

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置及び下部ステージ

技術分野

[0001] 本開示の例示的实施形態は、プラズマ処理装置及び下部ステージに関する。

背景技術

[0002] 従来のプラズマ処理装置は、特許文献1～2に記載されている。同文献では、上部電極と下部電極との間の距離を、両電極間に形成される電界の強度分布が、被処理部材の処理面に平行な面内で、より均一となるよう、面内で部分的に異ならせている。プラズマの発生方式には様々なものがあるが、超短波（VHF）帯の周波数をプラズマ発生に用いた容量結合プラズマ（CCP）処理装置が、注目されている。VHF帯とは、30MHz～300MHz程度の範囲の周波数である。一般的には、電磁波をウェハの表面に対して垂直に放射する構造が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平9-312268号公報
特許文献2：特開2014-53309号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] プラズマの面内均一性を向上可能なプラズマ処理装置及びこれに用いる下部ステージが期待されている。

課題を解決するための手段

[0005] 一つの例示的实施形態において、下部ステージは、上部電極との間にプラズマを発生させるための下部ステージを対象とする。下部ステージは、セラミックスからなる下部誘電体と、下部誘電体内に埋設された下部電極と、下部誘電体内に埋設された発熱体と、を備えている。下部誘電体の中央領域の

上部表面と下部電極との間の離隔距離 d_{center} よりも、下部誘電体の外縁位置の上部表面と下部電極との間の離隔距離 d_{edge} は小さい。下部電極は、上記外縁位置と上記中央領域との間に、上記上部表面に対して傾斜した傾斜領域を有している。

発明の効果

[0006] 一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置及びこれに用いる下部ステージによれば、プラズマの面内均一性を向上可能である。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]図1は、プラズマ処理装置の装置構成を示す説明図である。

[図2]図2は、メッシュ形状の下部電極の平面図である。

[図3]図3は、中心からの径方向の距離 r (mm) と位置 z (mm) との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、種々の例示的实施形態について説明する。

[0009] 一つの例示的实施形態において、下部ステージは、上部電極との間にプラズマを発生させるための下部ステージを対象とする。下部ステージは、セラミックスからなる下部誘電体と、下部誘電体内に埋設された下部電極と、下部誘電体内に埋設された発熱体と、を備えている。下部誘電体の中央領域の上部表面と下部電極との間の離隔距離 d_{center} よりも、下部誘電体の外縁位置の上部表面と下部電極との間の離隔距離 d_{edge} は小さい。下部電極は、上記外縁位置と上記中央領域との間に、上記上部表面に対して傾斜した傾斜領域を有している。

[0010] 下部電極はメッシュ状、薄膜状、または印刷法により形成されたものであり、セラミックス内に埋設されている。この場合、下部誘電体が、下部電極と共に、面内における電界ベクトル群を、下部ステージ表面に対して、垂直になるように、曲げる傾向がある。したがって、下部ステージ上にVHF波を導入して、プラズマの発生させる場合には、プラズマの面内での均一性が向上する。

- [0011] 一つの例示的实施形態において、下部ステージを備えたプラズマ処理装置は、上部電極と下部電極との間には、VHF電力が供給されることができる。VHF波により、上部電極と下部電極との間に、プラズマが発生する。
- [0012] 一つの例示的实施形態において、プラズマ処理装置は、下部電極の中心における厚み方向の法線の下向き方向をZ軸、このZ軸に垂直なX軸、このZ軸とX軸の双方に垂直なY軸を有する三次元直交座標系を設定する。座標系の原点を下部誘電体の上部表面の重心位置とした場合、下部誘電体の比誘電率を ϵ_r 、光速を c 、VHF電力の周波数を f 、円周率を π 、VHF電力の誘電体中の波数を $k (= (\epsilon_r)^{0.5} \cdot 2\pi f / c)$ とする。XZ平面内における下部電極の上部表面の位置 (x, z) は、以下の方程式： $dx/dz = -2/xk \cdot \cot(kz)$ を満たすように設定される。この場合、導体としての下部電極の表面に対して、電界が発生するが、この電界が、プラズマ発生空間内における電界の横方向成分を相殺することができる。
- [0013] また、一つの例示的实施形態において、セラミックスの材料は、AlNであることができる。AlNは、耐熱性が高いため、プラズマに対して耐性が高いという利点がある。
- [0014] また、一つの例示的实施形態において、VHF電力は、VHF波として処理容器の側方から上部電極と下部ステージとの間の空間内に導入されることができる。VHF波は、導波管を介して、処理容器内に導入することができる。VHF波により、上部電極と下部電極との間に、プラズマが発生する。上部電極と下部電極との間に、VHF波導入部から、VHF波が導入されると、内部のガスがプラズマ化し、プラズマが発生する。この場合、VHF波の導入部は、横方向端部（水平方向端部）に位置しており、この空間内には、様々な横方向からVHF波が導入されるので、定在波が形成されにくい。
- [0015] 一つの例示的实施形態において、下部ステージは、上下方向に移動できるように駆動されることができる。
- [0016] すなわち、下部ステージの位置を移動させることで、プラズマの分布状態を変化させることができるので、最も均一で安定してプラズマが発生するよ

うに下部ステージを移動させることで、プラズマの面内均一性を高めることができる。

以下、実施の形態に係るプラズマ処理装置について説明する。同一要素には、同一符号を用い、重複する説明は省略する。

[0017] 図1は、一つの例示的实施形態に係るプラズマ処理装置100の装置構成を示す説明図である。なお、説明の便宜上、三次元直交座標系を設定する。プラズマ処理装置の鉛直方向をZ軸方向とし、これに垂直な2方向をそれぞれX軸及びY軸とする。

[0018] プラズマ処理装置100は、下部ステージLSを備えている。下部ステージLSは、上部電極5との間にプラズマを発生させるための下部ステージである。下部ステージLSは、セラミックスからなる下部誘電体8と、下部誘電体8内に埋設された下部電極6と、下部誘電体8内に埋設された温度調節装置TEMP（発熱体を含む）とを備えている。

[0019] なお、プラズマ処理装置100は、処理容器1内に対向配置された上部電極5及び下部電極6を備え、これらの電極間の空間SPにプラズマを発生させる。上部電極5には、下面に凹部を設け、この凹部内には、上部誘電体を配置することとしてもよい。一例として、空間SPの横方向端部には、VHF波導入部9を設けることができる。

[0020] 処理容器1の上部開口端上には、誘電体板からなるVHF波導波路2が設けられており、VHF波導波路2上には、必要に応じて、蓋部材3が設けられる。蓋部材3の中央は開口しており、開口周囲の側壁が、同軸管の外側導体3aを構成し、軸中心には内側導体3bが配置されている。なお、内側導体3bは、上部電極5に対して一体的に構成され、電氣的に接続されている。

[0021] 下部誘電体8の上部表面は平坦であり、XY平面に平行である。また、下部誘電体8及び下部電極6の平面形状（Z軸方向から見た形状）は、円形である。メッシュ状の下部電極6は、VHF波に対して影響を与える下部誘電体8の実効的な形状を変形するために用いられている。すなわち、下部誘電

体8の中央領域の上部表面と、下部電極6との間の離隔距離 d_{center} よりも、下部誘電体8の外縁位置の上部表面と下部電極との間の離隔距離 d_{edge} は小さい。また、下部電極6は、外縁位置と中央領域との間に、上部表面(X-Y平面)に対して傾斜した傾斜領域を有している。本例では、下に窪んだ形状を有しており、中央を除く全体が傾斜領域である。VHF波に対しては、下部誘電体8は、実効的には、中央部では厚みが厚く、外周部では厚みが薄いものと同様に作用する。

[0022] 図2は、メッシュ形状の下部電極の平面図である。図2に示すように、下部電極6はメッシュ状であり、導電体からなる外枠部分6Aと、外枠部分6A内に指示された導体からなるメッシュ本体6Bを備えている。メッシュにおける1つの開口の大きさは、1mm程度であり、電磁波遮蔽という観点から、0.5mm~3mmが好ましい。換言すれば、開口が円形の場合は、1つの開口の面積は0.785mm²程度(例:±20%)が好ましく、電磁波遮蔽という観点からは0.196mm²~28.3mm²が好ましい。開口が正方形の場合は、1つの開口の面積は1mm²程度(例:±20%)が好ましく、電磁波遮蔽という観点からは、0.25mm²~9mm²が好ましい。下部電極6は、セラミックス内に埋設されている。下部電極6の材料は、下部誘電体8の焼結形成時にも耐えられる材料であることが好ましく、Ta又はMoを用いることができる。下部誘電体8が、メッシュ状の下部電極6と共に、面内における電界ベクトル群を、下部ステージ表面に対して、垂直になるように、曲げる傾向がある。したがって、下部ステージ上にVHF波を導入して、プラズマの発生させる場合には、プラズマが面内で均一性が向上する。

[0023] 水平方向のVHF波導波路2の中央部に導入されたVHF波は、水平方向に沿って放射状に周辺部に進行する。その後、このVHF波は、処理容器1の側壁に設けられた凹部(平面形状は円リング状で、深さはZ軸方向)からなる導波路1wを下方に進行し、VHF波導入部9に導入され、外周部から中央部に向けて進行する。VHF波導入部9の平面形状は円リング状であり

、水平方向の全方位から処理容器の軸中心に向けて、VHF波が進行する。VHF波導入部9は、プラズマ発生空間SPの横方向に位置している。

[0024] また、VHF電力は、VHF波として処理容器の側方から上部電極と下部ステージとの間の空間内に導入される。VHF波発生器13から発生したVHF波は、導波管を通過して、水平方向のVHF波導波路2に導入される。その後、上述のように、上部電極5と下部電極6との間に、VHF波導入部9から、VHF波が導入されると、処理容器の内部のガスがプラズマ化し、プラズマが発生する。この場合、VHF波導入部9は、横方向端部（水平方向端部）に位置しており、この空間内には、様々な横方向からVHF波が導入されるので、定在波が形成されにくいという利点がある。また、上部電極5と下部電極6との間に発生する電界ベクトルは、電極の外周領域では鉛直方向から下向き外側に向けて傾斜する傾向がある。下部電極6には、電界ベクトルを曲げる下部誘電体8が設けられているので、誘電体により、電界ベクトルを面内で均一にすることができる。したがって、横方向のVHF波導入と電界ベクトル方向の均一化により、上部電極5と下部電極6との間に発生するプラズマ分布を面内で均一にすることができる。すなわち、下部誘電体8には、電界ベクトルを曲げるレンズ機能がある。

[0025] 下部電極6は、駆動ステージDRVによって上下方向に移動させることができる。これにより、最適な条件でプラズマを発生させることができる。また、下部電極6には、温度調節装置TEMPが設けられている。温度調節装置TEMPは、冷却媒体を流すための媒体通路と、発熱体（ヒータ）と、温度センサとを含んでおり、制御装置12によって、下部電極6が目的の温度となるように制御される。例えば、目標温度が $T1^{\circ}\text{C}$ であれば、温度センサの出力が $T1^{\circ}\text{C}$ よりも小さければ、ヒータを加熱し、 $T1^{\circ}\text{C}$ よりも高ければ、ヒータを加熱しないで、冷却媒体を媒体通路に流すように、制御すればよい。ここで、温度調節装置TEMPとしての発熱体は、下部誘電体8内に埋設されていることが好ましく、上述の高融点金属や、カーボンなどの材料から構成することができる。なお、発熱体には、給電用の配線を接続する。

- [0026] 制御装置12は、排気装置14も制御している。排気装置14は、処理容器1の外壁内に設けられた円環状の排気通路4内のガスを排気する。排気通路4は、プラズマ発生空間SPの横方向に設けられており、処理容器の内面において周方向に沿って設けられた複数の排気孔に連通している。これにより、プラズマ発生空間SP内のガスを排気することができ、この空間における圧力を適切な値に設定することができる。この圧力は、処理内容に応じて変更すればよいが、例えば、0.1Paから100Paとすることができる。排気装置14としては、ロータリポンプ、イオンポンプ、クライオスタット、ターボ分子ポンプなど真空系の装置で通常用いられるポンプを採用することができる。
- [0027] 制御装置12は、ガス源10から発生したガスの流量を制御する流量コントローラ11を制御している。流量コントローラ11は、単なるバルブであってもよい。これにより、目的のガスを、処理容器1内に導入することができる。また、制御装置12は、VHF波発生器13も制御している。VHF波の周波数は、30MHz～300MHz程度である。
- [0028] ガス源10に使用できるガスとしては、Ar等の希ガスの他、CF₄、C₄F₈などの炭素及びフッ素を含むガス、N₂、O₂などのガスなどが、一例として挙げられる。
- [0029] 上部電極5及び下部電極6の材料としては、アルミニウムを用いることができる。下部誘電体8の材料としては、窒化アルミニウム(AIN)を用いることができる。すなわち、下部誘電体8を構成するセラミックスの材料は、AINである。AINは、耐熱性が高いため、プラズマに対して耐性が高いという利点がある。水平方向のVHF波導波路2の材料としては、石英を用いることができるが、導波路を形成することができれば、空気でもよい。
- [0030] 下部誘電体8上に配置される基板としては、シリコンなどを用いることができ、この基板に対して、成膜やエッチングなどの処理を行うことができる。また、必要に応じて、静電チャックを設けたり、下部誘電体8に直流バイアス電位を加算したり、場合によっては、高周波電圧を上下の電極間に印加

する構成も考えられ、処理容器の周囲に磁石を配置する構成も考えられる。

[0031] なお、VHF波の導入において、上部電極5と下部電極6との間には、VHF電力を供給することができる。このVHF波により、上部電極と下部電極との間に、プラズマが発生する。

[0032] また、プラズマ処理装置は、前記下部電極の中心における厚み方向の法線の下向き方向をZ軸、このZ軸に垂直なX軸、このZ軸とX軸の双方に垂直なY軸を有する三次元直交座標系を設定する。座標系の原点を下部誘電体の上部表面の重心位置とした場合、下部電極は以下のように設定される。下部誘電体の比誘電率 ϵ_r 、光速を c 、VHF電力の周波数を f 、円周率を π 、VHF電力の誘電体中の波数を k ($= (\epsilon_r)^{0.5} \cdot 2\pi f / c$) とする。XZ平面内における下部電極の上部表面の位置 (x, z) は、以下の方程式：(式1)を満たすように設定される。

[0033] $dx/dz = -2/xk \cdot \cot(kz) \dots$ (式1)

[0034] この場合、導体としての下部電極の表面に対して、電界が発生するが、この電界が、プラズマ発生空間内における電界の横方向成分を相殺することができる。なお、XZ断面ではなく、Z軸に平行であり且つZ軸を含む任意の縦断面内において、上記の関係は成立するので、 x に代えて、下部電極の径方向位置として、 r を用いると、 $dr/dz = -2/rk \cdot \cot(kz)$ を満たすことになる。なお、波数 $k = (\epsilon_r)^{0.5} \cdot k_0 = (\epsilon_r)^{0.5} \cdot \omega / c = (\epsilon_r)^{0.5} \cdot 2\pi f / c$ を満たしている。 k_0 は基準の波数である。

[0035] 前記VHF電力の誘電体中の波数 k と、径方向の距離 r (mm)と、下部誘電体表面から下部電極までの距離 z は、上記の関係式を満たし、傾斜領域の形状を構成している。(式1)は、プラズマ発生空間における電界ベクトルを求め、この電界ベクトルの径方向成分を相殺する電界が、下部電極の表面に発生するように設定したものである。すなわち、プラズマ発生空間における電界 E は、径方向成分(下記(式2))と、Z軸方向成分(下記(式3))を有している。導体表面における電界は表面に垂直であるため、 $dr/dz = E_z / (-E_r)$ として、 E_r を相殺するように設定することで、(式

1) として、 $dr/dz = E_z / (-E_r) = -2/rk \cdot \cot(kz)$ を求めることができる。

[0036] ・電界の径方向成分： $E_r(r, z) = (E_0 k / 2) \cdot r \cdot \sin(kz)$. . . (式2)

・電界のZ軸方向成分： $E_z(r, z) = E_0 \cdot \cos(kz)$. . . (式3)

なお、(式1)の微分方程式を満たす場合、下部電極の形状は、以下の(式4)又は(式5)の形状となる。 a 、 a_0 は適当な定数、 E_0 はプラズマ発生空間内で発生する基準の電界である。

・ $\sin(kz) = a \cdot \exp(-k^2 r^2 / 4)$. . . (式4)

・ $z = a_0 \cdot \exp(-k^2 r^2 / 4)$ 、($k \cdot r \ll 1$ の場合) . . . (式5)、なお、 r は x に読み替えることができる。

[0037] 図3は中心からの径方向の距離 r (mm) とZ軸上の位置 z (mm) との関係を示すグラフである。なお、 z は下部誘電体表面から下部電極までの距離である。Z軸は下向きが正方向であるため、グラフに示されるように、下部電極の形状は任意の縦断面において、下に凸の形状となる。

[0038] 同図には、下部誘電体としてアルミナ (Al_2O_3) を用いた場合、石英(Quartz)を用いた場合、空気(Air)を用いた場合が示されているが、誘電率の高い材料ほど、下部電極は大きく傾斜している。下部電極及び下部誘電体の直径として200mmのものを用いた場合、下部誘電体のZ軸方向の厚みは70mm以下であっても、上述の効果を奏して、電界ベクトルの横方向成分を相殺し、プラズマの面内均一性を高めることができる。

[0039] また、下部ステージLSは、駆動ステージDRVにより、上下方向に移動できるように駆動される。すなわち、下部ステージLSの位置を移動させることで、プラズマの分布状態を変化させることができるので、最も均一で安定してプラズマが発生するように下部ステージを移動させることで、プラズマの面内均一性を高めることができる。

[0040] また、ガスの導入方法は、様々なものが考えられる。例えば、上部電極5

の中央に位置していた内側導体 3 b において、Z 軸方向に沿った貫通孔を形成し、ガス導入路とすることができる。また、上部電極の下面に上部誘電体を設け、上部誘電体を複数の貫通孔を有するシャワー構造とすることもできる。これにより、ガス濃度の面内均一性を高めることができる。

[0041] また、処理容器 1 の上部構造において、処理容器 1 の側壁に設けられた凹部からなる導波路 1 w に連通する水平方向に延びた導波路を、固体の誘電体導波路に代えて形成することができる。そして、外側導体 3 a と内側導体 3 b との間に、リング状の絶縁体からなる絶縁体ブロックを配置することができる。これにより、絶縁体ブロックの上部から導入された V H F 波は、水平方向の導波路を介して、垂直方向の導波路 1 w に至り、V H F 波導入部 9 を介して、処理容器内部に導入される。

符号の説明

[0042] D R V…駆動ステージ、S P…プラズマ発生空間、T E M P…温度調節装置、1…処理容器、1 w…導波路、2…V H F 波導波路、3…蓋部材、3 a…外側導体、3 b…内側導体、4…排気通路、5…上部電極、6…下部電極、8…下部誘電体、9…V H F 波導入部、1 0…ガス源、1 1…流量コントローラ、1 2…制御装置、1 3…V H F 波発生器、1 4…排気装置、1 0 0…プラズマ処理装置。

請求の範囲

- [請求項1] 上部電極との間にプラズマを発生させるための下部ステージにおいて、
- セラミックスからなる下部誘電体と、
- 前記下部誘電体内に埋設された下部電極と、
- 前記下部誘電体内に埋設された発熱体と、
- を備え、
- 前記下部誘電体の中央領域の上部表面と前記下部電極との間の離隔距離 d_{center} よりも、
- 前記下部誘電体の外縁位置の上部表面と前記下部電極との間の離隔距離 d_{edge} は小さく、
- 前記下部電極は、前記外縁位置と前記中央領域との間に、前記上部表面に対して傾斜した傾斜領域を有している、
- 下部ステージ。
- [請求項2] 請求項1に記載の下部ステージを備えたプラズマ処理装置において、
- 、
- 前記上部電極と前記下部電極との間には、VHF電力が供給される、
- 、
- ことを特徴とするプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記下部電極の中心における厚み方向の法線の下向き方向をZ軸、このZ軸に垂直なX軸、このZ軸とX軸の双方に垂直なY軸を有する三次元直交座標系を設定し、座標系の原点を前記下部誘電体の上部表面の重心位置とした場合、
- 前記下部誘電体の比誘電率を ϵ_r 、
- 光速を c 、
- 前記VHF電力の周波数を f 、
- 円周率を π 、
- 前記VHF電力の誘電体中の波数を $k (= (\epsilon_r)^{0.5} \cdot 2\pi f /$

c)、

とすると、

X Z平面内における前記下部電極の上部表面の位置 (x、z) は、
以下の方程式：

$$dx/dz = -2/xk \cdot \cot(kz)$$

を満たすように設定される、

請求項2に記載のプラズマ処理装置。

[請求項4] 前記セラミックスの材料は、AlNである、

請求項2又は3に記載のプラズマ処理装置。

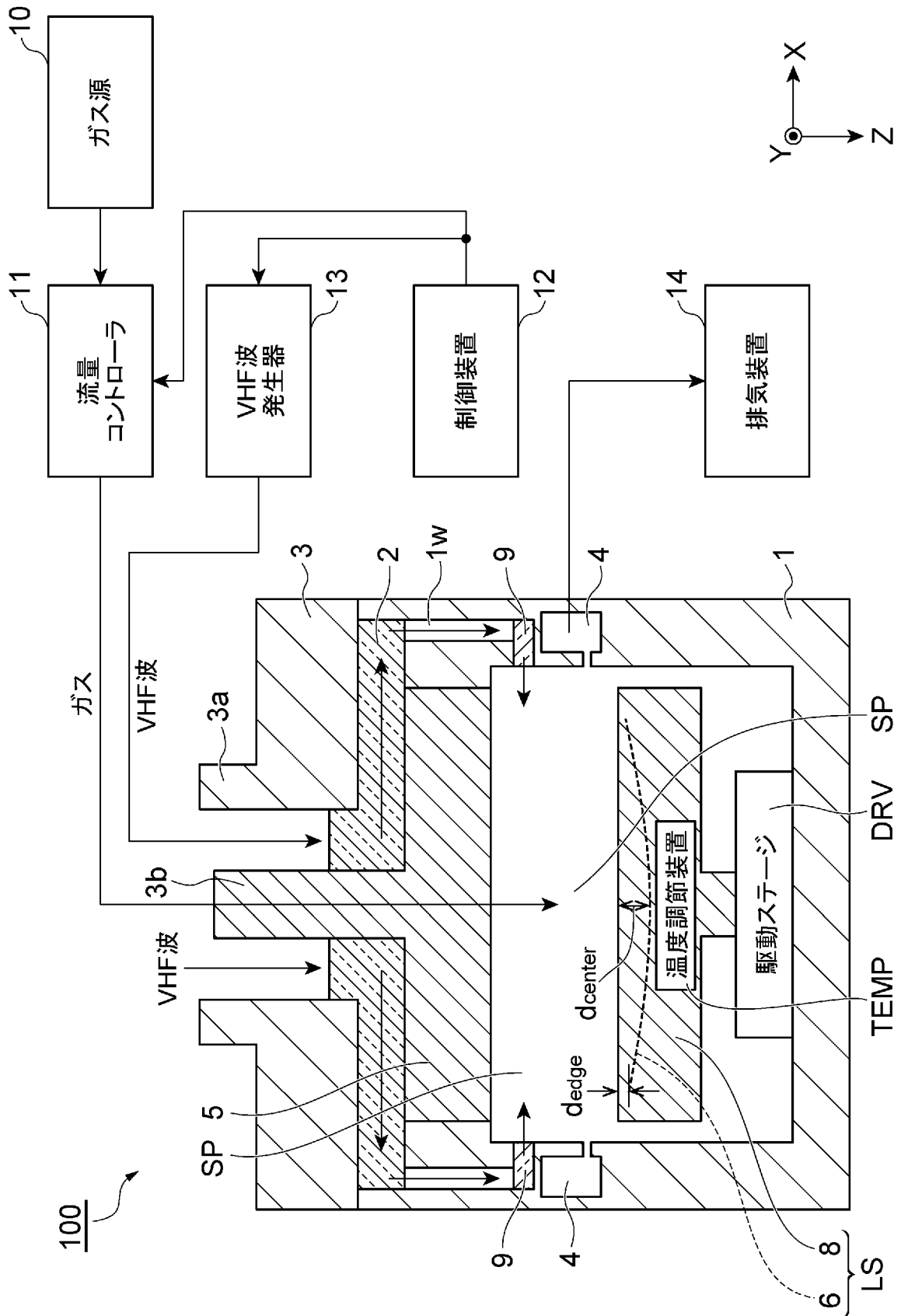
[請求項5] VHF電力は、VHF波として処理容器の側方から上部電極と下部
ステージとの間の空間内に導入される請求項2～4のいずれか一項に
記載のプラズマ処理装置。

[請求項6] 前記下部ステージは、上下方向に移動できるように駆動される、請
求項2～5のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

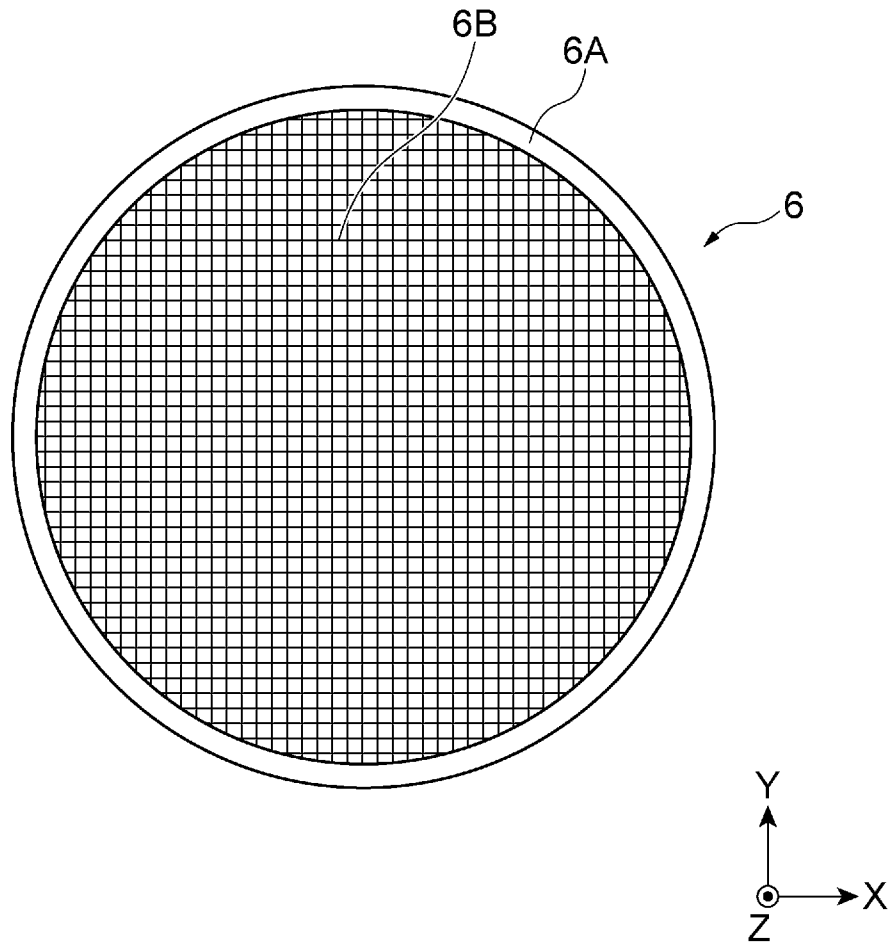
要 約 書

プラズマの面内均一性を向上可能なプラズマ処理装置及びこれに用いる下部ステージが期待されている。一つの例示的实施形態において、下部ステージは、上部電極との間にプラズマを発生させるための下部ステージを対象とする。下部ステージは、セラミックスからなる下部誘電体と、下部誘電体内に埋設された下部電極と、下部誘電体内に埋設された発熱体と、を備えている。下部誘電体の中央領域の上部表面と下部電極との間の離隔距離よりも、下部誘電体の外縁位置の上部表面と下部電極との間の離隔距離は小さい。下部電極は、上記外縁位置と上記中央領域との間に、上記上部表面に対して傾斜した傾斜領域を有している。

[図1]



[図2]



[図3]

