

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5759023号
(P5759023)

(45) 発行日 平成27年8月5日(2015.8.5)

(24) 登録日 平成27年6月12日(2015.6.12)

(51) Int.Cl.

H05G 2/00 (2006.01)

F I

H05G 2/00

K

請求項の数 9 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2013-558029 (P2013-558029)	(73) 特許権者	504151804
(86) (22) 出願日	平成24年2月28日 (2012.2.28)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
(65) 公表番号	特表2014-510377 (P2014-510377A)		ブイ.
(43) 公表日	平成26年4月24日 (2014.4.24)		オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/027026		0 エーエイチ, ビー. オー. ボックス
(87) 国際公開番号	W02012/125287		324
(87) 国際公開日	平成24年9月20日 (2012.9.20)	(74) 代理人	100092093
審査請求日	平成27年3月2日 (2015.3.2)		弁理士 辻居 幸一
(31) 優先権主張番号	13/050,198	(74) 代理人	100082005
(32) 優先日	平成23年3月17日 (2011.3.17)		弁理士 熊倉 禎男
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100067013
早期審査対象出願			弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100086771
			弁理士 西島 孝喜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 E U V光源のための駆動レーザ送出システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1のビーム経路上の光を増幅する第1の光学利得媒質と、ここで前記第1のビーム経路上の光は第1の直線偏光方向を有し、前記第1のビーム経路はターゲット材料照射サイトと第1の光学系との間に配置された第1の光共振器の一部であり、

第2のビーム経路上の光を増幅する第2の光学利得媒質と、ここで前記第2のビーム経路上の光は第2の偏光方向を有し、前記第2のビーム経路はターゲット材料照射サイトと前記第1の光学系との間に配置された第2の光共振器の一部であり、

光の一部を前記第1のビーム経路から第2のビーム経路にかつ前記第2の光学利得媒質を通るように迂回させる第1のビーム結合器と、

前記第1のビーム経路及び前記第2のビーム経路上の光を組み合わせ、組み合わせた光で前記ターゲット材料照射サイトにおいてターゲット材料小滴を照射し、E U V光放出プラズマを発生させる第2のビーム結合器と、

を含むことを特徴とするE U V光源。

【請求項 2】

前記第1のビーム経路及び前記第2のビーム経路上の光子を増幅する第3の光学利得媒質を更に含むことを特徴とする請求項1に記載のE U V光源。

【請求項 3】

前記第1のビーム経路上の光を減衰させる可変減衰器を更に含むことを特徴とする請求項1に記載のE U V光源。

【請求項 4】

前記可変減衰器は、偏光補償デバイスを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の E U V 光源。

【請求項 5】

前記ビーム結合器は、偏光ビーム結合器を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の E U V 光源。

【請求項 6】

E U V 光を発生させる方法であって、

第 1 の光学利得媒質を用いて第 1 のビーム経路上の光を増幅する段階と、ここで前記第 1 のビーム経路上の光は第 1 の直線偏光方向を有し、前記第 1 のビーム経路はターゲット材料照射サイトと第 1 の光学系との間に配置された第 1 の光共振器の一部であり、

第 2 の光学利得媒質を用いて第 2 のビーム経路上の光を増幅する段階と、ここで前記第 2 のビーム経路上の光は第 2 の偏光方向を有し、前記第 2 のビーム経路はターゲット材料照射サイトと前記第 1 の光学系との間に配置された第 2 の光共振器の一部であり、

光の一部を前記第 1 のビーム経路から第 2 のビーム経路にかつ前記第 2 の光学利得媒質を通るように迂回させる段階と、

前記第 1 のビーム経路及び前記第 2 のビーム経路上の光を組み合わせ、組み合わせた光で前記ターゲット材料照射サイトにおいてターゲット材料小滴を照射し、E U V 光放出プラズマを発生させる段階と、

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 7】

第 3 の光学利得媒質を用いて前記第 1 のビーム経路及び前記第 2 のビーム経路上の光子を増幅する段階を更に含むことを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

可変減衰器を用いて前記第 1 のビーム経路上の光を減衰させる段階を更に含むことを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 9】

前記迂回させる段階は、偏光ビーム結合器を用いて達成されることを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

〔関連出願への相互参照〕

本出願は、引用によって本明細書に組み込まれている 2011 年 3 月 17 日出願の「E U V 光源のための駆動レーザ送出システム (DRIVE LASER DELIVERY SYSTEMS FOR EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第 13 / 050, 198 号、代理人整理番号 2011 - 0002 - 01 号に対する優先権を請求するものである。

【0002】

本出願は、2006 年 10 月 13 日に出願され、現在では 2009 年 2 月 17 日に付与された米国特許第 7, 491, 954 号である「E U V 光源のための駆動レーザ送出システム (DRIVE LASER DELIVERY SYSTEMS FOR EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第 11 / 580, 414 号、代理人整理番号 2006 - 0025 - 01 号に関連する。

【0003】

本出願は、2006 年 2 月 21 日に出願され、現在では 2009 年 10 月 6 日に付与された米国特許第 7, 598, 509 号である「レーザ生成プラズマ E U V 光源 (LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第 11 / 358, 992 号、代理人整理番号 2005 - 0081 - 01 号にも関連し、この文献の全ての内容は、引用によって本明細書に組み込まれている

10

20

30

40

50

。

【0004】

本出願は、2005年6月29日に出願され、現在では2008年10月21日に付与された米国特許第7,439,530号である「LPP EUV光源駆動レーザシステム(LPP EUV LIGHT SOURCE DRIVE LASER SYSTEM)」という名称の米国特許出願番号第11/174,299号、代理人整理番号2005-0044-01号にも関連し、この文献の全ての内容は、引用によって本明細書に組み込まれている。

【0005】

本出願は、2006年6月14日に出願され、現在では2009年4月14日に付与された米国特許第7,518,787号である「EUV光源のための駆動レーザ(DRIVE LASER FOR EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第11/452,558号、代理人整理番号2006-0001-01号にも関連し、この文献の全ての内容は、引用によって本明細書に組み込まれている。

【0006】

本出願は、極紫外(EUV)光源及びその作動方法に関する。これらの光源は、プラズマ源材料からプラズマを発生させることによってEUV光を供給する。一用途では、EUV光を集光し、フォトリソグラフィ工程において半導体集積回路を生成するのに使用することができる。

【背景技術】

【0007】

基板内に極めて小さい特徴部を生成するために、シリコンウェーハのようなレジスト被覆基板を露光するのにパターン付きEUV光ビームを使用することができる。一般的に、極紫外線(時に軟X線とも呼ばれる)は、約5~100nmの範囲の波長を有する電磁放射線として定められる。フォトリソグラフィに対して重要な1つの特定の波長は、13.5nmで出現し、現在、13.5nmシステムにおいて一般的に「帯域内EUV」と呼ばれる13.5nm±2%の範囲の光を生成する手法が行われている。

【0008】

EUV光を生成する方法は、プラズマ源材料をEUV領域に輝線を有する化学元素を有するプラズマ状態に変換する段階を含むが、必ずしもこれに限定されない。これらの元素は、キセノン、リチウム、及び錫を含むことができるが、必ずしもこれらに限定されない。

【0009】

多くの場合に、レーザ生成プラズマ(LPP)と呼ばれる1つのそのような方法では、例えば、小滴、液流、又はワイヤの形態にあるプラズマ源材料をレーザビームで照射することにより、必要とされるプラズマを生成することができる。多くの場合に、放電生成プラズマ(DPP)と呼ばれる別の方法では、EUV輝線を有するプラズマ源材料を電極対の間に位置決めし、電極の間に放電を発生させることにより、必要とされるプラズマを発生させることができる。

【0010】

上述したように、EUV光を生成する1つの技術は、プラズマ源材料を照射する段階を含む。この点に関して、赤外線波長、すなわち、9μmから11μmまでの範囲の波長の光を出力するCO₂レーザは、LPP工程においてプラズマ源材料を照射するいわゆる「駆動」レーザとしてある一定の利点を示すことができる。これは、ある一定のプラズマ源材料、例えば、錫を含むプラズマ源材料では特に確なことを示すことができる。1つの利点は、駆動レーザ入力電力と出力EUV電力の間に比較的高い変換効率を発生させる機能を含むことができる。

【0011】

一般的に、LPP光源では、EUV出力電力は、駆動レーザの電力と共に上下する。LPP工程に使用される比較的高い電力のレーザパルスを生成するのに、発振器-増幅器配

10

20

30

40

50

列を使用することが提案されている。例えば、一部の配列では、 1×10^5 程度又はそれよりも大きい1回通過の小信号利得を有する多重チャンパ増幅器に、1つ又はそれよりも多くの比較的高い感度の光学系を含むことができる幾分脆弱な発振器（シードレーザ）によってシード供給することができる。実際に、一部の設定に対して、増幅器利得は非常に高いので、発振器を損傷から保護するのに、例えば、逆伝播光のうちの約90～99パーセントを阻止することができる偏光識別光学アイソレータでは不十分である場合がある。発振器 - 増幅器配列を用いた高いEUV出力に対する将来の要求を満たすには、更に大きい増幅器を必要とすることになり、それによって脆弱な発振器の光学系が更に危険に露出されることになる。本明細書に使用する「シードレーザ」という用語及びその派生語は、出力がいずれかの増幅器又は別のレーザに導入されるレーザを意味する。

10

【0012】

更に、シードレーザによるシード供給を受けない光学増幅器によって生成されたレーザビームを用いて小滴を照射することが、これまでに提案されている。図1は、EUV光源が、直列に配置された増幅器チャンパ2a～2cのチェーンを有する光学増幅器2を有する配列を示している。使用時には、ターゲット材料の小滴3が、増幅器を通じて拡がるビーム経路4を通過する軌道上に置かれる。小滴がビーム経路4に到達すると、ビーム経路上の一部の光子は、小滴と光学系5の間の増幅器チェーンを通じて反射される。それによって増幅されたビームが生成され、この増幅されたビームは小滴を照射し、EUV光放プラズマを生成する。一般的に、この工程では、比較的高い利得を有する光学増幅器が使用される。しかし、この高い利得は、一部の場合は問題を含む場合がある。特に、容器の壁からの反射及び/又は回折、以前に照射された小滴からのデブリ、増幅器チェーン又は増幅器チェーンと照射サイトの間の光学系における光学マウント、EUV光源を下流の露光ツールから分離するゲート値、チャンパ内の他の構造、及び/又は駆動レーザ集束レンズからの軸上反射に起因して、小滴がビーム経路4に到達する前にいわゆる「自己レーズング」が発生する場合がある。

20

【0013】

自己レーズングの量は、ターゲット照射ビームを生成するのに必要な増幅器利得を不適切に減損させる場合がある。図1に示すシード供給なしの増幅器配列を用いた高いEUV出力への将来の要求を満たすには、一層大きい利得を有する増幅器を必要とすることになり、次に、それによって高い自己レーズングがもたらされることになる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【特許文献1】米国特許第7,087,914号明細書

【特許文献2】米国特許出願番号第10/803,526号明細書

【特許文献3】米国特許第7,164,144号明細書

【特許文献4】米国特許出願番号第10/900,839号明細書

【特許文献5】米国特許出願番号第12/638,092号明細書

【特許文献6】米国特許出願番号第12/721,317号明細書

【特許文献7】米国特許第7,872,245号明細書

40

【特許文献8】米国特許出願番号第12/214,736号明細書

【特許文献9】米国特許出願番号第11/827,803号明細書

【特許文献10】米国特許出願番号第11/358,988号明細書

【特許文献11】米国特許第7,405,416号明細書

【特許文献12】米国特許出願番号第11/067,124号明細書

【特許文献13】米国特許第7,372,056号明細書

【特許文献14】米国特許出願番号第11/174,443号明細書

【特許文献15】米国特許第7,465,946号明細書

【特許文献16】米国特許出願番号第11/406,216号明細書

【特許文献17】米国特許第7,843,632号明細書

50

【特許文献 18】米国特許出願番号第 11 / 505 , 177 号明細書

【特許文献 19】米国特許第 7 , 491 , 954 号明細書

【特許文献 20】米国特許出願番号第 11 / 580 , 414 号明細書

【特許文献 21】米国特許第 7 , 518 , 787 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

上述のことを念頭に、本出願人は、EUV光源のための駆動レーザ送出システムを開示する。

【課題を解決するための手段】

10

【0016】

本明細書に開示するように、第1の態様において、EUV光源は、ターゲット材料小滴流を生成する小滴発生器と、第1のビーム経路上の光をシードレーザがシードレーザ出力を第1のビーム経路に供給することなく増幅する第1の光学利得媒質と、第2のビーム経路上の光をシードレーザがシードレーザ出力を第2のビーム経路に供給することなく増幅する第2の光学利得媒質と、EUV光放出プラズマを生成するためのターゲット材料小滴との相互作用に向けて第1のビーム経路からの光と第2のビーム経路からの光とを組み合わせるビーム結合器とを含むことができる。

【0017】

この態様の一実施形態において、EUV光源は、第1のビーム経路及び第2のビーム経路上の光を増幅する第3の光学利得媒質を更に含むことができる。

20

【0018】

この態様の特定の実施形態において、EUV光源は、光学系を更に含むことができ、第1の光学利得媒質は、第1のビーム経路上でこの光学系とビーム結合器の間に位置決めされる。

【0019】

この態様の一実施では、光学系は、第1の光学系であり、ビーム結合器は、第1のビーム結合器であり、EUV光源は、第2の光学系と、第1の光学系から進む光と第2の光学系から進む光とを組み合わせるために第1のビーム経路上で第1の光学系と第1の光学利得媒質の間に位置決めされた第2のビーム結合器とを更に含むことができる。

30

【0020】

この態様の特定の実施では、第1の光学系は、ミラーを含む。

【0021】

この態様の一配列では、第1の光学系は、回折格子を含む。

【0022】

この態様の特定の設定では、回折格子は、溝方向を定め、EUV光源は、溝方向を第1のビーム経路の回りに回転させるために回折格子に連結したアクチュエータを更に含む。

【0023】

この態様の一実施形態において、第1の光学系は、回折格子を含み、第2の光学系も回折格子を含む。

40

【0024】

この態様の特定の実施形態において、EUV光源は、第1のビーム経路上の光を減衰させる可変減衰器を更に含む。

【0025】

この態様の一実施形態において、可変減衰器は、偏光補償デバイスを含む。

【0026】

この態様の実施形態において、ビーム結合器は、偏光ビーム結合器を含む。

【0027】

本明細書に同じく開示する別の態様において、EUV光源は、第1のビーム経路上の光を増幅する第1の光学利得媒質と、第2のビーム経路上の光を増幅する第2の光学利得媒

50

質と、光の一部分を第1のビーム経路から第2のビーム経路に迂回させ、第2の光学利得媒質を通す第1のビーム結合器と、ターゲット材料を照射してEUV光放出プラズマを発生させるために第1のビーム経路上の光と第2のビーム経路上の光とを組み合わせる第2のビーム結合器とを含むことができる。

【0028】

この態様の一実施形態において、EUV光源は、第1のビーム経路及び第2のビーム経路上の光子を増幅する第3の光学利得媒質を更に含むことができる。

【0029】

この態様の特定の実施形態において、EUV光源は、第1のビーム経路上の光を減衰させる可変減衰器を更に含むことができる。

【0030】

この態様の特定の実施では、可変減衰器は、偏光補償デバイスを含む。

【0031】

この態様の一実施では、ビーム結合器は、偏光ビーム結合器を含む。

【0032】

本明細書に同じく開示する別の態様において、EUV光を発生させる方法は、第1の光学利得媒質を用いて第1のビーム経路上の光を増幅する段階と、第2の光学利得媒質を用いて第2のビーム経路上の光を増幅する段階と、光の一部分を第1のビーム経路から第2のビーム経路に迂回させて第2の光学利得媒質を通す段階と、ターゲット材料を照射してEUV光放出プラズマを発生させるために第1のビーム経路上の光と第2のビーム経路上の光とを組み合わせる段階とを含むことができる。

【0033】

この態様の特定の実施では、本方法は、第1のビーム経路及び第2のビーム経路上の光子を第3の光学利得媒質を用いて増幅する段階を更に含むことができる。

【0034】

この態様の一実施では、本方法は、第1のビーム経路上の光を可変減衰器を用いて減衰させる段階を更に含むことができる。

【0035】

この態様の特定の実施では、迂回させる段階は、偏光ビーム結合器を用いて達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】発振器によるシード供給を受けない光増幅器によって生成された光ビームで小滴を照射するための従来技術の装置の概略図である。

【図2】露光デバイスに連結したEUV光源の簡単な概略図である。

【図3】LPP EUV光放射器を有するEUV光源を含む装置の簡単な概略図である。

【図4】図3に示す装置に使用するためのレーザシステムの実施形態の簡単な概略図である。

【図5】図3に示す装置に使用するためのレーザシステムの別の実施形態の簡単な概略図である。

【図6】図3に示す装置に使用するためのレーザシステムの別の実施形態の簡単な概略図である。

【図7】図3に示す装置に使用するためのレーザシステムの別の実施形態の簡単な概略図である。

【図8】図4に示す実施形態の計算上のビーム電力を図1に示す従来技術の配列の計算上のビーム電力と比較するプロット図である。

【発明を実施するための形態】

【0037】

最初に図2を参照すると、一般的に10'で表すEUVフォトリソグラフィ装置の一例の抜粋部分の簡単な略断面図が示されている。装置10'は、例えば、レジスト被覆

10

20

30

40

50

ウェーハのような基板 11 をパターン付き E U V 光ビームで露光するのに使用することができる。装置 10' 'では、例えば、パターン付きビームを生成するためにレチクルのようなパターン付け光学系 13c を E U V 光ビームで照明するための 1 つ又はそれよりも多くの光学系 13a、13b と、パターン付きビームを基板 11 上に投影するための 1 つ又はそれよりも多くの縮小投影光学系 13d とを有する E U V 光を利用する露光デバイス 12' ' (例えば、ステッパ、スキャナ、ステッパアンドスキャンシステム、直接書込システム、コンタクトマスク及び / 又は近接マスクを使用するデバイスのような集積回路リソグラフィツール) を設けることができる。基板 11 とパターン付け手段 13c の間の制御された相対移動を発生させるために、機械アセンブリ (図示せず) を設けることができる。図 2 に更に示すように、装置 10' ' は、経路に沿って露光デバイス 12' ' 内に光学系 24 によって反射されて基板 11 を照射する E U V 光をチャンバ 26' ' 内に放出する E U V 光放射器 22 を含む E U V 光源 20' ' を含むことができる。

10

【0038】

本明細書に使用する「光学系」という用語及びその派生語は、入射光を反射し、透過し、及び / 又は作用する 1 つ又はそれよりも多くの構成要素を含むが、必ずしもこれらに限定されないように広義に解釈されるように意図したものであり、1 つ又はそれよりも多くのレンズ、窓、フィルタ、楔、プリズム、グリズム、グレーディング、透過ファイバ、エタロン、拡散器、ホモジナイザー、検出器及び他の機器構成要素、絞り、アキシコン、及び多層ミラー、近法線入射ミラー、かすめ入射ミラーを含むミラー、鏡面反射器、拡散反射器、並びにこれらの組合せを含むが、必ずしもこれらに限定されない。更に、別途指定しない限り、本明細書に使用する「光学系」という用語及びその派生語のいずれも、単独で作動する構成要素に限定されず、又は E U V 出力光波長、照射レーザ波長、測定に適する波長、又はあらゆる他の特定の波長等における 1 つ又はそれよりも多くの特定の波長範囲における利点に限定されないように意図している。

20

【0039】

図 3 は、L P P E U V 光放射器を有する E U V 光源 20 を含む装置の特定の例 10 を示している。図示のように、E U V 光源 20 は、一連の光パルスが発生させ、これらの光パルスを光源チャンバ 26 内に送出するためのシステム 21 を含むことができる。装置 10 では、光パルスは、システム 21 からチャンバ 26 内への 1 つ又はそれよりも多くのビーム経路に沿って進むことができ、照射領域 48 においてプラズマ源材料を照明して、露光デバイス 12 内での基板露光に向けて E U V 光出力を生成する。

30

【0040】

図 3 に示すシステム 21 における使用に適するレーザは、図 4 ~ 図 7 に示し、以下により詳細に説明する配列を含むが、必ずしもこれらに限定されない。

【0041】

図 3 は、装置 10 が、レーザ源システム 21 と照射サイト 48 の間でビームを拡大、ステアリング、及び / 又は集束させることのようなビーム調整のための 1 つ又はそれよりも多くの光学系を有するビーム調整ユニット 50 を含むことができることも示している。例えば、1 つ又はそれよりも多くのミラー、プリズム、レンズなどを含むことができるステアリングシステムを設けて、レーザ焦点をチャンバ 26 内の異なる場所にステアリングするように配置することができる。例えば、ステアリングシステムは、ミラーを 2 つの座標軸線方向に独立して移動することができる先端 - 傾斜アクチュエータ上にマウントされた第 1 の平面ミラーと、ミラーを 2 つの座標軸線方向に独立して移動することができる先端 - 傾斜アクチュエータ上にマウントされた第 2 の平面ミラーとを含む。この配列により、ステアリングシステムは、ビーム伝播方向 (ビーム軸) に実質的に直交する方向に焦点を制御可能に移動することができる。

40

【0042】

ビーム調整ユニット 50 は、ビームを照射サイト 48 に集束させ、焦点の位置をビーム軸に沿って調節する集束アセンブリを含むことができる。集束アセンブリでは、焦点をビーム軸に沿って移動するために、ビーム軸に沿う方向の移動のためのアクチュエータに結

50

合された集束レンズ又は集束ミラーのような光学系を使用することができる。

【0043】

ビーム調整システムに関する更なる詳細は、2004年3月17日に出願され、現在では2006年8月8日に付与された米国特許第7,087,914号明細書である「高繰返し数レーザ生成プラズマEUV光源(HIGH REPETITION RATE LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第10/803,526号明細書、代理人整理番号2003-0125-01号、2004年7月27日に出願され、現在では2007年1月16日に付与された米国特許第7,164,144号明細書である「EUV光源(EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第10/900,839号明細書、代理人整理番号2004-0044-01号、及び2009年12月15日出願の「極紫外線源のためのビーム移送システム(BEAM TRANSPORT SYSTEM FOR EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第12/638,092号明細書、代理人整理番号2009-0029-01号に示されており、これらの文献の各々の内容は、引用によって本明細書に組み込まれている。

10

【0044】

図3に更に示すように、EUV光源20は、例えば、錫小滴のようなプラズマ源材料をチャンバ26の内部の照射領域48に送出するプラズマ源材料送出システム90を含むことができ、照射領域48において、小滴は、システム21からの光パルスと相互作用することになり、最終的にプラズマを生成して、露光デバイス12内でレジスト被覆ウェーハのような基板を露光するためのEUV放出を発生させる。様々な小滴分注器構成及びその相対的利点に関する更なる詳細は、2010年3月10日に出願され、2010年11月25日にUS 2010-0294953-A1として公開された「レーザ生成プラズマEUV光源(LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第12/721,317号明細書、代理人整理番号2008-0055-01号、2008年6月19日に出願され、現在では2011年1月18日に付与された米国特許第7,872,245号明細書である「レーザ生成プラズマEUV光源におけるターゲット材料送出のためのシステム及び方法(SYSTEMS AND METHODS FOR TARGET MATERIAL DELIVERY IN A LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第12/214,736号明細書、代理人整理番号2006-0067-02号、2007年7月13日出願の「変調された外乱波を用いて生成される小滴流を有するレーザ生成プラズマEUV光源(LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE HAVING A DROPLET STREAM PRODUCED USING A MODULATED DISTURBANCE WAVE)」という名称の米国特許出願番号第11/827,803号明細書、代理人整理番号2007-0030-01号、2006年2月21日に出願され、2006年11月16日にUS 2006/0255298A-1として公開された「プレパルスを用いたレーザ生成プラズマEUV光源(LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE WITH PRE-PULSE)」という名称の米国特許出願番号第11/358,988号明細書、代理人整理番号2005-0085-01号、2005年2月25日に出願され、現在では2008年7月29日に付与された米国特許第7,405,416号明細書である「EUVプラズマ源ターゲット送出の方法及び装置(METHOD AND APPARATUS FOR EUV PLASMA SOURCE TARGET DELIVERY)」という名称の米国特許出願番号第11/067,124号明細書、代理人整理番号2004-0008-01号、及び2005年6月29日に出願され、現在では2008年5月13日に付与された米国特許第7,372,056号明細書である「LPP EUVプラズマ源材料ターゲット送出システム(LPP EUV PLASMA SOURCE MAT

20

30

40

50

ERIAL TARGET DELIVERY SYSTEM)」という名称の米国特許出願番号第11/174,443号明細書、代理人整理番号2005-0003-01号に見出すことができ、これらの文献の各々の内容は、引用によって本明細書に組み込まれている。

【0045】

基板露光に向けてEUV光出力を生成するためのプラズマ源材料は、錫、リチウム、キセノン、又はこれらの組合せを含むことができるが、必ずしもこれらに限定されない。EUV放出元素、例えば、錫、リチウム、キセノン等は、液体小滴及び/又は液体小滴中に含まれる固体粒子の形態にあるとすることができる。例えば、錫元素は、純錫として、錫化合物、例えば、 SnBr_4 、 SnBr_2 、 SnH_4 として、錫合金、例えば、錫 - ガリウム合金、錫 - インジウム合金、錫 - インジウム - ガリウム合金として、又はその組合せとして使用することができる。使用される材料に基づいて、プラズマ源材料は、室温又は近室温（例えば、錫合金、 SnBr_4 ）、高温（例えば、純錫）、又は室温よりも低い温度（例えば、 SnH_4 ）を含む様々な温度で照射領域に与えることができ、一部の場合は、比較的揮発性のもの、例えば、 SnBr_4 とすることができる。LPP EUV光源におけるこれらの材料の使用に関する更なる詳細は、2006年4月17日に出願され、現在では2008年12月16日に付与された米国特許第7,465,946号明細書である「EUV光源のための代替燃料(ALTERNATIVE FUELS FOR EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許出願番号第11/406,216号明細書、代理人整理番号2006-0003-01号に示されており、この文献の内容は、引用によって本明細書に組み込まれている。

【0046】

図3の参照を続けると、装置10は、EUVコントローラ60を含むことができ、EUVコントローラ60は、システム21内のデバイスを制御し、それによってチャンバ26内への送出に向けて光パルスを発生させるための及び/又はビーム調整ユニット50内の光学系の移動を制御するための駆動レーザ制御システム65を更に含むことができる。装置10は、例えば、照射領域48に対する1つ又はそれよりも多くの小滴の位置を示す出力を供給する1つ又はそれよりも多くの小滴撮像器70を含むことができる小滴位置検出システムを含むことができる。撮像器70は、この出力を小滴位置検出フィードバックシステム62に供給することができ、小滴位置検出フィードバックシステム62は、例えば、小滴の位置及び軌道を計算することができ、そこから、小滴毎又は平均の小滴誤差を計算することができる。小滴誤差は、次に、コントローラ60に入力として供給することができ、コントローラ60は、例えば、レーザ作動を制御し、及び/又はビーム調整ユニット50内の光学系の移動を制御する例えばチャンバ26内の照射領域48に送出される光パルスの場所及び/又は集束電力を変更するための位置信号、方向信号、及び/又はタイミング信号をシステム21に供給することができる。EUV光源20においても、プラズマ源材料送出システム90が、コントローラ60からの信号（一部の実施では、上述の小滴誤差、又はそこから導出されるあらゆる量を含むことができる）に応答して、例えば、望ましい照射領域48に到着する小滴における誤差を補正するために放出点、最初の小滴流方向、小滴の放出タイミング、及び/又は小滴の変調を修正するように作動可能な制御システムを含むことができる。

【0047】

図3を続けると、装置10は、例えば、交替するモリブデン層とシリコン層とを有する段階的多層コーティングを有して一部の場合に1つ又はそれよりも多くの高温拡散障壁層、平滑化層、キャップ層、及び/又はエッチング停止層を有する偏長楕円体（すなわち、楕円をその主軸の回りに回転させたもの）の形態にある反射面を有する近法線入射コレクターミラーのような光学系24'を含むことができる。図3は、光学系24'に、システム21によって発生した光パルスが通過して照射領域48に到達することを可能にする絞りを形成することができることを示している。図示のように、光学系24'は、例えば、照射領域48内又はその近くに第1の焦点を有し、EUV光をEUV光源20から

10

20

30

40

50

出力し、EUV光を利用する露光デバイス12、例えば、集積回路リソグラフィツールに入力することができるいわゆる中間領域40に第2の焦点を有する偏長楕円体ミラーとすることができる。EUV光を利用するデバイスへのその後の送出に向けて光を集光して中間の場所に誘導するために、偏長楕円体ミラーの代わりに他の光学系を使用することができることは認められるものとする。例えば、光学系は、放物線をその主軸の回りに回転させたものとしてでき、又は環形の断面を有するビームを中間の場所に送出するように構成することができ、例えば、内容が引用によって本明細書に組み込まれている2006年8月16日に出願されて現在では2010年11月30日に付与された米国特許第7,843,632号明細書である「EUV光学系(EUV OPTICS)」という名称の米国特許出願番号第11/505,177号明細書、代理人整理番号2006-0027-01号を参照されたい。

10

【0048】

水素、ヘリウム、アルゴン、又はこれらの組合せのような緩衝ガスをチャンバ26内に導入し、補充し、及び/又はそこから除去することができる。緩衝ガスは、プラズマ放電中にチャンバ26に存在させることができ、光学系の劣化を低減するために、及び/又はプラズマ効率を改善するためにプラズマによって発生するイオンを減速するように作用することができる。代替的に、高速イオンによる損傷を低減するために、磁場及び/又は電場(図示せず)を単独又は緩衝ガスとの組合せに使用することができる。

【0049】

図4は、図3に示す装置10に使用するためのレーザシステムの実施形態21aを示している。図示のように、レーザシステム21aは、ビーム経路102上の光子を増幅する光増幅ユニット100aを含むことができる。図示のように、ビーム経路102上には、ビーム経路102から入射する光をビーム経路102上に戻すように誘導する光学系104を位置決めすることができる。例えば、光学系104は、平面ミラー、湾曲ミラー、位相共役ミラー、回折格子(図5、図6、及び対応する下記の説明も参照されたい)、又はコーナ反射器とすることができる。

20

【0050】

図4は、ビーム経路106上の光子を増幅する光増幅ユニット100bを設けることができることも示している。図示のように、増幅ユニット100aから進み、光学系104に向う第1の直線偏光方向を有する光子を透過させ、かつ光学系104に向う第1の直線偏光方向に直交する直線偏光方向を有する増幅ユニット100bからの光子を反射する(ミラー110からの反射の後に)ように偏光ビーム結合器108を位置決めすることができる。本明細書に説明する偏光ビーム結合器は、ビームスプリッタとして機能することができることは認められるものとする。例えば、偏光ビーム結合器108は、光学系104からその上に入射する第1の直線偏光方向を有する光を増幅ユニット100aに向けて誘導し、光学系104から進んで第1の直線偏光方向に直交する直線偏光方向を有する光子を増幅ユニット100bを通じて誘導する(ミラー110からの反射の後に)。適切な偏光ビーム結合器は、米国ペンシルベニア州PA16056、サクソンバーグ、サクソンバーグブルバード375所在のII-IV・インコーポレーテッドから入手可能である。

30

【0051】

図4は、増幅ユニット100aから進み、第1の直線偏光方向を有する光子をビーム調整ユニット50に向けて誘導し、増幅ユニット100bから進む光子をビーム調整ユニット50に向けて誘導する(ミラー114からの反射の後に)ように偏光ビーム結合器112を位置決めすることができることも示している。ビーム結合器108とビーム結合器112の間のビーム経路102及び/又はビーム結合器108とビーム結合器112の間のビーム経路106上に付加的な増幅ユニット(図示せず)を位置決めすることができる。例えば、ビーム結合器108とビーム結合器112の間のビーム経路102上に2つの増幅ユニット(図示せず)を位置決めすることができ、ビーム結合器108とビーム結合器112の間のビーム経路106上に2つの増幅ユニット(図示せず)を位置決めすることができる。

40

50

【 0 0 5 2 】

図 4 からは、光学系 1 0 4 とビーム結合器 1 0 8 の間のビーム経路 1 0 2、1 0 6 上に、図示のように付加的な増幅ユニット 1 0 0 c、1 0 0 d を位置決めすることができることが更に分る。光学系 1 0 4 とビーム結合器 1 0 8 の間には 2 つの増幅ユニット 1 0 0 c、1 0 0 d を示すが、光学系 1 0 4 とビーム結合器 1 0 8 の間では、2 つよりも多い増幅ユニット 1 0 0 c、1 0 0 d を使用することができ、最少の場合、増幅ユニット 1 0 0 c、1 0 0 d を用いない場合があることは認められるものとする。

【 0 0 5 3 】

図 4 は、選択されたビーム偏光に小さい可変損失を導入して増幅ユニット 1 0 0 a と増幅ユニット 1 0 0 b の間で電力の流れを均等化するために任意的な可変減衰器 1 1 6 を設けることができることも示している。例えば、任意的な可変減衰器 1 1 6 は、1 つの特定の直線偏光方向のうちの数パーセント (1 0 % 等) を反射するように被覆された Z n S e 板を含むことができる。例えば、この板は、第 1 の直線偏光方向のうちの 9 0 % 及び第 1 の直線偏光方向に直交する直線偏光方向のうちの 1 0 0 % を透過させるように構成することができる。ビーム経路 1 0 2、1 0 6 と共線である光学軸の回りに被覆 Z n S e 板を回転させて直線偏光方向の一方又は両方における損失を調節するためにアクチュエータ (図示せず) を設けることができる。例えば、この調節は、ビーム経路 1 0 2 とビーム経路 1 0 6 の間で電力の流れを均等化するために行うことができる。

【 0 0 5 4 】

ビーム経路 1 0 2 とビーム経路 1 0 6 の間で電力の流れを均等化するために、任意的な可変減衰器 1 1 6 の代わりに又はそれに加えて、ビーム経路 1 0 2 内の例えば場所 1 2 0 に可変減衰器を位置決めすることができ、及び / 又はビーム経路 1 0 6 内の例えば場所 1 2 2 に可変減衰器を位置決めすることができる。これらの可変減衰器は、減衰器 1 1 6 と類似の設計のものとする事ができ、又は光ビームを減衰させるのに適する当業技術で公知のあらゆる他の設計のものとする事ができる。例えば、異なる透過レベルを与えるように各々が被覆された複数の区域を有する Z n S e 板を使用することができる。この場合、Z n S e 板をビームと平行移動又は回転させ、ビームに選択された区域を通過させることにより、異なるレベルの減衰を得ることができる。一部の場合には、可変減衰器を不要とすることができる。

【 0 0 5 5 】

図 4 に示すレーザシステム 2 1 a では、各増幅ユニット 1 0 0 a ~ 1 0 0 d は、C O₂ ガスを含む充填ガスを含むことができる。充填ガスをポンピングして D C 励振又は R F 励振を用いて反転分布を発生させることにより、増幅ユニット内に光学利得媒質を確立することができる。1 つの特定の実施では、増幅ユニットは、軸流 R F ポンピング (連続的な又はパルス変調された) C O₂ 増幅ユニットを含むことができる。ファイバ形、ロッド形、平板形、又は円盤形の利得媒質を有する他の種類の増幅ユニットを使用することができる。一部の場合には、エキシマ充填ガス又は分子フッ素ガス又は固体材料のような C O₂ 充填ガス以外の材料を増幅ユニットに使用することができる。1 つの特定の実施では、各ビーム経路 1 0 2、1 0 6 は、約 1 0 ~ 2 5 メートルの合計利得長を有し、例えば 1 0 k W 又はそれよりも高い比較的高い電力、及び例えば 5 0 k H z 又はそれよりも高いパルス繰返し数で協働して作動する 4 つ又は 5 つのような複数の軸流 R F ポンピング (連続的な、又はパルス作動の) C O₂ 増幅ユニットを含むことができる。

【 0 0 5 6 】

小滴流を照射するための増幅された光子ビームを生成するレーザシステムは、2 0 0 6 年 1 0 月 1 3 日に出願され、現在では 2 0 0 9 年 2 月 1 7 日に付与された米国特許第 7 , 4 9 1 , 9 5 4 号明細書である「E U V 光源のための駆動レーザ送出システム (D R I V E L A S E R D E L I V E R Y S Y S T E M S F O R E U V L I G H T S O U R C E) 」という名称の米国特許出願番号第 1 1 / 5 8 0 , 4 1 4 号明細書、代理人整理番号 2 0 0 6 - 0 0 2 5 - 0 1 号に開示及び請求されており、この文献の全ての内容が、引用によって本明細書に組み込まれている。

【 0 0 5 7 】

一部の場合には、増幅ユニット 1 0 0 a ~ 1 0 0 d は、増幅ユニットチェーン内で小信号利得 (g_0) が小滴流に向けて低下するように、異なる充填ガス圧及び/又は充填ガス組成を有することができる。従って、増幅ユニット 1 0 0 a は、増幅ユニット 1 0 0 c よりも小さい信号利得 (g_0) を有することができる。より具体的には、増幅ユニット 1 0 0 c は、飽和エネルギー ($E_{s,100c}$) 及び小信号利得 ($g_{0,100c}$) によって特徴付けられる利得媒質を有することができ、増幅ユニット 1 0 0 d は、飽和エネルギー ($E_{s,100d}$) 及び小信号利得 ($g_{0,100d}$) によって特徴付けられる利得媒質を有することができ、増幅ユニット 1 0 0 c は、飽和エネルギー ($E_{s,100c}$) 及び小信号利得 ($g_{0,100c}$) によって特徴付けられる利得媒質を有することができ、 $(g_{0,100a}) < (g_{0,100d}) < (g_{0,100c})$ 及び $(E_{s,100a}) > (E_{s,100d}) > (E_{s,100c})$ である。一部の配列では、レーザシステム 2 1 は、増幅ユニット 1 0 0 a が、増幅ユニット 1 0 0 b の小信号利得 ($g_{0,100b}$) と同じか又はほぼ同じ小信号利得 ($g_{0,100a}$) を有するように構成することができる。代替的に、増幅ユニット 1 0 0 a の小信号利得 (g_0) が、増幅ユニット 1 0 0 b の小信号利得 ($g_{0,100b}$) とは異なる小信号利得 ($g_{0,100a}$) を有するように、増幅ユニット 1 0 0 a と 1 0 0 b は、異なる充填ガス圧及び/又は充填ガス組成を有することができる。これは、例えば、ビーム経路 1 0 2 とビーム経路 1 0 6 の間で電力の流れを均等化するために行うことができる。増幅器チェーンの最適化に関する更なる詳細は、2 0 0 9 年 4 月 1 4 日に付与された「EUV 光源のための駆動レーザ (DRIVE LASER FOR EUV LIGHT SOURCE)」という名称の米国特許第 7, 5 1 8, 7 8 7 号明細書、代理人整理番号 2 0 0 6 - 0 0 0 1 - 0 1 号に見出すことができ、この文献は、引用によって本明細書に組み込まれている。

【 0 0 5 8 】

使用時には、プラズマ源材料送出システム 9 0 からのターゲット材料小滴 1 1 8 が、ビーム経路 1 0 2、1 0 6 の近く又はこの経路を通る軌道に置かれ、ビーム経路 1 0 2、1 0 6 から小滴 1 1 8 上に入射する光は、ビーム経路 1 0 2、1 0 6 上に戻るようにもたらされる。小滴 1 1 8 がビーム経路 1 0 2、1 0 6 の近く又はその上にある時には、第 1 の直線偏光方向を有する光子は、小滴 1 1 8 と光学系 1 0 4 の間を往復することができ、ビーム経路 1 0 2 に沿って光共振器が確立される。経路 1 0 2 上では、第 1 の直線偏光方向を有する光子が、増幅ユニット 1 0 0 a、1 0 0 c、及び 1 0 0 d を通過し、シードレーザが出力光子をビーム経路 1 0 2 に供給することなく、ビーム経路 1 0 2 上に増幅された光子ビームが生成される。

【 0 0 5 9 】

同様に、小滴がビーム経路 1 0 2、1 0 6 の近く又はその上にある時には、第 1 の直線偏光方向に直交する偏光を有する光子は、小滴 1 1 8 と光学系 1 0 4 の間を往復することができ、ビーム経路 1 0 6 に沿って光共振器が確立される。経路 1 0 6 上では、第 1 の直線偏光方向に直交する偏光を有する光子が、増幅ユニット 1 0 0 b、1 0 0 c、及び 1 0 0 d を通過し、シードレーザが出力光子をビーム経路 1 0 6 に供給することなく、ビーム経路 1 0 6 上に増幅された光子ビームが生成される。

【 0 0 6 0 】

ビーム経路 1 0 2 上で増幅された光子ビームは、ビーム経路 1 0 6 上で増幅された光子ビームとビーム結合器 1 1 2 において組み合わせられ、組み合わせられたビームは、ビーム調整ユニット 5 0 を通じてもたらされ、ビーム調整ユニット 5 0 においてビームは小滴 1 1 8 上に集束され、EUV 光放出プラズマが生成される。

【 0 0 6 1 】

一部の事例では、小滴のようなプラズマ源材料は、ビーム経路 1 0 2、1 0 6 に到達する前にプレパルスによって照射することができる。プレパルスは、例えば、加熱、膨張、気化、蒸発、電離し、及び/又は弱いプラズマを発生させることができる。プレパルスによる影響を受けた材料の一部又は全ては、次に、ビーム経路 1 0 2、1 0 6 に到達し、増幅された光子ビームによってビーム経路 1 0 2、1 0 6 上で照射され(上述したように)

、それによってEUV光放出がもたらされる。

【0062】

図5は、図3に示す装置10に使用するためのレーザシステムの別の実施形態21a'を示している。図示のように、レーザシステム21a'は、ビーム経路102'上の光子を増幅する光増幅ユニット100a'を含むことができる。図示のように、ビーム経路102'上には、ビーム経路102'から入射する光をビーム経路102'上に戻すように誘導する光学系104'を位置決めすることができる。

【0063】

図5は、ビーム経路106'上の光子を増幅する光増幅ユニット100b'（図4を参照して上述したような）を設けることができること、及び光学系104'から進み、第1の直線偏光方向を有する光子を増幅ユニット100a'を通じて誘導し、光学系104'から進み、第1の直線偏光方向に直交する直線偏光方向を有する光子をミラー110'からの反射の後に増幅ユニット100b'を通じて誘導するように偏光ビーム結合器108'（図4を参照して上述したような）を位置決めすることができることも示している。

【0064】

図5は、増幅ユニット100a'から進み、第1の直線偏光方向を有する光子をビーム調整ユニット50に向けて誘導し、増幅ユニット100b'から進む光子をビーム調整ユニット50に向けて誘導する（ミラー114'からの反射の後に）ように偏光ビーム結合器112'（図4を参照して上述したような）を位置決めすることができることも示している。図5からは、光学系104'とビーム結合器108'の間のビーム経路102'、106'上に、図示のように付加的な増幅ユニット100c'、100d'を位置決めすることができることが更に分る。

【0065】

図5は、選択されたビーム偏光に小さい可変損失を導入して増幅ユニット100a'と増幅ユニット100b'の間で電力の流れを均等化するために、任意的な可変減衰器116'（図4を参照して上述したような）を設けることができることも示している。ビーム経路102'とビーム経路106'の間で電力の流れを均等化するために、任意的な可変減衰器116'の代わりに又はそれに加えて、ビーム経路102'内の例えば場所120'に可変減衰器を位置決めすることができ、及び/又はビーム経路106'内の例えば122'に可変減衰器を位置決めすることができる。一部の場合には、可変減衰器を不要とすることができる。

【0066】

レーザシステム21a'では、光学系104'は、ビーム経路102'、106'に対してリトロ構成で配置されてブレイズ化されたエシェル型回折格子とすることができる。この配列では、回折格子は、第1の直線偏光方向を有する光に対して、第1の直線偏光方向に直交する直線偏光方向を有する光とは若干異なる反射効率を有することができる。更に、ビーム経路102'及びビーム経路106'によって定められる軸の回りに（矢印152に示すように）回折格子を回転させて、第1の直線偏光方向と回折格子の溝との間の角度を調節するためにアクチュエータ150を回折格子に結合することができる。この方式による回折格子の回転は、第1の偏光方向を有する光と、第1の直線偏光方向に直交する直線偏光方向を有する光とに対して、反射効率を変更するために使用することができる。例えば、この調節は、102'ビーム経路と106'ビーム経路との間で電力の流れを均等化するために行うことができる。

【0067】

使用時には、プラズマ源材料送出システム90からのターゲット材料小滴118'が、ビーム経路102'、106'の近く又はこの経路を通る軌道上に置かれ、ビーム経路102'、106'から小滴118'上に入射する光は、ビーム経路102'、106'上に戻るようにもたらされる。小滴がビーム経路102'、106'の近く又はその上にある時には、第1の直線偏光方向を有する光子は、小滴118'と光学系104'の間を往復することができ、ビーム経路102'に沿って光共振器が確立される。経路102'上

10

20

30

40

50

では、第1の直線偏光方向を有する光子が、増幅ユニット100a'、100c'、及び100d'を通過し、シードレーザが出力光子をビーム経路102'に供給することなく、ビーム経路102'上に増幅された光子ビームが生成される。

【0068】

同じく、小滴118'がビーム経路102'、106'の近く又はその上にある時には、第1の直線偏光方向に直交する偏光を有する光子は、小滴118'と光学系104'の間を往復することができ、ビーム経路106'に沿って光共振器が確立される。ビーム経路106'上では、第1の直線偏光方向に直交する偏光を有する光子が、増幅ユニット100b'、100c'、及び100d'を通過し、シードレーザが出力光子をビーム経路106'に供給することなく、ビーム経路106'上に増幅された光子ビームが生成される。

10

【0069】

ビーム経路102'上で増幅された光子ビームは、ビーム経路106'上で増幅された光子ビームとビーム結合器112'において組み合わせられ、組み合わせられたビームは、ビーム調整ユニット50を通じてもたらされ、ビーム調整ユニット50において、ビームは小滴118'上に集束され、EUV光放出プラズマが生成される。

【0070】

図6は、図3に示す装置10に使用するためのレーザシステムの別の実施形態21a'を示している。図示のように、レーザシステム21a'は、ビーム経路102'上の光子を増幅する光増幅ユニット100a'を含むことができる。

20

【0071】

更に図示のように、ビーム経路102'上には、ビーム経路102'から入射する光をビーム経路102'上に戻すように誘導する光学系104aを位置決めすることができる。ビーム経路102'上には、光学系104aから進み、第1の直線偏光方向を有する光子を透過させ、光学系104bからの第1の直線偏光に直交する直線偏光方向を有する光子を反射するように、偏光ビーム結合器200(図4を参照して上述したような)を位置決めすることができる。

【0072】

図6は、ビーム経路106'上の光子を増幅する光増幅ユニット100b'(図4を参照して上述したような)を設けることができること、及び光学系104aから進み、第1の直線偏光方向を有する光子を増幅ユニット100a'を通じて誘導し、光学系104bから進み、第1の直線偏光方向に直交する直線偏光方向を有する光子をミラー110'からの反射の後に増幅ユニット100b'を通じて誘導するように偏光ビーム結合器108'(図4を参照して上述したような)を位置決めすることができることも示している。

30

【0073】

図6は、増幅ユニット100a'から進み、第1の直線偏光方向を有する光子をビーム調整ユニット50に向けて誘導し、増幅ユニット100b'から進む光子をビーム調整ユニット50に向けて誘導する(ミラー114'からの反射の後に)ように偏光ビーム結合器112'(図4を参照して上述したような)を位置決めすることができることも示している。図6からは、ビーム結合器200とビーム結合器108'の間のビーム経路102'、106'上に、図示のように付加的な増幅ユニット100c'、100d'を位置決めすることができることも更に分る。

40

【0074】

図6は、選択されたビーム偏光に小さい可変損失を導入して増幅ユニット100a'と増幅ユニット100b'の間で電力の流れを均等化するために、任意的な可変減衰器116a(図4を参照して上述したような)をビーム結合器200と光学系104aの間のビーム経路102'上に設けることができることも示している。選択されたビーム偏光に小さい可変損失を導入して増幅ユニット100a'と増幅ユニット100b'の間で電力の流れを均等化するために、任意的な可変減衰器116aの代わりに又はそれに

50

加えて、任意的な可変減衰器 116b (図4を参照して説明したような)をビーム結合器 200と光学系104bの間のビーム経路106' '上に位置決めすることができる。ビーム経路102' 'とビーム経路106' 'の間で電力の流れを均等化するために、任意的な可変減衰器116a、116bの代わりに又はそれに加えて、ビーム経路102' '内の例えば場所120' 'に可変減衰器を位置決めすることができ、及び/又はビーム経路106' '内の例えば122' 'に可変減衰器を位置決めすることができる。一部の場合には、可変減衰器を不要とすることができる。

【0075】

レーザシステム21a' 'に関して、光学系104aは、ビーム経路102' 'に対してリトロ構成で配置され、第1の直線偏光方向を有する光の最大又はほぼ最大の反射率を得るように向けられたブレイズ化されたエシェル型回折格子とすることができる。同じく光学系104bも、ビーム経路106' 'に対してリトロ構成で配置され、第1の直線偏光方向に直交する直線偏光方向を有する光の最大又はほぼ最大の反射率に得るように向けられたブレイズ化されたエシェル型回折格子とすることができる。回折格子が使用される場合の一部の配列では、回折格子(図5を参照して上述したような)を回転させて偏光方向と回折格子の溝の間の角度を調節し、光学系104a、104bの反射効率を変更するために、上述の任意的な可変減衰器の代わりに又はそれに加えて、光学系104a、104bの一方又は両方にアクチュエータ(図示せず)を結合することができる。

【0076】

使用時には、プラズマ源材料送出システム90からのターゲット材料小滴118' 'が、ビーム経路102' '、106' 'の近く又はこの経路を通る軌道上に置かれ、ビーム経路102' '、106' 'から小滴118' '上に入射する光は、ビーム経路102' '、106' '上に戻るようにもたらされる。小滴がビーム経路102' '、106' 'の近く又はその上にある時には、第1の直線偏光方向を有する光子は、小滴118' 'と光学系104aの間を往復することができ、ビーム経路102' 'に沿って光共振器が確立される。経路102' '上では、第1の直線偏光方向を有する光子は、増幅ユニット100a' '、100c' '、及び100d' 'を通過し、シードレーザが出力光子をビーム経路102' 'に供給することなく、ビーム経路102' '上に増幅された光子ビームが生成される。

【0077】

同じく、小滴118' 'がビーム経路102' '、106' 'の近く又はその上にある時には、第1の直線偏光方向に直交する偏光を有する光子は、小滴118' 'と光学系104bの間を往復することができ、ビーム経路106' 'に沿って光共振器が確立される。ビーム経路106' '上では、第1の直線偏光方向に直交する偏光を有する光子は、増幅ユニット100b' '、100c' '、及び100d' 'を通過し、シードレーザが出力光子をビーム経路106' 'に供給することなく、ビーム経路106' '上に増幅された光子ビームが生成される。

【0078】

ビーム経路102' '上で増幅された光子ビームは、ビーム経路106' '上で増幅された光子ビームとビーム結合器112' 'において組み合わせられ、組み合わせられたビームは、ビーム調整ユニット50を通じてもたらされ、ビーム調整ユニット50においてビームは小滴118' '上に集束され、EUV光放出プラズマが生成される。

【0079】

図7は、図3に示す装置10に使用するためのレーザシステムの別の実施形態21a' 'を示している。図示のように、レーザシステム21a' 'は、ビーム経路102' '上の光子を増幅する光増幅ユニット100a' '、100c' '、100d' 'を含むことができる。更に、図示のように、ビーム経路102' '上には、ビーム経路102' 'から入射する光をビーム経路102' '上に戻すように誘導する光学系104a' 'を位置決めすることができる。図7は、ビーム経路106' '上の光子を増幅する光増幅ユニット100b' '、100e' '、300f' ' (図4を参照し

10

20

30

40

50

て上述したような)を設けることができることも示している。更に、図示のように、ビーム経路106'''上には、ビーム経路106'''から入射する光をビーム経路106'''上に戻すように誘導する光学系104b'を位置決めすることができる。更に、光学系104a'から進み、第1の直線偏光方向を有する光子をビーム調整ユニット50を通じて誘導し(光増幅ユニット100a'''、100c'''、100d'''を通過させた後に)、光学系104b'から進み、第1の直線偏光方向に直交する直線偏光方向を有する光子をビーム調整ユニット50を通じて誘導する(光増幅ユニット100b'''、100e'''、100f'''を通過させた後に)ように偏光ビーム結合器112'''(図4を参照して上述したような)を位置決めすることができる。光学系104a'とビーム結合器112'''の間に3つの増幅ユニット100a'''、100c'''、100d'''を示すが、光学系104a'とビーム結合器112'''の間には、3つよりも多い増幅ユニットを使用することができ、最少で1個の増幅ユニットを使用することができることは認められるものとする。光学系104b'とビーム結合器112'''の間には3つの増幅ユニット100b'''、100e'''、100f'''を示すが、光学系104b'とビーム結合器112'''の間には、3つよりも多い増幅ユニットを使用することができ、最少で1個の増幅ユニットを使用することができることも認められるものとする。

10

【0080】

図7は、選択されたビーム偏光に小さい可変損失を導入して増幅ユニット100a'''、100c'''、100d'''と増幅ユニット100b'''、100e'''、100f'''との間で電力の流れを均等化するために、任意的な可変減衰器116a'(図4を参照して上述したような)をビーム結合器112'''と光学系104a'の間のビーム経路102'''上に設けることができることも示している。選択されたビーム偏光に小さい可変損失を導入して増幅ユニット100a'''、100c'''、100d'''と増幅ユニット100b'''、100e'''、100f'''との間で電力の流れを均等化するために、任意的な可変減衰器116a'の代わりに又はそれに加えて、任意的な可変減衰器116b'(図4を参照して説明したような)をビーム結合器112'''と光学系104b'の間のビーム経路106'''上に位置決めすることもできる。一部の場合には、可変減衰器を不要とすることができる。

20

【0081】

レーザシステム21a'''では、光学系104a'は、例えば、平面ミラー(図4を参照されたい)、湾曲ミラー、位相共役ミラー、コーナ反射器、又はビーム経路102'''に対してリトロ構成で配置されたブレイズ化されたエシェル型回折格子のような回折格子(図6及び対応する上述の説明を参照されたい)とすることができる。光学系104b'も、例えば、平面ミラー(図4を参照されたい)、湾曲ミラー、位相共役ミラー、コーナ反射器、又はビーム経路106'''に対してリトロ構成で配置されたブレイズ化されたエシェル型回折格子のような回折格子(図6及び対応する上述の説明を参照されたい)とすることができる。光学系104a'に使用される光学系の種類は、光学系104b'に使用される光学系の種類と同じか又は異なるものとすることができる。回折格子が使用される場合には、回折格子(図5を参照して上述したような)を回転させて直線偏光方向と回折格子の溝との間の角度を調節し、光学系104a'、104b'の反射効率を変更するために、光学系104a'、104b'の一方又は両方にアクチュエータ(図示せず)を結合することができる。

30

40

【0082】

使用時には、プラズマ源材料送出システム90からのターゲット材料小滴118'''が、ビーム経路102'''、106'''の近く又はこの経路を通る軌道上に置かれ、ビーム経路102'''、106'''から小滴118'''上に入射する光は、ビーム経路102'''、106'''上に戻るようにもたらされる。小滴がビーム経路102'''、106'''の近く又はその上にある時には、第1の直線偏光方向を有する光子は、小滴118'''と光学系104a'の間を往復することができ、ビーム経路102

50

’ ’ ’ に沿って光共振器が確立される。経路 1 0 2 ’ ’ ’ 上では、第 1 の直線偏光方向を有する光子は、増幅ユニット 1 0 0 a ’ ’ ’、1 0 0 c ’ ’ ’、及び 1 0 0 d ’ ’ ’ を通過し、シードレーザが出力光子をビーム経路 1 0 2 ’ ’ ’ に供給することなく、ビーム経路 1 0 2 ’ ’ ’ 上に増幅された光子ビームが生成される。

【 0 0 8 3 】

同じく、小滴 1 1 8 ’ ’ ’ がビーム経路 1 0 2 ’ ’ ’、1 0 6 ’ ’ ’ の近く又はその上にある時には、第 1 の直線偏光方向に直交する直線偏光を有する光子は、小滴 1 1 8 ’ ’ ’ と光学系 1 0 4 b ’ の間を往復することができ、ビーム経路 1 0 6 ’ ’ ’ に沿って光共振器が確立される。ビーム経路 1 0 6 ’ ’ ’ 上では、第 1 の直線偏光方向に直交する偏光を有する光子は、増幅ユニット 1 0 0 b ’ ’ ’、1 0 0 e ’ ’ ’、及び 1 0 0 f ’ ’ ’ を通過し、シードレーザが出力光子をビーム経路 1 0 6 ’ ’ ’ に供給することなく、ビーム経路 1 0 6 ’ ’ ’ 上に増幅された光子ビームが生成される。

10

【 0 0 8 4 】

ビーム経路 1 0 2 ’ ’ ’ 上で増幅された光子ビームは、ビーム経路 1 0 6 ’ ’ ’ 上で増幅された光子ビームとビーム結合器 1 1 2 ’ ’ ’ において組み合わせられ、組み合わせられたビームは、ビーム調整ユニット 5 0 を通じてもたらされ、ビーム調整ユニット 5 0 においてビームは小滴 1 1 8 ’ ’ ’ 上に集束され、EUV 光放出プラズマが生成される。

【 0 0 8 5 】

図 8 は、光増幅ユニット 1 0 0 a 及び 1 0 0 b が、各々約 0.5 m^{-1} の小信号利得を有し、光増幅ユニット 1 0 0 c が約 0.8 m^{-1} の小信号利得を有し、光増幅ユニット 1 0 0 d が約 1.1 m^{-1} の小信号利得を有する図 4 に図示の実施形態において得ることができる推定ビーム電力のプロット（曲線 3 0 2）を示している。図 8 に示すように、この配列は、約 462.0 mJ の計算上の半値全幅（FWHM）パルスエネルギーをもたらすことができる。図 8 は、光増幅ユニット 2 a が約 1.1 m^{-1} の小信号利得を有し、光増幅ユニット 2 b が約 0.8 m^{-1} の小信号利得を有し、光増幅ユニット 2 c が約 0.5 m^{-1} の小信号利得を有する図 1 に示す従来技術の配列において得ることができる推定ビーム電力のプロット（曲線 3 0 0）も示している。図 8 に示すように、この配列は、約 324.3 mJ の計算上の半値全幅（FWHM）パルスエネルギーをもたらすことができる。

20

【 0 0 8 6 】

当業者には、上述の実施形態は、単に例であるように意図したものであり、本出願によって広義に考えられる主題の範囲を限定するように意図したものではないことが理解されるであろう。開示する実施形態には、本明細書に開示する主題の範囲で追加、削除、及び修正を加えることができることは当業者によって認められるものとする。特許請求の範囲は、その範囲及び意味において、開示する実施形態だけではなく、当業者に明らかになるそのような均等物、並びに他の修正及び変形を網羅するように意図したものである。別途明示的に述べない限り、以下の特許請求の範囲における単数形の要素への参照又は冠詞「a」に続く要素への参照は、当該要素のうちの「1 つ又はそれよりも多く」を意味するように意図したものである。本明細書に提供する開示内容のうちのいずれのものも、その開示内容が特許請求の範囲内に明示的に説明されているか否かに関わらず、公衆に供与するように意図したものである。

30

40

【符号の説明】

【 0 0 8 7 】

- 2 1 a レーザシステム
- 5 0 ビーム調整ユニット
- 9 0 プラズマ源材料送出システム
- 1 0 4 光学系
- 1 1 8 ターゲット材料小滴

【図 1】

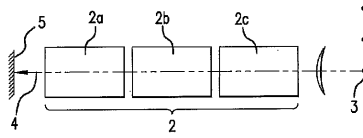


FIG. 1 (PRIOR ART)

【図 2】

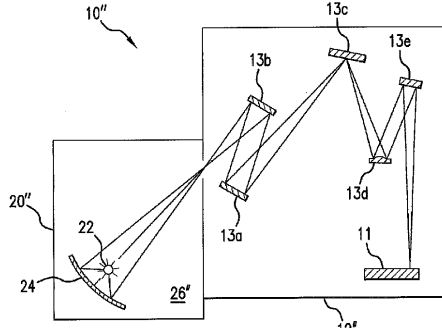


FIG. 2

【図 3】

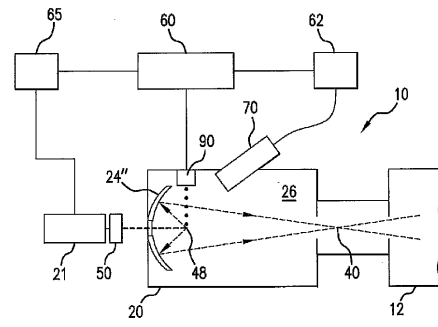


FIG. 3

【図 4】

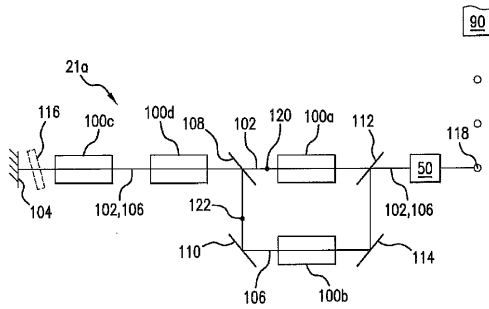


FIG. 4

【図 5】

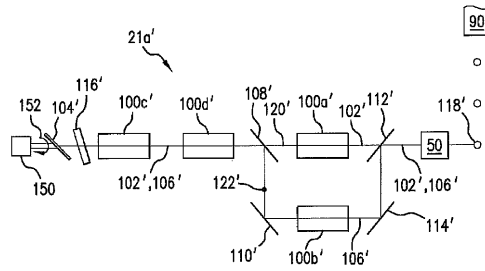


FIG. 5

【図 6】

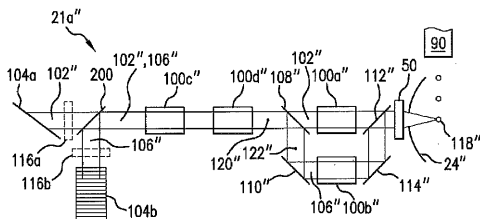


FIG. 6

【図 7】

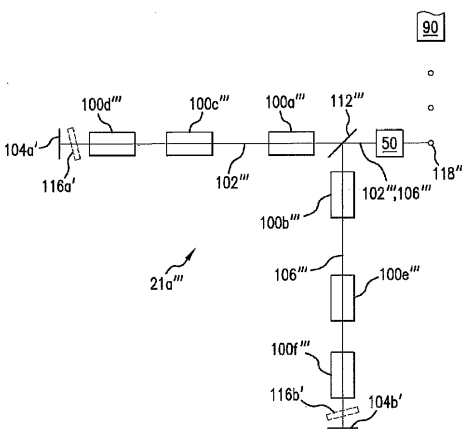
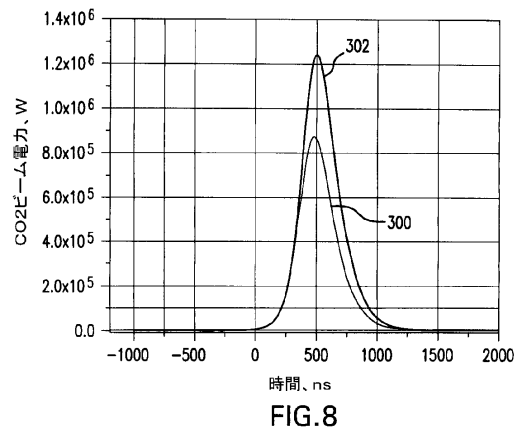


FIG. 7

【図 8】



フロントページの続き

(74)代理人 100109070

弁理士 須田 洋之

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100120525

弁理士 近藤 直樹

(72)発明者 アーショフ アレクサンダー アイ

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

審査官 小田倉 直人

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 2 7 0 5 5 1 (J P , A)

特表 2 0 1 0 - 5 0 6 4 2 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 5 G 2 / 0 0