

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5954440号
(P5954440)

(45) 発行日 平成28年7月20日(2016.7.20)

(24) 登録日 平成28年6月24日(2016.6.24)

(51) Int.Cl.	F I
C 2 3 C 14/32 (2006.01)	C 2 3 C 14/32 A
C 2 3 C 14/24 (2006.01)	C 2 3 C 14/24 E
C 2 3 C 14/06 (2006.01)	C 2 3 C 14/06 F
	C 2 3 C 14/32 C

請求項の数 17 (全 70 頁)

(21) 出願番号	特願2014-558578 (P2014-558578)	(73) 特許権者	000003942
(86) (22) 出願日	平成26年1月21日(2014.1.21)		日新電機株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2014/051141		京都府京都市右京区梅津高畝町4-7番地
(87) 国際公開番号	W02014/115733	(74) 代理人	100104444
(87) 国際公開日	平成26年7月31日(2014.7.31)		弁理士 上羽 秀敏
審査請求日	平成27年6月5日(2015.6.5)	(74) 代理人	100112715
(31) 優先権主張番号	特願2013-9363 (P2013-9363)		弁理士 松山 隆夫
(32) 優先日	平成25年1月22日(2013.1.22)	(74) 代理人	100125704
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 坂根 剛
(31) 優先権主張番号	特願2013-10820 (P2013-10820)	(74) 代理人	100120662
(32) 優先日	平成25年1月24日(2013.1.24)		弁理士 川上 桂子
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	加藤 健治
			京都府京都市右京区梅津高畝町4-7番地
			日新電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ装置、それを用いたカーボン薄膜の製造方法およびコーティング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

真空容器と、

前記真空容器に固定されたアーク式蒸発源と、

前記アーク式蒸発源に取り付けられた陰極部材と、

前記陰極部材に向かって配置された基板を保持する保持部材と、

放電を開始させる放電開始手段と、

前記陰極部材から前記基板に向かう軸方向の磁界を発生させる第1の磁界発生手段と、

前記アーク式蒸発源に負の電圧を印加する電源とを備え、

前記陰極部材は、ガラス状炭素からなり、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含み、

前記放電開始手段は、プラズマが前記陰極部材の前記少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させ、

前記第1の磁界発生手段は、アーク電流を前記少なくとも1つの柱状部分の断面積で除算したアーク電流密度を x (A/mm^2) とし、前記少なくとも1つの柱状部分の前記基板側の先端における前記軸方向の磁界の大きさを y ($Gauss$) とした場合、下記(式1)及び(式2)の条件を満たす磁界を発生させる、プラズマ装置。 $0 < y \leq 85$ のとき、 $x > 1.413 \dots$ (式1) $y > 85$ のとき、 $y < 20.008x + 56.723 \dots$ (式2)

【請求項2】

10

20

前記プラズマは、ビーム状である、請求項 1 に記載のプラズマ装置。

【請求項 3】

前記陰極部材の前記少なくとも 1 つの柱状部分に形成される放電痕の形状は、放電後において、スパイラル状である、請求項 1 または請求項 2 に記載のプラズマ装置。

【請求項 4】

前記陰極部材は、
台座と、

前記台座に取り付けられた前記少なくとも 1 つの柱状部分とを含む、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のプラズマ装置。

【請求項 5】

前記少なくとも 1 つの柱状部分の各々は、円柱状、円錐状、円錐台状、角柱状および角錐台状のいずれかからなる形状を有する、請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載のプラズマ装置。

【請求項 6】

前記陰極部材は、
各々が前記ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する複数の柱状部分と、
前記複数の柱状部分間に配置された絶縁枠とを含む、請求項 1 に記載のプラズマ装置。

【請求項 7】

前記陰極部材を送り出す送出機構を更に備える、請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載のプラズマ装置。

【請求項 8】

前記送出機構は、前記基板上に堆積されたカーボン薄膜の膜厚分布または前記カーボン薄膜の成膜速度が所望の範囲に入るように前記陰極部材を送り出す、請求項 7 に記載のプラズマ装置。

【請求項 9】

前記基板上にカーボン薄膜を堆積するときに、前記真空容器内へガスを導入するガス導入手段を更に備える、請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載のプラズマ装置。

【請求項 10】

前記放電開始手段は、レーザー光を前記少なくとも 1 つの柱状部材に照射して、プラズマを発生させる、請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載のプラズマ装置。

【請求項 11】

前記放電開始手段は、トリガー電極を前記少なくとも 1 つの柱状部材に接触および離反して、プラズマを発生させ、

前記トリガー電極は、可撓性部材を含む、請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載のプラズマ装置。

【請求項 12】

前記陰極部材は、前記少なくとも 1 つの柱状部材の前記基板と反対側の端部に接して配置された衝撃吸収部材を更に含む、請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載のプラズマ装置。

【請求項 13】

前記真空容器は、
円弧状に湾曲した筒状部材と、

前記筒状部材内に磁界を発生する第 2 の磁界発生手段とを含み、

前記アーク式蒸発源は、前記筒状部材の一方端に配置され、

前記保持部材は、前記筒状部材の他方端において前記基板を保持し、

前記陰極部材は、前記少なくとも 1 つの柱状部分が前記筒状部材の内部へ向かって突出するように前記アーク式蒸発源に取り付けられる、請求項 1 に記載のプラズマ装置。

【請求項 14】

前記アーク式蒸発源は、前記真空容器に複数固定される、請求項 1 に記載のプラズマ装置。

10

20

30

40

50

【請求項 15】

基板に向かって真空容器に固定されたアーク式蒸発源に、ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含む陰極部材を取り付ける第1の工程と、

前記アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第2の工程と、

前記陰極部材から前記基板に向かう軸方向の磁界を発生させる第3の工程と、

プラズマが前記陰極部材の前記少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる第4の工程とを備え、

前記第3の工程は、アーク電流を前記少なくとも1つの柱状部分の断面積で除算したアーク電流密度を x (A/mm^2) とし、前記少なくとも1つの柱状部分の前記基板側の先端における前記軸方向の磁界の大きさを y (Gauss) とした場合、下記(式1)及び(式2)の条件を満たす磁界を発生させる、カーボン薄膜の製造方法。

$0 < y \leq 85$ のとき、 $x > 1.413 \cdots$ (式1)

$y > 85$ のとき、 $y < 20.008x + 56.723 \cdots$ (式2)

10

【請求項 16】

前記第3の工程は、前記放電のアークスポットが前記少なくとも1つの柱状部分以外へ移動しない割合が0%よりも大きくなる磁界を前記軸方向に印加する第5の工程を更に備え、

前記第2の工程において、前記アークスポットが前記少なくとも1つの柱状部分以外へ移動しない割合が0%よりも大きくなるアーク電流が流れるように前記負の電圧を前記アーク式蒸発源に印加する、請求項15に記載のカーボン薄膜の製造方法。

20

【請求項 17】

金属、セラミックス、樹脂、半導体およびこれらから選択された材質を組み合わせた物のいずれかからなる基材の表面にカーボン薄膜をコーティングするコーティング方法であって、

真空容器に固定されたアーク式蒸発源に向かって前記基材を保持する第1の工程と、

ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含む陰極部材を前記アーク式蒸発源に取り付ける第2の工程と、

前記アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第3の工程と、

前記陰極部材から前記基材に向かう軸方向の磁界を発生させる第4の工程と、

プラズマが前記陰極部材の前記少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる第5の工程とを備え、

前記第4の工程は、アーク電流を前記少なくとも1つの柱状部分の断面積で除算したアーク電流密度を x (A/mm^2) とし、前記少なくとも1つの柱状部分の前記基材側の先端における前記軸方向の磁界の大きさを y (Gauss) とした場合、下記(式1)及び(式2)の条件を満たす磁界を発生させる、コーティング方法。

$0 < y \leq 85$ のとき、 $x > 1.413 \cdots$ (式1)

$y > 85$ のとき、 $y < 20.008x + 56.723 \cdots$ (式2)

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

この発明は、プラズマ装置、それを用いたカーボン薄膜の製造方法およびコーティング方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、アーク放電を用いて薄膜を形成する薄膜形成装置に用いられるアーク式蒸発源において、粗大粒子が基板に付着するのを抑制したアーク式蒸発源が知られている(特許文献1)。

【0003】

このアーク式蒸発源は、真空容器と、プラズマダクトと、多孔部材と、磁気コイルと、

50

蒸発源とを備える。プラズマダクトは、その一方端が真空容器に取り付けられる。蒸発源は、プラズマダクトの他方端に取り付けられる。

【0004】

磁気コイルは、プラズマダクトの周囲に巻かれている。そして、磁気コイルは、蒸発源の近傍で発生したプラズマを真空容器内に配置された基板の近傍に導く。

【0005】

多孔部材は、プラズマダクトの内壁に取り付けられており、蒸発源に取り付けられた陰極物質から飛び出した粗大粒子を捕獲する。

【0006】

このように、従来の真空アーク蒸着装置は、蒸発源をプラズマダクトによって真空容器に連結し、陰極物質から飛び出した粗大粒子をプラズマダクトの内壁に設けられた多孔部材によって捕獲して粗大粒子が基板に飛来するのを抑制する。

【特許文献1】特開2002-105628号公報

【発明の開示】

【0007】

しかし、従来の真空アーク蒸着装置では、陰極物質としてグラファイト（カーボン）が用いられており、グラファイトは、カーボン粒子を焼結して作製されるので、粒界が存在する。その結果、グラファイトを陰極物質として用いた場合、陰極物質が粒界に沿って割れ、粗大粒子（パーティクル）が発生するという問題がある。

【0008】

そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、陰極物質が割れるのを抑制可能なプラズマ装置を提供することである。

【0009】

また、この発明の別の目的は、陰極物質が割れるのを抑制してカーボン薄膜を製造可能なカーボン薄膜の製造方法を提供することである。

【0010】

更に、この発明の別の目的は、陰極物質が割れるのを抑制してカーボン薄膜をコーティング可能なカーボン薄膜のコーティング方法を提供することである。

【0011】

この発明の実施の形態によれば、プラズマ装置は、真空容器と、アーク式蒸発源と、陰極部材と、保持部材と、放電開始手段と、電源とを備える。アーク式蒸発源は、真空容器に固定される。陰極部材は、アーク式蒸発源に取り付けられる。保持部材は、陰極部材に向かって配置された基板を保持する。放電開始手段は、放電を開始させる。電源は、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する。そして、陰極部材は、ガラス状炭素からなり、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含む。放電開始手段は、プラズマが陰極部材の少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる。

【0012】

また、この発明の実施の形態によれば、カーボン薄膜の製造方法は、基板に向かって真空容器に固定されたアーク式蒸発源に、ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含む陰極部材を取り付ける第1の工程と、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第2の工程と、プラズマが陰極部材の少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる第3の工程とを備える。

【0013】

更に、この発明の実施の形態によれば、カーボン薄膜のコーティング方法は、金属、セラミックス、樹脂、半導体およびこれらから選択された材質を組み合わせた物のいずれかからなる基材の表面にカーボン薄膜をコーティングするコーティング方法であって、真空容器に固定されたアーク式蒸発源に向かって基材を保持する第1の工程と、ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含む陰極部材をアーク式蒸発源に取り付ける第2の工程と、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第3の工程と、プラズマが陰極部材の少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる

10

20

30

40

50

第４の工程とを備える。

【００１４】

この発明の実施の形態によるプラズマ装置は、アーク式蒸発源に負の電圧を印加し、陰極部材の少なくとも１つの柱状部分（ガラス状炭素からなる）から放出されるようにプラズマを発生させ、カーボン薄膜を製造する。その結果、突起部における熱歪が少なくなり、原子状のカーボンが陰極部材の柱状部分から放出される。また、ガラス状炭素は、粒界を有しない。

【００１５】

従って、突起部における熱歪が少なくなること、およびガラス状炭素が粒界を有しないことに起因して陰極部材が割れるのを抑制できる。

10

【００１６】

また、この発明の実施の形態によるカーボン薄膜の製造方法においては、アーク式蒸発源に負の電圧を印加し、陰極部材の少なくとも１つの柱状部分（ガラス状炭素からなる）から放出されるようにプラズマを発生させ、カーボン薄膜が製造される。その結果、上述したように、陰極部材が割れるのを抑制してカーボン薄膜を製造できる。

【００１７】

更に、この発明の実施の形態によるカーボン薄膜のコーティング方法においては、アーク式蒸発源に負の電圧を印加し、陰極部材の少なくとも１つの柱状部分（ガラス状炭素からなる）から放出されるようにプラズマを発生させ、カーボン薄膜を基材の表面にコーティングする。その結果、上述したように、陰極部材が割れるのを抑制してカーボン薄膜を

20

【図面の簡単な説明】

【００１８】

【図１】この発明の実施の形態１によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図２】図１に示す陰極部材の斜視図である。

【図３】図２に示す線ⅠⅠⅠ-ⅠⅠⅠ間における陰極部材の断面図である。

【図４】図１に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

【図５】カーボン薄膜の表面形状を示す図である。

【図６】実施の形態１における別の陰極部材を示す断面図である。

【図７】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

30

【図８】図７に示す線ⅤⅤⅤ-ⅤⅤⅤ間における陰極部材の断面図である。

【図９】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

【図１０】図９に示す線Ⅹ-Ⅹ間における陰極部材の断面図である。

【図１１】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

【図１２】図１１に示す線ⅩⅠⅠ-ⅩⅠⅠ間の陰極部材の断面図である。

【図１３】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

【図１４】図１３に示す線ⅩⅠⅤ-ⅩⅠⅤ間の陰極部材の断面図である。

【図１５】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

【図１６】図１５に示す線ⅩⅤⅠ-ⅩⅤⅠ間の陰極部材の断面図である。

【図１７】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

40

【図１８】図１７に示す線ⅩⅤⅠⅠⅠ-ⅩⅤⅠⅠⅠ間の陰極部材の断面図である。

【図１９】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

【図２０】図１９に示す線ⅩⅩ-ⅩⅩ間における陰極部材の断面図である。

【図２１】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

【図２２】図２１に示す線ⅩⅩⅠⅠ-ⅩⅩⅠⅠ間における陰極部材の断面図である。

【図２３】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

【図２４】図２３に示す線ⅩⅩⅠⅤ-ⅩⅩⅠⅤ間における陰極部材の断面図である。

【図２５】実施の形態１における更に別の陰極部材の概略図である。

【図２６】図２５に示す線ⅩⅩⅤⅠ-ⅩⅩⅤⅠ間の陰極部材の断面図である。

【図２７】実施の形態１における更に別の陰極部材の概念図である。

50

- 【図 28】図 27 に示す線 X X V I I I - X X V I I I 間の陰極部材の断面図である。
- 【図 29】実施の形態 1 による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。
- 【図 30】実施の形態 2 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。
- 【図 31】図 30 に示す陰極部材の構成を示す概略図である。
- 【図 32】図 30 に示す気動機構の構成を示す概略図である。
- 【図 33】図 30 に示すトリガー電極が陰極部材の全てのガラス状炭素に接触する機構を説明するための図である。
- 【図 34】図 30 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。
- 【図 35】実施の形態 2 による他のプラズマ装置の構成を示す概略図である。 10
- 【図 36】図 35 に示すトリガー電極が陰極部材の全てのガラス状炭素に接触する機構を説明するための図である。
- 【図 37】実施の形態 3 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。
- 【図 38】図 37 に示す送出機構の構成を示す概略図である。
- 【図 39】図 37 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。
- 【図 40】実施の形態 4 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。
- 【図 41】図 40 に示すトリガー電極の一方端側の断面図である。
- 【図 42】図 40 に示すトリガー電極の一方端側の陰極部材側から見た平面図である。
- 【図 43】実施の形態 5 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。 20
- 【図 44】図 43 に示すトリガー電極の一方端側の断面図である。
- 【図 45】図 43 に示すトリガー電極の一方端側の陰極部材側から見た平面図である。
- 【図 46】図 43 に示すトリガー電極が陰極部材の突起部に接触したときの概念図である。
- 【図 47】実施の形態 5 における他のトリガー電極の断面図である。
- 【図 48】実施の形態 6 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。
- 【図 49】アーク電圧の時間変化を示す図である。
- 【図 50】図 48 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。
- 【図 51】実施の形態 7 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。 30
- 【図 52】図 51 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。
- 【図 53】実施の形態 8 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。
- 【図 54】図 53 に示す永久磁石の配置位置を説明するための図である。
- 【図 55】図 53 に示す永久磁石の機能を説明するための概念図である。
- 【図 56】図 53 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。
- 【図 57】実施の形態 9 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。
- 【図 58】図 57 に示す永久磁石の機能を説明するための図である。
- 【図 59】図 57 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。 40
- 【図 60】実施の形態 9 による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。
- 【図 61】図 60 に示す電磁石（コイルおよび電源）の機能を説明するための図である。
- 【図 62】実施の形態 10 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。
- 【図 63】消弧しない割合における軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示す図である。
- 【図 64】アークスポットが本体部に移動しない割合における軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示す図である。
- 【図 65】放電前のガラス状炭素の斜視図である。
- 【図 66】第 1 回目の放電が終了した後のガラス状炭素を示す図である。 50

【図 6 7】第 2 回目の放電が終了した後のガラス状炭素を示す図である。

【図 6 8】放電前の陰極部材を示す図である。

【図 6 9】直径 3 mm のガラス状炭素（突起部）を用いた時の放電後の突起部を示す図である。

【図 7 0】直径 5 . 2 mm のガラス状炭素（突起部）を用いた時の放電後の突起部を示す図である。

【図 7 1】直径 2 mm のガラス状炭素（突起部）を用いた時の放電後の突起部を示す図である。

【図 7 2】実施の形態 1 0 による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図 7 3】図 7 2 に示す陰極部材およびコイルの拡大図である。

10

【図 7 4】実施の形態 1 0 における別のコイルを示す図である。

【図 7 5】実施の形態 1 0 による更に別のプラズマ装置の構成を示す構成図である。

【図 7 6】図 7 5 に示すアーク式蒸発源、陰極部材およびコイルの拡大図である。

【図 7 7】図 6 2 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

【図 7 8】実施の形態 1 1 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図 7 9】図 7 8 に示す永久磁石、歯車およびカウンターウェイトの基板側から見た平面図である。

【図 8 0】実施の形態 1 1 による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図 8 1】図 7 8 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

20

【図 8 2】実施の形態 1 2 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図 8 3】実施の形態 1 3 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図 8 4】図 8 3 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す概略図である。

【図 8 5】実施の形態 1 4 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図 8 6】図 8 5 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

【図 8 7】実施の形態 1 5 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図 8 8】図 8 7 に示すプラズマ装置を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

30

【図 8 9】この発明の実施の形態における陰極部材を示す図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0020】

[実施の形態 1]

図 1 は、この発明の実施の形態 1 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 1 を参照して、この発明の実施の形態 1 によるプラズマ装置は、真空容器 1 と、保持部材 2 と、アーク式蒸発源 3 と、陰極部材 4 と、シャッター 5 と、電源 6 , 7 と、トリガー電極 8 と、抵抗 9 とを備える。

40

【0021】

なお、プラズマ装置 1 0 においては、図 1 に示すように x 軸、y 軸および z 軸が定義されている。

【0022】

真空容器 1 は、排気口 1 1 を有し、排気口 1 1 から排気装置（図示せず）によって真空中に引かれる。そして、真空容器 1 は、接地ノード GND に接続される。

【0023】

保持部材 2 は、真空容器 1 内に配置される。アーク式蒸発源 3 は、真空容器 1 の側壁に

50

固定される。

【 0 0 2 4 】

陰極部材 4 は、アーク式蒸発源 3 の基板 2 0 側の表面に取り付けられる。そして、陰極部材 4 は、ガラス状炭素からなる。ガラス状炭素は、フェノール樹脂などの熱硬化性樹脂を焼成、炭素化することにより製造される。このガラス状炭素は、炭素原子がアモルファス状に配列された構造からなり、粒界が存在しない。粒界が存在しないという理由から、陰極部材 4 は、導電性のダイヤモンドからなってもよい。また、陰極部材 4 は、基板 2 0 側へ突出した突起部を有する。

【 0 0 2 5 】

なお、ガラス状炭素の具体例として、日清紡ケミカル製のガラス状カーボン、または東海カーボン製のグラッシーカーボンを挙げることができる。そして、この発明の実施の形態においては、グラッシーカーボン (glassy carbon)、アモルファスカーボン、非晶質カーボン、非定形炭素、無定形炭素、非黒鉛化炭素および vitreous carbon は、ガラス状炭素に含まれるものとする。

【 0 0 2 6 】

シャッター 5 は、陰極部材 4 と基板 2 0 との間に陰極部材 4 に対向して配置される。

【 0 0 2 7 】

電源 6 は、保持部材 2 と接地ノード GND との間に接続される。電源 7 は、アーク式蒸発源 3 と接地ノード GND との間に接続される。

【 0 0 2 8 】

トリガー電極 8 は、一部が真空容器 1 の側壁を介して真空容器 1 内に配置され、残部が真空容器 1 外に配置される。そして、トリガー電極 8 は、例えば、モリブデン (Mo) からなり、抵抗 9 を介して接地ノード GND に接続される。抵抗 9 は、トリガー電極 8 と接地ノード GND との間に接続される。

【 0 0 2 9 】

保持部材 2 は、基板 2 0 を保持する。アーク式蒸発源 3 は、陰極部材 4 と真空容器 1 との間のアーク放電によって陰極部材 4 を局部的に加熱させて陰極物質を蒸発させる。

【 0 0 3 0 】

シャッター 5 は、開閉機構 (図示せず) によって矢印 1 2 の方向に移動する。

【 0 0 3 1 】

電源 6 は、負の電圧を保持部材 2 を介して基板 2 0 に印加する。電源 7 は、負の電圧をアーク式蒸発源 3 に印加する。

【 0 0 3 2 】

トリガー電極 8 は、往復駆動装置 (図示せず) によって陰極部材 4 に接触または離反する。抵抗 9 は、アーク電流がトリガー電極 8 に流れるのを抑制する。

【 0 0 3 3 】

図 2 は、図 1 に示す陰極部材 4 の斜視図である。また、図 3 は、図 2 に示す線 I I I - I I I 間における陰極部材 4 の断面図である。

【 0 0 3 4 】

図 2 および図 3 を参照して、陰極部材 4 は、本体部 4 1 と、突起部 4 2 とを含む。本体部 4 1 は、円盤形状を有する。突起部 4 2 は、円柱形状を有する。そして、突起部 4 2 は、突起部 4 2 の中心軸 X 2 が本体部 4 1 の中心軸 X 1 に一致するように本体部 4 1 上に配置される。なお、本体部 4 1 および突起部 4 2 は、一体的に作製される。

【 0 0 3 5 】

本体部 4 1 は、例えば、64 mm の直径 R 1 を有し、12 mm の高さ H 1 を有する。突起部 4 2 は、数 cm 以下の直径 R 2 を有し、数 mm 以上の高さ H 2 を有する。そして、突起部 4 2 は、例えば、3 mm , 6 mm の直径 R 2 を有する。

【 0 0 3 6 】

陰極部材 4 は、次の方法によって作製される。フェノール樹脂などの熱硬化性樹脂を焼成、炭素化し円柱形状のガラス状炭素を作製する。その後、その作製したガラス状炭素を

10

20

30

40

50

突起部 4 2 を有するように旋盤加工して陰極部材 4 を作製する。なお、突起部 4 2 を形成する方法は、旋盤加工に限らず、エッチング（ウェットエッチングおよびドライエッチングの両方を含む）であってもよく、突起部 4 2 を形成可能な方法であれば、どのような方法であってもよい。

【 0 0 3 7 】

中心軸 X 2 に垂直な方向における突起部 4 2 の断面積は、突起部 4 2 の直径 R 2 が 6 mm である場合、 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} = 28.3 \text{ mm}^2$ であり、中心軸 X 1 に垂直な方向における本体部 4 1 の断面積は、 $32 \text{ mm} \times 32 \text{ mm} = 3215.4 \text{ mm}^2$ である。その結果、本体部 4 1 の断面積に対する突起部 4 2 の断面積の比は、約 $1 / 113$ になる。

10

【 0 0 3 8 】

その結果、突起部 4 2 における伝熱成分が減少することによって突起部 4 2 から熱が逃げ難くなり、突起部 4 2 全体が均熱化され易くなるため、熱歪が少なくなる。

【 0 0 3 9 】

また、ガラス状炭素は、粒界を有しないため、陰極部材 4 として用いられた場合、アーク放電中に原子状のカーボンが陰極部材 4 から放出される。

【 0 0 4 0 】

従って、陰極部材 4 が割れるのを抑制できる。

【 0 0 4 1 】

上述したように、陰極部材 4 から原子状のカーボンが放出されるので、パーティクルが発生しない。その結果、陰極部材 4 を用いると、スパークレス放電を発生させることができる。このスパークレス放電は、パーティクルが発生しない放電である。なお、この明細書においては、パーティクルとは、サイズが $50 \text{ nm} \sim$ 数 $\mu \text{ m}$ であるカーボンの粒を言う。

20

【 0 0 4 2 】

一方、炭素の粒を焼結した焼結体は、陰極部材 4 としては適さない。その理由は、次のとおりである。炭素の焼結体は、炭素の粒を押し固めて焼いたものであるため、粒界が存在する。その結果、炭素の焼結体を陰極部材 4 として用いた場合、アーク放電中に粒界から陰極部材 4 が割れ、パーティクルが陰極部材 4 から放出されるからである。

【 0 0 4 3 】

30

図 4 は、図 1 に示すプラズマ装置 1 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。図 4 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、突起部 4 2 を有するガラス状炭素を陰極部材 4 としてアーク式蒸発源 3 に取り付ける（工程 S 1 ）。

【 0 0 4 4 】

そして、排気口 1 1 を介して真空容器 1 内を排気し、真空容器 1 内の圧力を $5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ に設定する。

【 0 0 4 5 】

そうすると、電源 6 によって基板 2 0 に $-10 \text{ V} \sim -300 \text{ V}$ の負の電圧を印加し（工程 S 2 ）、電源 7 によってアーク式蒸発源 3 に $-15 \text{ V} \sim -50 \text{ V}$ の負の電圧を印加する（工程 S 3 ）。

40

【 0 0 4 6 】

そして、往復駆動装置（図示せず）によって、トリガー電極 8 を陰極部材 4 の突起部 4 2 に接触させ（工程 S 4 ）、その後、トリガー電極 8 を陰極部材 4 から離反させる。これによって、アーク放電が開始し、アークスポットが陰極部材 4 の表面に現れる。このアークスポットは、陰極部材 4 の溶融部であり、強く発光している。

【 0 0 4 7 】

その後、シャッター 5 を開ける（工程 S 5 ）。これによって、カーボン薄膜（DLC: Diamond Like Carbon）が基板 2 0 上に形成される。そして、プラズマ装置 1 0 の操作者によって、放電が停止したか否かが判定される（工程 S 6 ）。アークスポットは、強く発光しているので、プラズマ装置 1 0 の操作者は、アークスポットが光っ

50

ていれば、放電が停止していないと判定し、アークスポットが光っていなければ、放電が停止したと判定する。

【0048】

工程S6において、放電が停止したと判定されたとき、シャッター5を閉じ（工程S7）、その後、上述した工程S4～S6が繰り返し実行される。

【0049】

一方、工程S6において、放電が停止していないと判定されたとき、所望の時間が経過すると、シャッター5を閉じる（工程S8）。これによって、カーボン薄膜の製造が終了する。

【0050】

そして、上述した工程S1～工程S8に従って製造されたカーボン薄膜には、アモルファスカーボン薄膜、ダイヤモンドライクカーボン薄膜、テトラヘドラルアモルファスカーボン膜、非晶質硬質炭素薄膜および硬質炭素薄膜が含まれるものとする。

【0051】

なお、実施の形態1においては、電源6は、0Vの電圧を基板20に印加してもよい。また、シャッター5を開けたままでカーボン薄膜を製造してもよい。従って、実施の形態1によるカーボン薄膜の製造方法は、図4に示す工程S1、S3、S4を少なくとも備えていればよい。

【0052】

このように、カーボン薄膜は、突起部42を有し、かつ、ガラス状炭素からなる陰極部材4を用いてアーク放電によって基板20上に形成される。

【0053】

その結果、突起部42における熱歪が少なくなり、陰極部材4（ガラス状炭素）は、粒界を有しないため、陰極部材4が粒界に沿って割れることを抑制できる。

【0054】

図5は、触針式の表面形状の測定器Dektak150（Veeco社製）を用いてカーボン薄膜の表面形状を同一条件にて測定した結果を示す図である。図5において、縦軸は、カーボン薄膜の表面形状を表し、横軸は、走査距離（測定した長さ）を表す。図5（a）、（b）のいずれも、排気装置（図示せず）によって真空容器1を 9.9×10^{-3} Paまで排気した後、80Aのアーク電流および2000の膜厚に設定して基板（直径20mm、厚さ2mm、SKH51製、鏡面研磨仕上げ）にカーボン薄膜をそれぞれ成膜したものである。両者の違いは、成膜時における陰極部材のみであり、図5の（a）は、ガラス状炭素を陰極部材4として用いた場合のものであり、図5の（b）は、焼結構造のカーボン材料を陰極部材4として用いた場合のものである。

【0055】

図5（a）、（b）のいずれにおいても、0レベルからプラス方向に針状に突き出たピークがカーボン薄膜中の粗大粒子（粗大粒子＝パーティクルが存在する為、表面形状が凸となる）を示しており、陰極部材の違いによるカーボン薄膜中の粗大粒子数の違いは、明白である。この違いは、前述の通り、ガラス状炭素と焼結構造のカーボン材料の構造に由来するものであり、粒界の存在しないガラス状炭素から放出される粗大粒子が極端に少ない、または、ほとんど0個に等しいことを端的に表している。

【0056】

一例として、3000以上の粗大粒子数を比較した場合、ガラス状炭素を陰極部材4として用いた図5（a）は、0個である。一方、焼結構造のカーボン材料を陰極部材4として用いた図5（b）は、21個である。2000以上の粗大粒子数を比較した場合、ガラス状炭素を陰極部材4として用いた図5（a）は、1個である。一方、焼結構造のカーボン材料を陰極部材4として用いた図5（b）は、58個である。1000以上の粗大粒子数を比較した場合、ガラス状炭素を陰極部材4として用いた図5（a）は、2個である。一方、焼結構造のカーボン材料を陰極部材4として用いた図5（b）は、無数に存在している。この結果から、ガラス状炭素を陰極部材4に用いた場合、カーボン薄膜中の

10

20

30

40

50

粗大粒子数を大幅に減少させることが可能である。同時に、ガラス状炭素を陰極部材 4 に用いた場合には、カーボン薄膜の表面粗さを大幅に小さく（良化）することが可能である。

【 0 0 5 7 】

図 5 (a) , (b) のいずれにおいても、基板表面は、2 0 0 0 レベルに対応し、カーボン薄膜の表面は、0 レベル（基板にうねり、反りが存在している為、その影響を受け縦軸が 0 レベルの直線とはなっていない）に対応している。なお、基板のうねり、反りは、粗大粒子による針状に突き出たピークとは全く異なったものであり、粗大粒子の存在や個数を誤認識させるものではない。

【 0 0 5 8 】

また、図 5 (b) において、縦軸が 0 レベルからマイナス方向に針状に突き出たピークが無数に存在しているが、これらは、カーボン薄膜に、一旦、取り込まれた粗大粒子が離脱した痕跡を示しており（粗大粒子が離脱するとカーボン薄膜の表面は、凹形状となる）、この点からも、焼結構造のカーボン材料を陰極部材 4 として用いた場合には、無数の粗大粒子が放出されていることが判る。

【 0 0 5 9 】

このように、ガラス状炭素を陰極部材 4 として用いることによって、カーボン薄膜の表面粗さが格段に小さくなることが実証された。これは、ガラス状炭素を陰極部材 4 として用いた場合、上述したように、原子状のカーボンが陰極部材 4 から放出され、その放出された原子状のカーボンがカーボン薄膜の成膜に寄与するためである。

【 0 0 6 0 】

図 6 は、実施の形態 1 における別の陰極部材を示す断面図である。実施の形態 1 においては、プラズマ装置 1 0 は、陰極部材 4 に代えて図 6 に示す陰極部材 4 A を備えていてもよい。

【 0 0 6 1 】

図 6 を参照して、陰極部材 4 A は、本体部 4 1 A と、突起部 4 2 A とを備える。本体部 4 1 A は、図 2 および図 3 に示す本体部 4 1 に M 5 メネジを形成したものである。そして、本体部 4 1 A は、本体部 4 1 と同じサイズを有し、本体部 4 1 と同じ材料からなる。

【 0 0 6 2 】

突起部 4 2 A は、本体部 4 1 A の M 5 メネジに噛み合うように根元側に M 5 オネジを形成した構造からなる。そして、突起部 4 2 A は、突起部 4 2 と同じ直径および形状を有し、本体部 4 1 A から突出した部分の高さは、例えば、9 m m である。また、突起部 4 2 A は、本体部 4 1 A と同じ材料からなる。

【 0 0 6 3 】

陰極部材 4 A を用いることによって、突起部 4 2 A のみを交換することが可能となり、本体部 4 1 A を繰り返し使用することができる。

【 0 0 6 4 】

図 7 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概略図である。また、図 8 は、図 7 に示す線 V I I I - V I I I 間における陰極部材 4 B の断面図である。

【 0 0 6 5 】

実施の形態 1 においては、プラズマ装置 1 0 は、陰極部材 4 に代えて図 7 および図 8 に示す陰極部材 4 B を備えていてもよい。

【 0 0 6 6 】

図 7 および図 8 を参照して、陰極部材 4 B は、図 2 に示す陰極部材 4 の突起部 4 2 を突起部 4 2 B , 4 2 C , 4 2 D , 4 2 E に代えたものであり、その他は、陰極部材 4 と同じである。

【 0 0 6 7 】

突起部 4 2 B , 4 2 C , 4 2 D , 4 2 E の各々は、円柱形状を有し、ガラス状炭素からなる。そして、突起部 4 2 B , 4 2 C , 4 2 D , 4 2 E の各々は、突起部 4 2 と同じ直径および形状を有する。また、突起部 4 2 B , 4 2 C , 4 2 D , 4 2 E の各々は、例えば、

10

20

30

40

50

9 mmの高さを有する。更に、突起部42B, 42C, 42D, 42Eは、例えば、碁盤目状に本体部41上に配置される。この場合、突起部42B, 42C, 42D, 42Eの相互の間隔は、任意である。更に、本体部41および突起部42B, 42C, 42D, 42Eは、一体的に作製される。そして、陰極部材4Bは、本体部41をアーク式蒸発源3に固定することによってアーク式蒸発源3に取り付けられる。従って、突起部42B, 42C, 42D, 42Eは、基板20側へ突出している。

【0068】

陰極部材4Bは、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。

【0069】

なお、陰極部材4Bにおいては、突起部42B, 42C, 42D, 42Eは、碁盤目状に限らず、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。

【0070】

また、陰極部材4Bは、4個の突起部42B, 42C, 42D, 42Eに限らず、2個の突起部を備えていてもよく、3個の突起部を備えていてもよく、5個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、2個以上の突起部を備えていればよい。そして、2個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2個以上の突起部は、相互に同じ直径を有していてもよく、相互に異なる直径を有していてもよい。

【0071】

図9は、実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。また、図10は、図9に示す線X-X間における陰極部材4Cの断面図である。

【0072】

実施の形態1においては、プラズマ装置10は、陰極部材4に代えて図9および図10に示す陰極部材4Cを備えていてもよい。

【0073】

図9および図10を参照して、陰極部材4Cは、本体部48と、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fとを含む。

【0074】

本体部48は、正方形である表面48Aを有する平板形状を有し、ガラス状炭素からなる。そして、本体部48の一辺の長さは、例えば、64 mmである。また、本体部48は、本体部41と同じ高さH1 (= 10 mm)を有する。

【0075】

突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fの各々は、表面48Aと平行な平面で切断した断面形状が正方形である角柱形状を有し、ガラス状炭素からなる。そして、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fの各々は、数cm以下の一辺の長さを有し、数mm以上の高さを有する。また、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fは、例えば、碁盤目状に本体部48上に配置される。この場合、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fの相互の間隔は、任意である。更に、本体部48および突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fは、一体的に作製される。そして、陰極部材4Cは、本体部48をアーク式蒸発源3に固定することによってアーク式蒸発源3に取り付けられる。従って、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fは、基板20側へ突出している。

【0076】

陰極部材4Cは、陰極部材4と同じ方法によって作製される。

【0077】

なお、陰極部材4Cにおいては、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fは、碁盤目状に限らず、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。

【0078】

また、陰極部材4Cは、6個の突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49

10

20

30

40

50

Fに限らず、1個～5個の突起部を備えていてもよく、7個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、1個以上の突起部を備えていればよい。そして、陰極部材4Cが2個以上の突起部を備える場合、2個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2個以上の突起部は、相互に同じ一辺の長さを有していてもよく、相互に異なる一辺の長さを有していてもよい。

【0079】

更に、本体部48は、断面形状が正方形でなくともよく、断面形状が長方形であってもよい。この場合、長方形の長辺および短辺の長さは、任意の値に設定される。

【0080】

更に、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fの各々は、断面形状が正方形でなくともよく、断面形状が長方形であってもよい。この場合、長方形の長辺および短辺の長さは、数cm以下に設定される。

【0081】

更に、陰極部材4Cは、断面形状が四角形である平板形状を有する本体部に限らず、断面形状が三角形である平板形状を有する本体部、または断面形状が五角形である平板形状を有する本体部を備えていてもよく、一般的には、断面形状が多角形である平板形状を有する本体部を備えていればよい。

【0082】

更に、陰極部材4Cは、断面形状が四角形である角柱形状を有する突起部に限らず、断面形状が三角形である角柱形状を有する突起部、または断面形状が五角形である角柱形状を有する突起部を備えていてもよく、一般的には、断面形状が多角形である角柱形状を有する突起部を備えていればよい。

【0083】

図11は、実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。また、図12は、図11に示す線XII-XII間の陰極部材4Dの断面図である。

【0084】

実施の形態1においては、プラズマ装置10は、陰極部材4に代えて図11および図12に示す陰極部材4Dを備えていてもよい。

【0085】

図11および図12を参照して、陰極部材4Dは、図2に示す陰極部材4の突起部42を突起部42F, 42G, 42H, 42Iに代えたものであり、その他は、陰極部材4と同じである。

【0086】

突起部42F, 42G, 42H, 42Iの各々は、円錐形状を有し、ガラス状炭素からなる。そして、突起部42F, 42G, 42H, 42Iの各々は、本体部41の表面411において数cm以下の直径を有する。また、突起部42F, 42G, 42H, 42Iの各々は、例えば、9mmの高さを有する。更に、突起部42F, 42G, 42H, 42Iは、例えば、碁盤目状に本体部41上に配置される。この場合、突起部42F, 42G, 42H, 42Iの相互の間隔は、任意である。更に、本体部41および突起部42F, 42G, 42H, 42Iは、一体的に作製される。そして、陰極部材4Dは、本体部41をアーク式蒸発源3に固定することによってアーク式蒸発源3に取り付けられる。従って、突起部42F, 42G, 42H, 42Iは、基板20側へ突出している。

【0087】

陰極部材4Dは、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。

【0088】

なお、陰極部材4Dにおいては、突起部42F, 42G, 42H, 42Iは、碁盤目状に限らず、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。

【0089】

また、陰極部材4Dは、4個の突起部42F, 42G, 42H, 42Iに限らず、2個

10

20

30

40

50

の突起部を備えていてもよく、3個の突起部を備えていてもよく、5個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、2個以上の突起部を備えていればよい。そして、2個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2個以上の突起部は、本体部41の表面411において、相互に同じ直径を有していてもよく、相互に異なる直径を有していてもよい。

【0090】

図13は、実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。また、図14は、図13に示す線XIV-XIV間の陰極部材4Eの断面図である。

【0091】

実施の形態1においては、プラズマ装置10は、陰極部材4に代えて図13および図14に示す陰極部材4Eを備えていてもよい。

10

【0092】

図13および図14を参照して、陰極部材4Eは、図2に示す陰極部材4の突起部42を突起部42J、42K、42L、42Mに代えたものであり、その他は、陰極部材4と同じである。

【0093】

突起部42J、42K、42L、42Mの各々は、円錐台状の形状を有し、ガラス状炭素からなる。そして、突起部42J、42K、42L、42Mの各々は、本体部41の表面411において数cm以下の直径を有し、先端部において表面411における直径よりも小さい直径を有する。また、突起部42J、42K、42L、42Mの各々は、例えば、9mmの高さを有する。更に、突起部42J、42K、42L、42Mは、例えば、碁盤目状に本体部41上に配置される。この場合、突起部42J、42K、42L、42Mの相互の間隔は、任意である。更に、本体部41および突起部42J、42K、42L、42Mは、一体的に作製される。そして、陰極部材4Eは、本体部41をアーク式蒸発源3に固定することによってアーク式蒸発源3に取り付けられる。従って、突起部42J、42K、42L、42Mは、基板20側へ突出している。

20

【0094】

陰極部材4Eは、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。

【0095】

30

なお、陰極部材4Eにおいては、突起部42J、42K、42L、42Mは、碁盤目状に限らず、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。

【0096】

また、陰極部材4Eは、4個の突起部42J、42K、42L、42Mに限らず、2個の突起部を備えていてもよく、3個の突起部を備えていてもよく、5個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、2個以上の突起部を備えていればよい。そして、2個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2個以上の突起部は、本体部41の表面411において、相互に同じ直径を有していてもよく、相互に異なる直径を有していてもよい。

【0097】

40

図15は、実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。また、図16は、図15に示す線XVI-XVI間の陰極部材4Fの断面図である。

【0098】

実施の形態1においては、プラズマ装置10は、陰極部材4に代えて図15および図16に示す陰極部材4Fを備えていてもよい。

【0099】

図15および図16を参照して、陰極部材4Fは、図9および図10に示す陰極部材4Cの突起部49A、49B、49C、49D、49E、49Fを突起部49G、49H、49I、49J、49K、49Lに代えたものであり、その他は、陰極部材4Cと同じである。

50

【0100】

突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lの各々は、角錐形状を有し、ガラス状炭素からなる。そして、突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lの各々は、本体部48の表面48Aにおいて一辺の長さが数cm以下の正方形の形状を有する。また、突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lの各々は、例えば、9mmの高さを有する。更に、突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lは、例えば、碁盤目状に本体部48上に配置される。この場合、突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lの相互の間隔は、任意である。更に、本体部48および突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lは、一体的に作製される。そして、陰極部材4Fは、本体部48をアーク式蒸発源3に固定することによってアーク式蒸発源3に取り付けられる。従って、突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lは、基板20側へ突出している。

10

【0101】

陰極部材4Fは、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。

【0102】

なお、陰極部材4Fにおいては、突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lは、碁盤目状に限らず、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。

【0103】

また、陰極部材4Fは、6個の突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lに限らず、2個の突起部を備えていてもよく、3個の突起部を備えていてもよく、5個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、2個以上の突起部を備えていればよい。そして、2個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2個以上の突起部は、本体部48の表面48Aにおいて、相互に同じ一辺の長さを有していてもよく、相互に異なる一辺の長さを有していてもよい。

20

【0104】

更に、突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lの各々は、本体部48の表面48Aにおいて、正方形の形状に限らず、長方形の形状を有していてもよい。この場合、長方形の長辺および短辺の長さは、数cm以下である。

30

【0105】

更に、突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lの各々は、本体部48の表面48Aにおいて、三角形の形状を有していてもよく、五角形の形状を有していてもよく、六角形の形状を有していてもよく、一般的には、多角形の形状を有していてもよい。この場合、多角形の最も長い対角線の長さは、数cm以下である。

【0106】

図17は、実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。また、図18は、図17に示す線XVII-XVII間の陰極部材4Gの断面図である。

【0107】

実施の形態1においては、プラズマ装置10は、陰極部材4に代えて図17および図18に示す陰極部材4Gを備えていてもよい。

40

【0108】

図17および図18を参照して、陰極部材4Gは、図9に示す陰極部材4Cの突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fを突起部49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49Rに代えたものであり、その他は、陰極部材4Cと同じである。

【0109】

突起部49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49Rの各々は、角錐台状の形状を有し、ガラス状炭素からなる。そして、突起部49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49Rの各々は、本体部48の表面48Aにおいて一辺の長さが数cm以下の正方形の形状からなり、先端部において表面48Aにおける一辺の長さよりも短い一辺の長さを有

50

する正方形の形状からなる。また、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R の各々は、例えば、9 mm の高さを有する。更に、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R は、例えば、碁盤目状に本体部 4 8 上に配置される。この場合、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R の相互の間隔は、任意である。更に、本体部 4 8 および突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R は、一体的に作製される。そして、陰極部材 4 G は、本体部 4 8 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R は、基板 2 0 側へ突出している。

【 0 1 1 0 】

陰極部材 4 G は、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。

10

【 0 1 1 1 】

なお、陰極部材 4 G においては、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R は、碁盤目状に限らず、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。

【 0 1 1 2 】

また、陰極部材 4 G は、6 個の突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R に限らず、2 個の突起部を備えていてもよく、3 個の突起部を備えていてもよく、5 個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、2 個以上の突起部を備えていればよい。そして、2 個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2 個以上の突起部は、本体部 4 8 の表面 4 8 A において、相互に同じ一辺の長さを有していてもよく、相互に異なる一辺の長さを有していてもよい。

20

【 0 1 1 3 】

更に、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R の各々は、先端部および本体部 4 8 の表面 4 8 A において、正方形の形状に限らず、長方形の形状を有していてもよい。この場合、長方形の長辺および短辺の長さは、数 c m 以下である。

【 0 1 1 4 】

更に、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R の各々は、先端部および本体部 4 8 の表面 4 8 A において、三角形の形状を有していてもよく、五角形の形状を有していてもよく、六角形の形状を有していてもよく、一般的には、多角形の形状を有していてもよい。この場合、表面 4 8 A における多角形の最も長い対角線の長さは、数 c m 以下である。

30

【 0 1 1 5 】

図 1 9 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概略図である。また、図 2 0 は、図 1 9 に示す線 X X - X X 間における陰極部材 4 H の断面図である。

【 0 1 1 6 】

実施の形態 1 においては、プラズマ装置 1 0 は、陰極部材 4 に代えて図 1 9 および図 2 0 に示す陰極部材 4 H を備えていてもよい。

【 0 1 1 7 】

図 1 9 および図 2 0 を参照して、陰極部材 4 H は、図 2 に示す陰極部材 4 の突起部 4 2 を突起部 4 5 に代えたものであり、その他は、陰極部材 4 と同じである。

40

【 0 1 1 8 】

突起部 4 5 は、平面形状がリング形状からなる壁状構造を有し、ガラス状炭素からなる。そして、突起部 4 5 は、本体部 4 1 の直径 R 1 に等しい外径と、例えば、1 mm ~ 1 0 mm の幅とを有する。また、突起部 4 5 は、幅よりも大きい高さを有し、例えば、数 mm ~ 数 c m の高さを有する。更に、本体部 4 1 および突起部 4 5 は、一体的に作製される。そして、陰極部材 4 H は、本体部 4 1 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 4 5 は、基板 2 0 側へ突出している。

【 0 1 1 9 】

陰極部材 4 H は、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製され

50

る。

【 0 1 2 0 】

なお、突起部 4 5 は、本体部 4 1 の直径 R 1 と同じ外径に限らず、本体部 4 1 の直径 R 1 よりも小さい外径を有していてもよい。

【 0 1 2 1 】

図 2 1 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概略図である。また、図 2 2 は、図 2 1 に示す線 X X I I - X X I I 間における陰極部材 4 I の断面図である。

【 0 1 2 2 】

実施の形態 1 においては、プラズマ装置 1 0 は、陰極部材 4 に代えて図 2 1 および図 2 2 に示す陰極部材 4 I を備えていてもよい。

10

【 0 1 2 3 】

図 2 1 および図 2 2 を参照して、陰極部材 4 I は、図 1 9 および図 2 0 に示す陰極部材 4 H に突起部 4 6 を追加したものであり、その他は、陰極部材 4 H と同じである。

【 0 1 2 4 】

突起部 4 6 は、平面形状がリング形状からなる壁状構造を有し、ガラス状炭素からなる。そして、突起部 4 6 は、突起部 4 5 の内周側に配置され、例えば、1 mm ~ 10 mm の幅を有する。また、突起部 4 6 は、幅よりも大きい高さを有し、例えば、数 mm ~ 数 cm の高さを有する。更に、突起部 4 5 と突起部 4 6 との間隔は、任意である。更に、本体部 4 1 および突起部 4 5 , 4 6 は、一体的に作製される。そして、陰極部材 4 I は、本体部 4 1 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 4 5 , 4 6 は、基板 2 0 側へ突出している。

20

【 0 1 2 5 】

陰極部材 4 I は、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。

【 0 1 2 6 】

なお、突起部 4 5 は、突起部 4 6 と同じ幅を有していてもよく、突起部 4 6 と異なる幅を有していてもよい。

【 0 1 2 7 】

図 2 3 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概略図である。また、図 2 4 は、図 2 3 に示す線 X X I V - X X I V 間における陰極部材 4 J の断面図である。

30

【 0 1 2 8 】

実施の形態 1 においては、プラズマ装置 1 0 は、陰極部材 4 に代えて図 2 3 および図 2 4 に示す陰極部材 4 J を備えていてもよい。

【 0 1 2 9 】

図 2 3 および図 2 4 を参照して、陰極部材 4 J は、図 1 5 および図 1 6 に示す陰極部材 4 F の突起部 4 9 G , 4 9 H , 4 9 I , 4 9 J , 4 9 K , 4 9 L を突起部 5 0 に代えたものであり、その他は、陰極部材 4 F と同じである。

【 0 1 3 0 】

突起部 5 0 は、平面形状が四角形のリング形状からなる壁状構造を有し、ガラス状炭素からなる。そして、突起部 5 0 は、本体部 4 8 の周縁に沿って本体部 4 8 上に配置される。また、突起部 5 0 の幅は、例えば、数 mm ~ 1 cm であり、突起部 5 0 の高さは、幅よりも大きく、例えば、数 mm ~ 数 cm である。更に、突起部 5 0 は、本体部 4 8 と一体的に作製される。

40

【 0 1 3 1 】

陰極部材 4 J は、平板形状を有するガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。そして、陰極部材 4 J は、本体部 4 8 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 5 0 は、基板 2 0 側へ突出している。

【 0 1 3 2 】

図 2 5 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概略図である。また、図 2 6 は、

50

図 25 に示す線 X X V I - X X V I 間の陰極部材 4 K の断面図である。

【 0 1 3 3 】

実施の形態 1 においては、プラズマ装置 10 は、陰極部材 4 に代えて図 25 および図 26 に示す陰極部材 4 K を備えていてもよい。

【 0 1 3 4 】

図 25 および図 26 を参照して、陰極部材 4 K は、図 23 および図 24 に示す陰極部材 4 J の突起部 50 を突起部 45 A , 45 B , 45 C , 45 D , 45 E , 45 F に代えたものであり、その他は、陰極部材 4 J と同じである。

【 0 1 3 5 】

突起部 45 A , 45 B , 45 C , 45 D , 45 E , 45 F の各々は、平面形状が直線形状からなる壁状構造を有し、ガラス状炭素からなる。また、突起部 45 A , 45 B , 45 C , 45 D , 45 E , 45 F の各々は、例えば、数 mm の厚みを有し、例えば、厚みよりも大きい数 mm ~ 1 cm の高さを有する。更に、突起部 45 A , 45 B , 45 C , 45 D , 45 E , 45 F は、所望の間隔で略平行に本体部 48 上に配置される。更に、本体部 48 および突起部 45 A , 45 B , 45 C , 45 D , 45 E , 45 F は、一体的に作製される。

10

【 0 1 3 6 】

陰極部材 4 K は、平板形状を有するガラス状炭素を突起部 45 A , 45 B , 45 C , 45 D , 45 E , 45 F を有するように旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。そして、陰極部材 4 K は、本体部 48 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 45 A , 45 B , 45 C , 45 D , 45 E , 45 F は、基板 20 側へ突出している。

20

【 0 1 3 7 】

なお、陰極部材 4 K においては、突起部の個数は、6 個に限らず、1 個以上であればよい。

【 0 1 3 8 】

また、陰極部材 4 K においては、6 個の突起部 45 A , 45 B , 45 C , 45 D , 45 E , 45 F は、相互に同じ間隔で配置されていなくてもよく、ランダムな間隔で配置されていてもよい。

【 0 1 3 9 】

更に、陰極部材 4 K が複数の突起部を備える場合、複数の突起部は、平行に配置されていなくてもよい。

30

【 0 1 4 0 】

図 27 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概念図である。また、図 28 は、図 27 に示す線 X X V I I I - X X V I I I 間の陰極部材 4 L の断面図である。

【 0 1 4 1 】

実施の形態 1 においては、プラズマ装置 10 は、陰極部材 4 に代えて図 27 および図 28 に示す陰極部材 4 L を備えていてもよい。

【 0 1 4 2 】

図 27 および図 28 を参照して、陰極部材 4 L は、図 23 および図 24 に示す陰極部材 4 J の突起部 50 を突起部 51 ~ 53 に代えたものであり、その他は、陰極部材 4 J と同じである。

40

【 0 1 4 3 】

突起部 51 ~ 53 の各々は、平面形状が円弧状の形状からなる壁状構造を有し、ガラス状炭素からなる。また、突起部 51 ~ 53 の各々は、例えば、数 mm の厚みを有し、例えば、厚みよりも大きい数 mm ~ 1 cm の高さを有する。更に、突起部 51 ~ 53 は、所望の間隔で本体部 48 上に配置される。更に、本体部 48 および突起部 51 ~ 53 は、一体的に作製される。

【 0 1 4 4 】

陰極部材 4 L は、平板形状を有するガラス状炭素を突起部 51 ~ 53 を有するように旋

50

盤加工またはエッチングすることによって作製される。そして、陰極部材 4 L は、本体部 4 8 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 5 1 ~ 5 3 は、基板 2 0 側へ突出している。

【 0 1 4 5 】

なお、陰極部材 4 L においては、突起部の個数は、3 個に限らず、1 個以上であればよい。

【 0 1 4 6 】

また、陰極部材 4 L においては、3 個の突起部 5 1 ~ 5 3 は、相互に同じ間隔で配置されていなくてもよく、ランダムな間隔で配置されていてもよい。

【 0 1 4 7 】

更に、実施の形態 1 において使用される陰極部材は、陰極部材 4 から陰極部材 4 A への変更と同じ変更が陰極部材 4 B , 4 C , 4 D , 4 E , 4 F , 4 G に適用されたものであってもよい。

【 0 1 4 8 】

上記においては、各種の陰極部材 4 , 4 A ~ 4 L について説明した。そして、陰極部材 4 , 4 A ~ 4 L の各々は、基板 2 0 側へ突出した突起部を有する。従って、実施の形態 1 における陰極部材は、基板 2 0 側へ突出した少なくとも 1 つの突起部を有していればよい。

【 0 1 4 9 】

プラズマ装置 1 0 が陰極部材 4 A ~ 4 L のいずれかを備える場合も、カーボン薄膜は、図 4 に示す工程図に従って製造される。この場合、工程 S 1 において、陰極部材 4 A ~ 4 L のいずれかがアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。

【 0 1 5 0 】

図 2 9 は、実施の形態 1 による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。実施の形態 1 によるプラズマ装置は、図 2 9 に示すプラズマ装置 1 0 A であってもよい。

【 0 1 5 1 】

図 2 9 を参照して、プラズマ装置 1 0 A は、図 1 に示すプラズマ装置 1 0 に絶縁部材 1 3、ベローズ 1 4 および保持部材 1 5 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 1 0 と同じである。

【 0 1 5 2 】

トリガー電極 8 は、真空容器 1 の側壁に設けられた貫通孔 1 6 を通って配置され、一方端が陰極部材 4 に対向し、他方端が保持部材 1 5 に固定される。

【 0 1 5 3 】

絶縁部材 1 3 は、貫通孔 1 6 を囲むように真空容器 1 の側壁に O リング (図示せず) を介して固定される。ベローズ 1 4 は、絶縁部材 1 3 と保持部材 1 5 との間に配置され、絶縁部材 1 3 および保持部材 1 5 に固定される。保持部材 1 5 は、トリガー電極 8 の他方端に固定され、例えば、M o からなる。また、保持部材 1 5 は、抵抗 9 を介して接地電位 G N D に接続される。

【 0 1 5 4 】

ベローズ 1 4 は、z 軸方向に伸縮可能であり、ベローズ 1 4 の保持部材 1 5 に近い部分は、x - y 平面における保持部材 1 5 の移動に伴って移動可能である。

【 0 1 5 5 】

保持部材 1 5 は、プラズマ装置 1 0 A の操作者によって、z 軸方向に移動されるとともに、x - y 平面において移動される。

【 0 1 5 6 】

なお、抵抗 9 と保持部材 1 5 とを接続する配線は、実際には、螺旋状の形状を有するので、保持部材 1 5 が z 軸方向および x - y 平面において移動しても、保持部材 1 5 は、配線によって抵抗 9 に安定に接続される。

【 0 1 5 7 】

プラズマ装置 1 0 A を用いることによって、トリガー電極 8 を陰極部材 4 の突起部 4 2

10

20

30

40

50

の任意の場所に移動させることができる。特に、複数の突起部を有する陰極部材 4 B ~ 4 G および壁状構造の突起部を有する陰極部材 4 H ~ 4 L を用いた場合、トリガー電極 8 を突起部の任意の場所に移動させることができ、陰極部材 4 B ~ 4 L の突起部を万遍無く消費できる。

【 0 1 5 8 】

プラズマ装置 1 0 , 1 0 A が陰極部材 4 に代えて陰極部材 4 A ~ 4 L のいずれかを備える場合も、陰極部材 4 と同様に、突起部における熱歪が少なくなるので、陰極部材 4 A ~ 4 L が割れるのを抑制できる。

【 0 1 5 9 】

上記においては、各種の陰極部材 4 , 4 A ~ 4 L を用いてアーク式放電によってカーボン薄膜を形成したときに、陰極部材 4 , 4 A ~ 4 L が割れるのを抑制できることを説明した。これは、突起部 (= 突起部 4 2 等) の全体の温度が高くなり、熱歪が緩和されるためであると考えられる。従って、この発明の実施の形態においては、陰極部材は、陰極全体の温度を上昇させ、熱歪が緩和されるような構造であればよい。

【 0 1 6 0 】

[実施の形態 2]

図 3 0 は、実施の形態 2 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 3 0 を参照して、実施の形態 2 によるプラズマ装置 1 0 0 は、図 1 に示すプラズマ装置 1 0 のアーク式蒸発源 3 をアーク式蒸発源 3 0 に代え、陰極部材 4 を陰極部材 4 0 に代え、トリガー電極 8 をトリガー電極 1 7 に代え、保持部材 1 8、ネジ部材 1 9、支持部材 2 1、モータ 2 2、気動(圧縮ガス作動)機構 2 3 およびベルト 2 4 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 1 0 と同じである。

【 0 1 6 1 】

アーク式蒸発源 3 0 は、円柱形状を有し、真空容器 1 の側壁に設けられた貫通孔を通るように配置される。この場合、真空容器 1 の側壁とアーク式蒸発源 3 0 との間には、リングが存在する。これによって、真空容器 1 内は、真空中に保持される。また、アーク式蒸発源 3 0 は、気動機構 2 3 側に歯車 3 0 A を有する。更に、アーク式蒸発源 3 0 は、電源 7 に接続される。

【 0 1 6 2 】

陰極部材 4 0 は、アーク式蒸発源 3 0 の真空容器 1 内の表面に取り付けられる。

【 0 1 6 3 】

トリガー電極 1 7 は、一方端が陰極部材 4 0 に対向し、他方端が支持部材 2 1 に固定される。そして、トリガー電極 1 7 は、抵抗 9 を介して接地電位 G N D に接続される。

【 0 1 6 4 】

保持部材 1 8 は、真空容器 1 に固定される。ネジ部材 1 9 は、保持部材 1 8 の上部部材 1 8 A に設けられた貫通孔と底部部材 1 8 B に設けられた貫通孔を通して配置される。そして、ネジ部材 1 9 は、螺旋状のネジ溝が形成されており、プラズマ装置 1 0 0 の操作者によって y - z 平面内において時計回りまたは反時計回りに回転される。

【 0 1 6 5 】

支持部材 2 1 は、トリガー電極 1 7 の他方端と連結されるとともに、ネジ部材 1 9 のネジ溝と噛み合う。支持部材 2 1 は、ネジ部材 1 9 が y - z 平面内において時計回りに回転したとき、x 軸の負の方向へ移動し、ネジ部材 1 9 が y - z 平面内において反時計回りに回転したとき、x 軸の正の方向へ移動する。従って、トリガー電極 1 7 は、ネジ部材 1 9 が y - z 平面内において回転することによって、x 軸に沿って移動する。

【 0 1 6 6 】

モータ 2 2 は、真空容器 1 の側壁に固定される。気動機構 2 3 は、アーク式蒸発源 3 0 の歯車 3 0 A に連結され、支持部材(図示せず)によって支持される。そして、気動機構 2 3 は、後述する方法によって、アーク式蒸発源 3 0 および陰極部材 4 0 を z 軸に沿って移動させる。ベルト 2 4 は、モータ 2 2 の歯車 2 2 A とアーク式蒸発源 3 0 の歯車 3 0 A とに装着される。

【 0 1 6 7 】

歯車 2 2 A は、モータ 2 2 の回転によって回転し、ベルト 2 4 は、歯車 2 2 A の回転を歯車 3 0 A に伝達する。その結果、アーク式蒸発源 3 0 および陰極部材 4 0 は、 $x - y$ 平面内において、それぞれ、アーク式蒸発源 3 0 の中心軸および陰極部材 4 0 の中心軸の回りに回転する。

【 0 1 6 8 】

図 3 1 は、図 3 0 に示す陰極部材 4 0 の構成を示す概略図である。図 3 1 を参照して、陰極部材 4 0 は、ガラス状炭素 4 0 1 と、絶縁棒 4 0 2 とを含む。ガラス状炭素 4 0 1 は、円柱形状を有し、数 cm 以下の直径および数 mm 以上の長さを有する。ガラス状炭素 4 0 1 は、例えば、 3 mm または 6 mm の直径を有し、 10 mm の長さを有する。

10

【 0 1 6 9 】

絶縁棒 4 0 2 は、円盤形状を有し、高融点の絶縁物（例えば、 Al_2O_3 、 Si_3N_4 および六方晶 - BN ）からなる。絶縁棒 4 0 2 の直径は、例えば、 64 mm であり、ガラス状炭素 4 0 1 の長さと同じ厚みを有する。そして、絶縁棒 4 0 2 は、ガラス状炭素 4 0 1 の本数と同じ個数の貫通孔 4 0 2 A を有する。貫通孔 4 0 2 A は、ガラス状炭素 4 0 1 の直径と略同じ直径を有する。そして、複数の貫通孔 4 0 2 A は、同心円状に配置される。

【 0 1 7 0 】

ガラス状炭素 4 0 1 は、絶縁棒 4 0 2 の貫通孔 4 0 2 A に挿入される。複数の貫通孔 4 0 2 A は、同心円状に配置されるので、複数のガラス状炭素 4 0 1 は、複数の貫通孔 4 0 2 A に挿入されると、同心円状に配置されることになる。

20

【 0 1 7 1 】

絶縁棒 4 0 2 は、ガラス状炭素 4 0 1 が貫通孔 4 0 2 A に挿入された状態でアーク式蒸発源 3 0 に取り付けられる。その結果、ガラス状炭素 4 0 1 の一方端は、アーク式蒸発源 3 0 に接し、ガラス状炭素 4 0 1 は、アーク式蒸発源 3 0 に負の電圧が印加され、放電開始と共に昇温される。

【 0 1 7 2 】

ガラス状炭素 4 0 1 は、上述したように、円柱形状を有するので、実施の形態 1 において説明した突起部（突起部 4 2 等）と見なすことができる。従って、陰極部材 4 0 は、複数の突起部（ガラス状炭素 4 0 1）と、複数の突起部（ガラス状炭素 4 0 1）間に配置された絶縁棒 4 0 2 とからなる。

30

【 0 1 7 3 】

図 3 2 は、図 3 0 に示す気動機構 2 3 の構成を示す概略図である。図 3 2 を参照して、気動機構 2 3 は、シリンダ 2 3 1 と、弁 2 3 2 と、軸 2 3 3 とを含む。

【 0 1 7 4 】

シリンダ 2 3 1 は、中空の円柱形状からなり、側壁に 2 つの入出力口 2 3 1 A、2 3 1 B を有する。シリンダ 2 3 1 においては、入出力口 2 3 1 A、2 3 1 B の各々を介して、ガス（例えば、 0.5 MPa 程度に加圧された圧縮空気）がシリンダ 2 3 1 内に導入され、またはシリンダ 2 3 1 内のガスがシリンダ 2 3 1 外へ排出される。

【 0 1 7 5 】

弁 2 3 2 は、円盤形状を有する。弁 2 3 2 は、軸 2 3 3 に連結され、シリンダ 2 3 1 の内壁に接して配置される。そして、弁 2 3 2 は、 z 軸に沿って移動可能であるとともに $x - y$ 平面内において回転可能である。弁 2 3 2 がシリンダ 2 3 1 の内壁に接して配置される結果、シリンダ 2 3 1 は、弁 2 3 2 によって 2 つの空間領域 2 3 1 C、2 3 1 D に仕切られる。

40

【 0 1 7 6 】

軸 2 3 3 は、弁 2 3 2 を貫通するように弁 2 3 2 に固定される。そして、軸 2 3 3 は、その一方端がシリンダ 2 3 1 を貫通して歯車 3 0 A に連結される。

【 0 1 7 7 】

ガスをシリンダ 2 3 1 内の空間領域 2 3 1 C、2 3 1 D に出し入れし、空間領域 2 3 1

50

Dの圧力が空間領域231Cの圧力よりも低くなると、弁232は、z軸の正の方向へ移動し、歯車30A、アーク式蒸発源30および陰極部材40をz軸の正の方向（基板20に近づく方向）へ移動させる。

【0178】

また、ガスをシリンダ231内の空間領域231C、231Dに出し入れし、空間領域231Cの圧力が空間領域231Dの圧力よりも低くなると、弁232は、z軸の負の方向へ移動し、歯車30A、アーク式蒸発源30および陰極部材40をz軸の負の方向（基板20から遠ざかる方向）へ移動させる。

【0179】

このように、気動機構23は、空間領域231C、231Dの圧力を調整することによって、歯車30A、アーク式蒸発源30および陰極部材40をz軸に沿って移動させる。

10

【0180】

なお、歯車30Aがx-y平面内で回転しても、弁232が歯車30Aの回転に連動してx-y平面内で回転するので、シリンダ231は、回転することがない。

【0181】

また、アーク式蒸発源30を電源7に接続する配線は、アーク式蒸発源30に固定されるのではなく、アーク式蒸発源30に接しているので、歯車30Aの回転に伴ってアーク式蒸発源30が回転しても、アーク式蒸発源30に負の電圧を印加できる。

【0182】

図33は、図30に示すトリガー電極17が陰極部材40の全てのガラス状炭素401に接触する機構を説明するための図である。

20

【0183】

図33を参照して、トリガー電極17は、最内周側に配置されたガラス状炭素401（ガラス状炭素401A）から最外周側に配置されたガラス状炭素401（例えば、ガラス状炭素401B）までの間をx軸に沿って保持部材18、ネジ部材19および支持部材21によって移動される。また、陰極部材40は、モータ22によって、例えば、矢印ARW1の方向へ回転され、任意の回転角度で停止する。

【0184】

その結果、陰極部材40の全てのガラス状炭素401にトリガー電極17を対向させることができる。

30

【0185】

プラズマ装置100においては、保持部材18、ネジ部材19および支持部材21によってトリガー電極17をx軸方向に移動させ、モータ22、歯車22A、ベルト24および歯車30Aによってアーク式蒸発源30および陰極部材40を所望の角度だけ回転させて、トリガー電極17を1つのガラス状炭素401に対向させる。そして、気動機構23によってアーク式蒸発源30および陰極部材40をz軸方向へ移動させて、陰極部材40の1つのガラス状炭素401にトリガー電極17を接触させ、その後、離反する際に放電が開始される。

【0186】

図34は、図30に示すプラズマ装置100を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

40

【0187】

図34に示す工程図は、図4に示す工程図の工程S3と工程S4との間に工程S11、S12を追加したものであり、その他は、図4に示す工程図と同じである。

【0188】

図34を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程S1～S3が順次実行される。

【0189】

そして、工程S3の後、モータ22、歯車22A、ベルト24および歯車30Aによって、アーク式蒸発源30の中心軸の回りにアーク式蒸発源30を所望の角度だけ回転させ

50

る（工程 S 1 1）。

【 0 1 9 0 】

その後、トリガー電極 1 7 の先端部が最外周側に配置されたガラス状炭素 4 0 1（突起部）から最内周側に配置されたガラス状炭素 4 0 1（突起部）までの範囲で移動するようにトリガー電極 1 7 を移動させる（工程 S 1 2）。これによって、トリガー電極 1 7 が 1 つのガラス状炭素 4 0 1（突起部）に対向する。

【 0 1 9 1 】

そして、上述した工程 S 4 ～工程 S 8 を順次実行する。これによって、カーボン薄膜の製造が終了する。この場合、工程 S 4 においては、トリガー電極 1 7 は、気動機構 2 3 によって陰極部材 4 0 の 1 つのガラス状炭素 4 0 1 に接触され、その後、離反される。そして、トリガー電極 1 7 が 1 つのガラス状炭素 4 0 1 から離反する際に放電が開始される。

10

【 0 1 9 2 】

図 3 4 に示す工程図においては、放電が停止された場合、工程 S 1 1, S 1 2 が繰り返し実行されるので、放電が停止したときにトリガー電極 1 7 が対向していたガラス状炭素 4 0 1（突起部）と異なるガラス状炭素 4 0 1（突起部）にトリガー電極 1 7 を対向させることができる。従って、放電が停止しても、次々と別のガラス状炭素 4 0 1 を用いてカーボン薄膜を製造できる。

【 0 1 9 3 】

また、陰極部材 4 0 は、複数のガラス状炭素 4 0 1（複数の突起部）間に配置された絶縁枠 4 0 2 を備えるので、1 つのガラス状炭素 4 0 1 を用いてアーク放電が発生しているときに、アークスポットが別のガラス状炭素 4 0 1 へ移動するのを抑制できる。

20

【 0 1 9 4 】

図 3 5 は、実施の形態 2 による他のプラズマ装置の構成を示す概略図である。実施の形態 2 によるプラズマ装置は、図 3 5 に示すプラズマ装置 1 0 0 A であってもよい。

【 0 1 9 5 】

図 3 5 を参照して、プラズマ装置 1 0 0 A は、図 3 0 に示すプラズマ装置 1 0 0 の保持部材 1 8、ネジ部材 1 9 および支持部材 2 1 を削除し、トリガー電極 1 7 をトリガー電極 2 5 に代え、ハンドル部材 2 6 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 1 0 0 と同じである。

【 0 1 9 6 】

30

トリガー電極 2 5 は、一方端が陰極部材 4 0 に対向し、他方端が真空容器 1 の外部に配置されるように真空容器 1 の側壁に設けられた貫通孔を通して配置される。この場合、貫通孔の部分においては、真空容器 1 とトリガー電極 2 5 との間に、Oリングが配置される。

【 0 1 9 7 】

ハンドル部材 2 6 は、絶縁部材からなり、トリガー電極 2 5 の他方端に固定される。そして、ハンドル部材 2 6 は、プラズマ装置 1 0 0 A の操作者によって、x - y 平面内において回転される。

【 0 1 9 8 】

なお、トリガー電極 2 5 は、ハンドル部材 2 6 の貫通孔を介して配線によって抵抗 9 に接続される。

40

【 0 1 9 9 】

図 3 6 は、図 3 5 に示すトリガー電極 2 5 が陰極部材 4 0 の全てのガラス状炭素 4 0 1 に接触する機構を説明するための図である。

【 0 2 0 0 】

図 3 6 を参照して、トリガー電極 2 5 は、ハンドル部材 2 6 が x - y 平面内において回転されることによって、最内周側に配置されたガラス状炭素 4 0 1（ガラス状炭素 4 0 1 A）から最外周側に配置されたガラス状炭素 4 0 1（例えば、ガラス状炭素 4 0 1 B）までの間を円弧状に移動される。また、陰極部材 4 0 は、モータ 2 2 によって、例えば、矢印 A R W 1 の方向へ回転され、所望の回転角度で停止する。

50

【 0 2 0 1 】

その結果、陰極部材 4 0 の全てのガラス状炭素 4 0 1 にトリガー電極 2 5 を対向させることができる。

【 0 2 0 2 】

プラズマ装置 1 0 0 A においては、ハンドル部材 2 6 によってトリガー電極 2 5 を円弧状に移動させ、モータ 2 2、歯車 2 2 A、ベルト 2 4 および歯車 3 0 A によってアーク式蒸発源 3 0 および陰極部材 4 0 を所望の角度だけ回転させて、トリガー電極 2 5 を 1 つのガラス状炭素 4 0 1 に対向させる。そして、気動機構 2 3 によってアーク式蒸発源 3 0 および陰極部材 4 0 を z 軸方向へ移動させて、陰極部材 4 0 の 1 つのガラス状炭素 4 0 1 にトリガー電極 2 5 を接触させ、その後、離反させる。

10

【 0 2 0 3 】

プラズマ装置 1 0 0 A を用いたカーボン薄膜の製造は、図 3 4 に示す工程図に従って行われる。この場合、工程 S 1 2 において、トリガー電極 2 5 は、ハンドル部材 2 6 が x - y 平面内において回転されることによって、最内周側に配置されたガラス状炭素 4 0 1 (ガラス状炭素 4 0 1 A) から最外周側に配置されたガラス状炭素 4 0 1 (例えば、ガラス状炭素 4 0 1 B) までの範囲を円弧状に移動される。

【 0 2 0 4 】

プラズマ装置 1 0 0 A を用いた場合も、工程 S 6 において放電が停止された場合、工程 S 1 1 , S 1 2 が繰り返し実行されるので、放電が停止したときにトリガー電極 2 5 が対向していたガラス状炭素 4 0 1 (突起部) と異なるガラス状炭素 4 0 1 (突起部) にトリガー電極 2 5 を対向させることができる。従って、放電が停止しても、次々と別のガラス状炭素 4 0 1 を用いてカーボン薄膜を製造できる。

20

【 0 2 0 5 】

また、陰極部材 4 0 は、複数のガラス状炭素 4 0 1 (複数の突起部) 間に配置された絶縁枠 4 0 2 を備えるので、1 つのガラス状炭素 4 0 1 を用いてアーク放電が発生しているときに、アークスポットが別のガラス状炭素 4 0 1 へ移動するのを抑制できる。

【 0 2 0 6 】

なお、上記においては、ガラス状炭素 4 0 1 の直径は、絶縁枠 4 0 2 の貫通孔 4 0 2 A の直径と略同じであるので、ガラス状炭素 4 0 1 は、絶縁枠 4 0 2 に接するように貫通孔 4 0 2 A に挿入される。しかし、放電中にはガラス状炭素 4 0 1 が主として加熱されるため、周縁部の絶縁枠 4 0 2 との温度差が大きくなり、ガラス状炭素 4 0 1 に熱歪が生じ、割れる可能性がある。

30

【 0 2 0 7 】

そこで、実施の形態 2 においては、絶縁枠 4 0 2 の貫通孔 4 0 2 A の直径は、ガラス状炭素 4 0 1 が絶縁枠 4 0 2 に接しないように決定されることが好ましい。例えば、ガラス状炭素 4 0 1 の直径が 1 0 mm である場合、貫通孔 4 0 2 A の直径を 1 1 mm ~ 1 2 mm に設定するのが好ましい。

【 0 2 0 8 】

これによって、ガラス状炭素 4 0 1 は、絶縁枠 4 0 2 に接し難くなり、熱歪が生じ難い。従って、ガラス状炭素 4 0 1 が割れるのを更に抑制できる。

40

【 0 2 0 9 】

上述したように、実施の形態 2 によるプラズマ装置 1 0 0 , 1 0 0 A は、トリガー電極 1 7 , 2 5 を複数のガラス状炭素 4 0 1 (複数の突起部) の各々に対向させて複数のガラス状炭素 4 0 1 (複数の突起部) の全てを用いてカーボン薄膜を製造する。

【 0 2 1 0 】

そして、プラズマ装置 1 0 0 は、トリガー電極 1 7 を所望の距離だけ x 軸に沿って直線状に移動させる移動機構と、陰極部材 4 0 を所望の角度だけ回転させる回転機構とによって、トリガー電極 1 7 を複数のガラス状炭素 4 0 1 (複数の突起部) の各々に対向させ、気動機構 2 3 によってトリガー電極 1 7 を複数のガラス状炭素 4 0 1 (複数の突起部) の各々に接触または離反させることを特徴とする。

50

【 0 2 1 1 】

また、プラズマ装置 1 0 0 A は、トリガー電極 2 5 を所望の距離だけ円弧状に移動させる移動機構と、陰極部材 4 0 を所望の角度だけ回転させる回転機構とによって、トリガー電極 2 5 を複数のガラス状炭素 4 0 1 (複数の突起部) の各々に対向させ、気動機構 2 3 によってトリガー電極 1 7 を複数のガラス状炭素 4 0 1 (複数の突起部) の各々に接触または離反させることを特徴とする。

【 0 2 1 2 】

実施の形態 2 においては、保持部材 1 8、ネジ部材 1 9 および支持部材 2 1 は、「移動機構」を構成する。

【 0 2 1 3 】

また、実施の形態 2 においては、モータ 2 2、歯車 2 2 A、ベルト 2 4 および歯車 3 0 A は、「回転機構」を構成する。

【 0 2 1 4 】

実施の形態 2 におけるその他の説明は、実施の形態 1 における説明と同じである。

【 0 2 1 5 】

[実施の形態 3]

図 3 7 は、実施の形態 3 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 3 7 を参照して、実施の形態 3 によるプラズマ装置 2 0 0 は、図 1 に示すプラズマ装置 1 0 のアーク式蒸発源 3 をアーク式蒸発源 3 A に代え、陰極部材 4 を陰極部材 1 4 0 に代え、絶縁部材 2 7、ベアリング 2 8 および送出機構 2 9 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 1 0 と同じである。

【 0 2 1 6 】

絶縁部材 2 7 は、真空容器 1 の側壁に設けられた貫通孔 1 B を囲むように真空容器 1 の側壁に O リング (図示せず) を介して固定される。

【 0 2 1 7 】

アーク式蒸発源 3 A は、中空の円柱形状からなり、絶縁部材 2 7 に固定される。そして、アーク式蒸発源 3 A は、電源 7 の負極に接続される。

【 0 2 1 8 】

陰極部材 1 4 0 は、陰極部材 4 と同じ材料からなり、円柱形状を有する。また、陰極部材 1 4 0 は、例えば、数 c m 以下の直径および数 m m 以上の長さを有する。そして、陰極部材 1 4 0 は、真空容器 1 の側壁に設けられた貫通孔 1 B を通って配置され、一方端がトリガー電極 8 の一方端に対向する。

【 0 2 1 9 】

ベアリング 2 8 は、金属材料からなり、アーク式蒸発源 3 A および陰極部材 1 4 0 に接し、アーク式蒸発源 3 A と陰極部材 1 4 0 との間に配置される。そして、陰極部材 1 4 0 は、送出機構 2 9 によって z 軸方向へ送り出される。

【 0 2 2 0 】

送出機構 2 9 は、アーク式蒸発源 3 A の内部に配置され、後述する方法によって陰極部材 1 4 0 を z 軸方向へ送り出す。

【 0 2 2 1 】

図 3 8 は、図 3 7 に示す送出機構 2 9 の構成を示す概略図である。図 3 8 を参照して、送出機構 2 9 は、棒部材 2 9 1 と、凹凸部材 2 9 2 と、歯車 2 9 3 と、モータ 2 9 4 と、台部材 2 9 5 とを含む。

【 0 2 2 2 】

棒部材 2 9 1 は、絶縁物からなり、z 軸に沿って配置される。そして、棒部材 2 9 1 は、一方端が陰極部材 1 4 0 に連結される。凹凸部材 2 9 2 は、棒部材 2 9 1 に固定される。歯車 2 9 3 は、凹凸部材 2 9 2 に嵌合する。モータ 2 9 4 は、台部材 2 9 5 上に配置される。そして、モータ 2 9 4 の回転軸 2 9 4 A は、歯車 2 9 3 に連結される。台部材 2 9 5 は、アーク式蒸発源 3 A 上に配置される。

【 0 2 2 3 】

モータ 294 は、回転軸 294A を介して歯車 293 を時計回りに回転させる。その結果、棒部材 291 は、歯車 293 の回転によって z 軸方向へ送り出される。従って、送出機構 29 は、陰極部材 140 を z 軸方向へ送り出すことができる。

【0224】

上述したように、アーク式蒸発源 3A は、絶縁部材 27 に固定され、絶縁部材 27 は、リングを介して真空容器 1 の側壁に固定されるので、アーク式蒸発源 3A の内部は、真空容器 1 内の圧力と同じ圧力に保持されている。

【0225】

また、ベアリング 28 は、金属材料からなり、アーク式蒸発源 3A および陰極部材 140 の両方に接しているため、トリガー電極 8 が陰極部材 140 の一方端に接触することによって、陰極部材 140 とアノード（真空容器 1）との間でアーク放電が発生すると、陰極部材 140、ベアリング 28 およびアーク式蒸発源 3A を介して電流が流れる。その結果、陰極部材 140 の温度が上昇する。

【0226】

この場合、陰極部材 140 は、陰極部材 4 の突起部 42 と同じ直径を有するので、昇温（均熱化）され易くなり、熱歪が少なくなる。

【0227】

従って、陰極部材 140 が割れるのを抑制できる。

【0228】

プラズマ装置 200 においては、アーク放電によって陰極部材 140 が消耗すると、陰極部材 140 の先端部（基板 20 側の先端部）が消耗前の先端部と同じ位置になるように送出機構 29 によって陰極部材 140 を基板 20 側へ送り出す。

【0229】

これによって、安定したアーク放電を長時間持続することができる。その結果、膜厚の厚いカーボン薄膜を製造できる。また、生産性を向上できる。

【0230】

陰極部材 140 を基板 20 側へ移動させるタイミングとしては、例えば、一定の放電時間が経過したタイミングが想定される。

【0231】

一定の放電時間が経過したタイミングは、より具体的には、1 回の成膜が終了したタイミングである。

【0232】

また、陰極部材 140 は、基板 20 に堆積されたカーボン薄膜の膜厚分布またはカーボン薄膜の成膜速度が所望の範囲に入るように送出機構 29 によって基板 20 側へ送り出される。

【0233】

図 39 は、図 37 に示すプラズマ装置 200 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

【0234】

図 39 に示す工程図は、図 4 に示す工程図に工程 S21 ~ S24 を追加したものであり、その他は、図 4 に示す工程図と同じである。

【0235】

なお、図 39 に示す工程図は、1 回の成膜が終了したタイミングで陰極部材 140 を送り出すときの工程図である。

【0236】

図 39 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 S1 ~ S7 が順次実行される。そして、工程 S6 において、放電が停止していないと判定されると、1 回の成膜が終了したか否かが更に判定される（工程 S21）。

【0237】

工程 S21 において、1 回の成膜が終了していないと判定されたとき、工程 S6、S7

10

20

30

40

50

、S 2 1 が繰り返し実行される。

【 0 2 3 8 】

一方、工程 S 2 1 において、1 回の成膜が終了したと判定されたとき、真空容器 1 を大気開放して基板 2 0 を交換する（工程 S 2 2 ）。そして、陰極部材 1 4 0 が使用可能であるか否かが更に判定される（工程 S 2 3 ）。

【 0 2 3 9 】

工程 S 2 3 において、陰極部材 1 4 0 が使用可能であると判定されたとき、送出機構 2 9 は、消耗後の陰極部材 1 4 0 の先端部の位置が消耗前の陰極部材 1 4 0 の先端部の位置になるように陰極部材 1 4 0 を基板 2 0 側へ送り出す（工程 S 2 4 ）。

【 0 2 4 0 】

そして、上述した工程 S 2 ～ S 7 ， S 2 1 ～ S 2 4 が繰り返し実行され、工程 S 2 3 において、陰極部材 1 4 0 が使用可能でないと判定されると、一連の動作が終了する。

【 0 2 4 1 】

このように、図 3 9 に示す工程図に従えば、陰極部材 1 4 0 を、1 回、アーク式蒸発源 3 A に取り付けると、陰極部材 1 4 0 が使用不可能になるまで、陰極部材 1 4 0 が基板 2 0 側へ繰り返し送り出される。その結果、陰極部材を頻繁に交換する必要がなくなり、カーボン薄膜の生産性を向上できる。

【 0 2 4 2 】

また、陰極部材 1 4 0 が使用不可能になるまでには、複数回のカーボン薄膜の成膜が実行されるが、各回のカーボン薄膜の成膜においては、陰極部材 1 4 0 の先端部の位置を常に一定の位置に保持できるので、アーク放電を安定して長時間持続することができ、カーボン薄膜の生産性を極めて向上できる。

【 0 2 4 3 】

更に、工程 S 2 1 において、カーボン薄膜の膜厚が所望の膜厚に達したか否かを判定することによって、カーボン薄膜の膜厚が所望の膜厚に達するまで、カーボン薄膜が繰り返し基板 2 0 上に堆積されることになり、膜厚が厚いカーボン薄膜を製造できる。

【 0 2 4 4 】

なお、プラズマ装置 2 0 0 においては、陰極部材 1 4 0 は、断面が円形に限らず、断面が三角形、四角形および五角形等であってもよく、一般的には、断面が多角形であってもよい。

【 0 2 4 5 】

また、プラズマ装置 2 0 0 は、複数個の陰極部材 1 4 0 を備えていてもよい。この場合、隣接する 2 つの陰極部材 1 4 0 間にも、ベアリング 2 8 と同じベアリングが陰極部材 1 4 0 に接触するように配置される。

【 0 2 4 6 】

更に、プラズマ装置 2 0 0 は、陰極部材 1 4 0 に代えて陰極部材 4 ， 4 A ～ 4 L のいずれかを備えていてもよい。

【 0 2 4 7 】

実施の形態 3 におけるその他の説明は、実施の形態 1 における説明と同じである。

【 0 2 4 8 】

[実施の形態 4]

図 4 0 は、実施の形態 4 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 4 0 を参照して、実施の形態 4 によるプラズマ装置 3 0 0 は、図 1 に示すプラズマ装置 1 0 のトリガー電極 8 をトリガー電極 3 0 1 に代えたものであり、その他は、プラズマ装置 1 0 と同じである。

【 0 2 4 9 】

トリガー電極 3 0 1 は、一部が真空容器 1 の側壁を介して真空容器 1 内に配置され、残部が真空容器 1 外に配置される。そして、トリガー電極 3 0 1 は、例えば、M o からなり、抵抗 9 を介して接地ノード G N D に接続される。

【 0 2 5 0 】

10

20

30

40

50

図４１は、図４０に示すトリガー電極３０１の一方端側の断面図である。図４２は、図４０に示すトリガー電極３０１の一方端側の陰極部材４側から見た平面図である。

【０２５１】

図４１および図４２を参照して、トリガー電極３０１は、本体部３０１１と、先端部３０１２と、薄膜部３０１３と、ネジ３０１４とを含む。

【０２５２】

本体部３０１１は、例えば、６ｍｍの直径を有する。先端部３０１２は、本端部３０１１の一方端に固定される。そして、先端部３０１２は、本体部３０１１よりも薄い厚みを有し、例えば、３．１ｍｍの厚みを有する。また、先端部３０１２は、例えば、１０ｍｍの長さを有する。なお、本体部３０１１および先端部３０１２は、一体的に作製される。

10

【０２５３】

薄膜部３０１３は、一方端がネジ３０１４によってトリガー電極３０１の先端部３０１２に固定される。薄膜部３０１３は、例えば、Ｍｏからなり、株式会社ニラコ製の薄板からなる。そして、薄膜部３０１３は、例えば、３０ｍｍの長さＬ１および０．１ｍｍの厚みを有する。また、薄膜部３０１３は、本体部３０１１の幅よりも広い幅を有する。

【０２５４】

ネジ３０１４は、例えば、六角穴付Ｍ３ネジからなる。

【０２５５】

トリガー電極３０１は、薄膜部３０１３が陰極部材４に対向するように配置される。そして、トリガー電極３０１がｚ軸方向に移動されることによって、薄膜部３０１３は、陰極部材４の突起部４２に接触または離反する。この場合、薄膜部３０１３は、０．１ｍｍの厚みを有するため、トリガー電極３０１がｚ軸方向へ移動することによってたわむ。その結果、薄膜部３０１３が陰極部材４の突起部４２に接触しても突起部４２の破損を防止できる。

20

【０２５６】

< 実験 >

陰極部材４の破損の有無について実験を行った。実験方法は、次のとおりである。真空容器１内を排気装置（図示せず）によって 9.9×10^{-3} Paまで排気し、アーク電流を８０Ａに設定し、正常に放電点弧したか否か、および陰極部材４が破損したか否かの実験を行った。そして、実験は、１０回行われた。

30

【０２５７】

なお、陰極部材４は、グラファイトからなる本体部４１と、３ｍｍのガラス状炭素（ＧＣ２０ＳＳ：東海ファインカーボン社製）からなる突起部４２とによって構成された。また、陰極部材４は、毎回、新品と交換し、繰り返し使用することによる影響を排除した。

【０２５８】

実験結果は、次のとおりである。トリガー電極３０１を用いることにより、１０回連続して正常に放電点弧することが確認された。そして、陰極部材４の突起部４２は、破損せず、薄膜部３０１３を一度も交換することが無かった。

40

【０２５９】

先端部３０１２に薄膜部３０１３を取り付けた構造からなるトリガー電極３０１を用いることにより、陰極部材４の突起部４２の破損を防止して放電点弧を安定して行えることが実証された。

【０２６０】

なお、実施の形態４においては、薄膜部３０１３は、タングステン、タンタルおよびＳＵＳ３０４等で構成されていてもよい。また、薄膜部３０１３は、０．１ｍｍに限らず、０．３ｍｍまたは０．５ｍｍの厚みを有していてもよい。そして、薄膜部３０１３は、一般的には、導電性を有する可撓性物質からなっていればよい。

【０２６１】

50

また、プラズマ装置 300 を用いたカーボン薄膜の製造は、図 4 に示す工程 S1 ~ 工程 S8 に従って実行される。

【0262】

更に、実施の形態 4 によるプラズマ装置は、図 29 に示すプラズマ装置 10A のトリガー電極 8 をトリガー電極 301 に代えたプラズマ装置であってもよく、図 30 に示すプラズマ装置 100 のトリガー電極 17 をトリガー電極 301 に代えたプラズマ装置であってもよく、図 35 に示すプラズマ装置 100A のトリガー電極 25 をトリガー電極 301 に代えたプラズマ装置であってもよく、図 37 に示すプラズマ装置 200 のトリガー電極 8 をトリガー電極 301 に代えたプラズマ装置であってもよい。

【0263】

実施の形態 4 におけるその他の説明は、実施の形態 1 ~ 実施の形態 3 における説明と同じである。

【0264】

[実施の形態 5]

図 43 は、実施の形態 5 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 43 を参照して、実施の形態 5 によるプラズマ装置 400 は、図 1 に示すプラズマ装置 10 のトリガー電極 8 をトリガー電極 410 に代えたものであり、その他は、プラズマ装置 10 と同じである。

【0265】

トリガー電極 410 は、一部が真空容器 1 の側壁を介して真空容器 1 内に配置され、残部が真空容器 1 外に配置される。そして、トリガー電極 410 は、例えば、Mo からなり、抵抗 9 を介して接地ノード GND に接続される。

【0266】

図 44 は、図 43 に示すトリガー電極 410 の一方端側の断面図である。図 45 は、図 43 に示すトリガー電極 410 の一方端側の陰極部材 4 側から見た平面図である。

【0267】

図 44 および図 45 を参照して、トリガー電極 410 は、本端部 4101 と、湾曲部 4102 と、薄板部 4103 と、ネジ 4104, 4105 とを含む。

【0268】

本端部 4101 は、例えば、Mo からなり、3mm の直径を有する。本体部 4101 は、先端部 4101A を有する。先端部 4101A は、例えば、1.6mm の厚みおよび 5mm の長さ L2 を有する。

【0269】

湾曲部 4102 は、例えば、Mo からなり、3mm の直径を有する。湾曲部 4102 は、先端部 4102A および突出部 4102B を有する。先端部 4102A は、例えば、1.6mm の厚みおよび 5mm の長さ L3 を有する。

【0270】

湾曲部 4102 において、先端部 4102A の端面から突出部 4102B の中心軸までの長さ L4 は、例えば、20mm である。また、湾曲部 4102 において、突出部 4102B の端面から湾曲部 4102 の中心軸までの長さ L5 は、例えば、10mm である。更に、湾曲部 4102 における曲率半径 R3 は、3mm である。

【0271】

このように、湾曲部 4102 は、3mm の直径を有するので、上述したトリガー電極 301 の薄膜部 3013 よりも大きい体積を有する。

【0272】

薄板部 4103 は、その一方端がネジ 4104 によって本体部 4101 の先端部 4101A に固定され、他方端がネジ 4105 によって湾曲部 4102 の先端部 4102A に固定される。薄板部 4103 は、例えば、0.5mm の厚み、30mm の長さ L6 および 10mm の幅 W1 を有する。そして、薄板部 4103 は、板バネとして機能する。

【0273】

10

20

30

40

50

ネジ 4 1 0 4 , 4 1 0 5 の各々は、六角穴付き M 2 のネジからなる。

【 0 2 7 4 】

トリガー電極 4 1 0 は、湾曲部 4 1 0 2 の突出部 4 1 0 2 B が陰極部材 4 に対向するように配置される。

【 0 2 7 5 】

図 4 6 は、図 4 3 に示すトリガー電極 4 1 0 が陰極部材 4 の突起部 4 2 に接触したときの概念図である。図 4 6 を参照して、トリガー電極 4 1 0 が z 軸方向に移動されることによって、トリガー電極 4 1 0 の湾曲部 4 1 0 2 は、陰極部材 4 の突起部 4 2 に接触し、薄板部 4 1 0 3 が陰極部材 4 側へ突出するように円弧状に湾曲する。その結果、湾曲部 4 1 0 2 が陰極部材 4 の突起部 4 2 に接触しても突起部 4 2 の破損を防止できる。

10

【 0 2 7 6 】

また、アーク電流がトリガー電極 4 1 0 と陰極部材 4 との接触部分に集中的に流れた場合でも、トリガー電極 4 1 0 の湾曲部 4 1 0 2 の体積がトリガー電極 3 0 1 の薄膜部 3 0 1 3 の体積よりも大きいので、湾曲部 4 1 0 2 が容易に蒸発消耗することを防止でき、トリガー電極 4 1 0 の長寿命化を図ることができる。

【 0 2 7 7 】

図 4 7 は、実施の形態 5 における他のトリガー電極の断面図である。プラズマ装置 4 0 0 は、トリガー電極 4 1 0 に代えて図 4 7 に示すトリガー電極 4 1 0 A を備えていてもよい。

【 0 2 7 8 】

20

図 4 7 を参照して、トリガー電極 4 1 0 A は、図 4 4 および図 4 5 に示すトリガー電極 4 1 0 の薄板部 4 1 0 3 をばね部 4 1 0 6 に代えたものであり、その他は、トリガー電極 4 1 0 と同じである。

【 0 2 7 9 】

ばね部 4 1 0 6 は、その一方端がネジ 4 1 0 4 によって本体部 4 1 0 1 の先端部 4 1 0 1 A に固定され、他方端がネジ 4 1 0 5 によって湾曲部 4 1 0 2 の先端部 4 1 0 2 A に固定される。

【 0 2 8 0 】

そして、ばね部 4 1 0 6 は、例えば、8 mm の直径を有する Mo 製のワイヤを螺旋状に巻いた構造からなる。

30

【 0 2 8 1 】

トリガー電極 4 1 0 A を用いた場合も、トリガー電極 4 1 0 A が z 軸方向に移動されることによって、トリガー電極 4 1 0 A の湾曲部 4 1 0 2 は、陰極部材 4 の突起部 4 2 に接触し、ばね部 4 1 0 6 が陰極部材 4 側へ突出するように円弧状に湾曲する。その結果、湾曲部 4 1 0 2 が陰極部材 4 の突起部 4 2 に接触しても突起部 4 2 の破損を防止できる。

【 0 2 8 2 】

また、トリガー電極 4 1 0 と同様に、トリガー電極 4 1 0 A の長寿命化を図ることができる。

【 0 2 8 3 】

なお、実施の形態 5 においては、薄板部 4 1 0 3 およびばね部 4 1 0 6 の各々は、タングステン、タンタルおよび SUS 3 0 4 等で構成されていてもよい。また、薄板部 4 1 0 3 は、0 . 5 mm に限らず、0 . 3 mm または 0 . 7 mm の厚みを有していてもよい。そして、薄板部 4 1 0 3 およびばね部 4 1 0 6 の各々は、一般的には、導電性を有する可撓性物質からなっていればよい。

40

【 0 2 8 4 】

また、プラズマ装置 4 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造は、図 4 に示す工程 S 1 ~ 工程 S 8 に従って実行される。

【 0 2 8 5 】

更に、実施の形態 5 によるプラズマ装置は、図 2 9 に示すプラズマ装置 1 0 A のトリガー電極 8 をトリガー電極 4 1 0 , 4 1 0 A に代えたプラズマ装置であってもよく、図 3 0

50

に示すプラズマ装置 100 のトリガー電極 17 をトリガー電極 410, 410 A に代えたプラズマ装置であってもよく、図 35 に示すプラズマ装置 100 A のトリガー電極 25 をトリガー電極 410, 410 A に代えたプラズマ装置であってもよく、図 37 に示すプラズマ装置 200 のトリガー電極 8 をトリガー電極 410, 410 A に代えたプラズマ装置であってもよい。

【0286】

実施の形態 5 におけるその他の説明は、実施の形態 1 ~ 実施の形態 3 における説明と同じである。

【0287】

[実施の形態 6]

図 48 は、実施の形態 6 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 48 を参照して、実施の形態 6 によるプラズマ装置 500 は、図 30 に示すプラズマ装置 100 に電圧計 501、制御装置 502 およびモータ 503 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 100 と同じである。

【0288】

電圧計 501 は、アーク式蒸発源 30 と接地電位 GND との間に接続される。電圧計 501 は、アーク放電中の放電電圧 V_d を検出し、その検出した放電電圧 V_d を制御装置 502 へ出力する。

【0289】

制御装置 502 は、電圧計 501 から放電電圧 V_d を受ける。そして、制御装置 502 は、放電電圧 V_d の絶対値 $|V_d|$ をしきい値 V_{d_th} と比較し、絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} 以下であるとき、トリガー電極 17 を x 軸方向へ所望の距離だけ移動させるようにモータ 503 を制御し、アーク式蒸発源 30 を所望の角度だけ回転させるようにモータ 22 を制御し、陰極部材 40 がトリガー電極 17 に接触または離反するように気動機構 23 を制御する。一方、制御装置 502 は、絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} よりも大きいとき、モータ 22, 503 および気動機構 23 を制御しない。

【0290】

図 49 は、アーク電圧の時間変化を示す図である。図 49 において、縦軸は、アーク電圧 (= 放電電圧 V_d) を表わし、横軸は、放電開始からの時間を表わす。なお、図 49 に示すアーク電圧の時間変化は、直径が 3 mm であり、長さが 60 mm である柱状形状のガラス状炭素 401 を用いて測定されたものである。この場合、放電電流を 80 A 一定とした。

【0291】

図 49 を参照して、アーク電圧 (= 放電電圧 V_d) の絶対値は、放電開始直後において、35 V 程度であり、放電開始後、300 秒以上で 22 V 程度になる。そして、放電開始後、300 秒におけるガラス状炭素 401 の長さは、3 mm であった。

【0292】

放電開始からの時間が 250 秒から 300 秒の間では、アーク電圧 (= 放電電圧 V_d) は、-25 V 程度であるので、しきい値 V_{d_th} を 25 V に設定すれば、制御装置 502 は、絶対値 $|V_d|$ が 25 V (= しきい値 V_{d_th}) 以下であるとき、トリガー電極 17 を x 軸方向へ所望の距離だけ移動させるようにモータ 503 を制御し、アーク式蒸発源 30 を所望の角度だけ回転させるようにモータ 22 を制御し、陰極部材 40 がトリガー電極 17 に接触または離反するように気動機構 23 を制御する。一方、制御装置 502 は、絶対値 $|V_d|$ が 25 V (= しきい値 V_{d_th}) よりも大きいとき、モータ 22, 503 および気動機構 23 を制御しない。

【0293】

これによって、1つのガラス状炭素 401 の長さが 3 mm 程度になると、別のガラス状炭素 401 を用いて放電点弧し、カーボン薄膜を基板 20 上に堆積できる。

【0294】

その結果、複数のガラス状炭素 401 をバックングプレート上に設置する場合、1つの

10

20

30

40

50

ガラス状炭素 4 0 1 に点弧して放電させた後、消弧のタイミングが遅れると、アークスポットがバックングプレートに移動し、バックングプレートを損傷するだけでなく、バックングプレートからの蒸発物がカーボン薄膜に混入し、カーボン薄膜の品質の低下および密着性の低下という問題が発生する。

【 0 2 9 5 】

しかし、実施の形態 6 においては、1つのガラス状炭素 4 0 1 の長さが 3 mm 程度になると、消弧して別のガラス状炭素に点弧して放電させるので、上記の問題が発生しない。

【 0 2 9 6 】

従って、バックングプレートの損傷を防止できるとともに、カーボン薄膜の品質および密着性を向上できる。

10

【 0 2 9 7 】

図 5 0 は、図 4 8 に示すプラズマ装置 5 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

【 0 2 9 8 】

図 5 0 に示す工程図は、図 3 4 に示す工程図の工程 S 6 を工程 S 3 1 , S 3 2 に代え、工程 S 3 3 ~ S 3 6 を追加したものであり、その他は、図 3 4 に示す工程図と同じである。

【 0 2 9 9 】

図 5 0 を参照して、プラズマ装置 5 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 S 1 ~ S 3 , S 1 1 , S 1 2 , S 4 , S 5 が順次実行される。

20

【 0 3 0 0 】

そして、工程 S 5 の後、電圧計 5 0 1 が放電電圧 V_d を検出し (工程 S 3 1)、制御装置 5 0 2 は、放電電圧 V_d の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} 以下であるか否かを判定する (工程 S 3 2)。

【 0 3 0 1 】

工程 S 3 2 において、絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} よりも大きいと判定されたとき、膜厚が所望の膜厚であるか否かが判定される (工程 S 3 3)。この場合、予めカーボン薄膜の成膜速度を測定しておき、その成膜速度に放電時間を乗算してカーボン薄膜の膜厚を求める。そして、その求めた膜厚が所望の膜厚であるか否かが判定される。

【 0 3 0 2 】

30

工程 S 3 3 において、膜厚が所望の膜厚であると判定されたとき、一連の動作は、終了する。

【 0 3 0 3 】

一方、工程 S 3 3 において、膜厚が所望の膜厚でないと判定されたとき、一連の動作は、工程 S 3 1 に戻り、工程 S 3 2 において、絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} 以下であると判定されるまで、または工程 S 3 3 において、膜厚が所望の膜厚であると判定されるまで、工程 S 3 1 ~ S 3 3 が繰り返し実行される。

【 0 3 0 4 】

そして、工程 S 3 2 において、絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} 以下であると判定されると、成膜を終了するか否かが判定される (工程 S 3 4)。

40

【 0 3 0 5 】

工程 S 3 4 において、成膜を終了しないと判定されたとき、上述した工程 S 7 が実行され、放電を消弧する (工程 S 3 5)。

【 0 3 0 6 】

そして、制御装置 5 0 2 は、別のガラス状炭素 4 0 1 をトリガー電極 1 7 に対向させるようにモータ 2 2 , 5 0 3 および気動機構 2 3 を制御する (工程 S 3 6)。

【 0 3 0 7 】

その後、一連の動作は、工程 S 3 へ戻り、工程 S 3 4 において、成膜を終了すると判定されるまで、上述した工程 S 3 , S 1 1 , S 1 2 , S 4 , S 5 , S 3 1 , S 3 2 , S 7 , S 3 3 , S 3 4 , S 3 5 , S 3 6 が繰り返し実行される。そして、工程 S 3 4 において、

50

成膜を終了すると判定されると、カーボン薄膜の製造が終了する。

【0308】

なお、上記においては、放電電圧 V_d の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_d_th 以下であると判定されたとき、別のガラス状炭素 401 を用いて放電させると説明したが、実施の形態 6 においては、放電抵抗 R_d がしきい値 R_d_th 以下になると、別のガラス状炭素 401 を用いて放電させるようにしてもよい。

【0309】

上述したように、放電電流は、80 A 一定であるので、放電電圧 V_d を検出すれば、放電抵抗 R_d を計算できる。上記の例では、放電開始直後、放電抵抗 R_d は、 $R_d = 35 / 80 = 0.44$ になり、放電開始後、300 秒以降において、放電抵抗 R_d は、 $R_d = 22 / 80 = 0.28$ になる。

10

【0310】

従って、例えば、しきい値 R_d_th を 0.30 に設定することによって、制御装置 502 は、放電抵抗 R_d がしきい値 R_d_th 以下であると判定すると、別のガラス状炭素 401 がトリガー電極 17 に対向するようにモータ 22, 503 および気動機構 23 を制御し、放電抵抗 R_d がしきい値 R_d_th よりも大きいと判定すると、モータ 22, 503 および気動機構 23 を制御しないようにできる。

【0311】

放電抵抗 R_d を用いてカーボン薄膜を製造する場合も、カーボン薄膜は、図 50 に示す工程図に従って製造される。この場合、制御装置 502 は、放電電圧 V_d を電圧計 501 から受けると、放電抵抗 R_d を演算し、工程 S32 において、放電抵抗 R_d がしきい値 R_d_th 以下であるか否かを判定する。

20

【0312】

放電抵抗 R_d を用いてカーボン薄膜を製造した場合も、上述した効果を得ることができる。

【0313】

また、実施の形態 6 においては、放電開始から一定時間 (= 例えば、300 秒) が経過すると、使用中のガラス状炭素 401 を消弧し、別のガラス状炭素 401 に点弧するようにしてもよい。

【0314】

30

この場合、工程 S31 において、放電開始からの経過時間が計測され、工程 S32 において、経過時間がしきい値 (= 300 秒) 以上であるか否かが判定される。そして、経過時間がしきい値 (= 300 秒) 以上であるとき、工程 S34, S7, S35, S36 が順次実行され、一連の動作が工程 S3 へ戻る。一方、経過時間がしきい値 (= 300 秒) よりも短い場合、一連の動作は、工程 S33 へ移行する。

【0315】

放電開始からの経過時間を用いてカーボン薄膜を製造した場合も、上述した効果を得ることができる。

【0316】

なお、制御装置 502 は、電圧計 501 から放電電圧 V_d を受けると、その受けた放電電圧 V_d を積分回路によって積分し、放電電圧 V_d の積分値の絶対値を絶対値 $|V_d|$ として求めるようにしてもよい。放電電圧 V_d は、図 49 に示すように変動が激しいので、放電電圧 V_d の積分値の絶対値をしきい値 V_d_th と比較する方が、正確に比較できるからである。

40

【0317】

また、実施の形態 6 においては、プラズマ装置 500 は、トリガー電極 17 に代えて、トリガー電極 301, 410, 410 A のいずれかを備えていてもよい。

【0318】

実施の形態 6 におけるその他の説明は、実施の形態 1, 4, 5 と同じである。

【0319】

50

〔実施の形態 7〕

図 5 1 は、実施の形態 7 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 5 1 を参照して、実施の形態 7 によるプラズマ装置 6 0 0 は、図 3 7 に示すプラズマ装置 2 0 0 に電圧計 5 0 1 および制御装置 5 0 2 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 2 0 0 と同じである。

【0320】

プラズマ装置 6 0 0 においては、電圧計 5 0 1 は、アーク式蒸発源 3 A と接地電位 G N D との間に接続される。

【0321】

制御装置 5 0 2 は、上述したように、放電電圧 V_d の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} 以下であるか否かを判定する。そして、放電電圧 V_d の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} 以下であると判定されたとき、制御装置 5 0 2 は、陰極部材 1 4 0 を一定の距離だけ基板 2 0 側へ送り出すように送出機構 2 9 を制御する。一方、放電電圧 V_d の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} よりも大きいと判定されたとき、制御装置 5 0 2 は、送出機構 2 9 を制御しない。

10

【0322】

上述した例では、放電開始から 3 0 0 秒が経過すると、柱状形状の陰極部材 1 4 0 の長さは、6 0 mm から 3 mm に短くなる。

【0323】

従って、絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} 以下であると判定されたとき、制御装置 5 0 2 は、陰極部材 1 4 0 を 5 7 mm (= 6 0 mm - 3 mm) だけ基板 2 0 側へ送り出すように送出機構 2 9 を制御する。

20

【0324】

その結果、陰極部材 1 4 0 の先端部の位置を一定の位置に保持して点弧できるので、安定してアーク放電を発生させることができる。

【0325】

図 5 2 は、図 5 1 に示すプラズマ装置 6 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

【0326】

図 5 2 に示す工程図は、図 3 9 に示す工程図の工程 S 2 1 ~ S 2 4 を削除し、工程 S 6 , S 7 を工程 S 3 1 ~ S 3 4 に代え、工程 S 3 5 を追加したものであり、その他は、図 3 9 に示す工程図と同じである。

30

【0327】

図 5 2 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 S 1 ~ S 5 , S 3 1 ~ S 3 4 が順次実行される。

【0328】

そして、工程 S 3 4 において、成膜を終了しないと判定されたとき、送出機構 2 9 によって陰極部材 1 4 0 を所望の距離だけ基板 2 0 側へ送り出す (工程 S 3 5) 。

【0329】

その後、一連の動作は、工程 S 3 1 へ戻り、工程 S 3 4 において、成膜を終了すると判定されるまで、上述した S 3 1 ~ S 3 5 が繰り返し実行される。そして、工程 S 3 4 において、成膜を終了すると判定されると、カーボン薄膜の製造が終了する。

40

【0330】

なお、上記においては、放電電圧 V_d の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 V_{d_th} 以下であると判定されたとき、陰極部材 1 4 0 を所望の距離だけ基板 2 0 側へ送り出すと説明したが、実施の形態 7 においては、放電抵抗 R_d がしきい値 R_{d_th} 以下になると、陰極部材 1 4 0 を所望の距離だけ基板 2 0 側へ送り出すようにしてもよい。

【0331】

上述したように、放電電流は、8 0 A 一定であるので、放電電圧 V_d を検出すれば、放電抵抗 R_d を計算できる。上記の例では、放電開始直後、放電抵抗 R_d は、 $R_d = 35 /$

50

$80 = 0.44$ になり、放電開始後、300秒以降において、放電抵抗 R_d は、 $R_d = 22 / 80 = 0.28$ になる。

【0332】

従って、例えば、しきい値 R_d_th を 0.30 に設定することによって、制御装置 502 は、放電抵抗 R_d がしきい値 R_d_th 以下であると判定すると、陰極部材 140 を所望の距離だけ基板 20 側へ送り出すように送出機構 29 を制御し、放電抵抗 R_d がしきい値 R_d_th よりも大きいと判定すると、送出機構 29 を制御しないようにできる。

【0333】

放電抵抗 R_d を用いてカーボン薄膜を製造する場合も、カーボン薄膜は、図 52 に示す工程図に従って製造される。この場合、制御装置 502 は、放電電圧 V_d を電圧計 501 から受けると、放電抵抗 R_d を演算し、工程 S32 において、放電抵抗 R_d がしきい値 R_d_th 以下であるか否かを判定する。

【0334】

放電抵抗 R_d を用いてカーボン薄膜を製造した場合も、上述した効果を得ることができる。

【0335】

また、実施の形態 7 においては、放電開始から一定時間 (= 例えば、300 秒) が経過すると、使用中のガラス状炭素 401 を消弧し、陰極部材 140 を所望の距離だけ基板 20 側へ送り出すようにしてもよい。

【0336】

この場合、工程 S31 において、放電開始からの経過時間が計測され、工程 S32 において、経過時間がしきい値 (= 300 秒) 以上であるか否かが判定される。そして、経過時間がしきい値 (= 300 秒) 以上であるとき、工程 S34, S35 が順次実行され、一連の動作が工程 S31 へ戻る。一方、経過時間がしきい値 (= 300 秒) よりも短い場合、一連の動作は、工程 S33 へ移行する。

【0337】

放電開始からの経過時間を用いてカーボン薄膜を製造した場合も、上述した効果を得ることができる。

【0338】

更に、実施の形態 7 においては、プラズマ装置 600 は、トリガー電極 8 に代えて、トリガー電極 301, 410, 410A のいずれかを備えていてもよい。

【0339】

実施の形態 7 におけるその他の説明は、実施の形態 1, 4, 5, 6 と同じである。

【0340】

[実施の形態 8]

図 53 は、実施の形態 8 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 53 を参照して、実施の形態 8 によるプラズマ装置 700 は、図 1 に示すプラズマ装置 10 の保持部材 2 を保持部材 710 に代え、永久磁石 711, 712 および支持部材 713 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 10 と同じである。

【0341】

保持部材 710 は、真空容器 1 内に配置され、円柱部 710A と、支持部 710B とからなる。円柱部 710A および支持部 710B の各々は、金属からなる。円柱部 710A は、真空容器 1 の底面を貫通して配置される。支持部 710B は、例えば、立方体形状を有し、円柱部 710A に固定される。そして、円柱部 710A は、y - z 平面内において回転装置 (図示せず) によって回転される。そうすると、支持部 710B は、円柱部 710A の回転に伴って y - z 平面内において回転する。

【0342】

永久磁石 711, 712 の各々は、例えば、円柱形状を有し、陰極部材 4 と基板 20 との間において x 軸に沿って配置される。

【0343】

プラズマ装置 700 においては、電源 6 は、保持部材 710 と接地ノード GND との間に接続される。支持部材 713 は、一部が真空容器 1 の底面を介して真空容器 1 内に配置され、残部が真空容器 1 外に配置される。この場合、支持部材 713 と真空容器 1 の底面との間には、Oリングが配置される。

【0344】

保持部材 710 は、支持部 710B によって複数の基板 20 を保持するとともに、複数の基板 20 を $y-z$ 平面内において回転する。永久磁石 711, 712 は、磁界を発生し、その発生した磁界によってビーム状のプラズマを拡散する。

【0345】

電源 6 は、負の電圧を保持部材 710 を介して複数の基板 20 に印加する。支持部材 713 は、永久磁石 711, 712 を支持するとともに、往復駆動装置（図示せず）によって永久磁石 711, 712 を x 軸（真空容器 1 の底面から天井に向かう方向）に沿って移動させる。

10

【0346】

図 54 は、図 53 に示す永久磁石 711, 712 の配置位置を説明するための図である。図 54 を参照して、永久磁石 711, 712 の各々は、例えば、5 mm の直径を有し、20 mm の長さを有する。永久磁石 711, 712 は、陰極部材 4 と基板 20 との間において長さ方向が真空容器 1 の底面から天井に向かう方向（ x 軸方向）に沿って略平行に配置される。この場合、永久磁石 711 と永久磁石 712 との間隔は、例えば、20 mm である。そして、永久磁石 711, 712 は、 x 軸方向の両端が同じ極になるように配置される。また、永久磁石 711, 712 は、陰極部材 4 の基板 20 側の表面からの距離 L が 200 mm 以下になるように陰極部材 4 に対向して配置される。

20

【0347】

図 55 は、図 53 に示す永久磁石 711, 712 の機能を説明するための概念図である。図 55 を参照して、永久磁石 711, 712 が陰極部材 4 と基板 20 との間に配置されていない場合、陰極部材 4 に負の電圧を印加し、トリガー電極 8 を陰極部材 4 の突起部 42 に接触させ、その後、離反すると、トリガー電極 8 が陰極部材 4 の突起部 42 から離反する際にアーク放電が発生する。そして、ビーム状のプラズマ PLZ1 が陰極部材 4 の突起部 42 から基板 20 へ向かう方向へ放出される。このビーム状のプラズマ PLZ1 の基板 20 表面における直径は、例えば、数十 mm ~ 100 mm である（図 55 の（a）参照）。

30

【0348】

一方、支持部材 713 を x 軸方向へ移動させることによって永久磁石 711, 712 がプラズマ PLZ1 中に配置された場合、陰極部材 4 の突起部 42 から放出されたビーム状のプラズマ PLZ1 は、2つの永久磁石 711, 712 によって x 軸方向（真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向）へ拡散される。その結果、プラズマ PLZ2 が形成される（図 55 の（b）参照）。

【0349】

そして、基板 20 は、真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向に沿って配置された中心軸 AX1（支持部 710B の中心軸）の回りに回転されるので、プラズマ PLZ2 は、基板 20 の全面に照射される。従って、永久磁石 711, 712 によってビーム状のプラズマ PLZ1 を拡散することによって、広い領域にカーボン薄膜を形成できる。

40

【0350】

このように、2つの永久磁石 711, 712 は、陰極部材 4 と基板 20 との間においてプラズマ PLZ1 中に配置され、長さ方向が真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向になるように略平行に配置される。

【0351】

なお、永久磁石 711, 712 を陰極部材 4 と基板 20 との間に配置することによって、ビーム状のプラズマ PLZ1 が y 軸方向に拡散することを確認していないが、 y 軸方向にも拡散する可能性がある。

50

【 0 3 5 2 】

図 5 6 は、図 5 3 に示すプラズマ装置 7 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。図 5 6 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、ガラス状炭素を陰極部材 4 としてアーク式蒸発源 3 に取り付け（工程 S 4 1 ）。

【 0 3 5 3 】

そして、排気口 1 1 を介して真空容器 1 内を排気し、真空容器 1 内の圧力を 5×10^{-4} Pa に設定する。

【 0 3 5 4 】

そうすると、電源 6 によって基板 2 0 に $-10\text{ V} \sim -300\text{ V}$ の負の電圧を印加し（工程 S 4 2 ）、電源 7 によってアーク式蒸発源 3 に $-15\text{ V} \sim -50\text{ V}$ の負の電圧を印加する（工程 S 4 3 ）。

10

【 0 3 5 5 】

そして、往復駆動装置（図示せず）によって、トリガー電極 8 を陰極部材 4 の突起部 4 2 に接触させ（工程 S 4 4 ）、その後、トリガー電極 8 を陰極部材 4 の突起部 4 2 から離反させる。そうすると、トリガー電極 8 が陰極部材 4 の突起部 4 2 から離反する際にアーク放電が開始し、アークスポットが陰極部材 4 の突起部 4 2 の表面に現れる。

【 0 3 5 6 】

そして、支持部材 7 1 3 を x 軸方向（真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向）へ移動させて 2 つの永久磁石 7 1 1 , 7 1 2 をプラズマ PLZ 1 中へ配置することによって、陰極部材 4 の突起部 4 2 から放出されたビーム状のプラズマ PLZ 1 を真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向に拡散する磁界をプラズマ PLZ 1 に印加する（工程 S 4 5 ）。

20

【 0 3 5 7 】

その後、真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向に沿って配置された軸（中心軸 AX 1 ）の回りに基板 2 0 を回転する（工程 S 4 6 ）。そして、所望の時間が経過すると、カーボン薄膜の製造が終了する。

【 0 3 5 8 】

このように、図 5 6 に示すカーボン薄膜の製造工程においては、ビーム状のプラズマ PLZ 1 を真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向に拡散する磁界をプラズマ PLZ 1 に印加し、真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向に沿って配置された軸の回りに基板 2 0 を回転してカーボン薄膜を基板 2 0 上に形成するので、カーボン薄膜が基板 2 0 の全面に形成される。

30

【 0 3 5 9 】

従って、広い領域にカーボン薄膜を形成できる。

【 0 3 6 0 】

なお、プラズマ装置 1 0 においては、電源 6 は、0 V の電圧を基板 2 0 に印加してもよい。また、基板 2 0 を回転しなくても、永久磁石 7 1 1 , 7 1 2 からの磁界によってプラズマ PLZ 1 を拡散することによってプラズマ PLZ 1 を用いてカーボン薄膜を形成した場合よりも広い領域にカーボン薄膜を形成できる。従って、プラズマ装置 7 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法は、図 5 6 に示す工程 S 4 1 , S 4 3 ~ S 4 5 を少なくとも備えていればよい。また、プラズマ装置 7 0 0 は、基板 2 0 の回転機構を備えていなくてもよい。

40

【 0 3 6 1 】

上記においては、プラズマ装置 7 0 0 は、2 つの永久磁石 7 1 1 , 7 1 2 を備えると説明したが、実施の形態 8 においては、これに限らず、プラズマ装置 7 0 0 は、永久磁石 7 1 1 , 7 1 2 に代えて、永久磁石 7 1 1 , 7 1 2 と同じように配置された 2 つの電磁石を備えていてもよい。

【 0 3 6 2 】

また、上記においては、永久磁石 7 1 1 , 7 1 2 は、x 軸方向の両端が同じ極になるように配置されると説明したが、実施の形態 8 においては、これに限らず、x 軸方向の両端が相互に異なる極になるように配置されてもよい。

50

【 0 3 6 3 】

[実施の形態 9]

図 5 7 は、実施の形態 9 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 5 7 を参照して、実施の形態 9 によるプラズマ装置 8 0 0 は、図 5 3 に示すプラズマ装置 7 0 0 の支持部材 7 1 3 を支持部材 8 0 1 に代え、永久磁石 7 1 1 , 7 1 2 を永久磁石 8 0 2 に代えたものであり、その他は、プラズマ装置 7 0 0 と同じである。

【 0 3 6 4 】

支持部材 8 0 1 は、一部が真空容器 1 の底面を介して真空容器 1 内に配置され、残部が真空容器 1 の外部に配置される。この場合、支持部材 8 0 1 と真空容器 1 の底面との間には、リングが配置される。

10

【 0 3 6 5 】

永久磁石 8 0 2 は、支持部材 8 0 1 に固定される。そして、永久磁石 8 0 2 は、永久磁石 7 1 1 と同じ形状からなり、永久磁石 7 1 1 と同じサイズを有する。

【 0 3 6 6 】

支持部材 8 0 1 は、往復駆動装置（図示せず）によって x 軸に沿って往復運動される。その結果、永久磁石 8 0 2 は、陰極部材 4 と基板 2 0 との間において、真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向に沿って往復運動する。

【 0 3 6 7 】

図 5 8 は、図 5 7 に示す永久磁石 8 0 2 の機能を説明するための図である。図 5 8 を参照して、永久磁石 8 0 2 が陰極部材 4 と基板 2 0 との間に配置されていない場合、上述したように、プラズマ P L Z 1 が発生する（図 5 8 の（ a ）参照）。

20

【 0 3 6 8 】

支持部材 8 0 1 を x 軸の正の方向へ移動させ、永久磁石 8 0 2 をプラズマ P L Z 1 に近づけると、プラズマ P L Z 1 は、x 軸の正の方向へスキャンされ、プラズマ P L Z 3 が形成される（図 5 8 の（ b ）参照）。

【 0 3 6 9 】

また、支持部材 8 0 1 を x 軸の負の方向へ移動させ、永久磁石 8 0 2 をプラズマ P L Z 1 から遠ざけると、プラズマ P L Z 1 は、x 軸の負の方向へスキャンされ、プラズマ P L Z 4 が形成される（図 5 8 の（ c ）参照）。

【 0 3 7 0 】

従って、陰極部材 4 と基板 2 0 との間において、永久磁石 8 0 2 を支持部材 8 0 1 によって x 軸に沿って往復運動させることによって、プラズマ P L Z 1 は、x 軸方向（真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向）に沿ってスキャンされる。

30

【 0 3 7 1 】

そして、基板 2 0 は、上述したように、中心軸 A X 1 の回りに回転される。その結果、基板 2 0 の全面にカーボン薄膜が形成される。

【 0 3 7 2 】

従って、広い領域にカーボン薄膜を形成できる。

【 0 3 7 3 】

図 5 9 は、図 5 7 に示すプラズマ装置 8 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

40

【 0 3 7 4 】

図 5 9 に示す工程図は、図 5 6 に示す工程図の工程 S 4 5 を工程 S 4 5 A に代えたものであり、その他は、図 5 6 に示す工程図と同じである。

【 0 3 7 5 】

図 5 9 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 S 4 1 ~ S 4 4 が順次実行される。

【 0 3 7 6 】

そして、工程 S 4 4 の後、支持部材 8 0 1 によって真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向に永久磁石 8 0 2 を往復運動させ、陰極部材 4 の突起部 4 2 から放出されたビーム状

50

のプラズマ P L Z 1 を真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向にスキャンする磁界をプラズマ P L Z 1 に印加する（工程 S 4 5 A）。

【 0 3 7 7 】

その後、上述した工程 S 4 6 が実行され、所望の時間が経過すると、カーボン薄膜の製造が終了する。

【 0 3 7 8 】

このように、図 5 9 に示すカーボン薄膜の製造工程においては、ビーム状のプラズマ P L Z 1 を真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向にスキャンする磁界をプラズマ P L Z 1 に印加し、真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向に沿って配置された軸の回りに基板 2 0 を回転してカーボン薄膜を基板 2 0 上に形成するので、カーボン薄膜が基板 2 0 の全面に形成される。

10

【 0 3 7 9 】

従って、広い領域にカーボン薄膜を形成できる。

【 0 3 8 0 】

なお、プラズマ装置 8 0 0 においては、電源 6 は、0 V の電圧を基板 2 0 に印加してもよい。また、基板 2 0 を回転しなくても、永久磁石 8 0 2 からの磁界によってプラズマ P L Z 1 をスキャンすることによってプラズマ P L Z 1 を用いてカーボン薄膜を形成した場合よりも広い領域にカーボン薄膜を形成できる。従って、プラズマ装置 8 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法は、図 5 9 に示す工程 S 4 1 , S 4 3 , S 4 4 , S 4 5 A を少なくとも備えていればよい。

20

【 0 3 8 1 】

図 6 0 は、実施の形態 9 による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。実施の形態 9 によるプラズマ装置は、図 6 0 に示すプラズマ装置 8 0 0 A であってもよい。

【 0 3 8 2 】

図 6 0 を参照して、プラズマ装置 8 0 0 A は、図 5 7 に示すプラズマ装置 8 0 0 の支持部材 8 0 1 および永久磁石 8 0 2 をコイル 8 0 3 および電源 8 0 4 に代えたものであり、その他は、プラズマ装置 8 0 0 と同じである。

【 0 3 8 3 】

コイル 8 0 3 は、真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向に沿って配置された中心軸 A X 2 の回りに巻回される。そして、コイル 8 0 3 は、陰極部材 4 と基板 2 0 との間に配置される。

30

【 0 3 8 4 】

電源 8 0 4 は、コイル 8 0 3 に接続される。そして、電源 8 0 4 は、大きさが周期的に変化する電流をコイル 8 0 3 に流す。

【 0 3 8 5 】

なお、コイル 8 0 3 および電源 8 0 4 は、電磁石を構成する。

【 0 3 8 6 】

図 6 1 は、図 6 0 に示す電磁石（コイル 8 0 3 および電源 8 0 4）の機能を説明するための図である。図 6 1 を参照して、コイル 8 0 3 に電流が流れていない場合、陰極部材 4 と基板 2 0 との間に磁界が存在しないので、上述したように、プラズマ P L Z 1 が発生する（図 6 1 の（a）参照）。

40

【 0 3 8 7 】

電源 8 0 4 によってコイル 8 0 3 に電流 I 1 を流すと、磁束密度 B 1 の磁界が発生する。その結果、プラズマ P L Z 1 は、x 軸の正の方向へスキャンされ、プラズマ P L Z 3 が形成される（図 6 1 の（b）参照）。

【 0 3 8 8 】

また、電源 8 0 4 によってコイル 8 0 3 に電流 I 2（< I 1）を流すと、磁束密度 B 2（< B 1）の磁界が発生する。その結果、プラズマ P L Z 1 は、x 軸の負の方向へスキャンされ、プラズマ P L Z 4 が形成される（図 6 1 の（c）参照）。

【 0 3 8 9 】

50

従って、陰極部材 4 と基板 20 との間において、コイル 803 に流す電流の大きさを周期的に変化させることによって、プラズマ PLZ1 は、x 軸方向（真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向）に沿ってスキャンされる。

【0390】

そして、基板 20 は、上述したように、中心軸 AX1 の回りに回転される。その結果、基板 20 の全面にカーボン薄膜が形成される。

【0391】

従って、広い領域にカーボン薄膜を形成できる。

【0392】

なお、図 60 に示すプラズマ装置 800A を用いたカーボン薄膜の製造方法は、図 59 に示す工程図に従って実行される。

10

【0393】

この場合、工程 S45A において、コイル 803 に流す電流の大きさを周期的に変化させることによって、陰極部材 4 の突起部 42 から放出されたビーム状のプラズマ PLZ1 を真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向にスキャンする磁界をプラズマ PLZ1 に印加する。

【0394】

実施の形態 9 におけるその他の説明は、実施の形態 8 における説明と同じである。

【0395】

[実施の形態 10]

20

図 62 は、実施の形態 10 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 62 を参照して、実施の形態 10 によるプラズマ装置 900 は、図 57 に示すプラズマ装置 800 の支持部材 801 および永久磁石 802 を永久磁石 901 に代えたものであり、その他は、プラズマ装置 800 と同じである。

【0396】

永久磁石 901 は、リング形状からなり、真空容器 1 の外部においてアーク式蒸発源 3 に近接して配置される。より具体的には、永久磁石 901 は、中心軸がアーク式蒸発源 3 の中心軸に一致するように配置される。そして、永久磁石 901 において、アーク式蒸発源 3 側が N 極であり、アーク式蒸発源 3 と反対側が S 極である。このように、永久磁石 901 は、陰極部材 4 に対して基板 20 と反対側に配置される。そして、永久磁石 901 は、陰極部材 4 に対して軸方向（陰極部材 4 から基板 20 へ向かう方向）の磁場を印加するものである。なお、永久磁石 901 の着磁方向は、軸方向（陰極部材 4 から基板 20 へ向かう方向）であればよく、永久磁石 901 のアーク式蒸発源 3 側が S 極であってもよい。

30

【0397】

< 実験 1 >

放電が消弧する割合およびアークスポットが移動しない割合を調べる実験を行った。

【0398】

（実験方法）

焼結体カーボン（焼結体グラファイト）IG510（東洋炭素社製）からなる本体部 41 と、ガラス状炭素 GC20SS（東海ファインカーボン社製）からなる突起部 42 とを含む陰極部材 4 を用いた。そして、突起部 42 の直径は、2 mm、3 mm および 5.2 mm のいずれかである。

40

【0399】

また、アーク電流を 30 A、40 A、60 A、80 A、100 A および 150 A と変化させ、軸方向の磁場を 0 Gauss、13 Gauss、26 Gauss、40 Gauss、85 Gauss および 170 Gauss と変化させた。そして、アーク電流密度（A/mm²）をアーク電流 / （ガラス状炭素（突起部 42）の断面積）によって求めた。また、軸方向の磁場は、ガウスメーター（Lake Shore 社製 410-SC T 型）によって突起部 42 の先端における値を測定したものである。軸方向の磁場を 13 Gauss、26 Gauss、40 Gauss、85 Gauss および 170 Gauss と変化させ

50

た場合、突起部 4 2 の半径方向の磁場は、それぞれ、2 G a u s s、5 G a u s s、8 G a u s s、1 4 G a u s s および 3 2 G a u s s であった。

【 0 4 0 0 】

実験条件 1 ~ 1 4 におけるガラス状炭素の直径、アーク電流およびアーク電流密度を表 1 に示す。

【 0 4 0 1 】

【表 1】

実験条件No.	ガラス状炭素直径(mm)	アーク電流(A)	アーク電流密度(A/mm ²)
1	5.2	30	1.413
2	5.2	40	1.884
3	5.2	60	2.827
4	5.2	80	3.769
5	5.2	100	4.711
6	3	40	5.662
7	5.2	150	7.067
8	3	60	8.493
9	3	80	11.323
10	2	40	12.739
11	3	100	14.154
12	2	60	19.108
13	3	150	21.231
14	2	80	25.478

なお、表 1 に示す実験条件 1 ~ 1 4 の各々を用いて N (N = 3 ~ 7) 回の実験が行われた。

【 0 4 0 2 】

真空容器 1 を排気装置 (図示せず) によって 9.9×10^{-3} P a まで排気し、ガラス状炭素からなる陰極部材 4 の突起部 4 2 に放電点弧し、その後、6 0 秒間、消弧しないか否か、およびアークスポットが移動しないか否かを確認した。

【 0 4 0 3 】

(実験結果)

図 6 3 は、消弧しない割合における軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示す図である。

【 0 4 0 4 】

図 6 3 において、縦軸は、軸方向磁場を表わし、横軸は、アーク電流密度を表わす。また、 \square は、消弧しない割合が 1 0 0 % である軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、 \triangle は、消弧しない割合が 5 0 % よりも大きい軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、 \circ は、消弧しない割合が 5 0 % よりも低い軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、 \times は、消弧しない割合が 0 % である軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示す。更に、消弧しない割合は、(同一条件で消弧しなかった回数) / (同一条件の全回数 N) \times 1 0 0 % によって求められた。更に、アーク電流密度を x とし、軸方向磁場を y とする。

【 0 4 0 5 】

図 6 3 を参照して、軸方向磁場 y を 0 G a u s s に設定してアーク電流密度を小さくすると、 1.413 A/mm^2 のアーク電流密度において、消弧しない割合は、0 % になる (即ち、1 0 0 % の割合で消弧する) 。これは、アーク電流密度を小さくすると、突起部 4 2 のガラス状炭素自身、または放電によって形成されるアークスポット部分が十分に加熱されなくなり、熱電子が放出され難くなるためと考えられる。また、軸方向磁場を印加すると、円周方向へアークスポットを移動させる力が作用するため、より消弧し易くなり

、軸方向磁場が 170 Gauss となると、アーク電流密度が 5.662 A/mm^2 であっても、消弧しない割合が 0% になってしまう。

【0406】

ここで、アーク電流密度が 1.413 A/mm^2 であり、軸方向磁場が 0 Gauss である点と、アーク電流密度が 1.413 A/mm^2 であり、軸方向磁場が 85 Gauss である点とを結んだ直線 k_1 と、アーク電流密度が 1.413 A/mm^2 であり、軸方向磁場が 85 Gauss である点と、アーク電流密度が 5.662 A/mm^2 であり、軸方向磁場が 170 Gauss である点とを結んだ直線 k_2 とを想定する。直線 k_2 は、 $y = 20.008x + 56.723$ によって表わされる。そうすると、直線 k_1 および直線 k_2 よりも右側領域は、消弧しない割合が 0 よりも大きい。

10

【0407】

また、領域 REG1 は、消弧しない割合が 50% よりも大きい。ここで、直線 $k_3 \sim k_7$ を想定する。直線 k_3 は、 $x = 3.769 \text{ A/mm}^2$ によって表わされる。直線 k_4 は、 $y = 17.9932x + 17.1836$ によって表わされる。直線 k_5 は、 $y = 170 \text{ Gauss}$ によって表わされる。直線 k_6 は、 $x = 25.478 \text{ A/mm}^2$ によって表わされる。直線 k_7 は、 $y = 0 \text{ Gauss}$ によって表わされる。

【0408】

従って、領域 REG1 は、直線 $k_3 \sim k_7$ 上および直線 $k_3 \sim k_7$ によって囲まれた領域からなる。

20

【0409】

よって、アーク電流密度および軸方向磁場が直線 k_1 および直線 k_2 よりも右側の領域に入る条件でアーク放電を発生させる。

【0410】

そして、好ましくは、直線 $k_3 \sim k_7$ 上に存在するアーク電流密度および軸方向磁場、または直線 $k_3 \sim k_7$ によって囲まれた領域内に存在するアーク電流密度および軸方向磁場を用いてアーク放電を発生させる。

【0411】

これによって、消弧しない割合を 0% よりも大きくでき、好ましくは、消弧しない割合を 50% よりも大きくできる。

30

【0412】

図64は、アークスポットが本体部41に移動しない割合における軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示す図である。

【0413】

図64において、縦軸は、軸方向磁場を表わし、横軸は、アーク電流密度を表わす。また、 \square は、アークスポットが本体部41に移動しない割合が 100% である軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、 \triangle は、アークスポットが本体部41に移動しない割合が 50% よりも大きい軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、 \diamond は、アークスポットが本体部41に移動しない割合が 50% よりも小さい軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、 \times は、アークスポットが本体部41に移動しない割合が 0% である軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示す。更に、アークスポットが本体部41に移動しない割合は、(同一条件でアークスポットが本体部41に移動しなかった回数) / (同一条件の全回数 N) $\times 100\%$ によって求められた。更に、アーク電流密度を x とし、軸方向磁場を y とする。

40

【0414】

図64を参照して、軸方向磁場が 0 Gauss である状態でアーク電流密度を大きくすると、 8.493 A/mm^2 において、アークスポットが本体部41に移動しない割合が 0% になる(即ち、アークスポットが 100% 移動する)。

【0415】

50

これは、アーク電流密度を 8.493 A/mm^2 まで大きくすると、アーク電流が突起部 42 のガラス状炭素を流れる際に形成される磁場によってアークスポットが本体部 41 側へ移動する力が、突起部 42 で放電を継続する力よりも大きくなるためと考えられる。この点については、軸方向磁場を印加してアークスポットを突起部 42 の円周方向へ移動させる力を作用させることが有効であり、アーク電流密度が 21.231 A/mm^2 であっても、横方向磁場を 26 Gauss とすることでアークスポットが本体部 41 へ移動するのを抑制することができる。

【0416】

ここで、アーク電流密度が 1.413 A/mm^2 であり、軸方向磁場が 0 Gauss である点と、アーク電流密度が 8.493 A/mm^2 であり、軸方向磁場が 0 Gauss である点とを結んだ直線 k8 と、アーク電流密度が 8.493 A/mm^2 であり、軸方向磁場が 0 Gauss である点と、アーク電流密度が 21.231 A/mm^2 であり、軸方向磁場が 13 Gauss である点とを結んだ直線 k9 とを想定する。そして、直線 k9 は、 $y = 1.021x - 8.667$ によって表わされる。そうすると、直線 k8 上、または直線 k8 および直線 k9 よりも上側の領域に含まれる軸方向磁場およびアーク電流密度を用いることにより、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合が 0% よりも大きくなる。

10

【0417】

また、領域 REG2 は、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合が 50% よりも大きい。ここで、直線 k10 ~ k12 を想定する。直線 k10 は、 $x = 1.413 \text{ A/mm}^2$ によって表わされる。直線 k11 は、 $y = 40 \text{ Gauss}$ によって表わされる。直線 k12 は、 $x = 25.478 \text{ A/mm}^2$ によって表わされる。

20

【0418】

従って、領域 REG2 は、直線 k10 ~ k12 上および直線 k10 ~ k12 によって囲まれた領域からなる。

【0419】

よって、アーク電流密度および軸方向磁場が直線 k8 上、または直線 k8 および直線 k9 よりも上側の領域に入る条件でアーク放電を発生させる。

【0420】

そして、好ましくは、直線 k10 ~ k12 上に存在するアーク電流密度および軸方向磁場、または直線 k10 ~ k12 によって囲まれた領域内に存在するアーク電流密度および軸方向磁場を用いてアーク放電を発生させる。

30

【0421】

これによって、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合を 0% よりも大きくでき、好ましくは、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合を 50% よりも大きくできる。

【0422】

そして、図 63 および図 64 に示す結果から、直線 k1 および直線 k2 よりも右側の領域であり、かつ、直線 k8 上または直線 k8 および直線 k9 よりも上側の領域に含まれる軸方向磁場およびアーク電流密度を用いることによって、消弧しない割合を 0% よりも大きくでき、かつ、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合を 0% よりも大きくできる。その結果、カーボン薄膜を安定して製造できる。

40

【0423】

上述したように、永久磁石 901 によって軸方向磁場を印加することによって、消弧しない割合を 0% よりも大きくでき、かつ、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合を 0% よりも大きくできることが実証された。

【0424】

< 実験 2 >

アーク放電によって陰極部材が割れるか否かを調べる実験を行った。

【0425】

50

(i) 平板状のガラス状炭素を用いた場合

直径が64 mm であり、厚みが9 mmである平板状のガラス状炭素（GC20SS、東海ファインカーボン社製）を陰極部材として用いた。また、直径が64 mm であり、厚みが11 mmである焼結体グラファイト（IG510、東洋炭素社製）を台座（＝本体部41）として用いた。そして、焼結体グラファイトをバックングプレート上に配置し、ガラス状炭素を焼結体グラファイト上に配置したものをアーク式蒸発源3に設置した。

【0426】

その後、 9.9×10^{-3} Paまで真空容器1内を排気装置（図示せず）によって排気し、80 Aのアーク電流でガラス状炭素の表面に放電点弧した。

【0427】

図65は、放電前のガラス状炭素の斜視図である。図65を参照して、ガラス状炭素は、放電前、平坦な表面を有する。

【0428】

図66は、第1回目の放電が終了した後のガラス状炭素を示す図である。放電点弧から131秒の間、スパークレス放電が継続した後、消弧してしまった。再点弧を試みたものの、点弧させることができなかったため、真空容器1を大気開放して観察を行った。放電痕の深さは、4 mm程度であり、放電痕の底部（台座側）には、筋状の微小クラックが多数認められた。アークスポット近傍のみ加熱され、これによって局所的な熱歪、熱応力を生じ、微小クラックの発生につながったと考えられる。

【0429】

図67は、第2回目の放電が終了した後のガラス状炭素を示す図である。一回目の実験と異なる位置に放電点弧し、35秒の間、スパークレス放電が継続した後、異音発生と共に消弧してしまった。再点弧を試みたものの、点弧させることができなかったため、真空容器1を大気開放して観察を行った。二回目の実験の放電痕から2本のクラックが発生しており、1本は、直接外周端へ、別の1本は、一回目の実験の放電痕を経て外周端へと到達していた。また、2本のクラックは、いずれも深さ9 mmにも到達していた。2本のクラックによって、直径が64 mm であり、厚みが9 mmである平板状のガラス状炭素は、完全に破壊され、これ以上使用することが不可能な状況となっていた。

【0430】

異音の原因は、2本のクラックが発生したことによるものと考えられる。また、アークスポット近傍のみ加熱され、これによって局所的な熱歪、熱応力を生じ、2本のクラックの発生につながったと考えられる。

【0431】

一回目の実験に比較して、継続時間が約1/4と極端に短くなってしまった点については、一回目の実験（放電）によって、微小クラックが放電痕の底部以外にも発生しており、破壊し易い状態となっていたためと考えられる。従って、一回目の実験によって実質的には破壊されていたと考えられ、平板状のガラス状炭素を破壊することなく使用することは極めて難しいことが分かった。

【0432】

(i i) 円柱状のガラス状炭素を用いた場合

直径が3 mm であり、長さが60 mmであるガラス状炭素（GC20SS：東海ファインカーボン社製）を突起部42として用い、直径が64 mm であり、厚みが20 mmである焼結体グラファイト（IG510：東洋炭素社製）を本体部41として用いた。また、外径が59 mmであり、内径が19 mmであり、厚みが10 mmであるネオジム製のリング状マグネット（NR0018：マグネットジャパン社製）を永久磁石901として用いた。

【0433】

そして、永久磁石901をバックングプレート上に設置し、本体部41を永久磁石901上に設置し、突起部42を本体部41に設置した。

【0434】

この場合、突起部41の先端における軸方向の磁場強度は、112 Gaussであり、

10

20

30

40

50

半径方向の磁場強度は、 13 Gauss であり、突起部42の先端から本端部41側へ 30 mm 離れた位置において、軸方向の磁場強度は、 350 Gauss であり、半径方向の磁場強度は、 45 Gauss であった。これらの磁場強度は、ガウスメーター（Lake Shore社製410-SCT型）で測定した値である。

【0435】

真空容器1内を排気装置（図示せず）によって $9.9 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ まで排気し、 80 A のアーキ電流で突起部42の先端に放電点弧した。

【0436】

（実験結果）

図68は、放電前の陰極部材4を示す図である。図68を参照して、突起部42は、本体部41の中心上に設置されている。そして、本体部41および突起部42は、傷等がなく、滑らかな表面を有する。なお、図68に示す放電前の陰極部材4は、1つの具体例であり、この写真の例では、突起部42は、 3 mm の直径と 10 mm の長さとを有する。

【0437】

突起部42の先端に放電点弧すると、 484 秒の間、スパークレス放電が継続した。その後、アーキ電源を停止することによって強制消弧した。放電中に一度も消弧せず、また、アークスポットが本体部41へ移動すること一度も無く、非常に安定した長時間のスパークレス放電を確認することができた。実験後、真空容器1を大気開放して観察を行った結果、陰極材料は、残り 3 mm まで消耗していた。

【0438】

陰極部材4のガラス状炭素の直径を 3 mm とすることで、特に、半径方向の局所的な熱歪、熱応力が緩和されたことにより、平板状のガラス状炭素のように、クラックや破壊が発生することも抑制されたため、非常に安定した長時間のスパークレス放電が継続したものと考えられる。

【0439】

上述した結果からガラス状炭素の形状を突起状とすることの効果は明白であり、安定した長時間のスパークレス放電が可能となった。

【0440】

< 実験3 >

放電痕について調べた。上述した陰極部材4の構成において、突起部42の直径を 2 mm 、 3 mm および 5.2 mm に設定した。この場合、突起部42の先端における軸方向の磁場強度は、 85 Gauss であり、半径方向の磁場強度は、 14 Gauss であった。これらの磁場強度は、ガウスメーター（Lake Shore社製410-SCT型）で測定された値である。

【0441】

真空容器1内を排気装置（図示せず）によって $9.9 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ まで排気し、各設定されたアーキ電流で突起部42の先端に放電点弧した。その後、各設定された時間が経過した後に、アーキ電源を停止することによって強制消弧した。

【0442】

ここで、直径 3 mm のガラス状炭素を用いた場合、アーキ電流は、 80 A であり、スパークレスの放電継続時間は、 60 秒である。また、直径 5.2 mm のガラス状炭素を用いた場合、アーキ電流は、 100 A であり、スパークレスの放電継続時間は、 120 秒である。更に、直径 2 mm のガラス状炭素を用いた場合、アーキ電流は、 40 A であり、スパークレスの放電継続時間は、 60 秒である。

【0443】

図69は、直径 3 mm のガラス状炭素（突起部42）を用いた時の放電後の突起部42を示す図である。図70は、直径 5.2 mm のガラス状炭素（突起部42）を用いた時の放電後の突起部42を示す図である。図71は、直径 2 mm のガラス状炭素（突起部42）を用いた時の放電後の突起部42を示す図である。

【0444】

ガラス状炭素（突起部 4 2）の直径を 2 mm、3 mm および 5.2 mm のいずれに設定しても、放電状況は、スパークレス放電のみであった。また、消弧およびアークスポットの本体部 4 1 への移動は、一度もなかった。そして、放電後、突起部 4 2 には、スパイラル状の放電痕が形成されていた（図 6 9 ~ 図 7 1 参照）。

【 0 4 4 5 】

このように、突起部 4 2 を備えた陰極部材 4 を用いてアーク放電を発生させた場合、アークスポットが永久磁石 9 0 1 からの磁場によって突起部 4 2 の表面をスパイラル状に移動する。その結果、放電が消弧することも無く、アークスポットが本体部 4 1 へ移動することも無い。従って、放電後にスパイラル状の放電痕が突起部 4 2 に形成されているのが、消弧およびアークスポットの本体部 4 1 への移動が発生しない根拠である。

10

【 0 4 4 6 】

図 7 2 は、実施の形態 1 0 による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。実施の形態 1 0 によるプラズマ装置は、図 7 2 に示すプラズマ装置 9 0 0 A であってもよい。

【 0 4 4 7 】

図 7 2 を参照して、プラズマ装置 9 0 0 A は、図 6 2 に示すプラズマ装置 9 0 0 の永久磁石 9 0 1 をコイル 9 0 2 および電源 9 0 3 に代えたものであり、その他は、プラズマ装置 9 0 0 と同じである。

【 0 4 4 8 】

コイル 9 0 2 は、陰極部材 4 を囲むように真空容器 1 内に配置される。電源 9 0 3 は、コイル 9 0 2 に接続される。そして、電源 9 0 3 は、所望の電流をコイル 9 0 2 に流す。

20

【 0 4 4 9 】

図 7 3 は、図 7 2 に示す陰極部材 4 およびコイル 9 0 2 の拡大図である。図 7 3 を参照して、コイル 9 0 2 は、所望の回数、巻かれる。そして、陰極部材 4 は、中心軸がコイル 9 0 2 の中心軸に一致するようにコイル 9 0 2 の内部に配置される。即ち、陰極部材 4 は、コイル 9 0 2 によって囲まれる。電源 9 0 3 は、コイル 9 0 2 の一方端と他方端との間に接続される。

【 0 4 5 0 】

電源 9 0 3 がコイル 9 0 2 に所望の電流を供給することによって、コイル 9 0 2 は、磁界を発生する。コイル 9 0 2 の上側部分 9 0 2 A を流れる電流が図 7 3 の紙面の奥から手前へ向かう方向であり、コイル 9 0 2 の下側部分 9 0 2 B を流れる電流が図 7 3 の紙面の手前から奥へ向かう方向である場合、コイル 9 0 2 の内部においては、矢印 A R W 2 の方向（z 軸方向）に磁界が発生する。その結果、コイル 9 0 2 は、陰極部材 4 の突起部 4 2 に軸方向の磁場を印加する。

30

【 0 4 5 1 】

従って、上述したように、放電の消弧およびアークスポットの本体部 4 1 への移動が発生せず、安定した長時間のスパークレス放電を実現できる。

【 0 4 5 2 】

なお、プラズマ装置 9 0 0 A においては、矢印 A R W 2 と反対方向（z 軸方向）の磁界を発生するようにしてもよい。この場合、図 7 3 の紙面の手前から奥へ向かう方向の電流をコイル 9 0 2 の上側部分 9 0 2 A に流し、図 7 3 の紙面の奥から手前へ向かう方向の電流をコイル 9 0 2 の下側部分 9 0 2 B に流す。これによって、軸方向の磁場が陰極部材 4 に印加されるので、上述した効果を得ることができる。

40

【 0 4 5 3 】

このように、プラズマ装置 9 0 0 A においては、陰極部材 4 から基板 2 0 へ向かう方向の磁場、および基板 2 0 から陰極部材 4 へ向かう方向の磁場のいずれの磁場が陰極部材 4 に印加されてもよく、一般的には、軸方向（z 軸方向）の磁場が陰極部材 4 に印加されればよい。

【 0 4 5 4 】

図 7 4 は、実施の形態 1 0 における別のコイルを示す図である。プラズマ装置 9 0 0 A は、コイル 9 0 2 に代えて、図 7 4 に示すコイル 9 0 4 を備えていてもよい。

50

【 0 4 5 5 】

図 7 4 を参照して、コイル 9 0 4 は、矢印 A R W 2 の方向に向かって直径が大きくなる。そして、陰極部材 4 は、中心軸がコイル 9 0 4 の中心軸に一致するようにコイル 9 0 4 の内部に配置される。

【 0 4 5 6 】

図 7 4 の紙面の奥から手前へ向かう方向の電流をコイル 9 0 4 の上側部分 9 0 4 A に流し、図 7 4 の紙面の手前から奥へ向かう方向の電流をコイル 9 0 4 の下側部分 9 0 4 B に流すことによって、コイル 9 0 4 は、その内部において、矢印 A R W 2 の方向（ z 軸方向）の磁場を発生する。また、図 7 4 の紙面の手前から奥へ向かう方向の電流をコイル 9 0 4 の上側部分 9 0 4 A に流し、図 7 4 の紙面の奥から手前へ向かう方向の電流をコイル 9 0 4 の下側部分 9 0 4 B に流すことによって、コイル 9 0 4 は、その内部において、矢印 A R W 2 と反対方向（ z 軸方向）の磁場を発生する。

10

【 0 4 5 7 】

従って、陰極部材 4 から基板 2 0 に向かうに従って直径が大きくなるコイル 9 0 4 を用いても、放電の消弧およびアークスポットの本体部 4 1 への移動が発生せず、安定した長時間のスパークレス放電を実現できる。

【 0 4 5 8 】

なお、プラズマ装置 9 0 0 A は、陰極部材 4 から基板 2 0 へ向かうに従って直径が小さくなるコイルを備えていてもよい。

【 0 4 5 9 】

20

更に、プラズマ装置 9 0 0 A において、コイル 9 0 2 , 9 0 4 は、真空容器 1 の外部において、陰極部材 4 に対して基板 2 0 と反対側に配置されてもよい。

【 0 4 6 0 】

図 7 5 は、実施の形態 1 0 による更に別のプラズマ装置の構成を示す構成図である。実施の形態 1 0 によるプラズマ装置は、図 7 5 に示すプラズマ装置 9 0 0 B であってもよい。

【 0 4 6 1 】

図 7 5 を参照して、プラズマ装置 9 0 0 B は、図 3 7 に示すプラズマ装置 2 0 0 にコイル 9 0 5 および電源 9 0 6 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 2 0 0 と同じである。

30

【 0 4 6 2 】

コイル 9 0 5 は、陰極部材 1 4 0 の一部を囲むように真空容器 1 内に配置される。電源 9 0 6 は、コイル 9 0 5 に接続される。そして、電源 9 0 6 は、所望の電流をコイル 9 0 5 に流す。

【 0 4 6 3 】

図 7 6 は、図 7 5 に示すアーク式蒸発源 3 A、陰極部材 1 4 0 およびコイル 9 0 5 の拡大図である。図 7 6 を参照して、コイル 9 0 5 は、図 7 3 に示すコイル 9 0 2 と同じ構成からなる。そして、陰極部材 1 4 0 の先端部側の一部は、中心軸がコイル 9 0 5 の中心軸に一致するようにコイル 9 0 5 の内部に配置される。即ち、陰極部材 1 4 0 の一部は、コイル 9 0 5 によって囲まれる。電源 9 0 6 は、コイル 9 0 5 の一方端と他方端との間に接続される。

40

【 0 4 6 4 】

電源 9 0 6 がコイル 9 0 5 に所望の電流を供給することによって、コイル 9 0 5 は、磁界を発生する。コイル 9 0 5 の上側部分 9 0 5 A を流れる電流が図 7 6 の紙面の奥から手前へ向かう方向であり、コイル 9 0 5 の下側部分 9 0 5 B を流れる電流が図 7 6 の紙面の手前から奥へ向かう方向である場合、コイル 9 0 5 の内部においては、矢印 A R W 2 の方向（ z 軸方向）に磁界が発生する。その結果、コイル 9 0 5 は、陰極部材 1 4 0 に軸方向の磁場を印加する。そして、陰極部材 1 4 0 の先端部が消耗すると、送出機構 2 9 は、陰極部材 1 4 0 の先端部（基板 2 0 側の先端部）が消耗前の先端部と同じ位置になるように陰極部材 1 4 0 を基板 2 0 側へ送り出すので、陰極部材 1 4 0 の先端部には、一定の磁場

50

が印加される。

【 0 4 6 5 】

従って、放電の消弧およびアークスポットの陰極部材 1 4 0 以外への移動が発生せず、安定した長時間のスパークレス放電を実現できる。

【 0 4 6 6 】

なお、プラズマ装置 9 0 0 B においては、矢印 A R W 2 と反対方向（ z 軸方向）の磁場を発生するようにしてもよい。この場合、図 7 6 の紙面の手前から奥へ向かう方向の電流をコイル 9 0 5 の上側部分 9 0 5 A に流し、図 7 6 の紙面の奥から手前へ向かう方向の電流をコイル 9 0 5 の下側部分 9 0 5 B に流す。これによって、軸方向の磁場が陰極部材 1 4 0 に印加されるので、上述した効果を得ることができる。

10

【 0 4 6 7 】

また、プラズマ装置 9 0 0 B は、コイル 9 0 5 に代えて、図 7 4 に示すコイル 9 0 4 を備えていてもよい。

【 0 4 6 8 】

更に、プラズマ装置 9 0 0 B において、コイル 9 0 5 またはコイル 9 0 4 は、真空容器 1 の外部において、陰極部材 1 4 0 に対して基板 2 0 と反対側に配置されてもよい。

【 0 4 6 9 】

このように、プラズマ装置 9 0 0 B においては、陰極部材 1 4 0 から基板 2 0 へ向かう方向の磁場、および基板 2 0 から陰極部材 1 4 0 へ向かう方向の磁場のいずれの磁場が陰極部材 1 4 0 に印加されてもよく、一般的には、軸方向（ z 軸方向）の磁場が陰極部材 1 4 0 に印加されればよい。

20

【 0 4 7 0 】

図 7 7 は、図 6 2 に示すプラズマ装置 9 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

【 0 4 7 1 】

図 7 7 に示す工程図は、図 5 6 に示す工程図の工程 S 4 5 を工程 S 4 5 B に代えたものであり、その他は、図 5 6 に示す工程図と同じである。

【 0 4 7 2 】

図 7 7 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 4 1 ~ S 4 4 が順次実行される。そして、工程 S 4 4 の後、軸方向の磁場を印加する（工程 S 4 5 B ）。その後、上述した工程 S 4 6 が実行され、カーボン薄膜の製造が終了する。

30

【 0 4 7 3 】

なお、図 7 2 に示すプラズマ装置 9 0 0 A および図 7 5 に示すプラズマ装置 9 0 0 B を用いたカーボン薄膜の製造方法も、図 7 7 に示す工程図 S 4 1 ~ S 4 4 , S 4 5 B , S 4 6 に従って実行される。

【 0 4 7 4 】

軸方向の磁場を陰極部材 4 （または陰極部材 1 4 0 ）に印加することによって、消弧およびアークスポットの陰極部材 4 の突起部 4 2 （または陰極部材 1 4 0 ）以外への移動が発生せず、安定して長時間のスパークレス放電を実現できる。従って、図 7 7 に示す工程図 S 4 1 ~ S 4 4 , S 4 5 B , S 4 6 を用いてカーボン薄膜を製造することによって、高品質、かつ、低コストなカーボン薄膜を製造できる。

40

【 0 4 7 5 】

[実施の形態 1 1]

図 7 8 は、実施の形態 1 1 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 7 8 を参照して、実施の形態 1 1 によるプラズマ装置 1 0 0 0 は、図 3 7 に示すプラズマ装置 2 0 0 に永久磁石 1 0 0 1、歯車 1 0 0 2 , 1 0 0 3、モータ 1 0 0 4、電源 1 0 0 5 およびカウンターウェイト 1 0 0 6 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 2 0 0 と同じである。

【 0 4 7 6 】

永久磁石 1 0 0 1 は、アーク式蒸発源 3 A が固定された真空容器 1 の側壁に近接して配

50

置される。そして、永久磁石 1 0 0 1 は、例えば、真空容器 1 側が N 極になり、歯車 1 0 0 2 側が S 極になるように配置される。永久磁石 1 0 0 1 は、歯車 1 0 0 2 に固定される。

【 0 4 7 7 】

歯車 1 0 0 2 は、歯車 1 0 0 3 と噛み合う。モータ 1 0 0 4 は、歯車 1 0 0 3 に連結される。そして、モータ 1 0 0 4 は、電源 1 0 0 5 によって駆動されると、歯車 1 0 0 3 を回転させる。電源 1 0 0 5 は、モータ 1 0 0 4 を駆動する。カウンターウェイト 1 0 0 6 は、歯車 1 0 0 2 に固定される。

【 0 4 7 8 】

図 7 9 は、図 7 8 に示す永久磁石 1 0 0 1、歯車 1 0 0 2、1 0 0 3 およびカウンターウェイト 1 0 0 6 の基板 2 0 側から見た平面図である。

10

【 0 4 7 9 】

図 7 9 を参照して、永久磁石 1 0 0 1 およびカウンターウェイト 1 0 0 6 は、歯車 1 0 0 2 の回転軸に対して対称になるように歯車 1 0 0 2 上に配置される。その結果は、カウンターウェイト 1 0 0 6 は、永久磁石 1 0 0 1 に対してバランスを取るための重りとして機能する。歯車 1 0 0 2 は、中心部に貫通孔 1 0 0 2 A を有する。アーク式蒸発源 3 A は、中心軸が貫通孔 1 0 0 2 A の中心軸に一致するように貫通孔 1 0 0 2 A を通って配置される。歯車 1 0 0 3 は、歯車 1 0 0 2 に噛み合う。

【 0 4 8 0 】

歯車 1 0 0 3 がモータ 1 0 0 4 によって矢印 A R W 3 の方向に回転すると、歯車 1 0 0 2 は、矢印 A R W 4 の方向に回転する。歯車 1 0 0 2 が矢印 A R W 4 の方向に回転することによって、永久磁石 1 0 0 1 およびカウンターウェイト 1 0 0 6 も矢印 A R W 4 の方向に回転する。

20

【 0 4 8 1 】

永久磁石 1 0 0 1 が陰極部材 1 4 0 の中心軸の周りに回転することによって、永久磁石 1 0 0 1 によって形成される磁場も回転し、陰極部材 1 4 0 から放出されるプラズマも、この回転する磁場によって回転する（回転磁場によるプラズマスキャン）。従って、アークスポットが陰極部材 1 4 0 の表面のいずれの場所にあっても、アークスポットを強制的に回転させることが可能となる。

【 0 4 8 2 】

30

永久磁石 1 0 0 1 が図 7 8 の y 軸方向の上端に来た場合には、プラズマが y 軸の下端方向（紙面下方向）にスキャンされ、y 軸方向の下端に来た場合には、プラズマが y 軸の上端方向（紙面上方向）にスキャンされる。

【 0 4 8 3 】

また、永久磁石 1 0 0 1 の位置を陰極部材 1 4 0 の中心軸からより離せば、プラズマは、中心軸からより離れた位置へスキャンされ、永久磁石 1 0 0 1 の位置を陰極部材 1 4 0 の中心軸へより近づければ、プラズマは、中心軸へより近づいた位置へスキャンされる。

【 0 4 8 4 】

従って、永久磁石 1 0 0 1 の配置の違いによって、プラズマのスキャン範囲を制御することが可能となり、同時に成膜領域を制御することができる。

40

【 0 4 8 5 】

また、永久磁石 1 0 0 1 が回転することによって、陰極部材 1 4 0 に軸方向（z 軸方向）と陰極部材 1 4 0 の半径方向へ磁場が対称に印加されるため、放電の消弧およびアークスポットの陰極部材 1 4 0 以外への移動が防止され、安定した長時間のスパークレス放電も同時に実現できる。

【 0 4 8 6 】

更に、カウンターウェイト 1 0 0 6 を設けることによって、偏荷重がなくなり、永久磁石 1 0 0 1 の回転ムラを防止できる。

【 0 4 8 7 】

なお、プラズマ装置 1 0 0 0 は、1 個の永久磁石に限らず、2 個以上の永久磁石を備え

50

ていてもよい。そして、永久磁石の形状は、角形に限らず、円形またはリング状であってもよい。

【0488】

図80は、実施の形態11による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。実施の形態11によるプラズマ装置は、図80に示すプラズマ装置1000Aであってもよい。

【0489】

図80を参照して、プラズマ装置1000Aは、図62に示すプラズマ装置900に支持部材1006、歯車1007、1008、モータ1009、電源1010およびブラシ1011を追加したものであり、その他は、プラズマ装置900と同じである。

【0490】

支持部材1006は、円柱形状を有し、一方端がアーク式蒸発源3に固定され、他方端が歯車1007に固定される。この場合、支持部材1006の中心軸は、アーク式蒸発源3および歯車1007の中心軸に一致する。そして、支持部材1006は、金属等の導電性材料からなる。

【0491】

歯車1007は、支持部材1006の一方端に固定される。歯車1008は、歯車1007と噛み合う。モータ1009は、歯車1008に連結される。そして、モータ1009は、電源1010によって駆動されると、歯車1008を所望の方向に回転させる。

【0492】

ブラシ1011は、導電性材料からなり、支持部材1006に接して配置される。そして、ブラシ1011は、電源7の負極に接続される。支持部材1006が中心軸の回りに回転しても、ブラシ1011は、回転することは無く、電源7からの負の電圧を支持部材1006に安定して印加する。

【0493】

歯車1007、1008の陰極部材4側から見た平面図は、図79に示す歯車1002、1003の平面図と同じである。

【0494】

モータ1009は、電源1010によって駆動されると、歯車1008を所望の方向に回転させ、歯車1007を歯車1008と反対方向へ回転させる。その結果、支持部材1006が中心軸の周りに回転し、アーク式蒸発源3および陰極部材4も、中心軸の周りに回転する。

【0495】

そして、電源7は、ブラシ1011および支持部材1006を介してアーク式蒸発源3に負の電圧を印加する。また、永久磁石901は、軸方向の磁場および陰極部材4の半径方向の磁場を印加する。

【0496】

そして、トリガー電極8を陰極部材4の突起部42に接触し、離反すると、陰極部材4が回転しながら突起部42から放電が開始される。

【0497】

このように、プラズマ装置1000Aにおいては、陰極部材4を永久磁石901に対して移動させながら、アーク放電が行われる。

【0498】

この場合も、プラズマ装置1000と同じ効果を得ることができる。即ち、アークスポットが突起部42の表面のいずれの場所にあっても、永久磁石901が形成する磁場中でアークスポットが回転させられることとなり、結果的にアークスポットから放出されるプラズマも強制的に回転させられることとなるためである。

【0499】

永久磁石901の外径をより大きくすれば、プラズマは、より突起部42から離れた位置ヘスキャンされ、永久磁石901の外径をより小さくすれば、プラズマは、より突起部42へ近づいた位置ヘスキャンされる。従って、永久磁石901の外径の違いによって、

10

20

30

40

50

プラズマのスキャン範囲を制御することが可能となり、同時に成膜領域を制御することが可能となる。

【 0 5 0 0 】

永久磁石 9 0 1 によって陰極部材 4 の軸方向の磁場および半径方向の磁場が印加されるため、放電の消弧およびアークスポットの突起部 4 2 以外への移動が防止され、安定した長時間のスパークレス放電も同時に実現できる。従って、プラズマ装置 1 0 0 0 と同じ効果を得ることができる。

【 0 5 0 1 】

図 8 1 は、図 7 8 に示すプラズマ装置 1 0 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

10

【 0 5 0 2 】

図 8 1 に示す工程図は、図 7 7 に示す工程図の工程 S 4 3 と工程 S 4 4 との間に工程 S 4 7 を追加したものであり、その他は、図 7 7 に示す工程図と同じである。

【 0 5 0 3 】

図 8 1 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 S 4 1 ~ 工程 S 4 3 が順次実行される。そして、工程 S 4 3 の後、陰極部材および永久磁石の一方を他方に対して相対的に移動させる（工程 S 4 7 ）。

【 0 5 0 4 】

その後、上述した工程 S 4 4 , S 4 5 B , S 4 6 が順次実行され、カーボン薄膜の製造が終了する。

20

【 0 5 0 5 】

なお、図 8 0 に示すプラズマ装置 1 0 0 0 A を用いたカーボン薄膜の製造も、図 8 1 に示す工程図に従って実行される。

【 0 5 0 6 】

陰極部材 4 （または陰極部材 1 4 0 ）および永久磁石 9 0 1 （または永久磁石 1 0 0 1 ）の一方を他方に対して相対的に移動させることによって、アークスポットが陰極部材 4 の突起部 4 2 （または陰極部材 1 4 0 ）の外周面の任意の位置に存在しても、磁場がアークスポットに印加される。その結果、陰極部材 4 の突起部 4 2 （または陰極部材 1 4 0 ）の外周面上をスパイラル状に移動する力がアークスポットに作用する。

【 0 5 0 7 】

30

従って、放電の消弧およびアークスポットの突起部 4 2 （または陰極部材 1 4 0 ）以外への移動を抑制でき、安定した長時間のスパークレス放電を実現できる。

【 0 5 0 8 】

[実施の形態 1 2]

図 8 2 は、実施の形態 1 2 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 8 2 を参照して、実施の形態 1 2 によるプラズマ装置 1 1 0 0 は、図 2 9 に示すプラズマ装置 1 0 A にアーク式蒸発源 1 1 0 1、陰極部材 1 1 0 2、永久磁石 1 1 0 3、1 1 0 4 および電源 1 1 0 5 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 1 0 A と同じである。

【 0 5 0 9 】

アーク式蒸発源 1 1 0 1 は、アーク式蒸発源 3 と同じ構成からなり、アーク式蒸発源 3 と同じように真空容器 1 の側壁に固定される。そして、アーク式蒸発源 1 1 0 1 は、電源 1 1 0 5 の負極に接続される。

40

【 0 5 1 0 】

陰極部材 1 1 0 2 は、陰極部材 4 と同じ構成、材料および形状を有する。そして、陰極部材 1 1 0 2 は、アーク式蒸発源 1 1 0 1 の基板 2 0 側の表面に固定される。

【 0 5 1 1 】

永久磁石 1 1 0 3 は、リング形状を有し、真空容器 1 の外側においてアーク式蒸発源 3 に近接して配置される。そして、永久磁石 1 1 0 3 は、陰極部材 4 に磁場を印加する。

【 0 5 1 2 】

永久磁石 1 1 0 4 は、リング形状を有し、真空容器 1 の外側においてアーク式蒸発源 1

50

1 0 1 に近接して配置される。そして、永久磁石 1 1 0 4 は、陰極部材 1 1 0 2 に磁場を印加する。

【 0 5 1 3 】

電源 1 1 0 5 は、アーク式蒸発源 1 1 0 2 と接地ノード G N D との間に接続される。

【 0 5 1 4 】

このように、プラズマ装置 1 1 0 0 は、2 個のアーク式蒸発源を備える。

【 0 5 1 5 】

プラズマ装置 1 1 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造は、図 7 7 に示す工程図に従って行われる。この場合、工程 S 4 4 において、トリガー電極 8 は、陰極部材 4 , 1 1 0 2 に順次接触され、2 つの陰極部材 4 , 1 1 0 2 の突起部 4 2 からプラズマが発生する。

10

【 0 5 1 6 】

従って、大面積なカーボン薄膜を製造できる。

【 0 5 1 7 】

なお、プラズマ装置 1 1 0 0 は、2 個のアーク式蒸発源 3 , 1 1 0 1 に限らず、複数のアーク式蒸発源を備えていればよい。複数のアーク式蒸発源を備えていれば、アーク式蒸発源が 1 個の場合よりも大きな面積のカーボン薄膜を製造できるからである。

【 0 5 1 8 】

実施の形態 1 2 におけるその他の説明は、実施の形態 1 における説明と同じである。

【 0 5 1 9 】

[実施の形態 1 3]

20

図 8 3 は、実施の形態 1 3 によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図 8 3 を参照して、実施の形態 1 3 によるプラズマ装置 1 2 0 0 は、図 1 に示すプラズマ装置 1 0 に配管 1 2 1 0 と、マスフローコントローラ 1 2 2 0 と、ガス供給手段 1 2 3 0 とを追加したものであり、その他は、プラズマ装置 1 0 と同じである。

【 0 5 2 0 】

配管 1 2 1 0 は、一方端が真空容器 1 の天井を貫通して真空容器 1 内に配置され、他方端がガス供給手段 1 2 3 0 に接続される。

【 0 5 2 1 】

マスフローコントローラ 1 2 2 0 は、ガス供給手段 1 2 3 0 から受けたガスの流量を所望の流量に設定して真空容器 1 内へ導く。

30

【 0 5 2 2 】

ガス供給手段 1 2 3 0 は、例えば、アルゴン (A r) ガスをポンベによって保持する。そして、ガス供給手段 1 2 3 0 は、A r ガスを配管 1 2 1 0 およびマスフローコントローラ 1 2 2 0 を介して真空容器 1 内へ供給する。

【 0 5 2 3 】

図 8 4 は、図 8 3 に示すプラズマ装置 1 2 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す概略図である。

【 0 5 2 4 】

図 8 4 に示す工程図は、図 4 に示す工程図の工程 S 2 と工程 S 3 との間に工程 S 5 1 を追加したものであり、その他は、図 4 に示す工程図と同じである。

40

【 0 5 2 5 】

図 8 4 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 S 1 , S 2 が順次実行される。そして、工程 S 2 の後、ガス供給手段 1 2 3 0 は、マスフローコントローラ 1 2 2 0 および配管 1 2 1 0 を介して所望の流量の A r ガスを真空容器 1 内に供給する。

【 0 5 2 6 】

その後、上述した工程 S 3 ~ S 8 が順次実行され、カーボン薄膜の製造が終了する。

【 0 5 2 7 】

プラズマ装置 1 2 0 0 においては、真空容器 1 内に A r ガスを供給しながらカーボンが製造される。その結果、A r ガスは、電離し易いガスであるため、アーク放電を安定化で

50

きる。また、A r 原子がカーボン薄膜に取り込まれることによって、カーボン薄膜の硬さおよび応力を制御できる。

【0528】

なお、プラズマ装置1200においては、ガス供給手段1230は、A r ガスに限らず、A r ガス以外のガスを真空容器1内に供給してもよい。

【0529】

また、実施の形態13によるプラズマ装置は、上述したプラズマ装置10A, 100, 100A, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 800A, 900, 900A, 900B, 1000, 1000A, 1100, 1200のいずれかに配管1210と、マスフローコントローラ1220と、ガス供給手段1230とを追加したものであってもよい。

10

【0530】

実施の形態13におけるその他の説明は、実施の形態1～実施の形態12における説明と同じである。

【0531】

[実施の形態14]

図85は、実施の形態14によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図85を参照して、実施の形態14によるプラズマ装置1300は、図1に示すプラズマ装置10のトリガー電極8および抵抗9を削除し、レーザー光源1310を追加したものであり、その他は、プラズマ装置10と同じである。

20

【0532】

レーザー光源1310は、例えば、真空容器1の天井に固定される。そして、レーザー光源1310は、陰極部材4の突起部42の先端にレーザー光を照射する。レーザー光としては、例えば、YAGレーザーを用い、1kWの連続出力、スポット径を0.8mmとすればよい。

【0533】

レーザー光源1310は、例えば、真空容器1と分離して大気側に設置されていても良く、この場合には、真空容器1に取り付けた石英製のビューイングポート(図示せず)を通じて突起部42の先端にレーザー光を照射すれば良い。

【0534】

図86は、図85に示すプラズマ装置1300を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

30

【0535】

図86に示す工程図は、図4に示す工程図の工程S4を工程S4Aに代えたものであり、その他は、図4に示す工程図と同じである。

【0536】

図86を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程S1～S3が順次実行される。そして、工程S3の後、レーザー光源1310は、レーザー光を陰極部材4の突起部42の先端に照射する(工程S4A)。

【0537】

その後、上述した工程S5～S8が順次実行され、カーボン薄膜の製造が終了する。

40

【0538】

このように、プラズマ装置1300を用いたカーボン薄膜の製造においては、レーザー光を突起部42の先端に照射して点弧する。その結果、突起部42からアーク放電が発生する。

【0539】

その結果、トリガー電極8を陰極部材4に接触させて点弧する場合に比べ、陰極部材4が破損するのを防止できる。

【0540】

なお、プラズマ装置1300は、陰極部材4に代えて、上述した印刷部材4A～4L,

50

40, 140のいずれかを備えていてもよい。この場合、複数の突起部、または複数の柱状部材を含む陰極部材を用いる場合、レーザー光源1310を回転させることにより、複数の突起部、または複数の柱状部材の先端部にレーザー光を照射すればよい。

【0541】

また、実施の形態14によるプラズマ装置は、上述したプラズマ装置10A, 100, 100A, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 800A, 900, 900A, 900B, 1000, 1000A, 1100, 1200のいずれかのトリガー電極8, 17, 25, 301, 410, 410Aおよび抵抗9を削除し、レーザー光源1310を追加したものであってもよい。

【0542】

実施の形態14におけるその他の説明は、実施の形態1～実施の形態13における説明と同じである。

【0543】

[実施の形態15]

図87は、実施の形態15によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図87を参照して、実施の形態15によるプラズマ装置1400は、アーク式蒸発源3と、電源7と、トリガー電極8と、抵抗9と、真空容器1410と、コイル1420とを備える。

【0544】

真空容器1410は、円弧状に湾曲した筒状部材からなる。そして、真空容器1410は、排気装置(図示せず)によって真空中に排気される。

【0545】

アーク式蒸発源3は、真空容器1410の壁1410Aに固定される。そして、アーク式蒸発源3は、電源7の負極に接続される。陰極部材4は、アーク式蒸発源3の基板20側の表面に固定される。

【0546】

電源7は、アーク式蒸発源3と接地ノードGNDとの間に接続される。

【0547】

トリガー電極8は、一方端側が真空容器1410の壁1410Aを介して真空容器1410内に配置され、陰極部材4の突起部42に対向する。そして、トリガー電極8の他方端は、抵抗9に接続される。

【0548】

抵抗9は、トリガー電極8と接地ノードGNDとの間に接続される。

【0549】

コイル1420は、真空容器1410の壁1410B, 1410Cに沿って真空容器1410の周囲に配置される。そして、コイル1420の両端は、電源(図示せず)に接続される。

【0550】

基板20は、真空容器1410の壁1410Dに固定される。

【0551】

電源(図示せず)によってコイル1420に電流が流れると、コイル1420は、真空容器1410の内部に磁界を発生する。この磁界は、陰極部材4の突起部42から飛び出したカーボンイオンを真空容器1410に沿って円弧状に曲げ、カーボンイオンを基板20に到達させる。陰極部材4から飛び出したパーティクルおよび中性粒子は、真空容器1410の壁1410B, 1410Cに衝突し、基板20に到達しない。

【0552】

従って、プラズマ装置1400を用いれば、図5(a)においてごく僅かに認められたパーティクルさえも除去することが可能となり、極めてパーティクルの少ない、即ち、表面粗さの極めて小さいカーボン薄膜を製造できる。

【0553】

また、プラズマ装置1400を用いれば、不純物の少ない、高品質なカーボン薄膜を製

10

20

30

40

50

造できる。

【 0 5 5 4 】

図 8 8 は、図 8 7 に示すプラズマ装置 1 4 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

【 0 5 5 5 】

図 8 8 に示す工程図は、図 7 7 に示す工程図の工程 S 4 5 B , S 4 6 を削除し、工程 S 4 5 C を工程 S 4 2 と工程 S 4 3 との間に挿入したものであり、その他は、図 7 7 に示す工程図と同じである。

【 0 5 5 6 】

図 8 8 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 S 4 1 , S 4 2 が順次実行される。そして、工程 S 4 2 の後、陰極部材 4 の突起部 4 2 から真空容器 1 4 1 0 内へ飛び出したカーボンイオンを円弧状の真空容器 1 4 1 0 に沿って曲げるための磁場を印加する（工程 S 4 5 C）。その後、上述した工程 S 4 3 , S 4 4 が順次実行される。これによって、パーティクルおよび中性粒子は、基板 2 0 に到達せず、カーボンイオンのみが基板 2 0 へ到達してカーボン薄膜が製造され、一連の動作が終了する。

【 0 5 5 7 】

このように、プラズマ装置 1 4 0 0 を用いることによって、高品質なカーボン薄膜を製造できる。

【 0 5 5 8 】

なお、プラズマ装置 1 4 0 0 においては、真空容器 1 4 1 0 の壁 1 4 1 0 D は、基板 2 0 を保持する「保持部材」を構成する。

【 0 5 5 9 】

また、実施の形態 1 5 によるプラズマ装置 1 4 0 0 は、陰極部材 4 に代えて、上述した陰極部材 4 A ~ 4 L , 4 0 , 1 4 0 のいずれかを備えていてもよく、トリガー電極 8 に代えて、トリガー電極 1 7 , 2 5 , 3 0 1 , 4 1 0 , 4 1 0 A のいずれかを備えていてもよい。

【 0 5 6 0 】

更に、実施の形態 1 5 によるプラズマ装置 1 4 0 0 は、トリガー電極 8 および抵抗 9 に代えて、レーザー光源 1 3 1 0 を備えていてもよい。

【 0 5 6 1 】

実施の形態 1 5 におけるその他の説明は、実施の形態 1 ~ 実施の形態 1 4 における説明と同じである。

【 0 5 6 2 】

図 8 9 は、この発明の実施の形態における陰極部材を示す図である。図 8 9 を参照して、陰極部材 1 5 0 0 は、本体部 1 5 1 0 と、突起部 1 5 2 0 と、ばね 1 5 3 0 とを含む。本体部 1 5 1 0 は、円盤形状を有し、例えば、焼結体グラファイトからなる。突起部 1 5 2 0 は、ガラス状炭素からなり、円柱形状を有する。そして、突起部 1 5 2 0 は、ばね 1 5 3 0 を介して本体部 1 5 1 0 に固定される（図 8 9 の（ a ）参照）。

【 0 5 6 3 】

また、陰極部材 1 6 0 0 は、円柱部材 1 6 1 0 , 1 6 2 0 と、ばね 1 6 3 0 とを含む。円柱部材 1 6 1 0 は、ガラス状炭素からなる。円柱部材 1 6 2 0 は、例えば、焼結体グラファイトからなる。円柱部材 1 6 1 0 は、ばね 1 6 3 0 によって円柱部材 1 6 2 0 に固定される（図 8 9 の（ b ）参照）。

【 0 5 6 4 】

陰極部材 1 5 0 0 , 1 6 0 0 を用いることによって、陰極部材 1 5 0 0 , 1 6 0 0 の先端部の破損を防止できる。トリガー電極 8 等が陰極部材 1 5 0 0 , 1 6 0 0 の先端部に接触しても、トリガー電極 8 等が接触したときの衝撃をばね 1 5 3 0 , 1 6 3 0 が吸収するからである。

【 0 5 6 5 】

そして、陰極部材 1 5 0 0 , 1 6 0 0 の各々は、上述した実施の形態 1 ~ 実施の形態 1

10

20

30

40

50

5 によるプラズマ装置 10, 10A, 100, 100A, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 800A, 900, 900A, 900B, 1000, 1000A, 1100, 1200, 1300, 1400 のいずれかにおいて用いられる。

【0566】

上記においては、各種のプラズマ装置 10, 10A, 100, 100A, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 800A, 900, 900A, 900B, 1000, 1000A, 1100, 1200, 1300, 1400 について説明した。そして、プラズマ装置 10, 10A, 100, 100A, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 800A, 900, 900A, 900B, 1000, 1000A, 1100, 1200, 1300, 1400 は、少なくとも 1 つの突起部を有するガラス状炭素からなる陰極部材を備える。

10

【0567】

従って、この発明の実施の形態によるプラズマ装置は、真空容器と、真空容器に固定されたアーク式蒸発源と、アーク式蒸発源に取り付けられた陰極部材と、陰極部材に向かって配置された基板を保持する保持部材と、放電を開始させる放電開始手段と、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する電源とを備え、陰極部材は、ガラス状炭素からなり、柱状形状を有する少なくとも 1 つの柱状部分を含み、放電開始手段は、プラズマが陰極部材の少なくとも 1 つの柱状部分から放出されるように放電を開始させればよい。

【0568】

そして、少なくとも 1 つの柱状部分の各々は、円柱状、円錐状、円錐台状、角柱状および角錐台状のいずれかからなる形状を有する。この場合、円柱状、円錐状および円錐台状の長さ方向に垂直な断面形状は、円に限られず、楕円も含まれるものとする。

20

【0569】

また、上記においては、各種のプラズマ装置 10, 10A, 100, 100A, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 800A, 900, 900A, 900B, 1000, 1000A, 1100, 1200, 1300, 1400 を用いたカーボン薄膜の製造方法について説明した。そして、プラズマ装置 10, 10A, 100, 100A, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 800A, 900, 900A, 900B, 1000, 1000A, 1100, 1200, 1300, 1400 は、少なくとも 1 つの突起部を有するガラス状炭素からなる陰極部材を備える。

30

【0570】

従って、この発明の実施の形態によるカーボン薄膜の製造方法は、基板に向かって真空容器に固定されたアーク式蒸発源に、ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも 1 つの柱状部分を含む陰極部材を取り付ける第 1 の工程と、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第 2 の工程と、プラズマが陰極部材の少なくとも 1 つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる第 3 の工程とを備えるものであればよい。

【0571】

少なくとも 1 つの突起部を有するガラス状炭素からなる陰極部材を用いてアーク放電を発生させれば、少なくとも 1 つの突起部における熱歪が少なくなり、陰極部材が割れるのを抑制できるからである。

40

【0572】

更に、この発明の実施の形態においては、プラズマ装置 10, 10A, 100, 100A, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 800A, 900, 900A, 900B, 1000, 1000A, 1100, 1200, 1300, 1400 のいずれかを用いて基材の表面にカーボン薄膜をコーティングしてもよい。

【0573】

この場合、基材は、金属、セラミックス、樹脂、半導体およびこれらから選択された材質を組み合わせた物のいずれかからなる。そして、カーボン薄膜のコーティング方法は、金属、セラミックス、樹脂、半導体およびこれらから選択された材質を組み合わせた物のいずれかからなる基材の表面にカーボン薄膜をコーティングするコーティング方法であっ

50

て、真空容器に固定されたアーク式蒸発源に向かって基材を保持する第1の工程と、ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含む陰極部材をアーク式蒸発源に取り付ける第2の工程と、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第3の工程と、プラズマが陰極部材の少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる第4の工程とを備えていればよい。

【0574】

そして、金属は、例えば、タングステンカーバイド、鋼、アルミニウムおよびコバルトクロム合金からなる。また、セラミックスは、例えば、酸化アルミニウム、窒化ケイ素、立方晶窒化ホウ素および酸化ケイ素からなる。更に、樹脂は、例えば、ポリカーボネート、ポリエチレンテレフタレートおよびポリ塩化ビニルからなる。更に、半導体は、例えば、ケイ素、窒化ガリウムおよび酸化亜鉛からなる。

10

【0575】

上述した実施の形態8においては、ビーム状のプラズマPLZ1を拡散することによって基板20の全面にカーボン薄膜を形成することについて説明した。また、実施の形態9においては、ビーム状のプラズマPLZ1をスキャンすることによって基板20の全面にカーボン薄膜を形成することについて説明した。

【0576】

また、実施の形態8においては、2つの永久磁石711, 712を真空容器1の底面から天井へ向かう方向に沿って配置すると説明したが、2つの永久磁石711, 712を任意の方向に沿って略平行に配置することによってビーム状のプラズマPLZ1を任意の方向に拡散させることができる。この場合、基板20は、プラズマPLZ1を拡散する方向に沿って配置された軸の回りに回転される。

20

【0577】

更に、実施の形態2においては、永久磁石802を真空容器1の底面から天井へ向かう方向に沿って往復運動させると説明したが、永久磁石802を任意の方向に沿って往復運動させることによってビーム状のプラズマPLZ1を任意の方向にスキャンさせることができる。この場合、基板20は、プラズマPLZ1をスキャンする方向に沿って配置された軸の回りに回転される。

【0578】

この発明の実施の形態においては、2つの永久磁石711, 712または2つの電磁石は、「磁界発生機構」を構成し、支持部材801および永久磁石802は、「磁界発生機構」を構成し、コイル803および電源804は、「磁界発生機構」を構成し、永久磁石901は、「磁界発生機構」を構成する。

30

【0579】

更に、コイル902（またはコイル904）および電源903は、「磁界発生機構」を構成し、コイル905（またはコイル904）および電源906は、「磁界発生機構」を構成し、永久磁石1001は、「磁界発生機構」を構成し、永久磁石1003, 1004は、「磁界発生機構」を構成し、コイル1420および電源（図示せず）は、「磁界発生機構」を構成する。

【0580】

更に、この発明の実施の形態においては、保持部材710および回転装置は、「回転機構」を構成する。

40

【0581】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【産業上の利用可能性】

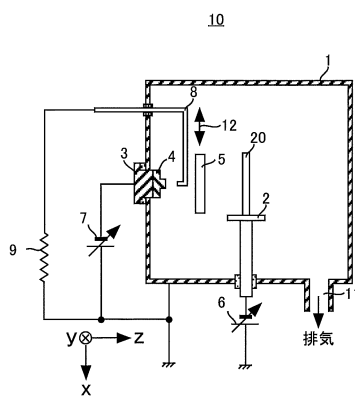
【0582】

この発明は、プラズマ装置、それを用いたカーボン薄膜の製造方法およびコーティング

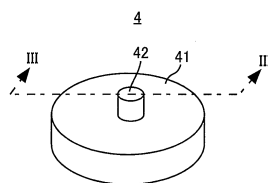
50

方法に適用される。

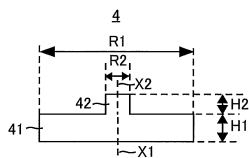
【図 1】



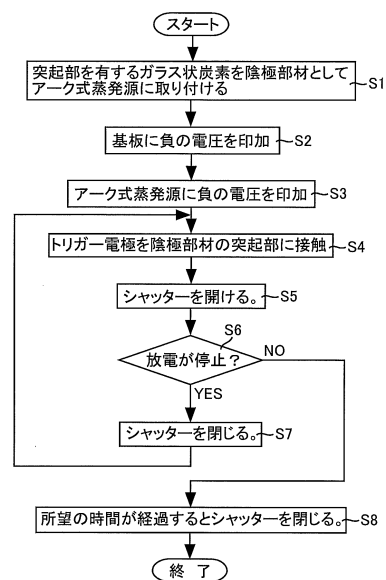
【図 2】



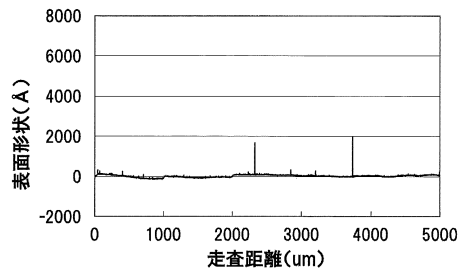
【図 3】



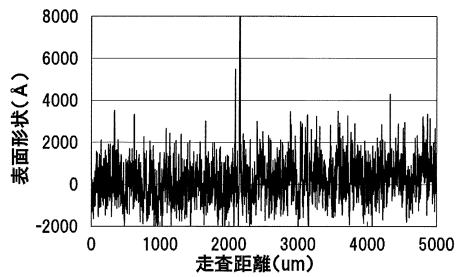
【図 4】



【図 5】

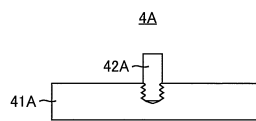


(a)

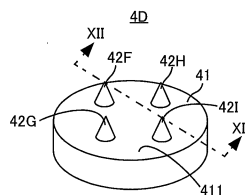


(b)

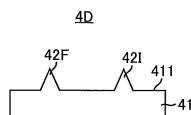
【図 6】



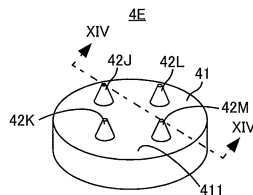
【図 11】



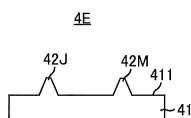
【図 12】



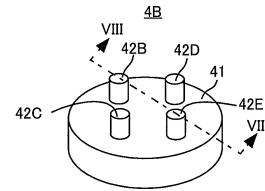
【図 13】



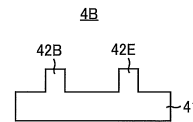
【図 14】



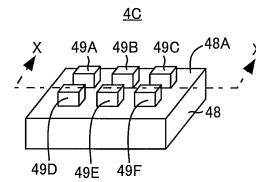
【図 7】



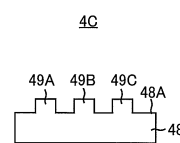
【図 8】



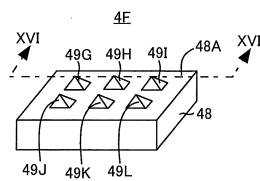
【図 9】



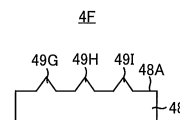
【図 10】



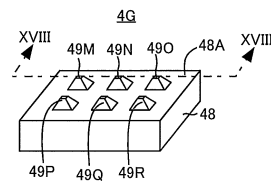
【図 15】



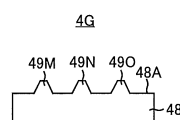
【図 16】



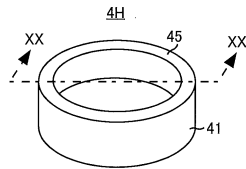
【図 17】



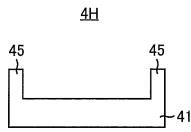
【図 18】



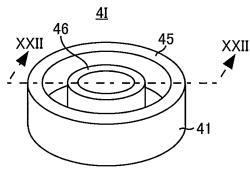
【 図 1 9 】



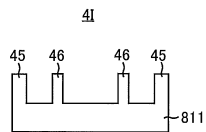
【 図 2 0 】



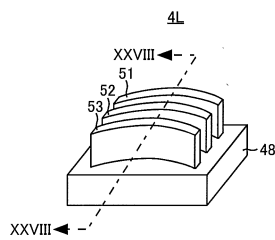
【 図 2 1 】



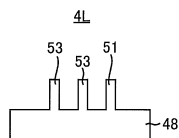
【 図 2 2 】



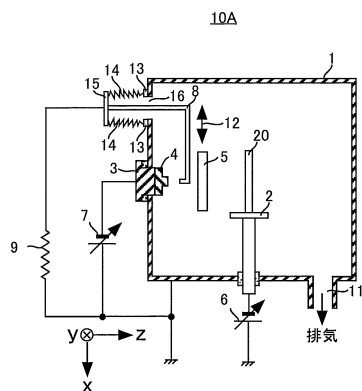
【圖 27】



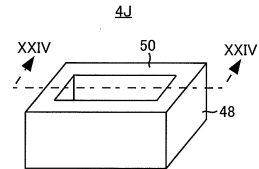
【 図 2 8 】



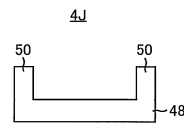
【 図 2 9 】



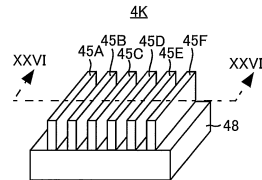
【 図 2 3 】



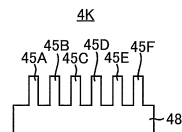
【 図 2 4 】



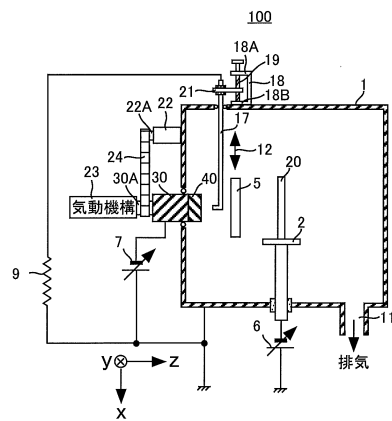
【 図 2 5 】



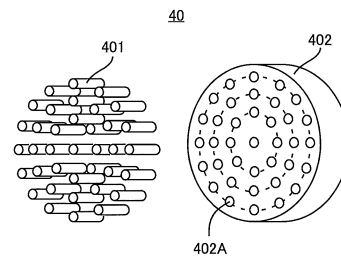
【 図 2 6 】



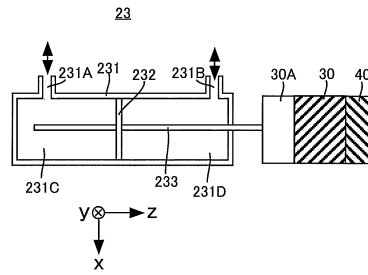
【 図 3 0 】



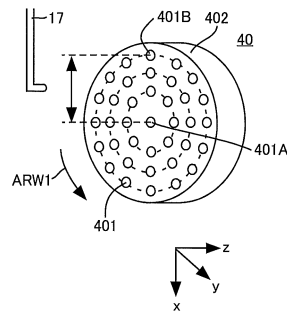
【 図 3 1 】



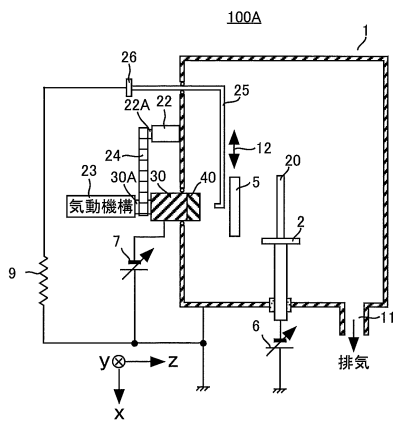
【図 3 2】



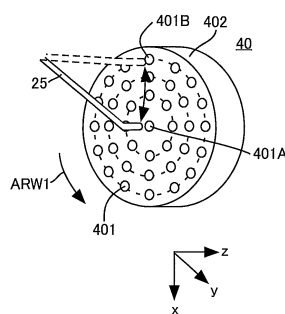
【図 3 3】



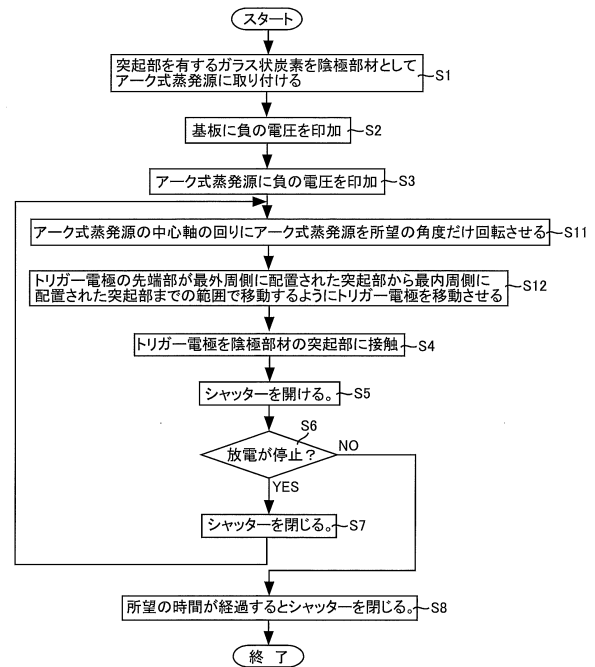
【図 3 5】



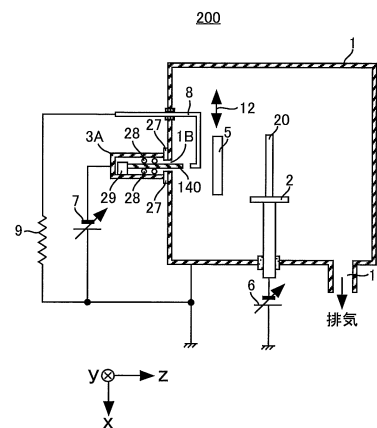
【図 3 6】



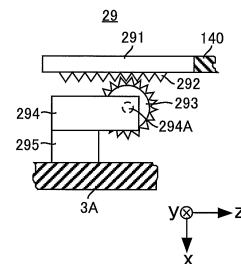
【図 3 4】



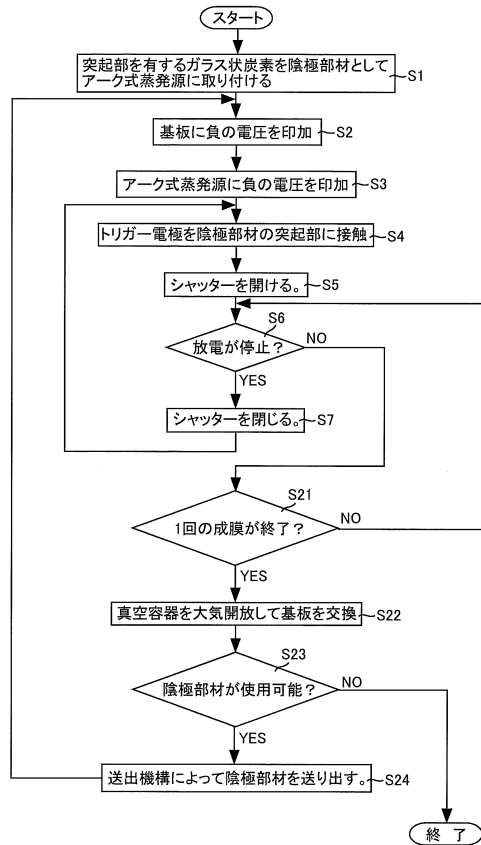
【図 3 7】



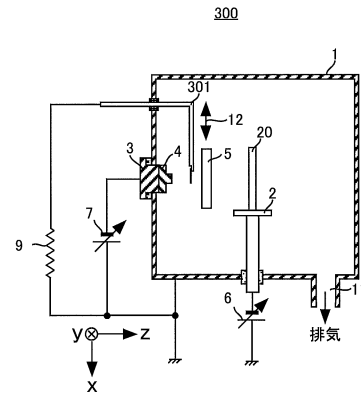
【図 3 8】



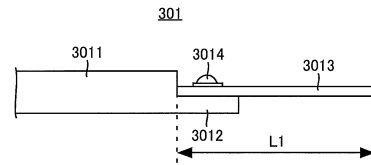
【図 39】



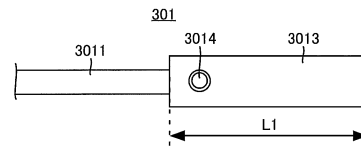
【図 40】



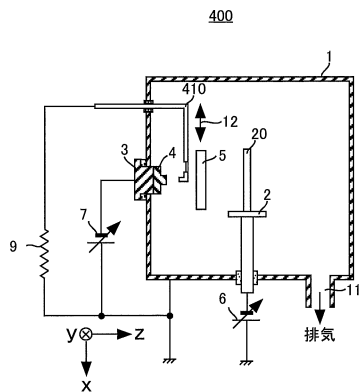
【図 41】



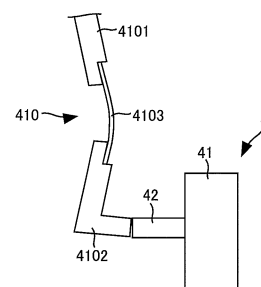
【図 42】



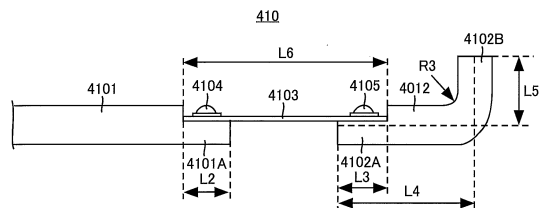
【図 43】



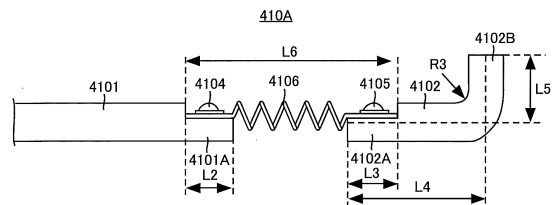
【図 46】



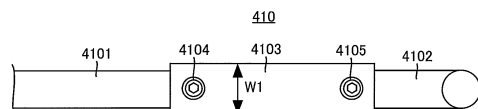
【図 44】



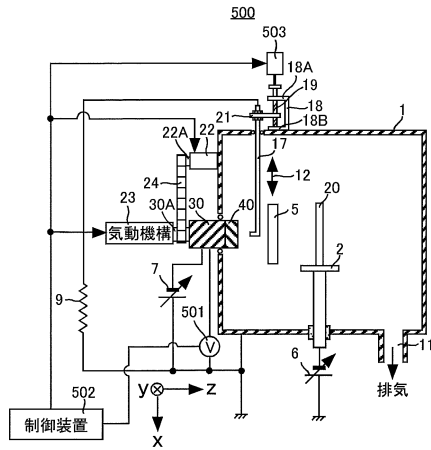
【図 47】



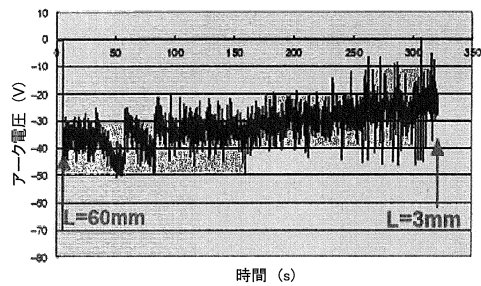
【図 45】



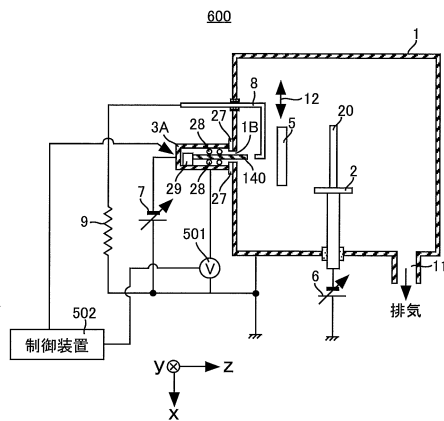
【図48】



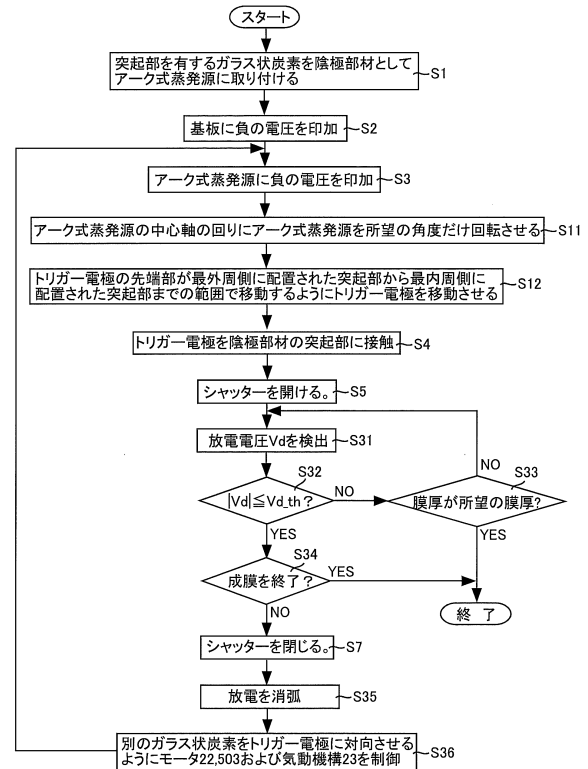
【図49】



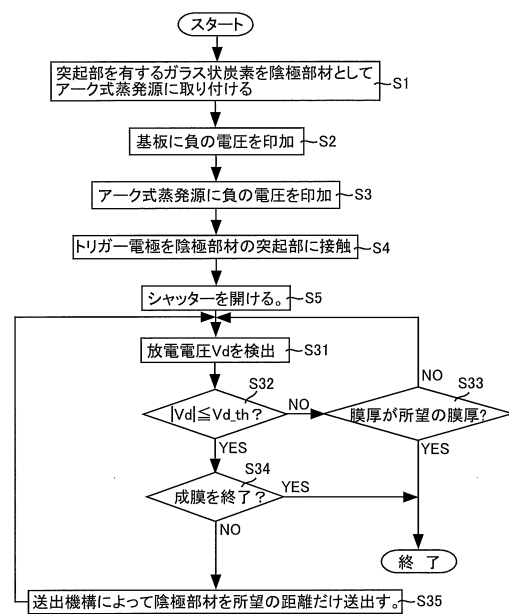
【図51】



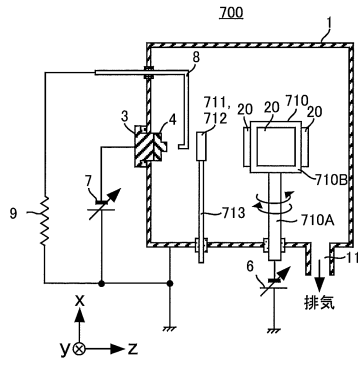
【図50】



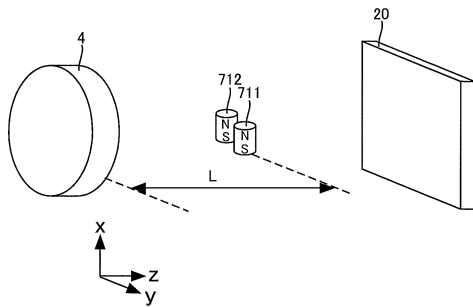
【図52】



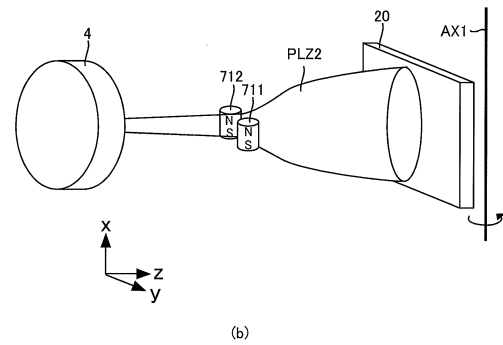
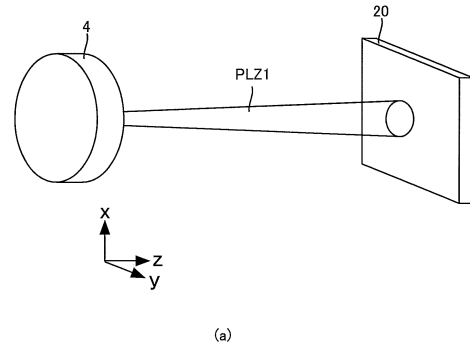
【図53】



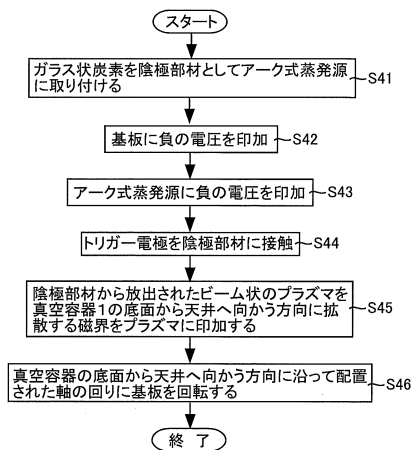
【図54】



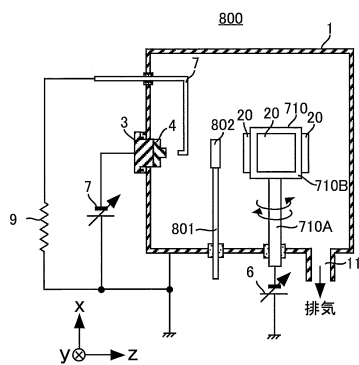
【図55】



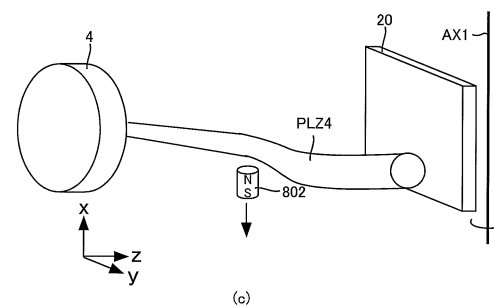
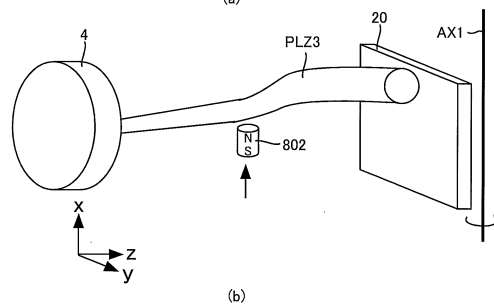
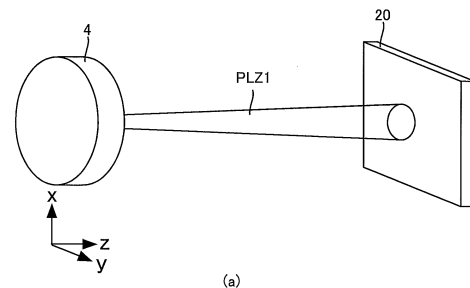
【図56】



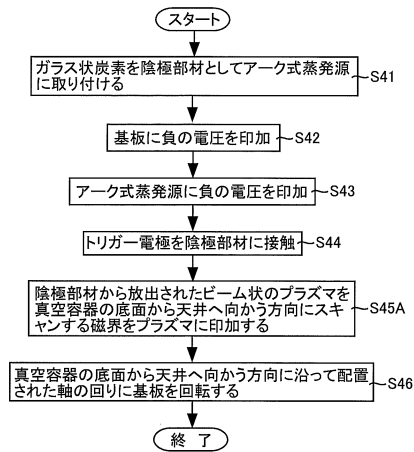
【図57】



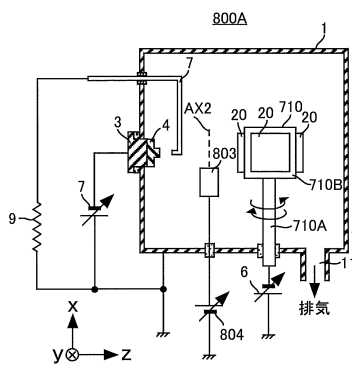
【図58】



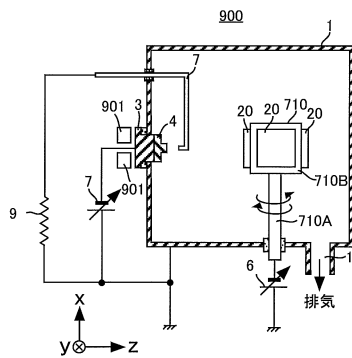
【図 59】



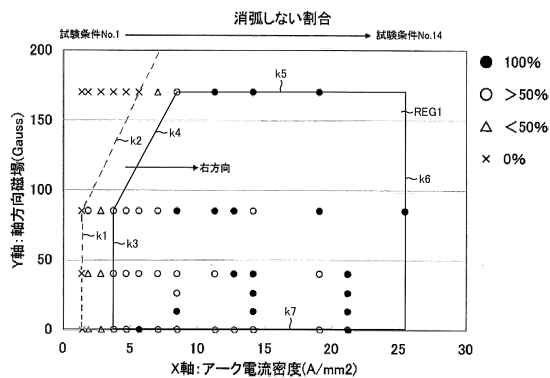
【図 60】



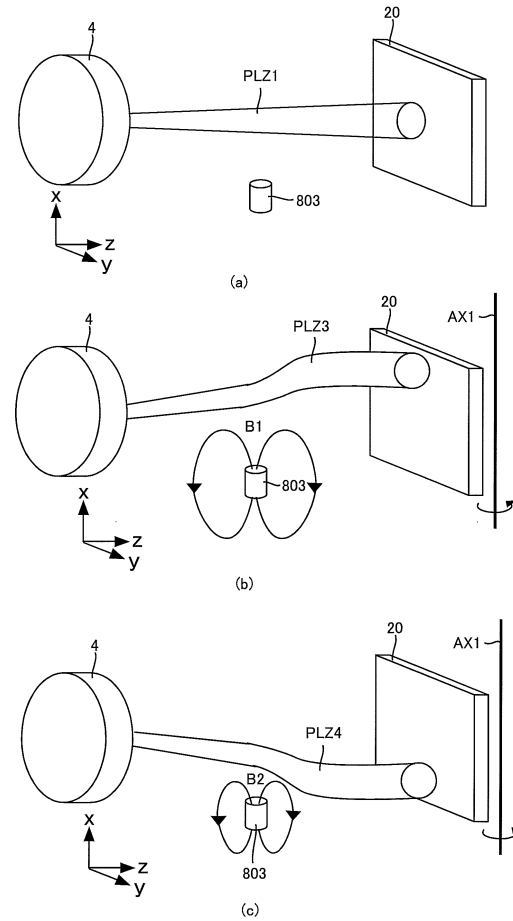
【図 62】



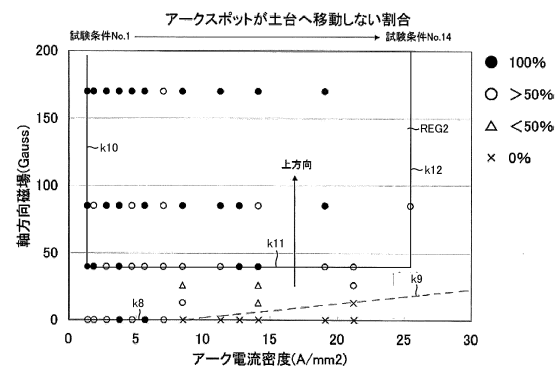
【図 63】



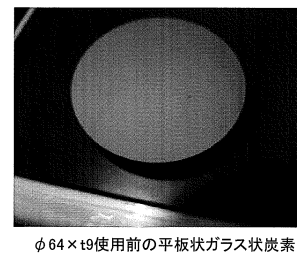
【図 61】



【図 64】

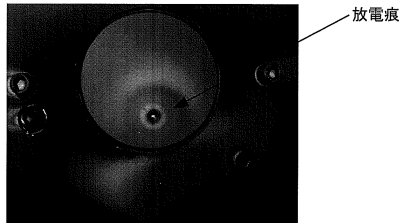


【図 65】



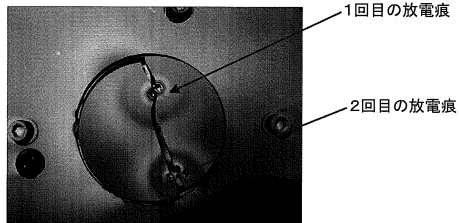
φ64 × t9使用前の平板状ガラス状炭素

【図 6 6】



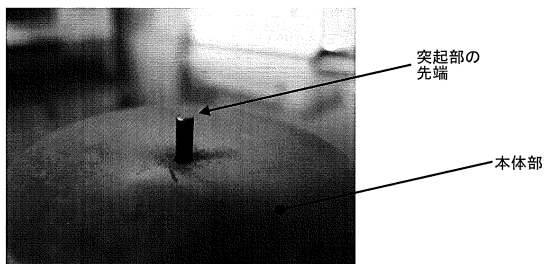
1回目後のφ64×t9平板状ガラス状炭素

【図 6 7】

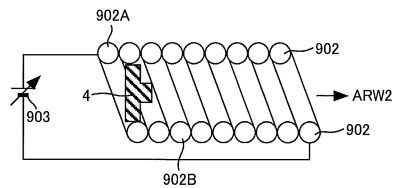


2回目後のφ64×t9平板状ガラス状炭素

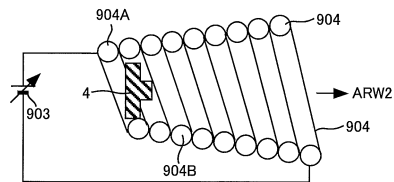
【図 6 8】



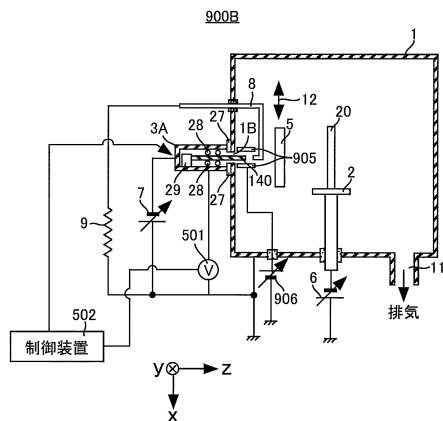
【図 7 3】



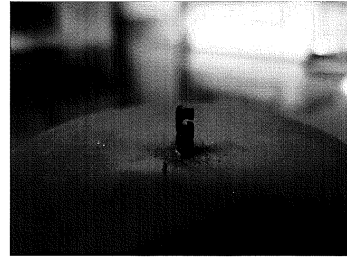
【図 7 4】



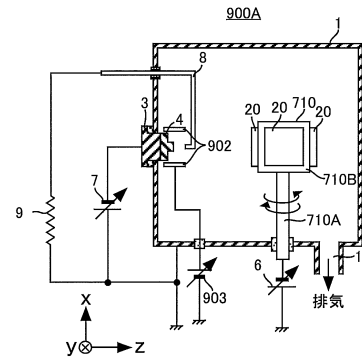
【図 7 5】



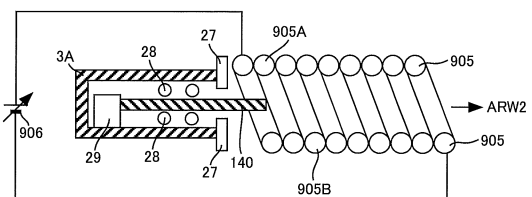
【図 6 9】



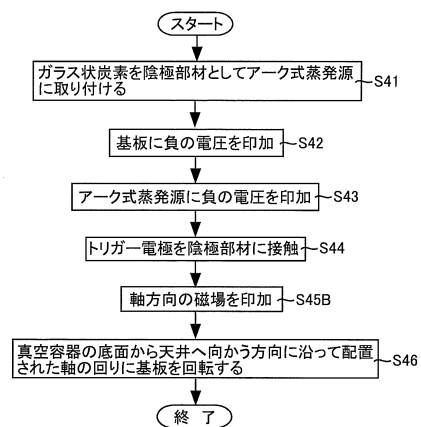
【図 7 2】



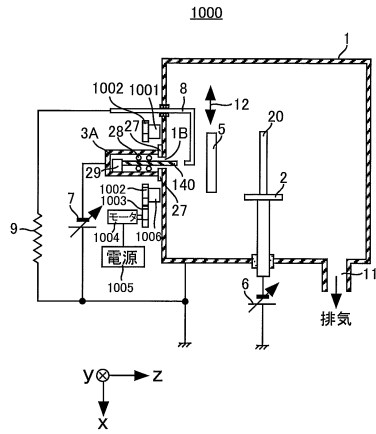
【図 7 6】



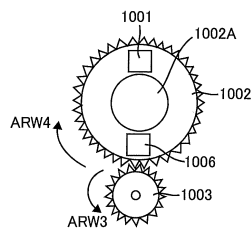
【図 7 7】



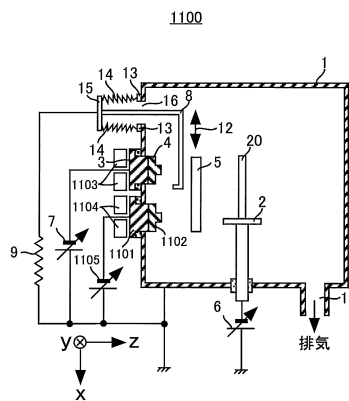
【圖 78】



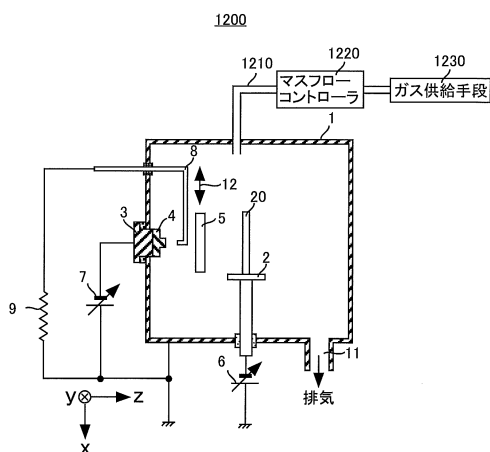
【 図 7 9 】



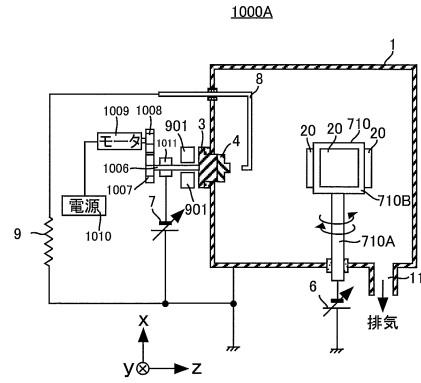
【 図 8 2 】



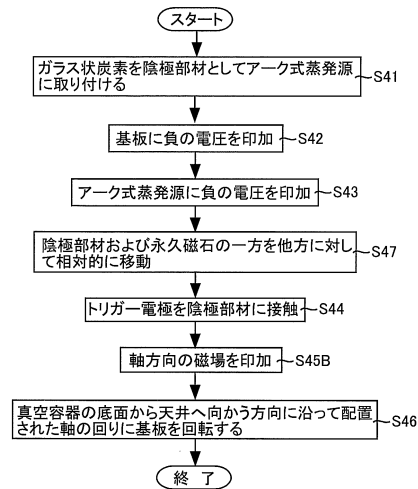
【 図 8 3 】



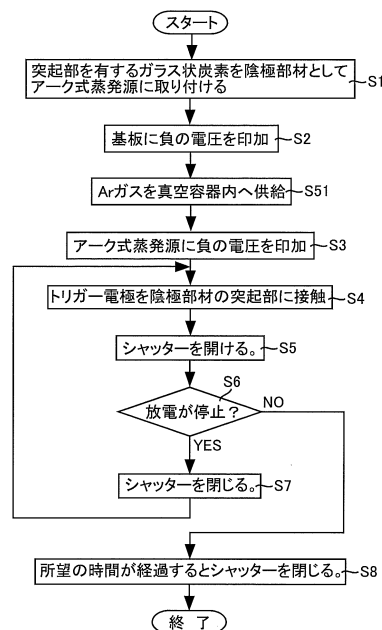
【 図 8 0 】



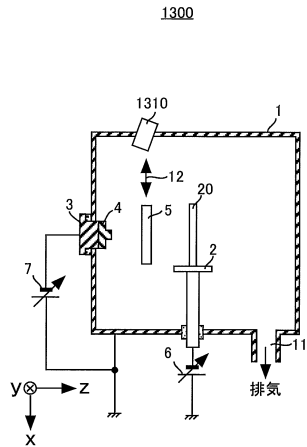
【 図 8 1 】



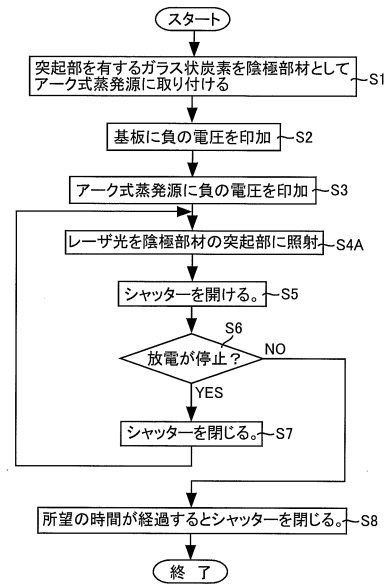
【 図 8 4 】



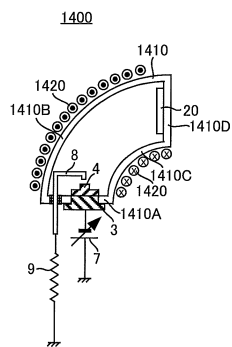
【図 85】



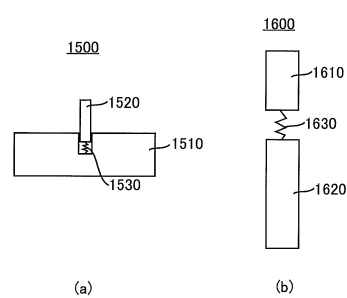
【図 86】



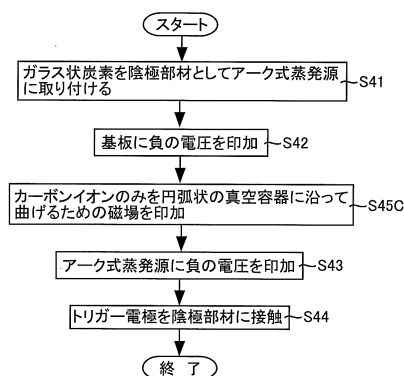
【図 87】



【図 89】



【図 88】



【図 70】



【図 7 1】



フロントページの続き

- (72)発明者 高橋 正人
京都府京都市右京区梅津高畝町4 7 番地 日新電機株式会社内
- (72)発明者 孫 王奇
京都府京都市右京区梅津高畝町4 7 番地 日新電機株式会社内
- (72)発明者 三上 隆司
京都府京都市右京区梅津高畝町4 7 番地 日新電機株式会社内
- (72)発明者 宮 崎 俊博
京都府京都市右京区梅津高畝町4 7 番地 日新電機株式会社内

審査官 安齋 美佐子

- (56)参考文献 特開2009-283107(JP, A)
特開平07-188916(JP, A)
特開2007-126754(JP, A)
特開2009-215622(JP, A)
特開2008-214685(JP, A)
特開2003-183816(JP, A)
特開2006-111930(JP, A)
特開2003-193219(JP, A)
特開2003-003251(JP, A)
特開2000-212729(JP, A)
特開2007-305336(JP, A)
特開平06-041727(JP, A)
特表2001-521065(JP, A)
国際公開第2013/015280(WO, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C23C 14/00 - 14/58