

(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
2019年10月31日(31.10.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/207643 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/097 (2006.01) *H01S 3/225* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/016600
- (22) 国際出願日: 2018年4月24日(24.04.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 對馬 弘朗 (TSUSHIMA Hiroaki); 〒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).

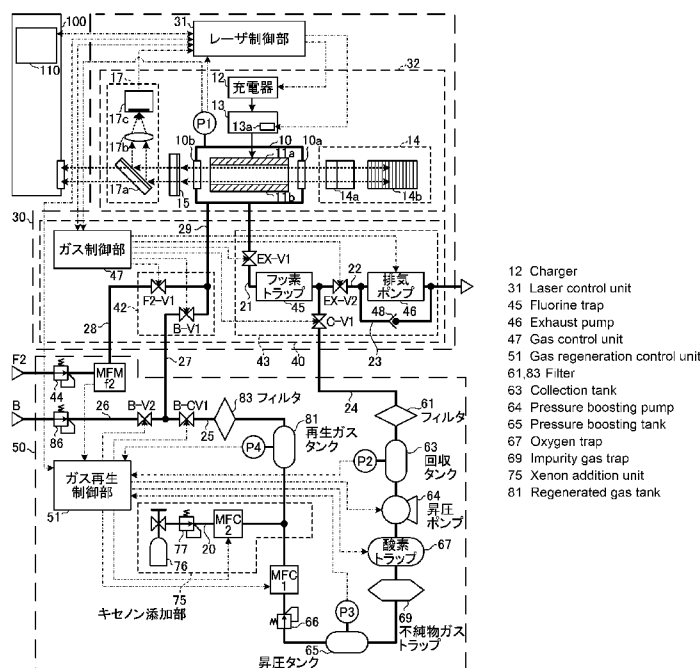
浅山 武志(ASAYAMA Takeshi); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 若林 理(WAKABAYASHI Osamu); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

(74) 代理人: 保坂 延寿 (HOSAKA Nobuhisa); 〒1010025 東京都千代田区神田佐久間町3-22 神田SKビル4階 新井・橋本・保坂国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) Title: LASER GAS REGENERATION DEVICE AND ELECTRONIC DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: レーザガス再生装置及び電子デバイスの製造方法



(57) Abstract: This laser gas regeneration device regenerates an exhaust gas exhausted from at least one ArF excimer laser device that is connected to a first laser gas supply source which supplies a first laser gas containing argon gas, neon gas, and xenon gas in a first concentration, and to a second laser gas supply source which supplies a second laser gas containing argon gas, neon gas, and fluorine gas, and the laser gas regeneration device supplies the regenerated gas to the at least one ArF excimer laser gas device. The laser gas regeneration device comprises: a data acquisition unit that

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, 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))

acquires data on the supply amount of the second laser gas that is supplied to the at least one ArF excimer laser device; a xenon addition unit that adds to the regenerated gas a third laser gas containing argon gas, neon gas, and xenon gas at a second concentration which is higher than the first concentration; and a control unit that controls, on the basis of the supply amount, the amount to be added of the third laser gas by the xenon addition unit.

(57) 要約: レーザガス再生装置は、アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度のキセノンガスを含む第1のレーザガスを供給する第1のレーザガス供給源と、アルゴンガス、ネオンガス、及びフッ素ガスを含む第2のレーザガスを供給する第2のレーザガス供給源と、に接続された少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置から排出された排出ガスを再生し、再生ガスを少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置に供給するレーザガス再生装置であって、少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置に供給される第2のレーザガスの供給量のデータを取得するデータ取得部と、アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度より高い第2の濃度のキセノンガスを含む第3のレーザガスを再生ガスに添加するキセノン添加部と、供給量に基づいて、キセノン添加部による第3のレーザガスの添加量を制御する制御部と、を備える。

明 細 書

発明の名称： レーザガス再生装置及び電子デバイスの製造方法 技術分野

[0001] 本開示は、レーザガス再生装置及び電子デバイスの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体露光装置（以下、「露光装置」という）においては、半導体集積回路の微細化および高集積化につれて、解像力の向上が要請されている。このため、露光用光源から放出される光の短波長化が進められている。一般的に、露光用光源には、従来の水銀ランプに代わってガスレーザ装置が用いられる。たとえば、露光用のガスレーザ装置としては、波長248nmの紫外線のレーザ光を出力するKrFエキシマレーザ装置、ならびに波長193nmの紫外線のレーザ光を出力するArFエキシマレーザ装置が用いられる。

[0003] 次世代の露光技術としては、露光装置側の露光用レンズとウエハとの間が液体で満たされる液浸露光が実用化されている。この液浸露光では、露光用レンズとウエハとの間の屈折率が変化するため、露光用光源の見かけの波長が短波長化する。ArFエキシマレーザ装置を露光用光源として液浸露光が行われた場合、ウエハには水中における波長134nmの紫外光が照射される。この技術をArF液浸露光（又はArF液浸リソグラフィー）という。

[0004] KrFエキシマレーザ装置およびArFエキシマレーザ装置の自然発振幅は、約350～400pmと広い。そのため、KrF及びArFレーザ光のような紫外線を透過する材料で投影レンズを構成すると、色収差が発生してしまう場合がある。その結果、解像力が低下する。そこで、ガスレーザ装置から出力されるレーザ光のスペクトル線幅を、色収差が無視できる程度となるまで狭帯域化する必要がある。そのため、ガスレーザ装置のレーザ共振器内には、スペクトル線幅を狭帯域化するために、狭帯域化素子（エタロン、グレーティング等）を有する狭帯域化モジュール（Line Narrow

Module : LNM) が設けられる場合がある。以下では、スペクトル線幅が狭帯域化されるレーザ装置を狭帯域化レーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：米国特許出願公開第2016/0248215号明細書

特許文献2：国際公開第2017/072863号

特許文献3：国際公開第2017/071866号

概要

[0006] 本開示の1つの観点に係るレーザガス再生装置は、アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度のキセノンガスを含む第1のレーザガスを供給する第1のレーザガス供給源と、アルゴンガス、ネオンガス、及びフッ素ガスを含む第2のレーザガスを供給する第2のレーザガス供給源と、に接続された少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置から排出された排出ガスを再生し、再生ガスを少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置に供給するレーザガス再生装置であって、少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置に供給される第2のレーザガスの供給量のデータを取得するデータ取得部と、アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度より高い第2の濃度のキセノンガスを含む第3のレーザガスを再生ガスに添加するキセノン添加部と、供給量に基づいて、キセノン添加部による第3のレーザガスの添加量を制御する制御部と、を含む。

[0007] 本開示の他の1つの観点に係るレーザガス再生装置は、アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度のキセノンガスを含む第1のレーザガスを供給する第1のレーザガス供給源と、アルゴンガス、ネオンガス、及びフッ素ガスを含む第2のレーザガスを供給する第2のレーザガス供給源と、に接続された少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置から排出された排出ガスを再生し、再生ガスを少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置に供給するレーザガス再生装置であって、少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置から排出された排出ガスのうちの再生されずに外部に排気されたレーザガスの

排気量のデータを取得するデータ取得部と、アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度より高い第2の濃度のキセノンガスを含む第3のレーザガスを再生ガスに添加するキセノン添加部と、排気量に基づいて、キセノン添加部による第3のレーザガスの添加量を制御する制御部と、を含む。

[0008] 本開示の1つの観点に係る電子デバイスの製造方法は、アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度のキセノンガスを含む第1のレーザガスを供給する第1のレーザガス供給源と、アルゴンガス、ネオンガス、及びフッ素ガスを含む第2のレーザガスを供給する第2のレーザガス供給源と、に接続された少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置と、少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置から排出された排出ガスを再生し、再生ガスを少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置に供給するレーザガス再生装置であって、少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置に供給される第2のレーザガスの供給量のデータを取得するデータ取得部と、アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度より高い第2の濃度のキセノンガスを含む第3のレーザガスを再生ガスに添加するキセノン添加部と、供給量に基づいて、キセノン添加部による第3のレーザガスの添加量を制御する制御部と、を備えるレーザガス再生装置と、を備えるエキシマレーザシステムによって、レーザ光を生成し、レーザ光を露光装置に出力し、露光装置内で感光基板をレーザ光で露光することを含む。

[0009] 本開示の他の1つの観点に係る電子デバイスの製造方法は、アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度のキセノンガスを含む第1のレーザガスを供給する第1のレーザガス供給源と、アルゴンガス、ネオンガス、及びフッ素ガスを含む第2のレーザガスを供給する第2のレーザガス供給源と、に接続された少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置と、少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置から排出された排出ガスを再生し、再生ガスを少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置に供給するレーザガス再生装置であって、少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置から排出された排出ガスのうちの再生されずに外部に排気されたレーザガスの排気量のデータを取得

するデータ取得部と、アルゴンガス、ネオンガス、及び第１の濃度より高い第２の濃度のキセノンガスを含む第３のレーザガスを再生ガスに添加するキセノン添加部と、排気量に基づいて、キセノン添加部による第３のレーザガスの添加量を制御する制御部と、を備えるレーザガス再生装置と、を備えるエキシマレーザシステムによって、レーザ光を生成し、レーザ光を露光装置に出力し、露光装置内で感光基板をレーザ光で露光することを含む。

図面の簡単な説明

[0010] 本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。

[図1]図１は、比較例に係るエキシマレーザ装置３０及びレーザガス再生装置５０の構成を概略的に示す。

[図2]図２は、比較例に係るエキシマレーザ装置３０のレーザ制御部３１によるエネルギー制御を示すフローチャートである。

[図3]図３は、比較例に係るエキシマレーザ装置３０のガス制御部４７によるレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。

[図4]図４は、図３に示されるガス制御パラメータの初期設定の詳細を示すフローチャートである。

[図5]図５は、図３に示されるガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図6]図６は、図３に示される部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図7]図７は、図１に示されるガス再生制御部５１の処理を示すフローチャートである。

[図8]図８は、比較例におけるガス再生の初期設定サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

[図9]図９は、比較例におけるガス回収／昇圧サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

[図10]図１０は、比較例におけるガス精製／調節サブルーチンの詳細を示す

フローチャートである。

[図11]図11は、比較例における不活性再生ガス貯蔵／供給サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

[図12]図12は、比較例においてレーザガス再生を行っていない場合のレーザガスのフロー図である。

[図13]図13は、比較例においてレーザガス再生を行う場合のレーザガスのフロー図である。

[図14]図14は、本開示の第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置30及びレーザガス再生装置50の構成を概略的に示す。

[図15]図15は、第1の実施形態におけるレーザガスのフロー図である。

[図16]図16は、第1の実施形態におけるガス再生の初期設定サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

[図17]図17は、第1の実施形態におけるガス精製／調節サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

[図18]図18は、第2の実施形態におけるガス制御パラメータの初期設定の詳細を示すフローチャートである。

[図19]図19は、第2の実施形態における部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図20]図20は、本開示の第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置30及びレーザガス再生装置50の構成を概略的に示す。

[図21]図21は、第3の実施形態におけるレーザガスのフロー図である。

[図22]図22は、第3の実施形態におけるガス再生の初期設定サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

[図23]図23は、第3の実施形態におけるガス精製／調節サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

[図24]図24は、第4の実施形態におけるガス精製／調節サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

[図25]図25は、第4の実施形態におけるガス制御パラメータの初期設定の

詳細を示すフローチャートである。

[図26]図 2 6 は、第 4 の実施形態におけるガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図27]図 2 7 は、第 4 の実施形態における部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図28]図 2 8 は、本開示の第 5 の実施形態に係るエキシマレーザ装置 3 0 a、3 0 b 及びレーザガス再生装置 5 0 の構成を概略的に示す。

[図29]図 2 9 は、本開示の第 6 の実施形態に係るエキシマレーザ装置 3 0 a、3 0 b 及びレーザガス再生装置 5 0 の構成を概略的に示す。

[図30]図 3 0 は、本開示の第 7 の実施形態に係るエキシマレーザ装置 3 0 及びレーザガス再生装置 5 0 の構成を概略的に示す。

[図31]図 3 1 は、上述の各実施形態において用いることができる再生ガスタンクの第 1 の例を概略的に示す。

[図32]図 3 2 は、上述の各実施形態において用いることができる再生ガスタンクの第 2 の例を概略的に示す。

[図33]図 3 3 は、エキシマレーザ装置 3 0 に接続された露光装置 1 0 0 の構成を概略的に示す。

実施形態

[0011] 内容

1. 比較例に係るエキシマレーザ装置及びレーザガス再生装置

1. 1 構成

1. 1. 1 エキシマレーザ装置

1. 1. 1. 1 レーザ発振システム

1. 1. 1. 2 レーザガス制御システム

1. 1. 2 レーザガス再生装置

1. 2 動作

1. 2. 1 レーザ発振システムの動作

1. 2. 1. 1 エネルギー制御

1. 2. 2 レーザガス制御システムの動作
 1. 2. 2. 1 ガス制御パラメータの初期設定
 1. 2. 2. 2 ガス圧制御
 1. 2. 2. 3 部分ガス交換
1. 2. 3 レーザガス再生装置の動作
 1. 2. 3. 1 メインフロー
 1. 2. 3. 2 ガス再生の初期設定サブルーチン
 1. 2. 3. 3 ガス回収／昇圧サブルーチン
 1. 2. 3. 4 ガス精製／調節サブルーチン
 1. 2. 3. 5 不活性再生ガス貯蔵／供給サブルーチン
1. 3 ガスフロー
1. 4 課題
2. フッ素含有ガス供給量に基づいてキセノン含有ガスを添加するレーザガス再生装置
 2. 1 構成
 2. 2 動作
 2. 2. 1 比例定数の導出
 2. 2. 2 ガス再生制御部の処理
 2. 3 作用
3. エキシマレーザ装置からフッ素含有ガス供給量を受信するレーザガス再生装置
 3. 1 構成
 3. 2 ガス再生制御部の処理
 3. 3 ガス制御部の処理
 3. 4 作用
4. ガス排気量に基づいてキセノン含有ガスを添加するレーザガス再生装置
 4. 1 構成
 4. 2 動作

- 4. 2. 1 比例定数の導出
- 4. 2. 2 ガス再生制御部の処理
- 4. 3 作用
- 5. エキシマレーザ装置から排気量を受信するレーザガス再生装置
 - 5. 1 構成
 - 5. 2 ガス再生制御部の処理
 - 5. 3 ガス制御部の処理
 - 5. 4 作用
- 6. 複数のレーザ装置に接続されるレーザガス再生装置（第1の例）
 - 6. 1 構成
 - 6. 2 動作
 - 6. 3 作用
- 7. 複数のレーザ装置に接続されるレーザガス再生装置（第2の例）
 - 7. 1 構成及び動作
 - 7. 2 作用
- 8. キセノン添加部の配置
 - 8. 1 構成
 - 8. 2 作用
- 9. 再生ガスタンクの例
 - 9. 1 第1の例
 - 9. 1. 1 構成
 - 9. 1. 2 動作及び作用
 - 9. 2 第2の例
 - 9. 2. 1 構成
 - 9. 2. 2 動作及び作用
- 10. その他

[0012] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。

以下に説明される実施形態は、本開示の一例を示すものであって、本開示の

内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

[0013] 1. 比較例に係るエキシマレーザ装置及びレーザガス再生装置

1. 1 構成

図1は、比較例に係るエキシマレーザ装置30及びレーザガス再生装置50の構成を概略的に示す。

[0014] 1. 1. 1 エキシマレーザ装置

エキシマレーザ装置30は、レーザ制御部31と、レーザ発振システム32と、レーザガス制御システム40と、を含む。エキシマレーザ装置30は、フッ素ガス及びアルゴンガスを含むレーザガスを使用するArFエキシマレーザ装置である。

[0015] エキシマレーザ装置30は、例えば、露光装置100と共に使用される。エキシマレーザ装置30から出力されたレーザ光は、露光装置100へ入射する。露光装置100は、露光装置制御部110を含んでいる。露光装置制御部110は、露光装置100を制御するように構成されている。露光装置制御部110は、エキシマレーザ装置30に含まれるレーザ制御部31に対して、目標パルスエネルギーの設定信号及び発光トリガ信号を送信するように構成されている。

[0016] レーザ制御部31は、レーザ発振システム32及びレーザガス制御システム40を制御するように構成されている。レーザ制御部31は、レーザ発振システム32に含まれるパワーモニタ17及びチャンバ圧力センサP1から測定データを受信する。

[0017] 1. 1. 1. 1 レーザ発振システム

レーザ発振システム32は、レーザチャンバ10と、充電器12と、パルスパワーモジュール13と、狭帯域化モジュール14と、出力結合ミラー15と、チャンバ圧力センサP1と、パワーモニタ17と、を含む。

[0018] レーザチャンバ10は、狭帯域化モジュール14と出力結合ミラー15と

で構成されたレーザ共振器の光路に配置されている。レーザチャンバ10には、二つのウィンドウ10a及び10bが設けられている。レーザチャンバ10は、一对の放電電極11a及び11bを収容している。レーザチャンバ10は、レーザガスを収容する。

[0019] 充電器12は、パルスパワーモジュール13に供給するための電気エネルギーを保持する。パルスパワーモジュール13は、スイッチ13aを含んでいる。パルスパワーモジュール13は、一对の放電電極11a及び11bの間にパルス電圧を印加するように構成されている。

狭帯域化モジュール14は、プリズム14a及びグレーティング14bを含む。出力結合ミラー15は、部分反射ミラーで構成されている。

[0020] チャンバ圧力センサP1は、レーザチャンバ10内のガス圧を測定するように構成されている。チャンバ圧力センサP1は、レーザガスの全圧を測定する。チャンバ圧力センサP1は、ガス圧の測定データを、レーザ制御部31と、レーザガス制御システム40に含まれるガス制御部47と、に送信するように構成されている。

[0021] パワーモニタ17は、ビームスプリッタ17aと、集光レンズ17bと、光センサ17cと、を含む。ビームスプリッタ17aは、出力結合ミラー15から出力されたレーザ光の光路に配置されている。ビームスプリッタ17aは、出力結合ミラー15から出力されたレーザ光の一部を露光装置100に向けて高い透過率で透過させると共に、他の一部を反射させるように構成されている。集光レンズ17b及び光センサ17cは、ビームスプリッタ17aによって反射されたレーザ光の光路に配置されている。集光レンズ17bは、ビームスプリッタ17aによって反射されたレーザ光を光センサ17cに集束させるように構成されている。光センサ17cは、集光レンズ17bによって集束させられたレーザ光のパルスエネルギーに応じた電気信号を、測定データとしてレーザ制御部31に送信するように構成されている。

[0022] 1. 1. 1. 2 レーザガス制御システム

レーザガス制御システム40は、ガス制御部47と、ガス供給装置42と

、排気装置４３と、を含む。ガス制御部４７は、レーザ制御部３１との間で信号を送受信する。ガス制御部４７は、レーザ発振システム３２に含まれるチャンバ圧力センサＰ１から出力された測定データを受信する。ガス制御部４７は、ガス供給装置４２及び排気装置４３を制御する。ガス制御部４７は、ガス供給装置４２に含まれるバルブＦ２－Ｖ１及びＢ－Ｖ１並びに排気装置４３に含まれるバルブＥＸ－Ｖ１、ＥＸ－Ｖ２、Ｃ－Ｖ１及び排気ポンプ４６を制御する。

[0023] ガス供給装置４２は、フッ素含有ガス供給源Ｆ２に接続された配管２８の一部と、レーザ発振システム３２に含まれるレーザチャンバ１０に接続された配管２９の一部と、を含む。配管２８が配管２９に接続されることにより、フッ素含有ガス供給源Ｆ２がレーザチャンバ１０にフッ素含有ガスを供給可能となっている。フッ素含有ガス供給源Ｆ２は、フッ素含有ガスを収容したガスボンベである。フッ素含有ガスは、例えば、フッ素ガス、アルゴンガス及びネオンガスを混合したレーザガスである。ここで、フッ素含有ガス供給源Ｆ２のフッ素ガス濃度は、レーザチャンバ１０中のフッ素ガス濃度よりも高く調節される。フッ素含有ガス供給源Ｆ２のガス組成比は、たとえば、フッ素ガスが１％、アルゴンガスが３．５％、残りがネオンガスであってもよい。フッ素含有ガス供給源Ｆ２から配管２８へのレーザガスの供給圧力は、レギュレータ４４によって、例えば５０００ｈＰａ以上、６０００ｈＰａ以下の値に設定される。ガス供給装置４２は、配管２８に設けられたバルブＦ２－Ｖ１を含む。フッ素含有ガス供給源Ｆ２から配管２９を介したレーザチャンバ１０へのフッ素含有ガスの供給は、バルブＦ２－Ｖ１の開閉によって制御される。バルブＦ２－Ｖ１の開閉は、ガス制御部４７によって制御される。

なお、本実施形態では、レギュレータ４４がレーザガス制御システム４０内に配置されているが、この例に限定されることなく、フッ素含有ガス供給源Ｆ２とエキシマレーザ装置３０の間の配管上に配置されてもよい。

[0024] ガス供給装置４２は、レーザガス再生装置５０と配管２９との間に接続さ

れた配管 27 の一部をさらに含む。配管 27 が配管 29 に接続されることにより、レーザガス再生装置 50 がレーザチャンバ 10 に不活性ガスを供給可能となっている。不活性ガスは、後述の不活性ガス供給源 B から供給される不活性新ガスであってもよいし、レーザガス再生装置 50 において不純物を低減された不活性再生ガスであってもよい。ガス供給装置 42 は、配管 27 に設けられたバルブ B-V1 を含む。レーザガス再生装置 50 から配管 29 を介したレーザチャンバ 10 への不活性ガスの供給は、バルブ B-V1 の開閉によって制御される。バルブ B-V1 の開閉は、ガス制御部 47 によって制御される。

[0025] 排気装置 43 は、レーザ発振システム 32 に含まれるレーザチャンバ 10 に接続された配管 21 の一部と、装置外部の図示しない排気処理装置等に接続された配管 22 の一部と、を含む。配管 21 が配管 22 に接続されることにより、レーザチャンバ 10 から排出された排出ガスが装置外部に排気可能となっている。本明細書では、装置外部又は外部とは、エキシマレーザ装置とレーザガス再生装置のいずれも含まない領域またはユニットを指す。たとえば、フッ素ガスが除かれたレーザガスが排気可能な図示しない排気ダクトであってもよい。この排気ダクトは、図示しないスクラバーに接続されてもよい。

[0026] 排気装置 43 は、配管 21 に設けられたバルブ EX-V1 と、配管 21 に設けられたフッ素トラップ 45 と、を含む。バルブ EX-V1 及びフッ素トラップ 45 は、この順でレーザチャンバ 10 側から配置されている。レーザチャンバ 10 からフッ素トラップ 45 への排出ガスの排出は、バルブ EX-V1 の開閉によって制御される。バルブ EX-V1 の開閉は、ガス制御部 47 によって制御される。

[0027] フッ素トラップ 45 は、レーザチャンバ 10 から排出された排出ガスに含まれるフッ素ガス及びフッ素の化合物を捕捉する処理剤を備えている。フッ素ガス及びフッ素の化合物を捕捉する処理剤は、例えば、ゼオライトと酸化カルシウムとの組合せを含む。これにより、フッ素ガスと酸化カルシウムと

が反応して、フッ化カルシウムと酸素ガスとが生成される。フッ化カルシウムはフッ素トラップ45に捕捉され、酸素ガスは後述の酸素トラップ67で捕捉される。酸化カルシウムで除去しきれなかったフッ素化合物などの不純物ガスの一部はゼオライトに吸着される。あるいは、フッ素ガス及びフッ素の化合物を捕捉する処理剤は、ゼオライトと水酸化カルシウムとの組合せを含んでもよい。

[0028] 排気装置43は、配管22に設けられたバルブE X-V2と、配管22に設けられた排気ポンプ46と、を含む。バルブE X-V2及び排気ポンプ46は、この順でレーザチャンバ10側から配置されている。フッ素トラップ45の出口から装置外部への排出ガスの排出は、バルブE X-V2の開閉によって制御される。バルブE X-V2の開閉は、ガス制御部47によって制御される。排気ポンプ46は、バルブE X-V1及びE X-V2が開いた状態で、レーザチャンバ10内のレーザガスを、大気圧以下の圧力まで強制的に排気するように構成されている。排気ポンプ46の動作は、ガス制御部47によって制御される。

[0029] 排気装置43は、バイパス配管23を含む。バイパス配管23は、排気ポンプ46の入口側の配管22と、排気ポンプ46の出口側の配管22との間に接続されている。排気装置43は、バイパス配管23に設けられた逆止弁48を含む。逆止弁48は、大気圧以上に充填されたレーザチャンバ10内のレーザガスの一部を、バルブE X-V1及びE X-V2が開いたときに排気するように構成されている。

[0030] 排気装置43は、配管24の一部をさらに含む。配管24は、レーザガス再生装置50と、配管21及び配管22の接続部分と、の間に接続されている。配管24が配管21及び配管22の接続部分に接続されることにより、レーザチャンバ10から排出された排出ガスをレーザガス再生装置50に供給可能となっている。排気装置43は、配管24に設けられたバルブC-V1を含む。フッ素トラップ45の出口からレーザガス再生装置50への排出ガスの供給は、バルブC-V1の開閉によって制御される。バルブC-V1

の開閉は、ガス制御部 47 によって制御される。

[0031] 1. 1. 2 レーザガス再生装置

レーザガス再生装置 50 は、ガス再生制御部 51 と、配管 24 の一部と、配管 27 の一部と、配管 25 と、を含む。配管 24 は、レーザガス制御システム 40 の排気装置 43 に接続されている。配管 27 は、レーザガス制御システム 40 のガス供給装置 42 に接続されている。配管 25 は、配管 24 と配管 27 との間に接続されている。

[0032] レーザガス再生装置 50 において、配管 24 には、フィルタ 61 と、回収タンク 63 と、昇圧ポンプ 64 と、酸素トラップ 67 と、不純物ガストラップ 69 と、昇圧タンク 65 と、レギュレータ 66 と、キセノン濃度計測器 79 と、マスフローコントローラ MFC1 と、がこの順で排気装置 43 側から配置されている。配管 24 と配管 25 との間には、キセノン添加部 75 が配置されている。配管 25 には、再生ガスタンク 81 と、フィルタ 83 と、バルブ B-CV1 と、がこの順でキセノン添加部 75 側から配置されている。配管 24 と配管 25 とで、バルブ C-V1 からバルブ B-CV1 までのガス精製流路が構成される。

[0033] レーザガス再生装置 50 は、不活性ガス供給源 B に接続された配管 26 の一部をさらに含む。配管 26 は、配管 25 と配管 27 との接続部分に接続されている。不活性ガス供給源 B は、例えば、アルゴンガスとネオンガスの他に、少量のキセノンガスを含む不活性ガスを収容したガスボンベである。ここで、不活性ガス供給源 B のキセノンガス濃度は、レーザチャンバ 10 内の目標キセノンガス濃度とほぼ同じ値に調節されている。不活性ガス供給源 B のガス組成比は、たとえば、キセノンガスが 10 ppm、アルゴンガスが 3.5%、残りがネオンガスであってもよい。本開示においては、不活性ガス供給源 B から供給され、まだレーザチャンバ 10 に達していない不活性ガスを、配管 25 から供給される不活性再生ガスと区別して不活性新ガスと称することがある。不活性ガス供給源 B から配管 26 への不活性新ガスの供給圧力は、レギュレータ 86 によって、例えば 5000 hPa 以上、6000 h

P a 以下の値に設定される。レーザガス再生装置 5 0 は、配管 2 6 に設けられたバルブ B - V 2 を含む。

なお、本実施形態では、レギュレータ 8 6 がレーザガス再生装置 5 0 内に配置されているが、この例に限定されることなく、不活性ガス供給源 B とエキシマレーザ装置 3 0 の間の配管上に配置されてもよい。

[0034] レーザガス再生装置 5 0 に含まれるフィルタ 6 1 は、排気装置 4 3 から導入される排出ガスに含まれる粒子を捕捉するメカニカルフィルタである。

回収タンク 6 3 は、フィルタ 6 1 を通過した排出ガスを収容する容器である。回収タンク 6 3 には、回収圧力センサ P 2 が取り付けられている。

[0035] 昇圧ポンプ 6 4 は、回収タンク 6 3 から導入される排出ガスを昇圧して常温ガスを出力するポンプである。昇圧ポンプ 6 4 は、例えば、排出ガスへのオイルの混入が少ないダイヤフラム型またはペーローズ型のポンプで構成される。

[0036] 酸素トラップ 6 7 は、昇圧されたガスから酸素ガスを捕捉する処理剤を備えている。酸素ガスを捕捉する処理剤は、ニッケル (N i) 系触媒、銅 (C u) 系触媒、及びそれらの複合物の少なくとも一つを含む。酸素トラップ 6 7 は、図示しない加熱装置及び温度調節装置を備えている。

[0037] 不純物ガストラップ 6 9 は、例えば、メタルゲッターを含むメタルフィルタである。メタルゲッターは、例えば、ジルコニウム (Z r) 系合金である。

昇圧タンク 6 5 は、フッ素トラップ 4 5 から不純物ガストラップ 6 9 までを通過した不活性再生ガスを収容する容器である。昇圧タンク 6 5 には、昇圧圧力センサ P 3 が取り付けられている。

[0038] レギュレータ 6 6 は、昇圧タンク 6 5 から供給された不活性再生ガスの圧力を、例えば 5 0 0 0 h P a 以上、6 0 0 0 h P a 以下の値にしてマスフローコントローラ M F C 1 に供給するように構成されている。

キセノン濃度計測器 7 9 は、レギュレータ 6 6 を通過した不活性再生ガスのキセノンガス濃度を計測するように構成されている。キセノン濃度計測器

79は、例えば、ガスクロマトグラフ質量分析装置（GS-MS）を含む。

マスフローコントローラMFC1は、図示しないマスフローメータ及びバルブを含む。マスフローメータで計測される流量に基づいてバルブの開度が制御される。これにより、マスフローコントローラMFC1は、不活性再生ガスの流量を制御する。

[0039] キセノン添加部75は、キセノン含有ガスボンベ76と、配管20と、レギュレータ77と、マスフローコントローラMFC2と、を含む。

キセノン含有ガスボンベ76に、配管20の一端が接続されている。レギュレータ77及びマスフローコントローラMFC2は、配管20に配置されている。レギュレータ77及びマスフローコントローラMFC2は、この順でキセノン含有ガスボンベ76側から配置されている。配管20は、配管24と配管25との接続部分に接続されている。

[0040] キセノン含有ガスボンベ76は、キセノン含有ガスを収容したガスボンベである。キセノン含有ガスは、アルゴンガスとネオンガスの他に、キセノンガスを混合したレーザガスである。キセノン含有ガスのキセノンガス濃度は、不活性ガス供給源Bから供給される不活性新ガスにおけるキセノンガス濃度より高い濃度に調節されている。第3のレーザガスのガス組成比は、たとえば、キセノンガスが10000ppm、アルゴンガスが3.5%、残りがネオンガスであってもよい。

[0041] レギュレータ77は、キセノン含有ガスボンベ76から供給されたキセノン含有ガスの圧力を、例えば5000hPa以上、6000hPa以下の値にしてマスフローコントローラMFC2に供給するように構成されている。

マスフローコントローラMFC2は、図示しないマスフローメータ及びバルブを含む。マスフローメータで計測される流量に基づいてバルブの開度が制御される。これにより、マスフローコントローラMFC2は、レギュレータ77を通過したキセノン含有ガスの流量を制御する。

[0042] 配管20と配管24との接続部分において、マスフローコントローラMFC1から供給された不活性再生ガスに、マスフローコントローラMFC2か

ら供給されたキセノン含有ガスが混合される。

[0043] 配管 25 に配置された再生ガスタンク 81 は、配管 20 と配管 24 との接続部分から供給される不活性再生ガスを収容する容器である。再生ガスタンク 81 には、不活性ガス圧力センサ P4 が取り付けられている。

フィルタ 83 は、再生ガスタンク 81 から供給される不活性再生ガスに含まれる粒子を捕捉するメカニカルフィルタである。

[0044] 1. 2 動作

1. 2. 1 レーザ発振システムの動作

レーザ制御部 31 は、露光装置制御部 110 から、目標パルスエネルギーの設定信号と、発光トリガ信号と、を受信する。レーザ制御部 31 は、露光装置制御部 110 から受信した目標パルスエネルギーの設定信号に基づいて、充電器 12 に充電電圧の設定信号を送信する。また、レーザ制御部 31 は、露光装置制御部 110 から受信した発光トリガ信号に基づいて、パルスパワーモジュール 13 に含まれるスイッチ 13a に発光トリガを送信する。

[0045] パルスパワーモジュール 13 のスイッチ 13a は、レーザ制御部 31 から発光トリガを受信するとオン状態となる。パルスパワーモジュール 13 は、スイッチ 13a がオン状態となると、充電器 12 に充電された電気エネルギーからパルス状の高電圧を生成する。パルスパワーモジュール 13 は、この高電圧を一对の放電電極 11a 及び 11b に印加する。

[0046] 一对の放電電極 11a 及び 11b 間に高電圧が印加されると、一对の放電電極 11a 及び 11b 間に放電が起こる。この放電のエネルギーにより、レーザチャンバ 10 内のレーザガスが励起されて高エネルギー準位に移行する。励起されたレーザガスが、その後、低エネルギー準位に移行するとき、そのエネルギー準位差に応じた波長の光を放出する。

[0047] レーザチャンバ 10 内で発生した光は、ウィンドウ 10a 及び 10b を介してレーザチャンバ 10 の外部に出射する。レーザチャンバ 10 のウィンドウ 10a から出射した光は、プリズム 14a によってビーム幅を拡大させられて、グレーティング 14b に入射する。プリズム 14a からグレーティン

グ 1 4 b に入射した光は、グレーティング 1 4 b の複数の溝によって反射されるとともに、光の波長に応じた方向に回折させられる。グレーティング 1 4 b は、プリズム 1 4 a からグレーティング 1 4 b に入射する光の入射角と、所望波長の回折光の回折角とが一致するようにリトロ配置とされている。これにより、所望波長付近の光がプリズム 1 4 a を介してレーザチャンバ 1 0 に戻される。

[0048] 出力結合ミラー 1 5 は、レーザチャンバ 1 0 のウィンドウ 1 0 b から出射した光のうちの一部を透過させて出力し、他の一部を反射させてレーザチャンバ 1 0 に戻す。

[0049] このようにして、レーザチャンバ 1 0 から出射した光は、狭帯域化モジュール 1 4 と出力結合ミラー 1 5 との間で往復し、一对の放電電極 1 1 a 及び 1 1 b 間の放電空間を通過する度に増幅され、レーザ発振する。この光は、狭帯域化モジュール 1 4 で折り返される度に狭帯域化される。こうして増幅され、狭帯域化された光が、出力結合ミラー 1 5 からレーザ光として出力される。

[0050] パワーモニタ 1 7 は、出力結合ミラー 1 5 から出力されたレーザ光のパルスエネルギーを検出する。パワーモニタ 1 7 は、検出したパルスエネルギーのデータをレーザ制御部 3 1 に送信する。

[0051] レーザ制御部 3 1 は、パワーモニタ 1 7 から受信したパルスエネルギーの測定データと、露光装置制御部 1 1 0 から受信した目標パルスエネルギーの設定信号とに基づいて、充電器 1 2 に設定する充電電圧をフィードバック制御する。

[0052] 1. 2. 1. 1 エネルギー制御

図 2 は、比較例に係るエキシマレーザ装置 3 0 のレーザ制御部 3 1 によるエネルギー制御を示すフローチャートである。レーザ制御部 3 1 は、以下の処理により、出力パルスレーザ光のパルスエネルギーが目標パルスエネルギーに近づくように充電器 1 2 に設定する充電電圧を制御する。本フローチャート及び以下のフローチャートにおいて、「Y」は Y E S と判定された場合

の分岐先を示し、「N」はNOと判定された場合の分岐先を示す。

[0053] まず、S 1 1において、レーザ制御部3 1は、充電電圧Vを初期値に設定する。ここで設定される初期値は、例えば、一对の放電電極1 1 a及び1 1 bの間で放電が起こってレーザチャンバ1 0からパルスレーザ光が出力されるような値とする。

[0054] 次に、S 1 2において、レーザ制御部3 1は、目標パルスエネルギーE tを記憶装置から読み込む。目標パルスエネルギーE tの値は、例えば、露光装置1 0 0によって指定された値である。

[0055] 次に、S 1 3において、レーザ制御部3 1は、レーザ発振したか否かを判定する。レーザ発振したか否かは、レーザ制御部3 1がパルスパワーモジュール1 3のスイッチ1 3 aに発光トリガを出力したか否かによって判定される。レーザ発振していない場合は、レーザ発振するまで待機する。レーザ発振した場合は、レーザ制御部3 1は、処理をS 1 4に進める。

S 1 4において、レーザ制御部3 1は、パワーモニタ1 7から出力されるパルスエネルギーEを読み込む。

[0056] 次に、S 1 5において、レーザ制御部3 1は、S 1 4において読み込まれたパルスエネルギーEと、S 1 2において読み込まれた目標パルスエネルギーE tとの差 ΔE を、以下の式により計算する。

$$\Delta E = E - E t$$

[0057] 次に、S 1 6において、レーザ制御部3 1は、現在の充電電圧Vに基づいて、新たな充電電圧Vを以下の式により計算し、充電電圧Vの値を更新する。

$$V = V - V k \cdot \Delta E$$

ここで、V kは、パルスエネルギーを ΔE 変化させたいときに充電電圧Vをどれだけ変化させればよいかを計算するための係数である。このようにして充電電圧Vの値を更新し、充電器1 2に設定することにより、パルスエネルギーEを目標パルスエネルギーE tに近づけることができる。

[0058] 次に、S 1 7において、レーザ制御部3 1は、ガス制御部4 7に、S 1 6

で計算された充電電圧 V のデータを送信する。充電電圧 V のデータは、図5を参照しながら説明するガス圧制御において用いられる。

次に、S18において、レーザ制御部31は、充電電圧 V が上限値 $V_{max} \times 2$ 以上であるか否かを判定する。充電電圧 V が上限値 $V_{max} \times 2$ 以上ではない場合は、レーザ制御部31は、処理を上述のS12に戻してその後の処理を繰り返す。充電電圧 V が上限値 $V_{max} \times 2$ 以上である場合、エキシマレーザ装置を停止させてメンテナンス等を行うため、レーザ制御部31は本フローチャートの処理を終了する。

[0059] 1. 2. 2 レーザガス制御システムの動作

図3は、比較例に係るエキシマレーザ装置30のガス制御部47によるレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。ガス制御部47は、以下の処理により、ガス圧制御及び部分ガス交換を行う。

[0060] まず、S1100において、ガス制御部47は、ガス制御パラメータの初期設定を行う。この処理の詳細については、図4を参照しながら後述する。

[0061] 次に、S1200において、ガス制御部47は、タイマー T 及びパルスカウンタ N をそれぞれ0にリセットして、それぞれのカウントをスタートする。タイマー T の値は、例えば、時間が1秒経過するごとに加算されて更新される。パルスカウンタ N の値は、例えば、エキシマレーザ装置30からパルスレーザ光の1つのパルスが出力されるごとに加算されて更新される。

[0062] 次に、S1300において、ガス制御部47は、レーザガス再生装置50が再生準備できたか否かを判定する。レーザガス再生装置50が再生準備できたか否かは、例えば、後述の図8のフローチャートのS104においてガス再生制御部51からガス再生準備OK信号が出力されたか否かによって判断される。

レーザガス再生装置50が再生準備できていない場合（S1300：NO）、ガス制御部47は、S1400に処理を進める。

レーザガス再生装置50が再生準備できた場合（S1300：YES）、ガス制御部47は、S1500に処理を進める。

[0063] S 1 4 0 0において、ガス制御部47は、バルブE X - V 2を開き、バルブC - V 1を閉じる。これにより、レーザガス制御システム40からレーザガス再生装置50へのガスの供給が停止され、レーザチャンバ10から排出されたガスはバルブE X - V 2を介して装置外部に排気される。S 1 4 0 0の後、ガス制御部47は、S 1 6 0 0に処理を進める。

S 1 5 0 0において、ガス制御部47は、バルブE X - V 2を閉じ、バルブC - V 1を開く。これにより、レーザガス制御システム40からバルブE X - V 2を介した装置外部への排気が停止され、レーザチャンバ10から排出されたガスはレーザガス再生装置50に供給される。S 1 5 0 0の後、ガス制御部47は、S 1 6 0 0に処理を進める。

[0064] S 1 6 0 0において、ガス制御部47は、充電電圧V及びタイマーTの値を読み込む。

次に、S 1 7 0 0において、ガス制御部47は、充電電圧Vが第1の閾値V m i n以上、第2の閾値V m a x以下であるか否かを判定する。

充電電圧Vが第1の閾値V m i n未滿、又は、第2の閾値V m a xより大きい場合（S 1 7 0 0 : N O）、ガス制御部47は、S 1 8 0 0に処理を進める。

充電電圧Vが第1の閾値V m i n以上、且つ、第2の閾値V m a x以下である場合（S 1 7 0 0 : Y E S）、ガス制御部47は、S 1 9 0 0に処理を進める。

[0065] S 1 8 0 0において、ガス制御部47は、充電電圧Vを第1の閾値V m i n以上、且つ、第2の閾値V m a x以下に収めるために、レーザチャンバ10のガス圧制御を行う。S 1 8 0 0の処理の詳細については、図5を参照しながら後述する。S 1 8 0 0の後、ガス制御部47は、S 1 3 0 0に処理を戻してその後の処理を繰り返す。

[0066] S 1 9 0 0において、ガス制御部47は、タイマーTの値が部分ガス交換周期T p g未滿であるか否かを判定する。

タイマーTの値が部分ガス交換周期T p g以上である場合（S 1 9 0 0 :

NO)、ガス制御部47は、処理をS2000に進める。

タイマーTの値が部分ガス交換周期 T_{pg} 未満である場合(S1900: YES)、ガス制御部47は、処理をS2200に進める。

[0067] S2000において、ガス制御部47は、レーザチャンバ10の内部のガスの不純物を低減するとともに、エキシマレーザ装置30の運転によって消費されたフッ素ガスを補充するために、部分ガス交換を行う。S2000の処理の詳細については、図6を参照しながら後述する。

S2000の後、S2100において、ガス制御部47はタイマーT及びパルスカウンタNを0にリセットして、それぞれのカウントをスタートする。S2100の後、ガス制御部47はS2200に処理を進める。

[0068] S2200において、ガス制御部47は、ガス制御を停止するか否かを判定する。ガス制御を停止しない場合(S2200: NO)、ガス制御部47は、S1300に処理を戻す。ガス制御を停止する場合(S2200: YES)、ガス制御部47は、本フローチャートの処理を終了する。

[0069] 1. 2. 2. 1 ガス制御パラメータの初期設定

図4は、図3に示されるガス制御パラメータの初期設定の詳細を示すフローチャートである。図4に示される処理は、図3に示されるS1100のサブルーチンとして、ガス制御部47によって行われる。

[0070] まず、S1101において、ガス制御部47は、ガス圧制御のための充電電圧の第1の閾値 V_{min} 及び第2の閾値 V_{max} を記憶装置から読み込む。

次に、S1102において、ガス制御部47は、部分ガス交換周期 T_{pg} の値を記憶装置から読み込む。

[0071] 次に、S1103において、ガス制御部47は、ガス圧制御におけるガス圧変化量 ΔP_t の値を読み込む。ガス圧変化量 ΔP_t の値を用いたガス圧制御の処理については、図5を参照しながら後述する。

[0072] 次に、S1104において、ガス制御部47は、部分ガス交換における不活性ガス供給係数 K_{bg} 及びフッ素含有ガス供給係数 K_{hg} の値を読み込む。

。これらの係数の値を用いた部分ガス交換の処理については、図6を参照しながら後述する。

[0073] 次に、S 1 1 0 5において、ガス制御部47は、レーザ制御部31を介して、ガス再生制御部51に、ガス再生命令信号を送信する。図8を参照しながら後述するように、ガス再生制御部51がガス再生命令信号を受信すると、レーザガス再生装置50によるガスの再生が可能となる。

S 1 1 0 5の後、ガス制御部47は、本フローチャートの処理を終了し、図3に示される処理に戻る。

[0074] 1. 2. 2. 2 ガス圧制御

図5は、図3に示されるガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。図5に示される処理は、図3に示されるS 1 8 0 0のサブルーチンとして、ガス制御部47によって行われる。ガス制御部47は、図2に示されるエネルギー制御によって設定された充電電圧Vに基づいて、レーザチャンバ10内のガス圧を制御する。

[0075] まず、S 1 8 0 1において、ガス制御部47は、S 1 6 0 0において読み込まれた充電電圧Vが第1の閾値 V_{min} より低いか、あるいは、第2の閾値 V_{max} より高いかを判定する。

[0076] 充電電圧Vが第1の閾値 V_{min} より低い場合、ガス制御部47は、S 1 8 0 2において、レーザチャンバ10のガス圧が ΔP_t 減少するように、バルブEX-V1を制御する。バルブEX-V1を制御することにより、レーザチャンバ10内のレーザガスの一部が排出されて、ガス圧が減少する。レーザチャンバ10内のガス圧を減少させることにより、パルスエネルギーを低下させることができる。これにより、図2に示されるエネルギー制御によって設定される充電電圧Vを高くすることができる。その後、ガス制御部47は、本フローチャートの処理を終了し、図3に示される処理に戻る。

[0077] 充電電圧Vが第2の閾値 V_{max} より高い場合、ガス制御部47は、S 1 8 0 3において、レーザチャンバ10のガス圧が ΔP_t 増加するように、バルブB-V1を制御する。バルブB-V1を制御することにより、不活性ガ

スがレーザチャンバ10内に供給されて、ガス圧が増加する。ここでレーザチャンバ10内に供給される不活性ガスは、不活性ガス供給源BからバルブB-V2を介して供給される不活性新ガス、又は、レーザガス再生装置50において不純物を低減されバルブB-CV1を介して供給される不活性再生ガスのいずれかである。レーザチャンバ10内のガス圧を増加させることにより、パルスエネルギーを高くすることができる。これにより、図2に示されるエネルギー制御によって設定される充電電圧Vを低くすることができる。その後、ガス制御部47は、本フローチャートの処理を終了し、図3に示される処理に戻る。

[0078] 1. 2. 2. 3 部分ガス交換

図6は、図3に示される部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。図6に示される処理は、図3に示されるS2000のサブルーチンとして、ガス制御部47によって行われる。

ここでいう部分ガス交換の処理は、レーザチャンバ10内のレーザガスの一部を交換して不純物を低減することを含む処理であるが、レーザガス中のフッ素ガス分圧を部分ガス交換の前後で同等とする場合には限られない。部分ガス交換の処理は、レーザチャンバ10内のレーザガスの一部を交換するだけでなく、エキシマレーザ装置30の運転によって消費されたフッ素ガスを補充して、レーザチャンバ10内のレーザガス中のフッ素ガス分圧を所望の範囲にまで高くする処理を含む。

エキシマレーザ装置30を長い時間運転すると、フッ素ガスとレーザチャンバ内の物質とが反応することによって、フッ素ガスが消費され、レーザチャンバ10内のレーザガス中のフッ素ガス濃度が低下するとともに、不純物ガスが生成される。

レーザチャンバ10内のレーザガス中におけるフッ素ガス濃度の低下と不純物ガスの生成は、出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーの低下やパルスエネルギーの安定性の悪化をもたらすことがある。

そこで、以下に説明する部分ガス交換により、レーザチャンバ10内のレ

ーザガス中においてフッ素ガス濃度を安定化し不純物ガス濃度の増加を抑制する。

[0079] まず、S 2 0 0 1 において、ガス制御部 4 7 は、パルスカウンタ N の値を読み込む。

次に、S 2 0 0 2 において、ガス制御部 4 7 は、不活性ガス供給量 $\Delta P b g$ を、以下の式により計算する。

$$\Delta P b g = K b g \cdot N$$

ここで、 $K b g$ は、上述の不活性ガス供給係数である。

[0080] 次に、S 2 0 0 3 において、ガス制御部 4 7 は、レーザチャンバ 1 0 内のガス圧が $\Delta P b g$ 増加するように、バルブ B - V 1 を制御する。バルブ B - V 1 を制御することにより、レーザチャンバ 1 0 内に不活性ガスが供給される。ここでレーザチャンバ 1 0 内に供給される不活性ガスは、不活性ガス供給源 B からバルブ B - V 2 を介して供給される不活性新ガス、又は、レーザガス再生装置 5 0 において不純物を低減されバルブ B - C V 1 を介して供給される不活性再生ガスのいずれかである。

[0081] 次に、S 2 0 0 4 において、ガス制御部 4 7 は、フッ素含有ガス供給量 $\Delta P h g$ を、以下の式により計算する。

$$\Delta P h g = K h g \cdot N$$

ここで、 $K h g$ は、上述のフッ素含有ガス供給係数である。このフッ素含有ガス供給係数 $K h g$ は、例えば、第 1 の係数と第 2 の係数との合計値として求められる。第 1 の係数は、部分ガス交換の前後のフッ素ガス分圧を同等とするのに必要な第 1 のフッ素含有ガス供給量を算出するための係数である。第 2 の係数は、1 回の放電によって消費されるフッ素ガスを補充するのに必要な第 2 のフッ素含有ガス供給量を算出するための係数である。

[0082] 次に、S 2 0 0 5 において、ガス制御部 4 7 は、レーザチャンバ 1 0 内のガス圧が $\Delta P h g$ 増加するように、バルブ F 2 - V 1 を制御する。バルブ F 2 - V 1 を制御することにより、レーザチャンバ 1 0 内にフッ素含有ガスが供給される。

[0083] 次に、S 2 0 0 6において、ガス制御部4 7は、レーザチャンバ1 0内のガス圧が($\Delta P_{bg} + \Delta P_{hg}$) 減少するように、バルブE X - V 1を制御する。バルブE X - V 1を制御することにより、レーザチャンバ1 0内のレーザガスが排出されて、部分ガス交換前のガス圧に戻される。

S 2 0 0 6の後、ガス制御部4 7は、本フローチャートの処理を終了し、図3に示される処理に戻る。

[0084] 以上の部分ガス交換処理により、以下の作用がある。

第1に、レーザチャンバ1 0内の主に放電によって消費されたフッ素ガスを補充することができる。これによって、レーザチャンバ1 0内のフッ素ガス濃度を所望の濃度に安定化させることができる。

第2に、不純物の少ない所定の量のガスをレーザチャンバ1 0に供給し、この供給したガスの量と同等の量だけレーザチャンバ1 0内のガスを排出することができる。これにより、レーザチャンバ1 0内におけるフッ化水素(HF)、四フッ化炭素(CF_4)、四フッ化ケイ素(SiF_4)、三フッ化窒素(NF_3)、ヘキサフルオロエタン(C_2F_6)などの不純物を低減することができる。

[0085] 1. 2. 3 レーザガス再生装置の動作

図1を再び参照し、レーザガス再生装置5 0は、エキシマレーザ装置3 0から排出された排出ガスから不純物を低減する。レーザガス再生装置5 0は、不純物を低減された不活性再生ガスをエキシマレーザ装置3 0に供給する。

[0086] ガス再生制御部5 1は、レーザ制御部3 1との間で信号を送受信する。ガス再生制御部5 1は、レーザガス再生装置5 0の各構成要素を制御する。

フィルタ6 1は、レーザガス再生装置5 0に供給された排出ガスから、レーザチャンバ1 0において放電によって生成された粒子を捕捉する。

[0087] 回収タンク6 3は、フィルタ6 1を通過した排出ガスを収容する。回収タンク6 3に取り付けられた回収圧力センサP 2は、回収タンク6 3の内部のガス圧を測定する。回収圧力センサP 2は、測定されたガス圧のデータをガ

ス再生制御部 5 1 に出力する。

[0088] 昇圧ポンプ 6 4 は、ガス再生制御部 5 1 によって制御される。ガス再生制御部 5 1 は、回収圧力センサ P 2 から受信した回収タンク 6 3 のガス圧が例えば大気圧以上である場合に昇圧ポンプ 6 4 が動作するように、昇圧ポンプ 6 4 を制御する。昇圧ポンプ 6 4 は、回収タンク 6 3 から供給される排出ガスを昇圧して、昇圧ガスを酸素トラップ 6 7 に出力する。

[0089] 酸素トラップ 6 7 は、フッ素トラップ 4 5 においてフッ素ガスと酸化カルシウムとの反応によって生成された酸素ガスを捕捉する。酸素トラップ 6 7 の図示しない加熱装置及び温度調節装置は、酸素トラップ 6 7 が酸素ガスを捕捉する最適温度となるように、ガス再生制御部 5 1 によって制御される。

不純物ガストラップ 6 9 は、酸素トラップ 6 7 を通過した排出ガスから、微量の水蒸気、酸素ガス、一酸化炭素ガス、二酸化炭素ガス、窒素ガス等の不純物ガスをトラップする。

[0090] 昇圧タンク 6 5 は、不純物ガストラップ 6 9 を通過した不活性再生ガスを収容する。昇圧タンク 6 5 に取り付けられた昇圧圧力センサ P 3 は、昇圧タンク 6 5 の内部のガス圧を測定する。昇圧圧力センサ P 3 は、測定されたガス圧のデータをガス再生制御部 5 1 に出力する。

キセノン濃度計測器 7 9 は、測定したキセノンガス濃度をガス再生制御部 5 1 へ送信する。

マスフローコントローラ MFC 1 の流量は、ガス再生制御部 5 1 によって設定される。

[0091] キセノン添加部 7 5 において、マスフローコントローラ MFC 2 の流量は、ガス再生制御部 5 1 によって設定される。マスフローコントローラ MFC 1 の流量とマスフローコントローラ MFC 2 の流量とは、配管 2 0 と配管 2 4 との接続部分でキセノン含有ガスが添加された不活性再生ガスのキセノンガス濃度が所望の値となるように設定される。所望の値は、例えば、不活性ガス供給源 B から供給される不活性新ガスのキセノンガス濃度と同じ値である。

[0092] 再生ガスタンク 8 1 は、キセノン含有ガスが添加された不活性再生ガスを収容する。再生ガスタンク 8 1 に取り付けられた不活性ガス圧力センサ P 4 は、再生ガスタンク 8 1 の内部のガス圧を測定する。不活性ガス圧力センサ P 4 は、測定されたガス圧のデータをガス再生制御部 5 1 に出力する。

フィルタ 8 3 は、再生ガスタンク 8 1 から供給される不活性再生ガスから、レーザガス再生装置 5 0 において生成された粒子を捕捉する。

[0093] ガス精製流路から配管 2 7 を介したガス供給装置 4 2 への不活性再生ガスの供給は、バルブ B - C V 1 の開閉によって制御される。バルブ B - C V 1 の開閉は、ガス再生制御部 5 1 によって制御される。

[0094] 不活性ガス供給源 B から配管 2 7 を介したガス供給装置 4 2 への不活性新ガスの供給は、バルブ B - V 2 の開閉によって制御される。バルブ B - V 2 の開閉は、ガス再生制御部 5 1 によって制御される。

[0095] ガス再生制御部 5 1 は、バルブ B - C V 1 を閉めてバルブ B - V 2 を開けるか、バルブ B - V 2 を閉めてバルブ B - C V 1 を開けるか、を選択してこれらのバルブを制御する。

[0096] 1. 2. 3. 1 メインフロー

図 7 は、図 1 に示されるガス再生制御部 5 1 の処理を示すフローチャートである。ガス再生制御部 5 1 は、以下のようにしてレーザガスの再生を行う。

[0097] まず、S 1 0 0 において、ガス再生制御部 5 1 は、ガス再生の初期設定サブルーチンを行う。ガス再生の初期設定サブルーチンの詳細については、図 8 を参照しながら後述する。

S 1 0 0 の後、ガス再生制御部 5 1 は、S 2 0 0、S 3 0 0 及び S 4 0 0 の処理を並列して行う。あるいは、ガス再生制御部 5 1 は、S 2 0 0、S 3 0 0 及び S 4 0 0 の処理を順に行ってもよい。S 2 0 0、S 3 0 0 及び S 4 0 0 の処理順序は特に限定されない。

[0098] S 2 0 0 において、ガス再生制御部 5 1 は、ガス回収／昇圧サブルーチンにより、昇圧ポンプ 6 4 の制御を行う。ガス回収／昇圧サブルーチンの詳細

については、図9を参照しながら後述する。

S300において、ガス再生制御部51は、ガス精製／調節サブルーチンにより、マスフローコントローラMFC1及びマスフローコントローラMFC2の制御を行う。ガス精製／調節サブルーチンの詳細については、図10を参照しながら後述する。

S400において、ガス再生制御部51は、不活性再生ガス貯蔵／供給サブルーチンにより、バルブB-CV1及びバルブB-V2の制御を行う。不活性再生ガス貯蔵／供給サブルーチンの詳細については、図11を参照しながら後述する。

[0099] S200、S300及びS400の後、ガス再生制御部51は、処理をS600に進める。S600において、ガス再生制御部51は、レーザガスの再生を停止するか否かを判定する。例えば、ガス再生制御部51は、昇圧ポンプ64などレーザガス再生装置50の一部が故障した場合、あるいは、各種フィルタの寿命などによりメンテナンスを行う場合に、レーザガスの再生を停止すると判断する。

レーザガスの再生を停止しない場合（S600：NO）、ガス再生制御部51は、処理を上述のS200、S300及びS400に戻す。

レーザガスの再生を停止する場合（S600：YES）、ガス再生制御部51は、処理をS700に進める。

[0100] S700において、ガス再生制御部51は、レーザ制御部31に、レーザガスの再生停止を通知するための信号を出力する。

S700の後、ガス再生制御部51は、本フローチャートの処理を終了する。

[0101] 1. 2. 3. 2 ガス再生の初期設定サブルーチン

図8は、比較例におけるガス再生の初期設定サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。図8に示される処理は、図7に示されるS100のサブルーチンとして、ガス再生制御部51によって行われる。

[0102] まず、S101において、ガス再生制御部51は、ガス再生の準備を行う

。ガス再生の準備において、ガス再生制御部51は、配管24、25、26、27及び20をレーザガスで満たし、あるいは真空状態としてもよい。また、ガス再生制御部51は、酸素トラップ67のヒータを制御してもよい。

[0103] 次に、S102において、ガス再生制御部51は、バルブB-CV1を閉め、バルブB-V2を開ける。これにより、レーザガス再生装置50からレーザチャンバ10への不活性再生ガスの供給が停止され、不活性新ガスの供給が可能な状態となる。

[0104] 次に、S103において、ガス再生制御部51は、マスフローコントローラMFC1の流量MFC1及びマスフローコントローラMFC2の流量MFC2をそれぞれ0に設定する。これにより、レーザガス再生装置50は、配管20と配管24との接続部分への不活性再生ガス及びキセノン含有ガスの流入が停止された状態となる。以下の説明において、マスフローコントローラを示すMFC1、MFC2などの符号と、当該マスフローコントローラの流量を示すMFC1、MFC2などの符号とは、共通のものをを用いる。

[0105] 次に、S104において、ガス再生制御部51は、レーザ制御部31に、ガス再生準備がOKであることを示す信号を出力する。レーザ制御部31は、ガス再生制御部51からの信号をガス制御部47に送信する。ガス制御部47は、図3のフローチャートのS1300及びS1500の処理により、排気装置43のバルブEX-V2を閉め、排気装置43のバルブC-V1を開ける。

[0106] 次に、S105において、ガス再生制御部51は、レーザ制御部31から、ガス再生命令信号を受信したか否かを判定する。ガス再生制御部51は、ガス再生命令信号を受信していない場合、ガス再生命令信号を受信するまで待機する。ガス再生制御部51は、ガス再生命令信号を受信した場合、本フローチャートの処理を終了して、図7の処理に戻る。

[0107] 1. 2. 3. 3 ガス回収／昇圧サブルーチン

図9は、比較例におけるガス回収／昇圧サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。図9に示される処理は、図7に示されるS200のサブル

一チンとして、ガス再生制御部51によって行われる。ガス再生制御部51は、以下の処理により、昇圧ポンプ64を制御して、回収タンク63に収容された排出ガスを昇圧し、各種トラップを介して昇圧タンク65に収容させる。

[0108] まず、S201において、ガス再生制御部51は、回収圧力センサP2から出力される回収タンク63の圧力P2と、昇圧圧力センサP3から出力される昇圧タンク65の圧力P3と、を読み込む。以下の説明において、圧力センサを示すP2、P3などの符号と、当該圧力センサから出力された圧力値を示すP2、P3などの符号とは、共通のものを用いる。

[0109] 次に、S202において、ガス再生制御部51は、回収タンク63の圧力P2が所定値 P_{2min} より高く、且つ、昇圧タンク65の圧力P3が所定値 P_{3max2} 以下であるか否かを判定する。所定値 P_{2min} は、大気圧より若干低めの値、例えば900hPa以上、1000hPa以下の値に設定される。所定値 P_{3max2} は、例えば昇圧タンク65の設計上の上限圧力よりも低く上限圧力に近い圧力に設定される。

[0110] 圧力P2が所定値 P_{2min} 以下の場合、又は、圧力P3が所定値 P_{3max2} より高い場合（S202：NO）、ガス再生制御部51は、処理をS203に進める。

圧力P2が所定値 P_{2min} より高く、且つ、圧力P3が所定値 P_{3max2} 以下である場合（S202：YES）、ガス再生制御部51は、処理をS204に進める。

[0111] S203において、ガス再生制御部51は、昇圧ポンプ64の運転を停止する。これにより、回収タンク63の圧力P2が低すぎる場合や昇圧タンク65の圧力P3が高すぎる場合は昇圧ポンプ64を停止させる。

S204において、ガス再生制御部51は、昇圧ポンプ64の運転を開始し、あるいは、既に運転開始している場合は運転を継続する。

S203の後、又はS204の後、ガス再生制御部51は、本フローチャートの処理を終了し、図7に示される処理に戻る。

[0112] 1. 2. 3. 4 ガス精製／調節サブルーチン

図10は、比較例におけるガス精製／調節サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。図10に示される処理は、図7に示されるS300のサブルーチンとして、ガス再生制御部51によって行われる。ガス再生制御部51は、以下の処理により、マスフローコントローラMFC1及びマスフローコントローラMFC2を制御し、昇圧タンク65に収容された不活性再生ガスにキセノン含有ガスを添加して再生ガスタンク81に収容させる。

[0113] まず、S301において、ガス再生制御部51は、昇圧圧力センサP3から出力される昇圧タンク65の圧力P3と、不活性ガス圧力センサP4から出力される再生ガスタンク81の圧力P4と、を読み込む。

[0114] 次に、S308において、ガス再生制御部51は、昇圧タンク65の圧力P3が所定値P3maxより高く、且つ、再生ガスタンク81の圧力P4が所定値P4max以下であるか否かを判定する。所定値P3maxは、所定値P3max2より低く、不活性ガス供給源Bのレギュレータ86の圧力と同等以上の値、例えば、7000hPa以上、8000hPa以下の値に設定される。所定値P4maxは、例えば、再生ガスタンク81の設計上の上限圧力よりも低く上限圧力に近い圧力に設定される。

[0115] 圧力P3が所定値P3max以下の場合、又は、圧力P4が所定値P4maxより高い場合（S308：NO）、ガス再生制御部51は、処理をS309に進める。

圧力P3が所定値P3maxより高く、且つ、圧力P4が所定値P4max以下である場合（S308：YES）、ガス再生制御部51は、処理をS310に進める。

[0116] S309において、ガス再生制御部51は、マスフローコントローラMFC1の流量MFC1及びマスフローコントローラMFC2の流量MFC2をそれぞれ0に設定する。これにより、昇圧タンク65の圧力が低すぎる場合や再生ガスタンク81の圧力が高すぎる場合に、レーザガス再生装置50は、配管20と配管24との接続部分への不活性再生ガス及びキセノン含有ガ

スの流入が停止された状態となる。

S 3 0 9 の後、ガス再生制御部 5 1 は、本フローチャートの処理を終了し、図 7 に示される処理に戻る。

[0117] S 3 1 0 において、ガス再生制御部 5 1 は、キセノン濃度計測器 7 9 から、キセノン添加前の不活性再生ガスのキセノンガス濃度 $C_{xe m}$ を読み込む。

次に、S 3 1 1 において、ガス再生制御部 5 1 は、マスフローコントローラ MFC 1 の流量 MFC 1 とマスフローコントローラ MFC 2 の流量 MFC 2 との流量比 R を、以下の式により計算する。

$$R = (C_{xe m} - C_{xe t}) / (C_{xe t} - C_{xe b})$$

ここで、 $C_{xe b}$ は、不活性再生ガスに添加されるキセノン含有ガスのキセノンガス濃度である。 $C_{xe t}$ は、キセノン添加された不活性再生ガスの目標キセノン濃度である。

この目標キセノン濃度 $C_{xe t}$ は、不活性ガス供給源 B から供給される不活性新ガスのキセノンガス濃度と同じである。

[0118] 次に、S 3 1 2 において、ガス再生制御部 5 1 は、マスフローコントローラ MFC 1 の流量 MFC 1 及びマスフローコントローラ MFC 2 の流量 MFC 2 を以下のように設定する。

$$MFC 1 = Q_r$$

$$MFC 2 = R \cdot Q_r$$

これにより、配管 2 0 と配管 2 4 との接続部分に不活性再生ガス及びキセノン含有ガスが流量比 R で流入して混合され、再生ガスタンク 8 1 を介してレーザチャンバ 1 0 に供給される。

S 3 1 2 の後、ガス再生制御部 5 1 は、本フローチャートの処理を終了し、図 7 に示される処理に戻る。

[0119] 上述の流量比 R は以下のようにして導出される。

まず、変数を以下のように設定する。

Q_r : 目標キセノン濃度 $C_{xe t}$ を得るためのマスフローコントローラ M

F C 1 の流量

$Q_{x e b}$: 目標キセノン濃度 $C_{x e t}$ を得るためのマスフローコントローラ M F C 2 の流量

$C_{x e m}$: キセノン添加前の不活性再生ガスのキセノンガス濃度

$C_{x e b}$: 不活性再生ガスに添加されるキセノン含有ガスのキセノンガス濃度

[0120] 配管 2 0 と配管 2 4 との接続部分でキセノン添加された不活性再生ガスの流量は、 $(Q_{x e b} + Q_r)$ となる。

キセノン添加された不活性再生ガスに含まれるキセノンガスの量は、 $(C_{x e b} \cdot Q_{x e b} + C_{x e m} \cdot Q_r)$ となる。

[0121] そこで、キセノン添加された不活性再生ガスのキセノンガス濃度が目標キセノン濃度 $C_{x e t}$ と等しくなるように、以下の式が与えられる。

$$C_{x e t} = (C_{x e b} \cdot Q_{x e b} + C_{x e m} \cdot Q_r) / (Q_{x e b} + Q_r)$$

この式は、 $Q_{x e b} = R \cdot Q_r$ より、以下のように変形される。

$$C_{x e t} = (C_{x e b} \cdot R + C_{x e m}) / (R + 1)$$

この式から R を求めると、以下ようになる。

$$R = (C_{x e m} - C_{x e t}) / (C_{x e t} - C_{x e b})$$

[0122] 1. 2. 3. 5 不活性再生ガス貯蔵／供給サブルーチン

図 1 1 は、比較例における不活性再生ガス貯蔵／供給サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。図 1 1 に示される処理は、図 7 に示される S 4 0 0 のサブルーチンとして、ガス再生制御部 5 1 によって行われる。ガス再生制御部 5 1 は、以下の処理により、バルブ B - C V 1 及びバルブ B - V 2 を制御し、レーザチャンバ 1 0 に供給する不活性ガスを、不活性再生ガスと不活性新ガスとで切り替える。

[0123] まず、S 4 0 1 において、ガス再生制御部 5 1 は、不活性ガス圧力センサ P 4 から出力される再生ガスタンク 8 1 の圧力 P 4 を読み込む。

[0124] 次に、S 4 0 2 において、ガス再生制御部 5 1 は、再生ガスタンク 8 1 の

圧力 P_4 が所定値 P_{4min} より高いか否かを判定する。所定値 P_{4min} は、不活性ガス供給源 B のレギュレータ 86 の圧力と同等の値、例えば、 7000 hPa 以上、 8000 hPa 以下の値に設定される。

圧力 P_4 が所定値 P_{4min} 以下の場合（ $S402:NO$ ）、ガス再生制御部 51 は、処理を $S403$ に進める。

圧力 P_4 が所定値 P_{4min} より高い場合（ $S402:YES$ ）、ガス再生制御部 51 は、処理を $S405$ に進める。

[0125] $S403$ において、ガス再生制御部 51 は、バルブ $B-CV1$ を閉め、バルブ $B-V2$ を開ける。これにより、レーザガス再生装置 50 は、レーザチャンバ 10 への不活性再生ガスの供給が停止され、不活性新ガスの供給が可能な状態となる。

$S403$ の後、 $S404$ において、ガス再生制御部 51 は、レーザ制御部 31 に、不活性再生ガス供給 NG 信号を出力する。

[0126] $S405$ において、ガス再生制御部 51 は、バルブ $B-V2$ を閉め、バルブ $B-CV1$ を開ける。これにより、レーザガス再生装置 50 は、レーザチャンバ 10 への不活性新ガスの供給が停止され、不活性再生ガスの供給が可能な状態となる。

$S405$ の後、 $S406$ において、ガス再生制御部 51 は、レーザ制御部 31 に、不活性再生ガス供給 OK 信号を出力する。

$S404$ の後、又は $S406$ の後、ガス再生制御部 51 は、本フローチャートの処理を終了し、図 7 に示される処理に戻る。

[0127] 1. 3 ガスフロー

図 12 は、比較例においてレーザガス再生を行っていない場合のレーザガスのフロー図である。上述のように、フッ素含有ガス供給源 $F2$ から、フッ素ガス、アルゴンガス及びネオンガスを混合したフッ素含有ガスがレーザチャンバ 10 に供給される。また、不活性ガス供給源 B から、アルゴンガス、ネオンガス、及び、少量のキセノンガスを含む不活性新ガスがレーザチャンバ 10 に供給される。フッ素含有ガスの供給量と不活性新ガスの供給量との

比は、レーザチャンバ10におけるフッ素ガス濃度が所望の値となるように設定される。フッ素含有ガスにはキセノンガスがほとんど含まれていないので、フッ素含有ガスと不活性新ガスを混合したときのレーザチャンバ10におけるキセノンガス濃度は、不活性新ガスのキセノンガス濃度よりもわずかに低い値となる。

[0128] レーザチャンバ10においては不純物ガスが発生するが、上述のガス圧制御や部分ガス交換により、不純物ガスを含むレーザガスはやがて排出される。レーザチャンバ10から排出されたレーザガスからは、フッ素トラップ45においてフッ素ガスが除去される。フッ素トラップ45が酸化カルシウムを含む場合、フッ化カルシウムと酸素ガスとが生成される。このため、フッ素トラップ45を介してエキシマレーザ装置30から排出されるレーザガスには酸素ガスが新たに含まれる。

[0129] エキシマレーザ装置30から排出されるレーザガスの代わりに、レーザチャンバ10にはフッ素含有ガスと不活性新ガスが新たに供給される。

レーザチャンバ10に供給されたレーザガスはやがて全量排出され、代わりに新たなガスが供給されるので、定常状態においてはレーザチャンバ10におけるキセノンガス濃度はほとんど変化せず、レーザ性能にはほとんど影響しないと考えられる。

[0130] 図13は、比較例においてレーザガス再生を行う場合のレーザガスのフロー図である。上述のように、バルブE-X-V2が開かれ、バルブC-V1が閉じられている場合は、エキシマレーザ装置30から排出されたレーザガスは装置外部に排気される。バルブE-X-V2が閉じられ、バルブC-V1が開かれている場合は、エキシマレーザ装置30から排出されたレーザガスはレーザガス再生装置50に導入される。レーザガス再生装置50に導入されたガスは、酸素トラップ67及び不純物ガストラップ69を通過する。これにより、レーザガス再生装置50に導入されたガスから酸素ガスと不純物ガスとが除去されて、不活性再生ガスとなる。

[0131] エキシマレーザ装置30から排出されるレーザガスは、一部がレーザガス

再生装置 50 において再生され、他の一部が装置外部に排気される。この装置外部に排気されたレーザガス中にはキセノンガスが含まれるため、一部のキセノンガスは装置外部に排気されることになる。定常状態において、装置外部に排気されたレーザガスとほぼ同量のフッ素含有ガスがフッ素含有ガス供給源 F 2 からレーザチャンバ 10 内に供給されるが、このフッ素含有ガスにはキセノンガスがほとんど含まれていない。このため、レーザガスの再生と、レーザガスの一部の排気と、フッ素含有ガスの供給と、を繰り返すと、不活性再生ガスのキセノンガス濃度が低下し、レーザチャンバ 10 におけるキセノンガス濃度が低下する。この繰り返しが継続されると、レーザチャンバ 10 におけるキセノンガス濃度がさらに低下し、放電の状態が不安定となり、レーザ性能が悪化する場合がある。そこで、比較例においては、キセノン濃度計測器 79 によって計測された不活性再生ガスのキセノンガス濃度に基づいて、不活性再生ガスにキセノン含有ガスを添加する。これにより、レーザチャンバ 10 におけるキセノンガス濃度の低下を抑制することができる。

[0132] 1. 4 課題

A r F エキシマレーザ装置において最適なキセノンガス濃度は、例えば 10 p p m 程度である。このような低濃度の領域でキセノンガス濃度を調整することは容易ではない。

[0133] 上述の比較例においては、不活性再生ガスのキセノンガス濃度を計測しているが、キセノンガス濃度を計測するためには高価で設置スペースの大きなガス分析装置が必要となる場合がある。

[0134] 別の例として、不活性再生ガスからキセノンガスをほとんどすべてトラップしたうえで、所定量のキセノンガスを添加する方法が考えられる。しかし、この場合はキセノンガスをトラップするためのトラップ装置が新たに必要となる。

[0135] さらに別の例として、レーザ性能が悪化した場合にキセノンガスを添加する方法が考えられる。しかし、この場合はレーザ性能が悪化した後でない

対策をとることができないので、レーザ性能が安定しないという問題がある。

[0136] 以下に説明する実施形態において、レーザガス再生装置50は、フッ素含有ガスの供給量に基づいて、不活性再生ガスにキセノン含有ガスを添加する。すなわち、図13に示すように、定常状態においては、フッ素含有ガスの供給量とガス再生されずに装置外部に排気されるレーザガスの排気量とは略一致する。そこで、フッ素含有ガスの供給量に基づいて、不活性再生ガスにキセノン含有ガスを添加することにより、装置外部に排気されるレーザガス中のキセノンガスと同量のキセノンガスを添加する。これにより、レーザチャンバ10におけるキセノンガス濃度を所望の範囲に調整することができる。また、別の実施形態において、バルブE-X-V2を介して装置外部に排気されたガスの排気量に基づいて、不活性再生ガスにキセノン含有ガスを添加する。

[0137] 2. フッ素含有ガス供給量に基づいてキセノン含有ガスを添加するレーザガス再生装置

2. 1 構成

図14は、本開示の第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置30及びレーザガス再生装置50の構成を概略的に示す。エキシマレーザ装置30及びレーザガス再生装置50によってエキシマレーザシステムを構成する。第1の実施形態において、レーザガス再生装置50は、フッ素含有ガス供給源F2に接続された配管28の一部を含む。レーザガス再生装置50は、配管28に配置されたマスフローメータMFmf2を含む。

なお、不活性ガス供給源Bは、本開示における第1のレーザガス供給源に相当する。フッ素含有ガス供給源F2は、本開示における第2のレーザガス供給源に相当する。キセノン含有ガスは、本開示における第3のレーザガスに相当する。

第1の実施形態において、キセノン濃度計測器79はなくてもよい。

他の点については、第1の実施形態の構成は比較例と同様である。

[0138] 2. 2 動作

図15は、第1の実施形態におけるレーザガスのフロー図である。マスフローメータMFMf2は、フッ素含有ガス供給源F2から供給されるフッ素含有ガスの供給量 Q_{f2} を計測し、信号線を介してガス再生制御部51に送信する。ガス再生制御部51は、フッ素含有ガスの供給量 Q_{f2} のデータを読み込む。マスフローメータMFMf2とガス再生制御部51との間に接続された信号線は、本開示におけるデータ取得部に相当する。ガス再生制御部51は、フッ素含有ガスの供給量 Q_{f2} に比例するように、不活性再生ガスに添加されるキセノン含有ガスの添加量 Q_{xe} を計算する。ガス再生制御部51は、不活性再生ガスに添加量 Q_{xe} のキセノン含有ガスが添加されるように、キセノン添加部75を制御する。キセノン含有ガスの添加量 Q_{xe} は以下の式で与えられる。

$$Q_{xe} = \alpha \cdot Q_{f2} \quad (\text{式1})$$

ここで、 α は、キセノン含有ガスの添加量 Q_{xe} を算出するための比例定数である。

[0139] 2. 2. 1 比例定数の導出

上述の比例定数 α は以下のようにして導出される。

ここで、キセノン添加前の不活性再生ガスと、キセノン含有ガスボンベ76から供給されるキセノン含有ガスと、フッ素含有ガス供給源F2から供給されるフッ素含有ガスと、を混合したときのキセノンガス濃度が、定常状態においてレーザチャンバ10内の目標キセノンガス濃度 C_{xect} にほぼ等しくなるようにする必要がある。一方、不純物ガストラップ69等でトラップされるキセノンの量をほぼ無視できるとすれば、キセノン添加前の不活性再生ガスのキセノンガス濃度は、レーザチャンバ10から排出されたときのレーザガスのキセノンガス濃度とほぼ変わらないと考えることができる。そこで、フッ素含有ガス供給源F2から供給されるフッ素含有ガスと、キセノン含有ガスボンベ76から供給されるキセノン含有ガスと、を混合したと仮定したときのキセノンガス濃度が目標キセノンガス濃度 C_{xect} と等しく

なるように、キセノン含有ガスを添加する。これにより、レーザチャンバ10内のキセノンガス濃度が、目標キセノンガス濃度 $C_{x e c t}$ 付近で安定すると考えられる。ここで、レーザチャンバ10内の目標キセノンガス濃度 $C_{x e c t}$ は、不活性ガス供給源Bから供給される不活性新ガスのキセノンガス濃度と同じである。

[0140] まず、変数を以下のように設定する。

$Q_{x e}$: 目標キセノンガス濃度 $C_{x e c t}$ を得るために不活性再生ガスに添加されるキセノン含有ガスの添加量

$C_{x e b}$: 不活性再生ガスに添加されるキセノン含有ガスのキセノンガス濃度

$Q_{f 2}$: フッ素含有ガス供給源F2からレーザチャンバ10に供給されるフッ素含有ガスの供給量

[0141] フッ素含有ガスの供給量 $Q_{f 2}$ とキセノン含有ガスの添加量 $Q_{x e}$ との合計は $(Q_{f 2} + Q_{x e})$ である。

キセノン含有ガスに含まれるキセノンガスの量は、 $C_{x e b} \cdot Q_{x e}$ となる。

フッ素含有ガスに含まれるキセノンガスの量はほぼ0である。

そこで、フッ素含有ガスとキセノン含有ガスを混合したと仮定したときのキセノンガス濃度が目標キセノンガス濃度 $C_{x e c t}$ と等しくなるように、以下の式が与えられる。

$$C_{x e c t} = (0 + C_{x e b} \cdot Q_{x e}) / (Q_{f 2} + Q_{x e})$$

この式は、式1より、以下のように変形される。

$$C_{x e c t} = \alpha \cdot C_{x e b} / (1 + \alpha)$$

この式から α を求めると、以下のようになる。

$$\alpha = C_{x e c t} / (C_{x e b} - C_{x e c t})$$

[0142] 例えば、目標キセノンガス濃度 $C_{x e c t}$ が10ppm、キセノン含有ガスのキセノンガス濃度 $C_{x e b}$ が10000ppmとすると、比例定数 α は以下のようになる。

$$\alpha = 10 / (10000 - 10) = 1 / 999$$

キセノン含有ガスのキセノンガス濃度 C_{Xe} は 10000 ppm である場合に限定されない。キセノン含有ガスのキセノンガス濃度 C_{Xe} は、 10000 ppm 以上、 200000 ppm 以下が好ましい。

[0143] 2. 2. 2 ガス再生制御部の処理

図16は、第1の実施形態におけるガス再生の初期設定サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。図17は、第1の実施形態におけるガス精製／調節サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

図8を参照しながら説明した比較例におけるガス再生の初期設定サブルーチン及び図10を参照しながら説明した比較例におけるガス精製／調節サブルーチンの代わりに、第1の実施形態においては以下の処理が行われる。図7を参照しながら説明したメインフロー及びその他の処理については、比較例と同様である。

[0144] 図16において、S101からS105までの処理は比較例と同様である。

S105においてガス再生命令信号を受信した場合、S106aにおいて、ガス再生制御部51は、タイマー T_f を0にリセットして、タイマーのカウントをスタートする。

次に、S107aにおいて、ガス再生制御部51は、フッ素含有ガス供給量の測定値 Q_{f2m} を0にリセットし、フッ素含有ガスの供給量の測定をスタートする。フッ素含有ガス供給量の測定値 Q_{f2m} は、フッ素含有ガスがレーザチャンバ10に供給されると更新される。

[0145] 次に、S108aにおいて、ガス再生制御部51は、フッ素含有ガスの供給量 Q_f を0に設定する。図17を参照しながら説明する処理において、ガス再生制御部51は、タイマー T_f の値がフッ素含有ガスの供給量の測定周期 K_f に達するごとに、フッ素含有ガスの供給量の測定値 Q_{f2m} を読み込んで、フッ素含有ガスの供給量 Q_f として設定する。ガス再生制御部51は、次の測定周期 K_f が到来するまで、設定されたフッ素含有ガスの

供給量 $Q_f 2$ に基づいて、キセノン添加部75のマスフローコントローラMFC2の流量を制御する。測定周期 $K_f 2$ は、例えば、8分以上、16分以下である。

S108aの後、ガス再生制御部51は、本フローチャートの処理を終了する。

[0146] 図17において、S301の処理は比較例と同様である。

S301の次に、S302aにおいて、ガス再生制御部51は、タイマー $T_f 2$ の値がフッ素含有ガスの供給量の測定周期 $K_f 2$ 以下であるか否かを判定する。

タイマー $T_f 2$ の値がフッ素含有ガスの供給量の測定周期 $K_f 2$ を超えた場合(S302a:NO)、ガス再生制御部51は、S303aに処理を進める。

タイマー $T_f 2$ の値がフッ素含有ガスの供給量の測定周期 $K_f 2$ 以下である場合(S302a:YES)、ガス再生制御部51は、S308に処理を進める。

[0147] S303aにおいて、ガス再生制御部51は、フッ素含有ガス供給量の測定値 $Q_f 2 m$ をマスフローメータMFMf2から読み込む。

次に、S304aにおいて、ガス再生制御部51は、フッ素含有ガス供給量 $Q_f 2$ を、読み込まれた測定値 $Q_f 2 m$ に設定する。

[0148] 次に、S305aにおいて、ガス再生制御部51は、マスフローコントローラMFC1の流量MFC1及びマスフローコントローラMFC2の流量MFC2をそれぞれ0に設定する。

[0149] 次に、S306aにおいて、ガス再生制御部51は、タイマー $T_f 2$ を0にリセットし、タイマーのカウントをスタートする。

次に、S307aにおいて、ガス再生制御部51は、フッ素含有ガス供給量の測定値 $Q_f 2 m$ を0にリセットする。そして、次の測定周期 $K_f 2$ におけるフッ素含有ガスの供給量の測定をスタートする。これにより、フッ素含有ガス供給量の測定値 $Q_f 2 m$ の更新が開始されるが、S304aにおいて

設定されたフッ素含有ガス供給量 Q_{f2} のデータは次の測定周期が到来するまで保持される。

S307aの後、ガス再生制御部51は、本フローチャートの処理を終了する。

[0150] S302aから分岐したS308の処理は、比較例と同様である。

圧力 P_3 が所定値 P_{3max} 以下の場合、又は、圧力 P_4 が所定値 P_{4max} より高い場合（S308：NO）、ガス再生制御部51は、処理をS309aに進める。

圧力 P_3 が所定値 P_{3max} より高く、且つ、圧力 P_4 が所定値 P_{4max} 以下である場合（S308：YES）、ガス再生制御部51は、処理をS312aに進める。

[0151] S309aにおいて、ガス再生制御部51は、マスフローコントローラMFC1の流量 $MFC1$ 及びマスフローコントローラMFC2の流量 $MFC2$ を以下のように設定する。

$$MFC1 = 0$$

$$MFC2 = \alpha \cdot Q_{f2} / K_{f2}$$

マスフローコントローラMFC2の流量 $MFC2$ は、キセノン含有ガスの添加量 $\alpha \cdot Q_{f2}$ を測定周期 K_{f2} で除算したものである。測定周期 K_{f2} にわたって流量 $MFC2$ でキセノン含有ガスを流すことにより、添加量 $\alpha \cdot Q_{f2}$ のキセノン含有ガスを不活性再生ガスに添加することができる。

[0152] S312aにおいて、ガス再生制御部51は、マスフローコントローラMFC1の流量 $MFC1$ 及びマスフローコントローラMFC2の流量 $MFC2$ を以下のように設定する。

$$MFC1 = Q_r$$

$$MFC2 = \alpha \cdot Q_{f2} / K_{f2}$$

マスフローコントローラMFC1の流量 Q_r は正数であり、値の大きさは特に限定されない。マスフローコントローラMFC1の流量 Q_r とマスフローコントローラMFC2の流量 $MFC2$ との比率は一定値でなくてよい。

マスフローコントローラMFC2の流量MFC2は、S309aで設定される値と同一である。

[0153] S309a又はS312aの後、ガス再生制御部51は、本フローチャートの処理を終了する。

図7に示されるように、ガス再生を停止しない場合には、ガス再生制御部51はガス精製／調節サブルーチンを繰り返す。ガス精製／調節サブルーチンを繰り返す場合、次の測定周期Kf2が到来するまで、S302aにおいてYESと判定され、S308とS309a又はS312aとの処理が繰り返される。次の測定周期Kf2が到来したら、S303aからS307aまでの処理によって新たなフッ素含有ガス供給量Qf2が設定される。

[0154] 2. 3 作用

第1の実施形態によれば、マスフローメータMFMf2で計測されたフッ素含有ガス供給量Qf2に基づいて、不活性再生ガスへのキセノン含有ガスの添加量を制御する。これにより、レーザチャンバ10におけるキセノンガス濃度を所望の範囲に調整することができる。

[0155] 3. エキシマレーザ装置からフッ素含有ガス供給量を受信するレーザガス再生装置

図18は、第2の実施形態におけるガス制御パラメータの初期設定の詳細を示すフローチャートである。図19は、第2の実施形態における部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[0156] 3. 1 構成

第2の実施形態に係るレーザガス再生装置50は、図14を参照しながら説明したマスフローメータMFMf2を備えていなくてもよい。第2の実施形態に係るレーザガス再生装置50の構成は、図1を参照しながら説明した比較例と同様でもよい。

[0157] 3. 2 ガス再生制御部の処理

第2の実施形態におけるガス再生制御部51の処理は、第1の実施形態における処理と同様である。

[0158] 但し、第2の実施形態におけるガス再生制御部51は、図17のS303aにおいて、レーザ制御部31から受信したフッ素含有ガス供給量の測定値 Q_{f2m} を読み込む。ガス再生制御部51は、この測定値 Q_{f2m} に基づいてフッ素含有ガス供給量 Q_f2 を設定し、不活性再生ガスにキセノン含有ガスを添加する。

[0159] また、図16のS107a及び図17のS307aにおいては、フッ素含有ガス供給量の測定値 Q_{f2m} をリセットしたことを示す信号を、レーザ制御部31を介してガス制御部47に送信する。フッ素含有ガス供給量の測定は、以下に説明するように、ガス制御部47が行う。

[0160] 3.3 ガス制御部の処理

図4を参照しながら説明した比較例におけるガス制御パラメータの初期設定、及び図6を参照しながら説明した比較例における部分ガス交換の代わりに、第2の実施形態においては以下の処理が行われる。図3を参照しながら説明したメインフロー及びその他のガス制御部47の処理については、比較例と同様である。

[0161] 図18において、S1101からS1105までの処理は比較例と同様である。

S1105の次に、S1106bにおいて、ガス制御部47は、フッ素含有ガス供給量の測定値 Q_{f2m} を0にリセットする。

S1106bの後、ガス制御部47は、本フローチャートの処理を終了する。

[0162] 図19において、S2001からS2006までの処理は比較例と同様である。

S2006の次に、S2008bにおいて、ガス制御部47は、フッ素含有ガス供給量の測定値 Q_{f2m} を以下の式により計算し、フッ素含有ガス供給量の測定値 Q_{f2m} を更新する。

$$Q_{f2m} = Q_{f2m} + \Delta P_{hg} \cdot V_{ch}$$

ここで、 V_{ch} は、レーザチャンバ10の体積である。 ΔP_{hg} は、S20

05においてレーザチャンバ10に供給されたフッ素含有ガス供給量 ΔPhg である。フッ素含有ガス供給量 ΔPhg のデータは、ガス制御部47によってアクセス可能なメモリに保持されているので、別途計測しなくてもよい。

[0163] 次に、S2009bにおいて、ガス制御部47は、レーザ制御部31に、フッ素含有ガス供給量の測定値 $Qf2m$ のデータを送信する。ガス再生制御部51は、レーザ制御部31からフッ素含有ガス供給量の測定値 $Qf2m$ のデータを受信して、図17の処理を行う。レーザ制御部31とガス再生制御部51との間に接続された信号線は、本開示におけるデータ取得部に相当する。

[0164] 3. 4 作用

第2の実施形態によれば、レーザ制御部31から受信したフッ素含有ガス供給量の測定値 $Qf2m$ に基づいて、不活性再生ガスへのキセノン含有ガスの添加量を制御する。これにより、フッ素含有ガス供給量をマスフローメータ等の計測器で直接計測しなくても、レーザチャンバ10におけるキセノンガス濃度を所望の範囲に調整することができる。

あるいは、フッ素含有ガス供給量の測定値 $Qf2m$ を計測するマスフローメータをエキシマレーザ装置30に設けて、レーザ制御部31からガス再生制御部51にフッ素含有ガス供給量の測定値 $Qf2m$ を送信するようにしてもよい。

また、レギュレータ44およびマスフローメータ $MFMf2$ がレーザガス再生装置50の外に配置されている場合に、レギュレータ44とレーザガス再生装置50の間の配管上にマスフローメータ $MFMf2$ が配置されてもよい。この場合は、マスフローメータ $MFMf2$ で計測されたデータがガス再生制御部51に送信される。マスフローメータ $MFMf2$ とガス再生制御部51との間に接続された信号線は、本開示におけるデータ取得部に相当する。

[0165] 4. ガス排気量に基づいてキセノン含有ガスを添加するレーザガス再生装置

4. 1 構成

図20は、本開示の第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置30及びレーザガス再生装置50の構成を概略的に示す。第3の実施形態において、レーザガス再生装置50は、排気装置43に接続された配管22の一部を含む。レーザガス再生装置50は、配管22に配置されたマスフローメータMF Mexを含む。

第3の実施形態において、キセノン濃度計測器79はなくてもよい。

他の点については、第3の実施形態の構成は比較例と同様である。

[0166] 4. 2 動作

図21は、第3の実施形態におけるレーザガスのフロー図である。マスフローメータMF Mexは、排気装置43からバルブEX-V2を介して装置外部に排気されたレーザガスの排気量Qexを計測する。ガス再生制御部51は、レーザガスの排気量Qexのデータを読み込む。ガス再生制御部51は、レーザガスの排気量Qexに比例するように、不活性再生ガスに添加されるキセノン含有ガスの添加量Qxeを計算する。ガス再生制御部51は、不活性再生ガスに添加量Qxeのキセノン含有ガスが添加されるように、キセノン添加部75を制御する。キセノン含有ガスの添加量Qxeは以下の式で与えられる。

$$Q_{xe} = \beta \cdot Q_{ex} \quad (\text{式2})$$

ここで、 β は、キセノン含有ガスの添加量Qxeを算出するための比例定数である。

[0167] 4. 2. 1 比例定数の導出

上述の比例定数 β は以下のようにして導出される。

ここで、不純物ガストラップ69等でトラップされるキセノンの量はほぼ無視できるものとする。すなわち、キセノン添加前の不活性再生ガスのキセノンガス濃度は、レーザチャンバ10から排出されたときのレーザガスのキセノンガス濃度とほぼ変わらず維持されていると考えることができる。

また、定常状態においては、レーザガス再生装置50内に存在するレーザ

ガスの量はほぼ一定であるものとする。すなわち、レーザガス再生装置 50 からエキシマレーザ装置 30 に供給される不活性再生ガスの供給量と、エキシマレーザ装置 30 からレーザガス再生装置 50 に供給されるレーザガスの量は、ほぼ等しいとみなすことができる。

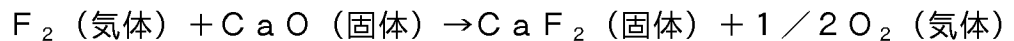
[0168] まず、変数を以下のように設定する。

Q_{xe} : 目標キセノンガス濃度 C_{xe} を得るために不活性再生ガスに添加されるキセノン含有ガスの添加量

Q_{f2} : フッ素含有ガス供給源 F2 からレーザチャンバ 10 に供給されるフッ素含有ガスの供給量

C_{f2} : フッ素含有ガス供給源 F2 から供給されるフッ素含有ガスのフッ素ガス濃度

[0169] 酸化カルシウムを用いたフッ素トラップ 45 においては、以下の化学反応により、フッ素ガス 1 モルに対して酸素ガスが $1/2$ モル生成されている。



[0170] レーザチャンバ 10 からフッ素トラップ 45 に向けて排出されたレーザガスに含まれるフッ素ガスの量は、 $Q_{f2} \cdot C_{f2}$ で与えられ、このフッ素ガスはフッ素トラップ 45 を通過せず取り除かれる。また、フッ素トラップ 45 を通過したレーザガスには $1/2 \cdot Q_{f2} \cdot C_{f2}$ で与えられる量の酸素ガスが追加される。

[0171] そこで、レーザガスの排気量 Q_{ex} は、以下の式で表すことができる。

$$\begin{aligned} Q_{ex} &= Q_{f2} - Q_{f2} \cdot C_{f2} + 1/2 \cdot Q_{f2} \cdot C_{f2} \\ &= Q_{f2} (1 - 1/2 \cdot C_{f2}) \end{aligned}$$

[0172] 従って、フッ素含有ガスの供給量 Q_{f2} は、以下の式で表すことができる。

$$Q_{f2} = Q_{ex} / (1 - 1/2 \cdot C_{f2})$$

この式と上述の式 1 から、キセノンガス添加量 Q_{xe} は、以下の式で与えられる。

$$Q_{xe} = \{ \alpha / (1 - 1/2 \cdot C_{f2}) \} Q_{ex}$$

ここで、 $\beta = \alpha / (1 - 1 / 2 \cdot C f 2)$ とおくと、上述の式 2 が得られる。

[0173] 4. 2. 2 ガス再生制御部の処理

図 22 は、第 3 の実施形態におけるガス再生の初期設定サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。図 23 は、第 3 の実施形態におけるガス精製／調節サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

図 8 を参照しながら説明した比較例におけるガス再生の初期設定サブルーチン及び図 10 を参照しながら説明した比較例におけるガス精製／調節サブルーチンの代わりに、第 3 の実施形態においては以下の処理が行われる。図 7 を参照しながら説明したメインフロー及びその他の処理については、比較例と同様である。

[0174] 図 22 において、S 101 から S 105 までの処理は比較例と同様である。

S 105 においてガス再生命令信号を受信した場合、S 106 c から S 108 c までの処理は、第 1 の実施形態における S 106 a から S 108 a までの処理と同様である。但し、以下の点で第 1 の実施形態と異なる。

(1) タイマー T f 2 の代わりに、排気量の測定周期 K e x を計測するタイマー T e x が用いられる。

(2) フッ素含有ガス供給量の測定値 Q f 2 m の代わりに、排気量の測定値 Q e x m が用いられる。

(3) フッ素含有ガス供給量 Q f 2 の代わりに、排気量 Q e x が用いられる。

S 108 c の後、ガス再生制御部 51 は、本フローチャートの処理を終了する。

[0175] 図 23 において、S 301 及び S 308 の処理は比較例と同様である。

S 301 の次に、S 302 c から S 307 c まで、S 309 c、及び S 312 c の処理は、第 1 の実施形態における S 302 a から S 307 a まで、S 309 a、及び S 312 a の処理と同様である。但し、以下の点で第 1 の

実施形態と異なる。

(1) ~ (3) の相違点は図 22 で説明したのと同様である。

(4) 比例定数 α の代わりに、比例定数 β が用いられる。

(5) フッ素含有ガスの供給量の測定周期 K_{f2} の代わりに、排気量の測定周期 K_{ex} が用いられる。測定周期 K_{ex} は、例えば、8 分以上、16 分以下である。

[0176] S309c 又は S312c の後、ガス再生制御部 51 は、本フローチャートの処理を終了する。

[0177] 4. 3 作用

第2の実施形態によれば、レーザガスの排気量 Q_{ex} に基づいて、不活性再生ガスへのキセノン含有ガスの添加量を制御する。これにより、レーザチャンバ 10 におけるキセノンガス濃度を所望の範囲に調整することができる。

[0178] 5. エキシマレーザ装置から排気量を受信するレーザガス再生装置

図 24 は、第4の実施形態におけるガス精製／調節サブルーチンの詳細を示すフローチャートである。

図 25 は、第4の実施形態におけるガス制御パラメータの初期設定の詳細を示すフローチャートである。図 26 は、第4の実施形態におけるガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。図 27 は、第4の実施形態における部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[0179] 5. 1 構成

第4の実施形態に係るレーザガス再生装置 50 は、図 20 を参照しながら説明したマスフローメータ $MFMe_x$ を備えていなくてもよい。第4の実施形態に係るレーザガス再生装置 50 の構成は、図 1 を参照しながら説明した比較例と同様でもよい。

[0180] 5. 2 ガス再生制御部の処理

図 23 を参照しながら説明した第3の実施形態におけるガス精製／調節サブルーチンの代わりに、第4の実施形態においては以下の処理が行われる。

その他の処理については、第3の実施形態と同様である。

[0181] 図24において、S301、S302c、S304cからS306cまで、及びS308の処理は第3の実施形態と同様である。

[0182] S302cの後、S303dにおいて、ガス再生制御部51は、レーザ制御部31から受信した排気量の測定値 Q_{exm} を読み込む。ガス再生制御部51は、この測定値 Q_{exm} に基づいて排気量 Q_{ex} を設定し、不活性再生ガスにキセノン含有ガスを添加する。

[0183] S306cの後、S307dにおいて、ガス再生制御部51は、排気量の測定値 Q_{exm} をリセットしたことを示す信号を、レーザ制御部31を介してガス制御部47に送信する。排気量の測定は、以下に説明するように、ガス制御部47が行う。

[0184] S308の後、S309dにおいて、ガス再生制御部51は、マスフローコントローラMFC1の流量MFC1及びマスフローコントローラMFC2の流量MFC2を以下のように設定する。

$$MFC1 = 0$$

$$MFC2 = \alpha \cdot Q_{ex} / K_{ex}$$

すなわち、第3の実施形態においてはマスフローコントローラMFC2の流量MFC2を算出するために比例定数 β を使用していたが、第4の実施形態においては、比例定数 α を用いる。これは、ガス制御部47が使用する排気量 Q_{ex} のデータは、フッ素トラップ45を通過する前の排気量であり、定常状態では Q_{f2} と Q_{ex} とがほぼ等しくなるためである。

[0185] S312dにおいて、ガス再生制御部51は、マスフローコントローラMFC1の流量MFC1及びマスフローコントローラMFC2の流量MFC2を以下のように設定する。

$$MFC1 = Q_r$$

$$MFC2 = \alpha \cdot Q_{ex} / K_{ex}$$

S309d又はS312dの後、ガス再生制御部51は、本フローチャートの処理を終了する。

[0186] 5. 3 ガス制御部の処理

図4を参照しながら説明した比較例におけるガス制御パラメータの初期設定、図5を参照しながら説明した比較例におけるガス圧制御、及び図6を参照しながら説明した比較例における部分ガス交換の代わりに、第4の実施形態においては以下の処理が行われる。図3を参照しながら説明したメインフロー及びその他のガス制御部の処理については、比較例と同様である。

[0187] 図25において、S1101からS1105までの処理は比較例及び第3の実施形態と同様である。

S1105の次に、S1106dにおいて、ガス制御部47は、排気量の測定値 Q_{exm} を0にリセットする。

S1106dの後、ガス制御部47は、本フローチャートの処理を終了する。

[0188] 図26において、S1801、S1802、及びS1803の処理は比較例及び第3の実施形態と同様である。第4の実施形態においては、S1802でガス圧を減少させた後に排気量の測定値 Q_{xem} を更新する点で、比較例及び第3の実施形態と異なる。

[0189] S1802の後、S1804dにおいて、ガス制御部47は、バルブC-V1が閉じられ、バルブEX-V2が開かれているか否かを判定する。

バルブC-V1が開かれているか、あるいはバルブEX-V2が閉じられている場合（S1804d：NO）、レーザガスは装置外部に排気されておらず、レーザガス再生装置50に供給されていると考えられるので、ガス制御部47は、本フローチャートの処理を終了する。

バルブC-V1が閉じられ、バルブEX-V2が開かれている場合（S1804d：YES）、ガス制御部47は、処理をS1805dに進める。

[0190] S1805dにおいて、ガス制御部47は、排気量の測定値 Q_{exm} を以下の式により計算し、排気量の測定値 Q_{exm} を更新する。

$$Q_{exm} = Q_{exm} + \Delta P_t \cdot V_{ch}$$

ここで、 V_{ch} は、レーザチャンバ10の体積である。 ΔP_t は、ガス圧制

御におけるガス圧変化量であり、S 1 8 0 2においてレーザチャンバ10から排気された排気量に相当するガス圧変化量である。ガス圧変化量 ΔP_t のデータは、ガス制御部47によってアクセス可能なメモリに保持されているので、別途計測しなくてもよい。

[0191] 次に、S 1 8 0 6 dにおいて、ガス制御部47は、レーザ制御部31に、排気量の測定値 Q_{exm} のデータを送信する。排気量の測定値 Q_{exm} のデータは、レーザ制御部31からガス再生制御部51に送信されて、図24の処理に用いられる。

[0192] 図27において、S 2 0 0 1からS 2 0 0 6までの処理は比較例及び第3の実施形態と同様である。

[0193] S 2 0 0 6の次に、S 2 0 0 7 dにおいて、ガス制御部47は、バルブC-V1が閉じられ、バルブEX-V2が開かれているか否かを判定する。

バルブC-V1が開かれているか、あるいはバルブEX-V2が閉じられている場合（S 2 0 0 7 d : NO）、レーザガスは装置外部に排気されておらず、レーザガス再生装置50に供給されていると考えられるので、ガス制御部47は、本フローチャートの処理を終了する。

バルブC-V1が閉じられ、バルブEX-V2が開かれている場合（S 2 0 0 7 d : YES）、ガス制御部47は、処理をS 2 0 0 8 dに進める。

[0194] S 2 0 0 8 dにおいて、ガス制御部47は、排気量の測定値 Q_{exm} を以下の式により計算し、排気量の測定値 Q_{exm} を更新する。

$$Q_{exm} = Q_{exm} + (\Delta P_{bg} + \Delta P_{hg}) \cdot V_{ch}$$

ここで、 V_{ch} は、レーザチャンバ10の体積である。 $\Delta P_{bg} + \Delta P_{hg}$ は、S 2 0 0 6においてレーザチャンバ10から排気された排気量に相当するガス圧変化量である。 ΔP_{bg} 及び ΔP_{hg} のデータは、ガス制御部47によってアクセス可能なメモリに保持されているので、別途計測しなくてもよい。

[0195] 次に、S 2 0 0 9 dにおいて、ガス制御部47は、レーザ制御部31に、排気量の測定値 Q_{exm} のデータを送信する。排気量の測定値 Q_{exm} のデ

ータは、レーザ制御部 31 からガス再生制御部 51 に送信されて、図 24 の処理に用いられる。

[0196] 5. 4 作用

第 4 の実施形態によれば、レーザ制御部 31 から受信した排気量の測定値 Q_{exm} に基づいて、不活性再生ガスへのキセノン含有ガスの添加量を制御する。これにより、レーザガスの排気量をマスフローメータ等の計測器で直接計測しなくても、レーザチャンバ 10 におけるキセノンガス濃度を所望の範囲に調整することができる。

あるいは、レーザガスの排気量の測定値 Q_{exm} を計測するマスフローメータをエキシマレーザ装置 30 内、または、エキシマレーザ装置 30 およびレーザガス再生装置 50 の外部であって装置外部の間に設けて、レーザ制御部 31 からガス再生制御部 51 にレーザガスの排気量の測定値 Q_{exm} を送信するようにしてもよい。ここで、レーザ制御部 31 とガス再生制御部 51 との間に接続された信号線は、本開示におけるデータ取得部に相当する。

[0197] 6. 複数のレーザ装置に接続されるレーザガス再生装置（第 1 の例）

6. 1 構成

図 28 は、本開示の第 5 の実施形態に係るエキシマレーザ装置 30 a、30 b 及びレーザガス再生装置 50 の構成を概略的に示す。第 5 の実施形態において、レーザガス再生装置 50 は、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b の複数のレーザチャンバ 10 に接続される。レーザガス再生装置 50 は、第 1 の実施形態と同様にマスフローメータ MFM f 2 を備えている。

第 5 の実施形態は、第 1 の実施形態に係るレーザガス再生装置 50 が複数のレーザチャンバ 10 に接続される場合に相当する。

[0198] レーザガス再生装置 50 の配管 24 は、フィルタ 61 より上流側で、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b にそれぞれ対応する複数の配管 24 a 及び 24 b に分岐している。複数の配管 24 a 及び 24 b の各々に、バルブ C-V 1 が配置されている。バルブ C-V 1 の開閉により、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b の各々に含まれる排気装置 43 からレーザガス再

生装置 50 に排出ガスを導入するか否かが制御される。

[0199] 不活性ガスをエキシマレーザ装置に供給する配管 27 は、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b にそれぞれ対応する複数の配管 27 a 及び 27 b に分岐している。複数の配管 27 a 及び 27 b の各々に、バルブ B-V1 が配置されている。バルブ B-V1 の開閉により、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b の各々に含まれるガス供給装置 42 に不活性ガスを供給するか否かが制御される。

[0200] フッ素含有ガスをエキシマレーザ装置に供給する配管 28 は、複数のエキシマレーザ装置に対応する複数の配管 28 a 及び 28 b に分岐している。複数の配管 28 a 及び 28 b の各々に、バルブ F2-V1 が配置されている。バルブ F2-V1 の開閉により、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b の各々に含まれるガス供給装置 42 にフッ素含有ガスを供給するか否かが制御される。

[0201] ガス再生制御部 51 は、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b の各々に含まれるレーザ制御部 31 と、信号線で接続されている。

他の点については、第 1 の実施形態の構成と同様である。

[0202] 6. 2 動作

複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b の各々の動作は、第 1 の実施形態におけるエキシマレーザ装置 30 の動作と同様である。

[0203] レーザガス再生装置 50 は、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b の各々から排出された排出ガスの不純物を低減し、不純物を低減された不活性再生ガスにキセノン含有ガスを添加して複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b の各々に供給する。その他の点については、レーザガス再生装置 50 の動作は、第 1 の実施形態におけるレーザガス再生装置 50 の動作と同様である。

[0204] レーザガス再生装置 50 は、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b から排出された排出ガスを同時に受け入れてもよいし、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b から排出された排出ガスを別々のタイミングで受け入れ

てもよい。レーザガス再生装置 50 は、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b に同時に不活性再生ガスを供給してもよいし、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b に別々のタイミングで不活性再生ガスを供給してもよい。

[0205] レーザガス再生装置 50 は、1 つのエキシマレーザ装置 30 a に不活性新ガスを供給し、別のエキシマレーザ装置 30 b に不活性再生ガスを供給する場合には、同時にではなく別々のタイミングでこれらのガスを供給してもよい。

[0206] 6. 3 作用

第 5 の実施形態によれば、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b から排出された排出ガスをレーザガス再生装置 50 において精製し、複数のエキシマレーザ装置 30 a、30 b に不活性再生ガスを供給する。従って、不活性ガスの消費量が低減され、ランニングコストが低減される。また、複数のエキシマレーザ装置に不活性再生ガスを供給できるので、複数のエキシマレーザ装置のレーザ性能が安定化される。また、複数のエキシマレーザ装置に対して 1 つのレーザガス再生装置 50 を設置することにより、設置スペースや設備コストを低減することができる。

[0207] 第 5 の実施形態によれば、マスフローメータ MFM f 2 で計測されたフッ素含有ガス供給量 $Q_f 2$ に基づいて、不活性再生ガスへのキセノン含有ガスの添加量を制御する。これにより、レーザチャンバ 10 におけるキセノンガス濃度を所望の範囲に調整することができる。

[0208] フッ素含有ガス供給量 $Q_f 2$ は、マスフローメータ MFM f 2 で計測されたものに限らず、複数のエキシマレーザ装置から受信したフッ素含有ガス供給量を合計したものでもよい。この場合は、マスフローメータ MFM f 2 がなくてもよい。

[0209] また、マスフローメータ MFM f 2 が配管 28 に配置されている場合に限らず、複数の配管 28 a 及び 28 b の各々に、マスフローメータが配置されていてもよい。この場合、フッ素含有ガス供給量 $Q_f 2$ は、複数のマスフロ

ーメータから受信したフッ素含有ガス供給量を合計したものでよい。

[0210] 7. 複数のレーザ装置に接続されるレーザガス再生装置（第2の例）

7. 1 構成及び動作

図29は、本開示の第6の実施形態に係るエキシマレーザ装置30a、30b及びレーザガス再生装置50の構成を概略的に示す。第6の実施形態において、レーザガス再生装置50は、複数のエキシマレーザ装置30a、30bの複数のレーザチャンバ10に接続される。レーザガス再生装置50は、第3の実施形態と同様にマスフローメータMFMe_xを備えている。

第6の実施形態は、第3の実施形態に係るレーザガス再生装置50が複数のレーザチャンバ10に接続される場合に相当する。

[0211] 複数のエキシマレーザ装置30a、30bの各々に含まれる排気装置43に接続された配管22a、22bは、配管22に合流している。マスフローメータMFMe_xは配管22に配置されている。

他の点については、第5の実施形態の構成と同様である。

ここで、マスフローメータMFMe_xは、レーザガス再生装置50に含まれてもよいし、複数のエキシマレーザ装置とレーザガス再生装置とを含まなくてもよい。

[0212] 7. 2 作用

第6の実施形態によれば、マスフローメータMFMe_xで計測されたレーザガスの排気量Q_{e_x}に基づいて、不活性再生ガスへのキセノン含有ガスの添加量を制御する。これにより、レーザチャンバ10におけるキセノンガス濃度を所望の範囲に調整することができる。

[0213] レーザガスの排気量Q_{e_x}は、マスフローメータMFMe_xで計測されたものに限らず、複数のエキシマレーザ装置から受信したレーザガスの排気量を合計したものでよい。この場合は、マスフローメータMFMe_xがなくてもよい。

[0214] また、マスフローメータMFMe_xが配管22に配置されている場合に限らず、複数の配管22a及び22bの各々に、マスフローメータが配置され

ていてもよい。この場合、レーザガスの排気量 Q_{ex} は、複数のマスフローメータから受信した排気量を合計したものでもよい。

[0215] 8. キセノン添加部の配置

8. 1 構成

図30は、本開示の第7の実施形態に係るエキシマレーザ装置30及びレーザガス再生装置50の構成を概略的に示す。第7の実施形態において、レーザガス再生装置50に含まれるキセノン添加部75は、昇圧ポンプ64と酸素トラップ67との間の配管24に接続されている。

他の点については、第1の実施形態と同様である。

[0216] 8. 2 作用

第7の実施形態におけるキセノン添加部75は、第1の実施形態におけるキセノン添加部75よりも上流側で配管24に接続されているので、各種トラップや昇圧タンク65を経由することにより、キセノン添加前のレーザガスとキセノン含有ガスとがよりよく混合される。

[0217] 図30は、第1の実施形態においてキセノン添加部75の配置を変更した場合に相当するが、本開示はこれに限定されない。第2～第6の実施形態のいずれにおいてキセノン添加部75の配置を変更してもよい。

[0218] 図30は、昇圧ポンプ64と酸素トラップ67との間の配管24にキセノン添加部75を接続した場合を示しているが、本開示はこれに限定されない。バルブC-V1からバルブB-V1までのガス精製流路のいずれにキセノン添加部75を接続してもよい。

[0219] 9. 再生ガスタンクの例

9. 1 第1の例

9. 1. 1 構成

図31は、上述の各実施形態において用いることができる再生ガスタンクの第1の例を概略的に示す。図31に示される再生ガスタンク81aは、容器811と、容器811に挿入された内挿管812及び導出管813と、を含む。容器811にはさらに不活性ガス圧力センサP4が接続されている。

[0220] 内挿管 8 1 2 の一端は容器 8 1 1 の外部に位置し、内挿管 8 1 2 の他端は容器 8 1 1 の内部に位置している。容器 8 1 1 の内部において、内挿管 8 1 2 は多数の貫通孔を有している。

導出管 8 1 3 の一端は容器 8 1 1 の外部に位置し、導出管 8 1 3 の他端は容器 8 1 1 の内部に位置している。

[0221] 9. 1. 2 動作及び作用

内挿管 8 1 2 の上記一端から導入された不活性再生ガスは、内挿管 8 1 2 から多数の貫通孔を介して容器 8 1 1 の内部に多方向に噴出する。これにより、容器 8 1 1 の内部で不活性再生ガスの複雑な流れが生じ、不活性再生ガスが混合される。

容器 8 1 1 の内部の不活性再生ガスは、導出管 8 1 3 を介して容器 8 1 1 の外部に導出される。

[0222] 図 3 1 に示される構成によれば、キセノン含有ガスを添加された不活性再生ガスがよりよく混合された状態で、レーザチャンバ 1 0 に供給される。

図 3 1 は再生ガスタンクの例を示しているが、再生ガスタンクとは別に、キセノン含有ガスを添加された不活性再生ガスの流路に図 3 1 と同様の構成を有する混合器が配置されていてもよい。

[0223] 9. 2 第 2 の例

9. 2. 1 構成

図 3 2 は、上述の各実施形態において用いることができる再生ガスタンクの第 2 の例を概略的に示す。図 3 2 に示される再生ガスタンク 8 1 b は、容器 8 1 4 と、容器 8 1 4 に挿入されたガス導入管 8 1 5 及びガス導出管 8 1 6 と、プロペラシャフト 8 1 7 と、を含む。容器 8 1 4 にはさらに不活性ガス圧力センサ P 4 が接続されている。

[0224] ガス導入管 8 1 5 及びガス導出管 8 1 6 のそれぞれの一端は容器 8 1 4 の外部に位置し、ガス導入管 8 1 5 及びガス導出管 8 1 6 のそれぞれの他端は容器 8 1 4 の内部に位置している。

[0225] プロペラシャフト 8 1 7 の一端は容器 8 1 4 の外部に位置し、プロペラシ

シャフト 817 の他端は容器 814 の内部に位置している。容器 814 の内部において、プロペラシャフト 817 にはプロペラ 818 が取り付けられている。容器 814 の外部において、プロペラシャフト 817 にはモータ 819 が取り付けられている。プロペラシャフト 817 と、プロペラ 818 と、モータ 819 とで、攪拌器が構成される。プロペラ 818 の形状は特に限定されない。

[0226] 9. 2. 2 動作及び作用

ガス導入管 815 の上記一端から導入された不活性再生ガスは、容器 814 の内部に導入される。

モータ 819 がプロペラシャフト 817 を回転させると、プロペラ 818 が回転し、容器 814 の内部で不活性再生ガスが混合される。

容器 814 の内部の不活性再生ガスは、ガス導出管 816 を介して容器 814 の外部に導出される。

[0227] 図 32 に示される構成によれば、キセノン含有ガスを添加された不活性再生ガスがよりよく混合された状態で、レーザチャンバ 10 に供給される。

図 32 は再生ガスタンクの例を示しているが、再生ガスタンクとは別に、キセノン含有ガスを添加された不活性再生ガスの流路に図 32 と同様の構成を有する混合器が配置されていてもよい。

[0228] 10. その他

図 33 は、エキシマレーザ装置 30 に接続された露光装置 100 の構成を概略的に示す。上述のように、エキシマレーザ装置 30 はレーザ光を生成して露光装置 100 に出力する。

図 33 において、露光装置 100 は、照明光学系 141 と投影光学系 142 とを含む。照明光学系 141 は、エキシマレーザ装置 30 から入射したレーザ光によって、レチクルステージ RT のレチクルパターンを照明する。投影光学系 142 は、レチクルを透過したレーザ光を、縮小投影してワークピーステーブル WT 上に配置された図示しないワークピースに結像させる。ワークピースはフォトリソが塗布された半導体ウエハ等の感光基板である。

。露光装置１００は、レチクルステージＲＴとワークピーステーブルＷＴとを同期して平行移動させることにより、レチクルパターンを反映したレーザ光をワークピースに露光する。以上のような露光工程によって半導体ウエハにデバイスパターンを転写することで電子デバイスを製造することができる。

なお、本明細書では、部分ガス交換の処理として、レーザチャンバ１０内のレーザガスの一部を交換することと、消費されたフッ素ガスを補充することと、の両方のガス制御を含む場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。レーザチャンバ１０内のレーザガス中のフッ素ガス分圧が部分ガス交換の前後で同等となるようにレーザガスの一部を交換する処理と、エキシマレーザ装置３０の運転によって消費されたフッ素ガスを補充して、レーザチャンバ１０内のレーザガス中のフッ素ガス分圧を所望の範囲にまで高くする処理と、をそれぞれ異なるタイミングで実施する場合においても本開示は適用可能である。

[0229] 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。

[0230] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書及び添付の特許請求の範囲に記載される修飾句「１つの」は、「少なくとも１つ」又は「１又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

請求の範囲

- [請求項1] アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度のキセノンガスを含む第1のレーザガスを供給する第1のレーザガス供給源と、アルゴンガス、ネオンガス、及びフッ素ガスを含む第2のレーザガスを供給する第2のレーザガス供給源と、に接続された少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置から排出された排出ガスを再生し、再生ガスを前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置に供給するレーザガス再生装置であって、
- 前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置に供給される前記第2のレーザガスの供給量のデータを取得するデータ取得部と、
- アルゴンガス、ネオンガス、及び前記第1の濃度より高い第2の濃度のキセノンガスを含む第3のレーザガスを前記再生ガスに添加するキセノン添加部と、
- 前記供給量に基づいて、前記キセノン添加部による前記第3のレーザガスの添加量を制御する制御部と、
- を備えるレーザガス再生装置。
- [請求項2] 請求項1に記載のレーザガス再生装置であって、
- 前記制御部は、前記供給量に比例するように、前記キセノン添加部による前記第3のレーザガスの添加量を制御する、
- レーザガス再生装置。
- [請求項3] 請求項1に記載のレーザガス再生装置であって、
- 前記供給量を計測し、前記供給量のデータを前記データ取得部に送信する計測部をさらに備える、
- レーザガス再生装置。
- [請求項4] 請求項3に記載のレーザガス再生装置であって、
- 前記計測部は、前記第2のレーザガス供給源と前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置との間に接続された配管に配置されたマスフローメータを含む、

レーザガス再生装置。

[請求項5]

請求項1に記載のレーザガス再生装置であって、

前記データ取得部は、前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置と前記第2のレーザガス供給源との間に接続された配管に配置されたマスフローメータから計測データを受信することにより前記供給量のデータを取得する、

レーザガス再生装置。

[請求項6]

請求項1に記載のレーザガス再生装置であって、

前記データ取得部は、前記供給量のデータを前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置から受信することにより取得する、

レーザガス再生装置。

[請求項7]

請求項1に記載のレーザガス再生装置であって、

前記キセノン添加部によって前記第3のレーザガスを添加された前記再生ガスを収容し、混合させる再生ガスタンクをさらに備える、

レーザガス再生装置。

[請求項8]

請求項1に記載のレーザガス再生装置であって、

前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置は、複数のA r Fエキシマレーザ装置を含む、

レーザガス再生装置。

[請求項9]

請求項8に記載のレーザガス再生装置であって、

前記供給量は、前記複数のA r Fエキシマレーザ装置にそれぞれ供給される前記第2のレーザガスの供給量の総和である、

レーザガス再生装置。

[請求項10]

アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度のキセノンガスを含む第1のレーザガスを供給する第1のレーザガス供給源と、アルゴンガス、ネオンガス、及びフッ素ガスを含む第2のレーザガスを供給する第2のレーザガス供給源と、に接続された少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置から排出された排出ガスを再生し、再生ガスを前記

少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置に供給するレーザガス再生装置であって、

前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置から排出された排出ガスのうちの再生されずに外部に排気されたレーザガスの排気量のデータを取得するデータ取得部と、

アルゴンガス、ネオンガス、及び前記第1の濃度より高い第2の濃度のキセノンガスを含む第3のレーザガスを前記再生ガスに添加するキセノン添加部と、

前記排気量に基づいて、前記キセノン添加部による前記第3のレーザガスの添加量を制御する制御部と、
を備えるレーザガス再生装置。

[請求項11] 請求項10に記載のレーザガス再生装置であって、

前記制御部は、前記排気量に比例するように、前記キセノン添加部による前記第3のレーザガスの添加量を制御する、
レーザガス再生装置。

[請求項12] 請求項10に記載のレーザガス再生装置であって、

前記排気量を計測し、前記排気量のデータを前記データ取得部に送信する計測部をさらに備える、
レーザガス再生装置。

[請求項13] 請求項12に記載のレーザガス再生装置であって、

前記計測部は、前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置と外部との間に接続された配管に配置されたマスフローメータを含む、
レーザガス再生装置。

[請求項14] 請求項10に記載のレーザガス再生装置であって、

前記データ取得部は、前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置と外部との間に接続された配管に配置されたマスフローメータから計測データを受信することにより前記排気量のデータを取得する
レーザガス再生装置。

- [請求項15] 請求項10に記載のレーザガス再生装置であって、
前記データ取得部は、前記排気量のデータを前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置から受信することにより取得する、
レーザガス再生装置。
- [請求項16] 請求項10に記載のレーザガス再生装置であって、
前記キセノン添加部によって前記第3のレーザガスを添加された前記再生ガスを収容し、混合させる再生ガスタンクをさらに備える、
レーザガス再生装置。
- [請求項17] 請求項10に記載のレーザガス再生装置であって、
前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置は、複数のA r Fエキシマレーザ装置を含む、
レーザガス再生装置。
- [請求項18] 請求項17に記載のレーザガス再生装置であって、
前記排気量は、前記複数のA r Fエキシマレーザ装置からそれぞれ排出された排出ガスのうちの再生されずに外部に排気されたレーザガスの排気量の総和である
レーザガス再生装置。
- [請求項19] 電子デバイスの製造方法であって、
アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度のキセノンガスを含む第1のレーザガスを供給する第1のレーザガス供給源と、アルゴンガス、ネオンガス、及びフッ素ガスを含む第2のレーザガスを供給する第2のレーザガス供給源と、に接続された少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置と、
前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置から排出された排出ガスを再生し、再生ガスを前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置に供給するレーザガス再生装置であって、
前記少なくとも1つのA r Fエキシマレーザ装置に供給される前記第2のレーザガスの供給量のデータを取得するデータ取得部と、

アルゴンガス、ネオンガス、及び前記第1の濃度より高い第2の濃度のキセノンガスを含む第3のレーザガスを前記再生ガスに添加するキセノン添加部と、

前記供給量に基づいて、前記キセノン添加部による前記第3のレーザガスの添加量を制御する制御部と、

を備える前記レーザガス再生装置と、

を備えるエキシマレーザシステムによって、レーザ光を生成し、

前記レーザ光を露光装置に出力し、

前記露光装置内で感光基板を前記レーザ光で露光することを含む電子デバイスの製造方法。

[請求項20]

電子デバイスの製造方法であって、

アルゴンガス、ネオンガス、及び第1の濃度のキセノンガスを含む第1のレーザガスを供給する第1のレーザガス供給源と、アルゴンガス、ネオンガス、及びフッ素ガスを含む第2のレーザガスを供給する第2のレーザガス供給源と、に接続された少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置と、

前記少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置から排出された排出ガスを再生し、再生ガスを前記少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置に供給するレーザガス再生装置であって、

前記少なくとも1つのArFエキシマレーザ装置から排出された排出ガスのうちの再生されずに外部に排気されたレーザガスの排気量のデータを取得するデータ取得部と、

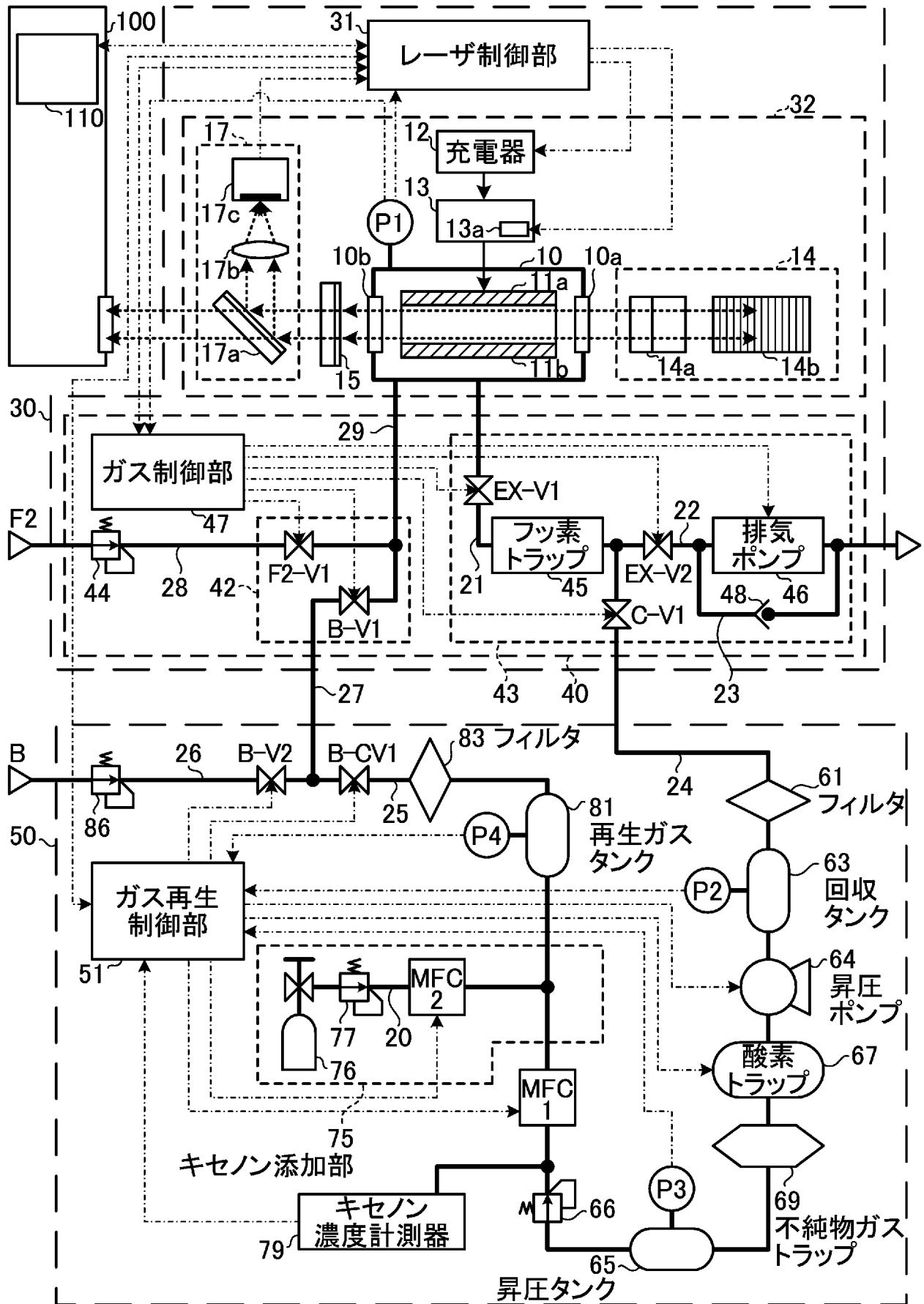
アルゴンガス、ネオンガス、及び前記第1の濃度より高い第2の濃度のキセノンガスを含む第3のレーザガスを前記再生ガスに添加するキセノン添加部と、

前記排気量に基づいて、前記キセノン添加部による前記第3のレーザガスの添加量を制御する制御部と、

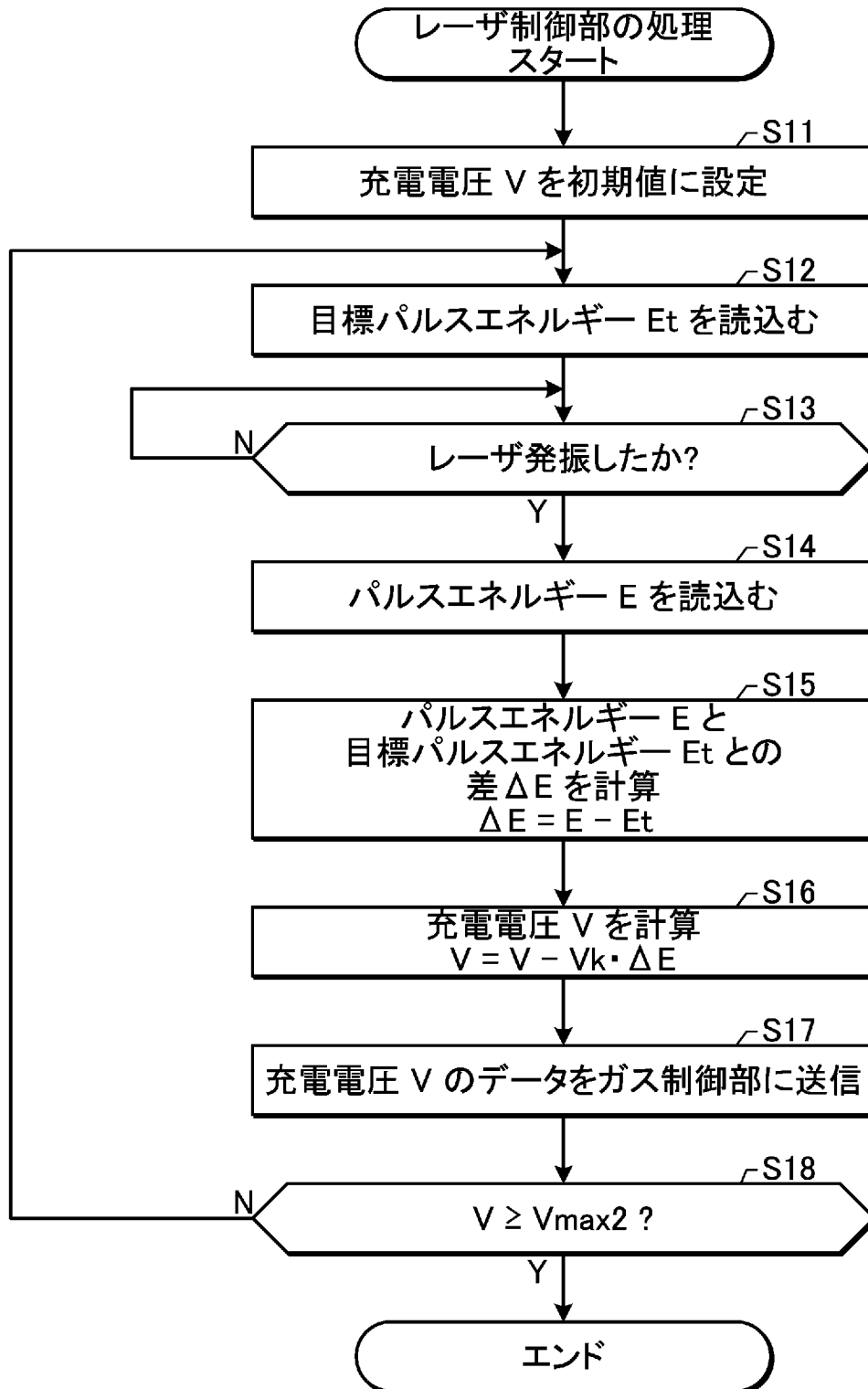
を備える前記レーザガス再生装置と、

を備えるエキシマレーザシステムによって、レーザ光を生成し、
前記レーザ光を露光装置に出力し、
前記露光装置内で感光基板を前記レーザ光で露光すること
を含む電子デバイスの製造方法。

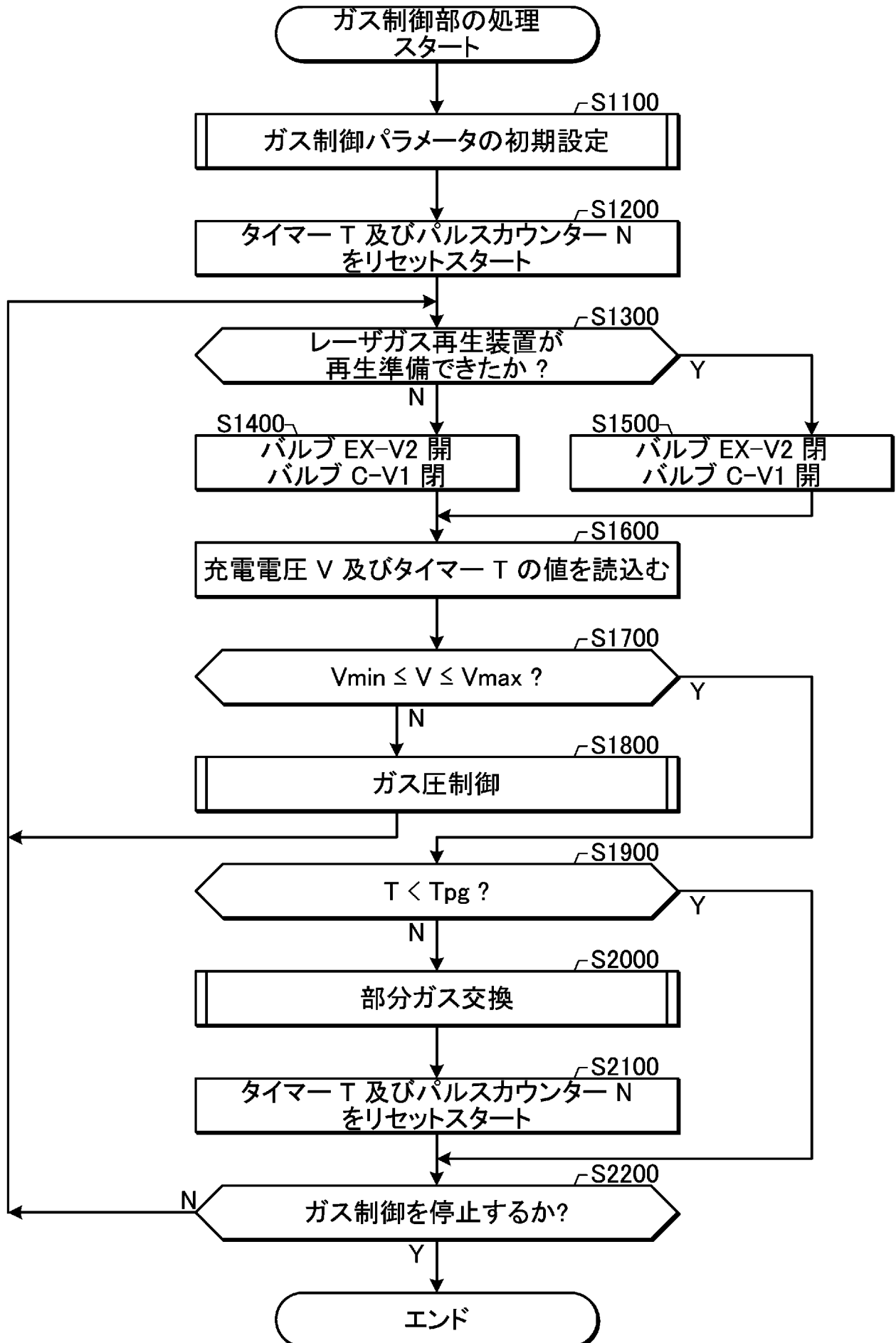
[図1]



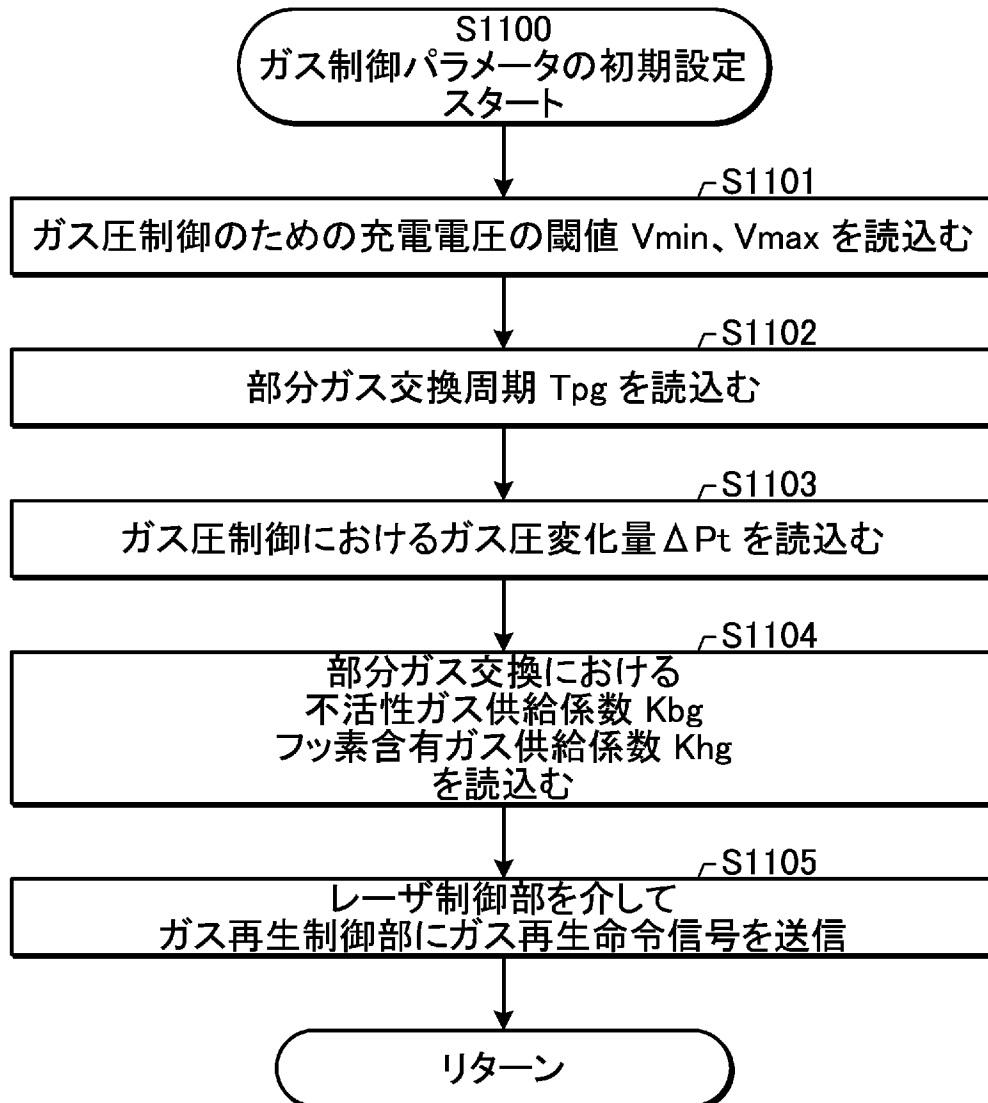
[図2]



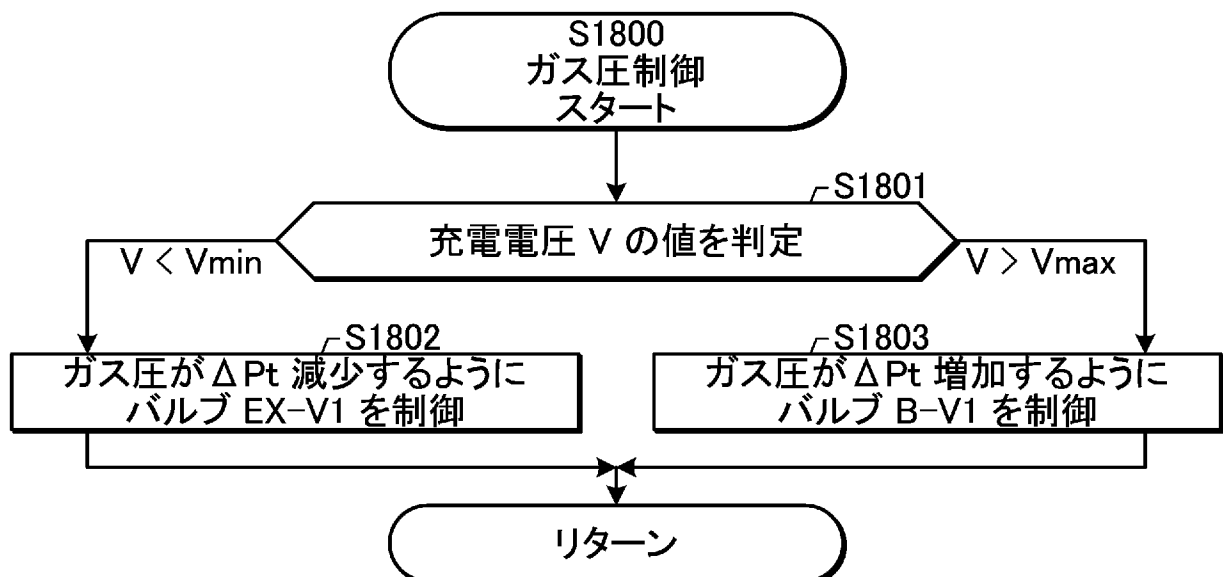
[図3]



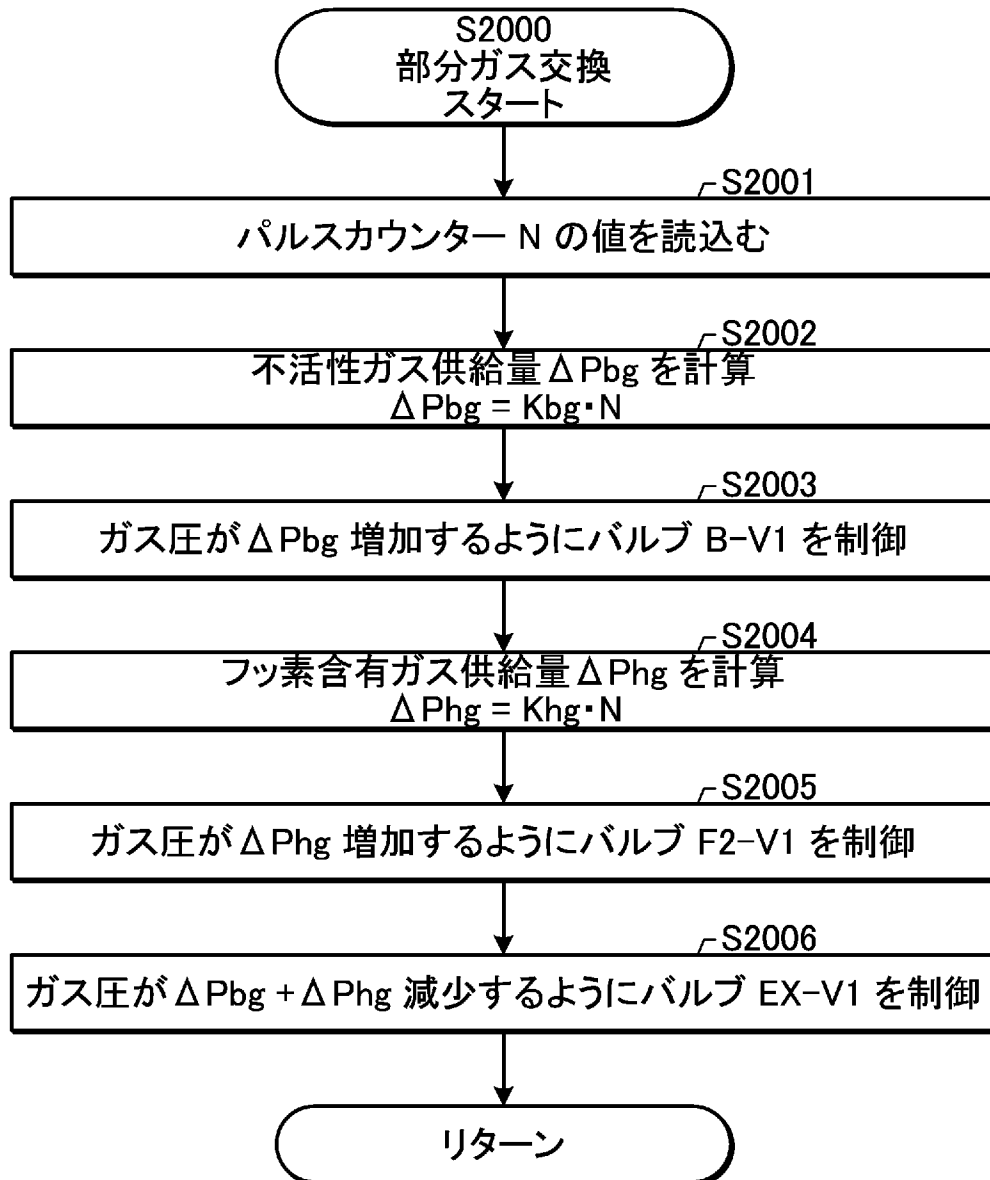
[図4]



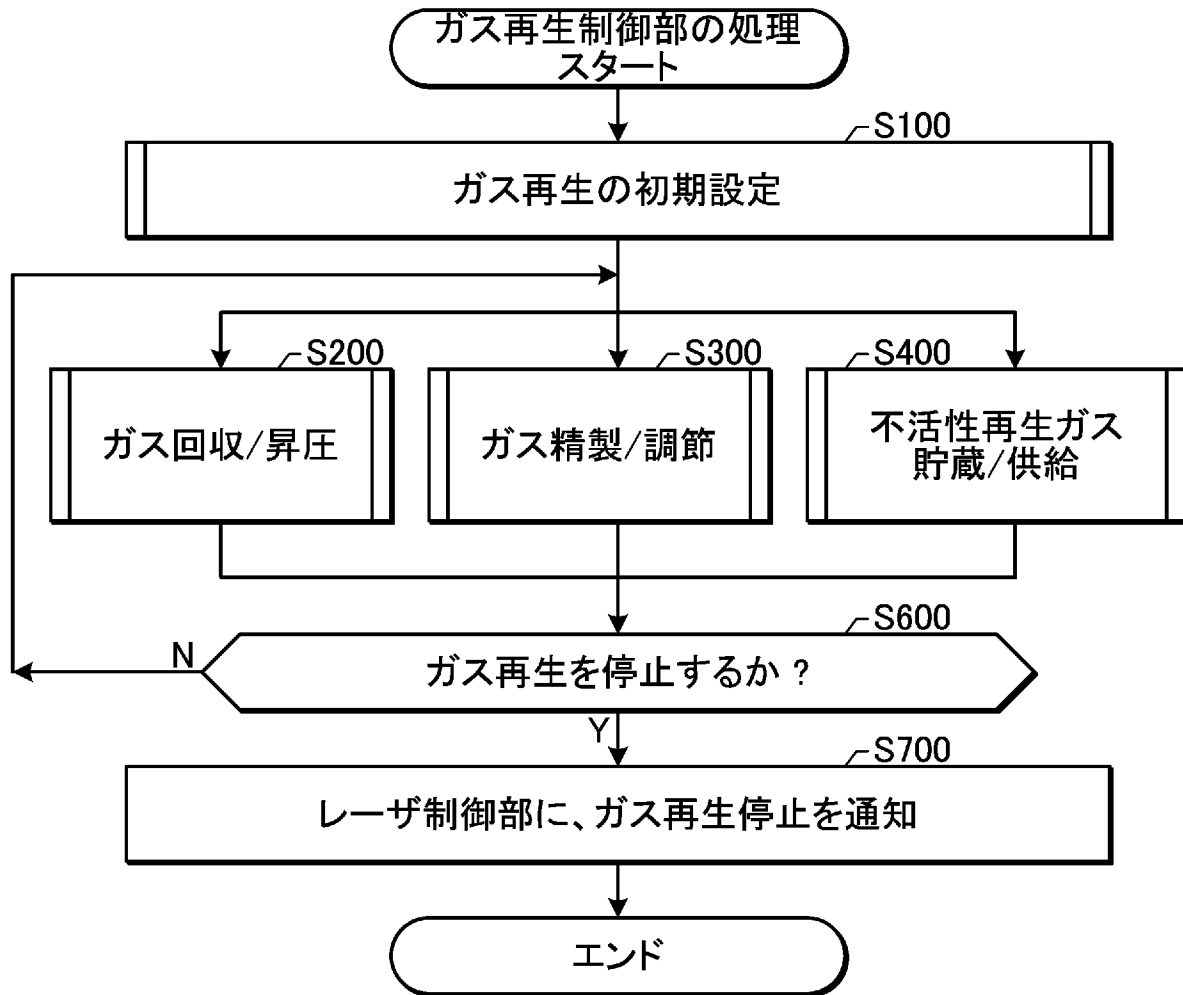
[図5]



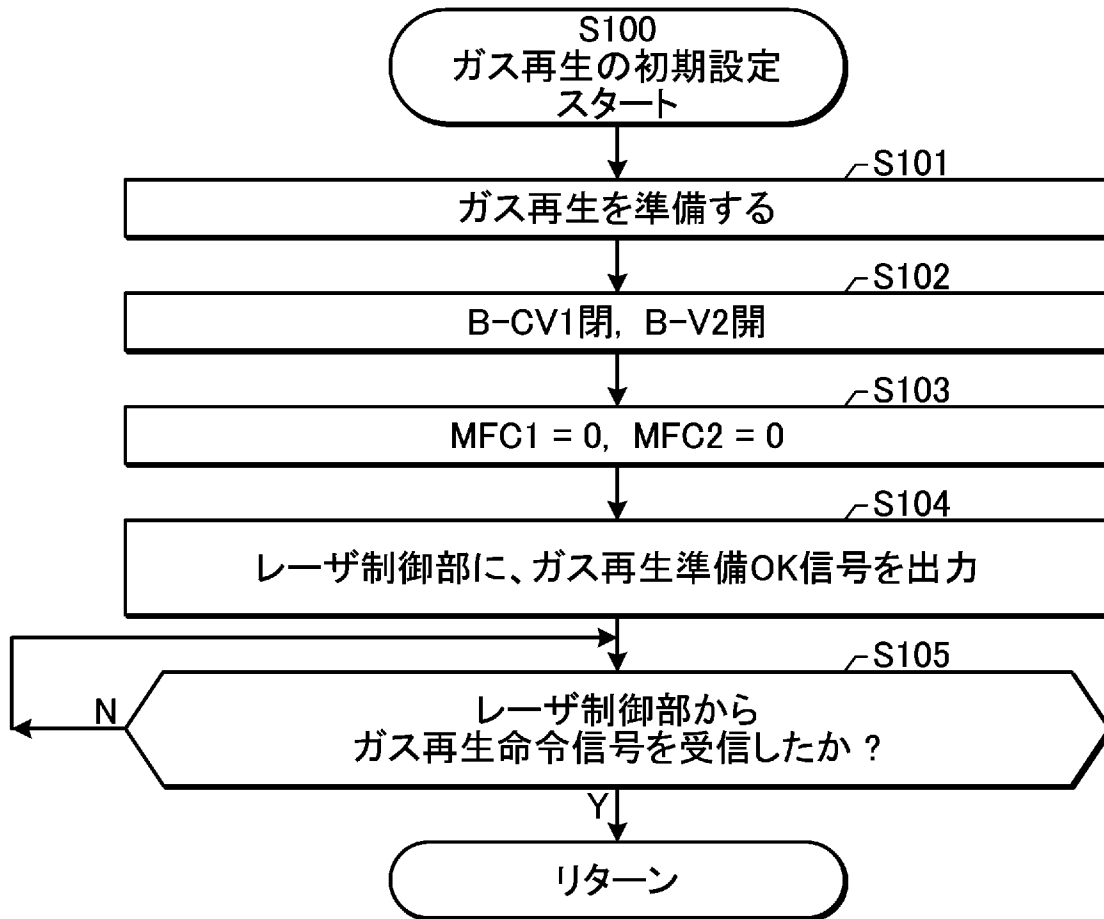
[図6]



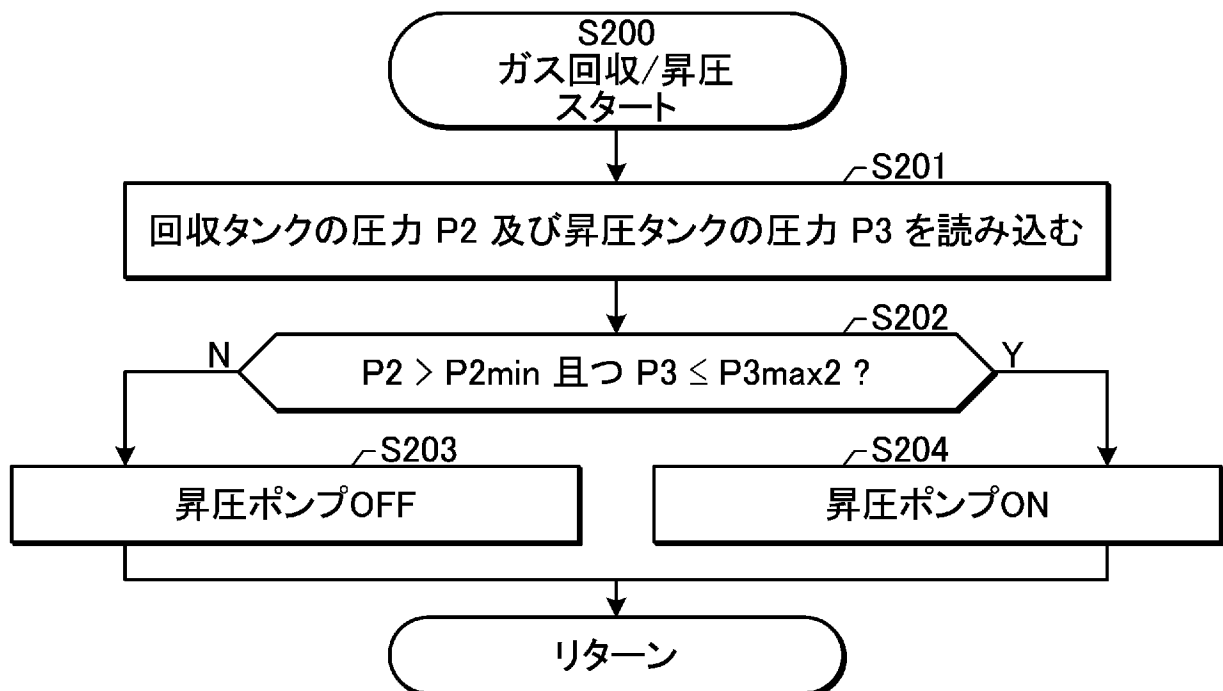
[図7]



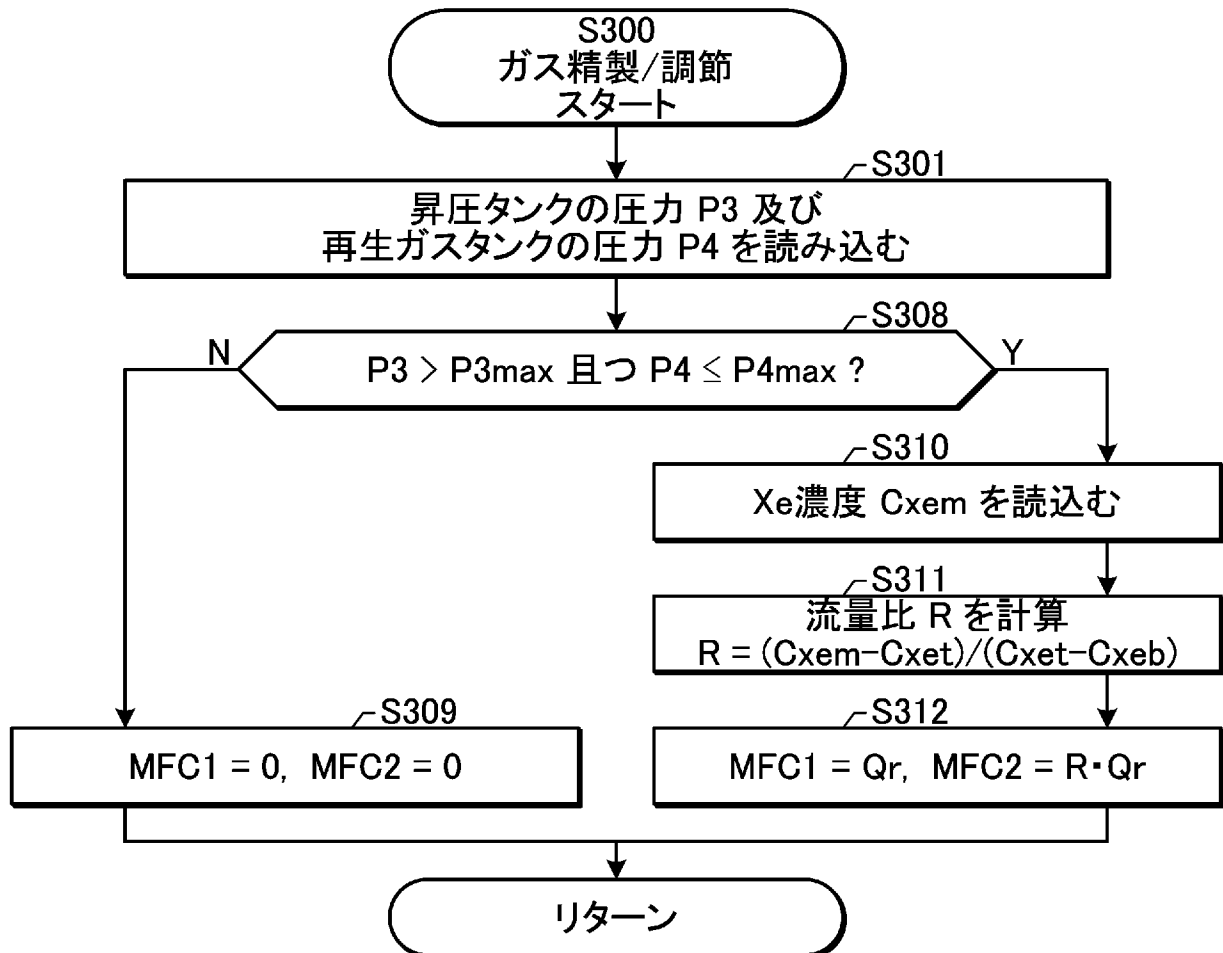
[図8]



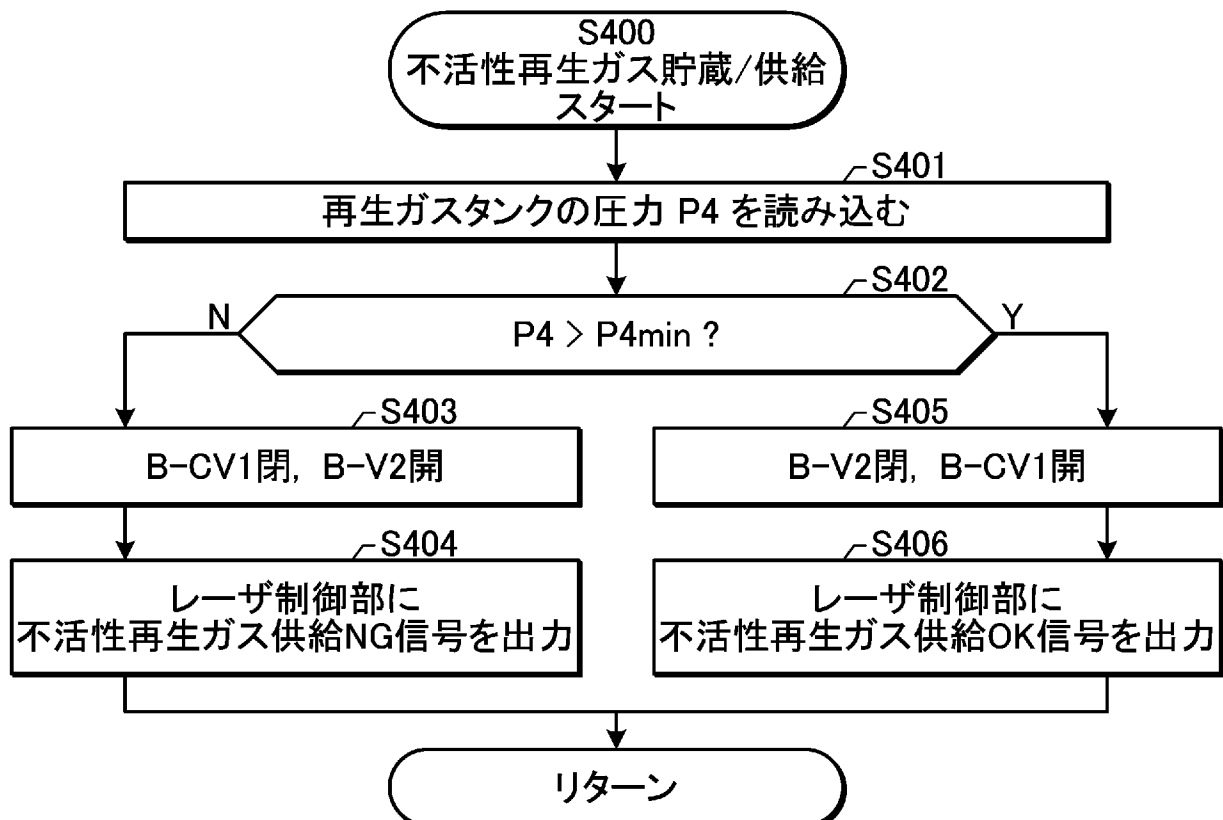
[図9]



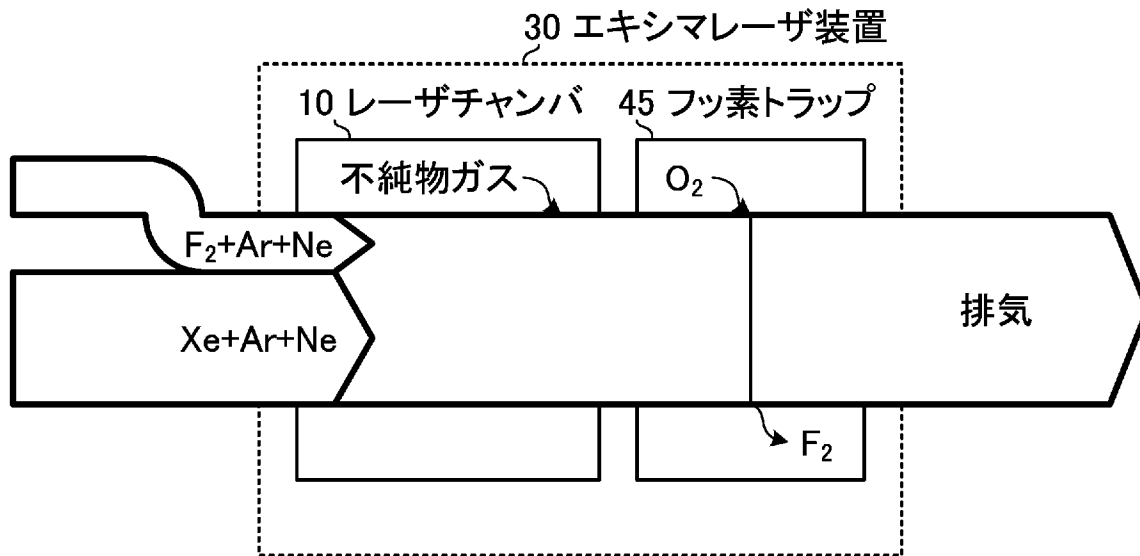
[図10]



[図11]



[図12]



[図13]

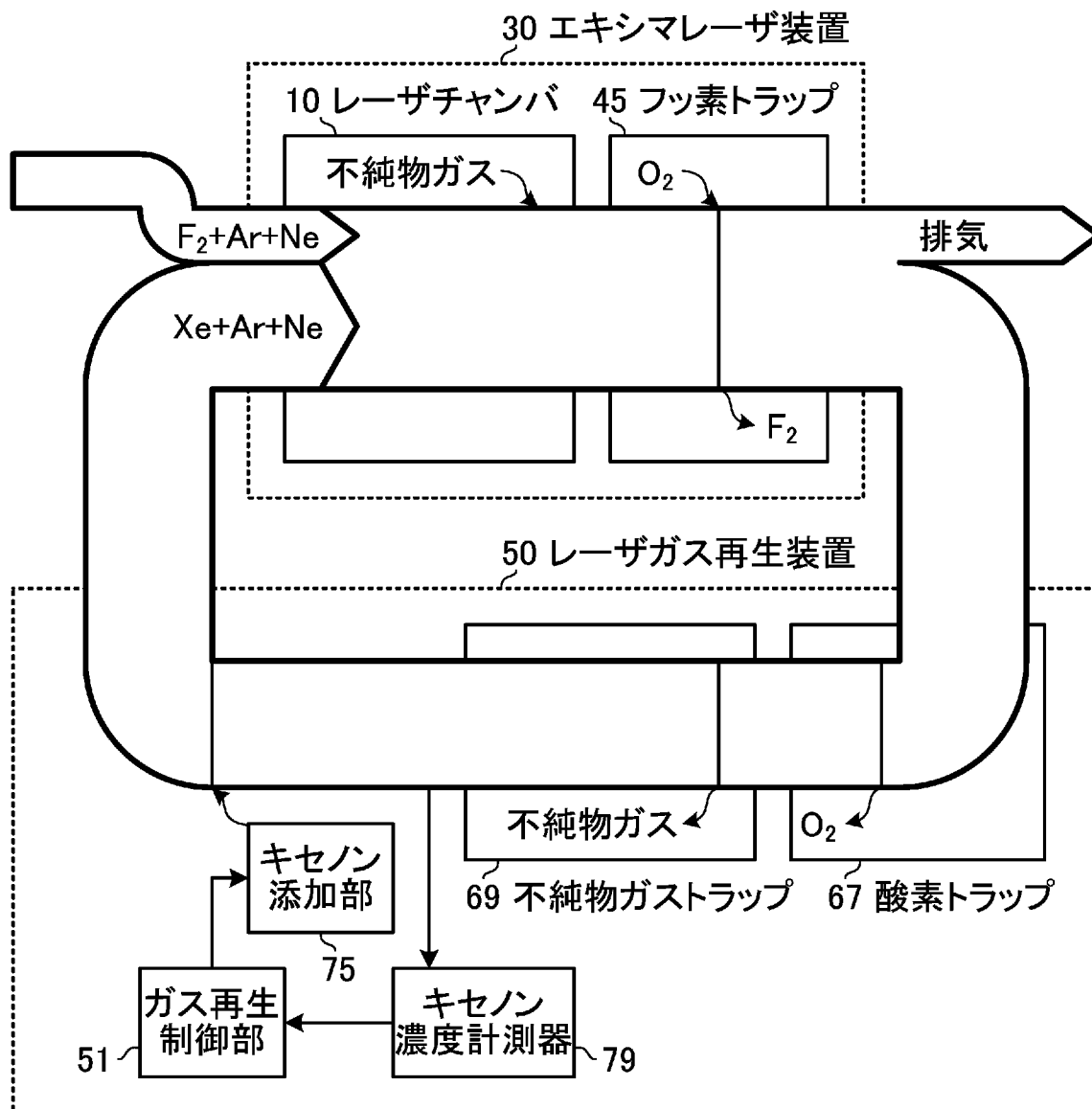
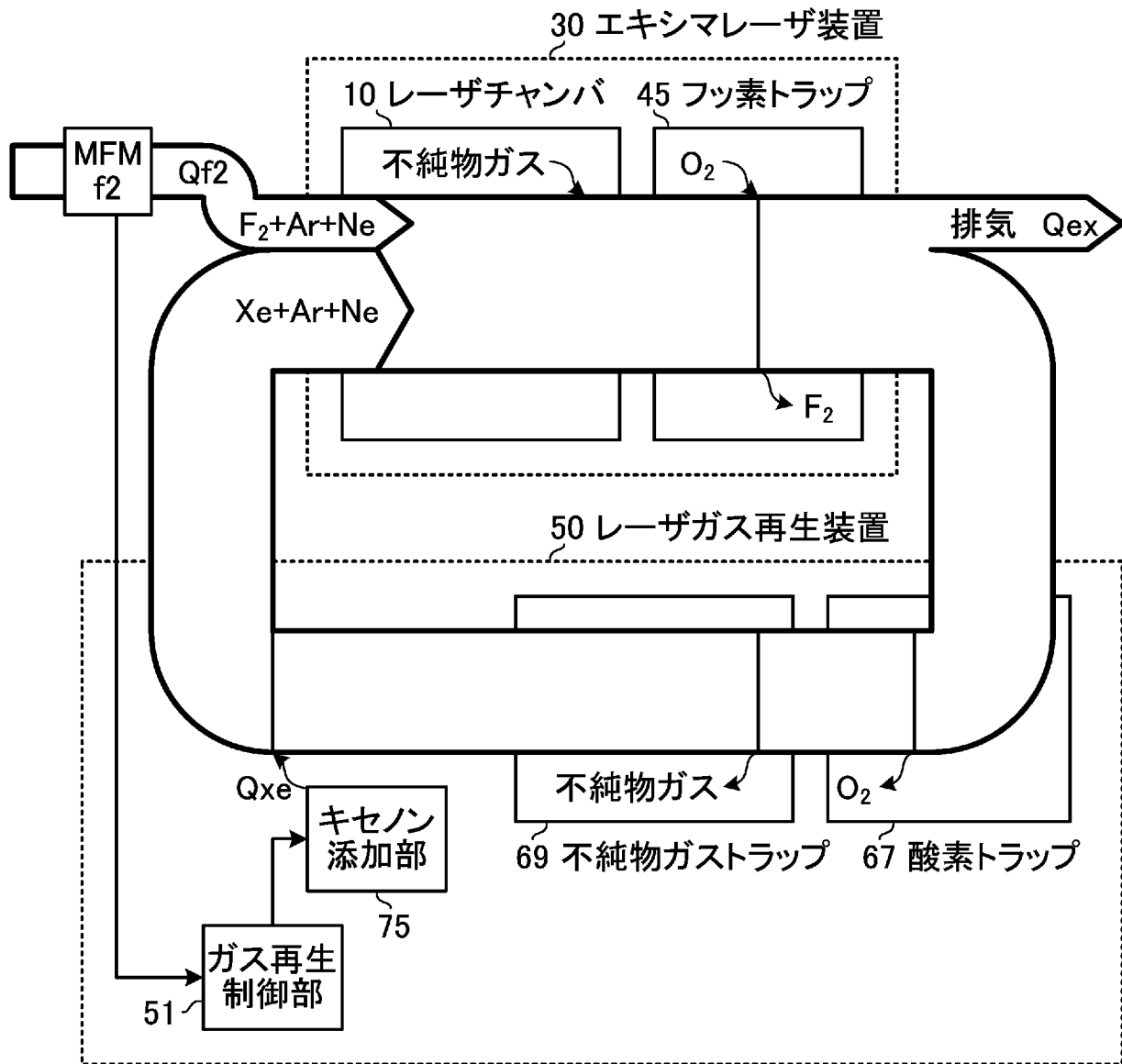
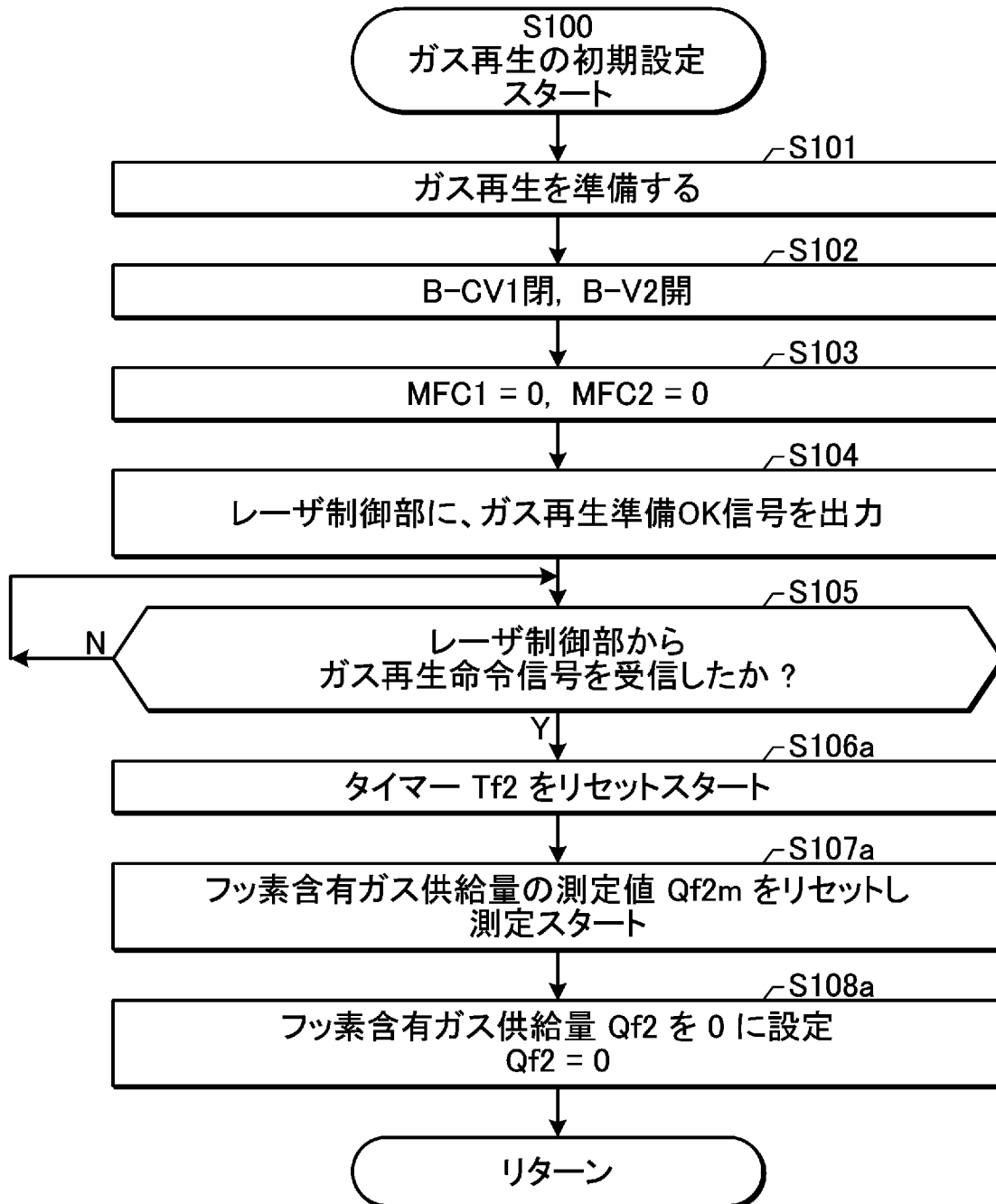


Fig. 1 is a schematic diagram of a plasma processing system. The system includes a main chamber (10) with a substrate (11a, 11b) and a gas inlet (10a). A laser control unit (31) is connected to a laser (17) and a power supply (12). A gas control unit (47) manages gas flow through various valves (EX-V1, EX-V2, C-V1, F2-V1, B-V1, B-V2, B-CV1) and flow meters (MFC1, MFC2, MFM f2). A gas regeneration unit (51) includes a gas tank (81), a filter (83), and a gas inlet (75). A gas recovery unit (61) includes a filter (61), a recovery tank (63), a pressure booster pump (64), an oxygen trap (67), and a gas trap (69). A gas inlet (100) is also shown.

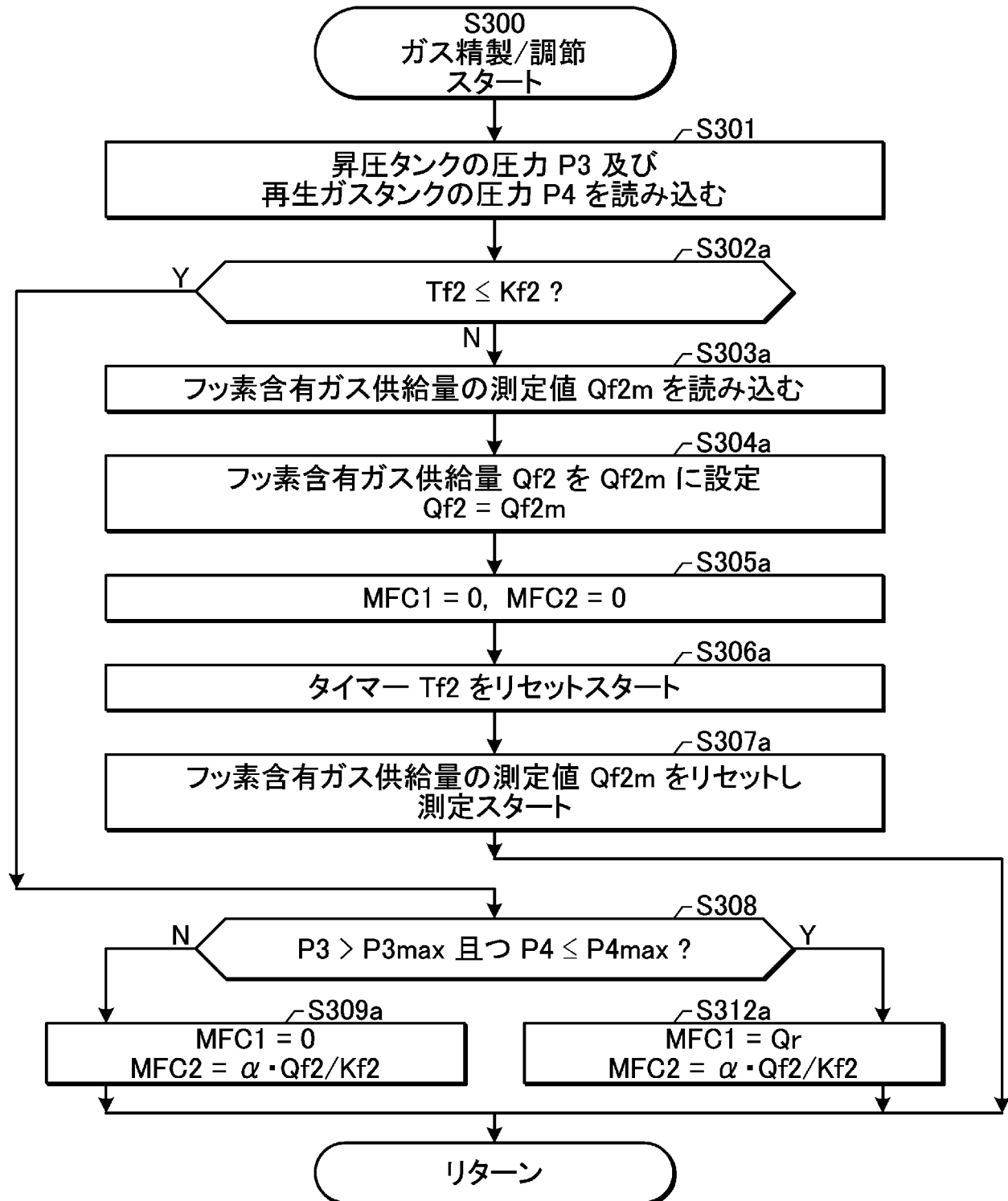
[図15]



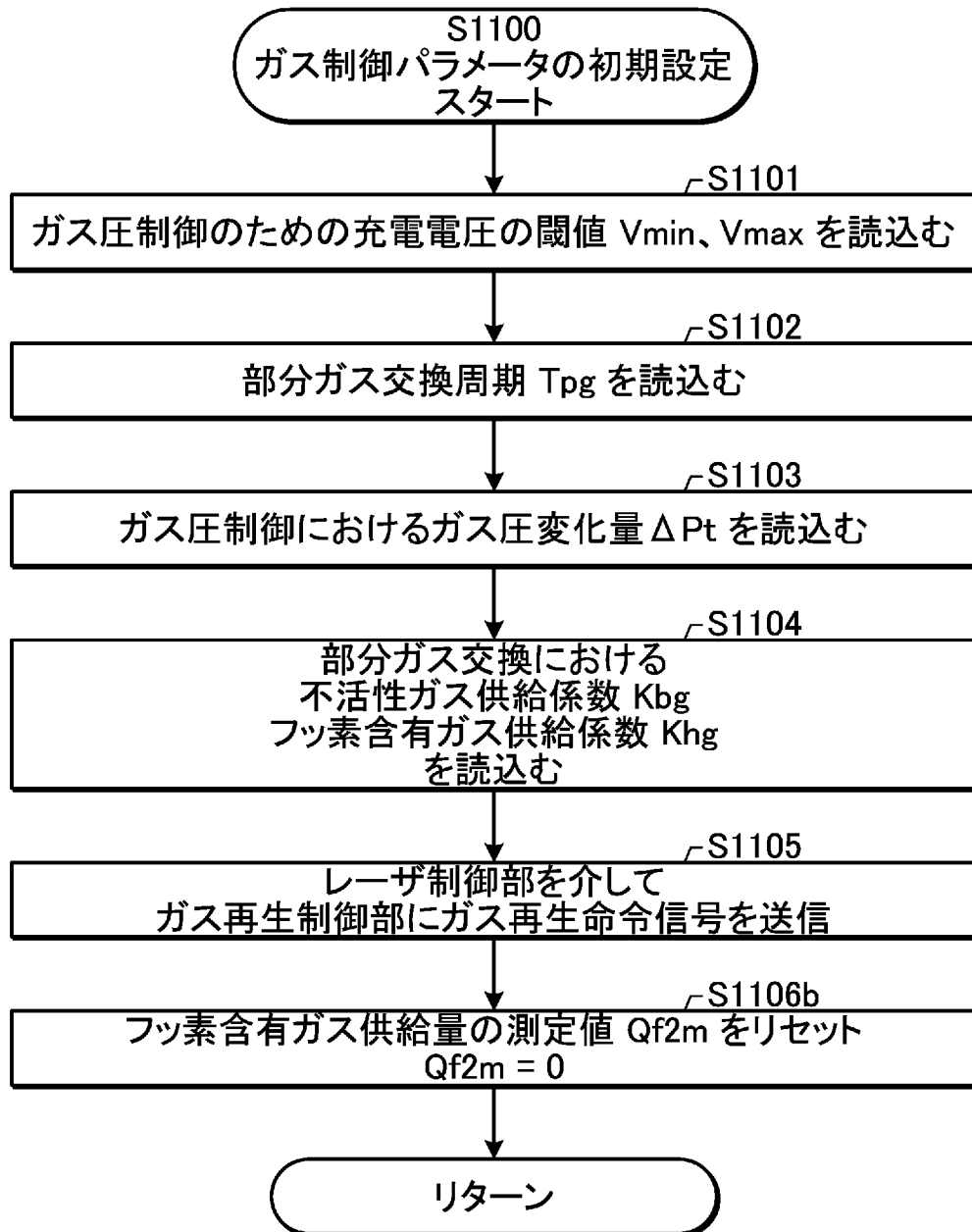
[図16]



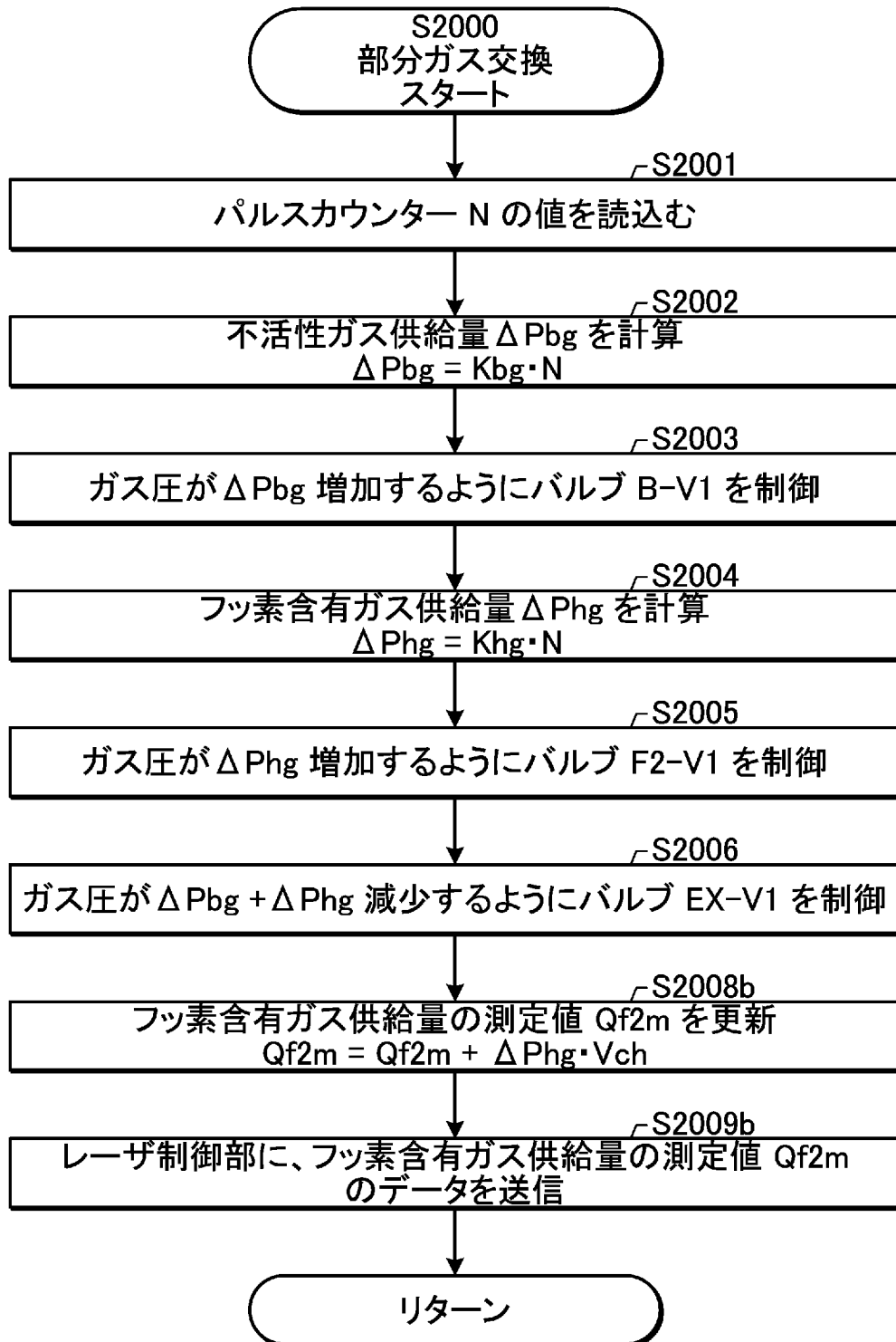
[図17]



[図18]

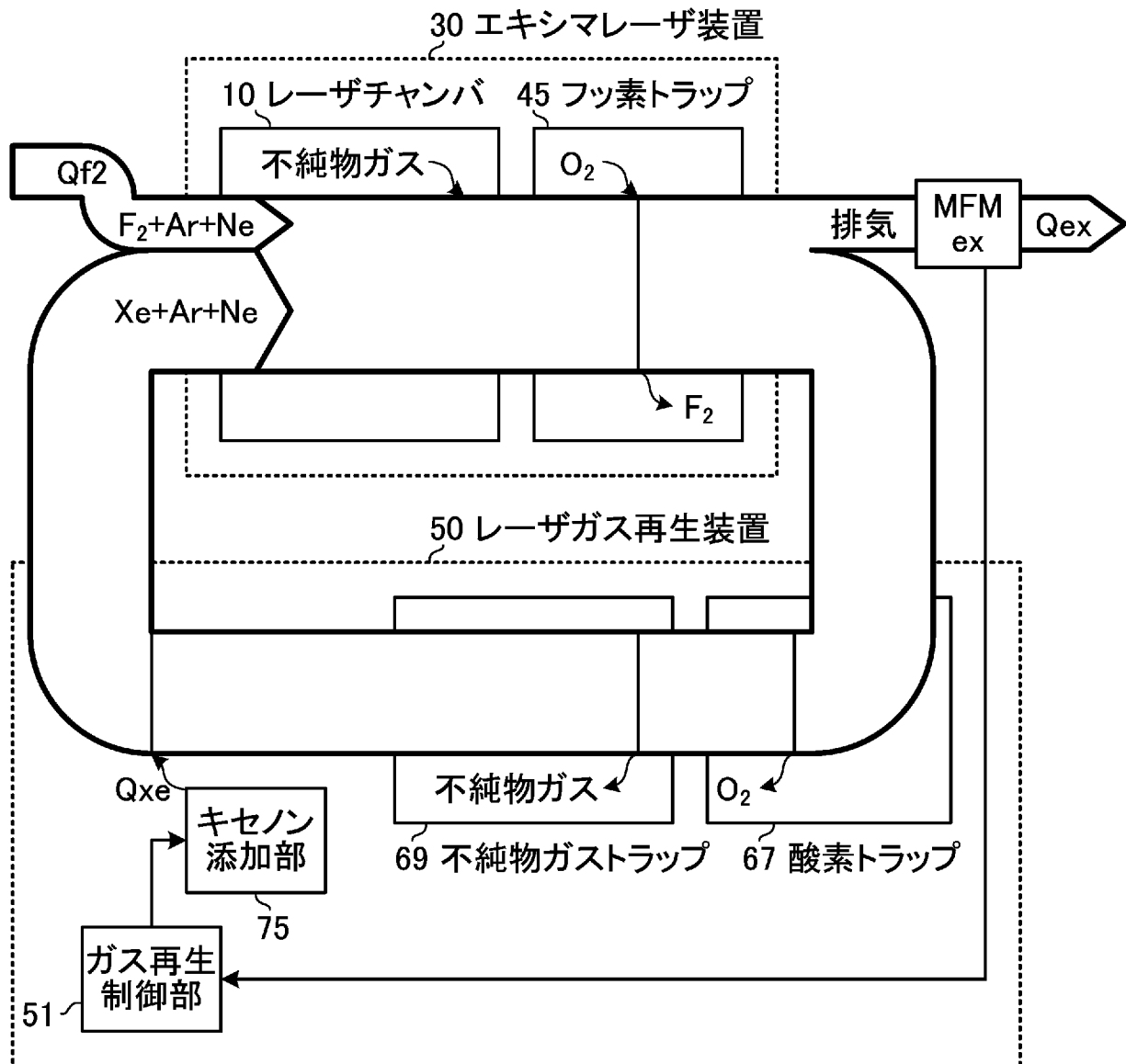


[図19]



[illegible]

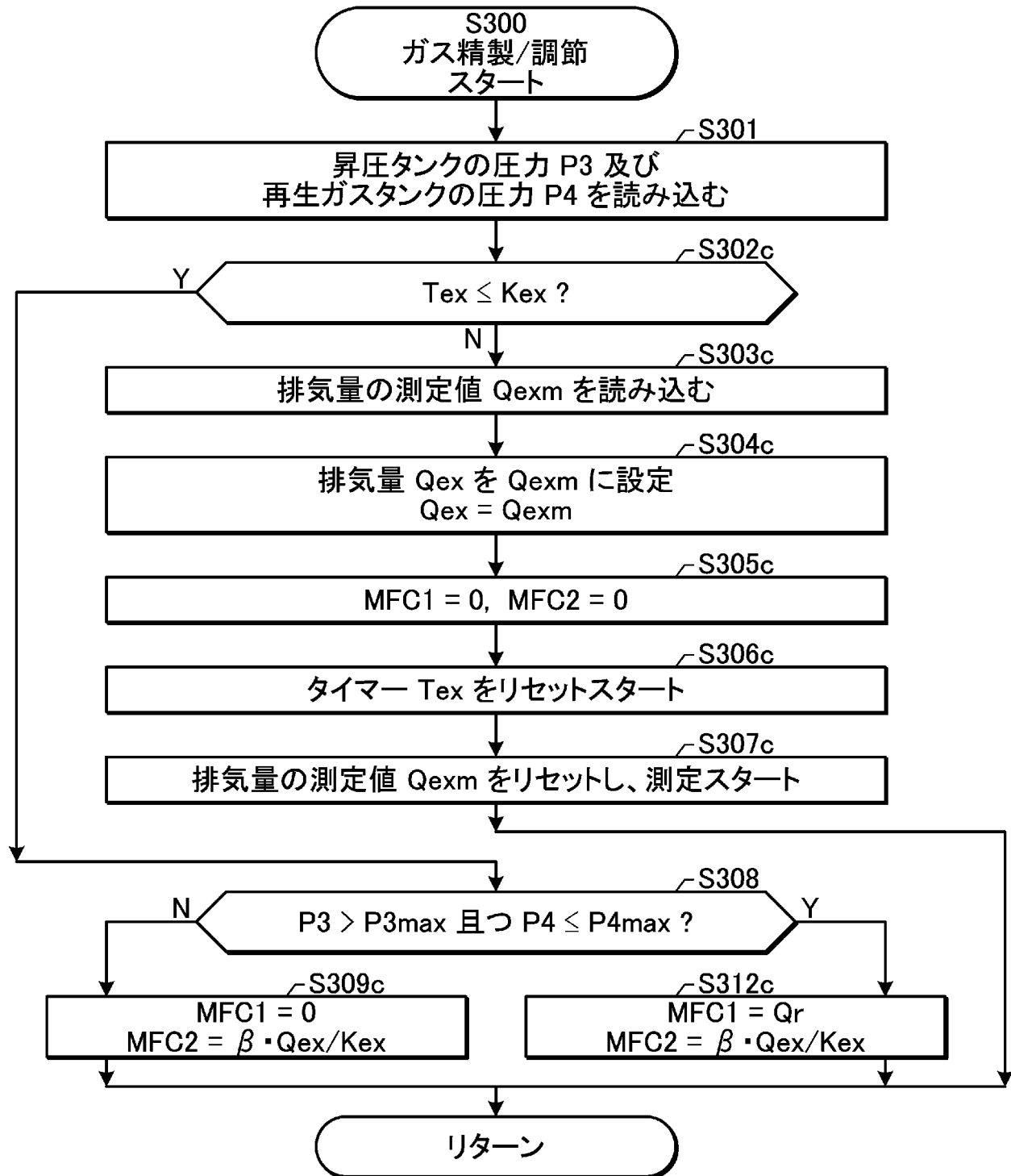
[図21]



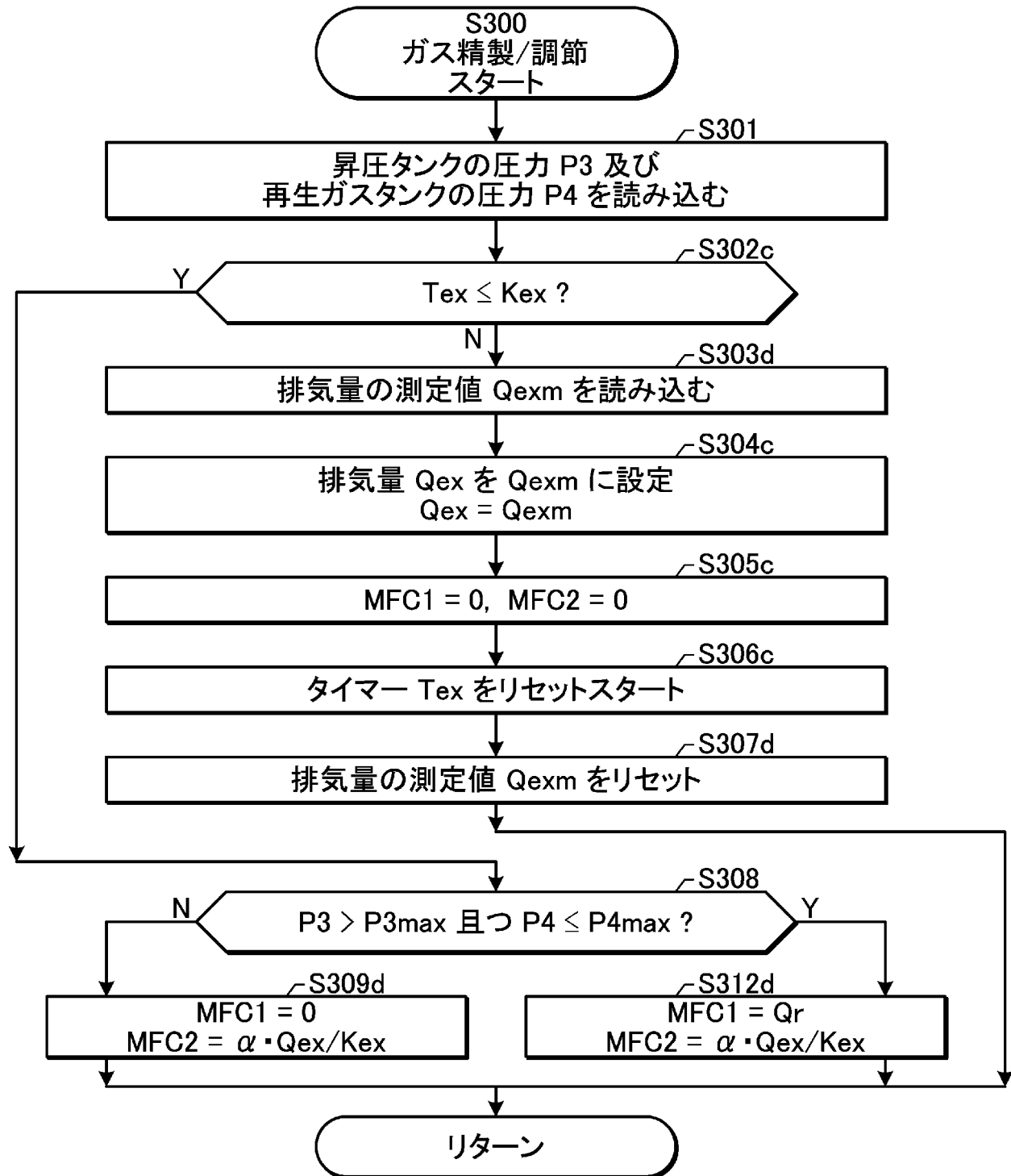
[図22]



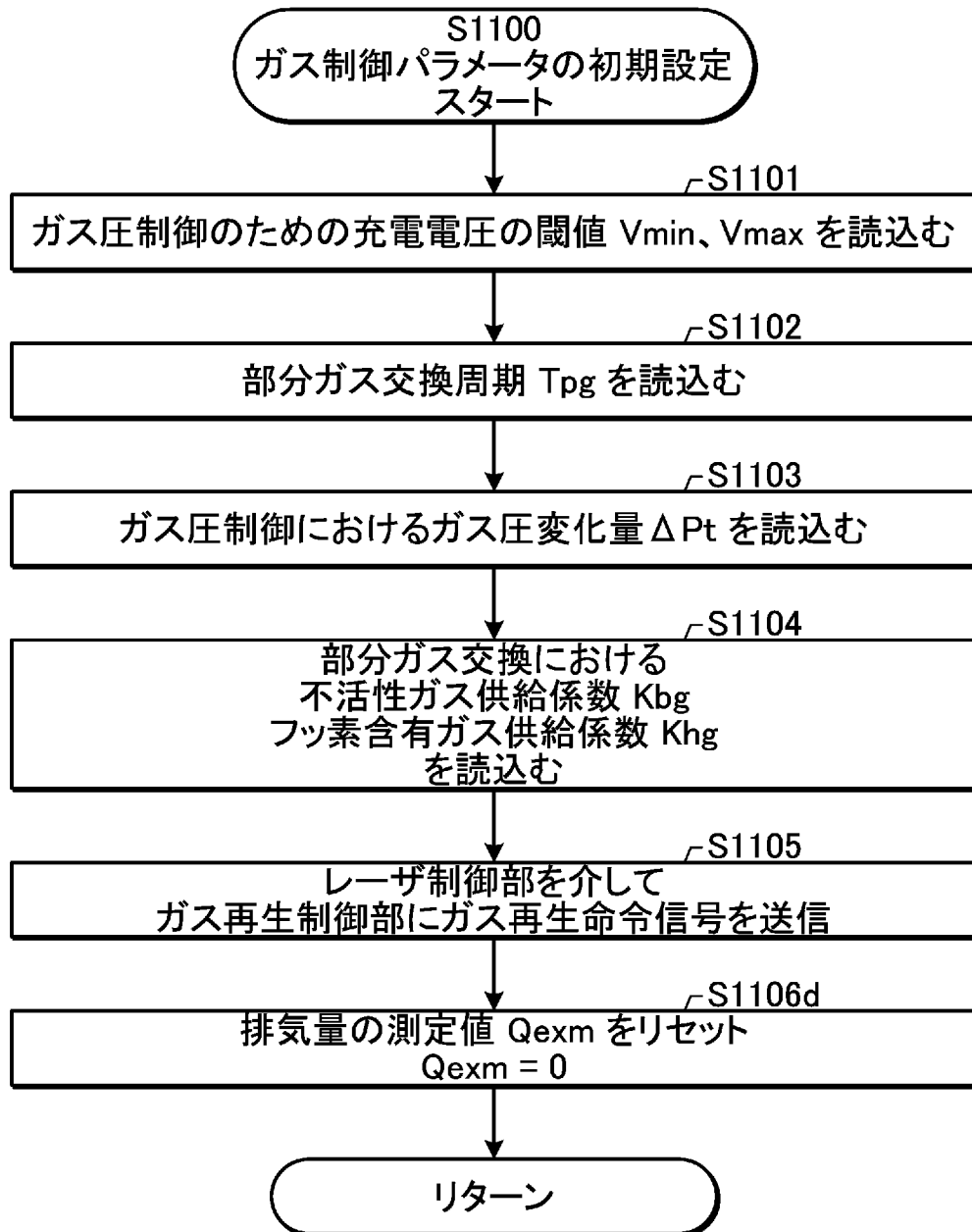
[図23]



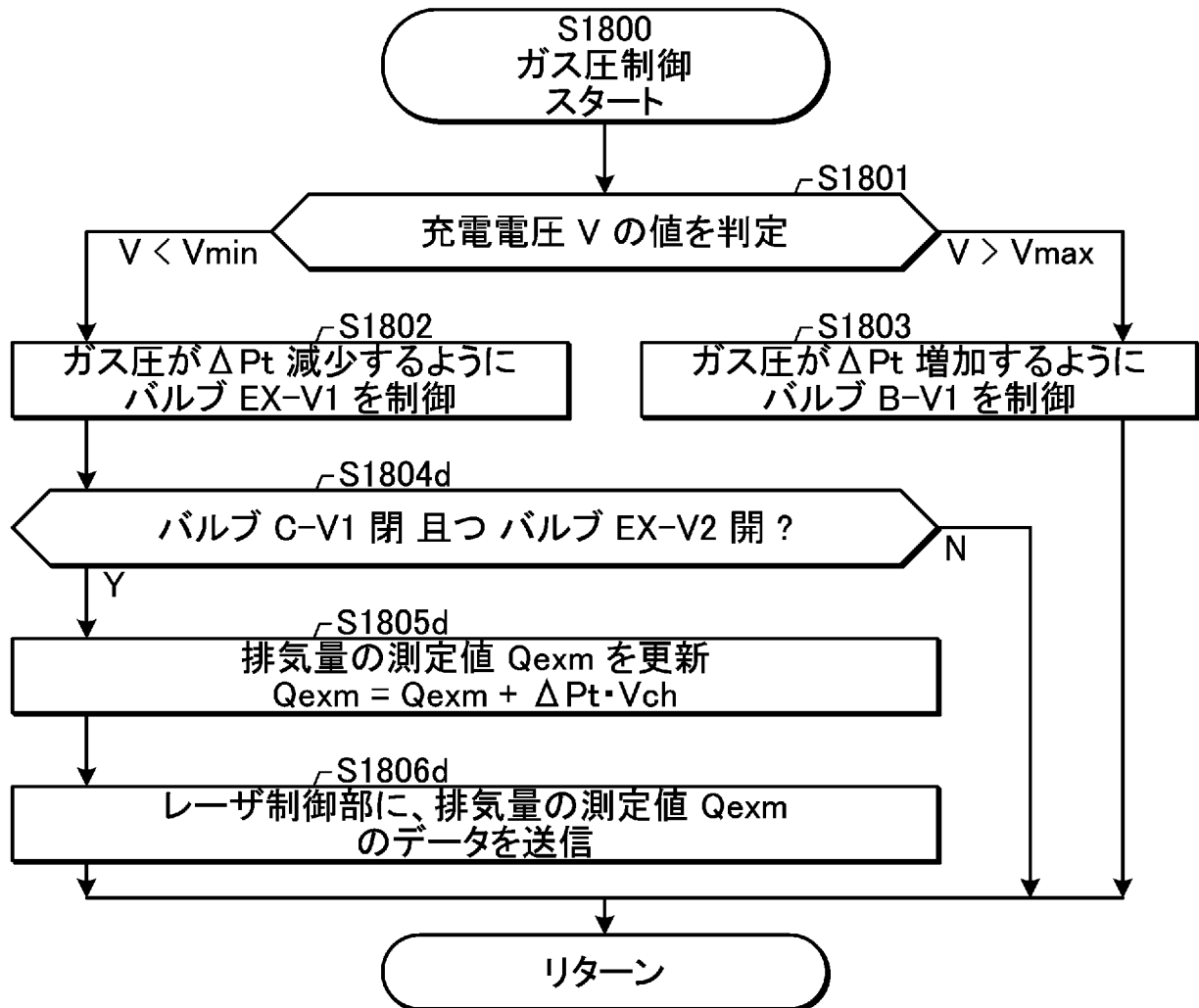
[図24]



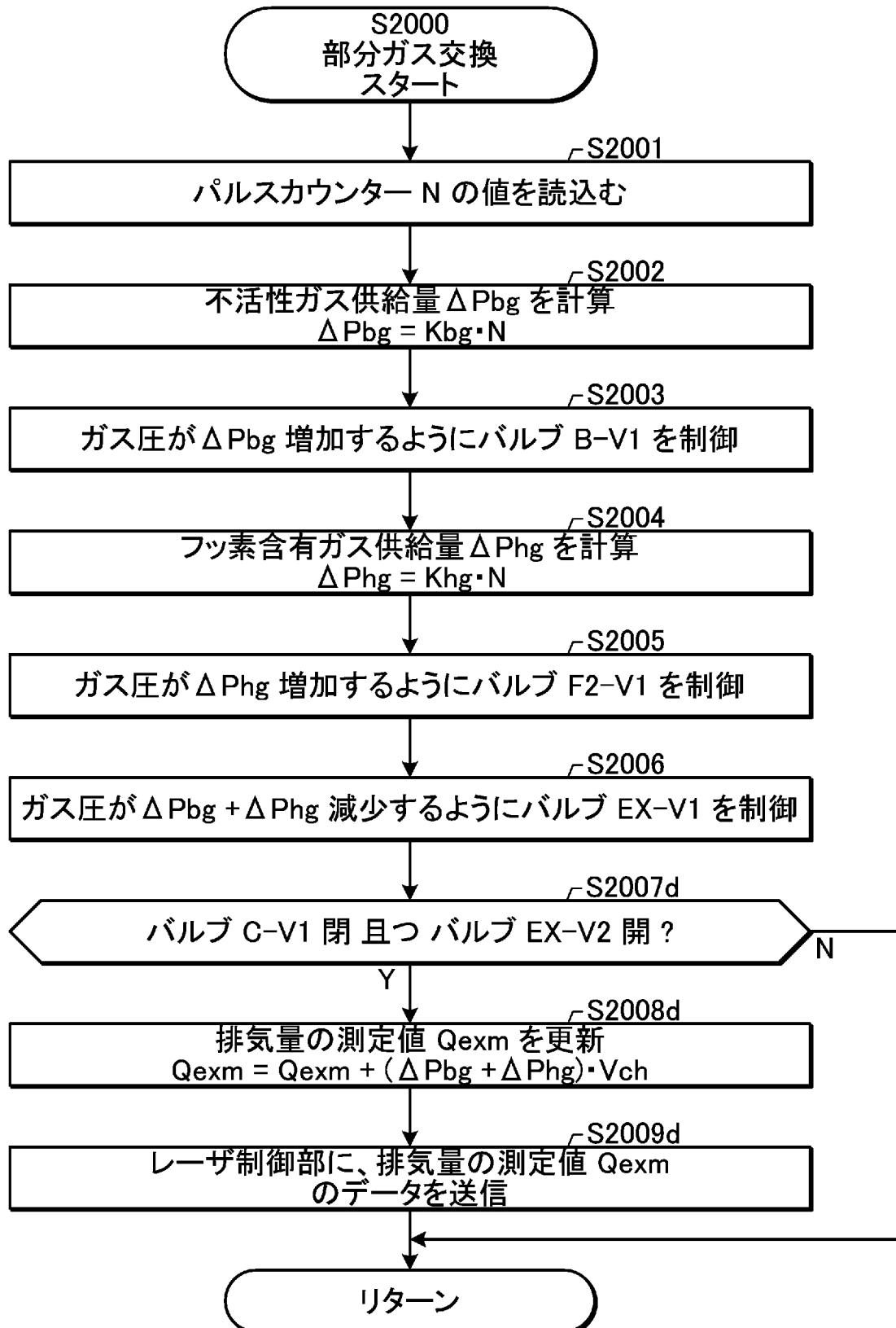
[図25]



[図26]



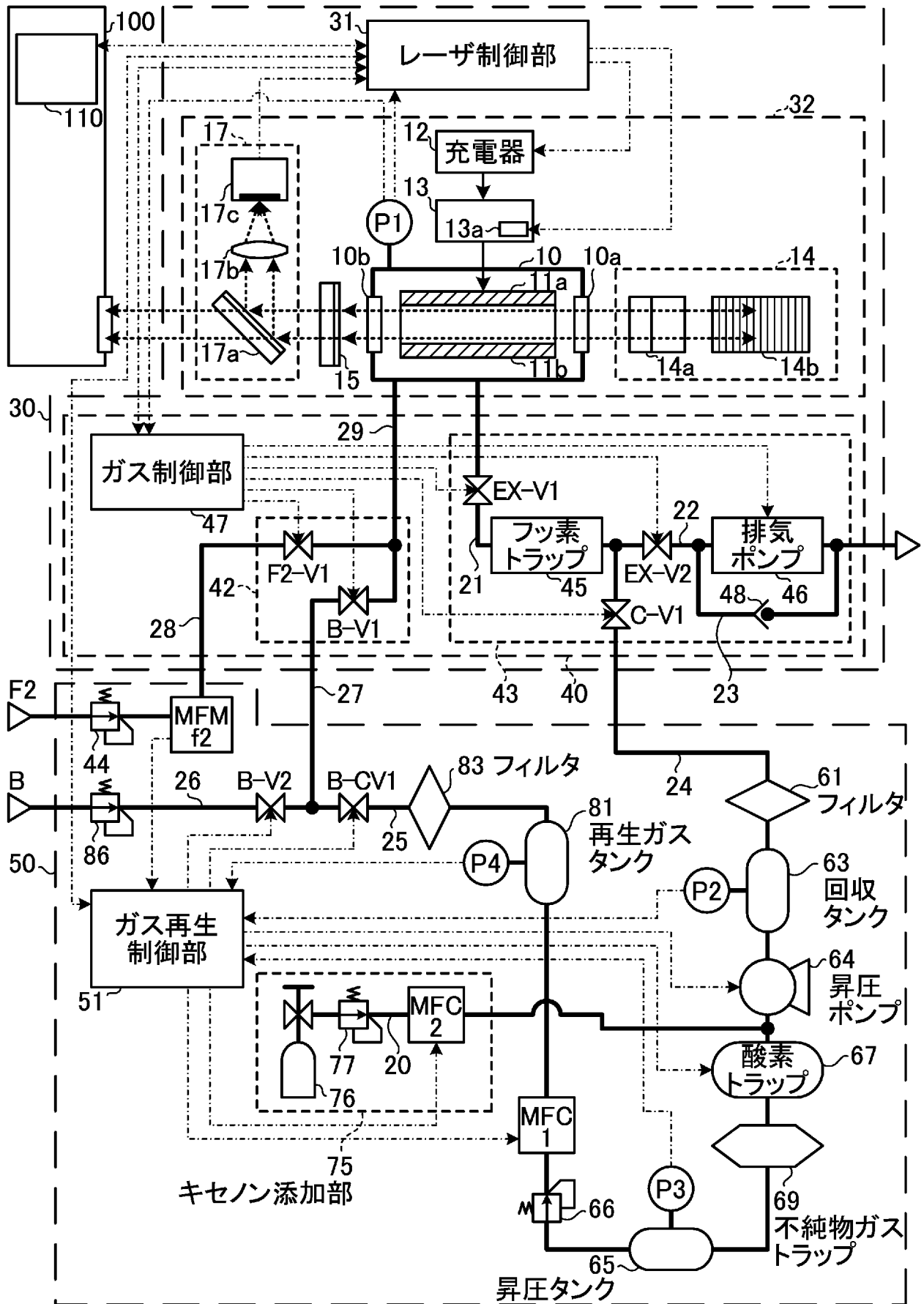
[図27]



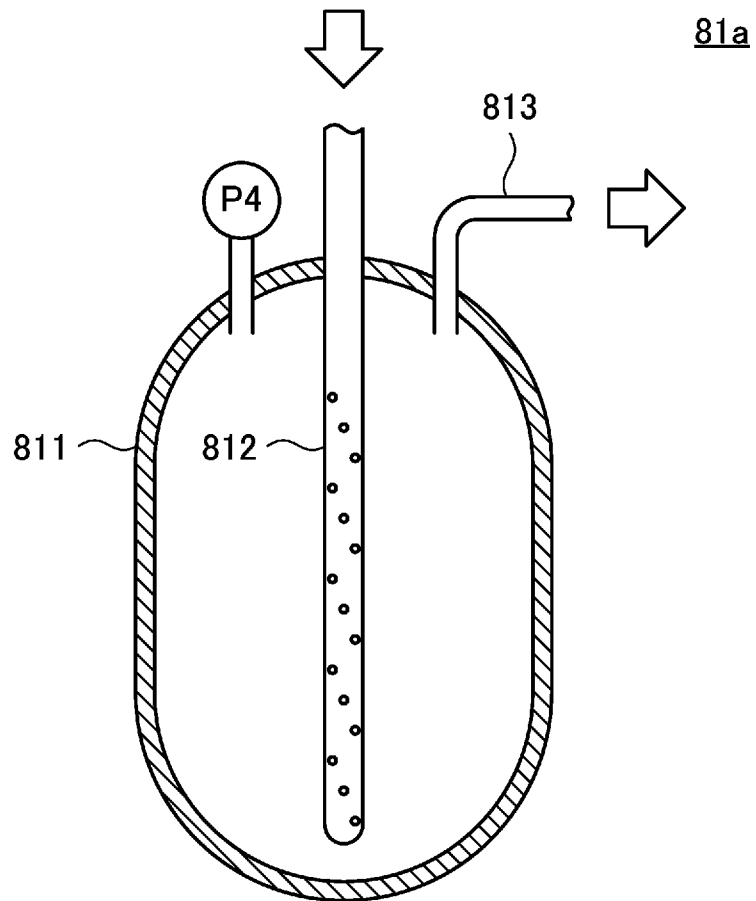
The diagram illustrates a gas recovery system for a laser chamber. The main gas line (28) branches into two parallel paths (28a and 28b). Each path contains a laser chamber (10), a gas trap (42), a gas control unit (47), and a laser control unit (31). The gas is then recovered through a series of traps (48, 67, 68) and a recovery tank (63). The system includes various valves (F2-V1, B-V1, EX-V1, EX-V2, C-V1, C-V2), pumps (P2, P3, P4), and flow meters (MFC1, MFC2). A gas regeneration control unit (51) is also shown.

The diagram illustrates a gas supply system for a laser apparatus. It features a common gas supply line (28) that branches into two parallel paths, 28a and 28b. The system includes a gas regeneration control unit (ガス再生制御部) and a gas recovery tank (回収タンク). The gas supply line (28) is connected to a gas recovery tank (回収タンク) via a valve (61) and a pump (63). The gas recovery tank (回収タンク) is connected to a gas regeneration control unit (ガス再生制御部) via a valve (64) and a pump (P2). The gas regeneration control unit (ガス再生制御部) is connected to a gas regeneration tank (再生ガスタンク) via a valve (65) and a pump (P3). The gas regeneration tank (再生ガスタンク) is connected to a gas supply line (28) via a valve (66) and a pump (P4). The gas supply line (28) is connected to a gas recovery tank (回収タンク) via a valve (61) and a pump (63). The gas recovery tank (回収タンク) is connected to a gas regeneration control unit (ガス再生制御部) via a valve (64) and a pump (P2). The gas regeneration control unit (ガス再生制御部) is connected to a gas regeneration tank (再生ガスタンク) via a valve (65) and a pump (P3). The gas regeneration tank (再生ガスタンク) is connected to a gas supply line (28) via a valve (66) and a pump (P4). The gas supply line (28) is connected to a gas recovery tank (回収タンク) via a valve (61) and a pump (63). The gas recovery tank (回収タンク) is connected to a gas regeneration control unit (ガス再生制御部) via a valve (64) and a pump (P2). The gas regeneration control unit (ガス再生制御部) is connected to a gas regeneration tank (再生ガスタンク) via a valve (65) and a pump (P3). The gas regeneration tank (再生ガスタンク) is connected to a gas supply line (28) via a valve (66) and a pump (P4).

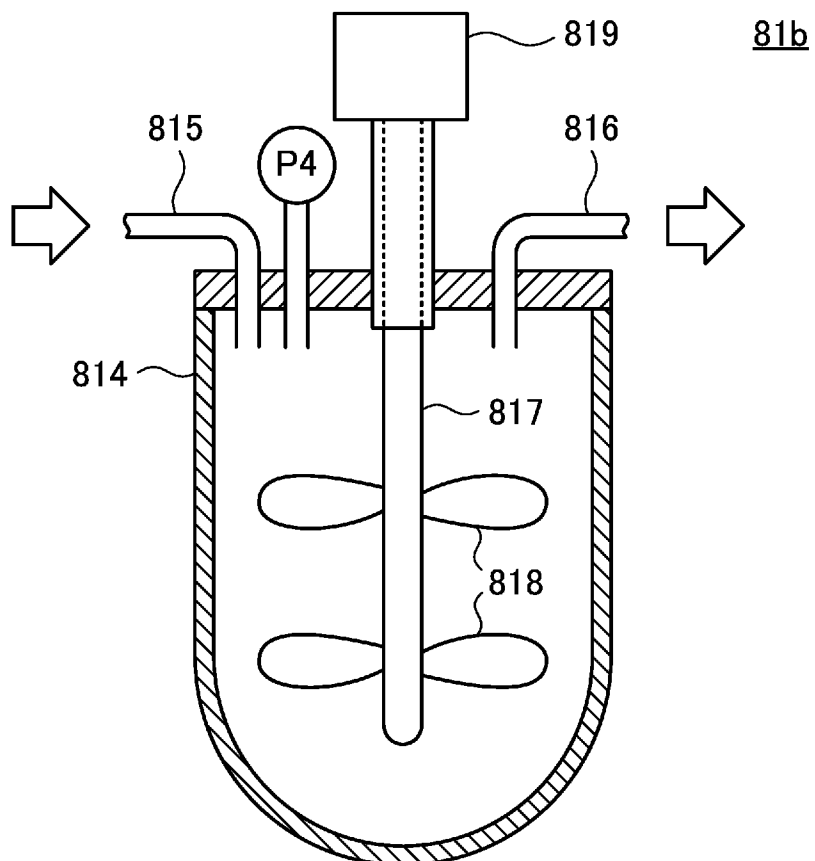
[図30]



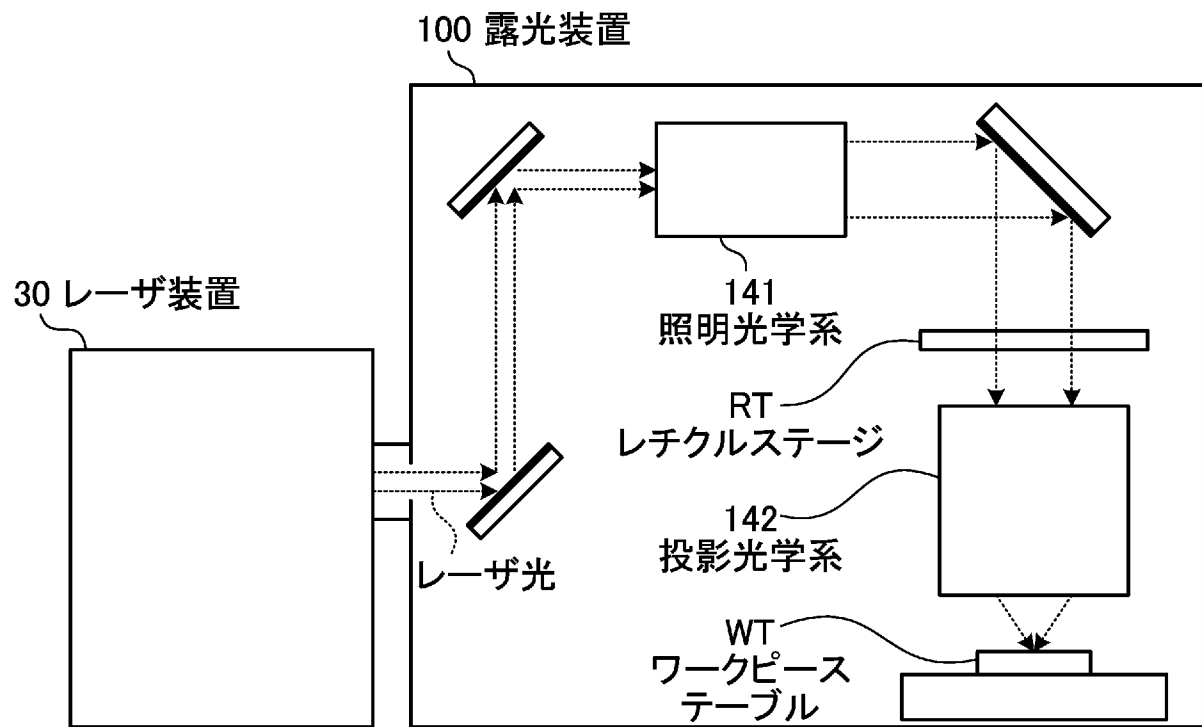
[図31]



[図32]



[図33]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/016600

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01S3/097 (2006.01) i, H01S3/225 (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)

Int. Cl. H01S3/00-3/30

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2017/072863 A1 (GIGAPHOTON INC.) 04 May 2017, paragraphs [0024]-[0043], [0086]-[0088], [0113]-[0122], fig. 1, 4 (Family: none)	1-20
Y	JP 2002-270935 A (GIGAPHOTON INC.) 20 September 2002, paragraphs [0001], [0063], fig. 8 & US 2002/0122449 A1, paragraphs [0001], [0082], fig. 8	1-9, 19
Y	JP 2001-111142 A (USHIO SOGO GIJUTSU KENKYUSHO) 20 April 2001, paragraphs [0001], [0052] & US 6584131 B1, column 1, lines 6-10, column 7, line 51 to column 8, line 6 & EP 1091462 A2 & DE 60035934 T2 & KR 10-2001-0040028 A	1-9, 19



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
05.06.2018

Date of mailing of the international search report
12.06.2018

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/JP2018/016600

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-177461 A (KOMATSU LTD.) 24 June 1994, paragraphs [0024], [0046], [0047], fig. 8, 9 & US 5450436 A, column 5, lines 23-35, column 24, line 40 to column 25, line 3, fig. 27-28	10-18, 20
A	WO 2015/075840 A1 (GIGAPHOTON INC.) 28 May 2015, paragraphs [0189]-[0214], fig. 12, 13 & US 2016/0248215 A1, paragraphs [0233]-[0259], fig. 12, 13	1-20
A	WO 2017/081819 A1 (GIGAPHOTON INC.) 18 May 2017, paragraphs [0164]-[0173], fig. 18, 19 (Family: none)	1-20
A	JP 9-97951 A (NISSIN ELECTRIC CO., LTD.) 08 April 1997, entire text, all drawings (Family: none)	1-20
A	US 9478934 B1 (LIGHTMACHINERY INC.) 25 October 2016, entire text, all drawings & DE 102016212576 A1 & CN 106374326 A	1-20
A	US 2006/0193997 A1 (CYMER, INC.) 31 August 2006, paragraph [0005] & WO 2006/091819 A2	1-20

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/097(2006.01)i, H01S3/225(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2017/072863 A1（ギガフォトン株式会社）2017.05.04, [0024]-[0043], [0086]-[0088], [0113]-[0122], 図1, 4 (ファミリーなし)	1-20
Y	JP 2002-270935 A（ギガフォトン株式会社）2002.09.20, [0001], [0063], 図8 & US 2002/0122449 A1 [0001], [0082], FIG.8	1-9, 19

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

05.06.2018

国際調査報告の発送日

12.06.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

島田 英昭

2 K

3311

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 2001-111142 A (株式会社ウシオ総合技術研究所) 2001. 04. 20, [0001], [0052] & US 6584131 B1 Col. 1 1. 6-10, Col. 7 1. 51-Col. 8 1. 6 & EP 1091462 A2 & DE 60035934 T2 & KR 10-2001-0040028 A	1-9, 19
Y	JP 6-177461 A (株式会社小松製作所) 1994. 06. 24, [0024], [0046]-[0047], 図 8-9 & US 5450436 A Col. 5 1. 23-1. 35, Col. 24 1. 40-Col. 25 1. 3, FIGs. 27-28	10-18, 20
A	WO 2015/075840 A1 (ギガフォトン株式会社) 2015. 05. 28, [0189]-[0214], 図 12-13 & US 2016/0248215 A1 [0233]-[0259], FIGs. 12-13	1-20
A	WO 2017/081819 A1 (ギガフォトン株式会社) 2017. 05. 18, [0164]-[0173], 図 18-19 (ファミリーなし)	1-20
A	JP 9-97951 A (日新電機株式会社) 1997. 04. 08, 全文全図 (ファミリーなし)	1-20
A	US 9478934 B1 (LIGHTMACHINERY INC.) 2016. 10. 25, 全文全図 & DE 102016212576 A1 & CN 106374326 A	1-20
A	US 2006/0193997 A1 (CYMER, INC.) 2006. 08. 31, [0005] & WO 2006/091819 A2	1-20