

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5608157号
(P5608157)

(45) 発行日 平成26年10月15日(2014.10.15)

(24) 登録日 平成26年9月5日(2014.9.5)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 105A

請求項の数 3 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2011-500951 (P2011-500951)
 (86) (22) 出願日 平成21年3月19日 (2009.3.19)
 (65) 公表番号 特表2011-515855 (P2011-515855A)
 (43) 公表日 平成23年5月19日 (2011.5.19)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2009/037647
 (87) 國際公開番号 WO2009/117565
 (87) 國際公開日 平成21年9月24日 (2009.9.24)
 審査請求日 平成24年3月16日 (2012.3.16)
 (31) 優先権主張番号 61/038,664
 (32) 優先日 平成20年3月21日 (2008.3.21)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 61/040,570
 (32) 優先日 平成20年3月28日 (2008.3.28)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 390040660
 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
 APPPLIED MATERIALS, INCORPORATED
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ バウアーズ アベニュー 3050
 (74) 代理人 100101502
 弁理士 安齋 嘉章
 (72) 発明者 パマシー シャルマ ブイ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94555 フレモント カリブソ テラス 4313

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】基板エッティングシステム及びプロセスの方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

堆積プロセス中に基板上に配置された金属を含む少なくとも1つの層上に高分子膜を堆積し、

基板上に配置された前記少なくとも1つの層内の開口部を第1エッティングプロセス中にエッティングし、

第2エッティングプロセス中に基板をエッティングすることによって基板上に配置された前記少なくとも1つの層内にプロファイルを形成することを含み、

前記少なくとも1つの層をエッティングする第1エッティングプロセス中に第1バイアス電力が基板に印加され、基板をエッティングする第2エッティングプロセス中に第2バイアス電力が基板に印加され、第1バイアス電力が第2バイアス電力よりも大きい、チャンバ内で基板をエッティングする方法。

【請求項 2】

基板が、シリコン及び酸化物の少なくとも1つを含む複数の層を備える請求項1記載の方法。

【請求項 3】

第1バイアス電力及び第2バイアス電力の少なくとも一方をパルス化することを更に含む請求項1記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【背景】

10

20

【0001】

(分野)

本発明の実施形態は概して基板処理システム及び関連する基板プロセス、例えばエッチング／堆積プロセスに関する。一様において、本発明は、改善されたシリコンエッチングシステムに関する。別の様において、本発明は高速ガス交換システムに関する。更に別の様において、本発明は、デュアルエッチング／堆積プロセスを提供することに関する。更に別の様において、本発明は、処理チャンバ及びガス送出システムを含むシステムを使用して、チャンバ内で基板を処理しながら迅速なガス移行プロセスを提供することに関する。

【0002】

10

(関連技術の説明)

ミクロ電子デバイスの製造には多数の異なるステージがあり、各ステージには様々なプロセスが含まれる。あるステージでは、ある特定のプロセスにより、シリコン基板等の基板の表面をプラズマに暴露することによって基板の物理的及び材料特性を変化させる。このプロセスはエッチングとして知られており、材料を除去してホール、ピア及び／又はその他の開口部（本明細書においては「トレンチ」と称される）を基板に形成することを伴う。

【0003】

プラズマエッチリアクタは一般に、半導体基板にトレンチをエッチングするために使用される。これらのリアクタは、基板がその内部で支持されるところのチャンバを備える。少なくとも1つの反応ガスをチャンバに供給し、高周波信号をこの反応ガスに結合させてプラズマを形成する。このプラズマによって、リアクタ内に位置決めされた基板をエッチングする。基板も高周波信号に結合させることによって、エッチングプロセス中、この基板にバイアスを印加してエッチング性能及びトレンチプロファイルを向上させる場合もある。

20

【0004】

これらのトレンチプロファイルは、異なる限界寸法を必要とすることが多い。限界寸法には幅、深さ、アスペクト比、レジスト選択性、側壁の粗さ及び側壁の平坦性が含まれる。これらの限界寸法は様々な要素によって制御することができ、そのうちの2つがエッチング時間とエッチング速度であり、これらは更にエッチング対象となる材料及び使用するエッチングシステムのタイプに左右される。

30

【0005】

特に重要な材料の1つがシリコンである。TSV（through silicon via：シリコン貫通電極）エッチングは、シリコン基板に深いトレンチを形成するために低周波バイアス電力及び低温環境を必要とする独特の技法である。しかしながら、製造中、シリコンは一般にシリコン以外の材料の複数の層（シリコン上に堆積される酸化物層、金属層等）によって被覆される。酸化物及び金属には、高周波バイアス電力等のシリコンの場合とは異なるエッチング要件がある。加えて、堆積ステップ中、エッチングステップに先立ってトレンチの側壁を保護するためにトレンチ形成中に基板の層上に薄膜ポリマー層を堆積する場合がある。このポリマー層に、酸化物、金属又はシリコン層とは異なる更に別のエッチング要件がある場合がある。これらの全く異なる要件が、使用するエッチングシステムのタイプの複雑度に影響し、またその複雑度を上げる。

40

【0006】

エッチングシステムのタイプの1つに、インシチュ（in-situ）のプラズマエッチングが含まれる。この第1のタイプのエッチングシステムを使用し、除去プラズマ及び堆積プラズマを使用して単一のリアクタ内で基板からの材料の除去と基板への材料の堆積を交互に行うことによって、トレンチを形成することが可能である。別のタイプのエッチングシステムには、遠隔プラズマエッチング含まれる。この2番目のタイプのエッチングシステムを利用すると、トレンチをインシチュシステムの場合と同様に形成することができるが、ただしプラズマを、1次リアクタ内に位置する基板上に導入する前に遠隔リアクタ内で

50

発生させる。エッティングシステムのタイプに加え、各システムを使用してのエッティングのプロセスも変化し得る。一部のエッティングプロセスでは時分割ガスモジュレーション（T M G M）システム又はB o s c hシステム等の多段階方式を採用しており、この方式には、エッティング／堆積ステップ又はエッティング／フラッシュ／堆積ステップ等のいくつかのレシピステップが含まれる。T M G Mプロセスでは、材料がある期間にわたってエッティングし、次に保護膜を事前にエッティングした表面上に堆積することによって表面、典型的にはトレンチの側壁を更なるエッティングから保護する。これら2つのステップを、より深いトレンチを形成するにしたがって繰り返す。異なるタイプのエッティングシステム及びプロセスには、異なる材料層に異なるトレンチプロファイルを形成するにあたって特定の利点及び欠点がある。

10

【0007】

トレンチを形成する時に特に重要な限界寸法の1つである側壁の粗さを適切に制御しない限り、ミクロ電子デバイスが欠陥品となる。エッティングサイクル中、トレンチを形成する間、材料は堆積され、除去され続ける。これに対応して、「スカラップ形成（s c a l l o p p i n g）」として知られる現象である、一連の山及び谷を含む縞模様が、トレンチの側壁に沿って生じる。数多くの大きな山及び谷によって、トレンチの側壁の粗さが上昇する。

【0008】

従って、基板のエッティングを制御し、また基板に形成されるプロファイルの粗さを軽減するためのエッティングシステム及びプロセスの改善された方法及び装置が必要とされる。

20

【概要】

【0009】

一実施形態において、チャンバ内で基板をエッティングする方法は、保護層を、エッティングリアクタ内の基板上に配置された第1層上に堆積し、この保護層をエッティングリアクタ内でエッティングし、保護層のエッティング中、第1バイアス電力が印加され、第1層をエッティングリアクタ内でエッティングし、第1層のエッティング中、第2バイアス電力が印加され、堆積プロセス及びエッティングプロセスを繰り返すことによって基板にプロファイルを形成することを含む。

【0010】

一実施形態において、チャンバ内で基板をエッティングする方法は、堆積プロセス中に基板上に高分子膜を堆積し、基板上に堆積されたこの高分子膜を第1エッティングプロセス中にエッティングし、第2エッティングプロセス中に基板をエッティングすることによって基板にプロファイルを形成することを含み、第1バイアス電力が第1プロセス中に基板に印加され、第2バイアス電力が第2エッティングプロセス中に基板に印加される。

30

【0011】

一実施形態において、ガス送出システムは、基板を処理するためのチャンバと、第1ガス送出ラインによってチャンバと連通している第1ガスパネルを備え、第1ガス送出ラインは複数の第1フローコントローラを含み、送出システムは更に第2ガス送出ラインによってチャンバと連通している第2ガスパネルを備え、第2ガス送出ラインは複数の第2フローコントローラを含み、複数の第1及び第2フローコントローラは、第1及び第2パネルからのガスをそれぞれチャンバ並びに第1及び第2ガス送出ラインと連通した1つ以上の排出部に選択的に方向付けすることができる。

40

【0012】

一実施形態において、ガスをチャンバに供給する方法は、第1ガスをチャンバへと第1ガスパネルから第1ガス送出ラインを通して供給し、第1ガスをチャンバに供給しながら第2ガスを排出部に第2ガスパネルから第2ガス送出ラインを通して方向付けし、第1ガスを排出部へと方向付けし、第2ガスをチャンバに供給することを含み、第2ガスをチャンバに導入するに先立って、第1ガスはチャンバから除去される。

【図面の簡単な説明】

【0013】

50

本発明の上記の構成が詳細に理解されるように、上記で簡単に要約した本発明のより具体的な説明を実施形態を参照して行う。実施形態の一部は添付図面に図示されている。しかしながら、添付図面は本発明の典型的な実施形態しか図示しておらず、本発明はその他の同等に効果的な実施形態も含み得ることから、本発明の範囲を限定すると解釈されないことに留意すべきである。

【0014】

【図1】本発明の一実施形態による基板エッティングシステムを示す図である。

【図2】本発明の一実施形態による高速ガス交換システムを示す図である。

【図3】本発明の一実施形態による別の高速ガス交換システムを示す図である。

【図4A】～

10

【図4B】基板にエッティングされたプロファイルを示す図である。

【図5A】従来のエッティングサイクルを示す図である。

【図5B】本発明の一実施形態によるエッティングサイクルを示す図である。

【図6A】従来法により形成したトレンチプロファイルを示す図である。

【図6B】本発明の一実施形態による方法を使用して形成したトレンチプロファイルを示す図である。

【図7A】～

【図7C】本発明の一実施形態によるガス移行プロセスを示す図である。

【図8A】～

20

【図8C】本発明の一実施形態による別のガス移行プロセスを示す図である。

【図9A】～

【図9D】本発明の一実施形態による別のガス移行プロセスを示す図である。

【図10】本発明の一実施形態によるガス送出システムを示す図である。

【詳細な説明】

【0015】

本発明は概して、基板エッティングシステム及びプロセスの装置及び方法に関する。本明細書に記載されるように、本発明をシリコンエッティングシステム及びプロセスに関連するものとして説明する。しかしながら、本発明の態様はシリコンエッティングでの利用に限定されず、その他のタイプの材料のエッティングにも応用可能であることに留意すべきである。本発明の装置及びその使用方法の新規性をより良く理解できるように、以下、添付の図面を参照する。

30

【0016】

酸化物層及び金属層を堆積させたシリコン基板に深いトレンチ等のプロファイルをエッティングするための方法及び装置が提供され、ここでエッティングサイクルは、単一の完全に自動化されたリアクタ内でインシチュで行われる複数のプラズマプロセスを含む。このようなエッティングサイクルのそれぞれは、堆積ステップ、第1エッティングステップ、第2エッティングステップを含む。これらのステップのそれぞれは、基板を支持するリアクタのチャンバ内に供給されるガス混合物の組成物によって定義される個々のプラズマプロセスである。各ステップ中、ガス混合物の異なる組成物をチャンバに供給することができる。リアクタは通常、プラズマを発生させ維持するための電源（本明細書において「ソース電力」と称する）及び基板にバイアスを印加するための電源（本明細書において「バイアス電力」と称する）を備え、独立して制御される。

40

【0017】

バイアス電力はパルス化することができ（例えば、エネルギーを繰り返し放出する）、一方、ソース電力は連続的に印加することができる。特に、バイアス電力は、コントロールシステムによって設定された「デューティサイクル」と称されるところの電力がONとなる時間の割合を決定するためのジェネレータパルス化能を利用してパルス化することができる。一実施形態において、パルス化されたバイアス電力のON/OFF時間は、エッティングサイクルを通じて一定である。例えば、電力が約3ミリ秒にわたってONであり約15ミリ秒にわたってOFFの場合、デューティサイクルは約16.67%となる。パル

50

ス周波数（サイクル／秒、すなわちヘルツ（Hz））は、1.0をON/OFF時間（秒）の合計で割ったものに等しい。例えば、バイアス電力が約3ミリ秒にわたってONであり約15ミリ秒にわたってOFFの場合（全部で約18ミリ秒）、パルス周波数（サイクル／秒）は約55.55Hzである。一実施形態においては、エッチングサイクル中にON/OFFタイミングが変化する特殊なパルスプロファイルを使用する。一実施形態においては、基板に印加するバイアス電力を変化させることによって、エッチングサイクルを堆積ステップ及び／又はエッチングステップ間で切り替える。バイアス電力をパルス化することによって、トレンチ側壁のスカラップ化の軽減を促し、レジスト選択性を改善し、エッチング速度を改善し、また材料の界面でのアンダーカットを防止する。

【0018】

10

図1は、様々な基板を処理し且つ様々な基板サイズに対応するリアクタ100等のシステムの断面図である。一実施形態において、リアクタ100は、ソース電力15、整合回路17、バイアス電力20、整合回路21、チャンバ25、ポンプ30、バルブ35、セラミック静電チャック40、冷却装置45、蓋50、ガスノズル55及びガス送出システム102を含む。一実施形態において、ガス送出システム102は、チャンバ25に直接隣接して（例えば、その下に）配置されたハウジング105内に位置している。ガス送出システム102は、1つ以上のガスパネル104内に位置する1つ以上のガス供給源をガスノズル55に選択的に連結して処理ガスをチャンバ25に供給する。ハウジング105をチャンバ25に近接して配置することによってガスを変更する際のガス移行時間を短縮し、ガス利用を最小限に抑え、ガスの無駄を最小限に抑える。リアクタ100は更に、基板をチャンバ25内で支持するチャック40を上下させるための昇降装置27を含むことができる。チャンバ25は更に、下方ライナ22、上方ライナ23及び扉24を有する本体を更に含む。バルブ35は、ポンプ30とチャンバ25との間に配置することができ、またチャンバ25内の圧力を制御可能であってもよい。セラミック静電チャック40は、チャンバ25内に配置することができる。蓋50は、チャンバ25上に配置することができる。ガスノズル55は、ガス送出システム102からチャンバ25へとガス流を選択的に方向付けするための1つ以上のアウトレットを有する調節可能なガスノズルを含むことができる。ガスノズル55は、ガス流をチャンバ25内の異なる領域（チャンバ25の中心領域及び／又は側方領域等）へと方向付け可能であってもよい。一実施形態において、ガスノズル55は、チャンバ25におけるガスの分配を選択的に制御するために、ガスをチャンバ25の上部から導入する第1アウトレットと、ガスをチャンバ25の側部から導入する第2アウトレットを含むことができる。ガス送出システム102を利用することによって、少なくとも2種類のガス混合物をチャンバ25へと以下で更に詳しく説明するように同速度で供給することができる。任意の実施形態において、リアクタ100は、エッチングされたトレンチの深さ及び堆積した膜の厚さを、チャンバ25におけるトレンチ形成中に、リアクタの状態を求めるために他のスペクトル特性を利用する能力でもって測定可能なスペクトルモニタを含む。リアクタ100は、様々な基板サイズ、例えば最高約300mmの基板直径に対応できるように構成することができる。運転中、本明細書中において説明するように、リアクタ100は、約85～約92度の範囲で先細りする角度を有するエッチング基板トレンチ側壁プロファイル及び約10マイクロメートル～約500マイクロメートルの深さを有するエッチング基板トレンチを形成するように構成可能である。

【0019】

20

一実施形態において、リアクタ100は、金属エッチングリアクタ及び、任意で、後金属エッチングパッシベーションチャンバを含むシステムに連結される。

【0020】

30

一実施形態において、プラズマプロセス用のプラズマを発生させ維持するためのソース電力15は、チャンバ25上に配置されたハウジング11内の電力発生装置を介してチャンバ25に結合される。ソース電力15は、パルス化能を有する約12MHz～約13.5MHz、電力約10ワット～約5000ワットの高周波を発生可能であってもよく、ま

40

50

た更に、動的整合回路 17 を含むことができる。一例において、ソース電力 15 はパルス化能を有する 13 MHz の高周波を発生可能である。高周波をエッティングサイクル中に変更できるように、ソース電力 15 がデュアルチューナブルソースを含んでいてもよい。一実施形態において、ソース電力 15 は、リアクタ 100 に取り付け可能な、高いレベルのプラズマ電離を生じさせることができ可能な遠隔プラズマ源を備える。遠隔プラズマ源を使用する場合、リアクタ 100 は更に、プラズマの基板への分配を促すために、チャンバ 25 上に配置された 1 枚又は複数のプラズマ分配プレートを含むことができる。一実施形態において、リアクタ 100 は、インシチュのソース電力及び遠隔プラズマソース電力の両方を含み、プラズマは遠隔プラズマソース電力を使用して遠隔プラズマチャンバ内で発生させられ、リアクタチャンバ 25 へと運ばれ、インシチュのソース電力 15 が、発生したプラズマをチャンバ 25 内で維持する。一実施形態において、エッティングサイクルは、その最中に電力範囲、すなわち電源 15 のワット数を増減させながら行われる。ソース電力 15 を、エッティングサイクル中にパルス化してもよい。10

【0021】

一実施形態において、基板にバイアスを印加するためのバイアス電力 20 はチャンバ 25 及びチャック 40 に結合される。バイアス電力 20 は、パルス化能を有する約 2 MHz 、約 10 ワット～約 500 ワットの低電力の高周波を発生させることができ、更に動的整合回路 21 を含むことができる。一実施形態において、バイアス電力 20 は、パルス化能を有する、約 10 ワット～約 500 ワットの低電力の約 400 kHz から約 2 MHz 、約 1000 kHz ～約 2 MHz 及び約 1000 kHz ～約 13.56 MHz の選択可能な高周波を発生可能であり、更に動的整合回路又は固定整合回路及び周波数チューナを含む。一実施形態において、エッティングサイクルは、電力範囲、すなわちバイアス電力 20 のワット数をその最中に増減させながら行われる。一実施形態において、エッティングサイクルは、堆積ステップ、第 1 エッティングステップ、第 2 エッティングステップを含み、第 1 エッティングステップ中にバイアス電力 20 を使用し、第 2 エッティングステップ中にバイアス電力 20 を増減させる。例えば、バイアス電力の高周波を第 1 エッティングステップから第 2 エッティングステップにかけて増減させる。20

【0022】

バイアス電力 20 を、エッティングサイクル中にパルス化してもよい。バイアス電力 20 をパルス化するために、高周波電力をエッティングサイクル中に ON / OFF で切り替える。バイアス電力 20 のパルス周波数は約 10 Hz ～約 1000 Hz であってもよく、約 50 Hz ～約 180 Hz であってもよい。一実施形態において、電力の ON / OFF 切り替えは、エッティングサイクルを通じて均等に時間配分される。一実施形態において、パルス化のタイミングプロファイルはエッティングサイクルを通じて変化し、基板の組成に左右される。バイアス電力 20 を ON に切り替える時間の割合、すなわち上述したようなデューティサイクルは、パルス周波数に直接関係している。一実施形態において、パルス周波数が約 10 Hz ～約 1000 Hz の場合、デューティサイクルは約 2 % ～約 40 % である。一実施形態において、パルス化周波数が約 50 Hz ～約 180 Hz の場合、デューティサイクルは約 5 % ～約 30 % である。バイアス電力周波数及びパルス周波数は、処理対象である基板の材料に応じて調節することができる。30

【0023】

一実施形態において、冷却装置 45 は、チャンバ 25 及びチャンバ 25 内の基板の温度を制御可能である。冷却装置 45 は、チャンバ 25 に近接した位置で連結することができる。冷却装置 45 は、低温冷却装置（零下用熱電冷却装置等）を含むことができ、更に超低温用の直接冷却機構を含むことができる。冷却装置 45 は、約 -20 ～約 80 の範囲の温度を実現可能であり、より速い反応時間を達成するためにチャンバ 25 近くに位置しており、ある程度の制御によるエッティング速度の改善を可能にするランピング能を含んでいてもよい。一実施形態において、冷却装置 45 は、約 -10 ～約 60 の温度を実現可能であり、より速い反応時間を達成するためにチャンバ 25 近くに位置している。一実施形態において、冷却装置 45 は、チャンバ 25 において温度を約 -10 ～約 -20 40

に低下させることができる。

【0024】

一実施形態において、リアクタ100は、チャンバ圧約10mTorr～約1000mTorrを、ポンプ30及びバルブ35もって維持可能であり、バルブ35はチャンバ25に連結される。チャンバ圧をエッティングサイクル中に調節することによってトレントンチプロファイルを更に改善することが可能である。例えば、堆積ステップからエッティングステップへと切り替える際、チャンバ圧を急速に低下又は上昇させる。ポンプ30は、約100sccm～約1000sccmの流量をチャンバ25全体を通して処理可能なターボポンプ（例えば、2600L/sターボポンプ）を含むことができる。ポンプ30と共に、バルブ35が、反応時間が速い、プロセス流れ及び圧力変化の制御を促進するための絞りゲートバルブを含んでいてもよい。リアクタ100は更に、チャンバ25内の圧力を測定するためのデュアルマノメータを含むことができる。一実施形態において、リアクタ100は、約10mTorrr～約250mTorrrの動圧をエッティングサイクル中に維持可能である。任意で、自動絞りゲートバルブ制御装置又はあらかじめ制御点が設定されたバルブを利用してよく、動圧を、フローパラメータを変化させながら設定された点で維持することができる。10

【0025】

図2は、高速ガス交換機200を有するガス送出システム102の一実施形態の概略図である。高速ガス交換機200は、第1フローコントローラ240、第2フローコントローラ230、多数の任意のフローリストリクタ260及び選択的にガスをチャンバ25（図1に図示）へとアウトレット270、280を介して方向付けするためのバルブ250を収容するハウジング205（上述したハウジング105等）並びにポンプ30の下流のチャンバ排出部へとガスを廃棄するための排出部290を含む。具体的には、4つのフローリストリクタ260及び8つのバルブ250が図2に図示されているが、フローリストリクタ260及びバルブ250の数は変更してもよい。第1フローコントローラ240はフローライン272を介してアウトレット270と連通しており、フローライン272はアウトレットフローライン273と連通している。第2フローコントローラ230はフローライン271を介してアウトレット270と連通しており、フローライン271もアウトレットフローライン273と連通している。第1及び第2フローコントローラのそれぞれは、フローライン272、271のそれぞれを介して排出部290と連通しており、フローライン272、271は各自、排出フローライン291に連結されている。第1フローコントローラ240はまた、フローライン282を介して別にアウトレット280と連通しており、フローライン282はアウトレットフローライン283と連通している。第2フローコントローラ230もまた、フローライン281を介して別にアウトレット280と連通しており、フローライン281もアウトレットフローライン283と連通している。第1及び第2フローコントローラのそれぞれは、フローライン282、281のそれぞれを介して排出部290と連通しており、フローライン282、281は各自、排出フローライン291に連結されている。第1及び第2フローコントローラから排出部290に続くフローライン271、272、281、282、291を介した流路の1つ以上がそれぞれ、以下で更に詳しく説明するように、プレフローガス経路を画成することができる。1つ以上の任意のフローリストリクタ260及びバルブ250を、第1及び第2フローコントローラ240、230間、アウトレット270、280及び排出部290との間に位置させて処理ガスのアウトレット270、280及び排出部290への送出を制御することができる。アウトレット270、280を、（上述の）ガスノズル55の1つ以上のアウトレットと連通させることによってガスのチャンバ25内への分配を選択的に制御してもよい。高速ガス交換機200、特に第1及び第2フローコントローラ240、230は、処理ガスを高速ガス交換機200を使用して供給するために、第1ガスパネル220及び第2ガスパネル210にそれぞれ連結される。第1及び第2ガスパネル210、220は、第1フローライン217及び第2フローライン227を介して高速ガス交換機200に連結することができる。第1及び第2ガスパネルはそれぞれ1つ以上のガス供給源2304050

15、225を含むことができ、また1種以上のガスを第1及び第2フローライン217、227を介して高速ガス交換機200、ひいてはチャンバ25に供給可能である。シリコンエッティング用に構成する場合、高速ガス交換機200は第1ガス(六フッ化硫黄(SF₆)等)を第1エッティングステップ及び第2エッティングステップ中に第1ガスパネル210からチャンバ25に供給し、また第2ガス(パーフルオロシクロブタン(C₄F₈)等)をチャンバ25へと堆積ステップ中に第2ガスパネル220から供給する。一例において、第1ガスパネル210及び第2ガスパネル220は、SF₆及びC₄F₈を約1000sccmで、ヘリウムを約500sccmで、酸素(O₂)及びアルゴンを約200sccmで送出可能である。一実施形態においては、プラズマ維持ガス(アルゴン等)を有する第3ガスパネルを高速ガス交換機200に連結し、このガスパネルは、エッティング及び堆積ステップ中、ガスをチャンバ25に連続的に供給可能である。10

【0026】

運転中、第1ガスパネル210からのガスがチャンバ25に供給されるにあたって、第1フローコントローラ240は、ガスをアウトレット280へとフローライン282を介して、アウトレット270へとフローライン272を介して又は両方のアウトレットへと方向付けすることができる。任意のフローリストリクタ260を利用することによって、高速ガス交換機200内のガスの流れを制御することができる。ガスがチャンバ25に供給されている間、バルブ250はチャンバ25への流路を開放し、また排出フローライン291、ひいては排出部290への流路を閉鎖可能である。エッティングサイクルの切り替えステップ時、第2ガスパネル220からのガスをチャンバ25へと第1ガスパネル210と同様のやり方で供給することができる。第2ガスパネル220からのガスをチャンバ25に供給している間、バルブ250は、第1ガスパネル210からチャンバ25への流路を閉鎖し、排出フローライン291、ひいては排出部290への流路を開放してフローライン内のガスを廃棄することができる。一例において、ガスは、第1ガスパネル210からチャンバ250へと堆積ステップ中に供給され、またガスは第2ガスパネル220からチャンバ25へとエッティングステップ中に供給される。両方のガスパネル220、210を、堆積及びエッティングステップの両方に使用することができる。20

【0027】

別の実施形態においては、図3に示されるように、高速ガス交換機を利用する。高速ガス交換機300は、ガスをチャンバ310(図1に図示のリアクタ100のチャンバ25等)へと選択的に方向付けするために互いに連通している第1フローコントローラ340、第2フローコントローラ345及び第3フローコントローラ347を収容したハウジング305(上述したハウジング105等)、第1排出部360並びに/又は第2排出部370を含む。高速ガス交換機300、特に第1フローコントローラ340を、第1ガスパネル320へとフローライン341を介して連結することができる。ある実施形態においては、シリコンのエッティングに合わせて、第1ガスパネル320は複数のガス供給源322を含み、六フッ化硫黄、酸素、アルゴン、トリフルオロメタン(CHF₃)及び/又はヘリウムが含まれるが、これらに限定されない。フローコントローラ340、345、347のそれぞれが、ガスを排出部360、370及び/又はチャンバ310へと方向付け可能なフローコントロールバルブを含むことができる。フローコントロールバルブは、迅速な応答を可能にし、また多くのフロー構成を提供するための空気操作用空気圧アクチュエータを含むことができる。加えて、フローコントローラ340、345、347は、バルブの動作を制御しモニタするためのオペレーティングシステムと通信してもよい。フローリストリクタ346、348を、任意で、第3フローコントローラ347に連結することによって第2排出部370及び/又はチャンバ310への流れを制限してもよい。40

【0028】

一実施形態において、第1フローコントローラ340は、ガスを第1排出部360へとフローライン343(以下でより詳しく説明するように高速排気経路が画成される)を介して及び/又はフローライン342を介して第2フローコントローラ345へと方向付けするように構成される。第2フローコントローラ345を、ガスをチャンバ310へとフ50

ローライン 325 を介して及び / 又はフローライン 344 を介して第3フローコントローラ 347 へと方向付けするように構成してもよい。第3フローコントローラ 347 を、ガスを第2排出部 370 へと任意のフローリストリクタ 348 を通してフローライン 349 を介して方向付けするように構成してもよく（以下でより詳しく説明するプレフローガス経路が画成される）及び / 又はチャンバ 310 へと任意のフローリストリクタ 346 を通してフローライン 321 を介して方向付けするように構成してもよく、フローライン 321 はフローライン 325 と連通していてもよい。

【0029】

高速ガス交換機 300 は、また、ハウジング 305 内に配置され且つ互いに連通した、ガスをチャンバ 310、第1排出部 360 及び / 又は第2排出部 370 へと方向付けするための第1フローコントローラ 350、第2フローコントローラ 355 及び第3フローコントローラ 357 も含むことができる。高速ガス交換機 300、特に第1フローコントローラ 350 を、第2ガスパネル 330 にフローライン 351 を介して連結することができる。ある実施形態において、シリコンのエッティングに合わせて、第2ガスパネル 330 は複数のガス供給源 332 を含み、パーカーフルオロシクロプロパン、酸素、アルゴン、トリフルオロメタン及び / 又はヘリウムが含まれるがこれらに限定はされない。フローコントローラ 350、355、357 のそれぞれはガスを排出部 360、370 及び / 又はチャンバ 310 に方向付け可能なフローコントロールバルブを含むことができる。フローコントロールバルブは、迅速な応答を可能にし、また多くのフロー構成を提供するための空気操作を含むことができる。加えて、フローコントローラ 350、355、357 は、バルブの動作を制御しモニタするためのオペレーティングシステムと通信してもよい。フローリストリクタ 356、358 を、任意で、第3フローコントローラ 347 に連結することによって第2排出部 370 及び / 又はチャンバ 310 への流れを制限することができる。

【0030】

一実施形態において、第1フローコントローラ 350 は、ガスを第1排出部 360 へとフローライン 353 を介して（以下でより詳しく説明するように高速排気経路が画成される）及び / 又はフローライン 352 を介して第2フローコントローラ 355 へと方向付けするように構成される。第2フローコントローラ 355 は、ガスをチャンバ 310 へとフローライン 335 を介して及び / 又はフローライン 354 を介して第3フローコントローラ 357 へと方向付けするように構成することができる。第3フローコントローラ 357 を、ガスを第2排出部 370 へと任意のフローリストリクタ 358 を通してフローライン 359 を介して方向付けするように構成してもよく（以下でより詳しく説明するプレフローガス経路が画成される）及び / 又はチャンバ 310 へと任意のフローリストリクタ 356 を通してフローライン 331 を介して方向付けするように構成してもよく、フローライン 331 はフローライン 335 と連通していてもよい。

【0031】

運転中、平行なフローライン 325、335 は、ガスを独立してチャンバ 310 へと一連のフローコントローラ及び任意の制流部（フローコントローラ 340、345、347、350、355、357 及び任意のフローリストリクタ 346、356 等）を通して送出するように構成されており、迅速なガス交換が可能になる。フローライン 325、335 は、任意のフローリストリクタ 346、356 を通して観察されたガスの遅延を排除するために、独立して及び / 又は直接的にガスを高速でチャンバ 310 に送出可能でもある。別の実施形態において、フローライン 325、335 は、チャンバ 310 内への進入に先立って合流する。高速ガス交換機 300 では、数多くのガスの送り出し方法及び構成が考えられる。一実施形態においては、第1ガス（又はガスの組み合わせ）をチャンバ 310 に直接送出し（例えば、フローライン 341、342、325 を通して）、第2ガス（又はガスの組み合わせ）を、フローライン 354、352、351 を介して、フローライン 331 のフローリストリクタ 356 を通してパルス化してチャンバ 310 への送出を制御するという選択肢が得られる。高速ガス交換機 300 の各バルブは、フローラインを通して送られるガスの逆拡散を防止するためのチェックバルブを含んでいてもよい。フロ-

10

20

30

40

50

コントローラ 340、350 は、フローライン 343、353 を通してガスを方向付け可能であり、これらのフローラインは第1排出部 360 と連通している。フローコントローラ 347、357 は、ガスをフローライン 349、359 を通して方向付け可能であり、これらのフローラインは第2排出部 370 と連通している。

【0032】

一実施形態において、高速ガス交換機 300 は、フローライン 341、351 のいずれか又は両方と連通した任意のフローライン 386 を含む。フローライン 386 は、任意のフローコントローラ 384 及び / 又は任意のフローリストリクタ 382 を含むことができる。フローライン 386 は、全てのフローラインからのガスを廃棄するためにガスを排出部 380 に方向付け可能であってもよく、以下で更に詳しく説明する高速排気経路が画成される。排出部 360、370、380 は真空環境を含んでいてもよく、この真空環境に向かってガスが方向付けされる。

10

【0033】

一実施形態においては、高速ガス交換機 300 を任意のガスパネル 390 に連結して、フローライン 395 を介したチャンバ 310 へのガス供給源 392 (パージガス等) とすることもでき、フローライン 395 は、本明細書に記載の実施形態と組み合わされてフローライン 335 と連通している。ガスパネル 390 は、処理ガス混合物間での移行前にチャンバ 310 内の残留ガスを除去して処理ガス混合物への残留ガスの混ざりこみを防止するための急速廃棄バルブとして動作することができる。ガスパネル 390 は、エッキングサイクル中に、第1及び第2ガスパネルのいずれか又は両方からのガスとの処理用のガスを供給するためのチャンバ 310 への高速ダイレクトラインも提供することができる。フローライン 395 は、ガス 390 からチャンバ 310 への流れを制御するためのフローコントローラ及び / 又はリストリクタを含むことができる。ガス供給源 392 は、チャンバ 310 及びフローライン内に残留している残留ガス混合物をパージ可能であってもよい。一実施形態においては、フローコントローラの1つ以上を開放位置へと作動させ、残留ガス混合物を、排出部 360、370、380 の1つ以上へとフローライン 325、335 のいずれか又は両方を通して、ガスパネル 390 から供給されるガス供給源 392 を使用してパージする。同様のガスパネル設備を、フローライン 325 と連通させて設置することができる。

20

【0034】

30

一実施形態において、基板は、プロセス中に基板にプロファイルを形成するためにチャンバ 300 内に配置される。このプロセスは1つ以上のステップを含むことができ (エッキングステップ、堆積ステップ等)、これらのステップを交互又は連続的に様々な順番で繰り返すことによってプロファイルを形成する。第1ガスパネル 320 のガス供給源 322 から供給された1種以上のガスを含む第1ガス混合物を、第1ガスパネル 320 からチャンバ 310 へと第1及び第2フローコントローラ 340、354 を経由させフローライン 341、342、325 を通して並びに / 又は第1、第2及び第3フローコントローラ 340、345、347 を経由させフローライン 341、342、344、321、325 を通してプロセスステップの1つ以上の最中に供給することができる。第2ガスパネル 330 のガス供給源 332 から供給された1種以上のガスを含む第2ガス混合物を、第2ガスパネル 330 からチャンバ 310 へと第1及び第2フローコントローラ 350、355 を経由させてフローライン 351、352、335 を通して並びに / 又は第1、第2、第3フローコントローラ 350、355、357 を経由させてフローライン 351、352、354、321、335 を通してプロセスステップの1つ以上の最中に供給することができる。第1及び第2ガス混合物を、プロセスステップを切り替える際に、迅速に切り替えてチャンバ 310 に供給することができる。第1及び第2ガス混合物を、プロセススイッチを切り替える際に、またその他のガス混合物をチャンバ 310 に供給している最中に、各フローライン 325、335 から排出部 360、370、380 へと方向付けすることもできる。加えて、ガス混合物の組成を切り換えプロセスステップ中に変更し、あるプロセスステップ中に別のガス混合物をチャンバに供給することができる。第1及び第2

40

50

ガス混合物を、あるプロセスステップ中にチャンバ310へと同時に供給することができる。フローコントローラは、制流されていないチャンバ310への流路を提供することができる。

【0035】

一実施形態において、高速ガス交換システムは、第1エッチングステップから第2エッチングステップ及び/又は堆積ステップへと切り替える際に、基板をチャンバ内で処理しながら、1つ以上のバルブを使用して(フローコントローラの組み合わせ等。例えば、3方バルブ。迅速な応答作動が得られる空気圧式アクチュエータを含み得る)、チャンバ内でのガス混合物の連続的で迅速な切り替えが可能である。例えば、堆積ステップ中、第1ガス混合物をチャンバに供給し、一方、堆積ステップに続くエッチングステップ中のチャンバへの導入に備えて第2ガス混合物をチャンバに送り出す。各ステップの持続時間は1秒未満であってもよい。例えば、堆積ステップは約0.5秒続き、エッチングステップは約0.75秒続き、これらのステップを、それぞれのガス混合物を代表するステップ中に供給しながら、連続的に及び交互に繰り返して基板をチャンバ内で処理する。1つ以上のセンサをバルブに取り付けることによって、チャンバに供給されるガス混合物の性能をモニタすることができる。

【0036】

図4Aに示されるように、トレンチ400を基板の1つ以上の層410、420、430にエッチングすると、多数のスカラップ415がトレンチの側壁に沿って形成される。スカラップ415は側壁に沿って一連の山411及び谷412として現れ得る。スカラップ測定値413には、図4Bに示されるように、谷412の深さ、すなわち谷412の底中央からの測定が含まれ得る。一実施形態においては、谷412の長さ(すなわち、ある山の先端から隣接する山の先端までの垂直距離)及び山411及び谷412の数を、高速ガス交換機200又は300をリアクタ100と共に利用することによって増減させる。スカラップ測定値413が増大するにつれ、側壁の粗さが上昇する。一例においては、高速ガス交換機200又は300を利用し、トレンチを約10マイクロメートル/分のエッチング速度で、約0.1マイクロメートルのスカラップ測定値413で形成する。スカラップ測定値413は、トレンチを基板全体に形成する間、側壁に沿って妥当な公差内に維持され、例えば、スカラップ測定値413は、トレンチの上部で約0.1マイクロメートル以上であり、トレンチの底部で約0.025マイクロメートル以下である。一実施形態において、トレンチは約20マイクロメートル/分のエッチング速度で、約0.1マイクロメートルのスカラップ測定値413で形成される。一実施形態において、トレンチは、持続時間が約1秒~約2秒の堆積ステップ及び持続時間が約2秒~約4秒のエッチングステップで約10マイクロメートル/分のエッチング速度で形成される。エッチングステップには、第1エッチングステップ及び第2エッチングステップが含まれ得る。

【0037】

高速ガス交換機200又は300を利用し、エッチング後のトレンチプロファイル上に残留するフォトレジストの量を増加させることができる。また、より深いトレンチプロファイルを形成するにあたって、高速ガス交換機200又は300によってレジスト選択性を改善することができる。

【0038】

高速ガス交換機200又は300によって、より高いエッチング性能が得られる。高速ガス交換機200又は300によって、以下の利点が得られる。すなわち、マスフローコントローラからチャンバへのガスの遅延が軽減され、複数のガス種の混合が解消され、ガス交換時間が短縮され、プロセスステップ間のガス送出遅れが軽減され、ガス種のオーバーラップが可能になり、複数のゾーンにわたってのガス送出が可能になり、また遠隔、ローカルのガスパネル位置が可能になる。これらの利点により、全体としてより高いエッチング速度が得られ、トレンチ側壁の粗さが軽減され、トレンチプロファイルを制御する能力が上昇する。高速ガス交換機200又は300を、マルチステッププロセスを採用しているエッチングシステム(TMGMシステム、Boschシステム等)と共に利用するこ

10

20

30

40

50

とができる。

【0039】

一実施形態において、チャンバ内の基板をエッティングする方法は、第1ガスパネルからの第1ガスを堆積ステップ中にチャンバに供給し、第2ガスパネルからの第2ガスを第1エッティングステップ及び第2エッティングステップ中にチャンバに供給し、基板に第1バイアス電力を第1エッティングステップ中に印加し、第2バイアス電力を第2エッティングステップ中に印加することを含み、第1バイアス電力は第2バイアス電力より大きい。

【0040】

一実施形態において、任意で複数の層（酸化物、金属及び／又は堆積された保護高分子膜等。保護高分子膜は少なくとも1つのポリマー、コポリマー、オリゴマー、その誘導体又は組み合わせを含有する（ハードマスク、レジストマスク等））が堆積されたシリコン基板等の基板をエッティングする方法が提供される。本方法は、堆積ステップ、第1エッティングステップ、第2エッティングステップを有するエッティングサイクルを含む。このプロセスは、第1エッティングステップ中に高バイアス電力及び低圧を採用し、第2エッティングステップ中に低バイアス電力及び高圧を採用して基板にトレンチを形成することを含むことができ、高バイアス電力は複数層のエッティングに使用され（酸化物、金属及び／又は高分子膜等）、低バイアス電力は基板のエッティングに使用される（シリコン基板等）。このプロセスによって改善されたレジスト選択性が得られ、トレンチ側壁の粗さが軽減される。

【0041】

一例においては、慣用のシリコンエッティングシステム下、エッティングステップで、シリコンの等方的な貫通及びエッティングに先立つ表面ポリマーの除去にその時間の約40%が費やされる。バイアス電力はポリマー層の貫通に必要だが、シリコンエッティングは発熱性であり、結果的にバイアス電力を必要としない。約5秒の堆積ステップを約10秒のエッティングステップと共に利用して最適な限界寸法及びエッティング速度を得ることができる。バイアス電力がエッティングステップの10秒間全体にわたってONであり且つポリマー表面を約4秒後にエッティングする場合、バイアス電力をかけながらシリコンを残りの約6秒間にわたってエッティングすることによってレジスト選択性が低下し、トレンチ側壁の粗さが上昇する。この同じ例において、本発明の実施形態は、エッティングステップを、低圧／約4秒の高バイアス電力を含む第1エッティングステップとそれに続く高圧／残りの約6秒の低バイアス電力を含む第2エッティングステップとに分割することによってこの問題に対処しており、レジスト選択性が上昇する。一実施形態において、堆積ステップの時間は約1秒～約20秒であり、エッティングステップの時間は約2秒～約30秒以内である。

【0042】

図5Aは、約5秒の堆積ステップ510及び約10秒のエッティングステップ530を含む、シリコン基板をエッティングするためのステップ間での切り換えの際にステップの重複部520を有する従来のエッティングサイクル500を示す。図5Bは、従来のサイクル500と同じ基板に行う、本発明の一実施形態によるエッティングサイクル550を示す。図5Bは、堆積ステップ560中に薄膜高分子層を約3秒にわたって堆積し、第1エッティングステップ570中に約3秒にわたって高分子層をエッティングし、第2エッティングステップ580中に約5秒にわたってシリコン層をエッティングすることを含むシリコン基板のエッティング方法を示し、第1バイアス周波数がシリコン基板に第1ステップ中に印加され、第2バイアス周波数がシリコン基板に第2エッティングステップ中に印加され、第2バイアス周波数は第1周波数より小さい。図示のように、エッティングサイクル550は従来のエッティングサイクル500より約4秒速く、実質的に同様のトレンチプロファイルを形成し得る。高速ガス交換機200又は300を使用することによって、堆積ステップからエッティングステップに切り換える際のガスの重複を排除することもできる。

【0043】

一実施形態において、本方法は、エッティングサイクルの第1エッティングステップ中にバイアス電力を使用し、第2エッティングステップ中にゼロバイアス電力を使用することによってレジスト選択性を上昇させることを含む。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 4 】

一実施形態において、本方法は、第1エッチングステップ中に金属及び酸化物層を周波数約2MHzのバイアス電力でエッチングし、次に第2エッチングステップ中に周波数約400kHzのバイアス電力に切り換えてシリコン層をエッチングすることを含む。本方法は、複数の周波数のバイアス電力整合を更に含むことができる。

【 0 0 4 5 】

図6Aは、従来法を使用して形成したエッチング特徴部又はプロファイル(トレンチプロファイル600等)を示す。図6Bは、本発明の一実施形態による方法を使用して形成したトレンチプロファイル650を示す。図示のように、従来法を使用して形成したトレンチプロファイル600は側壁に沿ってより高い度合いの粗さを有しており、例えばスカラップ測定値はエッチング速度約6.7マイクロメートル/分で約2マイクロメートルより大きい。高速ガス交換機200又は300及びリアクタ100を使用して形成したトレンチプロファイル650によって側壁の粗さは軽減され、またより滑らかなプロファイルが得られ、例えばスカラップ測定値はエッチング速度約5.8マイクロメートル/分で約1.5マイクロメートル未満である。トレンチプロファイル650はまた、滑らかで丸みのあるエッチング前面を含み得る。加えて、2つのステップから成るこのエッチングプロセスを利用して、より小さいスカラップ測定値を更に達成することができる。

10

【 0 0 4 6 】

一実施形態において、エッチングサイクルは更に、エッチングされた材料表面上及び/又はトレンチ表面に沿って残ったフォトレジストマスク又は保護高分子膜の除去を含む除去プロセスを含む。一例において、この除去プロセスは、シリコン系基板の場合、酸素含有プラズマを使用して完了する。この除去プロセスは、トレンチプロファイルを本発明の実施形態を使用してエッチングした後に行なうことができる。

20

【 0 0 4 7 】

一実施形態において、エッチングサイクルは更に、追加のエッチング又は除去プロセス(側壁平滑化プロセスと記載する場合もある)を含み、このプロセスは、エッチングによって生じた表面粗さ(例えば、スカラップの発生)をトレンチプロファイルに沿って更に平滑化することを含む。側壁平滑化プロセスは、上述の除去プロセス後に実行することができる。側壁平滑化プロセスによって、反応性プラズマフライスプロセスを使用して、エッチングされたトレンチの側壁表面に形成されたスカラップの深さを更に軽減することができる。除去プロセス及び反応性プラズマフライスプロセスの例示的な実施形態は、2008年8月27日に「Post Etch Reactive Plasma Milling to Smooth Through Substrate Via Side walls and Other Deeply Etched Features」の名称で出願された継続中の米国特許出願に開示されており、この文献は参照により全て本明細書に組み込まれる。

30

【 0 0 4 8 】

一実施形態においては、反応性プラズマフライスプロセスを使用して、トレンチプロファイルのスカラップが生じた表面をプラズマ源ガスから形成した反応性プラズマに暴露する。このガスは、SF₆、NF₃、CF₄、CHF₃、CIF₃、BrF₃、IF₃又はこれらの誘導体を含むがこれらに限定されない反応物を含み、この反応物はトレンチプロファイルの表面で材料と反応する。プラズマ源ガスは不活性ガスを含んでいてもよく、不活性ガスはトレンチプロファイルと反応しないが、トレンチプロファイルに衝撃を与えることができる衝撃力として作用し、材料を分解し、スカラップから材料を除去する。一実施形態においては、残留高分子材料を基板のトレンチプロファイルから除去した後、トレンチプロファイルを、基板にバイアス電力を印加しながら、プラズマ源ガスから発生させた反応性プラズマで処理する。バイアス電力をパルス化してもよく、すなわち基板処理中にRF電力をON/OFF切り替えすることができる。反応性プラズマフライスプロセスは、本明細書で説明の本発明の実施形態を使用して、プラズマ源ガスの組成、基板温度、処理チャンバ内の圧力、バイアス電力及び/又はソース電力に関する高周波電力等のプロ

40

50

セス変数を調節することによって構成可能である。

【0049】

一実施形態においては、プレフローガス経路をチャンバ（リアクタ100のチャンバ25等）に、高速ガス交換システム200及び300等のガス送出システムを使用して設置する。プレフローガス経路は、ガス送出源からバルブを通ってチャンバとは別の真空環境へと続く接続部であってもよい。ガスをチャンバに送る前に、ガスをプレフローガス経路に流してガスの要求前に流れを安定化させることができある。加えて、いずれのフローコントロール装置（フローコントローラ等）もその放出物をプレフローガス経路に送ることができることから、ガス流の一部を、チャンバにガス流を送る前に安定化させることができる。

10

【0050】

一実施形態においては、高速排気経路をチャンバ（リアクタ100のチャンバ25等）から排出部又は廃棄部へとガス送出システム（高速ガス交換システム200及び300等）を使用して設置する。高速排気経路は、ガス送出源及びチャンバ送出経路からチャンバへの、チャンバから別の真空環境へのバルブを経由した接続部であってもよい。1つ以上のバルブを各チャンバ送出経路接続部に使用することができ、これは高速排気経路を複数の場所で接続可能だからであり、いずれの2つのフローコントロール装置及び/又は制流部間にも少なくとも1つの接続部がある。チャンバ内のガスの変更が必要な場合、真空環境へのバルブを開放し、過剰なガスをチャンバ送出経路から除去する。

20

【0051】

一実施形態においては、チャンバ（リアクタ100のチャンバ25等）への実際のガス流が可能な限り迅速に望ましい状態に到達するように、時間の経過と共にガス送出システム（高速ガス交換システム200及び300等）を通してガス流を制御することが提供される。チャンバ送出経路にガスがないなら、ガス送出システムが考えられ得る最短時間で平衡に到達するように、ガス送出システムが望ましいガスのそれぞれの流量を上昇させることができる。チャンバへのガスの流れが望ましい化学物質混合物及び流量に近づくにつれ、ガス送出システムを流れるガスの流量を、チャンバ内への望ましい流量が維持されるようなやり方で望ましいレベルにまで減量する。ガス送出システムが先行のプロセスからのガスで満たされている場合、ガス送出システムを流れる流量を変更（望ましい効果に応じて減量又は増量する）することができ、これによってチャンバへの望ましい流れは可能な限り迅速に望ましい値に到達する。チャンバへのガス流が望ましい化学物質混合物及び流量に近づくにつれ、ガス流を望ましい流量へと、チャンバへの望ましい流量が維持されるようなやり方で調節する。

30

【0052】

一実施形態において、可変制流部、固定制流部又は一連の選択固定制流部を使用しての高速排気経路の制流制御が提供される。チャンバに送出される化学物質混合物を変更するが、変更時の流量を制御する必要がある場合、チャンバ送出経路と高速排気経路との間の1つ以上のバルブを絞って排気速度を制御することができる。場合によっては、ガスの一部が高速排気経路へと排気され、一部がチャンバへと送出されるようにとチャンバ送出経路に沿ったバルブを絞ることによって、チャンバへの望ましい化学物質混合物及び流量をより迅速に達成することが可能である。

40

【0053】

一実施形態において、チャンバへのガス送出は、ある化学物質混合物及び流量から別の化学物質混合物及び流量へと変更する際、チャンバ送出経路内の残留ガスを利用して途切れることなく継続する。1つ以上のバルブをチャンバ送出経路で閉鎖することによって、バルブ下流のガスはチャンバ内に流入し続け、バルブ上流のガスは別の場所に送られる。閉鎖したバルブの上流のガス流は、バルブが閉鎖されている間、チャンバには到達しない。このようにして、チャンバは、バルブ下流のガス（残留ガス）に邪魔されることなく稼動し続け、バルブ上流のガスは、次の望ましい化学物質混合物及び流量に変更される。チャンバ送出経路のバルブ下流のガスが全てチャンバ内へと送られてしまう前に、バルブを

50

開放して、次の望ましい化学物質混合物を望ましい流量でチャンバに導入する。

【0054】

一実施形態においては、チャンバ送出経路、プレフロー経路及び高速排気経路の1つ以上のバルブを一定の順序で配列する。バルブを時系列で作動させることによって、望ましい化学物質混合物を望ましい流量でチャンバへと望ましいタイミングで送出することができる。新しい化学物質混合物及び流量がチャンバで必要とされる前に、バルブを作動させて新しい化学物質混合物の流れを新しい流量でチャンバ送出経路を通して開始させることができる。同時に、バルブをチャンバ送出経路、プレフロー経路及び高速排気経路に向けて作動させて新しい化学物質混合物及び流量の流れをチャンバ送出経路を通して安定化させ、化学物質のチャンバへの送出をチャンバ送出経路内の残留ガスから継続し、チャンバ送出経路の隠れた部位から残留化学物質を除去する。化学物質の切り替えを、化学物質送出源に最も近い位置で最短時間で起こすことができる。高速排気経路、プレフロー経路、チャンバ送出経路用の、チャンバ送出経路に沿って化学物質送出源からチャンバへと離間された一連のバルブの時限切り替えを利用して、新しい化学物質混合物を新しい流量で、可能な限り要求された時間に近い時間でもってチャンバに次元的に送出することができる。
。

【0055】

一実施形態においては、チャンバ送出経路、高速排気経路及びプレフロー経路における化学物質の送出のフィードバックを利用する。化学物質混合物及び流量を、様々な経路において、圧力センサ、流量センサ、化学物質センサ及び/又は経路内の状態をモニタするその他のセンサで測定することが可能である。化学物質混合物及び流量を上記の方法のいずれかを利用して変更する際、これらのセンサの測定結果を使用して、化学物質の送出の制御を改善し、バルブ設定（すなわち、開放、閉鎖、比例状態）を決定することが可能である。化学物質混合物の移行及び定常性能並びに流量をセンサを使用して測定及び調節し、バルブの動作設定又は状態の変更に使用するタイミングを制御することが可能である。
。

【0056】

一実施形態においては、チャンバ内への化学物質送出のフィードバックを利用する。圧力センサ、光学センサ、チャンバからのフィードバックを提供するその他のセンサを使用して、チャンバ内への実際の化学物質混合物及び流量を決定することが可能である。チャンバへの化学物質混合物及び流量を変更する際、測定値を使用して化学物質の送出の制御を改善し、バルブ設定を決定することが可能である。測定値を使用して、化学物質混合物の移行及び定常性能並びに流量を測定及び決定することも可能である。
。

【0057】

一実施形態においては、予測的なフロー制御法を使用してガス移行時間を最小限に抑える。この方法は、化学物質混合物を望ましい流量以外の流量で流し、次に望ましい流量へと収束させて平衡ガスライン圧、ひいてはチャンバ内への実際の望ましい流れを考えられ得る最短時間で達成することを含み得る。

【0058】

一実施形態において、フローシステムのモデルを使用して予測的にバルブを一定の順序で配列する方法が提供される。この方法は、流量、ガス送出システムの容量、ガス送出ラインの容量、チャンバシャワーヘッドの容量、ガス送出システムの制流、チャンバシャワーヘッドの制流、ガス送出システムのある流れでの平衡圧、バルブ作動時間、チャンバ圧、フォラライン (foreline) 圧及び/又はガス種を利用してシステムのバルブを一定の順序で配列し、特定のエッキング/堆積プロセスのために処理チャンバに最適なガス送出を行うことを含み得る。
。

【0059】

一実施形態において、システムは1つ以上のガス送出システムを有していることから、少なくとも1つのガス送出システムが、特定のプロセス条件専用となる。専用ガス送出システム、ひいてはシステムはより少ない数の化学物質を必要とする場合がある。専用ガス送出システムは、基板の全処理に必要とされるフローコントローラの小集団によって構成
。

することができ、これによってコストを大幅に削減し、またシステムの複雑性を低下させることができる。

【0060】

図7A～Cは、本明細書に記載のシステム100、200及び300を使用したガス移行プロセスを図示したものである。第1ガス710のチャンバ750への送出が停止され、第2ガス720の送出が開始される。第2ガス720がライン760に流れ込むにつれ、ガス流の先端部がライン760内の第1ガス710の残留分と混ざる。第2ガス720は残留第1ガス710をライン760内を通してチャンバ750内へと押し出す。一実施形態において、ガス切り替え命令が出されてから第2ガス720がチャンバ750に送出されるまでの遅延は、約8秒～約25秒である。ガス移行タイミングは、本明細書に記載の測定方法及び予測的制御方法を使用してガス流を変化させることによってチャンバ750への特定のエッキング／堆積プロセスに合わせた最適なガス送出を迅速に行うことによって改善することが可能である。

【0061】

図8A～Cは、本明細書に記載したシステム100、200及び300を使用したガス移行プロセスを示す。第1ガス810のチャンバ850への（ライン860を介した）送出は、バルブ865を閉鎖し、バルブ875を開放することによって停止され、第1ガス810は例えばフォアライン870を使用して排出される。同時に、第1ガス810を遮断すると、第2ガス820のライン860を通した送出が開始する。第2ガス820がライン860内を流れるにつれて、ガス流の先端部がライン870内の第1ガス810の残留分と混じり合い、逸れる。第2ガス820は残留する第1ガス810をライン860を通してフォアライン870内へと押し出す。チャンバ850は、チャンバ内の別の第1ガス810残留分を使用して運転を継続することができる。次にバルブ875を閉鎖位置へと作動させ、またバルブ865を開放位置へと作動させて、汚染されていない第2ガス820流をチャンバ850に送出することができる。ガス移行タイミングは、約5～約10秒内に起こり得る。ライン860は第1ガス810の廃棄中に排気されたため、第2ガス820の安定した流れを得るために、ガス移行命令から約10秒～約30秒が必要とされる。

【0062】

図9A～Dは、本明細書に記載のシステム100、200及び300を使用したガス移行プロセスを示す。このガス移行プロセスは、ライン960を通したチャンバ950への第1ガス910の送出に関して図8A～Cについて上述したプロセスであってもよい。バルブ965は開放位置にあり、その他全てのバルブ967、975、985、987は閉鎖位置にある。ライン980に第2ガス920を予備充填すると、ライン980をチャンバ950に接続した場合に、必要な量の第2ガス920が既にライン980内にあることからチャンバ950への流れが安定する。一実施形態においては、単一の移行ガスをライン980で使用する。次にバルブ975を開放位置に作動させ、他のバルブを閉鎖位置に作動させる又は閉鎖位置で維持し、処理ガス930（残留第1ガス910等）をチャンバ950から排出部へと例えばフォアライン970を通して排出する。フローコントローラを使用して、ガス移行前にフォアライン970を通した流れを安定化させることができる。次にバルブ985及び967を開放位置に作動させ、他のバルブを閉鎖位置に作動させる又は閉鎖位置で維持することができる。第2ガス920をチャンバ950へとライン980を介して送出し、第1ガス910をフォアライン970を使用して排出することができる。ガス移行はバルブのタイミングに左右され得る。ガスの移行は、比較的きれいな指數関数的上昇及び減衰を有する。第2ガス920の流れを完全に安定化するには、ガス移行命令から約2秒～約5秒のガス移行時間を必要とし得る。正確な移行時間は、1つ以上のセンサ990から得られる情報に基づいて、上記の直接測定及び／又は予測的制御方法を利用して計算することができる。

【0063】

図10は、本明細書に記載の実施形態と利用し得るガス送出システム1000を示す。

10

20

30

40

50

システム 1000 は、可能な限りチャンバ及び／又はチャンバ 1050 に連結されたシャワー ヘッドに近接させて 1 つ以上の切り替えバルブ 1065、1075、1085 を格納し且つ配置するための、チャンバに連結されたハウジング 1040（接地エンクロージャ等）を含むことができる。切り替えバルブ 1065、1075、1085 は、ガス源アセンブリ内部の接地エンクロージャ内に格納することができる。一実施形態において、ライン 1080 は、1 種類のガスしか必要としない特定のガス移行プロセス専用である。

【0064】

従って、高速排気経路を有するガス送出システムは、有利には、ガス送出システムから処理システムへと処理ガスを安定したガス流及び最低限の変動で供給することを可能にする。高速排気経路を利用して、ガス送出システムからのガス流を別のやり方で検証及び／又は較正し、処理チャンバに供給されるガス流を良好に制御する。

10

【0065】

上記は本発明の実施形態を対象としているが、本発明の基本的な範囲から逸脱することなく本発明のその他及び更に別の実施形態を創作することができ、本発明の範囲は以下の特許請求の範囲に基づいて定められる。

【図 1】

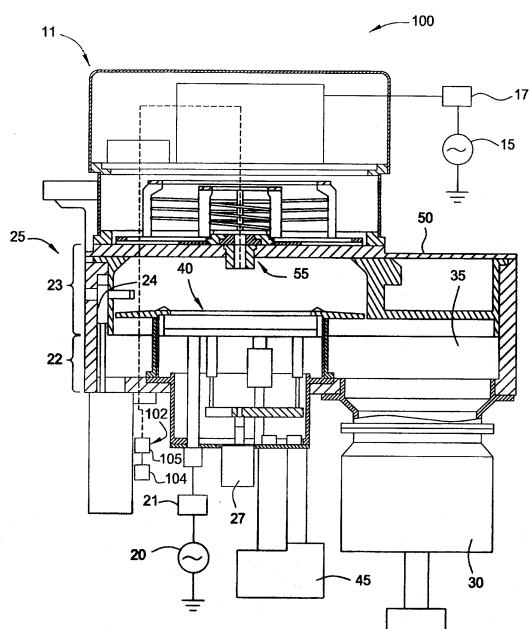


FIG. 1

【図 2】

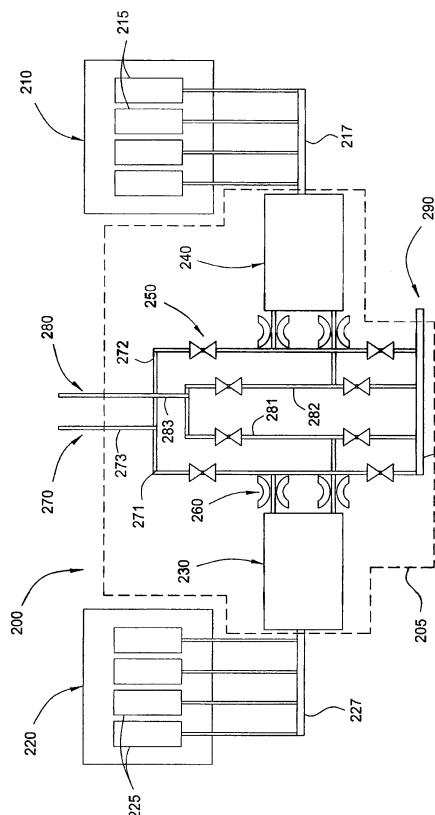


FIG. 2

【図3】

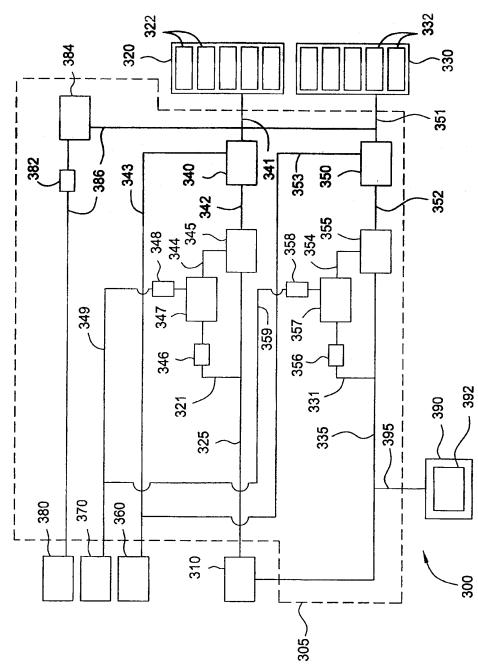


FIG. 3

【図4A】

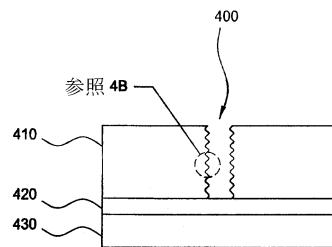


FIG. 4A

【図4B】

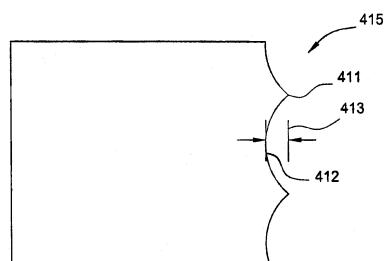


FIG. 4B

【図5A】

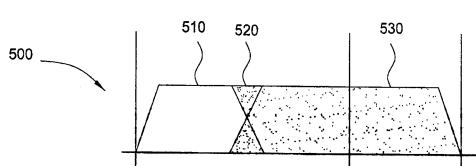


FIG. 5A

【図 5 B】

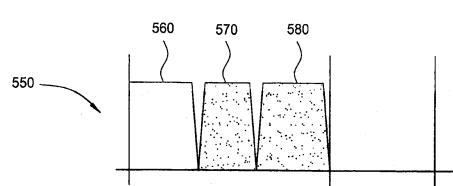


FIG. 5B

【図 6 A】

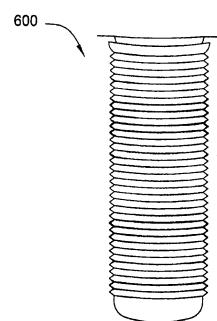


FIG. 6A

【図 6 B】

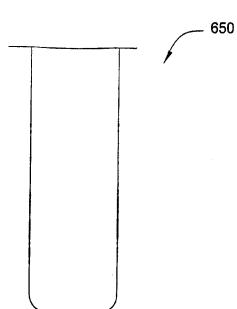


FIG. 6B

【図 7 A】

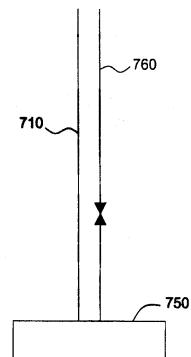


FIG. 7A

【図 7 B】

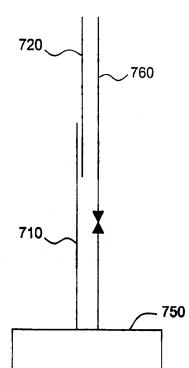


FIG. 7B

【図 7 C】

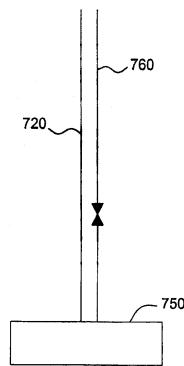


FIG. 7C

【図 8 A】

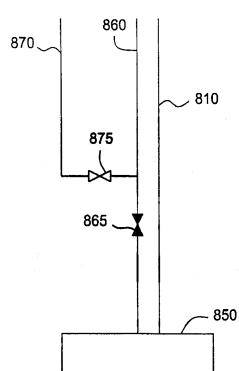


FIG. 8A

【図 8 B】

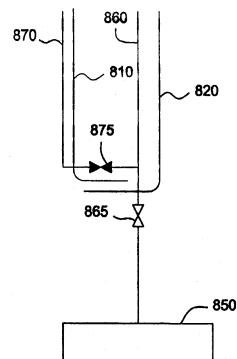


FIG. 8B

【図 8 C】

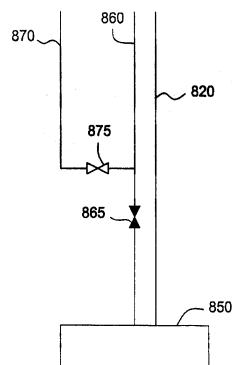


FIG. 8C

【図 9 A】

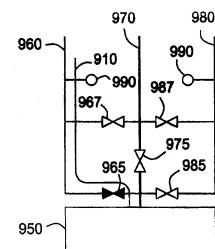


FIG. 9A

【図 9 B】

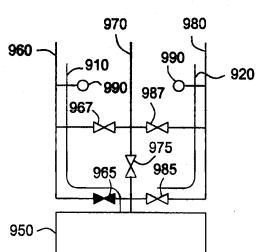


FIG. 9B

【図 9 C】

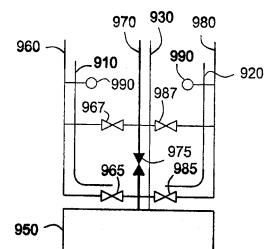


FIG. 9C

【図9D】

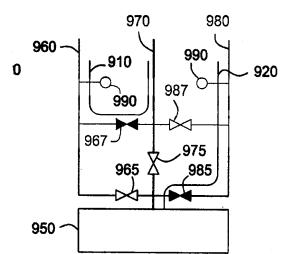


FIG. 9D

【図10】

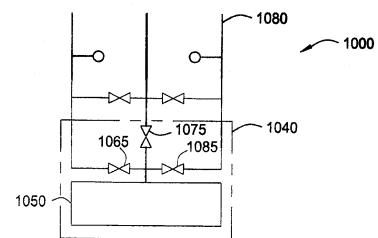


FIG. 10

フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 61/094,820
 (32)優先日 平成20年9月5日(2008.9.5)
 (33)優先権主張国 米国(US)

前置審査

- (72)発明者 ファル ジョン シー
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94057 バレジヨ ロイレ コート 6067
 (72)発明者 シラジュディン クハリド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95134 サン ノゼ パルミラ ドライブ 3500
 ナンバー 2012
 (72)発明者 ゴールド エズラ アール
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94086 サニーベール エルム コート 180 ナン
 バー 1805
 (72)発明者 クルーズ ジェームズ ピー
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95010 キャピトラ ピー オー ボックス 100
 (72)発明者 オルシェウスキー スコット
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94087 サニーベール ユコン ドライブ 1397
 (72)発明者 ナンゴイ ロイ シー
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95051 サンタ クララ プルネリッジ アベニュー
 3725
 (72)発明者 シン サラブジェート
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95051 サンタ クララ キエリー ブルバード 10
 00 ナンバー 74
 (72)発明者 ブッファーガー ダグラス エー
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94550 リバーモア ピンテージ レーン 2076
 (72)発明者 リー ジャレッド エー
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95051 サンタ クララ バッキンガム ドライブ 1
 21 ナンバー 32
 (72)発明者 ザング チュンレイ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95051 サンタ クララ フローラ ビスタ アベニュー
 - 2612 ナンバー 350

審査官 粟野 正明

- (56)参考文献 特開2005-123550 (JP, A)
 特開2009-182059 (JP, A)
 特開2008-205436 (JP, A)
 特表2007-509506 (JP, A)
 特開2007-059696 (JP, A)
 特表2006-507664 (JP, A)
 特開昭62-143427 (JP, A)
 国際公開第2007/081686 (WO, A1)
 特表2005-532693 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H01L 21/3065