

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年7月3日(03.07.2014)



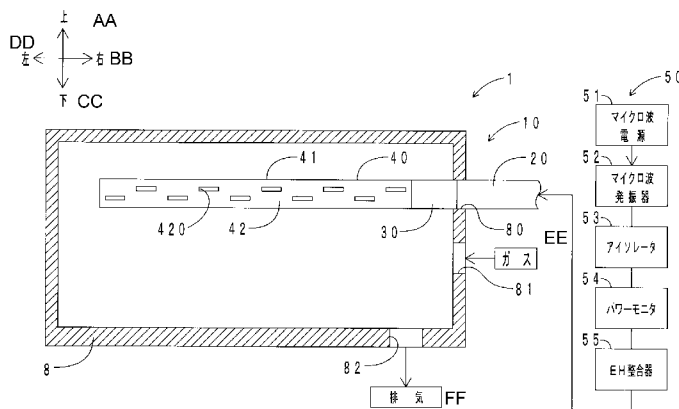
(10) 国際公開番号
WO 2014/103604 A1

- (51) 国際特許分類:
H05H 1/46 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/082043
- (22) 国際出願日: 2013年11月28日(28.11.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-281416 2012年12月25日(25.12.2012) JP
- (71) 出願人: 東海ゴム工業株式会社(TOKAI RUBBER INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒4858550 愛知県小牧市東三丁目1番地 Aichi (JP). 国立大学法人名古屋大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION NAGOYA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒4648601 愛知県名古屋市中種区不老町1番 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 笹井 建典(SASAI Kensuke); 〒4858550 愛知県小牧市東三丁目1番地 東海ゴム工業株式会社内 Aichi (JP). 豊田 浩孝(TOYODA Hirotaka); 〒4648601 愛知県名古屋市中種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 東口 倫昭, 外(HIGASHIGUCHI Michiaki et al.); 〒4510051 愛知県名古屋市西区則武新町4-4-19 S G名古屋駅ビル402号室 東口特許事務所 Aichi (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: MICROWAVE PLASMA GENERATING APPARATUS

(54) 発明の名称: マイクロ波プラズマ生成装置



(57) Abstract: A microwave plasma generating apparatus (10) is provided with: a first waveguide (20) that transmits microwaves; a plasma generating section (40), which has a tube body portion (41) that has a slot antenna (42) having a plurality of slots (420) formed therein, said slots having the microwaves propagated thereto and having the microwaves passing through to the inner side of a vacuum container (8), and which also has an intra-tube body portion dielectric body (43) that is disposed in the tube body portion (41) so as to cover at least the slots (420); and a second waveguide (30), which is present between the first waveguide (20) and the plasma generating section (40), and which has inside thereof a dielectric body (31) having a smaller refractive index than the intra-tube body portion dielectric body (43), said dielectric body being disposed in contact with the intra-tube body portion dielectric body (43). Stable microwave plasma can be generated in the vacuum container (8) even under low pressure using the microwave plasma generating apparatus (10).

(57) 要約: マイクロ波プラズマ生成装置(10)は、マイクロ波を伝送する第一導波管(20)と、該マイクロ波が伝播し、該マイクロ波が真空容器(8)の内側方向に通過する複数のスロット(420)が形成されたスロットアンテナ(42)を有する管体部(41)と、管体部(41)の内部に少なくともスロット(420)を覆うように配置される管体部内誘電体(43)と、を有するプラズマ生成部(40)と、第一導波管

(20)とプラズマ生成部(40)との間に介在し、内部に管体部内誘電体(43)よりも屈折率が小さく管体部内誘電体(43)に接触して配置される誘電体(31)を有する第二導波管(30)と、を備える。マイクロ波プラズマ生成装置(10)によると、低圧下においても真空容器(8)内に安定したマイクロ波プラズマを生成することができる。



WO 2014/103604 A1

- | | |
|----|------------------------|
| 51 | Microwave power supply |
| 52 | Microwave oscillator |
| 53 | Isolator |
| 54 | Power monitor |
| 55 | E-H matching device |
| AA | Top |
| BB | Right |
| CC | Bottom |
| DD | Left |
| EE | Gas |
| FF | Air release |

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：マイクロ波プラズマ生成装置

技術分野

[0001] 本発明は、マイクロ波を用いてプラズマを生成するマイクロ波プラズマ生成装置に関する。

背景技術

[0002] マイクロ波を利用した表面波プラズマは、広い空間領域に高密度のプラズマを生成することができるという利点から、樹脂部品、樹脂フィルム、半導体などの表面に対するクリーニング、改質、成膜などの様々な処理に用いられる（例えば、特許文献1～4参照）。

[0003] 従来のマイクロ波プラズマ処理装置の一例を、図3に示す。図3に示すように、マイクロ波プラズマ処理装置9は、真空容器90と、プラズマ生成部91と、を備えている。プラズマ生成部91は、導波管910と、スロットアンテナ920と、誘電体板930と、を有している。導波管910は左右方向に延在している。スロットアンテナ920は、導波管910の下方開口部を塞ぐように配置されている。スロットアンテナ920には、長孔状のスロット921が形成されている。誘電体板930は石英製であり、スロットアンテナ920の下面に配置されている。

[0004] 図中白抜き矢印で示すように、導波管910の右方から、マイクロ波が伝送される。マイクロ波は、導波管910の内部を伝播し、スロットアンテナ920のスロット921を通過して、誘電体板930に入射する。誘電体板930に入射したマイクロ波は、誘電体板の下面931に沿って伝播する。伝播するマイクロ波の強電界により、真空容器90内のガスが電離して、誘電体板930の下方にマイクロ波プラズマPが生成される。生成したマイクロ波プラズマPにより、基材94の上面が処理される。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開2009-224269号公報
特許文献2：特開2005-197371号公報
特許文献3：特開2007-184259号公報
特許文献4：特開2000-349075号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 不純物の混入を抑制して、処理の純度を高めるためには、マイクロ波プラズマ処理をできるだけ低圧下で行うことが望ましい。しかし、従来のマイクロ波プラズマ処理装置によると、低圧下で安定したマイクロ波プラズマを生成することが難しく、処理圧力を5 Pa程度までにしか下げることができなかった。この理由は、次のように考えられる。

- [0007] 図4に、上記従来のマイクロ波プラズマ処理装置9におけるプラズマ生成部91の斜視図を示す。図4に示すように、プラズマ生成部91は、導波管910と、スロットアンテナ920と、誘電体板930と、を有している。スロットアンテナ920は、導波管910の下壁をなしている。誘電体板930は、スロット921を覆うように、スロットアンテナ920の下面（真空容器側）に配置されている。導波管910の右端から伝送されたマイクロ波は、図中上下方向の白抜き矢印Y1で示すように、スロット921を通過して、誘電体板930に入射する。誘電体板930に入射したマイクロ波は、図中左右方向の白抜き矢印Y2で示すように、誘電体板930の下面931に沿って伝播する。これにより、マイクロ波プラズマPが生成される。

- [0008] ここで、スロット921から誘電体板930へ入射するマイクロ波の入射方向（矢印Y1）と、誘電体板930の下面931と、は直交する。このため、誘電体板930に入射したマイクロ波は、生成したマイクロ波プラズマPに遮られ、進行方向を90°変えて、誘電体板930の下面931を伝播する（矢印Y2）。このように、生成したマイクロ波プラズマPに対して垂直方向にマイクロ波が入射するため、プラズマソースであるマイクロ波がマイクロ波プラズマPに伝播しにくい。また、誘電体板930による、スロツ

ト921から入射したマイクロ波の反射、散乱により、電界エネルギーが低下しやすい。このため、低圧下においては、プラズマ生成が難しいと考えられる。

[0009] また、従来のプラズマ生成部91においては、誘電体板930が真空容器90内に表出している。このため、プラズマCVD (Chemical Vapor Deposition) などにより成膜を行う場合、誘電体板930の表面に、膜の成分が付着しやすい。これにより、プラズマ密度が低下してしまう。また、付着した膜の成分が、伝播するマイクロ波により発熱し、誘電体板930が割れるおそれもある。

[0010] 本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、低圧下においても安定したマイクロ波プラズマを生成することができるマイクロ波プラズマ生成装置を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0011] (1) 上記課題を解決するため、本発明のマイクロ波プラズマ生成装置は、真空容器内にマイクロ波プラズマを生成するマイクロ波プラズマ生成装置であって、マイクロ波を伝送する第一導波管と、該マイクロ波が伝播し、該マイクロ波が該真空容器の内側方向に通過する複数のスロットが形成されたスロットアンテナを有する管体部と、該管体部の内部に少なくとも該スロットを覆うように配置される管体部内誘電体と、を有するプラズマ生成部と、該第一導波管と該プラズマ生成部との間に介在し、内部に該管体部内誘電体よりも屈折率が小さく該管体部内誘電体に接触して配置される誘電体を有する第二導波管と、を備えることを特徴とする。

[0012] 上述したように、従来のプラズマ生成部においては、誘電体板がスロットアンテナの外側（真空容器側）に配置される。誘電体板は、表面にマイクロ波を伝播させて、プラズマを生成する役割を果たしている。これに対して、本発明のマイクロ波プラズマ生成装置によると、スロットアンテナの外側に配置する誘電体板は必要ない。その代わりに、プラズマ生成部の管体部の内部、換言すると、スロットアンテナの内側に、管体部内誘電体が配置される。

これにより、管体部内を伝播するマイクロ波の波長は、空气中を伝播する時の波長よりも短くなる。

[0013] マイクロ波の波長を短くすると、管体部内において電界強度が大きくなる部分が増加する。このため、従来と比較して、スロットアンテナに多くのスロットを形成することができる。スロット間隔を小さくして、スロットを多数形成すると、スロットアンテナの単位面積当たりの電界強度が、大きくなる。また、スロットが密に形成されると、管体部内誘電体により、隣接するスロットを通過するマイクロ波が互いに補完し合うことにより、スロットアンテナの表面全体の電界強度を高めることができる。これにより、1 Pa程度の低圧下においても、安定したマイクロ波プラズマを生成することができる。したがって、本発明のマイクロ波プラズマ生成装置によると、真空容器内の圧力を低くして、純度の高い処理を行うことができる。

[0014] また、スロットアンテナの表面の電界強度が大きいため、プラズマ生成部自体を、小型化することができる。これにより、マイクロ波プラズマ処理装置を構成する他の部材や装置との干渉を、抑制することができる。したがって、本発明のマイクロ波プラズマ生成装置は、例えば、被処理部材を供給、搬送する装置を備え、改質処理や成膜処理を連続して行うような処理装置に、組み込みやすい。

[0015] 本発明のマイクロ波プラズマ生成装置は、真空容器内に表出する誘電体板を有さない。このため、成膜処理に使用しても、誘電体板の表面全体に膜の成分が付着するという問題は生じない。したがって、本発明のマイクロ波プラズマ生成装置は、クリーニングや改質処理は勿論、プラズマCVDなどの処理にも好適である。

[0016] 通常、屈折率が異なる媒体に対してマイクロ波を伝播させると、媒体の境界でマイクロ波の反射が生じてしまう。この点、本発明のマイクロ波プラズマ生成装置においては、第一導波管とプラズマ生成部との間に第二導波管を介在させる。第二導波管の内部には、誘電体が配置される。第二導波管内の誘電体は、管体部に配置される管体部内誘電体に接続される。第二導波管内

の誘電体の屈折率は、管体部内誘電体の屈折率よりも小さい。したがって、第一導波管から伝送されるマイクロ波は、一旦、第二導波管において波長が変換された後に、プラズマ生成部の管体部に伝送される。波長の変換を二段階で行うことにより、第一導波管から管体部へ直接マイクロ波を伝送する場合と比較して、管体部へ入射する際のマイクロ波の反射を、抑制することができる。

[0017] ちなみに、上記特許文献4には、処理室から離れた位置で生成させたマイクロ波プラズマを用いてエッチングを行う、放電分離型のケミカルドライエッチング（CDE）装置が開示されている。当該CDE装置として開示されたプラズマ処理装置は、誘電体を充填した導波管と、誘電体で形成された放電管と、を備え、該導波管のスリットからマイクロ波を該放電管に照射して、該放電管の内部にプラズマを発生させる。特許文献4に記載のプラズマ処理装置においては、導波管の内部に誘電体が充填されている。しかし、導波管のスリットを通過したマイクロ波は、誘電体製の放電管に入射する。この点において、誘電体板を備える従来のマイクロ波による表面波プラズマ生成装置と変わらない。すなわち、放電管によるマイクロ波の反射、散乱により、電界エネルギーが低下しやすい。このため、低圧下におけるプラズマ生成は困難である。また、特許文献4に記載のプラズマ処理装置においては、マイクロ波プラズマを生成する領域と、エッチングを行う真空容器と、は離れている。このため、真空容器内には、プラズマではなく、ラジカルなどの活性ガスが導かれる。したがって、特許文献4に記載のプラズマ処理装置を用いても、真空容器内で成膜処理を行うことはできない。

[0018] (2) 好ましくは、上記(1)の構成において、前記第一導波管の内部の屈折率は、前記管体部内誘電体の屈折率よりも小さく、前記第二導波管の内部に配置される前記誘電体の屈折率は、該第一導波管の内部の屈折率と該管体部内誘電体の屈折率との間の値である構成とする方がよい。

[0019] 空気の屈折率は1である。第一導波管内に充填物が無く、マイクロ波が空气中を伝送される場合、第二導波管内の誘電体としては、屈折率が1よりも

大きく、かつ、管体部内誘電体の屈折率よりも小さいものを、採用すればよい。こうすることにより、波長の変換を二段階で行うことができ、管体部へ入射するマイクロ波の反射を抑制することができる。

[0020] (3) 好ましくは、上記(2)の構成において、前記第二導波管の内部に配置される前記誘電体の屈折率は、前記第一導波管の内部の屈折率と前記管体部内誘電体の屈折率との中間値であり、導波管の断面寸法および内部の誘電率で決定される導波管の特性インピーダンスについて、該第二導波管の特性インピーダンスは、該第一導波管の特性インピーダンスと前記プラズマ生成部の前記管体部の特性インピーダンスとの積の平方根であり、かつ、該第二導波管の長さは該第二導波管の管内波長の $1/4$ である構成とする方がよい。

[0021] 本構成によると、管体部へ入射するマイクロ波の反射抑制効果がより大きくなる。これは、本構成により、誘電体を有する導波管に入射するマイクロ波の反射強度を抑制することができるためである。

[0022] (4) 好ましくは、上記(1)ないし(3)のいずれかの構成において、前記管体部内誘電体は、石英、アルミナ、ジルコニア、窒化アルミニウム、酸化マグネシウムから選ばれる一種である構成とする方がよい。

[0023] これらの材料は、マイクロ波を吸収しにくいいため好適である。つまり、プラズマソースとなるマイクロ波の損失が少ないため好適である。

[0024] また、第二導波管の誘電体は、管体部内誘電体よりも屈折率が小さければよい。このため、第二導波管の誘電体は、管体部誘電体との組合せを考慮して、適宜選択すればよい。例えば、管体部内誘電体として石英を用いた場合には、第二導波管の誘電体は、ポリテトラフルオロエチレンなどを用いればよい。また、管体部内誘電体としてアルミナを用いた場合には、第二導波管の誘電体は、石英などを用いればよい。

[0025] (5) 好ましくは、上記(1)ないし(4)のいずれかの構成において、前記管体部は、断面矩形の管状を呈することが望ましい。

[0026] (6) 好ましくは、上記(1)ないし(5)のいずれかの構成において、

前記スロットアンテナは、前記管体部のH面に配置される構成とする方がよい。

[0027] (7) 上記(1)ないし(6)のいずれかの構成のマイクロ波プラズマ生成装置は、0.5 Pa以上100 Pa以下の圧力下で前記マイクロ波プラズマを生成可能である。例えば、真空容器内を0.5 Pa以上3 Pa以下の高真空状態にすることにより、不純物の混入が抑制され、処理の純度を高めることができる。また、生成したマイクロ波プラズマを広げるためには、0.5 Pa以上10 Pa以下の圧力下でマイクロ波プラズマを生成することが望ましい。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]本発明のマイクロ波プラズマ生成装置を備えるマイクロ波プラズマ処理装置の左右方向断面図である。

[図2]同マイクロ波プラズマ生成装置の部分斜視図である。

[図3]従来のマイクロ波プラズマ処理装置の左右方向断面図である。

[図4]同マイクロ波プラズマ処理装置におけるプラズマ生成部の斜視図である。

符号の説明

[0029] 1：マイクロ波プラズマ処理装置、8：真空容器、10：マイクロ波プラズマ生成装置、20：第一導波管、30：第二導波管、31：誘電体、40：プラズマ生成部、41：管体部、42：スロットアンテナ、43：管体部内誘電体、50：マイクロ波伝送部、51：マイクロ波電源、52：マイクロ波発振器、53：アイソレータ、54：パワーモニタ、55：EH整合器、80：導波管挿通孔、81：ガス供給孔、82：排気孔、420：スロット。

発明を実施するための形態

[0030] 以下、本発明のマイクロ波プラズマ生成装置の実施の形態について説明する。

[0031] <マイクロ波プラズマ生成装置の構成>

まず、本実施形態のマイクロ波プラズマ生成装置の構成について説明する。図1に、本実施形態のマイクロ波プラズマ生成装置を備えるマイクロ波プラズマ処理装置の左右方向断面図を示す。図2に、同マイクロ波プラズマ生成装置の部分斜視図を示す。図1、図2に示すように、マイクロ波プラズマ処理装置1は、真空容器8と、マイクロ波プラズマ生成装置10と、を備えている。

[0032] 真空容器8は、アルミ鋼製であって、直方体箱状を呈している。真空容器8の右壁には、導波管挿通孔80とガス供給孔81とが、穿設されている。導波管挿通孔80には、マイクロ波プラズマ生成装置10が挿通されている。ガス供給孔81には、ガス供給管（図略）の下流端が接続されている。真空容器8の下壁には、排気孔82が穿設されている。排気孔82には、真空容器8の内部のガスを排出するための真空排気装置（図略）が接続されている。

[0033] マイクロ波プラズマ生成装置10は、第一導波管20と、第二導波管30と、プラズマ生成部40と、マイクロ波伝送部50と、を備えている。第一導波管20は、アルミニウム製であって、断面矩形の管状を呈している。第一導波管20は、マイクロ波伝送部50に接続されている。マイクロ波伝送部50は、マイクロ波電源51と、マイクロ波発振器52と、アイソレータ53と、パワーモニタ54と、EH整合器55と、を有している。マイクロ波発振器52、アイソレータ53、パワーモニタ54、およびEH整合器55は、第一導波管20により連結されている。

[0034] 第二導波管30は、アルミニウム製であって、断面矩形の短い管状を呈している。第二導波管30は、第一導波管20とプラズマ生成部40との間に配置されている。第二導波管30の右端は、第一導波管20に接続されている。第二導波管30の左端は、プラズマ生成部40に接続されている。第二導波管30の内部には、図2中点線で示すように、誘電体31が充填されている。誘電体31は、石英製であって、直方体状を呈している。誘電体31の左端は、後述するプラズマ生成部40の管体部内誘電体43に、接触して

いる。誘電体 31 の屈折率は、第一導波管 20 の内部（空気）の屈折率と管体部内誘電体 43（アルミナ）の屈折率との中間値である。第二導波管 30 の特性インピーダンスは、第一導波管 20 の特性インピーダンスとプラズマ生成部 40 の管体部 41 の特性インピーダンスとの積の平方根である。また、第二導波管 30 の左右方向の長さは、第二導波管 30 の管内波長の $1/4$ である。

[0035] プラズマ生成部 40 は、管体部 41 と、管体部内誘電体 43 と、を有している。管体部 41 は、アルミニウム製であって、断面矩形の管状を呈している。管体部 41 は、左右方向に延在している。管体部 41 の前面には、スロットアンテナ 42 が配置されている。スロットアンテナ 42 は、管体部 41 の前壁を形成している。スロットアンテナ 42 は、管体部 41 の H 面に配置されている。スロットアンテナ 42 には、スロット 420 が十個形成されている。スロット 420 は、左右方向に伸びる長孔状を呈している。スロット 420 は、電界強度が大きい位置に配置されている。

[0036] 管体部内誘電体 43 は、アルミナ製であって、直方体状を呈している。管体部内誘電体 43 は、図 2 中点線で示すように、管体部 41 の内部全体に充填されている。管体部内誘電体 43 は、スロット 420 を後方から覆っている。

[0037] <マイクロ波プラズマ生成装置の動作>

次に、マイクロ波プラズマ生成装置 10 の動作について説明する。まず、真空排気装置（図略）を作動させて、真空容器 8 の内部のガスを排出し、真空容器 8 の内部を減圧状態にする。次に、ガス供給管から、所定のガスを真空容器 8 内へ供給する。この際、真空容器 8 内の圧力が、約 $10 \sim 100 \text{ Pa}$ になるように、供給ガスの流量を調整する。続いて、マイクロ波電源 51 をオンにする。マイクロ波電源 51 をオンにすると、マイクロ波発振器 52 が周波数 2.45 GHz のマイクロ波を発振する。発振されたマイクロ波は、第一導波管 20 内を伝播する。ここで、アイソレータ 53 は、第二導波管 30 から反射されたマイクロ波が、マイクロ波発振器 52 に戻るのを抑制す

る。パワーモニタ54は、発生したマイクロ波の出力と、反射したマイクロ波の出力と、をモニタリングする。EH整合器55は、マイクロ波の反射量を調整する。

[0038] 第一導波管20内を通過したマイクロ波は、第二導波管30内を伝播する。第二導波管30の内部には、石英製の誘電体31が充填されている。このため、第二導波管30内において、マイクロ波の波長は変換され、短くなる。続いて、第二導波管30内を通過したマイクロ波は、プラズマ生成部40の管体部41内を伝播する。管体部41の内部には、アルミナ製の管体部内誘電体43が充填されている。このため、管体部41内において、マイクロ波の波長は、さらに短くなる。

[0039] 管体部41内のマイクロ波は、スロットアンテナ42のスロット420を通過して、スロットアンテナ42の前面を伝播する。伝播するマイクロ波の強電界により、真空容器8内のガスが電離して、スロットアンテナ42の前方にマイクロ波プラズマが生成される。

[0040] この後、マイクロ波プラズマの生成を維持したまま、真空容器8内の圧力を所定の圧力に調整して、プラズマ生成部40の前方に対向配置される基材(図略)の処理を行う。

[0041] <作用効果>

次に、本実施形態のマイクロ波プラズマ生成装置の作用効果について説明する。本実施形態のマイクロ波プラズマ生成装置10においては、プラズマ生成部40の管体部41の内部に、アルミナ製の管体部内誘電体43が配置される。これにより、管体部41内を伝播するマイクロ波の波長を、空気中、すなわち第一導波管20内を伝播する時の波長よりも、短くすることができる。例えば、第一導波管20内のマイクロ波の波長122mmを、管体部41内において49mmにすることができる。

[0042] マイクロ波の波長を短くすると、管体部41内において電界強度が大きくなる部分が増加する。よって、スロットアンテナ420に、小さなスロット420を多数形成することができる。これにより、スロットアンテナ42の

単位面積当たりの電界強度が、大きくなる。また、スロットアンテナ42の表面全体の電界強度が、大きくなる。したがって、マイクロ波プラズマ生成装置10によると、1Pa程度の低圧下においても、安定したマイクロ波プラズマを生成することができる。また、真空容器8内の圧力を低くすることにより、純度の高い処理を行うことができる。

[0043] マイクロ波プラズマ生成装置10においては、スロットアンテナ42の表面の電界強度が大きいため、プラズマ生成部40が小型化されている。これにより、マイクロ波プラズマ処理装置1において、マイクロ波プラズマ生成装置10と、他の部材や装置とが、干渉しにくい。したがって、マイクロ波プラズマ生成装置10は、例えば、被処理部材を供給、搬送する装置を備え、改質処理や成膜処理を連続して行うような処理装置に、組み込みやすい。

[0044] マイクロ波プラズマ生成装置10は、真空容器8内に表出する誘電体板を有さない。このため、成膜処理に使用しても、誘電体板の表面全体に膜の成分が付着するという問題は生じない。したがって、マイクロ波プラズマ生成装置10は、クリーニングや改質処理は勿論、プラズマCVDなどの処理にも好適である。

[0045] マイクロ波プラズマ生成装置10においては、第一導波管20とプラズマ生成部40との間に、誘電体31が充填された第二導波管30が介在する。したがって、第一導波管20から伝送されるマイクロ波は、一旦、第二導波管30において波長が変換された後に、プラズマ生成部40の管体部41に伝送される。波長の変換を二段階で行うことにより、第一導波管20から管体部41へ直接マイクロ波を伝送する場合と比較して、管体部41へ入射する際のマイクロ波の反射が抑制される。ここで、誘電体31の屈折率は、第一導波管20の内部（空気）の屈折率と管体内誘電体43（アルミナ）の屈折率との中間値である。また、第二導波管30の特性インピーダンスは、第一導波管20の特性インピーダンスとプラズマ生成部40の管体部41の特性インピーダンスとの積の平方根であり、第二導波管30の左右方向の長さは、第二導波管30の管内波長の $1/4$ である。これにより、管体部41

へ入射するマイクロ波の反射抑制効果が、より大きくなる。

[0046] <その他>

以上、本発明のマイクロ波プラズマ生成装置の一実施形態について説明した。しかしながら、マイクロ波プラズマ生成装置の実施の形態は上記形態に限定されるものではない。当業者が行いうる種々の変形的形態、改良的形態で実施することも可能である。

[0047] 例えば、プラズマ生成部におけるスロットアンテナの材質、スロットの数、形状、配置などは、特に限定されない。例えば、スロットアンテナの材質は、非磁性の金属であればよく、アルミニウムその他、ステンレス鋼や真鍮などでも構わない。また、銀めっきなどの導電めっきを施したものでも構わない。スロットの配列は、一列でも、二列以上でもよい。スロットの数は、奇数個でも偶数個でもよい。また、スロットの配置角度を変えて、ジグザグ状に配置してもよい。また、プラズマ生成部や第二導波管の大きさも、特に限定されない。

[0048] 管体部内誘電体、および第二導波管内の誘電体の材質については、特に限定されない。いずれについても、誘電率が低く、マイクロ波を吸収しにくい材料が望ましい。例えば、石英、アルミナ、ジルコニア、窒化アルミニウム、酸化マグネシウムなどが好適である。ここで、第二導波管内の誘電体としては、屈折率が、管体部内誘電体の屈折率よりも小さいものを選択する。第二導波管内の誘電体の屈折率は、第一導波管の内部の屈折率と管体部内誘電体の屈折率との間の値であることが望ましい。

[0049] 上記実施形態においては、管体部の内部全体に管体部内誘電体を配置した。しかし、管体部内誘電体は、少なくともスロットを覆うように配置されていけばよく、必ずしも管体部の内部全体に配置される必要はない。

[0050] 上記実施形態においては、周波数 2.45 GHz のマイクロ波を使用した。しかし、マイクロ波の周波数は、2.45 GHz 帯に限定されるものではなく、300 MHz ~ 100 GHz の周波数帯であれば、いずれの周波数帯を用いてもよい。この範囲の周波数帯としては、例えば、8.35 GHz、

1. 98 GHz、915 MHzなどが挙げられる。

[0051] 本発明のマイクロ波プラズマ生成装置は、0.5 Pa以上100 Pa以下の圧力下でマイクロ波プラズマを生成することができる。したがって、真空容器内の圧力は、処理に応じて適宜決定すればよい。例えば、0.5 Pa以上3 Pa以下の高真空状態にすることにより、不純物の混入が抑制され、処理の純度を高めることができる。また、生成したマイクロ波プラズマを広げるためには、0.5 Pa以上10 Pa以下の圧力下でマイクロ波プラズマを生成することが望ましい。また、供給するガスも、処理に応じて適宜決定すればよい。例えば、アルゴン (Ar)、ヘリウム (He)、ネオン (Ne)、クリプトン (Kr)、キセノン (Xe) などの希ガス、窒素 (N₂)、酸素 (O₂)、水素 (H₂) などが挙げられる。供給するガスは、一種でも二種以上でもよい。

実施例

[0052] 次に、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明する。

[0053] <低圧下におけるマイクロ波プラズマの生成>

[実施例1]

上記実施形態のマイクロ波プラズマ処理装置1を用いて、0.7 Paの圧力下におけるマイクロ波プラズマの生成状態を確認した。以下の処理における部材の符号は、前出図1に対応している。

[0054] まず、真空排気装置(図略)を作動させて、真空容器8の内部のガスを排気孔82から排出し、真空容器8の内部圧力を 8×10^{-3} Paとした。次に、ガス供給孔81からアルゴンガスを真空容器8内へ供給して、真空容器8の内部圧力を100 Paとした。続いて、マイクロ波電源51をオンにして、発振された出力700Wのマイクロ波(周波数2.45 GHz)により、マイクロ波プラズマを生成した。その後、アルゴンガスの流量を絞り、真空容器8の内部圧力を0.7 Paにして、マイクロ波プラズマの生成状態を目視確認した。その結果、安定したマイクロ波プラズマが維持されていることを確認した。

[0055] [比較例 1]

従来のマイクロ波プラズマ処理装置 9（前出図 3 参照）を用いて、上記実施例 1 と同じ条件で、マイクロ波プラズマを生成させた。以下の処理における部材の符号は、前出図 3 に対応している。

[0056] まず、真空排気装置（図略）を作動させて、真空容器 90 の内部のガスを排出し、真空容器 90 の内部圧力を $8 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ とした。次に、アルゴンガスを真空容器 90 内へ供給して、真空容器 90 の内部圧力を 100 Pa とした。続いて、出力 700 W のマイクロ波（周波数 2.45 GHz ）を、導波管 910 内に伝送して、マイクロ波プラズマを生成した。その後、アルゴンガスの流量を絞り、真空容器 90 の内部圧力を 0.7 Pa にして、マイクロ波プラズマの生成状態を目視確認した。その結果、プラズマ生成を継続することができず、マイクロ波プラズマは消失した。

[0057] <マイクロ波プラズマの電子密度>

[実施例 2]

真空容器内の圧力を 6.7 Pa にした以外は、実施例 1 と同様にしてマイクロ波プラズマを生成し、スロットアンテナから 1.5 cm 離間した位置におけるマイクロ波プラズマの電子密度を測定した。その結果、電子密度は、 $6.7 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ であった。電子密度は、ラングミュアプローブを用いて測定した。プローブ電極は、太さ 0.2 mm 、長さ 5 mm である。プローブ電極に可変電圧を印加して、電極に流れる電流の変化を測定した。

[0058] [実施例 3]

真空容器へ供給するガスを水素ガスに変更し、マイクロ波の出力を 600 W 、真空容器内の圧力を 20 Pa に変更した以外は、実施例 1 と同様にしてマイクロ波プラズマを生成した。そして、スロットアンテナから 2 cm 離間した位置におけるマイクロ波プラズマの電子密度を測定した。その結果、電子密度は、 $6.5 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ であった。

[0059] <まとめ>

以上より、本発明のマイクロ波プラズマ生成装置は、 1 Pa 以下の低圧下

においても、安定したマイクロ波プラズマを生成できることが確認された。また、誘電体板を用いた従来の表面波プラズマ生成装置と比較して、誘電体板を用いること無く、高密度なマイクロ波プラズマを生成することができた。特に、一般的な高周波（RF）プラズマよりも、電子密度が2桁程度大きい、高密度なマイクロ波プラズマを生成することができた。

産業上の利用可能性

[0060] 本発明のマイクロ波プラズマ生成装置は、基材に対するクリーニング、改質、成膜などの様々な処理に用いることができる。例えば、タッチパネル、ディスプレイ、LED（発光ダイオード）照明、太陽電池、電子ペーパー等に用いられる透明導電膜等の形成に有用である。

請求の範囲

- [請求項1] 真空容器内にマイクロ波プラズマを生成するマイクロ波プラズマ生成装置であって、
- マイクロ波を伝送する第一導波管と、
- 該マイクロ波が伝播し、該マイクロ波が該真空容器の内側方向に通過する複数のスロットが形成されたスロットアンテナを有する管体部と、該管体部の内部に少なくとも該スロットを覆うように配置される管体内誘電体と、を有するプラズマ生成部と、
- 該第一導波管と該プラズマ生成部との間に介在し、内部に該管体内誘電体よりも屈折率が小さく該管体内誘電体に接触して配置される誘電体を有する第二導波管と、
- を備えることを特徴とするマイクロ波プラズマ生成装置。
- [請求項2] 前記第一導波管の内部の屈折率は、前記管体内誘電体の屈折率よりも小さく、
- 前記第二導波管の内部に配置される前記誘電体の屈折率は、該第一導波管の内部の屈折率と該管体内誘電体の屈折率との間の値である請求項1に記載のマイクロ波プラズマ生成装置。
- [請求項3] 前記第二導波管の内部に配置される前記誘電体の屈折率は、前記第一導波管の内部の屈折率と前記管体内誘電体の屈折率との中間値であり、
- 導波管の断面寸法および内部の誘電率で決定される導波管の特性インピーダンスについて、該第二導波管の特性インピーダンスは、該第一導波管の特性インピーダンスと前記プラズマ生成部の前記管体部の特性インピーダンスとの積の平方根であり、かつ、該第二導波管の長さは該第二導波管の管内波長の $1/4$ である請求項2に記載のマイクロ波プラズマ生成装置。
- [請求項4] 前記管体内誘電体は、石英、アルミナ、ジルコニア、窒化アルミニウム、酸化マグネシウムから選ばれる一種である請求項1ないし請

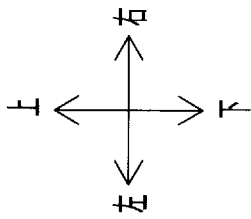
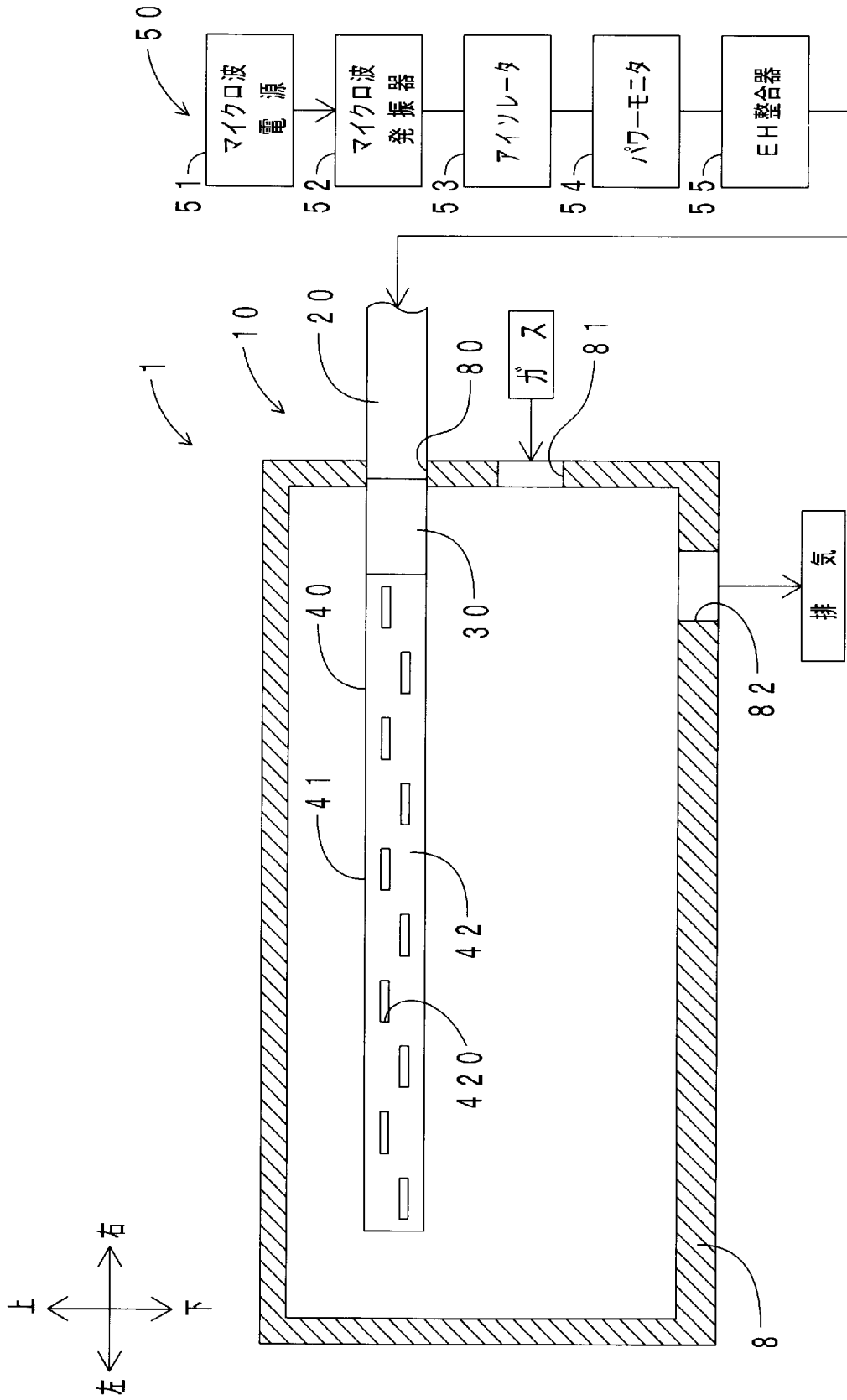
求項3のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ生成装置。

[請求項5] 前記管体部は、断面矩形の管状を呈する請求項1ないし請求項4のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ生成装置。

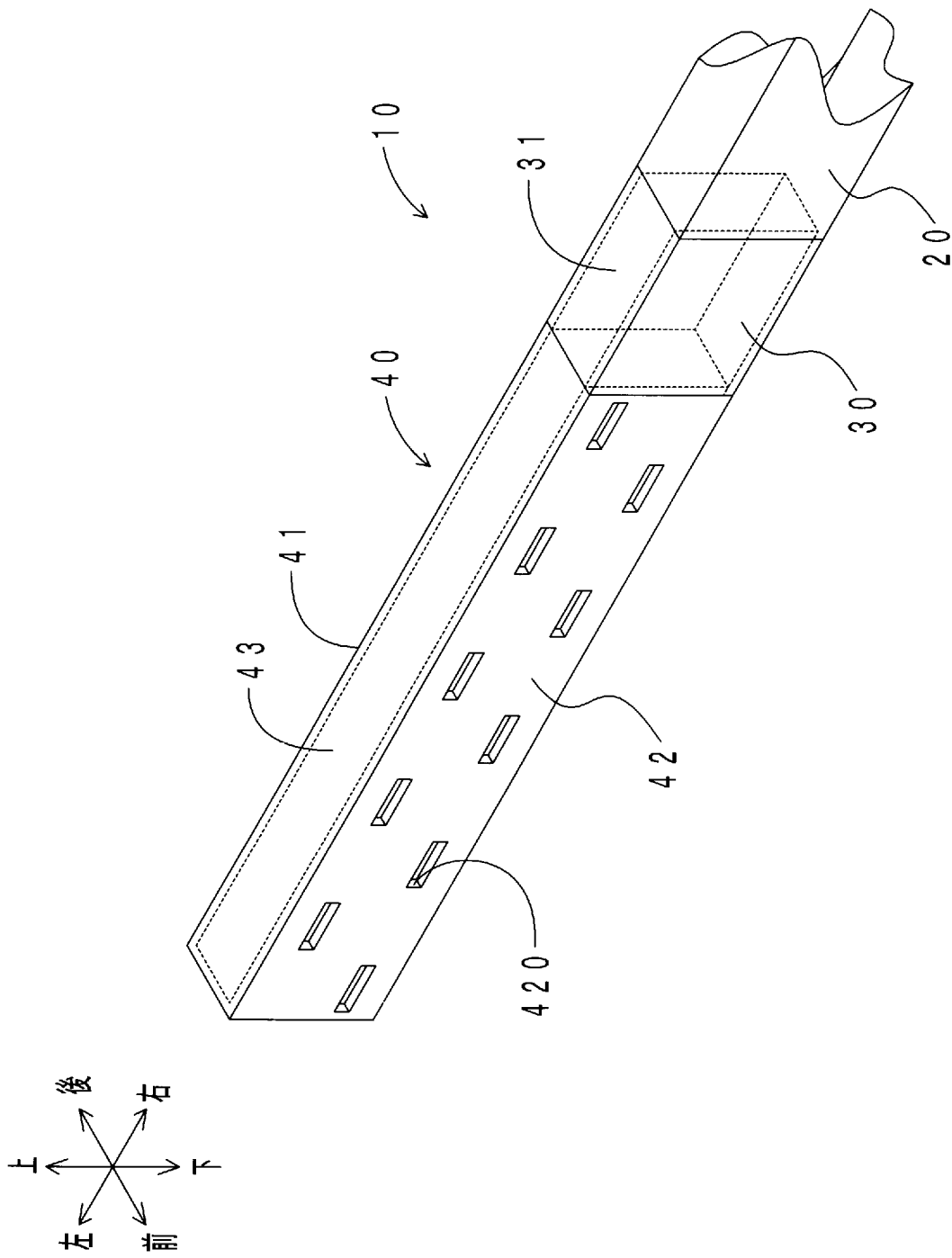
[請求項6] 前記スロットアンテナは、前記管体部のH面に配置される請求項1ないし請求項5のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ生成装置。

[請求項7] 0.5 Pa以上100 Pa以下の圧力下で前記マイクロ波プラズマを生成可能な請求項1ないし請求項6のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ生成装置。

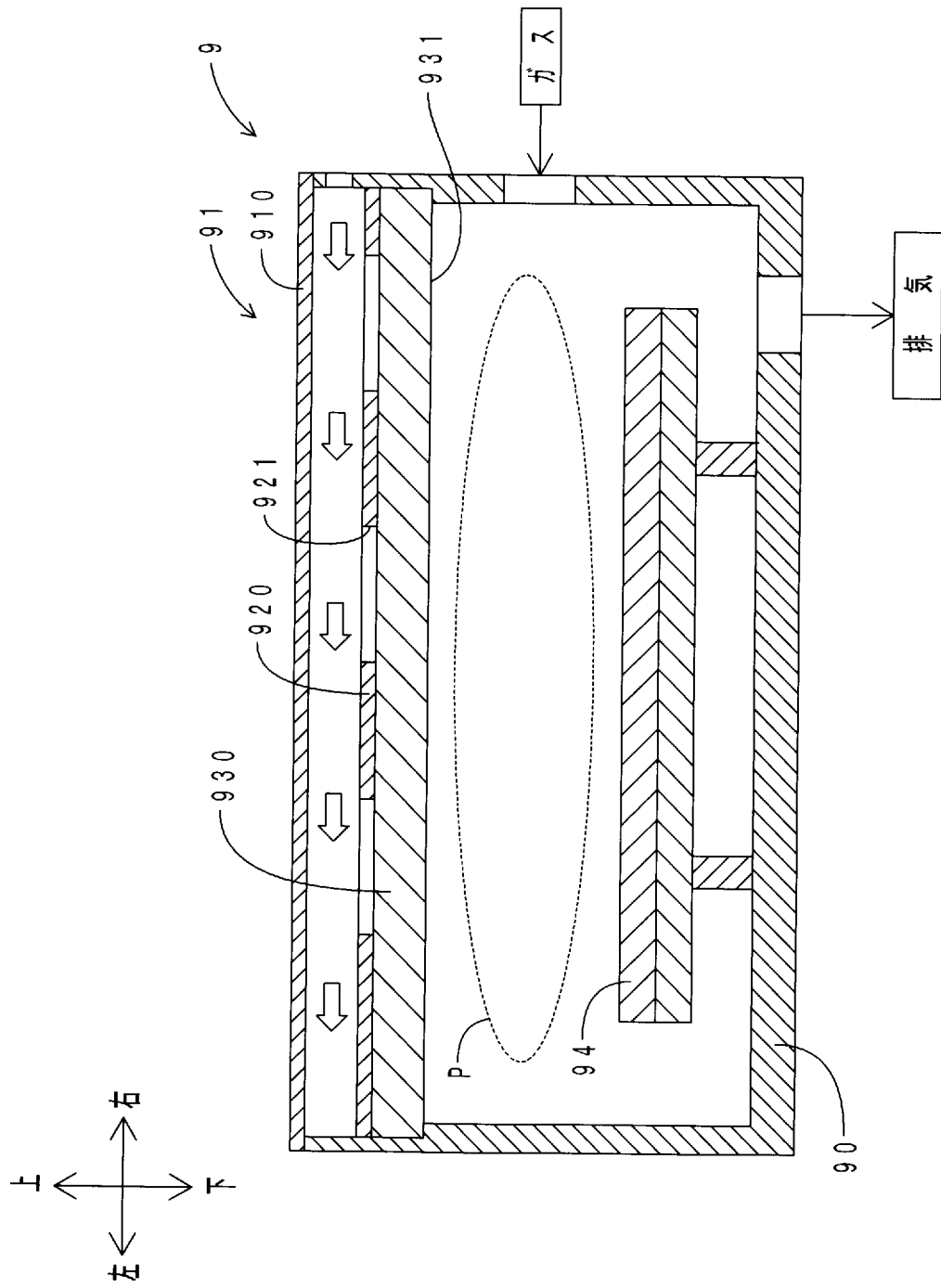
[図1]



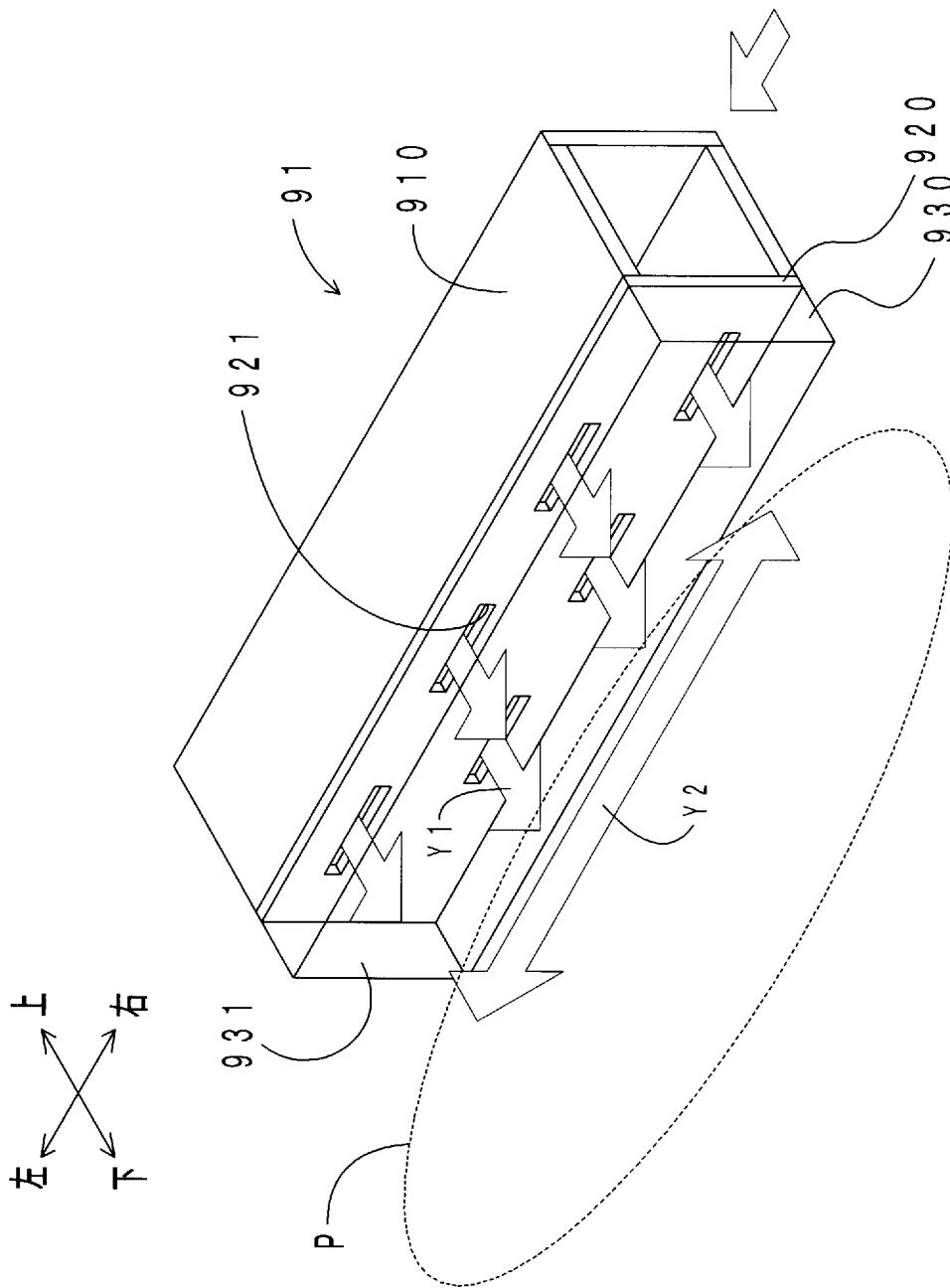
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/082043

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H05H1/46(2006.01) i</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>											
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H05H1/46</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2014 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>											
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X Y</td> <td>WO 2005/088763 A1 (Tokyo Electron Ltd.), 22 September 2005 (22.09.2005), page 6, lines 9 to 11; page 10, line 16 to page 11, line 5; fig. 7 & US 2007/0133919 A1 & CN 1926714 A</td> <td align="center">1-2, 4-7 3</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2011-010209 A (NEC Corp.), 13 January 2011 (13.01.2011), paragraphs [0041] to [0042] (Family: none)</td> <td align="center">3</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X Y	WO 2005/088763 A1 (Tokyo Electron Ltd.), 22 September 2005 (22.09.2005), page 6, lines 9 to 11; page 10, line 16 to page 11, line 5; fig. 7 & US 2007/0133919 A1 & CN 1926714 A	1-2, 4-7 3	Y	JP 2011-010209 A (NEC Corp.), 13 January 2011 (13.01.2011), paragraphs [0041] to [0042] (Family: none)	3
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.									
X Y	WO 2005/088763 A1 (Tokyo Electron Ltd.), 22 September 2005 (22.09.2005), page 6, lines 9 to 11; page 10, line 16 to page 11, line 5; fig. 7 & US 2007/0133919 A1 & CN 1926714 A	1-2, 4-7 3									
Y	JP 2011-010209 A (NEC Corp.), 13 January 2011 (13.01.2011), paragraphs [0041] to [0042] (Family: none)	3									
<p><input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>											
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%;"> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%;"> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>							
<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>										
<p>Date of the actual completion of the international search 21 January, 2014 (21.01.14)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 04 February, 2014 (04.02.14)</p>									
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</p>		<p>Authorized officer</p>									
<p>Facsimile No.</p>		<p>Telephone No.</p>									

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H05H1/46(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H05H1/46		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	WO 2005/088763 A1（東京エレクトロン株式会社）2005.09.22, 第6 ページ第9-11行, 第10ページ第16行-第11ページ第5行, 図7 & US 2007/0133919 A1 & CN 1926714 A	1-2, 4-7 3
Y	JP 2011-010209 A（日本電気株式会社）2011.01.13, 【0041】 - 【0042】（ファミリーなし）	3
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 21.01.2014	国際調査報告の発送日 04.02.2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 鳥居 祐樹 電話番号 03-3581-1101 内線 3273	21 4070