(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4316173号
(P4316173)

(45)発行日　平成21年8月19日(2009.8.19)　(24)登録日　平成21年5月29日(2009.5.29)

(51)Int.Cl.		F I		
A61L 2/14	(2006.01)	A61L	2/14	
A61L 2/24	(2006.01)	A61L	2/24	
B01J 19/08	(2006.01)	B01J	19/08	E
H05H 1/24	(2006.01)	H05H	1/24	

請求項の数 15　外国語出願　(全 23 頁)

(21)出願番号　特願2001-306791 (P2001-306791)
(22)出願日　平成13年10月2日 (2001.10.2)
(65)公開番号　特開2002-263173 (P2002-263173A)
(43)公開日　平成14年9月17日 (2002.9.17)
審査請求日　平成16年9月30日 (2004.9.30)
(31)優先権主張番号　677534
(32)優先日　平成12年10月2日 (2000.10.2)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　591286579
エシコン・インコーポレイテッド
ＥＴＨＩＣＯＮ，　ＩＮＣＯＲＰＯＲＡＴＥＤ
アメリカ合衆国、ニュージャージイ州、サマービル、ユー・エス・ルート　２２
(74)代理人　100088605
弁理士　加藤　公延
(72)発明者　ミッチ・アガモハマディ
アメリカ合衆国、９２８６５　カリフォルニア州、オレンジ、イー・グローブ・アベニュー　１１０５

最終頁に続く

(54)【発明の名称】低周波プラズマを用いた消毒システムの電力システムおよび方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

プラズマ発生器と、消毒システムの真空チャンバ内のプラズマに与えられる、２００ｋＨｚ以下の周波数を有する電力の予め定められた平均電力値を制御可能に持続する電力フィードバック制御システムと、を備える消毒システムであって、当該電力フィードバック制御システムが、

電流モニタおよび電圧モニタを有する電力モニタであって、前記電流モニタは前記真空チャンバ内の前記プラズマに与えられる電流を示す第１の信号を生成するように構成され、前記電圧モニタは前記真空チャンバ内の前記プラズマに与えられる電圧を示す第２の信号を生成するように構成されており、前記電力モニタは、前記第１の信号と前記第２の信号とに応じた、前記真空チャンバ内の前記プラズマに与えられる電力を示す第３の信号を生成するように構成された、電力モニタと、

前記電力モニタからの前記第３の信号と、前記の予め定められた平均電力値に対応した参照信号とに応じて第４の信号を生成するように構成された電力制御モジュールと、

前記プラズマ発生器に接続され、前記第４の信号に応じて、前記プラズマに与えられる前記電力の前記予め定められた平均電力値を持続するために前記プラズマに与えられる電力を調整するように構成された電力制御器と、を備え、

前記電力制御器は、前記電力制御モジュールからの前記第４の信号に応じて、前記プラズマに与えられる電力のデューティ比を調整することによりまたは前記プラズマに与えられる電力の振幅を調整することにより、前記プラズマに与えられる電力を調整するように

構成された、
消毒システム。
【請求項２】
前記電流モニタは、電流センサと、第１のコンバータと、第１の電圧増幅器とを備える、請求項１に記載の消毒システム。
【請求項３】
前記電流モニタは、前記電力制御モジュールに接続された過電流検出器をさらに備える、請求項２に記載の消毒システム。
【請求項４】
前記電圧モニタは、降圧用の変圧器と、第２のコンバータと、第２の電圧増幅器とを備える、請求項１～３のいずれかに記載の消毒システム。
【請求項５】
前記電力制御モジュールは、電力制御処理器を備える、請求項１～４のいずれかに記載の消毒システム。
【請求項６】
前記電力制御処理器は、前記電力制御器、前記電力モニタ、および前記電流モニタに接続されている、請求項５に記載の消毒システム。
【請求項７】
前記電力制御モジュールは、誤り検出器をさらに備える、請求項１～６のいずれかに記載の消毒システム。
【請求項８】
前記誤り検出器は、過電力検出器および温度スイッチからなる群から選択される、請求項７に記載の消毒システム。
【請求項９】
前記電力制御モジュールは、ユーザの入力を受信して前記ユーザの入力を前記電力制御モジュールに送信するように構成されたユーザインタフェイスに接続されている、請求項１～８のいずれかに記載の消毒システム。
【請求項１０】
前記電力は１０ｋＨｚ以下の周波数を有する、請求項１～９のいずれかに記載の消毒システム。
【請求項１１】
前記電力は４００Ｈｚ以下の周波数を有する、請求項１～９のいずれかに記載の消毒システム。
【請求項１２】
消毒システムの真空チャンバ内のプラズマに与えられる、２００ｋＨｚ以下の周波数を有する電力の予め定められた平均電力値を制御可能に持続する方法であって、
前記真空チャンバ内の前記プラズマに与えられる電流を監視し、当該電流を示す第１の信号を生成することと、
前記真空チャンバ内の前記プラズマに与えられる電圧を監視し、当該電圧を示す第２の信号を生成することと、
前記プラズマに与えられる電力の前記予め定められた平均電力値を持続するために、前記第１の信号と前記第２の信号とに応じて、前記プラズマに与えられる電力を調整することと、を含み、
前記プラズマに与えられる電力を調整することは、前記プラズマに与えられる電力のデューティ比を調整すること、または、
前記プラズマに与えられる電力の振幅を調整することにより行われる、
方法。
【請求項１３】
前記電力は１０ｋＨｚ以下の周波数を有する、請求項１２に記載の方法。
【請求項１４】

前記電力は４００Ｈｚ以下の周波数を有する、請求項１２に記載の方法。
【請求項１５】
消毒システムであって、
プラズマを収納するように構成された真空チャンバと、
前記プラズマに電力を与えるために前記真空チャンバに接続されたプラズマ発生器と、
電力フィードバック制御システムと、
を備え、
前記電力フィードバック制御システムは、
前記真空チャンバ内のプラズマに与えられる電流を示す第１の信号を生成するように構成された電流モニタと、前記真空チャンバ内の前記プラズマに与えられる電圧を示す第２の信号を生成するように構成された電圧モニタとを含み、前記第１の信号と前記第２の信号とに応じた、前記真空チャンバ内の前記プラズマに与えられる電力を示す第３の信号を生成するように構成された電力モニタと、
前記電力モニタからの前記第３の信号と、予め定められた電力値に対応した参照信号とに応じた第４の信号を生成するように構成された電力制御モジュールと、
前記プラズマ発生器に接続され、前記第４の信号に応じて、前記プラズマに与えられる前記電力の前記予め定められた電力値を持続するために前記プラズマに与えられる電力を調整するように構成された電力制御器と、
を備え、
前記電力制御器は、前記電力制御モジュールからの前記第４の信号に応じて、前記プラズマに与えられる電力のデューティ比を調整することによりまたは前記プラズマに与えられる電力の振幅を調整することにより、前記プラズマに与えられる電力を調整するように構成された、
消毒システム。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、ガス放電プラズマを用いた消毒システムでガス放電プラズマを制御するシステムおよび方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】
プラズマ、特に高周波（ＲＦ）発生器を用いて生成されたプラズマは、医療器具を消毒するための工程で役立つ装置として知られている。例えば、Ｊａｃｏｂｓらの米国特許第４，６４３，８７６号および同第４，７５６，８８２号は、ＲＦプラズマを用いる低温消毒システムで過酸化水素を前駆体として使用することを開示する。これらの公報は、参照されることにより、この出願の一部をなす。過酸化水素の蒸気とＲＦプラズマを組み合わせることにより、極めて有害な物質を使用したり残留させたりすることなく、有害な副産物を生成することもない、医療器具の効率的な消毒方法を実現できる。同様に、Ｊａｃｏｂｓの米国特許第５，３０２，３４３号およびＧｒｉｆｆｉｔｈｓらの米国特許第５，５１２，２４４号は、消毒方法でのＲＦプラズマの使用を開示する。
【０００３】
【発明が解決しようとする課題】
しかし、消毒方法でのＲＦプラズマの使用には以下のような問題がある。すなわち、ＲＦプラズマでは、消毒される物品に過酸化水素が残留してしまうことがある。消毒される物品に残される過酸化水素の残留量は、物品に与えられるＲＦ電力およびＲＦプラズマにさらされる時間および物品の材料によって異なる。例えば、ある種のプラスチック（例えばプリウレタン）は過酸化水素を吸収するが、他の材料（例えばテフロン（ポリテトラフルオロエチレンを表す登録商標））は比較的少ない過酸化水素しか吸収しないので、消毒後に過酸化水素をあまり残さない。
【０００４】

また、ＲＦプラズマを発生させるために、例えば６０Ｈｚといった低周波のライン電圧から、例えばおよそ１ＭＨｚ乃至１ＧＨｚにわたる高周波電圧にエネルギ変換する場合における固有の問題として、システムの電力効率が通常５０％未満にまで制限されてしまうという非効率さがある。さらに、ＲＦ発生器とそこから給電される装置の間に必要とされるインピーダンス整合回路網の損失によって、エネルギ効率は通常５％乃至２０％低下してしまう。このような低いエネルギ効率によって、消毒される物品に与えられる電力あたりのコストが非常に上昇してしまう。さらに、ＲＦ電気エネルギを使用するのに必要な装置類（例えばＲＦ発生器、インピーダンス整合回路網、監視回路）は高価であり、消毒される物品に与えられる電力あたりのコストがさらにこのために上昇する。

【０００５】

【課題を解決するための手段】

本発明の一つの特徴は、消毒システムであり、この消毒システムは、物品からガスまたは蒸気化学種を取り除くために消毒システムの真空室の内部の低周波プラズマに与えられる電力を調整する低周波電力フィードバック制御システムを備える。この電力は、０ｋＨｚ乃至約２００ｋＨｚの周波数を有する。この低周波電力フィードバック制御システムは、真空室の内部の低周波プラズマに与えられる電力を示す第１の信号を生成するのに適した電力モニタを備える。この低周波電力フィードバック制御システムはさらに、電力モニタからの第１の信号に応じて第２の信号を生成するのに適した電力制御モジュールと、物品が処理されている間に、低周波プラズマに与えられるほぼ一定の平均電力を持続するために、第２の信号に応じて、低周波プラズマに与えられる電力を調整して、電力制御器とを備える。

【０００６】

本発明の他の一つの特徴は、物品からガスまたは蒸気化学種を取り除くために消毒システムの真空室の内部の低周波プラズマに与えられる電力を調整する方法である。この電力は、０ｋＨｚ乃至約２００ｋＨｚの周波数を有する。この方法は、真空室の内部の低周波プラズマに与えられる電力を監視することを備える。この方法はさらに、低周波プラズマに与えられる電力を示す第１の信号を生成することを備える。さらにこの方法は、物品が処理されている間に、低周波プラズマに与えられるほぼ一定の平均電力を持続するために、第１の信号に応じて、低周波プラズマに与えられる電力を調整することを備える。

【０００７】

【発明の実施の形態】

低周波（ＬＦ）電圧を用いたガス放電プラズマの生成は、高周波（ＲＦ）電圧によるプラズマを生成して使用する消毒装置および方法の技術の現況に固有の様々な問題を解決する。まず、ＬＦプラズマの方法では、ＲＦプラズマの方法に比べて消毒される物品に残留する反応性のある化学種の量が少ない。第二に、ＬＦプラズマの生成は、ライン電圧からの周波数変換が少なくて済むか不要であるために、高エネルギ効率である。例えば、６０Ｈｚのライン電圧の周波数を周波数変換しないのであれば、消毒システムのエネルギ効率は約８５％乃至９５％にまで達する。また、ＬＦ電圧を使用すると、インピーダンス整合回路網が不要となり、これに伴うエネルギ損失も回避される。第三に、ＬＦ生成の簡単な装置類と高エネルギ効率のために、ＬＦプラズマを用いて消毒する物品に与えられる電力あたりのコストは、ＲＦプラズマを用いた場合の電力あたりのコストの１０分の１にまで低くすることができる。第四に、ＬＦプラズマを生成するために用いられる簡単な装置は、より信頼性が高く頑丈であって、故障診断装置類の構造の複雑化をさほどもたらさないことが分かっている。

【０００８】

図１は、消毒システム１０を備える本発明の好適な実施の形態を示す図である。消毒システム１０は、真空室１２と、真空ポンプ１４と、真空ポンプライン１５と、真空ポンプ弁１６と、反応性薬品源１８と、反応性薬品ライン１９と、反応性薬品弁２０と、低周波（ＬＦ）電力モジュール２２と、ＬＦ電圧信号線２４と、通気ベント（vent）２６と、通気ベントライン２７と、通気ベント弁２８と、処理制御モジュール３０と、電極３２と、反

応性薬品モニタ３４を備える。当業者であれば、図１に示されたものと異なる構成を有する消毒システムを備える他の実施の形態も本発明に適合すると理解する。

【０００９】

本発明の好適な実施の形態では、消毒されるべき物品（図１には示さない）は、消毒される製品を包装するのに普通に利用されている様々な包装材で包装されている。好ましい包装材は、「ＴＹＶＥＫ」という商標で普通に入手可能なスパンボンド法によって製造されたポリエチレン包装材、あるいは「ＴＹＶＥＫ」と「ＭＹＬＡＲ」という商標で普通に入手可能なポリエチレンテレフタレートの包装材材料との組成物である。ポリプロピレンのような他の類似の包装材も利用可能である。紙の包装材も使用可能である。紙の包装では、反応性薬品と紙との起こりうる相互反応のために、消毒を実行するにはより長い処理時間が必要となるかもしれない。

【００１０】

好適な実施の形態の真空室１２は、約４０Ｐａ（０．３Ｔｏｒｒ）未満の真空にも耐えられるように十分に気密である。真空室１２には圧力モニタ（図示せず）が接続されており、この圧力モニタは処理制御モジュール３０にも接続されており、真空室１２内の全体の圧力の計測結果を通知する。また、真空室１２には、反応性薬品モニタ３４が接続されており、この反応性薬品モニタ３４は真空室１２の内部の反応性薬品の量を検出することが可能である。例示された本発明の実施の形態においては、反応性薬品は過酸化水素であって、反応性薬品モニタ３４は、ある波長特性の紫外線の過酸化水素による吸収を計測する。本発明に適合する反応性薬品の他の検出方法には、圧力計測、近赤外線吸収、および露点計測があるが、これらには限られない。反応性薬品モニタ３４は、処理制御モジュール３０にも接続されており、処理制御モジュール３０に検出された反応性薬品の量を通知する。

【００１１】

本発明の好適な実施の形態では、真空室１２の内部には電極３２が配置されており、電極３２は真空室１２から電気的に絶縁されている。電極３２は、導電性があり、電極３２の各側部におけるガスとプラズマ化学種の間の流動を高めるために穿孔されている。好適な実施の形態の電極３２は、真空室１２の内面形状にほぼ合致した形状をしており、真空室１２の壁から約１インチ乃至２インチ離れていて、真空室１２と電極３２との間のギャップ領域を画定する。電極３２はＬＦ電圧信号線２４を介してＬＦ電力モジュール２２に接続されている。好適な実施の形態では、分流のキャパシタと分流の抵抗器を介して電気的に接地された真空室１２によって、真空室１２と電極３２の間のＬＦ電圧を与えると、ＬＦ電界が形成される。ＬＦ電界は、前記のギャップ領域と電極３２の端縁の近傍を含む第１の領域３１で強いが、消毒される物品が配置される第２の領域３３では弱い。

より一般的に、他の実施の形態では、真空室１２の内部の第２の電極と電極３２との間にＬＦ電圧を与えることによって、ＬＦ電界を発生させることも可能である。このような実施の形態では、第１の領域３１は二つの電極の間のギャップ領域と、一つまたは両方の電極の端縁の近傍を含む。真空室１２が第２の電極として作用する前記の好適な実施の形態は、ガスプラズマを生成する多くの様々な方法のうちの一例である。

【００１２】

図２に示された好ましい実施の形態では、円筒形の電極３２は、その開放された両端部と側部の孔によって、電極３２の各側部におけるガスとプラズマの間の流体的な伝達をもたらす。これらの開放された両端部と孔によって、ガス化学種とプラズマ化学種は、電極３２と真空室１２の壁の間の第１の領域３１と、消毒される物品が配置される第２の領域３３の間を自由に移動することができる。同様に、図３乃至図１０に示された電極３２の他の形態も、第１の領域３１と第２の領域３３との間の流動の移動をもたらす。図３は、開放された両端部と、側部に沿って鎧戸状に形成された開口部を有する円筒形の電極３２を概略的に示す図である。図４は、開放された両端部と孔のない側部を有する円筒形の電極３２を概略的に示す図である。図５は、開放された端部と孔のない側部を有する一連の同軸上の円筒形セグメントを有する電極３２を概略的に示す図である。図６は、開放された

端部と孔のない側部を有する円筒の部分の形状を有する電極３２を概略的に示す図である。図７は、開放された端部と孔のない側部を有する、円柱的に均整で長手方向に不均整な電極３２を示す概略図である。
図８は、開放された端部と孔のない側部を有する、非対称な電極３２を示す概略図である。プラズマを発生させるために一つより多い電極を使用することも可能である。
図９は、開放された端部と孔のない側部を有する円筒形の第１の電極３２と、第１の電極３２とほぼ同軸のワイヤを有する第２の電極３２’とを有する電極装置を示す概略図である。ＬＦ電圧は、第１の電極３２と第２の電極３２’の間に印加される。この実施の形態では、第１の領域３１は第１の電極３２と第２の電極３２’の間の領域であり、第２の領域３３は電極３２と真空室１２の間である。
図１０は、ほぼ正方形または長方形の真空室１２の内部のほぼ正方形または長方形の電極３２を示す概略図である。図２乃至図９に概略的に示されたほぼ円筒形の電極の様々な構成は、図１０に示されたほぼ正方形または長方形の電極にも応用することができる。これらの電極３２の実施の形態は、それぞれ第１の領域３１と第２の領域３３との間の流体の移動をもたらすようになっている。

【００１３】

好適な実施の形態の真空ポンプ１４は、真空ポンプライン１５と真空ポンプ弁１６を介して真空室１２に接続されている。真空ポンプ１４および真空ポンプ弁１６はともに、処理制御モジュール３０に接続されており、処理制御モジュール３０により制御される。真空ポンプ弁１６を開放することにより、真空室１２の内部のガスは真空室１２から真空ポンプ１４によって真空ポンプライン１５を通って排出される。ある実施の形態では、真空ポンプ弁１６は真空室１２の内部の圧力を調整および制御するために様々な段階で開放されることが可能になっている。

【００１４】

好適な実施の形態の反応性薬品源１８は、真空室１２に反応性薬品ライン１９および反応性薬品弁２０を介して接続された流体源である。反応性薬品弁２０は処理制御モジュール３０に接続されており、処理制御モジュール３０により制御される。好適な実施の形態の反応性薬品源１８は、反応性薬品の化学種を収容する。好適な実施の形態では、反応性薬品の化学種は、過酸化水素のような滅菌剤または消毒剤である殺菌剤を含有する。また、反応性薬品源１８から供給される殺菌剤は、気体または蒸気の形態をとっていてもよい。反応性薬品弁２０を開放することによって、反応性薬品源１８からの反応性薬品の原子および分子は、反応性薬品ライン１９を経て真空室１２の内部に送り届けられる。ある実施の形態では、反応性薬品弁２０は、真空室１２の内部の反応性薬品の圧力を調整するために様々な段階で開放されることが可能になっている。典型的な本発明の実施の形態では、反応性薬品源１８の反応性薬品の化学種は、過酸化水素分子を含有する。

【００１５】

好適な実施の形態の通気ベント２６は、通気ベントライン２７および通気ベント弁２８を介して真空室１２に接続されている。通気ベント弁２８は、処理制御モジュール３０に接続されており、処理制御モジュール３０により制御される。通気ベント弁２８を開放することにより、通気ガスが通気ベントライン２７を経て真空室１２に漏らされる。ある実施の形態では、通気ベント弁２８は、真空室１２の内部の空気の圧力を調整するために様々な段階で開放されることが可能になっている。典型的な本発明の実施の形態では、通気ベント２６は、濾過された空気を通気ガスとして供給する高効率粒子濾過空気（ＨＥＰＡ）ベントである。本発明に適合する他の通気ガスには、乾燥窒素またはアルゴンが含まれるが、これらには限られない。

【００１６】

処理制御モジュール３０は、消毒システム１０の様々な構成要素に接続されて、消毒システム１０を制御する。本発明の代表的な実施の形態では、処理制御モジュール３０は、他の構成要素から受信した様々な信号に応答して、制御信号を様々な他の構成要素に供給するように構成されたマイクロプロセッサである。

【００１７】
好適な実施の形態のＬＦ電力モジュール２２は、ＬＦ電圧信号線２４を介して電極３２に接続されているとともに、処理制御モジュール３０に接続されており、処理制御モジュール３０により制御される。ＬＦ電力モジュール２２は、真空室１２内に低周波プラズマを発生させるために、電極３２と真空室１２との間に低周波電圧を印加するようになされている。図１１および図１２は、プラズマに与えられる低周波電力を制御する位相角制御法に適したＬＦ電力モジュール２２の実施の形態を概略的に示す図である。図１１および図１２に示されるように、ＬＦ電力モジュール２２は、過電力リレー４０と、一対の金属酸化物バリスタ４２と、昇圧用の変圧器５０と、フライバック分流素子６２と、インダクタ６４と、キャパシタ６６と、ＬＦ電力フィードバック制御システム７０とを備える。図１１および図１２に示されたＬＦ電力フィードバック制御システム７０は、電力制御器６０と、電流モニタ８０と、電圧モニタ９０と、電流モニタ８０および電圧モニタ９０に接続された電力モニタ（乗算器）１００を備える。ライン電圧（通常は、交流の２００Ｖ乃至２４０Ｖで５０／６０Ｈｚ）は、ＬＦ電力フィードバック制御システム７０に接続された過電力リレー４０が閉じているときに、過電力リレー４０を介して昇圧用の変圧器５０に供給される。他の周波数のために、ＬＦ電力モジュール２２は低周波数、すなわち数百ｋＨｚまでの周波数を供給するスイッチングモジュールを有していてもよい。

【００１８】
図１１および図１２に示された実施の形態において、金属酸化物バリスタ（ＭＯＶ）４２は、一時的な電圧のインパルスを抑制するために使われる。各金属酸化物バリスタ４２は、低いピーク通過電圧（let-through voltage）での大きなインパルスに耐えうる多接続固体素子（multiple-junction solid-state device）である。金属酸化物バリスタ４２は、通常より高い電圧で低いインピーダンスを持ち、通常の電圧で高いインピーダンスを持った高速で動作する可変抵抗器として動作する。金属酸化物バリスタ４２は、特定の電圧形態および様々なインパルスの程度の目的に合うように製造されている。当業者であれば、本発明に適する金属酸化物バリスタ４２を選択することが可能である。

【００１９】
昇圧用の変圧器５０の出力電圧は、好ましくは約１００V_{rms}乃至１０００V_{rms}であり、さらに好ましくは約２００V_{rms}乃至５００V_{rms}であり、最も好ましくは約２５０V_{rms}乃至４５０V_{rms}である。昇圧用の変圧器５０の出力電圧は、電力制御器６０に伝達され、電力制御器６０はこのＬＦ電圧をフライバック分流素子６２、インダクタ６４、キャパシタ６６およびＬＦ電力フィードバック制御システム７０を介して電極３２および真空室１２に与える。フライバック分流素子６２は、フライバック電流のための、かつ回路を調整するための経路を提供する。好適な実施の形態では、フライバック分流素子６２は、約１５００オームの負荷抵抗器である。他の実施の形態では、フライバック分流素子６２は、電圧スパイク抑制装置（snubber）であってもよい。インダクタ６４のインダクタンスは、ＬＦ電流のノイズスパイクを制限するように選択され、通常は約５００ｍＨである。キャパシタ６６のキャパシタンスは、直列のＬＣ（インダクタンス・キャパシタンス）回路の共振周波数を印加されるＬＦ電圧の周波数に合致させることによって、ＬＦプラズマへの電力伝達の効率を最大にするように選択される。６０Ｈｚ電圧で５００ｍＨのインダクタンスでは、キャパシタンスを約１３．６μＦにすれば、直列のＬＣ回路のインピーダンスがほぼゼロとなる共振状態をもたらし、伝達されるＬＦ電力を最大にする。当業者であれば、本発明に適した方式で印加されるＬＦ電圧の周波数によって異なるこれらの構成要素のための適切な数値を選択することができる。

【００２０】
図１３および図１４は、プラズマに与えられる低周波電力を制御する振幅制御法に適したＬＦ電力モジュール２２の実施の形態を概略的に示す図である。図１３および図１４に示されるように、ＬＦ電力モジュール２２は、過電力リレー４０と、一対の金属酸化物バリスタ４２と、昇圧用の変圧器５５と、ＬＦ電力フィードバック制御システム７０を備える。図１３および図１４に示されるＬＦ電力フィードバック制御システム７０は、高電圧（

ＨＶ）直流電源５１、電圧制御発振器（ＶＣＯ）５２、電圧制御増幅器（ＶＣＡ）５３、ＨＶ演算増幅器５４、電流モニタ８０、電圧モニタ９０、および電流モニタ８０と電圧モニタ９０に接続された電力モニタ（乗算器）１００を備える。ライン電圧は、ＬＦ電力フィードバック制御システム７０に接続された過電力リレー４０が閉じているときに、過電力リレー４０を介してＨＶ直流電源５１に供給される。ＨＶ直流電源５１の出力は、好ましくは直流の約１００Ｖ乃至１０００Ｖであり、さらに好ましくは直流の約２００Ｖ乃至５００Ｖであり、最も好ましくは直流の約２５０Ｖ乃至４５０Ｖである。

【００２１】

図１３および図１４に示された実施の形態において、ＶＣＯ５２は、一定振幅で、一定の低い周波数（０ＭＨｚ乃至１ＭＨｚ）のサイン波状の出力を生成する。この低い周波数は、ＶＣＯ５２に適当なセットポイント電圧を供給するために選択される。これに代わる代替的な実施の形態では、例えば三角波または矩形波のような他の波形を利用してもよい。ＶＣＯ５２のＬＦ出力は、ＶＣＡ５３に供給され、ＶＣＡ５３は、低周波プラズマに与えられるほぼ安定した平均電力を持続するための電力制御器として機能する。電力制御モジュール１１０から与えられるフィードバック信号に応じて、ＶＣＡ５３はＶＣＯ５２のＬＦ出力を増幅して、振幅が交流の０ないし１２Ｖの間である増幅されたＬＦ電圧を生成する。増幅されたＬＦ電圧は、ＶＣＡ５３からＨＶ演算増幅器５４に供給され、これに応じてＨＶ演算増幅器５４は高電圧ＬＦ出力を生成する。この高電圧ＬＦ出力は、ＶＣＡ５３で増幅されたＬＦ電圧の振幅によって定められた振幅を有する。適切なＨＶ演算増幅器は、例えばアリゾナ州タスコン（Tuscon）のＡｐｅｘ　ＭｉｃｒｏｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙからＰＡ９３という部品番号で入手可能であり、当業者であれば、本発明に適するＨＶ演算増幅器５４を選択することが可能である。通常、ＨＶ演算増幅器５４からの高電圧ＬＦ出力は交流の約１００Ｖ乃至１５０Ｖである。プラズマへ与えられるＬＦ電圧の振幅を増大させるために、ＨＶ演算増幅器５４からの高電圧ＬＦ出力は図１３および図１４に示されるように、さらに昇圧用の変圧器５５で増幅される。ただし、ＨＶ演算増幅器５４が、プラズマへ与えられる所望の振幅を持った高電圧ＬＦ出力を発生させることができるのであれば、この昇圧用の変圧器５５は省略してもよい。

【００２２】

図１１および図１２に示された位相角制御の実施の形態と、図１３および図１４に示された振幅制御の実施の形態の両方において、ＬＦ電力モジュール２２のＬＦ電力フィードバック制御システム７０は、さらに電力制御モジュール１１０を備えており、電力制御モジュール１１０は電力モニタ１００に接続され、電力モニタ１００は電流モニタ８０および電圧モニタ９０に接続されている。電流モニタ８０は、電極３２と真空室１２を流れるＬＦ電流を計測する。本発明の好適な実施の形態では、電流モニタ８０は、計測されるリアルタイムの、サイクルにより異なるＬＦ電流を示す出力電圧を生成する電流センサ８２と、電流センサ８２の出力電圧のＲＭＳ（二乗平均）に応じて直流電圧を生成する第１のコンバータ８４と、第１のコンバータ８４からの直流電圧を増幅してリアルタイムの電流信号を生成する第１の電圧増幅器８６とを備える。さらに、電流モニタ８０は過電流検出器８８を備え、過電流検出器８８は第１のコンバータ８４からの直流電圧をリアルタイムで監視し、例えば電極３２と真空室１２との間の短絡などの理由で、ＬＦ電流があらかじめ設定された値を超えたならば、エラー信号を電力制御モジュール１１０に送信する。この場合には、ＬＦ電圧はただちに止められる。このことは、数サイクルを浪費することになるが、所定の許容誤差より大きくは平均電力が影響を受けないように電力は安定化される。

【００２３】

電圧モニタ９０は、電極３２と真空室１２との間のＬＦ電圧を計測する。本発明の好適な実施の形態では、電圧モニタ９０は、計測されるリアルタイムの、サイクルにより異なるＬＦ電圧を示す出力電圧を生成する降圧用の変圧器９２と、降圧用の変圧器９２の出力電圧のＲＭＳ（二乗平均）に応じて直流電圧を生成する第２のコンバータ９４と、第２のコンバータ９４からの直流電圧を増幅してリアルタイムの電圧信号を生成する第２の電圧増

幅器９６とを備える。

【００２４】

好適な実施の形態では、電力モニタ１００はさらに電流モニタ８０からの直流電圧と電圧モニタ９０からの直流電圧を受けて、これらの二つの電圧を乗算して、リアルタイムの電力信号を生成する乗算器を備える。リアルタイムの電力信号は、電極３２と真空室１２との間のプラズマに印加されるＬＦ電力に比例しており、リアルタイムの電流信号とリアルタイムの電圧信号に応じて生成され、電力制御モジュール１１０に送信される。他の実施の形態では、電力モニタ１００は、リアルタイムのプラズマのインピーダンスを示す信号、およびリアルタイムの電流信号とリアルタイムの電圧信号のいずれかを用いることによって、プラズマに印加される電力を監視する。さらに他の実施の形態では、例えばプラズマにより発生するグロー放電の明るさに比例するリアルタイムの信号のような、プラズマに印加される電力を間接的に示す他のリアルタイムの信号を用いることによって、プラズマに印加される電力を監視する。当業者であれば、本発明に適した適切な電力モニタ１００を選択することができる。

【００２５】

好適な実施の形態の電力制御モジュール１１０は、過電力検出器１１２のような誤り検出器を有しており、過電力検出器１１２は電力モニタ１００からのリアルタイムの電力信号を監視して、ＬＦ電力があらかじめ設定された値を越えたならば、過電力リレー４０を開放し、ＬＦプラズマを消滅させる。この後の再開の制御は、ユーザまたはソフトウエアによって行われる。好適な実施の形態の電力制御モジュール１１０は、過熱状態を検出する温度スイッチ１１４のようなさらに別の誤り検出器と、電力制御処理器１２０を備える。

【００２６】

好適な実施の形態では、電力制御処理器１２０はＬＦ電力フィードバック制御システム７０の状態を監視して制御する。電力制御処理器１２０は、ユーザインタフェイス１２２に接続されており、ユーザインタフェイス１２２は選択された電力量設定および選択された電力オン／オフ設定に関するユーザの入力を供給する。電力制御処理器１２０はさらに電力モニタ１００、温度スイッチ１１４および過電流検出器８８に接続されている。好適な実施の形態では、電力量設定は、８００Ｗと６００Ｗの二つの電力レベルから選択可能にされている。電力が供給され始めると、電力制御処理器１２０の好適な実施の形態は、急激な電流増加を最小限にするソフトスタート状態を確実に持続する。さらに、ユーザインタフェイス１２２は、ユーザに通知される、消毒システム１０の状態を示す信号を電力制御処理器１２０から受信する。

【００２７】

図１１および図１２に示される位相角制御の実施の形態では、電力制御処理器１２０は、電力制御器６０にも接続されている。この実施の形態では、エラー状態を回避しながら、ＬＦプラズマに与えられるほぼ安定したＬＦ電力を持続させるために、電力制御処理器１２０は、ユーザインタフェイス１２２、電力モニタ１００、過電流検出器８８および温度スイッチ１１４からの信号に応じて電力制御器６０に信号を送信する。

図１３および図１４に示される振幅制御の実施の形態では、電力制御処理器１２０はＶＣＡ５３に接続されている。この実施の形態では、エラー状態を回避しながら、ＬＦプラズマに与えられるほぼ安定したＬＦ電力を持続させるために、電力制御処理器１２０はユーザインタフェイス１２２、電力モニタ１００、過電流検出器８８および温度スイッチ１１４からの信号に応じてＶＣＡ５３に信号を送信する。図１１および図１２ならびに図１３および図１４に示される両方の実施の形態では、電力制御処理器１２０は通常は、指定された電力レベルの約０％乃至１０％の許容差の範囲内でＬＦプラズマに与えられるＬＦ電力を持続させる。

【００２８】

図１１および図１２ならびに図１３および図１４は、ＬＦ電力モジュール２２の単に特定の実施の形態を示す図であるから、図１１および図１２ならびに図１３および図１４に示される全ての構成要素が本発明を実現するのに必要というわけではないことに留意すべき

である。これらの構成要素は、自動化、安全性、調整、効率および便宜的な目的で設けられた構成要素も含んでいる。本発明に適する他の実施の形態は、これらの構成要素のいくつかまたは全てを有していなくてもよく、あるいは他の構成要素を有していてもよい。

【００２９】

電力制御処理器１２０からの信号に応じて、図１１および図１２に示された実施の形態の電力制御器６０は、位相角制御を用いて、電極３２と真空室１２との間に与えられるＬＦ電力を制御する。位相角制御では、ＬＦ電力のデューティ比はサイクル期間の部分Δにおける電極３２と真空室１２に与えられる電圧と電流をゼロにすることにより修正される。このような位相角制御は、電気加熱器または電気炉からの電力を一定に持続させるのに多用されている。図１５は、１００％のデューティ比（Δ＝０）およびより少ないデューティ比（Δ≠０）での電圧および電流を概略的に示す図である。通常の動作の間、計測されたＬＦ電力に応じた電力制御モジュール１１０に受信されるフィードバックされたリアルタイムの信号に応じてＬＦ電力のデューティ比を動作中に調整することにより、電力制御器６０はプラズマに与えられるＬＦ電力を一定に持続する。過電流検出器８８または温度スイッチ１１４により誤り状態が検出されると、電力制御処理器１２０はＬＦ電力のデューティ比を減少させることによりＬＦ電力を減少させ、ユーザインタフェイス１２２に信号を送って誤り状態を通知させる。当業者であれば、本発明に適したＬＦ電力のデューティ比を修正する適切な回路を選択することができる。

【００３０】

あるいは、図１３および図１４に示された実施の形態のように、振幅制御を用いることによりＬＦ電力は制御されうる。振幅制御では、電極３２と真空室１２との間に与えられる電圧と電流の振幅を調整することにより、ＬＦ電力を修正する。図１６は、第１のＬＦ電力設定と、第１のＬＦ電力設定より小さい第２のＬＦ電力設定に対応した電圧と電流を概略的に示す図である。通常の動作の間、計測されたＬＦ電力に応じた電力制御モジュール１１０に受信されるフィードバックされたリアルタイムの信号に応じてＬＦ電力の振幅を動作中に調整することにより、ＶＣＡ５３はプラズマに与えられるＬＦ電力を一定に持続する。当業者であれば、本発明に適したＬＦ電力の振幅を修正する適切な回路を選択することができる。

【００３１】

ＲＦシステムにおいては、電力効率を最大化するとともにＲＦ発生器の損傷を回避するために、ＲＦ発生器の出力インピーダンスを常にプラズマインピーダンスに極めて近く整合させようとする要求のために、ＲＦ消毒器の電子機器は複雑である。プラズマの生成の間、プラズマのインピーダンスは、プラズマが完全に生成されるまでは高く、その後は非常に低くなるというように、大きく変動する。最初のプラズマの点火の際には、ＲＦ発生器はプラズマの完全な生成に先だって存在する高いプラズマインピーダンスに整合することはできず、出力電力の大部分はＲＦ発生器に跳ね返ってくる。損傷を回避するために、高い反射電力の期間の間、通常ＲＦ発生器の出力を制限する保護システムをＲＦ発生器は有する。しかし、プラズマを点火するためには、ＲＦ発生器の出力電力は、プラズマ点火に必要とされる閾値の電圧を越えなければならない。閾値の電圧は、室内の圧力、反応性薬品、およびその他の要因によって異なるが、３００V_{rms}である。あるＲＦシステムでは、点火が行われてプラズマインピーダンスが低減したなら、印加されるＲＦ電圧の大きさは、余計な電力供給を避けるために約１４０V_{rms}の持続電圧に減少させられる。プラズマ点火に必要とされる高いＲＦ電圧が、プラズマの完成の前に余計な高い反射電力を生成してしまうので、プラズマ点火段階の間に損傷を防止するための複雑な安全装置をＲＦ発生器は要する。

【００３２】

これに対して、ＬＦ消毒器は、ある閾値の電圧より上の印加電圧で稼働することができ、出力インピーダンスの整合に関する要求の拘束も少ないので、ＬＦ消毒器では構造の複雑さや点火の失敗率を大幅に減少させることができる。図１５に示すように、印加されたＬＦ電圧がゼロである時間の間、ＬＦプラズマは消滅し、真空室にはＬＦプラズマが存在し

ない。そこで、ＬＦプラズマは、各サイクルにつき二回、点火されなければならない。一つの電圧状態だけで稼働することにより、ＬＦ消毒器はＲＦ消毒器に比べて、より簡単でより信頼性の高い電気システムを有する。このような電気システムは、動作および故障診断がより容易であり、修理に伴うコストを低減することができる。さらに、ＬＦ消毒器によって発生する、より高いピークのプラズマ密度のために、物品上の再結合の解離を多くすることができ、消毒処理の後に物品に反応性化学種が残留する量を低減することができる。

【００３３】

図１７は、図１に概略的に示された装置を用いた好ましい消毒方法を概略的に示す図である。図１７に示された消毒方法は例示であり、当業者であれば他の方法も本発明に適することを理解する。この好適な方法は、真空室１２の内部に消毒されるべき物品を封入するステップ２００で開始する。この後、真空室１２は、ステップ２１０で処理制御モジュール３０の制御の下で真空ポンプ１４および真空ポンプ弁１６に連通されることにより減圧される。好ましくは真空室１２は約６６０Ｐａ（５Ｔｏｒｒ）未満、さらに好ましくは約２５Ｐａ乃至２７０Ｐａ（０．２Ｔｏｒｒ乃至２Ｔｏｒｒ）未満、最も好ましくは約４０Ｐａ乃至２００Ｐａ（０．３Ｔｏｒｒ乃至１．５Ｔｏｒｒ）未満の圧力に減圧される。

【００３４】

典型的な方法では、真空室１２の内部が所望の圧力に到達したら、処理制御モジュール３０はＬＦ電力モジュール２２に信号を送り、真空室１２の内部の電極３２を励起させる。電極３２にＬＦ電圧を与えることにより、ＬＦ電力モジュール２２は真空室１２の内部の残留ガスをイオン化し、ステップ２２０で真空室１２内部にガス放電ＬＦプラズマを生成する。このガス放電ＬＦプラズマは、真空室１２の内部の残留ガス（最初は空気および水蒸気）から形成される。真空室１２の内部に反応性薬品が注入される前にこのガス放電ＬＦプラズマがステップ２２０で生成されるので、このガス放電ＬＦプラズマは通常は「注入前」プラズマと呼ばれる。真空ポンプ１４は、注入前プラズマを生成するステップ２２０の間、あらかじめ設定された真空圧を持続させるために、制御されて開閉される。注入前プラズマは真空室１２の内部の物品を含む表面を加熱し、濃縮された水と他の吸収されたガスを気化して真空室１２および物品から除去するのを助ける。これに類似した注入前プラズマは、Ｓｐｅｎｃｅｒ等の米国特許第５，６５６，２３８号および同第６，０６０，０１９号に記載されており、これらの公報は、参照されることにより、この出願の一部をなす。典型的な方法では、注入前プラズマは、約０分後乃至６０分後に消滅させられる。本発明に係る他の実施の形態では、注入前プラズマの生成を行わなくてもよいし、複数回の注入前プラズマを使用してもよい。さらに他の実施の形態では、注入前プラズマに物品がさらされた後に、真空室１２が通気されてもよい。

【００３５】

好ましい方法では、真空室１２内が所望の圧力に達したら、真空ポンプ弁１６が閉じられ、処理制御モジュール３０の制御の下に、反応性薬品弁２０が開放され、ステップ２３０で反応性薬品源１８から反応性薬品ライン１９を経て真空室１２に反応性薬品が注入される。好ましい実施の形態では、反応性薬品は過酸化水素を含んでおり、この過酸化水素は液体状態で注入されてその後に気化される。注入される液体は、好ましくは約３重量％乃至６０重量％、さらに好ましくは約２０重量％乃至６０重量％、最も好ましくは約４０重量％乃至６０重量％の過酸化水素を含有する。真空室１２の内部の過酸化水素蒸気の濃度は、真空室１２の容積に関して１リットルあたり０．１２５ｍｇ乃至２０ｍｇであるとよい。過酸化水素の濃度を高めれば、消毒時間を短縮できる。空気、またはアルゴン、ヘリウム、窒素、ネオンまたはキセノンのような不活性ガスを過酸化水素とともに真空室１２に供給して、真空室１２の内部の圧力を所望のレベルに持続させてもよい。ステップ２３０でのこの反応性薬品の注入は、一回の注入であってもよいし、複数回に分けて行われてもよい。

【００３６】

この反応性薬品の注入のステップ２３０に伴い、好ましい方法では真空室１２の内部の圧

力は約２０００Ｐａ（１５Ｔｏｒｒ）以上に増加する。注入のステップ２３０に入ってから約６分後に、ステップ２４０で反応性薬品が完全に真空室１２の内部全体に一様に拡散される。この拡散のステップ２４０から約１分後乃至４５分後に、真空室１２の内部においてほぼ平衡状態になる。この拡散のステップ２４０によって、反応性化学種は物品の包装材を通過して拡散し、接触しないにしても、物品の表面にごく接近し、物品を消毒する。他の実施の形態では、反応性薬品の拡散は、真空室１２の通気の直後に行われてもよい。

【００３７】

次に、ステップ２５０で、処理制御モジュール３０の制御の下で真空ポンプ弁１６を制御可能に開放することにより、真空室１２から反応性薬品の一部が排出されて、真空室１２は部分的に減圧される。真空室１２の内部の真空圧が所望の圧力に達したならば、この所望の圧力を持続するように真空ポンプ弁１６は制御可能に調整され、処理制御モジュール３０はＬＦ電力モジュール２２に信号を送って真空室１２の内部の電極３２を励起させる。反応性薬品が過酸化水素であるこの好適な実施の形態では、真空室１２の内部の過酸化水素の圧力は好ましくは、約６７０Ｐａ（５Ｔｏｒｒ）未満、さらに好ましくは約２５Ｐａ乃至２７０Ｐａ（０．２Ｔｏｒｒ乃至２Ｔｏｒｒ）未満、最も好ましくは約４０Ｐａ乃至２００Ｐａ（０．３Ｔｏｒｒ乃至１．５Ｔｏｒｒ）未満である。電極３２にＬＦ電圧を与えることにより、ＬＦ電力モジュール２２は、ステップ２６０で反応性薬品をイオン化し、真空室１２の内部で反応性薬品ＬＦプラズマを生成する。物品はこの反応性薬品ＬＦプラズマに、制御された時間さらされる。好適な実施の形態では、線２７５で示すように、さらに同じ動作が一回繰り返される。他の実施の形態では、このような繰り返しは省略されてもよいし、さらに繰り返されてもよい。

【００３８】

ＲＦプラズマでもＬＦプラズマでも、反応性薬品プラズマの組成は、解離した反応性薬品の化学種と、励起電子状態または振動状態における反応性薬品の分子を含む。例えば、反応性薬品が好適な実施の形態のように過酸化水素を含む場合には、反応性薬品プラズマは、電子、イオン、様々な遊離基（例えばＯＨやO_2H）のような帯電した粒子、および基底状態のH_2O_2分子および励起されたH_2O_2分子のような中性の粒子を含みうる。反応性薬品プラズマで生成される紫外線の放射とともに、これらの反応性薬品の化学種は、胞子またはその他の微生物を殺す能力がある。

【００３９】

反応性薬品プラズマの帯電した粒子は、一旦生成されたら、真空室１２の内部で生成された電界によって加速される。第１の領域３１と第２の領域３３の間が流体的に連通しているので、第１の領域３１で生成された帯電した粒子の一部は加速されて、物品が配置された第２の領域３３に通過する。

【００４０】

第１の領域３１から第２の領域３３へ通過する帯電粒子は、プラズマおよび真空室１２と電極３２の壁の間の各空間電荷層（sheath）領域の電位差によって影響されたそれぞれの経路とエネルギを有する。これらの空間電荷層領域は、プラズマから壁に衝突する帯電粒子があるために、素材壁に接触した全ての電子イオンプラズマによって形成される。最小の質量を持つがゆえに大きな移動性を有する電子は、他のもっと重くて移動性の小さいイオンよりも先に、プラズマから壁に衝突して失われ、壁の周囲には負の電荷の密度が過度になった部分が形成され、これに対応して電子とイオンの損失率を均等化する電圧差が形成される。この電圧差、すなわちシース電圧は、壁の表面から電子を取り去るように電子を加速し、壁の表面に向けて正のイオンを加速する。

【００４１】

シース電圧は、プラズマの種類、組成および生成方法によって異なる。ＲＦプラズマについては、シース電圧は、通常は電極３２に与えられるＲＦ電圧の４０％乃至８０％である。例えば、二乗平均された（ＲＭＳの）ＲＦ電圧、$140V_{rms}$が電極３２に与えられて、ＲＦプラズマが定常的に設けられると、対応するシース電圧は約$55V_{rms}$乃至１

１０Ｖｒｍｓである。このため、電極３２の周囲の空間電荷層領域に進入するイオンは、５５ｅＶ乃至１１０ｅＶのエネルギに加速される。シース電圧によるこの正イオンの加速は、ＲＦプラズマによる半導体プロセスを支える基本原理である。

【００４２】

上述のように、本発明の好適な実施の形態のＬＦプラズマのためには、電極３２に与えられる電圧は、点火のための閾値の電圧、通常３００Ｖｒｍｓ以上であるとよい。さらに、ＬＦプラズマでは、シース電圧は通常は、ＲＦプラズマの場合よりも、与えられる電圧に対してより高い比率を持つ。このため、本発明の好適な実施の形態のシース電圧は、ＲＦプラズマシステムの場合のシース電圧よりもさらに高い。この高いシース電圧は、ＬＦプラズマの帯電した粒子をさらに高いエネルギに加速する。従って、ＬＦプラズマの帯電した粒子がさらに高いエネルギに加速されるので、好適な実施の形態のＬＦプラズマの帯電した粒子は、より遠くに移動し、ＲＦプラズマ消毒器による帯電粒子よりも物品に大きく作用することができる。

【００４３】

ＬＦ電界は各サイクルで極性を２回変更するので、帯電粒子に対する電界の加速の方向は各サイクルで２回反転する。第１の領域３１における帯電粒子については、この加速の方向の切替は、帯電粒子の位置の振動という結果をもたらす。しかし、第１の領域３１と第２の領域３３の間で流体的に連通しているために、帯電粒子の一部は、電界の加速方向が反転する前に、第１の領域３１から物品が収容された第２の領域３３に移動することができる。

【００４４】

反応性薬品ＬＦプラズマで生成された帯電粒子のうちの第２の領域３３に進入する量は、印加された電界の振動数の関数として求められる。これらの帯電された粒子は、運動に関する二つの成分を有する。一つはランダムな熱速度（thermal speed）であり、他の一つは与えられた電界の影響による帯電粒子の運動（ドリフト運動）である。熱速度は、温度によって判定され、これらの二つ運動成分のうち大きい方である（通常、電子では約10^{7}ｃｍ／ｓｅｃ乃至10^{8}ｃｍ／ｓｅｃである）が、帯電粒子をある特定の方向に流れるようにすることはない。これに対して、ドリフトの速度は、与えられた電界の方向に沿って向いており、与えられた電界の方向の帯電粒子の本流を引き起こす。ドリフトの速度の大きさは、与えられた電界の大きさにほぼ比例しており、帯電された粒子の質量に反比例する。さらに、ドリフトの速度の大きさは、ガスの化学種と真空室の圧力にも依存する。例えば、約１Ｖ／ｃｍの平均電界強度を持つガス放電プラズマ消毒器の通常の動作パラメータでは、ガス放電プラズマで形成される電子のドリフトの速度は、通常約10^{6}ｃｍ／ｓｅｃである。

【００４５】

帯電された一つの粒子は、印加される電界の極性が変化して電極３２から帯電粒子が離れるように加速の向きを逆転する前に第２の領域３３に達したときに限って、物品を収容した第２の領域３３に進入する。例えば、印加されるＲＦ電界の周波数が１３．５６ＭＨｚの場合には、電界の変更周期は約７．４×10^{-8}秒であり、電界の向きが変わって電子が電極３２から離れるように加速される前の半サイクル（半周期）では、電子は約３．７×10^{-3}ｃｍのわずかな距離しか動かない。イオンの場合には、そのもっと大きな質量のために、電子が移動する距離よりもさらにわずかな距離しか動かない。好適な実施の形態のように、真空室１２と電極３２の間の第１の領域３１が約２．５４ｃｍの幅である場合には、ＲＦプラズマによって生成されたうちのごくわずかな帯電粒子だけが、物品を収容した第２の領域３３に実際に到達するであろう。

【００４６】

他方、６０Ｈｚの周波数でＬＦ電界を印加した場合には、電界の変更周期は約１６．７×10^{-3}秒であり、電子が電極３２から離れるように加速される前には、電子は約８．３５×10^{3}ｃｍを動くことができる。従って、好適な実施の形態の消毒システム１０でプラズマを生成するのにＬＦ電圧を用いることによって、ＲＦ電圧を用いて生成したプラズ

マに比べて、第２の領域３３の内部をより活性化することができる。ＬＦ消毒器のこの高い活動度は、ＲＦ消毒器に比べて、残留する反応性化学種を消毒される物品から除去する効率を高めるのに貢献しうる。

【００４７】

電力が与えられなくなってからプラズマが中性化するまでの特性時間として定義されるプラズマ崩壊時間（plasma decay time）は、ＬＦ制御方式とＲＦ制御方式の間に、おおよその境界を画定する。プラズマ崩壊時間は正確には知ることができないが、本発明の好適な実施の形態のような消毒システムで用いられるプラズマ密度では、約10^{-4}秒乃至10^{-3}秒であると見積もられる。このプラズマ崩壊時間は、帯電粒子が表面または他のプラズマ成分に衝突して中性化されるまでの帯電粒子の存在時間に対応し、生成されるプラズマの化学種および消毒システム１０の様々な構成要素の構造によって異なる。上述のように、ＬＦ制御方式は、各サイクルでプラズマが二回消滅させられて再点火されることを特徴とし、印加されるＬＦ電圧の半周期がプラズマ崩壊時間よりも長くなる。従って、プラズマを再点火するために、プラズマを点火する閾値の電圧を越える電圧で消毒システム１０が頻繁に駆動される。本発明によれば、多くのプラズマについて見積もられる約10^{-4}秒乃至10^{-3}秒の範囲のプラズマ崩壊時間は、約１ｋＨｚ乃至１０ｋＨｚの低周波制御方式の上限周波数に換算される。しかし、ある状況の下では、より高い周波数も許容されうる。

【００４８】

あるいは、低周波数方式の上限は、与えられたＬＦ電圧の半周期の間に２．５４ｃｍの幅の第１の領域３１を電子が横切るには、電子のドリフトの速度が遅すぎることになる周波数に決定してもよい。通常の動作構造の下では、低周波数方式の上限は、約２００ｋＨｚである。他の構造では、低周波数方式の上限はこれに応じて異なりうる。

【００４９】

本発明の好適な実施の形態では、プラズマに与えられるＬＦ電圧の周波数は、好ましくは０ｋＨｚ乃至約２００ｋＨｚであり、さらに好ましくは０ｋＨｚ乃至約１０ｋＨｚであり、さらに好ましくは０ｋＨｚ乃至約１ｋＨｚであり、さらに好ましくは０Ｈｚ乃至約４００Ｈｚである。プラズマに与えられるＬＦ電圧の周波数を選択するときには、周波数は、プラズマのプラズマ崩壊時間よりも半周期分、大きくなるように選択するのが最も好ましい。

【００５０】

この好適な方法では、ＬＦ電力モジュール２２は約２分間乃至１５分間励起され、この間、プラズマは真空室１２の内部の物品を含む表面に存在する余分な残留反応性化学種を除去する。ステップ２６０でプラズマを生成すると、一時的に真空圧が上昇するが、ステップ２７０では、５０Ｐａ乃至７０Ｐａ（０．４Ｔｏｒｒ乃至０．５Ｔｏｒｒ）のほぼ一定の真空圧で残留物の大部分が除去される。この残留物除去ステップ２７０は、処理制御モジュール３０がＬＦ電力モジュール２２を停止させてプラズマを消すことによって終了する。

【００５１】

残留物除去ステップ２７０の後、処理制御モジュール３０が通気ベント弁２８を開放して、通気ベント２６から通気ベントライン２７および通気ベント弁２８を経て、ベントガスを流入させることによって、真空室１２はステップ２８０で通気される。好ましい方法では、真空室１２はこの後ステップ２９０で、約４０Ｐａ乃至１０５Ｐａ（０．３Ｔｏｒｒ乃至０．８Ｔｏｒｒ）まで減圧され、真空室１２内に残留するあらゆる反応性薬品が除去される。この後、真空室１２は再びステップ３００で大気圧になるように通気され、この後、消毒された物品はステップ３１０で真空室１２から取り出される。

【００５２】

ＬＦプラズマは、消毒処理が完了した後に物品に残留する反応性薬品分子の量を減少させる。反応性薬品が過酸化水素を含有する場合には、消毒された物品上の過酸化水素の残留量は好ましくは約８０００ｐｐｍ未満であり、さらに好ましくは約５０００ｐｐｍ未満で

あり、最も好ましくは約３０００ｐｐｍ未満である。ＬＦプラズマ消毒とＲＦプラズマ消毒の後に残留する過酸化水素の量を比較するために、ＬＦ消毒器とＲＦ消毒器の両方において、ある消毒試験期間の間、９つのポリウレタン試料を過酸化水素にさらした。各試料は、不純物の混入防止のために、Ｍａｎｕｋｌｅｎｚ（登録商標）で洗浄し、消毒の前に乾燥した。次に、これらの９つの試料を普通の工業用の棚の上段に均等間隔で並べた。

【００５３】

標準的なＲＦ消毒工程の条件とほぼちょうど同等である完全なＬＦ消毒工程がこの比較実験のために使われた。完全なＬＦ消毒工程は、注入前プラズマに２０分間さらすことと、６分間の第１回目の過酸化水素の注入と、大気の通気と、２分間の拡散と、２分間の第１回目の注入後プラズマにさらすことと、６分間の第２回目の過酸化水素の注入と、大気の通気と、２分間の拡散と、２分間の第２回目の注入後プラズマにさらすことと、大気の通気とを有する。完全なＬＦ消毒工程は二回行って、二回の完全なＲＦ消毒工程と比較した。表１に示されるように、注入後プラズマの電力を除く全ての条件は、全ての稼働についてできる限り一定に維持した。

【００５４】

【表１】

	ＬＦ稼働１	ＬＦ稼働２	ＲＦ稼働１	ＲＦ稼働２
注入前プラズマの電力	727W	779W	751W	752W
第１回目の注入後プラズマの電力	783W	874W	757W	756W
第２回目の注入後プラズマの電力	755W	893W	758W	758W
室温	45℃（指定）	45℃（指定）	45℃（指定）	45℃（指定）
注入系統温度	65～75℃	65～75℃	65～75℃	65～75℃
H_2O_2濃度	17ｍｇ／ｌ	17ｍｇ／ｌ	17ｍｇ／ｌ	17ｍｇ／ｌ
プラズマ持続中の室内圧	50Ｐａ（0．4Torr）	50Ｐａ（0．4Torr）	50Ｐａ（0．4Torr）	50Ｐａ（0．4Torr）

【００５５】

注入前プラズマの電力の変動は±３．５％であり、全ての稼働について試料の温度がほぼ一定にされた。この後、試料を取り出して、残留量の分析を行った。

【００５６】

ＬＦプラズマを生成するＬＦ消毒器は、５００ｍＨのインダクタと、１３．６μＦのキャパシタを有しており、６０Ｈｚで稼働した。ＬＦプラズマの電力は、ＬＦプラズマにかかる電圧を電流で乗算して、オシロスコープで平均することにより求めた。ＬＦ電力の変動レベルは約１０％であった。表２は比較結果を示す。

【００５７】

【表２】

	ＬＦ稼働１	ＬＦ稼働２	ＲＦ稼働１	ＲＦ稼働２
注入後プラズマの平均電力	769W	884W	757W	757W
H_2O_2残存量（ppm）	1973±144	1864±75	2862±317	2510±203

【００５８】

ＬＦ注入後プラズマにさらすことによって、同等の電力のＲＦ注入後プラズマにさらす場合よりも、残留する反応性化学種をより効率的に減らすことができた。ＬＦ稼働１では、ＲＦ稼働１またはＲＦ稼働２に比べて、ほぼ同じ注入後プラズマの電力でありながら、残留する過酸化水素量を約２３％減らすことができた。従って、ＬＦ方法は、同等のＲＦ方法に比べて、残留する過酸化水素量を減らすことができた。

【００５９】

二つのＬＦ消毒工程を比較すると、プラズマ電力を上昇させると、過酸化水素の残留量の減少をもたらすことが分かる。また、ＬＦ方法では、残留量の計測の標準偏差で表される試料間の相違も非常に減少し、ＲＦ方法に比べて均一性が高まることが分かった。

【００６０】

本発明の特定の実施の形態に関して説明したが、実施の形態の説明は本発明を例証するものであり、限定することを意図したものではないことを理解すべきである。特許請求の範囲に記載された本発明の真の趣旨および区域から離れることなく、当業者は様々な修正または応用を考え出すことができる。

【００６１】

この発明の具体的な実施態様は次の通りである。

（Ａ）物品からガスまたは蒸気化学種を取り除くために消毒システムの真空チャンバの内部の低周波プラズマに与えられる、０ｋＨｚ乃至約２００ｋＨｚの周波数を有する電力を制御可能に調整する低周波電力フィードバック制御システムを備える消毒システムであって、当該低周波電力フィードバック制御システムが、

前記真空チャンバの内部の前記低周波プラズマに与えられる電力を示す第１の信号を生成するのに適した電力モニタと、

前記電力モニタからの前記第１の信号に応じて第２の信号を生成するのに適した電力制御モジュールと、

前記物品が処理されている間に、前記低周波プラズマに与えられるほぼ一定の平均電力を持続するために、前記第２の信号に応じて、前記低周波プラズマに与えられる電力を調整するのに適した電力制御器と

を備える消毒システム。

（１）前記低周波電力フィードバック制御システムがさらに、電流モニタと電圧モニタを備え、前記電流モニタは、前記低周波プラズマに与えられる電流を示す第３の信号を生成するのに適しており、前記電圧モニタは、前記低周波プラズマに与えられる電圧を示す第４の信号を生成するのに適していることを特徴とする実施態様（Ａ）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。

（２）前記電力モニタは、前記第３の信号および前記第４の信号に応じて前記第１の信号を生成するのに適していることを特徴とする実施態様（１）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。

（３）前記電流モニタは、電流センサと、第１のコンバータと、第１の電圧増幅器を備えることを特徴とする実施態様（１）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。

（４）前記電流モニタは、前記電力制御モジュールに接続された過電流検出器をさらに備えることを特徴とする実施態様（３）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。

（５）前記電圧モニタは、降圧用の変圧器と、第２のコンバータと、第２の電圧増幅器を備えることを特徴とする実施態様（１）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。

【００６２】

（６）前記電力制御モジュールは、電力制御処理器を備えることを特徴とする実施態様（Ａ）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。

（７）前記電力制御モジュールは、誤り検出器をさらに備えることを特徴とする実施態様（６）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。

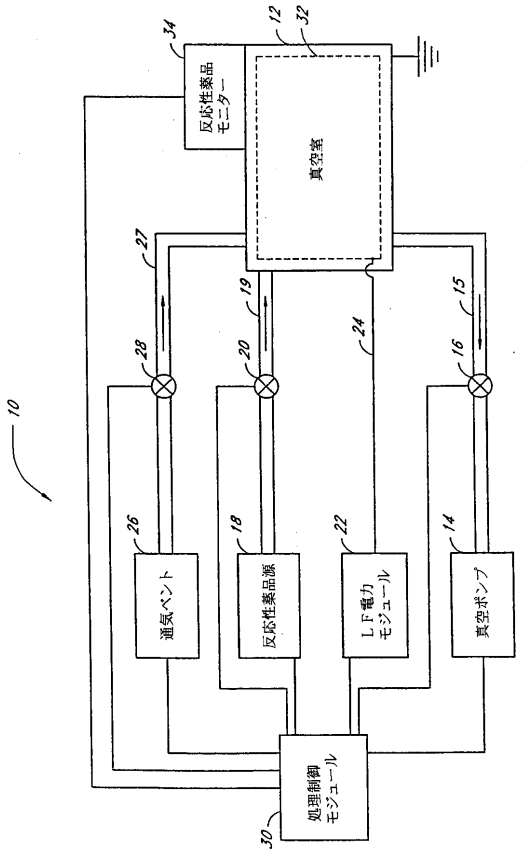
（８）前記誤り検出器は、過電力検出器および温度スイッチからなる群から選択される

ことを特徴とする実施態様（７）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。
（９）前記電力制御処理器は、前記電力制御器、前記電力モニタおよび前記電流モニタに接続されていることを特徴とする実施態様（６）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。
（１０）前記電力制御モジュールは、ユーザの入力を受信して前記ユーザの入力を前記電力制御モジュールに送信するのに適するユーザインタフェイスに接続されていることを特徴とする実施態様（Ａ）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。
【００６３】
（１１）前記電力制御器は、前記電力制御モジュールからの前記第２の信号に応じて、前記低周波プラズマに与えられる電力のデューティ比を調整するのに適することを特徴とする実施態様（Ａ）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。
（１２）前記電力制御器は、前記電力制御モジュールからの前記第２の信号に応じて、前記低周波プラズマに与えられる電力の振幅を調整するのに適することを特徴とする実施態様（Ａ）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。
（１３）前記電力は０ｋＨｚ乃至約１０ｋＨｚの周波数を有することを特徴とする実施態様（Ａ）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。
（１４）前記電力は０Ｈｚ乃至約４００Ｈｚの周波数を有することを特徴とする実施態様（Ａ）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。
（Ｂ）物品からガスまたは蒸気化学種を取り除くために消毒システムの真空チャンバの内部の低周波プラズマに与えられる、０ｋＨｚ乃至約２００ｋＨｚの周波数を有する電力を制御可能に調整する方法であって、
前記真空チャンバの内部の前記低周波プラズマに与えられる電力を監視することと、
前記低周波プラズマに与えられる電力を示す第１の信号を生成することと、
前記物品が処理されている間に、前記低周波プラズマに与えられるほぼ一定の平均電力を持続するために、前記第１の信号に応じて、前記低周波プラズマに与えられる電力を調整することとを含む方法。
（１５）前記低周波プラズマに与えられる前記電力を監視することは、前記低周波プラズマに与えられる電流を監視することと、前記電流を示す第２の信号を生成することと、前記低周波プラズマに与えられる電圧を監視することと、前記電圧を示す第３の信号を生成することとを含むことを特徴とする実施態様（Ｂ）に記載の方法。
【００６４】
（１６）前記第２の信号および前記第３の信号に応じて、前記第１の信号を生成することを行うことを特徴とする実施態様（１５）に記載の方法。
（１７）前記低周波プラズマに与えられる電力を調整することは、前記低周波プラズマに与えられる電力のデューティ比を調整することを含むことを特徴とする実施態様（Ｂ）に記載の方法。
（１８）前記低周波プラズマに与えられる電力を調整することは、前記低周波プラズマに与えられる電力の振幅を調整することを含むことを特徴とする実施態様（Ｂ）に記載の方法。
（１９）前記電力は０ｋＨｚ乃至約１０ｋＨｚの周波数を有することを特徴とする実施態様（Ａ）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。
（２０）前記電力は０Ｈｚ乃至約４００Ｈｚの周波数を有することを特徴とする実施態様（Ａ）に記載の低周波電力フィードバック制御システム。
【００６５】
【発明の効果】
以上説明したように、本発明によれば、消毒される物品に残留する反応性薬品の量を低減することができ、装置の稼働のエネルギ効率を高め、稼働コストを低減し、さらに装置の構造を簡略化することが可能である。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明に係る消毒システムの好適な実施の形態を示す概略図である。

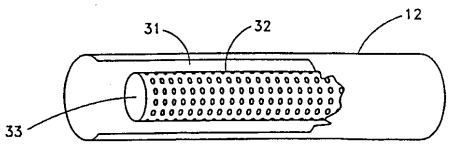
【図２】開放された両端部と穿孔された側部を有する円筒形の電極の好適な実施の形態を示す概略図である。
【図３】開放された両端部と鎧戸状に開口部が形成された側部を有する円筒形の電極の代替的な実施の形態を示す概略図である。
【図４】開放された両端部と孔のない側部を有する円筒形の電極の代替的な実施の形態を示す概略図である。
【図５】開放された端部と孔のない側部を有する一つまたは複数の同軸上の円筒形セグメントを有する電極の代替的な実施の形態を示す概略図である。
【図６】開放された端部と孔のない側部を有する円筒の部分の形状を有する電極の代替的な実施の形態を示す概略図である。
【図７】開放された端部と孔のない側部を有する、円柱的に均整で長手方向に不均整な電極の代替的な実施の形態を示す概略図である。
【図８】開放された端部と孔のない側部を有する、一つまたは複数の非対称な電極の代替的な実施の形態を示す概略図である。
【図９】開放された端部と孔のない側部を有する円筒形の第１の電極と、第１の電極とほぼ同軸のワイヤを有する第２の電極とを有する電極装置の代替的な実施の形態を示す概略図である。
【図１０】ほぼ正方形または長方形の真空室の内部のほぼ正方形または長方形の電極の代替的な実施の形態を示す概略図である。
【図１１】本発明に係る位相角制御法に適合した低周波電力モジュールの実施の形態を示す概略図の左部分である。
【図１２】図１１を補完する前記の概略図の右部分である。
【図１３】本発明に係る振幅制御法に適合した低周波電力モジュールの実施の形態を示す概略図の左部分である。
【図１４】図１３を補完する前記の概略図の右部分である。
【図１５】プラズマに与えられる低周波電力を制御する位相角制御法を示す概略図である。
【図１６】プラズマに与えられる低周波電力を制御する振幅制御法を示す概略図である。
【図１７】本発明に係る消毒方法の好適な実施の形態を概略的に示すフローチャートである。
【符号の説明】
１０　消毒システム
１２　真空室
１４　真空ポンプ
１５　真空ポンプライン
１６　真空ポンプ弁
１８　反応性薬品源
１９　反応性薬品ライン
２０　反応性薬品弁
２２　ＬＦ電力モジュール
２４　ＬＦ電圧信号線
２６　通気ベント
２７　通気ベントライン
２８　通気ベント弁
３０　処理制御モジュール
３１　第１の領域
３２　電極
３２’　第２の電極
３３　第２の領域
３４　反応性薬品モニタ

４０　過電力リレー
４２　金属酸化物バリスタ
５０　昇圧用の変圧器
５１　高電圧（ＨＶ）直流電源
５２　電圧制御発振器（ＶＣＯ）
５３　電圧制御増幅器（ＶＣＡ）
５４　ＨＶ演算増幅器
５５　昇圧用の変圧器
６０　電力制御器
６２　フライバック分流素子
６４　インダクタ
６６　キャパシタ
７０　ＬＦ電力フィードバック制御システム
８０　電流モニタ
８２　電流センサ
８４　第１のコンバータ
８６　第１の電圧増幅器
８８　過電流検出器
９０　電圧モニタ
９２　降圧用の変圧器
９４　第２のコンバータ
９６　第２の電圧増幅器
１００　電力モニタ（乗算器）
１１０　電力制御モジュール
１１２　過電力検出器
１１４　温度スイッチ
１２０　電力制御処理器
１２２　ユーザインタフェイス

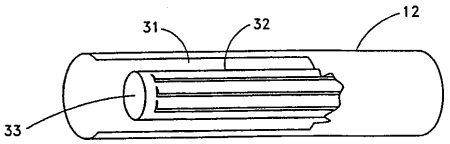
【図１】



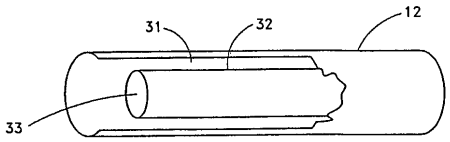
【図２】



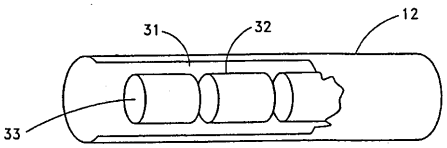
【図３】



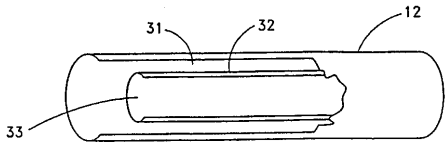
【図４】



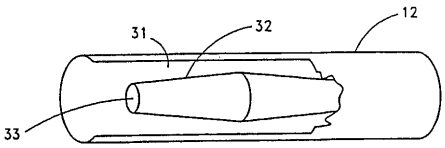
【図５】



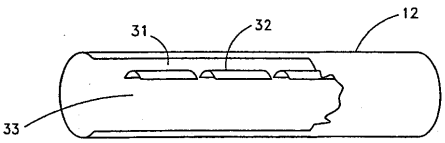
【図６】



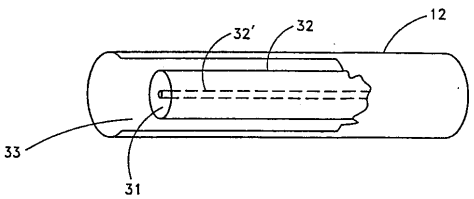
【図７】



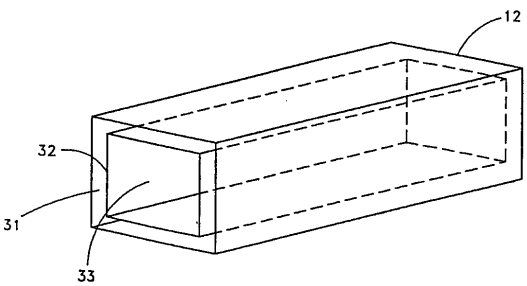
【図８】



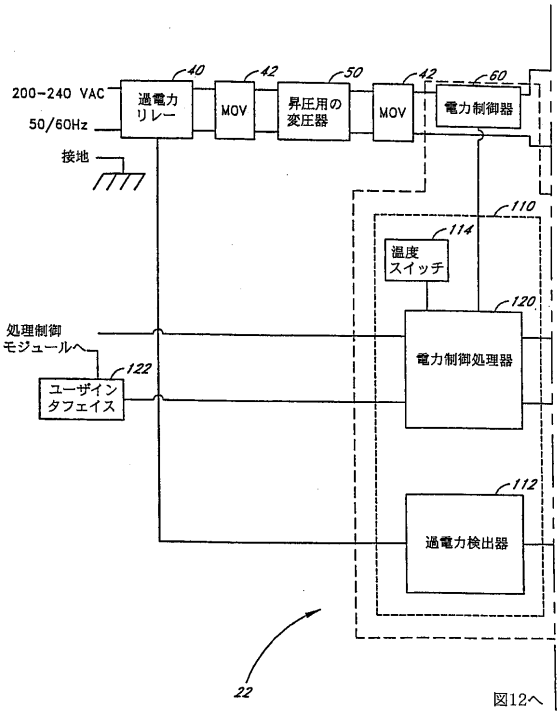
【図９】



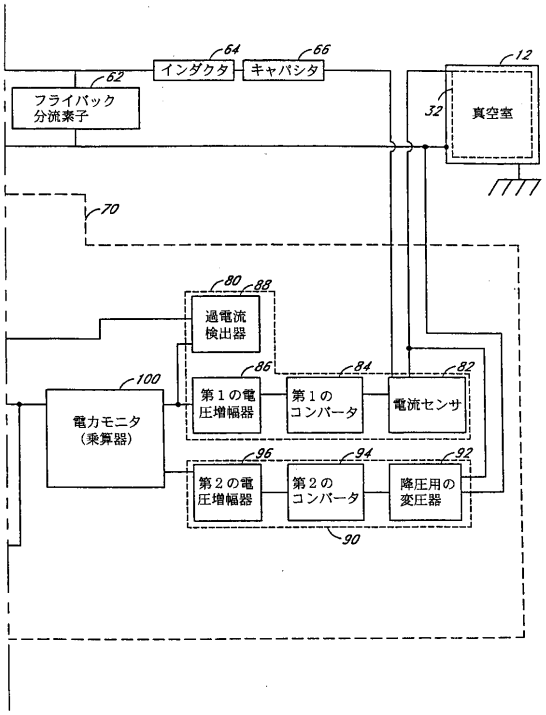
【図１０】



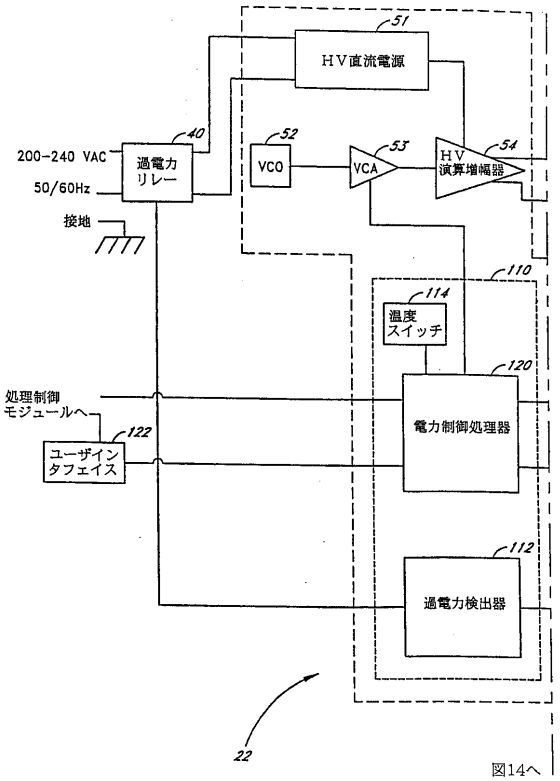
【図１１】



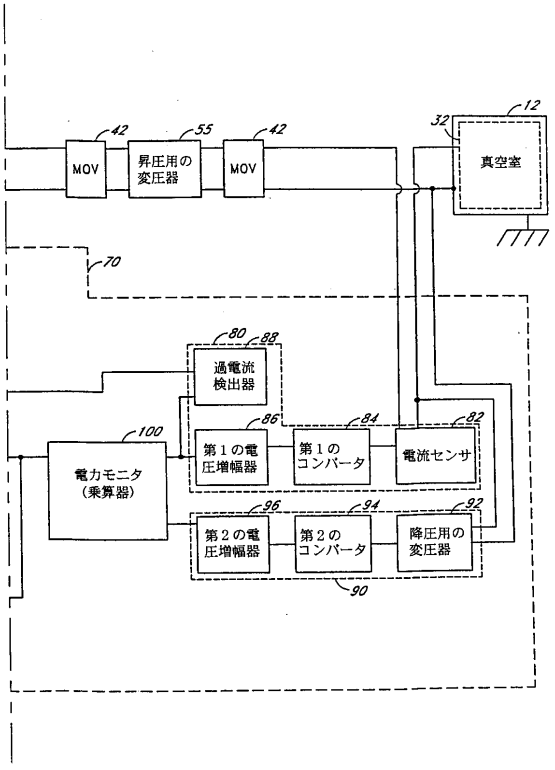
【図１２】



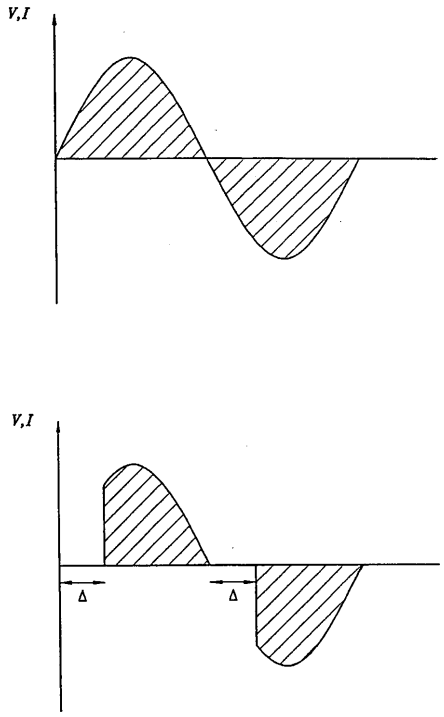
【図１３】



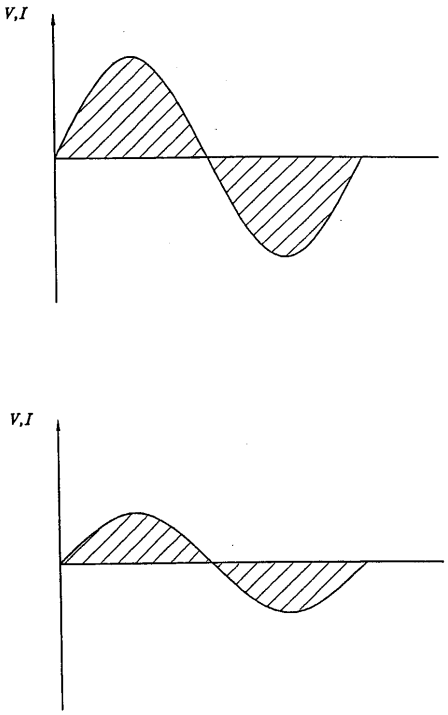
【図１４】



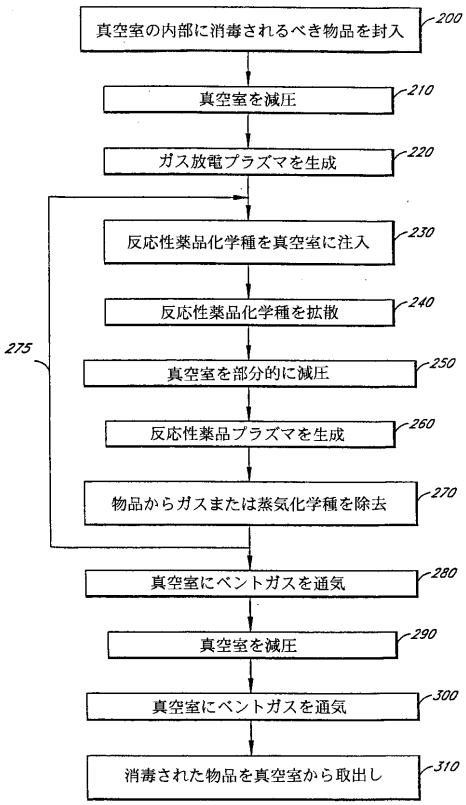
【図１５】


V,I
V,I
Δ
Δ

【図１６】


V,I
V,I

【図１７】


真空室の内部に消毒されるべき物品を封入
200
真空室を減圧
210
ガス放電プラズマを生成
220
反応性薬品化学種を真空室に注入
230
反応性薬品化学種を拡散
240
275
真空室を部分的に減圧
250
反応性薬品プラズマを生成
260
物品からガスまたは蒸気化学種を除去
270
真空室にベントガスを通気
280
真空室を減圧
290
真空室にベントガスを通気
300
消毒された物品を真空室から取出し
310

フロントページの続き

(72)発明者　アルフレド・エム・ショペレナ
アメリカ合衆国、９２６７５　カリフォルニア州、サン・ジュアン・キャピストラノ、ビア・ラス・パルマス　３１３４２
(72)発明者　ロバート・シー・プラット・ジュニア
アメリカ合衆国、９２６７７　カリフォルニア州、ラグーナ・ニギュエル、セイント・クロワ　５
(72)発明者　アンソニー・レムズ
アメリカ合衆国、９２８８７　カリフォルニア州、ヨルバ・リンダ、ビア・バラータ　２４６１

審査官　櫛引　明佳

(56)参考文献　特開昭６１－２９３４６５（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－２３１０５３（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２６６９９０（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－２０６１８１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
A61L 2/00-2/26
B01J 19/08
H05H 1/24