

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-207298
(P2013-207298A)

(43) 公開日 平成25年10月7日(2013.10.7)

| (51) Int.Cl. | | F I | テーマコード (参考) |
|--------------|-------------------------|------------|---------------|
| HO1S | 3/23 (2006.01) | HO1S 3/23 | 2H097 |
| HO1L | 21/027 (2006.01) | HO1L 21/30 | 531S 4C092 |
| GO3F | 7/20 (2006.01) | GO3F 7/20 | 503 5F146 |
| HO1S | 3/00 (2006.01) | HO1S 3/00 | A 5F172 |
| HO5G | 2/00 (2006.01) | HO5G 1/00 | K |

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2013-1704 (P2013-1704)
 (22) 出願日 平成25年1月9日(2013.1.9)
 (31) 優先権主張番号 61/617,446
 (32) 優先日 平成24年3月29日(2012.3.29)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 300073919
 ギガフォトン株式会社
 栃木県小山市大字横倉新田400番地
 (74) 代理人 100139103
 弁理士 小山 卓志
 (74) 代理人 100139114
 弁理士 田中 貞嗣
 (74) 代理人 100097777
 弁理士 荏澤 弘
 (74) 代理人 100157118
 弁理士 南 義明
 (72) 発明者 クリストフ ノバック
 栃木県小山市横倉新田400 ギガフォトン株式会社内

最終頁に続く

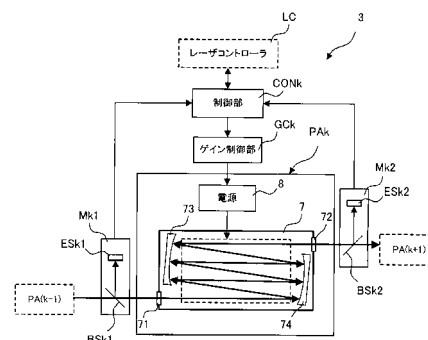
(54) 【発明の名称】 レーザ装置、レーザシステムおよび極端紫外光生成装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 増幅器の自励発振を抑制することを可能にする、LPPEUV光生成装置用のドライバレーザ装置を提供する。

【解決手段】 レーザ装置3は、パルスレーザ光を出力するマスターオシレータと、パルスレーザ光の光路上に配置された少なくとも1つの増幅器PAと、増幅器PAの入射側と出力側のどちらか一方の光路上に配置され、増幅器PAからの自励発振光のエネルギーを検出するエネルギー検出器ESと、増幅器PAのゲインを調節するゲイン調節部GCと、マスターオシレータからパルスレーザ光が増幅器PAに入力されていない時のエネルギー検出器ESの検出結果に基づいて、ゲイン調節部GCを制御する制御部CONと、を備える。

【選択図】 図5B



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

パルスレーザ光を出力するマスターオシレータと、
前記パルスレーザ光の光路上に配置された少なくとも 1 つの増幅器と、
前記増幅器の入射側と出力側のどちらか一方の前記光路に配置され、前記増幅器からの
自励発振光のエネルギーを検出するエネルギー検出器と、
前記増幅器のゲインを調節するゲイン調節部と、
前記マスターオシレータからパルスレーザ光が前記増幅器に入力されていない時の前記
エネルギー検出器の検出結果に基づいて、前記ゲイン調節部を制御する制御部と、
を備えるレーザ装置。

10

【請求項 2】

前記増幅器は、 CO_2 レーザガスを含み、前記 CO_2 レーザガスを放電励起する
請求項 1 に記載のレーザ装置。

【請求項 3】

前記ゲイン調節部は、 CO_2 レーザガスの組成を調節する
請求項 2 に記載のレーザ装置。

【請求項 4】

前記ゲイン調節部は、レーザガス中の CO_2 、 N_2 、 Xe の少なくとも 1 つのガス濃度を
調節する
請求項 3 に記載のレーザ装置。

20

【請求項 5】

前記ゲイン調節部は、 Xe ガスの濃度は 1 % 以下に調節する
請求項 4 に記載のレーザ装置。

【請求項 6】

前記ゲイン調節部は、放電による励起強度を調節する電源を含む
請求項 2 に記載のレーザ装置。

【請求項 7】

パルスレーザ光を出力するマスターオシレータと、
前記パルスレーザ光の光路上に配置された少なくとも 1 つの増幅器と、
を備え、
前記増幅器は、 CO_2 レーザガスとして Xe ガスを含む
スラブ型増幅器であるレーザ装置。

30

【請求項 8】

前記スラブ型増幅器のレーザガスの Xe 濃度は 1 % 以下である
請求項 7 に記載のレーザ装置。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 つに記載のレーザ装置を備える極端紫外光生成装置。

【請求項 10】

マスターオシレータからのパルスレーザを増幅する少なくとも 1 つの増幅器と、
前記増幅器からの自励発振光のエネルギーを検出するエネルギー検出器と、
前記マスターオシレータからパルスレーザ光が前記増幅器に入力されていない時の前記
エネルギー検出器の検出結果に基づいて、前記増幅器のゲインを調節する制御部と、
を備えるレーザ装置。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本開示は、極端紫外 (EUV) 光を生成するために、レーザ光に照射されるターゲット
を供給する装置に関する。さらに、本開示は、そのようなターゲット供給装置を用いて極
端紫外 (EUV) 光を生成するための装置に関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

近年、半導体プロセスの微細化に伴って、半導体プロセスの光リソグラフィにおける転写パターンの微細化が急速に進展している。次世代においては、70 nm ~ 45 nmの微細加工、さらには32 nm以下の微細加工の要求に応えるべく、波長13 nm程度のEUV光を生成する極端紫外光生成装置と縮小投影反射光学系(reduced projection reflective optics)とを組み合わせた露光装置の開発が期待されている。

【 0 0 0 3 】

極端紫外光生成装置としては、ターゲット物質にレーザービームを照射することによって生成されるプラズマを用いたLPP(Laser Produced Plasma)方式の装置と、放電によって生成されるプラズマを用いたDPP(Discharge Produced Plasma)方式の装置と、軌道放射光を用いたSR(Synchrotron Radiation)方式の装置と、の3種類の装置が提案されている。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 米国特許出願公開第 2 0 0 6 / 0 1 9 2 1 5 4 号明細書

【 概要 】

【 0 0 0 5 】

レーザー装置は、パルスレーザー光を出力するマスターオシレータと、前記パルスレーザー光の光路上に配置された少なくとも1つの増幅器と、前記増幅器の入射側と出力側のどちらか一方の前記光路に配置され、前記増幅器からの自励発振光のエネルギーを検出するエネルギー検出器と、前記増幅器のゲインを調節するゲイン調節部と、前記マスターオシレータからパルスレーザー光が前記増幅器に入力されていない時の前記エネルギー検出器の検出結果に基づいて、前記ゲイン調節部を制御する制御部と、を備えてもよい。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 6 】

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。

30

【 図 1 】 図 1 は、例示的な L P P 方式の E U V 光生成装置の概略的な構成を示す。

【 図 2 】 図 2 は、一実施形態に係るレーザー装置 3 の概略を示す。

【 図 3 】 図 3 は、レーザーコントローラ LC の制御フローチャートを示す。

【 図 4 】 図 4 は、制御部 CON の制御フローチャートを示す。

【 図 5 A 】 図 5 は、一実施形態に係るモニタ M を含む増幅部の概略を示す。

【 図 5 B 】 図 5 B は、一実施形態に係る増幅器 PA の増幅チャンバ 7 の概略を示す。

【 図 6 】 図 6 は、一実施形態に係るガス調節部 GC を含む増幅器 PA の概略を示す。

【 図 7 】 図 7 は、制御部 CON の制御フローチャートを示す図である。

【 図 8 】 図 8 は、Xe 濃度と自励発振光のエネルギーの関係を示す。

40

【 実施形態 】

【 0 0 0 7 】

< 内容 >

1. 概要
2. 用語の説明
3. 極端紫外光生成装置の全体説明
 - 3.1 構成
 - 3.2 動作
4. 増幅器を含むレーザー装置
 - 4.1 構成

50

- 4.2 動作
- 4.3 作用
- 5. モニタを含む増幅器
 - 5.1 構成
 - 5.2 動作
 - 5.3 作用
 - 5.4 その他
- 6. ガス調節部を含む増幅器
 - 6.1 構成
 - 6.2 動作
 - 6.3 作用
 - 6.4 その他

10

【0008】

以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。以下に説明される実施形態は、本開示のいくつかの例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

【0009】

1. 概要

LPPEUV光生成装置用のドライバレーザ装置は、高いパルスエネルギーを持つパルスレーザ光を高い繰り返し周波数で出力することが要求される。LPPEUV光生成装置用のドライバレーザとして、高出力CO₂レーザ装置が使用されている。

20

【0010】

MOPA方式の高出力CO₂レーザ装置は、パルスレーザ光を高出力で得るために、短パルスのパルスレーザ光を高い繰り返し周波数で出力するマスターオシレータMOと、そのパルスレーザ光を増幅する複数の増幅器PAと、を備えていてもよい。なお、増幅器PAは、マスターオシレータMOからのパルスレーザ光が入射されない場合であっても、レーザガスを励起していれば、自励発振する場合がある。自励発振で生じる自励発振光は必ずしもパルスレーザ光ではなく、繰り返し周波数の制御が困難である場合が多い。

30

【0011】

そこで、マスターオシレータMOからのパルスレーザ光が増幅器に入力されていない際に、増幅器からの自励発振光のエネルギーを検出し、その結果に基づいて、増幅器のゲインを調節してもよい。このゲイン調節を実行するための装置としては、以下であってもよい。

【0012】

例1.

パルスレーザ光を出力するマスターオシレータと、
前記パルスレーザ光の光路上に配置された少なくとも1つの増幅器と、
前記増幅器の入射側と出力側のどちらか一方の前記光路に配置され、前記増幅器からの自励発振光のエネルギーを検出するエネルギー検出器と、
前記増幅器のゲインを調節するゲイン調節部と、
前記マスターオシレータからパルスレーザ光が前記増幅器に入力されていない時の前記エネルギー検出器の検出結果に基づいて、前記ゲイン調節部を制御する制御部と、
を備えるレーザ装置。

40

【0013】

例2.

前記増幅器は、CO₂レーザガスを含み、前記CO₂レーザガスを放電励起する例1記載のレーザ装置。

【0014】

50

例 3 .

前記ゲイン調節部は、 CO_2 レーザガスの組成を調節する例 2 記載のレーザ装置。

【 0 0 1 5 】

例 4 .

前記ゲイン調節部は、レーザガス中の CO_2 、 N_2 、 Xe の少なくとも 1 つのガス濃度を調節する例 3 記載のレーザ装置。

【 0 0 1 6 】

例 5 .

前記ゲイン調節部は、 Xe ガスの濃度は 1 % 以下に調節する例 4 記載のレーザ装置。

【 0 0 1 7 】

例 6 .

前記ゲイン調節部は、放電による励起強度を調節する電源を含む例 2 記載の増幅器を備えるレーザ装置。

【 0 0 1 8 】

例 7 .

パルスレーザ光を出力するマスターオシレータと、

前記パルスレーザ光の光路上に配置された少なくとも 1 つの増幅器と、

を備え、

前記増幅器は、 CO_2 レーザガスとして Xe ガスを含むスラブ型増幅器であるレーザ装置。

【 0 0 1 9 】

例 8 .

前記スラブ型増幅器のレーザガスの Xe 濃度は 1 % 以下である例 7 記載のレーザ装置。

【 0 0 2 0 】

例 9 .

例 1 乃至 8 のいずれか 1 つに記載のレーザ装置を備える極端紫外光生成装置。

【 0 0 2 1 】

例 1 0 .

マスターオシレータからのパルスレーザを増幅する少なくとも 1 つの増幅器と、

前記増幅器からの自励発振光のエネルギーを検出するエネルギー検出器と、

前記マスターオシレータからパルスレーザ光が前記増幅器に入力されていない時の前記エネルギー検出器の検出結果に基づいて、前記増幅器のゲインを調節する制御部と、

を備えるレーザ装置。

【 0 0 2 2 】

マスターオシレータからのパルスレーザ光が増幅器に入力されていない際に自励発振光のエネルギーを検出することにより、増幅器の自励発振を検出できてもよい。そして、その自励発振光のエネルギーの検出値に基づいて、増幅器のゲインを調節するため、増幅器の自励発振を抑制することが可能となってもよい。

【 0 0 2 3 】

2 . 用語の説明

本願において使用される幾つかの用語を以下に説明する。「チャンバ」は、LPP方式のEUV光生成装置において、プラズマの生成が行われる空間を外部から隔絶するための容器である。「ドロップレット生成器」は、EUV光を生成するために用いられる熔融スズ等のターゲット物質をチャンバ内に供給する装置である。「EUV集光ミラー」は、プラズマから放射されるEUV光を反射してチャンバ外に出力するためのミラーである。「ゲイン」は、レーザ光が増幅される利得である。増幅器のゲインが非常に高い場合、自励発振を生じることがある。ゲインは、レーザ媒質の励起強度や、レーザ媒質の組成を変化させることで増減することができる。

【 0 0 2 4 】

3 . EUV光生成装置の全体説明

10

20

30

40

50

3.1 構成

図1に、例示的なLPP方式のEUV光生成装置の構成を概略的に示す。EUV光生成装置1は、少なくとも1つのレーザ装置3と共に用いられてもよい。ここでは、EUV光生成装置1及びレーザ装置3を含むシステムを、以下、EUV光生成システム11と称する。

【0025】

EUV光生成装置1は、例えば、チャンバ2及びドロップレット生成器26を含んでもよい。チャンバ2は、密閉可能であってもよい。ドロップレット生成器26は、例えば、チャンバ2の壁に取り付けられてもよい。ドロップレット生成器26から供給されるターゲットの材料は、スズ、テルビウム、ガドリニウム、リチウム、キセノン、又はそれらのうちのいずれかを組み合わせたものでもよいが、これらに限定されない。

10

【0026】

チャンバ2の壁には、少なくとも1つの貫通孔が設けられてもよい。その貫通孔をレーザ装置3から出力されたパルスレーザ光32が通過するようにしてもよい。チャンバ2には、レーザ装置3から出力されたパルスレーザ光32が透過する少なくとも1つのウィンドウ21が設けられてもよい。

【0027】

チャンバ2の内部には、例えば、回転楕円面形状の反射面を有するEUV集光ミラー23が配置されてもよい。EUV集光ミラー23は、第1の焦点、及び第2の焦点を有してもよい。EUV集光ミラー23の表面には、例えば、モリブデンとシリコンとが交互に積層された多層反射膜が形成されてもよい。

20

【0028】

EUV集光ミラー23は、例えば、その第1の焦点がプラズマ発生位置(プラズマ生成領域25)又はその近傍に位置し、その第2の焦点が露光装置の仕様によって規定される所望の集光位置(中間焦点(IF)292)に位置するように配置されるのが好ましい。EUV集光ミラー23の中央部には、パルスレーザ光33が通過することができる貫通孔24が設けられてもよい。

【0029】

EUV光生成装置1は、EUV光生成制御システム5を含んでもよい。また、EUV光生成装置1は、ターゲットセンサ4を含んでもよい。ターゲットセンサ4は、ターゲットの存在、軌道、位置の少なくとも1つを検出してもよい。ターゲットセンサ4は、撮像機能を有していてもよい。

30

【0030】

更に、EUV光生成装置1は、チャンバ2内部と露光装置6内部とを連通する接続部29を含んでもよい。接続部29内部には、アパーチャが形成された壁291を設けてもよい。壁291は、そのアパーチャがEUV集光ミラー23の第2の焦点位置に位置するように配置してもよい。

【0031】

更に、EUV光生成装置1は、レーザ光進行方向制御装置34、レーザ光集光ミラー22、ターゲット27を回収するターゲット回収器28などを含んでもよい。レーザ光進行方向制御装置34は、レーザ光の進行方向を制御するために、レーザ光の進行方向を規定する光学素子と、この光学素子の位置または姿勢を調整するためのアクチュエータとを備えてもよい。

40

【0032】

3.2 動作

図1を参照すると、レーザ装置3から出力されたパルスレーザ光31は、レーザ光進行方向制御装置34を経て、パルスレーザ光32としてウィンドウ21を透過して、チャンバ2内に入射されてもよい。パルスレーザ光32は、少なくとも1つのレーザビーム経路に沿ってチャンバ2内に進み、レーザ光集光光学系22で反射されてもよい。そして、パルスレーザ光33として、少なくとも1つのドロップレットターゲット27に照射されて

50

もよい。

【0033】

ドロップレット生成器26は、ドロップレットターゲット27をチャンバ2内部のプラズマ生成領域25に向けて出力してもよい。ドロップレットターゲット27には、パルスレーザ光33に含まれる少なくとも1つのパルスが照射されてもよい。レーザ光が照射されたドロップレットターゲット27はプラズマ化し、そのプラズマからEUV光251が生成されてもよい。EUV光251は、EUV集光ミラー23によって反射されるとともに集光されてもよい。EUV集光ミラー23に反射されたEUV光252は、中間焦点292を通過して露光装置6に出力されてもよい。なお、1つのドロップレットターゲット27に、パルスレーザ光33に含まれる複数のパルスレーザ光が照射されてもよい。

10

【0034】

EUV光生成制御システム5は、EUV光生成システム11全体の制御を統括してもよい。EUV光生成制御システム5は、ターゲットセンサ4によって撮像されたドロップレットターゲット27のイメージデータ等処理してもよい。EUV光生成制御システム5は、例えば、ドロップレットターゲット27を出力するタイミングの制御およびドロップレットターゲット27の出力方向の制御の内の少なくとも1つを行ってもよい。EUV光生成制御システム5は、例えば、レーザ装置3のレーザ発振タイミングの制御、パルスレーザ光32の進行方向の制御、及びパルスレーザ光33の集光位置の制御の内の少なくとも1つを行ってもよい。上述の様々な制御は単なる例示に過ぎず、必要に応じて他の制御を追加してもよい。

20

【0035】

4. 増幅器システムを含むレーザ装置

4.1 構成

図2は、一実施形態に係るレーザ装置3の概略を示す図である。

【0036】

図2に例示されるように、レーザ装置3は、レーザコントローラLCと、マスターオシレータMOと、少なくとも1つ以上の増幅器PAと、少なくとも1つ以上のモニタMと、少なくとも1つ以上の制御部CONと、少なくとも1つ以上のゲイン調節部GCと、を含んでもよい。たとえば、n台の増幅器PA1~PANにそれぞれ対応したモニタM1~Mnと、制御部CON1~CONnと、ゲイン調節部GC1~GCnとを含んでもよい。

30

【0037】

少なくとも1つ以上の増幅器PAは、マスターオシレータMOから出力されるパルスレーザ光の光路上に配置してもよい。増幅器PA1~PANは、CO₂レーザガスを媒質としてもよい。

【0038】

少なくとも1つ以上のモニタMは、マスターオシレータMOから出力されるパルスレーザ光の光路上であって、増幅器PAの射出側に配置してもよい。モニタM1~Mnは、増幅器PA1~PANからそれぞれ出力された自励発生光のエネルギーを検出するエネルギー検出器を構成してもよい。

40

【0039】

レーザコントローラLCは、マスターオシレータMO及び制御部CON1~CONnと、信号ラインを介して接続されてもよい。

【0040】

モニタM1~Mnの出力信号は、それぞれ制御部CON1~CONnに入力されてもよい。制御部CON1~CONnの出力信号は、それぞれゲイン調節部GC1~GCnに入力されてもよい。ゲイン調節部GC1~GCnの出力信号は、それぞれ増幅器PA1~PANに入力されてもよい。増幅器PA1~PANは、ゲイン調節部GC1~GCnの出力信号に従って放電が調節され、増幅ゲインが制御されてもよい。

【0041】

4.2 動作

50

図3は、レーザコントローラLCが自励発振を抑制する制御のフローチャートを示す図である。図3は、実質的にはレーザコントローラLCが全ての制御部CONに自励発振光のエネルギーを計測させる動作であってよい。しかし、この過程で各制御部CONは、各増幅器PAの制御パラメータ値が、自励発振が抑制可能な範囲となるように特定してもよい。EUV光生成のため、マスターオシレータMOから出力されたシードレーザ光を増幅器PAkで増幅して出力する場合、図3の動作で特定された範囲のパラメータ値を制御に用いてもよい。

【0042】

まず、ステップ1で、レーザコントローラLCは、マスターオシレータMOへ、パルスレーザ光の出力を停止させる信号を送信してもよい(ST1)。

10

【0043】

次に、ステップ2で、レーザコントローラLCは、制御部CON1~CONnへ、すべての増幅器PA1~PANの増幅ゲインを0とする信号を送信してもよい(ST2)。この結果、ゲイン調節部GC1~GCnは、すべての増幅器PA1~PANにおける放電を停止してもよい。

【0044】

次に、ステップ3で、引数kを $k=1$ としてもよい(ST3)。

【0045】

次に、ステップ4で、レーザコントローラLCは、制御部CONkに自励発振光のエネルギーを計測するための信号を送信してもよい(ST4)。たとえばレーザコントローラLCは、 $k=1$ である場合、制御部CON1に信号を送信してもよい。信号を受信した制御部CONkは、図4に示す動作を実行して、自励発振が抑制可能なパラメータ値の範囲を特定してもよい。

20

【0046】

次に、ステップ5で、レーザコントローラLCは、増幅器PAkの自励発振光のエネルギーの計測を終了したか否かを判定してもよい(ST5)。ステップ5は、計測が終了するまで実行してもよい。自励発振光のエネルギーの計測を終了したか否かは、たとえば制御部CONkが、後述する全てのパラメータ値に対する自励発振光のエネルギー値を受信したかどうかに基づいて判定してもよい。

【0047】

ステップ5において、レーザコントローラLCが第k番目の増幅器PAkの自励発振光のエネルギーの計測を終了したと判定した場合、ステップ6において、 $k=k+1$ としてもよい(ST6)。

30

【0048】

次に、ステップ7で、レーザコントローラLCは、 $k=n$ であるか否かを判定してもよい(ST7)。ステップ7において、 $k=n$ でない場合、ステップ4に戻ってもよい。ステップ7において、 $k=n$ である場合、レーザコントローラLCの制御を終了してもよい。

【0049】

図4は、制御部CONの制御フローチャートを示す図である。

40

【0050】

制御部CONkによる制御は、図3に示したレーザコントローラLCによる制御のステップ4の段階で実行してもよい。

【0051】

まず、ステップ11で、制御部CONkは、増幅器PAkの放電を開始させる信号をゲイン調節部GCkを介して、第k増幅器PAkの図示しない電源に送信してもよい(ST11)。

【0052】

次に、ステップ12で、制御部CON1は、ゲイン調節部GCkに、パラメータを設定するために、たとえばL種類のパラメータ値($P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_L$)を

50

不図示のメモリ等から読み出してもよい (ST 12)。パラメータ値は、電圧又はデューティ比でもよい。

【0053】

次に、ステップ13で、制御部CON_kは、引数*i*を*i* = 1としてもよい (ST 13)。

【0054】

次に、ステップ14で、制御部CON_kは、ゲイン調節部GC_kにパラメータ値P_iを設定してもよい (ST 14)。

【0055】

次に、ステップ15で、制御部CON_kは、ゲイン調節部GC_kに設定したパラメータ値P_iを含む制御信号を送信してもよい (ST 15)。これにより、第*k*増幅器PA_kが設定されたパラメータ値P_iによって動作してよい。このとき、モニタM_kが自励発振光のエネルギーE_i値を計測してもよい。

10

【0056】

次に、ステップ16で、制御部CON_kは、モニタM_kが計測した自励発振光のエネルギーE_i値の信号を受信してもよい (ST 16)。

【0057】

次に、ステップ17で、制御部CON_kは、E_i > E₀であるか否かを判定してもよい (ST 17)。ここで、E₀は、自励発振が許容されるエネルギーであり、レーザ光路上に配置された光学部品のダメージ閾値等に基づいて決定されてもよい。E₀は、好ましくは、0であってもよい。

20

【0058】

ステップ17において、E_i > E₀でない場合、ステップ19に進んでもよい。

【0059】

ステップ17においてE_i > E₀である場合、ステップ18で、パラメータ値P_iを自励発振抑制パラメータ値としてメモリに記憶してもよい (ST 18)。

【0060】

次に、ステップ19で、*i* = *i* + 1と設定してもよい (ST 19)。

【0061】

次に、ステップ20で、*i* = Lであるか否かを判定してもよい (ST 20)。

30

【0062】

ステップ20において、*i* = Lでない場合、ステップ14に戻ってもよい。

【0063】

ステップ20において、*i* = Lである場合、制御部CON_kは増幅器PA_kの放電を停止してもよい。

【0064】

以上の動作は、まず、レーザコントローラLCは、マスターオシレータMOへパルスレーザ光の出力を停止させる信号を送信してもよい。次に、レーザコントローラLCは、制御部CON_kを介して、すべての増幅器PA_kのゲインが0となるような信号を送信し、放電を停止させてもよい。その後、レーザコントローラLCは、各制御部CON_kに自励発振光のエネルギーを計測させるための信号を送信してもよい。

40

【0065】

制御部CON₁は、ゲイン調節部GC₁を介して、増幅器PA₁のゲインを変更するために、対応するパラメータ値を順次変更する信号を送信してもよい。制御部CON₁は、モニタM₁を介して都度得られた自励発振光のエネルギー値の信号とそのときのパラメータ値から、自励発振が抑制されるパラメータ値の範囲を求めてもよい。そして、制御部CON₁は、自励発振が抑制されるパラメータ値の範囲を記憶してもよい。その後、制御部CON₁は、増幅器PA₁のゲインが0となるような信号を送信し、放電を停止させてもよい。

【0066】

50

制御部 CON 2 ~ CON n は、順次、制御部 CON 1 と同様の処理を実行することができ、対応する増幅器 PA 2 ~ PA n の自励発振を抑制するパラメータ値の範囲をそれぞれ求めて、記憶してもよい。

【0067】

マスターオシレータ MO から出力されたパルスレーザ光を増幅器 PA k で増幅して出力する際、制御部 CON k は、対応する増幅器 PA k の自励発振が抑制可能な、予め記憶しておいたパラメータ値の範囲内で、それぞれの増幅器 PA k を制御することが可能となつてよい。

【0068】

4.3 作用

増幅器 PA k の自励発振を抑制可能なパラメータ値の範囲を予め計測し、そのパラメータ値の範囲内でその増幅器 PA k を制御するので、増幅器 PA k の自励発振を抑制することが可能となつてよい。

【0069】

5. モニタを含む増幅器

5.1 構成

図 5 A は、一実施形態に係る増幅器 PA の増幅チャンバ 7 の概略を示す。図 5 B は、一実施形態に係るモニタ M を含む増幅部の概略を示す。

【0070】

増幅部は、増幅器 PA k と、ゲイン調節部 GC k と、第 1 モニタ M k 1 と、第 2 モニタ M k 2 と、制御部 CON k と、を含んでもよい。

【0071】

増幅器 PA k は、スラブ型増幅器であつて、増幅チャンバ 7 と、電源 8 と、を含んでもよい。

【0072】

増幅チャンバ 7 は、例えば、入射ウィンドウ 7 1 と、出射ウィンドウ 7 2 と、第 1 凹面ミラー 7 3 と、第 2 凹面ミラー 7 4 と、第 1 電極 7 5 と、第 2 電極 7 6 と、を備えてもよい。

【0073】

入射ウィンドウ 7 1 および出射ウィンドウ 7 2 は、レーザ光の光路上に配置してもよい。入射ウィンドウ 7 1 および出射ウィンドウ 7 2 は、増幅チャンバ 7 を密閉してもよい。

【0074】

第 1 電極 7 5 及び第 2 電極 7 6 は、増幅チャンバ 7 の内部に所定の間隔を保って互に対向して配置されてもよい。第 1 電極 7 5 及び第 2 電極 7 6 は、レーザ光の光路をはさむように配置してもよい。

【0075】

第 1 凹面ミラー 7 3 及び第 2 凹面ミラー 7 4 は、入射ウィンドウ 7 1 を介して増幅チャンバ 7 に入射したレーザ光が、第 1 電極 7 5 及び第 2 電極 7 6 間を所定の光路でマルチパスするように配置してもよい。

【0076】

増幅チャンバ 7 は、CO₂レーザガスを内部に封入してもよい。

【0077】

電源 8 は、第 1 電極 7 5 及び第 2 電極 7 6 に接続されてもよい。

【0078】

ゲイン調節部 GC k は、電源 8 と制御部 CON k に信号ラインを介して接続されてもよい。

【0079】

第 1 モニタ M k 1 は、増幅チャンバ 7 に入射するレーザ光の光路上に配置されてもよい。第 2 モニタ M k 2 は、増幅チャンバ 7 から出射するレーザ光の光路上に配置されてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 0 】

第 1 モニタ M k 1 は、例えば、第 1 ビームスプリッタ B S k 1 と、第 1 エネルギー検出器 E S k 1 とを備えてよい。同様に第 2 モニタ M k 2 は、第 2 ビームスプリッタ B S k 2 と、第 2 エネルギー検出器 E S k 2 とを備えてもよい。

【 0 0 8 1 】

第 1 ビームスプリッタ B S k 1 は、増幅チャンバ 7 に入射するレーザ光の光路上に設置されてもよい。第 1 ビームスプリッタ B S k 1 は、増幅器 P A k から出力された光の一部を反射して、第 1 エネルギー検出器 E S k 1 に導くように配置してもよい。同様に、第 2 ビームスプリッタ B S k 2 は、増幅チャンバ 7 から出射するレーザ光の光路上に設置され、増幅器 P A k から出力された光の一部を反射して、第 2 エネルギー検出器 E S k 1 に導いてもよい。

10

【 0 0 8 2 】

制御部 C O N k は、信号ラインを介して、ゲイン調節部 G C k、第 1 モニタ M k 1 及び第 2 モニタ M k 2 に接続されてもよい。

【 0 0 8 3 】

5 . 2 動作

図 5 B に示す制御部 C O N k において、増幅器 P A k のゲインを制御するパラメータ値の一例として励起強度 D を利用した場合の動作を、図 3 及び図 4 に示したフローチャートにしたがって説明する。

【 0 0 8 4 】

レーザコントローラ L C は、シードレーザ光が増幅器 P A k に入射されることがないように、図 1 に示したマスターオシレータ M O からのパルスレーザ光の出力を停止させる信号を送信してもよい。また、レーザコントローラ L C は、増幅器 P A k の放電を停止させる信号を送信してもよい。

20

【 0 0 8 5 】

制御部 C O N k は、ゲイン調節部 G C k を介して、電源 8 を制御し、放電の励起強度値 D が所定の範囲 (D 1 , D 2 , . . . D i , . . . D L) で変化するように、第 1 電極 7 5 及び第 2 電極 7 6 間に印加する電位差を調整する信号を送信してもよい。

【 0 0 8 6 】

制御部 C O N k は、第 1 モニタ M k 1 及び第 2 モニタ M k 2 を用いて、励起強度値 (D 1 , D 2 , . . . D i , . . . D L) に対応する自励発振光のエネルギー (E 1 , E 2 , . . . E i , . . . E L) を求めてもよい。各自励発振光のエネルギー値 E は、第 1 モニタ M k 1 及び第 2 モニタ M k 2 で得られた値の和であってもよい。

30

【 0 0 8 7 】

制御部 C O N k は、自励発振光のエネルギーが許容値 E 0 以下となるような励起強度値 D の範囲を記憶してもよい。制御部 C O N k は、図 1 に示したマスターオシレータ M O から出力されたシードレーザ光を増幅器 P A k で増幅して出力させる際、記憶された励起強度値 D の範囲内で、増幅器 P A k を制御してもよい。

【 0 0 8 8 】

5 . 3 作用

増幅器 P A k の自励発振を抑制可能な励起強度値 D をあらかじめ計測し、その励起強度値 D の範囲内で、増幅器 P A k を制御するので、自励発振を抑制することが可能となる。

40

【 0 0 8 9 】

5 . 4 その他

本開示において、自励発振光のエネルギーを計測するために、第 1 モニタ M k 1 及び第 2 モニタ M k 2 を増幅器 P A k の入射側と出射側の光路上に配置しているが、入射側と出射側のどちらか一方に配置してもよい。

【 0 0 9 0 】

励起強度値 D を変化させるパラメータとして、第 1 電極 7 5 と第 2 電極 7 6 間に印加する電位差、または高周波のパルス幅変調 P W M (Pulse Width Modulation) におけるデュ

50

ーティ比、もしくはPWMにおけるサイクルを制御してもよい。

【0091】

CO₂レーザガスを含むスラブ型の増幅器に代えて、高速軸流型の増幅器または3軸直交型の増幅器を用いてもよい。

【0092】

6. ガス調節部を含む増幅器システム

6.1 構成

図6は、一実施形態に係るガス調節部91を含む増幅器PAの概略を示す。

【0093】

ガス調節部91を含む増幅器PAkは、図5に示したスラブ型増幅器に、例えば、ガス調節部91と、Xeガス供給部92と、ガス排気部93と、を追加した構成であってもよい。

10

【0094】

ガス供給部92は、例えば、Xeガスポンプ92a、レーザガスポンプ92b、第1バルブ92c、及び第2バルブ92dを含んでもよい。

【0095】

Xeガスを含むXeガスポンプ92aの配管は、第1バルブ92cを介して、増幅チャンバ7に接続されてもよい。レーザガスを含むレーザガスポンプ92bの配管は、第2バルブ92dを介して、増幅チャンバ7に接続されてもよい。

【0096】

Xeガスを含むXeガスポンプ92aは、100%Xeガスであってもよいし、レーザガスを含んでもよい。レーザガスは、Xeガスを含まないレーザガスポンプ92bであってもよい。例えば、CO₂ガス、N₂ガス、Heガス、COガス、O₂ガスを所定の濃度で混合したガスであってもよい。

20

【0097】

ガス排気部93は、排気バルブ93a及び排気ポンプ93bを含んでもよい。排気バルブ93aは、増幅チャンバ7と真空ポンプ94の間の配管に接続されてもよい。

【0098】

ガス調節部91は、第1バルブ92c、第2バルブ92d、及び排気バルブ93aを開閉させる信号ラインと、排気ポンプ93bを動作させる信号ラインに接続されてもよい。ガス調節部91は、増幅チャンバ7内の圧力を計測する図示しない圧力センサの信号及びゲイン調節部Gckからの出力信号が入力されてもよい。

30

【0099】

6.2 動作

図7は、制御部CONの制御フローチャートを示す図である。

【0100】

まず、ステップ21で、制御部CONkは、増幅器PAkの放電を開始させる信号を、ゲイン調節部Gckを介して電源8に送信してもよい(ST21)。

【0101】

次に、ステップ22で、制御部CON1は、ゲイン調節部Gckに、Xe濃度を設定するためのパラメータ値(C1, C2, … Ci, … CL)を不図示のメモリから読み出してもよい(ST22)。

40

【0102】

次に、ステップ23で、制御部CON1は、引数iをi = 1としてもよい(ST23)。

【0103】

次に、ステップ24で、制御部CON1は、ゲイン調節部Gckに最大ゲインを発生する励起強度値DmaxとXeガス濃度パラメータ値Ciを設定してもよい(ST24)。

【0104】

次に、ステップ25で、ゲイン調節部Gckは、最大ゲインの励起強度値Dmaxとなる

50

ように電源 8 を調節すると共に、Xe ガス濃度パラメータ値が C_i となるようにガス調節部 91 を調節する信号を送信してもよい (ST 25)。これにより、第 k 増幅器 PA_k は最大ゲインの励起強度値 k が設定された Xe ガス濃度で動作してよい。このとき、モニタ M_k が自励発振光のエネルギー E_i 値を計測してもよい。

【0105】

次に、ステップ 26 で、制御部 CON 1 は、モニタ M_k によって計測された自励発振光のエネルギー E_i を受信してもよい (ST 26)。

【0106】

次に、ステップ 27 で、制御部 CON 1 は、 $E_i \leq E_0$ であるか否かを判定してもよい (ST 27)。

10

【0107】

ステップ 27 において、 $E_i \leq E_0$ でない場合、ステップ 29 に進んでもよい。

【0108】

ステップ 27 において、 $E_i > E_0$ である場合、ステップ 28 で、Xe ガス濃度パラメータ値 C_i を自励発振抑制可能な Xe ガス濃度値としてメモリに記憶してもよい (ST 28)。

【0109】

次に、ステップ 29 で、制御部 CON 1 は、 $i = i + 1$ と設定してもよい (ST 29)。

。

【0110】

20

次に、ステップ 30 で、制御部 CON 1 は、 $i = L$ であるか否かを判定してもよい (ST 30)。

【0111】

ステップ 30 において、 $i = L$ でない場合、ステップ 24 に戻ってもよい。

【0112】

ステップ 30 において、 $i = L$ である場合、ステップ 31 で、メモリに記憶された Xe 濃度の最大値 C_{max} を求めてもよい (ST 31)。

【0113】

次に、ステップ 32 で、増幅チャンバ 7 内のレーザガス中の Xe 濃度が C_{max} となるように Xe 濃度を調節してもよい (ST 32)。その後、制御を終了してもよい。

30

【0114】

以上の動作は、まず、レーザコントローラ LC は、マスターオシレータ MO へパルスレーザ光の出力を停止させる信号を送信してもよい。次に、レーザコントローラ LC は、制御部 CON k を介して、すべての増幅器 PA_k のゲインが 0 となるような信号を送信し、放電を停止させてもよい。その後、レーザコントローラ LC は、各制御部 CON k に自励発振光のエネルギーを計測させるための信号を送信してもよい。

【0115】

制御部 CON 1 は、ゲイン調節部 GC 1 を介して電源 8 を制御し、ゲインが最大となる励起強度 D_{max} を設定し、所定の Xe 濃度範囲 ($C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_L$) において、レーザガス中の Xe 濃度 C を変化させてもよい。

40

【0116】

制御部 CON 1 は、Xe 濃度 C の値に応じて、自励発振光のエネルギー ($E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_L$) を、モニタを用いて検出してもよい。制御部 CON 1 は、自励発振光のエネルギーの許容値 E_0 以下の最大の Xe 濃度 C_{max} の値を記憶してもよい。

【0117】

マスターオシレータ MO から出力されたシードレーザ光を増幅器 PA_k で増幅して出力する際、制御部 CON k は、増幅器 PA_k の自励発振を抑制可能な、記憶された Xe 濃度 C_{max} となるように、増幅チャンバ 7 内の Xe ガス濃度を調節してもよい。

【0118】

次に、ガス調節部 91 が Xe ガス濃度を調節する動作について説明する。

50

【 0 1 1 9 】

ガス調節部 9 1 は、最初に第 1 バルブ 9 2 a 及び第 2 バルブ 9 2 b を閉めた状態で、排気ポンプ 9 3 b を動作させた後、排気バルブ 9 3 a を開けるよう、第 1 バルブ 9 2 a、第 2 バルブ 9 2 b、排気ポンプ 9 3 b、排気バルブ 9 3 a に各々信号を送信してもよい。これにより、増幅器 P A k 内を排気してもよい。そして、図示しない圧力センサの検出値が所定の低圧に到達した場合、ガス調節部 9 1 は、排気バルブ 9 3 a を閉じる信号を送信してもよい。

【 0 1 2 0 】

そして、ガス調節部 9 1 は、第 2 バルブ 9 2 d を開け、レーザガスを供給し、全圧 T p となったら、第 2 バルブ 9 2 d を閉じる信号を送信してもよい。この状態で、放電させれば、X e 濃度 0 の際の自励発振光のエネルギーを計測することが可能となる。

10

【 0 1 2 1 】

次に、排気バルブ 9 3 a を開けて、所定の圧力 T x e となったら、ガス調節部 9 1 は、排気バルブ 9 3 a を閉じる信号を送信してもよい。そして、ガス調節部 9 1 は、第 1 バルブ 9 2 c を開け、X e を含むガスを供給し、全圧 T p となったら、第 1 バルブ 9 2 c を閉じる信号を送信してもよい。

【 0 1 2 2 】

この状態で、放電させれば、所定の X e 濃度における自励発振光のエネルギーを計測することが可能となる。

【 0 1 2 3 】

ガス調節部 9 1 は、以上のような動作を異なる T x e に対して繰り返してもよい。これにより、X e 濃度を C 1、C 2・・・C i、・・・C L まで変化させて、それぞれ対応する自励発振光のエネルギーを計測することが可能となる。

20

【 0 1 2 4 】

引き続き異なる X e 濃度で自励発振光のエネルギーを計測する場合、増幅器 P A k 内を所定の低圧まで排気して上記処理を行ってもよいし、一部を排気して上記処理をおこなってもよい。

【 0 1 2 5 】

6 . 3 作用

増幅器 P A k の自励発振を抑制可能なゲイン調節部 G C k の X e 濃度 C max をあらかじめ計測し、その X e 濃度 C max で、増幅器 P A k を動作させるので、自励発振を抑制することが可能となる。

30

【 0 1 2 6 】

6 . 4 その他

本開示において、増幅器 P A k 内の X e ガスの濃度を調節する例を示したが、C O₂ ガス濃度、N₂ ガス濃度、及び増幅チャンバ 7 内の全圧力のうち、少なくとも 1 つを調節してもよい。

【 0 1 2 7 】

C O₂ レーザガスを含むスラブ型の増幅器に代えて、高速軸流型の増幅器または 3 軸直交型の増幅器を用いてもよい。

40

【 0 1 2 8 】

また、レーザガスは、X e ガスを含まなくてもよい。例えば、C O₂ ガス、N₂ ガス、及び増幅チャンバ 7 内の全圧力のうち、少なくとも 1 つを調節して、増幅器 P A k のゲインを調節してもよい。

【 0 1 2 9 】

図 8 は、X e 濃度と自励発振光のエネルギーの関係を示す。

【 0 1 3 0 】

例えば、自励発振光のエネルギー許容値を E 0 とした場合、自励発振光のエネルギーと X e 濃度の関係曲線は、X e 濃度の増加にともなって E 0 を超えてもよい。このとき、関係曲線が E 0 を越える交点の X e 濃度を C max としてもよい。発明者らはスラブ型増幅器で試

50

験した結果、実用的な E_0 を超えない X_e 濃度は、1% 以下であるという知見を得た。

【0131】

さらに好ましい場合として、発明者らは、エネルギー検出器の検出限界以下の自励発振光の許容エネルギー $E_0 = 0$ (W) における X_e 濃度は、0.72% であることを確認した。

【0132】

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。

【0133】

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

10

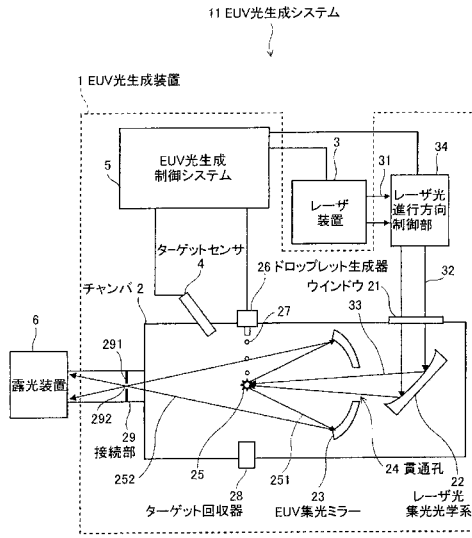
【符号の説明】

【0134】

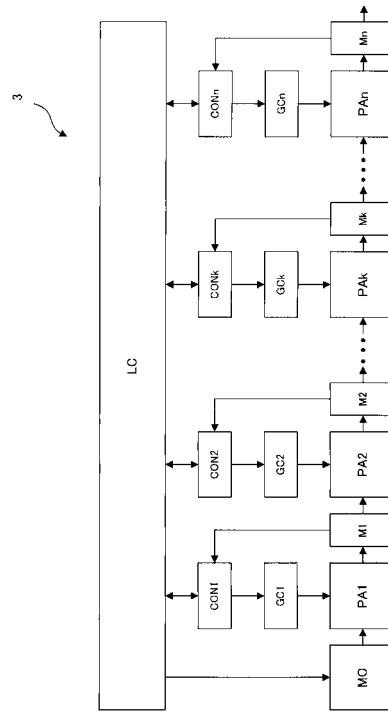
1 ... E U V 光生成装置、2 ... チャンバ、3 ... レーザ装置、4 ... ターゲットセンサ、5 ... E U V 光生成制御システム、6 ... 露光装置、11 ... E U V 光生成システム、21 ... ウィンドウ、22 ... レーザ光集光ミラー、23 ... E U V 集光ミラー、24 ... 貫通孔、25 ... プラズマ生成領域、251 ... 放射光、252 ... E U V 光、26 ... ドロップレット生成器、27 ... ターゲット、28 ... ターゲット回収部、29 ... 接続部、291 ... 壁、292 ... 中間集光点、31, 32, 33 ... パルスレーザー光、34 ... レーザ光進行方向制御装置、7 ... 増幅チャンバ、71 ... 入射ウィンドウ、72 ... 出射ウィンドウ、73 ... 第1凹面ミラー、74 ... 第2凹面ミラー、75 ... 第1電極、76 ... 第2電極、8 ... 電源、LC ... レーザコントローラ、MO ... マスターオシレータ、PA ... 増幅器、GC ... ゲイン調節部、CON ... 制御部、M ... モニタ

20

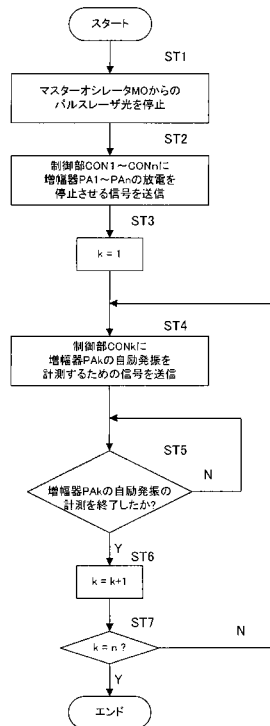
【図1】



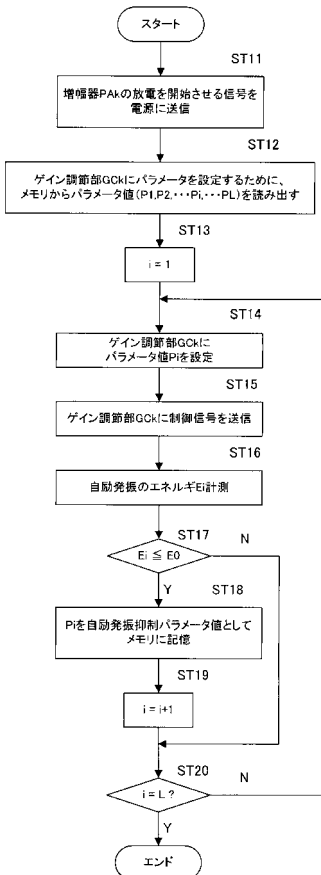
【図2】



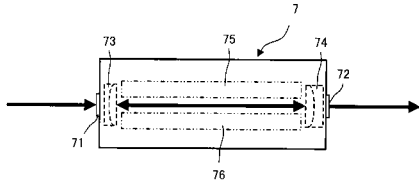
【図3】



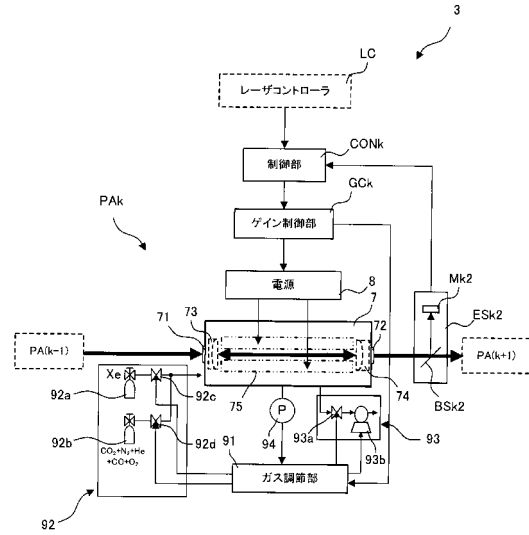
【図4】



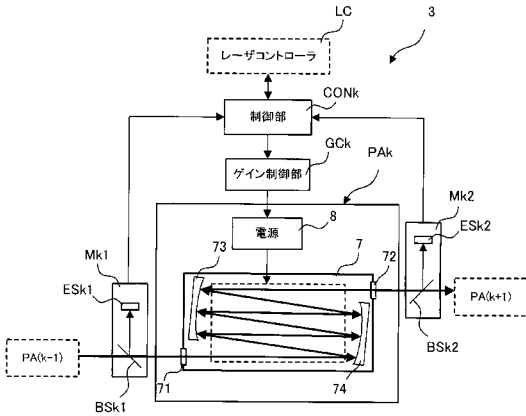
【図5A】



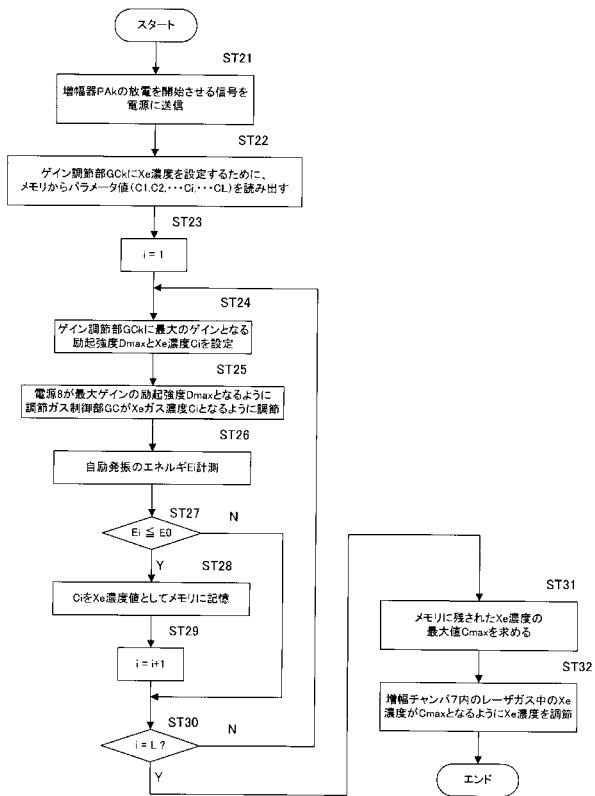
【図6】



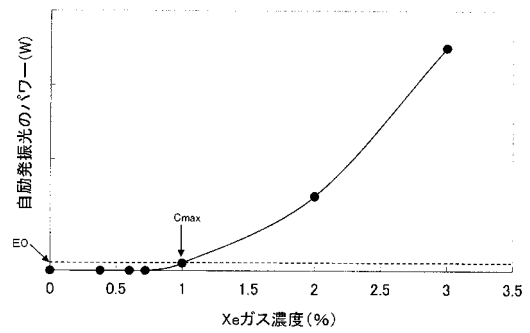
【図5B】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 菅沼 崇

栃木県小山市横倉新田 4 0 0 ギガフォトン株式会社内

(72)発明者 若林 理

栃木県小山市横倉新田 4 0 0 ギガフォトン株式会社内

Fターム(参考) 2H097 CA15 LA10

4C092 AA06 AB10 AC09 BD20

5F146 GA21 GA28 GC12

5F172 AD05 DD03 EE22 NP03 NQ03 NQ04 NQ05 ZZ14