

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7676424号  
(P7676424)

(45)発行日 令和7年5月14日(2025.5.14)

(24)登録日 令和7年5月2日(2025.5.2)

(51)国際特許分類

F I

H 0 5 H 1/46 (2006.01)

H 0 5 H 1/46

L

請求項の数 12 (全47頁)

|                   |                               |          |                                                                      |
|-------------------|-------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------|
| (21)出願番号          | 特願2022-549548(P2022-549548)   | (73)特許権者 | 517396331                                                            |
| (86)(22)出願日       | 令和3年2月19日(2021.2.19)          |          | エンツーコア テクノロジー, インコーポレーテッド                                            |
| (65)公表番号          | 特表2023-515445(P2023-515445 A) |          | 大韓民国 3 4 1 2 7 テジョン ユソング ジュクドンーロ、7 7 (ジュクドン)                         |
| (43)公表日           | 令和5年4月13日(2023.4.13)          |          | (Jukdong) 7 7 Jukdong-ro, Yuseong-gu Daejeon 34127 Republic of Korea |
| (86)国際出願番号        | PCT/KR2021/002139             |          |                                                                      |
| (87)国際公開番号        | WO2021/167408                 |          |                                                                      |
| (87)国際公開日         | 令和3年8月26日(2021.8.26)          |          |                                                                      |
| 審査請求日             | 令和5年12月4日(2023.12.4)          |          |                                                                      |
| (31)優先権主張番号       | 10-2020-0020705               | (74)代理人  | 110002262                                                            |
| (32)優先日           | 令和2年2月19日(2020.2.19)          |          | TRY国際弁理士法人                                                           |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 韓国(KR)                        | (72)発明者  | オム セフン                                                               |
| (31)優先権主張番号       | 10-2020-0020704               |          | 大韓民国 1 8 4 4 5 ギョンギード ファソンーシ ドンタンジュンアンーロ 2                           |
| (32)優先日           | 令和2年2月19日(2020.2.19)          |          | 最終頁に続く                                                               |
|                   | 最終頁に続く                        |          |                                                                      |

(54)【発明の名称】 アンテナ構造体およびそれを用いたプラズマ発生装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマ発生装置であって、

プラズマが誘導される空間を提供するチャンバーと、

R F電力を受信することによって前記チャンバーにプラズマを誘導し、前記チャンバーの外壁を囲むように配置されたアンテナ構造体と、を備え、

前記アンテナ構造体において、

前記チャンバーの仮想の中心軸に垂直な第1平面上で前記チャンバーの前記仮想の中心軸を基準に第1曲率半径を有するように配置された第1アンテナと、

前記第1平面上で前記チャンバーの前記仮想の中心軸を基準に第2曲率半径を有するように配置された第2アンテナと、

第1ターン間キャパシタと、

前記チャンバーの前記仮想の中心軸に垂直な前記第1平面と異なる第2平面上で前記チャンバーの前記仮想の中心軸を基準に前記第1曲率半径を有するように配置された第3アンテナと、

前記第2平面上で前記チャンバーの前記仮想の中心軸を基準に前記第2曲率半径を有するように配置された第4アンテナと、

第2ターン間キャパシタと、

層間キャパシタと、を備え、

前記第1アンテナは、前記第1アンテナが、前記チャンバーを囲むように配置され前記

チャンバーの前記仮想の中心軸から第1距離だけ離間した第1ターンを形成するように、前記第1曲率半径を有する第1アンテナセグメントと、前記第1曲率半径を有する第2アンテナセグメントとを含み、

前記第2曲率半径は前記第1曲率半径よりも大きく、

前記第2アンテナは、前記第2アンテナが、前記チャンバーを囲むように配置され前記チャンバーの前記仮想の中心軸から前記第1距離よりも長い第2距離だけ離間した第2ターンを形成するように、前記第2曲率半径を有する第3アンテナセグメントと、前記第2曲率半径を有する第4アンテナセグメントとを含み、

前記第1アンテナと前記第2アンテナとが前記第1平面上で配置された第1層を形成するように、前記第1アンテナセグメントは前記第2アンテナセグメントに直列接続され、前記第3アンテナセグメントは前記第4アンテナセグメントに直列接続され、前記第2アンテナセグメントは、前記第1アンテナセグメントと前記第3アンテナセグメントとの間に電氣的に介在され、

前記第2アンテナセグメントと前記第3アンテナセグメントとの間にある前記第1ターン間キャパシタは、前記第1曲率半径を有する前記第1ターンが、前記第1ターン間キャパシタを介して前記第2曲率半径を有する前記第2ターンに直列接続されるように、前記第2アンテナセグメントと前記第3アンテナセグメントとを直列接続するように構成され、

前記第3アンテナは、前記第3アンテナが、前記チャンバーを囲むように配置され前記チャンバーの前記仮想の中心軸から前記第1距離だけ離間した第3ターンを形成するように、前記第1曲率半径を有する第5アンテナセグメントと、前記第1曲率半径を有する第6アンテナセグメントとを含み、

前記第4アンテナは、前記第4アンテナが、前記チャンバーを囲むように配置され前記チャンバーの前記仮想の中心軸から前記第2距離だけ離間した第4ターンを形成するように、前記第2曲率半径を有する第7アンテナセグメントと、前記第2曲率半径を有する第8アンテナセグメントとを含み、

前記第3アンテナと前記第4アンテナとが前記第2平面上で配置された第2層を形成するように、前記第5アンテナセグメントは前記第6アンテナセグメントに直列接続され、前記第7アンテナセグメントは前記第8アンテナセグメントに直列接続され、前記第6アンテナセグメントは、前記第5アンテナセグメントと前記第7アンテナセグメントとの間に電氣的に介在され、

前記第6アンテナセグメントと前記第7アンテナセグメントとの間にある前記第2ターン間キャパシタは、第1曲率半径を有する前記第3ターンが、前記第2ターン間キャパシタを介して前記第2曲率半径を有する前記第4ターンに直列接続されるように、前記第6アンテナセグメントと前記第7アンテナセグメントとを直列接続するように構成され、

前記第5アンテナセグメントと前記第4アンテナセグメントとの間にある前記層間キャパシタは、前記第1層が前記第1平面上で配置され、前記第2層が前記第2平面上で配置されるように、前記第5アンテナセグメントと前記第4アンテナセグメントとを直列接続するように構成される、プラズマ発生装置。

#### 【請求項2】

前記第1アンテナセグメント乃至前記第8アンテナセグメントは同じインダクタンスを有する、請求項1に記載のプラズマ発生装置。

#### 【請求項3】

前記第1および第2アンテナセグメントを電氣的に直列接続する第1ターン内キャパシタと、

前記第3および第4アンテナセグメントを電氣的に直列接続する第2ターン内キャパシタと、を備える、請求項1に記載のプラズマ発生装置。

#### 【請求項4】

前記第1アンテナセグメントを円弧とする扇形の中心角は、前記第3アンテナセグメントを円弧とする扇形の中心角と等しい、請求項3に記載のプラズマ発生装置。

#### 【請求項5】

前記第 1 および第 2 ターン内キャパシタと第 1 および第 2 ターン間キャパシタと層間キャパシタは、同一の静電容量を有する、請求項 3 に記載のプラズマ発生装置。

【請求項 6】

前記第 1 アンテナセグメントは第 1 端部を有し、前記第 1 アンテナセグメントの前記第 1 端部は前記第 1 ターン内キャパシタの一端と電氣的に接続され、

前記第 2 アンテナセグメントは第 2 端部を有し、前記第 2 アンテナセグメントの第 2 端部は前記第 1 ターン内キャパシタの他端と電氣的に接続される、請求項 3 に記載のプラズマ発生装置。

【請求項 7】

前記アンテナ構造体に交流電源が印加されるとき、基準ノードに対する第 1 アンテナセグメントの前記第 1 端部の最大電圧は、前記基準ノードに対する第 2 アンテナセグメントの前記第 2 端部とは異なる第 3 端部の最大電圧に対応する、請求項 6 に記載のプラズマ発生装置。

10

【請求項 8】

前記アンテナ構造体に交流電源が印加されるとき、前記第 2 アンテナセグメントの前記第 2 端部から前記第 2 アンテナセグメントの前記第 2 端部とは異なる第 3 端部までの電圧は、前記第 1 アンテナセグメントの前記第 1 端部から前記第 1 アンテナセグメントの前記第 1 端部とは異なる第 4 端部までの電圧に対応する、請求項 6 に記載のプラズマ発生装置。

【請求項 9】

前記アンテナ構造体に交流電源が印加されるとき、基準ノードに対する前記第 1 アンテナセグメントの前記第 1 端部の最大電圧の大きさは、前記基準ノードに対する前記第 2 アンテナセグメントの前記第 2 端部の最大電圧の大きさに対応する、請求項 6 に記載のプラズマ発生装置。

20

【請求項 10】

前記アンテナ構造体に交流電源が印加された後の任意の時点で、基準ノードに対する前記第 1 アンテナセグメントの前記第 1 端部の電圧と前記基準ノードに対する前記第 2 アンテナセグメントの前記第 2 端部の電圧とは互いに逆符号を有する、請求項 6 に記載のプラズマ発生装置。

【請求項 11】

前記第 1 アンテナセグメントの前記第 1 端部と前記第 1 端部とは異なる第 4 端部との間に位置する第 1 点と、

30

前記第 2 アンテナセグメントの前記第 2 端部と前記第 2 端部とは異なる第 3 端部との間に位置する第 2 点と、を含み、

前記アンテナ構造体に交流電源が印加されるとき、基準ノードに対する前記第 1 点の最大電圧は、前記基準ノードに対する前記第 2 点の最大電圧に対応する、請求項 6 に記載のプラズマ発生装置。

【請求項 12】

前記アンテナ構造体に交流電源が印加された後の任意の時点で、基準ノードに対する前記第 1 アンテナセグメントの前記第 1 端部の電圧と前記基準ノードに対する前記第 3 アンテナセグメントの前記第 2 端部の電圧とは互いに対応する、請求項 6 に記載のプラズマ発生装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、アンテナ構造体およびそれを用いたプラズマ発生装置に関し、より具体的には、複数のアンテナセグメントおよび複数の容量性素子を含むアンテナ構造体を用いて誘導電界および誘導磁界を発生させてプラズマの発生を誘導する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

プラズマを活用する技術は、半導体、ディスプレイ、医療機器の技術分野だけでなく、

50

空気、水、土壌浄化などの環境技術分野や、太陽電池、水素エネルギーなどのエネルギー技術分野などの様々な産業分野で利用されている。

【0003】

このようなプラズマを発生させる方法は、コロナ放電、グロー放電、アーク放電などの直流放電、蓄電結合放電、誘導結合放電などの交流放電、衝撃波、高エネルギービームなど非常に多様であり、そのうち簡単な構造を利用することで活用度の高い誘導結合方式が脚光を浴びている。

【0004】

一方、従来の誘導結合方式のプラズマ発生装置は、内／外部圧力、供給ガスの種類や性質、装置に印加される電力、構成要素に流れる電流／電圧および消費電力などの要因によってプラズマ制御が不安定になったり、装置の耐久性が損なわれたりするなどの問題点があった。さらに、このような問題点はプラズマ発生装置の体積、面積などが大きくなるほど深刻になり、これに対する解決方案が求められている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明が解決しようとする1つの課題は、複数のセグメントおよび容量性素子からなるアンテナ構造体およびそれを用いたプラズマ発生装置を提供することである。

【0006】

本発明が解決しようとする1つの課題は、広い面積でプラズマを発生させるために大きい体積または広い面積を有するアンテナ構造体およびそれを用いたプラズマ発生装置を提供することである。

【0007】

本発明が解決しようとする1つの課題は、高い駆動周波数または大きな入力電流によってインダクターに形成される高電圧で安全にプラズマを発生させるために電圧が分配される構造を有するアンテナ構造体およびそれを用いたプラズマ発生装置を提供することである。

【0008】

本発明が解決しようとする1つの課題は、プラズマが誘導されて発生する熱によってプラズマ発生装置が損傷することを防ぐためのプラズマ発生装置を提供することである。

【0009】

本発明が解決しようとする1つの課題は、プラズマが誘導されながら発生する熱を、冷却水を用いて効果的に吸収するプラズマ発生装置を提供することである。

【0010】

本発明が解決しようとする課題は、上述した課題に限定されるものではなく、言及されない課題は、本明細書および添付図面から本発明が属する技術分野で通常の知識を有する者に明確に理解されるであろう。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本明細書の一態様によれば、交流電源を印加してチャンバーにプラズマを誘導するアンテナ構造体において、仮想の中心軸と交差する第1平面上で前記中心軸を基準に第1曲率半径および第2曲率半径を有するように配置された第1および第2アンテナセグメントと、前記第1および第2アンテナセグメントを電気的に直列接続する第1容量性負荷と、を備え、前記第1アンテナセグメントが前記第1曲率半径を有し、前記第1容量性負荷の一端から第1長さだけ延びるとき、前記第2アンテナセグメントは、前記第2曲率半径を有し、前記第1容量性負荷の他端から前記第1長さに対応する第2長さだけ延び、前記第1長さと前記第2長さの合計は、前記第1曲率半径または前記第2曲率半径を半径とする円周よりも短いアンテナ構造体を提供することができる。

【0012】

本明細書のさらに他の態様によれば、交流電源を印加してチャンバーにプラズマを誘導

10

20

30

40

50

するプラズマ発生装置において、仮想の中心軸を基準として第1曲率半径を有するように配置された第1アンテナ構造体を備え、前記第1アンテナ構造体は、前記第1曲率半径を有する複数の第1アンテナセグメントと、複数の前記第1アンテナセグメントが電氣的に直列接続されるように複数の前記第1アンテナセグメントの間に配置された少なくとも1つの第1容量性負荷と、を含み、複数の前記第1アンテナセグメントは、前記中心軸に垂直である仮想の第1平面と少なくとも一部重なり、複数の前記第1アンテナセグメントそれぞれは第1長さを有し、複数の前記第1アンテナセグメントの長さの合計は、前記第1曲率半径を半径とする円周よりも短いプラズマ発生装置を提供することができる。

【0013】

本明細書のさらに他の態様によれば、プラズマ発生部の外部に配置されて前記プラズマ発生部の内部にプラズマを誘導するために誘導電界を提供するアンテナ構造体において、前記プラズマ発生部の外壁面に沿って形成されて電界を誘導する第1アンテナを備え、前記第1アンテナの内部には冷却水を移動させる第1冷却水流路が形成され、前記第1アンテナは前記プラズマ発生部の外壁と平行な第1内径面を含み、前記第1内径面を介して前記プラズマ発生部と面接触し、前記第1アンテナは前記第1冷却水流路との接触を規定し、前記プラズマ発生部の外壁および前記第1内径面と平行な第1面を含み、前記アンテナ構造体は、前記プラズマ発生部が前記プラズマによって温度が上昇するのを防止するために、前記内径面および前記第1面を介して前記プラズマ発生部の熱を吸収するアンテナ構造体を提供することができる。

【0014】

本発明の課題の解決手段は、上述した解決手段に限定されるものではなく、言及されない解決手段は、本明細書および添付図面から本発明が属する技術分野で通常の知識を有する者に明確に理解されるであろう。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、プラズマ発生装置は、駆動時にアンテナ構造体内の容量性素子によってアンテナにかかる最大電圧を減少することができる。

【0016】

本発明によれば、プラズマ発生装置は、駆動時にアンテナ構造体によって高い起電力が誘導され、プラズマをより長く維持することができる。

【0017】

本発明によれば、プラズマ発生装置は、駆動時にアンテナ構造体に印加される電圧を減少させ、プラズマで発生するエネルギー損失を低減することができる。

【0018】

本発明によれば、広い面積のプラズマ誘導によって大面積ディスプレイまたは複数の半導体プロセスを実行することができる。

【0019】

本発明によれば、プラズマ発生装置内のアンテナ構造体で発生する消費電力を低減することができる。

【0020】

本発明によれば、アンテナ構造体内のアンテナ間の電位差が減少し、より安全に高密度のプラズマを発生することができる。

【0021】

本発明によれば、アンテナ構造体が高出力高周波電源で駆動されても、それによるチャージャーまたは誘電体チューブの損傷を防止することができる。

【0022】

本発明によれば、プラズマによって熱が発生してもアンテナ構造体の効果的な吸熱機能によりプラズマ発生装置の熱損傷を防止することができる。

【0023】

本発明によれば、アンテナ構造体の効果的な冷却機能を実行しながら寄生容量の影響を

10

20

30

40

50

低減することができる。

【0024】

本発明によれば、アンテナ構造体が効果的な冷却機能を実行しながらプラズマ発生装置内にアーク放電が発生するのを防止することができる。

【0025】

本発明の効果は、上記の効果に限定されるものではない。言及されない効果は、本明細書および添付図面から本発明が属する技術分野で通常の知識を有する者に明確に理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本明細書の一実施例によるプラズマシステムに関する図である。

【図2】本明細書の一実施例によるプラズマシステムの実現例に関する図である。

【図3】本明細書の一実施例によるプラズマ発生部を示す図である。

【図4】本明細書の一実施例によるRF電源に関する図である。

【図5-6】本明細書の一実施例によるアンテナセグメントの配置方法に関する図である。

【図7-10】本明細書の一実施例によるアンテナセグメントおよび容量性素子を含むアンテナ構造体に関する図である。

【図11】本明細書の一実施例によるアンテナ構造体の等価回路に関する図である。

【図12】本明細書の一実施例によるアンテナ構造体内の位置による電圧を示すグラフに関する図である。

【図13】本明細書の一実施例による容量性素子を含むアンテナ構造体内の位置による電圧を示すグラフに関する図である。

【図14】本明細書の一実施例による四角断面を有するアンテナ構造体に関する図である。

【図15】本明細書の一実施例によるアンテナ構造体の断面に関する図である。

【図16】本明細書の一実施例による四角断面および円形断面を有するアンテナ構造体に関する図である。

【図17-18】本明細書の一実施例による少なくとも2種類以上の断面形状を有するアンテナ構造体の断面に関する図である。

【図19-22】本明細書の一実施例によるアンテナ構造体内に異なる断面を有するアンテナの接続方法に関する図である。

【図23】本明細書の一実施例による熱伝達部材を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

本明細書の一態様によれば、交流電源を印加してチャンバーにプラズマを誘導するアンテナ構造体において、仮想の中心軸と交差する第1平面上で前記中心軸を基準に第1曲率半径および第2曲率半径を有するように配置された第1および第2アンテナセグメントと、前記第1および第2アンテナセグメントを電氣的に直列接続する第1容量性負荷と、を備え、前記第1アンテナセグメントが前記第1曲率半径を有し、前記第1容量性負荷の一端から第1長さだけ延びるとき、前記第2アンテナセグメントは、前記第2曲率半径を有し、前記第1容量性負荷の他端から前記第1長さに対応する第2長さだけ延び、前記第1長さと前記第2長さの合計は、前記第1曲率半径または前記第2曲率半径を半径とする円周よりも短いアンテナ構造体を提供することができる。

【0028】

本発明の上述した目的、特徴および利点は、添付の図面に関連する以下の詳細な説明によってより明らかになるであろう。ただし、本発明は様々な変更を加えることができ、様々な実施例を有することができるが、以下では特定の実施例を図面に例示し、これを詳細に説明しようとする。

【0029】

本明細書に記載された実施例は、本発明が属する技術分野で通常の知識を有する者に本発明の精神を明確に説明するためのものであり、本発明が本明細書に記載された実施例に

10

20

30

40

50

よって限定されるものではなく、本発明の範囲は、本発明の精神から逸脱しない補正例または変形例を含むと解釈されるべきである。

【0030】

本明細書に添付された図面は、本発明を容易に説明するためのものであり、図面に示される形状は、本発明の理解を助けるために必要に応じて誇張されて示されたものであ得るので、本発明は図面によって限定されるものではない。

【0031】

本発明に関連する公知の機能または構成に対する具体的な説明が本発明の要旨を不要に曖昧にすることができると判断される場合、その詳細な説明は省略する。また、本明細書の説明の過程で使用される数字（例えば、第1、第2など）は、ある構成要素を他の構成要素と区別するための識別記号に過ぎない。

【0032】

また、以下の説明で用いる構成要素に対する接尾辞「ユニット」、「モジュール」および「部」は、明細書作成の容易さのみを考慮して付与または混用するものであり、それ自体が互いに区別される意味または役割を有するものではない。

【0033】

本明細書の一態様によれば、交流電源を印加してチャンバーにプラズマを誘導するアンテナ構造体において、仮想の中心軸と交差する第1平面上で前記中心軸を基準に第1曲率半径および第2曲率半径を有するように配置された第1および第2アンテナセグメントと、前記第1および第2アンテナセグメントを電氣的に直列接続する第1容量性負荷と、を備え、前記第1アンテナセグメントが前記第1曲率半径を有し、前記第1容量性負荷の一端から第1長さだけ延びるとき、前記第2アンテナセグメントは、前記第2曲率半径を有し、前記第1容量性負荷の他端から前記第1長さに対応する第2長さだけ延び、前記第1長さとは前記第2長さの合計は、前記第1曲率半径または前記第2曲率半径を半径とする円周よりも短いアンテナ構造体を提供することができる。

【0034】

ここで、前記第1および第2曲率半径は互いに等しく、前記第1および第2長さは互いに等しく、前記第1アンテナセグメントおよび前記第2アンテナセグメントは同じインダクタンスを有してもよい。

【0035】

また、ここで、アンテナ構造体は、前記第1平面上で前記第1曲率半径よりも大きい第3曲率半径を有するように配置された第3アンテナセグメントと、前記第1平面上で前記第2曲率半径よりも大きい第4曲率半径を有するように配置された第4アンテナセグメントと、前記第3および第4アンテナセグメントを電氣的に直列接続する第2容量性負荷と、を備え、前記第3アンテナセグメントは、前記第2容量性負荷の一端から前記第1長さよりも長い第3長さだけ延び、前記第4アンテナセグメントは、前記第2容量性負荷の他端から前記第2長さよりも長い第4長さだけ延びてもよい。

【0036】

また、ここで、前記第1および第2容量性負荷を通る直線は前記中心軸を通過してもよい。

【0037】

また、ここで、前記第1アンテナセグメントを円弧とする扇形の中心角は、前記第3アンテナセグメントを円弧とする扇形の中心角と等しくてもよい。

【0038】

また、ここで、アンテナ構造体は、前記第2アンテナセグメントおよび前記第3アンテナセグメントを電氣的に直列接続するターン間容量性負荷を備えてもよい。

【0039】

また、ここで、前記第1および第2容量性負荷とターン間容量性負荷は、同一の静電容量を有してもよい。

【0040】

また、ここで、アンテナ構造体は、前記中心軸を基準として前記第1曲率半径を有する第5アンテナセグメントと、前記第2曲率半径を有する第6アンテナセグメントと、前記第5および第6アンテナセグメントの間に配置されて前記第5および第6アンテナセグメントを電氣的に直列接続する第3容量性負荷と、を備え、前記第5アンテナセグメントおよび第6アンテナセグメントは前記中心軸と交差する第2平面に配置され、前記第1平面および前記第2平面は互いに異なる平面であり得る。

【0041】

また、ここで、前記第2アンテナセグメントおよび前記第5アンテナセグメントを電氣的に直列接続する第1層間容量性負荷を備えてもよい。

【0042】

また、ここで、アンテナ構造体は、前記中心軸を基準として前記第1曲率半径を有する第7アンテナセグメントと、前記第2曲率半径を有する第8アンテナセグメントと、前記第7および第8アンテナセグメントの間に配置されて前記第7および第8アンテナセグメントを電氣的に直列接続する第4容量性負荷と、前記第6アンテナセグメントおよび第7アンテナセグメントを電氣的に直列接続する第2層間容量性負荷と、を備え、前記第7アンテナセグメントおよび第8アンテナセグメントは、前記中心軸と交差し、前記第1平面および前記第2平面と異なる第3平面に配置され、前記第1層間容量性負荷および第2層間容量性負荷は、前記中心軸を基準として予め設定された角度を有してもよい。

【0043】

また、ここで、前記第1アンテナセグメントは一端から他端に延び、前記第1アンテナセグメントの他端は前記第1容量性負荷の一端と電氣的に接続され、前記第2アンテナセグメントは一端から他端に延び、前記第2アンテナセグメントの一端は前記第1容量性負荷の他端と電氣的に接続されてもよい。

【0044】

また、ここで、前記アンテナ構造体に前記交流電源が印加されるとき、基準ノードに対する第1アンテナセグメントの他端の最大電圧は、前記基準ノードに対する第2アンテナセグメントの他端の最大電圧に対応することができる。

【0045】

また、ここで、前記アンテナ構造体に前記交流電源が印加されるとき、前記第2アンテナセグメントの一端に対する前記第2アンテナセグメントの他端の電圧は、前記第1アンテナセグメントの一端に対する前記第1アンテナセグメントの他端の電圧に対応することができる。

【0046】

また、ここで、前記アンテナ構造体に前記交流電源が印加されるとき、基準ノードに対する前記第1アンテナセグメントの他端の最大電圧の大きさは、前記基準ノードに対する前記第2アンテナセグメントの一端の最大電圧の大きさに対応することができる。

【0047】

また、ここで、前記アンテナ構造体に前記交流電源が印加された後の任意の時点で、基準ノードに対する前記第1アンテナセグメントの他端の電圧と前記基準ノードに対する前記第2アンテナセグメントの一端の電圧とは互いに逆符号を有することができる。

【0048】

また、ここで、アンテナ構造体は、前記第1アンテナセグメントの一端と他端との間に位置する第1点と、前記第2アンテナセグメントの一端と他端との間に位置する第2点と、を含み、前記アンテナ構造体に前記交流電源が印加されるとき、基準ノードに対する前記第1点の最大電圧は、前記基準ノードに対する前記第2点の最大電圧に対応することができる。

【0049】

また、ここで、前記アンテナ構造体に前記交流電源が印加された後の任意の時点で、基準ノードに対する前記第1アンテナセグメントの他端の電圧と前記基準ノードに対する前記第2アンテナセグメントの他端の電圧とは互に対応することができる。

10

20

30

40

50

## 【0050】

また、ここで、前記アンテナ構造体は、上部または下部にプラズマを誘導する平板状および中心部にプラズマを誘導するチューブ状のうちの少なくとも一方で構成されてもよい。

## 【0051】

本明細書のさらに他の態様によれば、交流電源を印加してチャンバーにプラズマを誘導するプラズマ発生装置において、仮想の中心軸を基準として第1曲率半径を有するように配置された第1アンテナ構造体を備え、前記第1アンテナ構造体は、前記第1曲率半径を有する複数の第1アンテナセグメントと、複数の前記第1アンテナセグメントが電氣的に直列接続されるように複数の前記第1アンテナセグメントの間に配置された少なくとも1つの第1容量性負荷と、を含み、複数の前記第1アンテナセグメントは、前記中心軸に垂直である仮想の第1平面と少なくとも一部重なり、複数の前記第1アンテナセグメントそれぞれは第1長さを有し、複数の前記第1アンテナセグメントの長さの合計は、前記第1曲率半径を半径とする円周よりも短いプラズマ発生装置を提供することができる。

10

## 【0052】

ここで、プラズマ発生装置は、前記第1平面に前記中心軸を基準として前記第1曲率半径よりも大きい第2曲率半径を有するように配置された第2アンテナ構造体を備え、前記第2アンテナ構造体は、前記第2曲率半径を有する複数の第2アンテナセグメントと、複数の前記第2アンテナセグメントが電氣的に直列接続されるように複数の前記第2アンテナセグメントの間に配置された少なくとも1つの第2容量性負荷と、を含み、複数の前記第2アンテナセグメントそれぞれは第1長さを有し、複数の前記第2アンテナセグメントの長さの合計は前記第2曲率半径を半径とする円周よりも短くてもよい。

20

## 【0053】

一方、上記で説明した第1～第8アンテナセグメントは、順番に関係なく、それぞれアンテナ構造体内のいずれかのアンテナセグメントを指示すると解釈されることができる。例えば、第1アンテナセグメントおよび第2アンテナセグメントは、同一平面に配置されたアンテナセグメントを意味することができる。

## 【0054】

また、以上で説明した直列接続は、素子間に直接接続されている場合だけでなく、素子間に他の素子を含むことにより間接的に接続される場合も含むことができる。

## 【0055】

本明細書のさらに他の態様によれば、プラズマ発生部の外部に配置されて前記プラズマ発生部の内部にプラズマを誘導するために誘導電界を提供するアンテナ構造体において、前記プラズマ発生部の外壁面に沿って形成されて電界を誘導する第1アンテナを備え、前記第1アンテナの内部には冷却水を移動させる第1冷却水流路が形成され、前記第1アンテナは前記プラズマ発生部の外壁と平行な第1内径面を含み、前記第1内径面を介して前記プラズマ発生部と面接触し、前記第1アンテナは前記第1冷却水流路との接触を規定し、前記プラズマ発生部の外壁および前記第1内径面と平行な第1面を含み、前記アンテナ構造体は、前記プラズマ発生部が前記プラズマによって温度が上昇するのを防止するために、前記内径面および前記第1面を介して前記プラズマ発生部の熱を吸収するアンテナ構造体を提供することができる。

30

40

## 【0056】

ここで、前記第1ターンアンテナは、前記第1内径面と接続される第1外径面を含み、前記第1外径面は、縦方向に沿って前記プラズマ発生部から離れる方向に曲げられてもよい。

## 【0057】

また、ここで、前記第1アンテナと電氣的に接続され、前記第1アンテナを包み込むように配置された第2アンテナと、前記第2アンテナと電氣的に接続され、前記第2アンテナを包み込むように配置された第3アンテナと、を備え、前記第2アンテナおよび前記第3アンテナは、前記第1アンテナと前記第2アンテナとの間の距離が前記第2アンテナと前記第3アンテナとの間の距離よりも長いように配置されてもよい。

50

## 【0058】

また、ここで、前記第1アンテナと電氣的に接続され、前記第1アンテナを包み込むように配置され、少なくとも第2内径面と第2外径面とからなる第2アンテナを備え、前記第2内径面は前記第2外径面よりも前記プラズマ発生部に近接して配置され、前記第2アンテナの前記第2内径面は前記第1アンテナの前記第1内径面と平行ではなくてもよい。

## 【0059】

また、ここで、前記第1アンテナと電氣的に接続され、前記第1アンテナを包み込むように前記第1アンテナと同一平面上に配置され、少なくとも第2内径面と第2外径面とからなる第2アンテナを備え、前記第2内径面は前記第2外径面よりも前記プラズマ発生部に近接して配置され、前記第2内径面と前記第1外径面との間の距離は、前記平面から前記プラズマ発生部の長さ方向に離れるほど増加してもよい。

10

## 【0060】

また、ここで、前記第1アンテナと電氣的に接続され、前記第1アンテナを包み込むように配置された第2アンテナを備え、前記第2アンテナの断面は前記第1アンテナの断面と異なってもよい。

## 【0061】

また、ここで、前記第1アンテナと電氣的に接続され、前記第1アンテナを包み込むように配置された第2アンテナと、前記第1アンテナと前記第2アンテナを接続する接続部と、を備え、前記第1アンテナおよび前記第2アンテナは異なる断面を有し、前記接続部の一端の断面は前記第1アンテナの断面に対応し、前記接続部の他端の断面は前記第2アンテナの断面に対応してもよい。

20

## 【0062】

また、ここで、前記接続部は、前記第1アンテナの末端の少なくとも一部と、前記第2アンテナの膨張した末端の少なくとも一部と、を含んでもよい。

## 【0063】

また、ここで、前記接続部は容量性素子を含んでもよい。

## 【0064】

また、ここで、前記第1アンテナに結合されて前記第1アンテナに締め付け力を提供する締め付け部を含んでもよい。

## 【0065】

本明細書のまた他の実施例によれば、プラズマが誘導される内部空間を含むプラズマ発生部と、前記プラズマ発生部の外部に配置されて前記プラズマ発生部の内部空間にプラズマを誘導するために誘導電界を提供するアンテナ構造体と、を備え、前記アンテナ構造体は、前記プラズマ発生部の外壁面に沿って形成されて電界を誘導する第1アンテナを含み、前記第1アンテナの内部には冷却水を移動させる第1冷却水流路が形成され、前記第1アンテナは、前記プラズマ発生部の外壁と平行な第1内径面を含み、前記第1内径面を介して前記プラズマ発生部と面接触し、前記第1アンテナは、前記第1冷却水流路を規定し、前記プラズマ発生部の外壁および前記第1内径面と平行な第1面を含み、前記アンテナ構造体は、前記プラズマ発生部が前記プラズマによって温度が上昇するのを防止するために、前記内径面および前記第1面を介して前記プラズマ発生部の熱を吸収するプラズマ発生装置を提供することができる。

30

40

## 【0066】

ここで、前記プラズマ発生部の厚さは0.5mm以上30mm以下であり得る。

## 【0067】

また、ここで、前記プラズマ発生部の直径は10mm以上300mm以下であり得る。

## 【0068】

また、ここで、プラズマ発生装置は、前記プラズマ発生部および前記アンテナ構造体とそれぞれ熱結合する熱伝達部材をさらに含み、前記プラズマ発生部および前記アンテナ構造体は離間して配置され、前記熱伝達部材は、前記プラズマ発生部と前記アンテナ構造体との間に配置されてもよい。

50

## 【0069】

また、ここで、前記プラズマ発生部の少なくとも一部は、酸化アルミニウム、シリコン窒化物、窒化ケイ素、二酸化ケイ素、イットリウム酸化物、セラミック、炭化ケイ素、またはそれらの組み合わせのうちの少なくとも1つの材質からなってもよい。

## 【0070】

また、ここで、前記プラズマ発生部において前記内部空間を規定する内側面は炭化ケイ素材質からなってもよい。

## 【0071】

本明細書は、アンテナ構造体 (antenna structure) およびそれを用いたプラズマ発生装置に関する。

## 【0072】

ここで、プラズマは、物質が高エネルギーの印加により負電荷を有する電子と正電荷を帯びたイオンに分離された状態 (phase) で、様々な方式によって誘導または発生することができる。なかでも、誘導結合プラズマ (ICP: Inductively Coupled Plasma) は、コイル (coil) またはアンテナ (antenna) 等に電力が供給されて特定の空間に誘導電界または蓄電電界が形成され、これによって発生するプラズマであり、一般に無線周波数 (RF: Radio Frequency) のような高周波電源によって駆動され得る。一方、以下では、説明の便宜上、プラズマ発生装置によって発生するプラズマが誘導結合プラズマであることを前提に説明するか、本明細書の技術的思想がこれに限定されるものではない。

## 【0073】

ここで、アンテナとは、電圧または電流を印加すると周囲に電界または磁界を形成する誘導性素子または負荷であり、コイルまたはインダクターなどを意味することができ、さらに誘導性素子以外の素子で実現された等価回路を意味することもできる。

## 【0074】

ここで、アンテナ構造体とは、少なくとも1つ以上のアンテナを含む構造体を意味することができる。さらに、アンテナ構造体は、少なくとも1つ以上の容量性素子または負荷を含み、少なくとも1つ以上のアンテナまたは容量性素子が特定の方法で接続または配置された形態で実現することができる。

## 【0075】

一方、本明細書の一実施例によるプラズマ発生装置は、半導体、ディスプレイ加工、環境、エネルギーなどの様々な分野で広く利用することができ、以下に述べるプラズマ発生装置はある特定の分野にのみ利用されるものに限定されなく、プラズマが活用される分野で共通して利用可能であることが予め明らかにされている。

## 【0076】

以下では、本明細書の一実施例による誘導結合プラズマシステム (ICP system) 10 について図1および図2を参照して説明する。

## 【0077】

図1は、本明細書の一実施例によるプラズマシステム10に関する図である。プラズマシステム10は、RF電源を用いてアンテナ構造体にRF電力を供給してプラズマ発生部に誘導結合プラズマの発生を誘導することができる。

## 【0078】

図1を参照すると、プラズマシステム10は、アンテナ構造体1000およびプラズマ発生部2000を含むプラズマ発生装置100と、RF電源200と、を備えることができる。

## 【0079】

プラズマ発生装置100は、RF電源200からRF電力を供給されてプラズマを発生させることができる。具体的に、アンテナ構造体1000は、RF電力が供給されると時変する電流が流れ、これに基づいてプラズマ発生部2000に誘導電界を発生させてプラズマを誘導することができる。

## 【0080】

アンテナ構造体1000は、RF電源200と電氣的に接続することができる。例えば、アンテナ構造体1000は、RF電源200と導線で直列または並列に接続されてもよく、電気素子を介して直列または並列に接続されてもよい。

## 【0081】

アンテナ構造体1000は、プラズマ発生部2000と物理的または電氣的に接続することができる。アンテナ構造体1000およびプラズマ発生部2000の接続関係に対する具体的な内容については後述する。

## 【0082】

プラズマ発生部2000は、プラズマ発生が誘導される領域を含むことができる。例えば、プラズマ発生部2000は、チャンバーまたはチューブなどのプラズマが発生して維持することができる空間を意味することができる。

10

## 【0083】

図2は、本明細書の一実施例によるプラズマシステム10の実現例に関する図である。

## 【0084】

図2を参照すると、プラズマシステム10はプラズマが活用される方式に応じて様々に実現することができる。具体的に、プラズマが活用される方式に応じて、RF電源200、アンテナ構造体1000、およびプラズマ発生部2000の位置関係を設定することができる。

## 【0085】

図2aを参照すると、プラズマシステム10は、アンテナ構造体1000の上方または下方にプラズマを発生することができる。例えば、アンテナ構造体1000は、平板状に構成されてプラズマ発生部2000の上端に配置され、プラズマ発生部2000は、半導体ウェハー(wafer)、シリコン基板、ディスプレイなどのプロセス対象体を含むチャンバーに提供されてプラズマ発生部2000に流入するプロセスガスおよび誘導されるプラズマを用いて半導体プロセスまたはディスプレイプロセスを実行できる。他の例として、アンテナ構造体1000は、平板状に構成されてプラズマ発生部2000の下端に配置され、プラズマ発生部2000は、半導体ウェハー、シリコン基板、ディスプレイなどのプロセス対象体を含むチャンバーに提供されてプラズマ発生部2000に流入するプロセスガスおよび誘導されるプラズマを用いて半導体プロセスまたはディスプレイプロセスを実行することもできる。

20

30

## 【0086】

図2bを参照すると、プラズマシステム10はアンテナ構造体1000の中心部にプラズマを発生することができる。例えば、アンテナ構造体1000は、チューブ状に構成されてプラズマ発生部2000を囲んだり巻いたりする形態で提供され、プラズマ発生部2000は、誘電体チューブに提供され、プラズマ発生部2000に供給されるプロセスガスおよびプラズマを用いて活性種(radical)を生成し、それを別途のプロセスチャンバーに提供することができる。

## 【0087】

一方、アンテナ構造体1000の形状は、図2に示すように平板状またはチューブ状に限定されるものではなく、アンテナ構造体1000が図2aでチューブ状に構成され、図2bで平板状に構成されてもよいことは言うまでもない。

40

## 【0088】

以下では、図3を参照してプラズマシステム10で利用可能なプラズマ発生部2000について具体的に説明する。

## 【0089】

図3は、本明細書の一実施例によるプラズマ発生部2000を示す図である。

## 【0090】

プラズマ発生部2000は様々な形状に構成することができる。例えば、図3を参照すると、プラズマ発生部2000は、プラズマが誘導される内部空間を含む形状に構成する

50

ことができる。具体的に、プラズマ発生部 2000 は、中空の円柱状、リング状またはチューブ状などの形状を有することができる。

#### 【0091】

プラズマ発生部 2000 は特定の厚さ  $t$  を有することができる。例えば、図 3 を参照すると、プラズマ発生部 2000 がチューブ状に構成される場合、プラズマ発生部 2000 の厚さ  $t$  は 0.5 mm ~ 30 mm 以内と決定することができる。ここで、プラズマ発生部 2000 の厚さ  $t$  が 0.5 mm 未満の場合、アンテナ構造体 1000 によりプラズマ発生部 2000 内部に副産物が生成されやすく、物理的耐久度が弱くなる恐れがある。なお、ここで、プラズマ発生部 2000 の厚さ  $t$  が 30 mm を超える場合、プラズマ発生部 2000 の周辺に配置されるアンテナ構造体 1000 とプラズマ発生部 2000 の内部に誘導されるプラズマとの誘導結合が弱くなってプラズマの誘導または維持が難しくなり、後述するアンテナ構造体 1000 によるプラズマ発生部 2000 の冷却効率が低下する可能性がある。したがって、上述したプラズマ発生部 2000 の厚さ  $t$  の範囲は、アンテナ構造体 1000 が後述するようにプラズマ発生部 2000 と電氣的に結合する場合、安定的にプラズマ発生部 2000 の内部にプラズマを誘導して維持し、プラズマ発生部 2000 の耐久性を向上させることができるという点で臨界的な意義を有することができる。

#### 【0092】

プラズマ発生部 2000 は特定の直径  $d$  を有することができる。例えば、図 3 を参照すると、プラズマ発生部 2000 がチューブ状を有する場合、直径  $d$  は 10 mm ~ 300 mm 内で決定することができる。ここで、直径  $d$  は、プラズマ発生部 2000 の内側面の直径、外側面の直径、または内側面と外側面の直径の平均直径を意味することができる。ここで、プラズマ発生部 2000 の直径  $d$  が 10 mm 未満の場合、プラズマ発生部 2000 の内部に誘導されるプラズマの形態が体積に比べて表面的が相対的に大きくなり、エネルギー損失が生じることがある。また、ここで、プラズマ発生部 2000 の直径  $d$  が 300 mm を超えると、プラズマの誘導に必要な誘導電力密度が非常に低くなり、アンテナ構造体 1000 または RF 電源 200 等の作製が困難になることがある。したがって、上述したプラズマ発生部 2000 の直径  $d$  の範囲は、プラズマシステム 10 の RF 電源 200 およびアンテナ構造体 1000 の作製をより容易にし、プラズマエネルギー損失を防止することによりプラズマ誘導効率を高めるという点で臨界的意義を有することができる。

#### 【0093】

以上では、プラズマ発生部 2000 の形状が中空の円柱状またはチューブ状の場合について主に説明したが、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではなく、例えば、プラズマ発生部 2000 はプラズマが誘導できる内部空間を含む多角形状を有することもでき、その際にも上述した厚さ  $t$  および直径  $d$  に対する内容を適用できることは言うまでもない。

#### 【0094】

プラズマ発生部 2000 は様々な材質で作ることができる。例えば、プラズマ発生部 2000 は非導電体で作製することができる。他の例として、プラズマ発生部 2000 は熱伝導率が高い物質で作製することができる。具体的に、プラズマ発生部 2000 は、アルミニウム窒化物 (AlN)、酸化アルミニウム ( $Al_2O_3$ )、シリコン窒化物 (SiN)、窒化ケイ素 ( $Si_3N_4$ )、二酸化ケイ素 ( $SiO_2$ )、イットリウム酸化物 ( $Y_2O_3$ )、または炭化ケイ素 (SiC) で作製することができる。

#### 【0095】

さらに、プラズマ発生部 2000 は、プラズマの誘導のためにプラズマ発生部 2000 に流入するガス (ex.  $NF_3$ 、Ar、 $CO_2$ 、 $CH_4$ 、 $NF_3$ 、 $O_2$ 、 $H_2$  等) と反応して不純物 (particle) を発生しない物質で作製することができる。例えば、プラズマ発生部 2000 は炭化ケイ素 (SiC) で作製することができる。

#### 【0096】

以下では、図 4 を参照して RF 電源について具体的に説明する。

#### 【0097】

図４は、本明細書の一実施例によるＲＦ電源２００に関する図である。

【００９８】

図４を参照すると、ＲＦ電源２００は、交流電源２１０、整流器２２０、インバータ２３０、コントローラ２４０、およびセンサーモジュール２５０を含むことができる。ＲＦ電源２００は、交流電源２１０から供給される第１交流電源を第２交流電源に変換して負荷（load）に供給することができる。例えば、ＲＦ電源２００は、一般的な家庭または産業で使用される第１交流電源を数百kHz～数十MHzの周波数および数kW以上の電力を有する第２交流電源に変換してアンテナ構造体１０００に提供することができる。

【００９９】

ここで、負荷は、アンテナ構造体１０００およびアンテナ構造体１０００により発生するプラズマを含むことができる。

10

【０１００】

整流器２２０は、交流電源２１０の出力を直流電源に変換することができる。例えば、整流器２２０は、交流電源２１０から供給される第１交流電源を直流電源に変換してインバータ２３０の両端に印加することができる。

【０１０１】

インバータ２３０は、整流器２２０から直流電源が伝達され、負荷に第２交流電源を供給することができる。このとき、インバータ２３０は、コントローラ２４０から受信したスイッチング信号を用いて第２交流電源を負荷に提供することができる。ここで、インバータ２３０は、スイッチング信号によって制御される少なくとも１つのスイッチ素子を含むことができ、インバータ２３０から負荷に供給される第２交流電源は、インバータ２３０がコントローラ２４０から提供されるスイッチング信号に基づいて設定された駆動周波数を有することができる。このために、インバータ２３０は、パルス幅変調方式（PWM：Pulse Width Modulation）で制御されるハーフブリッジタイプまたはフルブリッジタイプとして提供されてもよい。

20

【０１０２】

一方、整流器２２０とインバータ２３０との間に容量性素子が配置されてもよい。例えば、ＲＦ電源２００は、整流器２２０およびインバータ２３０と並列に接続されるキャパシタを含み、キャパシタは、インバータ２３０に印加される電源の交流成分を接地ノード（GND）に放電することができる。

30

【０１０３】

コントローラ２４０は、センサーモジュール２５０からセンシングデータを受信してスイッチング信号を生成することができる。例えば、コントローラ２４０は、FPGAを含み、センサーモジュール２５０から負荷の共振周波数に関連するデータを取得してスイッチング信号を生成することができる。

【０１０４】

センサーモジュール２５０は、コントローラ２４０に負荷の共振周波数に関するデータまたは負荷に供給される電力に関するデータを取得させることができる。このために、センサーモジュール２５０は、負荷またはインバータ２３０に流れる電流の大きさおよび位相、印加される電圧の大きさおよび位相、相対的電位または電力の大きさなどを感知することができる。

40

【０１０５】

上述したように、ＲＦ電源２００は、負荷の共振周波数に関するデータに基づいて負荷に提供される第２交流電源の駆動周波数を制御することができる。換言すれば、ＲＦ電源２００は、プラズマの発生に応じて変化する負荷の共振周波数を追跡して第２交流電源の駆動周波数を負荷の共振周波数と同様に設定することができる。これにより、不要な電力消費を防止し、プラズマシステムの耐久性を向上させることができる。

【０１０６】

以下では、図５および図６を参照してアンテナ構造体１０００の構成および配置方法について説明する。

50

## 【0107】

図5および図6は、本明細書の一実施例によるアンテナセグメント (antenna segment) が配置される方法に関する図である。

## 【0108】

図5を参照すると、アンテナ構造体1000は、複数のアンテナセグメントを含むことができる。アンテナ構造体1000は、プラズマ利用分野で必要なプラズマの強度、密度、または生成範囲などに応じて複数のアンテナセグメントで構成することができる。例えば、アンテナ構造体1000は、広い範囲でプラズマを提供するために広い領域に配置することができ、その時、アンテナ構造体1000の長さが過度に長くなり、アンテナ構造体1000での電位が増加することを防止するために、複数のアンテナセグメントに分割されてもよい。

10

## 【0109】

以下では、説明の便宜上、アンテナセグメントは第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140を含むものとして説明するが、アンテナ構造体1000は、 $m$ 個 ( $m$ は自然数) のアンテナセグメントを含むことができ、以下の説明は、それぞれの場合に共通して適用され得る。

## 【0110】

アンテナセグメントは、アンテナ、誘導コイル、またはインダクターの一部、銅導線などで提供され得る。アンテナセグメントの断面形状、断面積、厚さ、太さなどの物理的性質は、インダクタンス、相互インダクタンス、寄生インダクタンス、キャパシタンス、寄生キャパシタンス、抵抗、または寄生抵抗などのアンテナ構造体1000またはアンテナセグメントに必要な電氣的性質に基づいて決定され得る。

20

## 【0111】

また、以下では、説明の便宜上、アンテナセグメントが弧状を有するものとするが、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではなく、アンテナセグメントは、弧状の他に、直線、曲線、折れ線、折れ曲線、円または多角形やドーナツ、ソレノイドなど特定の図形形状を有することができ、一般に3次元立体形状で構成されるが、薄膜、メッキなどの2次元形状で構成されてもよいことは言うまでもない。

## 【0112】

アンテナセグメントは、中心軸CAを基準として一定距離を有し、第1平面P1に配置することができる。具体的に、アンテナセグメントは、第1平面P1に配置され、中心軸CAから予め設定された距離だけ離間されてもよい。

30

## 【0113】

ここで、中心軸CAは仮想の軸を意味することができる。例えば、中心軸CAは、プラズマシステム10で発生するプラズマの中心部を通る仮想の直線として理解することができる。

## 【0114】

ここで、第1平面P1は、アンテナセグメントが配置される仮想平面を意味することができる。例えば、第1平面P1は、中心軸CAに垂直な仮想平面を意味することができる。さらに別の例では、第1平面P1は、中心軸CAと交差する仮想平面を意味することができる。一方、アンテナセグメントは全て第1平面P1に配置されてもよく、少なくとも一部は第1平面P1に配置され、他の一部は第1平面P1とは異なる平面に配置されてもよい。

40

## 【0115】

アンテナセグメントは、特定の曲率または特定の曲率半径を有することができる。例えば、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140は、第1曲率半径RC1を有する弧状で構成され得る。さらに別の例では、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140は、互いに対応する曲率または曲率半径を有することができる。さらに別の例では、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140は、異なる曲率または曲率半径を有することができる。

50

## 【0116】

ここで、曲率半径または曲率は、アンテナ構造体1000の大きさに基づいて設定されてもよい。例えば、アンテナ構造体1000の大きさまたは体積が大きくなるほど、曲率半径が大きくなり曲率が小さくなる。

## 【0117】

アンテナセグメントは特定の長さに延びることができる。例えば、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140は、互いに対応する長さに延びるか、または異なる長さに延びて配置されてもよい。具体的に、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140は、同じ第1長さを有するか、または異なる長さを有することができる。

10

## 【0118】

アンテナセグメントの総長は、予め設定された値以下に設定されてもよい。例えば、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140が、第1平面P1で中心軸CAを基準として第1曲率半径RC1を有し、第1長さだけ延びるように配置された場合、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140それぞれの長さの合計は、第1曲率半径RC1を半径とする円周の長さより小さくてもよい。さらに別の例では、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140が、第1平面P1で中心軸CAを基準として少なくとも一部は第1曲率半径RC1を有し、第1長さだけ延びるように配置され、他の一部は第2曲率半径RC2を有し、第2長さだけ延びるように配置された場合、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140それぞれの長さの合計は、第1曲率半径RC1または第2曲率半径RC2を半径とする円周の長さより小さくてもよい。この場合、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140は、互いに物理的に接触しないように配置することができる。

20

## 【0119】

一方、アンテナセグメント間に電気素子を配置することができる。例えば、アンテナセグメント間に容量性素子が配置されて、容量性素子はアンテナセグメントを電氣的に接続することができる。電気素子の配置については、後で具体的に説明する。

## 【0120】

アンテナ構造体1000に含まれているアンテナセグメントは、複数のターン(turn)で配置することができる。図6を参照すると、アンテナセグメントは、中心軸CAを基準として第1平面P1に2ターンで配置することができる。具体的に、第1ターンは第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140を含み、第2ターンは第5～第8アンテナセグメント1210、1220、1230、1240を含むことができる。ここで、第1ターンのアンテナセグメントは第1曲率半径RC1を有し、第2ターンのアンテナセグメントは第1曲率半径RC1よりも大きい第2曲率半径RC2を有することができる。

30

## 【0121】

第2ターンのアンテナセグメントそれぞれは、第1ターンのアンテナセグメントそれぞれに対応するように配置されてもよい。例えば、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140が第1平面P1の第1～第4象限にそれぞれ配置される場合、第5～第8アンテナセグメント1210、1220、1230、1240は、第1平面P1の第1～第4象限にそれぞれ配置することができる。

40

## 【0122】

ここで、第1アンテナセグメント1110は、第2アンテナセグメント1120および第4アンテナセグメント1140と円弧方向で隣接し、第5アンテナセグメント1210と中心軸CAに垂直な方向で隣接することができる。第2アンテナセグメント1120は、第1アンテナセグメント1110および第3アンテナセグメント1130と円弧方向で隣接し、第6アンテナセグメント1220と中心軸CAに垂直な方向で隣接することができる。第3アンテナセグメント1130は、第2アンテナセグメント1120および第4

50

アンテナセグメント 1 1 4 0 と円弧方向で隣接し、第 7 アンテナセグメント 1 2 3 0 と中心軸 C A に垂直な方向で隣接することができる。第 4 アンテナセグメント 1 1 4 0 は、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 および第 3 アンテナセグメント 1 1 3 0 と円弧方向で隣接し、第 8 アンテナセグメント 1 2 4 0 と中心軸 C A に垂直な方向で隣接することができる。  
【0 1 2 3】

第 2 ターンのアンテナセグメントは、第 1 ターンのアンテナセグメントよりも長い長さに延びることができる。例えば、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 が第 1 長さに延びて配置される場合、第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 は第 1 長さよりも長い第 2 長さに延びることができる。ここで、第 1 長さに対する第 2 長さの比率は、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 の第 1 曲率半径 R C 1 に対する第 5 アンテナセグメント 1 1 1 0 の第 2 曲率半径 R C 2 の比率と対応し得る。また、ここで、対応する第 1 長さに延びる第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 が中心軸 C A となす中心角は、第 2 長さに延びる第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 が中心軸 C A となす中心角と対応し得る。または、第 1 長さに延びる第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 を円弧とする扇形の中心角は、第 2 長さに延びる第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 を円弧とする扇形の中心角の大きさと対応し得る。または、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 の一端と第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 の一端とを結ぶ延長線は、中心軸 C A と合うことができる。

【0 1 2 4】

ここで、中心角は、1 ターン当りに配置されるアンテナセグメントの数に応じて設定されてもよい。例えば、1 ターン当りに配置されるアンテナセグメントが  $x$  個の場合 ( $x$  は自然数)、各アンテナセグメントが中心軸 C A となす中心角は、約  $360/x^\circ$  以下であってもよい。具体的に、再び図 5 を参照すると、アンテナセグメントは第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 ~ 第 4 アンテナセグメント 1 1 4 0 を含み、この場合、各アンテナセグメントが中心軸 C A となす中心角は、約  $90^\circ$  より小さくても同じでもよい。

【0 1 2 5】

第 1 ターンと第 2 ターンとの間の距離は、アンテナ構造体 1 0 0 0 の電氣的性質に基づいて設定されてもよい。一例として、第 1 ターンと第 2 ターンとの間の距離は、アンテナセグメント間に発生し得る寄生キャパシタンスに基づいて設定されてもよい。例えば、第 1 ターンと第 2 ターンとの間の距離は、アンテナ構造体 1 0 0 0 に電源が印加されるとき、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 と第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 との間に寄生キャパシタンスの影響が最小化される距離に設定されてもよい。さらに別の例では、第 1 ターンと第 2 ターンとの間の距離は、アンテナ構造体 1 0 0 0 の全体体積を考慮して設定されてもよい。例えば、製造上許容範囲内でアンテナ構造体 1 0 0 0 の幅を縮小するために、第 1 ターンと第 2 ターンとの間の距離は、1 mm 前後または 0.5 mm ~ 3.5 mm の範囲内に設定されてもよい。このとき、第 1 ターンと第 2 ターンとの間の距離は、特定の駆動周波数でプラズマシステム 1 0 が駆動される場合、ターン間のアーキング (arcing) が発生しない距離に設定されてもよい。さらに別の例では、第 1 ターンと第 2 ターンとの間の距離は、プラズマ発生部 2 0 0 0 の伸縮性を考慮して設定されてもよい。上述した第 1 ターンと第 2 ターンとの間の距離を設定する方法は、第 2 ターンと第 3 ターンとの間の距離などのアンテナ構造体 1 0 0 0 内のターン間の距離を設定するためにも使用できることは言うまでもない。

【0 1 2 6】

第 2 ターンのアンテナセグメントのインダクタンスは、第 1 ターンのアンテナセグメントのインダクタンスに基づいて設定されてもよい。例えば、第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 のインダクタンスは、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 のインダクタンスと対応することができる。さらに別の例では、第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 のインダクタンスは、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 のインダクタンスよりも大きく設定されてもよい。

【0 1 2 7】

一方、第 1 ターンおよび第 2 ターンのアンテナセグメントは異なる平面に配置されてもよい。例えば、第 1 ターンのアンテナセグメントは第 1 平面 P 1 に配置され、第 2 ターン

のアンテナセグメントは第1平面P1と平行な平面または第1平面P1と所定の角度をなす平面に配置することができる。

【0128】

また、第1ターンおよび第2ターンは、同じ数のアンテナセグメントを含んでも異なる数のアンテナセグメントを含んでもよい。例えば、第1ターンは4つの第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140を含み、第2ターンは中心軸CPを基準として対称的に配置された第5アンテナセグメント1210および第7アンテナセグメント1230のみを含んでもよい。

【0129】

以上では、説明の便宜上、アンテナ構造体1000が2ターンで構成されたことを基に説明したが、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではなく、アンテナ構造体1000はn個のターン（nは自然数）で構成することができ、さらに、アンテナ構造体1000は、m個のアンテナセグメントを含むターンをn個含むことができる。このように、複数セグメント、複数ターンのアンテナ構造体1000の場合、上述したアンテナセグメント配置方法を同様に適用することができる。例えば、アンテナ構造体1000が6個のアンテナセグメントを含む3個のターンで構成される場合、第1ターンは第1曲率半径RC1および第1長さを有する6個のアンテナセグメントを、第2ターンは第2曲率半径RC2および第2長さを有する6個のアンテナセグメントを、そして第3ターンは第3曲率半径および第3長さを有する6個のアンテナセグメントを含み、各ターンにおけるアンテナセグメントの長さの合計は、各ターンのアンテナセグメントの曲率半径を半径とする円周よりも短くてもよい。

【0130】

以下では、図7～図10を参照して、アンテナ構造体1000におけるアンテナセグメントの接続方法について説明する。

【0131】

図7～図10は、本明細書の一実施例によるアンテナセグメントおよび容量性素子を含むアンテナ構造体1000に関する図である。

【0132】

図7を参照すると、アンテナ構造体1000は、平板状に構成され、アンテナセグメント、第1主容量性素子1500、第2主容量性素子1600、および補助容量性素子を含むことができる。アンテナ構造体1000は、補助容量性素子を含むことで複数のアンテナセグメントを電氣的または物理的に接続することができ、第1主容量性素子1500および第2主容量性素子1600を介してRF電源200と接続することができる。

【0133】

ここで、補助容量性素子は、ターン内でアンテナセグメントを電氣的または物理的に接続する第1～第6補助容量性素子1711、1712、1713、1721、1722、1723と、異なるターンを電氣的または物理的に接続する第1ターン間容量性素子1731を含むことができる。

【0134】

ここで、主容量性素子1500、1600および補助容量性素子は、蓄電器または蓄電器の等価回路と表される素子であり、所定のキャパシタンス（capacitance）または容量リアクタンスを有する素子を意味することができる。例えば、主容量性素子1500、1600および補助容量性素子は、高周波特性の良好なセラミックキャパシタ（ceramic capacitor）または複数の蓄電器を直列および／または並列に接続した積層セラミックキャパシタ（MLCC：Multi-Layer Ceramic Capacitor）あるいはキャパシタアレイ（capacitor array）を含むことができる。

【0135】

補助容量性素子は、複数のアンテナセグメントを電氣的または物理的に接続することができる。例えば、再び図7を参照すると、第1補助容量性素子1711の一端は第1アン

10

20

30

40

50

テナセグメント 1 1 1 0 の一端と接続され、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 の他端は第 2 アンテナセグメント 1 1 2 0 の一端と接続され得る。第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 は、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 の一端から第 1 曲率半径  $R C 1$  を有して第 1 長さだけ延び、第 2 アンテナセグメント 1 1 2 0 は、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 の他端から第 1 曲率半径  $R C 1$  を有して第 1 長さだけ延びることができる。

【0136】

別の例では、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 は、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 の一端から第 1 曲率半径  $R C 1$  を有して第 1 長さだけ延び、第 2 アンテナセグメント 1 1 2 0 は、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 の他端から第 2 曲率半径  $R C 2$  を有して第 1 長さだけ延びることができる。このとき、第 1 曲率半径  $R C 1$  および第 2 曲率半径  $R C 2$  は同一でも異なってもよい。

10

【0137】

さらに別の例では、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 は、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 の一端から第 1 曲率半径  $R C 1$  を有して第 1 長さだけ延び、第 2 アンテナセグメント 1 1 2 0 は、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 の他端から第 1 曲率半径  $R C 1$  を有して第 2 長さだけ延びることができる。このとき、第 1 長さおよび第 2 長さは同一でも異なってもよい。

【0138】

補助容量性素子はアンテナセグメント間に配置することができる。例えば、再び図 7 を参照すると、アンテナ構造体 1 0 0 0 の第 1 ターンで第 1 ～第 4 アンテナセグメント 1 1 1 0、1 1 2 0、1 1 3 0、1 1 4 0 の間に第 1 ～第 3 補助容量性素子 1 7 1 1、1 7 1 2、1 7 1 3 が配置されてもよい。第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 は第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 および第 2 アンテナセグメント 1 1 2 0 の間に配置することができる。第 2 補助容量性素子 1 7 1 2 は第 2 アンテナセグメント 1 1 2 0 および第 3 アンテナセグメント 1 1 3 0 の間に配置することができる。第 3 補助容量性素子 1 7 1 3 は第 3 アンテナセグメント 1 1 3 0 および第 4 アンテナセグメント 1 1 4 0 の間に配置することができる。アンテナ構造体 1 0 0 0 の第 2 ターンで第 5 ～第 8 アンテナセグメント 1 2 1 0、1 2 2 0、1 2 3 0、1 2 4 0 の間に第 4 ～第 6 補助容量性素子 1 7 2 1、1 7 2 2、1 7 2 3 が配置されてもよい。第 4 補助容量性素子 1 7 2 1 は第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 および第 6 アンテナセグメント 1 2 2 0 の間に配置することができる。第 5 補助容量性素子 1 7 2 2 は第 6 アンテナセグメント 1 2 2 0 および第 7 アンテナセグメント 1 2 3 0 の間に配置することができる。第 6 補助容量性素子 1 7 2 3 は第 7 アンテナセグメント 1 2 3 0 および第 8 アンテナセグメント 1 2 4 0 の間に配置することができる。

20

【0139】

ここで、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 は、第 2 補助容量性素子 1 7 1 2 と円弧方向で隣接し、第 4 補助容量性素子 1 7 2 1 と中心軸  $C A$  に垂直な方向で隣接するように配置されてもよい。第 2 補助容量性素子 1 7 1 2 は、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 および第 3 補助容量性素子 1 7 1 3 と円弧方向で隣接し、第 5 補助容量性素子 1 7 2 2 と中心軸  $C A$  に垂直な方向で隣接するように配置されてもよい。第 3 補助容量性素子 1 7 1 3 は、第 2 補助容量性素子 1 7 1 2 と円弧方向で隣接し、第 6 補助容量性素子 1 7 2 3 と中心軸  $C A$  に垂直な方向で隣接するように配置されてもよい。

30

40

【0140】

補助容量性素子は、アンテナセグメントと特定の位置関係を有するように配置することができる。例えば、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 は、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 の他端と第 2 アンテナセグメント 1 1 2 0 の一端を接続する仮想線を通るように配置することができる。さらに別の例では、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 は、第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 および第 2 アンテナセグメント 1 1 2 0 と導線などの電気接続部材を介して接続されるが、接続されるアンテナセグメントと比較して中心軸  $C A$  からさらに離間して配置することができる。さらに別の例では、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 は、第 1 ターンと第 2 ターンとの間に配置することができる。具体的に、第 1 補助容量性素子 1 7 1 1 は、中心軸  $C A$  から第 1 曲率半径  $R C 1$  よりも大きく第 2 曲率半径  $R C 2$  より小さい距離に配

50

置されてもよい。

【0141】

または、補助容量性素子は、アンテナセグメントが配置された平面とは異なる平面に配置されてもよい。例えば、第1～第6補助容量性素子1711、1712、1713、1721、1722、1723のうちの少なくとも1つは、第1平面P1から予め設定された距離だけ離間して配置されてもよい。ここで、予め設定された距離は、補助容量性素子の体積または大きさなどを考慮することができる。

【0142】

補助容量性素子は、アンテナセグメント間で相互間に予め設定された位置関係を有するように配置することができる。例えば、再び図7を参照すると、第1～第6補助容量性素子1711、1712、1713、1721、1722、1723のうちの少なくとも2つは、中心軸CAを基準として対称に配置されてもよい。具体的に、第1補助容量性素子1711および第3補助容量性素子1713は、中心軸CAを基準として対称にすることができる。さらに別の例では、第1ターンの補助容量性素子および第2ターンの補助容量性素子は、互に対応する位置に配置されてもよい。具体的に、第1補助容量性素子1711と第4補助容量性素子1721とを結ぶ延長線は、中心軸CAと合うことができる。または、第1補助容量性素子1711と第4補助容量性素子1721とを結ぶ延長線は、第3補助容量性素子1713と第6補助容量性素子1723を通過することができる。または、第1補助容量性素子1711と第4補助容量性素子1721とを結ぶ延長線と、第2補助容量性素子1712と第5補助容量性素子1722を結ぶ延長線は、中心軸CAから予め設定された範囲内で交わるか捻れた位置にあってもよい。

【0143】

上述と同様の方法で、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140は、第1～第3補助容量性素子1711、1712、1713を介して電氣的に接続することができる。また、第5～第8アンテナセグメント1210、1220、1230、1240は、第4～第6補助容量性素子1721、1722、1723を介して電氣的に接続することができる。

【0144】

補助容量性素子の数は、アンテナ構造体1000の層数、ターン数、およびアンテナセグメントの数に基づいて設定されてもよい。例えば、再び図7を参照すると、アンテナ構造体1000がそれぞれ4個のアンテナセグメントを有する2つのターンを含む1層で構成される場合、アンテナ構造体1000は7個の補助容量性素子を含むことができる。

【0145】

一方、アンテナ構造体1000を構成する複数のターンは、それぞれ異なる数のアンテナセグメントを含むことができる。一例として、図8を参照すると、アンテナ構造体1000は、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140を含む第1ターンおよび第5～第10アンテナセグメント1210、1220、1230、1240、1250、1260を含む第2ターンを含むことができる。

【0146】

ここで、アンテナ構造体1000内の各アンテナセグメントは、実質的に同じ長さまたは異なる長さを有することができる。例えば、第1ターンのアンテナセグメントおよび第2ターンのアンテナセグメントはともに同じ長さを有することができる。さらに別の例では、第1ターンのアンテナセグメントのそれぞれは第1長さを有し、第2ターンのアンテナセグメントのそれぞれは第1長さよりも短い第2長さを有することができる。このとき、第1長さおよび第2長さは、各ターンの曲率半径に基づいて設定することができる。このとき、アンテナ構造体1000の各ターンを構成するアンテナセグメントが必ずしも同じ長さに延びる必要はない。

【0147】

一方、アンテナ構造体1000を構成する複数のターンがそれぞれ異なる数のアンテナセグメントを含む場合、アンテナ構造体1000内の各ターンは、異なる数の補助容量性

素子を含むことができる。一例として、再び図 8 を参照すると、アンテナ構造体 1 0 0 0 の第 1 ターンは第 1 ～第 3 補助容量性素子 1 7 1 1、1 7 1 2、1 7 1 3 を含み、第 2 ターンは第 4 ～第 8 補助容量性素子 1 7 2 1、1 7 2 2、1 7 2 3、1 7 2 4、1 7 2 5 を含むことができる。

#### 【0148】

ここで、アンテナ構造体 1 0 0 0 の第 1 ターンに含まれる補助容量性素子と第 2 ターンに含まれる補助容量性素子とは、予め設定された位置関係を有することができる。具体的に、第 1 ターンに含まれる補助容量性素子のうち少なくとも 1 つと第 2 ターンに含まれる補助容量性素子のうち少なくとも 1 つとは一直線上に位置することができる。例えば、再び図 8 を参照すると、アンテナ構造体 1 0 0 0 の第 1 ターンの第 2 補助容量性素子 1 7 1 2 および第 2 ターンの第 6 補助容量性素子 1 7 2 3 は、中心軸 C A に垂直であり、アンテナ構造体 (1 0 0) の中心を通る直線から予め設定された領域内に配置することができる。ただし、アンテナ構造体 1 0 0 0 内の補助容量性素子間の位置関係は上述した場合に限定されるものではなく、アンテナ構造体 1 0 0 0 内の補助容量性素子は、相互間に特定の位置関係なく任意に配置されてもよい。

#### 【0149】

アンテナ構造体 1 0 0 0 を構成する複数の層は、それぞれ異なる数のアンテナセグメントおよび異なる数の補助容量性素子を含むことができる。異なる層が含むアンテナセグメント数および補助容量性素子数は、上述した異なるターンが含むアンテナセグメントおよび補助容量性素子の数を設定する方法と同様の方法で設定することができる。

#### 【0150】

補助容量性素子は、ターン間に配置され、アンテナセグメントを電氣的または物理的に接続することができる。例えば、再び図 7 を参照すると、補助容量性素子は、第 1 ターンと第 2 ターンとの間に配置され、第 1 ターンおよび第 2 ターンを電氣的に接続することができる。具体的に、第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 は、第 1 ターンを構成する第 4 アンテナセグメント 1 1 4 0 と第 2 ターンを構成する第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 を直列接続することができる。このとき、第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 は直接または導線などの別途の接続部を介してアンテナセグメントと接続することができ、これにより第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 と接続されるアンテナセグメントは他のアンテナセグメントよりも短いまたは長い長さを有することができる。図示していないが、第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 は、第 1 ターンを構成する第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 と第 2 ターンを構成する第 8 アンテナセグメント 1 2 4 0 とを直列接続してもよい。このとき、アンテナ構造体 1 0 0 0 は、第 1 平面 P 1 から第 2 平面 P 2 を見る方向を基準として反時計回り方向に内側ターンから外側ターンに巻くことができる。

#### 【0151】

ここで、ターン間容量性素子は、ターン間を接続するために他の補助容量性素子とは異なる形状を有するか、別途の接続部を有することができる。例えば、第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 の一端と他端は、中心軸 C A から異なる距離に離間してもよい。具体的に、第 1 ターンの第 4 アンテナセグメント 1 1 4 0 と接続される第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 の一端は、第 2 ターンの第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 と接続される第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 の他端よりも中心軸 C A から短い離間距離を有することができる。さらに別の例では、第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 は、第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 の一端から第 4 アンテナセグメント 1 1 4 0 に延びる第 1 接続部および第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 の他端から第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 に延びる第 2 接続部を含むことができる。このとき、第 1 接続部および第 2 接続部は、直線または曲線の導線を含み、中心軸 C A から異なる距離に離間することができる。

#### 【0152】

アンテナ構造体 1 0 0 0 がターン間容量性素子を含むことによって、アンテナ構造体 1 0 0 0 内のすべてのアンテナセグメントを電氣的に接続することができる。

#### 【0153】

主容量性素子１５００、１６００は、アンテナセグメントとＲＦ電源２００とを物理的または電氣的に接続することができる。例えば、再び図７を参照すると、第１主容量性素子１５００は、第１アンテナセグメント１１１０およびインバータ２３０の第１端子を電氣的に接続し、第２主容量性素子１６００は、第８アンテナセグメント１２４０およびインバータ２３０の第２端子を電氣的に接続することができる。

【０１５４】

または、図７に示すこととは異なって、第１主容量性素子１５００は、第４アンテナセグメント１１４０およびインバータ２３０の第１端子を電氣的に接続し、第２主容量性素子１６００は、第５アンテナセグメント１２４０およびインバータ２３０の第２端子を電氣的に接続することができる。

【０１５５】

一方、アンテナ構造体１０００が第１～第４アンテナセグメント１１１０、１１２０、１１３０、１１４０を含む第１ターンで実現される場合、第１アンテナセグメント１１１０および第４アンテナセグメント１１４０のうちのいずれか一方は、第１主容量性素子１５００を介してインバータ２３０の第１端子と電氣的に接続され、他方は第２主容量性素子１６００を介してインバータ２３０の第２端子と電氣的に接続することができる。

【０１５６】

主容量性素子１５００、１６００は、ＲＦ電源２００とアンテナ構造体１０００とを接続するために特定の形状を有するか、または別途の接続部を有することができる。例えば、第１主容量性素子１５００は、第１アンテナセグメント１１１０の一端で中心軸ＣＡに平行な方向に延びてもよい。または、第１主容量性素子１５００は、第１アンテナセグメント１１１０の一端で中心軸ＣＡから離れる方向に延びてもよい。または、第１主容量性素子１５００は、第１平面Ｐ１に垂直な方向から見て、第１主容量性素子１５００の少なくとも一部が第１ターン間容量性素子１７３１およびアンテナセグメントの少なくとも一部と重なるように配置されてもよい。第２主容量性素子１６００は、第８アンテナセグメント１２４０の他端で第１平面Ｐ１に平行に延びてもよい。または、第２主容量性素子１６００は、第８アンテナセグメント１２４０の他端で中心軸ＣＡに平行な方向に延びてもよい。

【０１５７】

一方、第１主容量性素子１５００および第２主容量性素子１６００のうちの少なくとも一方は、アンテナ構造体１０００から省略することができる。この場合、ＲＦ電源２００は、主容量性素子１５００、１６００に対応する電気素子を提供することができる。また、補助容量性素子のうち少なくとも一部は省略してもよい。

【０１５８】

また、主容量性素子１５００、１６００および補助容量性素子は、アンテナセグメントから一定距離離間して配置されてもよい。例えば、補助容量性素子は、その大きさや体積が大きい場合、アンテナセグメントから一定距離離間した状態で導体または導線などの別途の接続部を介してアンテナセグメントと接続することができる。

【０１５９】

主容量性素子１５００、１６００および補助容量性素子とアンテナセグメントの接続方法によって、アンテナ構造体１０００に電流が流れる方向を決定することができる。例えば、再び図７を参照すると、第１主容量性素子１５００が第１アンテナセグメント１１１０と直列接続され、第４アンテナセグメント１１４０および第５アンテナセグメント１２１０が第１ターン間容量性素子１７３１を介して直列接続され、第２主容量性素子１６００が第８アンテナセグメント１２４０と直列接続される場合、アンテナ構造体１０００に電源が印加されると、第１ターンおよび第２ターンは同じ方向（時計回り方向または反時計回り方向）に電流が流れ得る。さらに別の例では、図６に示されたこととは異なって、第１主容量性素子１５００が第４アンテナセグメント１１４０と直列接続され、第１アンテナセグメント１１１０および第８アンテナセグメント１２１０が第１ターン間容量性素子１７３１を介して直列接続され、第２主容量性素子１６００が第５アンテナセグメント

10

20

30

40

50

1 2 1 0と直列接続される場合、アンテナ構造体1 0 0 0に電源が印加されると、第1ターンおよび第2ターンは同じ方向（時計回り方向または、反時計回り方向）に電流が流れ得る。このとき、第1ターンおよび第2ターンに同じ方向に電流が流れる場合、第1ターンおよび第2ターンに異なる方向に電流が流れる場合よりもプラズマ発生のための誘導電界の強度が増加することがあり、アンテナセグメント間の電位差が小さくなり、寄生容量の影響を低減することができる。

【0 1 6 0】

アンテナ構造体1 0 0 0は、主容量性素子1 5 0 0、1 6 0 0を介してRF電源2 0 0から可変駆動周波数を有する交流信号が印加され、プラズマを発生することができる。

【0 1 6 1】

ここで、アンテナ構造体1 0 0 0に印加される交流信号の駆動周波数は、アンテナ構造体1 0 0 0およびプラズマを含む負荷の共振周波数に基づいて時変することができる。

【0 1 6 2】

補助容量性素子は所定の電気容量または静電容量（capacity or capacitance）を有することができる。例えば、補助容量性素子の静電容量は、RF電源2 0 0の駆動周波数範囲、アンテナ構造体1 0 0 0が有すべき共振周波数、アンテナセグメントの数およびアンテナセグメントのインダクタンスのうち少なくとも1つに基づいて設定されてもよい。具体的に、アンテナ構造体1 0 0 0が共振周波数 $f_r$ を有し、アンテナ構造体1 0 0 0内のアンテナインダクタンスの総インダクタンスが $L_{tot}$ であるとき、アンテナセグメントと接続された主容量性素子1 5 0 0、1 6 0 0および補助容量性素子の総静電容量 $C_{tot}$ が以下の式（1）を満たすように補助容量性素子の静電容量を設定することができる。

【0 1 6 3】

$$(1) f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{tot} \times C_{tot}}}$$

【0 1 6 4】

このとき、補助容量性素子それぞれの電気容量 $C_a$ は、第1主容量性素子1 5 0 0および第2主容量性素子1 6 0 0の直列接続による静電容量が1つの補助容量性素子と等価である場合、前記式（1）を満たす $C_{tot}$ にアンテナ構造体1 0 0 0が含むアンテナセグメントの数を乗じた値に設定することができる。または、補助容量性素子それぞれの電気容量 $C_a$ は、アンテナ構造体1 0 0 0の共振周波数が $f_r$ に設定され、アンテナセグメントそれぞれのインダクタンスが $L_a$ であるとき、次の式（2）を満たすように設定されてもよい。

【0 1 6 5】

$$(2) f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_a \times C_a}}$$

【0 1 6 6】

具体的に、アンテナ構造体1 0 0 0内のアンテナセグメントそれぞれが約1  $\mu$  Hのインダクタンスを有し、アンテナ構造体1 0 0 0の共振周波数が5.03 MHz周波数に特定された場合、補助容量性素子それぞれの静電容量は約1 nFに設定することができる。または、アンテナ構造体1 0 0 0内のアンテナセグメントそれぞれが約0.7  $\mu$  Hのインダクタンスを有し、補助容量性素子それぞれの静電容量が約3.32 nFに設定される場合、アンテナ構造体1 0 0 0は約3.3 MHzの駆動周波数で共振条件を満足して駆動することができる。

## 【0167】

補助容量性素子の静電容量が上述した条件を満たすように設定されると、アンテナ構造体1000の各アンテナセグメントは一定範囲の電位値を有するようになってアンテナセグメント間の電位差を減少することができる。これにより、蓄電結合による静電電界が縮小され、アンテナ構造体1000の消費電力が減少し、プラズマシステム10の耐久性やプラズマの安全性などを向上させることができる。アンテナ構造体1000内のアンテナセグメント間に補助容量性素子が配置されるので、各アンテナセグメントが有する電位については後述する。

## 【0168】

主容量性素子1500、1600は、所定の電気容量または静電容量を有することができる。例えば、主容量性素子1500、1600の静電容量は、RF電源200の駆動周波数範囲、アンテナ構造体1000が有するべき共振周波数、アンテナセグメントの数、アンテナセグメントのインダクタンスおよび補助容量性素子それぞれの静電容量のうち少なくとも1つに基づいて設定されてもよい。具体的に、第1主容量性素子1500の静電容量がC1、第2主容量性素子1600の静電容量がC2、補助容量性素子それぞれの静電容量がC<sub>a</sub>であるとき、C1およびC2は、特定の条件を満たすように設定することができる。より具体的に、C1およびC2は、以下の式(3)を満たすように設定されてもよい。

## 【0169】

$$(3) \quad \frac{1}{C_a} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}$$

## 【0170】

主容量性素子1500、1600が上述した式(3)を満たす場合、アンテナ構造体1000内のアンテナセグメントに印加される最大電圧を下げて共振効果を向上させ、プラズマシステム10の安定性および効率を増やすことができる。

## 【0171】

以上では、アンテナ構造体1000がそれぞれ4個のアンテナセグメントが2ターンに配置されて構成された場合を主な実施例として説明したが、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではなく、それぞれ複数のアンテナセグメントを有する複数のターンに構成されるアンテナ構造体1000においても、上述した形態と同様に、主容量性素子1500、1600および補助容量性素子を配置することができる。

## 【0172】

図9および図10を参照すると、アンテナ構造体1000はチューブ状に構成され、アンテナセグメント、第1主容量性素子1500、第2主容量性素子1600、および補助容量性素子を含むことができる。

## 【0173】

以下では、特に説明がない場合、図5～図8を参照して説明した内容を同様に適用することができ、重複する内容は省略する。例えば、チューブ状のアンテナ構造体は、複数のアンテナ構造体異なる平面に配置されているが、互いに物理的または電氣的に接続されていると理解してもよい。

## 【0174】

チューブ状に構成されたアンテナ構造体1000が含むアンテナセグメントは、複数の層(layer)に配置することができる。

## 【0175】

再び図9を参照すると、アンテナセグメントは、中心軸CAを基準として第1平面P1および第2平面P2に2層に配置されてもよい。具体的に、第1層は第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140を含み、第2層は第9～第12アンテナセグメント1310、1320、1330、1340を含むことができる。ここで、

第1層のアンテナセグメントは第1曲率半径 $R_{C1}$ を有し、第2層のアンテナセグメントは第1曲率半径 $R_{C1}$ に対応する曲率半径を有することができる。

【0176】

ここで、第2平面 $P2$ は、中心軸 $CA$ に垂直または1点で会う仮想平面を意味することができる。または、第2平面 $P2$ は、第1平面 $P1$ と平行な平面を意味することもできる。

【0177】

第2層のアンテナセグメントそれぞれは、第1層のアンテナセグメントそれぞれに対応するように配置されてもよい。例えば、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140が第1平面 $P1$ の第1～第4象限にそれぞれ配置される場合、第9～第12アンテナセグメント1310、1320、1330、1340は、第2平面 $P1$ の第1～第4象限にそれぞれ配置することができる。

10

【0178】

第2層のアンテナセグメントは、第1層のアンテナセグメントの長さに対応する長さに延びることができる。例えば、第1アンテナセグメント1110が第1長さに延びて配置されると、第9アンテナセグメント1310は第1長さに延びることができる。ここで、第1長さに延びる第1アンテナセグメント1110が中心軸 $CA$ となす中心角は、同様に第2平面 $P2$ で第1長さに延びる第9アンテナセグメント1310が中心軸 $CA$ となす中心角に対応することができる。

【0179】

第1層と第2層との間の距離は、アンテナセグメント間に発生する可能性がある寄生キャパシタンスに基づいて設定することができる。例えば、第1層と第2層との間の距離は、アンテナ構造体1000に電源が印加されたときに第1アンテナセグメント1110と第9アンテナセグメント1310との間の寄生キャパシタンスの影響が最小になる距離に設定されてもよい。具体的に、第1層と第2層との間の距離は、0.5mm～1.5mmの範囲内に設定されてもよい。このとき、第1層と第2層との間の距離は、特定の駆動周波数でプラズマシステム10が駆動されるときに、層間アーク放電が発生するのを防止するための距離に設定することができる。

20

【0180】

第2層のアンテナセグメントのインダクタンスは、第1層のアンテナセグメントのインダクタンスに基づいて設定されてもよい。例えば、第9アンテナセグメント1310のインダクタンスは、第1アンテナセグメント1110のインダクタンスと対応することができる。さらに別の例では、第9アンテナセグメント1310のインダクタンスは、第1アンテナセグメント1110のインダクタンスよりも大きく設定することができる。

30

【0181】

チューブ状に構成されたアンテナ構造体1000は、プラズマ発生部2000の周囲に配置することができる。例えば、再び図9を参照すると、アンテナセグメントは、プラズマ発生部2000の周囲に配置されてもよい。具体的に、第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140および第9～第12アンテナセグメント1310、1320、1330、1340は、プラズマ発生部2000に接触するように配置されてもよい。

40

【0182】

チューブ状に構成されたアンテナ構造体1000は補助容量性素子を含むことができる。例えば、再び図9を参照すると、アンテナ構造体1000の第1層において第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140の間に第1～第3補助容量性素子1711、1712、1713を配置することができる。第1補助容量性素子1711は、第1アンテナセグメント1110と第2アンテナセグメント1120との間に配置することができる。第2補助容量性素子1712は、第2アンテナセグメント1120と第3アンテナセグメント1130との間に配置することができる。第3補助容量性素子1713は、第3アンテナセグメント1130と第4アンテナセグメント1140との間に配置することができる。アンテナ構造体1000の第2層において第9～第12アンテナ

50

ナセグメント1310、1320、1330、1340の間に第7～第9補助容量性素子1751、1752、1753を配置することができる。第7補助容量性素子1751は、第9アンテナセグメント1310と第10アンテナセグメント1320との間に配置することができる。第8補助容量性素子1752は、第10アンテナセグメント1320と第11アンテナセグメント1330との間に配置することができる。第9補助容量性素子1753は、第11アンテナセグメント1330と第12アンテナセグメント1340との間に配置することができる。

#### 【0183】

ここで、第7補助容量性素子1751は、第8補助容量性素子1752と円弧方向で隣接し、第1補助容量性素子1711と中心軸CAに平行な方向で隣接するように配置されてもよい。第8補助容量性素子1752は、第7補助容量性素子1751および第9補助容量性素子1753と円弧方向で隣接し、第2補助容量性素子1712と中心軸CAに平行な方向で隣接するように配置されてもよい。第9補助容量性素子1753は、第8補助容量性素子1752と円弧方向で隣接し、第3補助容量性素子1713と中心軸CAに平行な方向で隣接するように配置されてもよい。

#### 【0184】

補助容量性素子は、層間で相互間に予め設定された位置関係を有するように配置されてもよい。例えば、再び図9を参照すると、第1～第3補助容量性素子1711、1712、1713および第7～第9補助容量性素子1751、1752、1753のうちの少なくとも2つは中心軸CAに平行な仮想線上に配置することができる。具体的に、第1補助容量性素子1711と第7補助容量性素子1751とを結ぶ仮想の延長線は、中心軸CAと平行であってもよい。さらに別の例では、第1層の補助容量性素子および第2層の補助容量性素子は互に対応する位置に配置されてもよい。具体的に、第1～第3補助容量性素子1711、1712、1713のいずれか1つと第7～第9補助容量性素子1751、1752、1753のいずれか1つとを結ぶ仮想の延長線と、第1～第3補助容量性素子1711、1712、1713のうち他の1つと第7～第9補助容量性素子1751、1752、1753のうち他の1つとを結ぶ仮想の延長線とは、中心軸CAまたは中心軸CAから予め設定された領域内で交わるか捻れた位置にあってもよい。

#### 【0185】

補助容量性素子は、プラズマ発生部2000に付着するか、または離間して配置することができる。例えば、再び図8を参照すると、第1補助容量性素子1711は、中心軸CAから第1曲率半径RC1だけ離間して配置され、プラズマ発生部2000と接触することができる。さらに別の例では、第1補助容量性素子1711は、中心軸CAから第1曲率半径RC1より長い距離だけ離間して配置され、プラズマ発生部2000と接触しない場合がある。

#### 【0186】

チューブ状に構成されたアンテナ構造体1000内に配置される補助容量性素子は、層間容量性素子を含むことができる。例えば、再び図9を参照すると、第1層および第2層は、第1層間容量性素子1741を介して電氣的に直列接続されてもよい。具体的に、第1層間容量性素子1741は、第1層を構成する第4アンテナセグメント1140と第2層を構成する第9アンテナセグメント1310を直列接続することができる。または、図9に示されたことと異なるように、第1層間容量性素子1741は、第1層を構成する第1アンテナセグメント1110と第2層を構成する第12アンテナセグメント1340を直列接続することができる。

#### 【0187】

ここで、層間容量性素子は、層間を接続するために他の補助容量性素子とは異なる形状を有するか、別々の接続部を有することができる。例えば、第1層間容量性素子1741の一端と他端は異なる平面に位置することができる。具体的に、第1層の第4アンテナセグメント1140と接続される第1層間容量性素子1741の一端は、第1平面P1に位置し、第2層の第9アンテナセグメント1310と接続される第1層間容量性素子174

10

20

30

40

50

1の他端は、第2平面P2に位置することができる。さらに別の例では、第1層間容量性素子1741は、第1層間容量性素子1741の一端から第4アンテナセグメント1140に延びる第3接続部および第1層間容量性素子1741の他端から第9アンテナセグメント1310に延びる第4接続部を含むことができる。このとき、第3接続部および第4接続部は直線または曲線の導線を含むことができ、プラズマ発生部2000に付着するか、一定距離離間することができる。このとき、第1層間容量性素子1741に接続されるアンテナセグメントは、他のアンテナセグメントよりも短いまたは長い長さを有することができる。

#### 【0188】

アンテナ構造体1000が層間容量性素子を含むことによって、アンテナ構造体1000内のすべてのアンテナセグメントを電氣的に接続することができる。

#### 【0189】

チューブ状に構成されたアンテナ構造体1000は、主容量性素子1500、1600を介してRF電源200と物理的または電氣的に接続することができる。例えば、再び図9を参照すると、第1アンテナセグメント1110は、第1主容量性素子1500を介してインバータ230の第1端子と電氣的に接続され、第12アンテナセグメント1340は、第2主容量性素子1600を介してインバータ230の第2端子と電氣的に接続することができる。または、第4アンテナセグメント1140は、第1主容量性素子1500を介してインバータ230の第1端子と電氣的に接続され、第9アンテナセグメント1310は、第2主容量性素子1600を介してインバータ230の第2端子と電氣的に接続することができる。

#### 【0190】

主容量性素子1500、1600および補助容量性素子とアンテナセグメントの接続方法によって、アンテナ構造体1000に電流が流れる方向を決定することができる。例えば、再び図9を参照すると、第1主容量性素子1500が第1アンテナセグメント1110と直列接続され、第4アンテナセグメント1140および第9アンテナセグメント1310が第1層間容量性素子1741を介して直列接続され、第2主容量性素子1600が第12アンテナセグメント1340と直列接続される場合、アンテナ構造体1000に電源が印加されると、第1層および第2層は同じ方向（時計回り方向または反時計回り方向）に電流が流れ得る。このとき、第1層および第2層に同じ方向に電流が流れる場合、第1層および第2層に異なる方向に電流が流れる場合よりもプラズマ発生のための誘導電界の強度が増加することがあり、アンテナセグメント間の電位差が小さくなり、寄生容量の影響を低減することができる。

#### 【0191】

チューブ状に構成されたアンテナ構造体1000は、複数のターンおよび複数の層に配置されたアンテナセグメントを含むことができる。

#### 【0192】

図10を参照すると、チューブ状に構成されたアンテナ構造体1000は、第1層の第1ターンに配置される第1～第4アンテナセグメント1110、1120、1130、1140、第1層の第2ターンに配置される第5～第8アンテナセグメント1210、1220、1230、1240、第2層の第1ターンに配置される第9～第12アンテナセグメント1310、1320、1330、1340、第2層の第2ターンに配置される第13～第16アンテナセグメント1410、1420、1430、1440、主容量性素子1500、1600、および補助容量性素子を含むことができる。

#### 【0193】

図10に示すチューブ状に構成されたアンテナ構造体1000は、図7～図9で説明したものと同一／類似に、アンテナセグメントが複数のターンおよび複数の層に配置することができる。

#### 【0194】

上述したマルチターン (multi-turn)、マルチ層 (multi-layer

10

20

30

40

50

）で構成されるアンテナ構造体 1 0 0 0 内に配置される補助容量性素子は、ターン間容量性素子および層間容量性素子を含むことができる。例えば、再び図 1 0 を参照すると、マルチターン、マルチ層で構成されるアンテナ構造体 1 0 0 0 は、第 1 層でターンを接続する第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 と、第 2 層でターンを接続する第 2 ターン間容量性素子 1 7 3 3 と、第 1 層および第 2 層を接続する第 1 層間容量性素子 1 7 4 1 と、を含むことができる。

【 0 1 9 5 】

一方、アンテナ構造体 1 0 0 0 においてアンテナセグメントが 3 層以上の層に配置される場合、アンテナ構造体 1 0 0 0 は、複数の層間容量性素子または層間接続部を含むことができる。

【 0 1 9 6 】

ここで、複数の層間容量性素子または層間接続部は、互いに予め設定された位置関係を有するように配置されてもよい。例えば、層間容量性素子は、中心軸 C A を基準として所定の角度に回転して配置されてもよい。具体的に、第 1 層および第 2 層を接続する第 1 層間容量性素子 1 7 4 1 は、第 2 層および第 3 層を接続する第 2 層間容量性素子（図示せず）と中心軸 C A を基準として所定の角度を有するように配置することができる。

【 0 1 9 7 】

また、ここで、複数の層間容量性素子または層間接続部は、各層においてターンが互いに接続されるターン間接続領域が中心軸 C A を基準として所定の角度を有するようにアンテナセグメントを接続することができる。例えば、第 1 層で第 1 ターンの第 4 アンテナセグメント 1 1 4 0 および第 2 ターンの第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 が補助容量性素子を介して接続される場合、第 1 層間容量性素子 1 7 4 1 は第 8 アンテナセグメント 1 2 4 0 および第 1 0 アンテナセグメント 1 3 2 0 を接続し、第 2 ターン間容量性素子 1 7 3 3 は第 9 アンテナセグメント 1 3 1 0 および第 1 4 アンテナセグメント 1 4 2 0 を接続することができる。このとき、ターン間接続領域は、各層で異なる 2 ターンが接続される領域であるため、プラズマ発生部 2 0 0 0 は、ターン間接続領域でアンテナセグメントと接触せず、アンテナセグメント内を流れる冷却水によって冷却効果を得ることが難しい場合がある。ただし、上述したように、複数の層でターンが互いに接続されるターン間接続領域が所定の角度をなすことによって、プラズマ発生部 2 0 0 0 が冷却されない領域を層ごとに異なるように分散することができる。

【 0 1 9 8 】

マルチターン、マルチ層で構成されるアンテナ構造体 1 0 0 0 において、各層の各ターンを流れる電流の方向は、主容量性素子 1 5 0 0、1 6 0 0 および補助容量性素子とアンテナセグメントの接続方法によって決定することができる。例えば、再び図 1 0 を参照すると、第 1 主容量性素子 1 5 0 0 が第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 と直列接続され、第 4 アンテナセグメント 1 1 4 0 および第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 が第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 を介して直列接続され、第 8 アンテナセグメント 1 2 4 0 および第 9 アンテナセグメント 1 3 1 0 が第 1 層間容量性素子 1 7 4 1 を介して直列接続され、第 1 2 アンテナセグメント 1 3 4 0 および第 1 3 アンテナセグメント 1 4 1 0 が第 2 ターン間容量性素子 1 7 3 3 を介して直列接続され、第 2 主容量性素子 1 6 0 0 が第 1 6 アンテナセグメント 1 4 4 0 と直列接続される場合、アンテナ構造体 1 0 0 0 に電源が印加されると、第 1 層の第 1 ターン、第 1 層の第 2 ターン、第 2 層の第 1 ターン、および第 2 層の第 2 ターンは、同じ方向（時計回り方向または反時計回り方向）に電流を流すことができる。さらに別の例では、第 1 主容量性素子 1 5 0 0 が第 1 アンテナセグメント 1 1 1 0 と直列接続され、第 4 アンテナセグメント 1 1 4 0 および第 5 アンテナセグメント 1 2 1 0 が第 1 ターン間容量性素子 1 7 3 1 を介して直列接続され、第 8 アンテナセグメント 1 2 4 0 および第 1 3 アンテナセグメント 1 4 1 0 が第 1 層間容量性素子 1 7 4 1 を介して直列接続され、第 1 6 アンテナセグメント 1 4 4 0 および第 9 アンテナセグメント 1 3 1 0 が第 2 ターン間容量性素子 1 7 3 3 を介して直列接続され、第 2 主容量性素子 1 6 0 0 が第 1 2 アンテナセグメント 1 3 4 0 と直列接続される場合、アンテナ構造体 1 0 0 0 に電源が

10

20

30

40

50

印加されると、第1層の第1ターン、第1層の第2ターン、第2層の第1ターン、および第2層の第2ターンは、同じ方向（時計回り方向または反時計回り方向）に電流を流すことができる。

【0199】

上述のように、各層の各ターンが同じ方向に電流を流す場合、異なる方向に電流を流す場合よりもプラズマ発生のための誘導電界の強度を増加することができ、アンテナセグメント間の電位差が減少して寄生容量の影響を低減することができる。

【0200】

以上では、マルチターン、マルチ層で構成されるアンテナ構造体1000が1ターン当たり4個のアンテナセグメントを含み、1層当たり2ターンを含み、合計2層で構成された場合を主な実施例として説明したが、本明細書の技術的思想はこれに限定されず、アンテナ構造体1000は、1ターン当たりp個のアンテナセグメントを含み、1層当たりq個のターンを含み、合計r層で構成されてもよく（p、q、rは自然数）、上述した内容が同じ／類似に適用されることは言うまでもない。

【0201】

以下では、図11～図13を参照してアンテナ構造体1000に電源が印加される場合について説明する。

【0202】

一方、以下では説明の便宜上、別段の説明がない限り、アンテナ構造体1000は、図7～図10に示すように、円弧に沿って一方向に一端から他端に延びる複数のアンテナセグメントおよび補助容量性素子を含むと想定するが、本明細書の技術的思想はこれに限定されない。

【0203】

図11は、本明細書の一実施例によるアンテナ構造体1000の等価回路に関する図である。

【0204】

図11を参照すると、アンテナ構造体1000の等価回路は、キャパシタ（capacitor）とインダクター（inductor）が交互に直列接続されて配置される回路を含むことができる。

【0205】

アンテナ構造体1000の等価回路におけるいずれかのノードの電圧または電位差は、RF電源200からアンテナ構造体1000に印加する交流電源または交流信号に基づいて設定することができる。例えば、RF電源200がアンテナ構造体1000に振幅Vを有する交流電圧を印加すると、アンテナ構造体1000内の1つのノードにおける電位差は、V以下の振幅で振動することができる。

【0206】

以下では、アンテナ構造体1000に交流電源が印加される場合、容量性素子の有無によるアンテナ構造体1000内の位置別電圧について説明する。

【0207】

ここで、位置別電圧とは、アンテナ構造体1000内のアンテナセグメントの位置で基準ノードに対して有する電圧を意味することができる。例えば、位置別電圧は、アンテナ構造体1000に交流電源が印加された後のある時点で、各アンテナセグメントの一端、他端、または一端と他端との間の特定のノードにおいて基準ノードに対して有する電圧を意味することができる。

【0208】

ここで、基準ノードは、位置別電圧を算出するための基準となる点を意味することができる。例えば、基準ノードは、接地ノード、RF電源200の第1端子または第2端子、一端または他端、およびアンテナ構造体1000内の1点を含むことができる。以下では、説明の便宜上、基準ノードがRF電源200の一端である場合を算定して説明するが、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではなく、基準ノードが異なって設定され

10

20

30

40

50

ても同じ／類似に適用することができる。

【0209】

図12は、本明細書の一実施例によるアンテナ構造体1000内の位置による電位を示すグラフである。

【0210】

図12を参照すると、アンテナ構造体1000内のアンテナセグメントが容量性素子なしで直列接続される場合、アンテナセグメントは任意の時点で異なる範囲の電圧を有することができる。例えば、アンテナセグメントが図6に示すように配置された状態で直列接続される場合、交流電源が印加されるにつれて互いに隣接する第1アンテナセグメント1110と第5アンテナセグメント1210には異なる大きさの電圧が印加され得る。この場合、第1および第5アンテナセグメント1110、1210の間の寄生容量の影響が大きくなり、プラズマ誘導に望ましくない可能性がある。

10

【0211】

再び図12を参照すると、アンテナ構造体1000内のアンテナセグメントが容量性素子なしで直列接続される場合、容量性素子による電圧分配が不可能であり、アンテナセグメントのそれぞれに印加される電圧の大きさが大きくなる可能性がある。このように、各アンテナセグメントに印加される電圧の大きさが大きくなると、不要な消費電力が発生し、プラズマシステム10が不安定になる可能性がある。

【0212】

図13は、本明細書の一実施例による容量性素子を含むアンテナ構造体1000内の位置による電圧を示すグラフである。

20

【0213】

図13を参照すると、アンテナ構造体1000は、第1主容量性素子1500および第1アンテナセグメント1110が接続される第1ノードN1と、第1アンテナセグメント1110および第1補助容量性素子1711が接続される第2ノードN2と、第1補助容量性素子1711および第2アンテナセグメント1120が接続される第3ノードN3と、第2アンテナセグメント1120および第2補助容量性素子1712が接続される第4ノードN4と、第1アンテナセグメント1110内の任意の位置を示す第1点Pt1と、第2アンテナセグメント1120内の任意の位置を示す第2点Pt2を含むことができる。

【0214】

30

ここで、図13は、アンテナ構造体1000に交流電源が印加される場合、アンテナセグメントに印加される最大電圧を示すグラフであり、図示された符号は位相差を意味することができる。なお、図13の電圧は、アンテナ構造体1000内の位置別に最大電圧を有する時点での電圧を意味することができる。一方、交流波形において、最大電圧は正の値を有するときと負の値を有するときとに分けられ、図13のグラフは第1ノードN1が負の最大電圧を有する時点に基づいてアンテナ構造体1000内の位置別電圧を表すと解釈することができる。例えば、 $-V'$ と $+V'$ の最大電圧を有する第1ノードN1と第2ノードN2は、絶対値である $V'$ だけの最大電圧を有し、互いに符号が逆の交流電圧が印加されたことを意味できる。すなわち、第1ノードN1と第2ノードN2には、振幅が $V'$ で互いに半周期だけ位相差を有する交流電圧が印加されたことを意味できる。換言すれば、第1ノードN1を介して $-V'$ という電圧値が測定される時点では、第2ノードN2を介して $+V'$ という電圧値を測定することができる。

40

【0215】

再び図13を参照すると、アンテナ構造体1000において、互いに対応するノードの電圧は互いに対応することができる。例えば、第1ノードN1と第3ノードN3の電圧は互いに対応することができる。または、第1ノードN1と第3ノードN3の最大電圧は互いに対応することができる。第2ノードN2と第4ノードN4の電圧は互いに対応することができる。または、第2ノードN2と第4ノードN4の最大電圧は互いに対応することができる。第1アンテナセグメント1110の一端の電圧と第2アンテナセグメント1120の一端の電圧は互いに対応することができる。第1補助容量性素子1711の一端の

50

電圧と第2補助容量性素子1712の一端の電圧は互いに対応することができる。第1アンテナセグメント1110の一端の電圧と第1アンテナセグメント1110に隣接する第5アンテナセグメント1210または第9アンテナセグメント1310の一端の電圧は互いに対応することができる。

【0216】

一方、互いに対応するノードの電圧の実効値は互いに対応することができる。例えば、第1ノードN1と第3ノードN3の電圧の実効値、第2ノードN2と第4ノードN4の電圧の実効値は、それぞれ互いに対応することができる。

【0217】

ここで、複数のノードの電圧が互いに対応したり複数のノードが互いに対応する電圧を有したりするとは、複数のノードが基準ノードに対して同じ電圧または最大電圧を有するか、または基準ノードに対して複数のノードが有する電圧または最大電圧の差が予め設定された範囲内である場合を意味することができる。

【0218】

複数のアンテナセグメントは互いに対応する点を含むことができる。例えば、第1アンテナセグメント1110の一端と他端との間に位置する第1点P<sub>t1</sub>は、第2アンテナセグメント1120の一端と他端との間に位置する第2点P<sub>t1</sub>と対応することができる。具体的に、第1アンテナセグメント1110内の第1点P<sub>t1</sub>が第1アンテナセグメント1110の一端から離間した距離と、第2点P<sub>t2</sub>が第2アンテナセグメント1120の一端から離間した距離は、互いに対応することができる。別の例では、第1アンテナセグメント1110内の第1点P<sub>t1</sub>は第5アンテナセグメント1210内の第3点（図示せず）と対応することができる。このとき、第1アンテナセグメント1110の一端、中心軸CAおよび第1点P<sub>t1</sub>のなす角度と、第5アンテナセグメント1210の一端、中心軸CAおよび第3点のなす角度は、互いに対応することができる。具体的に、第1点P<sub>t1</sub>と第3点とを結ぶ延長線は、中心軸CAと交わるか捻れた位置にあってもよい。さらに別の例では、第1アンテナセグメント1110内の第1点P<sub>t1</sub>は第9アンテナセグメント1310内の第4点（図示せず）と互いに対応することができる。具体的に、第1点P<sub>t1</sub>と第4点とを結ぶ延長線は、中心軸CAと平行であるか捻れた位置にあってもよい。

【0219】

上記の複数のアンテナセグメント内で互いに対応する点は、互いに対応する電圧を有することができる。または、複数のアンテナセグメント内で対応する点は、互いに対応する実効電圧を有することができる。このように、アンテナセグメントは、互いに隣接する場合、互いに対応する点で互いに対応する電圧を有することによって寄生キャパシタンスの影響を低減することができる。

【0220】

ここで、複数の点の電圧が互いに対応したり複数の点の電圧が互いに対応する電圧を有したりするとは、複数の点が基準ノードに対して同じ電圧または最大電圧を有するか、または基準ノードに対して複数のノードが有する電圧または最大電圧の差が予め設定された範囲内である場合を意味することができる。また、ここで、複数の点の電圧が各アンテナセグメントの一端と中心軸CAとのなす角度が互いに対応するとは、複数の点の電圧が中心軸CAを基準に各アンテナセグメントの一端から同一または異なる角度だけ回転した位置である場合を意味することができる。

【0221】

一方、再び図13を参照すると、アンテナセグメント内の任意の点での電圧の大きさは、アンテナセグメントと容量性素子が接続されるノードでの電圧の大きさより小さくてもよい。例えば、第1点P<sub>t1</sub>および第2点P<sub>t2</sub>の最大電圧は、第2ノードN2または第4ノードN4より小さくてもよい。

【0222】

アンテナ構造体1000内の任意のノードまたは位置での電圧は、任意の時点で異なる位相または異なる符号を有することができる。例えば、ある時点で、第1ノードN1およ

10

20

30

40

50

び第3ノードN2の電圧は同じ位相を有し、第1ノードN1および第2ノードN2は大きさが等しいが互いに位相または符号が逆の電圧を有することができる。さらに別の例では、第2ノードN2および第3ノードN3は大きさが等しいが互いに位相または符号が逆の電圧を有することができる。

#### 【0223】

以上では、説明の便宜上、アンテナ構造体1000内の特定のアンテナセグメントを基準としてノードおよび点での電圧について説明したが、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではなく、アンテナ構造体1000内のアンテナセグメントそれぞれに同じ／類似に適用することができる。

#### 【0224】

アンテナ構造体1000内の位置別電圧は、アンテナ構造体1000が含む補助容量性素子が多いほど減少することができる。あるいは、アンテナ構造体1000内の位置別電圧は、アンテナ構造体1000が含むアンテナセグメントのインダクタンスまたは補助容量性素子の静電容量に基づいて決定することができる。具体的に、図13に示されたことと異なって、アンテナセグメント間に補助容量性素子が配置されると、各アンテナセグメントに印加される電圧の大きさが互に対応するように決定され、隣接するアンテナセグメント間の寄生容量の影響を低減することができる。また、アンテナ構造体1000内に補助容量性素子が配置されると、アンテナセグメントに印加される電圧の大きさが減少し、アンテナ構造体1000による消耗電力が減少し、プラズマシステム10の安全性を向上することができる。

#### 【0225】

主容量性素子1500、1600は、アンテナ構造体1000に印加される電圧の振幅を減少させることができる。あるいは、主容量性素子1500、1600は、各アンテナセグメントに印加することができる電圧の最大振幅をさげることができる。

#### 【0226】

または、主容量性素子1500、1600をアンテナセグメントに接続することによって、基準ノードに対するアンテナ構造体1000内のノードの最大電圧がゼロにならない可能性がある。例えば、主容量性素子1500、1600において基準ノードに対する電圧降下が行われると、第1～第4ノードN1、N2、N3、N4はゼロ以外の最大電圧を有することができる。

#### 【0227】

または、主容量性素子1500、1600によってアンテナ構造体1000内のノードに同じ振幅の電圧を印加することができる。例えば、主容量性素子1500、1600によって、第1ノードN1および第2ノードN2は基準ノードに対して同じ振幅の電圧を有することができる。さらに別の例では、主容量性素子1500、1600によって、第1ノードN1と第2ノードN2とは互いに等しい振幅を有し、異なる符号を有する電圧を印加することができる。このように、主容量性素子1500、1600は、アンテナ構造体1000内の構成に印加される電圧または最大電圧を減少することができ、それによってアンテナ構造体1000の電氣的耐久性を向上することができる。

#### 【0228】

一方、プラズマシステム10が駆動されると、アンテナ構造体1000によってプラズマ発生部2000に誘導結合プラズマが誘導されながら温度が上昇することができる。それに伴い、プラズマ発生部2000が損傷する恐れがあり、これを防止するために、アンテナ構造体1000は冷却水流路を含んでプラズマ発生部2000の熱を吸収することができる。このとき、アンテナ構造体1000の構造および形状によってプラズマ発生部2000で発生する熱を吸収する程度が変わり得る。

#### 【0229】

以下では、図14および図15を参照して、本明細書の一実施例によるプラズマシステム10の駆動時にプラズマが誘導されることにより、プラズマ発生部2000に発生する熱を効率的に吸収するためのアンテナ構造体1000の構造および形状について説明する。

10

20

30

40

50

## 【0230】

図14は、本明細書の一実施例による四角断面を有するアンテナ構造体1000に関する図である。

## 【0231】

図15は、本明細書の一実施例によるアンテナ構造体1000の断面A-A'に関する図である。

## 【0232】

図14を参照すると、アンテナ構造体1000は、ターンアンテナ、アンテナ末端、ターン間接続部、および締め付け部3400を含むことができる。具体的に、第1～第3ターンアンテナ3110、3120、3130と、第1および第2アンテナ末端3310、3320と、第1および第2ターン間接続部3210、3220と、締め付け部3400と、を含むことができる。

## 【0233】

ターンアンテナは、アンテナ構造体1000内で1つのターンを構成するアンテナを意味することができる。例えば、図14に示すように、ターンアンテナは、第1～第3ターンアンテナ3110、3120、3130を含むことができる。具体的に、第1～第3ターンアンテナ3110、3120、3130は、中心軸CAを基準として異なる曲率半径を有する円形または環状に構成され得る。より具体的に、第2ターンアンテナ3120は第1ターンアンテナ3110を包むように配置され、第3ターンアンテナ3130は第2ターンアンテナ3120を包むように配置され得る。このとき、第1～第3ターンアンテナ3110、3120、3130は、中心軸CAに垂直な水平軸HA上に配置されてもよい。または、第1～第3ターンアンテナ3110、3120、3130は、水平軸HAから異なる距離だけそれぞれ離間して配置されてもよい。

## 【0234】

ターンアンテナは、四角形状の断面を有することができる。ただし、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではなく、ターンアンテナの断面は、四角形状に加えて、多角形、円形、楕円形状、または曲線および直線からなる図形形状であり得る。

## 【0235】

ターンアンテナは、末端のアンテナを介してRF電源200と物理的または電氣的に接続することができる。例えば、第1ターンアンテナ3110は、第1アンテナ末端3310と物理的または電氣的に接続され、第1アンテナ末端3310は、RF電源200の一端に物理的または電氣的に接続されてもよい。また、例えば、第3ターンアンテナ3130は、第2アンテナ末端3320と物理的または電氣的に接続され、第2アンテナ末端3320は、RF電源200の他端に物理的または電氣的に接続されてもよい。

## 【0236】

ターンアンテナは、ターン間接続部を介して他のターンアンテナと電氣的または物理的に接続することができる。例えば、第1ターンアンテナ3110は第1ターン間接続部3210の一端に、第2ターンアンテナ3120は第1ターン間接続部3210の他端に電氣的または物理的に接続されてもよい。また、例えば、第2ターンアンテナ3120は第2ターン間接続部3220の一端に、第3ターンアンテナ3130は第2ターン間接続部3220の他端に電氣的または物理的に接続されてもよい。

## 【0237】

アンテナ末端は、ターンアンテナとRF電源200とを物理的または電氣的に接続することができる。

## 【0238】

アンテナ末端は、任意の方向に延びる導電体を含むことができる。例えば、再び図14を参照すると、第1アンテナ末端3310は中心軸CAに平行な方向に延び、第2アンテナ末端3320は中心軸CAに垂直な方向に延びることができる。ただし、本明細書の技術的思想はこれに限定されず、第1および第2アンテナ末端3310、3320は、ターン間接続方式などに基づいて任意の方向に延びることができることは言うまでもない。

## 【0239】

ターン間接続部は様々な形状に形成することができる。例えば、ターン間接続部は曲線または直線形状を有することができる。ターン間接続部については具体的に後述する。

## 【0240】

締め付け部3400は、アンテナ構造体1000の少なくとも一部が膨張または変形するのを防止することができる。具体的に、プラズマ発生部2000は、プラズマの誘導によって発生する高温の熱エネルギーによって膨張するなど形状が変形することができ、これにより、プラズマ発生部2000に密着したアンテナ構造体1000も膨張するなど形状が変形することができ、締め付け部3400はこのようなアンテナ構造体1000の変形を防止することができる。例えば、再び図14を参照すると、弾性を有する締め付け部3400がプラズマ発生部2000に隣接する第1ターンアンテナ3110に結合することができる。アンテナ構造体1000は、締め付け部3400を含むことによってプラズマ発生部2000に密着することができ、さらにプラズマが誘導されても密着した状態を維持し、後述するアンテナ構造体1000が実行する冷却の効率を増大させることができる。

10

## 【0241】

ここで、締め付け部3400は、予め設定された値以上の締め付け力をアンテナ構造体1000に提供することができる。例えば、締め付け部3400は、伸縮性または弾性を有する物体を含むことができる。また、例えば、締め付け部3400は、締め付け対象の長さよりも短い長さを有する金属を含むことができる。

20

## 【0242】

一方、アンテナ構造体1000は、冷却水を用いてプラズマ発生部2000を冷却することができる。そのために、図14を参照すると、アンテナ構造体1000内のターンアンテナは、予め設定された形状を有し、冷却水流路を含むことができる。具体的に、第1～第3ターンアンテナ3110、3120、3130はそれぞれ第1～第3冷却水流路CFP\_\_1、CFP\_\_2、CFP\_\_3を含み、第1ターンアンテナ3110はプラズマ発生部2000と接触して第1～第3冷却水流路CFP\_\_1、CFP\_\_2、CFP\_\_3を通過して移動する冷却水を用いてプラズマ発生部2000に発生する熱を吸収することができる。

## 【0243】

ここで、冷却水は、予め設定された温度以下の流体を含むことができる。

30

## 【0244】

ターンアンテナは内径面および外径面を含むことができる。例えば、第1～第3ターンアンテナ3110、3120、3130は、それぞれ第1～第3内径面3111、3121、3131および第1～第3外径面3112、3122、3132を含むことができる。ここで、内径面および外径面は、ターンアンテナを形成する複数の面のうちの1つであり得る。なお、ここで、内径面および外径面とは、中心軸CAを包むターンアンテナの内側面および外側面を意味することができる。また、ここで、ターンアンテナで中心軸CAから離れる方向に配置される向かい合う面を意味することができ、内径面は外径面よりもアンテナ構造体1000の中心軸CAに近いことがある。このとき、ターンアンテナの断面形状は、少なくとも内径面および外径面に基づいて形成することができる。一方、ターンアンテナは、内径面および外径面の他に、上面および下面などを含むことができる。

40

## 【0245】

冷却水流路は、ターンアンテナの内径面および外径面にそれぞれ対応する面を含むことができる。例えば、第1冷却水流路CFP\_\_1は、第1内径面3111に対応する第1面S11と、第1外径面3112に対応する第2面S12と、を含むことができる。ここで、第1冷却水流路CFP\_\_1の断面形状は、少なくとも第1面S11および第2面S12に基づいて形成することができる。また他の例えば、第2冷却水流路CFP\_\_2は、第2内径面3121に対応する第3面S21と、第2外径面3122に対応する第4面S22と、を含むことができる。ここで、第2冷却水流路CFP\_\_2の断面形状は、少なくとも第3面S21および第4面S22に基づいて形成することができる。一方、冷却水流路は

50

、内径面および外径面に対応する面の他に、上面および下面などを含むことができる。

【0246】

上記では、冷却水流路はターンアンテナの内面によって画定されると解釈することができる。例えば、冷却水流路の一面は、ターンアンテナの内面と実質的に同じであると解釈することができる。具体的に、第1冷却水流路CFP\_\_1の第1面S11および第2面S12は第1ターンアンテナ3110の内面であり、第2冷却水流路CFP\_\_2の第3面S21および第4面S22は第2ターンアンテナ3120の内面であると解釈することができる。

【0247】

アンテナ構造体1000は、プラズマ発生部2000と接触するターンアンテナの内径面およびそれに対応する冷却水流路の一面を介してプラズマ発生部2000の熱を吸収することができる。

【0248】

冷却効率を高めるため、または熱伝導をより活発にするために、アンテナ構造体1000はプラズマ発生部2000と面接触することができる。例えば、再び図15を参照すると、第1ターンアンテナ3110の第1内径面3111は、プラズマ発生部2000の外壁または中心軸CAと平行に形成され、第1ターンアンテナ3110は、第1内径面3111を介してプラズマ発生部2000と面接触することができる。このとき、第1内径面3111に対応する第1冷却水流路CFP\_\_1の第1面S11は、第1内径面3111およびプラズマ発生部2000の外壁または中心軸CAに平行であり、アンテナ構造体1000は、第1内径面3111および第1面S11を介してプラズマ発生部2000から熱を吸収することができる。

【0249】

プラズマ発生部2000に対する冷却効率を高めるアンテナ構造体1000の断面は四角形状であり得る。例えば、再び図15を参照すると、第1～第3ターンアンテナ3110、3120、3130の断面は四角形状であり、従って、第1～第3内径面3111、3121、3131は第1～第3外径面3112、3122、3132とそれぞれ平行であってよい。このとき、冷却水流路の断面も四角形状であってよい。

【0250】

ここで、第1内径面3111、第1面S11、第2面S12、および第1外径面3112は互いに平行であってよい。したがって、第1内径面3111と第1面S11との間の距離は、水平軸HAから一定の範囲内で等しくてもよく、第2面S12と第1外径面3112との間の距離も水平軸HAから一定の範囲内で等しくてもよい。

【0251】

なお、ここで、第2ターンアンテナ3120の第2内径面3121および第2冷却水流路CFP\_\_2の第3面S21は、第1ターンアンテナ3110の第1外径面3112および第1冷却水流路CFP\_\_1の第2面S12と平行であってよい。したがって、第2面S12と第3面S21との間の距離は、水平軸HAから一定範囲内で等しくてもよい。

【0252】

一方、アンテナ構造体1000の断面が四角形状である場合、ターンアンテナ間に寄生容量によるエネルギー損失が発生する可能性がある。例えば、図15に示すように、第1ターンアンテナ3110の第1外径面3112と第2ターンアンテナ3120の第2内径面3121とが平行な場合、寄生容量によるエネルギー損失が発生する可能性がある。

【0253】

ターンアンテナ間の寄生容量によるエネルギー損失は、ターンアンテナ間のターン間距離に応じて変更することができる。例えば、図15では、アンテナ構造体1000内の寄生容量の影響は、第1ターンアンテナ3110と第2ターンアンテナ3120との間の第1ターン間距離TD\_\_1および第2ターンアンテナ3120と第3ターンアンテナ3130との間の第2ターン間距離TD\_\_2に応じて変更することができる。

【0254】

10

20

30

40

50

したがって、アンテナ構造体 1000 は、ターンアンテナ間のターン間距離を予め設定された範囲内に設定して寄生容量の影響を低減することができる。このとき、予め設定された範囲は、寄生容量の影響およびアンテナ構造体 1000 の全幅を考慮して設定することができる。例えば、ターン間距離は、0.5 mm～3.5 mm 以内の範囲で設定されてもよい。

#### 【0255】

ターン間距離は全て同じ値でも異なる値でもよい。例えば、第 1 ターン間距離 TD\_\_1 および第 2 ターン間距離 TD\_\_2 は、予め設定された範囲内で同じ値を有することができる。さらに別の例では、第 1 ターン間距離 TD\_\_1 および第 2 ターン間距離 TD\_\_2 は異なる長さを有することができる。例えば、第 1 ターン間距離 TD\_\_1 は、第 2 ターン間距離 TD\_\_2 よりも大きいまたは小さい値を有することができる。

10

#### 【0256】

以上では、冷却機能を実行するアンテナ構造体 1000 と関連して四角断面を有するターンアンテナと、それに伴う寄生容量の影響を低減するアンテナ構造体 1000 の構造および形状について説明した。

#### 【0257】

以下では、図 16～図 19 を参照して冷却機能を実行しながら寄生容量の影響を低減するアンテナ構造体 1000 の構造および形状に関する他の実施例について説明する。

#### 【0258】

図 16 は、本明細書の一実施例による四角断面および円形断面を有するアンテナ構造体 1000 に関する図である。

20

#### 【0259】

図 17 および図 18 は、本明細書の一実施例による少なくとも 2 種類以上の断面形状を有するアンテナ構造体 1000 の断面 A-A' に関する図である。

#### 【0260】

図 16 および図 17 を参照すると、アンテナ構造体 1000 は、異なる形状を有するターンアンテナを含むことができる。例えば、アンテナ構造体 1000 は、断面が四角形状である第 1 ターンアンテナ 3110 と、断面が円形状である第 2 および第 3 ターンアンテナ 3120、3130 と、を含むことができる。

#### 【0261】

以下では、別段の説明がない限り、先に図 14 を参照して説明したアンテナ構造体 1000 に関する内容を同様に適用することができる。

30

#### 【0262】

アンテナ構造体 1000 は、プラズマ発生部 2000 と面接触するターンアンテナを含むことができる。例えば、アンテナ構造体 1000 は、プラズマ発生部 2000 と第 1 内径面 3111 を介して面接触する第 1 ターンアンテナ 3110 を含むことができる。

#### 【0263】

アンテナ構造体 1000 内のターンアンテナは、ターンアンテナ間の寄生容量の影響を低減するために互いに平行でない面を有することができる。例えば、再び図 17 を参照すると、第 1 ターンアンテナ 3110 の第 1 内径面 3111 および第 1 外径面 3112 はプラズマ発生部 2000 の外壁に平行であるが、第 2 ターンアンテナ 3120 の第 2 内径面 3121 および第 2 外径面 3122 はプラズマ発生部 2000 および第 1 内径面 3111 と平行でなくてもよい。

40

#### 【0264】

アンテナ構造体 1000 は、ターンアンテナ間の寄生容量の影響を低減するために異なる断面を有するターンアンテナを含むことができる。例えば、再び図 17 を参照すると、アンテナ構造体 1000 は、四角形状の断面を有する第 1 ターンアンテナ 3110 と、円形状の断面を有する第 2 ターンアンテナ 3120 と、を含むことができる。このとき、第 1 ターンアンテナ 3110 および第 2 ターンアンテナ 3120 にそれぞれ対応して、第 1 冷却水流路 CFP\_\_1 は四角形状の断面を有し、第 2 冷却水流路 CFP\_\_2 は円形状の断

50

面を有することができる。ただし、ターンアンテナの断面は、四角形状または円形状に限定されるものではなく、多角形状、円形状、楕円形状、または曲線および直線からなる図形状であってもよい。

#### 【0265】

上述のように、アンテナ構造体1000が互いに平行でない面または異なる断面を有するターンアンテナを含む場合、寄生容量の影響が減少する可能性がある。

#### 【0266】

異なる断面を有するターンアンテナは、ターン間距離が同じであるが、ターンアンテナの面間の距離は一定でなくてもよい。例えば、再び図17を参照すると、第1～第3ターンアンテナ3110、3120、3130は、第1ターン間距離TD<sub>1</sub>および第2ターン間距離TD<sub>2</sub>が水平軸HAを基準に等しくなるように配置されてもよい。また、例えば、再び図17を参照すると、第1ターンアンテナ3110の第1外径面3112と第2ターンアンテナ3120の第1内径面3121との間の距離は一定でなくてもよい。具体的に、図17において水平軸HAを基準に中心軸CAと平行な方向またはプラズマ発生部2000の長さ方向で離れるほど、第1ターンアンテナ3110および第2ターンアンテナ3120間の距離が増加し、その距離が一定の場合よりも寄生容量の影響を減少する可能性がある。または、第1ターンアンテナ3110および第2ターンアンテナ3120が同一平面上に配置された場合、平面を基準に中心軸CAと平行な方向またはプラズマ発生部2000の長さ方向で離れるほど、第1ターンアンテナ3110および第2ターンアンテナ3120間の距離が増加し、その距離が一定の場合よりも寄生容量の影響を減少することができる。

#### 【0267】

一方、アンテナ構造体1000は、ターンアンテナ間の寄生容量の影響を低減するために、異なる形状を有する内径面および外径面を含むターンアンテナを含むことができる。

#### 【0268】

図18を参照すると、プラズマ発生部2000に接触する第1ターンアンテナ3110は、プラズマ発生部2000の外壁に平行な第1内径面3111と、プラズマ発生部2000の外壁に平行でない第1外径面3112と、を含むことができる。または、第1ターンアンテナ3110は、プラズマ発生部2000の外壁に平行な第1内径面3111と、縦方向に沿って中心軸CAから離れる方向に曲がった第1外径面3112と、を含むことができる。このとき、第1ターンアンテナ3110は、直線と曲線からなる断面を有することができる。具体的に、第1ターンアンテナ3110は、四角形と半円の結合、半円または半楕円形状の断面を有することができる。

#### 【0269】

上述したような内径面および外径面または断面を有するターンアンテナを含むアンテナ構造体1000は、プラズマ発生部2000を効率よく冷却しながら、内部で寄生容量によるエネルギー損失を効果的に低減することができる。

#### 【0270】

以上では、冷却機能を実行するアンテナ構造体1000の構造および形状に関してターンアンテナが三重からなるアンテナ構造体1000を中心に説明したが、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではなく、1つ以上のターンアンテナを有するアンテナ構造体1000にも同様に適用することができる。さらに、複数の層を有するアンテナ構造体1000にも同様に適用することができ、上述した複数のアンテナセグメントを有するアンテナ構造体1000にも同様に適用できることは言うまでもない。

#### 【0271】

以下では、図16、図19～図22を参照してアンテナ構造体1000内のターンアンテナを接続するターン間接続部について具体的に説明する。

#### 【0272】

図19～図22は、本明細書の一実施例によるアンテナ構造体内の異なる断面を有するアンテナの接続方法に関する図である。

## 【0273】

ターン間接続部は、異なるターンアンテナが相互接続される部分または異なるターンアンテナを接続する部分を意味することができる。以下では、ターン間接続部のうち、異なる断面を有するターンアンテナを接続するターン間接続部について説明するために、代表的な例として図15に示す第1ターン間接続部3210を中心に説明するが、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではない。

## 【0274】

第1ターン間接続部3210は、屈曲を有するように形成することができる。例えば、図16および図19を参照すると、第1ターンアンテナ3110および第2ターンアンテナ3120は、屈曲を有する状態で電氣的または物理的に接続することができる。

10

## 【0275】

第1ターン間接続部3210は線形に形成されてもよい。例えば、図20および図21を参照すると、第1ターンアンテナ3110および第2ターンアンテナ3120は、同じ直線上で電氣的または物理的に接続されてもよい。

## 【0276】

第1ターン間接続部3210は、第1ターンアンテナ3110に接続される一端と、第2ターンアンテナ3120に接続される他端と、を含むことができる。ここで、第1ターン間接続部3210の一端および他端は互いに異なる断面を有してもよい。具体的には、第1ターン間接続部3210の一端の断面は第1ターンアンテナ3110の断面を有し、第1ターン間接続部3210の他端の断面は第2ターンアンテナ3120の断面を有してもよい。例えば、第1ターン間接続部3210の一端の断面は四角形状であり、第1ターン間接続部3210の他端の断面は円形状であり得る。

20

## 【0277】

第1ターン間接続部3210は、第1ターンアンテナ3110および第2ターンアンテナ3120の少なくとも一方の形状を変形して接続することにより形成することができる。

## 【0278】

一例として、再び図20を参照すると、第1ターン間接続部3210は、第1ターンアンテナ3110の末端を膨張または拡張し、第2ターンアンテナ3120を結合することによって形成することができる。

## 【0279】

ここで、第1ターン間接続部3210の断面は、一端から他端に向かうにつれてその大きさや形状が変化することができる。例えば、第1ターン間接続部3210の断面積は、一端から他端に向かうにつれて徐々に増加した後に減少することができる。さらに別の例では、第1ターン間接続部3210の断面積は、一端から他端に向かうにつれて、四角形状から角が丸い四角形状、円形状の順に変更されてもよい。

30

## 【0280】

別の例として、再び図21を参照すると、第1ターン間接続部3210は、第2ターンアンテナ3120の末端を第1ターンアンテナ3110の末端に結合し、第2ターンアンテナ3120を膨張または拡張することによって形成されてもよい。

## 【0281】

第1ターンアンテナ3110と第2ターンアンテナ3120とが接続されると、第1ターンアンテナ3110と第2ターンアンテナ3120の断面は互に対応するように設定することができる。例えば、第1ターンアンテナ3110断面の幅は、第2ターンアンテナ3120の断面の幅と同じまたは異なるように設定されてもよい。具体的に、第2ターンアンテナ3120が第1ターンアンテナ3110に容易に挿入されるように、第1ターンアンテナ3110の断面の幅は第2ターンアンテナ3120の幅よりも大きくてもよい。または、第1ターンアンテナ3110および第2ターンアンテナ3120の断面の幅は同じであるが、図20および図21に示すように、いずれかのターンアンテナが膨張、拡張、縮小等により相互接続されてもよい。このような各ターンアンテナの断面の大きさは冷却水の円滑な流れを考慮して設定することができる。

40

50

## 【0282】

第1ターン間接続部3210はモジュール型で提供されてもよい。例えば、図22を参照すると、第1ターン間接続部3210は、第1ターンアンテナ3110および第2ターンアンテナ3120それぞれの断面の大きさに対応する大きさの挿入部を含むことができる。この場合、第1ターンアンテナ3110および第2ターンアンテナ3120は、第1ターン間接続部3210に対して脱着可能である。また、例えば、第1ターン間接続部3210は、第1ターンアンテナ3110と第2ターンアンテナ3120とを電氣的または物理的に接続するが、特定の機能を実行することができる。具体的に、第1ターン間接続部3210は容量性素子を含むことができる。この場合、第1ターン間接続部3210は、上述したターン間容量性素子として機能することができる。

10

## 【0283】

一方、ターン間接続部における冷却水流路の形状は変形することができる。例えば、第1ターン間接続部3210における冷却水流路は徐々に狭くなってもよい。さらに別の例として、第1ターン間接続部3210における冷却水流路は徐々に広くなり得る。さらに別の例として、第1ターン間接続部3210における冷却水流路は徐々に広くなった後に狭くなり得る。このとき、冷却水流路の形状が変形するにつれて、冷却水の流速を変化することができる。

## 【0284】

以下では、図23を参照して、プラズマ誘導によってプラズマ発生部2000に発生する熱を効率的に冷却させるための他の方法について説明する。

20

## 【0285】

図23は、本明細書の一実施例による熱伝達部材300を示す図である。

## 【0286】

図23を参照すると、熱伝達部材300は、アンテナ構造体1000とプラズマ発生部2000との間で熱を伝達することができる。例えば、熱伝達部材300は、プラズマ誘導に応じてプラズマ発生部2000で発生した熱を吸収してアンテナ構造体1000に提供することができる。

## 【0287】

熱伝達部材300は、熱伝導率の高い物質で構成することができる。例えば、熱伝達部材300は、アルミニウム、金、銀、タングステン、および／または銅のうち少なくとも1つからなることができる。

30

## 【0288】

熱伝達部材300は様々な形状を有することができる。例えば、熱伝達部材300は、プラズマ発生部2000に対応する形状を有することができる。具体的に、プラズマ発生部2000が中空の円柱状を有する場合、熱伝達部材300も中空の円柱状に構成され得る。他の例では、熱伝達部材300は、プラズマ発生部2000の外周と面接触するための形状を有することができる。具体的に、熱伝達部材300は、少なくとも一部が湾曲または平坦であってもよい。別の例として、熱伝達部材300は、物理的に分離される複数のプレートから構成されてもよい。一方、熱伝達部材300の形状は上述した形状に限定されるのではない。熱伝達部材300は、後述するようにプラズマ発生部2000またはアンテナ構造体1000と面接触可能な形態であればいかなる形態であってもよい。

40

## 【0289】

熱伝達部材300は、アンテナ構造体1000とプラズマ発生部2000との間に配置することができる。例えば、熱伝達部材300はプラズマ発生部2000を包むように配置され、アンテナ構造体1000は熱伝達部材300を包むように配置されてもよい。具体的に、熱伝達部材300は、プラズマ発生部2000の外壁と面接触し、中心軸CAを基準としてアンテナ構造体1000の最も内側のターンアンテナ（例えば、第1ターンアンテナ3110）と面接触するように配置されてもよい。

## 【0290】

上述したように、プラズマ発生部2000およびアンテナ構造体1000は、熱伝達部

50

材300を介して熱的に結合することができる。このとき、熱伝達部材300が熱伝導率の高い物質で構成されることにより、プラズマ誘導に応じてプラズマ発生部2000で発生した熱が熱伝達部材300を介してアンテナ構造体1000により速く移動でき、プラズマ誘導および維持効率が向上し、プラズマ発生部2000の耐久性を向上させることができる。

#### 【0291】

以上では、アンテナ構造体1000が複数のターンアンテナで構成される場合を主に説明したが、本明細書の技術的思想はこれに限定されるものではなく、アンテナ構造体1000が単一ターンアンテナで構成されている場合、単一ターンの複数の層のアンテナで構成されている場合、複数のアンテナセグメントで構成されている場合などにも同様に適用できることは言うまでもない。

10

#### 【0292】

実施例による方法は、様々なコンピュータ手段を介して実行することができるプログラム命令の形態で実現され、コンピュータ読み取り可能媒体に記録することができる。前記コンピュータ読み取り可能媒体は、プログラム命令、データファイル、データ構造などを単独でまたは組み合わせて含むことができる。前記媒体に記録されるプログラム命令は、実施例のために特別に設計および構成されたものであってよく、コンピュータソフトウェア当業者に知られて使用可能であってもよい。コンピュータ読み取り可能記録媒体の例には、ハードディスク、フロッピーディスク、磁気テープなどの磁気媒体(magnetic media)、CD-ROM、DVDなどの光記録媒体(optical media)、フロプティカルディスク(floptical disk)などの磁気光学媒体(magneto-optical media)、およびROM、RAM、フラッシュメモリなどのプログラム命令を記憶および実行するように特別に構成されたハードウェア装置が含まれる。プログラム命令の例には、コンパイラによって作成されるような機械語コードだけでなく、インタプリタなどを使用してコンピュータによって実行可能な高級言語コードも含まれる。上記のハードウェア装置は、実施例の動作を実行するために1つ以上のソフトウェアモジュールとして作動するように構成することができ、その逆も同様である。

20

#### 【0293】

以上のように実施例が限定された実施例と図面によって説明されたが、該当技術分野で通常の知識を有する者ならば上記の記載から様々な修正および変形が可能である。例えば、説明された技術が説明された方法とは異なる順序で実行され、および／または説明されたシステム、構造、装置、回路などの構成要素が説明された方法とは異なる形態で結合または組合わされ、他の構成要素または均等物によって取替または置換されても、適切な結果を達成することができる。

30

#### 【0294】

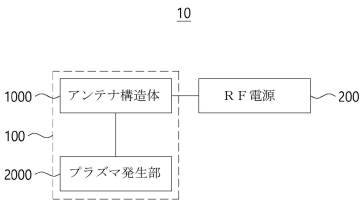
したがって、他の構成、他の実施例および特許請求の範囲と同等のものも、後述する特許請求の範囲の範囲に属する。

40

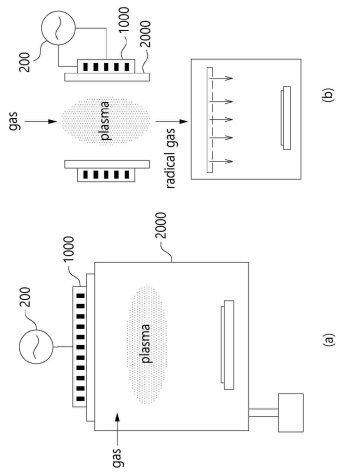
50

【図面】

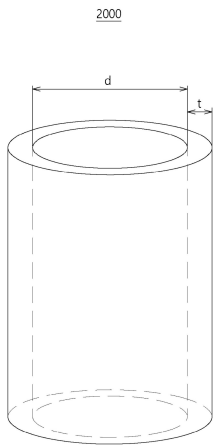
【図 1】



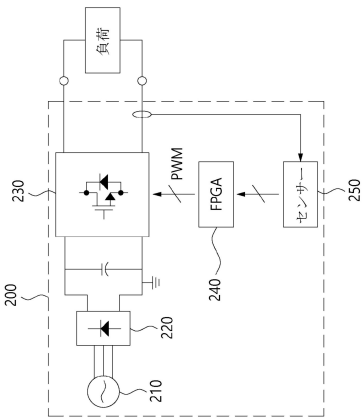
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

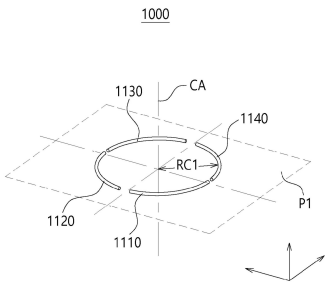
20

30

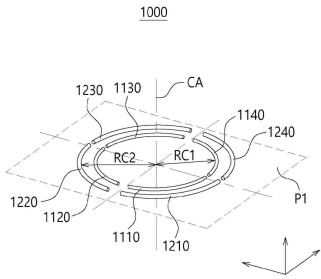
40

50

【図 5】

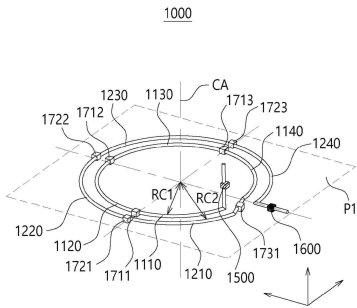


【図 6】

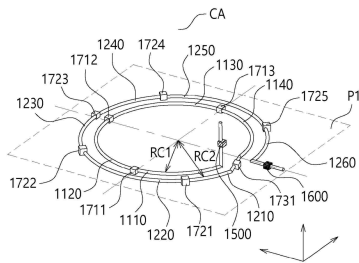


10

【図 7】



【図 8】



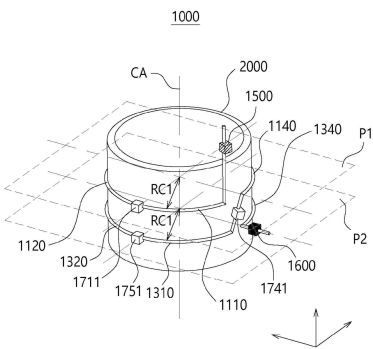
20

30

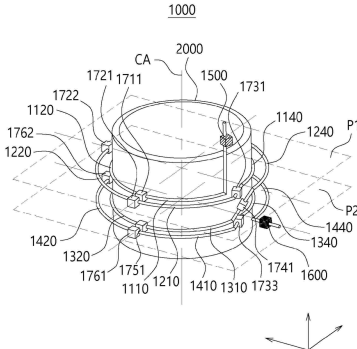
40

50

【図 9】

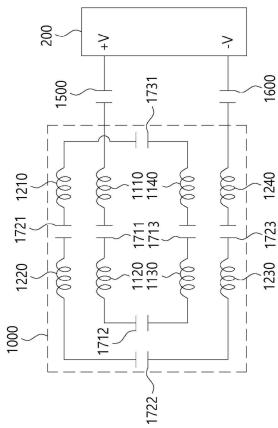


【図 10】

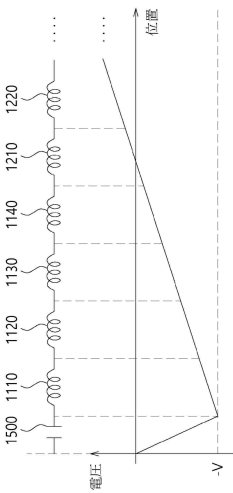


10

【図 11】



【図 12】



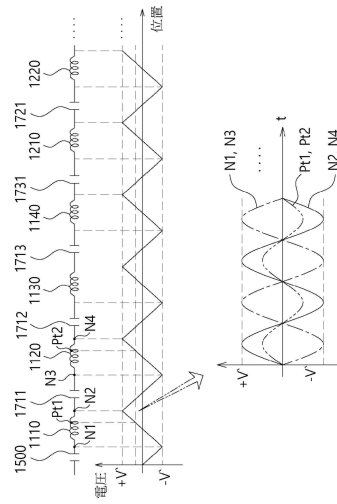
20

30

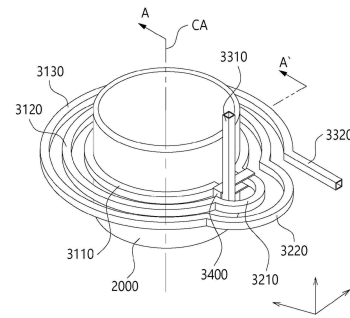
40

50

【図 13】



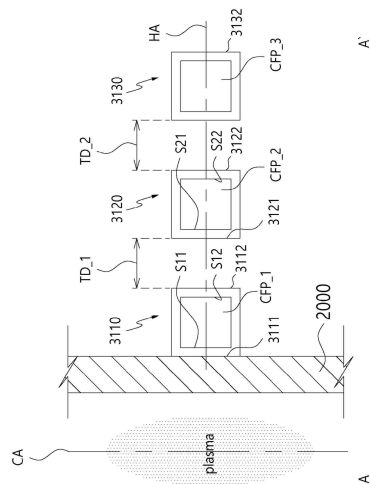
【図 14】



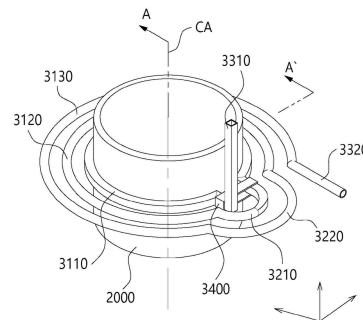
10

20

【図 15】



【図 16】

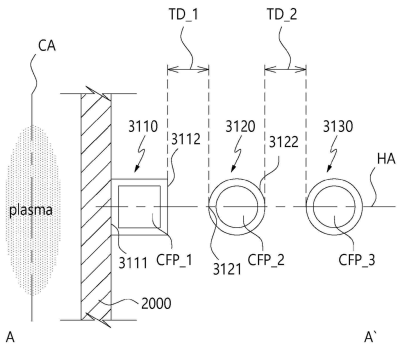


30

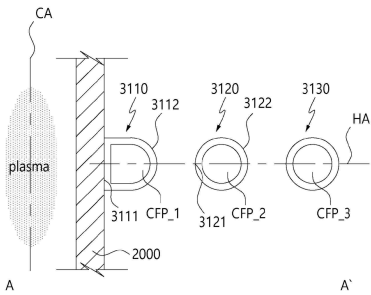
40

50

【図 1 7】



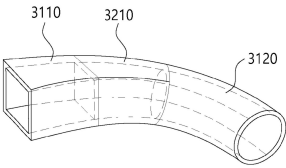
【図 1 8】



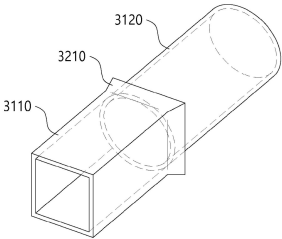
10

20

【図 1 9】



【図 2 0】

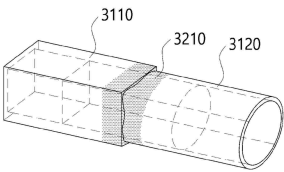


30

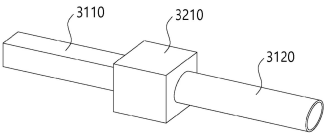
40

50

【図 2 1】

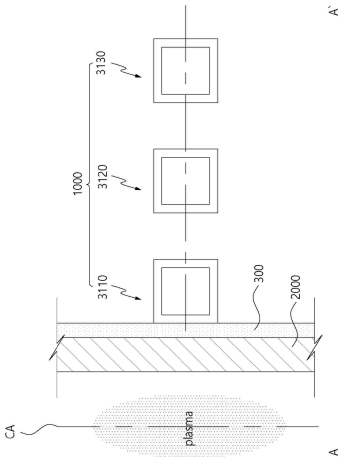


【図 2 2】



10

【図 2 3】



20

30

40

50

## フロントページの続き

## (33)優先権主張国・地域又は機関

韓国(KR)

00、シー ドン 1402 ホ

## (72)発明者 イ ユンソン

大韓民国 34050 テジョン ユソン-グ ムンジーロ 300、108 ドン 402 ホ

## (72)発明者 ソン ヨンフン

大韓民国 34050 テジョン ユソン-グ ムンジーロ 316ボン-ギル 53-7、202 ホ

## (72)発明者 パク セホン

大韓民国 35200 テジョン ソ-グ マンネンナム-ロ 3ボン-ギル 143、205 ホ

審査官 中尾 太郎

## (56)参考文献

特開平11-233289 (JP, A)

特開2001-028299 (JP, A)

特開2002-008996 (JP, A)

特開2003-086577 (JP, A)

特開2011-198539 (JP, A)

特開2012-253349 (JP, A)

特表2020-502721 (JP, A)

米国特許出願公開第2002/0189763 (US, A1)

米国特許出願公開第2003/0001511 (US, A1)

米国特許出願公開第2018/0122619 (US, A1)

## (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H05H 1/46