

(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5月17日(17.05.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/087895 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 3/10 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/083595

(22) 国際出願日: 2016年11月11日(11.11.2016)

(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).

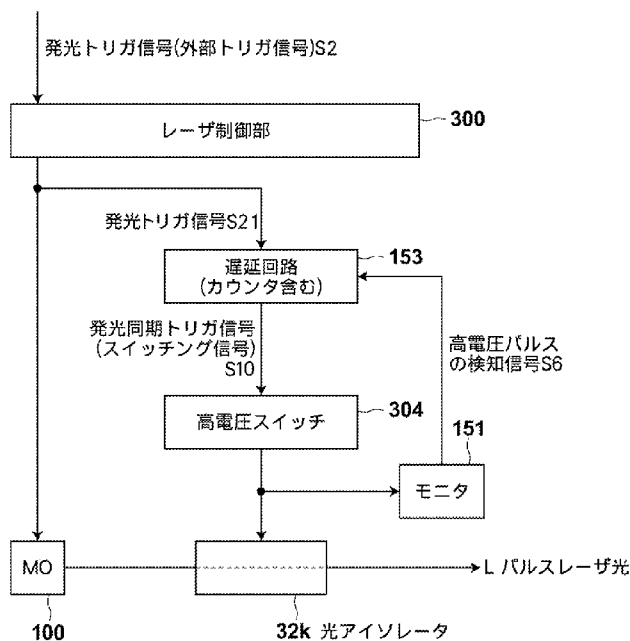
(72) 発明者: 庭野 素己 (NIWANO, Motoki); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

(74) 代理人: 柳田 征史, 外(YANAGIDA, Masashi et al.); 〒2220033 神奈川県横浜市港北区新横浜3-18-3 新横浜KSビル7階 柳田国際特許事務所 Kanagawa (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, 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,

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

(54) 発明の名称: レーザ装置および極端紫外光生成装置



32k Optical isolator
151 Monitor
153 Delay circuit (including counter)
300 Laser control unit
304 High-voltage switch
S2 Light-emission trigger signal (external trigger signal)
S6 High-voltage pulse detection signal
S10 Light-emission synchronization trigger signal (switching signal)
S21 Light-emission trigger signal
L Pulsed laser light

(57) Abstract: [Problem] In a laser device in which pulsed laser light emitted from a master oscillator is passed through an optical shutter that opens by a high-voltage pulse being applied thereto, to align the timing of application of the high-voltage pulse with the timing of arrival of the pulsed laser light at the optical shutter. [Solution] A laser device comprises: a master oscillator (100) which outputs pulsed laser light (L) on the basis of a light-emission trigger signal (S21); a delay circuit (153) which generates a switching signal (S10) after a predetermined delay time from the reception of the light-emission trigger signal (S21); a high-voltage switch (304) which generates a high-voltage pulse on the basis of the switching signal (S10); an optical shutter (32k) which is positioned on an optical path of the pulsed laser light (L), and

[続葉有]

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, 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))

which is driven on the basis of the high-voltage pulse; and a high-voltage monitor (151) which detects the high-voltage pulse and transmits a high-voltage pulse detection signal (S6) to the delay circuit (153). The delay circuit (153) determines the delay time on the basis of the light-emission trigger signal (S21) and the high-voltage pulse detection signal (S6).

(57) 要約: 【課題】 マスターオシレータから発せられたパルスレーザ光を、高電圧パルスが印加されて開く光シャッタに通すレーザ装置において、高電圧パルスの印加タイミングを、光シャッタにパルスレーザ光が到達するタイミングと一致させる。【解決手段】 レーザ装置は、発光トリガ信号 (S 2 1) に基づいてパルスレーザ光 (L) を出力するマスターオシレータ (1 0 0)、発光トリガ信号 (S 2 1) の受信時から所定の遅延時間を置いてスイッチング信号 (S 1 0) を生成する遅延回路 (1 5 3)、スイッチング信号 (S 1 0) に基づいて高電圧パルスを生成する高電圧スイッチ (3 0 4)、パルスレーザ光 (L) の光路上に位置し高電圧パルスに基づいて駆動される光シャッタ (3 2 k)、および高電圧パルスを検出して高電圧パルス検知信号 (S 6) を遅延回路 (1 5 3) に送信する高電圧モニタ (1 5 1) を含む。遅延回路 (1 5 3) は、発光トリガ信号 (S 2 1) と高電圧パルス検知信号 (S 6) とに基づいて遅延時間を決定する。

明 細 書

発明の名称： レーザ装置および極端紫外光生成装置

技術分野

[0001] 本開示はレーザ装置および、このレーザ装置を用いる極端紫外光生成装置に関する。

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、20 nm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20 nm以下の微細加工の要求に応えるべく、波長13.5 nmの極端紫外（EUV）光を生成する極端紫外光生成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。

[0003] EUV光生成装置としては、ターゲット物質にパルス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、電子加速器から出力される電子を用いた自由電子レーザ（Free Electron Laser）装置の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2015-026668号公報

特許文献2：特開2015-038922号公報

特許文献3：特開平10-163550号公報

概要

[0005] 本開示の一態様によるレーザ装置は、発光トリガ信号を生成するレーザ制御部、レーザ制御部から送信された発光トリガ信号に基づいてパルスレーザ

光を出力するマスターオシレータ、レーザ制御部から送信された発光トリガ信号を受信し、この受信時から所定の遅延時間を置いてスイッチング信号を生成する遅延回路、遅延回路から送信されたスイッチング信号に基づいて高電圧パルスを生成する高電圧スイッチ、マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路上に位置し、高電圧スイッチから出力された高電圧パルスに基づいて駆動される光シャッタ、および高電圧スイッチから出力された高電圧パルスを検出し、高電圧パルス検知信号を遅延回路に送信する高電圧モニタを含み、遅延回路は、発光トリガ信号と高電圧パルス検知信号とに基づいて遅延時間を決定する。

[0006] 本開示の別の態様によるレーザ装置は、外部トリガ信号を受信し、この受信時から第1の遅延時間を置いて第1の発光トリガ信号を生成し、外部トリガ信号に基づいて第2の発光トリガ信号を生成するレーザ制御部、レーザ制御部から送信された第1の発光トリガ信号に基づいてパルスレーザ光を出力するマスターオシレータ、レーザ制御部から送信された第2の発光トリガ信号を受信し、この受信時から第2の遅延時間を置いてスイッチング信号を生成する遅延回路、遅延回路から送信されたスイッチング信号に基づいて高電圧パルスを生成する高電圧スイッチ、マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路上に位置し、高電圧スイッチから出力された高電圧パルスに基づいて駆動される光シャッタ、および高電圧スイッチから出力された高電圧パルスを検出し、高電圧パルス検知信号をレーザ制御部に送信する高電圧モニタを含み、レーザ制御部は、外部トリガ信号と高電圧パルス検知信号とに基づいて遅延時間を決定する。

[0007] 本開示のさらに別の態様によるレーザ装置は、受信した外部トリガ信号に基づいて発光トリガ信号を生成し、外部トリガ信号の受信時から第3の遅延時間を置いてスイッチング信号を生成するレーザ制御部、レーザ制御部から送信された発光トリガ信号に基づいてパルスレーザ光を出力するマスターオシレータ、レーザ制御部から送信されたスイッチング信号に基づいて高電圧パルスを生成する高電圧スイッチ、マスターオシレータから出力されたパル

スレーザ光の光路上に位置し、高電圧スイッチから出力された高電圧パルスに基づいて駆動される光シャッタ、および高電圧スイッチから出力された高電圧パルスを検出し、高電圧パルス検知信号をレーザ制御部に送信する高電圧モニタを含み、レーザ制御部は、外部トリガ信号と高電圧パルス検知信号とに基づいて第3の遅延時間を決定する。

図面の簡単な説明

[0008] 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、典型的なEUV光生成装置の全体構成を示す概略側面図である。

[図2]図2は、図1に示すEUV光生成装置の要部を概略的に示すブロック図である。

[図3]図3は、光シャッタの一例を示す概略図である。

[図4]図4は、比較例としてのレーザ装置の概略構成を示すブロック図である。

[図5]図5は、図4に示すレーザ装置における各信号の発生タイミングを示すタイミングチャートである。

[図6]図6は、実施形態1に係るレーザ装置の概略構成を示すブロック図である。

[図7]図7は、図6に示すレーザ装置における制御処理の流れを示すフローチャートである。

[図8]図8は、図6に示すレーザ装置における各信号の発生タイミングを示すタイミングチャートである。

[図9]図9は、実施形態2に係るレーザ装置の概略構成を示すブロック図である。

[図10]図10は、図9に示すレーザ装置における制御処理の流れを示すフローチャートである。

[図11]図11は、図9に示すレーザ装置における各信号の発生タイミングを

示すタイミングチャートである。

[図12]図12は、実施形態3に係るレーザ装置の概略構成を示すブロック図である。

[図13]図13は、図12に示すレーザ装置における制御処理の流れを示すフローチャートである。

[図14]図14は、図12に示すレーザ装置における各信号の発生タイミングを示すタイミングチャートである。

実施形態

[0009] <目次>

1. E U V光生成装置の全体説明
 1. 1 構成
 1. 2 動作
2. 比較例
 2. 1 構成
 2. 2 動作
 2. 3 課題
3. 実施形態1
 3. 1 実施形態1の構成
 3. 2 実施形態1の動作
 3. 3 実施形態1の作用・効果
4. 実施形態2
 4. 1 実施形態2の構成
 4. 2 実施形態2の動作
 4. 3 実施形態2の作用・効果
5. 実施形態3
 5. 1 実施形態3の構成
 5. 2 実施形態3の動作
 5. 3 実施形態3の作用・効果

[0010] 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および動作の全てが本開示の構成およ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。

[0011] 1. E U V 光生成装置の全体説明

1. 1 構成

図1は、典型的な極端紫外（E U V）光生成装置の全体構成を示す概略側面図である。同図に示すE U V 光生成装置は、露光装置80に露光光として利用されるE U V 光を供給するためのものである。すなわち、図1中の、露光装置80および露光装置制御部81以外の要素により、E U V 光生成装置が構成されている。本例のE U V 光生成装置は、レーザ光をターゲット物質に照射してターゲット物質を励起することによりE U V 光を発生させる、レーザ生成プラズマ（L P P）方式を採用した装置である。このE U V 光生成装置は、E U V チャンバ1と、E U V 光生成制御部2と、レーザ装置3と、送光光学系（ビームデリバリシステム）4と、ドロップレット供給部5と、ドロップレット検出装置6と、制御システム50とを含む。

[0012] 上記E U V チャンバ1は、その内部でE U V 光を生成するためのチャンバであり、好ましくは真空チャンバとされる。E U V チャンバ1は、ステージ10と、第1プレート11と、ステージ10を介してE U V チャンバ1に保持された第2プレート12と、この第2プレート12に保持された高反射軸外放物面ミラー13と、同じく第2プレート12に保持された高反射平面ミラー14と、レーザ光導入用のウィンドウ15とを含む。なお、上記第1プレート11には、レーザ光導入用の貫通孔16が設けられている。上記高反射軸外放物面ミラー13および高反射平面ミラー14は、後述するパルスレーザ光Lを集光するためのレーザ集光光学系17を構成している。

[0013] E U V チャンバ1はさらに、E U V 光集光ミラーホルダ20と、このE U

V光集光ミラーホルダ20に保持されたEUV光集光ミラー21と、ターゲット受け22と、EUV光パルスエネルギーセンサ25とを含む。EUV光集光ミラー21は、例えば回転楕円面形状の反射面を有するミラーであり、第1の焦点がプラズマ生成領域23に位置し、第2の焦点が中間集光点（IF）24に位置するように配置されている。EUV光パルスエネルギーセンサ25は、プラズマ生成領域23において発生するパルス状のEUV光のエネルギーを検出するように配置されている。

[0014] レーザ装置3は、ターゲット物質を励起するためのパルスレーザ光Lを発生させる。このレーザ装置3としては、一例として発振増幅型レーザ装置（master oscillator power amplifier type laser apparatus）が適用される。あるいは、レーザ装置3として、プリパルスレーザビームを発生させるYAG（Yttrium Aluminum Garnet）レーザ装置と、メインパルスレーザビームを発生させるCO₂レーザ装置との組合せ等も適用可能である。さらに、レーザ装置3として、その他のレーザ装置が用いられてもよい。このレーザ装置3から出力されるパルスレーザ光Lは、例えばパルス幅が数ns～数十ns程度、周波数が10kHz～100kHz程度のレーザ光である。

[0015] 送光光学系4は、レーザ装置3から出力されたパルスレーザ光Lを反射させてその進行方向を変える第1高反射ミラー91と、この第1高反射ミラー91で反射したパルスレーザ光Lを上記ウィンドウ15に向けて反射させる第2高反射ミラー92とを含む。

[0016] ドロップレット供給部5は、EUV光を発生させるために用いられるスズ（Sn）やリチウム（Li）等のターゲット物質を、球状のドロップレットDLとしてEUVチャンバ1内に供給する。このドロップレット供給部5は、圧力調節器31と、溶融した状態のターゲット物質を蓄えるタンク32と、ターゲット物質を溶融させるヒータ33と、溶融状態のターゲット物質を吐出させるノズル34と、ノズル34の側壁を振動させるピエゾ素子35とを含む。なお、上記圧力調節器31の動作は、制御システム50の制御部51によって制御される。上記ドロップレットDLは断続的かつ周期的に生成

され、EUVチャンバ1内においてドロップレット軌道Q上を進行する。

[0017] ドロップレット検出装置6は、例えば可視域の波長の照明光Fを発する半導体レーザ等の光源40と、照明光学系41とを含む光源部42を備えている。照明光学系41は、上記ドロップレット軌道Q上の所定の位置Pに照明光Fを集光する。そこで、この位置PにドロップレットDLが存在すれば、そのドロップレットDLが照明光Fを一部遮ることになる。またドロップレット検出装置6は、上記照明光Fを集光する受光光学系43と、集光された照明光Fを検出する光センサ44とを含む受光部45を備えている。受光部45は、光源部42と対向する状態に配置されている。

[0018] 上記照明光学系41は例えば集光レンズを含む。光源40から発せられた後、この照明光学系41を経た照明光Fは、上記位置Pにおいて集光する。一方受光光学系43も例えば集光レンズを含む。上記位置Pにおいて集光した後に発散した照明光Fは、受光光学系43により集光されて光センサ44に入射する。

[0019] 1. 2 動作

上記の構成において、タンク32中のターゲット物質は、ヒータ33によって融点以上の所定温度に加熱される。例えばターゲット物質がSnである場合、Snはその融点（232℃）以上の250～290℃の温度範囲に加熱される。この加熱を行うに当たっては、制御部51によりヒータ33の動作を制御して、温度調節を行ってもよい。また、制御部51により圧力調節器31の動作が制御されて、タンク32内の圧力が、融解したターゲット物質のジェットがノズル34から所定の速度で出力する圧力に維持される。そして制御部51により、図示外のピエゾ電源を介してピエゾ素子35に、所定波形の電圧信号であるドロップレット供給信号が印加される。それによりピエゾ素子35が振動して、この振動がノズル34に加えられる。以上により、ノズル34から出力される上記ジェットがノズル34の振動によって所定周期で分断され、ドロップレットDLが断続的に供給されるようになる。上記振動の周波数、すなわちドロップレット生成の周波数は、例えば50k

H z ~ 1 0 0 k H z 程度とされる。

[0020] 一方、ドロップレット検出装置6の光源部42から出力された照明光Fは、受光部45に受光される。そして、上述のように生成されて落下するドロップレットDLが、その軌道Qにおいて所定の位置Pを通過すると、ドロップレットDLにより照明光Fが遮られる。そのとき、受光部45が検出する照明光Fの受光量が低下し、受光部45が出力する出力信号は、この受光量の低下に対応して信号レベルが低下する。信号レベルがある閾値電圧より小さくなるときが、ドロップレットDLが上記所定の位置Pを通過したタイミングを示すものとなる。受光部45が出力する出力信号は、通過タイミング信号S1として、制御部51を介して制御回路52に入力される。制御回路52は遅延回路53（後述の図2参照）を含む。制御回路52は、入力された通過タイミング信号S1の信号レベル低下を検出すると、その検出時点から所定の時間遅延させて発光トリガ信号S2を出力する。

[0021] この発光トリガ信号S2は、レーザ装置3に入力される。レーザ装置3は、発光トリガ信号S2が入力されると、後に詳述するようにしてパルスレーザ光Lを出力する。このパルスレーザ光Lは、送光光学系4の第1高反射ミラー91および第2高反射ミラー92で反射した後、ウィンドウ15を通過してEUVチャンバ1内に入射する。

[0022] 上記パルスレーザ光Lは、レーザ集光光学系17の高反射軸外放物面ミラー13および高反射平面ミラー14で反射した後、EUV光集光ミラー21の中央部に設けられた開口を通過して、EUV光集光ミラー21の光軸上を進行する。このパルスレーザ光Lは、高反射軸外放物面ミラー13の作用により、プラズマ生成領域23において集光する。プラズマ生成領域23に到達したドロップレットDLは、この集光したパルスレーザ光Lの照射を受けてプラズマ化し得る。そして、このプラズマからEUV光が生成される。なお、パルスレーザ光Lが照射されなかったドロップレットDLは、ターゲット受け22に受けられる。

[0023] ドロップレットDLは周期的に生成され、そしてこのドロップレットDL

がドロップレット検出装置 6 において検出される毎にパルスレーザ光 L が出力されるので、EUV 光は周期的に生成される。こうして周期的に生成される EUV 光は、中間集光点 24 に集光した後、露光装置 80 に入射する。露光装置 80 では、入射した EUV 光が半導体露光等に用いられる。

[0024] 露光装置 80 の露光装置制御部 81 はバースト信号 S4 を出力する。このバースト信号 S4 は、EUV 光生成制御部 2 および制御部 51 を経由して制御回路 52 に入力される。上記発光トリガ信号 S2 の出力は、露光装置制御部 81 から制御回路 52 にバースト信号 S4 が入力されているときだけ行われる。制御回路 52 にバースト信号 S4 が入力されていない場合は、通過タイミング信号 S1 が制御部 51 に入力されていても、発光トリガ信号 S2 は出力されない。したがって、この場合はパルスレーザ光 L が出力されないで、EUV 光は生成されない。

[0025] なお、図 1 に示す EUV 光パルスエネルギーセンサ 25 は、プラズマ生成領域 23 において発生するパルス状の EUV 光のエネルギーを検出し、そのエネルギーを示すパルスエネルギー検出信号 S5 を出力する。このパルスエネルギー検出信号 S5 は、制御システム 50 の制御部 51 に入力される。制御部 51 は、このパルスエネルギー検出信号 S5 が示す EUV 光のパルスエネルギーに基づいて、パルスレーザ光 L のエネルギーの目標値を計算し、その目標値を示す目標エネルギー信号 S3 をレーザ装置 3 に入力する。それにより、レーザ装置 3 が出力するパルスレーザ光 L のエネルギーが、上記目標値に設定される。

[0026] なお、露光装置 80 からの指令によって、プラズマ生成領域 23 を移動させる場合がある。プラズマ生成領域 23 をドロップレット軌道 Q と平行な方向に移動させる場合は、制御部 51 が通過タイミング信号 S1 の信号レベル低下を検出してから、発光トリガ信号 S2 を出力するまでの時間遅延を変更させてもよい。また、プラズマ生成領域 23 をドロップレット軌道 Q に垂直な面内で移動させる場合は、ステージ 10 を作動させ、第 2 プレート 12 を介して高反射軸外放物面ミラー 13 および高反射平面ミラー 14 を、ドロップレット軌道 Q に垂直な面内で移動させてもよい。

[0027] ここで図2に、以上説明したEUV光生成制御部2、露光装置制御部81、制御システム50、EUV光パルスエネルギーセンサ25、ドロップレット検出装置6をまとめてブロック図として示す。ここに示される通り、制御システム50は前述した遅延回路53を含む。この遅延回路53は、制御システム50に通過タイミング信号S1が入力されてから、所定時間遅延させて発光トリガ信号S2を出力させる。この所定時間は、図1に示すドロップレットDLが所定の位置Pを通過してからプラズマ生成領域23に到達した時に、発光トリガ信号S2を受信したレーザ装置3から出力されるパルスレーザ光Lが、ドロップレットDLに照射されるように設定される。すなわちこの所定時間は例えば、ドロップレットDLが上記位置Pを通過してからプラズマ生成領域23に到達するまでの時間 Dt_1 と、レーザ装置3に発光トリガ信号S2が入力されてからパルスレーザ光Lがプラズマ生成領域23に到達するまでの時間 α との和($Dt_1 + \alpha$)とされる。制御システム50の制御部51は、この所定時間を示すデータを遅延回路53に送り、このデータに基づいて遅延回路53による遅延時間が設定される。

[0028] 図2には、レーザ装置3の基本的な構成をブロック図で示す。図示の通りレーザ装置3は、パルス状のレーザ光を発するマスターオシレータ100と、このレーザ光を順次増幅するn個の増幅器311、312・・・31k・・・31nと、(n+1)個の光シャッタ320、321、322・・・32k・・・32nと、レーザ制御部300とを含む。なお図2中では、上記マスターオシレータをMOと表記し、上記増幅器をPAと表記しており、以下の説明でもその表記を用いることとする。ここで、MO100に最も近い光シャッタを第0光シャッタ320と称する。そしてこの第0光シャッタ320の下流側に、第1PA311、第1光シャッタ321、・・・第nPA31n、第n光シャッタ32nが順次配されている。図中kを付した括弧で示す通り、第kPA31kと第k光シャッタ32kとが1組として設けられ、第0光シャッタ320に加えて、この組がn個設けられている。

[0029] MO100としては、Qスイッチを含むCO₂レーザ発振器、または、CO

CO_2 レーザガスの増幅波長域で発振する量子カスケードレーザ（QCL）等が好適に用いられ得る。MO100は発光トリガ信号S2を受信すると、パルスレーザ光Lを出力する。このパルスレーザ光Lは、直線偏光であってもよい。PA311、312・・・31k・・・31nは、MO100から出力されるパルスレーザ光Lの光路上に配置された、 CO_2 レーザガスを含む放電励起式の増幅器であってもよい。さらにPA311、312・・・31k・・・31nは、 CO_2 レーザガスと、1対の電極と、これらの電極間で高周波放電させる電源とを含んでもよい。そのような構成が適用される場合は、PA311、312・・・31k・・・31nの各々において所定の励起強度となるように、 CO_2 レーザガスをポンピングしておいてもよい。また、MO100が上記QCLのような小出力（数十mW）のものである場合には、PA311、312・・・31k・・・31nは、光共振器と、EOポッケルスセルと、偏光子とを含む再生増幅器であってもよい。

[0030] (n+1)個の光シャッタ320、321、322・・・32k・・・32nはそれぞれ、パルス状のレーザ光を通過させる短い時間だけ開状態となる機能を有する。なお、この光シャッタの機能については、後に詳しく説明する。光シャッタ320、321、322・・・32k・・・32nを通過したパルス状のレーザ光は、PA311、312・・・31k・・・31nによって順次増幅され、高強度のパルスレーザ光Lが得られる。

[0031] 光シャッタ320、321、322・・・32k・・・32nは、EOポッケルスセルを含んで構成されても、あるいはEOポッケルスセルおよび2つの偏光子を含んで構成されてもよい。ここで、パルスレーザ光Lに対して耐性が低い光シャッタは、パルスレーザ光Lのパルスエネルギーが比較的低い上流側の位置、例えば図2に示す第0光シャッタ320のように、MO100と第1PA311との間に配置するのが好ましい。

[0032] 図3に、光シャッタの一例を示す。ここでは1つの光シャッタを示し、それを代表的に光シャッタ32kとして示す。図示の通りこの光シャッタ32kは、互いに離して配置された第1偏光子341および第2偏光子342と

、それらの間に配置されたE Oポッケルスセル340と、第2偏光子342とE Oポッケルスセル340との間に配置された $\lambda/2$ 板（ $1/2$ 波長板）343とを含む。E Oポッケルスセル340は、例えば電極340aおよび340bと、それらの間に配置された電気光学（E O）結晶340cとを含む。この光シャッタ32kにおいては、図示外の制御回路により制御される高電圧スイッチ304から、上記電極340aおよび340bを介して、電気光学結晶340cに所定値の高電圧が印加され得る。電気光学結晶340cは上記高電圧が印加されると、通過するパルスレーザ光Lの直線偏光方向を90°回転させる。

[0033] 図3においては、パルスレーザ光Lの光路に沿って、上下に延びる矢印と、○印とを付してある。前者の矢印はパルスレーザ光Lの直線偏光方向が紙面に平行な方向（上下方向）であることを示し、後者の○印はパルスレーザ光Lの直線偏光方向が紙面に垂直な方向であることを示している。この例では、図3中で光シャッタ32kを左から右に通過するパルスレーザ光L、特に同図中上下方向に直線偏光したパルスレーザ光Lが利用されるものとする。この直線偏光したパルスレーザ光Lは、第2偏光子342を透過し、 $\lambda/2$ 板343において偏光方向が90°回転される。こうして直線偏光方向が紙面に垂直な方向となったパルスレーザ光Lは、電気光学結晶340cに上記高電圧が印加されていない場合は、偏光方向をそのまま維持し、第1偏光子341で反射するので、光シャッタ32kを通過不能となる。それに対して電気光学結晶340cに上記高電圧が印加されている場合、パルスレーザ光Lは、電気光学結晶340cを通過することにより直線偏光方向が紙面に平行な方向に戻るので、第1偏光子341を透過し、光シャッタ32kを通過する。以上の通りにして光シャッタ32kは、高電圧印加のON-OFFに応じて開閉する。また、本例の光シャッタ32kは、光シャッタ32kを図3中で右から左に通過しようとするパルスレーザ光Lに対しても、同様に高電圧印加のON-OFFに応じて開閉する。

[0034] なお光シャッタは、高電圧が印加された場合、パルスレーザ光Lを上述の

通り図2中で左から右に通過させると共に、図2中で右から左に向かう光は遮断する機能を有する光アイソレータであってもよい。図1および図2に示す構成においては、パルスレーザ光Lの一部がターゲットで反射することがある。また、複数のPAの各々から発せられた自然放出光が他のPAで増幅される、いわゆる自励発振現象が起きることもある。この自励発振で生じた自励発振光や、上述のターゲットで反射した光は戻り光となって、パルスレーザ光Lの光路をMO100側に逆流することがある。上に述べた光アイソレータが用いられた場合は、そのような戻り光によってレーザ装置が破損することを抑制でき、また、パルスレーザ光Lの出力を安定化させることが可能になる。

[0035] 図2に戻って説明すると、パルスレーザ光Lの一部はビームスプリッタ303で反射し、残余はビームスプリッタ303を透過して図1に示す送光光学系4に入射する。ビームスプリッタ303で反射したパルスレーザ光Lは、パルスエネルギーセンサ302に入射する。パルスエネルギーセンサ302はパルスレーザ光Lのエネルギーを検出し、エネルギー検出信号をレーザ制御部300に入力する。レーザ制御部300はこのエネルギー検出信号に基づいて、図1に示した目標エネルギー信号S3が示す目標エネルギーが得られるように、MO100の出力を制御する。なおビームスプリッタ303は、図2に示す位置に限らず、その位置よりもパルスレーザ光Lの進行方向上流側に配置されてもよい。

[0036] レーザ制御部300の動作は、制御システム50の制御部51によって制御される。前述したバースト信号S4が制御部51に入力されていない場合は、光シャッタ320、321、322・・・32k・・・32nに対する高電圧印加はなされない。すなわち、バースト信号S4が制御部51に入力されている場合のみ、この高電圧印加がなされれば、光シャッタ320、321、322・・・32k・・・32nをパルスレーザ光Lが通過可能となる。なお、このように複数の光シャッタ320、321、322・・・32k・・・32nが設けられている場合は、パルスレーザ光Lが各光シャッタ

を通過するタイミングに合わせて、それぞれの光シャッタを開状態に設定するようにしてもよい。

[0037] 2. 比較例

2. 1 構成

以下、図4を参照して、比較例としてのレーザ装置について説明する。このレーザ装置は、図1および図2に示すレーザ装置3として適用され得るものである。先に説明した図2では、光シャッタ320、321、322・・・32k・・・32nの各々に高電圧を印加する構成は省略している。図4では、この高電圧を印加する構成も示しており、以下、この構成についても詳しく説明する。なお図4では、1つの光シャッタを代表的に光シャッタ32kとして示し、この光シャッタ32kの周辺の構成について説明する。光シャッタが図2に示すように複数設けられる場合は、各光シャッタに対して図4に示す構成がそれぞれ設けられてもよい。

[0038] 図4に示すレーザ装置は、レーザ制御部300と、MO100と、光シャッタ32kと、遅延回路301と、高電圧スイッチ304とを含む。レーザ制御部300を通過した発光トリガ信号S2は、MO100と遅延回路301とに入力され得る。光シャッタ32kは、例えば図3に示したようなEOポッケルスセル340を含んで構成される。高電圧スイッチ304は例えば半導体スイッチを含み、図示外の高電圧源に接続されている。

[0039] 2. 2 動作

上述したMO100は発光トリガ信号S2を受信すると、パルスレーザ光を出力する。このパルスレーザ光は、例えば図2に示したようなPA（図示せず）によって増幅され、高強度のパルスレーザ光Lが得られる。遅延回路301に発光トリガ信号S2が入力されると、遅延回路301は発光トリガ信号S2と同期した発光同期トリガ信号S10を出力する。この発光同期トリガ信号S10は高電圧スイッチ304に入力される。高電圧スイッチ304は発光同期トリガ信号S10が入力されるとスイッチング動作して、上記高電圧源から所定の高電圧を光シャッタ32kに印加する。発光同期トリガ

信号S 1 0は、光シャッタ3 2 kをパルスレーザ光Lが通過するタイミングに合わせて光シャッタ3 2 kに高電圧が印加されるように、発光トリガ信号S 2から所定時間遅延させて遅延回路3 0 1から出力される。光スイッチとしての光シャッタ3 2 kは、上記高電圧が印加されている間、パルスレーザ光Lを通過させる。

[0040] 2. 3 課題

図5は、図4の構成における各信号が生成されるタイミングを、パルスレーザ光Lの進行位置と併せて示すタイミングチャートである。以下、この図5を参照して、上記タイミングについて説明する。図5の横軸は、例えばs（秒）で示す時間を示している。また図5において、最上位の段から下に向かって順次、発光トリガ信号S 2、MO 1 0 0から出力されるパルスレーザ光L、発光同期トリガ信号S 1 0、および光シャッタ3 2 kに印加される高電圧の各波形および生成タイミングを示している。また縦軸位置に引いた下向きの矢印上の位置は、MO 1 0 0から光シャッタ3 2 k側への光路長に対応している。

[0041] 図5に示される通り、発光トリガ信号S 2の立上りから略一定の時間Aが経過したところでMO 1 0 0から、図中aで波形を示すパルスレーザ光Lが出力される。一例としてパルスレーザ光Lのパルス幅（全値全幅）は、1 0 ~ 2 0 n s程度である。また一例として、発光同期トリガ信号S 1 0のパルス幅は1 0 0 n s程度である。光シャッタ3 2 kに印加される高電圧の波形を、図5においてbあるいはcで示す。この高電圧のパルス幅は、発光同期トリガ信号S 1 0のパルス幅と対応して1 0 0 n s程度である。

[0042] 上述のように、光シャッタ3 2 kをパルスレーザ光Lが通過するタイミングに合わせて、光シャッタ3 2 kに高電圧を印加するためには、発光トリガ信号S 2の立上りから、高電圧印加開始までの時間が一定である必要がある。つまり、図5において、この時間が常に（B + C）であって、高電圧の波形が破線bのようになっていれば、パルスレーザ光Lはパルス幅の全幅に亘って光シャッタ3 2 kを通過する。また、パルスレーザ光Lのパルス裾部に

存在する不要な発光成分も、光シャッタ 32k において除去され得る。

[0043] ところが高電圧スイッチ 304 においては、発光同期トリガ信号 S10 を受信してから高電圧印加を開始するまでの時間が、温度変化により変動することがある。この時間変動、いわゆる時間のドリフトがあると、図 5 に示す高電圧の波形が例えば実線 c のようになり、発光トリガ信号 S2 の立上りから高電圧印加開始までの時間が (B + C + D) と変わり得る。ここで D は、上記時間の本来の値 (B + C) からの変動分を示す。このような場合パルスレーザ光 L は、パルス幅の一部しか光シャッタ 32k を通過し得ないので、光シャッタ 32k を通過する際に減衰することになる。

[0044] 3. 実施形態 1

3. 1 実施形態 1 の構成

次に図 6～8 を参照して、実施形態 1 に係るレーザ装置について説明する。なお図 6～8 において、図 1～5 に示したものと同様の要素については同じ番号を付してあり、それらについての説明は、特に必要の無い限り省略する（以下、同様）。この実施形態 1 のレーザ装置も、図 1 および図 2 に示すレーザ装置 3 として適用され得るものである。図 6 は、実施形態 1 に係るレーザ装置の基本構成を示すブロック図である。このレーザ装置は、図 4 に示したレーザ装置と対比すると、高電圧モニタ 151 が追加され、また遅延回路 301 に代えて、カウンタを含む遅延回路 153 が用いられている点で異なる。このカウンタは、高電圧スイッチ 304 が発光同期トリガ信号 S10 を受信してから高電圧印加を開始するまでの時間の変動分 D（図 5 参照）よりも極めて短い単位で経過時間をカウントする。高電圧モニタ 151 は、高電圧スイッチ 304 が出力する高電圧パルスを検知して、検知信号 S6 を遅延回路 153 に入力する。

[0045] 3. 2 実施形態 1 の動作

図 7 は、光シャッタ 32k にパルス状の高電圧を印加するタイミングを、光シャッタ 32k をパルスレーザ光 L が通過するタイミングと一致させる制御の流れを示している。また図 8 は、この制御の下に各信号が生成されるタ

イミングを、パルスレーザ光Lの進行位置と併せて示すタイミングチャートである。この図8の表示の仕方は、先に説明した図5と同様である。以下、図7および図8を参照して、上記の制御について説明する。

- [0046] 図7に示す制御がスタートすると、遅延回路153はまずステップSP1において、自身が記憶する D_{i-1} の値を0（ゼロ）にセットする。Dは図8に示すように、高電圧スイッチ304が発光同期トリガ信号S10を受信してから高電圧印加が開始するまでの時間内における、上記の時間変動分を示す。より詳しくは、この時間は本来一定の時間Cであるべきところ、それに対して加減する分の時間がDである。図7の制御では、次のステップSP2に入るとそれ以降は、ステップSP2～ステップSP7までの処理が繰り返される。上記のiは、この繰り返し処理の順番を示している。D_iはこの順番がi番目の場合の上記時間変動分を表している。iの値は最初に1とされるので、上記の通り D_{i-1} の値が0とされる。iの値は、処理がステップSP7からステップSP2に戻る度に、「1」ずつインクリメントされる。
- [0047] 遅延回路153は次にステップSP2において、自身のカウンタのカウント値を0（ゼロ）にセットする。遅延回路153は、図1および図2に示す発光トリガ信号S2を外部トリガ信号として受信し、受信すると所定時間後に発光トリガ信号S21を出力する。この発光トリガ信号S21は図6に示す通り、MO100と遅延回路153に同時に入力される。遅延回路153は図7のステップSP3において発光トリガ信号S21を受信すると、次のステップSP4においてカウンタによる計時を開始させる。
- [0048] 遅延回路153はステップSP5において、カウント値が $(B - D_{i-1})$ になると発光同期トリガ信号S10を出力し、それにより高電圧スイッチ304がスイッチング動作を開始し、光シャッタ32kに高電圧パルスが印加される。このように発光同期トリガ信号S10は、高電圧スイッチ304の動作を開始させるスイッチング信号として作用する。光シャッタ32kは、この高電圧パルスが印加されている間、光通過が可能な状態となり、パルスレーザ光Lが光シャッタ32kを通過する。なお上記Bは図8に示すように、

発光トリガ信号 S_{21} が遅延回路 153 に入力されてから、発光同期トリガ信号 S_{10} が出力されるまでの遅延時間の目標値である。ただし、本実施形態 1 において実際の遅延時間は、 $(B - D_{i-1})$ となる。また後述する C は、発光同期トリガ信号 S_{10} が立ち上がってから光シャッタ 32k に高電圧パルスが印加開始されるまで時間の目標値である。これらの目標値 B および C は所定の一定値であり、例えば遅延回路 153 に記憶される。

[0049] 図 6 に示す高電圧モニタ 151 は、高電圧スイッチ 304 が出力する高電圧パルスを検知して、検知信号 S_6 を遅延回路 153 に入力する。遅延回路 153 はこの高電圧パルス検知信号 S_6 が入力されると、カウンタによる計時をストップさせる（図 7 のステップ SP6）。遅延回路 153 は、こうしてカウンタによる計時がストップすると、次にステップ SP7 において、 D_{i-1} の値に修正値 ΔD を加算して、その加算後の値を新たな D_{i-1} としてセットする。ここで修正値 $\Delta D = (\text{計時がストップしたときのカウント値} - (B - D_{i-1} + C))$ である。このステップ SP7 の処理がなされると、処理の流れはステップ SP2 に戻り、それ以降はステップ SP2 ～ステップ SP7 の処理が繰り返される。

[0050] 3. 3 実施形態 1 の作用・効果

以上述べた処理がなされることにより、図 8 に示すように、発光トリガ信号 S_{21} が出力されてから、発光同期トリガ信号 S_{10} が出力されるまでの遅延時間は $(B - D_{i-1})$ となる。つまり、 i 番目の繰り返し処理において、この遅延時間は目標値 B から、前回つまり $i - 1$ 番目の繰り返し処理において実測された時間変動分 (D_{i-1}) を減じた時間となる。そこで、図 8 に実線 b で示すように、光シャッタ 32k にパルス状の高電圧を印加するタイミングを、光シャッタ 32k をパルスレーザ光 L が通過するタイミングと一致させることが可能になる。つまり、パルスレーザ光 L はパルス幅の全幅に亘って光シャッタ 32k を通過するので、この通過の際にパルスレーザ光 L が減衰することが抑制される。また、パルスレーザ光 L のパルス裾部に存在する不要な発光成分も、光シャッタ 32k において除去され得る。

[0051] なお、光シャッタ 32k にパルス状の高電圧を印加するタイミングを、パルスレーザ光 L の検出に基づいて制御することも考えられる。しかしその場合は、パルスレーザ光 L の出力低下が上記高電圧印加のタイミングずれによるものか、あるいは MO の出力低下によるものか区別できないので、そのような制御は不正確なものとなる。

[0052] 4. 実施形態 2

4. 1 実施形態 2 の構成

次に図 9 ~ 11 を参照して、実施形態 2 に係るレーザ装置について説明する。この実施形態 2 のレーザ装置も、図 1 および図 2 に示すレーザ装置 3 として適用され得るものである。図 9 は、実施形態 2 に係るレーザ装置の基本構成を示すブロック図である。このレーザ装置は、図 6 に示した実施形態 1 に係るレーザ装置と対比すると、レーザ制御部 300 に代えてカウンタを含むレーザ制御部 330 が用いられている点、および遅延回路 153 に代えて、カウンタを含まない遅延回路 253 が用いられている点で異なる。レーザ制御部 330 が含むカウンタは、高電圧スイッチ 304 が発光同期トリガ信号 S10 を受信してから高電圧印加を開始するまでの時間の変動分 D (図 5 参照) よりも極めて短い単位で経過時間をカウントする。高電圧モニタ 151 は、高電圧スイッチ 304 が出力する高電圧パルスを検知して、検知信号 S6 をレーザ制御部 330 に入力する。

[0053] 4. 2 実施形態 2 の動作

図 9 の構成の動作は、基本的にレーザ制御部 330 によって制御される。図 10 はこの制御、つまり光シャッタ 32k にパルス状の高電圧を印加するタイミングを、光シャッタ 32k をパルスレーザ光 L が通過するタイミングと一致させる制御の流れを示している。また図 11 は、この制御の下に各信号が生成されるタイミングを、パルスレーザ光 L の進行位置と併せて示すタイミングチャートである。この図 11 の表示の仕方は、先に説明した図 5 と同様である。以下、図 10 および図 11 を参照して、このレーザ制御部 330 による制御について説明する。

- [0054] 図10に示す制御がスタートすると、レーザ制御部330はまずステップSP11において、自身が記憶する D_{i-1} の値を0（ゼロ）にセットする。この D 、 i および D_{i-1} の意味は、実施形態1におけるものと同じである。この制御は、次のステップSP12に入るとそれ以降は、ステップSP12～ステップSP18までの処理が繰り返される。 i の値は、処理がステップSP18からステップSP12に戻る度に、「1」ずつインクリメントされる。
- [0055] レーザ制御部330は次にステップSP12において、カウンタのカウント値を0（ゼロ）にセットする。レーザ制御部330は、図1および図2に示す発光トリガ信号S2を外部トリガ信号として受信する。レーザ制御部330はステップSP13においてこの発光トリガ信号S2を受信すると同時に、ステップSP14においてカウンタによる計時を開始させる。レーザ制御部330は次にステップSP15において、カウント値が $(t_0 - D_{i-1})$ となった時点で第2の発光トリガ信号S22を出力し、次いでステップSP16において、カウント値が t_0 となった時点で第1の発光トリガ信号S21を出力する。なお t_0 は予め定められた値で、この値は本開示における第1の遅延時間となる。この t_0 の値は、レーザ制御部330に記憶されている。図9に示すように第1の発光トリガ信号S21はMO100に入力され、第2の発光トリガ信号S22は遅延回路253に入力される。
- [0056] 図9に示すMO100は第1の発光トリガ信号S21を受信すると、パルスレーザ光Lを出力する。一方、遅延回路253は、第2の発光トリガ信号S22を受信すると、図11に示すように、下に述べる時間Bだけ遅延させて、スイッチング信号としての発光同期トリガ信号S10を出力する。この時間Bは、本開示における第2の遅延時間である。発光同期トリガ信号S10は図9に示す高電圧スイッチ304に入力される。高電圧スイッチ304は発光同期トリガ信号S10が入力されるとスイッチング動作を開始し、光シャッタ32kに高電圧パルスを印加する。この高電圧パルスを印加するタイミングは、本来、発光同期トリガ信号S10が立ち上がったから目標値C

だけ時間が経過したタイミングである。しかし、高電圧スイッチ 304 が発光同期トリガ信号 S10 を受信してから高電圧印加を開始するまでの時間に変動があれば、実際の上記タイミングは発光同期トリガ信号 S10 が立ち上がったから (C + D) 時間が経過したタイミングとなる。ここで D は上記変動分の時間である。また図 11 等を示す D_i は、上記繰り返しの処理が i 番目である場合の変動分を示す。なお、上記目標値 B および C、並びに t_0 の値は、例えばレーザ制御部 330 において記憶されている。また目標値 B の値は、遅延回路 253 にも記憶されている。

[0057] 図 9 に示す高電圧モニタ 151 は、高電圧スイッチ 304 が出力する高電圧パルスを検知して、検知信号 S6 をレーザ制御部 330 に入力する。レーザ制御部 330 はこの高電圧パルス検知信号 S6 が入力されると、カウンタによる計時をストップさせる (図 10 のステップ SP17)。レーザ制御部 330 は、こうしてカウンタによる計時がストップすると、次にステップ SP18 において、 D_{i-1} の値に修正値 ΔD を加算して、その加算後の値を新たな D_{i-1} として記憶する。本実施形態においては、修正値 $\Delta D = (\text{計時がストップしたときのカウンタ値} - (t_0 - D_{i-1} + B + C))$ である。このステップ SP18 の処理がなされると、処理の流れはステップ SP12 に戻り、それ以降はステップ SP12 ~ ステップ SP18 の処理が繰り返される。

[0058] 4. 3 実施形態 2 の作用・効果

以上述べた処理がなされることにより、図 11 に示すように、第 1 の発光トリガ信号 S21 が出力されてから、発光同期トリガ信号 S10 が出力されるまでの遅延時間は $(B - D_{i-1})$ となる。つまり、i 番目の繰り返し処理において、この遅延時間は目標値 B から、前回つまり $i - 1$ 番目の繰り返し処理において実測された時間変動分 (D_{i-1}) を減じた時間となる。そこで、図 11 に実線 b で示すように、光シャッタ 32k にパルス状の高電圧を印加するタイミングを、光シャッタ 32k をパルスレーザ光 L が通過するタイミングと一致させることが可能になる。つまり、パルスレーザ光 L はパルス幅の全幅に亘って光シャッタ 32k を通過するので、この通過の際にパルスレー

ザ光 L が減衰することが抑制される。また、パルスレーザ光 L のパルス裾部に存在する不要な発光成分も、光シャッタ 32k において除去され得る。

[0059] 5. 実施形態 3

5. 1 実施形態 3 の構成

次に図 12～14 を参照して、実施形態 3 に係るレーザ装置について説明する。図 12 は、実施形態 3 に係るレーザ装置の基本構成を示すブロック図である。このレーザ装置は、図 6 に示した実施形態 1 に係るレーザ装置と対比すると、レーザ制御部 300 に代えて、遅延回路 153 を含むレーザ制御部 350 が用いられている点で異なる。遅延回路 153 は、図 6 に示した遅延回路 153 と基本的に同じ構成および機能を有し、前述したカウンタも内包している。

[0060] 5. 2 実施形態 3 の動作

上記遅延回路 153 は、レーザ制御部 350 によって制御される。図 13 はこの制御、つまり光シャッタ 32k にパルス状の高電圧を印加するタイミングを、光シャッタ 32k をパルスレーザ光 L が通過するタイミングと一致させる制御の流れを示している。また図 14 は、この制御の下に各信号が生成されるタイミングを、パルスレーザ光 L の進行位置と併せて示すタイミングチャートである。この図 14 の表示の仕方は、先に説明した図 5 と同様である。以下、図 13 および図 14 を参照して、このレーザ制御部 350 による制御について説明する。

[0061] 図 13 に示す制御は、図 7 に示した実施形態 1 における制御と対比すると、発光トリガ信号の受信および出力が異なるだけであり、レーザ制御部 350 が内包する遅延回路 153 の動作も実施形態 1 における動作と同じである。すなわち、図 13 に示すステップ SP21 および 22 は、図 7 のステップ SP1 および 2 と同じであり、さらに図 13 に示すステップ SP26、27 および 28 は、図 7 のステップ SP5、6 および 7 と同じである。図 13 の制御においてレーザ制御部 350 は、ステップ SP23 において外部トリガ信号である発光トリガ信号 S2 を受信し、ステップ SP24 において自身が

含むカウンタの計時を開始させ、それと同時にステップS P 2 5において発光トリガ信号S 2 1を出力する。

[0062] なお、本実施形態1では図14に示す通り、外部トリガ信号である発光トリガ信号S 2がレーザ制御部350に受信されてから、遅延時間($B - D_{i-1}$)だけ遅れて、スイッチング信号である発光同期トリガ信号S 10が出力される。この遅延時間($B - D_{i-1}$)は、本開示における第3の遅延時間である。

[0063] 5. 3 実施形態3の作用・効果

以上の通りであるので、この実施形態3によれば、実施形態1におけるのと基本的に同様の作用・効果が得られる。すなわち本実施形態3においても、図14に実線bで示すように、光シャッタ32kにパルス状の高電圧を印加するタイミングを、光シャッタ32kをパルスレーザ光Lが通過するタイミングと一致させることが可能になる。そこで、パルスレーザ光Lはパルス幅の全幅に亘って光シャッタ32kを通過するので、この通過の際にパルスレーザ光Lが減衰することが抑制される。また、パルスレーザ光Lのパルス裾部に存在する不要な発光成分も、光シャッタ32kにおいて除去され得る。

[0064] なお以上の説明は、制限ではなく単なる例示を意図したものである。したがって、添付の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。

[0065] 本明細書および添付の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」または「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、および添付の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」または「1またはそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

符号の説明

- [0066] 1 E U V チャンバ
- 2 E U V 光生成制御部
- 3 レーザ装置
- 4 送光光学系
- 5 ドロップレット供給部
- 6 ドロップレット検出装置
- 10 ステージ
- 11 第1プレート
- 12 第2プレート
- 13 高反射軸外放物面ミラー
- 14 高反射平面ミラー
- 16 貫通孔
- 17 レーザ集光光学系
- 20 E U V 光集光ミラーホルダ
- 21 E U V 光集光ミラー
- 22 ターゲット受け
- 23 プラズマ生成領域
- 24 中間集光点
- 25 E U V 光パルスエネルギーセンサ
- 31 圧力調節器
- 32 タンク
- 33 ヒータ
- 34 ノズル
- 35 ピエゾ素子
- 40 光源
- 41 照明光学系
- 42 光源部
- 43 受光光学系

4 4	光センサ	
4 5	受光部	
5 0	制御システム	
5 1	制御部	
5 2	制御回路	
5 3、1 5 3、2 5 3、3 0 1	遅延回路	
8 0	露光装置	
8 1	露光装置制御部	
9 1	第 1 高反射ミラー	
9 2	第 2 高反射ミラー	
1 0 0	マスターオシレータ	
1 5 1	高電圧モニタ	
3 0 0、3 3 0、3 5 0	レーザ制御部	
3 0 2	パルスエネルギーセンサ	
3 0 3	ビームスプリッタ	
3 0 4	高電圧スイッチ	
3 1 1、3 1 2 . . . 3 1 k . . . 3 1 n	増幅器	
3 2 0、3 2 1、3 2 2 . . . 3 2 k . . . 3 2 n	光シャッタ	
D L	ドロップレット	
F	照明光	
L	パルスレーザ光	
P	ドロップレット軌道上の所定の位置	
Q	ドロップレット軌道	
S 1	通過タイミング信号	
S 2	発光トリガ信号（外部トリガ信号）	
S 3	目標エネルギー信号	
S 4	バースト信号	
S 5	パルスエネルギー検出信号	

S 6 高電圧パルスの検知信号

S 1 0 発光同期トリガ信号

S 2 1、S 2 2 発光トリガ信号

請求の範囲

- [請求項1] 発光トリガ信号を生成するレーザ制御部、
前記レーザ制御部から送信された発光トリガ信号に基づいてパルスレーザ光 を出力するマスターオシレータ、
前記レーザ制御部から送信された発光トリガ信号を受信し、この受信時から所定の遅延時間を置いてスイッチング信号を生成する遅延回路、
前記遅延回路から送信されたスイッチング信号に基づいて高電圧パルス を生成する高電圧スイッチ、
前記マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路上に位置し、前記高電圧スイッチから出力された高電圧パルスに基づいて駆動される光シャッタ、および
前記高電圧スイッチから出力された高電圧パルスを検出し、高電圧パルス検知信号を前記遅延回路に送信する高電圧モニタ、
を含み、
前記遅延回路は、前記発光トリガ信号と前記高電圧パルス検知信号とに基づいて前記遅延時間を決定するレーザ装置。
- [請求項2] 前記遅延回路は、前記発光トリガ信号を受信してから前記スイッチング信号を生成するまでの時間の目標値をB、前記スイッチング信号が立ち上がってから前記光シャッタに前記高電圧スイッチが印加されるまでの時間の目標値をC、前記高電圧スイッチが印加されるタイミングが目標値Cから長時間側にずれる変動分をDとしたとき、前記発光トリガ信号を受信してから前記スイッチング信号を生成するまでの時間を $(B - D)$ に設定する請求項1記載のレーザ装置。
- [請求項3] 前記遅延回路は、少なくとも前記発光トリガ信号を受信してからの経過時間を計測するカウンタを含む請求項1記載のレーザ装置。
- [請求項4] 前記遅延回路は、前記高電圧パルス検知信号が入力されたときに前記カウンタによる計測を終了する請求項3記載のレーザ装置。

- [請求項5] 前記光シャッタが、前記パルスレーザ光の光路に沿って複数設けられている請求項1記載のレーザ装置。
- [請求項6] 前記マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光を増幅する増幅器をさらに含む請求項1記載のレーザ装置。
- [請求項7] ターゲット物質からなるドロップレットにパルスレーザ光を照射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、前記パルスレーザ光を発する光源として請求項1記載のレーザ装置を含む極端紫外光生成装置。
- [請求項8] 外部トリガ信号を受信し、この受信時から第1の遅延時間を置いて第1の発光トリガ信号を生成し、前記外部トリガ信号に基づいて第2の発光トリガ信号を生成するレーザ制御部、
前記レーザ制御部から送信された第1の発光トリガ信号に基づいてパルスレーザ光を出力するマスターオシレータ、
前記レーザ制御部から送信された第2の発光トリガ信号を受信し、この受信時から第2の遅延時間を置いてスイッチング信号を生成する遅延回路、
前記遅延回路から送信されたスイッチング信号に基づいて高電圧パルスを生成する高電圧スイッチ、
前記マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路上に位置し、前記高電圧スイッチから出力された高電圧パルスに基づいて駆動される光シャッタ、および
前記高電圧スイッチから出力された高電圧パルスを検出し、高電圧パルス検知信号を前記レーザ制御部に送信する高電圧モニタ、
を含み、
前記レーザ制御部は、前記外部トリガ信号と前記高電圧パルス検知信号とに基づいて前記第1の遅延時間、および前記遅延回路における前記第2の遅延時間を決定するレーザ装置。
- [請求項9] 前記レーザ制御回路は、前記第1の遅延時間を t_0 、前記第2の遅

延時間の目標値をB、前記スイッチング信号が立ち上がってから前記光シャッタに前記高電圧スイッチが印加されるまでの時間の目標値をC、前記高電圧スイッチが印加されるタイミングが目標値Cから長時間側にずれる変動分をDとしたとき、前記外部トリガ信号を受信してから前記第2の発光トリガ信号を生成するまでの時間を $(t_0 - D)$ に設定する請求項8記載のレーザ装置。

[請求項10] 前記レーザ制御部は、少なくとも前記外部トリガ信号を受信してからの経過時間を計測するカウンタを含む請求項9記載のレーザ装置。

[請求項11] 前記レーザ制御部は、前記高電圧パルス検知信号が入力されたときに前記カウンタによる計測を終了する請求項10記載のレーザ装置。

[請求項12] 前記光シャッタが、前記パルスレーザ光の光路に沿って複数設けられている請求項9記載のレーザ装置。

[請求項13] 前記マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光を増幅する増幅器をさらに含む請求項9記載のレーザ装置。

[請求項14] ターゲット物質からなるドロップレットにパルスレーザ光を照射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、前記パルスレーザ光を発する光源として請求項8記載のレーザ装置を含む極端紫外光生成装置。

[請求項15] 受信した外部トリガ信号に基づいて発光トリガ信号を生成し、外部トリガ信号の受信時から第3の遅延時間を置いてスイッチング信号を生成するレーザ制御部、

前記レーザ制御部から送信された発光トリガ信号に基づいてパルスレーザ光を出力するマスターオシレータ、

前記レーザ制御部から送信されたスイッチング信号に基づいて高電圧パルスを生成する高電圧スイッチ、

前記マスターオシレータから出力されたパルスレーザ光の光路上に位置し、前記高電圧スイッチから出力された高電圧パルスに基づいて駆動される光シャッタ、および

前記高電圧スイッチから出力された高電圧パルスを検出し、高電圧パルス検知信号を前記レーザ制御部に送信する高電圧モニタ、
を含み、

前記レーザ制御部は、前記外部トリガ信号と前記高電圧パルス検知信号とに基づいて前記第3の遅延時間を決定するレーザ装置。

[請求項16] 前記制御回路は、前記第3の遅延時間の目標値をB、前記スイッチング信号が立ち上がってから前記光シャッタに前記高電圧スイッチが印加されるまでの時間の目標値をC、前記高電圧スイッチが印加されるタイミングが目標値Cから長時間側にずれる変動分をDとしたとき、前記第3の遅延時間を $(B - D)$ に設定する請求項15記載のレーザ装置。

[請求項17] 前記レーザ制御部は、少なくとも前記発光トリガ信号を受信してからの経過時間を計測するカウンタを含む請求項15記載のレーザ装置。

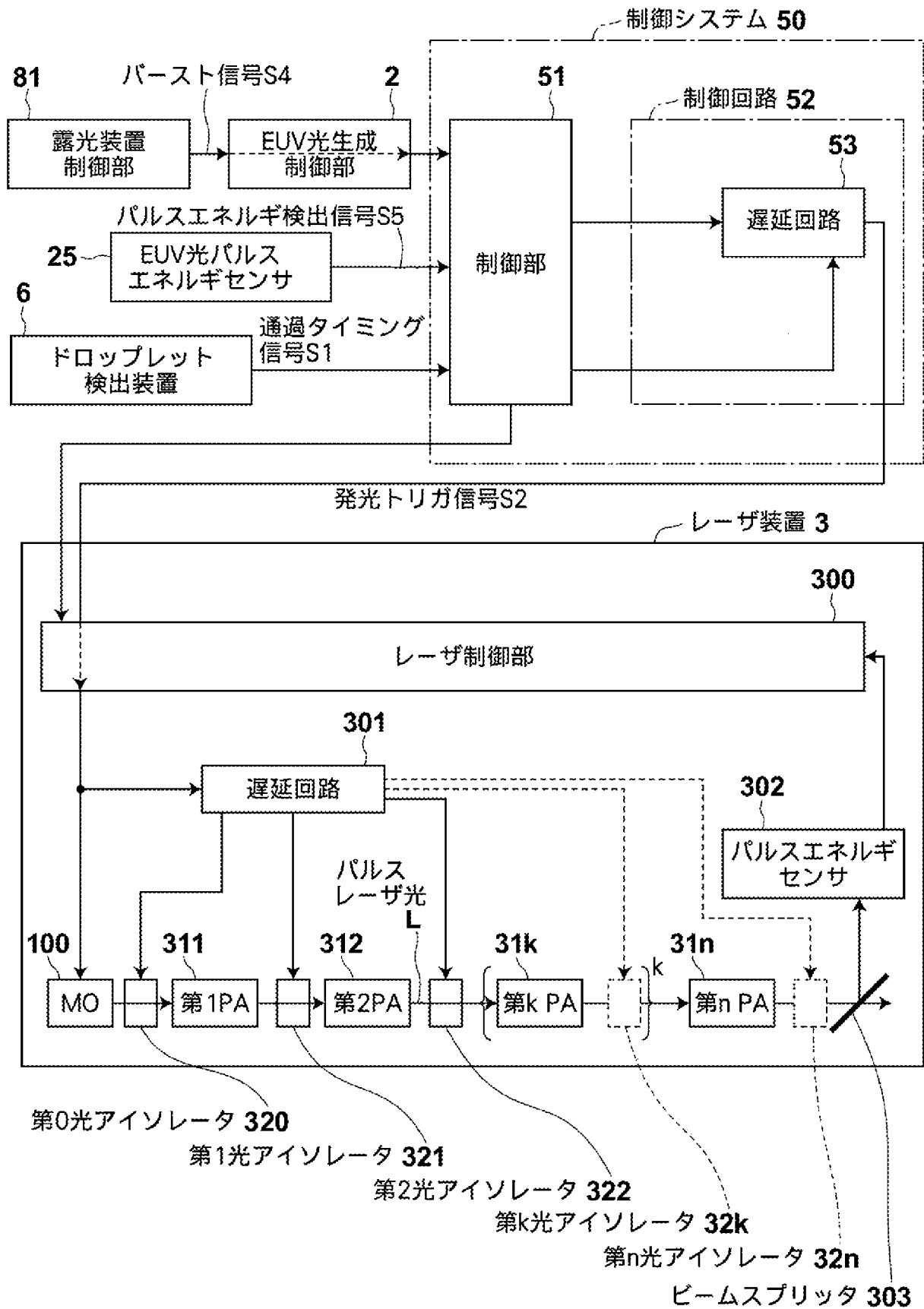
[請求項18] 前記レーザ制御部は、前記高電圧パルス検知信号が入力されたときに前記カウンタによる計測を終了する請求項17記載のレーザ装置。

[請求項19] 前記光シャッタが、前記パルスレーザ光の光路に沿って複数設けられている請求項15記載のレーザ装置。

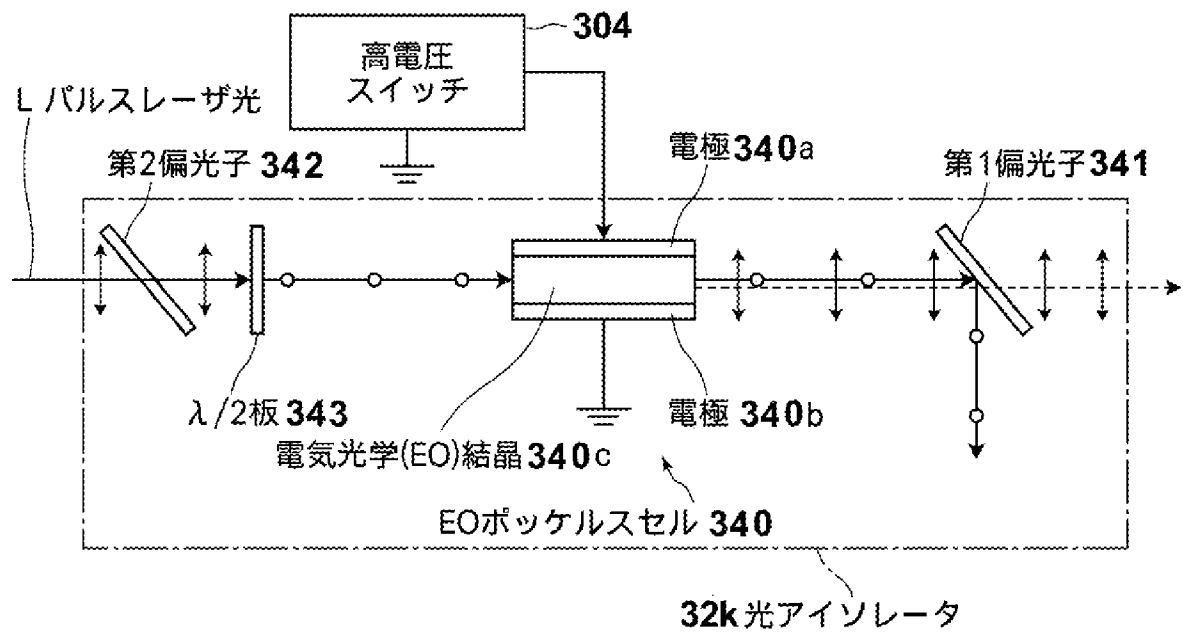
[請求項20] ターゲット物質からなるドロップレットにパルスレーザ光を照射して極端紫外光を生成する極端紫外光生成装置であって、前記パルスレーザ光を発する光源として請求項15記載のレーザ装置を含む極端紫外光生成装置。

[illegible]

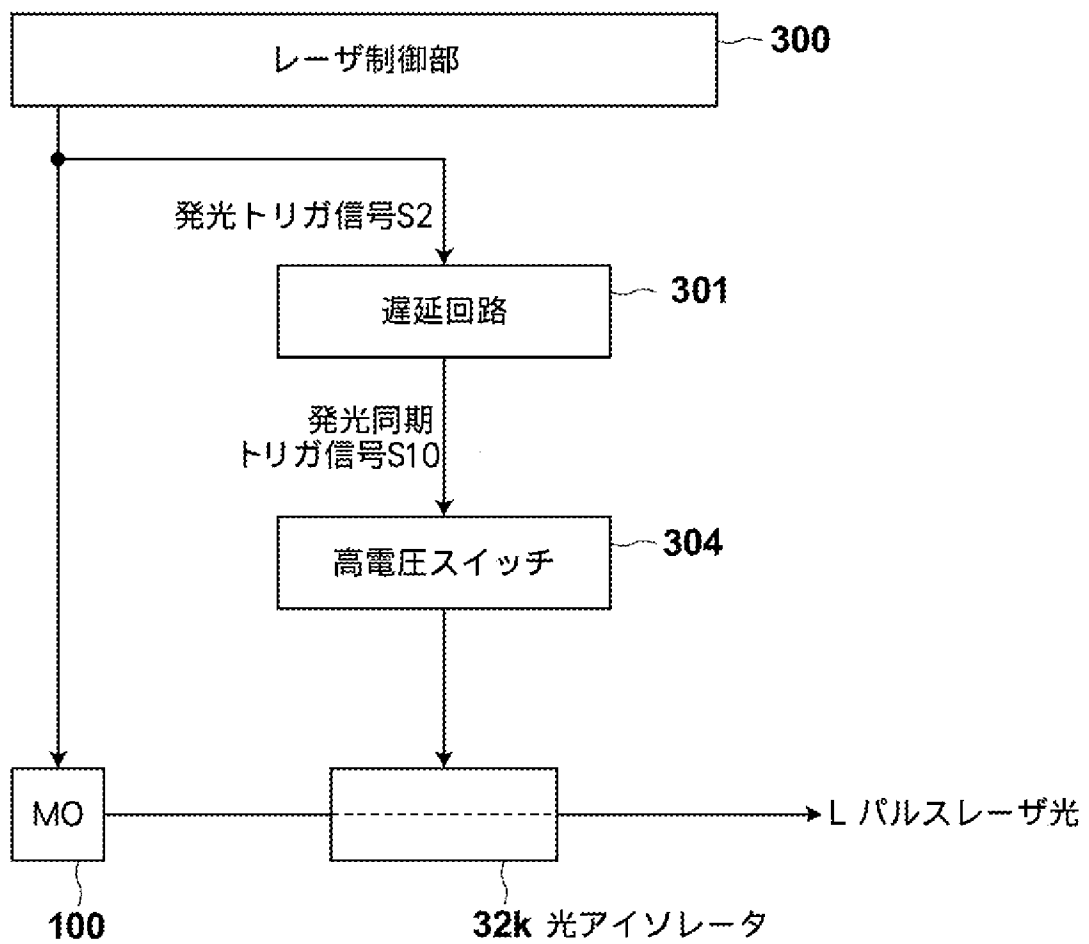
[図2]



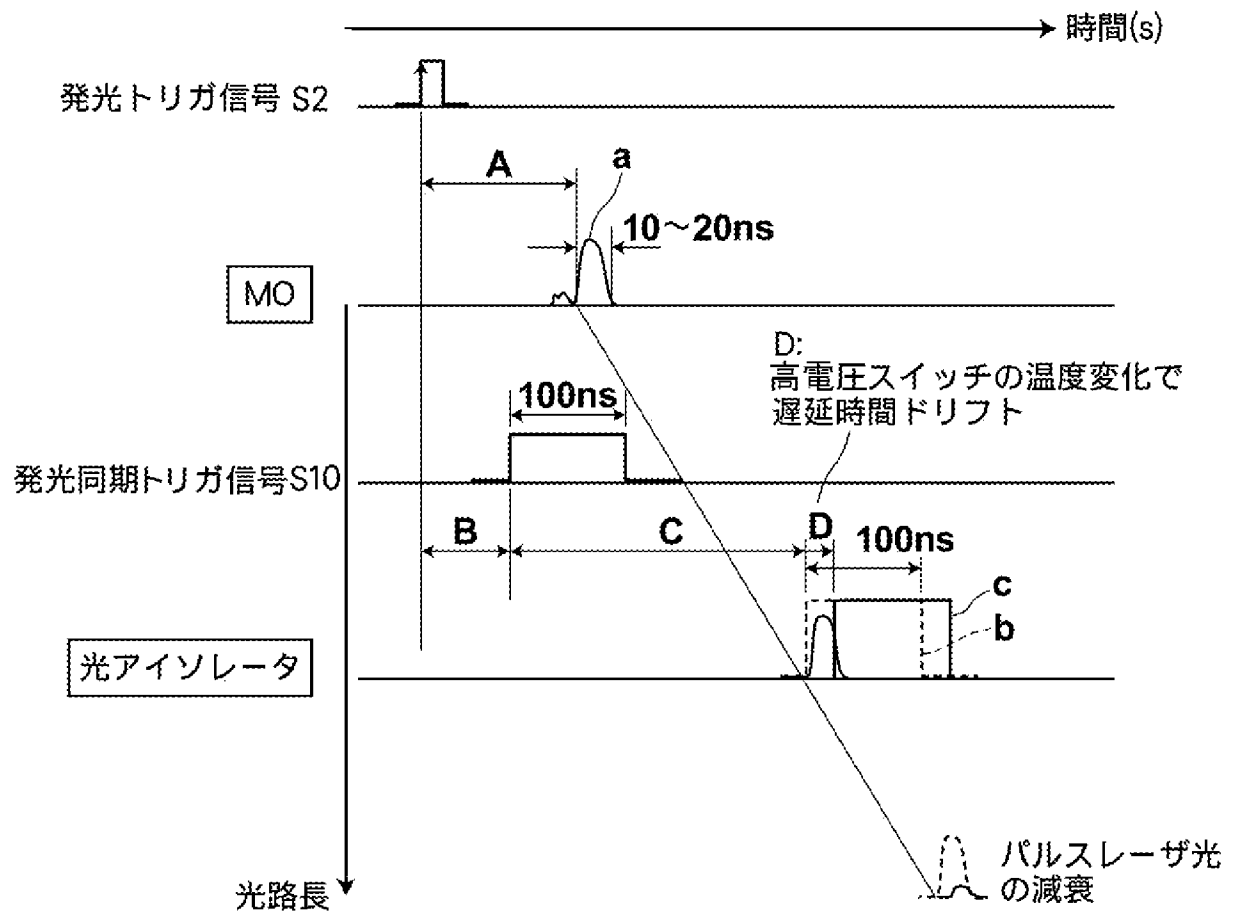
[図3]



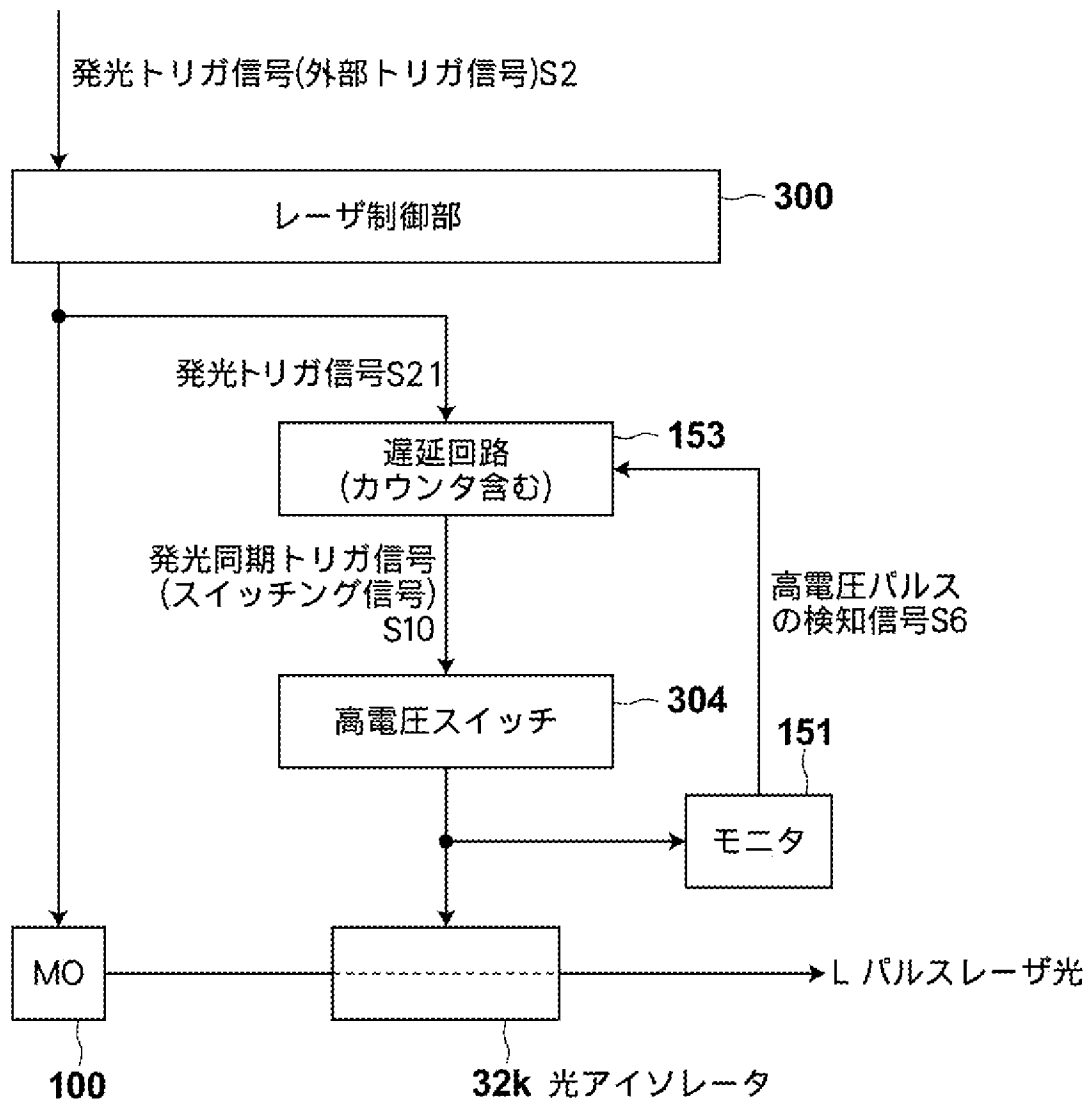
[図4]



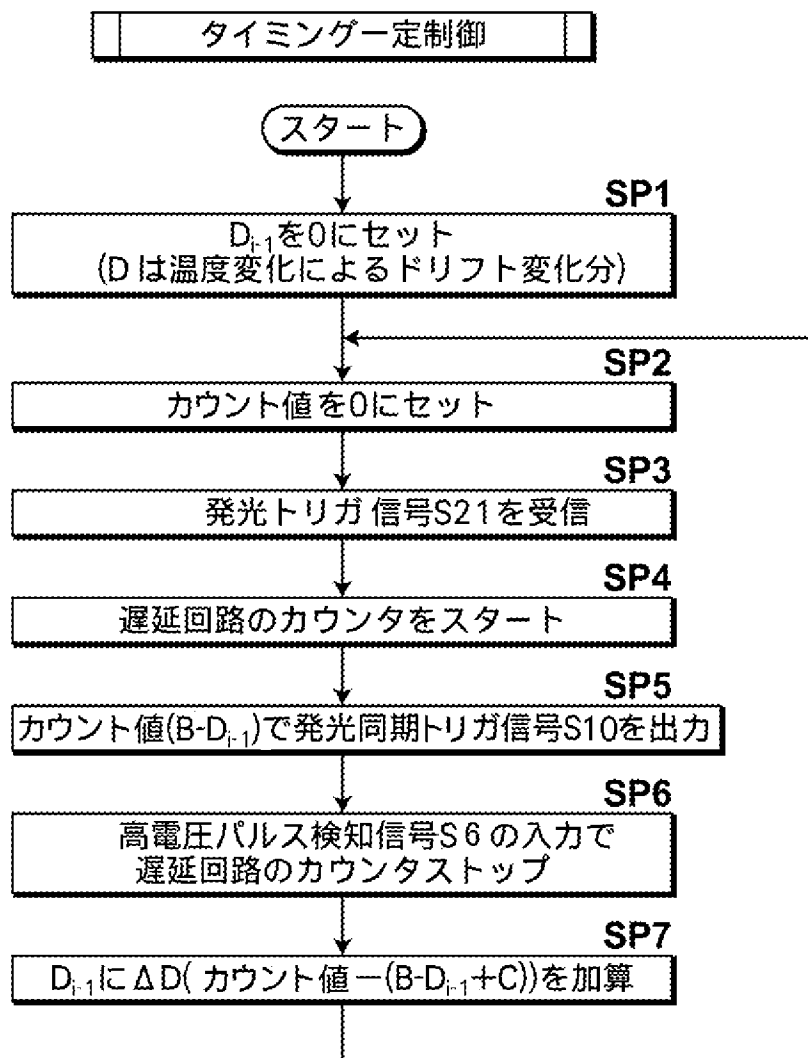
[図5]



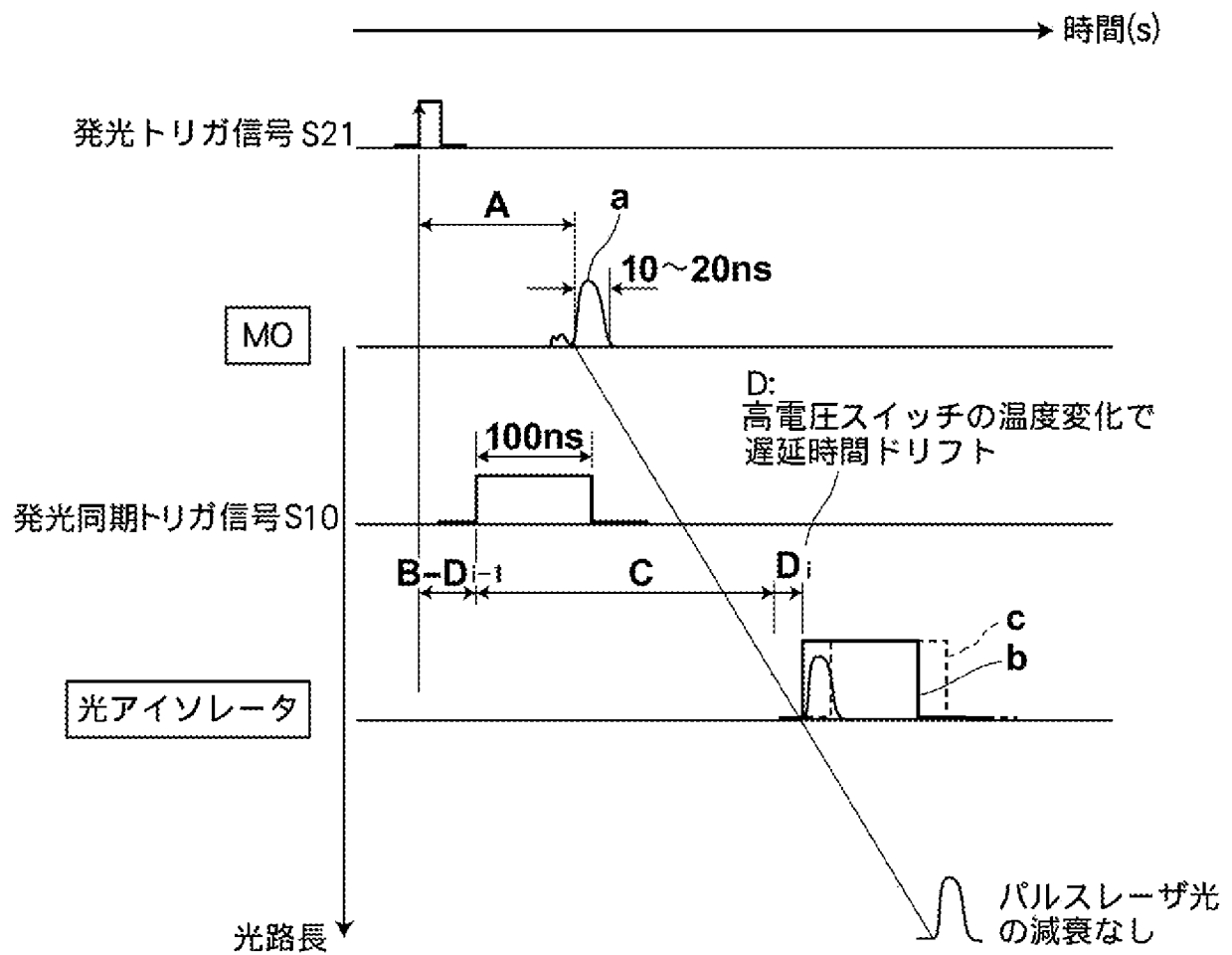
[図6]



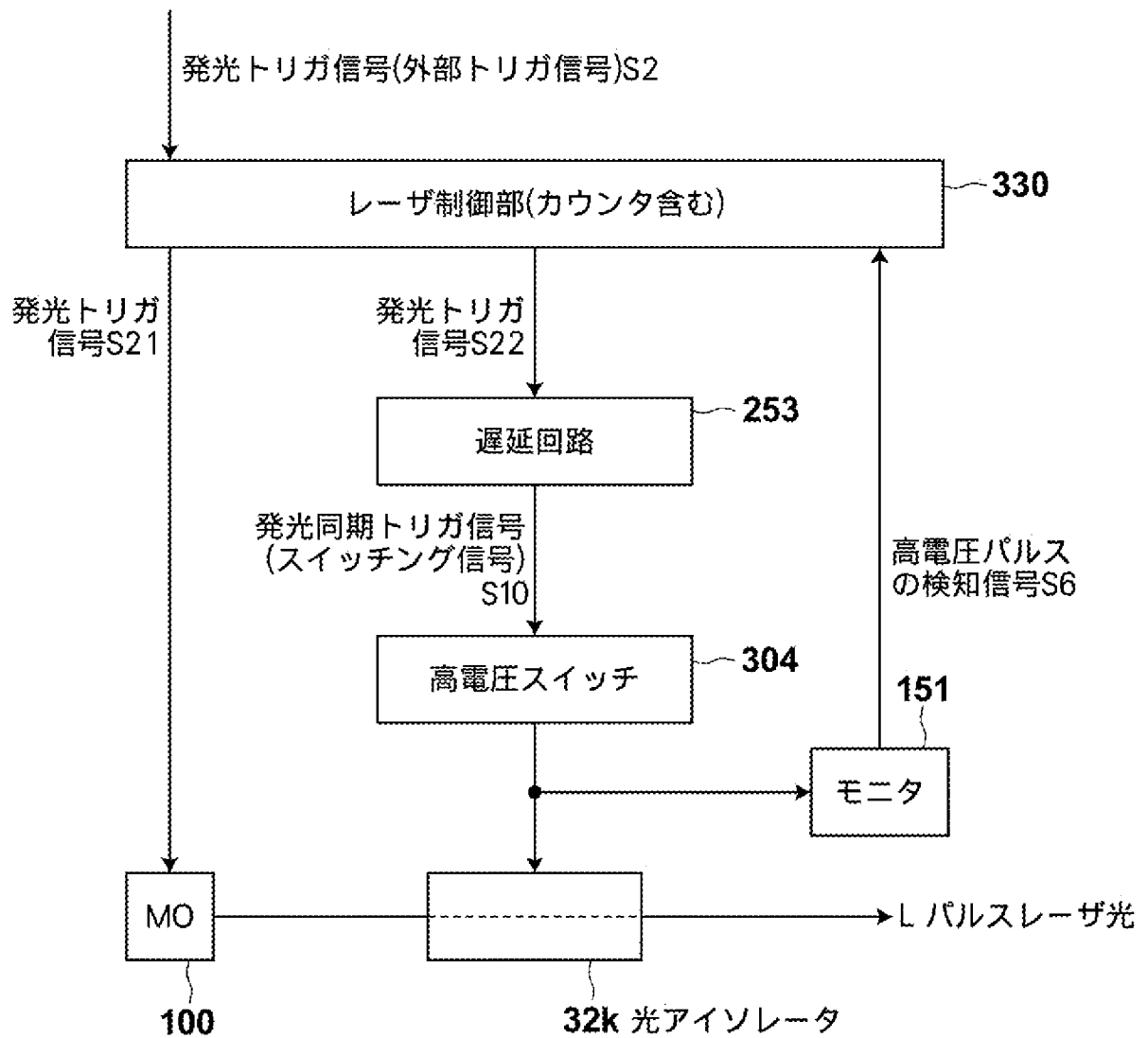
[図7]



[図8]

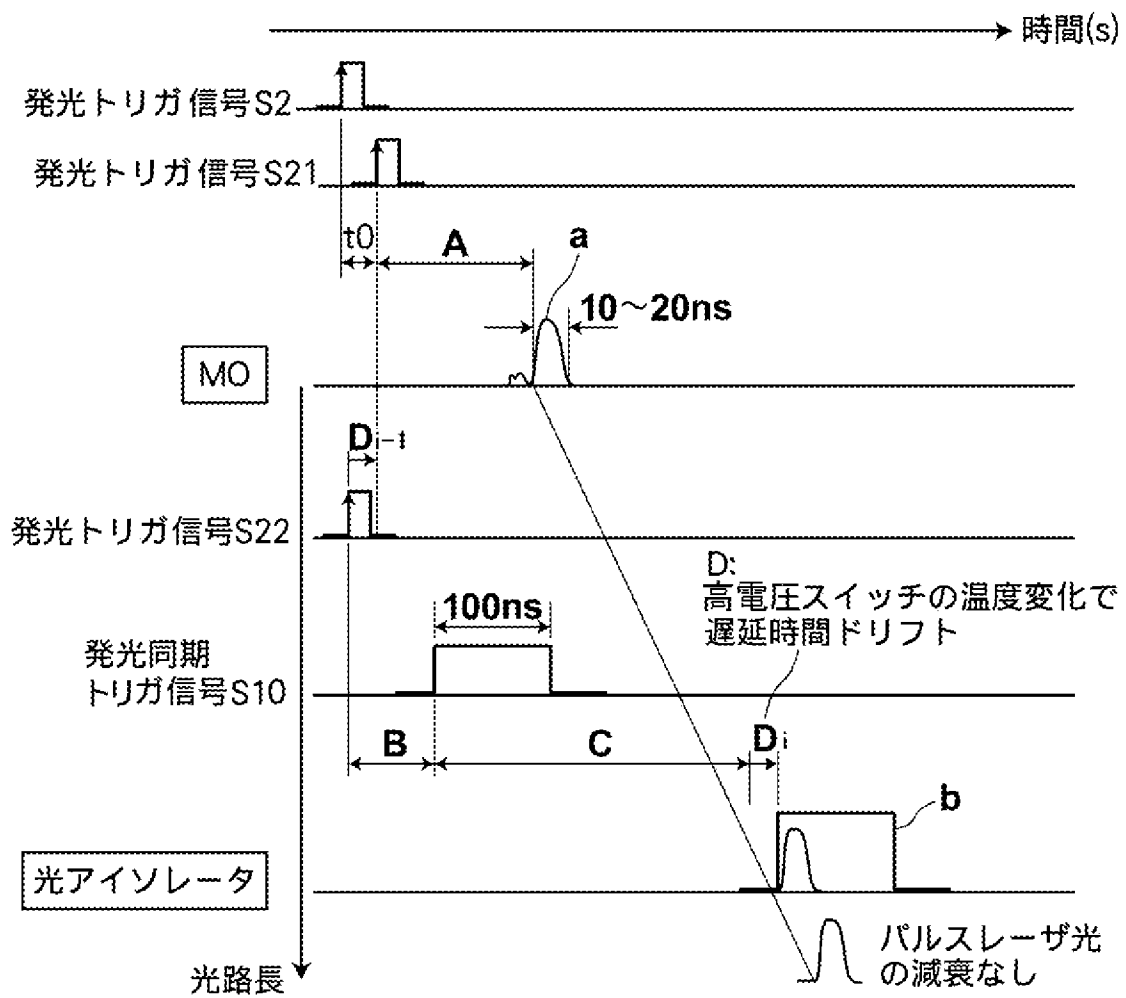


[図9]

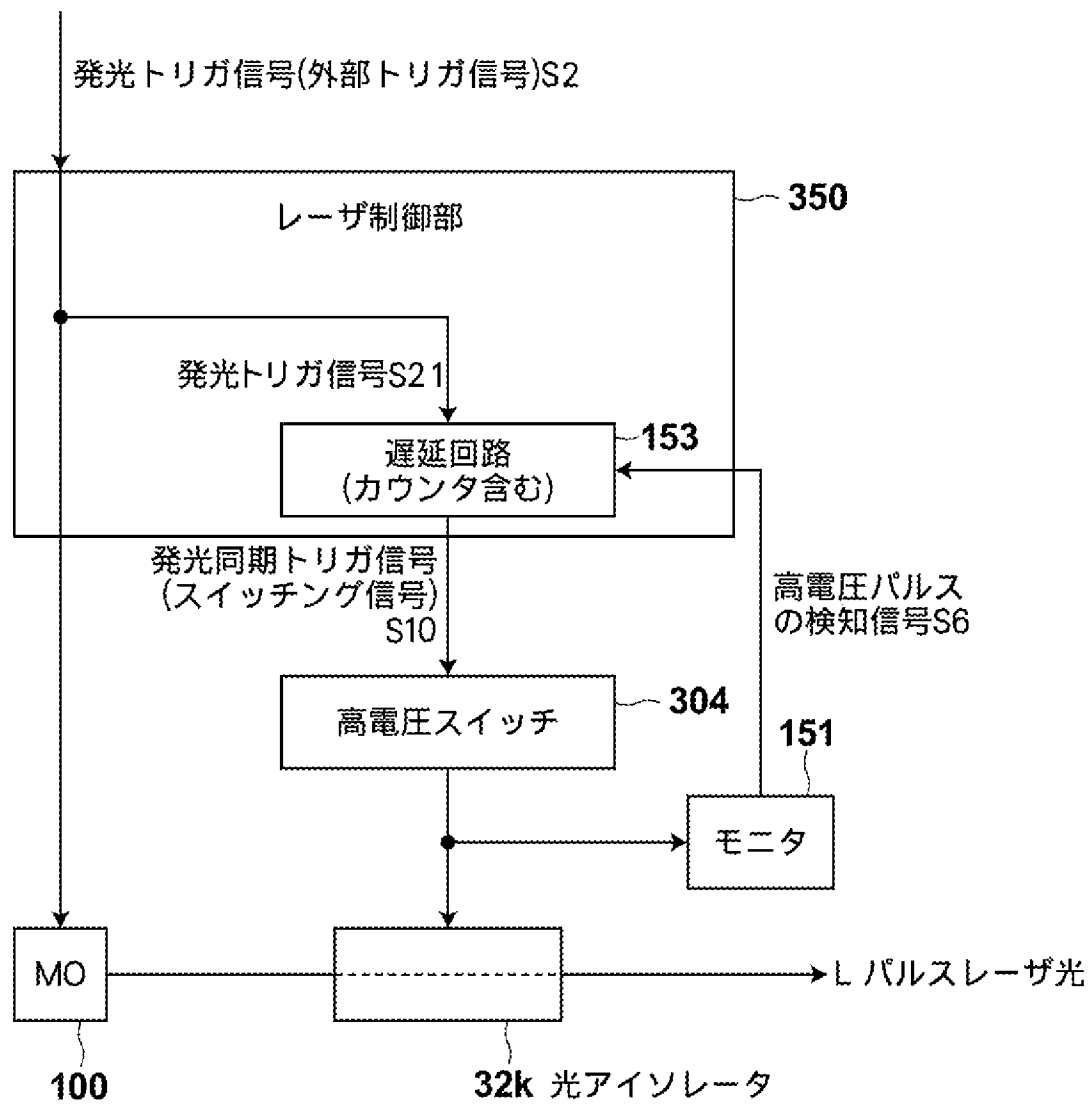


[図10]

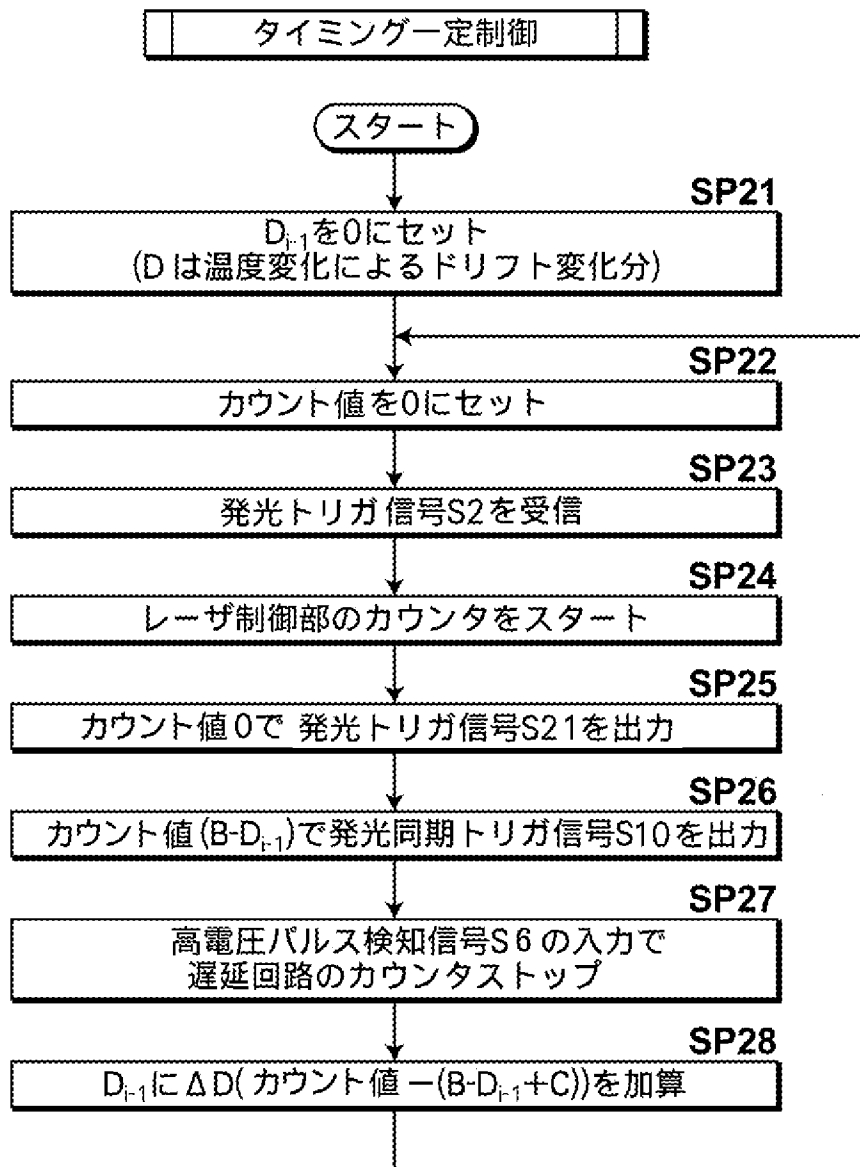




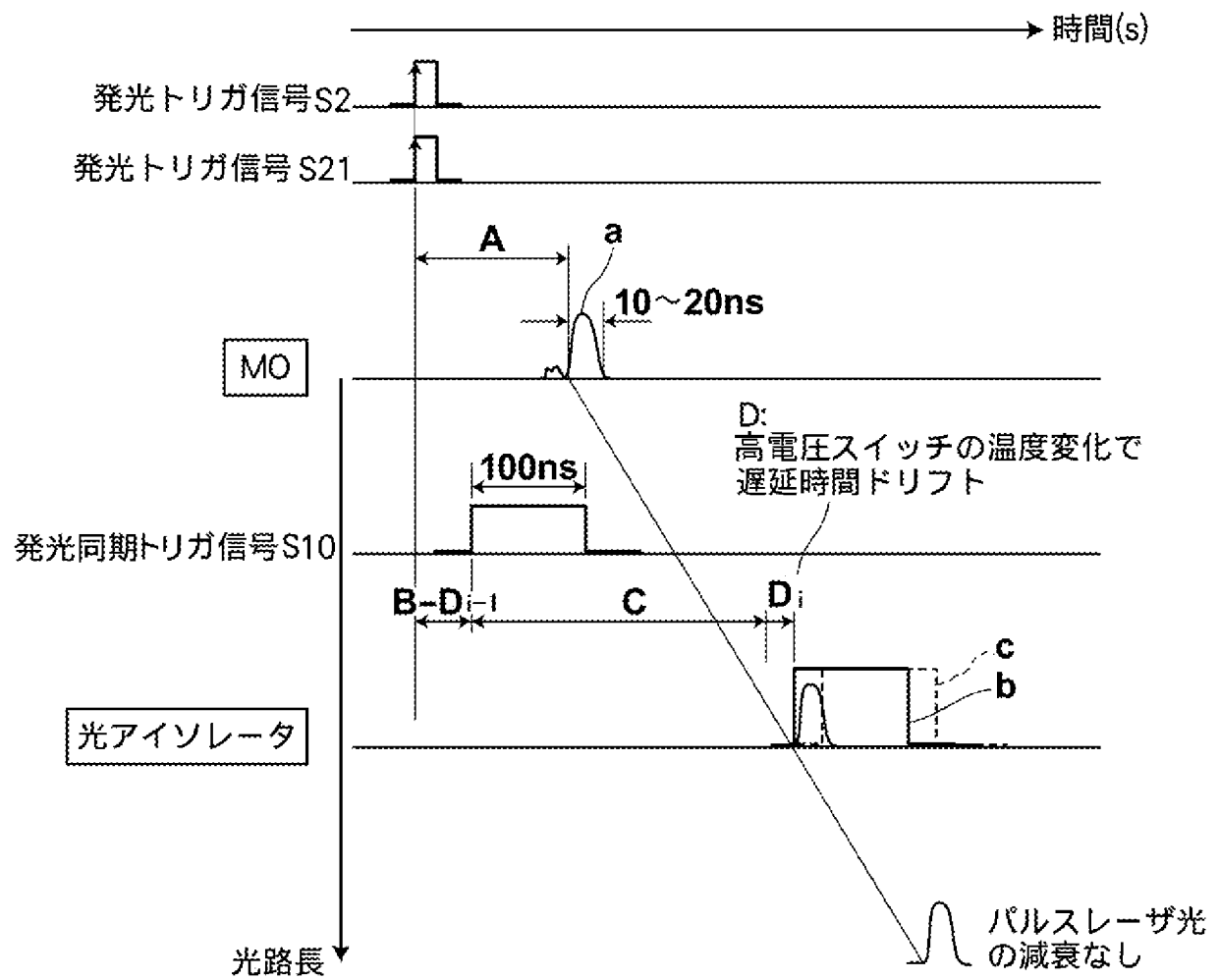
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/083595

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/10(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.
A	JP 2013-65804 A (Gigaphoton Inc.), 11 April 2013 (11.04.2013), entire text; all drawings & US 2013/0032735 A1 & WO 2012/085638 A2	1-20
A	WO 2016/142995 A1 (Gigaphoton Inc.), 15 September 2016 (15.09.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-20

☐ 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
17 March 2017 (17.03.17)

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.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/10(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
A	JP 2013-65804 A（ギガフォトン株式会社）2013.04.11, 全文全図 & US 2013/0032735 A1 & WO 2012/085638 A2	1-20
A	WO 2016/142995 A1（ギガフォトン株式会社）2016.09.15, 全文全図（ファミリーなし）	1-20

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
「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
「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）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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
「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
「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
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17.03.2017

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）

村井 友和

2 K

3207

電話番号 03-3581-1101 内線 3255