

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6037594号  
(P6037594)

(45) 発行日 平成28年12月7日 (2016. 12. 7)

(24) 登録日 平成28年11月11日 (2016. 11. 11)

(51) Int. Cl. F I  
H O 1 S 3/00 (2006. 01) H O 1 S 3/00 A

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2009-515472 (P2009-515472)	(73) 特許権者	504151804
(86) (22) 出願日	平成19年6月11日 (2007. 6. 11)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー.
(65) 公表番号	特表2009-540607 (P2009-540607A)		ブイ.
(43) 公表日	平成21年11月19日 (2009. 11. 19)		オランダ国 ヴェルトホーフェン 550
(86) 国際出願番号	PCT/US2007/013862		0 エーエイチ, ビー. オー. ボックス
(87) 国際公開番号	W02007/146329		324
(87) 国際公開日	平成19年12月21日 (2007. 12. 21)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成22年6月11日 (2010. 6. 11)		弁理士 稲葉 良幸
審判番号	不服2014-17125 (P2014-17125/J1)	(74) 代理人	100109346
審判請求日	平成26年8月28日 (2014. 8. 28)		弁理士 大貫 敏史
(31) 優先権主張番号	11/452, 558	(72) 発明者	アーショフ アレクサンダー アイ
(32) 優先日	平成18年6月14日 (2006. 6. 14)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92
(33) 優先権主張国	米国 (US)		128 サン ディエゴ メドレー フラワ
			ー プレイス 11312

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

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

出力ビームを生成するレーザ発振器と、

レーザ発振器から出力ビームを受け取るよう接続されたパルス伸長器であって、前記出力ビームのレーザパルスから伸長されたパルスを生成するパルス伸長器と、

前記パルス伸長器からのパルスが入力され、利得媒体長 ( $L_1$ )、飽和エネルギー ( $E_s, 1$ ) 及び小信号利得 ( $g_0, 1$ ) によって特徴付けられる利得媒体を有し、前記伸長されたパルスを増幅して第1の増幅ビームを生成する第1の増幅器と、( $g_0, 1$ ) > ( $g_0, 2$ ) 及び ( $E_s, 2$ ) > ( $E_s, 1$ ) である、利得媒体長 ( $L_2$ )、飽和エネルギー ( $E_s, 2$ ) 及び小信号利得 ( $g_0, 2$ ) によって特徴付けられる利得媒体を有し、前記第1の増幅ビームを増幅して第2の増幅ビームを生成する第2の増幅器と、を備え、前記第1の増幅器の利得媒体は、第1のガス組成を有するガスを含み、前記第2の増幅器の利得媒体は、前記第1のガス組成とは異なるガス組成を有するガスを含み、さらに、前記第1の増幅器の利得媒体は、ガス圧  $P_1$  のガスであり、前記第2の増幅器の利得媒体は、 $P_1$   $P_2$  であるガス圧  $P_2$  のガスであり、利得媒体長 ( $L_1 + L_2$ )、飽和エネルギー ( $E_s, 1$ )、及び小信号利得 ( $g_0, 1$ ) によって、或いは利得媒体長 ( $L_1 + L_2$ )、飽和エネルギー ( $E_s, 2$ )、及び小信号利得 ( $g_0, 2$ ) によって特徴付けられる利得媒体を有する単一の増幅器への入力エネルギーが前記第1の増幅器への入力エネルギーと同じであるときに、前記第1の増幅器への入力エネルギーは

10

20

、前記第2の増幅器からの出力エネルギーが、前記単一の増幅器の出力エネルギーより大きくなるように調整されており、

前記パルス伸長器は、移動する原材料がそれぞれのパルスピークに異なる位置で照射されるように、それぞれのパルスピークを、前記パルス伸長器を出る異なる経路に置く、レーザ光源。

【請求項2】

前記ガスは、 $\text{CO}_2$ を含むことを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源。

【請求項3】

$(g_0, 1) > (g_0, 2) > (g_0, 3)$  及び  $(E_s, 3) > (E_s, 2) > (E_s, 1)$  である飽和エネルギー  $(E_s, 3)$  及び小信号利得  $(g_0, 3)$  によって特徴付けられる利得媒体を有し、前記第2の増幅ビームを増幅して第3の増幅ビームを生成する第3の増幅器を更に含むことを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源。

10

【請求項4】

前記レーザ発振器は、空洞減衰レーザ発振器であることを特徴とする請求項1に記載のレーザ光源。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、2006年6月14日出願の米国特許出願出願番号第11/452、558号に対する優先権を請求するものである。本出願は、2006年2月21日出願の「プレパルスによるレーザ生成プラズマEUV光源」という名称の現在特許出願中の米国特許出願出願番号第11/358、988号、2005年8月9日にWebb他に付与された「長期遅延及び高TISパルス伸長器」という名称の米国特許第6、928、093号、2006年3月31日出願の「共焦点パルス伸長器」という名称の米国特許出願第11/394、512号（代理人整理番号第2004-0144-01号）、2005年5月26日出願の「線ビームとして整形されたレーザと基板上に堆積された膜の間の相互作用を実施するシステム及び方法」という名称の米国特許出願第11/138、001号（代理人整理番号第2004-0128-01号）、及び2002年5月7日出願の「ビーム送出を備えたレーザリソグラフィ光源」という名称の米国特許出願第10/141、216号で現在の米国特許第6、693、939号に関するものであり、これらの各々の開示内容は、本明細書において引用により組み込まれている。

20

30

【0002】

本発明は、極紫外線（EUV）光、例えば、約50nm及びそれ未満の波長の光を発生させるために、ターゲット材料の照射を含むがこれに限定されない用途に使用することができるレーザ光を発生させるためのシステム及び方法に関する。

【背景技術】

【0003】

極紫外線（EUV）光、例えば、約50nm又はそれ未満の波長（軟X線ということもある）を有し、13.5nm又は約13.5nmの波長の光を含む電磁放射線は、基板、例えば、シリコンウェーハ内に極めて小さな特徴部を生成するためにフォトリソグラフィ処理に使用することができる。

40

【0004】

EUV光を生成する方法は、以下に限定されるものではないが、輝線がEUV範囲にある元素、例えば、キセノン、リチウム、又はスズを有する材料をプラズマ状態に変換することを含む。多くの場合にレーザ生成プラズマ（LPP）と呼ばれる1つのこのような方法では、所要のプラズマは、所要の線放出元素を有する材料の小滴、流れ、又はクラスターのようなターゲット材料をレーザビームで照射することにより生成することができる。

【0005】

LPP及び他の高電力レーザ用途では、特定のレーザ出力要件を満たすレーザ源が必要であることが多い。これらの要件としては、電力（又は、パルスレーザの場合、パルスエ

50

エネルギー及び繰返し数)、パルス幅、ビーム品質、及び波長を含むことができる。一般的に、初期レーザコスト、レーザ運転コスト、信頼性及び変換効率(例えば、EUV電力出力と電気入力との比)を最適化することも望ましい。例えば、以下に限定されるものではないが、特定のLPP構成、例えば、スズターゲットを使用するは、波長 $10.6\mu\text{m}$ 、パルス幅 $20\sim150\text{ns}$ 、及びパルスエネルギー約 $100\text{mJ}$ の光を使用して効率的に作動させることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許出願出願番号第11/452、558号

10

【特許文献2】米国特許出願出願番号第11/358、988号

【特許文献3】米国特許第6、928、093号

【特許文献4】米国特許出願第11/394、512号

【特許文献5】米国特許出願第11/138、001号

【特許文献6】米国特許出願第10/141、216号

【特許文献7】米国特許第6、693、939号

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】L. M. Frantz、J. S. Nodvik、"J. Appl. Phys.", 34、2346(1963年)

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

以上を踏まえて、本出願人は、上述の特性を有するレーザ光を効率的に生成するためのシステム及び方法を、他の指定のレーザ出力特性を生成するレーザ源の設計に拡張可能である本明細書に与える教示と共に開示する。

【課題を解決するための手段】

【0009】

実施形態の第1の態様では、レーザ光源は、出力ビームを生成するレーザ発振器と、出力ビームを増幅して第1の増幅ビームを生成する第1の増幅器と、第1の増幅ビームを増幅して第2の増幅ビームを生成する第2の増幅器とを含むことができる。この態様では、第1の増幅器は、飽和エネルギー( $E_{s,1}$ )及び小信号利得( $g_{o,1}$ )により特徴付けられる利得媒体を有することができ、第2の増幅器は、( $g_{o,1}$ ) > ( $g_{o,2}$ )及び( $E_{s,2}$ ) > ( $E_{s,1}$ )である飽和エネルギー( $E_{s,2}$ )及び小信号利得( $g_{o,2}$ )により特徴付けられる利得媒体を有することができる。レーザ光源は、第2の増幅ビームを増幅して第3の増幅ビームを生成する第3の増幅器を更に含むことができ、第3の増幅器は、( $g_{o,1}$ ) > ( $g_{o,2}$ ) > ( $g_{o,3}$ )及び( $E_{s,3}$ ) > ( $E_{s,2}$ ) > ( $E_{s,1}$ )である飽和エネルギー( $E_{s,3}$ )及び小信号利得( $g_{o,3}$ )により特徴付けられる利得媒体を有する。

30

【0010】

一実施形態では、第1の増幅器利得媒体は、第1のガス組成を有するガスを含むことができ、特定のな実施形態では、第2の増幅器利得媒体は、第1のガス組成と異なるガス組成を有するガスを含むことができる。一実施形態では、第1の増幅器利得媒体は、ガス圧 $P_1$ のガスとすることができ、第2の増幅器利得媒体は、ガス圧 $P_2$ のガスとすることができ、 $P_1 \neq P_2$ である。上述の実施形態のいずれに対しても、ガスは、 $\text{CO}_2$ を含むことができる。

40

【0011】

レーザ光源の別の態様では、レーザ発振器は、例えば、モード固定レーザ発振器、q-スイッチレーザ発振器、又は他の空洞減衰レーザ発振器とすることができる。特定のな実施形態では、レーザ光源は、時間的パルス伸長器を更に含むことができる。1つの設定においては、時間的パルス伸長器は、発振器からレーザパルスを受け取って、そこから増幅

50

器による増幅のために伸張パルスを生成するように位置決めされる。

#### 【0012】

実施形態の別の態様では、EUV光源は、EUV線放出元素を含有する小滴を生成する小滴発生器と、小滴を照射してEUV放射を生成するためのレーザ光源とを含むことができる。EUV光源に関しては、レーザ光源は、レーザパルスを生成するレーザ発振器と、レーザパルスを伸長する時間的パルス伸長器と、レーザパルスを増幅する増幅器とを含むことができる。特定の実施形態では、増幅器は、パルスを増幅して第1の増幅ビームを生成する第1の増幅器とすることができ、第1の増幅器は、飽和エネルギー( $E_{s,1}$ )及び小信号利得( $g_{o,1}$ )により特徴付けられる利得媒体を有し、EUV光源は、第1の増幅ビームを増幅して第2の増幅ビームを生成する第2の増幅器を更に含むことができ、第2の増幅器は、( $g_{o,1}$ ) > ( $g_{o,2}$ ) 及び ( $E_{s,2}$ ) > ( $E_{s,1}$ ) である飽和エネルギー( $E_{s,2}$ ) 及び小信号利得( $g_{o,2}$ ) により特徴付けられる利得媒体を有する。例えば、EUV線放出元素は、スズとすることができる。特定の実施例では、レーザ発振器は、10 ~ 30 ns の範囲のパルス幅を有するレーザパルスを生成することができ、時間的パルス伸長器は、50 ~ 150 ns の範囲のパルス幅を有するレーザパルスを生成することができる。

10

#### 【0013】

実施形態の態様はまた、シードレーザビームを生成する段及び/又は段階と、飽和エネルギー( $E_{s,1}$ ) 及び小信号利得( $g_{o,1}$ ) により特徴付けられる第1の利得媒体を使用してシードビームを増幅し、第1の増幅ビームを生成する段及び/又は段階と、( $g_{o,1}$ ) > ( $g_{o,2}$ ) 及び ( $E_{s,2}$ ) > ( $E_{s,1}$ ) である飽和エネルギー( $E_{s,2}$ ) 及び小信号利得( $g_{o,2}$ ) により特徴付けられる利得媒体を有する第2の利得媒体を使用して第1の増幅ビームを増幅し、第2の増幅ビームを生成する段及び/又は段階とを含むレーザ光を発生させる方法を含むことができる。

20

#### 【0014】

本発明の実施形態の更に別の態様は、EUV線放出元素、例えば、スズを含有する材料と、少なくとも1つのレーザパルスの供給源、例えば、CO<sub>2</sub>レーザと、少なくとも3つのピークを有するようにパルスの形状を修正するパルス伸長器とを有するEUV光源を含み、伸長器が、ピークの相対マグニチュードを定めるビームスプリッタ及びピークの時間的分離を確立する遅延経路を有し、修正パルス形状が、材料を照射し、パルス伸長器がない場合に発生するEUV強度よりも大きいEUV強度を生成するように選択されることとして特徴付けることができる。一実施形態では、修正ビームの第1のピークは、修正ビームの別のピークよりも低い強度を有し、特定の実施形態では、第1のピークの1つ又はそれよりも多くのパラメータは、プレパルスで材料を照射し、第2のピークによるその後の照射に向けて線放出元素を空間的に拡張させるように選択される。一構成においては、パルス伸長器は、非変位式パルス伸長器とすることができ、特定の構成においては、パルス伸長器は、伸長器を出る異なる経路上に各パルスピークを置くことができ、材料は、小滴の形態とすることができる。

30

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0015】

40

【図1】本発明の態様によるレーザ生成プラズマEUV光源の全体的な広義の概念の概略図である。

【図2】発振器ユニット及び増幅ユニットを含むレーザ源の一実施形態を示す図である。

【図3】発振器ユニット、時間的パルス伸長器、及び増幅ユニットを含むレーザ源の別の実施形態を示す図である。

【図3A】パルス伸長器を使用して取得することができる第1のパルス形状を示す図である。

【図3B】パルス伸長器を使用して取得することができる別のパルス形状を示す図である。

【図3C】パルス伸長器を使用して取得することができる更に別のパルス形状を示す図で

50

ある。

【図3D】伸長器を出る各連続パルスピークが僅かに異なる経路に沿って誘導されるような光学アラインメントを有するパルス伸長器を示す図である。

【図4】図2又は図3の実施形態のいずれかにおける使用に適する直列に配置された2つの増幅器を有する増幅ユニットの例を示す図である。

【図5】比較的高い小信号利得及び比較的低い飽和エネルギーを有する8メートル利得媒体に対する計算  $E_{out}$  対  $E_{in}$  曲線と、比較的低い小信号利得及び比較的高い飽和エネルギーを有する8メートルの利得媒体に対する計算  $E_{out}$  対  $E_{in}$  曲線と、第1の増幅器が比較的高い小信号利得及び比較的低い飽和エネルギーを有し、第2の増幅器が比較的低い小信号利得及び比較的高い飽和エネルギーの利得媒体を有する、総利得媒体長  $L_1 + L_2 = 8\text{ m}$  の一連の2つの増幅器に対する計算  $E_{out}$  対  $E_{in}$  曲線とを示す図である。

10

【図6】図2又は図3の実施形態のいずれかにおける使用に適する直列に配置された3つの増幅器を有する増幅ユニットの例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

最初に図1を参照すると、本発明の一態様による例示的なEUV光源、例えば、レーザ生成プラズマEUV光源20の概略図が示されている。図1に示し、かつ以下でより詳細に説明するように、LPP光源20は、光パルスを生成して、チャンバ26内に光パルスを送出する供給源22を含むことができる。以下で詳細するように、光パルスは、供給源22から1つ又はそれよりも多くのビーム経路に沿って、かつチャンバ26内に進んで1つ又はそれよりも多くのターゲット容積を照明することができる。

20

【0017】

図1に更に示すように、光源20は、例えば、ターゲット容積28までチャンバ26の内部に原材料の小滴を送出する原材料送出システム24を含むことができ、チャンバ26で、原材料ターゲットは、プラズマを生成してEUV放射を生成するために1つ又はそれよりも多くの光パルス、例えば、プレパルス、次に、主要パルスにより照射されることになる。原材料としては、スズ、リチウム、キセノン、又はその組合せを含む材料を含むことができるが、これに限定されるものではない。EUV放射元素、例えば、スズ、リチウム、キセノンなどは、液体小滴、及び/又は液体小滴内に含有された固体粒子、又はEUV放射元素をターゲット容積に供給するあらゆる他の形態とすることができる。

30

【0018】

引き続き図1を用いて、光源20は、供給源22により生成された光パルスがターゲット容積28を通過し、かつターゲット容積28に到達することを可能にする開口を有する、例えば、長軸に対して直角に切断された楕円の形態の収集器30、例えば、反射体、例えば、モリブデン及びシリコンの交互層を有する多層ミラーを含むことができる。収集器30は、例えば、ターゲット容積28内又はその近くに第1の焦点、及びEUV光を光源20から出力して、例えば、集積回路リソグラフィツール（図示せず）に入力することができるいわゆる中間点40（中間焦点40とも呼ばれる）に第2の焦点を有する楕円ミラーとすることができる。

【0019】

40

光源20は、EUV光源制御システム60を含むことができ、EUV光源制御システム60は、供給源22内の1つ又はそれよりも多くのランプ及び/又はレーザ源を起動させることによりチャンバ26に送出のための光パルスを生成する発射制御システム65を含むことができる。光源20はまた、小滴位置検知システムを含むことができ、小滴位置検知システムは、例えば、ターゲット容積28に対して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装置70を含み、かつ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る、これは、例えば、小滴単位で又は平均して、小滴誤差を計算することができる例えば小滴位置及び軌道を計算することができる。小滴誤差は、次に、光源コントローラ60への入力として供給することができる、光源コントローラ60は、例えば、位置、方向、及びタイミング補正信号を

50

供給源 22 に供給して供給源タイミング回路を制御し、及び／又は例えばチャンバ 26 に送出されている光パルスの位置及び／又は焦点屈折力を変えるようにビーム位置及び整形システムを制御することができる。

【0020】

図 1 に示すように、光源 20 は、例えば、望ましいターゲット容積 28 に到着する小滴内の誤差を補正するように小滴送出機構 92 からの原材料の放出点を修正するために、システムコントローラ 60 からの信号（一部の実施例では、上述の小滴誤差又はそこから導出した何らかの量を含むことができる）に応答して作動可能な小滴送出制御システム 90 を含むことができる。

【0021】

図 2 は、発振器ユニット 200 及び増幅ユニット 202 を含む供給源 22 の一実施形態を示している。例えば、発振器ユニット 200 は、パルスガス放電  $\text{CO}_2$ 、エキシマ又は分子フッ素レーザ発振器を含むことができ、増幅ユニット 202 は、発振器又は単一／二重通過増幅器として構成された 1 つ又はそれよりも多くのガス放電  $\text{CO}_2$ 、エキシマ又は分子フッ素レーザユニットを含むことができる。増幅ユニット 202 内のレーザユニットは、並列又は直列に配置することができる。

【0022】

図 3 は、発振器ユニット 200'、時間的パルス伸長器 300、及び増幅ユニット 202' を含む供給源 22' の別の実施形態を示している。時間的パルス伸長器に関するより多くの詳細は、2005 年 8 月 9 日に Web 他に付与された「長期遅延及び高 TIS パルス伸長器」という名称の米国特許第 6,928,093 号、2006 年 3 月 31 日出願の「共焦点パルス伸長器」という名称の米国特許出願第 11/394,512 号（代理人整理番号第 2004-0144-01 号）、2005 年 5 月 26 日出願の「線ビームとして整形されたレーザと基板上に堆積された膜の間での相互作用を実施するシステム及び方法」という名称の米国特許出願第 11/138,001 号（代理人整理番号第 2004-0128-01 号）、及び 2002 年 5 月 7 日出願の「ビーム送出を備えたレーザリソグラフィ光源」という名称の米国特許出願第 10/141,216 号で現在の米国特許第 6,693,939 号に見ることができ、これらの各々の開示内容は、本明細書において引用により組み込まれている。一般的に、これらの光学パルス伸長器は、遅延経路 304 に沿って一部のビームを通過させるビームスプリッタ 302 を含み、適切なビームスプリッタ反射率及び遅延ビーム路長を選択することにより、伸長器を出るパルス形状を制御することができる。具体的には、パルス伸長器 300 は、単一ピーク（すなわち、強度と時間のプロットにおいて）を通常有する入力パルスを受光し、複数の時間的に離間したピークを有するパルスを出力する。図示のように、伸長器 300 は、実質的に無損失性とすることができる。パルスピークが共通のビーム経路で全て出力される場合に対しては、パルス伸長器は、本明細書では非変位パルス伸長器と呼ぶ。図 3 に示す配置に対しては、伸長器 300 の構成要素は、パルス伸長器が非変位であるように整列させることができる。

【0023】

伸長器に関しては、ビームスプリッタの反射率は、出力ピークの相対マグニチュードに影響を与えることになり、遅延経路の長さは、ピーク間の時間的分離を確立することができる。従って、出力パルス形状は、ビームスプリッタ反射率の適切な選択及び遅延経路の長さにより設計することができる。

【0024】

更に、一部の場合には、出力パルス形状は、EUV 出力及び／又は変換効率（すなわち、出力 EUV 電力と EUV 光源入力電力の比）を増大し、及び／又は原材料の消費量、例えば、スズ消費量を低減し、及び／又は様々なプラズマチャンバ光学要素、例えば、ミラー、ウィンドなど）の作動効率を潜在的に損なうか又は低減する可能性があるプラズマチャンバ内での好ましくない副産物（例えば、デブリ）の形成を低減するように最適化することができる。

【0025】

一部の用途に最適とすることができる１つの特定のパルス形状は、図３Ａ及び図３Ｂに示すように、プレパルスピーク、及びそれに続くより強い主パルスピークを含む。より詳細には、図３Ａは、パルス伸長器を出るパルス３１０の形状を示しており、ビームスプリッタの反射率は、第２のピーク３１２の強度が第１のピーク３１４よりも増大するように選択され、遅延経路長は、最初の２つのピークが時間 $t_1$ によって分離されるように選択されたものである。ピーク３１２に対応する尾部は、そのピークに対応する尾部と重複し、従って、２つのピークは同じパルスの一部であることは認められるものとする。例示する目的で、図３Ｂは、パルス伸長器を出るパルス'の形状を示しており、ビームスプリッタの反射率は、図３Ａに対応するビームスプリッタとほぼ同じであり、従って、第２のピーク３１２'は、強度が第１のピーク３１４'よりも大きい、第１のピーク３１４'よりも長い遅延経路長を使用しており、この時点で、２つのピークは、時間 $t_2$ により分離され、 $t_2 > t_1$ である。それに反して、図３Ｃは、同じく例示する目的で、パルス伸長器を出るパルス３１０''に対する形状を示しており、ビームスプリッタの反射率は、図３Ａに対応するビームスプリッタを下回り、従って、第２のピーク３１２''は、強度が第１のピーク３１４''よりも小さい。尚、パルス３１０''の遅延経路長は、結果としてピークの分離時間 $t_3$ になるパルス３１０の遅延経路長とほぼ同じであり、 $t_3 = t_1$ である。従って、図３Ａは、ビームスプリッタ反射率及び遅延ビーム路長を変えることにより、広い範囲のパルス形状を生成することができることを示している。

#### 【００２６】

EUV電力及び/又は変換効率を増大させ、及び/又は消費/デブリを低減するプレパルスの使用の詳細は、代理人整理番号第２００５－００８５－０１号である２００６年２月２１日出願の「プレパルスによるレーザ生成プラズマEUV光源」という名称の現在特許出願中の米国特許出願出願番号第１１／３５８、９８８号に見ることができ、この特許の開示内容は、本明細書において引用により組み込まれている。一部の場合には、プレパルスピークを使用して原材料、例えば、スズ滴を蒸発させて空間的に拡張し、その後の主パルスを使用して、拡張原材料からEUV放射を生成することができる。

#### 【００２７】

プレパルスピークのマグニチュードによっては、原材料は、一部の実施例では、弱いプラズマを形成することができる。本明細書で使用する時、用語「弱いプラズマ」及びその派生語は、イオンを含むが約１％未満が電離された材料を意味する。予め選択した時間が、プレパルスピークでの照射後に経過した後、照射された材料を主パルスピークプラズマに露光させてEUV放射を作り出すことができる。例えば、COレーザ源及びスズ滴に対しては、１～１０mJプレパルス及び５０～４００mJの主パルスが適切とすることができる。

#### 【００２８】

上述のように、図３に示す伸長器３００の構成要素は、パルス伸長器が非変位であるように整列させることができる。代替的に、図３Ｄに示すように、各連続パルスピークが僅かに異なる経路に沿って誘導されるようにパルス伸長器３００'を製造するために、光学構成要素（すなわち、遅延路３０４'を定めるビームスプリッタ３０２'又はミラー）の１つ又はそれよりも多くのアラインメントの僅かな変更を行うことができる。特に、伸長器３００に対しては、第１のパルスピークは、経路３２０に沿って放出することができ、第２のパルスピークは、経路３２２に沿って放出することができ、第３のパルスピークは、経路３２４に沿って放出することができ、第４のパルスピークは、経路３２６に沿って放出することができる等々である。この構成では、パルスの連続は、方向３３０における移動で示すように、移動中の材料３２８、例えば、小滴又はプレパルス容積に「追従」することができる。

#### 【００２９】

図３に示す構造に対しては、発振器ユニット２００'は、レーザ発振器、例えば、モード固定レーザ発振器、q-スイッチレーザ発振器、又は他の空洞減衰レーザ発振器を含むことができる。レーザ発振器は、その後にパルス伸長器を使用して増大させる所望よりも

短い例えば  $10 \sim 30 \text{ ns}$  の範囲のパルス幅を供給することができる。一部の LPP 構成に対しては、短パルス幅は、EUV 光源の変換効率（すなわち、EUV 出力と原材料 / レーザ入力との比）を制限する場合がある。例えば、一部の  $\text{CO}_2$  放射線のためのパルス増幅器に対しては、長パルスの増幅は、 $\text{CO}_2$  モジュールの同じ振動帯域の回転線間のエネルギー交換のために短（ $10 \text{ ns}$  範囲）パルスの場合よりも効率的である。長パルスの使用は、プレパルスの複雑さを回避することができる。例えば、スズ滴を使用する一部の LPP 構成に対しては、適切なパルス幅は、約  $20 \sim 180 \text{ ns}$ 、恐らくは  $50 \sim 150 \text{ ns}$  の範囲とすることができる。伸長器 300 の使用には、プレパルスがパルス伸長器 300 を通過又は迂回する状態でプレパルスが使用される構成への用途もあると考えられる。

#### 【0030】

10

図 3 に示す設定に対しては、時間的パルス伸長器 300 は、発振器ユニット 200 からレーザパルスを受光して、増幅ユニット 202 によるその後の増幅に向けて伸長パルスを生成するように位置決めされる。この構成は、増幅ユニット 202 の前にピークのパルス強度を下げ、高強度による増幅ユニット光学要素の損傷を低減する。他の配置も可能であり、例えば、パルス伸長器は、増幅ユニット 202 ' 内のレーザユニットの 1 つ、一部、又は全ての後に位置決めすることができる。

#### 【0031】

図 4 は、図 2 又は図 3 の実施形態における使用に適する直列に配置された 2 つの増幅器 400、402 を有する増幅ユニット 202 a、202 a' の例を示している。増幅ユニット 202 a、202 a' に対しては、増幅器 400 は、利得媒体長（ $L_1$ ）、飽和エネルギー（ $E_{s,1}$ ）、及び小信号利得（ $g_{o,1}$ ）により特徴付けられる利得媒体を有することができ、増幅器 402 は、利得媒体長（ $L_2$ ）、飽和エネルギー（ $E_{s,2}$ ）、及び小信号利得（ $g_{o,2}$ ）により特徴付けられる利得媒体を有することができる。

20

#### 【0032】

本明細書で使用する時、用語「飽和エネルギー」及びその派生語は、利得媒体の利得のその初期値の  $1/e$ （ $37\%$ ）までの低減をもたらす入力信号パルスのパルスエネルギーを意味する。

#### 【0033】

本明細書で使用する時、用語「小信号利得」及びその派生語は、利得媒体のいかなる認められるほどの利得飽和も引き起こさないほど弱い入力信号に対して得られる利得を意味する。

30

#### 【0034】

上記で意味するように、 $(g_{o,1}) > (g_{o,2})$  及び  $(E_{s,2}) > (E_{s,1})$  で増幅器 400、402 の利得媒体を構成することができる。以下で更に詳述するように、この構成により、結果として、 $L_1 + L_2$  の利得媒体長を有する単一増幅器よりも大きな増幅にすることができる。この影響は、図 5 により例示されており、図 5 は、比較的高い小信号利得（ $g_o = 0.9 \text{ m}^{-1}$ ）及び比較的低い飽和エネルギー（ $E_s = 5 \text{ mJ}$ ）を有する  $L = 8 \text{ m}$  の利得媒体の  $E_{in}$  対  $E_{out}$  の曲線 500、比較的低い小信号利得（ $g_o = 0.5 \text{ m}^{-1}$ ）及び比較的高い飽和エネルギー（ $E_s = 25 \text{ mJ}$ ）を有する  $L = 8 \text{ m}$  の利得媒体の  $E_{in}$  対  $E_{out}$  の曲線 502、第 1 の増幅器が比較的高い小信号利得（ $g_o = 0.9 \text{ m}^{-1}$ ）及び比較的低い飽和エネルギー（ $E_s = 5 \text{ mJ}$ ）を有し、第 2 の増幅器が比較的低い小信号利得（ $g_o = 0.5 \text{ m}^{-1}$ ）及び比較的高い飽和エネルギー（ $E_s = 25 \text{ mJ}$ ）を有する総利得媒体長  $L_1 + L_2 = 8 \text{ m}$  の一連の 2 つの増幅器に対する  $E_{out}$  対  $E_{in}$  の曲線 504 を示している。図示の利得パラメータは、 $\text{CO}_2$  レーザの典型的な値である。2 つの増幅器による構成（曲線 504）により、結果として、単一増幅器による構成（曲線 500、502）のいずれかよりも高い  $E_{out}$  になる重要な領域（すなわち、 $E_{in} > 0.25 \text{ mJ}$ ）になることを見ることができる。特に、 $E_{in} = 1 \text{ mJ}$  では、2 つの増幅器による構成は、一定のパラメータを有する単一の増幅器に対するものをほぼ全長にわたってほぼ  $50\%$  超える出力エネルギーを有する。従って、同じ利得媒体長、すなわち、 $L = 8 \text{ m}$  の場合、2 つの増幅器による構成（曲線 504）により、結果として単一増幅器による構成（曲線 500、502）のいずれか

40

50



よりも高い  $E_{out}$  になる。

【0035】

数学的には、 $PA(E_{out})$  の出力エネルギーと入力エネルギー ( $E_{in}$ ) の比率は、利得媒体の2つのパラメータ、すなわち、小信号利得 ( $g_0$ ) × 媒体長 ( $l$ )、及び飽和エネルギー ( $E_s$ ) レベルによって定められる。Frantz - Nodvik 公式によると、以下の通りであり、例えば、L. M. Frantz、J. S. Nodvik、"J. Appl. Phys.", 34, 2346 (1963年) を参照されたい。

【0036】

$$E_{out} = E_s \ln \left[ 1 + e^{g_0 l} \left( e^{\frac{E_{in}}{E_s}} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

【0037】

CO<sub>2</sub> レーザ増幅器のようなRF、DC、又はパルス励起ガス放電媒体に対しては、これらのパラメータは、独立したものではない。例えば、RF 励起利得媒体においては、低いRFポンピング電力及び低圧を使用して高い  $g_0$  を取得することができ、一方、同じ媒体に対して  $E_s$  を増大させるためには、対応する  $g_0$  の低減によって高いRF電力及び高いガス圧を使用することができる。Frantz - Nodvik 公式の対象外であり、同じく  $g_0$  及び  $E_s$  に影響を与える別のパラメータは、レーザ媒体のガス混合物 (例えば、CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> の比率: He) である。従って、RF電力、ガス圧、ガス組成、及びガスポンピング速度を含むいくつかの利得媒体因子は、小信号利得 ( $g_0$ ) × 媒体長 ( $l$ )、及び飽和エネルギー ( $E_s$ ) を選択的に定めるように制御することができる。パルス幅及び形状、強度分布、例えば、ガウス分布のような入力ビーム特性は、小信号利得 ( $g_0$ ) 及び飽和エネルギー ( $E_s$ ) を取得するのに必要なパラメータ、例えば、圧力、組成、及び励起電圧の選択にも影響を及ぼす場合がある。

【0038】

飽和エネルギーに対する小さな入力エネルギー (すなわち、 $E_{in}/E_s \ll 1$ 、及び  $E_{in}/E_s \ll e^{g_0 l}$ ) に対しては、公式 (1) は、以下によって近似することができる。

【0039】

$$E_{out} \approx E_{in} e^{g_0 l} \quad (2)$$

【0040】

これは、小さな入力信号のレーザ出力エネルギーが飽和エネルギーに依存するのではなく、指数的に ( $g_0 l$ ) の積に依存することを意味する。出力エネルギーは、入力エネルギーと線形に比例する。 $E_{in} \sim E_s$  時の高い入力エネルギーに対しては、 $E_s$  に対する依存性はより有意になる。この場合に対しては、公式 (1) 内の両括弧内の「1」を無視して以下の式を得ることができる。

【0041】

$$E_{out} \approx E_s (g_0 l + E_{in}/E_s) \quad (3)$$

【0042】

一般的に長い利得媒体に有効である  $E_{in}/E_s \ll g_0 l$  の時に、公式 (3) の第2項を無視して以下の式を得ることができる。

【0043】

$$E_{out} \approx E_s g_0 l \quad (4)$$

【0044】

この式は、出力エネルギーが、入力エネルギーに依存しない飽和値に達することを示している。より高い  $E_{in}$  に対しては、出力エネルギーは、何らかのオフセットがあり、かつ  $E_{in}$  の

場合よりも小さい傾斜で入力エネルギーと共に線形に変化する。

【 0 0 4 5 】

図 6 に示すように、上記で展開した原理は、3 つ又はそれよりも多くの増幅器に拡張することができる。より具体的には、図 6 は、図 2 又は図 3 の実施形態のいずれかでの使用に適する直列に配置された 3 つの増幅器 6 0 0、6 0 2、6 0 4 を有する増幅ユニット 2 0 2 b、2 0 2 b' の例を示している。図示の増幅ユニット 2 0 2 b、2 0 2 b' に対しては、増幅器 6 0 0 は、利得媒体長 ( $L_1$ )、飽和エネルギー ( $E_{s,1}$ )、及び小信号利得 ( $g_{o,1}$ ) により特徴付けられる利得媒体を有することができ、増幅器 6 0 2 は、利得媒体長 ( $L_2$ )、飽和エネルギー ( $E_{s,2}$ )、及び小信号利得 ( $g_{o,2}$ ) により特徴付けられる利得媒体を有することができ、増幅器 6 0 4 は、( $g_{o,1}$ ) > ( $g_{o,2}$ ) > ( $g_{o,3}$ ) 及び ( $E_{s,3}$ ) > ( $E_{s,2}$ ) > ( $E_{s,1}$ ) である利得媒体長 ( $L_3$ )、飽和エネルギー ( $E_{s,3}$ )、及び小信号利得 ( $g_{o,3}$ ) により特徴付けられる利得媒体を有することができる。上述のように、この構成により、結果として  $L_1 + L_2 + L_3$  の利得媒体長を有する単一増幅器よりも大きな増幅をもたらすことができる。

【 0 0 4 6 】

所定の入力エネルギーでの全体的な出力電力 (又は、出力パルスエネルギー) の最適化のために、同等長の単一増幅器の代わりに複数の独特に構成した増幅器を使用することができる。1 つの特定の实施例では、第 1 の増幅器は、利用可能な最大  $g_0$  パラメータ (低圧及び電力レベルで機能する) を有するように構成することができ、一方、最終出力増幅器は、利用可能な最大  $E_s g_0 l$  積を有するように構成することができる。中間部分は、徐々に増加する  $E_s$  パラメータ (入力から出力まで) 及び減少する  $g_0$  パラメータを有することができる。増幅器間の  $E_s$  パラメータ及び  $g_0$  パラメータのこのような最適化により、固定の  $g_0$  及び  $E_s$  を有する同等の利得媒体長の単一増幅器よりも大幅に高い出力エネルギー (電力) を有するレーザがもたらされる。

【 0 0 4 7 】

上記で開示した本発明の実施形態の態様は、好ましい実施形態であることのみを意図しており、いかなる点においても本発明の開示内容を限定するものではなく、特に、特定の好ましい実施形態だけに限定するものではないものとするのが当業者によって理解されるであろう。開示した発明の実施形態の開示した態様には、当業者によって理解及び認められるような多くの変更及び修正を行うことができる。特許請求の範囲は、その範囲及び意味において、本発明の実施形態の開示した態様だけではなく、当業者には明らかになるとと思われる均等物及び他の修正及び変更も包含するものとする。「3 5 U.S.C. § 1 1 2」を満足するために必要とされる詳細において本特許出願において説明しかつ例示した実施形態の特定の態様は、上述の実施形態の態様のあらゆる上述の目的、及び上述の実施形態の態様により又はその目的のあらゆる他の理由で又はその目的のために解決すべき問題を完全に達成することができるが、本発明の上述の実施形態のここで説明した態様は、本発明によって広く考察された内容を単に例示しかつ代表することは、当業者によって理解されるものとする。実施形態のここで説明しかつ主張する態様の範囲は、本明細書の教示内容に基づいて当業者に現在明らかであると考えられるか又は明らかになると考えられる他の実施形態を漏れなく包含するものである。本発明の範囲は、単独にかつ完全に特許請求の範囲によってのみ限定され、いかなるものも特許請求の範囲の詳細説明を超えるものではない。単数形でのこのような請求項における要素への言及は、解釈において、明示的に説明していない限り、このような要素が「1 つ及び 1 つのみ」であることを意味するように意図しておらず、かつ意味しないものとし、「1 つ又はそれよりも多い」を意味する意図とし、かつ意味するものとする。当業者に公知か又は後で公知になる実施形態の上述の態様の要素のいずれかに対する全ての構造的及び機能的均等物は、引用により本明細書に明示的に組み込まれると共に、特許請求の範囲によって包含されるように意図されている。本明細書及び / 又は本出願の請求項に使用され、かつ本明細書及び / 又は本出願の請求項に明示的に意味を与えられたあらゆる用語は、このような用語に関するあらゆる辞書上の意味又は他の一般的に使用される意味によらず、その意味を有するものとする。

実施形態のいずれかの態様として本明細書で説明した装置又は方法は、それが特許請求の範囲によって包含されるように本出願において開示する実施形態の態様によって解決するように求められる各及び全て問題に対処することを意図しておらず、また必要でもない。本発明の開示内容におけるいかなる要素、構成要素、又は方法段階も、その要素、構成要素、又は方法段階が特許請求の範囲において明示的に詳細に説明されているか否かに関係なく、一般大衆に捧げられることを意図したものではない。特許請求の範囲におけるいかなる請求項の要素も、その要素が「～のための手段」という語句を使用して明示的に列挙されるか又は方法の請求項の場合にはその要素が「作用」ではなく「段階」として列挙されていない限り、「35 U.S.C. § 112」第6項の規定に基づいて解釈されないものとする。

10

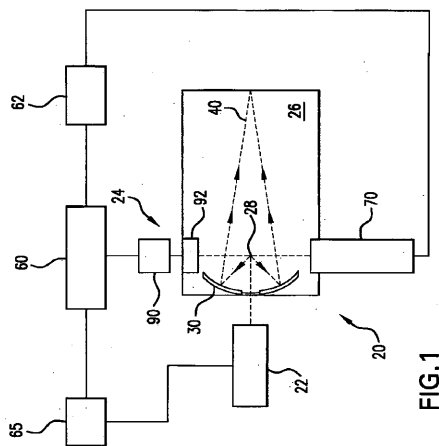
【符号の説明】

【0048】

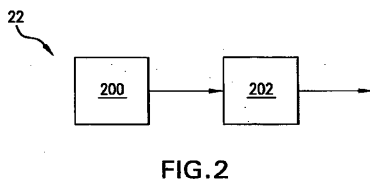
202b、202b' 増幅ユニット

600、602、604 増幅器

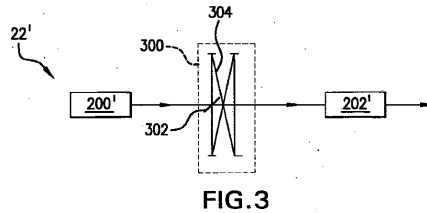
【図1】



【図2】



【図3】



【図3A】

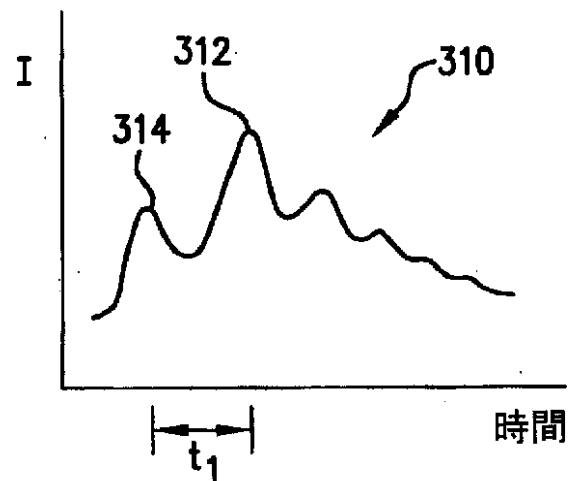


FIG.3A

【図 3 B】

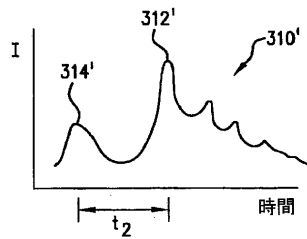


FIG.3B

【図 3 C】

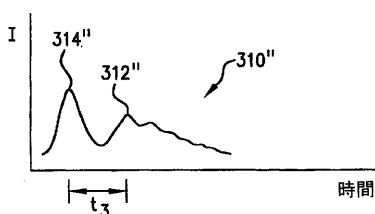


FIG.3C

【図 3 D】

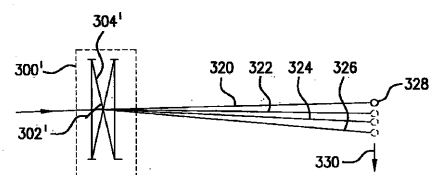


FIG.3D

【図 4】

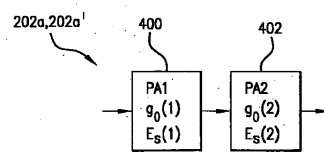


FIG.4

【図 5】

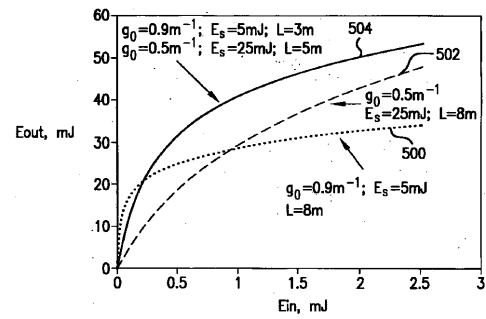


FIG.5

【図 6】

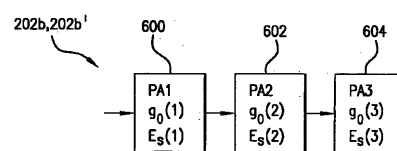


FIG.6

## フロントページの続き

- (72)発明者 ビカノフ アレクサンダー エヌ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92128 サン ディエゴ カルダス デ レイズ 15  
648
- (72)発明者 ホフマン ジャーギー アール  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92027 エスコンディード ファイアソーン グレン  
2149
- (72)発明者 フォーメンコフ イゴー ヴィー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92129 サン ディエゴ ジャーナル ウェイ 143  
90
- (72)発明者 パートロ ウィリアム エヌ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92064 ポーウェイ ペドリーザ ドライヴ 1263  
4

## 合議体

審判長 河原 英雄

審判官 星野 浩一

審判官 小松 徹三

## (56)参考文献 特開2006-128157(JP,A)

特開平11-186635(JP,A)

特開平1-96977(JP,A)

特開平7-283464(JP,A)

特開平2-78283(JP,A)

特開昭63-306681(JP,A)

特開2006-93560(JP,A)

特開2005-123528(JP,A)

特開2006-24855(JP,A)

特開2005-17274(JP,A)

特開2002-323598(JP,A)

特開2002-329914(JP,A)

特開平11-266063(JP,A)

Tatsuya Ariga, Hideo Hoshino, Taisuke Miura  
and Akira Endo "High power and short pulse  
RF-excited CO2 laser MOPA system for LLP E  
UV light source", Proceedings of SPIE, Vol.  
6101, pp.61011N-1~61011N-8 (独立行政法人化学技術振興機構受入  
れ日 2006年4月24日)

J.Soures, S.Kumpan, and J.Hoose "High Power  
Nd:Glass Laser for Fusion Applications", A  
pply Optics, Vol.13, No.9, pp.2081-2094,  
September 1974

J. N. Olsen "Pulse shaping in the iodine la  
ser", Journal of Applied Physics, Vol.47, N  
o.12, pp.5360-5364, December 1976

H.KOMORI, Y.UENO, H.HOSHINO, T.ARIGA, G.SOU  
MAGNE, A.ENDO and H.MIZOGUCHI "EUV radiatio  
n characteristics of a CO2 laser produced X  
e plasma" Applied Physics B, Vol.83, pp.213

- 2 1 8 , ( 独立行政法人化学技術振興機構受入れ日 2 0 0 6 年 5 月 9 日 )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01S 3/00 - 3/30