

(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
2018年3月29日(29.03.2018)



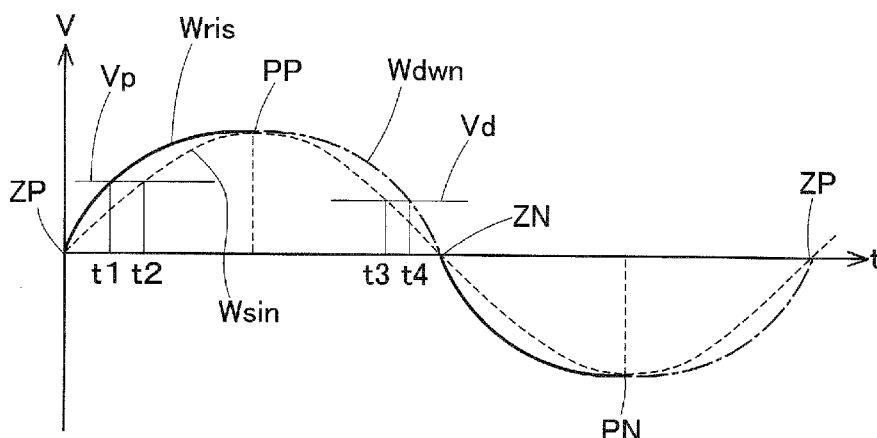
(10) 国際公開番号

WO 2018/055776 A1

- (51) 国際特許分類:
H05H 1/46 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/078301
- (22) 国際出願日: 2016年9月26日(26.09.2016)
- (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: 富士機械製造株式会社(FUJI MACHINE MFG. CO., LTD.) [JP/JP]; 〒4728686 愛知県知立市山町茶碓山 1 9 番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 瀧川 慎二 (TAKIKAWA Shinji); 〒4728686 愛知県知立市山町茶碓山 1 9 番地 富士機械製造株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 小林 脩, 外 (KOBAYASHI Osamu et al.); 〒4560002 愛知県名古屋市熱田区金山町一丁目 1 9 番 1 3 号 川島ビル 2 階 Aichi (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, DJ, 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, 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, SM, ST, SV,

(54) Title: PLASMA POWER SUPPLY DEVICE, PLASMA DEVICE, AND PLASMA GENERATION METHOD

(54) 発明の名称: プラズマ用電源装置、プラズマ装置、およびプラズマ発生方法



(57) Abstract: The present invention is a plasma power supply device (1) for applying AC voltage to a pair of electrodes (92) to generate plasma, wherein a distortion wave AC power supply (pulse width modulation power supply 2 and smoothing circuit 6) is provided for outputting distortion wave AC voltage (Wris, Wdwn) in which rising modulation for speeding the rise of the voltage waveform and/or falling modulation for delaying the fall of the voltage waveform is performed, in comparison to the sine wave AC voltage (Wsin). The time band in which it is possible to generate plasma within one cycle of AC voltage is thereby widened, whereby this plasma power supply device has excellent plasma generation capability.

(57) 要約: 本発明のプラズマ用電源装置(1)は、一対の電極(92)に交流電圧を印加してプラズマを発生させるプラズマ用電源装置であって、正弦波交流電圧(Wsin)と比較して電圧波形の立ち上がりを早くする立ち上がり変調、および電圧波形の立ち下がり遅くする立ち下がり変調の少なくとも一方を施した歪み波交流電圧(Wris, Wdwn)を出力する歪み波交流電源(パルス幅変調電源2および平滑回路6)を備えた。これによれば、交流電圧の1周期の中でプラズマの発生可能な時間帯が広がるので、本発明のプラズマ用電源装置は、プラズマ発生能力に優れる。

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:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：

プラズマ用電源装置、プラズマ装置、およびプラズマ発生方法

技術分野

[0001] 本発明は、交流電圧を用いるプラズマ用電源装置、およびこのプラズマ用電源装置を備えたプラズマ装置に関し、さらには、プラズマ発生方法に関する。

背景技術

[0002] 原料ガス中で放電することにより、プラズマを発生させるプラズマ装置が知られている。プラズマ装置は、固体材料の表面加工、洗浄、接着などの産業用や、殺菌、空気浄化などの環境保護用、医療用などに広く用いられている。開発の当初、プラズマ装置は、真空ポンプを用いて原料ガスを低気圧（負圧）とし、放電を安定化させてプラズマの品質維持を図っていた。近年では、大気圧の原料ガスを用いる大気圧プラズマ装置が実用化されており、高いプラズマ密度が得られるようになっている。この種のプラズマ装置の一技術例が特許文献 1 に開示されている。

[0003] 特許文献 1 のプラズマ成膜装置は、真空チャンバの中で第 1 および第 2 の電極の間にプラズマを発生させて成膜を行う。そして、パルス変調された高周波電力が電極間に給電され、パルス波形の on 時間における第 1 期間の第 1 電力が、第 1 期間に続く第 2 期間の第 2 電力よりも 5 % 以上高いことを特徴としている。これによれば、パルス波形の初期の電力を残りの期間よりも高めたことにより、プラズマを確実に発生でき、均一なプラズマを得ることができる、とされている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開 2012-174736 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、プラズマの発生に高い電圧が必要な場合、特許文献1のパルス波形を高電圧化することが難しい。つまり、パルス波形は直流であるため、昇圧することが難しく、別の言い方をすれば、プラズマ用電源装置のコストが嵩む。したがって、変圧器を用いて交流電圧を昇圧し電極間に印加する構成を採用すれば、プラズマ用電源装置を低廉化できる。しかしながら、交流電圧を電極間に印加すると、交流電圧のゼロ点付近でプラズマが消滅してプラズマ発生能力が低下する、という問題点が生じる。なお、この問題点は、低気圧プラズマ装置よりもプラズマ発生電圧が高くなる大気圧プラズマ装置で顕在化しがちである。

[0006] 本発明は、上記背景技術の問題点に鑑みてなされたものであり、プラズマ発生能力に優れたプラズマ用電源装置、およびこのプラズマ用電源装置を備えたプラズマ装置を提供すること、さらには、プラズマ発生能力に優れたプラズマ発生方法を提供することを解決すべき課題とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本明細書で開示するプラズマ用電源装置は、一対の電極に交流電圧を印加してプラズマを発生させるプラズマ用電源装置であって、正弦波交流電圧と比較して電圧波形の立ち上がりを早くした立ち上がり変調、および前記電圧波形の立ち下がり遅くした立ち下がり変調の少なくとも一方を施した歪み波交流電圧を出力する歪み波交流電源を備えた。

[0008] 本明細書で開示するプラズマ装置は、前記プラズマを発生させる容器と、前記容器の内部に配置された一対の前記電極と、プラズマ用電源装置と、を備えた。

[0009] 本明細書で開示するプラズマ発生方法は、一対の電極に交流電圧を印加してプラズマを発生させるプラズマ発生方法であって、正弦波交流電圧と比較して電圧波形の立ち上がりを早くする立ち上がり変調、および前記電圧波形の立ち下がり遅くする立ち下がり変調の少なくとも一方を施した歪み波交流電圧を出力する歪み波交流電源を用い、前記歪み波交流電圧を一対の前記

電極に印加する。

発明の効果

[0010] 本明細書で開示するプラズマ用電源装置では、正弦波交流電圧と比較して電圧波形の立ち上がりを早くし、または立ち下がり遅くするので、交流電圧の1周期の中でプラズマの発生可能な時間帯が広がる。したがって、プラズマ用電源装置は、プラズマ発生能力に優れる。

[0011] また、本明細書で開示するプラズマ装置は、プラズマ用電源装置を備えるので、プラズマ発生能力に優れる。

[0012] また、本明細書で開示するプラズマ発生方法は、正弦波交流電圧と比較して電圧波形の立ち上がりを早くでき、または立ち下がり遅くできるので、交流電圧の1周期の中でプラズマの発生可能な時間帯を広げることができる。したがって、プラズマ発生方法は、プラズマ発生能力に優れる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]実施形態のプラズマ装置を構成する実施形態のプラズマ用電源装置、および本体部を模式的に示した図である。

[図2]パルス幅変調電源の回路構成を例示した回路図である。

[図3]正弦波交流電圧を変圧器に出力する比較例の場合に、パルス制御部が行う制御方法を模式的に示した図である。

[図4]比較例の場合におけるパルス電圧波形、および正弦波交流電圧波形を示した図である。

[図5]歪み波交流電圧を変圧器に出力する実施例の場合に、パルス制御部が行う制御方法を模式的に示した図である。

[図6]実施例および比較例において、変圧器に出力される交流電圧波形を示した図である。

[図7]比較例において、プラズマの発生状況を示す電極間の電圧波形を実測した図である。

[図8]実施例において、プラズマの発生状況を示す電極間の電圧波形を実測した図である。

発明を実施するための形態

[0014] (1. 実施形態のプラズマ装置およびプラズマ用電源装置 1 の構成)

実施形態のプラズマ装置およびプラズマ用電源装置 1 について、図 1 ～ 図 8 を参考にして説明する。図 1 は、実施形態のプラズマ装置を構成する実施形態のプラズマ用電源装置 1、および本体部 9 を模式的に示した図である。

まず、本体部 9 について説明する。本体部 9 は、容器 9 1、一对の電極 9 2、および大気圧ガス置換部 9 3 を備える。

[0015] 容器 9 1 は、外気から内部空間を区画する。一对の電極 9 2 は、容器 9 1 の内部に対向して配置される。一对の電極 9 2 の間が、プラズマの発生領域 9 4 となる。大気圧ガス置換部 9 3 は、発生領域 9 4 に大気圧の原料ガスを導入するとともに、発生領域 9 4 に発生したプラズマを移動させる。プラズマは、容器 9 1 内で使用されてもよく、他に移動されて使用されてもよい。原料ガスとして、酸素ガスや空気を例示でき、これらに限定されない。実施形態のプラズマ装置は、大気圧プラズマ装置であり、低気圧プラズマ装置と比較して一般的にプラズマ発生電圧 V_p (図 6 参照) が高い。実施形態のプラズマ装置は、低気圧 (負圧) にするための真空ポンプが不要であり、装置構成が簡素である。

[0016] プラズマ用電源装置 1 は、パルス幅変調電源 2、平滑回路 6、および変圧器 7 を備える。パルス幅変調電源 2 は、正負それぞれ複数のパルス電圧波形のデューティ比を可変に調整して出力する。平滑回路 6 は、パルス幅変調電源 2 が出力した正負それぞれ複数のパルス電圧波形を平滑して交流電圧とし、変圧器 7 に出力する。交流電圧の波形は、デューティ比の調整に応じて、正弦波にも歪み波にもなり得る。

[0017] 平滑回路 6 は、例えば、図 1 に示されたコイル 6 1 およびコンデンサ 6 5 で構成される。コイル 6 1 の一端 6 1 1 は、パルス幅変調電源 2 の出力側の一端に接続される。コイル 6 1 の他端 6 1 2 は、変圧器 7 の一次巻線 7 1 の一端に接続される。コンデンサ 6 5 の一端 6 5 1 は、コイル 6 1 の他端 6 1 2 および一次巻線 7 1 の一端に接続される。コンデンサ 6 5 の他端 6 5 2 は

、パルス幅変調電源 2 の出力側の他端および一次巻線 7 1 の他端に接続される。パルス幅変調電源 2 および平滑回路 6 は、本発明の歪み波交流電源を構成する。

[0018] 変圧器 7 は、単相器であり、電磁結合した一次巻線 7 1 および二次巻線 7 2 を有する。変圧器 7 は、二次巻線 7 2 の巻数が一次巻線 7 1 の巻数よりも多く、昇圧機能を有する。二次巻線 7 2 の一端および他端は、本体部 9 の容器 9 1 に対して絶縁が確保されつつ、一对の電極 9 2 に接続される。変圧器 7 の構造に特別な制約は無いが、良好な高周波特性を有することが好ましい。変圧器 7 は、一次巻線 7 1 に入力された交流電圧を昇圧して、二次巻線 7 2 から一对の電極 9 2 に印加する。

[0019] 図 2 は、パルス幅変調電源 2 の回路構成を例示した回路図である。パルス幅変調電源 2 は、直流電源 3、パルス発生回路 4、およびパルス制御部 5 で構成される。直流電源 3 は、高圧端子 3 1 および低圧端子から 3 2 から直流電圧 V_{dc} を出力する。直流電源 3 として、商用周波数の交流電圧を整流する整流電源や、バッテリー電源を用いることができる。

[0020] パルス発生回路 4 は、4 個のスイッチング素子のブリッジ接続によって構成される。スイッチング素子として、MOSFET 素子や IGBT 素子などを用いることができ、以下 MOSFET 素子の場合を例にして説明する。第 1 スwitchング素子 4 1 は、ドレイン D が直流電源 3 の高圧端子 3 1 に接続され、ソース S が第 1 出力端子 4 7 に接続される。第 2 スwitchング素子 4 2 は、ドレイン D が第 1 出力端子 4 7 に接続され、ソース S が直流電源 3 の低圧端子 3 2 に接続される。第 3 スwitchング素子 4 3 は、ドレイン D が直流電源 3 の高圧端子 3 1 に接続され、ソース S が第 2 出力端子 4 8 に接続される。第 4 スwitchング素子 4 4 は、ドレイン D が第 2 出力端子 4 8 に接続され、ソース S が直流電源 3 の低圧端子 3 2 に接続される。

[0021] 第 1 出力端子 4 7 および第 2 出力端子 4 8 は、引き出されて平滑回路 6 に接続される。第 1 スwitchング素子 4 1 のゲート G および第 4 スwitchング素子 4 4 のゲート G は、まとめられてパルス制御部 5 に接続される。第 2 ス

スイッチング素子 4 2 のゲート G および第 3 スwitching 素子 4 3 のゲート G も、まとめられてパルス制御部 5 に接続される。スイッチング素子 4 1 ~ 4 4 は、ゲート G に制御信号が入力されているときだけ、ドレイン D とソース S の間が導通する。

[0022] パルス制御部 5 は、ゲート G に制御信号を送出して、スイッチング素子のスイッチング動作を制御する。パルス制御部 5 は、CPU を有してソフトウェアで動作する電子制御回路により構成される。これに限定されず、パルス制御部 5 は、ハードウェア回路によって構成されてもよい。パルス制御部 5 は、パルス電圧波形の繰り返し周波数を表すパルス周波数を設定する。また、パルス制御部 5 は、交流電圧の交流周波数を設定する。パルス周波数として 200 kHz を例示でき、交流周波数として 5 kHz を例示でき、これらに限定されない。パルス周波数を交流周波数で除算したパルス数は、交流電圧の 1 周期に対応するパルス電圧波形の個数を表す。パルス数は、数 10 個以上であることが好ましい。

[0023] 交流電圧の正の半波に相当する時間帯に、パルス制御部 5 は、第 2 スwitching 素子 4 2 および第 3 スwitching 素子 4 3 に制御信号を送出せず、遮断状態に維持する。かつ、パルス制御部 5 は、第 1 スwitching 素子 4 1 および第 4 スwitching 素子 4 4 に時間長可変の制御信号を送出して開閉制御し、デューティ比を可変に調整する。これにより、パルス幅変調電源 2 は、デューティ比が調整された複数の正のパルス電圧波形を出力する。

[0024] また、交流電圧の負の半波に相当する時間帯に、パルス制御部 5 は、第 1 スwitching 素子 4 1 および第 4 スwitching 素子 4 4 に制御信号を送出せず、遮断状態に維持する。かつ、パルス制御部 5 は、第 2 スwitching 素子 4 2 および第 3 スwitching 素子 4 3 に時間長可変の制御信号を送出して開閉制御し、デューティ比を可変に調整する。これにより、パルス幅変調電源 2 は、デューティ比が調整された複数の負のパルス電圧波形を出力する。正負のパルス電圧波形の高さは、直流電源 3 の直流電圧 V_{dc} に一致する。

[0025] (2. 実施形態のプラズマ用電源装置 1 の動作および作用)

次に、実施形態のプラズマ用電源装置 1 の動作および作用について説明する。図 3 は、正弦波交流電圧を変圧器 7 に出力する比較例の場合に、パルス制御部 5 が行う制御方法を模式的に示した図である。また、図 4 は、比較例の場合におけるパルス電圧波形、および正弦波交流電圧波形 $W \sin$ を示した図である。図 3 の比較例で、パルス制御部 5 は、交流電圧の 1 周期に相当する時間帯を第 1 区間 R 1 から第 17 区間 R 17 までの 17 個に分割する。ただし、第 1 区間 R 1 および第 17 区間 R 17 は、時間幅の半分のみが交流電圧の 1 周期内に入る。第 1 ～第 17 区間 R 1 ～R 17 には、それぞれ複数のパルス電圧波形が入る。

[0026] ここで、第 1 区間 R 1 から第 5 区間 R 5 は、交流電圧の正の半波の立ち上がりに対応している。したがって、第 1 ～第 5 区間 R 1 ～R 5 において、パルス制御部 5 は、正弦波の立ち上がりの増加傾向に対応させて、デューティ比 $D_1 \sim D_5$ を順次増加させてゆく。これを不等式で表せば、次の関係が成り立つ。第 1 区間 R 1 のデューティ比 $D_1 < \text{第 2 区間 R 2 のデューティ比 } D_2 < \text{第 3 区間 R 3 のデューティ比 } D_3 < \text{第 4 区間 R 4 のデューティ比 } D_4 < \text{第 5 区間 R 5 のデューティ比 } D_5$ 。

[0027] また、第 5 区間 R 5 から第 9 区間 R 9 は、交流電圧の正の半波の立ち下がりに対応している。したがって、第 5 ～第 9 区間 R 5 ～R 9 において、パルス制御部 5 は、正弦波の立ち下がりの減少傾向に対応させて、デューティ比 $D_5 \sim D_9$ を順次減少させてゆく。これを不等式で表せば、次の関係が成り立つ。第 5 区間 R 5 のデューティ比 $D_5 > \text{第 6 区間 R 6 のデューティ比 } D_6 > \text{第 7 区間 R 7 のデューティ比 } D_7 > \text{第 8 区間 R 8 のデューティ比 } D_8 > \text{第 9 区間 R 9 のデューティ比 } D_9$ 。

[0028] 同様に、第 9 区間 R 9 から第 17 区間 R 17 は、交流電圧の負の半波に対応している。したがって、第 9 ～第 17 区間 R 9 ～R 17 において、パルス制御部 5 は、正弦波の負の立ち上がりの減少傾向および立ち下がりの増加傾向に対応させて、デューティ比 $D_9 \sim D_{17}$ を順次増加および減少させてゆく。これを不等式で表せば、次の関係が成り立つ。第 9 区間 R 9 のデューティ

ィ比 $D_9 < \text{第10区間} R_{10}$ のデューティ比 $D_{10} < \text{第11区間} R_{11}$ のデューティ比 $D_{11} < \text{第12区間} R_{12}$ のデューティ比 $D_{12} < \text{第13区間} R_{13}$ のデューティ比 $D_{13} > \text{第14区間} R_{14}$ のデューティ比 $D_{14} > \text{第15区間} R_{15}$ のデューティ比 $D_{15} > \text{第16区間} R_{16}$ のデューティ比 $D_{16} > \text{第17区間} R_{17}$ のデューティ比 D_{17} 。

[0029] 具体例として、パルス制御部5は、第1～第17区間 $R_1 \sim R_{17}$ のデューティ比 $D_1 \sim D_{17}$ を次のように設定する。

$$D_1 = D_9 = D_{17} = 0 \text{ [\%]}$$

$$D_2 = D_8 = D_{10} = D_{16} = 30 \text{ [\%]}$$

$$D_3 = D_7 = D_{11} = D_{15} = 70 \text{ [\%]}$$

$$D_4 = D_6 = D_{12} = D_{14} = 90 \text{ [\%]}$$

$$D_5 = D_{13} = 100 \text{ [\%]}$$

[0030] ここで、図4は、第1～第17区間 $R_1 \sim R_{17}$ にそれぞれ3個のパルス電圧波形が入る場合であって、交流電圧の正の半波の立ち上がりに対応する時間帯を示している。図4には、デューティ比 D_1 の1個半のパルス電圧波形、デューティ比 $D_2 \sim D_4$ の各3個のパルス電圧波形、およびデューティ比 D_5 の1個半のパルス電圧波形が示され、合計で12個のパルス電圧波形が示されている。これらのパルス電圧波形が平滑回路6で平滑されて、ゼロ点ZPから正ピーク点PPまでの正弦波交流電圧波形 $W \sin$ が得られる。実際には、平滑回路6から出力される正弦波交流電圧波形 $W \sin$ は、パルス電圧波形に対して位相遅れをもつ。

[0031] 図5は、歪み波交流電圧を変圧器7に出力する実施例の場合に、パルス制御部5が行う制御方法を模式的に示した図である。図5の実施例で、パルス制御部5は、正弦波交流電圧と比較して電圧波形の立ち上がりを早くする立ち上がり変調を施している。具体例として、パルス制御部5は、第1区間 R_1 から第4区間 R_4 のデューティ比 $D_{1A} \sim D_{4A}$ 、および第9区間 R_9 から第12区間 R_{12} のデューティ比 $D_{9A} \sim D_{12A}$ を次のように大きく調整する。

$$D1A = D9A = (D1 + \alpha) \quad [\%]$$

$$D2A = D10A = (D2 + \alpha) \quad [\%]$$

$$D3A = D11A = (D3 + \alpha) \quad [\%]$$

$$D4A = D12A = (D4 + \alpha) \quad [\%]$$

[0032] なお、パルス制御部5は、立ち下がり変調を施さない。したがって、デューティ比D5～D8、およびデューティ比D13～D16は、正弦波交流電圧の場合に一致する。上記の α は、各区間R1～R4、R9～R12で互いに異なっていてもよく、共通とされていてもよい。例えば、 α は、各区間R1～R4、R9～R12で共通に10 [%]と設定される。

[0033] パルス制御部5が立ち上がり変調を施した結果、変圧器7に歪み波交流電圧波形Wris (図6参照)が出力される。実際には、平滑回路6から出力される歪み波交流電圧波形Wrisは、パルス電圧波形に対して位相遅れをもつ。図6は、実施例および比較例において、変圧器7に出力される交流電圧波形を示した図である。図6の横軸は時間軸tを表し、縦軸は電圧Vを表している。図6において、比較例の正弦波交流電圧波形Wsinは、破線で示されている。また、実施例の歪み波交流電圧波形Wrisは、立ち上がりを実線で示され、立ち下がりが正弦波交流電圧波形Wsinに一致している。

[0034] 図6中の正の半波に示されるように、歪み波交流電圧波形Wrisは、正弦波交流電圧波形Wsinと比較して、電圧波形の立ち上がりが早くなっている。このため、歪み波交流電圧波形Wrisがプラズマ発生電圧Vpに到達する時刻t1は、正弦波交流電圧波形Wsinがプラズマ発生電圧Vpに到達する時刻t2よりも早くなる。上記した説明は、負の半波についても同様に成り立つ。したがって、実施例によれば、プラズマの発生可能な時間帯は、比較例より広がる。

[0035] また、立ち上がり変調を施した歪み波交流電圧波形Wrisに代えて、立ち下がり変調を施した歪み波交流電圧波形Wdownを用いることもできる。図6において、歪み波交流電圧波形Wdownは、立ち下がりが正弦波交流電

圧波形 W_{sin} に一致し、立ち下がりが一点鎖線で示されている。立ち下がりが変調を施す具体例として、パルス制御部5は、第6区間R6から第9区間R9のデューティ比 $D_6 \sim D_9$ 、および第14区間R14から第17区間R17のデューティ比 $D_{14} \sim D_{17}$ を $+\beta$ [%]だけ大きく調整する。なお、パルス制御部5は、立ち上がり変調を施さないので、デューティ比 $D_2 \sim D_5$ 、およびデューティ比 $D_{10} \sim D_{13}$ は、正弦波交流電圧の場合に一致する。

[0036] 図6中の正の半波に示されるように、立ち下がりが変調を施した歪み波交流電圧波形 W_{dwn} は、正弦波交流電圧波形 W_{sin} と比較して、電圧波形の立ち下がりが遅くなっている。このため、歪み波交流電圧波形 W_{dwn} がプラズマ消滅電圧 V_d まで低下する時刻 t_4 は、正弦波交流電圧波形 W_{sin} がプラズマ消滅電圧 V_d まで低下する時刻 t_3 よりも遅くなる。上記した説明は、負の半波についても同様に成り立つ。したがって、立ち下がりが変調を施した歪み波交流電圧波形 W_{dwn} を用いたとき、プラズマの発生可能な時間帯は、比較例より広がる。

[0037] さらに、立ち上がり変調および立ち下がりが変調の両方を施した歪み波交流電圧波形を用いることもできる。この場合、電圧波形の立ち上がりおよび立ち下がりの両方で、プラズマの発生可能な時間帯を広げる効果が発生する。

[0038] なお、歪み波交流電圧波形 W_{ris} および歪み波交流電圧波形 W_{dwn} は、正弦波交流電圧波形 W_{sin} と比較して、電圧波形のゼロ点ZP、正ピーク点PP、ゼロ点ZN、および負ピーク点PNが時間軸 t 上で移動しない。さらに、歪み波交流電圧波形 W_{ris} および歪み波交流電圧波形 W_{dwn} は、ゼロ点ZPから正ピーク点PPまでの間および負ピーク点PNからゼロ点ZNまでの間で電圧瞬時値が滑らかに単調増加し、かつ、正ピーク点PPからゼロ点ZNを経て負ピーク点PNまでの間で電圧瞬時値が滑らかに単調減少する。

[0039] 歪み波交流電圧波形 W_{ris} および歪み波交流電圧波形 W_{dwn} は、上記の性質を有するので、高周波成分の含有率が限定される。これにより、変圧

器 7 は、電圧波形の変歪を抑制しての昇圧が可能となる。さらに、変圧器 7 の発生損失は、正弦波交流電圧波形 W_{sin} と比較して、顕著に増加しない。仮に、多くの高周波成分を含有するパルス波形を変圧器 7 の一次巻線 7 1 に入力すると、二次巻線 7 2 における電圧波形の変歪が顕著となる。さらには、変圧器 7 における発生損失の増加や、騒音および振動の増加を招く。このため、変圧器 7 でパルス波形を昇圧することは、実用的でない。

[0040] 次に、比較例および実施例の場合におけるプラズマの発生状況の実測結果について説明する。図 7 は、比較例において、プラズマの発生状況を示す電極 9 2 間の電圧波形 V_1 を実測した図である。また、図 8 は、実施例において、プラズマの発生状況を示す電極 9 2 間の電圧波形 V_2 を実測した図である。図 7 に破線で示された正弦波交流電圧波形 W_{sin} の交流周波数、および図 8 に破線で示された歪み波交流電圧波形 W_{ris} の交流周波数は、ともに 5 kHz である。

[0041] 図 7 において、プラズマが発生すると電極 9 2 間がほぼ導通され、電圧波形 V_1 の電圧瞬時値は正弦波交流電圧波形 W_{sin} から大きく減少する。このことから、プラズマの発生に寄与しない無効期間 T_{11} 、 T_{12} 、 T_{13} 、 T_{14} を判別できる。同様に、図 8 において、プラズマが発生すると電極 9 2 間がほぼ導通され、電圧波形 V_2 の電圧瞬時値は歪み波交流電圧波形 W_{ris} から大きく減少する。このことから、プラズマの発生に寄与しない無効期間 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 、 T_{24} を判別できる。各無効期間 T_{11} 、 T_{12} 、 T_{13} 、 T_{14} 、 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 、 T_{24} は、ゼロ点 Z_P およびゼロ点 Z_N の一方を含んでいる。

[0042] ここで、実施例の無効期間 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 、 T_{24} は、比較例の無効期間 T_{11} 、 T_{12} 、 T_{13} 、 T_{14} と比較して、平均的に時間幅が短い。特に、実施例の無効期間 T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23} 、 T_{24} は、ゼロ点 Z_P 以降やゼロ点 Z_N 以降の時間幅が短い。これは、図 6 を用いて説明したように、歪み波交流電圧波形 W_{ris} の立ち上がりを正弦波交流電圧波形 W_{sin} よりも早くすることによって生じる作用である。したがって、実施例の

歪み波交流電圧波形 W_{ris} によれば、比較例の正弦波交流電圧波形 W_{sin} と比較して、交流電圧の1周期の中でプラズマの発生可能な時間帯が広がる。

[0043] (3. 実施形態のプラズマ用電源装置1の態様および効果)

実施形態のプラズマ用電源装置1は、一对の電極92に交流電圧を印加してプラズマを発生させるプラズマ用電源装置1であって、正弦波交流電圧波形 W_{sin} と比較して電圧波形の立ち上がりを早くする立ち上がり変調を施した歪み波交流電圧波形 W_{ris} 、および電圧波形の立ち下がり遅くする立ち下がり変調を施した歪み波交流電圧波形 W_{dwn} の少なくとも一方を出力する歪み波交流電源を備えた。

[0044] これによれば、正弦波交流電圧波形 W_{sin} と比較して電圧波形の立ち上がりを早くし、または立ち下がり遅くするので、交流電圧の1周期の中でプラズマの発生可能な時間帯が広がる。したがって、実施形態のプラズマ用電源装置1は、プラズマ発生能力に優れる。

[0045] さらに、実施形態のプラズマ用電源装置1は、歪み波交流電圧を変換して一对の電極92に印加する変圧器7をさらに備えた。これによれば、変圧器7の昇圧機能により、高い交流電圧を電極92間に印加することができるので、プラズマ発生能力がさらに向上する。また、変圧器7による昇圧は容易であり、パルス電圧や直流電圧を印加する構成と比較して、装置コストが低廉になる。

[0046] さらに、歪み波交流電圧波形 W_{ris} および歪み波交流電圧波形 W_{dwn} は、正弦波交流電圧波形 W_{sin} と比較して電圧波形のゼロ点 Z_P 、正ピーク点 P_P 、ゼロ点 Z_N 、および負ピーク点 P_N が時間軸 t 上で移動せず、さらに、ゼロ点 Z_P から正ピーク点 P_P までの間および負ピーク点 P_N からゼロ点 Z_P までの間で電圧瞬時値が滑らかに単調増加し、かつ、正ピーク点 P_P からゼロ点 Z_N を経て負ピーク点 P_N までの間で電圧瞬時値が滑らかに単調減少する。

[0047] これによれば、歪み波交流電圧波形 W_{ris} および歪み波交流電圧波形 W_{dwn}

d w n は、高周波成分の含有率が限定される。これにより、変圧器 7 は、電圧波形の変歪を抑制しての昇圧が可能となる。さらに、変圧器 7 の発生損失は、正弦波交流電圧波形 W_{sin} と比較して、顕著に増加しない。

[0048] さらに、歪み波交流電源は、正負それぞれ複数のパルス電圧波形のデューティ比を可変に調整して出力するパルス幅変調電源 2 と、正負それぞれ複数のパルス電圧波形を平滑して歪み波交流電圧にする平滑回路 6 とを有する。これによれば、パルス幅変調方式を用いて、歪み波交流電圧波形 W_{ris} や歪み波交流電圧波形 W_{dwn} を簡易に生成できる。

[0049] さらに、パルス幅変調電源 2 は、直流電圧 V_{dc} を出力する直流電源 3 と、4 個のスイッチング素子 41～44 のブリッジ接続によって構成され、直流電圧 V_{dc} が入力されて、正負それぞれ複数のパルス電圧波形を出力するパルス発生回路 4 と、4 個のスイッチング素子 41～44 のスイッチング動作を制御して、正負それぞれ複数のパルス電圧波形の正負を制御し、かつデューティ比を可変に調整するパルス制御部 5 とを有する。これによれば、簡素な回路構成でパルス幅変調電源 2 を実現できる。

[0050] さらに、パルス幅変調電源 2 は、正弦波交流電圧波形 W_{sin} を出力する場合と比較して、電圧波形の立ち上がりに相当するパルス電圧波形のデューティ比 $D_{1A} \sim D_{4A}$ 、 $D_{9A} \sim D_{12A}$ を大きく調整する立ち上がり変調、および、電圧波形の立ち下がりに相当するパルス電圧波形のデューティ比 $D_{6} \sim D_{9}$ 、 $D_{14} \sim D_{17}$ を大きく調整する立ち下がり変調の少なくとも一方を施す。これによれば、デューティ比 $D_{1A} \sim D_{4A}$ 、 $D_{9A} \sim D_{12A}$ 、 $D_{6} \sim D_{9}$ 、 $D_{14} \sim D_{17}$ を調整するだけで、所望する歪み波交流電圧波形 W_{ris} および歪み波交流電圧波形 W_{dwn} を生成できる。

[0051] (4. 実施形態のプラズマ装置および実施形態のプラズマ発生方法の態様および効果)

実施形態のプラズマ装置は、プラズマを発生させる容器 91 と、容器 91 の内部に配置された一対の電極 92 と、実施形態のプラズマ用電源装置 1 と、を備えた。これによれば、実施形態のプラズマ装置は、プラズマ用電源装

置 1 を備えるので、プラズマ発生能力に優れる。

[0052] さらに、実施形態のプラズマ装置は、一对の電極 9 2 の間に大気圧の原料ガスを導入するとともに、一对の電極 9 2 の間に発生したプラズマを移動させる大気圧ガス置換部 9 3 をさらに備えた。これによれば、実施形態のプラズマ装置は、大気圧プラズマ装置であり、低気圧プラズマ装置と比較してプラズマ発生電圧 V_p が高くなる。したがって、前記した歪み波交流電圧波形 W_{ris} および歪み波交流電圧波形 W_{dwn} を用いる効果や、変圧器 7 を用いる効果が顕著となる。

[0053] また、実施形態のプラズマ発生方法は、一对の電極 9 2 に交流電圧を印加してプラズマを発生させるプラズマ発生方法であって、正弦波交流電圧波形 W_{sin} と比較して電圧波形の立ち上がりを早くする立ち上がり変調を施した歪み波交流電圧波形 W_{ris} 、および電圧波形の立ち下がり遅くする立ち下がり変調を施した歪み波交流電圧波形 W_{dwn} の少なくとも一方を出力する歪み波交流電源（パルス幅変調電源 2 および平滑回路 6）を用い、歪み波交流電圧波形 W_{ris} または歪み波交流電圧波形 W_{dwn} を一对の電極 9 2 に印加する。

[0054] これによれば、本発明は、プラズマ発生方法として実施することもできる。実施形態のプラズマ発生方法は、実施形態のプラズマ用電源装置 1 と同様に、交流電圧の 1 周期の中でプラズマの発生可能な時間帯を拡げることができる。したがって、実施形態のプラズマ発生方法は、プラズマ発生能力に優れる。

[0055] （5. 実施形態の応用および変形）

なお、実施形態で説明した第 1 ～第 17 区間 $R_1 \sim R_{17}$ 、およびデューティ比 $D_1 \sim D_{17}$ 、 $D_{1A} \sim D_{4A}$ 、 $D_{9A} \sim D_{12A}$ の設定方法は一例であって、変形例は多数ある。例えば、交流電圧の立ち上がりに対応する複数のパルス電圧波形のデューティ比が全て異なり、徐々に増加していてもよい。また、パルス周波数や交流周波数も適宜変更可能である。さらに、本発明のプラズマ用電源装置は、大気圧プラズマ装置への利用に限定されず、例

えば、変圧器 7 を省略して低気圧プラズマ装置に利用することもできる。本発明は、その他にも様々な応用や変形が可能である。

符号の説明

- [0056] 1 : プラズマ用電源装置 2 : パルス幅変調電源 3 : 直流電源
4 : パルス発生回路 4 1 : 第 1 スイッチング素子 4 2 : 第 2 スイッチング素子 4 3 : 第 3 スイッチング素子 4 4 : 第 4 スイッチング素子
5 : パルス制御部 6 : 平滑回路 7 : 変圧器 9 : 本体部
9 2 : 電極 9 3 : 大気圧ガス置換部 D 1 ~ D 1 7、D 1 A ~ D 4 A、D 9 A ~ D 1 2 A : デューティ比 W s i n : 正弦波交流電圧波形
W r i s : 歪み波交流電圧波形（立ち上がり変調） W d w n : 歪み波交流電圧波形（立ち下がり変調） Z P : ゼロ点 P P : 正ピーク点
Z N : ゼロ点 P N : 負ピーク点

請求の範囲

- [請求項1] 一対の電極に交流電圧を印加してプラズマを発生させるプラズマ用電源装置であって、
- 正弦波交流電圧と比較して電圧波形の立ち上がりを早くする立ち上がり変調、および前記電圧波形の立ち下がり遅くする立ち下がり変調の少なくとも一方を施した歪み波交流電圧を出力する歪み波交流電源を備えたプラズマ用電源装置。
- [請求項2] 前記歪み波交流電圧を変成して一対の前記電極に印加する変圧器をさらに備えた、請求項1に記載のプラズマ用電源装置。
- [請求項3] 前記歪み波交流電圧は、
- 前記正弦波交流電圧と比較して前記電圧波形のゼロ点、正ピーク点、および負ピーク点が時間軸上で移動せず、さらに、
- 前記ゼロ点から前記正ピーク点までの間および前記負ピーク点から前記ゼロ点までの間で電圧瞬時値が滑らかに単調増加し、かつ、前記正ピーク点から前記ゼロ点を経て前記負ピーク点までの間で前記電圧瞬時値が滑らかに単調減少する、
- 請求項1または2に記載のプラズマ用電源装置。
- [請求項4] 前記歪み波交流電源は、
- 正負それぞれ複数のパルス電圧波形のデューティ比を可変に調整して出力するパルス幅変調電源と、
- 正負それぞれ複数の前記パルス電圧波形を平滑して前記歪み波交流電圧にする平滑回路とを有する、
- 請求項1～3のいずれか一項に記載のプラズマ用電源装置。
- [請求項5] 前記パルス幅変調電源は、
- 直流電圧を出力する直流電源と、
- 4個のスイッチング素子のブリッジ接続によって構成され、前記直流電圧が入力されて、正負それぞれ複数の前記パルス電圧波形を出力するパルス発生回路と、

4個の前記スイッチング素子のスイッチング動作を制御して、正負それぞれ複数の前記パルス電圧波形の正負を制御し、かつ前記デューティ比を可変に調整するパルス制御部とを有する、

請求項4に記載のプラズマ用電源装置。

[請求項6] 前記パルス幅変調電源は、前記正弦波交流電圧を出力する場合と比較して、

前記電圧波形の前記立ち上がりに相当する前記パルス電圧波形の前記デューティ比を大きく調整する前記立ち上がり変調、および、

前記電圧波形の前記立ち下がりに相当する前記パルス電圧波形の前記デューティ比を大きく調整する前記立ち下がり変調の少なくとも一方を施す、

請求項4または5に記載のプラズマ用電源装置。

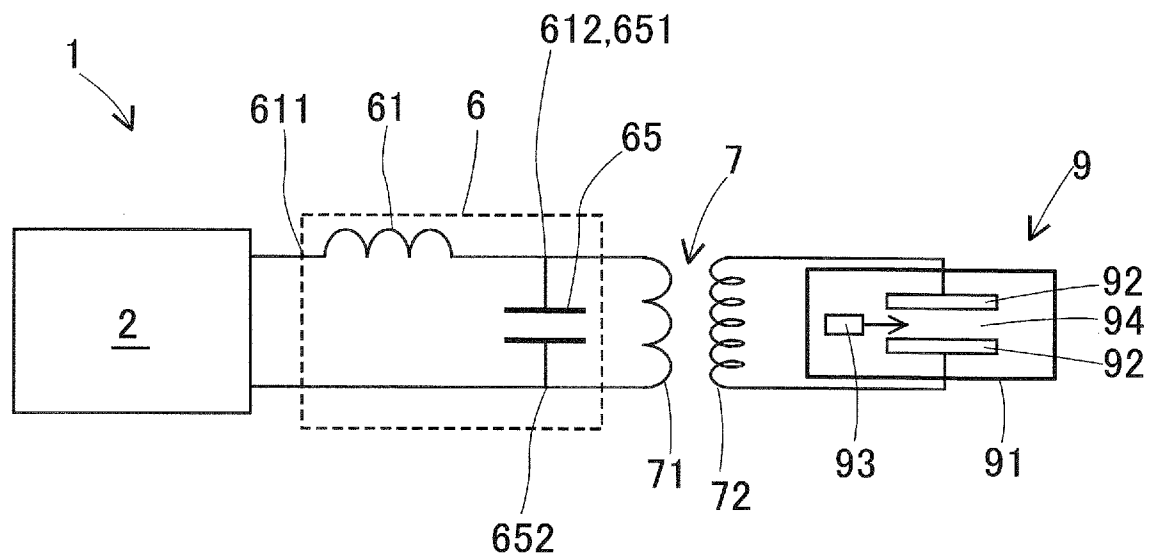
[請求項7] 前記プラズマを発生させる容器と、前記容器の内部に配置された一対の前記電極と、請求項1～6のいずれか一項に記載のプラズマ用電源装置と、を備えたプラズマ装置。

[請求項8] 一対の前記電極の間に大気圧の原料ガスを導入するとともに、一対の前記電極の間に発生した前記プラズマを移動させる大気圧ガス置換部をさらに備えた請求項7に記載のプラズマ装置。

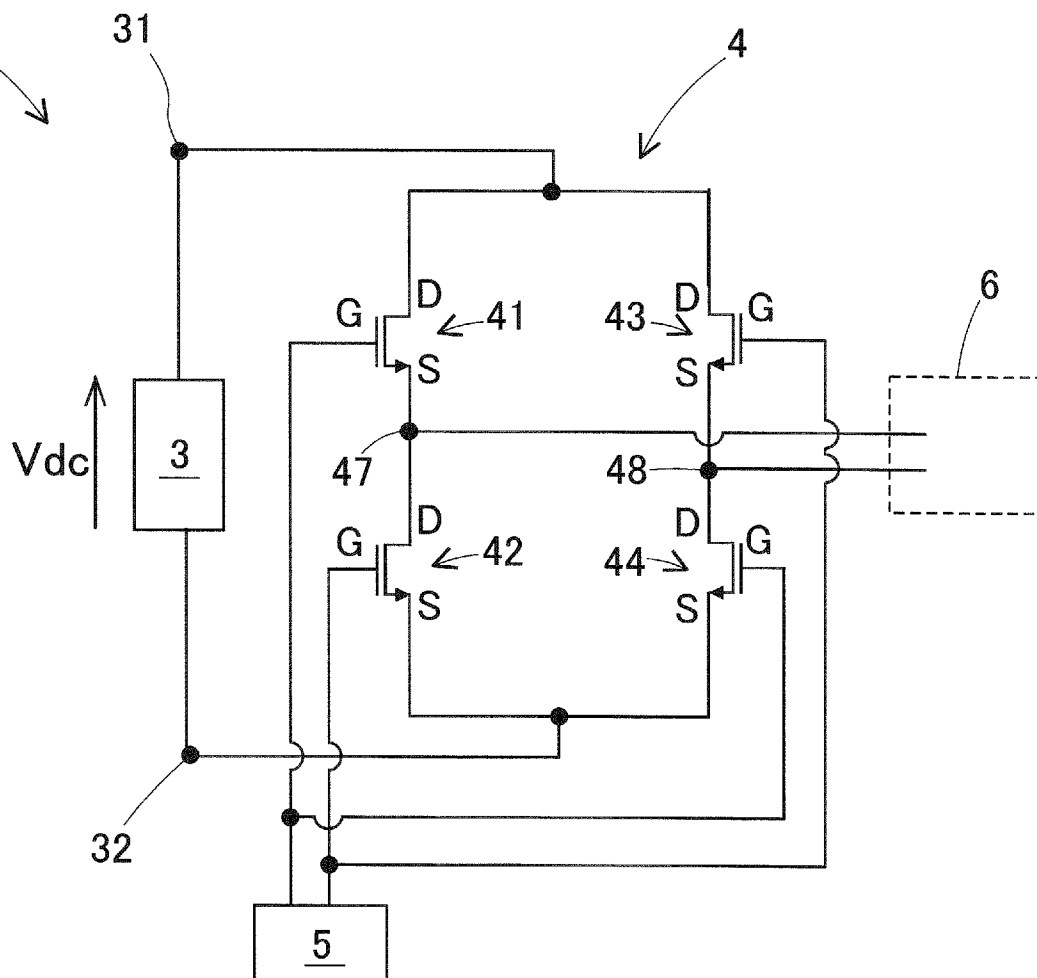
[請求項9] 一対の電極に交流電圧を印加してプラズマを発生させるプラズマ発生方法であって、

正弦波交流電圧と比較して電圧波形の立ち上がりを早くする立ち上がり変調、および前記電圧波形の立ち下がり遅くする立ち下がり変調の少なくとも一方を施した歪み波交流電圧を出力する歪み波交流電源を用い、前記歪み波交流電圧を一対の前記電極に印加するプラズマ発生方法。

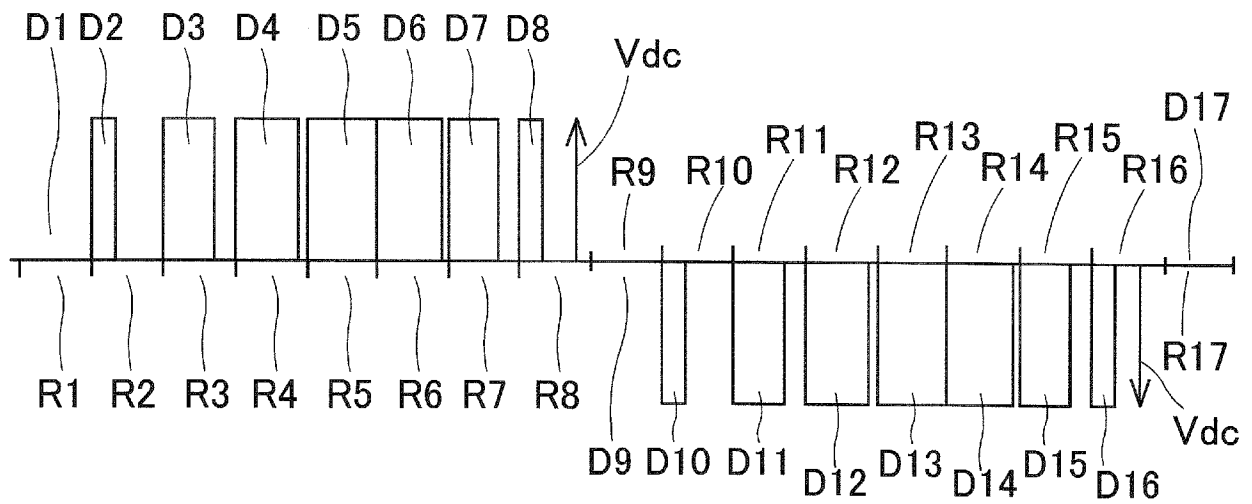
[図1]



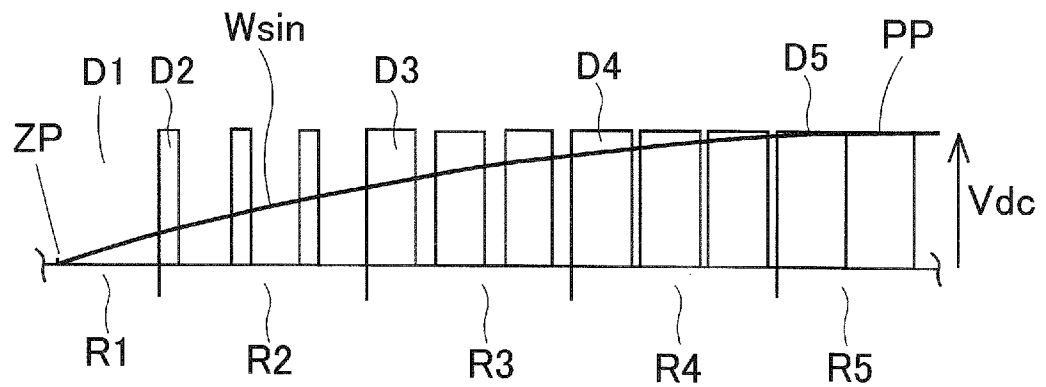
[図2]



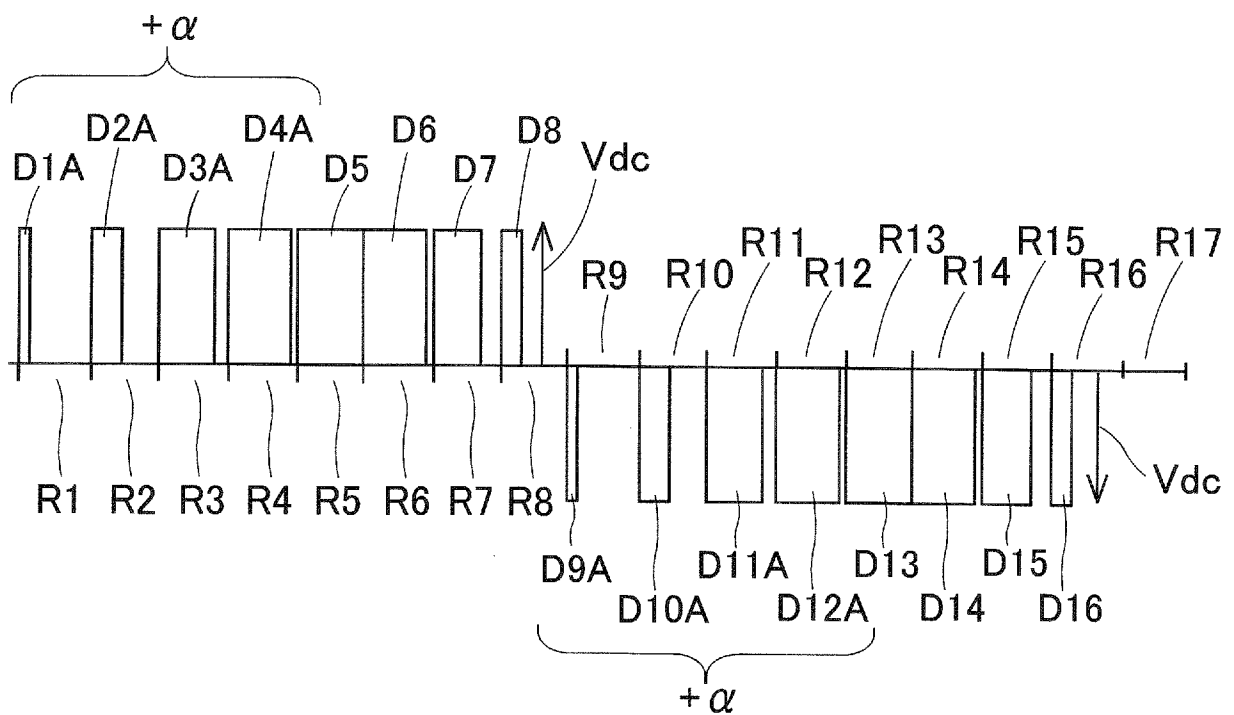
[図3]



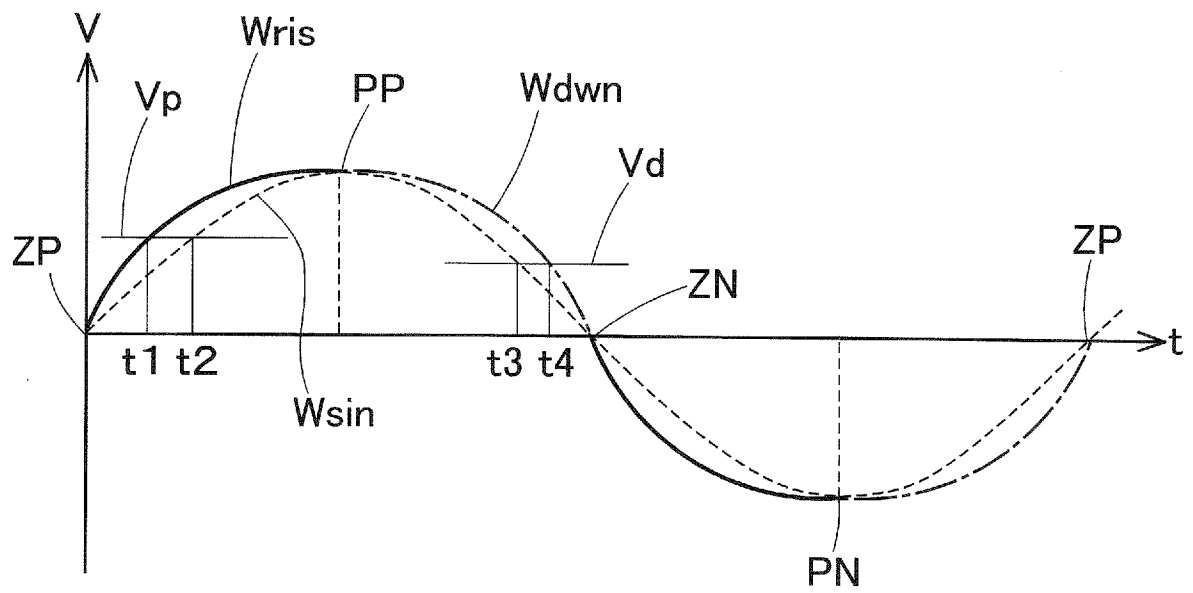
[図4]



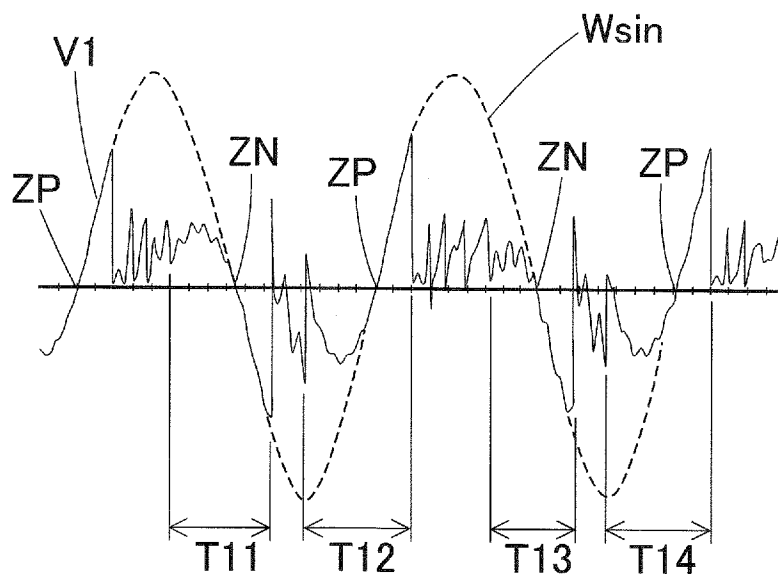
[図5]



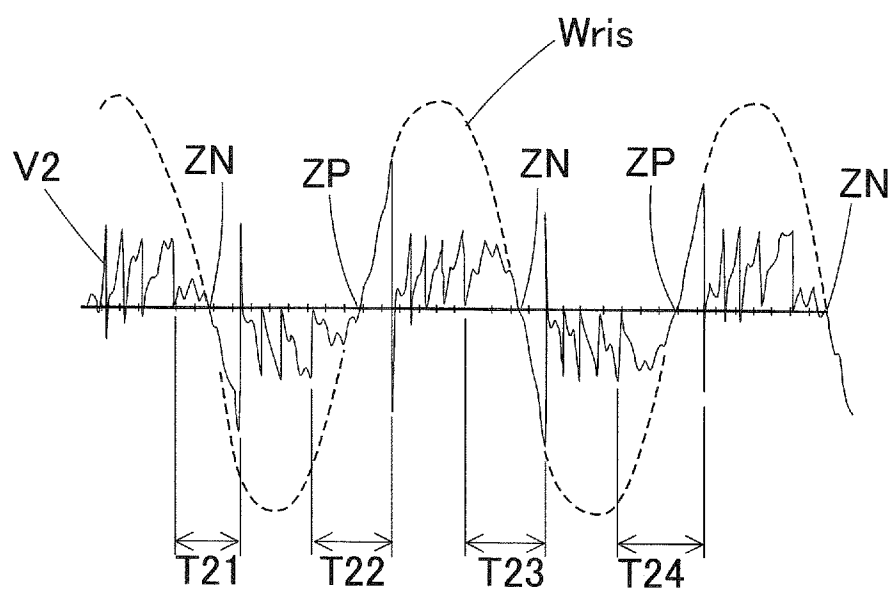
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/078301

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05H1/46(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)

H05H1/46

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2006-503404 A (Loughborough University Enterprises Ltd.), 26 January 2006 (26.01.2006), paragraphs [0019] to [0064]; fig. 8 & US 2006/0124612 A1 paragraphs [0024] to [0056]; fig. 8 & WO 2004/016052 A1	1, 7-9 2, 4-6 3
Y	JP 2013-135159 A (Tokyo Electron Ltd.), 08 July 2013 (08.07.2013), paragraphs [0017] to [0052]; fig. 1 to 7 & US 2014/0361690 A1 paragraphs [0032] to [0069]; fig. 1 to 7 & WO 2013/099133 A1 & CN 104025266 A	2, 4-6

☒ 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
24 November 2016 (24.11.16)

Date of mailing of the international search report
06 December 2016 (06.12.16)

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/JP2016/078301

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 2009-64618 A (Sharp Corp.), 26 March 2009 (26.03.2009), (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H05H1/46 (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. H05H1/46

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2006-503404 A (ラフバラ ユニバーシティ エンタープライズ リミテッド) 2006.01.26, 第【0019】-【0064】段落、第8図 & US 2006/0124612 A1 第【0024】-【0056】段落、第8図& WO 2004/016052 A1	1, 7-9 2, 4-6 3
Y	JP 2013-135159 A (東京エレクトロン株式会社) 2013.07.08, 第 【0017】-【0052】段落および第1-7図 & US 2014/0361690 A1 第【0032】 -【0069】段落および第1-7図& WO 2013/099133 A1 & CN 104025266 A	2, 4-6

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

24.11.2016

国際調査報告の発送日

06.12.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

青木 洋平

電話番号 03-3581-1101 内線 3273

21

3104

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 2009-64618 A (シャープ株式会社) 2009.03.26, (ファミリーなし)	1-9