

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2014 年 7 月 31 日(31.07.2014)



(10) 国際公開番号  
**WO 2014/115733 A1**

- (51) 国際特許分類:  
C23C 14/32 (2006.01) C23C 14/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/051141
- (22) 国際出願日: 2014 年 1 月 21 日(21.01.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2013-009363 2013 年 1 月 22 日(22.01.2013) JP  
特願 2013-010820 2013 年 1 月 24 日(24.01.2013) JP
- (71) 出願人: 日新電機株式会社 (NISSIN ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町 4 7 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 加藤 健治(KATO, Kenji); 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町 4 7 番地日新電機株式会社内 Kyoto (JP). 高橋 正人(TAKAHASHI, Masato); 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町 4 7 番地日新電機株式会社内 Kyoto (JP). 孫 ▲王奇▼(SUN, Qi); 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町 4 7 番地日新電機株式会社内 Kyoto (JP). 三上 隆司(MIKAMI, Takashi); 〒6158686 京都府京都市右京区梅津高畝町 4 7 番地日新電機株式会社内 Kyoto (JP). 宮 ▲崎▼ 俊博(MIYAZAKI, Toshihiro); 〒6158686 京都府京都

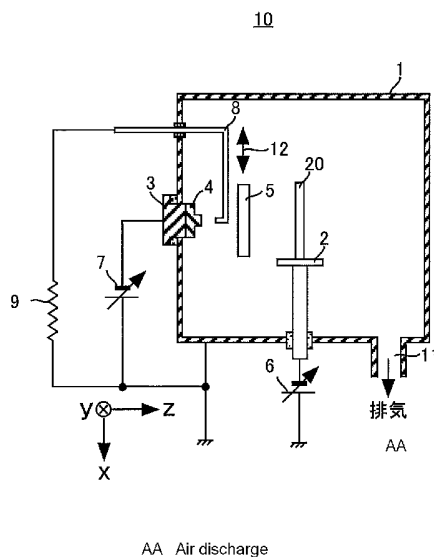
市右京区梅津高畝町 4 7 番地日新電機株式会社内 Kyoto (JP).

- (74) 代理人: 上羽 秀敏, 外(UEBA Hidetoshi et al.); 〒5300004 大阪府大阪市北区堂島浜 2 丁目 2 番 2 8 号堂島アクシスビル インテリクス特許法律事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシ  
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: PLASMA DEVICE, CARBON THIN FILM MANUFACTURING METHOD AND COATING METHOD USING PLASMA DEVICE

(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) Abstract: A plasma device (10), provided with: a vacuum container (1), an arc-type evaporation source (3), a negative electrode member (4), a shutter (5), a power source (7), and a trigger electrode (8). The arc-type evaporation source (3) is fixed to the side wall of the vacuum container (1) so as to face the substrate (20). The negative electrode member (4) is made from vitreous carbon having a protrusion and is mounted on the arc-type evaporation source (3). The power source (7) applies a negative voltage to the arc-type evaporation source (3). The trigger electrode (8) comes into contact with or separates away from the protrusion on the negative electrode member (4). A negative voltage is applied to the arc-type evaporation source (3), the trigger electrode (8) is brought into contact with the protrusion on the negative electrode member (4), an arc discharge is generated, the shutter (5) is opened, and a carbon thin film is formed on the substrate (20).

(57) 要約: プラズマ装置 10 は、真空容器 1 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 7 と、トリガー電極 8 とを備える。アーク式蒸発源 3 は、真空容器 1 の側壁に基板 20 に対向して固定される。陰極部材 4 は、突起部を有するガラス状炭素からなり、アーク式蒸発源 3 に取り付けられる。電源 7 は、アーク式蒸発源 3 に負の電圧を印加す

る。トリガー電極 8 は、陰極部材 4 の突起部に接触または離反する。アーク式蒸発源 3 に負の電圧を印加し、トリガー電極 8 を陰極部材 4 の突起部に接触させてアーク放電を発生させ、シャッター 5 を開けてカーボン薄膜を基板 20 上に形成する。

WO 2014/115733 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, 添付公開書類:  
MR, NE, SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

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

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

[0004] 磁気コイルは、プラズマダクトの周囲に巻かれている。そして、磁気コイルは、蒸発源の近傍で発生したプラズマを真空容器内に配置された基板の近傍に導く。

[0005] 多孔部材は、プラズマダクトの内壁に取り付けられており、蒸発源に取り付けられた陰極物質から飛び出した粗大粒子を捕獲する。

[0006] このように、従来の真空アーク蒸着装置は、蒸発源をプラズマダクトによって真空容器に連結し、陰極物質から飛び出した粗大粒子をプラズマダクトの内壁に設けられた多孔部材によって捕獲して粗大粒子が基板に飛来するのを抑制する。

特許文献１：特開２００２－１０５６２８号公報

### 発明の開示

[0007] しかし、従来の真空アーク蒸着装置では、陰極物質としてグラファイト（カーボン）が用いられており、グラファイトは、カーボン粒子を焼結して作

製されるので、粒界が存在する。その結果、グラファイトを陰極物質として用いた場合、陰極物質が粒界に沿って割れ、粗大粒子（パーティクル）が発生するという問題がある。

[0008] そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、陰極物質が割れるのを抑制可能なプラズマ装置を提供することである。

[0009] また、この発明の別の目的は、陰極物質が割れるのを抑制してカーボン薄膜を製造可能なカーボン薄膜の製造方法を提供することである。

[0010] 更に、この発明の別の目的は、陰極物質が割れるのを抑制してカーボン薄膜をコーティング可能なカーボン薄膜のコーティング方法を提供することである。

[0011] この発明の実施の形態によれば、プラズマ装置は、真空容器と、アーク式蒸発源と、陰極部材と、保持部材と、放電開始手段と、電源とを備える。アーク式蒸発源は、真空容器に固定される。陰極部材は、アーク式蒸発源に取り付けられる。保持部材は、陰極部材に向かって配置された基板を保持する。放電開始手段は、放電を開始させる。電源は、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する。そして、陰極部材は、ガラス状炭素からなり、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含む。放電開始手段は、プラズマが陰極部材の少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる。

[0012] また、この発明の実施の形態によれば、カーボン薄膜の製造方法は、基板に向かって真空容器に固定されたアーク式蒸発源に、ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含む陰極部材を取り付ける第1の工程と、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第2の工程と、プラズマが陰極部材の少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる第3の工程とを備える。

[0013] 更に、この発明の実施の形態によれば、カーボン薄膜のコーティング方法は、金属、セラミックス、樹脂、半導体およびこれらから選択された材質を組み合わせた物のいずれかからなる基材の表面にカーボン薄膜をコーティン



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

[0014] この発明の実施の形態によるプラズマ装置は、アーク式蒸発源に負の電圧を印加し、陰極部材の少なくとも1つの柱状部分（ガラス状炭素からなる）から放出されるようにプラズマを発生させ、カーボン薄膜を製造する。その結果、突起部における熱歪が少なくなり、原子状のカーボンが陰極部材の柱状部分から放出される。また、ガラス状炭素は、粒界を有しない。

[0015] 従って、突起部における熱歪が少なくなることで、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。

[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。

## 図面の簡単な説明

[0018] [図1]この発明の実施の形態1によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

[図2]図1に示す陰極部材の斜視図である。

[図3]図2に示す線ⅠⅠⅠーⅠⅠⅠ間における陰極部材の断面図である。

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

[図5]カーボン薄膜の表面形状を示す図である。

[図6]実施の形態1における別の陰極部材を示す断面図である。

[図7]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図8]図7に示す線ⅤⅠⅠⅠーⅤⅠⅠⅠ間における陰極部材の断面図である。

[図9]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図10]図9に示す線ⅩーⅩ間における陰極部材の断面図である。

[図11]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図12]図11に示す線ⅩⅠⅠーⅩⅠⅠ間の陰極部材の断面図である。

[図13]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図14]図13に示す線ⅩⅠⅤーⅩⅠⅤ間の陰極部材の断面図である。

[図15]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図16]図15に示す線ⅩⅤⅠーⅩⅤⅠ間の陰極部材の断面図である。

[図17]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図18]図17に示す線ⅩⅤⅠⅠⅠーⅩⅤⅠⅠⅠ間の陰極部材の断面図である。

[図19]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図20]図19に示す線ⅩⅩーⅩⅩ間における陰極部材の断面図である。

[図21]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図22]図21に示す線ⅩⅩⅠⅠーⅩⅩⅠⅠ間における陰極部材の断面図である。

[図23]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図24]図23に示す線ⅩⅩⅠⅤーⅩⅩⅠⅤ間における陰極部材の断面図である。

[図25]実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。

[図26]図25に示す線ⅩⅩⅤⅠーⅩⅩⅤⅠ間の陰極部材の断面図である。

[図27]実施の形態1における更に別の陰極部材の概念図である。

[図28]図27に示す線XXVⅠⅠⅠーXXVⅠⅠⅠ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。

[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。

[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。

[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。

[図60]実施の形態9による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。

[図61]図60に示す電磁石（コイルおよび電源）の機能を説明するための図である。

[図62]実施の形態10によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

[図63]消弧しない割合における軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示す図である。

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

[図65]放電前のガラス状炭素の斜視図である。

[図66]第1回目の放電が終了した後のガラス状炭素を示す図である。

[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3 mm  $\phi$  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5.2 mm  $\phi$  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2 mm  $\phi$  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。

[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。

[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。

[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。

[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ⅠⅠⅠ－ⅠⅠⅠ間における陰極部材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、64mmφの直径R1を有し、12mmの高さH1を有する。突起部42は、数cmφ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、3mmφ、6mmφ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突起部42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42を形成する方法は、旋盤加工に限らず、エッチング（ウェットエッチングおよびドライエッチングの両方を含む）であってもよく、突起部42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。

[0037] 中心軸X2に垂直な方向における突起部42の断面積は、突起部42の直径R2が6mmφ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X1に垂直な方向における本体部41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41の断面積に対する突起部42の断面積の比は、約1／113になる。

[0038] その結果、突起部42における伝熱成分が減少することによって突起部42から熱が逃げ難くなり、突起部42全体が均熱化され易くなるため、熱歪が少なくなる。

[0039] 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。

[0040] 従って、陰極部材4が割れるのを抑制できる。

[0041] 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50nm～数 $\mu$ mであるカーボンの粒を言う。

[0042] 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。

[0043] 図4は、図1に示すプラズマ装置10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42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S1）。

[0044] 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。

[0045] そうすると、電源6によって基板20に $-10V \sim -300V$ の負の電圧を印加し（工程S2）、電源7によってアーク式蒸発源3に $-15V \sim -50V$ の負の電圧を印加する（工程S3）。

[0046] 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S4）、その後、トリガー電極8を陰極部材4から離反させる。これによって、アーク放電が開始し、アークスポットが陰極部材4の表面に現れる。このアークスポットは、陰極部材4の熔融部であり、強く発光している。

[0047] その後、シャッター5を開ける（工程S5）。これによって、カーボン薄膜（DLC: Diamond Like Carbon）が基板20上に形成される。そして、プラズマ装置10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S6）。アークスポットは、強く発光しているので、プラズマ装置10の操作者は、アークスポットが光っていれば、放電が停止していないと判定し、アークスポットが光っていなければ、放電が停止したと判定する。

- [0048] 工程 S 6 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 S 7）、その後、上述した工程 S 4～S 6 が繰り返し実行される。
- [0049] 一方、工程 S 6 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 S 8）。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 S 1～工程 S 8 に従って製造されたカーボン薄膜には、アモルファスカーボン薄膜、ダイヤモンドライクカーボン薄膜、テトラヘドラルアモルファスカーボン膜、非晶質硬質炭素薄膜および硬質炭素薄膜が含まれるものとする。
- [0051] なお、実施の形態 1 においては、電源 6 は、0 V の電圧を基板 2 0 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 S 1, S 3, S 4 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 4 2 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 2 0 上に形成される。
- [0053] その結果、突起部 4 2 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、80 A のアーク電流および 2000 Å の膜厚に設定して基板（直径 20 mm、厚さ 2 mm、SKH 51 製、鏡面研磨仕上げ）にカーボン薄膜をそれぞれ成膜したものである。両者の違いは、成膜時における陰極部材のみであり、図 5 の（a）は、ガラス状炭素を陰極部材 4 として用いた場合のものであり、図 5 の（b）は、焼結構造のカーボン材料を陰極部材 4 として用いた場合のものである。

[0055] 図5 (a), (b) のいずれにおいても、0 Åレベルからプラス方向に針状に突き出たピークがカーボン薄膜中の粗大粒子（粗大粒子＝パーティクルが存在する為、表面形状が凸となる）を示しており、陰極部材の違いによるカーボン薄膜中の粗大粒子数の違いは、明白である。この違いは、前述の通り、ガラス状炭素と焼結構造のカーボン材料の構造に由来するものであり、粒界の存在しないガラス状炭素から放出される粗大粒子が極端に少ない、または、ほとんど0個に等しいことを端的に表している。

[0056] 一例として、3000 Å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 Å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 Å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 Åレベルに対応し、カーボン薄膜の表面は、0 Å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 Åレベルの直線とはなっていない）に対応している。なお、基板のうねり、反りは、粗大粒子による針状に突き出たピークとは全く異なったものであり、粗大粒子の存在や個数を誤認識させるものではない。

[0058] また、図5 (b) において、縦軸が0 Å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を備えていてもよい。

[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ⅤⅠⅠⅠ－ⅤⅠⅠⅠ間における陰極部材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を備えていてもよい。

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

[0068] 陰極部材4Bは、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。

[0069] なお、陰極部材4Bにおいては、突起部42B、42C、42D、42Eは、基盤目状に限らず、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、基盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2個以上の突起部は、相互に同じ直径を有していてもよく、相互に異なる直径を有していてもよい。

[0071] 図9は、実施の形態1における更に別の陰極部材の概略図である。また、図10は、図9に示す線X-X間における陰極部材4Cの断面図である。

[0072] 実施の形態1においては、プラズマ装置10は、陰極部材4に代えて図9および図10に示す陰極部材4Cを備えていてもよい。

[0073] 図9および図10を参照して、陰極部材4Cは、本体部48と、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fとを含む。

[0074] 本体部48は、正方形である表面48Aを有する平板形状を有し、ガラス状炭素からなる。そして、本体部48の一辺の長さは、例えば、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以下の一辺の長さを有し、数mm以上の高さを有する。また、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fは、例えば、碁盤目状に本体部48上に配置される。この場合、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fの相互の間隔は、任意である。更に、本体部48および突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fは、一体的に作製される。そして、陰極部材4Cは、本体部48をアーク式蒸発源3に固定することによってアーク式蒸発源3に取り付けられる。従って、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fは、基板20側へ突出している。

[0076] 陰極部材4Cは、陰極部材4と同じ方法によって作製される。

[0077] なお、陰極部材4Cにおいては、突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fは、碁盤目状に限らず、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。

[0078] また、陰極部材4Cは、6個の突起部49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49Fに限らず、1個~5個の突起部を備えていてもよく、7個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、1個以上の突起部を備えていればよい。そして、陰極部材4Cが2個以上の突起部を備える場合、2個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2個以上の突起部は、相互に同じ一辺の長さ

を有していてもよく、相互に異なる一辺の長さを有していてもよい。

[0079] 更に、本体部 4 8 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 4 9 A, 4 9 B, 4 9 C, 4 9 D, 4 9 E, 4 9 F 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 c m 以下に設定される。

[0081] 更に、陰極部材 4 C は、断面形状が四角形である平板形状を有する本体部に限らず、断面形状が三角形である平板形状を有する本体部、または断面形状が五角形である平板形状を有する本体部を備えていてもよく、一般的には、断面形状が多角形である平板形状を有する本体部を備えていればよい。

[0082] 更に、陰極部材 4 C は、断面形状が四角形である角柱形状を有する突起部に限らず、断面形状が三角形である角柱形状を有する突起部、または断面形状が五角形である角柱形状を有する突起部を備えていてもよく、一般的には、断面形状が多角形である角柱形状を有する突起部を備えていればよい。

[0083] 図 1 1 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概略図である。また、図 1 2 は、図 1 1 に示す線 X 1 1 - X 1 1 間の陰極部材 4 D 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 1 0 は、陰極部材 4 に代えて図 1 1 および図 1 2 に示す陰極部材 4 D を備えていてもよい。

[0085] 図 1 1 および図 1 2 を参照して、陰極部材 4 D は、図 2 に示す陰極部材 4 の突起部 4 2 を突起部 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I に代えたものであり、その他は、陰極部材 4 と同じである。

[0086] 突起部 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I 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 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I の各々は、本体部 4 1 の表面 4 1 1 において数 c m  $\phi$  以下の直径を有する。また、突起部 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I の各々は、例えば、9 m m の高さを有する。更に、突起部 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I は、例えば、碁盤目

状に本体部 4 1 上に配置される。この場合、突起部 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I の相互の間隔は、任意である。更に、本体部 4 1 および突起部 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I は、一体的に作製される。そして、陰極部材 4 D は、本体部 4 1 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I は、基板 2 0 側へ突出している。

[0087] 陰極部材 4 D は、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。

[0088] なお、陰極部材 4 D においては、突起部 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I 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 4 D は、4 個の突起部 4 2 F, 4 2 G, 4 2 H, 4 2 I に限らず、2 個の突起部を備えていてもよく、3 個の突起部を備えていてもよく、5 個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、2 個以上の突起部を備えていればよい。そして、2 個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2 個以上の突起部は、本体部 4 1 の表面 4 1 1 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 1 3 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概略図である。また、図 1 4 は、図 1 3 に示す線 X I V - X I V 間の陰極部材 4 E 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 1 0 は、陰極部材 4 に代えて図 1 3 および図 1 4 に示す陰極部材 4 E を備えていてもよい。

[0092] 図 1 3 および図 1 4 を参照して、陰極部材 4 E は、図 2 に示す陰極部材 4 の突起部 4 2 を突起部 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M 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 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M 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 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M の各々は、本体部 4 1 の表面 4 1 1 において数 c m  $\phi$  以下の直径を有し、先



端部において表面 4 1 1 における直径よりも小さい直径を有する。また、突起部 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M の各々は、例えば、9 mm の高さを有する。更に、突起部 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M は、例えば、碁盤目状に本体部 4 1 上に配置される。この場合、突起部 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M の相互の間隔は、任意である。更に、本体部 4 1 および突起部 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M は、一体的に作製される。そして、陰極部材 4 E は、本体部 4 1 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M は、基板 2 0 側へ突出している。

[0094] 陰極部材 4 E 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 4 E においては、突起部 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M は、碁盤目状に限らず、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。

[0096] また、陰極部材 4 E は、4 個の突起部 4 2 J, 4 2 K, 4 2 L, 4 2 M に限らず、2 個の突起部を備えていてもよく、3 個の突起部を備えていてもよく、5 個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、2 個以上の突起部を備えていればよい。そして、2 個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2 個以上の突起部は、本体部 4 1 の表面 4 1 1 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 1 5 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概略図である。また、図 1 6 は、図 1 5 に示す線 X V I - X V I 間の陰極部材 4 F 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 1 0 は、陰極部材 4 に代えて図 1 5 および図 1 6 に示す陰極部材 4 F を備えていてもよい。

[0099] 図 1 5 および図 1 6 を参照して、陰極部材 4 F は、図 9 および図 1 0 に示す陰極部材 4 C の突起部 4 9 A, 4 9 B, 4 9 C, 4 9 D, 4 9 E, 4 9 F を突起部 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L に代えたもので

あり、その他は、陰極部材 4 C と同じである。

[0100] 突起部 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L 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 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L の各々は、本体部 4 8 の表面 4 8 A 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 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L の各々は、例えば、9 mm の高さを有する。更に、突起部 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L は、例えば、碁盤目状に本体部 4 8 上に配置される。この場合、突起部 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L の相互の間隔は、任意である。更に、本体部 4 8 および突起部 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L は、一体的に作製される。そして、陰極部材 4 F は、本体部 4 8 をアーケ式蒸発源 3 に固定することによってアーケ式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L は、基板 2 0 側へ突出している。

[0101] 陰極部材 4 F 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 4 F においては、突起部 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L 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 4 F は、6 個の突起部 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L に限らず、2 個の突起部を備えていてもよく、3 個の突起部を備えていてもよく、5 個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、2 個以上の突起部を備えていればよい。そして、2 個以上の突起部は、碁盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2 個以上の突起部は、本体部 4 8 の表面 4 8 A において、相互に同じ一辺の長さを有していてもよく、相互に異なる一辺の長さを有していてもよい。

[0104] 更に、突起部 4 9 G, 4 9 H, 4 9 I, 4 9 J, 4 9 K, 4 9 L 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。

[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ＸＶⅠⅠⅠ－ＸＶⅠⅠⅠ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。

[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、９ｍｍの高さを有する。更に、突起部４９Ｍ，４９Ｎ，４９Ｏ，４９Ｐ，４９Ｑ，４９Ｒは、例えば、基盤目状に本体部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 4 G は、本体部 4 8 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R は、基板 2 0 側へ突出している。

[0110] 陰極部材 4 G は、ガラス状炭素を旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。

[0111] なお、陰極部材 4 G においては、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R は、基盤目状に限らず、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 4 G は、6 個の突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R に限らず、2 個の突起部を備えていてもよく、3 個の突起部を備えていてもよく、5 個以上の突起部を備えていてもよく、一般的には、2 個以上の突起部を備えていればよい。そして、2 個以上の突起部は、基盤目状に配置されていてもよく、任意の間隔でランダムに配置されていてもよい。また、2 個以上の突起部は、本体部 4 8 の表面 4 8 A において、相互に同じ一辺の長さを有していてもよく、相互に異なる一辺の長さを有していてもよい。

[0113] 更に、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R の各々は、先端部および本体部 4 8 の表面 4 8 A において、正方形の形状に限らず、長方形の形状を有していてもよい。この場合、長方形の長辺および短辺の長さは、数 cm 以下である。

[0114] 更に、突起部 4 9 M, 4 9 N, 4 9 O, 4 9 P, 4 9 Q, 4 9 R の各々は、先端部および本体部 4 8 の表面 4 8 A において、三角形の形状を有していてもよく、五角形の形状を有していてもよく、六角形の形状を有していてもよく、一般的には、多角形の形状を有していてもよい。この場合、表面 4 8 A における多角形の最も長い対角線の長さは、数 cm 以下である。

[0115] 図 1 9 は、実施の形態 1 における更に別の陰極部材の概略図である。また、図 2 0 は、図 1 9 に示す線 X X - X X 間における陰極部材 4 H の断面図である。

- [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。
- [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チングすることによって作製される。
- [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 XX' - XX' 間における陰極部材 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。
- [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、1 mm ~ 10 mm 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41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。

[0125] 陰極部材41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。

[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XXI-V-XXI-V間における陰極部材4Jの断面図である。

[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に代えたものであり、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。

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

[0135] 突起部 45 A, 45 B, 45 C, 45 D, 45 E, 45 F の各々は、平面形状が直線形状からなる壁状構造を有し、ガラス状炭素からなる。また、突起部 45 A, 45 B, 45 C, 45 D, 45 E, 45 F の各々は、例えば、数 mm の厚みを有し、例えば、厚みよりも大きい数 mm ~ 1 cm の高さを有する。更に、突起部 45 A, 45 B, 45 C, 45 D, 45 E, 45 F は、所望の間隔で略平行に本体部 48 上に配置される。更に、本体部 48 および突起部 45 A, 45 B, 45 C, 45 D, 45 E, 45 F は、一体的に作製される。

[0136] 陰極部材 4 K は、平板形状を有するガラス状炭素を突起部 45 A, 45 B, 45 C, 45 D, 45 E, 45 F を有するように旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。そして、陰極部材 4 K は、本体部 48 をアーク式蒸発源 3 に固定することによってアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。従って、突起部 45 A, 45 B, 45 C, 45 D, 45 E, 45 F は、基板 20 側へ突出している。

[0137] なお、陰極部材 4 K においては、突起部の個数は、6 個に限らず、1 個以上であればよい。

[0138] また、陰極部材 4 K においては、6 個の突起部 45 A, 45 B, 45 C, 45 D, 45 E, 45 F は、相互に同じ間隔で配置されていなくてもよく、ランダムな間隔で配置されていてもよい。

[0139] 更に、陰極部材 4 K が複数の突起部を備える場合、複数の突起部は、平行に配置されていなくてもよい。

- [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 | | | - X X V | | |間の陰極部材4 L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4 L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4 Lは、図23および図24に示す陰極部材4 Jの突起部50を突起部51～53に代えたものであり、その他は、陰極部材4 Jと同じである。
- [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4 Lは、平板形状を有するガラス状炭素を突起部51～53を有するように旋盤加工またはエッチングすることによって作製される。そして、陰極部材4 Lは、本体部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51～53は、基板20側へ突出している。
- [0145] 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。
- [0146] また、陰極部材4 Lにおいては、3個の突起部51～53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。
- [0147] 更に、実施の形態1において使用される陰極部材は、陰極部材4から陰極部材4 Aへの変更と同じ変更が陰極部材4 B, 4 C, 4 D, 4 E, 4 F, 4 Gに適用されたものであってもよい。
- [0148] 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20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 20 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。

[0149] プラズマ装置 10 が陰極部材 4A~4L 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 S1 において、陰極部材 4A~4L のいずれかがアーク式蒸発源 3 に取り付けられる。

[0150] 図 29 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 29 に示すプラズマ装置 10A であってもよい。

[0151] 図 29 を参照して、プラズマ装置 10A は、図 1 に示すプラズマ装置 10 に絶縁部材 13、ベローズ 14 および保持部材 15 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。

[0152] 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 16 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 15 に固定される。

[0153] 絶縁部材 13 は、貫通孔 16 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 14 は、絶縁部材 13 と保持部材 15 との間に配置され、絶縁部材 13 および保持部材 15 に固定される。保持部材 15 は、トリガー電極 8 の他方端に固定され、例えば、Mo からなる。また、保持部材 15 は、抵抗 9 を介して接地電位 GND に接続される。

[0154] ベローズ 14 は、z 軸方向に伸縮可能であり、ベローズ 14 の保持部材 15 に近い部分は、x-y 平面における保持部材 15 の移動に伴って移動可能である。

[0155] 保持部材 15 は、プラズマ装置 10A 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。

[0156] なお、抵抗 9 と保持部材 15 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 15 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 15 は、配線によって抵抗 9 に安定に接続される。

[0157] プラズマ装置 10A 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 42 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 4B～4G および壁状構造の突起部を有する陰極部材 4H～4L 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 4B～4L の突起部を万遍無く消費できる。

[0158] プラズマ装置 10, 10A が陰極部材 4 に代えて陰極部材 4A～4L 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 4A～4L が割れるのを抑制できる。

[0159] 上記においては、各種の陰極部材 4, 4A～4L 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, 4A～4L 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 42 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。

[0160] [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。

[0161] 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 30A を有する。更に、アーク式蒸発源 30 は、電源 7 に接続される。

[0162] 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。

- [0163] 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。
- [0164] 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 18A に設けられた貫通孔と底部部材 18B に設けられた貫通孔を通して配置される。そして、ネジ部材 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。
- [0165] 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。
- [0166] 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 30A 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 22A とアーク式蒸発源 30 の歯車 30A とに装着される。
- [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、絶縁棒 402 とを含む。ガラス状炭素 401 は、円柱形状を有し、数  $\text{cm}$   $\phi$  以下の直径および数  $\text{mm}$  以上の長さを有する。ガラス状炭素 401 は、例えば、 $3\text{ mm}$   $\phi$  または

6 mm  $\phi$  の直径を有し、10 mm の長さを有する。

- [0169] 絶縁棒 402 は、円盤形状を有し、高融点の絶縁物（例えば、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$  および六方晶-BN）からなる。絶縁棒 402 の直径は、例えば、64 mm  $\phi$  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、絶縁棒 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、絶縁棒 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。
- [0171] 絶縁棒 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棒 402 とからなる。
- [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、0.5 MPa 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] 弁 232 は、円盤形状を有する。弁 232 は、軸 233 に連結され、シリ

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 231 C, 231 D 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 30 A に連結される。

[0177] ガスをシリンダ 231 内の空間領域 231 C, 231 D に出し入れし、空間領域 231 D の圧力が空間領域 231 C 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 30 A、アール式蒸発源 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 231 C, 231 D に出し入れし、空間領域 231 C の圧力が空間領域 231 D 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 30 A、アール式蒸発源 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 231 C, 231 D の圧力を調整することによって、歯車 30 A、アール式蒸発源 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 30 A が  $x-y$  平面内で回転しても、弁 232 が歯車 30 A の回転に連動して  $x-y$  平面内で回転するので、シリンダ 231 は、回転することがない。

[0181] また、アーク式蒸発源 30 を電源 7 に接続する配線は、アーク式蒸発源 30 に固定されるのではなく、アーク式蒸発源 30 に接しているので、歯車 30 A の回転に伴ってアーク式蒸発源 30 が回転しても、アーク式蒸発源 30 に負の電圧を印加できる。

[0182] 図 33 は、図 30 に示すトリガー電極 17 が陰極部材 40 の全てのガラス状炭素 401 に接触する機構を説明するための図である。

- [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によってアーク式蒸発源30および陰極部材40を所望の角度だけ回転させて、トリガー電極17を1つのガラス状炭素401に対向させる。そして、気動機構23によってアーク式蒸発源30および陰極部材40をz軸方向へ移動させて、陰極部材40の1つのガラス状炭素401にトリガー電極17を接触させ、その後、離反する際に放電が開始される。
- [0186] 図34は、図30に示すプラズマ装置100を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。
- [0187] 図34に示す工程図は、図4に示す工程図の工程S3と工程S4との間に工程S11、S12を追加したものであり、その他は、図4に示す工程図と同じである。
- [0188] 図34を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程S1～S3が順次実行される。
- [0189] そして、工程S3の後、モータ22、歯車22A、ベルト24および歯車30Aによって、アーク式蒸発源30の中心軸の回りにアーク式蒸発源30を所望の角度だけ回転させる（工程S11）。
- [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にトリガー電極 17 を移動させる（工程 S 12）。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 34 に示す工程図においては、放電が停止された場合、工程 S 11、S 12 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に、アーク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 35 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 35 に示すプラズマ装置 100A であってもよい。

[0195] 図 35 を参照して、プラズマ装置 100A は、図 30 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して配置される。この場合、貫通孔の部分においては、真空容器 1 とトリガー電

極 25 との間に、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 36 は、図 35 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 36 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 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 ARW1 の方向へ回転され、所望の回転角度で停止する。

[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。

[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。
- [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、アーク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。
- [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 10mmφ である場合、貫通孔 402A の直径を 11mmφ～12mmφ 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。
- [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。

[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 cmφ 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 1 B を通って配置され、一方端がトリガー電極 8 の一方端に対向する。

[0219] ベアリング 28 は、金属材料からなり、アーク式蒸発源 3 A および陰極部材 140 に接し、アーク式蒸発源 3 A 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 3 A 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 294 A は、歯車 293 に連結される。台部材 295 は、アーク式蒸発源 3 A 上に配置される。

[0223] モータ 294 は、回転軸 294 A 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 3 A 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 3 A の内部は、真空容器 1 内の圧力と同じ圧力に保持されている。

[0225] また、ベアリング 28 は、金属材料からなり、アーク式蒸発源 3 A および陰極部材 140 の両方に接しているため、トリガー電極 8 が陰極部材 140 の一方端に接触することによって、陰極部材 140 とアノード（真空容器 1

）との間でアーク放電が発生すると、陰極部材 140、ベアリング 28 およびアーク式蒸発源 3A を介して電流が流れる。その結果、陰極部材 140 の温度が上昇する。

[0226] この場合、陰極部材 140 は、陰極部材 4 の突起部 42 と同じ直径を有するので、昇温（均熱化）され易くなり、熱歪が少なくなる。

[0227] 従って、陰極部材 140 が割れるのを抑制できる。

[0228] プラズマ装置 200 においては、アーク放電によって陰極部材 140 が消耗すると、陰極部材 140 の先端部（基板 20 側の先端部）が消耗前の先端部と同じ位置になるように送出機構 29 によって陰極部材 140 を基板 20 側へ送り出す。

[0229] これによって、安定したアーク放電を長時間持続することができる。その結果、膜厚の厚いカーボン薄膜を製造できる。また、生産性を向上できる。

[0230] 陰極部材 140 を基板 20 側へ移動させるタイミングとしては、例えば、一定の放電時間が経過したタイミングが想定される。

[0231] 一定の放電時間が経過したタイミングは、より具体的には、1 回の成膜が終了したタイミングである。

[0232] また、陰極部材 140 は、基板 20 に堆積されたカーボン薄膜の膜厚分布またはカーボン薄膜の成膜速度が所望の範囲に入るように送出機構 29 によって基板 20 側へ送り出される。

[0233] 図 39 は、図 37 に示すプラズマ装置 200 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

[0234] 図 39 に示す工程図は、図 4 に示す工程図に工程 S21～S24 を追加したものであり、その他は、図 4 に示す工程図と同じである。

[0235] なお、図 39 に示す工程図は、1 回の成膜が終了したタイミングで陰極部材 140 を送り出すときの工程図である。

[0236] 図 39 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 S1～S7 が順次実行される。そして、工程 S6 において、放電が停止していないと判定されると、1 回の成膜が終了したか否かが更に判定される（工程

S 2 1)。

[0237] 工程 S 2 1 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 S 6, S 7, 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 200 は、複数の陰極部材 140 を備えていてもよい。この場合、隣接する 2 つの陰極部材 140 間にも、ベアリング 28 と同じベアリングが陰極部材 140 に接触するように配置される。

[0246] 更に、プラズマ装置 200 は、陰極部材 140 に代えて陰極部材 4, 4A ~ 4L 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 40 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 40 を参照して、実施の形態 4 によるプラズマ装置 300 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 301 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。

[0249] トリガー電極 301 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 301 は、例えば、Mo からなり、抵抗 9 を介して接地ノード GND に接続される。

[0250] 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、6 mm 中の直径を有する。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、3.1 mm の厚みを有する。また、先端部 3012 は、例えば、10 mm 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。

[0253] 薄膜部 3013 は、一方端がネジ 3014 によってトリガー電極 301 の

先端部 3012 に固定される。薄膜部 3013 は、例えば、Mo からなり、株式会社ニラコ製の薄板からなる。そして、薄膜部 3013 は、例えば、30 mm の長さ L1 および 0.1 mm 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、0.1 mm 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。

[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 80 A 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。

[0257] なお、陰極部材 4 は、グラファイトからなる本体部 41 と、3 mm 中のガラス状炭素（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。

[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] 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、Moからなり、3mmφの直径を有する。本体部4101は、先端部4101Aを有する。先端部4101Aは、例えば、1.6mmの厚みおよび5mmの長さL2を有する。
- [0269] 湾曲部4102は、例えば、Moからなり、3mmφ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、3mmφ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] 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。

[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。

[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、８ｍｍφの直径を有するＭｏ製のワイヤを螺旋状に巻いた構造からなる。

[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。

[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 のトリガー電極 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 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、410A 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 410、410A 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、410A に代えたプラズマ装置であってもよい。

[0286] 実施の形態 5 におけるその他の説明は、実施の形態 1 ～実施の形態 3 における説明と同じである。

[0287] [実施の形態 6]

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

[0288] 電圧計 501 は、アーク式蒸発源 30 と接地電位 GND との間に接続される。電圧計 501 は、アーク放電中の放電電圧  $V_d$  を検出し、その検出した放電電圧  $V_d$  を制御装置 502 へ出力する。

[0289] 制御装置 502 は、電圧計 501 から放電電圧  $V_d$  を受ける。そして、制御装置 502 は、放電電圧  $V_d$  の絶対値  $|V_d|$  をしきい値  $V_{d\_th}$  と比較し、絶対値  $|V_d|$  がしきい値  $V_{d\_th}$  以下であるとき、トリガー電極 17 を x 軸方向へ所望の距離だけ移動させるようにモータ 503 を制御し、

アーク式蒸発源 30 を所望の角度だけ回転させるようにモータ 22 を制御し、陰極部材 40 がトリガー電極 17 に接触または離反するように気動機構 23 を制御する。一方、制御装置 502 は、絶対値  $|V_d|$  がしきい値  $V_{d\_th}$  よりも大きいとき、モータ 22, 503 および気動機構 23 を制御しない。

[0290] 図 49 は、アーク電圧の時間変化を示す図である。図 49 において、縦軸は、アーク電圧（＝放電電圧  $V_d$ ）を表わし、横軸は、放電開始からの時間を表わす。なお、図 49 に示すアーク電圧の時間変化は、直径が 3 mm であり、長さが 60 mm である柱状形状のガラス状炭素 401 を用いて測定されたものである。この場合、放電電流を 80 A 一定とした。

[0291] 図 49 を参照して、アーク電圧（＝放電電圧  $V_d$ ）の絶対値は、放電開始直後において、35 V 程度であり、放電開始後、300 秒以上で 22 V 程度になる。そして、放電開始後、300 秒におけるガラス状炭素 401 の長さは、3 mm であった。

[0292] 放電開始からの時間が 250 秒から 300 秒の間では、アーク電圧（＝放電電圧  $V_d$ ）は、-25 V 程度であるので、しきい値  $V_{d\_th}$  を 25 V に設定すれば、制御装置 502 は、絶対値  $|V_d|$  が 25 V（＝しきい値  $V_{d\_th}$ ）以下であるとき、トリガー電極 17 を x 軸方向へ所望の距離だけ移動させるようにモータ 503 を制御し、アーク式蒸発源 30 を所望の角度だけ回転させるようにモータ 22 を制御し、陰極部材 40 がトリガー電極 17 に接触または離反するように気動機構 23 を制御する。一方、制御装置 502 は、絶対値  $|V_d|$  が 25 V（＝しきい値  $V_{d\_th}$ ）よりも大きいとき、モータ 22, 503 および気動機構 23 を制御しない。

[0293] これによって、1 つのガラス状炭素 401 の長さが 3 mm 程度になると、別のガラス状炭素 401 を用いて放電点弧し、カーボン薄膜を基板 20 上に堆積できる。

[0294] その結果、複数のガラス状炭素 401 をバックングプレート上に設置する場合、1 つのガラス状炭素 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、アークスポットがバックングプレートに移動し、バックングプレートに損傷するだけでなく、バックングプレートからの蒸発物がカーボン薄膜に混入し、カーボン薄膜の品質の低下および密着性の低下という問題が発生する。

[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3mm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、バックングプレートの損傷を防止できるとともに、カーボン薄膜の品質および密着性を向上できる。

[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。

[0300] そして、工程S5の後、電圧計501が放電電圧 $V_d$ を検出し（工程S31）、制御装置502は、放電電圧 $V_d$ の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 $V_{d\_th}$ 以下であるか否かを判定する（工程S32）。

[0301] 工程S32において、絶対値 $|V_d|$ がしきい値 $V_{d\_th}$ よりも大きいと判定されたとき、膜厚が所望の膜厚であるか否かが判定される（工程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] 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 S 3 1 に戻り、工程 S 3 2 において、絶対値  $|V_d|$  がしきい値  $V_{d\_th}$  以下であると判定されるまで、または工程 S 3 3 において、膜厚が所望の膜厚であると判定されるまで、工程 S 3 1 ~ S 3 3 が繰り返し実行される。

[0304] そして、工程 S 3 2 において、絶対値  $|V_d|$  がしきい値  $V_{d\_th}$  以下であると判定されると、成膜を終了するか否かが判定される（工程 S 3 4）。

。

[0305] 工程 S 3 4 において、成膜を終了しないと判定されたとき、上述した工程 S 7 が実行され、放電を消弧する（工程 S 3 5）。

[0306] そして、制御装置 5 0 2 は、別のガラス状炭素 4 0 1 をトリガー電極 1 7 に対向させるようにモータ 2 2，5 0 3 および気動機構 2 3 を制御する（工程 S 3 6）。

[0307] その後、一連の動作は、工程 S 3 へ戻り、工程 S 3 4 において、成膜を終了すると判定されるまで、上述した工程 S 3，S 1 1，S 1 2，S 4，S 5，S 3 1，S 3 2，S 7，S 3 3，S 3 4，S 3 5，S 3 6 が繰り返し実行される。そして、工程 S 3 4 において、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 4 0 1 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 4 0 1 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、8 0 A 一定であるので、放電電圧  $V_d$  を検出すれば、放電抵抗  $R_d$  を計算できる。上記の例では、放電開始直後、放電抵抗  $R_d$  は、 $R_d = 35 / 80 = 0.44 \Omega$  になり、放電開始後、3 0 0 秒以降において、放電抵抗  $R_d$  は、 $R_d = 22 / 80 = 0.28 \Omega$  になる。

[0310] 従って、例えば、しきい値  $R_{d\_th}$  を 0.3 0  $\Omega$  に設定することによって、制御装置 5 0 2 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。

[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。

[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。

[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1

7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。

[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51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51を参照して、実施の形態7によるプラズマ装置600は、図37に示すプラズマ装置200に電圧計501および制御装置502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。

[0320] プラズマ装置600においては、電圧計501は、アーク式蒸発源3Aと接地電位GNDとの間に接続される。

[0321] 制御装置502は、上述したように、放電電圧 $V_d$ の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 $V_{d\_th}$ 以下であるか否かを判定する。そして、放電電圧 $V_d$ の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 $V_{d\_th}$ 以下であると判定されたとき、制御装置502は、陰極部材140を一定の距離だけ基板20側へ送り出すように送出機構29を制御する。一方、放電電圧 $V_d$ の絶対値 $|V_d|$ がしきい値 $V_{d\_th}$ よりも大きいと判定されたとき、制御装置502は、送出機構29を制御しない。

[0322] 上述した例では、放電開始から300秒が経過すると、柱状形状の陰極部材140の長さは、60mmから3mmに短くなる。

[0323] 従って、絶対値 $|V_d|$ がしきい値 $V_{d\_th}$ 以下であると判定されたとき、制御装置502は、陰極部材140を57mm(=60mm-3mm)だけ基板20側へ送り出すように送出機構29を制御する。

[0324] その結果、陰極部材140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52は、図51に示すプラズマ装置600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52に示す工程図は、図39に示す工程図の工程S21~S24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。

[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。

[0330] なお、上記においては、放電電圧  $V_d$  の絶対値  $|V_d|$  がしきい値  $V_{d\_th}$  以下であると判定されたとき、陰極部材 1 4 0 を所望の距離だけ基板 2 0 側へ送り出すと説明したが、実施の形態 7 においては、放電抵抗  $R_d$  がしきい値  $R_{d\_th}$  以下になると、陰極部材 1 4 0 を所望の距離だけ基板 2 0 側へ送り出すようにしてもよい。

[0331] 上述したように、放電電流は、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、 $R_d = 35 / 80 = 0.44 \Omega$  になり、放電開始後、300 秒以降において、放電抵抗  $R_d$  は、 $R_d = 22 / 80 = 0.28 \Omega$  になる。

[0332] 従って、例えば、しきい値  $R_{d\_th}$  を  $0.30 \Omega$  に設定することによって、制御装置 5 0 2 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 1 4 0 を所望の距離だけ基板 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 2 9 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 5 2 に示す工程図に従って製造される。この場合、制御装置 5 0 2 は、放電電圧  $V_d$  を電圧計 5 0 1 から受けると、放電抵抗  $R_d$  を演算し、工程 S 3

2において、放電抵抗 $R_d$ がしきい値 $R_{d\_th}$ 以下であるか否かを判定する。

[0334] 放電抵抗 $R_d$ を用いてカーボン薄膜を製造した場合も、上述した効果を得ることができる。

[0335] また、実施の形態7においては、放電開始から一定時間（＝例えば、300秒）が経過すると、使用中のガラス状炭素401を消弧し、陰極部材140を所望の距離だけ基板20側へ送り出すようにしてもよい。

[0336] この場合、工程S31において、放電開始からの経過時間が計測され、工程S32において、経過時間がしきい値（＝300秒）以上であるか否かが判定される。そして、経過時間がしきい値（＝300秒）以上であるとき、工程S34、S35が順次実行され、一連の動作が工程S31へ戻る。一方、経過時間がしきい値（＝300秒）よりも短い場合、一連の動作は、工程S33へ移行する。

[0337] 放電開始からの経過時間を用いてカーボン薄膜を製造した場合も、上述した効果を得ることができる。

[0338] 更に、実施の形態7においては、プラズマ装置600は、トリガー電極8に代えて、トリガー電極301、410、410Aのいずれかを備えていてもよい。

[0339] 実施の形態7におけるその他の説明は、実施の形態1、4、5、6と同じである。

[0340] [実施の形態8]

図53は、実施の形態8によるプラズマ装置の構成を示す概略図である。

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

[0341] 保持部材710は、真空容器1内に配置され、円柱部710Aと、支持部710Bとからなる。円柱部710Aおよび支持部710Bの各々は、金属

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

[0342] 永久磁石 711, 712 の各々は、例えば、円柱形状を有し、陰極部材 4 と基板 20 との間において  $x$  軸に沿って配置される。

[0343] プラズマ装置 700 においては、電源 6 は、保持部材 710 と接地ノード GND との間に接続される。支持部材 713 は、一部が真空容器 1 の底面を介して真空容器 1 内に配置され、残部が真空容器 1 外に配置される。この場合、支持部材 713 と真空容器 1 の底面との間には、Oリングが配置される。

[0344] 保持部材 710 は、支持部 710B によって複数の基板 20 を保持するとともに、複数の基板 20 を  $y-z$  平面内において回転する。永久磁石 711, 712 は、磁界を発生し、その発生した磁界によってビーム状のプラズマを拡散する。

[0345] 電源 6 は、負の電圧を保持部材 710 を介して複数の基板 20 に印加する。支持部材 713 は、永久磁石 711, 712 を支持するとともに、往復駆動装置（図示せず）によって永久磁石 711, 712 を  $x$  軸（真空容器 1 の底面から天井に向かう方向）に沿って移動させる。

[0346] 図 54 は、図 53 に示す永久磁石 711, 712 の配置位置を説明するための図である。図 54 を参照して、永久磁石 711, 712 の各々は、例えば、5 mm  $\phi$  の直径を有し、20 mm の長さを有する。永久磁石 711, 712 は、陰極部材 4 と基板 20 との間において長さ方向が真空容器 1 の底面から天井に向かう方向（ $x$  軸方向）に沿って略平行に配置される。この場合、永久磁石 711 と永久磁石 712 との間隔は、例えば、20 mm である。そして、永久磁石 711, 712 は、 $x$  軸方向の両端が同じ極になるように配置される。また、永久磁石 711, 712 は、陰極部材 4 の基板 20 側の

表面からの距離 $L$ が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 $\phi$ ~100mm $\phi$ 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。

- [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 $-10$  V $\sim -300$  V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 $-15$  V $\sim -50$  Vの負の電圧を印加する（工程S43）。
- [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、アーク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）。
- [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。
- [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、0 V 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。

[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。

[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 を参照して、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 4

2 から放出された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 に印加する（工程 S 4 5 A）。

[0377] 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。

[0378] 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。

[0379] 従って、広い領域にカーボン薄膜を形成できる。

[0380] 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。

[0381] 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。

[0382] 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。

[0383] 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。

[0384] 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 803 に流す。

[0385] なお、コイル 803 および電源 804 は、電磁石を構成する。

[0386] 図 61 は、図 60 に示す電磁石（コイル 803 および電源 804）の機能を説明するための図である。図 61 を参照して、コイル 803 に電流が流れていない場合、陰極部材 4 と基板 20 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 PLZ1 が発生する（図 61 の（a）参照）。

[0387] 電源 804 によってコイル 803 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 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 61 の（b）参照）。

[0388] また、電源 804 によってコイル 803 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 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 61 の（c）参照）。

[0389] 従って、陰極部材 4 と基板 20 との間において、コイル 803 に流す電流の大きさを周期的に変化させることによって、プラズマ PLZ1 は、 $x$  軸方向（真空容器 1 の底面から天井へ向かう方向）に沿ってスキャンされる。

[0390] そして、基板 20 は、上述したように、中心軸 AX1 の回りに回転される。その結果、基板 20 の全面にカーボン薄膜が形成される。

[0391] 従って、広い領域にカーボン薄膜を形成できる。

[0392] なお、図 60 に示すプラズマ装置 800A を用いたカーボン薄膜の製造方法は、図 59 に示す工程図に従って実行される。

[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]

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。

[0397] <実験1>

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

[0398] （実験方法）

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

[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

スメーター（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13 Gauss、26 Gauss、40 Gauss、85 Gaussおよび170 Gaussと変化させた場合、突起部42の半径方向の磁場は、それぞれ、2 Gauss、5 Gauss、8 Gauss、14 Gaussおよび32 Gaussであった。

[0400] 実験条件1～14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。

[0401] [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1～14の各々を用いてN（N=3～7）回の実験が行われた。

[0402] 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42に放電点弧し、その後、60秒間、消弧しないか否か、およびアークスポットが移動しないか否かを確認した。

[0403] （実験結果）

図63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。

[0404] 図63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xとし、軸方向磁場をyとする。

[0405] 図63を参照して、軸方向磁場yを0 Gauss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42のガラス状炭素自身、または放電によって形成されるアークスポット部分が十分に加熱されなくなり、熱電子が放出され難くなるためと考えられる。また、軸方向磁場を印加すると、円周方向へアークスポットを移動させる力が作用するため、より消弧し易くなり、軸方向磁場が170 Gaussとなると、アーク電流密度が5.662 A/mm<sup>2</sup>であっても、消弧しない割合が0%となってしまう。

[0406] 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 Gauss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 Gaussである点とを結んだ直線k1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 Gauss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 Gaussである点とを結んだ直線k2とを想定する。直線2は、 $y - 20.008x + 56.723$ によって表わされる。そうすると、直線k1および直線k2よりも右側領域は、消弧しない割合が0よりも大きい。

[0407] また、領域REG1は、消弧しない割合が50%よりも大きい。ここで、

直線  $k_3 \sim k_7$  を想定する。直線  $k_3$  は、 $x = 3.769 \text{ A/mm}^2$  によって表わされる。直線  $k_4$  は、 $y = 17.9932x + 17.1836$  によって表わされる。直線  $k_5$  は、 $y = 170 \text{ Gauss}$  によって表わされる。直線  $k_6$  は、 $x = 25.478 \text{ A/mm}^2$  によって表わされる。直線  $k_7$  は、 $y = 0 \text{ Gauss}$  によって表わされる。

[0408] 従って、領域 REG 1 は、直線  $k_3 \sim k_7$  上および直線  $k_3 \sim k_7$  によって囲まれた領域からなる。

[0409] よって、アーク電流密度および軸方向磁場が直線  $k_1$  および直線  $k_2$  よりも右側の領域に入る条件でアーク放電を発生させる。

[0410] そして、好ましくは、直線  $k_3 \sim k_7$  上に存在するアーク電流密度および軸方向磁場、または直線  $k_3 \sim k_7$  によって囲まれた領域内に存在するアーク電流密度および軸方向磁場を用いてアーク放電を発生させる。

[0411] これによって、消弧しない割合を 0% よりも大きくでき、好ましくは、消弧しない割合を 50% よりも大きくできる。

[0412] 図 64 は、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合における軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示す図である。

[0413] 図 64 において、縦軸は、軸方向磁場を表わし、横軸は、アーク電流密度を表わす。また、●は、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合が 100% である軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、○は、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合が 50% よりも大きい軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、△は、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合が 50% よりも小さい軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示し、×は、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合が 0% である軸方向磁場とアーク電流密度との関係を示す。更に、アークスポットが本体部 41 に移動しない割合は、(同一条件でアークスポットが本体部 41 に移動しなかった回数) / (同一条件の全回数  $N$ )  $\times 100\%$  によって求められた。更に、アーク電流密度を  $x$  とし、軸方向磁場を  $y$  とする。

[0414] 図 64 を参照して、軸方向磁場が 0 Gauss である状態でアーク電流密

度を大きくすると、 $8.493 \text{ A/mm}^2$ において、アークスポットが本体部41に移動しない割合が0%になる（即ち、アークスポットが100%移動する）。

[0415] 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クスポットが本体部41側へ移動する力が、突起部42で放電を継続する力よりも大きくなるためと考えられる。この点については、軸方向磁場を印加してアークスポットを突起部42の円周方向へ移動させる力を作用させることが有効であり、アーク電流密度が $21.231 \text{ A/mm}^2$ であっても、横方向磁場を $26 \text{ Gauss}$ とすることでアークスポットが本体部41へ移動するのを抑制することができる。

[0416] ここで、アーク電流密度が $1.413 \text{ A/mm}^2$ 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、アークスポットが本体部41に移動しない割合が0%よりも大きくなる。

[0417] また、領域REG2は、アークスポットが本体部41に移動しない割合が50%よりも大きい。ここで、直線k10～k12を想定する。直線k10は、 $x = 1.413 \text{ A/mm}^2$ によって表わされる。直線k11は、 $y = 40 \text{ Gauss}$ によって表わされる。直線k12は、 $x = 25.478 \text{ A/mm}^2$ によって表わされる。

[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k 8上、または直線k 8および直線k 9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k 10～k 12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 10～k 12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、アークスポットが本体部41に移動しない割合を0%よりも大きくでき、好ましくは、アークスポットが本体部41に移動しない割合を50%よりも大きくできる。
- [0422] そして、図63および図64に示す結果から、直線k 1および直線k 2よりも右側の領域であり、かつ、直線k 8上または直線k 8および直線k 9よりも上側の領域に含まれる軸方向磁場およびアーク電流密度を用いることによって、消弧しない割合を0%よりも大きくでき、かつ、アークスポットが本体部41に移動しない割合を0%よりも大きくできる。その結果、カーボン薄膜を安定して製造できる。
- [0423] 上述したように、永久磁石901によって軸方向磁場を印加することによって、消弧しない割合を0%よりも大きくでき、かつ、アークスポットが本体部41に移動しない割合を0%よりも大きくできることが実証された。
- [0424] <実験2>  
アーク放電によって陰極部材が割れるか否かを調べる実験を行った。
- [0425] (i) 平板状のガラス状炭素を用いた場合  
直径が64mmφであり、厚みが9mm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64mmφであり、厚みが11mmである焼結体グラファイト(IG510、東洋炭素社製)を台座(=本体部41)として用いた。そして、焼結体グラファイトをバックングプレート上に配置し、ガラス状炭素を焼結体グラファイト上に配置したものをアーク式蒸発源3に設置した。
- [0426] その後、 $9.9 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ まで真空容器1内を排気装置(図示せず)によって排気し、80Aのアーク電流でガラス状炭素の表面に放電点弧した。

[0427] 図65は、放電前のガラス状炭素の斜視図である。図65を参照して、ガラス状炭素は、放電前、平坦な表面を有する。

[0428] 図66は、第1回目の放電が終了した後のガラス状炭素を示す図である。放電点弧から131秒の間、スパークレス放電が継続した後、消弧してしまった。再点弧を試みたものの、点弧させることができなかったため、真空容器1を大気開放して観察を行った。放電痕の深さは、4mm程度であり、放電痕の底部（台座側）には、筋状の微小クラックが多数認められた。アークスポット近傍のみ加熱され、これによって局所的な熱歪、熱応力を生じ、微小クラックの発生につながったと考えられる。

[0429] 図67は、第2回目の放電が終了した後のガラス状炭素を示す図である。一回目の実験と異なる位置に放電点弧し、35秒の間、スパークレス放電が継続した後、異音発生と共に消弧してしまった。再点弧を試みたものの、点弧させることができなかったため、真空容器1を大気開放して観察を行った。二回目の実験の放電痕から2本のクラックが発生しており、1本は、直接外周端へ、別の1本は、一回目の実験の放電痕を経て外周端へと到達していた。また、2本のクラックは、いずれも深さ9mmにも到達していた。2本のクラックによって、直径が64mm中であり、厚みが9mmである平板状のガラス状炭素は、完全に破壊され、これ以上使用することが不可能な状況となっていた。

[0430] 異音の原因は、2本のクラックが発生したことによるものと考えられる。また、アークスポット近傍のみ加熱され、これによって局所的な熱歪、熱応力を生じ、2本のクラックの発生につながったと考えられる。

[0431] 一回目の実験に比較して、継続時間が約1/4と極端に短くなってしまった点については、一回目の実験（放電）によって、微小クラックが放電痕の底部以外にも発生しており、破壊し易い状態となっていたためと考えられる。従って、一回目の実験によって実質的には破壊されていたと考えられ、平板状のガラス状炭素を破壊することなく使用することは極めて難しいことが分かった。



[0432] (i i) 円柱状のガラス状炭素を用いた場合

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

[0433] そして、永久磁石901をバックングプレート上に設置し、本体部41を永久磁石901上に設置し、突起部42を本体部41に設置した。

[0434] この場合、突起部41の先端における軸方向の磁場強度は、112 Gaussであり、半径方向の磁場強度は、13 Gaussであり、突起部42の先端から本端部41側へ30 mm離れた位置において、軸方向の磁場強度は、350 Gaussであり、半径方向の磁場強度は、45 Gaussであった。これらの磁場強度は、ガウスメーター（Lake Shore社製410-SCT型）で測定した値である。

[0435] 真空容器1内を排気装置（図示せず）によって $9.9 \times 10^{-3}$  Paまで排気し、80 Aのアーカ電流で突起部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  $\phi$ 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、アーカ電源を停止することによって強制消弧した。放電中に一度も消弧せず、また、アークスポットが本体部41へ移動することも一度も無く、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  $\phi$  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 4 2 の直径を 2 mm  $\phi$ 、3 mm  $\phi$  および 5. 2 mm  $\phi$  に設定した。この場合、突起部 4 2 の先端における軸方向の磁場強度は、85 Gauss であり、半径方向の磁場強度は、14 Gauss であった。これらの磁場強度は、ガウスメーター（Lake Shore 社製 410-SCT 型）で測定された値である。

[0441] 真空容器 1 内を排気装置（図示せず）によって  $9.9 \times 10^{-3}$  Pa まで排気し、各設定されたアーク電流で突起部 4 2 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  $\phi$  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  $\phi$  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  $\phi$  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  $\phi$  のガラス状炭素（突起部 4 2）を用いた時の放電後の突起部 4 2 を示す図である。図 70 は、直径 5. 2 mm  $\phi$  のガラス状炭素（突起部 4 2）を用いた時の放電後の突起部 4 2 を示す図である。図 71 は、直径 2 mm  $\phi$  のガラス状炭素（突起部 4 2）を用いた時の放電後の突起部 4 2 を示す図である。

[0444] ガラス状炭素（突起部 4 2）の直径を 2 mm  $\phi$ 、3 mm  $\phi$  および 5. 2 mm  $\phi$  のいずれに設定しても、放電状況は、スパークレス放電のみであった。また、消弧およびアークスポットの本体部 4 1 への移動は、一度もなかった。そして、放電後、突起部 4 2 には、スパイラル状の放電痕が形成されていた（図 6 9～図 7 1 参照）。

[0445] このように、突起部 4 2 を備えた陰極部材 4 を用いてアーク放電を発生させた場合、アークスポットが永久磁石 9 0 1 からの磁場によって突起部 4 2 の表面をスパイラル状に移動する。その結果、放電が消弧することも無く、アークスポットが本体部 4 1 へ移動することも無い。従って、放電後にスパイラル状の放電痕が突起部 4 2 に形成されているのが、消弧およびアークスポットの本体部 4 1 への移動が発生しない根拠である。

[0446] 図 7 2 は、実施の形態 1 0 による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。実施の形態 1 0 によるプラズマ装置は、図 7 2 に示すプラズマ装置 9 0 0 A であってもよい。

[0447] 図 7 2 を参照して、プラズマ装置 9 0 0 A は、図 6 2 に示すプラズマ装置 9 0 0 の永久磁石 9 0 1 をコイル 9 0 2 および電源 9 0 3 に代えたものであり、その他は、プラズマ装置 9 0 0 と同じである。

[0448] コイル 9 0 2 は、陰極部材 4 を囲むように真空容器 1 内に配置される。電源 9 0 3 は、コイル 9 0 2 に接続される。そして、電源 9 0 3 は、所望の電流をコイル 9 0 2 に流す。

[0449] 図 7 3 は、図 7 2 に示す陰極部材 4 およびコイル 9 0 2 の拡大図である。図 7 3 を参照して、コイル 9 0 2 は、所望の回数、巻かれる。そして、陰極部材 4 は、中心軸がコイル 9 0 2 の中心軸に一致するようにコイル 9 0 2 の内部に配置される。即ち、陰極部材 4 は、コイル 9 0 2 によって囲まれる。電源 9 0 3 は、コイル 9 0 2 の一方端と他方端との間に接続される。

[0450] 電源 9 0 3 がコイル 9 0 2 に所望の電流を供給することによって、コイル 9 0 2 は、磁界を発生する。コイル 9 0 2 の上側部分 9 0 2 A を流れる電流が図 7 3 の紙面の奥から手前へ向かう方向であり、コイル 9 0 2 の下側部分

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。

[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）の磁場が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。

[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。

[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）の磁場が発生する。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。

[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。

[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。

[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。

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

[0465] 従って、放電の消弧およびアークスポットの陰極部材 1 4 0 以外への移動が発生せず、安定した長時間のスパークレス放電を実現できる。

[0466] なお、プラズマ装置 9 0 0 B においては、矢印 A R W 2 と反対方向（ $z$  軸方向）の磁場が発生するようにしてもよい。この場合、図 7 6 の紙面の手前から奥へ向かう方向の電流をコイル 9 0 5 の上側部分 9 0 5 A に流し、図 7 6 の紙面の奥から手前へ向かう方向の電流をコイル 9 0 5 の下側部分 9 0 5 B に流す。これによって、軸方向の磁場が陰極部材 1 4 0 に印加されるので、上述した効果を得ることができる。

[0467] また、プラズマ装置 9 0 0 B は、コイル 9 0 5 に代えて、図 7 4 に示すコイル 9 0 4 を備えていてもよい。

[0468] 更に、プラズマ装置 9 0 0 B において、コイル 9 0 5 またはコイル 9 0 4 は、真空容器 1 の外部において、陰極部材 1 4 0 に対して基板 2 0 と反対側に配置されてもよい。

[0469] このように、プラズマ装置 9 0 0 B においては、陰極部材 1 4 0 から基板 2 0 へ向かう方向の磁場、および基板 2 0 から陰極部材 1 4 0 へ向かう方向の磁場のいずれの磁場が陰極部材 1 4 0 に印加されてもよく、一般的には、軸方向（ $z$  軸方向）の磁場が陰極部材 1 4 0 に印加されればよい。

[0470] 図 7 7 は、図 6 2 に示すプラズマ装置 9 0 0 を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

[0471] 図 7 7 に示す工程図は、図 5 6 に示す工程図の工程 S 4 5 を工程 S 4 5 B

に代えたものであり、その他は、図 5 6 に示す工程図と同じである。

[0472] 図 7 7 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 4 1 ～ S 4 4 が順次実行される。そして、工程 S 4 4 の後、軸方向の磁場を印加する（工程 S 4 5 B）。その後、上述した工程 S 4 6 が実行され、カーボン薄膜の製造が終了する。

[0473] なお、図 7 2 に示すプラズマ装置 9 0 0 A および図 7 5 に示すプラズマ装置 9 0 0 B を用いたカーボン薄膜の製造方法も、図 7 7 に示す工程図 S 4 1 ～ S 4 4, S 4 5 B, S 4 6 に従って実行される。

[0474] 軸方向の磁場を陰極部材 4（または陰極部材 1 4 0）に印加することによって、消弧およびアークスポットの陰極部材 4 の突起部 4 2（または陰極部材 1 4 0）以外への移動が発生せず、安定して長時間のスパークレス放電を実現できる。従って、図 7 7 に示す工程図 S 4 1 ～ S 4 4, S 4 5 B, S 4 6 を用いてカーボン薄膜を製造することによって、高品質、かつ、低コストなカーボン薄膜を製造できる。

[0475] [実施の形態 1 1]

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

[0476] 永久磁石 1 0 0 1 は、アーク式蒸発源 3 A が固定された真空容器 1 の側壁に近接して配置される。そして、永久磁石 1 0 0 1 は、例えば、真空容器 1 側が N 極になり、歯車 1 0 0 2 側が S 極になるように配置される。永久磁石 1 0 0 1 は、歯車 1 0 0 2 に固定される。

[0477] 歯車 1 0 0 2 は、歯車 1 0 0 3 と噛み合う。モータ 1 0 0 4 は、歯車 1 0 0 3 に連結される。そして、モータ 1 0 0 4 は、電源 1 0 0 5 によって駆動されると、歯車 1 0 0 3 を回転させる。電源 1 0 0 5 は、モータ 1 0 0 4 を駆動する。カウンターウェイト 1 0 0 6 は、歯車 1 0 0 2 に固定される。

- [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。
- [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を通して配置される。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。
- [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、アーク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、アーク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。
- [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。



- [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ク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ていてもよい。そして、永久磁石の形状は、角形に限らず、円形またはリング状であってもよい。
- [0488] 図 80 は、実施の形態 11 による別のプラズマ装置の構成を示す概略図である。実施の形態 11 によるプラズマ装置は、図 80 に示すプラズマ装置 1000A であってもよい。
- [0489] 図 80 を参照して、プラズマ装置 1000A は、図 62 に示すプラズマ装置 900 に支持部材 1006、歯車 1007、1008、モータ 1009、電源 1010 およびブラシ 1011 を追加したものであり、その他は、プラズマ装置 900 と同じである。
- [0490] 支持部材 1006 は、円柱形状を有し、一方端がアーク式蒸発源 3 に固定され、他方端が歯車 1007 に固定される。この場合、支持部材 1006 の中心軸は、アーク式蒸発源 3 および歯車 1007 の中心軸に一致する。そして、支持部材 1006 は、金属等の導電性材料からなる。
- [0491] 歯車 1007 は、支持部材 1006 の一方端に固定される。歯車 1008 は、歯車 1007 と噛み合う。モータ 1009 は、歯車 1008 に連結される。そして、モータ 1009 は、電源 1010 によって駆動されると、歯車 1008 を所望の方向に回転させる。
- [0492] ブラシ 1011 は、導電性材料からなり、支持部材 1006 に接して配置される。そして、ブラシ 1011 は、電源 7 の負極に接続される。支持部材 1006 が中心軸の回りに回転しても、ブラシ 1011 は、回転することは無く、電源 7 からの負の電圧を支持部材 1006 に安定して印加する。

- [0493] 歯車 1007, 1008 の陰極部材 4 側から見た平面図は、図 79 に示す歯車 1002, 1003 の平面図と同じである。
- [0494] モータ 1009 は、電源 1010 によって駆動されると、歯車 1008 を所望の方向に回転させ、歯車 1007 を歯車 1008 と反対方向へ回転させる。その結果、支持部材 1006 が中心軸の周りに回転し、アーク式蒸発源 3 および陰極部材 4 も、中心軸の周りに回転する。
- [0495] そして、電源 7 は、ブラシ 1011 および支持部材 1006 を介してアーク式蒸発源 3 に負の電圧を印加する。また、永久磁石 901 は、軸方向の磁場および陰極部材 4 の半径方向の磁場を印加する。
- [0496] そして、トリガー電極 8 を陰極部材 4 の突起部 42 に接触し、離反すると、陰極部材 4 が回転しながら突起部 42 から放電が開始される。
- [0497] このように、プラズマ装置 1000A においては、陰極部材 4 を永久磁石 901 に対して移動させながら、アーク放電が行われる。
- [0498] この場合も、プラズマ装置 1000 と同じ効果を得ることができる。即ち、アークスポットが突起部 42 の表面のいずれの場所にあっても、永久磁石 901 が形成する磁場中でアークスポットが回転させられることとなり、結果的にアークスポットから放出されるプラズマも強制的に回転させられることとなるためである。
- [0499] 永久磁石 901 の外径をより大きくすれば、プラズマは、より突起部 42 から離れた位置へスキャンされ、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、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。

[0502] 図 8 1 に示す工程図は、図 7 7 に示す工程図の工程 S 4 3 と工程 S 4 4 との間に工程 S 4 7 を追加したものであり、その他は、図 7 7 に示す工程図と同じである。

[0503] 図 8 1 を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程 S 4 1 ～工程 S 4 3 が順次実行される。そして、工程 S 4 3 の後、陰極部材および永久磁石の一方を他方に対して相対的に移動させる（工程 S 4 7）。

[0504] その後、上述した工程 S 4 4, S 4 5 B, S 4 6 が順次実行され、カーボン薄膜の製造が終了する。

[0505] なお、図 8 0 に示すプラズマ装置 1 0 0 0 A を用いたカーボン薄膜の製造も、図 8 1 に示す工程図に従って実行される。

[0506] 陰極部材 4（または陰極部材 1 4 0）および永久磁石 9 0 1（または永久磁石 1 0 0 1）の一方を他方に対して相対的に移動させることによって、アークスポットが陰極部材 4 の突起部 4 2（または陰極部材 1 4 0）の外周面の任意の位置に存在しても、磁場がアークスポットに印加される。その結果、陰極部材 4 の突起部 4 2（または陰極部材 1 4 0）の外周面上をスパイラル状に移動する力がアークスポットに作用する。

[0507] 従って、放電の消弧およびアークスポットの突起部 4 2（または陰極部材 1 4 0）以外への移動を抑制でき、安定した長時間のスパークレス放電を実現できる。

[0508] [実施の形態 1 2]

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

[0509] アーク式蒸発源 1 1 0 1 は、アーク式蒸発源 3 と同じ構成からなり、アーク式蒸発源 3 と同じように真空容器 1 の側壁に固定される。そして、アーク

式蒸発源 1101 は、電源 1105 の負極に接続される。

- [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 1101 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。
- [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]
- 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 122

0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。

[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。

[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。

[0530] 実施の形態13におけるその他の説明は、実施の形態1～実施の形態12における説明と同じである。

[0531] [実施の形態14]

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

[0532] レーザー光源1310は、例えば、真空容器1の天井に固定される。そして、レーザー光源1310は、陰極部材4の突起部42の先端にレーザー光を照射する。レーザー光としては、例えば、YAGレーザーを用い、1kWの連続出力、スポット径を0.8mmとすればよい。

[0533] レーザー光源1310は、例えば、真空容器1と分離して大気側に設置されていても良く、この場合には、真空容器1に取り付けた石英製のビューイングポート（図示せず）を通じて突起部42の先端にレーザー光を照射すれば良い。

[0534] 図86は、図85に示すプラズマ装置1300を用いたカーボン薄膜の製造方法を示す工程図である。

[0535] 図86に示す工程図は、図4に示す工程図の工程S4を工程S4Aに代えたものであり、その他は、図4に示す工程図と同じである。

[0536] 図86を参照して、カーボン薄膜の製造が開始されると、上述した工程S1～S3が順次実行される。そして、工程S3の後、レーザー光源1310は、レーザー光を陰極部材4の突起部42の先端に照射する（工程S4A）。

[0537] その後、上述した工程S5～S8が順次実行され、カーボン薄膜の製造が

終了する。

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

[0541] また、実施の形態 14 によるプラズマ装置は、上述したプラズマ装置 10A, 100, 100A, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 800A, 900, 900A, 900B, 1000, 1000A, 1100, 1200 のいずれかのトリガー電極 8, 17, 25, 301, 410, 410A および抵抗 9 を削除し、レーザー光源 1310 を追加したものであってもよい。

[0542] 実施の形態 14 におけるその他の説明は、実施の形態 1 ~ 実施の形態 13 における説明と同じである。

[0543] [実施の形態 15]

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

[0544] 真空容器 1410 は、円弧状に湾曲した筒状部材からなる。そして、真空容器 1410 は、排気装置（図示せず）によって真空中に排気される。

[0545] アーク式蒸発源 3 は、真空容器 1410 の壁 1410A に固定される。そして、アーク式蒸発源 3 は、電源 7 の負極に接続される。陰極部材 4 は、ア

ーク式蒸発源 3 の基板 20 側の表面に固定される。

[0546] 電源 7 は、アーク式蒸発源 3 と接地ノード GND との間に接続される。

[0547] トリガー電極 8 は、一方端側が真空容器 1410 の壁 1410A を介して真空容器 1410 内に配置され、陰極部材 4 の突起部 42 に対向する。そして、トリガー電極 8 の他方端は、抵抗 9 に接続される。

[0548] 抵抗 9 は、トリガー電極 8 と接地ノード GND との間に接続される。

[0549] コイル 1420 は、真空容器 1410 の壁 1410B, 1410C に沿って真空容器 1410 の周囲に配置される。そして、コイル 1420 の両端は、電源（図示せず）に接続される。

[0550] 基板 20 は、真空容器 1410 の壁 1410D に固定される。

[0551] 電源（図示せず）によってコイル 1420 に電流が流れると、コイル 1420 は、真空容器 1410 の内部に磁界を発生する。この磁界は、陰極部材 4 の突起部 42 から飛び出したカーボンイオンを真空容器 1410 に沿って円弧状に曲げ、カーボンイオンを基板 20 に到達させる。陰極部材 4 から飛び出したパーティクルおよび中性粒子は、真空容器 1410 の壁 1410B, 1410C に衝突し、基板 20 に到達しない。

[0552] 従って、プラズマ装置 1400 を用いれば、図 5（a）においてごく僅かに認められたパーティクルさえも除去することが可能となり、極めてパーティクルの少ない、即ち、表面粗さの極めて小さいカーボン薄膜を製造できる。

[0553] また、プラズマ装置 1400 を用いれば、不純物の少ない、高品質なカーボン薄膜を製造できる。

[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 S



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

[0557] このように、プラズマ装置 1 4 0 0 を用いることによって、高品質なカーボン薄膜を製造できる。

[0558] なお、プラズマ装置 1 4 0 0 においては、真空容器 1 4 1 0 の壁 1 4 1 0 D は、基板 2 0 を保持する「保持部材」を構成する。

[0559] また、実施の形態 1 5 によるプラズマ装置 1 4 0 0 は、陰極部材 4 に代えて、上述した陰極部材 4 A ~ 4 L, 4 0, 1 4 0 のいずれかを備えていてもよく、トリガー電極 8 に代えて、トリガー電極 1 7, 2 5, 3 0 1, 4 1 0, 4 1 0 A のいずれかを備えていてもよい。

[0560] 更に、実施の形態 1 5 によるプラズマ装置 1 4 0 0 は、トリガー電極 8 および抵抗 9 に代えて、レーザー光源 1 3 1 0 を備えていてもよい。

[0561] 実施の形態 1 5 におけるその他の説明は、実施の形態 1 ~ 実施の形態 1 4 における説明と同じである。

[0562] 図 8 9 は、この発明の実施の形態における陰極部材を示す図である。図 8 9 を参照して、陰極部材 1 5 0 0 は、本体部 1 5 1 0 と、突起部 1 5 2 0 と、ばね 1 5 3 0 とを含む。本体部 1 5 1 0 は、円盤形状を有し、例えば、焼結体グラファイトからなる。突起部 1 5 2 0 は、ガラス状炭素からなり、円柱形状を有する。そして、突起部 1 5 2 0 は、ばね 1 5 3 0 を介して本体部 1 5 1 0 に固定される（図 8 9 の（a）参照）。

[0563] また、陰極部材 1 6 0 0 は、円柱部材 1 6 1 0, 1 6 2 0 と、ばね 1 6 3 0 とを含む。円柱部材 1 6 1 0 は、ガラス状炭素からなる。円柱部材 1 6 2 0 は、例えば、焼結体グラファイトからなる。円柱部材 1 6 1 0 は、ばね 1 6 3 0 によって円柱部材 1 6 2 0 に固定される（図 8 9（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 15 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。
- [0567] 従って、この発明の実施の形態によるプラズマ装置は、真空容器と、真空容器に固定されたアーク式蒸発源と、アーク式蒸発源に取り付けられた陰極部材と、陰極部材に向かって配置された基板を保持する保持部材と、放電を開始させる放電開始手段と、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する電源とを備え、陰極部材は、ガラス状炭素からなり、柱状形状を有する少なくとも 1 つの柱状部分を含み、放電開始手段は、プラズマが陰極部材の少なくとも 1 つの柱状部分から放出されるように放電を開始させればよい。
- [0568] そして、少なくとも 1 つの柱状部分の各々は、円柱状、円錐状、円錐台状、角柱状および角錐台状のいずれかからなる形状を有する。この場合、円柱状、円錐状および円錐台状の長さ方向に垂直な断面形状は、円に限られず、楕円も含まれるものとする。

[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。

[0570] 従って、この発明の実施の形態によるカーボン薄膜の製造方法は、基板に向かって真空容器に固定されたアーク式蒸発源に、ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも1つの柱状部分を含む陰極部材を取り付ける第1の工程と、アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第2の工程と、プラズマが陰極部材の少なくとも1つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる第3の工程とを備えるものであればよい。

[0571] 少なくとも1つの突起部を有するガラス状炭素からなる陰極部材を用いてアーク放電を発生させれば、少なくとも1つの突起部における熱歪が少なくなり、陰極部材が割れるのを抑制できるからである。

[0572] 更に、この発明の実施の形態においては、プラズマ装置10、10A、100、100A、200、300、400、500、600、700、800、800A、900、900A、900B、1000、1000A、1100、1200、1300、1400のいずれかを用いて基材の表面にカーボン薄膜をコーティングしてもよい。

[0573] この場合、基材は、金属、セラミックス、樹脂、半導体およびこれらから選択された材質を組み合わせた物のいずれかからなる。そして、カーボン薄膜のコーティング方法は、金属、セラミックス、樹脂、半導体およびこれらから選択された材質を組み合わせた物のいずれかからなる基材の表面にカーボン薄膜をコーティングするコーティング方法であって、真空容器に固定さ

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

[0574] そして、金属は、例えば、タングステンカーバイト、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。

[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。

[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 7 1 1, 7 1 2 または 2 つの電磁石は、「磁界発生機構」を構成し、支持部材 8 0 1 および永久磁石 8 0 2 は、「磁界発生機構」を構成し、コイル 8 0 3 および電源 8 0 4 は、「磁界発生機構」を構成し、永久磁石 9 0 1 は、「磁界発生機構」を構成する。

[0579] 更に、コイル 9 0 2 (またはコイル 9 0 4) および電源 9 0 3 は、「磁界発生機構」を構成し、コイル 9 0 5 (またはコイル 9 0 4) および電源 9 0 6 は、「磁界発生機構」を構成し、永久磁石 1 0 0 1 は、「磁界発生機構」を構成し、永久磁石 1 0 0 3, 1 0 0 4 は、「磁界発生機構」を構成し、コイル 1 4 2 0 および電源 (図示せず) は、「磁界発生機構」を構成する。

[0580] 更に、この発明の実施の形態においては、保持部材 7 1 0 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方法に適用される。

## 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る、プラズマ装置。
- [請求項2] 前記プラズマは、ビーム状である、請求項1に記載のプラズマ装置。
- [請求項3] 前記陰極部材の前記少なくとも1つの柱状部分に形成される放電痕の形状は、放電後において、スパイラル状である、請求項1または請求項2に記載のプラズマ装置。
- [請求項4] 前記陰極部材は、  
台座と、  
前記台座に取り付けられた前記少なくとも1つの柱状部分とを含む、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のプラズマ装置。
- [請求項5] 前記少なくとも1つの柱状部分の各々は、円柱状、円錐状、円錐台状、角柱状および角錐台状のいずれかからなる形状を有する、請求項1から請求項4のいずれか1項に記載のプラズマ装置。
- [請求項6] 前記少なくとも1つの柱状部分の各々は、壁状構造体からなる、請求項1から請求項5のいずれか1項に記載のプラズマ装置。
- [請求項7] 前記壁状構造体は、前記基板側から見た平面形状がリング形状、四角形のリング状、直線形状および円弧形状のいずれかである、請求項

6 に記載のプラズマ装置。

- [請求項8] 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9] 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 8 のいずれか 1 項に記載のプラズマ装置。
- [請求項10] 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 9 に記載のプラズマ装置。
- [請求項11] 前記陰極部材を囲む位置、前記基板と前記陰極部材との間、および前記陰極部材に対して前記基板と反対側の所望の位置のいずれかに配置され、プラズマを拡散またはスキャンする磁界を発生する磁界発生手段を更に備える、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] 前記磁界発生手段を前記陰極部材の中心軸の周りに回転させる回転機構を更に備える、請求項 11 に記載のプラズマ装置。
- [請求項13] 前記陰極部材を前記磁界発生手段に対して相対的に移動させる移動手段を更に備える、請求項 11 に記載のプラズマ装置。
- [請求項14] 前記磁界発生手段は、長さ方向が前記プラズマを拡散またはスキャンさせる方向になるように略平行に配置された 2 つの永久磁石からなる、請求項 11 または請求項 13 に記載のプラズマ装置。
- [請求項15] 前記磁界発生手段は、長さ方向が前記陰極部材から前記基板へ向かう方向になるように略平行に配置され、かつ、前記少なくとも 1 つの柱状部分の中心軸の周りに回転される 2 つの永久磁石からなる、請求項 11 または請求項 13 に記載のプラズマ装置。
- [請求項16] 前記磁界発生手段は、前記プラズマを拡散またはスキャンさせる方

向に沿って往復運動する１つの永久磁石からなる、請求項１１または請求項１３に記載のプラズマ装置。

[請求項17] 前記磁界発生手段は、前記プラズマを拡散またはスキャンさせる方向に沿って配置され、かつ、中心軸の回りに巻回されたコイルと、  
前記コイルに流す電流の大きさを周期的に変化させる電源とを含む、請求項１１または請求項１３に記載のプラズマ装置。

[請求項18] 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１７のいずれか１項に記載のプラズマ装置。

[請求項19] 前記放電発生手段は、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１８のいずれか１項に記載のプラズマ装置。

[請求項20] 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１８のいずれか１項に記載のプラズマ装置。

[請求項21] 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２０のいずれか１項に記載のプラズマ装置。

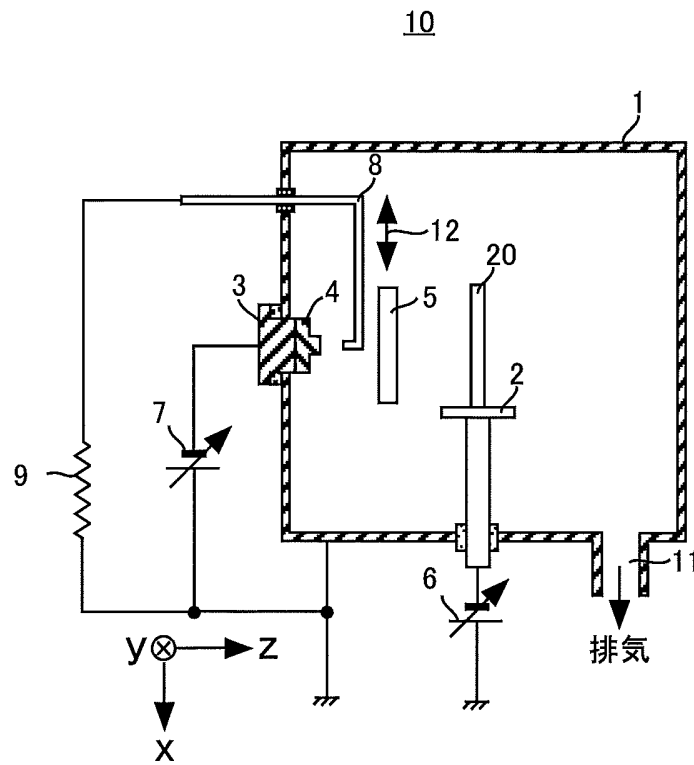
[請求項22] 前記真空容器は、  
円弧状に湾曲した筒状部材と、  
前記筒状部材内に磁界を発生する磁界発生手段とを含み、  
前記アーク式蒸発源は、前記筒状部材の一方端に配置され、  
前記保持部材は、前記筒状部材の他方端において前記基板を保持し、  
前記陰極部材は、前記少なくとも１つの柱状部分が前記筒状部材の内部へ向かって突出するように前記アーク式蒸発源に取り付けられる、請求項１に記載のプラズマ装置。



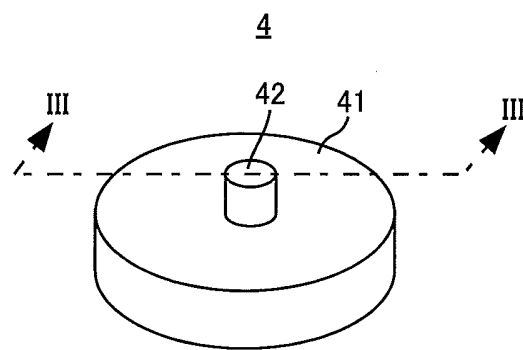
- [請求項23] 前記アーク式蒸発源は、前記真空容器に複数固定される、請求項 1 に記載のプラズマ装置。
- [請求項24] 基板に向かって真空容器に固定されたアーク式蒸発源に、ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも 1 つの柱状部分を含む陰極部材を取り付ける第 1 の工程と、  
前記アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第 2 の工程と、  
プラズマが前記陰極部材の前記少なくとも 1 つの柱状部分から放出されるように放電を開始させる第 3 の工程とを備えるカーボン薄膜の製造方法。
- [請求項25] 前記放電のアークスポットが消弧しない割合が 0 % よりも大きく、かつ、前記アークスポットが前記少なくとも 1 つの柱状部分以外へ移動しない割合が 0 % よりも大きくなる磁場を前記柱状部分の軸方向に印加する第 4 の工程を更に備え、  
前記第 2 の工程において、前記アークスポットが消弧しない割合が 0 % よりも大きく、かつ、前記アークスポットが前記少なくとも 1 つの柱状部分以外へ移動しない割合が 0 % よりも大きくなるアーク電流が流れるように前記負の電圧を前記アーク式蒸発源に印加する、請求項 24 に記載のカーボン薄膜の製造方法。
- [請求項26] 金属、セラミックス、樹脂、半導体およびこれらから選択された材質を組み合わせた物のいずれかからなる基材の表面にカーボン薄膜をコーティングするコーティング方法であって、  
真空容器に固定されたアーク式蒸発源に向かって前記基材を保持する第 1 の工程と、  
ガラス状炭素からなり、かつ、柱状形状を有する少なくとも 1 つの柱状部分を含む陰極部材を前記アーク式蒸発源に取り付ける第 2 の工程と、  
前記アーク式蒸発源に負の電圧を印加する第 3 の工程と、  
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の工程とを備えるコーティング方法。

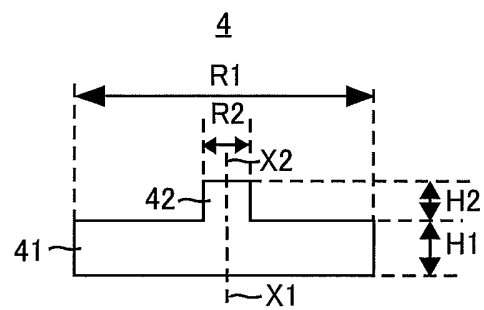
[図1]



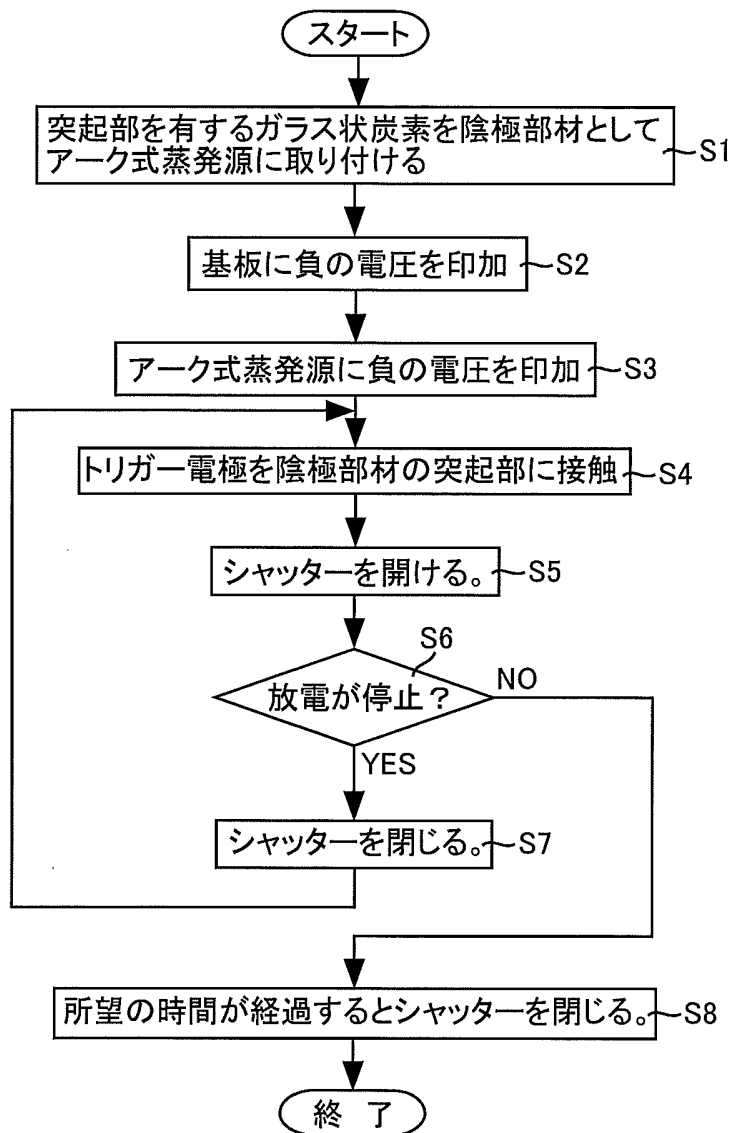
[図2]



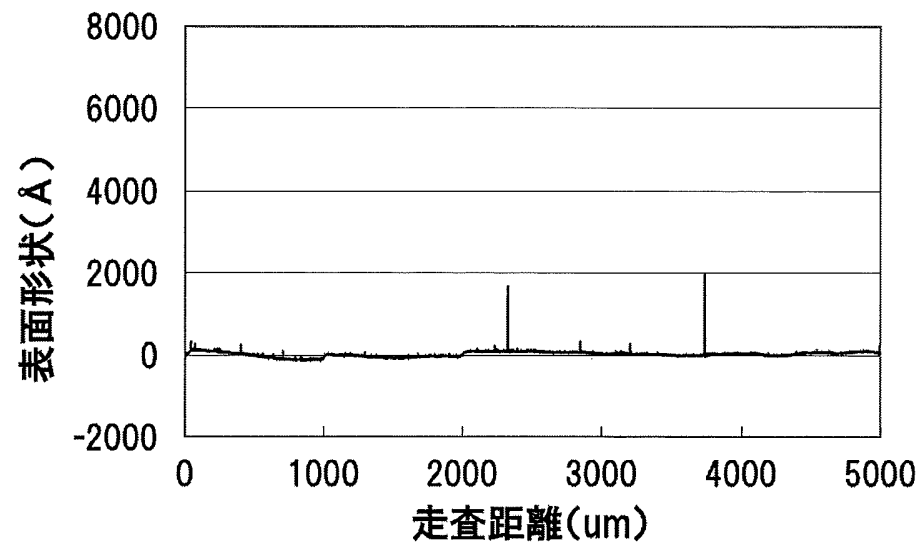
[図3]



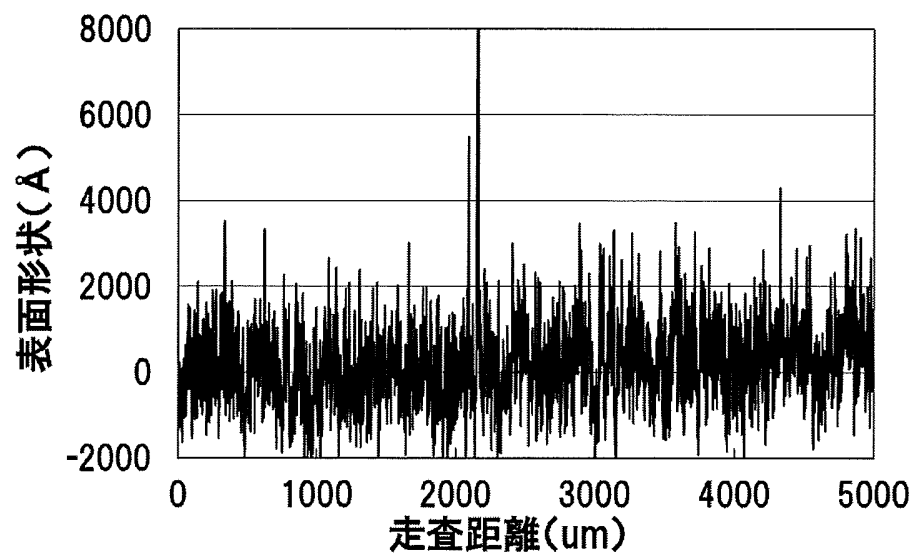
[図4]



[図5]

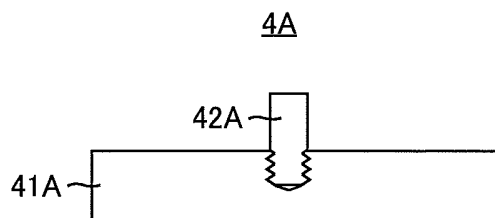


(a)

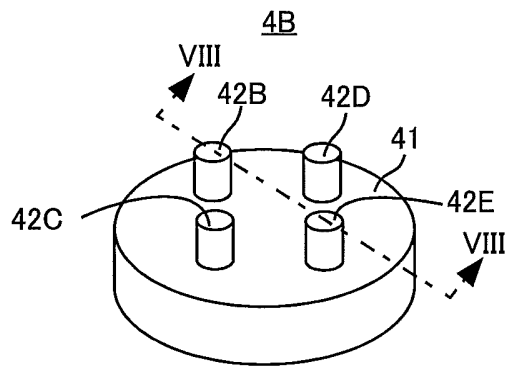


(b)

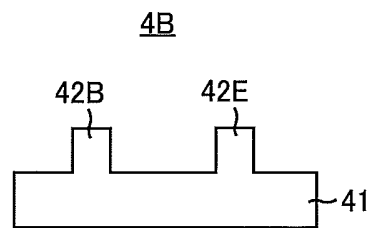
[図6]



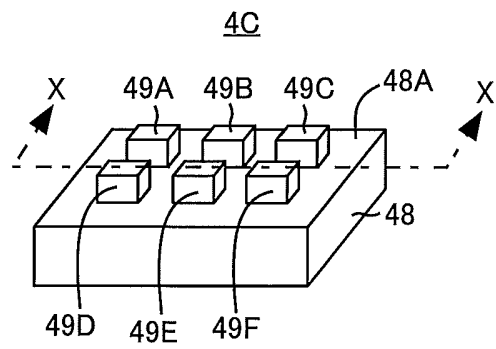
[図7]



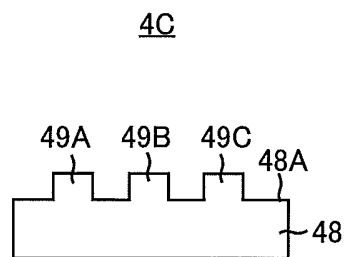
[図8]



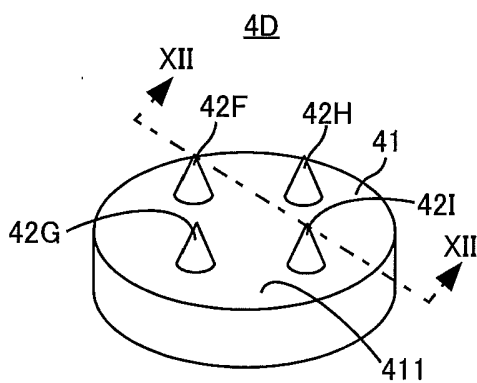
[図9]



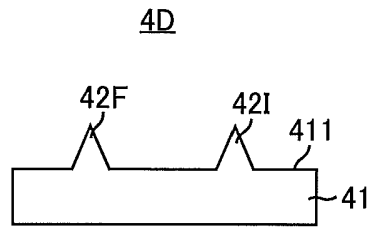
[図10]



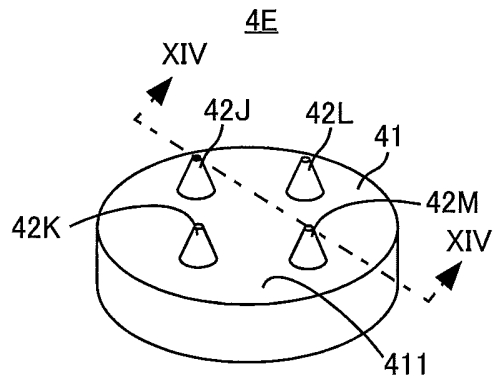
[図11]



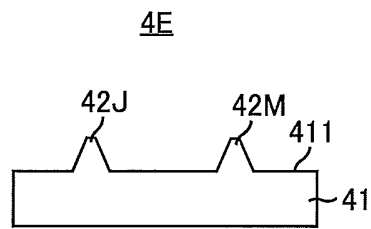
[図12]



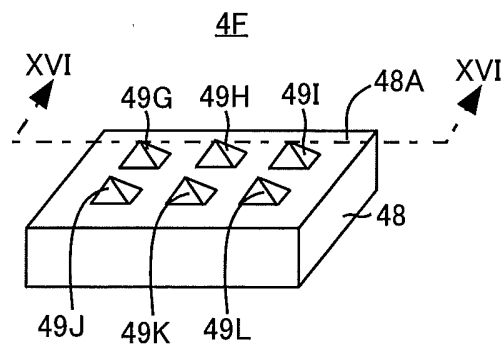
[図13]



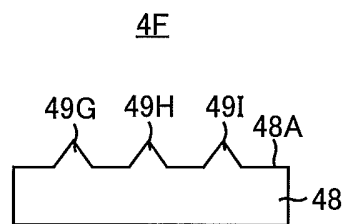
[図14]



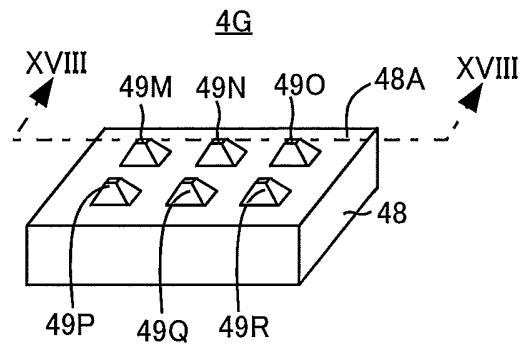
[図15]



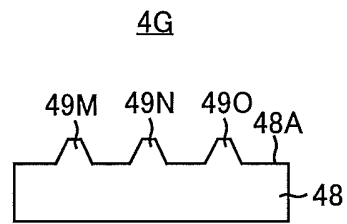
[図16]



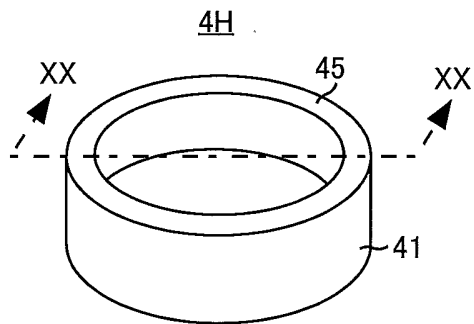
[図17]



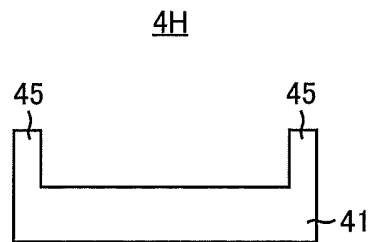
[図18]



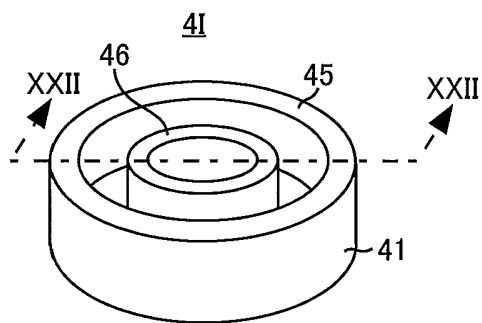
[図19]



[図20]

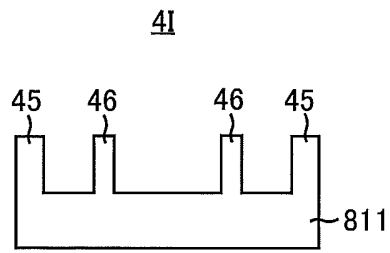


[図21]

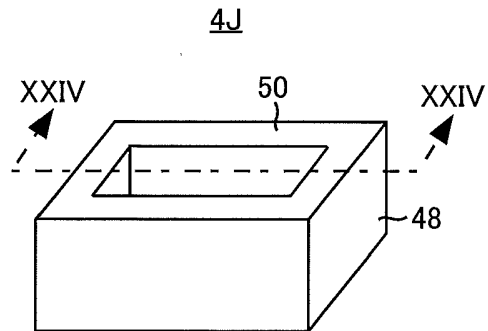




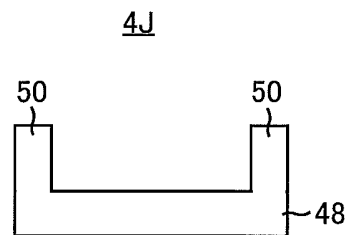
[図22]



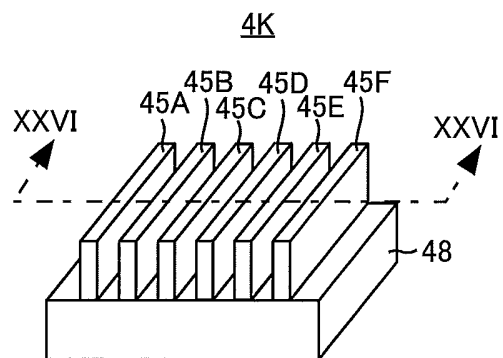
[図23]



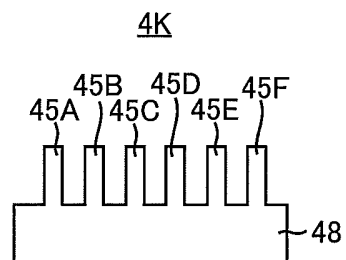
[図24]



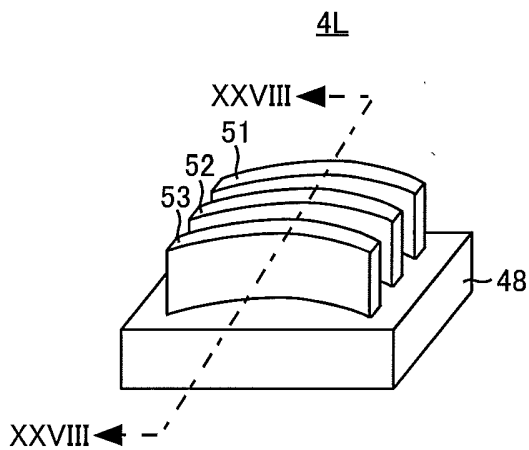
[図25]



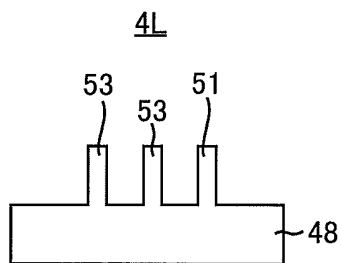
[図26]



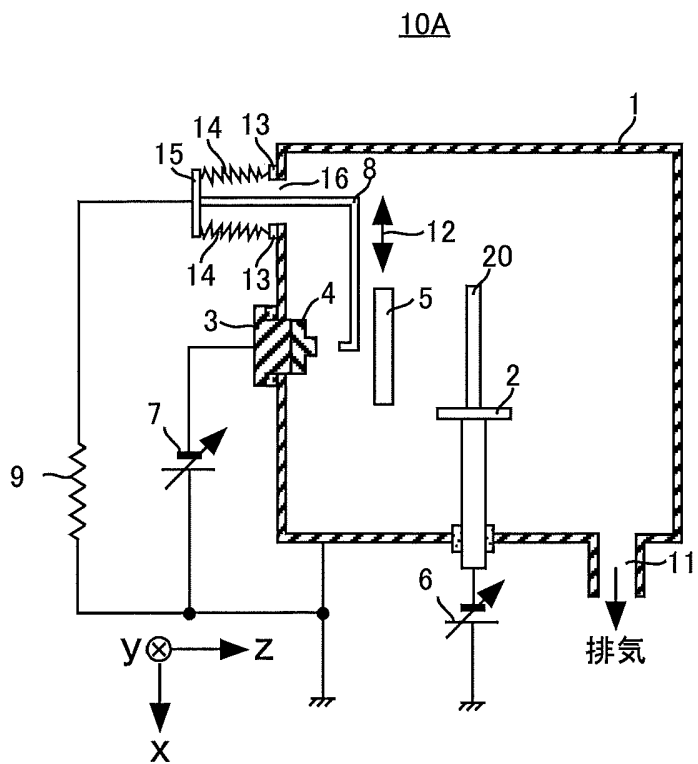
[図27]



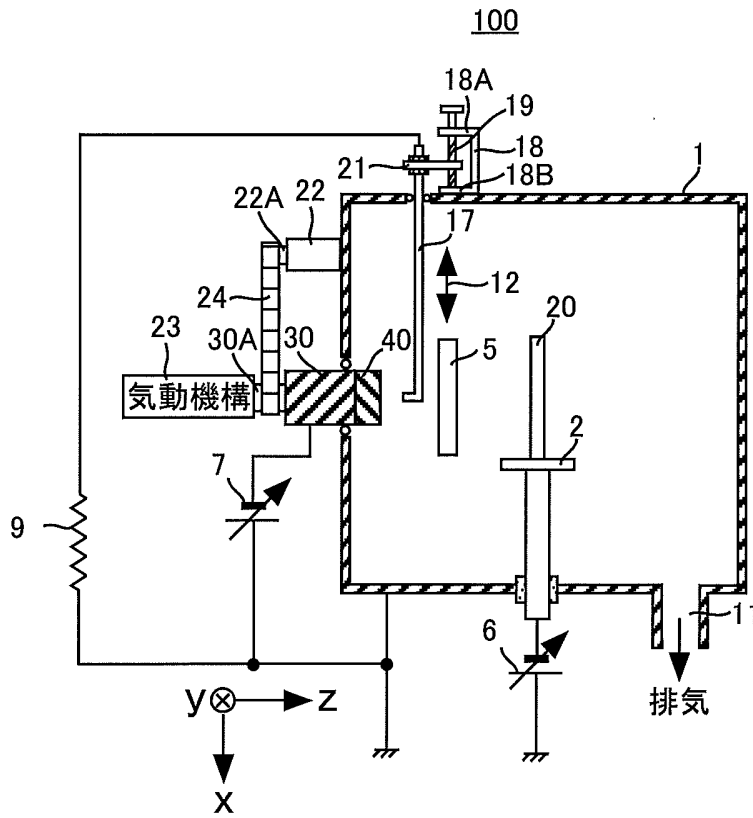
[図28]



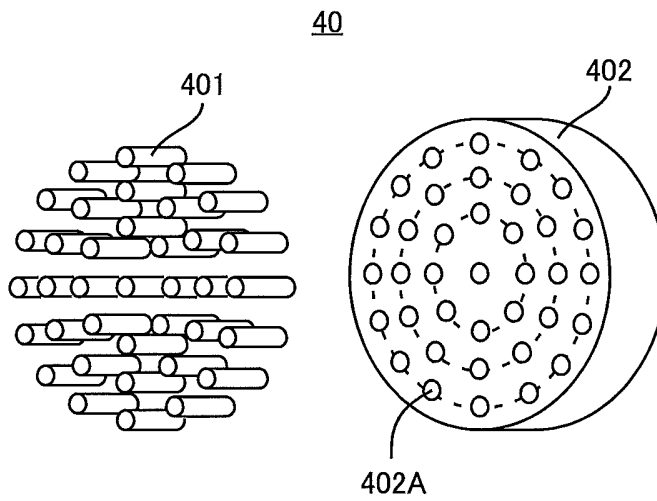
[図29]



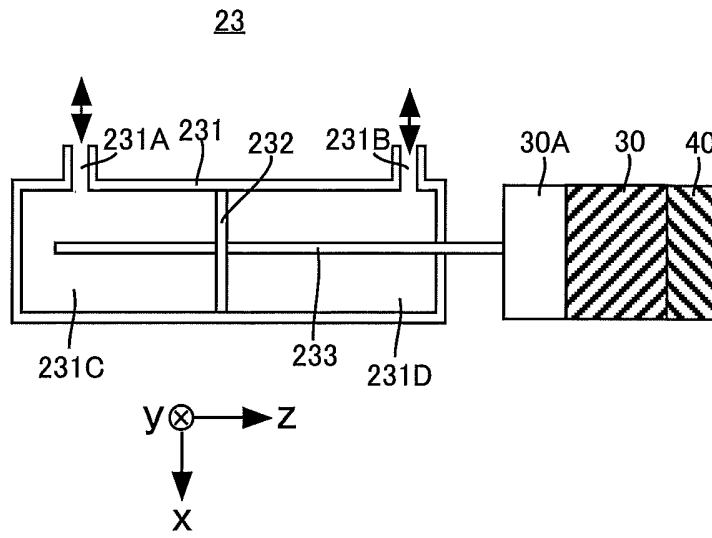
[図30]



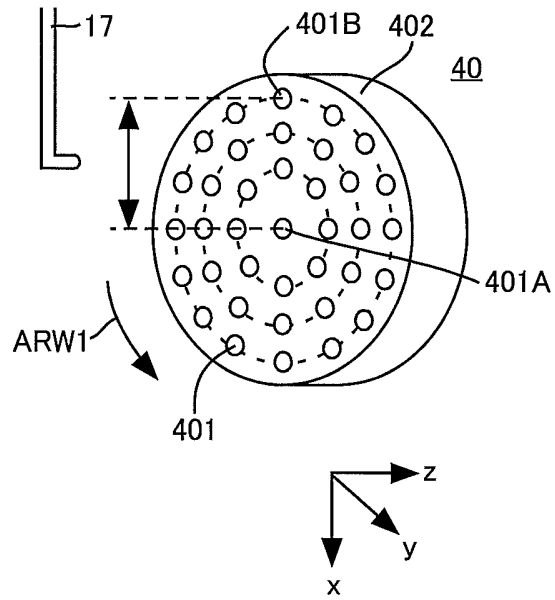
[図31]



[図32]



[図33]



[図34]

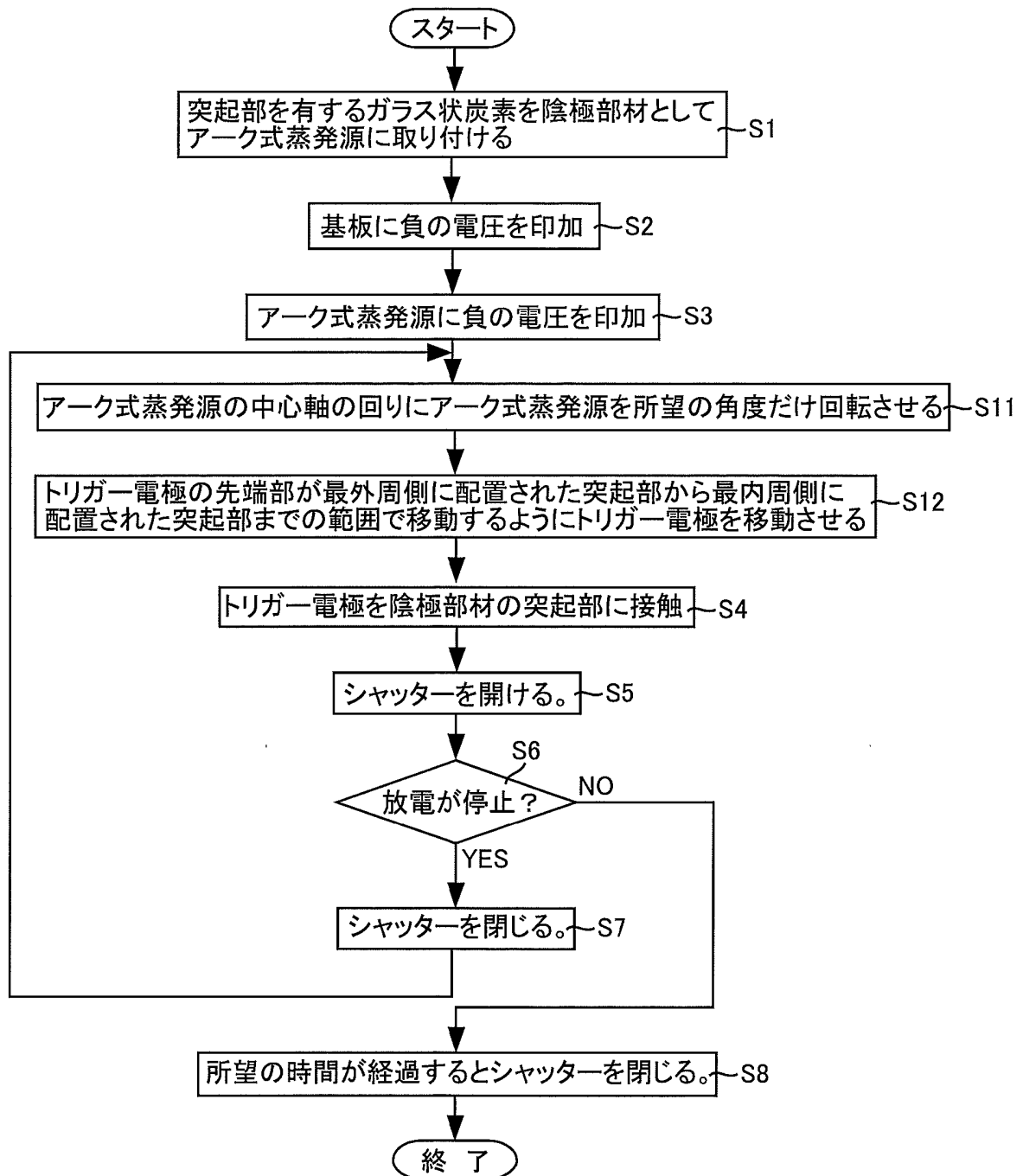
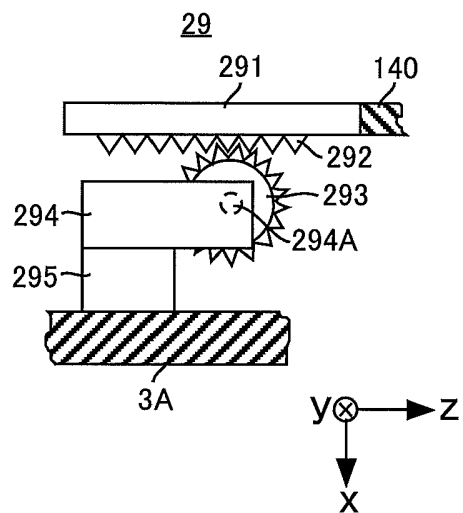
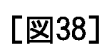


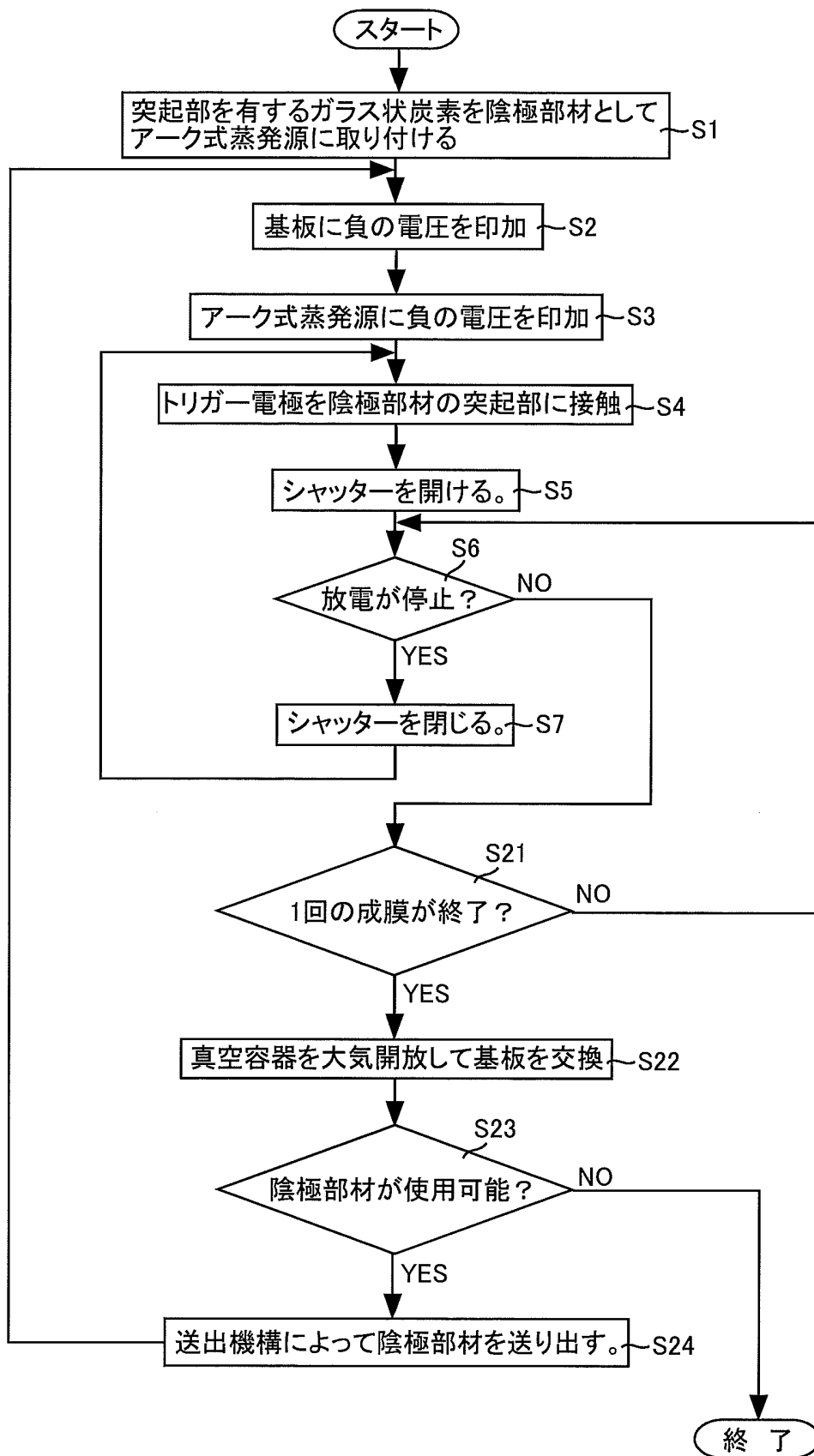
Figure 1 is a schematic diagram of a control system for a vertical shaft assembly. The diagram shows a cross-section of a shaft (1) with a piston (2) and a valve (5). A control system (100A) is connected to the shaft assembly. The control system includes a solenoid (22) and a valve (24) that control the flow of air (23) to the piston (2). The piston (2) is connected to a vertical shaft (20) which has a valve (6) at the bottom. The valve (6) is connected to a vertical pipe (11) that leads to an exhaust (排気). The control system (100A) is powered by a battery (9) and a switch (7). A coordinate system (X, Y, Z) is shown at the bottom left.

FIG. 1 is a perspective view of a circular substrate 40. The substrate 40 has a top surface 401A and a bottom surface 401B. A grid of circular openings 401 is formed in the top surface 401A. A light ray 25 enters from the left, passes through the openings 401, and is reflected by a curved surface 401B. A coordinate system (x, y, z) is shown at the bottom right.

200



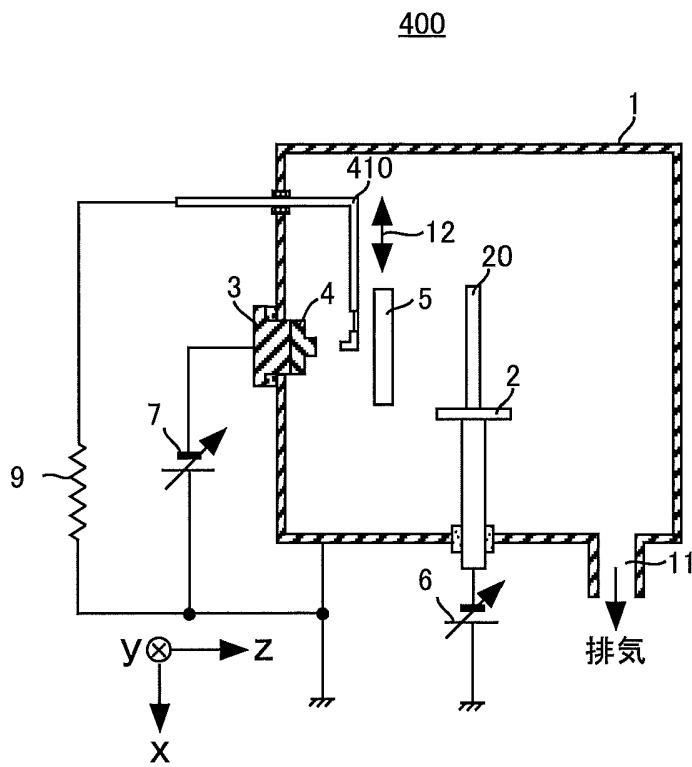
[図39]



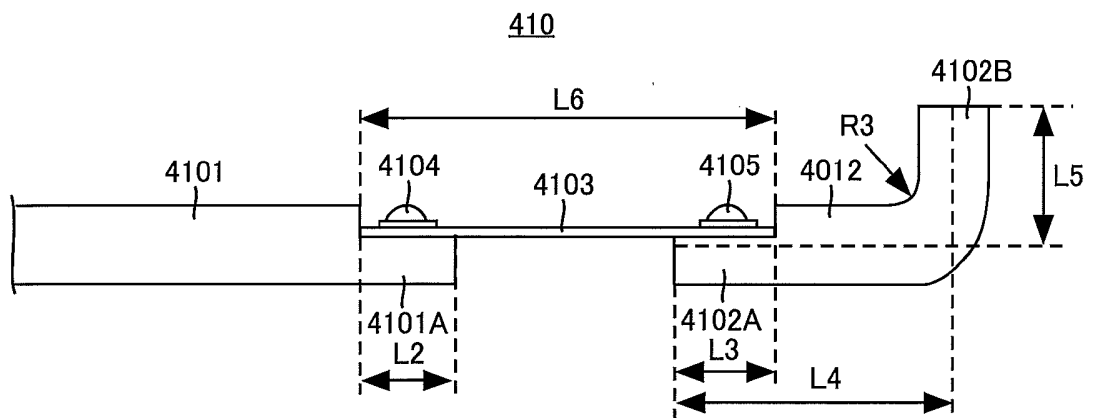




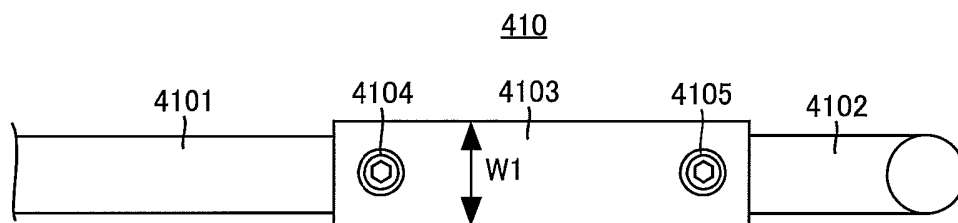
[図43]



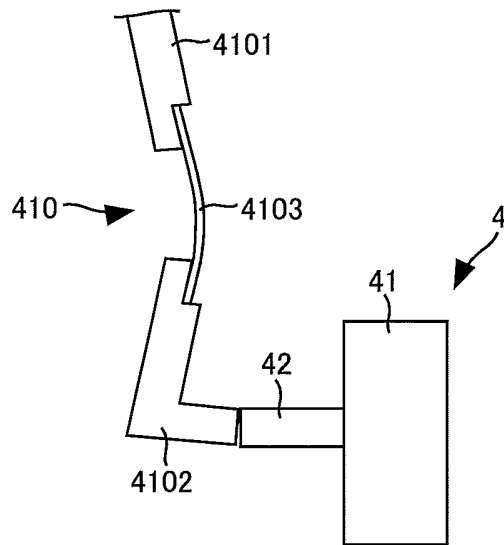
[図44]



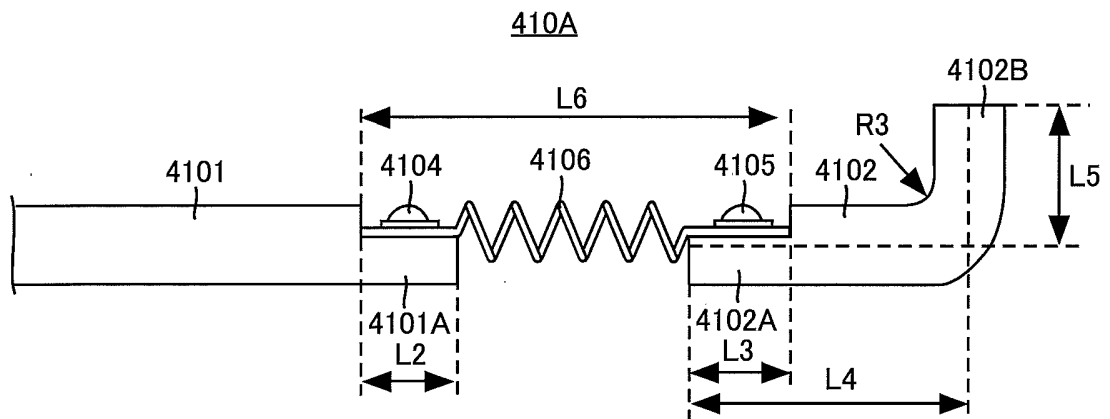
[図45]



[図46]

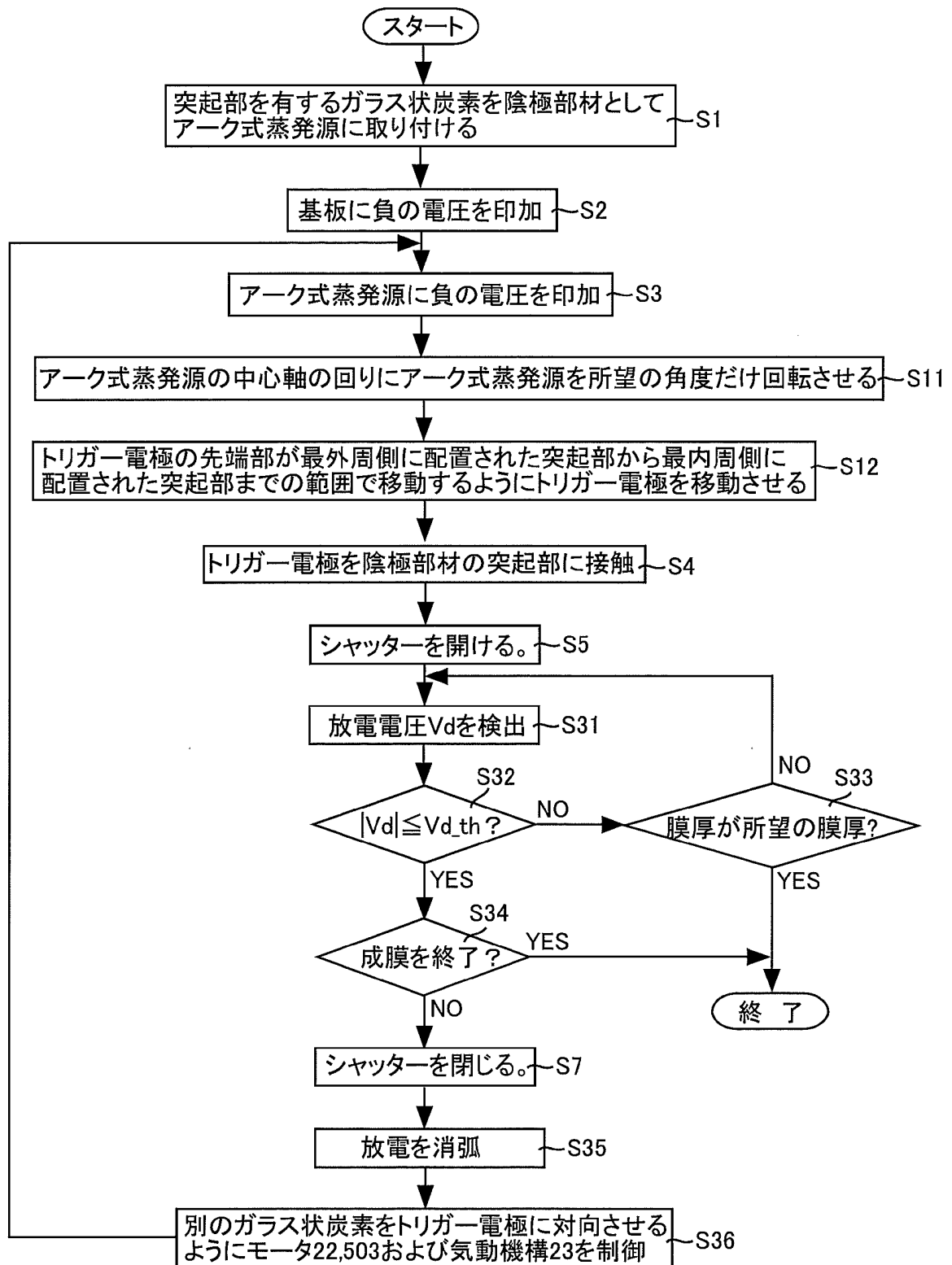


[図47]

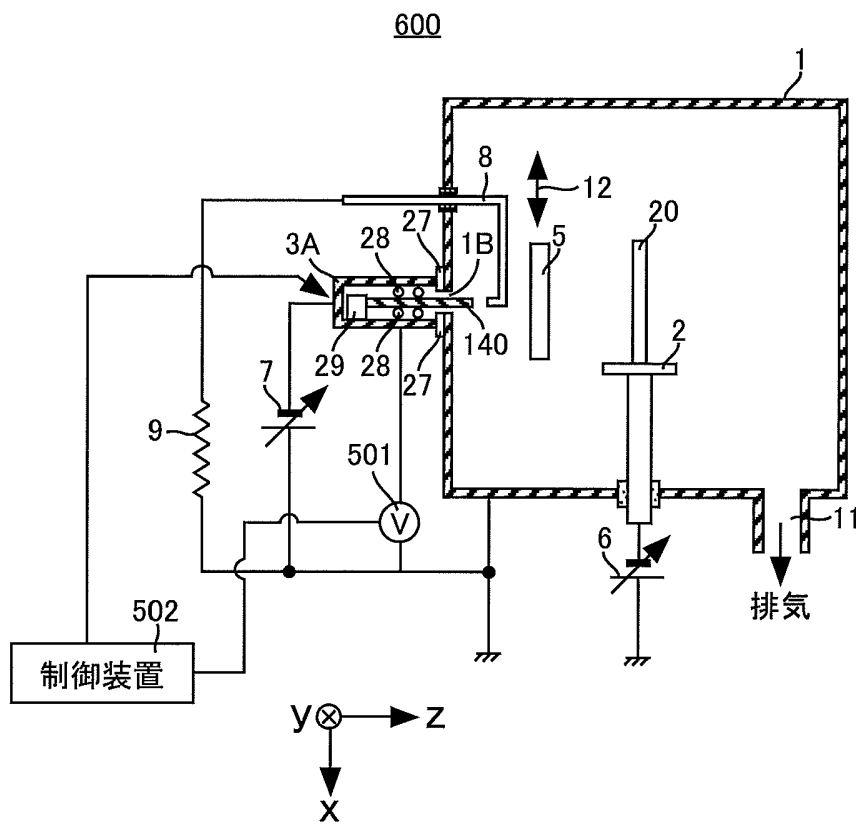




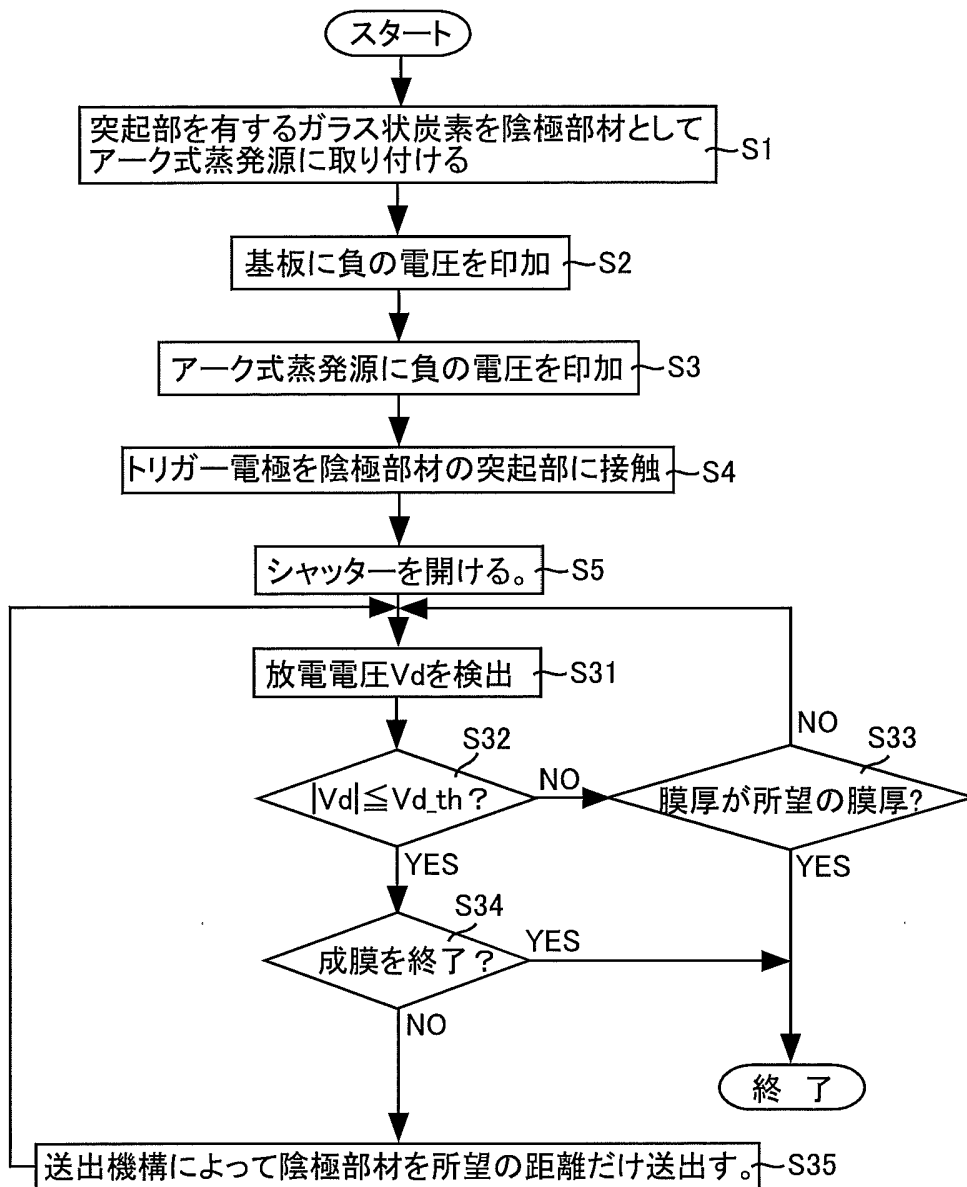
[図50]



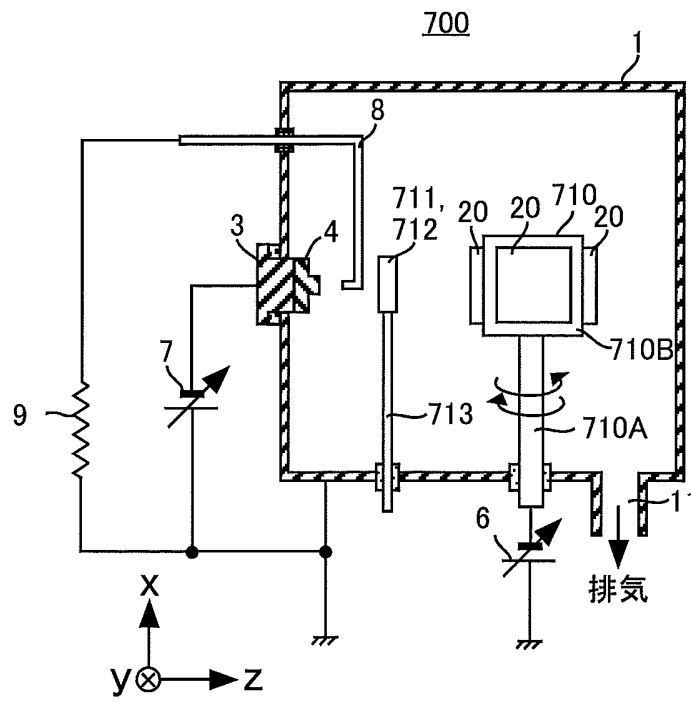
[図51]



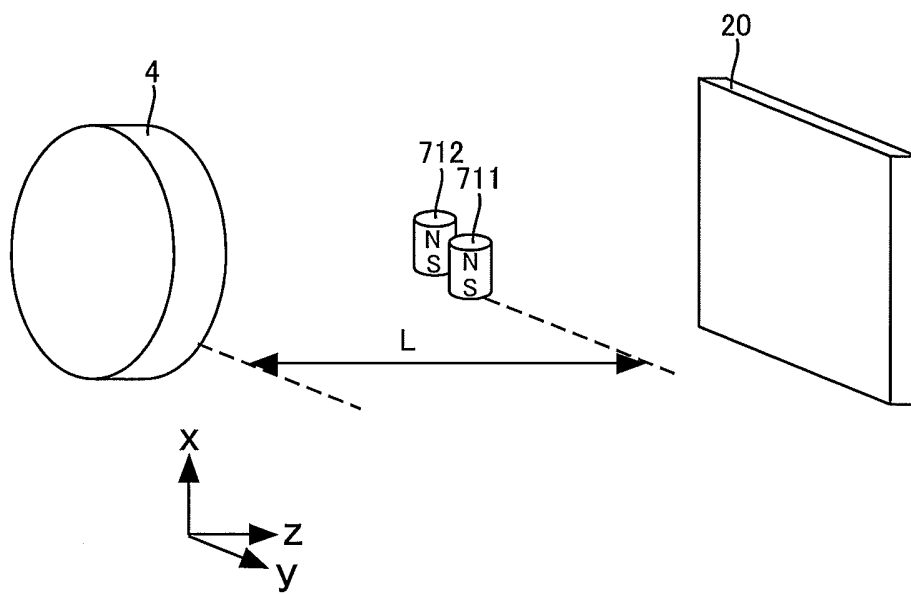
[図52]



[図53]

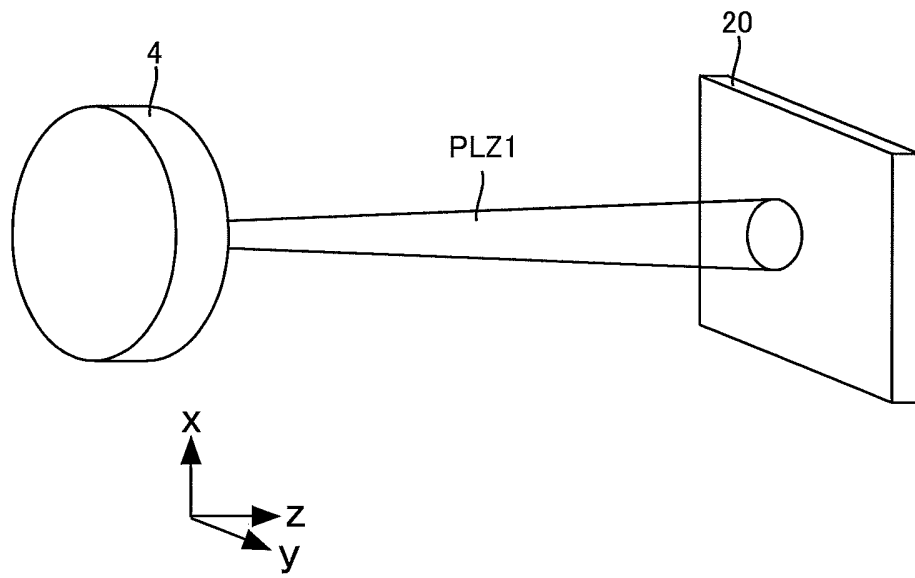


[図54]

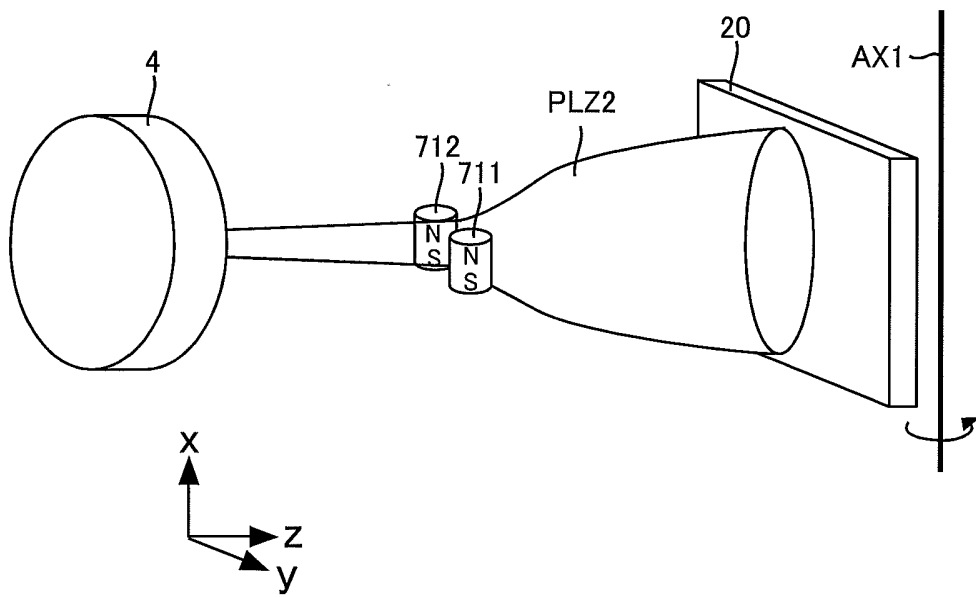




[図55]

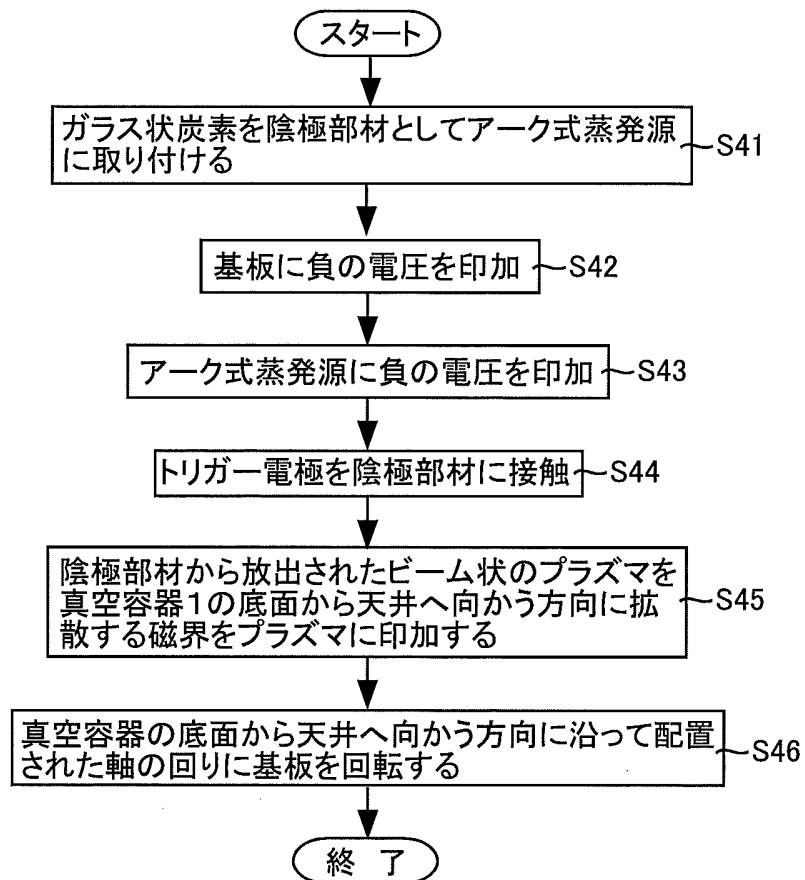


(a)

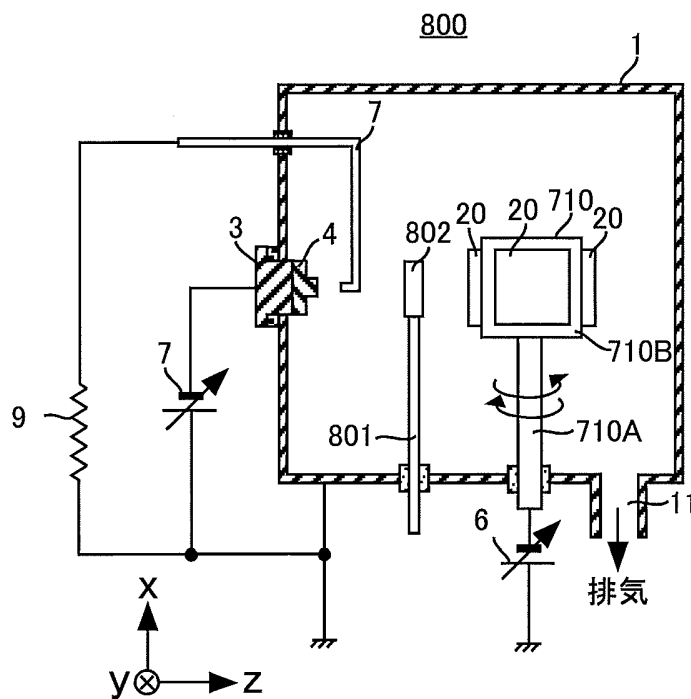


(b)

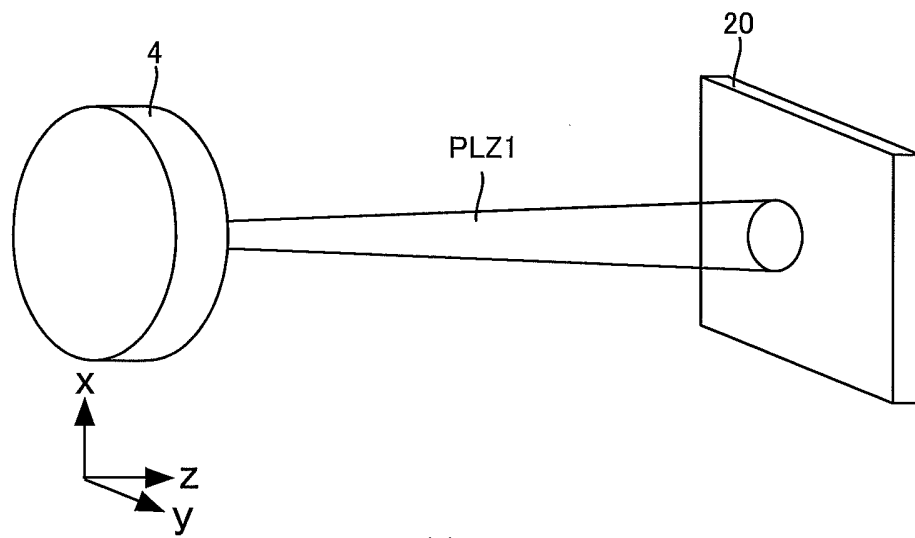
[図56]



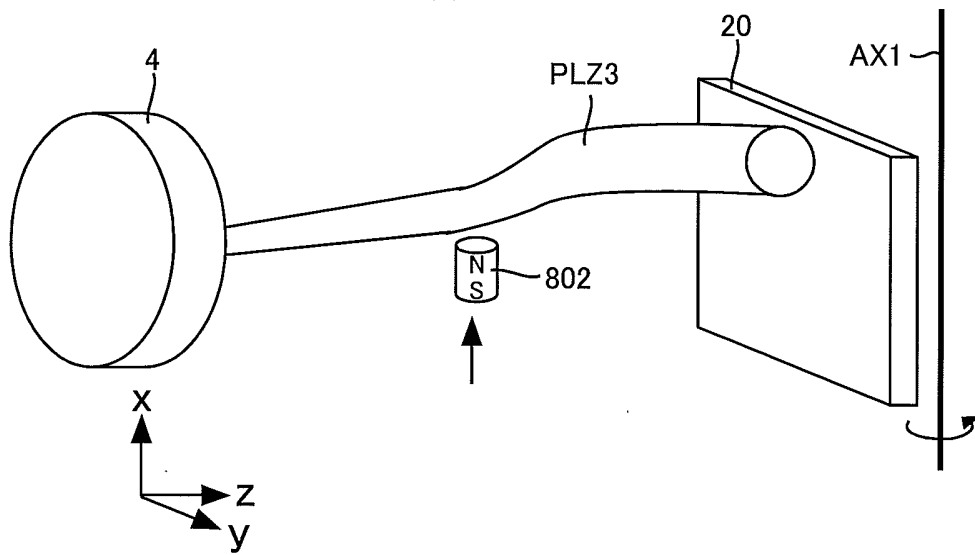
[図57]



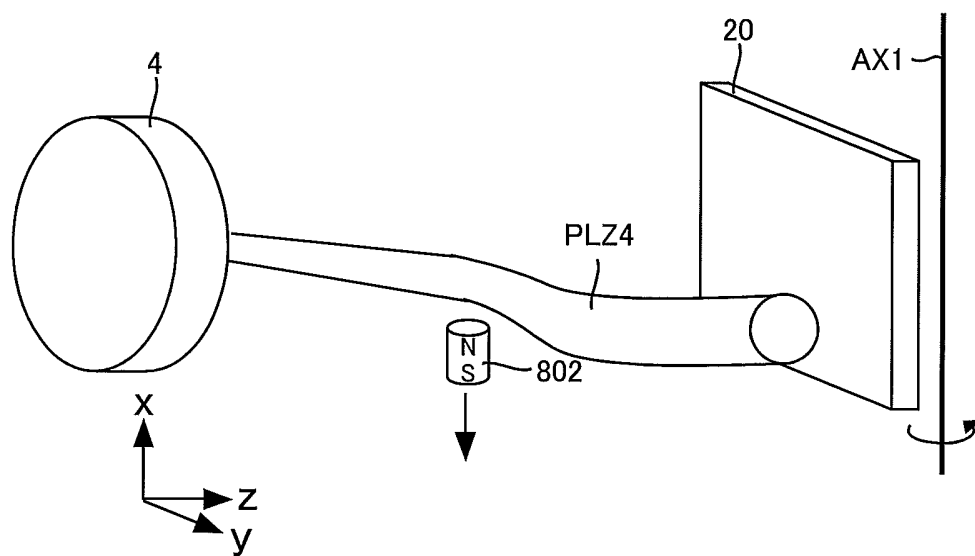
[図58]



(a)

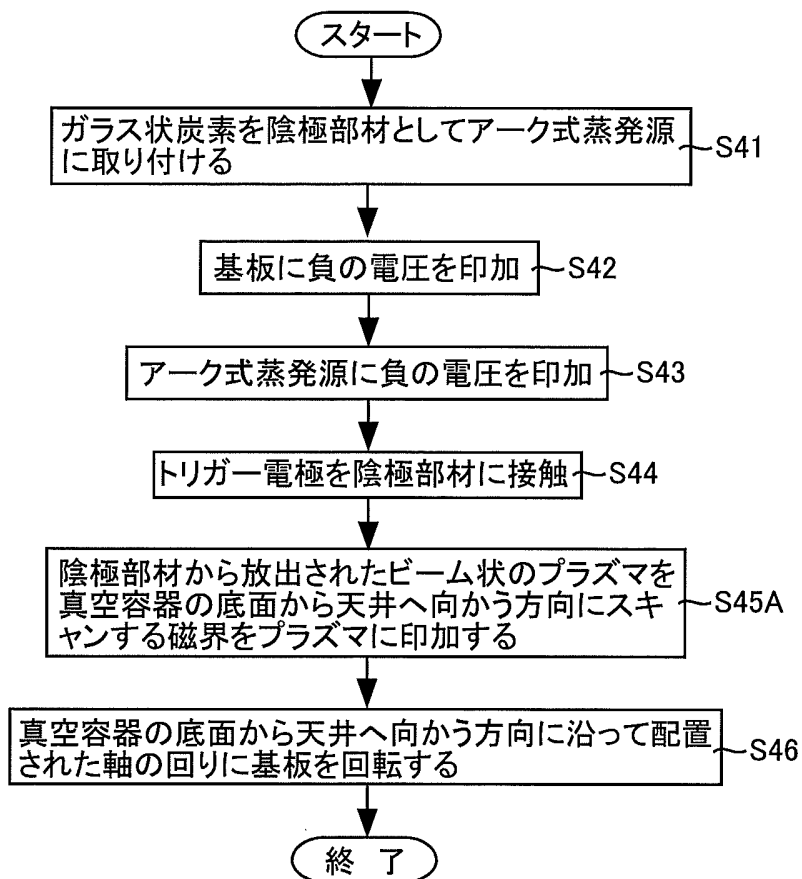


(b)

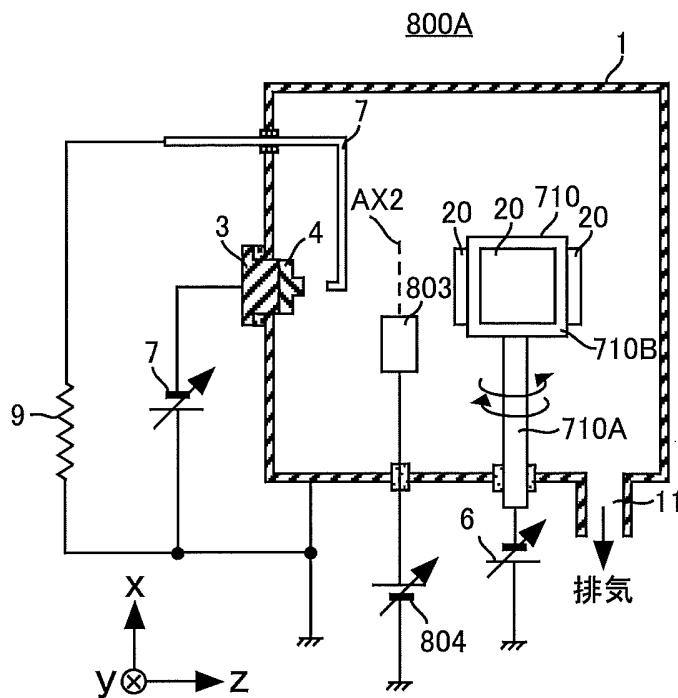


(c)

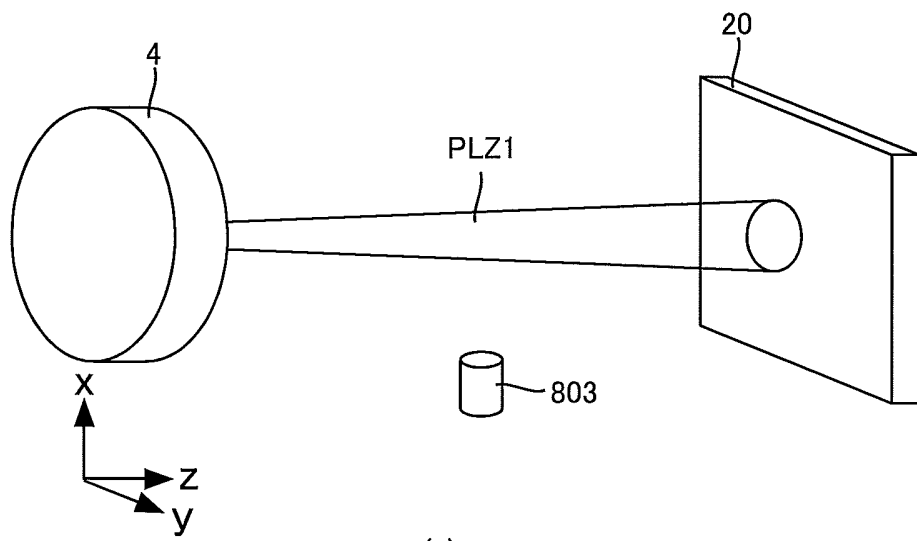
[図59]



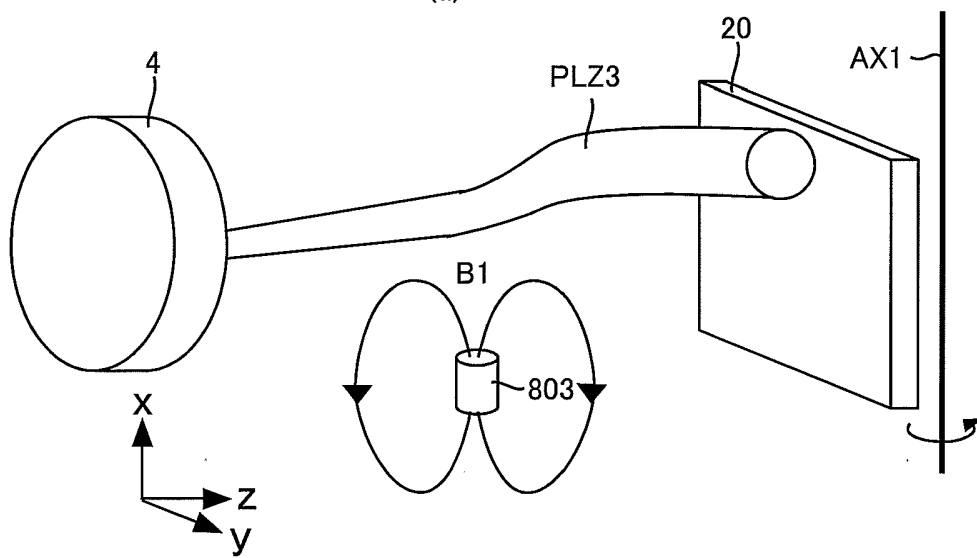
[図60]



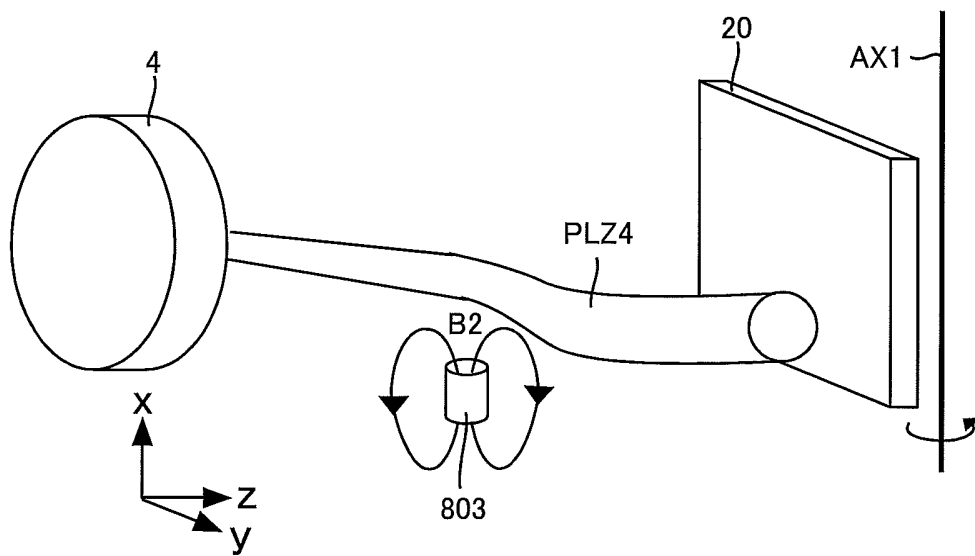
[図61]



(a)

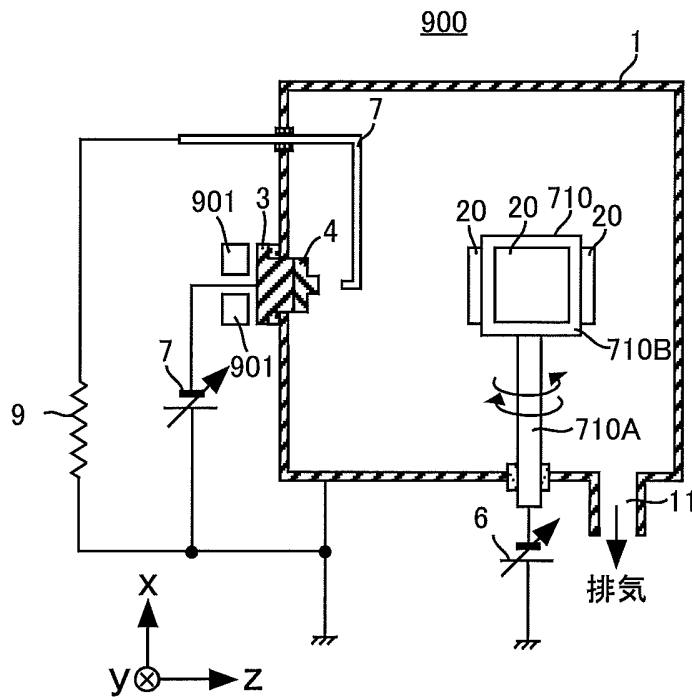


(b)

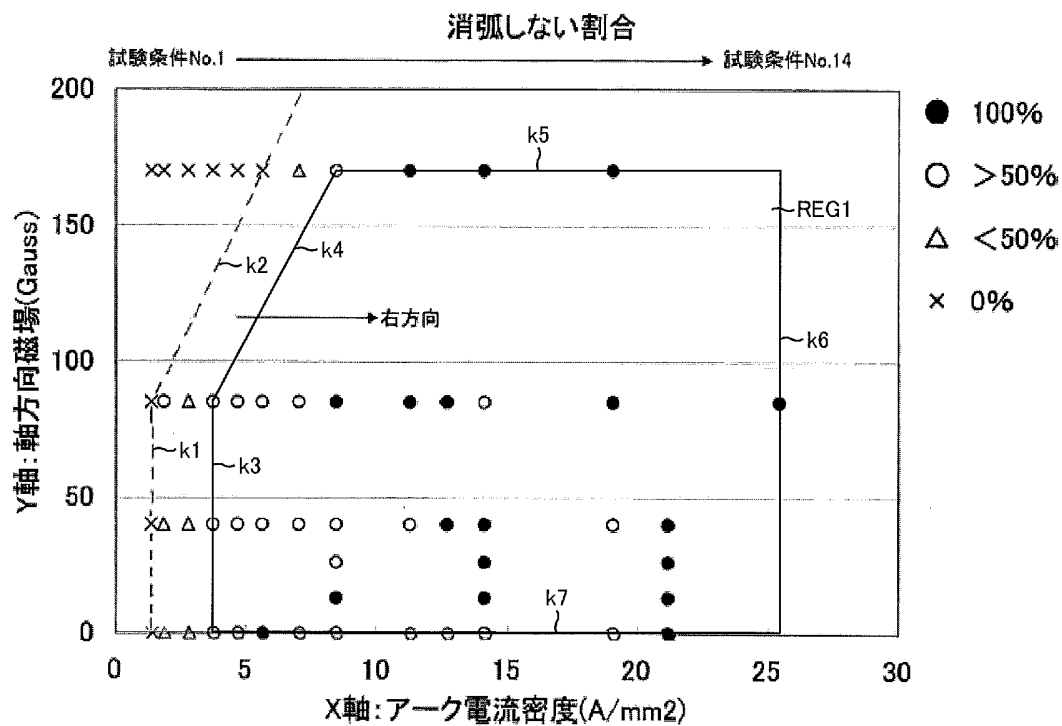


(c)

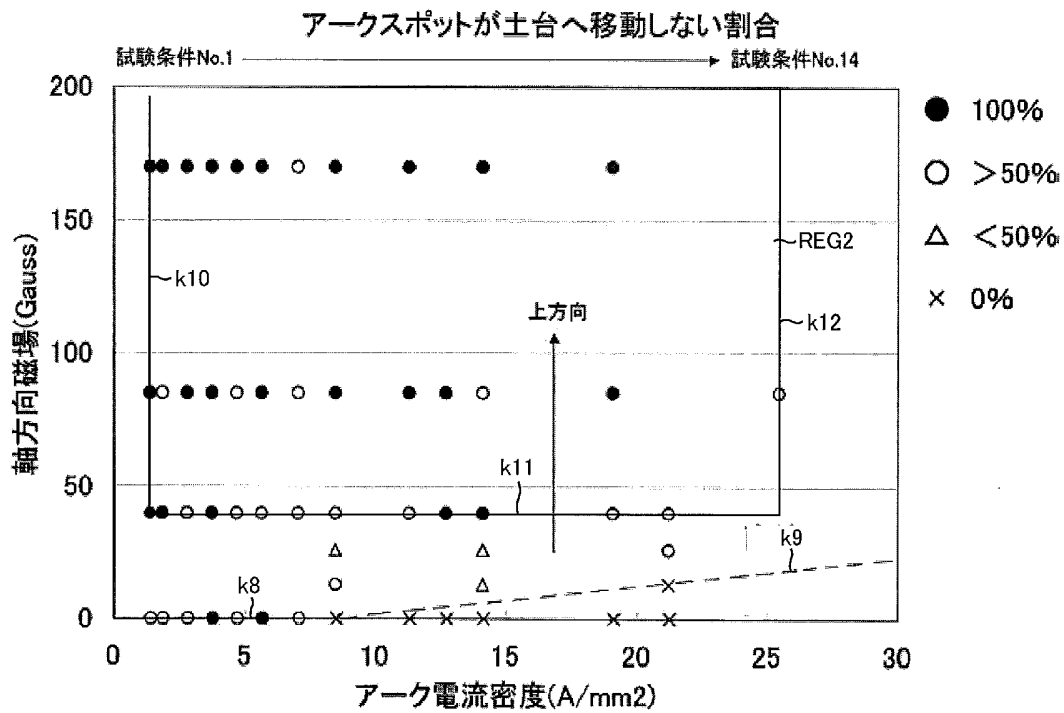
[図62]



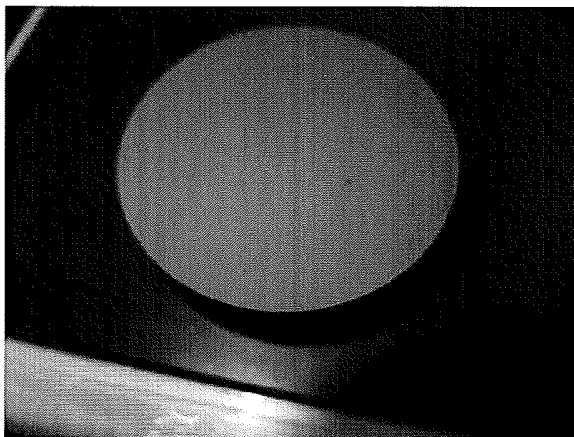
[図63]



[図64]

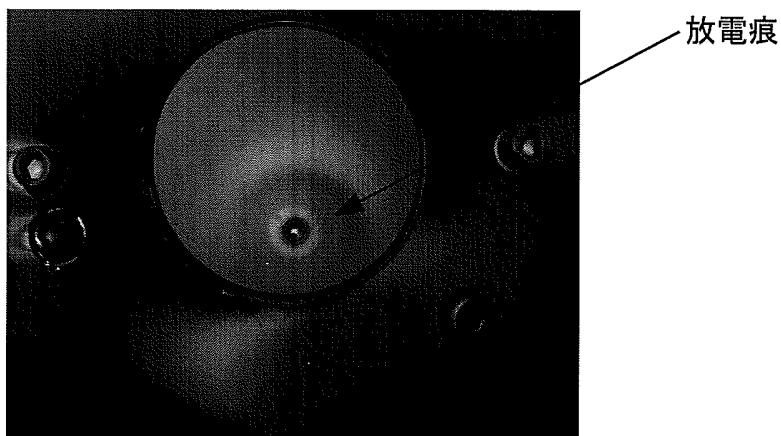


[図65]



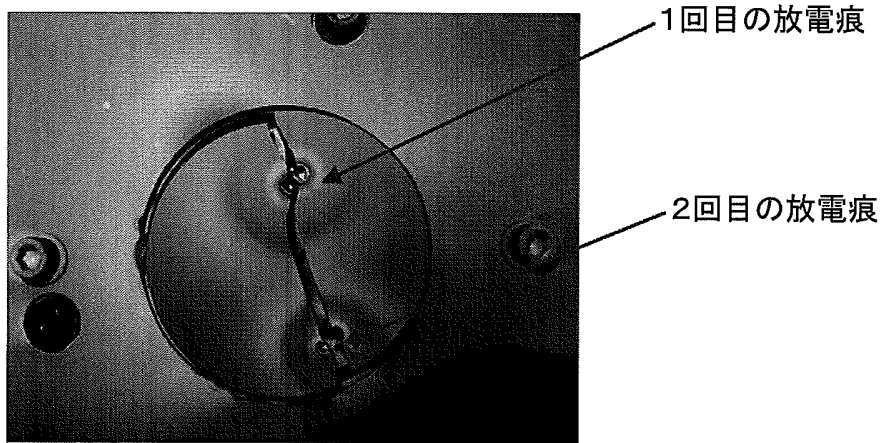
φ64 × t9使用前の平板状ガラス状炭素

[図66]

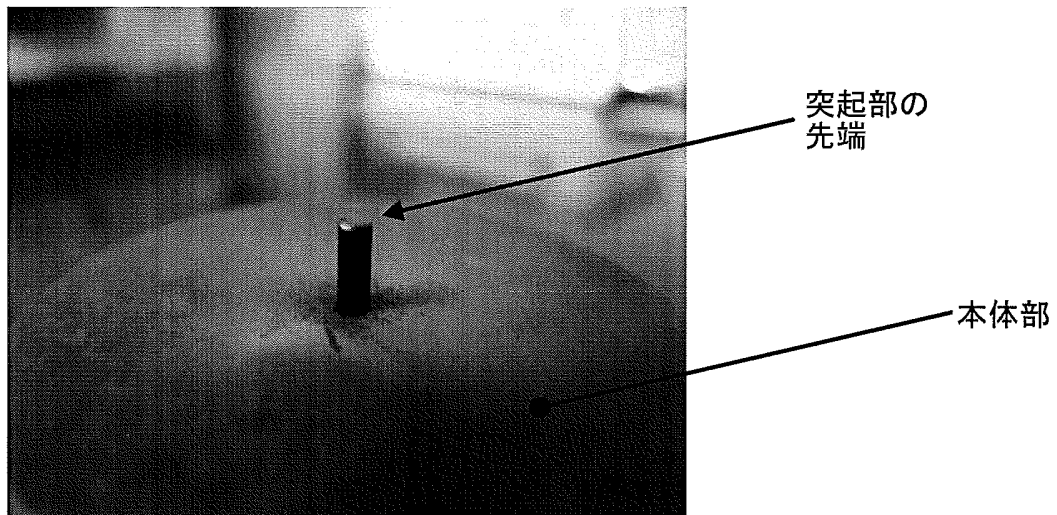


1回目後のφ64 × t9平板状ガラス状炭素

[図67]

2回目後の $\phi 64 \times t9$ 平板状ガラス状炭素

[図68]

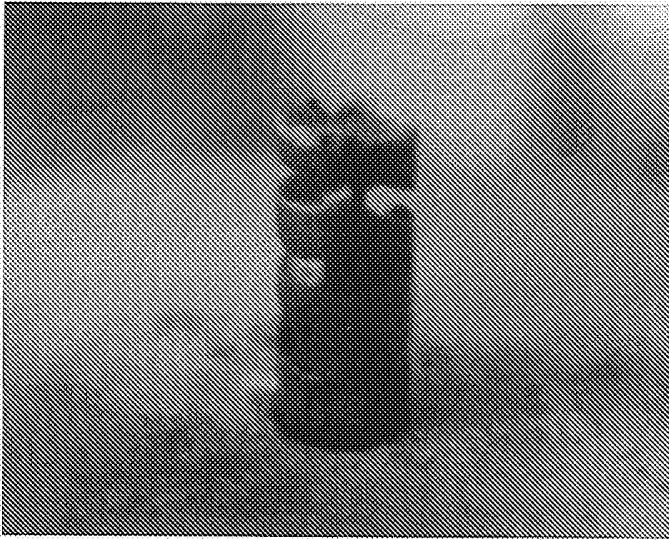


[図69]





[図70]



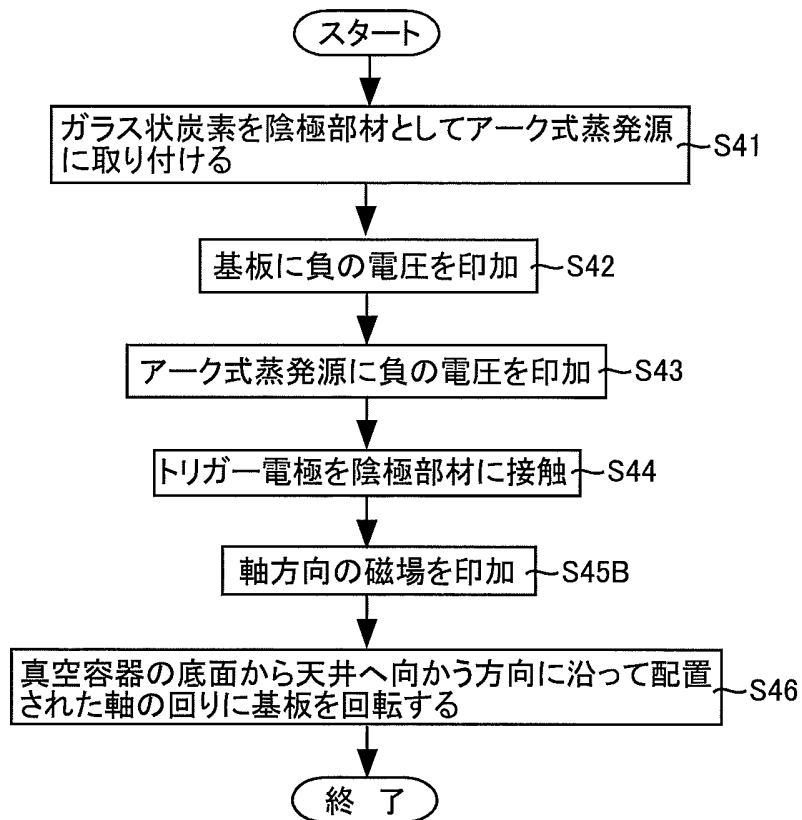
[図71]



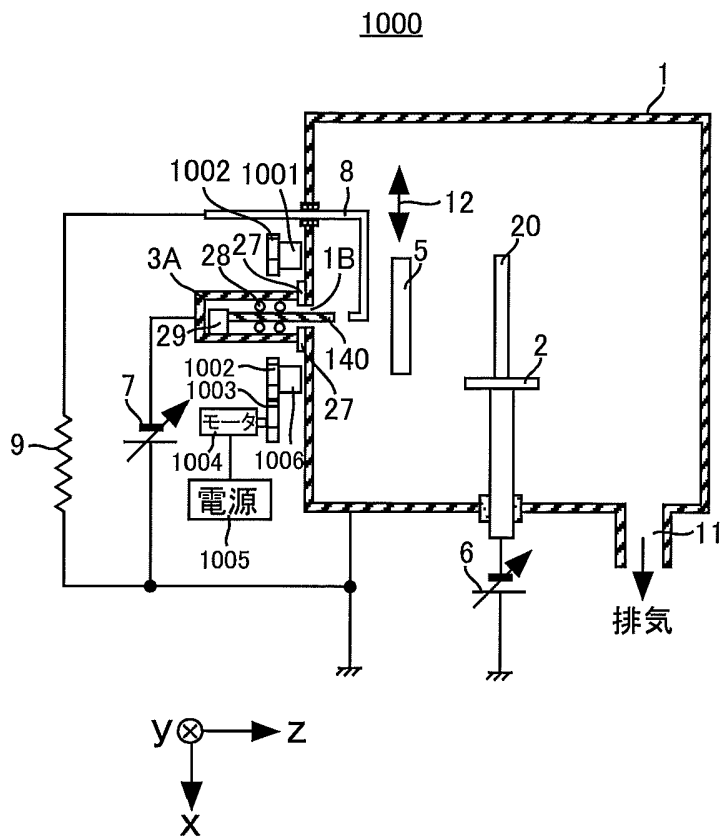




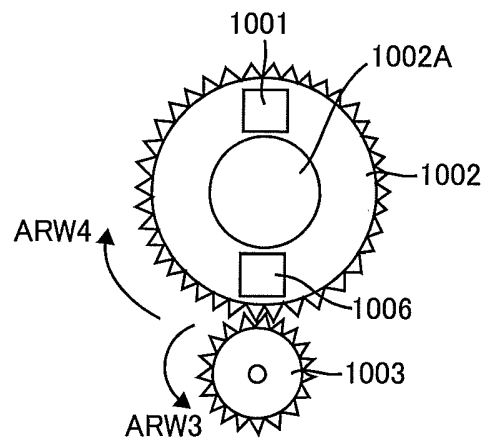
[図77]



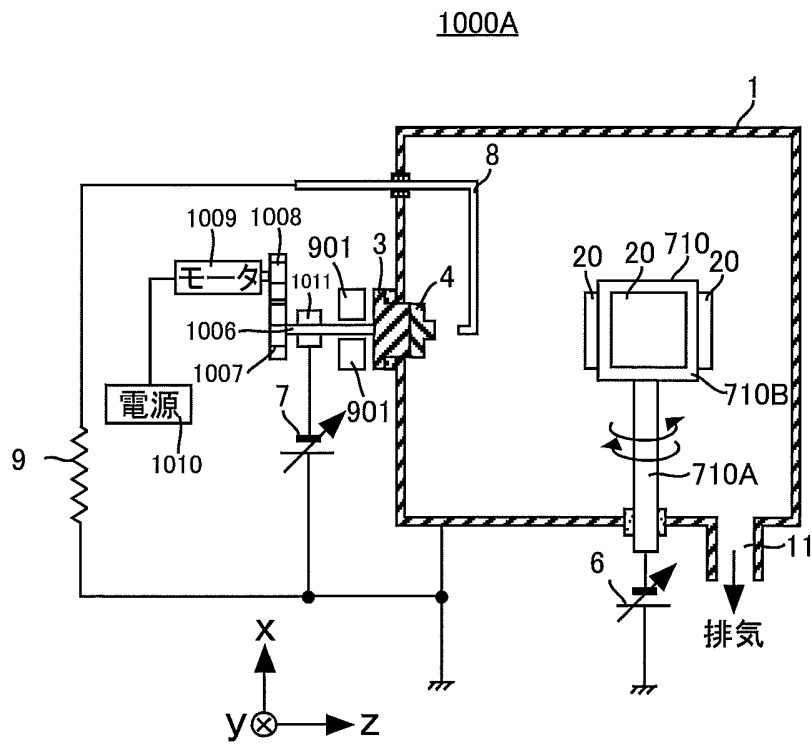
[図78]



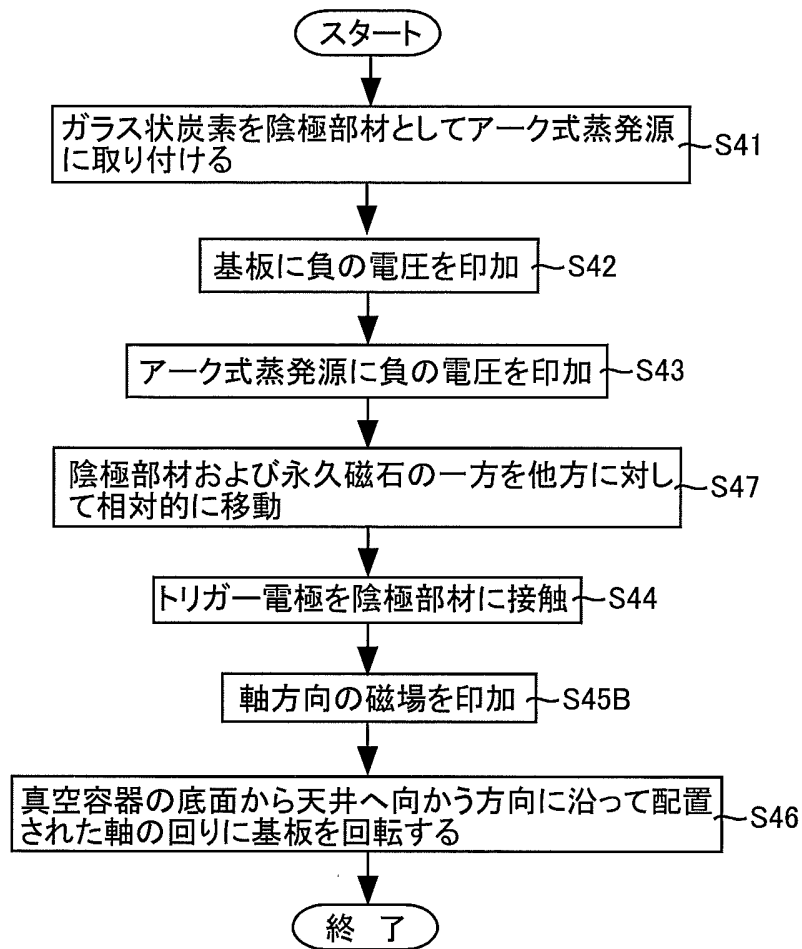
[図79]



[図80]

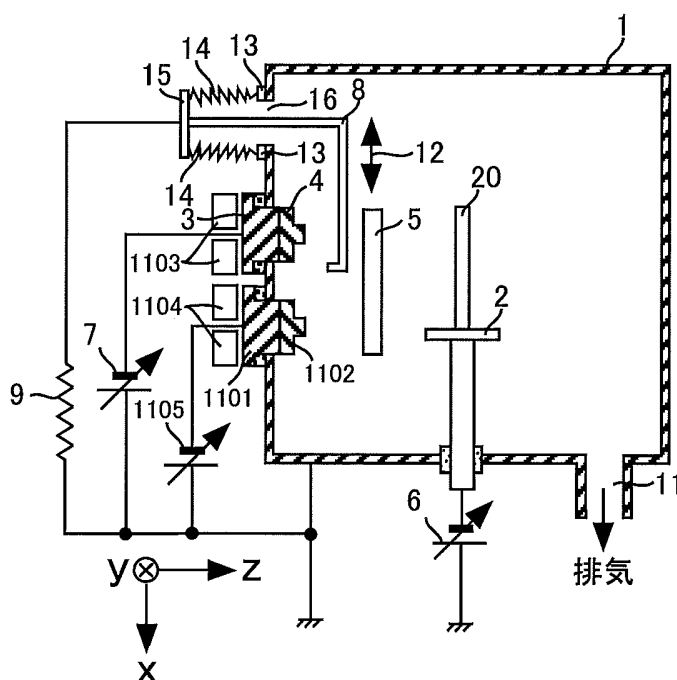


[図81]

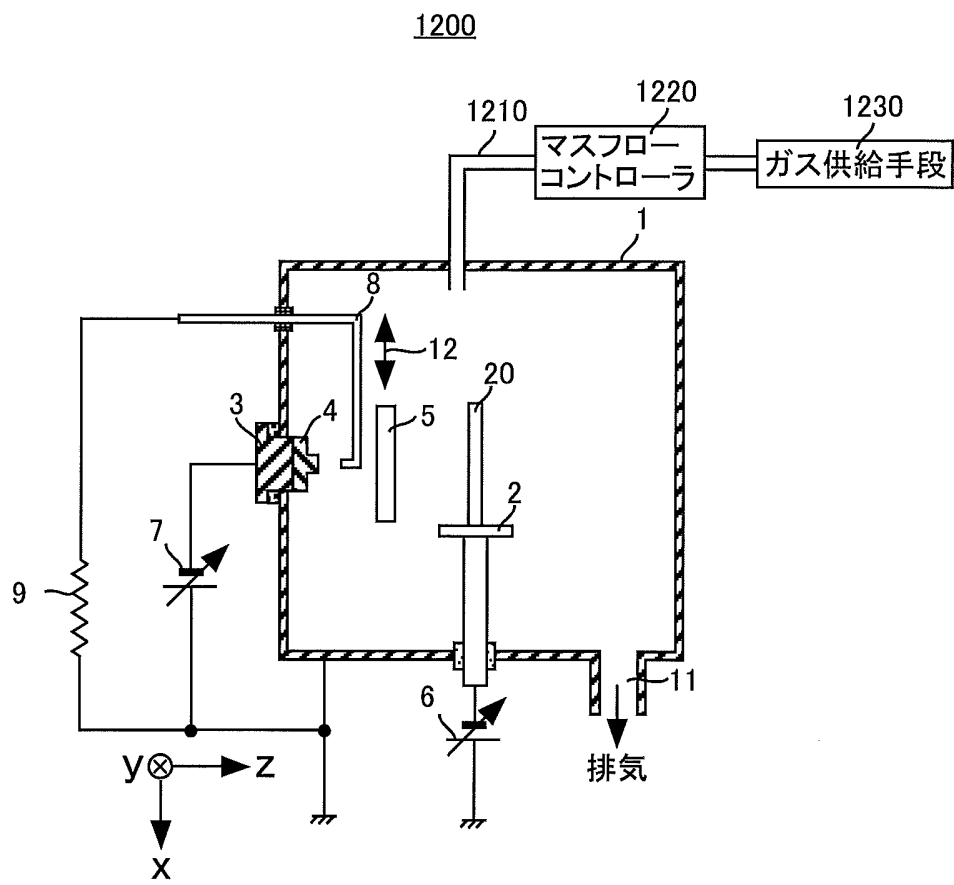


[図82]

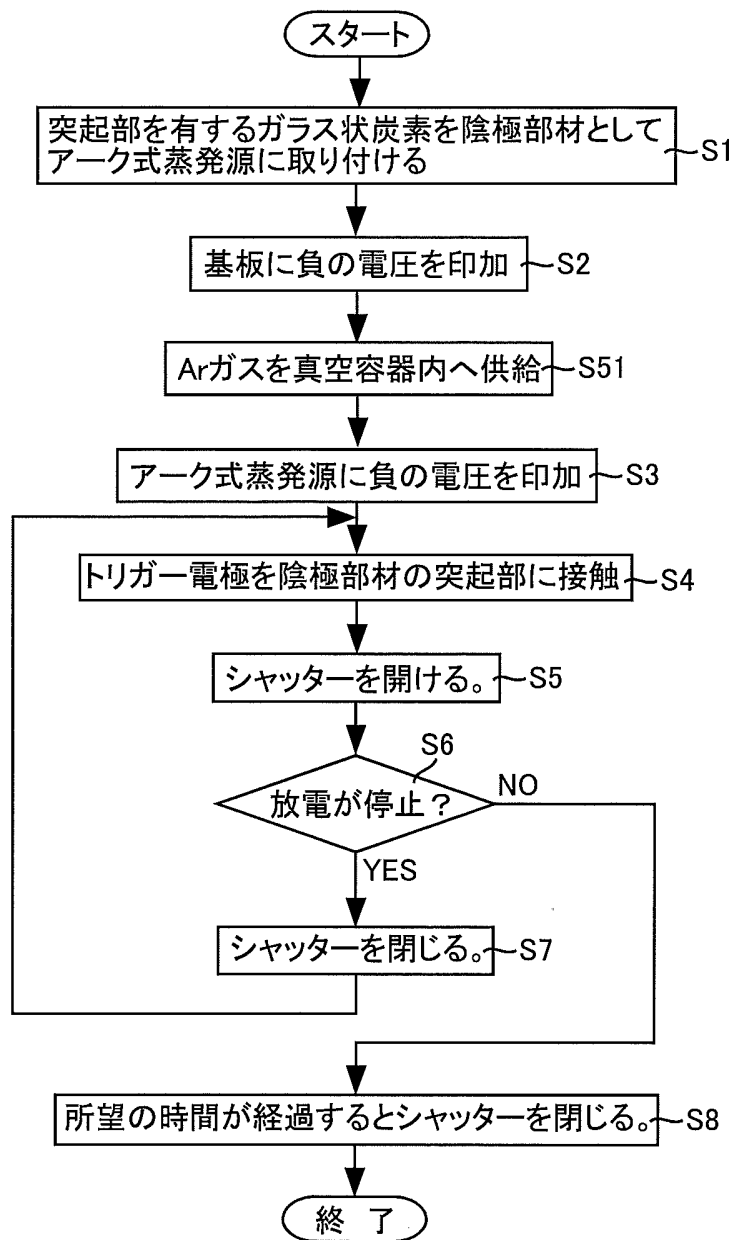
1100



[図83]

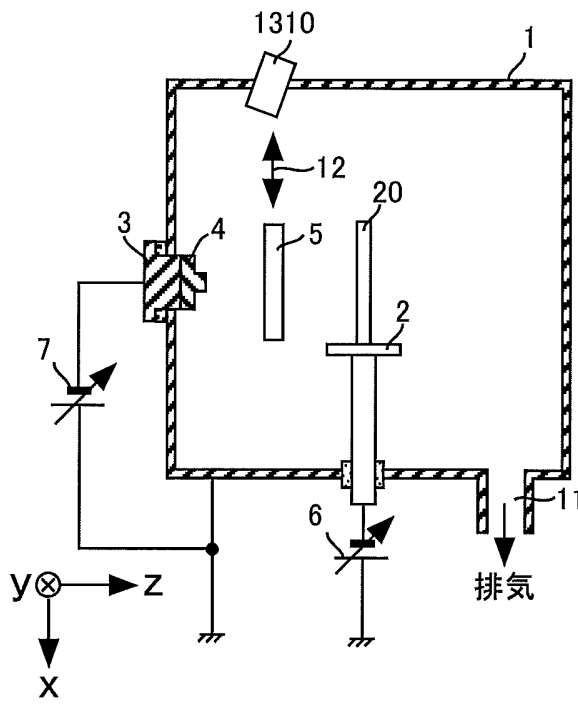


[図84]

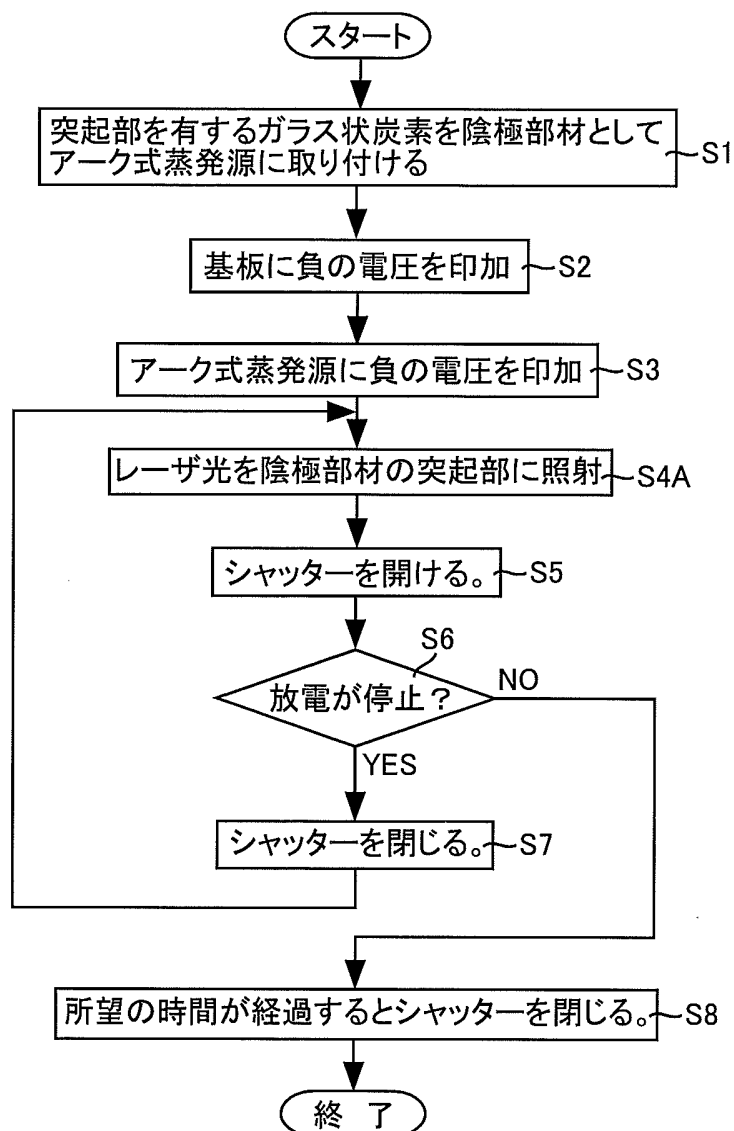




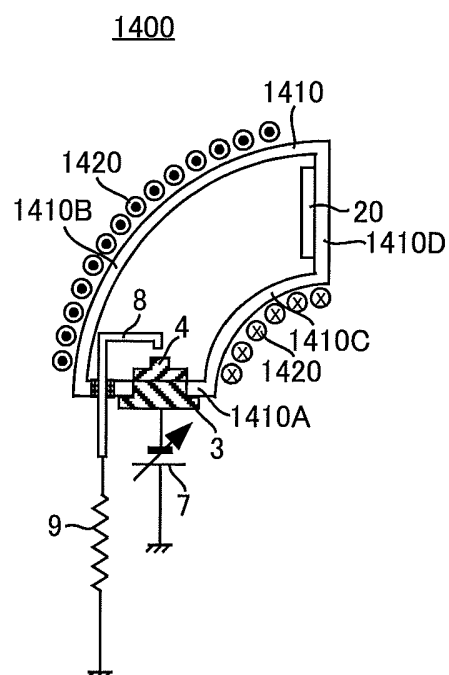
[図85]

1300

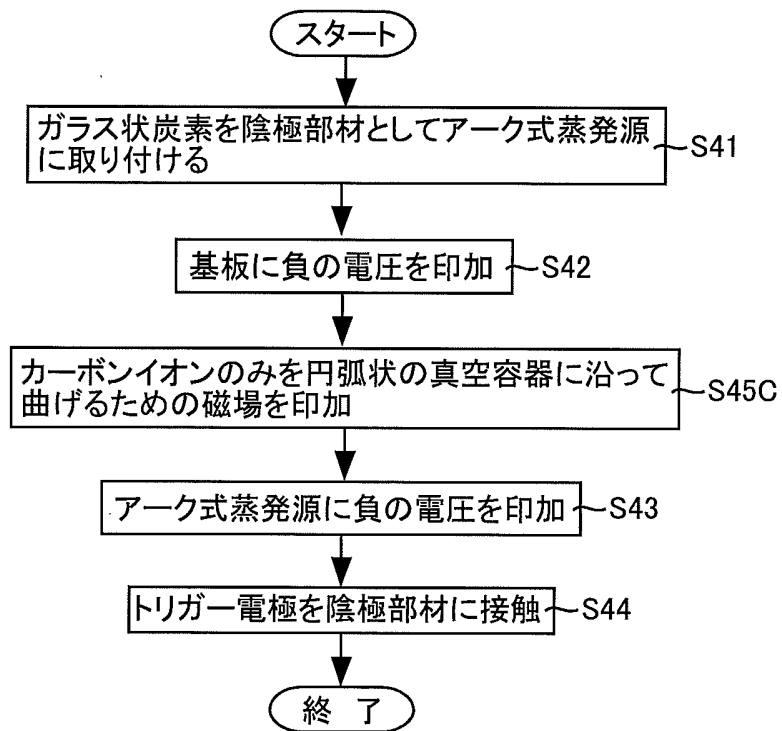
[図86]



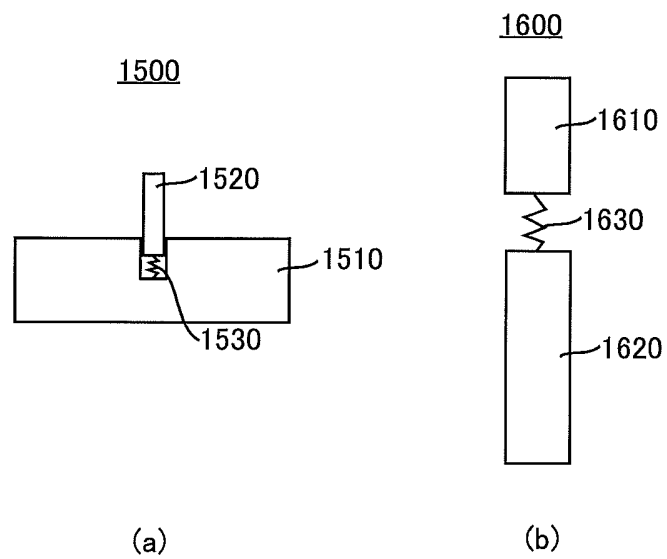
[図87]



[図88]



[図89]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/051141

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23C14/32(2006.01)i, C23C14/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C23C14/32, C23C14/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2009-283107 A (Fuji Electric Device Technology Co., Ltd.), 03 December 2009 (03.12.2009), claim 1; paragraphs [0017] to [0024]; fig. 1, 2 & US 2009/0291326 A1 & US 2012/0082803 A1	1-7, 9-13, 16-20, 22-26 8, 14, 15, 21
Y	JP 7-188916 A (Minnesota Mining and Manufacturing Co.), 25 July 1995 (25.07.1995), claims 1, 6; paragraphs [0015], [0020] to [0021] & US 5401543 A & EP 652301 A1 & DE 69407734 C	1-7, 9-13, 16-20, 22-26



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
04 April, 2014 (04.04.14)

Date of mailing of the international search report  
15 April, 2014 (15.04.14)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2014/051141

**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-126754 A (Nissin Electric Co., Ltd.), 24 May 2007 (24.05.2007), claim 4; paragraph [0037]; fig. 1 & JP 2005-307288 A	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2009-215622 A (Nissin Electric Co., Ltd.), 24 September 2009 (24.09.2009), paragraphs [0065], [0068]; fig. 1 (Family: none)	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2008-214685 A (Riken Corp.), 18 September 2008 (18.09.2008), claims 1, 4, 5; paragraphs [0021], [0025], [0027]; fig. 1 & US 2010/0101947 A1 & EP 2116630 A1 & WO 2008/108149 A1 & CN 101636519 A & KR 10-2009-0116765 A	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2003-183816 A (Ulvac, Inc.), 03 July 2003 (03.07.2003), paragraphs [0036] to [0037], [0046] to [0048]; fig. 2, 9 to 11 (Family: none)	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2006-111930 A (Nissin Electric Co., Ltd.), 27 April 2006 (27.04.2006), paragraphs [0020], [0065]; fig. 1, 7, 8 (Family: none)	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2003-193219 A (Kobe Steel, Ltd.), 09 July 2003 (09.07.2003), claims; paragraphs [0014] to [0033]; fig. 1 to 15 & JP 2008-31557 A	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2003-3251 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 08 January 2003 (08.01.2003), claim 1; paragraphs [0016], [0052] (Family: none)	3
Y	JP 2000-212729 A (Kobe Steel, Ltd.), 02 August 2000 (02.08.2000), claim 1; paragraphs [0018] to [0019]; fig. 1 (Family: none)	12,
Y	JP 2007-305336 A (Stanley Electric Co., Ltd.), 22 November 2007 (22.11.2007), claim 1; paragraphs [0018] to [0022]; fig. 1 (Family: none)	13, 16

# **INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2014/051141

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-41727 A (Balzers AG.), 15 February 1994 (15.02.1994), claims 1, 5, 7 & US 5238546 A & EP 444538 A2 & DE 4006456 C & AT 146010 E & ES 2095880 T & AT 146010 T	19
Y	JP 2001-521065 A (Filplas Vacuum Technology PTE Ltd.), 06 November 2001 (06.11.2001), paragraph [0080]; fig. 7 & US 6413387 B1 & GB 2347147 A & WO 1999/022395 A2 & AU 9556498 A	20
P,A	WO 2013/015280 A1 (Nissin Electric Co., Ltd.), 31 January 2013 (31.01.2013), claims; fig. 1 to 44 (Family: none)	1-26

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. C23C14/32(2006.01)i, C23C14/06(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. C23C14/32, C23C14/06			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014年			
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
Y A	JP 2009-283107 A（富士電機デバイステクノロジー株式会社） 2009.12.03, 請求項1, 【0017】－【0024】, 図1, 2 & US 2009/0291326 A1 & US 2012/0082803 A1	1-7, 9-13, 16- 20, 22-26 8, 14, 15, 21	
Y	JP 7-188916 A（ミネソタ マイニング アンド マニュファクチャ リング カンパニー）1995.07.25, 請求項1, 6, 【0015】, 【0 020】－【0021】 & US 5401543 A & EP 652301 A1 & DE 69407734 C	1-7, 9-13, 16- 20, 22-26	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 04.04.2014		国際調査報告の発送日 15.04.2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 安齋 美佐子 電話番号 03-3581-1101 内線 3416	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2007-126754 A (日新電機株式会社) 2007. 05. 24, 請求項 4, 【0037】, 図 1 & JP 2005-307288 A	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2009-215622 A (日新電機株式会社) 2009. 09. 24, 【0065】, 【0068】, 図 1 (ファミリーなし)	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2008-214685 A (株式会社リケン) 2008. 09. 18, 請求項 1, 4, 5, 【0021】, 【0025】, 【0027】, 図 1 & US 2010/0101947 A1 & EP 2116630 A1 & WO 2008/108149 A1 & CN 101636519 A & KR 10-2009-0116765 A	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2003-183816 A (株式会社アルバック) 2003. 07. 03, 【0036】 - 【0037】, 【0046】 - 【0048】, 図 2, 9-11 (ファミリーなし)	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2006-111930 A (日新電機株式会社) 2006. 04. 27, 【0020】, 【0065】, 図 1, 7, 8 (ファミリーなし)	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2003-193219 A (株式会社神戸製鋼所) 2003. 07. 09, 特許請求の範囲, 【0014】 - 【0033】, 図 1-15 & JP 2008-31557 A	1-7, 9-13, 16-20, 22-26
Y	JP 2003-3251 A (オリンパス光学工業株式会社) 2003. 01. 08, 請求項 1, 【0016】, 【0052】 (ファミリーなし)	3
Y	JP 2000-212729 A (株式会社神戸製鋼所) 2000. 08. 02, 請求項 1, 【0018】 - 【0019】, 図 1 (ファミリーなし)	12,
Y	JP 2007-305336 A (スタンレー電気株式会社) 2007. 11. 22, 請求項 1, 【0018】 - 【0022】, 図 1 (ファミリーなし)	13, 16
Y	JP 6-41727 A (バルツェルス アクチェンゲゼルシャフト) 1994. 02. 15, 請求項 1, 5, 7 & US 5238546 A & EP 444538 A2 & DE 4006456 C & AT 146010 E & ES 2095880 T & AT 146010 T	19
Y	JP 2001-521065 A (フィルプラス ヴァキューム テクノロジー ピーティーイー・リミテッド) 2001. 11. 06, 【0080】, 図 7 & US 6413387 B1 & GB 2347147 A & WO 1999/022395 A2 & AU 9556498 A	20
P, A	WO 2013/015280 A1 (日新電機株式会社) 2013. 01. 31, 請求の範囲, 図 1-44 (ファミリーなし)	1-26





## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104937132 A

(43) 申请公布日 2015. 09. 23

(21) 申请号 201480005582. 0

(22) 申请日 2014. 01. 21

(30) 优先权数据

2013-009363 2013. 01. 22 JP

2013-010820 2013. 01. 24 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 07. 21

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2014/051141 2014. 01. 21

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/115733 JA 2014. 07. 31

(71) 申请人 日新电机株式会社

地址 日本京都府京都市右京区梅津高亩町  
47 番地

(72) 发明人 加藤健治 高桥正人 孙琦

三上隆司 宫崎俊博

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205

代理人 李艳 臧建明

(51) Int. Cl.

C23C 14/32(2006. 01)

C23C 14/06(2006. 01)

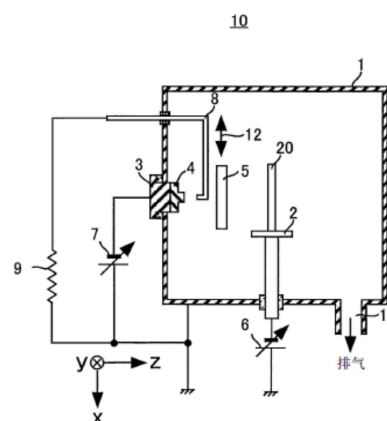
权利要求书3页 说明书44页 附图44页

### (54) 发明名称

等离子体装置、使用该等离子体装置的碳薄膜的制造方法及涂布方法

### (57) 摘要

等离子体装置 10 包括真空容器 1、电弧式蒸发源 3、阴极构件 4、挡板 5、电源 7、及触发电极 8。电弧式蒸发源 3 与基板 20 相向而固定于真空容器 1 的侧壁。阴极构件 4 包含具有突起部的玻璃状碳, 且安装于电弧式蒸发源 3。电源 7 对电弧式蒸发源 3 施加负的电压。触发电极 8 与阴极构件 4 的突起部接触或背离。对电弧式蒸发源 3 施加负的电压, 使触发电极 8 与阴极构件 4 的突起部接触而产生电弧放电, 将挡板 5 打开而将碳薄膜形成于基板 20 上。



1. 一种等离子体装置,包括:  
真空容器;  
电弧式蒸发源,固定于所述真空容器;  
阴极构件,安装于所述电弧式蒸发源;  
保持构件,保持朝向所述阴极构件配置的基板;  
放电开始单元,使放电开始;以及  
电源,对所述电弧式蒸发源施加负的电压,  
所述阴极构件包含玻璃状碳,且包括至少一个柱状部分,柱状部分具有柱状形状,  
所述放电开始单元以等离子体从所述阴极构件的所述至少一个柱状部分被释放的方式使放电开始。
2. 根据权利要求 1 所述的等离子体装置,其中所述等离子体为射束状。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的等离子体装置,其中形成于所述阴极构件的所述至少一个柱状部分的放电痕的形状在放电后为螺旋状。
4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的等离子体装置,其中所述阴极构件包括:  
基座;以及  
所述至少一个柱状部分,安装于所述基座。
5. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的等离子体装置,其中所述至少一个柱状部分各自具有包含圆柱状、圆锥状、截圆锥状、棱柱状及截棱锥状中的任一个的形状。
6. 根据权利要求 1 至 5 中任一项所述的等离子体装置,其中所述至少一个柱状部分各自包含壁状结构体。
7. 根据权利要求 6 所述的等离子体装置,其中所述壁状结构体的从基板侧观察而得的平面形状为环形状、四边形的环状、直线形状及圆弧形中的任一个。
8. 根据权利要求 1 所述的等离子体装置,其中所述阴极构件包括:  
多个柱状部分,各自包含所述玻璃状碳且具有柱状形状;以及  
绝缘框,配置于所述多个柱状部分间。
9. 根据权利要求 1 至 8 中任一项所述的等离子体装置,其还包括送出所述阴极构件的送出机构。
10. 根据权利要求 9 所述的等离子体装置,其中所述送出机构以堆积于所述基板上的碳薄膜的膜厚分布或所述碳薄膜的成膜速度处于所需的范围的方式送出所述阴极构件。
11. 根据权利要求 1 至 10 中任一项所述的等离子体装置,其还包括磁场产生单元,所述磁场产生单元配置于包围所述阴极构件的位置、所述基板与所述阴极构件之间、及相对于所述阴极构件为与所述基板相反的一侧的所需位置中的任一个,产生对等离子体进行扩散或扫描的磁场。
12. 根据权利要求 11 所述的等离子体装置,其还包括旋转机构,所述旋转机构使所述磁场产生单元绕所述阴极构件的中心轴旋转。
13. 根据权利要求 11 所述的等离子体装置,其还包括移动单元,所述移动单元使所述阴极构件相对于所述磁场产生单元相对地移动。
14. 根据权利要求 11 或 13 所述的等离子体装置,其中所述磁场产生单元包含两个永久磁铁,所述两个永久磁铁以长度方向成为使所述等离子体扩散或进行扫描的方向的方式大

致平行地配置。

15. 根据权利要求 11 或 13 所述的等离子体装置, 其中所述磁场产生单元包含两个永久磁铁, 所述两个永久磁铁以长度方向成为从所述阴极构件朝向所述基板的方向的方式大致平行地配置, 且, 绕所述至少一个柱状部分的中心轴旋转。

16. 根据权利要求 11 或 13 所述的等离子体装置, 其中所述磁场产生单元包含一个永久磁铁, 所述一个永久磁铁沿着使所述等离子体扩散或进行扫描的方向往复运动。

17. 根据权利要求 11 或 13 所述的等离子体装置, 其中所述磁场产生单元包括: 线圈, 沿着使所述等离子体扩散或进行扫描的方向配置, 且绕中心轴卷绕; 以及电源, 使流经所述线圈的电流的大小周期性地变化。

18. 根据权利要求 1 至 17 中任一项所述的等离子体装置, 其还包括气体导入单元, 所述气体导入单元在将碳薄膜堆积于所述基板上时, 向所述真空容器内导入气体。

19. 根据权利要求 1 至 18 中任一项所述的等离子体装置, 其中所述放电产生单元将激光照射到所述至少一个柱状构件, 而产生等离子体。

20. 根据权利要求 1 至 18 中任一项所述的等离子体装置, 其中所述放电开始单元使触发电极与所述至少一个柱状构件接触及背离, 而产生等离子体, 所述触发电极包含可挠性构件。

21. 根据权利要求 1 至 20 中任一项所述的等离子体装置, 其中所述阴极构件还包括冲击吸收构件, 所述冲击吸收构件与所述至少一个柱状构件的与所述基板为相反侧的端部相接而配置。

22. 根据权利要求 1 所述的等离子体装置, 其中所述真空容器包括: 筒状构件, 呈圆弧状弯曲; 以及磁场产生单元, 在所述筒状构件内产生磁场, 所述电弧式蒸发源配置于所述筒状构件的一端, 所述保持构件在所述筒状构件的另一端保持所述基板, 所述阴极构件以所述至少一个柱状部分朝向所述筒状构件的内部突出的方式安装于所述电弧式蒸发源。

23. 根据权利要求 1 所述的等离子体装置, 其中在所述真空容器固定有多个所述电弧式蒸发源。

24. 一种碳薄膜的制造方法, 包括:

第一工序, 在朝向基板固定于真空容器的电弧式蒸发源中, 安装包含玻璃状碳, 且包括至少一个柱状部分的阴极构件, 柱状部分具有柱状形状;

第二工序, 对所述电弧式蒸发源施加负的电压; 以及

第三工序, 以等离子体从所述阴极构件的所述至少一个柱状部分被释放的方式使放电开始。

25. 根据权利要求 24 所述的碳薄膜的制造方法, 其还包括第四工序, 所述第四工序中, 将磁场向所述柱状部分的轴方向施加, 所述磁场中所述放电的电弧点未消弧的比例大于 0%, 且, 所述电弧点未向所述至少一个柱状部分以外移动的比例大于 0%,

所述第二工序中, 以使所述电弧点未消弧的比例大于 0%, 且, 所述电弧点未向所述至少一个柱状部分以外移动的比例大于 0% 的电弧电流流动的方式, 将所述负的电压施加到

所述电弧式蒸发源。

26. 一种涂布方法,对基材的表面涂布碳薄膜,所述基材包含金属、陶瓷、树脂、半导体及将选自他们的材质组合而成的材料中的任一个,所述涂布方法包括:

第一工序,朝向固定于真空容器的电弧式蒸发源保持所述基材;

第二工序,将包含玻璃状碳,且包含至少一个柱状部分的阴极构件安装于所述电弧式蒸发源,柱状部分具有柱状形状;

第三工序,对所述电弧式蒸发源施加负的电压;以及

第四工序,以等离子体从所述阴极构件的所述至少一个柱状部分被释放的方式使放电开始。

## 等离子体装置、使用该等离子体装置的碳薄膜的制造方法 及涂布方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种等离子体装置、使用该等离子体装置的碳薄膜的制造方法及涂布方法。

### 背景技术

[0002] 以前,在使用电弧放电形成薄膜的薄膜形成装置中使用的电弧式蒸发源中,抑制粗大粒子附着于基板的电弧式蒸发源已为人所知(专利文献1)。

[0003] 该电弧式蒸发源包括真空容器、等离子体管、多孔构件、磁线圈、及蒸发源。等离子体管的一端安装于真空容器。蒸发源安装于等离子体管的另一端。

[0004] 磁线圈卷绕在等离子体管的周围。而且,磁线圈将蒸发源的附近产生的等离子体引导至配置于真空容器内的基板的附近。

[0005] 多孔构件安装于等离子体管的内壁,捕获从安装于蒸发源的阴极物质飞出的粗大粒子。

[0006] 这样,现有的真空电弧蒸镀装置利用等离子体管将蒸发源连结于真空容器,且利用设置于等离子体管的内壁的多孔构件来捕获从阴极物质飞出的粗大粒子而抑制粗大粒子飞向基板。

[0007] 专利文献1:日本专利特开2002-105628号公报

### 发明内容

[0008] 然而,现有的真空电弧蒸镀装置中,使用作为阴极物质的石墨(碳),石墨是将碳粒子烧结制作而成,因而存在晶界。结果,在将石墨用作阴极物质的情况下,存在阴极物质沿着晶界裂开而产生粗大粒子(微粒)的问题。

[0009] 因此,本发明是为了解决所述问题而完成,其目的在于提供一种能够抑制阴极物质裂开的等离子体装置。

[0010] 而且,本发明的另一目的在于提供一种能够抑制阴极物质裂开而制造碳薄膜的碳薄膜的制造方法。

[0011] 此外,本发明的另一目的在于提供一种能够抑制阴极物质裂开而涂布碳薄膜的碳薄膜的涂布方法。

[0012] 根据本发明的实施方式,等离子体装置包括真空容器、电弧式蒸发源、阴极构件、保持构件、放电开始单元、及电源。电弧式蒸发源固定于真空容器。阴极构件安装于电弧式蒸发源。保持构件对朝向阴极构件配置的基板加以保持。放电开始单元使放电开始。电源对电弧式蒸发源施加负的电压。而且,阴极构件包含玻璃状碳,且包括至少一个柱状部分,所述柱状部分具有柱状形状。放电开始单元以等离子体从阴极构件的至少一个柱状部分被释放的方式使放电开始。

[0013] 而且,根据本发明的实施方式,碳薄膜的制造方法包括:第一工序,在朝向基板而

固定于真空容器的电弧式蒸发源中,安装包含玻璃状碳,且包括至少一个柱状部分的阴极构件,所述柱状部分具有柱状形状;第二工序,对电弧式蒸发源施加负的电压;以及第三工序,以等离子体从阴极构件的至少一个柱状部分被释放的方式使放电开始。

[0014] 此外,根据本发明的实施方式,碳薄膜的涂布方法对基材的表面涂布碳薄膜,所述基材包含金属、陶瓷、树脂、半导体及将选自他们的材质组合而成的材料中的任一个,所述涂布方法包括:第一工序,朝向固定于真空容器的电弧式蒸发源保持基材;第二工序,将包含玻璃状碳,且包含至少一个柱状部分的阴极构件安装于电弧式蒸发源,所述柱状部分具有柱状形状;第三工序,对电弧式蒸发源施加负的电压;以及第四工序,以等离子体从阴极构件的至少一个柱状部分被释放的方式使放电开始。

[0015] 本发明的实施方式的等离子体装置对电弧式蒸发源施加负的电压,以从阴极构件的至少一个柱状部分(包含玻璃状碳)被释放的方式产生等离子体,而制造碳薄膜。结果,突起部中的热应变减少,原子状的碳从阴极构件的柱状部分被释放。而且,玻璃状碳不具有晶界。

[0016] 因此,因突起部中的热应变减少及玻璃状碳不具有晶界,而可抑制阴极构件裂开。

[0017] 而且,本发明的实施方式的碳薄膜的制造方法中,对电弧式蒸发源施加负的电压,以从阴极构件的至少一个柱状部分(包含玻璃状碳)被释放的方式产生等离子体,而制造碳薄膜。结果,如所述般,可抑制阴极构件裂开而制造碳薄膜。

[0018] 此外,本发明的实施方式的碳薄膜的涂布方法中,对电弧式蒸发源施加负的电压,以从阴极构件的至少一个柱状部分(包含玻璃状碳)被释放的方式产生等离子体,而将碳薄膜涂布于基材的表面。结果,如所述般,可抑制阴极构件裂开而将碳薄膜涂布于基材上。

## 附图说明

[0019] 图1是表示本发明的实施方式1的等离子体装置的构成的概略图。

[0020] 图2是图1所示的阴极构件的立体图。

[0021] 图3是图2所示的线III-III间的阴极构件的剖面图。

[0022] 图4是表示使用了图1所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0023] 图5是表示碳薄膜的表面形状的图。

[0024] 图6是表示实施方式1的另一阴极构件的剖面图。

[0025] 图7是表示实施方式1的又一阴极构件的概略图。

[0026] 图8是图7所示的线VIII-VIII间的阴极构件的剖面图。

[0027] 图9是实施方式1的又一阴极构件的概略图。

[0028] 图10是图9所示的线X-X间的阴极构件的剖面图。

[0029] 图11是实施方式1的又一阴极构件的概略图。

[0030] 图12是图11所示的线XII-XII间的阴极构件的剖面图。

[0031] 图13是实施方式1的又一阴极构件的概略图。

[0032] 图14是图13所示的线XIV-XIV间的阴极构件的剖面图。

[0033] 图15是实施方式1的又一阴极构件的概略图。

[0034] 图16是图15所示的线XVI-XVI间的阴极构件的剖面图。

[0035] 图17是实施方式1的又一阴极构件的概略图。

- [0036] 图 18 是图 17 所示的线 XVIII-XVIII 间的阴极构件的剖面图。
- [0037] 图 19 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。
- [0038] 图 20 是图 19 所示的线 XX-XX 间的阴极构件的剖面图。
- [0039] 图 21 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。
- [0040] 图 22 是图 21 所示的线 XXII-XXII 间的阴极构件的剖面图。
- [0041] 图 23 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。
- [0042] 图 24 是图 23 所示的线 XXIV-XXIV 间的阴极构件的剖面图。
- [0043] 图 25 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。
- [0044] 图 26 是图 25 所示的线 XXVI-XXVI 间的阴极构件的剖面图。
- [0045] 图 27 是实施方式 1 的又一阴极构件的概念图。
- [0046] 图 28 是图 27 所示的线 XXVIII-XXVIII 间的阴极构件的剖面图。
- [0047] 图 29 是表示实施方式 1 的另一等离子体装置的构成的概略图。
- [0048] 图 30 是表示实施方式 2 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0049] 图 31 是表示图 30 所示的阴极构件的构成的概略图。
- [0050] 图 32 是表示图 30 所示的气动机构的构成的概略图。
- [0051] 图 33 是用以说明图 30 所示的触发电极与阴极构件的全部的玻璃状碳接触的机构的图。
- [0052] 图 34 是表示使用了图 30 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0053] 图 35 是表示实施方式 2 的另一等离子体装置的构成的概略图。
- [0054] 图 36 是用以说明图 35 所示的触发电极与阴极构件的全部的玻璃状碳接触的机构的图。
- [0055] 图 37 是表示实施方式 3 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0056] 图 38 是表示图 37 所示的送出机构的构成的概略图。
- [0057] 图 39 是表示使用了图 37 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0058] 图 40 是表示实施方式 4 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0059] 图 41 是图 40 所示的触发电极的一端侧的剖面图。
- [0060] 图 42 是图 40 所示的触发电极的一端侧的从阴极构件侧观察而得的平面图。
- [0061] 图 43 是表示实施方式 5 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0062] 图 44 是图 43 所示的触发电极的一端侧的剖面图。
- [0063] 图 45 是图 43 所示的触发电极的一端侧的从阴极构件侧观察而得的平面图。
- [0064] 图 46 是图 43 所示的触发电极与阴极构件的突起部接触时的概念图。
- [0065] 图 47 是实施方式 5 的另一触发电极的剖面图。
- [0066] 图 48 是表示实施方式 6 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0067] 图 49 是表示电弧电压的时间变化的图。
- [0068] 图 50 是表示使用了图 48 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0069] 图 51 是表示实施方式 7 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0070] 图 52 是表示使用了图 51 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0071] 图 53 是表示实施方式 8 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0072] 图 54 是用以说明图 53 所示的永久磁铁的配置位置的图。

- [0073] 图 55 是用以说明图 53 所示的永久磁铁的功能的概念图。
- [0074] 图 56 是表示使用了图 53 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0075] 图 57 是表示实施方式 9 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0076] 图 58 是用以说明图 57 所示的永久磁铁的功能的图。
- [0077] 图 59 是表示使用了图 57 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0078] 图 60 是实施方式 9 的另一等离子体装置的构成的概略图。
- [0079] 图 61 是用以说明图 60 所示的电磁铁（线圈及电源）的功能的图。
- [0080] 图 62 是表示实施方式 10 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0081] 图 63 是表示未消弧的比例下的轴方向磁场与电弧电流密度的关系的图。
- [0082] 图 64 是表示电弧点未移动到本体部的比例下的轴方向磁场与电弧电流密度的关系的图。
- [0083] 图 65 是放电前的玻璃状碳的立体图。
- [0084] 图 66 是表示第一次放电结束后的玻璃状碳的图。
- [0085] 图 67 是表示第二次放电结束后的玻璃状碳的图。
- [0086] 图 68 是表示放电前的阴极构件的图。
- [0087] 图 69 是表示使用了直径 3mm  $\Phi$  的玻璃状碳（突起部）时的放电后的突起部的图。
- [0088] 图 70 是表示使用了直径 5.2mm  $\Phi$  的玻璃状碳（突起部）时的放电后的突起部的图。
- [0089] 图 71 是表示使用了直径 2mm  $\Phi$  的玻璃状碳（突起部）时的放电后的突起部的图。
- [0090] 图 72 是表示实施方式 10 的另一等离子体装置的构成的概略图。
- [0091] 图 73 是图 72 所示的阴极构件及线圈的放大图。
- [0092] 图 74 是表示实施方式 10 的另一线圈的图。
- [0093] 图 75 是表示实施方式 10 的又一等离子体装置的构成的构成图。
- [0094] 图 76 是图 75 所示的电弧式蒸发源、阴极构件及线圈的放大图。
- [0095] 图 77 是表示使用了图 62 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0096] 图 78 是表示实施方式 11 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0097] 图 79 是图 78 所示的永久磁铁、齿轮及配重的从基板侧观察而得的平面图。
- [0098] 图 80 是表示实施方式 11 的另一等离子体装置的构成的概略图。
- [0099] 图 81 是表示使用了图 78 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0100] 图 82 是表示实施方式 12 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0101] 图 83 是表示实施方式 13 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0102] 图 84 是表示使用了图 83 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的概略图。
- [0103] 图 85 是表示实施方式 14 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0104] 图 86 是表示使用了图 85 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0105] 图 87 是表示实施方式 15 的等离子体装置的构成的概略图。
- [0106] 图 88 是表示使用了图 87 所示的等离子体装置的碳薄膜的制造方法的工序图。
- [0107] 图 89 是表示本发明的实施方式的阴极构件的图。

## 具体实施方式



[0108] 一边参照附图一边对本发明的实施方式进行详细说明。另外,对图中相同或相当的部分附上相同的符号且不重复其说明。

[0109] [实施方式 1]

[0110] 图 1 是表示本发明的实施方式 1 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 1,本发明的实施方式 1 的等离子体装置包括真空容器 1、保持构件 2、电弧式蒸发源 3、阴极构件 4、挡板 5、电源 6、电源 7、触发电极 8、以及电阻 9。

[0111] 另外,等离子体装置 10 中,如图 1 所示般对 x 轴、y 轴及 z 轴进行定义。

[0112] 真空容器 1 具有排气口 11,利用排气装置(未图示)从排气口 11 抽成真空。而且,真空容器 1 连接于接地节点 GND。

[0113] 保持构件 2 配置于真空容器 1 内。电弧式蒸发源 3 固定于真空容器 1 的侧壁。

[0114] 阴极构件 4 安装于电弧式蒸发源 3 的基板 20 侧的表面。而且,阴极构件 4 包含玻璃状碳。玻璃状碳是通过将酚树脂等热硬化性树脂煅烧、碳化而制造。该玻璃状碳包含碳原子呈非晶状排列的结构,且不存在晶界。基于不存在晶界的理由,阴极构件 4 也可包含导电性的金刚石。而且,阴极构件 4 具有向基板 20 侧突出的突起部。

[0115] 另外,作为玻璃状碳的具体例,可列举日清纺(Nisshinbo)化学制造的玻璃状碳、或东海碳(Tokaicarbon)制造的玻璃碳。而且,本发明的实施方式中,设为玻璃碳(glassy carbon)、非晶碳(amorphous carbon)、非晶质碳、非定形碳、无定形碳、非石墨化碳及玻璃碳(vitreous carbon)均包含于玻璃状碳。

[0116] 挡板 5 与阴极构件 4 相向而配置于阴极构件 4 与基板 20 之间。

[0117] 电源 6 连接于保持构件 2 与接地节点 GND 之间。电源 7 连接于电弧式蒸发源 3 与接地节点 GND 之间。

[0118] 触发电极 8 的一部分经由真空容器 1 的侧壁而配置于真空容器 1 内,剩余部分配置于真空容器 1 外。而且,触发电极 8 例如包含钼(Mo),且经由电阻 9 连接于接地节点 GND。电阻 9 连接于触发电极 8 与接地节点 GND 之间。

[0119] 保持构件 2 对基板 20 加以保持。电弧式蒸发源 3 利用阴极构件 4 与真空容器 1 之间的电弧放电而使阴极构件 4 局部地加热并使阴极物质蒸发。

[0120] 挡板 5 利用开闭机构(未图示)沿箭头 12 的方向移动。

[0121] 电源 6 将负的电压经由保持构件 2 施加到基板 20。电源 7 将负的电压施加到电弧式蒸发源 3。

[0122] 触发电极 8 利用往复驱动装置(未图示)而与阴极构件 4 接触或背离。电阻 9 抑制电弧电流流向触发电极 8。

[0123] 图 2 是图 1 所示的阴极构件 4 的立体图。而且,图 3 是图 2 所示的线 III-III 间的阴极构件 4 的剖面图。

[0124] 参照图 2 及图 3,阴极构件 4 包含本体部 41、及突起部 42。本体部 41 具有圆盘形状。突起部 42 具有圆柱形状。而且,突起部 42 以突起部 42 的中心轴 X2 与本体部 41 的中心轴 X1 一致的方式配置于本体部 41 上。另外,将本体部 41 及突起部 42 制作成一体。

[0125] 本体部 41 例如具有 64mm $\phi$  的直径 R1,具有 12mm 的高度 H1。突起部 42 具有数 cm $\phi$  以下的直径 R2,且具有数 mm 以上的高度 H2。而且,突起部 42 例如具有 3mm $\phi$ 、6mm $\phi$  的直径 R2。

[0126] 阴极构件 4 利用如下方法制作。将酚树脂等热硬化性树脂煅烧、碳化而制作圆柱形状的玻璃状碳。然后,对如此制作的玻璃状碳以具有突起部 42 的方式进行车床加工而制作阴极构件 4。另外,形成突起部 42 的方法不限于车床加工,也可为蚀刻(包含湿式蚀刻及干式蚀刻两者),只要为可形成突起部 42 的方法,则可为任一方法。

[0127] 与中心轴 X2 垂直的方向上的突起部 42 的剖面积在突起部 42 的直径 R2 为 6mm  $\phi$  的情况下,为  $\pi \times 3\text{mm} \times 3\text{mm} = 28.3\text{mm}^2$ ,与中心轴 X1 垂直的方向上的本体部 41 的剖面积为  $\pi \times 32\text{mm} \times 32\text{mm} = 3215.4\text{mm}^2$ 。结果,突起部 42 的剖面积相对于本体部 41 的剖面积的比为约 1/113。

[0128] 结果,因突起部 42 的传热成分减少而热不易从突起部 42 逸散,从而突起部 42 整体容易均热化,因而热应变减少。

[0129] 而且,玻璃状碳因不具有晶界,所以在被用作阴极构件 4 的情况下,电弧放电中原子状碳从阴极构件 4 被释放。

[0130] 因此,可抑制阴极构件 4 裂开。

[0131] 如所述般,因原子状的碳从阴极构件 4 被释放,所以不会产生微粒。结果,如果使用阴极构件 4,则可产生无火花放电。该无火花放电为不产生微粒的放电。另外,本说明书中,微粒是指尺寸为 50nm ~ 数微米( $\mu\text{m}$ )的碳粒。

[0132] 另一方面,将碳粒烧结而成的烧结体不适合作为阴极构件 4。其理由为如下所述。碳的烧结体是将碳粒压固烧制而成者,因而存在晶界。结果,在将碳的烧结体用作阴极构件 4 的情况下,电弧放电中阴极构件 4 从晶界处裂开,微粒从阴极构件 4 被释放。

[0133] 图 4 是表示使用了图 1 所示的等离子体装置 10 的碳薄膜的制造方法的工序图。参照图 4,当开始制造碳薄膜时,将具有突起部 42 的玻璃状碳作为阴极构件 4 而安装于电弧式蒸发源 3(工序 S1)。

[0134] 而且,经由排气口 11 对真空容器 1 内进行排气,将真空容器 1 内的压力设定为  $5 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 。

[0135] 于是,利用电源 6 对基板 20 施加 -10V ~ -300V 的负电压(工序 S2),利用电源 7 对电弧式蒸发源 3 施加 -15V ~ -50V 的负电压(工序 S3)。

[0136] 而且,利用往复驱动装置(未图示),使触发电极 8 与阴极构件 4 的突起部 42 接触(工序 S4),然后,使触发电极 8 与阴极构件 4 背离。由此,电弧放电开始,电弧点出现在阴极构件 4 的表面。该电弧点为阴极构件 4 的熔融部且强烈发光。

[0137] 然后,打开挡板 5(工序 S5)。由此,碳薄膜(类金刚石碳(DLC:Dimond Like Carbon))形成于基板 20 上。而且,由等离子体装置 10 的操作者来判定放电是否已停止(工序 S6)。电弧点因强烈发光,所以等离子体装置 10 的操作者在电弧点发光时,判定为放电尚未停止,在电弧点不发光时,判定为放电已停止。

[0138] 工序 S6 中,在判定为放电已停止时,关闭挡板 5(工序 S7),然后,重复执行所述工序 S4 ~ S6。

[0139] 另一方面,工序 S6 中,当判定为放电尚未停止时,经过所需时间后,关闭挡板 5(工序 S8)。由此,碳薄膜的制造结束。

[0140] 而且,设为依据所述工序 S1 ~ S8 制造的碳薄膜中包含非晶碳薄膜、类金刚石碳薄膜、四面体(tetrahedral)非晶碳膜、非晶质硬质碳薄膜及硬质碳薄膜。

[0141] 另外,实施方式1中,电源6也可将0V的电压施加到基板20。而且,也可在打开挡板5的状态下制造碳薄膜。因此,实施方式1的碳薄膜的制造方法至少包括图4所示的工序S1、S3、S4即可。

[0142] 这样,碳薄膜是使用具有突起部42且包含玻璃状碳的阴极构件4,利用电弧放电而形成于基板20上。

[0143] 结果,突起部42的热应变减少,阴极构件4(玻璃状碳)不具有晶界,因此可抑制阴极构件4沿着晶界裂开。

[0144] 图5是表示使用触针式的表面形状的测定器戴科泰克(Dektak)150(维易科(Veeco)公司制造)在同一条件下测定碳薄膜的表面形状的结果的图。图5中,纵轴表示碳薄膜的表面形状,横轴表示扫描距离(测定出的长度)。图5(a)、(b)中,均利用排气装置(未图示)对真空容器1进行排气直至为 $9.9 \times 10^{-3}$ Pa后,设定为80A的电弧电流及2000 Å的膜厚而分别在基板(直径20mm、厚度2mm、SKH51制造,镜面研磨精加工)上成膜碳薄膜。两者的差异仅在于成膜时的阴极构件,图5(a)是将玻璃状碳用作阴极构件4的情况,图5(b)将烧结结构的碳材料用作阴极构件4的情况。

[0145] 图5(a)、(b)中,从0 Å水平(level)向正方向呈针状突出的峰值均表示碳薄膜中的粗大粒子(因粗大粒子=存在微粒,所以表面形状为凸),从而可知由阴极构件的差异导致的碳薄膜中的粗大粒子数的差异。清楚地表明该差异如所述般是由玻璃状碳与烧结结构的碳材料的结构而引起,且从不存在晶界的玻璃状碳释放出的粗大粒子极少,或几乎等于0个。

[0146] 作为一例,在将3000 Å以上的粗大粒子数加以比较的情况下,将玻璃状碳用作阴极构件4的图5(a)为0个。另一方面,将烧结结构的碳材料用作阴极构件4的图5(b)为21个。在将2000 Å以上的粗大粒子数加以比较的情况下,将玻璃状碳用作阴极构件4的图5(a)为1个。另一方面,将烧结结构的碳材料用作阴极构件4的图5(b)为58个。在将1000 Å以上的粗大粒子数加以比较的情况下,将玻璃状碳用作阴极构件4的图5(a)为2个。另一方面,将烧结结构的碳材料用作阴极构件4的图5(b)中存在无数个。根据该结果,在将玻璃状碳用于阴极构件4的情况下,可使碳薄膜中的粗大粒子数大幅减少。同时,在将玻璃状碳用于阴极构件4的情况下,可使碳薄膜的表面粗糙度大幅减小(优化)。

[0147] 图5(a)、(b)中,均为基板表面与2000 Å水平相对应,碳薄膜的表面与0 Å水平(因基板上存在起伏、翘曲,所以受其影响不会成纵轴为0 Å水平的直线)相对应。另外,基板的起伏、翘曲与由粗大粒子引起的呈针状突出的峰值完全不同,从而不会误识别粗大粒子的存在或个数。

[0148] 而且,图5(b)中,存在无数个从纵轴为0 Å水平向负方向呈针状突出的峰值,这些显示的是在碳薄膜上暂时引入的粗大粒子脱离后的痕迹(粗大粒子脱离后碳薄膜的表面为凹形形状),根据该点也判断出:在将烧结结构的碳材料用作阴极构件4的情况下,释放出无数个粗大粒子。

[0149] 这样,证实通过将玻璃状碳用作阴极构件4,而碳薄膜的表面粗糙度变得非常小。这是因为,在将玻璃状碳用作阴极构件4的情况下,如所述般,原子状的碳从阴极构件4被

释放,该被释放的原子状的碳有助于碳薄膜的成膜。

[0150] 图6是表示实施方式1的另一阴极构件的剖面图。实施方式1中,等离子体装置10也可代替阴极构件4而包括图6所示的阴极构件4A。

[0151] 参照图6,阴极构件4A包括本体部41A、及突起部42A。本体部41A在图2及图3所示的本体部41形成M5内螺纹。而且,本体部41A具有与本体部41相同的尺寸,且包含与本体部41相同的材料。

[0152] 突起部42A包含如下结构,即,以啮合于本体部41A的M5内螺纹的方式在根部侧形成M5外螺纹。而且,突起部42A具有与突起部42相同的直径及形状,且从本体部41A突出的部分的高度例如为9mm。而且,突起部42A包含与本体部41A相同的材料。

[0153] 通过使用阴极构件4A,可仅更换突起部42A,且可重复使用本体部41A。

[0154] 图7是实施方式1的又一阴极构件的概略图。而且,图8是图7所示的线VIII-VIII间的阴极构件4B的剖面图。

[0155] 实施方式1中,等离子体装置10也可代替阴极构件4而包括图7及图8所示的阴极构件4B。

[0156] 参照图7及图8,阴极构件4B中,将图2所示的阴极构件4的突起部42替换为突起部42B、42C、42D、42E,其他与阴极构件4相同。

[0157] 突起部42B、42C、42D、42E各自具有圆柱形状,且包含玻璃状碳。而且,突起部42B、42C、42D、42E各自具有与突起部42相同的直径及形状。而且,突起部42B、42C、42D、42E各自例如具有9mm的高度。此外,突起部42B、42C、42D、42E例如呈棋盘格状配置于本体部41上。该情况下,突起部42B、42C、42D、42E的相互的间隔为任意。此外,将本体部41及突起部42B、42C、42D、42E制作成一体。而且,阴极构件4B是通过将本体部41固定于电弧式蒸发源3而安装于电弧式蒸发源3。因此,突起部42B、42C、42D、42E向基板20侧突出。

[0158] 阴极构件4B是通过玻璃状碳进行车床加工或蚀刻而制作。

[0159] 另外,阴极构件4B中,突起部42B、42C、42D、42E不限于棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。

[0160] 而且,阴极构件4B不限于4个突起部42B、42C、42D、42E,可包括2个突起部,也可包括3个突起部,还可包括5个以上的突起部,一般来说,包括2个以上的突起部即可。而且,2个以上的突起部可配置成棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。而且,2个以上的突起部可具有彼此相同的直径,也可具有彼此不同的直径。

[0161] 图9是实施方式1的又一阴极构件的概略图。而且,图10是图9所示的线X-X间的阴极构件4C的剖面图。

[0162] 实施方式1中,等离子体装置10也可代替阴极构件4而包括图9及图10所示的阴极构件4C。

[0163] 参照图9及图10,阴极构件4C包括本体部48、及突起部49A、49B、49C、49D、49E、49F。

[0164] 本体部48具有平板形状,该平板形状具有为正正方形的表面48A,且包含玻璃状碳。而且,本体部48的一边的长度例如为64mm。而且,本体部48具有与本体部41相同的高度H1(=10mm)。

[0165] 突起部49A、49B、49C、49D、49E、49F各自具有以与表面48A平行的平面切断的剖面

形状为正方形的棱柱形状,且包含玻璃状碳。而且,突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F 各自具有数 cm 以下的一边的长度,且具有数 mm 以上的高度。而且,突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F 例如呈棋盘格状配置于本体部 48 上。该情况下,突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F 的相互的间隔为任意。此外,将本体部 48 及突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F 制作成一体。而且,阴极构件 4C 是通过将本体部 48 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。因此,突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F 向基板 20 侧突出。

[0166] 阴极构件 4C 利用与阴极构件 4 相同的制作方法。

[0167] 另外,阴极构件 4C 中,突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F 不限于棋盘格状,能够以任意的间隔无规地配置。

[0168] 而且,阴极构件 4C 不限于 6 个突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F,也可包括 1 个~5 个突起部,还可包括 7 个以上的突起部,一般而言,包括 1 个以上的突起部即可。而且,在阴极构件 4C 包括 2 个以上的突起部的情况下,2 个以上的突起部可配置成棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。而且,2 个以上的突起部可具有彼此相同的一边的长度,也可具有彼此不同的一边的长度。

[0169] 此外,本体部 48 的剖面形状也可不为正方形,剖面形状也可不为长方形。该情况下,长方形的长边及短边的长度可设定为任意的值。

[0170] 此外,突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F 各自的剖面形状也可不为正方形,剖面形状也可不为长方形。该情况下,长方形的长边及短边的长度可设定为数 cm 以下。

[0171] 此外,阴极构件 4C 不限于具有剖面形状为四边形的平板形状的本体部,也可包括具有剖面形状为三角形的平板形状的本体部,或具有剖面形状为五边形的平板形状的本体部,一般而言,包括具有剖面形状为多边形的平板形状的本体部即可。

[0172] 此外,阴极构件 4C 不限于包括具有剖面形状为四边形的棱柱形状的突起部,也可包括具有剖面形状为三角形的棱柱形状的突起部、或具有剖面形状为五边形的棱柱形状的突起部,一般而言,包括具有剖面形状为多边形的棱柱形状的突起部即可。

[0173] 图 11 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。而且,图 12 是图 11 所示的线 XII-XII 间的阴极构件 4D 的剖面图。

[0174] 实施方式 1 中,等离子体装置 10 也可代替阴极构件 4 而包括图 11 及图 12 所示的阴极构件 4D。

[0175] 参照图 11 及图 12,阴极构件 4D 中,将图 2 所示的阴极构件 4 的突起部 42 替换为突起部 42F、42G、42H、42I,其他与阴极构件 4 相同。

[0176] 突起部 42F、42G、42H、42I 各自具有圆锥形状,且包含玻璃状碳。而且,突起部 42F、42G、42H、42I 各自在本体部 41 的表面 411 具有数 cm $\phi$  以下的直径。而且,突起部 42F、42G、42H、42I 各自例如具有 9mm 的高度。此外,突起部 42F、42G、42H、42I 例如呈棋盘格状配置于本体部 41 上。该情况下,突起部 42F、42G、42H、42I 的相互的间隔为任意。此外,将本体部 41 及突起部 42F、42G、42H、42I 制作成一体。而且,阴极构件 4D 是通过将本体部 41 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。因此,突起部 42F、42G、42H、42I 向基板 20 侧突出。

[0177] 阴极构件 4D 是通过对玻璃状碳进行车床加工或蚀刻而制作。

[0178] 另外,阴极构件 4D 中,突起部 42F、42G、42H、42I 不限于棋盘格状,也能够以任意的

间隔无规地配置。

[0179] 而且,阴极构件 4D 不限于 4 个突起部 42F、42G、42H、42I,可包括 2 个突起部,也可包括 3 个突起部,还可包括 5 个以上的突起部,一般而言,包括 2 个以上的突起部即可。而且,2 个以上的突起部可配置成棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。而且,2 个以上的突起部在本体部 41 的表面 411,可具有彼此相同的直径,也可具有彼此不同的直径。

[0180] 图 13 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。而且,图 14 是图 13 所示的线 XIV-XIV 间的阴极构件 4E 的剖面图。

[0181] 实施方式 1 中,等离子体装置 10 也可代替阴极构件 4 而包括图 13 及图 14 所示的阴极构件 4E。

[0182] 参照图 13 及图 14,阴极构件 4E 中,将图 2 所示的阴极构件 4 的突起部 42 替换为突起部 42J、42K、42L、42M,其他与阴极构件 4 相同。

[0183] 突起部 42J、42K、42L、42M 各自具有截圆锥状的形状,且包含玻璃状碳。而且,突起部 42J、42K、42L、42M 各自在本体部 41 的表面 411 具有数 cm $\phi$  以下的直径,在前端部具有比表面 411 中的直径小的直径。而且,突起部 42J、42K、42L、42M 各自例如具有 9mm 的高度。此外,突起部 42J、42K、42L、42M 例如呈棋盘格状配置于本体部 41 上。该情况下,突起部 42J、42K、42L、42M 的相互的间隔为任意。此外,将本体部 41 及突起部 42J、42K、42L、42M 制作成一体。而且,阴极构件 4E 是通过将本体部 41 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。因此,突起部 42J、42K、42L、42M 向基板 20 侧突出。

[0184] 阴极构件 4E 是通过将玻璃状碳进行车床加工或蚀刻而制作。

[0185] 另外,阴极构件 4E 中,突起部 42J、42K、42L、42M 不限于棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。

[0186] 而且,阴极构件 4E 不限于 4 个突起部 42J、42K、42L、42M,可包括 2 个突起部,也可包括 3 个突起部,还可包括 5 个以上的突起部,一般而言,包括 2 个以上的突起部即可。而且,2 个以上的突起部可配置成棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。而且,2 个以上的突起部可在本体部 41 的表面 411 具有彼此相同的直径,也可具有彼此不同的直径。

[0187] 图 15 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。而且,图 16 是图 15 所示的线 XVI-XVI 间的阴极构件 4F 的剖面图。

[0188] 实施方式 1 中,等离子体装置 10 也可代替阴极构件 4 而包括图 15 及图 16 所示的阴极构件 4F。

[0189] 参照图 15 及图 16,阴极构件 4F 中,将图 9 及图 10 所示的阴极构件 4C 的突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F 替换为突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L,其他与阴极构件 4C 相同。

[0190] 突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 各自具有棱锥形状,且包含玻璃状碳。而且,突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 各自在本体部 48 的表面 48A 具有一边的长度为数 cm 以下的正方形的形状。而且,突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 各自例如具有 9mm 的高度。此外,突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 例如呈棋盘格状配置于本体部 48 上。该情况下,突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 的相互的间隔为任意。此外,将本体部 48 及突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 制作成一体。而且,阴极构件 4F 是通过将本体部 48 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。

[0191] 因此,突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 向基板 20 侧突出。

[0192] 阴极构件 4F 是通过对玻璃状碳进行车床加工或蚀刻而制作。

[0193] 另外,阴极构件 4F 中,突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 不限于棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。

[0194] 而且,阴极构件 4F 不限于 6 个突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L,可包括 2 个突起部,也可包括 3 个突起部,还可包括 5 个以上的突起部,一般而言,包括 2 个以上的突起部即可。而且,2 个以上的突起部可配置成棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。而且,2 个以上的突起部在本体部 48 的表面 48A 可具有彼此相同的一边的长度,也可具有彼此不同的一边的长度。

[0195] 此外,突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 各自在本体部 48 的表面 48A 不限于具有正方形的形状,也可具有长方形的形状。该情况下,长方形的长边及短边的长度为数 cm 以下。

[0196] 此外,突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 各自在本体部 48 的表面 48A 可具有三角形的形状,也可具有五边形的形状,还可具有六边形的形状,一般而言,可具有多边形的形状。该情况下,多边形的最长对角线的长度为数 cm 以下。

[0197] 图 17 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。而且,图 18 是图 17 所示的线 XVIII-XVIII 间的阴极构件 4G 的剖面图。

[0198] 实施方式 1 中,等离子体装置 10 也可代替阴极构件 4 而包括图 17 及图 18 所示的阴极构件 4G。

[0199] 参照图 17 及图 18,阴极构件 4G 也可将图 9 所示的阴极构件 4C 的突起部 49A、49B、49C、49D、49E、49F 替换为突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R,其他与阴极构件 4C 相同。

[0200] 突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 各自具有截棱锥状的形状,且包含玻璃状碳。而且,突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 各自在本体部 48 的表面 48A 包含一边的长度为数 cm 以下的正方形的形状,在前端部包含具有比表面 48A 中的一边的长度短的一边的长度的正方形的形状。而且,突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 各自例如具有 9mm 的高度。此外,突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 例如呈棋盘格状配置于本体部 48 上。该情况下,突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 的相互的间隔为任意。此外,将本体部 48 及突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 制作成一体。而且,阴极构件 4G 是通过将本体部 48 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。因此,突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 向基板 20 侧突出。

[0201] 阴极构件 4G 是通过对玻璃状碳进行车床加工或蚀刻而制作。

[0202] 另外,阴极构件 4G 中,突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 不限于棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。

[0203] 而且,阴极构件 4G 不限于 6 个突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R,可包括 2 个突起部,也可包括 3 个突起部,还可包括 5 个以上的突起部,一般而言,包括 2 个以上的突起部即可。而且,2 个以上的突起部可配置成棋盘格状,也能够以任意的间隔无规地配置。而且,2 个以上的突起部在本体部 48 的表面 48A 可具有彼此相同的一边的长度,也可具有彼此不同的一边的长度。

[0204] 此外,突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 各自在前端部及本体部 48 的表面 48A 不限于具有正方形的形状,也可具有长方形的形状。该情况下,长方形的长边及短边的长度为

数 cm 以下。

[0205] 此外,突起部 49M、49N、49O、49P、49Q、49R 各自在前端部及本体部 48 的表面 48A 可具有三角形的形状,也可具有五边形的形状,还可具有六边形的形状,一般而言,可具有多边形的形状。该情况下,表面 48A 中的多边形的最长对角线的长度为数 cm 以下。

[0206] 图 19 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。而且,图 20 是图 19 所示的线 XX-XX 间的阴极构件 4H 的剖面图。

[0207] 实施方式 1 中,等离子体装置 10 也可代替阴极构件 4 而包括图 19 及图 20 所示的阴极构件 4H。

[0208] 参照图 19 及图 20,阴极构件 4H 中,将图 2 所示的阴极构件 4 的突起部 42 替换为突起部 45,其他与阴极构件 4 相同。

[0209] 突起部 45 具有平面形状包含环形状的壁状结构,且包含玻璃状碳。而且,突起部 45 具有与本体部 41 的直径 R1 相等的外径,及例如 1mm ~ 10mm 的宽度。而且,突起部 45 具有比宽度大的高度,例如具有数 mm ~ 数 cm 的高度。此外,将本体部 41 及突起部 45 制作成一体。而且,阴极构件 4H 是通过将本体部 41 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。因此,突起部 45 向基板 20 侧突出。

[0210] 阴极构件 4H 是通过将玻璃状碳进行车床加工或蚀刻而制作。

[0211] 另外,突起部 45 不限于与本体部 41 的直径 R1 相同的外径,也可具有比本体部 41 的直径 R1 小的外径。

[0212] 图 21 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。而且,图 22 是图 21 所示的线 XXII-XXII 间的阴极构件 4I 的剖面图。

[0213] 实施方式 1 中,等离子体装置 10 也可代替阴极构件 4 而包括图 21 及图 22 所示的阴极构件 4I。

[0214] 参照图 21 及图 22,阴极构件 4I 在图 19 及图 20 所示的阴极构件 4H 中追加了突起部 46,其他与阴极构件 4H 相同。

[0215] 突起部 46 具有平面形状包含环形状的壁状结构,且包含玻璃状碳。而且,突起部 46 配置于突起部 45 的内周侧,例如具有 1mm ~ 10mm 的宽度。而且,突起部 46 具有大于宽度的高度,例如具有数 mm ~ 数 cm 的高度。此外,突起部 45 与突起部 46 的间隔为任意。此外,将本体部 41 及突起部 45、46 制作成一体。而且,阴极构件 4I 是通过将本体部 41 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。因此,突起部 45、46 向基板 20 侧突出。

[0216] 阴极构件 4I 是通过将玻璃状碳进行车床加工或蚀刻而制作。

[0217] 另外,突起部 45 可具有与突起部 46 相同的宽度,也可具有与突起部 46 不同的宽度。

[0218] 图 23 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。而且,图 24 是图 23 所示的线 XXIV-XXIV 间的阴极构件 4J 的剖面图。

[0219] 实施方式 1 中,等离子体装置 10 也可代替阴极构件 4 而包括图 23 及图 24 所示的阴极构件 4J。

[0220] 参照图 23 及图 24,阴极构件 4J 将图 15 及图 16 所示的阴极构件 4F 的突起部 49G、49H、49I、49J、49K、49L 替换为突起部 50,其他与阴极构件 4F 相同。

[0221] 突起部 50 具有平面形状包含四边形的环形状的壁状结构,且包含玻璃状碳。而



且,突起部 50 沿着本体部 48 的周缘配置于本体部 48 上。而且,突起部 50 的宽度例如为数 mm ~ 1cm,突起部 50 的高度大于宽度,例如为数 mm ~ 数 cm。此外,将突起部 50 与本体部 48 制作成一体。

[0222] 阴极构件 4J 是通过对具有平板形状的玻璃状碳进行车床加工或蚀刻而制作。而且,阴极构件 4J 是通过将本体部 48 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。因此,突起部 50 向基板 20 侧突出。

[0223] 图 25 是实施方式 1 的又一阴极构件的概略图。而且,图 26 是图 25 所示的线 XXVI-XXVI 间的阴极构件 4K 的剖面图。

[0224] 实施方式 1 中,等离子体装置 10 也可代替阴极构件 4 而包括图 25 及图 26 所示的阴极构件 4K。

[0225] 参照图 25 及图 26,阴极构件 4K 将图 23 及图 24 所示的阴极构件 4J 的突起部 50 替换为突起部 45A、45B、45C、45D、45E、45F,其他与阴极构件 4J 相同。

[0226] 突起部 45A、45B、45C、45D、45E、45F 各自具有平面形状包含直线形状的壁状结构,且包含玻璃状碳。而且,突起部 45A、45B、45C、45D、45E、45F 各自例如具有数 mm 的厚度,例如具有大于厚度的数 mm ~ 1cm 的高度。此外,突起部 45A、45B、45C、45D、45E、45F 以所需的间隔大致平行地配置于本体部 48 上。此外,将本体部 48 及突起部 45A、45B、45C、45D、45E、45F 制作成一体。

[0227] 阴极构件 4K 是通过对具有平板形状的玻璃状碳以具有突起部 45A、45B、45C、45D、45E、45F 的方式进行车床加工或蚀刻而制作。而且,阴极构件 4K 是通过将本体部 48 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。因此,突起部 45A、45B、45C、45D、45E、45F 向基板 20 侧突出。

[0228] 另外,阴极构件 4K 中,突起部的个数不限于 6 个,为 1 个以上即可。

[0229] 而且,阴极构件 4K 中,6 个突起部 45A、45B、45C、45D、45E、45F 可不以彼此相同的间隔而配置,还能够以无规的间隔配置。

[0230] 此外,在阴极构件 4K 包括多个突起部的情况下,多个突起部也可不平行地配置。

[0231] 图 27 是实施方式 1 的又一阴极构件的概念图。而且,图 28 是图 27 所示的线 XXVIII-XXVIII 间的阴极构件 4L 的剖面图。

[0232] 实施方式 1 中,等离子体装置 10 也可代替阴极构件 4 而包括图 27 及图 28 所示的阴极构件 4L。

[0233] 参照图 27 及图 28,阴极构件 4L 将图 23 及图 24 所示的阴极构件 4J 的突起部 50 替换为突起部 51 ~ 53,其他与阴极构件 4J 相同。

[0234] 突起部 51 ~ 53 各自具有平面形状包含圆弧状的形状的壁状结构,且包含玻璃状碳。而且,突起部 51 ~ 53 各自例如具有数 mm 的厚度,例如具有大于厚度的数 mm ~ 1cm 的高度。此外,突起部 51 ~ 53 以所需的间隔配置于本体部 48 上。此外,将本体部 48 及突起部 51 ~ 53 制作成一体。

[0235] 阴极构件 4L 通过对具有平板形状的玻璃状碳以具有突起部 51 ~ 53 的方式进行车床加工或蚀刻而制作。而且,阴极构件 4L 是通过将本体部 48 固定于电弧式蒸发源 3 而安装于电弧式蒸发源 3。因此,突起部 51 ~ 53 向基板 20 侧突出。

[0236] 另外,阴极构件 4L 中,突起部的个数不限于 3 个,为 1 个以上即可。

[0237] 而且,阴极构件 4L 中,3 个突起部 51 ~ 53 可不以彼此相同的间隔配置,还能够以无规的间隔配置。

[0238] 此外,实施方式 1 中使用的阴极构件中,与从阴极构件 4 向阴极构件 4A 的变更相同的变更也可应用于阴极构件 4B、4C、4D、4E、4F、4G。

[0239] 所述中,已对各种阴极构件 4、4A ~ 4L 进行了说明。而且,阴极构件 4、4A ~ 4L 各自具有向基板 20 侧突出的突起部。因此,实施方式 1 的阴极构件具有向基板 20 侧突出的至少一个突起部即可。

[0240] 在等离子体装置 10 包括阴极构件 4A ~ 4L 中的任一个的情况下,碳薄膜依照图 4 所示的工序图制造。该情况下,工序 S1 中,将阴极构件 4A ~ 4L 的任一个安装于电弧式蒸发源 3。

[0241] 图 29 是表示实施方式 1 的另一等离子体装置的构成的概略图。实施方式 1 的等离子体装置可为图 29 所示的等离子体装置 10A。

[0242] 参照图 29,等离子体装置 10A 在图 1 所示的等离子体装置 10 中追加了绝缘构件 13、波纹管 14 及保持构件 15,其他与等离子体装置 10 相同。

[0243] 触发电极 8 穿过设置于真空容器 1 的侧壁的贯通孔 16 而配置,一端与阴极构件 4 相向,另一端固定于保持构件 15。

[0244] 绝缘构件 13 以包围贯通孔 16 的方式经由 O 型环(未图示)而固定于真空容器 1 的侧壁。波纹管 14 配置于绝缘构件 13 与保持构件 15 之间,且固定于绝缘构件 13 及保持构件 15。保持构件 15 固定于触发电极 8 的另一端,例如包含 Mo。而且,保持构件 15 经由电阻 9 而连接于接地电位 GND。

[0245] 波纹管 14 在 z 轴方向上可伸缩,波纹管 14 的靠近保持构件 15 的部分可伴随 x-y 平面的保持构件 15 的移动而移动。

[0246] 由等离子体装置 10A 的操作者使保持构件 15 在 z 轴方向上移动,并且在 x-y 平面移动。

[0247] 另外,将电阻 9 与保持构件 15 连接的配线实际上具有螺旋状的形状,因而即便保持构件 15 在 z 轴方向及 x-y 平面移动,保持构件 15 也可利用配线而稳定地连接于电阻 9。

[0248] 通过使用等离子体装置 10A,可使触发电极 8 移动到阴极构件 4 的突起部 42 的任意的部位。尤其在使用具有多个突起部的阴极构件 4B ~ 4G 及具有壁状结构的突起部的阴极构件 4H ~ 4L 的情况下,可使触发电极 8 移动到突起部的任意的部位,可全面消耗阴极构件 4B ~ 4L 的突起部。

[0249] 在等离子体装置 10、10A 代替阴极构件 4 而包括阴极构件 4A ~ 4L 中的任一个的情况下,也与阴极构件 4 同样地,突起部的热应变减少,因而可抑制阴极构件 4A ~ 4L 裂开。

[0250] 所述中,已对如下进行了说明,当使用各种阴极构件 4、4A ~ 4L 并利用电弧式放电形成碳薄膜时,可抑制阴极构件 4、4A ~ 4L 裂开。认为这是因为,突起部(=突起部 42 等)的整体的温度增高,而热应变得到松弛。因此,本发明的实施方式中,阴极构件为使阴极整体的温度上升而热应变得到松弛的结构即可。

[0251] [实施方式 2]

[0252] 图 30 是表示实施方式 2 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 30,实施方式 2 的等离子体装置 100 将图 1 所示的等离子体装置 10 的电弧式蒸发源 3 替换为电弧式蒸发

源 30, 阴极构件 4 替换为阴极构件 40, 触发电极 8 替换为触发电极 17, 且追加了保持构件 18、螺杆构件 19、支撑构件 21、电动机 22、气动（压缩气体作动）机构 23 及带 24, 其他与等离子体装置 10 相同。

[0253] 电弧式蒸发源 30 具有圆柱形状, 以穿过设置于真空容器 1 的侧壁的贯通孔的方式配置。该情况下, 真空容器 1 的侧壁与电弧式蒸发源 30 之间存在 O 型环。由此, 真空容器 1 内保持为真空。而且, 电弧式蒸发源 30 在气动机构 23 侧具有齿轮 30A。此外, 电弧式蒸发源 30 连接于电源 7。

[0254] 阴极构件 40 安装于电弧式蒸发源 30 的真空容器 1 内的表面。

[0255] 触发电极 17 的一端与阴极构件 40 相向, 另一端固定于支撑构件 21。而且, 触发电极 17 经由电阻 9 而连接于接地电位 GND。

[0256] 保持构件 18 固定于真空容器 1。螺杆构件 19 穿过设置于保持构件 18 的上部构件 18A 的贯通孔与设置于底部构件 18B 的贯通孔而配置。而且, 螺杆构件 19 中形成着螺旋状的螺纹槽, 由等离子体装置 100 的操作者使螺杆构件 19 在 y-z 平面内顺时针或逆时针地旋转。

[0257] 支撑构件 21 与触发电极 17 的另一端连结, 并且与螺杆构件 19 的螺纹槽啮合。当螺杆构件 19 在 y-z 平面内顺时针旋转时, 支撑构件 21 向 x 轴的负的方向移动, 当螺杆构件 19 在 y-z 平面内逆时针旋转时, 支撑构件 21 向 x 轴的正的方向移动。因此, 触发电极 17 通过螺杆构件 19 在 y-z 平面内旋转, 而沿 x 轴移动。

[0258] 电动机 22 固定于真空容器 1 的侧壁。气动机构 23 连结于电弧式蒸发源 30 的齿轮 30A, 经支撑构件（未图示）支撑。而且, 气动机构 23 利用后述的方法, 使电弧式蒸发源 30 及阴极构件 40 沿着 z 轴移动。带 24 安装于电动机 22 的齿轮 22A 与电弧式蒸发源 30 的齿轮 30A。

[0259] 齿轮 22A 利用电动机 22 的旋转而旋转, 带 24 将齿轮 22A 的旋转传递到齿轮 30A。结果, 电弧式蒸发源 30 及阴极构件 40 在 x-y 平面内, 分别绕电弧式蒸发源 30 的中心轴及阴极构件 40 的中心轴旋转。

[0260] 图 31 是表示图 30 所示的阴极构件 40 的构成的概略图。参照图 31, 阴极构件 40 包含玻璃状碳 401、及绝缘框 402。玻璃状碳 401 具有圆柱形状, 且具有数 cm $\phi$  以下的直径及数 mm 以上的长度。玻璃状碳 401 例如具有 3mm $\phi$  或 6mm $\phi$  的直径, 且具有 10mm 的长度。

[0261] 绝缘框 402 具有圆盘形状, 且包含高熔点的绝缘物（例如,  $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$  及六方晶 -BN）。绝缘框 402 的直径例如为 64mm $\phi$ , 且具有与玻璃状碳 401 的长度相同的厚度。而且, 绝缘框 402 具有与玻璃状碳 401 的根数为相同个数的贯通孔 402A。贯通孔 402A 具有与玻璃状碳 401 的直径大致相同的直径。而且, 多个贯通孔 402A 配置成同心圆状。

[0262] 玻璃状碳 401 插入到绝缘框 402 的贯通孔 402A 中。多个贯通孔 402A 配置成同心圆状, 因而多个玻璃状碳 401 在插入到多个贯通孔 402A 时, 配置成同心圆状。

[0263] 绝缘框 402 在玻璃状碳 401 插入到贯通孔 402A 的状态下安装于电弧式蒸发源 30。结果, 玻璃状碳 401 的一端与电弧式蒸发源 30 相接, 玻璃状碳 401 对电弧式蒸发源 30 施加负的电压来使放电开始, 同时升温。

[0264] 玻璃状碳 401 如所述般具有圆柱形状, 因而可视为实施方式 1 中所说明的突起部（突起部 42 等）。因此, 阴极构件 40 包含多个突起部（玻璃状碳 401）、及配置于多个突起

部（玻璃状碳 401）间的绝缘框 402。

[0265] 图 32 是表示图 30 所示的气动机构 23 的构成的概略图。参照图 32, 气动机构 23 包含气缸 231、阀 232、及轴 233。

[0266] 气缸 231 包含空心的圆柱形状, 在侧壁具有两个输入输出口 231A、输入输出口 231B。气缸 231 中, 分别经由输入输出口 231A、输入输出口 231B 而将气体（例如加压至 0.5MPa 左右的压缩空气）导入到气缸 231 内, 或将气缸 231 内的气体排出到气缸 231 外。

[0267] 阀 232 具有圆盘形状。阀 232 连结于轴 233, 与气缸 231 的内壁相接而配置。而且, 阀 232 可沿着 z 轴移动, 并且可在 x-y 平面内旋转。阀 232 与气缸 231 的内壁相接配置的结果为, 气缸 231 被阀 232 隔开为两个空间区域 231C、空间区域 231D。

[0268] 轴 233 以贯通阀 232 的方式固定于阀 232。而且, 轴 233 的一端贯通气缸 231 而连结于齿轮 30A。

[0269] 使气体在气缸 231 内的空间区域 231C、空间区域 231D 进出, 当空间区域 231D 的压力低于空间区域 231C 的压力时, 阀 232 向 z 轴的正的方向移动, 使齿轮 30A、电弧式蒸发源 30 及阴极构件 40 向 z 轴的正的方向（靠近基板 20 的方向）移动。

[0270] 而且, 使气体在气缸 231 内的空间区域 231C、空间区域 231D 进出, 当空间区域 231C 的压力低于空间区域 231D 的压力时, 阀 232 向 z 轴的负的方向移动, 使齿轮 30A、电弧式蒸发源 30 及阴极构件 40 向 z 轴的负的方向（远离基板 20 的方向）移动。

[0271] 这样, 气动机构 23 通过对空间区域 231C、空间区域 231D 的压力进行调整, 而使齿轮 30A、电弧式蒸发源 30 及阴极构件 40 沿着 z 轴移动。

[0272] 另外, 即便齿轮 30A 在 x-y 平面内旋转, 阀 232 也会与齿轮 30A 的旋转连动而在 x-y 平面内旋转, 因而气缸 231 不会旋转。

[0273] 而且, 将电弧式蒸发源 30 连接于电源 7 的配线并未固定于电弧式蒸发源 30, 而与电弧式蒸发源 30 相接, 因而即便电弧式蒸发源 30 伴随齿轮 30A 的旋转而旋转, 也可对电弧式蒸发源 30 施加负的电压。

[0274] 图 33 是用以说明图 30 所示的触发电极 17 与阴极构件 40 的全部的玻璃状碳 401 接触的机构的图。

[0275] 参照图 33, 触发电极 17 利用保持构件 18、螺杆构件 19 及支撑构件 21, 在从配置于最内周侧的玻璃状碳 401（玻璃状碳 401A）到配置于最外周侧的玻璃状碳 401（例如玻璃状碳 401B）之间沿着 x 轴移动。而且, 阴极构件 40 利用电动机 22, 例如向箭头 ARW1 的方向旋转, 且以任意的旋转角度停止。

[0276] 结果, 可使触发电极 17 与阴极构件 40 的全部的玻璃状碳 401 相向。

[0277] 在等离子体装置 100 中, 利用保持构件 18、螺杆构件 19 及支撑构件 21 使触发电极 17 向 x 轴方向移动, 利用电动机 22、齿轮 22A、带 24 及齿轮 30A 使电弧式蒸发源 30 及阴极构件 40 以所需角度旋转, 从而使触发电极 17 与一个玻璃状碳 401 相向。而且, 利用气动机构 23 使电弧式蒸发源 30 及阴极构件 40 向 z 轴方向移动, 从而使触发电极 17 与阴极构件 40 的一个玻璃状碳 401 接触, 然后, 在背离时开始放电。

[0278] 图 34 是表示使用了图 30 所示的等离子体装置 100 的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0279] 图 34 所示的工序图是在图 4 所示的工序图的工序 S3 与工序 S4 之间追加了工序

S11、S12,其他与图 4 所示的工序图相同。

[0280] 参照图 34,当开始制造碳薄膜时,依次执行所述工序 S1 ~ S3。

[0281] 而且,工序 S3 后,利用电动机 22、齿轮 22A、带 24 及齿轮 30A 使电弧式蒸发源 30 绕电弧式蒸发源 30 的中心轴以所需角度旋转(工序 S11)。

[0282] 然后,以触发电极 17 的前端部在从配置于最外周侧的玻璃状碳 401(突起部)到配置于最内周侧的玻璃状碳 401(突起部)为止的范围内移动的方式,使触发电极 17 移动(工序 S12)。由此,触发电极 17 与一个玻璃状碳 401(突起部)相向。

[0283] 然后,依次执行所述工序 S4 ~ S8。由此,碳薄膜的制造结束。该情况下,工序 S4 中,触发电极 17 利用气动机构 23 而与阴极构件 40 的一个玻璃状碳 401 接触,然后背离。而且,在触发电极 17 与一个玻璃状碳 401 背离时开始放电。

[0284] 图 34 所示的工序图中,在放电已停止的情况下,重复执行工序 S11、S12,因而能够使触发电极 17 与如下的玻璃状碳 401(突起部)相向,该玻璃状碳 401(突起部)与放电停止时触发电极 17 所相向的玻璃状碳 401(突起部)不同。因此,即便放电停止,也可连续地使用不同的玻璃状碳 401 来制造碳薄膜。

[0285] 而且,阴极构件 40 包括配置于多个玻璃状碳 401(多个突起部)间的绝缘框 402,因而当使用一个玻璃状碳 401 产生电弧放电时,可抑制电弧点向另一玻璃状碳 401 移动。

[0286] 图 35 是表示实施方式 2 的另一等离子体装置的构成的概略图。实施方式 2 的等离子体装置也可作为图 35 所示的等离子体装置 100A。

[0287] 参照图 35,等离子体装置 100A 中去除了图 30 所示的等离子体装置 100 的保持构件 18、螺杆构件 19 及支撑构件 21,而将触发电极 17 替换为触发电极 25,并追加了把手构件 26,其他与等离子体装置 100 相同。

[0288] 触发电极 25 以一端与阴极构件 40 相向另一端配置于真空容器 1 的外部的的方式,穿过设置于真空容器 1 的侧壁的贯通孔而配置。该情况下,在贯通孔的部分,在真空容器 1 与触发电极 25 之间配置着 O 型环。

[0289] 把手构件 26 包含绝缘构件,且固定于触发电极 25 的另一端。而且,由等离子体装置 100A 的操作者使把手构件 26 在 x-y 平面内旋转。

[0290] 另外,触发电极 25 经由把手构件 26 的贯通孔且利用配线连接于电阻 9。

[0291] 图 36 是用以说明图 35 所示的触发电极 25 与阴极构件 40 的全部的玻璃状碳 401 接触的机构的图。

[0292] 参照图 36,通过使把手构件 26 在 x-y 平面内旋转,触发电极 25 在从配置于最内周侧的玻璃状碳 401(玻璃状碳 401A)到配置于最外周侧的玻璃状碳 401(例如玻璃状碳 401B)之间呈圆弧状移动。而且,阴极构件 40 利用电动机 22,例如向箭头 ARW1 的方向旋转,且以所需的旋转角度停止。

[0293] 结果,可使触发电极 25 与阴极构件 40 的全部的玻璃状碳 401 相向。

[0294] 等离子体装置 100A 中,利用把手构件 26 使触发电极 25 呈圆弧状移动,利用电动机 22、齿轮 22A、带 24 及齿轮 30A 使电弧式蒸发源 30 及阴极构件 40 以所需角度旋转,从而使触发电极 25 与一个玻璃状碳 401 相向。而且,利用气动机构 23 使电弧式蒸发源 30 及阴极构件 40 向 z 轴方向移动,从而使触发电极 25 与阴极构件 40 的一个玻璃状碳 401 接触,然后背离。

[0295] 使用了等离子体装置 100A 的碳薄膜的制造依照图 34 所示的工序图进行。该情况下, 工序 S12 中, 通过使把手构件 26 在 x-y 平面内旋转, 触发电极 25 在从配置于最内周侧的玻璃状碳 401 (玻璃状碳 401A) 到配置于最外周侧的玻璃状碳 401 (例如玻璃状碳 401B) 为止的范围内呈圆弧状移动。

[0296] 在使用了等离子体装置 100A 的情况下, 在工序 S6 中已停止放电的情况下, 重复执行工序 S11、S12, 因而可使触发电极 25 与如下的玻璃状碳 401 (突起部) 相向, 该玻璃状碳 401 与放电停止时触发电极 25 所相向的玻璃状碳 401 (突起部) 不同。因此, 即便放电停止, 也可连续地使用不同的玻璃状碳 401 来制造碳薄膜。

[0297] 而且, 阴极构件 40 包括配置于多个玻璃状碳 401 (多个突起部) 间的绝缘框 402, 因而当使用一个玻璃状碳 401 产生电弧放电时, 可抑制电弧点向另一玻璃状碳 401 移动。

[0298] 另外, 所述中, 玻璃状碳 401 的直径与绝缘框 402 的贯通孔 402A 的直径大致相同, 因而玻璃状碳 401 以与绝缘框 402 相接的方式插入到贯通孔 402A 中。然而, 放电中主要将玻璃状碳 401 加热, 因而与周缘部的绝缘框 402 的温度差增大, 从而存在玻璃状碳 401 中产生热应变而裂开的可能性。

[0299] 因此, 实施方式 2 中, 绝缘框 402 的贯通孔 402A 的直径优选以玻璃状碳 401 不与绝缘框 402 相接的方式而决定。例如, 在玻璃状碳 401 的直径为  $10\text{mm}\phi$  的情况下, 优选将贯通孔 402A 的直径设定为  $11\text{mm}\phi \sim 12\text{mm}\phi$ 。

[0300] 由此, 玻璃状碳 401 不易与绝缘框 402 相接, 从而不易产生热应变。因此, 可进一步抑制玻璃状碳 401 裂开。

[0301] 如所述般, 实施方式 2 的等离子体装置 100、100A 使触发电极 17、25 与多个玻璃状碳 401 (多个突起部) 的各个相向, 而使用多个玻璃状碳 401 (多个突起部) 的全部来制造碳薄膜。

[0302] 而且, 等离子体装置 100 的特征在于: 利用使触发电极 17 以所需距离沿着 x 轴呈直线状移动的移动机构、及使阴极构件 40 以所需角度旋转的旋转机构, 使触发电极 17 与多个玻璃状碳 401 (多个突起部) 的各个相向, 且利用气动机构 23 使触发电极 17 与多个玻璃状碳 401 (多个突起部) 的各个接触或背离。

[0303] 而且, 等离子体装置 100A 的特征在于: 利用使触发电极 25 以所需距离呈圆弧状移动的移动机构、及使阴极构件 40 以所需角度旋转的旋转机构, 使触发电极 25 与多个玻璃状碳 401 (多个突起部) 的各个相向, 且利用气动机构 23 使触发电极 17 与多个玻璃状碳 401 (多个突起部) 的各个接触或背离。

[0304] 实施方式 2 中, 保持构件 18、螺杆构件 19 及支撑构件 21 构成“移动机构”。

[0305] 而且, 实施方式 2 中, 电动机 22、齿轮 22A、带 24 及齿轮 30A 构成“旋转机构”。

[0306] 实施方式 2 的其他说明与实施方式 1 的说明相同。

[0307] [实施方式 3]

[0308] 图 37 是表示实施方式 3 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 37, 实施方式 3 的等离子体装置 200 将图 1 所示的等离子体装置 10 的电弧式蒸发源 3 替换为电弧式蒸发源 3A, 阴极构件 4 替换为阴极构件 140, 且追加了绝缘构件 27、轴承 28 及送出机构 29, 其他与等离子体装置 10 相同。

[0309] 绝缘构件 27 以包围设置于真空容器 1 的侧壁的贯通孔 1B 的方式, 经由 O 型环 (未

图示)而固定于真空容器1的侧壁。

[0310] 电弧式蒸发源3A包含空心的圆柱形状,且固定于绝缘构件27。而且,电弧式蒸发源3A连接于电源7的负极。

[0311] 阴极构件140包含与阴极构件4相同的材料,且具有圆柱形状。而且,阴极构件140例如具有数cm $\Phi$ 以下的直径及数mm以上的长度。而且,阴极构件140穿过设置于真空容器1的侧壁的贯通孔1B而配置,且一端与触发电极8的一端相向。

[0312] 轴承28包含金属材料,与电弧式蒸发源3A及阴极构件140相接,且配置于电弧式蒸发源3A与阴极构件140之间。而且,阴极构件140利用送出机构29被朝向z轴方向送出。

[0313] 送出机构29配置于电弧式蒸发源3A的内部,利用后述的方法将阴极构件140向z轴方向送出。

[0314] 图38是表示图37所示的送出机构29的构成的概略图。参照图38,送出机构29包含棒构件291、凹凸构件292、齿轮293、电动机294、及座构件295。

[0315] 棒构件291包含绝缘物,且沿着z轴配置。而且,棒构件291的一端连结于阴极构件140。凹凸构件292固定于棒构件291。齿轮293嵌合于凹凸构件292。电动机294配置于座构件295上。而且,电动机294的旋转轴294A连结于齿轮293。座构件295配置于电弧式蒸发源3A上。

[0316] 电动机294经由旋转轴294A使齿轮293顺时针旋转。结果,棒构件291利用齿轮293的旋转而被朝向z轴方向送出。因此,送出机构29可将阴极构件140向z轴方向送出。

[0317] 如所述般,电弧式蒸发源3A固定于绝缘构件27,绝缘构件27经由O型环而固定于真空容器1的侧壁,因而电弧式蒸发源3A的内部保持为与真空容器1内的压力相同的压力。

[0318] 而且,轴承28包含金属材料,且与电弧式蒸发源3A及阴极构件140两者相接,因而当触发电极8与阴极构件140的一端接触,由此在阴极构件140与阳极(真空容器1)之间产生电弧放电时,经由阴极构件140、轴承28及电弧式蒸发源3A而流动电流。结果,阴极构件140的温度上升。

[0319] 该情况下,阴极构件140因具有与阴极构件4的突起部42相同的直径,故容易升温(均热化),而热应变减少。

[0320] 因此,可抑制阴极构件140裂开。

[0321] 等离子体装置200中,当因电弧放电而消耗阴极构件140时,以阴极构件140的前端部(基板20侧的前端部)与消耗前的前端部为相同位置的方式,利用送出机构29将阴极构件140向基板20侧送出。

[0322] 由此,能够使稳定的电弧放电持续长时间。结果,可制造膜厚厚的碳薄膜。而且,可提高生产性。

[0323] 作为使阴极构件140向基板20侧移动的时机,例如设想经过了固定的放电时间的时机。

[0324] 更具体而言,经过了固定的放电时间的时机为一次成膜结束的时机。

[0325] 而且,阴极构件140以堆积于基板20的碳薄膜的膜厚分布或碳薄膜的成膜速度位于所需的范围内的方式,利用送出机构29向基板20侧送出。

[0326] 图 39 是表示使用了图 37 所示的等离子体装置 200 的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0327] 图 39 所示的工序图在图 4 所示的工序图中追加了工序 S21 ~ S24, 其他与图 4 所示的工序图相同。

[0328] 另外, 图 39 所示的工序图是在一次成膜结束的时机送出阴极构件 140 时的工序图。

[0329] 参照图 39, 当开始制造碳薄膜时, 依次执行所述工序 S1 ~ S7。而且, 工序 S6 中, 当判定为放电尚未停止时, 进而判定一次成膜是否已结束 (工序 S21)。

[0330] 工序 S21 中, 当判定为一次成膜尚未结束时, 重复执行工序 S6、S7、S21。

[0331] 另一方面, 工序 S21 中, 当判定为一次成膜已结束, 使真空容器 1 向大气开放而更换基板 20 (工序 S22)。而且, 进而判定是否可使用阴极构件 140 (工序 S23)。

[0332] 工序 S23 中, 当判定为可使用阴极构件 140 时, 送出机构 29 以消耗后的阴极构件 140 的前端部的位置为消耗前的阴极构件 140 的前端部的位置的方式, 将阴极构件 140 向基板 20 侧送出 (工序 S24)。

[0333] 而且, 重复执行所述工序 S2 ~ S7、S21 ~ S24, 在工序 S23 中, 当判定为无法使用阴极构件 140 时, 一连串的动作结束。

[0334] 这样, 依据图 39 所示的工序图, 在将阴极构件 140 一次安装于电弧式蒸发源 3A 时, 将阴极构件 140 向基板 20 侧重复送出直至无法使用阴极构件 140 为止。结果, 无须频繁更换阴极构件, 从而可提高碳薄膜的生产性。

[0335] 而且, 执行碳薄膜的多次成膜直至无法使用阴极构件 140 为止, 在碳薄膜的各次成膜中, 可将阴极构件 140 的前端部的位置一直保持为固定的位置, 因而可稳定地使电弧放电持续长时间, 从而可极大提高碳薄膜的生产性。

[0336] 此外, 工序 S21 中, 通过判定碳薄膜的膜厚是否达到所需的膜厚, 而将碳薄膜重复堆积于基板 20 上直至碳薄膜的膜厚达到所需的膜厚为止, 从而可制造膜厚厚的碳薄膜。

[0337] 另外, 等离子体装置 200 中, 阴极构件 140 的剖面不限于圆形, 剖面可为三角形、四边形及五边形等, 一般而言, 剖面也可为多边形。

[0338] 而且, 等离子体装置 200 也可包括多个阴极构件 140。该情况下, 与轴承 28 相同的轴承也能够以与阴极构件 140 接触的方式配置于邻接的两个阴极构件 140 间。

[0339] 此外, 等离子体装置 200 也可代替阴极构件 140 而包括阴极构件 4、4A ~ 4L 中的任一个。

[0340] 实施方式 3 的其他说明与实施方式 1 的说明相同。

[0341] [实施方式 4]

[0342] 图 40 是表示实施方式 4 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 40, 实施方式 4 的等离子体装置 300 将图 1 所示的等离子体装置 10 的触发电极 8 替换为触发电极 301, 其他与等离子体装置 10 相同。

[0343] 触发电极 301 的一部分经由真空容器 1 的侧壁而配置于真空容器 1 内, 剩余部分配置于真空容器 1 外。而且, 触发电极 301 例如包含 Mo, 经由电阻 9 而连接于接地节点 GND。

[0344] 图 41 是图 40 所示的触发电极 301 的一端侧的剖面图。图 42 是图 40 所示的触发电极 301 的一端侧的从阴极构件 4 侧观察而得的平面图。



[0345] 参照图 41 及图 42,触发电极 301 包括本体部 3011、前端部 3012、薄膜部 3013、及螺杆 3014。

[0346] 本体部 3011 例如具有 6mm $\phi$  的直径。前端部 3012 固定于本端部 3011 的一端。而且,前端部 3012 具有比本体部 3011 薄的厚度,例如具有 3.1mm 的厚度。而且,前端部 3012 例如具有 10mm 的长度。另外,将本体部 3011 及前端部 3012 制作成一体。

[0347] 薄膜部 3013 的一端利用螺杆 3014 而固定于触发电极 301 的前端部 3012。薄膜部 3013 例如包含 Mo,且包含尼拉克 (Nilaco) 股份有限公司制造的薄板。而且,薄膜部 3013 例如具有 30mm 的长度 L1 及 0.1mm 的厚度。而且,薄膜部 3013 具有比本体部 3011 的宽度宽的宽度。

[0348] 螺杆 3014 例如包含具有六角孔的 M3 螺杆。

[0349] 触发电极 301 以薄膜部 3013 与阴极构件 4 相向的方式配置。而且,通过触发电极 301 向 z 轴方向移动,薄膜部 3013 与阴极构件 4 的突起部 42 接触或背离。该情况下,薄膜部 3013 因具有 0.1mm 的厚度,所以通过触发电极 301 向 z 轴方向移动而发生挠曲。结果,即便薄膜部 3013 与阴极构件 4 的突起部 42 接触也可防止突起部 42 的破损。

[0350] <实验>

[0351] 对阴极构件 4 有无破损进行实验。实验方法如以下所示。利用排气装置(未图示)对真空容器 1 内进行排气直至为  $9.9 \times 10^{-3}$  Pa,将电弧电流设定为 80A,对是否正常进行放电点弧及阴极构件 4 是否破损进行实验。而且,实验进行 10 次。

[0352] 另外,阴极构件 4 包括:包含石墨的本体部 41,及包含 3mm $\phi$  的玻璃状碳 (GC20SS:东海精碳公司制造)的突起部 42。而且,阴极构件 4 每次均更换为新品,排除了因重复使用所致的影响。

[0353] 实验结果为如下所示。确认通过使用触发电极 301,而连续 10 次正常进行放电点弧。而且,阴极构件 4 的突起部 42 不会破损,薄膜部 3013 始终无须更换。

[0354] 证实通过使用包含前端部 3012 安装着薄膜部 3013 的结构的触发电极 301,可防止阴极构件 4 的突起部 42 的破损而稳定地进行放电点弧。

[0355] 另外,实施方式 4 中,薄膜部 3013 也可包含钨、钽及不锈钢 (Steel Use Stainless,SUS)304 等。而且,薄膜部 3013 不限于 0.1mm 的厚度,也可具有 0.3mm 或 0.5mm 的厚度。而且,一般而言,薄膜部 3013 包含具有导电性的可挠性物质即可。

[0356] 而且,使用了等离子体装置 300 的碳薄膜的制造依据图 4 所示的工序 S1~工序 S8 而执行。

[0357] 此外,实施方式 4 的等离子体装置可为将图 29 所示的等离子体装置 10A 的触发电极 8 替换为触发电极 301 的等离子体装置,也可为将图 30 所示的等离子体装置 100 的触发电极 17 替换为触发电极 301 的等离子体装置,也可为将图 35 所示的等离子体装置 100A 的触发电极 25 替换为触发电极 301 的等离子体装置,还可为将图 37 所示的等离子体装置 200 的触发电极 8 替换为触发电极 301 的等离子体装置。

[0358] 实施方式 4 的其他说明与实施方式 1~实施方式 3 的说明相同。

[0359] [实施方式 5]

[0360] 图 43 是表示实施方式 5 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 43,实施方式 5 的等离子体装置 400 将图 1 所示的等离子体装置 10 的触发电极 8 替换为触发电极 410,其

他与等离子体装置 10 相同。

[0361] 触发电极 410 的一部分经由真空容器 1 的侧壁而配置于真空容器 1 内, 剩余部分配置于真空容器 1 外。而且, 触发电极 410 例如包含 Mo, 且经由电阻 9 而连接于接地节点 GND。

[0362] 图 44 是图 43 所示的触发电极 410 的一端侧的剖面图。图 45 是图 43 所示的触发电极 410 的一端侧的从阴极构件 4 侧观察而得的平面图。

[0363] 参照图 44 及图 45, 触发电极 410 包含本端部 4101、弯曲部 4102、薄板部 4103、及螺杆 4104、4105。

[0364] 本端部 4101 例如包含 Mo, 且具有  $3\text{mm}\phi$  的直径。本体部 4101 具有前端部 4101A。前端部 4101A 例如具有  $1.6\text{mm}$  的厚度及  $5\text{mm}$  的长度  $L2$ 。

[0365] 弯曲部 4102 例如包含 Mo, 且具有  $3\text{mm}\phi$  的直径。弯曲部 4102 具有前端部 4102A 及突出部 4102B。前端部 4102A 例如具有  $1.6\text{mm}$  的厚度及  $5\text{mm}$  的长度  $L3$ 。

[0366] 弯曲部 4102 中, 从前端部 4102A 的端面到突出部 4102B 的中心轴的长度  $L4$  例如为  $20\text{mm}$ 。而且, 弯曲部 4102 中, 从突出部 4102B 的端面到弯曲部 4102 的中心轴的长度  $L5$  例如为  $10\text{mm}$ 。此外, 弯曲部 4102 的曲率半径  $R3$  为  $3\text{mm}$ 。

[0367] 这样, 弯曲部 4102 具有  $3\text{mm}\phi$  的直径, 因而具有大于所述触发电极 301 的薄膜部 3013 的体积。

[0368] 薄板部 4103 的一端利用螺杆 4104 而固定于本体部 4101 的前端部 4101A, 另一端利用螺杆 4105 而固定于弯曲部 4102 的前端部 4102A。薄板部 4103 例如具有  $0.5\text{mm}$  的厚度、 $30\text{mm}$  的长度  $L6$  及  $10\text{mm}$  的宽度  $W1$ 。而且, 薄板部 4103 作为板弹簧而发挥功能。

[0369] 螺杆 4104、4105 各自包含具有六角孔的 M2 的螺杆。

[0370] 触发电极 410 以弯曲部 4102 的突出部 4102B 与阴极构件 4 相向的方式配置。

[0371] 图 46 是图 43 所示的触发电极 410 与阴极构件 4 的突起部 42 接触时的概念图。参照图 46, 通过触发电极 410 向  $z$  轴方向移动, 而触发电极 410 的弯曲部 4102 与阴极构件 4 的突起部 42 接触, 薄板部 4103 以向阴极构件 4 侧突出的方式呈圆弧状弯曲。结果, 即便弯曲部 4102 与阴极构件 4 的突起部 42 接触也可防止突起部 42 的破损。

[0372] 而且, 即便在电弧电流集中流向触发电极 410 与阴极构件 4 的接触部分的情况下, 因触发电极 410 的弯曲部 4102 的体积比触发电极 301 的薄膜部 3013 的体积大, 所以可防止弯曲部 4102 容易蒸发消耗, 而可实现触发电极 410 的长寿命化。

[0373] 图 47 是实施方式 5 的另一触发电极的剖面图。等离子体装置 400 也可代替触发电极 410 而包括图 47 所示的触发电极 410A。

[0374] 参照图 47, 触发电极 410A 将图 44 及图 45 所示的触发电极 410 的薄板部 4103 替换为弹簧部 4106, 其他与触发电极 410 相同。

[0375] 弹簧部 4106 的一端利用螺杆 4104 而固定于本体部 4101 的前端部 4101A, 另一端利用螺杆 4105 而固定于弯曲部 4102 的前端部 4102A。

[0376] 而且, 弹簧部 4106 例如包含将具有  $8\text{mm}\phi$  的直径的 Mo 制的线呈螺旋状卷绕而成的结构。

[0377] 在使用了触发电极 410A 的情况下, 也通过触发电极 410A 向  $z$  轴方向移动, 而触发电极 410A 的弯曲部 4102 与阴极构件 4 的突起部 42 接触, 且弹簧部 4106 以向阴极构件 4

侧突出的方式呈圆弧状弯曲。结果,即便弯曲部 4102 与阴极构件 4 的突起部 42 接触也可防止突起部 42 的破损。

[0378] 而且,可与触发电极 410 同样地实现触发电极 410A 的长寿命化。

[0379] 另外,实施方式 5 中,薄板部 4103 及弹簧部 4106 各自可包含钨、钽及 SUS304 等。而且,薄板部 4103 不限于 0.5mm 的厚度,也可具有 0.3mm 或 0.7mm 的厚度。而且,一般而言,薄板部 4103 及弹簧部 4106 各自包含具有导电性的可挠性物质即可。

[0380] 而且,使用了等离子体装置 400 的碳薄膜的制造依照图 4 所示的工序 S1 ~ 工序 S8 而执行。

[0381] 此外,实施方式 5 的等离子体装置可为将图 29 所示的等离子体装置 10A 的触发电极 8 替换为触发电极 410、410A 的等离子体装置,也可为将图 30 所示的等离子体装置 100 的触发电极 17 替换为触发电极 410、410A 的等离子体装置,也可为将图 35 所示的等离子体装置 100A 的触发电极 25 替换为触发电极 410、410A 的等离子体装置,还可为将图 37 所示的等离子体装置 200 的触发电极 8 替换为触发电极 410、410A 的等离子体装置。

[0382] 实施方式 5 的其他的说明与实施方式 1 ~ 实施方式 3 的说明相同。

[0383] [实施方式 6]

[0384] 图 48 是表示实施方式 6 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 48,实施方式 6 的等离子体装置 500 在图 30 所示的等离子体装置 100 中追加了电压计 501、控制装置 502 及电动机 503,其他与等离子体装置 100 相同。

[0385] 电压计 501 连接于电弧式蒸发源 30 与接地电位 GND 之间。电压计 501 对电弧放电中的放电电压  $V_d$  进行检测,将该检测出的放电电压  $V_d$  向控制装置 502 输出。

[0386] 控制装置 502 从电压计 501 接收放电电压  $V_d$ 。而且,控制装置 502 将放电电压  $V_d$  的绝对值  $|V_d|$  与阈值  $V_{d\_th}$  进行比较,在绝对值  $|V_d|$  为阈值  $V_{d\_th}$  以下时,以使触发电极 17 向 x 轴方向移动所需距离的方式控制电动机 503,以使电弧式蒸发源 30 旋转所需角度的方式控制电动机 22,以阴极构件 40 与触发电极 17 接触或背离的方式控制气动机构 23。另一方面,控制装置 502 在绝对值  $|V_d|$  大于阈值  $V_{d\_th}$  时,不对电动机 22、503 及气动机构 23 进行控制。

[0387] 图 49 是表示电弧电压的随时间变化的图。图 49 中,纵轴表示电弧电压 (= 放电电压  $V_d$ ),横轴表示从放电开始算起的时间。另外,图 49 所示的电弧电压的随时间的变化是使用直径 3mm  $\phi$ 、长度 60mm 的柱状形状的玻璃状碳 401 进行测定而得。该情况下,将放电电流固定设为 80A。

[0388] 参照图 49,电弧电压 (= 放电电压  $V_d$ ) 的绝对值在刚开始放电后不久,为 35V 左右,在放电开始后的 300 秒以上时为 22V 左右。而且,在放电开始后,300 秒时的玻璃状碳 401 的长度为 3mm。

[0389] 在从放电开始算起的时间为 250 秒至 300 秒的期间,电弧电压 (= 放电电压  $V_d$ ) 为 -25V 左右,因而如果将阈值  $V_{d\_th}$  设定为 25V,则控制装置 502 在绝对值  $|V_d|$  为 25V (= 阈值  $V_{d\_th}$ ) 以下时,以使触发电极 17 向 x 轴方向移动所需距离的方式控制电动机 503,以使电弧式蒸发源 30 旋转所需角度的方式控制电动机 22,以阴极构件 40 与触发电极 17 接触或背离的方式控制气动机构 23。另一方面,控制装置 502 在绝对值  $|V_d|$  大于 25V (= 阈值  $V_{d\_th}$ ) 时,不对电动机 22、503 及气动机构 23 进行控制。

[0390] 由此,当一个玻璃状碳 401 的长度变为 3mm 左右时,使用另一玻璃状碳 401 进行放电电弧,而可将碳薄膜堆积于基板 20 上。

[0391] 结果,在将多个玻璃状碳 401 设置于衬板 (packing plate) 上的情况下,对一个玻璃状碳 401 进行点弧而使其放电后,当消弧的时机延迟时,电弧点会向衬板移动,不仅会损伤衬板,来自衬板的蒸发物也会混入到碳薄膜中,而产生碳薄膜的品质降低及密接性降低的问题。

[0392] 然而,实施方式 6 中,当一个玻璃状碳 401 的长度变为 3mm 左右时会产生消弧,而对另一玻璃状碳进行点弧使其放电,因而不会产生所述问题。

[0393] 因此,可防止衬板的损伤,并且可提高碳薄膜的品质及密接性。

[0394] 图 50 是表示使用了图 48 所示的等离子体装置 500 的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0395] 图 50 所示的工序图将图 34 所示的工序图的工序 S6 替换为工序 S31、S32,并追加了工序 S33 ~ S36,其他与图 34 所示的工序图相同。

[0396] 参照图 50,当开始进行使用了等离子体装置 500 的碳薄膜的制造时,依次执行所述工序 S1 ~ S3、S11、S12、S4、S5。

[0397] 而且,工序 S5 后,电压计 501 对放电电压  $V_d$  进行检测 (工序 S31),控制装置 502 判定放电电压  $V_d$  的绝对值  $|V_d|$  是否为阈值  $V_{d\_th}$  以下 (工序 S32)。

[0398] 工序 S32 中,当判定为绝对值  $|V_d|$  大于阈值  $V_{d\_th}$  时,判定膜厚是否为所需的膜厚 (工序 S33)。该情况下,预先对碳薄膜的成膜速度进行测定,将该成膜速度乘以放电时间而求出碳薄膜的膜厚。而且,判定该求出的膜厚是否为所需的膜厚。

[0399] 工序 S33 中,当判定为膜厚为所需的膜厚时,一连串的动作结束。

[0400] 另一方面,工序 S33 中,当判定为膜厚并非为所需的膜厚时,使一连串的动作回到工序 S31,重复执行工序 S31 ~ S33 直至工序 S32 中判定为绝对值  $|V_d|$  为阈值  $V_{d\_th}$  以下为止,或工序 S33 中判定为膜厚为所需的膜厚为止。

[0401] 而且,工序 S32 中,当判定为绝对值  $|V_d|$  为阈值  $V_{d\_th}$  以下时,判定是否结束成膜 (工序 S34)。

[0402] 工序 S34 中,当判定为未结束成膜时,执行所述工序 S7,使放电消弧 (工序 S35)。

[0403] 而且,控制装置 502 以使另一玻璃状碳 401 与触发电极 17 相向的方式控制电动机 22、503 及气动机构 23 (工序 S36)。

[0404] 然后,使一连串的动作回到工序 S3,重复执行所述工序 S3、S11、S12、S4、S5、S31、S32、S7、S33、S34、S35、S36,直至工序 S34 中判定为结束成膜为止。而且,工序 S34 中,当判定为结束成膜时,碳薄膜的制造结束。

[0405] 另外,所述中,已对在判定为放电电压  $V_d$  的绝对值  $|V_d|$  为阈值  $V_{d\_th}$  以下时,使用另一玻璃状碳 401 来放电进行了说明,在实施方式 6 中,也可在放电电阻  $R_d$  为阈值  $R_{d\_th}$  以下时,使用另一玻璃状碳 401 来放电。

[0406] 如所述般,放电电流固定为 80A,因而如果检测出放电电压  $V_d$ ,则可计算放电电阻  $R_d$ 。所述例中,刚开始放电后不久,放电电阻  $R_d$  为  $R_d = 35/80 = 0.44 \Omega$ ,在放电开始后的 300 秒以后,放电电阻  $R_d$  为  $R_d = 22/80 = 0.28 \Omega$ 。

[0407] 因此,例如,通过将阈值  $R_{d\_th}$  设定为  $0.30 \Omega$ ,而当控制装置 502 判定为放电电阻

Rd 为阈值 Rd\_th 以下时,以另一玻璃状碳 401 与触发电极 17 相向的方式控制电动机 22、503 及气动机构 23,当判定为放电电阻 Rd 大于阈值 Rd\_th 时,可不对电动机 22、503 及气动机构 23 进行控制。

[0408] 在使用放电电阻 Rd 制造碳薄膜的情况下,碳薄膜也可依照图 50 所示的工序图制造。该情况下,控制装置 502 当从电压计 501 接收放电电压 Vd 时,对放电电阻 Rd 进行运算,工序 S32 中,判定放电电阻 Rd 是否为阈值 Rd\_th 以下。

[0409] 在使用放电电阻 Rd 制造碳薄膜的情况下,也可获得所述效果。

[0410] 而且,实施方式 6 中,也可在从放电开始经过固定时间(=例如 300 秒)后,将使用中的玻璃状碳 401 消弧,而对另一玻璃状碳 401 进行点弧。

[0411] 该情况下,工序 S31 中,对从放电开始算起的经过时间进行计测,工序 S32 中,判定经过时间是否为阈值(=300 秒)以上。而且,当经过时间为阈值(=300 秒)以上时,依次执行工序 S34、S7、S35、S36,使一连串的动作回到工序 S3。另一方面,在经过时间比阈值(=300 秒)短的情况下,使一连串的动作移至工序 S33。

[0412] 在使用从放电开始算起的经过时间来制造碳薄膜的情况下,也可获得所述效果。

[0413] 另外,控制装置 502 在从电压计 501 接收放电电压 Vd 时,也可利用积分电路对该收到的放电电压 Vd 进行积分,从而将放电电压 Vd 的积分值的绝对值作为绝对值 |Vd| 而求出。放电电压 Vd 如图 49 所示般变动剧烈,因而将放电电压 Vd 的积分值的绝对值与阈值 Vd\_th 加以比较能够进行更正确的比较。

[0414] 而且,实施方式 6 中,等离子体装置 500 也可代替触发电极 17 而包括触发电极 301、410、410A 中的任一个。

[0415] 实施方式 6 的其他说明与实施方式 1、4、5 相同。

[0416] [实施方式 7]

[0417] 图 51 是表示实施方式 7 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 51,实施方式 7 的等离子体装置 600 在图 37 所示的等离子体装置 200 中追加了电压计 501 及控制装置 502,其他与等离子体装置 200 相同。

[0418] 等离子体装置 600 中,电压计 501 连接于电弧式蒸发源 3A 与接地电位 GND 之间。

[0419] 控制装置 502 如所述般,判定放电电压 Vd 的绝对值 |Vd| 是否为阈值 Vd\_th 以下。而且,当判定为放电电压 Vd 的绝对值 |Vd| 为阈值 Vd\_th 以下时,控制装置 502 以将阴极构件 140 向基板 20 侧送出固定的距离的方式控制送出机构 29。另一方面,当判定为放电电压 Vd 的绝对值 |Vd| 大于阈值 Vd\_th 时,控制装置 502 不对送出机构 29 进行控制。

[0420] 所述例中,当从放电开始经过 300 秒后,柱状形状的阴极构件 140 的长度从 60mm 缩短到 3mm。

[0421] 因此,当判定为绝对值 |Vd| 为阈值 Vd\_th 以下时,控制装置 502 以将阴极构件 140 向基板 20 侧送出 57mm(=60mm-3mm)的方式控制送出机构 29。

[0422] 结果,可将阴极构件 140 的前端部的位置保持为固定的位置而进行点弧,因而可稳定地产生电弧放电。

[0423] 图 52 是表示使用了图 51 所示的等离子体装置 600 的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0424] 图 52 所示的工序图中去除了图 39 所示的工序图的工序 S21 ~ S24,将工序 S6、S7

替换为工序 S31 ~ S34,并追加了工序 S35,其他与图 39 所示的工序图相同。

[0425] 参照图 52,当开始制造碳薄膜时,依次执行所述工序 S1 ~ S5、S31 ~ S34。

[0426] 而且,工序 S34 中,当判定为尚未结束成膜时,利用送出机构 29 将阴极构件 140 向基板 20 侧送出所需距离(工序 S35)。

[0427] 然后,使一连串的动作回到工序 S31,重复执行所述 S31 ~ S35 直至在工序 S34 中判定为结束成膜为止。而且,工序 S34 中,当判定为结束成膜时,碳薄膜的制造结束。

[0428] 另外,所述中,已对当判定为放电电压  $V_d$  的绝对值  $|V_d|$  为阈值  $V_{d\_th}$  以下时,将阴极构件 140 向基板 20 侧送出所需距离进行了说明,实施方式 7 中,也可在放电电阻  $R_d$  为阈值  $R_{d\_th}$  以下时,将阴极构件 140 向基板 20 侧送出所需距离。

[0429] 如所述般,因放电电流固定为 80A,所以如果检测出放电电压  $V_d$ ,则能够计算放电电阻  $R_d$ 。所述例中,在刚开始放电后不久,放电电阻  $R_d$  为  $R_d = 35/80 = 0.44 \Omega$ ,在放电开始后的 300 秒以后,放电电阻  $R_d$  为  $R_d = 22/80 = 0.28 \Omega$ 。

[0430] 因此,例如,通过将阈值  $R_{d\_th}$  设定为  $0.30 \Omega$ ,而可在控制装置 502 判定为放电电阻  $R_d$  为阈值  $R_{d\_th}$  以下时,以将阴极构件 140 向基板 20 侧送出所需距离的方式控制送出机构 29,当判定为放电电阻  $R_d$  大于阈值  $R_{d\_th}$  时,不对送出机构 29 进行控制。

[0431] 在使用放电电阻  $R_d$  制造碳薄膜的情况下,碳薄膜也可依照图 52 所示的工序图制造。该情况下,控制装置 502 在从电压计 501 接收放电电压  $V_d$  时,对放电电阻  $R_d$  进行运算,工序 S32 中,判定放电电阻  $R_d$  是否为阈值  $R_{d\_th}$  以下。

[0432] 在使用放电电阻  $R_d$  制造碳薄膜的情况下,也可获得所述效果。

[0433] 而且,实施方式 7 中,也可在从放电开始经过固定时间(=例如 300 秒)后,将使用中的玻璃状碳 401 消弧,而将阴极构件 140 向基板 20 侧送出所需距离。

[0434] 该情况下,工序 S31 中,对从放电开始算起的经过时间进行计测,工序 S32 中,判定经过时间是否为阈值(=300 秒)以上。而且,当经过时间为阈值(=300 秒)以上时,依次执行工序 S34、S35,使一连串的动作回到工序 S31。另一方面,在经过时间比阈值(=300 秒)短的情况下,使一连串的动作转至工序 S33。

[0435] 在使用从放电开始算起的经过时间来制造碳薄膜的情况下,也可获得所述效果。

[0436] 此外,实施方式 7 中,等离子体装置 600 也可代替触发电极 8 而包括触发电极 301、410、410A 中的任一个。

[0437] 实施方式 7 中的其他说明与实施方式 1、4、5、6 相同。

[0438] [实施方式 8]

[0439] 图 53 是表示实施方式 8 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 53,实施方式 8 的等离子体装置 700 将图 1 所示的等离子体装置 10 的保持构件 2 替换为保持构件 710,且追加了永久磁铁 711、712 及支撑构件 713,其他与等离子体装置 10 相同。

[0440] 保持构件 710 配置于真空容器 1 内,且包含圆柱部 710A、及支撑部 710B。圆柱部 710A 及支撑部 710B 各自包含金属。圆柱部 710A 贯通真空容器 1 的底面而配置。支撑部 710B 例如具有立方体形状,且固定于圆柱部 710A。而且,圆柱部 710A 在  $y$ - $z$  平面内利用旋转装置(未图示)而旋转。于是,支撑部 710B 伴随圆柱部 710A 的旋转而在  $y$ - $z$  平面内旋转。

[0441] 永久磁铁 711、712 各自例如具有圆柱形状,在阴极构件 4 与基板 20 之间沿着  $x$  轴

配置。

[0442] 等离子体装置 700 中,电源 6 连接于保持构件 710 与接地节点 GND 之间。支撑构件 713 的一部分经由真空容器 1 的底面而配置于真空容器 1 内,剩余部分配置于真空容器 1 外。该情况下,在支撑构件 713 与真空容器 1 的底面之间配置着 O 型环。

[0443] 保持构件 710 利用支撑部 710B 来保持多个基板 20,并且使多个基板 20 在 y-z 平面内旋转。永久磁铁 711、712 产生磁场,利用该产生的磁场使射束状的等离子体扩散。

[0444] 电源 6 经由保持构件 710 将负电压施加到多个基板 20。支撑构件 713 对永久磁铁 711、712 进行支撑,并且利用往复驱动装置(未图示)使永久磁铁 711、712 沿着 x 轴(从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向)移动。

[0445] 图 54 是用以说明图 53 所示的永久磁铁 711、712 的配置位置的图。参照图 54,永久磁铁 711、712 各自例如具有  $5\text{mm}\phi$  的直径,且具有 20mm 的长度。永久磁铁 711、712 在阴极构件 4 与基板 20 之间使长度方向沿着从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向(x 轴方向)大致平行地配置。该情况下,永久磁铁 711 与永久磁铁 712 的间隔例如为 20mm。而且,永久磁铁 711、712 以 x 轴方向的两端为同极的方式配置。而且,永久磁铁 711、712 以距阴极构件 4 的基板 20 侧的表面的距离 L 为 200mm 以下的方式,与阴极构件 4 相向而配置。

[0446] 图 55 是用以说明图 53 所示的永久磁铁 711、712 的功能的概念图。参照图 55,在永久磁铁 711、712 未配置于阴极构件 4 与基板 20 之间的情况下,当对阴极构件 4 施加负电压,使触发电极 8 与阴极构件 4 的突起部 42 接触,然后背离时,会在触发电极 8 与阴极构件 4 的突起部 42 背离时产生电弧放电。而且,射束状的等离子体 PLZ1 被朝向从阴极构件 4 的突起部 42 向基板 20 的方向释放。该射束状的等离子体 PLZ1 的在基板 20 表面中的直径例如为数十  $\text{mm}\phi \sim 100\text{mm}\phi$ (参照图 55 的(a))。

[0447] 另一方面,在通过使支撑构件 713 向 x 轴方向移动而永久磁铁 711、712 配置于等离子体 PLZ1 中的情况下,从阴极构件 4 的突起部 42 释放出的射束状的等离子体 PLZ1 利用两个永久磁铁 711、712 而向 x 轴方向(从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向)扩散。结果,形成等离子体 PLZ2(参照图 55 的(b))。

[0448] 然后,基板 20 绕沿着从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向配置的中心轴 AX1(支撑部 710B 的中心轴)而旋转,因而等离子体 PLZ2 被照射到基板 20 的整个面。因此,利用永久磁铁 711、712 使射束状的等离子体 PLZ1 扩散,由此能够在宽广的区域形成碳薄膜。

[0449] 这样,两个永久磁铁 711、712 在阴极构件 4 与基板 20 之间配置于等离子体 PLZ1 中,且以长度方向为从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向的方式大致平行地配置。

[0450] 另外,虽未确认通过将永久磁铁 711、712 配置于阴极构件 4 与基板 20 之间,射束状的等离子体 PLZ1 会在 y 轴方向上扩散,但也存在向 y 轴方向扩散的可能性。

[0451] 图 56 是表示使用了图 53 所示的等离子体装置 700 的碳薄膜的制造方法的工序图。参照图 56,当开始制造碳薄膜时,将玻璃状碳作为阴极构件 4 而安装于电弧式蒸发源 3(工序 S41)。

[0452] 然后,经由排气口 11 对真空容器 1 内进行排气,将真空容器 1 内的压力设定为  $5 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 。

[0453] 于是,利用电源 6 对基板 20 施加  $-10\text{V} \sim -300\text{V}$  的负电压(工序 S42),利用电源 7 对电弧式蒸发源 3 施加  $-15\text{V} \sim -50\text{V}$  的负电压(工序 S43)。

[0454] 然后,利用往复驱动装置(未图示),使触发电极8与阴极构件4的突起部42接触(工序S44),然后,使触发电极8与阴极构件4的突起部42背离。于是,当触发电极8与阴极构件4的突起部42背离时开始进行电弧放电,电弧点出现在阴极构件4的突起部42的表面。

[0455] 然后,使支撑构件713向x轴方向(从真空容器1的底面朝向顶板的方向)移动,而将两个永久磁铁711、712配置于等离子体PLZ1中,由此将磁场施加到等离子体PLZ1(工序S45),该磁场是使从阴极构件4的突起部42释放出的射束状的等离子体PLZ1向从真空容器1的底面朝向顶板的方向扩散。

[0456] 然后,使基板20绕沿着从真空容器1的底面朝向顶板的方向配置的轴(中心轴AX1)旋转(工序S46)。而且,当经过所需时间后,碳薄膜的制造结束。

[0457] 这样,在图56所示的碳薄膜的制造工序中,将使射束状的等离子体PLZ1向从真空容器1的底面朝向顶板的方向扩散的磁场施加到等离子体PLZ1,并使基板20绕沿着从真空容器1的底面朝向顶板的方向配置的轴旋转而将碳薄膜形成于基板20上,因而碳薄膜形成于基板20的整个面上。

[0458] 因此,可在宽广的区域形成碳薄膜。

[0459] 另外,等离子体装置10中,电源6也可将0V的电压施加到基板20。而且,即便不使基板20旋转,也可利用来自永久磁铁711、712的磁场使等离子体PLZ1扩散,由此能够在比使用等离子体PLZ1形成碳薄膜的情况更宽广的区域形成碳薄膜。因此,使用了等离子体装置700的碳薄膜的制造方法至少包括图56所示的工序S41、S43~S45即可。而且,等离子体装置700也可不包括基板20的旋转机构。

[0460] 所述中,已对等离子体装置700包括两个永久磁铁711、712进行了说明,但实施方式8中不限于此,等离子体装置700也可代替永久磁铁711、712,而包括以与永久磁铁711、712相同的方式配置的两个电磁铁。

[0461] 而且,所述中,已对永久磁铁711、712以x轴方向的两端为同极的方式配置进行了说明,但实施方式8中不限于此,也能够以x轴方向的两端彼此为不同极的方式配置。

[0462] [实施方式9]

[0463] 图57是表示实施方式9的等离子体装置的构成的概略图。参照图57,实施方式9的等离子体装置800将图53所示的等离子体装置700的支撑构件713替换为支撑构件801,将永久磁铁711、712替换为永久磁铁802,其他与等离子体装置700相同。

[0464] 支撑构件801的一部分经由真空容器1的底面而配置于真空容器1内,剩余部分配置于真空容器1的外部。该情况下,在支撑构件801与真空容器1的底面之间配置着O型环。

[0465] 永久磁铁802固定于支撑构件801。而且,永久磁铁802包含与永久磁铁711相同的形状,且具有与永久磁铁711相同的尺寸。

[0466] 支撑构件801利用往复驱动装置(未图示)沿着x轴进行往复运动。结果,永久磁铁802在阴极构件4与基板20之间,沿着从真空容器1的底面朝向顶板的方向而进行往复运动。

[0467] 图58是用以说明图57所示的永久磁铁802的功能的图。参照图58,在永久磁铁802未配置于阴极构件4与基板20之间的情况下,如所述般,产生等离子体PLZ1(参照图



58 的 (a))。

[0468] 当使支撑构件 801 向 x 轴的正的方向移动而使永久磁铁 802 靠近等离子体 PLZ1 时,使等离子体 PLZ1 朝向 x 轴的正的方向进行扫描,从而形成等离子体 PLZ3(参照图 58 的 (b))。

[0469] 而且,当使支撑构件 801 向 x 轴的负的方向移动而使永久磁铁 802 远离等离子体 PLZ1 时,使等离子体 PLZ1 朝向 x 轴的负的方向进行扫描,从而形成等离子体 PLZ4(参照图 58 的 (c))。

[0470] 因此,在阴极构件 4 与基板 20 之间,利用支撑构件 801 使永久磁铁 802 沿着 x 轴进行往复运动,由此,使等离子体 PLZ1 沿着 x 轴方向(从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向)进行扫描。

[0471] 而且,如所述般,使基板 20 绕中心轴 AX1 旋转。结果,在基板 20 的整个面形成碳薄膜。

[0472] 因此,可在宽广的区域形成碳薄膜。

[0473] 图 59 是表示使用了图 57 所示的等离子体装置 800 的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0474] 图 59 所示的工序图将图 56 所示的工序图的工序 S45 替换为工序 S45A,其他与图 56 所示的工序图相同。

[0475] 参照图 59,当开始制造碳薄膜时,依次执行所述工序 S41 ~ S44。

[0476] 然后,在工序 S44 后,利用支撑构件 801 使永久磁铁 802 向从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向往复运动,将磁场施加到等离子体 PLZ1(工序 S45A),该磁场是对从阴极构件 4 的突起部 42 释放出的射束状的等离子体 PLZ1 向从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向进行扫描。

[0477] 然后,执行所述工序 S46,当经过所需时间后,碳薄膜的制造结束。

[0478] 这样,图 59 所示的碳薄膜的制造工序中,将磁场施加到等离子体 PLZ1,该磁场是对射束状的等离子体 PLZ1 向从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向进行扫描,并使基板 20 绕沿着从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向配置的轴旋转而将碳薄膜形成于基板 20 上,因而碳薄膜形成于基板 20 的整个面上。

[0479] 因此,可在宽广的区域形成碳薄膜。

[0480] 另外,等离子体装置 800 中,电源 6 也可将 0V 的电压施加到基板 20。而且,即便不使基板 20 旋转,也可利用来自永久磁铁 802 的磁场对等离子体 PLZ1 进行扫描,由此在比使用等离子体 PLZ1 形成碳薄膜的情况更宽广的区域形成碳薄膜。因此,使用了等离子体装置 800 的碳薄膜的制造方法至少包括图 59 所示的工序 S41、S43、S44、S45A 即可。

[0481] 图 60 是表示实施方式 9 的另一等离子体装置的构成的概略图。实施方式 9 的等离子体装置也可图 60 所示的等离子体装置 800A。

[0482] 参照图 60,等离子体装置 800A 将图 57 所示的等离子体装置 800 的支撑构件 801 及永久磁铁 802 替换为线圈 803 及电源 804,其他与等离子体装置 800 相同。

[0483] 线圈 803 绕沿着从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向配置的中心轴 AX2 卷绕。而且,线圈 803 配置于阴极构件 4 与基板 20 之间。

[0484] 电源 804 连接于线圈 803。而且,电源 804 使大小呈周期性变化的电流流向线圈

803。

[0485] 另外,线圈 803 及电源 804 构成电磁铁。

[0486] 图 61 是用以说明图 60 所示的电磁铁(线圈 803 及电源 804)的功能的图。参照图 61,在电流未流向线圈 803 的情况下,因阴极构件 4 与基板 20 之间不存在磁场,所以如所述般产生等离子体 PLZ1(参照图 61 的(a))。

[0487] 当利用电源 804 使电流 I1 流向线圈 803 时,产生磁通密度为 B1 的磁场。结果,等离子体 PLZ1 朝向 x 轴的正的方向进行扫描,从而形成等离子体 PLZ3(参照图 61 的(b))。

[0488] 而且,在利用电源 804 使电流 I2( $< I1$ )流向线圈 803 时,产生磁通密度 B2( $< B1$ )的磁场。结果,使等离子体 PLZ1 朝向 x 轴的负的方向进行扫描,从而形成等离子体 PLZ4(参照图 61 的(c))。

[0489] 因此,在阴极构件 4 与基板 20 之间,通过使流向线圈 803 的电流的大小呈周期性地变化,而使等离子体 PLZ1 沿着 x 轴方向(从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向)进行扫描。

[0490] 而且,如所述般,使基板 20 绕中心轴 AX1 旋转。结果,在基板 20 的整个面形成碳薄膜。

[0491] 因此,可在宽广的区域形成碳薄膜。

[0492] 另外,使用了图 60 所示的等离子体装置 800A 的碳薄膜的制造方法依照图 59 所示的工序图执行。

[0493] 该情况下,工序 S45A 中,通过使流向线圈 803 的电流的大小呈周期性地变化,而能够将磁场施加到等离子体 PLZ1,该磁场是对从阴极构件 4 的突起部 42 释放出的射束状的等离子体 PLZ1 向从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向进行扫描。

[0494] 实施方式 9 的其他说明与实施方式 8 的说明相同。

[0495] [实施方式 10]

[0496] 图 62 是表示实施方式 10 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 62,实施方式 10 的等离子体装置 900 将图 57 所示的等离子体装置 800 的支撑构件 801 及永久磁铁 802 替换为永久磁铁 901,其他与等离子体装置 800 相同。

[0497] 永久磁铁 901 包含环形状,在真空容器 1 的外部,与电弧式蒸发源 3 接近地配置。更具体而言,永久磁铁 901 以中心轴与电弧式蒸发源 3 的中心轴一致的方式配置。而且,永久磁铁 901 中,电弧式蒸发源 3 侧为 N 极,电弧式蒸发源 3 的相反侧为 S 极。这样,永久磁铁 901 相对于阴极构件 4 而配置于与基板 20 相反的一侧。而且,永久磁铁 901 对阴极构件 4 施加轴方向(从阴极构件 4 朝向基板 20 的方向)的磁场。另外,永久磁铁 901 的磁化方向只要为轴方向(从阴极构件 4 朝向基板 20 的方向)即可,永久磁铁 901 的电弧式蒸发源 3 侧也可为 S 极。

[0498] <实验 1>

[0499] 进行如下实验,即,对放电消弧的比例及电弧点未移动的比例进行调查。

[0500] (实验方法)

[0501] 使用阴极构件 4,该阴极构件 4 包括:包含烧结体碳(烧结体石墨)IG510(东洋碳公司制造)的本体部 41,及包含玻璃状碳 GC20SS(东海精碳公司制造)的突起部 42。而且,突起部 42 的直径为 2mm  $\phi$ 、3mm  $\phi$  及 5.2mm  $\phi$  中的任一个。

[0502] 而且,使电弧电流变为 30A、40A、60A、80A、100A 及 150A,使轴方向的磁场变为 0Gauss、13Gauss、26Gauss、40Gauss、85Gauss 及 170Gauss。而且,利用电弧电流/(玻璃状碳(突起部 42)的剖面积)求出电弧电流密度(A/mm<sup>2</sup>)。而且,轴方向的磁场是利用高斯计(Gauss meter)(湖滨(Lake Shore)公司制造 410-SCT 型)测定突起部 42 的前端的值。在使轴方向的磁场变为 13Gauss、26Gauss、40Gauss、85Gauss 及 170Gauss 的情况下,突起部 42 的半径方向的磁场分别为 2Gauss、5Gauss、8Gauss、14Gauss 及 32Gauss。

[0503] 将实验条件 1~14 的玻璃状碳的直径、电弧电流及电弧电流密度表示于表 1。

[0504] [表 1]

[0505]

实验条件 No.	玻璃状碳直径 (mm)	电弧电流 (A)	电弧电流密度 (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

[0506] 另外,使用表 1 所示的实验条件 1~14 的各个来进行 N(N=3~7) 次实验。

[0507] 利用排气装置(未图示)对真空容器 1 进行排气直至为  $9.9 \times 10^{-3}$ Pa,对包含玻璃状碳的阴极构件 4 的突起部 42 进行放电点弧,然后,确认 60 秒内是否未消弧,及电弧点是否未移动。

[0508] (实验结果)

[0509] 图 63 是表示未消弧的比例下的轴方向磁场与电弧电流密度的关系的图。

[0510] 图 63 中,纵轴表示轴方向磁场,横轴表示电弧电流密度。而且,●表示未消弧的比例为 100%的轴方向磁场与电弧电流密度的关系,○表示未消弧的比例大于 50%的轴方向磁场与电弧电流密度的关系,△表示未消弧的比例低于 50%的轴方向磁场与电弧电流密度的关系,×表示未消弧的比例为 0%的轴方向磁场与电弧电流密度的关系。此外,未消弧的比例利用(同一条件下未消弧的次数)/(同一条件的全部次数  $N$ ) $\times 100\%$ 而求出。此外,将电弧电流密度设为  $x$ ,轴方向磁场设为  $y$ 。

[0511] 参照图 63,在将轴方向磁场  $y$  设定为 0Gauss 而减小电弧电流密度时,在  $1.413\text{A}/\text{mm}^2$  的电弧电流密度下,未消弧的比例为 0% (即,以 100%的比例消弧)。认为这是因为如果减小电弧电流密度,则突起部 42 的玻璃状碳自身、或因放电而形成的电弧点部分未被充分加热,热电子不易被释放。而且,如果施加轴方向磁场,则使电弧点向圆周方向移动的力发挥作用,因而更容易消弧,在轴方向磁场为 170Gauss 时,即便电弧电流密度为  $5.662\text{A}/\text{mm}^2$ ,未消弧的比例也为 0%。

[0512] 此处,设想将电弧电流密度为  $1.413\text{A}/\text{mm}^2$ 、轴方向磁场为 0Gauss 的点与电弧电流密度为  $1.413\text{A}/\text{mm}^2$ 、轴方向磁场为 85Gauss 的点连结的直线  $k_1$ ,及将电弧电流密度为  $1.413\text{A}/\text{mm}^2$ 、轴方向磁场为 85Gauss 的点与电弧电流密度为  $5.662\text{A}/\text{mm}^2$ 、轴方向磁场为 170Gauss 的点连结的直线  $k_2$ 。直线 2 由  $y=20.008x+56.723$  表示。于是,在比直线  $k_1$  及直线  $k_2$  靠右侧的区域,未消弧的比例大于 0。

[0513] 而且,区域 REG1 中未消弧的比例大于 50%。此处,设想直线  $k_3 \sim k_7$ 。直线  $k_3$  由  $x = 3.769\text{A}/\text{mm}^2$  表示。直线  $k_4$  由  $y = 17.9932x+17.1836$  表示。直线  $k_5$  由  $y = 170\text{Gauss}$  表示。直线  $k_6$  由  $x = 25.478\text{A}/\text{mm}^2$  表示。直线  $k_7$  由  $y = 0\text{Gauss}$  表示。

[0514] 因此,区域 REG1 包含直线  $k_3 \sim k_7$  上及由直线  $k_3 \sim k_7$  包围的区域。

[0515] 由此,在电弧电流密度及轴方向磁场进入到比直线  $k_1$  及直线  $k_2$  靠右侧的区域的条件下产生电弧放电。

[0516] 而且,优选使用存在于直线  $k_3 \sim k_7$  上的电弧电流密度及轴方向磁场,或存在于由直线  $k_3 \sim k_7$  包围的区域内的电弧电流密度及轴方向磁场来产生电弧放电。

[0517] 由此,可使未消弧的比例大于 0%,优选可使未消弧的比例大于 50%。

[0518] 图 64 是表示电弧点未移动到本体部 41 的比例下的轴方向磁场与电弧电流密度的关系的图。

[0519] 图 64 中,纵轴表示轴方向磁场,横轴表示电弧电流密度。而且,●表示电弧点未移动到本体部 41 的比例为 100%的轴方向磁场与电弧电流密度的关系,○表示电弧点未移动到本体部 41 的比例大于 50%的轴方向磁场与电弧电流密度的关系,△表示电弧点未移动到本体部 41 的比例小于 50%的轴方向磁场与电弧电流密度的关系,×表示电弧点未移动到本体部 41 的比例为 0%的轴方向磁场与电弧电流密度的关系。此外,电弧点未移动到本体部 41 的比例利用(同一条件下电弧点未移动到本体部 41 的次数)/(同一条件的全部次数  $N$ ) $\times 100\%$ 而求出。此外,将电弧电流密度设为  $x$ ,轴方向磁场设为  $y$ 。

[0520] 参照图 64,当在轴方向磁场为 0Gauss 的状态下增大电弧电流密度时,在  $8.493\text{A}/\text{mm}^2$ ,电弧点未移动到本体部 41 的比例为 0% (即,电弧点 100%移动)。

[0521] 认为这是因为,在将电弧电流密度增大至  $8.493\text{A}/\text{mm}^2$  时,利用电弧电流流经突起部 42 的玻璃状碳时所形成的磁场而电弧点向本体部 41 侧移动的力大于在突起部 42 使放

电持续的力。就该点而言,有效的是施加轴方向磁场而让使电弧点向突起部 42 的圆周方向移动的力发挥作用,即便电弧电流密度为  $21.231\text{A}/\text{mm}^2$ ,通过将横方向磁场设为  $26\text{Gauss}$  也可抑制电弧点向本体部 41 移动。

[0522] 此处,设想将电弧电流密度为  $1.413\text{A}/\text{mm}^2$ 、轴方向磁场为  $0\text{Gauss}$  的点与电弧电流密度为  $8.493\text{A}/\text{mm}^2$ 、轴方向磁场为  $0\text{Gauss}$  的点连结的直线 k8,及将电弧电流密度为  $8.493\text{A}/\text{mm}^2$ 、轴方向磁场为  $0\text{Gauss}$  的点、与电弧电流密度为  $21.231\text{A}/\text{mm}^2$ 、轴方向磁场为  $13\text{Gauss}$  点连结的直线 k9。而且,直线 k9 由  $y = 1.021x - 8.667$  表示。于是,通过使用直线 k8 上、或比直线 k8 及直线 k9 靠上侧的区域中所包含的轴方向磁场及电弧电流密度,而电弧点未移动到本体部 41 的比例大于  $0\%$ 。

[0523] 而且,区域 REG2 中电弧点未移动到本体部 41 的比例大于  $50\%$ 。此处,设想直线 k10 ~ k12。直线 k10 由  $x = 1.413\text{A}/\text{mm}^2$  表示。直线 k11 由  $y = 40\text{Gauss}$  表示。直线 k12 由  $x = 25.478\text{A}/\text{mm}^2$  表示。

[0524] 因此,区域 REG2 包含直线 k10 ~ k12 上及由直线 k10 ~ k12 包围的区域。

[0525] 由此,在电弧电流密度及轴方向磁场进入直线 k8 上或比直线 k8 及直线 k9 靠上侧的区域的条件下产生电弧放电。

[0526] 而且,优选使用存在于直线 k10 ~ k12 上的电弧电流密度及轴方向磁场,或存在于由直线 k10 ~ k12 包围的区域内的电弧电流密度及轴方向磁场而产生电弧放电。

[0527] 由此,可使电弧点未移动到本体部 41 的比例大于  $0\%$ ,优选可使电弧点未移动到本体部 41 的比例大于  $50\%$ 。

[0528] 而且,根据图 63 及图 64 所示的结果,通过使用比直线 k1 及直线 k2 靠右侧的区域、且为直线 k8 上或比直线 k8 及直线 k9 靠上侧的区域中包含的轴方向磁场及电弧电流密度,可使未消弧的比例大于  $0\%$ ,且,电弧点未移动到本体部 41 的比例大于  $0\%$ 。结果,可稳定地制造碳薄膜。

[0529] 如所述般,证实通过利用永久磁铁 901 施加轴方向磁场可使未消弧的比例大于  $0\%$ ,且,可使电弧点未移动到本体部 41 的比例大于  $0\%$ 。

[0530] <实验 2>

[0531] 进行如下实验,即,对阴极构件是否因电弧放电而裂开进行调查。

[0532] (i) 使用了平板状的玻璃状碳的情况

[0533] 将直径为  $64\text{mm}\phi$ 、厚度为  $9\text{mm}$  的平板状的玻璃状碳 (GC20SS,东海精碳公司制造) 用作阴极构件。而且,将直径为  $64\text{mm}\phi$ 、厚度为  $11\text{mm}$  的烧结体石墨 (IG510,东洋碳公司制造) 用作基座 (=本体部 41)。而且,在电弧式蒸发源 3 设置将烧结体石墨配置于衬板上、将玻璃状碳配置于烧结体石墨上而成者。

[0534] 然后,利用排气装置 (未图示) 对真空容器 1 内进行排气直至为  $9.9 \times 10^{-3}\text{Pa}$ ,以  $80\text{A}$  的电弧电流对玻璃状碳的表面进行放电点弧。

[0535] 图 65 是放电前的玻璃状碳的立体图。参照图 65,玻璃状碳在放电前具有平坦的表面。

[0536] 图 66 是表示第一次放电结束后的玻璃状碳的图。从放电点弧开始持续进行  $131$  秒的无火花放电后产生消弧。虽尝试再次点弧,但无法点弧,因而使真空容器 1 向大气开放并进行观察。放电痕的深度为  $4\text{mm}$  左右,在放电痕的底部 (基座侧) 发现多个条纹状的微

小裂痕。认为仅电弧点附近受到加热,由此产生局部热应变、热应力,而导致产生微小裂痕。

[0537] 图 67 是表示第二次放电结束后的玻璃状碳的图。在与第一次实验不同的位置进行放电点弧,在持续 35 秒的无火花放电后,产生异音并且消弧。虽尝试再次点弧,但无法点弧,因而使真空容器 1 向大气开放并进行观察。从第二次实验的放电痕产生两条裂痕,一条直接到达外周端,另一条经过第一次实验的放电痕而到达外周端。而且,两条裂痕的深度均达到 9mm。因两条裂痕,直径为 64mm $\phi$ 、厚度为 9mm 的平板状的玻璃状碳完全损坏,而成为无法再使用的状况。

[0538] 认为产生异音的原因是由于产生了两条裂痕。而且,认为仅电弧点附近受到加热,由此产生局部的热应变、热应力,而导致产生两条裂痕。

[0539] 与第一次实验相比,持续时间变的极短,为约 1/4,就该点而言,认为原因在于:因第一次实验(放电),微小裂痕也会在放电痕的底部以外产生,而成为容易损坏的状态。因此认为因第一次实验已被实质损坏,从而可知在不损坏平板状的玻璃状碳的状态下使用是极其困难的。

[0540] (ii) 使用了圆柱状的玻璃状碳的情况

[0541] 将直径为 3mm $\phi$ 、长度为 60mm 的玻璃状碳(GC20SS:东海精碳公司制造)用作突起部 42,将直径为 64mm $\phi$ 、厚度为 20mm 的烧结体石墨(IG510:东洋碳公司制造)用作本体部 41。而且,将外径为 59mm、内径为 19mm、厚度为 10mm 的钕制的环状磁铁(NR0018:日本磁铁公司制造)用作永久磁铁 901。

[0542] 然后,将永久磁铁 901 设置于衬板上,本体部 41 设置于永久磁铁 901 上,突起部 42 设置于本体部 41。

[0543] 该情况下,突起部 41 的前端的轴方向的磁场强度为 112Gauss,半径方向的磁场强度为 13Gauss,在从突起部 42 的前端向本体部 41 侧隔开 30mm 的位置,轴方向的磁场强度为 350Gauss,半径方向的磁场强度为 45Gauss。这些磁场强度为利用高斯计(湖滨(Lake Shore)公司制造 410-SCT 型)测定的值。

[0544] 利用排气装置(未图示)对真空容器 1 内进行排气直至为  $9.9 \times 10^{-3}$ Pa,以 80A 的电弧电流对突起部 42 的前端进行放电点弧。

[0545] (实验结果)

[0546] 图 68 是表示放电前的阴极构件 4 的图。参照图 68,突起部 42 设置于本体部 41 的中心上。而且,本体部 41 及突起部 42 具有无划痕等的平滑的表面。另外,图 68 所示的放电前的阴极构件 4 为一个具体例,该照片的例子中,突起部 42 具有 3mm $\phi$  的直径及 10mm 的长度。

[0547] 如果对突起部 42 的前端进行放电点弧,则持续进行 484 秒的无火花放电。然后,通过停止电弧电源而强制消弧。在放电中始终未消弧,而且,电弧点也始终未向本体部 41 移动,从而可确认非常稳定的长时间的无火花放电。实验后,使真空容器 1 向大气开放并进行观察的结果为,阴极材料消耗至剩余为 33mm。

[0548] 通过将阴极构件 4 的玻璃状碳的直径设为 3mm $\phi$ ,尤其半径方向上的局部的热应变、热应力得到松弛,由此如平板状的玻璃状碳般,裂痕或损坏的产生也得到抑制,因而认为可持续进行非常稳定的长时间的无火花放电。

[0549] 根据所述结果,将玻璃状碳的形状设为突起状的效果明显,可进行稳定的长时间

的无火花放电。

[0550] <实验 3>

[0551] 对放电痕进行调查。所述阴极构件 4 的构成中,将突起部 42 的直径设定为 2mm  $\phi$ 、3mm  $\phi$  及 5.2mm  $\phi$ 。该情况下,突起部 42 的前端的轴方向的磁场强度为 85Gauss,半径方向的磁场强度为 14Gauss。这些磁场强度为利用高斯计(湖滨(Lake Shore)公司制造 410-SCT 型)测定的值。

[0552] 利用排气装置(未图示)对真空容器 1 内进行排气直至为  $9.9 \times 10^{-3}$ Pa,以各设定的电弧电流对突起部 42 的前端进行放电点弧。然后,经过各设定的时间后,通过停止电弧电源而强制消弧。

[0553] 此处,在使用了直径 3mm  $\phi$  的玻璃状碳的情况下,电弧电流为 80A,无火花的放电持续时间为 60 秒。而且,在使用了直径 5.2mm  $\phi$  的玻璃状碳的情况下,电弧电流为 100A,无火花的放电持续时间为 120 秒。此外,在使用了直径 2mm  $\phi$  的玻璃状碳的情况下,电弧电流为 40A,无火花的放电持续时间为 60 秒。

[0554] 图 69 是表示使用了直径 3mm  $\phi$  的玻璃状碳(突起部 42)时的放电后的突起部 42 的图。图 70 是表示使用了直径 5.2mm  $\phi$  的玻璃状碳(突起部 42)时的放电后的突起部 42 的图。图 71 是表示使用了直径 2mm  $\phi$  的玻璃状碳(突起部 42)时的放电后的突起部 42 的图。

[0555] 无论将玻璃状碳(突起部 42)的直径设定为 2mm  $\phi$ 、3mm  $\phi$  及 5.2mm  $\phi$  中的哪一者,放电状况均仅为无火花放电。而且,始终未产生消弧及电弧点的向本体部 41 的移动。而且,放电后,突起部 42 中形成着螺旋状的放电痕(参照图 69 ~ 71)。

[0556] 这样,在使用包括突起部 42 的阴极构件 4 产生电弧放电的情况下,电弧点利用来自永久磁铁 901 的磁场而沿突起部 42 的表面呈螺旋状移动。结果,放电不会消弧,电弧点也不会向本体部 41 移动。因此,由于放电后螺旋状的放电痕形成于突起部 42,而不会产生消弧及电弧点的朝向本体部 41 的移动。

[0557] 图 72 是表示实施方式 10 的另一等离子体装置的构成的概略图。实施方式 10 的等离子体装置也可如图 72 所示的等离子体装置 900A。

[0558] 参照图 72,等离子体装置 900A 将图 62 所示的等离子体装置 900 的永久磁铁 901 替换为线圈 902 及电源 903,其他与等离子体装置 900 相同。

[0559] 线圈 902 以包围阴极构件 4 的方式配置于真空容器 1 内。电源 903 连接于线圈 902。而且,电源 903 使所需电流流向线圈 902。

[0560] 图 73 是图 72 所示的阴极构件 4 及线圈 902 的放大图。参照图 73,线圈 902 被卷绕所需次数。而且,阴极构件 4 以中心轴与线圈 902 的中心轴一致的方式配置于线圈 902 的内部。即,阴极构件 4 由线圈 902 包围。电源 903 连接于线圈 902 的一端与另一端之间。

[0561] 因电源 903 向线圈 902 供给所需电流,由此线圈 902 产生磁场。在流经线圈 902 的上侧部分 902A 的电流为从图 73 的纸面的纵深朝向近前的方向,流经线圈 902 的下侧部分 902B 的电流为从图 73 的纸面的近前朝向纵深的方向的情况下,在线圈 902 的内部,向箭头 ARW2 的方向(z 轴方向)产生磁场。结果,线圈 902 对阴极构件 4 的突起部 42 施加轴方向的磁场。

[0562] 因此,如所述般,不会产生放电的消弧及电弧点的朝向本体部 41 的移动,从而可

实现稳定的长时间的无火花放电。

[0563] 另外,等离子体装置 900A 中,也可产生与箭头 ARW2 相反方向(z 轴方向)的磁场。该情况下,使从图 73 的纸面的近前朝向纵深的方向的电流流向线圈 902 的上侧部分 902A,使从图 73 的纸面的纵深朝向近前的方向的电流流向线圈 902 的下侧部分 902B。由此,将轴方向的磁场施加到阴极构件 4,因而可获得所述效果。

[0564] 这样,等离子体装置 900A 中,可将从阴极构件 4 朝向基板 20 的方向的磁场、及从基板 20 朝向阴极构件 4 的方向的磁场中的任一磁场施加到阴极构件 4,一般而言,将轴方向(z 轴方向)的磁场施加到阴极构件 4 即可。

[0565] 图 74 是表示实施方式 10 的另一线圈的图。等离子体装置 900A 也可代替线圈 902,而包括图 74 所示的线圈 904。

[0566] 参照图 74,线圈 904 的直径朝向箭头 ARW2 的方向增大。而且,阴极构件 4 以中心轴与线圈 904 的中心轴一致的方式配置于线圈 904 的内部。

[0567] 使从图 74 的纸面的纵深朝向近前的方向的电流流向线圈 904 的上侧部分 904A,使从图 74 的纸面的近前朝向纵深的方向的电流流向线圈 904 的下侧部分 904B,由此,线圈 904 在其内部产生箭头 ARW2 的方向(z 轴方向)的磁场。而且,使从图 74 的纸面的近前朝向纵深的方向的电流流向线圈 904 的上侧部分 904A,使从图 74 的纸面的纵深朝向近前的方向的电流流向线圈 904 的下侧部分 904B,由此,线圈 904 在其内部产生与箭头 ARW2 相反方向(z 轴方向)的磁场。

[0568] 因此,使用直径随着从阴极构件 4 朝向基板 20 而增大的线圈 904 也不会产生放电的消弧及电弧点的朝向本体部 41 的移动,从而可实现稳定的长时间的无火花放电。

[0569] 另外,等离子体装置 900A 也可包括直径随着从阴极构件 4 朝向基板 20 而减小的线圈。

[0570] 此外,等离子体装置 900A 中,线圈 902、904 也可在真空容器 1 的外部,相对于阴极构件 4 而配置于与基板 20 相反的一侧。

[0571] 图 75 是表示实施方式 10 的又一等离子体装置的构成的构成图。实施方式 10 的等离子体装置也可如图 75 所示的等离子体装置 900B。

[0572] 参照图 75,等离子体装置 900B 在图 37 所示的等离子体装置 200 中追加了线圈 905 及电源 906,其他与等离子体装置 200 相同。

[0573] 线圈 905 以包围阴极构件 140 的一部分的方式配置于真空容器 1 内。电源 906 连接于线圈 905。而且,电源 906 使所需电流流向线圈 905。

[0574] 图 76 是图 75 所示的电弧式蒸发源 3A、阴极构件 140 及线圈 905 的放大图。参照图 76,线圈 905 包含与图 73 所示的线圈 902 相同的构成。而且,阴极构件 140 的前端部侧的一部分以中心轴与线圈 905 的中心轴一致的方式配置于线圈 905 的内部。即,阴极构件 140 的一部分由线圈 905 包围。电源 906 连接于线圈 905 的一端与另一端之间。

[0575] 电源 906 对线圈 905 供给所需电流,由此线圈 905 产生磁场。在流经线圈 905 的上侧部分 905A 的电流为从图 76 的纸面的纵深朝向近前的方向,流经线圈 905 的下侧部分 905B 的电流为从图 76 的纸面的近前朝向纵深的方向的情况下,在线圈 905 的内部,向箭头 ARW2 的方向(z 轴方向)产生磁场。结果,线圈 905 对阴极构件 140 施加轴方向的磁场。而且,当阴极构件 140 的前端部被消耗时,送出机构 29 以阴极构件 140 的前端部(基板 20 侧



的前端部)位于与消耗前的前端部相同的位置的方式,将阴极构件 140 向基板 20 侧送出,因而对阴极构件 140 的前端部施加固定的磁场。

[0576] 因此,不会产生放电的消弧及电弧点的朝向阴极构件 140 以外的移动,从而可实现稳定的长时间的无火花放电。

[0577] 另外,等离子体装置 900B 中,也可产生与箭头 ARW2 相反方向(z 轴方向)的磁场。该情况下,使从图 76 的纸面的近前朝向纵深的方向的电流流向线圈 905 的上侧部分 905A,使从图 76 的纸面的纵深朝向近前的方向的电流流向线圈 905 的下侧部分 905B。由此,将轴方向的磁场施加到阴极构件 140,因而也可获得所述效果。

[0578] 而且,等离子体装置 900B 也可代替线圈 905 而包括图 74 所示的线圈 904。

[0579] 此外,等离子体装置 900B 中,线圈 905 或线圈 904 也可在真空容器 1 的外部,相对于阴极构件 140 而配置于与基板 20 相反的一侧。

[0580] 这样,等离子体装置 900B 中,可将从阴极构件 140 朝向基板 20 的方向的磁场、及从基板 20 朝向阴极构件 140 的方向的磁场中的任一磁场施加到阴极构件 140,一般而言,将轴方向(z 轴方向)的磁场施加到阴极构件 140 即可。

[0581] 图 77 是表示使用了图 62 所示的等离子体装置 900 的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0582] 图 77 所示的工序图将图 56 所示的工序图的工序 S45 替换为工序 S45B,其他与图 56 所示的工序图相同。

[0583] 参照图 77,当开始制造碳薄膜时,执行所述工序 41 ~ S44。而且,工序 S44 后,施加轴方向的磁场(工序 S45B)。然后,执行所述工序 S46,碳薄膜的制造结束。

[0584] 另外,使用了图 72 所示的等离子体装置 900A 及图 75 所示的等离子体装置 900B 的碳薄膜的制造方法也依照图 77 所示的工序图 S41 ~ S44、S45B、S46 执行。

[0585] 通过将轴方向的磁场施加到阴极构件 4(或阴极构件 140),而不会产生消弧及电弧点的朝向阴极构件 4 的突起部 42(或阴极构件 140)以外的部分的移动,从而可实现稳定且长时间的无火花放电。因此,通过使用图 77 所示的工序图 S41 ~ S44、S45B、S46 制造碳薄膜,而可制造高品质且低成本的碳薄膜。

[0586] [实施方式 11]

[0587] 图 78 是表示实施方式 11 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 78,实施方式 11 的等离子体装置 1000 在图 37 所示的等离子体装置 200 中追加了永久磁铁 1001、齿轮 1002、齿轮 1003、电动机 1004、电源 1005 及配重 1006,其他与等离子体装置 200 相同。

[0588] 永久磁铁 1001 与固定着电弧式蒸发源 3A 的真空容器 1 的侧壁接近地配置。而且,永久磁铁 1001 例如以真空容器 1 侧为 N 极,齿轮 1002 侧为 S 极的方式配置。永久磁铁 1001 固定于齿轮 1002。

[0589] 齿轮 1002 与齿轮 1003 啮合。电动机 1004 与齿轮 1003 连结。而且,在电动机 1004 由电源 1005 驱动时,使齿轮 1003 旋转。电源 1005 对电动机 1004 进行驱动。配重 1006 固定于齿轮 1002。

[0590] 图 79 是图 78 所示的永久磁铁 1001、齿轮 1002、齿轮 1003 及配重 1006 的从基板 20 侧观察而得的平面图。

[0591] 参照图 79,永久磁铁 1001 及配重 1006 以相对于齿轮 1002 的旋转轴对称的方式配

置于齿轮 1002 上。结果,配重 1006 作为用以相对于永久磁铁 1001 获取平衡的重物发挥功能。齿轮 1002 在中心部具有贯通孔 1002A。电弧式蒸发源 3A 以中心轴与贯通孔 1002A 的中心轴一致的方式穿过贯通孔 1002A 而配置。齿轮 1003 与齿轮 1002 啮合。

[0592] 在齿轮 1003 利用电动机 1004 向箭头 ARW3 的方向旋转时,齿轮 1002 向箭头 ARW4 的方向旋转。通过齿轮 1002 向箭头 ARW4 的方向旋转,而永久磁铁 1001 及配重 1006 也向箭头 ARW4 的方向旋转。

[0593] 永久磁铁 1001 绕阴极构件 140 的中心轴旋转,由此由永久磁铁 1001 形成的磁场也旋转,从阴极构件 140 释放出的等离子体也利用该旋转的磁场而旋转(利用旋转磁场进行的等离子体扫描)。因此,无论电弧点位于阴极构件 140 的表面的哪一部位,均可强制地使电弧点旋转。

[0594] 在永久磁铁 1001 到达图 78 的 y 轴方向的上端的情况下,使等离子体向 y 轴的下端方向(纸面下方向)进行扫描,在到达 y 轴方向的下端的情况下,使等离子体朝向 y 轴的上端方向(纸面上方向)进行扫描。

[0595] 而且,如果使永久磁铁 1001 的位置与阴极构件 140 的中心轴进一步隔开,则使等离子体朝向与中心轴进一步隔开的位置进行扫描,如果使永久磁铁 1001 的位置进一步靠近阴极构件 140 的中心轴,则使等离子体朝向离中心轴更近的位置进行扫描。

[0596] 因此,利用永久磁铁 1001 的配置的不同,而可控制等离子体的扫描范围,且可同时控制成膜区域。

[0597] 而且,因永久磁铁 1001 旋转,而对阴极构件 140 向轴方向(z 轴方向)与阴极构件 140 的半径方向对称地施加磁场,因而可防止放电的消弧及电弧点的朝向阴极构件 140 以外的部分的移动,也可同时实现稳定且长时间的无火花放电。

[0598] 此外,通过设置配重 1006,不会有偏载(offset load),可防止永久磁铁 1001 的旋转不均。

[0599] 另外,等离子体装置 1000 不限于包括 1 个永久磁铁,也可包括 2 个以上的永久磁铁。而且,永久磁铁的形状不限于方形,也可为圆形或环状。

[0600] 图 80 是表示实施方式 11 的另一等离子体装置的构成的概略图。实施方式 11 的等离子体装置也可为图 80 所示的等离子体装置 1000A。

[0601] 参照图 80,等离子体装置 1000A 在图 62 所示的等离子体装置 900 中追加了支撑构件 1006、齿轮 1007、齿轮 1008、电动机 1009、电源 1010 及电刷 1011,其他与等离子体装置 900 相同。

[0602] 支撑构件 1006 具有圆柱形状,一端固定于电弧式蒸发源 3,另一端固定于齿轮 1007。该情况下,支撑构件 1006 的中心轴与电弧式蒸发源 3 及齿轮 1007 的中心轴一致。而且,支撑构件 1006 包含金属等导电性材料。

[0603] 齿轮 1007 固定于支撑构件 1006 的一端。齿轮 1008 与齿轮 1007 啮合。电动机 1009 连结于齿轮 1008。而且,电动机 1009 在由电源 1010 驱动时,使齿轮 1008 向所需方向旋转。

[0604] 电刷 1011 包含导电性材料,与支撑构件 1006 相接地配置。而且,电刷 1011 连接于电源 7 的负极。即便支撑构件 1006 绕中心轴旋转,电刷 1011 也不会旋转,从而可将来自电源 7 的负电压稳定地施加到支撑构件 1006。

[0605] 齿轮 1007、1008 的从阴极构件 4 侧观察而得的平面图与图 79 所示的齿轮 1002、1003 的平面图相同。

[0606] 电动机 1009 在由电源 1010 驱动时,使齿轮 1008 向所需方向旋转,使齿轮 1007 向与齿轮 1008 相反的方向旋转。结果,支撑构件 1006 绕中心轴旋转,电弧式蒸发源 3 及阴极构件 4 也绕中心轴旋转。

[0607] 而且,电源 7 经由电刷 1011 及支撑构件 1006 对电弧式蒸发源 3 施加负的电压。而且,永久磁铁 901 施加轴方向的磁场及阴极构件 4 的半径方向的磁场。

[0608] 而且,当使触发电极 8 与阴极构件 4 的突起部 42 接触、背离时,阴极构件 4 一边旋转一边从突起部 42 开始放电。

[0609] 这样,等离子体装置 1000A 中,一边使阴极构件 4 相对于永久磁铁 901 移动,一边进行电弧放电。

[0610] 该情况下,也可获得与等离子体装置 1000 相同的效果。即,这是因为,无论电弧点位于突起部 42 的表面的哪一部位,在由永久磁铁 901 形成的磁场中均使电弧点旋转,结果从电弧点释放出的等离子体也被强制性地旋转。

[0611] 如果进一步增大永久磁铁 901 的外径,则使等离子体朝向与突起部 42 进一步隔开的位置进行扫描,如果减小永久磁铁 901 的外径,则使等离子体朝向进一步靠近突起部 42 的位置进行扫描。因此,利用永久磁铁 901 的外径的不同,可控制等离子体的扫描范围,且可同时控制成膜区域。

[0612] 因利用永久磁铁 901 施加阴极构件 4 的轴方向的磁场及半径方向的磁场,所以可防止放电的消弧及电弧点的朝向突起部 42 以外的部分的移动,也可同时实现稳定的长时间的无火花放电。因此,可获得与等离子体装置 1000 相同的效果。

[0613] 图 81 是表示使用了图 78 所示的等离子体装置 1000 的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0614] 图 81 所示的工序图在图 77 所示的工序图的工序 S43 与工序 S44 之间追加了工序 S47,其他与图 77 所示的工序图相同。

[0615] 参照图 81,当开始制造碳薄膜时,依次执行所述工序 S41 ~ S43。而且,在工序 S43 后,使阴极构件及永久磁铁中的一者相对于另一者相对地移动(工序 S47)。

[0616] 然后,依次执行所述工序 S44、S45B、S46,碳薄膜的制造结束。

[0617] 另外,使用了图 80 所示的等离子体装置 1000A 的碳薄膜的制造也依照图 81 所示的工序图而执行。

[0618] 通过使阴极构件 4(或阴极构件 140)及永久磁铁 901(或永久磁铁 1001)中的一者相对于另一者相对地移动,而即便电弧点存在于阴极构件 4 的突起部 42(或阴极构件 140)的外周面的任意位置,也可将磁场施加到电弧点。结果,沿阴极构件 4 的突起部 42(或阴极构件 140)的外周面上呈螺旋状移动的力作用于电弧点。

[0619] 因此,可抑制放电的消弧及电弧点的朝向突起部 42(或阴极构件 140)以外的部分的移动,从而可实现稳定的长时间的无火花放电。

[0620] [实施方式 12]

[0621] 图 82 是表示实施方式 12 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 82,实施方式 12 的等离子体装置 1100 在图 29 所示的等离子体装置 10A 中追加了电弧式蒸发源 1101、阴

极构件 1102、永久磁铁 1103、永久磁铁 1104 及电源 1105,其他与等离子体装置 10A 相同。

[0622] 电弧式蒸发源 1101 包含与电弧式蒸发源 3 相同的构成,以与电弧式蒸发源 3 相同的方式固定于真空容器 1 的侧壁。而且,电弧式蒸发源 1101 连接于电源 1105 的负极。

[0623] 阴极构件 1102 具有与阴极构件 4 相同的构成、材料及形状。而且,阴极构件 1102 固定于电弧式蒸发源 1101 的基板 20 侧的表面。

[0624] 永久磁铁 1103 具有环形状,在真空容器 1 的外侧与电弧式蒸发源 3 接近地配置。而且,永久磁铁 1103 对阴极构件 4 施加磁场。

[0625] 永久磁铁 1104 具有环形状,在真空容器 1 的外侧与电弧式蒸发源 1101 接近地配置。而且,永久磁铁 1104 对阴极构件 1102 施加磁场。

[0626] 电源 1105 连接于电弧式蒸发源 1102 与接地节点 GND 之间。

[0627] 这样,等离子体装置 1100 包括两个电弧式蒸发源。

[0628] 使用了等离子体装置 1100 的碳薄膜的制造依照图 77 所示的工序图进行。该情况下,工序 S44 中,触发电极 8 依次与阴极构件 4、1102 接触,从两个阴极构件 4、1102 的突起部 42 产生等离子体。

[0629] 因此,可制造大面积的碳薄膜。

[0630] 另外,等离子体装置 1100 不限于 2 个电弧式蒸发源 3、1101,包括多个电弧式蒸发源即可。这是因为,如果包括多个电弧式蒸发源,则可制造面积比电弧式蒸发源为 1 个的情况大的碳薄膜。

[0631] 实施方式 12 的其他说明与实施方式 1 的说明相同。

[0632] [实施方式 13]

[0633] 图 83 是表示实施方式 13 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 83,实施方式 13 的等离子体装置 1200 在图 1 所示的等离子体装置 10 中追加了配管 1210、质量流量控制器 1220、及气体供给单元 1230,其他与等离子体装置 10 相同。

[0634] 配管 1210 的一端贯通真空容器 1 的顶板而配置于真空容器 1 内,另一端与气体供给单元 1230 连接。

[0635] 质量流量控制器 1220 将从气体供给单元 1230 接收到的气体的流量设定为所需流量并导向真空容器 1 内。

[0636] 气体供给单元 1230 例如利用储气罐来保持氩 (Ar) 气。而且,气体供给单元 1230 将 Ar 气经由配管 1210 及质量流量控制器 1220 而供给到真空容器 1 内。

[0637] 图 84 是表示使用了图 83 所示的等离子体装置 1200 的碳薄膜的制造方法的概略图。

[0638] 图 84 所示的工序图在图 4 所示的工序图的工序 S2 与工序 S3 之间追加了工序 S51,其他与图 4 所示的工序图相同。

[0639] 参照图 84,当开始制造碳薄膜时,依次执行所述工序 S1、S2。而且,工序 S2 后,气体供给单元 1230 经由质量流量控制器 1220 及配管 1210 将所需流量的 Ar 气供给到真空容器 1 内。

[0640] 然后,依次执行所述工序 S3 ~ S8,碳薄膜的制造结束。

[0641] 等离子体装置 1200 中,一边对真空容器 1 内供给 Ar 气一边制造碳。结果,Ar 气为容易电离的气体,因而可使电弧放电稳定化。而且,通过将 Ar 原子引入到碳薄膜中,可控

制碳薄膜的硬度及应力。

[0642] 另外,等离子体装置 1200 中,气体供给单元 1230 不限于供给 Ar 气,也可将 Ar 气以外的气体供给到真空容器 1 内。

[0643] 而且,实施方式 13 的等离子体装置也可为在所述等离子体装置 10A、100、100A、200、300、400、500、600、700、800、800A、900、900A、900B、1000、1000A、1100、1200 中的任一个中追加了配管 1210、质量流量控制器 1220、及气体供给单元 1230 的等离子体装置。

[0644] 实施方式 13 的其他说明与实施方式 1 ~ 实施方式 12 的说明相同。

[0645] [实施方式 14]

[0646] 图 85 是表示实施方式 14 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 85,实施方式 14 的等离子体装置 1300 去除了图 1 所示的等离子体装置 10 的触发电极 8 及电阻 9,并追加了激光源 1310,其他与等离子体装置 10 相同。

[0647] 激光源 1310 例如固定于真空容器 1 的顶板。而且,激光源 1310 对阴极构件 4 的突起部 42 的前端照射激光。作为激光,例如使用 YAG 激光,且为 1kW 的连续输出、点径设为 0.8mm 即可。

[0648] 激光源 1310 例如可与真空容器 1 分离而设置于大气侧,该情况下,通过安装于真空容器 1 的石英制的观察口 (viewing port) (未图示) 对突起部 42 的前端照射激光即可。

[0649] 图 86 是表示使用了图 85 所示的等离子体装置 1300 的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0650] 图 86 所示的工序图将图 4 所示的工序图的工序 S4 替换为工序 S4A,其他与图 4 所示的工序图相同。

[0651] 参照图 86,当开始制造碳薄膜时,依次执行所述工序 S1 ~ S3。而且,在工序 S3 后,激光源 1310 将激光照射到阴极构件 4 的突起部 42 的前端 (工序 S4A)。

[0652] 然后,依次执行所述工序 S5 ~ S8,碳薄膜的制造结束。

[0653] 这样,在使用了等离子体装置 1300 的碳薄膜的制造中,将激光照射到突起部 42 的前端并点弧。结果,从突起部 42 产生电弧放电。

[0654] 结果,比起使触发电极 8 与阴极构件 4 接触而点弧的情况,可防止阴极构件 4 破损。

[0655] 另外,等离子体装置 1300 也可代替阴极构件 4 而包括所述印胸构件 4A ~ 4L、40、140 中的任一个。该情况下,在使用包含多个突起部或多个柱状构件的阴极构件的情况下,通过使激光源 1310 旋转,而对多个突起部或多个柱状构件的前端部照射激光即可。

[0656] 而且,实施方式 14 的等离子体装置也可为去除了所述等离子体装置 10A、100、100A、200、300、400、500、600、700、800、800A、900、900A、900B、1000、1000A、1100、1200 中的任一个的触发电极 8、17、25、301、410、410A 及电阻 9,并追加了激光源 1310 的等离子体装置。

[0657] 实施方式 14 的其他说明与实施方式 1 ~ 实施方式 13 的说明相同。

[0658] [实施方式 15]

[0659] 图 87 是表示实施方式 15 的等离子体装置的构成的概略图。参照图 87,实施方式 15 的等离子体装置 1400 包括电弧式蒸发源 3、电源 7、触发电极 8、电阻 9、真空容器 1410、及线圈 1420。

[0660] 真空容器 1410 包含呈圆弧状弯曲的筒状构件。而且,真空容器 1410 利用排气装置(未图示)而排气为真空。

[0661] 电弧式蒸发源 3 固定于真空容器 1410 的壁 1410A。而且,电弧式蒸发源 3 连接于电源 7 的负极。阴极构件 4 固定于电弧式蒸发源 3 的基板 20 侧的表面。

[0662] 电源 7 连接于电弧式蒸发源 3 与接地节点 GND 之间。

[0663] 触发电极 8 的一端侧经由真空容器 1410 的壁 1410A 而配置于真空容器 1410 内,且与阴极构件 4 的突起部 42 相向。而且,触发电极 8 的另一端连接于电阻 9。

[0664] 电阻 9 连接于触发电极 8 与接地节点 GND 之间。

[0665] 线圈 1420 沿着真空容器 1410 的壁 1410B、1410C 配置于真空容器 1410 的周围。而且,线圈 1420 的两端连接于电源(未图示)。

[0666] 基板 20 固定于真空容器 1410 的壁 1410D。

[0667] 当利用电源(未图示)而使线圈 1420 中流动电流时,线圈 1420 在真空容器 1410 的内部产生磁场。该磁场使从阴极构件 4 的突起部 42 飞出的碳离子沿着真空容器 1410 呈圆弧状弯曲,且使碳离子到达基板 20。从阴极构件 4 飞出的微粒及中性粒子与真空容器 1410 的壁 1410B、1410C 碰撞,而未到达基板 20。

[0668] 因此,如果使用等离子体装置 1400,则即便图 5(a)中确认到的极微少的微粒也可被除去,从而可制造微粒极少、即表面粗糙度极小的碳薄膜。

[0669] 而且,如果使用等离子体装置 1400,则可制造杂质少且品质高的碳薄膜。

[0670] 图 88 是表示使用了图 87 所示的等离子体装置 1400 的碳薄膜的制造方法的工序图。

[0671] 图 88 所示的工序图中去除了图 77 所示的工序图的工序 S45B、S46,将工序 S45C 插入到工序 S42 与工序 S43 之间,其他与图 77 所示的工序图相同。

[0672] 参照图 88,当开始制造碳薄膜时,依次执行所述工序 S41、S42。而且,工序 S42 后,施加用以使从阴极构件 4 的突起部 42 向真空容器 1410 内飞出的碳离子沿着圆弧状的真空容器 1410 弯曲的磁场(工序 S45C)。然后,依次执行所述工序 S43、S44。由此,微粒及中性粒子未到达基板 20,仅碳离子到达基板 20 而制造碳薄膜,一连串的动作结束。

[0673] 这样,通过使用等离子体装置 1400,可制造高品质的碳薄膜。

[0674] 另外,等离子体装置 1400 中,真空容器 1410 的壁 1410D 构成保持基板 20 的“保持构件”。

[0675] 而且,实施方式 15 的等离子体装置 1400 也可代替阴极构件 4 而包括所述阴极构件 4A~4L、40、140 中的任一个,还可代替触发电极 8 而包括触发电极 17、25、301、410、410A 中的任一个。

[0676] 此外,实施方式 15 的等离子体装置 1400 也可代替触发电极 8 及电阻 9 而包括激光光源 1310。

[0677] 实施方式 15 的其他说明与实施方式 1~实施方式 14 的说明相同。

[0678] 图 89 是表示本发明的实施方式的阴极构件的图。参照图 89,阴极构件 1500 包括本体部 1510、突起部 1520、及弹簧 1530。本体部 1510 具有圆盘形状,例如包含烧结体石墨。突起部 1520 包含玻璃状碳,且具有圆柱形状。而且,突起部 1520 经由弹簧 1530 而固定于本体部 1510(参照图 89 的(a))。

[0679] 而且,阴极构件 1600 包括圆柱构件 1610、1620、及弹簧 1630。圆柱构件 1610 包含玻璃状碳。圆柱构件 1620 例如包含烧结体石墨。圆柱构件 1610 利用弹簧 1630 固定于圆柱构件 1620(参照图 89(b))。

[0680] 通过使用阴极构件 1500、1600,可防止阴极构件 1500、1600 的前端部的破损。这是因为,即便触发电极 8 等与阴极构件 1500、1600 的前端部接触,弹簧 1530、1630 也会吸收触发电极 8 等接触时的冲击。

[0681] 而且,阴极构件 1500、1600 各自可用于所述实施方式 1~实施方式 15 的等离子体装置 10、10A、100、100A、200、300、400、500、600、700、800、800A、900、900A、900B、1000、1000A、1100、1200、1300、1400 中的任一个。

[0682] 所述中,已对各种等离子体装置 10、10A、100、100A、200、300、400、500、600、700、800、800A、900、900A、900B、1000、1000A、1100、1200、1300、1400 进行了说明。而且,等离子体装置 10、10A、100、100A、200、300、400、500、600、700、800、800A、900、900A、900B、1000、1000A、1100、1200、1300、1400 包括阴极构件,所述阴极构件包含具有至少一个突起部的玻璃状碳。

[0683] 因此,本发明的实施方式的等离子体装置包括:真空容器,固定于真空容器的电弧式蒸发源,安装于电弧式蒸发源的阴极构件,保持朝向阴极构件配置的基板的保持构件,使放电开始的放电开始单元,以及对电弧式蒸发源施加负的电压的电源,阴极构件包括至少一个柱状部分,该柱状部分包含玻璃状碳且具有柱状形状,放电开始单元以等离子体从阴极构件的至少一个柱状部分被释放的方式使放电开始即可。

[0684] 而且,至少一个柱状部分各自具有包含圆柱状、圆锥状、截圆锥状、棱柱状及截棱锥状中的任一个的形状。该情况下,设为圆柱状、圆锥状及截圆锥状的与长度方向垂直的剖面形状不限于圆,也可包含椭圆。

[0685] 而且,所述中,已对使用了各种等离子体装置 10、10A、100、100A、200、300、400、500、600、700、800、800A、900、900A、900B、1000、1000A、1100、1200、1300、1400 的碳薄膜的制造方法进行了说明。而且,等离子体装置 10、10A、100、100A、200、300、400、500、600、700、800、800A、900、900A、900B、1000、1000A、1100、1200、1300、1400 包括阴极构件,该阴极构件包含具有至少一个突起部的玻璃状碳。

[0686] 因此,本发明的实施方式的碳薄膜的制造方法包括如下工序即可,即,第一工序,在朝向基板而固定于真空容器的电弧式蒸发源安装包含至少一个柱状部分的阴极构件,该柱状部分包含玻璃状碳且具有柱状形状;第二工序,对电弧式蒸发源施加负的电压;以及第三工序,以等离子体从阴极构件的至少一个柱状部分被释放的方式使放电开始。

[0687] 这是因为,如果使用包含具有至少一个突起部的玻璃状碳的阴极构件来产生电弧放电,则至少一个突起部的热应变减少,从而可抑制阴极构件裂开。

[0688] 此外,本发明的实施方式中,也可使用等离子体装置 10、10A、100、100A、200、300、400、500、600、700、800、800A、900、900A、900B、1000、1000A、1100、1200、1300、1400 中的任一个而在基材的表面涂布碳薄膜。

[0689] 该情况下,基材包含金属、陶瓷、树脂、半导体及将选自他们的材质组合而成的材料中的任一个。而且,碳薄膜的涂布方法是在基材的表面涂布碳薄膜的方法,所述基材包含金属、陶瓷、树脂、半导体及将选自他们的材质组合而成的材料中的任一个,所述涂布方法

包括如下工序即可：第一工序，朝向固定于真空容器的电弧式蒸发源保持基材；第二工序，将包含至少一个柱状部分的阴极构件安装于电弧式蒸发源，所述柱状部分包含玻璃状碳且具有柱状形状；第三工序，对电弧式蒸发源施加负的电压；以及第四工序，以等离子体从阴极构件的至少一个柱状部分被释放的方式使放电开始。

[0690] 而且，金属例如包含碳化钨、钢、铝及钴铬合金。而且，陶瓷例如包含氧化铝、氮化硅、立方晶氮化硼及氧化硅。此外，树脂例如包含聚碳酸酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯及聚氯乙烯。此外，半导体例如包含硅、氮化镓及氧化锌。

[0691] 所述实施方式 8 中，已对通过使射束状的等离子体 PLZ1 扩散而在基板 20 的整个面形成碳薄膜进行了说明。而且，实施方式 9 中，已对通过扫描射束状的等离子体 PLZ1 而在基板 20 的整个面形成碳薄膜进行了说明。

[0692] 而且，实施方式 8 中，已对两个永久磁铁 711、712 沿着从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向配置进行了说明，但可通过将两个永久磁铁 711、712 沿着任意的方向大致平行地配置而使射束状的等离子体 PLZ1 向任意的方向扩散。该情况下，使基板 20 绕沿着使等离子体 PLZ1 扩散的方向配置的轴旋转。

[0693] 此外，实施方式 2 中，已对使永久磁铁 802 沿着从真空容器 1 的底面朝向顶板的方向往复运动进行了说明，但可通过使永久磁铁 802 沿任意的方向往复运动而使射束状的等离子体 PLZ1 向任意的方向进行扫描。该情况下，使基板 20 绕沿着扫描等离子体 PLZ1 的方向配置的轴旋转。

[0694] 本发明的实施方式中，两个永久磁铁 711、712 或两个电磁铁构成“磁场产生机构”，支撑构件 801 及永久磁铁 802 构成“磁场产生机构”，线圈 803 及电源 804 构成“磁场产生机构”，永久磁铁 901 构成磁场产生机构”。

[0695] 此外，线圈 902（或线圈 904）及电源 903 构成“磁场产生机构”，线圈 905（或线圈 904）及电源 906 构成“磁场产生机构”，永久磁铁 1001 构成“磁场产生机构”，永久磁铁 1003、1004 构成“磁场产生机构”，线圈 1420 及电源（未图示）构成“磁场产生机构”。

[0696] 此外，本发明的实施方式中，保持构件 710 及旋转装置构成“旋转机构”。

[0697] 应当认为此次公开的实施方式的全部方面为例示而非限制性内容。本发明的范围并非由所述实施方式的说明而是由权利要求书来表示，旨在包含与权利要求书均等的含义及范围内的全部变更。

[0698] [工业上的可利用性]

[0699] 本发明应用于等离子体装置、使用该等离子体装置的碳薄膜的制造方法及涂布方法。



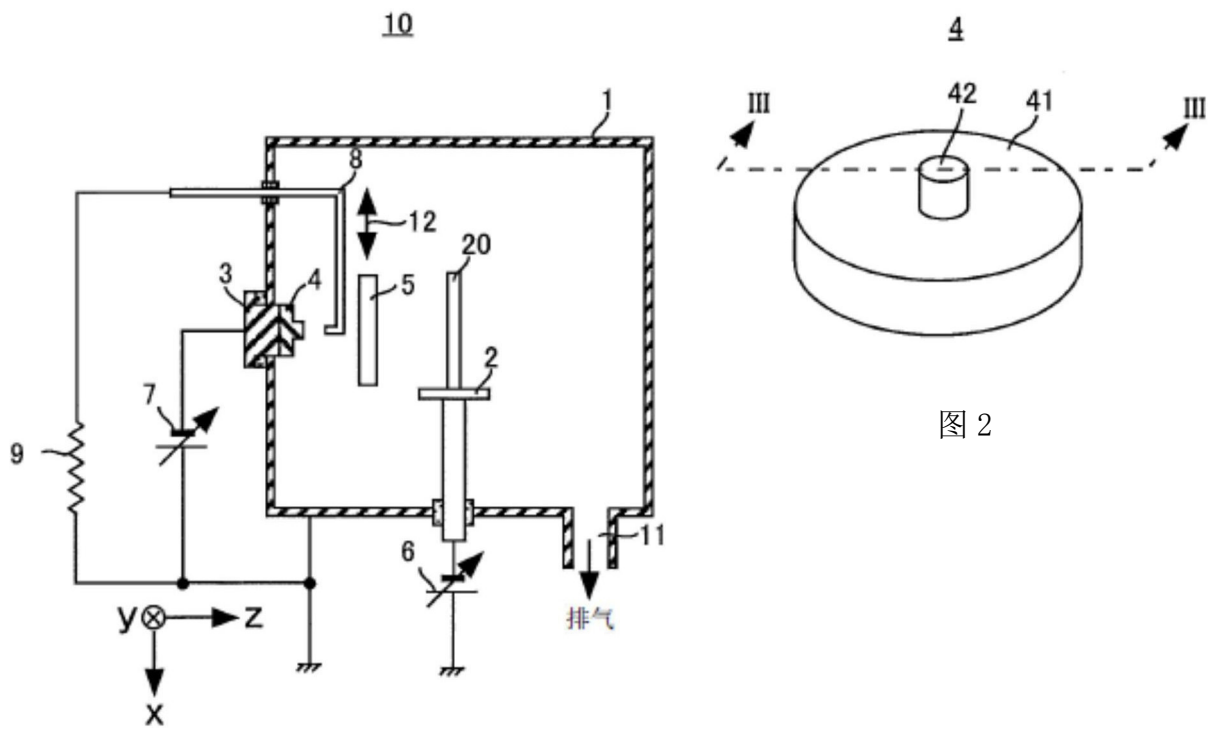


图 1

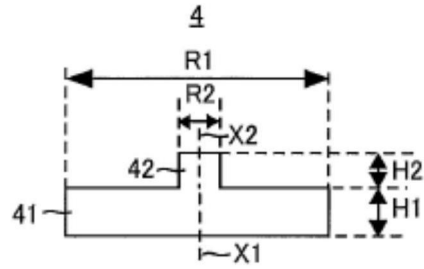


图 3

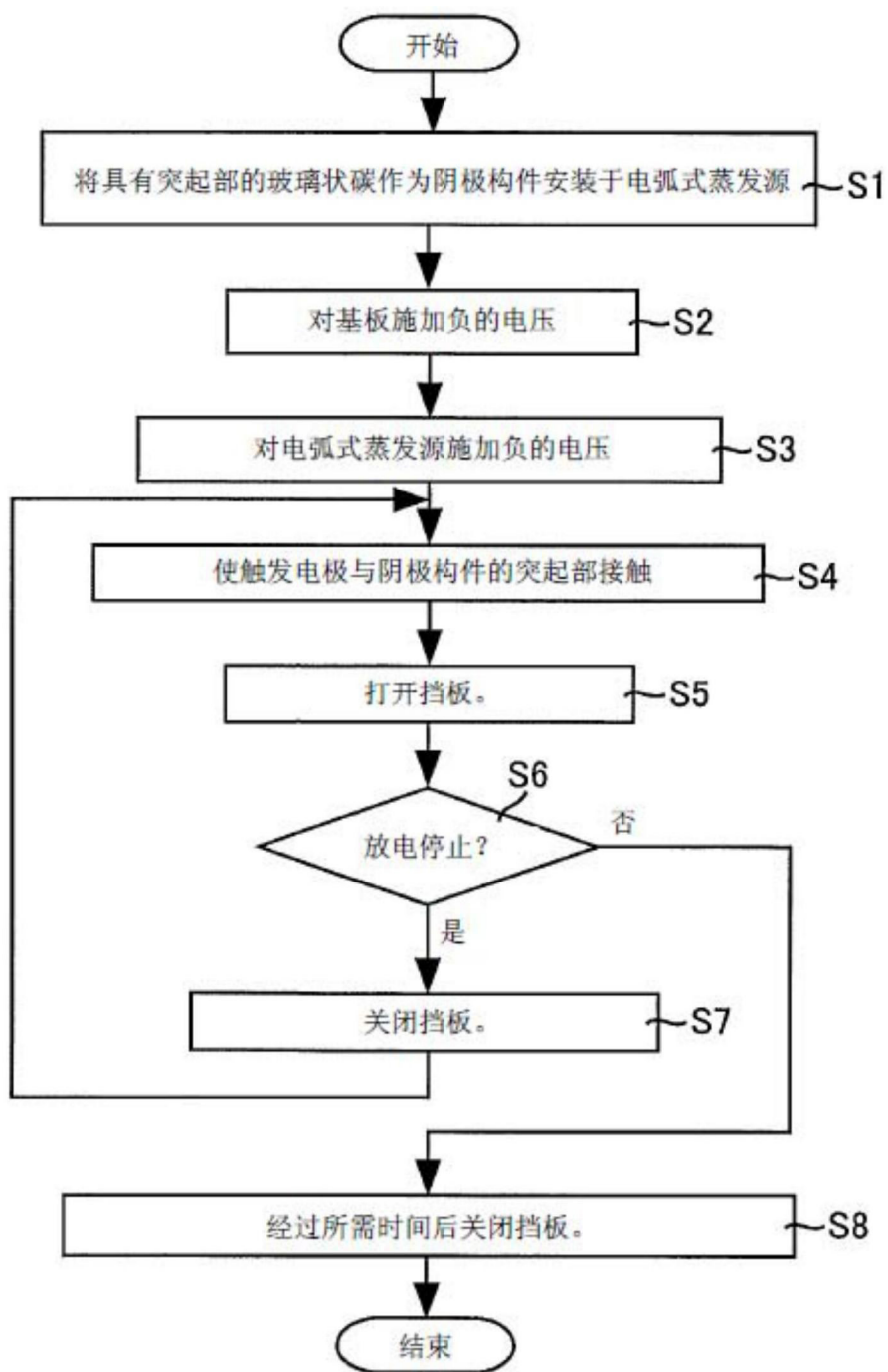


图 4

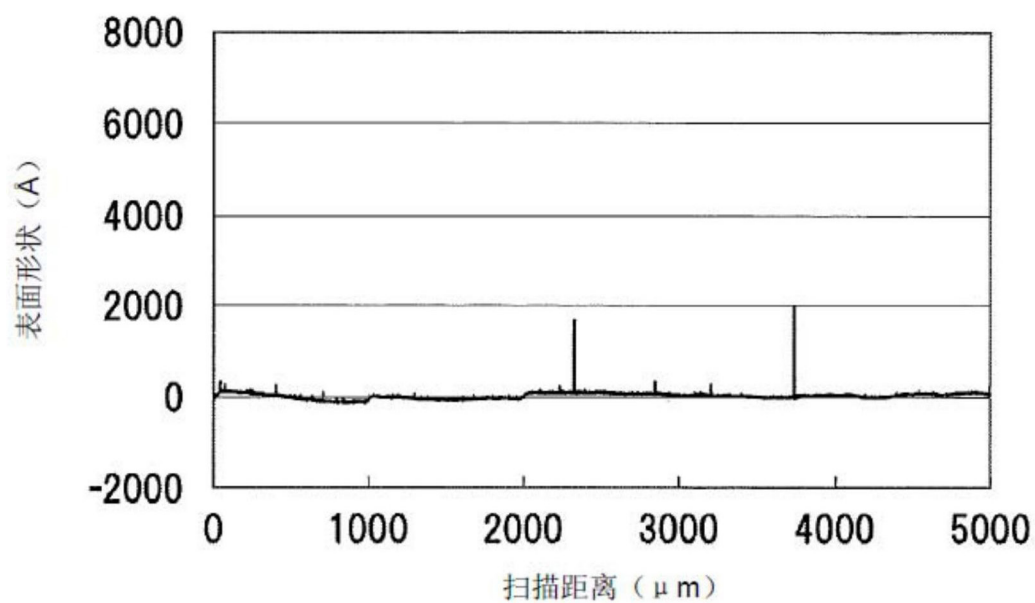


图 5(a)

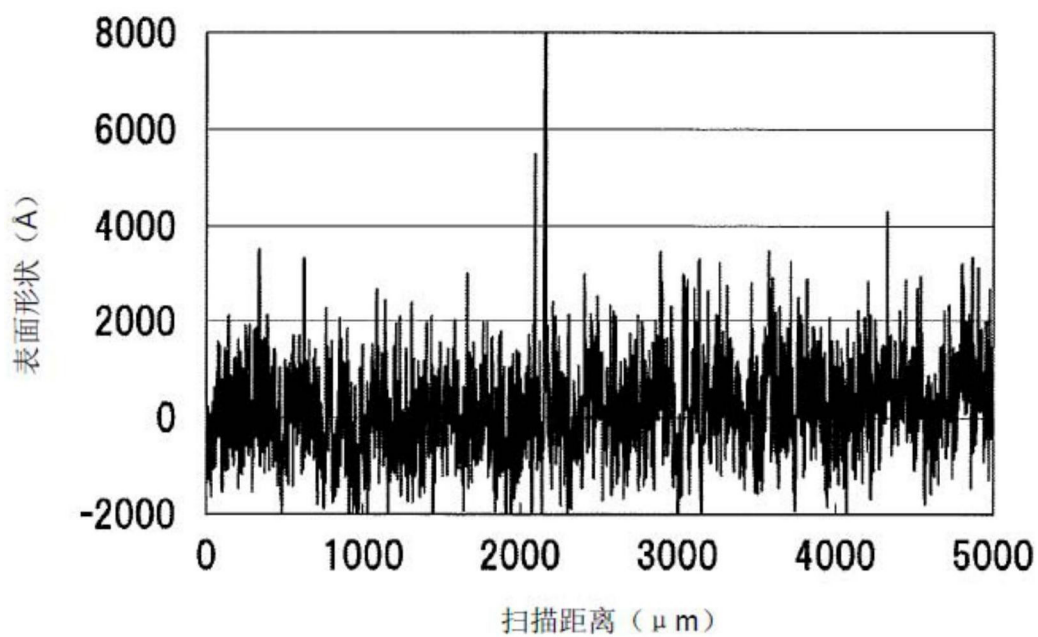


图 5(b)

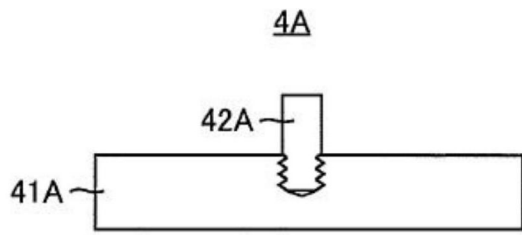


图 6

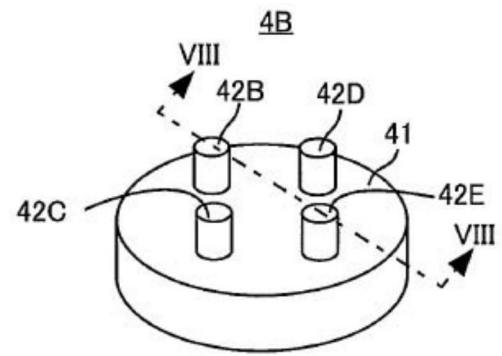


图 7

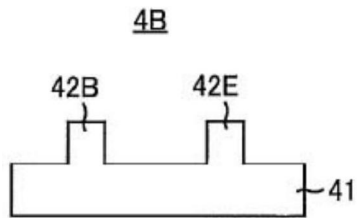


图 8

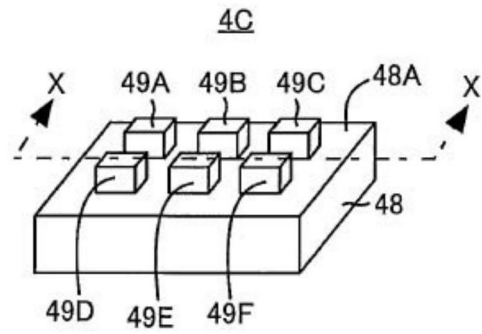


图 9

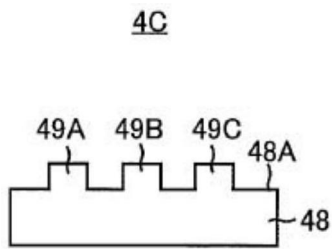


图 10

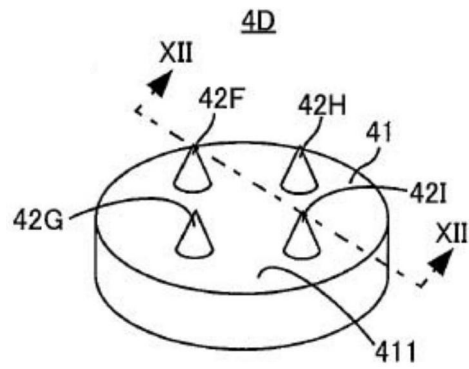


图 11

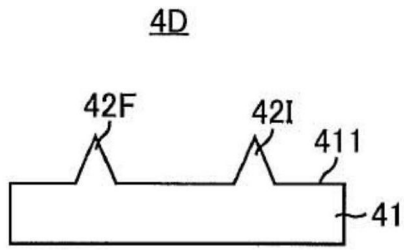


图 12

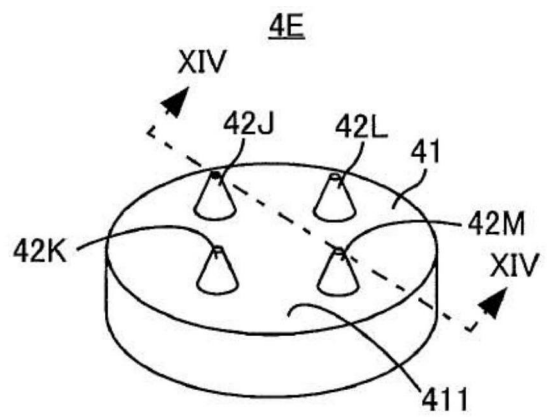


图 13

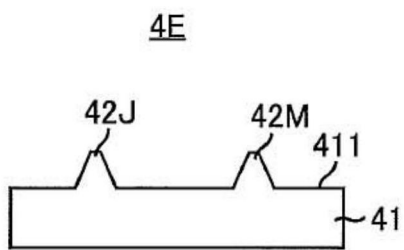


图 14

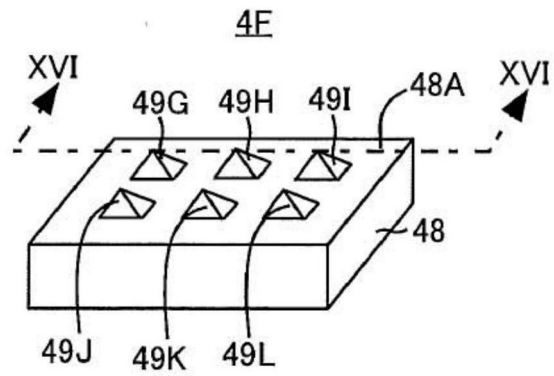


图 15

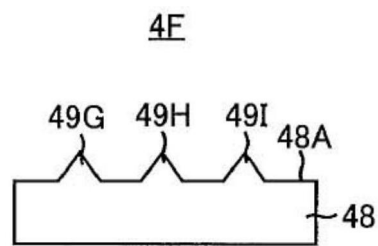


图 16

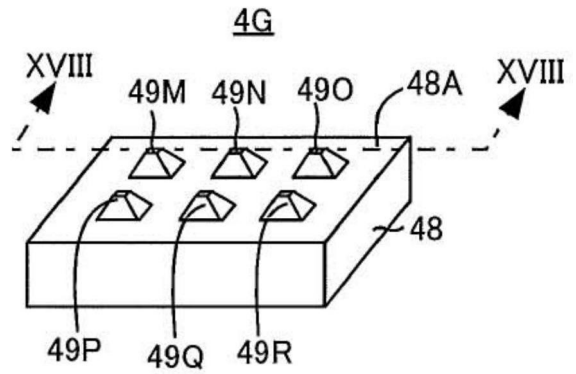


图 17

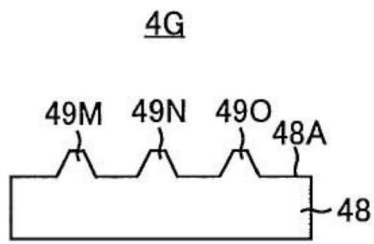


图 18

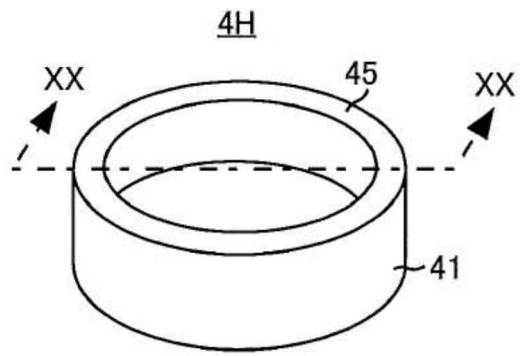


图 19

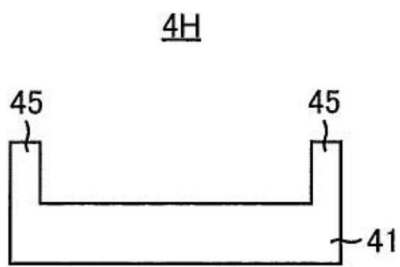


图 20

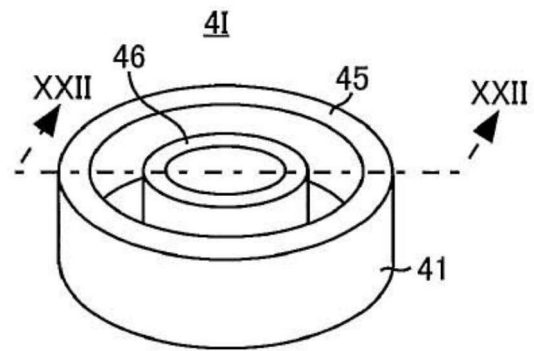


图 21

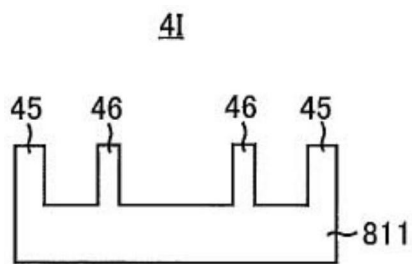


图 22

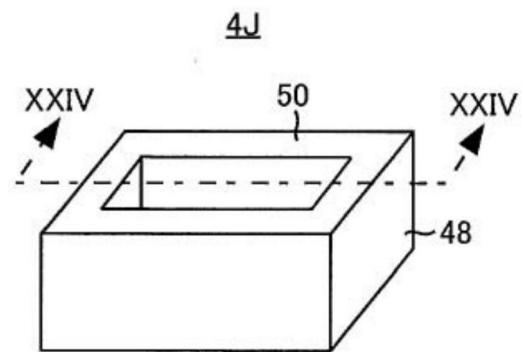


图 23

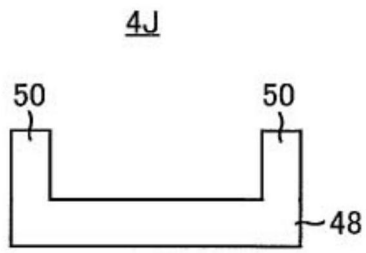


图 24

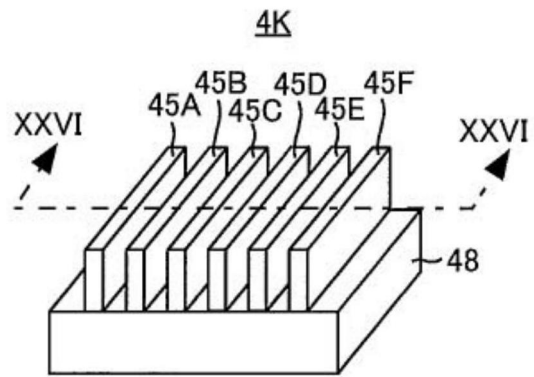


图 25

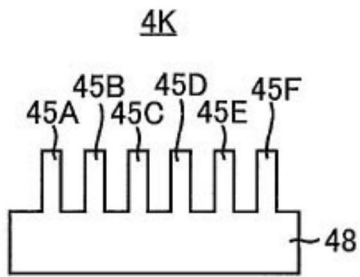


图 26

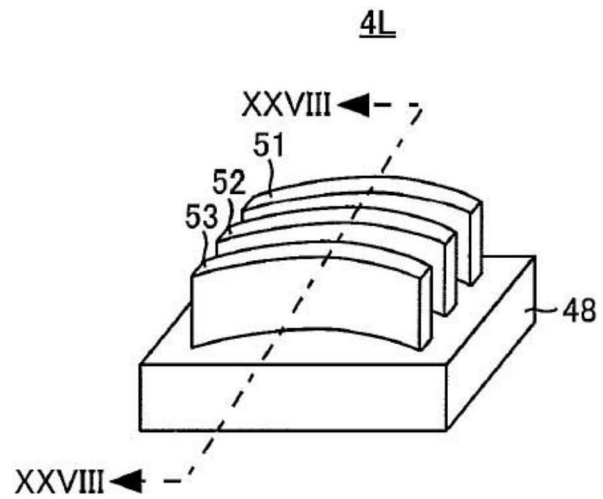


图 27

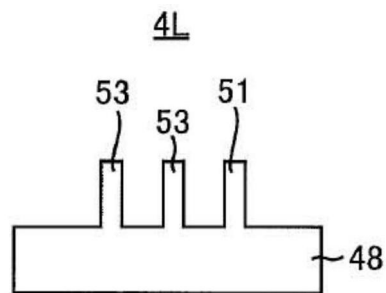


图 28

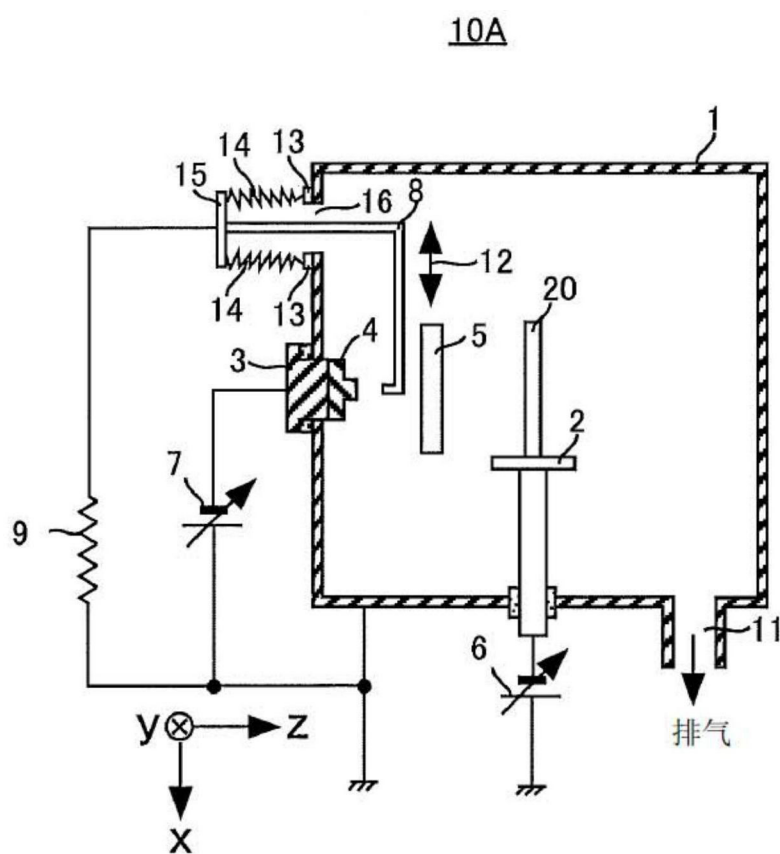


图 29



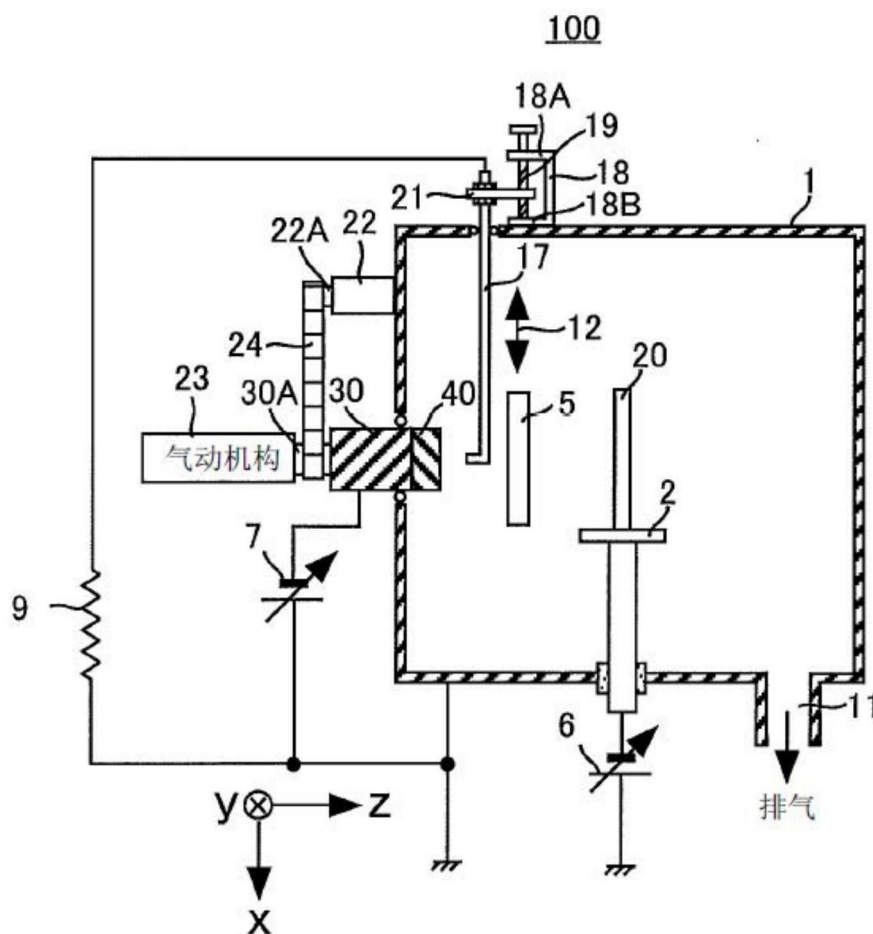


图 30

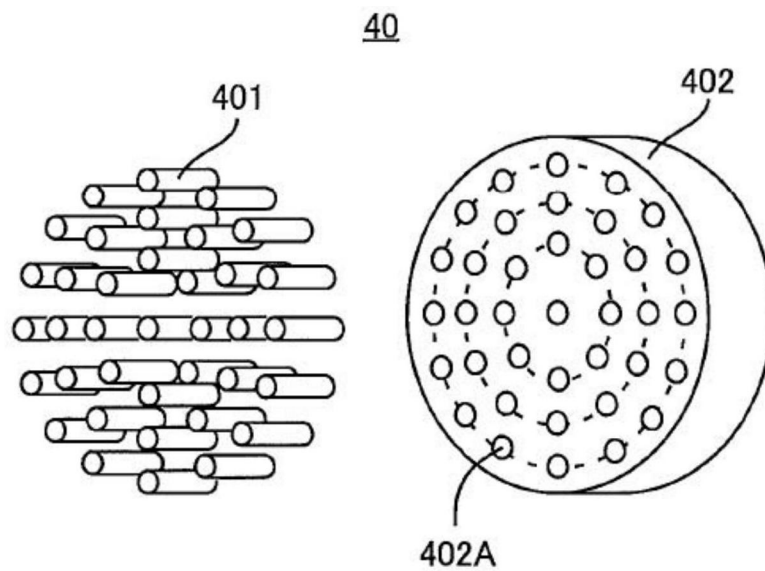


图 31

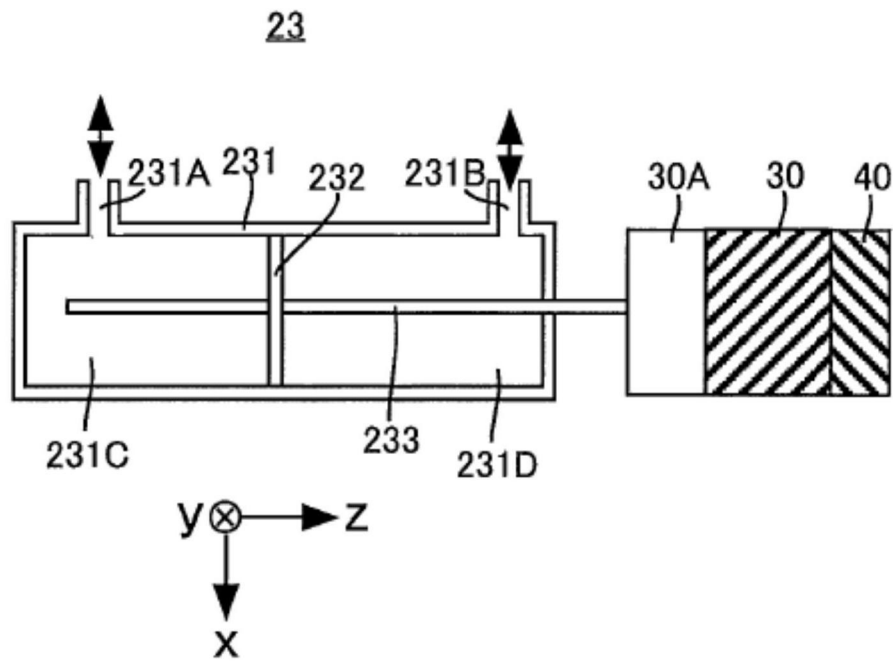


图 32

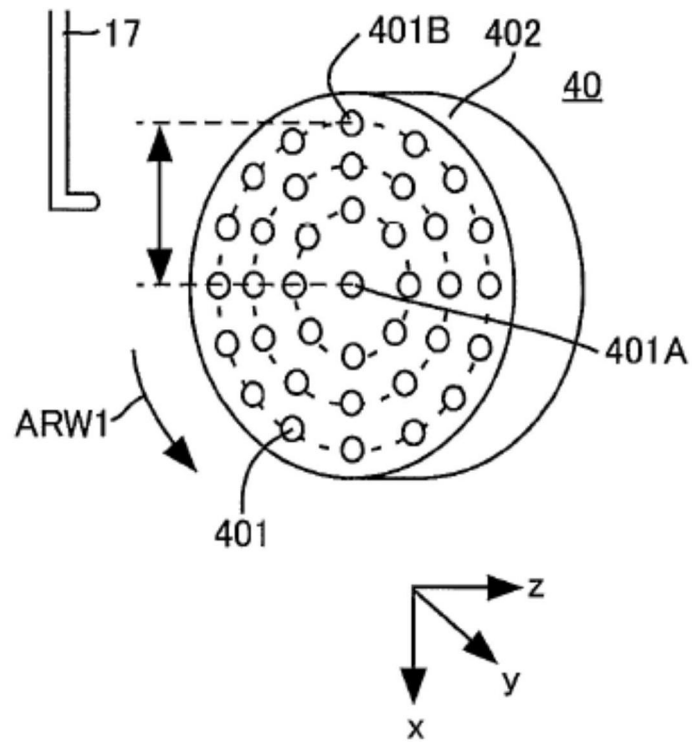


图 33

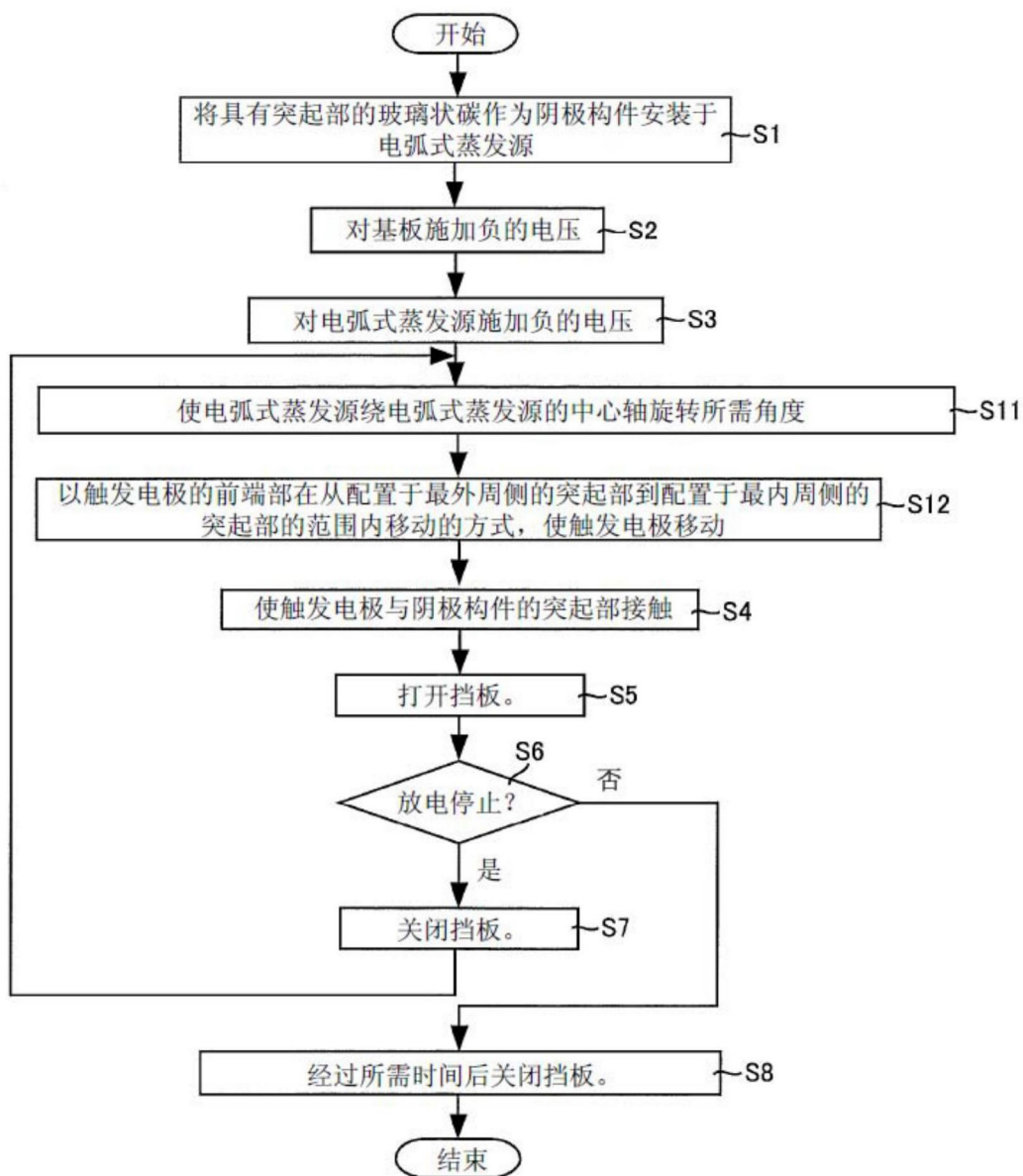


图 34

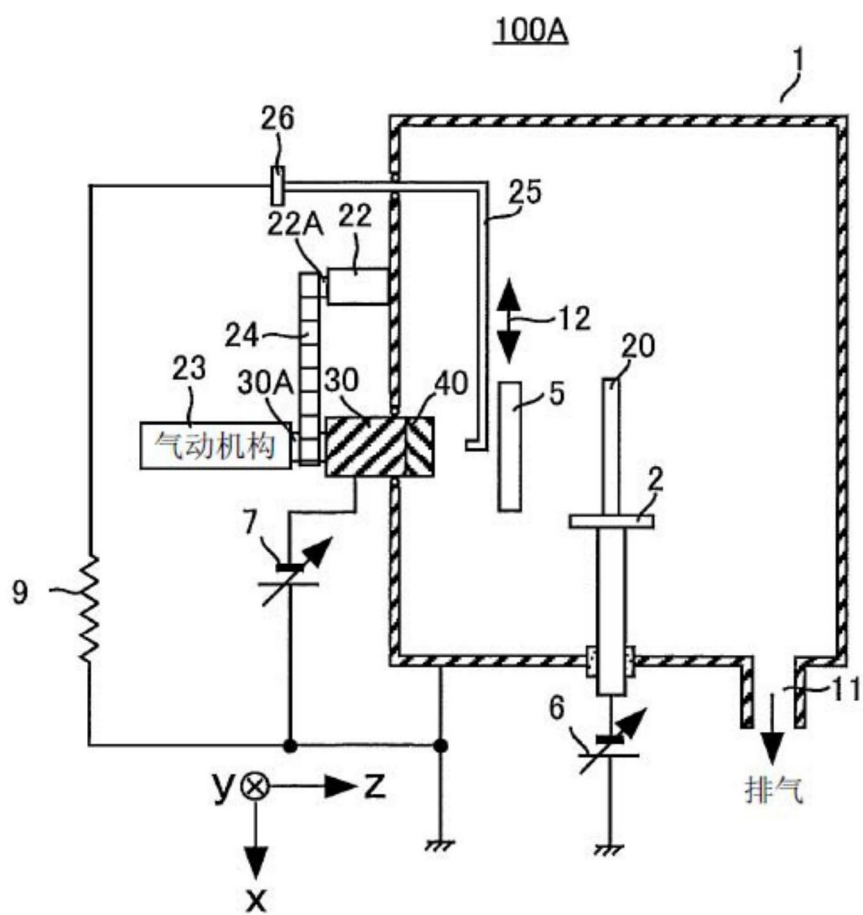


图 35

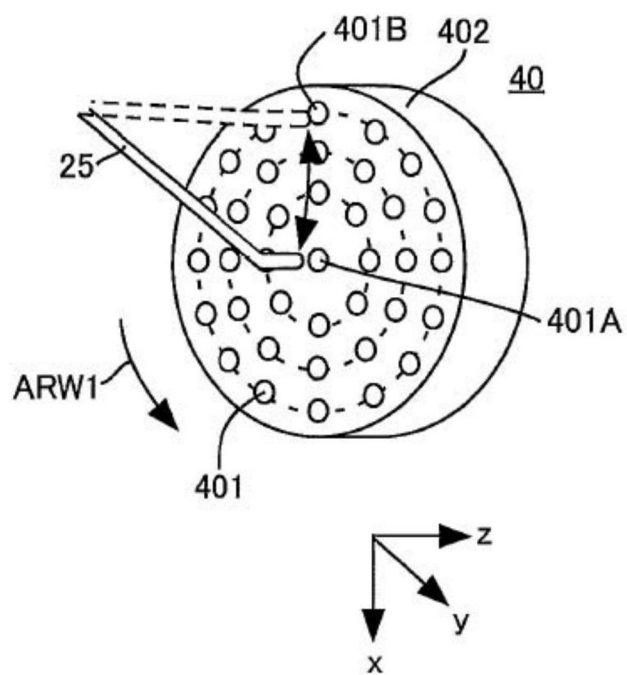


图 36

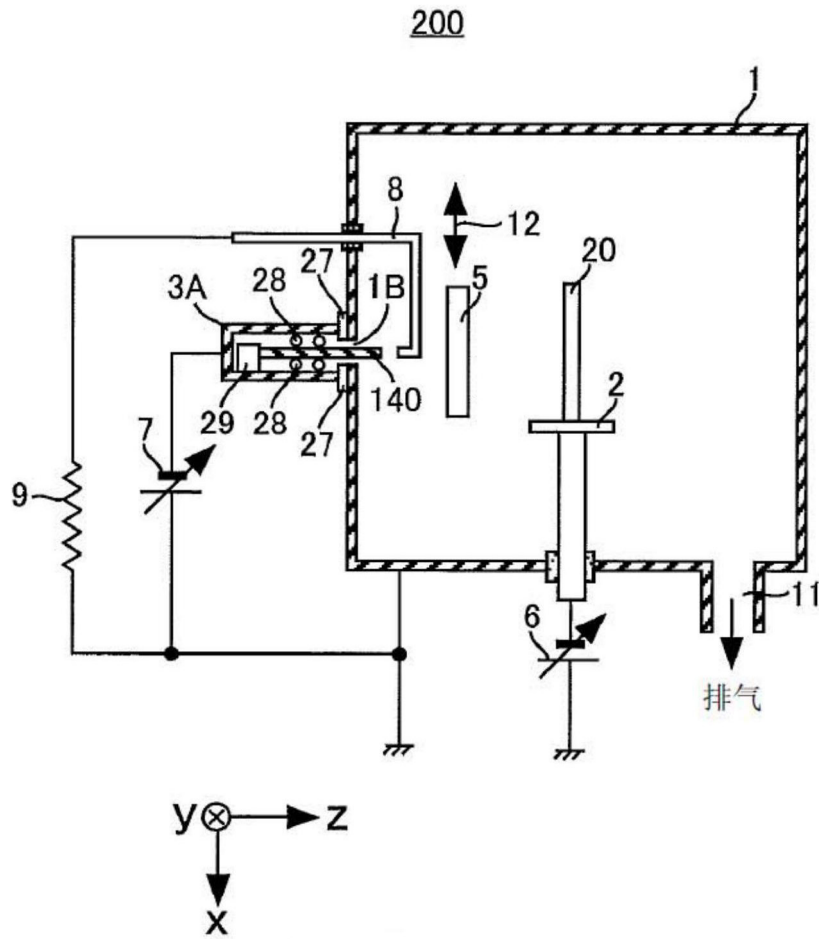


图 37

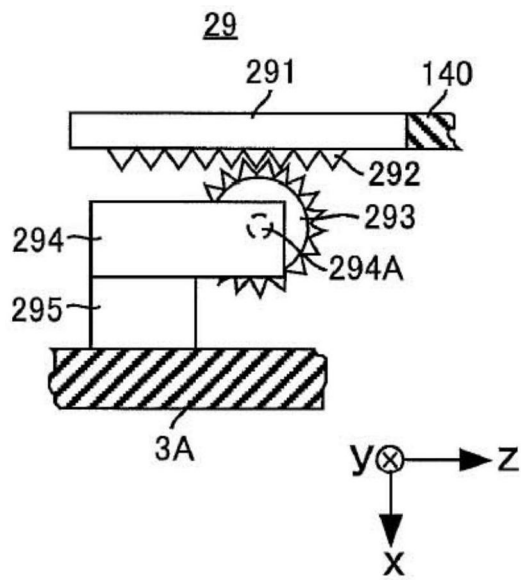


图 38

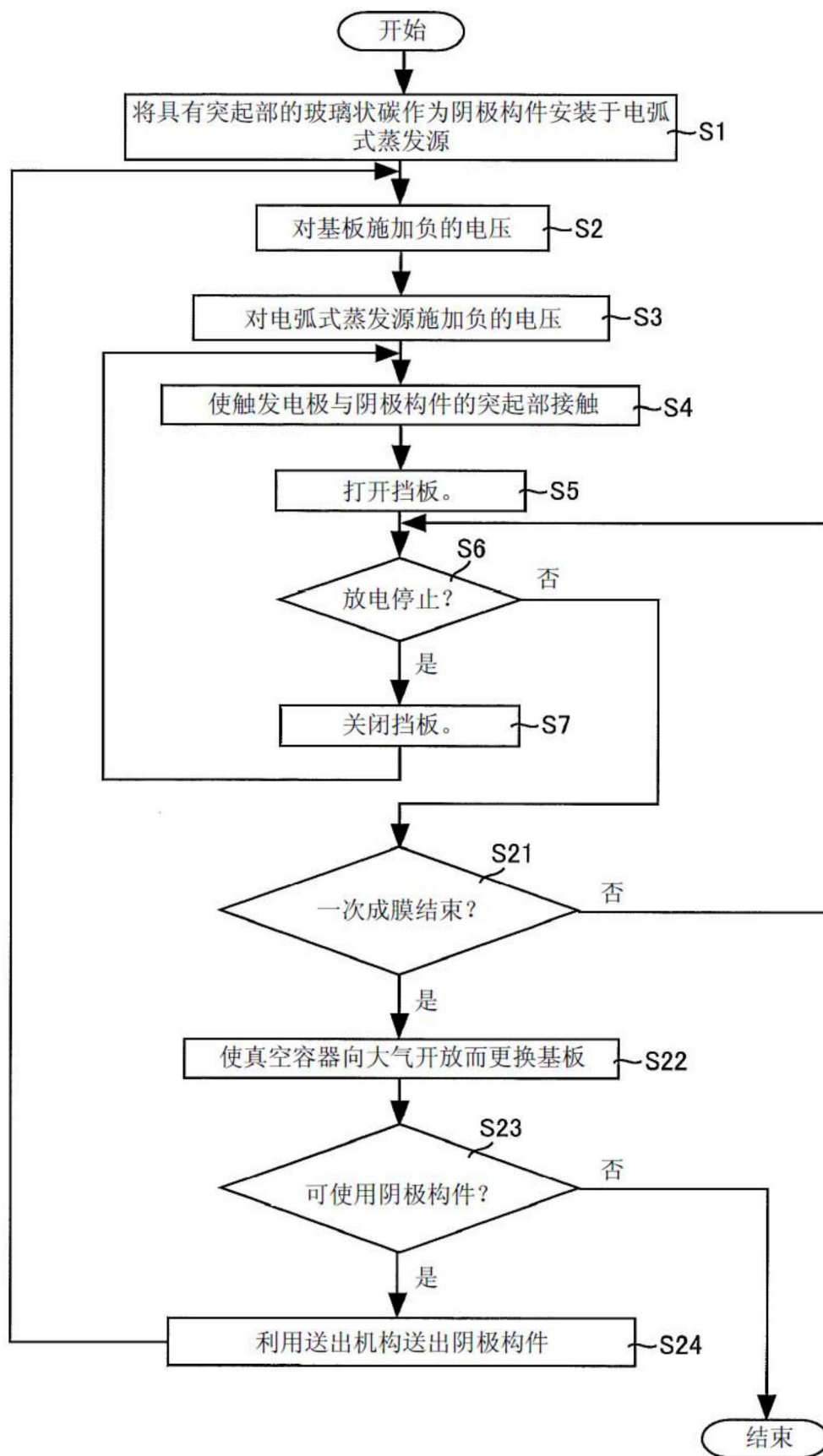
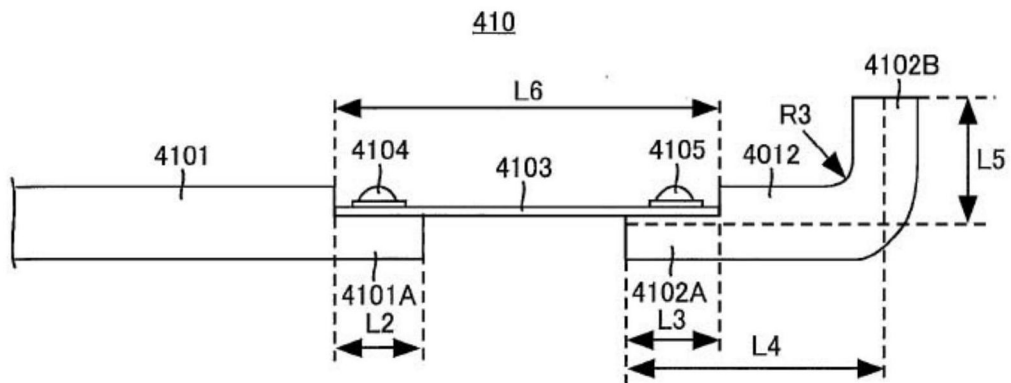
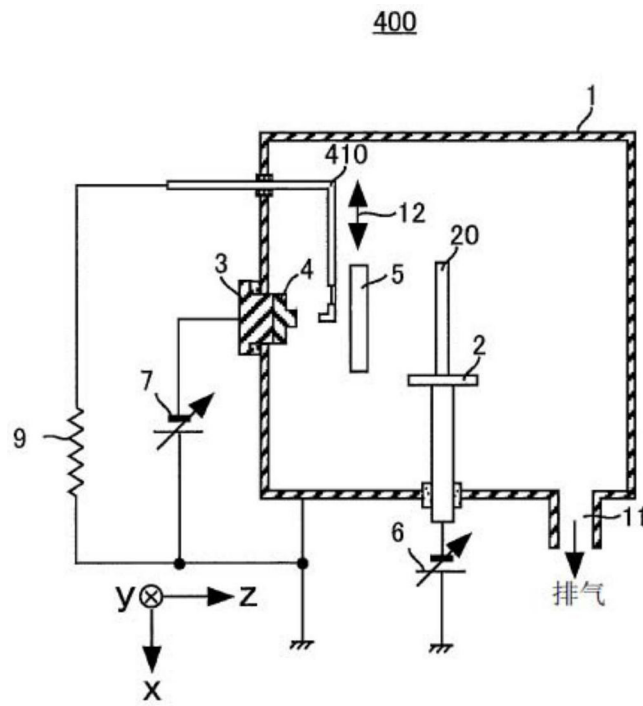
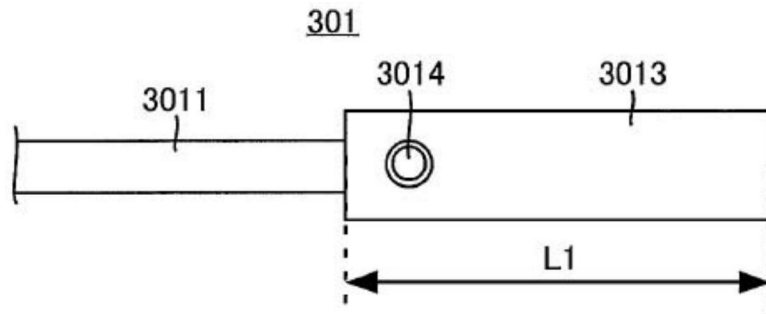


图 39







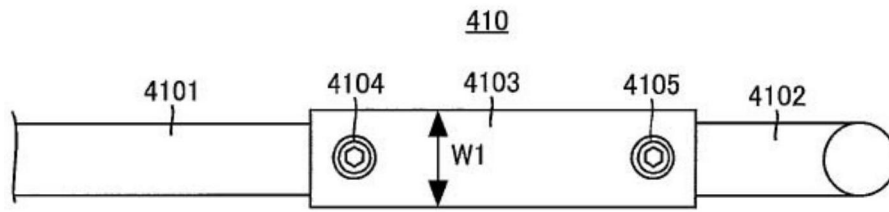


图 45

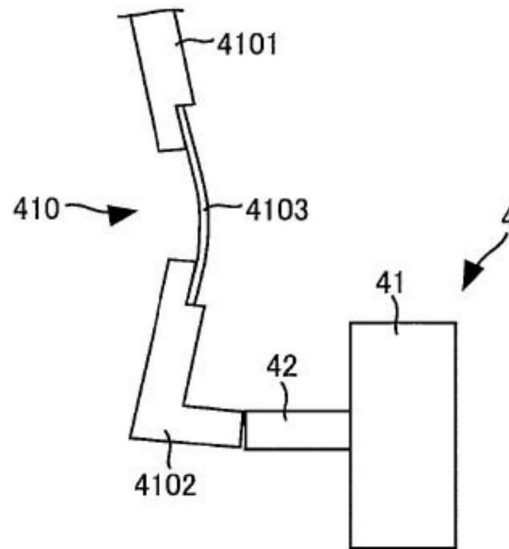


图 46

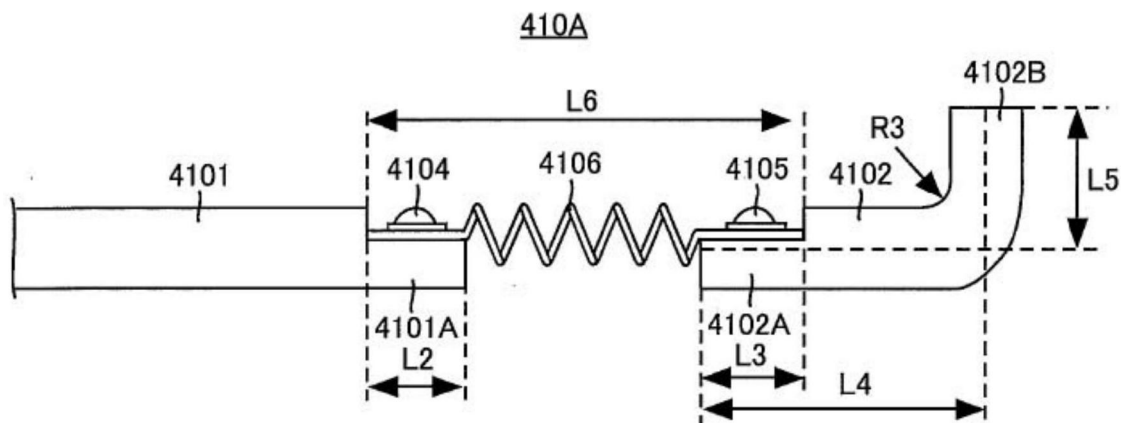


图 47

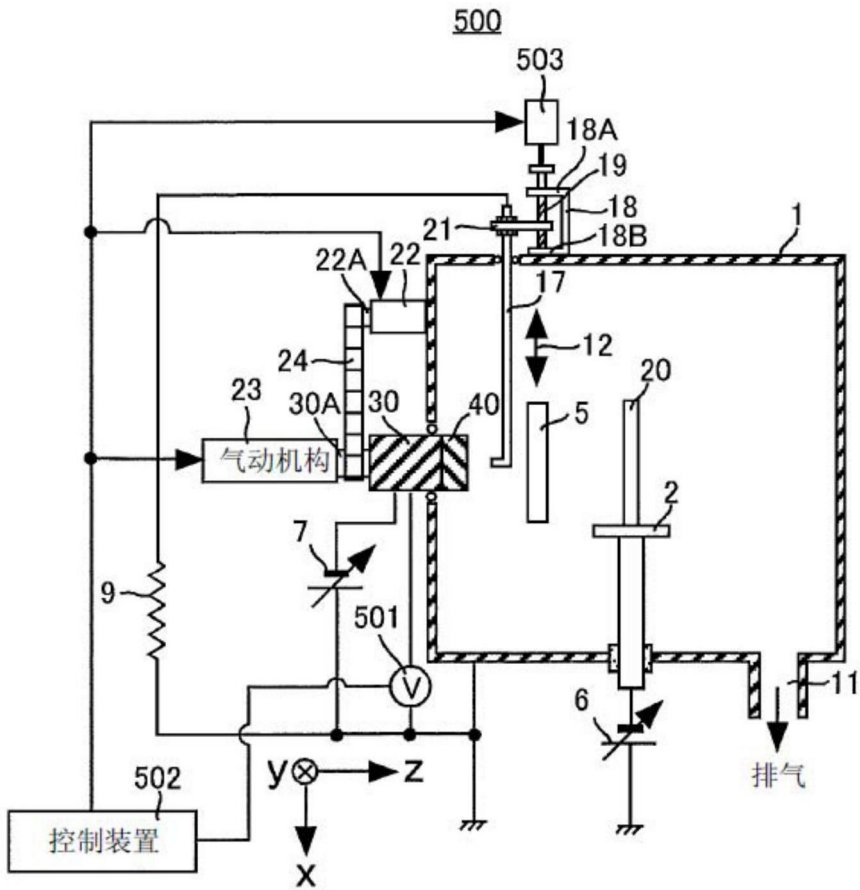


图 48

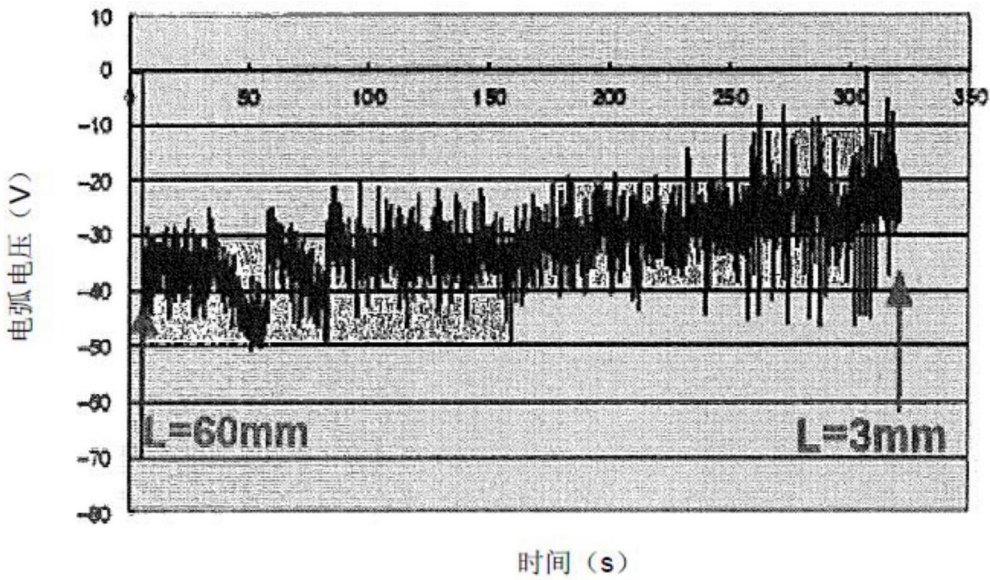


图 49

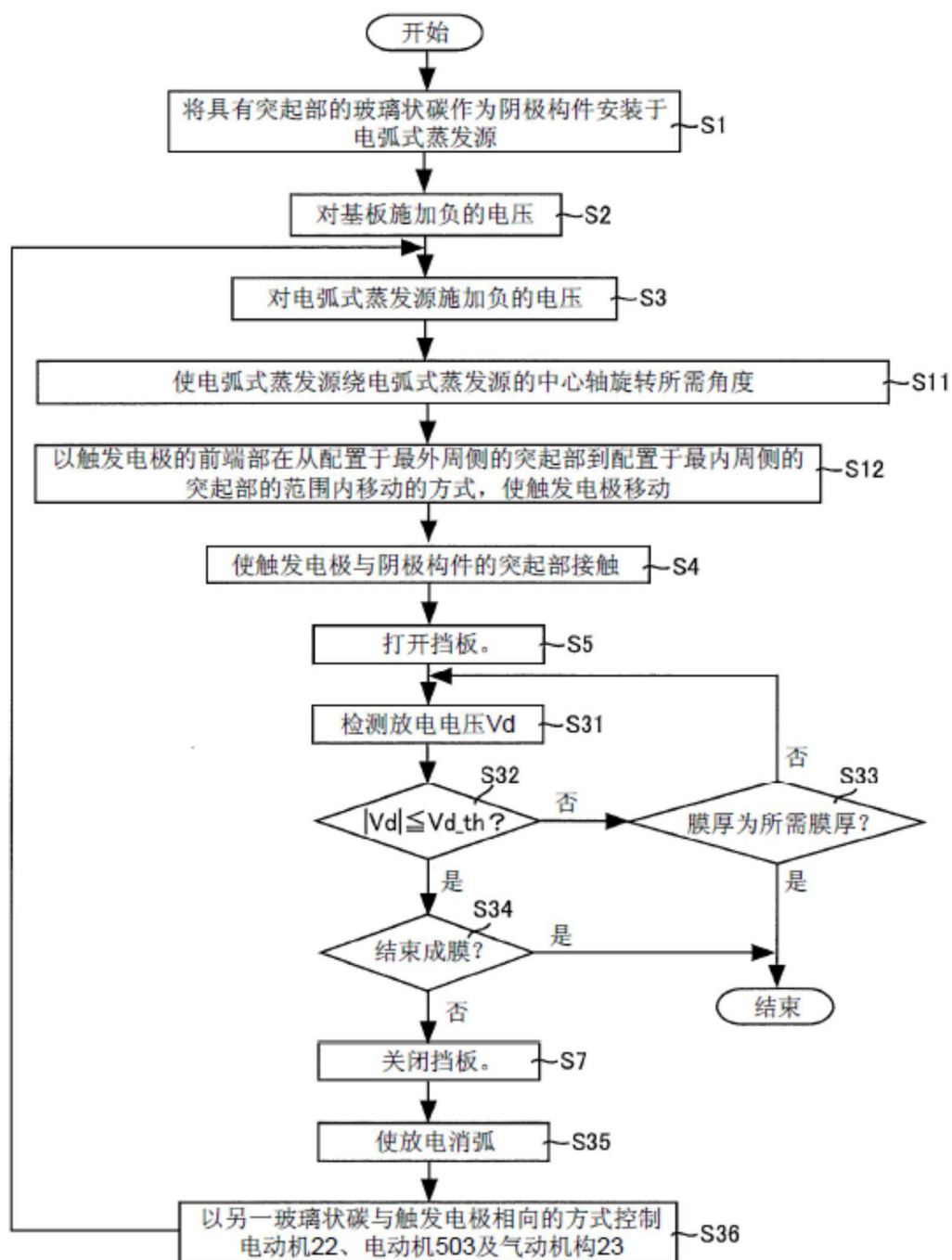


图 50

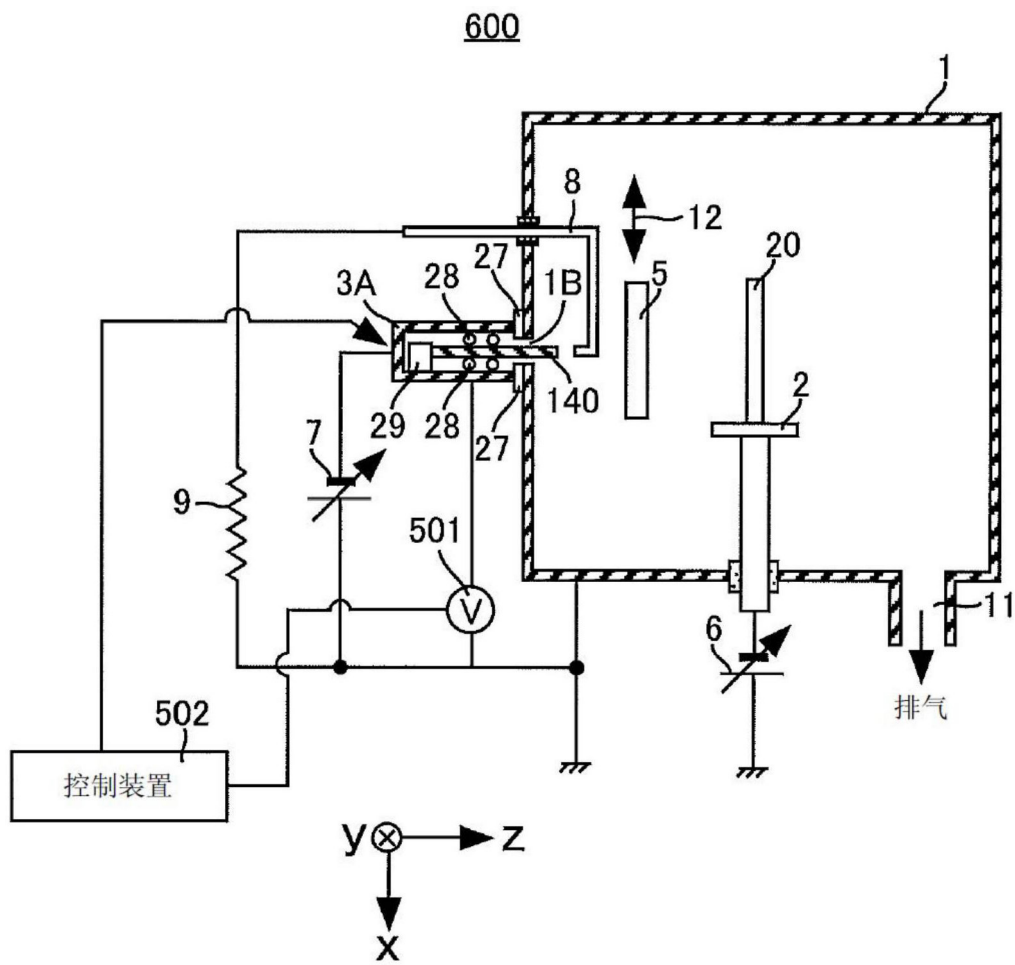


图 51

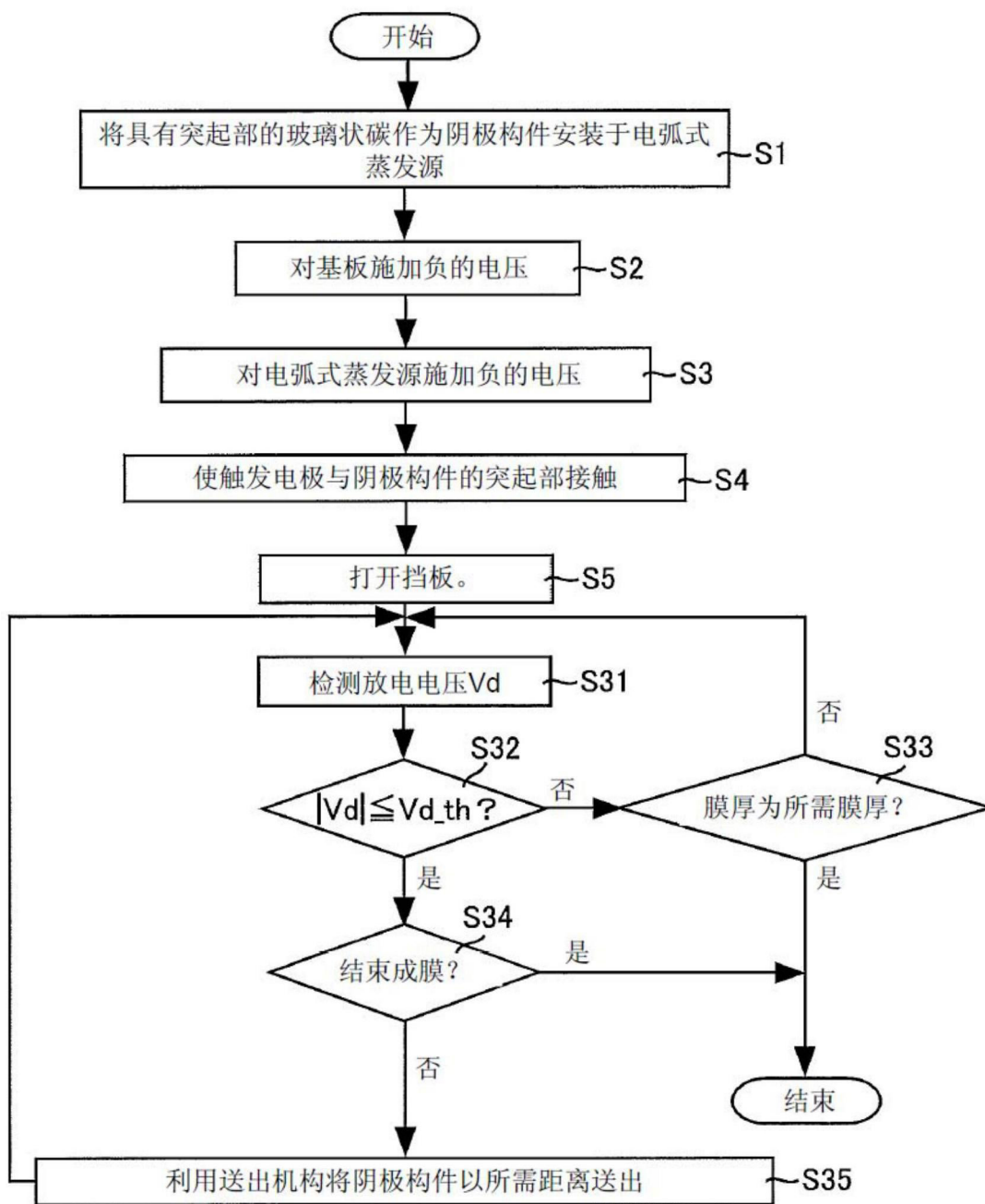


图 52



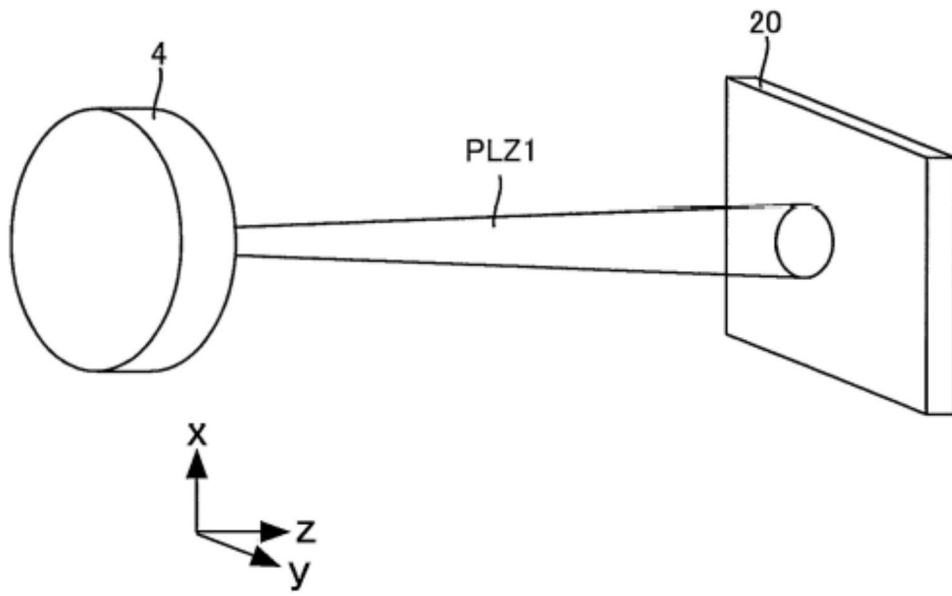


图 55(a)

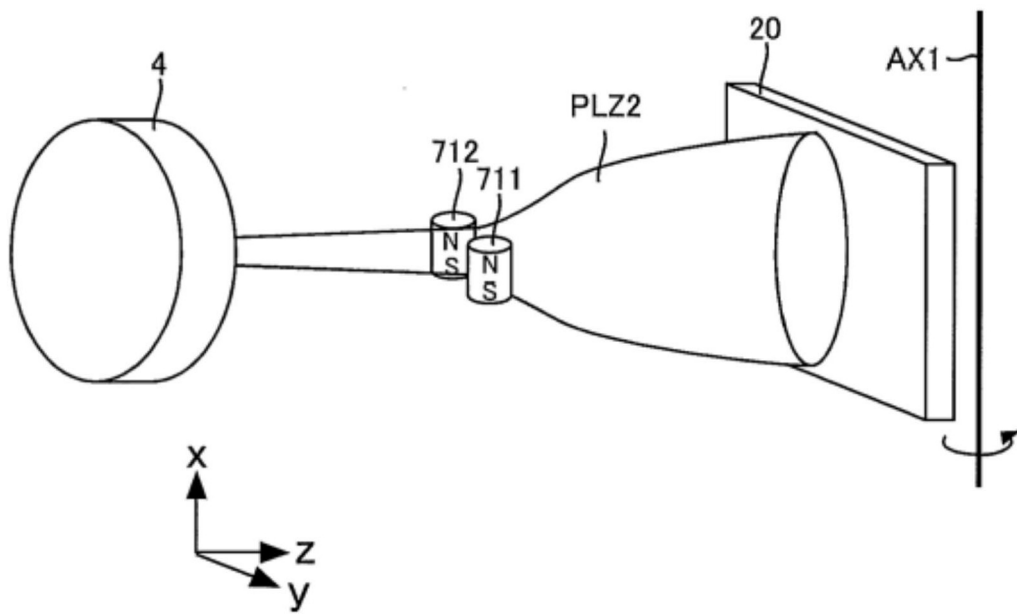


图 55(b)

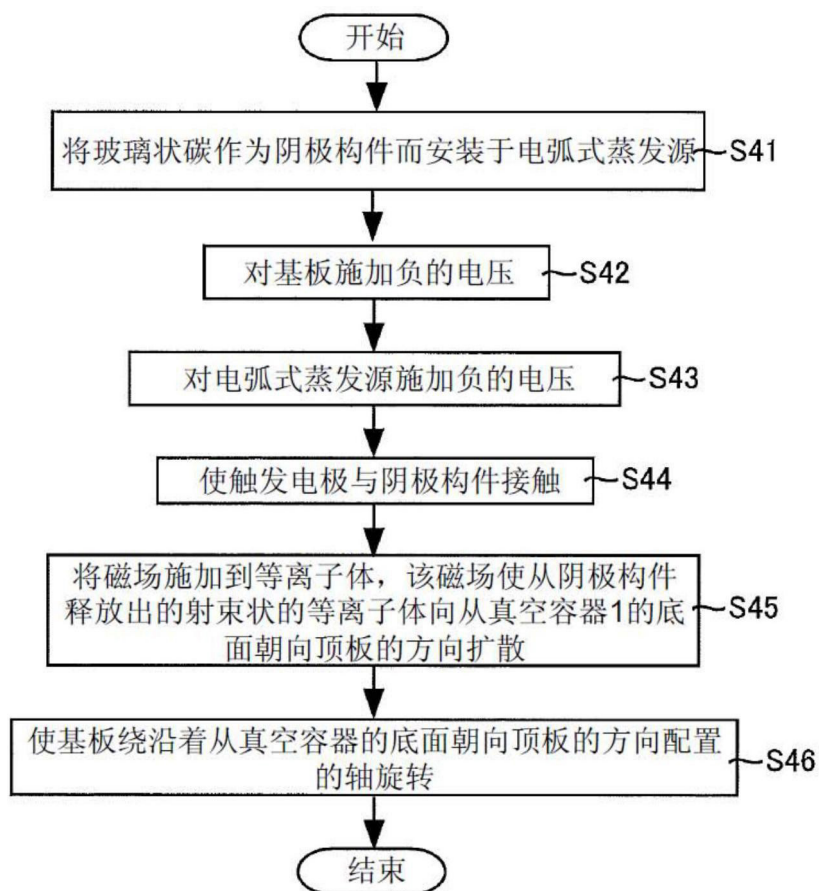


图 56



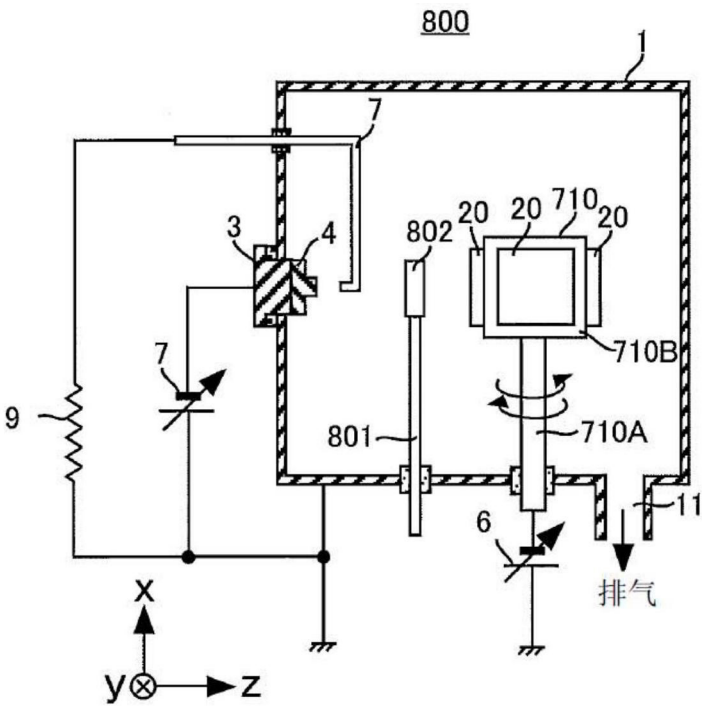


图 57

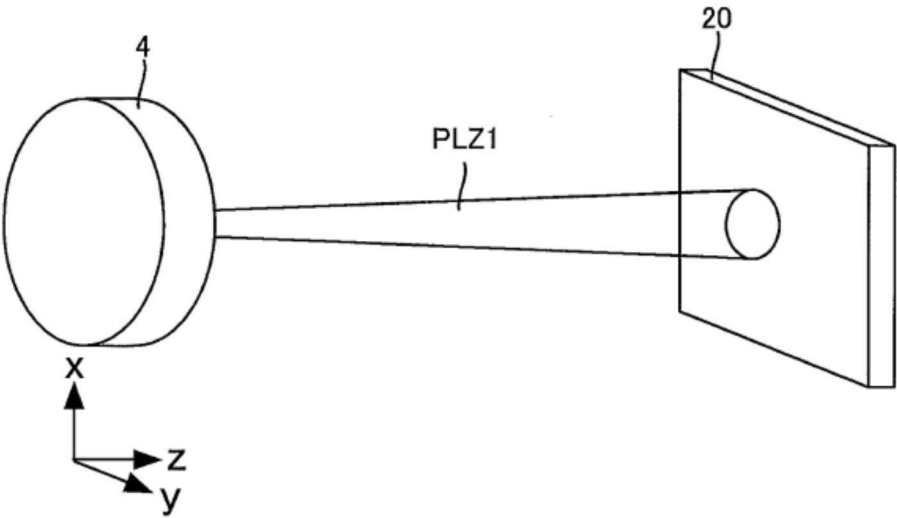


图 58(a)

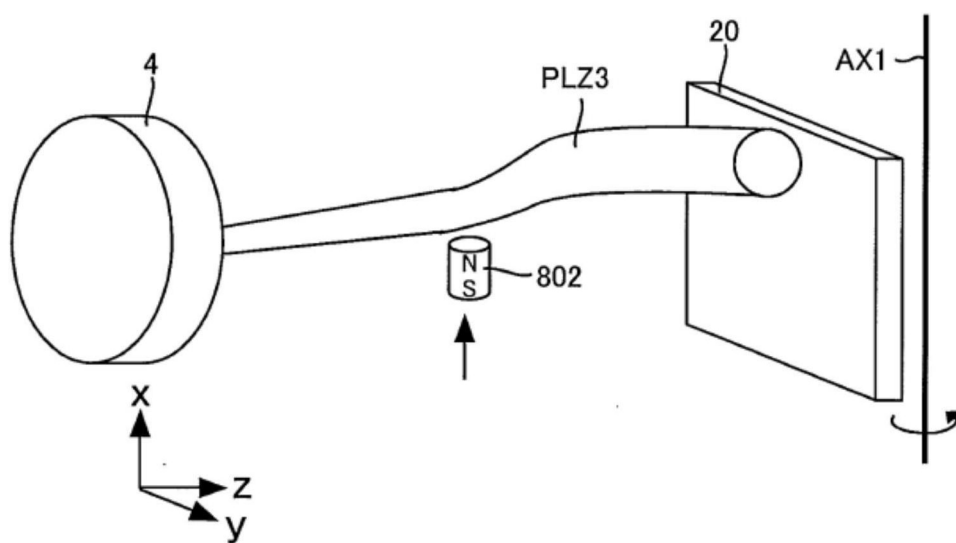


图 58(b)

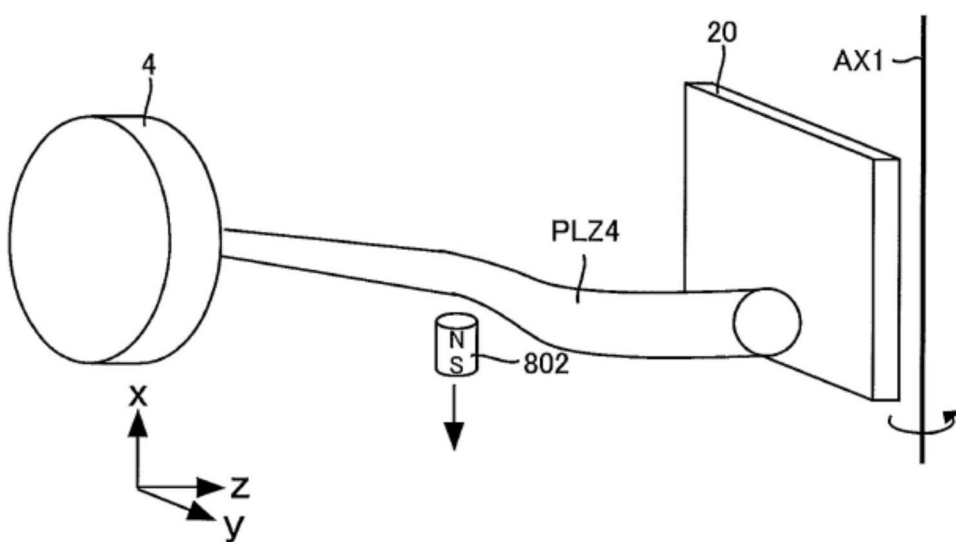


图 58(c)

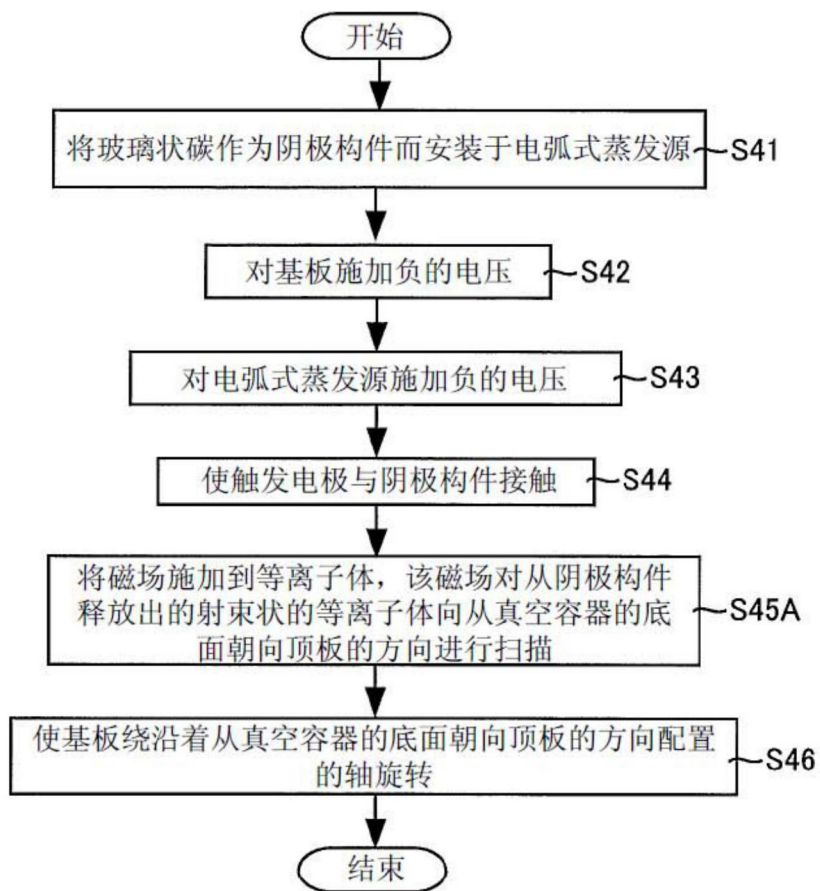


图 59



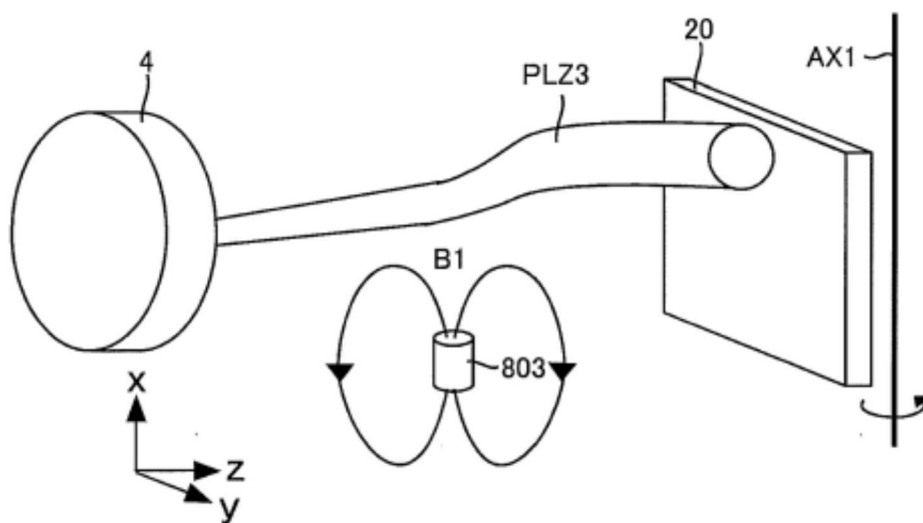


图 61(b)

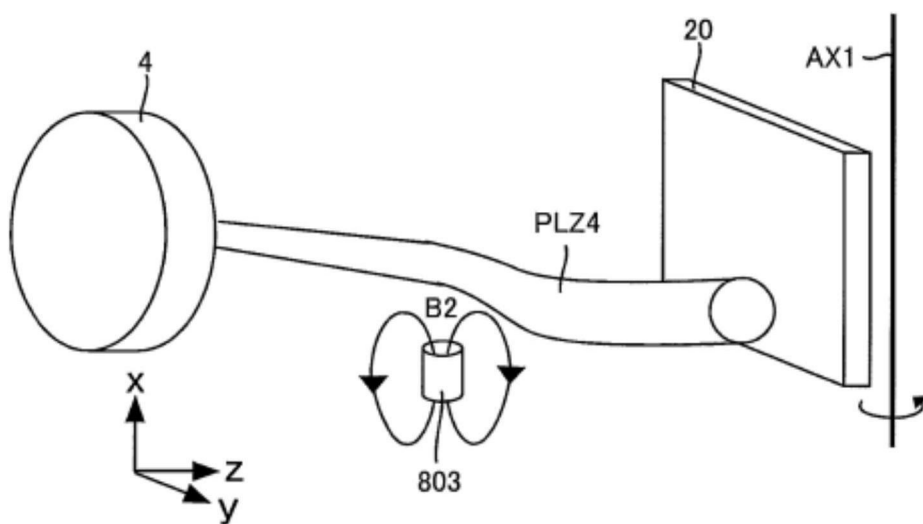


图 61(c)

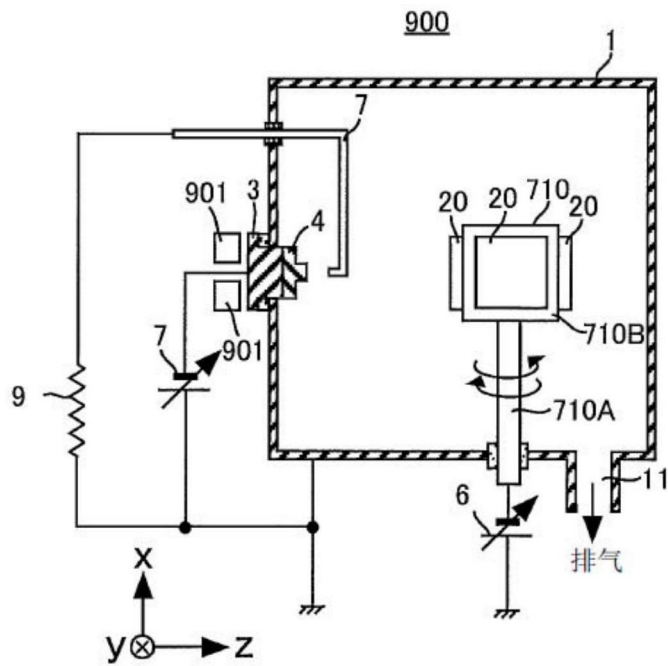


图 62

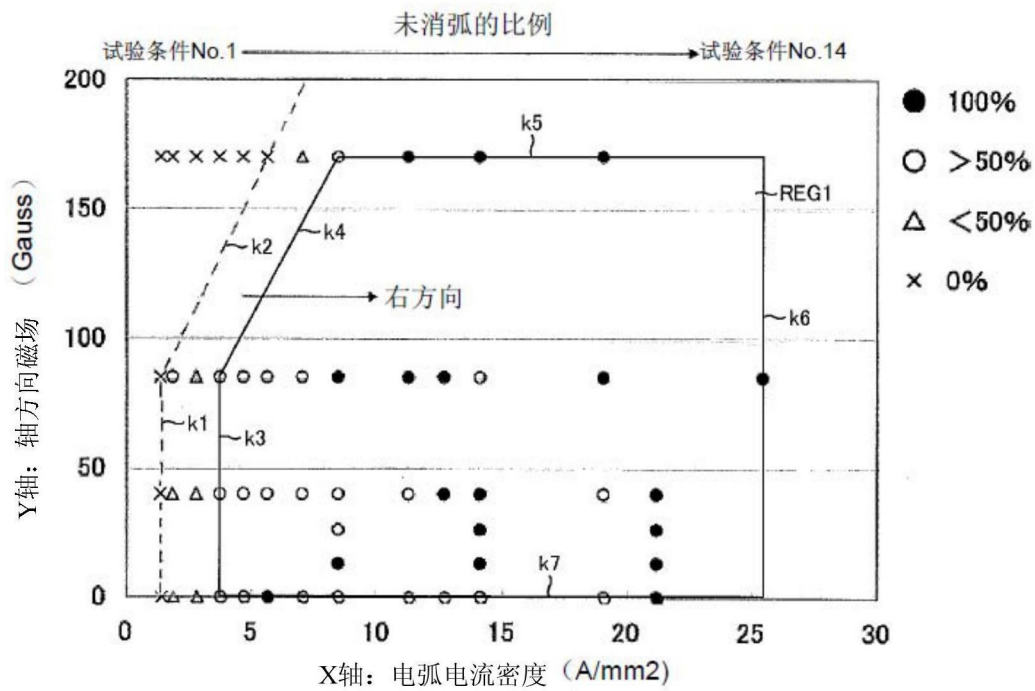


图 63

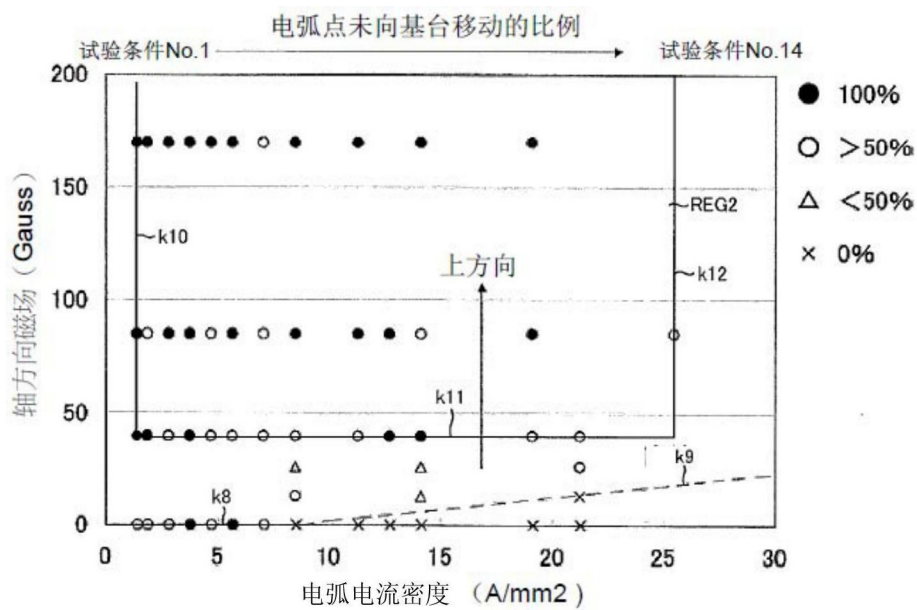
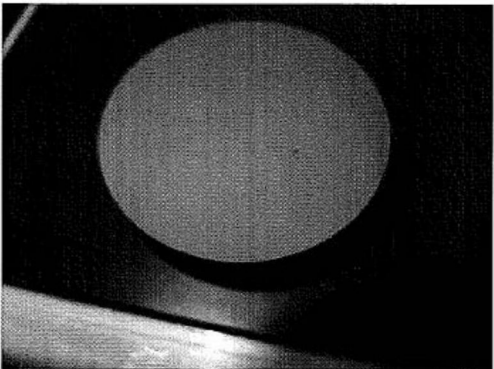
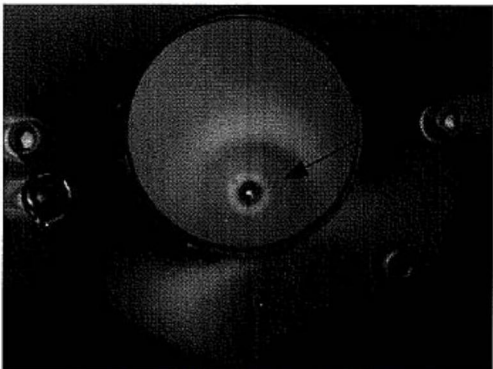


图 64



φ64×t9 使用前的平板状玻璃状碳



第一次后的φ64×t9平板状玻璃状碳

图 65

图 66



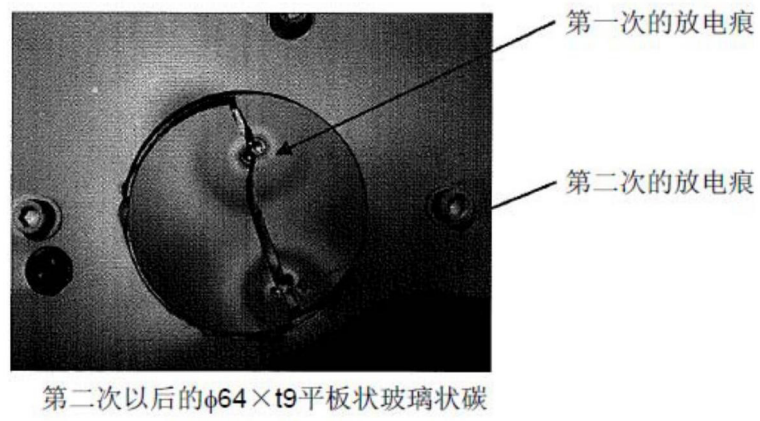


图 67

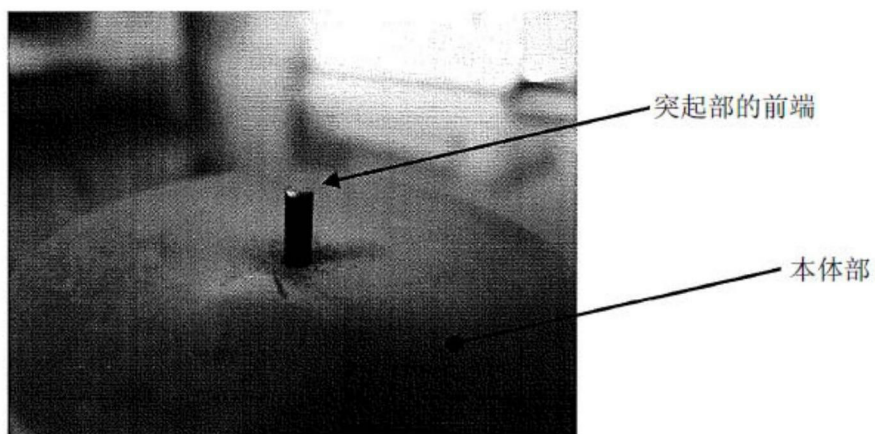


图 68



图 69

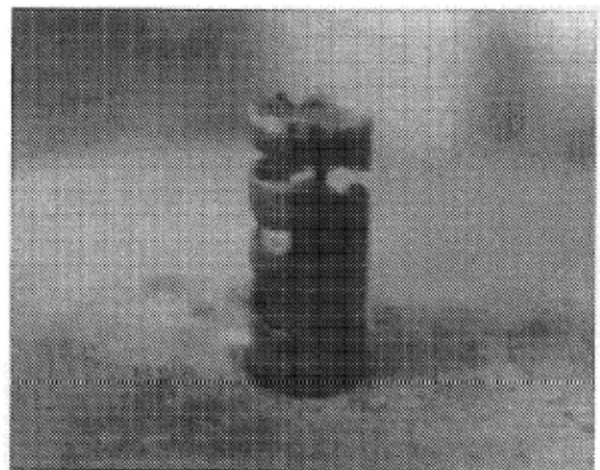


图 70



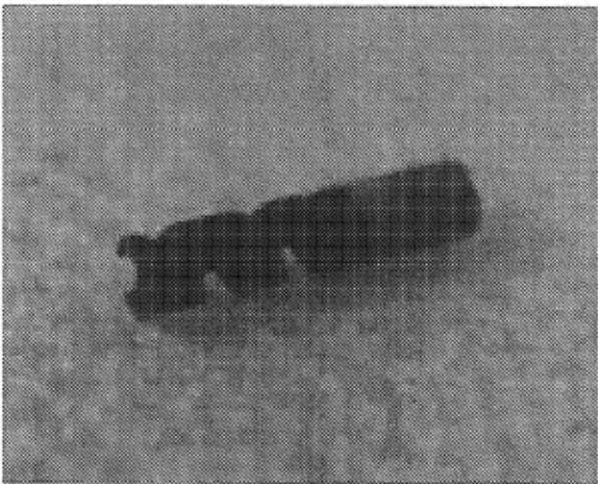


图 71

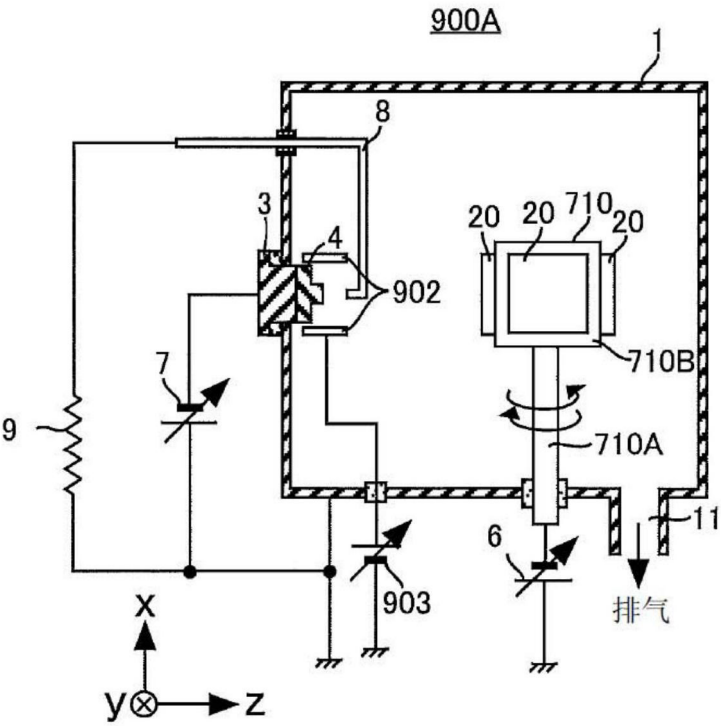


图 72

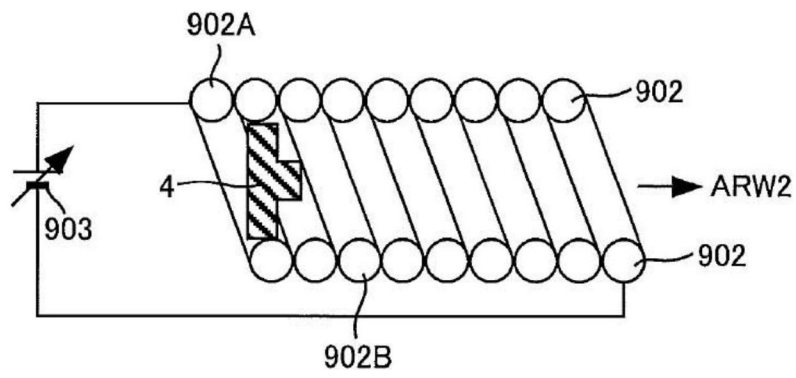


图 73

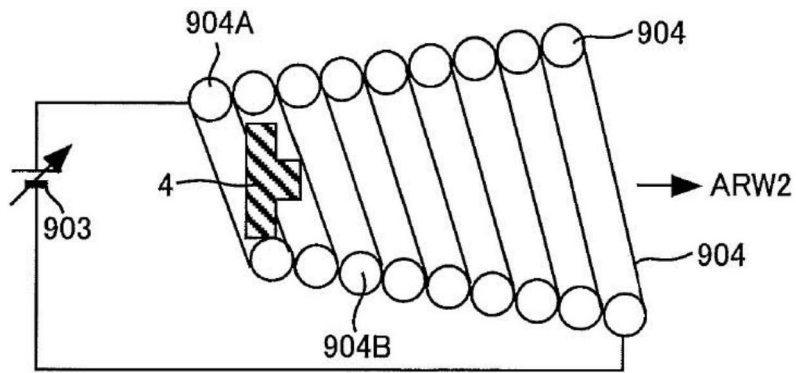


图 74

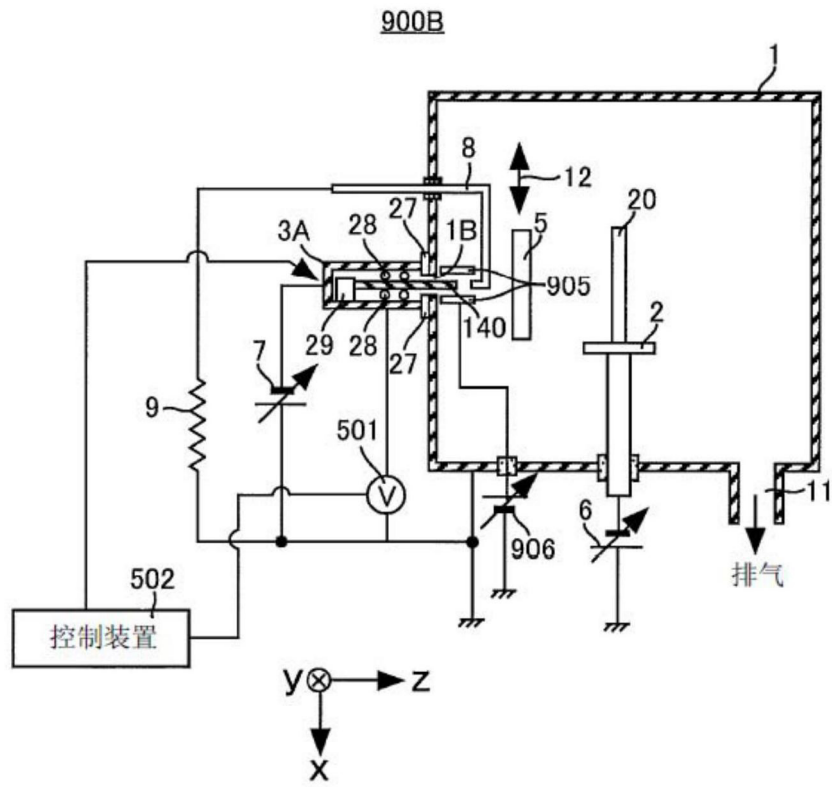


图 75

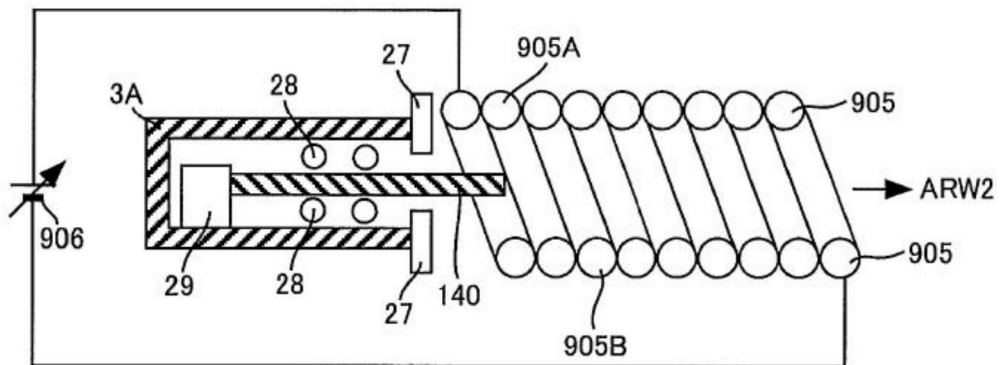


图 76

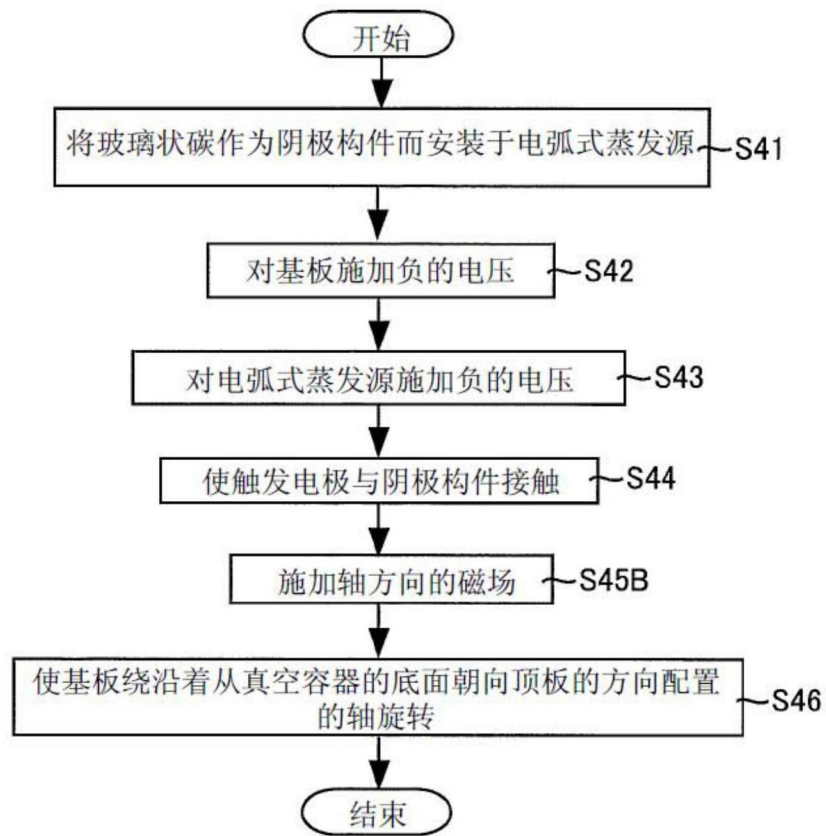


图 77



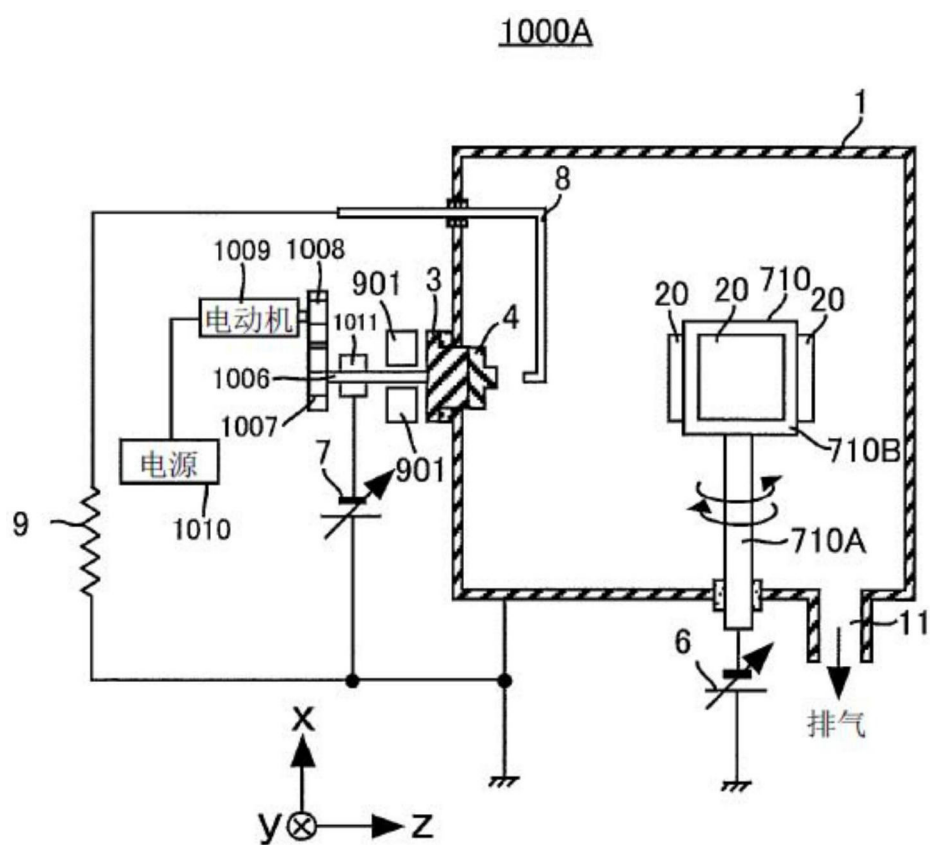


图 80

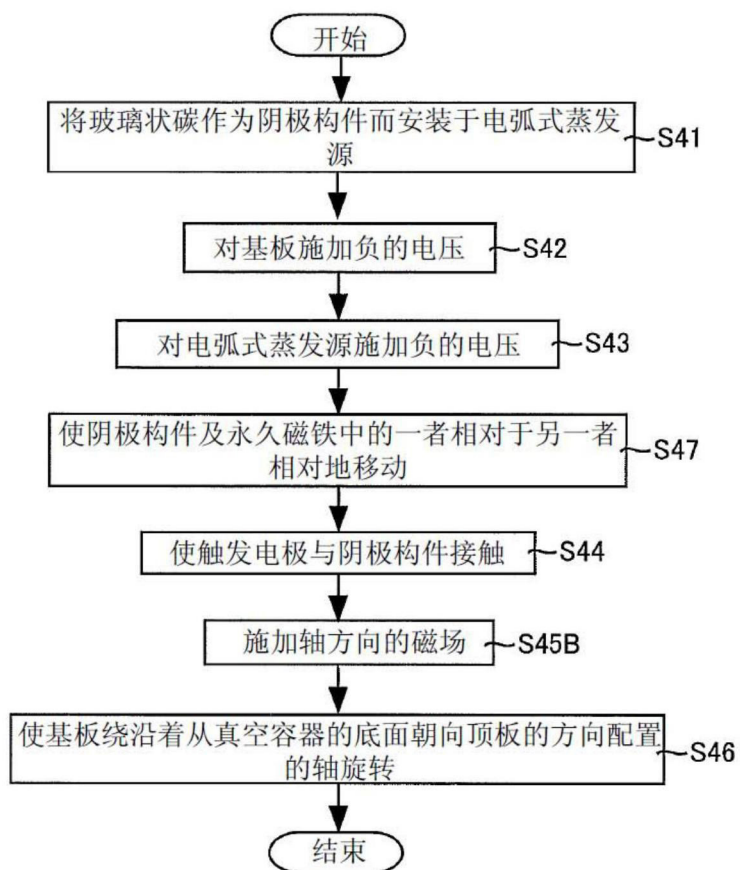


图 81

1100

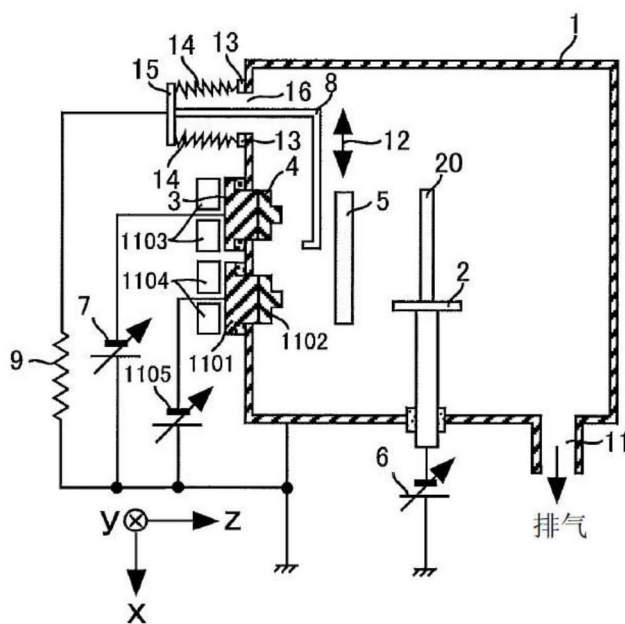


图 82

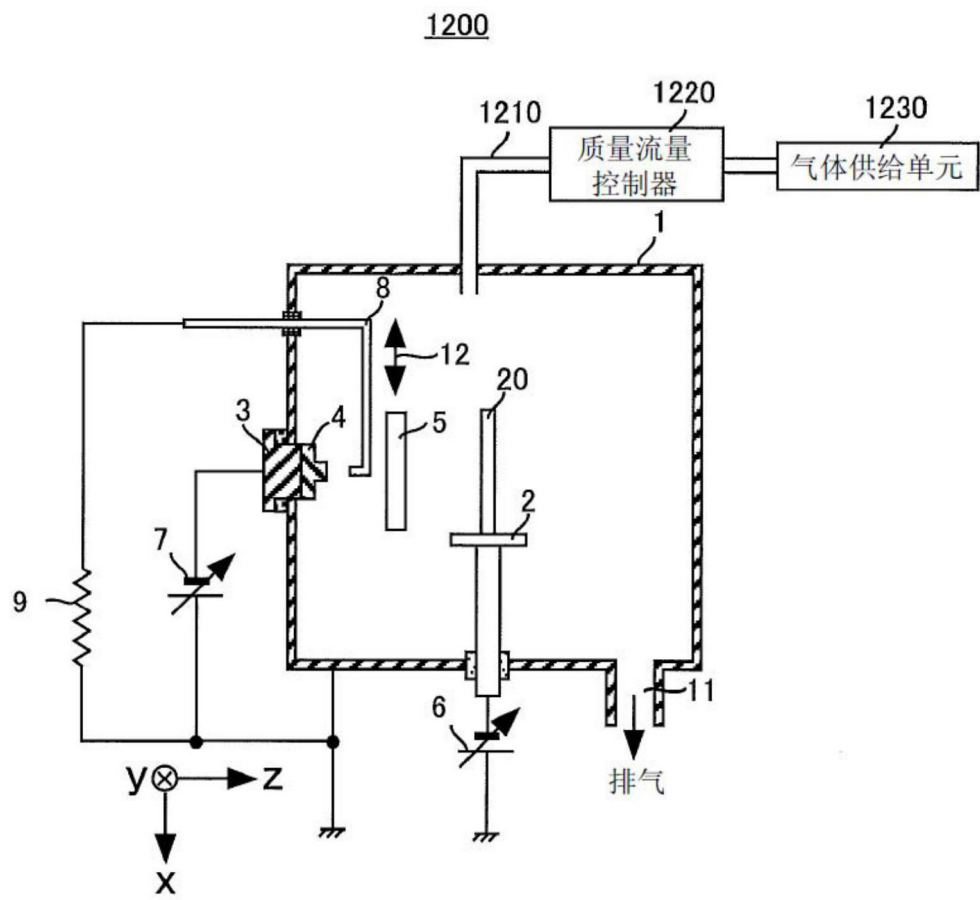


图 83



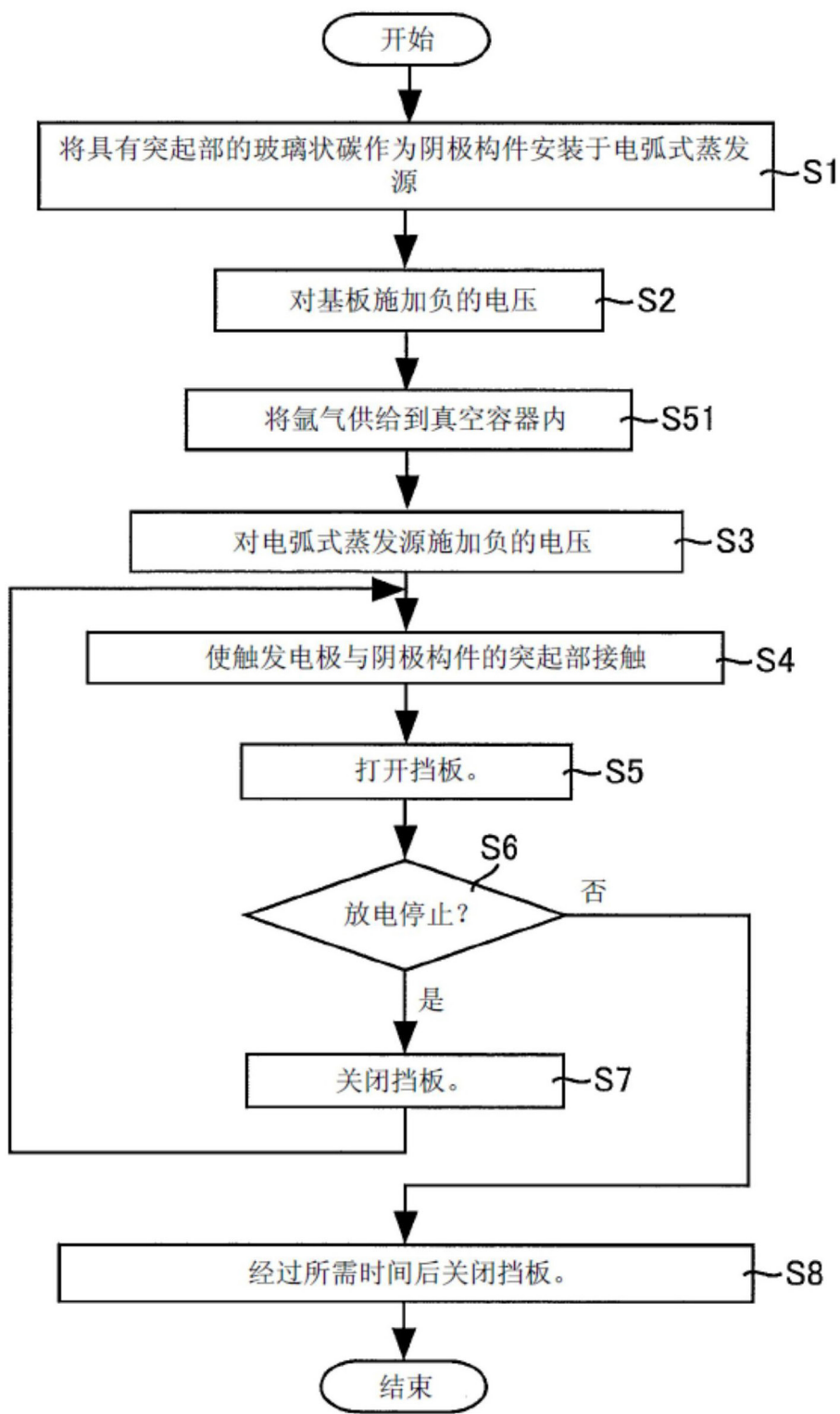


图 84



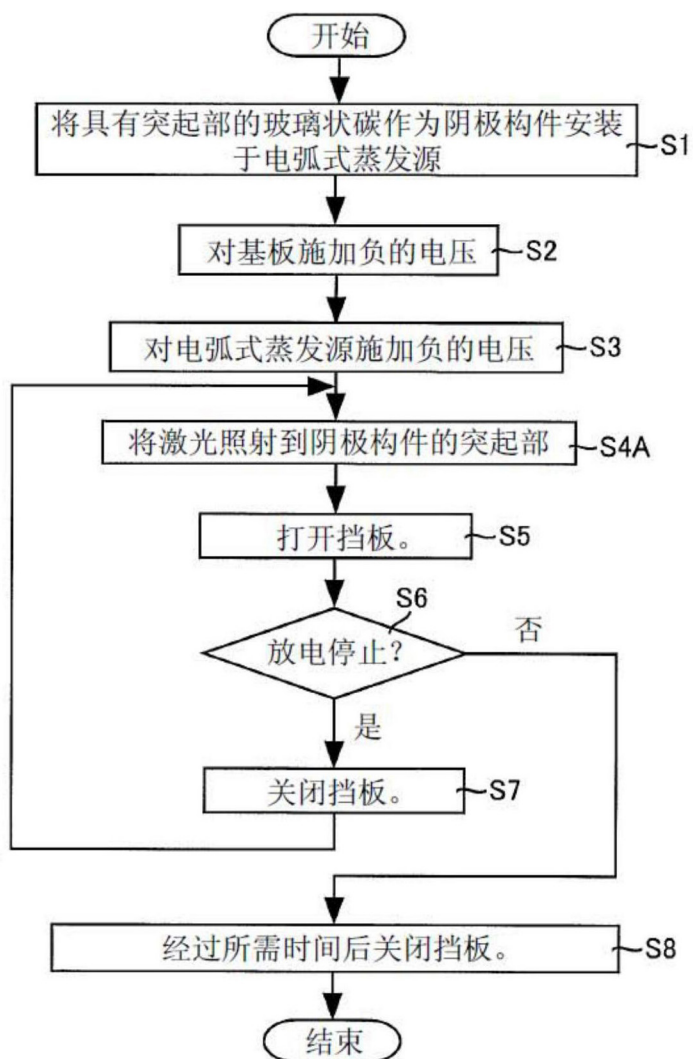


图 86

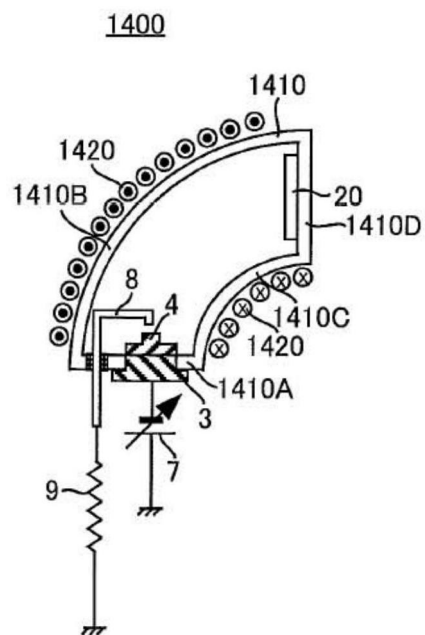


图 87

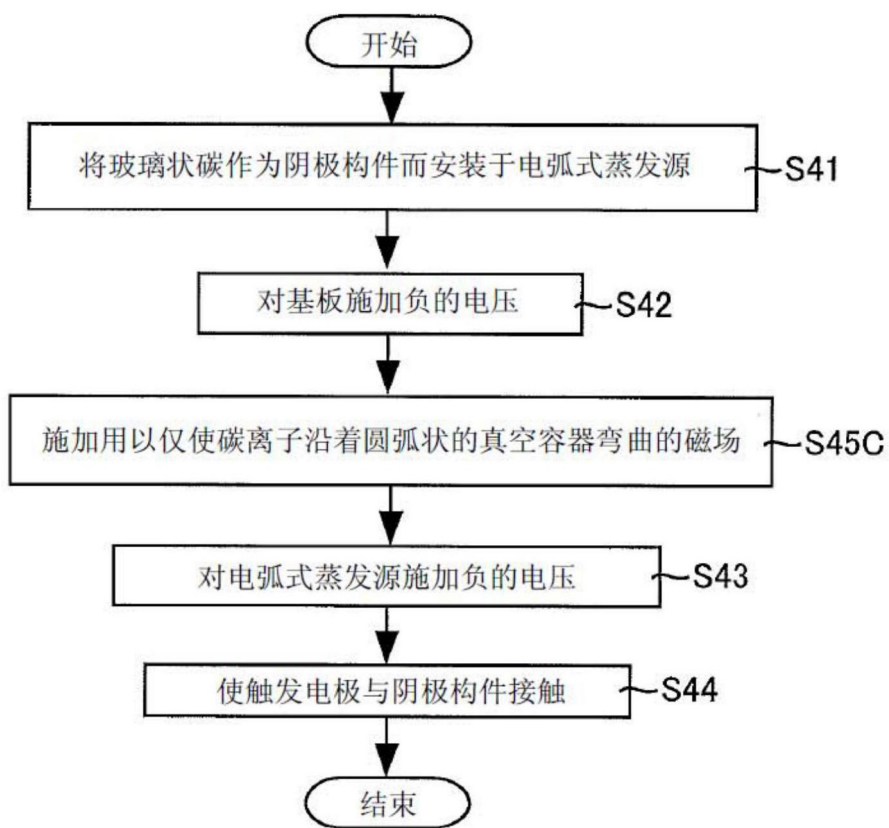


图 88

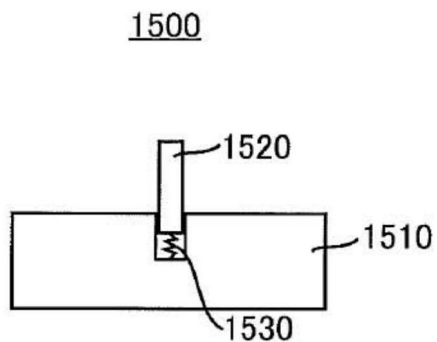


图 89(a)

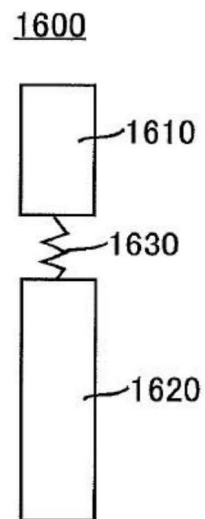


图 89(b)

## Abstract

A plasma device (10), provided with: a vacuum container (1), an arc-type evaporation source (3), a negative electrode member (4), a shutter (5), a power source (7), and a trigger electrode (8). The arc-type evaporation source (3) is fixed to the side wall of the vacuum container (1) so as to face the substrate (20). The negative electrode member (4) is made from vitreous carbon having a protrusion and is mounted on the arc-type evaporation source (3). The power source (7) applies a negative voltage to the arc-type evaporation source (3). The trigger electrode (8) comes into contact with or separates away from the protrusion on the negative electrode member (4). A negative voltage is applied to the arc-type evaporation source (3), the trigger electrode (8) is brought into contact with the protrusion on the negative electrode member (4), an arc discharge is generated, the shutter (5) is opened, and a carbon thin film is formed on the substrate (20).

10

