

(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
2013年9月19日(19.09.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/137152 A1

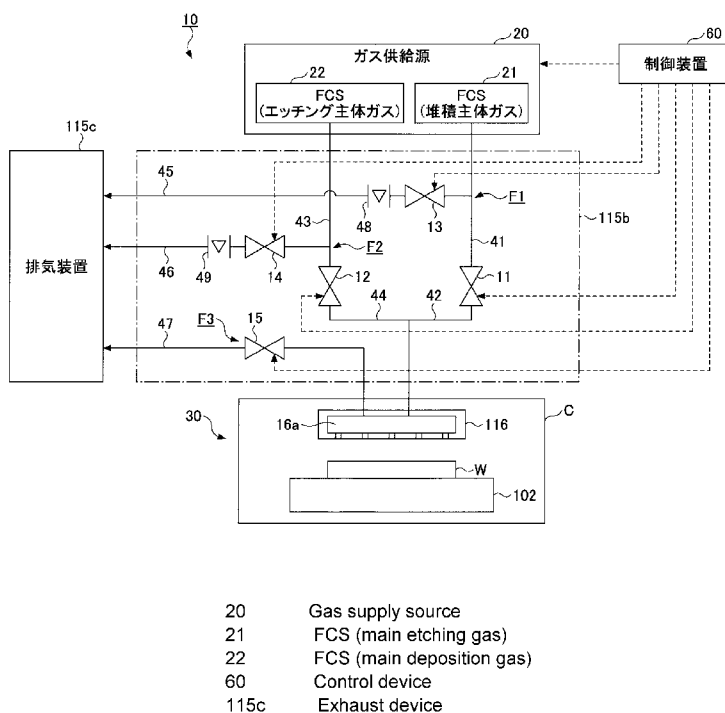
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/768 (2006.01)
H01L 21/31 (2006.01) H01L 23/522 (2006.01)
H01L 21/3205 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/056525
- (22) 国際出願日: 2013年3月8日(08.03.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-060636 2012年3月16日(16.03.2012) JP
- (71) 出願人: 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: 羽藤 秀幸(HATOH, Hideyuki); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP). 小川 裕之(OGAWA, Hiroyuki); 〒9813629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内 Miyagi (JP).
- (74) 代理人: 伊東 忠重, 外(ITO, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 16階 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, IS, KE, KG, KM, 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, 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

[続葉有]

(54) Title: GAS SUPPLY METHOD FOR SEMICONDUCTOR MANUFACTURING APPARATUS, GAS SUPPLY SYSTEM AND SEMICONDUCTOR MANUFACTURING APPARATUS

(54) 発明の名称: 半導体製造装置のガス供給方法、ガス供給システム及び半導体製造装置

[図1]



(57) Abstract: A gas supply method comprising a first pressurization step, a second pressurization step, and an exhaust step, is provided. The first pressurization step involves controlling communication between first and second gas pipes and a diffusion chamber using first and second valves; controlling the discharge of gas inside the first and second gas pipes using third and fourth valves connected further upstream than the first and second valves of the first and second gas pipes; controlling communication between an exhaust pipe and the diffusion chamber using a fifth valve; and closing the first valve and shutting off the third valve before a first step, and raising the pressure of a first gas inside the first gas pipe. The second pressurization step involves closing the second valve and shutting off the fourth valve before a second step, and raising the pressure of a second gas inside the second gas pipe. The exhaust step involves opening the fifth valve in response to the start of the first step and the second step, and evacuating gas inside the diffusion chamber.

(57) 要約:

[続葉有]



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, 添付公開書類:
NE, SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

第 1 及び第 2 のバルブにより第 1 及び第 2 ガス配管と拡散室との連通を制御し、第 1 及び第 2 ガス配管の第 1 及び第 2 のバルブよりも上流側に接続した第 3 及び第 4 のバルブにより第 1 及び第 2 ガス配管内のガスの排出を制御し、第 5 のバルブにより排気用配管と拡散室との連通を制御し、第 1 工程の前に第 1 のバルブを閉じかつ第 3 のバルブを閉め、第 1 ガス配管内の第 1 のガスの圧力を上昇させる第 1 の加圧工程と、第 2 工程の前に、第 2 のバルブを閉じかつ前記第 4 のバルブを開め、第 2 ガス配管内の第 2 のガスの圧力を上昇させる第 2 の加圧工程と、第 1 工程及び第 2 工程の開始に応じて第 5 のバルブを開き、拡散室内のガスを排気する排気工程と、を含むガス供給方法が提供される。

明 細 書

発明の名称：

半導体製造装置のガス供給方法、ガス供給システム及び半導体製造装置 技術分野

[0001] 本発明は、半導体製造装置のガス供給方法、ガス供給システム及び半導体製造装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体製造装置の製造分野では、微細加工により集積度を上げることが求められている。例えば、 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度の比較的小さい直径寸法を有し、深さが $100 \mu\text{m}$ 以上の穴をシリコン（Si）基板に形成するエッチング工程が必要とされている。

[0003] また、近年、三次元実装と呼ばれる半導体チップの積層によって単位面積当たりの集積度を上げる技術が提案されている。三次元実装の一例としては、例えば半導体チップの内部を貫通するスルーホール（TSV：Through-Silicon Via）の電極を用いて、上下の半導体チップ間を電氣的に接続する立体配線技術がある。この場合にも、チップ上に穴を形成し、深く掘り下げてチップ内を貫通させるエッチング工程が必要になる。

[0004] このようなプラズマエッチング装置等によるエッチング工程では、処理チャンバ内に供給する混合ガスのうち、エッチングを進行させる SF_6 の供給を一時的に短時間断続的に停止し、この間のエッチングの進行を停止した状態で表面に窒化膜を形成し、これによってアンダーカットを生じることなくシリコンをエッチングするプラズマ処理方法が知られている（例えば、特許文献1参照）。

[0005] しかし、 $100 \mu\text{m}$ 以上の深さ寸法を有する穴部を形成するためには、プラズマエッチングを長時間にわたって行うことが必要となる。さらには、最近の半導体製造装置には更なる微細化が要求されているため、 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度の比較的小さい直径寸法を有する穴部を形成することが求められてい

る。しかし、半導体製造装置の微細化に伴い、形状精度を確保するためにはレジスト膜の厚さを薄くしなくてはならない。一方、レジスト膜のエッチング速度に対するシリコン層のエッチング速度、すなわち選択比はあまり高くない。そのため、プラズマエッチングを長時間行くと、マスクが除去されてしまうという問題が生じる。

[0006] このような要求に対して、堆積成分が高いガスを供給して基板をプラズマ処理する堆積工程と、エッチング成分が高いガスを供給して基板をプラズマ処理するエッチング工程とを交互に繰り返し行うプラズマ処理方法が知られている（例えば、特許文献2参照）。

[0007] このような堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理は、通常のプラズマエッチングのプロセスと比較して、レジスト膜に対するシリコン基板の選択比が高く、高エッチングレートを維持しながら良好なエッチング形状を効率よく形成できる。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開平4－73287号公報

特許文献2：特表2010－510669号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、従来の堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理では、堆積工程とエッチング工程とが切り替わるタイミングで直前の工程のガスを排気しながら、次工程のガスを導入する。その際、ガスはガス供給管を通り、拡散室にて拡散された後、チャンバ内に導入される。したがって、2つの工程が切り替わる時、拡散室内では前の工程の処理ガスが残留して、次工程の処理ガスとして新たに供給されるガスと混ざり合うことで、処理ガスの成分比が変化してしまうことになる。特に、前工程の残留ガスの残存量は処理室内の圧力等の処理条件により変動を受けるため、各工程の切

り替え初期の段階で各ガス成分比を所定の比率とすることが難しくなり所望のエッチング結果を得ることの妨げとなる。

- [0010] 一側面によれば、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理において、ガス供給管内の処理ガスの圧力を制御する工程（加圧工程及び排気工程）を加えることで、ガス供給管内にて前工程で生じた残留ガス成分が新たに供給されるガスと混じり合うことを抑制することが可能な半導体製造装置のガス供給方法、ガス供給システム及び半導体製造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

- [0011] 上記課題を解決するために、本発明のある観点によれば、
- 第1 ガス配管を通じて第1 のガスを拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第1 工程と、第2 ガス配管を通じて第2 のガスを前記拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第2 工程と、を交互に繰り返す半導体製造装置のガス供給方法であって、
 - 第1 のバルブにより前記第1 ガス配管と前記拡散室との連通を制御し、
 - 第2 のバルブにより前記第2 ガス配管と前記拡散室との連通を制御し、
 - 前記第1 ガス配管の第1 のバルブよりも上流側に接続した第3 のバルブにより第1 ガス配管内のガスの排出を制御し、
 - 前記第2 ガス配管の第2 のバルブよりも上流側に接続した第4 のバルブにより第2 ガス配管内のガスの排出を制御し、
 - 第5 のバルブにより排気用配管と前記拡散室との連通を制御し、
 - 前記第1 工程の前に、前記第1 のバルブを閉じかつ前記第3 のバルブを閉め、前記第1 のガスにより前記第1 ガス配管内の前記第1 のガスの圧力を上昇させる第1 の加圧工程と、
 - 前記第2 工程の前に、前記第2 のバルブを閉じかつ前記第4 のバルブを閉め、前記第2 のガスにより前記第2 ガス配管内の前記第2 のガスの圧力を上昇させる第2 の加圧工程と、
 - 前記第1 工程の開始及び前記第2 工程の開始に応じて前記第5 のバルブを

開き、前記拡散室内のガスを排気する排気工程と、

を含むことを特徴とする半導体製造装置のガス供給方法が提供される。

[0012] また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、

第1ガス配管を通じて第1のガスを拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第1工程と、第2ガス配管を通じて第2のガスを前記拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第2工程と、を交互に繰り返す半導体製造装置のガス供給システムであって、

前記第1ガス配管と前記拡散室との連通を制御する第1のバルブと、

前記第2ガス配管と前記拡散室との連通を制御する第2のバルブと、

前記第1ガス配管の第1のバルブよりも上流側に接続され、第1ガス配管内のガスの排出を制御する第3のバルブと、

前記第2ガス配管の第2のバルブよりも上流側に接続され、第2ガス配管内のガスの排出を制御する第4のバルブと、

排気用配管と前記拡散室との連通を制御する第5のバルブと、

前記第1工程の前に、前記第1のバルブを閉じかつ前記第3のバルブを閉め、前記第1のガスにより前記第1ガス配管内の前記第1のガスの圧力を上昇させる第1のガス供給機構と、

前記第2工程の前に、前記第2のバルブを閉じかつ前記第4のバルブを閉め、前記第2のガスにより前記第2ガス配管内の前記第2のガスの圧力を上昇させる第2のガス供給機構と、

前記第1工程の開始及び前記第2工程の開始に応じて前記第5のバルブを開き、前記拡散室内のガスを排気する排気機構と、

を含むことを特徴とするガス供給システムが提供される。

[0013] また、上記課題を解決するために、本発明の別の観点によれば、

前記ガス供給システムを用いて被処理体にプラズマ処理を施す半導体製造装置が提供される。

発明の効果

[0014] 一の態様によれば、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処

理において、ガス供給管内の処理ガスの圧力を制御する工程（加圧工程及び排気工程）を加えることで、ガス供給管内にて前工程で生じた残留ガス成分が新たに供給されるガスと混じり合うことを抑制し、工程間の処理ガスの切り替え時間を短縮することができる。

図面の簡単な説明

- [0015] [図1]一実施形態に係るガス供給システムの全体構成図。
- [図2]一実施形態に係るガス供給システムのガスの流れを説明するための図。
- [図3]一実施形態に係るガス供給システムを用いた堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理のフローチャート。
- [図4]一実施形態に係るガス供給システムを用いた堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理のシーケンスチャート。
- [図5]一実施形態に係るガス供給システム内の状態を示す変数を示した図。
- [図6A]一実施形態に係るガス供給システムの配管径と排気状態との関係を示した図。
- [図6B]一実施形態に係るガス供給システムの配管径と排気状態との関係を示した図。
- [図7]一実施形態に係るガス供給システムの切り替え後の拡散室の圧力と排気側及びチャンバ側へ流出するモル数を示した図。
- [図8]一実施形態に係る加圧工程の実験結果を示した図。
- [図9]一実施形態に係る排気工程の実験結果を示した図。
- [図10]一実施形態に係る加圧工程及び排気工程の実験結果をグラフ化した図。
- 。
- [図11]一実施形態に係る堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理の実験結果を示した図。
- [図12]一実施形態に係るガス供給システムが使用される半導体製造装置。
- [図13]一実施形態に係るダイポールリング磁石の水平断面を示す図。
- [図14]一実施形態に係る堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理の応用例を示した図。

[図15]一実施形態に係る堆積工程とエッチング工程を繰り返す行うプラズマ処理を説明するための図。

[図16]一実施形態に係る堆積工程とエッチング工程を繰り返す行うプラズマ処理のエッチング結果の一例を示す図。

発明を実施するための形態

[0016] 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。

[0017] なお、圧力値については、1 Torrを133.322 Paとして換算することができる。

[0018] <はじめに>

一実施形態に係る堆積工程とエッチング工程を繰り返す行うプラズマ処理について、図15及び図16を参照しながら説明する。図15は、一実施形態に係る堆積工程とエッチング工程を繰り返す行うプラズマ処理によるプラズマ発光強度の一例を示す図である。図16は、一実施形態に係る堆積工程とエッチング工程を繰り返す行うプラズマ処理のエッチング結果の一例を示す図である。

[0019] 図15に示した堆積工程とエッチング工程を繰り返す行うプラズマ処理の一例では、堆積性ガスがエッチングガスより多く混合されたガスを導入する堆積工程と、エッチングガスが堆積性ガスより多く混合されたガスを導入するエッチング工程とを概ね10秒間隔で繰り返している。また、図15に示すように、堆積工程とエッチング工程を繰り返す行うプラズマ処理では、堆積工程とエッチング工程の遷移点とプラズマ発光強度の変化点とを意図的にずらすようにして、堆積工程からエッチング工程へと遷移しても、しばらく堆積工程のプラズマ発光強度が維持されるようにプラズマの発生条件が制御される。同様にして、エッチング工程から堆積工程へと遷移しても、しばらくエッチング工程のプラズマ発光強度が維持されるようにプラズマの発生条件が制御される。このようにして、プラズマの過渡状態を意図的に形成した

。

[0020] これに対して、図16の堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理のエッチング結果を得る工程、及び後述する本実施形態に係る堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理のエッチング結果を得る工程では、堆積工程とエッチング工程との切り替えのタイミングを一致させている。

[0021] 図16に示した堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理のエッチング結果の一例について説明する。本実施形態の堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理におけるプロセス条件は、以下の通りである。

・プロセス条件

圧力 : 250 (mTorr)

高周波電力 : プラズマ生成用HF 2500 (W) / バイアス用LF 0 (W)

堆積主体ガス : $\text{SiF}_4/\text{O}_2 = 1000/500$ (sccm)

エッチング主体ガス : $\text{Ar}/\text{SF}_6 = 640/860$ (sccm)

各工程時間 : 1 (min)

以上のプロセス条件に基づき、堆積ガスとエッチングガスとの混合比率を混合比率A、Bと変えてエッチングした結果を示す。図16の左側に示した混合比率Aは、堆積ガス（成膜用ガス）91%、エッチングガス9%の混合比率である。この場合において、堆積工程とエッチング工程とを繰り返し行うプラズマ処理を実行した結果、膜厚は $0.873\mu\text{m}$ となり、期待通りの厚さの保護膜が形成されている。

[0022] 一方、図16の右側に示した混合比率Bは、堆積ガス（成膜用ガス）80%、エッチングガス20%の混合比率である。この場合において、堆積工程とエッチング工程とを繰り返し行うプラズマ処理を実行した結果、膜厚は $0.446\mu\text{m}$ となった。つまり、堆積ガス比を91%から80%に下げたところ、膜の厚さが約45%低下した。

[0023] また、顕微鏡写真を見ると、図16の左側に示した混合比率Aの場合では穴底の形状が良好であるのに対して、図16の右側に示した混合比率Bの場合では穴底でエッチングが進んでいる。以上から、堆積ガス80%、エッチングガス20%の混合比率で堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理を実行した場合には、膜厚が薄く保護膜として機能していないことがわかる。

[0024] さらに、堆積ガス80%、エッチングガス20%の混合比率で堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理を実行した場合のエッチングレートは $3\mu\text{m}/\text{min}$ 以下となり、エッチング性能が悪くなっていることがわかる。

[0025] 以上の考察から、上記2工程の切り替え時間を減らし、各工程のガスが極力混ざり合わないガス切り替え方法が構築できれば、エッチング性能を向上させ、良好なエッチング形状を得ることができる。以下に説明する本発明の一実施形態に係るガス供給システムでは、上記2工程の切り替え時間を減らすために、(1)～(3)の特徴を有する。

(1) ガス供給源から拡散室内の経路として、堆積主体ガス（堆積性ガスをエッチング性ガスより多く混合した第1のガスに相当）をチャンバ内に供給するための第1のガス供給機構と、エッチング主体ガス（エッチング性ガスを堆積性ガスより多く混合した第2のガスに相当）をチャンバ内に供給するための第2のガス供給機構とを有するガス供給ラインを構成する。このようにガス供給ラインを複数に分け、ガスが混合されるガス拡散室の容積を極力小さくし、各工程間の切り替えの際に前工程で発生する残留ガスの混合を軽減する。

(2) 各ガス供給ラインには制御装置により制御されるバルブを設け、バルブの開閉によりガス供給ラインの配管内圧力を制御する。ガスをチャンバ内に供給する前に、バルブを閉じ、ガス供給ラインの配管内圧力を上昇させて、チャンバ圧力との圧力勾配を生じさせる。ガス供給ラインの切り替え時、すなわち、バルブが開かれるときに、圧力勾配によりガスがチャンバ内の拡

散室に短時間で移動する。これにより、拡散室内に残留した前工程のガスを拡散室外に押し出す効果も得られる。

(3) さらに、拡散室内に残留した前工程のガスを効率的に入れ替えるため排気ラインを持つ。

[0026] 以上の(1)～(3)の機構を有する一実施形態に係るガス供給システムによれば、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理の2工程で使用するガス同士が切り替え時にほとんど混ざり合わない。これにより、それぞれの工程にて効率よく保護膜の成膜処理及びエッチング処理が実行され、堆積工程での性能及びエッチング工程での性能を改善することができる。また、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理の周期を短縮することができ、エッチングレート及びレジスト膜に対するシリコン基板の選択比を高め、良好なエッチング形状を得ることができる。以下、本発明の一実施形態に係るガス供給システムについて詳細に説明する。

[0027] [ガス供給システムの全体構成]

まず、本発明の一実施形態に係るガス供給システムの全体構成について、図1を参照しながら説明する。

[0028] 本実施形態に係るガス供給システム10は、半導体製造装置30にて使用される。半導体製造装置30は、堆積性ガスをエッチング性ガスより多く混合した堆積主体ガス(第1のガス)を拡散室16aに通してチャンバC内に供給し、シリコン基板Wをプラズマ処理する堆積工程と、エッチング性ガスを堆積性ガスより多く混合したエッチング主体ガス(第2のガス)を拡散室16aに通してチャンバC内に供給し、シリコン基板Wをプラズマ処理するエッチング工程と、を交互に所定回数繰り返すプラズマ処理を実行する。これにより、例えば、載置台102に載置されたシリコン基板Wに所望の深穴が形成される。本実施形態では、堆積主体ガスは、 SiF_4 ガス及び O_2 ガスを含んだ混合ガスである。また、本実施形態では、エッチング主体ガスは、 SF_6 ガス及び O_2 ガスを含んだ混合ガスである。

[0029] 本実施形態に係るガス供給システム10は、ガス調整部115bを有して

いる。ガス調整部 115b は、ガス供給源 20、半導体製造装置 30、制御装置 60、排気装置 115c に連結されている。

[0030] ガス調整部 115b は、堆積工程用のガス供給ラインとしての第 1 のガス供給機構 F1 と、エッチング工程用のガス供給ラインとしての第 2 のガス供給機構 F2 とを有している。第 1 のガス供給機構 F1 により、堆積工程にて、堆積主体ガスがチャンバ C 内に供給される。また、第 2 のガス供給機構 F2 により、エッチング工程にて、エッチング主体ガスがチャンバ C 内に供給される。ガス調整部 115b は、ガス供給源 20 から半導体製造装置 30 に堆積主体ガス及びエッチング主体ガスを所定のタイミングで交互に繰り返し供給する。ガス調整部 115b は、第 1 のガス供給機構 F1 及び第 2 のガス供給機構 F2 の 2 つのガス供給ラインに加え、ガス排気ラインとしての排気機構 F3 を有している。

[0031] 第 1 のガス供給機構 F1 は、第 1 のガス供給用配管 41、第 1 のガス導入用配管 42 及び第 1 のバルブ 11 を有している。第 1 のガス供給用配管 41 は、ガス供給源 20 に設けられた流量制御装置 (FCS: Flow Control System) 21 から所定の流量に制御された堆積主体ガスを供給するための配管である。第 1 のガス供給用配管 41 には、第 3 のバルブ 13 を介して第 1 のバイパス配管 45 が連結されている。第 1 のバイパス配管 45 は、堆積主体ガスをバイパスさせ、排気させる。第 1 のバイパス配管 45 には、オリフィス 48 が設けられている。オリフィス 48 により第 1 のバイパス配管 45 内のガス流路を絞ることによって、エッチング工程と堆積工程との切り替わりのタイミングに第 1 のバイパス配管 45 内の急激な圧力変動を回避する。また、第 1 のバイパス配管 45 内の圧力をある程度高くすることによって、後程詳述する第 1 の加圧工程前後での第 1 のバイパス配管 45 内の圧力変動を低減させる。

[0032] 第 1 のバルブ 11 が開いているとき堆積工程が実行されている。堆積主体ガスは、第 1 のガス供給用配管 41 を通って第 1 のガス導入用配管 42 を流れ、チャンバ C 内のガスシャワーヘッド 116 に設けられた拡散室 16a を

介してチャンバC内に導入される。第1のバルブ11が閉じているとき、通常、第3のバルブ13は開に制御され、堆積主体ガスは、第1のバイパス配管45を通して排気装置115cにより排気される。排気装置115cの一例としては、ドライポンプ(Dry Pump)やターボモレキュラーポンプTMP(Turbo Molecular Pump)等が挙げられる。

[0033] 第1の加圧工程は、堆積工程前に堆積主体ガスをバイパスさせるための第1のバイパス配管45に設けられた第3のバルブ13を閉じ、堆積主体ガスをチャンバ内に供給するための第1のガス供給用配管41内に溜めて第1のガス供給用配管41内を加圧する工程である。

[0034] 通常、第1の加圧工程前に第1のガス導入用配管42に設けられた第1のバルブ11は閉じられている。このとき、第2のバルブ12は開き、エッチング工程が実行されている。第1の加圧工程では、第1のバルブ11が閉に制御されている状態で堆積工程前に第3のバルブ13を閉に制御し、ガス供給源20から供給される堆積主体ガスを第1のガス供給用配管41内に溜める。これにより、第1のガス供給用配管41内を加圧する(図2参照)。その状態で、エッチング工程から堆積工程への切り替えのタイミングに第1のバルブ11が開に制御されたとき、第1のガス供給用配管41内の堆積主体ガスは一気に拡散室16aへと流れる。

[0035] 第2のガス供給機構F2は、第2のガス供給用配管43、第2のガス導入用配管44及び第2のバルブ12を有している。

[0036] 第2のガス供給用配管43は、ガス供給源20に設けられた流量制御装置(FCS)22から所定の流量に制御されたエッチング主体ガスを供給するための配管である。第2のガス供給用配管43には、第4のバルブ14を介して第2のバイパス配管46が連結されている。第2のバイパス配管46は、堆積工程中にエッチング主体ガスをバイパスさせ、排気させる。第2のバイパス配管46には、オリフィス49が設けられている。オリフィス49により第2のバイパス配管46内のガス流路を絞ることによって、エッチング工程と堆積工程との切り替わりのタイミングに第2のバイパス配管46内の

急激な圧力変動を回避する。また、第2のバイパス配管46内の圧力をある程度高くすることによって、後程詳述する第2の加圧工程前後での第2のバイパス配管46内の圧力変動を低減させる。

[0037] 第2のバルブ12が開いているときエッチング工程が実行されている。エッチング主体ガスは、第2のガス供給用配管43を通して第2のガス導入用配管44を流れ、拡散室16aを介してチャンバC内に導入される。第2のバルブ12が閉じているとき、通常、第4のバルブ14は開に制御されるため、エッチング主体ガスは、第2のバイパス配管46を通して排気装置115cにより排気される。

[0038] 第2の加圧工程は、エッチング工程前にエッチング主体ガスをバイパスさせるための第2のバイパス配管46に設けられた第4のバルブ14を閉じ、エッチング主体ガスをチャンバ内に供給するための第2のガス供給用配管43内に溜めて第2のガス供給用配管43内を加圧する工程である。

[0039] 通常、第2の加圧工程前に第2のガス導入用配管44に設けられた第2のバルブ12は閉じられている。このとき、第1のバルブ11が開き、堆積工程が実行されている。第2の加圧工程では、第2のバルブ12が閉に制御されている状態でエッチング工程前に第4のバルブ14を閉に制御し、ガス供給源20から供給されるエッチング主体ガスを第2のガス供給用配管43内に溜める。これにより、第2のガス供給用配管43内を加圧する。その状態で、堆積工程からエッチング工程への切り替えのタイミングに第2のバルブ12が開に制御されたとき、第2のガス供給用配管43内のエッチング主体ガスは一気に拡散室16aへと流れる。

[0040] 排気機構F3は、拡散室16aに連通する排気用配管47を有し、排気用配管47には第5のバルブ15が設けられている。排気機構F3の第5のバルブ15は、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理の各工程の切り替え時に開に制御される。これにより、拡散室16a内に存在する前工程のガスを強制的に排気する（排気工程）。

[0041] 制御装置60は、図示しないCPU等を有し、堆積工程及びエッチング工

程の切り替えのタイミングに応じて、ガス供給源 20 から出力されるガス種及びガス流量の制御及び第 1 のバルブ 11 ～第 5 のバルブ 15 の開閉の制御を行う。本実施形態に係るガス供給システム 10 では、制御装置 60 によりバルブの開閉をコンピュータ制御することができる。なお、半導体製造装置 30 の具体的構成例については後図 12 を参照して説明する。

[0042] 以上に説明したように、かかる構成のガス供給システム 10 では、堆積工程とエッチング工程とを交互に繰り返すプラズマ処理に加圧工程と排気工程を追加する。加圧工程では、第 3 のバルブ 13 又は第 4 のバルブ 14 を堆積工程とエッチング工程との切り替えのタイミングより早く閉じる。これにより、切り替え時まで次工程のガスが第 1 のガス供給用配管 41 又は第 2 のガス供給用配管 43 内に溜まる。これにより、切り替え時に第 1 のガス供給用配管 41 又は第 2 のガス供給用配管 43 内に溜まったガスを拡散室 16a に向けて高速に流すことができる。排気工程では、切り替え時に排気ラインの第 5 のバルブ 15 を開く。これにより、ガスシャワー内に存在する前工程のガスを強制的に排気することができる。このようにして本実施形態では、堆積工程及びエッチング工程の切り替えの際、加圧工程及び排気工程を行うことにより、拡散室 16a 内のガスを高速に入れ替え、ガスの切り替え時間を短縮することができる。これにより 2 工程で使用するガス同士が切り替え時にほとんど混ざり合わないため、高いエッチングレートを維持しつつ選択比を高め、良好なエッチング形状を効率よく形成できる。

[0043] [ガス供給システムの動作]

次に、本発明の一実施形態に係るガス供給システムの動作について、図 3 及び図 4 を参照しながら説明する。図 3 は、一実施形態に係るガス供給システムを用いた堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理のフローチャートである。図 4 は、一実施形態に係るガス供給システムを用いた堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理のシーケンスチャートである。制御装置 60 は、ROM や RAM 等の記憶部に記憶されたレシピに従い、以下のフローチャートに示すガスの切り替えやバルブの開閉を制御す

る。

[0044] 本実施形態に係る堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理が開始されると、制御装置60は、堆積工程を実行する（ステップS100）。なお、ステップS100の堆積工程の前にエッチング工程が実行されてもよい。この時点は、図4に「レシピ／オン」として示したタイミングであり、第1のバルブ11は開、第2のバルブ12は閉、第3のバルブ13は閉、第4のバルブ14は開となっている。これにより、堆積主体ガスは、第1のガス供給用配管41を通して第1のガス導入用配管42を流れ、チャンバC内のガスシャワーヘッド116に設けられた拡散室16aを介してチャンバC内に導入される（図1参照）。

[0045] また、このタイミングで第5のバルブ15が閉から開へ切り替えられ（ステップS120）、予め定められた排気時間経過後、開から閉へ切り替えられる（ステップS122）。これにより、拡散室16a内に存在する前工程のガスは強制的に排気される（排気工程）。

[0046] 制御装置60は、エッチング工程の実行前（ステップS102）の所定のタイミングに、第4のバルブ14を開から閉へ切り替える（ステップS110：第2の加圧工程）。この時点は、図4に「切り替え前1」として示したタイミングである。これにより、エッチング工程前に第2のバルブ12が閉に制御されている状態で第4のバルブ14が閉に制御される。これにより、ガス供給源20から供給されるエッチング主体ガスは第2のガス供給用配管43内に溜まり、第2のガス供給用配管43内を加圧する。

[0047] 予め定められた堆積時間経過後、制御装置60は、エッチング工程を実行する（ステップS102）。この時点は、図4に「切り替え1」として示したタイミングである。これにより、堆積工程からエッチング工程に切り替わる。このとき、第2のバルブ12が閉から開に制御され（ステップS112）、第1のバルブ11が閉に制御される。これにより、堆積主体ガスの供給は停止され、第2のガス供給用配管43内に溜まったエッチング主体ガスは一気に拡散室16aへと流れる。これにより、拡散室16a内のガス雰囲気

は、瞬時に堆積主体ガスからエッチング主体ガスへと変わり、ガス切り替えのタイミングを短縮するとともに、前工程のガスと次工程のガスとの混合を極力回避ことができる。

[0048] 更に、「切り替え１」のタイミングには、第５のバルブ１５が閉から開へ切り替えられ（ステップＳ１２４）、予め定められた排気時間経過後、開から閉へ切り替えられる（ステップＳ１２６）。これにより、拡散室１６ａ内に存在する前工程のガス（ここでは、堆積主体ガス）は強制的に排気される。また、「切り替え１」のタイミングには、第３のバルブ１３が閉から開に制御される。これにより、第１のガス供給用配管４１内の堆積主体ガスは、第１のバイパス配管４５から排気される。

[0049] 次に、制御装置６０は、堆積工程及びエッチング工程を所定回数実行したかを判定する（ステップＳ１０４）。所定回数実行していれば本処理を終了する。所定回数実行していなければ、ステップＳ１００に戻る。その際、制御装置６０は、予め定められたエッチング時間経過後、エッチング工程から堆積工程に切り替え、堆積工程を実行するが（ステップＳ１００）、その前に第３のバルブ１３を開から閉へ切り替える（ステップＳ１１４：第１の加圧工程）。この時点は、図４に「切り替え前２」のタイミングである。これにより、堆積工程前に第１のバルブ１１が閉に制御されている状態で第３のバルブ１３が閉に制御される。これにより、ガス供給源２０から供給される堆積主体ガスは第１のガス供給用配管４１内に溜まり、第１のガス供給用配管４１内を加圧する。

[0050] 次に、制御装置６０は、堆積工程を実行する（ステップＳ１００）。この時点は、図４に「切り替え２」として示したタイミングである。これにより、エッチング工程から堆積工程に切り替わる。このとき、第１のバルブ１１が閉から開に制御され（ステップＳ１１６）、第２のバルブ１２が閉に制御される。これにより、エッチング主体ガスの供給は停止され、第１のガス供給用配管４１内の堆積主体ガスが一気に拡散室１６ａへと流れる。これにより、拡散室１６ａ内のガス雰囲気は、瞬時にエッチング主体ガスから堆積主

体ガスへと変わり、ガス切り替えのタイミングを短縮するとともに、前工程のガスと次工程のガスとの混合を極力回避ことができる。

[0051] 更に、「切り替え2」のタイミングには、第5のバルブ15が閉から開へ切り替えられ（ステップS120）、予め定められた排気時間経過後、開から閉へ切り替えられる（ステップS122）。これにより、拡散室16a内に存在する前工程のガス（ここでは、エッチング主体ガス）は強制的に排気される。また、「切り替え2」のタイミングには、第4のバルブ14が閉から開に制御される。これにより、第2のガス供給用配管43内のエッチング主体ガスは、第2のバイパス配管46から排気される。

[0052] 以上に説明したように、本実施形態に係るガス供給システム10によれば、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理の2工程で使用されるガス同士が切り替え時にほとんど混ざり合わない。これにより、各工程にて効率よく保護膜の成膜処理及びエッチング処理が実行され、堆積工程での性能及びエッチング工程での性能を改善することができる。

[0053] [加圧工程の開始と圧力の変動]

本実施形態に係るガス供給システム10では、2工程のガス切り替え前に加圧工程を設ける。そこで、以下では加圧工程の開始と圧力の変動について説明する。なお、流量制御装置（FCS）22に連結した第2のガス供給機構F2の流路系は、流量制御装置21に連結した第1のガス供給機構F1の流路系と同様である。よって、ここでは、第1のガス供給機構F1の流路系の加圧工程の開始と圧力変動について説明し、第2のガス供給機構F2の流路系についての説明は省略する。また、以下の説明ではモル数を用いて圧力変動を算出する。モル数は、質量／分子量で表され、ガス種によらない表現が可能であるため、異なる混合ガスにおいても統一的に説明することができる。

[0054] 図5に示したように、第3のバルブ13が開のときの第1のガス供給用配管41内のモル数 n_1 は状態方程式を用いて以下の式により算出される。

$$n_1 = P_1 V_1 / R T$$

ここで、第1のガス供給用配管41内の圧力を P_1 、体積を V_1 とする。

[0055] 流量制御装置21から出力されるガス流量(1000 sccm)を Q_1 とする。第3のバルブを閉じた加圧工程開始から t 秒後の第1のガス供給用配管41内の総モル数 n_2 は、流量制御装置21から第1のガス供給用配管41内に流入されるガス流量 Q_1 のモル数に時間 t を乗算した値と、第1のガス供給用配管41内に存在していたモル数 n_1 とを加算した値となる。加圧工程開始から t 秒後の第1のガス供給用配管41内の総モル数 n_2 を次式(1)に示す。

$$n_2 = Q_1 / RT \times t + P_1 V_1 / RT \cdots (1)$$

よって、加圧工程開始から t 秒後の第1のガス供給用配管41内の圧力 P_2 は、式(1)及び上記状態方程式($n_1 = P_1 V_1 / RT$)を用いて次式(2)のように算出される。

$$P_2 = Q_1 / V_1 \times t + P_1 \cdots (2)$$

[切り替えバルブを開いた後の圧力]

次に、ガス切り替え後、拡散室16aの容積A中のガスが入れ替わるために必要なモル数を計算する。算出した必要モル数を加圧工程中に第1のガス供給用配管41内に貯えることができれば、2つの工程の切り替え時に拡散室16a内を瞬時に前工程のガス種から次工程のガス種に切り替えることができる。

[0056] まず、第1のガス供給用配管41内を流れるガスが粘性流の場合、ハーゲン・ポアズイユの法則が成立する。このときの流量 Q は次式で与えられる。

$$[0057] \quad Q = (5.236 \times 10^{-4} / \eta) \times (a^4 / l) \times P_u (P_{u2} - P_{u1}) \text{ (mTorr} \cdot \text{l/sec)}$$

$$\text{ただし、} P_u = (P_{u2} + P_{u1}) / 2$$

ここで、 P_{u1} は管の出口の圧力(mTorr)であり、 P_{u2} は管の入口の圧力(mTorr)であり、 P_u は平均圧力(mTorr)である。 a は管の半径(cm)、 l は管の長さ、 η はそのときの気体及び管の温度における気体の粘性係数(ポアズ、 $\text{dyn/sec} \cdot \text{cm}^2$)である。25℃の空気を例に

とると、 $\eta_{25} = 1.845 \times 10^{-4}$ である。

[0058] ハーゲン・ポアズイユの法則に基づき、切り替えバルブである図4の第1のバルブ11を開いた後、第1のガス供給用配管41内では次式(3)の流体の時間変化を表す式が成り立つ。

$$[0059] \quad V_1 dP_1 / dt = -C_1 (P_2^2 - P_1^2) + Q_1 \cdots (3)$$

ここで、 P_1 は第1のガス供給用配管41内の圧力であり、 V_1 は第1のガス供給用配管41内の体積である。また、 C_1 は第1のガス供給用配管41内のコンダクタンスであり、 P_2 は拡散室16aの圧力であり、 Q_1 は流量制御装置21から流入されるガス流量である。式(3)は、第1のバルブ11を開けてから第1のガス供給用配管41内に流入又は流出するガスの状態を示す。

[0060] 同様にして、ハーゲン・ポアズイユの法則に基づき、第1のバルブ11を開いた後、拡散室16a内では次式(4)が成り立つ。

$$[0061] \quad V_2 dP_2 / dt = C_1 (P_2^2 - P_1^2) - Q_3 - Q_4 \cdots (4)$$

ここで、 P_2 は拡散室16a内の圧力であり、 V_2 は拡散室16a内の体積である。また、 C_1 は第1のガス供給用配管41内のコンダクタンスであり、 P_1 は第1のガス供給用配管41内の圧力である。また、 Q_3 は拡散室16aからチャンバC内へ導入されるガス流量であり、 Q_4 は拡散室16aから排気用配管47を通して大気側へ流出するガス流量である。式(4)の状態方程式は、第1のバルブ11を開けてから拡散室16a内に流入又は流出するガスの状態を示す。

[0062] 式(3)に基づき第1のガス供給用配管41内の圧力の時間的変化は式(5)にて表される。

$$[0063] \quad dP_1 / dt = -C_1 (P_2^2 - P_1^2) / V_1 + Q_1 / V_1 \cdots (5)$$

また、式(4)に基づき拡散室16a内の圧力の時間的変化は式(6)にて表される。

$$[0064] \quad dP_2 / dt = C_1 (P_2^2 - P_1^2) / V_2 - C_2 (P_2^2 - P_3^2) / V_2 - C_3 (P_2^2 - P_4^2) / V_2 \cdots (6)$$

ここで、 P_3 は、チャンバ内の圧力であり、 P_4 は、排気側の圧力である。

[0065] 第1のガス供給用配管41内の圧力の時間的変化 dP_1/dt を示した式(5)及び拡散室16a内の圧力の時間的変化 dP_2/dt を示した式(6)の方程式を解くと、拡散室16a側に流入するガスのモル数と拡散室16aから流出するガスのモル数とが算出される。排気側に流出するガスのモル数とチャンバC内に流出するガスのモル数との和が、拡散室16a内の容積Aに達したとき、第1のガス供給用配管41側から同量のモル数のガスが拡散室16a内に流入していることになる。このとき、前工程のガスから次工程のガスへの切り替えが完全に完了したことになる。

[0066] 実際に式(5)及び式(6)の方程式を解くと、以下の結果が得られる。

[0067] 拡散室16a内の総モル数のガスが拡散室16aから流出するまでの時間は0.017秒であると算出される。つまり、0.017秒で拡散室16a内のガスはすべて流出し、前工程のガスから次工程のガスへの切り替えが完全に完了する。拡散室16a内のガスがほぼ瞬時に入れ替わることを示している。

[0068] 2つの工程の切り替えの際、拡散室16a内の残留ガスが、チャンバ内へ流出される量を極力減らし、排気ライン側へ流出される量を増やしたい。ここでは、拡散室16a内の総モル数は0.000409molである。図6Aを参照すると、配管径3/8(インチ)、内径 $\phi 7.52$ (mm)の場合、拡散室16aからチャンバC内へ流出する総モル数は、0.000175mol(0.017秒時)、拡散室16aから排気ラインへ流出する総モル数は、0.000235mol(0.017秒時)である。この結果、拡散室16aの残留ガスの約43%がチャンバC側に流出されてしまっていることがわかる。

[0069] 配管径1/4(インチ)、内径 $\phi 4.3$ (mm)の場合、拡散室16aからチャンバC内へ流出する総モル数は、0.000358mol(0.031秒時)、拡散室16aから排気ラインへ流出する総モル数は、0.000051mol(0.031秒時)である。この結果、拡散室16aの残留ガ

スの約88%がチャンバC側に流出され、配管径3/8の場合より更に悪い結果となっている。

[0070] 一方、配管径1/2（インチ）、内径 $\phi 10.4$ （mm）の場合、拡散室16aからチャンバC内へ流出する総モル数は、 0.00007 mol （ 0.009 秒時）、拡散室16aから排気ラインへ流出する総モル数は、 0.000342 mol （ 0.009 秒時）である。この結果、拡散室16aの残留ガスの約17%がチャンバC側に流出され、配管径3/8及び配管径1/4（の場合に比べて良好な結果となっていることがわかる。

[0071] また、図6Bを参照すると、排気工程を設けない場合より、排気工程を設けた場合には切り替え時間が短縮され、配管径1/2（インチ）の場合、切り替え時間が最も短縮されていることがわかる。

[0072] なお、第1のガスの設定流量は 1000 sccm である。これは、一秒毎に 0.000693 モルが流量制御装置21から流出することを示す。拡散室16a内に残留する総ガスが拡散室16aから流出するまでの時間 0.017 秒に、 0.000011781 モルが流量制御装置21から流出することになる。

[0073] 排気ラインを設けない一般的なシステムでは、拡散室16aの残留ガスが100%チャンバC内に流出され、プロセスによくない影響を及ぼす。

[0074] [切り替えバルブ開放後の拡散室の圧力]

本実施形態では堆積工程及びエッチング工程の切り替え前に加圧工程を設け、第1のガス供給用配管41（第2のガス供給用配管43も同じ）内を加圧状態にしている。このため、第1のバルブ11を開いた瞬間、堆積主体ガスが圧力の高い第1のガス供給用配管41から圧力の低い拡散室16aに流れる。このため、拡散室16aの圧力は上昇する。よって、拡散室16aの圧力を通常状態でガスを流しているときの圧力まで早く降下させ、拡散室16aからチャンバCへのガスの導入速度を安定させたい。これにより、良好なプラズマ制御が可能となる。図7では、切り替え時の第1のバルブ11の開放後の拡散室16aの圧力 P_2 （Torr）、排気ライン側へ流出するガス

の流量をモル数で表した線、チャンバ側へ導入されるガスの流量をモル数で表した線、拡散室 16 a 内の残ガスの流量をモル数で表した線が示されている。

[0075] 図 7 に示した結果から、排気ラインの配管径を大きくすれば、排気ライン側へ流出するガスのモル数が多くなるため、拡散室 16 a の圧力をより早く通常状態の圧力まで降下させることができることが予測される。

[0076] ただし、排気ラインの配管径を大きくしすぎると、排気しすぎて、図 7 の位置 P d で示したように、拡散室 16 a の圧力が一旦低下しすぎてしまう。一方、排気ラインの配管径を小さくしすぎると、拡散室 16 a の圧力を通常の圧力まで降下させるまでの時間が多くかかってしまう。そこで、排気しながら、通常の圧力まで降下してきたところ（図 7 の位置 P a、ここでは 0.3 秒）で排気ラインの第 5 のバルブ 15 を閉じる。これにより、図 7 の位置 P d で示したような拡散室 16 a の過度な圧力低下を防止し、拡散室 16 a 内の圧力を通常の圧力まで迅速に降下させて安定させることができる。なお、拡大図に示しているように、約 3 / 100 秒で拡散室 16 a 内のモル数は 0 になると推定される。

[0077] [評価結果]

次に、本発明の一実施形態に係るガス供給システム 10 による堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理の実験結果について、図 8 ~ 11 を参照しながら説明する。図 8 は、本実施形態に係る加圧工程の実験結果を示した図である。図 9 は、本実施形態に係る排気工程の実験結果を示した図である。図 10 は、図 8 及び図 9 の実験結果をグラフ化した図である。図 11 は、本実施形態に係る加圧工程及び排気工程を加えた堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理の実験結果を示した図である。

[0078] （加圧工程評価／図 8）

まず、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理中に本実施形態に係る加圧工程を追加した場合の効果について説明する。図 8 は、以下のプロセス条件に基づき堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ

処理を実行中における、加圧工程の有無による深穴のエッチング結果の相違を示す。図8の左側には加圧工程を実行しなかった場合が示され、図8の中央には加圧工程を1秒間実行した場合が示され、図8の右側には加圧工程を2秒間実行した場合が示されている。このときのプロセス条件は、以下の通りである。

1. 堆積工程

圧力 : 200 (mTorr)

高周波電力 : プラズマ生成用HF 2500 (W) / バイアス用LF 0 (W)

堆積ガス : $\text{SiF}_4 / \text{O}_2 = 400 / 300$ (sccm)

温度 : 20°C

工程時間 : 0.02 (min)

2. エッチング工程

圧力 : 200 (mTorr)

高周波電力 : プラズマ生成用HF 2500 (W) / バイアス用LF 0 (W)

エッチングガス : $\text{O}_2 / \text{SF}_6 = 100 / 600$ (sccm)

温度 : 20°C

工程時間 : 0.05 (min)

また、本実験では、口径10 μm のフォトリソ膜5.5 μm をマスクとして用いてシリコン基板上に深穴を形成した。

[0079] この結果によれば、加圧工程が1秒又は2秒間実行された場合には、加圧工程が実行されなかった場合に比べて、レジスト膜に対するシリコン基板の選択比 (selectivity) が向上していることを確認できた。

[0080] (排気工程評価/図9)

次に、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理中に本実施形態に係る排気工程を追加した場合の効果について説明する。図9は、上記のプロセス条件に基づき堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ

処理を実行中における、排気工程の有無による深穴のエッチング結果の相違を示す。図9の左側には排気工程を実行しなかった場合が示され、図9の中央には排気工程を0.5秒間実行した場合が示され、図9の右側には排気工程を1秒間実行した場合が示されている。

[0081] この結果によれば、排気工程が0.5秒又は1秒間実行された場合には、排気工程が実行されなかった場合に比べて、レジスト膜に対するシリコン基板の選択比（*selectivity*）が向上していることを確認できた。

[0082] 図8及び図9の実験結果をグラフ化した図10を参照すると、特に、選択比を高めるためには、図10の左側の加圧工程において1秒～2秒程度の加圧時間が好ましく、図10の右側の排気工程において0.5秒前後の排気時間が好ましいことがわかる。

[0083] これらの結果から、加圧工程及び排気工程ともに拡散室16aでのガスの切り替え時間を短縮する効果があり、堆積工程で保護膜を生成する性能が向上したため、期待通りの保護膜が成膜され、エッチング工程においてレジスト膜の減りが抑えられ、選択比が向上したと推測される。

[0084] （加圧工程＋排気工程評価／図11）

次に、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理中に本実施形態に係る加圧工程及び排気工程を追加した場合の効果について説明する。図11は、上記のプロセス条件に基づき堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理の実行中において、加圧工程及び排気工程の有無による深穴のエッチング結果の相違を示す。図11の左側には、バルブ制御なし（加圧工程及び排気工程なし）の場合が示され、図11の右側には、バルブ制御あり（加圧工程及び排気工程あり）の場合が示されている。各工程時間は次の通りである。

・バルブ制御なし（加圧工程及び排気工程なし）の場合

堆積工程 ： 2 秒

エッチング工程 ： 5 秒

・バルブ制御あり（加圧工程及び排気工程あり）の場合

堆積工程 : 1 秒
エッチング工程 : 5 秒
加圧工程 : 1 秒
排気工程 : 0. 5 秒

この結果によれば、バルブ制御あり（加圧工程及び排気工程あり）の場合には、バルブ制御なし（加圧工程及び排気工程なし）の場合に比べて、レジスト膜に対するシリコン基板の選択比（ $s e l$ ）が約 6 % 向上し、さらにエッチングレート（ E / R ）が約 6 % 向上していることを確認できた。また、スキヤロップが軽減され、良好なエッチング形状が得られた。

[0085] また、バルブ制御なし（加圧工程及び排気工程なし）の場合には、堆積工程 2 秒、エッチング工程 5 秒の 7 秒周期で堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理を実行していた。これに対して、バルブ制御あり（加圧工程及び排気工程あり）の場合には、エッチング工程 5 秒に対して堆積工程 1 秒というように堆積工程を短くしても、良好な保護膜を形成できることがわかった。この場合、切り替え時間は 1 秒（加圧工程 1 秒、排気工程 0. 5 秒）である。実験結果から、本実施形態によるガス供給システム 10 によれば、加圧工程及び排気工程を設けることによって、堆積工程に対するエッチング工程の時間を長くすることができ、エッチング工程の処理時間を堆積工程の処理時間より最大で 5 倍とすることが可能になる。

[0086] 以上に説明したように、本実施形態に係るガス供給システム 10 によれば、加圧工程と排気工程とを設けたことによりガスの切り替え時間を短縮し、また、切り替え時、前後工程のガスの混合を抑制することができる。これにより、堆積工程の時間を短縮しても適切な膜厚の保護膜を生成することができる。よって、堆積時間に対するエッチング時間を長くすることができ、より深く穴をエッチングすることができる。堆積時間に対するエッチング時間を長くすることができるため、エッチングレート（ E / R ）を高く維持することができる。さらに、選択比も改善され、良好なエッチング形状を得ることができる。また、堆積工程を短縮できるため、堆積工程とエッチング工程

を繰り返し行うプラズマ処理の周期を短縮することができる。

[0087] [半導体製造装置の全体構成]

最後に、本実施形態に係るガス供給システム 10 を使用する半導体製造装置 30 の一例について、図 12 を参照しながら説明する。

[0088] 図 12 は、ガス供給システム 10 を使用する半導体製造装置 30 の全体構成を模式的に示す。半導体製造装置 30 は、内部が気密に保持され、電氣的に接地されたチャンバ C を有している。半導体製造装置 30 は、チャンバ C 外にて本実施形態に係るガス供給システム 10 と連結されている。ガス供給システム 10 は、所定の切り替えタイミングにチャンバ C 内に堆積主体ガスとエッチング主体ガスとを交互に繰り返し供給する。これにより、半導体製造装置 30 のチャンバ C 内にて生成されるプラズマによって、被処理体であるシリコン基板 W に堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理のエッチングが施されシリコン基板 W に所望の径の深穴を形成することができる。

[0089] チャンバ C は、円筒状であり、例えば表面を陽極酸化処理されたアルミニウム等から構成される。チャンバ C 内には、シリコン基板 W を水平に支持する載置台 102 が設けられている。載置台 102 は、例えば表面を陽極酸化処理されたアルミニウム等から構成され、下部電極としても機能する。載置台 102 は、導体の支持台 104 に支持されており、絶縁板 103 を介して昇降機構 107 により昇降可能となっている。昇降機構 107 は、チャンバ C に配設され、ステンレス鋼よりなるベローズ 108 により覆われている。ベローズ 108 の外側にはベローズカバー 109 が設けられている。載置台 102 の上方の外周には、例えば単結晶シリコンで形成されたフォーカスリング 105 が設けられている。更に、載置台 102 及び支持台 104 の周囲を囲むように、例えば石英等からなる円筒状の内壁部材 103a が設けられている。

[0090] 載置台 102 には、第 1 の整合器 111a を介して第 1 の高周波電源 110a が接続され、第 1 の高周波電源 110a から所定周波数（27MHz 以

上例えば40MHz)のプラズマ生成用の高周波電力が供給されるようになっている。また、載置台102には、第2の整合器111bを介して第2の高周波電源110bが接続され、第2の高周波電源110bから所定周波数(13.56MHz以上例えば2MHz)のバイアス用の高周波電力が供給されるようになっている。一方、載置台102の上方には、載置台102と平行に対向するように上部電極として機能するシャワーヘッド116が設けられており、シャワーヘッド116と載置台102とは一对の電極として機能するようになっている。

[0091] 載置台102の上面には、基板Wを静電吸着するための静電チャック106が設けられている。静電チャック106は、絶縁体106bの間に電極106aを介在している。電極106aには直流電圧源112が接続され、直流電圧源112から電極106aに直流電圧が印加されることにより、クーロン力によって基板Wが吸着される。

[0092] 支持体104の内部には、冷媒流路104aが形成されている。冷媒流路104aには、冷媒入口配管104b、冷媒出口配管104cが接続されている。冷媒流路104a中に適宜冷媒として例えば冷却水等を循環させることにより、基板Wを所定の温度に制御する。基板Wの裏面側にヘリウムガス(He)等の冷熱伝達用ガス(バックサイドガス)を供給するための配管130が設けられている。

[0093] シャワーヘッド116は、チャンバCの天井部分に設けられている。シャワーヘッド116は、本体部116aと電極板をなす上部天板116bとを有している。シャワーヘッド116は、絶縁性部材145を介してチャンバCの上部に支持されている。本体部116aは、導電性材料、例えば表面が陽極酸化処理されたアルミニウムからなり、その下部に上部天板116bを着脱可能に支持する。

[0094] 本体部116aの内部には、ガスの拡散室16aが設けられ、拡散室16aの下部に位置するように、本体部116aの底部には多数のガス通流孔116dが形成されている。上部天板116bには、上部天板116bを厚さ

方向に貫通するようにガス導入孔 116 e がガス通流孔 116 d と連通するように設けられている。このような構成により、拡散室 16 a に供給されたガスは、ガス通流孔 116 d 及びガス導入孔 116 e を介してチャンバ C 内のプラズマ処理空間にシャワー状に導入される。なお、本体部 116 a 等には、冷媒を循環させるための図示しない配管が設けられ、シャワーヘッド 116 を冷却して所望の温度に調整する。

[0095] 本体部 116 a には、拡散室 16 a へガスを導入するためのガス導入口 116 g が形成されている。ガス導入口 116 g には、ガス供給配管 115 a を介してガス調整部 115 b が接続されている。

[0096] シャワーヘッド 116 には、ローパスフィルタ (LPF) 151 を介して可変直流電圧源 152 が電氣的に接続されている。可変直流電圧源 152 は、オン・オフスイッチ 153 により給電のオン・オフが可能となっている。可変直流電圧源 152、オン・オフスイッチ 153 は、制御装置 60 によって制御される。第 1 の高周波電源 110 a 及び第 2 の高周波電源 110 b から高周波が載置台 102 に印加され、プラズマ処理空間にプラズマが発生する際には、必要に応じて制御装置 60 がオン・オフスイッチ 153 をオンに制御する。これにより、シャワーヘッド 116 に所定の直流電圧が印加される。

[0097] チャンバ C の側壁からシャワーヘッド 116 の高さ位置よりも上方に延びるように円筒状の接地導体 101 a が設けられている。この円筒状の接地導体 101 a は、その上部に天板を有している。チャンバ C の底部には、排気口 171 が形成されている。排気口 171 には、排気装置 173 が接続されている。排気装置 173 は、真空ポンプを有し、真空ポンプを作動させることによりチャンバ C 内を所定の真空度まで減圧する。一方、チャンバ C の側壁には、開閉により搬入出口 174 から基板 W を搬入又は搬出するためのゲートバルブ 175 が設けられている。

[0098] 載置台 102 の処理時における上下方向の位置に対応するチャンバ C の周囲には、環状又は同心状に延在するダイポールリング磁石 124 が配置され

ている。ダイポールリング磁石 124 は、図 13 の横断面図に示したように、リング状の磁性体からなるケーシング 126 内に、複数個（例えば 16 個）の異方性セグメント柱状磁石 125 を周方向に一定の間隔で配列する。図 13 において、各異方性セグメント柱状磁石 125 の磁化の方向をケーシング 126 の周方向に従って少しずつずらすことにより、全体として一方向に向かう一様な水平磁界 B を形成することができる。

[0099] したがって、載置台 102 とシャワーヘッド 116 との間の空間には、第 1 の高周波電源 110a により鉛直方向の RF 電界が形成されるとともに、ダイポールリング磁石 124 により水平磁界 B が形成される。これらの直交電磁界を用いるマグネトロン放電により、載置台 102 の表面近傍に高密度のプラズマを生成することができる。

[0100] 再び図 12 に戻り、制御装置 60 は、レシピに従い半導体製造装置 30 を制御する。制御装置 60 は、CPU を備え、半導体製造装置 30 の各部を制御するプロセスコントローラ 61 とユーザインターフェース 62 と記憶部 63 とを有する。ユーザインターフェース 62 は、工程管理者や半導体製造装置 30 を管理するためにコマンドの入力操作を行うキーボードや、半導体製造装置 30 の稼動状況を可視化して表示するディスプレイ等から構成されている。

[0101] 記憶部 63 には、半導体製造装置 30 にて実行される各種制御プログラムやデータがレシピとして格納されている。プロセスコントローラ 61 は、ユーザインターフェース 62 からの指示に従い、必要なレシピを記憶部 63 から読み出して実行することにより、チャンバ C 内で基板 W に所望のプロセスが施される。レシピは、コンピュータ読取可能な記憶媒体等に格納された状態であっても良く、通信を利用して利用可能な状態であってもよい。

[0102] [応用例]

以上、本実施形態に係るガス供給システム 10 により基板 W に深穴を形成するエッチング処理を例に挙げて説明した。以下では応用例について、図 14 を参照しながら説明する。

[0103] 応用例では、半導体チップの内部を貫通するスルーホール（TSV：Through-Silicon Via）の電極を用いて、上下の半導体チップ間を電氣的に接続する立体配線技術に本実施形態に係る半導体製造装置30を使用する。図14では、上部半導体チップ400の内部にスルーホール（TSV）405が形成されている。このスルーホール405に配線を通し、スルーホール405及びバンプ505を介して上部半導体チップ400のパッド電極410と下部半導体チップ500のパッド電極510とを導通する。

[0104] ここでは、上記スルーホール405を、本実施形態に係るガス供給システム10を使用した半導体製造装置30により形成する。この3D配線によれば、径が $30\mu\text{m}$ ～ $50\mu\text{m}$ のTSVに対してスルーホール405を形成することができる。

[0105] これによれば、TSVの電極において、小型化、処理の高速化、消費電力の低下を図ることができる。また、TSVの製造過程において、堆積工程とエッチング工程を繰り返し行うプラズマ処理にて加圧工程及び排気工程を行うことによりガスの切り替え時間を短縮することができる。

[0106] <おわりに>

以上、添付図面を参照しながら本発明に係る半導体製造装置のガス供給方法、ガス供給システム及び半導体製造装置の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明に係る半導体製造装置のガス供給方法、ガス供給システム及び半導体製造装置は、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、特許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、当然に本発明に係る半導体製造装置のガス供給方法、ガス供給システム及び半導体製造装置の技術的範囲に属するものと了解される。

[0107] 例えば、本発明の排気工程は、エッチング工程及び堆積工程の開始と同時に第5のバルブを開いてもよいし、開始直前又は開始直後のいずれかのタイ

ミングに排気用配管に設けられた第5のバルブを開いてもよい。

[0108] また、第1の加圧工程は、直前に実行されている堆積工程中又は工程後に実行してもよい。

[0109] 前記排気工程は、第1ガス配管を通じて第1のガスを拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第1工程及び第2ガス配管を通じて第2のガスを前記拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第2工程の開始と同時に、開始直前又は開始直後のいずれかのタイミングに前記第5のバルブを開いてもよい。

[0110] 前記第1の加圧工程は、直前に実行されている前記第2工程中又は直前に実行された前記第2工程後に実行されてもよい。

[0111] 前記第2の加圧工程は、直前に実行されている前記第1工程中又は直前に実行された前記第1工程後に実行されてもよい。

[0112] 前記第1工程は、堆積工程であり、前記第2工程は、エッチング工程であり、前記エッチング工程は、前記堆積工程より最大で5倍の処理時間を有してもよい。

[0113] 前記第1のガスは、 SiF_4 ガス及び O_2 ガスを含んでもよい。

[0114] 前記第2のガスは、 SF_6 ガス及び O_2 ガスを含んでもよい。

[0115] また、本発明に係る半導体製造装置は、チャンバ内の平行平板電極間に生じる高周波の放電により容量結合プラズマ(CCP:Capacitively Coupled Plasma)を生成する容量結合型プラズマ処理装置に限られず、例えば、チャンバの上面または周囲にアンテナを配置して高周波の誘導電磁界の下で誘導結合プラズマ(ICP:Inductively Coupled Plasma)を生成する誘導結合型プラズマ処理装置、マイクロ波のパワーを用いてプラズマ波を生成するマイクロ波プラズマ処理装置等にも適用可能である。

[0116] 本発明においてプラズマ処理を施される被処理体は、シリコン基板、半導体ウエハ、フラットパネルディスプレイ(FPD:Flat Panel Display)用の大型基板、EL素子又は太陽電池用の基板等いかなるものであってもよい。

[0117] 本国際出願は、2012年3月16日に提出された日本国特許出願201

2-060636号に基づく優先権を主張するものであり、その全内容を本国際出願に援用する。

符号の説明

[0118]	1 0	ガス供給システム
	1 1	第1のバルブ
	1 2	第2のバルブ
	1 3	第3のバルブ
	1 4	第4のバルブ
	1 5	第5のバルブ
	1 6 a	拡散室
	2 0	ガス供給源
	2 1, 2 2	流量制御装置
	3 0	半導体製造装置
	4 1	第1のガス供給用配管
	4 2	第1のガス導入用配管
	4 3	第2のガス供給用配管
	4 4	第2のガス導入用配管
	4 5	第1のバイパス配管
	4 6	第2のバイパス配管
	4 7	排気用配管
	6 0	制御装置
	1 1 5 b	ガス調整部
	1 1 5 c	排気装置
	F 1	第1のガス供給機構
	F 2	第2のガス供給機構
	F 3	排気機構

請求の範囲

[請求項1]

第1 ガス配管を通じて第1 のガスを拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第1 工程と、第2 ガス配管を通じて第2 のガスを前記拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第2 工程と、を交互に繰り返す半導体製造装置のガス供給方法であって、

第1 のバルブにより前記第1 ガス配管と前記拡散室との連通を制御し、

第2 のバルブにより前記第2 ガス配管と前記拡散室との連通を制御し、

前記第1 ガス配管の第1 のバルブよりも上流側に接続した第3 のバルブにより第1 ガス配管内のガスの排出を制御し、

前記第2 ガス配管の第2 のバルブよりも上流側に接続した第4 のバルブにより第2 ガス配管内のガスの排出を制御し、

第5 のバルブにより排気用配管と前記拡散室との連通を制御し、

前記第1 工程の前に、前記第1 のバルブを閉じかつ前記第3 のバルブを閉め、前記第1 のガスにより前記第1 ガス配管内の前記第1 のガスの圧力を上昇させる第1 の加圧工程と、

前記第2 工程の前に、前記第2 のバルブを閉じかつ前記第4 のバルブを閉め、前記第2 のガスにより前記第2 ガス配管内の前記第2 のガスの圧力を上昇させる第2 の加圧工程と、

前記第1 工程の開始及び前記第2 工程の開始に応じて前記第5 のバルブを開き、前記拡散室内のガスを排気する排気工程と、

を含むことを特徴とする半導体製造装置のガス供給方法。

[請求項2]

前記排気工程は、前記第1 工程及び前記第2 工程の開始と同時に、開始直前又は開始直後のいずれかのタイミングに前記第5 のバルブを開くことを特徴とする請求項1 に記載の半導体製造装置のガス供給方法。

[請求項3] 前記第1の加圧工程は、直前に実行されている前記第2工程中又は直前に実行された前記第2工程後に実行されることを特徴とする請求項1に記載の半導体製造装置のガス供給方法。

[請求項4] 前記第2の加圧工程は、直前に実行されている前記第1工程中又は直前に実行された前記第1工程後に実行されることを特徴とする請求項1に記載の半導体製造装置のガス供給方法。

[請求項5] 前記第1工程は、堆積工程であり、前記第2工程は、エッチング工程であり、

前記エッチング工程は、前記堆積工程より最大で5倍の処理時間を有することを特徴とする請求項1に記載の半導体製造装置のガス供給方法。

[請求項6] 前記第1のガスは、 SiF_4 ガス及び O_2 ガスを含むことを特徴とする請求項1に記載の半導体製造装置のガス供給方法。

[請求項7] 前記第2のガスは、 SF_6 ガス及び O_2 ガスを含むことを特徴とする請求項1に記載の半導体製造装置のガス供給方法。

[請求項8] 第1ガス配管を通じて第1のガスを拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第1工程と、第2ガス配管を通じて第2のガスを前記拡散室に通してチャンバ内に供給し、被処理体をプラズマ処理する第2工程と、を交互に繰り返す半導体製造装置のガス供給システムであって、

前記第1ガス配管と前記拡散室との連通を制御する第1のバルブと、

前記第2ガス配管と前記拡散室との連通を制御する第2のバルブと、

前記第1ガス配管の第1のバルブよりも上流側に接続され、第1ガス配管内のガスの排出を制御する第3のバルブと、

前記第2ガス配管の第2のバルブよりも上流側に接続され、第2ガス配管内のガスの排出を制御する第4のバルブと、

排気用配管と前記拡散室との連通を制御する第5のバルブと、

前記第1工程の前に、前記第1のバルブを閉じかつ前記第3のバルブを閉め、前記第1のガスにより前記第1ガス配管内の前記第1のガスの圧力を上昇させる第1のガス供給機構と、

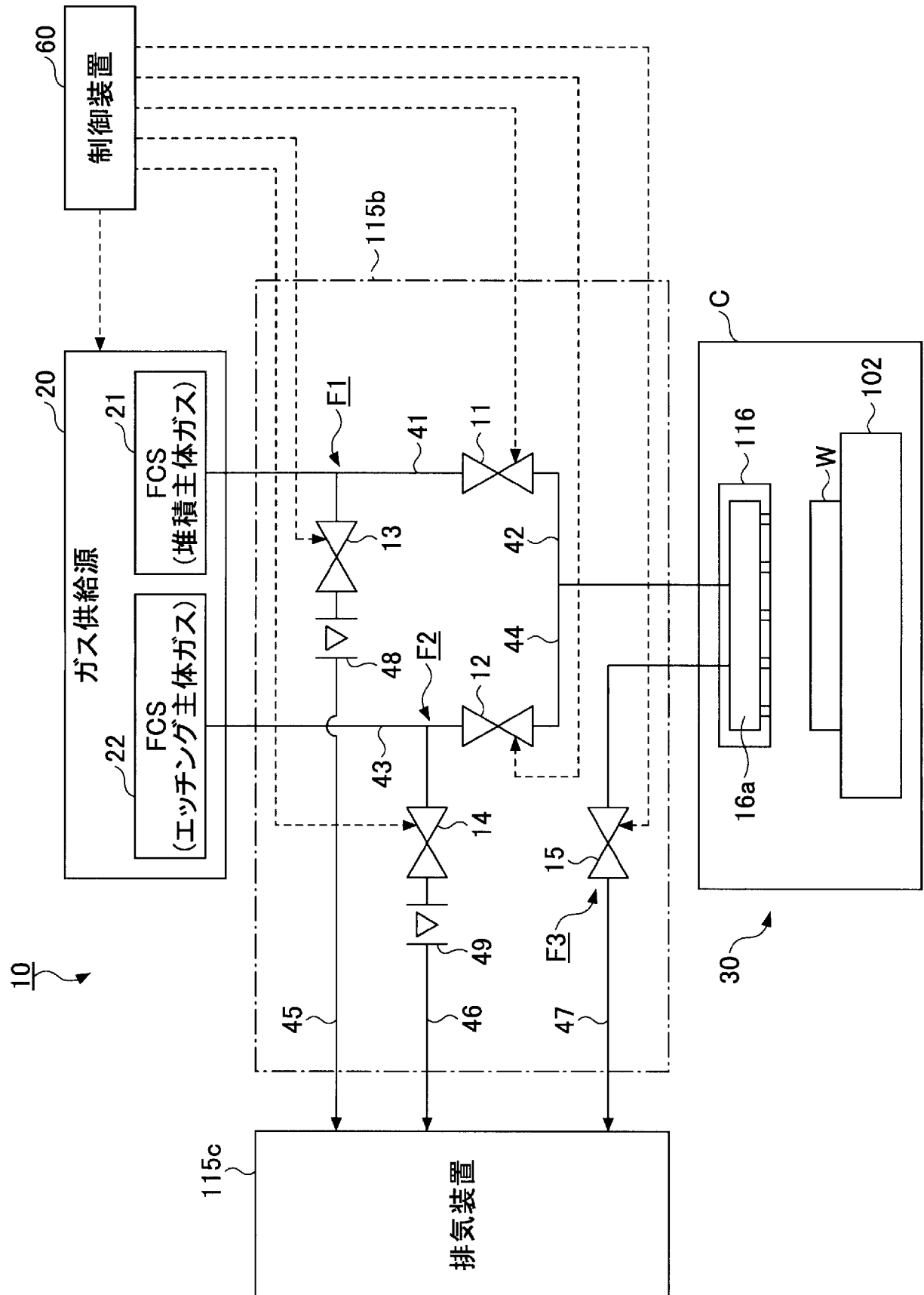
前記第2工程の前に、前記第2のバルブを閉じかつ前記第4のバルブを閉め、前記第2のガスにより前記第2ガス配管内の前記第2のガスの圧力を上昇させる第2のガス供給機構と、

前記第1工程の開始及び前記第2工程の開始に応じて前記第5のバルブを開き、前記拡散室内のガスを排気する排気機構と、

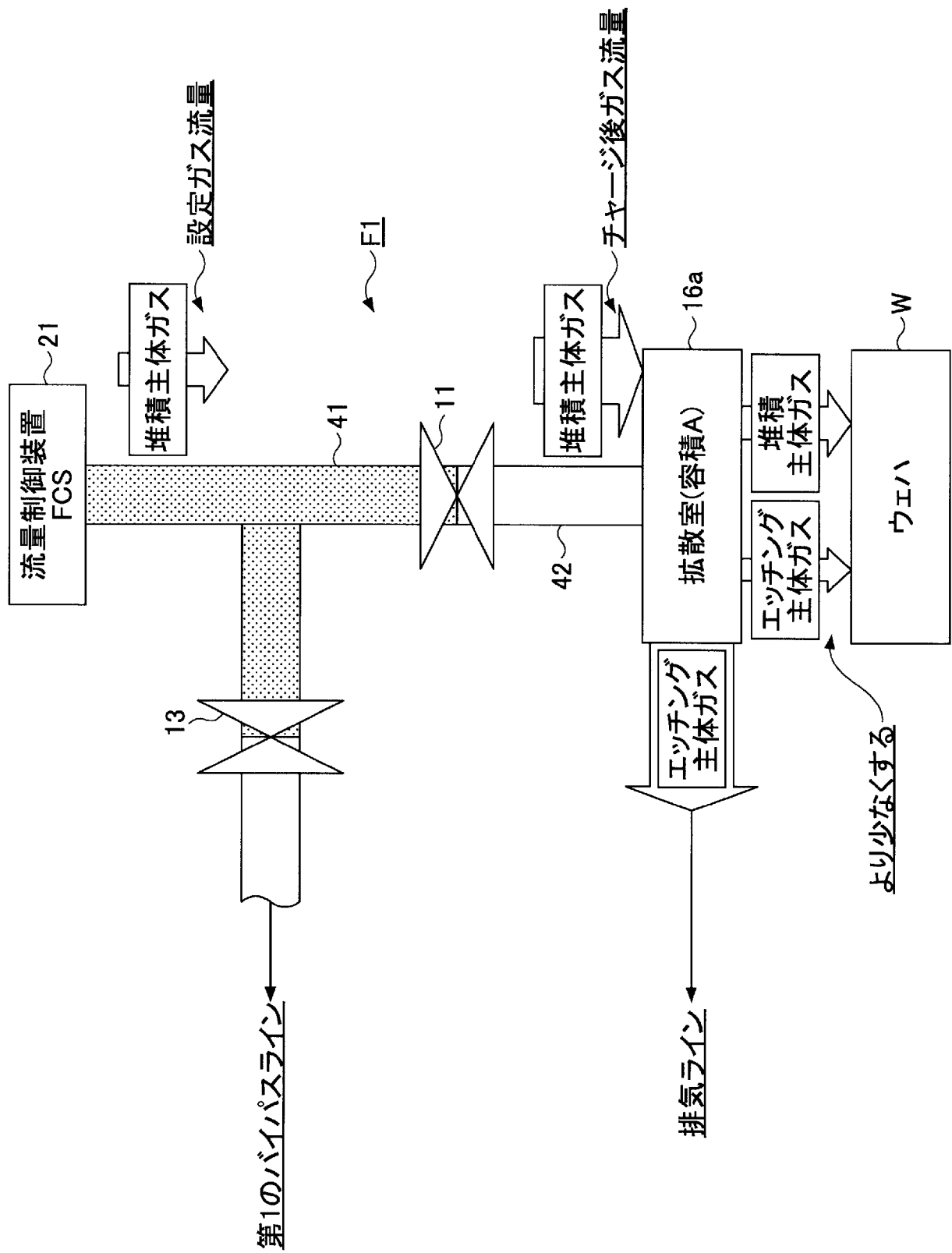
を含むことを特徴とするガス供給システム。

[請求項9] 前記請求項8のガス供給システムを用いて被処理体にプラズマ処理を施す半導体製造装置。

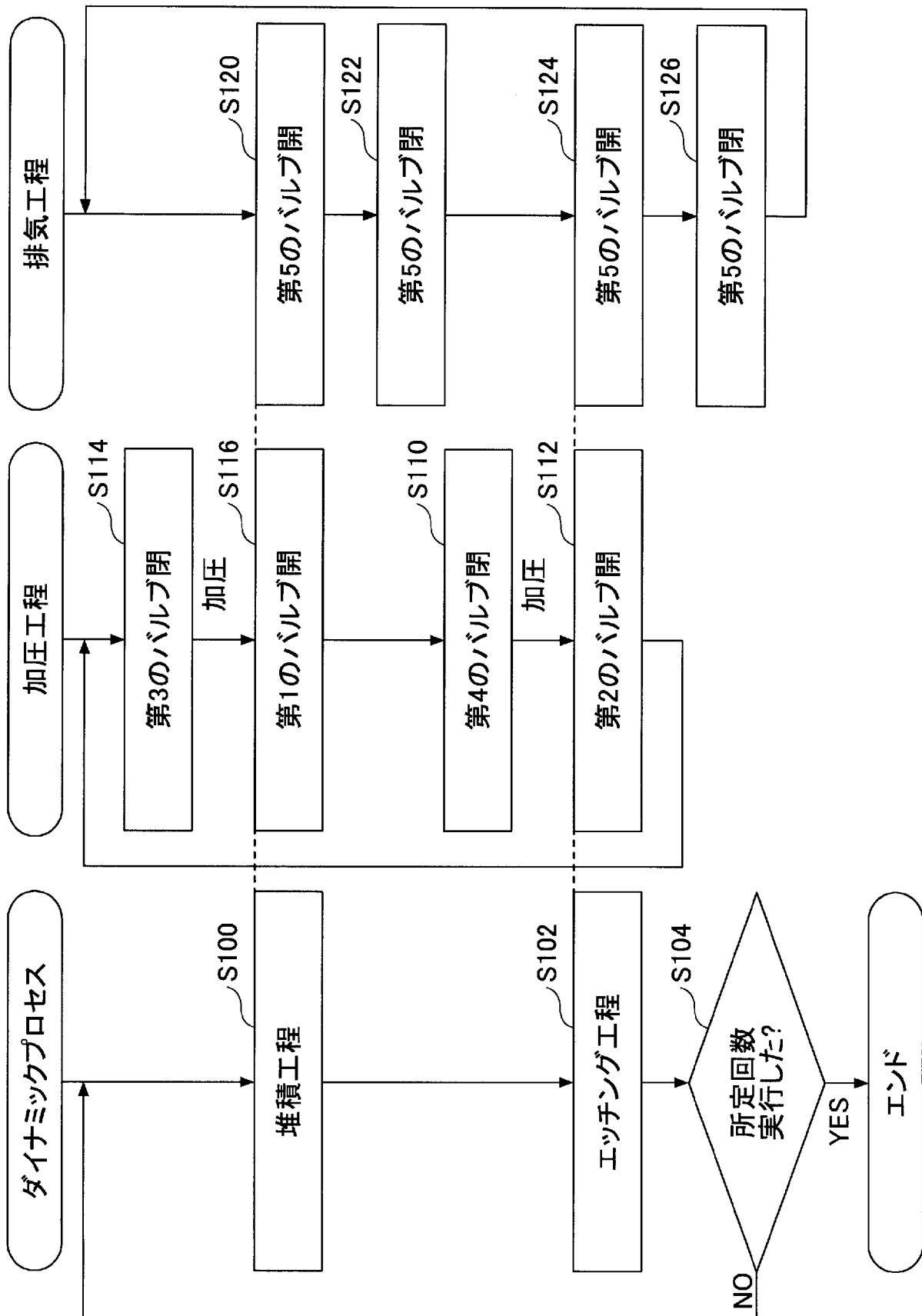
[図1]



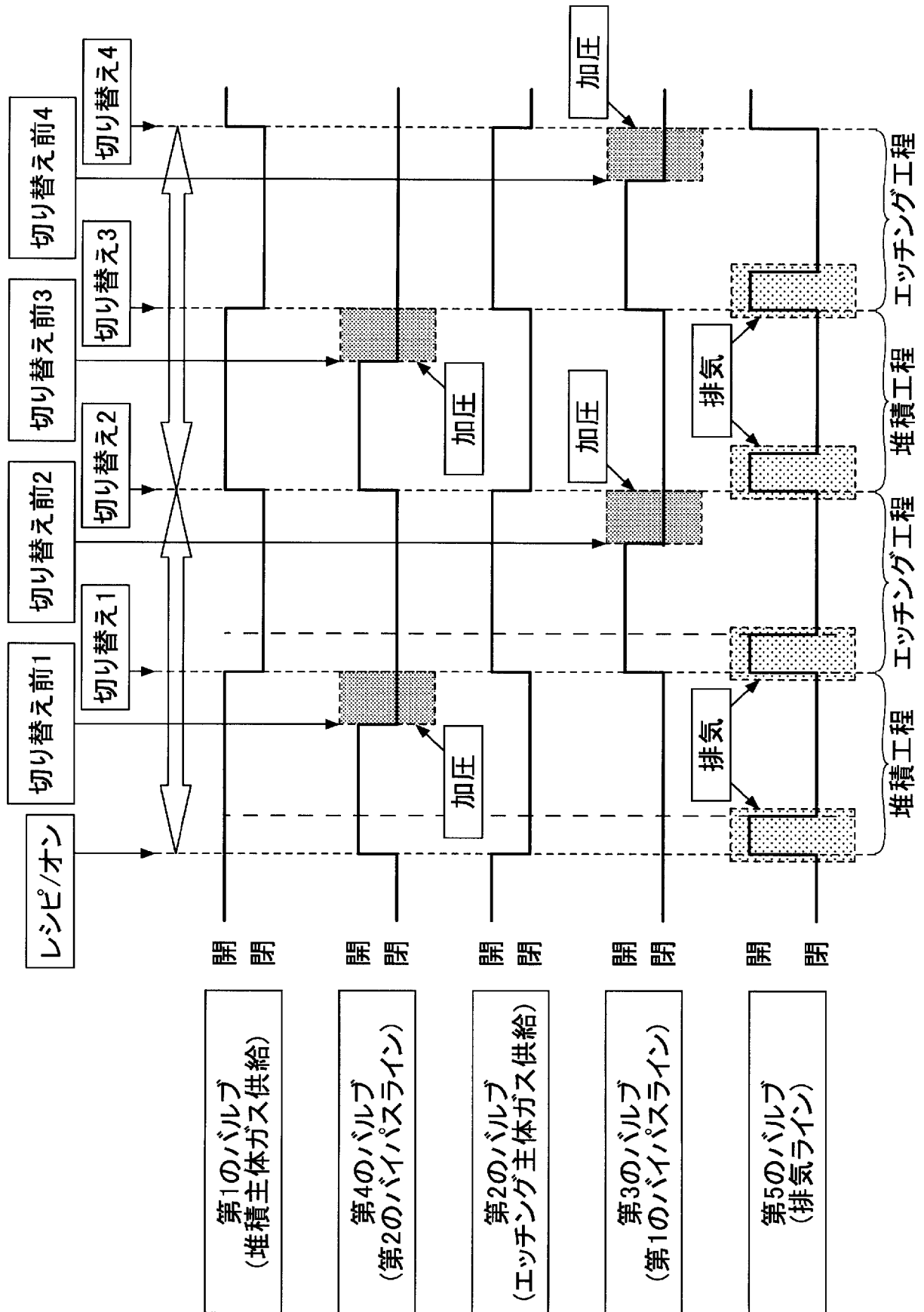
[図2]



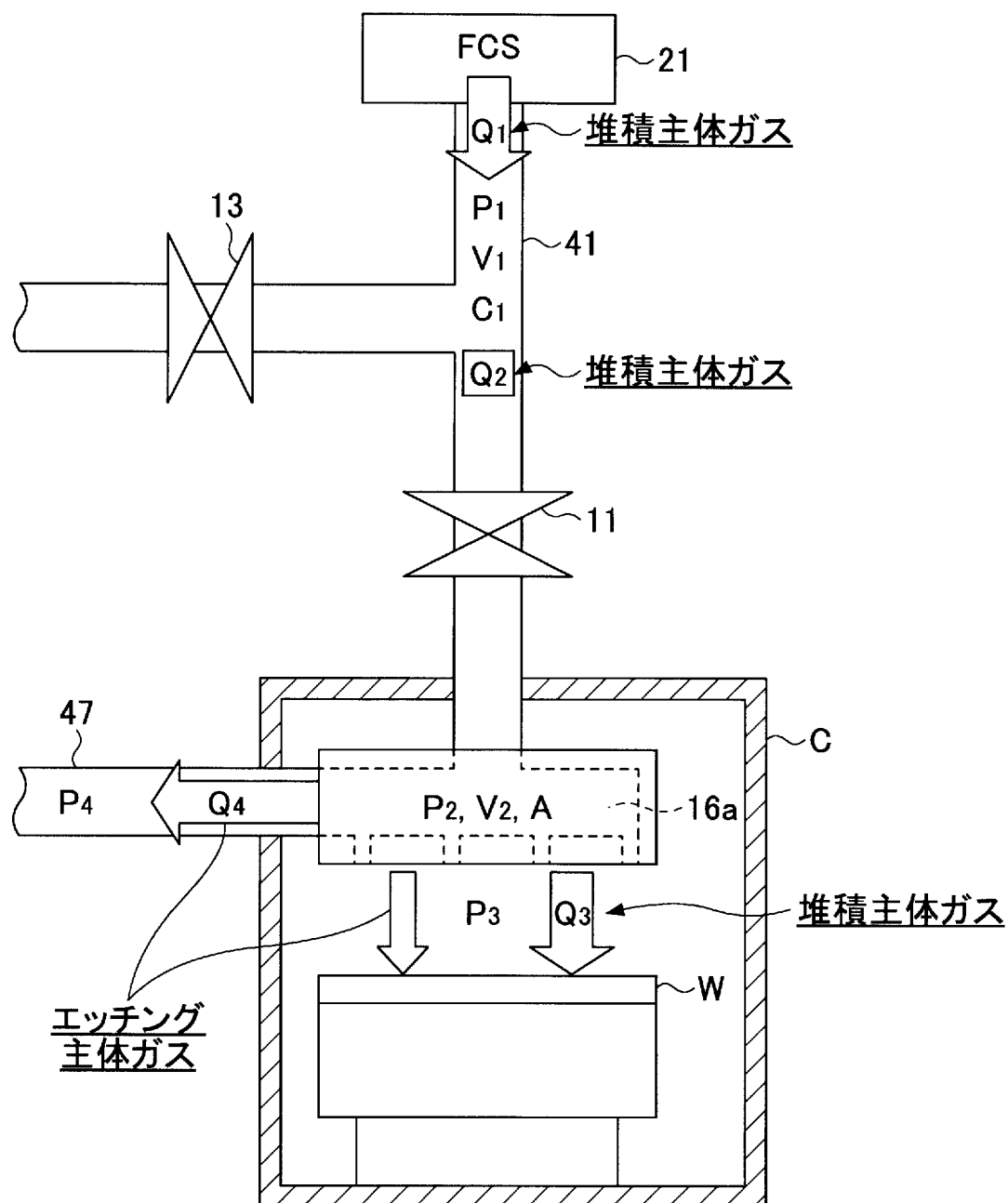
[図3]



[図4]



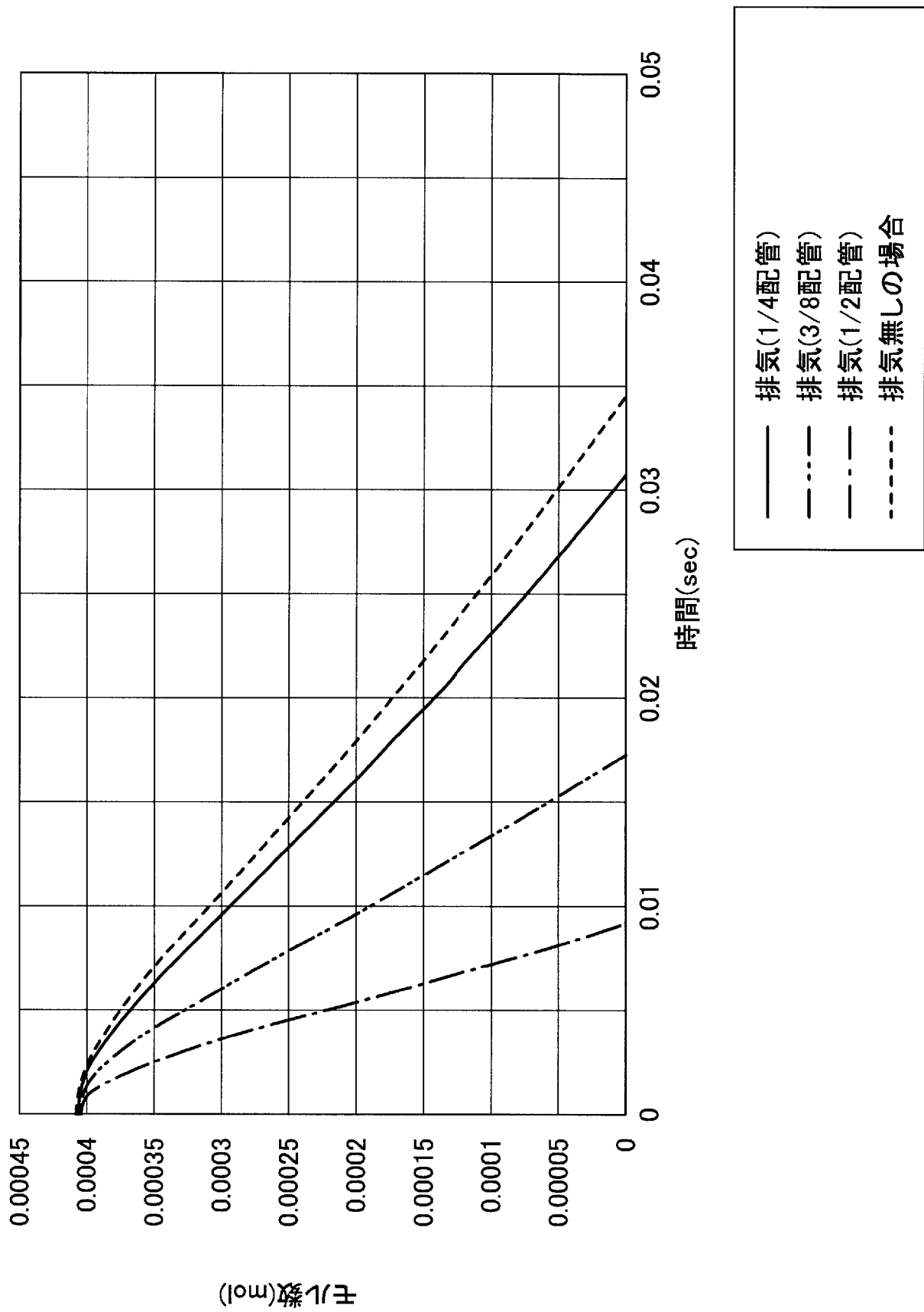
[図5]



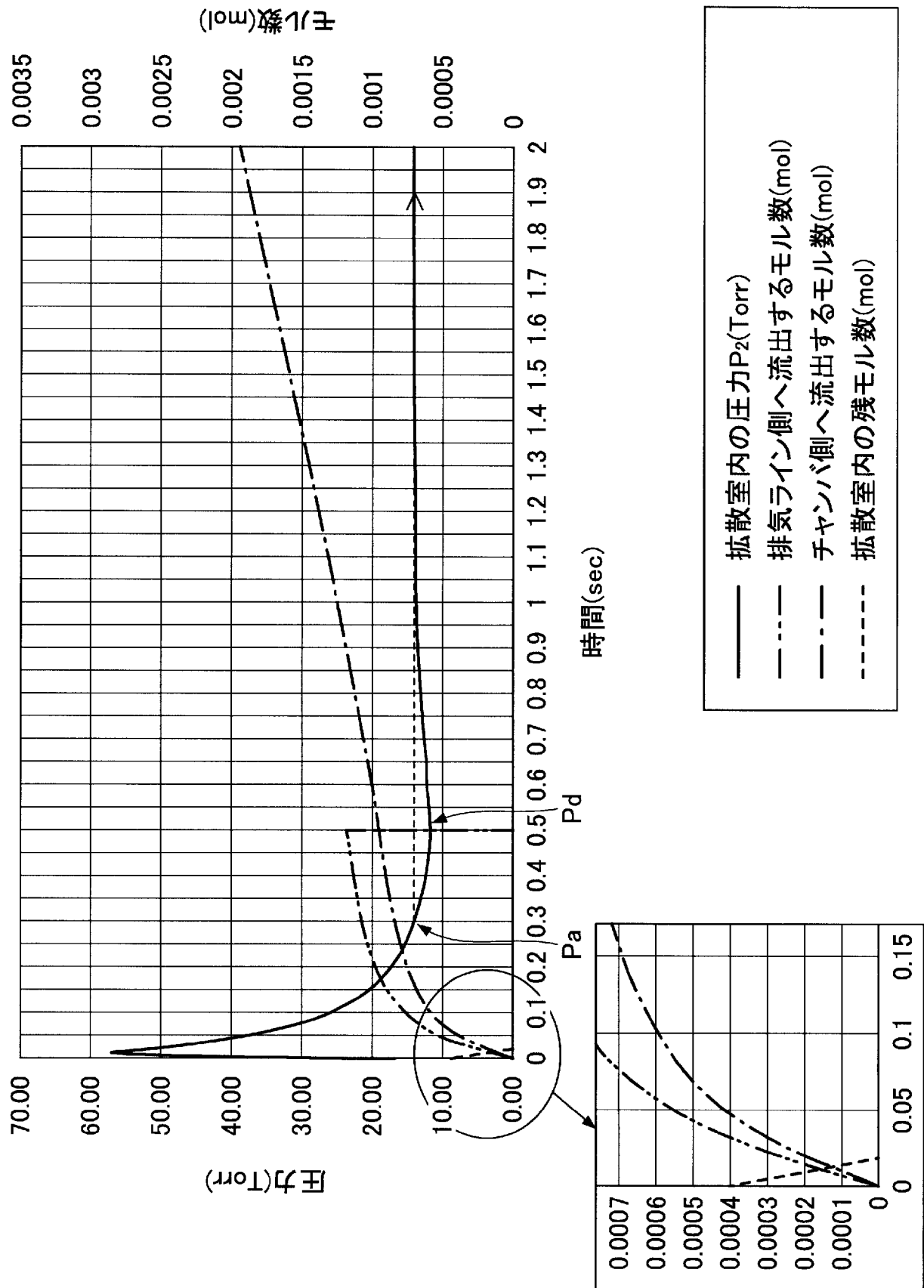
[図6A]

	内径(mm)	流量(mol)		流量比 (チャンバ側)%	時間(sec)
		排気ライン側	チャンバ側		
排気なし		0	0.000409	100%	0.034
1/4(インチ)配管	φ 4.3	0.000051	0.000358	88%	0.031
3/8(インチ)配管	φ 7.52	0.000235	0.000175	43%	0.017
1/2(インチ)配管	φ 10.4	0.000342	0.00007	17%	0.009

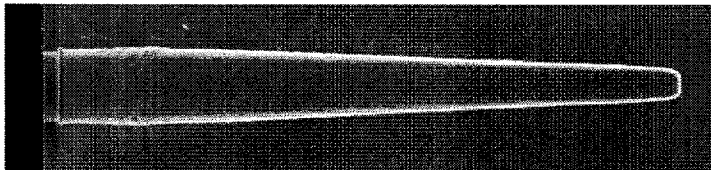
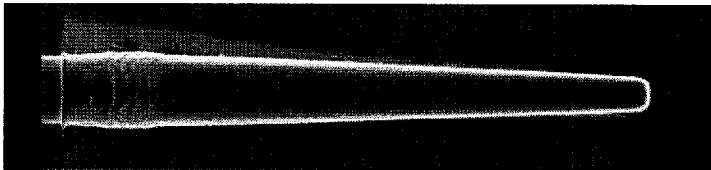
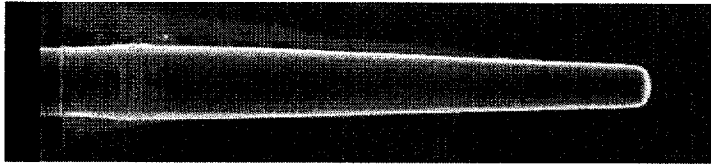
[図6B]



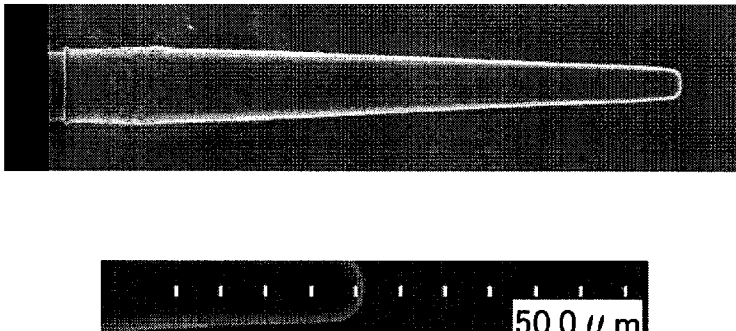
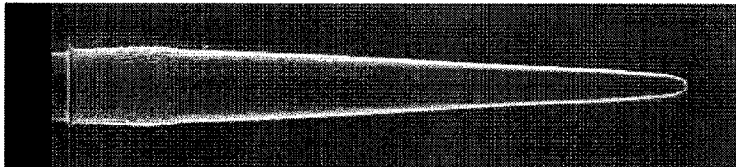
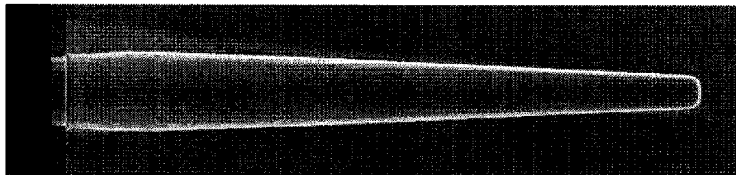
[図7]



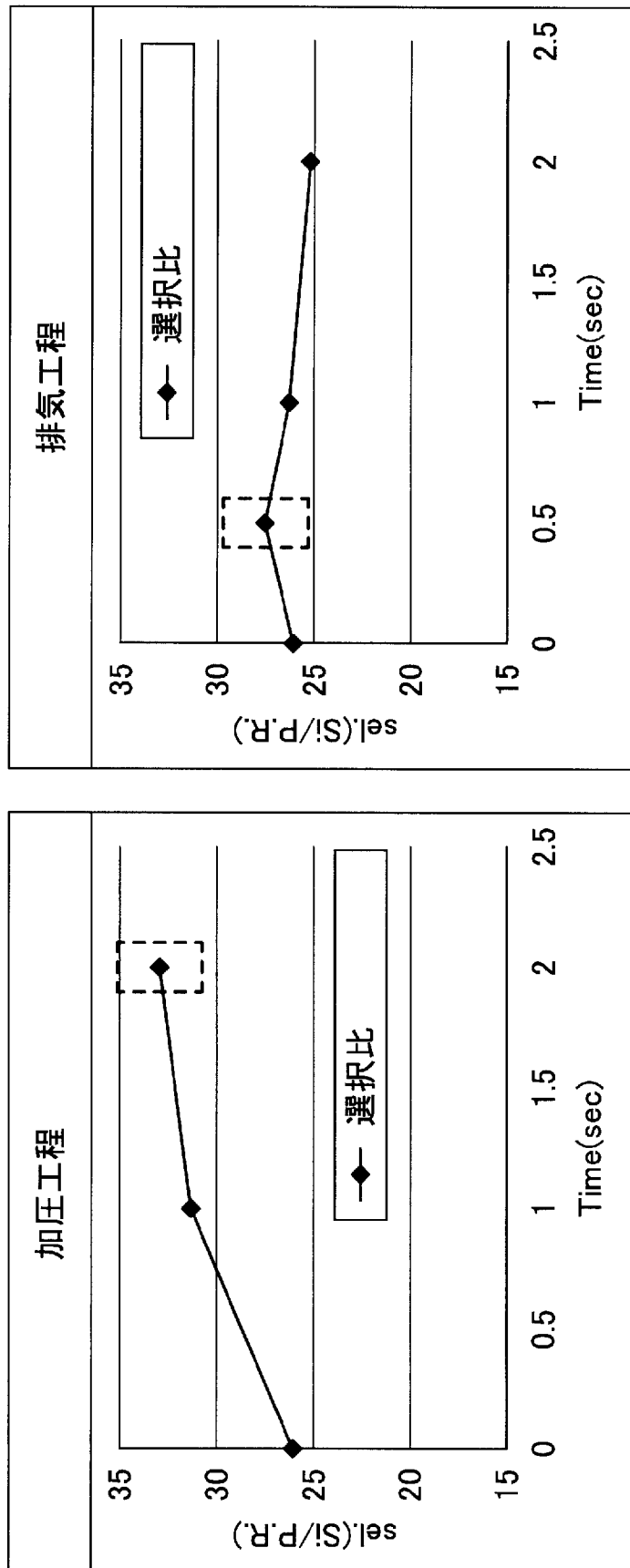
[図8]

加圧工程なし	加圧工程1秒	加圧工程2秒																																										
  <table><tr><td>Time</td><td>7:00</td><td></td></tr><tr><td>Depth</td><td>85.3</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>E/R</td><td>12.2</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>PR Rmn</td><td>2.22</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>PR E/R</td><td>0.5</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>Sel</td><td>26.0</td><td></td></tr></table>	Time	7:00		Depth	85.3	[μm]	E/R	12.2	[μm/m]	PR Rmn	2.22	[μm]	PR E/R	0.5	[μm/m]	Sel	26.0		 <table><tr><td>7:00</td><td></td></tr><tr><td>80.6</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>11.5</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>2.92</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>0.4</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>31.2</td><td></td></tr></table>	7:00		80.6	[μm]	11.5	[μm/m]	2.92	[μm]	0.4	[μm/m]	31.2		 <table><tr><td>7:00</td><td></td></tr><tr><td>81.0</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>11.6</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>3.04</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>0.4</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>32.9</td><td></td></tr></table>	7:00		81.0	[μm]	11.6	[μm/m]	3.04	[μm]	0.4	[μm/m]	32.9	
Time	7:00																																											
Depth	85.3	[μm]																																										
E/R	12.2	[μm/m]																																										
PR Rmn	2.22	[μm]																																										
PR E/R	0.5	[μm/m]																																										
Sel	26.0																																											
7:00																																												
80.6	[μm]																																											
11.5	[μm/m]																																											
2.92	[μm]																																											
0.4	[μm/m]																																											
31.2																																												
7:00																																												
81.0	[μm]																																											
11.6	[μm/m]																																											
3.04	[μm]																																											
0.4	[μm/m]																																											
32.9																																												

[図9]

排気なし	 <table><tr><td>Time</td><td>7:00</td><td></td></tr><tr><td>Depth</td><td>85.3</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>E/R</td><td>12.2</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>PR Rmn</td><td>2.22</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>PR E/R</td><td>0.5</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>Sel</td><td>26.0</td><td></td></tr></table>	Time	7:00		Depth	85.3	[μm]	E/R	12.2	[μm/m]	PR Rmn	2.22	[μm]	PR E/R	0.5	[μm/m]	Sel	26.0	
Time	7:00																		
Depth	85.3	[μm]																	
E/R	12.2	[μm/m]																	
PR Rmn	2.22	[μm]																	
PR E/R	0.5	[μm/m]																	
Sel	26.0																		
排気0.5秒	 <table><tr><td>7:00</td><td></td></tr><tr><td>85.9</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>12.3</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>2.38</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>0.4</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>27.5</td><td></td></tr></table>	7:00		85.9	[μm]	12.3	[μm/m]	2.38	[μm]	0.4	[μm/m]	27.5							
7:00																			
85.9	[μm]																		
12.3	[μm/m]																		
2.38	[μm]																		
0.4	[μm/m]																		
27.5																			
排気1秒	 <table><tr><td>7:00</td><td></td></tr><tr><td>87.9</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>12.6</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>2.14</td><td>[μm]</td></tr><tr><td>0.5</td><td>[μm/m]</td></tr><tr><td>26.2</td><td></td></tr></table>	7:00		87.9	[μm]	12.6	[μm/m]	2.14	[μm]	0.5	[μm/m]	26.2							
7:00																			
87.9	[μm]																		
12.6	[μm/m]																		
2.14	[μm]																		
0.5	[μm/m]																		
26.2																			

[図10]



[図11]

バルブ制御無し

バルブ制御有り

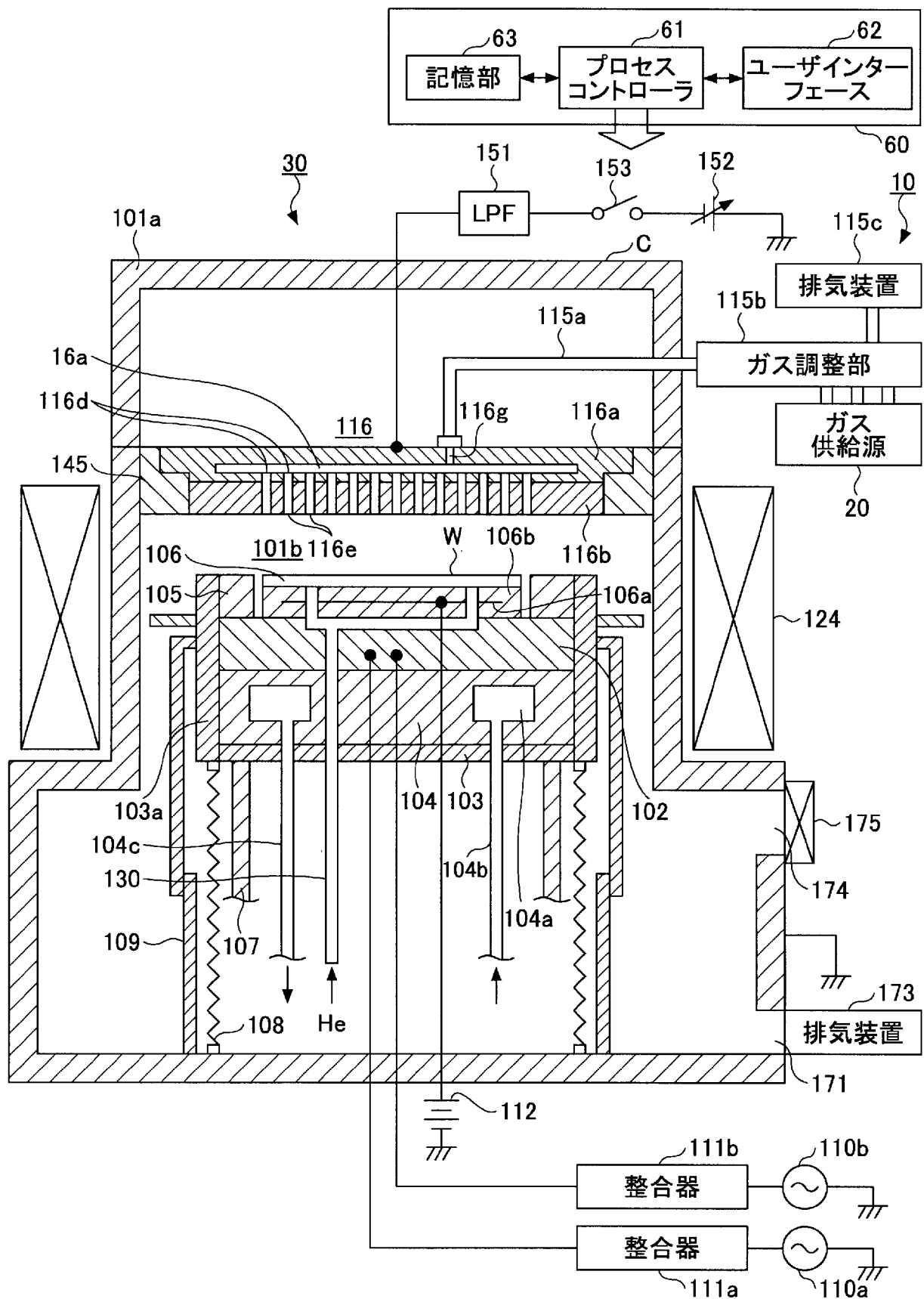
堆積工程 : 2sec
エッチング工程 : 5sec

堆積工程 : 1sec
エッチング工程 : 5sec
排気工程 0.5sec
加圧工程 1sec

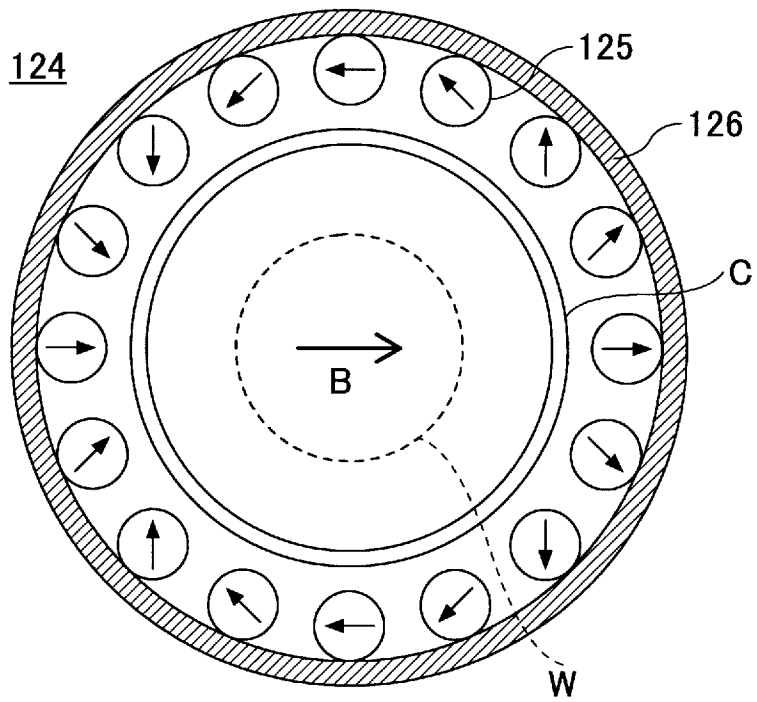
Time	7:00	
Depth	89.7	[μ m]
Taper	87.3	[deg.]
E/R	12.8	[μ m/m]
Sel	25.7	

Time	7:00	
Depth	94.3	[μ m]
Taper	87.0	[deg.]
E/R	13.5	[μ m/m]
Sel	30.1	

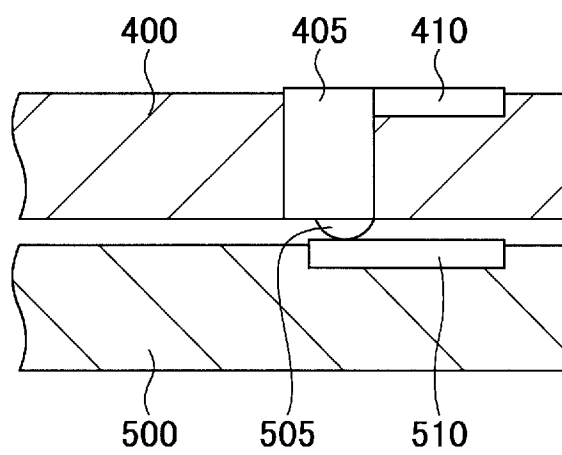
[図12]



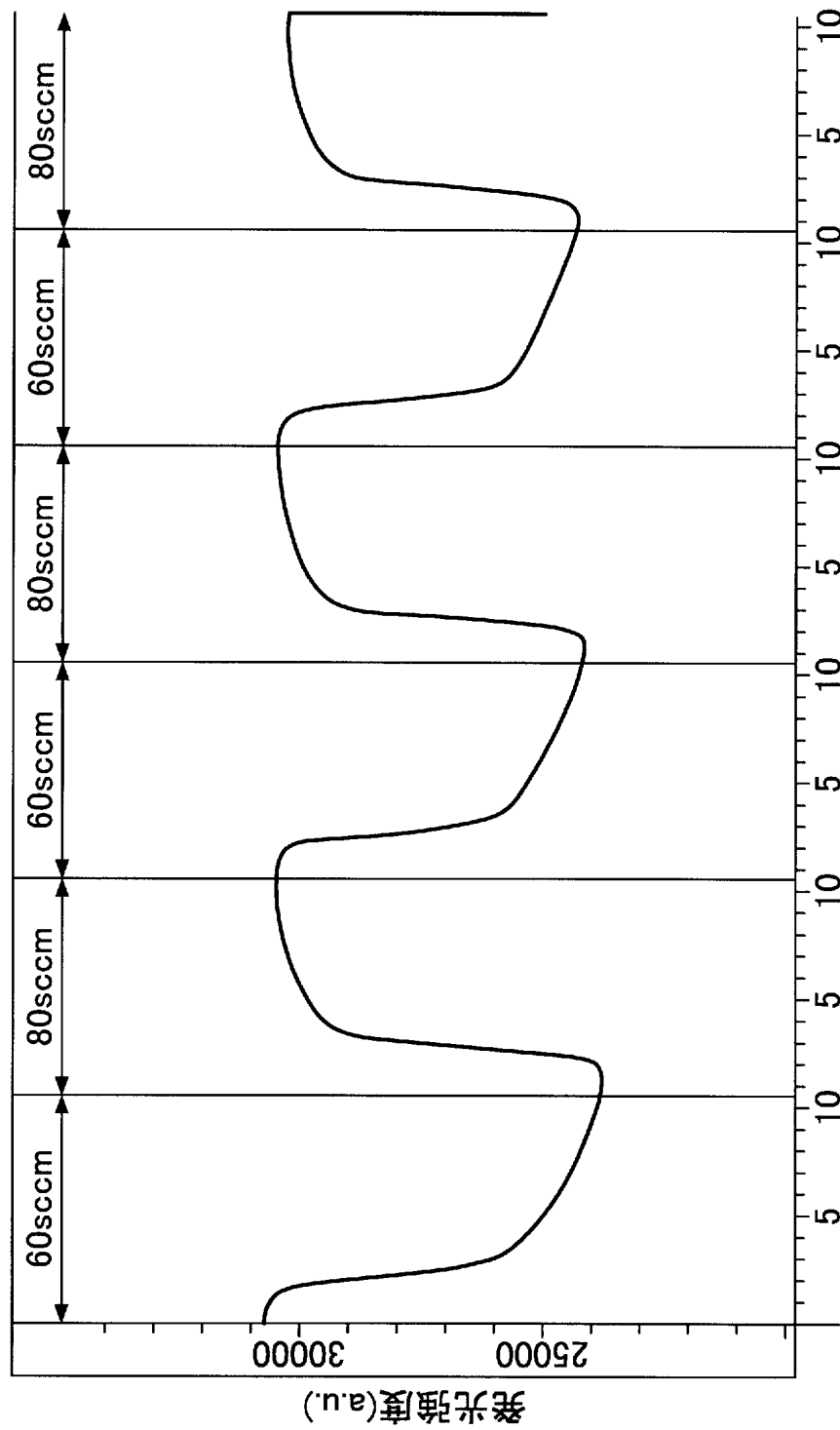
[図13]



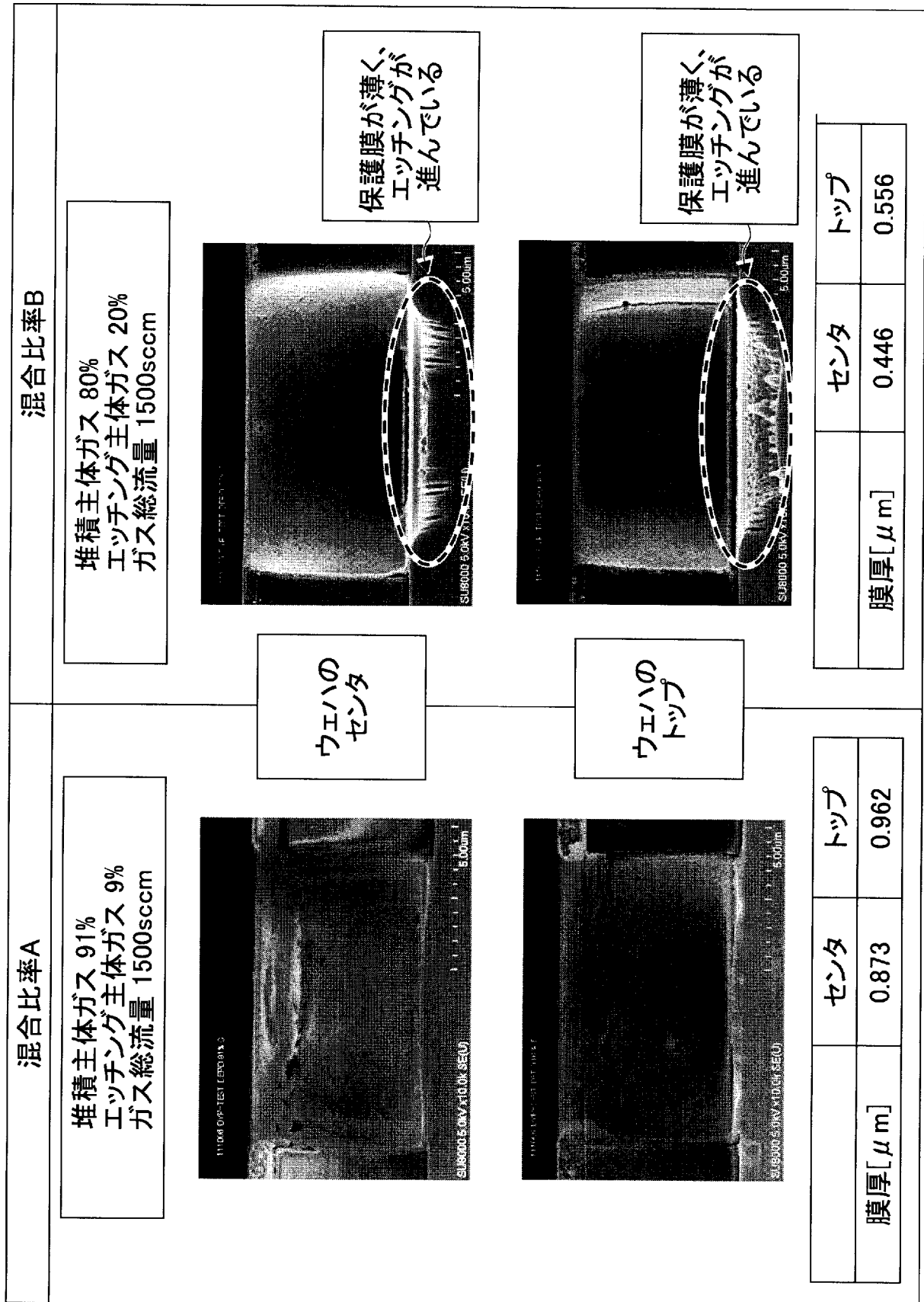
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/056525

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/3065(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/3205(2006.01)i,
H01L21/768(2006.01)i, H01L23/522(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)

H01L21/3065, H01L21/31, H01L21/3205, H01L21/768, H01L23/522

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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 2010-510669 A (Lam Research Corp.), 02 April 2010 (02.04.2010), paragraphs [0007] to [0064]; fig. 1 to 7 & US 2005/0241763 A1 & EP 1741128 A & WO 2005/112093 A2 & KR 10-2009-0082493 A & CN 1969060 A	1-9
A	JP 2009-130108 A (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 11 June 2009 (11.06.2009), paragraphs [0009] to [0068]; fig. 1 to 2 (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
10 April, 2013 (10.04.13)

Date of mailing of the international search report
23 April, 2013 (23.04.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/056525

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-091651 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 17 April 2008 (17.04.2008), paragraphs [0024] to [0065]; fig. 1 to 5 & US 2008/0078505 A1	1-9
A	JP 2012-023221 A (Hitachi Kokusai Electric Inc.), 02 February 2012 (02.02.2012), paragraphs [0009] to [0181]; fig. 1 to 16 (Family: none)	1-9
A	JP 09-266207 A (NEC Corp.), 07 October 1997 (07.10.1997), paragraph [0043] & US 6057242 A	6
A	JP 2008-210952 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 11 September 2008 (11.09.2008), paragraph [0035] (Family: none)	7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01L21/3065 (2006.01) i, H01L21/31 (2006.01) i, H01L21/3205 (2006.01) i, H01L21/768 (2006.01) i, H01L23/522 (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. H01L21/3065, H01L21/31, H01L21/3205, H01L21/768, H01L23/522

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 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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 2010-510669 A (ラム リサーチ コーポレーション) 2010.04.02, 段落【0007】 - 【0064】, 図 1-7 & US 2005/0241763 A1 & EP 1741128 A & WO 2005/112093 A2 & KR 10-2009-0082493 A & CN 1969060 A	1-9
A	JP 2009-130108 A (株式会社日立国際電気) 2009.06.11, 段落【0009】 - 【0068】, 図 1-2 (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

1 0 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 3 . 0 4 . 2 0 1 3

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)

山本 雄一

4 R

3 1 2 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 7 1

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
A	JP 2008-091651 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2008.04.17, 段落【0024】 - 【0065】, 図 1-5 & US 2008/0078505 A1	1-9
A	JP 2012-023221 A (株式会社日立国際電気) 2012.02.02, 段落【0009】 - 【0181】, 図 1-16 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 09-266207 A (日本電気株式会社) 1997.10.07, 段落【0043】 & US 6057242 A	6
A	JP 2008-210952 A (三洋電機株式会社) 2008.09.11, 段落【0035】 (ファミリーなし)	7