

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5067006号
(P5067006)

(45) 発行日 平成24年11月7日 (2012. 11. 7)

(24) 登録日 平成24年8月24日 (2012. 8. 24)

(51) Int. Cl.

F I

H05H 1/24 (2006.01)

H05H 1/24

H01L 21/3065 (2006.01)

H01L 21/302 I O I E

請求項の数 1 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2007-128786 (P2007-128786)
 (22) 出願日 平成19年5月15日 (2007. 5. 15)
 (65) 公開番号 特開2008-287895 (P2008-287895A)
 (43) 公開日 平成20年11月27日 (2008. 11. 27)
 審査請求日 平成21年2月10日 (2009. 2. 10)

(73) 特許権者 000005821
 パナソニック株式会社
 大阪府門真市大字門真1006番地
 (74) 代理人 100109667
 弁理士 内藤 浩樹
 (74) 代理人 100109151
 弁理士 永野 大介
 (74) 代理人 100120156
 弁理士 藤井 兼太郎
 (72) 発明者 辻 裕之
 大阪府門真市松葉町2番7号 パナソニッ
 ク ファクトリーソリューションズ株式会
 社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 大気圧プラズマ処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

大気圧近傍で発生させたプラズマを吹き出し口から被処理物表面に向けて吹き出し、前記被処理物表面を処理する大気圧プラズマ処理方法において、

前記吹き出し口の開口周長と、前記吹き出し口と前記被処理物表面の間の隙間の積で与えられる前記吹き出し口と被処理物との間の開口面積 B が、前記吹き出し口の開口断面積 A に対して、 $B \geq A$ となるように、前記吹き出し口と前記被処理物の間の隙間を設定して処理を行うものであり、

反応容器の内部に形成される反応空間に第 1 の不活性ガスを供給しつつ前記反応空間に高周波電界を印加して一次プラズマを発生させ、発生した一次プラズマを、前記反応容器の下端出口の周囲に配設された混合ガス容器の内部に形成され、第 2 の不活性ガスを主とし適量の反応性ガスを含む混合ガスが前記混合ガス容器の上部外周に配設されたガス供給口より供給される混合ガス領域に吹き出させてプラズマ化した混合ガスからなる二次プラズマを発生させ、発生した二次プラズマを前記混合ガス容器の下端開口にて構成される前記吹き出し口から吹き出し、一端が前記下端出口として開口した前記反応容器の他端の上端開口から第 1 の不活性ガスを供給しつつ前記反応空間に高周波電界を印加し、前記反応空間内で一次プラズマを発生させて前記下端出口から吹き出すことを特徴とする大気圧プラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、大気圧近傍でプラズマを発生させ、そのプラズマを被処理物の表面に吹き付けて被処理物を処理する大気圧プラズマ処理方法に関するものである。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

大気圧プラズマ発生装置は、所定の空間に不活性ガスやそれと反応性ガスとの混合ガスなどのガスを流しながらその空間に高周波電界を印加して放電を生じさせることで、大気圧近傍でプラズマを発生させるようにしたものであり、こうして発生させたプラズマを被処理物の表面に吹き付けて、被処理物の表面のクリーニング、レジストの除去、表面改質、金属酸化物の還元、製膜等の処理をすることは知られている。

10

【 0 0 0 3 】

例えば、図 1 1 に示すように、誘電体から成る反応管 4 1 の外周にコイル 4 2 を巻回して配設し、コイル 4 2 に高周波電源 4 3 から高周波電圧を印加し、反応管 4 1 の一端 4 1 a からガス 4 4 を供給することで反応管 4 1 内でプラズマを発生させ、反応管 4 1 の他端 4 1 b の吹き出し口からプラズマ 4 5 を吹き出し、そのプラズマ 4 5 を被処理物 4 6 の表面に照射して上記のような各種処理を行うことは知られている。

【 0 0 0 4 】

また、図 1 2 に示すように、所定の空間 5 1 を挟んでその両側に誘電体 5 2 を介して一対の電極 5 3 a、5 3 b を配設し、電極 5 3 a、5 3 b 間に高周波電源 5 4 から高周波電圧を印加し、空間 5 1 の一端 5 1 a からガス 5 5 を供給することで空間 5 1 の他端 5 1 b の吹き出し口からプラズマ 5 6 を吹き出し、そのプラズマ 5 6 を被処理物 5 7 の表面に照射して上記のような各種処理を行うことは知られている。

20

【 0 0 0 5 】

また、反応管にガスを導入するとともに内側電極と外側電極の間に交流電界を印加することで大気圧下で反応管内にグロー放電を発生させ、反応管からプラズマジェットを吹き出すプラズマ発生装置と、プラズマジェットの吹き出し位置に被処理物を搬送する搬送装置とを備えたプラズマ処理装置が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。なお、この特許文献 1 においては、ガスの供給を停止してプラズマ処理を行っていない時に、反応管の吹き出し口を蓋体にて閉鎖する流入防止手段を設け、外部の空気が反応管内に流入するのを防止したり、他の方法として、プラズマを消灯する場合は、ガス供給を停止し、反応管に乾燥空気を供給して吹き出し口から出すようにすることが記載されている。

30

【 0 0 0 6 】

また、プラズマ処理方法として、ガス供給路内に放電を生じさせてプラズマを発生させ、処理容器内でそのプラズマに被処理物を暴露させて処理を行い、処理容器から処理後のガスを回収し、回収したガスから不純物を除去して再生し、再生したガスをガス供給路内に返送するようにしたものも知られている（例えば、特許文献 2 参照）。

【 0 0 0 7 】

なお、プラズマ発生部のその他の構成としては、断面形状が円形や細長い長方形の誘電体から成る反応管の外周に管軸方向に間隔をあけて一対の電極を配設し、両電極間に高周波電圧を印加しつつ反応管にガスを供給することで反応管内でプラズマを発生するようにしたものや、誘電体から成る反応管の内側に内側電極を、外周に外側電極を配設し、両電極間に高周波電圧を印加しつつ反応管内にガスを供給することで反応管内でプラズマを発生するようにしたものや、所定の空間を挟んでその上下に誘電体を介して一対の電極を配設し、両電極間に高周波電圧を印加しつつ空間内にガスを供給することで空間内にプラズマを発生するようにしたものなども知られている。

40

【特許文献 1】特許第 3 1 8 0 0 9 2 号明細書

【特許文献 2】特開 2 0 0 4 - 1 7 9 1 9 1 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 8 】

50

ところで、従来の大気圧プラズマ処理方法においては、ガス消費量が数 l / 分 ~ 数百 l / 分程度必要であり、真空圧プラズマ処理装置の場合の数百 ml / 分程度のガス消費量に比して格段に大きくなっており、かつ大気圧プラズマに使用するガスは純度が低いとプラズマが不安定になるためコストの高い高純度のものが必要であるため、プラズマ処理のランニングコストが高くなるという問題があった。

【 0 0 0 9 】

この問題に対して、プラズマを発生する反応空間へのガス供給量を、反応空間でプラズマを発生させるのに必要なガス供給量の下限を極限としてその近傍まで低減することが考えられるが、その場合には反応空間から吹き出したプラズマを被処理物表面に照射しても殆どプラズマ処理することができない。これは、大気中では大気圧プラズマの寿命が短く、プラズマが被処理物表面に到達するまでに消滅してしまうためである。従来は、ガス供給量を多量に設定することで、プラズマガスの吹き出し流速を高め、大部分のプラズマが大気と接触しない内に被処理物表面に到達するとともに被処理物表面に到達するまでの時間がプラズマの寿命範囲に収まるようにしていたのであり、その結果上記のような問題を生じていたのである。

10

【 0 0 1 0 】

また、従来はガス供給量を多くしているので、プラズマガスの吹き出し流速が高くなり、被処理物表面に微小な部品が配置されている場合に、吹き飛ばしたり、移動させてしまう恐れがあるという問題もあった。

【 0 0 1 1 】

20

また、特許文献 1 には、このような問題及び解決手段について記載も示唆もなされていない、特許文献 2 でも、ガス消費量を低減するという課題はあるが、解決手段の構成が大掛かりで極めてコスト高なるとともに、処理工程も複雑になって処理効率が悪く、大気圧プラズマによる処理の利点を十分に生かせないという問題がある。

【 0 0 1 2 】

本発明は、上記従来の問題点に鑑み、大気圧プラズマにて被処理物を処理するに際してガス供給量の低減を図りつつ、大きな面積のプラズマ処理を確実にかつ安定して行うことができる大気圧プラズマ処理方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

30

本発明の大気圧プラズマ処理方法は、大気圧近傍で発生させたプラズマを吹き出し口から被処理物表面に向けて吹き出し、前記被処理物表面を処理する大気圧プラズマ処理方法において、前記吹き出し口の開口周長と、前記吹き出し口と前記被処理物表面の間の隙間の積で与えられる前記吹き出し口と被処理物との間の開口面積 B が、前記吹き出し口の開口断面積 A に対して、 $B \geq A$ となるように、前記吹き出し口と前記被処理物の間の隙間を設定して処理を行うものであり、反応容器の内部に形成される反応空間に第 1 の不活性ガスを供給しつつ前記反応空間に高周波電界を印加して一次プラズマを発生させ、発生した一次プラズマを、前記反応容器の下端出口の周囲に配設された混合ガス容器の内部に形成され、第 2 の不活性ガスを主とし適量の反応性ガスを含む混合ガスが前記混合ガス容器の上部外周に配設されたガス供給口より供給される混合ガス領域に吹き出させてプラズマ化した混合ガスからなる二次プラズマを発生させ、発生した二次プラズマを前記混合ガス容器の下端開口にて構成される前記吹き出し口から吹き出し、一端が前記下端出口として開口した前記反応容器の他端の上端開口から第 1 の不活性ガスを供給しつつ前記反応空間に高周波電界を印加し、前記反応空間内で一次プラズマを発生させて前記下端出口から吹き出すものである。

40

【 0 0 1 4 】

この構成によると、吹き出し口と被処理物の間の隙間を、上記のように吹き出し口と被処理物との間の開口面積 B が吹き出し口の開口断面積 A より小さくなるように調整設定することで、吹き出し口から吹き出したプラズマは、吹き出し口の口縁と被処理物との間の隙間の内側に完全に満たされ、その外側で大気と接触することになり、吹き出したプラズ

50

マが被処理物表面に到達するまでに消滅する要因を殆ど無くすることができるので、プラズマを発生して吹き出し口から吹き出すことができる最小限近傍のガス供給量でプラズマを発生させても、少なくとも被処理物における吹き出し口の開口断面積に対応する領域を確実にプラズマ処理することができ、ガス供給量の低減を図りつつ、大きな面積のプラズマ処理を確実にかつ安定して行うことができる。プラズマを発生して吹き出させることができるガス供給量は、ガスの種類や混合ガスの場合はその組成比、印加する高周波電圧の周波数帯や電圧値などによって規定されるものである。

また、反応容器の内部に形成される反応空間に第1の不活性ガスを供給しつつ反応空間に高周波電界を印加して一次プラズマを発生させ、発生した一次プラズマを、反応容器の下端出口の周囲に配設された混合ガス容器の内部に形成され、第2の不活性ガスを主とし適量の反応性ガスを含む混合ガスが混合ガス容器の上部外周に配設されたガス供給口より供給される混合ガス領域に吹き出させてプラズマ化した混合ガスからなる二次プラズマを発生させ、発生した二次プラズマを混合ガス容器の下端開口にて構成される吹き出し口から吹き出すようにすると、第1の不活性ガスとして高純度の不活性ガスを用いて小さい一次プラズマを発生させ、混合ガス領域に吹き出すことで、混合ガス領域で雪崩現象的にプラズマが展開して多量の二次プラズマを発生させることができ、高価な高純度の第1の不活性ガスのガス供給量をさらに低減できるとともに、安価なガスを用いることができる混合ガスのガス供給量に応じてプラズマの吹き出し口を大きくすることができ、処理領域を大きくしながらランニングコストの一層の低廉化を図ることができる。

【0015】

また、大気圧近傍でプラズマを発生させて吹き出し口から吹き出すのに、一端が吹き出し口として開口した反応空間の他端からガスを供給しつつ反応空間に高周波電界を印加し、反応空間内でプラズマを発生させて吹き出し口から吹き出すようにすると、簡単な構成にて安定してプラズマを吹き出すことができる。

【発明の効果】

【0023】

本発明の大気圧プラズマ処理方法によれば、吹き出し口と被処理物の間の隙間を、吹き出し口と被処理物との間の開口面積Bが吹き出し口の開口断面積Aより小さくなるように調整設定することで、吹き出し口からプラズマを吹き出すことができる最小限近傍のガス供給量でプラズマを発生させても、プラズマが吹き出し口の口縁と被処理物との間の隙間の内側に完全に満たされた状態とすることができ、被処理物における吹き出し口の開口断面積に対応する領域を確実にプラズマ処理することができ、したがってガス供給量の低減を図りつつ大きな面積のプラズマ処理ができ、効率的にかつ安定してプラズマ処理を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下、本発明の大気圧プラズマ処理装置の各実施形態について、図1～図10を参照して説明する。

【0025】

(第1の実施形態)

まず、本発明の大気圧プラズマ処理装置の第1の実施形態について、図1～図3を参照して説明する。

【0026】

図1において、1は大気圧プラズマ処理装置であり、大気圧近傍でプラズマPを発生して吹き出し口3から吹き出すプラズマ発生部2と、被処理物4をプラズマ発生部2に対して相対移動させて被処理物4の表面にプラズマPを照射させる移動手段5とを備えている。移動手段5は、図示例のように被処理物4を移動させても、プラズマ発生部2を移動させても良い。また、詳細機構は図示していないが、移動手段5は、プラズマ発生部2の吹き出し口3と被処理物4の間の隙間Gも調整設定できるように構成されている。

【0027】

プラズマ発生部 2 は、一端に吹き出し口 3 を有し、内部に反応空間 6 a を形成する誘電体からなる筒状の反応容器 6 と、反応容器 6 の外周に巻回して配設されたコイル状のアンテナ 7 とを備えている。アンテナ 7 には高周波発生手段としての高周波電源 8 が接続され、アンテナ 7 に 13.56 MHz に代表される RF 周波数帯、又は 100 MHz に代表される VHF 周波数帯の電圧を印加するように構成されている。

【0028】

反応容器 6 の他端開口 6 b には、ガス供給部 9 からマスフローコントローラなど、流量を直接高精度に制御できる流量制御手段 10 を介して所要の一定流量のガス 11 を供給するように構成されている。ガス供給部 9 から供給するガスは、アルゴン、ネオン、キセノン、ヘリウム、窒素から選択された単独ガス又は複数の混合ガスからなる不活性ガスを主とするもので、それによってプラズマを容易かつ安定して発生させることができ、かつプラズマ処理の種類に応じて、各種の反応性ガスを混合したガスを供給する。

【0029】

本実施形態では、移動手段 5 にてプラズマ発生部 2 と被処理物 4 を相対移動させてその表面をプラズマ処理する際に、プラズマ発生部 2 の吹き出し口 3 と被処理物 4 の表面との間の隙間 G を規制することで、被処理物 4 の表面における吹き出し口 3 に対向する範囲の領域を確実に安定してプラズマ処理するようにしている。すなわち、本発明者がプラズマ処理におけるガス 11 の供給量の低減を図りつつ確実にプラズマ処理するプラズマ処理条件を鋭意研究する中で、吹き出し口 3 からプラズマ P を吹き出すのに必要な所要流量のガス 11 を供給してプラズマ P を吹き出した状態で、吹き出し口 3 と被処理物 4 の間の隙間 G を、プラズマ処理を行う通常の範囲に設定した場合には、図 2 (a) に示すように、吹き出したプラズマ P が被処理物 4 の表面に十分に到達せずに消滅し、プラズマ処理を確実に行うことができなかった。一方、吹き出し口 3 と被処理物 4 の間の隙間 G を小さくして行くと、プラズマガスの吹き出し抵抗が大きくなってガス流量が低下し、プラズマ P が消灯してしまうことが判明した。そのため、従来は隙間 G を保ったままガス 11 の供給量を増加して所要の領域のプラズマ処理を行うようにしていたのである。これに対して、本発明者は流量制御手段 10 にて隙間 G が小さくなくてもガスの供給量が維持されるようにしつつ、吹き出し口 3 と被処理物 4 の間の隙間 G を小さくして行くと、隙間 G が反応容器 6 の内径 D に対してある規定値以下になった時点で突如として一気に、図 2 (b) に示すように、吹き出し口 3 と被処理物 4 との間の隙間の全面にプラズマ P が満たされた状態となり、少なくとも吹き出し口 3 に対向する範囲の領域の全面のプラズマ処理を確実に行えることを見出し、本発明を発明するに至ったのである。

【0030】

具体例を図 3 を参照して説明する。内径 D が 10 mm の反応容器 6 に、不活性ガスとしてのアルゴンガスが 99%、反応性ガスとしての酸素ガスが 1% の組成の混合ガスから成るガス 11 を、ガス流量 V が 5 l / 分、10 l / 分、20 l / 分の一定流量に設定してそれぞれ供給し、各流量毎に隙間 G を、1 mm ~ 6 mm の範囲で 1 mm 間隔で変化させて被処理物の表面改質処理を行い、表面改質処理が適切に行われたか否かの評価を行った。その結果を、図 3 に示している。図 3 において、○は表面改質が適切に行われた例、×は適切に行われなかった例を表示している。なお、表面改質処理が適切に行われたか否かの評価は、処理後の被処理物上に水等の液体を滴下し、その液体が形成する角度（一般に接触角と呼ぶ。）を測定し、行なった。接触角が所定値以上であれば、表面改質が行なわれておらず、所定値以下になっていれば、表面改質が行なわれたと判定している。また、この例では 5 l / 分が反応容器 6 からプラズマ P を吹き出させることができる最小限近傍のガス 11 の供給量であり、これ以下の流量では吹き出し口 3 から安定してプラズマ P を吹き出すことはできなかった。

【0031】

図 3 によれば、ガス流量 V が 5 l / 分の時には、隙間 G が 2 mm では処理が適切に行われ、3 mm では処理が適切に行われないので、その境界は 2.5 mm となり、10 l / 分の時には、隙間 G が 3 mm では処理が適切に行われ、4 mm では処理が適切に行われ

ので、その境界は3.5mmとなり、201/分の時には、隙間Gが5mmでは処理が適切に行われ、6mmでは処理が適切に行われないので、その境界は5.5mmとなる。このことから、隙間Gを2.5mm以下とすることで、プラズマPを吹き出させることができる最少限近傍のガス供給量でも吹き出し口3に対向する範囲の領域で確実に適切にプラズマ処理できることが判明した。また、図3から、供給するガス流量Vを増加することにより、その増加倍数に所定の係数Kを掛けた割合で隙間Gを大きく設定しても、確実に適切にプラズマ処理できることが判明する。

【0032】

他の具体例についても同様に検討して分析した結果、最小限近傍のガス供給量でも反応容器6の内径Dに対して隙間Gを次のように設定することによって、少なくとも吹き出し口3に対向する範囲の領域で確実に適切にプラズマ処理できることが判明した。すなわち、図1(a)、(b)に示すように、吹き出し口3の開口断面積をA、吹き出し口3の開口周長と隙間Gの積で与えられる吹き出し口3と被処理物4との間の開口面積をBとして、 $A = B$ となるように隙間Gを設定することで、吹き出したプラズマPで隙間Gの全体が満たされた状態となるため、確実に適切なプラズマ処理できるものと考えられる。吹き出し口3が円孔である場合には、 $A = \pi D^2 / 4$ 、 $B = \pi D G$ であるので、 $G = D / 4$ 、すなわち吹き出し口3の半径の半以下に設定することで適切なプラズマ処理を確保することができるのである。

【0033】

(第2の実施形態)

次に、本発明の大気圧プラズマ処理装置の第2の実施形態について、図4～図8を参照して説明する。なお、以下の実施形態の説明では、先行する実施形態と同一の構成要素については同一の参照符号を付して説明を省略し、主として相違点について説明する。

【0034】

本実施形態の大気圧プラズマ処理装置1のプラズマ発生部12は、図4(a)、(b)に示すように、長辺が L_1 、短辺が L_2 の長方形の横断面形状の反応空間13aの少なくとも一方の対向面が、図示例では四周面が、誘電体から成る反応容器13を備え、その対向壁面の背面に一对の電極14a、14bとその外側の絶縁被覆板15a、15bとを配置した構成としている。そして、一对の電極14a、14bに対して高周波電源8から高周波電圧を印加し、反応空間13aの上方からガス11を供給することで、下端の吹き出し口3からプラズマPを吹き出すように構成されている。印加する高周波電圧としては、数kHz～数100kHz、又は13.56MHzに代表されるRF周波数帯、又は100MHzに代表されるVHF周波数帯、さらに電子レンジに使用される2.45GHzに代表されるマイクロ波周波数帯などを適用できる。他の実施形態についても同じであるが、高周波電源と電極又はアンテナとの間に反射波を抑制するために整合回路(図示せず)を入れることが、一般的である。

【0035】

本実施形態のプラズマ発生部12は、図5に示すように、被処理物4を一定搬送経路上を移動させる移動手段5としての搬送コンベア5a上にその搬送経路上を横断するように配置されている。また、図示を省略しているが、移動手段5はプラズマ発生部12を搬送コンベア5aに対して昇降動作させてその高さ位置を調整設定できるように構成されている。また、搬送コンベア5aの搬送方向におけるプラズマ発生部12の上手側と下手側にそれぞれ処理開始認識手段16と処理終了認識手段17が配置されている。処理開始認識手段16と処理終了認識手段17は、搬送コンベア5aで搬送されてくる被処理物4を検出するセンサからなり、その検出信号の立ち上がり立ち下がりにより被処理物4の始端と終端をそれぞれ認識するように構成されている。

【0036】

また、本実施形態の大気圧プラズマ処理装置1においては、図6に示すように、制御部18にて移動手段5と高周波電源8と流量制御手段10が動作制御されている。制御部18は、処理開始認識手段16と処理終了認識手段17から入力された信号に基づいて、被

10

20

30

40

50

処理物 4 に対する処理開始と終了の決定を行い、被処理物 4 に対する処理時には、移動手段 5 を制御してプラズマ発生部 1 2 の高さ位置を調整設定するとともに、流量制御手段 1 0 を制御してプラズマ発生部 1 2 からプラズマ P が吹き出すのに必要な最小限近傍のガス流量を供給し、被処理物 4 に対する処理を行わない間は、プラズマ発生部 1 2 を待機位置まで退避させるとともに、反応空間 1 3 a 内でのプラズマの点灯状態を維持できる最少限度にガス流量を減少させるように構成されている。

【 0 0 3 7 】

次に、図 7 を参照して被処理物 4 の処理過程を説明する。まず、被処理物 4 がプラズマ発生部 1 2 から離れて位置している状態では、図 7 (a) に示すように、処理開始認識手段 1 6 により被処理物 2 が検出されていない状態であるので、ガス流量が反応空間 1 3 a 内でプラズマ P が点灯しているだけの点灯状態を維持できる程度に絞られるとともに、プラズマ発生部 1 2 が待機位置に退避されている。次に、図 7 (b) に示すように、被処理物 4 の始端が処理開始認識手段 1 6 にて検出されると、制御部 1 8 にて流量制御手段 1 0 が制御され、ガス流量が吹き出し口 3 からプラズマ P が吹き出すのに必要な最小限近傍の流量に制御されて吹き出し口 3 からプラズマ P が吹き出し、プラズマ発生部 1 2 の高さ位置が所定高さ位置に設定される。その直後から、図 7 (c) に示すように、被処理物 4 に対するプラズマ P による処理が行われる。次に、図 7 (d) に示すように、被処理物 4 の終端が処理終了認識手段 1 7 にて検出されると、直後に、図 7 (e) に示すように、制御部 1 8 にて流量制御手段 1 0 が制御されてガス流量が上記のように点灯状態を維持できる程度に絞られるとともに、移動手段 5 が制御されてプラズマ発生部 1 2 が待機位置に退避される。以降、上記動作が繰り返される。

【 0 0 3 8 】

上記図 7 (c) に示したプラズマ処理に際して、図 8 (a) に示すように、吹き出し口 3 と被処理物 4 の間の隙間 G が、吹き出し口 3 の開口断面積 $A (= L_1 \cdot L_2)$ より、吹き出し口 3 の開口周縁と被処理物 4 との間の隙間 G の開口面積 $B (= G \cdot (L_1 + L_2) \cdot 2)$ の方が大きい場合、すなわち $G > (L_1 \cdot L_2) / \{ (L_1 + L_2) \cdot 2 \}$ の場合には、吹き出したプラズマ P が被処理物 4 の表面に十分に到達せず消滅し、プラズマ処理が確実に行われないが、図 8 (b) に示すように、開口断面積 A より隙間 G の開口面積 B の方が小さくなるように隙間 G を設定すること、すなわち $G < (L_1 \cdot L_2) / \{ (L_1 + L_2) \cdot 2 \}$ に設定することで、吹き出し口 3 と被処理物 4 との間の隙間の全面にプラズマ P が満たされた状態となって、少なくとも吹き出し口 3 に対向する範囲の領域の全面のプラズマ処理を確実に行うことができる。

【 0 0 3 9 】

本実施形態でも上記実施形態と同様の作用効果を奏することができるとともに、被処理物 4 に対する処理の開始と終了を決定し、開始から終了の間のみガス流量をプラズマ P が吹き出し口 3 から吹き出す流量に制御し、それ以外の間はプラズマ P の点灯状態が維持される程度に低減することにより、被処理物 4 に対するプラズマ処理を安定して処理を行いながらガスの使用量をさらに低減することができ、ランニングコストの低下を図りながら効率的にかつ安定してプラズマ処理を行うことができる。

【 0 0 4 0 】

(第 3 の実施形態)

次に、本発明の大気圧プラズマ処理装置の第 3 の実施形態について、図 9 を参照して説明する。

【 0 0 4 1 】

上記第 1、第 2 の実施形態では、プラズマ発生部 2、1 2 の構成として、一端が吹き出し口 3 として開口した反応空間 6 a、1 3 a の他端からガス 1 1 を供給しつつ、アンテナ 7 又は電極 1 4 a、1 4 b から反応空間 6 a、1 3 a 内に高周波電圧を印加し、反応空間 6 a、1 3 a 内で発生させたプラズマ P を吹き出し口 3 から吹き出すようにした例を示したが、本実施形態のプラズマ発生部 2 0 では、プラズマ P の発生効率を向上するため、第 1 の不活性ガスをを用いて上記のようにして発生させた一次プラズマを、第 2 の不活性ガス

を主とし適量の反応性ガスを含む混合ガスが供給される混合ガス領域に吹き出させることで、混合ガスを雪崩現象的にプラズマ化して二次プラズマを発生させ、その二次プラズマをプラズマPとして吹き出し口から吹き出すようにしている。

【0042】

このプラズマ発生部20の具体的な構成を図9を参照して説明する。断面円形の反応空間21aを形成する誘電体からなる円筒状の反応容器21の周囲にコイル状のアンテナ22を配設し、アンテナ22に高周波電源8から高周波電圧を印加して反応空間21aに高周波電界を印加し、反応容器21の上端開口21bから第1の不活性ガス24を供給することで、反応容器21の下端出口23から一次プラズマ25を吹き出すように構成されている。反応容器21の下端出口23近傍の周囲には下端開放の混合ガス容器26が配設されている。混合ガス容器26の上部外周には複数のガス供給口28が配設され、内部に第2の不活性ガスを主とし適量の反応性ガスを含む混合ガス27を供給するように構成されている。また、混合ガス容器26は、反応容器21の下端より下方に延出され、反応容器21の下端より下方に、供給された混合ガス27で満たされた下端開放の混合ガス領域29を形成するように構成されている。この下端開放の混合ガス領域29に一次プラズマ25が衝突することで二次プラズマ30が発生し、発生した二次プラズマ30が、混合ガス容器26の下端開口にて構成される吹き出し口31からプラズマPとして吹き出すように構成されている。

10

【0043】

以上の構成において、反応容器21の下端開口23から一次プラズマ25を吹き出している状態で、混合ガス容器26内に混合ガス27を供給することで、混合ガス領域29内で混合ガス29に一次プラズマ25が衝突して二次プラズマ30が発生し、その二次プラズマ30が混合ガス領域29の全領域に展開してさらに吹き出し口31からプラズマPとして下方に吹き出す。このプラズマPを被処理物4に照射することで、所望のプラズマ処理が行われる。

20

【0044】

このプラズマ発生部20によれば、反応容器21の内径dを小さくして第1の不活性ガス24のガス供給量を少なくしても発生させた一次プラズマ25によって二次プラズマ30を大きく展開させることができるので、第1や第2の実施形態の場合に比して、混合ガス容器26の下端の吹き出し口31の開口面積を大きく設定することができ、かつ混合ガス領域29に供給する混合ガス27のガス供給量も吹き出し口31から二次プラズマ30が確実に吹き出す程度まで絞っても、上記実施形態と同様に吹き出し口31と被処理物4との間の隙間Gを、吹き出し口31の開口断面積をAとし、吹き出し口31と被処理物4との間の開口面積をBとして、 $B > A$ となるように、吹き出し口31と被処理物4との間の隙間Gを調整設定してプラズマ処理を行うことにより、第1の不活性ガス24及び混合ガス27の供給量の低減を図りながら吹き出し口31の開口面積に対応する大きな領域のプラズマ処理を安定して確実に行うことができる。

30

【0045】

(第4の実施形態)

次に、本発明の大気圧プラズマ処理装置の第4の実施形態について、図10を参照して説明する。

40

【0046】

本実施形態のプラズマ発生部2では、図10に示すように、反応容器6の吹き出し口3の周縁から被処理物4の表面に平行に対向するように所要幅の対向壁面32を設けている。そして、制御部(図示せず)が、吹き出し口3及び対向壁面32と被処理物4の表面との間に設けるべき隙間Gに設定されるように移動手段5を制御するとともに、その隙間Gに応じて流量制御手段10を制御して吹き出し口3から吹き出すプラズマPのガス流量を調整するように構成されている。

【0047】

次に、上記ガス流量の調整方法について説明する。反応容器6の内径、すなわち反応空

50

間 6 a の径を D_1 、対向壁面 3 2 の外周径を D_2 とすると、吹き出し口 3 の開口断面積 A は、 $\pi D_1^2 / 4$ で与えられ、対向壁面 3 2 と被処理物 4 との間の隙間 G の開口面積 B は、 $\pi D_2 G$ で与えられるため、 $A = B$ とするには、 $G = D_1^2 / 4 D_2$ となり、 $D_1 < D_2$ であるため、 G は小さな値にならざるを得ない。ここで、吹き出し口 3 からプラズマ P を吹き出すのに必要な最少限近傍のガス流量を V_1 とし、供給するガス流量を V_2 ($V_1 < V_2$) に増加すると、設定できる隙間 G は、 $G = (D_1^2 / 4 D_2) \cdot (V_2 / V_1) \cdot K$ で与えられる。ここで、 K は、図 3 の勾配 K に対応する所定の係数であり、反応容器 6 の仕様、ガスの種類や組成、高周波電圧の周波数帯等の条件によって定まるもので、実験的に求められるものである。

【0048】

10

このように、吹き出し口 3 の周縁から被処理物 4 表面に平行に対向するように所要幅の対向壁面 3 2 を形成すると、対向壁面 3 2 の周縁と被処理物 4 表面との間の開口面積 B が大きくなり、それに対応して設定すべき隙間 G が小さくなるが、ガス供給量を、吹き出し口 3 からプラズマ P を吹き出すのに必要な最少限近傍の流量 V_1 から流量 V_2 に増大させることで、 V_2 / V_1 の比に係数 K を乗じた割合で隙間 G を大きく設定することができ、処理に必要な隙間 G を確保することができるのである。

【0049】

本実施形態によれば、吹き出し口 3 及び対向壁面 3 2 と被処理物 4 の表面との間の隙間 G を確保しつつ、対向壁面 3 2 の大きさの面積のプラズマ処理を一度にかつ確実に安定して行うことができ、プラズマ処理の品質と効率の向上を図ることができる。

20

【0050】

本発明は、以上の実施形態に限らず、請求項の記載に基づいて各実施形態に示した種々の構成要素を組み合わせた構成で実施することができる。

【産業上の利用可能性】

【0051】

本発明の大気圧プラズマ処理方法によれば、吹き出し口と被処理物の間の隙間を、吹き出し口と被処理物との間の開口面積 B が吹き出し口の開口断面積 A より小さくなるように調整設定することで、吹き出し口からプラズマを吹き出すことができる最小限近傍のガス供給量でプラズマを発生させても、被処理物における吹き出し口の開口断面積に対応する領域を確実にプラズマ処理することができ、ガス供給量の低減を図りつつ大きな面積のプラズマ処理を行うことができるので大気圧プラズマ処理に有効に利用できる。

30

【図面の簡単な説明】

【0052】

【図 1】本発明の大気圧プラズマ処理装置の第 1 の実施形態を示し、(a) は要部構成を示す部分断面正面図、(b) は吹き出し口の開口断面積と吹き出し口と被処理物との間の隙間の開口面積を説明する斜視図。

【図 2】同実施形態における作用を説明する図で、(a) は従来の処理状態を示す断面図、(b) は本実施形態の処理状態を示す断面図。

【図 3】同実施形態の具体例における隙間とガス流量をパラメータとして処理の適否を表したグラフ。

40

【図 4】本発明の大気圧プラズマ処理装置の第 2 の実施形態を示し、(a) は要部構成を示す斜視図、(b) はプラズマ発生部の横断平面図。

【図 5】同実施形態の全体概略構成を示す斜視図

【図 6】同実施形態の制御構成を示すブロック図。

【図 7】同実施形態の処理工程における動作状態の説明図。

【図 8】同実施形態における作用を説明する図で、(a) は従来の処理状態を示す断面図、(b) は本実施形態の処理状態を示す断面図。

【図 9】本発明の大気圧プラズマ処理装置の第 3 の実施形態の要部構成を示す縦断面図。

【図 10】本発明の大気圧プラズマ処理装置の第 4 の実施形態の要部構成を示す縦断面図

50

【図 1 1】従来例の大気圧プラズマ発生装置の要部構成を示す斜視図。

【図 1 2】他の従来例の大気圧プラズマ発生装置の要部構成を示す斜視図。

【符号の説明】

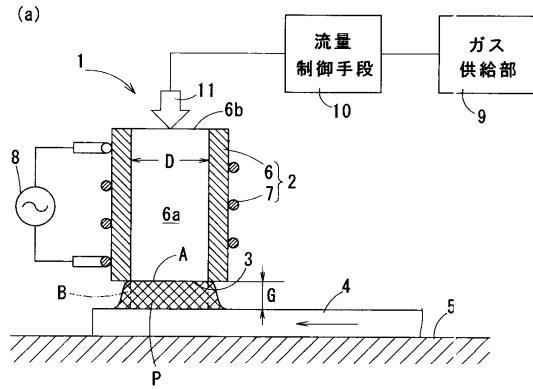
【 0 0 5 3 】

- 1 大気圧プラズマ処理装置
- 2、12、20 プラズマ発生部
- 3、31 吹き出し口
- 4 被処理物
- 5 移動手段
- 6、13、21 反応容器
- 6a、13a、21a 反応空間
- 7、22 アンテナ
- 8 高周波電源（高周波発生手段）
- 9 ガス供給部
- 10 流量制御手段
- 11 ガス
- 14a、14b 電極
- 18 制御部
- 23 下端出口
- 24 第1の不活性ガス
- 25 一次プラズマ
- 27 混合ガス
- 28 ガス供給口
- 29 混合ガス領域
- 30 二次プラズマ（プラズマP）
- 32 対向壁面
- P プラズマ
- G 隙間

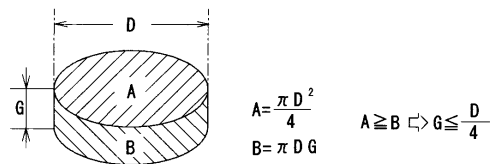
10

20

【図 1】



(b)



1…大気圧プラズマ処理装置

2…プラズマ発生部

3…吹き出し口

4…被処理物

5…移動手段

6…反応容器

6a…反応空間

7…アンテナ

8…高周波電源（高周波発生手段）

9…ガス供給部

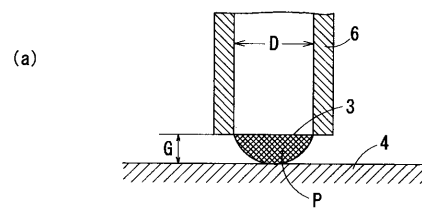
10…流量制御手段

11…ガス

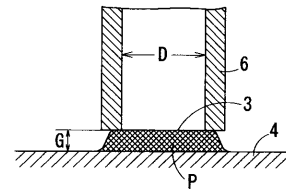
P…プラズマ

G…隙間

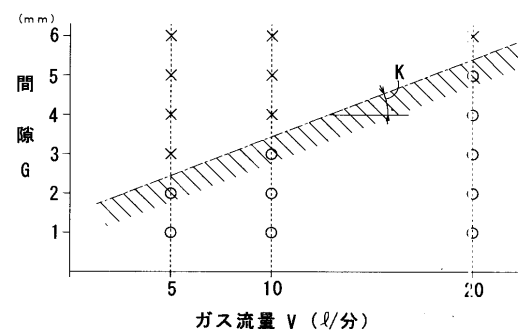
【図 2】



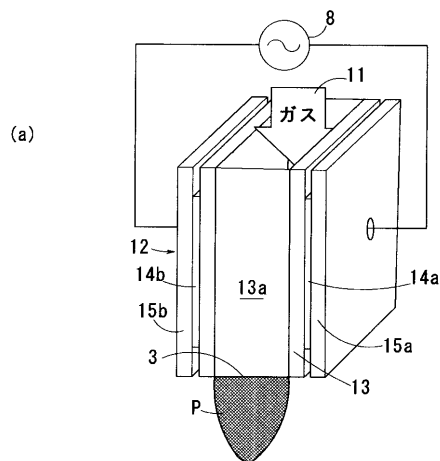
(b)



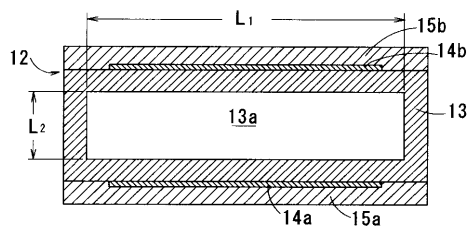
【図 3】



【図 4】



(b)



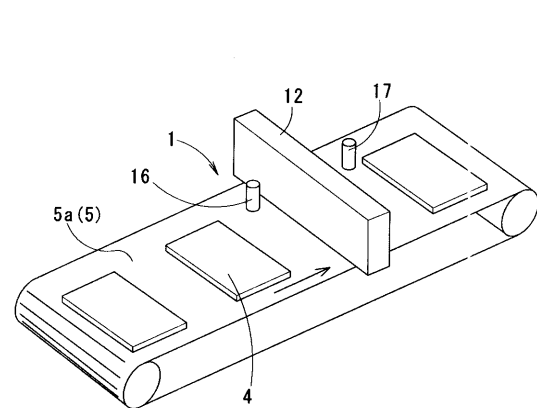
12…プラズマ発生部

13…反応容器

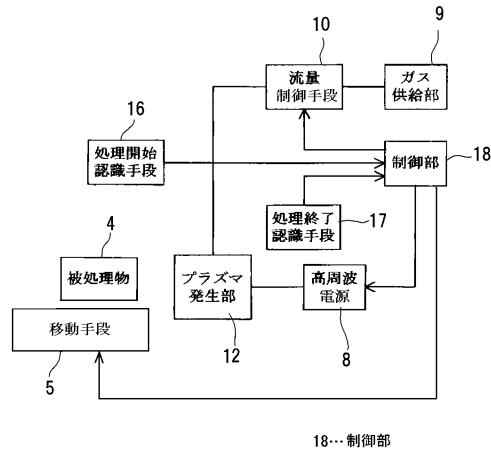
13a…反応空間

14a, 14b…電極

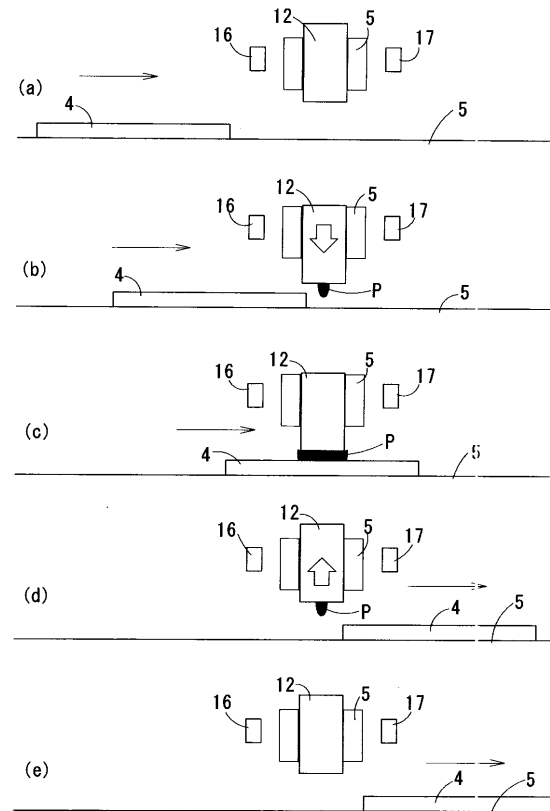
【図 5】



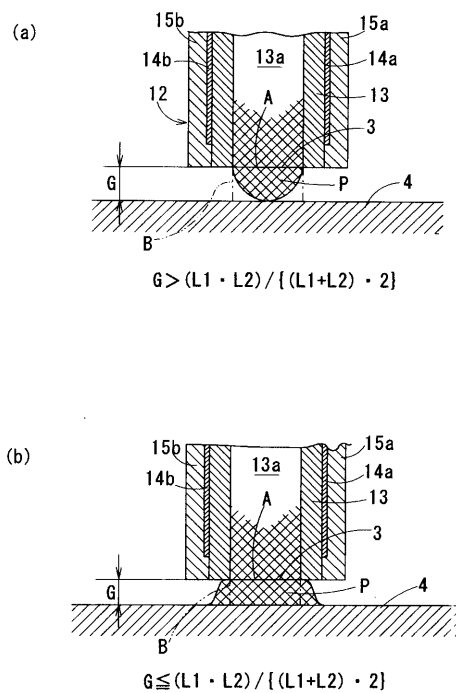
【図 6】



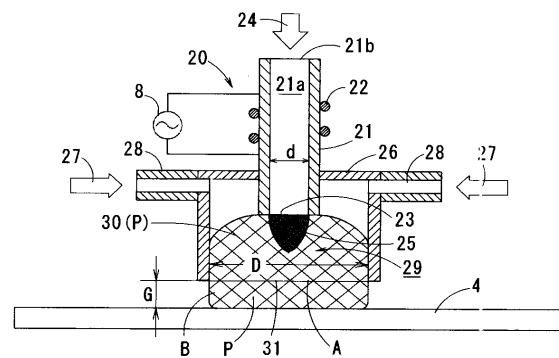
【図 7】



【図 8】

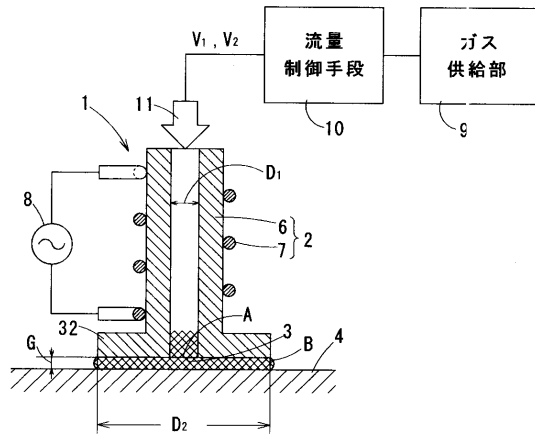


【図 9】



- 20...プラズマ発生部
- 21...反応容器
- 21a...反応空間
- 22...アンテナ
- 23...下端出口
- 24...第一の不活性ガス
- 25...一次プラズマ
- 27...混合ガス
- 28...ガス供給口 (混合ガス供給手段)
- 29...混合ガス領域
- 30...二次プラズマ (プラズマP)
- 31...吹き出し口

【図 10】



$$A = \frac{\pi D_1^2}{4} \quad A \geq B \Leftrightarrow G \leq \frac{D_1^2}{4D_2}$$

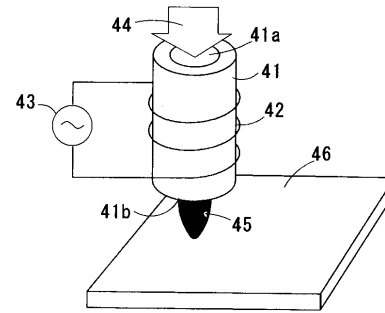
$$B = \pi D_2 G$$

ガス流量 $V_1 \Leftrightarrow V_2$

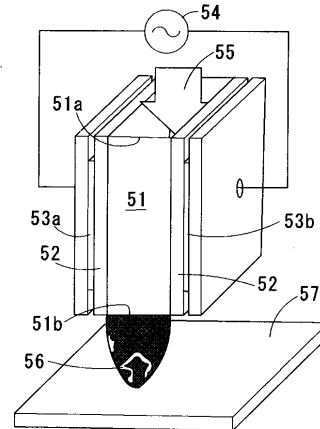
$$G \leq \frac{D_1^2}{4D_2} \times \frac{V_2}{V_1} \cdot K$$

32 … 対向壁面

【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 井上 和弘

大阪府門真市松葉町2番7号 パナソニック ファクトリーソリューションズ株式会社内

審査官 藤本 加代子

(56)参考文献 特開2000-169977(JP,A)
特開2004-235407(JP,A)
国際公開第03/056601(WO,A1)
特開2005-070647(JP,A)
特開2006-286551(JP,A)
特開2004-193590(JP,A)
特開2005-116950(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/24

H01L 21/3065