

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-200779

(P2014-200779A)

(43) 公開日 平成26年10月27日(2014.10.27)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)	
B01J	19/08	(2006.01)	B01J	19/08	K	4G075	
H05H	1/40	(2006.01)	H05H	1/40		4K017	
H05H	1/00	(2006.01)	H05H	1/00	A		
H05H	1/42	(2006.01)	H05H	1/42			
B22F	9/14	(2006.01)	B22F	9/14	Z		

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2013-81748 (P2013-81748)
 (22) 出願日 平成25年4月10日 (2013.4.10)

(71) 出願人 501137636
 東芝三菱電機産業システム株式会社
 東京都中央区京橋三丁目1番1号
 (74) 代理人 100088672
 弁理士 吉竹 英俊
 (74) 代理人 100088845
 弁理士 有田 貴弘
 (72) 発明者 三浦 明
 東京都港区三田三丁目13番16号 東芝
 三菱電機産業システム株式会社内
 (72) 発明者 渡辺 謙資
 東京都港区三田三丁目13番16号 東芝
 三菱電機産業システム株式会社内

最終頁に続く

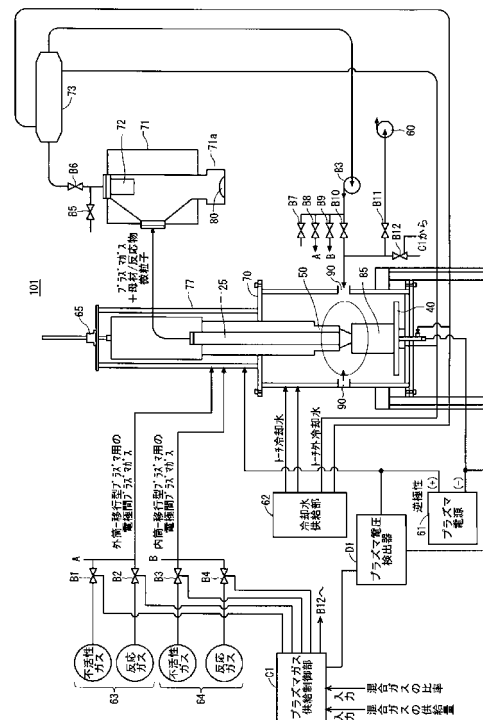
(54) 【発明の名称】 微粒子生成装置

(57) 【要約】

【課題】 プラズマガスとして混合ガスを用いた場合においても、母材部の高蒸発量を維持しつつ、プラズマの安定を図ることができる微粒子生成装置を提供する。

【解決手段】 本発明に係る微粒子生成装置101は、直流プラズマトーチ50と母材部85との間に発生しているプラズマのプラズマ電圧を検出するプラズマ電圧検出器D1を、備えている。さらに、微粒子生成装置101は、プラズマ電圧検出器D1から送信される検出結果に基づいて、プラズマガス供給部63、64を制御し、不活性ガスの供給を行いつつ、反応ガスの供給を変化させるプラズマガス供給制御部C1を、備えている。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

直流プラズマトーチと、

前記直流プラズマトーチから離隔して対向して配置され、微粒子生成の原料となり、導電性を有する母材部と、

前記直流プラズマトーチと前記母材部との間に、プラズマガスとして、不活性ガスおよび前記母材部の気化した成分と反応する反応ガスの供給が可能な、プラズマガス供給部と

、
前記直流プラズマトーチと前記母材部との間に発生しているプラズマのプラズマ電圧を検出するプラズマ電圧検出器と、

前記プラズマ電圧検出器から送信される検出結果に基づいて、前記プラズマガス供給部を制御し、前記不活性ガスの供給を行いつつ、前記反応ガスの供給を変化させるプラズマガス供給制御部とを、備えており、

前記直流プラズマトーチは、

リング状の磁石と、

円筒形状であり、前記磁石が前記円筒の空洞内部に配置され、前記磁石と所定の距離だけ離隔している移行型プラズマ用電極とを、有しており、

前記母材部に負極を印加し、前記移行型プラズマ用電極に正極を印加する直流電源を、さらに備えている、

ことを特徴とする微粒子生成装置。

【請求項 2】

前記プラズマガス供給部は、

(A) 前記直流プラズマトーチと前記母材部との間に前記プラズマを発生させるに際して、前記不活性ガスのみを供給し、

前記プラズマガス供給制御部は、

(B) 前記プラズマ電圧検出器で検出された、前記不活性ガスのみの供給により生成された前記プラズマの前記プラズマ電圧の、最高電圧値と最低電圧値とを記憶し、

(C) 前記最高電圧値、前記最低電圧値、および前記プラズマ電圧検出器で検出される前記プラズマ電圧に基づいて、前記プラズマガス制御部を制御し、前記反応ガスの供給を調整する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の微粒子生成装置。

【請求項 3】

前記プラズマガス供給制御部は、

前記 (A) 後において、前記プラズマ電圧検出器で検出される前記プラズマ電圧が、前記最低電圧値に達したとき、

(C-1) 前記プラズマガス供給部を制御し、前記不活性ガスに加えて、前記反応ガスの供給も行う、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の微粒子生成装置。

【請求項 4】

前記プラズマガス供給制御部は、

前記 (C-1) 後において、前記プラズマ電圧検出器で検出される前記プラズマ電圧が、前記最高電圧値に達したとき、

(C-2) 前記プラズマガス供給部を制御し、前記反応ガスの供給を止め、前記不活性ガスのみを供給を再開する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の微粒子生成装置。

【請求項 5】

前記プラズマガス供給制御部は、

前記 (C-2) 後において、前記プラズマ電圧検出器で検出される前記プラズマ電圧が、前記最低電圧値に達したとき、

(C-3) 前記プラズマガス供給部を制御し、前記不活性ガスに前記反応ガスを加えた

10

20

30

40

50

前記プラズマガスの供給を再開する、
ことを特徴とする請求項 4 に記載の微粒子生成装置。

【請求項 6】

前記プラズマガス供給制御部は、
前記不活性ガスと前記反応ガスとの混合ガスの供給量、および前記混合ガスの比率を、
入力値として設定可能であり、前記プラズマ電圧検出器で検出される前記プラズマ電圧が、
前記最低電圧値に達したとき、前記（C-1）および前記（C-3）において、前記プラズマガス供給部を制御し、設定されている、前記混合ガスの供給量および前記混合ガスの比率となるように、前記不活性ガスおよび前記反応ガスの供給を行う、
ことを特徴とする請求項 5 に記載の微粒子生成装置。 10

【請求項 7】

前記プラズマガス供給制御部は、
前記プラズマ電圧検出器で検出される前記プラズマ電圧が、前記最高電圧値に達したとき、前記（C-2）において、前記プラズマガス供給部を制御し、前記混合ガスの供給量と同じ供給量で、前記不活性ガスのみの供給を行う、
ことを特徴とする請求項 6 に記載の微粒子生成装置。

【請求項 8】

前記直流プラズマトーチと前記母材部との間におけるガスの排気を行う排気部を、さらに備えており、
前記プラズマガス供給制御部は、 20
前記排気部をも制御可能であり、前記プラズマガスの供給量と同じ値の排気量にて、ガスの排気を行う、
ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 の何れかに記載の微粒子生成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマトーチを利用した、微粒子生成装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

プラズマトーチを利用した微粒子生成に関する先行文献として、たとえば特許文献 1 が存在している。特許文献 1 に係る技術では、プラズマトーチを、試料である金属上面に対して斜めに配設している。そして、プラズマにより生成された金属からの微粒子を、プラズマトーチとは別に配設された吸引器から取り出している。 30

【0003】

しかしながら、特許文献 1 に係る技術では、プラズマトーチと吸引器とが別途配設されているので、微粒子生成装置全体の拡大化およびエネルギー効率が悪い、という問題を有している。

【0004】

そこで、上記問題を解決し、本願発明に関連する先行特許出願として、たとえば、特願 2012-265051 が存在している。当該先行特許出願に係る微粒子生成装置では、
直流プラズマトーチから発生した移行型プラズマを利用して母材部を気化させているので、エネルギー効率を向上させることができる。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開昭 58-104103 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、直流プラズマトーチを利用した微粒子発生装置において、プラズマガスとし 50

てアルゴン等の不活性ガスを単体で用いるより、不活性ガスと母材部の気化した成分と反応する反応ガス（ H_2 、 N_2 、 O_2 等の分子ガス）とを混合した混合ガスを用いた方が、下記の理由により良い。つまり、プラズマガスとして上記混合ガスを用いた場合には、イオン化エネルギーだけでなく、解離エネルギーも母材部の蒸発に寄与できるため、蒸発量を増加させることができる。

【0007】

しかしながら、プラズマガスとして上記混合ガスを利用した場合には、プラズマの状態が安定しないこともあることが分かった。

【0008】

そこで、本発明は、プラズマガスとして混合ガスを用いた場合においても、母材部の高蒸発量を維持しつつ、プラズマの安定を図ることができる微粒子生成装置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】

【0009】

上記の目的を達成するために、本発明に係る微粒子生成装置は、直流プラズマトーチと、前記直流プラズマトーチから離隔して対向して配置され、微粒子生成の原料となり、導電性を有する母材部と、前記直流プラズマトーチと前記母材部との間に、プラズマガスとして、不活性ガスおよび前記母材部の気化した成分と反応する反応ガスの供給が可能な、プラズマガス供給部と、前記直流プラズマトーチと前記母材部との間に発生しているプラズマのプラズマ電圧を検出するプラズマ電圧検出器と、前記プラズマ電圧検出器から送信される検出結果に基づいて、前記プラズマガス供給部を制御し、前記不活性ガスの供給を行いつつ、前記反応ガスの供給を変化させるプラズマガス供給制御部とを、備えており、前記直流プラズマトーチは、リング状の磁石と、円筒形状であり、前記磁石が前記円筒の空洞内部に配置され、前記磁石と所定の距離だけ離隔している移行型プラズマ用電極とを、有しており、前記母材部に負極を印加し、前記移行型プラズマ用電極に正極を印加する直流電源を、さらに備えている。

【発明の効果】

【0010】

本発明に係る微粒子生成装置は、直流プラズマトーチと、前記直流プラズマトーチから離隔して対向して配置され、微粒子生成の原料となり、導電性を有する母材部と、前記直流プラズマトーチと前記母材部との間に、プラズマガスとして、不活性ガスおよび前記母材部の気化した成分と反応する反応ガスの供給が可能な、プラズマガス供給部と、前記直流プラズマトーチと前記母材部との間に発生しているプラズマのプラズマ電圧を検出するプラズマ電圧検出器と、前記プラズマ電圧検出器から送信される検出結果に基づいて、前記プラズマガス供給部を制御し、前記不活性ガスの供給を行いつつ、前記反応ガスの供給を変化させるプラズマガス供給制御部とを、備えており、前記直流プラズマトーチは、リング状の磁石と、円筒形状であり、前記磁石が前記円筒の空洞内部に配置され、前記磁石と所定の距離だけ離隔している移行型プラズマ用電極とを、有しており、前記母材部に負極を印加し、前記移行型プラズマ用電極に正極を印加する直流電源を、さらに備えている。

【0011】

したがって、本発明に係る微粒子生成装置では、プラズマガスとして混合ガスを用いたとしても、プラズマの伸張具合（つまり、プラズマ電圧）に応じて、混合ガスの供給量・供給割合等の調整ができる。よって、当該微粒子生成装置では、母材部の高蒸発量を維持しつつ、プラズマの安定を図ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の前提となる微粒子生成装置100の全体構成を示す図である。

【図2】直流プラズマトーチ50の先端部付近の構成を示す拡大断面図である。

【図3】リング形状の磁石3の磁化の方向を示す斜視図である。

10

20

30

40

50

【図４】移行型プラズマＰ１が回転する原理を説明するための断面図である。

【図５】直流プラズマトーチ５０と母材部８５との間の距離を変化させることにより、螺旋形状のプラズマが形成されることを説明するための拡大断面図である。

【図６】移行型プラズマＰ１が微粒子通路部２５の開口部方向に押される様子を示す断面図である。

【図７】実施の形態に係る微粒子生成装置１０１の構成を示す断面図である。

【図８】不活性ガスのみを供給したときにおける、プラズマ電圧の変化の様子を示す図である。

【図９】プラズマガスにおける反応ガス（分子ガス）の濃度に対する、プラズマ電圧の平均値の変化を示す図である。

10

【発明を実施するための形態】

【００１３】

まず、本発明の前提となる微粒子生成装置の構成及び微粒子生成方法について、説明する。

【００１４】

図１は、微粒子生成装置１００の全体構成を示す図である。図１に示すように、微粒子生成装置１００は、直流プラズマトーチ５０を具備する。また、図２は、図１に示す直流プラズマトーチ５０の先端部付近（図１の丸で囲まれた領域）の構成を示す拡大断面図である。

【００１５】

20

図１に示すように、微粒子生成装置１００は、直流プラズマトーチ５０、真空ポンプ６０、プラズマ電源６１、冷却水供給部６２、プラズマガス供給部６３、６４、プラズマトーチ昇降機構６５、密閉容器７０、微粒子捕獲器７１、微粒子捕獲フィルター７２、熱交換器７３、筒部７７、循環ポンプ８３および母材部８５を、備えている。

【００１６】

上記したように、図１に示した丸で囲まれた領域の構成（つまり、直流プラズマトーチ５０の先端部付近の構成）が、図２に示されている。図２に示すように、直流プラズマトーチ５０は、移行型プラズマ用電極１、内筒２、磁石３、外筒４、および複数の絶縁物５、６、７を、備えている。なお、図２に示すように、これらの部材１～７は全て、プラズマトーチ先端部において配設されている。

30

【００１７】

<直流プラズマトーチおよびその周辺の構成>

まず、図２を用いて、直流プラズマトーチ５０の構成について説明する。

【００１８】

移行型プラズマ用電極１、内筒２および外筒４は各々、円筒形状を有しており、導電性材料から成る。移行型プラズマ用電極１は、内筒２を、所定の距離だけ離れて囲繞している。つまり、移行型プラズマ用電極１の円筒形の径は、内筒２の円筒形の径よりも大きい。また、外筒４は、移行型プラズマ用電極１を、所定の距離だけ離れて囲繞している。つまり、外筒４の円筒形の径は、移行型プラズマ用電極１の円筒形の径よりも大きい。

【００１９】

40

外筒４の空洞内には、内筒２および移行型プラズマ用電極１が配置されており、移行型プラズマ用電極１の空洞内には、内筒２が配置されている。ここで、移行型プラズマ用電極１の円筒形の中心軸と、内筒２の円筒形の中心軸と、外筒４の円筒形の中心軸は、一致している。当該中心軸を、図２において中心軸ＡＸとして図示している。

【００２０】

なお、以下の説明において、当該中心軸ＡＸの方向（換言すると、直流プラズマトーチ５０が母材部８５と対向している方向）を、「軸方向」と称する。また、各部材１、２、４の円筒形の径の方向（換言すると、前記対向している方向（中心軸ＡＸの方向）に垂直な方向であり、水平方向）を、「径方向」と称する。

【００２１】

50

内筒 2 の空洞は、母材部 8 5 から生成された微粒子が通る微粒子通路部 2 5 として機能し、直流プラズマトーチ 5 0 の略中心部に存する。また、内筒 2 と移行型プラズマ用電極 1 との間に形成された空間は、プラズマガスが通るガス通路部 2 6 として機能する。また、移行型プラズマ用電極 1 と外筒 4 との間に形成された空間は、プラズマガスが通るガス通路部 2 7 として機能する。

【0022】

なお、後述するプラズマ電源 6 1 による電圧印加により、移行型プラズマ用電極 1 と母材部 8 5 との間に移行型プラズマ P 1 が生成される。当該移行型プラズマ P 1 が母材部 8 5 に当たることにより、母材部 8 5 から、微粒子が生成される。微粒子通路部 2 5 は、図 1, 2 の上方向から下方向（つまり、直流プラズマトーチ 5 0 の上部から母材部 8 5 に向けて）延設されているが、当該微粒子通路部 2 5 内を、当該生成した微粒子が、図 1, 2 の下方向から上方向に向かって通過する。

10

【0023】

また、ガス通路部 2 6, 2 7 も、図 1, 2 の上方向から下方向（つまり、直流プラズマトーチ 5 0 の上部から母材部 8 5 に向けて）延設されている。後述するプラズマガス供給部 6 3, 6 4 から供給されたプラズマガスは、ガス通路部 2 6, 2 7 内を、図 1, 2 の上方向から下方向に向かって通過する。

【0024】

また、磁石 3 は、リング形状を有する、永久磁石である。当該磁石 3 のリング形状の中心軸も、上記中心軸 A X と一致している。また、磁石 3 は、中心軸 A X 方向に磁化している。具体的に、図 3 に示しているように、リング状の磁石 3 において、上部（母材部 8 5 と対面していない側）が「N 極」であり、下部（母材部 8 5 と対面している側）が「S 極」である。

20

【0025】

また、移行型プラズマ用電極 1 は、磁石 3 を、所定の距離だけ離れて囲繞している。つまり、磁石 3 は、移行型プラズマ用電極 1 の円筒の空洞内部に配置される。図 2 に示す形態で、磁石 3 は、内筒 2 の内部に配設（内蔵）されている。より具体的には、磁石 3 は、内筒 2 の内部において、母材部 8 5 配置側（内筒 2 の底部付近）に、配置されている。つまり、母材部 8 5 により近い位置に、磁石 3 は配設されている。

【0026】

また、図 2 に示すように、絶縁物 5 は、内筒 2 の底面側端部を被覆するように形成されている。より具体的に、絶縁物 5 は、内筒 2 の母材部 8 5 と対面する部分および、当該部分付近における内筒 2 の側面部の一部を覆っている。つまり、絶縁物 5 は、軸方向における磁石 3 の磁場が径方向における磁石 3 の磁場より大きくなる領域において、配設されている。

30

【0027】

さらに、外筒 4 と対面する移行型プラズマ用電極 1 の側面部には、絶縁物 6 が配設され、移行型プラズマ用電極 1 と対面する外筒 4 の側面部には、絶縁物 7 が配設されている。当該絶縁物 6 は、母材部 8 5 と対面する側の移行型プラズマ用電極 1 の端部付近において、所定の範囲で、磁石 3 を囲繞するように配設されている。また、当該絶縁物 7 は、母材部 8 5 と対面する側の外筒 4 の端部付近において、所定の範囲で、磁石 3 を囲繞するように配設されている。つまり、絶縁物 6, 7 は各々、軸方向における磁石 3 の磁場が径方向における磁石 3 の磁場より大きくなる領域において、配設されている。

40

【0028】

ここで、各絶縁物 5, 6, 7 として、たとえば高温耐久性を有する窒化ボロン（または酸化シリコン）、または安価なアルミナなどを採用することができる。

【0029】

なお、内筒 2 の端部（底部）、移行型プラズマ用電極 1 の端部（底部）および外筒 4 の端部（底部）の、母材部 8 5 側への突出具合は、次の通りである。外筒 4 の底部が、最も母材部 8 5 側に突出しており、内筒 2 の端部が、最も母材部 8 5 側に突出していない。移行

50

型プラズマ用電極 1 の母材部 8 5 への突出具体は、前者両者の間である。

【0030】

ここで、上記構成の直流プラズマトーチ 5 0 は、図 2 における上下方向に、移動することができる。換言すれば、直流プラズマトーチ 5 0 は、母材部 8 5 と対面している方向（中心軸方向 A X）に、移動可能である。

【0031】

さて、上述の構成からも分かるように、図 1, 2 に示すように、直流プラズマトーチ 5 0 のプラズマ出力側において、当該直流プラズマトーチ 5 0 から上下方向離隔・対向して、母材部 8 5 が設けられている（つまり、母材部 8 5 は、直流プラズマトーチ 5 0 の下方に配設される）。当該母材部 8 5 は、微粒子生成の原料となる金属等であり、導電性を有する。当該母材部 8 5 としては、たとえば、銅、鉄、ニッケルなどを採用することができる。

10

【0032】

図 1 に示すように、密閉容器 7 0 内には、直流プラズマトーチ 5 0 の先端部および母材部 8 5 が配設されている。そして、直流プラズマトーチ 5 0 の先端部および母材部 8 5 が配設されている状態において、密閉容器 7 0 内は密封される（気密性が保持されている）。

【0033】

なお、図 1 に示すように、密閉容器 7 0 の上部において、密閉容器 7 0 と筒部 7 7 とは接続されている。そして、当該接続された、筒部 7 7 内の空洞部および密閉容器 7 0 の空洞部に渡って、直流プラズマトーチ 5 0 が、図 1, 2 の上下方向（中心軸 A X の方向）移動可能に、配設されている。

20

【0034】

ここで、直流プラズマトーチ 5 0 でなく、母材部 8 5 を、密閉容器 7 0 内において図 1, 2 の上下方向（中心軸 A X の方向）に移動可能に配設しても良い。つまり、直流プラズマトーチ 5 0 および母材部 8 5 の少なくとも何れか一方が、図 1, 2 の上下方向（中心軸 A X の方向）移動可能に、密閉容器 7 0 内に配設されていれば良い。

【0035】

＜微粒子生成装置の構成＞

次に、図 1 を用いて、微粒子生成装置 1 0 0 全体の構成を説明する。

30

【0036】

プラズマトーチ昇降機構 6 5 は、直流プラズマトーチ 5 0 の上方に配設されており、当該直流プラズマトーチ 5 0 を、図 1, 2 に示す上下方向（中心軸 A X の方向）に移動させる。なお、上記の通り、プラズマトーチ昇降機構 6 5 の代わりに（またはこれと共に）、母材部 8 5 を図 1, 2 に示す上下方向（中心軸 A X の方向）に移動させる昇降機構を設けても良い。なお、当該各昇降機構が、直流プラズマトーチ 5 0 と母材部 8 5 との間の距離を可変可能とする距離移動部であると、把握できる。

【0037】

プラズマ電源（直流電源と把握できる）6 1 は、移行型プラズマ用電極 1 および母材部 8 5 に対して、逆極性の直流電圧を印加する。具体的に、プラズマ電源 6 1 は、図 1, 2 に示すように、移行型プラズマ用電極 1 に正極（陽極、+：プラス）を印加し、母材部 8 5 に負極（陰極、-：マイナス）を印加する（逆極性）。

40

【0038】

冷却水供給部 6 2 は、直流プラズマトーチ 5 0、密閉容器 7 0、母材部 8 5 および熱交換機 7 3 の各々に対して、冷媒（以下、冷却水を例示して説明する）を供給する。

【0039】

具体的に、冷却水供給部 6 2 は、移行型プラズマ用電極 1 内、内筒 2 内および外筒 4 内を、冷却水が循環する（当該冷却水が循環する部分が、冷却部であると把握できる）ように、冷却水を供給している。当該冷却水の循環により、直流プラズマトーチ 5 0 の冷却が可能となる。なお、内筒 2 内に内蔵されている磁石 3 の周囲においても、冷却水は循環し

50

ている。

【0040】

また、密閉容器70の壁面内・底面内・上面内には、冷却水が循環する冷却水路が形成されており、冷却水供給部62は、当該冷却水路内を冷却水が循環するように、冷却水を供給している。当該冷却水の循環により、密閉容器70自身および密閉容器70内の冷却が可能となる。

【0041】

また、母材部85の底部と接する冷却部40が、密閉容器70内に配設されている（冷却部40の上面に、母材部85が載置される）。そして、冷却水供給部62は、当該冷却部40内を冷却水が循環するように、冷却水を供給している。当該冷却水の循環により、母材部85の冷却が可能となる。

10

【0042】

また、熱交換器73においても冷却水が循環できる水路が形成されており、当該水路に対して冷却水供給部62が冷却水を循環供給することにより、当該供給された冷却水は、熱交換器73において熱交換に利用される。

【0043】

ここで、図1に示す構成例では、微粒子捕獲器71は冷却水で冷却されていないが、冷却水供給部62から供給される冷却水で冷却してもよい。

【0044】

プラズマガス供給部63は、直流プラズマトーチ50内の微粒子通路部25の外側を通過して、母材部85の配設方向に向けて、プラズマガスを供給する。具体的に、プラズマガス供給部63は、外筒4と移行型プラズマ用電極1との間に形成されたガス通路部27を通過して、母材部85に向けて、プラズマガスを供給する。

20

【0045】

ここで、図1に示すように、プラズマガス供給部63が供給するプラズマガスとして、不活性ガス（アルゴン、ヘリウム等）および／または母材部85から気化した成分と反応する反応ガス（酸素分子、窒素分子、水素分子等の分子ガス）などが採用できる。

【0046】

プラズマガス供給部64は、直流プラズマトーチ50内の微粒子通路部25の外側を通過して、母材部85に向けて、プラズマガスを供給する。具体的に、プラズマガス供給部64は、内筒2と移行型プラズマ用電極1との間に形成されたガス通路部26を通過して、母材部85に向けて、プラズマガスを供給する。

30

【0047】

ここで、図1に示すように、プラズマガス供給部64が供給するプラズマガスとして、不活性ガス（アルゴン、ヘリウム等）および／または母材部85から気化した成分と反応する反応ガス（酸素分子、窒素分子、水素分子等の分子ガス）などが採用できる。

【0048】

ここで、上述した、プラズマガス供給部63、64が、第一のガス供給部であると把握できる。

【0049】

プラズマ電源61からの電源供給およびプラズマガス供給部63、64からのプラズマガス供給により、密閉容器70内の移行型プラズマ用電極1と母材部85との間において、移行型プラズマP1が発生する。

40

【0050】

なお、後述するように、当該移行型プラズマP1は、磁石3からの磁力（より具体的に、径方向の磁力）の影響を受けることにより、移行型プラズマ用電極1と母材部85との間において、中心軸AXの周りを回転する。

【0051】

微粒子の原材料から成る母材部85は、上記回転状態の移行型プラズマP1により加熱される。そして、当該加熱により、移行型プラズマP1が照射されている母材部85の表

50

面部が気化する。

【0052】

密閉容器70内および直流プラズマトーチ50内の各プラズマガスの流れにより、母材部85から気化した成分は冷却され、微粒子となり、母材部85からの上昇気流に乗り、微粒子通路部25を図1の上方向に通過する。

【0053】

真空ポンプ60は、密閉容器70、微粒子捕獲器71および熱交換器73内の気圧を減圧させるために、用いられる。

【0054】

図1, 2から分かるように、微粒子通路部25の一方端は、母材部85に面している。他方、図1に示すように、微粒子通路部25の他方端は、微粒子捕獲器71に接続されている。つまり、微粒子通路部25を図1の上方向に通過した微粒子は、微粒子捕獲器71内において捕獲される。

10

【0055】

微粒子捕獲器71内には、微粒子捕獲フィルター72が配設されている。微粒子通路部25を通過し微粒子捕獲器71に到達した、微粒子およびプラズマガスは、当該微粒子捕獲フィルター72により分離される。つまり、微粒子捕獲フィルター72により微粒子が捕獲される一方、当該微粒子捕獲フィルター72を通過したプラズマガスは、微粒子捕獲フィルター72を介して微粒子捕獲器71に接続されている、熱交換器73に伝搬される。

20

【0056】

ここで、微粒子捕獲器71には、微粒子捕獲フィルター72に対抗するように、当該微粒子捕獲フィルター72より下方向に、捕集容器71aが設けられている。バルブB5から、パルスエアを微粒子捕獲器71に向けて供給する。当該パルスエアの供給により、微粒子捕獲フィルター72において捕獲した微粒子を、捕集容器71aの配設方向に落下させることができる。これにより、図1に示すように、捕集容器71a内において微粒子80が捕集される。

【0057】

熱交換器73の一方端は、微粒子捕獲器71内の微粒子捕獲フィルター72と接続されており、当該熱交換器73の他方端は、循環ポンプ83に接続されている。なお、循環ポンプ83の一方端は、上記の通り熱交換器73に接続されており、循環ポンプ83の他方端は、密閉容器70およびプラズマガス供給部63, 64等に接続されている。

30

【0058】

当該循環ポンプ83の循環動作により、微粒子およびプラズマガスは、微粒子通路部25を通過し、微粒子捕獲器71に到達する。そして、当該循環ポンプ83により、微粒子捕獲フィルター72を通過したプラズマガスは、熱交換器73を通過し（当該熱交換器73においてプラズマガスは十分冷却される）、密閉容器70および／またはプラズマガス供給部63, 64において再供給される。

【0059】

上述したように、循環ポンプ83と密閉容器70とは接続されている。具体的には、密閉容器70にはガス供給部（第二のガス供給部と把握できる）90が配設されている。そして、当該ガス供給部90には、バルブB10を介して、循環ポンプ83が接続されている。

40

【0060】

ここで、ガス供給部90は、密閉容器70の側面部に穿設されている。なお、密閉容器70の側面部は、たとえば平面視形状（図1の上方向から見た形状）が円形である（つまり、たとえば密閉容器70は筒形状を有する）。

【0061】

ガス供給部90は、一つのプラズマガス入力孔と、複数のプラズマガス噴出孔と、入力孔と各噴出孔とを接続する通路部とから構成されている。密閉容器70の外周側面部にお

50

いて、当該入力孔が配設されており、当該入力孔が循環ポンプ 8 3 に接続される。また、密閉容器 7 0 の内周側面部（密閉空間側）において、複数の噴出孔が配設されている。ここで、各噴出孔は、密閉容器 7 0 内の中心部（中心軸 A X）に、穿設穴が面するように、密閉容器 7 0 の内周側面部に配設されている。なお、各噴出孔は、密閉容器 7 0 の側面において、密閉容器 7 0 の上記円筒の円周方向に沿って、複数配設されている。ここで、各噴出孔は、当該円周方向に均等に配設されている。なお、通路部は、プラズマガスが流れる通路として、密閉容器 7 0 の側壁内に配設されている。

【0062】

当該ガス供給部 9 0 から出力されるプラズマガスは、直流プラズマトーチ 5 0 と母材部 8 5 との間の空間において、側方から（中心軸 A X の外側から当該中心軸 A X に向かう方向に）供給される（図 2 に示す符号 P G a を参照）。 10

【0063】

また、図 1 の構成では、循環ポンプ 8 3 は、バルブ B 8 を介して、プラズマガス供給部 6 3 側と接続されている。これにより、プラズマガス供給部 6 3 に、微粒子捕獲フィルター 7 2 を通過して循環したプラズマガスを供給することが可能となり、プラズマガス供給部 6 3 は、当該供給されたプラズマガスを、ガス通路部 2 7 に向けて再供給することができる。

【0064】

さらに、図 1 の構成では、循環ポンプ 8 3 は、バルブ B 9 を介して、プラズマガス供給部 6 4 側と接続されている。これにより、プラズマガス供給部 6 4 に、微粒子捕獲フィルター 7 2 を通過して循環したプラズマガスを供給することが可能となり、プラズマガス供給部 6 4 は、当該供給されたプラズマガスを、ガス通路部 2 6 に向けて再供給することができる。 20

【0065】

＜微粒子生成装置における微粒子の生成方法＞

次に、微粒子生成装置 1 0 0 における動作について説明する。

【0066】

真空ポンプ 6 0 は、バルブ B 1 1 を介して、密閉容器 7 0 内と接続されている。そこで、バルブ B 1 1 を開き、真空ポンプ 6 0 を駆動させることにより、密閉容器 7 0 内の減圧処理を行う（真空引き処理）。なお、密閉容器 7 0 が所望の圧力まで減圧されたとき、真空ポンプ 6 0 を停止し、バルブ B 1 1 を閉じ、密閉容器 7 0 内の圧力を当該所望の圧力で維持する。 30

【0067】

次に、プラズマガス供給部 6 3, 6 4 から、プラズマガスを出力する。ここで、プラズマガスとして、不活性ガスのみを出力する場合には、バルブ B 1, B 3 を開く。他方、プラズマガスとして、不活性ガスと反応ガスとの混合ガスを出力する場合には、バルブ B 1, B 2, B 3, B 4 を開く。

【0068】

プラズマガス供給部 6 3 から出力されたプラズマガスは、直流プラズマトーチ 5 0 内のガス通路部 2 7 を通って、母材部 8 5 に向けて、密閉容器 7 0 内に供給される（図 2 参照）。また、プラズマガス供給部 6 4 から出力されたプラズマガスは、直流プラズマトーチ 5 0 内のガス通路部 2 6 通って、母材部 8 5 に向けて、密閉容器 7 0 内に供給される（図 2 参照）。このようにして、上記真空引き後の密閉容器 7 0 内に、プラズマガスが供給される。 40

【0069】

次にまたは上記プラズマガス供給と並行して、プラズマトーチ昇降機構 6 5 を駆動する。これにより、直流プラズマトーチ 5 0 の先端部と母材部 8 5 の上面部との間の距離（空間）が小さくなる（当該処理により、移行型プラズマの初期形成が可能となる）。

【0070】

さて、直流プラズマトーチ 5 0 の先端部と母材部 8 5 の上面部との間の距離（空間）が 50

小さくなった状態（初期位置状態）で、上記プラズマガスの供給を行いつつ、プラズマ電源 61 を用いて、逆極性の直流電源を、移行型プラズマ用電極 1 と母材部 85 との間に印加する。つまり、プラズマ電源 61 は、移行型プラズマ用電極 1 に陽極を印加し、母材部 85 に陰極を印加する。

【0071】

すると、図 2 に示すように、移行型プラズマ用電極 1 と母材部 85 との間において、移行型プラズマ P1 が発生する。磁石 3 の磁場の作用により、当該移行型プラズマ P1 は回転し、初期位置状態においては、円筒状のプラズマとなる。

【0072】

ここで、絶縁物 5, 6, 7 の存在により、移行型プラズマ P1 は、両電極 1, 85 との間で、つまり径方向における磁石 3 の磁場が軸方向における磁石 3 の磁場より大きい領域において、生成される。換言すれば、当該絶縁物 5, 6, 7 は、プラズマの回転に寄与しない磁界部分に移行型プラズマ P1 が移行しないようにするために、各々配設されている。

【0073】

上記のとおり、移行型プラズマ P1 は、磁石 3 により生成される磁界により、中心軸 AX を中心として回転する。具体的には、下記の通りである。

【0074】

図 2 に示すように、リング状の磁石 3 は内筒 2 内に内蔵されているが、当該磁石 3 は、図 3 に示すように、中心軸 AX 方向に磁化している。したがって、当該磁石 3 により、直流プラズマトーチ 50 の先端部では、図 4 に示す磁界 MF が形成される。

【0075】

当該磁界 MF 生成下において、移行型プラズマ用電極 1 と母材部 85 との間に逆極性である所定値の直流電圧を印加すると、移行型プラズマ P1 が発生する。さらに、移行型プラズマ用電極 1 から母材部 85 に向かって、移行型プラズマアーク電流 I が流れる（図 4 参照）。

【0076】

ここで、絶縁物 5, 6, 7 の存在により、母材部 85 と当該母材部 85 に対面する移行型プラズマ用電極 1 の端部（底部）との間においてのみ、移行型プラズマアーク電流 I が流れる。換言すれば、磁界 MF の径方向の磁場が当該磁界 MF の軸方向の磁場より大きい領域においてのみ、移行型プラズマアーク電流 I が流れる。

【0077】

したがって、図 4 に示すように、フレミングの左手の法則により、移行型プラズマ P1 は、当該径方向の磁場 B の影響により中心軸 AX 廻りの力 F が働く。よって、移行型プラズマ P1 は、中心軸 AX の回りにおいて反時計回りに回転する。なお、力 F の大きさは、径方向磁場 B × 移行型プラズマアーク電流 I、である。このように、移行型プラズマ P1 は、常に回転する。

【0078】

さて、バルブ B6, B10 を開放すると共に、循環ポンプ 83 を駆動する。これにより、密閉容器 70 → 直流プラズマトーチ 50 → 微粒子捕獲器 71 → 熱交換器 73 → 循環ポンプ 83 → 密閉容器 70、という循環の流れを発生させることができる。

【0079】

次に、プラズマトーチ昇降機構 65 を駆動し、直流プラズマトーチ 50 の先端部と母材部 85 の上面部との間の距離（空間）を、上記初期位置状態よりも大きくしていく（図 5 参照）。ここで、プラズマトーチ昇降機構 65 は、移行型プラズマ用電極 1 の直径寸法の範囲以下で、直流プラズマトーチ 50 の先端部と母材部 85 の上面部との間の距離（空間）を、大きくさせる。

【0080】

このように、両電極 1, 85 間の距離を広げると、直流プラズマトーチ 50 に近い側では磁界 MF の影響が大きい（磁場 B が大きい）ため、移行型プラズマ P1 の上記回転の速

10

20

30

40

50

度は速くなり、母材部 85 に近い側では磁界 MF の影響を小さくなる（磁場 B が小さい）ため、移行型プラズマ P1 の上記回転の速度は遅くなる。これにより、上記円筒状のプラズマ（図 5 の点線の P1）が、螺旋形状（略円錐形状）のプラズマ（図 5 の実線の P1）となる。つまり、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 と距離（空間）を広げることで、螺旋形状のプラズマが形成される。ここで、螺旋形状の径は、直流プラズマトーチ 50 に近い側で大きく、母材部 85 に近づくに連れて小さくなる（図 5 の実線の P1 参照）。

【0081】

このように、直流プラズマトーチ 50 から母材部 85 に近づくに連れて、移行型プラズマ P1 は、中心軸 AX 側に近づき傾斜する。つまり、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 と距離（空間）を広げることで、移行型プラズマ P1 は、母材部 85 の表面（上面）に対して斜め方向から当たる。

【0082】

ここで、内筒 2 は、内筒 2 内のリング形状の磁石 3 の個数（積層していく個数）を変更することができる、構造である。当該磁石 3 の個数を変更することにより、上記プラズマの回転数は、陽極である直流プラズマトーチ 50 側で、80～240 Hz の範囲内で調整される。または、磁石 3 の個数を一つのみとし、内筒 2 は、内蔵させる磁石 3 の置換が可能な構成であっても良い。当該構成により、内筒 2 における磁力の異なる磁石 3 の交換等が容易となり、上記プラズマの回転数の調整も可能となる。

【0083】

ここで、プラズマトーチ 50 側におけるプラズマ回転数が 80 Hz 未満であると、移行型プラズマ P1 による移行型プラズマ用電極 1 への加熱の影響により、移行型プラズマ用電極 1 がダメージを受ける。これに対して、プラズマトーチ 50 側におけるプラズマ回転数が 240 Hz より大きいと、移行型プラズマ P1 の形成が困難となる。したがって、プラズマの回転数は、陽極である直流プラズマトーチ 50 側で、80～240 Hz の範囲内で調整されることが望ましい。

【0084】

その後、プラズマトーチ昇降機構 65 を停止し、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間の距離（空間）の増加を停止し、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間の距離（空間）を一定に保持する。つまり、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間の距離（空間）を、上記初期位置状態よりも離れた位置で（移行型プラズマ用電極 1 におけるプラズマの回転数が 80～240 Hz の場合は、移行型プラズマ用電極 1 の直径寸法以下の範囲で）保持する。

【0085】

上記のように、移行型プラズマ P1 が母材部 85 の表面（上面）に対して斜め方向から当たることにより、母材部 85 は加熱し、気化する。なお、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間の距離（空間）を上記初期位置状態よりも大きく（移行型プラズマ用電極 1 におけるプラズマの回転数が 80～240 Hz の場合は、移行型プラズマ用電極 1 の直径の範囲以下で）すると、プラズマの回転数が大きいほど、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間が短い距離で、母材部 85 における螺旋形状のプラズマの径は小さくなり（つまり、中心軸 AX 側に近づき）、移行型プラズマ P1 は母材部 85 の局所領域に集中して当たる（母材部 85 における、移行型プラズマ P1 の絞りがより小さくなる）。よって、移行型プラズマ P1 に起因して、母材部 85 の表面（上面）の当該局所領域における気化効率が、向上する。

【0086】

上記したプラズマ回転数が大きいほど、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間が小さい距離で、母材部 85 においてプラズマが集中する。換言すると、上記したプラズマ回転数がより小さい場合には、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間の距離をより大きく取ることにより、母材部 85 においてプラズマを集中させることができる。なお、上述したように、移行型プラズマ用電極 1 におけるプラズマの回転数が 80～240 Hz

10

20

30

40

50

の場合には、移行型プラズマ用電極 1 の直径の範囲以下であれば、母材部 8 5 においてプラズマを集中させることができる。

【0087】

よって、直流プラズマトーチ 5 0 と母材部 8 5 との間の距離が、母材部 8 5 における螺旋形状のプラズマの径が最も小さくなる時、母材 8 5 の表面（上面）において、移行型プラズマ P 1 が中心軸 A X の近傍に最も集中して当たり、気化効率も最も高くなる。

【0088】

上記の通り、直流プラズマトーチ 5 0 と母材部 8 5 との間の距離（空間）を一定に保持した状態で、母材部 8 5 に対して斜め方向から移行型プラズマ P 1 を当てる。このとき、母材部 8 5 の加熱は、母材部 8 5 が陰極であるため、プラズマ中のイオンによる加熱が主体となる。したがって、母材部 8 5 が陽極であり、当該陽極におけるプラズマ中の電子による加熱の場合と比較して、プラズマ中のイオンによる加熱が主体である場合には、電子の蒸発熱の分、母材部 8 5 全体の加熱効率は低下する。

10

【0089】

しかしながら、本発明のように母材部 8 5 が陰極である場合には、移行型プラズマ P 1 による母材部 8 5 の気化は、陰極点（移行型プラズマ P 1 が当たる母材部 8 5 の箇所）を中心として起こる（陰極点では熱が集中する）。しかも、陰極点付近は、イオンと電子とが存在しており、また母材部 8 5 が直流プラズマトーチ 5 0 から離れており、母材部 8 5 における磁石 3 の磁場 M F の影響が小さいので、イオンと電子との結合が促進され、当該結合によるエネルギーにより、熱が集中する陰極点における母材部 8 5 の気化効率が向上する（陰極点が大きくなる）。

20

【0090】

さらに、上記の通り、母材部 8 5 における磁石 3 の磁場 M F の影響が小さいので、当該母材部 8 5 付近における移行型プラズマ P 1 の移動範囲も少なく、直流プラズマトーチ 5 0 付近に比べて移動速度も遅いため、熱が母材部 8 5 の表面（上面）の狭い範囲でより集中する。これにより、母材部 3 5 の気化（蒸発）効率は、さらに向上する。

【0091】

上記の通り、本発明では、母材部 8 5 の表面（上面）の陰極点近傍では、極めて高い気化効率を得ることができる。

【0092】

30

これに対して、移行型プラズマ用電極 1 は陽極であるため、当該移行型プラズマ用電極 1 の加熱は、電子による加熱が主体となる。よって、加熱は、電子の蒸発熱の分だけ、より高くなる。しかしながら、電子は極めて軽く、移行型プラズマ用電極 1 近傍では、磁石 3 による磁場 M F の影響が大きい。このことから、移行型プラズマ用電極 1 近傍における移行型プラズマ P 1 の動きは大きく、移動範囲も大きい。したがって、移行型プラズマ用電極 1 では、熱が所定の箇所に集中することなく分散される。

【0093】

つまり、移行型プラズマ用電極 1 全体が加熱される熱量は、母材部 8 5 全体が加熱される熱量より大きい。移行型プラズマ用電極 1 では、母材部 8 5 付近とは異なり、熱が狭い範囲に集中しない。よって、移行型プラズマ用電極 1 自身が気化することを抑制できる。さらに、冷却水供給部 6 2 から直流プラズマトーチ 5 0 への冷却水の供給により、移行型プラズマ用電極 1 自身も十分に冷却されているため、移行型プラズマ用電極 1 自身の気化は完全に防止でき、移行型プラズマ用電極 1 の消耗は発生しない。

40

【0094】

このように、本発明では、母材部 8 5 のみを気化させ、移行型プラズマ用電極 1 の気化を抑制・防止できるので、母材部 8 5 からの気化物のみが生成され、移行型プラズマ用電極 1 の気化に起因したコンタミネーションの生成を抑制・防止できる。したがって、気化物が冷却されることにより生成される微粒子における、移行型プラズマ用電極 1 に起因した異物の混入も防止できる。

【0095】

50

さて、母材部 8 5 の中心軸 A X 付近において、移行型プラズマ P 1 が当たり、陰極点から母材部 8 5 が気化する。つまり、中心軸 A X 付近において、母材部 8 5 は高温に加熱され、気化する。また、上記の通り、母材部 8 5 の陰極点付近（中心軸 A X 付近）では高温に加熱されるので、大きな上昇気流が母材部 8 5 の陰極点付近（中心軸 A X の付近）から発生する。当該上昇気流に乗って、母材部 8 5 からの気化物は、微粒子通路部 2 5 に向かう。

【0096】

ここで、当該移動中において気化物は冷却され、凝結するので、当該気化物から微生物が生成される。よって、微粒子通路部 2 5 内には、図 2 の下方向から上方向に向けて、気化物から生成された微粒子が通過する。なお、密閉容器 7 0 および直流プラズマトーチ 5 0 は、冷却水供給部 6 2 からの冷却水供給により冷却されていることから、気化物の冷却も促進可能である。また、プラズマガス供給部 6 3, 6 4 から供給され、ガス通路部 2 6, 2 7 を移動するプラズマガスによっても、気化物・微粒子の冷却は促進される。

10

【0097】

なお、上述した上昇気流に乗り、ガス通路部 2 6, 2 7 から母材部 8 5 に向けて出力されたプラズマガスも、微粒子通路部 2 5 へと向かい、当該微粒子通路部 2 5 内を図 2 の下方向から上方向に移動する。

【0098】

たとえば、プラズマガスが不活性ガスのみである場合には、母材部 8 5 から生成された微粒子と共に、不活性ガスも、微粒子通路部 2 5 内を図 2 の下方向から上方向に移動する。他方、プラズマガスが不活性ガスと反応ガス（分子ガス）とである場合には、母材部 8 5 から気化した気化物と反応ガスとが反応することにより生成された反応微粒子（たとえば、反応ガスが酸素である場合には、酸化金属微粒子が生成され、反応ガスが窒素である場合には、窒化金属微粒子が生成される）と共に、不活性ガスおよび反応に寄与しなかった反応ガスも、微粒子通路部 2 5 内を図 2 の下方向から上方向に移動する。

20

【0099】

また、上記の通り、母材部 8 5 側では陰極点付近に熱が集中しているため、母材部 8 5 から微粒子通路部 2 5 に向かう流れ（陰極風であり、上昇気流）は大きい。他方、移行型プラズマ用電極 1 側では、熱が分散し、さらには冷却水により直流プラズマトーチ 5 0 等は効率よく冷却できるため、母材部 8 5 側方向に向かう流れ（陽極風）は小さくなる。よって、微粒子等の微粒子通路部 2 5 に向かい、当該微粒子通路部 2 5 内を移動する速度は、当該陽極風に妨げることなく、加速される。

30

【0100】

さらには、循環ポンプ 8 3 の駆動により、密閉容器 7 0 → 直流プラズマトーチ 5 0 → 微粒子捕獲器 7 1 → 熱交換器 7 3 → 循環ポンプ 8 3 → 密閉容器 7 0、という循環の流れも発生している。よって、当該循環の流れにも依存して、微粒子等の微粒子通路部 2 5 内における移動は、より促進される。

【0101】

また、上述したように、移行型プラズマ用電極 1 と母材部 8 5 との間において発生するプラズマは螺旋形状であり、母材部 8 5 の表面（上面）に対して、中心軸 A X に向かう方向に傾斜して当たる。したがって、中心軸 A X に沿って微粒子通路部 2 5 に向かう微粒子等が、移行型プラズマ P 1 により、進行が妨げられることもない。

40

【0102】

さて、微粒子通路部 2 5 内を通過した、微粒子とプラズマガスとは、微粒子捕獲器 7 1 に收容される。微粒子捕獲器 7 1 において、微粒子は膨張冷却される。そして、微粒子捕獲フィルター 7 2 により、微粒子は捕獲される一方、プラズマガスは、微粒子捕獲フィルター 7 2 を透過し、熱交換器 7 3 へと移動する。

【0103】

なお、バルブ B 5 からパルスエアを微粒子捕獲器 7 1 に向けて供給することにより、微粒子捕獲フィルター 7 2 において捕獲した微粒子を、捕集容器 7 1 a へと落下させること

50

ができる。これにより、図 1 に示すように、捕集容器 71a 内に微粒子 80 が捕集される。

【0104】

微粒子捕獲フィルター 72 において分離されたプラズマガスは、熱交換器 73 内において完全に冷却される。その後、熱交換器 73 から出力されたプラズマガスは、循環ポンプ 83 により、図 1 に示すように、ガス通路部 26, 27 に供給されるプラズマガスとして、および／または、ガス供給部 90 から密閉容器 70 内に供給されるプラズマガスとして、再利用される。

【0105】

なお、ガス供給部 90 から密閉容器 70 内に供給されるプラズマガスは、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間の空間において側方から供給される（図 2 の符号 P G a を参照）。当該プラズマガス P G a によっても、母材部 85 からの気化物の冷却は促進される。

【0106】

また、当該密閉容器 70 内へのプラズマガス P G a の供給により、母材部 85 からの気化した気化物が、中心軸 A X から離れる方向に拡散することを防止できる。

【0107】

なお、バルブ B 1, B 2, B 3, B 4, B 6, B 7, B 8, B 9, B 10 の開閉を制御（完全に閉まらないが、開き具合を調整する制御も含む）することにより、ガス通路部 26, 27 に供給されるプラズマガスの流量、ガス供給部 90 へ供給されるプラズマガスの流量を調整することができる。ここで、バルブ B 7 および／またはバルブ B 12 は、循環ポンプ 83 から出力されたプラズマガスの一部を、密閉容器 70 → 直流プラズマトーチ 50 → 微粒子捕獲器 71 → 熱交換器 73 → 循環ポンプ 83 → 密閉容器 70、という循環経路から、外部に放出するための排気バルブ（排気部と把握できる）である。

【0108】

上記のように、密閉容器 70 内に供給される各プラズマガスは、母材部 85 からの気化物の冷却に寄与する。よって、各プラズマガスの流量を調整することにより、気化物から生成される微粒子の大きさも調整することができる。たとえば、各プラズマガスの全体流量が多くなればなるほど、生成される微粒子の径は小さくなる。換言すれば、各プラズマガスの全体流量が少なくなればなるほど、生成される微粒子の径は大きくなる。

【0109】

微粒子生成装置 100 は、上記のように構成されているので、母材部 85 の上面に対して、移行型プラズマ P 1 を斜め方向（中心軸 A X に近づく方向）から当てることが可能となる。これにより、母材部 85 の表面（上面）の陰極点近傍において熱が集中するため、当該陰極点近傍における母材部 85 の気化効率が大幅に向上する。このように、本発明では、直流プラズマトーチ 50 から発生した移行型プラズマ P 1 を利用して母材部 85 を気化させているので、エネルギー効率を向上させることができる。

【0110】

なお、図 1 の構成では、当該プラズマガス P G a の供給を、循環ポンプ 83 を利用して、プラズマガスの再利用により実現している。しかしながら、たとえば図 1 のバルブ B 12 にプラズマガス供給源を接続し、当該プラズマ供給源から、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間の空間に対して、側方からのプラズマガス P G a を供給することも可能である（当該場合には、排気部となる排気バルブは、バルブ B 7 のみとなる）。

【0111】

さて、上記構成の微粒子生成装置 100 において、プラズマガスとして、A r ガス等の不活性ガスに加えて、反応ガス（H₂, N₂ 等の分子ガス）を混合させたものを、用いる場合に言及した。当該混合されたプラズマガスを用いることにより、不活性ガス単体のプラズマガスを用いる場合よりも、母材部 85 の蒸発量を増加させることができる。換言すると、生成される微粒子の量をより多くすることが可能となる。これは、当該混合されたプラズマガスを用いることにより、イオン化エネルギーだけでなく、解離エネルギーも母

材部 85 の蒸発に寄与できるためである。

【0112】

しかしながら、上述したように、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間の空間において、密閉容器 70 の側方から中心軸 AX に向かう方向に、プラズマガス P G a が供給される。このため、密閉容器 70 の側方からのプラズマガス P G a が多いと、その流速に押されて、図 6 に示すように、回転している移行型プラズマ P 1 が微粒子通路部 25 の入口側へと吸い込まれる現象も発生し得る。

【0113】

そして、当該現象は、プラズマガスとして、Ar 等の不活性ガス単体を使用している場合よりも、当該不活性ガスと H_2 , N_2 等の分子ガスとの混合ガスを使用している場合の方が、より顕著となる。これは、Ar ガスの不活性ガスに比べて、 H_2 , N_2 等の分子ガスの方が、重量が軽く、熱伝導率もよいためである。よって、プラズマガスとして分子ガスを利用した場合には、密閉容器 70 の側方からのプラズマガス P G a が少ないときでも、プラズマガス中における分子ガスの濃度が高くなればなるほど、移行型プラズマ P 1 が微粒子通路部 25 の入口側へと吸い込まれる現象が発生する確率が高くなる。

【0114】

また、上記のように、移行型プラズマ P 1 が微粒子通路部 25 の入口側へと吸い込まれる現象が発生すると、移行型プラズマ P 1 が延伸し、移行型プラズマ P 1 の安定的照射の持続が困難となり得る（微粒子通路部 25 内部まで移行型プラズマ P 1 が引っ張れると、当該移行型プラズマ P 1 は冷却され、場合によっては、移行型プラズマ P 1 が消滅することもあり得る）。ここで、当該移行型プラズマ P 1 の不安定な照射は、母材部 85 からの蒸発量も不安定となる。また、図 6 に示すように、移行型プラズマ P 1 が微粒子通路部 25 の入口側へと引き寄せられるため、微粒子通路部 25 の入口近傍が高温となり、また当該高温が原因して、微粒子通路部 25 の入口近傍が破損することもあり得る。

【0115】

また、上記移行型プラズマ P 1 の延伸は、プラズマ電圧の増大を招く（つまり、直流プラズマトーチ 50 と母材部 85 との間の電気抵抗に応じて、移行型プラズマ P 1 の長さが変わる（電気抵抗が上がると、移行型プラズマ P 1 は長く、細くなり、電気抵抗が下がると、移行型プラズマ P 1 は短く、太くなる））。

【0116】

換言すると、移行型プラズマ P 1 の電圧降下と、移行型プラズマ P 1 の長さとの関連しあっている）。母材部 85 の加熱量を同じとするためにプラズマ電流の値を維持しようとすると、プラズマ電圧が増加した分だけ、プラズマ電源 61 からの投入電力を増やす必要がある。しかしながら、当該投入電力の増加分は母材部 85 の蒸発に費やされるのではなく、単に移行型プラズマ P 1 の延伸、および、微粒子通路部 25 の入口近傍の加熱に使われると、全体としてのエネルギー効率が低下する。

【0117】

このように、母材部 85 の蒸発量を増加させるために、プラズマガスとして、不活性ガスと反応ガス（分子ガス）とを混合した混合ガスを用いることが有効である反面、分子ガスの混合態様によっては、エネルギー効率の低下となり得る。

【0118】

そこで、プラズマガスとして混合ガスを用いた場合においても、母材部 85 の高蒸発量を維持しつつ、プラズマの安定を図ることができる微粒子生成装置を、以下の実施の形態において、図面に基づいて具体的に説明する。

【0119】

＜実施の形態＞

図 7 は、本実施の形態に係る微粒子生成装置 101 の全外構成を示す図である。図 1 と図 7 との比較から分かるように、図 7 に示す微粒子生成装置 101 は、図 1 に示した構成に加えて、プラズマ電圧検出器 D 1 とプラズマガス供給制御部 C 1 とが追加的に配設されている。以下の説明では、図 7 の構成のうち、図 1 と同じ構成部分については説明を省略

10

20

30

40

50

し、図 7 の構成における、図 1 の構成と相違する部分について説明を行う。

【0120】

プラズマ電圧検出器 D 1 は、密閉容器 7 0 内で、直流プラズマトーチ 5 0 と母材部 8 5 との間で発生している移行型プラズマ P 1 のプラズマ電圧を検出（測定）することができる。当該プラズマ電圧検出のために、図 7 に示すように、プラズマ電圧検出器 D 1 は、プラズマ電源 6 1 の陽極側配線およびプラズマ電源 6 1 の負極側配線に、各々接続されている。

【0121】

プラズマガス供給制御部 C 1 は、プラズマガス供給部 6 3 の不活性ガスの供給量、プラズマガス供給部 6 3 の反応ガスの供給量、プラズマガス供給部 6 4 の不活性ガスの供給量
10 およびプラズマガス供給部 6 4 の反応ガスの供給量の各々を、調整・制御することができる。より具体的には、プラズマガス供給制御部 C 1 は、プラズマ電圧検出器 D 1 から送信される検出結果に基づいて、プラズマガス供給部 6 3, 6 4 を制御し、不活性ガスの供給を行いつつ、反応ガスの供給を変化させる。

【0122】

そして、上記制御が可能なように、プラズマガス供給制御部 C 1 は、プラズマ電圧検出器 D 1 と接続されており、プラズマガス供給部 6 3, 6 4 における各バルブ B 1, B 2, B 3, B 4 の各々にも接続されている。

【0123】

上記の通り、バルブ B 7 および／またはバルブ B 1 2 は、密閉容器 7 0（より具体的には、直流プラズマトーチ 5 0 と母材部 8 5 との間）に供給されたプラズマガスを外部に放出するための排気バルブ（排気部と把握できる）として機能している。ここで、以下の説明では、バルブ B 1 2 のみが、当該排気バルブとして機能しているとする。
20

【0124】

上記プラズマガス供給制御部 C 1 は、当該排気バルブ B 1 2 をも制御することが可能である。つまり、プラズマガス供給制御部 C 1 は、プラズマガスの排気量を調整・制御することもできる。当該排気量の制御が可能なように、図 7 に示すように、プラズマガス供給制御部 C 1 は、排気バルブ B 1 2 も接続されている。

【0125】

図 7 に示す構成を有する微粒子生成装置 1 0 1 を採用することにより、プラズマ電圧の変化に応じて、プラズマガスにおける反応ガスの供給を変化させることができる。よって、微粒子生成装置 1 0 1 は、母材部 8 5 の高蒸発量を維持しつつ、プラズマの安定を図ることができる。
30

【0126】

さて、プラズマ電圧の変化に応じて、プラズマガスにおける反応ガスの供給を変化させる方法として、手動・自動が採用でき、その制御方法も多様となり得る。以下では、自動で行う方法の一例について説明を行う。

【0127】

図 8 は、プラズマガスとして A r（アルゴン）ガスのみを採用し、母材部 8 5 として N i（ニッケル）を採用し、当該母材部 8 5 に対してプラズマ照射を行った場合の、プラズマ電圧の遷移状態を示す図である。図 8 において、縦軸がプラズマ電圧（V）であり、横軸が経過時間（秒）である。
40

【0128】

なお、プラズマ電圧値は、図 8 に示すように、ある電圧範囲で激しく変化しているが、プラズマ電圧検出器 D 1 は、プラズマ電圧を検出し十分に平滑する機能を有する（図 8 の実線のように平滑する）。そして、プラズマ電圧検出器 D 1 は、当該平滑したプラズマ電圧値を、プラズマガス供給制御部 C 1 へと送信する。

【0129】

直流プラズマトーチ 5 0 と母材部 8 5 との間の距離が固定されている状態において、移行型プラズマ P 1 の照射開始から間もない期間では、移行型プラズマ P 1 の照射による母
50

材部 8 5 の溶融が起こっていない。よって、プラズマ電圧値は、アルゴン単体に寄与して決定され、当該プラズマ電圧値は、時系列的に増加し、最高電圧値に達する（図 8 では、当該最高電圧値は、170 V 程度である）。

【0130】

時間が経過すると、移行型プラズマ P 1 の照射により母材部 8 5 の溶融が起こり始め、当該母材部 8 5 の上面部に溶融池が形成され始める。すると、当該母材部 8 5 の溶融（溶融池）の形成に起因して、図 8 に示すように、プラズマ電圧値は減少し始める。当該プラズマ電圧値の減少は、溶融池から母材部 8 5 の蒸気が発生すると、プラズマの導電率が向上するからである。また、当該プラズマ電圧値の減少に伴い、母材部 8 5 の蒸発量も増加する。

10

【0131】

さらに時間が経過すると、プラズマ電圧値の減少も止まり、移行型プラズマ P 1 が安定的となる。このときのプラズマ電圧値を、最低電圧値と称する（図 8 では 120 V と 130 V との間程度である）。プラズマ電圧が最低電圧値で安定するのは、母材部 8 5 からの蒸発量が安定したことによる（平衡状態）。

【0132】

なお、最高電圧値到達時から最低電圧値到達時までの時間を、遷移時間とすると、当該遷移時間におけるプラズマ電圧の平均値（プラズマ平均電圧）は、図 8 に示すように、140 V 程度である。

【0133】

次に、図 9 において、プラズマガス中における反応ガス（ H_2 分子ガス）の濃度を変化させた場合における、プラズマ平均電圧の変化を示す。ここで、図 9 において、縦軸はプラズマ平均電圧（V）であり、横軸は H_2 分子ガスの濃度（%）である。

20

【0134】

なお、 H_2 分子ガスの濃度が 0 % のときは、プラズマガスとして Ar ガス単体が用いられているケースであり、 H_2 分子ガス濃度が 0 より大きい場合は、プラズマガスとして、Ar ガスと H_2 分子ガスとの混合ガスを用いられているケースである。

【0135】

図 9 から、プラズマガス中における H_2 分子ガスの濃度が高いほど、プラズマ平均電圧が高くなることが分かる。

30

【0136】

Ar ガスと H_2 分子ガスとの混合ガスの場合、 H_2 分子ガス濃度が大きいほど、母材部 8 5 が溶融して蒸気発生する前の移行型プラズマ P 1 は伸張する。このため、当該混合ガスを採用した場合における、母材部 8 5 が溶融して蒸気発生する前のプラズマ電圧の最高電圧値は、Ar ガス単体から成るプラズマガスを採用したときのプラズマ電圧の最高電圧値よりも、高くなる（前者）。これに対して、 H_2 分子ガス濃度が大きいほど、溶融池から母材部 8 5 の蒸気が発生する量は大きくなる。このため、当該混合ガスを採用した場合における、溶融池ができてからのプラズマ電圧の最低電圧値は、Ar ガス単体から成るプラズマガスを採用したときのプラズマ電圧の最低電圧値よりも、低くなる（後者）。

【0137】

図 9 に示すように、プラズマガス中における H_2 分子ガスの濃度が高いほど、プラズマ平均電圧が高くなるのは、前者の割合が後者の割合よりも大きいためである。そうすると、プラズマガスとして混合ガスを用いようとする場合、プラズマガス供給開始当初から、プラズマガス中に分子ガスを混入させると、溶融池ができ、母材部 8 5 の蒸気が発生する前の移行型プラズマ P 1 は、分子ガスの濃度が高いほど、図 6 に示すようにより伸張し、結果として上記のように消滅することもある。

40

【0138】

そこで、プラズマガスとして混合ガスを用いようとする場合、本実施の形態に係るプラズマガス供給制御部 C 1 は、プラズマガス供給部 6 3、6 4 を制御し、プラズマガス供給開始当初は、不活性ガスのみをプラズマガスとして供給する。

50

【0139】

さらに、溶融池から母材部85の蒸気が発生してからは（つまり、図8に示した最高電圧値に到達してからは）、プラズマガス供給制御部C1は、プラズマガス供給部63、64を制御し、不活性ガスと反応ガス（分子ガス）とから成るプラズマガスの供給を開始する。

【0140】

その後は、プラズマガス供給制御部C1は、図8を用いて説明した「最高電圧値」、「最低電圧値」および「プラズマ電圧」の値を用いて、プラズマガス供給部63、64を制御し、プラズマガス中における反応ガス（分子ガス）の割合、当該反応ガス（分子ガス）の流量等を調整する。

10

【0141】

たとえば、プラズマガス供給制御部C1は、反応ガス（分子ガス）の濃度が上がり、最高電圧値を基準としてプラズマ電圧が上昇してきた場合には、反応ガス（分子ガス）の濃度を下げる。また、プラズマガス供給制御部C1は、反応ガス（分子ガス）の濃度が下がり、最低電圧値を基準としてプラズマ電圧が減少してきた場合には、反応ガス（分子ガス）の濃度を上げる。

【0142】

以下、本実施の形態に係るプラズマガス供給制御部C1の、より具体的な動作について説明する。

【0143】

プラズマガス供給制御部C1に対して、入力値として、不活性ガスと反応ガスとの混合ガスの供給量、および当該混合ガスの比率を、設定する。たとえば、混合ガスの供給量が「100L/min」であり、混合ガスの比率が「不活性ガス：反応ガス＝1：1」であるとする（当該入力値は、単なる一例であり、ユーザは任意の値を設定することができる）。

20

【0144】

まず、減圧状態の密閉容器70内に対して、不活性ガスのみから成るプラズマガスを、所定の圧力まで導入し、密閉容器70内の雰囲気の不活性ガス雰囲気に置換する。その後、上記各入力値が設定されたプラズマガス供給制御部C1を、作動させる。

【0145】

当該作動直後のプラズマガス供給制御部C1は、プラズマガス供給部63、64を制御し、不活性ガスのみをプラズマガスとして、直流プラズマトーチ50と母材部85との間に供給する。ここで、当該プラズマガスの供給量は任意の値で良いが、例えば、プラズマガス供給制御部C1において予め設定されている「混合ガスの供給量」と同じ値の供給量（たとえば、上記例では、100L/minにて、不活性ガスのみをプラズマガスとして供給する）を採用できる。

30

【0146】

なお、上記したように、プラズマガス供給制御部C1は、当該排気バルブB12をも制御することが可能である。そこで、上記作動後のプラズマガス供給制御部C1は、プラズマガス（不活性ガス）の供給量と同じ量で、密閉容器70内（より具体的には、直流プラズマトーチ50と母材部85との間）のガスの排気が可能なように（プラズマガス供給量＝ガスの排気量となるように）、排気バルブB12を調整する。

40

【0147】

その後、上述したプラズマの着火処理を行い、直流プラズマトーチ50と母材部85との間の距離が一定に維持されている状態とする。その後、プラズマ電圧検出器D1は、プラズマガスとして不活性ガスのみを用いたときにおけるプラズマ電圧を、随時検出測定する。そして、プラズマ電圧検出器D1は、測定したプラズマ電圧を、プラズマガス供給制御部C1へと送信する。なお、当該プラズマ電圧の時系列的变化は、図8に示すような変化を示す。

【0148】

50

そして、プラズマガス供給制御部 C 1 は、送信されてくるプラズマ電圧の値から、図 8 を用いて説明した「最高電圧値」および「最低電圧値」を検出し、当該検出した各値を記録する。

【0149】

なお、上記したように、「最高電圧値」とは、不活性ガスのみをプラズマガスとして供給したときにおける、溶融池ができる前のプラズマ電圧の最高値である。また、「最低電圧値」とは、不活性ガスのみをプラズマガスとして供給したときにおける、形成された溶融池から母材部 8 5 の上記が発生し、移行型プラズマ P 1 が収縮し、プラズマ電圧が下がり安定したときの値（最低値）である。

【0150】

さて、十分な時間が経過し、不活性ガスのみをプラズマガスとして供給し、プラズマ電圧も安定した後（または、最低電圧値記録後、ユーザからの混合ガス開始の指示を受けた後）、プラズマガス供給制御部 C 1 は、予め設定されている入力値（混合ガスの供給量および混合ガスの比率）に従って、プラズマガス供給部 6 3, 6 4（より具体的には、バルブ B 1～B 4）を制御する。当該プラズマガス供給制御部 C 1 の制御により、上記混合ガスの供給量および上記混合ガスの比率での、密閉容器 7 0 内への混合ガス（不活性ガスと反応ガス（分子ガス）とから成るプラズマガス）の供給が、開始される。

【0151】

ここで、上記では、混合ガスの供給量は「100 L/min」であり、混合ガスの比率は「不活性ガス：反応ガス＝1：1」であるので、不活性ガスを 50 L/min で供給し、反応ガスを 50 L/min で供給する。

【0152】

なお、プラズマガス供給制御部 C 1 は、混合ガスを供給開始後においても、プラズマガス（混合ガス）の供給量と同じ量で、密閉容器 7 0 内のガスの排気を行うように、排気バルブ部 B 1 2 を調整する。

【0153】

さて、プラズマガス供給制御部 C 1 に設定された混合ガスの供給量、比率が適正であると、プラズマ電圧が最低電圧値から減少することもある。一方で、プラズマガス供給制御部 C 1 に設定される入力値（混合ガスの供給量および混合ガスの比率）によっては、混合ガス供給後に、プラズマ電圧が最低電圧値から上昇することもあり得る。そこで、プラズマガス供給制御部 C 1 は、以下の動作を行う。

【0154】

プラズマガス供給制御部 C 1 は、最高電圧値、最低電圧値、およびプラズマ電圧検出器 D 1 で検出されるプラズマ電圧に基づいて、プラズマガス制御部 6 3, 6 4 を制御し、反応ガスの供給を調整する。具体的には、たとえば次のような制御である。

【0155】

プラズマガスとして上記混合ガスを供給した後も、プラズマ電圧検出器 D 1 はプラズマ電圧の測定を行っており、当該測定されたプラズマ電圧は、プラズマガス供給制御部 C 1 へと送信されている。混合ガス供給後において、プラズマガス供給制御部 C 1 は、予め設定されている最高電圧値と、受信したプラズマ電圧とを比較する。

【0156】

そして、プラズマガス供給制御部 C 1 は、受信したプラズマ電圧が、予め設定されている最高電圧値以上となったことを判断したとする。当該場合には、プラズマガス供給制御部 C 1 は、予め設定されている入力値（混合ガスの供給量）に従って、プラズマガス供給部 6 3, 6 4（より具体的には、バルブ B 1～B 4）を制御する。

【0157】

当該プラズマガス供給制御部 C 1 の制御により、反応ガス（分子ガス）の供給を停止し、上記混合ガスの供給量と同じ値での、不活性ガスのみから成るプラズマガスの供給を再開する。ここで、上記では、混合ガスの供給量は「100 L/min」であるので、100 L/min での供給量にて、不活性ガス（プラズマガス）を密閉容器 7 0 内へと供給す

10

20

30

40

50

る。

【0158】

なお、プラズマガス供給制御部C1は、不活性ガス単体のみから成るプラズマガスの供給再開後においても、プラズマガスの供給量と同じ量で、密閉容器70内のガスの排気を行うように、排気ブル部B12を調整する。

【0159】

さて、不活性ガスのみから成るプラズマガスの供給再開後も、プラズマ電圧検出器D1はプラズマ電圧の測定を行っており、当該測定されたプラズマ電圧は、プラズマガス供給制御部C1へと送信されている。不活性ガス単体から成るプラズマガスの供給であるので、不活性ガス単体から成るプラズマガスの供給再開後は、図8に例示したように、プラズマ電圧は、再び、最低電圧値に向かって減少し始める。そこで、不活性ガス単体から成るプラズマガスの供給再開後において、プラズマガス供給制御部C1は、予め設定されている最低電圧値と、受信したプラズマ電圧とを比較する。

【0160】

そして、プラズマガス供給制御部C1は、受信したプラズマ電圧が、予め設定されている最低電圧値以下になったことを判断したとする（なお、不活性ガス単体での密閉空間70への供給であるので、通常は、プラズマ電圧は最低電圧値で安定する）。当該場合には、プラズマガス供給制御部C1は、予め設定されている入力値（混合ガスの供給量および混合ガスの比率）に従って、プラズマガス供給部63, 64（より具体的には、バルブB1～B4）を制御する。

【0161】

当該プラズマガス供給制御部C1の制御により、反応ガス（分子ガス）の供給を再開し、上記混合ガスの供給量と上記混合ガスの比率に従って、不活性ガスと反応ガスとから成るプラズマガスの供給を再開する。ここで、上記では、混合ガスの供給量は「100L/min」であり、混合ガスの比率は「不活性ガス：反応ガス＝1：1」であるので、不活性ガスを50L/min、反応ガスを50L/minでの供給量にて、混合ガス（プラズマガス）を密閉容器70内へと供給する。

【0162】

なお、プラズマガス供給制御部C1は、混合ガスの供給再開後においても、プラズマガスの供給量と同じ量で、密閉容器70内のガスの排気を行うように、排気ブル部B12を調整する。

【0163】

このように、プラズマガス供給制御部C1は、最高電圧値、最低電圧値、およびプラズマ電圧検出器D1で検出されるプラズマ電圧に基づいて、プラズマガス制御部63, 64を制御し、混合ガスの供給と不活性ガス単体の供給（反応ガスの停止）とを、繰り返し実施する。

【0164】

なお、上記以外の方法も採用可能である。つまり、混合ガスの供給開始後において、プラズマ電圧が最低電圧値より上昇する場合には、プラズマガス供給制御部C1は、プラズマ電圧検出器D1で検出されるプラズマ電圧が、最高電圧値と最低電圧値との範囲内となるように、プラズマガス制御部63, 64を制御し、混合ガスにおける反応ガスの供給量を調整すれば良い。

【0165】

ここで、プラズマガス供給制御部C1に対して設定される入力値が適正值であれば、つまり、不活性ガスと反応ガスとの混合ガスの供給量および当該混合ガスの比率が適正であれば、最初の反応ガスの供給により、密閉空間70内の温度が下がり、プラズマ電圧も少し上昇するが、密閉空間70内の反応ガスの割合、供給量が一定になれば、プラズマ電圧も下がり始め、最低電圧値よりも低い電圧値で、プラズマ電圧が安定する。このような場合には、プラズマ電圧が当該低い状態で安定しており、反応ガスの導入により母材部85からの蒸発量も増加しているので、上記入力値での混合ガスの供給を維持し続ければ良い

。

【0166】

一方で、プラズマガス供給制御部C1に対して設定される入力値が適正值でなければ、上記の通り、プラズマ電圧が最高電圧値以上となることもある。このような場合には、上記で具体的に説明したように、プラズマガス供給制御部C1は、プラズマ電圧検出器D1で検出されるプラズマ電圧が、最高電圧値と最低電圧値との範囲内となるように、プラズマガス制御部63, 64を制御し、混合ガスにおける反応ガスの供給量を調整すれば良い。

。

【0167】

なお、上記の実施の形態の説明では、説明簡略化のために、反応ガスの再利用をしない場合について言及した（バルブB8, B9が閉まっている状態）。しかし、反応ガスの再利用の場合においても、反応ガスの供給の際にバルブB8, B9の絞り具合等をも調整することにより、上記実施の形態を適用することが可能である。

10

【0168】

以上のように、本実施の形態に係る微粒子生成装置101は、プラズマ電圧検出器D1から送信される検出結果に基づいて、プラズマガス供給部63, 64を制御し、不活性ガスの供給を行いつつ、反応ガスの供給を変化させるプラズマガス供給制御部C1とを、備えている。

【0169】

したがって、本実施の形態に係る微粒子生成装置101では、プラズマガスとして混合ガスを用いたとしても、プラズマの伸張具合（つまり、プラズマ電圧）に応じて、混合ガスの供給量・供給割合等の調整ができる。よって、微粒子生成装置101では、母材部85の高蒸発量を維持しつつ、プラズマの安定を図ることが可能となる。

20

【0170】

また、本実施の形態に係る微粒子生成装置101では、密閉空間70内からガスを排出する排気部（バルブB12等）を有する。そして、プラズマガス供給制御部C1は、排気部をも制御可能であり、プラズマガスの供給量と同じ値の排気量にて、ガスの排気を行うこともできる。

【0171】

したがって、微粒子生成装置101は、密閉空間70内の圧力を一定に保つことができ、また、混合ガスにおける反応ガスの供給割合を変化させてから、密閉空間70内の反応ガスの割合が当該供給割合となるまでの応答時間を調整することも可能となる。

30

【符号の説明】

【0172】

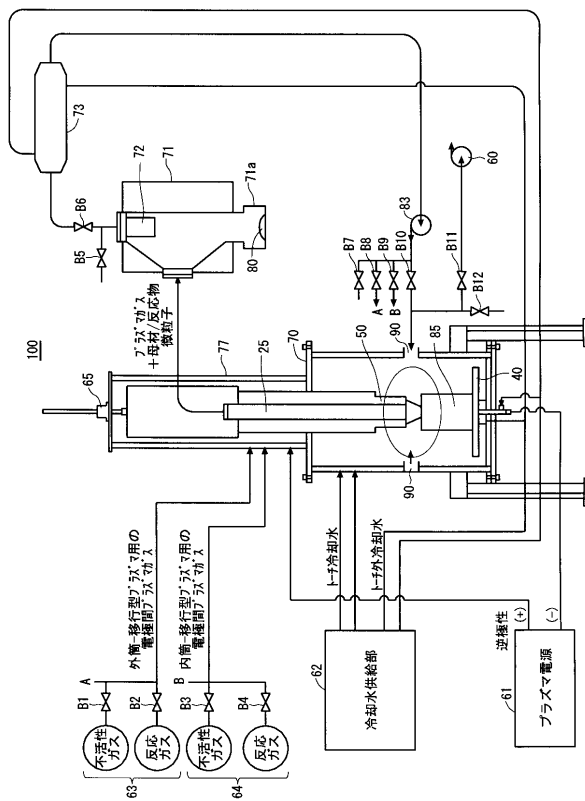
- 1 移行型プラズマ用電極
- 2 内筒
- 3 磁石
- 4 外筒
- 5, 6, 7 絶縁物
- 25 微粒子通路部
- 26, 27 ガス通路部
- 50 直流プラズマトーチ
- 61 プラズマ電源
- 62 冷却水供給部
- 63, 64 プラズマガス供給部
- 65 プラズマトーチ昇降機構
- 70 密閉容器
- 71 微粒子捕獲器
- 71a 捕集容器
- 72 微粒子捕獲フィルター

40

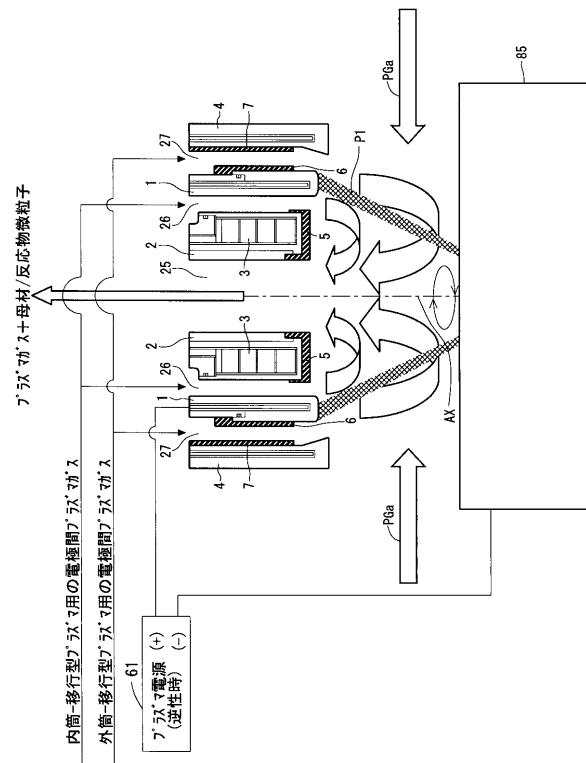
50

- 7 3 熱交換器
- 7 7 筒部
- 8 0 微粒子
- 8 3 循環ポンプ
- 8 5 母材部
- 9 0 ガス供給部
- 1 0 0, 1 0 1 微粒子生成装置
- A X 中心軸
- B 1 ~ B 1 2 バルブ
- M F 磁界
- P 1 移行型プラズマ
- P G a プラズマガス
- C 1 プラズマガス供給制御部
- D 1 プラズマ電圧検出器

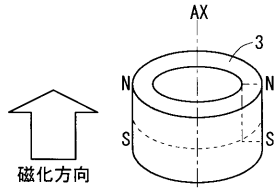
【図 1】



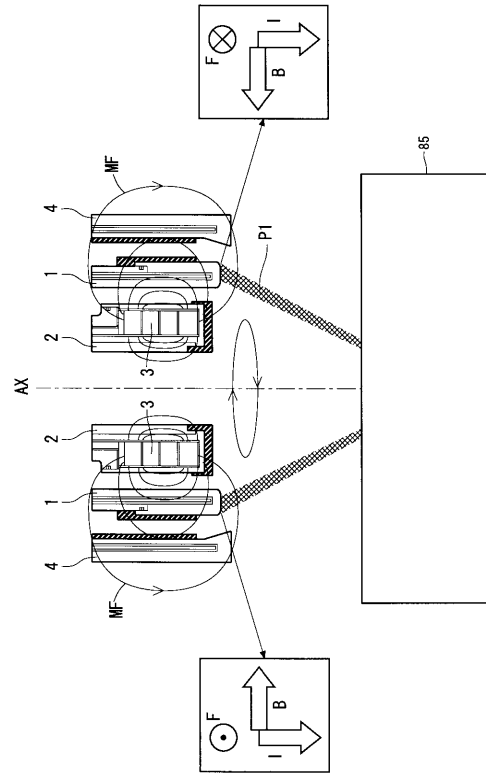
【図 2】



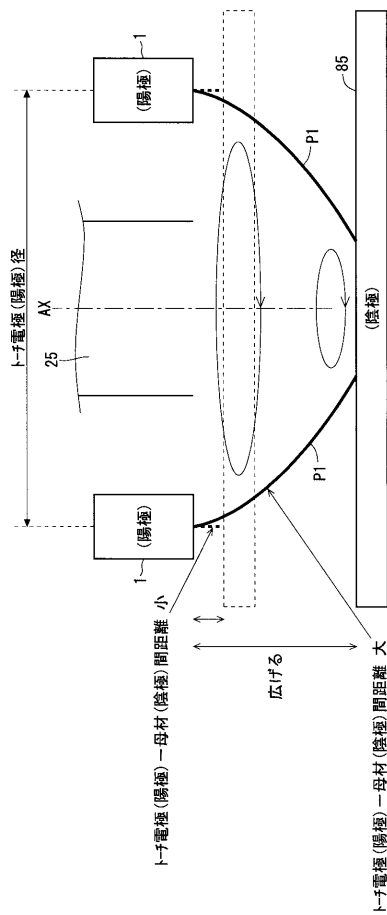
【図 3】



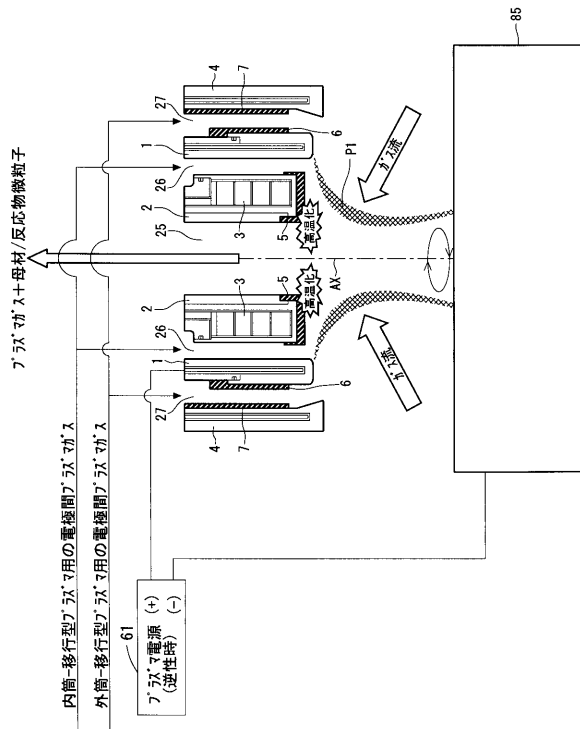
【図 4】



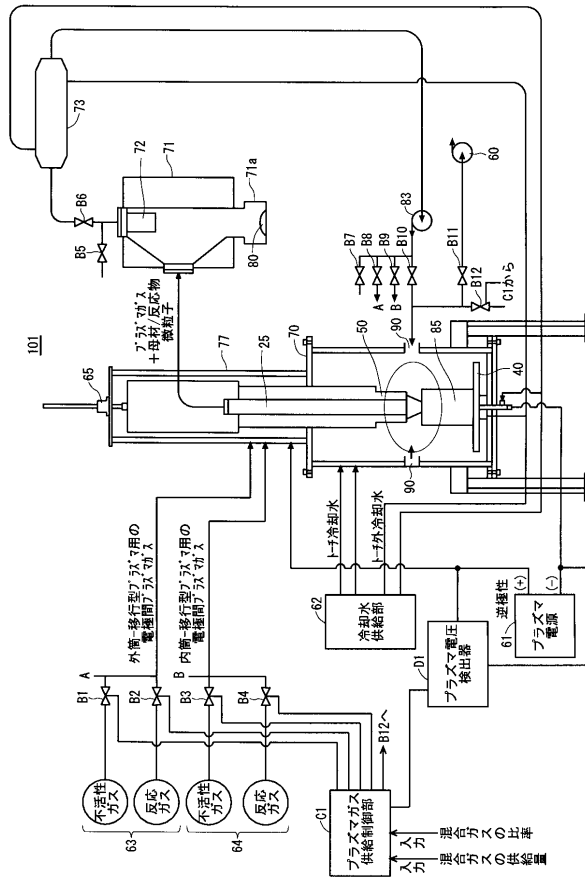
【図 5】



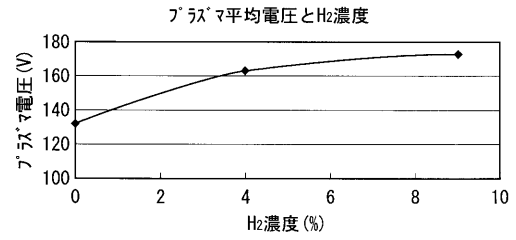
【図 6】



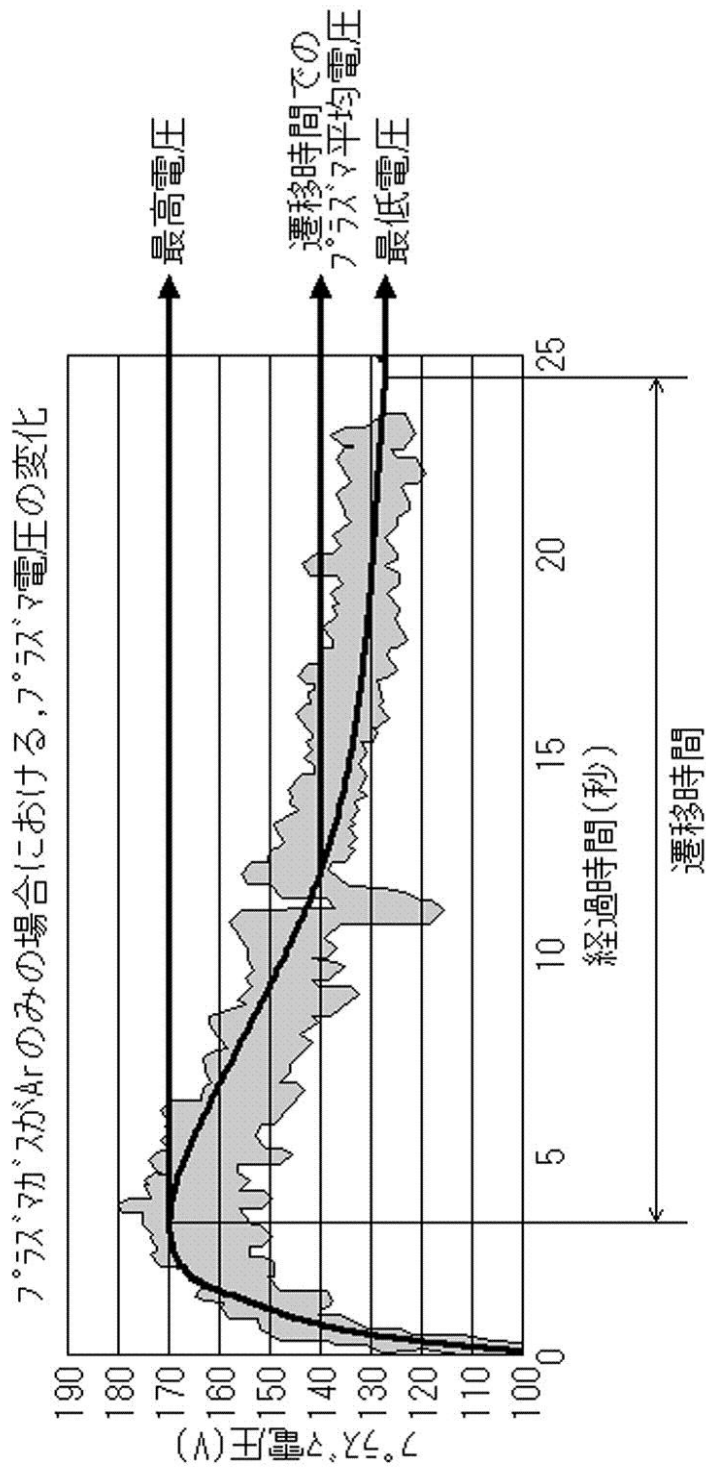
【図 7】



【図 9】



【図 8】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4G075 AA27 AA61 BB02 BD03 BD04 BD12 BD22 CA03 CA47 CA63
DA02 EA05 EB43 EC21 EC25 FB01 FB04 FC11
4K017 AA03 BA03 BA05 BA06 EF02 EF08 FA03