(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
2016 年 10 月 27 日(27.10.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/171195 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 3/10 (2006.01) *H01S 5/068* (2006.01)
H01S 3/0941 (2006.01) *H05G 2/00* (2006.01)
H01S 3/23 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/062584

(22) 国際出願日: 2016 年 4 月 21 日(21.04.2016)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
PCT/JP2015/062394 2015 年 4 月 23 日(23.04.2015) JP

(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: 野極 誠二(NOGIWA, Seiji); 〒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). 川筋 康文(KAWASUJI, Yasufumi); 〒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: 特許業務法人つばさ国際特許事務所 (TSUBASA PATENT PROFESSIONAL CORPORATION); 〒1600022 東京都新宿区新宿１丁目１５番９号さわだビル３階 Tokyo (JP).

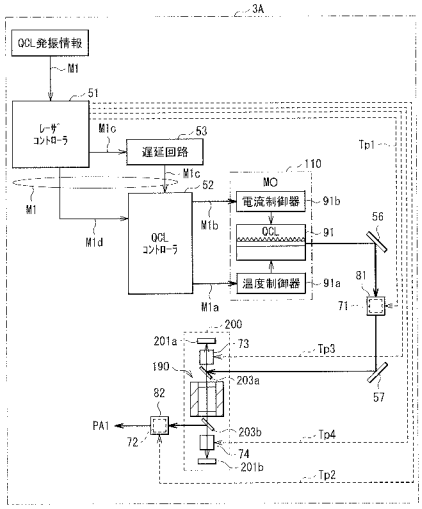
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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, 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:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: LASER DEVICE AND MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称 : レーザ装置、及び計測装置



51 Laser controller
52 QCL controller
53 Delay circuit
91a Temperature controller
91b Current controller
M1 QCL oscillation information

(57) **Abstract**: A laser device according to the present disclosure may be provided with: a quantum cascade laser for outputting laser light in accordance with a supply current, from the current rise timing of the supply current to a vibration start timing at which a first delay period has elapsed; an amplifier disposed on the light path of the laser light, for selectively amplifying light having a prescribed wavelength, and outputting the amplified laser light toward a chamber that includes a plasma generation region to which a target is supplied; and a laser controller that, on the basis of a plurality of oscillation parameters including the first delay period, the current waveform of the supply current, and the element temperature of the quantum cascade laser, controls a third delay period from the timing for the outputting of a laser output command indicating the output of the laser light until the current rise timing, such that the wavelength of the laser light is equal to the prescribed wavelength at a desired timing from the vibration start timing until a second delay period has elapsed.

(57) 要約: 本開示によるレーザ装置は、供給電流に応じて、供給電流の電流立ち上がりタイミングから第１の遅延時間が経過した発振開始タイミングにおいてレーザ光を出力する量子カスケードレーザと、レーザ光の光路上に配置され、所定波長の光を選択的に増幅して、ターゲットが供給されるプラズマ生成領域を含むチャンバに向けて、増幅されたレーザ光を出力する増幅器と、第１の遅延時間及び供給電流の電流波形、並びに量子カスケードレーザの素子温度を含む複数の発振パラメータに基づいて、発振開始タイミングから第２の遅延時間が経過した目標タイミングでレーザ光の波長が所定波長と等しくなるように、レーザ光の出力を指示するレーザ出力指令の出力タイミングから電流立ち上がりタイミングまでの第３の遅延時間を制御するレーザコントローラとを備えてもよい。

WO 2016/171195 A1

明　細　書

発明の名称 ： レーザ装置、及び計測装置

技術分野

[0001] 本開示は、量子カスケードレーザ（ＱＣＬ：Quantum Cascade Laser）を用いたレーザ装置、及び計測装置に関する。

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、７０ｎｍ～４５ｎｍの微細加工、さらには３２ｎｍ以下の微細加工が要求されるようになる。このため、例えば３２ｎｍ以下の微細加工の要求に応えるべく、波長１３ｎｍ程度の極端紫外（ＥＵＶ）光を生成するための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、ターゲット物質にレーザ光を照射することによって生成されるプラズマを用いたＬＰＰ（Laser Produced Plasma：レーザ励起プラズマ）方式の装置と、放電によって生成されるプラズマを用いたＤＰＰ（Discharge Produced Plasma）方式の装置と、軌道放射光を用いたＳＲ（Synchrotron Radiation）方式の装置との３種類の装置が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特表２０１３－５１３９２９号公報

特許文献2：特表２００５－５２２６９４号公報

特許文献3：特開２０１３－６５８０４号公報

特許文献4：特公平２－３０５９８号公報

特許文献5：特開２０１２－１８２４３４号公報

概要

[0005] 本開示による第１のレーザ装置は、供給電流に応じて、供給電流の電流立

ち上がりタイミングから第１の遅延時間が経過した発振開始タイミングにおいてレーザ光を出力する量子カスケードレーザと、レーザ光の光路上に配置され、所定波長の光を選択的に増幅して、ターゲットが供給されるプラズマ生成領域を含むチャンバに向けて、増幅されたレーザ光を出力する増幅器と、第１の遅延時間及び供給電流の電流波形、並びに量子カスケードレーザの素子温度を含む複数の発振パラメータに基づいて、発振開始タイミングから第２の遅延時間が経過した目標タイミングでレーザ光の波長が所定波長と等しくなるように、レーザ光の出力を指示するレーザ出力指令の出力タイミングから電流立ち上がりタイミングまでの第３の遅延時間を制御するレーザコントローラとを備えてもよい。目標タイミングは、所定波長のレーザ光が量子カスケードレーザから出力されてからプラズマ生成領域に到達するまでの時間と、ターゲットがプラズマ生成領域に到達するタイミングとに基づいて決定されてもよい。

[0006] 本開示による第２のレーザ装置は、供給電流に応じて、供給電流の電流立ち上がりタイミングから第１の遅延時間が経過した発振開始タイミングにおいてレーザ光を出力する量子カスケードレーザと、発振開始タイミングから、レーザ光の波長が所定波長と等しくなるタイミングまでの第２の遅延時間を計測する計測器と、第１の遅延時間及び供給電流の電流波形、並びに量子カスケードレーザの素子温度を含む複数の発振パラメータに基づいて、量子カスケードレーザの発振を制御すると共に、複数の発振パラメータのうち第１の遅延時間を除く少なくとも１つの発振パラメータを変化させることにより第２の遅延時間を変化させ、第２の遅延時間が所定時間となったときの複数の発振パラメータの情報を特定発振情報として出力する計測コントローラと、特定発振情報に基づいて、目標タイミングにおいてレーザ光の波長が所定波長と等しくなるように量子カスケードレーザの発振を制御するレーザコントローラとを備えてもよい。

[0007] 本開示による計測装置は、供給電流に応じて、第１の遅延時間が経過した発振開始タイミングでレーザ光を出力する量子カスケードレーザにおける発

振開始タイミングから、レーザ光の波長が所定波長と等しくなるタイミングまでの第２の遅延時間を計測する計測器と、第１の遅延時間及び供給電流の電流波形、並びに量子カスケードレーザの素子温度を含む複数の発振パラメータに基づいて、量子カスケードレーザの発振を制御すると共に、複数の発振パラメータのうち第１の遅延時間を除く少なくとも１つの発振パラメータを変化させることにより第２の遅延時間を変化させ、第２の遅延時間が所定時間となったときの複数の発振パラメータの情報を特定発振情報として出力する計測コントローラとを備えてもよい。

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、例示的なＬＰＰ式のＥＵＶ光生成システムの一構成例を概略的に示す。

[図2A]図２Ａは、ＱＣＬを含むレーザ装置を備えたＥＵＶ光生成システムの要部の一構成例を概略的に示す。

[図2B]図２Ｂは、ＱＣＬを含むレーザ装置を備えたＥＵＶ光生成システムの要部の一構成例を概略的に示す。

[図3]図３は、再生増幅器の一構成例を概略的に示す。

[図4]図４は、ＱＣＬを含むレーザ装置の要部の一構成例を概略的に示す。

[図5]図５は、ＱＣＬにおけるレーザ遅延時間を説明するためのタイミングチャートである。

[図6]図６は、ＱＣＬにおけるレーザ遅延時間を説明するためのタイミングチャートである。

[図7]図７は、第１の実施形態に係るレーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図8]図８は、各部の動作タイミングを説明するためのタイミングチャートである。

[図9]図９は、図８の動作タイミングの一部を簡略化して示したタイミングチャートである。

[図10]図１０は、ターゲットが検出されてからプラズマ生成領域に到達するまでの時間を示す。

[図11]図１１は、図７に示したレーザ装置の動作の一例を示すフローチャートである。

[図12]図１２は、第１の実施形態に係る計測装置の第１の構成例を概略的に示す。

[図13]図１３は、図１２に示した計測装置におけるＱＣＬの電流パルスの波形と光センサの出力電圧の波形との一例を示す。

[図14]図１４は、図１２に示した計測装置の動作の一例を示すフローチャートである。

[図15]図１５は、第１の実施形態に係る計測装置の第２の構成例を概略的に示す。

[図16]図１６は、図１５に示した計測装置における光センサの出力波形の一例を示す。

[図17]図１７は、第２の実施形態に係るレーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図18]図１８は、図１７に示したレーザ装置の動作の一例を示すフローチャートである。

[図19]図１９は、第３の実施形態に係るレーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図20]図２０は、図１９に示したレーザ装置の動作の一例を示すフローチャートである。

[図21]図２１は、制御部のハードウエア環境の一例を示す。

実施形態

[0009] ＜内容＞

［１．概要］

［２．ＥＵＶ光生成装置の全体説明］（図１）

２．１　構成

２．２　動作
［３．ＱＣＬを含むレーザ装置の説明］
３．１　ＱＣＬを含むレーザ装置の全体説明
３．１．１　構成（図２Ａ、図２Ｂ）
３．１．２　動作
３．２　再生増幅器の説明
３．２．１　構成（図３）
３．２．２　動作
３．３　ＱＣＬを含むレーザ装置の課題（図４～図６）
３．３．１　ＱＣＬを含むレーザ装置の要部説明
３．３．２　課題
［４．第１の実施形態］
４．１　レーザ装置（図７～図１１）
４．１．１　構成
４．１．２　動作
４．１．３　作用
４．２　計測装置の第１の例（図１２～図１４）
４．２．１　構成
４．２．２　動作
４．２．３　作用
４．３　計測装置の第２の例（図１５、図１６）
４．３．１　構成
４．３．２　動作
４．３．３　作用
［５．第２の実施形態］（複数のＱＣＬを含むレーザ装置）（図１７、図１８）
５．１　構成
５．２　動作

５．３　作用

［６．第３の実施形態］（計測機能付きのレーザ装置）（図１９、図２０）

６．１　構成

６．２　動作

６．３　作用

［７．制御部のハードウエア環境］（図２１）

［８．その他］

[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。

[0011]［１．概要］

本開示は、量子カスケードレーザを用いたレーザ装置、及び計測装置に関する。

[0012]［２．ＥＵＶ光生成システムの全体説明］

（２．１　構成）

図１に、例示的なＬＰＰ式のＥＵＶ光生成システムの構成を概略的に示す。ＥＵＶ光生成装置１は、少なくとも１つのレーザ装置３と共に用いられてもよい。本願においては、ＥＵＶ光生成装置１及びレーザ装置３を含むシステムを、ＥＵＶ光生成システム１１と称する。図１に示し、かつ、以下に詳細に説明するように、ＥＵＶ光生成装置１は、チャンバ２、及びターゲット供給装置として例えばターゲット供給部２６を含んでもよい。チャンバ２は、密閉可能であってもよい。ターゲット供給部２６は、例えば、チャンバ２の壁を貫通するように取り付けられてもよい。ターゲット供給部２６から供給されるターゲット物質の材料は、スズ、テルビウム、ガドリニウム、リチウム、キセノン、又は、それらのうちのいずれか２つ以上の組み合わせを含

んでもよいが、これらに限定されない。

[0013] チャンバ２の壁には、少なくとも１つの貫通孔が設けられていてもよい。その貫通孔には、ウインドウ２１が設けられてもよい。ウインドウ２１をレーザ装置３から出力されるパルスレーザ光３２が透過してもよい。チャンバ２の内部には、例えば、回転楕円面形状の反射面を有するＥＵＶ集光ミラー２３が配置されてもよい。ＥＵＶ集光ミラー２３は、第１及び第２の焦点を有し得る。ＥＵＶ集光ミラー２３の表面には、例えば、モリブデンとシリコンとが交互に積層された多層反射膜が形成されていてもよい。ＥＵＶ集光ミラー２３は、例えば、その第１の焦点がプラズマ生成領域２５又はその近傍に位置し、その第２の焦点が露光装置６の仕様によって規定される所望の集光位置である中間集光点（ＩＦ）２９２に位置するように配置されるのが好ましい。ＥＵＶ集光ミラー２３の中央部には貫通孔２４が設けられていてもよく、貫通孔２４をパルスレーザ光３３が通過してもよい。

[0014] ＥＵＶ光生成装置１は、ＥＵＶ光生成制御部５を含んでもよい。またＥＵＶ光生成制御部５は、ターゲットセンサ４等を含んでもよい。ターゲットセンサ４は、ターゲット２７の存在、軌跡、位置、及び速度のうちの少なくとも１つを検出してもよい。ターゲットセンサ４は、撮像機能を有していてもよい。

[0015] さらに、ＥＵＶ光生成装置１は、チャンバ２の内部と露光装置６の内部とを連通する接続部２９を含んでもよい。接続部２９内部には、アパーチャ２９３が形成された壁２９１が設けられてもよい。壁２９１は、そのアパーチャ２９３がＥＵＶ集光ミラー２３の第２の焦点位置に位置するように配置されてもよい。

[0016] さらに、ＥＵＶ光生成装置１は、レーザ光進行方向制御部３４、レーザ光集光ミラー２２、ターゲット２７を回収するためのターゲット回収部２８等を含んでもよい。レーザ光進行方向制御部３４は、レーザ光の進行方向を制御するために、レーザ光の進行方向を規定するための光学素子と、この光学素子の位置、姿勢等を調整するためのアクチュエータとを備えてもよい。

[0017] （２．２　動作）

図１を参照に、レーザ装置３から出力されたパルスレーザ光３１は、レーザ光進行方向制御部３４を経て、パルスレーザ光３２としてウインドウ２１を透過してチャンバ２内に入射してもよい。パルスレーザ光３２は、少なくとも１つのレーザ光の経路に沿ってチャンバ２内に進み、レーザ光集光ミラー２２で反射されて、パルスレーザ光３３として少なくとも１つのターゲット２７に照射されてもよい。

[0018] ターゲット供給部２６は、ターゲット２７をチャンバ２内部のプラズマ生成領域２５に向けて出力するよう構成されてもよい。ターゲット２７には、パルスレーザ光３３に含まれる少なくとも１つのパルスが照射されてもよい。パルスレーザ光が照射されたターゲット２７はプラズマ化し、そのプラズマから放射光と共にＥＵＶ光２５１が放射され得る。ＥＵＶ光２５１は、ＥＵＶ集光ミラー２３によって反射されると共に集光されてもよい。ＥＵＶ集光ミラー２３によって反射されたＥＵＶ光２５２は、中間集光点２９２を通って、露光装置６に出力されてもよい。なお、１つのターゲット２７に、パルスレーザ光３３に含まれる複数のパルスが照射されてもよい。

[0019] ＥＵＶ光生成制御部５は、ＥＵＶ光生成システム１１全体の制御を統括するよう構成されてもよい。ＥＵＶ光生成制御部５は、ターゲットセンサ４によって撮像されたターゲット２７のイメージデータ等を処理するよう構成されてもよい。また、ＥＵＶ光生成制御部５は、例えば、ターゲット２７が出力されるタイミングの制御、及びターゲット２７の出力方向の制御のうちの少なくとも１つを制御するよう構成されてもよい。

[0020] さらに、ＥＵＶ光生成制御部５は、例えば、レーザ装置３の発振タイミングの制御、パルスレーザ光３２の進行方向の制御、及びパルスレーザ光３３の集光位置の制御のうちの少なくとも１つを制御するよう構成されてもよい。上述の様々な制御は単なる例示に過ぎず、必要に応じて他の制御が追加されてもよい。

[0021] ［３．ＱＣＬを含むレーザ装置の説明］

（３．１　ＱＣＬを含むレーザ装置の全体説明）

（３．１．１　構成）

図２Ａ及び図２Ｂは、ＱＣＬを含むレーザ装置を備えたＥＵＶ光生成システムの要部の一構成例を概略的に示している。図２Ａ及び図２Ｂにおいて、図１に示したＥＵＶ光生成システム１１の構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。図２Ａには、主としてレーザ装置３の一構成例を示す。図２Ｂには、主としてチャンバ２及びチャンバ２の周辺部分の一構成例を示す。

[0022] レーザ装置３は、レーザコントローラ５１と、ＱＣＬコントローラ５２と、反射ミラー５４と、反射ミラー５５と、マスタオシレータ（ＭＯ）１１０と、再生増幅器２００と、増幅器ＰＡ１～ＰＡ４と、第１及び第２の光アイソレータ８１，８２とを備えてもよい。また、レーザ装置３は、再生増幅器２００に接続されるＲＦ電源１２０と、増幅器ＰＡ１～ＰＡ４に各々接続されるＲＦ電源１２１～１２４とを備えてもよい。

[0023] ＥＵＶ光生成制御部５は、マスタトリガ生成部５０を含んでもよい。

[0024] ＭＯ１１０は、複数の半導体レーザと、光合波器１１１とを含んでもよい。複数の半導体レーザは、ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４であってもよい。ＱＣＬコントローラ５２は、ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４に接続されてもよい。ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４は、パルス状の供給電流に応じて、CO_2ガスを含む増幅媒体の増幅波長領域を含むレーザ光を出力する量子カスケードレーザ（ＱＣＬ：Quantum Cascade Laser）であってもよい。なお、図２Ａでは４台のＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４を配置した例を示しているが、ＱＣＬの台数は４台よりも少ないか、又は４台よりも多くてもよい。

[0025] 光合波器１１１はＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４から出力される各レーザ光の光路を略一致させるよう構成、配置されてもよい。光合波器１１１としては、回折格子、結合光導波路、又はプリズム等を用いてもよい。

[0026] 第１の光アイソレータ８１は、光シャッタとして、ＭＯ１１０から出力されるレーザ光の光路上に配置されてもよい。第２の光アイソレータ８２は、

光シャッタとして、反射ミラー５４及び反射ミラー５５を介して、再生増幅器２００と増幅器ＰＡ１との間の光路上に配置されてもよい。なお、光アイソレータの個数及び配置はこの限りではなく、例えば増幅器ＰＡ１～ＰＡ４のうち隣り合うもの同士の間に配置されてもよい。第１の光アイソレータ８１は第１のポッケルスセル７１を含んでいてよい。第２の光アイソレータ８２は第２のポッケルスセル７２を含んでいてよい。第１及び第２のポッケルスセル７１，７２は、ＥＯ（Electro Optical）ポッケルスセルであってもよい。第１及び第２のポッケルスセル７１，７２は、図示しない電源に接続されていてもよい。

[0027] 再生増幅器２００と増幅器ＰＡ１～ＰＡ４は、所定波長の光を選択的に増幅する増幅器であってもよい。

[0028] 再生増幅器２００は、第１の光アイソレータ８１を介して、ＭＯ１１０から出力されたレーザ光の光路上に配置されてもよい。再生増幅器２００は、CO_2ガスをレーザ媒質として含むレーザ増幅器であってもよい。再生増幅器２００は、第１及び第２の共振器ミラー２０１ａ，２０１ｂと、第１及び第２の共振器ミラー２０１ａ，２０１ｂの間に配置された第３及び第４のポッケルスセル７３，７４と、第３及び第４のポッケルスセル７３，７４の間に配置された増幅器１９０とを含んでいてよい。第３及び第４のポッケルスセル７３，７４は、ＥＯポッケルスセルであってもよい。第３及び第４のポッケルスセル７３，７４は、光シャッタであってもよい。第３及び第４のポッケルスセル７３，７４は、図示しない電源に接続されていてもよい。なお、再生増幅器２００のより詳しい構成は図３を用いて後に述べる。

[0029] 増幅器ＰＡ１～ＰＡ４は、再生増幅器２００から出力されたレーザ光の光路上に配置されてもよい。増幅器ＰＡ１～ＰＡ４は、CO_2ガスをレーザ媒質として含むレーザ増幅器であってもよい。なお、図２Ａでは４台の増幅器ＰＡ１～ＰＡ４を設けた例を示しているが、増幅器の台数は４台よりも少ないか、又は多くてもよい。

[0030] レーザコントローラ５１は、ＱＣＬコントローラ５２と、第１ないし第４

のポッケルスセル７１～７４の図示しない各電源と、ＲＦ電源１２０と、ＲＦ電源１２１～１２４とに接続されてもよい。また、レーザコントローラ５１はＥＵＶ光生成制御部５に接続さてもよい。

[0031] 図２Ｂに示したように、チャンバ２には、ターゲット供給部２６と、ターゲット検出装置４０とが取り付けられてもよい。

[0032] チャンバ２において、ターゲット２７の軌道上には、ターゲット２７の通過タイミングを計測するターゲット検出装置４０が配置されていてもよい。ターゲット検出装置４０は、ターゲットセンサ４と、光源部４５とを含んでいてもよい。光源部４５は、光源４６と、照明光学系４７とを含んでいてもよい。ターゲット供給部２６のノズル６２とプラズマ生成領域２５との間の軌道Ｙａ上の所定位置Ｐ１のターゲット２７を照明するように、光源部４５を配置してもよい。ターゲットセンサ４は、光センサ４１と、受光光学系４２とを含んでいてもよい。ターゲットセンサ４は、光源部４５から出力された照明光を受光するように配置してもよい。

[0033] ターゲットセンサ４と光源部４５とは、ターゲット２７の軌道Ｙａを挟んで互いに反対側に配置されていてもよい。チャンバ２にはウインドウ２１ａ及びウインドウ２１ｂが取り付けられていてもよい。ウインドウ２１ａは、光源部４５とターゲット２７の軌道Ｙａとの間に位置されていてもよい。光源部４５は、ウインドウ２１ａを介してターゲット２７の軌道Ｙａの所定位置Ｐ１に光を集光してもよい。ウインドウ２１ｂは、ターゲット２７の軌道Ｙａとターゲットセンサ４との間に位置されていてもよい。ターゲットセンサ４によって検出されるターゲット２７の検出位置は、光源部４５による光の集光位置とほぼ一致し得る。ターゲットセンサ４は、ターゲット２７の検出信号としてターゲット検出信号Ｓ２を出力してもよい。ターゲットセンサ４から出力されたターゲット検出信号Ｓ２は、ＥＵＶ光生成制御部５に入力されてもよい。ターゲット供給部２６には、ＥＵＶ光生成制御部５のマスタトリガ生成部５０からピエゾ駆動信号Ｓ３が入力されてもよい。

[0034] ＥＵＶ光生成制御部５は、露光装置制御部６ａと、ターゲットセンサ４と

、ターゲット供給部２６とに接続されてもよい。

[0035] （３．１．２　動作）

ＥＵＶ光生成制御部５は、露光装置制御部６ａからＥＵＶ光出力指令を受信してもよい。ＥＵＶ光出力指令は繰り返し周波数設定信号Ｓ１を含んでいてもよい。ＥＵＶ光生成制御部５は、ターゲット供給部２６を駆動してターゲット２７を出力させてもよい。この際、ＥＵＶ光生成制御部５のマスタトリガ生成部５０は、ターゲット供給部２６に繰り返し周波数設定信号Ｓ１に基づいたピエゾ駆動信号Ｓ３を送信して、ターゲット２７を繰り返し周波数設定信号Ｓ１で指定された繰り返し周波数で出力させるようにしてもよい。

[0036] ターゲット供給部２６から出力されたターゲット２７は、ターゲットセンサ４によって検出されてもよい。ターゲットセンサ４はターゲット２７を検出するたびにターゲット検出信号Ｓ２をＥＵＶ光生成制御部５に出力してもよい。

[0037] ＥＵＶ光生成制御部５は、レーザコントローラ５１にレーザ出力指令Ｓ４を送信してもよい。レーザ出力指令Ｓ４は、ターゲット検出信号Ｓ２に所定の遅延時間ｔ５を付加したものであってもよい。

[0038] レーザコントローラ５１は、ＱＣＬコントローラ５２にレーザ出力指令Ｓ４に同期したＱＣＬ発振情報Ｍ１～Ｍ４を供給してもよい。ＱＣＬコントローラ５２はＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４にＱＣＬ発振情報Ｍ１～Ｍ４を供給し、ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４をレーザ出力指令Ｓ４に基づいたタイミングで発振させてもよい。この際、ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４はそれぞれ異なった波長のレーザ光を出力してもよい。ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４がそれぞれ発振するレーザ光のうちCO_2ガスを含む増幅媒体の増幅領域波長に含まれる波長のレーザ光のみが後段の再生増幅器２００と増幅器ＰＡ１～ＰＡ４とで増幅され得る。増幅領域波長に含まれる波長のレーザ光をＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４がそれぞれ出力するタイミングは、発振タイミングから各々異なる遅延時間（Ｄｅｌａｙ）を持ってもよい。このため、増幅領域波長に含まれる波長のレーザ光をＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４のそれぞれが略同時に出力するよう、ＱＣＬ

発振情報Ｍ１～Ｍ４に含まれるＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４に供給される各々の発振タイミングの情報は異なっていてもよい。発振タイミングの情報は、電流パルス遅延データを含んでいてもよい。

[0039] ＱＣＬ発振情報Ｍ１～Ｍ４は、複数の発振パラメータのデータを含んでいてもよい。複数の発振パラメータは、後述するＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４へのパルス状の供給電流の電流パルス遅延時間ｔ４及び電流波形の情報と、ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４の各々の素子温度の情報とを含んでいてもよい。例えば、ＱＣＬ発振情報Ｍ１～Ｍ４は、複数の発振パラメータのデータとして、ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４の各々に対応するレーザ遅延時間ｔｍ、素子温度を示す温度データ、電流振幅データ、電流パルス幅データ、電流パルス遅延時間ｔ４を示す電流パルス遅延データ、及び電流パルス周期データを含んでもよい。電流パルス周期データは、パルス状の供給電流の繰り返し周期のデータであってもよい。ＱＣＬ発振情報Ｍ１～Ｍ４は、ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４の各々のＩＤ情報と関連付けされてもよい。また、ＩＤ情報をＱＣＬ発振情報Ｍ１～Ｍ４に含めてもよい。

[0040] 光合波器１１１は、ＱＣＬ９１～ＱＣＬ９４の各々から出力されたレーザ光の光路を略一致させて各々のレーザ光を出力してもよい。

[0041] レーザコントローラ５１は、第１の光アイソレータ８１の第１のポッケルスセル７１を駆動して、光合波器１１１から出力されたレーザ光を透過させてもよい。このとき第１のポッケルスセル７１の駆動タイミングは、レーザ出力指令Ｓ４に基づいて決定されてもよい。第１の光アイソレータ８１を透過したレーザ光は再生増幅器２００に入力されてもよい。

[0042] レーザコントローラ５１は、第３及び第４のポッケルスセル７３，７４を駆動して、再生増幅器２００においてレーザ光が再生増幅されるようにしてもよい。このとき第３及び第４のポッケルスセル７３，７４の駆動タイミングはレーザ出力指令Ｓ４に基づいて決定されてもよい。

[0043] レーザコントローラ５１は、第２の光アイソレータ８２の第２のポッケルスセル７２を駆動して、再生増幅器２００から出力されたレーザ光を透過さ

せてもよい。このとき第２のポッケルスセル７２の駆動タイミングはレーザ出力指令Ｓ４に基づいて決定されてもよい。第２の光アイソレータ８２を透過したレーザ光は増幅器ＰＡ１に入力されてもよい。

[0044] レーザコントローラ５１は、ＲＦ電流指令信号Ｓ１１～Ｓ１４をＲＦ電源１２１～１２４に送信してもよい。各ＲＦ電源１２１～１２４は、各増幅器ＰＡ１～ＰＡ４にＲＦ電流指令信号Ｓ１１～Ｓ１４に基づいた放電電流を供給してもよい。ＲＦ電流指令信号Ｓ１１～Ｓ１４は、レーザ出力指令Ｓ４に基づいたものであってもよい。例えば、ＲＦ電流指令信号Ｓ１１～Ｓ１４はレーザ出力指令Ｓ４が入力されるたびに決定されて出力されてもよい。放電電流は図示しないレーザエネルギモニタから得られるレーザ装置３の出力エネルギに基づいて決定されるようにしてもよい。また、レーザ出力指令Ｓ４に増幅器ＰＡ１～ＰＡ４に供給されるべき放電電流を指定する情報が含まれていてもよい。増幅器ＰＡ１～ＰＡ４は第２の光アイソレータ８２から出力されたレーザ光を順次増幅して出力してもよい。

[0045] レーザ装置３から出力されたレーザ光は、レーザ光進行方向制御部３４を介してパルスレーザ光３２としてウインドウ２１を透過し、チャンバ２内に入射されてもよい。チャンバ２内に入射したレーザ光は、チャンバ２内に供給されたターゲット２７に照射され得る。これにより、ＥＵＶ光２５１が生成され得る。

[0046] （３．２ 再生増幅器の説明）

（３．２．１ 構成）

図３は、再生増幅器２００の一構成例を概略的に示している。なお、図３において、光路中に付した黒塗りの丸印は紙面に対して垂直な偏光方向を示し、光路中に光路に直交して付した実線は紙面に平行な偏光方向を示してもよい。

[0047] 再生増幅器２００は、増幅器１９０と、第１及び第２の共振器ミラー２０１ａ，２０１ｂと、第３及び第４のポッケルスセル７３，７４と、第１及び第２の偏光子２０３ａ，２０３ｂとを含んでいてもよい。また、再生増幅器

２００は、第３及び第４のポッケルスセル７３，７４に電位を印加する図示しない電源を含んでいてもよい。第３及び第４のポッケルスセル７３，７４に電位を印加する各電源は、図２Ａにおけるレーザコントローラ５１に接続されてもよい。

[0048] 増幅器１９０は、スラブ型増幅器の他、３軸直交型増幅器や他の増幅器であってもよい。図３では増幅器１９０として、スラブ型増幅器を例示する。増幅器１９０は、増幅チャンバ１９１と、第１及び第２の凹面ミラー１９３ａ，１９３ｂと、第１及び第２のウインドウ１９２ａ，１９２ｂと、一対の電極１９４ａ，１９４ｂとを含んでいてもよい。一対の電極１９４ａ，１９４ｂは、図２Ａに示したＲＦ電源１２０に接続されてもよい。

[0049] 第１及び第２の凹面ミラー１９３ａ，１９３ｂは、第１のウインドウ１９２ａと第２のウインドウ１９２ｂとの間のレーザ光路上に設けられ、増幅チャンバ１９１の内部でレーザ光を反射してもよい。第１及び第２の凹面ミラー１９３ａ，１９３ｂは、平面ミラーであってもよい。第１及び第２のウインドウ１９２ａ，１９２ｂは増幅チャンバ１９１の壁に設けられていてもよい。

[0050] 増幅チャンバ１９１は、内部にレーザ媒質としてCO_2レーザガスを収容してもよい。一対の電極１９４ａ，１９４ｂは、増幅チャンバ１９１の内部において、図３の紙面に直交する方向に対向配置されていてもよい。一対の電極１９４ａ，１９４ｂと図２Ａに示したＲＦ電源１２０は、ＲＦ電圧により発生させる放電によってレーザ媒質を励起する励起装置であってもよい。増幅チャンバ１９１の内部に入射されたレーザ光は、励起されたレーザ媒質を通過する際に増幅されてよい。

[0051] 再生増幅器２００において、第１の共振器ミラー２０１ａと第２の共振器ミラー２０１ｂとが、共振器を形成していてもよい。第１の共振器ミラー２０１ａと第２の共振器ミラー２０１ｂとの間の光路中に、第３及び第４のポッケルスセル７３，７４と、第１及び第２の偏光子２０３ａ，２０３ｂと、増幅器１９０とが配置されていてもよい。

[0052] （３．２．２　動作）

再生増幅器２００では、図示しない電源によって電位を印加することにより第３のポッケルスセル７３を動作させてもよい。ＭＯ１１０は、シード光２０４ａとして、例えば図３の紙面に対して垂直な偏光方向のレーザ光を出力してもよい。ＭＯ１１０からのレーザ光は、第１の偏光子２０３ａによって反射され、電位の印加された第３のポッケルスセル７３を透過してもよい。レーザ光は、第１の偏光子２０３ａによって反射され、第３のポッケルスセル７３に入射し、第３のポッケルスセル７３を透過することによって円偏光に変換され得る。その後、レーザ光は、第１の共振器ミラー２０１ａによって反射され、再び第３のポッケルスセル７３を透過することで、図３の紙面に対して平行な方向の偏光に変換され得る。

[0053] レーザ光が第３のポッケルスセル７３を再び透過したら、第３のポッケルスセル７３に対する図示しない電源をオフしてもよい。第３のポッケルスセル７３を再び透過したレーザ光は、第１の偏光子２０３ａを透過し、第１のウインドウ１９２ａを介して増幅器１９０に入射してもよい。増幅器１９０に入射したレーザ光は、第１の凹面ミラー１９３ａと第２の凹面ミラー１９３ｂとの間で複数回反射することによって増幅チャンバ１９１内で増幅された後、第２のウインドウ１９２ｂから出力され得る。

[0054] 第２のウインドウ１９２ｂから出力されたレーザ光は、第２の偏光子２０３ｂを高透過し、図示しない電源によって電位を印加していない第４のポッケルスセル７４を透過し得る。第４のポッケルスセル７４を透過したレーザ光は、第２の共振器ミラー２０１ｂで反射され、紙面に対して平行な方向の偏光で、再び第４のポッケルスセル７４及び第２の偏光子２０３ｂを高通過し得る。その後、レーザ光は、第２のウインドウ１９２ｂを介して再び増幅器１９０に入射してもよい。増幅器１９０に入射したレーザ光は、第１の凹面ミラー１９３ａと第２の凹面ミラー１９３ｂとの間で複数回反射することによって増幅チャンバ１９１内で増幅された後、第１のウインドウ１９２ａから出力され得る。第１のウインドウ１９２ａから出力されたレーザ光は、

第１の偏光子２０３ａ及び第３のポッケルスセル７３を高透過した後、第１の共振器ミラー２０１ａで反射され、再び第３のポッケルスセル７３及び第１の偏光子２０３ａを高透過し得る。

[0055] 以上の工程を繰り返すことによって、レーザ光は、第１の共振器ミラー２０１ａと第２の共振器ミラー２０１ｂとによる共振器間を往復して、増幅され得る。この共振器による再生増幅光を外部に出力するときは、第４のポッケルスセル７４の図示しない電源をオンしてもよい。これにより、紙面に対して平行な方向の偏光を垂直な方向の偏光のレーザ光に変換し、再生増幅光を第２の偏光子２０３ｂで高反射させて増幅レーザ光２０４ｂとして外部に出力してもよい。

[0056] （３．３　ＱＣＬを含むレーザ装置の課題）

（３．３．１　ＱＣＬを含むレーザ装置の要部説明）

図４は、ＱＣＬ９１を含むレーザ装置３の要部の一構成例を概略的に示している。図５及び図６は、ＱＣＬ９１におけるレーザ遅延時間ｔｍを説明するためのタイミングチャートである。

[0057] ＭＯ１１０は、ＱＣＬ９１の温度を制御する温度制御器９１ａと、ＱＣＬ９１への供給電流を制御する電流制御器９１ｂとを含んでもよい。温度制御器９１ａと電流制御器９１ｂは、ＱＣＬコントローラ５２に接続されてもよい。温度制御器９１ａは、ＱＣＬコントローラ５２から出力された温度データＭ１ａに基づいてＱＣＬ９１の温度を制御してもよい。電流制御器９１ｂは、ＱＣＬコントローラ５２から出力された、温度データＭ１ａを除くＱＣＬ発振情報Ｍ１ｂに基づいてＱＣＬ９１への供給電流を制御してもよい。

[0058] ＱＣＬコントローラ５２は、レーザコントローラ５１からＱＣＬ発振情報Ｍ１を受信してもよい。ＱＣＬコントローラ５２は、温度制御器９１ａと電流制御器９１ｂとを制御し、図２Ａに示したＥＵＶ光生成制御部５からのレーザ出力指令Ｓ４に基づいたタイミングで、ＱＣＬ９１を発振させてもよい。ＱＣＬ９１の発振によって出力されるレーザ光のうちCO_2ガスを含む増幅媒体の増幅領域波長に含まれる波長のレーザ光のみが後段の再生増幅器２０

０と増幅器ＰＡ１～ＰＡ４とで増幅され得る。増幅領域波長は、例えば図５に示したように、Ｐ（２０）１０．５９１２μｍであってもよい。

[0059] ＱＣＬ９１の発振波長は、ＱＣＬ９１の共振器の光路長とグレーティングの選択波長に依存し得る。ＱＣＬ９１の活性層の温度が変化すると、活性層とグレーティングの屈折率が変化する他、ＱＣＬ９１のグレーティング周期や共振器長が変化し得る。このため、ＱＣＬ９１の温度が変化すると発振波長が変化し得る。

[0060] 温度制御器９１ａはペルチェ素子を含んでもよい。温度制御器９１ａのペルチェ素子でＱＣＬ９１を冷却あるいは加熱することよってＱＣＬ９１の温度を一定に保つような制御が行われる場合があり得る。しかし、ＱＣＬ９１へ電流パルスI_Qを流すことによって過渡的に活性層の温度が変化する現象が起き得る。なお、電流パルスはＱＣＬ発振情報Ｍ１で供給されてもよい。

[0061] ＱＣＬ９１に電流が流れ始める電流パルスI_Qの立ち上り時とその初期においては、ＱＣＬ９１内の電気抵抗や、ＱＣＬ９１内の光吸収等により発熱し、半導体の活性層温度が急激に上昇し得る。その後時間が経過するにしたがって、温度の上昇が緩やかになり得る。そして、電流が止まる電流パルスI_Qの立ち下がり後は活性層の温度は低下し、時間が経過するにしたがって、ペルチェ素子による冷却と負荷状態とによって決まる温度に漸近し得る。

[0062] 活性層の温度が高くなると活性層とグレーティングの屈折率が増加し、共振器の光路長が長くなり得る。その結果、ＱＣＬ９１から出力されるレーザ光の中心波長は、活性層の温度の変化と同様に変化し得る。この現象は波長チャーピングと呼ばれ得る。

[0063] ＱＣＬ９１が波長チャーピングを起こす一方、再生増幅器２００や増幅器ＰＡ１等の後段の増幅器はCO_2を媒質とするので、増幅できる波長が、決められた所定波長となり得る。このため、変化する波長が、再生増幅器２００や増幅器ＰＡ１等で増幅できる所定波長と重なった時点でＱＣＬ９１から出力されたレーザ光だけが増幅され得る。従って、図５及び図６に示したように、ＱＣＬ９１の発振開始タイミングＴｉ２から、再生増幅器２００や増幅

器ＰＡ１等で増幅できる所定波長となる時点までにレーザ遅延時間ｔｍが発生し得る。

[0064] ここで、図６には、ＱＣＬ９１への供給電流の電流値の変化を示すタイミングチャートと、ＱＣＬ９１から出力されるレーザ光の波長の変化を示すタイミングチャートとを示す。図６に示した各タイミングチャートにおいて、横軸は時間であってもよい。供給電流の電流値の変化を示すタイミングチャートにおいて、縦軸は電流値であってもよい。レーザ光の波長の変化を示すタイミングチャートにおいて縦軸は光強度であってもよい。

[0065] ＱＣＬ９１には供給電流として電流パルスI_Qが供給されてもよい。図６に示したように、ＱＣＬ９１では、電流パルスI_Qの電流立ち上がりタイミングＴｉ１から電流パルス遅延時間ｔ４が経過した発振開始タイミングＴｉ２においてレーザ光の発振が開始され得る。そして、発振開始タイミングＴｉ２からレーザ遅延時間ｔｍが経過したタイミングで、レーザ光の波長が再生増幅器２００等で増幅可能な所定波長と等しくなり得る。

[0066] レーザ遅延時間ｔｍはＱＣＬ９１の個体特性や、ＱＣＬ９１の負荷状態、及び電流パルスI_Qの波形等によって変動し得る。

[0067] ここで、図５には、複数の条件でＱＣＬ９１を発振させた場合の各種のタイミングチャートを示す。図５に示した各タイミングチャートにおいて、横軸は時間であってもよい。図５には、ＱＣＬ９１の活性層に流れる電流値の変化を示すタイミングチャートと、ＱＣＬ９１の活性層の温度の変化を示すタイミングチャートと、ＱＣＬ９１の発振波長の変化を示すタイミングチャートとを示す。また、図５には、再生増幅器２００や増幅器ＰＡ１等の増幅器で増幅されるレーザ光の光強度の変化を示すタイミングチャートと、第１又は第２のポッケルスセル７１，７２のスイッチ状態の変化を示すタイミングチャートとを示す。

[0068] 図５には、ＱＣＬ９１に供給される電流パルスI_Qの条件として、電流振幅が小さい電流パルスI_Q1，I_Q3と、電流パルスI_Q1と比較して電流振幅が大きい電流パルスI_Q2とが示されていてもよい。電流パルスI_Q3は、電流パル

スＩ$_Q$１，Ｉ$_Q$２と比較して遅れたタイミングで供給される電流パルスＩ$_Q$の例を示していてもよい。

[0069] 図５は、上記３種類の電流パルスＩ$_Q$１，Ｉ$_Q$２，Ｉ$_Q$３の条件と、活性層の温度の条件と、ＱＣＬ９１の個体特性の条件とを組み合わせた場合の各特性を比較して示したものであってもよい。活性層の温度の条件は２つの設定温度１，２であってもよい。また、個体特性の条件として、異なる個体特性のＱＣＬ１，２であってもよい。

[0070] 例えば電流振幅が小さい電流パルスＩ$_Q$１と電流振幅が大きい電流パルスＩ$_Q$２とを比較する。例えば図５の「ＱＣＬ１、Ｉ$_Q$１、設定温度１」の条件と、「ＱＣＬ１、Ｉ$_Q$２、設定温度１」の条件とを比較する。電流振幅が大きい場合、電気的負荷の増加に伴いＱＣＬ９１の熱負荷が上がり、発熱量が増え、活性層の温度が電流振幅が小さい場合の温度に比べ高くなり得る。

[0071] これに伴って、ＱＣＬ９１からのレーザ光は大きく波長チャーピングし、結果として電流振幅が小さい場合と比較して、早いタイミングで増幅器で増幅できる所定波長に達し得る。例えば図５において、「ＱＣＬ１、Ｉ$_Q$１、設定温度１」のレーザ遅延時間ｔｍと「ＱＣＬ１、Ｉ$_Q$２、設定温度１」のレーザ遅延時間ｔｍとを比較すると、「ＱＣＬ１、Ｉ$_Q$２、設定温度１」のレーザ遅延時間ｔｍの方が短い時間となり得る。

[0072] また、例えば電流パルスＩ$_Q$３のように電流が遅れてＱＣＬ９１へ供給された場合は、例えば電流パルスＩ$_Q$１のように早く電流が供給された場合に比べて、活性層の温度や波長が遅れて変化し得る。例えば図５において、「ＱＣＬ１、Ｉ$_Q$１、設定温度１」の場合に比べて、「ＱＣＬ１、Ｉ$_Q$３、設定温度１」の場合の方が活性層の温度や波長が遅れて変化し得る。結果として、例えば「ＱＣＬ１、Ｉ$_Q$３、設定温度１」の場合の方が、早く電流が供給された場合と比較して遅いタイミングで増幅器で増幅できる所定波長に達し得る。

[0073] また、例えばＱＣＬ９１の個体が異なる場合は、同じ電流波形であって、かつ温度制御器９１ａでＱＣＬ９１の環境温度を同じに設定しても、ＱＣＬ９１の活性層の温度は個体によって異なるため、波長チャーピング特性が異

なり得る。結果として別個体のＱＣＬ９１とは異なるタイミングで増幅器で増幅できる所定波長に達し得る。例えば、例えば図５において、「ＱＣＬ１、I_Q1、設定温度１」の場合のレーザ遅延時間ｔｍと、「ＱＣＬ２、I_Q1、設定温度１」の場合のレーザ遅延時間ｔｍとは異なり得る。

[0074] （３．３．２　課題）

上述のようにＥＵＶ光生成装置１では、プラズマ生成領域２５へのターゲット到達タイミングＴｓ０と、ＱＣＬ９１から再生増幅器２００等で増幅可能な所定波長のレーザ光が出力されるタイミングとを同期させる必要があり得る。また、再生増幅器２００や第１ないし第４のポッケルスセル７１～７４の駆動タイミングと、ＱＣＬ９１から所定波長のレーザ光が出力されるタイミングとを同期させる必要があり得る。

[0075] このため、ＱＣＬ９１の個体を変更した場合や、ＱＣＬ発振情報Ｍ１が変更された場合には、ＱＣＬ９１から所定波長のレーザ光が出力されるタイミングと、第１ないし第４のポッケルスセル７１～７４の駆動タイミングとがずれてレーザ光が増幅されない場合があり得る。また、同様の場合において、レーザ光がターゲット２７に照射されない場合があり得る。

[0076] ［４．第１の実施形態］

次に、本開示の第１の実施形態に係るレーザ装置について説明する。

本実施形態は、例えば図１に示したＥＵＶ光生成システム１１におけるレーザ装置３に適用可能である。

[0077] （４．１　レーザ装置）

（４．１．１　構成）

図７は、本開示の第１の実施形態に係るレーザ装置３Ａの一構成例を概略的に示している。本実施形態に係るレーザ装置３Ａは、遅延回路５３を備えてもよい。遅延回路５３は、レーザコントローラ５１とＱＣＬコントローラ５２とに接続されてもよい。また、レーザ装置３Ａは、反射ミラー５６と、反射ミラー５７とを備えてもよい。反射ミラー５６と反射ミラー５７は、ＭＯ１１０から出力されたレーザ光を再生増幅器２００に導くようにレーザ光

の光路上に配置されてもよい。第１の光アイソレータ８１は、反射ミラー５６と反射ミラー５７との間の光路上に配置されてもよい。

[0078] レーザコントローラ５１は、ＱＣＬ発振情報Ｍ１に基づいて、目標タイミングＴａにおいてレーザ光の波長が所定波長と等しくなるようにＱＣＬ９１の発振を制御してもよい。目標タイミングＴａは、光シャッタの動作タイミングに基づいて決定されたタイミングであってもよい。光シャッタは、第１ないし第４のポッケルスセル７１～７４の少なくとも１つであってもよい。また、目標タイミングＴａは、レーザ光がチャンバ２に供給されたターゲット２７に照射されるタイミングに基づいて決定されたタイミングであってもよい。

[0079] その他の構成は、図２Ａ又は図４に示したレーザ装置３と略同様であってもよい。

[0080] （４．１．２ 動作）

まず、図８～図１０を参照して、レーザコントローラ５１によって制御されるＱＣＬ９１及び光シャッタの動作タイミングについて説明する。図８は、各部の動作タイミングを説明するためのタイミングチャートである。図９は、図８の動作タイミングの一部を簡略化して示したタイミングチャートである。図１０は、ターゲット２７がターゲットセンサ４で検出されてからプラズマ生成領域２５に到達するまでの時間を示す。

[0081] 図８には、ターゲット検出信号Ｓ２のタイミングチャートと、レーザ出力指令Ｓ４のタイミングチャートと、ＱＣＬ９１への供給電流の電流値の変化を示すタイミングチャートと、ＱＣＬ９１から出力されるレーザ光の波長の変化を示すタイミングチャートとを示す。図８には、さらに、光シャッタの動作タイミングの一例として、第１及び第２のポッケルスセル７１，７２におけるポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１，Ｔｐ２と、第１及び第２のポッケルスセル７１，７２の開閉状態とのタイミングチャートを示す。なお、図８に示した各タイミングチャートにおいて、横軸は時間であってもよい。ターゲット検出信号Ｓ２とレーザ出力指令Ｓ４とのタイミングチャートにお

いて、縦軸は信号値であってもよい。供給電流の電流値の変化を示すタイミングチャートにおいて、縦軸は電流値であってもよい。レーザ光の波長の変化を示すタイミングチャートにおいて縦軸は光強度であってもよい。第１及び第２のポッケルスセル７１，７２におけるポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１，Ｔｐ２ののタイミングチャートにおいて、縦軸は信号値であってもよい。第１及び第２のポッケルスセル７１，７２の開閉状態のタイミングチャートにおいて、縦軸は開閉状態であってもよい。

[0082] ターゲットセンサ４によるターゲット検出タイミングＴｓ２から、ターゲット２７がプラズマ生成領域２５に到達するターゲット到達タイミングＴｓ０までの時間は、ｔ１となり得る。時間ｔ１は、図１０に示したように、ターゲット２７の検出位置とプラズマ生成領域２５との距離をＬ、ターゲット２７の速度をｖとすると、ｔ１＝ｖ／Ｌとなり得る。

[0083] レーザ出力指令Ｓ４の出力タイミングＴｓ４は、ターゲット検出タイミングＴｓ２に基づいて決定され得る。ＥＵＶ光生成制御部５からは、ターゲット検出信号Ｓ２に所定の遅延時間ｔ５を付加したレーザ出力指令Ｓ４がレーザコントローラ５１に出力され得る。

[0084] ＱＣＬ９１には供給電流として電流パルスI_Qが供給され得る。ＱＣＬ９１では、電流パルスI_Qの電流立ち上がりタイミングＴｉ１から電流パルス遅延時間ｔ４が経過した発振開始タイミングＴｉ２においてレーザ光の発振が開始され得る。そして、発振開始タイミングＴｉ２からレーザ遅延時間ｔｍが経過した目標タイミングＴａで、レーザ光の波長が再生増幅器２００等で増幅可能な所定波長と等しくなり得る。

[0085] レーザコントローラ５１は、ＱＣＬ発振情報Ｍ１に基づいて、発振開始タイミングＴｉ２からレーザ遅延時間ｔｍが経過した目標タイミングＴａでレーザ光の波長が所定波長と等しくなるように、レーザ出力指令Ｓ４の出力タイミングＴｓ４から電流立ち上がりタイミングＴｉ１までの遅延時間ｔ６を制御してもよい。

[0086] 目標タイミングＴａは、所定波長のレーザ光がＱＣＬ９１から出力されて

からプラズマ生成領域２５に到達するまでの時間ｔ２と、ターゲット到達タイミングＴｓ０とに基づいて決定され得る。

[0087] なお、図９に示したように、本開示における第１の遅延時間は、電流パルスI_Qの電流立ち上がりタイミングＴｉ１からレーザ光の発振開始タイミングＴｉ２までの電流パルス遅延時間ｔ４であってもよい。電流パルス遅延時間ｔ４は、ＱＣＬ９１の個体ごとに固有の値であってもよい。また、本開示における第２の遅延時間は、レーザ光の発振開始タイミングＴｉ２からレーザ光の波長が再生増幅器２００等で増幅可能な所定波長と等しくなるまでのレーザ遅延時間ｔｍであってもよい。また、本開示における第３の遅延時間は、レーザ出力指令Ｓ４の出力タイミングＴｓ４から電流立ち上がりタイミングＴｉ１までの遅延時間ｔ６であってもよい。

[0088] レーザコントローラ５１は、第１及び第２のポッケルスセル７１，７２に、レーザ出力指令Ｓ４の出力タイミングＴｓ４に所定の遅延時間を与えたポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１，Ｔｐ２を送信してもよい。第１のポッケルスセル７１は、ポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１の立ち上がりから動作開始遅延時間が経過したタイミングで開状態となり得る。これにより、所定波長のレーザ光が第１のポッケルスセル７１に到達したタイミングで、第１のポッケルスセル７１が開状態となり得る。第２のポッケルスセル７２は、ポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ２の立ち上がりから動作開始遅延時間が経過したタイミングで開状態となり得る。これにより、所定波長のレーザ光が第２のポッケルスセル７２に到達したタイミングで、第２のポッケルスセル７２が開状態となり得る。

[0089] 図１１は、レーザ装置３Ａの動作の一例を示すフローチャートである。

[0090] まず、ＭＯ１１０にＱＣＬ９１を設置してもよい（ステップＳ１０１）。ＱＣＬ９１の設置は、レーザコントローラ５１が、ＱＣＬ９１を接続する図示しない信号線の接続状態を監視することで検出してもよい。あるいは近接スイッチ等でＱＣＬ９１の設置の有無を検出してもよい。

[0091] 次に、レーザコントローラ５１は、ＭＯ１１０に設置されたＱＣＬ９１の

ＩＤ情報とＱＣＬ発振情報Ｍ１とを取得してもよい（ステップＳ１０２）。レーザコントローラ５１は、レーザコントローラ５１に接続された図示しないデータベースからＩＤ情報とＱＣＬ発振情報Ｍ１とを取得してもよい。あるいは、レーザコントローラ５１は、図示しないコンソールを介したオペレータによる入力によってＩＤ情報とＱＣＬ発振情報Ｍ１とを取得してもよい。オペレータによる入力の際、可搬の記憶媒体が用いられてもよい。あるいは、外部装置から有線又は無線の通信回線を介してレーザコントローラ５１にＩＤ情報とＱＣＬ発振情報Ｍ１とが入力されてもよい。

[0092] 次に、レーザコントローラ５１は、ＱＣＬ発振情報Ｍ１を基に、遅延回路５３に発振タイミング情報Ｍ１ｃを送信してもよい（ステップＳ１０３）。発振タイミング情報Ｍ１ｃは、ＱＣＬ発振情報Ｍ１に含まれるＱＣＬ９１のレーザ遅延データ、及びレーザ出力指令Ｓ４のタイミング情報が反映された電流パルス遅延データが含まれてもよい。

[0093] 次に、レーザコントローラ５１は、ＱＣＬ発振情報Ｍ１を基に、ＱＣＬコントローラ５２に発振タイミング情報Ｍ１ｃを除くＱＣＬ発振情報Ｍ１ｄを送信してもよい（ステップＳ１０４）。次に、レーザコントローラ５１は、遅延回路５３によってＱＣＬ９１のレーザ遅延データと電流パルス遅延データとに適正な遅延量を遅延時間ｔ６として付加し、ＱＣＬコントローラ５２に送信してもよい（ステップＳ１０５）。レーザコントローラ５１は、ＱＣＬ９１の発振タイミング情報Ｍ１ｃに適正な遅延量を遅延時間ｔ６として付加するよう、遅延回路５３を設定してもよい。ＱＣＬコントローラ５２は、適正な遅延量として遅延時間ｔ６を付加された発振タイミング情報Ｍ１ｃを受信してもよい。次に、ＱＣＬ発振情報Ｍ１ｄに含まれる温度制御情報を基に、ＱＣＬコントローラ５２から温度データＭ１ａを温度制御器９１ａに送信してもよい（ステップＳ１０６）。次に、ＱＣＬコントローラ５２から温度データＭ１ａを除くＱＣＬ発振情報Ｍ１ｂを電流制御器９１ｂに送信してもよい（ステップＳ１０７）。

[0094] 次に、レーザコントローラ５１は、温度制御器９１ａによって温度データ

Ｍ１ａを基に所定の温度にＱＣＬ９１を制御してもよい（ステップＳ１０８）。次に、レーザコントローラ５１は、電流制御器９１ｂによって温度データＭ１ａを除くＱＣＬ発振情報Ｍ１ｂを基に所定の電流パルスI_QをＱＣＬ９１に注入してもよい（ステップＳ１０９）。

[0095] 次に、レーザコントローラ５１は、電流制御器９１ｂによってＱＣＬ９１を所定の電流パルスI_Qによって発振させ、所定の時間に波長がCO_2増幅波長に達するよう制御してもよい（ステップＳ１１０）。次に、レーザコントローラ５１から第１ないし第４のポッケルスセル７１～７４のそれぞれに、所定の遅延時間を与えたポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１～Ｔｐ４を送信してもよい（ステップＳ１１１）。

[0096] 次に、レーザコントローラ５１は、第１ないし第４のポッケルスセル７１～７４のそれぞれによってポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１～Ｔｐ４を基にCO_2増幅波長に達したＱＣＬ９１からのレーザ光の偏光を変化させてもよい。これにより、レーザコントローラ５１は、第１及び第２の各光アイソレータ８１，８２によってレーザ光を透過させてもよい。また、レーザコントローラ５１は、再生増幅器２００によってレーザ光を増幅させてもよい（ステップＳ１１２）。その後、処理を終了してもよい。

[0097] これにより、ＱＣＬ９１が出力するレーザ光の波長のうちのCO_2増幅波長の光が通過するタイミングに同期して、第１及び第２の光アイソレータ８１，８２及び再生増幅器２００が制御され得る。

[0098] ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光は、第１の光アイソレータ８１を適切なタイミングで通過し、再生増幅器２００においてCO_2増幅波長域内の波長のみが増幅され得る。再生増幅器２００で増幅されたレーザ光は、第２の光アイソレータ８２を適切なタイミングで通過して後段の、増幅器ＰＡ１へ出力されてもよい。

[0099] （４．１．３ 作用）

本実施形態のレーザ装置３Ａによれば、ＱＣＬ発振情報Ｍ１に基づいて、目標タイミングＴａにおいてレーザ光の波長が所定波長と等しくなるように

ＱＣＬ９１の発振を制御し得る。これにより、レーザ光がターゲット２７に照射されるタイミングと、ＱＣＬ９１から再生増幅器２００等で増幅可能な所定波長のレーザ光が出力されるタイミングとを同期させ得る。

[0100] （４．２　計測装置の第１の例）

（４．２．１　構成）

図１２は、第１の実施形態に係る計測装置の第１の構成例を概略的に示している。

図１２に示す計測装置は、図７に示したレーザ装置３Ａにおいて用いられるＱＣＬ発振情報Ｍ１を特定するために、レーザ遅延データをＱＣＬ９１の温度データや電流振幅データに対応させて計測するための装置である。

[0101] この計測装置は、ＭＯ１１０と、レーザコントローラ１５１と、ＱＣＬコントローラ１５２と、遅延回路１５３とを備えてもよい。レーザコントローラ１５１と、ＱＣＬコントローラ１５２と、遅延回路１５３は、計測に関わる機能を除き、図７におけるレーザコントローラ５１と、ＱＣＬコントローラ５２と、遅延回路５３と略同様の機能を有していてもよい。レーザコントローラ１５１は、記憶メモリ１５１ａを含んでいてもよい。

[0102] また、計測装置は、データ入力装置１３０と、CO_2増幅器１３１と、光センサ１３２と、波形計測器１３３と、反射ミラー１５４と、反射ミラー１５５とを備えてもよい。データ入力装置１３０は、レーザコントローラ１５１に接続されてもよい。

[0103] CO_2増幅器１３１は、CO_2ガスを含むチャンバを含んでいてもよい。CO_2増幅器１３１のチャンバにはレーザ光が通過するウインドウが設けられていてもよい。CO_2増幅器１３１は、ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光の光路上に配置されてもよい。反射ミラー１５４と反射ミラー１５５は、ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光をCO_2増幅器１３１に導くように、レーザ光の光路上に配置されてもよい。また、CO_2増幅器１３１に代えて、CO_2ガスセル１３６を備えてもよい。CO_2ガスセル１３６は、CO_2ガスを含んでいてもよい。CO_2ガスセル１３６のガスセルにはレーザ光が通過するウインドウが設

けられていてもよい。

[0104] 光センサ１３２は、CO_2増幅器１３１を透過したレーザ光の光路上に配置されてもよい。光センサ１３２は、ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光の光強度に応答するフォトディテクタであってもよい。光センサ１３２は、例えばＶｉｇｏ Ｓｙｓｔｅｍ社製ＰＥＭ－１０．６を用いてもよい。

[0105] 光センサ１３２は、波形計測器１３３に接続されてもよい。波形計測器１３３は例えばオシロスコープを用いてもよい。遅延回路１５３は波形計測器１３３に接続されてもよい。

[0106] CO_2増幅器１３１と光センサ１３２と波形計測器１３３は、ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光の波長が、ＱＣＬ９１の発振開始タイミングＴｉ２から、所定波長と等しくなるタイミングまでのレーザ遅延時間ｔｍを計測する計測器であってもよい。レーザコントローラ１５１は、計測用の初期のＱＣＬ発振情報Ｍｉに基づいて、ＱＣＬ９１の発振を制御すると共に、ＱＣＬ発振情報Ｍｉに含まれる複数の発振パラメータのうち電流パルス遅延時間ｔ４を除く少なくとも１つの発振パラメータを変化させることによりレーザ遅延時間ｔｍを変化させ、レーザ遅延時間ｔｍが所定時間となったときの発振情報を特定発振情報として出力する計測コントローラであってもよい。

[0107] （４．２．２ 動作）

図１３は、図１２に示した計測装置におけるＱＣＬ９１の電流パルスI_Qの波形と光センサ１３２のセンサ出力電圧の波形との一例を示している。図１３において横軸は、時間であってもよい。図１４は、図１２に示した計測装置の動作の一例を示すフローチャートである。

[0108] まず、データ入力装置１３０から、計測用の初期のＱＣＬ発振情報Ｍｉをレーザコントローラ１５１の記憶メモリ１５１ａに入力してもよい（ステップＳ１２１）。また、データ入力装置１３０からＱＣＬ９１のＩＤ情報を記憶メモリ１５１ａに入力してもよい。初期のＱＣＬ発振情報Ｍｉは、計測用の初期のレーザ遅延データ、計測用の初期の温度データＭｉａ、計測用の初期の電流振幅データ、計測用の初期の電流パルス幅データ、計測用の初期の

電流パルス遅延データ、及び計測用の初期の電流パルス周期データを含んでいてもよい。

[0109] 次に、レーザコントローラ１５１は、初期のＱＣＬ発振情報ＭｉをＱＣＬコントローラ１５２に送信してもよい。このとき、初期のＱＣＬ発振情報Ｍｉのうち、初期の発振タイミング情報Ｍｉｃは遅延回路１５３を介してＱＣＬコントローラ１５２に送信してもよい（ステップＳ１２２）。また、初期の発振タイミング情報Ｍｉｃは遅延回路１５３を介して波形計測器１３３にも送信してよい。初期の発振タイミング情報Ｍｉｃは、初期のレーザ遅延データ、初期の電流パルス遅延データを含んでいてもよい。また、レーザコントローラ１５１は、初期のＱＣＬ発振情報Ｍｉを基に、ＱＣＬコントローラ１５２に初期の発振タイミング情報Ｍｉｃを除くＱＣＬ発振情報Ｍｉｄを送信してもよい

[0110] 次に、ＱＣＬ発振情報Ｍｉｄに含まれる温度制御情報を基に、初期の温度データＭｉａを温度制御器９１ａに送信してもよい（ステップＳ１２３）。温度制御器９１ａは、初期の温度データＭｉａを基にＱＣＬ９１を所定の温度に保ってもよい。

[0111] 次に、ＱＣＬコントローラ１５２から初期の温度データＭｉａを除く初期のＱＣＬ発振情報Ｍｉｂを電流制御器９１ｂに送信してもよい（ステップＳ１２４）。

[0112] 次に、波形計測器１３３によって、レーザ遅延時間ｔｍの計測をしてもよい（ステップＳ１２５）。波形計測器１３３によるレーザ遅延時間ｔｍの計測は、以下のように行われ得る。ＱＣＬ９１は、ＱＣＬ発振情報Ｍｉｂにより所定のタイミングで発振、発光し、所定のパルスのレーザ光を出力し得る。ＱＣＬ９１からのレーザ光は、CO_2ガスセル１３６又はCO_2増幅器１３１に入射し得る。光センサ１３２は、ＱＣＬ９１からのレーザ光のパルスの光強度に応じたセンサ出力信号Ｓ２１を波形計測器１３３に出力し得る。ここで、CO_2ガスセル１３６又は励起していないCO_2増幅器１３１は、ＱＣＬ９１からのレーザ光がCO_2分子の吸収波長になるタイミングでのみレーザ光の

パルスを吸収し、出力し得る。これにより、光センサ１３２のセンサ出力電圧として、図１３に示したような波形が観測され得る。波形計測器１３３は、発振タイミング情報Ｍｉｃと、センサ出力信号Ｓ２１とから、図１３に示したように、CO_2分子による吸収のタイミングであるレーザ遅延時間ｔｍを計測し得る。

[0113] 波形計測器１３３は、レーザ遅延時間ｔｍを示す信号をレーザコントローラ１５１に出力してもよい。レーザコントローラ１５１は、Δｔ＝ｔ０－ｔｍを計算し、レーザ遅延時間ｔｍと目標レーザ遅延時間（ｔ０）との差であるΔｔを求めてもよい（ステップＳ１２６）。

[0114] 次に、レーザコントローラ１５１は、｜Δｔ｜≦t_{ref}（t_{ref}：遅延許容範囲）の条件を満たすか否か、すなわち、Δｔの絶対値が遅延許容範囲内であるか否かを判断してもよい（ステップＳ１２７）。｜Δｔ｜≦t_{ref}の条件を満たしておらず、Δｔの絶対値が遅延許容範囲内ではないと判断した場合（ステップＳ１２７；Ｎ）には、次に、レーザコントローラ１５１は、ＱＣＬ発振情報Ｍｉに含まれる複数の発振パラメータのデータのうち、電流パルス遅延データを除くいずれか１つを変更し（ステップＳ１２８）、ステップＳ１２２の処理に戻ってもよい。このとき、レーザコントローラ１５１は、ある第１の発振パラメータのデータが許容可変範囲を超えた場合に、別の第２の発振パラメータのデータを変更してもよい。複数の発振パラメータのデータのうち変更する発振パラメータのデータには、少なくとも温度データＭｉａと、電流振幅データとが含まれていてもよい。例えば、温度データＭｉａを変更してステップＳ１２２の処理に戻った後、再度ステップＳ１２８の処理を行うこととなった場合に、温度データＭｉａが許容可変範囲を超える場合には、電流振幅データを変更するようにしてもよい。

[0115] 一方、｜Δｔ｜≦t_{ref}の条件を満たし、Δｔの絶対値が遅延許容範囲内であると判断した場合（ステップＳ１２７；Ｙ）には、レーザコントローラ１５１は、条件を満たした場合のデータを、特定発振情報として記憶メモリ１５１ａに記録してもよい（ステップＳ１２９）。特定発振情報は、ＱＣＬ発振

情報Ｍ１として記録してもよい。その後、処理を終了してもよい。特定発振情報として記録するデータには、レーザ遅延データと、特定の温度データＭ１ａと、電流振幅データと、電流パルス幅データと、電流パルス遅延データと、電流パルス周期データとが含まれてもよい。また、ＱＣＬ９１のＩＤ情報が含まれていてもよい。

[0116] （４．２．３　作用）

この計測装置によれば、ＱＣＬ９１からのレーザ光がCO_2分子の吸収波長になるタイミングに基づいて、レーザ遅延時間ｔｍが計測され得る。また、ＱＣＬ発振情報Ｍｉを変化させることによりレーザ遅延時間ｔｍを変化させ、レーザ遅延時間ｔｍが所定時間となったときのＱＣＬ発振情報Ｍ１が特定発振情報として記録され得る。

[0117] （４．３　計測装置の第２の例）

（４．３．１　構成）

図１５は、第１の実施形態に係る計測装置の第２の構成例を概略的に示している。

図１５に示す計測装置は、図１２の計測装置と同様に、図７に示したレーザ装置３Ａにおいて用いられるＱＣＬ発振情報Ｍ１を特定するために、レーザ遅延データをＱＣＬ９１の温度データや電流振幅データに対応させて計測するための装置である。

[0118] この計測装置は、ＣＷ(Continuous Wave) －CO_2レーザ１４１と、光センサ１４２と、波形計測器１４３と、光合波器１４４とを備えてもよい。

[0119] 光合波器１４４は、ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光の光路上に配置されてもよい。光合波器１４４は、ビームスプリッタでもよい。光合波器１４４はＱＣＬ９１から出力されたレーザ光に対し特定の反射率と透過率とを有する光学部品であってもよい。

[0120] ＣＷ－CO_2レーザ１４１は、計測用のレーザ光として連続光を出力するものであってもよい。光合波器１４４は、ＣＷ－CO_2レーザ１４１から出力された計測用のレーザ光とＱＣＬ９１から出力されたレーザ光とのそれぞれの

光路が略一致するように配置されてもよい。光合波器１４４は、ＣＷ－CO_2レーザ１４１から出力された計測用のレーザ光とＱＣＬ９１から出力されたレーザ光とを合波して、合波レーザ光を出力するものであってもよい。

[0121] 光センサ１４２は、ＣＷ－CO_2レーザ１４１から出力された計測用のレーザ光とＱＣＬ９１から出力されたレーザ光との合波レーザ光の光路上に配置され、合波レーザ光の強度に応じたセンサ出力信号Ｓ２１を出力するものであってもよい。波形計測器１４３は、センサ出力信号Ｓ２１の波形を計測するものであってもよい。

[0122] ＣＷ－CO_2レーザ１４１と、光センサ１４２と、波形計測器１４３と、光合波器１４４は、ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光の波長が、ＱＣＬ９１の発振開始タイミングＴｉ２から、所定波長と等しくなるタイミングまでのレーザ遅延時間ｔｍを計測する計測器であってもよい。

[0123] 光センサ１４２は、ＣＷ－CO_2レーザ１４１から出力された計測用のレーザ光とＱＣＬ９１から出力されたレーザ光とが合波された合波レーザ光の光路上に配置してもよい。光センサ１４２は、ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光の光強度及びＣＷ－CO_2レーザから出力された計測用のレーザ光の光強度に応答するフォトディテクタであってもよい。光センサ１４２は、少なくとも数１００ＭＨｚ以上の応答帯域を有するものであってもよい。例えばＶｉｇｏ　Ｓｙｓｔｅｍ　社製ＰＥＭ－１０．６を用いてもよい。

[0124] 光センサ１４２は、波形計測器１４３に接続されてもよい。波形計測器１４３は例えばオシロスコープを用いてもよい。遅延回路１５３は波形計測器１４３に接続されてもよい。

[0125] その他の構成は、図１２に示した計測装置と略同様であってもよい。

[0126] （４．３．２　動作）

図１６は、図１５に示した計測装置における光センサ１４２のセンサ出力信号Ｓ２１の波形の一例を示している。図１６において横軸は、時間であってもよい。図１６において左側の縦軸は、センサ出力信号Ｓ２１の振幅であってもよい。図１６において右側の縦軸は、ＱＣＬ９１の電流パルスI_Qの電

流値であってもよい。

[0127] ＱＣＬ９１は、光強度P_Q、光周波数f_Qとなるレーザ光のパルスを出力してもよい。ＣＷ－CO_2レーザ１４１は、光強度P_C、光周波数f_Cとなる連続光を計測用のレーザ光として出力してもよい。

[0128] ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光のパルスとＣＷ－CO_2レーザ１４１から出力された連続光である計測用のレーザ光は、光合波器１４４で合波され、その合波レーザ光が光センサ１４２に入射し得る。

[0129] 光センサ１４２の受光面上では、ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光のパルスとＣＷ－CO_2レーザ１４１から出力された計測用のレーザ光とによって、干渉現象が発生し得る。光強度に対し、Ｒの受光感度を有する光センサ１４２では、この干渉現象により、一般的に知られている光ヘテロダイン検波信号として時間とともに周期的に変動するような出力信号I_{PD}が得られ得る。なお、I_{PD}は以下の式で表され得る。光センサ１４２は、出力信号I_{PD}をセンサ出力信号Ｓ２１として出力してもよい。

$$I_{PD}=R\cdot[P_C+P_Q+2(P_C\cdot P_Q)^{1/2}\cdot\cos\{2\pi(f_C-f_Q)t\}]$$

[0130] 出力信号I_{PD}は、光周波数f_Qが光周波数f_Cに近づくと振動周期が大きくなり、離れると振動周期は小さくなり得る。ＣＷ－CO_2レーザ１４１の連続光の光周波数f_Cは、常に一定であるのに対し、ＱＣＬ９１から出力されたレーザ光のパルスの光周波数f_Qは、チャープにより時間とともに変化し得る。

[0131] 光センサ１４２のセンサ出力信号Ｓ２１は波形計測器１４３へ入力され得る。波形計測器１４３では、図１６に示すような振動波形を観測し得る。

[0132] 波形計測器１４３は、発振タイミング情報Ｍｉｃと、振動波形の振動周期が最大となる時間とから、レーザ遅延時間ｔｍを計測し得る。

[0133] その他の動作は、図１２に示した計測装置と略同様であってもよい。

[0134] （４．３．３　作用）

この計測装置によれば、ＱＣＬ９１からのレーザ光とＣＷ－CO_2レーザ１４１から出力された計測用のレーザ光との干渉現象に基づいて、レーザ遅延時間ｔｍが計測され得る。また、ＱＣＬ発振情報Ｍｉを変化させることによ

りレーザ遅延時間ｔｍを変化させ、レーザ遅延時間ｔｍが所定時間となったときのＱＣＬ発振情報Ｍ１が特定発振情報として記録され得る。

[0135] 図１２の計測装置では、ＱＣＬ９１が出力するレーザ光の光強度が低い場合、CO_2分子の吸収のタイミングの特定が困難となり、レーザ遅延時間ｔｍの計測精度が低くなってしまうことがあり得る。干渉現象を利用する図１５に示す計測装置では、ＱＣＬ９１が出力するレーザ光の光強度が低い場合でも、レーザ遅延時間ｔｍを高精度に計測し得る。

[0136] ［５．第２の実施形態］（複数のＱＣＬを含むレーザ装置）

次に、本開示の第２の実施形態に係るレーザ装置について説明する。なお、以下では上記第１の実施形態に係るレーザ装置３Ａの構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0137] （５．１ 構成）

図１７は、本開示の第２の実施形態に係るレーザ装置３Ｂの一構成例を概略的に示している。

[0138] 本実施形態に係るレーザ装置３Ｂは、ＭＯ１１０に複数のＱＣＬ９１，９２，…９Ｎが配置されてもよい。レーザ装置３Ｂは、ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの温度を制御する温度制御器９１ａ，９２ａ，…９Ｎａと、ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎへの供給電流を制御する電流制御器９１ｂ，９２ｂ，…９Ｎｂとを含んでもよい。なお、図１７では、２台のＱＣＬ９１，９２のみを図示し、３台目以降のＱＣＬ９３，…９Ｎを省略している。

[0139] レーザ装置３Ｂは、光合波器１１１を備えてもよい。光合波器１１１は、複数のＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの各々から出力されたレーザ光の光路を略一致させて各々のレーザ光を出力してもよい。

[0140] その他の構成は、図７に示したレーザ装置３Ａと略同様であってもよい。

[0141] （５．２ 動作）

図１８は、レーザ装置３Ｂの動作の一例を示すフローチャートである。

[0142] まず、ＭＯ１１０に複数のＱＣＬ９１，９２，…９Ｎを設置してもよい（ステップＳ１３１）。ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの設置は、レーザコントロ

ーラ５１が、ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎを接続する図示しない信号線の接続状態を監視することで検出してもよい。あるいは近接スイッチ等でＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの設置の有無を検出してもよい。この際、レーザコントローラ５１は、設置が検出されたＱＣＬの数をカウントして、Ｎ＝ＱＣＬ設置数としてもよい（ステップＳ１３２）。

[0143] 次に、レーザコントローラ５１は、Ｎ番目のＱＣＬ９ＮのＩＤ情報とＱＣＬ発振情報ＭＮとを取得してもよい（ステップＳ１３３）。レーザコントローラ５１は、レーザコントローラ５１に接続された図示しないデータベースからＩＤ情報とＱＣＬ発振情報ＭＮとを取得してもよい。あるいは、レーザコントローラ５１は、図示しないコンソールを介したオペレータによる入力によってＩＤ情報とＱＣＬ発振情報ＭＮとを取得してもよい。オペレータによる入力の際、可搬の記憶媒体が用いられてもよい。あるいは、外部装置から有線又は無線の通信回線を介してレーザコントローラ５１にＩＤ情報とＱＣＬ発振情報ＭＮとが入力されてもよい。

[0144] 次に、レーザコントローラ５１は、Ｎ＝Ｎ－１としてもよい（ステップＳ１３４）。次に、レーザコントローラ５１は、Ｎ＝０か否かを判断してもよい（ステップＳ１３５）。Ｎ＝０ではないと判断した場合（ステップＳ１３５；Ｎ）には、レーザコントローラ５１は、ステップＳ１３３の処理に戻ってもよい。

[0145] 一方、Ｎ＝０であると判断した場合（ステップＳ１３５；Ｙ）には、レーザコントローラ５１は、次に、遅延回路５３に各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの発振タイミング情報Ｍ１ｃ，Ｍ２ｃ，…ＭＮｃを送信してもよい（ステップＳ１３６）。

[0146] 次に、レーザコントローラ５１は、ＱＣＬコントローラ５２に発振タイミング情報Ｍ１ｃ，Ｍ２ｃ，…ＭＮｃを除く各ＱＣＬ９１，９２，…９ＮのＱＣＬ発振情報Ｍ１ｄ，Ｍ２ｄ，…ＭＮｄを送信してもよい（ステップＳ１３７）。

[0147] 次に、レーザコントローラ５１は、遅延回路５３によって各ＱＣＬ９１，

９２，…９Ｎのレーザ遅延データと電流パルス遅延データとに適正な遅延量を遅延時間ｔ６として付加し、ＱＣＬコントローラ５２に送信してもよい（ステップＳ１３８）。レーザコントローラ５１は、各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの発振タイミング情報Ｍ１ｃ，Ｍ２ｃ，…ＭＮｃに適正な遅延量を遅延時間ｔ６として付加するよう、遅延回路５３を設定してもよい。ＱＣＬコントローラ５２は、適正な遅延量として遅延時間ｔ６を付加された発振タイミング情報Ｍ１ｃ，Ｍ２ｃ，…ＭＮｃを受信してもよい。次に、ＱＣＬ発振情報Ｍ１ｄ，Ｍ２ｄ，…ＭＮｄに含まれる温度制御情報を基に、ＱＣＬコントローラ５２から温度データＭ１ａ，Ｍ２ａ，…ＭＮａを各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの温度制御器９１ａ，９２ａ，…９Ｎａに送信してもよい（ステップＳ１３９）。

[0148] 次に、ＱＣＬコントローラ５２は、温度データＭ１ａ，Ｍ２ａ，…ＭＮａを除く各ＱＣＬ９１，９２，…９ＮのＱＣＬ発振情報Ｍ１ｂ，Ｍ２ｂ，…ＭＮｂを各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの電流制御器９１ｂ，９２ｂ，…９Ｎｂに送信してもよい（ステップＳ１４０）。

[0149] 次に、レーザコントローラ５１は、各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの温度制御器９１ａ，９２ａ，…９Ｎａによって温度データＭ１ａ，Ｍ２ａ，…ＭＮａを基に、所定の温度となるように各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎを制御してもよい（ステップＳ１４１）。

[0150] 次に、レーザコントローラ５１は、各電流制御器９１ｂ，９２ｂ，…９Ｎｂによって温度データＭ１ａ，Ｍ２ａ，…ＭＮａを除く各ＱＣＬ発振情報Ｍ１ｂ，Ｍ２ｂ，…ＭＮｂを基に、所定の電流パルスI_Qを各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎに注入してもよい（ステップＳ１４２）。

[0151] 次に、レーザコントローラ５１は、各電流制御器９１ｂ，９２ｂ，…９Ｎｂによって各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎを各所定の電流パルスI_Qによって発振させ、所定の時間に波長がCO_2増幅波長に達するよう制御してもよい（ステップＳ１４３）。次に、レーザコントローラ５１から第１ないし第４の各ポッケルスセル７１～７４に、所定の遅延時間を与えたポッケルスセルタイ

ミング信号Ｔｐ１～Ｔｐ４を送信してもよい（ステップＳ１４４）。

[0152] 次に、第１ないし第４の各ポッケルスセル７１～７４によってポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１～Ｔｐ４を基に、各ＱＣＬ９１，９２，…９ＮのうちCO_2増幅波長に達したＱＣＬからのレーザ光の偏光を変化させてもよい。これにより、第１及び第２の各光アイソレータ８１，８２によってレーザ光を透過させてもよい。また、再生増幅器２００によってレーザ光を増幅させてもよい（ステップＳ１４５）。その後、処理を終了してもよい。

[0153] その他の動作は、図７に示したレーザ装置３Ａと略同様であってもよい。

[0154] （５．３ 作用）

本実施形態のレーザ装置３Ｂによれば、複数のＱＣＬ発振情報Ｍ１，Ｍ２，…ＭＮに基づいて、目標タイミングＴａにおいてレーザ光の波長が所定波長と等しくなるように各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎの発振を制御し得る。これにより、レーザ光がターゲット２７に照射されるタイミングと、各ＱＣＬ９１，９２，…９Ｎから再生増幅器２００等で増幅可能な所定波長のレーザ光が出力されるタイミングとを同期させ得る。

[0155] ［６．第３の実施形態］（計測機能付きのレーザ装置）

次に、本開示の第３の実施形態に係るレーザ装置について説明する。なお、以下では上記第１若しくは第２の実施形態に係るレーザ装置３Ａ，３Ｂの構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0156] （６．１ 構成）

図１９は、本開示の第３の実施形態に係るレーザ装置３Ｃの一構成例を概略的に示している。図１９に示すレーザ装置３Ｃは、図７に示したレーザ装置３Ａに、図１２に示した計測装置の機能を付加したものである。

[0157] レーザ装置３Ｃは、データ入力装置１３０と、光センサ１３２と、波形計測器１３３と、１軸ステージ１３４と、移動ミラー１３５とを備えてもよい。

[0158] １軸ステージ１３４は、再生増幅器２００から出力されたレーザ光の下流側の光路に配置されてもよい。

[0159] 移動ミラー１３５は、１軸ステージ１３４に載置されてもよい。１軸ステージ１３４は、移動ミラー１３５をレーザ光路に対して出し入れ可能に構成されていてもよい。１軸ステージ１３４は、レーザコントローラ５１に接続されてもよい。

[0160] 光センサ１３２は、移動ミラー１３５で反射されたレーザ光が入射するように配置されてもよい。波形計測器１３３は、レーザコントローラ５１と遅延回路５３とに接続されてもよい。

[0161] レーザコントローラ５１は、記憶メモリ５１ａを含んでいてもよい。

[0162] その他の構成は、図７に示したレーザ装置３Ａ又は図１２に示した計測装置と略同様であってもよい。

[0163] （６．２ 動作）

図２０は、レーザ装置３Ｃの動作の一例を示すフローチャートである。

[0164] まず、ＭＯ１１０にＱＣＬ９１を設置してもよい（ステップＳ１５１）。次に、レーザコントローラ５１は、１軸ステージ１３４により移動ミラー１３５をレーザ光の光路上に配置してもよい（ステップＳ１５２）。次に、レーザコントローラ５１は、第１及び第２のポッケルスセル７１，７２を開状態に設定し、第１及び第２の光アイソレータ８１，８２を開状態にしてもよい（ステップＳ１５３）。

[0165] 次に、レーザコントローラ５１は、第３及び第４のポッケルスセル７３，７４をＱＣＬ９１のレーザ出力のタイミングに同期してオン／オフするよう設定してもよい（ステップＳ１５４）。このとき、レーザコントローラ５１は、ＱＣＬ９１がレーザ光を出力するたびに、レーザ光が再生増幅器２００の増幅媒体を少なくとも１回通過するように、第３及び第４のポッケルスセル７３，７４を制御するよう設定してもよい。この際、再生増幅器２００が図３に示したように第３及び第４のポッケルスセル７３，７４を含む構成の場合、レーザコントローラ５１は第３及び第４のポッケルスセル７３，７４に電圧を印加し続けるようにしてもよい。第３及び第４のポッケルスセル７３，７４に電圧を印加し続けると、レーザ光は再生増幅器２００の増幅媒体

を１回通過して出力され得る。市販のポッケルスセルには、電圧を印加しない場合に入射するレーザ光の偏光を変換するものが存在する。このようなポッケルスセルを再生増幅器２００に用いる場合は、レーザコントローラ５１は第３及び第４のポッケルスセル７３，７４に電圧を印加しないようにしてもよい。

[0166] 次に、レーザ装置３Ｃは、図１４のフローチャートと略同様の処理を実行してもよい（ステップＳ１５５）。次に、レーザコントローラ５１は、第１ないし第４のポッケルスセル７１～７４のそれぞれを各ポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１～Ｔｐ４に応じて動作するよう設定してもよい（ステップＳ１５６）。

[0167] 次に、レーザコントローラ５１は、１軸ステージ１３４により移動ミラー１３５を光路上から退避させてもよい（ステップＳ１５７）。次に、レーザコントローラ５１は、ＭＯ１１０に配置されたＱＣＬ９１のＩＤ情報とＱＣＬ発振情報Ｍ１とを記憶メモリ５１ａより取得してもよい（ステップＳ１５８）。次に、レーザコントローラ５１は、遅延回路５３に発振タイミング情報Ｍ１ｃを送信してもよい（ステップＳ１５９）。

[0168] 次に、レーザコントローラ５１は、ＱＣＬコントローラ５２に発振タイミング情報Ｍ１ｃを除くＱＣＬ発振情報Ｍ１ｄを送信してもよい（ステップＳ１６０）。次に、レーザコントローラ５１は、遅延回路５３によってＱＣＬ９１のレーザ遅延データと電流パルス遅延データとに適正な遅延量として遅延時間ｔ６を付加し、ＱＣＬコントローラ５２に送信してもよい（ステップＳ１６１）。次に、ＱＣＬコントローラ５２から温度データＭ１ａを温度制御器９１ａに送信してもよい（ステップＳ１６２）。

[0169] 次に、ＱＣＬコントローラ５２から温度データＭ１ａを除くＱＣＬ発振情報Ｍ１ｂを電流制御器９１ｂに送信してもよい（ステップＳ１６３）。次に、レーザコントローラ５１は、温度制御器９１ａによって温度データＭ１ａを基に所定の温度にＱＣＬ９１を制御してもよい（ステップＳ１６４）。次に、レーザコントローラ５１は、電流制御器９１ｂによって温度データＭ１

ａを除くＱＣＬ発振情報Ｍ１ｂを基に所定の電流パルスI_QをＱＣＬ９１に注入してもよい（ステップＳ１６５）。

[0170] 次に、レーザコントローラ５１は、電流制御器９１ｂによってＱＣＬ９１を所定の電流パルスI_Qによって発振させ、所定の時間に波長がCO_2増幅波長に達するよう制御してもよい（ステップＳ１６６）。次に、レーザコントローラ５１から第１ないし第４のポッケルスセル７１～７４のそれぞれに、所定の遅延時間を与えたポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１～Ｔｐ４を送信してもよい（ステップＳ１６７）。

[0171] 次に、レーザコントローラ５１は、第１ないし第４のポッケルスセル７１～７４のそれぞれによってポッケルスセルタイミング信号Ｔｐ１～Ｔｐ４を基にCO_2増幅波長に達したＱＣＬ９１からのレーザ光の偏光を変化させてもよい。これにより、レーザコントローラ５１は、第１及び第２の各光アイソレータ８１，８２によってレーザ光を透過させてもよい。また、レーザコントローラ５１は、再生増幅器２００によってレーザ光を増幅させてもよい（ステップＳ１６８）。その後、処理を終了してもよい。

[0172] その他の動作は、図７に示したレーザ装置３Ａと略同様であってもよい。

[0173] （６．３ 作用）

本実施形態のレーザ装置３Ｃによれば、特定のＱＣＬ発振情報Ｍ１が不明のＱＣＬ９１をレーザ装置３Ｃに搭載しても、レーザ装置３Ｃで特定のＱＣＬ発振情報Ｍ１を生成し得る。

[0174] その他の作用は、図７に示したレーザ装置３Ａと略同様であってもよい。

[0175] ［７．制御部のハードウエア環境］

当業者は、汎用コンピュータ又はプログラマブルコントローラにプログラムモジュール又はソフトウエアアプリケーションを組み合わせて、ここに述べられる主題が実行されることを理解するだろう。一般的に、プログラムモジュールは、本開示に記載されるプロセスを実行できるルーチン、プログラム、コンポーネント、データストラクチャーなどを含む。

[0176] 図２１は、開示される主題の様々な側面が実行され得る例示的なハードウ

エア環境を示すブロック図である。図２１の例示的なハードウエア環境１００は、処理ユニット１０００と、ストレージユニット１００５と、ユーザインターフェイス１０１０と、パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０と、シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０と、Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０とを含んでもよいが、ハードウエア環境１００の構成は、これに限定されない。

[0177] 処理ユニット１０００は、中央処理ユニット（ＣＰＵ）１００１と、メモリ１００２と、タイマ１００３と、画像処理ユニット（ＧＰＵ）１００４とを含んでもよい。メモリ１００２は、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）とリードオンリーメモリ（ＲＯＭ）とを含んでもよい。ＣＰＵ１００１は、市販のプロセッサのいずれでもよい。デュアルマイクロプロセッサや他のマルチプロセッサアーキテクチャが、ＣＰＵ１００１として使用されてもよい。

[0178] 図２１におけるこれらの構成物は、本開示において記載されるプロセスを実行するために、相互に接続されていてもよい。

[0179] 動作において、処理ユニット１０００は、ストレージユニット１００５に保存されたプログラムを読み込んで、実行してもよい。また、処理ユニット１０００は、ストレージユニット１００５からプログラムと一緒にデータを読み込んでもよい。また、処理ユニット１０００は、ストレージユニット１００５にデータを書き込んでもよい。ＣＰＵ１００１は、ストレージユニット１００５から読み込んだプログラムを実行してもよい。メモリ１００２は、ＣＰＵ１００１によって実行されるプログラム及びＣＰＵ１００１の動作に使用されるデータを、一時的に保管する作業領域であってもよい。タイマ１００３は、時間間隔を計測して、プログラムの実行に従ってＣＰＵ１００１に計測結果を出力してもよい。ＧＰＵ１００４は、ストレージユニット１００５から読み込まれるプログラムに従って、画像データを処理し、処理結果をＣＰＵ１００１に出力してもよい。

[0180] パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０は、レーザコントローラ５１，１５１、及びＱＣＬコントローラ５２，１５２や、波形計測器１３３，１４３等

の、処理ユニット１０００と通信可能なパラレルＩ／Ｏデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれらパラレルＩ／Ｏデバイスとの間の通信を制御してもよい。シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、１軸ステージ１３４等の、処理ユニット１０００と通信可能な複数のシリアルＩ／Ｏデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれら複数のシリアルＩ／Ｏデバイスとの間の通信を制御してもよい。Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、アナログポートを介して、各種センサ、例えば光センサ１３２，１４２等のアナログデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれらアナログデバイスとの間の通信を制御したり、通信内容のＡ／Ｄ、Ｄ／Ａ変換を行ってもよい。

[0181] ユーザインターフェイス１０１０は、操作者が処理ユニット１０００にプログラムの停止や、割込みルーチンの実行を指示できるように、処理ユニット１０００によって実行されるプログラムの進捗を操作者に表示してもよい。

[0182] 例示的なハードウエア環境１００は、本開示におけるＥＵＶ光生成制御部５、及びレーザコントローラ５１，１５１等の構成に適用されてもよい。当業者は、それらのコントローラが分散コンピューティング環境、すなわち、通信ネットワークを介して繋がっている処理ユニットによってタスクが実行される環境において実現されてもよいことを理解するだろう。本開示において、ＥＵＶ光生成制御部５、及びレーザコントローラ５１，１５１等は、イーサネット（登録商標）やインターネットといった通信ネットワークを介して互いに接続されてもよい。分散コンピューティング環境において、プログラムモジュールは、ローカル及びリモート両方のメモリストレージデバイスに保存されてもよい。

[0183] ［８．その他］

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

[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不定冠詞「１つの」は、「少なくとも１つ」又は「１又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

請求の範囲

[請求項1] 供給電流に応じて、前記供給電流の電流立ち上がりタイミングから第１の遅延時間が経過した発振開始タイミングにおいてレーザ光を出力する量子カスケードレーザと、

前記レーザ光の光路上に配置され、所定波長の光を選択的に増幅して、ターゲットが供給されるプラズマ生成領域を含むチャンバに向けて、増幅されたレーザ光を出力する増幅器と、

前記第１の遅延時間及び前記供給電流の電流波形、並びに前記量子カスケードレーザの素子温度を含む複数の発振パラメータに基づいて、前記発振開始タイミングから第２の遅延時間が経過した目標タイミングで前記レーザ光の波長が前記所定波長と等しくなるように、前記レーザ光の出力を指示するレーザ出力指令の出力タイミングから前記電流立ち上がりタイミングまでの第３の遅延時間を制御するレーザコントローラと

を備え、

前記目標タイミングは、前記所定波長の前記レーザ光が前記量子カスケードレーザから出力されてから前記プラズマ生成領域に到達するまでの時間と、前記ターゲットが前記プラズマ生成領域に到達するタイミングとに基づいて決定される

レーザ装置。

[請求項2] 前記レーザ出力指令の出力タイミングは、前記所定波長の前記レーザ光が前記ターゲットに照射されたことが検出されたタイミングに基づいて決定される

請求項１に記載のレーザ装置。

[請求項3] 供給電流に応じて、前記供給電流の電流立ち上がりタイミングから第１の遅延時間が経過した発振開始タイミングにおいてレーザ光を出力する量子カスケードレーザと、

前記発振開始タイミングから、前記レーザ光の波長が所定波長と等

しくなるタイミングまでの第２の遅延時間を計測する計測器と、

前記第１の遅延時間及び前記供給電流の電流波形、並びに前記量子カスケードレーザの素子温度を含む複数の発振パラメータに基づいて、前記量子カスケードレーザの発振を制御すると共に、前記複数の発振パラメータのうち前記第１の遅延時間を除く少なくとも１つの発振パラメータを変化させることにより前記第２の遅延時間を変化させ、前記第２の遅延時間が所定時間となったときの前記複数の発振パラメータの情報を特定発振情報として出力する計測コントローラと、

前記特定発振情報に基づいて、目標タイミングにおいて前記レーザ光の波長が前記所定波長と等しくなるように前記量子カスケードレーザの発振を制御するレーザコントローラと

を備えるレーザ装置。

[請求項4] 前記計測コントローラは、前記複数の発振パラメータのうちの第１の発振パラメータが、その許容可変範囲を超えた場合に、前記複数の発振パラメータのうちの第２の発振パラメータを変化させる

請求項３に記載のレーザ装置。

[請求項5] 供給電流に応じて、第１の遅延時間が経過した発振開始タイミングでレーザ光を出力する量子カスケードレーザにおける前記発振開始タイミングから、前記レーザ光の波長が所定波長と等しくなるタイミングまでの第２の遅延時間を計測する計測器と、

前記第１の遅延時間及び前記供給電流の電流波形、並びに前記量子カスケードレーザの素子温度を含む複数の発振パラメータに基づいて、前記量子カスケードレーザの発振を制御すると共に、前記複数の発振パラメータのうち前記第１の遅延時間を除く少なくとも１つの発振パラメータを変化させることにより前記第２の遅延時間を変化させ、前記第２の遅延時間が所定時間となったときの前記複数の発振パラメータの情報を特定発振情報として出力する計測コントローラと

を備える計測装置。

[請求項6] 前記計測コントローラは、前記複数の発振パラメータのうちの第１の発振パラメータが、その許容可変範囲を超えた場合に、前記複数の発振パラメータのうちの第２の発振パラメータを変化させる

請求項５に記載の計測装置。

[請求項7] 前記計測器は、

前記レーザ光の光路上に配置されたCO_2ガスを含むチャンバと、

前記レーザ光の光路上に配置され、前記レーザ光の強度に応じたセンサ信号を出力する光センサと、

前記センサ信号の波形を計測する波形計測器と

を含む

請求項５に記載の計測装置。

[請求項8] 前記チャンバは、CO_2ガスセルである

請求項７に記載の計測装置。

[請求項9] 前記チャンバは、CO_2増幅器を構成するチャンバであり、

前記波形計測器は、前記CO_2増幅器が前記CO_2ガスを励起していない状態における前記センサ信号の波形を計測する

請求項７に記載の計測装置。

[請求項10] 前記波形計測器は、前記センサ信号の波形に基づいて、前記レーザ光が前記CO_2ガスに吸収される吸収タイミングを計測する

請求項７に記載の計測装置。

[請求項11] 前記計測器は、前記発振開始タイミングから前記吸収タイミングまでの時間を前記第２の遅延時間として、前記計測コントローラに出力する

請求項１０に記載の計測装置。

[請求項12] 前記計測器は、

計測レーザ光を出力するCO_2レーザと、

前記計測レーザ光と前記量子カスケードレーザから出力された前記レーザ光とを合波して、合波レーザ光を出力する合波器と、

前記合波レーザ光の光路上に配置され、前記合波レーザ光の強度に応じたセンサ信号を出力する光センサと、

前記センサ信号の波形を計測する波形計測器と

を含む

請求項５に記載の計測装置。

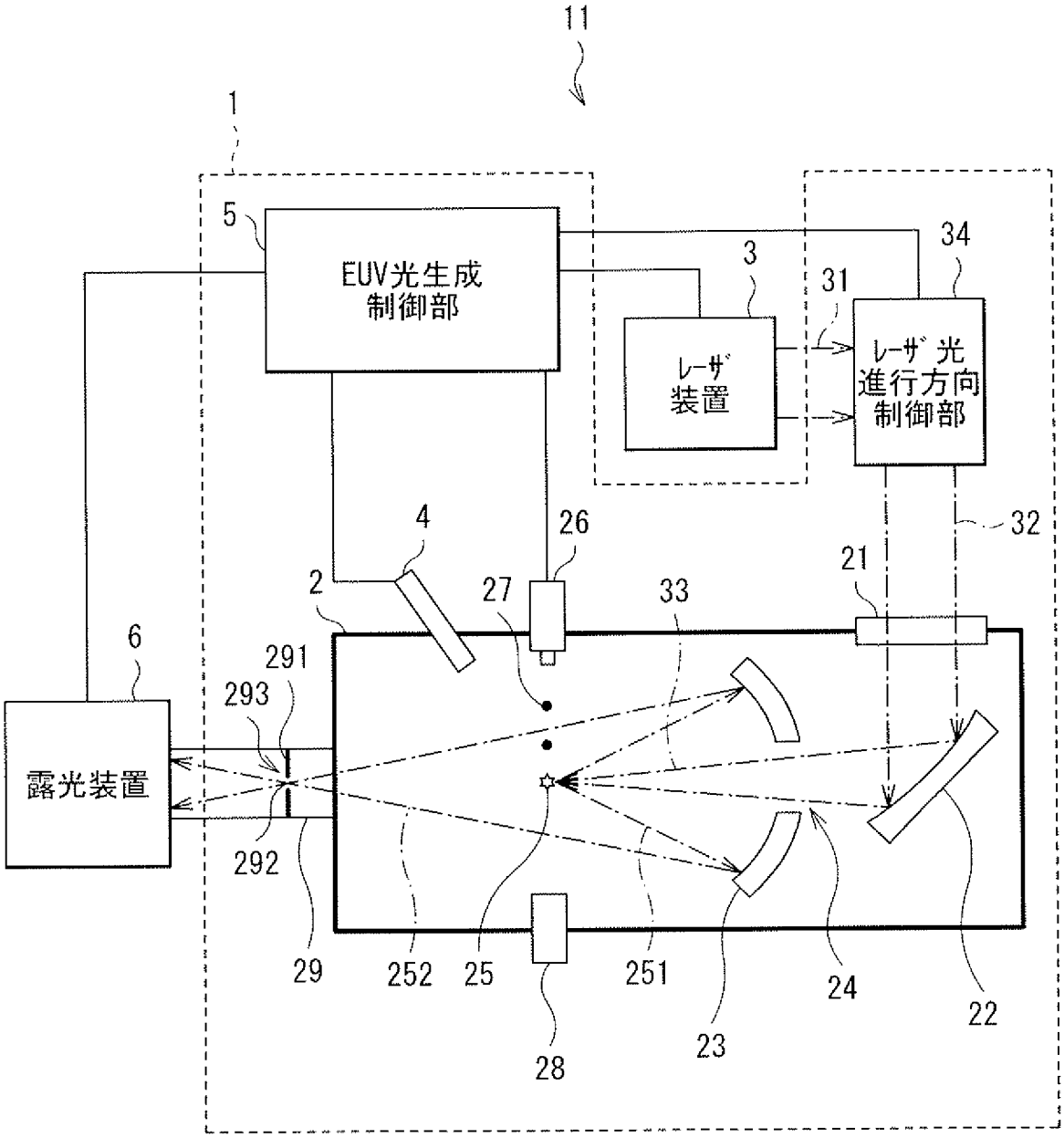
[請求項13] 前記CO_2レーザは、ＣＷ－CO_2レーザである

請求項１２に記載の計測装置。

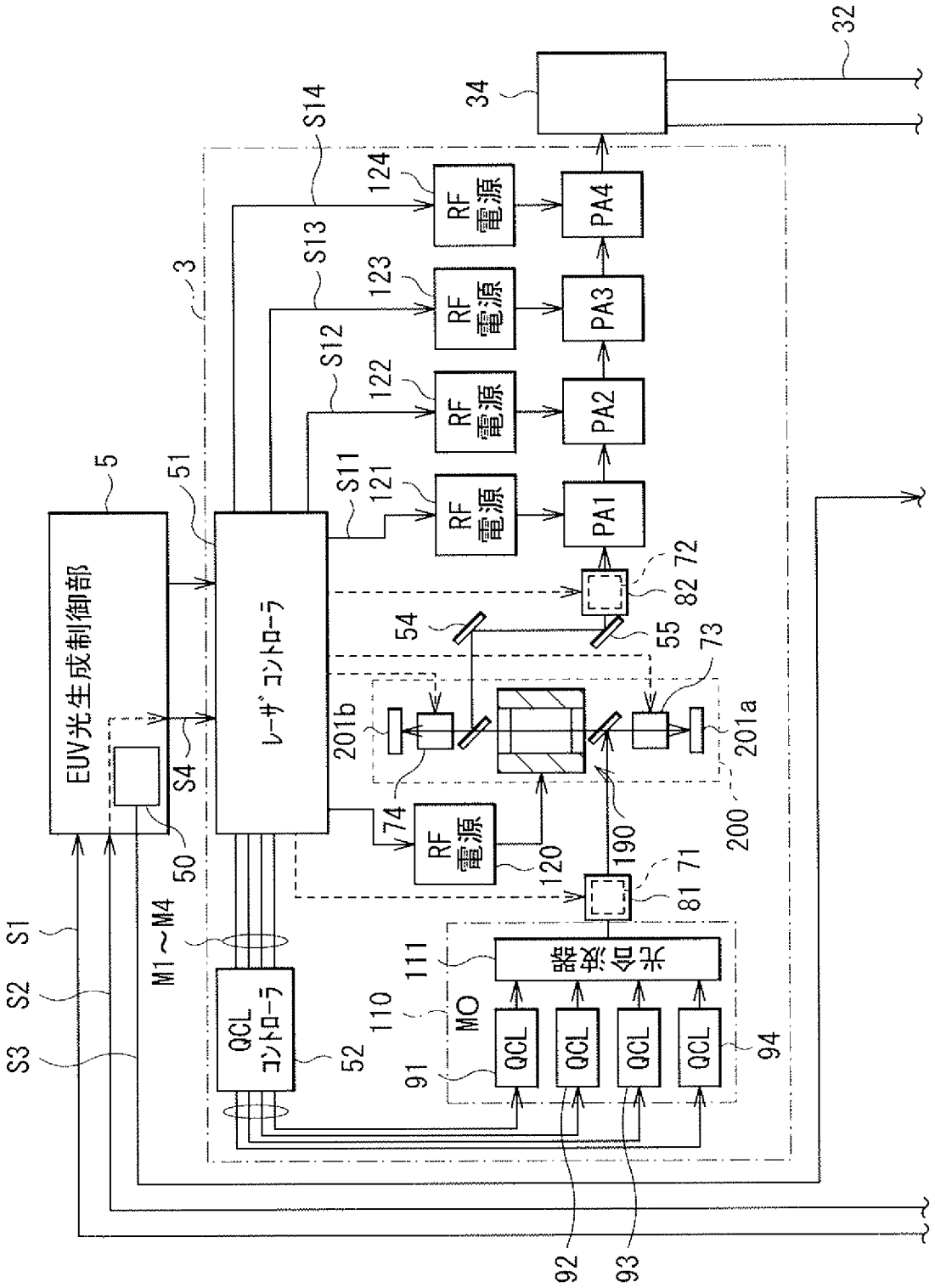
[請求項14] 前記波形計測器は、前記発振開始タイミングから前記合波レーザ光の振幅が最大となるタイミングまでの時間を前記第２の遅延時間として、前記計測コントローラに出力する

請求項１２に記載の計測装置。

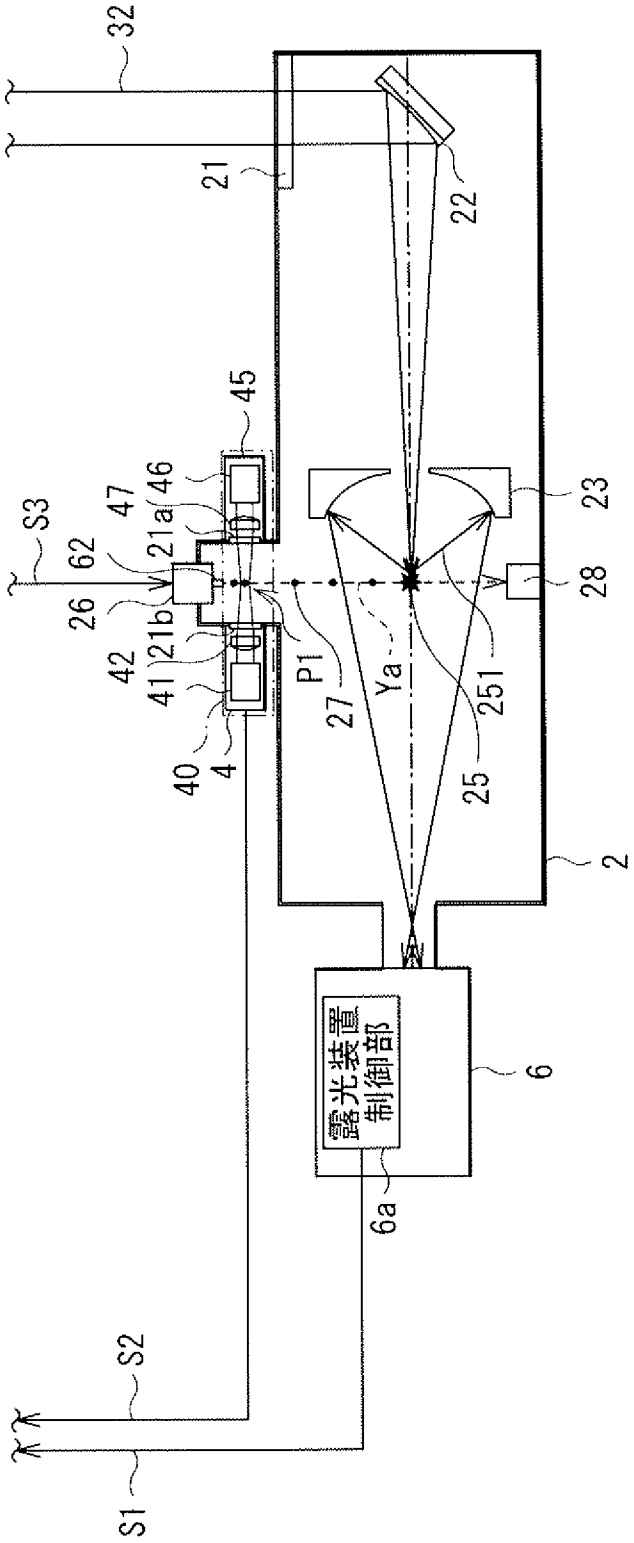
[図1]


11
1
5
EUV光生成
制御部
3
レーザ
装置
34
31
レーザ光
進行方向
制御部
32
4
26
2
27
33
21
6
291
293
露光装置
292
29
252
25
251
24
22
28
23

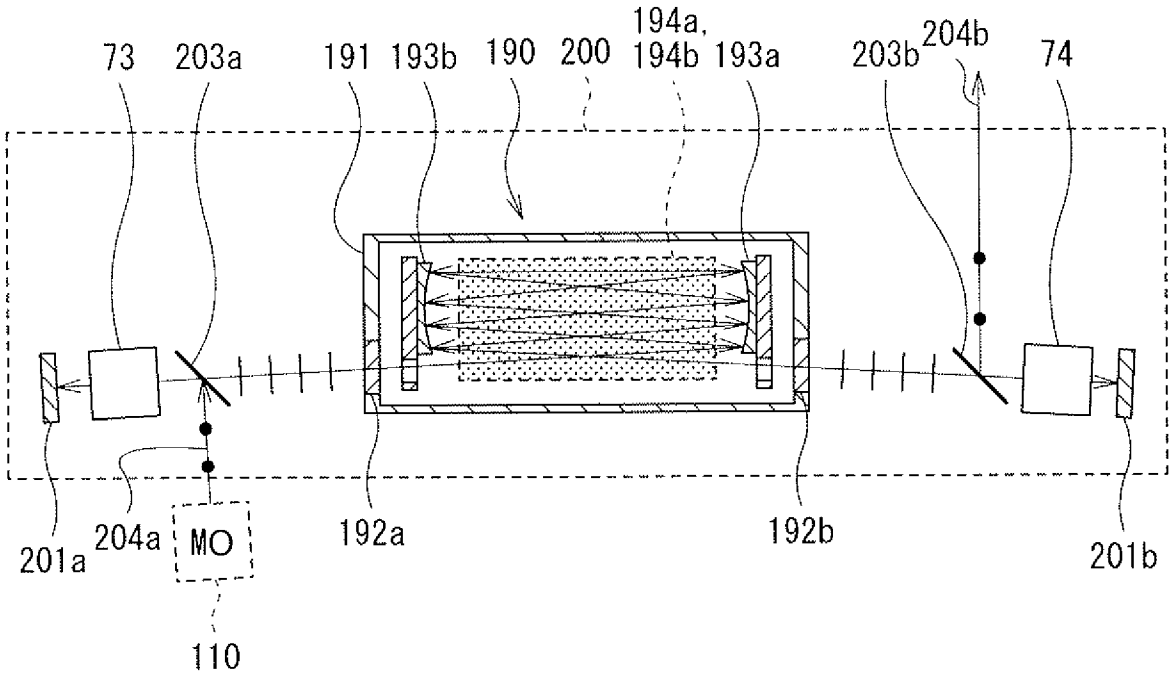
[図2A]


EUV光生成制御部
レーザコントローラ
QCL コントローラ
RF 電源
PA1
PA2
PA3
PA4
MO
QCL
光合波器
S1
S2
S3
S4
S11
S12
S13
S14
M1～M4
3
5
50
51
52
54
55
71
72
73
74
81
82
91
92
93
94
110
111
120
121
122
123
124
190
200
201a
201b
32
34

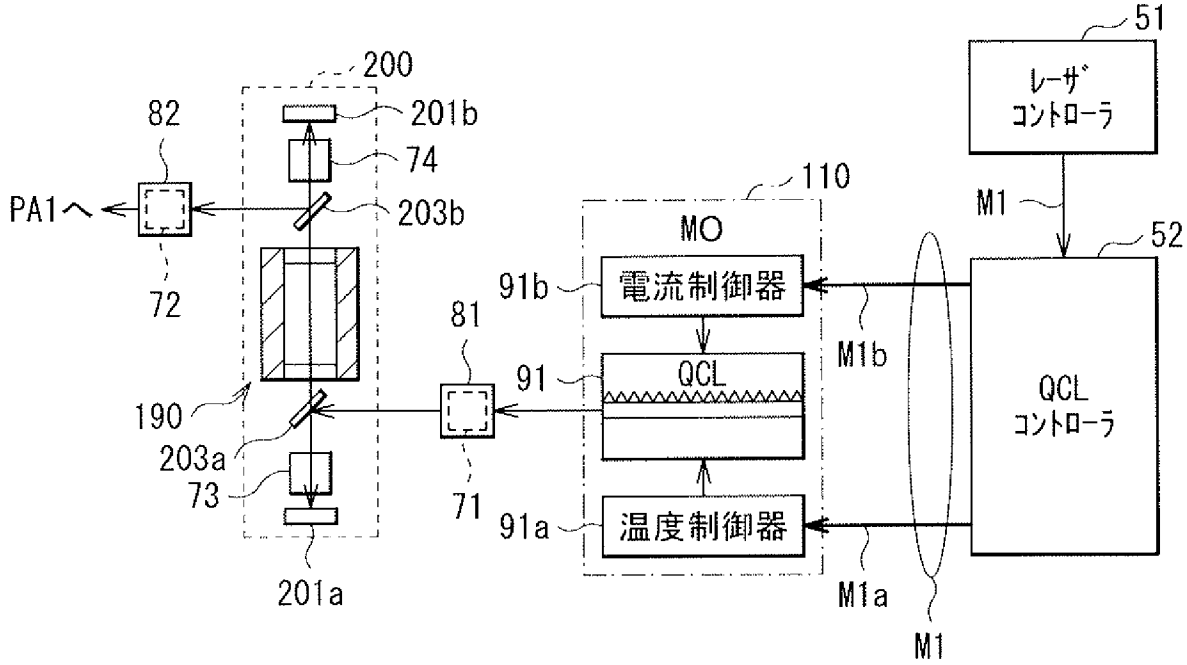
[図2B]


32
21
22
45
46
47
21a
S3
62
26
21b
42
41
40
4
P1
27
Ya
251
25
23
28
2
露光装置制御部
6
6a
S2
S1

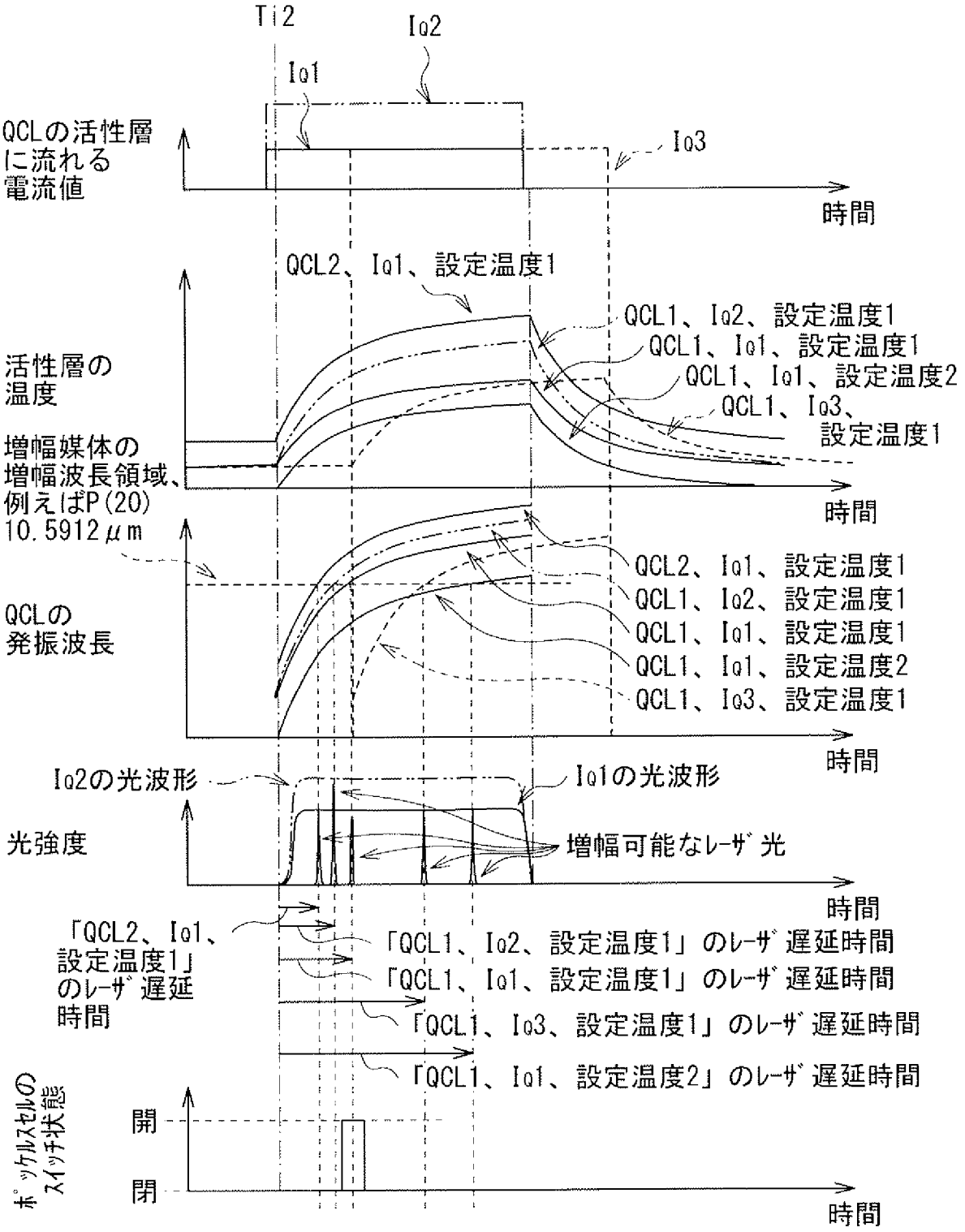
[図3]


73
203a
191
193b
190
200
194a,
194b
193a
203b
204b
74
201a
204a
MO
110
192a
192b
201b

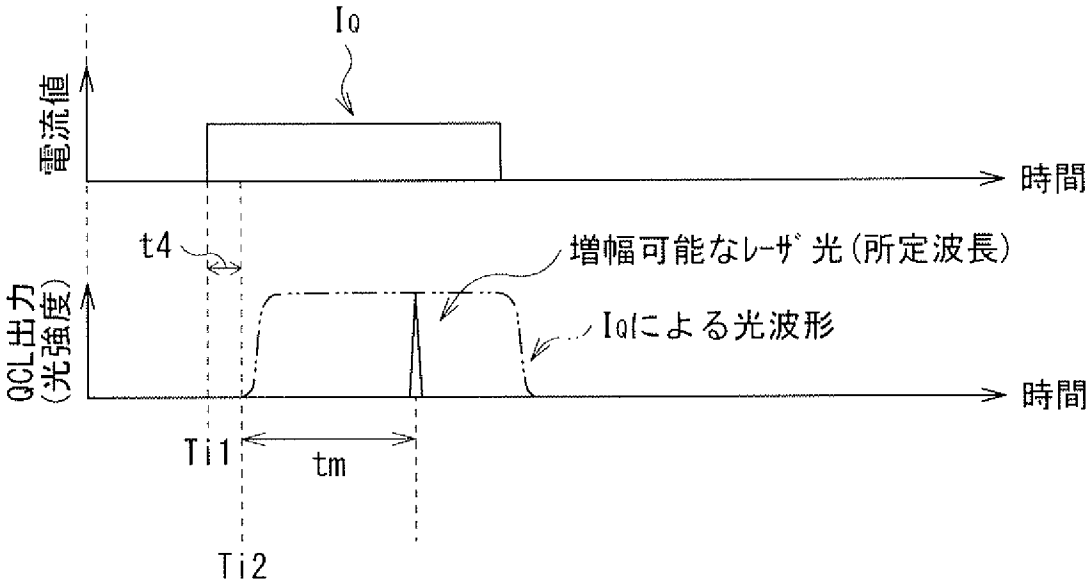
[図4]


51
レーザ
コントローラ
M1
52
200
82
201b
74
PA1へ
203b
72
110
MO
91b
電流制御器
81
91
QCL
M1b
QCL
コントローラ
190
203a
73
71
91a
温度制御器
201a
M1a
M1

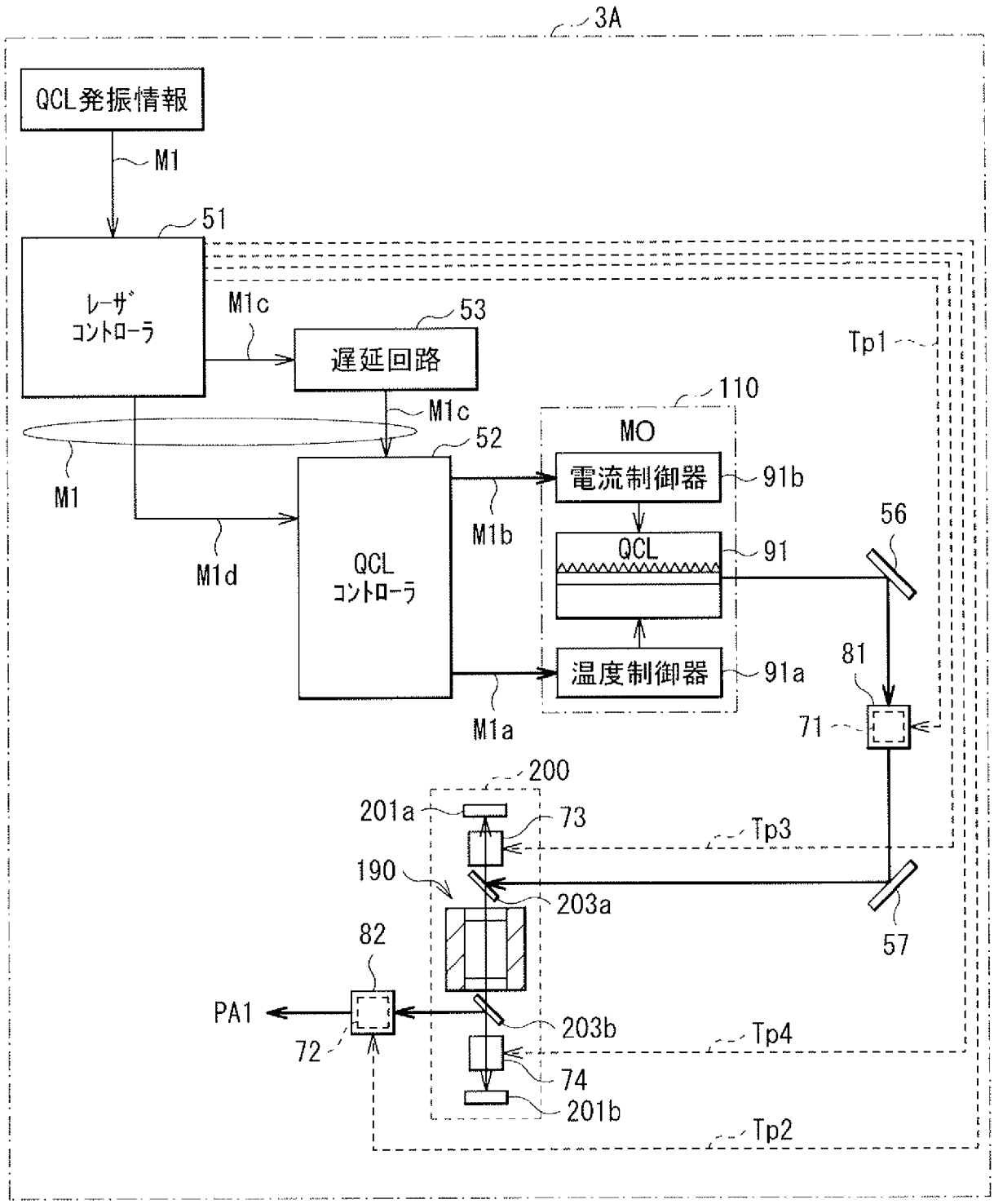
[図5]


Ti2
Iq2
Iq1
Iq3
QCLの活性層に流れる電流値
時間
QCL2、Iq1、設定温度1
QCL1、Iq2、設定温度1
QCL1、Iq1、設定温度1
QCL1、Iq1、設定温度2
QCL1、Iq3、設定温度1
活性層の温度
増幅媒体の増幅波長領域、例えばP(20)10.5912μm
時間
QCL2、Iq1、設定温度1
QCL1、Iq2、設定温度1
QCL1、Iq1、設定温度1
QCL1、Iq1、設定温度2
QCL1、Iq3、設定温度1
QCLの発振波長
時間
Iq2の光波形
Iq1の光波形
増幅可能なレーザ光
光強度
時間
「QCL2、Iq1、設定温度1」のレーザ遅延時間
「QCL1、Iq2、設定温度1」のレーザ遅延時間
「QCL1、Iq1、設定温度1」のレーザ遅延時間
「QCL1、Iq3、設定温度1」のレーザ遅延時間
「QCL1、Iq1、設定温度2」のレーザ遅延時間
「QCL2、Iq1、設定温度1」のレーザ遅延時間
ポッケルスセルのスイッチ状態
開
閉
時間

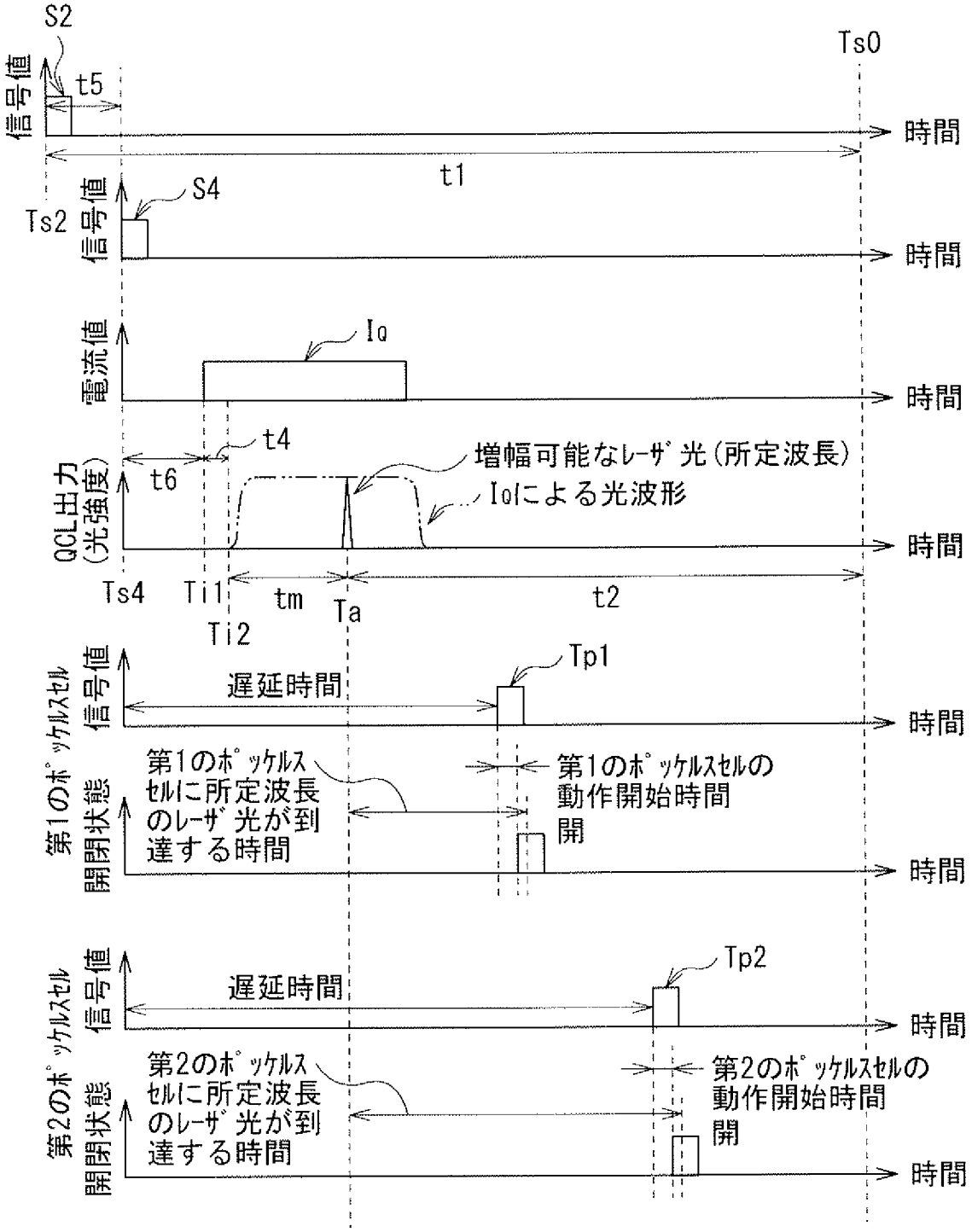
[図6]



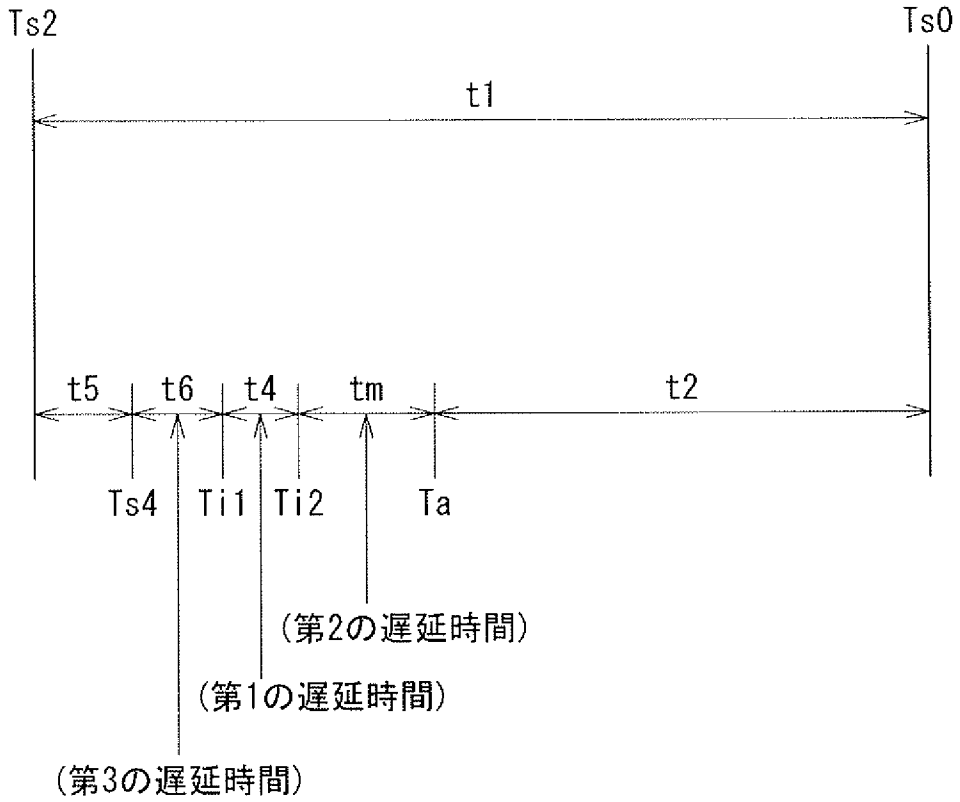
[図7]


3A
QCL発振情報
M1
51
レーザ
コントローラ
M1c
53
遅延回路
Tp1
110
M1c
MO
52
電流制御器
91b
M1
M1b
56
QCL
91
M1d
QCL
コントローラ
温度制御器
91a
81
M1a
71
200
201a
73
Tp3
190
203a
57
82
PA1
203b
Tp4
72
74
201b
Tp2

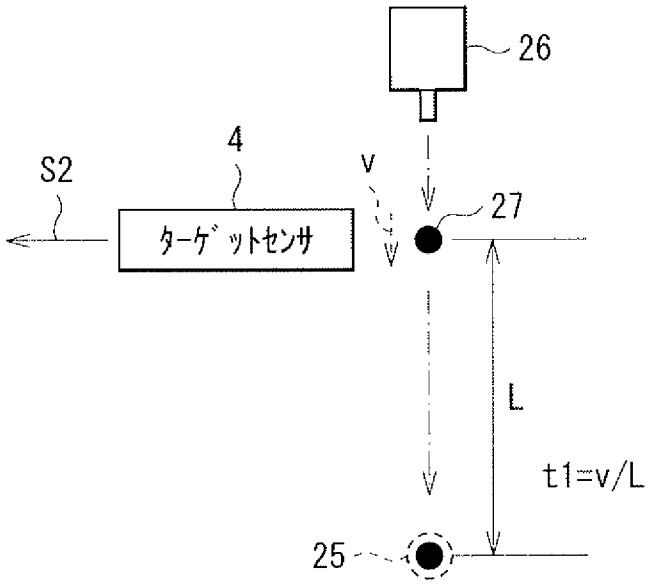
[図8]


S2
信号値
t5
Ts0
時間
t1
S4
Ts2
信号値
時間
電流値
Iq
時間
t4
t6
増幅可能なレーザ光(所定波長)
Iqによる光波形
QCL出力
(光強度)
時間
Ts4
Ti1
Ti2
tm
Ta
t2
第1のポッケルスセル
信号値
遅延時間
Tp1
時間
第1のポッケルス
セルに所定波長
のレーザ光が到
達する時間
第1のポッケルスセルの
動作開始時間
開
開閉状態
時間
第2のポッケルスセル
信号値
遅延時間
Tp2
時間
第2のポッケルス
セルに所定波長
のレーザ光が到
達する時間
第2のポッケルスセルの
動作開始時間
開
開閉状態
時間

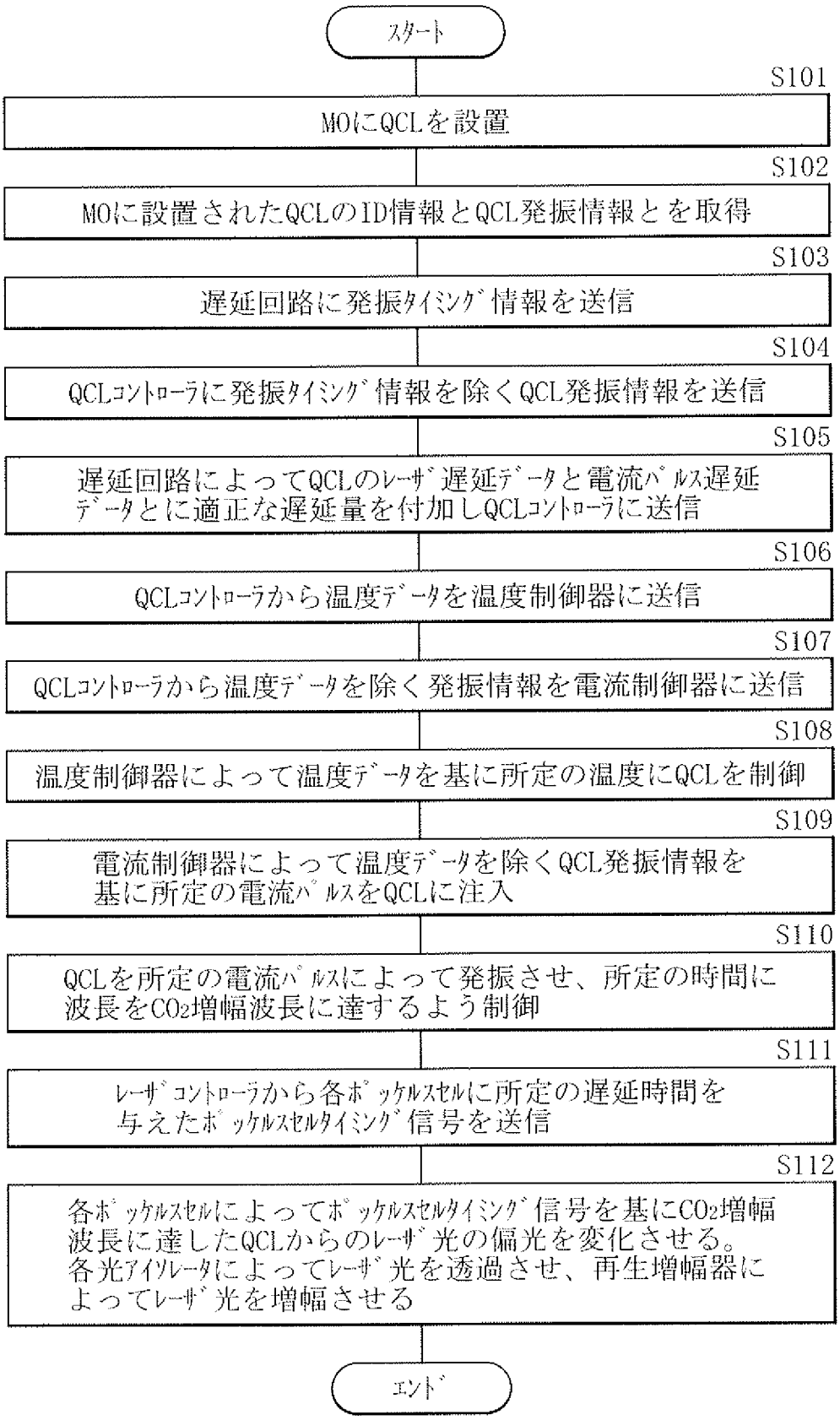
[図9]


Ts2
Ts0
t1
t5
t6
t4
tm
t2
Ts4
Ti1
Ti2
Ta
(第2の遅延時間)
(第1の遅延時間)
(第3の遅延時間)

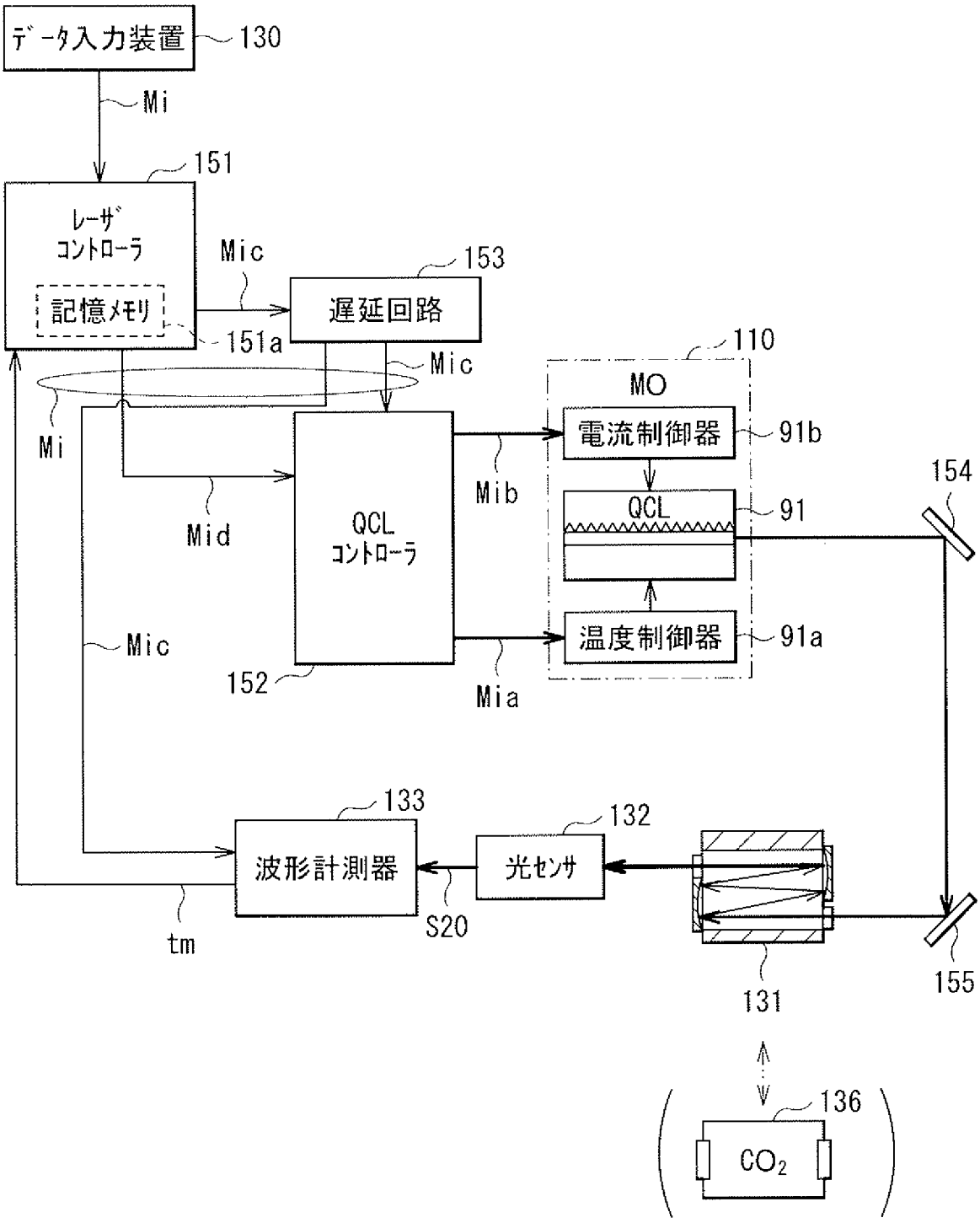
[図10]


26
4
S2
v
27
ターゲットセンサ
L
t1=v/L
25

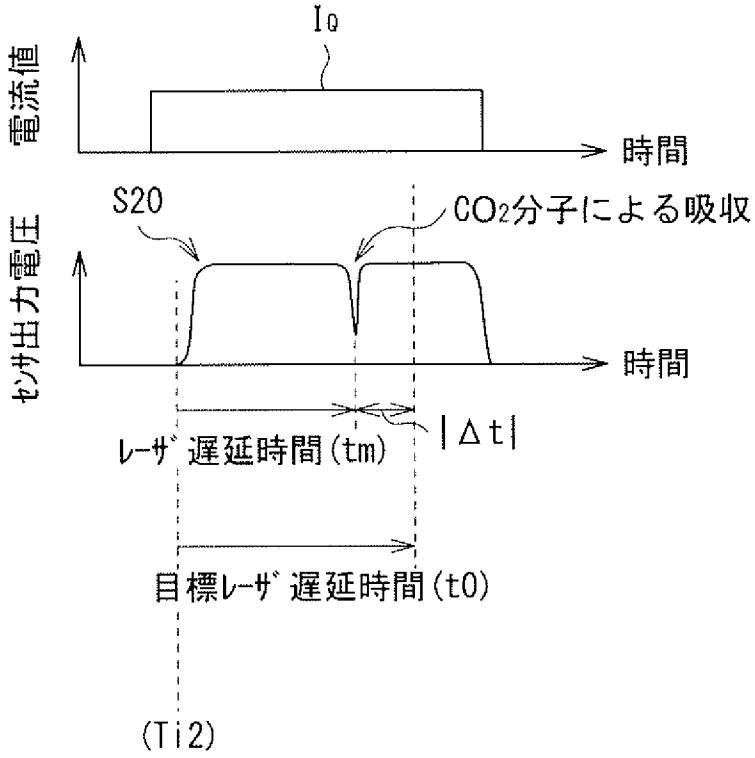
[図11]


スタート
S101
MOにQCLを設置
S102
MOに設置されたQCLのID情報とQCL発振情報とを取得
S103
遅延回路に発振タイミング情報を送信
S104
QCLコントローラに発振タイミング情報を除くQCL発振情報を送信
S105
遅延回路によってQCLのレーザ遅延データと電流パルス遅延データとに適正な遅延量を付加しQCLコントローラに送信
S106
QCLコントローラから温度データを温度制御器に送信
S107
QCLコントローラから温度データを除く発振情報を電流制御器に送信
S108
温度制御器によって温度データを基に所定の温度にQCLを制御
S109
電流制御器によって温度データを除くQCL発振情報を基に所定の電流パルスをQCLに注入
S110
QCLを所定の電流パルスによって発振させ、所定の時間に波長をCO2増幅波長に達するよう制御
S111
レーザコントローラから各ポッケルスセルに所定の遅延時間を与えたポッケルスセルタイミング信号を送信
S112
各ポッケルスセルによってポッケルスセルタイミング信号を基にCO2増幅波長に達したQCLからのレーザ光の偏光を変化させる。各光アイソレータによってレーザ光を透過させ、再生増幅器によってレーザ光を増幅させる
エンド

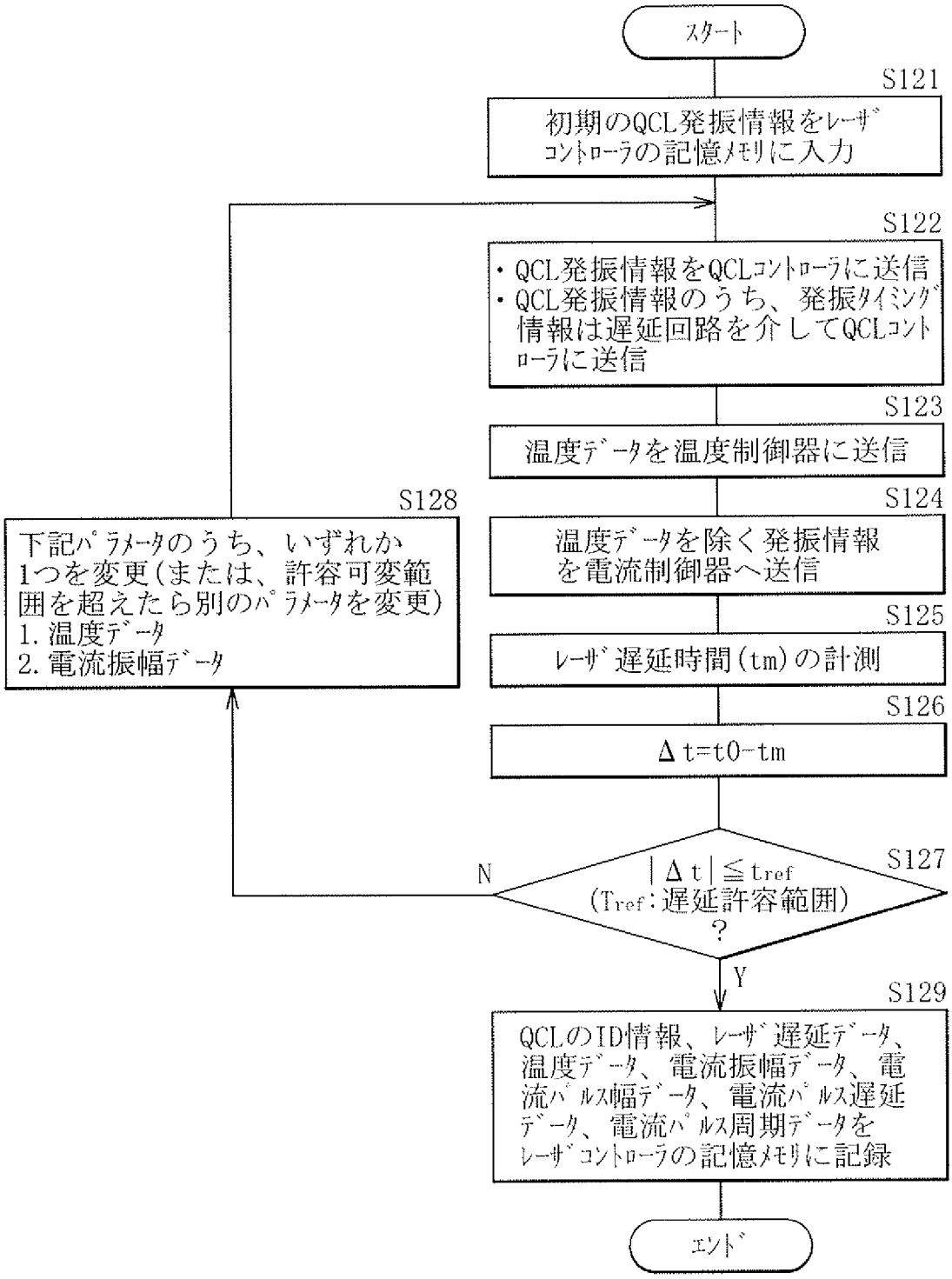
[図12]


データ入力装置
130
Mi
151
レーザ
コントローラ
記憶メモリ
151a
Mic
153
遅延回路
Mic
110
MO
電流制御器
91b
Mi
Mid
Mib
QCL
コントローラ
QCL
91
154
Mic
152
温度制御器
91a
Mia
133
132
波形計測器
光センサ
S20
tm
131
155
136
CO_2

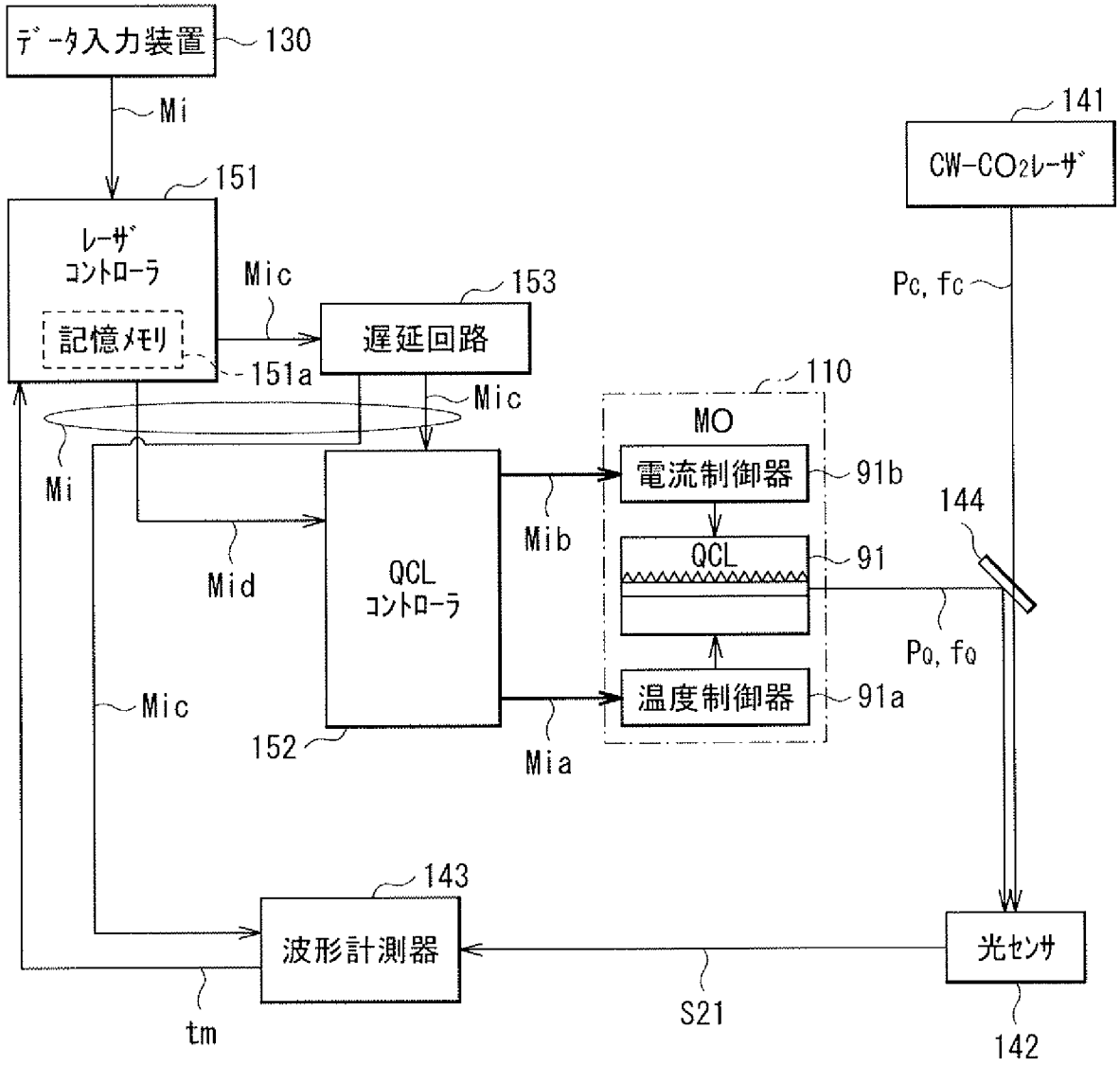
[図13]


Io
電流値
時間
S20
CO2分子による吸収
センサ出力電圧
時間
|Δt|
レーザ遅延時間(tm)
目標レーザ遅延時間(t0)
(Ti2)

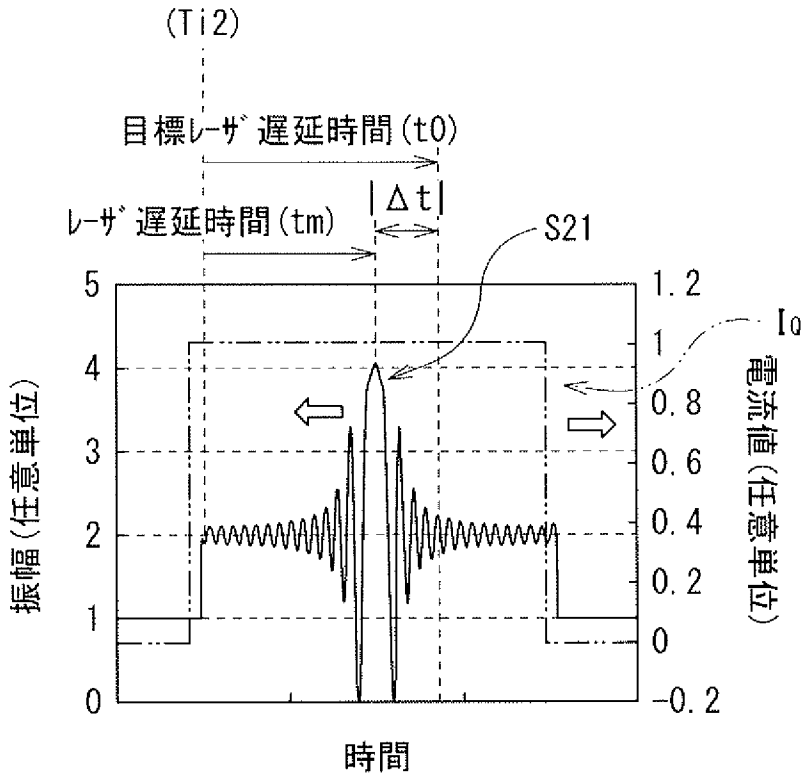
[図14]


スタート
S121
初期のQCL発振情報をレーザ コントローラの記憶メモリに入力
S122
・QCL発振情報をQCLコントローラに送信
・QCL発振情報のうち、発振タイミング情報は遅延回路を介してQCLコントローラに送信
S123
温度データを温度制御器に送信
S124
温度データを除く発振情報を電流制御器へ送信
S125
レーザ遅延時間(tm)の計測
S126
Δt=t0-tm
S127
|Δt|≦tref
(Tref:遅延許容範囲)
?
N
Y
S128
下記パラメータのうち、いずれか1つを変更(または、許容可変範囲を超えたら別のパラメータを変更)
1.温度データ
2.電流振幅データ
S129
QCLのID情報、レーザ遅延データ、温度データ、電流振幅データ、電流パルス幅データ、電流パルス遅延データ、電流パルス周期データをレーザコントローラの記憶メモリに記録
エンド

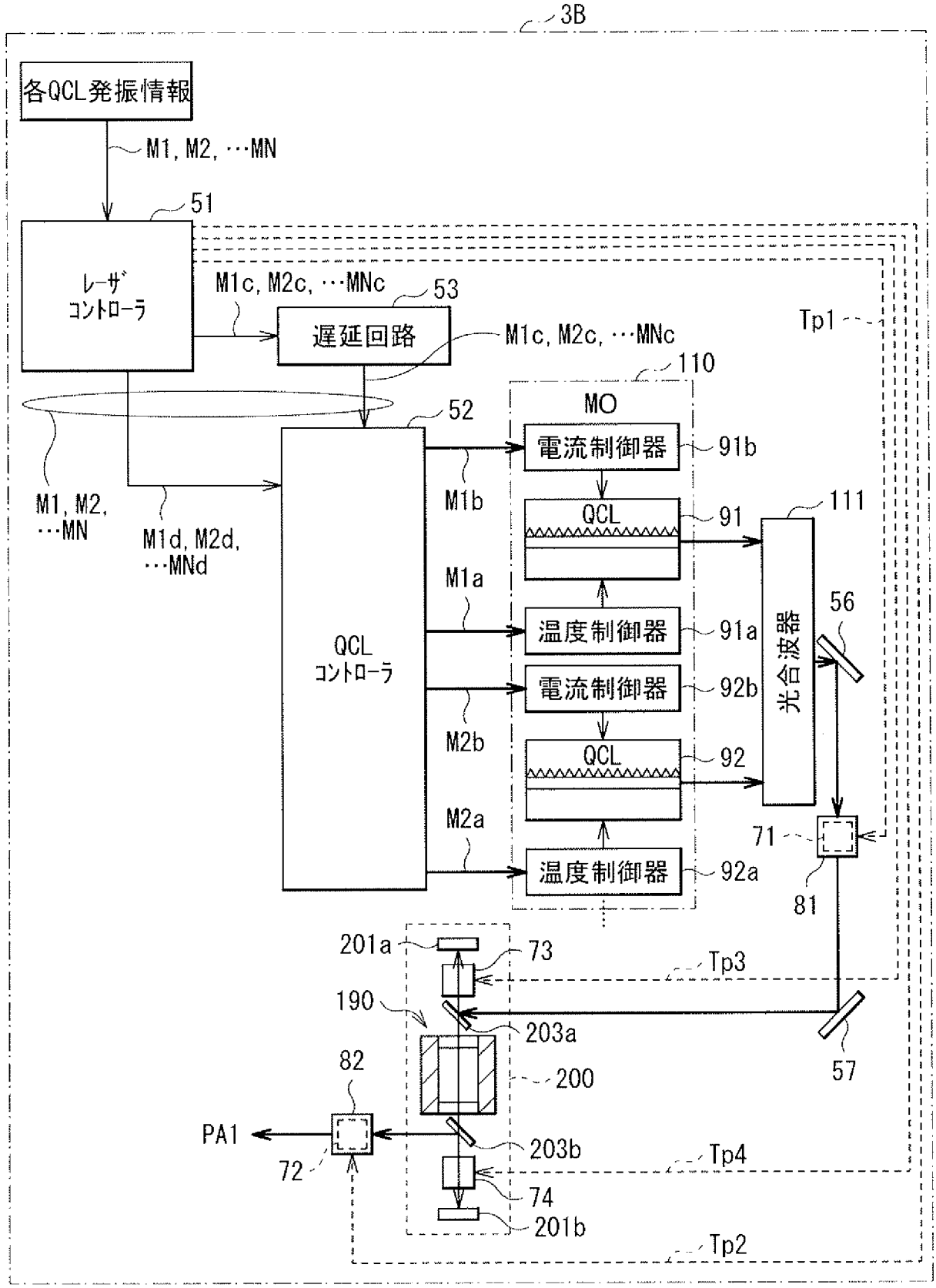
[図15]


データ入力装置
130
Mi
151
レーザ
コントローラ
記憶メモリ
151a
Mic
153
遅延回路
Mic
Mi
Mid
QCL
コントローラ
152
Mib
Mia
Mic
110
MO
電流制御器
91b
QCL
91
温度制御器
91a
141
CW-CO2レーザ
Pc, fc
144
Po, fo
143
波形計測器
tm
S21
光センサ
142

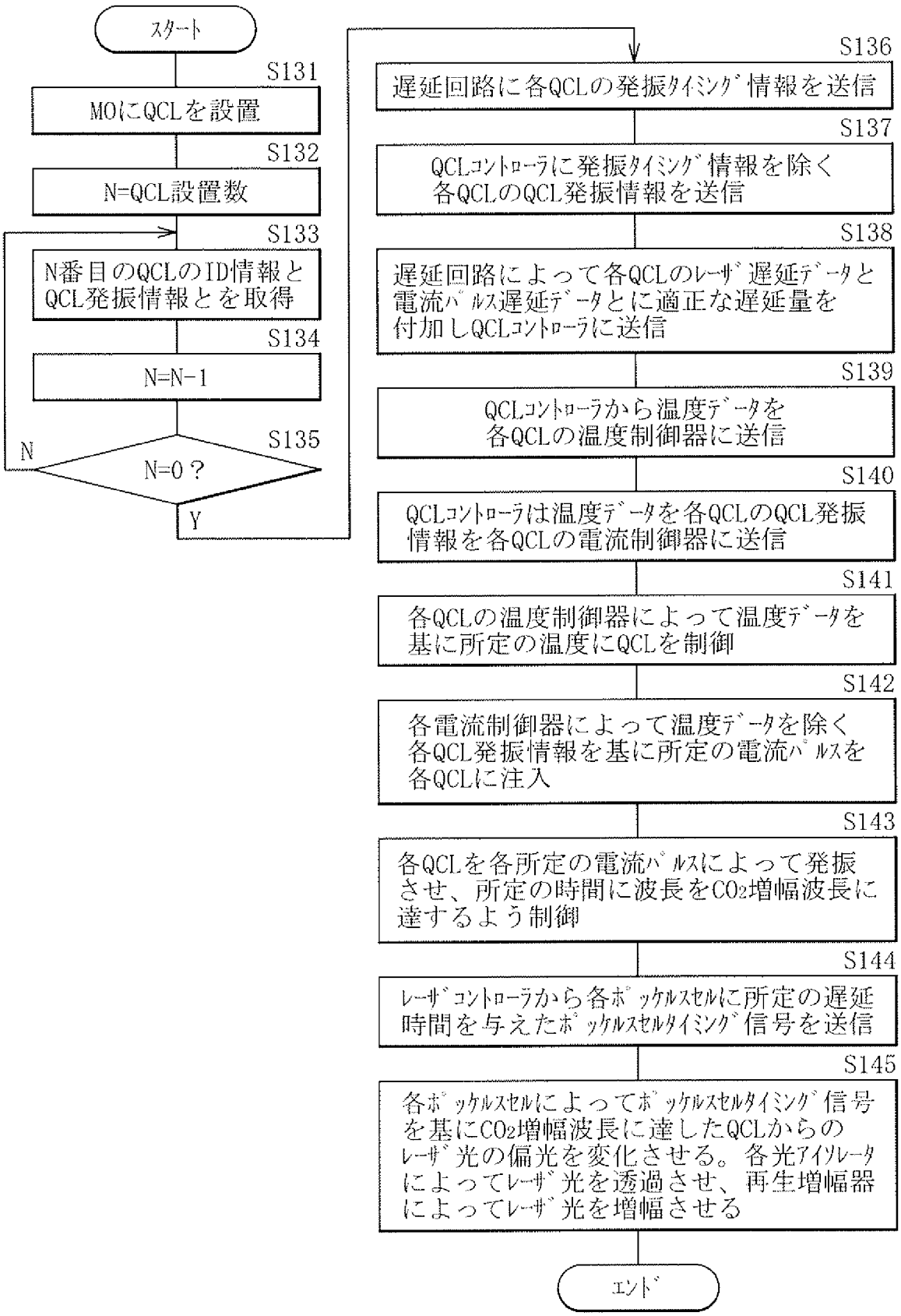
[図16]


(Ti2)
目標ﾚｰｻﾞ遅延時間(t0)
ﾚｰｻﾞ遅延時間(tm)
|Δt|
S21
Io
振幅(任意単位)
電流値(任意単位)
時間
5
4
3
2
1
0
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2

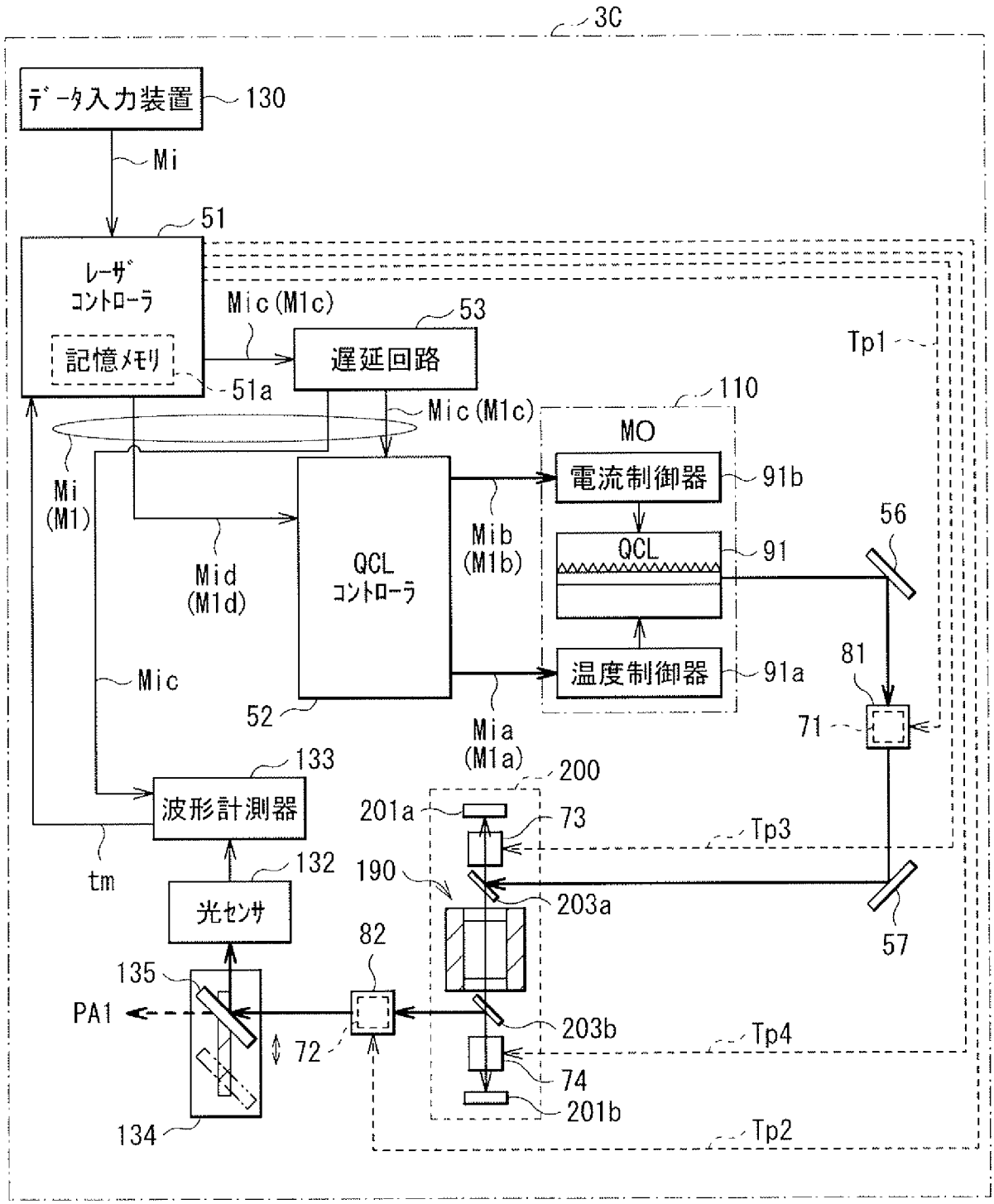
[図17]


3B
各QCL発振情報
M1, M2, ···MN
51
レーザ
コントローラ
M1c, M2c, ···MNc
53
遅延回路
M1c, M2c, ···MNc
Tp1
110
MO
52
電流制御器
91b
M1, M2,
···MN
M1d, M2d,
···MNd
M1b
QCL
91
111
M1a
温度制御器
91a
56
QCL
コントローラ
電流制御器
92b
光合波器
M2b
QCL
92
M2a
71
温度制御器
92a
81
201a
73
Tp3
190
203a
57
82
200
PA1
203b
Tp4
72
74
201b
Tp2

[図18]


スタート
S131
MOにQCLを設置
S132
N=QCL設置数
S133
N番目のQCLのID情報とQCL発振情報とを取得
S134
N=N-1
S135
N=0？
N
Y
S136
遅延回路に各QCLの発振ﾀｲﾐﾝｸﾞ情報を送信
S137
QCLｺﾝﾄﾛｰﾗに発振ﾀｲﾐﾝｸﾞ情報を除く各QCLのQCL発振情報を送信
S138
遅延回路によって各QCLのﾚｰｻﾞ遅延ﾃﾞｰﾀと電流ﾊﾟﾙｽ遅延ﾃﾞｰﾀとに適正な遅延量を付加しQCLｺﾝﾄﾛｰﾗに送信
S139
QCLｺﾝﾄﾛｰﾗから温度ﾃﾞｰﾀを各QCLの温度制御器に送信
S140
QCLｺﾝﾄﾛｰﾗは温度ﾃﾞｰﾀを各QCLのQCL発振情報を各QCLの電流制御器に送信
S141
各QCLの温度制御器によって温度ﾃﾞｰﾀを基に所定の温度にQCLを制御
S142
各電流制御器によって温度ﾃﾞｰﾀを除く各QCL発振情報を基に所定の電流ﾊﾟﾙｽを各QCLに注入
S143
各QCLを各所定の電流ﾊﾟﾙｽによって発振させ、所定の時間に波長をCO2増幅波長に達するよう制御
S144
ﾚｰｻﾞｺﾝﾄﾛｰﾗから各ﾎﾟｯｹﾙｽｾﾙに所定の遅延時間を与えたﾎﾟｯｹﾙｽｾﾙﾀｲﾐﾝｸﾞ信号を送信
S145
各ﾎﾟｯｹﾙｽｾﾙによってﾎﾟｯｹﾙｽｾﾙﾀｲﾐﾝｸﾞ信号を基にCO2増幅波長に達したQCLからのﾚｰｻﾞ光の偏光を変化させる。各光ｱｲｿﾚｰﾀによってﾚｰｻﾞ光を透過させ、再生増幅器によってﾚｰｻﾞ光を増幅させる
ｴﾝﾄﾞ

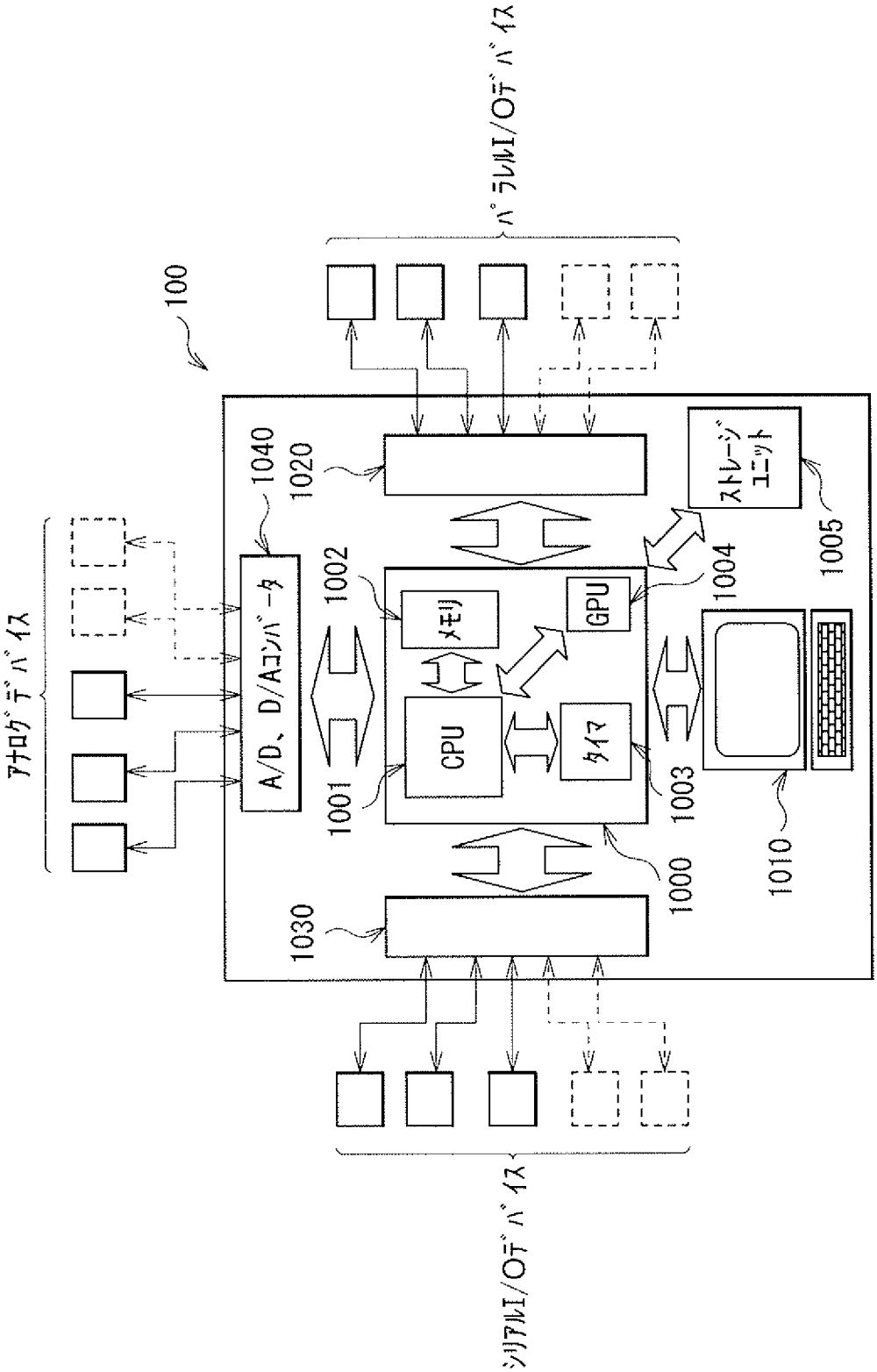
[図19]


3C
データ入力装置
130
Mi
51
レーザ
コントローラ
記憶メモリ
51a
Mic(M1c)
53
遅延回路
Tp1
110
MO
電流制御器
91b
QCL
91
56
温度制御器
91a
81
71
Mi
(M1)
Mid
(M1d)
QCL
コントローラ
Mib
(M1b)
Mic
52
Mia
(M1a)
133
波形計測器
200
201a
73
Tp3
tm
132
光センサ
190
203a
57
82
135
PA1
72
203b
Tp4
74
201b
134
Tp2

[図20]

スタート
S151
マスター発振器にQCLを設置
S152
1軸ステージにより移動ミラーを光路上に設置
S153
第1及び第2のポッケルスセルを開状態に設定
S154
第3及び第4のポッケルスセルをQCLのレーザ出力のタイミングに同期してオン/オフするように設定
S155
図14のフローチャートの処理を実行
S156
各ポッケルスセルを各ポッケルスセルタイミング信号に応じて動作するよう設定
S157
1軸ステージにより移動ミラーを光路上から退避
S158
MOに設置されたQCLのID情報とQCL発振情報とを記憶メモリより取得
S159
遅延回路に発振タイミング情報を送信
S160
QCLコントローラに発振タイミング情報を除く各QCLのQCL発振情報を送信
S161
遅延回路によってQCLのレーザ遅延データと電流パルス遅延データとに適正な遅延量を付加しQCLコントローラに送信
S162
QCLコントローラから温度データを各QCLの温度制御器に送信
S163
QCLコントローラから温度データを除くQCL発振情報を電流制御器に送信
S164
温度制御器によって温度データを基に所定の温度にQCLを制御
S165
電流制御器によって温度データを除くQCL発振情報を基に所定の電流パルスをQCLに注入
S166
QCLを所定の電流パルスによって発振させ、所定の時間に波長がCO_2増幅波長に達するよう制御
S167
レーザコントローラから各ポッケルスセルに所定の遅延時間を与えたポッケルスセルタイミング信号を送信
S168
各ポッケルスセルによってポッケルスセルタイミング信号を基にCO_2増幅波長に達したQCLからのレーザ光の偏光を変化させる。各光アイソレータによってレーザ光を透過させ、再生増幅器によってレーザ光を増幅させる
エンド

[図21]


パラレルI/Oデバイス
100
1040
1020
ストレージユニット
1005
1002
1004
メモリ
GPU
アナログデバイス
A/D、D/Aコンバータ
CPU
タイマ
1001
1003
1010
1000
1030
シリアルI/Oデバイス

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/062584

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/10(2006.01)i, *H01S3/0941*(2006.01)i, *H01S3/23*(2006.01)i, *H01S5/068*(2006.01)i, *H05G2/00*(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, H01S5/00-5/50, H05G2/00

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.
X Y A	JP 2012-182434 A (Gigaphoton Inc.), 20 September 2012 (20.09.2012), paragraphs [0018] to [0212]; fig. 1 to 51 & US 2013/0148674 A1 paragraphs [0077] to [0277]; fig. 1 to 51 & WO 2012/107815 A2	1-2 3-11 12-14
Y A	JP 2012-204820 A (Gigaphoton Inc.), 22 October 2012 (22.10.2012), paragraphs [0015] to [0097]; fig. 1 to 21 & US 2012/0250710 A1 paragraphs [0066] to [0149]; fig. 4 to 21 & US 2014/0341239 A1	3-11 12-14

☒ 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	Date of mailing of the international search report
05 July 2016 (05.07.16)	19 July 2016 (19.07.16)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/062584

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2009-99727 A (Gigaphoton Inc.), 07 May 2009 (07.05.2009), paragraphs [0078] to [0080]; fig. 22 (Family: none)	3-11 12-14
Y A	JP 2010-226096 A (Komatsu Ltd., Gigaphoton Inc.), 07 October 2010 (07.10.2010), paragraphs [0054] to [0080]; fig. 17 to 27 & US 2010/0220756 A1 paragraphs [0102] to [0128]; fig. 17 to 27 & DE 102010002433 A1	3-11 12-14

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０６２５８４

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, H01S3/0941(2006.01)i, H01S3/23(2006.01)i, H01S5/068(2006.01)i, H05G2/00(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, H01S5/00-5/50, H05G2/00

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
X	JP 2012-182434 A (ギガフォトン株式会社)	1-2
Y	2012.09.20, 段落[0018]-[0212],図1-51	3-11
A	& US 2013/0148674 A1 段落[0077]-[0277],FIG.1-51	12-14
	& WO 2012/107815 A2	
Y	JP 2012-204820 A (ギガフォトン株式会社)	3-11
	2012.10.22, 段落[0015]-[0097],図1-21	
A	& US 2012/0250710 A1 段落[0066]-[0149],FIG.4-21	12-14
	& US 2014/0341239 A1	

☑　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	国際調査報告の発送日
０５．０７．２０１６	１９．０７．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｋ　４０８４
百瀬　正之
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 2009-99727 A (ギガフォトン株式会社) 2009.05.07, 段落[0078]-[0080], 図 22	3-11
A	(ファミリーなし)	12-14
Y	JP 2010-226096 A (株式会社小松製作所, ギガフォトン株式会社) 2010.10.07, 段落[0054]-[0080], 図 17-27	3-11
A	& US 2010/0220756 A1 段落[0102]-[0128], FIG. 17-27 & DE 102010002433 A1	12-14