

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6195474号
(P6195474)

(45) 発行日 平成29年9月13日(2017.9.13)

(24) 登録日 平成29年8月25日(2017.8.25)

(51) Int.Cl.		F I			
H05G	2/00	(2006.01)	H05G	2/00	K
H01L	21/027	(2006.01)	H01L	21/30	531S
H05G	1/30	(2006.01)	H05G	1/30	Z

請求項の数 7 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2013-114964 (P2013-114964)	(73) 特許権者	300073919 ギガフォトン株式会社
(22) 出願日	平成25年5月31日(2013.5.31)		栃木県小山市大字横倉新田400番地
(65) 公開番号	特開2014-235805 (P2014-235805A)	(74) 代理人	110001678 特許業務法人藤央特許事務所
(43) 公開日	平成26年12月15日(2014.12.15)	(72) 発明者	林 英行 栃木県小山市横倉新田400 ギガフォトン株式会社内
審査請求日	平成28年4月5日(2016.4.5)	(72) 発明者	鈴木 一洋 栃木県小山市横倉新田400 ギガフォトン株式会社内
		(72) 発明者	若林 理 栃木県小山市横倉新田400 ギガフォトン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 極端紫外光生成装置及び極端紫外光生成システムにおけるレーザシステムの制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ターゲットにパルスレーザ光を照射することによってプラズマを生成して極端紫外光を生成する、極端紫外光生成装置であって、

レーザシステムからのパルスレーザ光が入射するプラズマ生成領域を収容するチャンバと、

前記チャンバ内の前記プラズマ生成領域に複数のターゲットを順次供給するように構成されたターゲット供給部と、

前記ターゲット供給部から出力され、前記ターゲット供給部と前記プラズマ生成領域との間の所定位置を通過したターゲット検出するように構成された、ターゲット検出部と、

前記レーザシステムを制御するように構成されたレーザ制御部と、を含み、

前記レーザ制御部は、

前記ターゲット検出部からのターゲット検出を示す検出信号に従って、前記レーザシステムに含まれるレーザ装置にパルスレーザ光の発光を指示する発光トリガを生成して前記レーザシステムに出力し、

前記レーザ制御部は、前記ターゲット検出部からの連続する第1及び第2の検出信号の間の時間間隔が第1の時間以上である場合に、前記第2の検出信号に対応する発光トリガを出力し、前記第1及び第2の検出信号の間の時間間隔が前記第1の時間よりも短い場合に、前記第2の検出信号に対応する発光トリガの出力を停止する、極端紫外光生成装置。

【請求項2】

ターゲットにパルスレーザー光を照射することによってプラズマを生成して極端紫外光を生成する、極端紫外光生成装置であって、

レーザーシステムからのパルスレーザー光が入射するプラズマ生成領域を収容するチャンバと、

前記チャンバ内の前記プラズマ生成領域に複数のターゲットを順次供給するように構成されたターゲット供給部と、

前記ターゲット供給部から出力され、前記ターゲット供給部と前記プラズマ生成領域との間の所定位置を通過したターゲットを検出するように構成された、ターゲット検出部と、

前記レーザーシステムを制御するように構成されたレーザー制御部と、を含み、

前記レーザー制御部は、

前記ターゲット検出部からのターゲット検出を示す検出信号に従って、前記レーザーシステムに含まれるレーザー装置にパルスレーザー光の発光を指示する発光トリガを生成して前記レーザーシステムに出力し、

前記レーザー制御部は、前記ターゲット検出部から受信した前回の検出信号から次の検出信号を受信することなく第2の時間が経過した後に、ダミー発光トリガを生成して前記レーザーシステムに出力する、極端紫外光生成装置。

【請求項3】

請求項2に記載の極端紫外光生成装置であって、

前記レーザーシステムは、前記レーザー装置からのパルスレーザー光の透過を制御する光シャッタをさらに含み、

前記レーザー制御部は、前記ダミー発光トリガに従って前記レーザー装置により発光されたパルスレーザー光を遮蔽するように前記光シャッタを制御する、極端紫外光生成装置。

【請求項4】

請求項3に記載の極端紫外光生成装置であって、

前記レーザー装置はメインパルスレーザー装置であり、

前記レーザーシステムは、前記メインパルスレーザー装置からのメインパルスレーザー光の発光前にプリパルスレーザー光を発光するプリパルスレーザー装置と、前記プリパルスレーザー光の透過を制御する第2の光シャッタと、をさらに含み、

前記レーザー制御部は、

前記ターゲット検出部からターゲットの検出を示す検出信号を受信すると、前記プリパルスレーザー装置に発光トリガを出力した後に、前記メインパルスレーザー装置に発光トリガを出力し、

前記ターゲット検出部から受信した前回の検出信号から前記第2の時間が経過すると、前記プリパルスレーザー装置に第1のダミー発光トリガを出力した後に、前記メインパルスレーザー装置に第2のダミー発光トリガを出力し、

前記第1のダミー発光トリガに従って前記プリパルスレーザー装置により発光されたパルスレーザー光を遮蔽するように前記第2の光シャッタを制御し、

前記第2のダミー発光トリガに従って前記メインパルスレーザー装置により発光されたパルスレーザー光を遮蔽するように前記光シャッタを制御する、極端紫外光生成装置。

【請求項5】

請求項1に記載の極端紫外光生成装置であって、

前記レーザー制御部は、前記第1の検出信号から前記第1の時間が経過した直後の検出信号にตอบสนองして、前記レーザーシステムに前記発光トリガを出力する、極端紫外光生成装置。

【請求項6】

パルスレーザー光を出力するレーザーシステムと、

前記レーザーシステムからのパルスレーザー光が入射するプラズマ生成領域を収容するチャンバと、

前記チャンバ内の前記プラズマ生成領域にターゲットを順次供給するように構成されたターゲット供給部と、を含み、

前記ターゲット供給部からのターゲットに前記パルスレーザー光を照射することによって

10

20

30

40

50

プラズマを生成して極端紫外光を生成する極端紫外光生成システムにおいて、前記レーザーシステムを制御する方法であって、

前記ターゲット供給部から出力され、前記ターゲット供給部と前記プラズマ生成領域との間の所定位置を通過したターゲットを検出し、

前記所定位置を通過したターゲットの検出を示す検出信号に従って、前記レーザーシステムに含まれるレーザー装置にパルスレーザー光の発光を指示する発光トリガを生成して前記レーザーシステムに出力し、

連続する第1及び第2の検出信号の間の時間間隔が第1の時間以上である場合に、前記第2の検出信号に対応する発光トリガを出力し、前記第1及び第2の検出信号の間の時間間隔が前記第1の時間よりも短い場合に、前記第2の検出信号に対応する発光トリガの出力を停止する、方法。

10

【請求項7】

パルスレーザー光を出力するレーザーシステムと、

前記レーザーシステムからのパルスレーザー光が入射するプラズマ生成領域を収容するチャンバと、

前記チャンバ内の前記プラズマ生成領域にターゲットを順次供給するように構成されたターゲット供給部と、を含み、

前記ターゲット供給部からのターゲットに前記パルスレーザー光を照射することによってプラズマを生成して極端紫外光を生成する極端紫外光生成システムにおいて、前記レーザーシステムを制御する方法であって、

20

前記ターゲット供給部から出力され、前記ターゲット供給部と前記プラズマ生成領域との間の所定位置を通過したターゲットを検出し、

前記所定位置を通過したターゲットの検出に応じた検出信号に従って、前記レーザーシステムに含まれるレーザー装置にパルスレーザー光の発光を指示する発光トリガを生成して前記レーザーシステムに出力し、

前回の検出信号から次の検出信号を受信することなく第2の時間が経過した後に、ダミー発光トリガを生成して前記レーザーシステムに出力する、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本開示は、極端紫外光を生成するための装置及び極端紫外光生成システムにおけるレーザーシステムの制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体プロセスの微細化に伴って、半導体プロセスの光リソグラフィにおける転写パターンの微細化が急速に進展している。次世代においては、70nm～45nmの微細加工、さらには32nm以下の微細加工が要求されるようになる。このため、例えば32nm以下の微細加工の要求に応えるべく、波長13nm程度の極端紫外(EUV)光を生成するための装置と縮小投影反射光学系(reduced projection reflective optics)とを組み合わせた露光装置の開発が期待されている。

40

【0003】

EUV光生成装置としては、ターゲット物質にレーザー光を照射することによって生成されるプラズマを用いたLPP(Laser Produced Plasma)方式の装置と、放電によって生成されるプラズマを用いたDPP(Discharge Produced Plasma)方式の装置と、軌道放射光を用いたSR(Synchrotron Radiation)方式の装置との3種類の装置が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

50

【特許文献1】米国特許第7068367号明細書

【特許文献2】米国特許第7589337号明細書

【特許文献3】米国特許出願公開第2012/0080584号明細書

【概要】

【0005】

本開示の一例は、ターゲットにパルスレーザー光を照射することによってプラズマを生成して極端紫外光を生成する、極端紫外光生成装置であってもよい。前記極端紫外光生成装置は、レーザーシステムからのパルスレーザー光が入射するプラズマ生成領域を収容するチャンバと、前記チャンバ内の前記プラズマ生成領域に複数のターゲットを順次供給するように構成されたターゲット供給部と、前記ターゲット供給部から出力され、前記ターゲット供給部と前記プラズマ生成領域との間の所定位置を通過したターゲット検出するように構成された、ターゲット検出部と、前記レーザーシステムを制御するように構成されたレーザー制御部と、を含んでもよい。前記レーザー制御部は、前記ターゲット検出部からのターゲット検出を示す検出信号に従って、前記レーザーシステムに含まれるレーザー装置にパルスレーザー光の発光を指示する発光トリガを生成して前記レーザーシステムに出力してもよい。前記レーザー制御部は、前記レーザーシステムに連続して出力する発光トリガの時間間隔が所定の範囲内に入るように、生成する発光トリガを調整してもよい。

10

【図面の簡単な説明】

【0006】

本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。

20

【図1】図1は、例示的なLPP方式のEUV光生成システムの構成を概略的に示す。

【図2】図2は、EUV光生成システムの構成の一部断面図を示す。

【図3】図3は、EUV光生成制御部による、ターゲット供給部及びレーザーシステムの制御を説明するブロック図を示す。

【図4】図4は、レーザー制御部の構成の比較例を模式的に示す。

【図5A】図5Aは、図4に示す光トリガ信号生成部の信号のタイミングチャート例を示す。

【図5B】図5Bは、図4に示す光トリガ信号生成部の信号のタイミングチャート例を示す。

30

【図6】図6は、第1の実施形態における、レーザー制御部及びレーザーシステムの構成例を模式的に示す。

【図7】図7は、第1の実施形態における、図6に示す発光トリガ信号生成部の信号のタイミングチャート例を示す。

【図8】図8は、第1の実施形態における、レーザー制御部及びレーザーシステムの他の構成例を模式的に示す。

【図9】図9は、第1の実施形態における、図8に示す発光トリガ信号生成部における信号のタイミングチャート例を示す

【図10】図10は、第2の実施形態における、レーザー制御部及びレーザーシステムの構成例を模式的に示す。

40

【図11】図11は、第2の実施形態における、発光トリガ信号生成部における信号のタイミングチャート例を示す。

【図12】図12は、第3の実施形態における、レーザー制御部及びレーザーシステムの構成例を模式的に示す。

【図13】図13は、第3の実施形態における、発光トリガ信号生成部の信号及びレーザーシステムにおけるパルスレーザー光のタイミングチャート例を示す。

【図14】図14は、第4の実施形態における、レーザー制御部及びレーザーシステムの構成例を模式的に示す。

【実施形態】

【0007】

50

< 内容 >

1. 概要
2. 用語の説明
3. E U V 光生成システムの全体説明
 - 3.1 構成
 - 3.2 動作
4. E U V 光生成装置におけるターゲット供給部及びレーザシステムの制御
 - 4.1 E U V 光生成システムの構成
 - 4.2 動作
 - 4.3 課題
5. レーザ装置への発光トリガの制御
 - 5.1 第1の実施形態
 - 5.2 第2の実施形態
 - 5.3 第3の実施形態（光シャッタを含むレーザシステム）
 - 5.4 第4の実施形態（プリパルスレーザ装置を含むレーザシステム）

10

【0008】

以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。以下に説明される実施形態は、本開示のいくつかの例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

20

【0009】

1. 概要

L P P方式のE U V光生成システムにおいては、ターゲット供給部がターゲットを出力し、チャンバ内のプラズマ生成領域に到達させてもよい。ターゲットがプラズマ生成領域に到達した時点で、レーザ装置がターゲットにパルスレーザ光を照射することで、ターゲットがプラズマ化し、このプラズマからE U V光が放射され得る。

【0010】

E U V光生成システムにおいては、所定の繰り返し周波数で、所定の時間にわたってE U V光を生成することが求められ得る。所定の繰り返し周波数は、例えば、100kHzであってよい。E U V光生成システムが所定の繰り返し周波数でE U V光を生成するために、ターゲット供給部が上記所定の繰り返し周波数でターゲットを出力してもよい。

30

【0011】

E U V光生成システムは、ターゲット供給部とプラズマ生成領域との間において、ターゲット供給部から出力されたターゲットを検出するセンサを含んでもよい。センサは、ターゲットの通過タイミングを計測してもよい。E U V光生成システムは、センサによるターゲットの検出タイミングと同期させてレーザシステムからパルスレーザ光を出力し、ターゲットにパルスレーザ光を照射してもよい。

【0012】

E U V光生成システムは、所定の位置を通過するターゲットを検出し、ターゲットの通過タイミングに応じて、レーザシステムに発光トリガを出力することによって、ターゲットがプラズマ生成領域に到達した時に高精度にパルスレーザ光をターゲットに照射し得る。

40

【0013】

しかし、ターゲット供給部から出力されるターゲットの生成は不安定になり得る。このため、ターゲット出力の時間間隔が所定範囲より長くなったり短くなったりし得る。また、ターゲット供給部によるターゲット生成においては、サテライトが生成され得る。サテライトとは、本来のターゲットから分離した小さいドロップレットであり、センサによりターゲットとして検出され得る。また、ターゲットの材料に異物が含まれている場合、異物がノズル内部を通過する際に一時的にターゲットの材料の流量が低下し得る。

50

【 0 0 1 4 】

このため、パルスレーザー光の出力時間間隔が長くなったり短くなったりし得る。パルスレーザー光の出力時間間隔が所定の範囲より短い場合、パルスレーザー光エネルギーが低下し、パルス波形が歪み得る。これにより、ターゲットが適切にプラズマ化されないという問題が起こり得る。さらに、パルスレーザー光の出力時間間隔が所定の範囲より短い場合、レーザー発振が不安定となりレーザーシステムが破損し得る。

【 0 0 1 5 】

一方、パルスレーザー光の出力時間間隔が所定の範囲より長い場合、パルスレーザー光エネルギーが増加し、パルス波形が歪み得る。これにより、EUV光エネルギーの変動が大きくなり得る。

10

【 0 0 1 6 】

本開示の1つの観点によれば、EUV光生成装置は、ターゲット検出部からのターゲット検出を示す検出信号に従って、レーザーシステムに含まれるレーザー装置にパルスレーザー光の発光を指示する発光トリガを、生成し、出力してもよい。EUV光生成装置は、レーザーシステムに連続して出力する発光トリガの時間間隔が所定の範囲内に入るように、生成する発光トリガを調整してもよい。

【 0 0 1 7 】

2. 用語の説明

本願において使用される用語を以下に説明する。「プラズマ生成領域」は、EUV光を生成するためのプラズマの生成が開始される領域を意味し得る。プラズマ生成領域においてプラズマの生成が開始されるためには、プラズマ生成領域にターゲットが供給され、かつ、ターゲットがプラズマ生成領域に到達するタイミングでプラズマ生成領域にパルスレーザー光が集光される必要があり得る。「発光トリガ」は、レーザー光を生成、発光(出力)するレーザー装置に、レーザー光の発光を指示する信号であり得る。「発光トリガ信号」は、発光トリガを含み、時間により変化する信号であり得る。

20

【 0 0 1 8 】

3. EUV光生成システムの全体説明

3.1 構成

図1に、例示的なLPP式のEUV光生成システムの構成を概略的に示す。EUV光生成装置1は、少なくとも1つのレーザーシステム3と共に用いられてもよい。本願においては、EUV光生成装置1及びレーザーシステム3を含むシステムを、EUV光生成システム11と称する。図1に示し、かつ、以下に詳細に説明するように、EUV光生成装置1は、チャンバ2、ターゲット供給部26を含んでもよい。

30

【 0 0 1 9 】

チャンバ2は、密閉可能であってもよい。ターゲット供給部26は、例えば、チャンバ2の壁を貫通するように取り付けられてもよい。ターゲット供給部26から供給されるターゲット物質の材料は、スズ、テルビウム、ガドリニウム、リチウム、キセノン、又は、それらの内のいずれか2つ以上の組合せを含んでもよいが、これらに限定されない。

【 0 0 2 0 】

チャンバ2の壁には、少なくとも1つの貫通孔が設けられていてもよい。その貫通孔には、ウインドウ21が設けられてもよく、ウインドウ21をレーザーシステム3から出力されるパルスレーザー光32が透過してもよい。チャンバ2の内部には、例えば、回転楕円面形状の反射面を有するEUV集光ミラー23が配置されてもよい。EUV集光ミラー23は、第1及び第2の焦点を有し得る。

40

【 0 0 2 1 】

EUV集光ミラー23の表面には、例えば、モリブデンとシリコンとが交互に積層された多層反射膜が形成されていてもよい。EUV集光ミラー23は、例えば、その第1の焦点がプラズマ生成領域25に位置し、その第2の焦点が中間集光点(IF)292に位置するように配置されるのが好ましい。EUV集光ミラー23の中央部には貫通孔24が設けられていてもよく、貫通孔24をパルスレーザー光33が通過してもよい。

50

【 0 0 2 2 】

E U V 光生成装置 1 は、E U V 光生成制御部 5、ターゲットセンサ 4 等を含んでもよい。ターゲットセンサ 4 は、撮像機能を有してもよく、ターゲット 2 7 の存在、軌跡、位置、速度の少なくとも一つを検出するよう構成されてもよい。

【 0 0 2 3 】

また、E U V 光生成装置 1 は、チャンバ 2 の内部と露光装置 6 の内部とを連通させる接続部 2 9 を含んでもよい。接続部 2 9 内部には、アパーチャが形成された壁 2 9 1 が設けられてもよい。壁 2 9 1 は、そのアパーチャが E U V 集光ミラー 2 3 の第 2 の焦点位置に位置するように配置されてもよい。

【 0 0 2 4 】

さらに、E U V 光生成装置 1 は、レーザ光進行方向制御部 3 4、レーザ光集光ミラー 2 2、ターゲット 2 7 を回収するためのターゲット回収部 2 8 等を含んでもよい。レーザ光進行方向制御部 3 4 は、レーザ光の進行方向を規定するための光学素子と、この光学素子の位置、姿勢等を調整するためのアクチュエータとを備えてもよい。

【 0 0 2 5 】

3 . 2 動作

図 1 を参照すると、レーザシステム 3 から出力されたパルスレーザ光 3 1 は、レーザ光進行方向制御部 3 4 を経て、パルスレーザ光 3 2 としてウインドウ 2 1 を透過してチャンバ 2 内に入射してもよい。パルスレーザ光 3 2 は、少なくとも 1 つのレーザ光経路に沿ってチャンバ 2 内を進み、レーザ光集光ミラー 2 2 で反射されて、パルスレーザ光 3 3 として少なくとも 1 つのターゲット 2 7 に照射されてもよい。

【 0 0 2 6 】

ターゲット供給部 2 6 は、ターゲット 2 7 をチャンバ 2 内部のプラズマ生成領域 2 5 に向けて出力するよう構成されてもよい。ターゲット 2 7 には、パルスレーザ光 3 3 に含まれる少なくとも 1 つのパルスが照射されてもよい。パルスレーザ光が照射されたターゲット 2 7 はプラズマ化し、そのプラズマから放射光 2 5 1 が放射され得る。

【 0 0 2 7 】

放射光 2 5 1 に含まれる E U V 光 2 5 2 は、E U V 集光ミラー 2 3 によって選択的に反射されてもよい。E U V 集光ミラー 2 3 によって反射された E U V 光 2 5 2 は、中間集光点 2 9 2 で集光され、露光装置 6 に出力されてもよい。なお、1 つのターゲット 2 7 に、パルスレーザ光 3 3 に含まれる複数のパルスが照射されてもよい。

【 0 0 2 8 】

E U V 光生成制御部 5 は、E U V 光生成システム 1 1 全体の制御を統括するよう構成されてもよい。E U V 光生成制御部 5 は、ターゲットセンサ 4 によって撮像されたターゲット 2 7 のイメージデータ等処理するよう構成されてもよい。また、E U V 光生成制御部 5 は、例えば、ターゲット 2 7 が供給されるタイミング、ターゲット 2 7 の出力方向等を制御するよう構成されてもよい。

【 0 0 2 9 】

さらに、E U V 光生成制御部 5 は、例えば、レーザシステム 3 の発光タイミングの制御、パルスレーザ光 3 2 の進行方向の制御および、パルスレーザ光 3 3 の集光位置の制御の内少なくとも一つを行うよう構成されてもよい。上述の様々な制御は単なる例示に過ぎず、必要に応じて他の制御が追加されてもよい。

【 0 0 3 0 】

4 . E U V 光生成システムにおけるターゲット供給部及びレーザシステムの制御

4 . 1 E U V 光生成システムの構成

図 2 は、E U V 光生成システムの構成例の一部断面図を示す。図 2 に示されるように、チャンバ 2 の内部には、レーザ光集光光学系 2 2 a と、E U V 集光ミラー 2 3 と、ターゲット回収部 2 8 と、E U V 集光ミラーホルダ 8 1 と、プレート 8 2 及び 8 3 とが設けられてもよい。

【 0 0 3 1 】

10

20

30

40

50

チャンバ 2 には、プレート 8 2 が固定されてもよい。プレート 8 2 には、プレート 8 3 が固定されてもよい。EUV 集光ミラー 2 3 は、EUV 集光ミラーホルダ 8 1 を介してプレート 8 2 に固定されてもよい。

【 0 0 3 2 】

レーザ光集光光学系 2 2 a は、軸外放物面ミラー 2 2 1 及び平面ミラー 2 2 2 と、ホルダ 2 2 3 及び 2 2 4 とを含んでもよい。軸外放物面ミラー 2 2 1 及び平面ミラー 2 2 2 は、それぞれ、ホルダ 2 2 3 及び 2 2 4 によって保持されてもよい。ホルダ 2 2 3 及び 2 2 4 は、プレート 8 3 に固定されてもよい。

【 0 0 3 3 】

軸外放物面ミラー 2 2 1 及び平面ミラー 2 2 2 によって反射されたパルスレーザ光 3 3 がプラズマ生成領域 2 5 で集光されるように、これらのミラーの位置及び姿勢が保持されてもよい。ターゲット回収部 2 8 は、ターゲット 2 7 の軌道の延長線上に配置されてもよい。

10

【 0 0 3 4 】

チャンバ 2 には、ターゲット供給部 2 6 が取り付けられてもよい。ターゲット供給部 2 6 は、リザーバ 6 1 を有していてもよい。リザーバ 6 1 は、図 3 に示すヒータ 2 6 1 を用いてターゲットの材料を溶融した状態で内部に貯蔵してもよい。リザーバ 6 1 には、ノズル孔 6 2 としての開孔が形成されていてもよい。

【 0 0 3 5 】

リザーバ 6 1 の一部が、チャンバ 2 の壁面に形成された貫通孔 2 a を貫通しており、リザーバ 6 1 に形成されたノズル孔 6 2 の位置がチャンバ 2 の内部に位置していてもよい。ターゲット供給部 2 6 は、ノズル孔 6 2 を介して、溶融したターゲットの材料をドロップレット状のターゲット 2 7 としてチャンバ 2 内のプラズマ生成領域 2 5 に供給してもよい。貫通孔 2 a の周囲のチャンバ 2 の壁面には、リザーバ 6 1 のフランジ部 6 1 a が密着して固定されてもよい。

20

【 0 0 3 6 】

チャンバ 2 には、ターゲットセンサ 4 と発光部 4 5 とが取り付けられてもよい。ターゲットセンサ 4 は、光センサ 4 1 と、集光光学系 4 2 と、容器 4 3 とを含んでもよい。容器 4 3 はチャンバ 2 の外部に固定され、この容器 4 3 内に、光センサ 4 1 及び結像光学系 4 2 が固定されてもよい。発光部 4 5 は、光源 4 6 と、集光光学系 4 7 と、容器 4 8 とを含んでもよい。

30

【 0 0 3 7 】

容器 4 8 はチャンバ 2 の外部に固定され、この容器 4 8 内に、光源 4 6 及び集光光学系 4 7 が固定されてもよい。光源 4 6 の出力光は、集光光学系 4 7 によって集光され得る。その集光位置はターゲット 2 7 のほぼ軌道上であってもよい。

【 0 0 3 8 】

ターゲットセンサ 4 と発光部 4 5 とは、ターゲット 2 7 の軌道を挟んで互いに反対側に配置されていてもよい。チャンバ 2 にはウインドウ 2 1 a 及び 2 1 b が取り付けられていてもよい。ウインドウ 2 1 a は、発光部 4 5 とターゲット 2 7 の軌道との間に位置していてもよい。

40

【 0 0 3 9 】

発光部 4 5 は、ウインドウ 2 1 a を介してターゲット 2 7 の軌道の所定位置に光を集光してもよい。ウインドウ 2 1 b は、ターゲット 2 7 の軌道とターゲットセンサ 4 との間に位置していてもよい。ターゲット 2 7 が発光部 4 5 による光の集光位置を通過するとき、ターゲットセンサ 4 は、ターゲット 2 7 の軌道及びその周囲を通る光の変化を検出し、ターゲット 2 7 の検出信号として通過タイミング信号を出力してもよい。1つのターゲット 2 7 が検出される毎に、通過タイミング信号として1つの検出パルスが出力されてもよい。結像光学系 4 2 は、ターゲット 2 7 の検出精度を向上させるために、ターゲット 2 7 の軌道及びその周囲における像をターゲットセンサ 4 の受光面に結像してもよい。

【 0 0 4 0 】

50

ターゲットセンサ 4 によって検出されるターゲット 2 7 の中心位置を、以下の説明においてターゲット検出位置 4 0 とする。図 2 に示された例において、ターゲット検出位置 4 0 は、発光部 4 5 による光の集光位置とほぼ一致し得る。

【 0 0 4 1 】

チャンバ 2 の外部には、レーザ光進行方向制御部 3 4 と、E U V 光生成制御部 5 とが設けられてもよい。レーザ光進行方向制御部 3 4 は、高反射ミラー 3 4 1 及び 3 4 2 と、ホルダ 3 4 3 及び 3 4 4 とを含んでもよい。高反射ミラー 3 4 1 及び 3 4 2 は、それぞれ、ホルダ 3 4 3 及び 3 4 4 によって保持されてもよい。高反射ミラー 3 4 1 及び 3 4 2 は、レーザシステム 3 が出力するパルスレーザ光を、ウインドウ 2 1 を介してレーザ光集光光学系 2 2 a に導いてもよい。

10

【 0 0 4 2 】

E U V 光生成制御部 5 は、露光装置 6 からの E U V 光生成信号を受信してもよい。E U V 光生成信号は、所定時間において E U V 光を生成すべきことを E U V 光生成システム 1 1 に指示する信号であってもよい。E U V 光生成制御部 5 は、当該所定時間の間、E U V 光を露光装置 6 に出力するための制御動作を行ってもよい。

【 0 0 4 3 】

4 . 2 動作

図 3 は、E U V 光生成制御部 5 による、ターゲット供給部 2 6 及びレーザシステム 3 の制御を説明するブロック図を示す。E U V 光生成制御部 5 は、ターゲット供給制御部 5 1 とレーザ制御部 5 5 とを含んでもよい。ターゲット供給制御部 5 1 は、ターゲット供給部 2 6 の動作を制御してもよい。レーザ制御部 5 5 は、レーザシステム 3 の動作を制御してもよい。

20

【 0 0 4 4 】

ターゲット供給部 2 6 は、ターゲットの材料を溶融した状態で内部に貯蔵するリザーバ 6 1 に加え、ヒータ 2 6 1、温度センサ 2 6 2、圧力調節器 2 6 3、 piezo 素子 2 6 4、及び、ノズル 2 6 5 を含んでもよい。

【 0 0 4 5 】

ヒータ 2 6 1 と温度センサ 2 6 2 とは、リザーバ 6 1 に固定されていてもよい。piezo 素子 2 6 4 は、ノズル 2 6 5 に固定されていてもよい。ノズル 2 6 5 は、例えば液体 S n であるターゲット 2 7 を出力する、図 2 に示したノズル孔 6 2 を有していてもよい。圧力調節器 2 6 3 は不活性ガス供給部とリザーバ 6 1 の間の配管上に設置されていてもよい。

30

【 0 0 4 6 】

ターゲット供給制御部 5 1 は、温度センサ 2 6 2 の検出値に基づいてヒータ 2 6 1 を制御してもよい。例えば、ターゲット供給制御部 5 1 は、リザーバ 6 1 内の S n が融点以上の所定の温度になるように、ヒータ 2 6 1 を制御してもよい。その結果、リザーバ 6 1 に貯蔵された S n は融解し得る。所定の温度は、例えば、2 3 2 ~ 3 0 0 の温度であってよい。

【 0 0 4 7 】

ターゲット供給制御部 5 1 は、圧力調節器 2 6 3 によりリザーバ 6 1 内の圧力を制御してもよい。圧力調節器 2 6 3 は、ターゲット供給制御部 5 1 の制御により、ターゲット 2 7 が所定の速度でプラズマ生成領域 2 5 に到達するように、リザーバ 6 1 内の圧力を調節してもよい。

40

【 0 0 4 8 】

ターゲット供給制御部 5 1 は、piezo 素子 2 6 4 に所定周波数の電気信号を送ってもよい。piezo 素子 2 6 4 は、受信した電気信号により振動し、ノズル 2 6 5 を上記周波数で振動させ得る。

【 0 0 4 9 】

その結果、ノズル孔 6 2 から J E T 状の液体 S n が出力され、piezo 素子 2 6 4 によるノズル孔 6 2 の振動によって、ドロップレット状のターゲット 2 7 が生成され得る。このようなドロップレットの生成方法は、コンティニューアスジェット法と呼ばれる場合がある

50

。このように、ターゲット供給部 26 は、所定速度及び所定間隔 d で、プラズマ生成領域 25 にドロップレット状のターゲット 27 を供給し得る。このとき、所定速度及び所定間隔 d を用いて、所定時間間隔 T が算出しうる。

【0050】

4.3 課題

ターゲット供給制御部 51 がドロップレット状のターゲット 27 を生成するとき、サテライト 271 が生成され得る。サテライト 271 は、本来のターゲット 27 から分離した、ターゲット 27 よりも小さいドロップレットであり得る。サテライト 271 は、プラズマ生成領域 25 に向かう本来のターゲット 27 の直前又は直後に位置し得る。サテライト 271 は、望ましくないターゲットであり得る。

10

【0051】

ターゲットセンサ 4 は、発光部 45 が出力する光により、本来のターゲット 27 の他に、サテライト 271 もターゲットとして検出し得る。ターゲットセンサ 4 は、本来のターゲット 27 に加え、サテライト 271 の検出により、ターゲットの検出を示す検出信号を出力し得る。ターゲットの検出を示す検出信号は、下記における通過タイミング信号 S_A における検出パルスであってよい。

【0052】

ターゲットセンサ 4 は、ターゲットの検出を示す検出信号を、レーザ制御部 55 に出力してもよい。上述のように、サテライト 271 は、検出信号の時間間隔を短くし得る。また、ターゲットの材料に異物が含まれている場合、異物がノズル 265 内部を通過する際に、一時的にターゲットの材料の流量が低下して、ターゲット 27 の出力時間間隔が長くなり得る。このように、ターゲット供給制御部 51 からのターゲット 27 の出力時間間隔は変動し、それに伴い検出信号の時間間隔も変動し得る。

20

【0053】

図 4 は、レーザ制御部 55 の構成の比較例を模式的に示している。レーザ制御部 55 は、発光トリガ制御部 551 及び発光トリガ信号生成部 552 を含んでもよい。発光トリガ信号生成部 552 は、レーザシステム 3 に入力される発光トリガ信号 S_D を生成し、レーザシステム 3 に出力してもよい。

【0054】

発光トリガ信号生成部 552 は、遅延回路 564 を含んでもよい。遅延回路 564 の入力は発光トリガ制御部 551 に接続し、出力はレーザシステム 3 に接続していてもよい。発光トリガ制御部 551 は、遅延時間設定信号 S_{DT} により、遅延回路 564 の遅延時間 t_d を設定してもよい。発光トリガ制御部 551 は、ターゲットセンサ 4 からの通過タイミング信号 S_A を受信して、発光トリガ信号生成部 552 に出力してもよい。

30

【0055】

遅延回路 564 は、通過タイミング信号 S_A を受信し、通過タイミング信号 S_A を遅延時間 t_d だけ遅延させた発光トリガ信号 S_D を生成し、レーザシステム 3 に出力してもよい。発光トリガ信号 S_D は、レーザシステム 3 に含まれるレーザ装置にパルスレーザ光の発光を指示する発光トリガを含んでいてもよい。発光トリガは、パルス信号である発光トリガパルスであってよい。

40

【0056】

図 5 A 及び図 5 B は、それぞれ、発光トリガ信号生成部 552 における信号のタイミングチャート例を示す。具体的には、図 5 A 及び図 5 B は、それぞれ、通過タイミング信号 S_A 及び遅延回路 564 からの発光トリガ信号 S_D のタイミングチャート例を示す。図 5 A 及び図 5 B に示すように、発光トリガ信号 S_D における各パルスは、通過タイミング信号 S_A における対応パルスに対して遅延時間 t_d だけ遅延し得る。

【0057】

ターゲット 27 が正常に供給されている場合、通過タイミング信号 S_A における検出パルスの時間間隔 T は、所定の範囲内となり得る。つまり、 $T_{min} < T < T_{max}$ が成立し得る。発光トリガ信号 S_D における発光トリガパルスも、同じ周期で生成され得る。以

50

下、検出パルスの時間間隔 T における所定の範囲を、許容範囲と呼称する。

【 0 0 5 8 】

しかし、上述のように、サテライト生成や異物の混入等、ドロップレットの生成異常により、通過タイミング信号 $S A$ における検出パルスの時間間隔 T が、 T_{min} より短く又は T_{max} より長くなり得る。

【 0 0 5 9 】

例えば、図 5 A において、通過タイミング信号におけるパルス 5 0 1 とパルス 5 0 2 との間の時間間隔 T は、 T_{min} 未満であり得る。同様に、パルス 5 0 5 とパルス 5 0 6 との間の時間間隔 T は、 T_{min} 未満であり得る。通過タイミング信号 $S A$ におけるパルスの時間間隔に応じて、発光トリガ信号 $S D$ において、パルス 5 3 1 とパルス 5 1 5 との間の時間間隔 T は、 T_{min} 未満であり得る。さらに、パルス 5 1 8 とパルス 5 1 9 との間の時間間隔 T は、 T_{min} 未満であり得る。

10

【 0 0 6 0 】

図 5 B において、検出パルス 9 0 1 と検出パルス 9 0 2 との間の時間間隔 T は、 T_{max} より長くあり得る。通過タイミング信号 $S A$ におけるパルスの時間間隔に応じて、発光トリガパルス 9 1 5 と発光トリガパルス 9 1 7 との間の時間間隔 T は、 T_{max} より長くあり得る。

【 0 0 6 1 】

上述のように、レーザシステム 3 への発光トリガの時間間隔が許容範囲 (T_{min} T_{max}) を外れている場合、レーザシステム 3 からプラズマ生成領域 2 5 に出力されるパルスレーザ光のエネルギー及び波形が変形し、EUV 光のエネルギーが大きく変化し得る。以下に説明するように、本開示における発光トリガ信号生成部 5 5 2 は、発光トリガの出力間隔が許容範囲に入るように、発光トリガ信号 $S D$ を生成し得る。

20

【 0 0 6 2 】

5 . レーザ装置への発光トリガの制御

5 . 1 第 1 の実施形態

(構成)

図 6 は、第 1 の実施形態における、レーザ制御部 5 5 及びレーザシステム 3 の構成例を模式的に示している。本実施形態のレーザ制御部 5 5 は、通過タイミング信号 $S A$ における連続する第 1 及び第 2 の検出パルスの時間間隔が所定時間よりも短い場合に、第 2 の検出パルスに対応する発光トリガパルスの出力を省いてもよい。これにより、レーザ装置 3 におけるマスタオシレータ 3 5 1 の発光間隔が短いことによるパルスレーザ光の変動を抑制し得る。

30

【 0 0 6 3 】

レーザ制御部 5 5 は、発光トリガ制御部 5 5 1 及び発光トリガ信号生成部 5 5 2 を含んでもよい。発光トリガ信号生成部 5 5 2 は、ワンショット回路 5 6 1、インバータ 5 6 2、AND 回路 5 6 3、遅延回路 5 6 4 を含んでもよい。発光トリガ信号生成部 5 5 2 は、発光トリガ信号 $S D$ を生成し、レーザシステム 3 に出力してもよい。

【 0 0 6 4 】

発光トリガ制御部 5 5 1 は、発光トリガ信号 $S D$ の生成を制御してもよい。発光トリガ制御部 5 5 1 は、パルス幅設定信号 $S P W$ を介して、ワンショット回路 5 6 1 のパルス幅 T_{sh} を設定してもよい。発光トリガ制御部 5 5 1 は、遅延時間設定信号 $S D T$ により、遅延回路 5 6 4 の遅延時間 t_d を設定してもよい。発光トリガ制御部 5 5 1 は、ターゲットセンサ 4 からの通過タイミング信号 $S A$ を受信してもよい。あるいは、発光トリガ信号生成部 5 5 2 は、発光トリガ制御部 5 5 1 を介することなく、通過タイミング信号 $S A$ を受信してもよい。

40

【 0 0 6 5 】

ワンショット回路 5 6 1 の入力、発光トリガ制御部 5 5 1 の出力に接続してもよい。ワンショット回路 5 6 1 は、発光トリガ制御部 5 5 1 から通過タイミング信号 $S A$ を受信してもよい。ワンショット回路 5 6 1 は、入力信号の立下りエッジに反応して、パルス幅

50

T s h のパルス信号を出力してもよい。インバータ 5 6 2 の入力、ワンショット回路 5 6 1 の出力に接続してもよい。

【 0 0 6 6 】

A N D 回路 5 6 3 の一つの入力、インバータ 5 6 2 の出力に接続してもよい。A N D 回路 5 6 3 の他の一つの入力、発光トリガ制御部 5 5 1 の出力に接続してもよい。A N D 回路 5 6 3 は、発光トリガ制御部 5 5 1 から通過タイミング信号 S A を受信してもよい。遅延回路 5 6 4 の入力、A N D 回路 5 6 3 の出力に接続してもよい。遅延回路 5 6 4 は、レーザシステム 3 に、発光トリガ信号 S D を出力してもよい。発光トリガ信号生成部 5 5 2 における信号 S A ~ S D の詳細は後述する。

【 0 0 6 7 】

レーザシステム 3 は、マスタオシレータ 3 5 1、並びに、第 1 の増幅器 3 5 2、第 2 の増幅器 3 5 3 及び第 3 の増幅器 3 5 4 を含んでもよい。マスタオシレータ 3 5 1 は、パルスレーザ光を生成し、出力するレーザ装置であり得る。マスタオシレータ 3 5 1、第 1 の増幅器 3 5 2、第 2 の増幅器 3 5 3 及び第 3 の増幅器 3 5 4 は、直列に接続されてもよい。マスタオシレータ 3 5 1 は、Q スイッチを含む C O₂ レーザであってもよい。増幅器 3 5 2 ~ 3 5 4 は、C O₂ レーザガスを含む増幅器であってもよい。増幅器の数は設計に依存し得る。増幅器 3 5 2 ~ 3 5 4 は省略されていてもよい。

【 0 0 6 8 】

(動作)

図 6 を参照すると、発光トリガ制御部 5 5 1 は、ターゲットセンサ 4 から通過タイミング信号 S A を受信し、ワンショット回路 5 6 1 及び A N D 回路 5 6 3 に出力してもよい。たとえば、ワンショット回路 5 6 1 は、通過タイミング信号 S A の立下りエッジにおいて、パルス幅 T s h のパルス信号を出力してもよい。つまり、ワンショット回路 5 6 1 は、通過タイミング信号 S A が H i g h レベルである O N から L o w レベルである O F F に変化するタイミングを検出し、その検出タイミングを示すパルス信号を生成してもよい。

【 0 0 6 9 】

インバータ 5 6 2 は、ワンショット回路 5 6 1 からの出力信号を受信し、受信した信号を反転した出力信号 S B を生成してもよい。インバータ 5 6 2 からの出力信号 S B は、A N D 回路 5 6 3 に入力されてもよい。

【 0 0 7 0 】

A N D 回路 5 6 3 は、発光トリガ制御部 5 5 1 からの通過タイミング信号 S A とインバータ 5 6 2 からの出力信号 S B とを受信してもよい。A N D 回路 5 6 3 は、受信した通過タイミング信号 S A 及びインバータ出力信号 S B の A N D 信号 S C を生成してもよい。A N D 回路 5 6 3 から出力される A N D 信号 S C は、二つの入力信号 S A、S B が共に O N のとき O N であり、少なくとも一方が O F F のときに O F F であり得る。

【 0 0 7 1 】

A N D 回路 5 6 3 は、A N D 信号 S C を、遅延回路 5 6 4 に出力してもよい。遅延回路 5 6 4 は、A N D 信号 S C に応じて発光トリガ信号 S D を生成し、マスタオシレータ 3 5 1 に出力してもよい。遅延回路 5 6 4 は、受信した A N D 信号 S C を遅延時間 t d だけ遅延させて生成される発光トリガ信号 S D、を出力してもよい。

【 0 0 7 2 】

発光トリガ信号 S D は、A N D 信号 S C に規定の遅延時間 t d が与えられた信号であってもよい。遅延時間 t d は、ターゲットセンサ 4 によって検出されたターゲット 2 7 がプラズマ生成領域 2 5 に到達するタイミングで、パルスレーザ光がプラズマ生成領域 2 5 に集光されるような遅延時間であり得る。

【 0 0 7 3 】

遅延時間 t d は、例えば、以下の式によって与えられ得る。

$$t d = L / v -$$

L は、ターゲット検出位置 4 0 からプラズマ生成領域 2 5 の中心位置までの距離でもよい。v は、ターゲット 2 7 の速度でもよい。は、レーザシステム 3 にパルスレーザ光の発

10

20

30

40

50

光を指示する発光トリガが出力されてから、パルスレーザ光がプラズマ生成領域 25 で集光されるまでの所要時間でもよい。

【0074】

レーザシステム 3 のマスタオシレータ 351 は、レーザ制御部 55 の遅延回路 564 から発光トリガ信号 SD を受信してもよい。マスタオシレータ 351 は、発光トリガ信号 SD に従って、パルスレーザ光を出力してもよい。マスタオシレータ 351 は、例えば、発光トリガ信号 SD におけるパルスの立下りエッジにตอบสนองしてパルスレーザ光を出力してもよい。発光トリガ信号におけるパルスは、マスタオシレータ 351 にパルスレーザ光の発光（出力）を指示する発光トリガであり得る。

【0075】

マスタオシレータ 351 から出力されたパルスレーザ光は、第 1 の増幅器 352 によって増幅されてもよい。第 1 の増幅器 352 によって増幅されて出力されたパルスレーザ光は、第 2 の増幅器 353 によってさらに増幅され、第 2 の増幅器 353 によって増幅されて出力されたパルスレーザ光が、第 3 の増幅器 354 によってさらに増幅されてもよい。

【0076】

図 7 は、発光トリガ信号生成部 552 における信号のタイミングチャート例を示す。本タイミングチャート例は、発光トリガ信号生成部 552 における信号間の関係を示す。具体的には、図 7 は、通過タイミング信号 SA、インバータ 562 の出力信号 SB、AND 回路 563 の出力信号 SC、遅延回路 564 からの発光トリガ信号 SD のタイミングチャートを示す。

【0077】

通過タイミング信号 SA において、検出パルス 501 ~ 506 は、ターゲットの検出を示す検出信号であり得る。検出パルス 501、503 ~ 505 は、所望のターゲット 27 の検出により生成されたパルスであり得る。一方、検出パルス 502、506 は、所望のターゲット 27 とは異なるターゲットの検出により生成されたパルスであり得る。例えば、検出パルス 502 は、出力が早すぎるドロップレットの検出により生成されたパルスであり、検出パルス 506 はサテライトの検出により生成されたパルスであり得る。

【0078】

上述のように、ターゲット 27 が正常に供給されている場合、通過タイミング信号 SA における検出パルスの時間間隔 T は、許容範囲内となり得る。つまり、 $T_{min} < T < T_{max}$ が成立し得る。発光トリガ信号 SD における発光トリガのパルスも、同じ周期で生成され得る。

【0079】

T_{min} は発光トリガの時間間隔の最小許容値であり得る。 T_{max} は発光トリガの時間間隔の最大許容値であり得る。

【0080】

一方、上述のように、ドロップレットの生成異常により、通過タイミング信号 SA における検出パルスの時間間隔 T が、 T_{min} より短い又は T_{max} より長くなり得る。図 7 において、検出パルス 501 と検出パルス 502 との間の時間間隔 T は、 T_{min} 未満であり得る。同様に、検出パルス 505 と検出パルス 506 との間の時間間隔 T は、 T_{min} 未満であり得る。後述するように、発光トリガ信号生成部 552 は、発光トリガの出力間隔が T_{min} 未満となることがないように、発光トリガ信号 SD を生成し得る。

【0081】

通過タイミング信号 SA の検出パルス 501 は、 T_w のパルス幅を有し得る。 T_w は、正常に生成された各ターゲット 27 の検出により生成されるパルスのパルス幅である。検出パルス 501 の立下りエッジにおいて、ワンショット回路 561 の出力信号は、OFF から ON に変化してもよい。インバータ出力信号 SB は、ワンショット回路 561 の出力信号の反転信号であってもよい。検出パルス 501 の立下りエッジにおいて、インバータ出力信号 SB は、ON から OFF に変化してもよい。

【0082】

10

20

30

40

50

通過タイミング信号 S A の検出パルス 5 0 2 の立下りエッジは、インバータ出力信号 S B が O F F である間に存在し得る。ワンショット回路 5 6 1 は、入力信号の立下りエッジを検出すると、パルス幅 T s h のカウント値をリセットしてもよい。つまり、ワンショット回路 5 6 1 からの出力信号のパルス幅 T s h は、直前の入力信号 S A の立下りエッジからの時間であり得る。

【 0 0 8 3 】

T s h、T m i n、T w の間において、例えば、次の関係、 $T s h = T m i n - T w$ が成立してもよい。パルス幅 T s h は、設計者により予め設定される値であってもよい。設計者は、システム構成に応じて T m i n 及び T w を決定し、それらの値から T s h を決定してもよい。

10

【 0 0 8 4 】

検出パルス 5 0 2 の立下りエッジから T s h の時間が経過したときに、ワンショット回路 5 6 1 の出力信号は、O N から O F F に変化してもよい。つまり、検出パルス 5 0 2 の立下りエッジから T s h の時間が経過した時に、インバータ出力信号 S B は O F F から O N に変化してもよい。検出パルス 5 0 2 の立下りエッジからインバータ出力信号 S B のパルス 5 0 7 の立上りエッジまでの時間は、T s h であってもよい。

【 0 0 8 5 】

A N D 回路出力信号 S C は、インバータ出力信号 S B と通過タイミング信号 S A の双方が O N であるとき、O N であり得る。したがって、検出パルス 5 0 2 に対応するパルス 5 1 0 は、生成され得なくてもよい。同様に、A N D 回路出力信号 S C のパルス 5 1 0 に対応する発光トリガ信号の発光トリガパルス 5 1 5 も、生成され得なくてもよい。

20

【 0 0 8 6 】

通過タイミング信号 S A の検出パルス 5 0 3 は、インバータ出力信号 S B が O N である間に、出力され得る。したがって、検出パルス 5 0 3 から、A N D 回路出力信号 S C のパルス 5 1 1 が生成され得る。

【 0 0 8 7 】

発光トリガ信号 S D の発光トリガパルス 5 1 6 は、A N D 回路出力信号 S C のパルス 5 1 1 から生成され得る。発光トリガパルス 5 1 6 は、A N D 回路出力信号 S C のパルス 5 1 1 に対して、遅延回路 5 6 4 により遅延時間 t d だけ遅延し得る。

【 0 0 8 8 】

30

インバータ出力信号 S B は、パルス 5 0 7 の立下りエッジから T s h 経過した時に、O F F から O N に変化してもよい。パルス 5 0 7 の立下りエッジからインバータ出力信号 S B のパルス 5 0 8 の立上りエッジまでの時間は、T s h であってもよい。インバータ出力信号 S B は、通過タイミング信号 S A のパルス 5 0 4 の立下りエッジにおいて、O N から O F F に変化してパルス 5 0 8 の立下りエッジを形成してもよい。

【 0 0 8 9 】

通過タイミング信号 S A のパルス 5 0 4 は、インバータ出力信号 S B が O N である時間に、出力され得る。したがって、パルス 5 0 4 から、A N D 回路出力信号 S C のパルス 5 1 2 が生成され得る。

【 0 0 9 0 】

40

発光トリガ信号 S D の発光トリガパルス 5 1 7 は、A N D 回路出力信号 S C のパルス 5 1 2 から生成され得る。発光トリガパルス 5 1 7 は、A N D 回路出力信号 S C のパルス 5 1 2 に対して、遅延回路 5 6 4 により遅延時間 t d だけ遅延し得る。

【 0 0 9 1 】

パルス 5 0 5、5 0 9、5 1 3 及び 5 1 8 の間の関係は、パルス 5 0 4、5 0 8、5 1 2 及び 5 1 7 の間の関係と同様であり得る。パルス 5 0 6、存在しないパルス 5 1 4 及び存在しない 5 1 9 の間の関係は、パルス 5 0 2、存在しない 5 1 0 及び存在しない 5 1 5 の間の関係と同様であり得る。

【 0 0 9 2 】

(作用)

50

上記構成によれば、ターゲット（ドロップレット）の検出パルスの時間間隔 T が許容最小値 T_{min} よりも短い場合に、発光トリガパルスを出力することを抑制し得る。その結果、レーザシステム 3 から出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーの減少とパルス幅の変化を抑制し得る。これにより、EUV 光のパルスエネルギーの変動とレーザシステム 3 の破損を抑制し得る。

【0093】

（他の構成例）

図 8 及び図 9 は、第 1 の実施形態における他の構成例を示す。以下においては、図 6 及び図 7 を参照して説明した構成例との相違点について主に説明する。図 8 は、レーザ制御部 55 及びレーザシステム 3 の他の構成例を模式的に示している。図 9 は、図 8 の構成例の発光トリガ信号生成部 552 における信号のタイミングチャート例を示す。

10

【0094】

（構成）

図 8 を参照して、発光トリガ信号生成部 552 は、図 6 に示す構成例におけるワンショット回路 561 及びインバータ 562 に代えて、AND 回路 566、タイマ 567、RS フリップフロップ 568 及び立下りエッジ検出回路 569 を含んでもよい。発光トリガ制御部 551 は、タイマ設定信号 ST により、タイマ 567 の設定時間を設定してもよい。設定される時間は、 T_{min} であってもよい。

【0095】

立下りエッジ検出回路 569 の入力、発光トリガ制御部 551 の出力に接続してもよい。立下りエッジ検出回路 569 は、発光トリガ制御部 551 から通過タイミング信号 SA を受信してもよい。立下りエッジ検出回路 569 は、入力信号の立下りエッジにตอบสนองして比較的短いパルス幅のパルスを出力してもよい。

20

【0096】

AND 回路 566 の一つの入力、立下りエッジ検出回路 569 の出力に接続してもよい。AND 回路 566 の他の一つの入力、RS フリップフロップ 568 の反転出力である反転 Q 端子に接続してもよい。タイマ 567 の入力、AND 回路 566 の出力に接続してもよい。

【0097】

タイマ 567 は、入力信号の立上りエッジを計測開始トリガとして検出すると、時間の計測を開始してもよい。タイマ 567 は、入力信号の立上りエッジから設定時間が経過したとき、パルスを出力してもよい。設定時間は、 T_{min} であってもよい。タイマ 567 は、時間を計測している間に入力信号の立上りエッジを検出すると、時間の計測値をリセットし、時間の計測を最初からやり直してもよい。

30

【0098】

RS フリップフロップ 568 のセット入力である S 端子は、立下りエッジ検出回路 569 の出力に接続してもよい。RS フリップフロップ 568 のリセット入力である R 端子は、タイマ 567 の出力に接続してもよい。RS フリップフロップ 568 の反転出力は、AND 回路 563 の一つの入力に接続してもよい。RS フリップフロップ 568 の反転出力信号 SF は、AND 回路 563 及び AND 回路 566 に入力されてもよい。

40

【0099】

（動作）

ターゲットが検出されると、発光トリガ制御部 551 は、通過タイミング信号 SA を受信し、検出パルスを出力してもよい。RS フリップフロップ 568 は、検出パルスに対応する ON 信号を AND 回路 563 に出力してもよい。AND 回路 563 は、RS フリップフロップ 568 からの ON 信号及び通過タイミング信号 SA におけるパルスから、パルスを生成して遅延回路 564 に出力してもよい。

【0100】

タイマ 567 は、通過タイミング信号 SA における検出パルスにตอบสนองして、時間計測を開始してもよい。タイマ 567 が時間計測している間、RS フリップフロップ 568 は、

50

セット入力への入力信号のON/OFFによらず、反転出力においてOFF信号を維持してもよい。したがって、タイマ567が時間を計測している間、ターゲットが検出されて通過タイミング信号SAにおける検出パルスが入力されても、AND回路563及び遅延回路564は発光トリガパルスを生成しなくてもよい。

【0101】

タイマ567は、計測時間が設定時間になると、パルスを出力してもよい。RSフリップフロップ568は、リセット入力信号のOFFからONへの変化に応じて、AND回路563に入力される反転出力信号を、OFFからONに変化させてもよい。その後、通過タイミング信号SAにおける検出パルスが入力されると、AND回路563及び遅延回路564は発光トリガパルスを生成し、出力してもよい。また、タイマ567は、時間計測を開始してもよい。

10

【0102】

図8のブロック図及び図9のタイミングチャートを参照して、本例の発光トリガ信号生成部552の動作の一例を説明する。図8に示すように、発光トリガ制御部551は、通過タイミング信号SAを受信して検出パルス501を、立下りエッジ検出回路569及びAND回路563に出力してもよい。検出パルス501の立下りエッジにおいて、変化前のRSフリップフロップ568の反転出力信号SFは、ONであってもよい。

【0103】

AND回路566は、RSフリップフロップ568の反転出力信号SFと、立下りエッジ検出回路569の出力信号とを受信してもよい。検出パルス501の立下りエッジにおいて、変化前のRSフリップフロップ568の反転出力信号SFはONであってもよい。

20

【0104】

立下りエッジ検出回路569は、検出パルス501の立下りエッジを検出し、パルス701を出力してもよい。つまり、立下りエッジ検出回路569の出力信号は、OFFからONに変化し得る。したがって、AND回路566は、出力信号をOFFからONに変化させ得る。

【0105】

タイマ567は、AND回路566からの出力信号の立上りエッジを検出すると、時間計測を開始してもよい。時間計測の間、タイマ567の出力信号はOFFであってもよい。つまり、パルス501の立下りエッジにおいて、RSフリップフロップ568のリセット入力信号は、OFFであってもよい。

30

【0106】

RSフリップフロップ568のセット入力信号は、立下りエッジ検出回路569の出力信号SGであってもよい。したがって、検出パルス501の立下りエッジにおいて、RSフリップフロップ568のセット入力信号SGは、OFFからONに変化し得る。この結果、RSフリップフロップ568の反転出力信号SFは、ONからOFFに変化し得る。

【0107】

パルス501からTminの時間が経過する前に、検出パルス502が入力されてもよい。立下りエッジ検出回路569は、検出パルス502の立下りエッジを検出して、パルス702を出力してもよい。RSフリップフロップ568のセット入力信号は、OFFからONに変化し得る。

40

【0108】

RSフリップフロップ568のリセット入力信号はOFFであり、RSフリップフロップ568は、反転出力信号SFをOFFに維持し得る。このため、検出パルス502に対応するAND回路出力信号SCにおけるパルス510及び発光トリガ信号SDにおける発光トリガパルス515は、生成されなくてもよい。

【0109】

タイマ567は、検出パルス501の立下りエッジからTmin経過したとき、パルスを出力してもよい。RSフリップフロップ568のリセット入力信号は、OFFからONに変化し得る。このとき、RSフリップフロップ568のセット入力信号は、OFFであ

50

り得る。RSフリップフロップ568の反転出力信号SFは、立上りエッジ707として示すように、OFFからONに変化し得る。その後、RSフリップフロップ568のセット入力信号は、通過タイミング信号SAの検出パルスが入力されるとONからOFFに変化し得る。

【0110】

RSフリップフロップ568の反転出力信号SFがOFFからONに変化した後、通過タイミング信号SAのパルス503が入力されてもよい。RSフリップフロップ568の反転出力信号SFがONであるので、AND回路563は、パルス503からパルス511を生成し、出力し得る。

【0111】

遅延回路564は、AND回路出力信号SCにおけるパルス511から、パルス511よりも遅延時間 t_d だけ遅延した発光トリガパルス516を生成し、レーザシステム3に出力してもよい。

【0112】

図9において、パルス504、704、512、517の関係及びこれらパルスの生成に関する発光トリガ信号生成部552の動作は、パルス503、703、511、516と同様であり得る。パルス505、705、513、518の関係及びこれらパルスの生成に関する発光トリガ信号生成部552の動作は、パルス503、703、511、516と同様であり得る。

【0113】

パルス506、706、存在しないパルス514、存在しないパルス519の関係及びこれらパルスの生成に関する発光トリガ信号生成部552の動作は、パルス502、702、存在しないパルス510、存在しないパルス515と同様であり得る。

【0114】

(作用)

上記構成によれば、ターゲットの検出パルスの時間間隔 T が許容最小値 T_{min} よりも短い場合に、発光トリガパルスを出力することを抑制し得る。その結果、レーザシステム3から出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーの減少とパルス幅の変化を抑制し得る。これにより、EUV光のパルスエネルギーの変動とレーザシステム3の破損を抑制し得る。

【0115】

上記構成は、検出パルスに対応する発光トリガパルスを生成した後、当該検出パルスからタイマに設定された T_{min} が経過した直後の検出パルスに反応して、次の発光トリガパルスを生成し得る。このため、発光トリガパルスの時間間隔が長くなり過ぎることを抑制し得る。

【0116】

5.2 第2の実施形態

図10及び図11を参照して、第2の実施形態を説明する。以下においては、主に、第1の実施形態の相違点を説明する。第2の実施形態のレーザ制御部55は、サテライトを含むターゲットの検出に応じた発光トリガパルスに加え、ダミーの発光トリガパルスを生成してレーザシステム3へ出力してもよい。これにより、レーザシステム3から出力されるパルスレーザ光の安定性を改善し得る。

【0117】

(構成)

図10は、第2の実施形態におけるレーザ制御部55及びレーザシステム3の構成例を模式的に示している。発光トリガ制御部551は、図6に示す構成に加え、OR回路575、577及びタイマ576を含んでもよい。

【0118】

タイマ576は、計測開始トリガの検出から、設定されている時間が経過したときに、パルスを出力してもよい。発光トリガ制御部551は、タイマ設定信号ST2によって、

10

20

30

40

50

タイマ576の設定時間を設定してもよい。設定時間は、例えば、レーザシステム3に出力する発光トリガパルスの最大許容時間間隔 T_{max} でもよい。

【0119】

タイマ576は、例えば、計測開始トリガとしての入力信号の立上りエッジにตอบสนองして、時間計測を開始してもよい。時間計測中に計測開始トリガを検出すると、タイマ576は、計測時間をリセットし、最初から時間計測をやり直してもよい。

【0120】

OR回路575の一方の入力は発光トリガ制御部551の出力に接続し、もう一方の入力はタイマ576の出力に接続していてもよい。発光トリガ制御部551からOR回路575には、通過タイミング信号SAが入力されてもよい。タイマ576の入力はOR回路575の出力に接続されていてもよい。

10

【0121】

OR回路577の一方の入力は発光トリガ制御部551の出力に接続し、もう一方の入力はタイマ576の出力に接続していてもよい。発光トリガ制御部551からOR回路577には、通過タイミング信号SAが入力されてもよい。OR回路577の出力は、ワンショット回路561の入力及びAND回路563の入力に接続していてもよい。

【0122】

図10に示すように、OR回路575、577及びタイマ576からなる前段回路と、ワンショット回路561、インバータ562及びAND回路563からなる後段回路とは、直列に接続されていてもよい。

20

【0123】

(動作)

OR回路575、577及びタイマ576からなる前段回路の動作を説明する。後段回路の動作は、第1の実施形態において図6及び図7を参照して説明した通りである。OR回路575、577及びタイマ576からなる前段回路は、通過タイミング信号SAにおける前回の検出パルスからタイマ576に設定されている設定時間が経過すると、ダミー検出パルスを生成し、後段回路に出力してもよい。ここで、ダミー検出パルスとは、サテライトを含むターゲットの検出に対応せずに生成されるパルスを意味する。

【0124】

図11は、発光トリガ信号生成部552における信号のタイミングチャート例を示している。具体的には、図11は、通過タイミング信号SA、OR回路577の出力信号SH、AND回路563の出力信号SC、そして、発光トリガ信号SDのタイミングチャート例を示している。

30

【0125】

通過タイミング信号の検出パルス901が入力されると、OR回路577は、出力信号SHにおいてパルス905を出力してもよい。後段回路において、AND回路563は、出力信号SCにおいて、パルス905に対応するパルス910を出力してもよい。遅延回路564は、パルス910を遅延させた発光トリガパルス915を出力してもよい。

【0126】

タイマ576は、OR回路575を介して、検出パルス901を受信してもよい。タイマ576は、検出パルス901の立上りエッジから、設定時間 T_{max} の計測を開始してもよい。タイマ576は、時間計測中に新たなパルスを受信すると、計測時間をリセットして、時間の計測を始めからやり直してもよい。

40

【0127】

タイマ576が時間 T_{max} の計測を終了するまで、通過タイミング信号SAにおける新たな検出パルスが入力されない場合、タイマ576は、計測終了時に、パルスを出力してもよい。タイマ576からのパルスは、ダミー検出パルスであり得る。

【0128】

OR回路577は、タイマ576からのダミー検出パルスに対応するパルス906を、出力してもよい。後段回路において、AND回路563は、出力信号SCにおいて、パル

50

ス 9 0 6 に対応するパルス 9 1 1 を出力してもよい。遅延回路 5 6 4 は、パルス 9 1 1 を遅延させたダミー発光トリガパルス 9 1 6 をダミー発光トリガとして出力してもよい。

【 0 1 2 9 】

パルス 9 0 2、9 0 7、9 1 2、9 1 7 の関係及びこれらパルスの生成に関する発光トリガ信号生成部 5 5 2 の動作は、パルス 9 0 1、9 0 5、9 1 0、9 1 5 と同様であり得る。

【 0 1 3 0 】

(作用)

第 1 の実施形態における図 6 及び図 7 を参照しても説明したように、上記構成におけるワンショット回路 5 6 1、インバータ 5 6 2 及び AND 回路 5 6 3 は、一部のターゲット検出パルスに対応した発光トリガパルスの出力を省略し得る。これにより、発光トリガパルスの時間間隔が最小許容値より小さくなることを抑制し得る。

【 0 1 3 1 】

一方、上記構成における OR 回路 5 7 5、5 7 7 及びタイマ 5 7 6 は、前回の発光トリガパルスの出力から所定時間経過すると、ダミー発光トリガパルスを生成し得る。これにより、レーザシステム 3 に出力する発光トリガパルスの時間間隔が最大許容値よりも大きくなることを抑制し得る。このように、本実施形態の構成によれば、発光トリガパルスの時間間隔 T を、最大許容値と最小許容値の間に維持し得る。

【 0 1 3 2 】

なお、上記構成例において、発光トリガパルスの時間間隔が最小許容値よりも小さくなることを抑制する後段回路を省略してもよい。この構成によっても、発光トリガパルスの時間間隔が最大許容値以下の範囲に維持し得る。後段回路は、図 8 に示す構成を有していてもよい。

【 0 1 3 3 】

5.3 第 3 の実施形態

図 1 2 及び図 1 3 を参照して第 3 の実施形態を説明する。以下においては、第 2 の実施形態との相違点を主に説明する。本実施形態の EUV 光生成システム 1 1 は、ダミー発光トリガパルスに応じて出力されたパルスレーザ光を遮蔽してもよい。これによって、ダミー発光トリガパルスによる望ましくないパルスレーザ光がプラズマ生成領域 2 5 に照射されることを抑制し得る。

【 0 1 3 4 】

(構成)

図 1 2 は、第 3 の実施形態におけるレーザ制御部 5 5 及びレーザシステム 3 の構成例を模式的に示している。発光トリガ制御部 5 5 1 は、図 1 0 に示す構成に加え、ワンショット回路 5 8 1 及びインバータ 5 8 2 を含んでいてもよい。レーザシステム 3 は、図 1 0 に示す構成に加え、光シャッタ 3 5 5 を含んでいてもよい。

【 0 1 3 5 】

ワンショット回路 5 8 1 の入力、タイマ 5 7 6 の出力に接続していてもよい。ワンショット回路 5 8 1 の出力はインバータ 5 8 2 の入力に接続していてもよい。インバータ 5 8 2 の出力は、光シャッタ 3 5 5 の入力に接続していてもよい。

【 0 1 3 6 】

ワンショット回路 5 8 1 は、入力信号の立上りエッジを検出すると、パルス幅 T_{sh2} のパルスを出力してもよい。パルス幅 T_{sh2} は、パルスレーザ光を遮蔽する時間を示し得る。パルス幅 T_{sh2} は、ワンショット回路 5 8 1 に立上りエッジが入力されてから、増幅器 3 5 4 からのダミー発光トリガパルスによるパルスレーザ光出力が停止するまでの時間以上の長さを有していてもよい。

【 0 1 3 7 】

ワンショット回路 5 8 1 には、予めパルス幅 T_{sh2} の値が設定されていてもよい。発光トリガ制御部 5 5 1 が、パルス幅 T_{sh2} の値をワンショット回路 5 8 1 に設定してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 8 】

レーザシステム 3 は、マスタオシレータ 3 5 1 により生成されたパルスレーザ光の光路上に配置された光シャッタ 3 5 5 を含んでもよい。光シャッタ 3 5 5 は、例えば、増幅器 3 5 4 によって増幅されて出力されたパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。若しくは、光シャッタ 3 5 5 は、マスタオシレータ 3 5 1 と増幅器 3 5 2 との間、増幅器 3 5 2 と増幅器 3 5 3 との間、又は、増幅器 3 5 3 と増幅器 3 5 4 との間のパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。

【 0 1 3 9 】

光シャッタ 3 5 5 は、パルスレーザ光を吸収し又は反射することでパルスレーザ光を遮蔽してもよい。例えば、光シャッタ 3 5 5 は、パルスレーザ光の透過と反射を切り替えて、パルスレーザ光の光路を、第 1 の光路と不図示の第 2 の光路とに切り替えてもよい。

10

【 0 1 4 0 】

第 1 の光路は、パルスレーザ光が、プラズマ生成領域 2 5 で集光される光路であってもよい。第 2 の光路は、パルスレーザ光が、プラズマ生成領域 2 5 の外を通して不図示のレーザダンパに吸収される光路であってもよい。光シャッタ 3 5 5 は、このようにパルスレーザ光の光路を切り替えることにより、プラズマ生成領域 2 5 への光路を開閉してもよい。

【 0 1 4 1 】

光シャッタ 3 5 5 が開いているとき、パルスレーザ光は光シャッタ 3 5 5 を透過して、プラズマ生成領域 2 5 への第 1 の光路を進み得る。光シャッタ 3 5 5 が閉じているとき、パルスレーザ光は光シャッタ 3 5 5 により反射されて、第 2 の光路を進み得る。光シャッタ 3 5 5 への制御信号が ON のとき光シャッタ 3 5 5 は開いており、制御信号が OFF のとき光シャッタ 3 5 5 は閉じていてもよい。光シャッタ 3 5 5 が閉じているとき、パルスレーザ光は遮蔽され得る。

20

【 0 1 4 2 】

光シャッタ 3 5 5 は、どのような構成を有していてもよい。例えば、光シャッタ 3 5 5 は、ポッケルスセルと、偏光子とを含んで構成されていてもよい。ポッケルスセルは印加電圧により / 2 板として機能し得る。光シャッタ 3 5 5 は、音響光学素子と、圧電素子とを含んで構成されていてもよい。音響光学素子は、与えられた振動に応じてパルスレーザ光を回折させ得る。

30

【 0 1 4 3 】

(動作)

第 2 の実施形態において説明したように、通過タイミング信号における検出パルス間隔 T が T_{max} よりも長い場合、タイマ 5 7 6 は、パルスを出力してもよい。当該パルスは、ダミー検出パルスであり得る。

【 0 1 4 4 】

ワンショット回路 5 8 1 は、タイマ 5 7 6 から、ダミー検出パルスを受信してもよい。ワンショット回路 5 8 1 は、ダミー検出パルスの立上りエッジにตอบสนองして、パルス幅 T_{sh2} のパルスを出力してもよい。インバータ 5 8 2 は、ワンショット回路 5 8 1 からの信号を反転して出力してもよい。

40

【 0 1 4 5 】

インバータ 5 8 2 は、光シャッタ制御信号 SK において、ワンショット回路 5 8 1 からのパルスを反転したパルスを光シャッタ 3 5 5 に出力してもよい。光シャッタ 3 5 5 に入力される反転パルスは、パルス幅 T_{sh2} を有し得る。光シャッタ 3 5 5 は、反転パルスを受信しているパルス幅 T_{sh2} の間、閉じていてもよい。閉じた光シャッタ 3 5 5 により、パルスレーザ光の透過が抑制され得る。

【 0 1 4 6 】

タイマ 5 7 6 からのダミー検出パルスに応じたダミー発光トリガが、マスタオシレータ 3 5 1 に入力され得る。マスタオシレータ 3 5 1 は、入力されたダミー発光トリガパルスにตอบสนองして、パルスレーザ光を発光し得る。マスタオシレータ 3 5 1 からのパルスレーザ

50

光は、増幅器 352 ~ 354 により増幅され、増幅器 354 から増幅されたパルスレーザー光が出力され得る。光シャッタ 355 は、インバータ 582 からの光シャッタ制御信号 SK に従って閉じており、増幅器 354 からの増幅パルスレーザー光の透過を抑制し得る。

【0147】

一方、通過タイミング信号 SA における検出パルス間隔 T が T_{max} 以下の場合、タイマ 576 からのダミー検出パルスの出力はなく、光シャッタ制御信号 SK は ON であり得る。つまり、光シャッタ 355 は開いており、増幅器 354 からの増幅パルスレーザー光は光シャッタ 355 を透過し得る。

【0148】

図 13 は、発光トリガ信号生成部 552 の信号及びレーザーシステム 3 におけるパルスレーザー光のタイミングチャート例を示している。図 13 は、図 11 が示すタイミングチャート例に加え、マスタオシレータ 351 から出力されるパルスレーザー光 LA、光シャッタ 355 への制御信号 SK 及びレーザーシステム 3 から露光装置 6 へ出力されるパルスレーザー光 LB のタイミングチャートを示す。

【0149】

図 13 において、マスタオシレータ発光パルスレーザー光 LA、光シャッタ制御信号 SK 及び出力パルスレーザー光 LB のタイミングチャート以外のタイミングチャートは、図 11 におけるタイミングチャートと同様である。マスタオシレータ 351 は、発光トリガパルス 915 ~ 919 のそれぞれにตอบสนองして、レーザー光パルス 1101 ~ 1105 を出力してもよい。

【0150】

タイマ 576 からのダミー検出パルスに応じて、OR 回路出力信号 SH におけるパルス 906、AND 回路出力信号 SC におけるパルス 911、発光トリガ信号 SD におけるダミー発光トリガパルス 916、そして、マスタオシレータ発光パルスレーザー光 LA におけるレーザー光パルス 1102 が生成され得る。

【0151】

光シャッタ制御信号 SK は、タイマ 576 からのダミー検出パルスに従って、ON から OFF に変化し得る。光シャッタ制御信号 SK が OFF である時間は、ワンショット回路 581 のパルス幅 T_{sh2} であり得る。マスタオシレータ発光パルスレーザー光 LA におけるレーザー光パルス 1102 は、光シャッタ制御信号 SK が OFF である時間内に出力され、光シャッタ 355 により遮蔽され得る。そのため、マスタオシレータ 351 からのレーザー光パルス 1102 によるレーザーシステム 3 からの出力レーザー光パルスは、抑制され得る。

【0152】

(作用)

本実施形態の構成によれば、通過タイミング信号 SA における検出パルス間隔 T が、 T_{max} よりも長い場合、ダミー発光トリガパルスによって、マスタオシレータ 351 はパルスレーザー光を発光し得る。これにより、マスタオシレータ 351 からのパルスレーザー光の変動を抑制し得る。

【0153】

さらに、ダミー発光トリガパルスによってマスタオシレータ 351 から出力されたパルスレーザー光は、光シャッタによって遮蔽され得る。その結果、ダミー発光トリガパルスによって、プラズマ生成領域 25 にパルスレーザー光が照射されるのを抑制し得る。これにより、ダミー発光トリガパルスによるパルスレーザー光によるデブリの増加を抑制し得る。チャンバ 2 内部に存在するガスや検出されなかったターゲットの飛沫等がプラズマ生成領域 25 に存在する場合、パルスレーザー光が照射されるとプラズマが生成しデブリが発生し得る。デブリは、プラズマから飛散する高速イオンや中性粒子等の飛散粒子のことであってもよく、EUV 集光ミラー 23 等の光学部品をスパッタあるいは付着して光学性能を劣化させ得る。

【0154】

10

20

30

40

50

5.4 第4の実施形態

図14を参照して第4の実施形態を説明する。以下においては、第3の実施形態との相違点を主に説明する。本実施形態のレーザシステム3は、メインレーザ装置に加え、プリパルスレーザ装置を含んでいてもよい。

【0155】

本実施形態のEUV光生成システム11は、ダミー発光トリガパルスによりメインレーザ装置から出力されるメインパルスレーザ光に加え、ダミー発光トリガパルスによりプリパルスレーザ装置から出力されるプリパルスレーザ光を遮蔽してもよい。これにより、ダミー発光トリガパルスによる望ましくないパルスレーザ光がプラズマ生成領域25に照射されることを抑制し得る。

10

【0156】

(構成)

図14は、第4の実施形態におけるレーザ制御部55及びレーザシステム3の構成例を模式的に示している。レーザシステム3は、図12に示す構成に加え、プリパルスレーザ装置361、光シャッタ362、高反射ミラー363及びダイクロイックミラー364を含んでいてもよい。プリパルスレーザ装置361は、YAGレーザ装置等の固体レーザ装置であってもよい。

【0157】

本実施形態において、マスタオシレータ351を、メインパルスレーザ装置と称することがある。マスタオシレータ351、増幅器352、353及び354並びに光シャッタ355を含んで構成される装置を、メインパルスレーザシステムと称することがある。マスタオシレータ351が発光したレーザ光及びその増幅光を、メインパルスレーザ光と称することがある。

20

【0158】

図14を参照して、光シャッタ355は、マスタオシレータ351と増幅器352との間の光路上に配置されていてもよい。メインパルスレーザ光の光路には、ダイクロイックミラー364が配置されていてもよい。メインパルスレーザ光は、ダイクロイックミラー364に入射してもよい。ダイクロイックミラー364は、メインパルスレーザ光を高い透過率で、露光装置6への光路に透過させてもよい。

【0159】

プリパルスレーザ装置361は、プリパルスレーザ光を出力してもよい。プリパルスレーザ光は、メインパルスレーザ光に含まれる波長成分と異なる波長成分を含んでもよい。プリパルスレーザ光の光路には、光シャッタ362が配置されていてもよい。光シャッタ362は、光シャッタ355と同様に、光シャッタ制御信号SKに応じて、プリパルスレーザ光の光路を切り替えることで、プリパルスレーザ光を遮蔽してもよい。

30

【0160】

プリパルスレーザ光の光路には、高反射ミラー363が配置されてもよい。高反射ミラー363は、プリパルスレーザ光を高い反射率で反射してもよい。高反射ミラー363によって反射されたプリパルスレーザ光は、ダイクロイックミラー364に入射してもよい。ダイクロイックミラー364は、プリパルスレーザ光を高い反射率で露光装置6への光路に反射してもよい。これにより、メインパルスレーザ光と、プリパルスレーザ光とは、いずれもプラズマ生成領域25に導かれ得る。ダイクロイックミラー364は、プリパルスレーザ光とメインパルスレーザ光の光路が略一致するように配置されていてもよい。

40

【0161】

発光トリガ制御部551は、図12に示す構成に加え、遅延回路584を含んでいてもよい。遅延回路584の入力は遅延回路564の出力に接続していてもよい。遅延回路584からの出力信号は、マスタオシレータ351に入力されてもよい。

【0162】

遅延回路564の出力信号は、プリパルスレーザ装置361に入力されてもよい。遅延回路584の遅延時間は、プリパルスレーザ装置361への発光トリガの入力とメインパ

50

ルスレーザ装置への発光トリガの入力との間の遅延時間であり得る。発光トリガ制御部 551 は、遅延回路 584 に所定の遅延時間を設定してもよい。

【0163】

インバータ 582 の出力は、光シャッタ 355 及び 362 の双方の入力に接続していてもよい。光シャッタ 355 及び 362 の双方に、同一の光シャッタ制御信号 SK が入力されてもよい。光シャッタ 355 への光シャッタ制御信号は、光シャッタ 362 への光制御信号に対して所定の遅延時間だけ遅延されていてもよい。

【0164】

(動作)

第 2 の実施形態において説明したように、通過タイミング信号における検出パルス間隔 T が T max よりも長い場合、タイマ 576 は、パルスを出力してもよい。当該パルスは、ダミー検出パルスであり得る。

10

【0165】

ワンショット回路 581 は、タイマ 576 から、ダミー検出パルスを受信してもよい。ワンショット回路 581 は、ダミー検出パルスの立上りエッジにตอบสนองして、パルス幅 T sh 2 のパルスを出力してもよい。インバータ 582 は、ワンショット回路 581 からの信号を反転して出力してもよい。

【0166】

インバータ 582 は、光シャッタ制御信号 SK において、ワンショット回路 581 からのパルスを反転したパルスを光シャッタ 362 及び 355 に出力してもよい。光シャッタ 362 及び 355 に入力される反転パルスは、パルス幅 T sh 2 を有し得る。

20

【0167】

光シャッタ 362 及び 355 は、反転パルスを受信しているパルス幅 T sh 2 の間、閉じていてもよい。閉じた光シャッタ 362 及び 355 により、それぞれ、メインパルスレーザ光及びプリパルスレーザ光の透過が抑制され得る。つまり、メインパルスレーザ光及びプリパルスレーザ光が遮蔽され得る。

【0168】

タイマ 576 からのダミー検出パルスに対応するダミー発光トリガパルスが、プリパルスレーザ装置 361 及びマスタオシレータ 351 に入力され得る。マスタオシレータ 351 へのダミー発光トリガパルスは、プリパルスレーザ装置 361 へのダミー発光トリガパルスに対して、遅延回路 584 により遅延されていてもよい。

30

【0169】

プリパルスレーザ装置 361 は、入力されたダミー発光トリガパルスにตอบสนองして、プリパルスレーザ光を発光し得る。光シャッタ 362 は、インバータ 582 からの光シャッタ制御信号 SK に従って閉じており、プリパルスレーザ装置 361 からのプリパルスレーザ光の透過を抑制し得る。

【0170】

マスタオシレータ 351 は、入力されたダミー発光トリガパルスにตอบสนองして、メインパルスレーザ光を発光し得る。光シャッタ 355 は、インバータ 582 からの光シャッタ制御信号 SK に従って閉じており、マスタオシレータ 351 からのメインパルスレーザ光の透過を抑制し得る。

40

【0171】

一方、通過タイミング信号における検出パルス間隔 T が T max 以下の場合、タイマ 576 からのダミー検出パルスの出力はなく、光シャッタ 362 及び 355 の光シャッタ制御信号 SK は ON であり得る。つまり、光シャッタ 362 及び 355 は開いており、プリパルスレーザ装置 361 及びマスタオシレータ 351 からのパルスレーザ光は、それぞれ、光シャッタ 362 及び 355 を透過し得る。

【0172】

(作用)

本実施形態によれば、通過タイミング信号 SA における検出パルス間隔 T が T max よ

50

りも長い場合、ダミー発光トリガパルスによって、マスタオシレータ351及びプリパルスレーザ装置361はパルスレーザ光を発光し得る。これにより、マスタオシレータ351及びプリパルスレーザ装置361からのパルスレーザ光の変動を抑制し得る。

【0173】

さらに、ダミー発光トリガパルスによってマスタオシレータ351及びプリパルスレーザ装置361から出力されたパルスレーザ光は、光シャッタによって遮蔽され得る。その結果、ダミー発光トリガパルスによって、プラズマ生成領域25にパルスレーザ光を照射するのを抑制し得る。これにより、ダミー発光トリガパルスによるパルスレーザ光によるデブリの増加を抑制し得る。

【0174】

上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図したものである。従って、添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本開示の実施形態に変更を加えることができることは、当業者には明らかであろう。

【0175】

上記実施形態において図示されている各構成要素の構成は一例であって、各要素は他の構成を有していてもよい。上記の各構成要素及び機能等は、それらの一部又は全部を、例えば電気回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、上記の各構成要素及び機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。

【0176】

ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換え得る。ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を加え得る。各実施形態の構成の一部について、削除、他の構成の追加、他の構成による置換をし得る。

【0177】

本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書及び添付の特許請求の範囲に記載される修飾句「1つの」は、「少なくとも1つ」又は「1又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

【符号の説明】

【0178】

1 EUV光生成装置、2 チャンバ、3 レーザシステム、4 ターゲットセンサ、5 光生成制御部、6 露光装置、11 EUV光生成システム、25 プラズマ生成領域、26 ターゲット供給部、27 ターゲット、51 ターゲット供給制御部、55 レーザ制御部、271 サテライト、351 マスタオシレータ、352~354 増幅器、355 光シャッタ、361 プリパルスレーザ装置、362 光シャッタ、551 発光トリガ制御部、552 発光トリガ信号生成部、561 ワンショット回路、562 インバータ、563 AND回路、564 遅延回路、566 AND回路、567 タイマ、568 RSフリップフロップ、569 エッジ検出回路、575 OR回路、576 タイマ、577 OR回路、581 ワンショット回路、582 インバータ、584 遅延回路

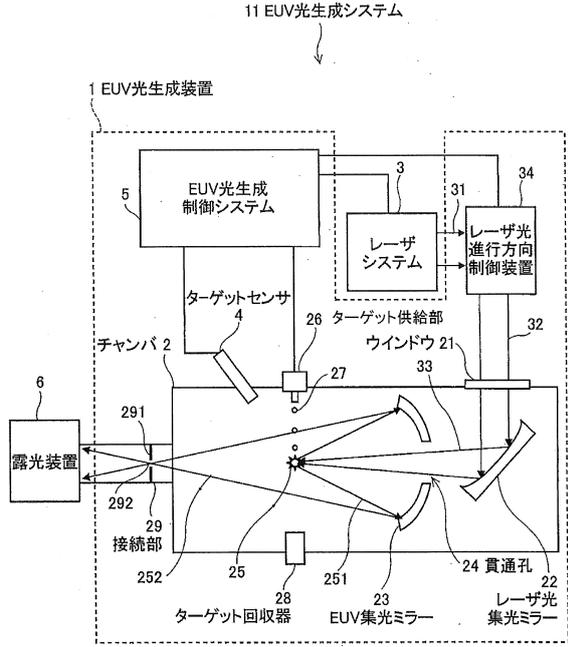
10

20

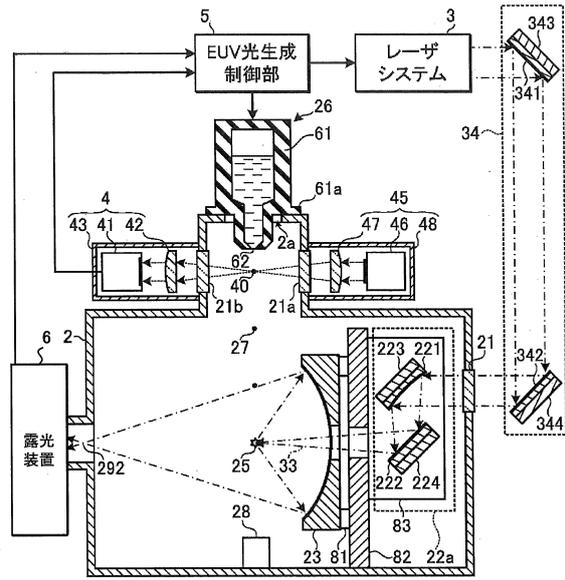
30

40

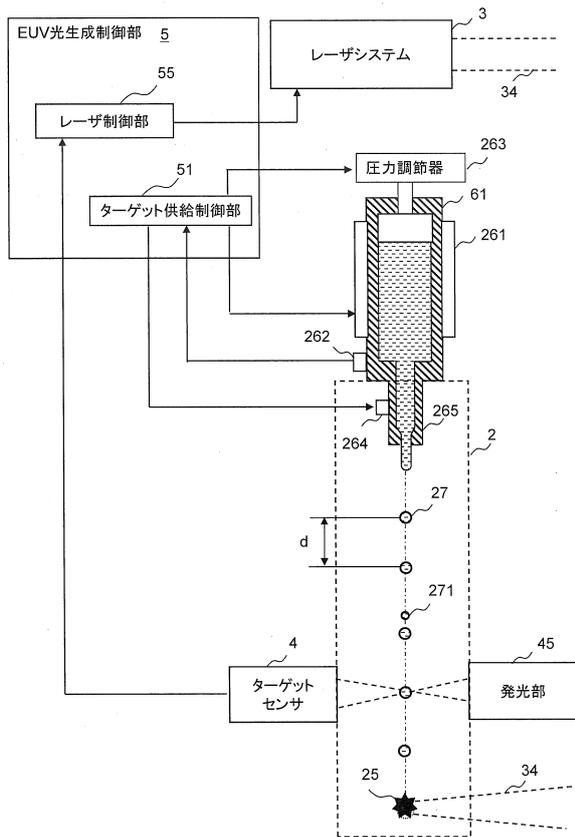
【図1】



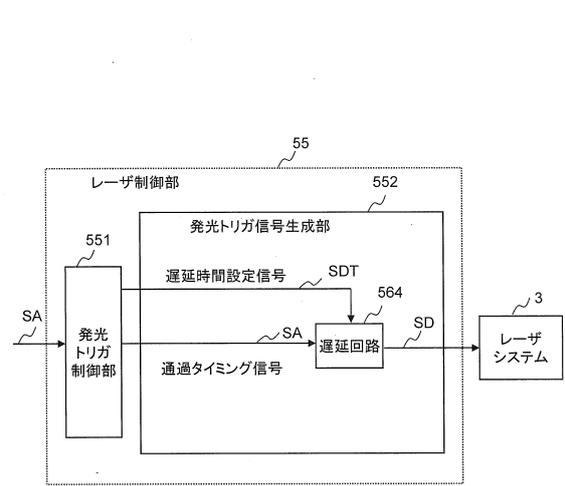
【図2】



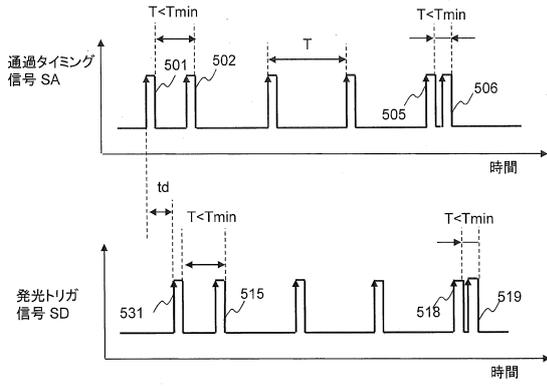
【図3】



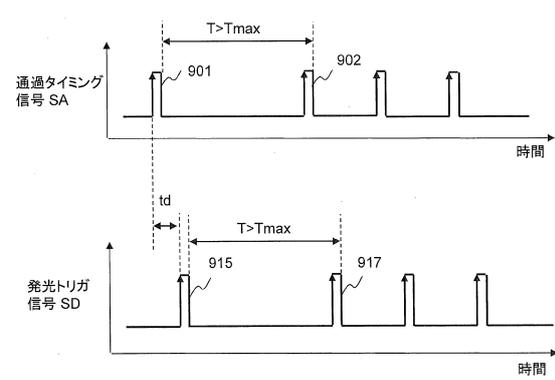
【図4】



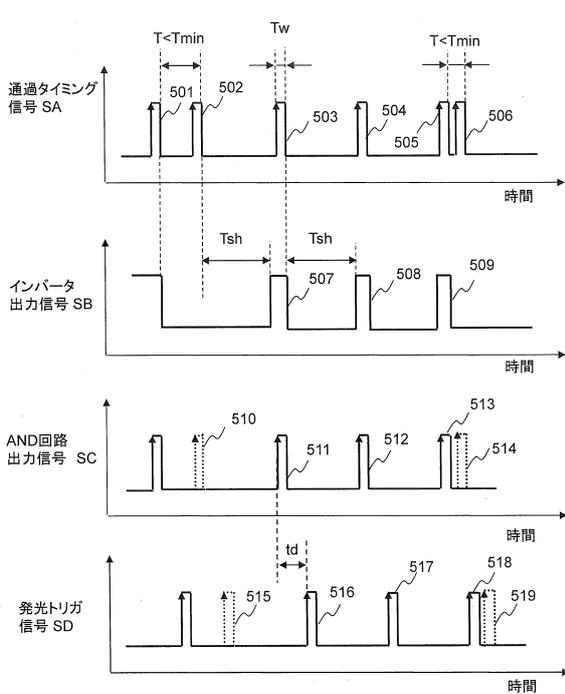
【図5A】



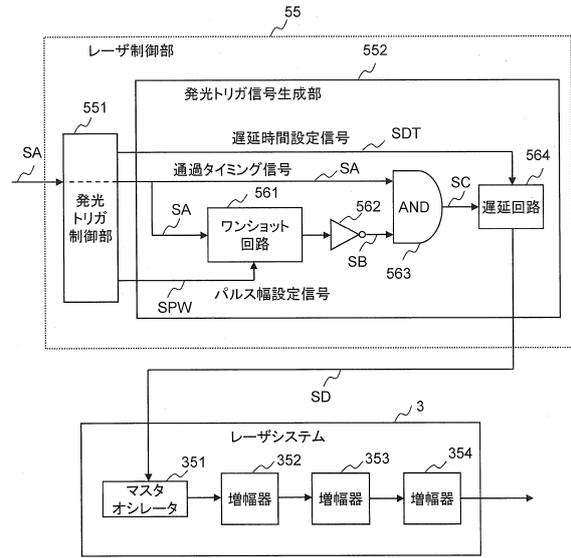
【図5B】



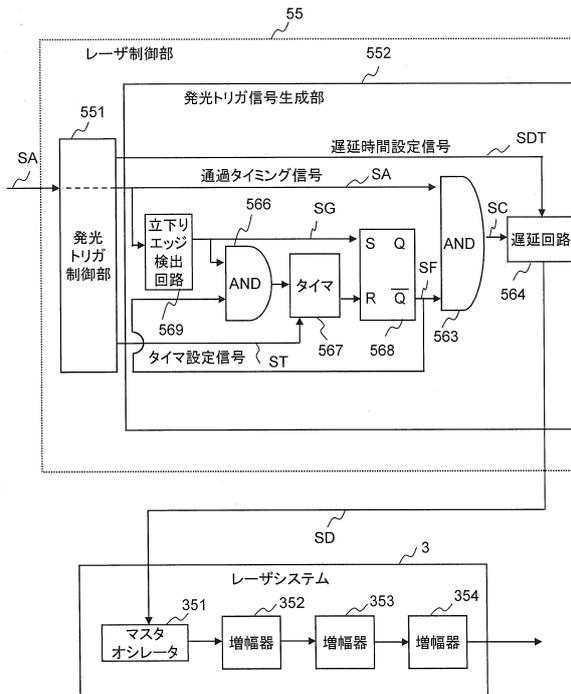
【図7】



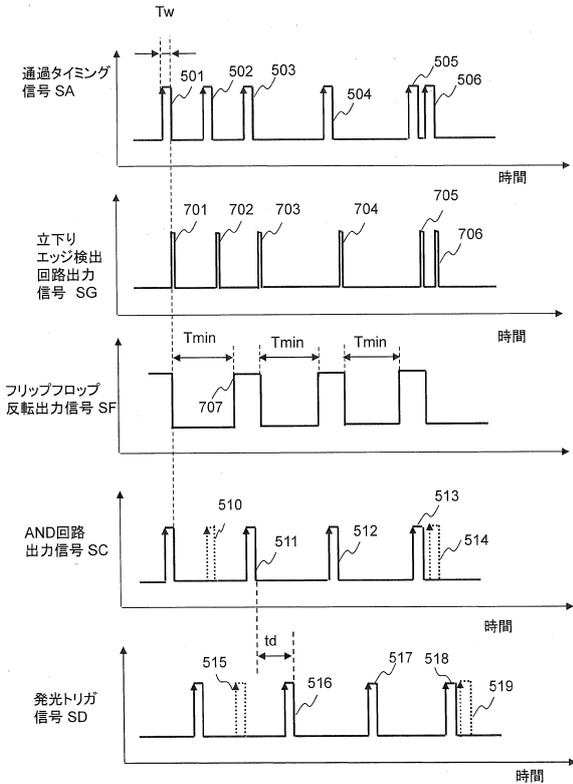
【図6】



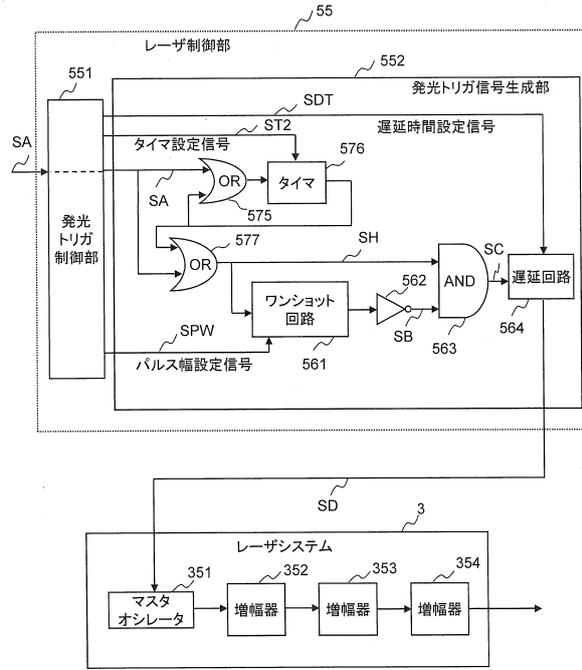
【図8】



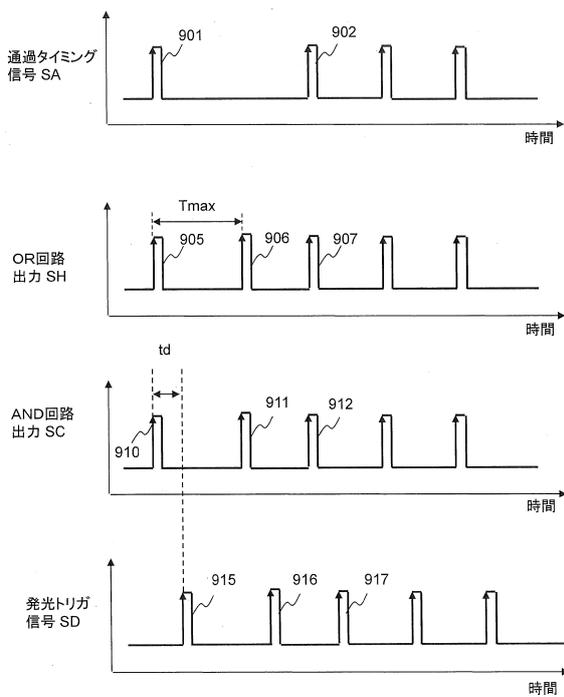
【図9】



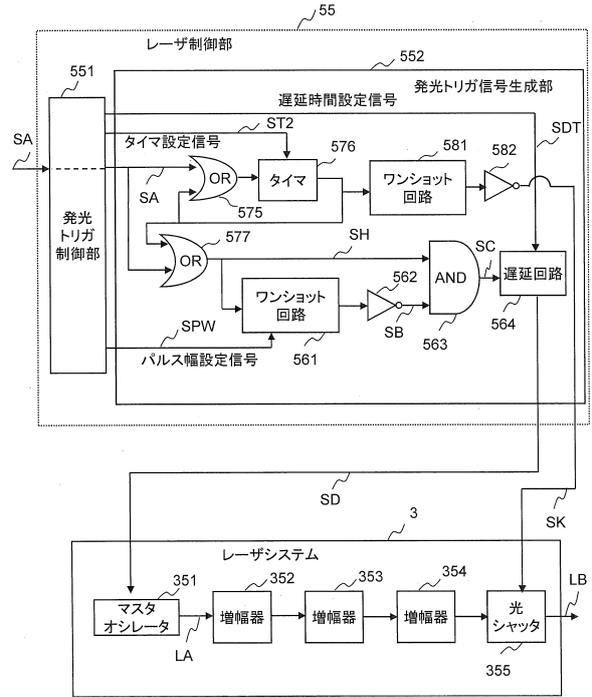
【図10】



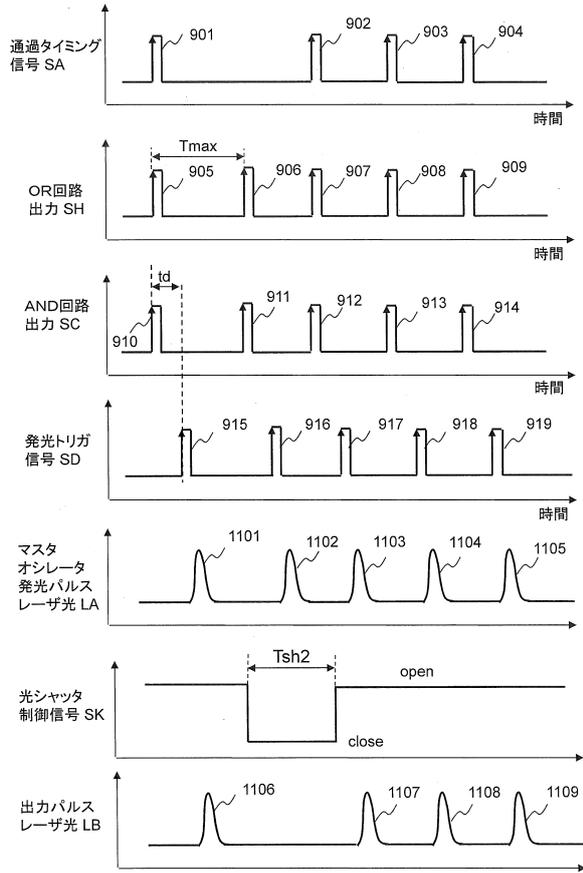
【図11】



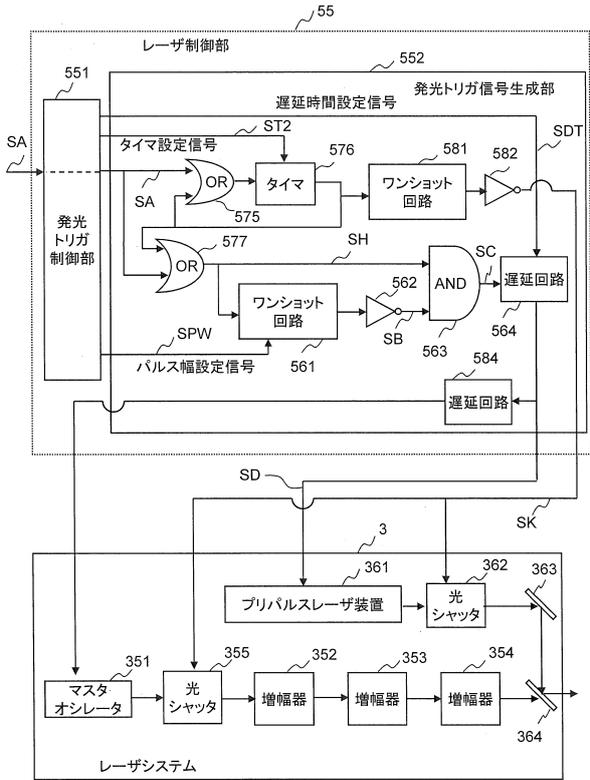
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

審査官 遠藤 直恵

(56)参考文献 特開2004-031342(JP,A)
特開2011-014913(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05G 2/00

G03F 7/20 - 7/24, 9/00 - 9/02

H01L 21/30