

(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
2015年3月19日(19.03.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/037508 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/31 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
C23C 16/455 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
C23C 16/511 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/073311
- (22) 国際出願日: 2014年9月4日(04.09.2014)
- (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 2013-188665 2013年9月11日(11.09.2013) JP
特願 2014-118531 2014年6月9日(09.06.2014) JP
- (71) 出願人: 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 池田 太郎 (IKEDA, Taro); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 河西 繁 (KASAI, Shigeru); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 原 恵美子 (HARA, Emiko); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東

京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 藤野 豊 (FUJINO, Yutaka); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 長田 勇輝 (OSADA, Yuki); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 中込 淳 (NAKAGOMI, Jun); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP). 小松 智仁 (KOMATSU, Tomohito); 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エレクトロン山梨株式会社内 Yamanashi (JP).

(74) 代理人: 金本 哲男, 外 (KANEMOTO, Tetsuo et al.); 〒1620065 東京都新宿区住吉町1-20 角張ビル はづき国際特許事務所 Tokyo (JP).

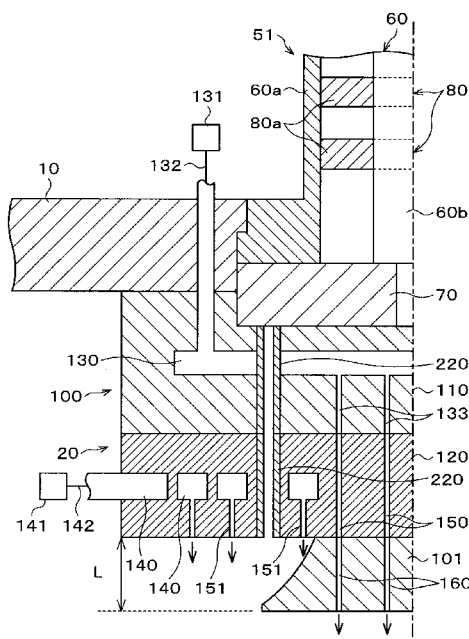
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, 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,

[続葉有]

(54) Title: PLASMA PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: プラズマ処理装置

【図4】



(57) Abstract: Provided is a plasma processing device that has an antenna for plasma generation comprising a shower plate for supplying a first gas and a second gas to the inside of a processing vessel, and that processes a substrate by forming plasma using surface waves formed on the surface of the shower plate by the supply of microwaves. The plasma processing device has a hanging-member of a conductor, such member projecting downward from the lower end surface of the shower plate. The outer surface of the hanging member widens outward from an upper end part towards a lower end part. The shower plate has a plurality of first gas supply ports and a plurality of second gas supply ports. The first gas supply ports are provided farther inward than the outer surface of the hanging member, and the second gas supply ports are provided farther outward than the outer surface of the hanging member.

(57) 要約: 処理容器内に第1のガスと第2のガスを供給するシャワープレートとを備えたプラズマ発生用アンテナを有し、マイクロ波の供給によって当該シャワープレート表面に形成された表面波によってプラズマを形成して基板を処理するプラズマ処理装置であって、シャワープレートの下端面から下方に突出する導電体の垂下部材を有し、当該垂下部材の外側面は、上端部から下端部に向かって外側に広がり、シャワープレートは、複数の第1のガス供給口と複数の第2のガス供給口とを備え、第1のガス供給口は垂下部材の外側面よりも内側に配置され、第2のガス供給口は垂下部材の外側面よりも外側に配置されている。



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), 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： プラズマ処理装置

技術分野

[0001] 本発明は、処理容器内に所定のガスを供給するシャワープレートを備えたプラズマ処理装置に関する。

本願は、２０１３年９月１１日に日本国に出願された特願２０１３－１８８６６５号、及び２０１４年６月９日に日本国に出願された特願２０１４－１１８５３１号に基づき、優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] プラズマ処理は、半導体デバイスの製造に不可欠な技術である。近年、ＬＳＩの高集積化及び高速化の要請から、ＬＳＩを構成する半導体素子の更なる微細加工が求められている。

[0003] ところが、容量結合型プラズマ処理装置や誘導結合型プラズマ処理装置では、生成されるプラズマの電子温度が高く、かつプラズマ密度の高い領域が限定される。このため、半導体素子の更なる微細加工の要請に応じたプラズマ処理を実現することは難しかった。

[0004] したがって、このような微細加工を実現するためには、低電子温度かつ高プラズマ密度のプラズマを生成することが必要となる。これに応じるために、マイクロ波により処理容器内で表面波プラズマを生成し、これにより半導体ウェハ（以下、「ウェハ」という。）をプラズマ処理する装置が提案されている（例えば、特許文献１）。

[0005] 特許文献１では、マイクロ波を同軸管に伝送させて処理容器内に放射し、マイクロ波の表面波が持つ電界エネルギーによってプラズマ発生用のガスを励起させることにより、低電子温度で高プラズマ密度の表面波プラズマを発生させるプラズマ処理装置が提案されている。

[0006] しかしながら、特許文献１のプラズマ処理装置では、マイクロ波を同軸管から処理容器内に放射するために、その天井部は、表面波プラズマとアンテナ

ナとの間を石英等の誘電体板で挟んだ構造となっており、処理ガスは処理容器の側壁から処理容器内に供給される構造となっていた。このように、ガスを天井部以外から供給していたため、ガスの流れを制御することができず、良好なプラズマ制御が難しかった。

[0007] そこで、引用文献2では、アンテナの下に多数のガス放出孔を有する誘電体からなるシャワープレートを設け、このシャワープレートを介して処理ガスを鉛直下方に処理容器内に導入する技術が提案されている。これにより、処理容器内に鉛直方向のガス流を形成して処理ガスを均一に供給し、均一なプラズマが形成される。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2003-188103号公報

特許文献2：特開2005-196994号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] ところで、本発明者らによれば、例えば引用文献2のようなアンテナ及びシャワープレートを有するプラズマ処理装置により、例えばウェハに成膜処理を行うと、シャワープレートの孔の内部にも成膜してしまうことが確認された。そうすると、孔の内部への成膜によりシャワープレートの孔を塞ぐおそれがある。

[0010] これは、表面波プラズマにより、シャワープレート近傍の領域におけるプラズマの電子温度が、シャワープレートの表面から離れた位置の電子温度より高くなることが原因であると推察される。そのため、成膜処理において、例えばモノシランガス（ SiH_4 ）などの原料ガスがシャワープレート近傍で過剰に分解される。その結果、シャワープレートの孔部分に成膜堆積したり、気相反応したりしてごみの原因となる。

[0011] この点について本発明者らが調査したところ、シャワープレートに形成さ

れたマイクロ波の放射孔（スロット）の近傍において特に電子温度が高くなっていることが確認された。そのため、原料ガスの過剰な分解は、その大多数がシャワープレートに形成されたスロットの近傍において発生しているものと推察される。

[0012] 原料ガスの過剰な分解を防ぐためには、アンテナへ供給するマイクロ波の出力を低下させればよい。しかしながら、マイクロ波の出力を低下させるとプラズマ発生用のガスの励起が不十分となり、安定したプラズマが形成できないという問題がある。また、生産性の観点からも、プラズマ発生用のガスを効率的に励起して、例えば成膜処理における成膜レートを向上させることが望まれる。

[0013] 本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、処理容器内にガスを導入するシャワープレートを有し、マイクロ波により表面波プラズマを発生させるプラズマ処理装置において、シャワープレートのガス孔に成膜することを抑制し且つ効率的にプラズマを発生させることを目的としている。

課題を解決するための手段

[0014] 上記目的を達成するため、本発明は、処理容器内に第1のガスと第2のガスを供給するシャワープレートを備えたプラズマ発生用アンテナを有し、マイクロ波の供給によって前記シャワープレート表面に形成された表面波によりプラズマを形成して基板を処理するプラズマ処理装置であって、前記シャワープレートの下端面から下方に突出する、導電体により構成された垂下部材を有し、前記垂下部材の外側面は、上端部から下端部に向かって外側に広がり、前記シャワープレートは、前記処理容器内に第1のガスを供給する複数の第1のガス供給口と第2のガスを供給する複数の第2のガス供給口とを備え、前記第1のガス供給口は、前記垂下部材の外側面よりも内側に配置され、前記第2のガス供給口は、前記垂下部材の外側面よりも外側に配置されている。

[0015] 本発明によれば、垂下部材の外側面よりも内側に第1のガス供給口が設けられているので、第1のガスが、シャワープレート外周部の電子温度が高い

領域を通過することがない。したがって、例えば第2のガスとして原料ガスを用いても、当該原料ガスが表面波プラズマにより過剰に分解されることを避けることができる。その結果、シャワープレートのガス孔への反応生成と気相反応による堆積物を抑制することができる。また、垂下部材の外側面が上端部から下端部に向かって外側に広がっているため、当該垂下部材の外側面でマイクロ波が横方向や斜め上方向に反射される。その結果、垂下部材の外側面近傍における電界強度が高くなり、第2のガス供給口から供給される第2のガスを効率的に励起してプラズマを発生させることができる。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、処理容器内にガスを導入するシャワープレートを有し、マイクロ波により表面波プラズマを発生させるプラズマ処理装置において、シャワープレートのガス孔への反応生成と気相反応による堆積物を抑制すると共に、効率的にプラズマを発生させることができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本実施の形態にかかるプラズマ処理装置の構成の概略を示す縦断面図である。

[図2]マイクロ波の出力側の機構を示した図である。

[図3]マイクロ波伝送機構の構成を模式的に示す平面図である。

[図4]マイクロ波導入機構近傍の構成の概略を示す拡大縦断面図である。

[図5]垂下部材近傍の構成の概略を示す斜視図である。

[図6]従来のシャワープレート近傍における電子温度の分布を示す説明図である。

[図7]従来のシャワープレートの近傍における電界強度の分布を示す説明図である。

[図8]垂下部材を備えたシャワープレートの近傍における電界強度の分布を示す説明図である。

[図9]垂下部材を備えたシャワープレートの近傍における電子温度の分布を示す説明図である。

[図10]垂下部材を備えたシャワープレートの近傍における電子密度の分布を示す説明図である。

[図11]他の実施の形態にかかるプラズマ処理装置の構成の概略を示す縦断面図である。

[図12]他の実施の形態にかかる垂下部材の構成の概略を示す側面図である。

[図13]他の実施の形態にかかる垂下部材の構成の概略を示す側面図である。

[図14]他の実施の形態にかかる垂下部材の構成の概略を示す縦断面図である。

[図15]垂下部材の下面における電界強度分布の実測値である。

[図16]垂下部材の下面における表面波の伝播モデルである。

[図17]垂下部材の下面における表面波を示す B e s s e l 方程式である。

[図18] B e s s e l 方程式の解として得られる B e s s e l 関数である。

[図19]垂下部材の下面における電界強度分布の理論値及び実測値である。

[図20]他の実施の形態にかかる垂下部材の構成の概略を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下に添付図面を参照しながら、本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

[0019] まず、本実施の形態に係るプラズマ処理装置の全体構成について、図1を参照しながら説明する。図1は、プラズマ処理装置1を概略的に示した縦断面図である。

[0020] 本実施形態では、半導体ウェハW（以下、ウェハWと称呼する。）にプラズマ処理として成膜処理を施すCVD装置を例に挙げてプラズマ処理装置1を説明する。プラズマ処理装置1は、気密に保持された内部にてウェハWをプラズマ処理する処理容器10を有している。処理容器10は、上面が開口した略円筒状で、たとえばアルミニウム等の金属から形成されている。この処理容器10は、接地されている。

[0021] 処理容器10の底部には、ウェハWを載置するサセプタ11が設けられて

いる。サセプタ 11 は、絶縁体 12 a を介して支持部材 12 により支持され、処理容器 10 の底部に設置されている。これにより、サセプタ 11 は、電氣的に処理容器 10 とは絶縁された状態になっている。サセプタ 11 及び支持部材 12 の材料としては、表面をアルマイト処理（陽極酸化処理）したアルミニウム等が挙げられる。

[0022] サセプタ 11 には、整合器 13 を介してバイアス用の高周波電源 14 が接続されている。高周波電源 14 は、サセプタ 11 にバイアス用の高周波電力を印加する、これにより、ウェハ W 側にプラズマ中のイオンが引き込まれる。なお、図示していないが、サセプタ 11 には、ウェハ W を静電吸着するための静電チャック、温度制御機構、ウェハ W の裏面に熱伝達用のガスを供給するためのガス流路、ウェハ W を搬送する際に昇降する昇降ピン等が設けられてもよい。

[0023] 処理容器 10 の底部には排気口 15 が設けられ、排気口 15 には真空ポンプを含む排気装置 16 が接続されている。排気装置 16 を作動させると、処理容器 10 の内部が排気され、処理容器 10 内が所望の真空度まで減圧される。また、処理容器 10 の側壁には、搬入出口 17 が形成され、搬入出口 17 を開閉可能なゲートバルブ 18 の開閉により、ウェハ W が搬入出される。

[0024] サセプタ 11 の上方には、処理容器 10 内にガスを供給しつつ、マイクロ波の供給が可能なプラズマ発生用アンテナ 20（以下、「アンテナ 20」という。）が装着されている。アンテナ 20 は、処理容器 10 上部の開口を塞ぐように設けられている。これにより、サセプタ 11 とアンテナ 20 との間にプラズマ空間 U が形成される。アンテナ 20 の上部には、マイクロ波を伝送するマイクロ波伝送機構 30 が連結され、マイクロ波出力部 40 から出力されたマイクロ波をアンテナ 20 に伝えるようになっている。

[0025] プラズマ処理装置 1 には、図 1 に示すように制御部 500 が設けられている。制御部 500 は、例えばコンピュータであり、プログラム格納部（図示せず）を有している。プログラム格納部には、プラズマ処理装置 1 におけるウェハ W の処理を制御するプログラムが格納されている。なお、前記プロ

グラムは、例えばコンピュータ読み取り可能なハードディスク（HD）、フレキシブルディスク（FD）、コンパクトディスク（CD）、マグネティックオプティカルディスク（MO）、メモリーカードなどのコンピュータに読み取り可能な記憶媒体に記録されていたものであって、その記憶媒体から制御部500にインストールされたものであってもよい。

[0026] 次に、図2を参照しながら、マイクロ波出力部40及びマイクロ波伝送機構30の構成について説明する。

[0027] マイクロ波出力部40は、マイクロ波用電源41、マイクロ波発振器42、アンプ43及び増幅されたマイクロ波を複数に分配する分配器44を有している。マイクロ波用電源41は、マイクロ波発振器42に対して電力を供給する。マイクロ波発振器42は、例えば、860MHzの所定周波数のマイクロ波をPLL発振させる。アンプ43は、発振されたマイクロ波を増幅する。分配器44は、マイクロ波の損失ができるだけ起こらないように、入力側と出力側のインピーダンス整合を取りながら、アンプ43で増幅されたマイクロ波を分配する。

[0028] マイクロ波伝送機構30は、分配器44で分配されたマイクロ波を処理容器内へ導く複数のアンテナモジュール50とマイクロ波導入機構51とを有している。なお、図2では、マイクロ波伝送機構30が2つのアンテナモジュール50と2つのマイクロ波導入機構51を備えている状態を模式的に描図しているが、本実施の形態では、例えば図3に示すように、マイクロ波伝送機構30はアンテナモジュール50を例えば7個有しており、6個のアンテナモジュール50が同一円周状に、その中心に1個のアンテナモジュール50がアンテナ20の上部に配置されている。

[0029] アンテナモジュール50は、位相器52、可変ゲインアンプ53、メインアンプ54及びアイソレータ55を有していて、マイクロ波出力部40から出力されたマイクロ波をマイクロ波導入機構51に伝送する。

[0030] 位相器52は、マイクロ波の位相を変化させるように構成され、これを調整することによりマイクロ波の放射特性を変調させることができる。これに

よれば、指向性を制御してプラズマ分布を変化させることができる。なお、このような放射特性の変調が不要な場合には位相器 5 2 は設ける必要はない。

[0031] 可変ゲインアンプ 5 3 は、メインアンプ 5 4 へ入力するマイクロ波の電力レベルを調整し、プラズマ強度の調整を行う。メインアンプ 5 4 は、ソリッドステートアンプを構成する。ソリッドステートアンプは、図示していない入力整合回路、半導体増幅素子、出力整合回路及び高 Q 共振回路を有する構成とすることができる。

[0032] アイソレータ 5 5 は、アンテナ 2 0 で反射してメインアンプ 5 4 に戻るマイクロ波の反射波を分離するものであり、サーキュレータとダミーロード（同軸終端器）とを有している。サーキュレータは、アンテナ 2 0 で反射したマイクロ波をダミーロードへ導き、ダミーロードは、サーキュレータによって導かれたマイクロ波の反射波を熱に変換する。

[0033] 次に、マイクロ波導入機構 5 1 及びプラズマ発生用アンテナ 2 0 の構成について図 4 を参照しながら説明する。図 4 は、本実施の形態に係るマイクロ波導入機構 5 1 及びアンテナ 2 0 の例えば左半分の構成の概略を拡大して示した縦断面図である。

[0034] マイクロ波導入機構 5 1 は、同軸管 6 0 及び遅波板 7 0 を有している。同軸管 6 0 は、筒状の外部導体 6 0 a 及びその中心に設けられた棒状の内部導体 6 0 b からなる同軸状の導波管を有している。同軸管 6 0 の下端には、遅波板 7 0 を介してアンテナ 2 0 が設けられている。同軸管 6 0 は、内部導体 6 0 b が給電側、外部導体 6 0 a が接地側になっている。同軸管 6 0 には、チューナ 8 0 が設けられている。チューナ 8 0 は、例えば 2 つのスラグ 8 0 a を有し、スラグチューナを構成している。スラグ 8 0 a は誘電部材の板状体として構成されており、同軸管 6 0 の内部導体 6 0 b と外部導体 6 0 a との間に円環状に設けられている。チューナ 8 0 は、後述する制御部 5 0 0 からの指令に基づき、図示しない駆動機構によりスラグ 8 0 a を上下動させることにより、同軸管 6 0 のインピーダンスを調整するようになっている。

- [0035] 遅波板 70 は、同軸管 60 の下面に隣接して設けられている。遅波板 70 は、円板状の誘電体部材から形成されている。遅波板 70 は、同軸管 60 を伝送されたマイクロ波を透過し、アンテナ 20 へと導く。
- [0036] アンテナ 20 は、シャワープレート 100 を有している。シャワープレート 100 は、遅波板 70 の下面に隣接して設けられている。シャワープレート 100 は、遅波板 70 より径が大きな略円盤形状であり、アルミニウムや銅等の電気伝導率が高い導電体により形成されている。シャワープレート 100 は、処理容器 10 のプラズマ空間 U 側に露出し、露出した下面に表面波を伝播させる。ここでは、シャワープレート 100 の金属面がプラズマ空間 U 側に露出している。このように露出した下面に伝播する表面波を以下、金属表面波という。
- [0037] シャワープレート 100 の下面であって、同軸管 60 の下方に対応する位置には、下方、即ちプラズマ空間 U 側に突出する垂下部材 101 が設けられている。垂下部材 101 は、円形の底面形状を有する略円錐台形状であり、シャワープレート 100 と同様に、アルミニウムや銅等の電気伝導率が高い導電体により形成されている。垂下部材 101 の外側面は、例えばその上端面から下端面に向けて次第に外側に広がる、例えばシャワープレート 100 と垂下部材 101 の外側面との接点を原点とする放物線形状を有している。
- [0038] シャワープレート 100 は、略円盤形状の上部プレート 110 と、同じく略円盤形状の下部プレート 120 を上下に重ねた構成となっている。上部プレート 110 には、その上面を貫通し、当該上部プレート 110 の径方向にガスを流通させるガス流路 130 が形成されている。ガス流路 130 には、第 1 のガスを供給する第 1 のガス供給源 131 が供給管 132 を介して接続されている。なお、第 1 のガスは、複数の種類のガスであってもよく、また、それらの混合ガスであってもよい。第 1 のガスとしては、原料ガスとしての例えばモノシランガス (SiH_4) などが用いられる。上部プレート 110 の下面であって垂下部材 101 の外側面よりも内側の位置には、ガス流路 130 に連通する複数の第 1 のガス供給口 133 が鉛直上方に延伸して設け

られている。また、上部プレート 110 の第 1 のガス供給口 133 とは異なる位置には、マイクロ波を通すマイクロ波放射孔としてのスロット 220 が複数形成されている。なお、当該スロット 220 の中心から鉛直下方に向けて引いた仮想線が、垂下部材 101 の外側面と交わるように、垂下部材 101 の形状とスロット 220 の配置が設定されていることが好ましい。換言すれば、平面視において、スロット 220 の中心が、垂下部材 101 下面の外周端部よりも内側に位置するように、スロット 220 が配置されていることが好ましい。

[0039] 下部プレート 120 における、上部プレート 110 の各第 1 のガス供給口 133 に対応する位置には、当該下部プレート 120 を上下方向に貫通する貫通孔 150 がそれぞれ形成されている。これにより、第 1 のガス供給口 133 から供給される第 1 のガスは貫通孔 150 を通って下部プレート 120 の下端面に到達できる。また、下部プレート 120 における、上部プレート 110 のスロット 220 に対応する位置には、上部プレート 110 と同様に、スロット 220 が形成されている。

[0040] 垂下部材 101 の内部であって各貫通孔 150 の下端に対応する位置には、当該垂下部材 101 の上端面から下端面に連通する貫通孔 160 がそれぞれ形成されている。また、垂下部材 101 は、下部プレート 120 の下端から鉛直下方に所定の長さ L だけ突出して設けられている。したがって、第 1 のガス供給源 131 からガス流路 130 に供給された第 1 のガスは、この複数の貫通孔 160 を通って、下部プレート 120 よりも所定の長さ L だけ低い位置から処理容器 10 のプラズマ空間 U に導入される。

[0041] また、下部プレート 120 には、その側面を貫通し、当該下部プレート 120 の径方向にガスを流通させるガス流路 140 が形成されている。ガス流路 140 には、第 2 のガスを供給する第 2 のガス供給源 141 が供給管 142 を介して接続されている。第 2 のガスとしては、プラズマ発生用の例えば窒素ガス、アルゴンガス、水素ガス、又はこれらのガスを混合したガスなどが用いられる。なお、ガス流路 140 を流通するガスとガス流路 130 を流

通するガスがシャワープレート１００内で混合することがないように、ガス流路１４０はガス流路１３０とは完全に独立して設けられている。

[0042] 下部プレート１２０の下面であって垂下部材１０１の外側面よりも外側の位置で且つスロット２２０とは異なる位置には、ガス流路１４０に連通する複数の第２のガス供給口１５１が鉛直上方に延伸して設けられている。第２のガス供給源１４１からガス流路１４０に供給された第２のガスは各第２のガス供給口１５１を通して、下部プレート１２０の下面から処理容器１０のプラズマ空間Ｕに導入される。

[0043] 上述した複数のスロット２２０は、ガスの供給経路であるガス流路１３０、１４０、複数の第１のガス供給口１３３、第２のガス供給口１５１及び貫通孔１５０、１６０とは異なる位置に設けられ、シャワープレート１００の径方向に対して垂直な方向に貫通している。スロット２２０の一端は、遅波板７０に隣接し、他端は、処理容器１０のプラズマ空間Ｕ側に開口している。マイクロ波は、同軸管６０を伝播し、遅波板７０を透過した後、複数のスロット２２０に通されて処理容器１０内に放射される。なお、スロット２２０の内部を石英などの誘電体で満たす構造としてもよい。

[0044] 貫通孔１６０及び第２のガス供給口１５１の直径は、処理容器１０内に放射されたマイクロ波が当該貫通孔１６０及び第２のガス供給口１５１の内部に入り込まないような大きさとなっている。本実施の形態では、例えば０．６ｍｍである。また、スロット２２０と第１のガス供給口１３３、第２のガス供給口１５１及び貫通孔１５０、１６０とはシャワープレート１００内にて完全に分離されている。これにより、第１のガス供給口１３３、第２のガス供給口１５１や貫通孔１５０、１６０での異常放電を防止することができる。

[0045] なお、遅波板７０、上部プレート１１０及び下部プレート１２０の接触面は、それぞれ図示しないＯリングによりシールされている。これにより、処理容器１０やスロット２２０の内部を真空状態にすると共に、シャワープレート１００内で第１のガスと第２のガスが混合することを避けることができ

る。

[0046] なお、シャワープレート100のプラズマ側に露出した面、即ち、下部プレート120の下面及び垂下部材101の表面は、溶射により例えばアルミナ(Al_2O_3)やイットリア(Y_2O_3)の被膜(図示せず)で覆われていてもよい。それにより、導体面がプラズマ空間側に露出しないようにしてもよい。

[0047] 図5は、垂下部材101、下部プレート120と、第2のガス供給口151及び垂下部材101に形成された貫通孔160との概略の位置関係の一例を示すものであり、垂下部材101近傍を斜め下方から見た状態を示した斜視図である。なお、図5では、スロット220については、その記載を省略している。例えば図5に示すように、垂下部材101に設けられた貫通孔160は、当該垂下部材101の中央部近傍に同心円状に複数配置されている。また、上述のとおり、第1のガス供給口133及び貫通孔150は、貫通孔160に対応する位置に設けられている。そのため、本実施の形態においては、第1のガス供給口133及び貫通孔150も、例えば図5に示すように垂下部材101と同心円状の配置となっている。第2のガス供給口151は、垂下部材101の上端部と例えば同心円状に複数配置されている。なお、図5では、第2のガス供給口151は、垂下部材101を下方から見た場合、垂下部材101に覆われて視認できない位置に配置されているが、必ずしも垂下部材101により視認できない位置に配置する必要はない。

[0048] 次に、シャワープレート100及び垂下部材101近傍の構成について、本発明の原理と併せて説明する。マイクロ波を用いたプラズマ処理において、ウェハWに成膜する際に原料ガスとして用いられる、例えばモノシラン(SiH_4)を SiH_3 に分解するためには、約8.75 eV以上のエネルギーが必要となる。その一方、プラズマ発生用のガスとして用いられる、例えば窒素ガスは、その結合エネルギーが約9.91 eVである。即ち、窒素ガスを励起して窒素プラズマや窒素ラジカルを生成するには、約9.91 eV以上のエネルギーを与える必要がある。したがって、かかる場合のマイクロ

波プラズマ処理においてアンテナ 20 へ供給するマイクロ波の出力は、より高いエネルギー、即ちプラズマ発生用ガスを励起するためのエネルギーを基準として決定される。ここで、金属表面波を用いたマイクロ波プラズマ処理（特にエバネッセント波を応用した表面波によるプラズマ処理）においては、通常、アンテナ 20 の下端面近傍、例えばアンテナ下面から概ね 5 mm 以内の領域は、アンテナ下面から概ね 5 mm 以上離れた領域と比較して電子温度が高くなる。

[0049] また、本発明者らが調査したところ、電子温度は、シャワープレート 100 に形成されたスロット 220 の近傍で特に高くなることが確認された。図 6 にスロット 220 が外周部に形成されたシャワープレート 100 近傍における電子温度の分布を示す。図 6 の縦軸は、処理容器 10 内における高さ、横軸は同軸管 60 の中心軸からの水平方向の距離である。なお、図 6 では、スロット 220 の中心が同軸管 60 の中心軸から概ね 35 mm である場合の電子温度分布について描図している。また、図 6 に示す破線は、電子温度が 1 eV となる境界線である。図 6 では、当該破線よりもスロット 220 寄りの領域 X（スロット 220 を中心として、概ね半径 35 mm 程度の領域）では電子温度が 1 eV より高くなっており、スロット 220 の近傍が高電子温度の領域になっていることを表している。即ち、当該領域 X においてはプラズマ発生用ガス及び原料ガスが活発に電離する。そのため、従来のように、シャワープレートからプラズマ発生用のガスとして窒素ガスと、原料ガスとしてモノシランガスの双方を供給すると、窒素ガスは電子温度が高い領域 X においては分解されて窒素イオン、窒素原子ラジカル、窒素原子となるが、電子温度が低い領域ではエネルギーが十分でないため、反応性の高い原子状窒素はほとんど生成されない。その一方、モノシランガスは、領域 X の外側においても SiH_3 に分解されるが、電子温度が高くなる領域 X において SiH_2 、 SiH が多く生成されるため、この領域 X で SiH_2 、 SiH が過剰に生成されてシリコンが成膜され、シャワープレートのガス供給口に堆積してしまっていた。

[0050] 反応生成と気相反応による堆積物を抑制するためにはアンテナ 20 に供給するマイクロ波の出力を下げ、それにより領域 X における電子温度を低下させればよい。しかしながら、 SiH_2 、 SiH の過剰生成を防止することを目的としてマイクロ波の出力を下げると、プラズマ発生用ガスを分解するための所定の電子温度が得られなくなる。そのため、マイクロ波の出力を下げるにも限界がある。

[0051] そこで、本発明者らは、ガス供給口へ堆積する不要な反応生成と気相反応による堆積物を抑制するために、シャワープレート 100 から供給される原料ガスを、電子温度が高い領域 X を通過させることなく処理容器 10 内に導入する方法について鋭意検討した。ただし、従来のように処理容器 10 の側壁から処理容器 10 内に原料ガスを供給すると、処理容器 10 内のガスの流れを制御することが困難となり、均一なプラズマが得られない。

[0052] そこで本発明者らは、シャワープレート 100 の内部でプラズマ発生用のガスと原料ガスとが混合しないようにそれぞれ個別にガス流路 130、140 を設け、さらにプラズマ発生用のガスを領域 X または領域 X の近傍に供給し、その一方で原料ガスを領域 X から離れた場所にそれぞれ供給すれば、原料ガスの過剰な分解が避けられ且つプラズマ発生用のガスを効率的に励起できる点に着想した。そしてこの着想に基づき、例えば図 4 に示したような垂下部材 101 を、シャワープレート 100 の下端に設けることに想到した。

[0053] 垂下部材 101 を、シャワープレート 100 の下端に設けるにあたって、本発明者らは先ず、シャワープレート 100 近傍の電界強度について調査した。図 7 及び図 8 に、スロット 220 が外周部に形成されたシャワープレート 100 近傍の電界強度の分布及びその方向について示す。図 7 はシャワープレート 100 のみの場合、図 8 はシャワープレート 100 の下端に垂下部材 101 を設けた場合の電界強度分布を示している。図 7、図 8 の三角形の大きさは電界強度の強さ、三角形の向きは電界の向きをそれぞれ表している。図 7 に示すように垂下部材 101 を設けていないシャワープレート 100 においては、電界は主に下方に向いているが、垂下部材 101 を設けること

で、図8に示すように、垂下部材101の外側面近傍で横方向の電界強度が高くなることが確認された。このことから、垂下部材101の外側面近傍で高電子温度が得られるものと推察される。これは、垂下部材101の外側面が上端部から下端部に向かって外側に広がっているので、当該垂下部材101の外側面でマイクロ波が横方向や斜め上方向に反射され、垂下部材101の外側面近傍において高エネルギーの状態が形成されていることが原因と考えられる。

[0054] 次に、シャワープレート100に垂下部材101を設けた場合の、シャワープレート100近傍の電子温度の分布を図9示す。なお、図9においても同軸管60の中心軸とスロット220の中心までの距離は、図6の場合と同様に概ね35mmであり、垂下部材101の下面の半径は概ね45mmである。垂下部材101を設けることで、電子温度が1eV以上となる領域Xは、スロット220の近傍で且つ垂下部材101の外側面に分布し、垂下部材101の下面では、電子温度は概ね1eV以下となることが図9から確認できる。これは、上述のように、垂下部材101の外側面が上端部から下端部に向かって外側に広がっているので、当該垂下部材101の外側面でマイクロ波が横方向や斜め上方向に反射され、それにより垂下部材の外側面近傍における電界強度が高くなることが原因と推察される。

[0055] したがって、図4に示すように、第2のガス供給口151を垂下部材101の外側面の外側に配置し、第1のガス供給口133及び貫通孔150、160を垂下部材101の外側面よりも内側に配置することで、一方では、領域Xにプラズマ発生用ガスを集中的に供給し、他方では、分解しやすい原料ガスを、領域Xを通過させることなく処理容器10内に導入できる。かかる場合、原料ガスが領域Xで過剰に分解されることを抑制できるので、原料ガスによるプリカーサの生成を抑え、貫通孔160や第2のガス供給口151が閉塞することを防止できる。

[0056] なお、垂下部材101を設けた場合のシャワープレート100近傍の電子密度についても確認したところ、図10に示すように、スロット220の近

傍で且つ垂下部材 101 の外側面近傍に高密度の領域が形成されていることが確認された。このことから、領域 X は高エネルギーの状態となっており、当該領域 X においてプラズマ発生用のガスが効率的に励起されることが確認できる。

[0057] ここで、例えば図 9 から確認できるように、電子温度が高い領域 X は、垂下部材 101 の外側面から外側方向に分布しており、例えば垂下部材を下方から見た場合に、垂下部材 101 底面の外側の位置にも領域 X が分布している。そのため、上述したように、第 2 のガス供給口 151 は、必ずしも、垂下部材 101 を下方から見た場合に垂下部材 101 に覆われて視認できない位置に設ける必要はなく、領域 X に面した位置に設けられていればよい。なお、本発明者らによれば、例えば本実施の形態のように、垂下部材 101 の外側面が、シャワープレート 100 の下部プレート 120 と垂下部材 101 の接点を原点とする放物線形状を有する場合、当該放物線の焦点近傍で高エネルギー状態となることが確認されている。かかる場合、第 2 のガス供給口 151 は焦点近傍に面した位置に設けることが好ましい。

[0058] なお、下部プレート 120 に突起物である垂下部材 101 を設けることにより、当該垂下部材 101 にも表面波が伝播することで、プラズマ空間 U における均一なプラズマの生成が阻害される可能性がある。そのため、垂下部材 101 の長さ L は、最大でも処理容器 10 内に導入するマイクロ波の波長以下とすることが好ましく、波長の $1/2$ 以下とすることが更に好ましい。本発明者らによれば、このように垂下部材 101 の長さ L を設定することで、垂下部材 101 での表面波の伝播を抑制し、処理容器 10 内に安定的にプラズマを生成することができことが確認されている。本実施の形態では、波長が 348.6 mm である 860 MHz のマイクロ波を用いるので、垂下部材 101 の長さ L は概ね 10 mm ~ 60 mm の範囲で設定することが好ましく、20 mm ~ 40 mm の範囲で設定することがより好ましい。

[0059] 本実施の形態にかかるプラズマ処理装置 1 は以上のような知見に基づくものである。次に、プラズマ処理装置 1 を用いて行われる処理について、ウェ

ハWに窒化シリコン膜を形成する場合を例に説明する。

[0060] まず、ウェハWを処理容器10内に搬入し、サセプタ11上に載置する。そして、第2のガス供給源141から、プラズマ発生用のガスとして窒素ガス、アルゴンガス及び水素ガスを混合したガスをシャワープレート100の下部プレート120を介して処理容器10内に導入する。次いで、マイクロ波がマイクロ波出力部40から出力され、マイクロ波伝送機構30及び遅波板70、スロット220を通して処理容器10内にマイクロ波が導入される。これにより、アンテナ20及び垂下部材101の表面に形成された金属表面波により表面波プラズマが生成される。この際、スロット220が設けられた垂下部材101の外側面近傍の領域Xは高エネルギーの状態となっているので、垂下部材101の外側面近傍に設けられた第2のガス供給口151から供給されるプラズマ発生用のガスは、この領域Xで高エネルギーにより励起され、効率的に窒素ラジカルが生成される。それと共に、第1のガス供給源131から、原料ガスとしてのモノシランガスが第1のガス供給口133、貫通孔150、160を介して処理容器10内に導入される。

[0061] 処理容器10内に導入されたモノシランガスは、プラズマにより励起されて SiH_3 に分解される。この際、モノシランガスは垂下部材101の底面から処理容器10のプラズマ空間Uに導入されるので、モノシランガスは電子温度が高い領域Xを通過することがない。その結果、過剰な SiH_3 による反応生成と気相反応が抑えられる。

[0062] そして、窒素ラジカル及び SiH_3 は、シャワープレート100からウェハWに向かう鉛直下方のガス流れに随伴してウェハWの表面に到達し、ウェハW上面に窒化シリコンとして堆積する。これにより、ウェハWの上面に窒化シリコン膜が形成される。

[0063] 以上の実施の形態によれば、垂下部材101の外側面よりも内側に第1のガス供給口133が設けられているので、第1のガスが、シャワープレート100に形成されたスロット220近傍の電子温度が高い領域Xを通過することがない。したがって、モノシランガスが表面波プラズマにより過剰に分

解されることを避けることができる。その結果、シャワープレート100を用いてウェハWにプラズマ処理を施すにあたり、シャワープレート100の貫通孔160や第2のガス供給口151といったガス孔に反応生成と気相反応による堆積物、本実施の形態ではシリコン膜が成膜することを抑制できる。

[0064] また、垂下部材101の外側面が放物線形状を有し且つスロット220の中心から鉛直下方に向けて引いた仮想線とこの放物線が交わるように垂下部材101の形状とスロット220の配置が設定されているので、当該垂下部材101の外側面でマイクロ波が横方向や斜め上方向に反射される。そのため、垂下部材101の外側面近傍における電界強度が高くなり、垂下部材101の外側面に高エネルギー状態の領域Xが形成される。その結果、第2のガス供給口から供給される第2のガスは、領域Xにおいて効率的に励起されるので、効率的にプラズマを発生させることができる。なお、スロット220と垂下部材101との位置関係は、必ずしも本実施の形態の内容に限定されるものではなく、スロット220が垂下部材101外側面の放物線形状の外側に位置していても、スロット220から導入されるマイクロ波は垂下部材101の外側面により反射されるので、垂下部材101の外側面近傍に電界強度の高い領域を形成することができる。

[0065] また、本実施の形態によれば、シャワープレート100の下面に垂下部材101を設けることで、例えば図8に示すように、垂下部材101の外側面近傍で横方向の電界強度が高くなる。ここで、垂下部材101を設けない従来のシャワープレートにおいては、例えば図7に示すように、当該シャワープレートから横方向への電界の広がりが小さく、同軸管60の下方に対応する領域の電界強度は、それ以外の領域の電界強度よりも相対的に高くなる傾向があった。その結果、処理容器内の電界強度が不均一となり、プラズマ処理の均一性には限界があった。この点、本実施の形態のように垂下部材101を設けることで、横方向の電界強度を高めて、従来よりも電界強度分布を均一化できる。したがって、本実施の形態にかかるプラズマ処理装置1

によれば、従来よりも均一性の高いプラズマ処理を行うことができる。

[0066] なお、下部プレート 120 の下面近傍は表面波プラズマにより高温になるため、ガス流路 140 内を流通するガスもこのプラズマの熱により温度上昇する。その結果、ガス流路 140 内のガスの内部エネルギーが増加し、表面波プラズマにより分解しやすい状態となる。したがって、分解しにくいガス、即ちこの場合にはプラズマ発生用のガスをガス流路 140 内に流通させれば、表面波プラズマによる分解を促進できる。したがって、プラズマ発生用のガスを供給する第 2 のガス供給源 141 は下部プレート 120 のガス流路 140 に接続することが好ましい。

[0067] なお、以上の実施の形態では、第 1 のガス供給口 133 は、垂下部材 101 に対応する位置にのみ設けられていたが、第 1 のガス供給口 133 は、垂下部材 101 に対応する位置以外に設けられていてもよく、例えば図 11 に示すように、シャワープレート 100 の下面に、第 2 のガス供給口 151 と第 1 のガス供給口 133 が概ね等間隔となるように配置してもよい。なお、下部プレート 120 の第 1 のガス供給口 133 に対応する位置には、貫通孔 150 が形成される。かかる場合、下部プレート 120 下面の電子温度が高い領域を原料ガスである第 1 のガスが通過することにより、反応生成と気相反応による堆積物が第 2 のガス供給口 151 や貫通孔 150 といったガス孔を塞ぐことを防止するため、貫通孔 150 の下端には所定の長さの供給ノズル 200 を設けてもよい。なお、図 11 では、供給ノズル 200 の長さは垂下部材 101 の長さ L と等しい状態を描図しているが、供給ノズル 200 の長さは本実施の形態の内容に限定されるものではなく、例えば上述のようにシャワープレート 100 の下面から概ね 5 mm 以内の、電子温度が比較的高い領域を通過する長さであれば任意に設定できる。また、突起物である供給ノズル 200 を設けることにより、当該供給ノズル 200 にも表面波が伝播して共振を起こし、プラズマ空間 U における均一なプラズマの生成が阻害される可能性がある。そのため、供給ノズル 200 の長さは、処理容器 10 内に導入するマイクロ波の波長の $1/16 \sim 3/16$ 程度、より好ましくは 1

／8程度とすることが好ましい。

[0068] また、以上の実施の形態では、垂下部材１０１の外側面は放物線形状を有していたが、垂下部材１０１の形状は、本実施の形態の内容に限定されるものではなく、外側面が、上端部から下端部に向かって外側に広がる形状であれば、任意に設定が可能である。例えば、図１２に示すように、外側面が直線状に形成された、略円錐台形状の垂下部材３００を用いてもよく、例えば、図１３に示すように、外側面の接線方向が徐々に斜め方向から鉛直方向に変化する略２次曲線形状である垂下部材３１０を用いてもよい。本発明者らによれば、垂下部材１０１の外側面が、上端部から下端部に向かって外側に広がる形状を有していれば、垂下部材１０１の外側面でマイクロ波が横方向や斜め上方向に反射されるので、垂下部材１０１の外側面近傍において高エネルギーの状態を形成できる。

[0069] 以上の実施の形態では、垂下部材１０１の内部に上下方向に貫通する貫通孔１６０を形成していたが、貫通孔１６０は例えば斜め方向に延伸していてもよく、例えばモノシランガスといった原料ガスが過剰に分解されることが無いように、領域Ｘと面しない位置に形成されていれば、その形状は任意に設定できる。また、例えば図１４に示すように、垂下部材１０１の内部に、下部プレート１２０の貫通孔１５０と連通するガス室１０１ａを形成し、当該ガス室１０１ａの下方に貫通孔１６０を形成するようにしてもよい。

[0070] なお、以上の実施の形態では、垂下部材１０１の中央部近傍に複数の貫通孔１６０が形成されており、第１のガス供給口１３３も当該貫通孔１６０に対応する位置に形成されていたが、第１のガス供給口１３３及び貫通孔１６０は本実施の形態の内容に限定されない。原料ガスとしてのモノシランガスの過剰な分解を抑制するという観点からは、垂下部材１０１下面の面内において、電界強度が弱い、または電子温度が低くなる領域が存在すれば、当該低電界強度、低電子温度となる領域のみに貫通孔１６０を設けるようにしてもよい。

[0071] この点について本発明者らが鋭意調査したところ、例えば垂下部材１０１

下面の所定の位置に、同心円状に電界強度が弱くなる領域が存在することが確認された。本発明者らによれば、この電界強度が弱くなる領域は、後述するように、垂下部材 101 の下面における電界強度分布を表す B e s s e l 方程式の解として得られる B e s s e l 関数の極小値に対応する位置に存在する。以下、この電界強度が弱くなる領域について説明する。

[0072] 本発明者らは、先ず、垂下部材 101 下面の電界強度分布を、ラングミュアプローブ及びスペクトルアナライザにより測定した。具体的には、処理容器 10 の外部からスペクトルアナライザ（図示せず）に接続したラングミュアプローブ（図示せず）を挿入し、垂下部材 101 の下端面から概ね 10 mm 下方の位置を、垂下部材 101 下面の直径方向に沿って走査させた。この際、マイクロ波発振器 42 からは 860 MHz のマイクロ波を供給した。なお、垂下部材 101 の半径は、概ね 45 mm である。その結果を図 15 に示す。図 15 の横軸は垂下部材 101 の半径方向の位置と、縦軸は電界強度をそれぞれ表している。

[0073] 図 15 に示す電界強度分布によれば、垂下部材 101 下面の中心から概ね 20 mm の位置に電界強度が極小となる点が存在することが確認できる。また、スペクトルアナライザにおける測定結果では、860 MHz においてピークが観測された。このことから、処理容器 10 内にマイクロ波を導入した場合、垂下部材 101 下面には、当該垂下部材 101 の中心から半径 20 mm の円の円周上の位置において、他の領域と比較して電界強度が低い領域が形成されることがわかる。

[0074] そして本発明者らは、垂下部材 101 の下面にこのような電界強度分布が生じる理由についてさらに検討し、当該電界強度分布が、垂下部材 101 の下面における電界強度分布を表す B e s s e l 方程式の解として得られる B e s s e l 関数に対応していることを知見した。以下に、電界強度分布を表す B e s s e l 方程式の解として求める方法について説明する。

[0075] 本発明者らは、垂下部材 101 の下面を伝播する表面波は、図 16 に示すような円柱座標系のモデルが成り立つと考えた。具体的には、金属である垂

下部材 101 の底面（下面）250 を基準として、鉛直下方に所定の厚み d の円盤状の誘電体 251 が設けられ、当該誘電体 251 の下面にプラズマ 252 が形成される状態である。ここで、円柱座標系の半径は a である。また、誘電体 251 は垂下部材 101 の下方に形成されるプラズマシースであり、その比誘電率は 1 となる。そして、表面波が図 16 に示すような円柱座標系で表される場合、表面波を表すマクスウェル方程式は、例えば図 17 に示すような、Bessel 方程式により表すことができる。なお、図 17 に示す式において、 E_z は鉛直方向の電界強度、 r は半径方向の座標、 k 及び β はマイクロ波の波数である。

[0076] そして、図 16 に示すモデルにおいては、垂下部材 101 の外周端部は開放されているので、プラズマシースの端部、即ち誘電体 251 の端部を開放端として図 17 の式を解くと、Bessel 方程式の解として、図 18 に示すような Bessel 関数が得られる。

[0077] そして、この Bessel 関数により半径 45 mm の垂下部材 101 下面の電界強度分布の理論値を求めると、例えば図 19 に破線で示すような分布を得る。図 15 の横軸は垂下部材 101 の半径方向の位置と、縦軸は電界強度をそれぞれ表している。なお、図 19 の実線は、図 15 に示した実測の電界強度分布である。

[0078] 図 19 に示すように、図 18 の関数で示される電界強度分布は、概ね半径 20 mm 近傍の位置に極小点を有しており、図 15 に示される、電界強度分布の実測データと概ね整合したものとなっていることが確認できる。この結果から、本実施の形態にかかる垂下部材 101 の下面における電界強度分布は、Bessel 方程式の解として得られる Bessel 関数により求められることがわかる。

[0079] そして、垂下部材 101 の下面における電界強度分布は、所定の半径、本実施の形態では概ね半径 20 mm の円の円周上において極小の値となる。したがって、上述のように、垂下部材 101 下面の貫通孔 160、及び当該貫通孔 160 に対応する第 1 のガス供給口 133 は、Bessel 関数の極小

値に対応する位置に設けることがより好ましい。こうすることで、領域Xを避けると共に、垂下部材101下面のより電界強度の低い領域を通過して原料ガスを処理容器10内に導入させることができる。その結果、例えば原料ガスとしてのモノシランガスの過剰な分解をより効率的に抑制することができる。また、このように極小値を考慮した位置に貫通孔160を設けることで、極小値を考慮しない場合に比べ垂下部材101の突出長さLを相対的に短くすることが可能となる。このため、処理容器10の容積を小さくすることが可能となり、スペースの節約といった効果を得ることができる。また、処理容器10内の真空排気に要する時間なども短縮できることから、処理のスループット向上といった面でも効果を得ることが可能となる。

[0080] また、原料ガスを、領域Xを通過させることなく処理容器10内に導入するという観点からは、垂下部材101は必ずしもその内部を原料ガスとしての第1のガスが通過するような構造とする必要はなく、例えば内部を中空にした環状の垂下部材を用い、当該垂下部材の内側面よりも内側に第1のガスを供給するようにしてもよい。具体的には、例えば図20に示すように、下方向に向かって次第に直径が大きくなる、上端と下端が開口した略円環状の垂下部材320を下部プレート120の下面に設ける。かかる場合、下部プレート120の各貫通孔150の下端には、鉛直下方に所定の長さ延伸する供給ノズル321をそれぞれ設けることが好ましい。供給ノズル321を介することで、シャワープレート100の下面から概ね5mm以内の、電子温度が比較的高い領域を通過させることなく原料ガスを処理容器10内に導入できる。なお、図15では、供給ノズル321の長さは垂下部材320の長さLと等しい状態を描図しているが、供給ノズル321の長さは、上述の供給ノズル200と同様の手法で決定できる。

[0081] 以上の実施の形態では、上部プレート110のガス流路130及び下部プレート120のガス流路140にそれぞれ一つの供給管132、142を介して第1のガス供給源131、第2のガス供給源141を接続したが、例えばガス流路130、ガス流路140をそれぞれ独立した環状で同心円状の流

路とし、それぞれのガス流路に複数の供給管 132 及び供給管 142 を複数設け、各流路に供給するガスの流量を制御するようにしてもよい。そうすることで、下部プレート 120 の各領域ごとにガスの供給量を制御することが可能となり、例えば電界強度分布に対応して原料ガスやプラズマ発生用ガスの供給量を制御して、ウェハ W に対してより均一なプラズマ処理を行うことができる。

[0082] 特に、従来のように垂下部材 101 を有さないシャワープレート 100 を用いて、原料ガスとしてモノシランガスを処理容器 10 内に供給する場合、シャワープレート 100 下面で原料ガスが過剰に分解されるために、SiH₃ の生成量を制御することが困難であったが、本発明では垂下部材 101 を介してモノシランガスを供給することで、過剰な SiH₃ の生成を抑えることができる。したがって、モノシランガスの供給量を制御することで容易に SiH₃ の生成量を調整でき、これにより、ウェハ W 上の成膜量を制御することが可能となる。かかる場合、さらに供給管 132 及び供給管 142 を複数設けて下部プレート 120 の所定の領域ごとにガスの供給量を制御することで、各領域ごとにさらに厳密に窒素ラジカルと SiH₃ の生成量を調整できるので、ウェハ W に対してより均一なプラズマ処理を施すことが可能となる

[0083] また、以上の実施の形態では、シャワープレート 100 は、上部プレート 110 と下部プレート 120 とにより構成されていたが、第 1 のガスのガス流路 130 および第 2 のガスのガス流路 140 とが独立して形成され、シャワープレート 100 の内部でガスが混ざらない構成となっていれば、シャワープレート 100 をどのように構成するかについては本実施の形態に限定されるものではなく、任意に設定が可能である。

[0084] 以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、請求の範囲に記載された技術的思想の範疇において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであ

り、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

符号の説明

[0085]	1	プラズマ処理装置
	1 0	処理容器
	1 1	サセプタ
	1 2	支持部材
	1 3	整合器
	1 4	高周波電源
	3 0	マイクロ波伝送機構
	4 0	マイクロ波出力部
	5 0	アンテナモジュール
	1 0 0	シャワープレート
	1 0 1	スイカ部材
	1 1 0	上部プレート
	1 2 0	下部プレート
	1 3 0	ガス流路
	1 3 3	第1のガス供給口
	1 4 0	ガス流路
	1 5 1	第2のガス供給口
	2 2 0	スロット
	5 0 0	制御装置
	U	プラズマ空間
	W	ウェハ
	X	領域

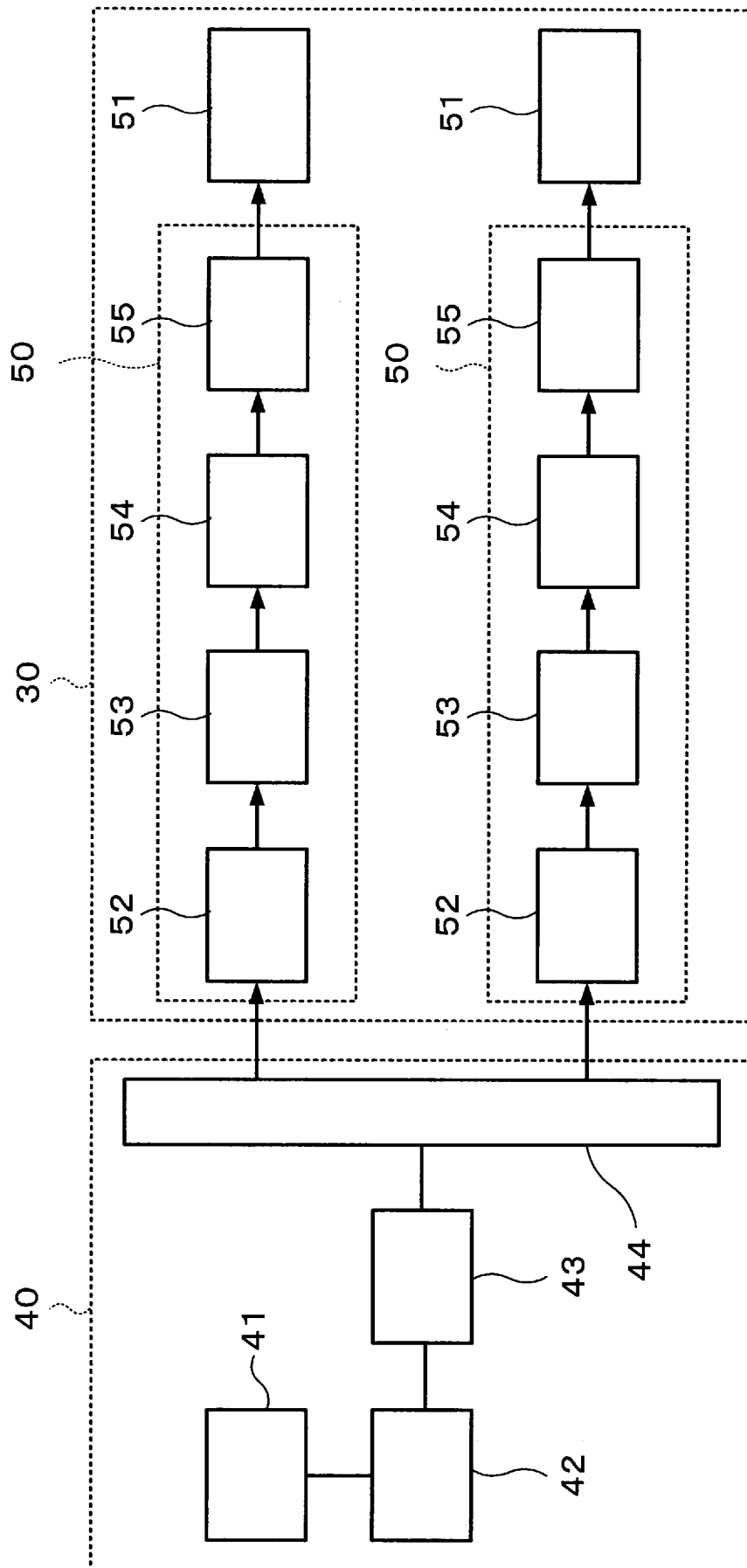
請求の範囲

- [請求項1] 処理容器内に第1のガスと第2のガスを供給するシャワープレートを用意したプラズマ発生用アンテナを有し、マイクロ波の供給によって前記シャワープレート表面に形成された表面波によりプラズマを形成して基板を処理するプラズマ処理装置であって、
前記シャワープレートの下端面から下方に突出する、導電体により構成された垂下部材を有し、
前記垂下部材の外側面は、上端部から下端部に向かって外側に広がり、
前記シャワープレートは、前記処理容器内に第1のガスを供給する複数の第1のガス供給口と第2のガスを供給する複数の第2のガス供給口とを備え、
前記第1のガス供給口は、前記垂下部材の外側面よりも内側に配置され、
前記第2のガス供給口は、前記垂下部材の外側面よりも外側に配置されている。
- [請求項2] 請求項1に記載のプラズマ処理装置において、
前記垂下部材の内部には、当該垂下部材の上端面から下端面に連通する貫通孔が形成され、
前記第1のガス供給口は、前記貫通孔に接続されている。
- [請求項3] 請求項1に記載のプラズマ処理装置において、
前記垂下部材の下面は円形であり、
前記第1のガス供給口は、Bessel方程式の解として得られる前記垂下部材の下端面における電界強度分布の極小値に相当する位置に設けられている。
- [請求項4] 請求項1に記載のプラズマ処理装置において、
前記垂下部材は環状に形成され、
前記第1のガス供給口は、前記垂下部材の内側面よりも内側に配置さ

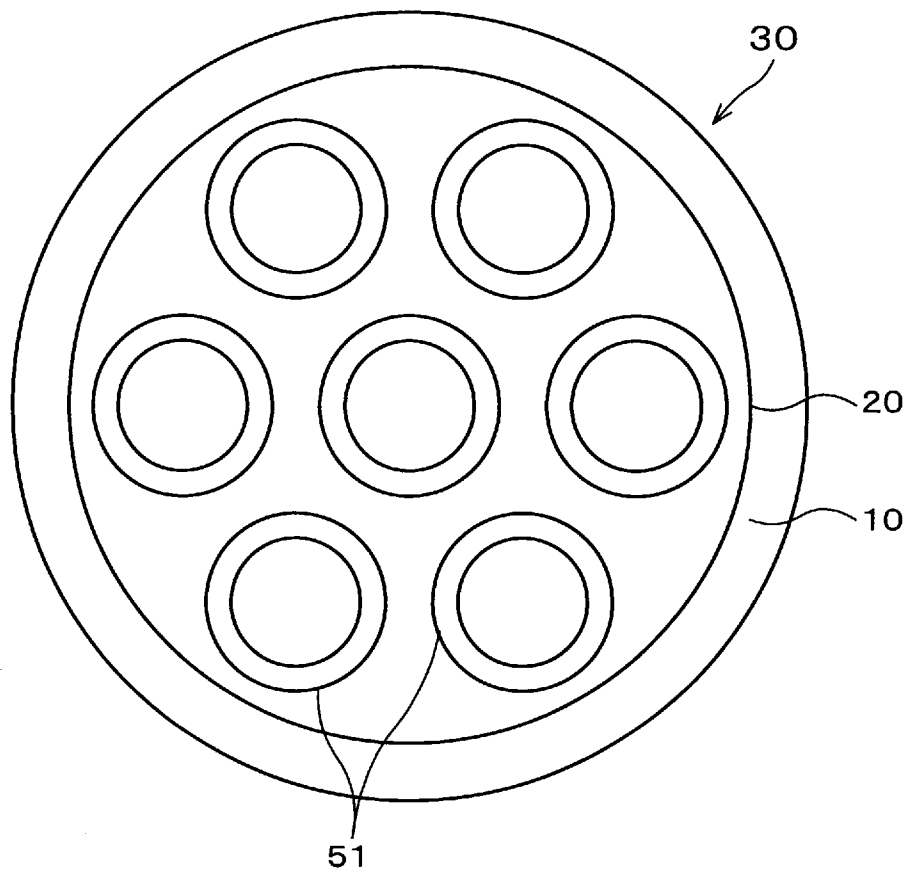
れている。

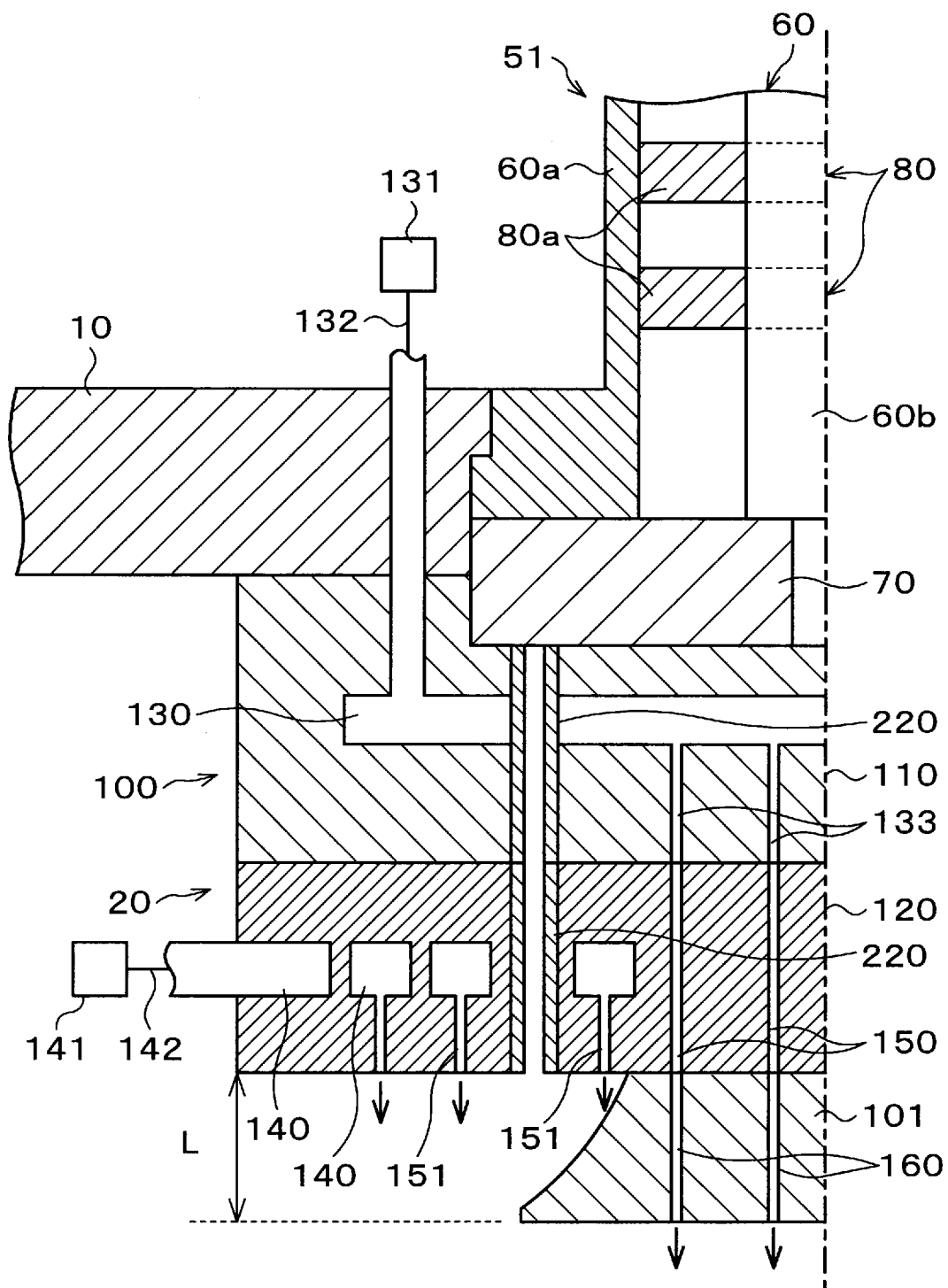
- [請求項5] 請求項4に記載のプラズマ処理装置において、
前記各第1のガス供給口には、前記シャワープレートの下面から鉛直下方に突出する複数の供給ノズルがそれぞれ接続されている。
- [請求項6] 請求項1に記載のプラズマ処理装置において、
前記垂下部材の外側面は、下に向かって次第に外側に広がる放物線形状である。
- [請求項7] 請求項1に記載のプラズマ処理装置において、
前記第1のガスは、前記第2のガスよりも、プラズマにより分解されやすいガスである。
- [請求項8] 請求項7に記載のプラズマ処理装置において、
前記第1のガスは原料ガスであり、前記第2のガスはプラズマ発生用のガスである。
- [請求項9] 請求項1に記載のプラズマ処理装置において、
前記シャワープレートには、前記処理容器内にマイクロ波を放射するマイクロ波放射孔が設けられ、
マイクロ波放射孔は、平面視において、前記垂下部材の外周端部よりも内側に位置するように配置されている。

[図2]

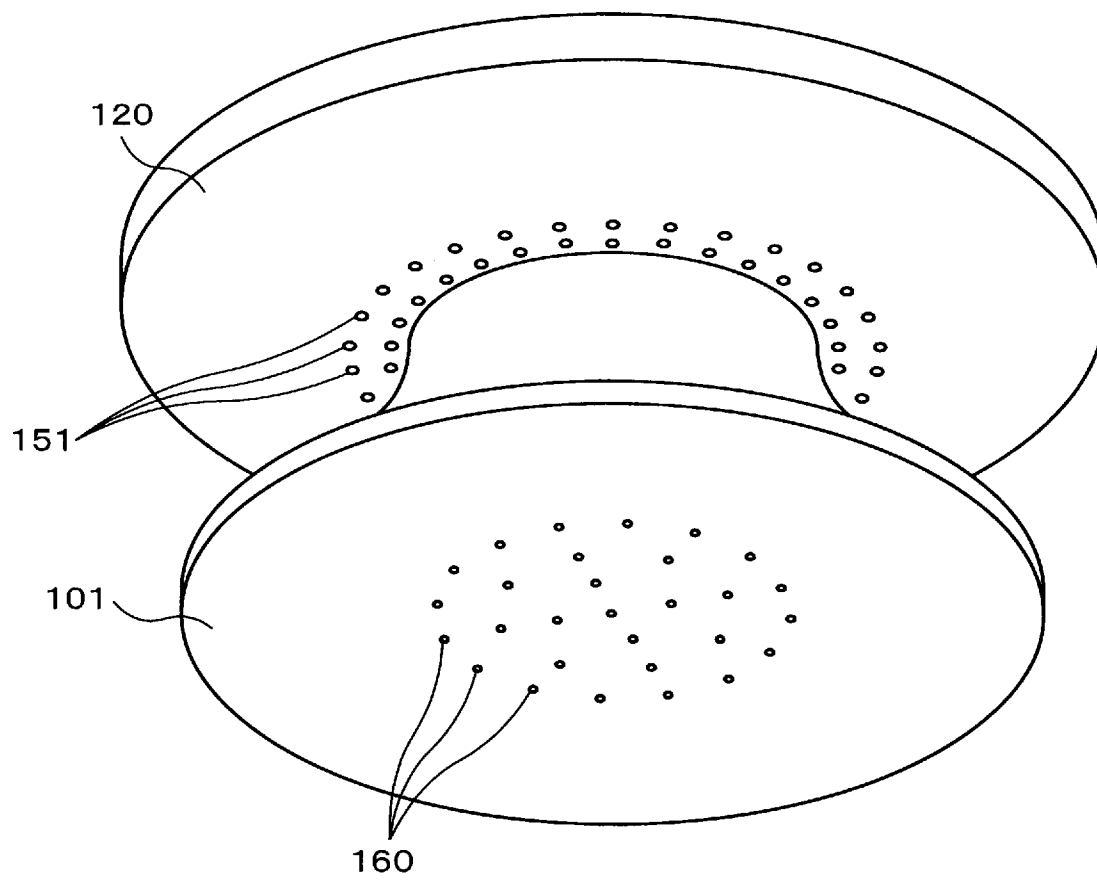


[図3]

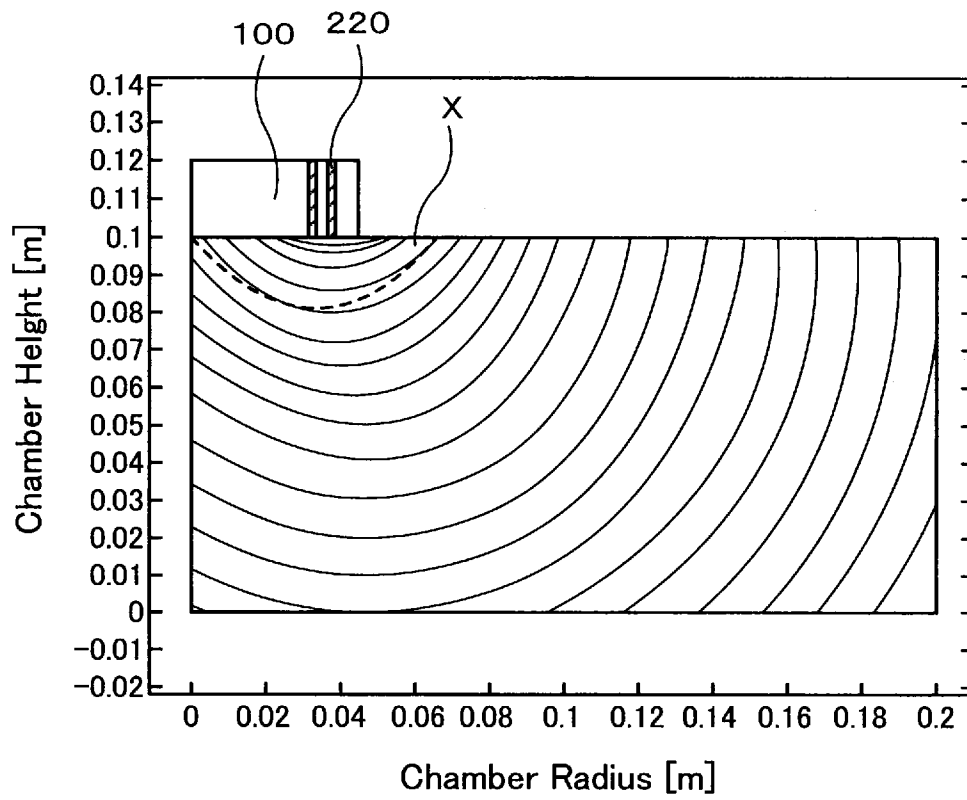




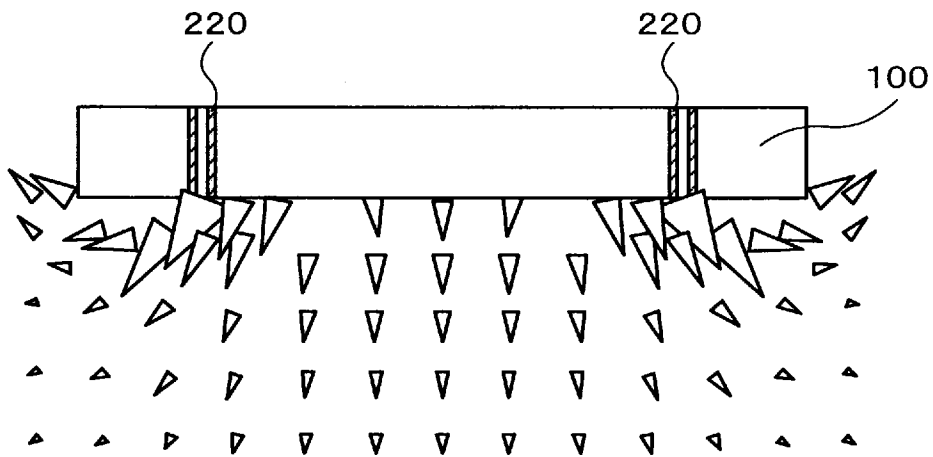
[図5]



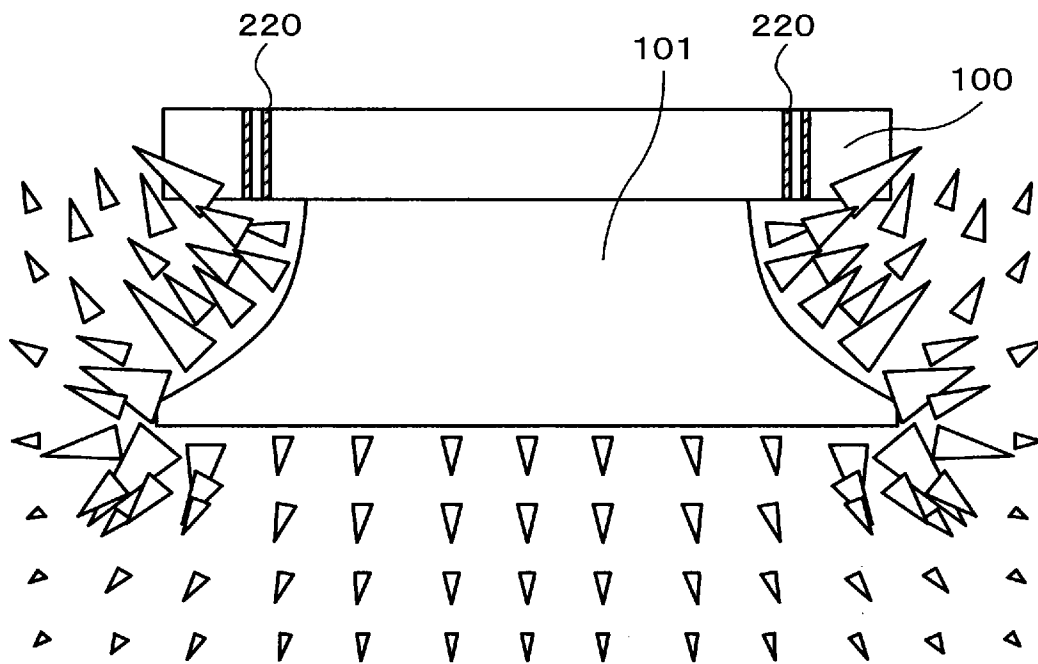
[図6]



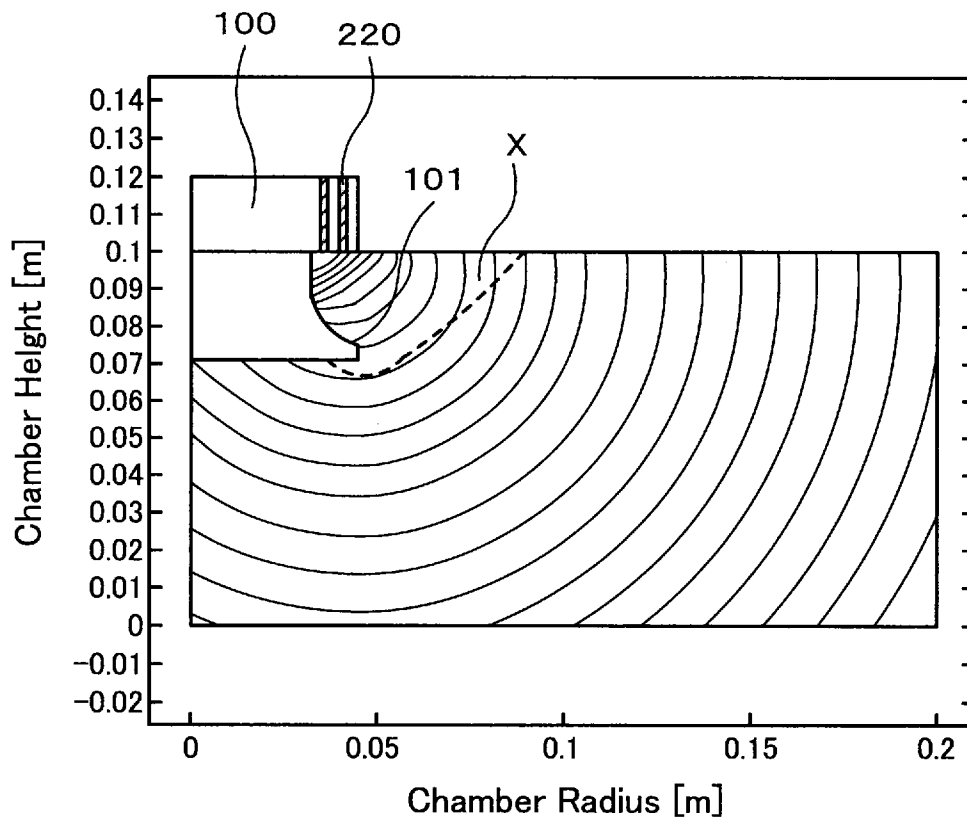
[図7]



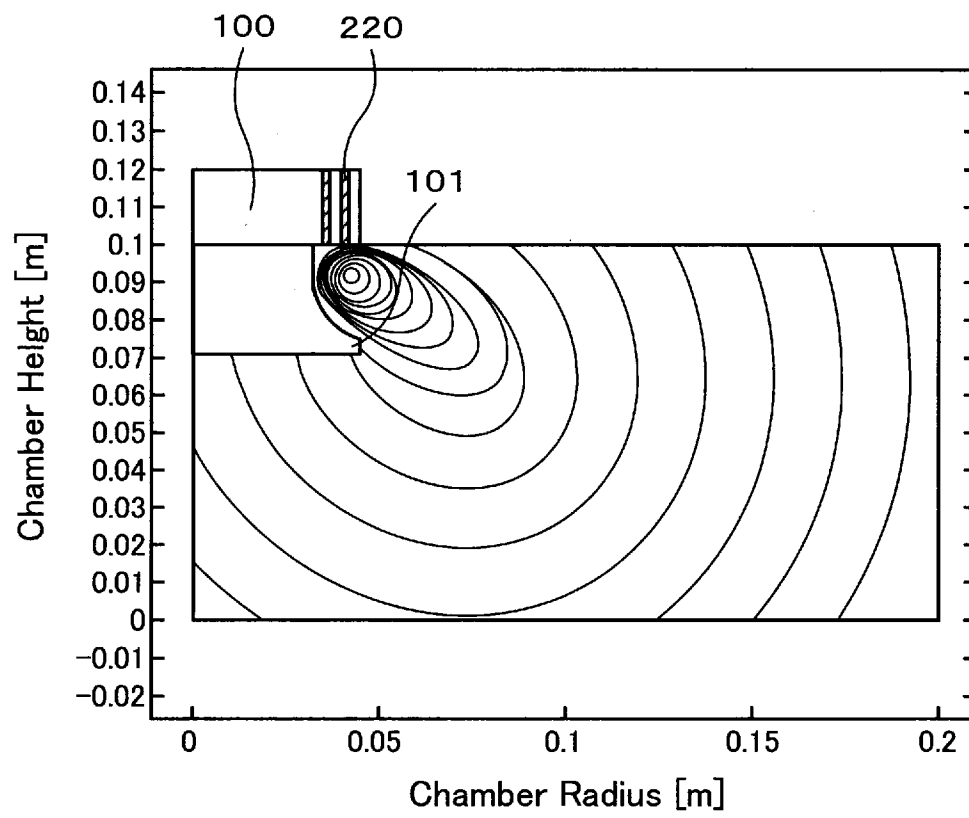
[図8]



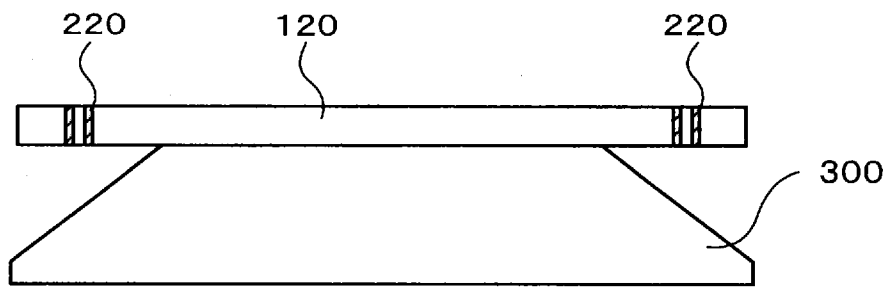
[図9]



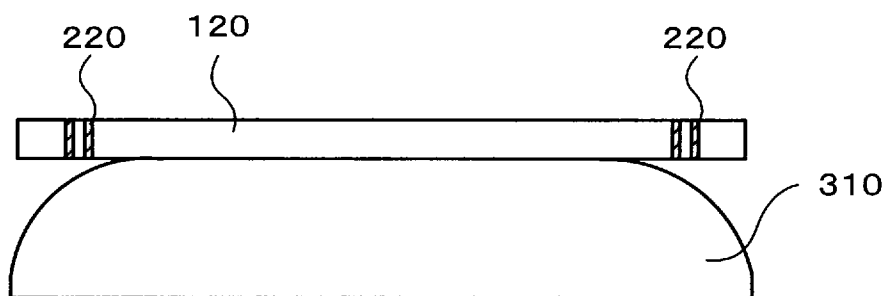
[図10]



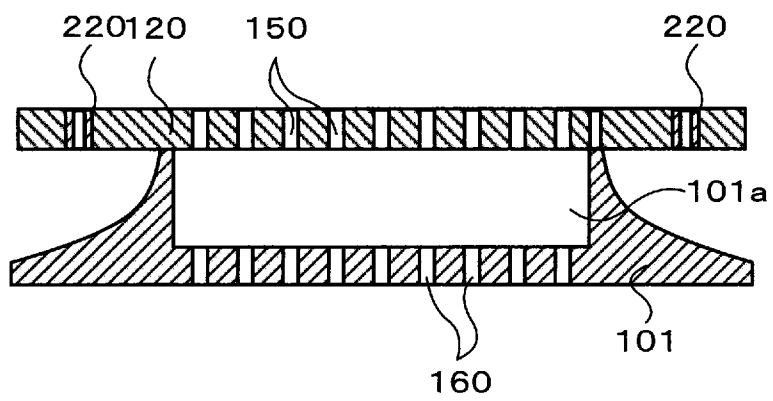
[図12]



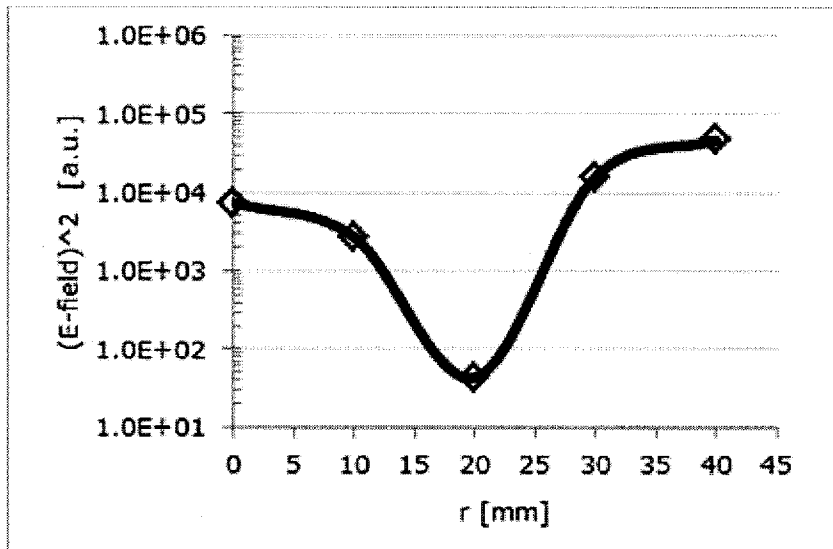
[図13]



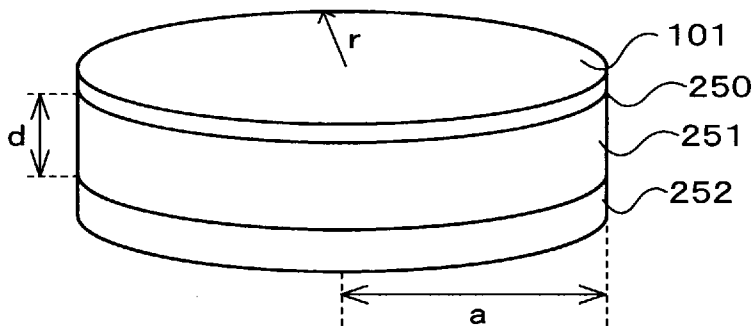
[図14]



[図15]



[図16]



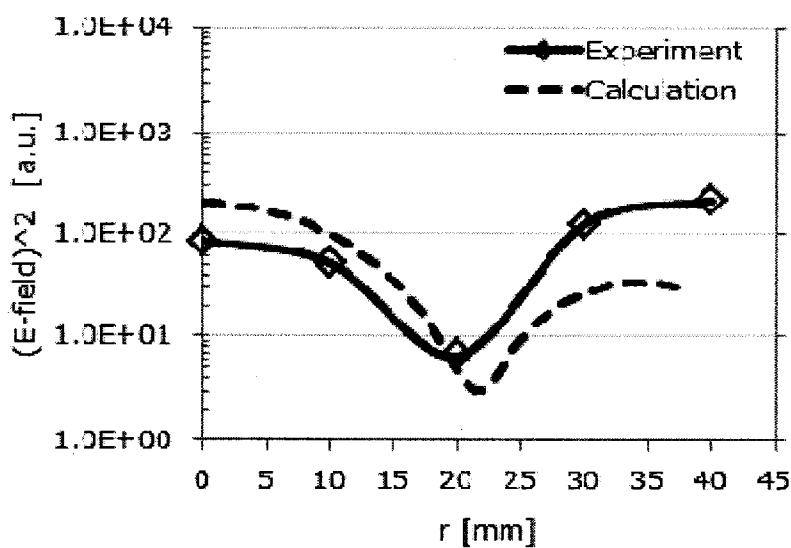
[図17]

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \theta^2} + (k^2 - \beta^2) E_z = 0$$

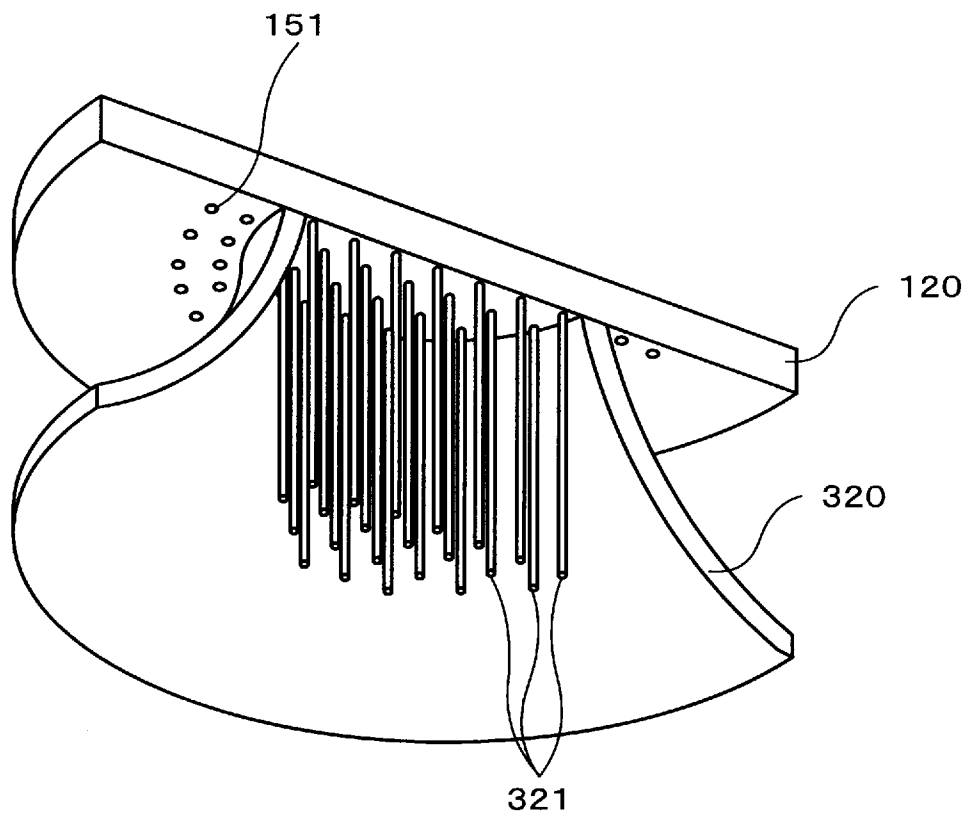
[図18]

$$\left\{ \begin{array}{l} E_r^d = \frac{\alpha\beta}{\beta^2 - k_d^2} J_m'(\alpha r) \cos(m\theta) (E_{z0} e^{-j\beta z} + E_{z1} e^{j\beta z}) \tan \beta z \\ E_\theta^d = -\frac{\beta}{\beta^2 - k_d^2} \frac{m}{r} J_m(\alpha r) \sin(m\theta) (E_{z0} e^{-j\beta z} + E_{z1} e^{j\beta z}) \tan \beta z \\ E_z^d = J_m(\alpha r) \cos(m\theta) (E_{z0} e^{-j\beta z} + E_{z1} e^{j\beta z}) \\ H_r^d = j \frac{1}{\omega \mu} \frac{k_d^2}{\beta^2 - k_d^2} \frac{m}{r} J_m(\alpha r) \sin(m\theta) (E_{z0} e^{-j\beta z} + E_{z1} e^{j\beta z}) \\ H_\theta^d = j \frac{k_d^2}{\omega \mu \beta} \frac{\alpha\beta}{\beta^2 - k_d^2} J_m'(\alpha r) \cos(m\theta) (E_{z0} e^{-j\beta z} + E_{z1} e^{j\beta z}) \\ H_z = 0 \end{array} \right.$$

[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/073311

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/31(2006.01)i, C23C16/455(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i,
H01L21/205(2006.01)i, H05H1/46(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)

H01L21/31, C23C16/455, C23C16/511, H01L21/205, H05H1/46

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

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.
A	JP 2010-153531 A (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 08 July 2010 (08.07.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2008-066413 A (Tokyo Electron Ltd.), 21 March 2008 (21.03.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2005-167227 A (Ibiden Co., Ltd.), 23 June 2005 (23.06.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

☐ 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
04 November, 2014 (04.11.14)

Date of mailing of the international search report
09 December, 2014 (09.12.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/31(2006.01)i, C23C16/455(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/205(2006.01)i, 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（I P C））

Int.Cl. H01L21/31, C23C16/455, C23C16/511, H01L21/205, 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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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
A	JP 2010-153531 A（株式会社日立国際電気）2010.07.08, 全文及び全図面（ファミリーなし）	1-9
A	JP 2008-066413 A（東京エレクトロン株式会社）2008.03.21, 全文及び全図面（ファミリーなし）	1-9
A	JP 2005-167227 A（イビデン株式会社）2005.06.23, 全文及び全図面（ファミリーなし）	1-9

☐ 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

0 4 . 1 1 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 9 . 1 2 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

境 周一

5 0

3 6 5 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 9