



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 露光装置用レーザ装置

技術分野

[0001] この開示は、露光装置用レーザ装置に関するものである。

背景技術

[0002] シードレーザと前記シードレーザの出力光を入力して増幅し出力する少なくとも 1 つのガス放電励起式の増幅段を有した、MOP A 方式およびMOP O 方式のいずれか一方の放電励起式ガスレーザ装置とを備えた露光装置用レーザがある。

概要

[0003] 本開示の一態様による露光装置用レーザ装置は、シードレーザと、前記シードレーザの出力光を入力して増幅出力する少なくとも 1 つのガス放電励起式の増幅段と、を有したMOP A 方式およびMOP O 方式のいずれか一方の放電励起式ガスレーザ装置と、露光装置からの要求によって前記放電励起式ガスレーザ装置からのレーザ出力光のエネルギーを不連続的に変化させる場合に、少なくとも前記増幅段のレーザガスの全圧力を前記要求されたエネルギーに応じて変化させるレーザガス制御装置および少なくとも前記増幅段の放電電極の励起強度を前記要求されたエネルギーに応じて変化させるレーザ電源制御装置の少なくともいずれか一方の制御装置と、を備えてもよい。

図面の簡単な説明

[0004] [図1] 図 1 は、この開示の実施の形態 1 である露光装置用レーザ装置の構成を模式的に示す。

[図2] 図 2 は、レーザ出力エネルギーとレーザ出力エネルギーばらつきとの各電圧依存性を示す。

[図3] 図 3 は、電圧制御による制御範囲を示す。

[図4] 図 4 は、レーザコントローラ C による電圧HV 値の制御処理手順を示すフローチャートである。

[図5] 図5は、この開示の実施の形態1のレーザガス制御装置およびレーザ電源制御装置によるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理手順を示すフローチャートである。

[図6] 図6は、電圧をパラメータとしたレーザ出力エネルギーばらつきのフッ素ガス分圧依存性を示す。

[図7] 図7は、この開示の実施の形態1による60Wから90W変更時のタイミングチャートである。

[図8] 図8は、この開示の実施の形態1による90Wから60W変更時のタイミングチャートである。

[図9] 図9は、この開示の実施の形態1の変形例1のレーザガス制御装置によるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理手順を示すフローチャートである。

[図10] 図10は、この開示の実施の形態1の変形例1による60Wから90W変更時のタイミングチャートである。

[図11] 図11は、この開示の実施の形態1の変形例1による90Wから60W変更時のタイミングチャートである。

[図12] 図12は、この開示の実施の形態1の変形例2のレーザ電源制御装置によるターゲットエネルギー変更時の電圧HV値変更処理手順を示すフローチャートである。

[図13] 図13は、この開示の実施の形態1の変形例2による60Wから90W変更時のタイミングチャートである。

[図14] 図14は、この開示の実施の形態1の変形例2による90Wから60W変更時のタイミングチャートである。

[図15] 図15は、この開示の実施の形態1の変形例3のレーザガス制御装置によるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理手順を示すフローチャートである。

[図16] 図16は、図15に示したガス交換処理の手順を示すフローチャートである。

[図17]図 1 7 は、この開示の実施の形態 1 の変形例 3 による 6 0 W から 9 0 W 変更時のタイミングチャートである。

[図18]図 1 8 は、この開示の実施の形態 1 の変形例 3 による 9 0 W から 6 0 W 変更時のタイミングチャートである。

[図19]図 1 9 は、この開示の実施の形態 2 である露光装置用レーザ装置によるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理手順を示すフローチャートである。

[図20]図 2 0 は、パラメータ設定サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

[図21]図 2 1 は、レーザ制御サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

[図22]図 2 2 は、切替設定サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

[図23]図 2 3 は、パラメータ計算サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

[図24]図 2 4 は、レーザガス圧のパルスエネルギー依存性を示す。

[図25]図 2 5 は、レーザガス制御サブルーチンを示す処理手順を示すフローチャートである。

[図26]図 2 6 は、パラメータ計算サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

[図27]図 2 7 は、切替前のレーザガス圧をパラメータとしてレーザガス圧のパルスエネルギー依存性を示す。

[図28]図 2 8 は、この開示の実施の形態 3 である露光装置用レーザ装置の構成を模式的に示す。

[図29]図 2 9 は、パラメータ計算サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

[図30]図 3 0 は、フッ素分圧のパルスエネルギー依存性を示す。

[図31]図 3 1 は、レーザガス制御サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

ートである。

[図32] 図 3 2 は、パラメータ計算サブルーチンの処理手順を示すフローチャートである。

[図33] 図 3 3 は、この開示の実施の形態 4 である露光装置用レーザ装置の構成を模式的に示す。

[図34] 図 3 4 に示した増幅段の構成を示す。

[図35] 図 3 5 は、レーザコントローラによるダイナミック切替機構への制御処理手順を示すフローチャートである。

[図36] 図 3 6 は、この開示の実施の形態 5 である露光装置用レーザ装置内のダイナミックレンジ切替機構の構成を模式的に示す。

[図37] 図 3 7 は、この開示の実施の形態 5 である露光装置用レーザ装置内のダイナミックレンジ切替機構の他の構成を模式的に示す。

実施の形態

[0005] 以下、本開示の実施の形態について、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。

[0006] 近年、レーザの高出力化の必要性とともに、露光装置側の露光最適化のため、露光プロセスに合わせてレーザ出力を変化させたいという要求がある。しかし、それぞれの露光プロセスが必要とするレーザ出力に合わせて複数のレーザを設けると、コストが膨大となってしまう。このため、1 台のレーザで多くの露光プロセスに対応できるよう、1 台のレーザの出力可能範囲、すなわちエネルギーダイナミックレンジを大きくする必要がある。

[0007] (実施の形態 1)

まず、この開示の実施の形態 1 である露光装置用レーザ装置の構成について説明する。図 1 は、この開示の実施の形態 1 である露光装置用レーザ装置の構成を模式的に示す。図 1 に示されるように、この露光装置用レーザ装置

は、シードレーザ 1 と、このシードレーザ 1 の出力光を入力して増幅し出力する少なくとも 1 台のガス放電励起式の増幅段 2 とを備えた MOPA (Master Oscillator Power Amplifier) 方式または MOPO (Master Oscillator Power Oscillator) 方式の放電励起式ガスレーザ装置である。なお、MOPA 方式は、増幅段 2 に共振器が設けられない方式である。また、MOPO 方式は、インジェクションロック方式とも呼ばれ、増幅段 2 に共振器が設けられる方式である。なお、シードレーザ 1 と増幅段 2 との間は、少なくとも 2 つの高反射ミラー 31, 32 を有する光学系によって結合されてもよい。

[0008] また、この露光装置用レーザ装置は、露光装置 100 の露光装置コントローラ C100 と制御信号の送受信を行い、露光装置用レーザ装置全体を制御するレーザコントローラ C を備えてもよい。レーザコントローラ C には、レーザ電源制御装置 3 とレーザガス制御装置 4 とが接続されてもよい。

[0009] レーザ電源制御装置 3 は、シードレーザ 1 の電源である MO 電源 12 および増幅段 2 の電源である PO 電源 22 に接続されてもよい。MO 電源 12 および PO 電源 22 はパルス電源でもよい。パルス電源は、一般的には主にチャージャとパルス圧縮回路とを有する。そして、レーザ電源制御装置 3 は、露光装置 100 から要求されたエネルギーのレーザ光を出力するように電源電圧を発生させて、レーザ装置をバースト発振させてもよい。レーザガス制御装置 4 は、シードレーザ 1 のチャンバ 11 内のレーザガス圧および増幅段 2 のチャンバ 21 内のレーザガス圧を制御してもよい。

[0010] レーザ電源制御装置 3 は、レーザコントローラ C の制御のもと、露光装置 100 からの指令によってレーザの出力エネルギーを不連続的に変化させた時に、増幅段 2 の放電電極 23 の励起強度を、露光装置 100 から要求されたエネルギーに応じて変化させる。露光装置 100 からレーザの出力エネルギーを不連続的に変化させる指令 d が出力された場合、その指令 d を受け取ったレーザコントローラ C はレーザ電源制御装置 3 に対して指令 c を与える。その指令 c を受け取ったレーザ電源制御装置 3 は MO 電源 12、および PO 電源

22の少なくとも一方を制御する。その制御によってMO電源12は一对の放電電極13の電極間に電圧を印加してもよい。また、PO電源22は一对の放電電極23の電極間に電圧を印加してもよい。また、露光装置100からレーザの出力エネルギーを不連続的に変化させる指令dが出力された時に、レーザガス制御装置4によるガス制御が行われてもよい。そのガス制御とは、増幅段2のレーザガスの全圧力を、露光装置100から要求されたエネルギーに応じて変化させることである。なお、これらレーザ電源制御装置3とレーザガス制御装置4による制御は、いずれか一方のみ、または両方が行われてもよい。

[0011] シードレーザ1は、ガス放電励起式レーザまたは固体レーザなどでよい。シードレーザ1がガス放電励起式レーザの場合、シードレーザ1は、レーザガスを封入するチャンバ11と、MO電源12と、レーザガスの励起に伴ってチャンバ11内で発生する光の一部を外部に出力し、残りを、チャンバ11を介して共振させる共振器とを備えてもよい。この共振器は、拡大プリズム15aとグレーティング15bとを備える狭帯域化モジュール15と、出力結合ミラー14との間で形成される。チャンバ11は、レーザガスを励起してゲイン領域を形成する一对の放電電極13を備えてもよい。この一对の放電電極13の電極間には、MO電源12から充電電圧が印加される。

[0012] 増幅段2は、ガス放電励起式レーザでもよい。増幅段2は、レーザガスを封入するチャンバ21と、PO電源22と、レーザガスの励起に伴ってチャンバ21内で発生する光の一部を外部に出力し、残りをチャンバ21を介して共振させる共振器とを備えてもよい。この共振器は、リアミラー25とフロントミラー24との間で形成される。図1は、平面リアミラー25と平面フロントミラー24とが平行に配置されたファブリペロ型共振器の例を示している。チャンバ21内は、レーザガスを励起してゲイン領域を形成する一对の放電電極23を備えてもよい。この一对の放電電極23の電極間には、PO電源22から電圧が印加される。

[0013] なお、チャンバ11、21内のレーザガスは、エキシマレーザの場合、組

成ガス（K r Fの場合はK r ガスとF 2 ガス、A r Fの場合はA r ガスとF 2 ガス）と、希釈バッファガス（N e またはH e ガス）でもよい。

[0014] 増幅段2のレーザ光出射側の光路には、エネルギーセンサユニット40が設けられてもよい。エネルギーセンサユニット40は、出力レーザ光Lの一部を取り出すビームスプリッタ41と、フォトダイオードなどの光センサ43と、ビームスプリッタ41からの光を光センサ43に集光する集光レンズ42とを備えてもよい。エネルギーセンサユニット40は、レーザ光Lからビームスプリッタ41によって反射されたレーザ光のエネルギーを検出してもよい。

[0015] また、露光装置100とビームスプリッタ41との間には、露光装置100側への出力レーザ光Lの入射を防ぐシャッタ50が設けられてもよい。このシャッタ50は、露光装置100からの指令によってレーザの出力エネルギーを不連続に変化させた時などの後述する調整発振時に閉じられてもよい。

[0016] なお、レーザガス制御装置4には、レーザガスポンベ60と排気装置61とが接続されてもよい。それらの接続配管にはそれぞれ図示しない注入バルブ、排気バルブを設けてもよい。レーザガスポンベ60は、レーザガス制御装置4を介してレーザガスをチャンバ11, 21に供給してもよい。排気装置61は、レーザガス制御装置4を介してレーザガスをチャンバ11, 21から排気してもよい。

[0017] ここで、この実施の形態1では、レーザコントローラCの制御のもと、レーザガス制御装置4とレーザ電源制御装置3とを用いて、露光装置100からの指令によってレーザの出力エネルギーを不連続に変化させる場合、増幅段2のレーザガスの全圧および電圧HV値を変更する調整発振シーケンスを行うようにしている。また、前記不連続変化が出力レーザ光Lのエネルギーを増加させることである場合に、シードレーザ1の出力光エネルギーを変えずに増幅段の増幅率を上げる。この制御を行うことで、レーザ光に起因する狭帯域化モジュール15内光学素子の劣化を抑制することができる。

[0018] ところで、1台のレーザ装置の出力を変動させる方法としては、レーザガスの励起強度、すなわち電圧HV値を変化させたり、ガス組成やガス圧力を変化させることが考えられる。しかし、ガスレーザにおいて、「電圧HV値－レーザ出力エネルギーE」と「電圧HV値－レーザ出力エネルギーばらつき σ 」には、図2に示すような特性がある。すなわち、電圧HV値でレーザ出力エネルギーEを変化させると、レーザ出力エネルギーばらつき（発振パルスエネルギーのばらつき） σ が大きくなり、許容範囲を超える場合がある。

[0019] 露光装置では、毎パルスエネルギーのばらつきを小さくする必要がある。そのため、露光装置から要求されるレーザ出力エネルギーばらつき σ の許容範囲内で電圧HV値を変化させた場合は、レーザ出力エネルギーEの可変範囲が小さくなる。つまり、一般に、露光装置ではレーザ出力エネルギーばらつき σ を略一定にするために、中心出力（ノミナルエネルギー）の $\pm 10\%$ 程度しかレーザ出力エネルギーEを変化させることができない。レーザ出力エネルギーEをその範囲以上に変化させようとするれば、レーザ出力エネルギーばらつき σ が大きくなり半導体露光用光源として使用することができない。

[0020] また、レーザ出力エネルギーばらつき σ を無視したとしても、電圧HV値を減少させていくと、ある値以下では、レーザ発振しなくなるため、要求されるダイナミックレンジを得ることができない。電圧HV値を減少させた場合、レーザ出力エネルギーばらつき σ が大きくなるのは、放電が不安定になり、均一なゲイン領域が確保できなくなるからである。

[0021] なお、ガス組成やガス圧を変化させる場合も、電圧HV値を変化させる場合と同様に、ダイナミックレンジを大きくしようとすると、レーザ出力エネルギーばらつき（発振パルスエネルギーのばらつき） σ が大きくなり、許容範囲を超える場合がある。ただし、ガス圧に関しては、現行のギガフォトン社製レーザにおいては、レーザ出力エネルギーばらつき σ に関する許容範囲が比較的広い。

- [0022] 図3に、要求されるレーザ出力のダイナミックレンジの一例を示す。現存する種々の露光装置では、6kHzレーザの場合、大体90Wから60Wの範囲内のレーザ出力が要求されている。しかし、電圧HV値で出力を変化させる場合のダイナミックレンジは、たとえば、90W動作のレーザでは、 90 ± 10 W程度の範囲aとなり、60W動作のレーザでは、 60 ± 10 W程度の範囲bとなり、いずれも必要なダイナミックレンジには到達しない。このため、電圧HV値やガス組成では対応が難しい。
- [0023] しかしながら、ギガフォトン社製レーザにおいては、上述したように、ガス圧がレーザ出力エネルギーばらつき σ に比較的鈍感な制御パラメータである。このため、動作ガス圧範囲においてガス圧を可変にすることにより、90Wから60Wのノミナルエネルギーとその前後 ± 10 Wを安定に出力することができる。
- [0024] そこで、この実施の形態1では、レーザコントローラCが露光装置より、ある露光プロセスのノミナルのエネルギー情報を受けとり、ガス圧を調整することによって、必要なダイナミックレンジの確保を可能にしようとするものである。すなわち、レーザガス制御装置4がガス圧を変えることによって、エネルギー安定性を許容範囲内に維持したまま、ノミナルエネルギーを可変とするものである。
- [0025] なお、前提として、レーザコントローラCは、電圧HV値の制御を独立して行ってもよい。図4は、レーザコントローラCによる電圧HV値の制御処理手順を示すフローチャートである。レーザコントローラCは、例えば露光装置コントローラC100からレーザのエネルギー制御を行う指令があった際に電圧HV値の制御を行ってもよい。図4において、まず、レーザコントローラCは、露光装置コントローラC100から送られてきた要求パルスエネルギー E_t に対応する電圧HV値を初期値として読み込んでもよい（ステップS1701）。なお、要求パルスエネルギー E_t に対応する電圧HV値は、予めデータとして保存されていてもよいし、計算によって求めてもよい。要求パルスエネルギー E_t に対応する電圧HV値は、ガス圧を考慮にいれ

て決定されてもよい。その後、レーザコントローラCは、要求パルスエネルギー E_t を読み込んでもよい（ステップS 1702）。レーザコントローラC 100は、PO電源22を電圧HV値に充電する指令をレーザ電源制御装置3に送ってもよい。その後、レーザコントローラCは、露光装置コントローラC 100から送られてくるレーザ発振のトリガ信号を検出したか否かを判断し（ステップS 1703）、トリガ信号を検出するまで待機してもよい（ステップS 1703, No）。レーザコントローラCは、トリガ信号を検出した場合（ステップS 1703, Yes）のみ、レーザ電源制御装置3を介してレーザ発振を行わせてもよい（ステップS 1704）。その後、エネルギーセンサユニット40を介してレーザ発振に伴うレーザのエネルギーEを検出してもよい（ステップS 1705）。

[0026] その後、レーザコントローラCは、エネルギー変動 $\Delta E = E_t - E$ を算出してもよい。さらに、電圧HV値変動 $\Delta HV = G \cdot \Delta E$ を算出してもよい（ステップS 1706）。なお、Gは、制御ゲインである。さらに、現電圧HV値を、 $HV = HV + \Delta HV$ として更新してもよい（ステップS 1707）。そして、この更新した電圧HV値を保存してもよい（ステップS 1708）。

[0027] その後、電圧HV値の初期値を変更するか否かを判断してもよい（ステップS 1709）。例えば、要求パルスエネルギー E_t が大きく変化した場合、電圧HV値の初期値が変更されてもよい。また、露光装置100からエネルギー値指令値S1が送られてきた際に、電圧HV値の初期値を変更してもよい。電圧HV値の初期値を変更する場合（ステップS 1709, Yes）には、ステップS 1701に移行し、初期値の更新を行って、上述した処理を繰り返してもよい。一方、電圧HV値の初期値を変更しない場合（ステップS 1709, No）には、さらにこの電圧HV値の制御処理を中止するか否かを判断してもよい（ステップS 1710）。この電圧HV値の制御を中止しない場合（ステップS 1710, No）には、ステップS 1702に移行し、現電圧HV値を用いて上述した処理を繰り返してもよい。一方、電圧

HV値の制御を中止する場合（ステップS 1 7 1 0, Y e s）には、本処理を終了してもよい。例えば、露光装置コントローラC 1 0 0からレーザのエネルギー制御を中止する指令があった際に電圧HV値の制御処理を中止してもよい。この電圧HV値の制御処理では、電圧HV値が更新される毎に更新された電圧HV値が保存されてもよい。

[0028] つぎに、この開示の実施の形態1のレーザガス制御装置3およびレーザ電源制御装置4によるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理について説明する。図5は、この開示の実施の形態1のレーザガス制御装置およびレーザ電源制御装置によるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理手順を示すフローチャートである。図5において、まず、レーザコントローラCは、露光装置100からのエネルギー値指令S1によってレーザ出力レンジ切替要求があったか否かを判断してもよい（ステップS 1 0 1）。レーザ出力レンジ切替要求がない場合（ステップS 1 0 1, N o）、本処理を終了し、直前の状態の出力制御を続行してもよい。

[0029] 一方、レーザ出力レンジ切替要求があった場合（ステップS 1 0 1, Y e s）には、ターゲットエネルギーを変更する設定を行い（ステップS 1 0 2）、レーザの出力を開始してもよい（ステップS 1 0 3）。その後、ステップS 1 7 0 8で保存されている現在の電圧HV値を読み出し（ステップS 1 0 4）、この電圧HV値がターゲットHVレンジ内か否かを判断してもよい（ステップS 1 0 5）。

[0030] ターゲットHVレンジ内である場合（ステップS 1 0 5, Y e s）には、ガス調整は必要ないので、レーザの出力を停止した（ステップS 1 1 5）後、本処理を終了し、直前の状態の出力制御を続行してもよい。一方、ターゲットHVレンジ内でない場合（ステップS 1 0 5, N o）には、さらにターゲットHVレンジと電圧HV値とを比較し、ターゲットHVレンジが電圧HV値よりも大きいかな否かを判断してもよい（ステップS 1 0 6）。

[0031] ターゲットHVレンジが電圧HV値よりも小さい場合（ステップS 1 0 6, ターゲットHVレンジ<電圧HV値）、レーザガス制御装置4は、チャン

バ21に対するバルブを開けてレーザガスの注入を開始してもよい（ステップS107）。さらに、ステップS1708で保存されている電圧HV値を読み出し（ステップS108）、このガス注入によって、電圧HV値が、ターゲットHVレンジ内に入ったか否かを判断してもよい（ステップS109）。電圧HV値がターゲットHVレンジ内にいない場合（ステップS109, No）には、ステップS108に移行し、電圧HV値の読み出しとステップS109の判断処理を繰り返してもよい。一方、電圧HV値がターゲットHVレンジ内に入っている場合（ステップS109, Yes）には、バルブを閉じてガス注入を停止してもよい（ステップS110）。その後、レーザの出力を停止した（ステップS115）後、本処理を終了し、切り替えられたレーザ出力レンジの出力制御を行ってもよい。

[0032] ターゲットHVレンジが電圧HV値よりも大きい場合（ステップS106, ターゲットHVレンジ>電圧HV値）、レーザガス制御装置4は、チャンバ21に対するバルブを開けてレーザガスの排気を開始してもよい（ステップS111）。さらに、ステップS1708で保存されている電圧HV値を読み出し（ステップS112）、このガス排気によって、電圧HV値が、ターゲットHVレンジ内に入ったか否かを判断してもよい（ステップS113）。電圧HV値がターゲットHVレンジ内にいない場合（ステップS113, No）には、ステップS112に移行し、電圧HV値の読み出しとステップS113の判断処理を繰り返してもよい。一方、電圧HV値がターゲットHVレンジ内に入っている場合（ステップS113, Yes）には、バルブを閉じてガスの排気を停止してもよい（ステップS114）。その後、レーザの出力を停止した（ステップS115）後、本処理を終了し、切り替えられたレーザ出力レンジの出力制御を行ってもよい。なお、ステップS102～S115までの処理は、調整発振シーケンスSQ1である。

[0033] ここで、ステップS105, S109, S113におけるターゲットHVレンジについて説明する。図6は、エキシマレーザのレーザ出力エネルギーばらつき σ と、電圧HV値（ V_1 , V_2 , V_3 ）と、レーザガス中のフッ素（F

2) 分圧との関係を示している。半導体露光等の処理を行う光源としてのエキシマレーザの出力光エネルギーのパルス毎のエネルギーばらつき（レーザ出力エネルギーばらつき）は、小さい必要がある。このばらつきが大きいと、露光装置内部において、たとえばSiウェハ上の各チップ毎または1つのチップ表面の場所毎の露光量がばらついて各チップの製造不具合を生じてしまうからである。したがって、このレーザ出力エネルギーばらつき σ の許容範囲（仕様）を定めておいて、その仕様を満たすための電圧HV値とガス全圧とフッ素分圧の範囲内を維持するようにレーザ装置を駆動制御することが好ましい。

[0034] エキシマレーザの駆動中は、出力パルスエネルギーが微妙に増減するので、その増減を抑制するために制御装置は電圧HV値を高速で微妙に増減する制御を頻繁に行う。一方、制御装置が強制的なガス供給排気を行わない限り、通常はガス圧とフッ素ガスとが短時間で大きな変動を示す要因はない。こうした通常の駆動制御では、図6において電圧HV値の変動幅が小さいので、ばらつき σ の許容範囲（仕様）を短時間で逸脱する可能性は低い。

[0035] しかし、短時間でレーザ出力エネルギーを大幅に増加または減少させる場合には、それぞれ電圧HV値を大幅に上昇または下降させる必要がある。その操作は、図6において、それぞれ電圧HV値を V_3 から V_1 へ上昇させ、または V_1 から V_3 へ下降させることに相当する。その短時間では、フッ素分圧はほとんど一定であるので、ばらつき σ は大幅に悪化する可能性が高い。そこで、フッ素分圧が一定の場合に、レーザ出力エネルギーを一定に維持するためには、全ガス圧を上げると電圧HV値を下げる必要があり、全ガス圧を下げると電圧HV値を上げる必要があるという特性を利用してばらつき σ を仕様範囲に戻す。

[0036] すなわち、図6において、電圧HV値を V_3 から V_1 へ上昇させ、または V_1 から V_3 へ下降させた場合に、それぞれ全ガス圧を下げ、または上げる処理を行い、それぞれ電圧HV値を V_1 から V_3 近傍へ戻し、または V_3 から V_1 近傍へ戻す。この処理によって、ばらつき σ を仕様範囲内へ戻すことができる。

この最後の処理で電圧HV値が入るべき範囲をターゲットHVレンジと称している。

[0037] ここで、図5に示したターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理について具体的に説明する。図7は、ターゲットエネルギーを60Wから90Wに上げる変更を行ったときのガス全圧変更処理時のタイミングチャートを示している。図7に示すように、露光装置100から、ターゲットエネルギーを60Wから90Wに上げる変更要求を受けると、時点 $t_1 \sim t_2$ (Δt)の間で調整発振シーケンスSQ1が行われてもよい。時点 t_1 でターゲットエネルギーが90Wに変更されると、電圧HV値は、急激に高くなり、ターゲットHVレンジから外れる可能性が高い。その後、ガスが注入され、電圧HV値がターゲットHVレンジ内に入るまでガスが注入されてもよい。この電圧HV値がターゲットHVレンジ内に入った後に調整発振シーケンスSQ1が終了し、時点 t_2 で調整発振終了としてもよい。

[0038] 一方、図8は、ターゲットエネルギーを90Wから60Wに下げる変更を行ったときのガス全圧変更処理時のタイミングチャートを示している。図8に示すように、露光装置100から、ターゲットエネルギーを90Wから60Wに下げる変更要求を受けると、時点 $t_1 \sim t_2$ (Δt)の間で調整発振シーケンスSQ1が行われてもよい。時点 t_1 でターゲットエネルギーが60Wに変更されると、電圧HV値は、急激に低くなり、ターゲットHVレンジから外れる可能性が高い。その後、ガスが排気され、電圧HV値がターゲットHVレンジ内に入るまでガスが排気されてもよい。この電圧HV値がターゲットHVレンジ内に入った後に調整発振シーケンスSQ1が終了し、時点 t_2 で調整発振終了としてもよい。

[0039] この実施の形態1では、上述した発振調整シーケンスSQ1を行うようにしているので、大幅なターゲットエネルギーの変更が生じて、レーザ出力エネルギーばらつき σ の小さい安定した状態に変更することができる。

[0040] (実施の形態1の変形例1)

実施の形態1の変形例1による露光装置用レーザ装置は、実施の形態1と

同様の構成を備えてもよい。実施の形態 1 の変形例 1 は、ターゲットエネルギー変更時の制御が実施の形態 1 と異なる。上述した実施の形態 1 では、調整発振シーケンス S Q 1 によってレーザガス制御装置 4 およびレーザ電源制御装置 3 がガス全圧と電圧 H V 値を制御していた。この変形例 1 では、レーザガス制御装置 4 によってターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理を行うようにしている。すなわち、実施の形態 1 では、電圧 H V 値がターゲット H V レンジ内に収まるようにガス全圧を制御していたが、この実施の形態 1 の変形例 1 では、レーザガス制御装置 4 のみによって、レーザ出力レンジ切替要求に対応するターゲットガス圧を決定し、ガス圧がこのターゲットガス圧となるように制御する。この実施の形態 1 の変形例 1 では、ターゲットエネルギー変更時に電圧 H V 値の制御は行わない。

[0041] 図 9 は、この開示の実施の形態 1 の変形例 1 であるレーザガス制御装置 4 によるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理手順を示すフローチャートである。図 9 に示すように、レーザガス制御装置 4 は、露光装置 1 0 0 から、レーザ出力レンジ切替要求があったか否かを判断してもよい（ステップ S 2 0 1）。このレーザ出力レンジ切替要求がない場合（ステップ S 2 0 1, N o）には、本処理を終了し、直前の状態の出力制御が続行されてもよい。

[0042] 一方、レーザ出力レンジ切替要求があった場合（ステップ S 2 0 1, Y e s）には、さらにレーザ出力の出力レンジを上げるか否かを判断してもよい（ステップ S 2 0 2）。出力レンジを上げる場合（ステップ S 2 0 3, Y e s）、レーザガス制御装置 4 は、ガス注入量を算出し、ターゲットガス圧を決定してもよい（ステップ S 2 0 4）。そして、チャンバ 2 1 に対するバルブを開け、ガスの注入を開始してもよい（ステップ S 2 0 5）。その後、チャンバ 2 1 内のガス圧を読み出し（ステップ S 2 0 6）、このガス圧がターゲットガス圧を超えたか否かを判断してもよい（ステップ S 2 0 7）。そして、ガス圧がターゲットガス圧を超えない場合（ステップ S 2 0 7, N o）には、ガスの注入を続行させ、ガス圧を読み出してガス圧がターゲットガス

圧を超えるまで、これを繰り返してもよい。一方、ガス圧がターゲットガス圧を超えた場合（ステップS207, Yes）には、チャンバ21に対するバルブを閉じて、ガスの注入を停止してもよい（ステップS208）。その後、本処理を終了し、切り替えられたレーザ出力レンジの出力制御を行ってもよい。

[0043] 一方、出力レンジを上げない場合（ステップS203, No）、レーザガス制御装置4は、ガス排気量を算出し、ターゲットガス圧を決定してもよい（ステップS209）。そして、チャンバ21に対するバルブを開け、ガスの排気を開始してもよい（ステップS210）。その後、チャンバ21内のガス圧を読み出し（ステップS211）、このガス圧がターゲットガス圧未満になったか否かを判断してもよい（ステップS212）。そして、ガス圧がターゲットガス圧未満にならない場合（ステップS212, No）には、ガスの排気を続行させ、ガス圧を読み出してガス圧がターゲットガス圧未満になるまで、これを繰り返してもよい。一方、ガス圧がターゲットガス圧未満になった場合（ステップS212, Yes）には、チャンバ21に対するバルブを閉じて、ガスの排気を停止してもよい（ステップS213）。その後、本処理を終了し、切り替えられたレーザ出力レンジの出力制御を行ってもよい。

[0044] なお、図9のステップS202～S213は、レーザガス制御装置4によるガス調整シーケンスSQ2である。

[0045] ここで、図9に示したレーザガス制御装置4のみによるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理について具体的に説明する。図10は、ターゲットエネルギーを60Wから90Wに上げる変更を行ったときの実施の形態1の変形例1によるガス全圧変更処理時のタイミングチャートを示している。図10に示すように、露光装置100から、ターゲットエネルギーを60Wから90Wに上げる変更要求を受けると、レーザガス制御装置4は、時点 $t_1 \sim t_2$ (Δt) の間でガス調整シーケンスSQ2を行ってもよい。時点 t_1 でターゲットエネルギーが90Wに変更されると、ガス圧は、ガス調

整シーケンス S Q 2 によって徐々に高くなり、ターゲットガス圧に近づく。その後、ガス圧がターゲットガス圧になると、ガス調整シーケンス S Q 2 が終了し、時点 t_2 でガス調整を終了してもよい。

[0046] 一方、図 11 は、ターゲットエネルギーを 90W から 60W に下げる変更を行ったときの実施の形態 1 の変形例 1 によるガス全圧変更処理時のタイミングチャートを示している。図 11 に示すように、露光装置 100 から、ターゲットエネルギーを 90W から 60W に下げる変更要求を受けると、レーザガス制御装置 4 は、時点 $t_1 \sim t_2$ (Δt) の間でガス調整シーケンス S Q 2 を行ってもよい。時点 t_1 でターゲットエネルギーが 60W に変更されると、ガス圧は、ガス調整シーケンス S Q 2 によって徐々に低くなり、ターゲットガス圧に近づく。その後、ガス圧がターゲットガス圧になると、ガス調整シーケンス S Q 2 が終了し、時点 t_2 でガス調整終了としてもよい。

[0047] (実施の形態 1 の変形例 2)

実施の形態 1 の変形例 2 による露光装置用レーザ装置は、実施の形態 1 と同様の構成を備えてもよい。実施の形態 1 の変形例 2 は、ターゲットエネルギー変更時の制御が実施の形態 1 と異なる。この変形例 2 では、レーザ電源制御装置 3 によってターゲットエネルギー変更時の電圧 HV 値変更処理が行われる。すなわち、この実施の形態 1 では、電圧 HV 値がターゲット HV レンジ内に収まるようにガス全圧を制御していたが、この実施の形態 1 の変形例 2 では、レーザ電源制御装置 3 のみによって、レーザ出力レンジ切替要求に対応する電圧 HV 値となるように制御する。

[0048] 図 12 は、この開示の実施の形態 1 の変形例 2 であるレーザ電源制御装置 3 によるターゲットエネルギー変更時の電圧 HV 値変更処理手順を示すフローチャートである。図 12 に示すように、レーザ電源制御装置 4 は、露光装置 100 から、レーザ出力レンジ切替要求があったか否かを判断してもよい (ステップ S 301)。このレーザ出力レンジ切替要求がない場合 (ステップ S 301, No) には、本処理を終了し、直前の状態の出力制御を続行してもよい。一方、レーザ電源制御装置 3 は、レーザ出力レンジ切替要求があ

った場合（ステップS301, Yes）には、ターゲットエネルギーを変更することによって、電圧HV値を変更して（ステップS302）、本処理を終了してもよい。

[0049] ここで、図12に示したレーザ電源制御装置3によるターゲットエネルギー変更時の電圧HV値変更処理について具体的に説明する。図13は、ターゲットエネルギーを60Wから90Wに上げる変更を行ったときの実施の形態1の変形例2による電圧HV値変更処理時のタイミングチャートを示している。図13に示すように、露光装置100から、ターゲットエネルギーを60Wから90Wに上げる変更要求を受けると、レーザ電源制御装置3は、時点t1で直ちにターゲットHV値に変更してもよい。

[0050] 一方、図14に示すように、ターゲットエネルギーを90Wから60Wに下げる変更要求を受けると、レーザ電源制御装置3は、時点t1で直ちにターゲットHV値に変更してもよい。

[0051] この実施の形態1の変形例2では、直ちにターゲットエネルギーを変更することができる利点を有する。したがって、上述した実施の形態1やその変形例1, 2などを適宜、状況に応じて選択的に動作させることによって、柔軟性のある装置を実現できる。

[0052] （実施の形態1の変形例3）

実施の形態1の変形例3による露光装置用レーザ装置は、実施の形態1と同様の構成を備えてもよい。この実施の形態1の変形例3では、上述した実施の形態1による調整発振シーケンスSQ1によってターゲットエネルギーの変更を行う場合、この調整発振シーケンスSQ1のタイミングの前にチャンバ内のレーザガスのガス交換をも行うようにしている。

[0053] 図15は、この開示の実施の形態1の変形例3によるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理手順を示すフローチャートである。この処理は、図5に示した処理におけるステップS101とステップS102との間にガス交換シーケンスSQ4であるガス交換処理を行うようにしている（ステップS401）。

[0054] このガス交換処理は、図 16 に示すように、まず、レーザガス制御装置 4 が、チャンバ 21 に対するバルブを開けて、ガス排気を開始してもよい（ステップ S501）。その後、チャンバ 21 内のガス圧を読み出し（ステップ S502）、ガスの略全てが排気されたか否かを判断してもよい（ステップ S503）。ガスの略全てが排気されるまで待機し（ステップ S503, No）、ガスの略全てが排気された場合（ステップ S503, Yes）、チャンバ 21 に対するバルブを閉じてガス排気を停止してもよい（ステップ S504）。

[0055] その後、レーザガス制御装置 4 は、ガス注入のターゲットガス圧を算出してもよい（ステップ S505）。その後、チャンバ 21 に対するバルブを開けてガス注入を開始してもよい（ステップ S506）。その後、チャンバ 21 内のガス圧を読み出し（ステップ S507）、このガス圧がターゲットガス圧を超えたか否かを判断してもよい（ステップ S508）。その後、ガス圧がターゲットガス圧を超えるまで待機し（ステップ S508, No）、ガス圧がターゲットガス圧を超えた場合（ステップ S508, Yes）、バルブを閉じてガス注入を停止し（ステップ S509）、ステップ S401 にリターンし、調整発振シーケンス SQ1 を実行してもよい。

[0056] たとえば、図 17 は、ターゲットエネルギーを 60W から 90W に変更するとき、ガス交換処理を行った場合のタイムチャートを示している。図 17 に示すように、ターゲットエネルギーの変更要求を受けてすぐにターゲットエネルギーの変更を行わず、まず期間 Δt_1 でガス交換処理を行ってもよい。その後、期間 Δt_2 で、変更要求されたターゲット HV レンジ内に入るようにガス全圧変更を行う調整発振処理を行ってもよい。なお、ガス交換処理時にはチャンバ 21 内のガス圧が一旦、ほぼ 0 になる。また、ガス交換後のガス圧は、高めに設定される。

[0057] また、図 18 に示すように、ターゲットエネルギーを 90W から 60W に変更するとき、ターゲットエネルギーの変更要求を受けてすぐにターゲットエネルギーの変更が行われず、まず期間 Δt_1 でガス交換処理を行っても

よい。その後、期間 Δt_2 で、要求されたターゲットHVレンジ内に入るようにガス全圧変更を行う調整発振処理を行ってもよい。なお、ガス交換後のガス圧は、その後ターゲットエネルギーを小さくするので、低めに設定される。

[0058] (実施の形態2)

実施の形態2による露光装置用レーザ装置は、実施の形態1と同様の構成を備えてもよい。この開示の実施の形態2では、調整発振シーケンスを行う場合、露光装置側へのレーザ光の漏れを防止するため、シャッタの開閉を行うとともに、調整発振シーケンス中である旨を露光装置側に通知するようにしている。

[0059] 図19は、この開示の実施の形態2である露光装置用レーザ装置によるターゲットエネルギー変更時のガス全圧変更処理手順を示すフローチャートである。図19において、まず、レーザ出力レンジ切替要求があったか否かを判断し(ステップS601)、レーザ出力レンジ切替要求があった場合(ステップS601, Yes)のみ、調整発振シーケンスSQ6を行うようにしている。

[0060] この調整発振シーケンスSQ6では、まず、シャッタ50は閉じられ(ステップS602)、露光装置100側に例えば調整発振信号S2によって調整発振中である旨を通知してもよい(ステップS603)。その後、レーザ出力レンジ切替パラメータを計算してパラメータを設定するパラメータ設定ルーチンR1を行ってもよい(ステップS604)。その後、レーザの発振を開始し(ステップS605)、実施の形態1の調整発振シーケンスSQ1と同様なレーザ制御サブルーチンR2を行って電圧HV値がターゲットHVレンジに入るように制御されてもよい(ステップS606)。

[0061] その後、レーザ出力レンジ切替が許容できる状態にあるか否かを判定する切替設定サブルーチンR3を行ってもよい(ステップS607)。そして、この判定結果が「Yes」か「No」かを判断してもよい(ステップS608)。この判定結果が「No」の場合には、ステップS606に移行して上

述したレーザ制御サブルーチンR 2 および切替判定サブルーチンR 3 を繰り返し行い、判定結果が「Y e s」の場合には、レーザ発振を停止してもよい（ステップS 6 0 9）。

[0062] その後、露光装置 1 0 0 側に例えば調整発振信号 S 2 によって調整発振の終了を通知してもよい（ステップS 6 1 0）。さらにシャッタ 5 0 は開かれ（ステップS 6 1 1）、本処理を終了してもよい。

[0063] ここで、ステップS 6 0 4 のパラメータ設定サブルーチンR 1 は、図 2 0 に示すように、まず、出力レンジ切替前のガス圧：P 1，出力レンジ切替前の電圧：H V 1，出力レンジ切替前のパルスエネルギー：E 1，切替後の要求パルスエネルギー：E 2 を読み込んでもよい（ステップS 7 0 1）。その後、出力レンジ切替後のパラメータを計算するパラメータ計算サブルーチンR 1 1 を行ってもよい（ステップS 7 0 2）。さらに、出力レンジ切替直後のレーザガスを制御するレーザガス制御サブルーチンR 1 2 を行ってもよい（ステップS 7 0 3）。その後、出力レンジ切替後の電圧：H V 2 および出力レンジ切替後の要求パルスエネルギー：E 2 を設定し（ステップS 7 0 4）、ステップS 6 0 4 にリターンしてよい。なお、電圧：H V 2 は、出力レンジ切替後の要求パルスエネルギー：E 2 及び切替後のガス圧：P 2 に基づいて設定されてもよい。

[0064] また、ステップS 6 0 6 のレーザ制御サブルーチンR 2 は、図 2 1 に示すように、電圧H V 値を、パラメータ設定サブルーチンR 1 によって設定された電圧：H V 2 に設定し、目標パルスエネルギーE t を、パラメータ設定サブルーチンR 1 によって設定された要求パルスエネルギー：E 2 に設定してもよい（ステップS 8 0 1）。その後、要求パルスエネルギーE t となるように、レーザの電圧H V 値を制御してもよい（ステップS 8 0 2）。その後は、図 5 に示した調整発振シーケンスS Q 1 のステップS 1 0 4 ~ S 1 1 4 と同じ処理を行い（ステップS 8 0 3 ~ S 8 1 3）、ステップS 6 0 6 にリターンしてもよい。

[0065] また、ステップS 6 0 7 の切替判定サブルーチンR 3 は、図 2 2 に示すよ

うに、まず、レーザ発振状態の計測パラメータを読み込んでもよい（ステップS901）。この計測パラメータは、たとえば、レーザエネルギー安定性： σE 、発振されたパルスエネルギー： E 、レーザガス圧： P 、などである。その後、レーザ発振状態の計測パラメータが許容範囲に入っているか否かを判定してもよい（ステップS902）。この判定内容は、たとえば、許容範囲エネルギー安定性（ $\sigma E_t < \sigma E$ ？）、許容範囲パルスエネルギー（ $\Delta E < |E_t - E|$ ？）、許容範囲レーザガス圧（ $P_{min} < P < P_{max}$ ？）などである。そして、計測パラメータがすべて許容範囲に入っている場合には「Yes」と判定し（ステップS903）、1つでも許容範囲に入っていない場合には「No」と判定し（ステップS904）、ステップS607にリターンしてもよい。

[0066] ここで、ステップS702のパラメータ計算サブルーチンR11は、図23に示すように、切替後の要求パルスエネルギー E_2 を達成するための切替後のガス圧 P_2 を計算し（ステップS1001）、ステップS702にリターンしてもよい。このガス圧 P_2 の計算は、具体的には、予め計測しておいたレーザガス圧とパルスエネルギー E との関数またはテーブルを呼び出して行ってもよい。

[0067] たとえば、図24は、レーザガス圧 P のパルスエネルギー E の依存性を示す図であり、 $P = f(E)$ で表される関数を示している。この関数から、パルスエネルギーが E_1 、 E_2 のとき、

$$P_{pr} = f(E_1)$$

$$P_{po} = f(E_2)$$

と表され、これらから、差圧 ΔP は、

$$\Delta P = P_{po} - P_{pr}$$

となり、ガス圧（全圧） P_2 は、

$$P_2 = P_1 + \Delta P$$

として計算される。

[0068] また、ステップS703のレーザガス制御サブルーチンR12は、図25

に示すように、レーザコントローラCがレーザガス制御装置4に、切替直後のレーザガス圧（全圧） P_2 となるように、レーザガス排気量 Q_{out} またはレーザガス注入量 Q_{in} を行うように信号を送信し（ステップS1101）、ステップS703にリターンしてもよい。

[0069] （実施の形態2の変形例）

上述の実施の形態2のサブルーチンR11は、サブルーチンR11aとしてもよい。ステップS702のパラメータ計算サブルーチンR11に対応するパラメータ計算サブルーチンR11aは、図26に示すように、切替後の要求パルスエネルギー E_2 を達成するための切替後のガス圧 P_2 を計算してもよい（ステップS1201）。この際、切替前のレーザガス圧 P_1 も考慮されてもよい。このガス圧 P_2 の計算は、具体的には、予め計測しておいたレーザガス圧とパルスエネルギー E と切替前のレーザガス圧 P_1 との関数またはテーブルを呼び出して行ってもよい。

[0070] たとえば、図27は、パラメータを切替までのレーザガス圧 P_1 とし、レーザガス圧 P のパルスエネルギー E の依存性を示す図であり、 $P = f(E, P_1)$ で表される関数を示している。この関数から、パルスエネルギーが E_1 、 E_2 のとき、

$$P_{pr} = f(E_1, P_1)$$

$$P_{po} = f(E_2, P_1)$$

と表され、これらから、差圧 ΔP は、

$$\Delta P = P_{po} - P_{pr}$$

となり、ガス圧（全圧） P_2 は、

$$P_2 = P_1 + \Delta P$$

として計算される。

[0071] （実施の形態3）

図28は、実施の形態3による露光装置用レーザ装置の構成を模式的に示す。この実施の形態3では、実施の形態1のレーザガスポンベ60に替えて、図28に示すように、2つのレーザガスポンベ60a、60bが設けられ

る。レーザガスボンベ60aは、F₂ガスを含まないレーザガス（A_r+N_e）を保持する。レーザガスボンベ60bは、F₂ガスを含むレーザガス（A_r+N_e+F₂）を保持する。なお、F₂ガスを含まないレーザガス（A_r+N_e）と、F₂ガスを含むレーザガス（A_r+N_e+F₂）との各分圧（濃度）比（A_r:N_e）は、同じ値に設定されている。このため、F₂ガスを含まないレーザガス（A_r+N_e）と、F₂ガスを含むレーザガス（A_r+N_e+F₂）との注入量を加減することによって、所望のフッ素（F₂）ガス分圧をもったレーザガスを容易に得ることができる。

[0072] この実施の形態3では、実施の形態2と同様なターゲットエネルギー変更時の調整発振シーケンスを行うが、実施の形態2におけるパラメータ計算サブルーチンR11を図29に示すパラメータ計算サブルーチンR11bとしてもよい。また、実施の形態2におけるレーザガス制御サブルーチンR12を図31に示すレーザガス制御サブルーチンR12aとしてもよい。ステップS702のパラメータ計算サブルーチンR11に対応するパラメータ計算サブルーチンR11bは、図29に示すように、切替後の要求パルスエネルギーE₂を達成するための切替後のガス圧P₂を計算してもよい（ステップS1301）。このガス圧P₂の計算は、具体的には、予め計測しておいたレーザガス圧とパルスエネルギーEとの関数またはテーブルを呼び出して行ってもよい。

[0073] たとえば、レーザガス圧PのパルスエネルギーEの依存性を示す関数（ $P = f(E)$ ）でに対して、パルスエネルギーがE₁、E₂のとき、

$$P_{pr} = f(E_1)$$

$$P_{po} = f(E_2)$$

と表され、これらから、差圧ΔPは、

$$\Delta P = P_{po} - P_{pr}$$

となり、ガス圧（全圧）P₂は、

$$P_2 = P_1 + \Delta P$$

として計算される。

[0074] その後、計算された全圧 P_2 に対応する最適 F_2 分圧 (P_{f2}) の関数 (図 30 参照) またはテーブルを呼び出してもよい ($P_{f2} = g(P_2)$) (ステップ S1302)。さらに、切替後のレーザガス電圧 P_2 とフッ素ガス分圧 P_{f2} となるようなレーザガス排気量 P_{out} と、フッ素ガスを含まないレーザガス注入量 Q_{in} と、フッ素ガスを含むレーザガス注入量 Q_{f2in} とを計算し (ステップ S1303)、S702 にリターンしてもよい。

[0075] また、ステップ S703 のレーザガス制御サブルーチン R12 に対応するレーザガス制御サブルーチン R12a は、図 31 に示すように、レーザコントローラ C が、切替直後のレーザガス圧 (全圧) P_2 とフッ素ガス分圧 P_{f2} となるように、レーザガス制御装置 4 に、レーザガス排気量 Q_{out} と、フッ素ガスを含まないレーザガス注入力注入量 Q_{in} と、フッ素ガスを含むレーザガス注入量 Q_{f2in} を行うように信号を送信し (ステップ S1401)、ステップ S703 にリターンしてもよい。

[0076] (実施の形態 3 の変形例)

上述の実施の形態 3 のサブルーチン R11b は、サブルーチン R11c としてもよい。ステップ S702 のパラメータ計算サブルーチン R11 に対応するパラメータ計算サブルーチン R11c は、図 32 に示すように、切替後の要求パルスエネルギー E_2 を達成するための切替後のガス圧 P_2 を計算する (ステップ S1501) が、この際、切替前のレーザガス圧 P_1 も考慮してもよい。このガス圧 P_2 の計算は、具体的には、予め計測しておいたレーザガス圧とパルスエネルギー E と切替前のレーザガス圧 P_1 との関数またはテーブルを呼び出して行ってもよい。

[0077] たとえば、図 27 は、パラメータを切替までのレーザガス圧 P_1 とし、レーザガス圧 P のパルスエネルギー E の依存性を示す図であり、 $P = f(E, P_1)$ で表される関数を示している。この関数から、パルスエネルギーが E_1 、 E_2 のとき、

$$P_{pr} = f(E_1, P_1)$$

$$P_{po} = f(E_2, P_1)$$

と表され、これらから、差圧 ΔP は、

$$\Delta P = P_{po} - P_{pr}$$

となり、ガス圧（全圧） P_2 は、

$$P_2 = P_1 + \Delta P$$

として計算される。

[0078] その後、計算された全圧 P_2 に対応する最適 F_2 分圧（ P_{f2} ）の関数（図30参照）またはテーブルを呼び出してもよい（ $P_{f2} = g(P_2)$ ）（ステップS1502）。さらに、切替後のレーザガス電圧 P_2 とフッ素ガス分圧 P_{f2} とになるようなレーザガス排気量 Q_{out} と、フッ素ガスを含まないレーザガス注入量 Q_{in} と、フッ素ガスを含むレーザガス注入量 Q_{f2in} とを計算し（ステップS1503）、ステップS702にリターンしてもよい。

[0079] （実施の形態4）

この実施の形態4による露光装置用レーザ装置は、図1に示した露光装置用レーザ装置の増幅段2のファブリペロ共振器をリング共振器に替えた増幅段70としている。図33は、この実施の形態4にかかる露光装置用レーザ装置の構成を模式的に示した側面図である。図34は、図33に示した増幅段70を模式的に示した平面図である。

[0080] 図33および図34において、シードレーザ1からの出力光は、高反射のミラー31、32、83を介して、リング共振器の出力結合ミラー87に導入される。この出力結合ミラー87は、反射率が20～30%の部分反射ミラーでもよい。リング共振器は、出力結合ミラー87と、高反射のミラー84、85、86とで構成されてもよい。シードレーザ1からの出力光は、出力結合ミラー87から注入され、高反射のミラー84で反射し、チャンバ71のウインドを介して、一对の放電電極73間の放電領域を通過する。シードレーザ光がリング共振器に入射すると、同期してこの一对の放電電極73の電極間に、高電圧が印加されて放電する。

[0081] この放電によって、レーザ媒質が励起され、シードレーザ光が増幅される。この増幅されたレーザ光は、ウインドを介して、高反射のミラー85、8

6によって反射され、ウインドを介して、再び放電領域を通過して増幅される。そして、出力結合ミラー87を通過した増幅されたレーザ光は外部に出力される。一方、出力結合ミラー87で反射された光は、リング共振器のフィードバック光としてリング共振器内に戻され、シード光を増幅発振させる。

[0082] (実施の形態5)

この実施の形態5による露光装置用レーザ装置は、図1に示したエネルギーセンサユニット40に、エネルギー検出のダイナミックレンジを切り替えるダイナミックレンジ切替機構を設けている。実施の形態5による露光装置用レーザ装置の他の構成は、図1に示す実施の形態1による露光装置用レーザ装置と同様であってよい。図35に示すように、レーザコントローラCは、露光装置100からの切替後の要求パルスエネルギーE2を読み込み（ステップS1601）、この切替後の要求パルスエネルギーE2から、エネルギー検出のダイナミックレンジの切替が必要であるか否かを判断してもよい（ステップS1602）。そして、エネルギー検出のダイナミックレンジの切替が必要であると判断された場合（ステップS1602, Yes）には、このダイナミックレンジ切替機構を駆動するための信号をダイナミックレンジ切替機構に送信し（ステップS1603）、その後、ステップS1601にリターンしてもよい。また、エネルギー検出のダイナミックレンジの切替が必要でないと判断された場合（ステップS1602, No）、そのままステップS1601にリターンしてもよい。

[0083] 図36は、ダイナミックレンジ切替機構を備えたエネルギーセンサユニットの一例を示す模式図である。図36に示すように、ダイナミックレンジ切替機構140は、3つの異なる増幅率をもつアンプ141a~141cと、各アンプ141a~141cから出力された信号を選択出力するマルチプレクサ142とを備えてもよい。アンプ141a~141cの増幅率は、それぞれ1倍、2倍、4倍としてもよい。フォトダイオードなどの光センサ43から出力された検出信号は、分岐された各アンプ141a~141cに入力

され、それぞれの増幅率で増幅され、マルチプレクサ 142 によって選択出力されて AD コンバータ 44 に出力されてもよい。AD コンバータ 44 は、入力された検出信号をデジタル信号としてレーザコントローラ C に出力してもよい。そして、上述したように、レーザコントローラ C は、切替後の要求パルスエネルギー E2 に対応したエネルギー検出のダイナミックレンジを得るため、マルチプレクサ 142 に切替信号を送出してもよい。

[0084] (実施の形態 5 の変形例)

図 37 は、ダイナミックレンジ切替機構を備えたエネルギーセンサユニットの他の例を示す模式図である。図 37 に示すように、ダイナミックレンジ切替機構 240 は、ビームスプリッタ 41 と集光レンズ 42 との間に設けられ、ステージ 241 の長手方向に配列された透過率の異なる複数のフィルタ F1, F2 を備えてもよい。なお、F0 は、フィルタのない領域である。

[0085] このエネルギーセンサユニット 40 は、ステージ 241 をスライドさせることによって、透過率の異なるフィルタ F1, F2 およびフィルタなし (F0) をセンサ光軸上に配置変更してもよい。このステージ 241 の移動は、レーザコントローラ C によって駆動制御されてもよい。

[0086] この開示の実施の形態および変形例によれば、装置構成に大きな影響を与えず、無駄な電力消費を抑え、さらには増幅段の寿命を短くすることなく、露光装置側へのレーザ出力のダイナミックレンジを大きくすることができる。

[0087] なお、上述した各実施の形態および変形例は、適宜組合せが可能である。

請求の範囲

[請求項1] シードレーザと、前記シードレーザの出力光を入力して増幅出力する少なくとも1つのガス放電励起式の増幅段と、を有したMOPA方式およびMPO方式のいずれか一方の放電励起式ガスレーザ装置と、

、
露光装置からの要求によって前記放電励起式ガスレーザ装置からのレーザ出力光のエネルギーを不連続的に変化させる場合に、少なくとも前記増幅段のレーザガスの全圧力を前記要求されたエネルギーに応じて変化させるレーザガス制御装置および少なくとも前記増幅段の放電電極の励起強度を前記要求されたエネルギーに応じて変化させるレーザ電源制御装置の少なくともいずれか一方の制御装置と、

を備える露光装置用レーザ装置。

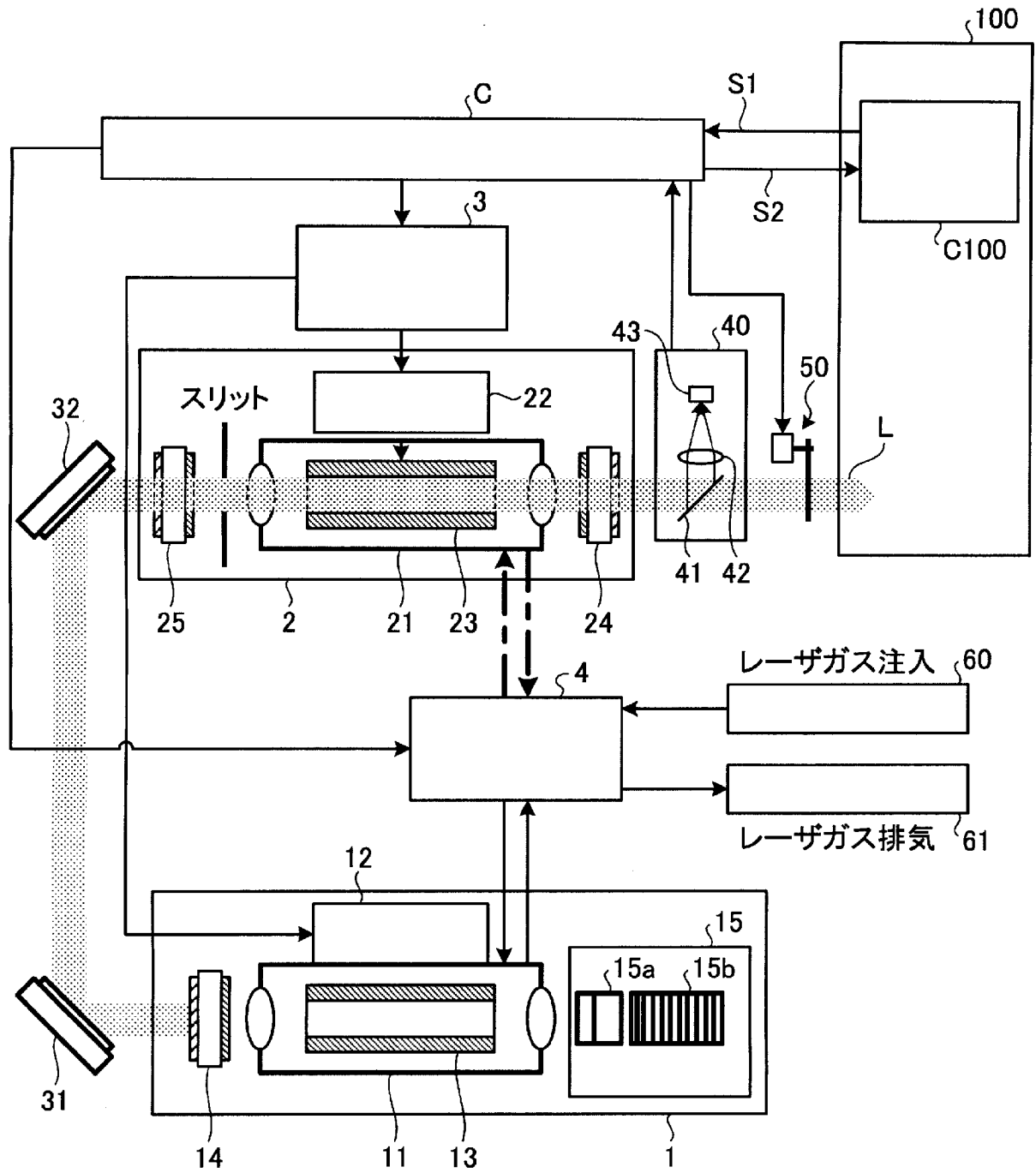
[請求項2] 露光装置からの要求によって前記放電励起式ガスレーザ装置からのレーザ出力光のエネルギーを不連続的に変化させる場合に、前記露光装置が要求するレーザ出力光のエネルギーのばらつきを含む要求仕様を満足するまで前記レーザガス制御装置または前記レーザ電源制御装置の内の何れか一方または両方の制御装置を制御して前記放電励起式ガスレーザ装置の調整発振を行うレーザコントローラをさらに備える請求項1に記載の露光装置用レーザ装置。

[請求項3] 前記レーザコントローラは、露光装置からの要求によって前記放電励起式ガスレーザ装置からのレーザ出力光のエネルギーを不連続的に変化させる場合に、前記レーザガス制御装置を制御して少なくとも前記放電励起式ガスレーザ装置のレーザガス交換を行い、前記露光装置が要求するレーザ出力光のエネルギーのばらつきを含む要求仕様を満足するまで前記レーザガス制御装置または前記レーザ電源制御装置の内の何れか一方または両方の制御装置を制御して前記放電励起式ガスレーザ装置の調整発振を行う請求項1に記載の露光装置用レーザ装置。

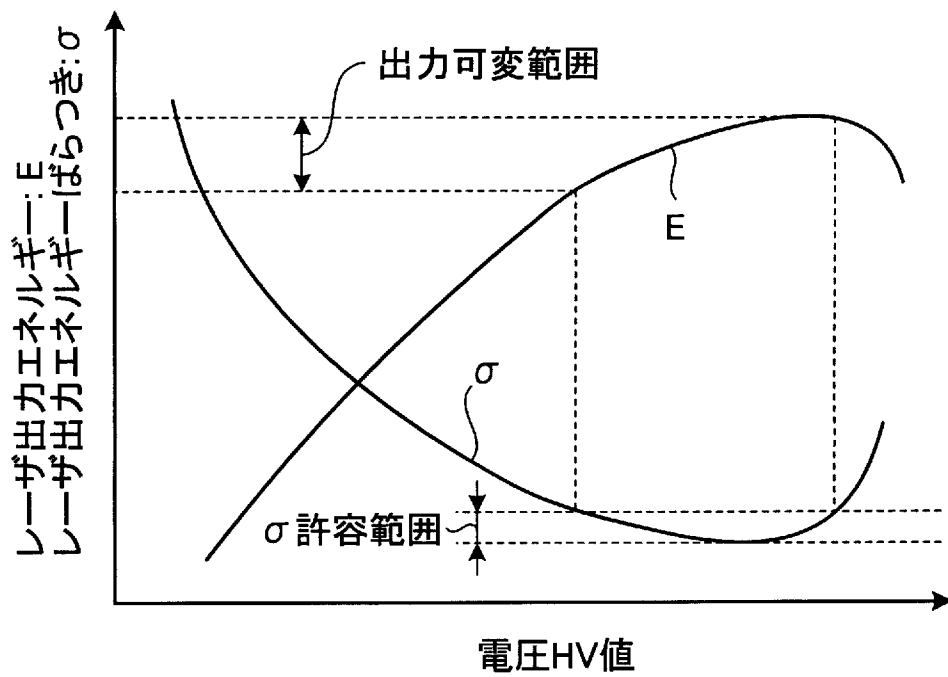
[請求項4] 前記放電励起式ガスレーザ装置から出力されたレーザ出力光のエネルギーを検出するエネルギーセンサユニットをさらに備え、

 前記エネルギーセンサユニットは、前記放電励起式ガスレーザ装置から出力されたレーザ出力光のエネルギー検出のダイナミックレンジを切り替えるダイナミックレンジ切替機構を備える請求項1に記載の露光装置用レーザ装置。

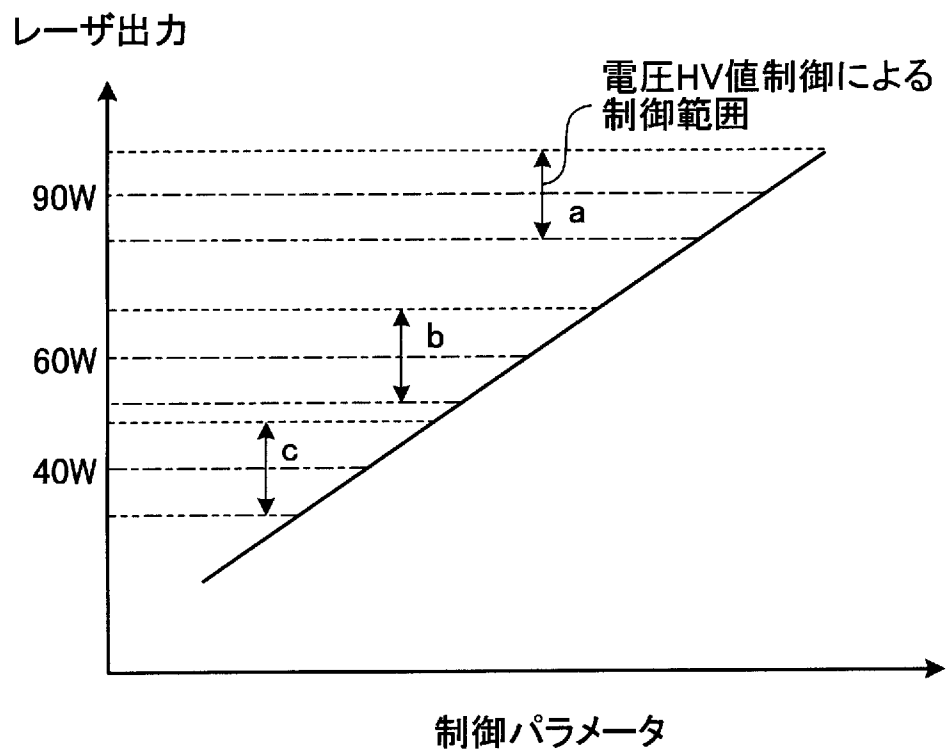
[図1]



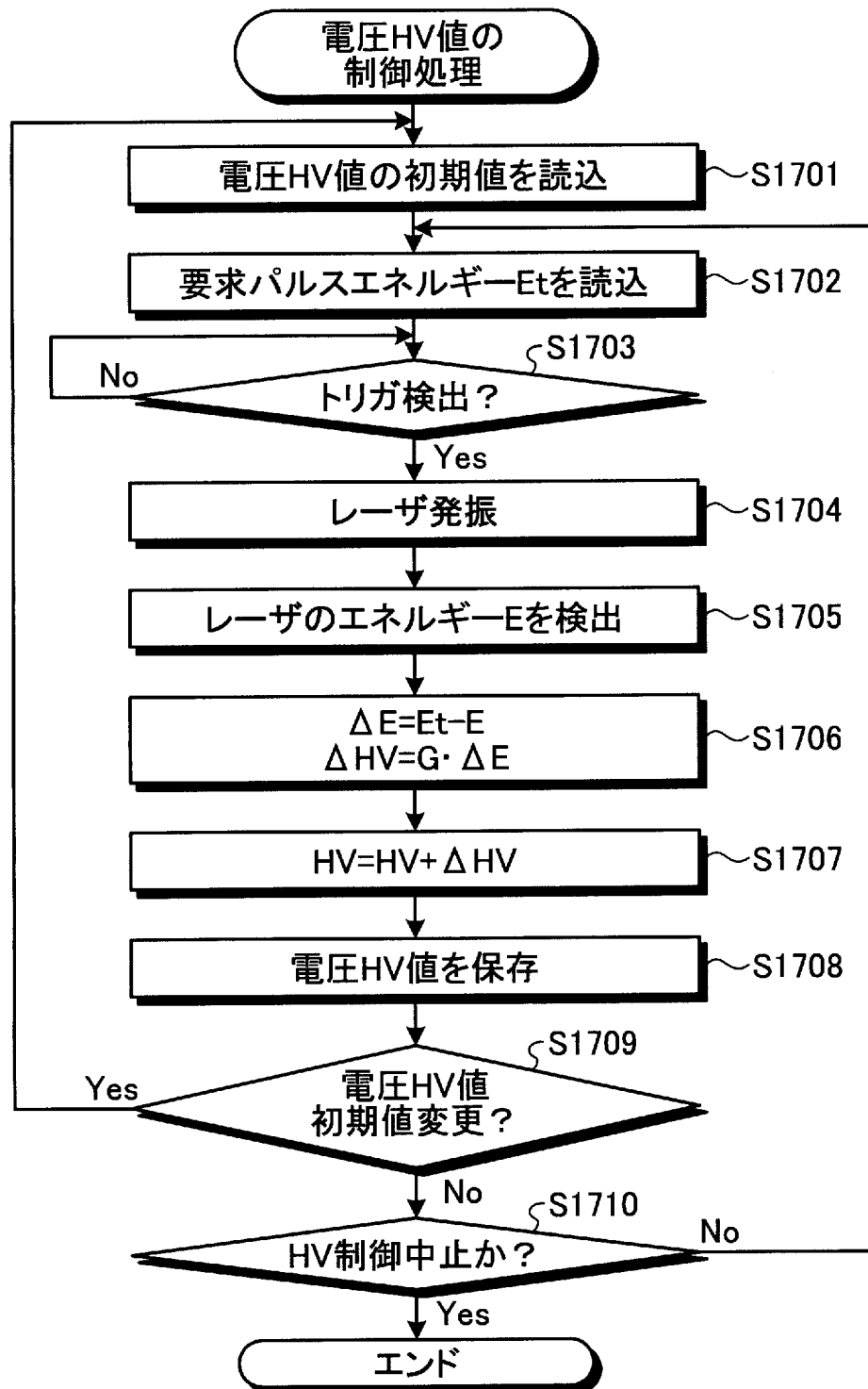
[図2]



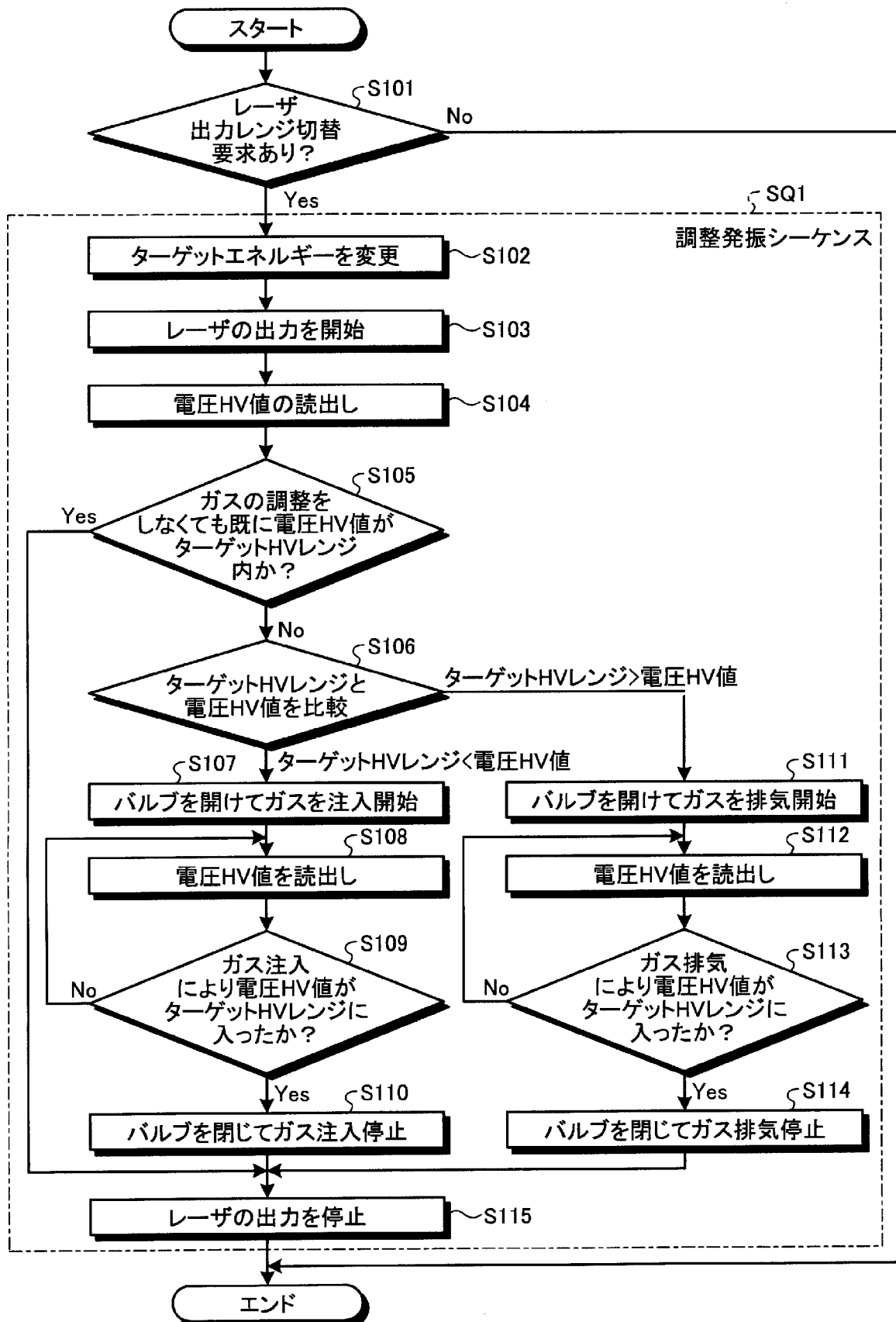
[図3]



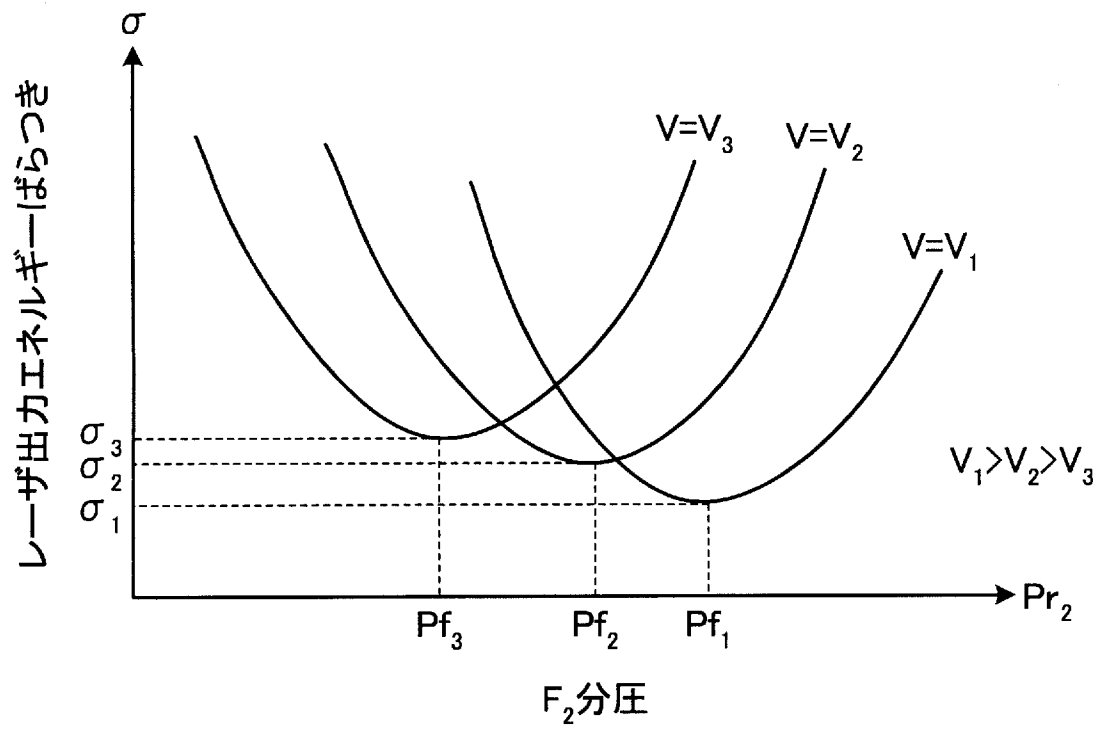
[図4]



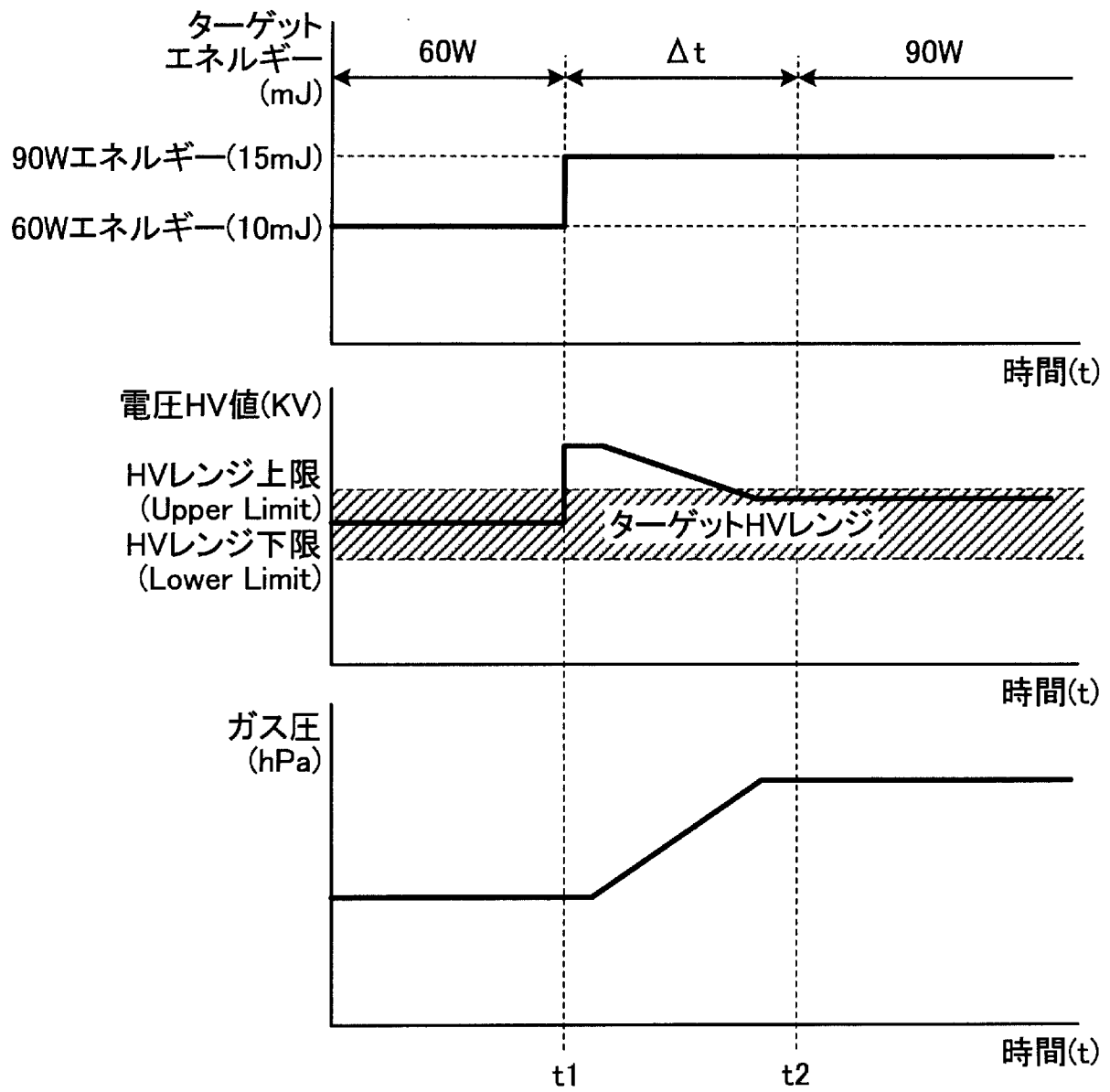
[図5]



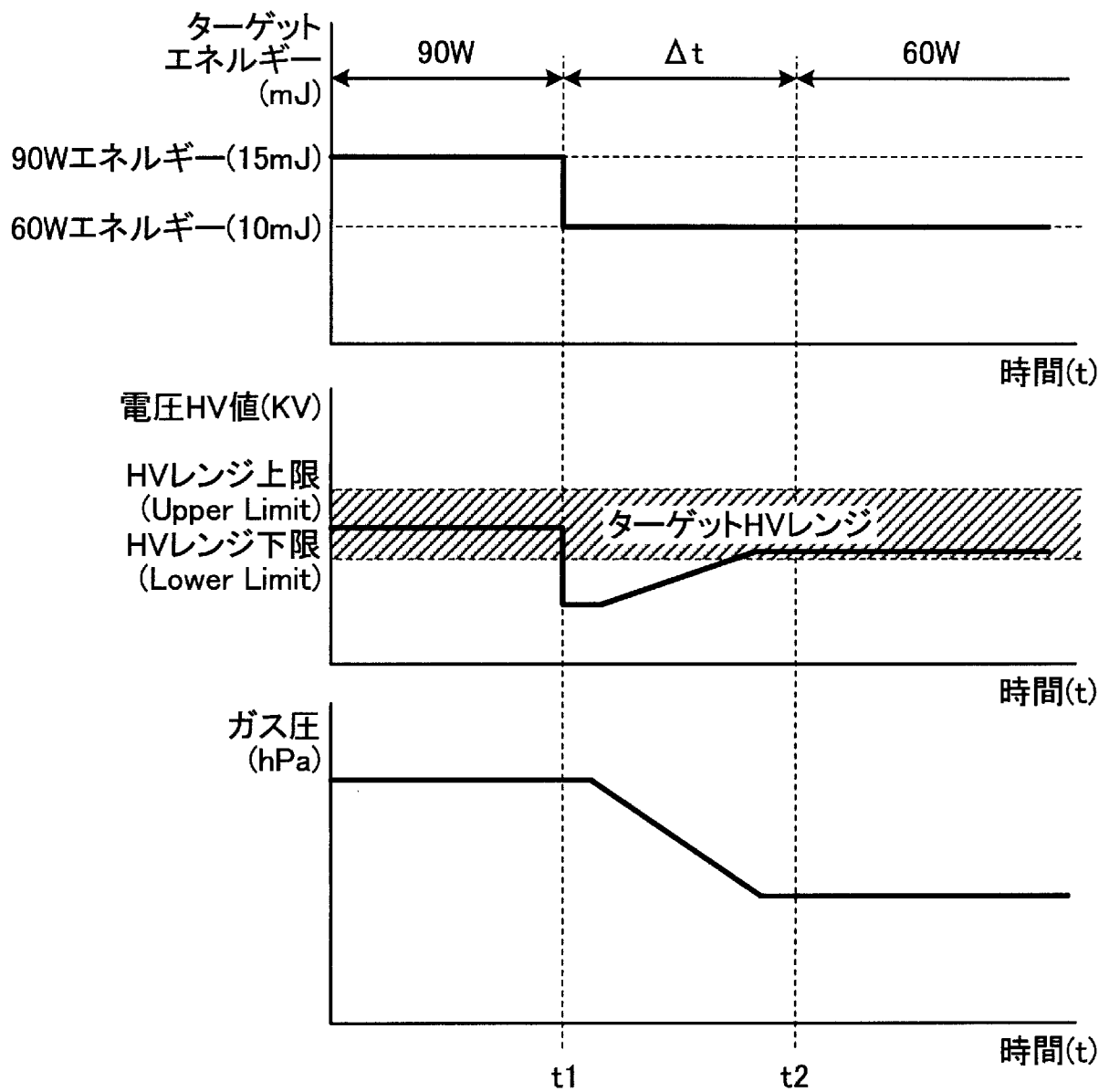
[図6]



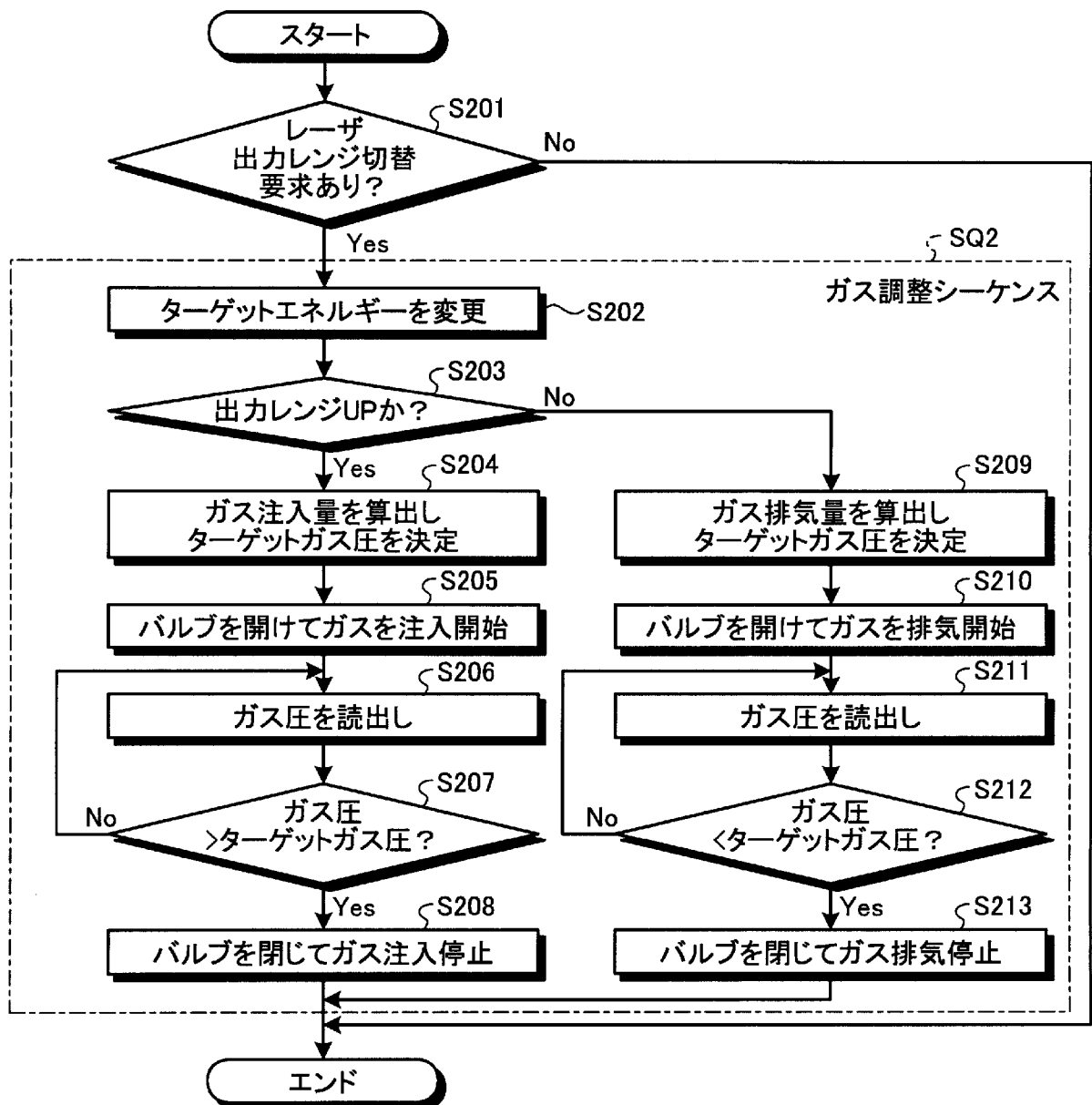
[図7]



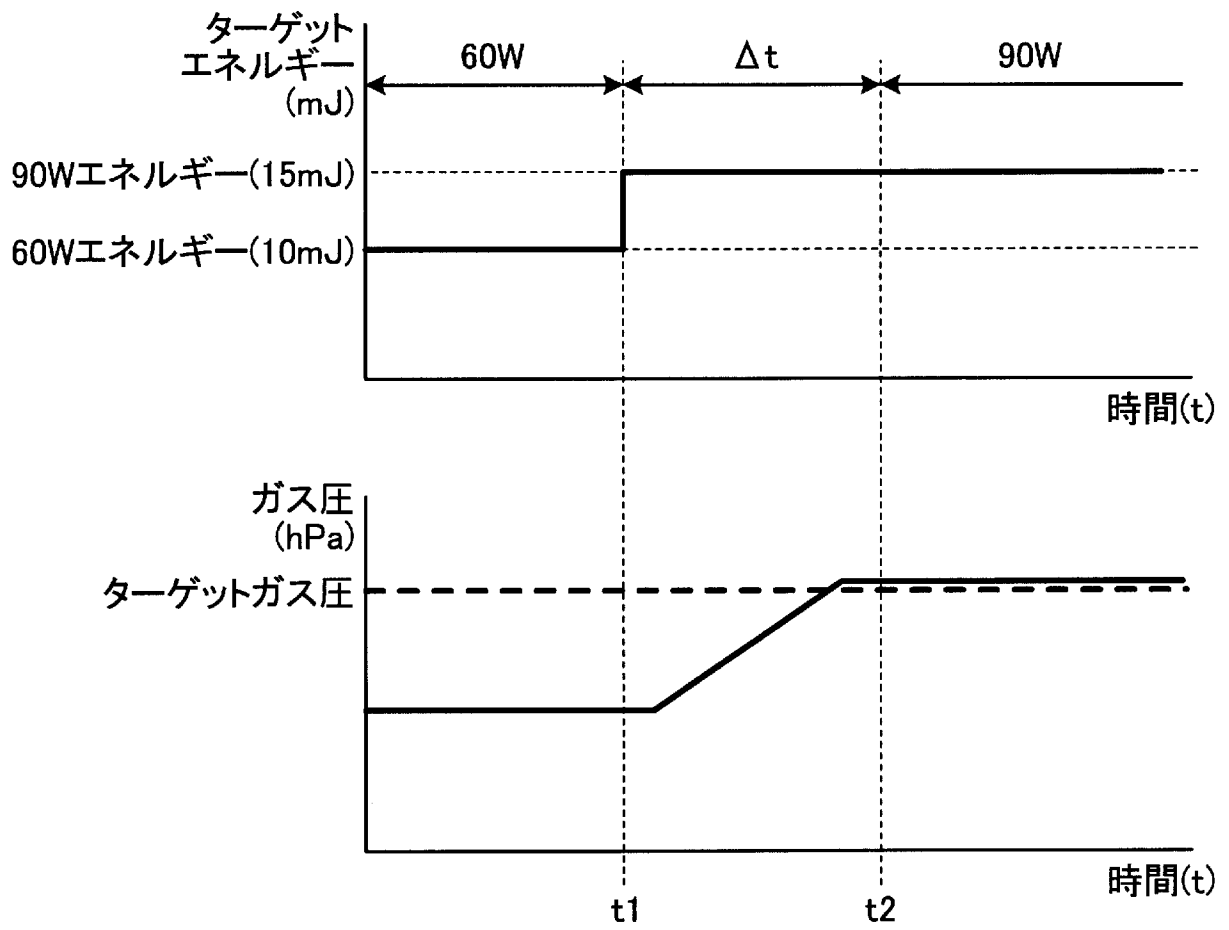
[図8]



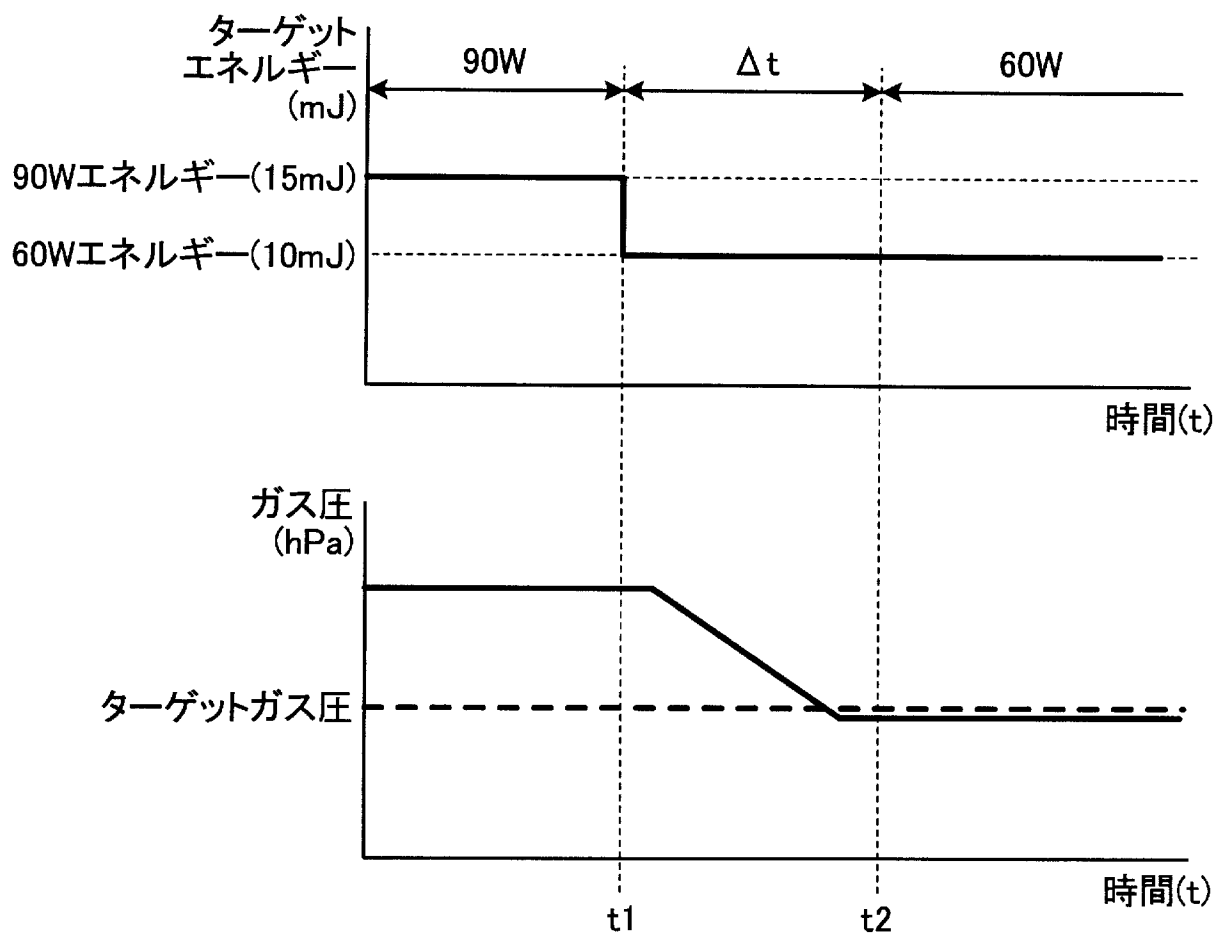
[図9]



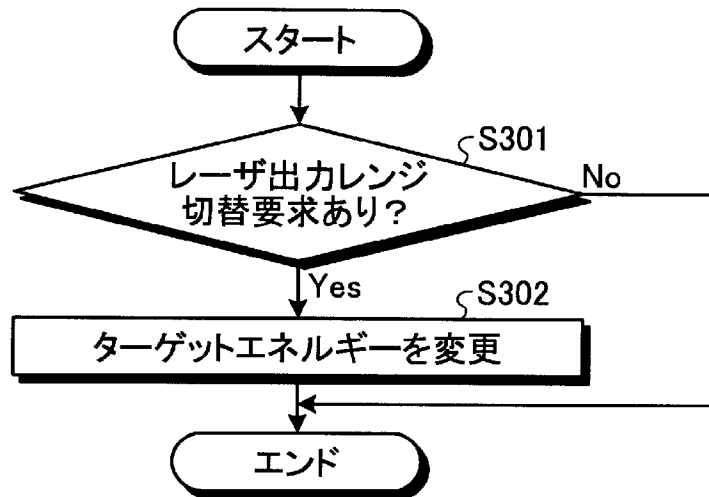
[図10]



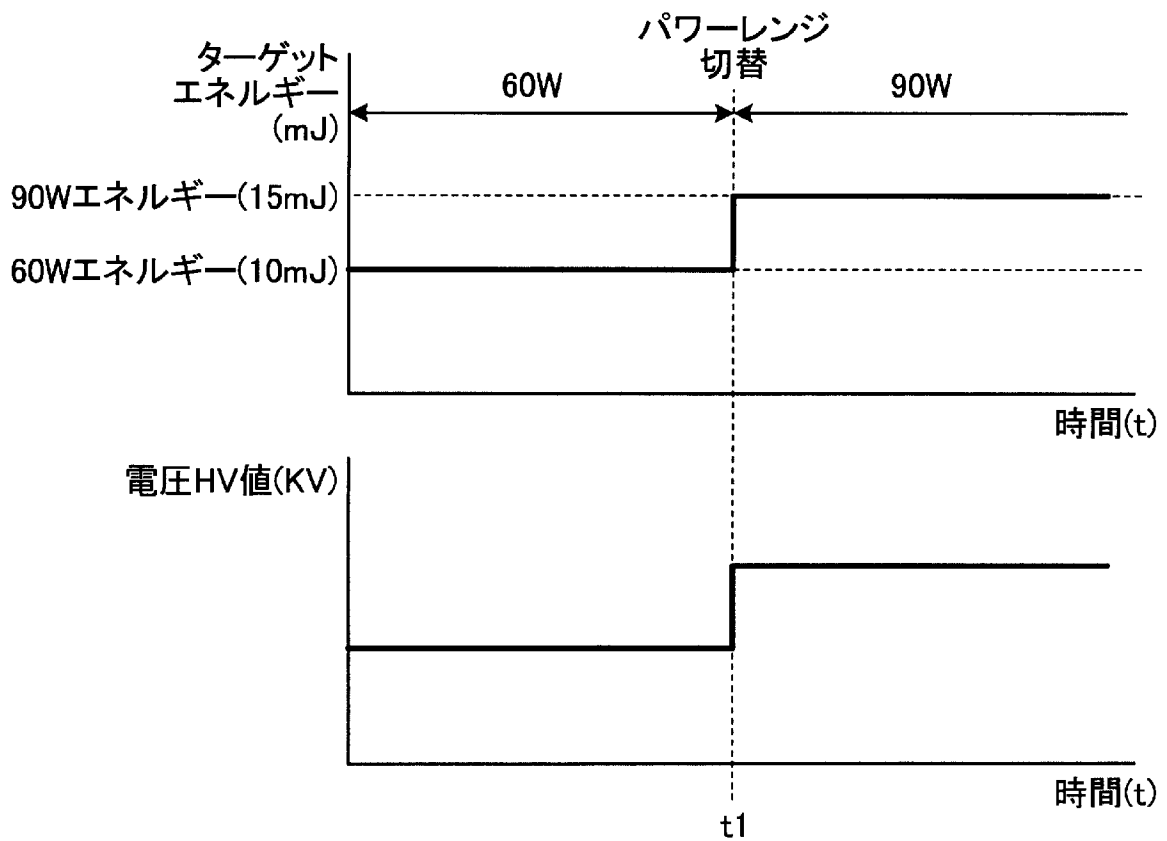
[図11]



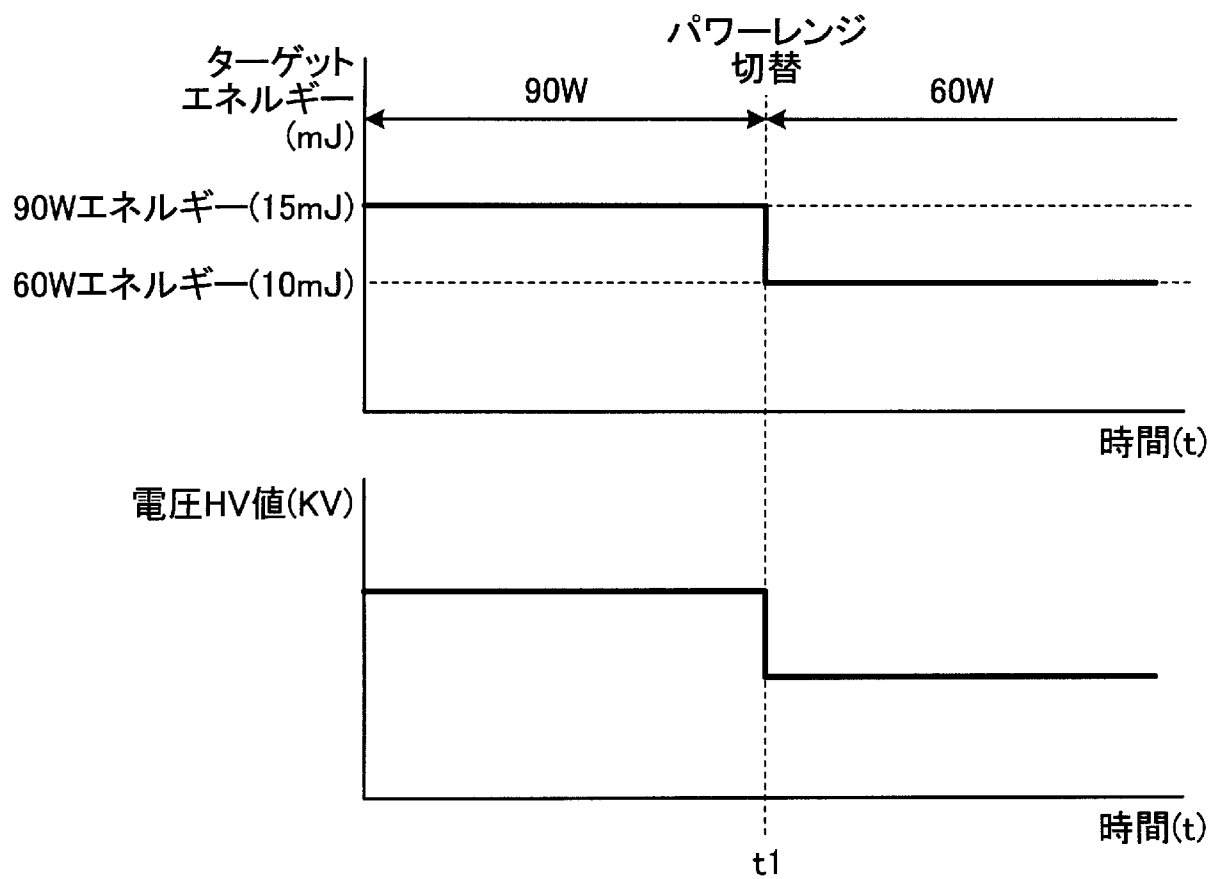
[図12]



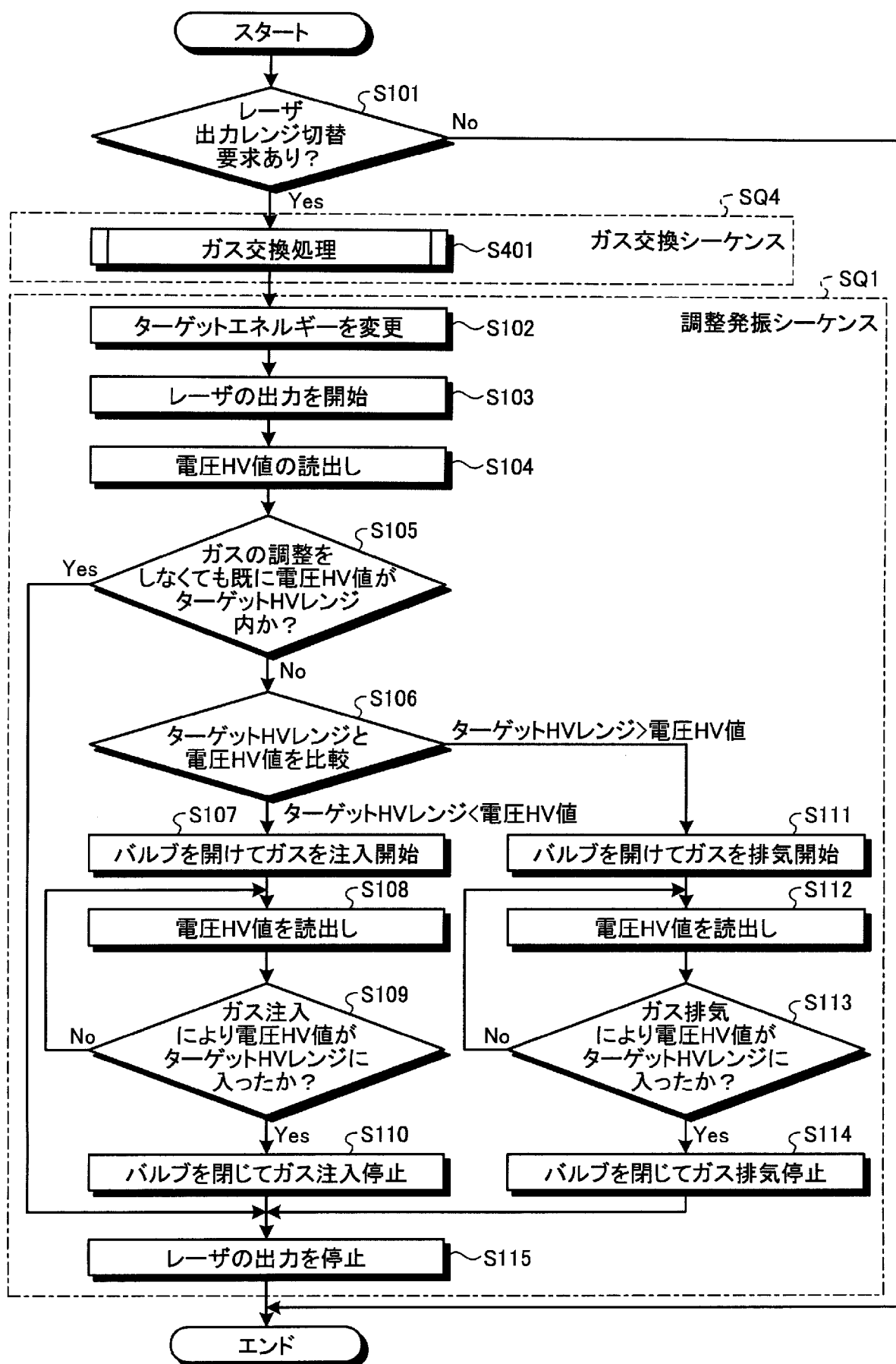
[図13]



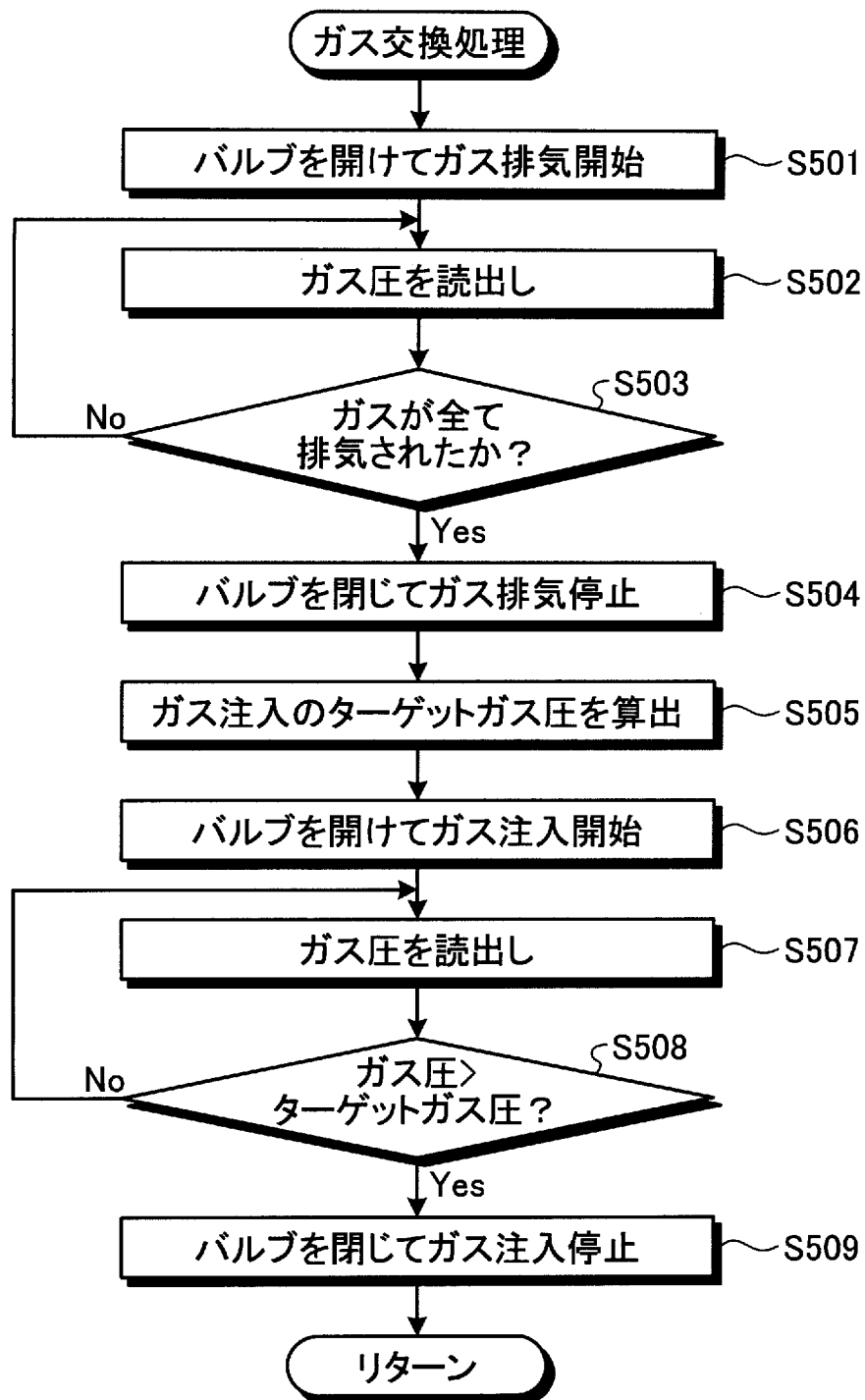
[図14]



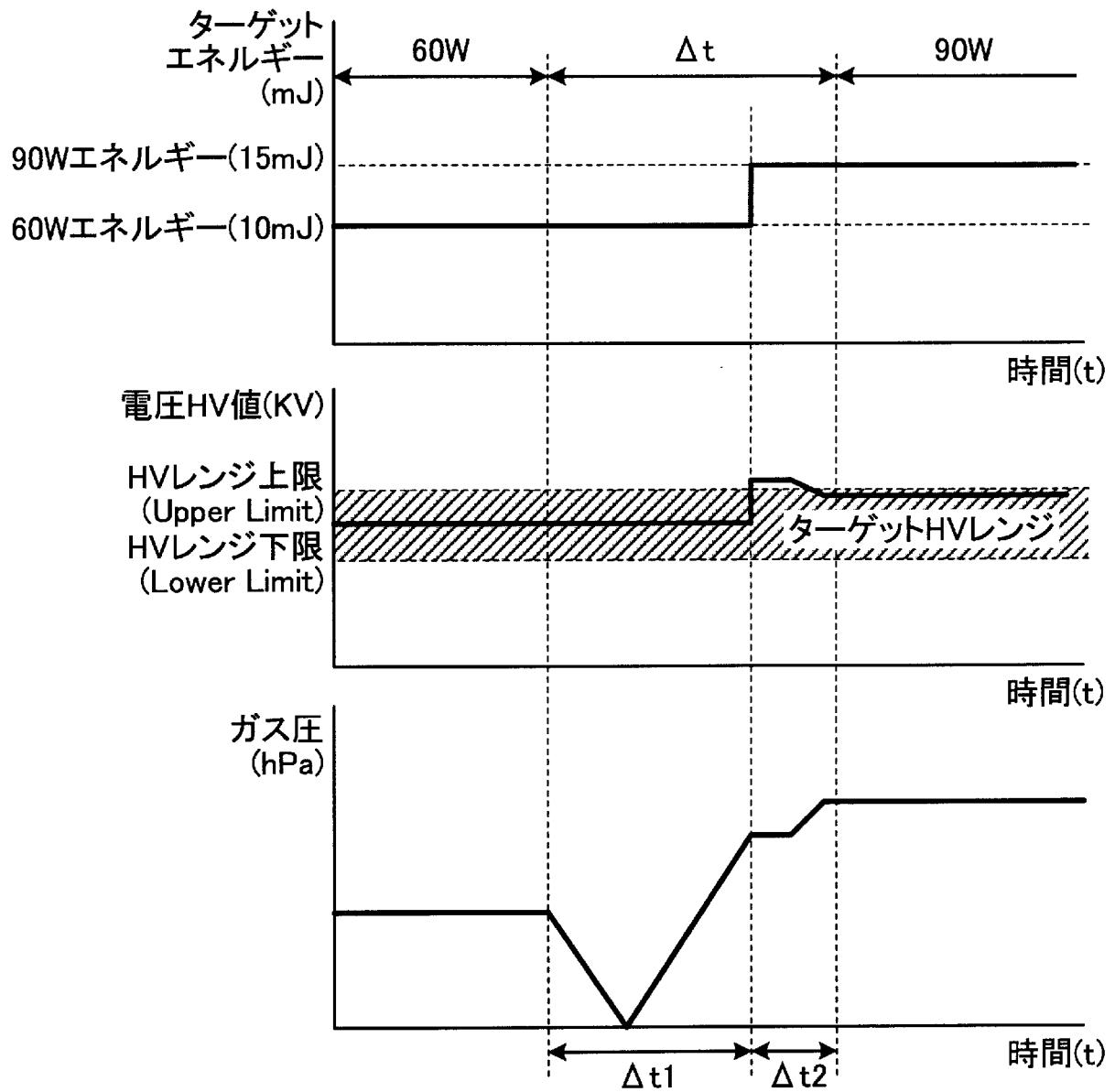
[図15]



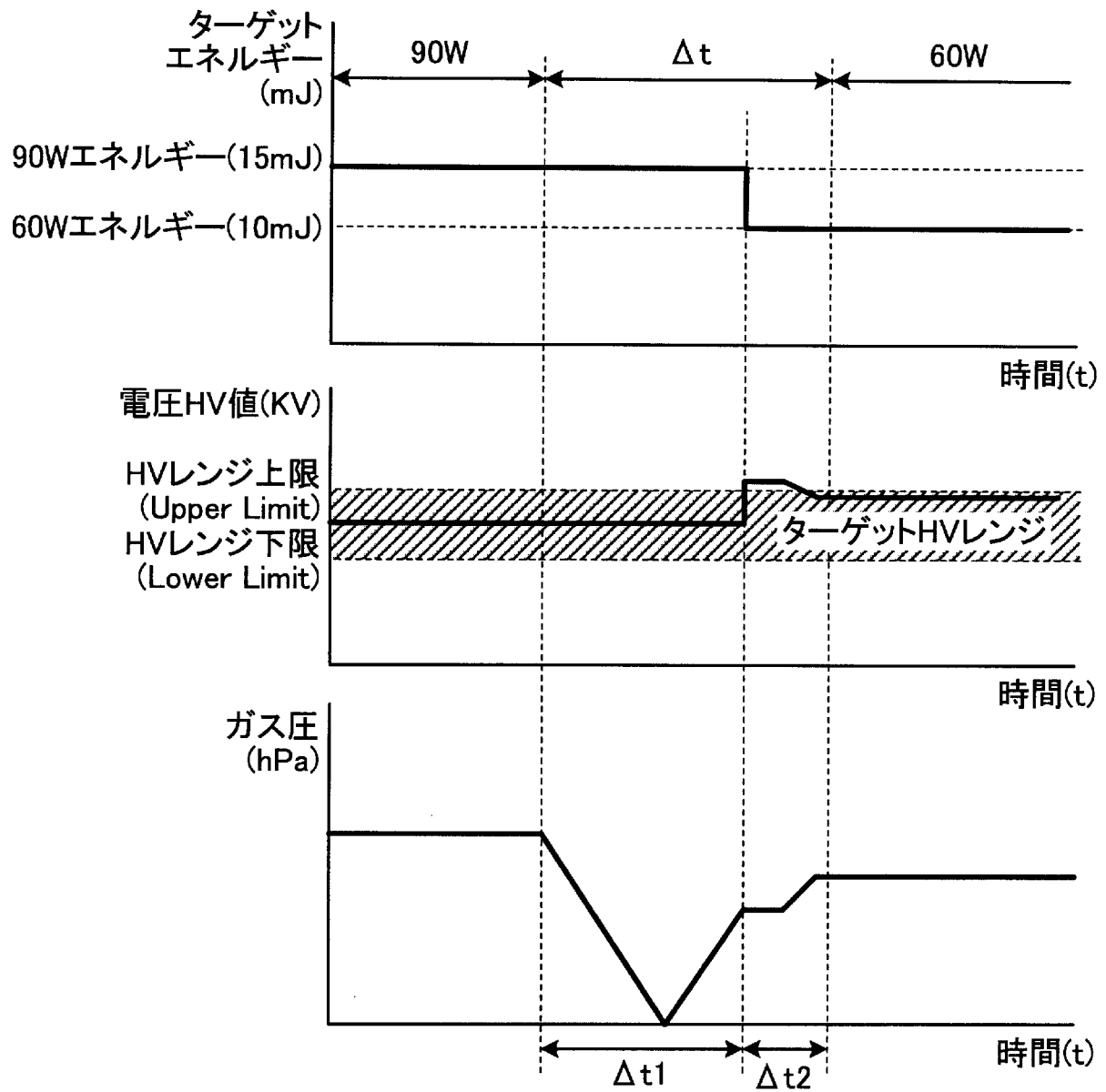
[図16]



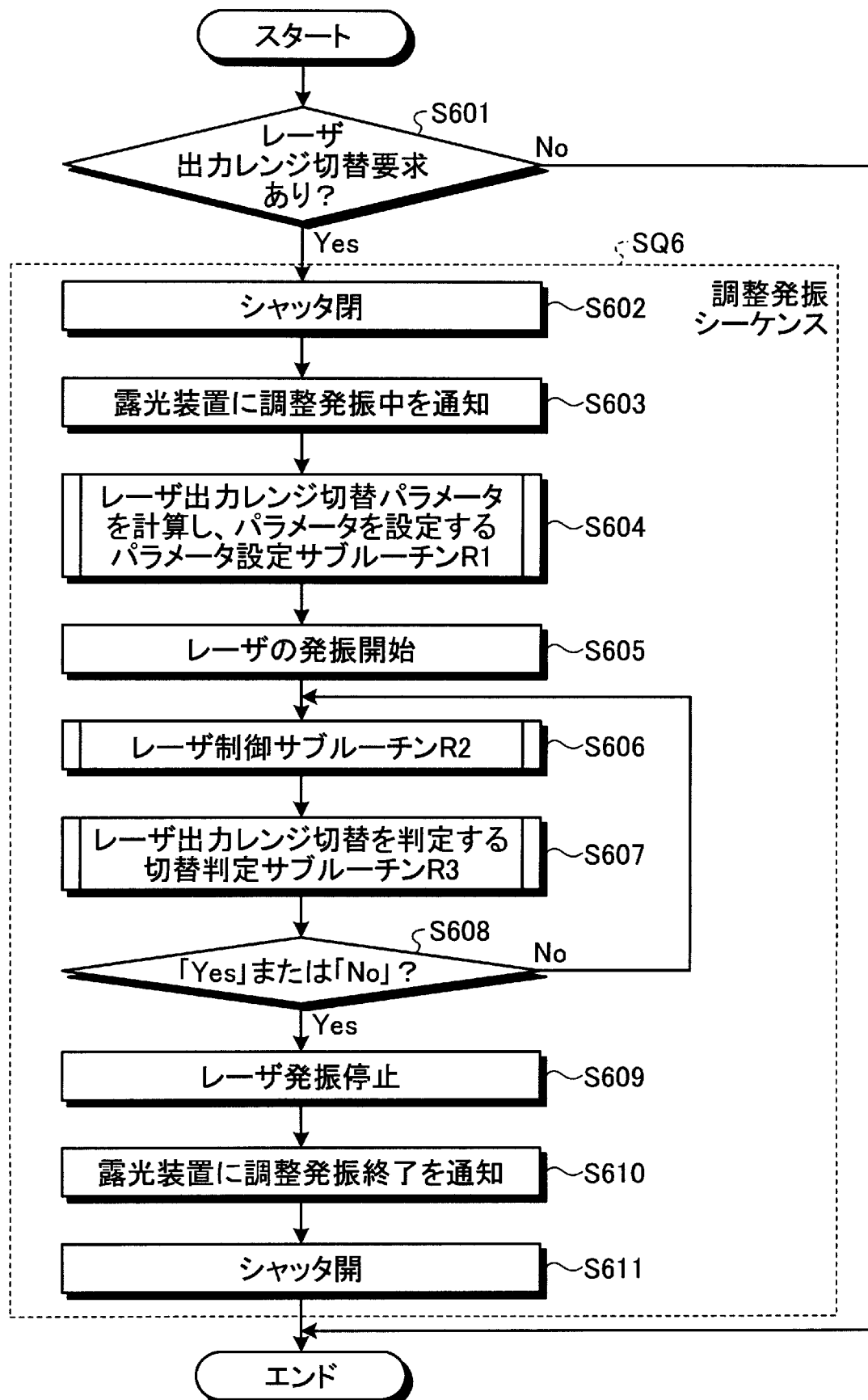
[図17]



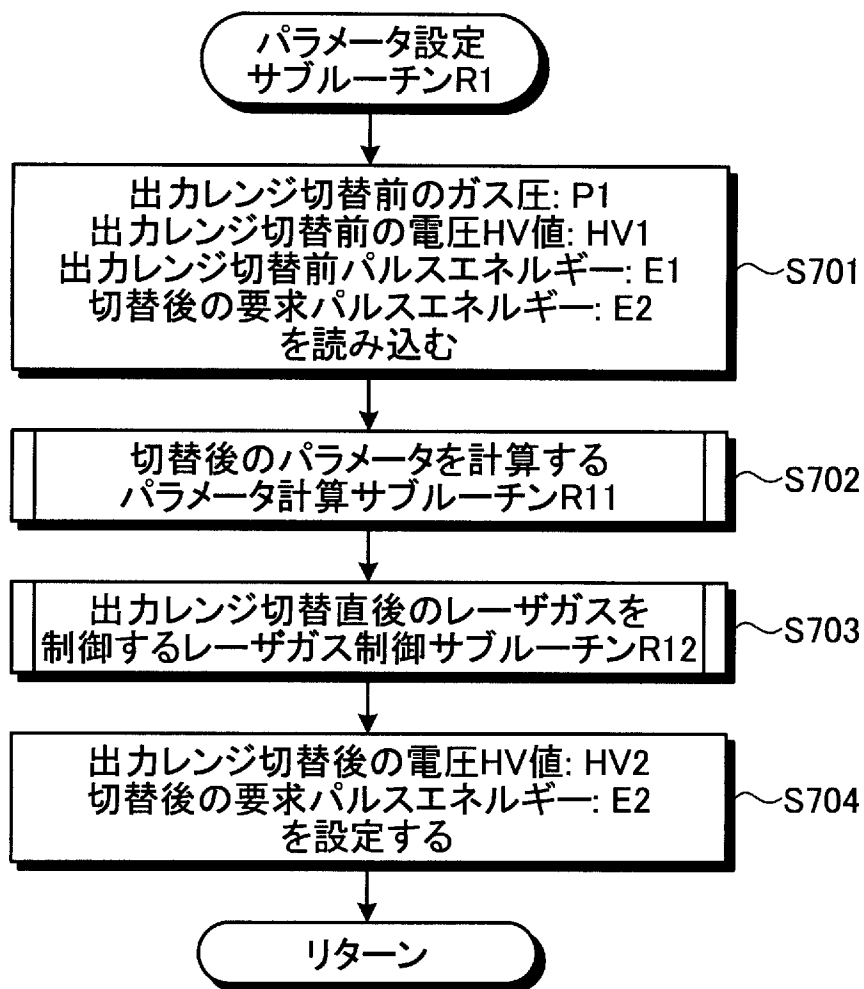
[図18]



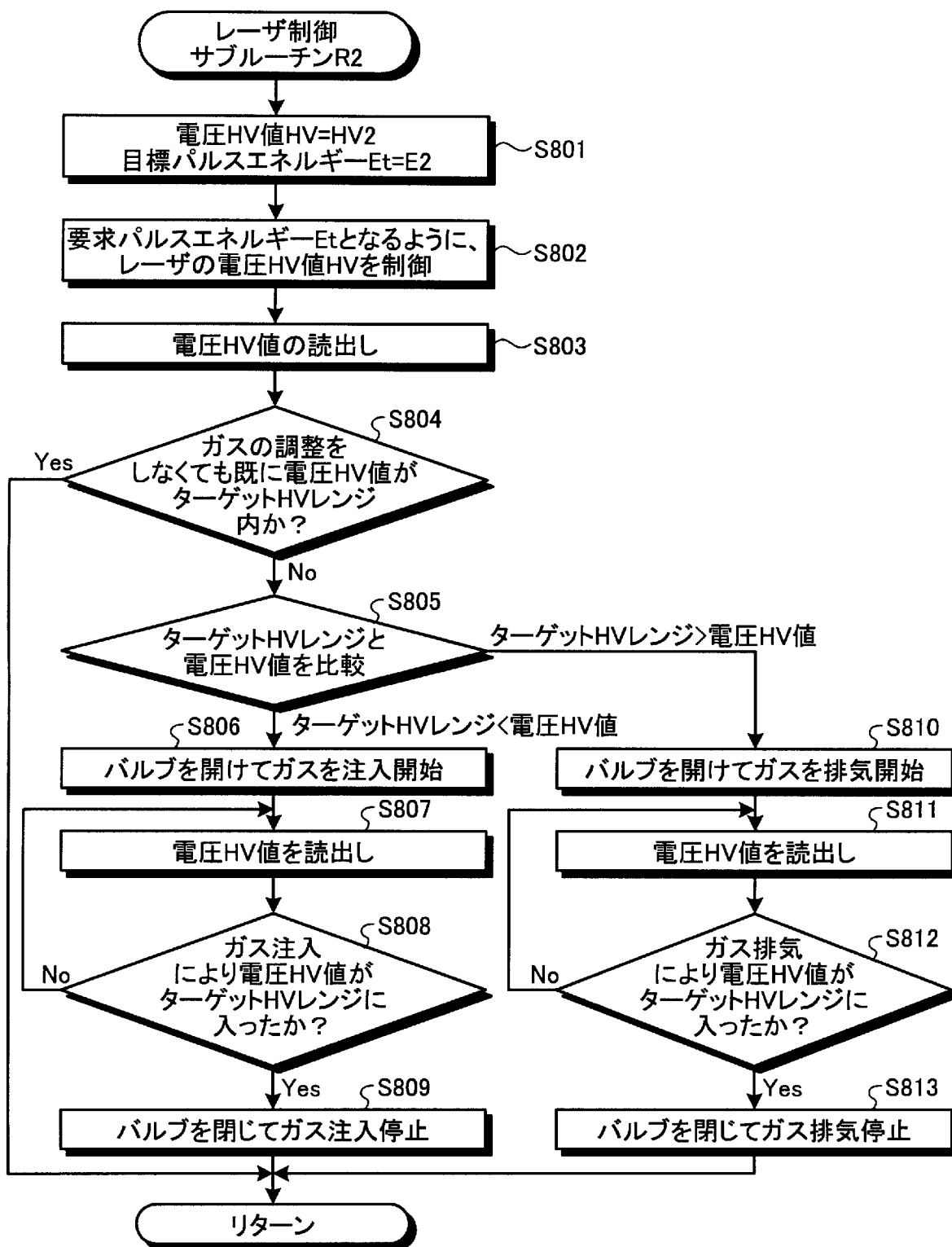
[図19]



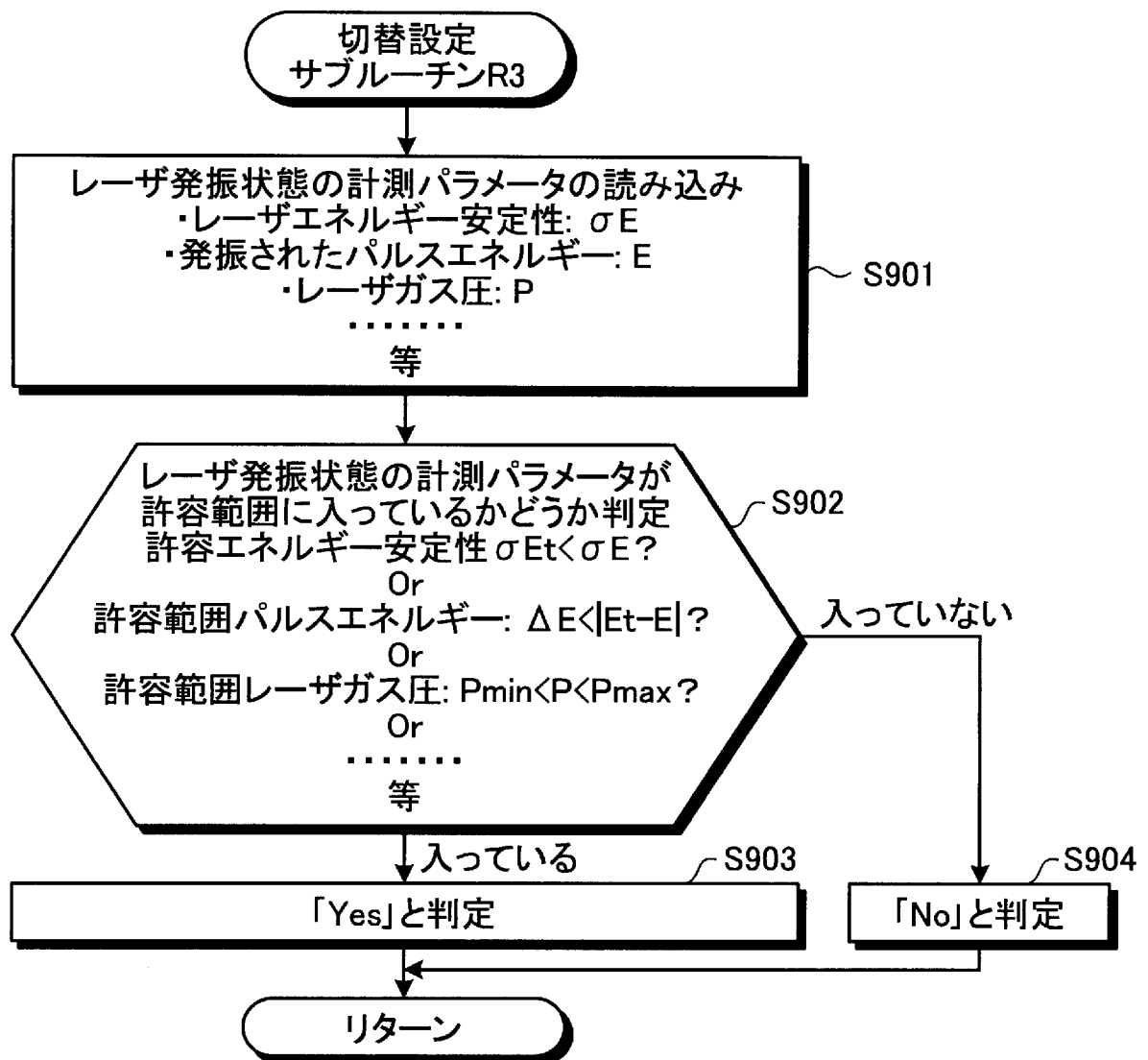
[図20]



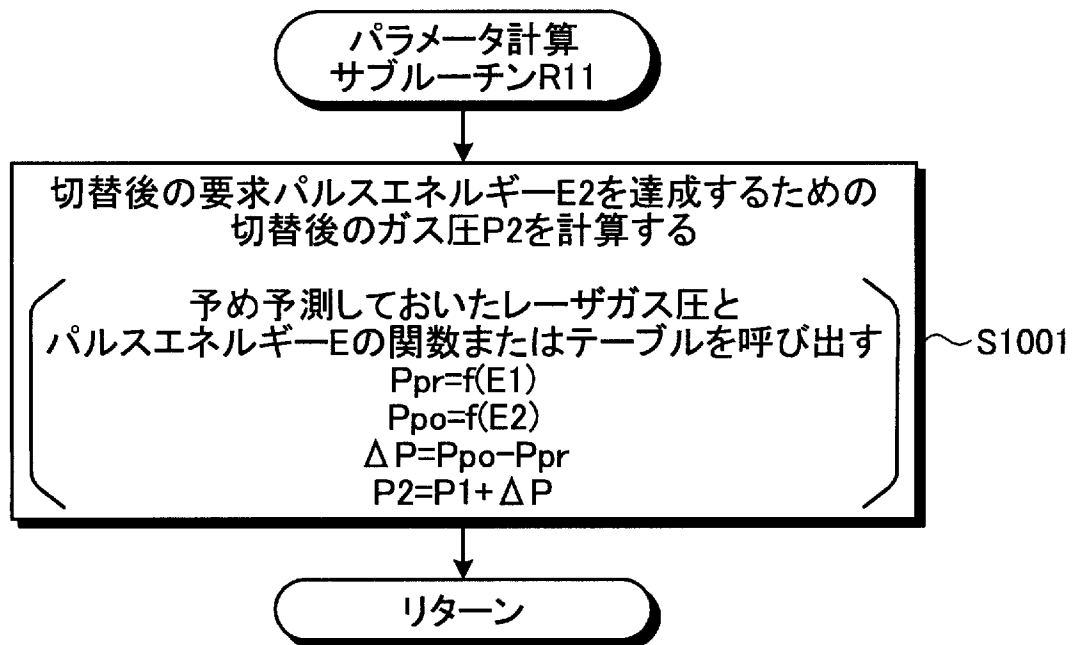
[図21]



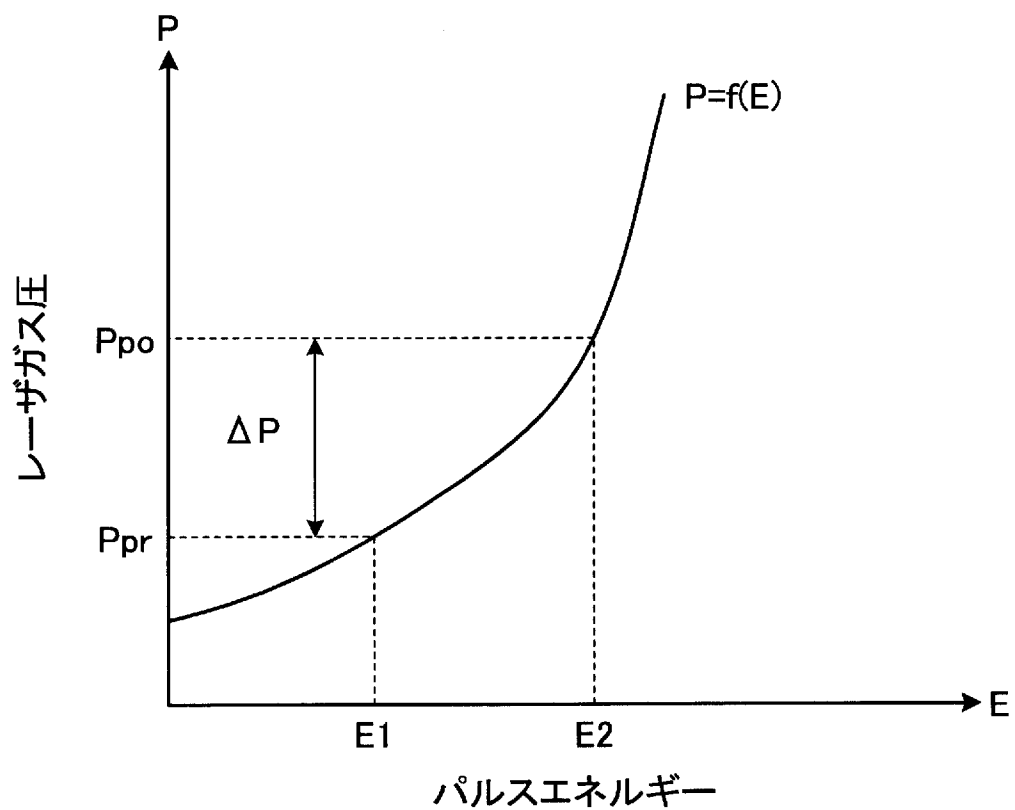
[図22]



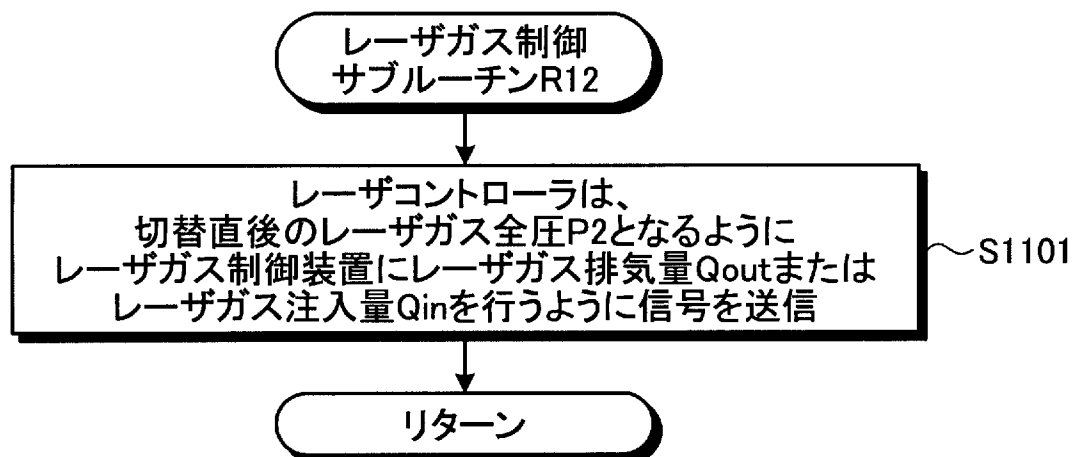
[図23]



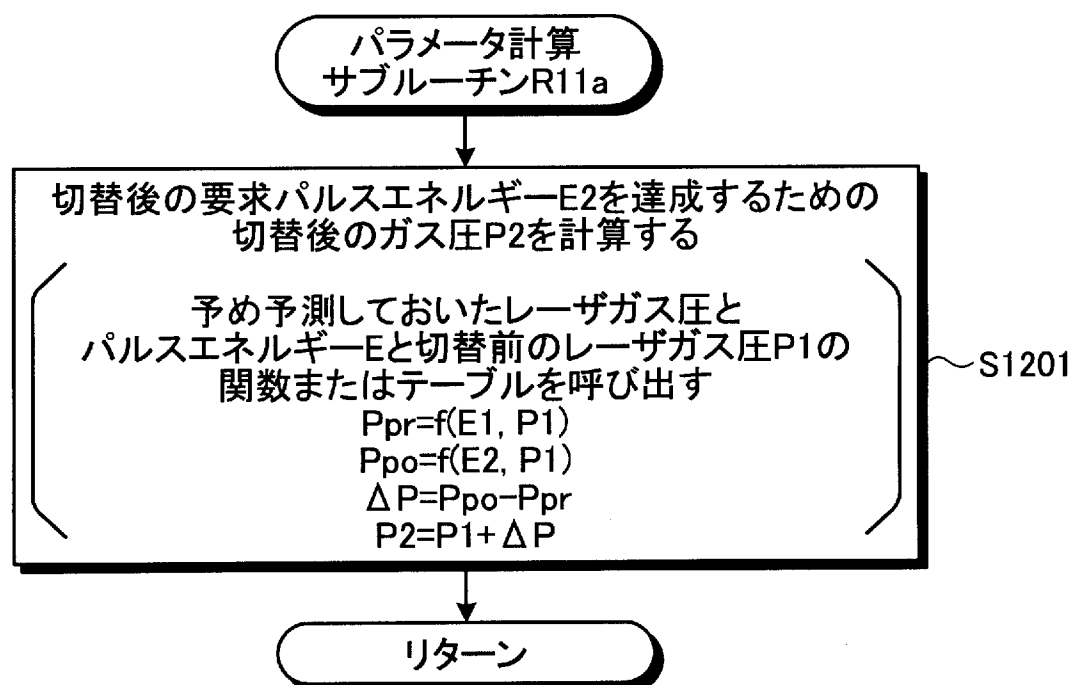
[図24]



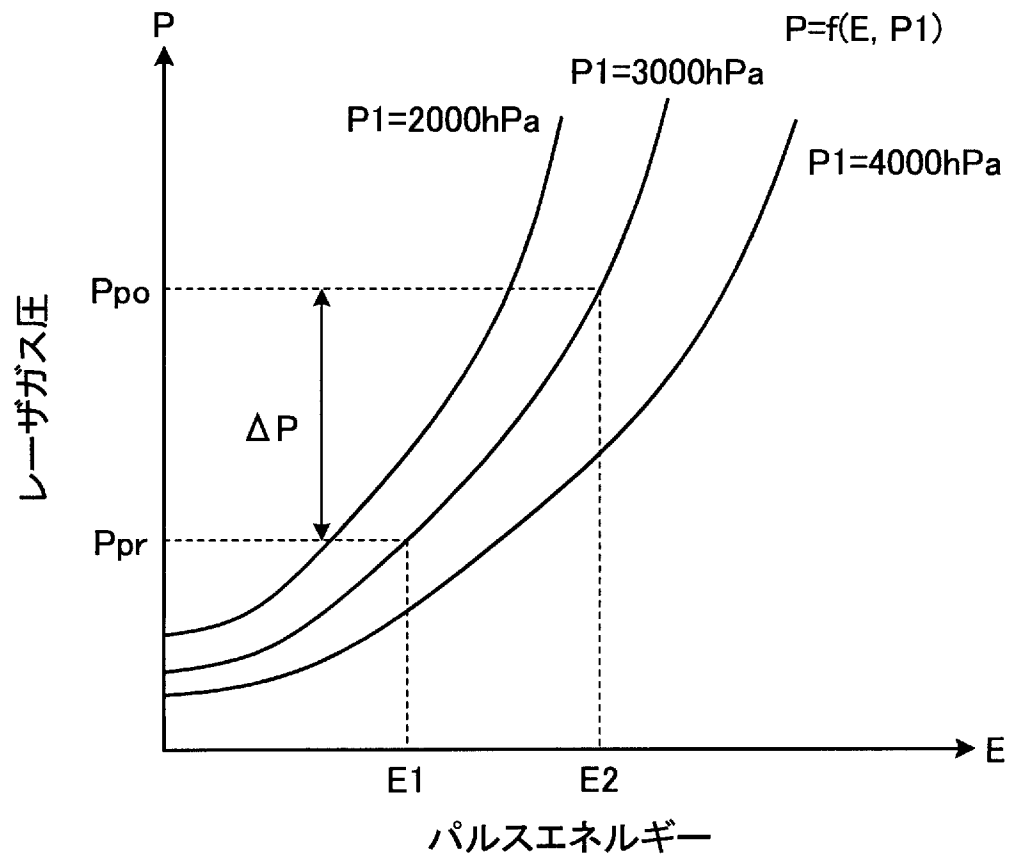
[図25]

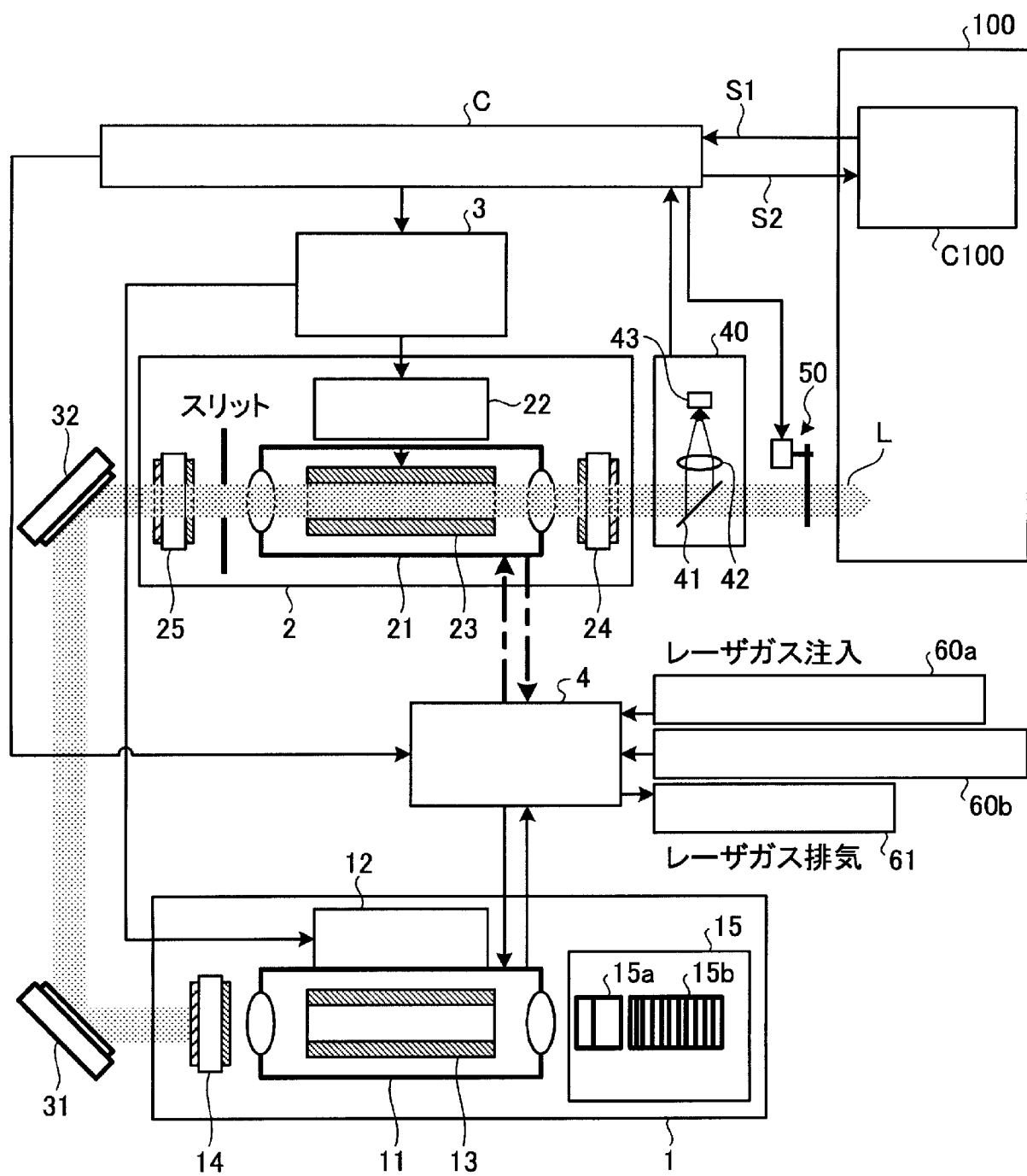


[図26]

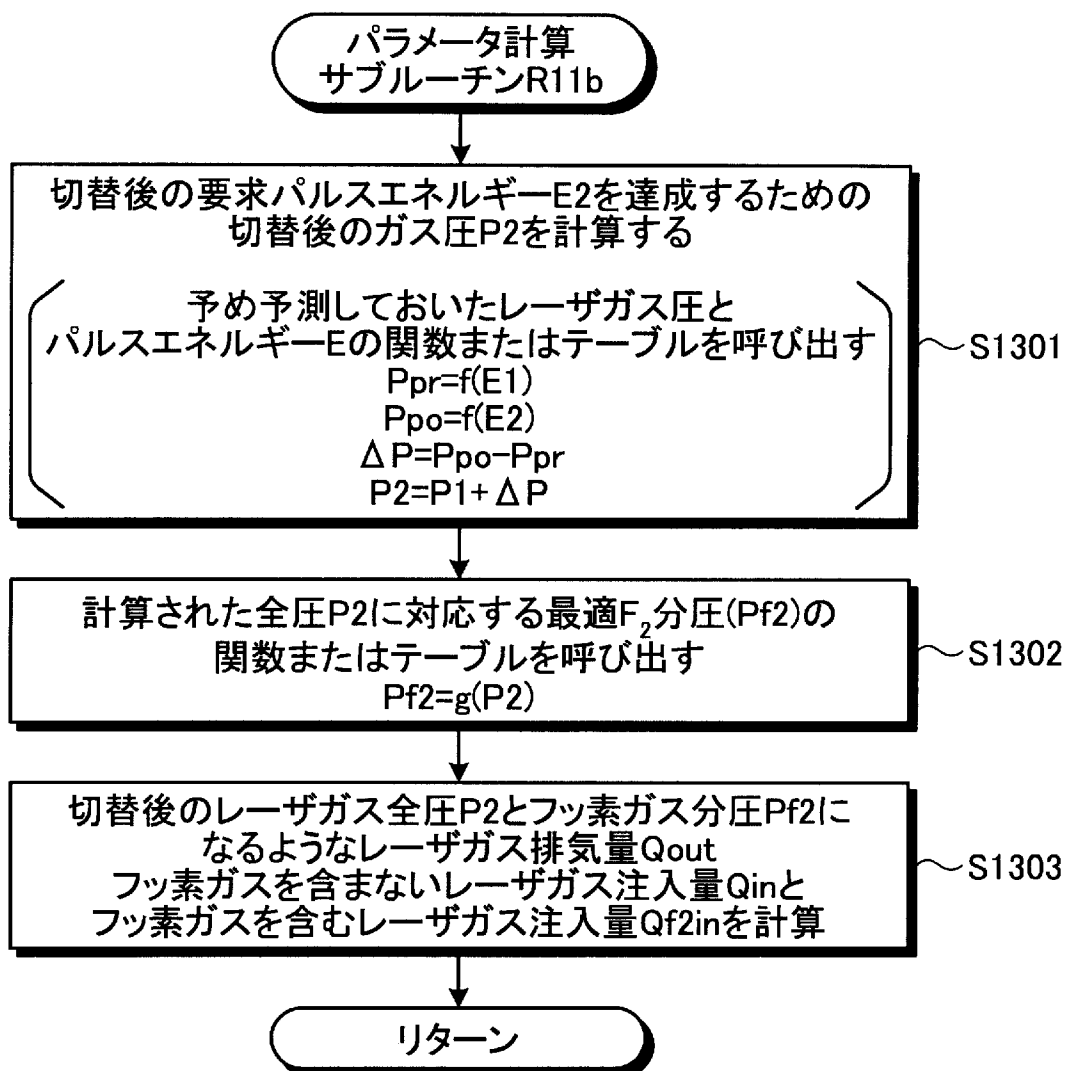


[図27]

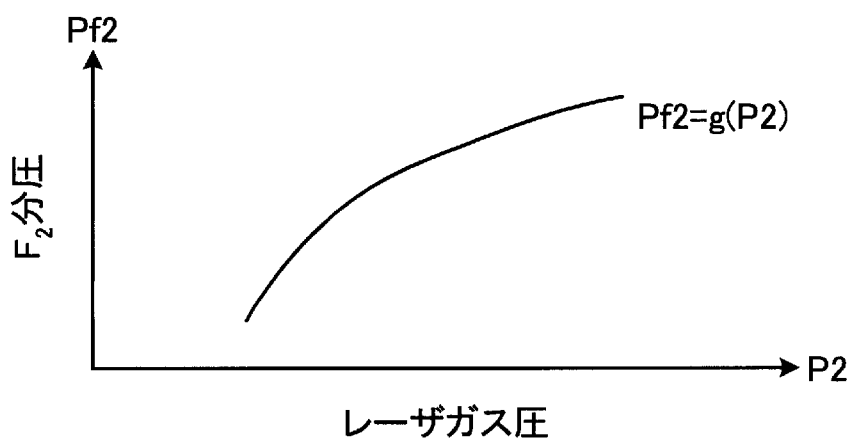




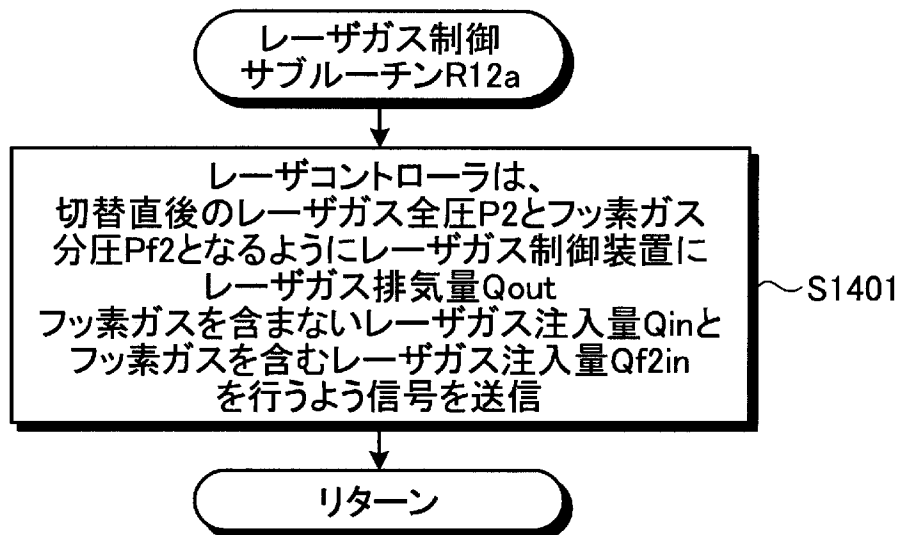
[図29]



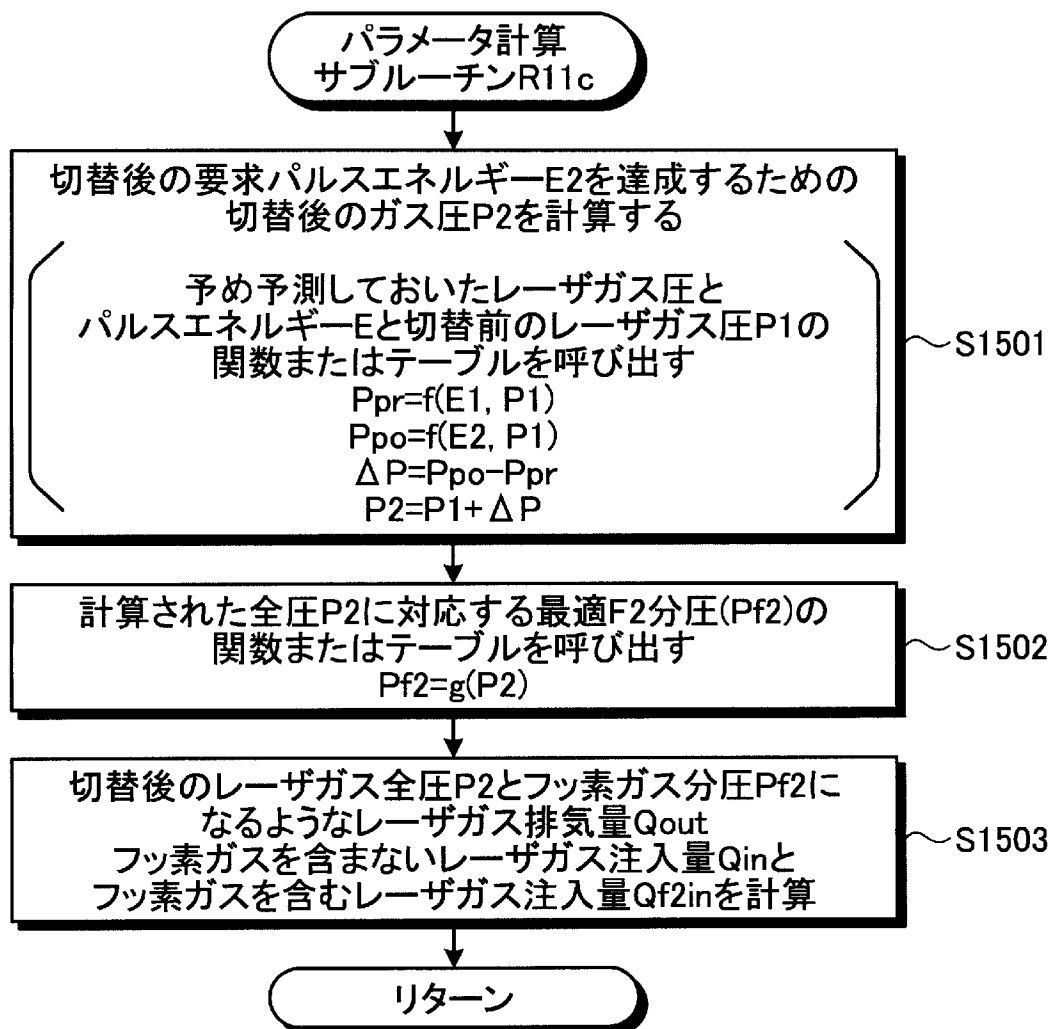
[図30]

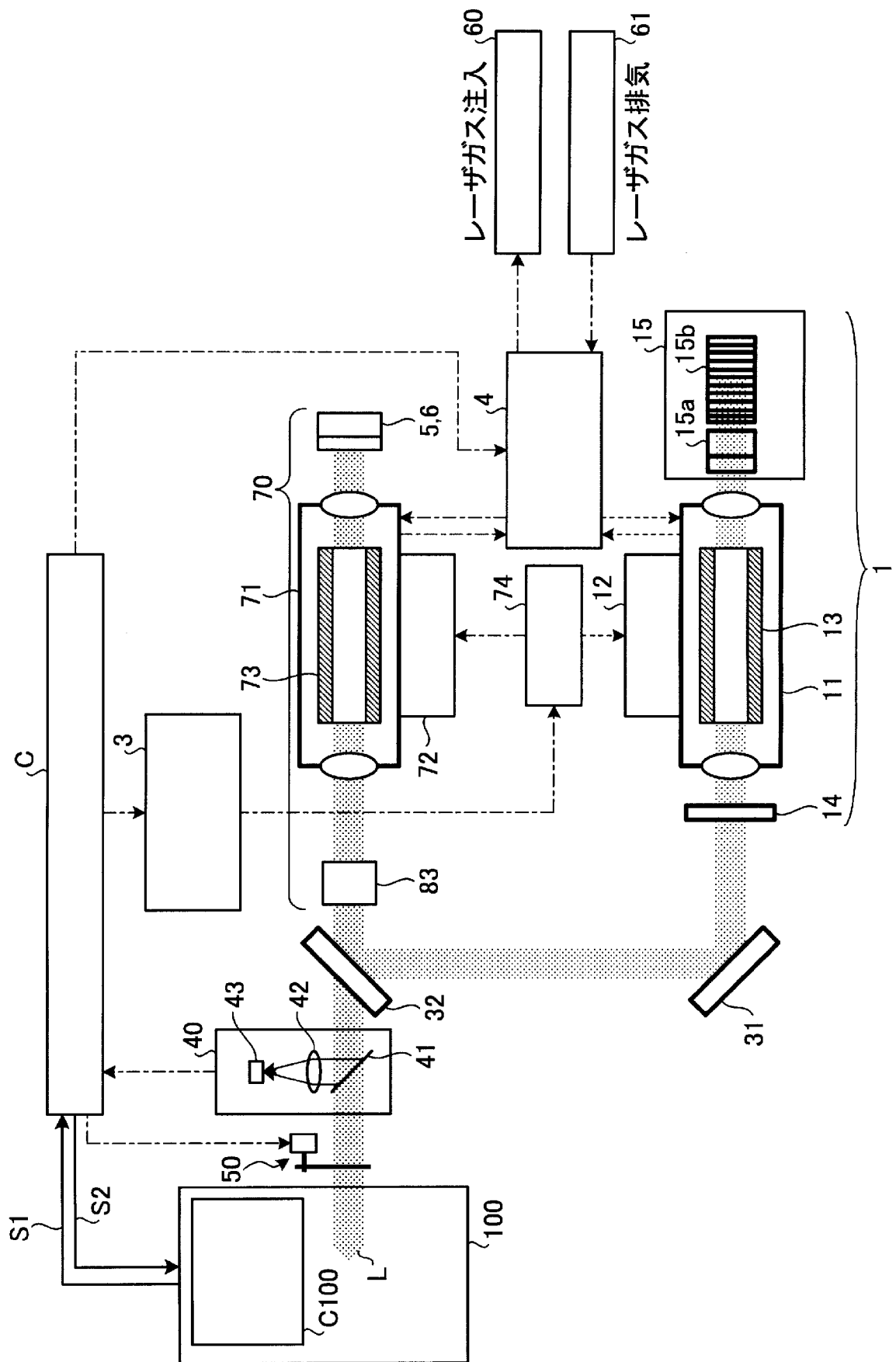


[図31]

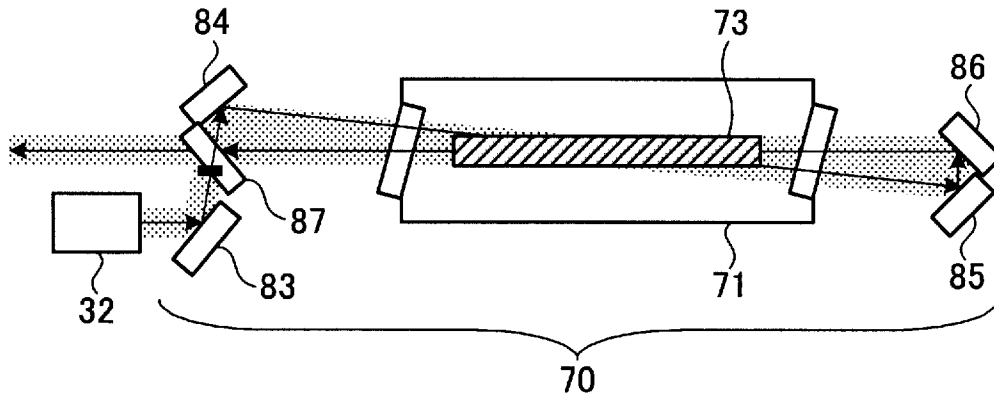


[図32]

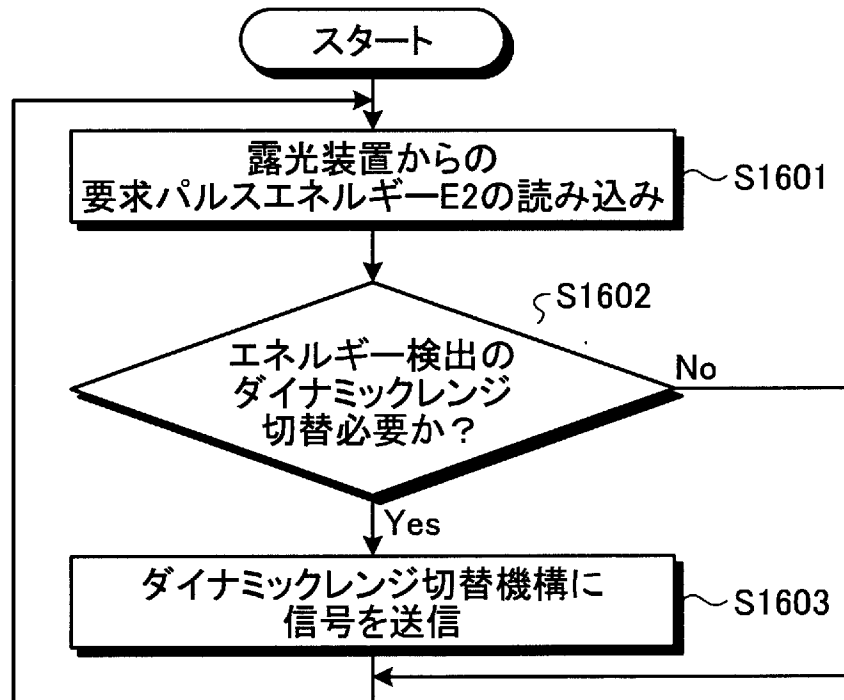




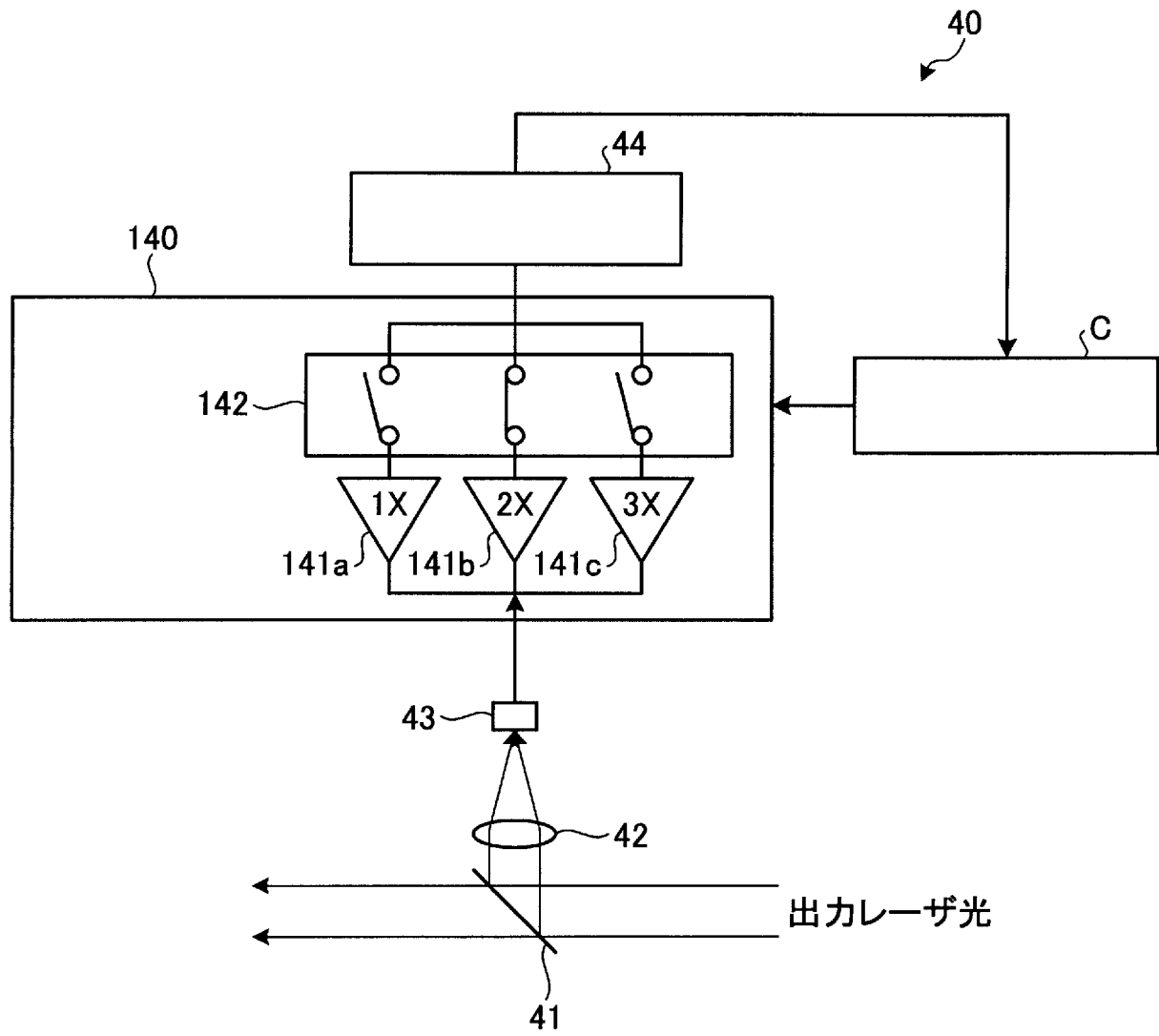
[図34]



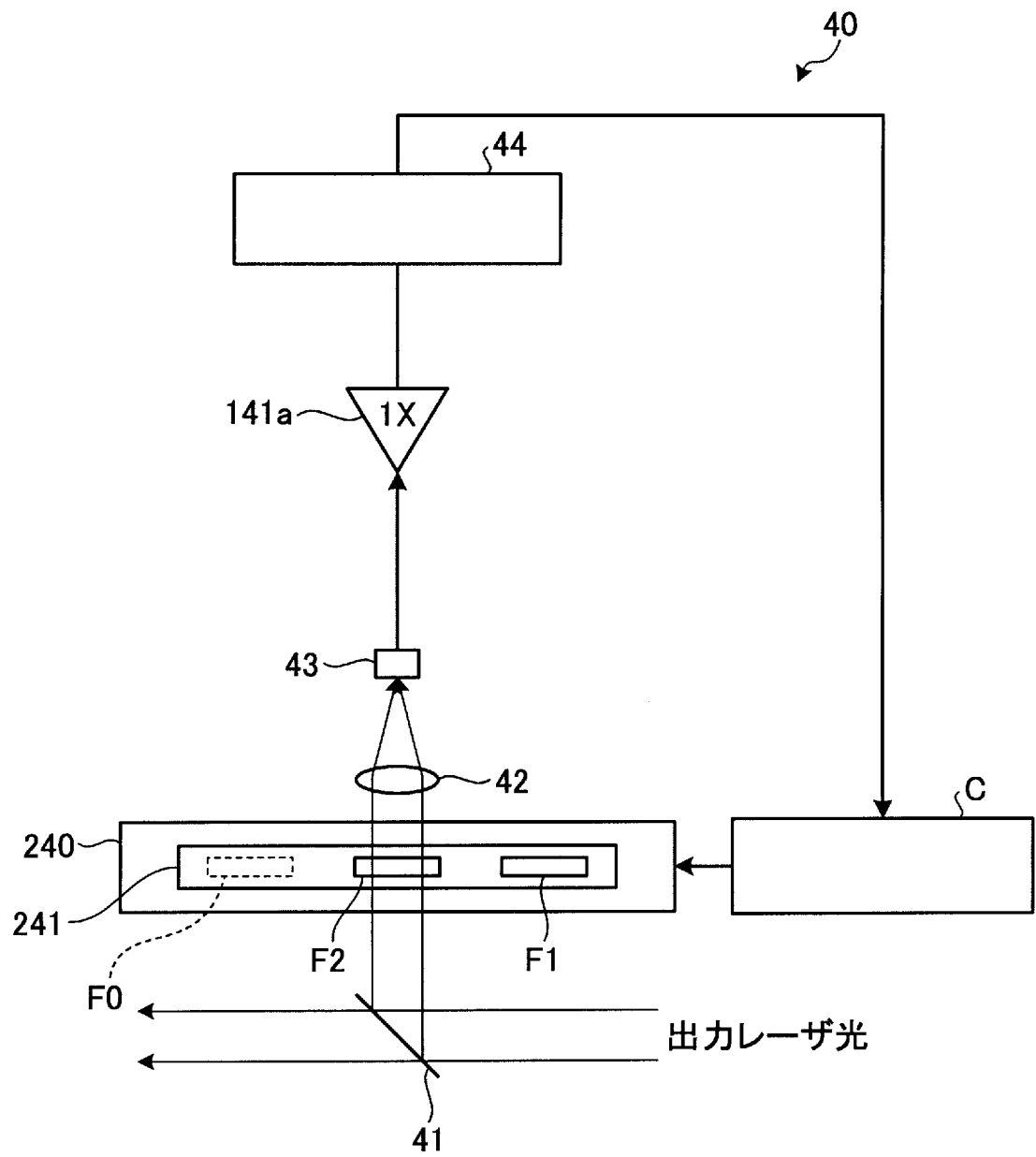
[図35]



[図36]



[図37]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053566

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/134(2006.01)i, H01L21/027(2006.01)i, H01S3/104(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)

H01S3/134, H01L21/027, H01S3/104, H01S3/225

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2005-525001 A (Saima Inc.), 18 August 2005 (18.08.2005), paragraphs [0006], [0044], [0054]; fig. 1 & US 6693939 B2 & US 2003/0043876 A1 & US 2003/0091087 A1 & US 7230964 B2 & EP 1502288 A & WO 2003/100826 A2	1 2-4
Y	JP 10-190103 A (Komatsu Ltd.), 21 July 1998 (21.07.1998), paragraphs [0019] to [0023]; fig. 3 to 5 (Family: none)	2-4
Y	JP 2008-311340 A (Gigaphoton Inc.), 25 December 2008 (25.12.2008), paragraph [0076] (Family: none)	3

☒ 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
04 March, 2011 (04.03.11)

Date of mailing of the international search report
15 March, 2011 (15.03.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053566

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 2007-059788 A (Komatsu Ltd., Ushio Inc.), 08 March 2007 (08.03.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-4

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/134(2006.01)i, H01L21/027(2006.01)i, H01S3/104(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（I P C））

Int.Cl. H01S3/134, H01L21/027, H01S3/104, H01S3/225

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 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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 2005-525001 A（サイマー インコーポレイテッド）2005.08.18, 【0006】，【0044】，【0054】，図1 & US 6693939 B2 & US 2003/0043876	1
Y	A1 & US 2003/0091087 A1 & US 7230964 B2 & EP 1502288 A & WO 2003/100826 A2	2-4
Y	JP 10-190103 A（株式会社小松製作所）1998.07.21, 【0019】 — 【0023】，図3-5（ファミリーなし）	2-4

☒ 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 4 . 0 3 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 5 . 0 3 . 2 0 1 1

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）

傍島 正朗

2 K

3 7 1 9

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

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 2008-311340 A (ギガフォトン株式会社) 2008. 12. 25, 【0076】 (ファミリーなし)	3
A	JP 2007-059788 A (株式会社小松製作所, ウシオ電機株式会社) 2007. 03. 08, 全文全図 (ファミリーなし)	1-4