

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年7月26日(26.07.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/134971 A1

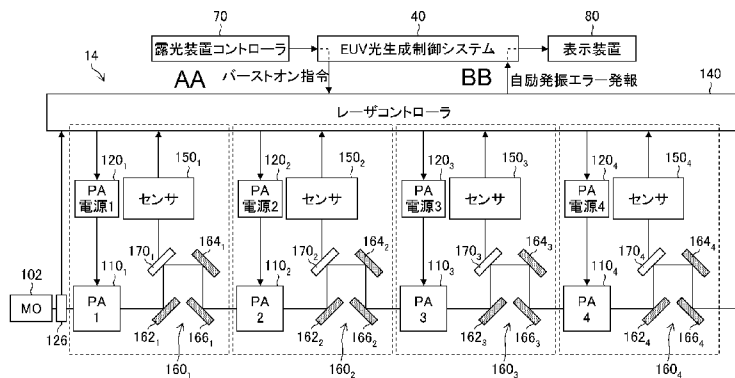
- (51) 国際特許分類:
H01S 3/23 (2006.01) *H01S 3/134* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/001947
- (22) 国際出願日: 2017年1月20日(20.01.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 黒澤 義明 (KUROSAWA, Yoshiaki); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).
- (74) 代理人: 松浦 憲三 (MATSUURA, Kenzo); 〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号 新宿住友ビル23階 私書箱第176号 新都心国際特許事務所 Tokyo (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,

(54) Title: LASER DEVICE AND EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT GENERATION SYSTEM

(54) 発明の名称: レーザ装置及び極端紫外光生成システム

[図10]



- 40 EUV light generation control system
70 Optical exposure device controller
80 Display device
120₁, 120₂, 120₃, 120₄ PA power supply
140 Laser controller
150₁, 150₂, 150₃, 150₄ Sensor
AA Burst-on command
BB Self-oscillation error alert

(57) Abstract: A laser device according to an aspect of the present disclosure is provided with: a master oscillator; at least one amplifier disposed on an optical path of first pulsed laser light output from the master oscillator; a sensor disposed on an optical path of second pulsed laser light output from the at least one amplifier; and a laser controller. The laser controller causes burst oscillation of the laser device to occur on the basis of a burst signal from an external device, and performs a process of controlling a beam parameter on the basis of a sensor output signal obtained from the sensor in a burst period and a process of detecting self-oscillation light from the amplifier on the basis of a sensor output signal obtained from the sensor in a burst pause period.

SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：本開示の一観点に係るレーザ装置は、マスターオシレータと、マスターオシレータから出力される第1のパルスレーザ光の光路上に配置される少なくとも1つの増幅器と、少なくとも1つの増幅器から出力される第2のパルスレーザ光の光路上に配置されるセンサと、レーザコントローラと、を備え、レーザコントローラは、外部装置からのバースト信号に基づいてレーザ装置をバースト発振させ、バースト期間にセンサから得られるセンサ出力信号に基づいてビームパラメータを制御する処理と、バースト休止期間にセンサから得られるセンサ出力信号に基づいて増幅器からの自励発振光を検出する処理と、を行う。

明 細 書

発明の名称： レーザ装置及び極端紫外光生成システム

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ装置及び極端紫外光生成システムに関する。

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、20nm以下の微細加工が要求されるようになる。このため、波長13nm程度の極端紫外（EUV；Extreme Ultra Violet）光を生成するための装置と縮小投影反射光学系とを組み合わせた露光装置の開発が期待されている。

[0003] EUV光生成装置としては、ターゲット物質にレーザ光を照射することによって生成されるプラズマが用いられるLPP（Laser Produced Plasma）式の装置と、放電によって生成されるプラズマが用いられるDPP（Discharge Produced Plasma）式の装置と、軌道放射光が用いられるSR（Synchrotron Radiation）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] 特許文献1：特開2013-207298号公報

特許文献2：特開2008-042048号公報

特許文献3：特開2012-191171号公報

概要

[0005] 本開示の1つの観点に係るレーザ装置は、外部装置と共に用いられるレーザ装置であって、第1のパルスレーザ光を出力するマスターオシレータと、マスターオシレータから出力される第1のパルスレーザ光の光路上に配置される少なくとも1つの増幅器と、少なくとも1つの増幅器から出力される第

2 のパルスレーザ光の光路上に配置されるセンサと、外部装置から送出されるバースト信号及びセンサから得られる信号に基づいて、レーザ装置の動作を制御するレーザコントローラと、を備え、レーザコントローラは、バースト信号に基づいてレーザ装置をバースト発振させ、バースト発振をしているバースト期間にセンサから得られる信号に基づいて第1のパルスレーザ光及び第2のパルスレーザ光の少なくとも一方のビームパラメータを制御し、バースト発振を休止しているバースト休止期間にセンサから得られる信号に基づいて増幅器からの自励発振光を検出する。

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。

[図1]図1は、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図である。

[図2]図2は、EUV光生成システムの運転状態を示す図である。

[図3]図3は、EUV光生成装置と共に用いられるレーザ装置の構成例を概略的に示す図である。

[図4]図4は、レーザコントローラが露光装置コントローラからEUV光生成制御システムを経由して受信するバースト許可信号及びバースト禁止信号の例を示すタイミングチャートである。

[図5]図5は、レーザコントローラがEUV光生成制御システムから受信するバーストオン信号及びバーストオフ信号の例を示すタイミングチャートである。

[図6]図6は、レーザコントローラからマスターオシレータに入力する発振トリガの例を示すタイミングチャートである。

[図7]図7は、レーザコントローラが光シャッタに与える開信号及び閉信号の例を示すタイミングチャートである。

[図8]図8は、マスターオシレータから出力されるパルスレーザ光の例を示すタイミングチャートである。

[図9]図9は、光シャッタより下流に配置された増幅器から出力されるパルスレーザ光の例を示すタイミングチャートである。

[図10]図10は、第1実施形態に係るレーザ装置の構成を例示的に示したブロック図である。

[図11]図11は、第1実施形態においてビーム検出にビームプロファイラを使用する例を示す構成図である。

[図12]図12は、ビームプロファイラによってビーム有無を検出する際の信号処理の説明図である。

[図13]図13は、レーザコントローラによるレーザ制御の例を示すフローチャートである。

[図14]図14は、バースト期間に実施される光軸制御フローの例を示すフローチャートである。

[図15]図15は、バースト休止期間に実施される自励発振監視フローの例を示すフローチャートである。

[図16]図16は、レーザ装置に与えられるバースト指令と、ビームプロファイラによるビーム検出の関係を示したタイミングチャートである。

[図17]図17は、第2実施形態においてビーム検出にエネルギーセンサを使用する例を示す構成図である。

[図18]図18は、エネルギーセンサの構成例を示すブロック図である。

[図19]図19は、エネルギーセンサからのセンサ出力を積分して得られるエネルギー積分値の例を示すグラフである。

[図20]図20は、第2実施形態に適用されるレーザ制御フローの例を示すフローチャートである。

[図21]図21は、バースト期間に実施されるエネルギー制御フローの例を示すフローチャートである。

[図22]図22は、レーザコントローラが増幅器用電源に入力する強励起用信号及び弱励起用信号の例を示すタイミングチャートである。

[図23]図23は、デューティ比を τ/T とした場合にレーザコントローラが

ら増幅器用電源に入力される励起用信号の例を示す図である。

[図24]図24は、図23に示す励起用信号に基づき増幅器用電源から増幅器に供給される励起用電圧の例を示す図である。

[図25]図25は、PWM (Pulse Width Modulation) 方式による励起強度の制御に基づき増幅器用電源から増幅器に供給される高周波電圧の例を示す図である。

[図26]図26は、PWM方式による励起強度の制御に基づき増幅器用電源から増幅器に供給される高周波電圧の他の例を示す図である。

[図27]図27は、電位制御方式による励起強度の制御に基づき増幅器用電源から増幅器に供給される高周波電圧の例を示す図である。

[図28]図28は、PWM方式と電位制御方式とを組み合わせた方式による励起強度の制御に基づき増幅器用電源から増幅器に供給される高周波電圧の例を示す図である。

実施形態

[0007] ー目次ー

1. 極端紫外光生成システムの全体説明

1. 1 構成

1. 2 動作

1. 3 バースト運転

2. 用語の説明

3. レーザ装置の構成例

3. 1 構成

3. 2 動作

3. 3 バースト制御について

4. 課題

5. 第1実施形態

5. 1 構成

5. 2 動作

- 5. 3 作用・効果
- 6. ビームプロファイラを使用する例
 - 6. 1 構成
 - 6. 2 動作
 - 6. 3 レーザ制御フロー
 - 6. 3. 1 光軸制御フロー
 - 6. 3. 2 自励発振監視フロー
 - 6. 4 バースト指令とビーム検出の関係
 - 6. 5 作用・効果
- 7. 第2実施形態
 - 7. 1 構成
 - 7. 2 動作
 - 7. 3 レーザ制御フロー
 - 7. 3. 1 エネルギー制御フロー
 - 7. 3. 2 自励発振監視フロー
 - 7. 4 作用・効果
- 8. 変形例1
- 9. 変形例2
- 10. 増幅器の励起強度の制御方式
 - 10. 1 PWM方式
 - 10. 2 電位制御方式
 - 10. 3 PWM方式と電位制御方式との組み合わせ

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。

[0008] 1. 極端紫外光生成システムの全体説明

1. 1 構成

図1に、例示的なLPP式のEUV光生成システム10の構成を概略的に示す。EUV光生成装置12は、少なくとも1つのレーザ装置14と共に用いられる場合がある。本願においては、EUV光生成装置12及びレーザ装置14を含むシステムを、EUV光生成システム10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12は、チャンバ16と、ターゲット供給部18とを含む。

[0009] チャンバ16は、密閉可能な容器である。ターゲット供給部18は、ターゲット物質をチャンバ16内部に供給するよう構成され、例えば、チャンバ16の壁を貫通するように取り付けられる。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つ以上の組み合わせを含んでもよいが、これらに限定されない。

[0010] チャンバ16の壁には、少なくとも1つの貫通孔が設けられている。その貫通孔は、ウインドウ20によって塞がれ、ウインドウ20をレーザ装置14から出力されるパルスレーザ光22が透過する。チャンバ16の内部には、例えば、回転楕円面形状の反射面を有するEUV光集光ミラー24が配置される。EUV光集光ミラー24は、第1の焦点及び第2の焦点を有する。EUV光集光ミラー24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る。EUV光集光ミラー24は、例えば、その第1の焦点がプラズマ生成領域26に位置し、その第2の焦点が中間集光点（IF；Intermediate Focusing point）28に位置するように配置される。EUV光集光ミラー24の中央部には貫通孔30が設けられ、貫通孔30をパルスレーザ光23が通過する。

[0011] EUV光生成装置12は、EUV光生成制御システム40と、ターゲットセンサ42等を含む。ターゲットセンサ42は、ターゲット44の存在、軌跡、位置、及び速度のうちいずれか、又は複数を検出するよう構成される。ターゲットセンサ42は、撮像機能を備えてもよい。

[0012] また、EUV光生成装置12は、チャンバ16の内部と露光装置46の内部とを連通させる接続部48を含む。接続部48内部には、アパーチャ50が形成された壁52が設けられる。壁52は、そのアパーチャ50がEUV光集光ミラー24の第2の焦点位置に位置するように配置される。

[0013] さらに、EUV光生成装置12は、レーザ光伝送装置54、レーザ光集光ミラー56、ターゲット44を回収するためのターゲット回収部58等を含む。レーザ光伝送装置54は、レーザ光の伝送状態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る。ターゲット回収部58は、チャンバ16内に出力されたターゲット44が進行する方向の延長線上に配置される。

[0014] レーザ装置14は、MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) システムであってよい。レーザ装置14は、図示せぬマスターオシレータと、図示せぬ光アイソレータと、複数台の図示せぬCO₂レーザ増幅器とを含んで構成され得る。マスターオシレータが出力するレーザ光の波長は、例えば10.59 μm であり、パルス発振の繰り返し周波数は、例えば100 kHzである。

[0015] 1.2 動作

図1を参照して、例示的なLPP式のEUV光生成システム10の動作を説明する。チャンバ16内は大気圧よりも低圧に保持され、好ましくは真空であってよい。あるいは、チャンバ16の内部にはEUV光の透過率が高いガスが存在してもよい。

[0016] レーザ装置14から出力されたパルスレーザ光21は、レーザ光伝送装置54を経て、パルスレーザ光22としてウインドウ20を透過してチャンバ16内に入射する。パルスレーザ光22は、少なくとも1つのレーザ光経路に沿ってチャンバ16内を進み、レーザ光集光ミラー56で反射されて、パルスレーザ光23として少なくとも1つのターゲット44に照射される。

[0017] ターゲット供給部18は、ターゲット物質によって形成されたターゲット44をチャンバ16内部のプラズマ生成領域26に向けて出力するよう構成

される。ターゲット供給部 18 は、例えば、コンティニュアスジェット方式によりドロップレットを形成する。コンティニュアスジェット方式では、ノズルを振動させて、ノズル孔からジェット状に噴出したターゲット物質の流れに定在波を与え、ターゲット物質を周期的に分離する。分離されたターゲット物質は、自己の表面張力によって自由界面を形成してドロップレットを形成し得る。

[0018] ターゲット 44 には、パルスレーザ光 23 に含まれる少なくとも 1 つのパルスが照射される。パルスレーザ光が照射されたターゲット 44 はプラズマ化し、そのプラズマから放射光 60 が放射される。放射光 60 に含まれる E U V 光 62 は、E U V 光集光ミラー 24 によって選択的に反射される。E U V 光集光ミラー 24 によって反射された E U V 光 62 は、中間集光点 28 で集光され、露光装置 46 に出力される。なお、1 つのターゲット 44 に、パルスレーザ光 23 に含まれる複数のパルスが照射されてもよい。

[0019] E U V 光生成制御システム 40 は、E U V 光生成システム 10 全体の制御を統括するよう構成される。E U V 光生成制御システム 40 は、ターゲットセンサ 42 の検出結果を処理するよう構成される。ターゲットセンサ 42 の検出結果に基づいて、E U V 光生成制御システム 40 は、例えば、ターゲット 44 が出力されるタイミング、ターゲット 44 の出力方向等を制御するよう構成されてもよい。さらに、E U V 光生成制御システム 40 は、例えば、レーザ装置 14 の発振タイミング、パルスレーザ光 22 の進行方向、パルスレーザ光 23 の集光位置等を制御する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。

[0020] 本開示において、E U V 光生成制御システム 40 その他の制御装置は、1 台又は複数台のコンピュータのハードウェア及びソフトウェアの組み合わせによって実現することが可能である。ソフトウェアはプログラムと同義である。プログラマブルコントローラはコンピュータの概念に含まれる。

[0021] また、複数の制御装置の機能を 1 台の制御装置で実現することも可能である。さらに本開示において、E U V 光生成制御システム 40 その他の制御装

置は、ローカルエリアネットワークやインターネットといった通信ネットワークを介して互いに接続されてもよい。分散コンピューティング環境において、プログラムユニットは、ローカル及びリモート両方のメモリストレージデバイスに保存されてもよい。

[0022] 1. 3 バースト運転

EUV光生成システム10は、バースト運転によってEUV光を出力することがある。バースト運転とは、所定繰り返し周波数で第1の所定期間にわたってEUV光を生成するバースト期間と、第2の所定期間にわたってEUV光の生成を休止するバースト休止期間とを、一定時間繰り返す運転動作である。バースト期間ではパルスレーザ光の照射が所定繰り返し周波数で行われるのに対し、バースト休止期間ではパルスレーザ光の照射が停止される。すなわち、バースト期間中は、レーザ装置14からパルスレーザ光21が出力される。バースト休止期間中は、レーザ装置14からのパルスレーザ光21の出力が停止される。1つのバースト期間を1バーストと呼ぶことがある。

[0023] バースト期間とバースト休止期間の繰り返しパターンであるバーストパターンは、バースト期間のEUV光エネルギー、繰り返し周波数、パルス数とバースト休止期間の長さ、及びバースト数のうちいずれか、又は、これらのうちの複数を含んだデータによって定義され得る。バーストパターンは、露光装置46によって指示される。

[0024] 図2は、EUV光生成システム10の運転状態を示す図である。露光装置46と共に用いられるEUV光生成システム10は、露光装置46においてウエハを露光する際、所定繰り返し周波数のパルスのEUV光（以下、パルスEUV光という。）を露光装置46へ出力する。EUV光生成システム10がパルスEUV光を露光装置46へ出力する期間を、バースト期間TBとする（図2参照）。

[0025] これに対し、EUV光生成システム10は、露光装置46におけるウエハの移動時間、ウエハの交換時間及びマスクの交換時間等において、露光装置

46へのパルスEUV光の供給を休止する。EUV光生成システム10が露光装置46へのパルスEUV光の供給を休止する期間を、バースト休止期間TRとする。

[0026] EUV光生成システム10においては、図2に示すように、必要に応じてパルスEUV光を出力するバースト運転をさせるために、レーザ装置14も同様に、必要に応じて所定繰返し周波数のパルスレーザ光を出力するバースト運転をさせる場合がある。バースト運転により所定期間にわたりパルス発振を行うことをバースト発振という。

[0027] 2. 用語の説明

「パルスレーザ光」は、複数のパルスを含むレーザ光を意味し得る。

[0028] 「レーザ光」は、パルスレーザ光に限らずレーザ光一般を意味し得る。

[0029] 「レーザ光路」は、レーザ光の光路を意味する。レーザ光の光路において、レーザ光の生成源側を「上流」とし、レーザ光の到達目標側を「下流」とする。

[0030] 「CO₂」は、二酸化炭素を表す。

[0031] 「所定繰返し周波数」とは、略所定の繰返し周波数であればよく、必ずしも一定の繰返し周波数でなくてもよい。

[0032] 「ターゲット」は、チャンバに導入されたレーザ光の被照射物である。レーザ光が照射されたターゲットは、プラズマ化してEUV光を放射する。ターゲットは、プラズマの発生源となる。

[0033] 「ドロップレット」は、チャンバ内へ供給されたターゲットの一形態である。ドロップレットは、ドロップレット状のターゲットと同義である。ドロップレットは、溶融したターゲット物質の表面張力によってほぼ球状となったターゲットを意味し得る。

[0034] 「プラズマ光」は、プラズマ化したターゲットから放射された放射光である。当該放射光にはEUV光が含まれる。

[0035] 「EUV光」という表記は、「極端紫外光」の略語表記である。

[0036] 3. レーザ装置の構成例

3. 1 構成

図3は、EUV光生成装置と共に用いられるレーザ装置14の構成例を概略的に示す図である。レーザ装置14は、マスターオシレータ102と、光シャッタ103と、複数の増幅器110₁~110₄と、複数の増幅器用電源120₁~120₄と、レーザコントローラ140とを含んで構成される。増幅器110₁~110₄の表記は「増幅器110₁、110₂、110₃、110₄」を意味する。増幅器用電源120₁~120₄の表記は「増幅器用電源120₁、120₂、120₃、120₄」を意味する。

[0037] マスターオシレータ102と増幅器110₁~110₄の組み合わせによってMOPA (Master Oscillator Power Amplifier) システムが構成される。マスターオシレータ102には不図示の電源が接続されていてもよい。

[0038] マスターオシレータ102は、CO₂レーザ増幅器の増幅領域の波長を含むレーザ光を所定の繰り返し周波数で出力し得る。マスターオシレータ102が出力するパルスレーザ光の波長は、例えば10.59マイクロメートル[μm]であり、所定の繰り返し周波数は例えば100キロヘルツ[kHz]である。マスターオシレータ102には固体レーザを採用することができる。また、マスターオシレータ102として半導体レーザを用いてもよい。本明細書及び添付図面において「MO」の表記は「マスターオシレータ」を表す。マスターオシレータ102は、レーザコントローラ140に接続されている。

[0039] 光シャッタ103は、マスターオシレータ102から出力されるパルスレーザ光の光路上に配置される。光シャッタ103は、レーザコントローラ140に接続されている。

[0040] 増幅器110₁~110₄は、マスターオシレータ102から出力されるパルスレーザ光の光路上に配置される。パルスレーザ光の光路上に配置される複数の増幅器110₁~110₄について、図3において、光路の上流側から第1段目の増幅器110₁は「PA1」、第2段目の増幅器110₂は「PA2」、第3段目の増幅器110₃は「PA3」、第4段目の増幅器110₄は

「PA4」と表記されている。光路の上流側とは、パルスレーザ光の光路においてマスターオシレータ102に近い側をいう。パルスレーザ光は、光路の上流から下流に向かって進行する。本明細書及び添付図面において「PA」の表記は「増幅器」を表す。

[0041] 図3では4個の増幅器110₁～110₄を備えるレーザ装置14の例を示すが、MOPAシステムを構成する増幅器の個数は本例に限らない。レーザ装置14は、n個の増幅器を含む構成とすることができる。nは1以上の整数であってよい。すなわち、レーザ装置14は、少なくとも1つの増幅器を備え、増幅器は、マスターオシレータ102から出力されるパルスレーザ光の光路上に配置される。

[0042] 増幅器110₁～110₄の各々は、CO₂レーザガスを媒質とするCO₂レーザ増幅器である。CO₂レーザ増幅器は、CO₂レーザガスを放電励起してレーザ光を増幅する。CO₂レーザガスは二酸化炭素を含むレーザ媒体の一例である。

[0043] 増幅器110₁～110₄の各々は、対応する増幅器用電源120₁～120₄と接続されている。図3において、増幅器110₁と接続される増幅器用電源120₁は「PA電源1」と表記され、増幅器110₂と接続される増幅器用電源120₂は「PA電源2」、増幅器110₃と接続される増幅器用電源120₃は「PA電源3」、増幅器110₄と接続される増幅器用電源120₄は「PA電源4」と表記されている。増幅器用電源120₁～120₄の各々は、放電励起に必要な電力を各増幅器110₁～110₄に供給する高周波（RF）電源である。増幅器用電源120₁～120₄は、レーザコントローラ140に接続されている。「RF」は、Radio Frequencyの略語である。

[0044] また、レーザ装置14は、MOセンサ126と、増幅器センサ130₁～130₄とを備える。MOセンサ126は、マスターオシレータ102と、第1段目の増幅器110₁との間のレーザ光路上に配置される。MOセンサ126は、マスターオシレータ102から出力されたパルスレーザ光のエネルギーを

検出するエネルギーセンサであってよい。

[0045] 各増幅器センサ $130_1 \sim 130_4$ は、増幅器 $110_1 \sim 110_4$ のそれぞれの出射側に配置される。増幅器センサ $130_1 \sim 130_4$ は、増幅器 $110_1 \sim 110_4$ からそれぞれ出力された光のエネルギーを検出するエネルギーセンサであってよい。

[0046] MOセンサ126及び増幅器センサ $130_1 \sim 130_4$ の各々は、レーザコントローラ140に接続される。MOセンサ126及び増幅器センサ $130_1 \sim 130_4$ の各々のセンサ出力信号は、レーザコントローラ140に入力される。

[0047] レーザコントローラ140は、レーザ装置14の動作を制御する制御装置である。レーザコントローラ140は、EUV光生成制御システム40に接続されている。EUV光生成制御システム40は、露光装置コントローラ70と接続される。露光装置コントローラ70は、露光装置46の動作を制御する制御装置である。露光装置コントローラ70は、図1で説明した露光装置46に含まれていてもよい。

[0048] チャンバ16にはEUV光センサ74が配置されている。EUV光センサ74は、チャンバ16内で生成されたEUV光のエネルギーを検出するエネルギーセンサであってよい。EUV光センサ74はレーザコントローラ140に接続されている。図3では1つのEUV光センサ74が示されているが、チャンバ16には、複数のEUV光センサ74が配置されていてもよい。

[0049] また、チャンバ16は、レーザ光集光光学系72を備えている。図3において、レーザ光集光光学系72の図示は簡略化されているが、レーザ光集光光学系72は、図1で説明したレーザ光集光ミラー56を含む光学系である。

[0050] 3. 2 動作

露光装置コントローラ70は、EUV光生成装置12のEUV光生成制御システム40に対し、バーストオン指令又はバーストオフ指令を送信し得る。レーザ装置14は、露光装置コントローラ70からのバーストオン指令を

受けて、パルスレーザ光を生成する。レーザコントローラ 140 は、EUV 光生成制御システム 40 からの指令に従い、レーザ装置 14 の動作を制御する。レーザコントローラ 140 は、EUV 光生成制御システム 40 を介して露光装置コントローラ 70 からのバースト許可信号 S1 及びバースト禁止信号 S2 を受信し得る。

[0051] レーザコントローラ 140 は、マスターオシレータ 102 を所定の繰返し周波数で、レーザ発振させる。レーザコントローラ 140 は、マスターオシレータ 102 に対して、MO 励起電流信号を出力する。レーザコントローラ 140 は、レーザ装置 14 をバースト運転させるために、光シャッタ 103 を動作させる。

[0052] レーザコントローラ 140 は、バースト期間 TB では光シャッタ 103 を開とし、バースト休止期間 TR では光シャッタ 103 を閉とする。光シャッタ 103 が「開」の状態とは、パルスレーザ光を透過させる状態を指す。光シャッタ 103 が「閉」の状態とは、パルスレーザ光を透過させない状態を指す。

[0053] レーザコントローラ 140 は、バースト期間 TB の開始よりも所定時間前に、各増幅器 110₁～110₄ が所定の励起強度となるように、増幅器用電源 120₁～120₄ を動作させる。この所定時間を Ts とする（図 4 参照）。

[0054] レーザコントローラ 140 は、EUV 光生成制御システム 40 から、増幅器 110₁～110₄ の励起開始のタイミングを指令する信号を受信する。レーザコントローラ 140 は、増幅器用電源 120₁～120₄ の各々に対して励起放電の電流指令値を出力する。増幅器用電源 120₁～120₄ は、レーザコントローラ 140 からの電流指令値に従い、増幅器 110₁～110₄ に放電電流を供給する。

[0055] 増幅器用電源 120₁～120₄ は、バーストオフの期間中も各増幅器 110₁～110₄ を励起し続けている。

[0056] MO センサ 126 は、マスターオシレータ 102 から出力されたパルスレ

ーザ光のエネルギーを検出する。MOセンサ126から出力されるセンサ検出値の情報は、レーザコントローラ140に入力される。

[0057] 増幅器センサ130₁は、増幅器110₁から出力されたパルスレーザ光のエネルギーを検出する。増幅器センサ130₁は、検出値の情報をレーザコントローラ140に送信する。増幅器センサ130₂、130₃、130₄のそれぞれも同様に、増幅器110₂、110₃、110₄から出力されたパルスレーザ光のエネルギーを検出し、検出値の情報をレーザコントローラ140に送信する。

[0058] レーザ装置14から出力されたパルスレーザ光は、レーザ光集光光学系72を介してターゲット44に照射される。

[0059] 3. 3 バースト制御について

レーザ装置14における各種信号及びパルスレーザ光の波形を、図4を参照に説明する。図4は、レーザコントローラ140が露光装置コントローラ70からEUV光生成制御システム40を経由して受信するバースト許可信号S1及びバースト禁止信号S2の例を示すタイミングチャートである。

[0060] 図5は、レーザコントローラ140がEUV光生成制御システム40から受信するバーストオン信号S3及びバーストオフ信号S4の例を示すタイミングチャートである。バースト許可信号S1は、露光装置コントローラ70がパルスEUV光のバースト出力をレーザ装置14に対して許可する信号である。一方、バーストオン信号S3は、EUV光生成制御システム40がレーザ装置14のレーザコントローラ140に対してパルスレーザ光のバースト出力を命令する信号である。したがって、バーストオン信号S3がEUV光生成制御システム5から出力されている期間が、バースト期間TBとなる。なお、本説明では、電圧レベルが“ON”にある信号がバースト許可信号S1とされ、“OFF”にある信号がバースト禁止信号S2とされる。同様に、電圧レベルが“ON”にある信号がバーストオン信号S3とされ、“OFF”にある信号がバーストオフ信号S4とされる。“OFF”に相当する電圧レベルは、ゼロであってもよい。

- [0061] バースト許可信号 S 1 の立ち上がりタイミングよりも所定時間 T_s 遅れたタイミングで、バーストオン信号 S 3 がレーザコントローラ 140 に入力される。図 4 及び図 5 に示した時刻 t_0 は、バーストオン信号 S 3 がレーザコントローラ 140 に入力されるタイミングを示している。
- [0062] バースト禁止信号 S 2 は、露光装置コントローラ 70 がレーザ装置 14 に対してパルス E U V 光のバースト出力を禁止する信号である。また、バーストオフ信号 S 4 は、E U V 光生成制御システム 40 がレーザ装置 14 のレーザコントローラ 140 に対してパルスレーザ光のバースト出力を停止させる信号である。このバースト禁止信号 S 2 及びバーストオフ信号 S 4 のレーザコントローラ 140 への入力タイミング、すなわち、バースト許可信号 S 1 及びバーストオン信号 S 3 の立ち下がりタイミングは、同じタイミングであってもよい。あるいは、バースト禁止信号 S 2 のタイミングよりも所定時間 T_s 後のタイミングで、バーストオフ信号 S 4 がレーザコントローラ 140 に入力されるようにしてもよい。
- [0063] 露光装置コントローラ 70 から発せられたバースト許可信号 S 1 及びバースト禁止信号 S 2 に連動して E U V 光生成制御システムからレーザコントローラに送られるバーストオン信号 S 3 及びバーストオフ信号 S 4 は、「外部装置から送出されるバースト信号」の一例に相当する。バーストオン信号 S 3 及びバーストオフ信号 S 4 は、露光装置コントローラ 70 から送出されてもよい。
- [0064] 図 6 は、レーザコントローラ 140 が E U V 光生成制御システム 5 から受信してマスターオシレータ 102 に入力する発振トリガ S 5 の例を示すタイミングチャートである。図 6 に示すように、マスターオシレータ 102 には、レーザ装置 14 が起動してシステム動作可能となったタイミングから、発振トリガ S 5 が所定繰返し周波数で入力されてもよい。システム動作可能となったタイミングとは、レーザ装置 14 がレーザ発振可能となったタイミングを意味する。また、例えばマスターオシレータ 102 には、E U V 光生成制御システム 5 からバースト許可信号 S 1 を最初に受信したタイミング以降

、発振トリガS 5 が所定繰返し周波数で継続的に入力されてもよい。したがって、バースト休止期間T R中でも、マスターオシレータ1 0 2には、所定繰返し周波数で発振トリガS 5 が入力されていてもよい。

[0065] 図7は、レーザコントローラ1 4 0が光シャッタ1 0 3に与える開信号S 8及び閉信号S 9の例を示すタイミングチャートである。

[0066] 図8は、マスターオシレータ1 0 2から出力されるパルスレーザ光L 1の例を示すタイミングチャートである。図9は、光シャッタ1 0 3より下流に配置された増幅器1 1 0₁～1 1 0₄のいずれか、例えば最終の増幅器1 1 0₄から出力されるパルスレーザ光L 2を示すタイミングチャートである。

[0067] 図7に示すように、レーザコントローラ1 4 0は、EUV光生成制御システム5からバーストオン信号S 3が入力されている期間、すなわちバースト期間T B、光シャッタ1 0 3を開状態とする開信号S 8を光シャッタ1 0 3に入力してもよい。その他の期間、すなわちバースト休止期間T R、レーザコントローラ1 4 0は、光シャッタ1 0 3を閉状態とする閉信号S 9を光シャッタ1 0 3に入力する。

[0068] これに対し、図8に示すように、マスターオシレータ1 0 2は、図6に示す発振トリガS 5に応じた所定繰返し周波数でパルスレーザ光L 1を継続的に出力する。このため、バースト休止期間T Rにおいて、パルスレーザ光L 1は光シャッタ1 0 3によって出力が遮断される。この結果、図9に示すように、光シャッタ1 0 3より下流側の増幅器1 1 0₁～1 1 0₄の例えば最終の増幅器1 1 0₄からは、バースト期間T Bのみ、増幅されたパルスレーザ光L 2が出力される。なお、マスターオシレータ1 0 2から出力されるパルスレーザ光L 1は、シード光と呼ばれる場合ある。パルスレーザ光L 1は、「第1のパルスレーザ光」の一例に相当する。

[0069] 4. 課題

レーザ装置1 4は、増幅器1 1 0₁～1 1 0₄にシード光を入れて、レーザ光を増幅させる。しかし、増幅器1 1 0₁～1 1 0₄にシード光を入れない状態であっても、増幅器1 1 0₁～1 1 0₄において自励発振が発生する場合が

ある。各増幅器は、バースト運転のバースト休止期間TRにおいても励起状態が維持される。増幅器の励起状態が維持され、高ゲイン状態になっていると、増幅器にシード光が入らなくても、増幅器において自励発振が発生し、自励発振光が生成され得る。増幅器で発生した自励発振光は、レーザ光路の上流方向（戻り方向）にも進行する。

[0070] 自励発振により発生した増幅ビームである自励発振光がレーザ光路の上流方向に戻ると、レーザ装置14内の光学素子等を損傷させてしまうことが起こり得る。また、自励発振によって増幅器のエネルギーを無駄に消費してしまうため、バースト期間にシード光を入れても、増幅器によって所要の増幅が得られず、安定したパルスレーザ光L2の出力ができなくなる。従来の装置構成では、バースト休止期間の増幅器における自励発振の発生を自動的に検出することが困難であった。

[0071] 5. 第1実施形態

5. 1 構成

図10は、第1実施形態に係るレーザ装置の構成を例示的に示したブロック図である。図10に示すように、レーザ装置14は、レーザ光路中に、レーザ光のビームパラメータを計測するセンサ150₁～150₄を備える。センサ150₁～150₄の表記は「センサ150₁、150₂、150₃、150₄」を意味する。

[0072] 図10では、各増幅器110₁～110₄の後ろのレーザ光路に、センサ150₁～150₄を配置する形態が示されているが、センサ150₁～150₄の配置形態は、図10の例に限らない。レーザ光路上に複数の増幅器が順次に並ぶ多段の増幅器システムにおいて、少なくとも1つの増幅器の後ろにビームパラメータを計測するセンサが配置される。例えば、最終の増幅器110₄の後ろのみに、センサ150₄を配置する構成であってもよい。最終の増幅器の後ろが最も検出感度が高いため、少なくとも最終の増幅器の後ろにセンサを配置する構成が好ましい。

[0073] センサ150₁～150₄の各々は、例えば、ビームプロファイラである。

ビームプロファイラによって計測され得るビームパラメータには、ビーム光量、ビーム面積、及びビーム位置などが含まれる。ビーム面積は、レーザ光路の光軸に直交するビーム断面の面積である。ビーム位置は、ビーム断面の中心位置を指す。

[0074] レーザ装置14は、各センサ150₁~150₄にレーザ光を導くレーザ光伝送光学系160₁~160₄を備える。レーザ光伝送光学系160₁は、例えば、第1ミラー162₁と、ビームスプリッタ170₁と、第2ミラー164₁と、第3ミラー166₁とを含んで構成される。

[0075] レーザ光伝送光学系160₂、160₃、160₄のそれぞれも同様に、第1ミラー162₂、162₃、162₄と、ビームスプリッタ170₂、170₃、170₄と、第2ミラー164₂、164₃、164₄と、第3ミラー166₂、166₃、166₄と、を含んで構成される。

[0076] また、EUV光生成装置12は、表示装置80を備えている。表示装置80は、EUV光生成制御システム40に接続されている。表示装置80は、EUV光生成制御システム40として機能するコンピュータのディスプレイであってもよい。

[0077] 5. 2 動作

露光装置コントローラ70からバーストオンを指令する信号が出ている場合、レーザ装置14はパルスレーザ光を生成する。バースト期間中に増幅器110₁から出力されたレーザ光は、第1ミラー162₁によって反射され、ビームスプリッタ170₁に向けて進行する。第1ミラー162₁によって反射されたレーザ光の一部はビームスプリッタ170₁を透過してセンサ150₁に入射する。ビームスプリッタ170₁によって反射されたレーザ光は、第2ミラー164₁及び第3ミラー166₁を介して、次の増幅器110₂に入力される。

[0078] 同様に、バースト期間中に増幅器110₂から出力されたレーザ光は、第1ミラー162₂によって反射され、ビームスプリッタ170₂に向けて進行する。第1ミラー162₂によって反射されたレーザ光の一部はビームスプリッ

タ 170₂を透過してセンサ150₂に入射する。ビームスプリッタ170₂によって反射されたレーザ光は、第2ミラー164₂及び第3ミラー166₂を介して、次の増幅器110₃に入力される。

[0079] 増幅器110₃の後ろに配置されたレーザ光伝送光学系160₃とセンサ150₃、並びに、増幅器110₄の後ろに配置されたレーザ光伝送光学系160₄とセンサ150₄についても、同様に動作する。

[0080] 最終の増幅器110₄から出力されたパルスレーザ光は、第3ミラー166₄を介して最終的にパルスレーザ光21としてレーザ装置14から出力される(図1参照)。

[0081] レーザコントローラ140は、各センサ150₁~150₄から得られる信号(センサ出力信号)を基に、レーザ光の制御、例えば、レーザ光路の光軸のフィードバック制御を行う。

[0082] 一方、バースト休止期間に、レーザコントローラ140は各センサ150₁~150₄からのセンサ出力信号を監視して、ビームの有無を判定し、ビーム有りの場合は自励発振が発生していると判定する。レーザコントローラ140は、自励発振が発生していると判定した場合に、EUV光生成制御システム40に対して自励発振エラーを発報する。

[0083] また、レーザコントローラ140は、自励発振が発生していると判定した場合に、増幅器用電源120₁~120₄の少なくとも1つの放電強度を低下させる制御を行う。励起強度を低下させる制御には、励起を停止する制御が含まれる。

[0084] EUV光生成制御システム40は、レーザコントローラ140から自励発振エラーを受信した場合に、表示装置80に警告を表示させる。

[0085] 5. 3 作用・効果

第1実施形態によれば、ビーム制御に用いるセンサを自励発振検出にも活用し、バースト信号に連動して、光軸制御と自励発振監視とを切り替える。第1実施形態によれば、自励発振を検出するための特別なセンサを追加することなく、光軸制御に用いるセンサを利用して自励発振を検出することがで

きる。これにより、バースト休止期間に自励発振が発生した場合に、自励発振の発生を自動的に検出することができる。また、第1実施形態によれば、自励発振を検出した際に、少なくとも1つの増幅器の励起を停止させることにより、レーザ装置14を構成する光学素子等の破損を抑制することができる。

[0086] 6. ビームプロファイラを使用する例

6. 1 構成

図11は、第1実施形態においてビーム検出にビームプロファイラを使用する例を示す構成図である。図11では、第1段目の増幅器110₁の部分を図示するが、第2段目以降の増幅器についても同様の構成を採用し得る。

[0087] レーザ装置14は、増幅器110₁の手前のレーザ光路上にアクチュエータ付きミラー180を備える。また、レーザ装置14は、増幅器110₁の後ろのレーザ光路上にビームプロファイラ152₁を備える。増幅器110₁の手前のレーザ光路とは、増幅器110₁よりも上流側のレーザ光路であり、増幅器110₁に対してレーザ光を導入する入射側のレーザ光路を指す。増幅器110₁の後ろのレーザ光路とは、増幅器110₁よりも下流側のレーザ光路であり、増幅器110₁によって増幅されたレーザ光が出力される出射側のレーザ光路を指す。ビームプロファイラ152₁は、図10に示したセンサ150₁の一例である。

[0088] ビームプロファイラ152₁として、熱型赤外線検出素子を用いる構成が好ましい。ビームプロファイラ152₁に好適な熱型赤外線検出素子として、例えば、焦電センサやマイクロボロメータを挙げることができる。

[0089] アクチュエータ付きミラー180は、レーザコントローラ140に接続されている。レーザコントローラ140は、アクチュエータ付きミラー180に対して、ミラー動作指令を送信し得る。アクチュエータ付きミラー180は、ミラー動作指令に基づいて駆動される。アクチュエータ付きミラー180の角度を調整することにより、増幅器110₁に入射させるパルスレーザ光の進行方向を調整し得る。

[0090] 6. 2 動作

ビームスプリッタ 170₁を透過した光は図示せぬレンズを介してビームプロファイラ 152₁の受光面に投影される。ビームプロファイラ 152₁は、受光した光量に応じた信号を出力する。ビームプロファイラ 152₁から得られる信号を処理することにより、ビームプロファイルが計測される。ビームプロファイルは、ビーム断面の強度プロファイル及びビーム断面の位置を含む。ビームスプリッタ 170₁で反射された光は、第2ミラー 164₁及び第3ミラー 166₁によって反射された後、次段の増幅器へと進行する。

[0091] レーザコントローラ 140は、ビームプロファイラ 152₁からデータを取得する。ビームプロファイラ 152₁は、受光面に投影されたレーザ光の二次元の強度分布を示す光量データをレーザコントローラ 140に提供し得る。バースト期間中であれば、レーザコントローラ 140は、ビームプロファイラ 152₁から得られるデータからビーム位置を解析し、目標位置との偏差量が小さくなるよう、アクチュエータ付きミラー 180にミラー動作指令を出すフィードバック制御を行う。

[0092] その一方、バースト休止期間中であれば、レーザコントローラ 140は、ビームプロファイラ 152₁から得られる光量データからビーム有無を判定し、「ビーム有り」と判定した場合には自励発振発生と判定する。

[0093] 図12は、ビームプロファイラによってビーム有無を検出する際の信号処理の説明図である。図12には、ビームプロファイラから得られる強度プロファイルの断面の一例が示されている。図12の横軸は位置を表し、縦軸は光量を表している。

[0094] ビームプロファイラによって検出し得る光量レンジが、例えば、14ビット（0～16383）である場合、バースト期間中にビームプロファイラによって検出されるビーム光量は、概ね4000から16383の範囲のデジタル値となり得る。

[0095] 一方、バースト休止期間中に自励発振が発生した場合の自励発振光の光量は、バースト期間中に検出されるビーム光量よりも低い値となる。ビームプ

ロファイラから得られる強度プロファイルを基に、ビーム有無を判定する際の判定基準となる光量閾値とビーム面積閾値とを予め設定しておく。そして、ビームプロファイラで検出した光量が光量閾値以上であり、かつ、光量閾値以上の光量となるビーム面積がビーム面積閾値以上であればビーム有りと判定し得る。

[0096] 図12では、光量閾値が例えば「100」に設定された例が示されている。なお、バースト休止期間の自励発振検出用の光量閾値と、バースト期間のビーム検出用の光量閾値とを異ならせて設定してもよい。バースト休止期間の自励発振検出用の光量閾値は、バースト期間のビーム検出用の光量閾値よりも小さい値に設定することができる。例えば、バースト休止期間の自励発振検出用の光量閾値を「100」とし、バースト期間の光量閾値を「500」とすることも可能である。図12において、波形184で示した強度プロファイルは、「ビーム有り」と判定される。図12において、波形185で示した強度プロファイルは、「ビーム無し」と判定される。

[0097] 7. 3 レーザ制御フロー

図13は、レーザ制御フローの例を示すフローチャートである。図13のフローチャートの各ステップは、レーザコントローラ140によって実行される。レーザコントローラ140は、露光装置コントローラ70からのバースト信号に基づき、バーストオン又はバーストオフの状態の判定（ステップS20）に応じて、ビーム制御（ステップS30）と自励発振監視（ステップS40）とを切り替える。本例の場合のビーム制御には、アクチュエータ付きミラー180による光軸制御が含まれる。

[0098] ステップS20において、レーザコントローラ140は、バースト信号がバーストオンの状態であるか、バーストオフの状態であるかを判定する。バーストオンの状態はバースト期間に相当する。バーストオフの状態はバースト休止期間に相当する。

[0099] ステップS20において、レーザコントローラ140は、バーストオンの状態であると判定すると、ステップS30に進む。

[0100] ステップS 3 0において、レーザコントローラ1 4 0は、ビーム制御の一例である光軸制御を行う。光軸制御の具体例については後述する（図1 4）。

[0101] ステップS 2 0において、レーザコントローラ1 4 0は、バーストオフの状態であると判定すると、ステップS 4 0に進む。

[0102] ステップS 4 0において、レーザコントローラ1 4 0は、自励発振を監視する処理を行う。自励発振を監視する処理の具体例については後述する（図1 5）。

[0103] 図1 3に示したように、本開示によるレーザ装置1 4は、バースト信号のオン／オフの切り替えに連動して、レーザ光のビームパラメータ制御としての光軸制御と、自励発振監視の処理とが切り替わる。

[0104] 6. 3. 1 光軸制御フロー

図1 4は、バースト期間に実施される光軸制御フローの例を示すフローチャートである。図1 4のフローチャートの各ステップは、レーザコントローラ1 4 0によって実行される。各ステップを詳述する前に、図1 4に示す光軸制御フローの概要を説明する。

[0105] レーザコントローラ1 4 0は、バーストオンの状態である場合に、ビームプロファイラからのセンサデータを評価し（ステップS 3 2）、ビーム位置情報が有効か否かを判定する（ステップS 3 3）。レーザコントローラ1 4 0は、予め設定された光量閾値とビーム面積閾値とを用いて、光量閾値以上のビーム光量を有するビーム面積がビーム面積閾値以上であるか否かを判定する。

[0106] ビーム位置情報が有効であれば、レーザコントローラ1 4 0は、現在のビーム位置と目標位置との偏差量を計算し（ステップS 3 4）、偏差量からミラー駆動量を計算する（ステップS 3 6）。そして、レーザコントローラ1 4 0は、計算したミラー駆動量に基づいてアクチュエータ付きミラーを駆動する指令を行う（ステップS 3 8）。バースト期間中、ステップS 3 2からステップS 3 8の処理が繰り返され、バースト信号がバーストオフになると

、図 1 4 の光軸制御フローを終了する。

[0107] 図 1 4 に示したフローチャートの各ステップを詳述する。ステップ S 3 1 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、バースト信号がバーストオンの状態であるか、バーストオフの状態であるかを判定する。ステップ S 3 1 は、図 1 3 のステップ S 2 0 の判定処理であってもよい。

[0108] ステップ S 3 1 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、バーストオンの状態であると判定すると、ステップ S 3 2 に進む。

[0109] ステップ S 3 2 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、ビームプロファイラからのセンサデータを評価する。レーザコントローラ 1 4 0 には、センサデータの評価に用いる光量閾値と、ビーム面積閾値とが設定されている（図 1 2 参照）。レーザコントローラ 1 4 0 は、ビームプロファイラで検出した光量と光量閾値とを比較し、光量閾値以上の光量のビーム面積を計算する。また、レーザコントローラ 1 4 0 は、光量閾値以上の光量のビーム面積とビーム面積閾値とを比較して、ビーム面積閾値以上のビーム面積を持つか否かを評価する。さらに、レーザコントローラ 1 4 0 は、センサデータから光量閾値以上の光量を持つビーム断面の中心位置であるビーム位置を特定する処理を行う。

[0110] ステップ S 3 3 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、ステップ S 3 2 のビームデータ評価の処理結果を基に、ビームプロファイラのビーム位置情報が有効であるか否かの判定を行う。レーザコントローラ 1 4 0 は、ビームプロファイラで検出した光量が光量閾値以上であり、かつ光量閾値以上の光量のビーム面積がビーム面積閾値以上であれば、ビーム位置情報が有効であると判定する。

[0111] ステップ S 3 3 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、ビーム位置情報が無効であると判定した場合、ステップ S 3 1 に戻る。

[0112] ステップ S 3 3 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、ビーム位置情報が有効であると判定した場合、ステップ S 3 4 に進む。

[0113] ステップ S 3 4 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、センサデータか

ら計測されたビーム位置と目標位置との偏差量を計算する。

[0114] ステップS 3 6において、レーザコントローラ1 4 0は、ステップS 3 4の処理にて算出された偏差量を基にミラー駆動量を計算する。

[0115] ステップS 3 8において、レーザコントローラ1 4 0は、ステップS 3 6の処理にて算出されたミラー駆動量に従い、アクチュエータ付きミラーを駆動させる。レーザコントローラ1 4 0は、ステップS 3 8の処理後、ステップS 3 1に戻り、バースト信号がバーストオフになるまで、ステップS 3 1からステップS 3 8の処理が繰り返し実行される。

[0116] レーザコントローラ1 4 0は、ステップS 3 1において、バースト信号がバーストオフになると、図1 4の光軸制御フローを終了する。

[0117] 6. 3. 2 自励発振監視フロー

図1 5は、バースト休止期間に実施される自励発振監視フローの例を示すフローチャートである。図1 5のフローチャートの各ステップは、レーザコントローラ1 4 0によって実行される。各ステップを詳述する前に、図1 5に示す自励発振監視フローの概要を説明する。

[0118] レーザコントローラ1 4 0は、バーストオフの状態である場合に、ビームプロファイラからのセンサデータを評価し（ステップS 4 2）、ビーム有りの判定であれば、自励発振が発生していると判定する。この場合、レーザコントローラ1 4 0は、自励発振が検出されたことを示す自励発振エラーを発報する（ステップS 4 4）。また、レーザコントローラ1 4 0は、増幅器の励起を停止させる（ステップS 4 5）。複数の増幅器用電源の全てを停止させてもよいし、一部だけを停止させてもよい。

[0119] バーストオフの期間中、ステップS 4 2からステップS 4 5の処理が繰り返され、バースト信号がバーストオンになると、図1 5の自励発振監視フローを終了する。

[0120] 図1 5に示したフローチャートの各ステップを詳述する。ステップS 4 1において、レーザコントローラ1 4 0は、バースト信号がバーストオンの状態であるか、バーストオフの状態であるかを判定する。ステップS 4 1は、

図 1 3 のステップ S 2 0 の判定処理と共通するステップであってもよい。

[0121] ステップ S 4 1 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、バーストオフの状態であると判定すると、ステップ S 4 2 に進む。

[0122] ステップ S 4 2 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、ビームプロファイラからのセンサデータを評価する。レーザコントローラ 1 4 0 には、センサデータの評価に用いる光量閾値と、ビーム面積閾値とが設定されている（図 1 2 参照）。レーザコントローラ 1 4 0 は、レーザコントローラ 1 4 0 は、ビームプロファイラで検出した光量と光量閾値とを比較し、光量閾値以上の光量のビーム面積を計算する。また、レーザコントローラ 1 4 0 は、光量閾値以上の光量のビーム面積とビーム面積閾値とを比較して、ビーム面積閾値以上のビーム面積を持つか否かを評価する。

[0123] ステップ S 4 2 の処理に適用する光量閾値及びビーム面積閾値は、図 1 4 のステップ S 3 2 の処理に適用する光量閾値及びビーム面積閾値と同じ設定であってもよいし、異なる設定であってもよい。

[0124] ステップ S 4 3 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、ステップ S 4 2 のビームデータ評価の処理結果を基に、ビームが検出されたか否かを判定するビーム検出判定を行う。レーザコントローラ 1 4 0 は、ビームプロファイラで検出した光量が光量閾値以上であり、かつ光量閾値以上の光量のビーム面積がビーム面積閾値以上であれば、「ビーム有り」と判定する。

[0125] ステップ S 4 3 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、「ビーム無し」と判定した場合、ステップ S 4 1 に戻る。

[0126] ステップ S 4 3 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、「ビーム有り」と判定した場合、ステップ S 4 4 に進む。

[0127] ステップ S 4 4 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、自励発振が検出されたことを示すエラー情報である自励発振エラーを発報する。

[0128] ステップ S 4 5 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、増幅器の励起を停止させる。すなわち、レーザコントローラ 1 4 0 は、複数の増幅器用電源のすべて又は一部を停止させる。ステップ S 4 5 により、自励発振の発生が

抑制される。

[0129] レーザコントローラ 140 は、ステップ S 45 の処理後、図 15 の自励発振監視フローを終了する。また、レーザコントローラ 140 は、ステップ S 41 において、バースト信号がバーストオンになると、図 15 の自励発振監視フローを終了する。

[0130] 6. 4 バースト指令とビーム検出の関係

図 16 は、レーザ装置に与えられるバースト指令と、ビームプロファイラによるビーム検出の関係を示したタイミングチャートである。

[0131] 図 16 の最上段に示した信号 (A) は、バースト指令の信号である。図 16 の上から 2 段目に示した信号 (B) は、ビームプロファイラから得られるセンサ出力の信号の例である。図 16 の上から 3 段目に示した信号 (C) は、光量閾値とビーム面積閾値の評価に照らしてビーム有り判定されたビーム検出の信号の例である。図 16 において光量閾値は、光量 100 に設定されている。

[0132] 図 16 の最下段に示した信号 (D) は、ビーム検出の信号 (C) に基づく自励発振判定の信号の例である。

[0133] 図 16 において、バースト指令がオンである場合、センサ出力は、例えば光量 8000 程度となり、ビームが検出される。バースト指令がオフである場合、センサ出力が光量閾値以上の値になると、ビーム有りと判定され、ビームが検出される。レーザコントローラ 140 は、ビームを検出した際に、バースト指令がオンであれば、バースト期間における正常なバースト発振によるビームであると判定する。

[0134] その一方、レーザコントローラ 140 は、ビームを検出した際に、バースト指令がオフであれば、バースト休止期間における自励発振が発生していると判定する。

[0135] 6. 5 作用・効果

図 10～図 16 で説明した第 1 実施形態の構成によれば、レーザ光の光軸を調整するための光軸フィードバック制御の仕組みをそのまま使用してバー

スト休止期間中に自励発振検出が可能である。ビームプロファイラは、反応速度が数十ミリ秒と十分に速く、かつ、ダイナミックレンジが広いと、低出力の自励発振光から検出が可能である。

[0136] 第1実施形態において、増幅器110₁~110₄の各々から出力されるパルスレーザ光は「第2のパルスレーザ光」の一例に相当する。レーザコントローラ140が図14の光軸制御フローに従い光軸を制御する処理が「ビームパラメータを制御」する処理の一例に相当する。また、レーザコントローラ140が図15の自励発振監視フローに従い自励発振光を検出する処理が、「バースト休止期間にセンサから得られるセンサ出力信号に基づいて増幅器からの自励発振光を検出する」処理の一例に相当する。EUV光生成制御システム40が「制御システム」の一例に相当する。

[0137] 7. 第2実施形態

7. 1 構成

第2実施形態では、第1実施形態におけるビームプロファイラに代えて、エネルギーセンサが用いられる。以下、第1実施形態との相違点を説明する。

[0138] 図17は、レーザ光のビーム検出にエネルギーセンサを使用する例を示す構成図である。図17では、第1段目の増幅器110₁の部分を図示するが、第2段目以降の増幅器についても同様の構成を採用し得る。

[0139] レーザ装置14は、増幅器110₁の後ろのレーザ光路上にエネルギーセンサ154₁を備える。エネルギーセンサ154₁として、光電素子等が使用できる。

[0140] 図18は、エネルギーセンサの構成例を示すブロック図である。エネルギーセンサ154₁は、光電素子190と、積分回路192と、A/D変換器194と、を含んで構成される。

[0141] 7. 2 動作

エネルギーセンサ154₁にレーザパルスを入力すると、光電素子190に起電力が発生する。積分回路192は、光電素子190で発生した電圧を積分する。A/D変換器194は、積分回路192から得られるアナログ信号を

デジタル信号に変換する。

[0142] エネルギーセンサ 154₁は、光電素子 190 で発生した電圧を、積分回路 192 及び A/D 変換器 194 を介してエネルギー値に変換したものを、レーザコントローラ 140 に送信する。

[0143] レーザコントローラ 140 は、エネルギーセンサ 154₁からデータを取得する。レーザコントローラ 140 は、エネルギーセンサ 154₁から得られる検出エネルギーの積分値が閾値以上である場合に、「ビーム有り」と判定する。検出エネルギーの積分値を「エネルギー積分値」という。

[0144] 図 19 は、エネルギーセンサによってビーム有無を検出する際の信号処理の説明図である。図 19 には、エネルギーセンサからのセンサ出力を積分して得られるエネルギー積分値の例が示されている。図 19 の横軸は時間を表し、縦軸はエネルギー積分値を表している。エネルギー積分値を算出する処理は、移動平均を算出する処理に類似している。エネルギー積分値は、時系列で取得されるセンサ出力の直近の過去一期間のデータを積分して得られる値である。例えば、図 19 に示すエネルギー積分値は、エネルギーセンサから得られる時系列データの直近の過去 1 秒間の積分値である。したがって、エネルギー積分値が減少することもあり得る。

[0145] レーザコントローラ 140 には、ビーム有無を判定する際の判定基準となる閾値が予め設定されている。レーザコントローラ 140 は、エネルギーセンサからのセンサ出力を積分し、エネルギー積分値が閾値以上であれば「ビーム有り」と判定する。

[0146] バースト期間中であれば、レーザコントローラ 140 は、エネルギーセンサ 154₁のエネルギー計測値からエネルギー目標値との偏差量が小さくなるよう、増幅器用電源 120₁に放電指令を出すフィードバック制御を行う。

[0147] その一方、バースト休止期間中であれば、レーザコントローラ 140 は、エネルギーセンサ 154₁の出力からビーム有無を判定し、「ビーム有り」と判定した場合には自励発振発生と判定する。

[0148] 7. 3 レーザ制御フロー

図20は、第2実施形態に適用されるレーザ制御フローの例を示すフローチャートである。図20のフローチャートの各ステップは、レーザコントローラ140によって実行される。図20において、図13で説明したレーザ制御フローのステップと同一又は類似のステップには同一のステップ番号を付し、その説明は省略する。

[0149] 図20に示すレーザ制御フローでは、図13のステップS30に代えて、エネルギー制御（ステップS50）の処理が実行される。すなわち、ステップS20において、レーザコントローラ140は、バーストオンの状態であると判定すると、ステップS50に進む。

[0150] ステップS50において、レーザコントローラ140は、ビーム制御の一例であるエネルギー制御を行う。

[0151] 図20に示したように、第2実施形態のレーザ装置14は、バースト信号のオン／オフの切り替えに連動して、レーザ光のビームパラメータ制御としてのエネルギー制御と、自励発振監視の処理とが切り替わる。

[0152] 7. 3. 1 エネルギー制御フロー

図21は、バースト期間に実施されるエネルギー制御フローの例を示すフローチャートである。図21のフローチャートの各ステップは、レーザコントローラ140によって実行される。各ステップを詳述する前に、図21に示すエネルギー制御フローの概要を説明する。

[0153] レーザコントローラ140は、バーストオンの状態である場合に、レーザエネルギーを計測する（ステップS52）。そして、レーザコントローラ140は、エネルギー計測値とエネルギー目標値との偏差量を計算し（ステップS53）、偏差量から放電出力を計算する（ステップS54）。そして、レーザコントローラ140は、放電出力の計算結果に基づいて増幅器への放電出力指令を出す（ステップS55）。放電出力指令は、増幅器ごとに実施してもよいし、或いは、最終の増幅器でのエネルギーを計測し、複数の増幅器に放電出力指令を出してもよい。

[0154] バースト期間中、ステップS52からステップS55の処理が繰り返され

、バースト信号がバーストオフになると、図 2 1 のエネルギー制御フローを終了する。

[0155] 図 2 1 に示したフローチャートの各ステップを詳述する。ステップ S 5 1 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、バースト信号がバーストオンの状態であるか、バーストオフの状態であるかを判定する。ステップ S 5 1 は、図 1 3 のステップ S 2 0 の判定処理であってもよい。

[0156] ステップ S 5 1 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、バーストオンの状態であると判定すると、ステップ S 5 2 に進む。

[0157] ステップ S 5 2 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、エネルギーセンサからのデータを取り込み、レーザエネルギーを計測する。

[0158] ステップ S 5 3 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、ステップ S 5 2 にて計測されたエネルギー計測値とエネルギー目標値との偏差量を計算する。

[0159] ステップ S 5 4 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、ステップ S 5 3 の処理にて算出された偏差量を基に、放電出力を計算する。レーザコントローラ 1 4 0 は、エネルギー計測値とエネルギー目標値との偏差量が小さくなるように放電出力を制御する。

[0160] ステップ S 5 5 において、レーザコントローラ 1 4 0 は、ステップ S 5 4 の処理にて算出された放電出力に従い、増幅器用電源に対して放電出力指令を行う。

[0161] レーザコントローラ 1 4 0 は、ステップ S 5 5 の処理後、ステップ S 5 1 に戻り、バースト信号がバーストオフになるまで、ステップ S 5 1 からステップ S 5 5 の処理が繰り返し実行される。こうして、バースト期間中は、エネルギーセンサのセンサ出力を基に、放電出力指令のフィードバック制御が行われる。

[0162] レーザコントローラ 1 4 0 は、ステップ S 5 1 において、バースト信号がバーストオフになると、図 2 1 のエネルギー制御フローを終了する。

[0163] 7. 3. 2 自励発振監視フロー

第 2 実施形態のバースト休止期間に実施される自励発振監視フローは、図

15で説明したフローチャートと同様のフローを採用し得る。

[0164] 第2実施形態における自励発振監視フローでは、図15のステップS42において、エネルギーセンサの出力を積分する。そして、ステップS43において、エネルギー積分値が閾値以上であるか否かを判定し、エネルギー積分値が閾値以上であれば「ビーム有り」と判定する。

[0165] 7. 4 作用・効果

第2実施形態の構成によれば、レーザ光のエネルギーを計測してエネルギー制御を実行する仕組みをそのまま使用してバースト休止期間中に自励発振検出が可能である。

[0166] 第2実施形態において、レーザコントローラ140が図21のエネルギー制御フローに従い増幅器への放電出力を制御する処理は、「ビームパラメータを制御する処理」の一例に相当する。増幅器への放電出力を制御することにより、増幅器から出力されるパルスレーザ光のビームエネルギーが制御される。つまり、エネルギー制御フローに従って制御されるビームパラメータは、パルスレーザ光の出力エネルギーに相当する。

[0167] 8. 変形例1

第1実施形態及び第2実施形態では、バースト指令に連動して光シャッタ103を開閉する例を説明したが、発明の実施に際して、光シャッタ103を省略する形態も可能である。例えば、バースト指令に連動して、レーザコントローラ140からマスターオシレータ102への発振トリガを出力し、バースト休止期間にマスターオシレータ102からのパルスレーザ光の出力を停止させてもよい。

[0168] 9. 変形例2

バースト休止期間における増幅器の励起強度をバースト期間における増幅器の励起強度よりも弱めるように増幅器の励起強度を制御してもよい。増幅器の励起強度を弱めることにより、自励発振の発生を抑制することができる。第1実施形態及び第2実施形態で説明した自励発振の監視機能に加え、バースト信号に連動して増幅器の励起強度を制御する形態とすることができる。

。

[0169] 図22は、レーザコントローラ140が増幅器110₁～110₄の増幅器用電源120₁～120₄に入力する強励起用信号S6及び弱励起用信号S7の例を示すタイミングチャートである。図22に示すように、レーザコントローラ140は、露光装置コントローラ70からEUV光生成制御システム40を経由してバースト許可信号S1が入力されている期間、強励起用信号S6を増幅器用電源120₁～120₄に入力してもよい。

[0170] 強励起用信号S6に従い、各増幅器用電源120₁～120₄は、強励起用の高周波電圧を増幅器110₁～110₄に入力する。バーストオン信号S3の立ち上がりタイミングは、強励起用信号S6の立ち上がりタイミングよりも所定時間T_s後のタイミングであってよい。

[0171] 10. 増幅器の励起強度の制御方式

増幅器の励起強度の制御について説明する。励起強度の制御方式として、PWM (Pulse Width Modulation) 方式と、電位制御方式と、これらの組合せとを例に挙げる。

[0172] 10. 1 PWM方式

PWM方式は、電圧パルスのデューティ比を変化させる変調方式である。レーザコントローラ140は強励起制御と弱励起制御とで、増幅器用電源120₁～120₄から増幅器110₁～110₄に供給される電圧パルスのデューティ比を変化させてもよい。デューティ比とは、周期的なパルス波を出したときの1周期に対するパルス幅の比を意味し、以下の式(1)で表される。

[0173] $D = \tau / T \quad \dots (1)$

なお、式(1)において、Dはデューティ比を示し、 τ はパルス幅を示し、Tは1周期の時間的長さを示す。例えば、周期Tを10マイクロ秒[μs]とし、パルス幅 τ を1マイクロ秒[μs]とすると、デューティ比Dは、式(1)より、0.1(10%)となる。

[0174] 図23に、デューティ比を τ / T とした場合にレーザコントローラ140

から増幅器用電源 $120_1 \sim 120_4$ に入力される励起用信号 (S_6 又は S_7) の例を示す。図 24 に、図 23 に示す励起用信号の場合に増幅器用電源 $120_1 \sim 120_4$ から増幅器 $110_1 \sim 110_4$ に供給される励起用電圧の例を示す。図 23 に示すように、PWM 方式の場合、レーザコントローラ 140 から増幅器用電源 $120_1 \sim 120_4$ には、例えば矩形波の信号が入力されてもよい。これにより、増幅器用電源 $120_1 \sim 120_4$ から増幅器 $110_1 \sim 110_4$ には、図 24 に示すような、断続的な RF 電圧が供給される。

[0175] PWM 方式の場合、弱励起制御と強励起制御とは、例えば矩形波のデューティ比を変えることで実現できる。図 25 は、弱励起期間 T_{wk} の弱励起用信号 S_7 によって指定されるデューティ比を 20% とし、強励起期間 T_{st} の強励起用信号 S_6 によって指定されるデューティ比を 50% とした場合に増幅器用電源 $120_1 \sim 120_4$ から増幅器 $110_1 \sim 110_4$ に供給される RF 電圧を示す図である。

[0176] 図 26 は、弱励起期間 T_{wk} の弱励起用信号 S_7 によって指定されるデューティ比を 20% とし、強励起期間 T_{st} の強励起用信号 S_6 によって指定されるデューティ比を 100% とした場合に各増幅器用電源 $120_1 \sim 120_4$ から増幅器 $110_1 \sim 110_4$ に供給される RF 電圧を示す図である。

[0177] 図 25 及び図 26 に示すように、増幅器 $110_1 \sim 110_4$ が備える電極間に印加される RF 電圧のデューティ比を変化させることによって、レーザ媒質の励起強度を変化させることができる。弱励起期間 T_{wk} におけるデューティ比を強励起期間 T_{st} におけるデューティ比よりも小さくする。これにより、弱励起期間 T_{wk} において単位時間あたりに増幅器 $110_1 \sim 110_4$ に供給される励起エネルギーを、強励起期間 T_{st} におけるそれよりも小さくすることが可能である。

[0178] なお、 CO_2 ガスを増幅媒体とする増幅器の RF 周波数は、典型的には 10 ~ 100 MHz である。例えば、本例示のように周期 T が 10 マイクロ秒 [μs] である場合、PWM の周波数は 100 kHz ($= 1/T$) となる。このように PWM の周波数は増幅器の RF 周波数に対して十分小さくなるよう

に設定されるとよい。その上で、マスターオシレータ 102 から出力されるパルスレーザ光の繰返し周波数が、例えば 100 kHz とされて、PWM の周期 T に同期されるとよい。

[0179] 10. 2 電位制御方式

つづいて、電位制御方式について説明する。図 27 は、電位制御方式において増幅器用電源 120₁～120₄ から増幅器 110₁～110₄ に供給される RF 電圧の例を示す。電位制御方式では、弱励起用信号 S7 によって指定される振幅を強励起用信号 S6 によって指定される振幅よりも小さくしてもよい。この結果、図 27 に示すように、弱励起期間 T_{wk} 中では、増幅器用電源 120₁～120₄ から増幅器 110₁～110₄ に供給される RF 電圧の振幅が小さくてもよい。このように、弱励起期間 T_{wk} における RF 電圧の振幅を強励起期間 T_{st} における RF 電圧の振幅よりも小さくしてもよい。これにより、弱励起期間 T_{wk} において単位時間あたりに増幅器 110₁～110₄ に供給される励起エネルギーを強励起期間 T_{st} におけるそれよりも小さくすることが可能である。

[0180] 10. 3 PWM 方式と電位制御方式との組み合わせ

また、上述した PWM 方式と電位制御方式とを組み合わせてもよい。図 28 は、PWM 方式と電位制御方式とを組み合わせた場合に増幅器用電源 120₁～120₄ から増幅器 110₁～110₄ に供給される RF 電圧の例を示す。このように、PWM 方式と電位制御方式とを組み合わせることで、励起強度制御のダイナミックレンジが大きくなる。この結果、より自在に増幅器用電源 120₁～120₄ から増幅器 110₁～110₄ に供給される RF 電圧を調整することが可能である。

[0181] 上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図している。したがって、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。

[0182] 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不定冠詞「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。

請求の範囲

[請求項1]

外部装置と共に用いられるレーザ装置であって、

第1のパルスレーザ光を出力するマスターオシレータと、

前記マスターオシレータから出力される前記第1のパルスレーザ光の光路上に配置される少なくとも1つの増幅器と、

少なくとも1つの前記増幅器から出力される第2のパルスレーザ光の光路上に配置されるセンサと、

前記外部装置から送出されるバースト信号及び前記センサから得られる信号に基づいて、前記レーザ装置の動作を制御するレーザコントローラと、

を備え、

前記レーザコントローラは、前記バースト信号に基づいて前記レーザ装置をバースト発振させ、

前記バースト発振をしているバースト期間に前記センサから得られる信号に基づいて前記第1のパルスレーザ光及び前記第2のパルスレーザ光の少なくとも一方のビームパラメータを制御し、

前記バースト発振を休止しているバースト休止期間に前記センサから得られる信号に基づいて前記増幅器からの自励発振光を検出するレーザ装置。

[請求項2]

請求項1に記載のレーザ装置であって、

前記センサは、熱型赤外線検出素子を用いたビームプロファイラであり、

前記ビームパラメータは、光軸であるレーザ装置。

[請求項3]

請求項2に記載のレーザ装置であって、

前記第1のパルスレーザ光及び前記第2のパルスレーザ光の少なくとも一方の光路上にアクチュエータ付きミラーが配置され、

前記レーザコントローラは、前記バースト期間に前記センサから得られる信号を基にビーム位置を解析し、目標位置と前記ビーム位置と

の偏差量が小さくなるよう前記アクチュエータ付きミラーを制御するレーザ装置。

[請求項4] 請求項2に記載のレーザ装置であって、
前記レーザコントローラは、前記バースト休止期間に前記ビームプロファイラから得られるセンサデータを基にビーム有無の判定を行い、ビーム有りと判定した場合に自励発振が発生していると判定するレーザ装置。

[請求項5] 請求項2に記載のレーザ装置であって、
前記レーザコントローラは、前記バースト休止期間に前記ビームプロファイラで検出された光量が予め設定された光量閾値以上であり、かつ、前記光量閾値以上の光量のビーム面積が予め設定されたビーム面積閾値以上である場合に、自励発振が発生していると判定するレーザ装置。

[請求項6] 請求項5に記載のレーザ装置であって、
前記バースト休止期間の自励発振検出用の光量閾値と、前記バースト期間のビーム検出用の光量閾値とが異なる値に設定されるレーザ装置。

[請求項7] 請求項5に記載のレーザ装置であって、
前記バースト休止期間の自励発振検出用の光量閾値は、前記バースト期間のビーム検出用の光量閾値よりも小さい値に設定されるレーザ装置。

[請求項8] 請求項1に記載のレーザ装置であって、
前記センサは、光電素子を用いたエネルギーセンサであり、
前記ビームパラメータは、出力エネルギーであるレーザ装置。

[請求項9] 請求項8に記載のレーザ装置であって、
前記レーザコントローラは、前記バースト期間に前記センサから得られる信号を基にレーザエネルギーを計測し、エネルギー目標値と前記計測されたエネルギー計測値との偏差量が小さくなるように少なくとも1

つの前記増幅器の駆動を制御するレーザ装置。

[請求項10]

請求項8に記載のレーザ装置であって、

前記レーザコントローラは、前記バースト休止期間に前記エネルギーセンサから得られるセンサデータを基にビーム有無の判定を行い、ビーム有りと判定した場合に自励発振が発生していると判定するレーザ装置。

[請求項11]

請求項8に記載のレーザ装置であって、

前記レーザコントローラは、前記バースト休止期間に前記エネルギーセンサから得られるエネルギー値を積分してエネルギー積分値を求め、前記エネルギー積分値が予め設定された閾値以上である場合に、自励発振が発生していると判定するレーザ装置。

[請求項12]

請求項1に記載のレーザ装置であって、

前記増幅器は、CO₂レーザガスを放電励起してレーザ光を増幅するCO₂レーザ増幅器であり、

前記増幅器には、前記放電励起に必要な電力を供給する増幅器用電源が接続されているレーザ装置。

[請求項13]

請求項1に記載のレーザ装置であって、

前記レーザコントローラは、前記バースト休止期間に前記自励発振光が検出された場合に、少なくとも1つの前記増幅器の励起を停止させるレーザ装置。

[請求項14]

請求項1に記載のレーザ装置であって、

前記レーザコントローラは、前記バースト休止期間に前記自励発振光が検出された場合に、自励発振が発生していることを示すエラー情報を発報するレーザ装置。

[請求項15]

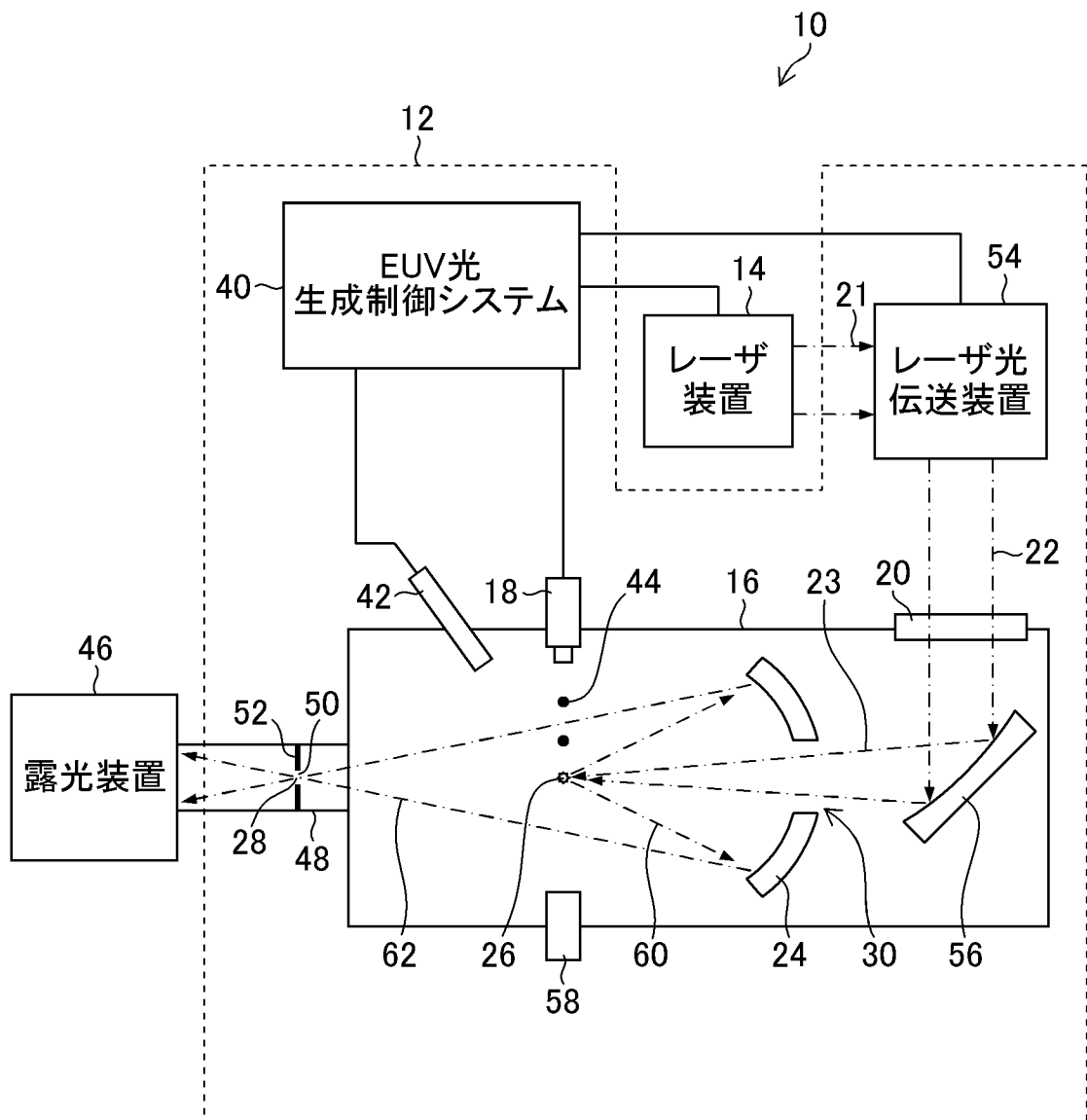
請求項1に記載のレーザ装置と、

内部でプラズマが生成されるチャンバと、

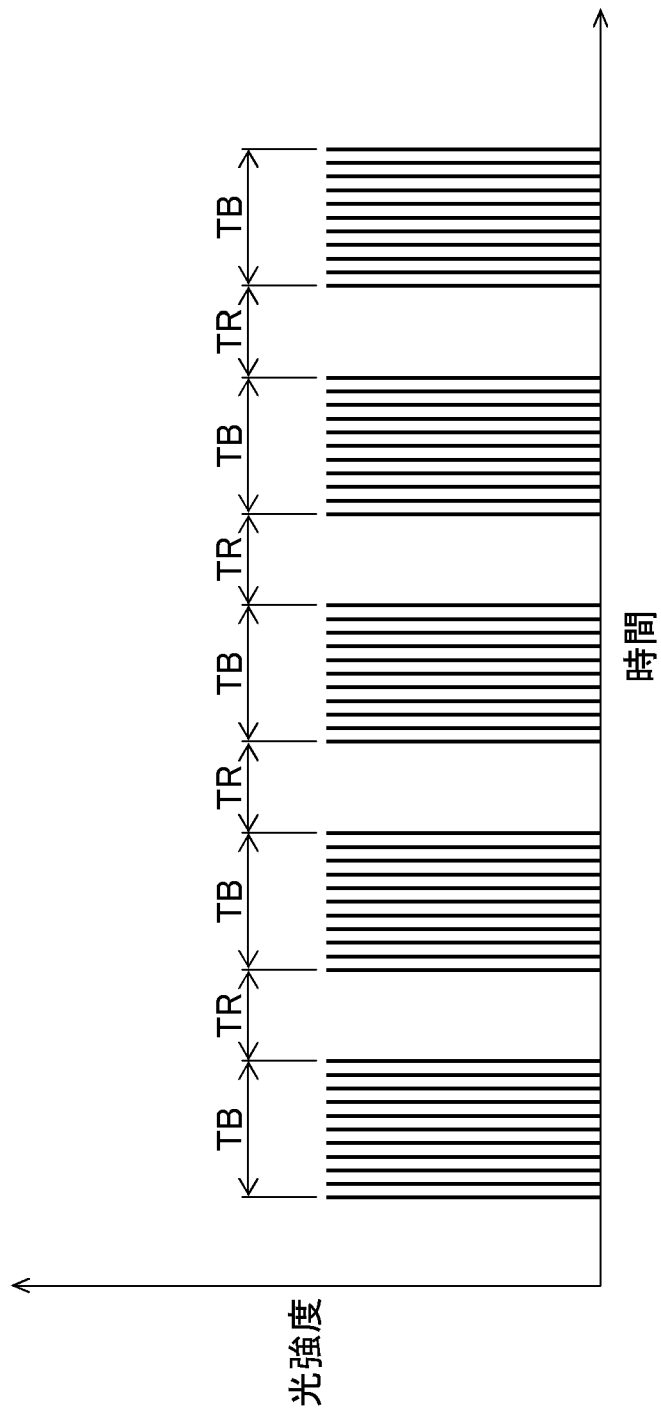
前記チャンバの内部に前記プラズマの発生源となるターゲットを供給するターゲット供給部と、

外部装置から受信するバースト信号に基づいて前記レーザ装置を制御する制御システムと、を備え、

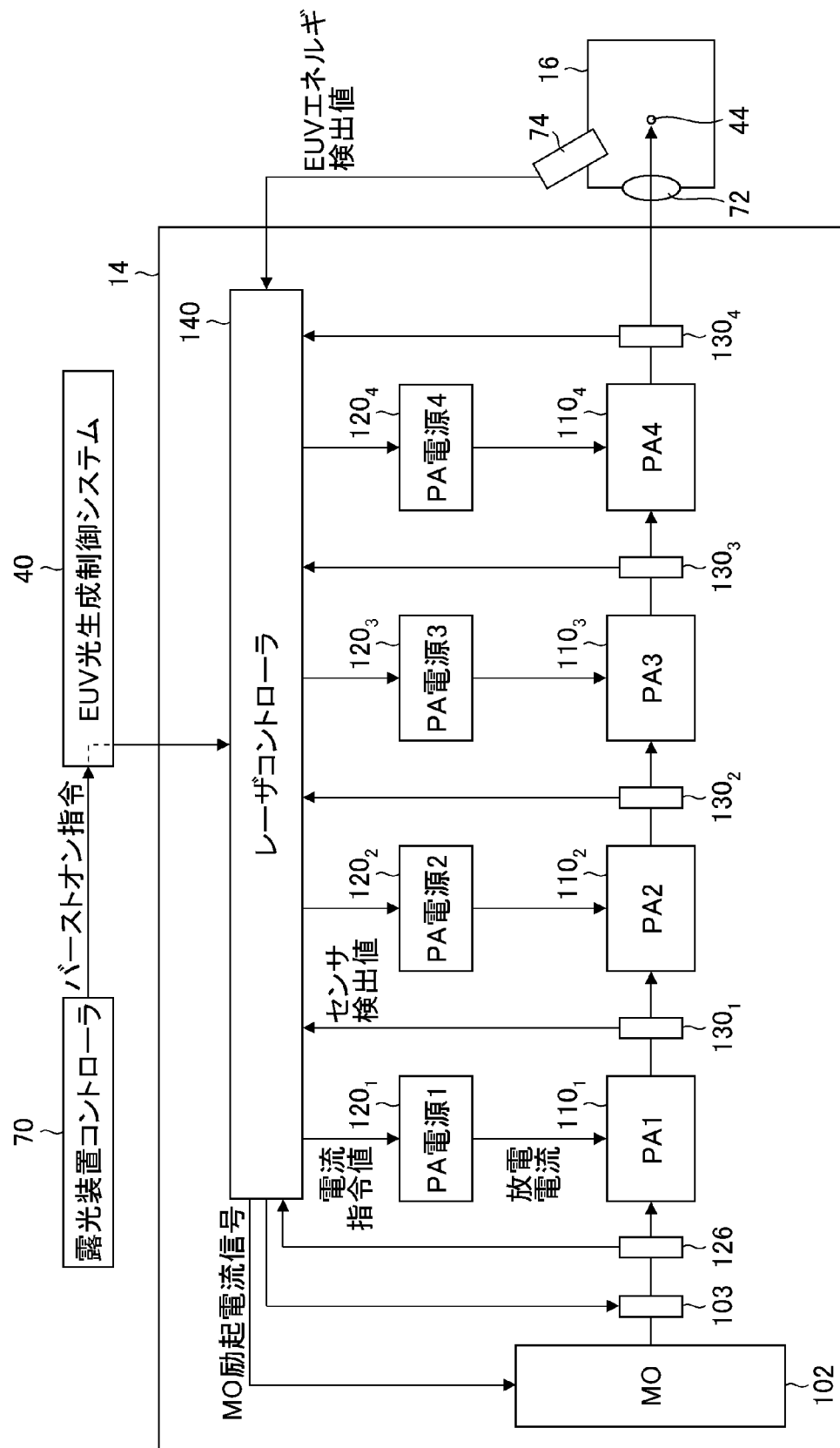
前記ターゲット供給部から前記チャンバの内部に供給された前記ターゲットに、前記レーザ装置から出力したレーザ光を照射することにより前記ターゲットをプラズマ化して極端紫外光を生成する極端紫外光生成システム。



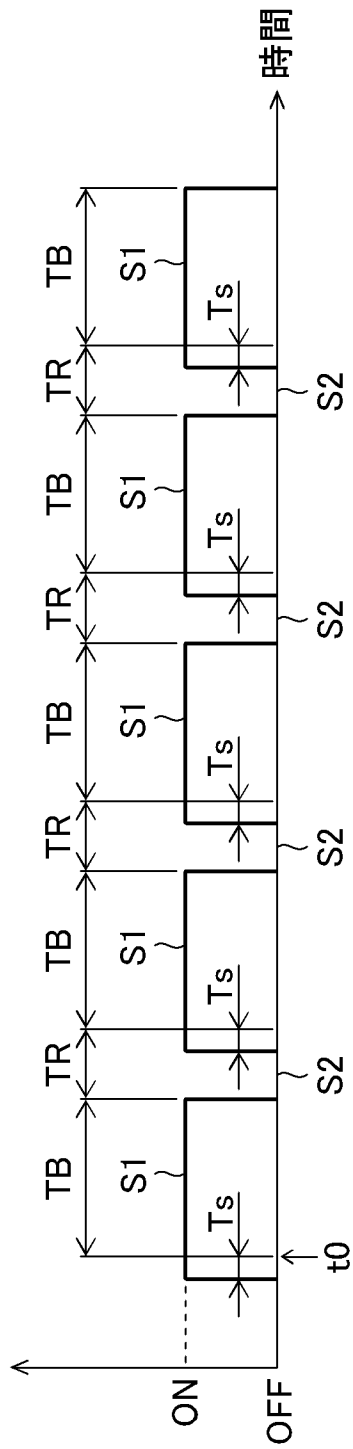
[図2]



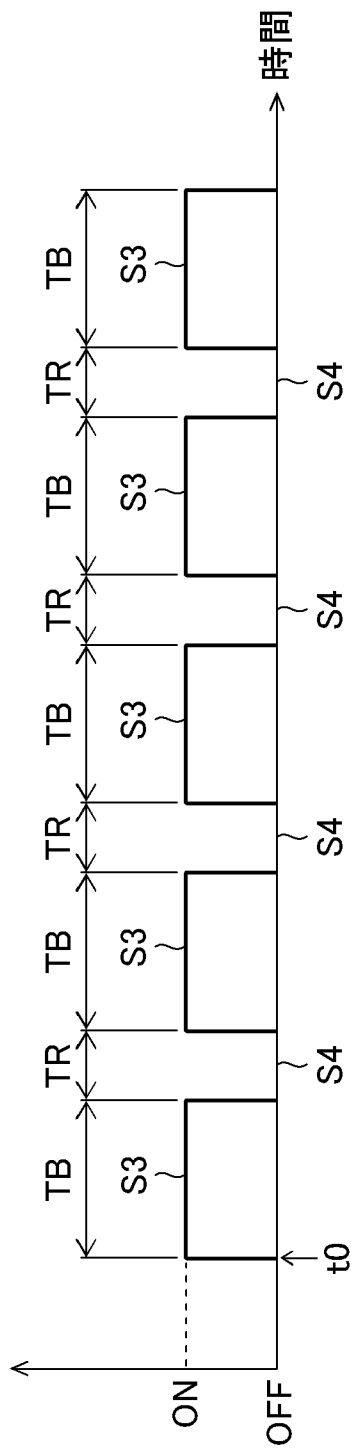
[図3]



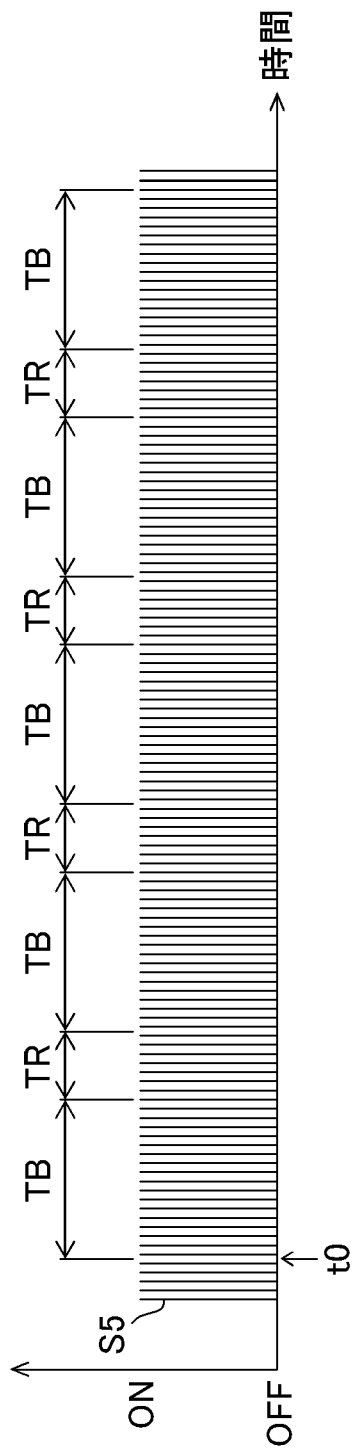
[図4]



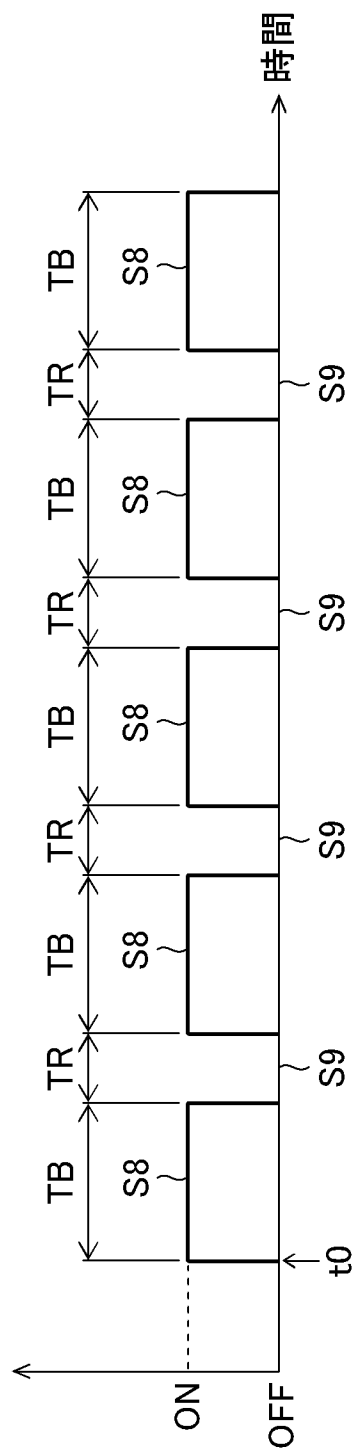
[図5]



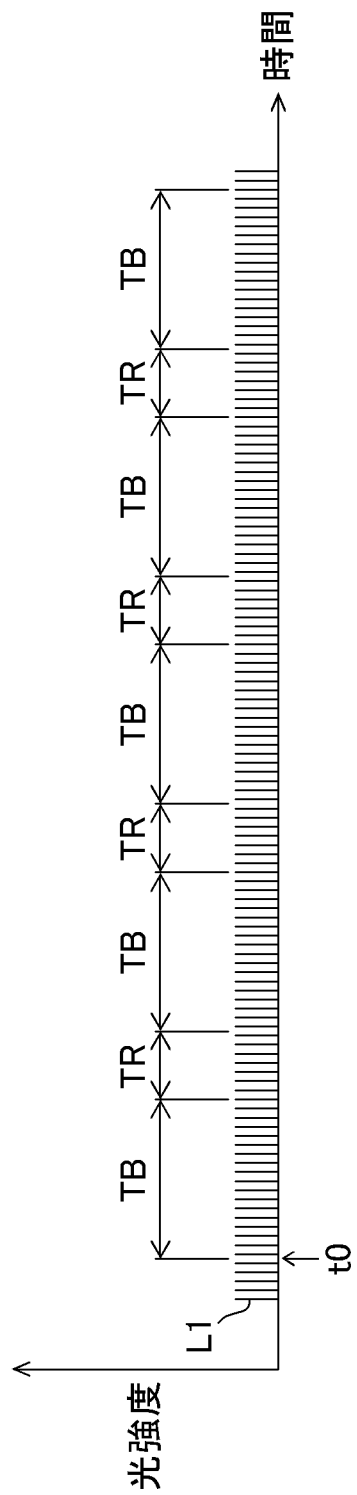
[図6]



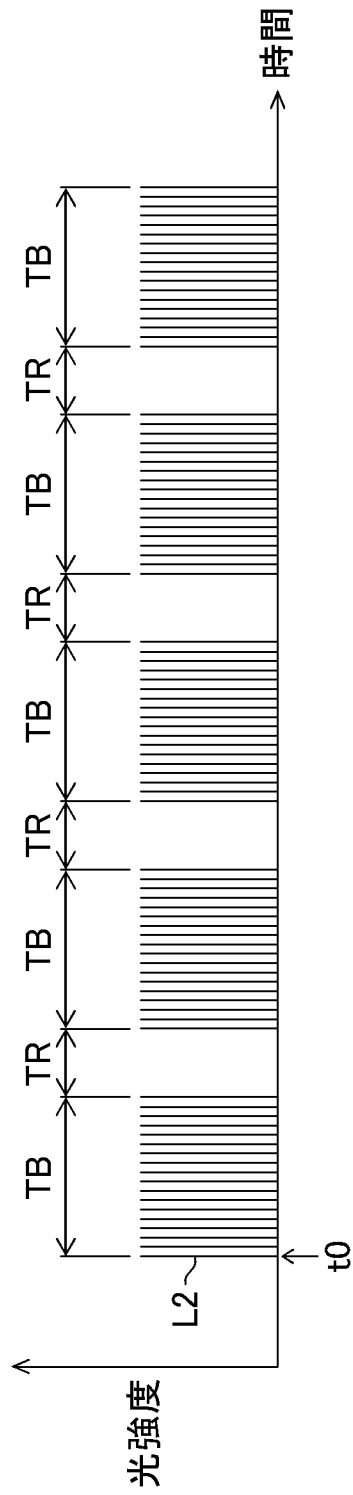
[図7]



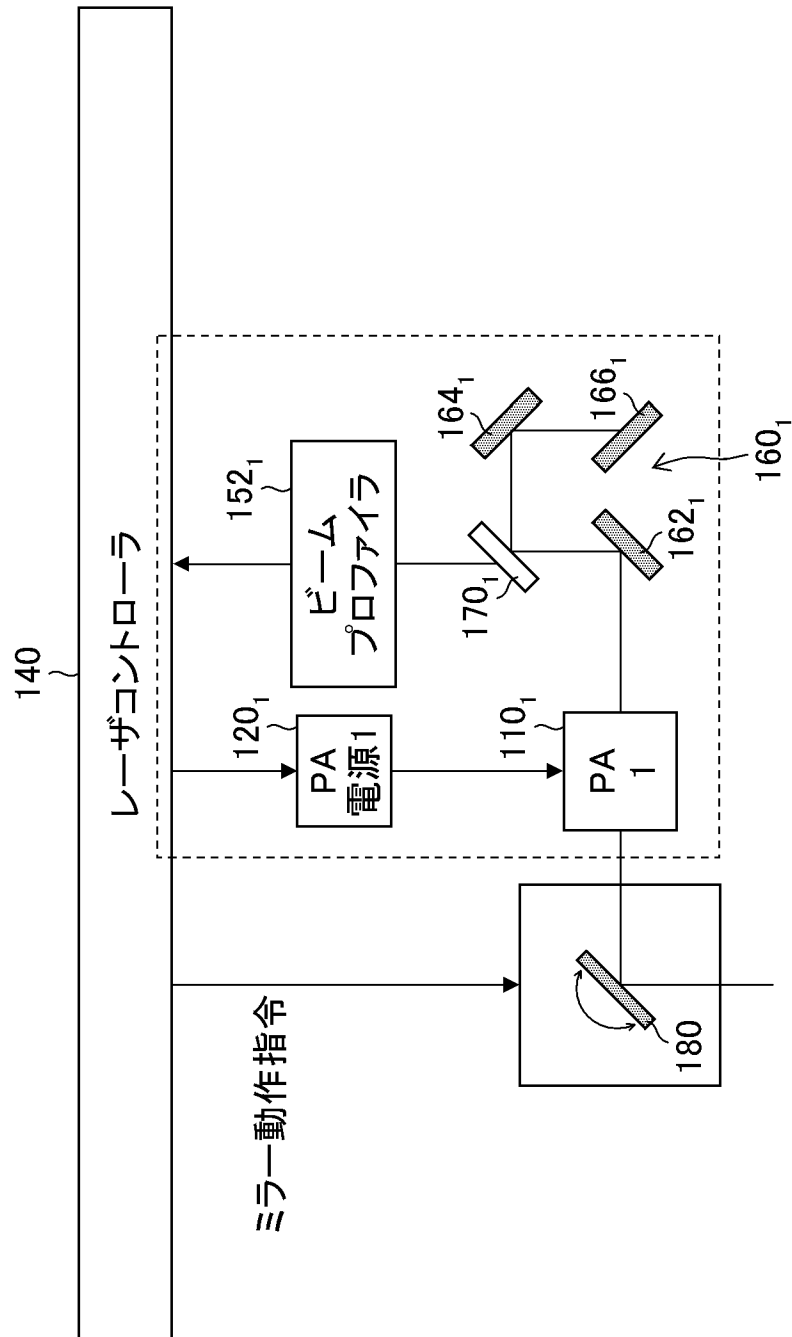
[図8]



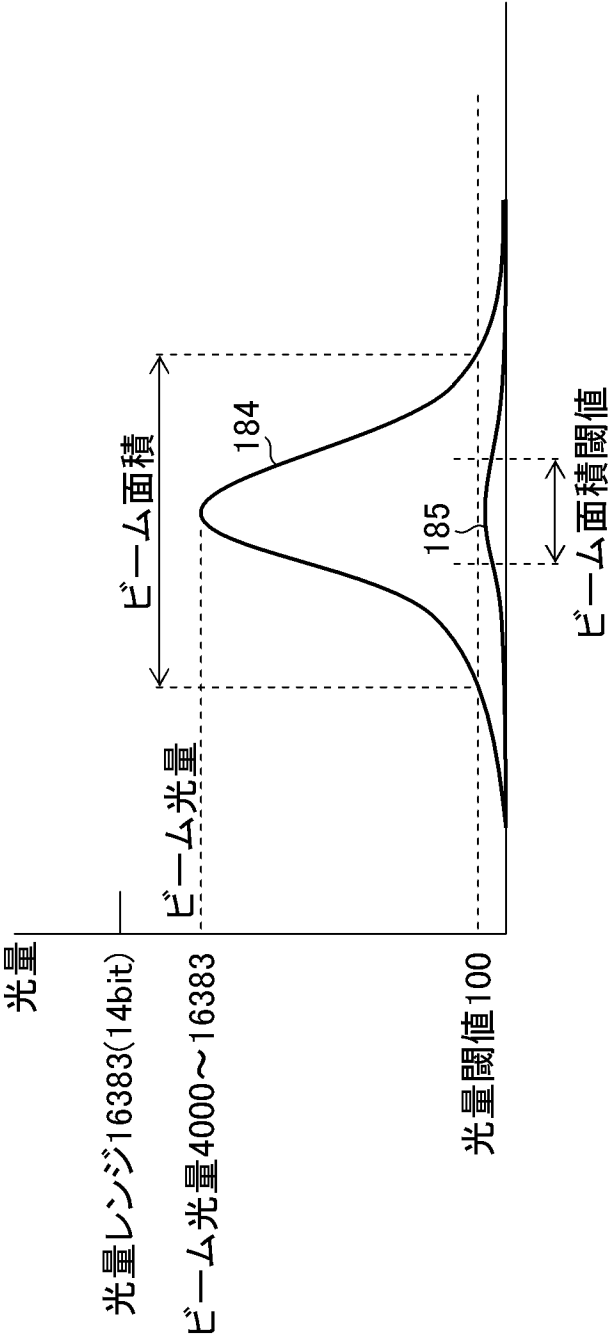
[図9]



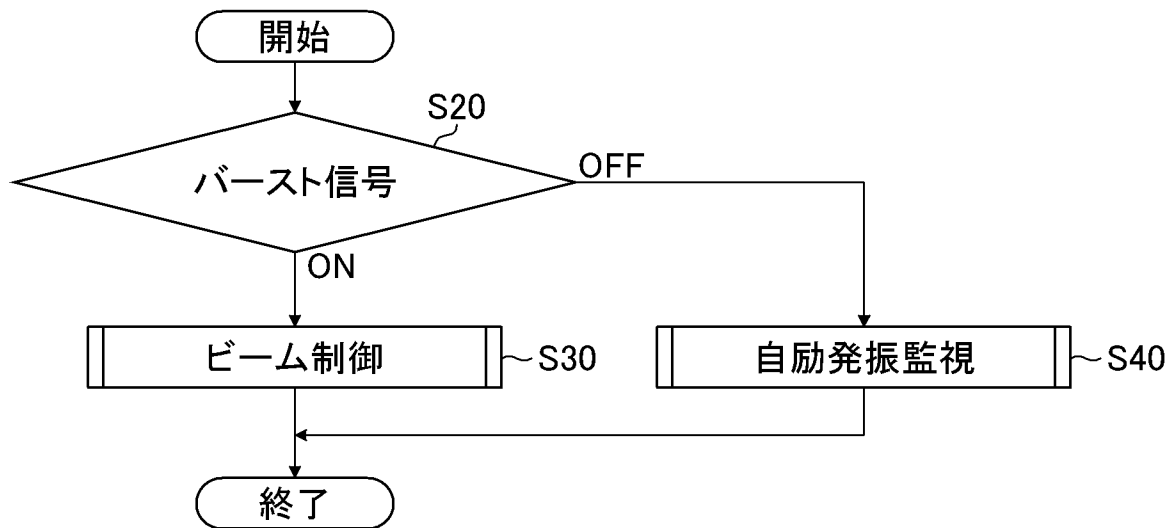
[図11]



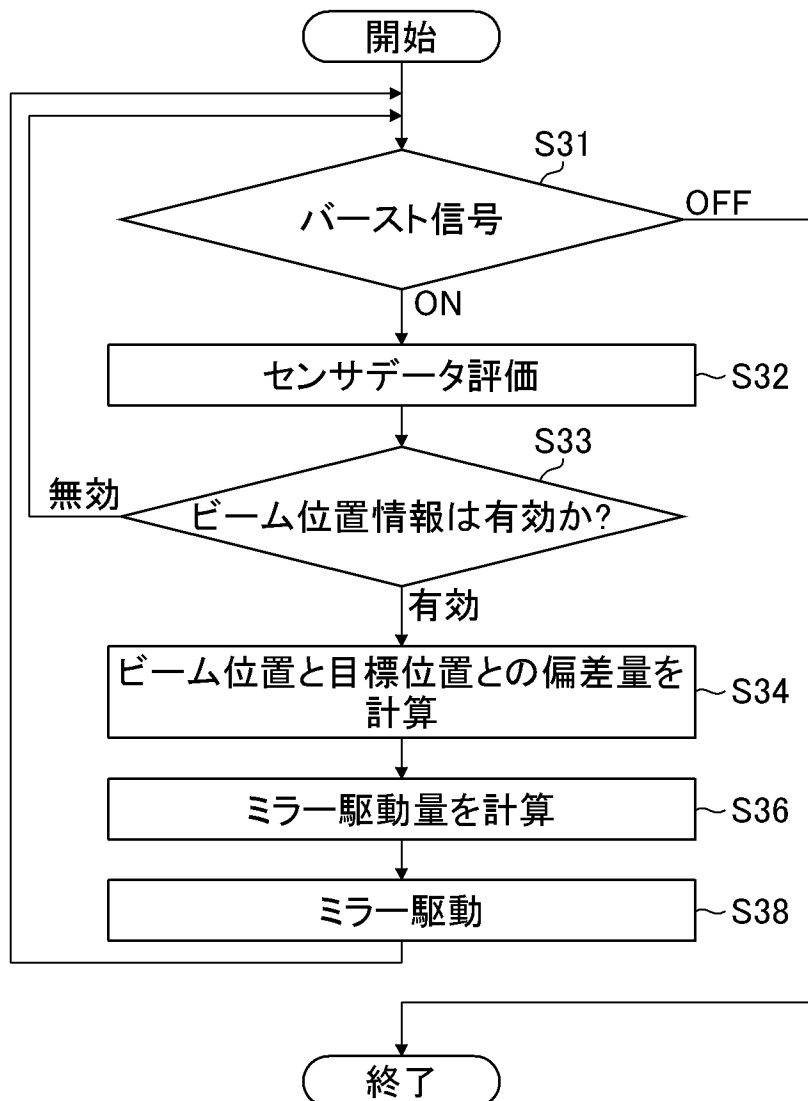
[図12]



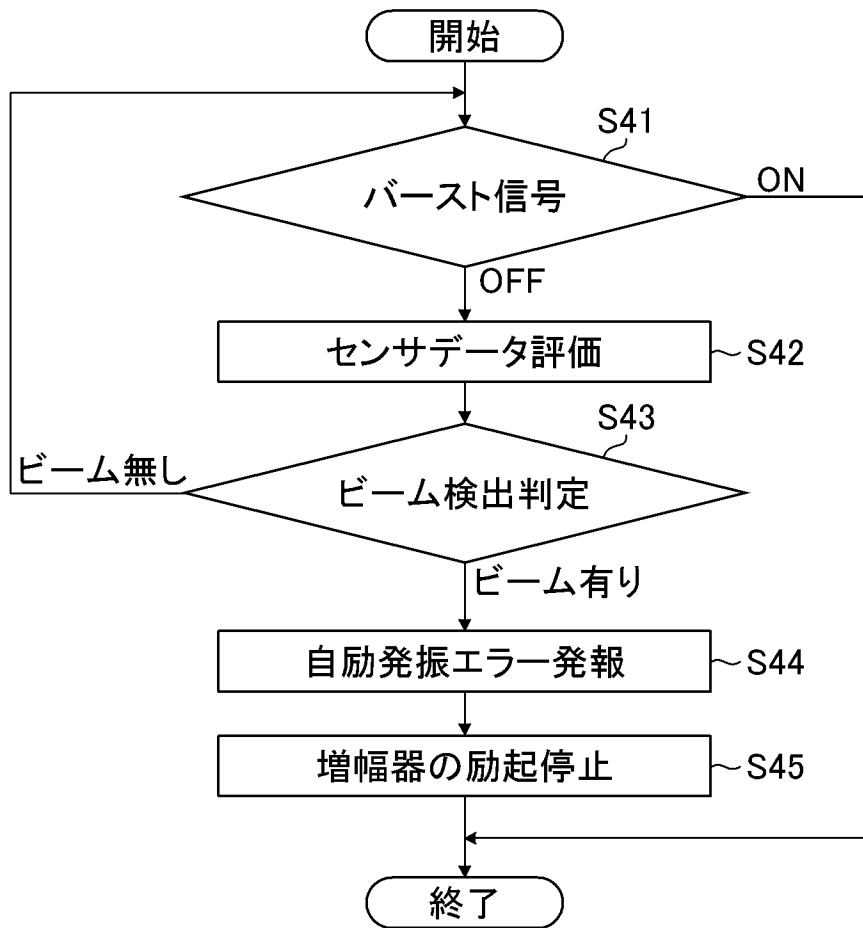
[図13]



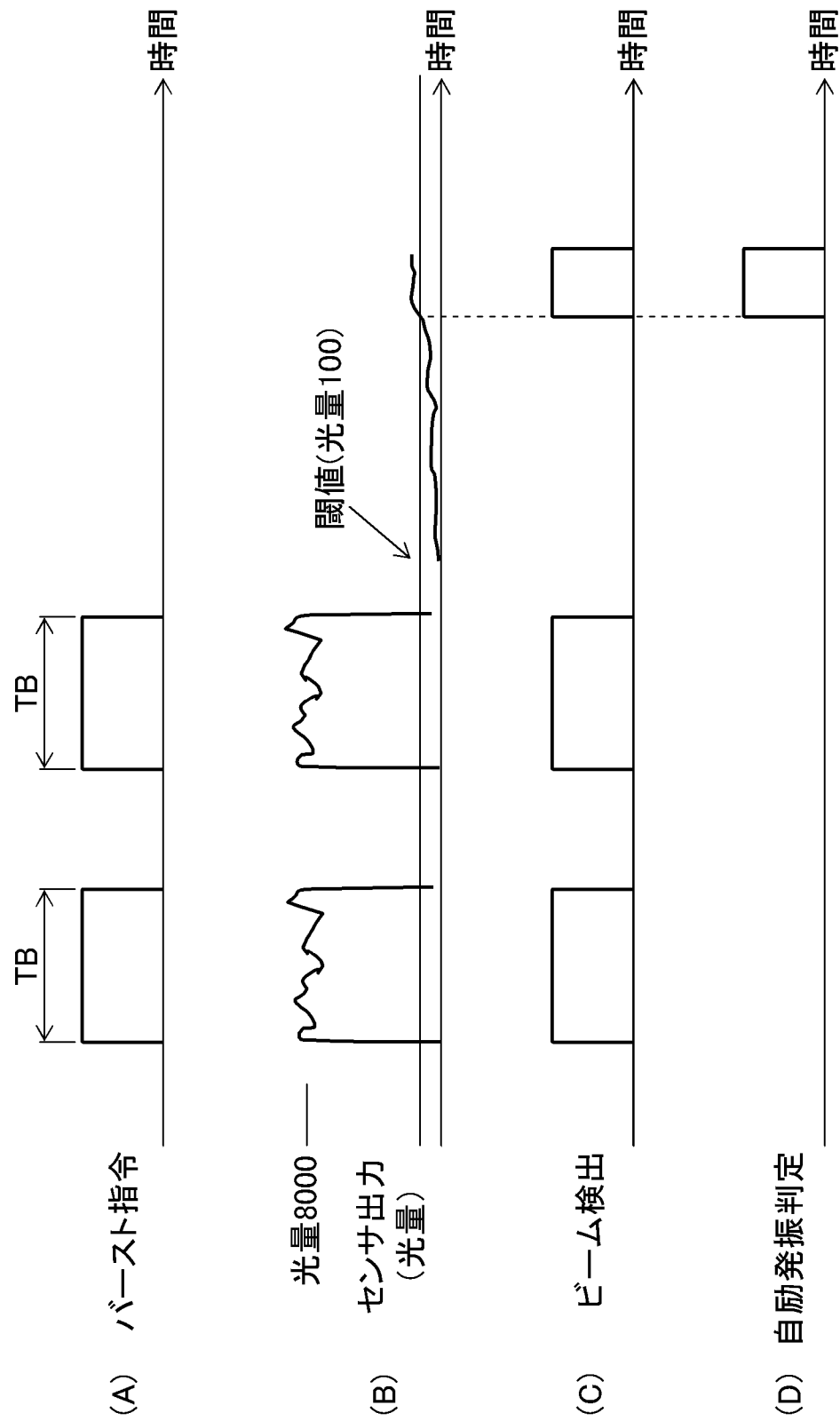
[図14]



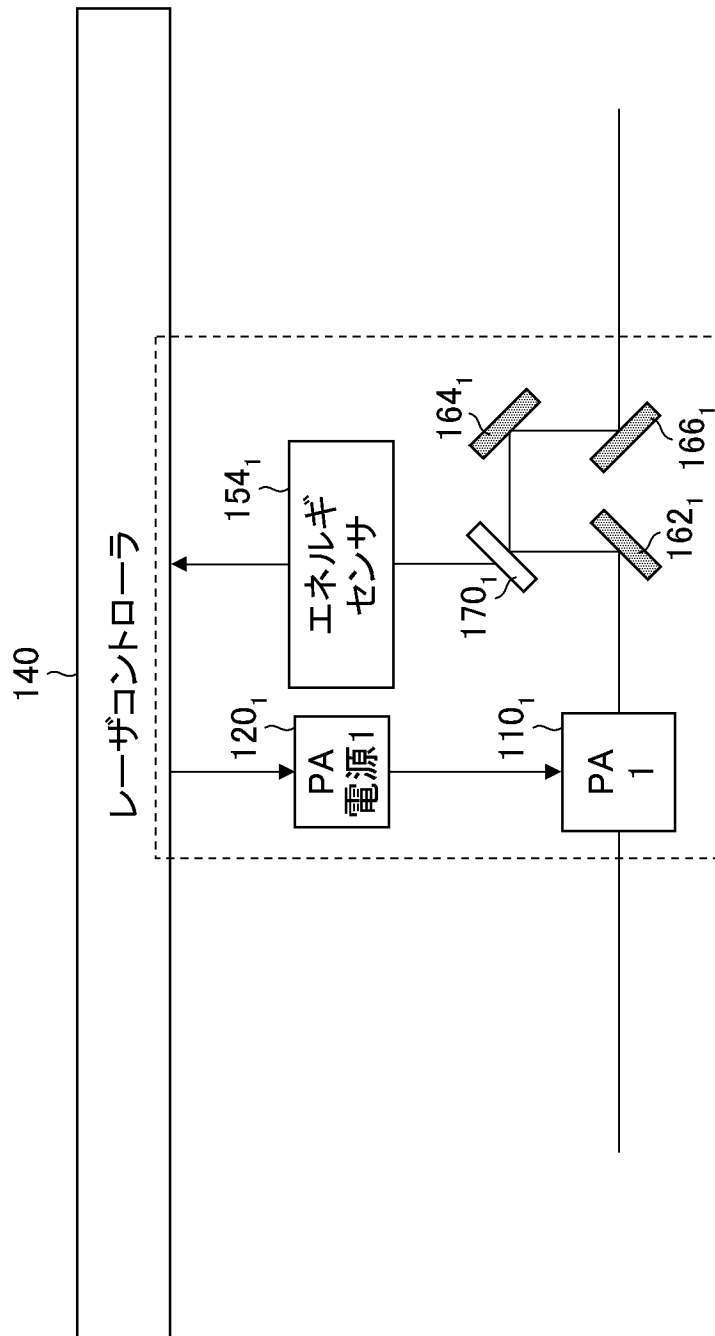
[図15]



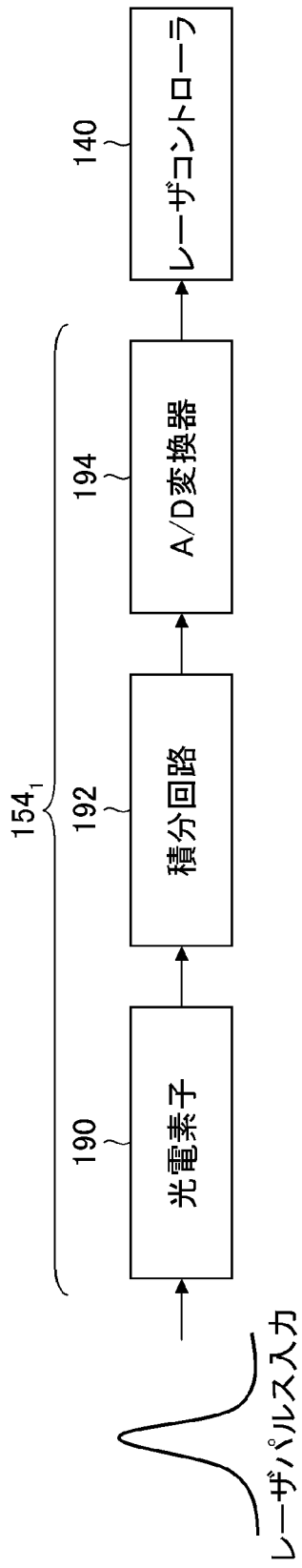
[図16]



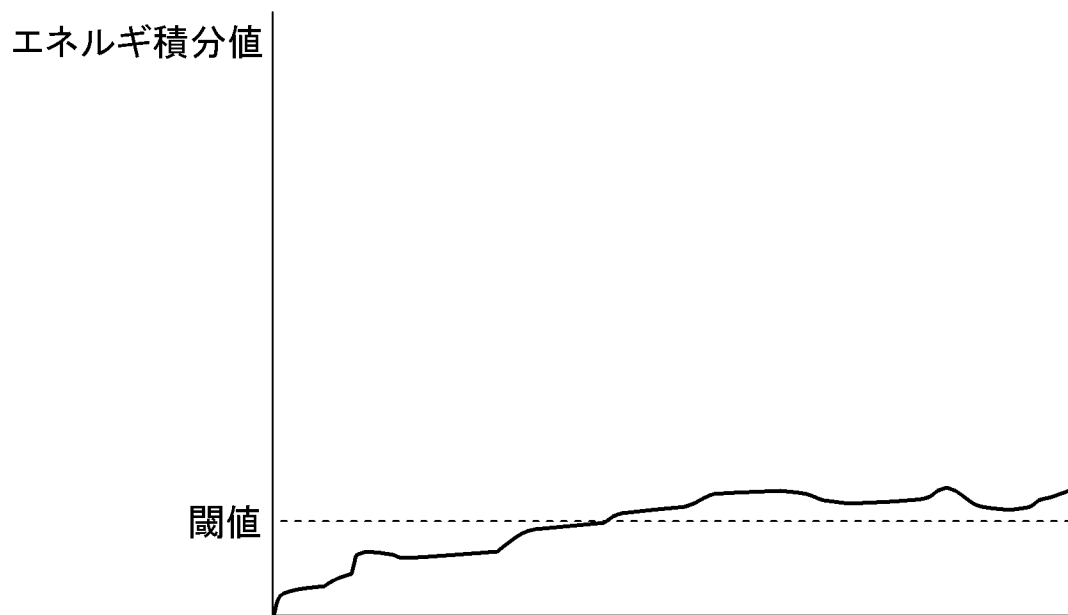
[図17]



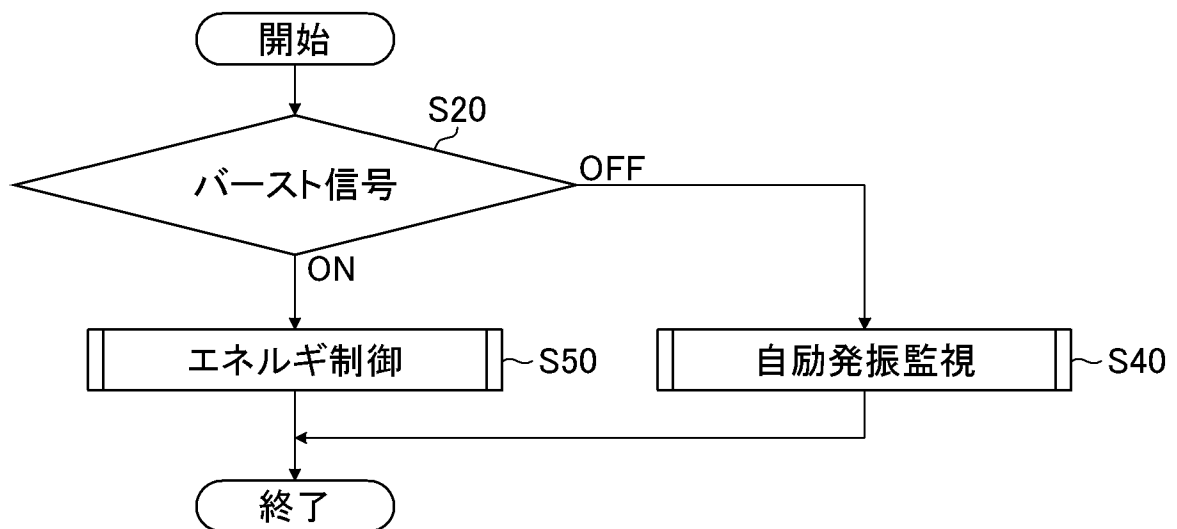
[図18]



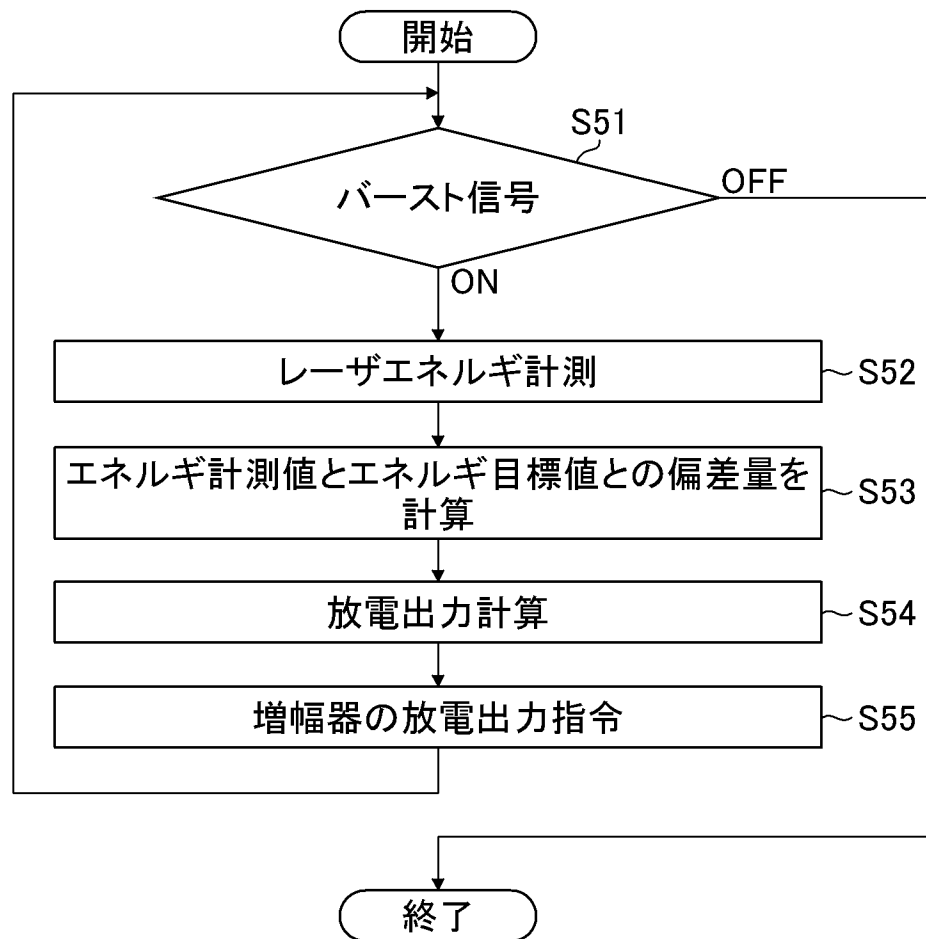
[図19]



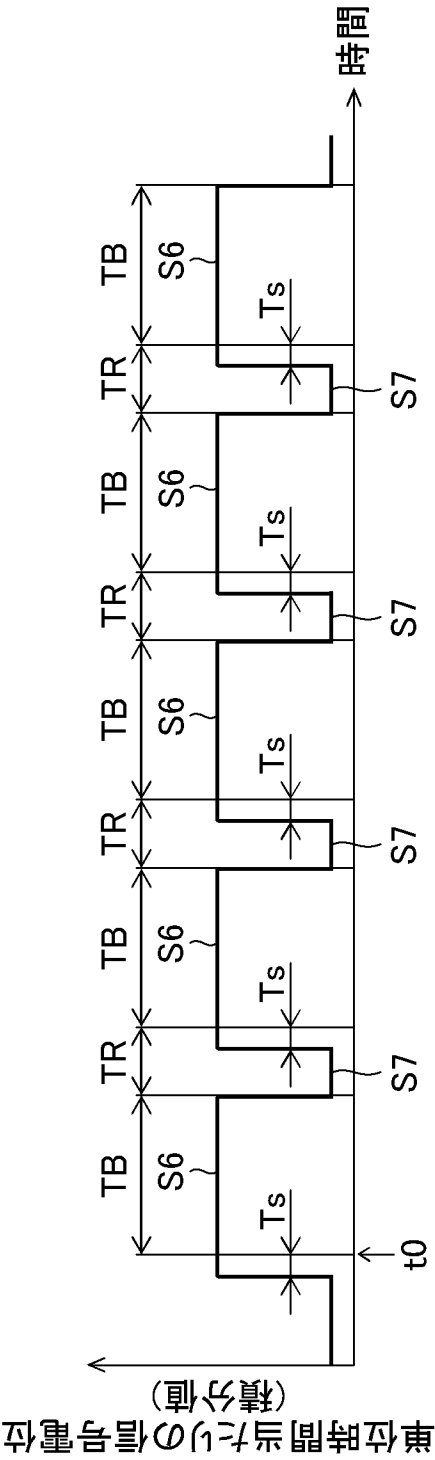
[図20]



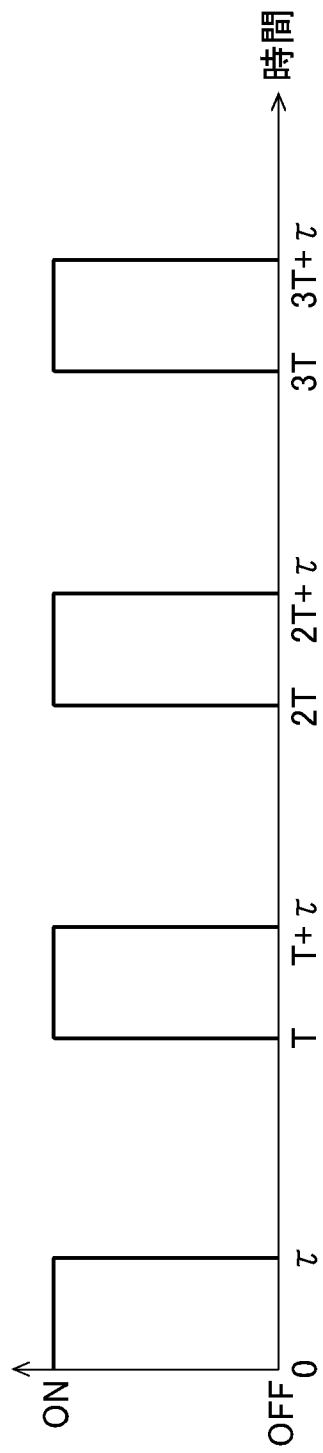
[図21]



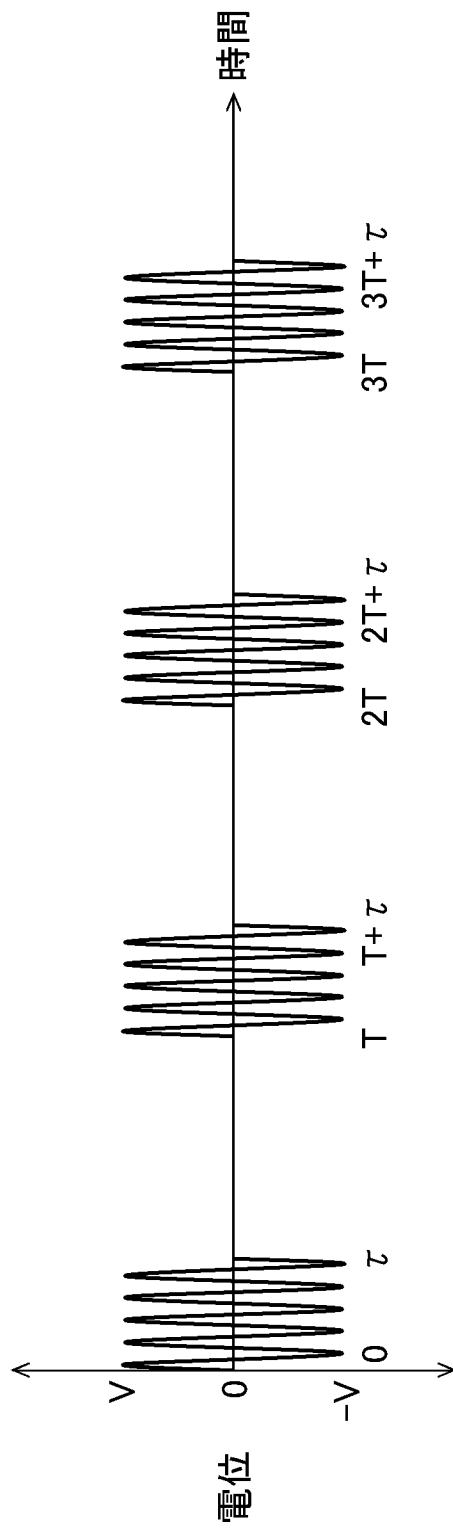
[図22]



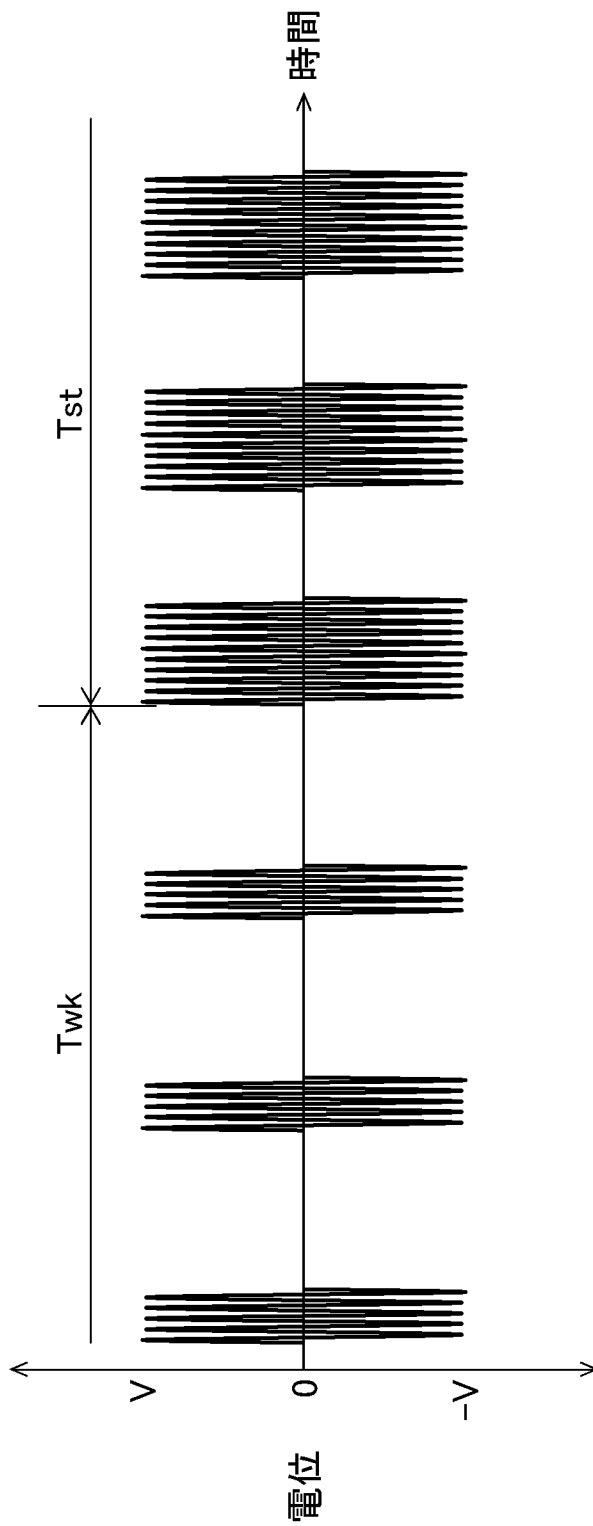
[図23]



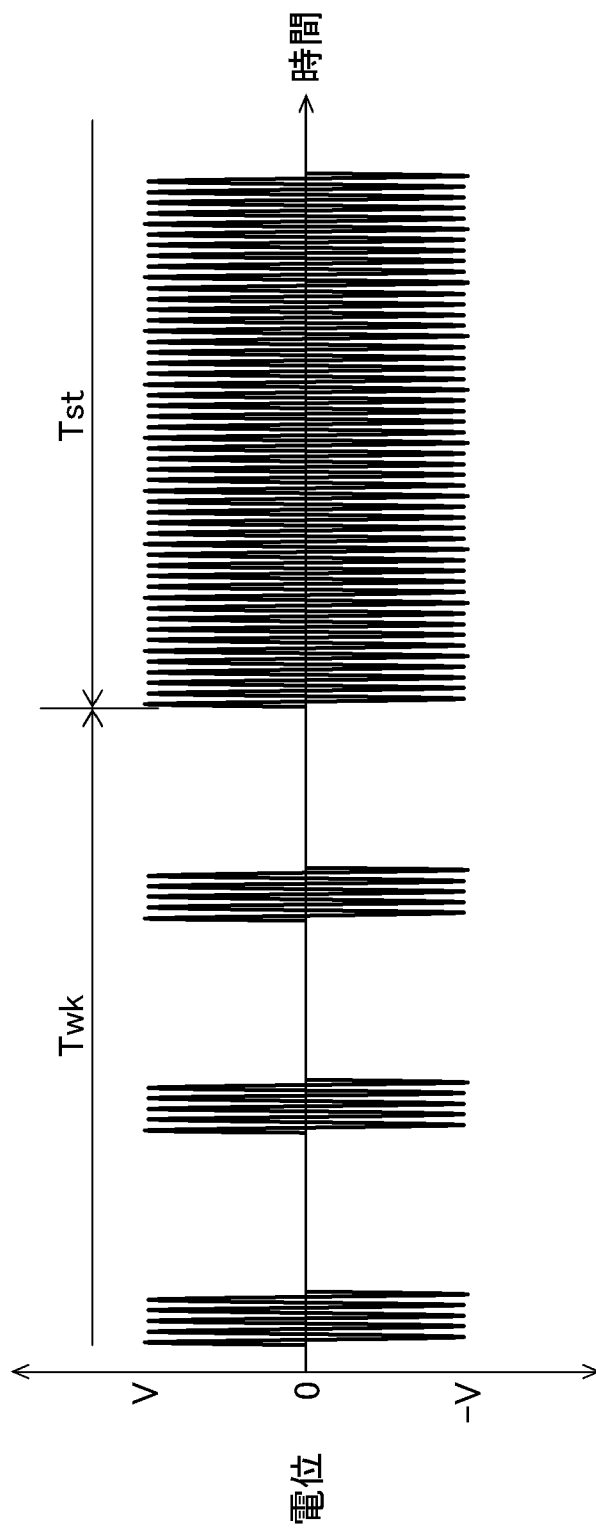
[図24]



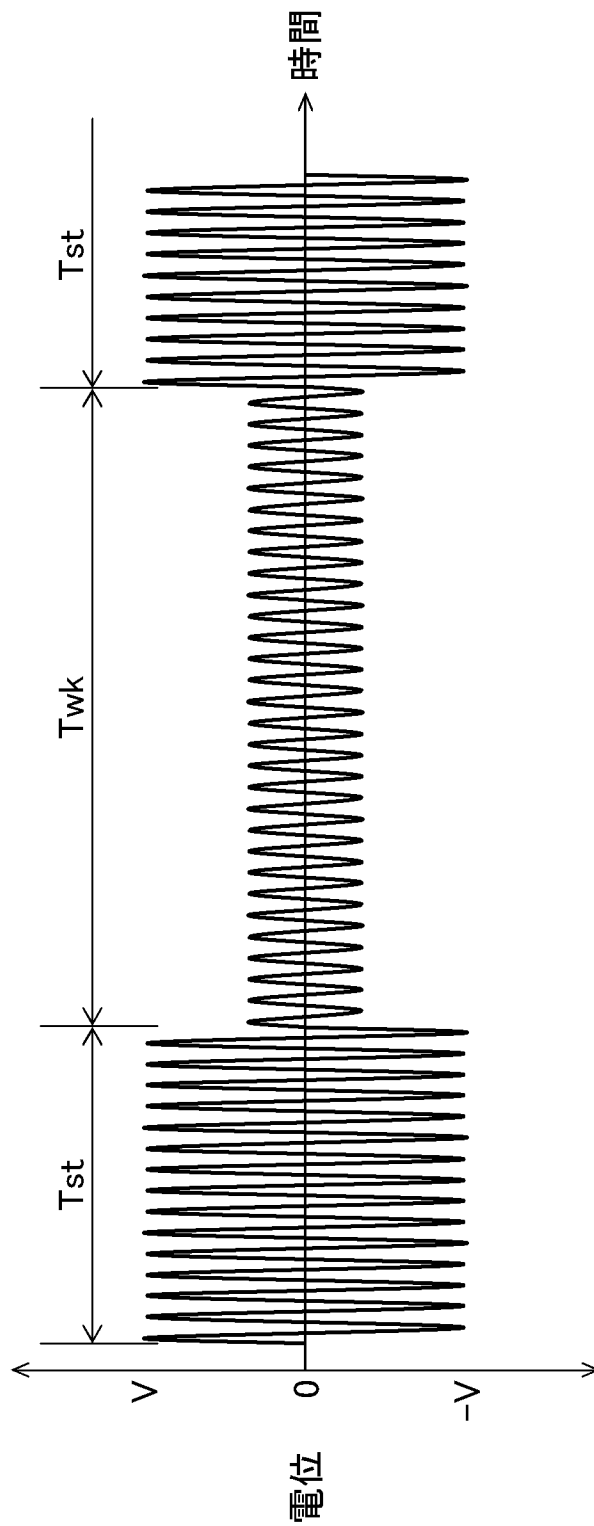
[図25]



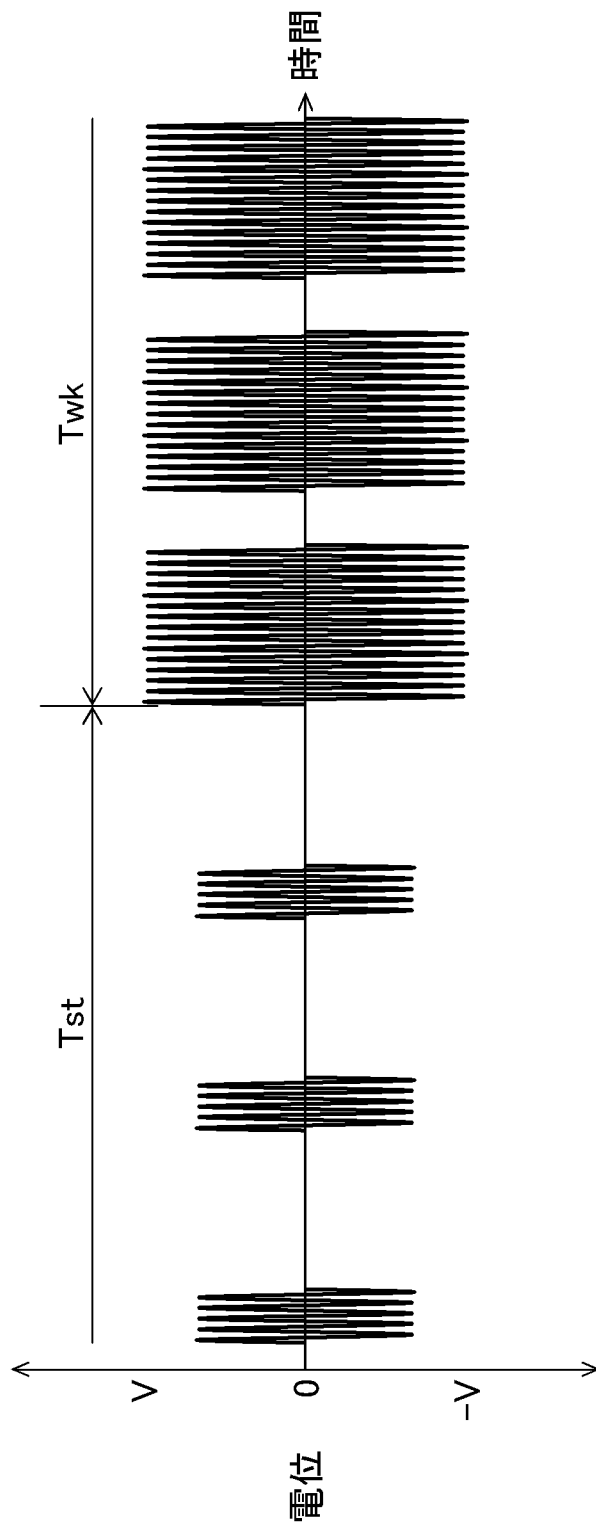
[図26]



[図27]



[図28]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/001947

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/23(2006.01)i, H01S3/134(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S3/00-3/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2015/012099 A1 (Gigaphoton Inc.), 29 January 2015 (29.01.2015), paragraphs [0049] to [0053], [0056] to [0070]; fig. 4 & US 2016/0087389 A1 paragraphs [0105] to [0109], [0112] to [0126]; fig. 4 & JP 2015-26668 A	1-15
Y	JP 2013-207298 A (Gigaphoton Inc.), 07 October 2013 (07.10.2013), paragraphs [0010] to [0011], [0036] to [0067]; fig. 2 & US 2014/0346375 A1 paragraphs [0020] to [0021], [0030] to [0062]; fig. 2 & WO 2013/144695 A1	1-15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 March 2017 (09.03.17)

Date of mailing of the international search report
28 March 2017 (28.03.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/001947

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2016/142995 A1 (Gigaphoton Inc.), 15 September 2016 (15.09.2016), paragraphs [0012], [0075] to [0080] (Family: none)	1-15
Y	JP 2012-69907 A (Komatsu Ltd., Gigaphoton Inc.), 05 April 2012 (05.04.2012), paragraph [0068] & JP 2015-146329 A & US 2013/0020499 A1 paragraph [0107] & WO 2012/026228 A1 & EP 2609459 A2	2-8, 10
Y	JP 2013-201388 A (Gigaphoton Inc.), 03 October 2013 (03.10.2013), paragraphs [0027] to [0032]; fig. 3 & US 2014/0348188 A1 paragraphs [0064] to [0069]; fig. 3 & WO 2013/144690 A1	3
Y	WO 2016/147308 A1 (Kyushu University, Gigaphoton Inc.), 22 September 2016 (22.09.2016), paragraph [0061]; fig. 5 (Family: none)	11
A	JP 2012-191171 A (Gigaphoton Inc.), 04 October 2012 (04.10.2012), entire text; all drawings & US 2013/0051412 A1 & WO 2012/114172 A1	1-15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/23(2006.01)i, H01S3/134(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2015/012099 A1（ギガフォトン株式会社）2015.01.29, 段落 [0049]-[0053], [0056]-[0070], 図4 & US 2016/0087389 A1 [0105]-[0109], [0112]-[0126], Fig. 4 & JP 2015-26668 A	1-15
Y	JP 2013-207298 A（ギガフォトン株式会社）2013.10.07, [0010]-[0011], [0036]-[0067], 図2 & US 2014/0346375 A1 [0020]-[0021], [0030]-[0062], Fig. 2 & WO 2013/144695 A1	1-15

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

09.03.2017

国際調査報告の発送日

28.03.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

林 祥恵

2 K

4085

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2016/142995 A1 (ギガフォトン株式会社) 2016. 09. 15, [0012], [0075]-[0080] (ファミリーなし)	1-15
Y	JP 2012-69907 A (株式会社小松製作所、ギガフォトン株式会社) 2012. 04. 05, [0068] & JP 2015-146329 A & US 2013/0020499 A1 [0107] & WO 2012/026228 A1 & EP 2609459 A2	2-8, 10
Y	JP 2013-201388 A (ギガフォトン株式会社) 2013. 10. 03, [0027]-[0032], 図 3 & US 2014/0348188 A1 [0064]-[0069], Fig. 3 & WO 2013/144690 A1	3
Y	WO 2016/147308 A1 (国立大学法人九州大学、ギガフォトン株式会社) 2016. 09. 22, [0061], 図 5 (ファミリーなし)	11
A	JP 2012-191171 A (ギガフォトン株式会社) 2012. 10. 04, 全文、全 図 & US 2013/0051412 A1 & WO 2012/114172 A1	1-15