

(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  
2022年6月16日(16.06.2022)



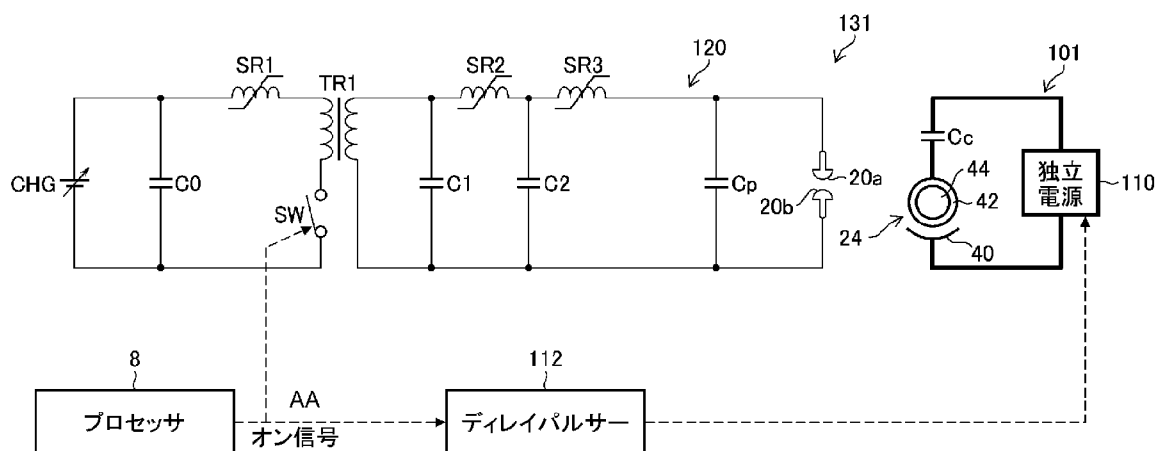
(10) 国際公開番号

WO 2022/123714 A1

- (51) 国際特許分類:  
*H01S 3/097* (2006.01) *H01S 3/104* (2006.01)  
*H01S 3/0977* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/045982
- (22) 国際出願日: 2020年12月10日(10.12.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 山之内 庸一(YAMANOUCHI, Youichi); 〒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: 松浦 憲三(MATSUURA, Kenzo); 〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号 新宿住友ビル23階 新都心国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,

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

(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



- 8 Processor
- 110 Independent power source
- 112 Display pulser
- AAOn-signal

(57) Abstract: A gas laser apparatus according to an aspect of the present disclosure comprises: a main discharge circuit that supplies a main discharge voltage for generating a main discharge between a pair of main discharge electrodes disposed inside a laser chamber; and a preliminary ionization circuit that supplies a preliminary ionization voltage for generating a corona discharge in a preliminary ionization electrode disposed inside the laser chamber. The main discharge circuit comprises a step-up pulse transformer, a main capacitor and a switch connected to the primary side of the step-up pulse transformer, a first power source that charges the main capacitor, a first capacitor connected in parallel to the secondary side of the step-up pulse transformer, a first magnetic switch connected to the first capacitor, and a peaking capacitor



WO 2022/123714 A1

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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, 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 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

connected in parallel to the main discharge electrodes and connected in parallel to the first capacitor via the first magnetic switch. The interval between the time at which the discharge of corona is started and the time at which the main discharge is started is 30-60 ns.

(57) 要約 : 本開示の一観点に係るガスレーザ装置は、レーザチャンバの内部に配置された一对の主放電電極に主放電を発生させる主放電電圧を供給する主放電回路と、レーザチャンバの内部に配置された予備電離電極にコロナ放電を発生させる予備電離電圧を供給する予備電離回路とを備える。主放電回路は、昇圧パルストランスと、昇圧パルストランスの一次側に接続された主コンデンサ及びスイッチと、主コンデンサを充電する第1電源と、昇圧パルストランスの二次側に並列接続された第1コンデンサと、第1コンデンサに接続された第1磁気スイッチと、第1磁気スイッチを介して第1コンデンサに並列接続されると共に主放電電極に並列接続されるピーキングコンデンサとを備え、コロナ放電が開始するタイミングと主放電が開始するタイミングとの間隔が30 ns以上60 ns以下である。

## 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、並びに波長約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、350～400nm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 Narrow 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11-177171号公報

特許文献2：特開平2-303083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、レーザガスが導入されるレ

ーザチャンバと、レーザチャンバの内部に配置された一对の主放電電極と、レーザチャンバの内部に配置された予備電離電極と、主放電電極に接続され、主放電電極に主放電を発生させる主放電電圧を供給する主放電回路と、予備電離電極に接続され、予備電離電極にコロナ放電を発生させる予備電離電圧を供給する予備電離回路と、を備え、主放電回路は、昇圧パルストランスと、昇圧パルストランスの一次側に接続された主コンデンサ及びスイッチと、主コンデンサと接続され主コンデンサを充電する第1電源と、昇圧パルストランスの二次側に並列接続された第1コンデンサと、第1コンデンサに接続された第1磁気スイッチと、第1磁気スイッチを介して第1コンデンサに並列接続されると共に一对の主放電電極に並列接続されるピーキングコンデンサと、を備え、コロナ放電が開始するタイミングと主放電が開始するタイミングとの間隔が30 ns以上60 ns以下である。

[0006] 本開示の他の1つの観点に係る電子デバイスの製造方法は、レーザガスが導入されるレーザチャンバと、レーザチャンバの内部に配置された一对の主放電電極と、レーザチャンバの内部に配置された予備電離電極と、主放電電極に接続され、主放電電極に主放電を発生させる主放電電圧を供給する主放電回路と、予備電離電極に接続され、予備電離電極にコロナ放電を発生させる予備電離電圧を供給する予備電離回路と、を備え、主放電回路は、昇圧パルストランスと、昇圧パルストランスの一次側に接続された主コンデンサ及びスイッチと、主コンデンサと接続され主コンデンサを充電する第1電源と、昇圧パルストランスの二次側に並列接続された第1コンデンサと、第1コンデンサに接続された第1磁気スイッチと、第1磁気スイッチを介して第1コンデンサに並列接続されると共に一对の主放電電極に並列接続されるピーキングコンデンサと、を備え、コロナ放電が開始するタイミングと主放電が開始するタイミングとの間隔が30 ns以上60 ns以下である、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上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、ガスレーザー装置の構成例を概略的に示す。
- [図2]図2は、ガスレーザー装置におけるレーザーチャンバの断面図である。
- [図3]図3は、比較例に係る予備電離回路を含むパルスパワー発生装置の回路構成を示す。
- [図4]図4は、コロナ予備電離電極の構造を概略的に示す正面図である。
- [図5]図5は、コロナ予備電離電極の構造を概略的に示す側面図である。
- [図6]図6は、図3に示す回路構成におけるコロナ放電開始と主放電開始との時間間隔の例を示すグラフである。
- [図7]図7は、実施形態1に係るガスレーザー装置に適用される予備電離回路及び主放電回路を含むパルスパワー発生装置の回路図である。
- [図8]図8は、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔に対するレーザーエネルギーの測定結果を示すグラフである。
- [図9]図9は、実施形態2に係るガスレーザー装置に適用される予備電離回路及び主放電回路を含むパルスパワー発生装置の回路図である。
- [図10]図10は、図9に示す回路における予備電離電圧の例を示すグラフである。
- [図11]図11は、実施形態3に係るガスレーザー装置に適用される予備電離回路及び主放電回路を含むパルスパワー発生装置の回路図である。
- [図12]図12は、図11に示す回路における予備電離電圧と主放電電極電圧との時間変化を示すグラフである。
- [図13]図13は、実施形態4に係るガスレーザー装置に適用される予備電離回路及び主放電回路を含むパルスパワー発生装置の回路図である。
- [図14]図14は、実施形態5に係るガスレーザー装置に適用される予備電離回路及び主放電回路を含むパルスパワー発生装置の回路図である。
- [図15]図15は、図3に示す予備電離回路における誘電体パイプの厚さに対

するコロナ放電開始と主放電開始との時間間隔、及び、コロナ放電開始電圧を示すグラフである。

[図16]図16は、露光装置の構成例を概略的に示す。

## 実施形態

[0008] ー目次ー

### 1. ガスレーザ装置の説明

#### 1. 1 構成

#### 1. 2 動作

##### 1. 2. 1 概要

##### 1. 2. 2 動作の詳細

#### 1. 3 その他

### 2. 比較例に係るパルスパワー発生装置

#### 2. 1 構成

#### 2. 2 動作

#### 2. 3 課題

### 3. 実施形態1

#### 3. 1 構成

#### 3. 2 動作

#### 3. 3 作用・効果

#### 3. 4 変形例

### 4. 実施形態2

#### 4. 1 構成

#### 4. 2 動作

#### 4. 3 作用・効果

### 5. 実施形態3

#### 5. 1 構成

#### 5. 2 動作

#### 5. 3 作用・効果

## 6. 実施形態4

### 6. 1 構成

### 6. 2 動作

### 6. 3 作用・効果

## 7. 実施形態5

### 7. 1 構成

### 7. 2 動作

### 7. 3 作用・効果

## 8. 実施形態6

### 8. 1 構成

### 8. 2 動作

### 8. 3 作用・効果

## 9. 電子デバイスの製造方法について

## 10. その他

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

### [0009] 1. ガスレーザ装置の説明

#### 1. 1 構成

図1は、ガスレーザ装置1の構成例を概略的に示す。図2は、ガスレーザ装置1におけるレーザチャンバ10の断面図である。ガスレーザ装置1は、レーザ発振器システム2と、レーザガス供給装置4と、レーザガス排気装置6と、プロセッサ8とを含む。レーザ発振器システム2は、レーザチャンバ10と、レーザ共振器12と、パワーモニタ14と、充電器16と、パルスパワーモジュール (Pulse Power Module : PPM) 18とを含む。

- [0010] レーザチャンバ10は、一对の主放電電極20a、20bと、電気絶縁物22と、コロナ予備電離電極24と、クロスフローファン26と、熱交換器28と、モータ30と、レーザ共振器12の光を透過する2つのウィンドウ32、34と、圧力センサ36を含む。主放電電極20a、20b、コロナ予備電離電極24、クロスフローファン26及び熱交換器28はレーザチャンバ10の内部に配置される。
- [0011] コロナ予備電離電極24は、予備電離外電極40と、誘電体パイプ42と、予備電離内電極44とを含む。予備電離外電極40と予備電離内電極44は、図示しない固定プレート、ラダー部及び接触プレート部を含んでもよい。これらの電極の材料は主成分が銅を含む金属材料であってよく、例えば、無酸素銅や、リン青銅、黄銅等であってよい。誘電体パイプ42は、主放電電極20bの近傍に配置されるように、固定用パイプ46、48を介して配置される。この誘電体パイプ42の材質は、例えば、アルミナセラミック( $Al_2O_3$ )であってよい。
- [0012] 予備電離内電極44は円柱状の棒構造であって、フィードスルー50bと固定用パイプ46、48とを介してPPM18の高圧側と接続される。予備電離外電極40は、接触プレート部の先端に所定の力がかかるように、電極ホルダ54上のガイド52bにボルト53で固定される。この予備電離外電極40は接地される。
- [0013] 主放電電極20bは、電極ホルダ54に固定され、電極ホルダ54及び配線55を介して、接地されたレーザチャンバ10と接続される。電極ホルダ54には、レーザガスを整流するガイド52a、52b、52cが配置されている。PPM18は、図示しない充電コンデンサを含み、フィードスルー50aを介して主放電電極20aに接続される。PPM18は、主放電電極20aを放電させるためのスイッチ19を含んでいる。
- [0014] 充電器16は、PPM18の充電コンデンサに接続される。充放電回路については図3及び図4で詳しく説明する。PPM18が生成したパルス電圧は、レーザチャンバ10、配線55及び電極ホルダ54を介して主放電電極

20bに印加される。

- [0015] レーザチャンバ10は、レーザ共振器12の光路上に配置される。レーザ共振器12は、出力結合ミラー (Output Coupler : OC) 56と、LNM60とを含む。LNM60は、ビームを拡大するプリズム62とグレーティング64とを含む。グレーティング64は、入射角度と回折角度とが同じ角度となるリトロ配置される。OC56は、レーザチャンバ10内で発生したレーザ光の一部を反射し、他の一部を透過する多層膜がコートされた部分反射ミラーである。
- [0016] パワーモニタ14は、パルスエネルギーを検出する検出器であり、OC56から出力されたレーザ光の光路上に配置されるビームスプリッタ70と集光レンズ72と光センサ74とを含む。
- [0017] レーザチャンバ10に導入されるレーザガスは、例えば、レアガスとしてAr又はKr、ハロゲンガスとしてF<sub>2</sub>ガス、バッファガスとしてNe若しくはHe又はそれらの混合ガスであってもよい。
- [0018] レーザガス供給装置4は、図示しないバルブと流量制御弁とを含む。レーザガス供給装置4は、図示しないレーザガスを含むガスボンベと接続される。レーザガス排気装置6は、図示しないバルブと排気ポンプとを含む。
- [0019] モータ30は、クロスフローファン26の動力源である。クロスフローファン26の回転軸27は磁気軸受29を介してレーザチャンバ10に支持される。
- [0020] プロセッサ8は、ガスレーザ装置1のコントローラとして機能する。プロセッサ8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8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、有体物たる非一時的なコンピュータ可読媒体であり、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。コンピュータ可読媒体は、例えば、半導体メモリ、ハードディスクドライブ (Hard Disk Drive : HDD) 装置、若しくはソリッドステートド

ライブ (Solid State Drive : SSD) 装置又はこれらの複数の組み合わせであってよい。

[0021] 1. 2 動作

1. 2. 1 概要

主放電電極 20 a, 20 b には PPM18 から高電圧パルスが印加され、主放電電極 20 a, 20 b 間にかかる電圧がある値 (ブレイクダウン電圧) に到達すると、主放電電極 20 a, 20 b 間のレーザガスが絶縁破壊されて主放電が開始する。この主放電によりレーザ媒質が励起される。ガスレーザ装置 1 は、このような主放電の繰り返しによるパルス発振を行い、放出するレーザ光はパルス光となる。

[0022] PPM18 は、主放電電極 20 a, 20 b に印加する高電圧パルスを発生させ、レーザチャンバ 10 内で放電を起こし、レーザガスを励起させる。

[0023] 1. 2. 2 動作の詳細

レーザチャンバ 10 内に導入されたレーザガスは、クロスフローファン 26 により、レーザチャンバ 10 内を循環する。ガイド 52 a, 52 b, 52 c の傾斜面によってレーザガスが整流されて放電空間に供給される。整流によって放電空間を通過するレーザガスの流速が向上するため、放電空間に生成された放電生成物を放電空間から効率よく除去できる。その結果、放電生成物に起因するアーク放電が抑制される。

[0024] プロセッサ 8 は、露光装置 80 に搭載されている露光装置コントローラ 82 から目標パルスエネルギー  $E_t$  と発振トリガ信号とを受信する。プロセッサ 8 は、目標パルスエネルギー  $E_t$  が得られるように充電器 16 に所定の充電電圧 ( $V_{hv}$ ) を設定する。そして、プロセッサ 8 は、発振トリガ信号に同期して PPM18 内のスイッチ 19 を動作させて、コロナ予備電離電極 24 の予備電離外電極 40 及び予備電離内電極 44 と、主放電電極 20 a, 20 b との、それぞれの電極間に高電圧を印加させる。

[0025] その結果、まず、コロナ予備電離電極 24 でコロナ放電が発生し、放電紫外線 (UV 光) が生成される。主放電電極 20 a, 20 b の間のレーザガス

にUV光が照射されることにより、レーザガスが予備電離する。その後、主放電電極20a, 20bの間で主放電が発生し、レーザガスが励起される。励起されたレーザガスから放出される光は、レーザ共振器12内を往復することによってレーザ発振に至る。レーザ共振器12内を往復するレーザ光は、プリズム62とグレーティング64とによって狭帯域化され、この狭帯域化されたレーザ光がOC56から出力される。

[0026] OC56から出力されたレーザ光の一部は、パワーモニタ14に入射し、ビームスプリッタ70によって一部が反射され、集光レンズ72を介して光センサ74によりレーザ光のパルスエネルギーEが検出される。ビームスプリッタ70を透過したレーザ光は、露光装置80に入射し得る。

[0027] プロセッサ8は、この時の充電電圧Vh<sub>v</sub>と、出力されたレーザ光のパルスエネルギーEとの少なくとも1つを記憶する。プロセッサ8は、目標パルスエネルギーE<sub>t</sub>と実際に出力されたパルスエネルギーEとの差ΔEに基づいて、出力されるレーザ光のパルスエネルギーEが目標パルスエネルギーE<sub>t</sub>となるように、充電電圧Vh<sub>v</sub>をフィードバック制御する。

[0028] プロセッサ8は、充電電圧Vh<sub>v</sub>が許容範囲の最大値より高くなったら、レーザガス供給装置4を制御して、所定の圧力と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8は、充電電圧Vh<sub>v</sub>が許容範囲の最小値より低くなったら、レーザガス排気装置6を制御して、所定の圧力と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。

[0029] 1. 3 その他

ガスレーザ装置は必ずしも狭帯域化レーザ装置に限らず、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、LNM60の代わりに、高反射ミラーを配置してもよい。

[0030] また図1ではエキシマレーザ装置の例を示したが、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F<sub>2</sub>レーザ装置などであってもよい。

[0031] 2. 比較例に係るパルスパワー発生装置

2. 1 構成

図3は、比較例に係る予備電離回路100を含むパルスパワー発生装置130の回路構成を示す。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。

[0032] PPM18は、可飽和リアクトルからなる3個の磁気スイッチSR1, SR2, SR3と、昇圧パルストランスTR1とを用いた2段の磁気パルス圧縮回路MPCとを含む。昇圧パルストランスTR1の一次側に、主コンデンサC0と、磁気スイッチSR1と、固体スイッチSWとを含むスイッチング回路180が構成される。

[0033] 主コンデンサC0は、直流充電器CHGと接続される。固体スイッチSW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。固体スイッチSWは、プロセッサ8からの制御信号に基づき、オン/オフ動作する。固体スイッチSWをオンさせる制御信号をオン信号という。直流充電器CHGは、図1における充電器16に相当し、固体スイッチSWは、スイッチ19に相当する。

[0034] 磁気スイッチSR1は、固体スイッチSWでのスイッチングロスの低減用のものであり、磁気アシストとも呼ばれる。

[0035] 昇圧パルストランスTR1の二次側には、第1コンデンサC1と、第1段目の磁気スイッチSR2と、第2コンデンサC2と、第2段目の磁気スイッチSR3とが接続され、2段の磁気パルス圧縮回路MPCが構成されている。第1コンデンサC1は、昇圧パルストランスTR1の二次側に並列接続される。第2コンデンサC2は、磁気スイッチSR2を介して、第1コンデンサC1と並列に接続される。磁気スイッチSR3は磁気スイッチSR2と直列接続されており、磁気スイッチSR2と磁気スイッチSR3との間に第2コンデンサC2が接続されている。

[0036] PPM18の出力端子には主放電電極20a, 20b及びピーキングコンデンサCpが並列に接続されており、さらには、予備電離用コンデンサCcと予備電離用のコロナ予備電離電極24との直列回路が、主放電電極20a

, 20bと並列に接続される。

[0037] コロナ予備電離電極24の構造を図4及び図5に示す。図4は正面図、図5は側面図である。コロナ予備電離電極24は、パイプ状の誘電体（誘電体パイプ42）と、誘電体パイプ42の内側に配置される円柱状の予備電離内電極44と、誘電体パイプ42の外側に配置される板状の予備電離外電極40とを含む。

[0038] なお、特許文献1では板状の誘電体を用いているが、特許文献1の公開から20年近く経過した現在ではパイプ状の誘電体を用いるのが主流である。特許文献1の公開当時と比べて、パルスパワー発生装置自体の性能も向上しているため、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔の最適条件は、特許文献1が公開された時代よりもさらに短い時間になっていると考えられる。

[0039] 2.2 動作

直流充電器CHGにより主コンデンサC0が充電されている状態で、固体スイッチSWがオンとなる。その後、磁気スイッチSR1の両端にかかる主コンデンサC0の充電電圧Vc0の時間積分値が磁気スイッチSR1の特性で決まる限界値に達すると、磁気スイッチSR1が飽和して磁気スイッチSR1がオンとなり、主コンデンサC0、磁気スイッチSR1、昇圧パルストランスTR1の1次側巻線及び固体スイッチSWのループに電流が流れる。同時に、昇圧パルストランスTR1の2次側巻線及び第1コンデンサC1のループに電流が流れ、主コンデンサC0に蓄えられた電荷が移行して第1コンデンサC1が充電される。

[0040] 第1コンデンサC1が充電されて、第1コンデンサC1における電圧Vc1の時間積分値が磁気スイッチSR2の特性で決まる限界値に達すると、磁気スイッチSR2が飽和して磁気スイッチSR2がオンとなる。これにより、第1コンデンサC1、第2コンデンサC2及び磁気スイッチSR3のループに電流が流れ、第1コンデンサC1に蓄えられた電荷が移行して第2コンデンサC2が充電される。

[0041] さらにこの後、第2コンデンサC2における電圧Vc2の時間積分値が磁

気スイッチSR3の特性で決まる限界値に達すると、磁気スイッチSR3が飽和して磁気スイッチSR3がオンとなる。これにより、第2コンデンサC2、ピーキングコンデンサCp及び磁気スイッチSR3のループに電流が流れ、第2コンデンサC2に蓄えられた電荷が移行してピーキングコンデンサCpが充電される。

[0042] ピーキングコンデンサCpが充電され、その電圧Vcpがある値（ブレークダウン電圧）Vbに達すると、レーザチャンバ10内の主放電電極20a, 20b間で主放電が開始し、この主放電によりレーザ媒質が励起され、レーザ光が生成される。主放電電極20a, 20b間で主放電を発生させる電圧を主放電電圧という。

[0043] 主放電開始の直前には、予備電離用のコロナ予備電離電極24の端子電圧がコロナ放電開始電圧に高まると、コロナ放電が発生し、放電紫外線が主放電電極20a, 20b及び主放電空間を照射し、主放電空間に存在するガスを光電離、光電効果などによって電離し、主放電空間に主放電の種となる初期電子がばらまかれる。これにより主放電が開始された際に、主放電空間に安定なグロー放電を発生させることができる。

[0044] 図6は、図3に示す回路構成における予備電離（コロナ放電）開始と主放電開始との時間間隔Tcmの例を示す。図6の横軸は時間を表し、縦軸は電圧を表す。図6には予備電離電圧を示すグラフGp0と、主放電電極電圧を示すグラフGmdとが示されている。予備電離電圧は、コロナ予備電離電極24に印加される電圧である。主放電電極電圧は、主放電電極20a, 20bに印加される電圧である。

[0045] 図6において、タイミングtcpはピーキングコンデンサCpの充電開始タイミングを示す。タイミングtcdはコロナ放電開始タイミングを示す。タイミングtmdは主放電開始タイミングを示す。

[0046] 2.3 課題

KrFレーザ装置においては、予備電離のコロナ放電開始と主放電開始との時間間隔Tcmに最適の条件があり、間隔が短すぎても長すぎても、十分

なレーザエネルギーが得られなくなる。図3に示す比較例における時間間隔 $T_{cm}$ は、例えば、 $14\text{ ns} \sim 29\text{ ns}$ である。

[0047] KrFレーザ装置では、レーザ効率を良くするために主放電電極電圧の立ち上がり速度が速いことが望ましいため、第2コンデンサ $C_2$ –磁気スイッチ $SR_3$ –ピーキングコンデンサ $C_p$ の回路のインダクタンスは最小となるように設計される。その結果、ピーキングコンデンサ $C_p$ の充電開始（タイミング $t_{cp}$ ）から主放電開始（タイミング $t_{md}$ ）までの時間間隔 $T_{m1}$ は $100\text{ ns}$ よりも短くなっている。なお、レーザ効率とは、レーザチャンバ10への投入エネルギーに対するレーザ出力の割合である。レーザチャンバ10への投入エネルギーは、PPM18の出力エネルギーと言い換えてもよい。つまり、レーザ効率は、レーザ出力／レーザチャンバ10への投入エネルギーで表すことができる。

[0048] 予備電離のコロナ放電開始タイミング $t_{cd}$ は、前述の最適な時間間隔 $T_{cm}$ を確保できるように主放電開始よりも早いタイミングで開始されることが望ましい。しかしながら、次のような問題点がある。

[0049] すなわち、第2コンデンサ $C_2$ –磁気スイッチ $SR_3$ –コロナ予備電離電極24の回路には高電圧が印加されることから、高圧部と接地（GND）電位側とを絶縁するために距離を隔てなければならないという構造上の制約がある。これにより回路には取り除くことができない浮遊インダクタンスが生じ、ピーキングコンデンサ $C_p$ の充電開始からコロナ放電開始まで数十 $\text{ ns}$ かかってしまう。したがって、ピーキングコンデンサ $C_p$ の充電開始からコロナ放電開始までの時間を最小化しても、主放電開始までの時間も同様に最小化するため、結果としてコロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ を大きくできず、時間間隔 $T_{cm}$ を最適条件にすることが困難な場合がある。

[0050] 3. 実施形態1

3.1 構成

図7は、実施形態1に係るガスレーザ装置1に適用される予備電離回路1

01及び主放電回路120を含むパルスパワー発生装置131の回路図である。図7に示す構成について、図3と異なる点を説明する。

[0051] 図7に示すように、実施形態1に用いられるパルスパワー発生装置131では、コロナ予備電離電極24を主放電回路120から分離し、主放電回路120とは別の独立電源110にコロナ予備電離電極24を接続した構成となっている。独立電源110には、主放電回路120の固体スイッチSWを制御するプロセッサ8からのオン信号がディレイパルサー112を介して入力される。他の構成は図3と同様であってよい。

[0052] 固体スイッチSWは本開示における「スイッチ」の一例である。直流充電器CHGは本開示における「第1電源」の一例である。独立電源110は本開示における「第2電源」の一例である。磁気スイッチSR2は本開示における「第1磁気スイッチ」の一例である。磁気スイッチSR3は本開示における「第2磁気スイッチ」の一例である。コロナ予備電離電極24は本開示における「予備電離電極」の一例である。誘電体パイプ42は本開示における「パイプ状の誘電体」の一例である。予備電離内電極44は本開示における「内部電極」の一例である。予備電離外電極40は本開示における「外部電極」の一例である。

[0053] 3.2 動作

ディレイパルサー112において、オン信号の遅延時間を設定することにより、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ を任意に設定できる。

[0054] 図8は、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ に対するレーザーエネルギーの測定結果を示すグラフである。横軸はコロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ 、縦軸はレーザーエネルギーを表す。主放電電極20a, 20b間に印加する主放電用の電圧を「HV」と表記すると、HVの通常稼働範囲は、例えば、最大値のおよそ70%~95%である。

[0055] 具体例を示すと、出力パルスエネルギーが10mJのKrFレーザー装置においては、HVの通常稼働範囲における下限の電圧であって、装置の使用上想

定されるHVの70%を「低HV」といい、HVの通常稼働範囲における上限の電圧であって、装置の使用上想定されるHVの95%を「高HV」という。

[0056] 低HV条件及び高HV条件において、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ を変化させた時のレーザエネルギーの測定結果は図8のようになる。図8に示されるように、低HV条件及び高HV条件の両方のHV条件においてレーザエネルギーを最大限得るためには、30ns以上60ns以下の時間間隔が最適となる。

[0057] なお、HVが高くなると最適条件は30nsよりも小さい（例えば、25ns程度）範囲も含み、逆にHVが低くなると60nsよりも大きい（例えば、80ns～100ns超）範囲も含む。コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ について、30ns以上60ns以下を最適条件とし、25nsや80nsを最適条件に含めない理由は、次の通りである。すなわち、図8に示すとおり、25nsは低HVにおいて、また80nsでは高HVにおいて、レーザエネルギーが少し下がっている。したがって、両HV条件を通じて25ns～80nsを最適条件とすることは適当でないとの理由によるものである。

[0058] 既述のとおり、HVの通常稼働範囲は、最大値のおよそ70%～95%である。また、レーザチャンバ10のガス圧の通常稼働範囲は、およそ220kPa～360kPaである。これらの通常稼働範囲でコロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ の最適条件は、図8に示すように30ns以上60ns以下である。

[0059] プロセッサ8は、あるタイミングで固体スイッチSWにオン信号を与え、主放電を発生させる。ディレイパルサー112は、主放電開始タイミングよりも30ns～60ns早いタイミングでコロナ放電を発生させるように独立電源110にオン信号を与えるための遅延時間が設定される。

[0060] プロセッサ8からのオン信号に基づく主放電開始のタイミングは本開示における「第1タイミング」の一例であり、ディレイパルサー112で遅延さ

せたオン信号に基づくコロナ放電開始のタイミングは本開示における「第2タイミング」の一例である。

[0061] 3.3 作用・効果

実施形態1によれば、回路パラメータによらずコロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ を最適条件に設定できる。これにより、レーザエネルギーを最大限得ることが可能となる。

[0062] 3.4 変形例

磁気スイッチSR1は、固体スイッチSWのスイッチングロスの低減を目的として配置されており、磁気スイッチSR1が無くとも回路は機能する。

[0063] 第2コンデンサC2及び磁気スイッチSR3は、パルス圧縮を多段化するものであり、これらの要素は無くとも回路は機能するし、逆に複数段追加もできる。

[0064] 予備電離用コンデンサCcは、コロナ予備電離電極24への過大電圧印加による絶縁破壊を防止するための分圧用コンデンサである。予備電離用コンデンサCcは、コロナ予備電離電極24の絶縁耐力を上げられれば、無くとも回路は機能する。

[0065] また、プロセッサ8にディレイパルサー112の機能が搭載されていてもよい。また、プロセッサ8及びディレイパルサー112の機能を複数のプロセッサによって実現してもよい。

[0066] 4. 実施形態2

4.1 構成

図9は、実施形態2に係るガスレーザ装置1に適用される予備電離回路102及び主放電回路120を含むパルスパワー発生装置132の回路図である。図9に示す構成について、図3と異なる点を説明する。

[0067] 実施形態2に用いられるパルスパワー発生装置132では、図9に示すように、予備電離回路102が第2コンデンサC2と並列に接続される。予備電離回路102には予備電離用コンデンサCc及びコロナ予備電離電極24と直列に、磁気スイッチSR4が接続される。他の構成は図3と同様であつ

てよい。磁気スイッチSR4は本開示における「第3磁気スイッチ」の一例である。

[0068] 4.2 動作

図10は、図9に示す回路における予備電離電圧の例を示すグラフである。図中のグラフGp2は予備電離電圧を示している。図中の破線で示すグラフGp0は比較例に係る回路(図3)の予備電離電圧を示している。また、図中のグラフGmdは主放電電極電圧を示している。

[0069] 図10において、タイミングt1でピーキングコンデンサCpの充電が開始される。グラフGp2がボトム値となるタイミングt2がコロナ放電開始のタイミングである。実施形態2に係るパルスパワー発生装置132によるコロナ放電開始のタイミングt2は、比較例に係るパルスパワー発生装置130におけるコロナ放電開始のタイミングtcdよりも早まっている。

[0070] 実施形態2に係るパルスパワー発生装置132は、比較例に係るパルスパワー発生装置130よりも、第2コンデンサC2-磁気スイッチSR3-ピーキングコンデンサCpのエネルギー転送時間だけ早いタイミングでコロナ放電を開始できる。

[0071] コロナ放電開始のタイミングt2が早すぎる場合には、磁気スイッチSR4を備えることでコロナ放電開始を遅延させることができる。磁気スイッチSR4を備える場合、磁気コアの巻き数N、磁気コアの磁束密度の変化 $\Delta B$ 、磁気コアの断面積S、磁気スイッチの両端電圧Vで計算されるブロック時間 $T = N \times \Delta B \times S / V$ について、磁気スイッチSR3よりも磁気スイッチSR4のブロック時間Tを小さく設計し、コロナ放電開始を早めることができる(図10参照)。なお、ブロック時間Tとは磁気コアが飽和するまでに要する時間である。

[0072] また、N、 $\Delta B$ 及びSの値によりブロック時間Tを変えることができるため、磁気スイッチSR4の設計により、所望のタイミングでコロナ放電を開始できる。

[0073] 既述のとおり、コロナ放電開始のタイミングt2と、主放電開始のタイミ

ング  $t_{md}$  との時間間隔  $T_{cm}$  が  $30\text{ ns}$  以上  $60\text{ ns}$  以下の最適条件となるように、回路パラメータが設計される。

[0074] 4. 3 作用・効果

実施形態 2 によれば、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔  $T_{cm}$  を最適条件に設定でき、レーザエネルギーを最大限得ることが可能となる。また、実施形態 2 によれば、実施形態 1 に比べて独立電源 110 が不要なのでコストとボリュームを低減できる。

[0075] 5. 実施形態 3

5. 1 構成

図 11 は、実施形態 3 に係るガスレーザ装置 1 に適用される予備電離回路 103 及び主放電回路 120 を含むパルスパワー発生装置 133 の回路図である。図 11 に示す構成について、図 9 と異なる点を説明する。

[0076] 実施形態 3 に用いられるパルスパワー発生装置 133 の予備電離回路 103 は、図 9 における磁気スイッチ  $SR4$  をインダクタ  $L$  に置き換え、予備電離用コンデンサ  $C_c$  を削除し、ダイオード  $D$  をインダクタ  $L$  及びコロナ予備電離電極 24 に直列に接続した構成となっている。他の構成は図 9 と同様であってよい。

[0077] 5. 2 動作

図 12 は、図 11 に示す回路における予備電離電圧と主放電電極電圧との時間変化を示すグラフである。図中のグラフ  $G_{p3A}$  と破線で示すグラフ  $G_{p3B}$  とは予備電離電圧を示している。グラフ  $G_{p3A}$  はインダクタ  $L$  のインダクタンスが大きい場合、グラフ  $G_{p3B}$  はインダクタ  $L$  のインダクタンスが小さい場合のグラフである。タイミング  $t_{3a}$  は、インダクタ  $L$  のインダクタンスが大きい場合のコロナ放電開始タイミングを示す。タイミング  $t_{3b}$  は、インダクタ  $L$  のインダクタンスが小さい場合のコロナ放電開始タイミングを示す。図 12 に示すように、インダクタ  $L$  のインダクタンスの設計値に応じてコロナ放電開始のタイミングが変わる。

[0078] グラフ  $G_{c2}$  は、第 2 コンデンサ  $C_2$  の電圧を示している。第 2 コンデン

サC 2の充電開始時点から予備電離回路103に電圧が印加されるので、インダクタLのインダクタンスを小さく設計することにより、比較例の回路よりも早くコロナ放電を開始できる。また、インダクタンスの大きさに応じて電圧の立ち上がり速さが変わるので、所望のタイミングでコロナ放電を開始できる。

[0079] 既述のとおり、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ が30ns以上60ns以下の最適条件となるように、回路が設計される。

[0080] また、インダクタLによりコロナ予備電離電極24への過電圧が防げるので、予備電離用コンデンサ $C_c$ は不要となる。ただし、逆電圧を阻止するためのダイオードDが必要となる。

[0081] 5.3 作用・効果

実施形態3によれば、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ を最適条件に設定でき、レーザエネルギーを最大限得ることが可能となる。また、実施形態3によれば、実施形態2の構成に対して、高価な磁気スイッチSR4が必要ないため、コストを低減できる。

[0082] 6. 実施形態4

6.1 構成

図13は、実施形態4に係るガスレーザ装置1に適用される予備電離回路104及び主放電回路120を含むパルスパワー発生装置134の回路図である。図13に示す構成について、図9と異なる点を説明する。

[0083] 図9に示す予備電離回路102は第2コンデンサ $C_2$ と並列に接続されているのに対し、図13に示す実施形態4では、図9の予備電離回路102に代えて、予備電離回路104を第1コンデンサ $C_1$ と並列に接続した構成となっている。

[0084] 予備電離回路104が磁気スイッチSR4と予備電離用コンデンサ $C_c$ を含む点は、図9の予備電離回路102と同様である。また、図13の変形例として、実施形態3（図11）で説明したように、予備電離回路104における磁気スイッチSR4をインダクタLに置き換え、予備電離用コンデン

サC cをダイオードDに置き換えてもよい。

[0085] 6. 2 動作

図13に示す回路は、図9に示す回路よりも、第1コンデンサC1-磁気スイッチSR2-第2コンデンサC2のエネルギー転送時間だけ更に早いタイミングでコロナ放電を開始できる。また、図13に示す回路について、実施形態2と同様に、磁気スイッチSR4の磁気コアの巻き数N、磁気コアの磁束密度の変化 $\Delta B$ 及び磁気コアの断面積Sを適切に設計することで、所望のタイミングでコロナ放電を開始できる。

[0086] 6. 3 作用・効果

実施形態4によれば、実施形態2よりも更に早いタイミングでコロナ放電を開始できる。実施形態4の構成は、実施形態2の構成では第2コンデンサC2-ピーキングコンデンサCpの転送時間が非常に短く、コロナ放電開始と主放電開始の時間間隔Tcmについて所望の値にできない場合に有効である。

[0087] 7. 実施形態5

7. 1 構成

図14は、実施形態5に係るガスレーザ装置1に適用される予備電離回路105及び主放電回路120を含むパルスパワー発生装置135の回路図である。図14に示す構成について、図13と異なる点を説明する。

[0088] 図14に示す実施形態5は、図13に示す予備電離回路104に代えて、予備電離回路105を昇圧パルストランスTR1と結合させたものとなっている。すなわち、予備電離回路105と主放電回路120とは、昇圧パルストランスTR1のコアを共有して、昇圧パルストランスTR1の二次側に接続される。予備電離回路105においては、予備電離用コンデンサCcは不要である。

[0089] 7. 2 動作

図14に示す回路は、図13に示す回路（実施形態4）と同様の早いタイミングでコロナ放電を開始できる。また、昇圧パルストランスTR1の巻き

線比を調整することで予備電離電圧を調整できるので分圧用の予備電離用コンデンサ $C_c$ を省くことができる。

[0090] 7. 3 作用・効果

実施形態5によれば、実施形態4と同様の効果が得られることに加え、実施形態4と比べて、予備電離用コンデンサ $C_c$ が必要ないため、コストを低減できる。

[0091] 8. 実施形態6

8. 1 構成

これまでの説明では、誘電体パイプ42の材質がアルミナセラミックの例を示したが、実施形態6では誘電体パイプ42の材質をアルミナセラミックよりも絶縁耐力が高いサファイアなどの材質に変更する。絶縁耐力が高い分、厚さがより薄い誘電体パイプ42を採用し得る。他の構成は図3、図7、図9、図11、図13又は図14と同様であってよい。

[0092] 8. 2 動作

誘電体パイプ42の厚さが薄くなることで、誘電体パイプ42の内外に置かれた電極間において、同じ電圧でも電界強度が強くなる。これにより、コロナ放電の開始電圧が下がり、予備電離電圧の立ち上がりと同じでもより早いタイミングでコロナ放電を開始できる。

[0093] 図15は、図3に示す予備電離回路100における誘電体パイプ42の厚さに対するコロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ 、及び、コロナ放電開始電圧を示す。図15には、誘電体パイプ42の厚さを薄くすることによって、コロナ放電開始電圧が下がり、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ を大きくできることが示されている。

[0094] 厚さ2mmのアルミナセラミック誘電体パイプの場合、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ は28ns程度である。これに対し、厚さ1mmのサファイア誘電体パイプを用いると、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ は37ns程度となり、最適条件を満たす。

[0095] 8. 3 作用・効果

誘電体パイプ42をアルミナセラミックよりも絶縁耐力が高い材質にすることで厚さを薄くでき、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ を大きくすることができる。これにより、コロナ放電開始と主放電開始との時間間隔 $T_{cm}$ を最適条件に設定でき、レーザエネルギーを最大限得ることが可能となる。

[0096] 9. 電子デバイスの製造方法について

図16は、露光装置80の構成例を概略的に示す。露光装置80は、照明光学系850と投影光学系851とを含む。照明光学系850は、ガスレーザ装置1から入射したレーザ光によって、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851は、レチクルを透過したレーザ光を、縮小投影してワークピーステーブルWT上に配置された図示しないワークピースに結像させる。ワークピースはフォトリソが塗布された半導体ウエハ等の感光基板である。

[0097] 露光装置80は、レチクルステージRTとワークピーステーブルWTとを同期して平行移動させることにより、レチクルパターンを反映したレーザ光をワークピースに露光する。以上のような露光工程によって半導体ウエハに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。

[0098] 10. その他

上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図している。従って、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る。また、本開示の実施形態を組み合わせで使用することも当業者には明らかである。

[0099] 本明細書及び特許請求の範囲全体で使用される用語は、明記が無い限り「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」、「有する」、「備える」、「具備する」などの用語は、「記載されたもの以外の構成要素の存在を除外しない」と解釈されるべきである。また、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。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る。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]

レーザーガスが導入されるレーザーチャンバと、  
前記レーザーチャンバの内部に配置された一対の主放電電極と、  
前記レーザーチャンバの内部に配置された予備電離電極と、  
前記主放電電極に接続され、前記主放電電極に主放電を発生させる  
主放電電圧を供給する主放電回路と、  
前記予備電離電極に接続され、前記予備電離電極にコロナ放電を発生  
させる予備電離電圧を供給する予備電離回路と、を備え、  
前記主放電回路は、  
昇圧パルストランスと、  
前記昇圧パルストランスの一次側に接続された主コンデンサ及びス  
イッチと、  
前記主コンデンサと接続され前記主コンデンサを充電する第1電源  
と、  
前記昇圧パルストランスの二次側に並列接続された第1コンデンサ  
と、  
前記第1コンデンサに接続された第1磁気スイッチと、  
前記第1磁気スイッチを介して前記第1コンデンサに並列接続され  
ると共に前記一対の主放電電極に並列接続されるピーキングコンデン  
サと、を備え、  
前記コロナ放電が開始するタイミングと前記主放電が開始するタイ  
ミングとの間隔が30ns以上60ns以下である、  
ガスレーザー装置。

### [請求項2]

請求項1に記載のガスレーザー装置であって、  
さらに、プロセッサを備え、  
前記予備電離回路は、前記第1電源と異なる第2電源を備え、  
前記プロセッサは、前記主放電を第1タイミングで発生させるよう  
に前記スイッチを制御し、前記コロナ放電を前記第1タイミングより

も早い第2タイミングで発生させるように前記第2電源を制御し、  
前記第1タイミングと前記第2タイミングとの間隔が30ns以上  
60ns以下である、  
ガスレーザ装置。

[請求項3] 請求項2に記載のガスレーザ装置であって、  
前記スイッチをオンさせるオン信号に対する遅延時間が設定された  
ディレイパルサーをさらに備え、  
前記プロセッサから前記オン信号が出力され、  
前記オン信号を前記ディレイパルサーによって遅延させた信号が前  
記第2電源に入力される、  
ガスレーザ装置。

[請求項4] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、  
前記主放電回路は、第2コンデンサと、第2磁気スイッチと、を備  
え、  
前記第2コンデンサは、前記第1磁気スイッチを介して前記第1コ  
ンデンサに並列接続され、  
前記第2磁気スイッチは前記第1磁気スイッチと直列接続され、  
前記ピーキングコンデンサは、前記第2磁気スイッチを介して、前  
記第2コンデンサに並列接続される、  
ガスレーザ装置。

[請求項5] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離回路は、前記昇圧パルストランスの二次側に接続され  
る、  
ガスレーザ装置。

[請求項6] 請求項5に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離回路は、第3磁気スイッチと、予備電離用コンデンサ  
と、を備える、  
ガスレーザ装置。

- [請求項7] 請求項6に記載のガスレーザ装置であって、  
前記第3磁気スイッチと前記予備電離用コンデンサと前記予備電離電極が直列に接続される、  
ガスレーザ装置。
- [請求項8] 請求項4に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離回路は、前記予備電離電極に直列接続された予備電離用コンデンサと、前記予備電離用コンデンサに直列接続された第3磁気スイッチと、を備え、  
前記予備電離回路は、前記第2コンデンサと並列に接続される、  
ガスレーザ装置。
- [請求項9] 請求項5に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離回路は、インダクタと、ダイオードと、を備える、  
ガスレーザ装置。
- [請求項10] 請求項9に記載のガスレーザ装置であって、  
前記インダクタと、前記予備電離電極と、前記ダイオードとが直列に接続される、  
ガスレーザ装置。
- [請求項11] 請求項4に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離回路は、前記予備電離電極に直列接続されたインダクタ及びダイオードを備え、  
前記予備電離回路は、前記第2コンデンサと並列に接続される、  
ガスレーザ装置。
- [請求項12] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離回路は、前記予備電離電極に直列接続された予備電離用コンデンサと、前記予備電離用コンデンサに直列接続された第3磁気スイッチと、を備え、  
前記予備電離回路は、前記第1コンデンサと並列に接続される、  
ガスレーザ装置。

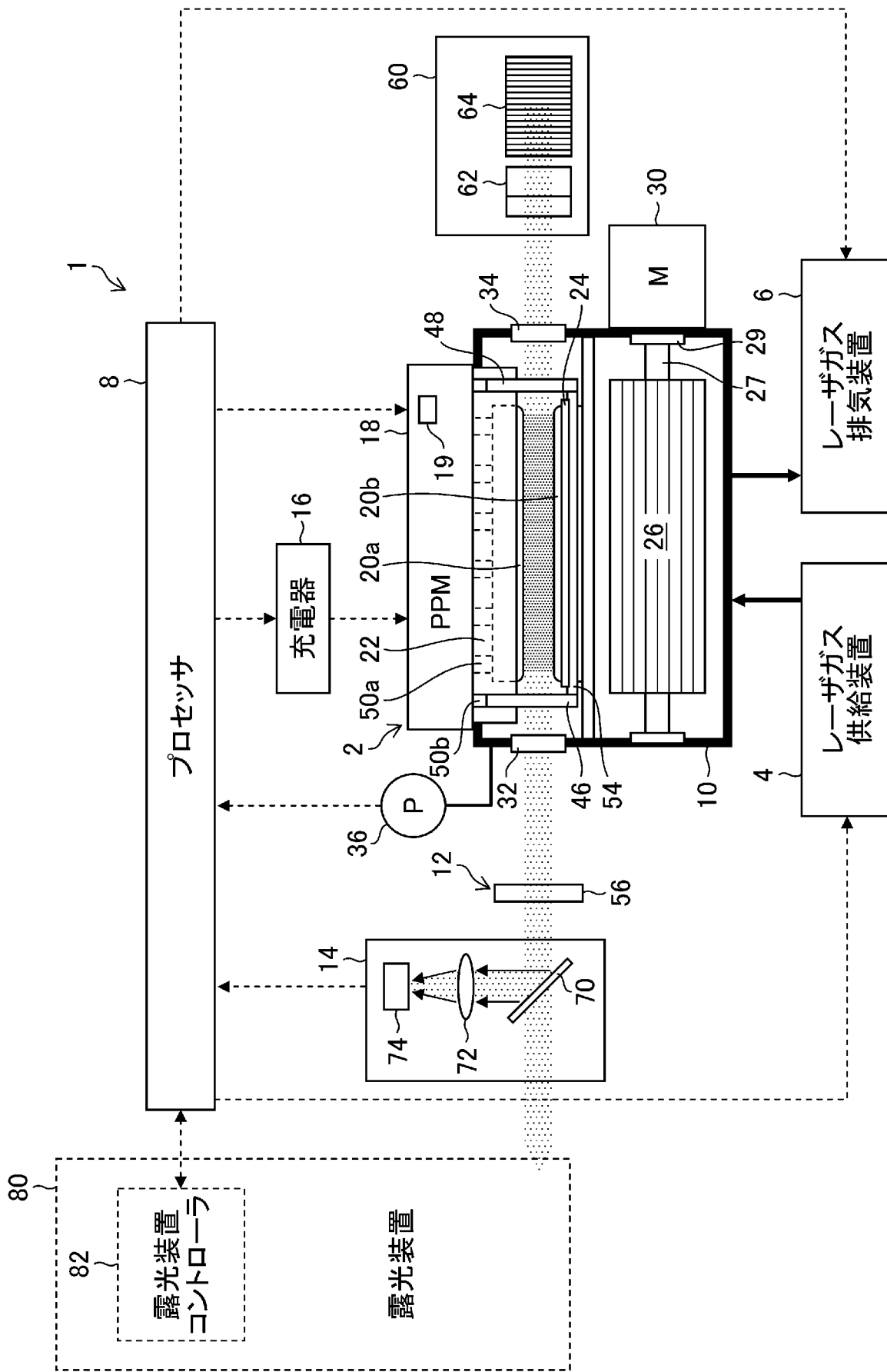
- [請求項13] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離回路は、前記予備電離電極に直列接続されたインダクタ及びダイオードを備え、  
前記予備電離回路は、前記第1コンデンサと並列に接続される、  
ガスレーザ装置。
- [請求項14] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離回路は、前記昇圧パルストランスのコアを前記主放電回路と共有して、前記昇圧パルストランスの二次側に接続される、  
ガスレーザ装置。
- [請求項15] 請求項14に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離回路は、前記予備電離電極に直列接続された第3磁気スイッチを備える、  
ガスレーザ装置。
- [請求項16] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、  
前記予備電離電極は、パイプ状の誘電体と、前記誘電体の内側に配置される内部電極と、前記誘電体の外側に配置される外部電極と、を備える、  
ガスレーザ装置。
- [請求項17] 請求項16に記載のガスレーザ装置であって、  
前記誘電体の材質は、アルミナセラミックよりも絶縁耐力が高い材質である、  
ガスレーザ装置。
- [請求項18] 請求項16に記載のガスレーザ装置であって、  
前記誘電体の材質は、サファイアを含む、  
ガスレーザ装置。
- [請求項19] 請求項1に記載のガスレーザ装置であって、  
前記昇圧パルストランスの一次側に、前記スイッチのスイッチングロスを低減する磁気アシストをさらに備える、

ガスレーザ装置。

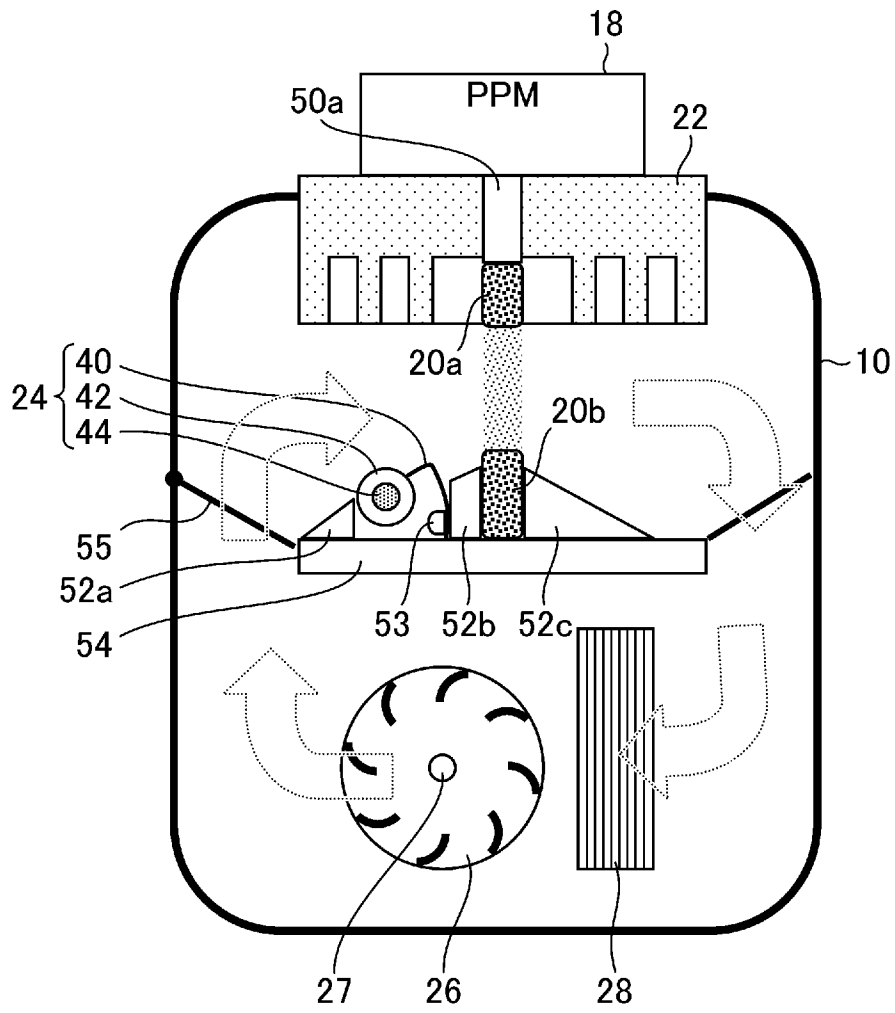
[請求項20]

電子デバイスの製造方法であって、  
レーザガスが導入されるレーザチャンバと、  
前記レーザチャンバの内部に配置された一对の主放電電極と、  
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、  
前記主放電電極に接続され、前記主放電電極に主放電を発生させる  
主放電電圧を供給する主放電回路と、  
前記予備電離電極に接続され、前記予備電離電極にコロナ放電を発生させる  
予備電離電圧を供給する予備電離回路と、を備え、  
前記主放電回路は、  
昇圧パルストランスと、  
前記昇圧パルストランスの一次側に接続された主コンデンサ及びスイッチと、  
前記主コンデンサと接続され前記主コンデンサを充電する第1電源と、  
前記昇圧パルストランスの二次側に並列接続された第1コンデンサと、  
前記第1コンデンサに接続された第1磁気スイッチと、  
前記第1磁気スイッチを介して前記第1コンデンサに並列接続されると共に前記  
一对の主放電電極に並列接続されるピーキングコンデンサと、を備え、  
前記コロナ放電が開始するタイミングと前記主放電が開始するタイミングとの  
間隔が30ns以上60ns以下である、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上に前記レーザ光を  
露光することを含む、  
電子デバイスの製造方法。

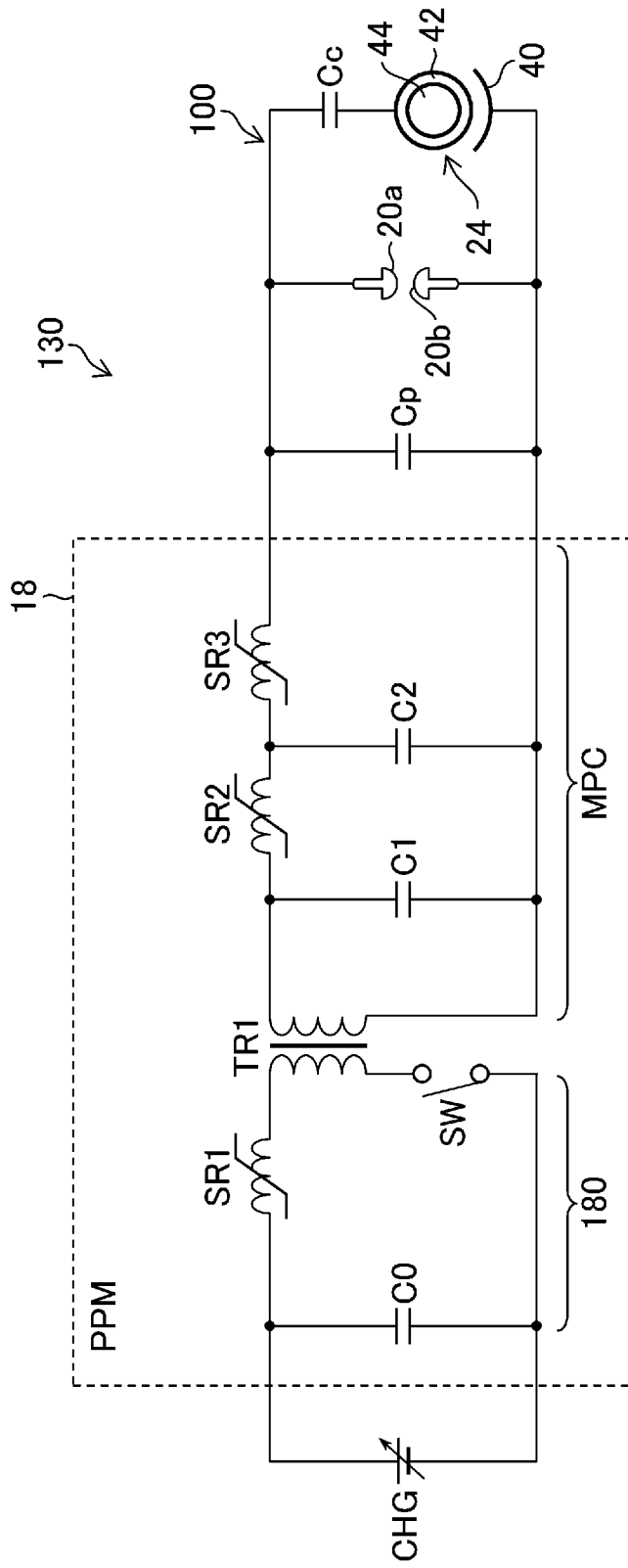
[図1]



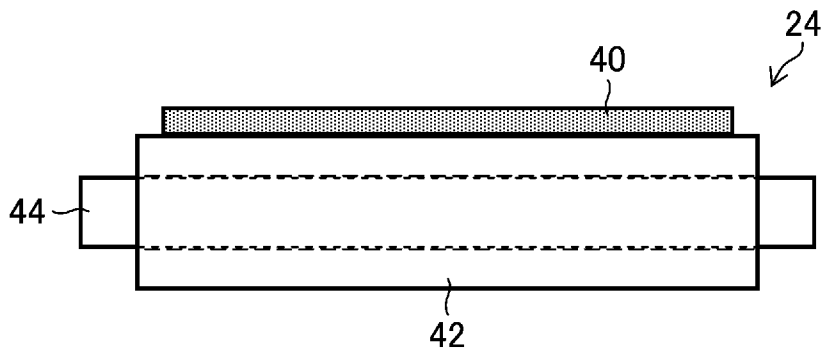
[図2]



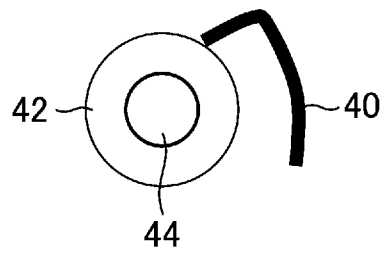
[図3]



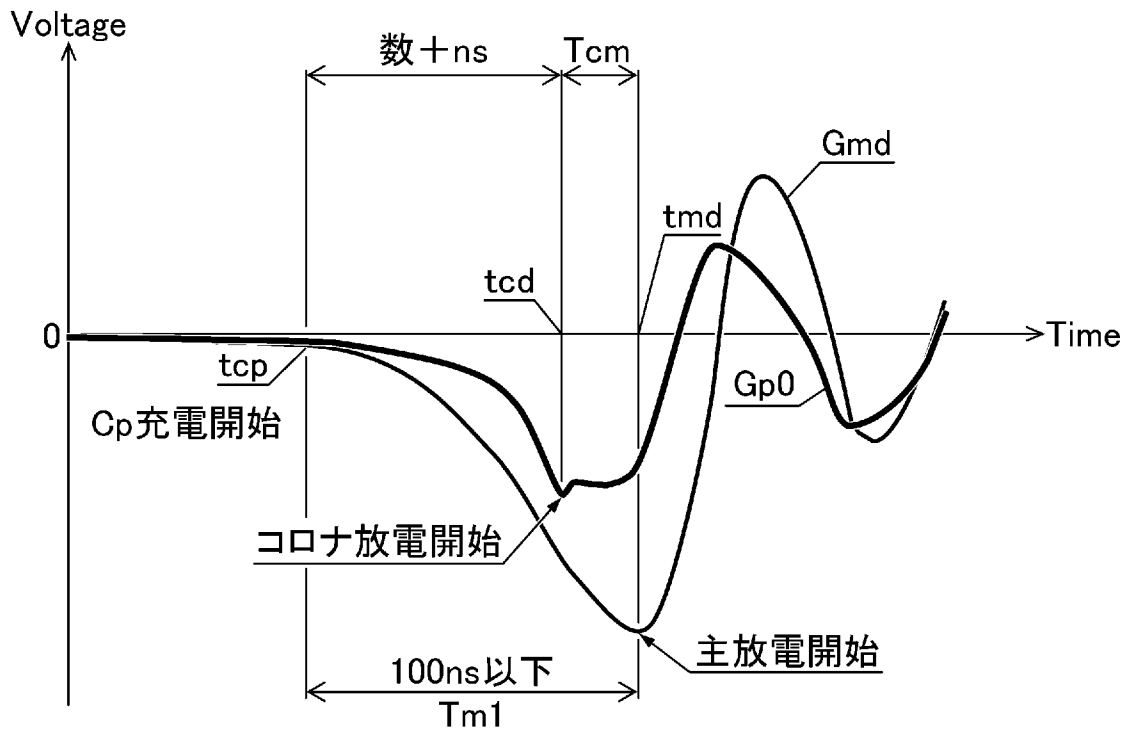
[図4]



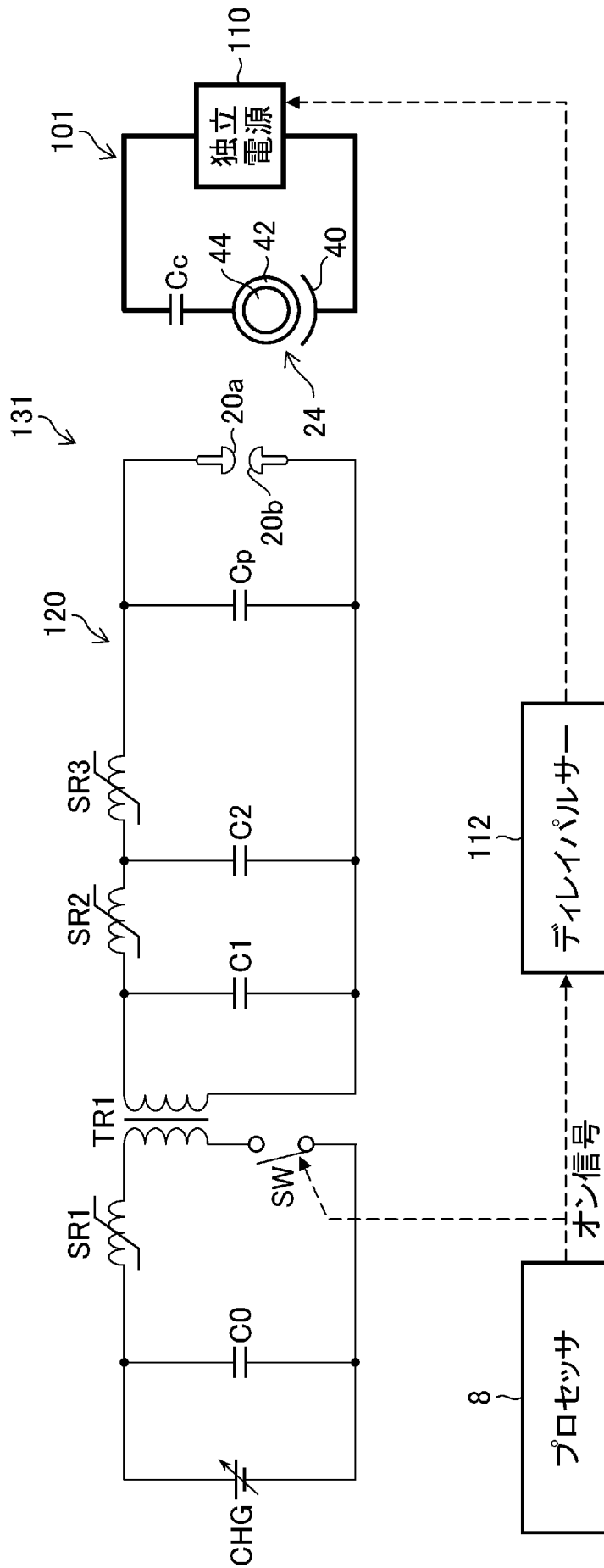
[図5]



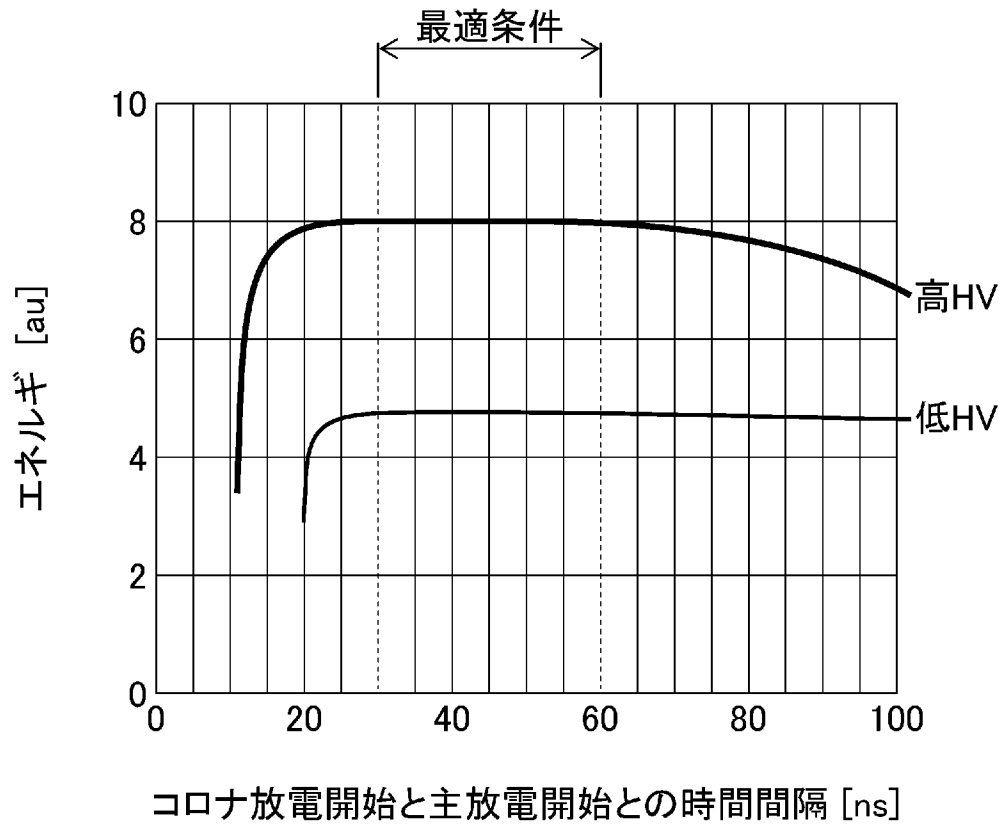
[図6]



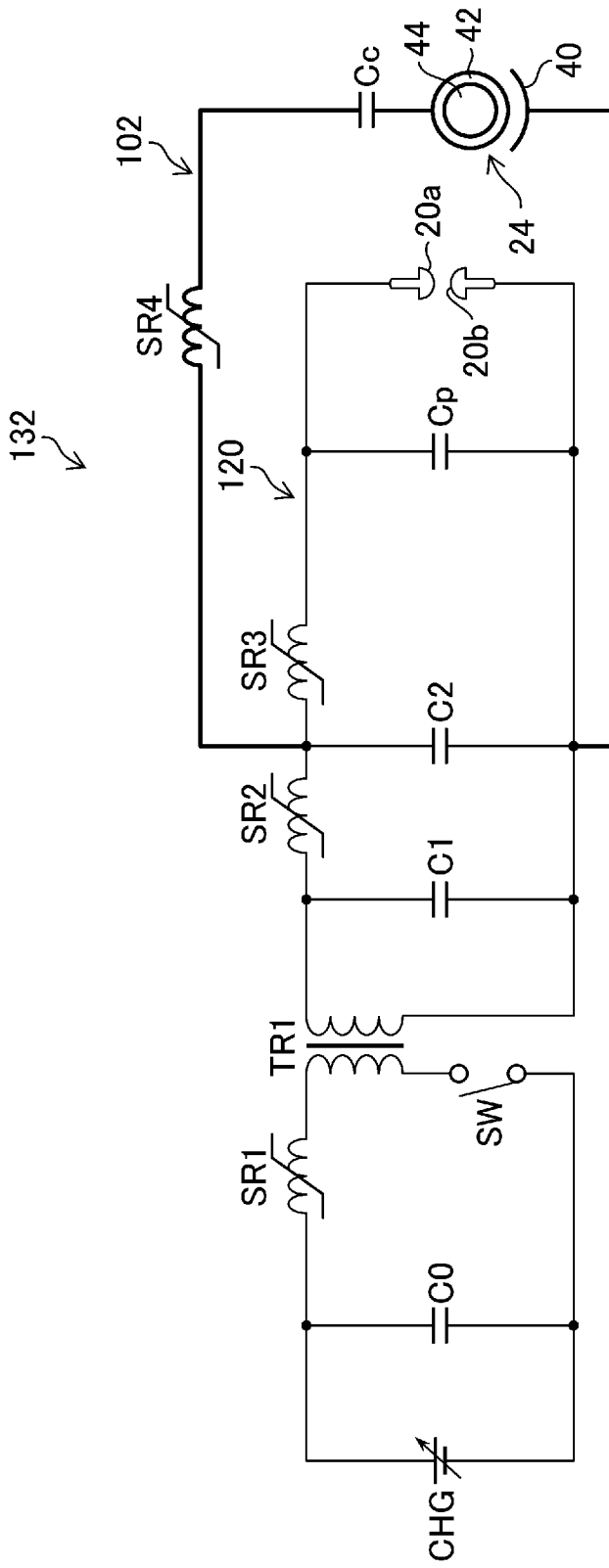
[図7]



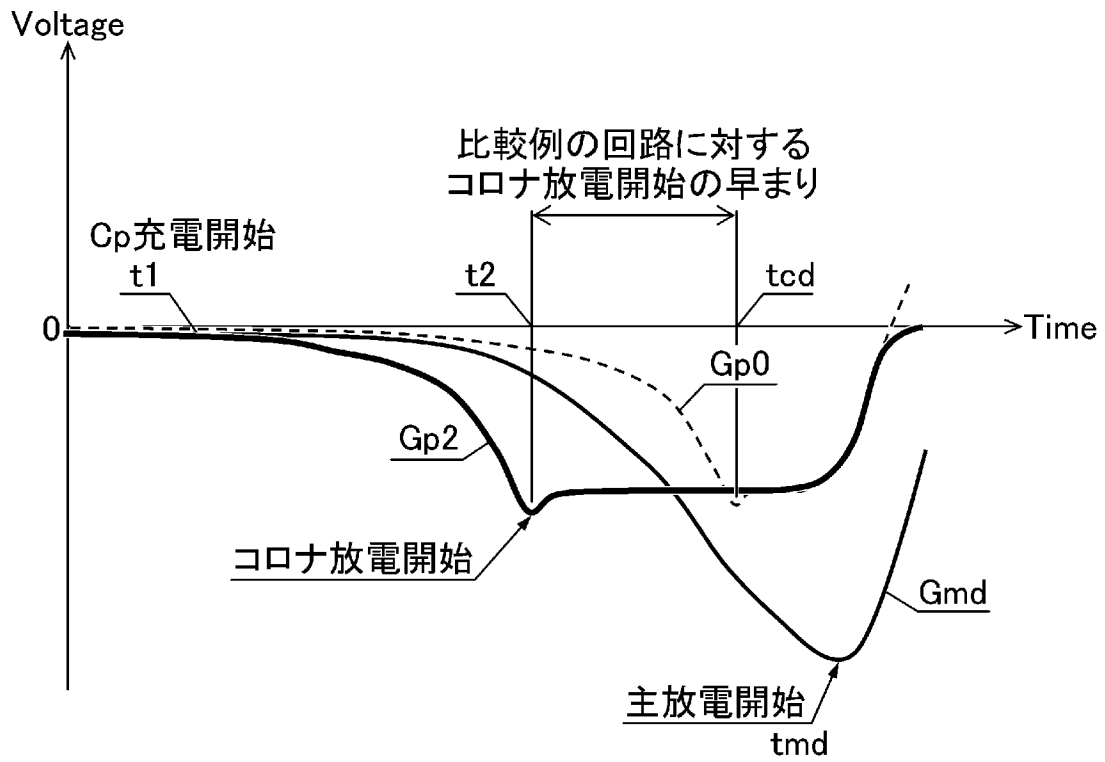
[図8]



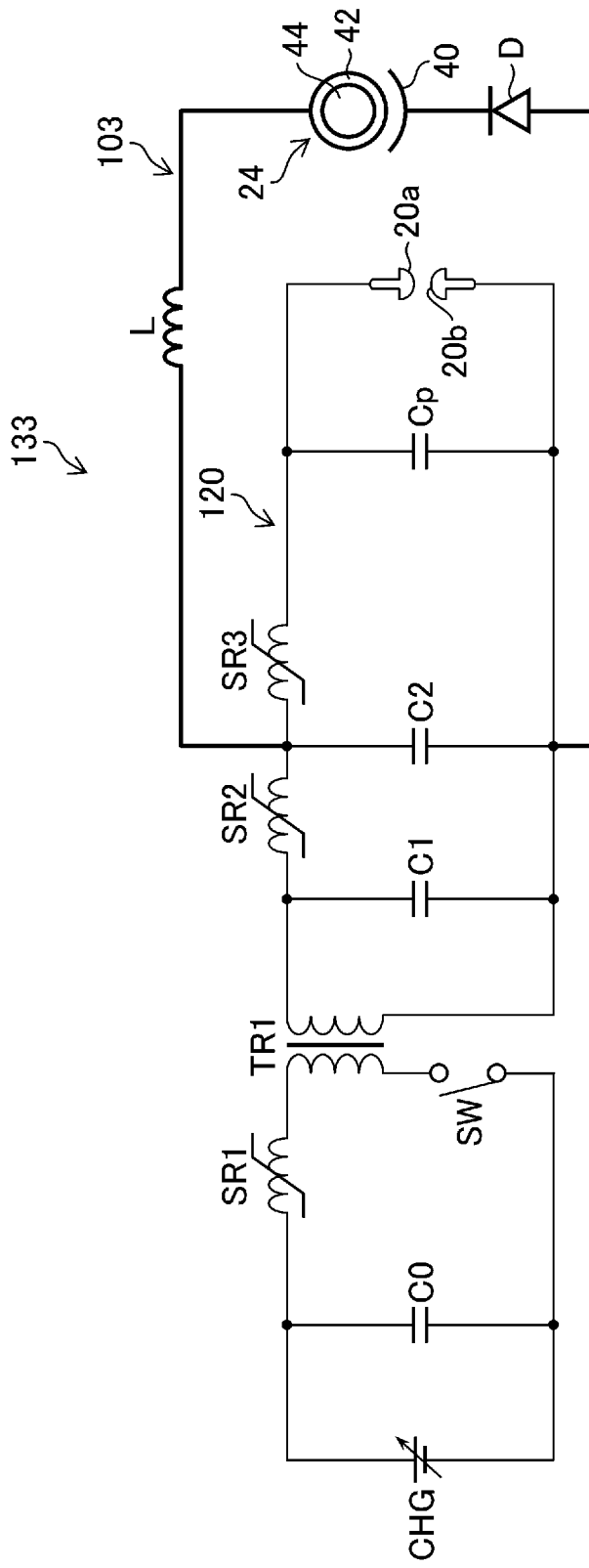
[図9]



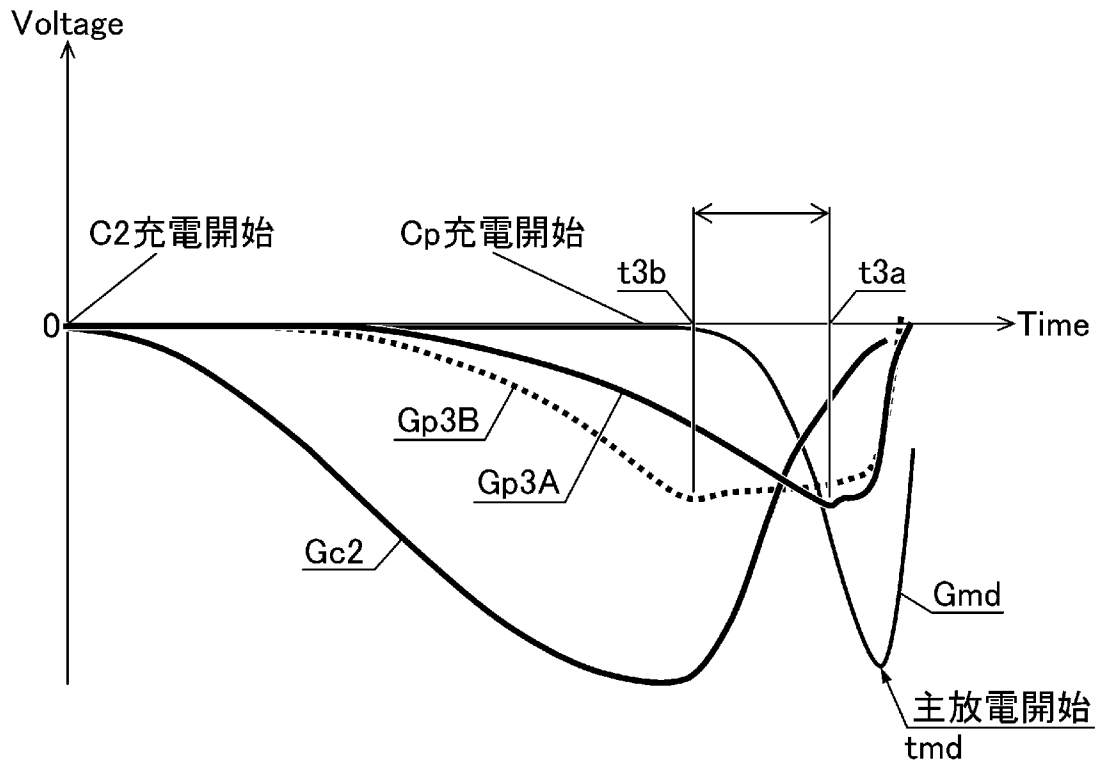
[図10]



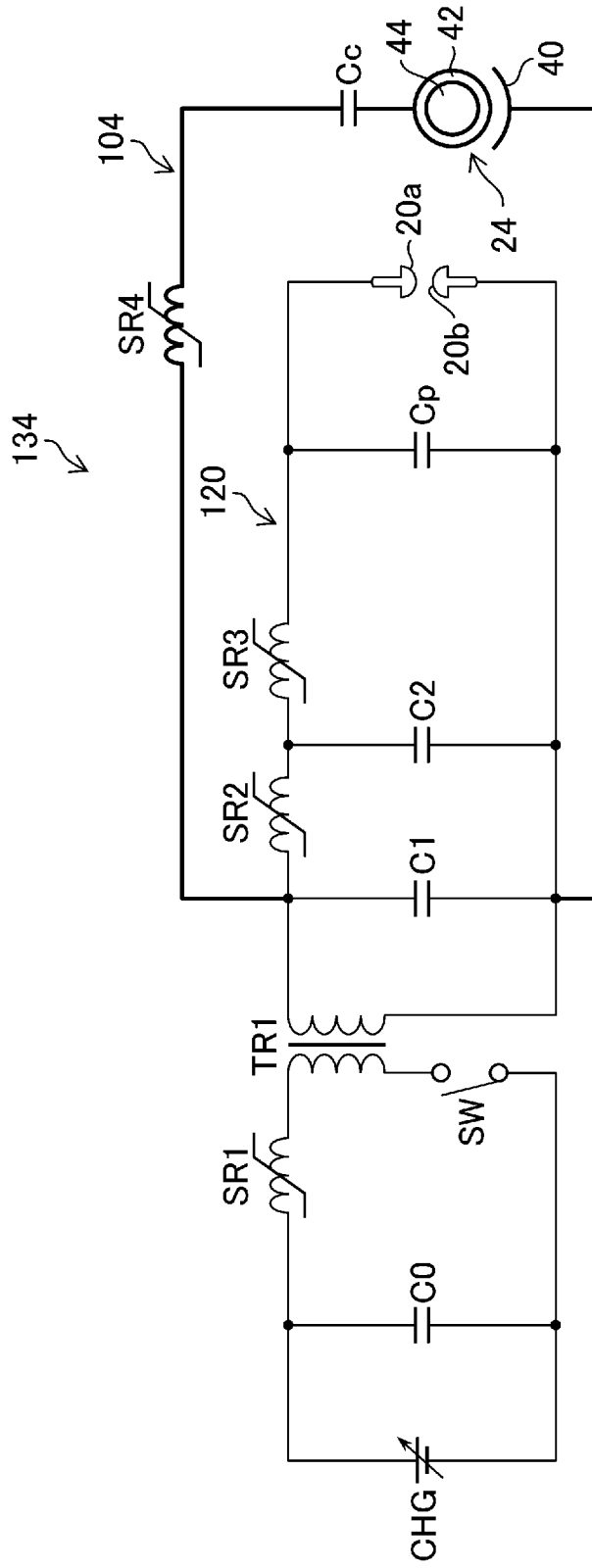
[図11]



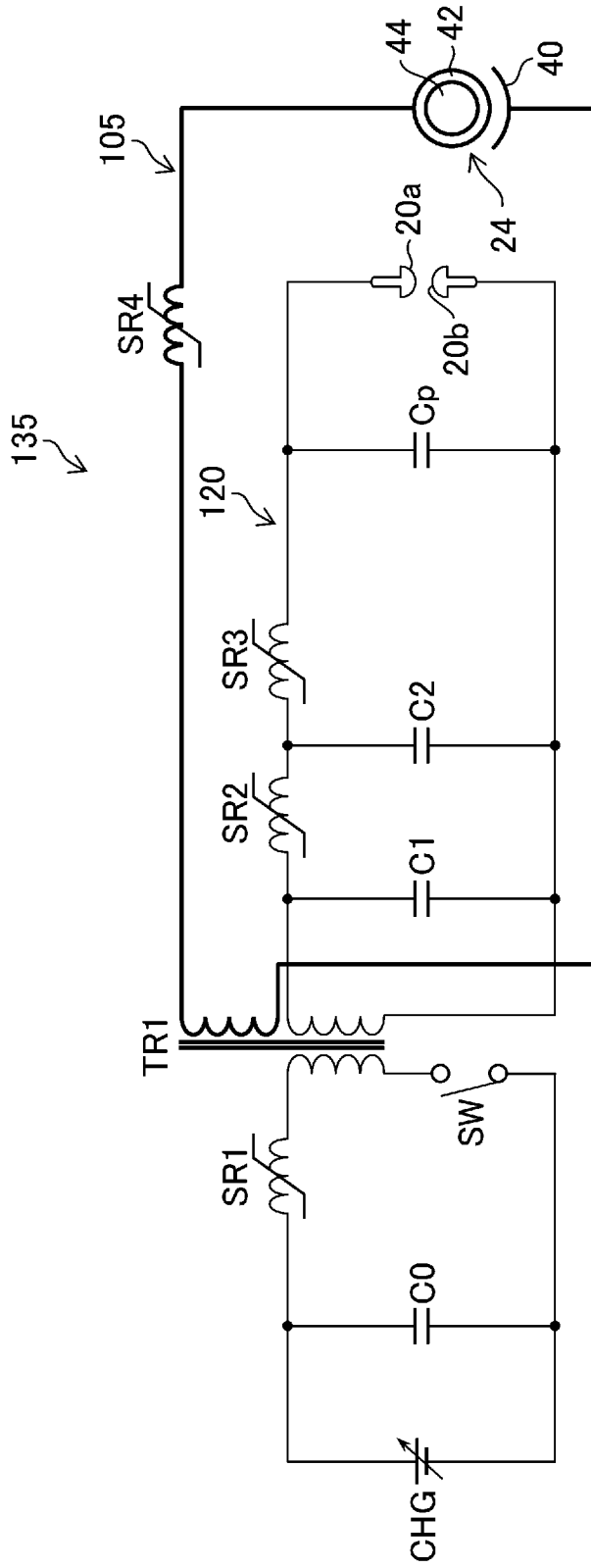
[図12]



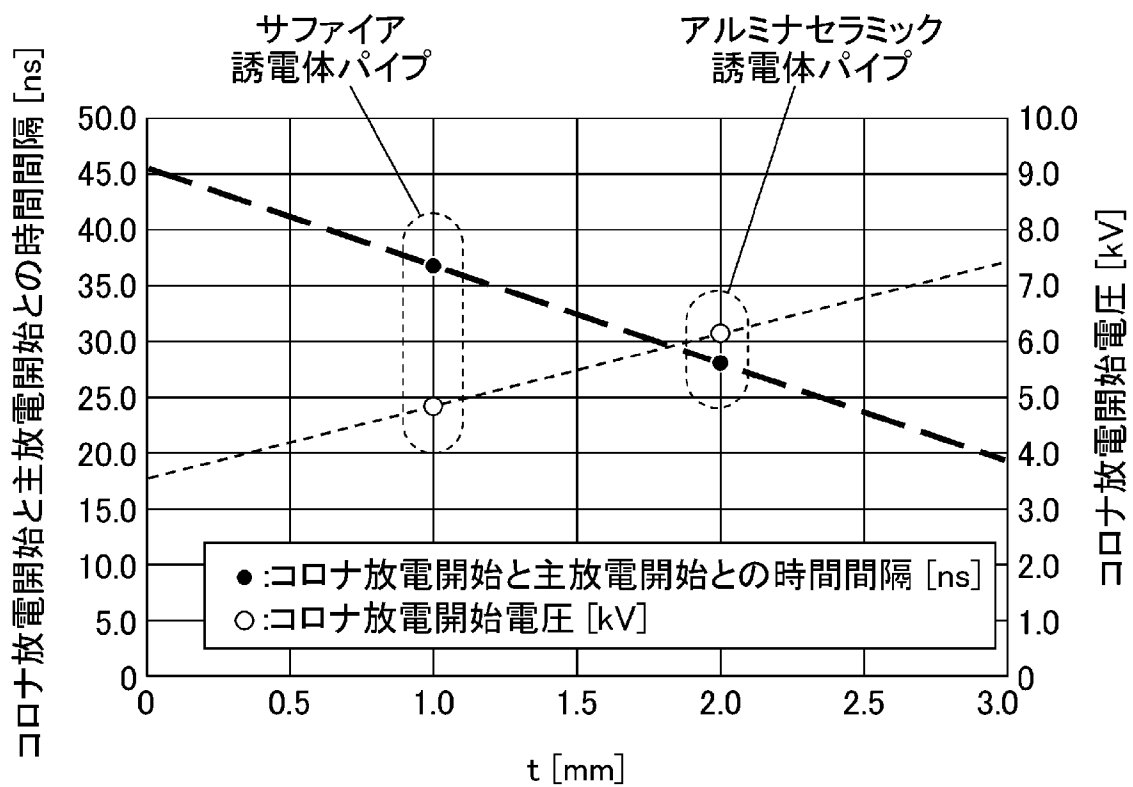
[図13]



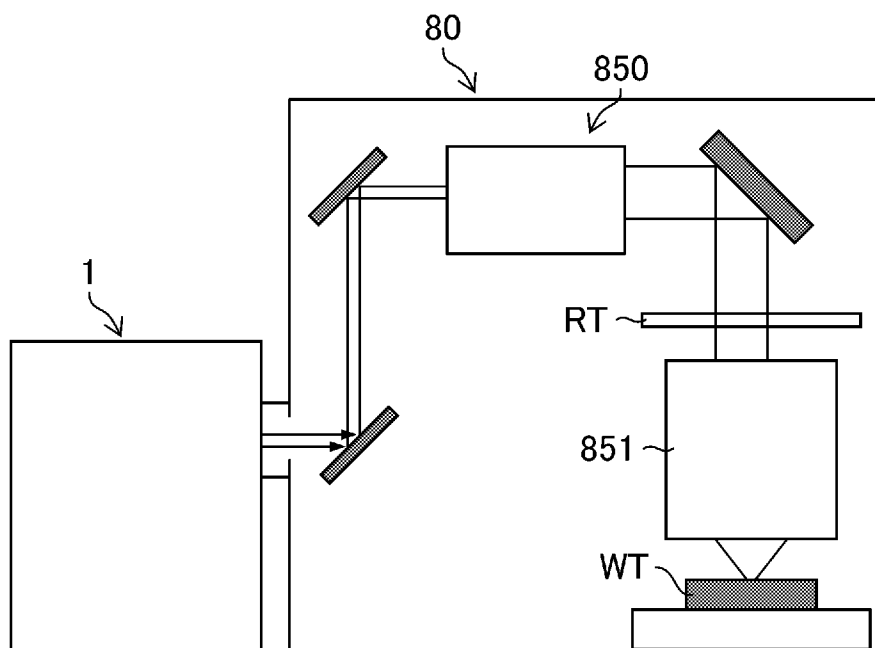
[図14]



[図15]



[図16]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2020/045982

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int. Cl. H01S3/097(2006.01)i, H01S3/0977(2006.01)i, H01S3/104(2006.01)i  
 FI: H01S3/097 A, H01S3/0977, H01S3/104

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H01S3/00-3/30

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996  
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021  
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021  
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2016/152738 A1 (NAGAOKA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 29 September 2016 (2016-09-29), paragraphs [0002], [0012]-[0040], [0196]-[0205], fig. 1-3, 18	1-20
Y	JP 9-92917 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 04 April 1997 (1997-04-04), paragraphs [0012], [0057]-[0059], [0062], [0063], fig. 10	1-20
Y	JP 4-29382 A (HITACHI, LTD.) 31 January 1992 (1992-01-31), column 4, upper right column, column 5, lower left column, line 17, fig. 1	1-20
Y	JP 6-90047 A (HITACHI, LTD.) 29 March 1994 (1994-03-29), paragraphs [0009]-[0012], fig. 1	2-3

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

- “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
- “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
18.02.2021

Date of mailing of the international search report  
09.03.2021

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/JP2020/045982

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-46275 A (TOSHIBA CORP.) 16 February 1996 (1996-02-16), paragraphs [0013]-[0021], fig. 1	2-3
Y	JP 11-177171 A (NISSIN ELECTRIC CO., LTD.) 02 July 1999 (1999-07-02), paragraphs [0028]-[0030], fig. 1	6-8
Y	JP 8-64892 A (KOMATSU LTD.) 08 March 1996 (1996-03-08), paragraphs [0058], [0059], fig. 5	14-15
Y	JP 2000-252566 A (KOMATSU LTD.) 14 September 2000 (2000-09-14), paragraphs [0037]-[0056], fig. 1, 2	16-19
Y	JP 2000-77754 A (NIDEK CO., LTD.) 14 March 2000 (2000-03-14), paragraph [0023]	17-18
A	US 4797888 A (LAMBDA PHYSIK) 10 January 1989 (1989-01-10), entire text, all drawings	1-20
A	US 2008/0285607 A1 (SYNRAD, INC.) 20 November 2008 (2008-11-20), entire text, all drawings	1-20

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/045982

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2016/152738 A1	29.09.2016	US 2017/0338618 A1 paragraphs [0003], [0042]-[0121], [0508]-[0537], fig. 1-3, 18 US 2019/0252846 A1 WO 2016/151796 A1	
JP 9-92917 A	04.04.1997	(Family: none)	
JP 4-29382 A	31.01.1992	US 5153892 A column 10, line 51 to column 12, line 47, fig. 14	
JP 6-90047 A	29.03.1994	(Family: none)	
JP 8-46275 A	16.02.1996	(Family: none)	
JP 11-177171 A	02.07.1999	(Family: none)	
JP 8-64892 A	08.03.1996	US 5754579 A column 16, lines 1- 12, fig. 17 WO 95/34927 A1	
JP 2000-252566 A	14.09.2000	(Family: none)	
JP 2000-77754 A	14.03.2000	(Family: none)	
US 4797888 A	10.01.1989	DE 3621005 A1 DE 3644004 A1 DE 3714539 A1	
US 2008/0285607 A1	20.11.2008	(Family: none)	

<p>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 3/0977(2006.01)i; H01S 3/104(2006.01)i                  FI: H01S3/097 A; H01S3/0977; H01S3/104</p>										
<p>B. 調査を行った分野</p>										
<p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））                  H01S3/00-3/30</p>										
<p>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</p> <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 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2021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 - 2021年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2021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 - 2021年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年									
<p>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）</p>										
<p>C. 関連すると認められる文献</p>										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
Y	WO 2016/152738 A1 (国立大学法人長岡技術科学大学) 29.09.2016 (2016 - 09 - 29) [0002], [0012]-[0040], [0196]-[0205], 図1-3, 18	1-20								
Y	JP 9-92917 A (三菱電機株式会社) 04.04.1997 (1997 - 04 - 04) [0012], [0057]-[0059], [0062]-[0063], 図10	1-20								
Y	JP 4-29382 A (株式会社日立製作所) 31.01.1992 (1992 - 01 - 31) 第4項右上欄第7行-第5項左下欄第17行, 第1図	1-20								
Y	JP 6-90047 A (株式会社日立製作所) 29.03.1994 (1994 - 03 - 29) [0009]-[0012], 図1	2-3								
Y	JP 8-46275 A (株式会社東芝) 16.02.1996 (1996 - 02 - 16) [0013]-[0021], 図1	2-3								
Y	JP 11-177171 A (日新電機株式会社) 02.07.1999 (1999 - 07 - 02) [0028]-[0030], 図1	6-8								
Y	JP 8-64892 A (株式会社小松製作所) 08.03.1996 (1996 - 03 - 08) [0058]-[0059], 図5	14-15								
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>										
* 引用文献のカテゴリー	<p>“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</p>									
“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	<p>“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</p>									
“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	<p>“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</p>									
“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）	<p>“&amp;” 同一パテントファミリー文献</p>									
“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										
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日									
18.02.2021	09.03.2021									
名称及びあて先	権限のある職員（特許庁審査官）									
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	百瀬 正之 2K 4084  電話番号 03-3581-1101 内線 3255									

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	JP 2000-252566 A (株式会社小松製作所) 14.09.2000 (2000 - 09 - 14) [0037]-[0056], 図1-2	16-19
Y	JP 2000-77754 A (株式会社ニデック) 14.03.2000 (2000 - 03 - 14) [0023]	17-18
A	US 4797888 A (LAMBDA PHYSIK) 10.01.1989 (1989 - 01 - 10) 全文, 全図	1-20
A	US 2008/0285607 A1 (SYNRAD, INC.) 20.11.2008 (2008 - 11 - 20) 全文, 全図	1-20

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/JP2020/045982

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2016/152738	A1	29.09.2016	US	2017/0338618	A1	
					[0003], [0042]-[0121],		
					[0508]-[0537], FIGs. 1-3, 18		
				US	2019/0252846	A1	
				WO	2016/151796	A1	
JP	9-92917	A	04.04.1997	(ファミリーなし)			
JP	4-29382	A	31.01.1992	US	5153892	A	
					第10欄第51行-第12欄第47行		
					FIG. 14		
JP	6-90047	A	29.03.1994	(ファミリーなし)			
JP	8-46275	A	16.02.1996	(ファミリーなし)			
JP	11-177171	A	02.07.1999	(ファミリーなし)			
JP	8-64892	A	08.03.1996	US	5754579	A	
					第16欄第1行-第12行, FIG. 17		
				WO	95/34927	A1	
JP	2000-252566	A	14.09.2000	(ファミリーなし)			
JP	2000-77754	A	14.03.2000	(ファミリーなし)			
US	4797888	A	10.01.1989	DE	3621005	A1	
				DE	3644004	A1	
				DE	3714539	A1	
US	2008/0285607	A1	20.11.2008	(ファミリーなし)			