

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-47869

(P2008-47869A)

(43) 公開日 平成20年2月28日(2008.2.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/31 (2006.01)	HO 1 L 21/31 C	4 G O 1 9
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 I O 1 L	4 K O 3 0
C 2 3 C 16/455 (2006.01)	C 2 3 C 16/455	5 F O O 4
CO 4 B 38/00 (2006.01)	CO 4 B 38/00 3 O 3 Z	5 F O 4 5

審査請求 未請求 請求項の数 26 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2007-153563 (P2007-153563)	(71) 出願人	392034023 北陸成型工業株式会社 石川県小松市花坂町リ80番地
(22) 出願日	平成19年6月11日 (2007.6.11)	(71) 出願人	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番6号
(31) 優先権主張番号	特願2006-163357 (P2006-163357)	(71) 出願人	504157024 国立大学法人東北大学 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(32) 優先日	平成18年6月13日 (2006.6.13)	(74) 代理人	100082164 弁理士 小堀 益
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100105577 弁理士 堤 隆人
(31) 優先権主張番号	特願2006-198754 (P2006-198754)	(72) 発明者	楠作 正広 石川県小松市南浅井町ハ133番地1
(32) 優先日	平成18年7月20日 (2006.7.20)		最終頁に続く
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

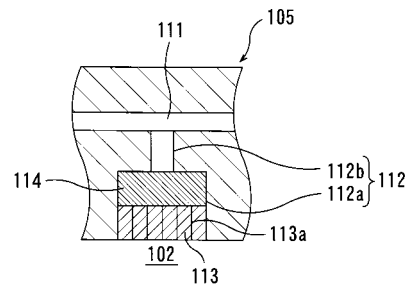
(54) 【発明の名称】 シャワープレート及びその製造方法、並びにそのシャワープレートを用いたプラズマ処理装置、プラズマ処理方法及び電子装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 プラズマの逆流の発生、若しくは縦孔部分でのプラズマ励起用ガスの着火をより完全に防止でき、効率の良いプラズマ励起が可能なシャワープレートを提供すること。

【解決手段】 プラズマ処理装置の処理室102に配置され、処理室102にプラズマを発生させるためにプラズマ励起用ガスを放出するシャワープレート105において、プラズマ励起用ガスの放出経路となる縦孔112に、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質ガス流通体114を装着した。多孔質ガス流通体114の連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径を10µm以下とした。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ処理装置に配置され、前記プラズマ処理装置内にプラズマを発生させるためにプラズマ励起用ガスを放出するシャワープレートにおいて、プラズマ励起用ガスの放出経路となる縦孔に、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質ガス流通体を装着し、前記多孔質ガス流通体の連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径が $10\ \mu\text{m}$ 以下であるシャワープレート。

【請求項 2】

前記多孔質ガス流通体がアルミナ系材料からなり、誘電損失が 1×10^{-3} 以下、平均結晶粒子径が $10\ \mu\text{m}$ 以下、気孔率が $20 \sim 75\%$ の範囲、平均気孔径が $10\ \mu\text{m}$ 以下、最大気孔径が $75\ \mu\text{m}$ 以下、曲げ強さが $30\ \text{MPa}$ 以上である請求項 1 に記載のシャワープレート。

10

【請求項 3】

前記縦孔のガス放出側にガス放出孔が設けられており、前記多孔質ガス流通体が前記ガス放出孔のガス導入側に配置されている請求項 1 または請求項 2 に記載のシャワープレート。

【請求項 4】

前記ガス放出孔の孔径がシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の 2 倍以下である請求項 3 に記載のシャワープレート。

【請求項 5】

前記多孔質ガス流通体のガス導入側に、前記ガス放出孔よりも孔径の大きいガス通過孔を連続して設けた請求項 3 または請求項 4 のいずれかに記載のシャワープレート。

20

【請求項 6】

複数のガス放出孔が開けられたセラミック部材をシャワープレートに開けた縦孔に装着してなる請求項 3 から請求項 5 のいずれかに記載のシャワープレート。

【請求項 7】

プラズマ処理装置に配置され、前記プラズマ処理装置内にプラズマを発生させるためにプラズマ励起用ガスを放出する複数のガス放出孔を備えたシャワープレートにおいて、ガス放出孔の長さが前記プラズマ処理装置内における電子の平均自由行程よりも長いシャワープレート。

30

【請求項 8】

ガス放出孔がシャワープレートに開けた縦孔のガス放出側に設けられており、前記縦孔のガス導入側の角部に面取り加工を施した請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載のシャワープレート。

【請求項 9】

プラズマ処理装置用のシャワープレートであって、複数の縦孔を備え、各縦孔のガス放出側は複数のガス放出孔を設けた部材で塞がれ、各ガス放出孔の長さが前記プラズマ処理装置内の電子の平均自由行程よりも長いシャワープレート。

【請求項 10】

前記縦孔の前記ガス放出側はガス導入側よりも狭く、前記部材は当該狭い部分に設けられるとともにガス導入側にも延在している請求項 9 に記載のシャワープレート。

40

【請求項 11】

前記部材はセラミックの押出し成型品である請求項 9 または請求項 10 に記載のシャワープレート。

【請求項 12】

前記複数のガス放出孔に接するように前記縦孔のガス導入側に、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質ガス流通体を配置した請求項 9 から請求項 11 のいずれかに記載のシャワープレート。

【請求項 13】

前記ガス放出孔の孔径がシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の 2

50

倍以下である請求項 9 から請求項 11 のいずれかに記載のシャワープレート。

【請求項 14】

前記多孔質ガス流通体の気孔の孔径がシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚以下である請求項 12 に記載のシャワープレート。

【請求項 15】

前記多孔質ガス流通体が、前記縦孔の少なくとも先端部に、嵌合または焼結結合することにより装着されている請求項 1 または請求項 2 に記載のシャワープレート。

【請求項 16】

多孔質ガス流通体の上面及び下面が、前記プラズマ処理装置内に向かって、共に凸曲面状または凹曲面状に湾曲している請求項 15 に記載のシャワープレート。

10

【請求項 17】

多孔質ガス流通体の上面及び下面を除く外周が、緻密質セラミックス層で形成されている請求項 15 に記載のシャワープレート。

【請求項 18】

多孔質ガス流通体のガス導入側の縦孔に、ガス流通孔を開けたセラミックス部材または前記多孔質ガス流通体よりも気孔率の大きい別の多孔質ガス流通体を装着した請求項 15 から請求項 17 のいずれかに記載のシャワープレート。

【請求項 19】

請求項 1 に記載のシャワープレートを製造するシャワープレートの製造方法において、シャワープレートの縦孔の内寸法に対して $0 \sim 0.002 \text{ mm}$ の外寸法を有する多孔質ガス流通体を嵌合により装着するシャワープレートの製造方法。

20

【請求項 20】

請求項 1 に記載のシャワープレートを製造するシャワープレートの製造方法において、多孔質ガス流通体の原料粉末を成型して所定形状に加工した粉末成形体、その脱脂体または仮焼結体を、シャワープレートの原料粉末を成型して縦孔を加工形成したグリーン体の縦孔に装着後、該グリーン体と同時に焼結するシャワープレートの製造方法。

【請求項 21】

請求項 1 に記載のシャワープレートを製造するシャワープレートの製造方法において、多孔質ガス流通体の原料粉末を成型して所定形状に加工した粉末成形体、その脱脂体または仮焼結体を、シャワープレートの原料粉末を成型して縦孔を加工形成したグリーン体の脱脂体の縦孔に装着後、該グリーン体の脱脂体と同時に焼結するシャワープレートの製造方法。

30

【請求項 22】

請求項 1 に記載のシャワープレートを製造するシャワープレートの製造方法において、多孔質ガス流通体の原料粉末を成型して所定形状に加工した粉末成形体、その脱脂体または仮焼結体を、シャワープレートの原料粉末を成型して縦孔を加工形成したグリーン体の仮焼結体の縦孔に装着後、該グリーン体の仮焼結体と同時に焼結するシャワープレートの製造方法。

【請求項 23】

原料粉末を成型して縦孔を加工形成したシャワープレートのグリーン体、脱脂体または仮焼結体の前記縦孔に、複数のガス放出孔またはガス流通孔を有するセラミックス部材のグリーン体、脱脂体、仮焼結体または焼結体を装入後、同時に焼結するシャワープレートの製造方法。

40

【請求項 24】

請求項 1 から請求項 18 のいずれかに記載のシャワープレートを配置したプラズマ処理装置。

【請求項 25】

請求項 1 から請求項 18 のいずれかに記載のシャワープレートを用いてプラズマ励起用ガスをプラズマ処理装置内に供給し、供給されたプラズマ励起用ガスをマイクロ波で励起してプラズマを発生させ、該プラズマを用いて酸化、窒化、酸窒化、CVD、エッチング

50

、またはプラズマ照射を基板に対して施すプラズマ処理方法。

【請求項 26】

請求項 25 に記載のプラズマ処理方法によって基板を処理する工程を含む電子装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置、とくにマイクロ波プラズマ処理装置に使用するシャワープレート及びその製造方法、並びにそのシャワープレートを用いたプラズマ処理装置、プラズマ処理方法及び電子装置の製造方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

プラズマ処理工程およびプラズマ処理装置は、近年のいわゆるディープサブミクロン素子あるいはディープサブクォーターミクロン素子と呼ばれる $0.1 \mu\text{m}$ 、あるいはそれ以下のゲート長を有する超微細化半導体装置の製造や、液晶表示装置を含む高解像度平面表示装置の製造にとって、不可欠の技術である。

【0003】

半導体装置や液晶表示装置の製造に使われるプラズマ処理装置としては、従来より様々なプラズマの励起方式が使われているが、とくに平行平板型高周波励起プラズマ処理装置あるいは誘導結合型プラズマ処理装置が一般的である。しかしこれら従来のプラズマ処理装置は、プラズマ形成が不均一であり、電子密度の高い領域が限定されているため大きな処理速度、すなわちスループットで被処理基板全面にわたり均一なプロセスを行うのが困難である問題点を有している。この問題は、とくに大径の基板を処理する場合に深刻になる。しかもこれら従来のプラズマ処理装置では、電子温度が高いため被処理基板上に形成される半導体素子にダメージが生じ、また処理室壁のスパッタリングによる金属汚染が大きいなど、いくつかの本質的な問題を有している。このため、従来のプラズマ処理装置では、半導体装置や液晶表示装置のさらなる微細化およびさらなる生産性の向上に対する厳しい要求を満たすことが困難になりつつある。

20

【0004】

これに対して、従来より直流磁場を用いずにマイクロ波電界により励起された高密度プラズマを使うマイクロ波プラズマ処理装置が提案されている。例えば、均一なマイクロ波を発生するように配列された多数のスロットを有する平面状のアンテナ（ラジアルラインスロットアンテナ）から処理室内にマイクロ波を放射し、このマイクロ波電界により処理室内のガスを電離してプラズマを励起させる構成のプラズマ処理装置が提案されている（例えば特許文献 1 を参照）。このような手法で励起されたマイクロ波プラズマではアンテナ直下の広い領域にわたって高いプラズマ密度を実現でき、短時間で均一なプラズマ処理を行うことが可能である。しかもかかる手法で形成されたマイクロ波プラズマではマイクロ波によりプラズマを励起するため電子温度が低く、被処理基板のダメージや金属汚染を回避することができる。さらに大面積基板上にも均一なプラズマを容易に励起できるため、大口径半導体基板を使った半導体装置の製造工程や大型液晶表示装置の製造にも容易に

30

40

【0005】

これらのプラズマ処理装置においては、通常、処理室内にプラズマ励起用ガスを均一に供給するために、ガス放出経路として複数の縦孔を備えたシャワープレートが使用されている。しかし、シャワープレートの使用によって、シャワープレート直下に形成されたプラズマがシャワープレートの縦孔に逆流することがある。縦孔にプラズマが逆流すると、異常放電やガスの堆積が発生し、プラズマを励起するためのマイクロ波の伝送効率や歩留まりの劣化が発生してしまうという問題がある。

【0006】

このプラズマの縦孔への逆流を防止するための手段として、シャワープレートの構造の

50

改良が多く提案されている。

【0007】

例えば、特許文献2には、縦孔先端のガス放出孔の孔径をシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍より小さくすることが有効であることが開示されている。しかし、ガス放出孔の孔径を小さくするだけでは、プラズマの逆流を防止する手段としては不十分である。とくに、ダメージを低減し処理速度を高める目的のために、プラズマ密度を従来の 10^{12} cm^{-3} 程度から 10^{13} cm^{-3} 程度に高めようとする、プラズマの逆流が顕著となり、ガス放出孔の孔径の制御だけではプラズマの逆流を防止することはできない。また、微細な孔径のガス放出孔をシャワープレート本体に孔加工により形成することは困難であり、加工性の問題もある。

10

【0008】

また、特許文献3には、通気性の多孔質セラミックス焼結体からなるシャワープレートを使用することも提案されている。これは、多孔質セラミックス焼結体を構成する多数の気孔の壁によりプラズマの逆流を防止しようとするものである。

【0009】

しかし、この常温・常圧で焼結された一般的な多孔質セラミックス焼結体からなるシャワープレートは、その気孔径が数 μm から数十 μm 程度の大きさまでバラツキが大きく、さらに最大結晶粒子径が $20 \mu\text{m}$ 程度と大きくて組織が均一でないため、表面平坦性が悪く、また、プラズマに接する面を多孔質セラミックス焼結体とすると、実効表面積が増えてしまい、プラズマの電子・イオンの再結合が増加してしまい、プラズマ励起の電力効率が悪いという問題点がある。ここで、上記特許文献3には、シャワープレート全体を多孔質セラミックス焼結体で構成する代わりに、緻密なアルミナからなるシャワープレートにガス放出用の開口部を形成し、この開口部に常温・常圧で焼結された一般的な多孔質セラミックス焼結体を装着し、この多孔質セラミックス焼結体を介してガスを放出する構造も開示されている。しかし、この構造においても、常温・常圧で焼結された一般的な多孔質セラミックス焼結体を使用するので、表面平坦性の悪さから発生する上記の問題点は解消されない。

20

【0010】

さらに、本願出願人は、先に、特許文献4において、シャワープレートの構造面からではなくガス放出孔の直径寸法の調整によるプラズマの逆流を防止するための手段を提案した。すなわち、ガス放出孔の直径寸法を $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ 未満とし、しかも、その直径寸法公差を $\pm 0.002 \text{ mm}$ 以内の精度とすることにより、プラズマの逆流を防止するとともに、ガスの放出量のバラツキをなくしたものである。

30

【0011】

ところが、このシャワープレートを、プラズマ密度を 10^{13} cm^{-3} に高めた条件で実際にマイクロ波プラズマ処理装置で使用したところ、図21に示すように、シャワープレート本体600とカバープレート601との間に形成されたプラズマ励起用ガスを充填する空間602とそれに連通する縦孔603にプラズマが逆流したためか、あるいは空間602と縦穴603の部分でプラズマ励起用ガスに着火したためとも思われる薄茶色の変色部分が見られた。

40

【特許文献1】特開平9-63793号公報

【特許文献2】特開2005-33167号公報

【特許文献3】特開2004-39972号公報

【特許文献4】国際公開第06/112392号パンフレット

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明が解決しようとする課題は、プラズマの逆流の発生、若しくは縦孔部分でのプラズマ励起用ガスの着火をより完全に防止でき、効率の良いプラズマ励起が可能なシャワープレートを提供することにある。

50

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明は、プラズマ処理装置内にプラズマを発生させるためにプラズマ励起用ガスを放出するシャワープレートにおいて、プラズマ励起用ガスの放出経路となる縦孔に、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質ガス流通体及び適宜複数のガス放出孔を有するセラミック部材を装着し、さらにその多孔質ガス流通体の連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径を $10\mu\text{m}$ 以下としたことによって、プラズマの逆流を防止すると共に、プラズマ励起用ガスをプラズマ処理装置内にバラツキなくに放出し、均一なプラズマを生成することを可能とした。

【0014】

また、ガス放出孔の長さをプラズマ処理装置内における電子の平均自由行程より長くすることにより、プラズマの逆流を劇的に低減することを可能とした。

【0015】

またさらには、シャワープレートに開けた縦孔のガス導入側の角部に面取り加工を施すことにより、前記角部でのマイクロ波の電界集中に伴う放電、ひいてはプラズマ励起用ガスの着火現象を防止することを可能とした。

【0016】

上述のように多孔質ガス流通体の隘路の気孔径を $10\mu\text{m}$ 以下とすることで、プラズマ密度を 10^{13}cm^{-3} 程度に高めたとしてもプラズマの逆流を防止することが可能となる。すなわち、この多孔質ガス流通体においては、連通した気孔によりガスの流通性は確保されているものの、そのガス流通経路はジグザグ状に曲折し、しかも $10\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $5\mu\text{m}$ 以下の隘路が介在している。これに対して、プラズマを構成する電子やイオンは直進性を有しているので、プラズマが多孔質ガス流通体に逆流してきたとしても、大部分が気孔の壁に衝突し、さらには気孔の $10\mu\text{m}$ 以下の隘路部でプラズマのすべてが衝突し、それ以上の逆流が阻止される。

【0017】

ここで、シャワープレートに、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質ガス流通体として通気性の多孔質セラミック焼結体を使用すること自体は、上記特許文献3に開示されている。しかし、特許文献3で使用される一般的な多孔質セラミック焼結体は、最大結晶粒子径が $20\mu\text{m}$ 以上であり、連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径が優に $10\mu\text{m}$ を超えるため、プラズマ密度を 10^{13}cm^{-3} 程度に高めた条件下ではプラズマの逆流を完全に防止することはできない。また、上述のように、結晶粒子径が比較的大きな一般的な多孔質セラミック焼結体では表面平坦性が悪く、その実効表面積の多さに起因して、プラズマの電子・イオンの再結合が増加してしまい、プラズマ励起の電力効率が悪くなるという問題点がある。

【0018】

これに対して、本発明では、プラズマ密度を 10^{13}cm^{-3} に高めた場合のプラズマのシース厚 0.01mm の2倍($20\mu\text{m}$)に対して、上述のように隘路の気孔径を $10\mu\text{m}$ 以下とすることで、確実にプラズマの逆流を防止すると共に、後述するように、結晶粒子径が微細で、しかも高純度のセラミック焼結体からなる多孔質ガス流通体を使用することで、表面平坦性を向上させることができ、プラズマの電子・イオンの再結合の増加によるプラズマ励起の電力効率悪化の問題を解消できる。

【0019】

すなわち、多孔質ガス流通体としては、誘電損失を大きくする不純物を含まない高純度で、しかも微細結晶組織を有するセラミック焼結体からなる通気性の多孔質セラミック焼結体が誘電損失、強度等の点から優れており、例えば、高純度アルミナ及び微量の粒成長抑制剤や Y_2O_3 及びムライト等を配合したアルミナ系焼結体、 AlN 焼結体、 SiO_2 焼結体、ムライト焼結体、 SiN_4 焼結体、 SiAlON 焼結体等が挙げられる。その気孔径の大きさは、シャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍より小さくすることが好ましい。また、結晶粒子径が微細で組織が均一でバラツキの無いも

10

20

30

40

50

のが好ましい。とくに、多孔質ガス流通体としては、アルミナ系セラミックスからなる多孔質セラミックス焼結体の誘電損失が 1×10^{-3} 以下、より好ましくは 5×10^{-4} 以下で、しかも最大結晶粒子径が $15 \mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $10 \mu\text{m}$ 以下で、しかも平均結晶粒子径が $10 \mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $5 \mu\text{m}$ 以下であり、さらには、気孔率が $20 \sim 75\%$ の範囲で、平均気孔径が $10 \mu\text{m}$ 以下かつ最大気孔径が $75 \mu\text{m}$ 以下で、ガス流通経路の隘路の気孔径が $10 \mu\text{m}$ 以下の材料を用いる。さらには、多孔質セラミックス焼結体の強度（曲げ強さ）を 30MPa 以上とすることにより、気孔部分を除いた研削加工面の面粗度（Ra）を $1.5 \mu\text{m}$ 以下とすることが可能であることから、従来の多孔質セラミックス焼結体の表面平坦性の悪さや実効表面積の増大に伴う弊害を解消することができる。上述したような諸特性を有する多孔質セラミックス焼結体は、一例として 99.9% 以上の高純度 Al_2O_3 微粉末から比較的容易に製造することができる。このような多孔質セラミックス焼結体を使用することで、より確実にプラズマの逆流を防止することができる。

10

【0020】

このような多孔質ガス流通体は、縦孔のガス放出側に設けたガス放出孔のガス導入側、あるいは縦孔の先端部に配置することができる。

【0021】

ここで、多孔質ガス流通体をガス放出孔のガス導入側に設けると、多孔質ガス流通体がプラズマと直接的に接することはなく、また、シャワープレート下面の平坦度を阻害することもないので、プラズマの電子・イオンの再結合の増加によるプラズマ励起の電力効率悪化の問題を解消できる。プラズマ励起用ガスが、ガス放出孔に導入される前に多孔質ガス流通体に導入されることで、各縦孔毎のプラズマ励起用ガスの圧力、流速等の諸特性が均一化される。そして、その後、複数のガス放出孔から放出されるので、各ガス放出孔毎のプラズマ励起用ガス流量バラツキなく一定で、シャワープレートの広い面から均一な状態でプラズマ処理装置内に放出される。したがって、シャワープレート直下に均一なプラズマを効率的に生成することができる。言い換えれば、ガス放出孔のガス導入側に、プラズマ励起用ガスの圧力、流速等の諸特性を均一化させるバッファ効果（緩衝効果）を有する多孔質ガス流通体を配置することで、ガス放出孔から放出するガスの流速および流量のバラツキを無くし、生成するプラズマの均一化を図ることができる。そして、上述のようにシャワープレート直下に均一なプラズマを効率的に生成することができるという利点を有しつつ、ガス放出孔のガス導入側に配置された微細結晶組織を有するセラミックス焼結体からなる多孔質ガス流通体により、縦孔のガス導入側にプラズマが逆流することを防止できる。

20

30

【0022】

多孔質ガス流通体をガス放出孔のガス導入側に配置する場合、多孔質ガス流通体のガス導入側には、ガス放出孔よりも孔径の大きいガス通過孔を連続して設けることが好ましい。このガス通過孔は、例えばシャワープレートに設けた横孔からなるプラズマ励起用ガスの導入経路から、プラズマ励起用ガスを多孔質ガス流通体側に導くための経路となり、その孔径をガス放出孔の孔径よりも大きくすることで、プラズマ励起用ガスを容易に多孔質ガス流通体側に導くことができ、全体としてのガス導通率を上げることができる。また、ガスの流体抵抗を低減できるので、圧力ロスが少なく、ガスの供給圧力を低めに設定でき、省エネルギーとなる。

40

【0023】

本発明においては、多孔質ガス流通体を縦孔の少なくとも先端部に装着するようにすることもできる。このように、多孔質ガス流通体を縦孔の少なくとも先端部に装着すると、プラズマ励起用ガスが多孔質ガス流通体の全面から放出されるので、放出されるプラズマ励起用ガスの圧力、流速等の諸特性が均一化される。これにより、プラズマ励起用ガスがバラツキなく均一に放出され、シャワープレート直下に乱流現象のない均一なプラズマを生成することが可能となる。

【0024】

50

またこの場合、多孔質ガス流通体の形状は、その上面及び下面が、プラズマ処理装置内に向かって平行平面でもよいが、共に凸曲面状または凹曲面状に湾曲した形状、言い換えれば凸状球殻または凹状球殻の形状とすることが好ましい。このように湾曲した形状にすることで、使用時の熱膨張・収縮による応力を変形（撓み）により吸収することができ、多孔質ガス流通体及びそれを装着したシャワープレートの割れ等を防止することができる。また、プラズマ処理装置内に向かって凸曲面状とした場合には、プラズマ励起用ガスをより広範囲に放出できるので、より均一なプラズマを生成することが可能となる。

【0025】

さらに、多孔質ガス流通体の上面及び下面を除く外周を、緻密質セラミックス層で形成してもよい。多孔質ガス流通体はシャワープレートの縦孔に装着する際に、その外周が崩れて粒子が脱落するおそれがあるので注意を要するが、その外周を緻密質セラミックス層とすることで、外周が崩れにくくなり作業性が向上すると共に、粒子脱落によるコンタミを防止することが可能となる。

10

【0026】

このような多孔質ガス流通体は、シャワープレートの縦孔の先端部に嵌合または焼結結合により装着することができる。多孔質ガス流通体とシャワープレートを共に焼結体の状態で嵌合させる場合には、多孔質ガス流通体の外寸法は、シャワープレートの縦孔の内寸法に対して0～0.002mmの寸法として焼嵌め、冷やし嵌めまたは圧入により嵌合させる。

20

【0027】

あるいは、焼結したシャワープレートの縦孔内に、外周面に耐熱性のセラミックス用接着剤を塗布した多孔質ガス流通体を装入後、400以上の温度で焼成することにより、強固に接着した状態で装着することもできる。

【0028】

また、多孔質ガス流通体とシャワープレートを共に焼結前の段階で装着して、その後同時に焼結することもできる。すなわち、多孔質ガス流通体については、多孔質ガス流通体の原料粉末を成型して所定形状に加工した粉末成形体、その脱脂体または仮焼結体あるいは焼結体の段階で、シャワープレートについては、シャワープレートの原料粉末を成型して縦孔を加工形成したグリーン体、その脱脂体または仮焼結体の段階で、多孔質ガス流通体をシャワープレートの縦孔に装着し、その後同時に焼結する。この場合、同時焼結時の各部材の収縮率がほぼ同じで、少なくとも多孔質ガス流通体に締め付け力が作用するように、成型条件あるいはその後の脱脂、仮焼結の条件を調整する。このように、焼結前の段階で装着して、その後同時に焼結することで、多孔質ガス流通体をシャワープレートの縦孔に確実に固定することが可能となる。

30

【0029】

さらに本発明では、複数のガス放出孔が開けられたセラミックス部材をシャワープレートに開けた縦孔に装着する構成とすることもできる。すなわち、ガス放出孔をシャワープレートとは別体のセラミックス部材に形成し、このセラミックス部材をシャワープレートに開けた縦孔に装着する。このような構成とすることで、シャワープレートに孔加工によりガス放出孔を形成する場合に比べ、微細で長いガス放出孔を容易に形成することができる。なお、ガス放出孔を開けたセラミックス部材は、射出成型や押し出し成型あるいは特殊な鑄込成型等により形成することができる。ガス放出孔の寸法としては、その孔径をシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍以下とし、かつその長さを処理室における電子の平均自由行程より大きくすることが好ましい。このように微細で長いガス放出孔を設けることで、そのガス導入側に設けた多孔質ガス流通体の効果と相まってより確実にプラズマの逆流を防止することができる。

40

【0030】

各縦孔に上述のようなガス放出孔を設けた部材を装着する具体的態様としては、各縦孔のガス放出側を前記部材で塞ぐようにすることが好ましい。この場合、縦孔のガス放出側をガス導入側よりも狭くし、前記部材を当該狭い部分に設けるとともにガス導入側にも延

50

在させることが好ましい。また、縦孔のガス導入側に、前記部材のガス放出孔に接するように多孔質ガス流通体を配置することもできる。このような構成において、ガス放出孔の長さはプラズマ処理装置内の電子の平均自由行程より長くし、その孔径はシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚の2倍以下とし、多孔質流通体の気孔の孔径はシャワープレートの直下に形成されるプラズマのシース厚以下とすることが好ましい。

【0031】

またさらに、プラズマ励起用ガスのガス流路部分となるシャワープレートの縦孔部分においては、ガス導入側の角部にマイクロ波の電界が集中するので、前記角部に面取り加工を施すことで電界集中を防ぎ、プラズマの自己発生すなわちプラズマ励起用ガスの着火現象を防止することができる。

10

【0032】

そして、上述した本発明のシャワープレートを用いて、プラズマ励起用ガスをプラズマ処理装置内に供給し、供給されたプラズマ励起用ガスをマイクロ波で励起してプラズマを発生させ、該プラズマを用いて酸化、窒化、酸窒化、CVD、エッチング、プラズマ照射等を基板に処理することができる。

【発明の効果】

【0033】

本発明によれば、シャワープレートのプラズマ励起用ガスの放出経路となる縦孔にプラズマが逆流することを防止でき、シャワープレート内部での異常放電やガスの堆積の発生を抑えることができるので、プラズマを励起するためのマイクロ波の伝送効率や歩留まりの劣化を防止することができる。

20

【0034】

また、プラズマに接する面の平坦度を阻害することがなく、しかもプラズマ励起用ガスをバラツキなく均一に放出することができるので、均一で効率の良いプラズマ励起が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

以下、実施例に基づき本発明の実施の形態を説明する。

【実施例1】

【0036】

図1に、本発明の第一実施例を示す。図1を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。図示されたマイクロ波プラズマ処理装置は複数の排気ポート101を介して排気される処理室102を有し、処理室102中には被処理基板103を保持する保持台104が配置されている。処理室102を均一に排気するため、処理室102は保持台104の周囲にリング状の空間を規定しており、複数の排気ポート101は空間に連通するように等間隔で、すなわち、被処理基板103に対して軸対称に配列されている。この排気ポート101の配列により、処理室102を排気ポート101より均一に排気することができる。

30

【0037】

処理室102の上部には、保持台104上の被処理基板103に対応する位置に、処理室102の外壁の一部として、直径が408mm、比誘電率が9.8で、かつ低マイクロ波誘電損失（誘電損失が 1×10^{-3} 以下より好ましくは 5×10^{-4} 以下）である誘電体のアルミナからなるシャワープレート105が、シール用のリング106を介して取り付けられている。また、処理室102を構成する壁面107において、シャワープレート105の側面に対応する位置に、2本のシール用のリング108とシャワープレート105の側面とにより囲まれたリング状空間109が設けられている。リング状空間109はプラズマ励起用ガスを導入するガス導入ポート110と連通している。

40

【0038】

一方、シャワープレート105の側面には横方向に直径1mmの多数の横孔111がシャワープレート105の中心方向に向かって開けられている。同時に、この横孔111と

50

連通するように多数(230個)の縦孔112が処理室102へ連通して開けられている。

【0039】

図2は、シャワープレート105の上面からみた横孔111と縦孔112の配置を示す。図3は、横孔111と縦孔112の配置を示す斜視模式図である。また、図4は、縦孔112の詳細を示す。縦孔112は、処理室102側に設けられた直径10mm、深さ10mmの第一の縦孔112aと、さらにその先(ガス導入側)に設けられた直径1mmの第二の縦孔112bとからなり、横孔111に連通している。さらに、第一の縦孔112aには、処理室102側からみてアルミナ押し出し成型品からなり複数の直径50 μ mのガス放出孔113aが開けられた高さ5mmのセラミック素材113と、直径10mm、高さ5mmの円柱状の、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミック焼結体114が順番に装着されている。

10

【0040】

ここで、多孔質セラミック焼結体114のガス導入側の第二の縦孔112bが本願の請求項5にいう「ガス通過孔」に対応する。

【0041】

図1を参照してプラズマ励起用ガスの処理室への導入方法を示す。ガス導入ポート110より導入されたプラズマ励起用ガスは、リング状空間109へ導入され、さらには横孔111、縦孔112を介して、最終的には縦孔112の先端部分に設けられたガス放出孔113aから処理室102へ導入される。

20

【0042】

シャワープレート105の上面には、マイクロ波を放射するための、スリットが多数開いたラジアルラインスロットアンテナのスロット板115、マイクロ波を径方向に伝播させるための遅波板116、およびマイクロ波をアンテナへ導入するための同軸導波管117が設置されている。また、遅波板116は、スロット板115と金属板118により挟みこまれている。金属板118には冷却用流路119が設けられている。

【0043】

このような構成において、スロット板115から放射されたマイクロ波により、シャワープレート105から供給されたプラズマ励起用ガスを電離させることで、シャワープレート105の直下数ミリメートルの領域で高密度プラズマが生成される。生成されたプラズマは拡散により被処理基板103へ到達する。シャワープレート105からは、プラズマ励起用ガスのほかに、積極的にラジカルを生成させるガスとして、酸素ガスやアンモニアガスを導入しても良い。

30

【0044】

図示されたプラズマ処理装置では、処理室102中、シャワープレート105と被処理基板103との間にアルミニウムやステンレス等の導体からなる下段シャワープレート120が配置されている。この下段シャワープレート120は、プロセスガス供給ポート121から供給されるプロセスガスを処理室102内の被処理基板103へ導入するための複数のガス流路120aを備え、プロセスガスはガス流路120aの被処理基板103に対応する面に形成された多数のノズル120bにより、下段シャワープレート120と被処理基板103との間の空間に放出される。ここでプロセスガスとしては、Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition(PECVD)プロセスの場合、シリコン系の薄膜形成を行う場合はシランガスやジシランガス、低誘電率膜を形成する場合は C_5F_8 ガスが導入される。またプロセスガスとして有機金属ガスを導入したCVDも可能である。また、Reactive Ion Etching(RIE)プロセスの場合、シリコン酸化膜エッチングの場合は C_5F_8 ガスと酸素ガス、金属膜やシリコンのエッチングの場合は塩素ガスやHBrガスが導入される。エッチングする際にイオンエネルギーが必要な場合には前記保持台104内部に設置された電極にRF電源122をコンデンサを介して接続して、RF電力を印加することで自己バイアス電圧を被処理基板103上に発生させる。流すプロセスガスのガス種は上記に限定されることなく、プロセスにより流すガス、圧力を設定する。

40

50

【 0 0 4 5 】

下段シャワープレート 1 2 0 には、隣接するガス流路 1 2 0 a どうしの間、下段シャワープレート 1 2 0 の上部でマイクロ波により励起されたプラズマを被処理基板 1 0 3 と下段シャワープレート 1 2 0 との間の空間に拡散により効率よく通過させるような大きさの開口部 1 2 0 c が形成されている。

【 0 0 4 6 】

また、高密度プラズマに晒されることでシャワープレート 1 0 5 へ流れ込む熱流は、スロット板 1 1 5、遅波板 1 1 6、及び金属板 1 1 8 を介して冷却用流路 1 1 9 に流されている水等の冷媒により排熱される。

【 0 0 4 7 】

図 4 を参照すると、本実施例におけるアルミナ材料からなる円柱状のセラミックス部材 1 1 3 に開けられた複数のガス放出孔 1 1 3 a は、直径 $50 \mu\text{m}$ としている。この数値は、 10^{12}cm^{-3} の高密度プラズマのシース厚である $40 \mu\text{m}$ の 2 倍よりは小さいが、 10^{13}cm^{-3} の高密度プラズマのシース厚である $10 \mu\text{m}$ の 2 倍よりは大きい。

【 0 0 4 8 】

ここで、セラミックス部材 1 1 3 は、99.95% 以上の高純度 Al_2O_3 からなる誘電損失が 1×10^{-3} 以下の材料で形成した。

【 0 0 4 9 】

なお、プラズマに接している物体表面に形成されるシースの厚み d は次式で与えられる。

【 数 1 】

$$d = 0.606 \lambda_D \left(\frac{2V_0}{T_e} \right)^{3/4}$$

【 0 0 5 0 】

ここで、 V_0 はプラズマと物体の電位差（単位は V ）、 T_e は電子温度（単位は eV ）であり、 λ_D は次式で与えられるデバイ長である。

【 数 2 】

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{n_e e^2}} = 7.43 \times 10^3 \sqrt{\frac{T_e [\text{eV}]}{n_e [\text{m}^{-3}]}} \quad [\text{m}]$$

【 0 0 5 1 】

ここで、 ϵ_0 は真空の透磁率、 k はボルツマン定数、 n_e はプラズマの電子密度である。

【 0 0 5 2 】

表 1 に示すとおり、プラズマの電子密度が上昇するとデバイ長は減少するため、プラズマの逆流を防ぐという観点からは、ガス放出孔 1 1 3 a の孔径はより小さいことが望ましいといえる。

【表 1】

$$T_e = 2\text{eV}, V_0 = 12\text{V}$$

プラズマ密度 (cm^{-3})	デバイ長 (mm)	シース厚 (mm)
10^{13}	0.003	0.01
10^{12}	0.011	0.04
10^{11}	0.033	0.13
10^{10}	0.105	0.41

10

【0053】

さらに、ガス放出孔 113a の長さを電子が散乱されるまでの平均距離である平均自由行程より長くすることにより、プラズマの逆流を劇的に低減することが可能となる。表 2 に、電子の平均自由行程を示す。平均自由行程は圧力に反比例し、0.1 Torr の時に 4 mm となっている。実際にはガス放出孔 113a のガス導入側は圧力が高いので平均自由行程は 4 mm よりも短くなるが、本実施例においては、50 μm 径のガス放出孔 113a の長さを 5 mm とし、平均自由行程よりも長い値としている。

20

【表 2】

Arガス雰囲気中における 電子の平均自由行程

圧力(P) (Torr)	平均自由行程(λ_{en}) (mm)
10	0.04
1	0.4
0.1	4

30

$$\lambda_{en}(\text{mm}) = 0.4 / P(\text{Torr})$$

【0054】

ただし、平均自由行程はあくまで平均距離であるので、統計的にみるとさらに長い距離を散乱されずに進む電子がある。よって、本発明の一態様では、ガス放出孔 113a のガス導入側にガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミック焼結体 114 を設置する。

40

【0055】

気孔径の大きさは、気孔の中にプラズマが逆流し、第二の縦孔 112b での異常放電を抑制するために、シャワープレート 105 直下に形成される高密度プラズマのシース厚の 2 倍以下、望ましくはシース厚以下であることが好ましい。本実施例における多孔質セラミック焼結体 114 の気孔すなわちガス流通経路の隘路は 10 μm 以下であり、 10^{13}cm^{-3} の高密度プラズマのシース厚である 10 μm と同程度以下である。このように

50

することによって、 10^{13} cm^{-3} の高密度プラズマに対しても、本シャワープレートを用いることができる。

【0056】

以上の構成を有するシャワープレート105によって、縦孔112のガス導入側にプラズマが逆流することを防止でき、シャワープレート105内部での異常放電やガスの堆積の発生を抑えることができるので、プラズマを励起するためのマイクロ波の伝送効率や歩留まりの劣化を防止することができるようになった。また、プラズマに接する面の平坦度を阻害することがなく、効率の良いプラズマ励起が可能となった。加えて、ガス放出孔113aは、シャワープレート105とは別体のセラミックス部材113に押し出し成型法等により形成されるので、シャワープレートに孔加工によりガス放出孔を形成する場合に比べ、直径が0.1mm以下の微細で長いガス放出孔を容易に形成することができるようになった。

10

【0057】

また、被処理基板103へ均一にプラズマ励起用ガス供給を行ない、さらに下段シャワープレート120からノズル120bを介してプロセスガスを被処理基板103へ放出するようにした結果、下段シャワープレート120に設けられたノズル120bから被処理基板103へ向かうプロセスガスの流れが均一に形成され、プロセスガスがシャワープレート105の上部へ戻る成分が少なくなった。結果として、高密度プラズマに晒されることによる過剰解離によるプロセスガス分子の分解が減少し、かつプロセスガスが堆積性ガスであってもシャワープレート105への堆積によるマイクロ波導入効率の劣化などが起こりづらくなったため、クリーニング時間の短縮とプロセス安定性と再現性を高めて生産性を向上させるとともに、高品質な基板処理が可能となった。

20

【0058】

なお、第一の縦孔112aおよび第二の縦孔112bの個数、直径および長さ、セラミックス部材113に開けられるガス放出孔113aの個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

【実施例2】

【0059】

図5に、本発明の第二実施例を示す。図5を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。第一実施例と重複する部分は同一の符号を付し説明を省略する。

30

【0060】

本実施例においては、処理室102の上部には、保持台104上の被処理基板103に対応する位置に、処理室102の外壁の一部として、比誘電率が9.8で、かつ低マイクロ波誘電損失（誘電損失が 1×10^{-4} 以下）である誘電体のアルミナからなり、多数（230個）の開口部、すなわち縦孔200が形成された板状のシャワープレート201が、シール用のリング106を介して取り付けられている。さらに、処理室102には、シャワープレート201の上面側、すなわち、シャワープレート201に対して保持台104とは反対側に、アルミナからなるカバープレート202が、別のシール用のリング203を介して取り付けられている。

40

【0061】

図6は、シャワープレート201とカバープレート202の配置を示す斜視模式図である。図5及び図6を参照すると、シャワープレート201上面と、カバープレート202との間には、プラズマ励起用ガス供給ポート110から、シャワープレート201内に開けられた連通するガス供給孔204を介して供給されたプラズマ励起用ガスを充填する空間205が形成されている。換言すると、カバープレート202において、カバープレート202のシャワープレート201側の面の、縦孔200およびガス供給孔204に対応する位置にそれぞれが繋がるように溝が設けられ、シャワープレート201とカバープレート202の間に空間205が形成される。すなわち、縦孔200は空間205に連通するように配置されている。

【0062】

50

図7に、縦孔200の詳細を示す。図7において(a)は断面図、(b)は底面図である。縦孔200は、処理室102側から、直径5mm、高さ2mmの第一の縦孔200aと、直径10から20mm、高さ8から20mmの第二の縦孔200bからなり、第一の縦孔200aと第二の縦孔200bの一部には、アルミナからなる6本の直径50 μ m、長さ8mmのガス放出孔206aが形成された円柱状のセラミックス部材206が装着されている。また、縦孔200のガス導入側の角部には、マイクロ波の電界が集中して放電が起こり、プラズマ励起用ガスに着火してプラズマが自己発生するのを防止するために、面取り加工208が施されている。この面取り加工は、C面取り、より好ましくはR面取り加工とし、C面取り後にその角部をR面取り加工することもできる。

【0063】

以上の構成を有するシャワープレート201によって、縦孔200のガス導入側へプラズマが逆流することを防止でき、しかも縦孔200のガス導入側角部でのプラズマ励起用ガスが着火する現象もなくなった。

【0064】

図8にはセラミックス部材206の好ましい理想的な構造を示す。同図(a)は断面図、(b)は底面図である。同図に示すように、セラミックス部材206に形成するガス放出孔206aの孔径は2~5 μ m程度、その間隔は10~20 μ m程度が好ましい。

【0065】

さらには、プラズマの逆流を確実に防ぐために、図9に示すように、図7と同じ寸法のセラミックス部材206のガス導入側に、セラミックス部材206に設けたガス放出孔206aに接するように、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミックス焼結体207を設けてもよい。ここで、多孔質セラミックス焼結体207のガス導入側の第二の縦孔200bの空間部分が本願の請求項5にいう「ガス通過孔」に対応する。

【0066】

なお、本実施例の図9に示す多孔質セラミックス焼結体207としては、純度が99.95%以上の Al_2O_3 材料で、平均結晶粒子径が1 μ mで、曲げ強度が100MPaで、しかも平均気孔径が3 μ mで気孔率が45%で厚さが4mmの材料を用いた。

【0067】

本実施例においても、第一実施例と同様の効果が得られる。

【0068】

なお、第一の縦孔200aおよび第二の縦孔200bの個数、直径および長さ、セラミックス部材206に開けられるガス放出孔206aの個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

【実施例3】

【0069】

図10に、本発明の第三実施例を示す。図を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。第一および第二実施例と重複する部分は同一符号を付し説明を省略する。本実施例におけるシャワープレート301の縦孔300は、図11のような構造をしている。すなわち、プラズマが励起される処理室102側には、直径0.05mm、長さ0.5mmのガス放出孔300aが開けられており、ガス放出孔300aのガス導入側は直径1mmの孔300bに接続されている。また、孔300bのガス導入側の角部には、マイクロ波の電界集中を避けるために、面取り加工303を施している。そして、直径1mmの孔300bの底部に、高さ5mmの円柱状の、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミックス焼結体302が装着されている。本実施例においてガス放出孔300aは、アルミナからなるシャワープレートに直接開けるので、長さ1mm以上とするのが困難であり、電子の平均自由行程よりも短いため、電子が逆流し、結果として空間205及び縦孔300でプラズマが着火されるとともに着火現象が継続保持されることがある。これを防ぐために、ガス放出孔300aのガス導入側に第二実施例に用いたのと同じ材料特性の多孔質セラミックス焼結体302を設けている。

【0070】

10

20

30

40

50

本実施例においても、第一実施例と同様の効果が得られる。

【0071】

なお、縦孔300、ガス放出孔300aおよび孔300bの個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

【実施例4】

【0072】

図12に、本発明の第四実施例を示す。図12を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。第一乃至第三実施例と重複する部分は同一符号を付し説明を省略する。

【0073】

シャワープレート400の側面には横方向に直径1mmの多数の横孔401がシャワープレート400の中心方向に向かって開けられている。同時に、この横孔401と連通するように多数(230個)の縦孔402が処理室102へ連通して開けられている。

【0074】

図13は、シャワープレート400の上面からみた横孔401と縦孔402の配置を示す。図14は、横孔401と縦孔402の配置を示す斜視模式図である。また、図15は、縦孔402の詳細を示す。縦孔402の長さは8~21mm程度、直径は3mm以下(好ましくは1mm以下)であり、その先端部に、高さ2~6mm程度の円柱状でガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミック焼結体403が装着されている。多孔質セラミック焼結体はアルミナ系材料からなり、連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径が $10\mu\text{m}$ 以下、誘電損失が 1×10^{-3} 以下、平均結晶粒子径が $10\mu\text{m}$ 以下、気孔率が20~75%、平均気孔径が $10\mu\text{m}$ 以下、最大気孔径が $75\mu\text{m}$ 以下、曲げ強さが30MPa以上のものを用いる。

【0075】

この多孔質セラミック焼結体403を装着したシャワープレート400の製造例を以下に示す。

【0076】

(製造例1)

平均粉末粒子径が $0.6\mu\text{m}$ で純度が99.99%の Al_2O_3 粉末に3質量%のワックスを配合して得た平均粒子径 $70\mu\text{m}$ の噴霧造粒粉体をプレス成型した後、外径、厚み、横孔及び縦孔等を所定寸法に成形加工したグリーン体を焼結して相対密度が98%のシャワープレート用焼結素材を得た。

【0077】

一方、多孔質セラミック焼結体については、前記噴霧造粒粉体を粉体の状態で800で焼成して仮焼結粉体を得た後、前記シャワープレート用の Al_2O_3 粉末を3質量%添加混合してプレス成型して得たグリーン体を焼結することにより、連通した気孔によって形成されたガス流通経路における隘路の気孔径が $2\mu\text{m}$ 、誘電損失が 2.5×10^{-4} 、平均結晶粒子径が $1.5\mu\text{m}$ 、最大結晶粒子径が $3\mu\text{m}$ 、気孔率が40%、平均気孔径が $3\mu\text{m}$ 、最大気孔径が $5\mu\text{m}$ 、曲げ強さが300MPaの多孔質セラミック焼結体用材料を得た。

【0078】

前記シャワープレート用焼結素材の縦孔の内径を $3.0 \pm 0.001\text{mm}$ になるように仕上げ加工し、前記多孔質セラミック焼結体用材料の厚みを6mmになるように加工すると共に外径寸法を $3.0 \sim 3.0 - 0.003\text{mm}$ に仕上げ加工した後、超音波洗浄を行って、図15に示すように縦孔402に多孔質セラミック焼結体403を圧入により嵌合した。なお、嵌合代が小さ過ぎて圧入が困難な場合は、シャワープレートを50~100程度に加熱しておくことで圧入が容易になる。

【0079】

(製造例2)

前記製造例1で得たのと同じ噴霧造粒粉体を78~147MPaの各種圧力でプレス成

10

20

30

40

50

型した後、外径、厚み、横孔及び縦孔等を所定寸法に成形加工したシャワープレート用グリーン体を準備した。

【0080】

一方、多孔質セラミックス焼結体用材料としては、前記製造例1と同じグリーン体を得、これを所定形状に加工した粉末成形体と、これを450 で焼成した脱脂体と、さらに600 で焼成した仮焼結体を準備した。

【0081】

なお、前記シャワープレート用グリーン体は、プレス成型圧力によって焼結収縮率が異なり、因みに78 Mpaの場合は焼結収縮率が19%で、147 Mpaの場合は16.2%である。また、多孔質セラミックス焼結体用材料は、気孔率や気孔径を設定変更する毎に焼結収縮率が変化し、またプレス成型圧力によっても焼結収縮率が変化するので、多孔質セラミックス焼結体の特性設定毎にあらかじめ焼結収縮率を調べておく。

10

【0082】

上述したシャワープレート用グリーン体の焼結収縮率と同等乃至わずかに小さな焼結収縮率を有する多孔質セラミックス焼結体の粉末成形体、脱脂体または仮焼結体を縦孔に装着した後、同時に焼結した。これにより、相互間に焼結結合力が生じるので強固な装着固定が確保される。

【0083】

(製造例3)

前記製造例1及び製造例2と同じシャワープレート用グリーン体を450 で焼成して脱脂体を得た。なお、この脱脂体の焼結収縮率はグリーン体のそれと同一である。

20

【0084】

また、シャワープレート用グリーン体を600～1000 で焼成(仮焼結)して仮焼結体を得た。仮焼結体の場合は、仮焼結段階で若干の焼結収縮が発生するので、仮焼結体を本焼結する際の残余の焼結収縮率は仮焼結温度が高くなる程小さくなる。

【0085】

一方、前記製造例1及び製造例2と同じ製法で得た多孔質セラミックス焼結体用材料は、噴霧造粒粉末を仮焼結した粉末を使用しているので、シャワープレート用グリーン体より焼結収縮率が若干小さく、シャワープレート用グリーン体の仮焼結体と焼結収縮率が近似しており、焼結収縮率が同等のシャワープレート用材料と多孔質セラミックス焼結体用材料を選定するには好都合である。

30

【0086】

この製造例でも前記製造例2と同様に、シャワープレート用材料と、その縦孔に装着した多孔質セラミックス焼結体用材料とを同時に焼結することにより、相互間に焼結結合力が生じるので強固な装着固定が確保される。

【0087】

またさらに、製造例2で準備したシャワープレート用グリーン体の焼結収縮率から縦孔の焼結後の寸法を算出しておき、多孔質セラミックス材料のグリーン体、脱脂体、仮焼結体の焼結後の寸法及び焼結体の寸法が、前記縦孔の焼結後の算出寸法よりも若干(1～50 μm程度)大きい多孔質セラミックス材料を、前記グリーン体の縦孔にセットして同時に焼結することにより、相互間に焼結結合力が生じ、連続した結晶組織を有する強固な装着固定が達成できる。

40

【0088】

なお、シャワープレートの縦孔に装着するセラミックス部材(113, 206, 404)も、上記製造例1～3で説明した方法と同様の方法により、シャワープレートと同時に焼結して所定の位置に装着することができる。

【0089】

上述のとおり、プラズマの電子密度が上昇するとデバイ長は減少するため、プラズマの逆流を防ぐという観点からは、多孔質セラミックス焼結体403の孔径はより小さいことが望ましいといえる。具体的には、平均気孔径の大きさは、プラズマのシース厚の2倍以

50

下、望ましくはシース厚以下であることが好ましい。また、多孔質セラミックス焼結体 403 の気孔すなわちガス流通経路の隘路は $10\ \mu\text{m}$ 以下であり、 $10^{13}\ \text{cm}^{-3}$ の高密度プラズマのシース厚である $10\ \mu\text{m}$ と同程度以下である。このようにすることによって、 $10^{13}\ \text{cm}^{-3}$ の高密度プラズマに対しても、本シャワープレートを用いることができる。

【0090】

以上の構成を有するシャワープレート 400 を使用することによって、その縦孔 402 のガス導入側にプラズマが逆流することを防止でき、シャワープレート 400 内部での異常放電やガスの堆積の発生を抑えることができるので、プラズマを励起するためのマイクロ波の伝送効率や歩留まりの劣化を防止することができるようになった。

10

【0091】

ここで、少なくとも、単一縦孔に装着した多孔質ガス流通体から放出されるプラズマ励起用ガスが、局所的なムラがなく全面からできる限り均一な流速、流量になるようにするために、気孔径及び通気率が小さい範囲内の多孔質ガス流通体を用いる場合は、放出されるプラズマ励起用ガスの流量を確保するために、多孔質ガス流通体の厚みを $2\sim 3\ \text{mm}$ 程度に薄くする場合がある。このような薄い多孔質ガス流通体を用いる場合や平均気孔径と隘路の気孔径が大きな多孔質ガス流通体を用いる場合に、プラズマの逆流をより確実に防止するために、図 16 (a) に示すように、複数のガス流通孔 404 a が開けられたセラミックス部材 404 を、多孔質セラミックス焼結体 403 のガス導入側に接するように設けてもよい。セラミックス部材 404 は、 99.95% 以上の高純度アルミナ（誘電損失が 1×10^{-3} 以下）の押し出し成型品であり、ガス流通孔 404 a の孔径は直径 $50\ \mu\text{m}$ としている。この数値は、 $10^{12}\ \text{cm}^{-3}$ の高密度プラズマのシース厚である $40\ \mu\text{m}$ の 2 倍よりは小さいが、 $10^{13}\ \text{cm}^{-3}$ の高密度プラズマのシース厚である $10\ \mu\text{m}$ の 2 倍よりは大きい。また、ガス流通孔 404 a の長さは $5\ \text{mm}$ としている。

20

【0092】

このガス流通孔 404 a の長さは、電子が散乱されるまでの平均距離である平均自由行程より長くすることが好ましい。上述のとおり、平均自由行程は圧力に反比例し、 $0.1\ \text{Torr}$ の時に $4\ \text{mm}$ となる。実際にはガス流通孔 404 a のガス導入側は圧力が高いので平均自由行程は $4\ \text{mm}$ よりも短くなるが、本実施例においては、ガス放出孔 404 a の長さを $5\ \text{mm}$ とし、平均自由行程よりも長い値としている。

30

【0093】

また、図 16 (b) に示すように、前記セラミックス部材 404 の代わりに多孔質セラミックス焼結体 403 のガス導入側に、別の多孔質セラミックス焼結体 403 a を設けることによりプラズマの逆流をより確実に防止することもできる。この場合、プラズマ励起用ガスの圧損を小さくするために、ガス導入側の多孔質セラミックス焼結体 403 a としては、ガス放出側の多孔質セラミックス焼結体 403 よりも気孔率及び気孔径が大きいものを使用する（例えば平均気孔径： $10\sim 30\ \mu\text{m}$ 、気孔率： $50\sim 75\%$ ）。

【0094】

図 17 は、多孔質セラミックス焼結体 403 の他の装着例を示す。

【0095】

図 17 (a) の例は、第一の縦孔 402 a の先端に大径の第二の縦孔 402 b を設け、その第二の縦孔 402 b を多孔質セラミックス焼結体 403 の装着部として、そこに多孔質セラミックス焼結体 403 を装着したものである。また、図 17 (a) の例では、多孔質セラミックス焼結体 403 のガス導入側に図 16 (a) で説明したのと同様の複数のガス流通孔 404 a が開けられたセラミックス部材 404 を設けている。これによって、プラズマの逆流をより確実に防止することもできる。なお、セラミックス部材 404 に代えて、図 16 (b) の例と同様に、多孔質セラミックス焼結体 403 のガス導入側に別の多孔質セラミックス焼結体を設けてもよい。

40

【0096】

図 17 (b) の例は、第二の縦孔 402 b に装着する多孔質セラミックス焼結体 403

50

の形状を、その上面及び下面が処理室 102 に向かって共に凹曲面状に湾曲した形状としたものである。また、図 17(c) の例は、第一の縦孔 402a の先端に設けた大径の第二の縦孔 402b に装着する多孔質セラミックス焼結体 403 の形状を、その上面及び下面が処理室 102 に向かって共に凸曲面状に湾曲した形状としたものである。ここで、多孔質セラミックス焼結体 403 は、その下端がシャワープレート 400 の下面から突出しないように装着されている。図 17(b) 及び図 17(c) のように湾曲した形状の多孔質セラミックス焼結体 403 を使用することで、シャワープレート 400 の使用時の熱膨張・収縮による応力を変形(撓み)により吸収することができ、多孔質ガス流通体 403 及びそれを装着したシャワープレート 400 の割れ等を防止することができる。また、図 17(c) のように、処理室 2 に向かって凸曲面状とした場合には、プラズマ励起用ガスをより広範囲に放出できるので、より均一なプラズマを生成することが可能となる。なお、図 17(b) 及び図 17(c) の例においても、多孔質セラミックス焼結体 403 のガス導入側に、複数のガス流通孔が開けられたセラミックス部材または別の多孔質セラミックス焼結体を設けてもよい。

10

【0097】

以上の実施例において、縦孔 112a の個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

【実施例 5】

【0098】

図 18 に、本発明の第五実施例を示す。図 18 を参照すると、マイクロ波プラズマ処理装置が示されている。第一乃至第四実施例と重複する部分は同一の符号を付し説明を省略する。

20

【0099】

本実施例においては、処理室 102 の上部には、保持台 104 上の被処理基板 103 に対応する位置に、処理室 102 の外壁の一部として、比誘電率が 9.8 で、かつ低マイクロ波誘電損失(誘電損失が 1×10^{-4} 以下)である誘電体のアルミナからなり、多数(230個)の開口部、すなわち縦孔 500 が形成された板状のシャワープレート 501 が、シール用の Oリング 106 を介して取り付けられている。さらに、処理室 102 には、シャワープレート 501 の上面側、すなわち、シャワープレート 501 に対して保持台 104 とは反対側に、アルミナからなるカバープレート 202 が、別のシール用の Oリング 203 を介して取り付けられている。

30

【0100】

図 19 は、シャワープレート 501 とカバープレート 202 の配置を示す斜視模式図である。図 18 及び図 19 を参照すると、シャワープレート 501 上面と、カバープレート 202 との間には、プラズマ励起用ガス供給ポート 110 から、シャワープレート 501 内に開けられた連通するガス供給孔 204 を介して供給されたプラズマ励起用ガスを充填する空間 205 が形成されている。換言すると、カバープレート 202 において、カバープレート 202 のシャワープレート 501 側の面の、縦孔 500 およびガス供給孔 204 に対応する位置にそれぞれが繋がるように溝が設けられ、シャワープレート 501 とカバープレート 202 の間に空間 205 が形成される。すなわち、縦孔 500 は空間 205 に連通するように配置されている。

40

【0101】

図 20 は、縦孔 500 の詳細を示す。縦孔 500 は、処理室 102 側から、直径 8mm、高さ 3mm の第一の縦孔 500a と、直径 10mm、高さ 7mm の第二の縦孔 500b からなり、第一の縦孔 500a と第二の縦孔 500b の全体に、ガス流通方向に連通した気孔を有する多孔質セラミックス焼結体 502 が嵌合により装着されている。多孔質セラミックス焼結体 502 は、その上面及び下面を除く外周が緻密質セラミックス層 502a で形成されており、内部が多孔質部 502b となっている。多孔質部 502b の構成は、第四実施例の多孔質セラミックス焼結体 403 と同じである。緻密質セラミックス層 502a は、シャワープレート 501 と同等の特性値を有しており、具体的には、誘電損失が

50

1×10^{-3} 以下、 Al_2O_3 純度が 99.95% 以上で相対密度が 98% 以上の材料で形成した。

【0102】

このような外周に緻密質セラミックス層 502a を有する多孔質セラミックス焼結体 502 は、例えば以下の方法により製造できる。

【0103】

すなわち、多孔質ガス流通体用に調整した粉末を円筒状ゴム型に充填して冷間静水圧プレス (CIP) 成型した後、外周を加工した円柱状の成形体を、前記ゴム型よりも一サイズ大きな円筒状ゴム型の中心にセットして、その外側に緻密質セラミックス用の調整粉末を充填して、再度 CIP 成型して得た成形体を所定温度で焼結することにより、2重構造の多孔質ガス流通体を得ることができる。なお、中心部の多孔質材料部と外周の緻密質材料部の焼結収縮が同一となるように、各々の CIP 成型条件を設定することが肝要である。

10

【0104】

本実施例においても、第四実施例と同様の効果が得られる。

【0105】

なお、第一の縦孔 500a および第二の縦孔 500b の個数、直径および長さ等は、本実施例の数値に限られることは無い。

【産業上の利用可能性】

【0106】

本発明のシャワープレートは、マイクロ波プラズマ処理装置のほか、平行平板型高周波励起プラズマ処理装置、誘導結合型プラズマ処理装置等、各種のプラズマ処理装置に利用可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【0107】

【図1】本発明の第一実施例を示す。

【図2】図1に示したシャワープレートの上面からみた横孔と縦孔の配置を示す。

【図3】図1に示したシャワープレートの横孔と縦孔の配置を示す。

【図4】図1に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

【図5】本発明の第二実施例を示す。

30

【図6】図5に示したシャワープレートとカバープレートの配置を示す

【図7】図5に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

【図8】図5に示したシャワープレートの縦孔に装着するセラミックス部材の好ましい理想的な構造を示す。

【図9】図7に示したシャワープレートの縦孔に多孔質セラミックス焼結体を設けた例を示す。

【図10】本発明の第三実施例を示す。

【図11】図10に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

【図12】本発明の第四実施例を示す。

【図13】図12に示したシャワープレートの上面からみた横孔と縦孔の配置を示す。

40

【図14】図12に示したシャワープレートの横孔と縦孔の配置を示す。

【図15】図12に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

【図16】シャワープレートの縦孔先端部に装着した多孔質セラミックス焼結体のガス導入側に、ガス流通孔を有するセラミックス部材または他の多孔質セラミックス焼結体を設けた例を示す。

【図17】多孔質セラミックス焼結体の他の装着例を示す。

【図18】本発明の第五実施例を示す。

【図19】図18に示したシャワープレートとカバープレートの配置を示す

【図20】図18に示したシャワープレートの縦孔の詳細を示す。

【図21】従来のシャワープレートを示す。

50

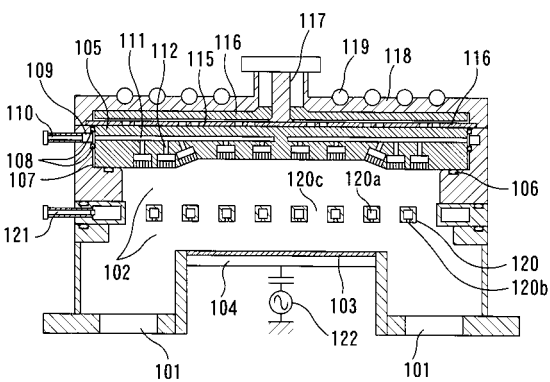
【符号の説明】

【0108】

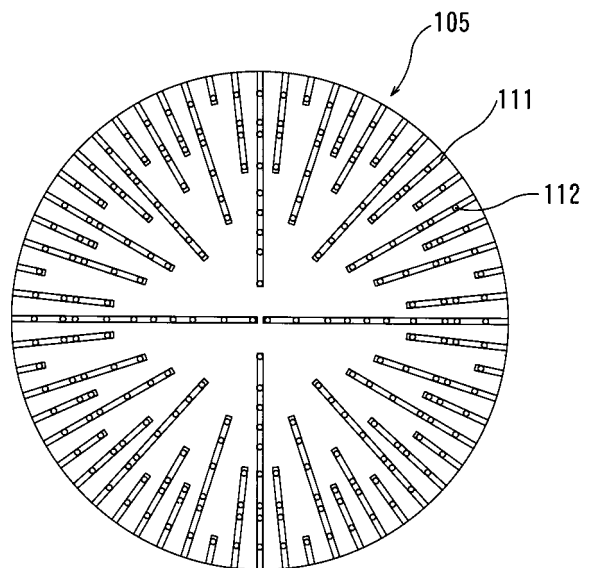
101	排気ポート	
102	処理室	
103	被処理基板	
104	保持台	
105	シャワープレート	
106	シール用のＯリング	
107	壁面	
108	シール用のＯリング	10
109	リング状空間	
110	ガス導入ポート	
111	横孔	
112	縦孔	
112 a	第一の縦孔	
112 b	第二の縦孔	
113	セラミックス部材	
113 a	ガス放出孔	
114	多孔質セラミックス焼結体（多孔質ガス流通体）	
115	スロット板	20
116	遅波板	
117	同軸導波管	
118	金属板	
119	冷却用流路	
120	下段シャワープレート	
120 a	ガス流路	
120 b	ノズル	
120 c	開口部	
121	プロセスガス供給ポート	
122	R F 電源	30
200	縦孔	
200 a	第一の縦孔	
200 b	第二の縦孔	
201	シャワープレート	
202	カバープレート	
203	シール用のＯリング	
204	ガス供給孔	
205	空間	
206	セラミックス部材	
206 a	ガス放出孔	40
207	多孔質セラミックス焼結体（多孔質ガス流通体）	
208	面取り加工	
300	縦孔	
300 a	ガス放出孔	
300 b	孔	
301	シャワープレート	
302	多孔質セラミックス焼結体（多孔質ガス流通体）	
303	面取り加工	
400	シャワープレート	
401	横孔	50

- 4 0 2 縦孔
- 4 0 2 a 第一の縦孔
- 4 0 2 b 第二の縦孔
- 4 0 3 多孔質セラミックス焼結体（多孔質ガス流通体）
- 4 0 4 セラミックス部材
- 4 0 4 a ガス流通孔
- 5 0 0 縦孔
- 5 0 1 シャワープレート
- 5 0 2 多孔質セラミックス焼結体（多孔質ガス流通体）
- 5 0 2 a 緻密質セラミックス層
- 5 0 2 b 多孔質部

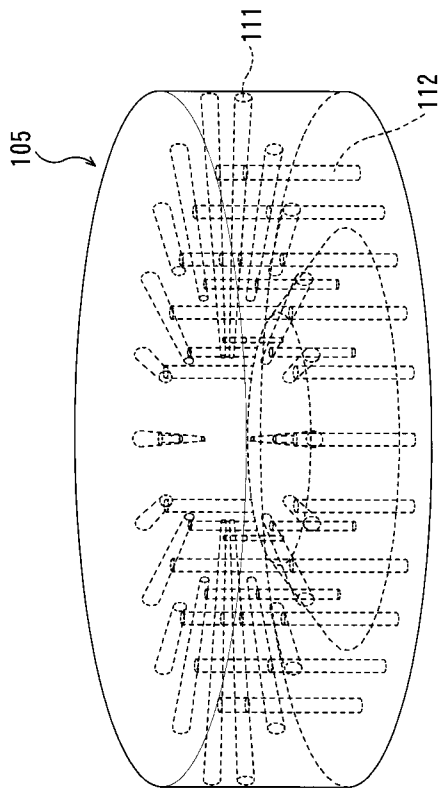
【 図 1 】



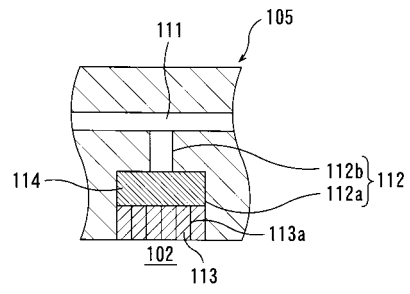
【 図 2 】



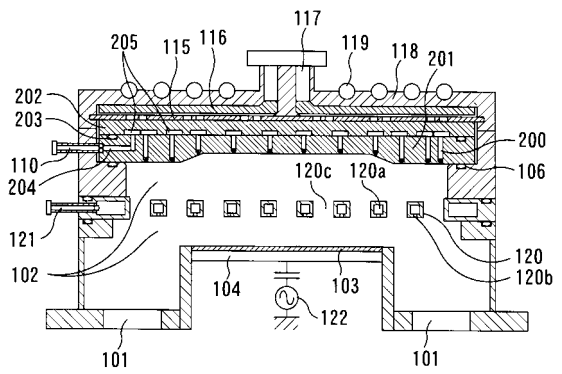
【 図 3 】



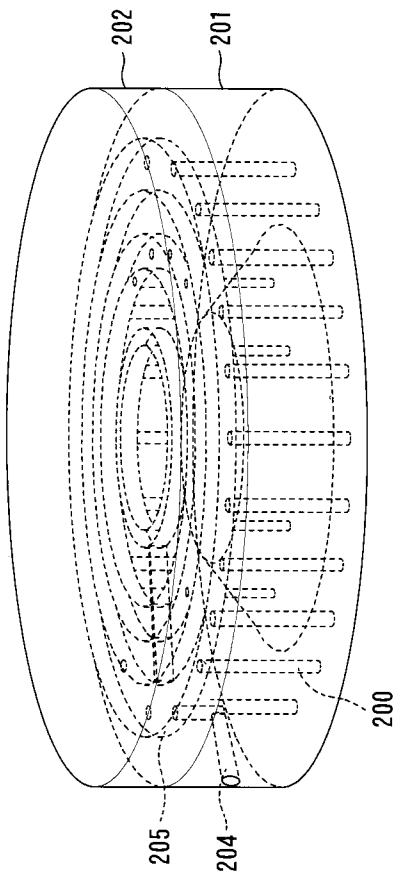
【 図 4 】



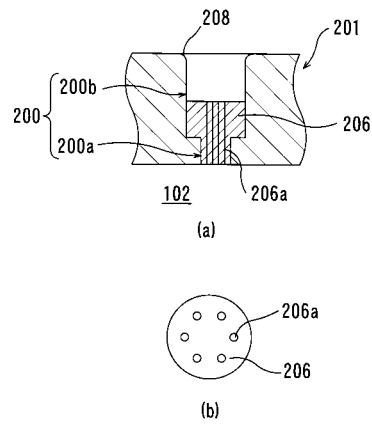
【 図 5 】



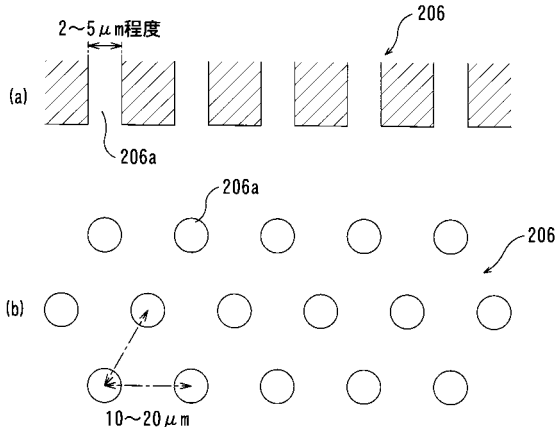
【 図 6 】



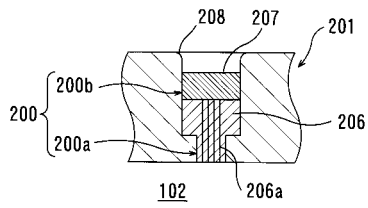
【 図 7 】



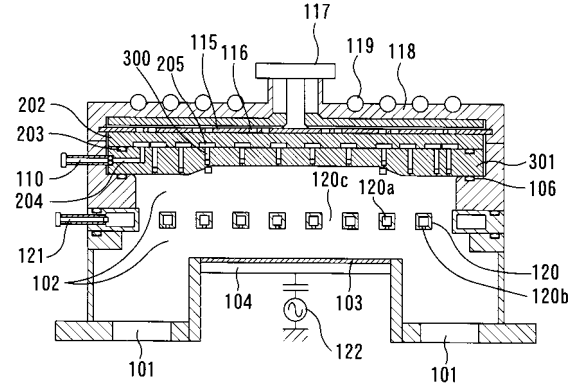
【 図 8 】



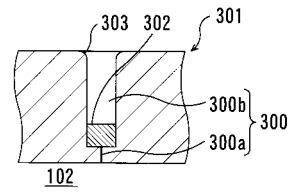
【 図 9 】



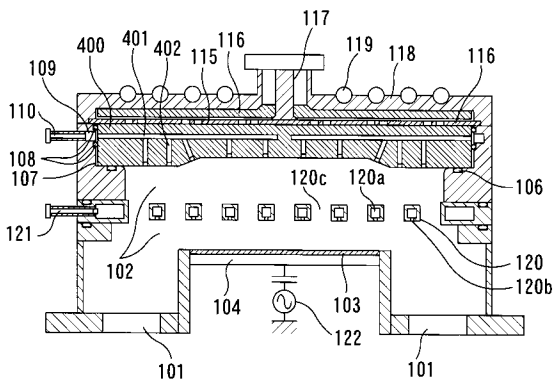
【 図 10 】



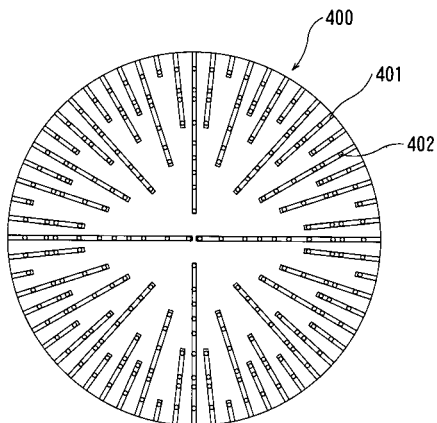
【 図 11 】



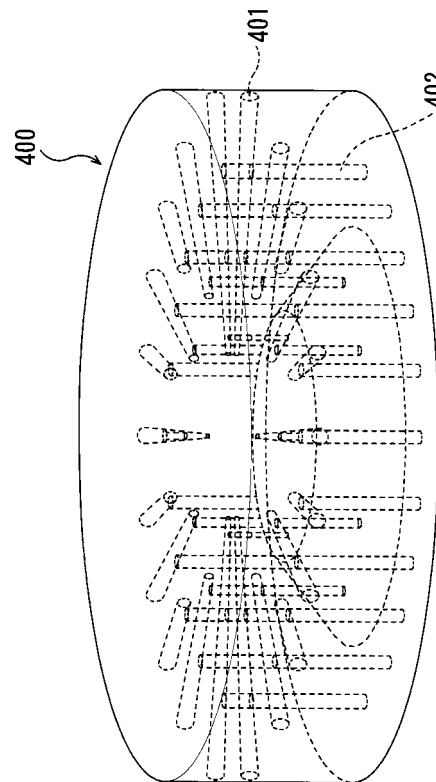
【 図 12 】



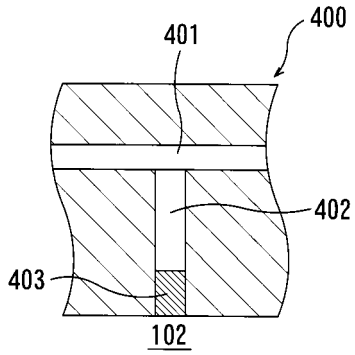
【 図 13 】



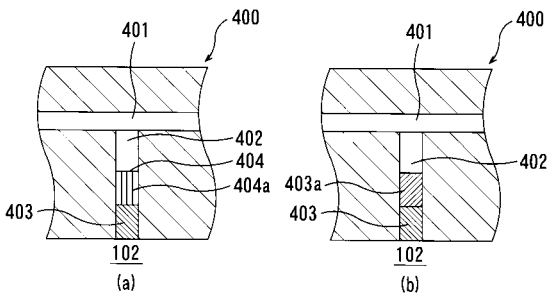
【 図 14 】



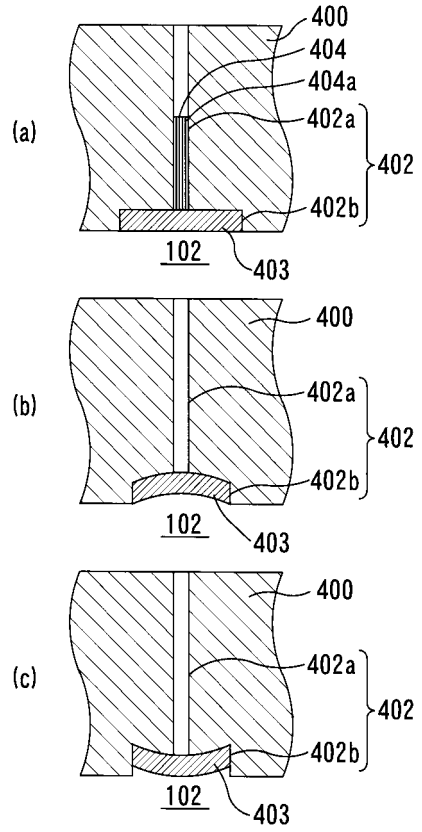
【 図 1 5 】



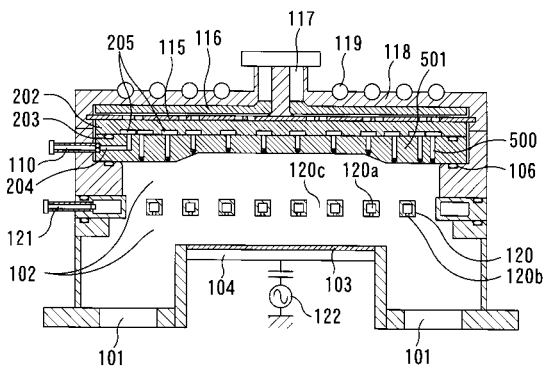
【 図 1 6 】



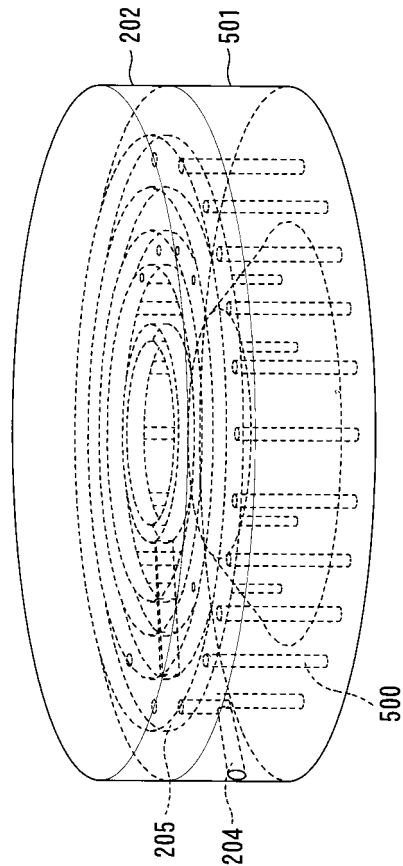
【 図 1 7 】



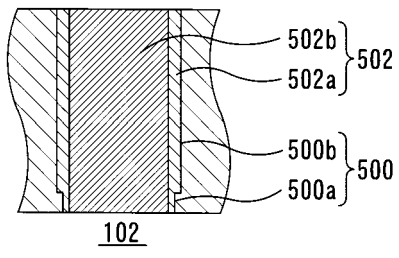
【 図 1 8 】



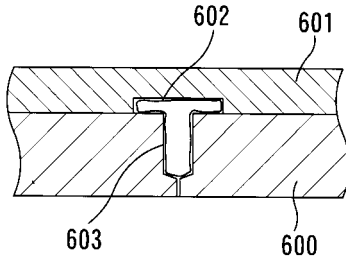
【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



【 図 2 1 】



フロントページの続き

- (72)発明者 後藤 哲也
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 大見 忠弘
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 石橋 清隆
東京都港区赤坂5丁目3番6号 東京エレクトロン株式会社内
- Fターム(参考) 4G019 FA13 FA15
4K030 EA04 FA01 KA46
5F004 AA16 BA06 BB14 BB28 BB29
5F045 AA09 AB32 AB33 AB34 BB08 EF05 EJ04 EJ05