

【公報種別】 特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】 第 7 部門第 1 区分
 【発行日】 平成 19 年 11 月 8 日 (2007.11.8)

【公開番号】 特開 2007-157535 (P2007-157535A)
 【公開日】 平成 19 年 6 月 21 日 (2007.6.21)
 【年通号数】 公開・登録公報 2007-023
 【出願番号】 特願 2005-352121 (P2005-352121)
 【国際特許分類】

H 0 5 H 1/24 (2006.01)

H 0 5 H 1/46 (2006.01)

【F I】

H 0 5 H 1/24

H 0 5 H 1/46 B

【手続補正書】

【提出日】 平成 19 年 9 月 20 日 (2007.9.20)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】 特許請求の範囲

【補正対象項目名】 全文

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ励起用のマイクロ波電力を供給するマイクロ波供給手段と、

中心導体および前記導体を囲む誘電体管からなり、前記導体の一端に前記マイクロ波供給手段からのマイクロ波電力の供給を受ける動作状態において、前記誘電体管の外周に高導電性を示すプラズマが形成され、このプラズマがマイクロ波伝送路の外導体を形成するプラズマ発生手段と、

前記プラズマ発生手段の中心導体の他端に接続され、前記プラズマ発生手段により形成されるマイクロ波伝送路を通過したマイクロ波電力を終端するためのマイクロ波終端手段と、

前記プラズマ発生手段の誘電体管の周囲にプラズマ原料ガスを供給するプラズマ原料ガス供給手段と、

から構成した進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項 2】

前記マイクロ波供給手段と前記プラズマ発生手段、前記プラズマ発生手段と前記マイクロ波終端手段との結合部は、前記プラズマ発生手段の中心導体を電氣的または機械的に一体に接続したものであり、結合部は動作状態におけるインピーダンス整合が成立する構造である請求項 1 記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項 3】

前記マイクロ波供給手段と前記マイクロ波終端手段は導波管路線をもち、前記プラズマ発生手段の中心導体の両端は前記各導波管内でアンテナ結合している請求項 1 記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項 4】

前記プラズマ発生手段の中心導体および誘電体管は、前記プラズマ原料ガス供給手段によりプラズマ原料ガスが導入される容器内の任意の平面内に渦巻き状に配置され、面状のプラズマを発生するように構成されている請求項 1 記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項 5】

前記プラズマ発生手段の中心導体および誘電体管は、前記プラズマ原料ガス供給手段によりプラズマ原料ガスが導入される容器内の任意の平面内で複数回曲げ折り戻されて配置され、面状のプラズマを発生するように構成されている請求項1記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項6】

プラズマ励起用のマイクロ波電力を供給するマイクロ波供給手段と、

中心導体および前記導体を囲む誘電体管からなり、前記導体の一端に前記マイクロ波供給手段からのマイクロ波電力の供給を受ける動作状態において、前記誘電体管の外周に高導電性を示すプラズマが形成され、このプラズマがマイクロ波伝送路の外導体を形成する第1のプラズマ発生手段と、

前記第1のプラズマ発生手段と間隔を保って位置され、中心導体および前記導体を囲む誘電体管からなり、前記導体の一端に前記マイクロ波供給手段からのマイクロ波電力の供給を受ける動作状態において、前記誘電体管の外周に高導電性を示すプラズマが形成され、このプラズマがマイクロ波伝送路の外導体を形成する第2のプラズマ発生手段と、

前記各プラズマ発生手段の中心導体の他端に接続され、前記各プラズマ発生手段により形成されるマイクロ波伝送路を通過したマイクロ波電力を終端するためのマイクロ波終端手段と、

前記各プラズマ発生手段の誘電体管の周囲にプラズマ原料ガスを供給するプラズマ原料ガス供給手段と、

から構成した進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項7】

前記進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、前記第1および第2のプラズマ発生手段に対してさらに他のプラズマ発生手段が併設され、マイクロ波供給手段とマイクロ波終端手段とを共用している請求項6記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項8】

前記マイクロ波供給手段と前記マイクロ波終端手段は、前記各マイクロ波発生手段との結合部を導波管で構成し、各結合部の結合度を調整可能にした請求項6または7記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項9】

前記マイクロ波供給手段と前記マイクロ波終端手段は、前記各マイクロ波発生手段との結合部を同軸分配器で構成した請求項6または7記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項10】

請求項1、6または7記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置において、

前記マイクロ波発生手段の一方端に第1のマイクロ波源と第1の負荷が第1のサーキュレータを介して接続されており、

前記マイクロ波発生手段の他方端に第2のマイクロ波源と第2の負荷が第2のサーキュレータを介して接続されており、

前記マイクロ波発生手段は、対向する進行波によりマイクロ波プラズマを発生させられる進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【請求項11】

請求項1、6または7記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置において、

前記プラズマ発生手段の誘電体管の表面には、プラズマ発生前の誘電体管の表面に電界を局部的に集中するための山形の突起部を設けて構成した進行波形マイクロ波プラズマ発生装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

前記目的を達成するために、本発明による請求項1記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、プラズマ励起用のマイクロ波電力を供給するマイクロ波供給手段と、

中心導体および前記導体を囲む誘電体管からなり、前記導体の一端に前記マイクロ波供給手段からのマイクロ波電力の供給を受ける動作状態において、前記誘電体管の外周に高導電性を示すプラズマが形成され、このプラズマがマイクロ波伝送路の外導体を形成するプラズマ発生手段と、

前記プラズマ発生手段の中心導体の他端に接続され、前記プラズマ発生手段により形成されるマイクロ波伝送路を通過したマイクロ波電力を終端するためのマイクロ波終端手段と、

前記プラズマ発生手段の誘電体管の周囲にプラズマ原料ガスを供給するプラズマ原料ガス供給手段と、から構成されている。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0010

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0010】

本発明による請求項4記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、請求項1記載の装置において、前記プラズマ発生手段の中心導体および誘電体管は、前記プラズマ原料ガス供給手段によりプラズマ原料ガスが導入される容器内の任意の平面内に渦巻き状に配置され、面状のプラズマを発生するように構成されている。

本発明による請求項5記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、請求項1記載の装置において、前記プラズマ発生手段の中心導体および誘電体管は、前記プラズマ原料ガス供給手段によりプラズマ原料ガスが導入される容器内の任意の平面内で複数回曲げ折り戻されて配置され、面状のプラズマを発生するように構成されている。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0011】

本発明による請求項6記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、プラズマ励起用のマイクロ波電力を供給するマイクロ波供給手段と、

中心導体および前記導体を囲む誘電体管からなり、前記導体の一端に前記マイクロ波供給手段からのマイクロ波電力の供給を受ける動作状態において、前記誘電体管の外周に高導電性を示すプラズマが形成され、このプラズマがマイクロ波伝送路の外導体を形成する第1のプラズマ発生手段と、

前記第1のプラズマ発生手段と間隔を保って位置され、中心導体および前記導体を囲む誘電体管からなり、前記導体の一端に前記マイクロ波供給手段からのマイクロ波電力の供給を受ける動作状態において、前記誘電体管の外周に高導電性を示すプラズマが形成され、このプラズマがマイクロ波伝送路の外導体を形成する第2のプラズマ発生手段と、

前記各プラズマ発生手段の中心導体の他端に接続され、前記各プラズマ発生手段により形成されるマイクロ波伝送路を通過したマイクロ波電力を終端するためのマイクロ波終端手段と、

前記各プラズマ発生手段の誘電体管の周囲にプラズマ原料ガスを供給するプラズマ原料ガス供給手段と、から構成されている。

本発明による請求項7記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、前記請求項6の前記第1および第2のプラズマ発生手段に対してさらに他のプラズマ発生手段が併設され、マイクロ波供給手段とマイクロ波終端手段とを共用するように構成した

ものである。

本発明による請求項 8 記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、請求項 6 または 7 記載の装置において、前記マイクロ波供給手段と前記マイクロ波終端手段は、前記各マイクロ波発生手段との結合部を導波管で構成し、各結合部の結合度を調整可能に構成したものである。

本発明による請求項 9 記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、請求項 6 または 7 記載の装置において、前記マイクロ波供給手段と前記マイクロ波終端手段は、前記各マイクロ波発生手段との結合部を同軸分配器で構成されている。

本発明による請求項 10 記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、請求項 1, 6 または 7 記載の装置において、前記マイクロ波発生手段の一方端に第 1 のマイクロ波源と第 1 の負荷が第 1 のサーキュレータを介して接続されており、

前記マイクロ波発生手段の他方端に第 2 のマイクロ波源と第 2 の負荷が第 2 のサーキュレータを介して接続されており、

前記マイクロ波発生手段は、対向する進行波によりマイクロ波プラズマを発生させられるように構成されている。

本発明による請求項 11 記載の進行波形マイクロ波プラズマ発生装置は、請求項 1, 6 または 7 記載の装置において、前記プラズマ発生手段の誘電体管の表面には、プラズマ発生前の誘電体管の表面に電界を局部的に集中するための山形の突起部を設けて構成されている。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0017】

このプラズマ発生手段 2 における励起用マイクロ波がプラズマガスに電磁エネルギーを効率よく供給するために、前記誘電体管 2 C の表面上を伝播するマイクロ波は特に進行波を使用する。進行波を伝播するためには、必要条件として、マイクロ波供給手段 1 の同軸ケーブルとプラズマ発生手段 2 とのインピーダンスの整合性が成立することである。

本発明のプラズマ発生装置はこの点を配慮して構成している。

マイクロ波供給手段 1 の同軸ケーブルの特性インピーダンス Z_0 は、マイクロ波供給手段の中心導体 1 A の半径が r_1 、テフロン（登録商標）の誘電体で構成するマイクロ波供給手段の同軸誘電体 1 B の内径と外径が r_1 、 r_2 であるとし、次式であらわされる。

$$Z_0 = (\mu_0 / \epsilon_1)^{1/2} \cdot \ln(r_2 / r_1)$$

一方前記プラズマ発生手段 2 の特性インピーダンス Z は、プラズマ発生手段の中心導体 2 D の半径が R_1 、プラズマ発生手段の誘電体管 2 C の外径が R_2 、内径が R_1 、誘電率が ϵ_2 であるとして、近似的に次式で表される。

$$Z = (\mu_0 / \epsilon_2)^{1/2} \cdot \ln(R_2 / R_1)$$

前述したように、前記プラズマ発生手段の中心導体 2 D の半径 R_1 、プラズマ発生手段の誘電体管 2 C の外径 R_2 、前記マイクロ波供給手段の同軸誘電体 1 B の内径 r_1 と外径 r_2 のそれぞれの値を最適に設定することにより、前記プラズマ発生手段 2 の特性インピーダンス Z が前記マイクロ波供給手段 1 の同軸ケーブルの特性インピーダンス Z_0 に等しくすることができる。

すなわち

$$Z = Z_0$$

この条件が満足すれば、プラズマ発生手段 2 では反射波はなく、進行波のみが発生し、こ

の電磁界エネルギーがガスのプラズマ化を促進する。当然定在波が発生しないので、プラズマ発生手段2の一部に電界強度が強くなることはないので、プラズマガスの密度は広い面積で一様になりやすい。

なお、ガスのプラズマ化が促進した状態では前記プラズマ発生手段の誘電体管2Cの外壁近傍において導電性のよいプラズマ化ガスが覆うので、前記プラズマ化ガスはちょうど同軸ケーブルの外側の導体と同じ働きをする。すなわちマイクロ波伝送路の外導体を形成する。

よってマイクロ波の電力がプラズマ発生手段2に効率よく供給される。このことから、前述した回路の特性インピーダンスの整合性を図る場合、前記プラズマ発生手段2の特性インピーダンスZにプラズマ化ガスの導電性を加味して設定すればさらに電力効率がよいプラズマ発生装置が可能になる。

また整合性のよいことから、大電力を供給することが可能である。

前記発生手段の誘電体管2Cの外側面がガスと接触しているが、その一部のP点を拡大すると、図2に示すように誘電体管2Cを構成する石英管の表面は山形の形状に加工されている。この山形は石英管の円周上をリング状に加工されている。山の高さは約100ミクロン程度である。

進行波形マイクロ波が誘電体管2Cに伝播すると、この山形の部分でマイクロ波の電界が集中するので、ガスはこの部分でプラズマ化し、そして周囲にプラズマ化が伝達する。特に電源を投入時にプラズマ化が開始する時間の短縮やプラズマ化が点火しやすい利点を得られる。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0019】

まず図3Aに示すマイクロ波プラズマ発生手段の軸に直交する断面のXY平面（図3Bの右側の図を参照）におけるプラズマの密度分布を考える。

図3Bの左側の図は、プラズマ発生手段31で発生するプラズマ密度分布を示す。

$y = R_1$ の高さでX軸のゼロ点からXの位置を増加して、各位置におけるプラズマ密度を計測すると、図3Bの右側の図の $y = R_1$ をパラメータとするプラズマ密度分布になる。すなわち、プラズマ密度分布はX軸のゼロ点から増加し、プラズマ発生手段31の近傍で最高になり、プラズマ発生手段31から離れるにしたがい、再び減少する。

$y = 4R_1$ とプラズマ発生手段31から離れた高さで、X軸方向に移動した各点におけるプラズマ密度分布が図3Bに示すようにガスの拡散効果などが加わり、一様なプラズマ密度分布になることを示している。

当然Z軸方向の強度分布も一様になる。

よって一定の距離を離れた位置では広い面積でプラズマの密度分布が一様になる。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0022】

本発明による進行波形マイクロ波プラズマ発生装置の第2の実施形態は少なくとも一對のプラズマ発生手段を用いるものであり、各プラズマ発生手段の発生するプラズマが連携して大面積プラズマ発生領域を形成するものである。

図6は本発明による進行波形マイクロ波プラズマ発生装置の第2の実施形態を一般化したn本の例を示す。

プラズマ励起室60には、原料ガス供給手段630からプラズマ原料ガスが供給されてい

る。マイクロ波がマイクロ波源 610 から導波管の入力部 600 in に入力される。このときのマイクロ波のモードは TE_{01} モードである。前記導波管 600 の内部にはプラズマ発生手段が 61、62、63、64、65、66、6n に示すように、並列に配置されている。前記各プラズマ発生手段のアンテナ（たとえば 61C）は前記導波管 600 の壁面に配置されている。各アンテナの長さは入力部に近い方から奥に進むにしたがって順番に大きくなっている。これは導波管 600 の奥に進むにしたがって、マイクロ波の電力が減衰するので、その減衰量を補うために、アンテナの長さを変えることによって前記各プラズマ発生手段に入る電力を一定の大きさに保ち、プラズマの強度分布が一様になるように設計されている。前記各プラズマ発生手段の終端にもアンテナ（61D など）が配置されていて、余った電力は右側の導波管から外部に出力される。

前記各プラズマ発生手段の発生するマイクロ波のモードは TEM モードになる。このマイクロ波はプラズマ発生手段の中心軸に沿って伝播し、その波は、前述したように入力同軸と前記各プラズマ発生手段の特性インピーダンスを整合することにより、進行波になる。また前記各プラズマ発生手段に入力する電力を一様にするための微調整方法として、導波管 600 の側面に配置された各チューナ（601A から 60nA と 601B から 60nB）を調整する方法をとる。

このチューナの微調整方法により、入力電力の微調整ができる。すなわち前記各プラズマ発生手段に発生するプラズマの強度分布の一様化の精度をさらにあげることができる。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0030】

【図 1】本発明による進行波形マイクロ波プラズマ発生装置で単一のプラズマ発生手段を用いた第 1 の実施形態を示す略図である。

【図 2】前記実施形態のプラズマ発生手段とマイクロ波供給手段を同軸ケーブルとした場合の連結部分を説明するための断面図である。

【図 3A】本発明による前記単一のプラズマ発生手段を用いた進行波形マイクロ波プラズマ発生装置のマイクロ波供給手段を導波管とした場合のマイクロ波プラズマ発生手段の結合状態を説明するための略図である。

【図 3B】図 3A に示した実施例においてマイクロ波プラズマ発生手段の軸に直交する断面におけるプラズマの強度分布を示すグラフである。

【図 4】本発明による進行波形マイクロ波プラズマ発生装置で前記プラズマ発生手段の導体と誘電体管をプラズマ発生空間の一平面内において、らせん状に配置した変形例を示す略図である。

【図 5】本発明による進行波形マイクロ波プラズマ発生装置で前記プラズマ発生手段の導体と誘電体管をプラズマ発生空間の一平面内において、複数の平行部分とそれらを連結する曲げ戻し部分を配置した変形例を示す略図である。

【図 6】本発明による進行波形マイクロ波プラズマ発生装置の第 2 の実施形態をさらに一般化し 3 以上のプラズマ発生手段を用いる実施例を示す略図である。

【図 7】図 6 に示した実施形態を双方向性励起に変形した場合の回路図である。

【図 8A】前記第 2 の実施形態（および一般化した実施例）においてプラズマの強度分布を説明するための配置と座標系の関係を示す略図である。

【図 8B】図 8A に示した実施形態におけるプラズマ密度を示す図である。

【図 9】前記第 2 の実施形態（および一般化した実施例）において、同軸分配器を用いて複数のプラズマ発生手段を結合する変形例を説明するための略図である。