

(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
2016年9月29日(29.09.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/151796 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/097 (2006.01) H02M 9/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/059106
- (22) 国際出願日: 2015年3月25日(25.03.2015)
- (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: 国立大学法人長岡技術科学大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION NAGAOKA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒9402188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 Niigata (JP). ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 江 偉華(JIANG Weihua); 〒9402188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 国立大学法人長岡技術科学大学内 Niigata (JP). 梅田 博(UMEDA Hiroshi); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内

Tochigi (JP). 溝口 計(MIZOGUCHI Hakaru); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 松永 隆(MATSUNAGA Takashi); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 對馬 弘朗(TSUSHIMA Hiroaki); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

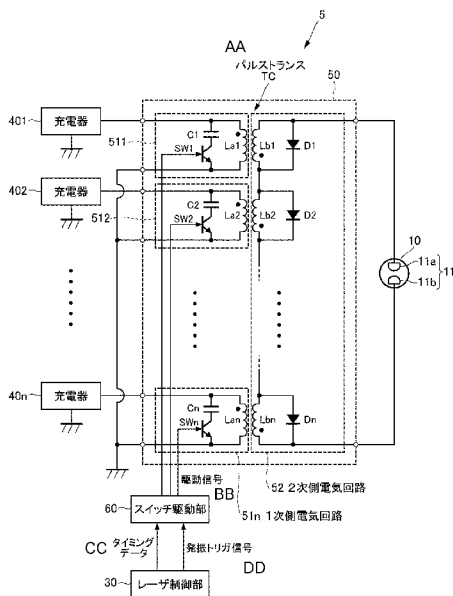
(74) 代理人: 特許業務法人 小林国際特許事務所(KYORITSU INSTITUTE); 〒1700004 東京都豊島区北大塚2丁目25番1号 アミックス大塚ビル2階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,

[続葉有]

(54) Title: HIGH-VOLTAGE PULSE GENERATING DEVICE AND GAS LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 高電圧パルス発生装置及びガスレーザ装置



- 30 Laser control unit
401, 402, 40n Charger
51n Primary side electrical circuit
52 Secondary side electrical circuit
60 Switch drive unit
AA Pulse transformer TC
BB Drive signal
CC Timing data
DD Oscillation trigger signal

(57) Abstract: The present invention may improve the oscillation efficiency of a pulse laser light. The high-voltage pulse generating device applies a high voltage in the form of pulses between a pair of discharge electrodes disposed inside a laser chamber of the gas laser device. The high-voltage pulse generating device comprises n primary side electrical circuits (n is a natural number of 2 or greater) connected in parallel to one another on the primary side of a pulse transformer, and a secondary side electrical circuit of the pulse transformer connected to the pair of discharge electrodes. The n primary side electrical circuits may comprise n primary side coils connected in parallel to one another, n capacitors respectively connected in parallel to the n primary side coils, and n switches respectively connected in series to the n capacitors. The secondary side electrical circuit may comprise n secondary side coils connected in series to one another, and diodes for preventing a backward current from flowing from the pair of discharge electrodes and oriented toward the secondary side coils.

(57) 要約: パルスレーザ光の発振効率を向上させ得る。高電圧パルス発生装置は、ガスレーザ装置のレーザチャンバ内に配置された一対の放電電極間にパルス状の高電圧を印加する高電圧パルス発生装置であって、パルス変圧器の1次側において互いに並列に接続されたn(nは2以上の自然数)個の1次側電気回路と、前記一対の放電電極に接続された前記パルス変圧器の2次側電気回路と、を備え、前記n個の1次側電気回路は、互いに並列に接続されたn個の1次側コイルと、前記n個の1次側コイルにそれぞれ並列に接続されたn個のコンデンサと、前記n個のコンデンサにそれぞれ直列に接続されたn個のスイッチと、を含み、前記2次側電気回路は、互いに直列に接続されたn個の2次側コイルと、前記一対の放電電極から前記2次側コイル側に向かって逆電流が流れることを抑制するダイオードと、を含んでもよい。



PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：高電圧パルス発生装置及びガスレーザ装置

技術分野

[0001] 本開示は、高電圧パルス発生装置及びガスレーザ装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体集積回路の微細化、高集積化につれて、半導体露光装置においては解像力の向上が要請されている。半導体露光装置を以下、単に「露光装置」という。このため露光用光源から出力される光の短波長化が進められている。露光用光源には、従来の水銀ランプに代わってガスレーザ装置が用いられている。現在、露光用のガスレーザ装置としては、波長248nmの紫外線を出力するKrFエキシマレーザ装置ならびに、波長193nmの紫外線を出力するArFエキシマレーザ装置が用いられている。

[0003] 現在の露光技術としては、露光装置側の投影レンズとウエハ間の間隙を液体で満たして、当該間隙の屈折率を変えることによって、露光用光源の見かけの波長を短波長化する液浸露光が実用化されている。ArFエキシマレーザ装置を露光用光源として用いて液浸露光が行われた場合は、ウエハには水中における波長134nmの紫外光が照射される。この技術をArF液浸露光という。ArF液浸露光はArF液浸リソグラフィーとも呼ばれる。

[0004] KrF、ArFエキシマレーザ装置の自然発振におけるスペクトル線幅は約350～400pmと広いため、露光装置側の投影レンズによってウエハ上に縮小投影されるレーザ光（紫外線光）の色収差が発生して解像力が低下する。そこで色収差が無視できる程度となるま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狭帯域化する必要がある。スペクトル線幅はスペクトル幅とも呼ばれる。このためガスレーザ装置のレーザ共振器内には狭帯域化素子を有する狭帯域化モジュール（Line Narrowing Module：LNM）が設けられ、この狭帯域化モジュールによりスペクトル幅の狭帯域化が実現されている。なお、狭帯域化素子はエタロンやグレーティング等であっ

てもよい。このようにスペクトル幅が狭帯域化されたレーザ装置を狭帯域化レーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許出願公開2002-151769号

特許文献2：特許出願公開平成4-171879号

特許文献3：特許出願公開平成4-208582号

特許文献4：特許出願公開平成11-308882号

概要

[0006] 本開示の1つの観点に係る高電圧パルス発生装置は、ガスレーザ装置のレーザチャンバ内に配置された一对の放電電極間にパルス状の高電圧を印加する高電圧パルス発生装置であって、パルストランスの1次側において互いに並列に接続された n (n は2以上の自然数)個の1次側電気回路と、前記一对の放電電極に接続された前記パルストランスの2次側電気回路と、を備え、前記 n 個の1次側電気回路は、互いに並列に接続された n 個の1次側コイルと、前記 n 個の1次側コイルにそれぞれ並列に接続された n 個のコンデンサと、前記 n 個のコンデンサにそれぞれ直列に接続された n 個のスイッチと、を含み、前記2次側電気回路は、互いに直列に接続された n 個の2次側コイルと、前記一对の放電電極から前記2次側コイル側に向かって逆電流が流れることを抑制するダイオードと、を含んでもよい。

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、高電圧パルス発生装置を備えるガスレーザ装置を説明するための図を示す。

[図2]図2は、図1に示されたガスレーザ装置の放電回路を説明するための図を示す。

[図3]図3は、第1実施形態の高電圧パルス発生装置の構成を説明するための図を示す。

[図4]図4は、第1実施形態の高電圧パルス発生装置を動作させる際のレーザ制御部が行う処理の概要を説明するためのフローチャートを示す。

[図5]図5は、図4のステップS3における駆動タイミング計算処理を説明するためのフローチャートを示す。

[図6]図6は、第1実施形態の高電圧パルス発生装置の動作を説明するためのタイムチャートを示す。

[図7]図7は、第2実施形態の高電圧パルス発生装置を動作させる際のレーザ制御部が行う処理の概要を説明するためのフローチャートを示す。

[図8]図8は、図7のステップS21における初期値 $V_0(t)$ を設定する処理を説明するためのフローチャートを示す。

[図9]図9は、図7のステップS23における駆動タイミング計算処理を説明するためのフローチャートを示す。

[図10]図10は、図7のステップS29における新たな印加電圧 $V(t)$ を設定する処理を説明するためのフローチャートを示す。

[図11]図11は、第2実施形態の高電圧パルス発生装置の動作を説明するためのタイムチャートを示す。

[図12]図12は、第3実施形態の高電圧パルス発生装置の構成を説明するための図を示す。

[図13]図13は、第4実施形態の高電圧パルス発生装置の構成を説明するための図を示す。

[図14]図14は、第5実施形態の高電圧パルス発生装置の構成を説明するための図を示す。

[図15]図15は、第6実施形態の高電圧パルス発生装置の構成を説明するための図を示す。

[図16]図16は、第7実施形態の高電圧パルス発生装置の構成を説明するための図を示す。

[図17]図 1 7 は、第 7 実施形態に係るレーザ制御部が行う駆動タイミング計算処理を説明するためのフローチャートを示す。

[図18]図 1 8 は、各制御部のハードウェア環境を説明するためのブロック図を示す。

実施形態

[0008] ～内容～

1. 概要
2. 用語の説明
3. 高電圧パルス発生装置を備えるガスレーザ装置及びその充放電回路
 3. 1 構成
 3. 2 動作
4. 課題
5. 第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置
 5. 1 構成
 5. 2 動作
 5. 3 作用
6. 第 2 実施形態の高電圧パルス発生装置
 6. 1 動作
 6. 2 作用
7. 第 3 実施形態の高電圧パルス発生装置
8. 第 4 実施形態の高電圧パルス発生装置
9. 第 5 実施形態の高電圧パルス発生装置
10. 第 6 実施形態の高電圧パルス発生装置
11. 第 7 実施形態の高電圧パルス発生装置
12. その他
 12. 1 各制御部のハードウェア環境
 12. 2 その他の変形例等

[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、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。

[0010] [1. 概要]

本開示は、以下の実施形態を単なる例として少なくとも開示し得る。

[0011] 本開示の高電圧パルス発生装置5は、ガスレーザ装置1のレーザチャンバ10内に配置された一対の放電電極11の間にパルス状の高電圧Vを印加する高電圧パルス発生装置5であって、パルストランスTCの1次側において互いに並列に接続された n (n は2以上の自然数)個の1次側電気回路511~51 n と、一対の放電電極11に接続されたパルストランスTCの2次側電気回路52と、を備え、 n 個の1次側電気回路511~51 n は、互いに並列に接続された n 個の1次側コイルLa1~La n と、 n 個の1次側コイルLa1~La n にそれぞれ並列に接続された n 個のコンデンサC1~C n と、 n 個のコンデンサC1~C n にそれぞれ直列に接続された n 個のスイッチSW1~SW n と、を含み、2次側電気回路52は、互いに直列に接続された n 個の2次側コイルLb1~Lb n と、一対の放電電極11から2次側電気回路52側に向かって逆電流が流れることを抑制する n 個のダイオードD1~D n と、を含んでもよい。

このような構成により、高電圧パルス発生装置5は、パルスレーザ光の発振効率を向上させ得る。

[0012] [2. 用語の説明]

「光路軸」は、レーザ光の進行方向に沿ってレーザ光のビーム断面の中心を通る軸である。

「光路」は、レーザ光が通る経路である。光路には、光路軸が含まれてもよい。

「印加電圧」は、ガスレーザ装置のレーザチャンバ内に配置された一対の

放電電極間に印加される予定の電圧である。印加電圧は、一对の放電電極間で実際に計測される電圧とは異なる場合があり得る。

[0013] [3. 高電圧パルス発生装置を備えるガスレーザ装置及びその充放電回路]

図1及び図2を用いて、高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1及びその充放電回路について説明する。

ガスレーザ装置1は、放電励起式のガスレーザ装置であってもよい。ガスレーザ装置1は、エキシマレーザ装置であってもよい。レーザ媒質であるレーザガスは、レアガスとしてアルゴン若しくはクリプトン若しくはキセノン、ハロゲンガスとしてフッ素若しくは塩素、バッファガスとしてネオン若しくはヘリウム、又はこれらの混合ガスを用いて構成されてもよい。

[0014] [3. 1 構成]

図1は、高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1を説明するための図を示す。図2は、図1に示されたガスレーザ装置1の放電回路を説明するための図を示す。

ガスレーザ装置1は、レーザチャンバ10と、レーザ共振器と、パルスエネルギー計測器20と、モータ21と、レーザ制御部30と、充電器40と、ピーキングコンデンサCpと、パルスパワーモジュール(Pulse Power Module: PPM)50と、を備えてもよい。

なお、充電器40と、ピーキングコンデンサCpと、パルスパワーモジュール50と、レーザ制御部30と、を含めて高電圧パルス発生装置5ともいう。

[0015] レーザチャンバ10は、その内部にレーザガスが封入されていてもよい。

レーザチャンバ10の内部空間を形成する壁10aは、例えばアルミ等の金属材料で形成されてもよい。当該金属材料の表面には、例えばニッケルめっきが施されてもよい。

レーザチャンバ10は、一对の放電電極11と、電流導入端子12と、絶縁ホルダ13と、導電ホルダ14と、配線15と、ファン16と、熱交換器17と、を含んでもよい。

[0016] 一对の放電電極 11 は、第 1 放電電極 11 a と、第 2 放電電極 11 b と、を含んでもよい。

第 1 及び第 2 放電電極 11 a 及び 11 b は、レーザガスを主放電により励起するための電極であってもよい。主放電は、グロー放電であってもよい。

第 1 及び第 2 放電電極 11 a 及び 11 b のそれぞれは、ハロゲンガスがフッ素を含む場合は銅を含む金属材料、ハロゲンガスが塩素を含む場合はニッケルを含む金属材料で形成されてもよい。

第 1 及び第 2 放電電極 11 a 及び 11 b は、互いに所定距離だけ離隔し、且つ、互いの長手方向が略平行となるように対向して配置されてもよい。

第 1 及び第 2 放電電極 11 a 及び 11 b は、それぞれカソード電極及びアノード電極であってもよい。

[0017] 第 1 放電電極 11 a の第 2 放電電極 11 b と対向する面、及び、第 2 放電電極 11 b の第 1 放電電極 11 a と対向する面を、それぞれ「放電面」ともいう。

第 1 放電電極 11 a の放電面と第 2 放電電極 11 b の放電面との間の空間を、「放電空間」ともいう。

[0018] 電流導入端子 12 の一方の端部は、第 1 放電電極 11 a の放電面とは反対側の底面に接続されてもよい。

電流導入端子 12 の他方の端部は、ピーキングコンデンサ C p を介して、パルスパワーモジュール 50 の負側の出力端子に接続されてもよい。

[0019] 絶縁ホルダ 13 は、第 1 放電電極 11 a 及び電流導入端子 12 の側面を囲むようにして第 1 放電電極 11 a 及び電流導入端子 12 を保持してもよい。

絶縁ホルダ 13 は、レーザガスと反応し難い絶縁材料で形成されてもよい。ハロゲンガスがフッ素又は塩素を含む場合、絶縁ホルダ 13 は、例えば高純度のアルミナセラミックスで形成されてもよい。

絶縁ホルダ 13 は、レーザチャンバ 10 の壁 10 a に固定されてもよい。

絶縁ホルダ 13 は、レーザチャンバ 10 の壁 10 a に配線 15 を介して電気的に接続されてもよい。

絶縁ホルダ 13 は、第 1 放電電極 11a 及び電流導入端子 12 と、レーザチャンバ 10 の壁 10a とを電氣的に絶縁してもよい。

[0020] 導電ホルダ 14 は、第 2 放電電極 11b の放電面とは反対側の面に接続され、当該第 2 放電電極 11b を支持してもよい。

導電ホルダ 14 は、アルミや銅等を含む金属材料で形成され、その表面にはニッケルめっきが施されてもよい。

導電ホルダ 14 は、レーザチャンバ 10 の壁 10a に固定されてもよい。

導電ホルダ 14 は、レーザチャンバ 10 の壁 10a に配線 15 を介して電氣的に接続されてもよい。

[0021] 配線 15 の一方の端部は、導電ホルダ 14 に接続されてもよい。

配線 15 の他方の端部は、レーザチャンバ 10 の壁 10a 及びピーキングコンデンサ Cp を介して、パルスパワーモジュール 50 のグランド側の端子に接続されてもよい。

配線 15 は、第 1 及び第 2 放電電極 11a 及び 11b の長手方向に沿って、所定間隔をあけて複数設けられてもよい。

[0022] ファン 16 は、レーザガスをレーザチャンバ 10 内で循環させてもよい。

ファン 16 は、クロスフローファンであってもよい。

ファン 16 は、第 1 及び第 2 放電電極 11a 及び 11b の長手方向とファン 16 の長手方向とが略平行となるように配置されてもよい。

ファン 16 は、不図示の磁気軸受によって磁気浮上し、モータ 21 の駆動によって回転してもよい。

[0023] 熱交換器 17 は、熱交換器 17 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ってもよい。

熱交換器 17 の動作は、レーザ制御部 30 によって制御されてもよい。

[0024] モータ 21 は、ファン 16 を回転させてもよい。

モータ 21 は、直流モータや交流モータであってもよい。

モータ 21 の動作は、レーザ制御部 30 によって制御されてもよい。

[0025] レーザ共振器は、狭帯域化モジュール (Line Narrowing Module : LNM)

１８及び出力結合ミラー（Output Coupler：ＯＣ）１９によって構成されてもよい。

狭帯域化モジュール１８は、プリズム１８ａと、グレーティング１８ｂと、を含んでもよい。

[0026] プリズム１８ａは、レーザチャンバ１０からウインドウ１０ｂを介して出射された光のビーム幅を拡大してもよい。プリズム１８ａは、拡大された光をグレーティング１８ｂ側に透過させてもよい。

[0027] グレーティング１８ｂは、表面に多数の溝が所定間隔で形成された波長分散素子であってもよい。

グレーティング１８ｂ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もよい。

グレーティング１８ｂは、プリズム１８ａを透過した光のうち特定の波長付近の光を回折角度に応じて選択的に取り出し、レーザチャンバ１０内に戻してもよい。それにより、グレーティング１８ｂからレーザチャンバ１０に戻った光のスペクトル幅は、狭帯域化され得る。

[0028] 出力結合ミラー１９は、ウインドウ１０ｃを介してレーザチャンバ１０から出射された光の一部をパルスレーザ光として透過させ、他の一部を反射させてレーザチャンバ１０に戻してもよい。

出力結合ミラー１９の表面には、部分反射膜がコーティングされていてもよい。

[0029] パルスエネルギー計測器２０は、出力結合ミラー１９を透過したパルスレーザ光のパルスエネルギーを計測してもよい。

パルスエネルギー計測器２０は、ビームスプリッタ２０ａと、集光レンズ２０ｂと、光センサ２０ｃと、を含んでもよい。

[0030] ビームスプリッタ２０ａは、パルスレーザ光の光路上に配置されてもよい。ビームスプリッタ２０ａは、出力結合ミラー１９を透過したパルスレーザ光を高透過率で露光装置１１０に向けて透過させてもよい。ビームスプリッタ２０ａは、出力結合ミラー１９を透過したパルスレーザ光の一部を、集光

レンズ 20b に向けて反射させてもよい。

集光レンズ 20b は、ビームスプリッタ 20a によって反射したパルスレーザ光を、光センサ 20c の受光面に集光してもよい。

光センサ 20c は、受光面に集光されたパルスレーザ光を検出してもよい。光センサ 20c は、検出されたパルスレーザ光のパルスエネルギーを計測してもよい。光センサ 20c は、計測されたパルスエネルギーを示す信号をレーザ制御部 30 に出力してもよい。

[0031] レーザ制御部 30 は、露光装置 110 に設けられた露光装置制御部 111 との間で各種信号を送受信してもよい。

例えば、レーザ制御部 30 には、露光装置 110 に出力されるパルスレーザ光の目標パルスエネルギー E_t を指定する信号が、露光装置制御部 111 から送信されてもよい。レーザ制御部 30 には、レーザ発振を開始する契機を与えるための発振トリガ信号が、露光装置制御部 111 から送信されてもよい。

レーザ制御部 30 は、露光装置制御部 111 から送信された各種信号に基づいて、ガスレーザ装置 1 の各構成要素の動作を統括的に制御してもよい。特に、レーザ制御部 30 は、高電圧パルス発生装置 5 に含まれる他の構成要素の動作を制御してもよい。

なお、レーザ制御部 30 及び露光装置制御部 111 のハードウェア構成については、図 18 を用いて後述する。

[0032] 充電器 40 は、パルスパワーモジュール 50 内に含まれる充電コンデンサ C0 を所定電圧で充電する直流電源装置であってもよい。

充電器 40 の動作は、レーザ制御部 30 によって制御されてもよい。

[0033] ピーキングコンデンサ C_p は、パルスパワーモジュール 50 によって充電された電荷が第 1 放電電極 11a と第 2 放電電極 11b との間で放電するように配置されてもよい。

ピーキングコンデンサ C_p は、パルスパワーモジュール 50 とレーザチャンバ 10 との間に並列に接続されてもよい。

或いは、ピーキングコンデンサ C_p は、レーザチャンバ10の内部に配置されてもよい。この場合、ガスレーザ装置1の充放電回路を構成する電流経路によって囲まれた領域の面積が小さくなるため、当該充放電回路のインダクタンスは小さくなり得る。よって、当該充放電回路でのエネルギー損失が低減され好適であり得る。

[0034] パルスパワーモジュール50は、ピーキングコンデンサ C_p を介して、一対の放電電極11の間にパルス状の高電圧を印加してもよい。

パルスパワーモジュール50は、磁気スイッチの磁気飽和現象を利用してパルス圧縮を行う磁気圧縮回路を用いて構成されてもよい。

パルスパワーモジュール50は、図2に示されるように、スイッチSWと、パルストランスTCと、磁気スイッチMS1～MS3と、充電コンデンサC0と、コンデンサCa及びCbと、を含んでもよい。

[0035] スイッチSWは、半導体スイッチであってもよい。

スイッチSWは、パルストランスTCの1次側コイルのグラウンド側と充電コンデンサC0とに直列に接続されてもよい。

スイッチSWの動作は、レーザ制御部30によって制御されてもよい。

[0036] 磁気スイッチMS1は、パルストランスTCの2次側コイルとコンデンサCaとの間に設けられてもよい。

磁気スイッチMS2は、コンデンサCaとコンデンサCbとの間に設けられてもよい。

磁気スイッチMS3は、コンデンサCbとピーキングコンデンサ C_p との間に設けられてもよい。

磁気スイッチMS1～MS3に印加される電圧の時間積分値が閾値に達すると、磁気スイッチMS1～MS3は、電流を流し易くなり得る。当該閾値は磁気スイッチごとに異なる値であってもよい。

[0037] 磁気スイッチMS1～MS3が電流を流し易い状態であることを、「磁気スイッチが閉じている」ともいう。

[0038] パルストランスTCの1次側コイルと2次側コイルとは、電氣的に絶縁さ

れてもよい。パルストランスＴＣの１次側コイルの巻線方向と２次側コイルの巻線方向とは、逆方向であってもよい。パルストランスＴＣの２次側コイルの巻線数は、１次側コイルの巻線数より多くてもよい。

[0039] [３． ２ 動作]

レーザ制御部３０は、露光装置制御部１１１から送信されたレーザ発振準備を指令する信号を受信してもよい。

レーザ制御部３０は、モータ２１を制御してファン１６を回転させてもよい。

レーザチャンバ１０内のレーザガスが循環し得る。レーザガスは、一対の放電電極１１の間の放電空間を流れ得る。

[0040] レーザ制御部３０は、露光装置制御部１１１から送信された目標パルスエネルギー E_t を指定する信号を受信してもよい。

レーザ制御部３０は、目標パルスエネルギー E_t に応じた電圧 V_{hv} を充電器４０に設定してもよい。

充電器４０は、設定された電圧 V_{hv} に基づいて、充電コンデンサ C_0 を充電し得る。

レーザ制御部３０は、充電器４０に設定された電圧 V_{hv} の値を記憶してもよい。

[0041] レーザ制御部３０は、露光装置制御部１１１から送信された発振トリガ信号を受信してもよい。

レーザ制御部３０は、発振トリガ信号をパルスパワーモジュール５０のスイッチＳＷに出力してもよい。

発振トリガ信号がスイッチＳＷに入力されると、スイッチＳＷはＯＮ状態となって駆動し得る。スイッチＳＷがＯＮ状態となって駆動すると、充電コンデンサ C_0 からパルストランスＴＣの１次側コイルにパルス状の電流が流れ得る。

[0042] パルストランスＴＣの１次側コイルに電流が流れると、電磁誘導によってパルストランスＴＣの２次側コイルに逆方向のパルス状の電流が流れ得る。

パルストランスTCの2次側コイルに電流が流れると、やがて磁気スイッチMS1に印加される電圧の時間積分値が閾値に達し得る。

磁気スイッチMS1に印加される電圧の時間積分値が閾値に達すると、磁気スイッチMS1は磁気飽和した状態となり、磁気スイッチMS1は閉じ得る。

磁気スイッチMS1が閉じると、パルストランスTCの2次側コイルからコンデンサCaに電流が流れ、コンデンサCaが充電され得る。このとき、コンデンサCaを充電する際の電流のパルス幅は、短くなり得る。コンデンサCaの電位は負の電位となり得る。

[0043] コンデンサCaが充電されることにより、やがて磁気スイッチMS2に印加される電圧の時間積分値が閾値に達した状態となり、磁気スイッチMS2は閉じ得る。

磁気スイッチMS2が閉じると、コンデンサCaからコンデンサCbに電流が流れ、コンデンサCbが充電され得る。このとき、コンデンサCbを充電する際の電流のパルス幅は、コンデンサCaを充電する際の電流のパルス幅よりも短くなり得る。コンデンサCbの電位は負の電位となり得る。

[0044] コンデンサCbが充電されることにより、やがて磁気スイッチMS3に印加される電圧の時間積分値が閾値に達した状態となり、磁気スイッチMS3は閉じ得る。

磁気スイッチMS3が閉じると、コンデンサCbからピーキングコンデンサCpに電流が流れ、ピーキングコンデンサCpが充電され得る。このとき、ピーキングコンデンサCpを充電する際の電流のパルス幅は、コンデンサCbを充電する際の電流のパルス幅よりも短くなり得る。ピーキングコンデンサCpの電位は負の電位となり得る。

[0045] このように、コンデンサCaからコンデンサCb、コンデンサCbからピーキングコンデンサCpへと電流が順次流れることにより、当該電流のパルス幅は圧縮され得る。

ピーキングコンデンサCpが充電されることにより、一対の放電電極11

の間には、ピーキングコンデンサ C_p によってパルス状の高電圧が印加され得る。

一对の放電電極 11 の間に印加されるパルス状の高電圧がレーザガスの絶縁耐圧より大きくなると、レーザガスは絶縁破壊され得る。

レーザガスが絶縁破壊されると、一对の放電電極 11 の間の放電空間には主放電が発生し得る。このとき、主放電により電子が移動する方向は、カソード電極である第 1 放電電極 11a からアノード電極である第 2 放電電極 11b に向かう方向であり得る。

[0046] 主放電が発生すると、一对の放電電極 11 の間の放電空間にあるレーザガスは励起されて光を放出し得る。

レーザガスから放出された光は、レーザ共振器を構成する狭帯域化モジュール 18 及び出力結合ミラー 19 で反射され、レーザ共振器内を往復し得る。レーザ共振器内を往復する光は、狭帯域化モジュール 18 により狭帯域化され得る。レーザ共振器内を往復する光は、一对の放電電極 11 の間を通過する度に増幅され、レーザ発振し得る。

その後、増幅された光の一部は、出力結合ミラー 19 を透過し得る。出力結合ミラー 19 を透過した光は、パルスレーザ光として露光装置 110 に出力され得る。

[0047] 出力結合ミラー 19 を透過したパルスレーザ光の一部は、パルスエネルギー計測器 20 に入射してもよい。パルスエネルギー計測器 20 は、入射したパルスレーザ光のパルスエネルギーを計測し、レーザ制御部 30 に出力してもよい。

[0048] レーザ制御部 30 は、パルスエネルギー計測器 20 によって計測されたパルスエネルギーの計測値 E を記憶してもよい。

レーザ制御部 30 は、パルスエネルギーの計測値 E と目標パルスエネルギー E_t との差分 ΔE を計算してもよい。レーザ制御部 30 は、当該差分 ΔE に対応する電圧 V_{hv} の変化量 ΔV_{hv} を計算してもよい。

レーザ制御部 30 は、計算された変化量 ΔV_{hv} を、上記で記憶された電

圧 V_{hv} に加算して、新たに設定する電圧 V_{hv} を計算してもよい。

レーザ制御部30は、計算された電圧 V_{hv} を充電器40に新たに設定してもよい。このようにして、レーザ制御部30は、電圧 V_{hv} をフィードバック制御してもよい。

[0049] また、主放電が発生すると、一对の放電電極11の間の放電空間には、放電生成物が発生し得る。放電生成物は、当該放電空間を流れるレーザガスの流れに乗って、当該放電空間から遠ざかり得る。

放電空間を流れるレーザガスは、熱交換器17に向かって流れ、熱交換器17を通過する際に冷却され得る。熱交換器17を通過したレーザガスは、ファン16を通過して、レーザチャンバ10内を再び循環し得る。

その結果、ガスレーザ装置1は、レーザガスの循環に対応する繰り返し周波数で、パルスレーザ光を出力し得る。

[0050] [4. 課題]

高電圧パルス発生装置5は、上述のように、磁気圧縮回路を用いて構成されてもよい。

磁気圧縮回路を用いた高電圧パルス発生装置5は、磁気スイッチ及びコンデンサのLC共振回路を多段に接続してパルス圧縮及びエネルギー転送を行い得るが、エネルギー転送効率が低く、また大型化するという点で改善の余地があり得る。

また、磁気圧縮回路を用いた高電圧パルス発生装置5は、スイッチSWが駆動してから一对の放電電極11で主放電が発生するタイミングまでの時間が長く、主放電の発生タイミング自体も大きく変化するという点で改善の余地があり得る。

更に、磁気圧縮回路を用いた高電圧パルス発生装置5は、一对の放電電極11の間に最適なパルス波形の高電圧を印加することが困難であるという点で改善の余地があり得る。

特に、磁気圧縮回路が磁気スイッチ及びコンデンサのLC共振回路で構成されることから、一对の放電電極11に対する印加電圧の波形は基本的に正

弦波となり得る。このため、磁気圧縮回路を用いた高電圧パルス発生装置 5 は、一对の放電電極 11 へのエネルギー投入量を時間的に制御することが困難であり得る。それにより、磁気圧縮回路を用いた高電圧パルス発生装置 5 は、一对の放電電極 11 に投入されたエネルギーの多くが、熱に変換されたりパルスパワーモジュール 50 側に逆流したりして、レーザ発振に寄与できずに無駄となることがあり得る。

よって、磁気圧縮回路を用いた高電圧パルス発生装置 5 が抱えるこれらの課題を解決し得る新しい高電圧パルス発生装置 5 を提供することが求められている。

[0051] [5. 第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置]

図 3～図 6 を用いて、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 について説明する。

第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、図 2 に示された高電圧パルス発生装置 5 とは異なり、磁気圧縮回路ではなく L T D (Linear Transformer Driver) を用いた高電圧パルス発生装置 5 を備えてもよい。

第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 を備えるガスレーザ装置 1 において、図 2 に示された高電圧パルス発生装置 5 を備えるガスレーザ装置 1 と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0052] [5. 1 構成]

図 3 は、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 の構成を説明するための図を示す。

第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、パルスパワーモジュール 50 と、 n 個の充電器 401～40 n と、スイッチ駆動部 60 と、レーザ制御部 30 と、を備えてもよい。

n は、2 以上の自然数であってもよい。 n は、例えば 15～30 の範囲にある自然数であってもよい。

[0053] 図 3 に示されたパルスパワーモジュール 50 は、L T D (Linear Transformer Driver) で構成されたパルス圧縮回路であってもよい。

パルスパワーモジュール50は、 n 個の1次側電気回路511～51 n と、2次側電気回路52と、を含んでもよい。

[0054] n 個の1次側電気回路511～51 n は、パルスパワーモジュール50を構成するパルストランスTCの1次側に配置された電気回路であってもよい。

n 個の1次側電気回路511～51 n は、互いに並列に接続されてもよい。

n 個の1次側電気回路511～51 n は、 n 個の1次側コイルLa1～La n と、 n 個のコンデンサC1～C n と、 n 個のスイッチSW1～SW n と、を含んでもよい。

[0055] なお、互いに並列に接続された n 個の1次側電気回路511～51 n に含まれる個々の1次側電気回路は、接続順に、1次側電気回路511、1次側電気回路512、・・・、1次側電気回路51 n と表記する。高電圧パルス発生装置5に含まれる他の構成要素にも同様に表記する。例えば、図3の最上段に記載された第1段目の1次側電気回路511には、1個の1次側コイルLa1と、1個のコンデンサC1と、1個のスイッチSW1とが含まれ得る。

[0056] n 個の1次側コイルLa1～La n は、パルストランスTCの1次側コイルであってもよい。

n 個の1次側コイルLa1～La n は、互いに並列に接続されてもよい。

n 個の1次側コイルLa1～La n の各一端は、 n 個の充電器401～40 n にそれぞれ接続されてもよい。

n 個の1次側コイルLa1～La n の各他端は、グラウンドにそれぞれ接続されてもよい。

[0057] n 個のコンデンサC1～C n は、 n 個の1次側コイルLa1～La n にそれぞれ並列に接続されてもよい。

n 個のコンデンサC1～C n の各一端は、 n 個の1次側コイルLa1～La n と n 個の充電器401～40 n とをそれぞれ接続する各配線にそれぞれ

接続されてもよい。

n 個のコンデンサ $C_1 \sim C_n$ の各他端は、 n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ にそれぞれ接続されてもよい。

[0058] n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ は、 n 個のコンデンサ $C_1 \sim C_n$ にそれぞれ直列に接続されてもよい。

n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ の各一端は、 n 個のコンデンサ $C_1 \sim C_n$ にそれぞれ接続されてもよい。

n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ の各他端は、 n 個の 1 次側コイル $L_{a1} \sim L_{an}$ とグラウンドとをそれぞれ接続する各配線にそれぞれ接続されてもよい。

[0059] また、 n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ は、スイッチ駆動部 60 にそれぞれ接続されてもよい。 n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ の駆動は、スイッチ駆動部 60 によって制御されてもよい。

n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ が駆動することによって、 n 個のコンデンサ $C_1 \sim C_n$ は、 n 個の充電器 401 ~ 40n によって充電された充電電圧に応じた電流を n 個の 1 次側コイル $L_{a1} \sim L_{an}$ に供給し得る。

[0060] なお、 n 個の 1 次側コイル $L_{a1} \sim L_{an}$ に電流が供給されると、電磁誘導によって n 個の 2 次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ に逆方向の電流が流れ得る。

n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ を駆動させて n 個の 1 次側コイル $L_{a1} \sim L_{an}$ に電流を供給することによって 2 次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ に電流を流すことを、 n 個の 1 次側電気回路 51n を駆動させるともいう。

[0061] 2 次側電気回路 52 は、パルスパワーモジュール 50 を構成するパルストランス TC の 2 次側に配置された電気回路であってもよい。

2 次側電気回路 52 は、 n 個の 2 次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ と、 n 個のダイオード $D_1 \sim D_n$ と、を含んでもよい。

[0062] n 個の 2 次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ は、パルストランス TC の 2 次側コイルであってもよい。

n 個の 2 次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ は、互いに直列に接続されてもよい。

n 個の２次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ は、一対の放電電極 11 に直列に接続されてもよい。

n 個の２次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ のうち、第１段目にある２次側コイル L_{b1} 及び最終段にある２次側コイル L_{bn} は、第１及び第２放電電極 $11a$ 及び $11b$ にそれぞれ接続されてもよい。

[0063] n 個のダイオード $D1 \sim Dn$ は、一対の放電電極 11 から２次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ 側に向かって逆電流が流れることを抑制するダイオードであってもよい。

n 個のダイオード $D1 \sim Dn$ は、 n 個の２次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ を当該逆電流からそれぞれ保護するバイパスダイオードであってもよい。

n 個のダイオード $D1 \sim Dn$ は、 n 個の２次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ の各両端に、当該逆電流が各ダイオード中を流れるような向きでそれぞれ接続されてもよい。

[0064] n 個の充電器 $401 \sim 40n$ は、それぞれ直流電源装置であってもよい。

n 個の充電器 $401 \sim 40n$ は、 n 個の１次側電気回路 $511 \sim 51n$ にそれぞれ接続されてもよい。

n 個の充電器 $401 \sim 40n$ は、所定の充電電圧で n 個のコンデンサ $C1 \sim Cn$ をそれぞれ充電してもよい。

n 個の充電器 $401 \sim 40n$ は、 n 個のコンデンサ $C1 \sim Cn$ をそれぞれ略同一の充電電圧 ΔV で充電してもよい。充電電圧 ΔV は、例えば 1 kV 程度であってもよい。

n 個の充電器 $401 \sim 40n$ の動作は、レーザ制御部 30 によって制御されてもよい。

[0065] スイッチ駆動部 60 は、 n 個のスイッチ $SW1 \sim SWn$ のそれぞれと接続されてもよい。

スイッチ駆動部 60 は、レーザ制御部 30 に接続されてもよい。

スイッチ駆動部 6 には、レーザ制御部 30 から出力されるタイミングデータ及び発振トリガ信号が入力されてもよい。

スイッチ駆動部60は、タイミングデータ及び発振トリガ信号に基づいて、 n 個のスイッチSW1～SW n の駆動を制御してもよい。

スイッチ駆動部60は、 n 個のスイッチSW1～SW n のそれぞれに対し、駆動信号を出力することによって、 n 個のスイッチSW1～SW n の駆動を制御してもよい。

スイッチ駆動部60の動作は、レーザ制御部30によって制御されてもよい。

[0066] タイミングデータは、 n 個のスイッチSW1～SW n のそれぞれの駆動タイミングを定めるデータであってもよい。

タイミングデータには、 n 個のスイッチSW1～SW n のうち何れのスイッチSWを所定の駆動タイミングで駆動させるかを定める情報が含まれていてもよい。

n 個のスイッチSW1～SW n のうち駆動させるスイッチSWの数及びその内訳は、ガスレーザ装置1から出力されるパルスレーザ光の目標パルスエネルギー E_t に基づいて決定されてもよい。

所定の駆動タイミングは、発振トリガ信号から所定の遅延時間 T_1 だけ遅延したタイミングであってもよい。

所定の駆動タイミングは、駆動される複数のスイッチSWのそれぞれで略同一のタイミングであってもよい。

なお、スイッチ駆動部60のハードウェア構成については、図18を用いて後述する。

[0067] 第1実施形態に係る高電圧パルス発生装置5の他の構成については、図2に示された高電圧パルス発生装置5と同様であってもよい。

[0068] [5. 2 動作]

図4～図6を用いて、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5の動作について説明する。

具体的には、パルスレーザ光のパルスエネルギーを制御するために第1実施形態の高電圧パルス発生装置5を動作させる際のレーザ制御部30が行う処

理について説明する。

図4は、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5を動作させる際のレーザ制御部30が行う処理の概要を説明するためのフローチャートを示す。

[0069] ステップS1において、レーザ制御部30は、一对の放電電極11の間に印加される印加電圧Vとして初期値V0を設定してもよい。

初期値V0は、一对の放電電極11で少なくとも主放電が発生可能な電圧であってもよい。V0は、例えば10～30kV程度であってもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて印加電圧Vの初期値V0を設定してもよい。

$$V = V_0$$

[0070] ステップS2において、レーザ制御部30は、露光装置制御部111から指定された目標パルスエネルギーE_tを読み込んでもよい。

[0071] ステップS3において、レーザ制御部30は、駆動タイミング計算処理を行ってもよい。

駆動タイミング計算処理は、n個のスイッチSW1～SWnのそれぞれの駆動タイミングを計算する処理であってもよい。

駆動タイミング計算処理の詳細については、図5を用いて後述する。

[0072] ステップS4において、レーザ制御部30は、ステップS3で作成したタイミングデータをスイッチ駆動部60に出力してもよい。

[0073] ステップS5において、レーザ制御部30は、露光装置制御部111から出力された発振トリガ信号をスイッチ駆動部60に出力してもよい。

スイッチ駆動部60は、タイミングデータ及び発振トリガ信号に基づいて、n個のスイッチSW1～SWnの駆動を制御してもよい。

具体的には、スイッチ駆動部60は、n個のスイッチSW1～SWnのうちタイミングデータで定められたスイッチSWを、発振トリガ信号から遅延時間T₁だけ遅延したタイミングで駆動させてもよい。

n個のスイッチSW1～SWnのうち駆動させるスイッチSWの数及びその内訳については、図5を用いて後述する。

[0074] ステップS 6において、レーザ制御部30は、レーザ発振が行われたか否かを判定してもよい。

レーザ制御部30は、レーザ発振が行われていなければ、レーザ発振が行われるまで待機してもよい。一方、レーザ制御部30は、レーザ発振が行われれば、ステップS 7に移行してもよい。

[0075] ステップS 7において、レーザ制御部30は、パルスエネルギー計測器20によって計測されたパルスエネルギーの計測値Eを記憶してもよい。

[0076] ステップS 8において、レーザ制御部30は、パルスエネルギーの計測値Eと目標パルスエネルギーE_tとの差分ΔEを計算してもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて差分ΔEを計算してもよい。

$$\Delta E = E - E_t$$

[0077] ステップS 9において、レーザ制御部30は、差分ΔEが0に近づくよう、新たな印加電圧Vを設定してもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて新たな印加電圧Vを設定してもよい。

$$V = V + \alpha \cdot \Delta E$$

なお、右辺のαは、予め実験等によって求められた比例定数であってもよい。

[0078] ステップS 10において、レーザ制御部30は、目標パルスエネルギーE_tが変更されたか否かを判定してもよい。

露光装置制御部111は、目標パルスエネルギーE_tを変更する場合があります。この場合、露光装置制御部111は、変更後の目標パルスエネルギーE_tを指定する信号をレーザ制御部30に出力してもよい。

レーザ制御部30は、目標パルスエネルギーE_tが変更されたならば、ステップS 2に移行してもよい。一方、レーザ制御部30は、目標パルスエネルギーE_tが変更されていなければ、ステップS 11に移行してもよい。

[0079] ステップS 11において、レーザ制御部30は、パルスレーザ光のパルスエネルギーを制御する処理を終了するか否かを判定してもよい。

レーザ制御部30は、パルスレーザ光のパルスエネルギーを制御する処理を

終了しないならば、ステップS 3に移行してもよい。一方、レーザ制御部30は、パルスレーザ光のパルスエネルギーを制御する処理を終了するならば、本処理を終了してもよい。

[0080] 図5は、図4のステップS 3における駆動タイミング計算処理を説明するためのフローチャートを示す。

[0081] ステップS 301において、レーザ制御部30は、識別番号Nを1に設定してもよい。

識別番号Nは、高電圧パルス発生装置5に含まれる1次側電気回路511～51n、2次側電気回路52、充電器401～40n及びこれらに含まれる各素子を識別するために付与される通し番号であってもよい。

例えば、n個の1次側電気回路511～51nのうち、図3の最上段から数えて第1段目の1次側電気回路511の識別番号Nは、1であってもよい。同様に、1次側電気回路511に含まれる1次側コイルLa1、コンデンサC1、スイッチSW1の識別番号は、1であってもよい。同様に、n個の充電器401～40nのうち、1次側電気回路511に接続された充電器401の識別番号Nは、1であってもよい。同様に、2次側電気回路に含まれるn個の2次側コイルLb1～Lbnのうち、1次側コイルLa1に対応する2次側コイルLb1及びその両端に接続されたダイオードD1の識別番号は、1であってもよい。

或いは、識別番号Nは、高電圧パルス発生装置5に含まれる1次側電気回路511～51n、2次側電気回路52、充電器401～40n及びこれらに含まれる各素子のうち、印加電圧Vの発生に使用される候補に対してだけ付与される通し番号であってもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて識別番号Nを設定してもよい。

$$N = 1$$

[0082] ステップS 302において、レーザ制御部30は、識別番号Nまでの充電器401～40NによってコンデンサC1～CNに充電される充電電圧の合計値である $N \cdot \Delta V$ が、一对の放電電極11の間に印加される印加電圧V以

下であるか否かを判定してもよい。

上述のように、 n 個の充電器 $401 \sim 40n$ のそれぞれは、互いに略同一の充電電圧 ΔV で、 n 個のコンデンサ $C1 \sim Cn$ のそれぞれを充電してもよい。

レーザ制御部30は、充電電圧の合計値 $N \cdot \Delta V$ が印加電圧 V 以下でなければ、ステップS305に移行してもよい。一方、レーザ制御部30は、充電電圧の合計値 $N \cdot \Delta V$ が印加電圧 V 以下であれば、ステップS303に移行してもよい。

[0083] ステップS303において、レーザ制御部30は、識別番号 N のスイッチSWNの駆動タイミングを設定してもよい。

具体的には、レーザ制御部30は、識別番号 N のスイッチSWNが、発振トリガ信号から遅延時間 $T1$ だけ遅延したタイミングで駆動するよう定めてもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて識別番号 N のスイッチSWNの駆動タイミングを設定してもよい。

$$SWN = T1$$

[0084] ステップS304において、レーザ制御部30は、識別番号 N を更新してもよい。

レーザ制御部30は、次式のように識別番号 N をインクリメントすることによって更新してもよい。

$$N = N + 1$$

その後、レーザ制御部30は、ステップS302に移行してもよい。

[0085] ステップS305において、レーザ制御部30は、閾値番号 KN を設定してもよい。

閾値番号 KN は、 n 個の1次側電気回路 $511 \sim 51n$ のうち、駆動させる対象の1次側電気回路と、駆動させる対象でない1次側電気回路との境界を示す識別番号 N であってもよい。閾値番号 KN に設定された識別番号 N より前段の1次側電気回路である1次側電気回路 $511 \sim 51KN - 1$ は、駆

動させる対象の１次側電気回路であってもよい。閾値番号 $K N$ に設定された識別番号 N 以降の１次側電気回路である１次側電気回路 $5\ 1\ K N \sim 5\ 1\ N m a x$ は、駆動させる対象でない１次側電気回路であってもよい。

閾値番号 $K N$ の値は、一对の放電電極 $1\ 1$ の間に印加される印加電圧 V に応じて決定され得る。

$N m a x$ は、高電圧パルス発生装置 5 に含まれる１次側電気回路 $5\ 1\ 1 \sim 5\ 1\ n$ の総数であってもよい。図 3 の例では、 $N m a x$ は、 n と等しくてもよい。

或いは、印加電圧 V の発生に使用される候補に対してだけ識別番号 N が付与される場合、 $N m a x$ は、 2 以上であって n より小さい自然数であってもよい。

レーザ制御部 $3\ 0$ は、次式を用いて閾値番号 $K N$ を設定してもよい。

$$K N = N$$

[0086] ステップ $S\ 3\ 0\ 6$ において、レーザ制御部 $3\ 0$ は、識別番号 N のスイッチ $S W N$ の駆動タイミングを設定してもよい。

ステップ $S\ 3\ 0\ 6$ で駆動タイミングが設定されるスイッチ $S W N$ は、閾値番号 $K N$ 以降の識別番号 N を有するスイッチ $S W K \sim S W N m a x$ であり得る。レーザ制御部 $3\ 0$ は、これらのスイッチ $S W N$ が駆動しないよう定めてもよい。

レーザ制御部 $3\ 0$ は、次式を用いて識別番号 N のスイッチ $S W N$ の駆動タイミングを設定してもよい。

$$S W N = O F F$$

[0087] ステップ $S\ 3\ 0\ 7$ において、レーザ制御部 $3\ 0$ は、識別番号 N を更新してもよい。

レーザ制御部 $3\ 0$ は、次式のように識別番号 N をインクリメントすることによって更新してもよい。

$$N = N + 1$$

[0088] ステップ $S\ 3\ 0\ 8$ において、レーザ制御部 $3\ 0$ は、更新後の識別番号 N が

N_{max} 以上であるか否かを判定してもよい。

レーザ制御部 30 は、更新後の識別番号 N が N_{max} 以上でなければ、ステップ S306 に移行してもよい。一方、レーザ制御部 30 は、更新後の識別番号 N が N_{max} 以上であれば、本処理を終了した後にタイミングデータを作成し、図 4 のステップ S4 に移行してもよい。

[0089] このような処理により、レーザ制御部 30 は、コンデンサ $C1 \sim CKN-1$ に充電された充電電圧に応じた電流が 1 次側コイル $L_{a1} \sim L_{aKN-1}$ に供給されることで必要な印加電圧 V を発生させ得る場合、スイッチ $SW1 \sim SWKN-1$ だけを駆動させ得る。

そして、レーザ制御部 30 は、スイッチ $SW1 \sim SWKN-1$ のそれぞれが、発振トリガ信号から遅延時間 $T1$ だけ遅延したタイミングで駆動するよう定め得る。

一方、レーザ制御部 30 は、スイッチ $SWKN \sim SWN_{max}$ が駆動しないよう定め得る。

すなわち、レーザ制御部 30 は、スイッチ $SW1 \sim SWKN-1$ が発振トリガ信号から遅延時間 $T1$ だけ遅延したタイミングで駆動し、スイッチ $SWKN \sim SWN_{max}$ が駆動しないよう定めたタイミングデータを作成し得る。

[0090] 図 6 は、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 の動作を説明するためのタイムチャートを示す。

[0091] スイッチ駆動部 60 には、レーザ制御部 30 から出力されたタイミングデータ及び発振トリガ信号が入力されてもよい。

発振トリガ信号が入力されると、スイッチ駆動部 60 は、スイッチ $SW1 \sim SWKN-1$ を、発振トリガ信号の入力タイミングから遅延時間 $T1$ だけ遅延したタイミングで駆動させてもよい。スイッチ駆動部 60 は、スイッチ $SWKN \sim SWN_{max}$ を、駆動させなくてもよい。

[0092] 1 次側電気回路 $511 \sim 51KN-1$ のそれぞれは、スイッチ $SW1 \sim SWKN-1$ の駆動タイミングに同期して駆動し、充電電圧 ΔV をピーク値と

するパルス波形の電圧を発生させ得る。

一方、1次側電気回路51KN~51Nmaxのそれぞれは、スイッチSWKN~SWNmaxが駆動しないため、駆動しない状態のままであり得る。

[0093] 2次側電気回路52は、1次側電気回路511~51KN-1によって発生する各電圧を加算した電圧Vsに応じた印加電圧Vを発生させ得る。

電圧Vsのパルス波形におけるピークの絶対値は、 $(KN-1) \cdot \Delta V$ であり得る。 $(KN-1) \cdot \Delta V$ は、目標パルスエネルギーEtのパルスレーザー光を出力するために必要な印加電圧Vに対応した値であり得る。

一对の放電電極11の間で実際に計測される印加電圧Vrのパルス波形は、レーザーガスが絶縁破壊される前の領域では電圧Vsのパルス波形の略相似形となり、絶縁破壊後の領域では電位が急激に0に近づくような波形となり得る。

[0094] 一对の放電電極11の間にレーザーガスの絶縁破壊電圧Vbが印加されると、一对の放電電極11には主放電が発生し、第2放電電極11bから第1放電電極11aに電流が流れ得る。

そして、一对の放電電極11の間の放電空間にあるレーザーガスは励起されて光を放出し、ガスレーザー装置1からパルスレーザー光が出力され得る。

[0095] 第1実施形態の高電圧パルス発生装置5の他の動作については、図2に示された高電圧パルス発生装置5と同様であってもよい。

[0096] [5.3 作用]

第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、n個のスイッチSW1~SWnのうちで駆動させるスイッチSWを変更することで、駆動させる1次側電気回路を変更し得る。特に、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、パルスレーザー光の目標パルスエネルギーEtに基づいて必要な印加電圧Vを決定し、決定された印加電圧Vに応じて、駆動させる1次側電気回路を変更し得る。

それにより、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、一对の放電電極

11の間に印加される印加電圧 V のパルス波形を、目標パルスエネルギー E_t を得るために適切なパルス波形に制御し得る。

その結果、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーを、目標パルスエネルギー E_t となるよう高精度で制御し得る。

[0097] しかも、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、目標パルスエネルギー E_t が変更された場合にはタイミングデータを直ちに変更することによって、駆動させるスイッチ SW 及びその駆動タイミングを直ちに変更し得る。

そのため、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、駆動させる1次側電気回路及びその駆動タイミングを直ちに変更し得るため、一对の放電電極11へのエネルギー投入量を迅速に制御し得る。

その結果、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、一对の放電電極11に投入されたエネルギーを効率よくレーザ発振に寄与させ、パルスレーザ光の発振効率を向上させ得る。

[0098] また、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、パルスパワーモジュール50のスイッチ SW を n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ によって構成し得るため、 n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ のそれぞれに要求される耐電圧を抑制し得る。

それにより、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、パルスパワーモジュール50のスイッチ SW を比較的低廉な半導体スイッチで構成することができ、回路設計の設計自由度を向上させ得る。

[0099] 第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、 n 個のダイオード $D_1 \sim D_n$ によって、一对の放電電極11から2次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ に向かって逆電流が流れることを抑制し得る。

それにより、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、逆電流による電磁誘導によって n 個の1次側コイル $L_{a1} \sim L_{an}$ 側に電圧が発生することを抑制し、 n 個のスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ や n 個の充電器 $401 \sim 40n$ の破損を抑制し得る。

[0100] また、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、パルス圧縮に磁気飽和現象を利用しないLTDを用いて構成され得る。

それにより、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、磁気圧縮回路を用いた高電圧パルス発生装置5に比べて、エネルギー転送効率を向上させ得ると共に小型化し得る。

加えて、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、スイッチSWの駆動タイミングから主放電の発生タイミングまでの時間を短縮化し得ると共に、主放電の発生タイミングを安定化させ得る。

[0101] [6. 第2実施形態の高電圧パルス発生装置]

図7～図11を用いて、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5について説明する。

第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、図6に示されるように、一对の放電電極11の間に印加される印加電圧Vのパルス波形が、1つのピークを有するパルス波形となり得る。すなわち、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5では、目標パルスエネルギー E_t の変更に応じて印加電圧Vのピーク値が変化するものの、印加電圧Vのパルス波形の形状自体は任意の形状に変化しない。

ガスレーザ装置1では、パルス波形の形状が時間的に変化するような印加電圧Vを、一对の放電電極11の間に印加した方が好ましい場合があり得る。この場合、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5では、印加電圧Vのパルス波形の形状が変化しないため、一对の放電電極11に投入されたエネルギーの一部が無駄になることがあり得る。

第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、時間的に変化する印加電圧Vのパルス波形の形状に応じて、 n 個のスイッチSW1～SW n の一部を特定の駆動タイミングで駆動させ、他の一部をこれと異なる駆動タイミングで駆動させてもよい。

[0102] 第2実施形態の高電圧パルス発生装置5の構成は、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5と同様であってもよい。第2実施形態の高電圧パルス発生

装置 5 の動作は、レーザ制御部 30 の処理が、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 と主に異なってもよい。

第 2 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 を備えるガスレーザ装置 1 において、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 を備えるガスレーザ装置 1 と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0103] [6. 1 動作]

図 7 は、第 2 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 を動作させる際のレーザ制御部 30 が行う処理の概要を説明するためのフローチャートを示す。

[0104] ステップ S 2 1 において、レーザ制御部 30 は、一对の放電電極 11 の間に印加される印加電圧 $V(t)$ の初期値として、初期値 $V_0(t)$ を設定してもよい。

印加電圧 $V(t)$ は、あるタイミング t における印加電圧 V の値を示し、印加電圧 V が時間的に変化し得ることを示す。

初期値 $V_0(t)$ を設定する処理の詳細については、図 8 を用いて後述する。

[0105] ステップ S 2 2 において、レーザ制御部 30 は、露光装置制御部 111 から指定された目標パルスエネルギー E_t を読み込んでもよい。

[0106] ステップ S 2 3 において、レーザ制御部 30 は、駆動タイミング計算処理を行ってもよい。

駆動タイミング計算処理の詳細については、図 9 を用いて後述する。

[0107] ステップ S 2 4 及び S 2 5 において、レーザ制御部 30 は、図 4 に示されたステップ S 4 及び S 5 と同様の処理を行ってもよい。

[0108] ステップ S 2 6 において、レーザ制御部 30 は、レーザ発振が行われたか否かを判定してもよい。

レーザ制御部 30 は、レーザ発振が行われていなければ、レーザ発振が行われるまで待機してもよい。一方、レーザ制御部 30 は、レーザ発振が行われれば、ステップ S 2 7 に移行してもよい。

[0109] ステップ S 2 7 及び S 2 8 において、レーザ制御部 30 は、図 4 に示され

たステップS 7 及びS 8 と同様の処理を行ってもよい。

- [0110] ステップS 2 9 において、レーザ制御部3 0 は、差分 ΔE が0 に近付くよう、新たな印加電圧 $V(t)$ を設定してもよい。

新たな印加電圧 $V(t)$ を設定する処理の詳細については、図1 0 を用いて後述する。

- [0111] ステップS 3 0 において、レーザ制御部3 0 は、目標パルスエネルギー E_t が変更されたか否かを判定してもよい。

レーザ制御部3 0 は、目標パルスエネルギー E_t が変更されたならば、ステップS 2 2 に移行してもよい。一方、レーザ制御部3 0 は、目標パルスエネルギー E_t が変更されていなければ、ステップS 3 1 に移行してもよい。

- [0112] ステップS 3 1 において、レーザ制御部3 0 は、パルスレーザ光のパルスエネルギーを制御する処理を終了するか否かを判定してもよい。

レーザ制御部3 0 は、パルスレーザ光のパルスエネルギーを制御する処理を終了しないならば、ステップS 2 3 に移行してもよい。一方、レーザ制御部3 0 は、パルスレーザ光のパルスエネルギーを制御する処理を終了するならば、本処理を終了してもよい。

- [0113] 図8 は、図7 のステップS 2 1 における初期値 $V_0(t)$ を設定する処理を説明するためのフローチャートを示す。

- [0114] ステップS 2 1 0 1 は、レーザ制御部3 0 は、発振トリガ信号から遅延時間 T_1 だけ遅延したタイミングにおける印加電圧 $V(T_1)$ の初期値 $V_0(T_1)$ を設定してもよい。

レーザ制御部3 0 は、次式を用いて印加電圧 $V(T_1)$ の初期値 $V_0(T_1)$ を設定してもよい。

$$V(T_1) = V_0(T_1)$$

- [0115] ステップS 2 1 0 2 は、レーザ制御部3 0 は、発振トリガ信号から遅延時間 T_2 だけ遅延したタイミングにおける印加電圧 $V(T_2)$ の初期値 $V_0(T_2)$ を設定してもよい。

レーザ制御部3 0 は、次式を用いて印加電圧 $V(T_2)$ の初期値 $V_0(T_2)$

2) を設定してもよい。

$$V(T2) = V0(T2)$$

[0116] ステップS2103は、レーザ制御部30は、発振トリガ信号から遅延時間T3だけ遅延したタイミングにおける印加電圧V(T3)の初期値V0(T3)を設定してもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて印加電圧V(T3)の初期値V0(T3)を設定してもよい。

$$V(T3) = V0(T3)$$

[0117] なお、T1～T3は、所望のパルスエネルギーを有するパルスレーザ光を出力するために必要な主放電が継続できる時間以内の時間であればよい。

T1～T3は、次式のような関係であってもよい。

$$T1 < T2 < T3$$

[0118] また、印加電圧Vの初期値V0(T1)～V0(T3)のうちで絶対値が最大となるのは、初期値V0(T1)であってもよい。初期値V0(T1)は、一对の放電電極11の間のレーザガスが少なくとも絶縁破壊し得るような電圧であってもよい。

レーザ制御部30は、本処理を終了した後、図7のステップS22に移行してもよい。

[0119] 図9は、図7のステップS23における駆動タイミング計算処理を説明するためのフローチャートを示す。

[0120] ステップS2301において、レーザ制御部30は、図5のステップS301と同様の処理を行ってもよい。

[0121] ステップS2302において、レーザ制御部30は、識別番号Nまでの充電器401～40NによってコンデンサC1～CNに充電される充電電圧の合計値である $N \cdot \Delta V$ が、印加電圧V(T1)以下であるか否かを判定してもよい。

レーザ制御部30は、充電電圧の合計値 $N \cdot \Delta V$ が印加電圧V(T1)以下でなければ、ステップS2305に移行してもよい。一方、レーザ制御部

30は、充電電圧の合計値 $N \cdot \Delta V$ が印加電圧 $V(T1)$ 以下であれば、ステップS2303に移行してもよい。

[0122] ステップS2303において、レーザ制御部30は、識別番号NのスイッチSWNの駆動タイミングを設定してもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて識別番号NのスイッチSWNの駆動タイミングを設定してもよい。

$$SWN = T1$$

[0123] ステップS2304において、レーザ制御部30は、図5のステップS304と同様の処理を行ってもよい。

その後、レーザ制御部30は、ステップS2302に移行してもよい。

[0124] ステップS2305において、レーザ制御部30は、閾値番号K1を設定してもよい。

閾値番号K1は、n個の1次側電気回路511～51nのうち、発振トリガ信号から遅延時間T1だけ遅延したタイミングで駆動させる対象の1次側電気回路と、それ以外の1次側電気回路との境界を示す識別番号Nであってもよい。閾値番号K1に設定された識別番号Nより前段の1次側電気回路である1次側電気回路511～51K1-1は、発振トリガ信号から遅延時間T1だけ遅延したタイミングで駆動させる対象の1次側電気回路であってもよい。閾値番号K1に設定された識別番号N以降の1次側電気回路である1次側電気回路51K1～51Nmaxは、発振トリガ信号から遅延時間T1だけ遅延したタイミングで駆動させる対象でない1次側電気回路であってもよい。

閾値番号K1の値は、一对の放電電極11の間に印加される印加電圧 $V(T1)$ に応じて決定され得る。

レーザ制御部30は、次式を用いて閾値番号K1を設定してもよい。

$$K1 = N$$

[0125] ステップS2306において、レーザ制御部30は、識別番号K1～Nの充電器40K1～40NによってコンデンサCK1～CNに充電される充電

電圧の合計値である $(N - K1 + 1) \cdot \Delta V$ が、印加電圧 $V(T2)$ 以下であるか否かを判定してもよい。

レーザ制御部 30 は、充電電圧の合計値 $(N - K1 + 1) \cdot \Delta V$ が印加電圧 $V(T2)$ 以下でなければ、ステップ S2309 に移行してもよい。一方、レーザ制御部 30 は、充電電圧の合計値 $(N - K1 + 1) \cdot \Delta V$ が印加電圧 $V(T2)$ 以下であれば、ステップ S2307 に移行してもよい。

[0126] ステップ S2307 において、レーザ制御部 30 は、識別番号 N のスイッチ SWN の駆動タイミングを設定してもよい。

レーザ制御部 30 は、次式を用いて識別番号 N のスイッチ SWN の駆動タイミングを設定してもよい。

$$SWN = T2$$

[0127] ステップ S2308 において、レーザ制御部 30 は、図 5 のステップ S304 と同様の処理を行ってもよい。

その後、レーザ制御部 30 は、ステップ S2306 に移行してもよい。

[0128] ステップ S2309 において、レーザ制御部 30 は、閾値番号 K2 を設定してもよい。

閾値番号 K2 は、1 次側電気回路 51K1 ~ 51Nmax のうち、発振トリガ信号から遅延時間 T2 だけ遅延したタイミングで駆動させる対象の 1 次側電気回路と、それ以外の 1 次側電気回路との境界を示す識別番号 N であってもよい。閾値番号 K2 に設定された識別番号 N より前段の 1 次側電気回路である 1 次側電気回路 51K1 ~ 51K2 - 1 は、発振トリガ信号から遅延時間 T2 だけ遅延したタイミングで駆動させる対象の 1 次側電気回路であってもよい。閾値番号 K2 に設定された識別番号 N 以降の 1 次側電気回路である 1 次側電気回路 51K2 ~ 51Nmax は、発振トリガ信号から遅延時間 T2 だけ遅延したタイミングで駆動させる対象でない 1 次側電気回路であってもよい。

閾値番号 K2 の値は、一对の放電電極 11 の間に印加される印加電圧 $V(T2)$ に応じて決定され得る。

レーザ制御部 30 は、次式を用いて閾値番号 $K2$ を設定してもよい。

$$K2 = N$$

- [0129] ステップ $S2310$ において、レーザ制御部 30 は、識別番号 $K2 \sim N$ の充電器 $40K2 \sim 40N$ によってコンデンサ $CK2 \sim CN$ に充電される充電電圧の合計値である $(N - K2 + 1) \cdot \Delta V$ が、印加電圧 $V(T3)$ 以下であるか否かを判定してもよい。

レーザ制御部 30 は、充電電圧の合計値 $(N - K2 + 1) \cdot \Delta V$ が印加電圧 $V(T3)$ 以下でなければ、ステップ $S2313$ に移行してもよい。一方、レーザ制御部 30 は、充電電圧の合計値 $(N - K2 + 1) \cdot \Delta V$ が印加電圧 $V(T3)$ 以下であれば、ステップ $S2311$ に移行してもよい。

- [0130] ステップ $S2311$ において、レーザ制御部 30 は、識別番号 N のスイッチ SWN の駆動タイミングを設定してもよい。

レーザ制御部 30 は、次式を用いて識別番号 N のスイッチ SWN の駆動タイミングを設定してもよい。

$$SWN = T3$$

- [0131] ステップ $S2312$ において、レーザ制御部 30 は、図 5 のステップ $S304$ と同様の処理を行ってもよい。

その後、レーザ制御部 30 は、ステップ $S2310$ に移行してもよい。

- [0132] ステップ $S2313$ において、レーザ制御部 30 は、閾値番号 KN を設定してもよい。

閾値番号 KN は、1 次側電気回路 $51K2 \sim 51N_{max}$ のうち、発振トリガ信号から遅延時間 $T3$ だけ遅延したタイミングで駆動させる対象の 1 次側電気回路と、駆動させる対象でない 1 次側電気回路との境界を示す識別番号 N であってもよい。閾値番号 KN に設定された識別番号 N より前段の 1 次側電気回路である 1 次側電気回路 $51K2 \sim 51KN - 1$ は、発振トリガ信号から遅延時間 $T3$ だけ遅延したタイミングで駆動させる対象の 1 次側電気回路であってもよい。閾値番号 KN に設定された識別番号 N 以降の 1 次側電気回路である 1 次側電気回路 $51KN \sim 51N_{max}$ は、駆動させる対象で

ない１次側電気回路であってもよい。

閾値番号ＫＮの値は、一对の放電電極１１の間に印加される印加電圧Ｖ（Ｔ３）に応じて決定され得る。

レーザ制御部３０は、次式を用いて閾値番号ＫＮを設定してもよい。

$$KN = N$$

[0133] ステップＳ２３１４において、レーザ制御部３０は、識別番号ＮのスイッチＳＷＮの駆動タイミングを設定してもよい。

ステップＳ２３１４で駆動タイミングが設定されるスイッチＳＷＮは、閾値番号ＫＮ以降の識別番号Ｎを有するスイッチＳＷＫＮ～ＳＷＮ_{max}であり得る。レーザ制御部３０は、これらのスイッチＳＷＮが駆動しないよう定めてもよい。

レーザ制御部３０は、次式を用いて識別番号ＮのスイッチＳＷＮの駆動タイミングを設定してもよい。

$$SWN = OFF$$

[0134] ステップＳ２３１５において、レーザ制御部３０は、図５のステップＳ３０７と同様の処理を行ってもよい。

[0135] ステップＳ２３１６において、レーザ制御部３０は、更新後の識別番号ＮがＮ_{max}以上であるか否かを判定してもよい。

レーザ制御部３０は、更新後の識別番号ＮがＮ_{max}以上でなければ、ステップＳ２３１４に移行してもよい。一方、レーザ制御部３０は、更新後の識別番号ＮがＮ_{max}以上であれば、本処理を終了した後にタイミングデータを作成し、図７のステップＳ２４に移行してもよい。

[0136] このような処理により、レーザ制御部３０は、発振トリガ信号から遅延時間Ｔ１だけ遅延したタイミングで印加電圧Ｖ（Ｔ１）が発生するよう、スイッチＳＷ１～ＳＷＫ１－１が、発振トリガ信号から遅延時間Ｔ１だけ遅延したタイミングで駆動するよう定め得る。

また、レーザ制御部３０は、発振トリガ信号から遅延時間Ｔ２だけ遅延したタイミングで印加電圧Ｖ（Ｔ２）が発生するよう、スイッチＳＷＫ１～Ｓ

WK 2 - 1 が、発振トリガ信号から遅延時間 T_2 だけ遅延したタイミングで駆動するよう定め得る。

また、レーザ制御部 30 は、発振トリガ信号から遅延時間 T_3 だけ遅延したタイミングで印加電圧 $V(T_3)$ が発生するよう、スイッチ SWK 2 ~ SWK N - 1 が、発振トリガ信号から遅延時間 T_3 だけ遅延したタイミングで駆動するよう定め得る。

一方、レーザ制御部 30 は、スイッチ SWK N ~ SWN max が駆動しないよう定め得る。

すなわち、レーザ制御部 30 は、スイッチ SW 1 ~ SWK 1 - 1 が発振トリガ信号から遅延時間 T_1 だけ遅延したタイミングで駆動するよう定めたタイミングデータを作成し得る。加えて、レーザ制御部 30 は、スイッチ SWK 1 ~ SWK 2 - 1 が発振トリガ信号から遅延時間 T_2 だけ遅延したタイミングで駆動するよう定めたタイミングデータを作成し得る。加えて、レーザ制御部 30 は、スイッチ SWK 2 ~ SWK N - 1 が発振トリガ信号から遅延時間 T_3 だけ遅延したタイミングで駆動するよう定めたタイミングデータを作成し得る。加えて、レーザ制御部 30 は、スイッチ SWK N ~ SWN max が駆動しないよう定めたタイミングデータを作成し得る。

[0137] なお、スイッチ SW 1 ~ SWK 1 - 1 の駆動タイミングである、発振トリガ信号から遅延時間 T_1 だけ遅延したタイミングを、第 1 駆動タイミングともいう。

スイッチ SWK 1 ~ SWK 2 - 1 の駆動タイミングである、発振トリガ信号から遅延時間 T_2 だけ遅延したタイミングを、第 2 駆動タイミングともいう。

スイッチ SWK 2 ~ SWK N - 1 の駆動タイミングである、発振トリガ信号から遅延時間 T_3 だけ遅延したタイミングを、第 3 駆動タイミングともいう。

[0138] 図 10 は、図 7 のステップ S 29 における新たな印加電圧 $V(t)$ を設定する処理を説明するためのフローチャートを示す。

[0139] ステップS 2 9 0 1において、レーザ制御部30は、差分 ΔE が0に近づくよう、発振トリガ信号から遅延時間T 1だけ遅延したタイミングにおける新たな印加電圧V (T 1)を設定してもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて新たな印加電圧V (T 1)を設定してもよい。

$$V(T1) = V(T1) + \alpha 1 \cdot \Delta E$$

[0140] ステップS 2 9 0 2において、レーザ制御部30は、差分 ΔE が0に近づくよう、発振トリガ信号から遅延時間T 2だけ遅延したタイミングにおける新たな印加電圧V (T 2)を設定してもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて新たな印加電圧V (T 2)を設定してもよい。

$$V(T2) = V(T2) + \alpha 2 \cdot \Delta E$$

[0141] ステップS 2 9 0 3において、レーザ制御部30は、差分 ΔE が0に近づくよう、発振トリガ信号から遅延時間T 3だけ遅延したタイミングにおける新たな印加電圧V (T 3)を設定してもよい。

レーザ制御部30は、次式を用いて新たな印加電圧V (T 3)を設定してもよい。

$$V(T3) = V(T3) + \alpha 3 \cdot \Delta E$$

[0142] なお、 $\alpha 1 \sim \alpha 3$ は、予め実験等によって求められた比例定数であってもよい。

$\alpha 1 \sim \alpha 3$ は、それぞれが同じ値でなくてもよい。

また、印加電圧V (T 1) ~ V (T 3)のうちで絶対値が最大となるのは、印加電圧V (T 1)であってもよい。印加電圧V (T 1)は、一対の放電電極11の間のレーザガスを少なくとも絶縁破壊し得るような電圧であってもよい。

印加電圧V (T 1)が一対の放電電極11の間のレーザガスを少なくとも絶縁破壊し得るような電圧であれば、 $\alpha 1$ は0であってもよい。

レーザ制御部30は、本処理を終了した後、図7のステップS 30に移行

してもよい。

[0143] 図 11 は、第 2 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 の動作を説明するためのタイムチャートを示す。

[0144] スイッチ駆動部 60 には、レーザ制御部 30 から出力されたタイミングデータ及び発振トリガ信号が入力されてもよい。

発振トリガ信号が入力されると、スイッチ駆動部 60 は、スイッチ SW1 ~ SWK1-1 を、発振トリガ信号の入力タイミングから遅延時間 T1 だけ遅延したタイミングで駆動させてもよい。スイッチ駆動部 60 は、スイッチ SWK1 ~ SWK2-1 を、発振トリガ信号の入力タイミングから遅延時間 T2 だけ遅延したタイミングで駆動させてもよい。スイッチ駆動部 60 は、スイッチ SWK2 ~ SWKN-1 を、発振トリガ信号の入力タイミングから遅延時間 T3 だけ遅延したタイミングで駆動させてもよい。スイッチ駆動部 60 は、スイッチ SWKN ~ SWNmax を、駆動させなくてもよい。

[0145] 1 次側電気回路 511 ~ 51K1-1 のそれぞれは、スイッチ SW1 ~ SWK1-1 の駆動タイミングに同期して駆動し、充電電圧 ΔV をピーク値とするパルス波形の電圧を発生させ得る。

1 次側電気回路 51K1 ~ 51K2-1 のそれぞれは、スイッチ SWK1 ~ SWK2-1 の駆動タイミングに同期して駆動し、充電電圧 ΔV をピーク値とするパルス波形の電圧を発生させ得る。

1 次側電気回路 51K2 ~ 51KN-1 のそれぞれは、スイッチ SWK2 ~ SWKN-1 の駆動タイミングに同期して駆動し、充電電圧 ΔV をピーク値とするパルス波形の電圧を発生させ得る。

一方、1 次側電気回路 51KN ~ 51Nmax のそれぞれは、スイッチ SWKN ~ SWNmax が駆動しないため、駆動しない状態のままであり得る。

[0146] 2 次側電気回路 52 は、発振トリガ信号の入力タイミングから遅延時間 T1 だけ遅延したタイミングにおいて、1 次側電気回路 511 ~ 51K1-1 によって発生する各電圧を加算した電圧 $V_{s1}(T1)$ に応じた印加電圧 V

(T 1) を発生させ得る。

2 次側電気回路 5 2 は、発振トリガ信号の入力タイミングから遅延時間 T 2 だけ遅延したタイミングにおいて、1 次側電気回路 5 1 K 1 ~ 5 1 K 2 - 1 によって発生する各電圧を加算した電圧 $V_{s2}(T 2)$ に応じた印加電圧 $V(T 2)$ を発生させ得る。

2 次側電気回路 5 2 は、発振トリガ信号の入力タイミングから遅延時間 T 3 だけ遅延したタイミングにおいて、1 次側電気回路 5 1 K 2 ~ 5 1 K N - 1 によって発生する各電圧を加算した電圧 $V_{s3}(T 3)$ に応じた印加電圧 $V(T 3)$ を発生させ得る。

また、電圧 $V_{s1}(t) \sim V_{s3}(t)$ のパルス波形において最大となるピークの絶対値は、 $(K 1 - 1) \cdot \Delta V$ であり得る。

そして、一对の放電電極 1 1 の間で実際に計測される印加電圧 $V_r(t)$ のパルス波形は、レーザガスが絶縁破壊される直前及び直後の領域を除いて、電圧 $V_{s1}(t) \sim V_{s3}(t)$ のそれぞれのパルス波形を重ね合わせたパルス波形 $V(t)$ の略相似形となり得る。

[0147] 一对の放電電極 1 1 の間にレーザガスの絶縁破壊電圧 V_b が印加されると、一对の放電電極 1 1 には主放電が発生し、第 2 放電電極 1 1 b から第 1 放電電極 1 1 a に電流が流れ得る。そして、一对の放電電極 1 1 の間にはレーザガスが絶縁破壊された後においても電圧 $V_{s2}(t)$ 及び $V_{s3}(t)$ が印加されるので、一对の放電電極 1 1 の間に発生した主放電が第 1 実施形態に比べて継続し得る。

そして、一对の放電電極 1 1 の間の放電空間にあるレーザガスは励起されて光を放出し、ガスレーザ装置 1 からパルスレーザ光が出力され得る。

[0148] 第 2 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 の他の動作については、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 と同様であってもよい。

[0149] [6. 2 作用]

第 2 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、n 個のスイッチ SW 1 ~ SW n の一部を特定の駆動タイミングで駆動させ、他の一部をこれと異なる駆動

タイミングで駆動させ得る。

それにより、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、一对の放電電極11の間に印加される印加電圧 $V(t)$ のパルス波形形状を任意の形状に変化させ得る。

その結果、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、印加電圧 $V(t)$ のパルス波形を、目標パルスエネルギー E_t を得るために最適なパルス波形に制御し得る。

しかも、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、印加電圧 $V(t)$ のパルス波形をアクティブに制御し得る。これは、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5が、一对の放電電極11で主放電が発生した後であっても、印加電圧 $V(t)$ のパルス波形を制御し得ることを意味する。すなわち、これは、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5が、主放電発生後であっても、一对の放電電極11へのエネルギー投入量を制御し得ることを意味する。

よって、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、一对の放電電極11に投入されるエネルギーを更に効率よくレーザ発振に寄与させ、パルスレーザ光の発振効率を更に向上させ得る。

また、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、駆動されるスイッチSWの数を変更して印加電圧 $V(t)$ のパルス波形を変更することによって、一对の放電電極11の間に流れる放電電流の強さと時間を制御し得る。それにより、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、出力されるパルスレーザ光のパルス波形を制御し得る。

[0150] なお、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、 n 個のスイッチSW1～SW n のそれぞれの駆動タイミングを T_1 ～ T_3 の3つの遅延時間で定めていたが、2つの遅延時間で定めてもよいし、4つ以上の遅延時間で定めてもよい。遅延時間の数が増えると、一对の放電電極11の間で実際に計測される印加電圧 $V_r(t)$ のパルス波形がより高精度に制御され得る。

また、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、印加電圧 $V(T_1)$ ～ $V(T_3)$ のそれぞれを、駆動されるスイッチSWの数を変更することによ

って任意に変更し得る。

しかしながら、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、例えば、印加電圧 $V(T1)$ を、一対の放電電極11の間のレーザガスを絶縁破壊し得る電圧で一定としてもよい。そして、印加電圧 $V(T2)$ 及び $V(T3)$ を、駆動されるスイッチSWの数を変更することによって変更してもよい。このようにして、第2実施形態の高電圧パルス発生装置5は、一対の放電電極11へのエネルギー投入量を制御してもよい。

[0151] [7. 第3実施形態の高電圧パルス発生装置]

図12を用いて、第3実施形態の高電圧パルス発生装置5について説明する。

第3実施形態の高電圧パルス発生装置5は、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5に対して、ピーキングコンデンサ C_p 及び磁気スイッチMSが追加された構成を備えてもよい。

第3実施形態の高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1において、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0152] 図12は、第3実施形態の高電圧パルス発生装置5の構成を説明するための図を示す。

図12に示されたピーキングコンデンサ C_p は、図2に示されたピーキングコンデンサ C_p と同様に構成されてもよい。

ピーキングコンデンサ C_p は、2次側電気回路52と一対の放電電極11との間に並列に接続されてもよい。ピーキングコンデンサ C_p は、 n 個の2次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ と一対の放電電極11との間に並列に接続されてもよい。

[0153] 図12に示された2次側電気回路52は、磁気スイッチMSを含んでもよい。

磁気スイッチMSは、図2に示された磁気スイッチMS1～MS3と同様に構成されてもよい。

磁気スイッチMSは、 n 個の2次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ と一对の放電電極11との間に直列に接続されてもよい。磁気スイッチMSは、 n 個の2次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ とピーキングコンデンサ C_p との間に直列に接続されてもよい。

[0154] 第3実施形態の高電圧パルス発生装置5の他の構成については、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5と同様であってもよい。

[0155] 上記構成により、第3実施形態の高電圧パルス発生装置5は、 n 個の2次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ で発生した電圧を、ピーキングコンデンサ C_p 及び磁気スイッチMSで構成される磁気圧縮回路にて更にパルス圧縮し得る。そして、第3実施形態の高電圧パルス発生装置5は、当該磁気圧縮回路にてパルス圧縮した電圧を、印加電圧 V として一对の放電電極11の間に印加し得る。

それにより、第3実施形態の高電圧パルス発生装置5は、 n 個の1次側電気回路511～51 n で発生する各電圧のパルス幅が長くても、当該磁気圧縮回路でパルス圧縮することによって、パルス幅が短く高電圧の印加電圧 V を一对の放電電極11に印加し得る。

[0156] なお、第3実施形態の高電圧パルス発生装置5は、ピーキングコンデンサ C_p 及び磁気スイッチMSの両方が設けられたが、ピーキングコンデンサ C_p のみが設けられてもよい。

[0157] [8. 第4実施形態の高電圧パルス発生装置]

図13を用いて、第4実施形態の高電圧パルス発生装置5について説明する。

第4実施形態の高電圧パルス発生装置5は、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5に対して、ピーキングコンデンサ C_p 及び高耐圧ダイオード D_{hv} が追加された構成を備えてもよい。

第4実施形態の高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1において、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0158] 図13は、第4実施形態の高電圧パルス発生装置5の構成を説明するための図を示す。

図13に示された2次側電気回路52は、ピーキングコンデンサ C_p 及び高耐圧ダイオード D_{hv} を含んでもよい。

ピーキングコンデンサ C_p は、図2に示されたピーキングコンデンサ C_p と同様に構成されてもよい。

ピーキングコンデンサ C_p は、 n 個の2次側コイル $L_{b1} \sim L_{bn}$ と一対の放電電極11との間に並列に接続されてもよい。

[0159] 高耐圧ダイオード D_{hv} は、一対の放電電極11からピーキングコンデンサ C_p に向かって逆電流が流れることを抑制するダイオードであってもよい。

高耐圧ダイオード D_{hv} は、例えばSiC等の半導体材料で形成されてもよい。

高耐圧ダイオード D_{hv} は、ピーキングコンデンサ C_p と一対の放電電極11との間に直列に接続されてもよい。高耐圧ダイオード D_{hv} は、一対の放電電極11からの逆電流がピーキングコンデンサ C_p に流れること阻止する向きで接続されてもよい。

[0160] 第4実施形態の高電圧パルス発生装置5の他の構成については、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5と同様であってもよい。

[0161] 上記構成により、第4実施形態の高電圧パルス発生装置5は、高耐圧ダイオード D_{hv} を備えることで、一対の放電電極11の間に印加電圧 V が印加される際に逆電流が発生することを抑制し得る。

それにより、第4実施形態の高電圧パルス発生装置5は、一対の放電電極11で異常なアーク放電が生成することを抑制し得る。

その結果、第4実施形態の高電圧パルス発生装置5は、出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーを安定化させ得る。

[0162] なお、第4実施形態の高電圧パルス発生装置5は、高耐圧ダイオード D_{hv} を備えることで逆電流の発生を抑制し得るため、 n 個のダイオード $D_1 \sim$

D_nを省略してもよい。

第4実施形態の高電圧パルス発生装置5は、高耐圧ダイオードD_{h v}を1つのダイオードで構成するのではなく、互いに並列に接続された複数のダイオードで構成してもよい。

第4実施形態の高電圧パルス発生装置5は、高耐圧ダイオードD_{h v}を、ピーキングコンデンサC_pとダイオードD₁の間に直列に、且つ、一對の放電電極11からの逆電流を抑制する向きで接続してよい。

[0163] [9. 第5実施形態の高電圧パルス発生装置]

図14を用いて、第5実施形態の高電圧パルス発生装置5について説明する。

第5実施形態の高電圧パルス発生装置5は、n個の1次側電気回路511～51nのそれぞれが、複数のコンデンサ及び複数のスイッチSWを含んでもよい。

第5実施形態の高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1において、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0164] 図14は、第5実施形態の高電圧パルス発生装置5の構成を説明するための図を示す。

図14に示されたn個の1次側電気回路511～51nのそれぞれは、m個のコンデンサCと、m個のスイッチSWと、を含んでもよい。mは、2以上の自然数であってもよい。

言い換えると、第5実施形態の高電圧パルス発生装置5では、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5に含まれるn個のコンデンサC₁～C_nのそれぞれが、m個のコンデンサCから構成されてもよい。同様に、第5実施形態の高電圧パルス発生装置5では、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5に含まれるn個のスイッチSW₁～SW_nのそれぞれが、m個のスイッチSWから構成されてもよい。

[0165] 例えば、図14の最上段に記載された第1段目の1次側電気回路511は

、 m 個のコンデンサ $C_{11} \sim C_{1m}$ と、 m 個のスイッチ $SW_{11} \sim SW_{1m}$ と、を含んでもよい。

[0166] m 個のコンデンサ $C_{11} \sim C_{1m}$ は、互いに並列に接続されていてもよい。

m 個のコンデンサ $C_{11} \sim C_{1m}$ のそれぞれは、1次側コイル L_{a1} に並列に接続されてもよい。

m 個のコンデンサ $C_{11} \sim C_{1m}$ の各一端は、1次側コイル L_{a1} と充電器401とを接続する配線に接続されてもよい。

m 個のコンデンサ $C_{11} \sim C_{1m}$ の各他端は、 m 個のスイッチ $SW_{11} \sim SW_{1m}$ にそれぞれ接続されてもよい。

[0167] m 個のスイッチ $SW_{11} \sim SW_{1m}$ は、 m 個のコンデンサ $C_{11} \sim C_{1m}$ にそれぞれ直列に接続されてもよい。

m 個のスイッチ $SW_{11} \sim SW_{1m}$ の各一端は、 m 個のコンデンサ $C_{11} \sim C_{1m}$ にそれぞれ接続されてもよい。

m 個のスイッチ $SW_{11} \sim SW_{1m}$ の各他端は、1次側コイル L_{a1} とグラウンドとを接続する配線に接続されてもよい。

[0168] また、 m 個のスイッチ $SW_{11} \sim SW_{1m}$ は、スイッチ駆動部60にそれぞれ接続されてもよい。 m 個のスイッチ $SW_{11} \sim SW_{1m}$ の駆動は、スイッチ駆動部60によって制御されてもよい。

スイッチ駆動部60は、 m 個のスイッチ $SW_{11} \sim SW_{1m}$ が、それぞれ略同一の駆動タイミングで駆動するよう制御してもよい。

[0169] 図14に示された他の1次側電気回路512～51nのそれぞれに含まれる m 個のコンデンサ C 及び m 個のスイッチ SW は、1次側電気回路511に含まれる m 個のコンデンサ $C_{11} \sim C_{1m}$ 及び m 個のスイッチ $SW_{11} \sim SW_{1m}$ と同様に構成されてもよい。

[0170] 第5実施形態の高電圧パルス発生装置5の他の構成については、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5と同様であってもよい。

[0171] 上記構成により、第5実施形態の高電圧パルス発生装置5は、 n 個の1次

側電気回路 5 1 1 ~ 5 1 n のそれぞれが m 個のコンデンサ C 及び m 個のスイッチ SW を含み、 m 個のスイッチ SW が略同一の駆動タイミングで駆動し得る。

それにより、第 5 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 の各 1 次側電気回路、例えば 1 次側電気回路 5 1 1 は、第 1 実施形態に係る 1 次側電気回路 5 1 1 に比べて、パルス幅が短いパルス波形の電圧を発生させ得る。

その結果、第 5 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、一对の放電電極 1 1 の間に印加される印加電圧 V のパルス波形を、より適切なパルス波形に高精度で制御し得る。

よって、第 5 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、パルスレーザ光の発振効率を更に向上させ得る。

[0172] [1 0 . 第 6 実施形態の高電圧パルス発生装置]

図 1 5 を用いて、第 6 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 について説明する。

図 1 5 は、第 6 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 の構成を説明するための図を示す。

第 6 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、第 5 実施形態に係る n 個の 1 次側電気回路 5 1 1 ~ 5 1 n 及び 2 次側電気回路 5 2 を含むモジュールが複数並列して接続された構成を備えてもよい。

また、第 6 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、複数のモジュールのそれぞれに対して n 個の充電器 4 0 1 ~ 4 0 n が接続された構成を備えてもよい。

[0173] 図 1 5 には、 n 個の 1 次側電気回路 5 1 1 a ~ 5 1 n a 及び 2 次側電気回路 5 2 a を含むモジュール 5 0 a と、 n 個の 1 次側電気回路 5 1 1 b ~ 5 1 n b 及び 2 次側電気回路 5 2 b を含むモジュール 5 0 b とが並列に接続された例が示されている。

そして、モジュール 5 0 a に含まれる n 個の 1 次側電気回路 5 1 1 a ~ 5 1 n a は、 n 個の充電器 4 0 1 a ~ 4 0 n a にそれぞれ接続された例が示さ

れている。モジュール50bに含まれるn個の1次側電気回路511b～51nbは、n個の充電器401b～40nbにそれぞれ接続された例が示されている。

なお、図15では、レーザ制御部30及びスイッチ駆動部60の図示が省略されている。

[0174] 第6実施形態の高電圧パルス発生装置5の他の構成については、第5実施形態の高電圧パルス発生装置5と同様であってもよい。

[0175] 上記構成により、第6実施形態の高電圧パルス発生装置5は、第5実施形態の高電圧パルス発生装置5に比べて、出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーを増加させ得る。

[0176] [11. 第7実施形態の高電圧パルス発生装置]

図16及び図17を用いて、第7実施形態の高電圧パルス発生装置5について説明する。

第1実施形態の高電圧パルス発生装置5は、n個の充電器401～40nが、n個のコンデンサC1～Cnをそれぞれ略同一の充電電圧 ΔV で充電してもよい。

第7実施形態の高電圧パルス発生装置5は、n個の充電器401～40nが、n個のコンデンサC1～Cnをそれぞれ異なる充電電圧V1～Vnで充電してもよい。

第7実施形態の高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1において、第1実施形態の高電圧パルス発生装置5を備えるガスレーザ装置1と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0177] 図16は、第7実施形態の高電圧パルス発生装置5の構成を説明するための図を示す。

図16に示されたレーザ制御部30は、n個の充電器401～40nからn個のコンデンサC1～Cnにそれぞれ充電される充電電圧V1～Vnの値を定めた充電電圧データをそれぞれ作成し、n個の充電器401～40nにそれぞれ出力してもよい。

充電電圧 $V_1 \sim V_n$ の値は、一対の放電電極 11 の間に印加される印加電圧 V の発生に必要な充電電圧が得られるのであれば、任意に決定されてもよい。

レーザ制御部 30 は、 n 個の充電器 401 ~ 40n のうち、印加電圧 V の発生に使用される充電器 40 に対する充電電圧データだけを作成し、出力してもよい。

n 個の充電器 401 ~ 40n は、充電電圧データに基づいて、充電電圧 $V_1 \sim V_n$ で n 個のコンデンサ $C_1 \sim C_n$ を充電してもよい。

[0178] 第 7 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 の他の構成については、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 と同様であってもよい。

[0179] 図 17 は、第 7 実施形態に係るレーザ制御部 30 が行う駆動タイミング計算処理を説明するためのフローチャートを示す。

第 7 実施形態に係るレーザ制御部 30 は、図 4 のステップ S3 において、図 5 に示された駆動タイミング計算処理の代りに、図 17 に示された駆動タイミング計算処理を行ってもよい。

[0180] ステップ S311 において、レーザ制御部 30 は、図 5 のステップ S301 と同様の処理を行ってもよい。

[0181] ステップ S312 において、レーザ制御部 30 は、識別番号 N までの充電器 401 ~ 40N によってコンデンサ $C_1 \sim C_N$ に充電される充電電圧 $V_1 \sim V_N$ の合計値 V_{sum} をリセットしてもよい。

レーザ制御部 30 は、次式を用いて V_{sum} をリセットしてもよい。

$$V_{sum} = 0$$

[0182] ステップ S313 において、レーザ制御部 30 は、印加電圧 V の発生に使用される充電器 401 ~ 40Nmax に充電電圧データをそれぞれ出力してもよい。

充電器 401 ~ 40Nmax に出力される充電電圧データは、充電器 401 ~ 40Nmax からコンデンサ $C_1 \sim C_{Nmax}$ にそれぞれ充電される充電電圧 $V_1 \sim V_{Nmax}$ の値を定めたデータであってもよい。

[0183] ステップS 3 1 4において、レーザ制御部3 0は、識別番号Nの充電器4 0 NからコンデンサC Nに充電される充電電圧V Nを用いて、V s u mを更新してもよい。

レーザ制御部3 0は、次式を用いてV s u mを更新してもよい。

$$V s u m = V s u m + V N$$

[0184] ステップS 3 1 5において、レーザ制御部3 0は、V s u mが、一對の放電電極1 1の間に印加される印加電圧V以下であるか否かを判定してもよい。

レーザ制御部3 0は、V s u mが印加電圧V以下でなければ、ステップS 3 1 8に移行してもよい。一方、レーザ制御部3 0は、V s u mが印加電圧V以下であれば、ステップS 3 1 6に移行してもよい。

[0185] ステップS 3 1 6において、レーザ制御部3 0は、図5のステップS 3 0 3と同様の処理を行ってもよい。

[0186] ステップS 3 1 7において、レーザ制御部3 0は、図5のステップS 3 0 4と同様の処理を行ってもよい。

その後、レーザ制御部3 0は、ステップS 3 1 4に移行してもよい。

[0187] ステップS 3 1 8～S 3 2 0において、レーザ制御部3 0は、図5のステップS 3 0 5～S 3 0 7と同様の処理を行ってもよい。

[0188] ステップS 3 2 1において、レーザ制御部3 0は、更新後の識別番号NがN m a x以上であるか否かを判定してもよい。

レーザ制御部3 0は、更新後の識別番号NがN m a x以上でなければ、ステップS 3 1 9に移行してもよい。一方、レーザ制御部3 0は、更新後の識別番号NがN m a x以上であれば、本処理を終了した後にタイミングデータを作成し、図4のステップS 4に移行してもよい。

[0189] このような処理により、レーザ制御部3 0は、印加電圧Vの発生に使用される充電器4 0 1～4 0 N m a xのそれぞれに、充電電圧V 1～V N m a xでそれぞれ充電させ得る。

レーザ制御部3 0は、コンデンサC 1～C K N - 1に充電された充電電圧

$V_1 \sim V_{KN-1}$ の V_{sum} に応じた電流が 1 次側コイル $L_{a1} \sim L_{aKN-1}$ に供給されることで必要な印加電圧 V を発生させ得る場合、スイッチ $SW_1 \sim SW_{KN-1}$ だけを駆動させ得る。

つまり、レーザ制御部 30 は、コンデンサ $C_1 \sim C_{Nmax}$ がそれぞれ異なる充電電圧 $V_1 \sim V_{Nmax}$ で充電される場合でも、充電電圧 $V_1 \sim V_{KN-1}$ の V_{sum} に応じてスイッチ $SW_1 \sim SW_{KN-1}$ を駆動させることで、必要な印加電圧 V を発生させ得る。

[0190] レーザ制御部 30 は、必要な印加電圧 V を発生させ得る充電電圧 $V_1 \sim V_{KN-1}$ の V_{sum} に応じて、スイッチ $SW_1 \sim SW_{KN-1}$ が発振トリガ信号から遅延時間 T_1 だけ遅延したタイミングで駆動するよう定めたタイミングデータを作成し得る。加えて、レーザ制御部 30 は、スイッチ $SW_{KN} \sim SW_{Nmax}$ が駆動しないよう定めたタイミングデータを作成し得る。

[0191] 第 7 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 の他の動作については、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 と同様であってもよい。

[0192] 上記構成により、第 7 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、一対の放電電極 11 の間に印加される印加電圧 V を、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 のように充電電圧 ΔV の整数倍ではなく、任意の値を取り得る充電電圧 $V_1 \sim V_n$ を用いて発生させ得る。

それにより、第 7 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 に比べて、印加電圧 V のパルス波形を更に適切なパルス波形に制御し得る。

その結果、第 7 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 に比べて、出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーを更に高精度で制御し得る。

よって、第 7 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、第 1 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 に比べて、パルスレーザ光の発振効率を更に向上させ得る。

[0193] なお、第 7 実施形態の高電圧パルス発生装置 5 は、パルスエネルギーの計測

値 E と目標パルスエネルギー E_t との差分 ΔE が0に近づくよう、全てのスイッチ $SW_1 \sim SW_n$ を駆動させ、全ての充電器 $401 \sim 40n$ の充電電圧を変更することによって印加電圧 V を制御してもよい。

[0194] [12. その他]

[12. 1 各制御部のハードウェア環境]

当業者は、汎用コンピュータまたはプログラマブルコントローラにプログラムモジュールまたはソフトウェアアプリケーションを組み合わせ、ここに述べられる主題が実行されることを理解するだろう。一般的に、プログラムモジュールは、本開示に記載されるプロセスを実行できるルーチン、プログラム、コンポーネント、データストラクチャー等を含む。

[0195] 図18は、開示される主題の様々な側面が実行され得る例示的なハードウェア環境を示すブロック図である。図18の例示的なハードウェア環境100は、処理ユニット1000と、ストレージユニット1005と、ユーザインターフェイス1010と、パラレルI/Oコントローラ1020と、シリアルI/Oコントローラ1030と、A/D、D/Aコンバータ1040とを含んでもよいが、ハードウェア環境100の構成は、これに限定されない。

[0196] 処理ユニット1000は、中央処理ユニット(CPU)1001と、メモリ1002と、タイマ1003と、画像処理ユニット(GPU)1004とを含んでもよい。メモリ1002は、ランダムアクセスメモリ(RAM)とリードオンリーメモリ(ROM)とを含んでもよい。CPU1001は、市販のプロセッサのいずれでもよい。デュアルマイクロプロセッサや他のマルチプロセッサアーキテクチャが、CPU1001として使用されてもよい。

[0197] 図18におけるこれらの構成物は、本開示において記載されるプロセスを実行するために、相互に接続されていてもよい。

[0198] 動作において、処理ユニット1000は、ストレージユニット1005に保存されたプログラムを読み込んで、実行してもよい。また、処理ユニット1000は、ストレージユニット1005からプログラムと一緒にデータを

読み込んでもよい。また、処理ユニット１０００は、ストレージユニット１００５にデータを書き込んでもよい。ＣＰＵ１００１は、ストレージユニット１００５から読み込んだプログラムを実行してもよい。メモリ１００２は、ＣＰＵ１００１によって実行されるプログラムおよびＣＰＵ１００１の動作に使用されるデータを、一時的に保管する作業領域であってもよい。タイマ１００３は、時間間隔を計測して、プログラムの実行に従ってＣＰＵ１００１に計測結果を出力してもよい。ＧＰＵ１００４は、ストレージユニット１００５から読み込まれるプログラムに従って、画像データを処理し、処理結果をＣＰＵ１００１に出力してもよい。

[0199] パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０は、露光装置制御部１１０との間で目標パルスエネルギー E_t や発振トリガ信号等を送受信するレーザ制御部３０、スイッチ駆動部６０、充電器４０、 n 個の充電器４０１～４０ n 、 n 個の充電器４０１ a ～４０ n a 及び n 個の充電器４０１ b ～４０ n b 等の、処理ユニット１０００と通信可能なパラレルＩ／Ｏデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれらパラレルＩ／Ｏデバイスとの間の通信を制御してもよい。シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、露光装置制御部１１０との間で各種データ信号を送受信するレーザ制御部３０、モータ２１及び熱交換器１７等の、処理ユニット１０００と通信可能なシリアルＩ／Ｏデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれらシリアルＩ／Ｏデバイスとの間の通信を制御してもよい。Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、アナログポートを介して、光センサ２０ c 等のアナログデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれらアナログデバイスとの間の通信を制御したり、通信内容のＡ／Ｄ、Ｄ／Ａ変換を行ってもよい。

[0200] ユーザインターフェイス１０１０は、操作者が処理ユニット１０００にプログラムの停止や、割込みルーチンの実行を指示できるように、処理ユニット１０００によって実行されるプログラムの進捗を操作者に表示してもよい。

[0201] 例示的なハードウェア環境１００は、本開示における露光装置制御部１１

0、レーザ制御部30及びスイッチ駆動部60等の構成に適用されてもよい。当業者は、それらのコントローラが分散コンピューティング環境、すなわち、通信ネットワークを介して繋がっている処理ユニットによってタスクが実行される環境において実現されてもよいことを理解するだろう。本開示において、露光装置制御部110、レーザ制御部30及びスイッチ駆動部60等は、イーサネットやインターネットといった通信ネットワークを介して互いに接続されてもよい。分散コンピューティング環境において、プログラムモジュールは、ローカルおよびリモート両方のメモリストレージデバイスに保存されてもよい。

[0202] [12.2 その他の変形例等]

ガスレーザ装置1は、狭帯域化モジュール18の代りに高反射ミラーを用いてもよい。当該ガスレーザ装置1では、狭帯域化されていない自然励起光が、パルスレーザ光として露光装置110に出力され得る。

[0203] ガスレーザ装置1は、エキシマレーザ装置ではなく、フッ素ガス及びバッファガスをレーザガスとするフッ素分子レーザ装置であってもよい。

[0204] スイッチ駆動部60とレーザ制御部30とは、一体的に構成されてもよい。この場合、スイッチ駆動部60がレーザ制御部30に統合されてもよいし、高電圧パルス発生装置5の各構成要素を制御するレーザ制御部30の機能が、スイッチ駆動部60に統合されてもよい。

[0205] また、スイッチ駆動部60は、パルスパワーモジュール50内に含まれてもよい。この場合、スイッチ駆動部60には、高電圧パルス発生装置5の各構成要素を制御するレーザ制御部30の機能が統合されていてもよい。

[0206] 上記で説明した実施形態は、変形例を含めて各実施形態同士で互いの技術を適用し得ることは、当業者には明らかであろう。

[0207] 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。

[0208] 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語「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。

符号の説明

[0209]	1	…ガスレーザ装置
	1 0	…レーザチャンバ
	1 1	…一对の放電電極
	3 0	…レーザ制御部
	4 0 1 ~ 4 0 n	… n 個の充電器
	5 0 a、5 0 b	…モジュール
	5 1 1 ~ 5 1 n	… n 個の 1 次側電気回路
	5 2	… 2 次側電気回路
	6 0	…スイッチ駆動部
	C 1 ~ C n	… n 個のコンデンサ
	C p	…ピーキングコンデンサ
	D 1 ~ D n	… n 個のダイオード
	D h v	…高耐圧ダイオード
	L a 1 ~ L a n	… n 個の 1 次側コイル
	L b 1 ~ L b n	… n 個の 2 次側コイル
	M S	…磁気スイッチ
	S W 1 ~ S W n	… n 個のスイッチ

請求の範囲

- [請求項1] ガスレーザ装置のレーザチャンバ内に配置された一対の放電電極間にパルス状の高電圧を印加する高電圧パルス発生装置であって、
- パルストランスの1次側において互いに並列に接続された n （ n は2以上の自然数）個の1次側電気回路と、
- 前記一対の放電電極に接続された前記パルストランスの2次側電気回路と、
- を備え、
- 前記 n 個の1次側電気回路は、互いに並列に接続された n 個の1次側コイルと、前記 n 個の1次側コイルにそれぞれ並列に接続された n 個のコンデンサと、前記 n 個のコンデンサにそれぞれ直列に接続された n 個のスイッチと、を含み、
- 前記2次側電気回路は、互いに直列に接続された n 個の2次側コイルと、前記一対の放電電極から前記2次側コイル側に向かって逆電流が流れることを抑制するダイオードと、を含む
- 高電圧パルス発生装置。
- [請求項2] 前記 n 個の1次側電気回路は、前記 n 個のコンデンサをそれぞれ充電する n 個の充電器に接続され、
- 前記 n 個のコンデンサは、前記 n 個のスイッチが駆動することによって、前記 n 個の充電器によって充電された充電電圧に応じた電流を前記 n 個の1次側コイルに供給する
- 請求項1に記載の高電圧パルス発生装置。
- [請求項3] 前記ダイオードは、 n 個のダイオードから構成されており、
- 前記 n 個のダイオードは、前記 n 個の2次側コイルの各両端にそれぞれ接続されている
- 請求項2に記載の高電圧パルス発生装置。
- [請求項4] 前記 n 個の2次側コイルと前記一対の放電電極との間に並列に接続されたピーキングコンデンサを更に備える

請求項3に記載の高電圧パルス発生装置。

- [請求項5] 前記ピーキングコンデンサと前記一对の放電電極との間に直列に接続され、前記逆電流が前記ピーキングコンデンサに流れることを抑制する高耐圧ダイオードを更に備える

請求項4に記載の高電圧パルス発生装置。

- [請求項6] 前記n個の2次側コイルと前記ピーキングコンデンサとの間に直列に接続された磁気スイッチを更に備える

請求項4に記載の高電圧パルス発生装置。

- [請求項7] 前記n個のコンデンサのそれぞれは、互いに並列に接続されたm（mは2以上の自然数）個のコンデンサから構成されており、

前記n個のスイッチのそれぞれは、前記m個のコンデンサにそれぞれ直列に接続されたm個のスイッチから構成されている

請求項3に記載の高電圧パルス発生装置。

- [請求項8] 前記n個の1次側電気回路と前記2次側電気回路とを含むモジュールが複数並列して接続されている

請求項7に記載の高電圧パルス発生装置。

- [請求項9] 前記n個のスイッチのそれぞれの駆動タイミングを定めるタイミングデータに基づいて、前記n個のスイッチのそれぞれの駆動を制御するスイッチ駆動部を更に備える

請求項3に記載の高電圧パルス発生装置。

- [請求項10] 前記一对の放電電極間に印加される印加電圧は、前記ガスレーザ装置から出力されるパルスレーザ光の目標パルスエネルギーに基づいて予め決定され、

前記タイミングデータは、前記印加電圧に応じて、前記n個のスイッチの少なくとも一部が所定の駆動タイミングで駆動するよう定められており、

前記スイッチ駆動部は、前記タイミングデータに基づいて、前記n個のスイッチの少なくとも一部を前記所定の駆動タイミングで駆動さ

せる

請求項 9 に記載の高電圧パルス発生装置。

[請求項11] 前記タイミングデータは、時間的に変化する前記印加電圧のパルス波形の形状に応じて、前記 n 個のスイッチの一部が第 1 駆動タイミングで駆動し前記 n 個のスイッチの他の一部が前記第 1 駆動タイミングとは異なる第 2 駆動タイミングで駆動するよう定められており、

前記スイッチ駆動部は、前記タイミングデータに基づいて、前記 n 個のスイッチの一部をそれぞれ前記第 1 駆動タイミングで駆動させ、前記 n 個のスイッチの他の一部をそれぞれ前記第 2 駆動タイミングで駆動させる

請求項 10 に記載の高電圧パルス発生装置。

[請求項12] 前記 n 個の充電器は、互いに異なる前記充電電圧で前記 n 個のコンデンサを充電し、

前記タイミングデータは、前記 n 個のコンデンサの少なくとも一部にそれぞれ充電される各充電電圧の合計値に応じて、前記 n 個のスイッチの少なくとも一部が所定の駆動タイミング駆動するよう定められており、

前記スイッチ駆動部は、前記タイミングデータに基づいて、前記 n 個のスイッチの少なくとも一部を前記所定の駆動タイミングで駆動させる

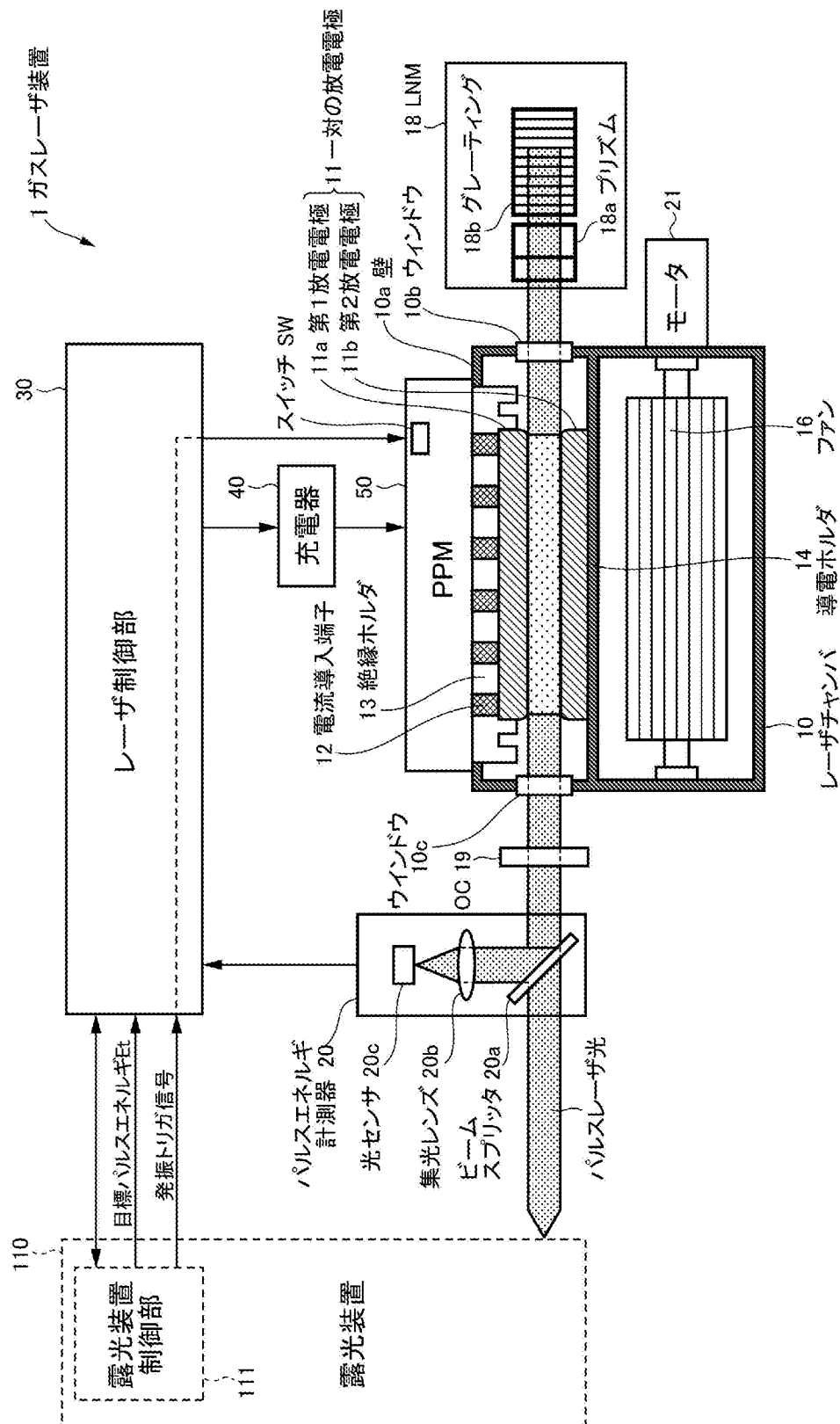
請求項 10 に記載の高電圧パルス発生装置。

[請求項13] 請求項 9 に記載の高電圧パルス発生装置と、

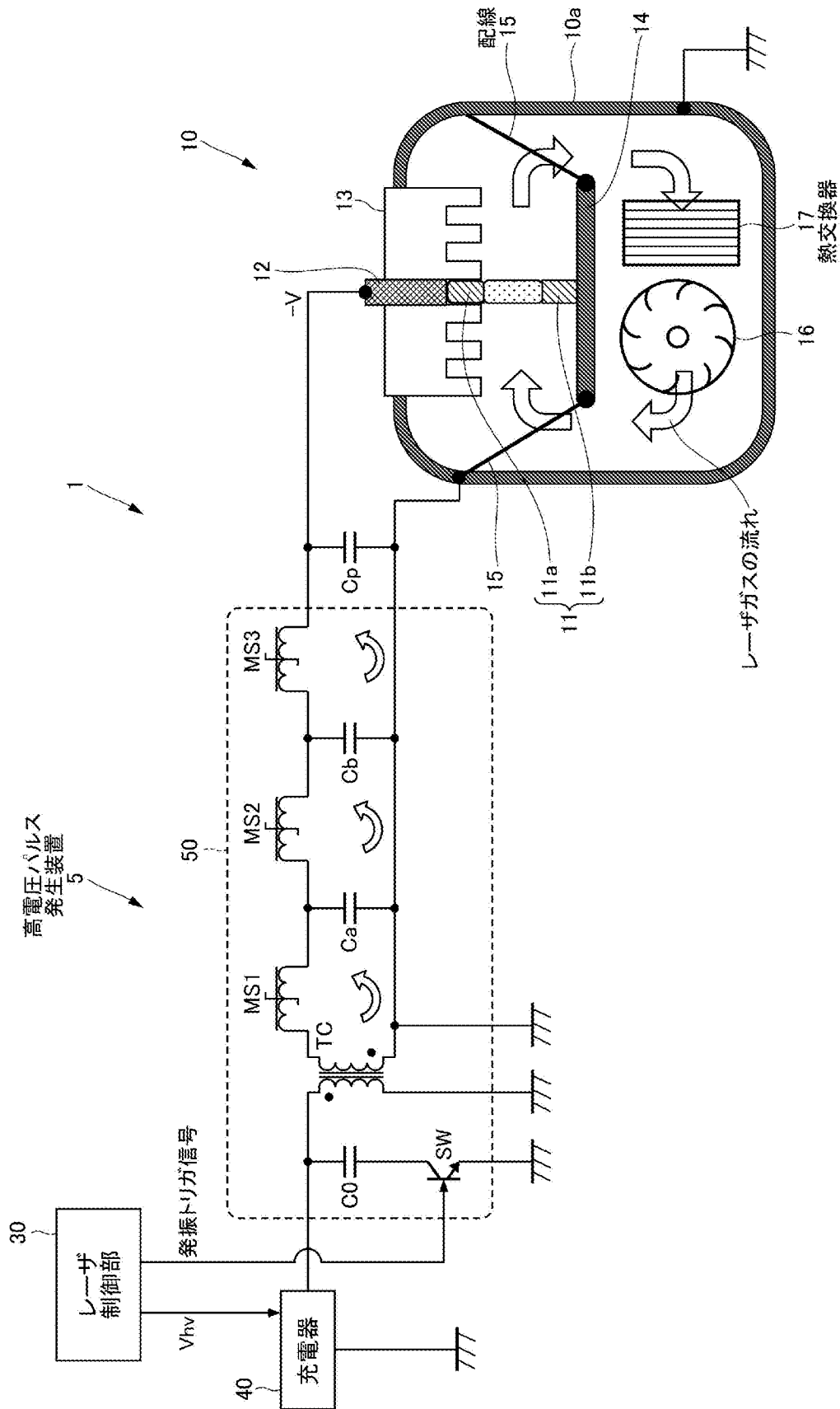
前記タイミングデータを前記スイッチ駆動部に出力するレーザ制御部と、

を備えるガスレーザ装置。

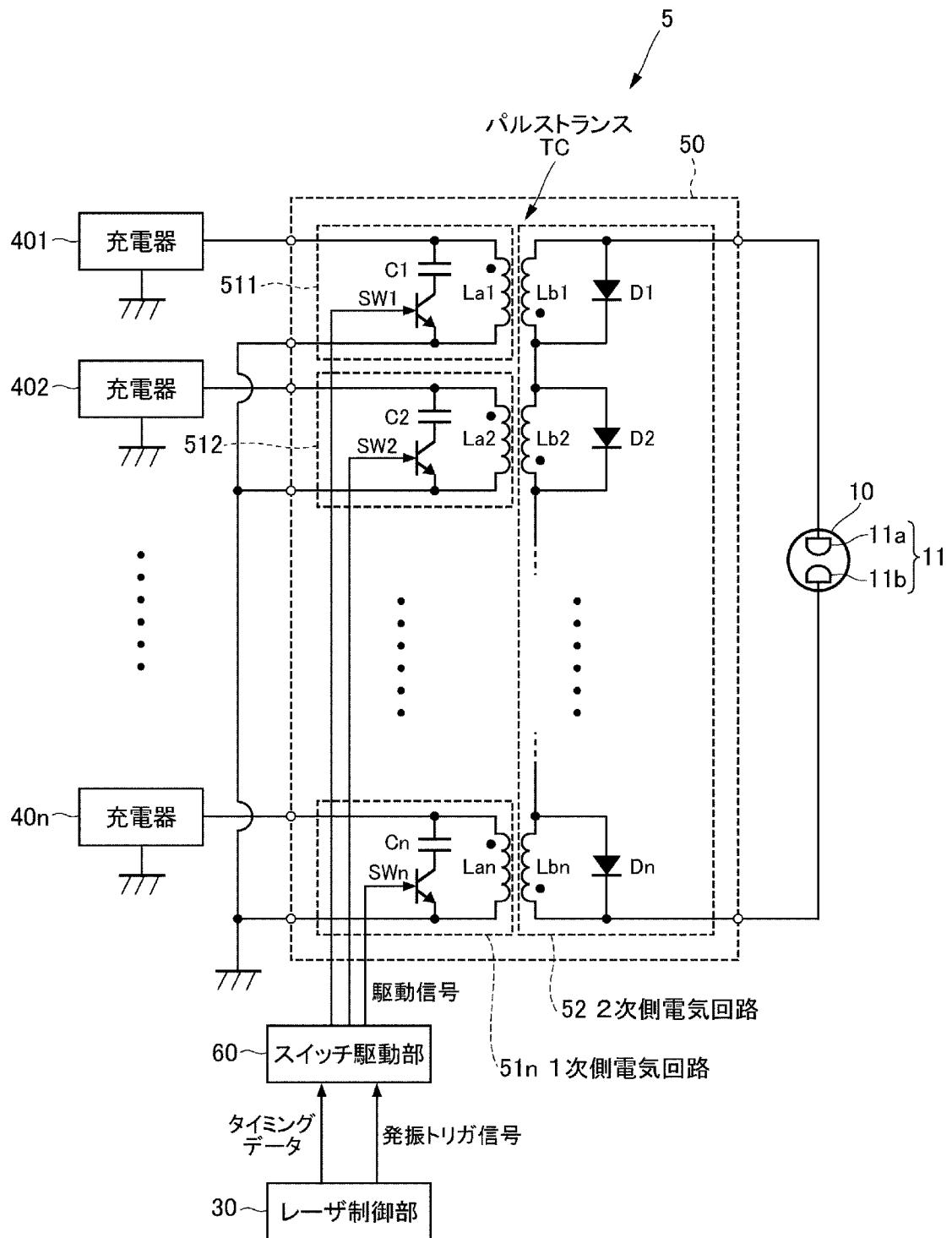
[図1]



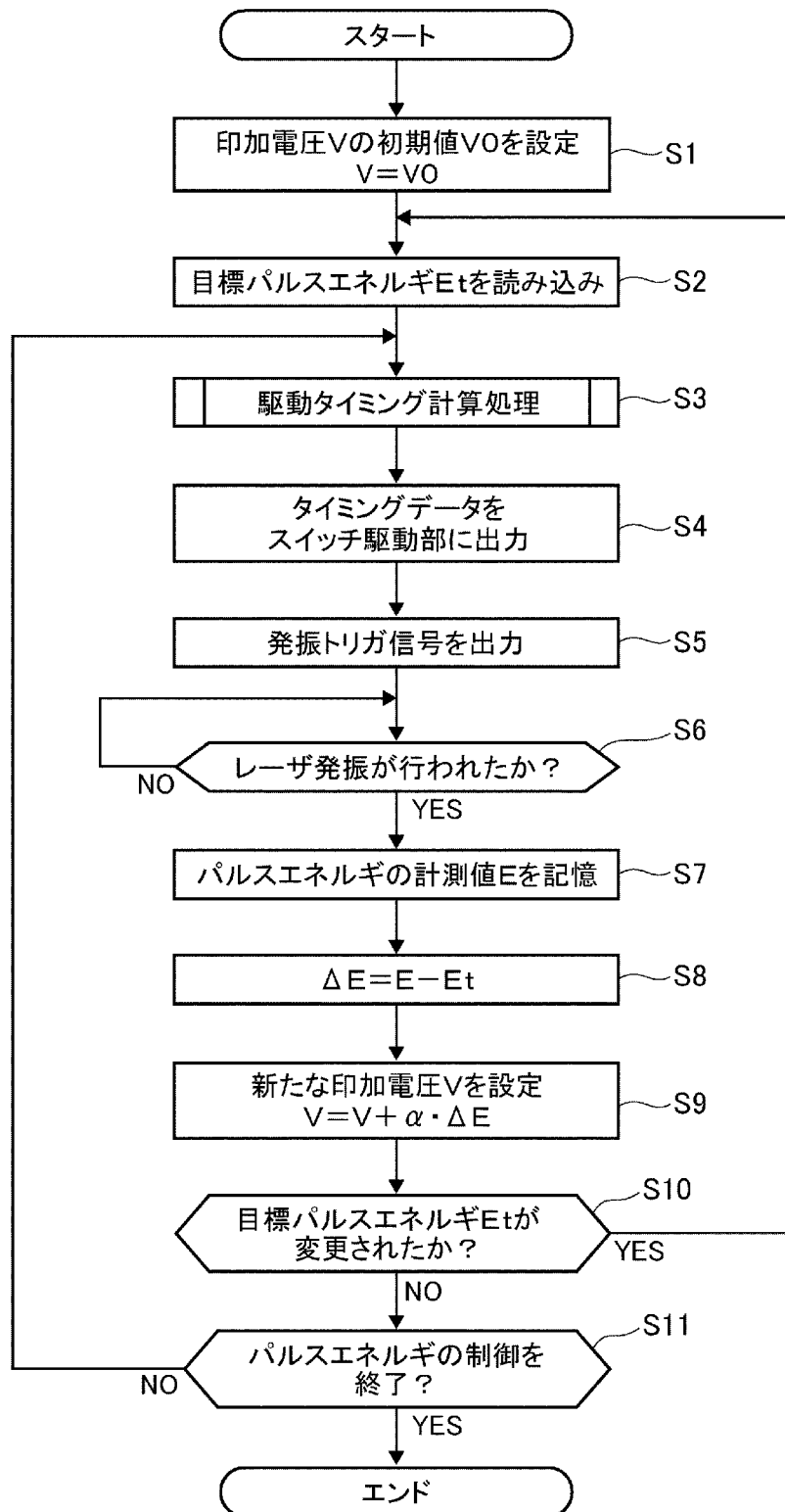
[図2]



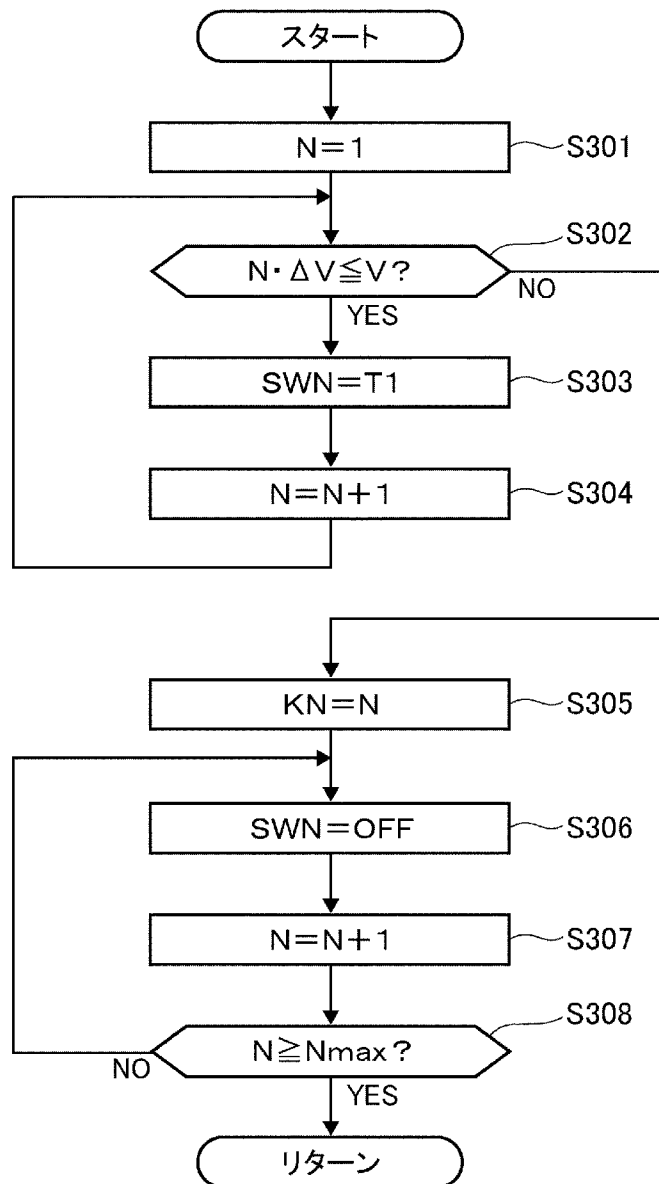
[図3]



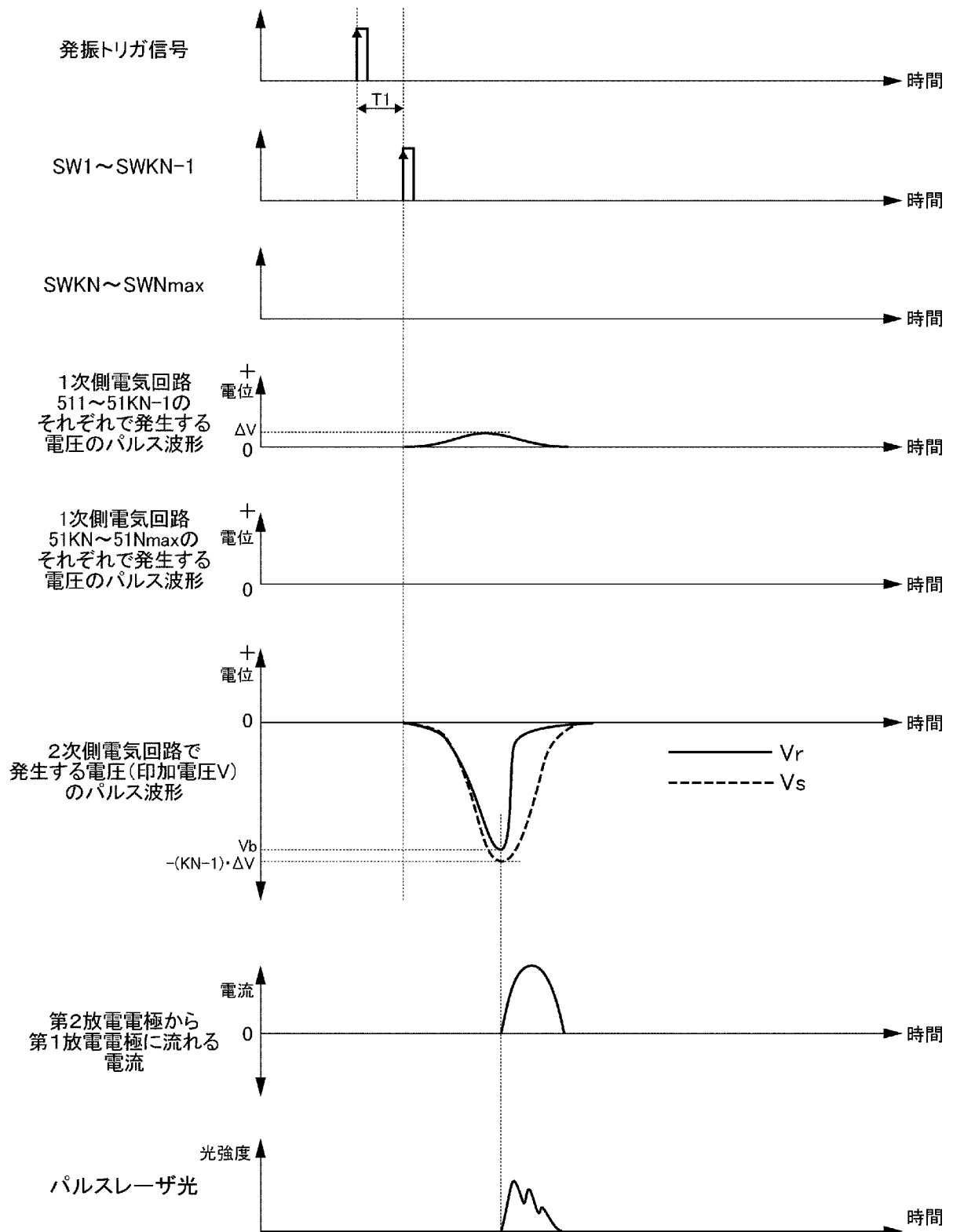
[図4]



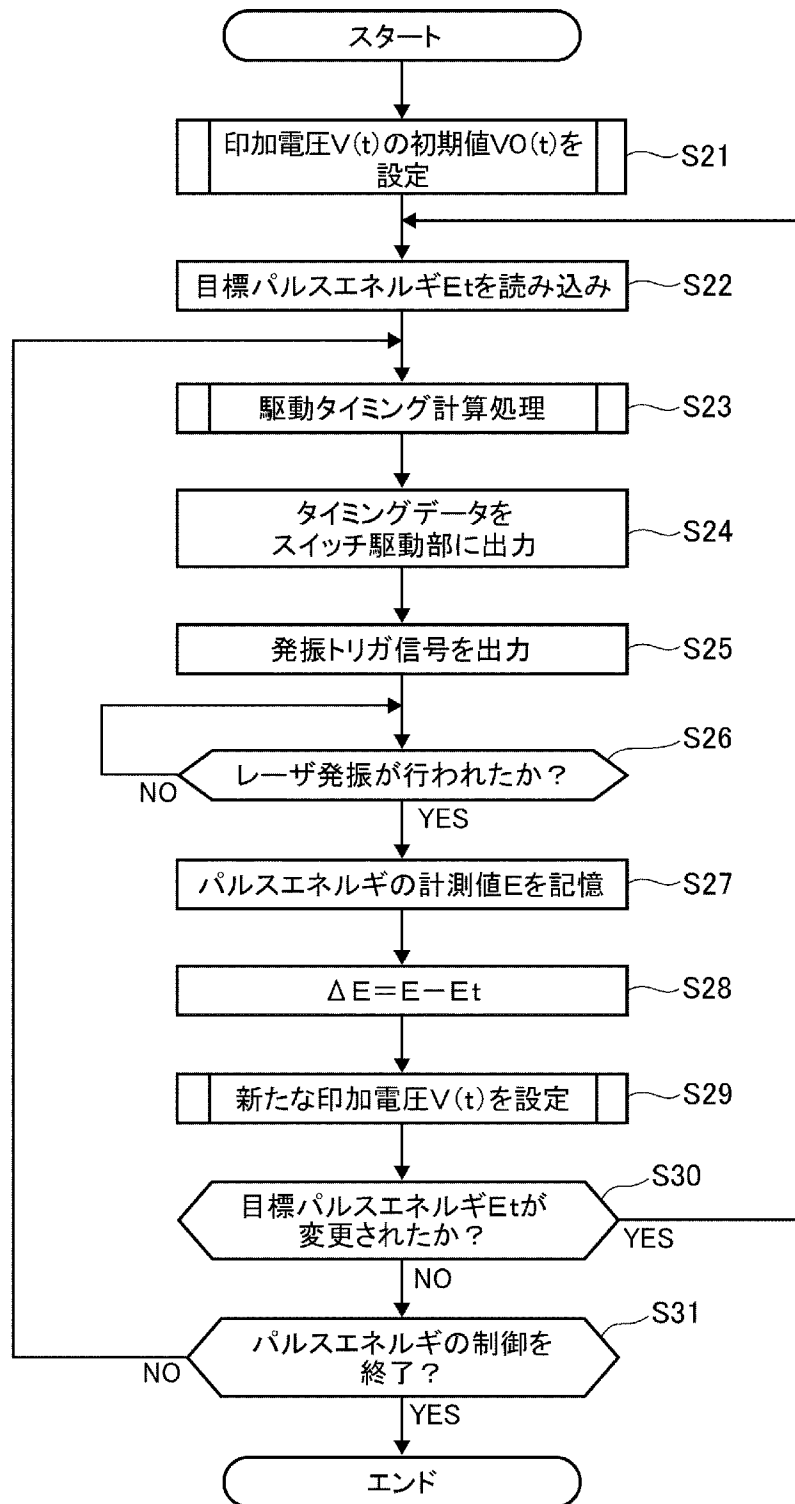
[図5]

駆動タイミング計算処理(S3)

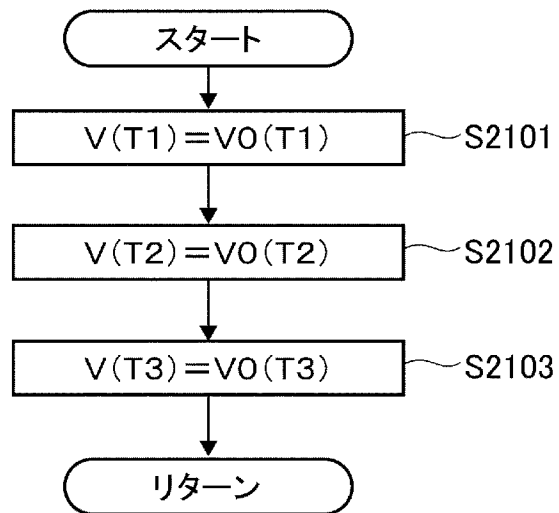
[図6]



[図7]

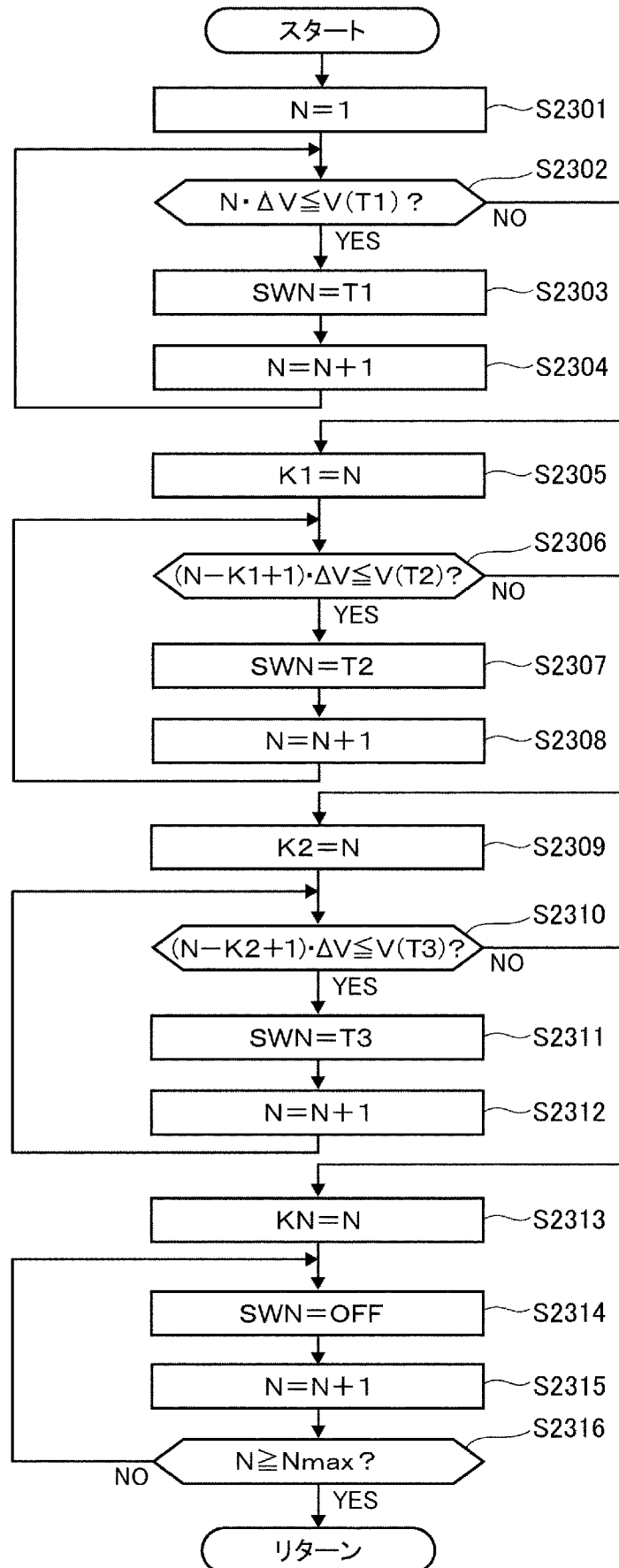


[図8]

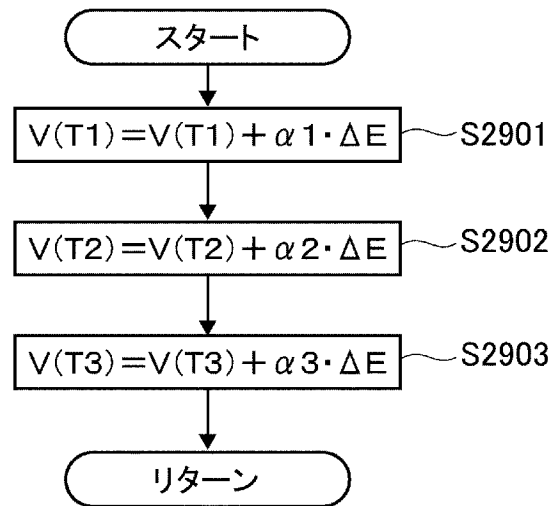
初期値 $V_0(t)$ の設定処理(S21)

[図9]

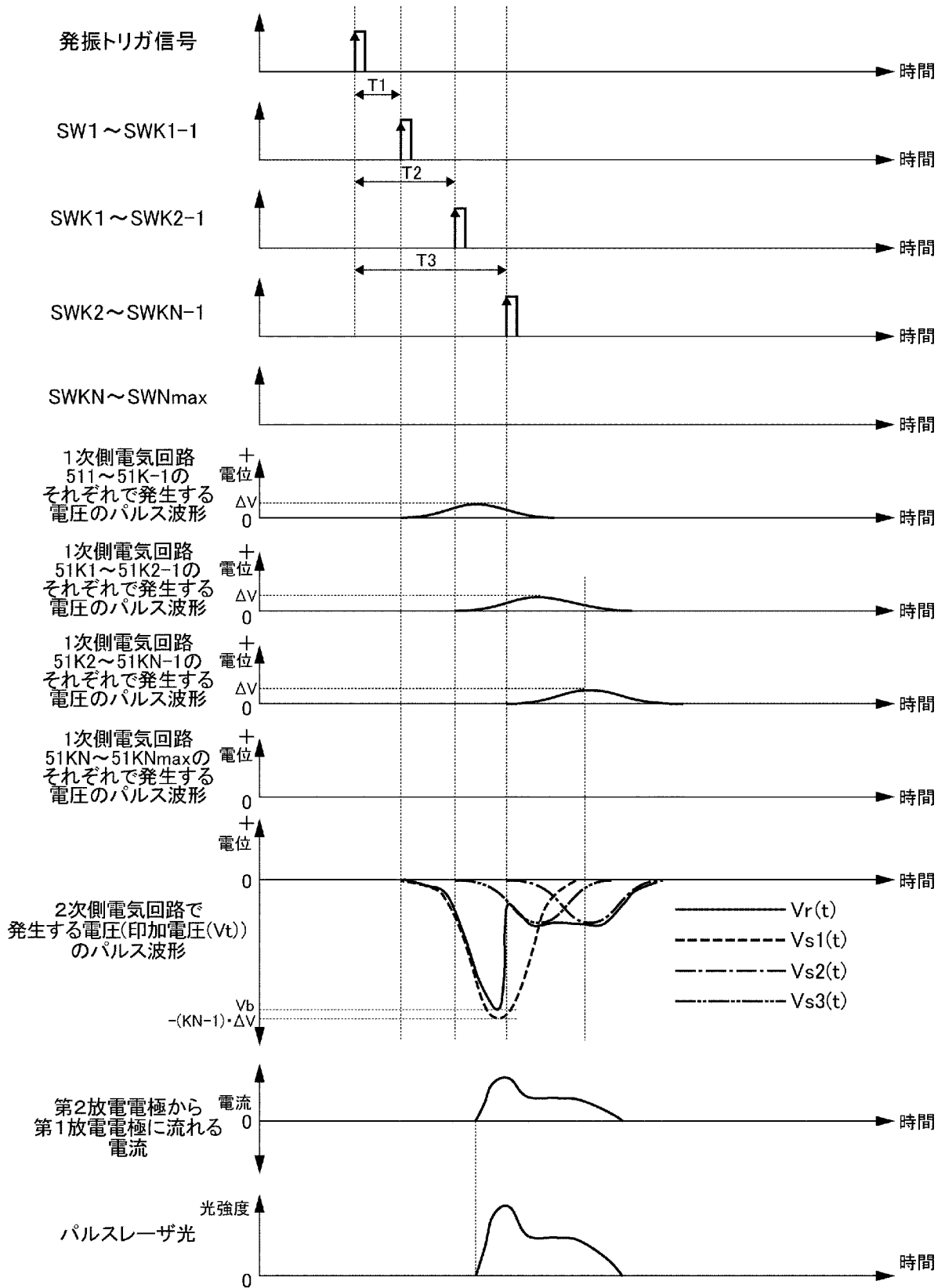
駆動タイミング計算処理(S23)



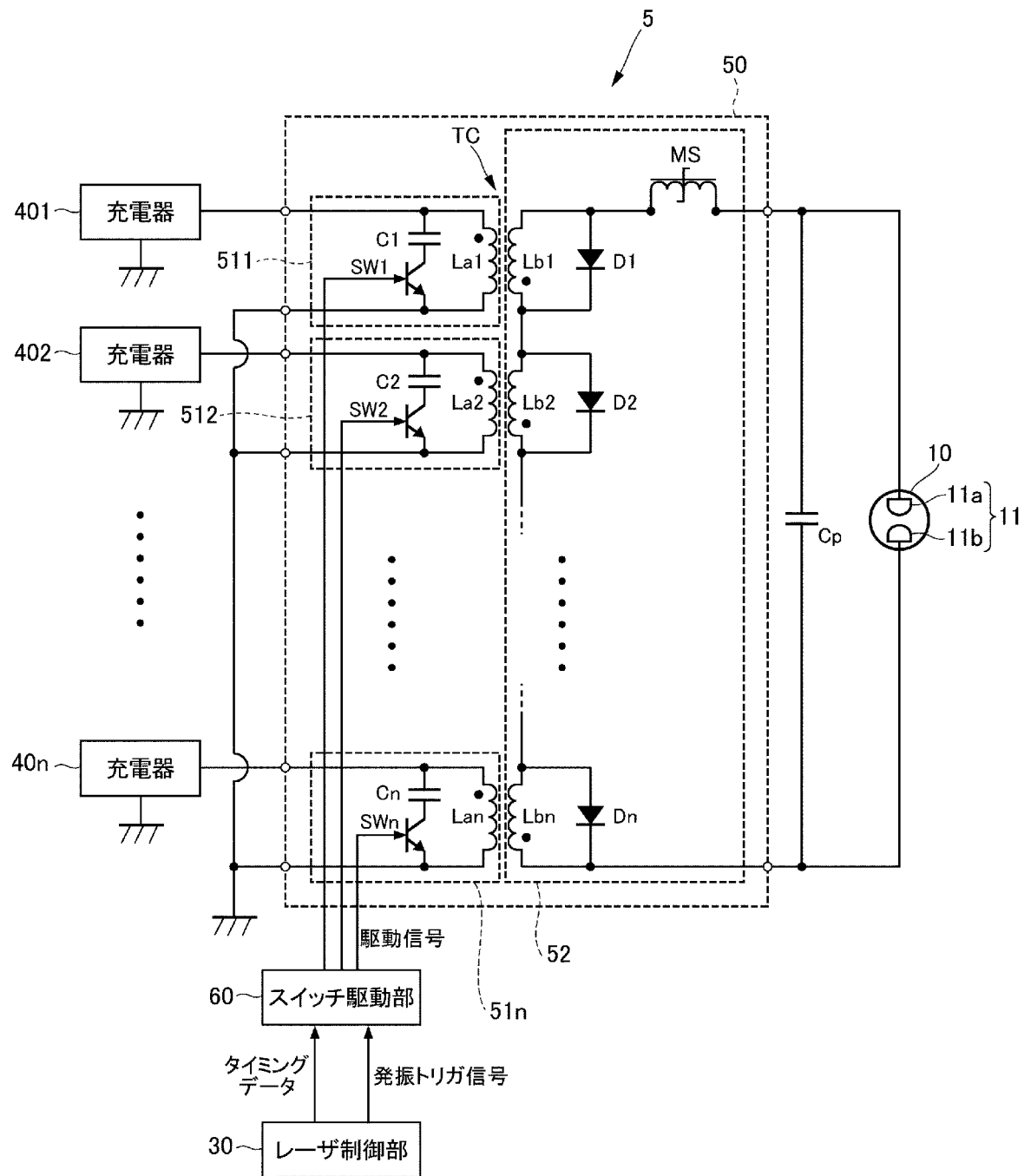
[図10]

新たな印加電圧 $V(t)$ の設定処理(S29)

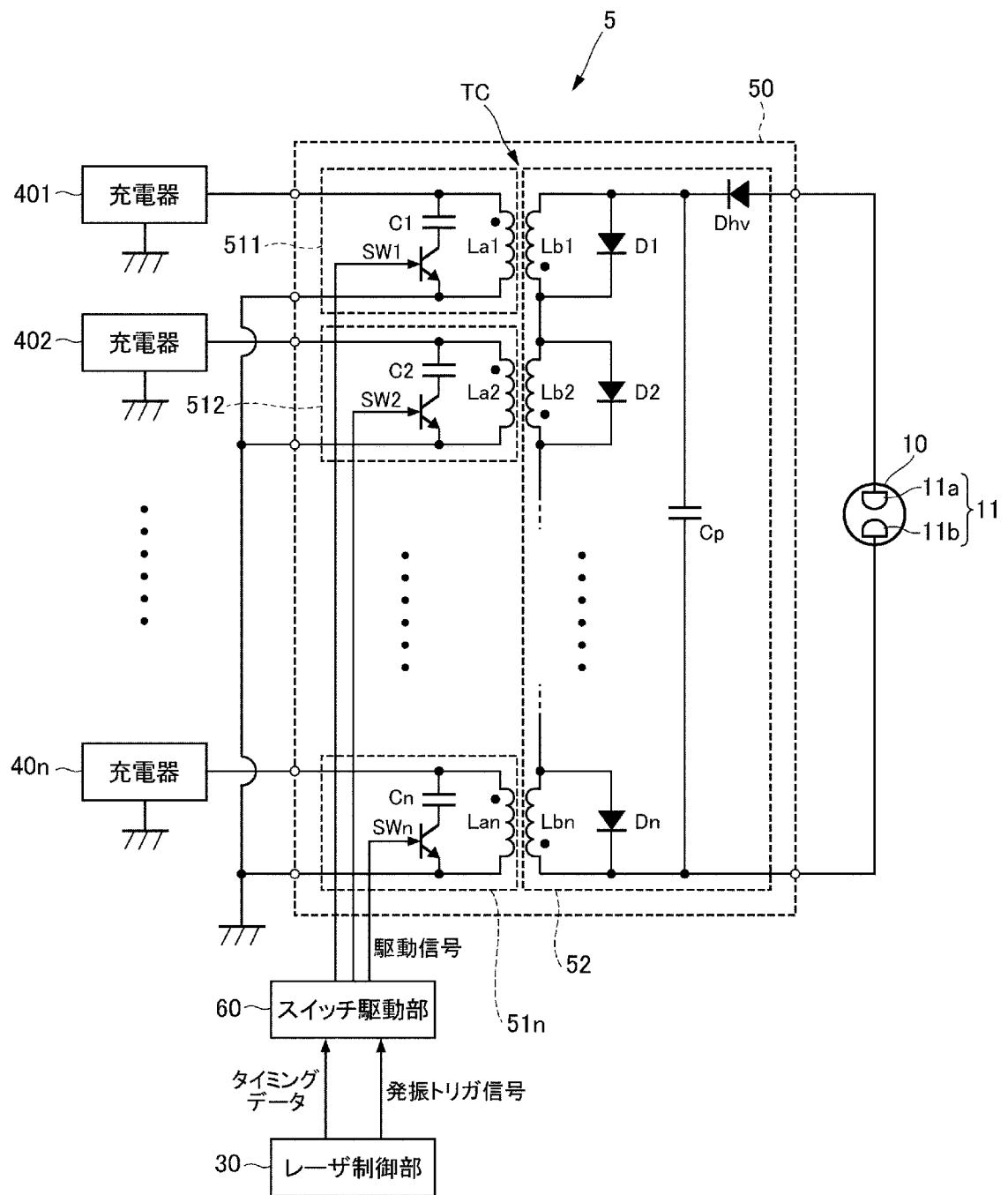
[図11]



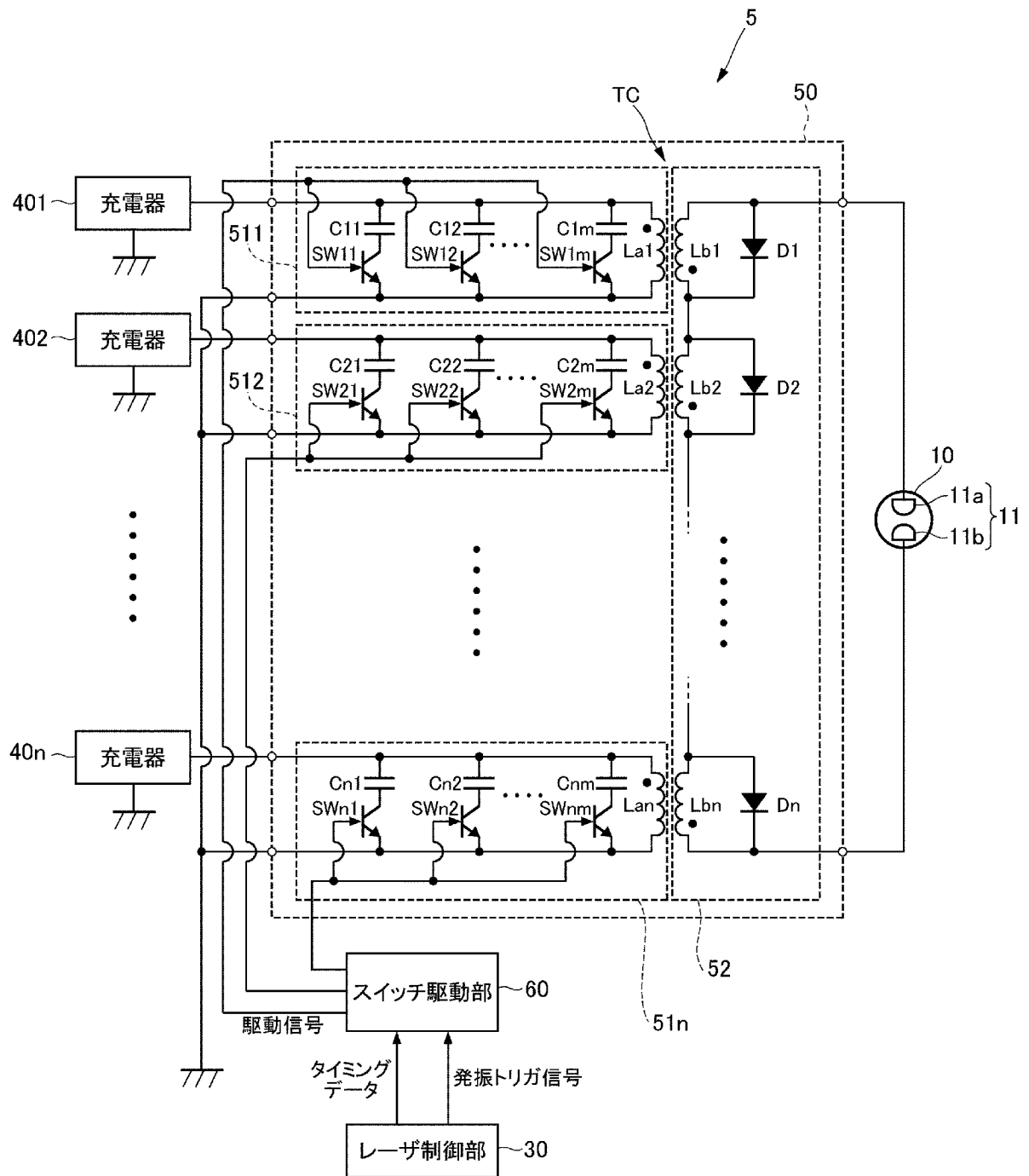
[図12]

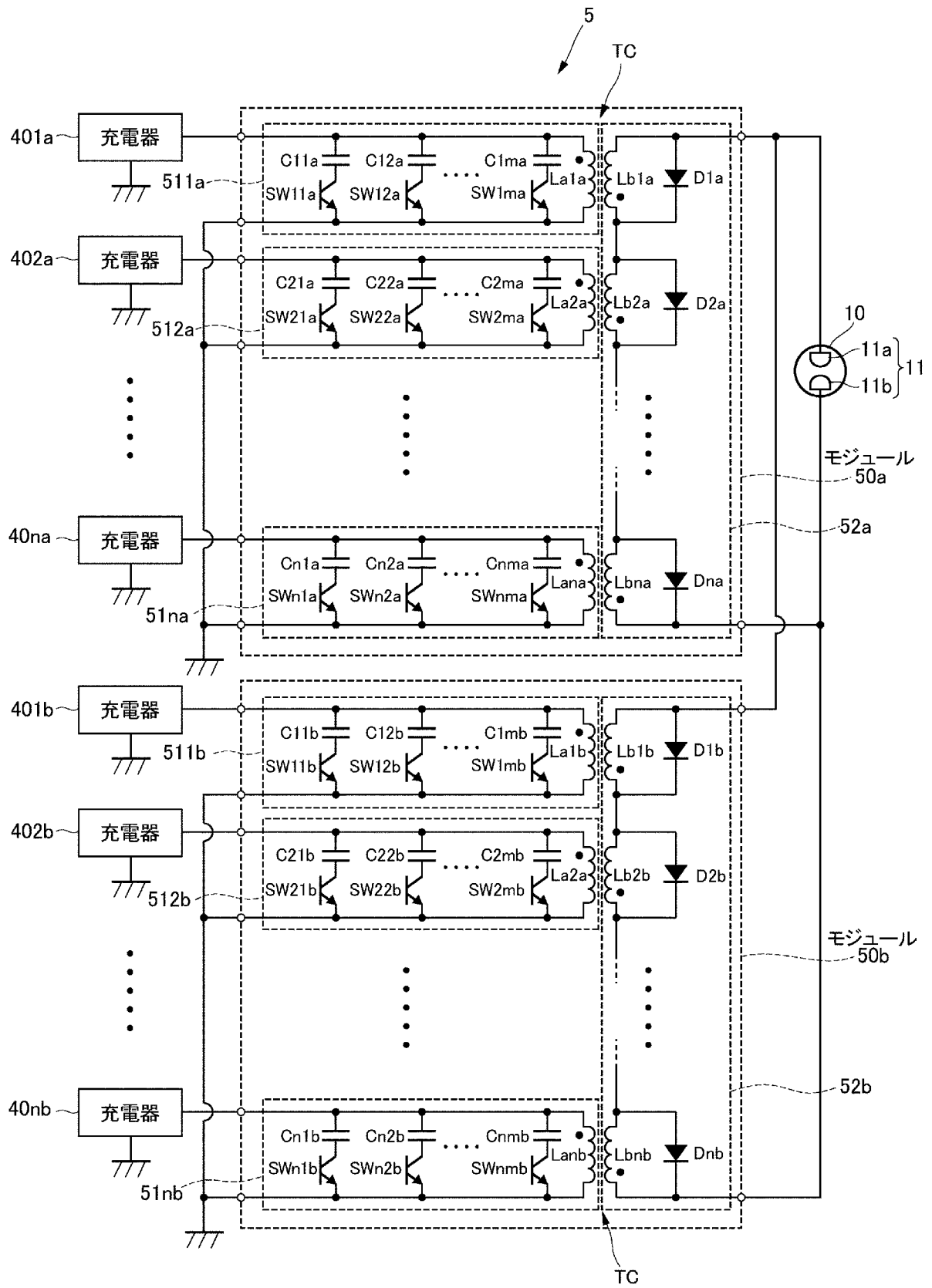


[図13]

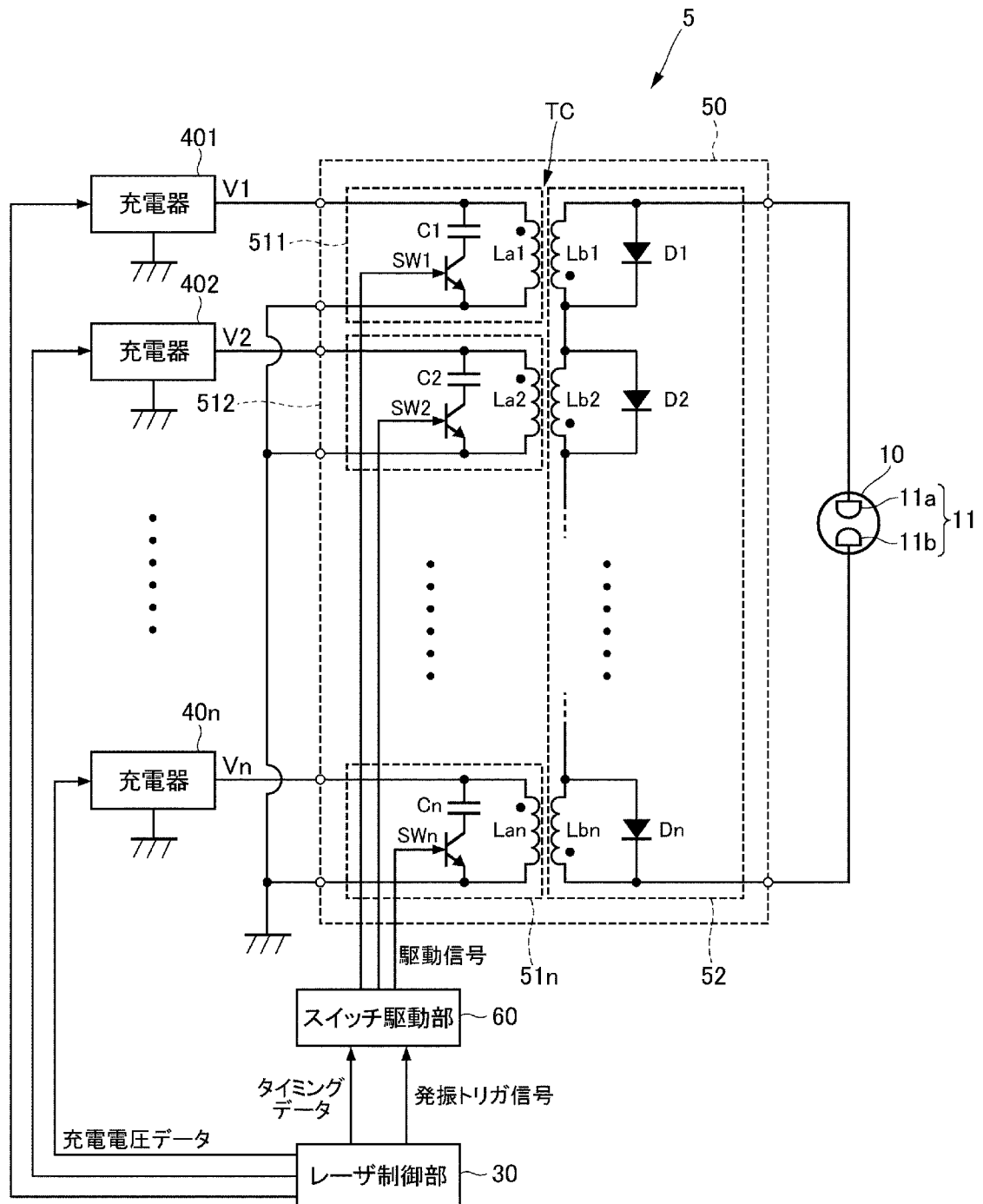


[図14]

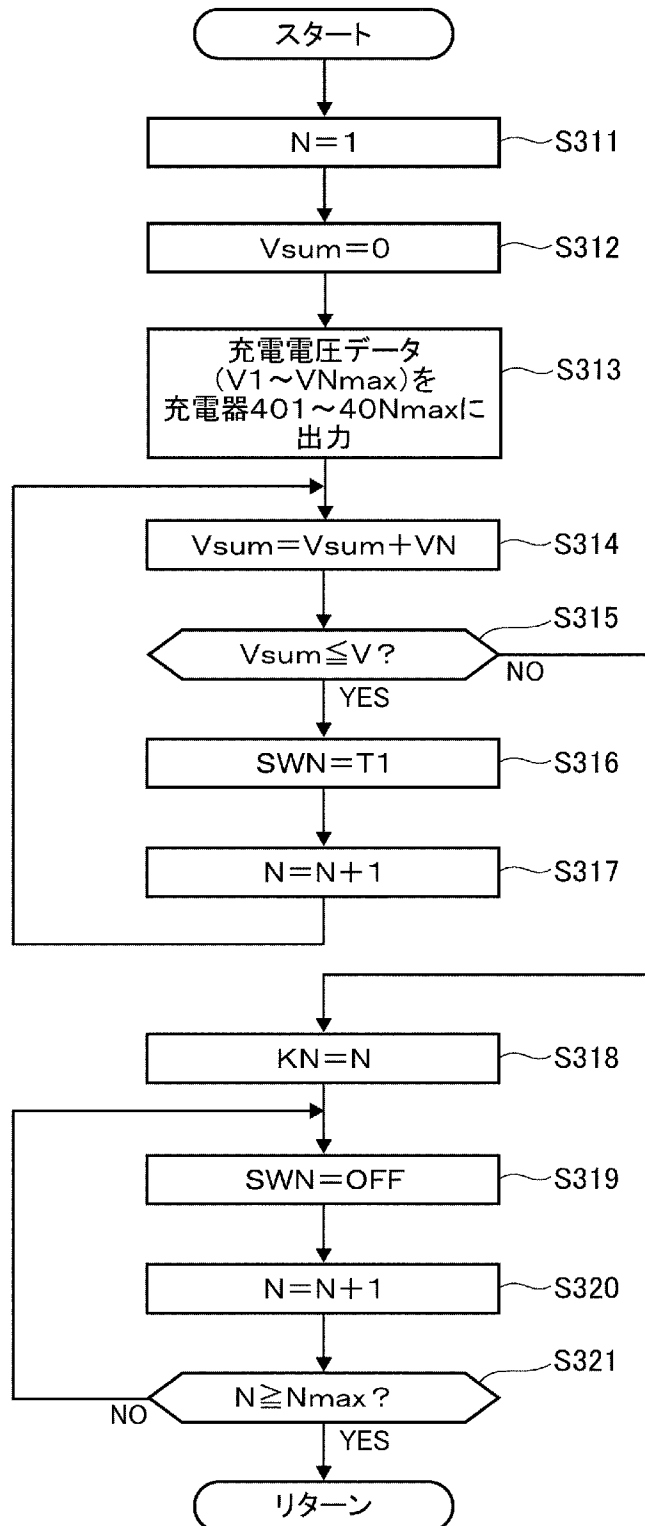




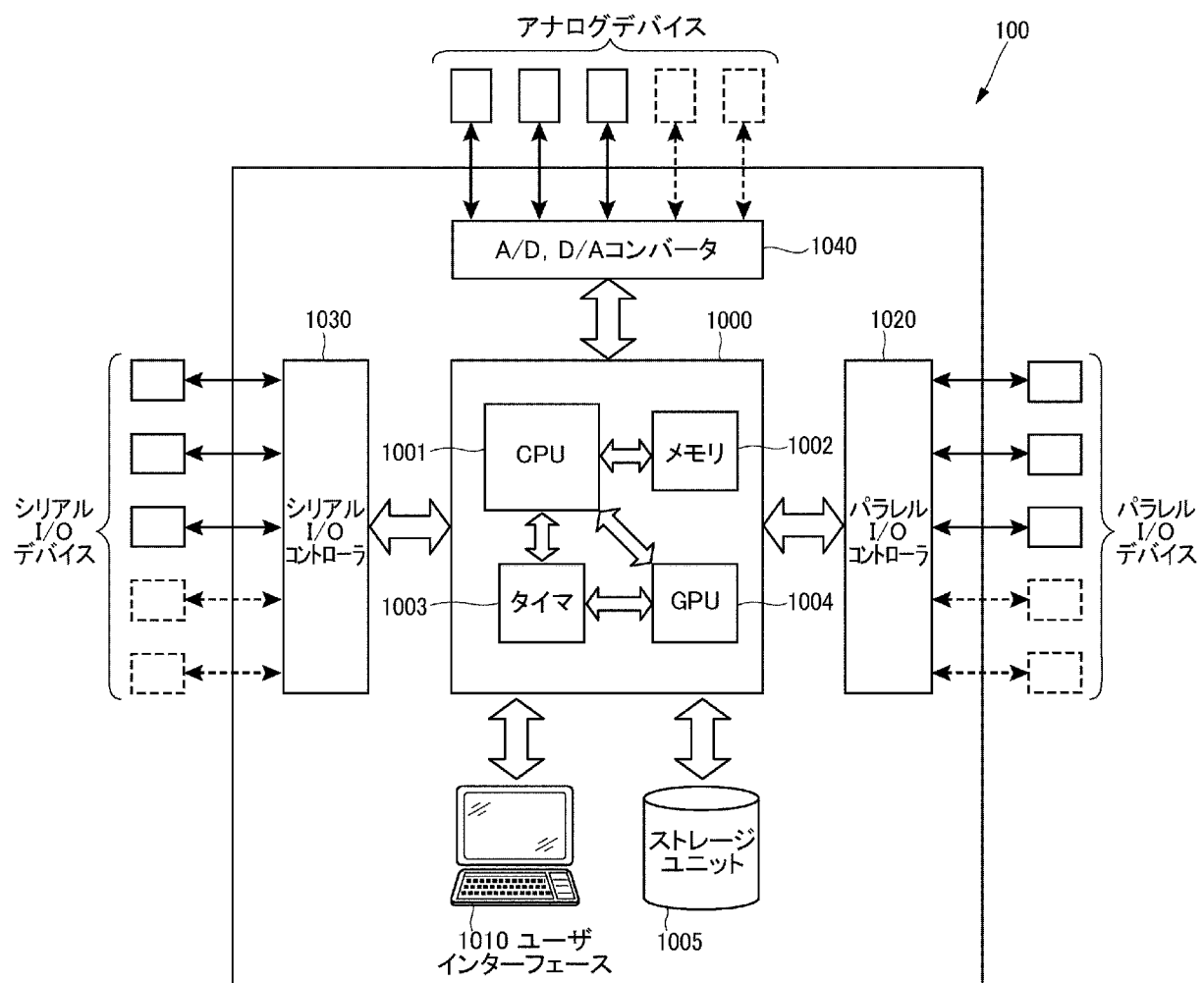
[図16]



[図17]

駆動タイミング計算処理(S3)

[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/059106

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/097(2006.01) i, H02M9/04(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)

H01S3/03-3/038, H01S3/097-3/0979, H01S3/104, H01S3/22-3/227, H02M9/04

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

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 7-245549 A (Meidensha Corp.), 19 September 1995 (19.09.1995), paragraphs [0016] to [0020]; fig. 1 (Family: none)	1, 2 3-13
Y A	JP 7-162067 A (Mitsubishi Electric Corp.), 23 June 1995 (23.06.1995), paragraphs [0087] to [0088]; fig. 11 (Family: none)	1, 2 3-13
A	JP 61-10290 A (Britt Corp.), 17 January 1986 (17.01.1986), entire text; all drawings & US 4635265 A & EP 164752 A2 & PL 253951 A1	1-13



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 June 2015 (02.06.15)

Date of mailing of the international search report
23 June 2015 (23.06.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/059106

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 9-312966 A (Mitsubishi Electric Corp., Laser Atomic Separation Engineering Research Association of Japan), 02 December 1997 (02.12.1997), entire text; all drawings (Family: none)	1-13
A	JP 2009-213214 A (Mitsubishi Electric Corp.), 17 September 2009 (17.09.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-13
A	JP 63-117661 A (Toshiba Corp.), 21 May 1988 (21.05.1988), entire text; all drawings & EP 264135 A2 & US 4939381 A	1-13
A	JP 1-235391 A (Komatsu Ltd.), 20 September 1989 (20.09.1989), entire text; all drawings (Family: none)	1-13
A	WO 2012/019731 A1 (COHERENT GMBH), 16 February 2012 (16.02.2012), entire text; all drawings & JP 2013-533642 A & US 2012/0033689 A1 & US 2012/0269223 A1 & CN 103155307 A & KR 10-2014-0003391 A & TW 201212437 A	1-13
A	JP 2007-288466 A (Meidensha Corp.), 01 November 2007 (01.11.2007), entire text; all drawings (Family: none)	8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S3/097(2006.01)i, H02M9/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S3/03-3/038, H01S3/097-3/0979, H01S3/104, H01S3/22-3/227, H02M9/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 7-245549 A (株式会社明電舎) 1995.09.19, 段落[0016]-[0020], 図1 (ファミリーなし)	1, 2 3-13
Y A	JP 7-162067 A (三菱電機株式会社) 1995.06.23, 段落 [0087] -[0088], 図11 (ファミリーなし)	1, 2 3-13
A	JP 61-10290 A (ブリット・コーポレイション) 1986.01.17, 全文、全図 & US 4635265 A & EP 164752 A2 & PL 253951 A1	1-13

☒ 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

02.06.2015

国際調査報告の発送日

23.06.2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
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)

林 祥恵

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

2X

4085

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 9-312966 A (三菱電機株式会社、レーザー濃縮技術研究組合) 1997. 12. 02, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 2009-213214 A (三菱電機株式会社) 2009. 09. 17, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 63-117661 A (株式会社東芝) 1988. 05. 21, 全文、全図 & EP 264135 A2 & US 4939381 A	1-13
A	JP 1-235391 A (株式会社小松製作所) 1989. 09. 20, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-13
A	WO 2012/019731 A1 (COHERENT GMBH) 2012. 02. 16, 全文、全図 & JP 2013-533642 A & US 2012/0033689 A1 & US 2012/0269223 A1 & CN 103155307 A & KR 10-2014-0003391 A & TW 201212437 A	1-13
A	JP 2007-288466 A (株式会社明電舎) 2007. 11. 01, 全文、全図 (ファミリーなし)	8