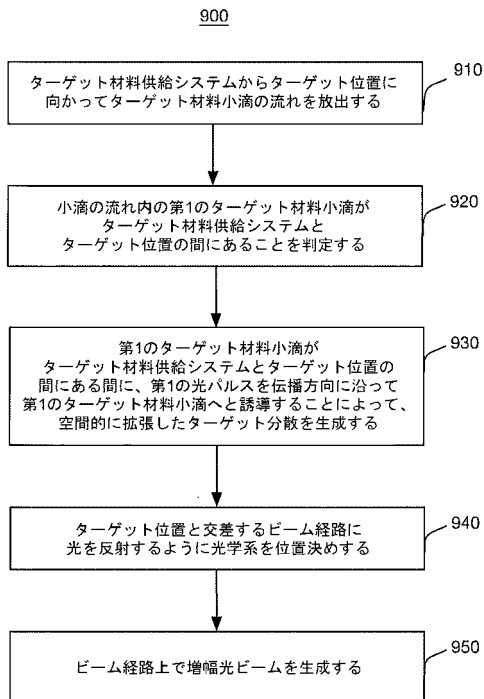
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

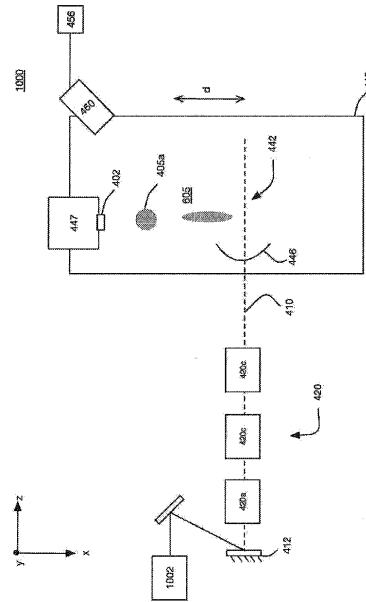


FIG. 10

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US2014/018422

PCT/US2014/018422

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - H05G 2/00 (2014.01) USPC - 250/504R According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC(8) - H05G 2/00; G21K 5/00 (2014.01) USPC - 250/372, 492.1, 492.2, 504R Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched CPC - H05G-002008, H05G-002005, H05G-002008, H05G-002003; H01S-0032308 (2014.02) Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Orbit, Google Patents, Google Scholar		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2013/029906 A1 (MEDVEDEV et al.) 07 March 2013 (07.03.2013) entire document	1-18
Y	US 8304752 B2 (FOMENKOV et al.) 06 November 2012 (06.11.2012) entire document	1-18
Y	US 2012/0243566 A1 (HORI et al.) 27 September 2012 (27.09.2012) entire document	2,4, 6, 8-10,15
Y	EP 2538759 A1 (HORI et al.) 26 December 2012 (26.12.2012) entire document	7
Y	US 20120305810 A1 (ERSHOV et al.) 06 December 2012 (06.12.2012) entire document	11
Y	US 7361204 B1 (RICHARDSON et al.) 22 April 2008 (22.04.2008) entire document	14
Y	US 8164076 B2 (ENDO et al.) 24 April 2012 (24.04.2012) entire document	1, 16
Y	US 2010/0176313 A1 (MELNYCHUK et al.) 15 July 2010 (15.07.2010) entire document	1, 16
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 23 May 2014		Date of mailing of the international search report 09 JUN 2014
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201		Authorized officer: Blaine R. Copenheaver PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(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, サン ディエゴ, ソーンミント コート 1 7
0 7 5

(72)発明者 フォメンコフ, イゴール ウラジーミロヴィチ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 9 2 1 2 7, サン ディエゴ, ソーンミント コート 1 7
0 7 5

(72)発明者 ブラウン, ダニエル ジョン ウィリアム
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 9 2 1 2 7, サン ディエゴ, ソーンミント コート 1 7
0 7 5

F ターム(参考) 2H197 BA03 CA10 CA17 DB05 DC01 DC02 DC06 DC12 FA01 GA01
GA03 GA05 GA12 GA20 GA24 HA03
4C092 AA06 AA15 AB19 AB21 AC09 BD05 BD20
5F172 AD05 AE03 AF02 DD03 DD06 EE22 NN05 NN13 ZA02 ZZ14