

(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 1

C23C 14/32

(2006.01)

C 23 C 14/32

14/32

A

C23C 14/24

(2006.01)

C 23 C 14/24

14/24

E

C23C 14/06

(2006.01)

C 23 C 14/06

14/06

F

C 23 C 14/32

14/32

C

請求項の数 17 (全 70 頁)

(21) 出願番号 特願2014-558578 (P2014-558578)  
 (86) (22) 出願日 平成26年1月21日 (2014.1.21)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2014/051141  
 (87) 国際公開番号 WO2014/115733  
 (87) 国際公開日 平成26年7月31日 (2014.7.31)  
 審査請求日 平成27年6月5日 (2015.6.5)  
 (31) 優先権主張番号 特願2013-9363 (P2013-9363)  
 (32) 優先日 平成25年1月22日 (2013.1.22)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)  
 (31) 優先権主張番号 特願2013-10820 (P2013-10820)  
 (32) 優先日 平成25年1月24日 (2013.1.24)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000003942  
 日新電機株式会社  
 京都府京都市右京区梅津高畠町47番地  
 (74) 代理人 100104444  
 弁理士 上羽 秀敏  
 (74) 代理人 100112715  
 弁理士 松山 隆夫  
 (74) 代理人 100125704  
 弁理士 坂根 剛  
 (74) 代理人 100120662  
 弁理士 川上 桂子  
 (72) 発明者 加藤 健治  
 京都府京都市右京区梅津高畠町47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。 $0 < y \leq 8.5$  のとき、 $x > 1.413 \dots$  (式1) $y > 8.5$  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】

10

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。

20

【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。

30

【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】

40

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 に記載のプラズマ裝  
置。

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<sup>2</sup> ) 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。

$0 < y < 8.5$  のとき、  $x > 1.413 \dots$  (式 1)

$y > 8.5$  のとき、  $y < 20.008x + 56.723 \dots$  (式 2)

**【請求項 16】**

前記第 3 の工程は、前記放電のアーチ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、前記アーチ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。

**【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つて、

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<sup>2</sup> ) 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。

$0 < y < 8.5$  のとき、  $x > 1.413 \dots$  (式 1)

$y > 8.5$  のとき、  $y < 20.008x + 56.723 \dots$  (式 2)

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【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、

10

20

30

40

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。10

【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。20

【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。30

【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。40

【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基材上にコーティングできる。

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I—I-I—I間に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V—I—I-V—I—I間に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X—I—I-X—I—I間ににおける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X—I—I-X—I—I間ににおける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X—I—I-X—I—I間ににおける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X—I—I-X—I—I間ににおける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X—I—I-X—I—I間に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X—I—I-X—I—I間に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X—I—I-X—I—I間に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X—I—I-X—I—I間ににおける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-XVII - XVIII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】アーカ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67】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68】放電前の陰極部材を示す図である。

【図69】直径3mm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70】直径5.2mm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71】直径2mm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72】実施の形態10による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図73】図72に示す陰極部材およびコイルの拡大図である。10

【図74】実施の形態10における別のコイルを示す図である。

【図75】実施の形態10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76】図75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77】図62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78】実施の形態11によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図79】図78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80】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。

【図81】図78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82】実施の形態12によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図83】実施の形態13によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

【図84】図83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85】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86】図85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87】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88】図87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89】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10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11を有し、排気口11から排気装置(図示せず)によって真空に引かれる。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。

**【0024】**

陰極部材4は、アーク式蒸発源3の基板20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いてもよい。また、陰極部材4は、基板20側へ突出した突起部を有する。

**【0025】**

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。

**【0026】**

シャッター5は、陰極部材4と基板20との間に陰極部材4に対向して配置される。

**【0027】**

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。

**【0028】**

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。

**【0029】**

保持部材2は、基板20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。

**【0030】**

シャッター5は、開閉機構(図示せず)によって矢印12の方向に移動する。

**【0031】**

電源6は、負の電圧を保持部材2を介して基板20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。

**【0032】**

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。

**【0033】**

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間ににおける陰極部材4の断面図である。

**【0034】**

図2および図3を参照して、陰極部材4は、本体部41と、突起部42とを含む。本体部41は、円盤形状を有する。突起部42は、円柱形状を有する。そして、突起部42は、突起部42の中心軸X2が本体部41の中心軸X1に一致するように本体部41上に配置される。なお、本体部41および突起部42は、一体的に作製される。

**【0035】**

本体部41は、例えば、64mmの直径R1を有し、12mmの高さH1を有する。突起部42は、数cm以下の直径R2を有し、数mm以上の高さH2を有する。そして、突起部42は、例えば、3mm, 6mmの直径R2を有する。

**【0036】**

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、エッティング（ウェットエッティングおよびドライエッティングの両方を含む）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 m m である場合、 $\pi \times 3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} = 28.3 \text{ mm}^2$  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、 $\pi \times 32 \text{ mm} \times 32 \text{ mm} = 3215.4 \text{ mm}^2$  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 / 1 1 3 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 nm ~ 数 μm 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 V ~ -300 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 V ~ -50 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、アーカスポットが陰極部材 4 の表面に現れる。このアーカスポットは、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 ）。アーカスポットは、強く発光しているので、プラズマ装置 1 0 の操作者は、アーカスポットが光っ

50

ていれば、放電が停止していないと判定し、アーカスポットが光っていないければ、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。

10

#### 【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。

20

#### 【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 $9.9 \times 10^{-3}$ 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。

30

#### 【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。

40

#### 【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

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。

#### 【0057】

図5(a),(b)のいずれにおいても、基板表面は、2000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無い。

#### 【0058】

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。

#### 【0059】

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。

#### 【0060】

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10は、陰極部材4に代えて図6に示す陰極部材4Aを備えていてよい。

#### 【0061】

図6を参照して、陰極部材4Aは、本体部41Aと、突起部42Aとを備える。本体部41Aは、図2および図3に示す本体部41にM5メネジを形成したものである。そして、本体部41Aは、本体部41と同じサイズを有し、本体部41と同じ材料からなる。

#### 【0062】

突起部42Aは、本体部41AのM5メネジに噛み合うように根元側にM5オネジを形成した構造からなる。そして、突起部42Aは、突起部42と同じ直径および形状を有し、本体部41Aから突出した部分の高さは、例えば、9mmである。また、突起部42Aは、本体部41Aと同じ材料からなる。

#### 【0063】

陰極部材4Aを用いることによって、突起部42Aのみを交換することが可能となり、本体部41Aを繰り返し使用することができる。

#### 【0064】

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VII - VII間ににおける陰極部材4Bの断面図である。

#### 【0065】

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7および図8に示す陰極部材4Bを備えていてよい。

#### 【0066】

図7および図8を参照して、陰極部材4Bは、図2に示す陰極部材4の突起部42を突起部42B, 42C, 42D, 42Eに代えたものであり、その他は、陰極部材4と同じである。

#### 【0067】

突起部42B, 42C, 42D, 42E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42B, 42C, 42D, 42Eの各々は、突起部42と同じ直径および形状を有する。また、突起部42B, 42C, 42D, 42E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ティ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、64mmである。また、本体部48は、本体部41と同じ高さH1(=10mm)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, 49F

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、相互に同じ一边の長さを有していてもよく、相互に異なる一边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。10

#### 【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5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5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。20

#### 【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。30

#### 【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。40

#### 【0087】

陰極部材4Dは、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッティ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】

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。30

#### 【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】

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、9 mm 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 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 X V I I I - X V I I I 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 49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49R の各々は、例えば、9 mm の高さを有する。更に、突起部 49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49R 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 49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49R の相互の間隔は、任意である。更に、本体部 48 および突起部 49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49R は、一体的に作製される。そして、陰極部材 4G 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 49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49R は、基板 20 側へ突出している。

#### 【0110】

陰極部材 4G は、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッティングすることによって作製される。10

#### 【0111】

なお、陰極部材 4G においては、突起部 49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49R 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。

#### 【0112】

また、陰極部材 4G は、6 個の突起部 49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49R 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20、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。

#### 【0113】

更に、突起部 49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49R の各々は、先端部および本体部 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。

#### 【0114】

更に、突起部 49M, 49N, 49O, 49P, 49Q, 49R の各々は、先端部および本体部 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、表面 48A における多角形の最も長い対角線の長さは、数 cm 以下である。30

#### 【0115】

図 19 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 20 は、図 19 に示す線 XX - XX 間ににおける陰極部材 4H の断面図である。

#### 【0116】

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 19 および図 20 に示す陰極部材 4H を備えていてもよい。

#### 【0117】

図 19 および図 20 を参照して、陰極部材 4H は、図 2 に示す陰極部材 4 の突起部 42 を突起部 45 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

#### 【0118】

突起部 45 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 45 は、本体部 41 の直径 R1 に等しい外径と、例えば、1 mm ~ 10 mm の幅とを有する。また、突起部 45 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、本体部 41 および突起部 45 は、一体的に作製される。そして、陰極部材 4H 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 45 は、基板 20 側へ突出している。

#### 【0119】

陰極部材 4H は、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッティングすることによって作製され50

る。

**【0120】**

なお、突起部45は、本体部41の直径R1と同じ外径に限らず、本体部41の直径R1よりも小さい外径を有していてもよい。

**【0121】**

図21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22は、図21に示す線XXII-XXII間ににおける陰極部材4Iの断面図である。

**【0122】**

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21および図22に示す陰極部材4Iを備えていてもよい。

10

**【0123】**

図21および図22を参照して、陰極部材4Iは、図19および図20に示す陰極部材4Hに突起部46を追加したものであり、その他は、陰極部材4Hと同じである。

**【0124】**

突起部46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46は、突起部45の内周側に配置され、例えば、1mm~10mmの幅を有する。また、突起部46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45と突起部46との間隔は、任意である。更に、本体部41および突起部45, 46は、一体的に作製される。そして、陰極部材4I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45, 46は、基板20側へ突出している。

20

**【0125】**

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

**【0126】**

なお、突起部45は、突起部46と同じ幅を有していてもよく、突起部46と異なる幅を有していてもよい。

**【0127】**

図23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24は、図23に示す線XXIV-XXIV間ににおける陰極部材4Jの断面図である。

30

**【0128】**

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23および図24に示す陰極部材4Jを備えていてもよい。

**【0129】**

図23および図24を参照して、陰極部材4Jは、図15および図16に示す陰極部材4Fの突起部49G, 49H, 49I, 49J, 49K, 49Lを突起部50にえたものであり、その他は、陰極部材4Fと同じである。

**【0130】**

突起部50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50は、本体部48の周縁に沿って本体部48上に配置される。また、突起部50の幅は、例えば、数mm~1cmであり、突起部50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50は、本体部48と一体的に作製される。

40

**【0131】**

陰極部材4J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ティングすることによって作製される。そして、陰極部材4J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50は、基板20側へ突出している。

**【0132】**

図25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26は、

50

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

**【0133】**

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4Kを備えていてもよい。

**【0134】**

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

**【0135】**

突起部45A, 45B, 45C, 45D, 45E, 45F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45A, 45B, 45C, 45D, 45E, 45F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~1cmの高さを有する。更に、突起部45A, 45B, 45C, 45D, 45E, 45F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45A, 45B, 45C, 45D, 45E, 45Fは、一体的に作製される。

10

**【0136】**

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

20

**【0137】**

なお、陰極部材4K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。

**【0138】**

また、陰極部材4Kにおいては、6個の突起部45A, 45B, 45C, 45D, 45E, 45F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もよい。

30

**【0139】**

更に、陰極部材4K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。

**【0140】**

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4Lの断面図である。

**【0141】**

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4Lを備えていてもよい。

**【0142】**

図27および図28を参照して、陰極部材4Lは、図23および図24に示す陰極部材4J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4Jと同じである。

40

**【0143】**

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~1cm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。

**【0144】**

陰極部材4L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

盤加工またはエッティ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つてもよい。

#### 【 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 であつてもよい。

#### 【 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 10 , 10 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。10

#### 【 0 1 6 0 】

##### [ 実施の形態 2 ]

図 30 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 30 を参照して、実施の形態 2 によるプラズマ装置 100 は、図 1 に示すプラズマ装置 10 のアーク式蒸発源 3 をアーク式蒸発源 30 に代え、陰極部材 4 を陰極部材 40 に代え、トリガー電極 8 をトリガー電極 17 に代え、保持部材 18 、ネジ部材 19 、支持部材 21 、モータ 22 、気動 (圧縮ガス作動) 機構 23 およびベルト 24 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

#### 【 0 1 6 1 】

アーク式蒸発源 30 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 30 との間には、O リングが存在する。これによって、真空容器 1 内は、真空に保持される。また、アーク式蒸発源 30 は、気動機構 23 側に歯車 30 A を有する。更に、アーク式蒸発源 30 は、電源 7 に接続される。

#### 【 0 1 6 2 】

陰極部材 40 は、アーク式蒸発源 30 の真空容器 1 内の表面に取り付けられる。30

#### 【 0 1 6 3 】

トリガー電極 17 は、一方端が陰極部材 40 に対向し、他方端が支持部材 21 に固定される。そして、トリガー電極 17 は、抵抗 9 を介して接地電位 GND に接続される。

#### 【 0 1 6 4 】

保持部材 18 は、真空容器 1 に固定される。ネジ部材 19 は、保持部材 18 の上部部材 18 A に設けられた貫通孔と底部部材 18 B に設けられた貫通孔を通って配置される。そして、ネジ部材 19 は、螺旋状のネジ溝が形成されており、プラズマ装置 100 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 21 は、トリガー電極 17 の他方端と連結されるとともに、ネジ部材 19 のネジ溝と噛み合う。支持部材 21 は、ネジ部材 19 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 19 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 17 は、ネジ部材 19 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。40

#### 【 0 1 6 6 】

モータ 22 は、真空容器 1 の側壁に固定される。気動機構 23 は、アーク式蒸発源 30 の歯車 30 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 23 は、後述する方法によって、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。ベルト 24 は、モータ 22 の歯車 22 A とアーク式蒸発源 30 の歯車 30 A とに装着される。50

## 【0167】

歯車22Aは、モータ22の回転によって回転し、ベルト24は、歯車22Aの回転を歯車30Aに伝達する。その結果、アーク式蒸発源30および陰極部材40は、x-y平面内において、それぞれ、アーク式蒸発源30の中心軸および陰極部材40の中心軸の回りに回転する。

## 【0168】

図31は、図30に示す陰極部材40の構成を示す概略図である。図31を参照して、陰極部材40は、ガラス状炭素401と、絶縁枠402とを含む。ガラス状炭素401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401は、例えば、3mmまたは6mmの直径を有し、10mmの長さを有する。

10

## 【0169】

絶縁枠402は、円盤形状を有し、高融点の絶縁物（例えば、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>および六方晶-BN）からなる。絶縁枠402の直径は、例えば、64mmであり、ガラス状炭素401の長さと同じ厚みを有する。そして、絶縁枠402は、ガラス状炭素401の本数と同じ個数の貫通孔402Aを有する。貫通孔402Aは、ガラス状炭素401の直径と略同じ直径を有する。そして、複数の貫通孔402Aは、同心円状に配置される。

## 【0170】

ガラス状炭素401は、絶縁枠402の貫通孔402Aに挿入される。複数の貫通孔402Aは、同心円状に配置されるので、複数のガラス状炭素401は、複数の貫通孔402Aに挿入されると、同心円状に配置されることになる。

20

## 【0171】

絶縁枠402は、ガラス状炭素401が貫通孔402Aに挿入された状態でアーク式蒸発源30に取り付けられる。その結果、ガラス状炭素401の一方端は、アーク式蒸発源30に接し、ガラス状炭素401は、アーク式蒸発源30に負の電圧が印加され、放電開始と共に昇温される。

## 【0172】

ガラス状炭素401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42等）と見なすことができる。従って、陰極部材40は、複数の突起部（ガラス状炭素401）と、複数の突起部（ガラス状炭素401）間に配置された絶縁枠402とからなる。

30

## 【0173】

図32は、図30に示す気動機構23の構成を示す概略図である。図32を参照して、気動機構23は、シリンダ231と、弁232と、軸233とを含む。

## 【0174】

シリンダ231は、中空の円柱形状からなり、側壁に2つの入出力口231A, 231Bを有する。シリンダ231においては、入出力口231A, 231Bの各々を介して、ガス（例えば、0.5MPa程度に加圧された圧縮空気）がシリンダ231内に導入され、またはシリンダ231内のガスがシリンダ231外へ排出される。

## 【0175】

40

弁232は、円盤形状を有する。弁232は、軸233に連結され、シリンダ231の内壁に接して配置される。そして、弁232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232がシリンダ231の内壁に接して配置される結果、シリンダ231は、弁232によって2つの空間領域231C, 231Dに仕切られる。

## 【0176】

軸233は、弁232を貫通するように弁232に固定される。そして、軸233は、その一方端がシリンダ231を貫通して歯車30Aに連結される。

## 【0177】

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231

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、アーケ式蒸発源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、アーケ式蒸発源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、アーケ式蒸発源30および陰極部材40をz軸に沿って移動させる。

#### 【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、回転することができない。

#### 【0181】

また、アーケ式蒸発源30を電源7に接続する配線は、アーケ式蒸発源30に固定されるのではなく、アーケ式蒸発源30に接しているので、歯車30Aの回転に伴ってアーケ式蒸発源30が回転しても、アーケ式蒸発源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。

#### 【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。

#### 【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によってアーケ式蒸発源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によってアーケ式蒸発源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。

#### 【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、アーケ式蒸発源30の中心軸の回りにアーケ式蒸発源30を所望の角度だけ回転させ

10

20

30

40

50

る（工程 S 1 1）。

**【0190】**

その後、トリガー電極 17 の先端部が最外周側に配置されたガラス状炭素 401（突起部）から最内周側に配置されたガラス状炭素 401（突起部）までの範囲で移動するよう 10 にトリガー電極 17 を移動させる（工程 S 1 2）。これによって、トリガー電極 17 が 1 つのガラス状炭素 401（突起部）に対向する。

**【0191】**

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 17 は、気動機構 23 によって陰極部材 40 の 1 つのガラス状炭素 401 に接触され、その後、離反される。そし 10 て、トリガー電極 17 が 1 つのガラス状炭素 401 から離反する際に放電が開始される。

**【0192】**

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 17 が対向していたガラス状炭素 401（突起部）と異なるガラス状炭素 401（突起部）にトリガー電極 17 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 401 を用いてカーボン薄膜を製造できる。

**【0193】**

また、陰極部材 40 は、複数のガラス状炭素 401（複数の突起部）間に配置された絶縁枠 402 を備えるので、1 つのガラス状炭素 401 を用いてアーク放電が発生しているとき 20 に、アーツスポットが別のガラス状炭素 401 へ移動するのを抑制できる。

**【0194】**

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 100A であってもよい。

**【0195】**

図 3 5 を参照して、プラズマ装置 100A は、図 3 0 に示すプラズマ装置 100 の保持部材 18、ネジ部材 19 および支持部材 21 を削除し、トリガー電極 17 をトリガー電極 25 に代え、ハンドル部材 26 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。

**【0196】**

トリガー電極 25 は、一方端が陰極部材 40 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って配置される。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 25 との間に、O リングが配置される。

**【0197】**

ハンドル部材 26 は、絶縁部材からなり、トリガー電極 25 の他方端に固定される。そして、ハンドル部材 26 は、プラズマ装置 100A の操作者によって、x - y 平面内において回転される。

**【0198】**

なお、トリガー電極 25 は、ハンドル部材 26 の貫通孔を介して配線によって抵抗 9 に接続される。

**【0199】**

図 3 6 は、図 3 5 に示すトリガー電極 25 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。

**【0200】**

図 3 6 を参照して、トリガー電極 25 は、ハンドル部材 26 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 401（ガラス状炭素 401 A）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 401 B）までの間を円弧状に移動される。また、陰極部材 40 は、モータ 22 によって、例えば、矢印 A R W 1 の方向へ回転され、所望の回転角度で停止する。

10

20

30

40

50

**【0201】**

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25を対向させることができる。

**【0202】**

プラズマ装置100Aにおいては、ハンドル部材26によってトリガー電極25を円弧状に移動させ、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25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25を接触させ、その後、離反させる。

10

**【0203】**

プラズマ装置100Aを用いたカーボン薄膜の製造は、図34に示す工程図に従って行われる。この場合、工程S12において、トリガー電極25は、ハンドル部材26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)までの範囲を円弧状に移動される。

**【0204】**

プラズマ装置100Aを用いた場合も、工程S6において放電が停止された場合、工程S11,S12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25が対向していたガラス状炭素401(突起部)と異なるガラス状炭素401(突起部)にトリガー電極25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401を用いてカーボン薄膜を製造できる。

20

**【0205】**

また、陰極部材40は、複数のガラス状炭素401(複数の突起部)間に配置された絶縁枠402を備えるので、1つのガラス状炭素401を用いてアーク放電が発生しているときに、アーツスポットが別のガラス状炭素401へ移動するのを抑制できる。

**【0206】**

なお、上記においては、ガラス状炭素401の直径は、絶縁枠402の貫通孔402Aの直径と略同じであるので、ガラス状炭素401は、絶縁枠402に接するように貫通孔402Aに挿入される。しかし、放電中にはガラス状炭素401が主として加熱されるため、周縁部の絶縁枠402との温度差が大きくなり、ガラス状炭素401に熱歪が生じ、割れる可能性がある。

30

**【0207】**

そこで、実施の形態2においては、絶縁枠402の貫通孔402Aの直径は、ガラス状炭素401が絶縁枠402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401の直径が10mmである場合、貫通孔402Aの直径を11mm~12mmに設定するのが好ましい。

**【0208】**

これによって、ガラス状炭素401は、絶縁枠402に接し難くなり、熱歪が生じ難い。従って、ガラス状炭素401が割れるのを更に抑制できる。

40

**【0209】**

上述したように、実施の形態2によるプラズマ装置100,100Aは、トリガー電極17,25を複数のガラス状炭素401(複数の突起部)の各々に対向させて複数のガラス状炭素401(複数の突起部)の全てを用いてカーボン薄膜を製造する。

**【0210】**

そして、プラズマ装置100は、トリガー電極17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40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17を複数のガラス状炭素401(複数の突起部)の各々に対向させ、気動機構23によってトリガー電極17を複数のガラス状炭素401(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

## 【0211】

また、プラズマ装置100Aは、トリガー電極25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40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25を複数のガラス状炭素401（複数の突起部）の各々に対向させ、気動機構23によってトリガー電極17を複数のガラス状炭素401（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。

## 【0212】

実施の形態2においては、保持部材18、ネジ部材19および支持部材21は、「移動機構」を構成する。

## 【0213】

また、実施の形態2においては、モータ22、歯車22A、ベルト24および歯車30Aは、「回転機構」を構成する。

## 【0214】

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。

## 【0215】

## [実施の形態3]

図37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37を参照して、実施の形態3によるプラズマ装置200は、図1に示すプラズマ装置10のアーク式蒸発源3をアーク式蒸発源3Aに代え、陰極部材4を陰極部材140に代え、絶縁部材27、ベアリング28および送出機構29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。

## 【0216】

絶縁部材27は、真空容器1の側壁に設けられた貫通孔1B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。

## 【0217】

アーク式蒸発源3Aは、中空の円柱形状からなり、絶縁部材27に固定される。そして、アーク式蒸発源3Aは、電源7の負極に接続される。

## 【0218】

陰極部材140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140は、例えば、数cm以下の直径および数mm以上の長さを有する。そして、陰極部材140は、真空容器1の側壁に設けられた貫通孔1B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。

## 【0219】

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に接し、アーク式蒸発源3Aと陰極部材140との間に配置される。そして、陰極部材140は、送出機構29によってz軸方向へ送り出される。

## 【0220】

送出機構29は、アーク式蒸発源3Aの内部に配置され、後述する方法によって陰極部材140をz軸方向へ送り出す。

## 【0221】

図38は、図37に示す送出機構29の構成を示す概略図である。図38を参照して、送出機構29は、棒部材291と、凹凸部材292と、歯車293と、モータ294と、台部材295とを含む。

## 【0222】

棒部材291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291は、一方端が陰極部材140に連結される。凹凸部材292は、棒部材291に固定される。歯車293は、凹凸部材292に嵌合する。モータ294は、台部材295上に配置される。そして、モータ294の回転軸294Aは、歯車293に連結される。台部材295は、アーク式蒸発源3A上に配置される。

## 【0223】

10

20

30

40

50

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、O 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、ペアリング 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ので、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、ペアリング 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。10

#### 【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。20

#### 【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。30

#### 【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。40

#### 【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, S750

, S 2 1 が繰り返し実行される。

**【0238】**

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）。

**【0239】**

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）。

**【0240】**

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。

**【0241】**

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。

**【0242】**

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。

**【0243】**

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。

**【0244】**

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。

**【0245】**

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、ペアリング 2 8 と同じペ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。

**【0246】**

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。

**【0247】**

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。

**【0248】**

[ 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 のトリガーエ電極 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。

**【0249】**

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。

**【0250】**

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、M0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 $9.9 \times 10^{-3}$ 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、M○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、M○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、M○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 4104, 4105 の各々は、六角穴付き M2 のネジからなる。

**【0274】**

トリガー電極 410 は、湾曲部 4102 の突出部 4102B が陰極部材 4 に対向するように配置される。

**【0275】**

図 46 は、図 43 に示すトリガー電極 410 が陰極部材 4 の突起部 42 に接触したときの概念図である。図 46 を参照して、トリガー電極 410 が z 軸方向に移動されることによって、トリガー電極 410 の湾曲部 4102 は、陰極部材 4 の突起部 42 に接触し、薄板部 4103 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 4102 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。

10

**【0276】**

また、アーク電流がトリガー電極 410 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 410 の湾曲部 4102 の体積がトリガー電極 301 の薄膜部 3013 の体積よりも大きいので、湾曲部 4102 が容易に蒸発消耗することを防止でき、トリガー電極 410 の長寿命化を図ることができる。

**【0277】**

図 47 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 400 は、トリガー電極 410 に代えて図 47 に示すトリガー電極 410A を備えていてもよい。

20

**【0278】**

図 47 を参照して、トリガー電極 410A は、図 44 および図 45 に示すトリガー電極 410 の薄板部 4103 をばね部 4106 に代えたものであり、その他は、トリガー電極 410 と同じである。

**【0279】**

ばね部 4106 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。

**【0280】**

そして、ばね部 4106 は、例えば、8 mm の直径を有する M0 製のワイヤを螺旋状に巻いた構造からなる。

30

**【0281】**

トリガー電極 410A を用いた場合も、トリガー電極 410A が z 軸方向に移動されることによって、トリガー電極 410A の湾曲部 4102 は、陰極部材 4 の突起部 42 に接触し、ばね部 4106 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 4102 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。

**【0282】**

また、トリガー電極 410 と同様に、トリガー電極 410A の長寿命化を図ることができる。

**【0283】**

なお、実施の形態 5 においては、薄板部 4103 およびばね部 4106 の各々は、タンゲステン、タンタルおよび S U S 304 等で構成されていてもよい。また、薄板部 4103 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 4103 およびばね部 4106 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

**【0284】**

また、プラズマ装置 400 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。

**【0285】**

更に、実施の形態 5 によるプラズマ装置は、図 29 に示すプラズマ装置 10A のトリガーエレメント 8 をトリガー電極 410, 410A に代えたプラズマ装置であってもよく、図 30

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]

10

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 5  
01 は、アーク放電中の放電電圧 Vd を検出し、その検出した放電電圧 Vd を制御装置 5  
02 へ出力する。

#### 【0289】

制御装置 502 は、電圧計 501 から放電電圧 Vd を受ける。そして、制御装置 502  
は、放電電圧 Vd の絶対値 |Vd| をしきい値 Vd\_th と比較し、絶対値 |Vd| がし  
きい値 Vd\_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 |Vd| がしきい値 Vd\_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。

20

#### 【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 Vd) 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。

30

#### 【0291】

図 49 を参照して、アーク電圧 (= 放電電圧 Vd) 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 Vd)  
は、-25 V 程度であるので、しきい値 Vd\_th を 25 V に設定すれば、制御装置 50  
2 は、絶対値 |Vd| が 25 V (= しきい値 Vd\_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 |Vd| が 25 V (= しきい値 Vd\_th) よりも大きいとき、モータ 22, 5  
03 および気動機構 23 を制御しない。

40

#### 【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 をバッキングプレート上に設置する場合、1 つの

50

ガラス状炭素 401 に点弧して放電させた後、消弧のタイミングが遅れると、アーツスポットがバッキングプレートに移動し、バッキングプレートを損傷するだけでなく、バッキ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。

**【0295】**

しかし、実施の形態 6においては、1つのガラス状炭素 401 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。

**【0296】**

従って、バッキ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

**【0297】**

図 50 は、図 48 に示すプラズマ装置 500 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

**【0298】**

図 50 に示す工程図は、図 34 に示す工程図の工程 S6 を工程 S31, S32 に代え、工程 S33 ~ S36 を追加したものであり、その他は、図 34 に示す工程図と同じである。

**【0299】**

図 50 を参照して、プラズマ装置 500 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 S1 ~ S3, S11, S12, S4, S5 が順次実行される。

20

**【0300】**

そして、工程 S5 の後、電圧計 501 が放電電圧 Vd を検出し（工程 S31）、制御装置 502 は、放電電圧 Vd の絶対値 |Vd| がしきい値 Vd\_th 以下であるか否かを判定する（工程 S32）。

**【0301】**

工程 S32において、絶対値 |Vd| がしきい値 Vd\_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 S33）。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。

**【0302】**

30

工程 S33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。

**【0303】**

一方、工程 S33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 S31 に戻り、工程 S32 において、絶対値 |Vd| がしきい値 Vd\_th 以下であると判定されるまで、または工程 S33 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 S31 ~ S33 が繰り返し実行される。

**【0304】**

そして、工程 S32 において、絶対値 |Vd| がしきい値 Vd\_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 S34）。

40

**【0305】**

工程 S34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 S7 が実行され、放電を消弧する（工程 S35）。

**【0306】**

そして、制御装置 502 は、別のガラス状炭素 401 をトリガー電極 17 に対向させるようにモータ 22, 503 および気動機構 23 を制御する（工程 S36）。

**【0307】**

その後、一連の動作は、工程 S3 へ戻り、工程 S34 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 S3, S11, S12, S4, S5, S31, S32, S7, S33, S34, S35, S36 が繰り返し実行される。そして、工程 S34 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】

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。30

【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】

**[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 GND 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  $V_d - t_h$  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  $V_d - t_h$  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  $V_d - t_h$  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  $V_d - t_h$  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  $V_d - t_h$  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  $R_d - t_h$  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、 $R_d = 3 5 /$  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。  
10

#### 【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。  
20

#### 【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。  
30

#### 【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。  
40

#### 【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】

10

20

30

40

50

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。

#### 【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、5mm の直径を有し、20mm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、20mm 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200mm以下になるように陰極部材 4に対向して配置される。

#### 【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 ~ 100mm である（図 55の（a）参照）。

#### 【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。

#### 【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。

10

20

30

40

50

**【0352】**

図56は、図53に示すプラズマ装置700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56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に取り付ける（工程S41）。

**【0353】**

そして、排気口11を介して真空容器1内を排気し、真空容器1内の圧力を $5 \times 10^{-4}$ Paに設定する。

**【0354】**

そうすると、電源6によって基板20に-10V~-300Vの負の電圧を印加し（工程S42）、電源7によってアーク式蒸発源3に-15V~-50Vの負の電圧を印加する（工程S43）。 10

**【0355】**

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42に接触させ（工程S44）、その後、トリガー電極8を陰極部材4の突起部42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42から離反する際にアーク放電が開始し、アーツスポットが陰極部材4の突起部42の表面に現れる。

**【0356】**

そして、支持部材713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711, 712をプラズマPLZ1中へ配置することによって、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拡散する磁界をプラズマPLZ1に印加する（工程S45）。 20

**【0357】**

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AX1）の回りに基板20を回転する（工程S46）。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。

**【0358】**

このように、図56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PLZ1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PLZ1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20を回転してカーボン薄膜を基板20上に形成するので、カーボン薄膜が基板20の全面に形成される。 30

**【0359】**

従って、広い領域にカーボン薄膜を形成できる。

**【0360】**

なお、プラズマ装置10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、基板20を回転しなくても、永久磁石711, 712からの磁界によってプラズマPLZ1を拡散することによってプラズマPLZ1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700を用いたカーボン薄膜の製造方法は、図56に示す工程S41, S43~S45を少なくとも備えていればよい。また、プラズマ装置700は、基板20の回転機構を備えていなくてもよい。 40

**【0361】**

上記においては、プラズマ装置700は、2つの永久磁石711, 712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700は、永久磁石711, 712に代えて、永久磁石711, 712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。

**【0362】**

また、上記においては、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

**【0363】****[実施の形態9]**

図57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57を参照して、実施の形態9によるプラズマ装置800は、図53に示すプラズマ装置700の支持部材713を支持部材801に代え、永久磁石711, 712を永久磁石802に代えたものであり、その他は、プラズマ装置700と同じである。

**【0364】**

支持部材801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801と真空容器1の底面との間に10は、Oリングが配置される。

**【0365】**

永久磁石802は、支持部材801に固定される。そして、永久磁石802は、永久磁石711と同じ形状からなり、永久磁石711と同じサイズを有する。

**【0366】**

支持部材801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802は、陰極部材4と基板20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。

**【0367】**

図58は、図57に示す永久磁石802の機能を説明するための図である。図58を参考して、永久磁石802が陰極部材4と基板20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PLZ1が発生する(図58の(a)参照)。

**【0368】**

支持部材801をX軸の正の方向へ移動させ、永久磁石802をプラズマPLZ1に近づけると、プラズマPLZ1は、X軸の正の方向へスキャンされ、プラズマPLZ3が形成される(図58の(b)参照)。

**【0369】**

また、支持部材801をX軸の負の方向へ移動させ、永久磁石802をプラズマPLZ1から遠ざけると、プラズマPLZ1は、X軸の負の方向へスキャンされ、プラズマPLZ4が形成される(図58の(c)参照)。

**【0370】**

従って、陰極部材4と基板20との間において、永久磁石802を支持部材801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。

**【0371】**

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。

**【0372】**

従って、広い領域にカーボン薄膜を形成できる。

**【0373】**

図59は、図57に示すプラズマ装置800を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

**【0374】**

図59に示す工程図は、図56に示す工程図の工程S45を工程S45Aに代えたものであり、その他は、図56に示す工程図と同じである。

**【0375】**

図59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S41～S44が順次実行される。

**【0376】**

そして、工程S44の後、支持部材801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802を往復運動させ、陰極部材4の突起部42から放出されたビーム状

10

20

30

40

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 に電流が流れていらない場合、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 】

10

20

30

40

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 10に示す工程図に従って実行される。

#### 【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チ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、2mm、3mmおよび5.2mmのいずれかである。 40

#### 【0399】

また、アーク電流を30A、40A、60A、80A、100Aおよび150Aと変化させ、軸方向の磁場を0Gauss、13Gauss、26Gauss、40Gauss、85Gaussおよび170Gaussと変化させた。そして、アーク電流密度(A/mm<sup>2</sup>)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、ガウスマーター(Lake Shore社製410-SCT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13Gauss、26Gauss、40Gauss、85Gaussおよび170Gauss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 <sup>2</sup> )
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  $9.9 \times 10^{-3}$  Pa 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、60 秒間、消弧しないか否か、およびアーツ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、△は、消弧しない割合が 100 % である軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、○は、消弧しない割合が 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、×は、消弧しない割合が 50 % 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、×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 ) × 100 % によって求められた。更に、アーク電流密度を × 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<sup>2</sup> 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、100 % 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ツ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、円周方向へアーツ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

10

20

30

40

50

、軸方向磁場が 170 G a u s s となると、アーク電流密度が 5 . 662 A / mm<sup>2</sup> であつても、消弧しない割合が 0 % となってしまう。

#### 【 0 4 0 6 】

ここで、アーク電流密度が 1 . 413 A / mm<sup>2</sup> であり、軸方向磁場が 0 G a u s s である点と、アーク電流密度が 1 . 413 A / mm<sup>2</sup> であり、軸方向磁場が 85 G a u s s 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<sup>2</sup> であり、軸方向磁場が 85 G a u s s である点と、アーク電流密度が 5 . 662 A / mm<sup>2</sup> であり、軸方向磁場が 170 G a u s s 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 . 008 x + 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

#### 【 0 4 0 7 】

また、領域 R E G 1 は、消弧しない割合が 50 % よりも大きい。ここで、直線 k 3 ~ k 7 を想定する。直線 k 3 は、x = 3 . 769 A / mm<sup>2</sup> によって表わされる。直線 k 4 は、y = 17 . 9932 x + 17 . 1836 によって表わされる。直線 k 5 は、y = 170 G a u s s によって表わされる。直線 k 6 は、x = 25 . 478 A / mm<sup>2</sup> によって表わされる。直線 k 7 は、y = 0 G a u s s によって表わされる。

#### 【 0 4 0 8 】

従って、領域 R E G 1 は、直線 k 3 ~ k 7 上および直線 k 3 ~ k 7 によって囲まれた領域からなる。

20

#### 【 0 4 0 9 】

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。

#### 【 0 4 1 0 】

そして、好ましくは、直線 k 3 ~ 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 ~ 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。

#### 【 0 4 1 1 】

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

#### 【 0 4 1 2 】

図 64 は、アーツスポットが本体部 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。

#### 【 0 4 1 3 】

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、アーツスポットが本体部 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、アーツスポットが本体部 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、 $\times$  は、アーツスポットが本体部 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、アーツスポットが本体部 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、アーツスポットが本体部 41 に移動しない割合は、(同一条件でアーツスポットが本体部 41 に移動しなかった回数) / (同一条件の全回数 N) × 100 % によって求められた。更に、アーク電流密度を  $\times$  とし、軸方向磁場を  $y$  とする。

40

#### 【 0 4 1 4 】

図 64 を参照して、軸方向磁場が 0 G a u s s である状態でアーク電流密度を大きくすると、8 . 493 A / mm<sup>2</sup> において、アーツスポットが本体部 41 に移動しない割合が 0 % になる(即ち、アーツスポットが 100 % 移動する)。

#### 【 0 4 1 5 】

50

これは、アーク電流密度を $8.493\text{ A/mm}^2$ 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カスポットが本体部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カスポットを突起部42の円周方向へ移動させる力を作用させることができると、アーク電流密度が $21.231\text{ A/mm}^2$ であっても、横方向磁場を $26\text{ Gauss}$ とすることでアーカスポットが本体部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 $1.413\text{ A/mm}^2$ であり、軸方向磁場が $0\text{ Gauss}$ である点と、アーク電流密度が $8.493\text{ A/mm}^2$ であり、軸方向磁場が $0\text{ Gauss}$ である点とを結んだ直線k8と、アーク電流密度が $8.493\text{ A/mm}^2$ であり、軸方向磁場が $0\text{ Gauss}$ である点と、アーク電流密度が $21.231\text{ A/mm}^2$ であり、軸方向磁場が $13\text{ Gauss}$ 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、アーカスポットが本体部41に移動しない割合が0%よりも大きくなる。

#### 【0417】

また、領域REG2は、アーカスポットが本体部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。

#### 【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。

#### 【0421】

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

#### 【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、アーカスポットが本体部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】

10

20

30

40

50

( i ) 平板状のガラス状炭素を用いた場合

直径が 6.4 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 6.4 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キ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ケ式蒸発源 3 に設置した。

**【 0 4 2 6 】**

その後、 $9.9 \times 10^{-3}$  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 のアーケ電流でガラス状炭素の表面に放電点弧した。

**【 0 4 2 7 】**

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。

**【 0 4 2 8 】**

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 13.1 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つたため、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。アーケ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。

**【 0 4 2 9 】**

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、3.5 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つたため、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 6.4 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ました。

**【 0 4 3 0 】**

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、アーケ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。

**【 0 4 3 1 】**

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。

**【 0 4 3 2 】**

( 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 6.4 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 5.9 mm であり、内径が 1.9 mm であり、厚みが 1.0 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。

**【 0 4 3 3 】**

そして、永久磁石 901 をバッキ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。

**【 0 4 3 4 】**

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 Gau ss であり、

10

20

30

40

50

半径方向の磁場強度は、13 G a u s s 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 G a u s s であり、半径方向の磁場強度は、45 G a u s s であった。これらの磁場強度は、ガウスマーター（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 $9.9 \times 10^{-3}$  Paまで排気し、80 Aのアーク電流で突起部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、アーク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、アーチスポットが本体部41へ移動することも一度も無く、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 G a u s s であり、半径方向の磁場強度は、14 G a u s s であった。これらの磁場強度は、ガウスマーター（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 $9.9 \times 10^{-3}$  Paまで排気し、各設定されたアーク電流で突起部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、アーク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、アーク電流は、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、アーク電流は、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、アーク電流は、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】

10

20

30

40

50

ガラス状炭素（突起部42）の直径を2mm、3mmおよび5.2mm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41への移動は、一度もなかった。そして、放電後、突起部42には、スパイラル状の放電痕が形成されていた（図69～図71参照）。

#### 【0445】

このように、突起部42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901からの磁場によって突起部42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41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42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41への移動が発生しない根拠である。

10

#### 【0446】

図72は、実施の形態10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10によるプラズマ装置は、図72に示すプラズマ装置900Aであってもよい。

#### 【0447】

図72を参照して、プラズマ装置900Aは、図62に示すプラズマ装置900の永久磁石901をコイル902および電源903に代えたものであり、その他は、プラズマ装置900と同じである。

#### 【0448】

コイル902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903は、コイル902に接続される。そして、電源903は、所望の電流をコイル902に流す。

20

#### 【0449】

図73は、図72に示す陰極部材4およびコイル902の拡大図である。図73を参照して、コイル902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902の中心軸に一致するようにコイル902の内部に配置される。即ち、陰極部材4は、コイル902によって囲まれる。電源903は、コイル902の一方端と他方端との間に接続される。

#### 【0450】

電源903がコイル902に所望の電流を供給することによって、コイル902は、磁界を発生する。コイル902の上側部分902Aを流れる電流が図73の紙面の奥から手前へ向かう方向であり、コイル902の下側部分902Bを流れる電流が図73の紙面の手前から奥へ向かう方向である場合、コイル902の内部においては、矢印ARW2の方向（z軸方向）に磁界が発生する。その結果、コイル902は、陰極部材4の突起部42に軸方向の磁場を印加する。

30

#### 【0451】

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41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。

#### 【0452】

なお、プラズマ装置900Aにおいては、矢印ARW2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73の紙面の手前から奥へ向かう方向の電流をコイル902の上側部分902Aに流し、図73の紙面の奥から手前へ向かう方向の電流をコイル902の下側部分902B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

#### 【0453】

このように、プラズマ装置900Aにおいては、陰極部材4から基板20へ向かう方向の磁場、および基板20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。

#### 【0454】

図74は、実施の形態10における別のコイルを示す図である。プラズマ装置900Aは、コイル902に代えて、図74に示すコイル904を備えていてもよい。

50

**【0455】**

図74を参照して、コイル904は、矢印ARW2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904の中心軸に一致するようにコイル904の内部に配置される。

**【0456】**

図74の紙面の奥から手前へ向かう方向の電流をコイル904の上側部分904Aに流し、図74の紙面の手前から奥へ向かう方向の電流をコイル904の下側部分904Bに流すことによって、コイル904は、その内部において、矢印ARW2の方向(z軸方向)の磁場を発生する。また、図74の紙面の手前から奥へ向かう方向の電流をコイル904の上側部分904Aに流し、図74の紙面の奥から手前へ向かう方向の電流をコイル904の下側部分904Bに流すことによって、コイル904は、その内部において、矢印ARW2と反対方向(z軸方向)の磁場を発生する。10

**【0457】**

従って、陰極部材4から基板20に向かうに従って直径が大きくなるコイル904を用いても、放電の消弧およびアークスポットの本体部41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。

**【0458】**

なお、プラズマ装置900Aは、陰極部材4から基板20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。

**【0459】**

更に、プラズマ装置900Aにおいて、コイル902, 904は、真空容器1の外部において、陰極部材4に対して基板20と反対側に配置されてもよい。20

**【0460】**

図75は、実施の形態10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10によるプラズマ装置は、図75に示すプラズマ装置900Bであってもよい。

**【0461】**

図75を参照して、プラズマ装置900Bは、図37に示すプラズマ装置200にコイル905および電源906を追加したものであり、その他は、プラズマ装置200と同じである。30

**【0462】**

コイル905は、陰極部材140の一部を囲むように真空容器1内に配置される。電源906は、コイル905に接続される。そして、電源906は、所望の電流をコイル905に流す。

**【0463】**

図76は、図75に示すアーク式蒸発源3A、陰極部材140およびコイル905の拡大図である。図76を参照して、コイル905は、図73に示すコイル902と同じ構成からなる。そして、陰極部材140の先端部側の一部は、中心軸がコイル905の中心軸に一致するようにコイル905の内部に配置される。即ち、陰極部材140の一部は、コイル905によって囲まれる。電源906は、コイル905の一方端と他方端との間に接続される。40

**【0464】**

電源906がコイル905に所望の電流を供給することによって、コイル905は、磁界を発生する。コイル905の上側部分905Aを流れる電流が図76の紙面の奥から手前へ向かう方向であり、コイル905の下側部分905Bを流れる電流が図76の紙面の手前から奥へ向かう方向である場合、コイル905の内部においては、矢印ARW2の方向(z軸方向)に磁界が発生する。その結果、コイル905は、陰極部材140に軸方向の磁場を印加する。そして、陰極部材140の先端部が消耗すると、送出機構29は、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陰極部材140を基板20側へ送り出すので、陰極部材140の先端部には、一定の磁場50

が印加される。

【0465】

従って、放電の消弧およびアークスポットの陰極部材140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。

【0466】

なお、プラズマ装置900Bにおいては、矢印ARW2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76の紙面の手前から奥へ向かう方向の電流をコイル905の上側部分905Aに流し、図76の紙面の奥から手前へ向かう方向の電流をコイル905の下側部分905Bに流す。これによって、軸方向の磁場が陰極部材140に印加されるので、上述した効果を得ることができる。

10

【0467】

また、プラズマ装置900Bは、コイル905に代えて、図74に示すコイル904を備えていてもよい。

【0468】

更に、プラズマ装置900Bにおいて、コイル905またはコイル904は、真空容器1の外部において、陰極部材140に対して基板20と反対側に配置されてもよい。

【0469】

このように、プラズマ装置900Bにおいては、陰極部材140から基板20へ向かう方向の磁場、および基板20から陰極部材140へ向かう方向の磁場のいずれの磁場が陰極部材140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140に印加されればよい。

20

【0470】

図77は、図62に示すプラズマ装置900を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

【0471】

図77に示す工程図は、図56に示す工程図の工程S45を工程S45Bに代えたものであり、その他は、図56に示す工程図と同じである。

【0472】

図77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S41～S44が順次実行される。そして、工程S44の後、軸方向の磁場を印加する(工程S45B)。その後、上述した工程S46が実行され、カーボン薄膜の製造が終了する。

30

【0473】

なお、図72に示すプラズマ装置900Aおよび図75に示すプラズマ装置900Bを用いたカーボン薄膜の製造方法も、図77に示す工程図S41～S44, S45B, S46に従って実行される。

【0474】

軸方向の磁場を陰極部材4(または陰極部材140)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42(または陰極部材140)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77に示す工程図S41～S44, S45B, S46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

【0475】

[実施の形態11]

図78は、実施の形態11によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図78を参照して、実施の形態11によるプラズマ装置1000は、図37に示すプラズマ装置200に永久磁石1001、歯車1002, 1003、モータ1004、電源1005およびカウンターウェイト1006を追加したものであり、その他は、プラズマ装置200と同じである。

【0476】

永久磁石1001は、アーク式蒸発源3A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 1001 は、例えば、真空容器 1 側が N 極になり、歯車 1002 側が S 極になるように配置される。永久磁石 1001 は、歯車 1002 に固定される。

#### 【0477】

歯車 1002 は、歯車 1003 と噛み合う。モータ 1004 は、歯車 1003 に連結される。そして、モータ 1004 は、電源 1005 によって駆動されると、歯車 1003 を回転させる。電源 1005 は、モータ 1004 を駆動する。カウンターウェイト 1006 は、歯車 1002 に固定される。

#### 【0478】

図 79 は、図 78 に示す永久磁石 1001、歯車 1002, 1003 およびカウンターウェイト 1006 の基板 20 側から見た平面図である。 10

#### 【0479】

図 79 を参照して、永久磁石 1001 およびカウンターウェイト 1006 は、歯車 1002 の回転軸に対して対称になるように歯車 1002 上に配置される。その結果は、カウンターウェイト 1006 は、永久磁石 1001 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 1002 は、中心部に貫通孔 1002A を有する。アーク式蒸発源 3A は、中心軸が貫通孔 1002A の中心軸に一致するように貫通孔 1002A を通って配置される。歯車 1003 は、歯車 1002 に噛み合う。

#### 【0480】

歯車 1003 がモータ 1004 によって矢印 ARW3 の方向に回転すると、歯車 1002 は、矢印 ARW4 の方向に回転する。歯車 1002 が矢印 ARW4 の方向に回転することによって、永久磁石 1001 およびカウンターウェイト 1006 も矢印 ARW4 の方向に回転する。 20

#### 【0481】

永久磁石 1001 が陰極部材 140 の中心軸の周りに回転することによって、永久磁石 1001 によって形成される磁場も回転し、陰極部材 140 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、アーチスポットが陰極部材 140 の表面のいずれの場所にあっても、アーチスポットを強制的に回転させることが可能となる。

#### 【0482】

永久磁石 1001 が図 78 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。 30

#### 【0483】

また、永久磁石 1001 の位置を陰極部材 140 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 1001 の位置を陰極部材 140 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。

#### 【0484】

従って、永久磁石 1001 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

#### 【0485】

また、永久磁石 1001 が回転することによって、陰極部材 140 に軸方向（z 軸方向）と陰極部材 140 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チスポットの陰極部材 140 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。

#### 【0486】

更に、カウンターウェイト 1006 を設けることによって、偏荷重がなくなり、永久磁石 1001 の回転ムラを防止できる。

#### 【0487】

なお、プラズマ装置 1000 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、アーカスポットが突起部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カスポットが回転させられることとなり、結果的にアーカ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から離れた位置へスキャンされ、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へ近づいた位置へスキャンされる。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。

**【0500】**

永久磁石901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42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1000と同じ効果を得ることができる。

**【0501】**

図81は、図78に示すプラズマ装置1000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

**【0502】**

図81に示す工程図は、図77に示す工程図の工程S43と工程S44との間に工程S47を追加したものであり、その他は、図77に示す工程図と同じである。

**【0503】**

図81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S41～工程S43が順次実行される。そして、工程S43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S47）。

**【0504】**

その後、上述した工程S44、S45B、S46が順次実行され、カーボン薄膜の製造が終了する。

20

**【0505】**

なお、図80に示すプラズマ装置1000Aを用いたカーボン薄膜の製造も、図81に示す工程図に従って実行される。

**【0506】**

陰極部材4（または陰極部材140）および永久磁石901（または永久磁石1001）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42（または陰極部材140）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42（または陰極部材140）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。

**【0507】**

30

従って、放電の消弧およびアークスポットの突起部42（または陰極部材140）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。

**【0508】**

**[実施の形態12]**

図82は、実施の形態12によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図82を参照して、実施の形態12によるプラズマ装置1100は、図29に示すプラズマ装置10Aにアーク式蒸発源1101、陰極部材1102、永久磁石1103、1104および電源1105を追加したものであり、その他は、プラズマ装置10Aと同じである。

**【0509】**

アーク式蒸発源1101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1101は、電源1105の負極に接続される。

40

**【0510】**

陰極部材1102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1102は、アーク式蒸発源1101の基板20側の表面に固定される。

**【0511】**

永久磁石1103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1103は、陰極部材4に磁場を印加する。

**【0512】**

永久磁石1104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

101に近接して配置される。そして、永久磁石1104は、陰極部材1102に磁場を印加する。

**【0513】**

電源1105は、アーク式蒸発源1102と接地ノードGNDとの間に接続される。

**【0514】**

このように、プラズマ装置1100は、2個のアーク式蒸発源を備える。

**【0515】**

プラズマ装置1100を用いたカーボン薄膜の製造は、図77に示す工程図に従って行われる。この場合、工程S44において、トリガー電極8は、陰極部材4, 1102に順次接触され、2つの陰極部材4, 1102の突起部42からプラズマが発生する。

10

**【0516】**

従って、大面積なカーボン薄膜を製造できる。

**【0517】**

なお、プラズマ装置1100は、2個のアーク式蒸発源3, 1101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。

**【0518】**

実施の形態12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。

**【0519】**

[実施の形態13]

20

図83は、実施の形態13によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。図83を参照して、実施の形態13によるプラズマ装置1200は、図1に示すプラズマ装置10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り、その他は、プラズマ装置10と同じである。

**【0520】**

配管1210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1230に接続される。

**【0521】**

マスフローコントローラ1220は、ガス供給手段1230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

**【0522】**

ガス供給手段1230は、例えば、アルゴン(Ar)ガスをボンベによって保持する。そして、ガス供給手段1230は、Arガスを配管1210およびマスフローコントローラ1220を介して真空容器1内へ供給する。

**【0523】**

図84は、図83に示すプラズマ装置1200を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す概略図である。

**【0524】**

図84に示す工程図は、図4に示す工程図の工程S2と工程S3との間に工程S51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

**【0525】**

図84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, S2が順次実行される。そして、工程S2の後、ガス供給手段1230は、マスフローコントローラ1220および配管1210を介して所望の流量のArガスを真空容器1内に供給する。

**【0526】**

その後、上述した工程S3～S8が順次実行され、カーボン薄膜の製造が終了する。

**【0527】**

プラズマ装置1200においては、真空容器1内にArガスを供給しながらカーボンが製造される。その結果、Ar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、Ar 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、Ar ガスに限らず、Ar 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 を参考して、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、1 kW の連続出力、スポット径を 0.8 mm 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リングポート（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】

30

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。

#### 【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】

40

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。

#### 【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、上述した印胸部材 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。

**【0554】**

図88は、図87に示すプラズマ装置1400を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

**【0555】**

図88に示す工程図は、図77に示す工程図の工程S45B, S46を削除し、工程S45Cを工程S42と工程S43との間に挿入したものであり、その他は、図77に示す工程図と同じである。

**【0556】**

図88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S41, S42が順次実行される。そして、工程S42の後、陰極部材4の突起部42から真空容器1410内へ飛び出したカーボンイオンを円弧状の真空容器1410に沿って曲げるための磁場を印加する（工程S45C）。その後、上述した工程S43, S44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20に到達せず、カーボンイオンのみが基板20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。10

**【0557】**

このように、プラズマ装置1400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。

**【0558】**

なお、プラズマ装置1400においては、真空容器1410の壁1410Dは、基板20を保持する「保持部材」を構成する。20

**【0559】**

また、実施の形態15によるプラズマ装置1400は、陰極部材4に代えて、上述した陰極部材4A～4L, 40, 140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17, 25, 301, 410, 410Aのいずれかを備えていてもよい。

**【0560】**

更に、実施の形態15によるプラズマ装置1400は、トリガー電極8および抵抗9に代えて、レーザー光源1310を備えていてもよい。

**【0561】**

実施の形態15におけるその他の説明は、実施の形態1～実施の形態14における説明と同じである。30

**【0562】**

図89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89を参照して、陰極部材1500は、本体部1510と、突起部1520と、ばね1530とを含む。本体部1510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1520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1520は、ばね1530を介して本体部1510に固定される（図89の（a）参照）。

**【0563】**

また、陰極部材1600は、円柱部材1610, 1620と、ばね1630とを含む。40円柱部材1610は、ガラス状炭素からなる。円柱部材1620は、例えば、焼結体グラファイトからなる。円柱部材1610は、ばね1630によって円柱部材1620に固定される（図89（b）参照）。

**【0564】**

陰極部材1500, 1600を用いることによって、陰極部材1500, 1600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1500, 1600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1530, 1630が吸収するからである。

**【0565】**

そして、陰極部材1500, 1600の各々は、上述した実施の形態1～実施の形態150

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ねばよい。

#### 【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、橢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つ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、タンゲステンカーバイト、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。40

#### 【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。

#### 【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】

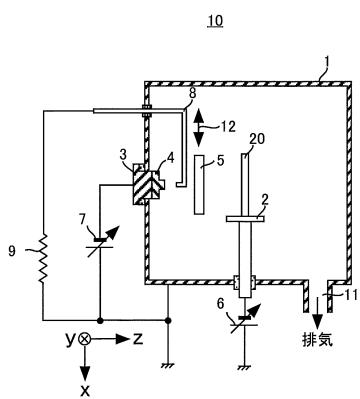
#### 【0582】

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

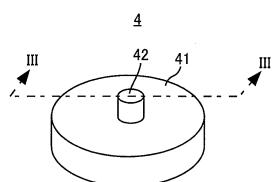
50

方法に適用される。

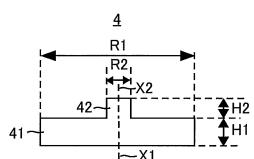
【図1】



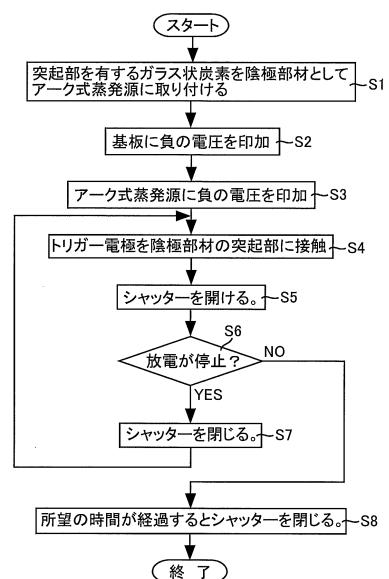
【図2】



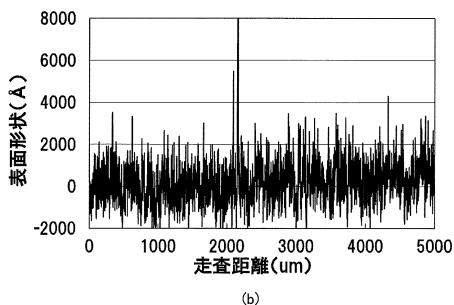
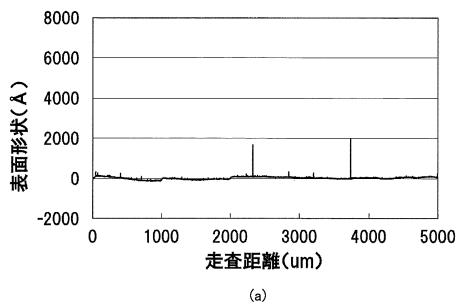
【図3】



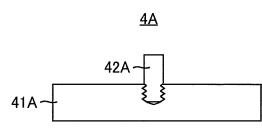
【図4】



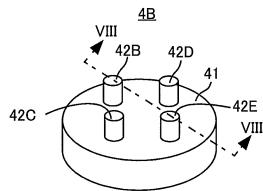
【図5】



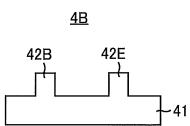
【図6】



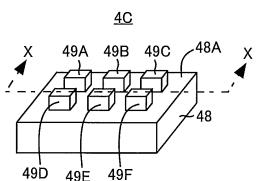
【図7】



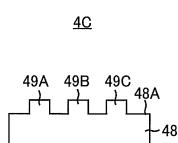
【図8】



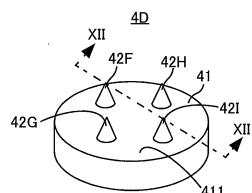
【図9】



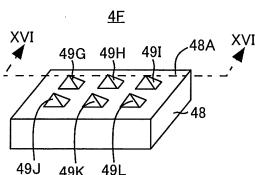
【図10】



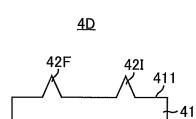
【図11】



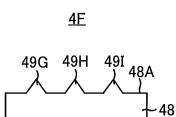
【図15】



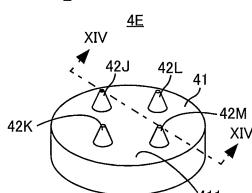
【図12】



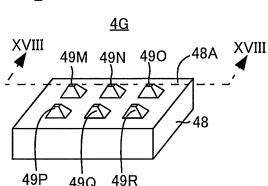
【図16】



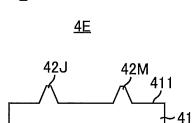
【図13】



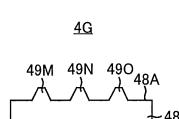
【図17】



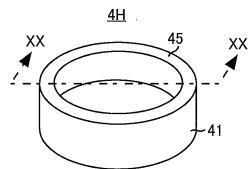
【図14】



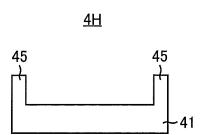
【図18】



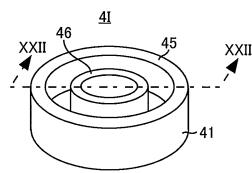
【図19】



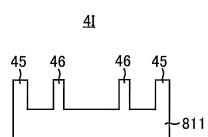
【図20】



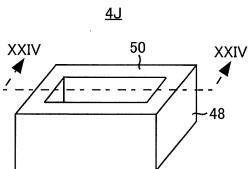
【図21】



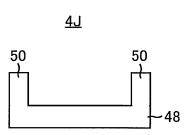
【図22】



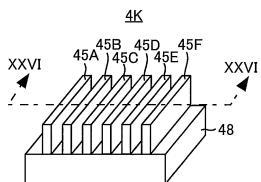
【図23】



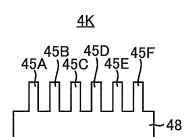
【図24】



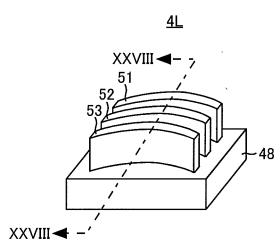
【図25】



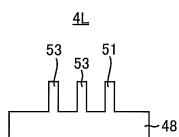
【図26】



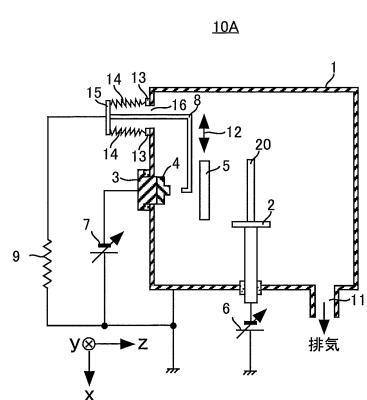
【図27】



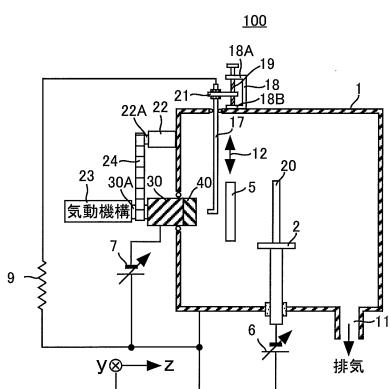
【図28】



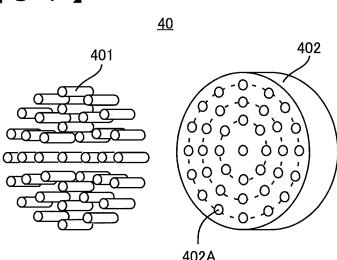
【図29】



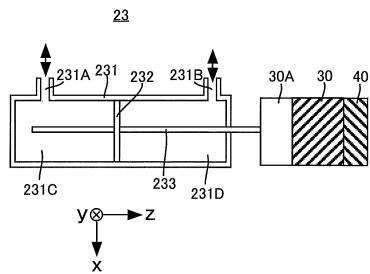
【図30】



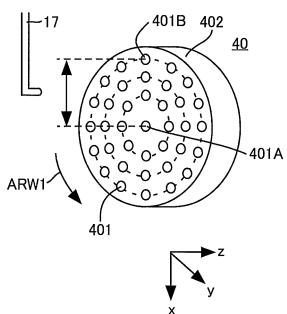
【図31】



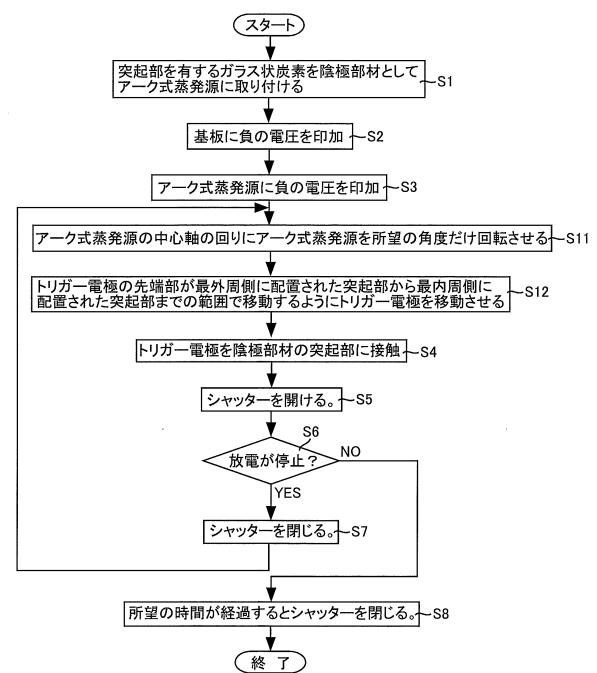
【図32】



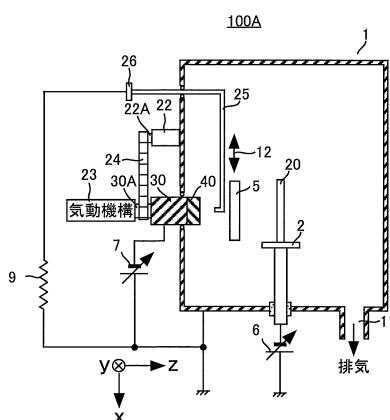
【図33】



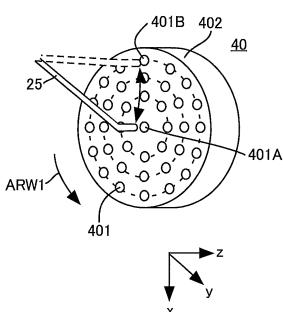
【図34】



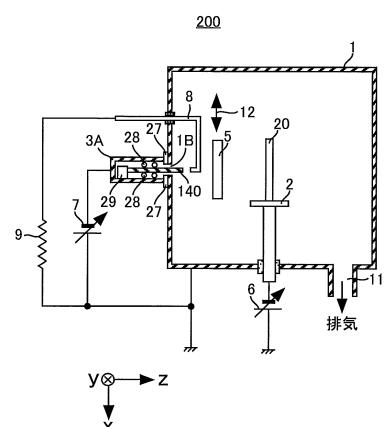
【図35】



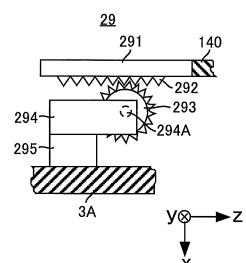
【図36】



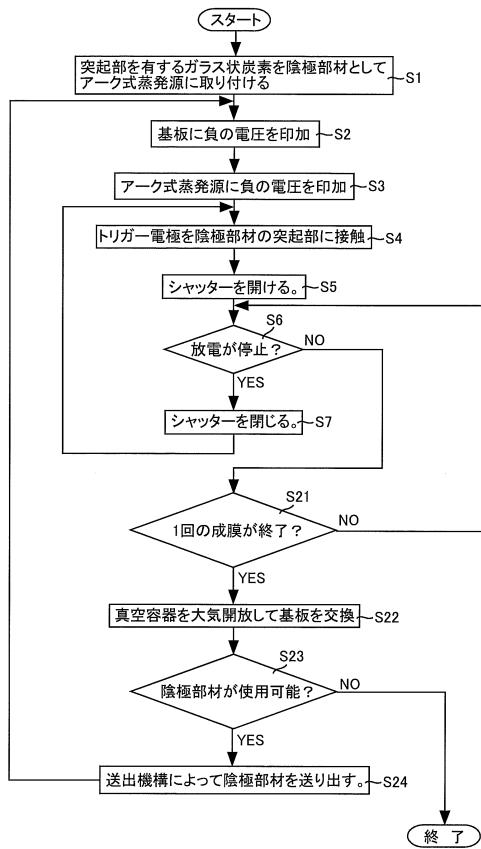
【図37】



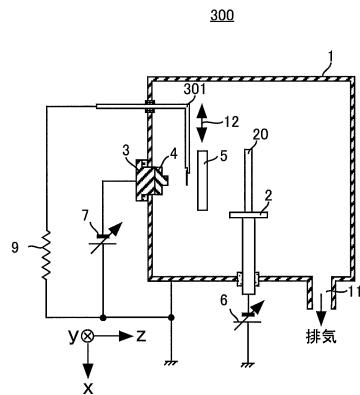
【図38】



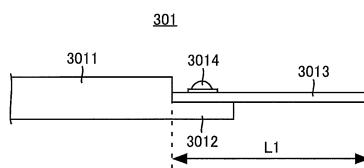
【図39】



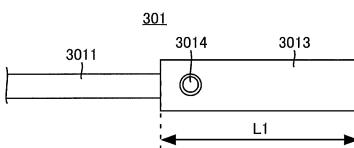
【図40】



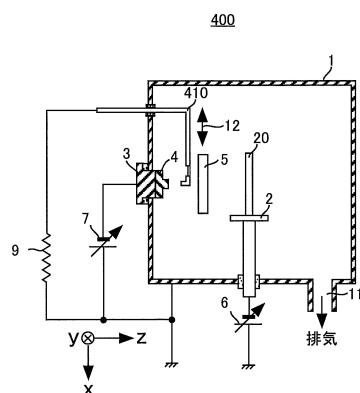
【図41】



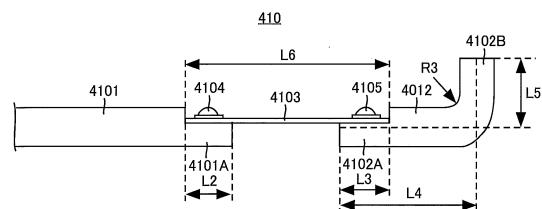
【図42】



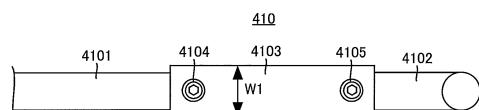
【図43】



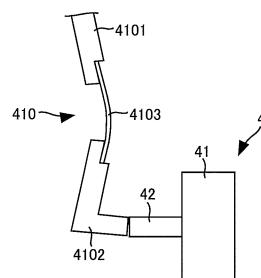
【図44】



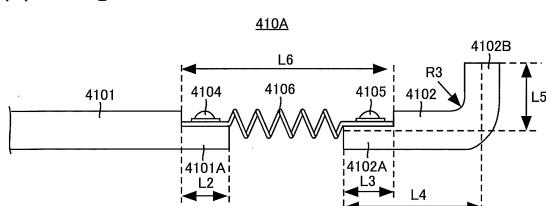
【図45】



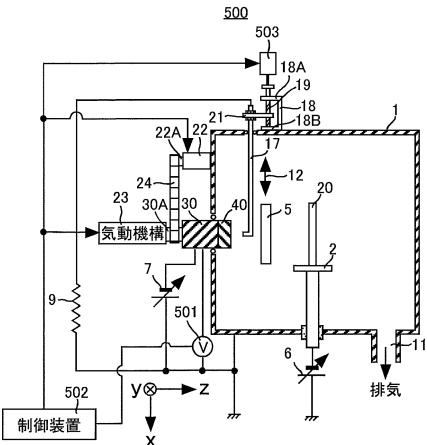
【図46】



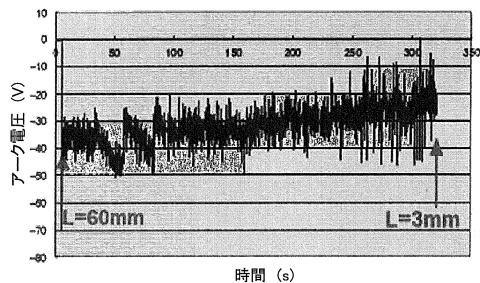
【図47】



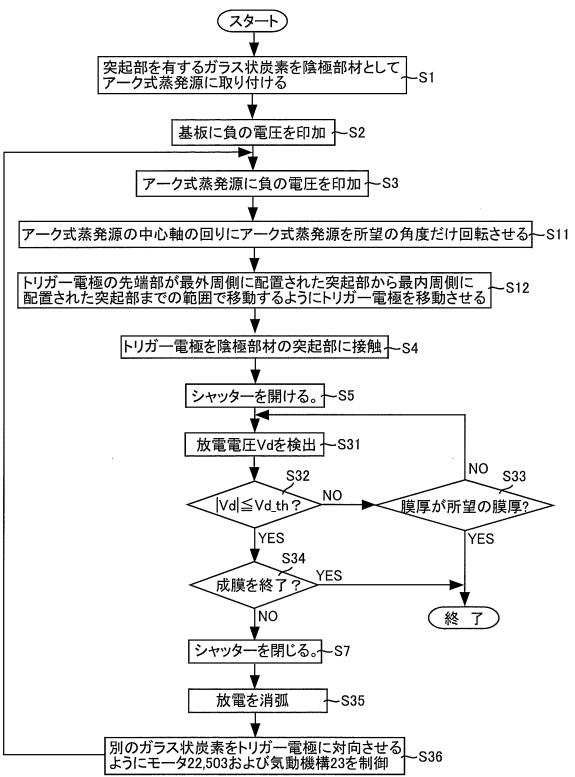
【図48】



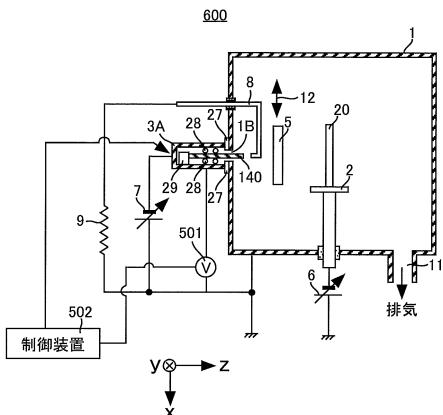
【図49】



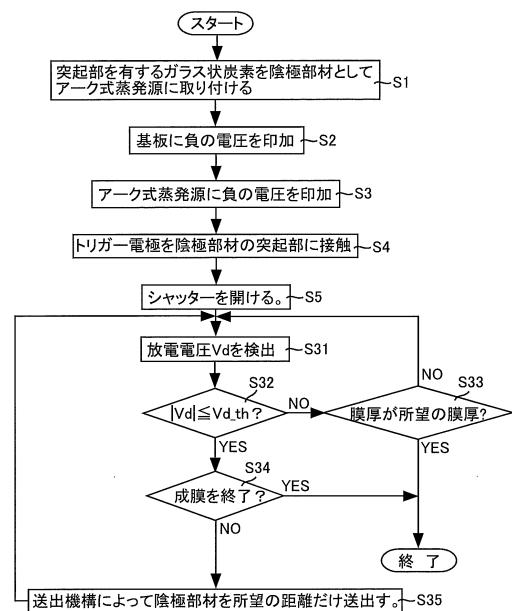
【図50】



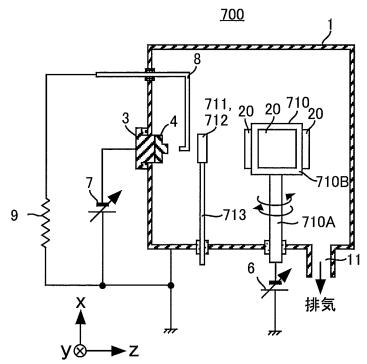
【図51】



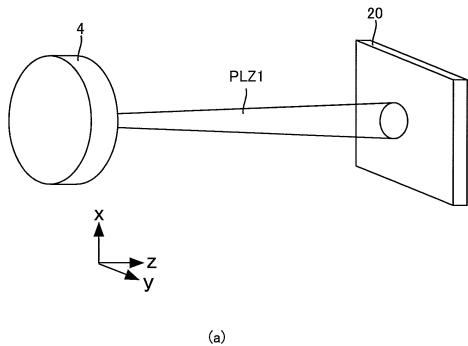
【図52】



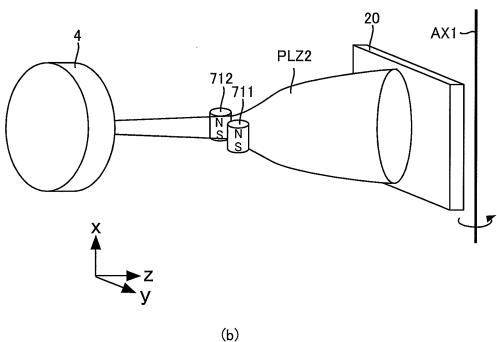
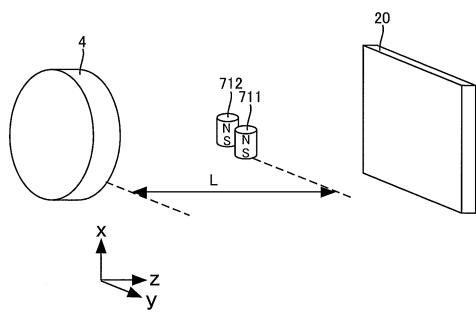
【図53】



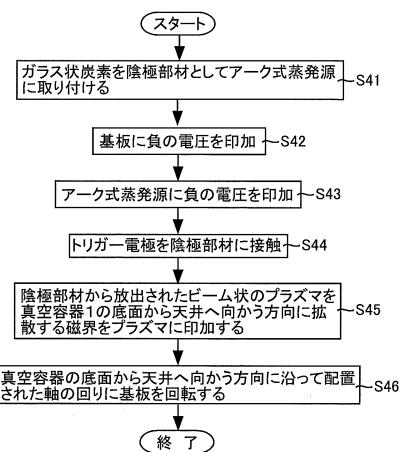
【図55】



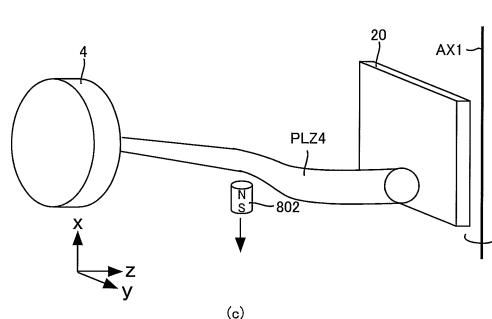
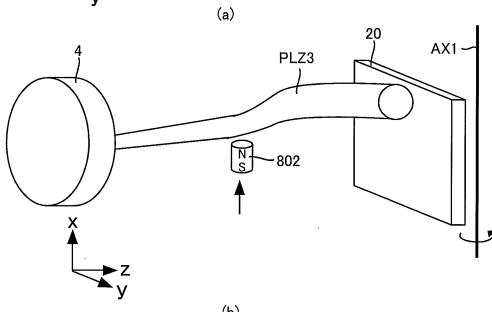
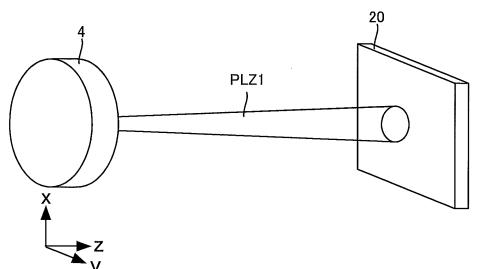
【図54】



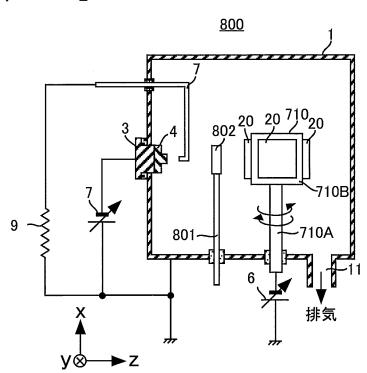
【図56】



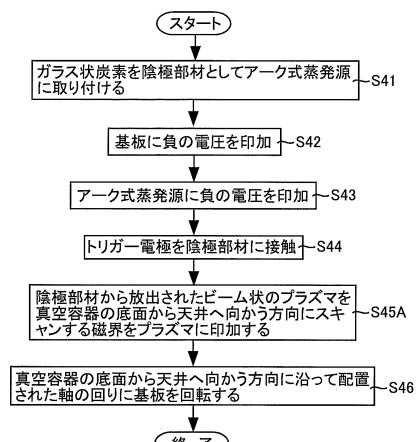
【図58】



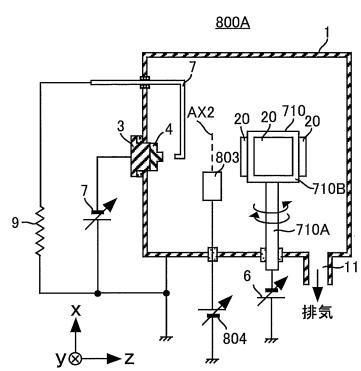
【図57】



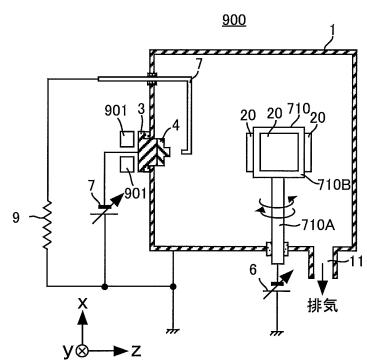
【図59】



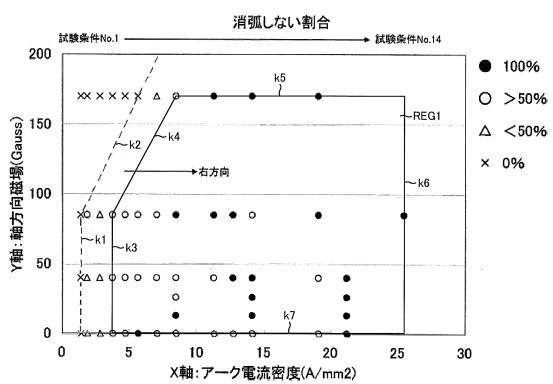
【四六〇】



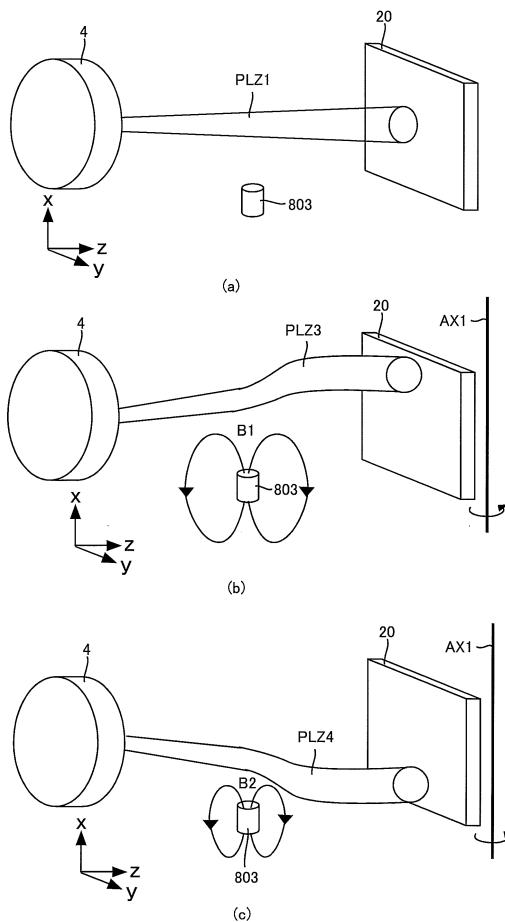
【図 6-2】



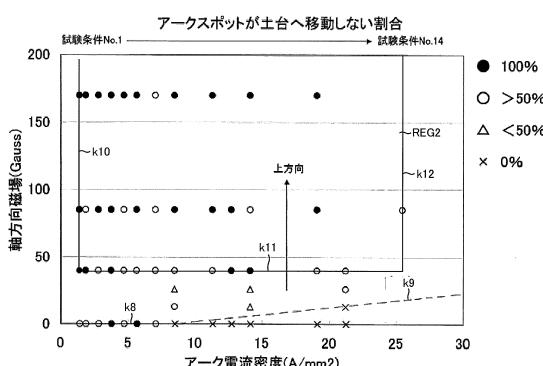
【図 6-3】



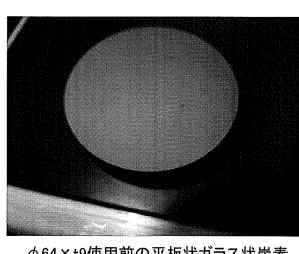
【図 6-1】



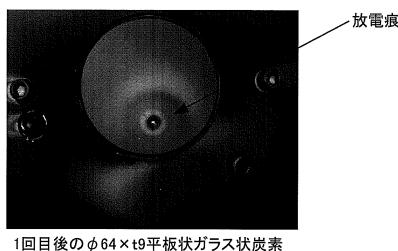
【図 6-4】



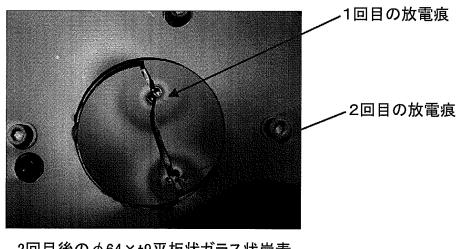
〔図 65〕



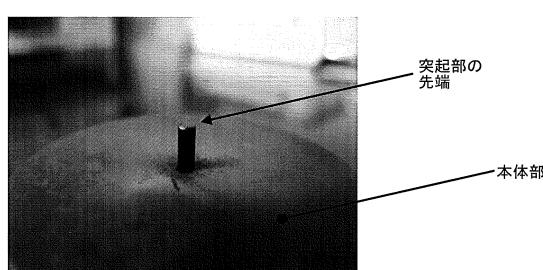
【図66】



【図67】



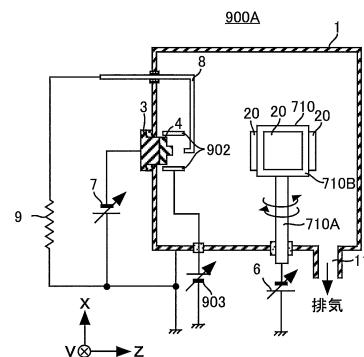
【図68】



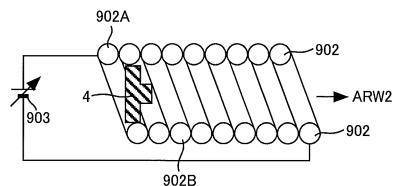
【図69】



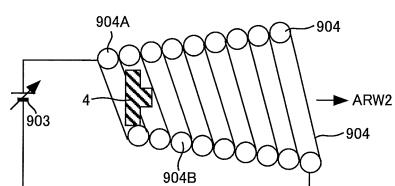
【図72】



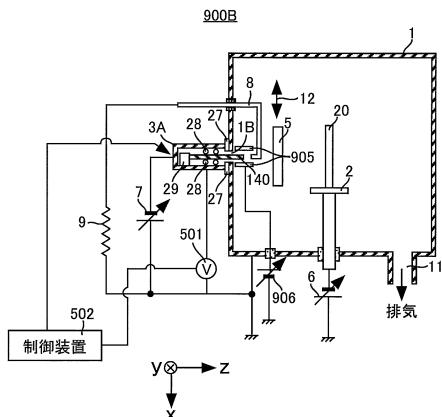
【図73】



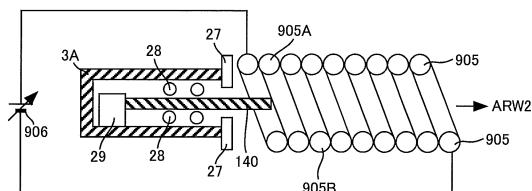
【図74】



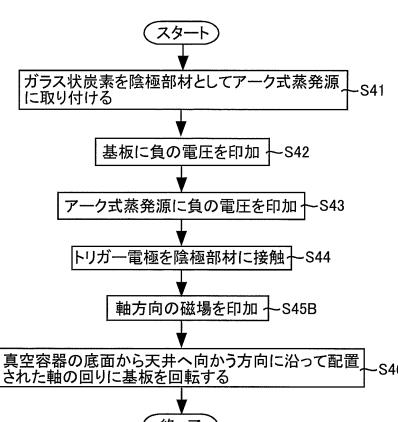
【図75】



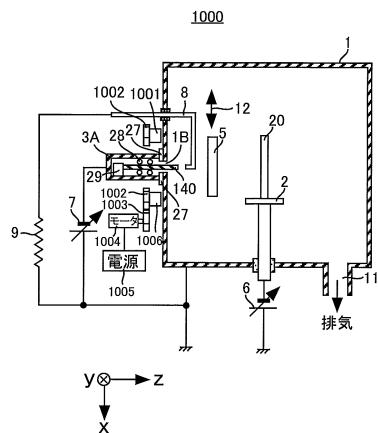
【図76】



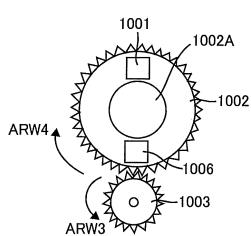
【図77】



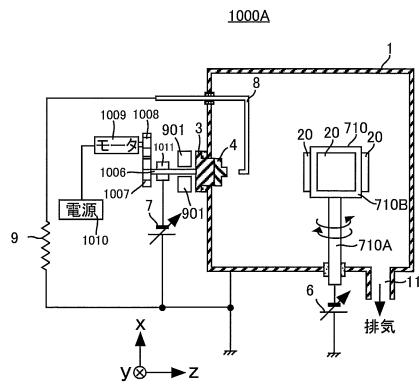
【図 7 8】



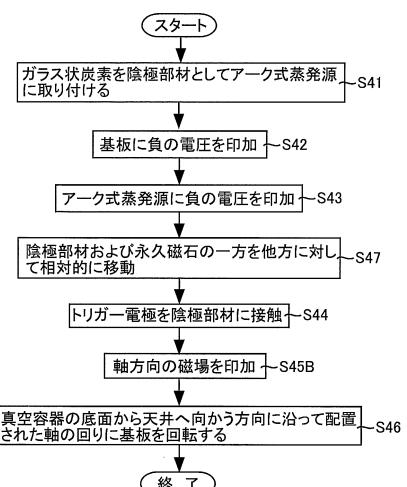
【図 7 9】



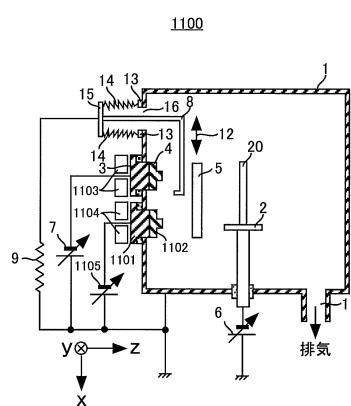
【図 8 0】



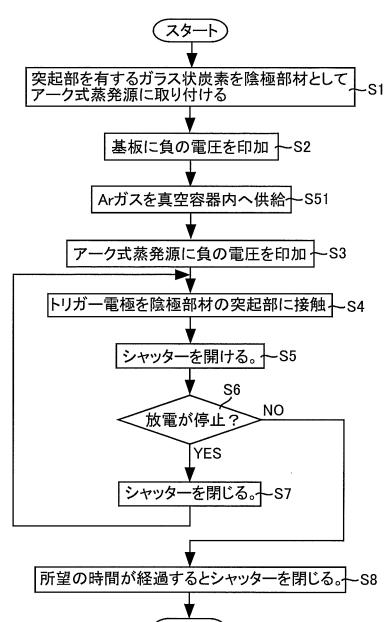
【図 8 1】



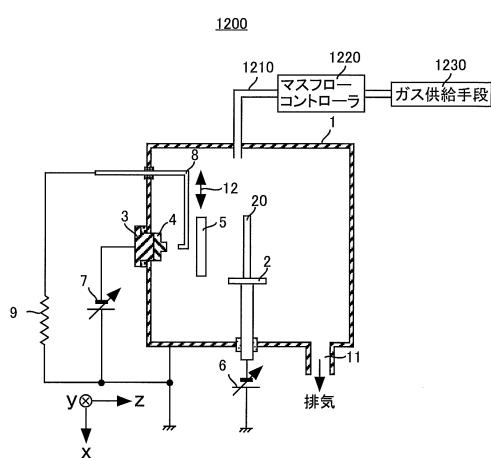
【図 8 2】



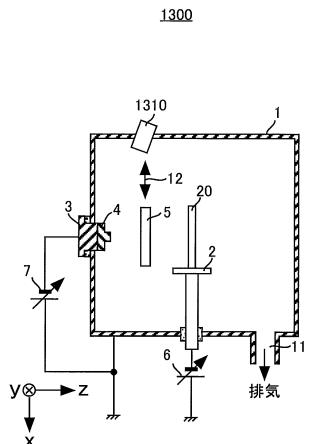
【図 8 4】



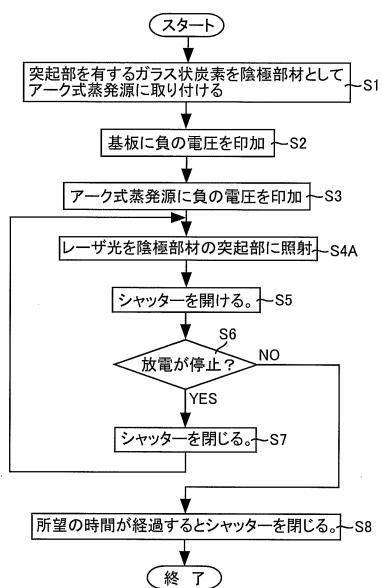
【図 8 3】



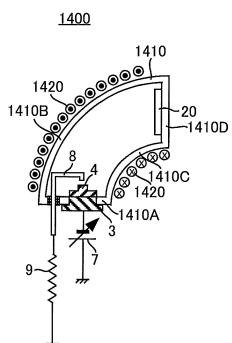
【図 8 5】



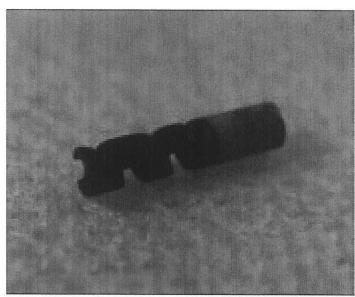
【図 8 6】



【図 8 7】



【図71】



---

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畠町47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畠町47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畠町47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畠町47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