

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-31559
(P2003-31559A)

(43) 公開日 平成15年1月31日 (2003.1.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード* (参考)		
H 0 1 L	21/3065	B 0 1 J	19/08	H	4 G 0 7 5
B 0 1 J	19/08	C 2 3 C	16/52		4 K 0 3 0
C 2 3 C	16/52	H 0 1 L	21/302	B	5 F 0 0 4

審査請求 未請求 請求項の数 7 OL (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2001-216730(P2001-216730)

(22) 出願日 平成13年7月17日 (2001.7.17)

(71) 出願人 593165487

学校法人金沢工業大学

石川県石川郡野々市町扇が丘7番1号

(72) 発明者 作道 訓之

石川県金沢市泉本町5丁目40-1-1011

(74) 代理人 100090712

弁理士 松田 忠秋

Fターム(参考) 4G075 AA30 BC04 BC06 BD14 CA47

CA65 EB01 EC11

4K030 FA03 HA16 JA06 JA09

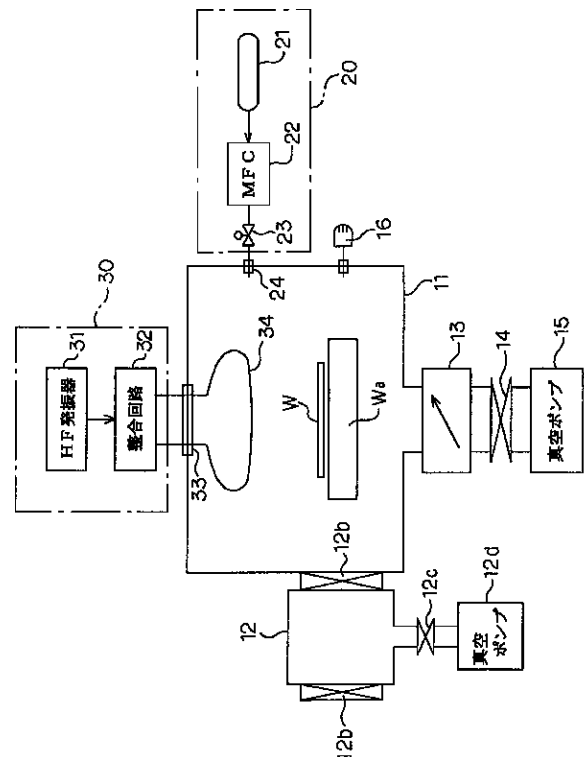
5F004 AA05 BA20 BC02 BC05 CA02

(54) 【発明の名称】 物体の加工処理方法と、その装置

(57) 【要約】

【課題】 各種の加工処理を容易に、しかも最適に行なう。

【解決手段】 真空槽11と、反応ガス供給源20と、電力供給源30とを設ける。真空槽11は、被処理物体Wの加工処理プロセスの進行中において、排気弁13の開度を変化させて真空槽11内の反応ガスの圧力を変動させ、プラズマ中の活性種の存在比率を適切に制御することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 真空槽内の反応ガスを電離させて生成するプラズマを介して真空槽内の被処理物体を加工処理するに際し、被処理物体の加工処理プロセスの進行中に真空槽内の反応ガスの圧力を変動させ、プラズマ中の活性種の存在比率を制御することを特徴とする物体の加工処理方法。

【請求項 2】 真空槽内の反応ガスの圧力を周期的に変動させることを特徴とする請求項 1 記載の物体の加工処理方法。

【請求項 3】 真空槽の排気弁の開度を変化させて真空槽内の反応ガスの圧力を変動させることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の物体の加工処理方法。

【請求項 4】 真空槽の排気弁に同期して反応ガスの導入弁を開閉させることを特徴とする請求項 3 記載の物体の加工処理方法。

【請求項 5】 被処理物体を収容する真空槽と、該真空槽に反応ガスを供給する反応ガス供給源と、前記真空槽内の反応ガスを電離させてプラズマを生成させる電力供給源とを備えてなり、前記真空槽は、被処理物体の加工処理プロセスの進行中に反応ガスの圧力を変動させることを特徴とする物体の加工処理装置。

【請求項 6】 前記真空槽の排気弁は、孔明きのロータを備えることを特徴とする請求項 5 記載の物体の加工処理装置。

【請求項 7】 前記排気弁と真空ポンプとの間にリザーバを設置することを特徴とする請求項 6 記載の物体の加工処理装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】この発明は、被処理物体に対し、プラズマエッチングやプラズマ CVD などの各種の加工処理を容易に、しかも最適に行なうことができる物体の加工処理方法と、その装置に関する。

【0002】

【従来の技術】真空槽内に被処理物体を置いてプラズマを発生させると、被処理物体の近傍にイオンリッチなイオンシースと呼ばれる領域が形成され、イオンシース中の電界によってイオンが被処理物体の表面に向けて垂直に加速される。そこで、この現象を利用することにより、任意の被処理物体の表面をエッチング処理したり、イオンドーピング処理したり、薄膜を形成したりすることができる（たとえば特公昭 53 - 44795 号公報）。なお、以下の説明において、これらの処理を一括して物体の加工処理という。

【0003】従来のこの種の加工処理装置は、被処理物体を収容する真空槽内に反応ガスを連続的に導入し、数 10 ~ 数 100 MHz の高周波電力または数 GHz のマイクロ波電力を投入して反応ガスを連続的に電離させ、加工処理用のプラズマ、いわゆるプロセスプラズマを真空槽

内に生成させている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】かかる従来技術による場合は、反応ガスは、真空槽内に連続的に導入され、投入される電力によって連続的に電離されるので、プラズマ中の活性種または解離種（以下、特に断らない限り、両者を総称して単に活性種という）の存在比率は、反応ガスの種類と投入電力密度によってほぼ決定され、加工処理プロセスの内容によって活性種の存在比率を最適に設定することが必ずしも容易でないという問題があった。

【0005】たとえば、反応ガスとして CF_4 を使用するシリコンウェーハのエッチング処理において、プラズマによって反応ガスが分解して生じる活性種 F、CF、 CF_2 、 CF_3 と、それらのイオンは、F が多い程シリコンウェーハの表面層の原子と反応し易く、揮発性の SiF_4 を作ってエッチングが進行する。この場合、それぞれの活性種によってエッチング速度が異なるばかりでなく、F が少ない活性種は、逆にデポジションを生じることもある。そこで、アスペクト比の大きな微細穴をエッチングする場合、各活性種の存在比率を最適にし、穴の側壁に適量の保護膜をデポジットさせながらエッチングを進行させる必要がある。また、ダイヤモンドライクカーボンをワーク上に成膜させる場合、炭化水素系のガスを反応ガスとして使用するが、プラズマ中の解離種（フラグメント）の存在比率により膜の特性が大きく変動する。

【0006】そこで、この発明の目的は、かかる従来技術の問題に鑑み、加工処理プロセスの進行中に真空槽内の反応ガスの圧力を変動させることによって、プラズマ中の活性種の存在比率を制御し、各種の加工処理を容易に、しかも最適に行なうことができる物体の加工処理方法と、その装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成するためのこの出願に係る第 1 発明の構成は、真空槽内の反応ガスを電離させて生成するプラズマを介して真空槽内の被処理物体を加工処理するに際し、被処理物体の加工処理プロセスの進行中に真空槽内の反応ガスの圧力を変動させ、プラズマ中の活性種の存在比率を制御することをその要旨とする。

【0008】なお、真空槽内の反応ガスの圧力を周期的に変動させることができる。

【0009】また、真空槽の排気弁の開度を変化させて真空槽内の反応ガスの圧力を変動させてもよく、真空槽の排気弁に同期して反応ガスの導入弁を開閉させてもよい。

【0010】第 2 発明の構成は、被処理物体を収容する真空槽と、真空槽に反応ガスを供給する反応ガス供給源と、真空槽内の反応ガスを電離させてプラズマを生成さ

せる電力供給源とを備えてなり、真空槽は、被処理物体の加工処理プロセスの進行中に反応ガスの圧力を変動させることをその要旨とする。

【0011】なお、真空槽の排気弁は、孔明きのロータを備えることができる。

【0012】また、排気弁と真空ポンプとの間にリザーバを設置してもよい。

【0013】

【作用】かかる第1発明の構成によるときは、加工処理プロセスの進行中において真空槽内の反応ガスの圧力を変動させ、プラズマ中の活性種の存在比率を適切に制御することにより、たとえばアスペクト比の大きな微細穴をエッチングする場合であっても、過大なオーバヘッドやアンダカットを生じることなく、高精度の仕上りを得ることができる。殊に、圧力をパルス状に変動させ、その時間平均値に着目すれば、定常プラズマによって実現不可能な活性種の存在比率をも実現することが可能である。

【0014】なお、以上のようなこの発明の骨子は、真空槽内のプラズマ中の活性種の存在比率が反応ガスの圧力変動に伴って変化するという新しい知見に基づいている(たとえば図9)。ただし、同図は、反応ガスとして

$$n_o = (n_1 T_1 + n_2 T_2) / (T_1 + T_2) \quad \dots (1)$$

である。また、活性種 CF_j の平均的存在比率 R_{io} は、

$$R_{io} = (R_{i1} \cdot n_1 T_1 + R_{i2} \cdot n_2 T_2) / (n_1 T_1 + n_2 T_2) \quad \dots (2)$$

となる。したがって、活性種 CF_j の平均密度 $n_o R_{io}$ は、

$$n_o R_{io} = (R_{i1} \cdot n_1 T_1 + R_{i2} \cdot n_2 T_2) / (T_1 + T_2) \quad \dots (3)$$

と表わすことができる。

【0017】したがって、 $T_1 < T_2 = T_{ag}$ のような条件でプラズマを点火すると、圧力 P が一定の条件ではプラズマを維持できないような圧力 $P = P_2$ における活性種 CF_j の存在比率 R_{i2} に近い平均的存在比率 R_{io} を安定に実現することが可能である。

【0018】真空槽の排気弁の開度を変化させれば、真空槽内の反応ガスの圧力を最も簡単に変動させることができる。排気弁の出口側は、真空ポンプにより必要十分な真空度に引かれているからである。

【0019】真空槽の排気弁に同期して反応ガスの導入弁を開閉させると、真空槽内の圧力を一層速やかに変動させることができる。ただし、導入弁は、排気弁が閉じるときに開き、反応ガスを真空槽内に導入する一方、排気弁が開くときに閉じ、反応ガスの導入を停止させるものとする。

【0020】第2発明の構成によるときは、真空槽は、反応ガスの圧力を変動させることにより、反応ガスの電離によって生じるプラズマ中の活性種の存在比率を制御して、第1発明を容易に実施することができる。なお、真空槽内の反応ガスの圧力は、たとえば真空槽の排気弁

CF_4 を使用するとき、反応ガスの圧力 P (Pa)に対し、活性種 CF 、 CF_2 、 CF_3 の存在比率 R_i ($i = 1, 2, 3$)(%)の質量分析計による実測値をプロットしたものである。ただし、一般に、圧力 $P < 0.1 Pa$ の領域では、プラズマを安定に維持することができないため、ここでは、プラズマが消滅するまでの微少時間(アフタグロー時間)内に存在比率 R_i を測定している。

【0015】いま、真空槽内の反応ガスの圧力 P を時間的に図10のように変化させ、周期 $T = T_1 + T_2$ ごとに圧力 P を高压値 $P_1 > 0.1 Pa$ 、低压値 $P_2 < 0.1 Pa$ の間にパルス状に変化させる。ただし、 T_1 、 T_2 は、それぞれ高压値 P_1 、低压値 P_2 に保持する時間幅であり、低压値 P_2 に保持する時間幅 T_2 は、アフタグロー時間 T_{ag} に対し、 $T_2 = T_{ag}$ に定めるものとする。

【0016】圧力 $P = P_1$ 、 P_2 における真空槽内のプラズマ密度をそれぞれ n_1 、 n_2 とし、そのときの活性種 CF_j ($i = 1, 2, 3$)の存在比率をそれぞれ R_{i1} 、 R_{i2} ($i = 1, 2, 3$)とすると、図10のように圧力 P を変動させるときの平均プラズマ密度 n_o は、

の開度を変化させて変動させる。

【0021】孔明きのロータを備える排気弁は、ロータを回転させて開閉し、真空槽内の反応ガスの圧力を周期的に変動させることができる。なお、ロータは、円板状であってもよく、孔明きのステータと対向する円板状または有底円筒状であってもよい。排気弁は、ロータ側の孔がケーシングの入口側ポート、出口側ポート、またはステータ側の孔と対面するとき、開状態となり、それ以外のとき、閉状態となる。ただし、ロータの孔は、1個であってもよく、2以上の n 個であってもよい。前者によれば、ロータの1回転当り1回の開閉動作ができ、後者によれば、 n 回の開閉動作が可能である。また、ロータは、シールの便宜上、たとえば非磁性体のケーシングの外部から回転磁界によって回転駆動することが好ましい。

【0022】排気弁、真空ポンプの間にリザーバを設置すれば、排気弁を開くことにより、真空槽内の反応ガスの圧力を一層急峻に下降させることができる。ただし、リザーバ内は、真空ポンプにより、十分な真空度に引かれているものとする。なお、リザーバの容積は、真空槽の容積と同等、またはそれ以上であることが好ましい。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、図面を以って発明の実施の形態を説明する。

【0024】物体の加工処理装置は、真空槽11と、真空槽11に反応ガスを供給する反応ガス供給源20と、真空槽11内の反応ガスを電離させてプラズマを生成させる電力供給源30とを備えてなる(図1)。

【0025】真空槽11には、前後のゲート弁12a、12bを介して前室12が付設されており、前室12には、開閉弁12cを介して真空ポンプ12dが接続されている。また、真空槽11には、排気弁13、開閉弁14を介して真空ポンプ15が接続されている。さらに、真空槽11には、真空ゲージ16が装備され、真空槽11内には、たとえばシリコンウェーハのような被処理物体Wを載せる試料台Waが設置されている。前室12は、前後のゲート弁12a、12bを順に開閉することにより、真空槽11内の真空を完全に破壊することなく、被処理物体Wを真空槽11に搬入することができる。

【0026】反応ガス供給源20は、反応ガス用のポンプ21にマスフローコントローラ22、導入弁23を接続して構成されている。導入弁23の出口側は、コネクタ24を介して真空槽11内に開口している。

【0027】電力供給源30は、高周波発振器31に整合回路32を付設して構成されている。整合回路32の出力側は、気密の導入窓33を介し、真空槽11内に設置するアンテナ34に接続されている。

【0028】排気弁13は、孔13b1を有する円板状のロータ13bを非磁性体のケーシング13a内に収納して構成されている(図2)。ロータ13bは、軸13b2を介し、ケーシング13a内に回転自在に支持されており、ケーシング13aの外部からの回転磁界により高速に回転駆動することができる。ただし、軸13b2は、図2に拘らず、ケーシング13aの内部に組み込まれ、ケーシング13aを貫通していないものとする。ロータ13bの孔13b1は、ロータ13bの偏心位置に開口されており、ロータ13bが回転すると、ケーシング13aに形成する入口ポート13a1、出口ポート13a2の間を周期的に開閉させることができる。すなわち、排気弁13は、ロータ13bを回転させ、開度を周期的に変化させることができる。

【0029】真空槽11は、真空ポンプ15を動作させて排気弁13、開閉弁14を開くことにより、所定の真空度に排気される。そこで、マスフローコントローラ22、導入弁23を介してポンプ21からの反応ガスを真空槽11に導入すると、反応ガスは、真空槽11内の被処理物体Wの周囲に均一に拡散する。一方、高周波発振器31を動作させると、整合回路32、アンテナ34を介して高周波電力が真空槽11内の反応ガスに供給され、反応ガスを電離させてプラズマを生成することが

きる。このようにしてプラズマ化された反応ガスは、被処理物体Wの周囲にイオンシースを形成し、イオンシース中の電界によりイオンが被処理物体Wの表面に向けて垂直に加速され、被処理物体Wを加工処理することができる。なお、整合回路32は、高周波発振器31とアンテナ34とのインピーダンス整合を図る。

【0030】一方、排気弁13は、ロータ13bを回転させることにより、周期的に開閉する(図3)。そこで、このときの真空槽11内の反応ガスの圧力Pは、排気弁13の開閉にほぼ同期して、高圧値P1、低圧値P2の間に周期的に変動し、高圧値P1、低圧値P2における各活性種の平均密度を実現することができる。すなわち、被処理物体Wの加工処理プロセスの進行中において、真空槽11内のプラズマ中の活性種の存在比率 R_i は、時間平均値として、前記(2)式により実質的に $R_i = R_{i0}$ に制御することができ、加工処理プロセスに最適な加工処理特性を実現することができる。

【0031】なお、図3の圧力Pの変動曲線において、高圧値P1は、反応ガス供給源20からの反応ガスの供給量によって設定され、低圧値P2は、真空ポンプ15による排気流量、反応ガス供給源20による反応ガスの供給量などによって決まる圧力平衡点である。また、同図において、排気弁13の開閉の周期Tは、ロータ13bの回転数によって決まり、周期Tに対する開状態の時間幅T2の割合は、孔13b1の大きさによって決まる。そこで、ロータ13bを十分に高速回転させ、時間幅T2をプラズマのアフタグロー時間より十分小さくすると、圧力Pが高圧値P1から低圧値P2にパルス状に減少し、低圧値P2をたとえば $P_2 = 0.1 \text{ Pa}$ としても、真空槽11内のプラズマが消滅することがない。ちなみに、アフタグロー時間数 $\text{ms} \sim$ 数 10 ms とすると、時間幅 $T_2 = 0.1 \sim 100 \text{ ms}$ 程度にしなればならず、ロータ13bの回転周波数は、少なくとも $10 \text{ Hz} \sim 10 \text{ kHz}$ が必要である。

【0032】

【他の実施の形態】排気弁13の円板状のロータ13bは、円板状のステータ13cと同軸状に対向させることができる(図4)。ロータ13b、ステータ13cには、それぞれ $n(n \geq 1)$ 個の同形同大の孔13b1、13b1...、13c1、13c1...が同径の円周上に等ピッチに形成されている。ロータ13bは、軸13b2により回転自在に支持され、ケーシング13aの外部からの回転磁界によって回転駆動される。一方、ステータ13cは、軸13b2に対して相対回転自在に固定支持されている。ステータ13cを固定し、ロータ13bを回転させると、排気弁13は、ロータ13bの1回転当たり n 回の開閉動作を実現することができる。

【0033】また、排気弁13のロータ13b、ステータ13cは、それぞれ浅い有底円筒状に形成してもよい(図5)。ロータ13b、ステータ13cの側壁面に

は、それぞれ n 個の同形同大の孔13b1、13b1...、13c1、13c1...が等ピッチに形成されており、ロータ13bは、ステータ13c内に同軸に収納されている。ステータ13cを固定し、ロータ13bを回転させると、ロータ13bの1回転当り n 回の開閉動作を実現することができる。

【0034】なお、図2においても、ロータ13bには、 n 個の孔13b1、13b1...を形成してもよい。

【0035】真空槽11は、排気弁13と真空ポンプ15との間にリザーバ17を設置することができる(図6)。リザーバ17は、排気弁13が閉じている間に、真空ポンプ15を介して十分な真空度に引かれるため、排気弁13が開になると、真空槽11内の反応ガスの圧力 P を速やかに低圧値 P_2 に減少させることができる。

【0036】また、反応ガス供給源20の導入弁23は、排気弁13に同期して開閉させることができる(図7)。排気弁13が開くとき、導入弁23を閉じて反応ガスの導入を阻止し、真空槽11内の反応ガスの圧力 P を急激に低下させるとともに、排気弁13が閉じるとき、導入弁23を開いて反応ガスを導入し、圧力 P の上昇を速めることができる。また、圧力 P の低圧値 P_2 を小さくするとともに高圧値 P_1 を大きくし、圧力 P の変動幅($P_1 - P_2$)を大きくすることができる。

【0037】以上の説明において、電力供給源30は、真空槽11内の反応ガスを電離させてプラズマを生成することができるればよく、高周波電力に代えて、直流電力、交流低周波電力、マイクロ波電力のいずれを供給するものであってもよい。また、電力供給源30は、被処理物体 W の加工処理プロセスの進行中において、反応ガスに供給する電力を一定に維持してもよく、それを変動させてもよい。さらに、電力供給源30は、加工処理プロセスの進行中において、連続的または間欠的に作動させることができる。

【0038】一方、排気弁13の開度を変化させて真空槽11内の反応ガスの圧力 P を変動させるに際し、圧力 P は、被処理物体 W の加工処理プロセスの開始時期 t_1 から終了時期 t_2 までの加工処理プロセスの進行中において、少なくとも1回以上、任意の態様により変動させることができる(たとえば図8の曲線(1)~

(4))。ただし、同図の曲線(1)は、低圧値 P_2 から高圧値 P_1 までゆっくりと1回変動させ、曲線(2)は、急激に1回変動させている。また、曲線(3)は、低圧値 P_2 から高圧値 P_1 の間において圧力 P を周期的に変動させ、その変動周期をも変化させている。なお、曲線(4)は、図3にほぼ対応するように、圧力 P をパルス状に変動させている。また、図8の曲線(1)~

(4)において、高圧値 P_1 、低圧値 P_2 を入れ替えてもよい。

【0039】すなわち、真空槽11内の反応ガスの圧力 P は、被処理物体 W の加工処理プロセスの進行中の各時点において、プラズマ中の活性種の存在比率と、それによる加工処理特性が最適となるように、適切に変動させればよい。なお、圧力 P を周期的に、しかもパルス状に変動させるとき、プラズマ中の活性種の実質的な存在比率は、前記(2)式に従うと考えられる(図3、図8の曲線(4))。

【0040】

【発明の効果】以上説明したように、この出願に係る第1発明によれば、加工処理プロセスの進行中に真空槽内の反応ガスの圧力を変動させ、プラズマ中の活性種の存在比率を制御することによって、適切な加工処理特性を容易に実現することができるから、各種の加工処理を容易に、しかも最適に行なうことができるという優れた効果がある。

【0041】第2発明によれば、真空槽、反応ガス供給源、電力供給源を備えることによって、真空槽は、加工処理プロセスの進行中に反応ガスの圧力を変動させ、第1発明を容易に実施することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 全体構成模式説明図

【図2】 排気弁の模式構成図

【図3】 動作説明線図

【図4】 他の実施の形態を示す図2相当図

【図5】 他の実施の形態を示す要部斜視図

【図6】 他の実施の形態を示す要部構成模式図

【図7】 他の実施の形態を示す動作説明線図(1)

【図8】 他の実施の形態を示す動作説明線図(2)

【図9】 動作原理説明線図(1)

【図10】 動作原理説明線図(2)

【符号の説明】

W...被処理物体

P...圧力

Ri...存在比率

11...真空槽

13...排気弁

13b...ロータ

13b1...孔

15...真空ポンプ

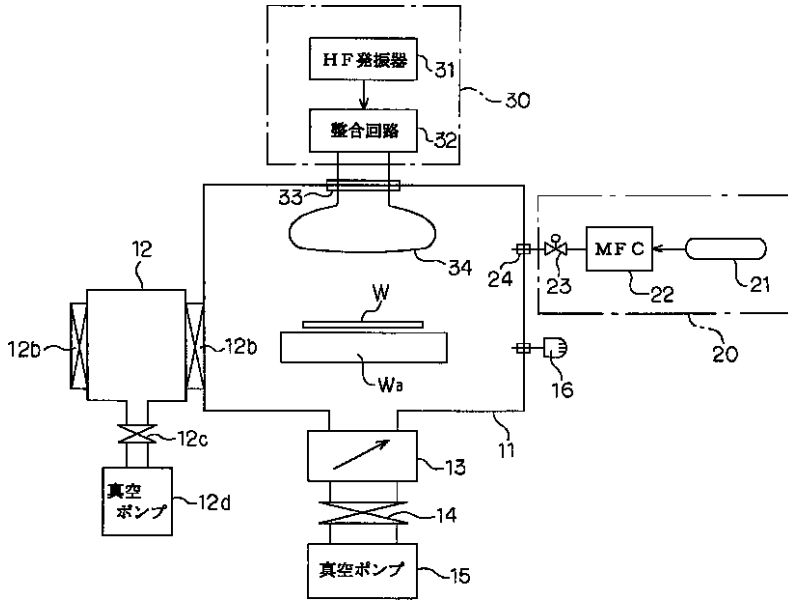
17...リザーバ

20...反応ガス供給源

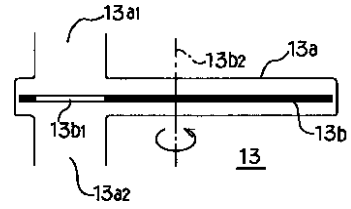
23...導入弁

30...電力供給源

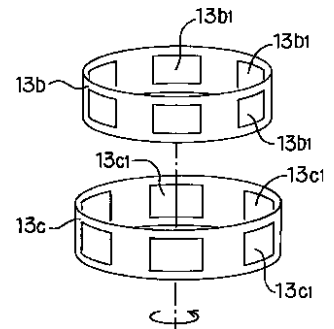
【図1】



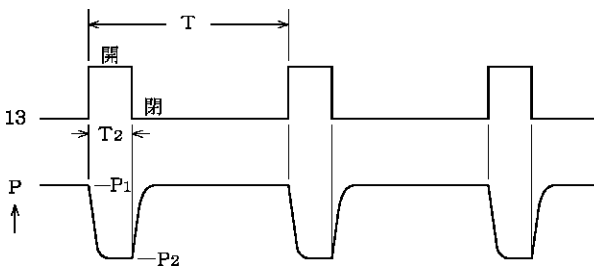
【図2】



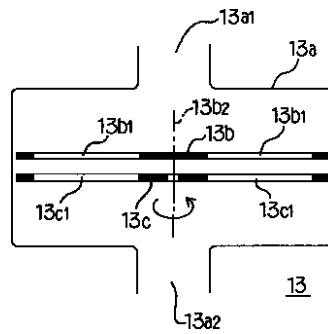
【図5】



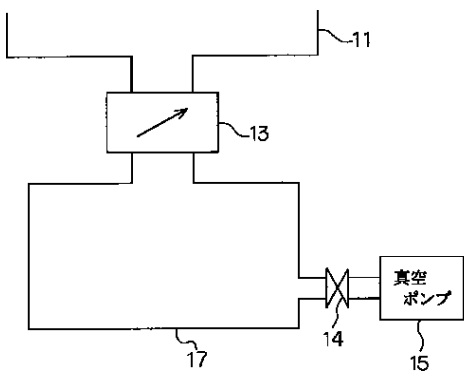
【図3】



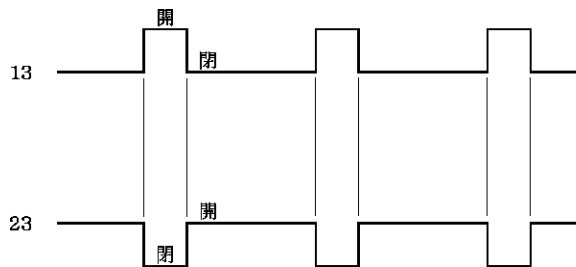
【図4】



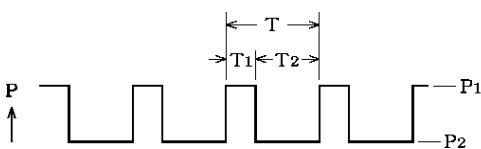
【図6】



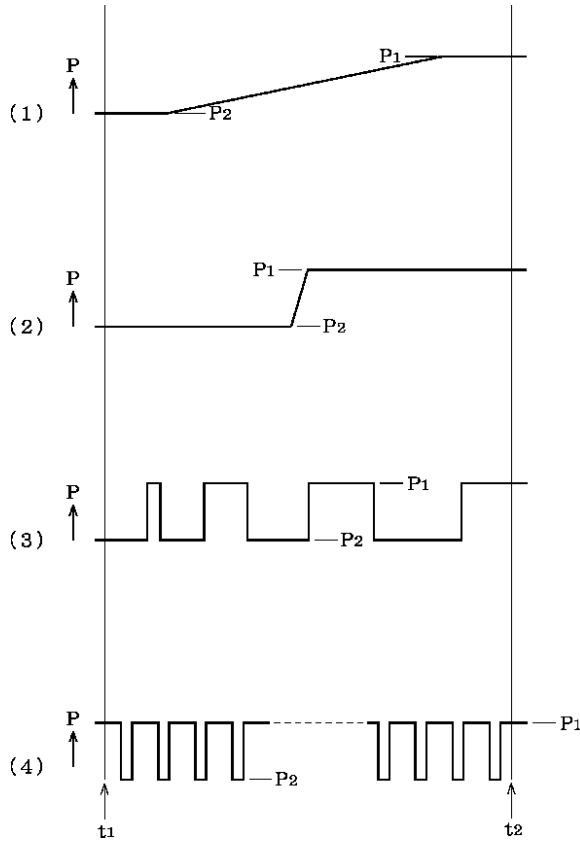
【図7】



【図10】



【図8】



【図9】

