(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
2016 年 9 月 1 日(01.09.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/135899 A1

(51) 国際特許分類:
H05H 1/46 (2006.01) *C23C 16/511* (2006.01)
B01J 19/12 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/055465

(22) 国際出願日: 2015 年 2 月 25 日(25.02.2015)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 国立大学法人大阪大学(OSAKA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒5650871 大阪府吹田市山田丘１番１号 Osaka (JP). 株式会社ニッシン(NISSIN INC.) [JP/JP]; 〒6650047 兵庫県宝塚市亀井町１０番７号 Hyogo (JP).

(72) 発明者: 伊藤 利道(ITO Toshimichi); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘１番１号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 毎田 修(MAIDA Osamu); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘１番１号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 宮田 昌和(MIYATA Masakazu); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘１番１号 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP). 南光 正平(NANKOU Syouhei); 〒6650047 兵庫県宝塚市亀井町１０番７号 株式会社ニッシン内 Hyogo (JP). 西村 永(NISHIMURA Ei); 〒6650047 兵庫県宝塚市亀井町１０番７号 株式会社ニッシン内 Hyogo (JP).

(74) 代理人: 杉谷 勉(SUGITANI Tsutomu); 〒5300047 大阪府大阪市北区西天満１丁目１０番８号 西天満第１１松屋ビル Osaka (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, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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.

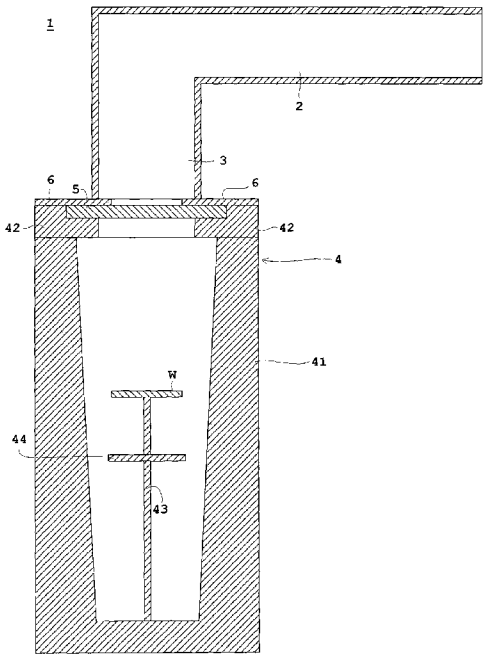
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

[続葉有]

(54) **Title**: MICROWAVE PLASMA VAPOR-PHASE REACTION DEVICE

(54) 発明の名称 : マイクロ波プラズマ気相反応装置

[図1]



(57) **Abstract**: An inner wall of a chamber 4 (a cylindrical container 41 thereof) in a microwave plasma vapor-phase reaction device of the present invention (for example, a microwave plasma CVD device 1) is configured in a tapered shape such that the diameter of the bottom surface on the side opposite to a waveguide (here, a circular waveguide 3) becomes smaller than the diameter of the top surface on the waveguide (circular waveguide 3) side. Therefore, an electrical field is not formed on the narrowed bottom surface, and the position of the antinode of the electrical field can be controlled by changing the taper angle. Consequently, a strong electrical field can be generated in only one specific region (desired region) inside the chamber 4 and a plasma in which the lighting position is controllable can be formed with a simple structure.

(57) 要約: 本発明のマイクロ波プラズマ気相反応装置（例えばマイクロ波プラズマＣＶＤ装置１）では、チャンバー４（の円筒容器４１）の内壁は、導波管（ここでは円形導波管３）に対向する側の下面の径が導波管（円形導波管３）側の上面の径よりも小さくなるようにテーパー状に構成される。よって、狭まった下面には電界が形成されなくなり、テーパー角を変えることにより電界の腹の位置を制御することができる。その結果、チャンバー４内の特定の一領域（所望の領域）にのみ強い電界を生じさせることができ、簡易な構造で、点灯位置が制御可能なプラズマを形成することができる。

WO 2016/135899 A1

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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気相反応装置

技術分野

[0001] 本発明は、マイクロ波を伝送するための導波管を備えたマイクロ波プラズマ気相反応装置に関する。

背景技術

[0002] マイクロ波プラズマ気相反応装置は、例えばマイクロ波プラズマＣＶＤ（Chemical Vapor Deposition）装置、ガス分解装置や還元装置などに用いられる。以下では、マイクロ波プラズマＣＶＤ装置を例に採って説明する。ダイヤモンドの合成に用いられているマイクロ波プラズマＣＶＤ装置として、石英の放電管を用いるタイプがある。この装置は矩形導波管のＥ面（広管壁）に石英管を貫通させてプラズマを発生させるタイプである。この装置は使用可能な石英管の径に強い制限（２．４５ＧＨｚのマイクロ波で直径約４０ｍｍの制限）があるので、プラズマ発光領域を小さくしても石英管内壁のエッチングによる不純物混入が避けられないという課題がある。

[0003] この課題を解決するために、石英管を用いない装置が提案されている（例えば、特許文献１参照）。この装置は、図２に示すように、矩形導波管１０１を円形断面のチャンバー１０２に結合させる構造となっている。２．４５ＧＨｚのTE_{10}モードのマイクロ波は、モード変換機構１０４でチャンバー１０２にアンテナ結合して、TM_{01}モードを励振させている。なお、図２以外の構造において、モード変換機構を備えた装置がある（例えば、特許文献２参照）。

[0004] 図２の説明に戻って、図２の符号１０３は導電性ロッド１０５の長さを調整するノブであり、このノブ１０３を回転させることにより、導電性ロッド１０５が上下する。また、図２の符号１０６はショートプランジャーであり、ショート面の位置を調整することで、マイクロ波の整合を良くする目的で使用される。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特表平３－５００７０６号公報

特許文献2：実用新案登録第３１２９７７２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、図２に示す方式は、軸対称の球状プラズマをＣＶＤに利用することに成功したが、複雑なモード変換機構１０４を有し、合成室も複雑な形状であるという問題点がある。

[0007] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、簡易な構造で、強いプラズマを所望の位置に形成することができるマイクロ波プラズマ気相反応装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 発明者らは、上記の問題を解決するために鋭意研究した結果、次のような知見を得た。

すなわち、投入したマイクロ波によって、チャンバー内に節・腹を有する振動電界が複数個形成される。その結果、当該電界の腹で生じる強電界により形成されるプラズマも複数個に分散されてしまう。よって、プラズマ気相反応を行うチャンバー内の領域に腹が一つのみ形成される電界分布を実現すれば、安定な強いプラズマをその領域にのみ形成することができるという発想に至った。

[0009] そこで、導波管に対向する側の面を下面とし、導波管側の面を上面とし、下面からの高さをチャンバー高さとすると、チャンバー高さを60㎜程度に低くすれば、底面（下面）にのみ電界の腹を生成させることは可能である。しかし、上面（石英板が取り付けられる箇所）との距離が近すぎる結果、石英直下にプラズマが点灯されてしまい、石英板からの不純物により汚染されてしまう。また、底面（下面）にのみ電界の腹が生成されるので、電界の腹の

位置を制御することができない。

[0010] そこで、チャンバー高さを低くするという発想から変えて、導波管に対向する側の下面の径が、導波管側の上面の径よりも徐々に小さくしてカットオフ寸法未満になるように、テーパー状にチャンバーの内壁を構成すれば、狭まった下面には電界が形成されなくなり、テーパー角を変えることによりチャンバー内における電界の腹の位置を制御することができる筈という発想に至った。

[0011] このような発想の下で様々なシミュレーションを行った。図３（ａ）は、上面および下面の径を同じに（寸胴）設定したときの最大瞬時電界（以下、単に「電界」と記す）のチャンバーの中心軸を含む断面（以下、単に「断面」と記す）内の分布（以下、単に「断面上の電界分布」と記す）（模式図）であり、図３（ｂ）は、下面の径が上面の径よりも小さくなるようにテーパー状に形成したときの断面上の電界分布（模式図）であり、図４は、チャンバー高さとチャンバー上部からの電界の腹との位置関係を示したグラフであり、図５は、図３（ｂ）で定義されたテーパー角とチャンバー上部からの電界の腹との位置関係を示したグラフである。

[0012] なお、図３では簡略化のために断面上の電界分布を楕円状に模式的に図示し、電界強度を等高線で図示したが、実際には複雑な形状となっていることに留意されたい。なお、図４は、上面の径を110mmに、下面の径を80mmに固定したときにチャンバー高さを変えたときの位置関係であり、図５は、上面の径を110mmに、チャンバー高さを300mmに固定したときにテーパー角θ（図３（ｂ）を参照）を変えたときの位置関係である。

[0013] 円筒容器からなる金属製のチャンバーを使用して、円中心部の電界強度が最大となるTM_{01}モードを、真空を保持することができる誘電体材料で作成されたマイクロ波導入窓から金属製のチャンバーに導入する。そのチャンバーは、TM_{01}モードが伝送される径（直径が電磁波の波長の0.765倍以上0.972倍以下）で構成されているが、このモードは、図３（ａ）に示すようにチャンバー底部に電界Ｅの腹が形成される。上記円筒容器において、腹となる強

い電界が生じる領域の個数を減らすには、上述したようにチャンバーの底部（下面）の径を小さくしてTM_{01}モードのカットオフ寸法（直径が電磁波の波長の0.765倍）未満にし、図３（ｂ）に示すように底部（下面）にTM_{01}モードを伝送させなくする。また、図３のシミュレーションの結果から、図３（ｂ）でのテーパー状に形成したときの電界強度（の最大値）は、図３（ａ）での寸胴設定したときの電界強度（の最大値）の１．４３倍となる。

[0014] さらに、所望の位置（例えば被処理物である基板が置かれている位置）と強い電界の分布位置（電界の腹の位置）とを一致させるには、上述したようにチャンバー高さやテーパー角を変えることで達成される。しかし、チャンバー高さを高くし過ぎると、強い電界の位置が複数個出現するので、好ましくない。２．４５ＧＨｚでTM_{01}モードのマイクロ波の場合には、図４に示すようにチャンバー高さが450mm以上では腹（anti-node）が２つ出現する（図４では、１つ目の腹の位置をAN_1で表記、２つ目の腹の位置をAN_2で表記）ので、チャンバー高さが450mm以上は好ましくない。また、テーパー角を変えることで、チャンバー上部からの電界の腹の位置を制御することができることが、図５のシミュレーションの結果から確認することができる。

[0015] これらのシミュレーションは、チャンバーが円筒容器の場合であったが、チャンバーが角型容器の場合にも同様にテーパー状にチャンバーの内壁を構成すればよい。すなわち、導波管に対向する側の下面の対角線の長さが、導波管側の上面の対角線の長さよりも小さくなるようにテーパー状にチャンバーの内壁を構成すれば、狭まった下面には電界が形成されなくなり、テーパー角を変えることにより電界の腹の位置を制御することができるという知見を得た。

[0016] このような知見に基づく本発明は、次のような構成をとる。

すなわち、本発明に係るマイクロ波プラズマ気相反応装置は、マイクロ波を伝送するための導波管を備えたマイクロ波プラズマ気相反応装置であって、マイクロ波によるプラズマ生成を行うチャンバーを備え、前記チャンバーの内壁は、前記導波管に対向する側の下面の径あるいは対角線の長さが当該

導波管側の上面の径あるいは対角線の長さよりも小さくなるようにテーパー状に構成されることを特徴とするものである。

[0017] 本発明に係るマイクロ波プラズマ気相反応装置によれば、チャンバーの内壁は、導波管に対向する側の下面の径あるいは対角線の長さが導波管側の上面の径あるいは対角線の長さよりも小さくなるようにテーパー状に構成される。よって、狭まった下面には強い電界が生じなくなり、テーパー角を変えることにより強い電界が生じる腹の位置を制御することができる。その結果、チャンバー内の特定の一領域（所望の領域）にのみ強い電界を生じさせることができ、簡易な構造で、点灯位置が制御可能なプラズマを形成することができる。

[0018] 本発明に係るマイクロ波プラズマ気相反応装置において、チャンバーの下面から立設された金属ロッドを備え、当該金属ロッドに金属鍔を設けるのが好ましい。金属ロッドに金属鍔を設けることにより、金属鍔から上部において電界強度を確実に強めることができ、強いプラズマを確実に形成することができる。また、被処理物（試料）に対してプラズマ処理を行う場合には、試料を支持する試料支持台を金属ロッドで形成して、適切な位置（高さ）に試料支持台（金属ロッド）を設けることで、その試料支持台の真上で強いプラズマが形成される。

[0019] また、本発明に係るマイクロ波プラズマ気相反応装置において、チャンバー内に生成される電界の節に誘電体を備えるのが好ましい。真空を保持し、かつ電磁波を通過させることができる誘電体において、電界の節に誘電体を挿入すると、誘電体直下にはプラズマが点灯しにくくなる。その結果、プラズマとの相互作用より生じる誘電体からの不純物による汚染を防止することができる。

[0020] また、本発明に係るマイクロ波プラズマ気相反応装置において、導波管とチャンバーとの間に誘電体を備えるとともに、誘電体側の導波管内に接地されたリング（以下、単に「リング」と記す）を備えるのが好ましい。誘電体側の導波管内にリングを備えることで、チャンバー内の電磁波をより効果的

に閉じ込めることができる。なお、リング内径を小さくし過ぎると電磁波を伝送することができないので、マイクロ波の周波数やモードに応じて、電磁波を伝送することが可能な範囲で当該リングの内径を設定する。図１に示すように、２．４５ＧＨｚのマイクロ波でＴＭ$_{01}$モードの場合には、内径は70mm以上であるのが好ましく、好適には91㎜程度である。

発明の効果

[0021] 本発明に係るマイクロ波プラズマ気相反応装置によれば、チャンバーの内壁は、導波管に対向する側の下面の径あるいは対角線の長さが導波管側の上面の径あるいは対角線の長さよりも小さくなるようにテーパー状に構成される。その結果、チャンバー内の特定の一領域（所望の領域）にのみ強い電界を生じさせることができ、簡易な構造で、点灯位置が制御可能なプラズマを形成することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]実施例に係るマイクロ波プラズマ気相反応装置のチャンバー中心軸を含む断面（以下、単に「断面」と記す）上の構造を示す概略断面図である。

[図2]従来の石英管を用いない装置の概略断面図である。

[図3]（ａ）は上面および下面の径を同じに（寸胴）設定したときの断面上の電界分布（模式図）、（ｂ）は下面の径が上面の径よりも小さくなるようにテーパー状に形成したときの断面上の電界分布（模式図）である。

[図4]チャンバー高さとチャンバー上部からの電界の腹との位置関係を示したグラフである。

[図5]図３（ｂ）で定義されたテーパー角とチャンバー上部からの電界の腹との位置関係を示したグラフである。

[図6]（ａ）は金属ロッドおよび金属鍔を設けたときで、下面の径が上面の径よりも小さくなるようにテーパー状に形成したときの断面上の電界分布（模式図）、（ｂ）は金属ロッドおよび金属鍔を設けたときで、上面および下面の径を同じに（寸胴）設定したときの断面上の電界分布（模式図）である。

[図7]図６の石英窓直下から金属ロッド上部までの円柱対称軸上における最大

瞬時電界強度分布である。

[図8]（ａ）は金属ロッドおよび金属鍔を設けたときで、下面の径が上面の径よりも小さくなるようにテーパー状に形成したときの模擬プラズマを設定した際の断面上の電界分布（模式図）、（ｂ）は金属ロッドおよび金属鍔を設けたときで、上面および下面の径を同じに（寸胴）設定したときの模擬プラズマを設定した際の断面上の電界分布（模式図）、（ｃ）は模擬プラズマの模式図である。

[図9]図８の石英窓直下から金属ロッド上部までの円柱対称軸上における最大瞬時電界強度分布である。

実施例

[0023] 以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。図１は、実施例に係るマイクロ波プラズマ気相反応装置の概略断面図である。本実施例では、マイクロ波プラズマ気相反応装置として、ダイヤモンドの合成に用いられているマイクロ波プラズマＣＶＤ装置を例に採って説明する。

[0024] 本実施例では、マイクロ波プラズマＣＶＤ装置１は、図１に示すように、矩形導波管２と円形導波管３とチャンバー４と石英板５とリング６とを備えている。本実施例では、２．４５ＧＨｚのＴＥ$_{10}$モードのマイクロ波を矩形導波管２内で伝送して、矩形導波管２と円形導波管３との結合部でモード変換されてＴＭ$_{01}$モードのマイクロ波を円形導波管３内で伝送する。矩形導波管２および円形導波管３は、本発明における導波管に相当し、チャンバー４は、本発明におけるチャンバーに相当し、石英板５は、本発明における誘電体に相当し、リング６は、本発明におけるリングに相当する。

[0025] 石英板５を除き、矩形導波管２，円形導波管３，チャンバー４およびリング６は金属で形成されている。本実施例では、矩形導波管２，円形導波管３，チャンバー４およびリング６をアルミニウムで形成する。金属であれば、必ずしもアルミニウムに限定されず、例えばステンレス鋼（ＳＵＳ）で、矩形導波管２，円形導波管３，チャンバー４およびリング６を形成してもよい。また、矩形導波管２，円形導波管３，チャンバー４およびリング６を必ず

しも同一金属で形成する必要はない。

[0026] チャンバー４は円筒容器４１からなる。導波管（図１では円形導波管３）側の面は上面となり、導波管（円形導波管３）に対向する側の面は下面（底面）となる。円筒容器４１の内壁は、下面の径が上面の径よりも小さくなるようにテーパー状に構成されている。円筒容器４１と石英板５との間にはフランジ４２が設けられ、円筒容器４１の下面から金属ロッド４３が立設されている。金属ロッド４３には金属鍔４４が設けられている。金属鍔４４は金属ロッド４３にネジ止めされて固定されており、金属鍔４４の高さを自在に変えることが可能である。金属ロッド４３は、本発明における金属ロッドに相当し、金属鍔４４は、本発明における金属鍔に相当する。

[0027] また、円筒容器４１も金属で形成されている。本実施例では、円筒容器４１，金属ロッド４３および金属鍔４４もアルミニウムで形成する。上述したように金属であれば、必ずしもアルミニウムに限定されず、例えばステンレス鋼（ＳＵＳ）で、円筒容器４１，金属ロッド４３および金属鍔４４を形成してもよい。また、円筒容器４１，金属ロッド４３および金属鍔４４を必ずしも同一金属で形成する必要はない。また、後述するように円筒容器４１の内壁に、取り外し可能なステンレス製の薄板を設けてもよい。

[0028] 石英板５を介して、マイクロ波によりプラズマ励起して、チャンバー４の円筒容器４１内でプラズマを生成する。プラズマのためのガス（プロセスガス）については、水素（H_2）およびメタン（CH_4）を用いて、プラズマ気相反応によって被処理物である基板W上にダイヤモンドを蒸着形成して合成する。基板Wを支持する試料支持台を上述した金属ロッド４３で形成する。

[0029] 本実施例では、内壁において、上面の径を110㎜に、下面の径を80㎜に、フランジ４２の高さ（厚み）も含んだチャンバー高さを300㎜に設計したチャンバー４を用いている。なお、フランジ４２の高さ（厚み）を22.5㎜としている。

[0030] ２．４５ＧＨｚのマイクロ波でTM_{01}モードの場合には、円筒容器４１内に生成される電界は、内壁での下面（底面）からの高さが約300㎜で電界の節

が形成される。よって、電界の節に相当する当該高さが約300mmに石英板５を挿入する。真空を保持し、かつ電磁波を通過させることができる石英板５において、電界の節に石英板５を挿入すると、石英直下にはプラズマが点灯しにくくなる。その結果、プラズマとの相互作用より生じる石英板５からの不純物による汚染を防止することができる。

[0031] リング６は、チャンバー４内の電磁波を閉じ込めるための部品である。このリング６を接地して、石英板５側（すなわち大気側）の円形導波管３内に接地されたリング６を設ける。リング６の配置位置は、電界の節（ここでは下面からの高さ約300mm）に相当する箇所である。かかるリング６を備えることで、チャンバー４内の電磁波をより効果的に閉じ込めることができる。なお、リング内径を小さくし過ぎると電磁波を伝送することができないので、２．４５ＧＨｚのマイクロ波でTM_{01}モードの場合には、内径は70mm以上であるのが好ましく、好適には91mm程度である。

[0032] 試料支持台（金属ロッド）４３の直径は20mmであり、金属鍔４４は厚み3mmで直径62mmである。また、本実施例では、金属鍔４４を下面から130mmの高さに設けることにより、金属鍔４４から上部において電界強度を確実に強めることができ、強いプラズマを確実に形成することができる。また、本実施例のように被処理物（試料）に対してプラズマ処理を行う場合には、試料（ここでは基板Ｗ）を支持する試料支持台を金属ロッド４３で形成して、適切な位置（高さ）に試料支持台（金属ロッド）４３を設けることで、その試料支持台の真上で強いプラズマが形成される。

[0033] 本実施例に係るマイクロ波プラズマＣＶＤ装置１によれば、チャンバー４（の円筒容器４１）の内壁は、導波管に対向する側の下面の径が導波管側の上面の径よりも小さくなるようにテーパー状に構成される。よって、狭まった下面には電界が形成されなくなり、テーパー角を変えることにより電界の腹の位置を制御することができる。その結果、チャンバー４内の特定の一領域（所望の領域）にのみ強い電界を生じさせることができ、簡易な構造で、点灯位置が制御可能なプラズマを形成することができる。

[0034] 上述したように装置の反応容器（円筒容器４１）は、その構造が単純であるので、装置の作成経費を抑制することができる。また、例えば円筒容器４１の内壁に、取り外し可能なステンレス製の薄板を設けることで、気相反応装置の維持管理も相対的に容易であり、低コスト化を図ることができる。すなわち、気相反応装置では反応容器の内壁に生じる堆積物の定期的除去等が不可欠である。取り外し可能なステンレス製の薄板を内壁に設けることで、当該薄板を取り換えるだけで当該堆積物を容易に除去することができ、気相反応装置の維持管理も容易となる。

[0035] また、上述したように石英直下にプラズマが点灯されないことから、本実施例のようなダイヤモンドＣＶＤなどのような処理において、シリコン（Ｓｉ）がダイヤモンド内にドープされない。よって、高品質なダイヤモンド薄膜が形成されるという効果をも奏する。

[0036] ［金属ロッドおよび金属鍔を設けたときのシミュレーション結果］

図３～図５では金属ロッドおよび金属鍔を設けなかったときのシミュレーション結果であったが、金属ロッドおよび金属鍔を設けたときのシミュレーション結果について、図６～図９を参照して説明する。

[0037] 図６（ａ）は、金属ロッドおよび金属鍔を設けたときで、下面の径が上面の径よりも小さくなるようにテーパー状に形成したときの断面上の電界分布（模式図）であり、図６（ｂ）は、金属ロッドおよび金属鍔を設けたときで、上面および下面の径を同じに（寸胴）設定したときの断面上の電界分布（模式図）であり、図７は、図６の石英窓直下から金属ロッド上部までの円柱対称軸上における最大瞬時電界強度分布であり、図８（ａ）は、金属ロッドおよび金属鍔を設けたときで、下面の径が上面の径よりも小さくなるようにテーパー状に形成したときの模擬プラズマを設定した際の断面上の電界分布（模式図）であり、図８（ｂ）は、金属ロッドおよび金属鍔を設けたときで、上面および下面の径を同じに（寸胴）設定したときの模擬プラズマを設定した際の断面上の電界分布（模式図）であり、図８（ｃ）は、模擬プラズマの模式図であり、図９は、図８の石英窓直下から金属ロッド上部までの円柱

対称軸上における最大瞬時電界強度分布である。

[0038] なお、図３でも述べたように図６および図８では簡略化のために断面上の電界分布を楕円状に模式的に図示し、電界強度を等高線で図示したが、実際には複雑な形状となっていることに留意されたい。図６～図９では、上面の径を110mmに、下面の径を80mmに、チャンバー高さを300mmに設定したときであり、比較のために、チャンバー高さを300mmに、上面および下面の径を同じ110mmに寸胴設定したときのシミュレーション結果も併せて、図６（ｂ）および図８（ｂ），図７および図９（寸胴設定の電界強度を「Cylinder」で表記）で示す。

[0039] 図６に示した各形状での反応容器（円筒容器４１）内で生じる最大瞬時電界強度の断面上の２次元分布を図７に示す。また、反応容器の円柱対称軸上における石英窓（石英板５）直下から金属ロッド４３頂上部までの最大瞬時電界強度を等高線として図６に併せて図示する。なお、このとき金属ロッド４３上部には模擬プラズマ設定してないものとする。

[0040] 図６および図７に示すように、反応容器内がテーパー形状の場合（図７では「Taper」で表記）と比べて寸胴形状の場合（図７では「Cylinder」で表記）では反応容器内の電界強度が著しく減少していることが確認され、所望の位置への電界の集中は困難であると思われる。

[0041] 次に、図８（ｃ）に示すように反応容器内の金属ロッド４３上部に主軸長20mm，20mm,18mmの半楕円体状の模擬プラズマＰＭ（比誘電率ε_r＝0.404，導電率σ＝0.220 [S・m^{-1}]）を設定し、反応容器内の電界シミュレーションを行った。ｘｚ平面を水平面とし、ｙ軸を鉛直軸とし、水平面方向の模擬プラズマＰＭの直径をd_xとし、鉛直方向の模擬プラズマＰＭの直径をd_yとすると、d_x＝20mm，d_y＝18mmである。よって、半楕円体状の模擬プラズマＰＭの高さ（短径）ｈは、ｈ＝d_y／２＝9mmであり、模擬プラズマＰＭを上から見ると直径d_x＝20mmの真円である。

[0042] 模擬プラズマＰＭを設定した場合において、図８に示した各形状での反応容器（円筒容器４１）内で生じる最大瞬時電界強度の断面上の２次元分布を

図９に示す。また、反応容器の円柱対称軸上における石英窓（石英板５）直下から金属ロッド４３頂上部までの最大瞬時電界強度を等高線として図８に示す。なお、各場合における模擬プラズマＰＭのマイクロ波吸収率は図８（ａ）では97 %，図８（ｂ）では9 %である。

[0043] 図８および図９に示すように、反応容器内がテーパー形状の場合（図９では「Taper」で表記）と比べて寸胴形状の場合（図９では「Cylinder」で表記）では反応容器内の電界強度が著しく減少していることが確認される。また、寸胴形状の場合では、マイクロ波の吸収が81 %以下になり、著しく減少してしまうことが確認された。このために、反射波が十分に低減するように電界の位置や強度を調整するのは現実的には困難であると予想される。

[0044] 本発明は、上記実施形態に限られることはなく、下記のように変形実施することができる。

[0045] （１）上述した実施例では、マイクロ波プラズマ気相反応装置として、ダイヤモンドの合成に用いられているマイクロ波プラズマＣＶＤ装置を例に採って説明したが、マイクロ波プラズマ気相反応を行う装置であれば、特に限定されない。例えば、被処理物（試料）に対してプラズマ処理（例えばプラズマエッチングやプラズマアッシングやプラズマ加熱）を行うプラズマ処理装置、その他にガス分解装置や還元装置などに適用してもよい。

[0046] （２）上述した実施例では、チャンバーの反応容器は、図１に示す円筒容器４１であったが、角型容器であってもよい。この場合には、チャンバーの内壁を、導波管に対向する側の下面の対角線の長さが当該導波管側の上面の対角線の長さよりも小さくなるようにテーパー状に構成する。

[0047] （３）上述した実施例では、周波数が２．４５ＧＨｚのマイクロ波を用いたが、周波数については特に限定されない。特に、大きな基板（例えば１インチの基板）を処理したい場合には、周波数を下げる（例えば９１５ＭＨｚ）とよい。

[0048] （４）上述した実施例では、矩形導波管２（図１を参照）および円形導波管３（図１を参照）を用いたが、導波管の形状については特に限定されない

し、必ずしもモード変換する必要はない。矩形導波管のみでチャンバーをつないでもよい（この場合にはチャンバーは角型容器で構成）し、円形導波管のみでチャンバーをつないでもよい（この場合にはチャンバーは円筒容器で構成する）。

[0049] （５）上述した実施例では、チャンバーの下面から立設された金属ロッドを備え、当該金属ロッドに金属鍔を設けたが、必ずしも金属ロッドや金属鍔を備える必要はない。ただし、被処理物（試料）に対してプラズマ処理を行う場合には、その試料支持台の真上で強いプラズマを確実に形成するために、試料を支持する試料支持台を金属ロッドで形成して、当該金属ロッドに金属鍔を設けるのが好ましい。

[0050] （６）上述した実施例では、図１に示すように金属鍔４４よりも上部に金属ロッド４３が突き出た構造であったが、金属鍔よりも上部に金属ロッドが突き出なくてもよい。被処理物（試料）に対してプラズマ処理を行う場合には、試料を支持するステージを金属鍔が兼用する。また、上述したようなガス分解装置に適用する場合にも、金属鍔よりも上部に金属ロッドが突き出ない構造を採用してもよい。

[0051] （７）上述した実施例では、誘電体として石英板５（図１を参照）を用いたが、真空を保持し、かつ電磁波を通過させることができる材料であれば、誘電体として石英以外の材料を用いてもよい。

[0052] （８）上述した実施例では、図１に示すように、誘電体（図１では石英板５）側の導波管（図１では円形導波管３）内に接地されたリング６を備えたが、必ずしもリングを備える必要はない。ただし、チャンバー内の電磁波を確実に閉じ込めるために、誘電体側の導波管内に接地されたリングを備えるのが好ましい。

符号の説明

[0053] １ … マイクロ波プラズマＣＶＤ装置

２ … 矩形導波管

３ … 円形導波管

４　…　チャンバー

４１　…　円筒容器

４２　…　フランジ

４３　…　試料支持台（金属ロッド）

４４　…　金属鍔

請求の範囲

[請求項1] マイクロ波を伝送するための導波管を備えたマイクロ波プラズマ気相反応装置であって、

マイクロ波によるプラズマ生成を行うチャンバーを備え、

前記チャンバーの内壁は、前記導波管に対向する側の下面の径あるいは対角線の長さが当該導波管側の上面の径あるいは対角線の長さよりも小さくなるようにテーパー状に構成されることを特徴とするマイクロ波プラズマ気相反応装置。

[請求項2] 請求項１に記載のマイクロ波プラズマ気相反応装置において、

前記チャンバーの下面から立設された金属ロッドを備え、

当該金属ロッドに金属鍔を設けることを特徴とするマイクロ波プラズマ気相反応装置。

[請求項3] 請求項１または請求項２に記載のマイクロ波プラズマ気相反応装置において、

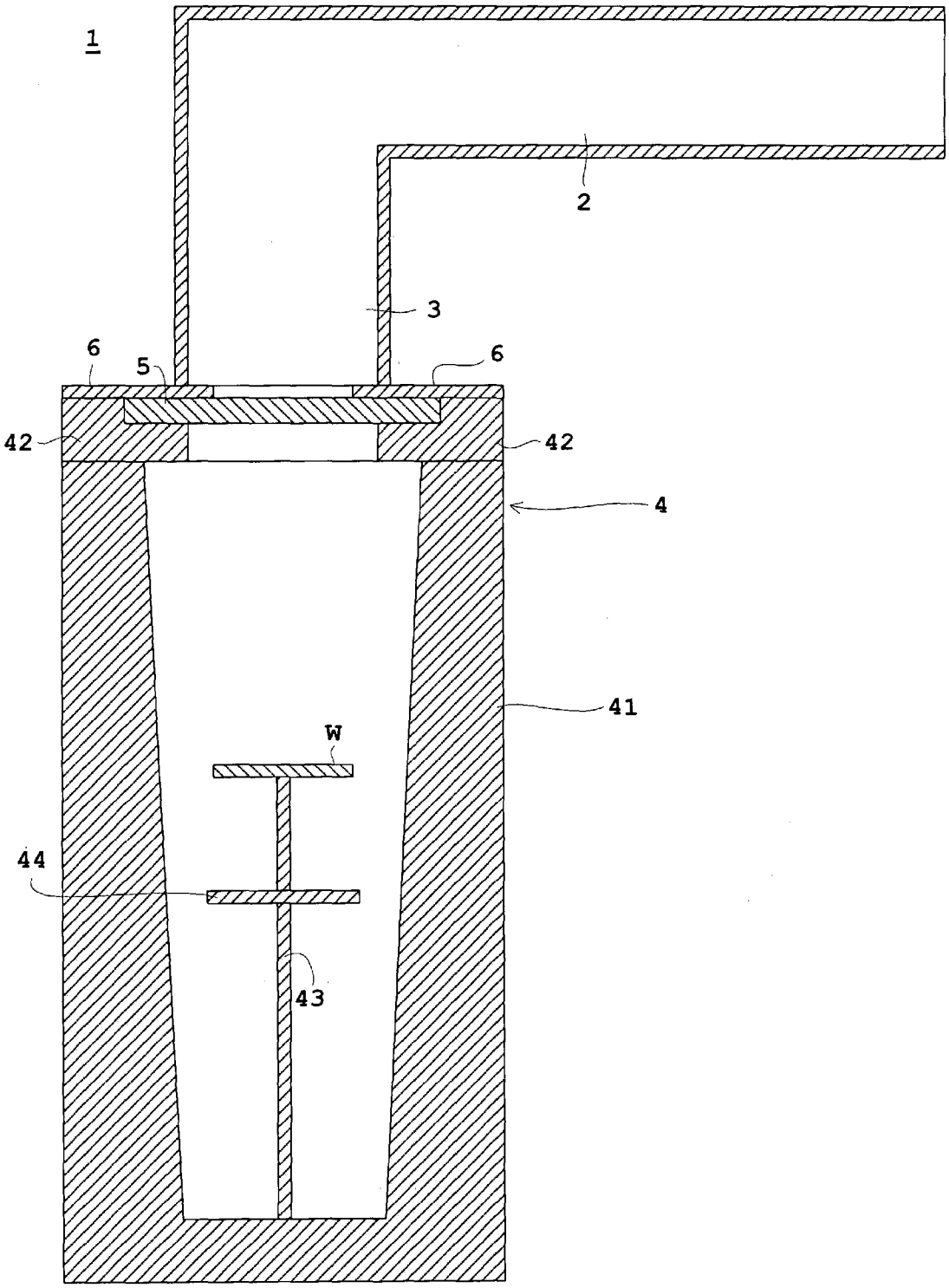
前記チャンバー内に生成される電界の節に誘電体を備えることを特徴とするマイクロ波プラズマ気相反応装置。

[請求項4] 請求項１から請求項３のいずれかに記載のマイクロ波プラズマ気相反応装置において、

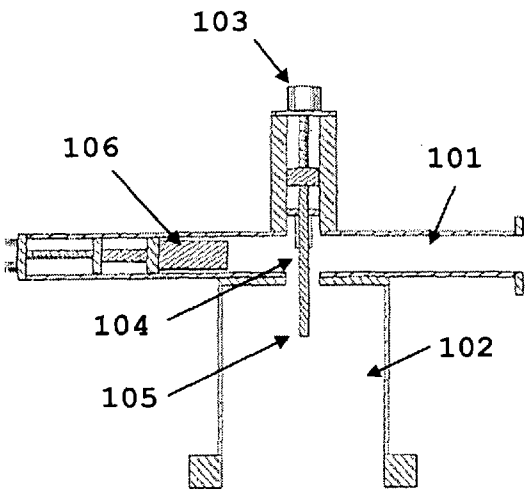
前記導波管と前記チャンバーとの間に誘電体を備えるとともに、

前記誘電体側の前記導波管内に接地されたリングを備えることを特徴とするマイクロ波プラズマ気相反応装置。

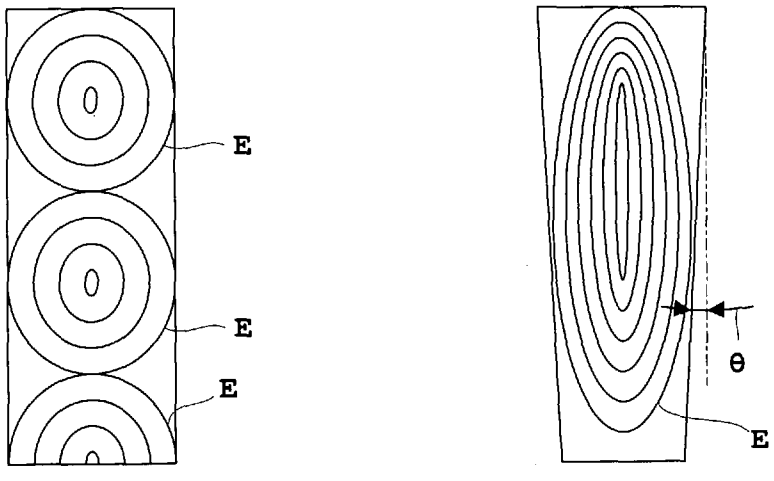
[図1]



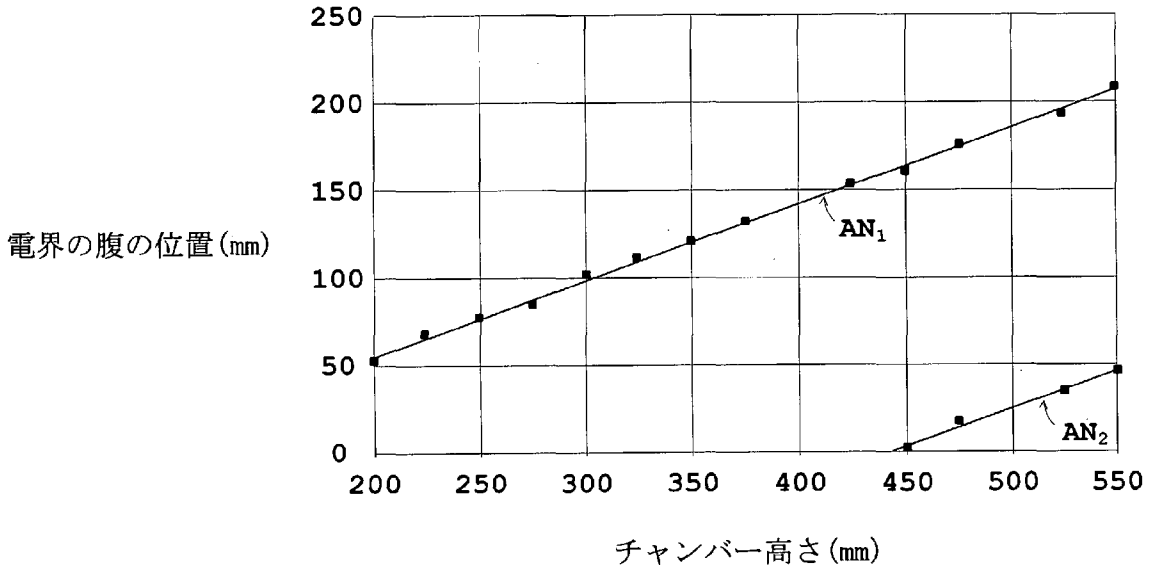
[図2]



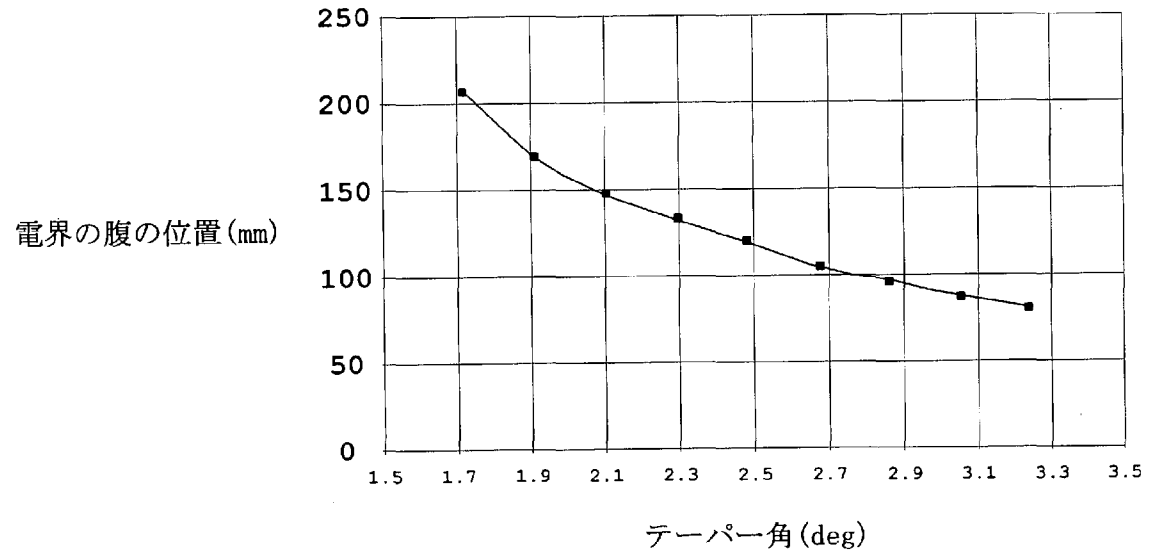
[図3]



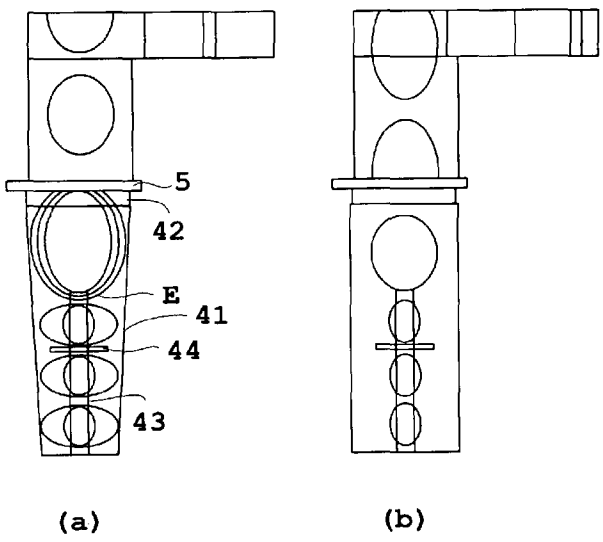
[図4]


電界の腹の位置(mm)
250
200
150
100
50
0
200
250
300
350
400
450
500
550
AN1
AN2
チャンバー高さ(mm)

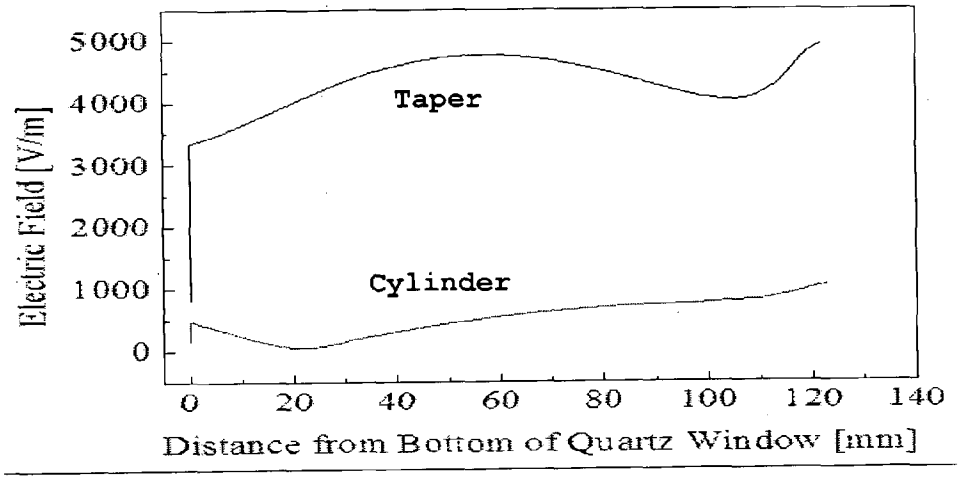
[図5]


電界の腹の位置(mm)
250
200
150
100
50
0
1.5
1.7
1.9
2.1
2.3
2.5
2.7
2.9
3.1
3.3
3.5
テーパー角(deg)

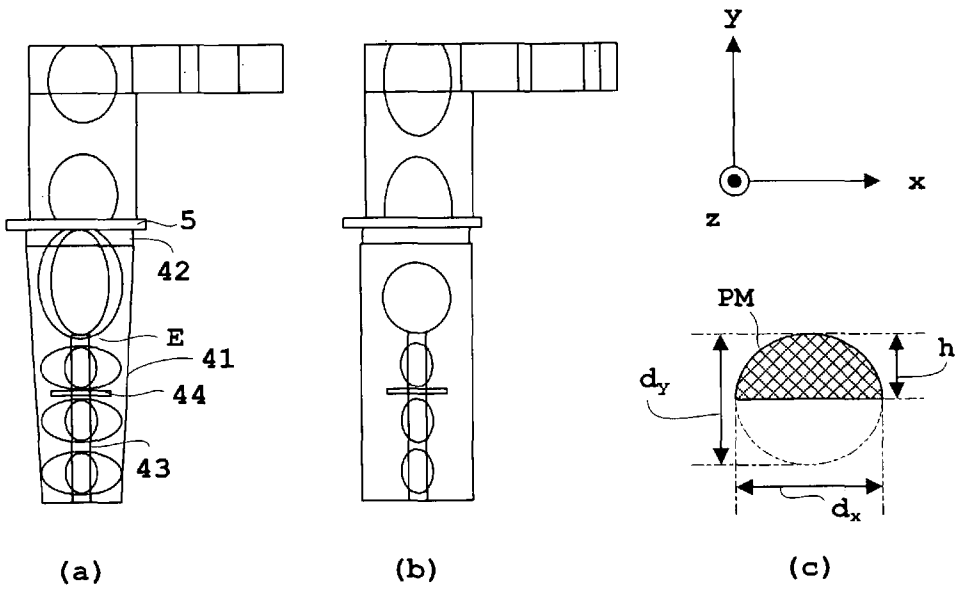
[図6]


5
42
E
41
44
43
(a)
(b)

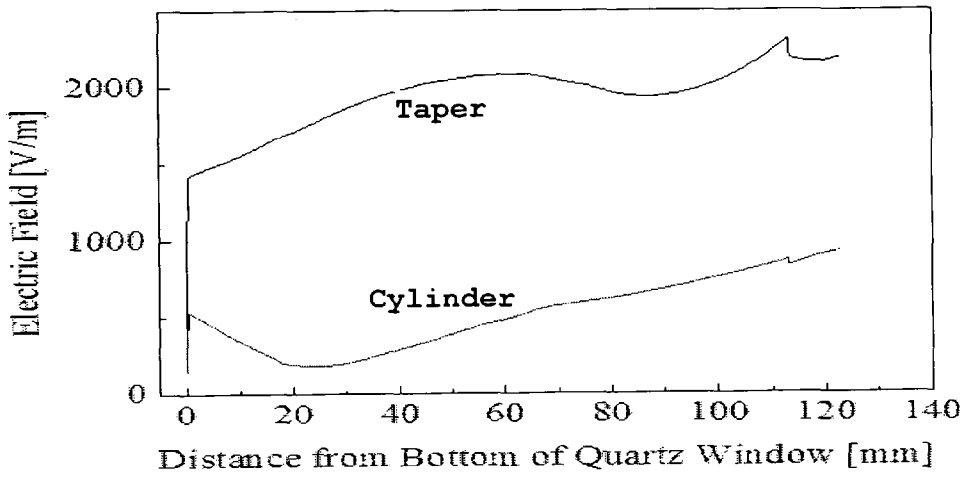
[図7]


5000
4000
3000
2000
1000
0
Electric Field [V/m]
Taper
Cylinder
0
20
40
60
80
100
120
140
Distance from Bottom of Quartz Window [mm]

[図8]


5
42
E
41
44
43
Y
x
z
PM
h
d_y
d_x
(a)
(b)
(c)

[図9]


Electric Field [V/m]
2000
1000
0
Taper
Cylinder
0
20
40
60
80
100
120
140
Distance from Bottom of Quartz Window [mm]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/055465

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H05H1/46(2006.01)i, *B01J19/12*(2006.01)i, *C23C16/511*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H05H1/46, B01J19/12, C23C16/511, H01L21/3065, H01L21/302

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 63-5525 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 11 January 1988 (11.01.1988), page 1, lower right column, line 5 to page 2, upper left column, line 5; fig. 4 (Family: none)	1 2-4
Y	JP 2014-183297 A (Tokyo Electron Ltd.), 29 September 2014 (29.09.2014), paragraph [0027]; fig. 1 & US 2014/0283747 A1 & KR 10-2014-0115978 A	2-4
Y	JP 8-96991 A (Daihen Corp.), 12 April 1996 (12.04.1996), paragraph [0005]; fig. 2 (Family: none)	3-4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"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)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"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
"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
"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
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
03 April 2015 (03.04.15)	14 April 2015 (14.04.15)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/055465

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-30897 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 28 January 2000 (28.01.2000), paragraphs [0017] to [0020]; fig. 1 (Family: none)	4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/055465

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention of claim 1 does not have a special technical feature in the light of the contents disclosed in JP 63-5525 A.

Therefore, the invention of claim 1 and the inventions of claims 2-4 do not comply with the requirement of unity of invention.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０５５４６５

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, B01J19/12(2006.01)i, C23C16/511(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, B01J19/12, C23C16/511, H01L21/3065, H01L21/302

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	１９７１－２０１５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１５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	JP 63-5525 A（松下電器産業株式会社） 1988.01.11, 第１頁右下欄第５行目－第２頁左上欄第５行目および第４図 （ファミリーなし）	1 ２－４
Y	JP 2014-183297 A（東京エレクトロン株式会社） 2014.09.29, 第【００２７】段落および第１図 & US 2014/0283747 A1 & KR 10-2014-0115978 A	２－４

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　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の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	国際調査報告の発送日
０３．０４．２０１５	１４．０４．２０１５

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｉ　４４５８
藤本　加代子
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２７３

Ｃ（続き）．　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
Ｙ	JP 8-96991 A（株式会社ダイヘン） 1996.04.12，第【０００５】段落および第２図 （ファミリーなし）	３－４
Ｙ	JP 2000-30897 A（住友金属工業株式会社） 2000.01.28，第【００１７】－【００２０】段落および第１図 （ファミリーなし）	４

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０５５４６５

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求項＿＿＿＿＿＿＿＿は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求項＿＿＿＿＿＿＿＿は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求項＿＿＿＿＿＿＿＿は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求項１に係る発明は、JP 63-5525 A に開示された内容に照らして特別な技術的特徴を有さない。
したがって、請求項１に係る発明と請求項２－４に係る発明とは、発明の単一性の要件を満たさない。

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。

２．☑ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。

４．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。