

(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
2024年9月12日(12.09.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/185147 A1

(51) 国際特許分類:

H01S 3/097 (2006.01) H01S 3/223 (2006.01)
H01S 3/038 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/009158

(22) 国際出願日: 2023年3月9日(09.03.2023)

(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 4 0 0 番地 Tochigi (JP).

(72) 発明者: 永井 一喜(NAGAI, Kazuki); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田 4 0 0 番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 植山 健史(UEYAMA, Takeshi); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田 4 0 0 番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人太陽国際特許事務所(TAIYO, NAKAJIMA & KATO); 〒1600022 東京都新宿区新宿 4 丁目 3 番 1 7 号 Tokyo (JP).

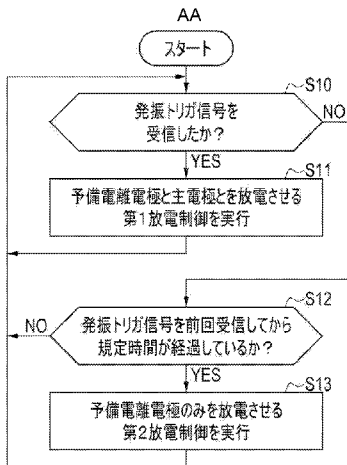
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS,

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

(54) 発明の名称: ガスレーザ装置、及び電子デバイスの製造方法

[図4]



S10 Has oscillation trigger signal been received?
S11 Execute first discharging control for discharging preliminary ionization electrode and main electrode
S12 Has defined time elapsed since previous reception of oscillation trigger signal?
S13 Execute second discharging control for exclusively discharging preliminary ionization electrode
AA Start

(57) Abstract: A gas laser apparatus according to one aspect of the present disclosure comprises: a laser chamber in which laser gas including fluorine gas is sealed; a main electrode disposed in the laser chamber; a preliminary ionization electrode disposed in the laser chamber; a power feeder that feeds power to the main electrode and the preliminary ionization electrode; and a processor that executes, by controlling the power feeder, first discharging control for discharging the preliminary ionization electrode and the main electrode, and second discharging control for exclusively discharging the preliminary ionization electrode without discharging the main electrode.

(57) 要約: 本開示の1つの観点に係るガスレーザ装置は、フッ素ガスを含むレーザガスが封入されたレーザチャンバと、レーザチャンバの内部に配置された主電極と、レーザチャンバの内部に配置された予備電離電極と、主電極と予備電離電極に電力を供給する電力供給装置と、電力供給装置を制御して、予備電離電極と主電極とを放電させる第1放電制御と、主電極を放電させずに予備電離電極のみを放電させる第2放電制御とを実行するプロセッサと、を備える。

[続葉有]

MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称： ガスレーザ装置、及び電子デバイスの製造方法

技術分野

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

背景技術

[0002] 近年、半導体露光装置においては、半導体集積回路の微細化及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。例えば、露光用のガスレーザ装置としては、波長約248nmのレーザ光を出力するKrFエキシマレーザ装置、ならびに波長約193nm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] KrFエキシマレーザ装置及びArFエキシマレーザ装置の自然発振光のスペクトル線幅は、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、解像力が低下し得る。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（エタロンやグレーティング等）を含む狭帯域化モジュール（Line Narrowing Module：LNM）が備えられる場合がある。以下では、スペクトル線幅が狭帯域化されるガスレーザ装置を狭帯域化ガスレーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平11-135858号公報

概要

[0005] 本開示の1つの観点に係るガスレーザ装置は、フッ素ガスを含むレーザガスが封入されたレーザチャンバと、レーザチャンバの内部に配置された主電

極と、レーザチャンバの内部に配置された予備電離電極と、主電極と予備電離電極に電力を供給する電力供給装置と、電力供給装置を制御して、予備電離電極と主電極とを放電させる第1放電制御と、主電極を放電させずに予備電離電極のみを放電させる第2放電制御とを実行するプロセッサと、を備える。

[0006] 本開示の1つの観点に係る電子デバイスの製造方法は、電子デバイスの製造方法であって、フッ素ガスを含むレーザガスが封入されたレーザチャンバと、レーザチャンバの内部に配置された主電極と、レーザチャンバの内部に配置された予備電離電極と、主電極と予備電離電極に電力を供給する電力供給装置と、電力供給装置を制御して、予備電離電極と主電極とを放電させる第1放電制御と、主電極を放電させずに予備電離電極のみを放電させる第2放電制御とを実行するプロセッサと、を備えるガスレーザ装置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、電子デバイスを製造するために、露光装置内で感光基板にレーザ光を露光することを含む。

図面の簡単な説明

[0007] 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、比較例に係るガスレーザ装置の構成を概略的に示す側面図である。

[図2]図2は、比較例に係るガスレーザ装置の構成を概略的に示す断面図である。

[図3]図3は、比較例に係る電力供給装置の構成を概略的に示す回路図である。

[図4]図4は、第1実施形態に係るプロセッサが実行する処理の流れを示すフローチャートである。

[図5]図5は、第2実施形態に係る電力供給装置の構成を概略的に示す回路図である。

[図6]図6は、第2実施形態に係る電力供給装置に印加される各種電圧のシミ

ュレーション結果を示すグラフである。

[図7]図7は、第3実施形態に係る電力供給装置の構成を概略的に示す回路図である。

[図8]図8は、第3実施形態に係る電力供給装置に印加される各種電圧のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図9]図9は、第4実施形態に係る電力供給装置の構成を概略的に示す回路図である。

[図10]図10は、第4実施形態に係る電力供給装置に印加される各種電圧のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図11]図11は、第5実施形態に係る電力供給装置の構成を概略的に示す回路図である。

[図12]図12は、露光装置の構成例を概略的に示す図である。

実施形態

[0008] <内容>

1. 比較例

1. 1 ガスレーザ装置

1. 1. 1 構成

1. 1. 2 動作

1. 2 電力供給装置

1. 2. 1 構成

1. 2. 2 動作

1. 3 課題

2. 第1実施形態

2. 1 構成

2. 2 動作

2. 3 効果

3. 第2実施形態

3. 1 構成

3. 2 動作

3. 3 効果

4. 第3実施形態

4. 1 構成

4. 2 動作

4. 3 効果

5. 第4実施形態

5. 1 構成

5. 2 動作

5. 3 効果

6. 第5実施形態

6. 1 構成

6. 2 動作

6. 3 効果

7. 変形例

8. 電子デバイスの製造方法

[0009] 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、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。

[0010] 1. 比較例

まず、本開示の比較例について説明する。本開示の比較例とは、出願人のみによって知られていると出願人が認識している形態であって、出願人が自認している公知例ではない。

[0011] 1. 1 ガスレーザ装置

1. 1. 1 構成

図1及び図2を用いて比較例に係るガスレーザ装置2の構成を説明する。

図 1 は、ガスレーザ装置 2 の構成を概略的に示す。図 2 は、図 1 に示されるガスレーザ装置 2 を Z 方向から見た断面図である。ガスレーザ装置 2 は、レーザガスを放電により励起する放電励起式のガスレーザ装置であり、例えば、エキシマレーザ装置である。

[0012] 図 1 において、ガスレーザ装置 2 から出力されるパルスレーザ光 PL の進行方向を、Z 方向とする。後述する放電方向を Y 方向とする。また、Z 方向と Y 方向とに直交する方向を X 方向とする。なお、パルスレーザ光 PL は、本開示の技術に係る「レーザ光」の一例である。

[0013] 図 1 において、ガスレーザ装置 2 は、レーザチャンバ 10 と、充電器 11 と、パルスパワーモジュール (PPM) 12 と、パルスエネルギー計測部 13 と、プロセッサ 14 と、圧力センサ 17 と、レーザ共振器と、を含む。レーザ共振器は、狭帯域化モジュール 15 と出力結合ミラー (OC) 16 とで構成される。なお、充電器 11 は、本開示の技術に係る「第 1 電源」の一例である。また、PPM 12 は、本開示の技術に係る「パワー発生回路」の一例である。

[0014] レーザチャンバ 10 は、例えば、表面にニッケルのメッキが施されたアルミ金属で形成された金属容器である。図 1 及び図 2 に示すように、レーザチャンバ 10 の内部には、主電極 20 と、グランドプレート 21 と、配線 22 と、ファン 23 と、熱交換器 24 と、予備電離電極 19 と、電気絶縁ガイド 28 と、金属ダンパ 29 と、が設けられている。予備電離電極 19 は、予備電離外電極 19a と、誘電体パイプ 19b と、予備電離内電極 19c と、が含まれる。

[0015] レーザチャンバ 10 内には、レーザ媒質として、フッ素を含むレーザガスが封入されている。レーザガスは、例えば、レアガスとしてのアルゴン、クリプトン、キセノン等を含み、バッファガスとしてのネオン、ヘリウム等を含み、ハロゲンガスとしてのフッ素、塩素等を含む。

[0016] また、レーザチャンバ 10 には開口部が形成されている。レーザチャンバ 10 には、この開口部を塞ぐように、不図示の O リングを介して、フィード

スルー 25 が埋め込まれた電気絶縁プレート 26 が取り付けられている。電気絶縁プレート 26 上には、PPM12 が配置されている。レーザチャンバ 10 は、グラウンドに接地されている。

[0017] PPM12 は、後述する充電コンデンサ C_0 を含み、フィードスルー 25 を介して主電極 20 に接続されている。PPM12 は、主電極 20 を放電させるためのスイッチ SW_1 を含んでいる。充電器 11 は、PPM12 の充電コンデンサ C_0 に接続されている。以下、主電極 20 で生じる放電を主放電という。なお、スイッチ SW_1 は、本開示の技術に係る「第 1 スイッチ」の一例である。

[0018] 主電極 20 は、カソード電極 20a とアノード電極 20b とからなる。カソード電極 20a とアノード電極 20b は、レーザチャンバ 10 内において互いの放電面が対向するように配置されている。カソード電極 20a の放電面とアノード電極 20b の放電面との間の空間を、放電空間 27 という。カソード電極 20a は、放電面とは反対側の面が電気絶縁プレート 26 により支持されて、フィードスルー 25 に接続されている。アノード電極 20b は、放電面とは反対側の面がグラウンドプレート 21 により支持されている。

[0019] グラウンドプレート 21 は、配線 22 を介してレーザチャンバ 10 に接続されている。レーザチャンバ 10 は、グラウンドに接地されている。したがって、グラウンドプレート 21 は、配線 22 を介してグラウンドに接地されている。グラウンドプレート 21 の Z 方向に関する端部は、レーザチャンバ 10 に固定されている。

[0020] ファン 23 は、レーザガスをレーザチャンバ 10 内で循環させるためのクロスフローファンであって、グラウンドプレート 21 に対して放電空間 27 の反対側に配置されている。レーザチャンバ 10 には、ファン 23 を回転駆動するモータ 23a が接続されている。

[0021] ファン 23 から吹き出したレーザガスは、放電空間 27 に流入する。放電空間 27 に流入するレーザガスの流れ方向は、X 方向にほぼ平行である。放電空間 27 から流出したレーザガスは、熱交換器 24 を介してファン 23 に

吸い込まれ得る。熱交換器 24 は、熱交換器 24 の内部に供給された冷媒とレーザガスとの間で熱交換を行う。

[0022] 電気絶縁ガイド 28 は、カソード電極 20 a を挟むように、電気絶縁プレート 26 の放電空間 27 側の面に配置されている。電気絶縁ガイド 28 は、ファン 23 からのレーザガスがカソード電極 20 a とアノード電極 20 b との間に効率よく流れるように、レーザガスの流れをガイドする形状に形成されている。電気絶縁ガイド 28 及び電気絶縁プレート 26 は、例えば、フッ素ガスとの反応性が低いアルミナ (Al_2O_3) 等のセラミックで形成されている。

[0023] 金属ダンパ 29 は、アノード電極 20 b を挟むように、グランドプレート 21 の放電空間 27 側の面に配置されている。金属ダンパ 29 は、例えば、フッ素ガスと反応性が低い多孔質のニッケル金属で形成されている。

[0024] レーザチャンバ 10 には、レーザガス供給装置 18 a とレーザガス排気装置 18 b とが接続されている。レーザガス供給装置 18 a は、バルブと流量制御弁を含み、レーザガスを収容したガスボンベと接続されている。レーザガス排気装置 18 b は、バルブと排気ポンプとを含む。

[0025] レーザチャンバ 10 の端部には、レーザチャンバ 10 内で発生した光を外部に出射するためのウィンドウ 10 a, 10 b が設けられている。レーザチャンバ 10 は、放電空間 27 及びウィンドウ 10 a, 10 b を光共振器の光路が通過するように配置されている。

[0026] 狭帯域化モジュール 15 は、プリズム 15 a と、グレーティング 15 b とを含んでいる。プリズム 15 a は、レーザチャンバ 10 からウィンドウ 10 a を介して出射された光を、ビーム幅を拡大してグレーティング 15 b 側へ透過させる。

[0027] グレーティング 15 b は、入射角度と回折角度とが同じ角度となるリトロ配置に配置されている。グレーティング 15 b は、回折角度に応じて特定の波長付近の光を選択的に取り出す波長選択素子である。グレーティング 15 b からプリズム 15 a を介してレーザチャンバ 10 に戻る光のスペクトル

幅は、狭帯域化される。

[0028] 出力結合ミラー 16 は、ウィンドウ 10b を介してレーザチャンバ 10 から出射された光の一部を透過させ、他の一部を反射させてレーザチャンバ 10 に戻す。出力結合ミラー 16 の表面には、部分反射膜がコーティングされている。

[0029] レーザチャンバ 10 から出射された光は、狭帯域化モジュール 15 と出力結合ミラー 16 との間で往復し、放電空間 27 を通過する度に増幅される。増幅された光の一部が、出力結合ミラー 16 を介して、パルスレーザ光 PL として出力される。

[0030] パルスエネルギー計測部 13 は、出力結合ミラー 16 を介して出力されたパルスレーザ光 PL の光路に配置されている。パルスエネルギー計測部 13 は、ビームスプリッタ 13a と、集光光学系 13b と、光センサ 13c と、を含む。

[0031] ビームスプリッタ 13a は、パルスレーザ光 PL を高い透過率で透過させるとともに、パルスレーザ光 PL の一部を集光光学系 13b に向けて反射する。集光光学系 13b は、ビームスプリッタ 13a によって反射された光を、光センサ 13c の受光面に集光する。光センサ 13c は、受光面に集光された光のパルスエネルギーを計測して、計測値をプロセッサ 14 に出力する。

[0032] 圧力センサ 17 は、レーザチャンバ 10 内のガス圧を検出して、検出値をプロセッサ 14 に出力する。プロセッサ 14 は、ガス圧の検出値及び充電器 11 の充電電圧 V_{hv} に基づいて、レーザチャンバ 10 内におけるレーザガスのガス圧を決定する。

[0033] 充電器 11 は、PPM 12 に含まれる充電コンデンサ C_0 に充電電圧 V_{hv} を供給する高電圧電源である。PPM 12 のスイッチ SW_1 は、プロセッサ 14 によって制御される。スイッチ SW_1 がオフからオンになると、PPM 12 は、充電コンデンサ C_0 に保持されていた電気エネルギーから高電圧パルスを生じ生成して主電極 20 に印加する。詳しくは図 3 を用いて後述するが、充電器 11 と PPM 12 とは、予備電離電極 19 と主電極 20 とに電力を供給する電

力供給装置 30 に含まれる。

[0034] プロセッサ 14 は、露光装置 100 に設けられた露光装置コントローラ 110 との間で各種信号を送受信する処理装置である。例えば、プロセッサ 14 には、露光装置 100 に出力されるパルスレーザ光 PL の目標パルスエネルギー E_t 、発振トリガ信号等が、露光装置コントローラ 110 から送信される。

[0035] プロセッサ 14 は、露光装置コントローラ 110 から送信された各種信号、パルスエネルギーの計測値、ガス圧の検出値等に基づいて、ガスレーザ装置 2 の各構成要素の動作を統括的に制御する。

[0036] プロセッサ 14 は、ガスレーザ装置 2 のコントローラとして機能する。例えば、プロセッサ 14 は、制御プログラムが記憶された記憶装置と、制御プログラムを実行する CPU (Central Processing Unit) とを含む処理装置である。プロセッサ 14 は、本開示に含まれる各種処理を実行するために特別に構成又はプログラムされている。記憶装置は、非一時的にコンピュータで読み取り可能な記憶媒体であり、例えば、主記憶装置であるメモリ及び補助記憶装置であるストレージを含む。なお、記憶装置は、半導体メモリ、ハードディスクドライブ (HDD) 装置、若しくはソリッドステートドライブ (SSD) 装置、又はこれらの複数の組み合わせであってもよい。

[0037] 1. 1. 2 動作

次に、比較例に係るガスレーザ装置 2 の動作を説明する。まず、プロセッサ 14 は、レーザチャンバ 10 内にレーザガスを供給させるようレーザガス供給装置 18a を制御し、モータ 23a を駆動してファン 23 を回転させる。これにより、レーザチャンバ 10 内のレーザガスが循環する。

[0038] プロセッサ 14 は、露光装置コントローラ 110 から送信される目標パルスエネルギー E_t 及び発振トリガ信号を受信する。なお、発振トリガ信号は、ガスレーザ装置 2 に 1 パルス分のパルスレーザ光 PL を出力させることを指示する信号である。

[0039] プロセッサ 14 は、目標パルスエネルギー E_t に応じた充電電圧 V_{hv} を充

電器 11 に設定する。プロセッサ 14 は、発振トリガ信号に同期して PPM 12 のスイッチ SW_1 を動作させる。

[0040] PPM 12 のスイッチ SW_1 がオフからオンになると、予備電離電極 19 の予備電離内電極 19c と予備電離外電極 19a との間、及び、カソード電極 20a とアノード電極 20b との間に電圧が印加される。これにより、予備電離電極 19 でコロナ放電が発生し、UV (Ultraviolet) 光が生成される。放電空間 27 のレーザガスに UV 光が照射されることにより、レーザガスが予備電離される。

[0041] その後、カソード電極 20a とアノード電極 20b との間の電圧が絶縁破壊電圧に達すると、放電空間 27 には、主放電が発生する。主放電の放電方向を電子が流れる方向とすると、放電方向は、カソード電極 20a からアノード電極 20b に向かう方向である。主放電が発生すると、放電空間 27 のレーザガスは励起されて光を放出する。

[0042] 金属ダンパ 29 により、主放電によって生成される音響波が反射されて再び放電空間 27 に戻ることを抑制される。また、レーザガスがレーザチャンバ 10 内を循環することによって、放電空間 27 において生成される放電生成物が下流側に移動する。

[0043] レーザガスから放出された光が、狭帯域化モジュール 15 及び出力結合ミラー 16 で反射されてレーザ共振器内を往復することにより、レーザ発振する。狭帯域化モジュール 15 で狭帯域化された光が、パルスレーザ光 PL として出力結合ミラー 16 から出力される。

[0044] 出力結合ミラー 16 から出力されたパルスレーザ光 PL の一部は、パルスエネルギー計測部 13 に入射する。パルスエネルギー計測部 13 は、入射したパルスレーザ光 PL のパルスエネルギー E を計測して、計測値をプロセッサ 14 に出力する。

[0045] プロセッサ 14 は、パルスエネルギー E の計測値と目標パルスエネルギー E_t との差 ΔE を計算する。プロセッサ 14 は、差 ΔE に基づき、パルスエネルギー E の計測値が目標パルスエネルギー E_t となるように、充電電圧 V_{hv} をフ

ィードバック制御する。

[0046] プロセッサ 14 は、充電電圧 V_{hv} が許容範囲の最大値より高くなった場合には、レーザガス供給装置 18a を制御して、所定の圧力になるまでレーザガスをレーザチャンバ 10 内に供給する。また、プロセッサ 14 は、充電電圧 V_{hv} が許容範囲の最小値より低くなった場合には、レーザガス排気装置 18a を制御して、所定の圧力になるまでレーザガスをレーザチャンバ 10 内から排気する。

[0047] なお、ガスレーザ装置 2 は、必ずしも狭帯域化レーザ装置に限られず、自然発振光を出力するレーザ装置であってもよい。例えば、狭帯域化モジュール 15 の代わりに、高反射ミラーを配置してもよい。

[0048] また、図 1 及び図 2 では、ガスレーザ装置 2 としてエキシマレーザ装置を例示しているが、ガスレーザ装置 2 は、フッ素ガスとバッファガスとを含むレーザガスを用いる F2 レーザ装置等であってもよい。

[0049] 1. 2 電力供給装置

1. 2. 1 構成

図 3 は、比較例に係る電力供給装置 30 の構成を概略的に示す。電力供給装置 30 は、充電器 11 と、PPM12 と、分圧回路 31 と、を含む。電力供給装置 30 は、プロセッサ 14 からの制御に基づいて、予備電離電極 19 と主電極 20 とに電力を供給することにより、予備電離電極 19 と主電極 20 とを放電させる。

[0050] PPM12 の出力端子に、分圧回路 31 と主電極 20 とが並列に接続されている。分圧回路 31 には、予備電離電極 19 が接続されている。

[0051] PPM12 は、上述したスイッチ SW_1 と、トランス TC_1 と、磁気スイッチ MS_1 , MS_2 , MS_3 と、充電コンデンサ C_0 と、コンデンサ C_1 , C_2 , C_3 と、を含む。充電コンデンサ C_0 は、充電器 11 と接続されている。充電器 11 は、直流充電器である。スイッチ SW_1 は、例えば IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 等の半導体スイッチング素子である。スイッチ SW_1 は、プロセッサ 14 からの制御信号に基づいてオン／オフ動作する。なお

、トランス TC_1 は、本開示の技術に係る「第1トランス」の一例である。

[0052] 磁気スイッチ MS_1 、 MS_2 、 MS_3 とコンデンサ C_1 、 C_2 とは、トランス TC_1 からコンデンサ C_3 に流れる電流のパルス幅を圧縮する磁気パルス圧縮回路を構成している。なお、コンデンサ C_3 は、本開示の技術に係る「ピーキングコンデンサ」の一例である。

[0053] スイッチ SW_1 は、充電コンデンサ C_0 とトランス TC_1 の一次側との間に設けられている。磁気スイッチ MS_1 は、トランス TC_1 の二次側とコンデンサ C_1 との間に設けられている。磁気スイッチ MS_2 は、コンデンサ C_1 とコンデンサ C_2 との間に設けられている。磁気スイッチ MS_3 は、コンデンサ C_2 とコンデンサ C_3 との間に設けられている。

[0054] トランス TC_1 は、一次側と二次側が電氣的に絶縁されている。また、トランス TC_1 は、一次側と二次側の巻き線の方法が逆方向、すなわち加極性である。なお、一次側と二次側の巻き線の方法が同方向であることを減極性という。

[0055] 分圧回路31は、インダクタンス L_0 、コンデンサ C_{11} 、及びコンデンサ C_{12} を直列に接続することにより構成されており、予備電離電極19への過大電圧印加による絶縁破壊を防止する。コンデンサ C_{11} とコンデンサ C_{12} との接続点には、予備電離電極19の予備電離内電極19cが接続されている。コンデンサ C_{12} は、予備電離電極19に電圧を印加するための予備電離用コンデンサとして機能する。

[0056] 1. 2. 2 動作

次に、電力供給装置30の動作を説明する。まず、充電器11は、プロセッサ14により、充電電圧 V_{hv} が設定される。また、充電器11は、設定された充電電圧 V_{hv} に基づいて充電コンデンサ C_0 を充電する。

[0057] PPM12においては、プロセッサ14からスイッチ SW_1 に制御信号が送信されると、スイッチ SW_1 が閉じ、充電コンデンサ C_0 よりトランス TC_1 の一次側に電流が流れる。

[0058] トランス TC_1 においては、トランス TC_1 の一次側に電流が流れることで

、電磁誘導により、トランス TC_1 の二次側において逆方向に電流が流れる。トランス TC_1 の二次側において電流が流れることにより生じた起電力により、磁気スイッチ MS_1 が閉じ、トランス TC_1 の二次側からコンデンサ C_1 に電流が流れ、コンデンサ C_1 が充電される。

[0059] コンデンサ C_1 が充電されることにより、磁気スイッチ MS_2 が閉じ、コンデンサ C_1 からコンデンサ C_2 に電流が流れて、コンデンサ C_2 が充電される。この際、コンデンサ C_1 を充電する際の電流のパルス幅よりも短いパルス幅で、コンデンサ C_2 が充電される。

[0060] コンデンサ C_2 が充電されることにより、磁気スイッチ MS_3 が閉じ、コンデンサ C_2 からコンデンサ C_3 に電流が流れて、コンデンサ C_3 が充電される。この際、コンデンサ C_2 を充電する際の電流のパルス幅よりも短いパルス幅で、コンデンサ C_3 が充電される。

[0061] このように、コンデンサ C_1 、コンデンサ C_2 、及びコンデンサ C_3 に順に電流が流れることにより電流のパルス幅が圧縮され、コンデンサ C_3 に電荷が充電される。

[0062] この後、コンデンサ C_3 から分圧回路31に電圧が印加される。分圧回路31は、印加された電圧を分圧する。分圧された電圧がコンデンサ C_{12} から予備電離電極19に印加されることによりコロナ放電が発生する。そして、コンデンサ C_3 から主電極20に電圧が印加されることにより主放電が発生する。

[0063] 1. 3 課題

比較例に係るガスレーザ装置2では、予備電離電極19でコロナ放電が生じることに連動して主電極20で主放電が生じ、この主放電がレーザガスを励起することによりパルスレーザ光PLが発生する。

[0064] レーザガスには、レーザチャンバ10の内壁やOリング等に付着した炭素に由来する炭素成分が含まれる。主放電によりレーザガスに含まれる炭素成分がフッ素と反応することでフッ化炭素(CF_4)が生成される。このフッ化炭素は、主放電で発生するパルスレーザ光PLや主放電により分解されるこ

とである程度除去されると考えられるが、除去される量よりも生成される量の方が多いため、主放電が繰り返し行われることによりレーザガス中のフッ化炭素の濃度が上昇する。フッ化炭素は、パルスレーザ光PLを吸収する性質を有するので、主放電が繰り返し行われることにより、ガスレーザ装置2から出力されるパルスレーザ光PLのパルスエネルギーが低下する。

[0065] 2. 第1実施形態

2. 1 構成

本開示の第1実施形態に係るガスレーザ装置2は、プロセッサ14が実行する処理が異なること以外は、比較例に係るガスレーザ装置2と同様の構成である。また、本実施形態では、電力供給装置30の構成は、比較例と同様である。

[0066] 本実施形態では、プロセッサ14は、充電器11の充電電圧を制御することにより、予備電離電極19と主電極20とを放電させる第1放電制御と、予備電離電極19のみを放電させる第2放電制御とを実行する。本実施形態では、プロセッサ14は、充電電圧を変更することにより第1放電制御と第2放電制御とを実行する。

[0067] プロセッサ14は、第1放電制御として、充電器11に第1充電電圧 V_{hv1} を設定し、充電コンデンサ C_0 が充電された後、スイッチ SW_1 をオンとする処理を行う。第1充電電圧 V_{hv1} は、比較例と同様に、目標パルスエネルギー E_t に応じた電圧であって、放電空間27に絶縁破壊が生じる絶縁破壊電圧以上の電圧である。例えば、絶縁破壊電圧は、10kVである。すなわち、第1充電電圧 V_{hv1} は、10kV以上である。充電器11に第1充電電圧 V_{hv1} を設定した場合には、予備電離電極19と主電極20とが放電する。

[0068] プロセッサ14は、第2放電制御として、充電器11に第1充電電圧 V_{hv1} より低い第2充電電圧 V_{hv2} を設定し、充電コンデンサ C_0 が充電された後、スイッチ SW_1 をオンとする処理を行う。第2充電電圧 V_{hv2} は、絶縁破壊電圧未満の電圧である。例えば、第2充電電圧 V_{hv2} は、4kV以

上 9 k V 以下の範囲内である。充電器 1 1 に第 2 充電電圧 V_{hv2} を設定した場合には、予備電離電極 1 9 のみが放電する。

[0069] 2. 2 動作

次に、第 1 実施形態に係るガスレーザ装置 2 の動作を説明する。図 4 は、第 1 実施形態に係るプロセッサ 1 4 が実行する処理の流れを示す。

[0070] まず、ステップ S 1 0 で、プロセッサ 1 4 は、露光装置コントローラ 1 1 0 から送信される発振トリガ信号を受信したか否かを判定する。プロセッサ 1 4 は、発振トリガ信号を受信したと判定した場合には（ステップ S 1 0 : Y E S）、処理をステップ S 1 1 に移行させる。

[0071] ステップ S 1 1 で、プロセッサ 1 4 は、第 1 充電電圧 V_{hv1} を充電器 1 1 に設定し、充電コンデンサ C_0 が充電された後、スイッチ SW_1 をオンとすることにより、予備電離電極 1 9 と主電極 2 0 とを放電させる。これにより、コロナ放電と主放電とが発生する。

[0072] ステップ S 1 1 の後、プロセッサ 1 4 は、処理をステップ S 1 0 に戻す。プロセッサ 1 4 は、ステップ S 1 0 で判定が否定されるまでの間、ステップ S 1 0 及びステップ S 1 1 を繰り返し実行する。

[0073] プロセッサ 1 4 は、発振トリガ信号を受信しなかったと判定した場合には（ステップ S 1 0 : N O）、処理をステップ S 1 2 に移行させる（ステップ S 1 2）。

[0074] ステップ S 1 2 で、プロセッサ 1 4 は、発振トリガ信号を前回受信してから規定時間が経過しているか否かを判定する。プロセッサ 1 4 は、発振トリガ信号を前回受信してから規定時間が経過していると判定した場合には（ステップ S 1 2 : Y E S）、処理をステップ S 1 3 に移行させる。

[0075] ステップ S 1 3 で、プロセッサ 1 4 は、第 2 充電電圧 V_{hv2} を充電器 1 1 に設定し、充電コンデンサ C_0 が充電された後、スイッチ SW_1 をオンとすることにより、予備電離電極 1 9 のみを放電させる（ステップ S 1 3）。これにより、コロナ放電のみが発生する。

[0076] プロセッサ 1 4 は、発振トリガ信号を前回受信してから規定時間が経過し

ていないと判定した場合には（ステップS 1 2 : N O）、処理をステップS 1 0に戻す。

[0077] このように、プロセッサ1 4は、露光装置1 0 0からの指示に基づいて主電極2 0と予備電離電極1 9を放電させる第1放電制御を実行した後、規定時間が経過した場合に、予備電離電極1 9のみを放電させる第2放電制御を実行する。すなわち、プロセッサ1 4は、パルスレーザ光P Lを出力しない期間に、主放電を発生させずにコロナ放電のみを発生させる。

[0078] 以上の処理をプロセッサ1 4が実行することにより、露光装置1 0 0がメンテナンス等の休止状態である場合には、露光装置1 0 0はガスレーザ装置2に発振トリガ信号を送信しないので、予備電離電極1 9のみが放電する。

[0079] また、ガスレーザ装置2がバースト発振とバースト発振停止とを繰り返す行う場合には、バースト発振期間に予備電離電極1 9と主電極2 0とが放電し、バースト発振停止期間に予備電離電極1 9のみが放電する。バースト発振とは、露光装置1 0 0から一定の周波数で送信される発振トリガ信号に応じてガスレーザ装置2が一定の周波数でパルスレーザ光P Lを出力する動作である。バースト発振停止期間とは、ガスレーザ装置2がバースト発振を停止する期間であって、2つのバースト発振期間の間のインターバル期間である。バースト発振期間には、露光装置1 0 0は、ガスレーザ装置2から一定の周波数で供給されるパルスレーザ光P Lを、レチクルを介してウエハに照射する。バースト発振停止期間には、露光装置1 0 0においてウエハやレチクルが交換される。

[0080] 2. 3 効果

本実施形態では、主放電が繰り返し生じることによりレーザガス中のフッ化炭素の濃度が上昇するが、パルスレーザ光P Lを出力しない期間にコロナ放電のみが発生してU V光が生成される。この期間にU V光やコロナ放電によってレーザガス中のフッ化炭素が分解されることにより、レーザガス中のフッ化炭素の濃度が低下する。したがって、本実施形態によれば、レーザガス中のフッ化炭素の濃度を低下させて、ガスレーザ装置2から出力されるパ

ルスレーザ光PLのパルスエネルギーの低下を抑制することができる。

[0081] 3. 第2実施形態

3. 1 構成

本開示の第2実施形態に係るガスレーザ装置2は、プロセッサ14が実行する処理、及び電力供給装置30の構成が異なること以外は、第1実施形態に係るガスレーザ装置2と同様の構成である。

[0082] 図5は、第2実施形態に係る電力供給装置30の構成を概略的に示す。本実施形態では、電力供給装置30は、充電器11、PPM12、及び分圧回路31に加えて、スイッチSW₂を含む。

[0083] スイッチSW₂は、充電コンデンサC₀と分圧回路31との間に接続されている。具体的には、スイッチSW₂は、充電器11と充電コンデンサC₀との接続点P1と、コンデンサC₁₁とコンデンサC₁₂との接続点P2との間に接続されている。なお、スイッチSW₂は、本開示の技術に係る「第2スイッチ」の一例である。

[0084] スイッチSW₂は、例えばIGBT等の半導体スイッチング素子である。スイッチSW₂は、プロセッサ14からの制御信号に基づいてオン／オフ動作する。プロセッサ14は、スイッチSW₂を介して、充電コンデンサC₀からコンデンサC₁₂に流れる電流Iのオン／オフを制御する。

[0085] 本実施形態では、プロセッサ14は、スイッチSW₁、SW₂を制御することにより、予備電離電極19と主電極20とを放電させる第1放電制御と、予備電離電極19のみを放電させる第2放電制御とを実行する。本実施形態では、充電器11に設定する充電電圧V_{h v}は、目標パルスエネルギーE_tに応じた値である。

[0086] 本実施形態では、プロセッサ14は、第1放電制御として、充電器11に充電電圧V_{h v}を設定し、充電コンデンサC₀が充電された後、スイッチSW₂をオフとしたままスイッチSW₁をオンとする処理を行う。充電電圧V_{h v}は、絶縁破壊電圧以上の電圧である。これにより、予備電離電極19と主電極20とが放電する。

[0087] 本実施形態では、プロセッサ14は、第2放電制御として、充電器11に充電電圧 V_{hv} を設定し、充電コンデンサ C_0 が充電された後、スイッチ SW_1 をオフとしたままスイッチ SW_2 をオンとする処理を行う。第2放電制御では、スイッチ SW_2 がオンとなることにより、充電コンデンサ C_0 とコンデンサ C_{12} との間が導通して電流 I が流れる。その結果、コンデンサ C_{12} から予備電離電極19に電圧が印加されることにより、予備電離電極19のみが放電する。

[0088] 3. 2 動作

次に、第2実施形態に係るガスレーザ装置2の動作を説明する。本実施形態において、プロセッサ14が実行する処理の流れは、図4に示す処理の流れと同様である。

[0089] 本実施形態では、ステップS11において、プロセッサ14は、充電器11に充電電圧 V_{hv} を設定し、充電コンデンサ C_0 が充電された後、スイッチ SW_2 をオフとしたままスイッチ SW_1 をオンとすることにより、予備電離電極19と主電極20とを放電させる。これにより、コロナ放電と連動して主放電が生じる。

[0090] また、ステップS13において、プロセッサ14は、充電器11に充電電圧 V_{hv} を設定し、充電コンデンサ C_0 が充電された後、スイッチ SW_1 をオフとしたままスイッチ SW_2 をオンとすることにより、予備電離電極19のみを放電させる。これにより、コロナ放電のみが生じる。

[0091] 図6は、第2実施形態に係る電力供給装置30に印加される各種電圧のシミュレーション結果を示す。 V_{C_0} は、充電コンデンサ C_0 の電圧を示す。 $V_{C_{12}}$ は、コンデンサ C_{12} の電圧を示す。 V_{SW_2} は、プロセッサ14からスイッチ SW_2 に印加される制御信号の電圧を示す。

[0092] 本シミュレーションでは、充電コンデンサ C_0 の容量をコンデンサ C_{12} の容量よりも十分に大きな値としている。この場合、図6に示すように、 $V_{C_{12}}$ は、 V_{C_0} の2倍以下の範囲で変動する。

[0093] 3. 3 効果

本実施形態によれば、第1実施形態と同様に、パルスレーザ光PLを出力しない期間にコロナ放電のみを発生させてレーザガス中のフッ化炭素の濃度を低下させるので、パルスレーザ光PLのパルスエネルギーの低下を抑制することができる。

[0094] 4. 第3実施形態

4. 1 構成

本開示の第3実施形態に係るガスレーザ装置2は、電力供給装置30の構成が異なること以外は、第2実施形態に係るガスレーザ装置2と同様の構成である。

[0095] 図7は、第3実施形態に係る電力供給装置30の構成を概略的に示す。本実施形態では、電力供給装置30は、充電器11、PPM12、及び分圧回路31に加えて、トランスTC₂及びスイッチSW₂を含む。

[0096] トランスTC₂は、充電コンデンサC₀と分圧回路31との間に接続されている。具体的には、トランスTC₂は、一次側が上述の接続点P1に接続されており、二次側が上述の接続点P2に接続されている。また、本実施形態では、トランスTC₂を加極性としている。なお、トランスTC₂は、本開示の技術に係る「第2トランス」の一例である。

[0097] 本実施形態では、スイッチSW₂は、トランスTC₂の一次側に接続されている。スイッチSW₂は、例えばIGBT等の半導体スイッチング素子である。スイッチSW₂は、プロセッサ14からの制御信号に基づいてオン／オフ動作する。プロセッサ14は、スイッチSW₂を介して、充電コンデンサC₀からトランスTC₂の一次側に流れる電流I₁のオン／オフを制御する。なお、スイッチSW₂は、本開示の技術に係る「第2スイッチ」の一例である。

[0098] 本実施形態では、トランスTC₂が加極性であるので、トランスTC₂の一次側に電流I₁が流れることにより、トランスTC₂の二次側において逆方向に電流I₂が流れる。なお、トランスTC₂は、減極性であってもよい。

[0099] 本実施形態では、第2実施形態と同様に、プロセッサ14は、スイッチSW₁、SW₂を制御することにより、予備電離電極19と主電極20とを放電

させる第1放電制御と、予備電離電極19のみを放電させる第2放電制御とを実行する。本実施形態では、充電器11に設定する充電電圧 V_{hv} は、目標パルスエネルギー E_t に応じた値である。

[0100] 4. 2 動作

次に、第3実施形態に係るガスレーザ装置2の動作を説明する。本実施形態において、プロセッサ14が実行する処理の流れは、第2実施形態と同様である。

[0101] 本実施形態では、ステップS13において、プロセッサ14がスイッチ SW_1 をオフとしたままスイッチ SW_2 をオンとすることにより、トランス TC_2 の一次側に電流 I_1 が流れることに応じて二次側に電流 I_2 が流れる。その結果、コンデンサ C_{12} から予備電離電極19に電圧が印加されることにより、予備電離電極19のみが放電して、コロナ放電のみが発生する。本実施形態に係るガスレーザ装置2のその他の動作は、第2実施形態と同様である。

[0102] 図8は、第3実施形態に係る電力供給装置30に印加される各種電圧のシミュレーション結果を示す。 V_{C0} は、充電コンデンサ C_0 の電圧を示す。 V_{C12} は、コンデンサ C_{12} の電圧を示す。 V_{SW2} は、プロセッサ14からスイッチ SW_2 に印加される制御信号の電圧を示す。

[0103] 本シミュレーションでは、充電コンデンサ C_0 の容量をコンデンサ C_{12} の容量よりも十分に大きな値としている。この場合、 V_{C12} の絶対値は、 V_{C0} の $2 \times N_1 / N_2$ 倍以下の範囲で変動する。本シミュレーションでは、 $N_1 / N_2 = 2$ としている。また、本シミュレーションでは、トランス TC_2 を加極性としているので、 V_{C12} の極性が反転している。

[0104] 4. 3 効果

本実施形態によれば、第1実施形態と同様に、パルスレーザ光 PL を出力しない期間にコロナ放電のみを発生させてレーザガス中のフッ化炭素の濃度を低下させるので、パルスレーザ光 PL のパルスエネルギーの低下を抑制することができる。

[0105] 5. 第4実施形態

5. 1 構成

本開示の第4実施形態に係るガスレーザ装置2は、プロセッサ14が実行する処理、及び電力供給装置30の構成が異なること以外は、第2実施形態に係るガスレーザ装置2と同様の構成である。

[0106] 図9は、第4実施形態に係る電力供給装置30の構成を概略的に示す。本実施形態では、電力供給装置30は、充電器11、PPM12、及び分圧回路31に加えて、トランスTC₂及びフルブリッジ回路32を含む。

[0107] トランスTC₂は、充電コンデンサC₀と分圧回路31との間に設けられている。フルブリッジ回路32は、充電コンデンサC₀とトランスTC₂の一次側との間に接続されている。具体的には、トランスTC₂は、一次側がフルブリッジ回路32を介して上述の接続点P1に接続されており、二次側が上述の接続点P2に接続されている。本実施形態では、トランスTC₂を減極性としている。なお、トランスTC₂は、本開示の技術に係る「第2トランス」の一例である。

[0108] フルブリッジ回路32は、スイッチSW₂、SW₃、SW₄、SW₅によって構成され、トランスTC₂の一次側に流れる電流のオン／オフと電流の方向とを制御可能とする。スイッチSW₂、SW₃、SW₄、SW₅は、それぞれ例えばIGBT等の半導体スイッチング素子である。

[0109] スイッチSW₂、SW₃は、接続点P1とグランドとの間に直列に接続されている。スイッチSW₄、SW₅は、接続点P1とグランドとの間に直列に接続されている。トランスTC₂の一次側の一端は、スイッチSW₂とスイッチSW₃との間に接続されている。トランスTC₂の一次側の他端は、スイッチSW₄とスイッチSW₅との間に接続されている。スイッチSW₂、SW₅は、プロセッサ14からの第1制御信号に基づいてオン／オフ動作する。スイッチSW₃、SW₄は、プロセッサ14からの第2制御信号に基づいてオン／オフ動作する。

[0110] プロセッサ14は、フルブリッジ回路32を介して、充電コンデンサC₀からトランスTC₂の一次側に流れる電流のオン／オフと電流の方向とを制御す

る。具体的には、プロセッサ14は、スイッチ SW_2 、 SW_5 とスイッチ SW_3 、 SW_4 とを交互にオンとする。これにより、トランス TC_2 の一次側には、正方向の電流 I_1 と逆方向の電流 I_{1r} とが交互に流れる。その結果、トランス TC_2 の二次側には、正方向の電流 I_2 と逆方向の電流 I_{2r} とが交互に流れ、予備電離電極19に正電圧と負電圧とが交互に印加される。

[0111] 本実施形態では、トランス TC_2 が減極性であるので、トランス TC_2 の一次側に電流 I_1 が流れることにより二次側において同方向に電流 I_2 が流れる。また、トランス TC_2 の一次側に電流 I_{1r} が流れることにより二次側において同方向に電流 I_{2r} が流れる。なお、トランス TC_2 は、加極性であってもよい。

[0112] 本実施形態では、プロセッサ14は、スイッチ SW_1 及びフルブリッジ回路32を制御することにより、第2実施形態と同様に、予備電離電極19と主電極20とを放電させる第1放電制御と、予備電離電極19のみを放電させる第2放電制御とを実行する。本実施形態では、充電器11に設定する充電電圧 V_{hv} は、目標パルスエネルギー E_t に応じた値である。

[0113] 5. 2 動作

次に、第4実施形態に係るガスレーザ装置2の動作を説明する。本実施形態において、プロセッサ14が実行する処理の流れは、図4に示す処理の流れと同様である。

[0114] 本実施形態では、ステップS11において、プロセッサ14は、充電器11に充電電圧 V_{hv} を設定し、充電コンデンサ C_0 が充電された後、フルブリッジ回路32のスイッチ SW_2 、 SW_3 、 SW_4 、 SW_5 をすべてオフとしたままスイッチ SW_1 をオンとする。これにより、予備電離電極19と主電極20とが放電する。

[0115] また、ステップS13において、プロセッサ14は、充電器11に充電電圧 V_{hv} を設定し、充電コンデンサ C_0 が充電された後、スイッチ SW_1 をオフとしたまま、スイッチ SW_2 、 SW_5 とスイッチ SW_3 、 SW_4 とのうちの一方の組をオンとする。これにより、予備電離電極19のみが放電する。

[0116] また、プロセッサ14は、ステップS13を実行するたびに、スイッチ SW_2 、 SW_5 とスイッチ SW_3 、 SW_4 とのうち、前回オンとした方の組と異なる方の組をオンとする。すなわち、プロセッサ14は、スイッチ SW_2 、 SW_5 とスイッチ SW_3 、 SW_4 とを交互にオンとする。これにより、極性が正のコロナ放電と極性が負のコロナ放電とが交互に生じる。

[0117] 図10は、第4実施形態に係る電力供給装置30に印加される各種電圧のシミュレーション結果を示す。 V_{C0} は、充電コンデンサ C_0 の電圧を示す。 V_{C12} は、コンデンサ C_{12} の電圧を示す。 V_{SW25} は、プロセッサ14からスイッチ SW_2 、 SW_5 に印加される第1制御信号の電圧を示す。 V_{SW34} は、プロセッサ14からスイッチ SW_3 、 SW_4 に印加される第2制御信号の電圧を示す。

[0118] 本シミュレーションでは、充電コンデンサ C_0 の容量をコンデンサ C_{12} の容量よりも十分に大きな値としている。この場合、 V_{C12} の絶対値は、 V_{C0} の $2 \times N_1 / N_2$ 倍以下の範囲で変動する。

[0119] 5. 3 効果

本実施形態によれば、第1実施形態と同様に、パルスレーザ光PLを出力しない期間にコロナ放電のみを発生させてレーザガス中のフッ化炭素の濃度を低下させるので、パルスレーザ光PLのパルスエネルギーの低下を抑制することができる。

[0120] 6. 第5実施形態

6. 1 構成

本開示の第5実施形態に係るガスレーザ装置2は、プロセッサ14が実行する処理、及び電力供給装置30の構成が異なること以外は、第1実施形態に係るガスレーザ装置2と同様の構成である。

[0121] 図11は、第5実施形態に係る電力供給装置30の構成を概略的に示す。本実施形態では、電力供給装置30は、充電器11、PPM12、及びパルス電源33を含む。本実施形態では、分圧回路31は設けられておらず、予備電離電極19は、充電器11及びPPM12から分離されている。なお、

パルス電源 33 は、本開示の技術に係る「第 2 電源」の一例である。本実施形態では、PPM12 は、主電極 20 に電力を供給し、パルス電源 33 は、予備電離電極 19 に電力を供給する。

[0122] パルス電源 33 は、予備電離電極 19 に接続されている。具体的には、パルス電源 33 は、予備電離外電極 19a と予備電離内電極 19c との間に接続されている。パルス電源 33 は、プロセッサ 14 に接続されており、プロセッサ 14 からの制御信号に基づいて予備電離電極 19 にパルス電圧を印加する。例えば、パルス電圧は、3 kV 以上 8 kV 以下の範囲内である。

[0123] 本実施形態では、プロセッサ 14 は、充電器 11 及びパルス電源 33 を制御することにより、予備電離電極 19 と主電極 20 とを放電させる第 1 放電制御と、予備電離電極 19 のみを放電させる第 2 放電制御とを実行する。

[0124] 6. 2 動作

次に、第 5 実施形態に係るガスレーザ装置 2 の動作を説明する。本実施形態において、プロセッサ 14 が実行する処理の流れは、図 4 に示す処理の流れと同様である。

[0125] 本実施形態では、ステップ S11 において、プロセッサ 14 は、充電器 11 に充電電圧 V_{hv} を設定し、スイッチ SW_1 をオフとしたままパルス電源 33 を制御してパルス電圧を予備電離電極 19 に印加させることにより、予備電離電極 19 を放電させる。そして、充電コンデンサ C_0 が充電された後、スイッチ SW_1 をオンとすることにより、主電極 20 を放電させる。

[0126] また、ステップ S13 において、プロセッサ 14 は、スイッチ SW_1 をオフとしたまま、パルス電源 33 を制御してパルス電圧を予備電離電極 19 に印加させることにより、予備電離電極 19 のみを放電させる。

[0127] 6. 3 効果

本実施形態によれば、第 1 実施形態と同様に、パルスレーザ光 PL を出力しない期間にコロナ放電のみを発生させてレーザガス中のフッ化炭素の濃度を低下させるので、パルスレーザ光 PL のパルスエネルギーの低下を抑制することができる。

[0128] また、本実施形態によれば、充電器 11 とは別の独立したパルス電源 33 を用いるので、予備電離用のコンデンサを用いずに予備電離電極 19 に直接パルス電圧を印加することができる。これにより、コロナ放電の効率が向上する。

[0129] 7. 変形例

上記各実施形態では、図 4 に示すように、プロセッサ 14 は、露光装置 100 から送信される発振トリガ信号に基づき、第 1 放電制御を行った後、規定時間が経過した場合に第 2 放電制御を実行している。これに代えて、プロセッサ 14 は、露光装置 100 から露光装置 100 が休止状態であることを表す信号を受信した場合に、第 2 放電制御を実行してもよい。また、プロセッサ 14 は、露光装置 100 からバースト発振停止期間であることを表す信号を受信した場合に、第 2 放電制御を実行してもよい。

[0130] また、上記各実施形態では、図 4 に示すように、プロセッサ 14 は、規定時間経過後、露光装置 100 から発振トリガ信号を受信しない限り第 2 放電制御を繰り返し実行するが、第 2 放電制御を実行する回数を制限してもよい。具体的には、第 2 放電制御を実行する際に、その直前に第 1 放電制御を実行した回数に応じて、第 2 放電制御を実行する回数を制限してもよい。例えば、第 2 放電制御を実行する回数を、直前に第 1 放電制御を実行した回数の 0.001% 以上 1% 以下の範囲内に制限してもよい。例えば、主放電を 10 万回放電させた後、コロナ放電のみ 1 ~ 1000 回放電させる。

[0131] 8. 電子デバイスの製造方法

図 12 は、露光装置 100 の構成例を概略的に示す。露光装置 100 は、照明光学系 104 と投影光学系 106 とを含む。照明光学系 104 は、例えば、ガスレーザ装置 2 から入射したパルスレーザ光 PL によって、レチクルステージ RT 上に配置された図示しないレチクルのレチクルパターンを照明する。投影光学系 106 は、レチクルを透過したパルスレーザ光 PL 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。

[0132] 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パルスレーザ光 PL 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レチクルパターンを転写後、複数の工程を経ることで半導体デバイスを製造できる。半導体デバイスは本開示における「電子デバイス」の一例である。

[0133] なお、ガスレーザ装置 2 は、電子デバイスの製造に限られず、穴あけ加工等のレーザ加工に用いることも可能である。

[0134] 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。したがって、添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本開示の各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。

[0135] 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。また、「A、B 及び C の少なくとも 1 つ」という用語は、「A」「B」「C」「A+B」「A+C」「B+C」又は「A+B+C」と解釈されるべきであり、さらに、それらと「A」「B」「C」以外のものとの組み合わせも含むと解釈されるべきである。

請求の範囲

- [請求項1] フッ素ガスを含むレーザガスが封入されたレーザチャンバと、
前記レーザチャンバの内部に配置された主電極と、
前記レーザチャンバの内部に配置された予備電離電極と、
前記主電極と前記予備電離電極に電力を供給する電力供給装置と、
前記電力供給装置を制御して、前記予備電離電極と前記主電極とを
放電させる第1放電制御と、前記主電極を放電させずに前記予備電離
電極のみを放電させる第2放電制御とを実行するプロセッサと、
を備えるガスレーザ装置。
- [請求項2] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、
前記プロセッサは、露光装置からの指示に基づいて前記第1放電制
御を実行した後、規定時間が経過した場合に前記第2放電制御を実行
する。
- [請求項3] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、
前記プロセッサは、露光装置が休止状態である場合に前記第2放電
制御を実行する。
- [請求項4] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、
前記プロセッサは、バースト発振停止期間に前記第2放電制御を実
行する。
- [請求項5] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、
前記電力供給装置は、第1電源と、前記第1電源により充電される
充電コンデンサを含むパワー発生回路と、を備え、
前記パワー発生回路は、前記主電極及び前記予備電離電極に電力を
供給する。
- [請求項6] 請求項5に記載のガスレーザ装置であって、
前記プロセッサは、前記充電コンデンサの充電電圧を変更すること
により前記第1放電制御と前記第2放電制御とを実行する。
- [請求項7] 請求項6に記載のガスレーザ装置であって、

前記プロセッサは、前記第1放電制御を実行する場合に、前記第1電源に第1充電電圧を設定し、前記第2放電制御を実行する場合に、前記第1電源に前記第1充電電圧より低い第2充電電圧を設定する。

[請求項8] 請求項7に記載のガスレーザ装置であって、
前記第1充電電圧は、10kV以上であり、
前記第2充電電圧は、4kV以上9kV以下の範囲内である。

[請求項9] 請求項5に記載のガスレーザ装置であって、
前記パワー発生回路は、第1トランスと、前記第1トランスの一次側と前記充電コンデンサとの間に設けられた第1スイッチと、前記第1トランスの二次側に設けられた磁気パルス圧縮回路と、前記磁気パルス圧縮回路に接続されたピーキングコンデンサと、を備え、
前記主電極は、前記ピーキングコンデンサに並列に接続されており、

前記予備電離電極は、前記ピーキングコンデンサに分圧回路を介して接続されている。

[請求項10] 請求項9に記載のガスレーザ装置であって、
前記電力供給装置は、前記充電コンデンサと前記分圧回路との間に接続された第2スイッチをさらに備え、

前記プロセッサは、前記第1スイッチ及び前記第2スイッチを制御することにより前記第1放電制御と前記第2放電制御とを実行する。

[請求項11] 請求項9に記載のガスレーザ装置であって、
前記電力供給装置は、前記充電コンデンサと前記分圧回路との間に接続された第2トランスと、前記第2トランスの一次側に接続された第2スイッチと、をさらに備え、

前記プロセッサは、前記第1スイッチ及び前記第2スイッチを制御することにより前記第1放電制御と前記第2放電制御とを実行する。

[請求項12] 請求項9に記載のガスレーザ装置であって、
前記電力供給装置は、前記充電コンデンサと前記分圧回路との間に

設けられた第2トランスと、前記充電コンデンサと前記第2トランスの一次側との間に接続されたフルブリッジ回路と、をさらに備え、

前記プロセッサは、前記第1スイッチ及び前記フルブリッジ回路を制御することにより前記第1放電制御と前記第2放電制御とを実行する。

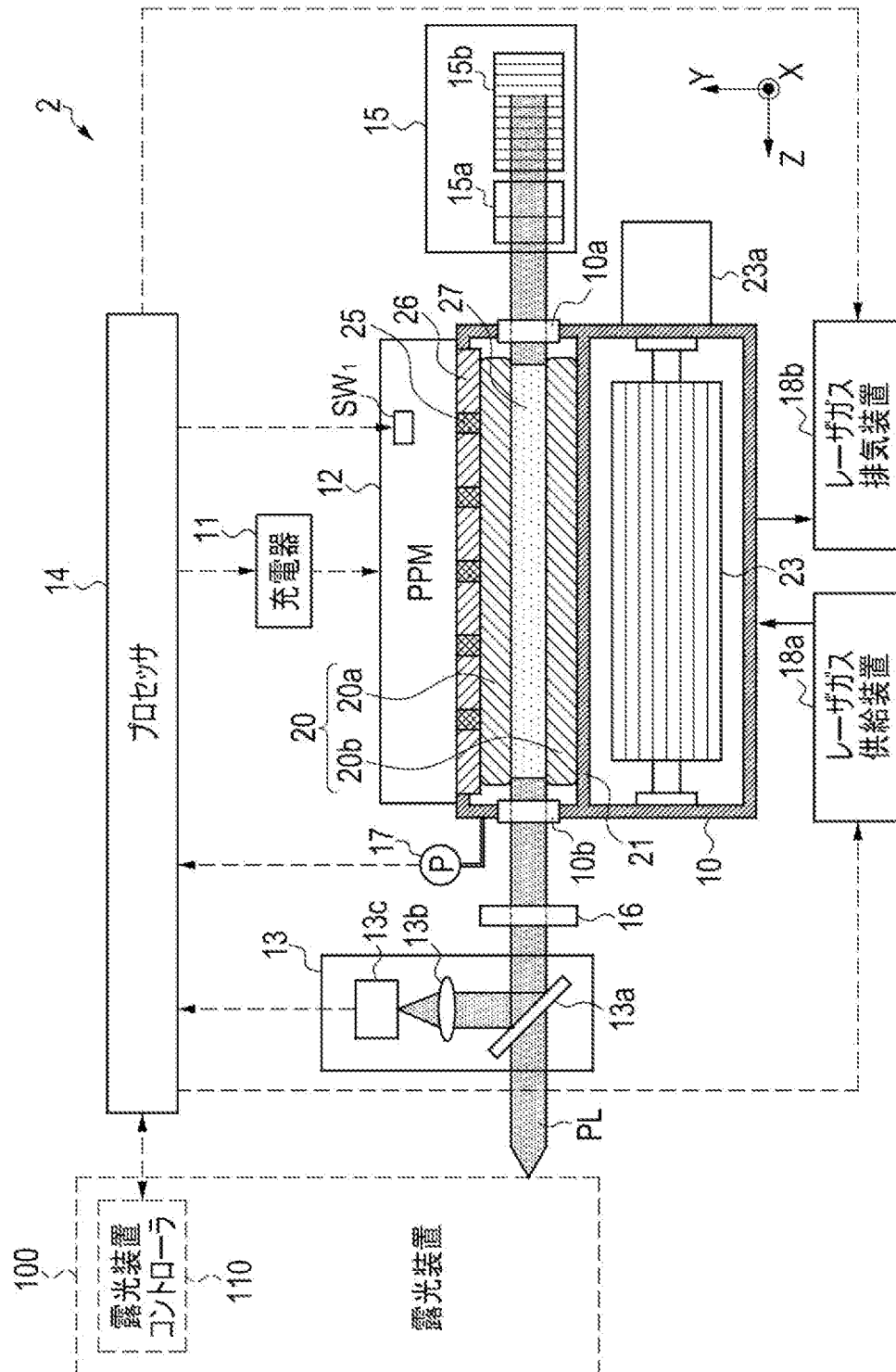
[請求項13] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、
前記電力供給装置は、第1電源と、前記第1電源により充電される充電コンデンサを含むパワー発生回路と、第2電源と、を備え、
前記パワー発生回路は、前記主電極に電力を供給し、
前記第2電源は、前記予備電離電極に電力を供給する。

[請求項14] 請求項13に記載のガスレーザ装置であって、
前記第2電源は、前記予備電離電極にパルス電圧を印加する。

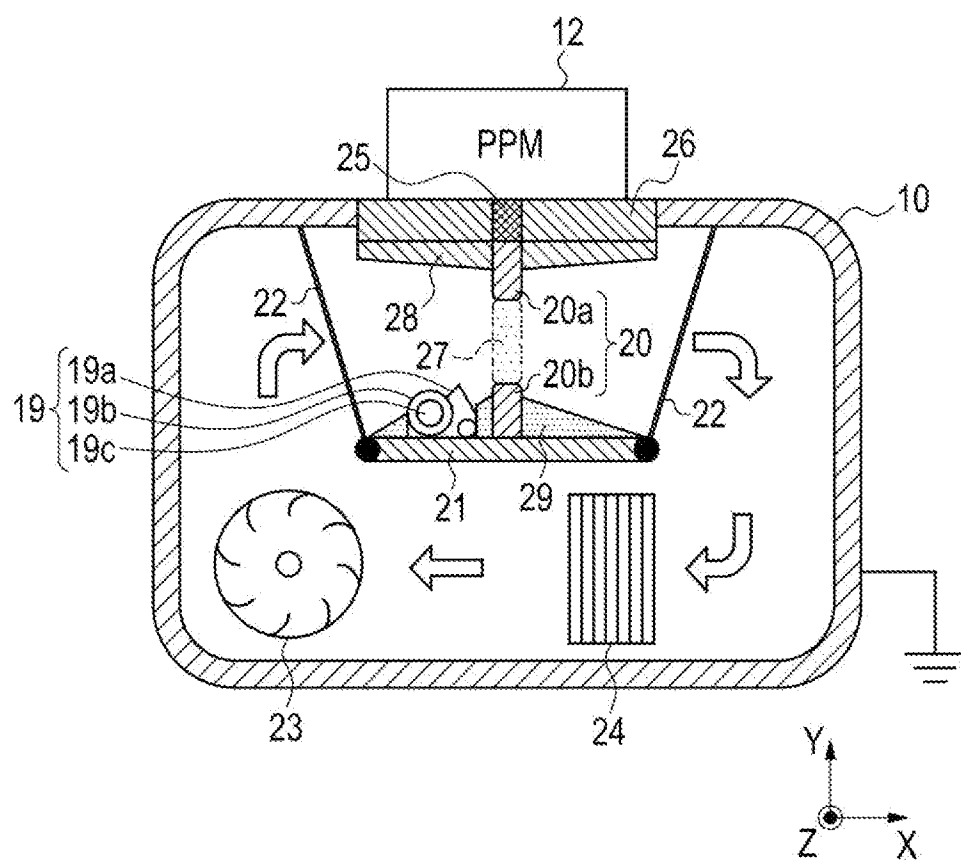
[請求項15] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、
前記プロセッサが前記第2放電制御を実行する回数は、前記第1放電制御を実行した回数の0.001%以上1%以下の範囲内である。

[請求項16] 電子デバイスの製造方法であって、
フッ素ガスを含むレーザガスが封入されたレーザチャンバと、
前記レーザチャンバの内部に配置された主電極と、
前記レーザチャンバの内部に配置された予備電離電極と、
前記主電極と前記予備電離電極に電力を供給する電力供給装置と、
前記電力供給装置を制御して、前記予備電離電極と前記主電極とを放電させる第1放電制御と、前記主電極を放電させずに前記予備電離電極のみを放電させる第2放電制御とを実行するプロセッサと、
を備えるガスレーザ装置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、
電子デバイスを製造するために、前記露光装置内で感光基板に前記レーザ光を露光することを含む、
電子デバイスの製造方法。

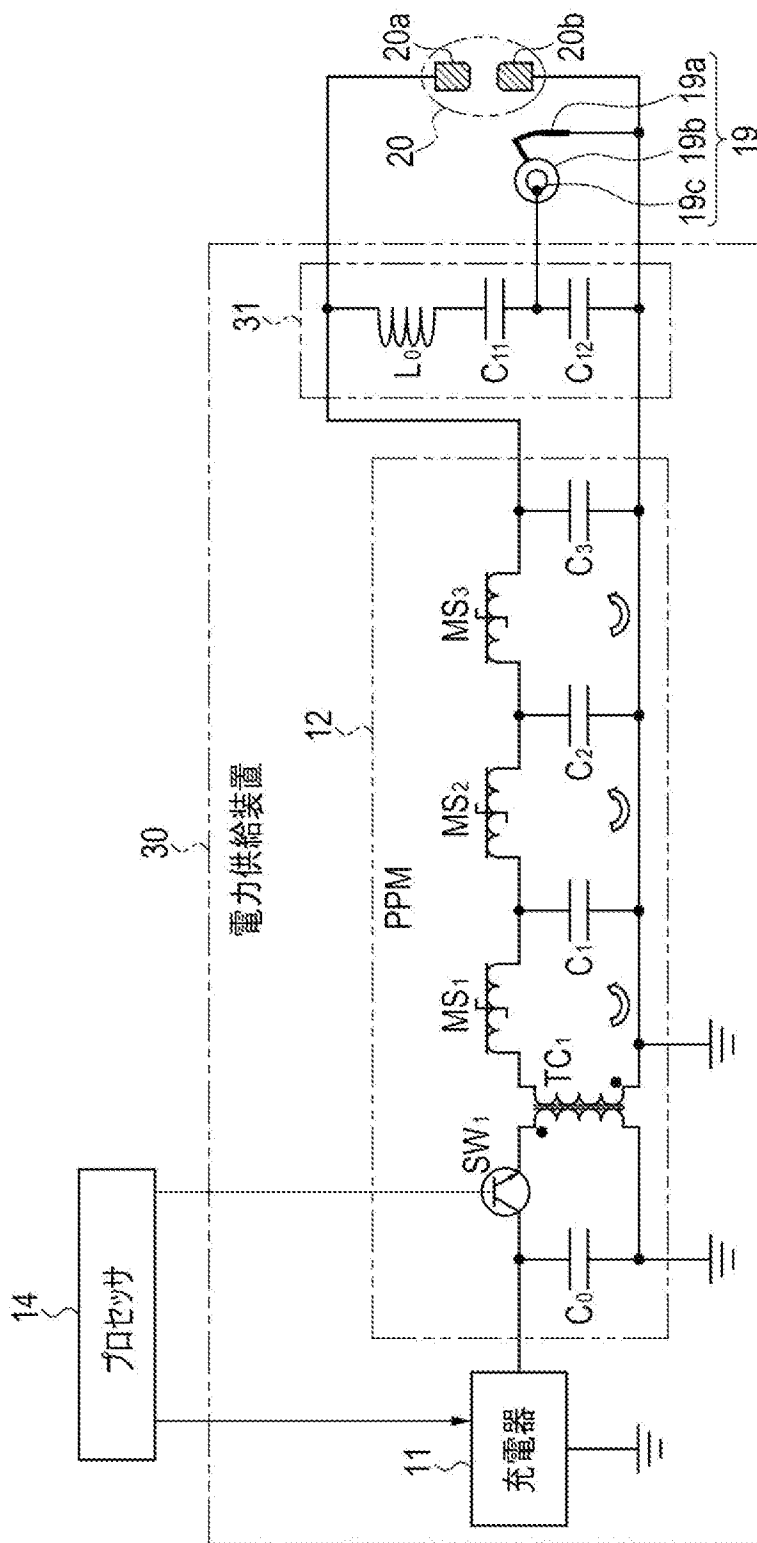
[図1]



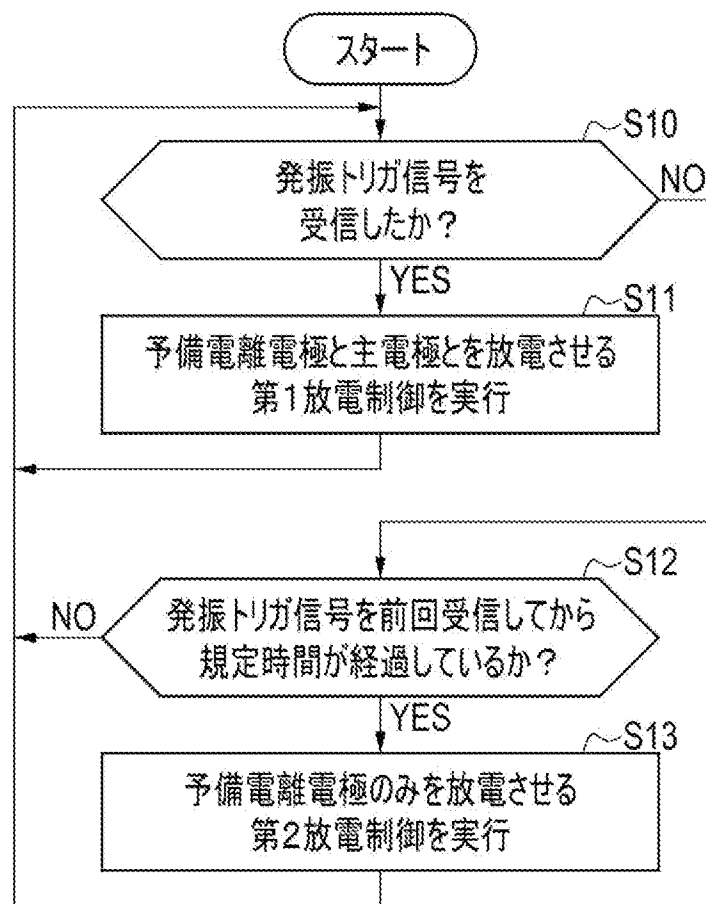
[図2]



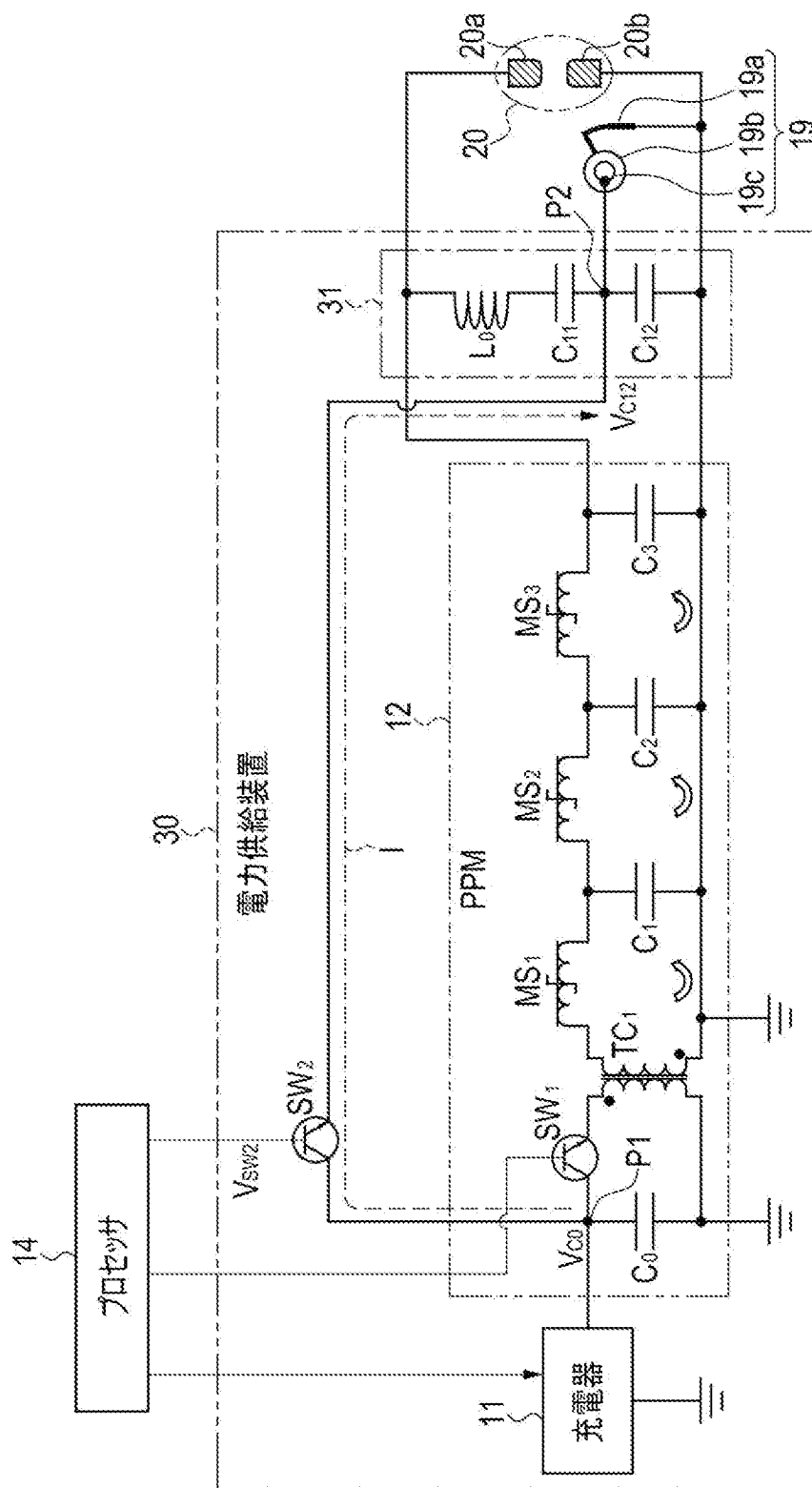
[図3]



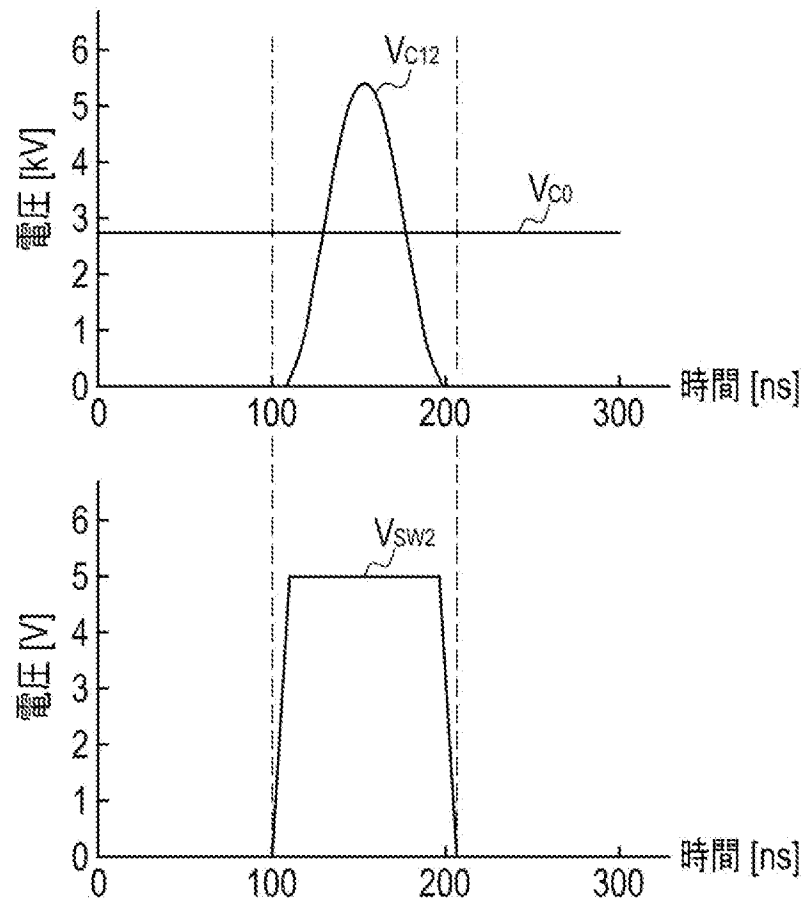
[図4]



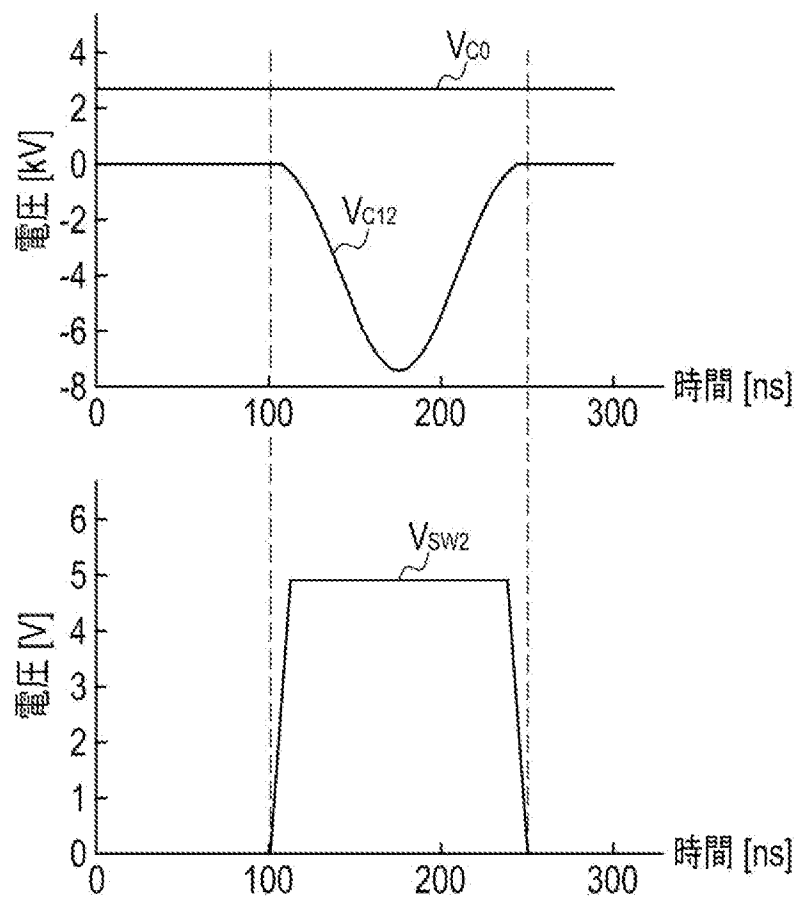
[図5]



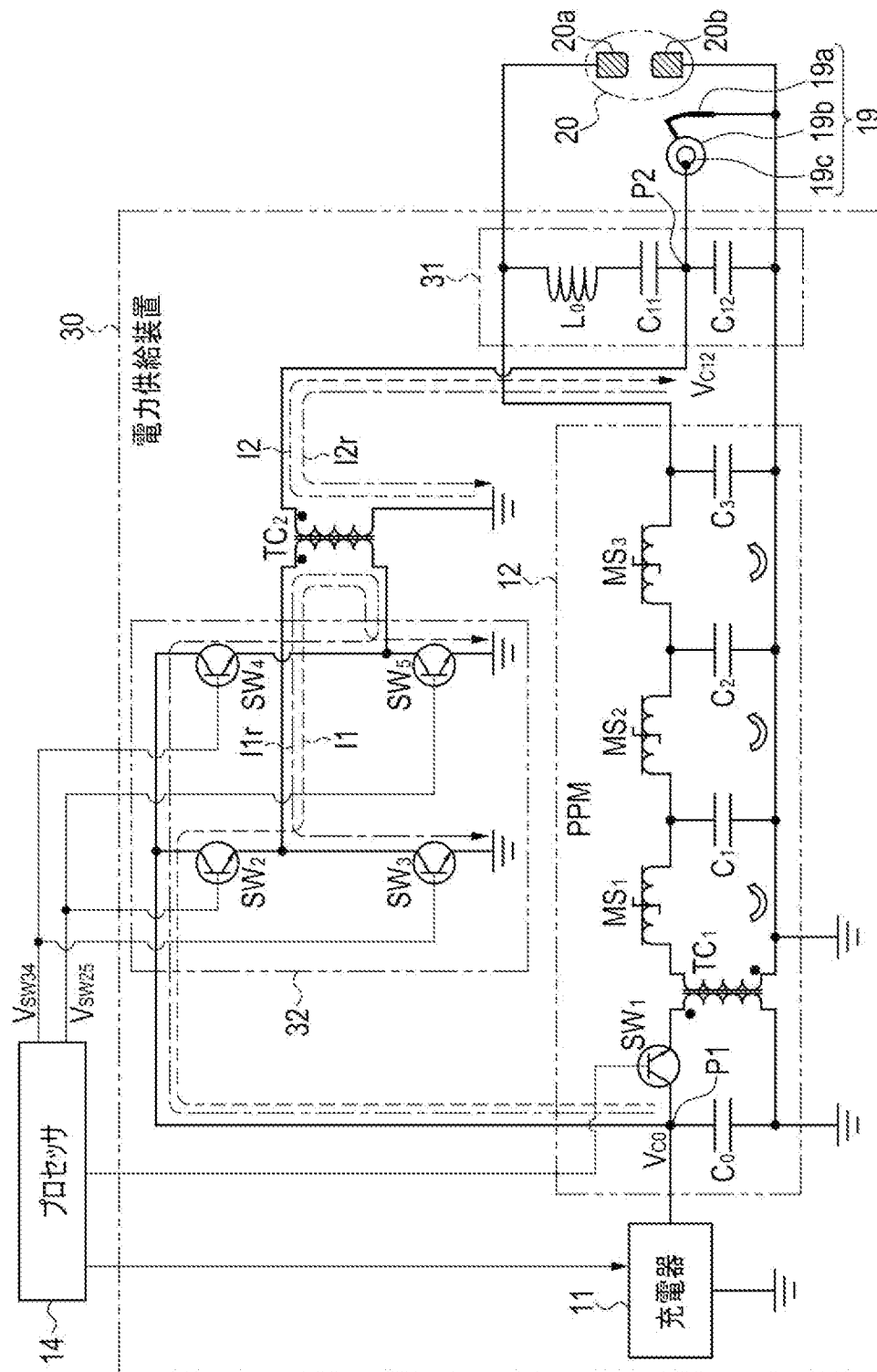
[図6]



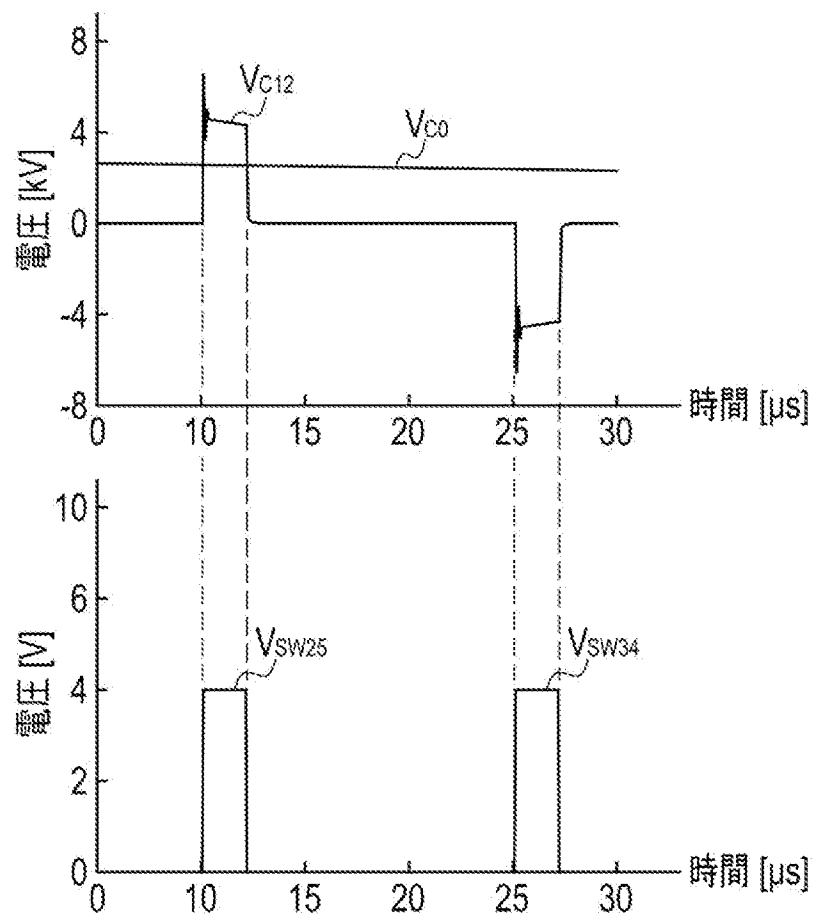
[図8]



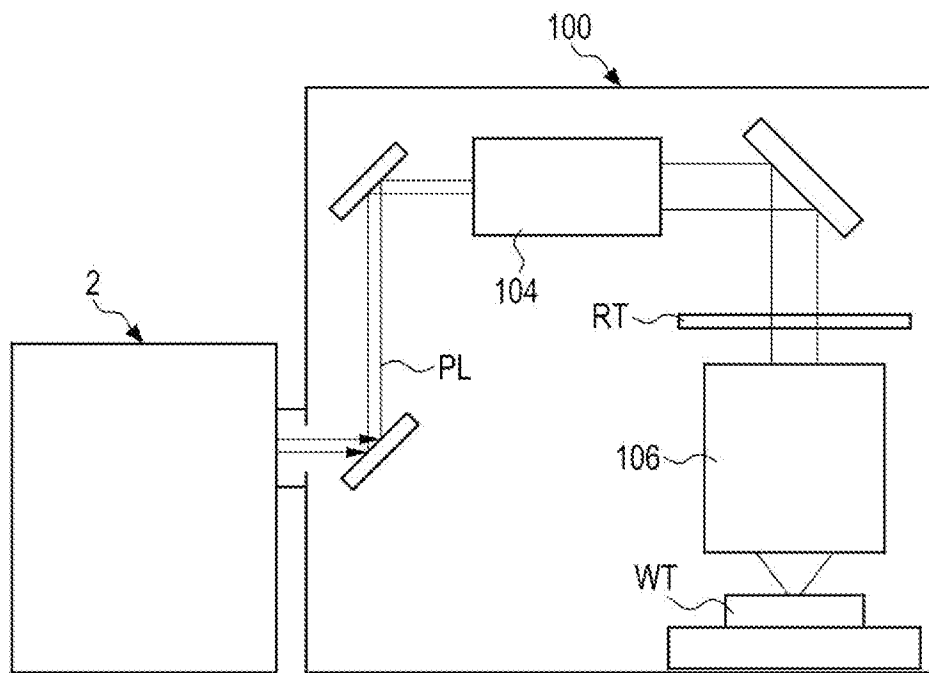
[図9]



[図10]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/009158

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H01S 3/097**(2006.01)i; **H01S 3/038**(2006.01)i; **H01S 3/223**(2006.01)i

FI: H01S3/097 A; H01S3/038 Z; H01S3/223

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)

H01S3/097; H01S3/038; H01S3/223

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	WO 2022/123714 A1 (GIGAPHOTON INC.) 16 June 2022 (2022-06-16) paragraphs [0009]-[0086], [0096]-[0097], fig. 1-9, 11, 13, 16	1-9, 13-16
A		10-12
A	JP 2014-192199 A (FANUC CORPORATION) 06 October 2014 (2014-10-06)	1-16
A	WO 2015/186224 A1 (GIGAPHOTON INC.) 10 December 2015 (2015-12-10)	1-16
A	JP 6-90047 A (HITACHI, LTD.) 29 March 1994 (1994-03-29)	1-16
A	JP 2006-505960 A (CYMER INC.) 16 February 2006 (2006-02-16)	1-16
A	JP 10-150237 A (NITSUSHIN DENKI K.K.) 02 June 1998 (1998-06-02)	1-16
A	US 2008/0285607 A1 (SYNRAD, INC.) 20 November 2008 (2008-11-20)	1-16
A	US 4797888 A (LAMBDA PHYSIK) 10 January 1989 (1989-01-10)	1-16



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

25 April 2023

Date of mailing of the international search report

16 May 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/009158

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2022/123714	A1	16 June 2022	(Family: none)	
JP	2014-192199	A	06 October 2014	US 2014/0294027	A1
				DE 102014003988	A1
				CN 104078829	A
WO	2015/186224	A1	10 December 2015	US 2016/0365696	A1
JP	6-90047	A	29 March 1994	(Family: none)	
JP	2006-505960	A	16 February 2006	WO 2004/012308	A2
				AU 2003261337	A1
				EP 1540783	B1
				KR 10-2005-0062519	A
JP	10-150237	A	02 June 1998	(Family: none)	
US	2008/0285607	A1	20 November 2008	(Family: none)	
US	4797888	A	10 January 1989	DE 3621005	A1

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01S 3/097(2006.01)i; H01S 3/038(2006.01)i; H01S 3/223(2006.01)i FI: H01S3/097 A; H01S3/038 Z; H01S3/223										
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）） H01S3/097; H01S3/038; H01S3/223										
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										
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023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	WO 2022/123714 A1（ギガフォトン株式会社）16.06.2022（2022 - 06 - 16） [0009]-[0086], [0096]-[0097], 図1-9, 11, 13, 16	1-9, 13-16								
A		10-12								
A	JP 2014-192199 A（ファナック株式会社）06.10.2014（2014 - 10 - 06）	1-16								
A	WO 2015/186224 A1（ギガフォトン株式会社）10.12.2015（2015 - 12 - 10）	1-16								
A	JP 6-90047 A（株式会社日立製作所）29.03.1994（1994 - 03 - 29）	1-16								
A	JP 2006-505960 A（サイマー インコーポレイテッド）16.02.2006（2006 - 02 - 16）	1-16								
A	JP 10-150237 A（日新電機株式会社）02.06.1998（1998 - 06 - 02）	1-16								
A	US 2008/0285607 A1（SYNRAD, INC.）20.11.2008（2008 - 11 - 20）	1-16								
A	US 4797888 A（LAMBDA PHYSIK）10.01.1989（1989 - 01 - 10）	1-16								
☐ 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。										
<table border="0"> <tr> <td> * 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 </td> <td> “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抵触するものではなく、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 </td> </tr> </table>			* 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抵触するものではなく、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						
* 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抵触するものではなく、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 25.04.2023		国際調査報告の発送日 16.05.2023								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 浅見 一喜 2K 4783 電話番号 03-3581-1101 内線 3255								

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/009158

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2022/123714	A1	16.06.2022	(ファミリーなし)			
JP	2014-192199	A	06.10.2014	US	2014/0294027	A1	
				DE	102014003988	A1	
				CN	104078829	A	
WO	2015/186224	A1	10.12.2015	US	2016/0365696	A1	
JP	6-90047	A	29.03.1994	(ファミリーなし)			
JP	2006-505960	A	16.02.2006	WO	2004/012308	A2	
				AU	2003261337	A1	
				EP	1540783	B1	
				KR	10-2005-0062519	A	
JP	10-150237	A	02.06.1998	(ファミリーなし)			
US	2008/0285607	A1	20.11.2008	(ファミリーなし)			
US	4797888	A	10.01.1989	DE	3621005	A1	