

(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
2017年10月12日(12.10.2017)



(10) 国際公開番号

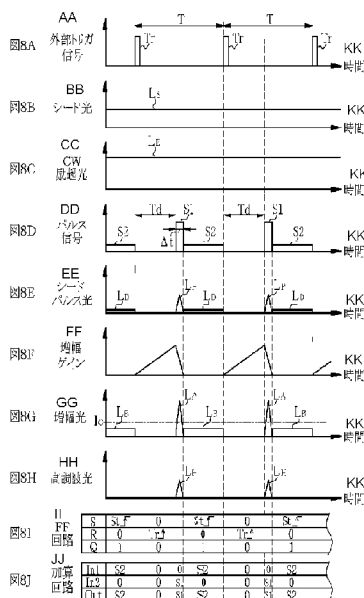
WO 2017/175344 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/131 (2006.01) H01S 3/10 (2006.01)
G02F 1/37 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/061358
- (22) 国際出願日: 2016年4月7日(07.04.2016)
- (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: 小野瀬 貴士(ONOSE, Takashi); 〒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). 若林 理(WAKABAYASHI, Osamu); 〒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: 特許業務法人 小林国際特許事務所(KYORITSU INSTITUTE); 〒1700004 東京都豊島区北大塚2丁目25番1号 アミックス大塚ビル2階 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, 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: SOLID-STATE LASER DEVICE, SOLID-STATE LASER SYSTEM, AND LASER DEVICE FOR LIGHT EXPOSURE DEVICE

(54) 発明の名称: 固体レーザ装置、固体レーザシステム、及び露光装置用レーザ装置



AA External trigger signal
BB Seed light
CC CW excitation light
DD Pulse signal
EE Seed pulse light
FF Amplification gain
GG Amplified light
HH Harmonic light
II FF circuit
JJ Adder circuit
KK Time

(57) Abstract: This solid-state laser device is provided with: a seed laser that outputs a seed light which is a CW laser light; a light intensity varying part that, by changing the intensity of the seed light, pulses the seed light and outputs same as a seed pulse light; a CW excitation laser that outputs a CW excitation light; an amplifier that, on the basis of amplification gain that increases due to photoexcitation by the CW excitation light, amplifies the seed pulse light and outputs same as amplified light; a wavelength conversion part that performs wavelength conversion of the amplified light and outputs same as harmonic light; and a light intensity control part that controls the light intensity varying part in accordance with the input of an external trigger signal, said light intensity control part causing the light intensity varying part to output the seed pulse light after a fixed time has elapsed from the input of the external trigger signal, and to output a suppressed light, wherein the increase in amplification gain is suppressed, during a period from the output of the seed pulse light until the input of a subsequent external trigger signal.

(57) 要約: 固体レーザ装置は、CWレーザ光であるシード光を出力するシードレーザと、シード光の光強度を変更することにより、シード光をパルス化してシードパルス光として出力する光強度可変部と、CW励起光を出力するCW励起レーザと、CW励起光による光励起により増加した増幅ゲインに基づいて、シードパルス光を増幅して増幅光として出力する増幅器と、増幅光を波長変換して高調波光を出力する波長変換部と、外部トリガ信号の入力に応じて光強度可変部を制御する光強度制御部であって、光強度可変部に、外部トリガ信号の入力から一定時間の経過後に、シードパルス光を出力させ、シードパルス光の出力後から次の外部トリガ信号の入力までの期間内に、増幅ゲインの増加を抑制させる抑制光を出力させる光強度制御部と、を備える。

WO 2017/175344 A1



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

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).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

固体レーザ装置、固体レーザシステム、及び露光装置用レーザ装置

技術分野

[0001] 本開示は、固体レーザ装置、固体レーザシステム、及び露光装置用レーザ装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体集積回路の微細化、高集積化につれて、半導体露光装置においては解像力の向上が要請されている。半導体露光装置を以下、単に「露光装置」という。このため露光用光源から出力される光の短波長化が進められている。露光用光源には、従来の水銀ランプに代わってガスレーザ装置が用いられている。現在、露光用レーザ装置としては、波長248nmの紫外線を出力するKrFエキシマレーザ装置ならびに、波長193.4nmの紫外線を出力するArFエキシマレーザ装置が用いられている。

[0003] 現在の露光技術としては、露光装置側の投影レンズとウエハ間の間隙を液体で満たして、当該間隙の屈折率を変えることによって、露光用光源の見かけ上の波長を短波長化する液浸露光が実用化されている。ArFエキシマレーザ装置を露光用光源として用いて液浸露光が行われた場合は、ウエハには水中における波長134nmの紫外光が照射される。この技術をArF液浸露光という。ArF液浸露光はArF液浸リソグラフィーとも呼ばれる。

[0004] KrF、ArFエキシマレーザ装置の自然発振におけるスペクトル線幅は約350～400pmと広いため、露光装置側の投影レンズによってウエハ上に縮小投影されるレーザ光（紫外線光）の色収差が発生して解像力が低下する。そこで色収差が無視できる程度となるまでガスレーザ装置から出力されるレーザ光のスペクトル線幅を狭帯域化する必要がある。このためガスレーザ装置のレーザ共振器内には、狭帯域化素子を有する狭帯域化モジュール（Line Narrowing Module）が設けられている。この狭帯域化モジュールによ

リスペクトル線幅の狭帯域化が実現されている。狭帯域化素子は、エタロンやグレーティング等であってもよい。このようにスペクトル線幅が狭帯域化されたレーザ装置を狭帯域化レーザ装置という。

[0005] また、露光装置用レーザ装置として、MO（マスタオシレータ）とPO（パワーオシレータ）とを含む構成がある。このような露光装置用レーザ装置では、通常、MOとPOとに、エキシマレーザ装置が使用される。しかしながら、省エネルギーの観点から、MOとして、固体レーザ装置を適用した露光装置用レーザ装置の開発が進みつつある。固体レーザ装置は、半導体レーザ、非線形結晶等を含んで構成される。この固体レーザ装置は、露光装置用レーザ装置に限られず、加工用レーザ装置等にも用いることが可能である。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2014-53627号公報
特許文献2：特開2011-192831号公報
特許文献3：特開平11-285872号公報
特許文献4：特開2009-229715号公報
特許文献5：特開2012-199425号公報

概要

- [0007] 本開示の1つの観点に係る固体レーザ装置は、CWレーザ光であるシード光を出力するシードレーザと、シード光の光強度を変更することにより、シード光をパルス化してシードパルス光として出力する光強度可変部と、CW励起光を出力するCW励起レーザと、CW励起光による光励起により増加した増幅ゲインに基づいて、シードパルス光を増幅して増幅光として出力する増幅器と、増幅光を波長変換して高調波光を出力する波長変換部と、外部トリガ信号の入力に応じて光強度可変部を制御する光強度制御部であって、光強度可変部に、外部トリガ信号の入力から一定時間の経過後に、シードパルス光を出力させ、シードパルス光の出力後から次の外部トリガ信号の入力までの期間内に、増幅ゲインの増加を抑制させる抑制光を出力させる光強度制

御部と、を備える。

[0008] 本開示の1つの観点に係る固体レーザシステムは、第1の固体レーザ装置と、第2の固体レーザ装置と、和周波波長変換部と、を備える。第1の固体レーザ装置は、CWレーザ光である第1のシード光を出力する第1のシードレーザと、第1のシード光の光強度を変更することにより、第1のシード光をパルス化して第1のシードパルス光として出力する第1の光強度可変部と、第1のCW励起光を出力する第1のCW励起レーザと、第1のCW励起光による光励起により増加した増幅ゲインに基づいて、第1のシードパルス光を増幅して第1の増幅光として出力する第1の増幅器と、外部トリガ信号の入力に応じて第1の光強度可変部を制御する第1の光強度制御部であって、第1の光強度可変部に、外部トリガ信号の入力から一定時間の経過後に、第1のシードパルス光を出力させ、第1のシードパルス光の出力後から次の外部トリガ信号の入力までの期間内に、第1の増幅器の増幅ゲインの増加を抑制させる第1の抑制光を出力させる第1の光強度制御部と、を含む。第2の固体レーザ装置は、CWレーザ光である第2のシード光を出力する第2のシードレーザと、第2のシード光の光強度を変更することにより、第2のシード光をパルス化して第2のシードパルス光として出力する第2の光強度可変部と、第2のCW励起光を出力する第2のCW励起レーザと、第2のCW励起光による光励起により増加した増幅ゲインに基づいて、第2のシードパルス光を増幅して第2の増幅光として出力する第2の増幅器と、外部トリガ信号の入力に応じて第2の光強度可変部を制御する第2の光強度制御部であって、第2の光強度可変部に、外部トリガ信号の入力から一定時間の経過後に、第2のシードパルス光を出力させ、第2のシードパルス光の出力後から次の外部トリガ信号の入力までの期間内に、第2の増幅器の増幅ゲインの増加を抑制させる第2の抑制光を出力させる第2の光強度制御部と、を含む。和周波波長変換部は、第1の固体レーザ装置から出力される第1のパルスレーザ光と、第2の固体レーザ装置から出力される第2のパルスレーザ光との和周波を有する第3のパルスレーザ光を生成する。

[0009] 本開示の１つの観点に係る露光装置用レーザ装置は、上記固体レーザシステムと、固体レーザシステムから出力される第３のパルスレーザ光を増幅するエキシマレーザ装置からなる増幅器と、を備える。

図面の簡単な説明

[0010] 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、比較例に係る固体レーザ装置１０の構成を概略的に示す図である。

[図２]図２は、図１に示される固体レーザ装置１０の動作を説明するフローチャートである。

[図３]図３Ａ～図３Ｈは、固体レーザ装置１０の動作を示すタイミングチャートである。

[図４]図４Ａ～図４Ｈは、固体レーザ装置１０に入力される外部トリガ信号 T_r のパルス間隔 T が「 T_b 」である場合のタイミングチャートである。

[図５]図５は、本開示に係る固体レーザ装置１０ａの構成を概略的に示す図である。

[図６]図６は、光強度制御部２０の構成を概略的に示す図である。

[図７]図７は、図５及び図６に示される固体レーザ装置１０ａの動作を説明するフローチャートである。

[図８]図８Ａ～図８Ｊは、固体レーザ装置１０ａの動作を示すタイミングチャートである。

[図９]図９は、第１の変形例に係る光強度制御部２０の構成を示す図である。

[図１０]図１０は、第２の変形例に係る光強度制御部２０に組み込まれた制御プログラムによる動作を示すフローチャートである。

[図１１]図１１Ａ～図１１Ｈは、第３の変形例に係る光強度制御部２０を含む固体レーザ装置１０ａの動作を示すタイミングチャートである。

[図１２]図１２は、第４の変形例に係る光強度制御部２０の構成を示す図である。

[図13]図13A～図13Jは、第4の変形例に係る光強度制御部20を含む固体レーザ装置10aの動作を示すタイミングチャートである。

[図14]図14A～図14Hは、第6の変形例に係る光強度制御部20を含む固体レーザ装置10aの動作を示すタイミングチャートである。

[図15]図15は、光シャッタ100の一構成例を示す図である。

[図16]図16は、半導体光増幅器200の一構成例を示す図である。

[図17]図17は、MOPA型の露光装置用レーザ装置50の構成を概略的に示す図である。

[図18]図18は、図17に示される固体レーザシステム51の構成を概略的に示す図である。

[図19]図19は、図17に示される増幅器54の構成を概略的に示す図である。

[図20]図20は、第1の変形例に係る増幅器300の構成を概略的に示す図である。

[図21]図21は、第2の変形例に係る増幅器400の構成を概略的に示す図である。

実施形態

[0011] <内容>

1. 比較例

1. 1 構成

1. 2 動作

1. 3 課題

2. 第1の実施形態

2. 1 構成

2. 2 動作

2. 3 効果

2. 4 第1及び第2の信号の設定条件

2. 5 波長変換閾値の定義

3. 光強度制御部の変形例

3. 1 第1の変形例

3. 2 第2の変形例

3. 3 第3の変形例

3. 4 第4の変形例

3. 5 第5の変形例

3. 6 第6の変形例

4. 光強度可変部の構成例

4. 1 第1の構成例

4. 1. 1 構成

4. 1. 2 動作

4. 2 第2の構成例

4. 2. 1 構成

4. 2. 2 動作

5. MOと増幅器とを含むレーザ装置への固体レーザ装置の適用例

5. 1 構成

5. 2 動作

5. 3 効果

5. 4 波長変換閾値の定義

5. 5 波長変換部に関する変形例

5. 6 増幅器の変形例

5. 6. 1 第1の変形例

5. 6. 2 第2の変形例

6. その他の変形例

[0012] 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。

[0013] 1. 比較例

1. 1 構成

図1は、比較例に係る固体レーザ装置10の構成を概略的に示す。図1において、固体レーザ装置10は、固体レーザ制御部11と、CW励起レーザ12と、増幅器13と、シードレーザ14と、光強度可変部15と、ダイクロイックミラー16と、ワンショット回路17と、波長変換部18と、を含む。

[0014] 固体レーザ装置10は、外部装置としてのレーザ光照射装置2に接続されている。固体レーザ制御部11には、レーザ光照射装置2に含まれるレーザ光照射制御部3から、パルス状の発振準備信号Rdと、パルス状の外部トリガ信号Trとが入力される。

[0015] CW励起レーザ12は、増幅器13が光励起可能な波長の光であるCW (Continuous Wave) 励起光 L_E を出力する光源である。CW励起レーザ12は、例えば、波長が約976nmのCW励起光 L_E を出力する半導体レーザである。増幅器13は、Ybがドープされた光学結晶からなる固体増幅器、又はYbがドープされた合成石英からなるファイバ増幅器、あるいはこれらを組み合わせたものである。CW励起レーザ12から出力されたCW励起光 L_E は、ダイクロイックミラー16により高反射されて増幅器13に入力される。

[0016] シードレーザ14は、シード光 L_s を出力する光源である。シードレーザ14は、例えば、波長が約1060nmであるCWレーザ光をシード光 L_s として出力する分布帰還型の半導体レーザである。なお、このシード光 L_s の波長は、1020nm～1090nmの波長範囲内であることが好ましい。

[0017] 光強度可変部15は、EO (Electro Optical) ポッケルスセルと偏光子とを組み合わせた光シャッタである。光強度可変部15は、シードレーザ14とダイクロイックミラー16との間に配置されている。なお、光強度可変部15は、半導体増幅器であってもよい。

- [0018] ワンショット回路 17 は、固体レーザ制御部 11 からの外部トリガ信号 T_r の入力を受けて、所定のパルス幅のパルス信号 S を生成して光強度可変部 15 に出力する。光強度可変部 15 は、シードレーザ 14 からシード光 L_s が入力されている状態において、ワンショット回路 17 からパルス信号 S が入力されると、パルス信号 S の立ち上がりエッジを検出し、パルス信号 P のパルス幅に対応する期間のみシード光 L_s を透過させる。すなわち、光強度可変部 15 は、ワンショット回路 17 から入力されるパルス信号 S に応じて、シード光 L_s をパルス化したシードパルス光 L_p を出力する。
- [0019] ダイクロイックミラー 16 は、シードパルス光 L_p の光路と、CW 励起光 L_E の光路とが交わる位置であって、シードパルス光 L_p の光路と CW 励起光 L_E の光路とをほぼ一致させるように配置されている。ダイクロイックミラー 16 の表面には、CW 励起レーザ 12 から出力された CW 励起光 L_E が高反射し、光強度可変部 15 から出力されたシードパルス光 L_p が高透過する膜がコーティングされている。
- [0020] 増幅器 13 は、CW 励起光 L_E の入力により光励起され、反転分布が形成された状態で、シードパルス光 L_p が入力される。増幅器 13 にシードパルス光 L_p が入力されると、誘導放出による光の増幅が生じる。シードパルス光 L_p は、増幅器 13 により増幅され、増幅光 L_A として出力される。この誘導放出による光の増幅の際に、増幅器 13 の反転分布が消費される。
- [0021] 波長変換部 18 は、増幅光 L_A を高調波光 L_H に波長変換する非線形結晶を含む。高調波光 L_H は、波長が約 355 nm の第 3 高調波光、又は波長が約 266 nm の第 4 高調波光である。波長変換部 18 が、非線形結晶として、LBO (LiB_3O_5) 結晶や BBO ($\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$) 結晶等を含む場合には、高調波光 L_H として第 3 高調波光が生成される。波長変換部 18 が、非線形結晶として、LBO 結晶と、CLBO ($\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$) 結晶とを含む場合には、高調波光 L_H として第 4 高調波光が生成される。
- [0022] 1. 2 動作

図 2 は、図 1 に示される固体レーザ装置 10 の動作を説明するフローチャ

ートである。図3A～図3Hは、固体レーザ装置10の動作を示すタイミングチャートである。なお、図3A及び図3Dのタイミングチャートの縦軸は、電圧値である。図3B、図3C、図3E、図3G、及び図3Hのタイミングチャートの縦軸は、光強度である。図3Fのタイミングチャートの縦軸は、増幅ゲインである。

[0023] 固体レーザ装置10に含まれる固体レーザ制御部11は、以下の処理により、固体レーザ装置10の動作を制御する。

[0024] まず、S100において、固体レーザ制御部11は、レーザ光照射装置2から発振準備信号Rdを受信したか否かを判定する。固体レーザ制御部11は、発振準備信号Rdを受信していない場合(S100; NO)、発振準備信号Rdを受信するまで待機する。固体レーザ制御部11は、発振準備信号Rdを受信した場合(S100; YES)、処理をS110に進める。

[0025] S110において、固体レーザ制御部11は、シードレーザ14を制御してレーザ発振動作を開始させ、図3Bに示すように、シードレーザ14に一定の光強度のシード光 L_s を出力させる。シードレーザ14から出力されたシード光 L_s は、光強度可変部15に入力され、後述する外部トリガ信号Trが固体レーザ制御部11に入力されるまでの間は、光強度可変部15により透過が抑制される。

[0026] 次に、S120において、固体レーザ制御部11は、CW励起レーザ12を制御してレーザ発振動作を開始させ、図3Cに示すように、CW励起レーザ12に一定の光強度のCW励起光 L_E を出力させる。CW励起レーザ12から出力されたCW励起光 L_E は、ダイクロイックミラー16により高反射されることにより増幅器13に入射し、増幅器13を光励起させる。増幅器13では、CW励起光 L_E を受けて光励起が生じることにより、反転分布が形成される。この反転分布の励起状態の原子数は、CW励起光 L_E の入射時間の経過とともに増加する。すなわち、図3Fに示すように、増幅器13の増幅ゲインは、CW励起光 L_E の入射時間の経過とともに増加する。

[0027] 次に、S130において、固体レーザ制御部11は、図1において破線で

示される外部トリガ信号ラインをワンショット回路 17 に接続することにより、ワンショット回路 17 への外部トリガ信号 T_r の入力を可能とする。したがって、図 3 A に示すように、固体レーザ制御部 11 にレーザ光照射装置 2 から外部トリガ信号 T_r が入力されると、外部トリガ信号 T_r は、外部トリガ信号ラインを介してワンショット回路 17 に入力される。

[0028] S 140 において、ワンショット回路 17 は、外部トリガ信号 T_r が入力されると、図 3 D に示すように、所定のパルス幅のパルス信号 P を生成して光強度可変部 15 に出力する。光強度可変部 15 は、ワンショット回路 17 からパルス信号 S が入力されると、パルス信号 P のパルス幅に対応する期間のみシード光 L_s を透過させる。これにより、光強度可変部 15 からは、図 3 E に示すように、パルス信号 S に応じたパルス幅のシードパルス光 L_p が出力される。シードパルス光 L_p は、ダイクロイックミラー 16 を高透過して増幅器 13 に入力される。

[0029] 増幅器 13 にシードパルス光 L_p が入力されると、誘導放出による光の増幅が生じ、図 3 G に示すように、増幅光 L_A が出力される。この増幅光 L_A の光強度は、増幅器 13 にシードパルス光 L_p が入力された時点における増幅ゲインの大きさに依存する。増幅器 13 から出力された増幅光 L_A は、波長変換部 18 に入力される。波長変換部 18 に増幅光 L_A が入力されると、図 3 H に示すように、増幅光 L_A が高調波光 L_H に変換されて出力される。この高調波光 L_H は、紫外のパルスレーザ光として、レーザ光照射装置 2 の図示しない照明光学系に入射する。

[0030] 増幅器 13 の反転分布は、増幅光 L_A が生成される際に消費され、これに伴い増幅ゲインが低下する。増幅器 13 の増幅ゲインは、増幅光 L_A により反転分布が消費された時点から、CW 励起光 L_E の入射を受けて再び増加する。

[0031] S 150 において、固体レーザ制御部 11 は、固体レーザ装置 10 の運転を停止するか否かを判定する。例えば、固体レーザ制御部 11 は、レーザ光照射装置 2 から、図示しない停止信号を受信した場合に、固体レーザ装置 10 の運転を停止すると判定する。停止信号は、固体レーザ装置 10 に不具合

が生じた場合や、固体レーザ装置 10 のレーザ発振を終了させる場合に、固体レーザ装置 10 に入力される。

[0032] 固体レーザ制御部 11 は、固体レーザ装置 10 の運転を停止させないと判定した場合 (S 150 ; NO) には、外部トリガ信号ラインをワンショット回路 17 に接続したままとし、ワンショット回路 17 に外部トリガ信号 T_r を入力させる。S 140 におけるワンショット回路 17 によるパルス信号 S の生成動作と、これに伴うレーザ発振動作とは、固体レーザ制御部 11 に外部トリガ信号 T_r が入力されるたびに行われる。

[0033] 固体レーザ制御部 11 は、固体レーザ装置 10 の運転を停止させると判定した場合 (S 150 ; YES)、処理を S 160 に進める。S 160 において、固体レーザ制御部 11 は、外部トリガ信号ラインをワンショット回路 17 から切断する。次に、S 170 において、固体レーザ制御部 11 は、CW 励起レーザ 12 のレーザ発振動作を停止させる。次に、S 180 において、固体レーザ制御部 11 は、シードレーザ 14 のレーザ発振動作を停止させる。

[0034] 1. 3 課題

図 3 A ~ 図 3 H は、固体レーザ装置 10 に入力される外部トリガ信号 T_r のパルス間隔 T が「 T_a 」である場合のタイミングチャートである。これに対して、図 4 A ~ 図 4 H は、固体レーザ装置 10 に入力される外部トリガ信号 T_r のパルス間隔 T が「 T_b 」である場合のタイミングチャートである。ここで、 $T_b > T_a$ である。

[0035] 比較例に係る固体レーザ装置 10 では、図 3 F 及び図 4 F に示すように、増幅器 13 の増幅ゲインは、外部トリガ信号 T_r が固体レーザ装置 10 に入力され、増幅光 L_A の生成により反転分布が消費された時点から、CW 励起光 L_E の入射を受けて次第に増加する。このため、次に外部トリガ信号 T_r が固体レーザ装置 10 に入力されて増幅光 L_A が生成される時点における増幅ゲインの大きさは、外部トリガ信号 T_r のパルス間隔 T に依存する。

[0036] したがって、外部トリガ信号 T_r のパルス間隔 T が大きい程、すなわち繰

り返し周波数が低い程、増幅光 L_A の光強度が高くなる。図4 Gに示すように、 $T = T_b$ である場合には、図3 Gに示すように、 $T = T_a$ である場合よりも増幅光 L_A の光強度が高くなる。

[0037] さらに、増幅光 L_A の光強度が高くなると、波長変換部18により波長変換された高調波光 L_H からなるパルスレーザ光の光強度及びパルスエネルギーが高くなる。図4 Hに示すように、 $T = T_b$ である場合には、図3 Hに示すように、 $T = T_a$ である場合よりもパルスレーザ光の光強度及びパルスエネルギーが高くなる。

[0038] このように、比較例に係る固体レーザ装置10では、外部トリガ信号 T_r のパルス間隔 T に依存して、レーザ光照射装置2へ出力するパルスレーザ光の光強度及びパルスエネルギーが変化するという課題がある。

[0039] また、比較例に係る固体レーザ装置10は、露光装置用レーザ装置として用いられる。この場合、固体レーザ装置10は、露光装置としてのレーザ光照射装置2から入力される外部トリガ信号 T_r に応じて、パルスレーザ光を繰り返し出力するバースト期間と、パルスレーザ光の出力を停止する休止期間とを交互に繰り返すバースト動作を行う。バースト期間は、露光装置において、半導体ウエハ上の1つの露光エリアに露光が行われる期間である。休止期間は、1つの露光エリアの露光が終了した後、別の露光エリアの露光が開始されるまでの期間である。休止期間には、図示しないウエハステージの移動が行われる。

[0040] 固体レーザ装置10は、上記のバースト動作を行う場合には、休止期間において外部トリガ信号 T_r のパルス間隔 T が長くなるので、バースト期間開始直後にレーザ光照射装置2に出力するバーストの先頭のパルスレーザ光の光強度及びパルスエネルギーが増大する。パルスレーザ光の光強度及びパルスエネルギーが増大すると、波長変換部18に含まれる非線形結晶が損傷する恐れがある。また、増幅器13が光ファイバ増幅器である場合には、光ファイバが損傷する恐れがある。

[0041] 2. 第1の実施形態

次に、本開示の第１の実施形態に係る固体レーザ装置について説明する。
なお、以下では、図１に示した比較例の固体レーザ装置の構成要素と略同じ部分については、同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

[0042] 2. 1 構成

図５は、本開示に係る固体レーザ装置１０ａの構成を概略的に示す。図５において、第１の実施形態に係る固体レーザ装置１０ａは、図１に示した比較例の固体レーザ装置１０の構成におけるワンショット回路１７に代えて、光強度制御部２０を備えている。また、第１の実施形態では、固体レーザ制御部１１は、外部トリガ信号Ｔｒに加えて、パルス状のセット信号Ｓｔを光強度制御部２０に入力するように構成されている。固体レーザ装置１０ａのその他の構成要素は、比較例の固体レーザ装置１０の構成要素と同一である。

[0043] 図６は、光強度制御部２０の構成を概略的に示す。図６において、光強度制御部２０は、遅延回路２１と、第１のワンショット回路２２と、第２のワンショット回路２３と、ＯＲ回路２４と、フリップフロップ（ＦＦ）回路２５と、第１のアンプ回路２６と、第２のアンプ回路２７と、加算回路２８と、を含む。

[0044] 光強度制御部２０は、光強度可変部１５に制御信号を出力することにより光強度可変部１５を制御する。光強度可変部１５は、光強度制御部２０から入力される制御信号に基づいて、シードレーザ１４から入力されるシード光Ｌ_sの光強度を変更して出力する。

[0045] 比較例の固体レーザ装置１０では、ワンショット回路１７は、外部トリガ信号Ｔｒの入力に応じて、パルス信号Ｓを光強度可変部１５に出力するように構成されている。これに対して、第１の実施形態に係る固体レーザ装置１０ａでは、光強度制御部２０は、外部トリガ信号Ｔｒの入力に応じて制御信号として、第１の信号Ｓ１と第２の信号Ｓ２とを光強度可変部１５に出力する。具体的には、光強度制御部２０は、外部トリガ信号Ｔｒの入力後、一定時間の経過後に、第１の信号Ｓ１を光強度可変部１５に出力し、第１の信号

S 1 の出力後、次の外部トリガ信号 T_r が入力されるまでの期間内に第 2 の信号 S 2 を光強度可変部 1 5 に出力する。

[0046] 第 1 の信号 S 1 は、比較例と同様に、増幅器 1 3 に増幅光 L_A を生成させるためのシードパルス光 L_P の生成に用いられるパルス信号である。第 2 の信号 S 2 は、増幅光 L_A の生成後における反転分布の形成を抑制するための抑制光 L_D の生成に用いられる。

[0047] 2. 2 動作

図 7 は、図 5 及び図 6 に示される固体レーザ装置 1 0 a の動作を説明するフローチャートである。図 8 A ~ 図 8 J は、固体レーザ装置 1 0 a の動作を示すタイミングチャートである。第 1 の実施形態に係る固体レーザ装置 1 0 a に含まれる固体レーザ制御部 1 1 は、以下の処理により、固体レーザ装置 1 0 a の動作を制御する。

[0048] まず、S 2 0 0 において、固体レーザ制御部 1 1 は、レーザ光照射装置 2 から発振準備信号 R_d を受信したか否かを判定する。固体レーザ制御部 1 1 は、発振準備信号 R_d を受信していない場合 (S 2 0 0 ; NO)、発振準備信号 R_d を受信するまで待機する。固体レーザ制御部 1 1 は、発振準備信号 R_d を受信した場合 (S 2 0 0 ; YES)、処理を S 2 1 0 に進める。

[0049] S 2 1 0 において、固体レーザ制御部 1 1 は、シードレーザ 1 4 を制御してレーザ発振動作を開始させ、図 8 B に示すように、シードレーザ 1 4 に一定の光強度のシード光 L_s を出力させる。シードレーザ 1 4 から出力されたシード光 L_s は、光強度可変部 1 5 に入力される。

[0050] 次に、S 2 2 0 において、固体レーザ制御部 1 1 は、CW 励起レーザ 1 2 を制御してレーザ発振動作を開始させ、図 8 C に示すように、CW 励起レーザ 1 2 に一定の光強度の CW 励起光 L_E を出力させる。CW 励起レーザ 1 2 から出力された CW 励起光 L_E は、ダイクロイックミラー 1 6 により高反射されることにより増幅器 1 3 に入射し、増幅器 1 3 を光励起させる。

[0051] 次に、S 2 3 0 において、固体レーザ制御部 1 1 は、光強度制御部 2 0 にセット信号 S_t を送信する。光強度制御部 2 0 は、セット信号 S_t が入力さ

れると、図8Dに示すように、第2の信号S2を出力する。具体的には、図6に示すように、光強度制御部20にセット信号S_tが入力されると、セット信号S_tは、OR回路24を介してFF回路25のセット端子Sに入力される。このとき、FF回路25のリセット端子Rには信号が入力されていないので、図8Iに示すように、FF回路25は、セット端子Sに入力されるセット信号S_tの立ち上がりエッジを検出してセット状態となる。FF回路25は、セット状態になると、出力端子Qの出力信号値が「1」となる。この出力端子Qの出力信号は、第1のアンプ回路26に入力される。

[0052] 第1のアンプ回路26は、FF回路25の出力端子Qから入力される信号を増幅する。第1のアンプ回路26は、FF回路25の出力端子Qから入力される信号値が「1」である場合には、これを増幅して第2の信号S2を出力する。加算回路28の第1の入力端子I_{n1}には、第1のアンプ回路26の出力信号が入力され、第2の入力端子I_{n2}には、第2のアンプ回路27の出力信号が入力される。加算回路28は、アナログ信号である第1及び第2のアンプ回路26、27の出力信号を加算して、出力端子O_{ut}から出力する。

[0053] 図8Jに示すように、加算回路28の第1の入力端子I_{n1}に、第1のアンプ回路26から第2の信号S2が入力されている場合には、第2のアンプ回路27から第2の入力端子I_{n2}に入力される信号値は「0」である。この場合、加算回路28の出力端子O_{ut}からは、第2の信号S2が出力される。この第2の信号S2は、光強度制御部20から出力され、光強度可変部15に入力される。

[0054] 光強度可変部15は、入力される信号値が大きい程、シードレーザ14から入力されるシード光L_sに対する光透過率が大きくなる。第2の信号S2は、後述する第1の信号S1より信号値が小さい。このため、光強度可変部15は、第2の信号S2の入力時には、第1の信号S1の入力時よりも光透過率が低く、シード光L_sの一部を透過させる。したがって、第2の信号S2が光強度制御部20に入力されると、図8Eに示すように、光強度制御部20

からは、シード光 L_s の光強度が低下された抑制光 L_D が出力される。本実施形態では、抑制光 L_D は、光強度が一定のCWレーザ光である。

[0055] 光強度制御部20から出力された抑制光 L_D は、ダイクロイックミラー16を高透過して増幅器13に入力される。このとき、増幅器13では、CW励起光 L_E を受けて光励起が生じているが、抑制光 L_D の入力により光相互作用が生じて光の誘導放出が生じ、図8Fに示すように、反転分布の形成が抑制される。これにより、増幅ゲインの増加が抑制される。図8Gに示すように、抑制光 L_D の入力により増幅器13から出力される出力光 L_B は、光強度が低い。この出力光 L_B は、増幅器13において抑制光 L_D により副次的に生成される出力光であるので、以下、副次光 L_B と称する。

[0056] この副次光 L_B は、波長変換部18に入力される。波長変換部18は、光強度が波長変換閾値 I_c 以上の入射光に対しては所定値以上の波長変換効率を有し、光強度が波長変換閾値 I_c 未満の入射光に対しては所定値未満の波長変換効率を有する。図8Gに示すように、波長変換部18に入力される副次光 L_B の光強度は、波長変換閾値 I_c 未満であり、波長変換が抑制される。したがって、図8Hに示すように、光強度制御部20から第2の信号S2が出力される期間には、波長変換部18からの高調波光の出力が抑制される。前述の第1のアンプ回路26は、増幅器13において生成される副次光 L_B の光強度が波長変換閾値 I_c 未満となる第2の信号S2を生成するように増幅率が設定されている。

[0057] 次に、S240において、固体レーザ制御部11は、図5において破線で示される外部トリガ信号ラインを光強度制御部20に接続することにより、光強度制御部20への外部トリガ信号Trの入力を可能とする。したがって、図8Aに示すように、固体レーザ制御部11にレーザ光照射装置2から外部トリガ信号Trが入力されると、外部トリガ信号Trは、外部トリガ信号ラインを介して光強度制御部20に入力される。

[0058] S250において、光強度制御部20は、外部トリガ信号Trが入力されると、図8Dに示すように、一定時間Tdの経過後に第1の信号S1を生成

して光強度可変部 15 に出力する。具体的には、図 6 に示すように、光強度制御部 20 に外部トリガ信号 T_r が入力されると、外部トリガ信号 T_r は、遅延回路 21 に入力されるとともに、FF 回路 25 のリセット端子 R に入力される。

[0059] 図 8 I に示すように、FF 回路 25 は、リセット端子 R に入力される外部トリガ信号 T_r の立ち上がりエッジを検出してリセット状態となる。FF 回路 25 は、リセット状態になると、出力端子 Q の出力信号値が「0」となる。この出力端子 Q の出力信号は、第 1 のアンプ回路 26 を介して加算回路 28 の第 1 の入力端子 I_{n1} に入力される。このとき、第 2 の入力端子 I_{n2} に入力されている信号値は「0」である。したがって、図 8 J に示すように、加算回路 28 の出力端子 O_{ut} から出力される信号値は「0」、すなわちグラウンド信号である。このグラウンド信号は、光強度制御部 20 から出力され、光強度可変部 15 に入力される。

[0060] 光強度可変部 15 は、グラウンド信号が入力された場合には、光透過率がほぼ「0」となり、シードレーザ 14 から入力されるシード光 L_s の透過を抑制する。これにより、増幅器 13 には、図 8 D 示すように、光強度可変部 15 から光が入力されないため、図 8 F に示すように、増幅器 13 は、CW 励起光 L_E を受けて増幅ゲインが次第に増加する。

[0061] 一方、遅延回路 21 に入力された外部トリガ信号 T_r は、遅延回路 21 で一定時間 T_d だけ遅延して出力される。遅延回路 21 から出力された外部トリガ信号 T_r は、第 1 のワンショット回路 22 に入力される。第 1 のワンショット回路 22 は、入力された外部トリガ信号 T_r の立ち上がりエッジを検出する。第 1 のワンショット回路 22 は、外部トリガ信号 T_r の立ち上がりエッジを検出すると、所定のパルス幅 Δt を有するパルス信号を生成し、第 2 のアンプ回路 27 と第 2 のワンショット回路 23 とに入力する。

[0062] 第 2 のアンプ回路 27 は、入力されたパルス信号を増幅して、前述の第 2 の信号 S_2 よりも電圧値が大きい第 1 の信号 S_1 を生成して出力する。この第 1 の信号 S_1 は、パルス幅 Δt を有する。パルス幅 Δt は、0.001 n

s ~ 100 ns の範囲内であることが好ましい。

[0063] 図8 Jに示すように、第1の信号S1は、加算回路28の第2の入力端子In2に入力される。このとき、入力端子In1に入力されている信号値は「0」である。この場合、加算回路28の出力端子Outからは、第1の信号S1が出力される。この第1の信号S1は、光強度制御部20から出力され、光強度可変部15に入力される。すなわち、光強度可変部15には、光強度制御部20への外部トリガ信号Trの入力から一定時間Tdの経過後に第1の信号S1が入力される。

[0064] 光強度可変部15は、第1の信号S1が入力されると、シードレーザ14から入力されるシード光L_sを透過させる。これにより、光強度可変部15からは、図8 Eに示すように、第1の信号S1に応じたパルス幅のシードパルス光L_pが出力される。シードパルス光L_pは、ダイクロイックミラー16を高透過して増幅器13に入力される。

[0065] 増幅器13にシードパルス光L_pが入力されると、誘導放出による光の増幅が生じ、図8 Gに示すように、増幅光L_Aが出力される。この増幅光L_Aの光強度は、光強度制御部20への外部トリガ信号Trの入力から一定時間Tdの経過後における増幅ゲインの大きさに依存する。増幅器13から出力された増幅光L_Aは、光強度が波長変換閾値I_c以上であり、波長変換部18に入力される。波長変換部18に増幅光L_Aが入力されると、図8 Hに示すように、増幅光L_Aが高調波光L_Hに変換されて出力される。この高調波光L_Hは、紫外のパルスレーザ光として、レーザ光照射装置2の図示しない照明光学系に入射する。

[0066] 一方、第2のワンショット回路23は、第1のワンショット回路22から出力されたパルス信号の立ち下がりエッジを検出する。第2のワンショット回路23は、パルス信号の立ち下がりエッジを検出すると、パルス状のセット信号S_tを生成して出力する。このセット信号S_tは、OR回路24を介してFF回路25のセット端子Sに入力される。このとき、FF回路25のリセット端子Rには信号が入力されていないので、図8 Iに示すように、F

F回路25は、セット端子Sに入力されるセット信号S_tの立ち上がりエッジを検出してセット状態となる。

[0067] この結果、S230と同様に、加算回路28の出力端子Outからは、第2の信号S₂が出力される。そして、第2の信号S₂が光強度制御部20に入力されると、図8Eに示すように、光強度制御部20からは、前述の抑制光L_Dが出力される。この抑制光L_Dにより、増幅器13の増幅ゲインの増加が抑制され、増幅器13からは副次光L_Bが出力される。この副次光L_Bは、光強度が波長変換閾値I_c未満であるので、波長変換部18での波長変換は抑制され、高調波光の出力が抑制される。

[0068] S260において、固体レーザ制御部11は、固体レーザ装置10aの運転を停止するか否かを判定する。例えば、固体レーザ制御部11は、レーザ光照射装置2から、図示しない停止信号を受信した場合に、固体レーザ装置10aの運転を停止すると判定する。停止信号は、固体レーザ装置10aに不具合が生じた場合や、固体レーザ装置10aのレーザ発振を終了させる場合に、固体レーザ装置10aに入力される。

[0069] 固体レーザ制御部11は、固体レーザ装置10aの運転を停止させないと判定した場合(S260; NO)には、外部トリガ信号ラインを光強度制御部20に接続したままとし、光強度制御部20に外部トリガ信号Trを入力させる。S250における光強度制御部20による第1及び第2の信号S₁, S₂の生成動作と、これに伴うレーザ発振動作とは、固体レーザ制御部11に外部トリガ信号Trが入力されるたびに行われる。

[0070] 固体レーザ制御部11は、固体レーザ装置10aの運転を停止させると判定した場合(S260; YES)、処理をS270に進める。S270において、固体レーザ制御部11は、外部トリガ信号ラインを光強度制御部20から切断する。次に、S280において、固体レーザ制御部11は、CW励起レーザ12のレーザ発振動作を停止させる。次に、S290において、固体レーザ制御部11は、シードレーザ14のレーザ発振動作を停止させる。

[0071] なお、遅延回路21による信号の遅延時間である一定時間T_dは、外部ト

リガ信号 T_r のパルス間隔 T よりも短く設定されている。一定時間 T_d は、 $10\ \mu s \sim 1000\ \mu s$ の範囲内であることが好ましい。

[0072] 2. 3 効果

第1の実施形態に係る固体レーザ装置 10a によれば、固体レーザ装置 10a に外部トリガ信号 T_r が入力された時点から、増幅器 13 の増幅ゲインの増加が開始し、一定時間 T_d の経過後の増幅ゲインによって増幅光 L_A が生成される。したがって、第1の実施形態では、「 $T > T_d$ 」の関係を満たすことを条件とし、増幅光 L_A の光強度は、外部トリガ信号 T_r のパルス間隔 T に依らず一定となる。すなわち、レーザ光照射装置 2 へ出力するパルスレーザ光の光強度及びパルスエネルギーは、パルス間隔 T に依らず一定となる。

[0073] また、第1の実施形態では、バースト動作における休止期間後のバースト期間開始直後にレーザ光照射装置 2 に出力するバーストの先頭のパルスレーザ光の光強度及びパルスエネルギーが増大することはなく、波長変換部 18 に含まれる非線形結晶の損傷が防止される。また、増幅器 13 が光ファイバ増幅器である場合には、光ファイバの損傷が抑制される。

[0074] 2. 4 第1及び第2の信号の設定条件

第1の実施形態では、抑制光 L_D は、シードパルス光 L_P よりも光強度が低く設定されているが、抑制光 L_D の光強度は、増幅光 L_A の生成後に増幅器 13 が CW 励起光 L_E を受けて生じる光励起を消費し、反転分布の形成を抑制可能とする大きさであればよい。

[0075] 具体的には、第1の信号 S_1 に応じて光強度可変部 15 から出力されるシードパルス光 L_P の光強度を I_P 、第2の信号 S_2 に応じて光強度可変部 15 から出力される抑制光 L_D の光強度を I_D とすると、光強度比 I_D / I_P は、下式 (1) を満たすことが好ましい。

$$0.1 \leq I_D / I_P \leq 1.0 \quad \cdots (1)$$

[0076] すなわち、光強度制御部 20 により生成される第1の信号 S_1 の電圧値を V_{S1} 、第2の信号 S_2 の電圧値を V_{S2} とすると、電圧比 V_{S2} / V_{S1} は、下式 (2) を満たすことが好ましい。

$$0.1 \leq V_{s2}/V_{s1} \leq 1.0 \quad \dots (2)$$

[0077] 第1の実施形態では、光強度制御部20は、第1及び第2のアンプ回路26, 27と、加算回路28とを含んでいるが、 $V_{s1} = V_{s2}$ とする場合には、以下の構成も可能である。例えば、図6に示される光強度制御部20の構成に対して、OR回路を追加し、第1及び第2のアンプ回路26, 27を共通化し、加算回路28を削除する。なお、このOR回路は、FF回路25の出力端子Qからの出力と、第1のワンショット回路22の出力とを入力とする。共通化されたアンプ回路には、OR回路の出力を入力させる。

[0078] また、第1の実施形態では、光強度制御部20は、外部トリガ信号Trが入力された後、一定時間Tdが経過するまでの期間において、光強度可変部15にグランド信号を出力することにより、光強度可変部15の光透過率をほぼ「0」としている。光強度制御部20は、増幅器13の増幅ゲインが増加するように、光強度可変部15にシード光 L_s の透過を抑制させればよく、光強度可変部15に入力する信号値及び光強度可変部15の光透過率は「0」でなくてもよい。

[0079] 2. 5 波長変換閾値の定義

波長変換部18において、増幅器13からの入射光の高調波光への波長変換効率は、入射光の光強度に依存する。この波長変換効率は、入射光の光強度が小さいほど低くなる。前述の波長変換閾値 I_c は、波長変換効率が所定値となる入射光の光強度として定義される。この所定値は、例えば、1%~2%の範囲内の値であることが好ましい。また、この所定値は、0%~0.01%の範囲内の値であることも好ましい。

[0080] また、波長変換閾値 I_c は、波長変換部18において、第1の信号S1に応じて生成される高調波光 L_H の光強度である第1の光強度と、第2の信号S2に応じて生成される高調波光の光強度である第2の光強度との比に基づいて定義してもよい。例えば、波長変換閾値 I_c を、第1の光強度に対する第2の光強度の比が0%~10%の範囲内となる値として定義してもよい。

[0081] 3. 光強度制御部の変形例

前述の光強度制御部 20 は、様々な変形が可能である。以下に、光強度制御部 20 の変形例について説明する。

3. 1 第 1 の変形例

次に、光強度制御部 20 の第 1 の変形例について説明する。図 8 D に示すように、第 1 の実施形態の光強度制御部 20 は、第 1 の信号 S 1 を生成した直後に第 2 の信号 S 2 を生成するように構成されている。第 1 の変形例として、光強度制御部 20 を、第 1 の信号 S 1 を生成した後、所定時間経過後に第 2 の信号 S 2 を生成するように構成する場合について説明する。

[0082] 図 9 は、第 1 の変形例に係る光強度制御部 20 の構成を示す。図 9 において、第 1 の変形例に係る光強度制御部 20 は、図 6 に示される第 1 の実施形態の光強度制御部 20 の構成要素に加えて、遅延回路 29 を含む。遅延回路 29 は、第 1 のワンショット回路 22 と第 2 のワンショット回路 23 との間に配置されており、第 2 のワンショット回路 23 へのパルス信号の入力タイミングを所定時間遅延させる。なお、この遅延回路 29 は、第 2 のワンショット回路 23 と、OR 回路 24 との間に配置されていてもよい。第 1 の変形例に係る光強度制御部 20 のその他の構成及び動作は、第 1 の実施形態の光強度制御部 20 と同様である。

[0083] 3. 2 第 2 の変形例

次に、光強度制御部 20 の第 2 の変形例について説明する。第 1 の実施形態では、光強度制御部 20 は、論理回路により構成されている。これに対して、第 2 の変形例として、光強度制御部 20 を、FPGA (field-programmable gate array) 等の制御プログラムをプログラミングすることが可能な集積回路によって構成する場合について説明する。

[0084] 図 10 は、第 2 の変形例に係る光強度制御部 20 に組み込まれた制御プログラムによる動作を示すフローチャートである。光強度制御部 20 は、制御プログラムに基づき、以下の処理を実行する。

[0085] まず、S300 において、光強度制御部 20 は、固体レーザ制御部 11 からセット信号 S_t を受信したか否かを判定する。光強度制御部 20 は、セッ

ト信号 S_t を受信していない場合 ($S300; NO$)、セット信号 S_t を受信するまで待機する。光強度制御部 20 は、セット信号 S_t を受信した場合 ($S300; YES$)、処理を $S310$ に進める。

[0086] $S310$ において、光強度制御部 20 は、前述の第 2 の信号 S_2 を、光強度可変部 15 に出力する。そして、 $S320$ において、光強度制御部 20 は、固体レーザ制御部 11 から外部トリガ信号 T_r を受信したか否かを判定する。光強度制御部 20 は、外部トリガ信号 T_r を受信していない場合 ($S320; NO$)、 $S310$ における第 2 の信号 S_2 の出力を継続する。光強度制御部 20 は、外部トリガ信号 T_r を受信した場合 ($S320; YES$)、第 2 の信号 S_2 の出力を停止し、処理を $S330$ に進める。

[0087] $S330$ において、光強度制御部 20 は、タイマー T_1 をリセットし、計時を開始する。次に、 $S340$ において、光強度制御部 20 は、グランド信号 ($0V$) を、光強度制御部 20 に出力する。そして、 $S350$ において、光強度制御部 20 は、 $S330$ における計時開始からの経過時間 T_1 が、前述の一定時間 T_d に達したか否かを判定する。光強度制御部 20 は、経過時間 T_1 が一定時間 T_d に達していない場合 ($S350; NO$)、 $S340$ におけるグランド信号の出力を継続する。光強度制御部 20 は、経過時間 T_1 が一定時間 T_d に達した場合 ($S350; YES$)、グランド信号の出力を停止し、処理を $S360$ に進める。

[0088] $S360$ において、光強度制御部 20 は、タイマー T_2 をリセットし、計時を開始する。次に、 $S370$ において、光強度制御部 20 は、前述の第 1 の信号 S_1 を、光強度可変部 15 に出力する。そして、 $S380$ において、光強度制御部 20 は、 $S360$ における計時開始からの経過時間 T_2 が、前述のパルス幅 Δt に相当する時間に達したか否かを判定する。光強度制御部 20 は、経過時間 T_2 がパルス幅 Δt に相当する時間に達していない場合 ($S380; NO$)、 $S370$ における第 1 の信号 S_1 の出力を継続する。光強度制御部 20 は、経過時間 T_2 がパルス幅 Δt に相当する時間に達した場合 ($S380; YES$)、第 1 の信号 S_1 の出力を停止し、処理を $S310$

に戻す。この後、光強度制御部 20 は、S 310～S 380 の処理を繰り返す。

[0089] 第 2 の変形例に係る光強度制御部 20 のその他の構成及び動作は、第 1 の実施形態の光強度制御部 20 と同様である。

[0090] このように、第 2 の変形例に係る光強度制御部 20 は、制御プログラムに基づいて以上の処理を行うことにより、第 1 の実施形態の光強度制御部 20 と同様のタイミングで、第 1 及び第 2 の信号 S 1, S 2 を光強度可変部 15 に出力することを可能とする。なお、前述の第 1 の変形例のように、第 1 の信号 S 1 を生成した後、所定時間経過後に第 2 の信号 S 2 を生成する場合には、S 380 において Y E S 判定となった時点から所定時間経過後に S 310 に移行すればよい。

[0091] 3. 3 第 3 の変形例

次に、光強度制御部 20 の第 3 の変形例について説明する。第 1 の実施形態では、第 1 の信号 S 1 に基づいて光強度可変部 15 により生成されるシードパルス光 L_p により増幅器 13 の反転分布が完全には消費しきれず、増幅光 L_A の生成後においても増幅ゲインが残存する可能性がある。増幅光 L_A の生成後に残存する増幅ゲインが大きい場合には、第 2 の信号 S 2 に基づいて光強度可変部 15 により生成される抑制光 L_D が増幅され、この結果生成される副次光 L_B の光強度が前述の波長変換閾値 I_c を超える可能性がある。したがって、第 1 の実施形態では、第 1 の信号 S 1 に対応して高調波光 L_H が出力された後、波長変換部 18 において波長変換が生じ、これに伴う高調波光が出力される可能性がある。

[0092] 図 11A～図 11H は、第 3 の変形例に係る光強度制御部 20 を含む固体レーザ装置 10a の動作を示すタイミングチャートである。第 3 の変形例に係る光強度制御部 20 は、図 11D に示すように、第 1 の信号 S 1 を光強度可変部 15 に出力した後、光強度可変部 15 に出力する第 2 の信号 S 2 の電圧値を、一定期間 T_c の間、徐々に大きくする。これにより、光強度可変部 15 により生成される抑制光 L_D は、図 11E に示すように、シードパルス光

L_P の生成後、一定期間 T_c の間、光強度が徐々に大きくなる。

[0093] 第3の変形例の光強度制御部20のその他の構成及び動作は、第1の実施形態の光強度制御部20と同様である。

[0094] 第3の変形例に係る光強度制御部20を含む固体レーザ装置10aでは、図11Fに示すように、増幅光 L_A の生成後に増幅ゲインが残存した場合には、この残存した増幅ゲインは、抑制光 L_D により徐々に低下する。したがって、図11Gに示すように、増幅光 L_A の生成後に残存した増幅ゲインによって抑制光 L_D が増幅され、副次光 L_B の光強度が波長変換閾値 I_0 を超えることが防止される。この結果、図11Hに示すように、第1の信号 S_1 に対応して高調波光 L_H が出力された後、波長変換部18において波長変換が生じ、これに伴う高調波光が出力されることが防止される。

[0095] 3. 4 第4の変形例

次に、光強度制御部20の第4の変形例について説明する。第1の実施形態の光強度制御部20は、電圧値が一定の第2の信号 S_2 を出力している。これに対して、第4の変形例として、光強度制御部20を、連続パルスからなる第2の信号 S_2 を出力するように構成する場合について説明する。

[0096] 図12は、第4の変形例に係る光強度制御部20の構成を示す。図12において、第4の変形例に係る光強度制御部20は、図6に示される第1の実施形態の光強度制御部20の構成要素に加えて、AND回路30と、パルス発生器31とを含む。AND回路30は、FF回路25と第1のアンプ回路26との間に配置されている。AND回路30の第1の入力端子は、FF回路25の出力端子Qに信号線を介して接続されている。AND回路30の第2の入力端子は、パルス発生器31に信号線を介して接続されている。AND回路30の出力端子は、第1のアンプ回路26の入力端子に信号線を介して接続されている。

[0097] パルス発生器31は、所定のパルス周期 T_s を有する連続パルス信号 P_s を発生する。AND回路30は、FF回路25の出力端子Qの出力信号値と、連続パルス信号 P_s との論理積を出力する。したがって、AND回路30

は、出力端子Qの出力信号値が「0」である場合には「0」を出力し、出力端子Qの出力信号値が「1」である場合には連続パルス信号P_sを出力する。この連続パルス信号P_sは、第1のアンプ回路26に入力され、第1のアンプ回路26により、パルス周期T_sを有する連続パルスからなる第2の信号S₂が生成される。

[0098] 図13A～図13Jは、第4の変形例に係る光強度制御部20を含む固体レーザ装置10aの動作を示すタイミングチャートである。第4の変形例の光強度制御部20は、図13Dに示すように、第1の信号S₁の出力後に、連続パルスからなる第2の信号S₂を光強度可変部15に出力する。図13Eに示すように、第2の信号S₂に基づいて光強度可変部15から出力される抑制光L_Dはパルス状のパルスレーザ光となる。図13Fに示すように、このパルス状の抑制光L_Dにより、増幅器13の増幅ゲインの増加が抑制される。このように、増幅ゲインの増加が抑制されることにより、図13Gに示すように、副次光L_Bの光強度は、波長変換部18の波長変換閾値I_c未満となり、副次光L_Bに対する波長変換が抑制される。

[0099] 連続パルス信号P_sのパルス周期T_sが大きい程、図13Fに示される増幅ゲインの増加量が大きくなるため、パルス周期T_sは一定値以下である必要がある。パルス周期T_sは、前述の一定時間T_dの1/10以下であることが好ましく、一定時間T_dの1/100以下であることがさらに好ましい。

[0100] 第4の変形例の光強度制御部20のその他の構成及び動作は、第1の実施形態の光強度制御部20と同様である。

[0101] 3. 5 第5の変形例

次に、光強度制御部20の第5の変形例について説明する。第4の変形例では、光強度制御部20は、論理回路により構成されている。これに対して、第5の変形例として、第4の変形例に係る光強度制御部20を、FPGA (field-programmable gate array) 等の制御プログラムをプログラミングすることが可能な集積回路によって構成する場合について説明する。

[0102] 第5の変形例の光強度制御部20に組み込まれた制御プログラムのフローチャートは、前述の第2の変形例に係る図10に示されるフローチャートと同様である。第5の変形例では、S310において、光強度制御部20は、第2の信号S2を、連続パルス信号Psとして出力するように制御される。

[0103] 第5の変形例の光強度制御部20のその他の構成及び動作は、第4の変形例の光強度制御部20と同様である。

[0104] 3. 6 第6の変形例

次に、光強度制御部20の第6の変形例について説明する。第4及び第5の変形例では、光強度制御部20が第2の信号S2として出力する各パルスの電圧値は一定である。第4及び第5の変形例においても、増幅光 L_A の生成後に残存する増幅ゲインが大きい場合には、第2の信号S2に基づいて光強度可変部15により生成される抑制光 L_D が増幅され、副次光 L_B の光強度が波長変換閾値 I_c を超える可能性がある。

[0105] 図14A～図14Hは、第6の変形例に係る光強度制御部20を含む固体レーザ装置10aの動作を示すタイミングチャートである。第6の変形例に係る光強度制御部20は、図14Dに示すように、第1の信号S1を光強度可変部15に出力した後、光強度可変部15に出力する第2の信号S2の各パルスの電圧値を、一定期間 T_c の間、徐々に大きくする。これにより、光強度可変部15により生成されるパルス状の抑制光 L_D は、図14Eに示すように、シードパルス光 L_P の生成後、一定期間 T_c の間、光強度が徐々に大きくなる。

[0106] 第6の変形例の光強度制御部20のその他の構成及び動作は、第4の変形例の光強度制御部20と同様である。

[0107] 第6の変形例に係る光強度制御部20を含む固体レーザ装置10aでは、図14Fに示すように、増幅光 L_A の生成後に増幅ゲインが残存した場合には、この残存した増幅ゲインは、抑制光 L_D により徐々に低下する。したがって、図14Gに示すように、増幅光 L_A の生成後に残存した増幅ゲインによって抑制光 L_D が増幅され、副次光 L_B の光強度が波長変換閾値 I_c を超えることが防

止される。この結果、図 1 4 H に示すように、第 1 の信号 S_1 に対応して高調波光 L_H が出力された後、波長変換部 1 8 において波長変換が生じ、これに伴う高調波光が出力されることが防止される。

[0108] 4. 光強度可変部の構成例

前述の光強度可変部 1 5 は、様々な構成が可能である。以下に、光強度可変部 1 5 の具体的な構成例について説明する。

[0109] 4. 1 第 1 の構成例

次に、図 1 5 を参照して、光強度可変部 1 5 として適用可能な光シャッタ 1 0 0 の具体的な構成を説明する。

[0110] 4. 1. 1 構成

図 1 5 は、光シャッタ 1 0 0 の一構成例を示す。光シャッタ 1 0 0 は、ポッケルスセル 1 1 0 と、偏光子 1 2 0 とを含む。ポッケルスセル 1 1 0 は、高電圧電源 1 1 1 と、第 1 の電極 1 1 2 a と、第 2 の電極 1 1 2 b と、電気光学結晶 1 1 3 とを含む。第 1 の電極 1 1 2 a と第 2 の電極 1 1 2 b とは対向配置され、それらの間に電気光学結晶 1 1 3 が配置されている。第 1 の電極 1 1 2 a は、高電圧電源 1 1 1 に接続されている。第 2 の電極 1 1 2 b は、接地されている。

[0111] 光強度可変部 1 5 として光シャッタ 1 0 0 を適用した場合には、高電圧電源 1 1 1 は、光強度制御部 2 0 によって制御される。電気光学結晶 1 1 3 には、シードレーザ 1 4 から出力されたシード光 L_s が入射する。光シャッタ 1 0 0 からの出力光は、ダイクロイックミラー 1 6 を介して増幅器 1 3 に入射する。電気光学結晶 1 1 3 に入射するシード光 L_s は、偏光方向が紙面に対して垂直である直線偏光とする。

[0112] 4. 1. 2 動作

高電圧電源 1 1 1 は、光強度制御部 2 0 から入力される制御信号の電圧値に応じて、第 1 の電極 1 1 2 a と第 2 の電極 1 1 2 b との間に高電圧を印加する。電気光学結晶 1 1 3 は、第 1 の電極 1 1 2 a と第 2 の電極 1 1 2 b との間に、制御信号の最大電圧値に対応する高電圧が印加されると、入射光に

対して $\lambda/2$ 板と等価な作用を奏する。

[0113] 電気光学結晶 113 に高電圧が印加されていない場合には、偏光方向が紙面に対して垂直である直線偏光のシード光 L_s は、そのままの偏光状態で、電気光学結晶 113 を透過し、偏光子 120 によって反射される。この場合、シード光 L_s は、光シャッタ 100 から出力されない。すなわち、この場合、シード光 L_s に対する光シャッタ 100 の光透過率は、ほぼ 0 % である。図 15 において、偏光方向が紙面に対して垂直な直線偏光は、その光路が実線で示され、偏光方向が黒丸で示されている。

[0114] 一方、電気光学結晶 113 に、制御信号の最大電圧値に対応する高電圧が印加された場合には、シード光 L_s は、電気光学結晶 113 を通過する際に位相が $\lambda/2$ ずれて、偏光方向が紙面を含む方向に変換される。この場合、シード光 L_s は、偏光子 120 を透過し、光シャッタ 100 から出力される。すなわち、この場合、シード光 L_s に対する光シャッタ 100 の光透過率は、ほぼ 100 % である。図 15 において、偏光方向が紙面を含む方向である直線偏光は、その光路が破線で示され、偏光方向が矢印で示されている。

[0115] また、第 1 の電極 112 a と第 2 の電極 112 b の電極間に印加する制御信号を変化させることにより、シード光 L_s に対する光シャッタ 100 の光透過率を、0 % から 100 % までの間で変化させることができる。

[0116] 前述の第 1 の実施形態及び各変形例では、光強度制御部 20 から光シャッタ 100 に、制御信号として、第 1 の信号 S_1 、第 2 の信号 S_2 、又はグラウンド信号 (0 V) が入力される。第 1 の信号 S_1 の電圧値 V_{s1} は、前述の最大電圧値に対応し、電圧値 V_{s1} が高電圧電源 111 に入力された場合には、光シャッタ 100 の光透過率は、ほぼ 100 % となる。これに対して、第 2 の信号 S_2 の電圧値 V_{s2} は、前述の最大電圧値より低いため、電圧値 V_{s2} が高電圧電源 111 に入力された場合には、光シャッタ 100 の光透過率は、100 % 未満で、電圧値 V_{s2} に応じた値となる。さらに、グラウンド信号が高電圧電源 111 に入力された場合には、光シャッタ 100 の光透過率は、ほぼ 0 % となる。

[0117] すなわち、光強度制御部 20 から光シャッタ 100 に第 1 の信号 S1 を入力することにより、前述のシードパルス光 L_p が生成され、第 2 の信号 S2 を入力することにより、前述の抑制光 L_d が生成される。

[0118] ポッケルスセル 110 は、は、1 ns 程度の応答性を有し、高速に光透過率の変更を行うことができる。また、光シャッタ 100 として、音響光学素子を使用してもよい。音響光学素子は、数 100 ns 程度の応答性を有するので、光強度可変部 15 として適用可能である。

[0119] なお、図 15 の光シャッタ 100 の構成に対して、上流側の光路に、偏光子と $\lambda/2$ 板とをさらに追加して光アイソレータとして機能させてもよい。図 15 において左側が上流側であり、右側が下流側である。この場合、光アイソレータは、ポッケルスセル 110 の第 1 の電極 112a と第 2 の電極 112b との間に所定の高電圧を印加したときには、上流側と下流側の双方からの光を高透過する。すなわち、光アイソレータは開状態となる。逆に、第 1 の電極 112a と第 2 の電極 112b との間に所定の高電圧を印加しないときには、上流側と下流側の双方からの光の透過を抑制する。すなわち、光アイソレータは閉状態となる。

[0120] 4. 2 第 2 の構成例

次に、図 16 を参照して、光強度可変部 15 として適用可能な半導体光増幅器 200 の具体的な構成を説明する。

[0121] 4. 2. 1 構成

図 16 は、半導体光増幅器 200 の一構成例を示す。半導体光増幅器 200 は、半導体素子 210 と、電流制御部 220 とを含む。半導体素子 210 は、第 1 の電極 211a と、第 2 の電極 211b と、P 型半導体層 212a と、N 型半導体層 212b と、活性層 213 とを含む。第 1 の電極 211a と第 2 の電極 211b とは対向配置され、それらの間に、P 型半導体層 212a、N 型半導体層 212b、及び活性層 213 が配置されている。さらに、P 型半導体層 212a と N 型半導体層 212b とは対向配置され、それらの間に活性層 213 が配置されている。第 1 及び第 2 の電極 211a、21

1 b は、電流制御部 220 に接続されている。

[0122] 光強度可変部 15 として半導体光増幅器 200 を適用した場合には、電流制御部 220 は、光強度制御部 20 によって制御される。半導体素子 210 の活性層 213 には、シードレーザ 14 から出力されたシード光 L_s が入射する。半導体光増幅器 200 からの出力光は、ダイクロイックミラー 16 を介して増幅器 13 に入射する。

[0123] 4. 2. 2 動作

電流制御部 220 は、光強度制御部 20 から入力される制御信号に応じて、第 1 の電極 211 a と第 2 の電極 211 b との間に電流を流す。活性層 213 は、第 1 の電極 211 a と第 2 の電極 211 b との間に電流が流されると、この電流により励起される。活性層 213 が励起された状態で、活性層 213 にシード光 L_s が入射すると、シード光 L_s は光強度が増幅される。

[0124] すなわち、活性層 213 に CW レーザ光であるシード光 L_s が印加された状態で、第 1 の電極 211 a と第 2 の電極 211 b との間にパルス状の電流を流すことにより、シード光 L_s を、シードパルス光 L_p として出力することができる。具体的には、光強度制御部 20 から電流制御部 220 に第 1 の信号 S1 を入力することにより、前述のシードパルス光 L_p を生成し、第 2 の信号 S2 を入力することにより、前述の抑制光 L_d を生成することができる。

[0125] 半導体光増幅器 200 は、偏光に依存しないので、光シャッタ 100 を光強度可変部 15 として適用する場合のように、シード光 L_s の偏光状態を考慮する必要はない。

[0126] 5. MO と増幅器とを含むレーザ装置への固体レーザ装置の適用例

次に、MO と増幅器とを含む露光装置用レーザ装置の MO に固体レーザ装置を使用し、増幅器にエキシマレーザ装置を使用する例について説明する。

[0127] 5. 1 構成

図 17 は、MO と増幅器とを含む露光装置用レーザ装置 50 の構成を概略的に示す。図 17 において、露光装置用レーザ装置 50 は、MO としての固体レーザシステム 51 と、第 1 の高反射ミラー 52 と、第 2 の高反射ミラー

５３と、増幅器５４と、レーザ制御部５５と、同期制御部５６と、を含む。

[0128] レーザ制御部５５は、露光装置４に接続されている。レーザ制御部５５は、露光装置４に含まれる露光装置制御部５から発振準備信号Ｒｄと第１の外部トリガ信号Ｔｒ１とを受信する。レーザ制御部５５は、露光装置制御部５から受信した発振準備信号Ｒｄを固体レーザシステム５１及び増幅器５４に送信する。また、レーザ制御部５５は、露光装置制御部５から受信した第１の外部トリガ信号Ｔｒ１を、同期制御部５６に送信する。

[0129] 同期制御部５６は、第１の外部トリガ信号Ｔｒ１を受信すると、第２の外部トリガ信号Ｔｒ２と第３の外部トリガ信号Ｔｒ３とを生成する。同期制御部５６は、第２の外部トリガ信号Ｔｒ２を固体レーザシステム５１に送信し、第３の外部トリガ信号Ｔｒ３を増幅器５４に送信する。また、同期制御部５６は、第２の外部トリガ信号Ｔｒ２に対する第３の外部トリガ信号Ｔｒ３の遅延時間を制御する。具体的には、同期制御部５６は、固体レーザシステム５１から出力されたパルスレーザ光が増幅器５４に入力されるのと同期して、増幅器５４内で放電が行われるように、遅延時間を制御する。

[0130] 図１８は、図１７に示される固体レーザシステム５１の構成を概略的に示す。図１８において、固体レーザシステム５１は、第１の固体レーザ装置６０と、第２の固体レーザ装置６１と、和周波波長変換部６２と、高反射ミラー６３と、ダイクロイックミラー６４と、同期回路６５と、固体レーザ制御部６６と、を含む。第１の固体レーザ装置６０と第２の固体レーザ装置６１とは、基本的に、第１の実施形態に係る固体レーザ装置１０ａ又は前述の各変形例と同様の構成を有する。

[0131] 第１の固体レーザ装置６０は、第１のＣＷ励起レーザ７０と、第１の増幅器７１と、第１のシードレーザ７２と、第１の光強度可変部７３と、第１の光強度制御部７４、ダイクロイックミラー７５、７６と、波長変換部７７と、を含む。第１の増幅器７１は、ファイバ増幅器７１ａと、固体増幅器７１ｂとを含む。波長変換部７７は、ＬＢＯ結晶７７ａと、ＣＬＢＯ結晶７７ｂとを含む。

- [0132] ファイバ増幅器 7 1 a は、Y b がドープされた合成石英からなる光ファイバを含む。ファイバ増幅器 7 1 a は、多段であってもよい。固体増幅器 7 1 b は、Y b がドープされた光学結晶である。
- [0133] 第 1 の CW 励起レーザ 7 0、第 1 のシードレーザ 7 2、第 1 の光強度可変部 7 3、第 1 の光強度制御部 7 4、及びダイクロイックミラー 7 5、7 6 は、それぞれ第 1 実施形態又は前述の各変形例に係る CW 励起レーザ 1 2、シードレーザ 1 4、光強度可変部 1 5、光強度制御部 2 0、ダイクロイックミラー 1 6 と同様の構成である。
- [0134] 第 1 の CW 励起レーザ 7 0 は、第 1 の増幅器 7 1 に第 1 の CW 励起光を供給する。第 1 の CW 励起レーザ 7 0 は、ファイバ増幅器 7 1 a に第 1 の CW 励起光を供給する CW 励起レーザ 7 0 a と、固体増幅器 7 1 b に第 1 の CW 励起光を供給する CW 励起レーザ 7 0 b とを含む。CW 励起レーザ 7 0 a、7 0 b は、波長が約 9 7 6 n m である第 1 の CW 励起光を出力する半導体レーザである。
- [0135] 第 1 のシードレーザ 7 2 は、シングル縦モードであって、波長が約 1 0 3 0 n m の CW レーザ光を第 1 のシード光として出力する分布帰還型の半導体レーザである。なお、第 1 のシード光の波長は、1 0 2 0 n m ~ 1 0 9 0 n m の波長範囲内であることが好ましい。
- [0136] CW 励起レーザ 7 0 a から出力された第 1 の CW 励起光は、ダイクロイックミラー 7 5 を介してファイバ増幅器 7 1 a に入射する。CW 励起レーザ 7 0 b から出力された第 1 の CW 励起光は、ダイクロイックミラー 7 6 を介して固体増幅器 7 1 b に入射する。
- [0137] 第 1 の CW 励起レーザ 7 0 と第 1 のシードレーザ 7 2 は、固体レーザ制御部 6 6 に、図示しない信号線を介して接続されている。
- [0138] 第 2 の固体レーザ装置 6 1 は、第 2 の CW 励起レーザ 8 0 と、第 2 の増幅器 8 1 と、第 2 のシードレーザ 8 2 と、第 2 の光強度可変部 8 3 と、第 2 の光強度制御部 8 4、ダイクロイックミラー 8 5 と、を含む。第 2 の増幅器 8 1 は、E r がドープされた石英ファイバを含むファイバ増幅器である。なお

、第2の増幅器81は、ErとYbが共にドープされた石英ファイバを含むファイバ増幅器であってもよい。また、ファイバ増幅器は、多段であってもよい。

[0139] 第2のCW励起レーザ80、第2のシードレーザ82、第2の光強度可変部83、第2の光強度制御部84、ダイクロイックミラー85は、それぞれ第1実施形態又は前述の各変形例に係るCW励起レーザ12、シードレーザ14、光強度可変部15、光強度制御部20、ダイクロイックミラー16と同様の構成である。

[0140] 第2のCW励起レーザ80は、第2の増幅器81に第2のCW励起光を供給する。第2のCW励起レーザ80は、波長が約976nmである第2のCW励起光を出力する半導体レーザである。第2のCW励起レーザ80から出力された第2のCW励起光は、ダイクロイックミラー85を介して第2の増幅器81に入射する。

[0141] 第2のシードレーザ82は、シングル縦モードであって、波長が約1554nmのCWレーザ光を第2のシード光として出力する分布帰還型の半導体レーザである。なお、第2のシード光の波長は、1550nm～1555nmの波長範囲内であることが好ましい。

[0142] 第2のCW励起レーザ80と第2のシードレーザ82は、固体レーザ制御部66に、図示しない信号線を介して接続されている。

[0143] 同期回路65は、前述の同期制御部56から固体レーザ制御部66を介して第2の外部トリガ信号Tr2を受信する。同期回路65は、第2の外部トリガ信号Tr2を受信すると、第4の外部トリガ信号Tr4と第5の外部トリガ信号Tr5とを生成する。同期回路65は、第4の外部トリガ信号Tr4を第1の光強度制御部74に送信し、第5の外部トリガ信号Tr5を第2の光強度制御部84に送信する。

[0144] 第1の固体レーザ装置60は、波長が約257.5nmの第1のパルスレーザ光67aを出力する。第2の固体レーザ装置61は、波長が約1554nmの第2のパルスレーザ光67bを出力する。同期回路65は、第1のパ

ルスレーザ光 67a と、第 2 のパルスレーザ光 67b とがほぼ同時に和周波波長変換部 62 に入射するように、第 4 の外部トリガ信号 Tr4 と第 5 の外部トリガ信号 Tr5 とのタイミングを制御する。

[0145] 高反射ミラー 63 は、第 2 の固体レーザ装置 61 から出力される第 2 のパルスレーザ光が反射して、ダイクロイックミラー 64 に入射するように配置されている。ダイクロイックミラー 64 には、第 1 のパルスレーザ光 67a を高透過し、第 2 のパルスレーザ光 67b を高反射する膜がコートされている。ダイクロイックミラー 64 は、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光の光路軸が一致し、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 67a, 67b が和周波波長変換部 62 に入射するように配置されている。

[0146] 和周波波長変換部 62 は、第 1 の CLBO 結晶 62a と、第 2 の CLBO 結晶 62b とを含む。第 1 の CLBO 結晶 62a と第 2 の CLBO 結晶 62b とは、この順序で、第 1 及び第 2 のパルスレーザ光 67a, 67b の光路上に配置されている。和周波波長変換部 62 は、波長が約 193.4 nm の和周波光である第 3 のパルスレーザ光 67c を出力する。

[0147] 第 1 及び第 2 の高反射ミラー 52, 53 は、和周波波長変換部 62 から出力される第 3 のパルスレーザ光 67c が、増幅器 54 に入射するように配置されている。

[0148] 図 19 は、図 17 に示される増幅器 54 の構成を概略的に示す。図 19 において、増幅器 54 は、増幅器制御部 90 と、充電部 91 と、トリガ補正部 92 と、スイッチ 93 を含むパルスパワーモジュール (PPM) 94 と、チャンバ 95 と、部分反射ミラー 96 と、出力結合ミラー 97 と、を含む。

[0149] チャンバ 95 には、ウインドウ 99a, 99b が設けられている。チャンバ 95 の中には、例えば、Ar ガスと F₂ ガスと Ne ガスとを含むレーザガスが封入されている。チャンバ 95 の中には、一对の放電電極 98 が配置されている。一对の放電電極 98 は、PPM 94 の出力端子に接続されている。

[0150] 増幅器 54 において、部分反射ミラー 96 と出力結合ミラー 97 とを含む光共振器が構成されている。部分反射ミラー 96 は、例えば、波長が約 19

3. 4 nmの光を透過するCaF₂結晶からなる基板に、反射率が70%~90%の部分反射膜をコートすることにより構成されている。出力結合ミラー37は、例えば、波長が約193.4 nmの光を透過するCaF₂結晶からなる基板に、反射率が10%~20%の部分反射膜をコートすることにより構成されている。

[0151] 増幅器制御部90は、同期制御部56から入力される第3の外部トリガ信号Tr3をトリガ補正部92に送信する。トリガ補正部92は、第3のパルスレーザ光67cが光共振器に注入されるのと同期して一对の放電電極98が放電するように、第3の外部トリガ信号Tr3のタイミングを補正してPPM94のスイッチ93に入力する。

[0152] 5. 2 動作

レーザ制御部55は、露光装置制御部5から発振準備信号Rdを受信すると、固体レーザシステム51内の固体レーザ制御部66と、増幅器54内の増幅器制御部90とに、発振準備信号Rdを送信する。

[0153] 固体レーザ制御部66は、発振準備信号Rdを受信すると、第1及び第2のシードレーザ72, 82のレーザ発振動作と、第1及び第2のCW励起レーザ70, 80のレーザ発振動作とを開始させる。増幅器制御部90は、発振準備信号Rdを受信すると、チャンバ95内の図示しないファンを回転させるなどのレーザ増幅のための準備動作を行わせる。

[0154] 次に、固体レーザ制御部66は、第1及び第2の光強度制御部74, 84にセット信号Stを出力する。第1及び第2の光強度制御部74, 84は、セット信号Stを受信すると、それぞれ第1及び第2の光強度可変部73, 83に、前述の第2の信号S2を入力する。この結果、第1及び第2の光強度可変部73, 83から第1及び第2の増幅器71, 81にそれぞれ第1及び第2の抑制光が出力され、増幅ゲインの増加が抑制される。

[0155] 次に、同期制御部56は、レーザ制御部55を介して、露光装置4からの第1の外部トリガ信号Tr1を受信すると、第2の外部トリガ信号Tr2と第3の外部トリガ信号Tr3とを生成する。同期制御部56は、第2の外部

トリガ信号 $T_r 2$ に対する第3の外部トリガ信号 $T_r 3$ の遅延時間を制御したうえで、第2の外部トリガ信号 $T_r 2$ を固体レーザ制御部66に出力し、第3の外部トリガ信号 $T_r 3$ を増幅器制御部90に出力する。

[0156] 次に、固体レーザ制御部66は、第2の外部トリガ信号 $T_r 2$ を同期回路65に出力する。同期回路65は、第2の外部トリガ信号 $T_r 2$ が入力されると、第4の外部トリガ信号 $T_r 4$ と第5の外部トリガ信号 $T_r 5$ と生成する。同期回路65は、第4の外部トリガ信号 $T_r 4$ と第5の外部トリガ信号 $T_r 5$ とのタイミングを制御したうえで、第4の外部トリガ信号 $T_r 4$ を第1の光強度制御部74に出力し、第5の外部トリガ信号 $T_r 5$ を第2の光強度制御部84に出力する。

[0157] 第1の光強度制御部74は、第4の外部トリガ信号 $T_r 4$ が入力されると、第1の光強度可変部73にグランド信号を出力する。同様に、第2の光強度制御部84は、第5の外部トリガ信号 $T_r 5$ が入力されると、第2の光強度可変部83にグランド信号を出力する。第1及び第2の光強度可変部73、84にグランド信号が入力されると、第1及び第2の光強度可変部73、84において、第1及び第2のシード光の透過が抑制される。これにより、第1及び第2の抑制光の出力が停止され、第1及び第2の増幅器71、81において増幅ゲインが増加する。

[0158] 第1の光強度制御部74は、第4の外部トリガ信号 $T_r 4$ が入力されてから、一定時間 T_d の経過後に第1の信号 S_1 を第1の光強度可変部73に出力する。同様に、第2の光強度制御部84は、第5の外部トリガ信号 $T_r 5$ が入力されてから、一定時間 T_d の経過後に第1の信号 S_1 を第1の光強度可変部73に出力する。第1の光強度可変部73は、第1の信号 S_1 が入力されると、第1のシード光をパルス化した第1のシードパルス光を、第1の増幅器71に出力する。同様に、第2の光強度可変部83は、第1の信号 S_1 が入力されると、第2のシード光をパルス化した第2のシードパルス光を、第2の増幅器81に出力する。

[0159] 第1の増幅器71に入力された第1のシードパルス光は、第1の増幅器7

1 内で増幅され、波長が約 1 0 3 0 n m の第 1 の増幅光として波長変換部 7 7 に出力される。波長変換部 7 7 に入力された第 1 の増幅光は、L B O 結晶 7 7 a と C L B O 結晶 7 7 b とによって、波長が約 2 5 7 . 5 n m の第 4 高調波光に変換される。この第 4 高調波光は、第 1 のパルスレーザ光 6 7 a として第 1 の固体レーザ装置 6 0 から出力される。

[0160] 一方、第 2 の増幅器 8 1 に入力された第 2 のシードパルス光は、第 2 の増幅器 8 1 内で増幅され、波長が約 1 5 5 4 n m の第 2 の増幅光として出力される。この第 2 の増幅光は、第 2 のパルスレーザ光 6 7 b として第 2 の固体レーザ装置 6 1 から出力される。

[0161] 第 1 の固体レーザ装置 6 0 から出力された第 1 のパルスレーザ光 6 7 a と、第 2 の固体レーザ装置 6 1 から出力された第 2 のパルスレーザ光 6 7 b とは、和周波波長変換部 6 2 にほぼ同時に入射する。波長が約 2 5 7 . 5 n m の第 1 のパルスレーザ光 6 7 a と、波長が約 1 5 5 4 n m の第 2 のパルスレーザ光 6 7 b とは、和周波波長変換部 6 2 に含まれる第 1 の C L B O 結晶 6 2 a 上で重なる。

[0162] C L B O 結晶 6 2 a では、波長約 2 5 7 . 5 n m と波長約 1 5 5 4 n m との和周波に対応する波長約 2 2 0 . 9 n m のパルスレーザ光が生成される。そして、第 2 の C L B O 結晶 6 2 b では、波長約 2 2 0 . 9 n m と波長約 1 5 5 4 n m との和周波に対応する波長約 1 9 3 . 4 n m の第 3 のパルスレーザ光 6 7 c が生成される。この第 3 のパルスレーザ光 6 7 c は、固体レーザシステム 5 1 から出力され、第 1 及び第 2 の高反射ミラー 5 2 , 5 3 を介して、増幅器 5 4 の部分反射ミラー 9 6 に入射する。

[0163] この第 3 のパルスレーザ光 6 7 c は、シード光として、部分反射ミラー 9 6 と出力結合ミラー 9 7 とを含む増幅器 5 4 の光共振器中に注入される。この注入に同期して、増幅器 5 4 のチャンバ 9 5 内では一対の放電電極 3 9 間での放電により反転分布が形成される。ここで、トリガ補正部 9 2 は、第 3 のパルスレーザ光 6 7 c が増幅器 5 4 で効率よく増幅されるように、第 3 の外部トリガ信号 T r 3 のタイミングを補正して P P M 9 4 のスイッチ 9 3 に

入力する。この結果、増幅器 5 4 の光共振器が増幅発振して、出力結合ミラー 9 7 から増幅されたパルスレーザ光が出力される。この増幅されたパルスレーザ光は、約 1 9 3 . 4 n m の波長を有し、露光装置 4 に入力される。

[0164] なお、第 1 の光強度制御部 7 4 は、第 1 の信号 S 1 を第 1 の光強度可変部 7 3 に出力した後、第 4 の外部トリガ信号 T r 4 が入力されるまでの間、第 2 の信号 S 2 を第 1 の光強度可変部 7 3 に出力する。同様に、第 2 の光強度制御部 8 4 は、第 1 の信号 S 1 を第 2 の光強度可変部 8 3 に出力した後、第 5 の外部トリガ信号 T r 5 が入力されるまでの間、第 2 の信号 S 2 を第 2 の光強度可変部 8 3 に出力する。

[0165] これにより、固体レーザシステム 5 1 から第 3 のパルスレーザ光 6 7 c から出力された後、固体レーザシステム 5 1 に第 2 の外部トリガ信号 T r 2 が入力されるまでの間、第 1 及び第 2 の増幅器 7 1 , 8 1 における増幅ゲインの増加が抑制される。第 2 の信号 S 2 は、図 8 D、図 1 1 D、図 1 3 D、及び図 1 4 D に示したいずれの信号波形であってもよい。

[0166] 5 . 3 効果

以上のように、固体レーザシステム 5 1 内の第 1 及び第 2 の光強度制御部 7 4 , 8 4 は、それぞれ外部トリガ信号の入力に同期して、前述の第 1 の信号 S 1 及び第 2 の信号 S 2 を第 1 及び第 2 の光強度可変部 7 3 , 8 3 に出力する。このため、固体レーザシステム 5 1 から出力される第 3 のパルスレーザ光 6 7 c の光強度及びパルスエネルギーは、外部トリガ信号のパルス間隔に依らず一定となる。

[0167] さらに、固体レーザシステム 5 1 では、バースト動作における休止期間後のバースト期間開始直後に、出力されるバーストの先頭の第 3 のパルスレーザ光 6 7 c の光強度及びパルスエネルギーが増大することが抑制される。この結果、増幅器 5 4 によって増幅されたパルスレーザ光の光強度及びパルスエネルギーの変動も抑制される。

[0168] 5 . 4 波長変換閾値の定義

固体レーザシステム 5 1 では、前述の波長変換閾値を、波長変換部 7 7 の

波長変換効率に加えて、和周波波長変換部 6 2 の波長変換効率を含めて定義することが好ましい。すなわち、波長変換閾値を、波長変換の最終段まで考慮して定義することが好ましい。具体的には、第 1 の固体レーザ装置 6 0 について、波長変換部 7 7 及び和周波波長変換部 6 2 を合わせた波長変換閾値を第 1 の波長変換閾値とする。第 2 の固体レーザ装置 6 1 について、和周波波長変換部 6 2 の波長変換閾値を第 2 の波長変換閾値とする。

[0169] 第 1 の波長変換閾値は、第 1 の増幅器 7 1 から波長変換部 7 7 への入射光が、波長変換部 7 7 と和周波波長変換部 6 2 とにより和周波光に変換される波長変換効率である第 1 の波長変換効率が所定値となる入射光の光強度として定義される。第 2 の波長変換閾値は、第 2 の増幅器 7 1 から和周波波長変換部 6 2 への入射光が、和周波波長変換部 6 2 により和周波光に変換される波長変換効率である第 2 の波長変換効率が所定値となる入射光の光強度として定義される。この所定値は、例えば、1 % ~ 2 % の範囲内の値とであることが好ましい。また、この所定値は、0 % ~ 0.01 % の範囲内の値であることも好ましい。

[0170] また、第 1 の波長変換閾値は、第 1 の固体レーザ装置 6 0 において生成される第 1 の信号 S 1 に応じて固体レーザシステム 5 1 から出力される和周波光の光強度である第 1 の光強度と、第 1 の固体レーザ装置 6 0 において生成される第 2 の信号 S 2 に応じて固体レーザシステム 5 1 から生成される和周波光の光強度である第 2 の光強度との比に基づいて定義してもよい。同様に、第 2 の波長変換閾値は、第 2 の固体レーザ装置 6 1 において生成される第 1 の信号 S 1 に応じて固体レーザシステム 5 1 から出力される和周波光の光強度である第 3 の光強度と、第 2 の固体レーザ装置 6 1 において生成される第 2 の信号 S 2 に応じて固体レーザシステム 5 1 から生成される和周波光の光強度である第 4 の光強度との比に基づいて定義してもよい。例えば、第 1 の波長変換閾値を、第 1 の光強度に対する第 2 の光強度の比が 0 % ~ 10 % の範囲内となる値として定義してもよい。また、第 2 の波長変換閾値を、第 3 の光強度に対する第 4 の光強度の比が 0 % ~ 10 % の範囲内となる値とし

て定義してもよい。

[0171] 第1の抑制光が第1の増幅器71に入力することにより生成される第1の副次光の光強度は、第1の波長変換閾値未満である。第2の抑制光が第2の増幅器81に入力することにより生成される第2の副次光の光強度は、第2の波長変換閾値未満である。

[0172] 5. 5 波長変換部に関する変形例

図18に示される固体レーザシステム51では、第1の固体レーザ装置60内に波長変換部77を設けているが、この波長変換部77を削除してもよい。すなわち、波長変換部を含まない第1の固体レーザ装置60から出力される第1のパルスレーザ光と、波長変換部を含まない第2の固体レーザ装置61から出力される第2のパルスレーザ光とを、和周波波長変換部62に入射させるように構成してもよい。

[0173] この場合、和周波波長変換部62の第1の波長変換閾値は、第1の増幅光が和周波波長変換部62に入力することにより生成される和周波光の光強度である第1の光強度と、第1の副次光が和周波波長変換部62に入力することにより生成される和周波光の光強度である第2の光強度との比により表される。同様に、和周波波長変換部62の第2の波長変換閾値は、第2の増幅光が和周波波長変換部62に入力することにより生成される和周波光の光強度である第3の光強度と、第2の副次光が和周波波長変換部62に入力することにより生成される和周波光の光強度である第4の光強度との比により表される。例えば、第1の波長変換閾値を、第1の光強度に対する第2の光強度の比が0%~10%の範囲内となる値として定義してもよい。また、第2の波長変換閾値を、第3の光強度に対する第4の光強度の比が0%~10%の範囲内となる値として定義してもよい。

[0174] 5. 6 増幅器の変形例

露光装置用レーザ装置50では、図19に示される増幅器54を適用しているが、増幅器は、様々な構成をとり得る。

[0175] 5. 6. 1 第1の変形例

図20は、第1の変形例に係る増幅器300の構成を概略的に示す。図20において、増幅器300は、図19に示される増幅器54の構成における部分反射ミラー96と出力結合ミラー97とに代えて、凹面ミラー310と凸面ミラー320とを備えている。凹面ミラー310と凸面ミラー320とは、第3のパルスレーザ光67cが一对の放電電極98間の放電空間を3回通過して、ビームが拡大されるように配置されている。増幅器300のその他の構成は、増幅器54と同様である。

[0176] 増幅器300では、増幅器300に入射した第3のパルスレーザ光67cは、凹面ミラー310及び凸面ミラー320で反射することにより、一对の放電電極98間の放電空間を3回通過する。これにより、第3のパルスレーザ光67cのビームが拡大されて増幅され、露光装置4に向けて出力される。

[0177] 5. 6. 2 第2の変形例

図21は、第2の変形例に係る増幅器400の構成を概略的に示す。図21において、増幅器400は、チャンバ95と、出力結合ミラー410と、高反射ミラー420～422とを含む。また、増幅器400は、図示していないが、図19に示される増幅器54と同様に、増幅器制御部90と、充電部91と、トリガ補正部92と、スイッチ93を含むパルスパワーモジュール94とを含む。さらに、増幅器400は、第3のパルスレーザ光67cを固体レーザシステム51から増幅器400に導く高反射ミラーを含んでもよいし、増幅器400から出力されたパルスレーザ光を露光装置4に導く高反射ミラーを含んでもよい。

[0178] チャンバ95には、ウインドウ99a, 99bが設けられてもよい。チャンバ95の中には、一对の放電電極98が配置されている。一对の放電電極98は、図21において、紙面に直交する方向に対向して配置されてもよい。出力結合ミラー410及び高反射ミラー420～422は、光共振器を構成している。増幅器400では、第3のパルスレーザ光67cが、出力結合ミラー410、高反射ミラー420、一对の放電電極98間の放電空間、高

反射ミラー４２１、高反射ミラー４２２、一对の放電電極９８間の放電空間の順に繰り返し進行して、増幅される。

[0179] ６．その他の変形例

前述の固体レーザ装置では、CW励起レーザを、波長が約９７６nmのCWレーザ光を出力する半導体レーザとしているが、この半導体レーザは、CW励起光を供給する増幅器の種類に応じて変更してもよい。例えば、Ybがドープされたファイバ増幅器に対しては、CW励起レーザとして、波長が約９７６nmのCWレーザ光を出力する半導体レーザが好ましいが、他の例として、波長が約９１５nmや約９６９nmのCWレーザ光を出力する半導体レーザを用いることも可能である。また、Ybがドープされたファイバ増幅器に対しては、CW励起レーザとして、波長が約９３８nmのCWレーザ光を出力する半導体レーザが好ましい

[0180] 前述の固体レーザ装置では、CW励起レーザから出力されたCW励起光を、ダイクロイックミラーを介して増幅器に入射させているが、この増幅器がファイバ増幅器である場合には、ダイクロイックミラーに代えて、ポンプコンバイナを用いてもよい。

[0181] 前述の固体レーザ装置では、波長変換部は、LBO結晶とCLBO結晶とを含み、第４高調波光を生成するように構成されているが、波長変換部の構成は様々の変形が可能である。波長変換部は、LBO結晶、BBO結晶、CLBO結晶、及びKBBF ($\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$) 結晶のうち少なくとも１つを含み、２次以上の高調波光を生成するように構成されていればよい。

[0182] また、前述の露光装置用レーザ装置では、和周波波長変換部は、２つのCLBO結晶を含んでいるが、和周波波長変換部の構成は様々の変形が可能である。和周波波長変換部は、少なくとも１つのCLBO結晶を含み、第１のパルスレーザ光と第２のパルスレーザ光との和周波を有する第３のパルスレーザ光を生成するように構成されていればよい。

[0183] 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各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。

- [0184] 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。

請求の範囲

- [請求項1] CWレーザ光であるシード光を出力するシードレーザと、
前記シード光の光強度を変更することにより、前記シード光をパルス化してシードパルス光として出力する光強度可変部と、
CW励起光を出力するCW励起レーザと、
前記CW励起光による光励起により増加した増幅ゲインに基づいて、前記シードパルス光を増幅して増幅光として出力する増幅器と、
前記増幅光を波長変換して高調波光を出力する波長変換部と、
外部トリガ信号の入力に応じて前記光強度可変部を制御する光強度制御部であって、前記光強度可変部に、外部トリガ信号の入力から一定時間の経過後に、前記シードパルス光を出力させ、前記シードパルス光の出力後から次の外部トリガ信号の入力までの期間内に、前記増幅ゲインの増加を抑制させる抑制光を出力させる光強度制御部と、
を備える固体レーザ装置。
- [請求項2] 前記光強度制御部は、外部トリガ信号の入力から前記一定時間が経過するまでの間は、前記増幅ゲインが増加するように、前記光強度可変部に前記シード光の透過を抑制させる請求項1に記載の固体レーザ装置。
- [請求項3] 前記抑制光が前記増幅器に入力することにより生成される副次光の光強度は、前記波長変換部の波長変換閾値未満である請求項2に記載の固体レーザ装置。
- [請求項4] 前記波長変換閾値は、前記波長変換部の波長変換効率が1%～2%の範囲内の値となる光強度である請求項3に記載の固体レーザ装置。
- [請求項5] 前記波長変換閾値は、前記波長変換部の波長変換効率が0%～0.01%の範囲内の値となる光強度である請求項3に記載の固体レーザ装置。
- [請求項6] 前記波長変換閾値は、前記増幅光が前記波長変換部により波長変換されることにより生成される高調波光の光強度である第1の光強度と

、前記副次光が前記波長変換部により波長変換されることにより生成される高調波光の光強度である第2の光強度との比により表され、前記第1の光強度に対する前記第2の光強度の比が0%～10%の範囲内となる値である請求項3に記載の固体レーザ装置。

[請求項7] 前記抑制光は、CWレーザ光又はパルスレーザ光である請求項1に記載の固体レーザ装置。

[請求項8] 前記光強度制御部は、前記シードパルス光の出力後、一定期間の間、前記抑制光の光強度を徐々に大きくする請求項7に記載の固体レーザ装置。

[請求項9] 前記光強度可変部は、光シャッタ又は半導体光増幅器である請求項1に記載の固体レーザ装置。

[請求項10] 前記増幅器は、Ybがドープされた固体増幅器と、Ybがドープされたファイバ増幅器との少なくとも1つを含む請求項1に記載の固体レーザ装置。

[請求項11] 前記波長変換部は、LBO結晶、BBO結晶、CLBO結晶、及びKBBF結晶のうち少なくとも1つを含み、2次以上の高調波光を生成する請求項1に記載の固体レーザ装置。

[請求項12] CWレーザ光である第1のシード光を出力する第1のシードレーザと、

前記第1のシード光の光強度を変更することにより、前記第1のシード光をパルス化して第1のシードパルス光として出力する第1の光強度可変部と、

第1のCW励起光を出力する第1のCW励起レーザと、

前記第1のCW励起光による光励起により増加した増幅ゲインに基づいて、前記第1のシードパルス光を増幅して第1の増幅光として出力する第1の増幅器と、

外部トリガ信号の入力に応じて前記第1の光強度可変部を制御する第1の光強度制御部であって、前記第1の光強度可変部に、外部トリ

が信号の入力から一定時間の経過後に、前記第1のシードパルス光を出力させ、前記第1のシードパルス光の出力後から次の外部トリガ信号の入力までの期間内に、前記第1の増幅器の増幅ゲインの増加を抑制させる第1の抑制光を出力させる第1の光強度制御部と、

を含む第1の固体レーザ装置と、

CWレーザ光である第2のシード光を出力する第2のシードレーザと、

前記第2のシード光の光強度を変更することにより、前記第2のシード光をパルス化して第2のシードパルス光として出力する第2の光強度可変部と、

第2のCW励起光を出力する第2のCW励起レーザと、

前記第2のCW励起光による光励起により増加した増幅ゲインに基づいて、前記第2のシードパルス光を増幅して第2の増幅光として出力する第2の増幅器と、

外部トリガ信号の入力に応じて前記第2の光強度可変部を制御する第2の光強度制御部であって、前記第2の光強度可変部に、外部トリガ信号の入力から一定時間の経過後に、前記第2のシードパルス光を出力させ、前記第2のシードパルス光の出力後から次の外部トリガ信号の入力までの期間内に、前記第2の増幅器の増幅ゲインの増加を抑制させる第2の抑制光を出力させる第2の光強度制御部と、

を含む第2の固体レーザ装置と、

前記第1の固体レーザ装置から出力される第1のパルスレーザ光と、前記第2の固体レーザ装置から出力される第2のパルスレーザ光との和周波を有する第3のパルスレーザ光を生成する和周波波長変換部と、

を備える固体レーザシステム。

[請求項13]

前記第1の光強度制御部は、外部トリガ信号の入力から前記一定時間が経過するまでの間は、前記第1の増幅器の増幅ゲインが増加する

ように、前記第1の光強度可変部に前記第1のシード光の透過を抑制させ、

前記第2の光強度制御部は、外部トリガ信号の入力から前記一定時間が経過するまでの間は、前記第2の増幅器の増幅ゲインが増加するように、前記第2の光強度可変部に前記第2のシード光の透過を抑制させる請求項12に記載の固体レーザシステム。

[請求項14] 前記第1の抑制光が前記第1の増幅器に入力することにより生成される第1の副次光の光強度は、前記和周波波長変換部の第1の波長変換閾値未満であり、

前記第2の抑制光が前記第2の増幅器に入力することにより生成される第2の副次光の光強度は、前記和周波波長変換部の第2の波長変換閾値未満である請求項13に記載の固体レーザシステム。

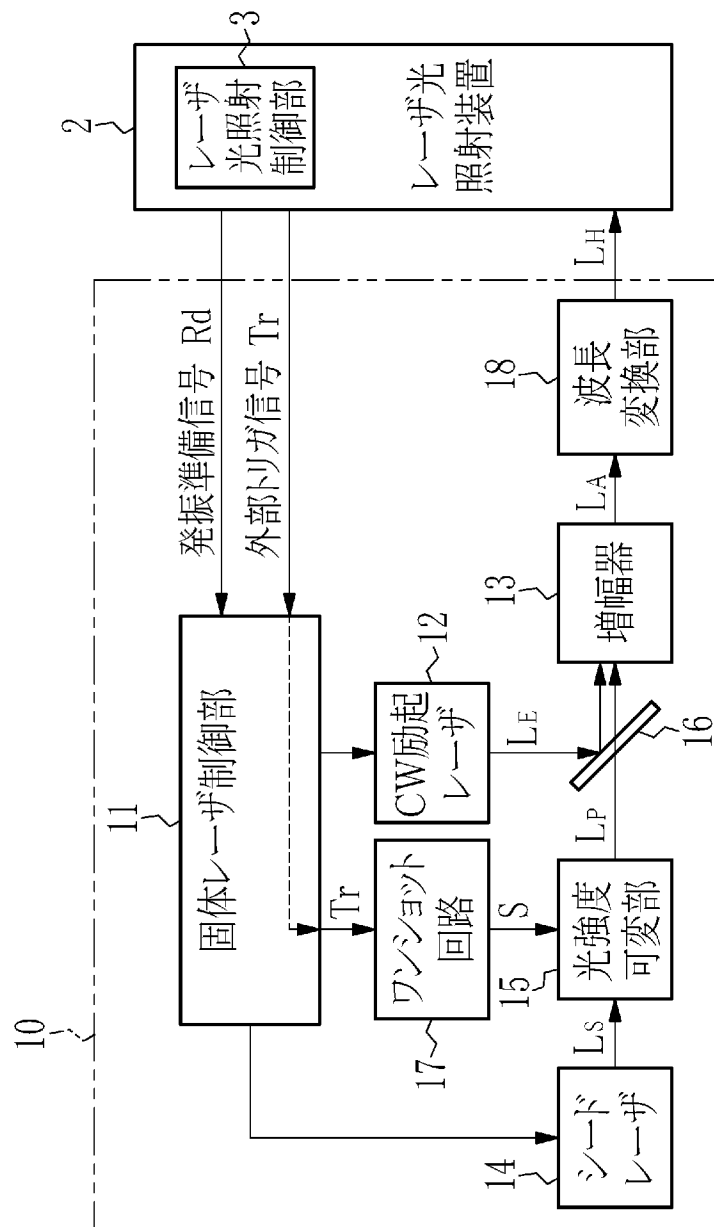
[請求項15] 前記第1の波長変換閾値は、前記第1の増幅光が前記和周波波長変換部に入力することにより生成される和周波光の光強度である第1の光強度と、前記第1の副次光が前記和周波波長変換部に入力することにより生成される和周波光の光強度である第2の光強度との比により表され、前記第1の光強度に対する前記第2の光強度の比が0%～10%の範囲内となる値であり、

前記第2の波長変換閾値は、前記第2の増幅光が前記和周波波長変換部に入力することにより生成される和周波光の光強度である第3の光強度と、前記第2の副次光が前記和周波波長変換部に入力することにより生成される和周波光の光強度である第4の光強度との比により表され、前記第3の光強度に対する前記第4の光強度の比が0%～10%の範囲内となる値である請求項14に記載の固体レーザシステム。

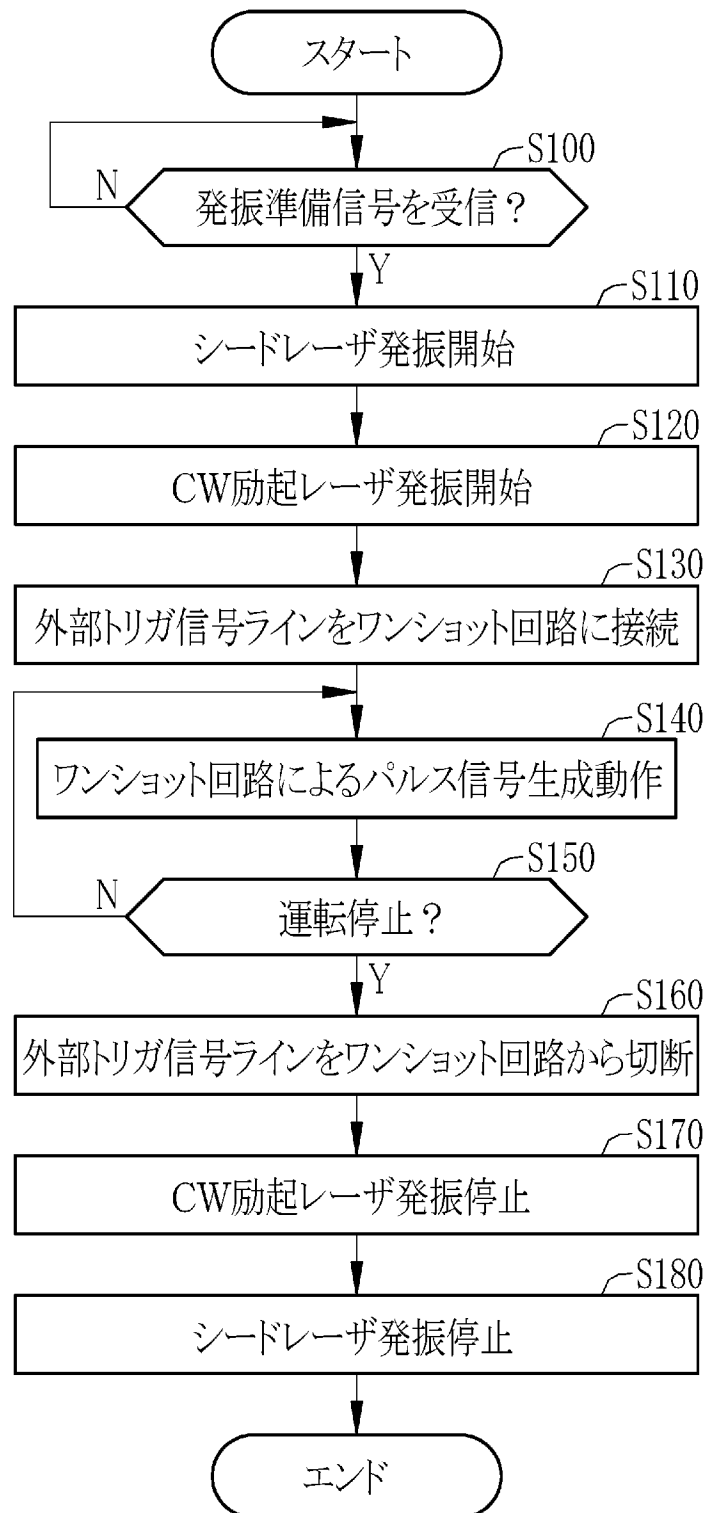
[請求項16] 前記第1の固体レーザ装置は、前記第1の増幅光を波長変換して高調波光を生成し、前記第1のパルスレーザ光として出力する波長変換部を含む請求項13に記載の固体レーザシステム。

- [請求項17] 前記波長変換部は、LBO結晶、BBO結晶、CLBO結晶、及びKBBF結晶のうち少なくとも1つを含み、
前記和周波波長変換部は、少なくとも1つのCLBO結晶を含む請求項16に記載の固体レーザーシステム。
- [請求項18] 前記第1及び第2の光強度可変部は、それぞれ光シャッタ又は半導体光増幅器である請求項12に記載の固体レーザーシステム。
- [請求項19] 前記第1の増幅器は、Ybがドープされた固体増幅器と、Ybがドープされたファイバ増幅器との少なくとも1つを含み、
前記第2の増幅器は、Erがドープされたファイバ増幅器を含む請求項12に記載の固体レーザーシステム。
- [請求項20] 請求項12に記載の固体レーザーシステムと、
前記固体レーザーシステムから出力される前記第3のパルスレーザー光を増幅するエキシマレーザー装置からなる増幅器と、
を備える露光装置用レーザー装置。

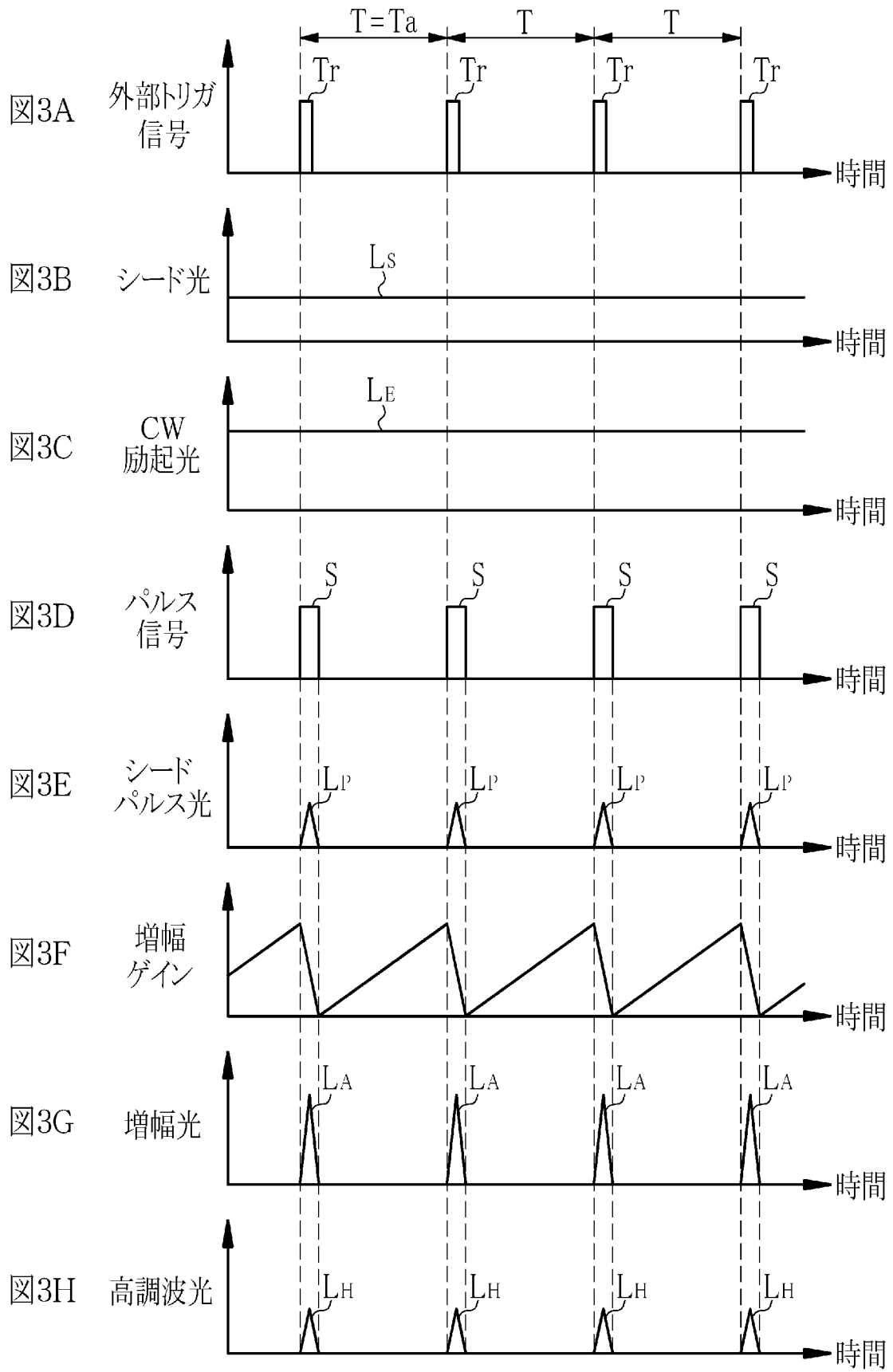
[図1]



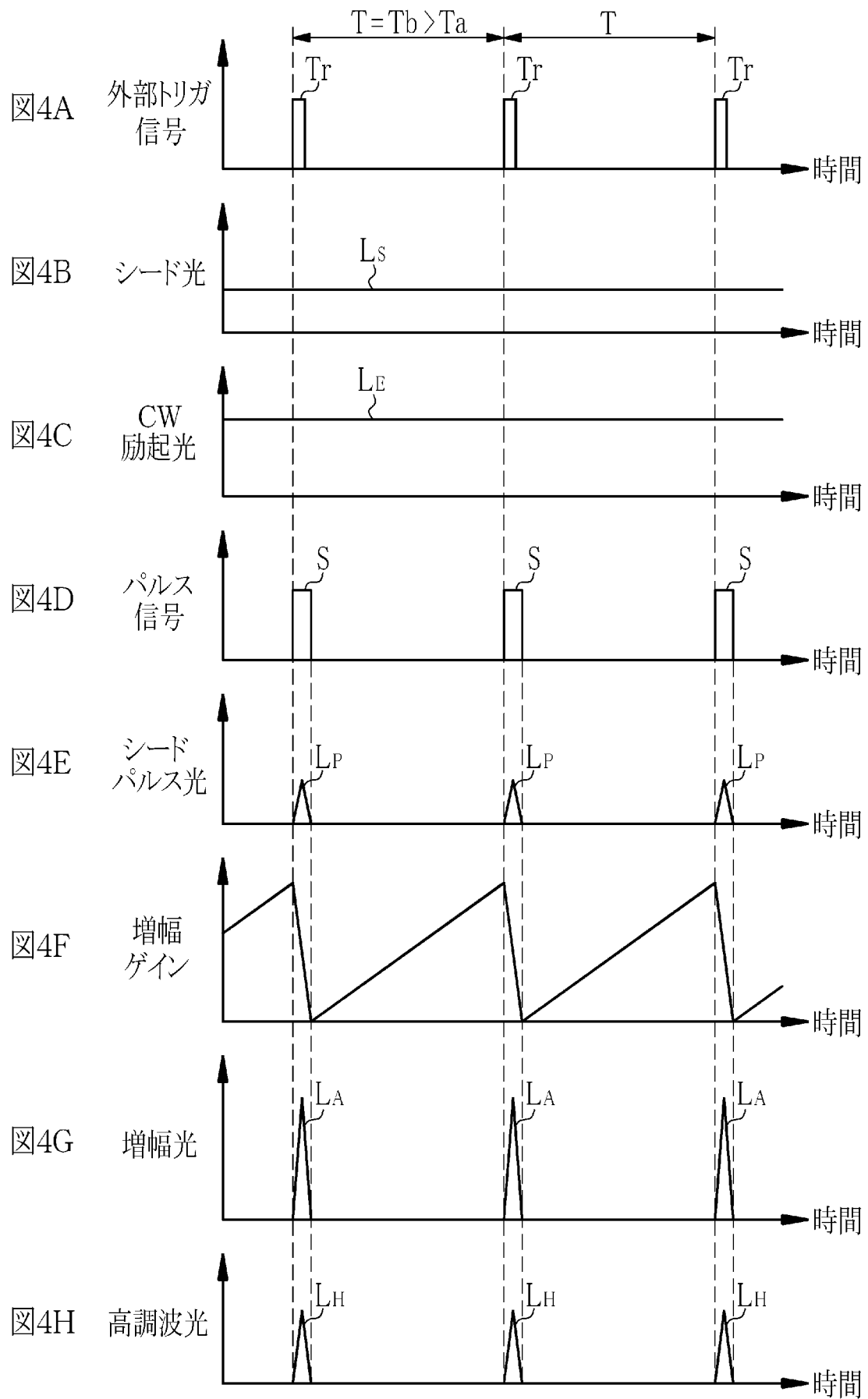
[図2]



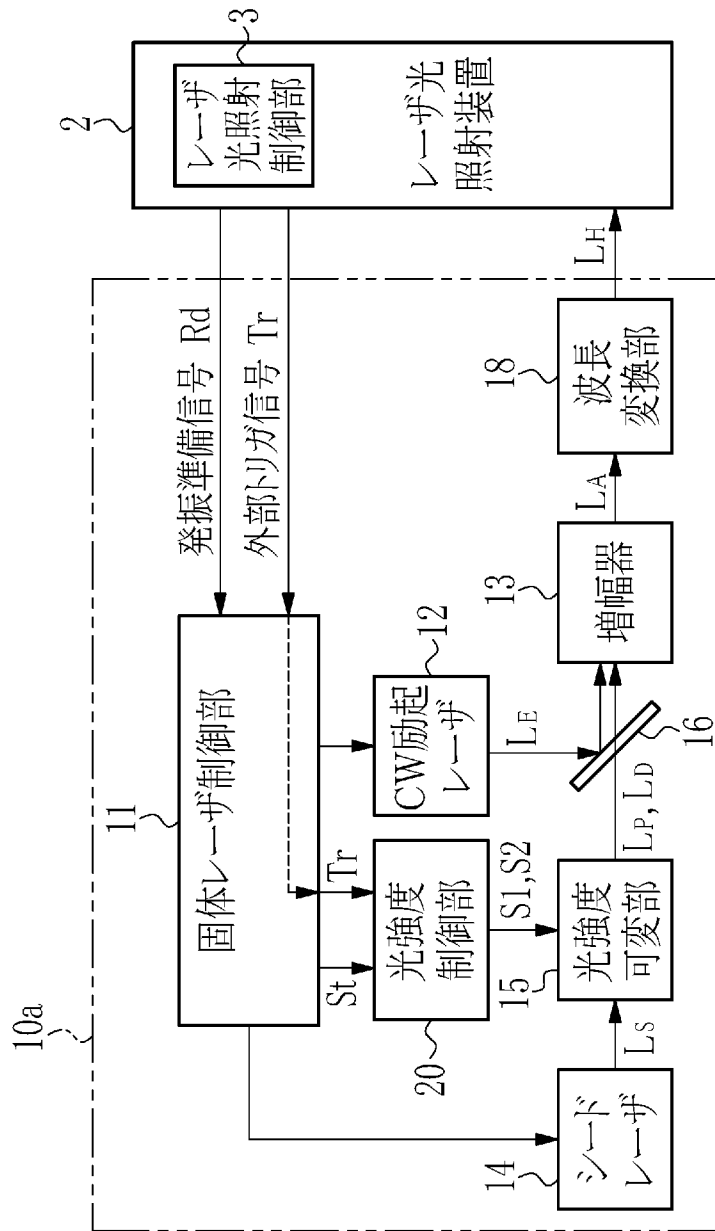
[図3]



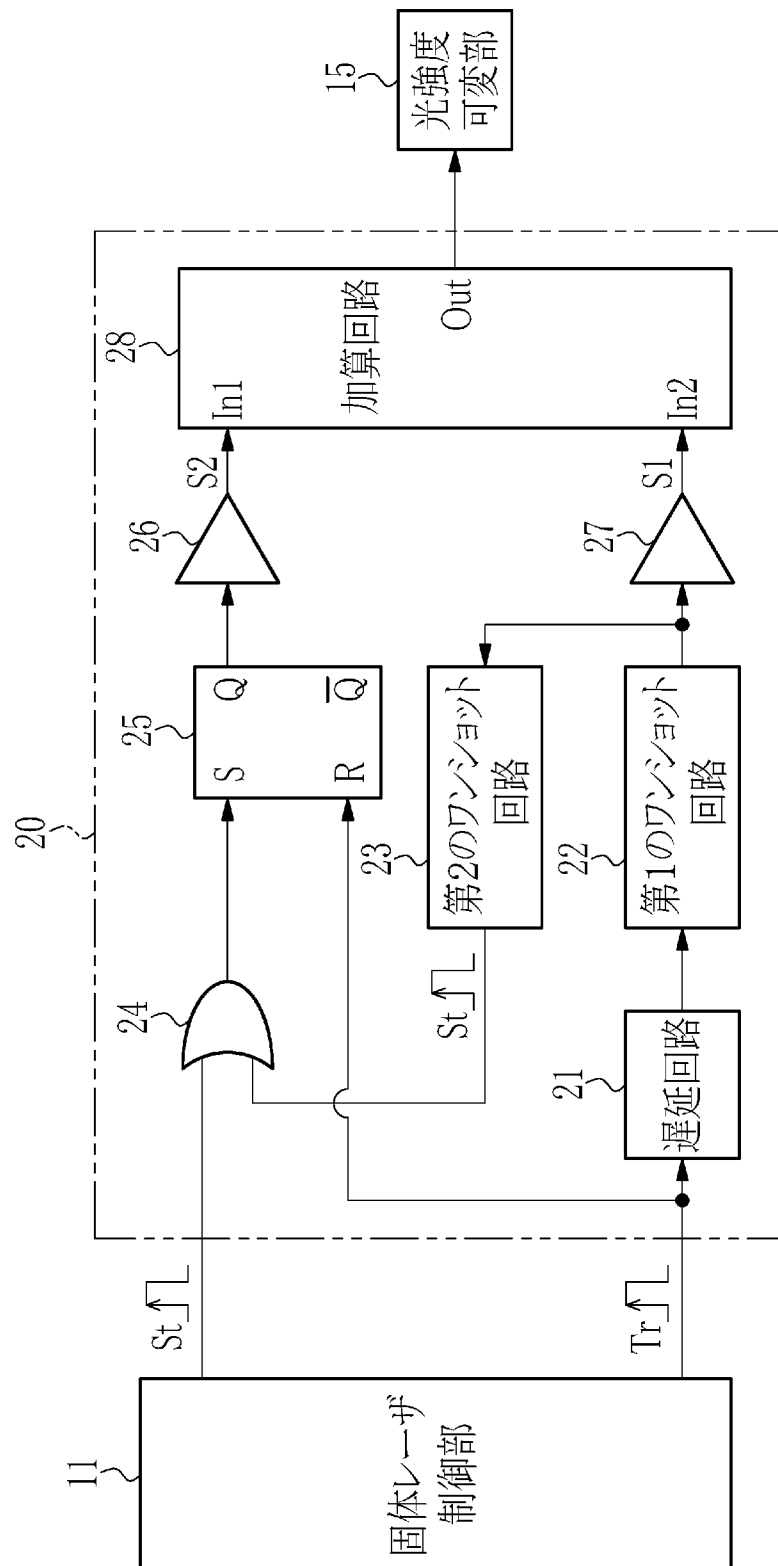
[図4]



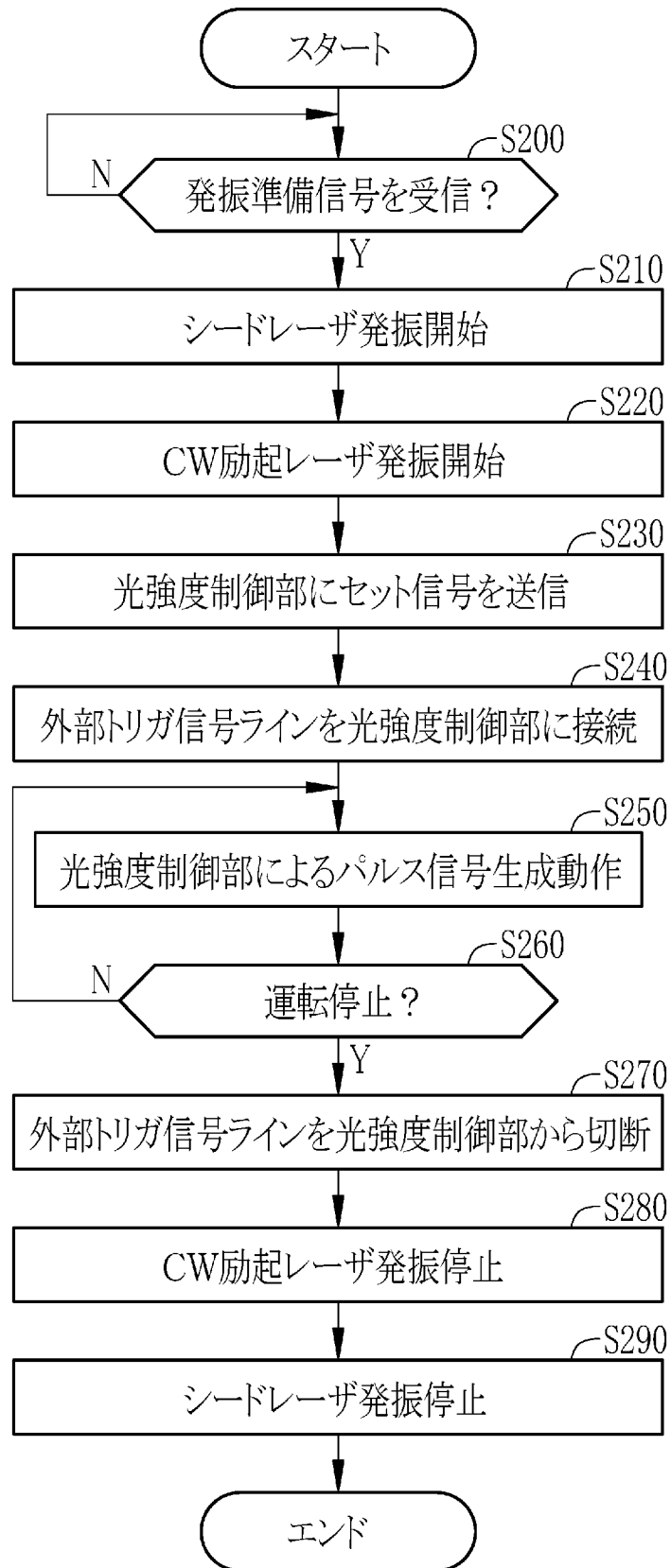
[図5]



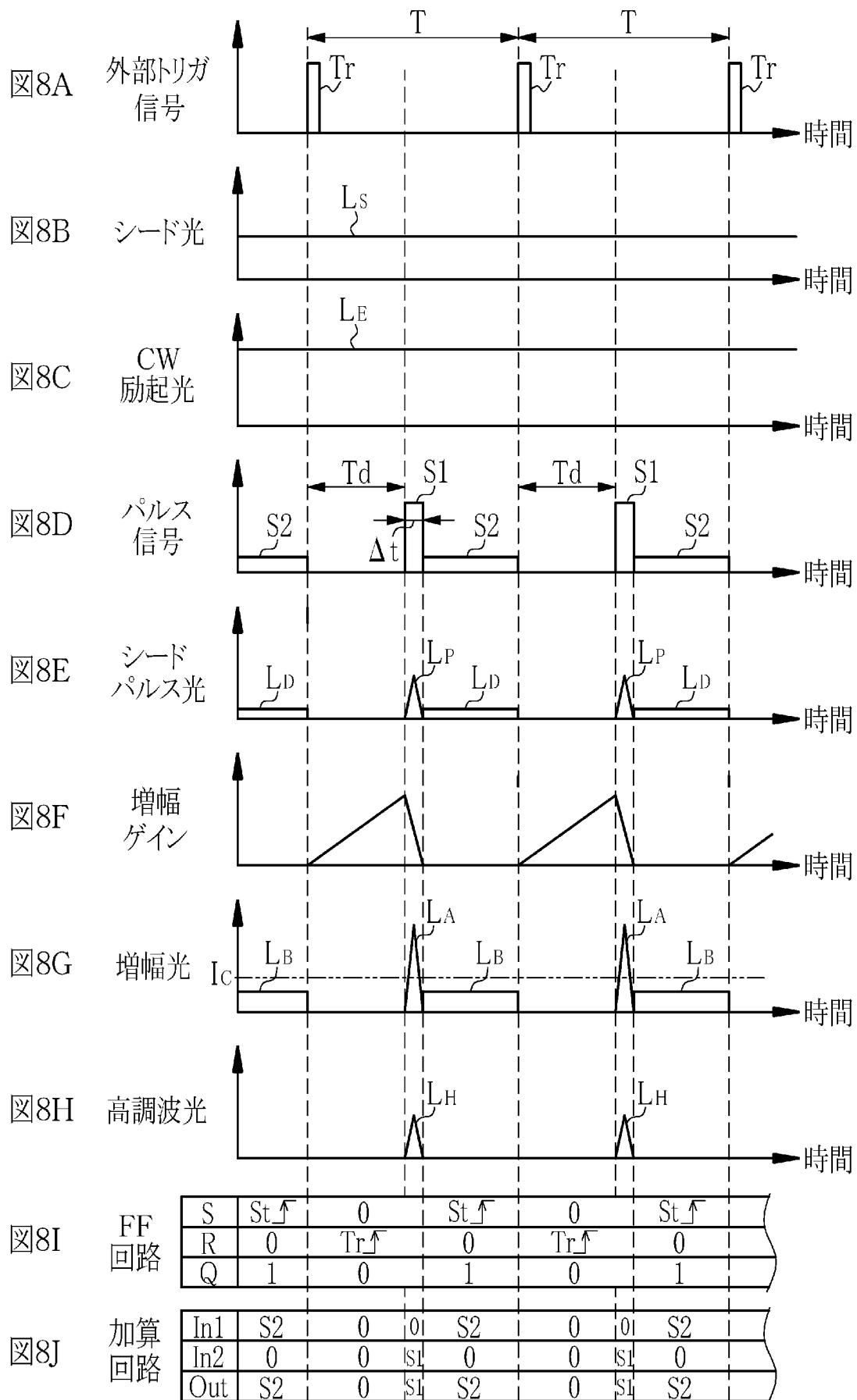
[図6]



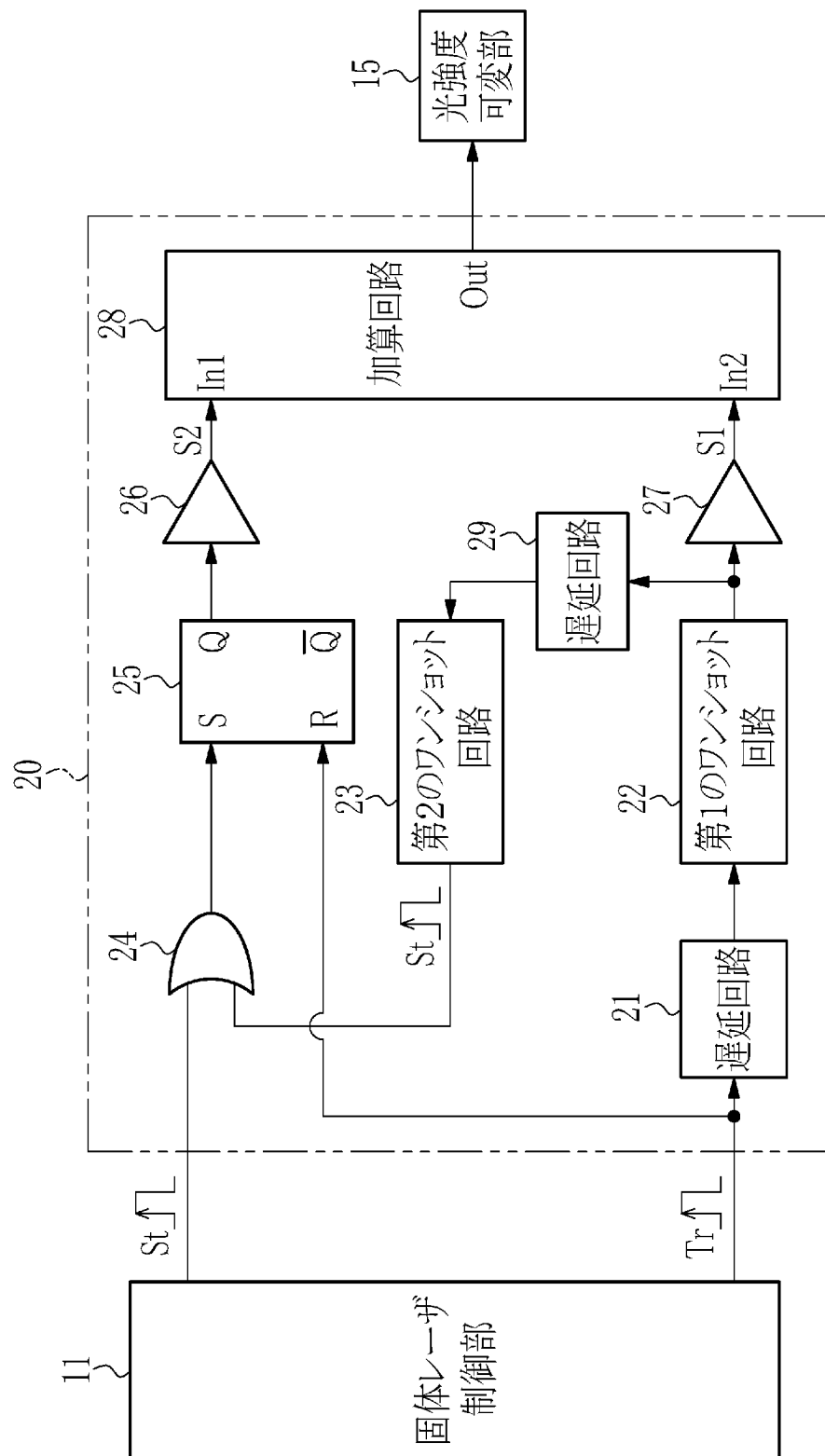
[図7]



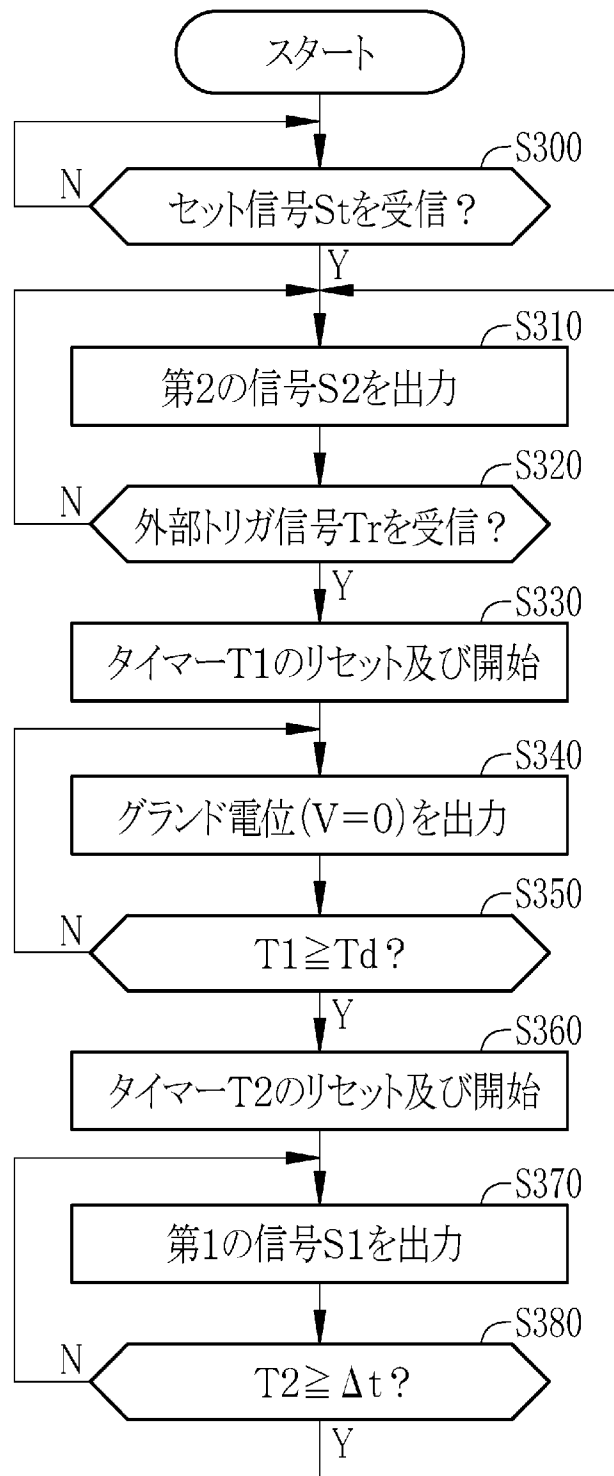
[図8]



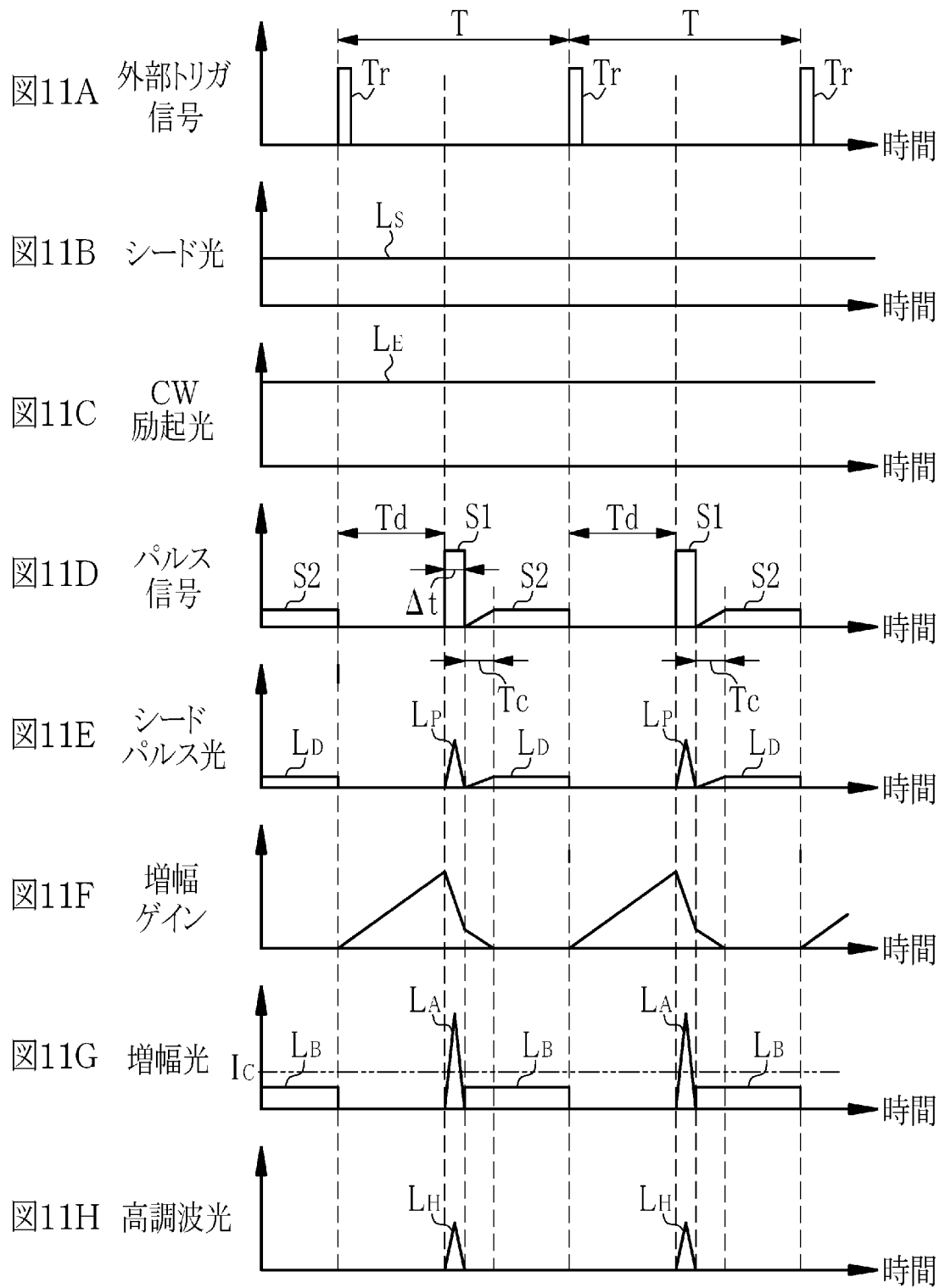
[図9]



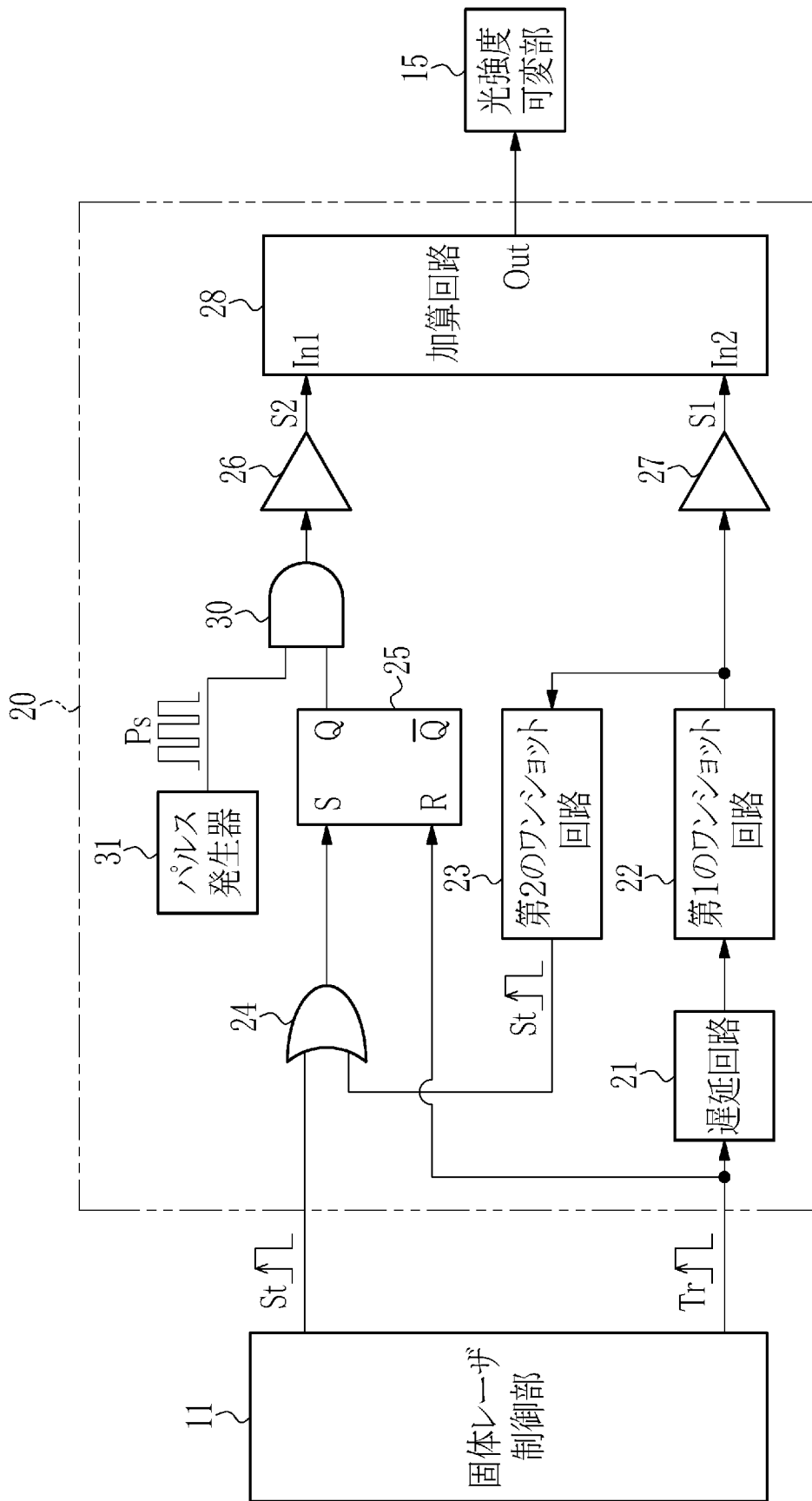
[図10]



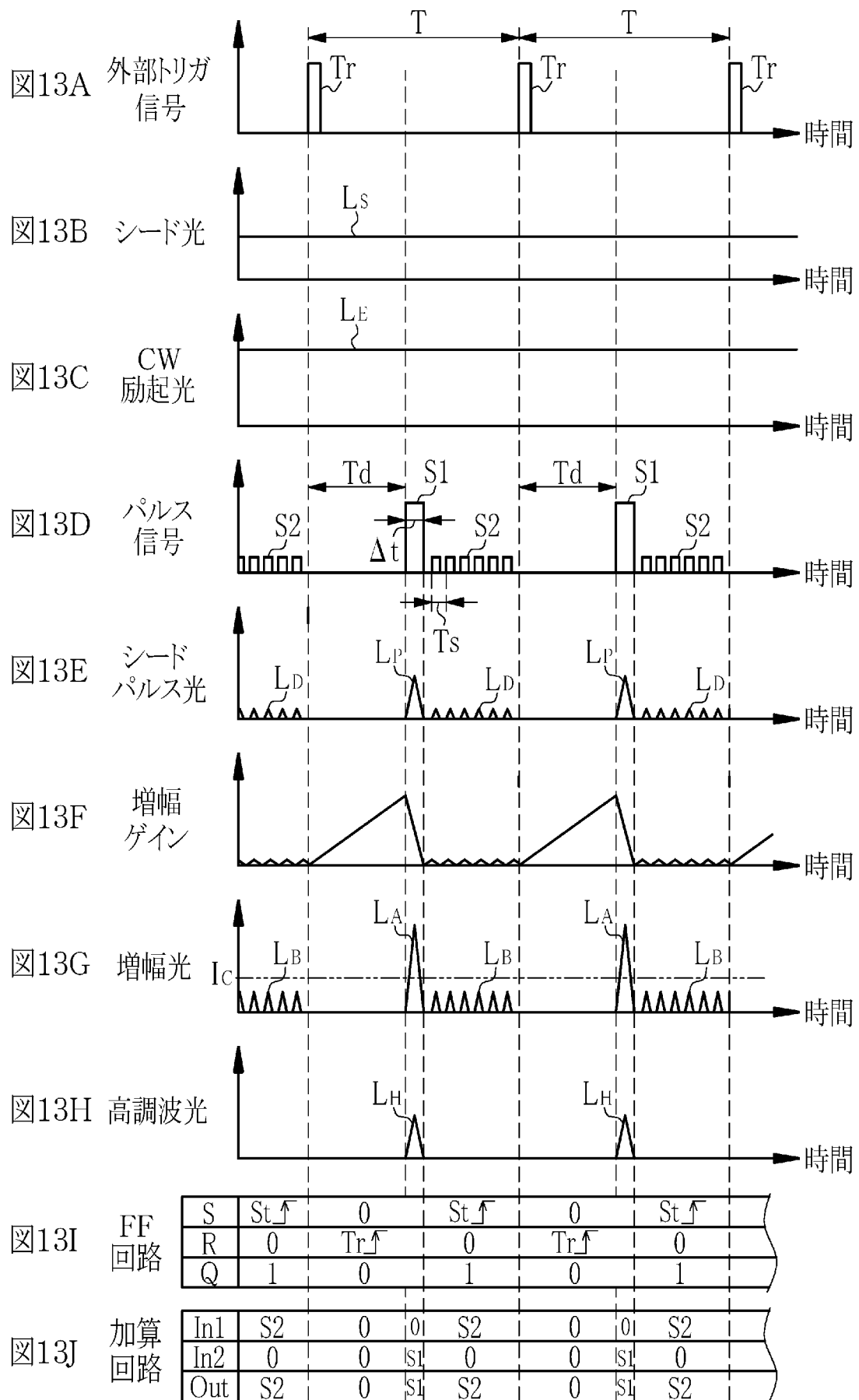
[図11]



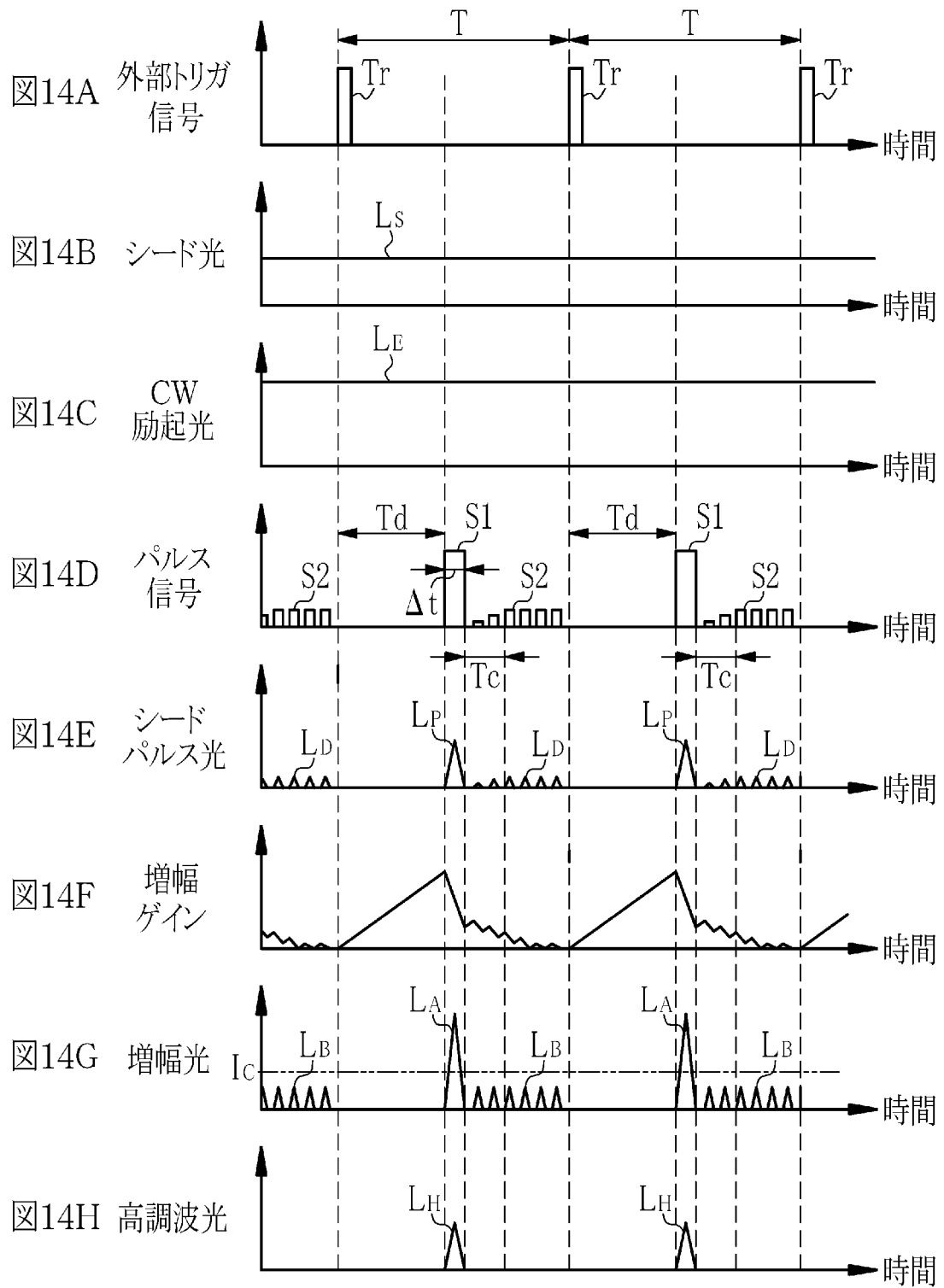
[図12]



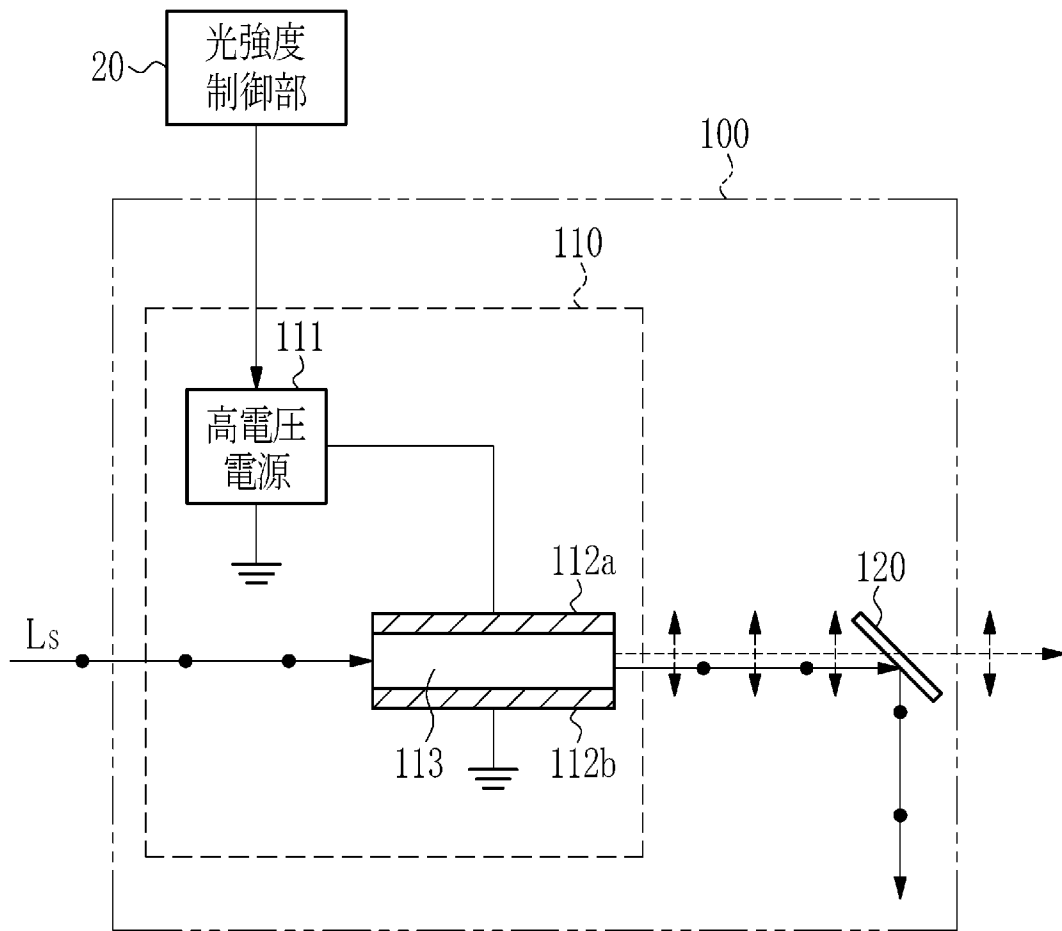
[図13]



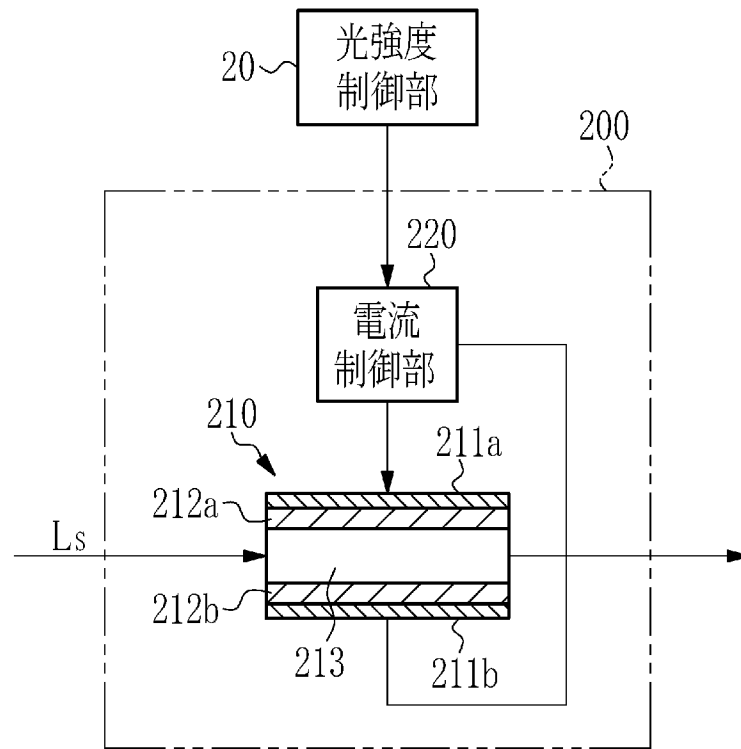
[図14]



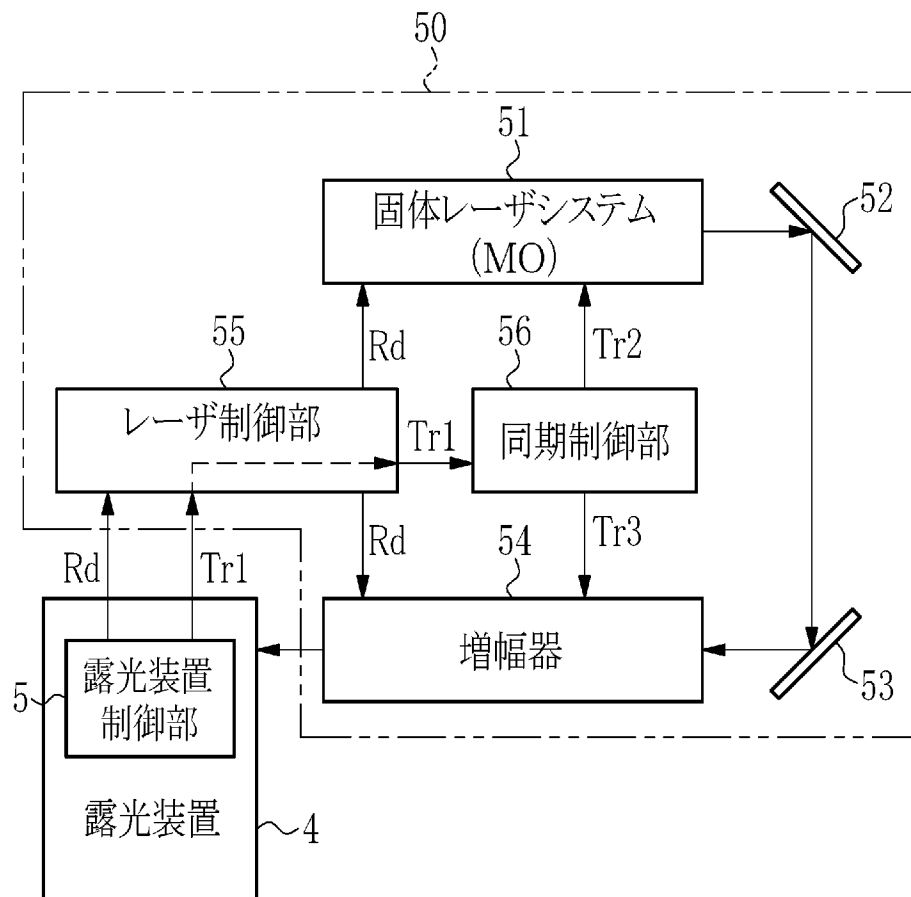
[図15]



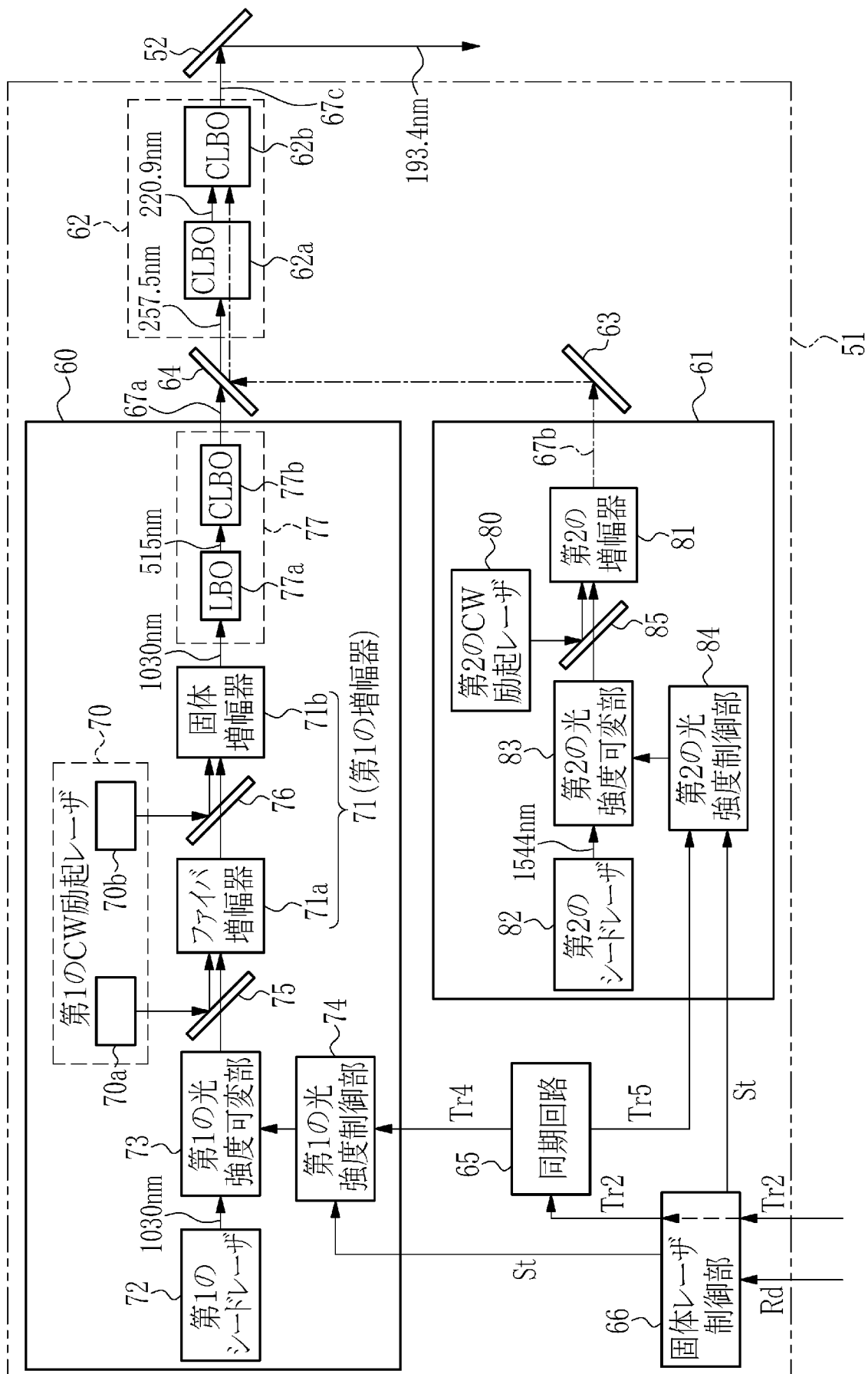
[図16]



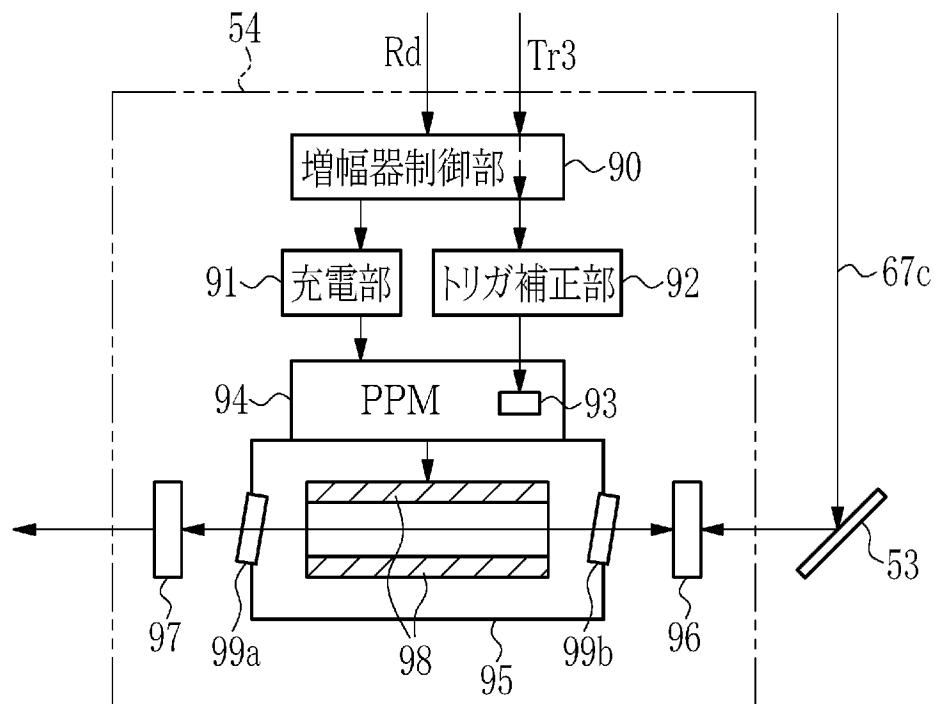
[図17]



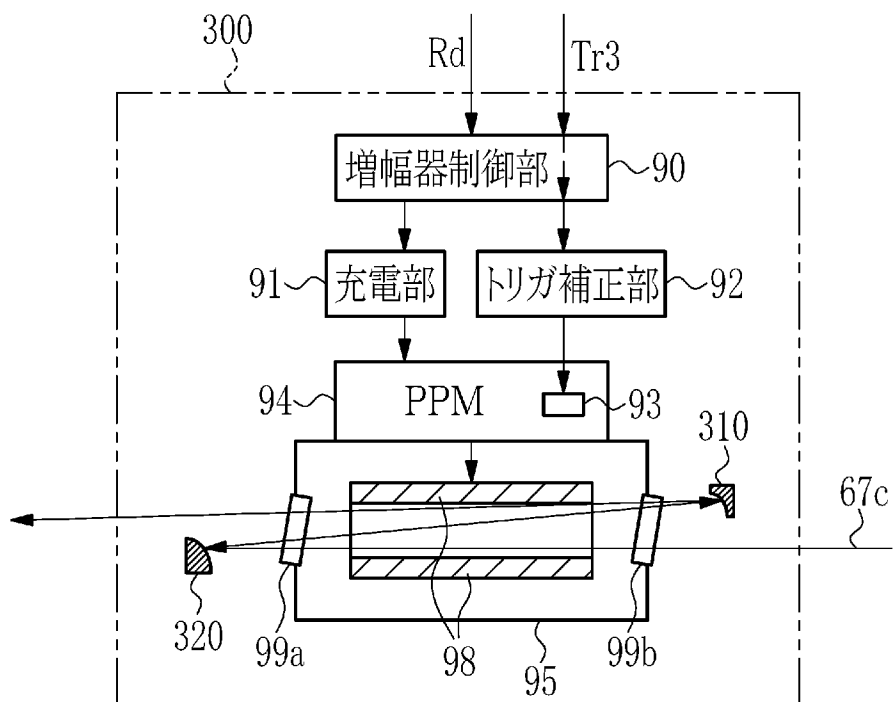
[図18]



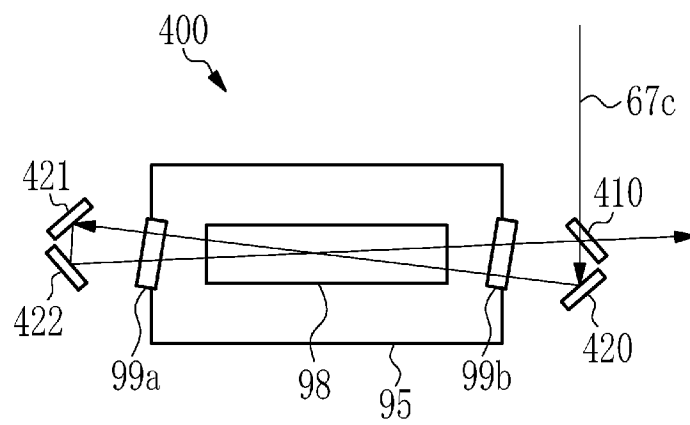
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/061358

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/131(2006.01)i, G02F1/37(2006.01)i, 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, G02F1/37-1/39, B23K26/00-26/08

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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	JP 2014-53627 A (Mobius Photonics, Inc.), 20 March 2014 (20.03.2014), paragraphs [0022], [0038] to [0044], [0053] to [0058], [0072]; fig. 1, 3, 4, 8 & JP 2013-500583 A & JP 2015-122542 A & US 2011/0019705 A1 paragraphs [0037], [0058] to [0064], [0073] to [0076], [0093]; fig. 1, 3, 4, 8 & WO 2011/011461 A1 & EP 2457337 A1	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
07 June 2016 (07.06.16)

Date of mailing of the international search report
21 June 2016 (21.06.16)

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/JP2016/061358

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2010-171131 A (Omron Corp.), 05 August 2010 (05.08.2010), paragraphs [0068] to [0074], [0086] to [0088]; fig. 1, 3, 6 & US 2010/0183040 A1 paragraphs [0068] to [0074], [0086] to [0088]; fig. 1, 3, 6 & CN 101783476 A	1-20
Y	JP 2014-191220 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 06 October 2014 (06.10.2014), paragraph [0002] (Family: none)	9, 18
Y	WO 2013/133279 A1 (Nikon Corp.), 12 September 2013 (12.09.2013), paragraphs [0023] to [0048]; fig. 2 & US 2015/0116680 A1 paragraphs [0033] to [0058]; fig. 2	12-20
Y	JP 2012-204820 A (Gigaphoton Inc.), 22 October 2012 (22.10.2012), paragraphs [0015] to [0018]; fig. 1 & US 2012/0250710 A1 & US 2014/0341239 A1 paragraphs [0066] to [0070]; fig. 1	20

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/131(2006.01)i, G02F1/37(2006.01)i, 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, G02F1/37-1/39, B23K26/00-26/08

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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	JP 2014-53627 A（モビアス フォトニクス、インク．）2014.03.20, [0022], [0038]-[0044], [0053]-[0058], [0072], 図 1, 3, 4, 8 & JP 2013-500583 A & JP 2015-122542 A & US 2011/0019705 A1 [0037], [0058]-[0064], [0073]-[0076], [0093], Fig. 1, 3, 4, 8 & WO 2011/011461 A1 & EP 2457337 A1	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

07.06.2016

国際調査報告の発送日

21.06.2016

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	JP 2010-171131 A (オムロン株式会社) 2010. 08. 05, [0068]-[0074], [0086]-[0088], 図 1, 3, 6 & US 2010/0183040 A1 [0068]-[0074], [0086]-[0088], Fig. 1, 3, 6 & CN 101783476 A	1-20
Y	JP 2014-191220 A (日本電信電話株式会社) 2014. 10. 06, [0002] (ファミリーなし)	9, 18
Y	WO 2013/133279 A1 (株式会社ニコン) 2013. 09. 12, [0023]-[0048], 図 2 & US 2015/0116680 A1 [0033]-[0058], Fig. 2	12-20
Y	JP 2012-204820 A (ギガフォトン株式会社) 2012. 10. 22, [0015]-[0018]、図 1 & US 2012/0250710 A1 & US 2014/0341239 A1 [0066]-[0070], Fig. 1	20