

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-276671

(P2005-276671A)

(43) 公開日 平成17年10月6日(2005.10.6)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H05G 2/00	H05G 1/00	4C092
H01L 21/027	H05H 1/24	5F046
H05H 1/24	H01L 21/30	531S

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2004-89287 (P2004-89287)
 (22) 出願日 平成16年3月25日 (2004.3.25)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成14年度重点分野研究開発委託費 (次世代半導体デバイスプロセス等基盤技術プログラム「極端紫外線 (EUV) 露光システムの基盤技術開発」)、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71) 出願人 000001236
 株式会社小松製作所
 東京都港区赤坂二丁目3番6号
 (71) 出願人 300073919
 ギガフォトン株式会社
 東京都千代田区大手町2-6-1 朝日東海ビル
 (74) 代理人 100110777
 弁理士 宇都宮 正明
 (74) 代理人 100100413
 弁理士 渡部 温
 (74) 代理人 100110858
 弁理士 柳瀬 睦肇

最終頁に続く

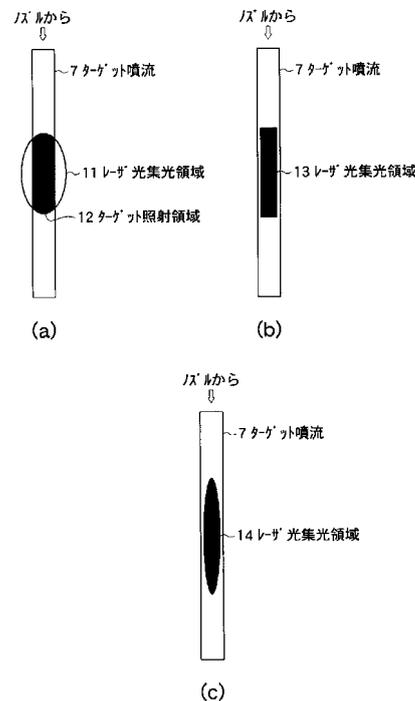
(54) 【発明の名称】 LPP型EUV光源装置

(57) 【要約】

【課題】 LPP型EUV光源装置において、ターゲット材料の量を増加させることなくEUV光量を増加させる。

【解決手段】 ターゲットへのレーザ光集光を楕円集光とし、楕円の長軸方向とターゲット流れ方向とをほぼ一致させ、楕円の短軸方向長さをターゲット太さと同等又はそれ以下とする。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ノズルから連続流れとして噴射されたターゲット材料に、レーザ発振器から出力されたレーザ光を集光して照射することにより、前記ターゲット材料をプラズマ化させて E U V 光を放射させる E U V 光源装置であって、

前記レーザ発振器から出力されたレーザ光の断面形状を、前記ターゲット材料の噴射方向に引き伸ばされた形状に変形すると共に、断面形状が変形されたレーザ光を前記ターゲット材料に照射する光学系を具備する L P P 型 E U V 光源装置。

【請求項 2】

前記光学系が、前記ターゲット材料におけるレーザ光の断面形状の幅が前記ターゲット材料の流れの幅以下となるように、前記レーザ光の断面形状を変形させる、請求項 1 記載の L P P 型 E U V 光源装置。

10

【請求項 3】

前記レーザ光を照射することによって生成されたプラズマの電子温度が E U V 発生効率の高い範囲に含まれるように、前記レーザ発振器の出力及び / 又は前記光学系を制御する手段をさらに具備する、請求項 1 又は 2 記載の L P P 型 E U V 光源装置。

【請求項 4】

波長 13 nm ~ 14 nm において発光強度のピークを有するように、前記レーザ発振器の出力及び / 又は前記光学系を制御する手段をさらに具備する、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項記載の L P P 型 E U V 光源装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光装置等において用いられる L P P 型 E U V 光源装置に関する。

【背景技術】

【0002】

E U V 光を発生する手段として L P P が知られている。L P P とは、Laser Produced Plasma の略称であって、細い内径を有するノズル内部から噴射される液体又は気体のターゲット材料にレーザ光を集光照射することにより、レーザ光を照射されてプラズマ化したターゲット材料から E U V 光が放射される。このような L P P 型 E U V 光源装置について

30

【0003】

特許文献 1 の図 1 には、レーザ発振器の出力レーザ光 3 と、レーザ光を集光するレンズ 13 と、ターゲット材料を噴射するノズル 10 とを含む X 線放射線又は極紫外線放射線を発生する装置が示されている。ターゲット材料の噴流 17 は、ノズル 10 から噴射された後、連続流れ状態を経て断続流れ状態 15 及び 12 へ変化する。一方、レンズ 13 によって集光されたレーザ光 3 はターゲット材料を照射し、その位置でターゲット材料がプラズマ化して E U V 光を放射する。なお、E U V 光は気体による吸収が多いため、ノズル 10 や、レーザ光照射位置 11 (E U V 光発生領域) 等は真空チャンバ内に配置されている。特許文献 1 には、このような X 線放射線又は極紫外線放射線発生装置において、噴流 17

40

【0004】

このようにして生成された E U V 光は、例えば、半導体露光を行う場合には、曲面型集光ミラーによって集められ、反射ミラー光学系によって露光装置へ伝送される。なお、露光装置内部の投影光学系も反射型である。ここで、E U V 光は、物質による吸収や物質との相互作用が大きいいため、E U V 光を減衰させないために、反射部の構造と、そこに用いられる材料の選択とが重要になる。

【0005】

ところで、このような L P P 型 E U V 光源から発生する E U V 光は、軟 X 線帯域内の様

50

々な波長成分を含んでいる。しかしながら、実際に利用されるEUV光の波長成分は、その内の一部であり、EUV光の利用分野に応じて、必要な波長成分と不要な波長成分とが存在する。そこで、現在では、上記の反射ミラー光学系として、波長13nm~14nmで高い反射率が得られるMo(モリブデン)/Si(シリコン)膜や、波長10nm~11nmで高い反射率が得られるBe(ベリリウム)/Si膜等が用いることが検討されている。そのような光学系を用いることにより、所定の範囲に含まれる波長成分のみが選択的に反射されるので、軟X線帯域の中から必要な波長成分を抽出することができる。なお、この内、Beは強い毒性を有するためMo/Si膜が有望視されている。

【0006】

しかしながら、Mo/Si膜を使った場合には、13nm~14nm以外の波長成分は膜に吸収されてしまうので、膜が加熱される原因となる。また、Be/Si膜を使った場合においても同様に、10nm~11nm以外の波長成分は膜に吸収されてしまい、膜が加熱される原因となる。このような膜の温度変化は、反射光学系の変形や損傷等の原因となり、露光に支障を来す。そのため、様々な反射光学系の加熱防止策や変形防止策が検討されている。例えば、特許文献2には、ミラーの熱膨張によってミラーの面形状が変形するのを抑制するために、EUV光を反射するミラーを冷却する冷却機構を備えた露光装置が開示されている。

10

【0007】

或いは、上記のいずれかのような膜を用いる場合には、反射率の高い帯域の波長成分を多く含み、他の帯域の波長成分が少ないEUV光を、EUV光源において発生させることが望ましい。特許文献3には、この点に着目し、光源から発生するEUV光のピークが13nm程度になる条件が開示されている。即ち、特許文献3によれば、プラズマ電子温度が20eV~100eVとなる条件に制御されたレーザ光源を用いて、レーザ光を標的に照射する。

20

【特許文献1】特表2000-509190(図1)

【特許文献2】特開2004-39905(第1頁)

【特許文献3】特開2001-35688(第1頁)

【特許文献4】特開2001-143893(図1)

【特許文献5】国際公開2003-96764(図3)

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

一方、EUV光源においては、半導体露光に必要な光量を発光するのが難しいという問題が存在する。露光時に半導体に照射されるEUV光の光量を増す手段としては、光源の集光光学系や露光光学系の反射効率を向上させることの他に、LPPターゲット材料からの放射EUV光量を増加させることが考えられる。放射EUV光量を増加するためには、ターゲット材料を照射するレーザ光の光量を増加したり、ターゲット材料自体の量を増すことが考えられる。しかしながら、このような対応策にも問題があるので、それを以下説明する。

【0009】

40

特許文献3に記載されているように、プラズマ電子温度と、発生したEUV光に含まれる波長成分との関係により、ターゲット材料を照射するレーザ光の強度には適切な範囲が存在する。従って、レーザ出力強度を上昇させても、単純に必要な波長のEUV光出力強度が上がるとは限らない。

【0010】

また、図5は、ノズルから噴射されたターゲット材料(ターゲット噴流)20と、それを照射するレーザ光の集光領域21とを示している。図5に示すように、レーザ光をほぼ真円集光させる場合には、ターゲット材料にレーザ光が照射領域(ターゲット照射領域)22は円形の集光領域内の一部限られる。そのため、それに応じてターゲット材料がプラズマ化する領域も限られてしまうので、EUV光の発生量は少ない。EUV光発生量を増

50

やすためにはレーザー光強度を上げることが考えられるが、その場合には、上記の通り、適切な電子温度の範囲を超えてしまうので、EUV露光に必要な波長成分の発光量を増やすことはできない。

【0011】

そこで、必要な波長成分の発光量を増やすために、レーザー光強度を上げると共に、レーザー光の集光径を大きくすることが考えられる。これにより、ターゲット材料に照射されるレーザー光強度密度が適当な値になり、ターゲット材料において、適当な電子温度で照射される領域が増す。しかしながら、レーザー光の集光径が大きくなると、ターゲット材料を照射せずに素通りするレーザー光が増えてしまうので、LPP光源全体としては効率が良いとは言えない。

10

【0012】

特許文献4においては、EUV光(X線)発生効率を向上させるために、プラズマ生成に寄与することなくターゲット材料を通過してしまうレーザー光成分の存在に着目している。特許文献4の図1に示すように、レーザー発振器40を出射したレーザー光2は、窓11を通過して真空チャンバ内に入射する。このレーザー光2は、ノズル5から噴射されたガスタarget 1を照射してプラズマ3を生成し、それにより、EUV光が放射される。また、プラズマ生成に寄与することなくターゲット1を通過したレーザー光成分2aは、レンズ7によって平行光にされた後、ミラー8によって反射され、プラズマ3へ再入射する。これにより、プラズマ生成に寄与するレーザー光量が増し、LPP光源の効率を向上することができる。

20

【0013】

しかしながら、特許文献4においては、新たに付加した光学素子7及び8の劣化の問題が生ずる。LPP光源においては、使用されるターゲット材料がプラズマ化したときに発生するデブリスが周辺の光学素子に付着し、反射率等の光学特性を劣化させるという問題の存在が知られている。そのため、ターゲットのミラー8側から光学素子7及び8へ向かうデブリスによる素子劣化の問題は避け難く、デブリスの影響で劣化する光学素子をなるべく増やすことなくレーザー光の利用効率を高めることが望ましい。

【0014】

また、ターゲット材料を素通りするレーザー光を減らすためには、ターゲット材料の噴射幅を拡大することが考えられる。しかしながら、それによってターゲット材料の量が増えてしまい、EUV光発生に寄与しない無駄なターゲット材料が増加するという問題がある。無駄なターゲット材料は、LPP発光部を包囲する真空チャンバ内において蒸発し、真空チャンバ内部の真空度を下げるため、発生したEUV光が吸収されてしまうという問題も生ずる。

30

【0015】

特許文献5には、ターゲット材料の量を増やすことなく、EUV光の発生量を増やすことが開示されている。図3において、301は図示しないレーザー発振器から出射されたレーザーパルス(プレ・パルス)、302は図示しないノズルから噴射されているターゲットの連続した流れ、303は膨張した状態のターゲット、304は図示しないレーザー発振器から出射されたレーザーパルス(メイン・レーザーパルス)をそれぞれ示している。プレ・パルス301は、エネルギーレベルが低いためターゲット302をプラズマ化しない。プレ・パルス301の役割はターゲット302を、膨張した状態のターゲット303に、一時的に変換することである。メイン・レーザーパルス304は、ターゲット302をプラズマ化するのに必要なエネルギー強度を有し、膨張したターゲット303を照射することによりプラズマ化し、EUV光を発生させる。

40

【0016】

このように、2種類のレーザーパルスによってターゲットを2段照射する理由は、以下のとおりである。即ち、一般的なEUV光源装置の説明においては、例えば、特許文献1の図1に示すように、ターゲット材料は直線状に進行するように描かれるが、実際のターゲット材料の進行方向は揺らいでいるので、レーザー光を集光し、細いターゲット材料を適切

50

に照射することは困難である。先にも述べたように、ターゲットを太い流れにすることにより、ターゲット進行方向が揺らいでいても、レーザー光をターゲットに照射することは可能であるが、プラズマ発生に寄与しないターゲット材料の量が増して真空チャンバ内において蒸発し、真空度を低下させるという新たな問題を生じてしまう。

【0017】

そのため、ターゲット材料を増やすことなく、細かいターゲット材料にレーザー光を確実に照射するために、上記のEUV光源装置においては、プレ・パルス301によってターゲット302を膨張させることが行われている。それにより、実際には大きなターゲット303を照射することになるので、ターゲット進行方向が揺らいでも、メイン・パルスがターゲットを照射する確率が向上する。なお、特許文献5においては、細く、且つ、揺らいでいるターゲット302のプレ・パルス301を確実に照射する必要があるため、プレ・パルス301のビーム幅は、ターゲット302の幅よりも大きく、且つ、ターゲット302の揺れ幅よりも大きくしてある。また、メイン・パルス304のビーム幅は、ターゲット303の大きさと形に合わせることが望ましい。

10

しかしながら、このようなEUV光源装置においては、2つのレーザー発振器を設けると共に、2種類のパルスの照射タイミングを調整する必要があるため、構成が煩雑になる。

【0018】

そこで、上記の点に鑑み、本発明は、ターゲット材料の噴射量を増やすことなく、所望の波長成分を多く含むEUV光の光量を増やすことを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0019】

上記課題を解決するため、本発明に係るLPP型EUV光源装置は、ノズルから連続流れとして噴射されたターゲット材料に、レーザー発振器から出力されたレーザー光を集光して照射することにより、ターゲット材料をプラズマ化させてEUV光を放射させるEUV光源装置であって、レーザー発振器から出力されたレーザー光の断面形状を、ターゲット材料の流れ方向に伸びる形状に変形すると共に、断面形状が変形されたレーザー光をターゲット材料に照射する光学系を具備する。

望ましくは、ターゲット材料におけるレーザー光の断面形状を楕円形状とし、楕円の長軸方向とターゲット流れ方向とをほぼ一致させ、楕円の短軸方向長さをターゲット太さと同程度又はそれ以下とする。さらに望ましくは、ターゲット照射位置におけるレーザー光強度密度を、所望の波長(例えば13.5nm)のEUV光の発光量がピークを示す値とする。

30

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、ターゲット噴射量を増やすことなく、より広いターゲット領域にレーザー光を照射することができるため、発生するEUV光の光量を増やすことができる。その際に、EUV光に含まれる所望の波長成分を増やすことも可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、本発明を実施するための最良の形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。

40

図1は、本実施形態に係るLPP(Laser Produced Plasma)型EUV光源装置の一部を示す模式図である。このEUV光源装置は、EUV光の生成が行われる真空チャンバ1と、ターゲット材料を照射するためのレーザー光を出射するレーザー光源5と、制御部10とを含んでいる。

【0022】

真空チャンバ1の内部には、ターゲット材料を噴射するノズル2及びターゲット回収筒3が設置されており、真空チャンバ1の一部には、レーザー光を透過させる窓4が設けられている。なお、ノズル2は、細い内径を有する貫通した通路を有し、図示しないターゲット材料貯蔵タンクとターゲット通路を介して接続されている。また、真空チャンバ1の外側には、レンズ等の光学素子の位置及び角度を変化させることにより、レーザー光源5から

50

出射されたレーザ光を、その断面形状が所定の形状となるように集光すると共に、ターゲット材料に照射する集光光学系 6 が設置されている。さらに、制御部 10 は、レーザ光源 5 の発振周波数や出力強度を制御すると共に、出射されたレーザ光の断面形状が所望の形状及び大きさでターゲット材料に照射されるように、集光光学系 6 を制御する。

【0023】

このような真空チャンバ 1 において、ノズル 2 からターゲット材料を噴射すると共に、レーザ光源 5 から出射されたレーザ光 8 を、集光光学系 6 及び窓 4 を介してターゲット噴流 7 に照射する。これによりターゲット材料が励起してプラズマ化し、発生したプラズマから E U V 光 9 が放出される。また、プラズマ化しなかったターゲット材料は、真空チャンバ内における残留量を減らすために、ターゲット回収筒に回収される。なお、発生した E U V 光は、図示しない反射光学系によって集光され、露光装置等に導かれる。

10

【0024】

図 2 は、図 1 に示す E U V 光 9 の発生領域付近を示す拡大図であり、レーザ光がターゲット材料を照射する様子が示されている。本実施形態においては、L P P 型 E U V 光源装置における E U V 光発光強度を増加するために、ターゲット噴流 7 の幅に応じて集束されたレーザ光をターゲット噴流に照射している。そのために、集光光学系 6 において、レーザ光源 5 から出射されたレーザ光 8 の断面形状を所定の形状に変形している。

【0025】

図 2 の (a) に示すように、レーザ光を楕円形状に集光し、その長軸方向とターゲット噴流の方向とをほぼ一致させるように、ターゲット噴流 7 に照射する。これにより、レーザ光集光領域 11 の内、ターゲット噴流 7 を照射する領域 (ターゲット照射領域) 12 の割合が、レーザ光を真円形状に集光する場合 (図 5 参照) と比較して高くなる。従って、レーザ光の照射量に対する E U V 光発生効率を高くすることができ、ターゲット噴射量を増やすことなく E U V 光発光強度を増加させることが可能になる。

20

【0026】

また、制御部 10 の制御の下で、楕円形状の面積を調節することにより、レーザ光の総エネルギー強度を上げた場合においても、ターゲット噴流 7 に照射されたレーザ光の強度密度を低く、或いは、高くないようにすることができる。従って、生成されたプラズマの電子温度が、E U V 光発生効率の高い範囲に収まるようにレーザ光の強度密度を維持しつつ、全体として E U V 光発生量を増やすことが可能である。或いは、所望の波長成分 (例えば、13 nm ~ 14 nm) に対応するようにプラズマ電子温度に保つことにより、その波長成分の強度を上げることが可能になる。これにより、M o (モリブデン) / S i (シリコン) 膜等を含む反射光学系が不要な波長成分を吸収して加熱や変形するのを抑制することができる。なお、その際においても、集光領域を楕円形状とすることにより、集光領域 11 の内のターゲット照射領域 12 の割合を高く維持することができる。

30

【0027】

図 2 の (b) 及び (c) は、レーザ光集光領域の形状の変形例を示している。本実施形態において、レーザ光集光領域の形状は、楕円に限定されず、ターゲット噴流の方向に長く集光すればその形状は問わない。例えば、図 2 の (b) に示すレーザ光集光領域 13 のように、長方形でもよい。また、図 2 の (b) 及び (c) に示すレーザ光集光領域 13 及び 14 のように、それらの幅 (楕円の場合には短軸の長さ、長方形の場合には短辺の長さ) は、ターゲット噴流の幅と同等又はそれ以下であることが望ましい。この場合には、ターゲット噴流を照射せずに素通りするレーザ光を減らすことができるので、レーザ光の利用効率が良くなる。

40

【0028】

図 3 は、図 1 に示す集光光学系 6 の構成例を示す図である。図 3 の (a) は、ターゲット噴流の流れ方向 (Z 方向) に垂直な方向から見た X Z 平面図であり、図 3 の (b) は、ターゲット噴流の流れ方向から見た X Y 平面図である。この集光光学系は、シリンドリカル凹レンズ 31 及び凸レンズ 32 を含んでいる。図 3 の (a) に示すように、X Z 平面において、集光光学系に入射したレーザ光 8 は、シリンドリカル凹レンズ 31 によって Z 方

50

向に拡大され、凸レンズ 32 に入射する。これにより、凸レンズ 32 によって集束されるレーザ光の焦点位置がずらされる。一方、図 3 の (b) に示すように、XY 平面において、レーザ光 8 は、シリンダカル凹レンズ 31 を通過し、平行光のまま凸レンズ 32 に入射するので、焦点位置は変化しない。これにより、ターゲット噴流において、レーザ照射領域を Z 方向のみに引き伸ばすことができる。

【0029】

図 4 は、図 1 に示す集光光学系 6 の別の構成例を示す XZ 平面図である。図 4 の (a) は、ターゲット噴流の流れ方向 (Z 方向) に垂直な方向から見た XY 平面図であり、図 4 の (b) は、ターゲット噴流の流れ方向から見た図である。この集光光学系は、焦点距離 f_1 を有するシリンダカル凸レンズ 33 と、 f_1 よりも短い焦点距離 f_2 を有するシリンダカル凸レンズ 34 とを含んでいる。図 4 の (a) に示すように、XZ 平面において、集光光学系に入射したレーザ光 8 は、シリンダカル凸レンズ 33 により Z 方向について集光され、シリンダカル凸レンズ 34 を通過し、ターゲット噴流 7 に入射する。一方、図 4 の (b) に示すように、XY 平面において、レーザ光 8 は、シリンダカル凸レンズ 33 を通過し、シリンダカル凸レンズ 34 により Y 方向について集光され、ターゲット噴流 7 に入射する。ここで、入射ビームの径及びダイバージェンスが同じ場合には、レンズの焦点距離が長い方が、焦点におけるスポット径は大きくなる。そのため、レーザ光 8 を、焦点距離が長い Z 方向を長軸とする楕円形に集光することができる。

10

【0030】

なお、本実施形態においては、レーザ光源 5 から出射されたレーザ光の断面形状を、集光光学系 6 において集光する際に、楕円形状等に変形したが、一旦ほぼ真円に集光されたレーザ光を、ターゲット噴流の方向に引き伸ばすことにより、同様の断面形状を形成しても良い。

20

【産業上の利用可能性】

【0031】

本発明は、露光装置等に用いられる LPP 型 EUV 光源装置において利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図 1】本発明の一実施形態に係る LPP 型 EUV 光源装置の一部を示す模式図である。

【図 2】レーザ光がターゲット材料を照射する様子を示す模式図である。

30

【図 3】図 1 に示す集光光学系の構成例を示す図である。

【図 4】図 1 に示す集光光学系の別の構成例を示す図である。

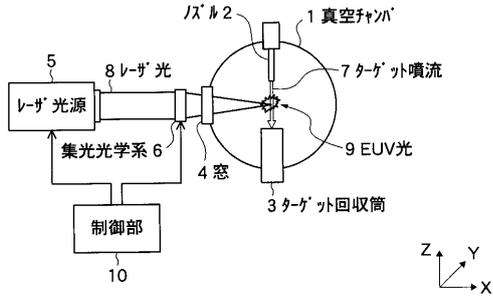
【図 5】真円集光されたレーザ光がターゲット材料を照射する様子を示す模式図である。

【符号の説明】

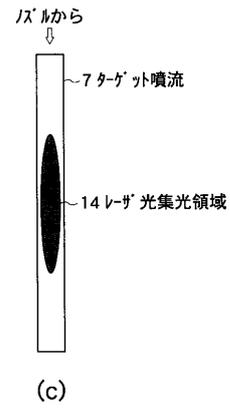
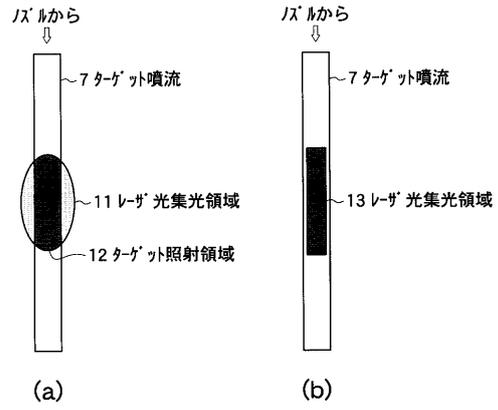
【0033】

1 ... 真空チャンバ、2 ... ノズル、3 ... ターゲット回収筒、4 ... 窓、5 ... レーザ光源、6 ... 集光光学系、7 ... ターゲット噴流、8 ... レーザ光、9 ... EUV 光、10 ... 制御部、11、13、14、21 ... レーザ光集光領域、12、22 ... ターゲット照射領域、31 ... シリンダカル凹レンズ、32 ... 凸レンズ、33、34 ... シリンダカル凸レンズ

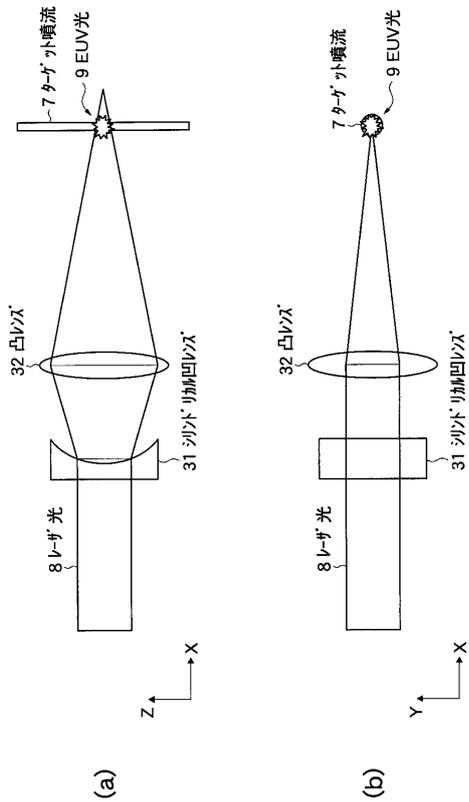
【図1】



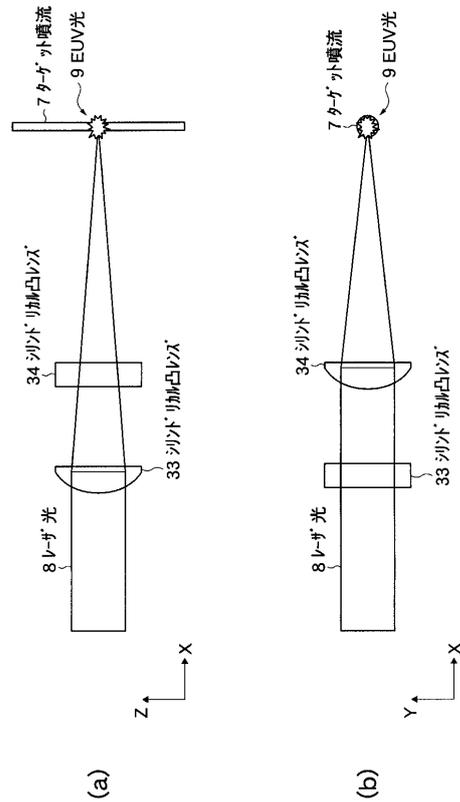
【図2】



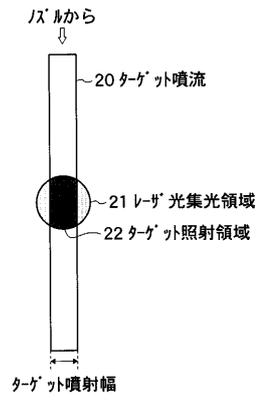
【図3】



【図4】



【 図 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 菅沼 崇
神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 株式会社小松製作所研究所内
- (72)発明者 阿部 保
神奈川県平塚市万田 1 2 0 0 株式会社小松製作所研究所内
- Fターム(参考) 4C092 AA06 AB21
5F046 GC03