



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： 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

概要

[0005] 本開示によるレーザ装置は、供給電流に応じて、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

に増幅する増幅器と、供給電流の電流遅延時間及び電流波形、並びに量子カスケードレーザの素子温度を含む発振情報に基づいて、所望の時刻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。

[0006] 本開示による他のレーザ装置は、供給電流に応じて、レーザ光を出力する量子カスケードレーザと、所定の基準時刻から、レーザ光の波長が所定波長と等しくなる時刻までのレーザ遅延時間を計測する計測器と、供給電流の電流遅延時間及び電流波形、並びに量子カスケードレーザの素子温度を含む発振情報に基づいて、量子カスケードレーザの発振を制御すると共に、発振情報を変化させることによりレーザ遅延時間を変化させ、レーザ遅延時間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と、特定発振情報に基づいて、所望の時刻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、レーザ光を出力する量子カスケードレーザと、所定の基準時刻から、レーザ光の波長が所定波長と等しくなる時刻までのレーザ遅延時間を計測する計測器と、供給電流の電流遅延時間及び電流波形、並びに量子カスケードレーザの素子温度を含む発振情報に基づいて、量子カスケードレーザの発振を制御すると共に、発振情報を変化させることによりレーザ遅延時間を変化させ、レーザ遅延時間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L P P式のE U V光生成システムの一構成例を概略的に示す。

[図2A]図2 Aは、Q C Lを含むレーザ装置を備えたE U V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、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7]図7は、図6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8]図8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9]図9は、図8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10]図10は、図8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11]図11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12]図12は、図11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13]図13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14]図14は、図13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15]図15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16]図16は、図15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17]図 1 7 は、制御部のハードウェア環境の一例を示す。

実施形態

[0009] <内容>

[1 . 概要]

[2 . E U V 光生成装置の全体説明] (図 1)

2 . 1 構成

2 . 2 動作

[3 . Q C L を含むレーザ装置の説明]

3 . 1 Q C L を含むレーザ装置の全体説明

3 . 1 . 1 構成 (図 2 A 、 図 2 B)

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 Q C L を含むレーザ装置の課題 (図 4 、 図 5)

3 . 3 . 1 Q C L 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 6 、 図 7)

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 8 ～ 図 1 0)

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 1 1 、 図 1 2)

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13、図14)

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15、図16)

6. 1 構成

6. 2 動作

6. 3 作用

[7. 制御部のハードウェア環境] (図17)

[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(1F)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としてウィンドウ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を通過して、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、供給電流に応じて、CO₂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、CO₂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 P A 1 ~ P A 4 は、再生増幅器 2 0 0 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 P A 1 ~ P A 4 は、C O₂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 2 A では 4 台の増幅器 P A 1 ~ P A 4 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 5 1 は、Q C L コントローラ 5 2 と、第 1 ないし第 4 のポッケルスセル 7 1 ~ 7 4 の図示しない各電源と、R F 電源 1 2 0 と、R F 電源 1 2 1 ~ 1 2 4 とに接続されてもよい。また、レーザコントローラ 5 1 は E U V 光生成制御部 5 に接続されてもよい。
- [0031] 図 2 B に示したように、チャンバ 2 には、ターゲット供給部 2 6 と、ターゲット検出装置 4 0 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 2 7 の軌道上には、ターゲット 2 7 の通過タイミングを計測するターゲット検出装置 4 0 が配置されていてもよい。ターゲット検出装置 4 0 は、ターゲットセンサ 4 と、光源部 4 5 とを含んでもよい。光源部 4 5 は、光源 4 6 と、照明光学系 4 7 とを含んでもよい。ターゲット供給部 2 6 のノズル 6 2 とプラズマ生成領域 2 5 との間の軌道 Y a 上の所定位置 P 1 のターゲット 2 7 を照明するように、光源部 4 5 を配置してもよい。ターゲットセンサ 4 は、光センサ 4 1 と、受光光学系 4 2 とを含んでもよい。ターゲットセンサ 4 は、光源部 4 5 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 4 5 とは、ターゲット 2 7 の軌道 Y a を挟んで互いに反対側に配置されていてもよい。チャンバ 2 にはウインドウ 2 1 a 及びウインドウ 2 1 b が取り付けられていてもよい。ウインドウ 2 1 a は、光源部 4 5 とターゲット 2 7 の軌道 Y a との間に位置されていてもよい。光源部 4 5 は、ウインドウ 2 1 a を介してターゲット 2 7 の軌道 Y a の所定位置 P 1 に光を集光してもよい。ウインドウ 2 1 b は、ターゲット 2 7 の軌道 Y a 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 2 7 の検出位置は、光源部 4 5 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CO₂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ー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ー光を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ー光を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もよい。

[0039] QCL発振情報M1～M4は、QCL91～QCL94への供給電流の電流遅延時間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もよい。例えば、QCL発振情報M1～M4は、QCL91～QCL94の各々に対応するレーザー遅延時間、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、及び電流パルス周期データを含んでもよい。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ー光の光路を略一致させて各々のレーザー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ー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、レーザー出力指令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を透過したレーザー光は再生増幅器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においてレーザー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ー出力指令S4に基づいて決定されてもよい。

[0043] レーザコントローラ 5 1 は、第 2 の光アイソレータ 8 2 の第 2 のポッケルスセル 7 2 を駆動して、再生増幅器 2 0 0 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 7 2 の駆動タイミングはレーザ出力指令 S 4 に基づいて決定されてもよい。第 2 の光アイソレータ 8 2 を透過したレーザ光は増幅器 P A 1 に入力されてもよい。

[0044] レーザコントローラ 5 1 は、R F 電流指令信号 S 1 1 ~ S 1 4 を R F 電源 1 2 1 ~ 1 2 4 に送信してもよい。各 R F 電源 1 2 1 ~ 1 2 4 は、各増幅器 P A 1 ~ P A 4 に R F 電流指令信号 S 1 1 ~ S 1 4 に基づいた放電電流を供給してもよい。R F 電流指令信号 S 1 1 ~ S 1 4 は、レーザ出力指令 S 4 に基づいたものであってもよい。例えば、R F 電流指令信号 S 1 1 ~ S 1 4 はレーザ出力指令 S 4 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ーモニタから得られるレーザ装置 3 の出力エネルギー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 S 4 に増幅器 P A 1 ~ P A 4 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 P A 1 ~ P A 4 は第 2 の光アイソレータ 8 2 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 3 4 を介してパルスレーザ光 3 2 としてウインドウ 2 1 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 2 7 に照射され得る。これにより、E U V 光 2 5 1 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 2 0 0 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 2 0 0 は、増幅器 1 9 0 と、第 1 及び第 2 の共振器ミラー 2 0

1 a, 201 b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203 a, 203 bとを含んでもよい。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2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193 a, 193 bと、第1及び第2のウィンドウ192 a, 192 bと、一对の電極194 a, 194 bとを含んでもよい。一对の電極194 a, 194 bは、図2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193 a, 193 bは、第1のウィンドウ192 aと第2のウィンドウ192 b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193 a, 193 bは、平面ミラーであってもよい。第1及び第2のウィンドウ192 a, 192 b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CO₂レーザガスを収容してもよい。一对の電極194 a, 194 b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。一对の電極194 a, 194 bと図2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201 aと第2の共振器ミラー201 bとが、共振器を形成していてもよい。第1の共振器ミラー201 aと第2の共振器ミラー201 b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 203 a, 203 b 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 204 a 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 203 a 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 203 a 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 201 a 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 203 a を透過し、第 1 のウインドウ 192 a 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 193 a と第 2 の凹面ミラー 193 b 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 192 b から出力され得る。

[0054] 第 2 のウインドウ 192 b から出力されたレーザ光は、第 2 の偏光子 203 b 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 201 b 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 203 b を高通過し得る。その後、レーザ光は、第 2 のウインドウ 192 b 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 193 a と第 2 の凹面ミラー 193 b 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のウィンドウ192aから出力され得る。第1のウィンドウ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は、QCL91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。

[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2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。

QCL 91の発振によって出力されるレーザ光のうちCO₂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] QCL 91の発振波長は、QCL 91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。QCL 91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、QCL 91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、QCL 91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QCL 91を冷却あるいは加熱することによってQCL 91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、QCL 91へ電流パルス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] QCL 91に電流が流れ始める電流パルスの立ち上り時とその初期においては、QCL 91内の電気抵抗や、QCL 91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、QCL 91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变化し得る。この現象は波長チャープングと呼ばれ得る。

[0063] QCL 91が波長チャープングを起こす一方、再生増幅器200や増幅器PA1等の後段の増幅器はCO₂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QCL 91から出

力されたレーザ光だけが増幅され得る。従って、所定の基準時刻から、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が発生し得る。

[0064] レーザ遅延時間は QCL91 の個体特性や、QCL91 の負荷状態、及び電流パルスの立ち上り時刻等によって変動し得る。

[0065] 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。

[0066] 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_{q1} , I_{q2} と比較して遅れたタイミングで供給される電流パルスの例を示していてもよい。

[0067] 図5は、上記3種類の電流パルス I_{q1} , I_{q2} , I_{q3} 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。

[0068] 例えば電流振幅が小さい電流パルス I_{q1} と電流振幅が大きい電流パルス I_{q2} とを比較する。例えば図5の「QCL1、 I_{q1} 、設定温度1」の条件と、「QCL1、 I_{q2} 、設定温度1」の条件とを比較する。電流振幅が大きい場合、電氣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。

[0069] これに伴って、QCL 91からのレーザ光は大きく波長チャープングし、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、「QCL 1、 I_01 、設定温度1」のレーザ遅延時間と「QCL 1、 I_02 、設定温度1」のレーザ遅延時間とを比較すると、「QCL 1、 I_02 、設定温度1」のレーザ遅延時間の方が短い時間となり得る。

[0070] また、例えば電流パルス I_03 のように電流が遅れてQCL 91へ供給された場合は、例えば電流パルス I_01 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、「QCL 1、 I_01 、設定温度1」の場合に比べて、「QCL 1、 I_03 、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「QCL 1、 I_03 、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。

[0071] また、例えばQCL 91の個体異なる場合は、同じ電流波形であって、かつ温度制御器91aでQCL 91の環境温度を同じに設定しても、QCL 91の活性層の温度は個体によって異なるため、波長チャープング特性が異なり得る。結果として別個体のQCL 91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、「QCL 1、 I_01 、設定温度1」の場合のレーザ遅延時間と、「QCL 2、 I_01 、設定温度1」の場合のレーザ遅延時間とは異なり得る。

[0072] (3. 3. 2 課題)

上述のようにEUV光生成装置1では、ターゲット27のプラズマ生成領域25への到達時刻と、QCL 91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、QCL 91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。

[0073] このため、QCL 91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、QCL 91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。

[0074] [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。

[0075] (4. 1 レーザ装置)

(4. 1. 1 構成)

図6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。

[0076] レーザコントローラ51は、QCL発振情報M1に基づいて、所望の時刻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QCL 91の発振を制御してもよい。所望の時刻は、光シャッタの動作タイミングに基づいて決定された時刻であってもよい。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、所望の時刻は、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時刻であってもよい。

[0077] その他の構成は、図2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。

[0078] (4. 1. 2 動作)

図7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。

[0079] 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。

[0080] 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。

[0081] 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。

[0082] 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）。

[0083] 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をQCL91に注入してもよい（ステップS109）。

[0084] 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によって発振させ、所定の時間に波長がCO₂増幅波長に達するように制御してもよい（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）。

[0085] 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CO₂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。

[0086] これにより、QCL91が出力するレーザ光の波長のうちのCO₂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。

[0087] 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CO₂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。

[0088] (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、所望の時刻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 QCL 91 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、QCL 91 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。

[0089] (4. 2 計測装置の第 1 の例)

(4. 2. 1 構成)

図 8 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 8 に示す計測装置は、図 6 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 QCL 91 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。

[0090] 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 6 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 を含んでもよい。

[0091] また、計測装置は、データ入力装置 130 と、CO₂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。

[0092] CO₂増幅器 131 は、CO₂ガスを含むチャンバを含んでもよい。CO₂増幅器 131 は、CO₂ガスセルであってもよい。CO₂増幅器 131 は、QC

L 9 1 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 1 5 4 と反射ミラー 1 5 5 は、Q C L 9 1 から出力されたレーザ光を C O₂増幅器 1 3 1 に導くように、レーザ光の光路上に配置されてもよい。

[0093] 光センサ 1 3 2 は、C O₂増幅器 1 3 1 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 1 3 2 は、Q C L 9 1 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 1 3 2 は、例えば V i g o S y s t e m 社製 P E M - 1 0 . 6 を用いてもよい。

[0094] 光センサ 1 3 2 は、波形計測器 1 3 3 に接続されてもよい。波形計測器 1 3 3 は例えばオシロスコープを用いてもよい。遅延回路 1 5 3 は波形計測器 1 3 3 に接続されてもよい。

[0095] C O₂増幅器 1 3 1 と光センサ 1 3 2 と波形計測器 1 3 3 は、Q C L 9 1 から出力されたレーザ光の波長が、所定の基準時刻から、所定波長と等しくなる時刻までのレーザ遅延時間 t_m を計測する計測器であってもよい。レーザコントローラ 1 5 1 は、計測用の初期の Q C L 発振情報 M_i に基づいて、Q C L 9 1 の発振を制御すると共に、Q C L 発振情報 M_i を変化させることによりレーザ遅延時間 t_m を変化させ、レーザ遅延時間 t_m 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。

[0096] (4. 2. 2 動作)

図 9 は、図 8 に示した計測装置における Q C L 9 1 の電流パルス I_q の波形と光センサ 1 3 2 のセンサ出力電圧の波形との一例を示している。図 9 において横軸は、時間であってもよい。図 1 0 は、図 8 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。

[0097] まず、データ入力装置 1 3 0 から、計測用の初期の Q C L 発振情報 M_i をレーザコントローラ 1 5 1 の記憶メモリ 1 5 1 a に入力してもよい（ステップ S 1 2 1）。また、データ入力装置 1 3 0 から Q C L 9 1 の I D 情報を記憶メモリ 1 5 1 a に入力してもよい。初期の Q C L 発振情報 M_i 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 $M_{i a}$ 、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。

[0098] 次に、レーザコントローラ 151 は、初期の QCL 発振情報 M_i 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 M_i のうち、初期の発振タイミング情報 M_{ic} 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 M_{ic} は遅延回路 153 を介して波形計測器 133 にも送信してもよい。初期の発振タイミング情報 M_{ic} 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 M_i を基に、QCL コントローラ 152 に初期の発振タイミング情報 M_{ic} を除く QCL 発振情報 M_{id} を送信してもよい

[0099] 次に、QCL 発振情報 M_{id} に含まれる温度制御情報を基に、初期の温度データ M_{ia} 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 M_{ia} を基に QCL 91 を所定の温度に保ってもよい。

[0100] 次に、QCL コントローラ 152 から初期の温度データ M_{ia} を除く初期の QCL 発振情報 M_{ib} を電流制御器 91b に送信してもよい（ステップ S124）。

[0101] 次に、波形計測器 133 によって、レーザ遅延時間 t_m 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 t_m の計測は、以下のように行われ得る。QCL 91 は、QCL 発振情報 M_{ib} 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。QCL 91 からのレーザ光は、CO₂ ガスセル又は CO₂ 増幅器 131 に入射し得る。光センサ 132 は、QCL 91 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 S2 を波形計測器 133 に出力し得る。ここで、CO₂ ガスセル又は励起していない CO₂ 増幅器 131 は、QCL 91 からのレーザ

光がCO₂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9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M_{ic}と、センサ出力信号S₂とから、図9に示したように、CO₂分子による吸収のタイミングであるレーザ遅延時間 t_m を計測し得る。

[0102] 波形計測器133は、レーザ遅延時間 t_m 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、 $\Delta t = t_0 - t_m$ を計算し、レーザ遅延時間 t_m と目標レーザ遅延時間(t_0)との差である Δt を求めてもよい(ステップS126)。

[0103] 次に、レーザコントローラ151は、 $|\Delta t| \leq t_{ref}$ (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)。 $|\Delta t| \leq t_{ref}$ 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M_iに含まれる複数のパラメータのうち、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、あるパラメータが変更可能な範囲を超えたら、別のパラメータを変更してもよい。複数のパラメータには、電流パルス遅延データと、温度データM_{ia}と、電流振幅データとが含まれていてもよい。

[0104] 一方、 $|\Delta t| \leq t_{ref}$ 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M_{1a}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。

[0105] (4. 2. 3 作用)

この計測装置によれば、QCL 91からのレーザ光がCO₂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 t_mが計測され得る。また、QCL 発振情報 M_i を変化させることによりレーザ遅延時間 t_mを変化させ、レーザ遅延時間 t_m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。

[0106] (4. 3 計測装置の第2の例)

(4. 3. 1 構成)

図11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11に示す計測装置は、図8の計測装置と同様に、図6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QCL 91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。

[0107] この計測装置は、CW-CO₂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。

[0108] 光合波器144は、QCL 91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QCL 91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。

[0109] CW-CO₂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-CO₂レーザ141から出力された計測用のレーザ光とQCL 91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-CO₂レーザ141から出力された計測用のレーザ光とQCL 91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。

[0110] 光センサ142は、CW-CO₂レーザ141から出力された計測用のレーザ光とQCL 91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 S_{21} 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 S_{21} の波形を計測するものであってもよい。

[0111] CW-CO₂レーザ 141 と、光センサ 142 と、波形計測器 143 と、光合波器 144 は、QCL 91 から出力されたレーザ光の波長が、所定の基準時刻から、所定波長と等しくなる時刻までのレーザ遅延時間 t_m を計測する計測器であってもよい。

[0112] 光センサ 142 は、CW-CO₂レーザ 141 から出力された計測用のレーザ光と QCL 91 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、QCL 91 から出力されたレーザ光の光強度及び CW-CO₂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 100 MHz 以上の応答帯域を有するものであってもよい。例えば V i g o S y s t e m 社製 PEM-10.6 を用いてもよい。

[0113] 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。

[0114] その他の構成は、図 8 に示した計測装置と略同様であってもよい。

[0115] (4. 3. 2 動作)

図 12 は、図 11 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 S_{21} の波形の一例を示している。図 12 において横軸は、時間であってもよい。図 12 において左側の縦軸は、センサ出力信号 S_{21} の振幅であってもよい。図 12 において右側の縦軸は、QCL 91 の電流パルス I_0 の電流値であってもよい。

[0116] QCL 91 は、光強度 P_0 、光周波数 f_0 となるレーザ光のパルスを出力してもよい。CW-CO₂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。

[0117] QCL 91 から出力されたレーザ光のパルスと CW-CO₂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、光センサ 142 に入射し得る。

[0118] 光センサ 142 の受光面上では、QCL 91 から出力されたレーザ光のパルスと CW-CO₂ 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。

$$I_{PD} = R \cdot [P_c + P_q + 2 (P_c \cdot P_q)^{1/2} \cdot \cos \{2\pi (f_c - f_q) t\}]$$

[0119] 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-CO₂ 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、QCL 91 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。

[0120] 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 12 に示すような振動波形を観測し得る。

[0121] 波形計測器 143 は、発振タイミング情報 M_i 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 t_m を計測し得る。

[0122] その他の動作は、図 8 に示した計測装置と略同様であってもよい。

[0123] (4. 3. 3 作用)

この計測装置によれば、QCL 91 からのレーザ光と CW-CO₂ 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 t_m が計測され得る。また、QCL 発振情報 M_i を変化させることによりレーザ遅延時間 t_m を変化させ、レーザ遅延時間 t_m が所定時間となったときの QCL 発振情報 M_1 が特定発振情報として記録され得る。

[0124] 図 8 の計測装置では、QCL 91 が出力するレーザ光の光強度が低い場合、CO₂ 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 t_m 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 11 に

示す計測装置では、QCL 91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 t_m を高精度に計測し得る。

[0125] [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。

[0126] (5. 1 構成)

図13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。

[0127] 本実施形態に係るレーザ装置3Bは、MO110に複数のQCL 91, 92, ... 9Nが配置されてもよい。レーザ装置3Bは、QCL 91, 92, ... 9Nの温度を制御する温度制御器91a, 92a, ... 9Naと、QCL 91, 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13では、2台のQCL 91, 92のみを図示し、3台目以降のQCL 93, ... 9Nを省略している。

[0128] 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QCL 91, 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。

[0129] その他の構成は、図6に示したレーザ装置3Aと略同様であってもよい。

[0130] (5. 2 動作)

図14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。

[0131] まず、MO110に複数のQCL 91, 92, ... 9Nを設置してもよい (ステップS131)。QCL 91, 92, ... 9Nの設置は、レーザコントローラ51が、QCL 91, 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QCL 91, 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、 $N = \text{QCL設置数}$ としてもよい (ステップS132)。

- [0132] 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。
- [0133] 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。
- [0134] 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）。
- [0135] 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）。
- [0136] 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)。

[0137] 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)。

[0138] 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)。

[0139] 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、所定の電流パルスを各QCL91, 92, …9Nに注入してもよい(ステップS142)。

[0140] 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によって発振させ、所定の時間に波長がCO₂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)。

[0141] 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S 1 4 5）。その後、処理を終了してもよい。

[0142] その他の動作は、図 6 に示したレーザ装置 3 A と略同様であってもよい。

[0143] （5. 3 作用）

本実施形態のレーザ装置 3 B によれば、複数の Q C L 発振情報 M 1, M 2, … M N に基づいて、所望の時刻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 Q C L 9 1, 9 2, … 9 N の発振を制御し得る。これにより、レーザ光がターゲット 2 7 に照射されるタイミングと、各 Q C L 9 1, 9 2, … 9 N から再生増幅器 2 0 0 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。

[0144] [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 3 A, 3 B 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。

[0145] （6. 1 構成）

図 1 5 は、本開示の第 3 の実施形態に係るレーザ装置 3 C の一構成例を概略的に示している。図 1 5 に示すレーザ装置 3 C は、図 6 に示したレーザ装置 3 A に、図 8 に示した計測装置の機能を付加したものである。

[0146] レーザ装置 3 C は、データ入力装置 1 3 0 と、光センサ 1 3 2 と、波形計測器 1 3 3 と、1 軸ステージ 1 3 4 と、移動ミラー 1 3 5 とを備えてもよい。

[0147] 1 軸ステージ 1 3 4 は、再生増幅器 2 0 0 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。

[0148] 移動ミラー 1 3 5 は、1 軸ステージ 1 3 4 に載置されてもよい。1 軸ステージ 1 3 4 は、移動ミラー 1 3 5 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 1 3 4 は、レーザコントローラ 5 1 に接続されてもよい。

[0149] 光センサ 1 3 2 は、移動ミラー 1 3 5 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 1 3 3 は、レーザコントローラ 5 1 と遅

延回路 5 3 とに接続されてもよい。

[0150] レーザコントローラ 5 1 は、記憶メモリ 5 1 a を含んでいてもよい。

[0151] その他の構成は、図 6 に示したレーザ装置 3 A 又は図 8 に示した計測装置と略同様であってもよい。

[0152] (6. 2 動作)

図 1 6 は、レーザ装置 3 C の動作の一例を示すフローチャートである。

[0153] まず、MO 1 1 0 に QCL 9 1 を設置してもよい (ステップ S 1 5 1)。

次に、レーザコントローラ 5 1 は、1 軸ステージ 1 3 4 により移動ミラー 1 3 5 をレーザ光の光路上に配置してもよい (ステップ S 1 5 2)。次に、レーザコントローラ 5 1 は、第 1 及び第 2 のポッケルスセル 7 1, 7 2 を開状態に設定し、第 1 及び第 2 の光アイソレータ 8 1, 8 2 を開状態にしてもよい (ステップ S 1 5 3)。

[0154] 次に、レーザコントローラ 5 1 は、第 3 及び第 4 のポッケルスセル 7 3, 7 4 を QCL 9 1 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 S 1 5 4)。このとき、レーザコントローラ 5 1 は、QCL 9 1 がレーザ光を出力するたびに、レーザ光が再生増幅器 2 0 0 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 7 3, 7 4 を制御するよう設定してもよい。この際、再生増幅器 2 0 0 が図 3 に示したように第 3 及び第 4 のポッケルスセル 7 3, 7 4 を含む構成の場合、レーザコントローラ 5 1 は第 3 及び第 4 のポッケルスセル 7 3, 7 4 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 7 3, 7 4 に電圧を印加し続けると、レーザ光は再生増幅器 2 0 0 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 2 0 0 に用いる場合は、レーザコントローラ 5 1 は第 3 及び第 4 のポッケルスセル 7 3, 7 4 に電圧を印加しないようにしてもよい。

[0155] 次に、レーザ装置 3 C は、図 1 0 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S 1 5 5）。次に、レーザコントローラ5 1は、第1ないし第4のポッケルスセル7 1～7 4のそれぞれを各ポッケルスセルタイミング信号Tp 1～Tp 4に応じて動作するように設定してもよい（ステップS 1 5 6）。

[0156] 次に、レーザコントローラ5 1は、1軸ステージ1 3 4により移動ミラー1 3 5を光路上から退避させてもよい（ステップS 1 5 7）。次に、レーザコントローラ5 1は、MO 1 1 0に配置されたQCL 9 1のID情報とQCL発振情報M 1とを記憶メモリ5 1 aより取得してもよい（ステップS 1 5 8）。次に、レーザコントローラ5 1は、遅延回路5 3に発振タイミング情報M 1 cを送信してもよい（ステップS 1 5 9）。

[0157] 次に、レーザコントローラ5 1は、QCLコントローラ5 2に発振タイミング情報M 1 cを除くQCL発振情報M 1 dを送信してもよい（ステップS 1 6 0）。次に、レーザコントローラ5 1は、遅延回路5 3によってQCL 9 1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5 2に送信してもよい（ステップS 1 6 1）。次に、QCLコントローラ5 2から温度データM 1 aを温度制御器9 1 aに送信してもよい（ステップS 1 6 2）。

[0158] 次に、QCLコントローラ5 2から温度データM 1 aを除くQCL発振情報M 1 bを電流制御器9 1 bに送信してもよい（ステップS 1 6 3）。次に、レーザコントローラ5 1は、温度制御器9 1 aによって温度データM 1 aを基に所定の温度にQCL 9 1を制御してもよい（ステップS 1 6 4）。次に、レーザコントローラ5 1は、電流制御器9 1 bによって温度データM 1 aを除くQCL発振情報M 1 bを基に所定の電流パルスをQCL 9 1に注入してもよい（ステップS 1 6 5）。

[0159] 次に、レーザコントローラ5 1は、電流制御器9 1 bによってQCL 9 1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CO₂増幅波長に達するように制御してもよい（ステップS 1 6 6）。次に、レーザコントローラ5 1から第1ないし第4のポッケルスセル7 1～7 4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 $T_{p1} \sim T_{p4}$ を送信してもよい（ステップ $S167$ ）。

[0160] 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 $T_{p1} \sim T_{p4}$ を基に CO_2 増幅波長に達した QCL 91 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。

[0161] その他の動作は、図 6 に示したレーザ装置 3A と略同様であってもよい。

[0162] （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 QCL 91 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。

[0163] その他の作用は、図 6 に示したレーザ装置 3A と略同様であってもよい。

[0164] [7. 制御部のハードウェア環境]

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ェアアプリケーションを組み合わせ、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。

[0165] 図 17 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ェア環境を示すブロック図である。図 17 の例示的なハードウェア環境 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、ハードウェア環境 100 の構成は、これに限定されない。

- [0166] 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。
- [0167] 図１７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。
- [0168] 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。
- [0169] 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 1 0 4 0 は、アナログポートを介して、各種センサ、例えば光センサ 1 3 2, 1 4 2 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 1 0 0 0 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。

[0170] ユーザインターフェイス 1 0 1 0 は、操作者が処理ユニット 1 0 0 0 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 1 0 0 0 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。

[0171] 例示的なハードウェア環境 1 0 0 は、本開示における E U V 光生成制御部 5、及びレーザコントローラ 5 1, 1 5 1 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、E U V 光生成制御部 5、及びレーザコントローラ 5 1, 1 5 1 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。

[0172] [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。

[0173] 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、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する増幅器と、
前記供給電流の電流遅延時間及び電流波形、並びに前記量子カスケードレーザの素子温度を含む発振情報に基づいて、所望の時刻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2] 前記レーザ光の光路上に配置された光シャッタ、をさらに備え、
前記所望の時刻は、前記光シャッタの動作タイミングに基づいて決定された時刻である
請求項1に記載のレーザ装置。
- [請求項3] 前記増幅器から出力された前記レーザ光の光路上に、前記レーザ光が照射されるターゲットが供給されるチャンバが配置され、
前記所望の時刻は、前記レーザ光が前記ターゲットに照射されるタイミングに基づいて決定された時刻である
請求項1に記載のレーザ装置。
- [請求項4] 供給電流に応じて、レーザ光を出力する量子カスケードレーザと、
所定の基準時刻から、前記レーザ光の波長が所定波長と等しくなる時刻までのレーザ遅延時間を計測する計測器と、
前記供給電流の電流遅延時間及び電流波形、並びに前記量子カスケードレーザの素子温度を含む発振情報に基づいて、前記量子カスケードレーザの発振を制御すると共に、前記発振情報を変化させることにより前記レーザ遅延時間を変化させ、前記レーザ遅延時間が所定時間となったときの前記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と、
前記特定発振情報に基づいて、所望の時刻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5] 供給電流に応じて、レーザ光を出力する量子カスケードレーザと、
所定の基準時刻から、前記レーザ光の波長が所定波長と等しくなる時刻までのレーザ遅延時間を計測する計測器と、

前記供給電流の電流遅延時間及び電流波形、並びに前記量子カスケードレーザの素子温度を含む発振情報に基づいて、前記量子カスケードレーザの発振を制御すると共に、前記発振情報を変化させることにより前記レーザ遅延時間を変化させ、前記レーザ遅延時間が所定時間となったときの前記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と

を備える計測装置。

[請求項6] 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7] 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、

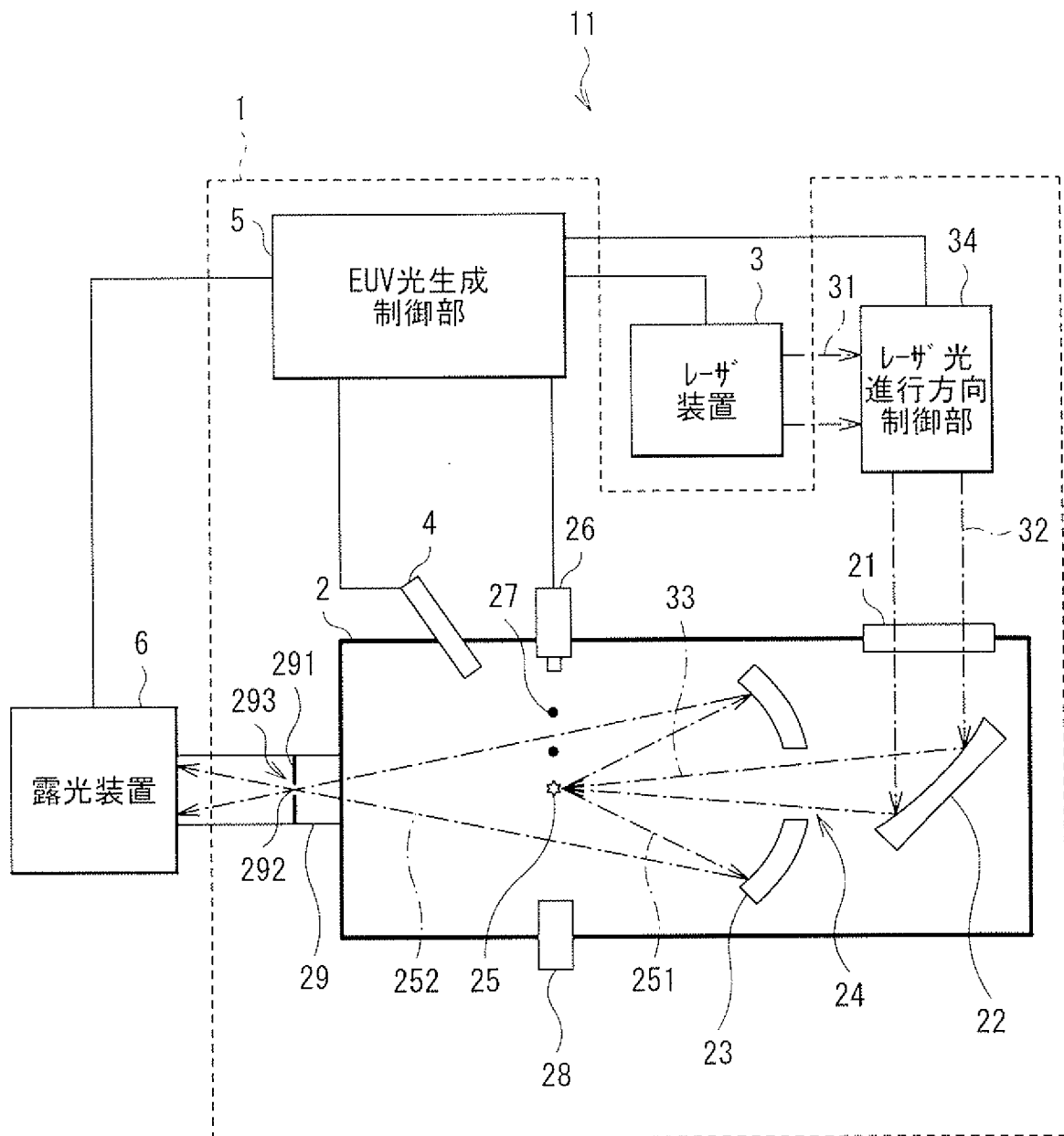
前記合波レーザ光の光路上に配置され、前記合波レーザ光の強度に応じたセンサ信号を出力する光センサと、

前記センサ信号の波形を計測する波形計測器と

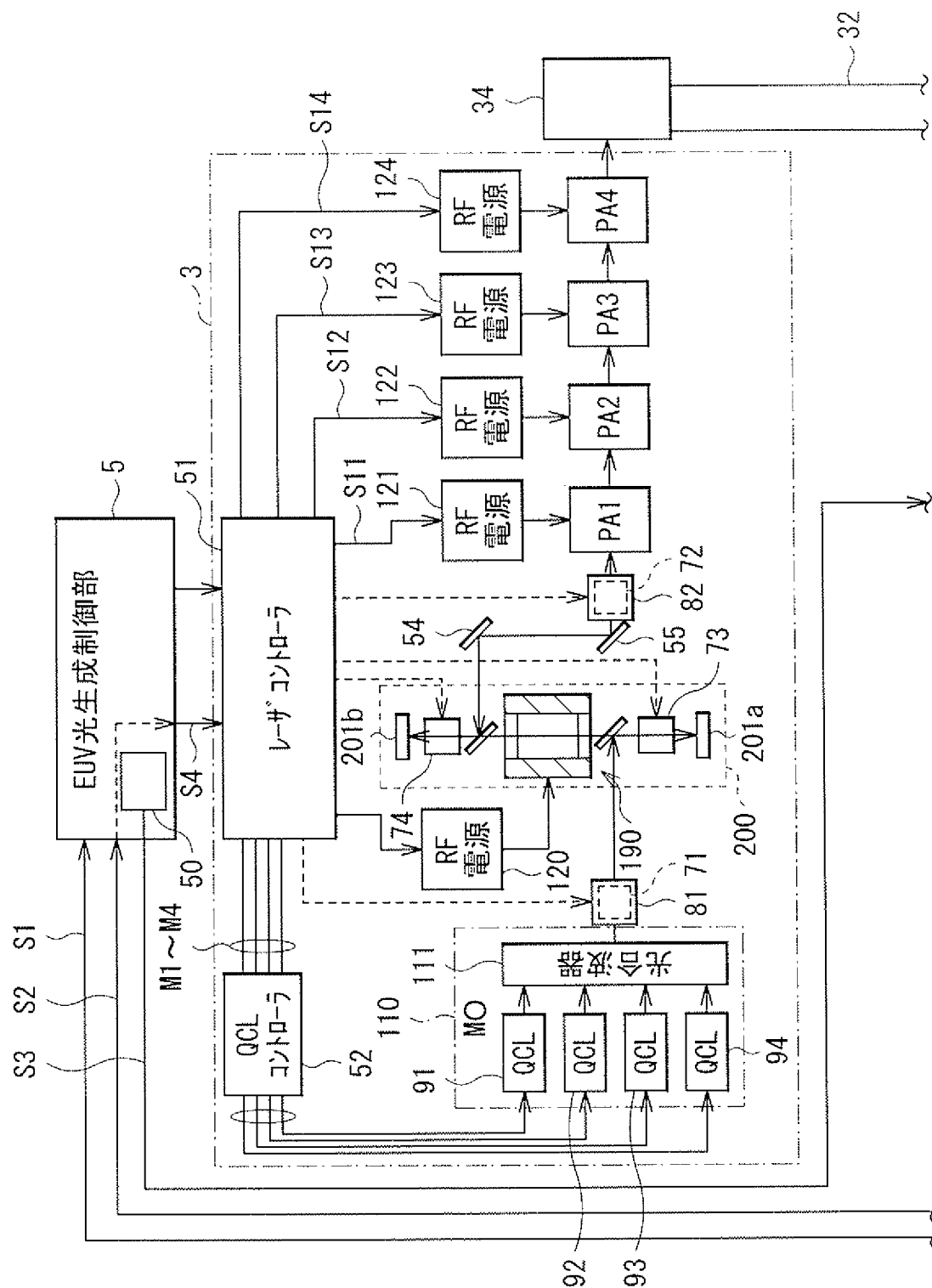
を含む

請求項 5 に記載の計測装置。

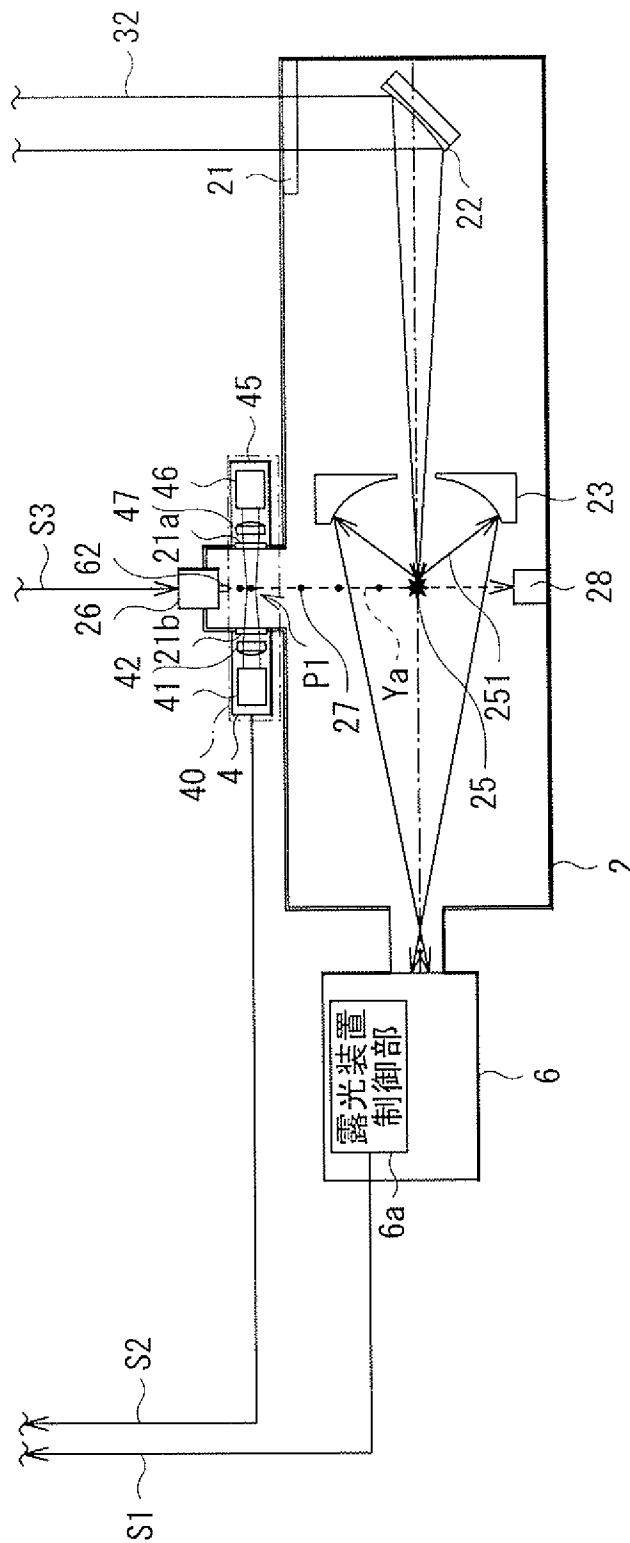
[図1]



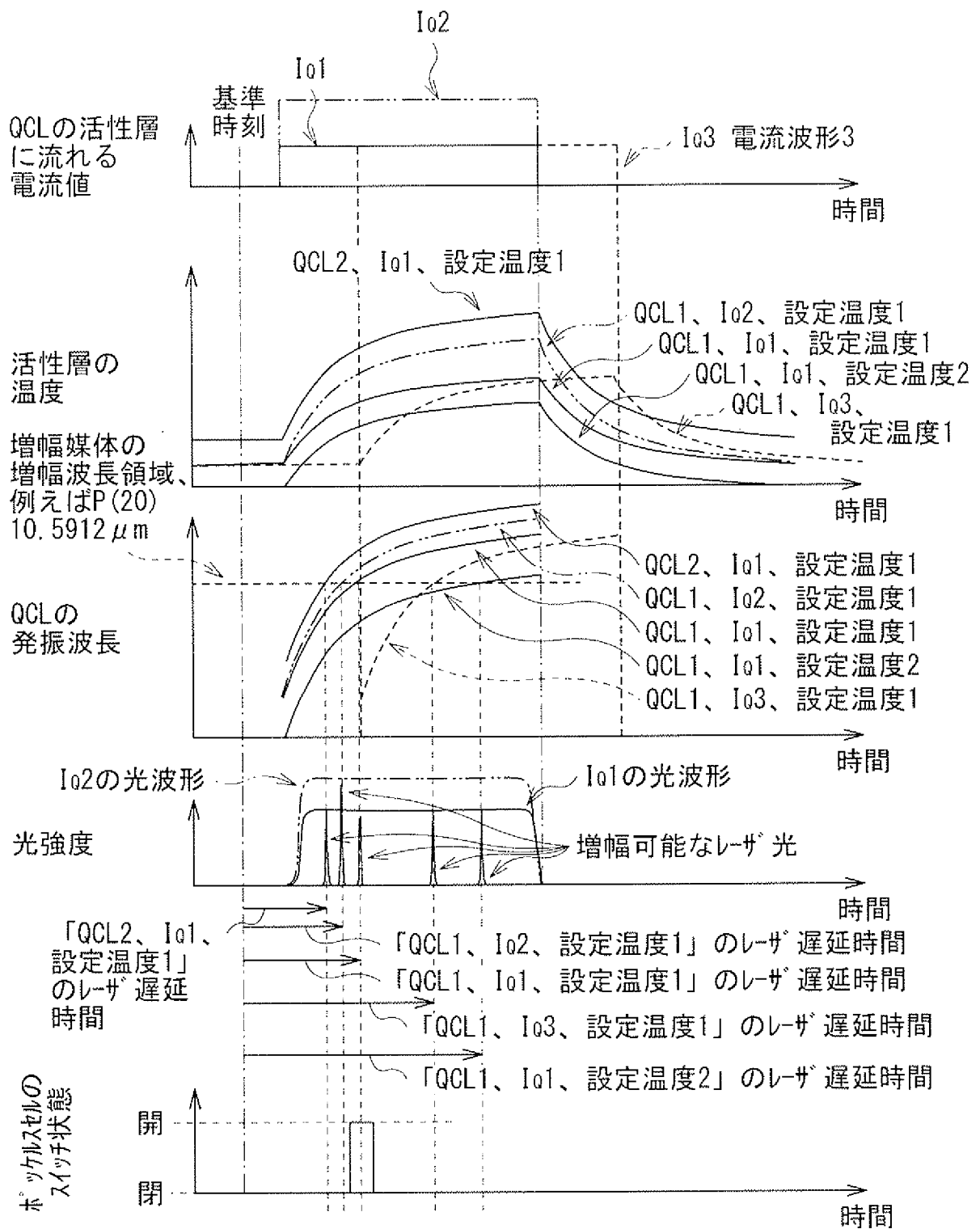
[図2A]



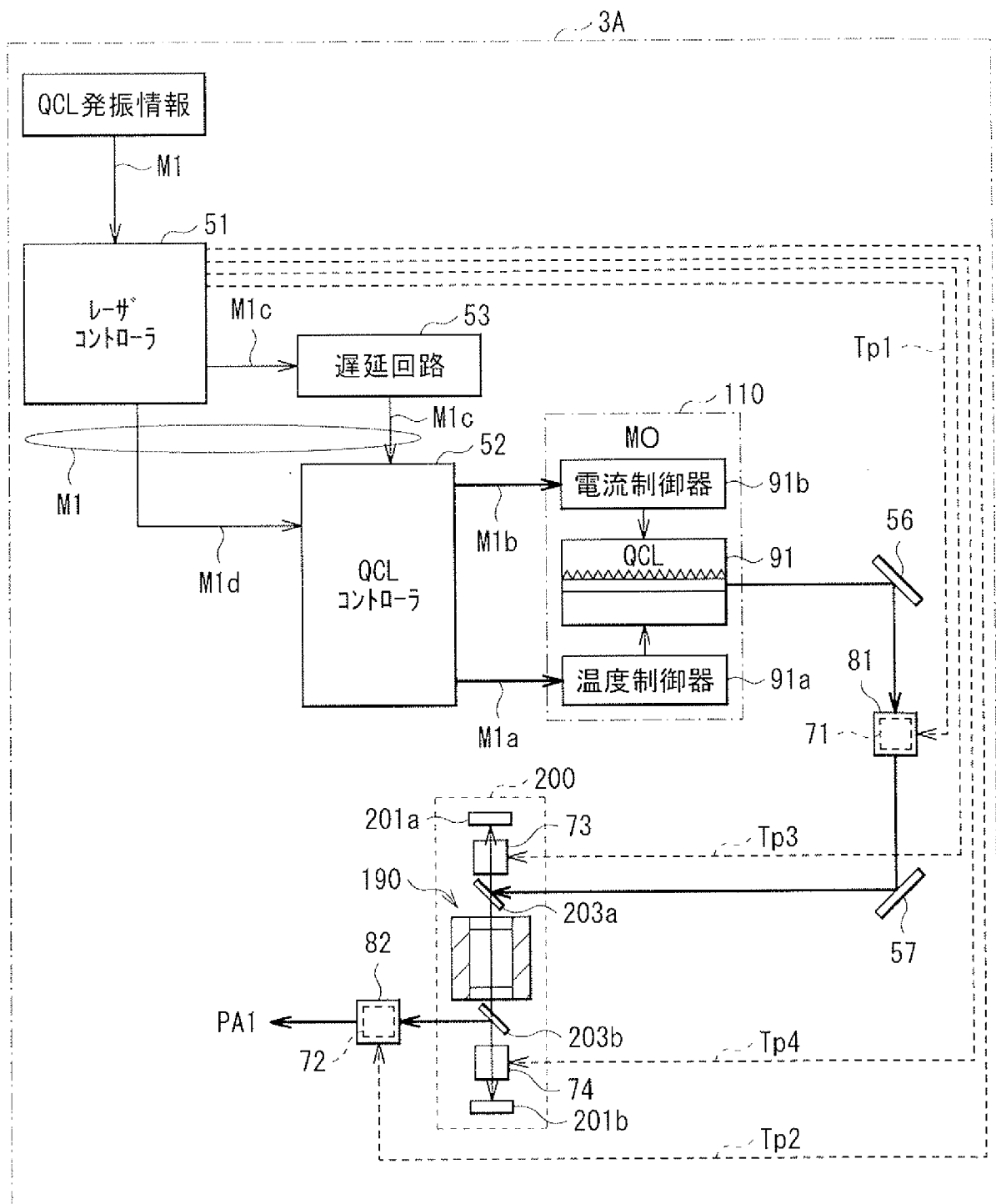
[図2B]



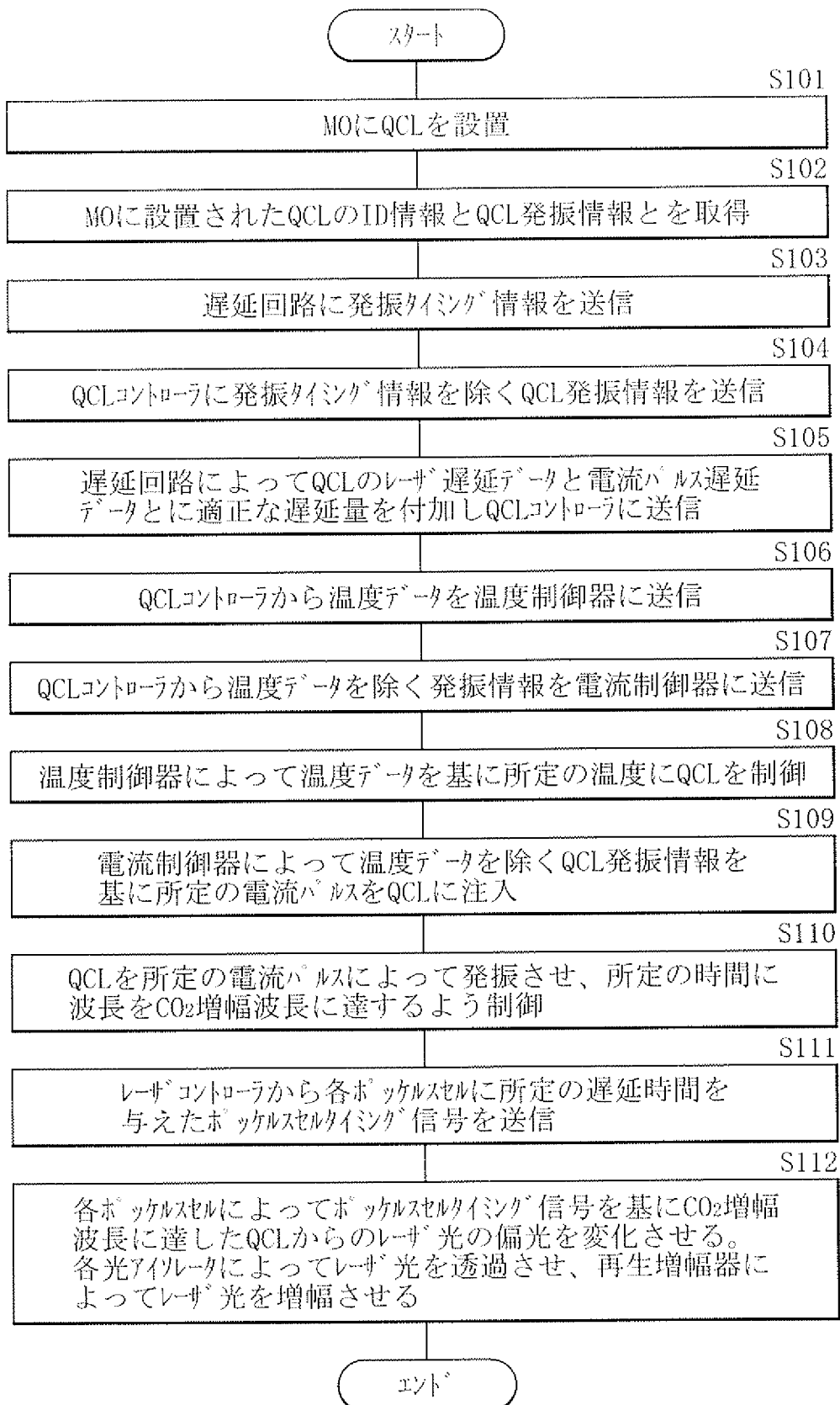
[図5]



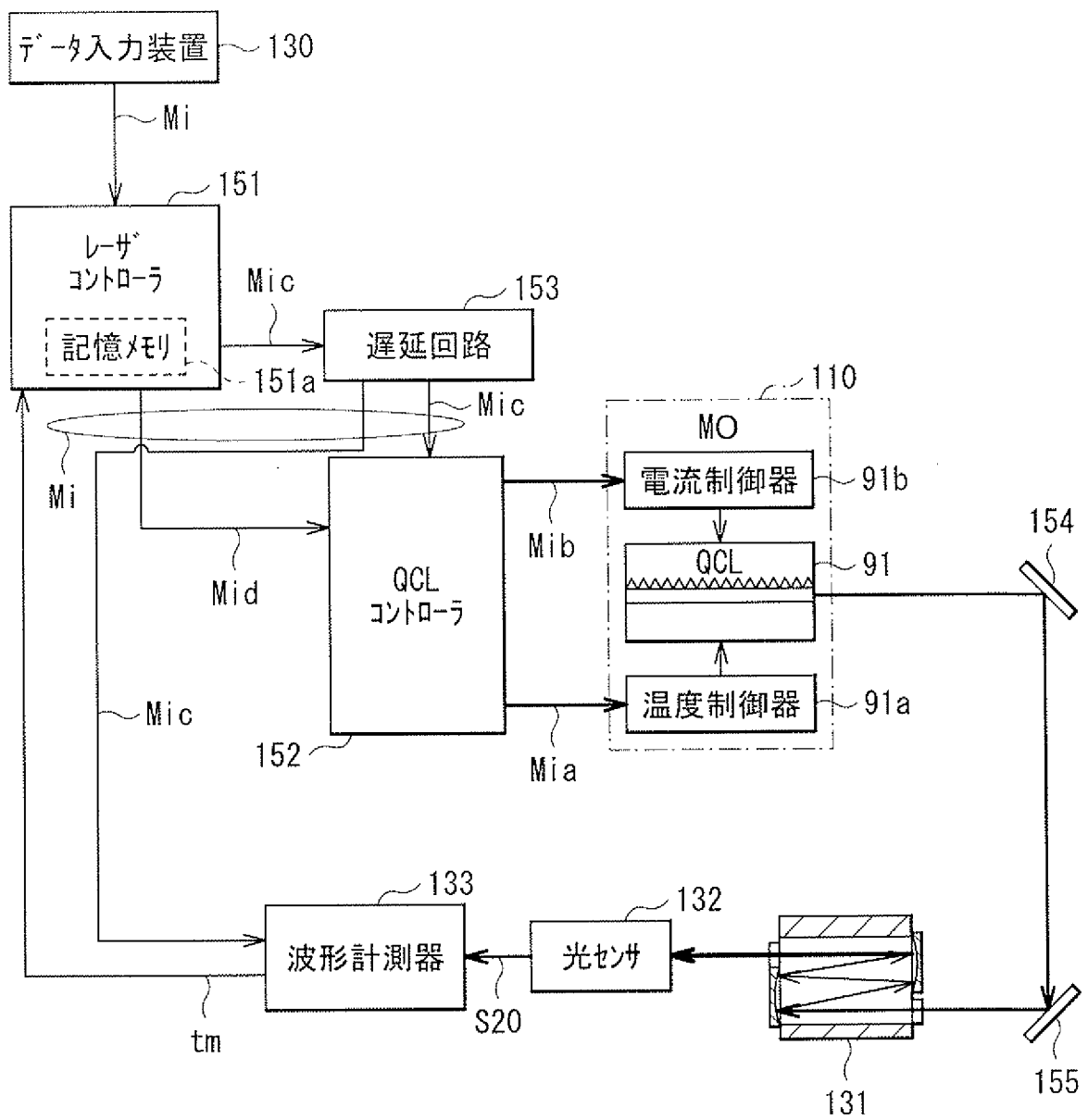
[図6]



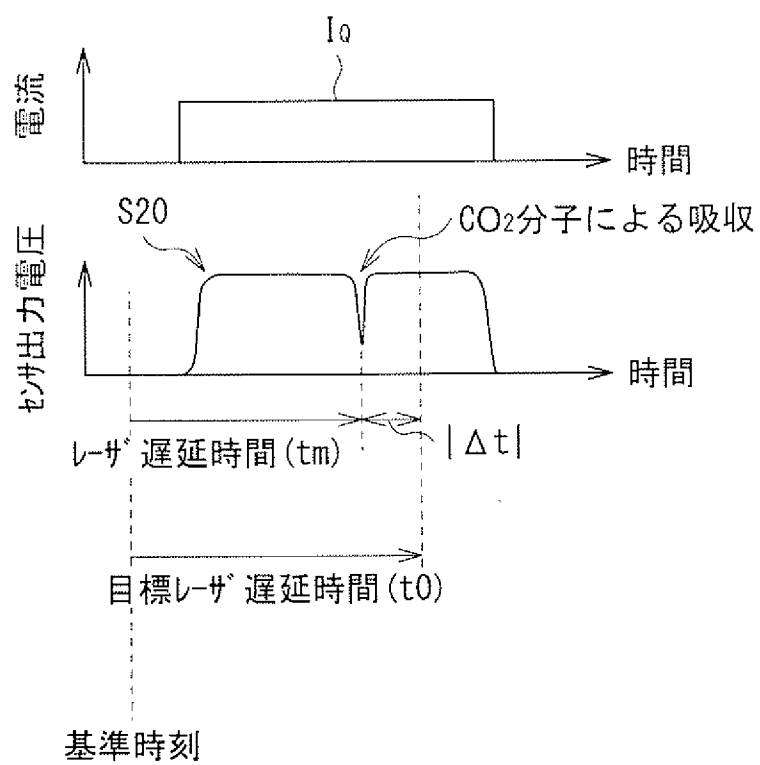
[図7]



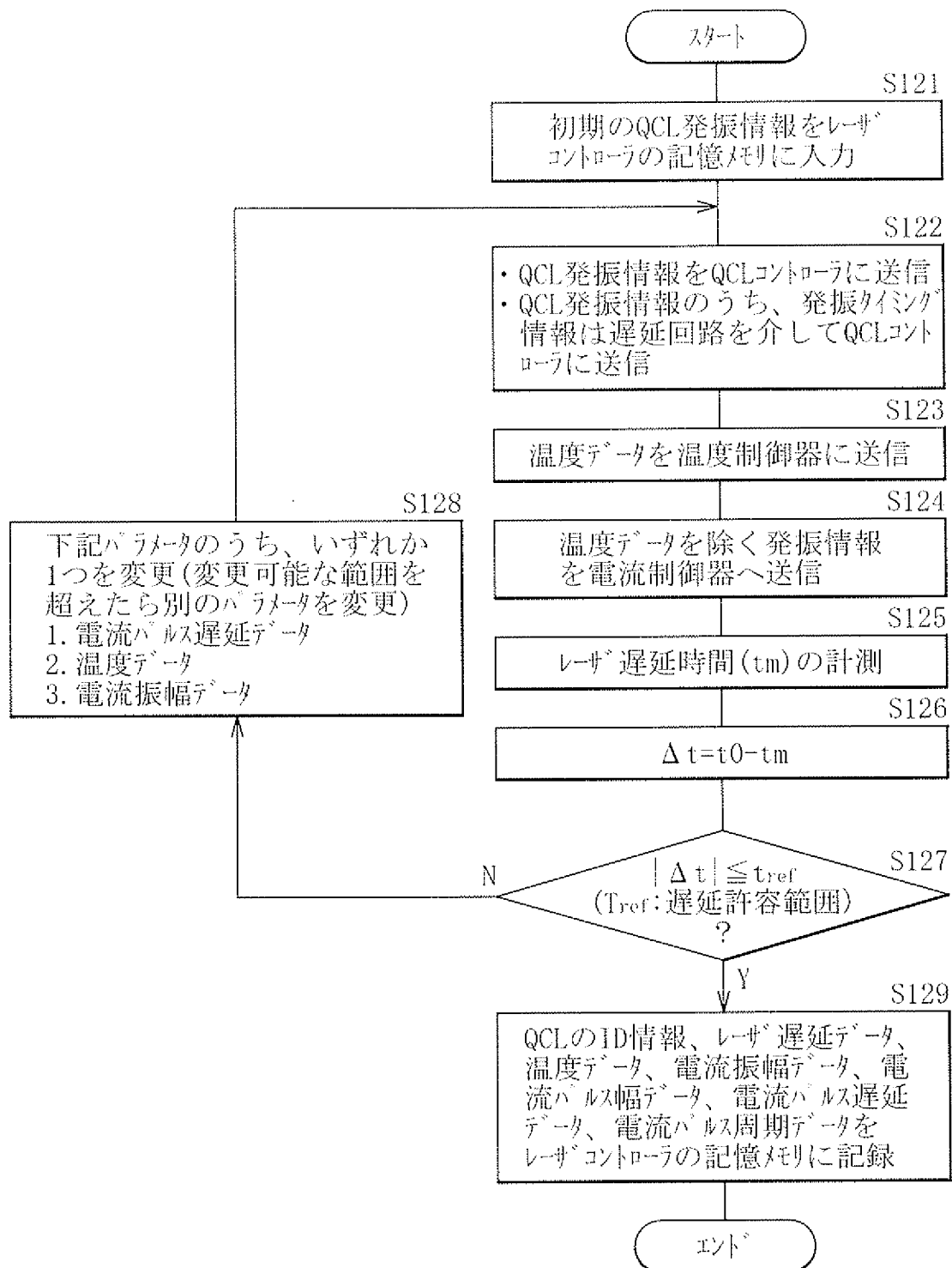
[図8]



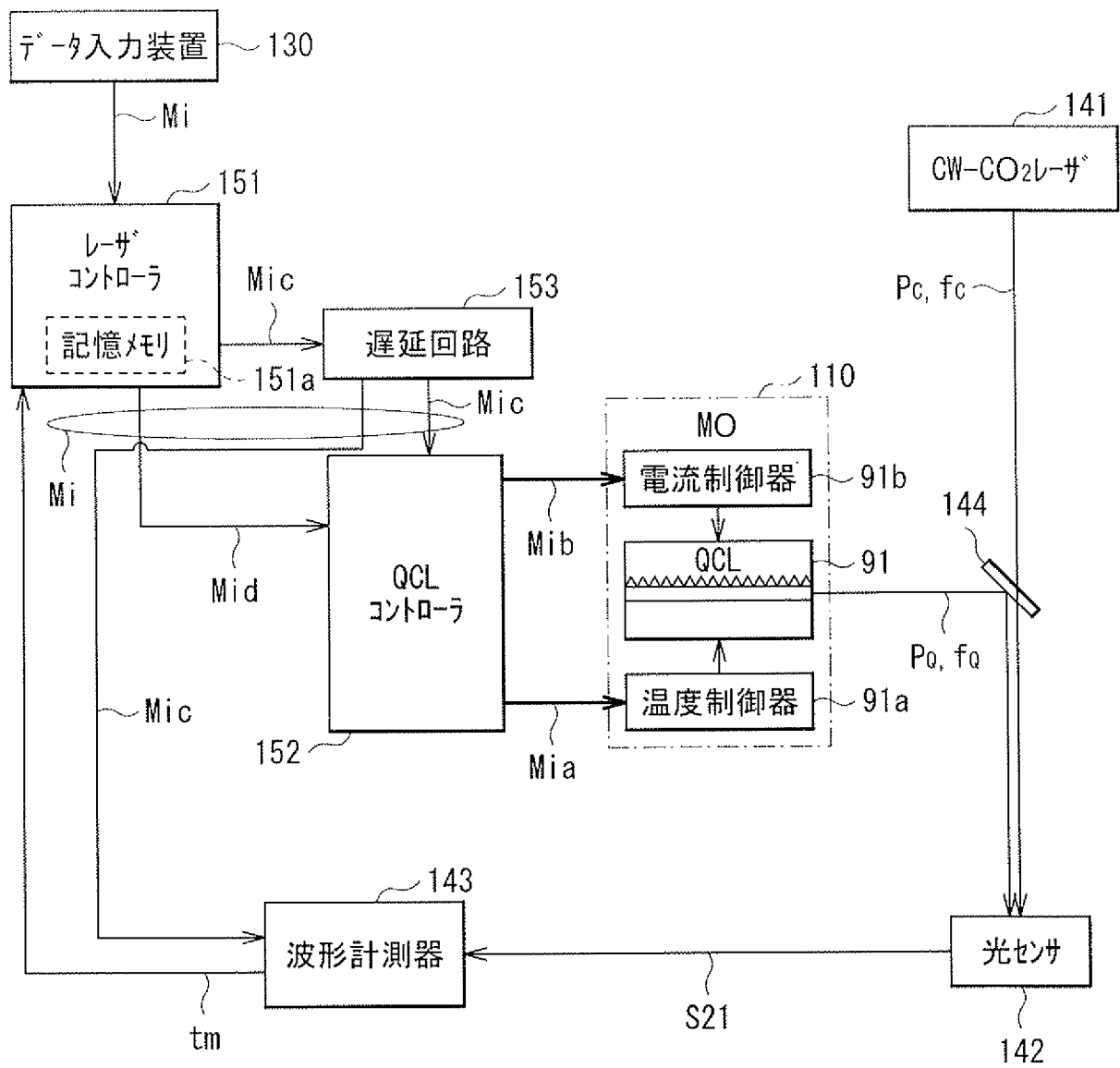
[図9]



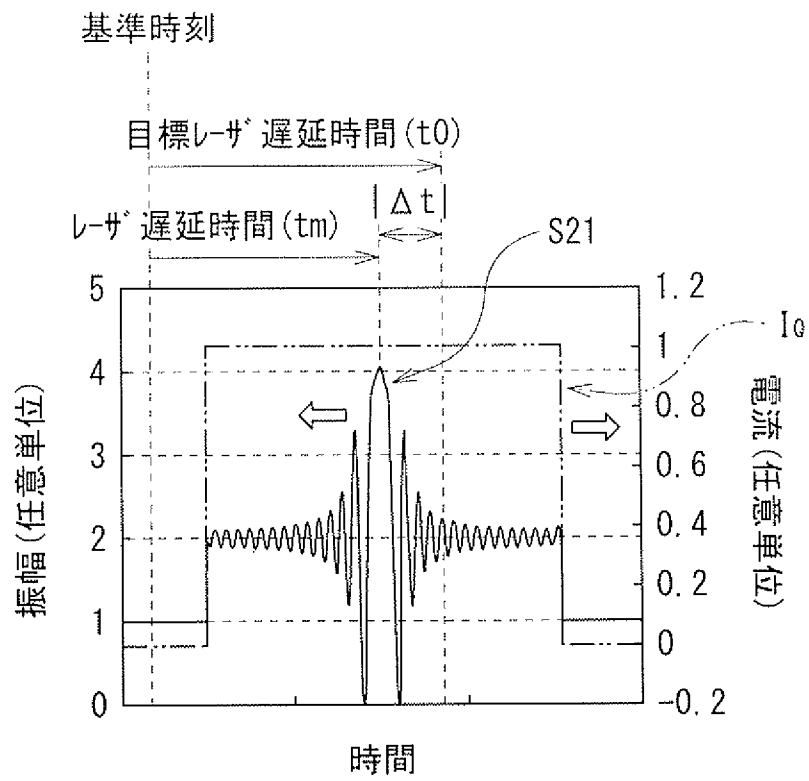
[図10]



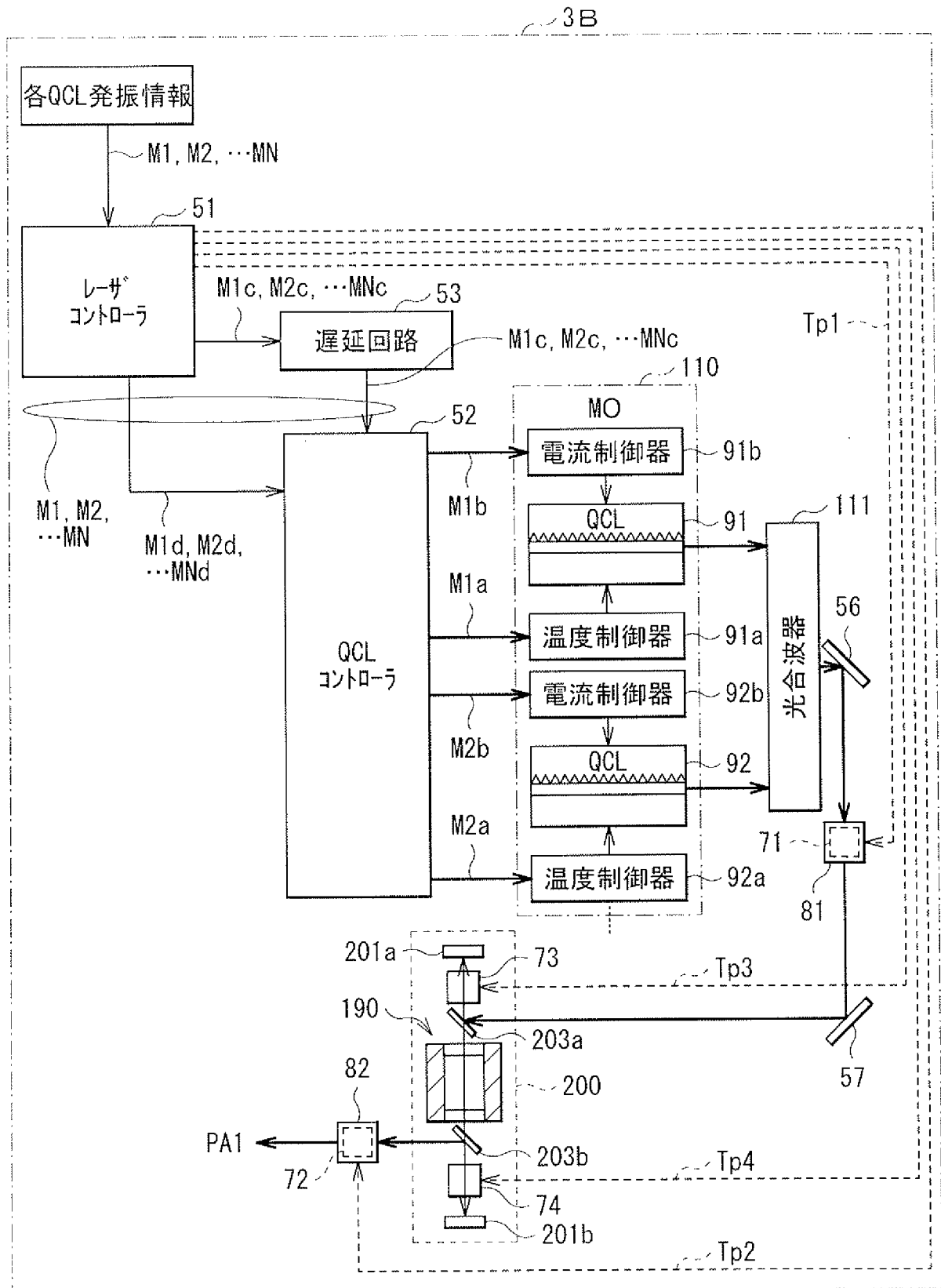
[図11]



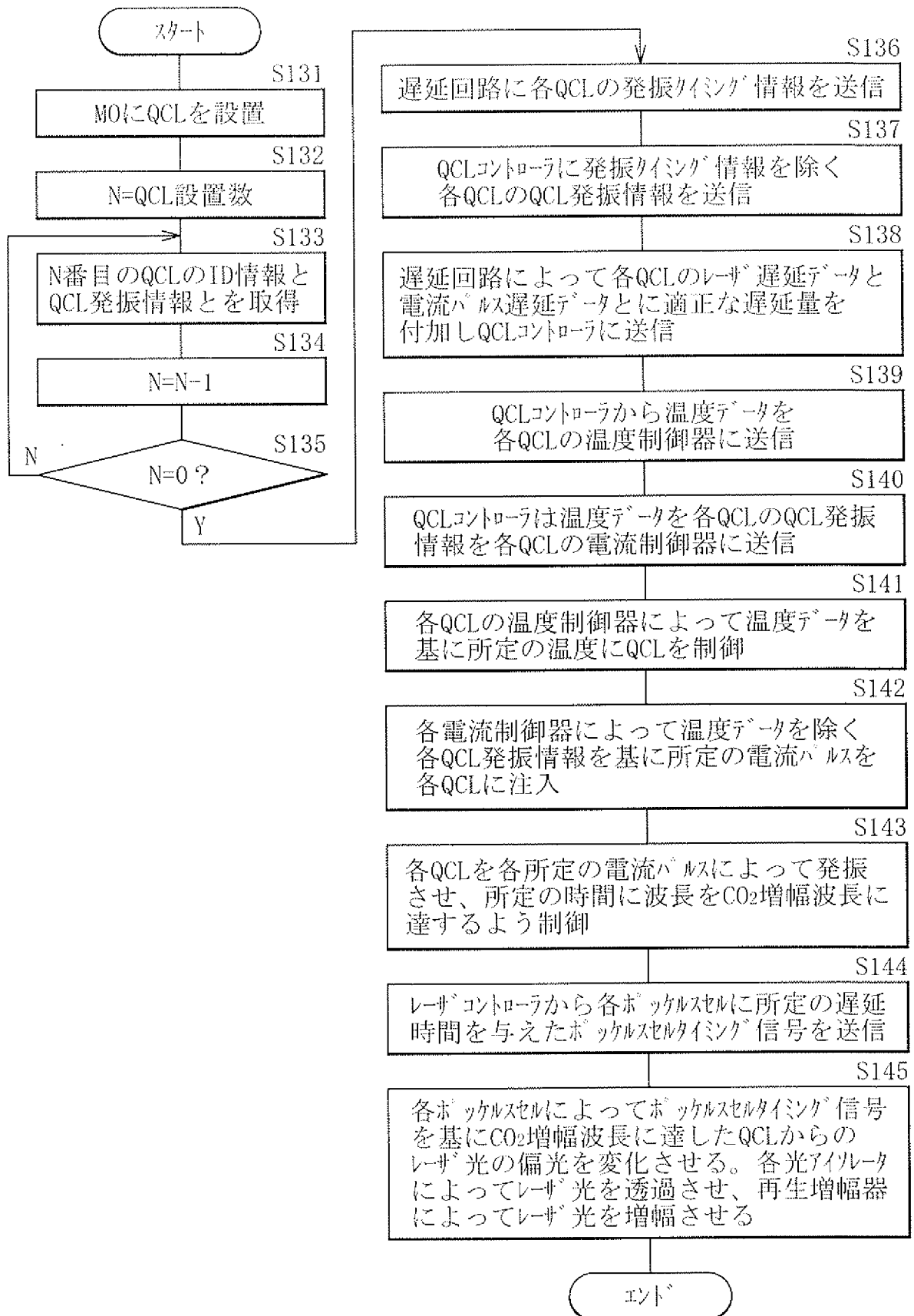
[図12]



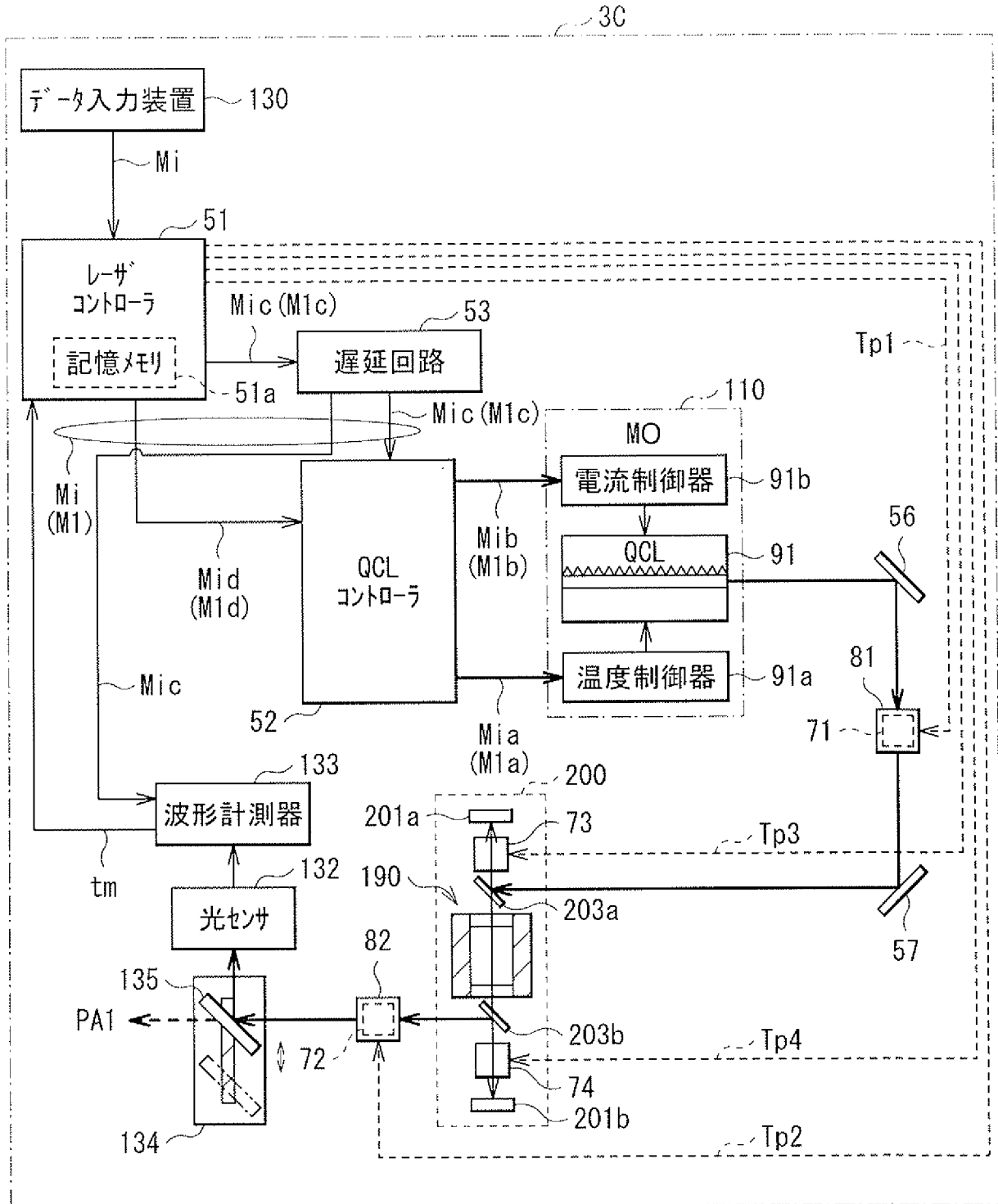
[図13]



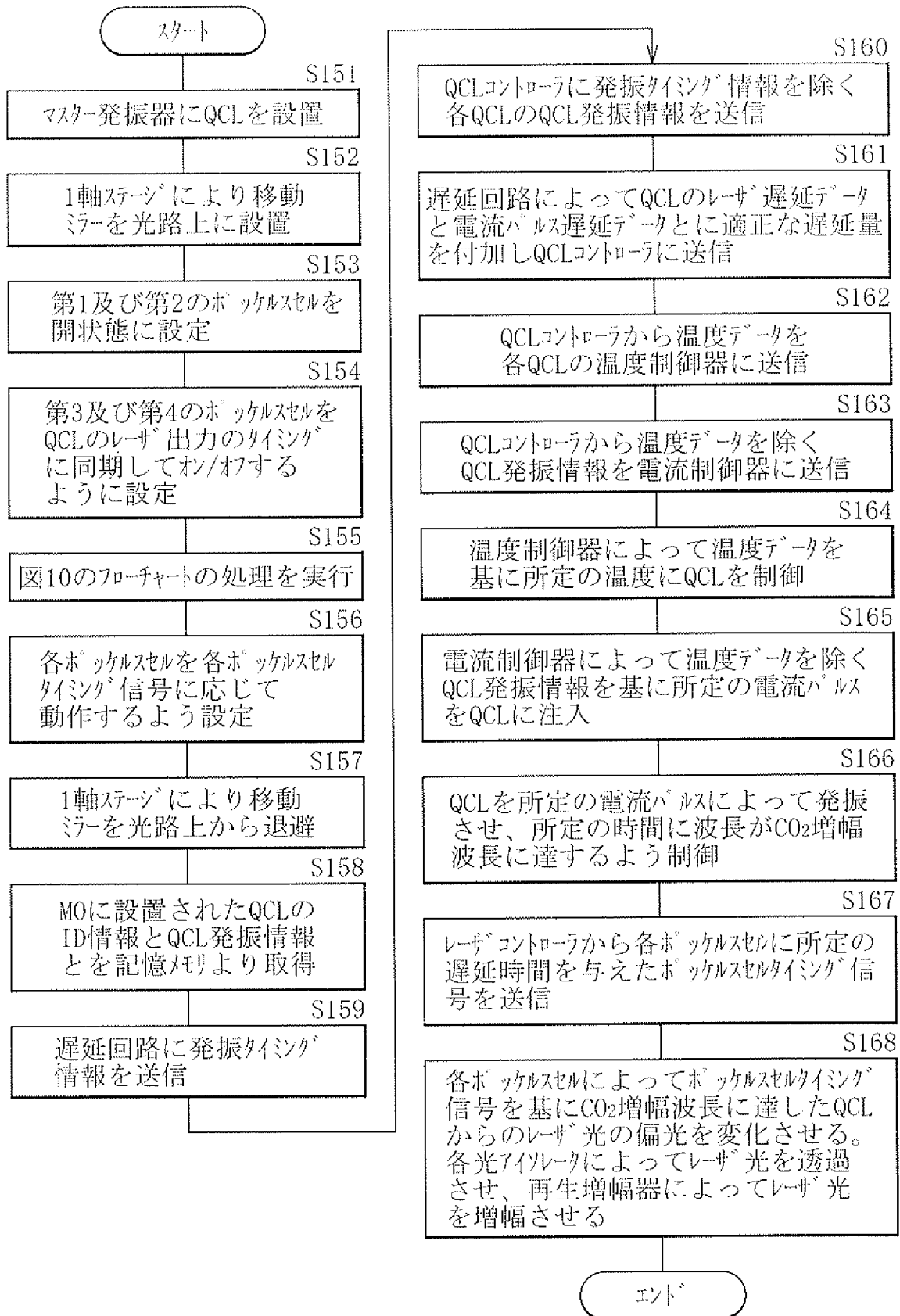
[図14]



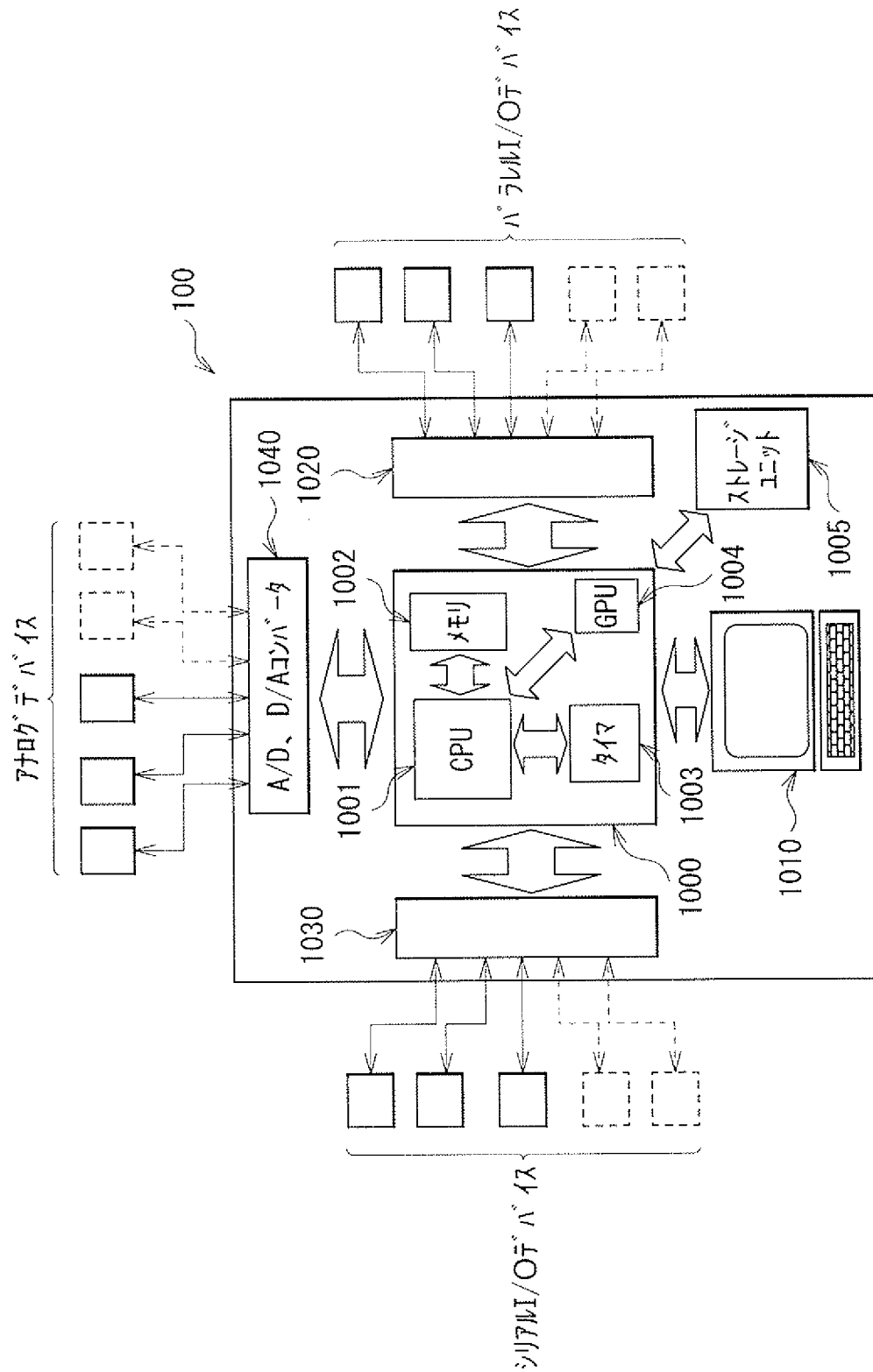
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/062394

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/0687(2006.01)i, H01S3/10(2006.01)i, H01S3/23(2006.01)i, H01S5/34(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)

H01S5/00-5/50, H01S3/00-3/30

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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	JP 2012-182434 A (Gigaphoton Inc.), 20 September 2012 (20.09.2012), specification, paragraphs [0010] to [0212]; fig. 1 to 51 & US 2013/0148674 A1 & WO 2012/107815 A2 & EP 2673856 A2	1-7
A	JP 2010-226096 A (Komatsu Ltd., Gigaphoton Inc.), 07 October 2010 (07.10.2010), specification, paragraphs [0014] to [0080]; fig. 1 to 27 & US 2010/0220756 A1 & DE 102010002433 A1	1-7

☒ 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
02 July 2015 (02.07.15)

Date of mailing of the international search report
14 July 2015 (14.07.15)

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/JP2015/062394

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-123955 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 04 June 2009 (04.06.2009), specification, paragraphs [0042] to [0044] (Family: none)	1-7
A	JP 2010-171375 A (Gigaphoton Inc.), 05 August 2010 (05.08.2010), specification, paragraphs [0034] to [0045]; fig. 1 to 4 & US 2010/0193710 A1 & DE 102009045703 A1	1-7
A	JP 2013-513929 A (Saima Inc.), 22 April 2013 (22.04.2013), specification, paragraphs [0033] to [0109]; fig. 1 to 11 & US 2011/0141865 A1 & WO 2011/075345 A1 & EP 2514279 A1 & KR 10-2012-0104319 A	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/0687 (2006.01)i, H01S3/10 (2006.01)i, H01S3/23 (2006.01)i, H01S5/34 (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（I P C））

Int.Cl. H01S5/00-5/50, H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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）2012.09.20, 明細書【0010】－【0212】欄，図1－51 & US 2013/0148674 A1 & WO 2012/107815 A2 & EP 2673856 A2	1-7
A	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, 明細書【0014】－【0080】欄，図1－27 & US 2010/0220756 A1 & DE 102010002433 A1	1-7

☒ 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

0 2 . 0 7 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 4 . 0 7 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

百瀬 正之

2 X

4 0 8 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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
A	JP 2009-123955 A (浜松ホトニクス株式会社) 2009. 06. 04, 明細書【0042】－【0044】欄 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2010-171375 A (ギガフォトン株式会社) 2010. 08. 05, 明細書【0034】－【0045】欄, 図1－4 & US 2010/0193710 A1 & DE 102009045703 A1	1-7
A	JP 2013-513929 A (サイマー インコーポレイテッド) 2013. 04. 22, 明細書【0033】－【0109】欄, 図1－11 & US 2011/0141865 A1 & WO 2011/075345 A1 & EP 2514279 A1 & KR 10-2012-0104319 A	1-7