

(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.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

請求項の数 3 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2011-500951 (P2011-500951)	(73) 特許権者	390040660
(86) (22) 出願日	平成21年3月19日 (2009. 3. 19)		アプライド マテリアルズ インコーポレ イテッド
(65) 公表番号	特表2011-515855 (P2011-515855A)		APPLIED MATERIALS, I NCORPORATED
(43) 公表日	平成23年5月19日 (2011. 5. 19)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 054 サンタ クララ パウアーズ ア ベニュー 3050
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/037647		
(87) 国際公開番号	W02009/117565	(74) 代理人	100101502
(87) 国際公開日	平成21年9月24日 (2009. 9. 24)		弁理士 安齋 嘉章
審査請求日	平成24年3月16日 (2012. 3. 16)	(72) 発明者	パマシー シャルマ ブイ
(31) 優先権主張番号	61/038, 664		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94 555 フレモント カリプソ テラス 4313
(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)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板エッチ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 エッチングプロセス中にエッチングし、

第 2 エッチングプロセス中に基板をエッチ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 つの層をエッチングする第 1 エッチングプロセス中に第 1 バイアス電力が基板に印加され、基板をエッチングする第 2 エッチ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チングする方法。

【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

【 0 0 0 1 】

(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。一態様において、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。別の態様において、本発明は高速ガス交換システムに関する。更に別の態様において、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。更に別の態様において、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。

【 0 0 0 2 】

(関連技術の説明)

マイ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、ビア及び／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。

【 0 0 0 3 】

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。

【 0 0 0 4 】

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。

【 0 0 0 5 】

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。

【 0 0 0 6 】

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が含まれる。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

10

20

30

40

50

発生させる。エッチングシステムのタイプに加え、各システムを使用時のエッチングのプロセスも変化し得る。一部のエッチ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、エッチング / 堆積ステップ又はエッチング / 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、材料をある期間にわたってエッチングし、次に保護膜を事前にエッチ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チングから保護する。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チ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

【 0 0 0 7 】

トレンチを形成する時に特に重要となる限界寸法の 1 つである側壁の粗さを適切に制御しない限り、マイクロ電子デバイスが欠陥品となる。エッチングサイクル中、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。

【 0 0 0 8 】

従って、基板のエッチングを制御し、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チ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 】**【 0 0 0 9 】**

一実施形態において、チャンバ内で基板をエッチングする方法は、保護層を、エッチ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、この保護層をエッチングリアクタ内でエッチングし、保護層のエッチング中、第 1 バイアス電力が印加され、第 1 層をエッチングリアクタ内でエッチングし、第 1 層のエッチング中、第 2 バイアス電力が印加され、堆積プロセス及びエッチ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。

【 0 0 1 0 】

一実施形態において、チャンバ内で基板をエッチングする方法は、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 エッチングプロセス中にエッチングし、第 2 エッチングプロセス中に基板をエッチ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 エッチングプロセス中に基板に印加される。

30

【 0 0 1 1 】

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

【 0 0 1 2 】

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 】**【 0 0 1 3 】**

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。

【 0 0 1 4 】

【図 1】本発明の一実施形態による基板エッチ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 4 A】～

【図 4 B】基板にエッチングされたプロファイルを示す図である。

【図 5 A】従来のエッチングサイクルを示す図である。

【図 5 B】本発明の一実施形態によるエッチングサイクルを示す図である。

【図 6 A】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 6 B】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 7 A】～

【図 7 C】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 8 A】～

【図 8 C】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 9 A】～

【図 9 D】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 1 0】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】

【 0 0 1 5 】

本発明は概して、基板エッチ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チ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チ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チ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。

【 0 0 1 6 】

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チングするための方法及び装置が提供され、ここでエッチングサイクルは、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。このようなエッチングサイクルのそれぞれは、堆積ステップ、第 1 エッチングステップ、第 2 エッチ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。

【 0 0 1 7 】

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、エッチ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 1 5 ミリ秒にわたって OFF の場合、デューティサイクルは約 1 6 . 6 7 % となる。パル

10

20

30

40

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】

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】

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】

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

10

20

30

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。高周波をエッチ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、エッチングサイクルは、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、エッチ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 100 kHz～約 2 MHz 及び約 100 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、エッチングサイクルは、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、エッチングサイクルは、堆積ステップ、第 1 エッチングステップ、第 2 エッチングステップを含み、第 1 エッチングステップ中にバイアス電力 20 を使用し、第 2 エッチ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 エッチングステップから第 2 エッチ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、エッチ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、高周波電力をエッチングサイクル中に 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、エッチ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チ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

40

【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チ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

50

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で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。チャンバ圧をエッチングサイクル中に調節することによってトレ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チ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/秒ターボポンプ）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10mTorr～約250mTorrの動圧をエッチ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もよく、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ラクタ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つのフローリストラクタ260及び8つのバルブ250が図2に図示されているが、フローリストラクタ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ラクタ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と排出部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2

20

30

40

50

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。シリコンエッチ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(SF_6)等)を第1エッチングステップ及び第2エッチ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(C_4F_8)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、 SF_6 及び C_4F_8 を約1000sccmで、ヘリウムを約500sccmで、酸素(O_2)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、エッチ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ラクタ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。エッチ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25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へとエッチングステップ中に供給される。両方のガスパネル220、210を、堆積及びエッチ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、シリコンのエッチングに合わせて、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(CHF_3)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。フローリストラクタ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。

30

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 3 2 5 を介して及び / 又はフローライン 3 4 4 を介して第 3 フローコントローラ 3 4 7 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 3 4 7 を、ガスを第 2 排出部 3 7 0 へと任意のフローリストラクタ 3 4 8 を通してフローライン 3 4 9 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 3 1 0 へと任意のフローリストラクタ 3 4 6 を通してフローライン 3 2 1 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 3 2 1 はフローライン 3 2 5 と連通していてもよい。

【0029】

高速ガス交換機 3 0 0 は、また、ハウジング 3 0 5 内に配置され且つ互いに連通した、ガスをチャンバ 3 1 0、第 1 排出部 3 6 0 及び / 又は第 2 排出部 3 7 0 へと方向付けするための第 1 フローコントローラ 3 5 0、第 2 フローコントローラ 3 5 5 及び第 3 フローコントローラ 3 5 7 も含むことができる。高速ガス交換機 3 0 0、特に第 1 フローコントローラ 3 5 0 を、第 2 ガスパネル 3 3 0 にフローライン 3 5 1 を介して連結することができる。ある実施形態において、シリコンのエッチングに合わせて、第 2 ガスパネル 3 3 0 は複数のガス供給源 3 3 2 を含み、パーフルオロシクロブタン、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 3 5 0、3 5 5、3 5 7 のそれぞれはガスを排出部 3 6 0、3 7 0 及び / 又はチャンバ 3 1 0 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 3 5 0、3 5 5、3 5 7 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。フローリストラクタ 3 5 6、3 5 8 を、任意で、第 3 フローコントローラ 3 4 7 に連結することによって第 2 排出部 3 7 0 及び / 又はチャンバ 3 1 0 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 3 5 0 は、ガスを第 1 排出部 3 6 0 へとフローライン 3 5 3 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 3 5 2 を介して第 2 フローコントローラ 3 5 5 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 3 5 5 は、ガスをチャンバ 3 1 0 へとフローライン 3 3 5 を介して及び / 又はフローライン 3 5 4 を介して第 3 フローコントローラ 3 5 7 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 3 5 7 を、ガスを第 2 排出部 3 7 0 へと任意のフローリストラクタ 3 5 8 を通してフローライン 3 5 9 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 3 1 0 へと任意のフローリストラクタ 3 5 6 を通してフローライン 3 3 1 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 3 3 1 はフローライン 3 3 5 と連通していてもよい。

【0031】

運転中、平行なフローライン 3 2 5、3 3 5 は、ガスを独立してチャンバ 3 1 0 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 3 4 0、3 4 5、3 4 7、3 5 0、3 5 5、3 5 7 及び任意のフローリストラクタ 3 4 6、3 5 6 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 3 2 5、3 3 5 は、任意のフローリストラクタ 3 4 6、3 5 6 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 3 1 0 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 3 2 5、3 3 5 は、チャンバ 3 1 0 内への進入に先立って合流する。高速ガス交換機 3 0 0 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 3 1 0 に直接送出し (例えば、フローライン 3 4 1、3 4 2、3 2 5 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 3 5 4、3 5 2、3 5 1 を介して、フローライン 3 3 1 のフローリストラクタ 3 5 6 を通してパルス化してチャンバ 3 1 0 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 3 0 0 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。フロー

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ラクタ 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、エッチングサイクル中に、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 / 又はリストラ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】

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 (エッチングステップ、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

30

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もできる。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、多数のスカルップ415がトレンチの側壁に沿って形成される。スカルップ415は側壁に沿って一連の山411及び谷412として現れ得る。スカルップ測定値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。スカルップ測定値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ルップ測定値413で形成する。スカルップ測定値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、スカルップ測定値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ルップ測定値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

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チングする方法は、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エッチングステップ及び第2エッチ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エッチングステップ中に印加し、第2バイアス電力を第2エッチ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チングする方法が提供される。本方法は、堆積ステップ、第1エッチングステップ、第2エッチングステップを有するエッチングサイクルを含む。このプロセスは、第1エッチ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エッチ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チングに使用され（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チングに使用される（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チングシステム下、エッチングステップで、シリコンの等方的な貫通及びエッチ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なが、シリコンエッチ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秒のエッチングステップと共に利用して最適な限界寸法及びエッチング速度を得ることができる。バイアス電力がエッチングステップの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秒後にエッチングする場合、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チ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、エッチングステップを、低圧／約4秒の高バイアス電力を含む第1エッチ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エッチ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、エッチ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秒のエッチングステップ530を含む、シリコン基板をエッチ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チングサイクル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チングサイクル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エッチングステップ570中に約3秒にわたって高分子層をエッチングし、第2エッチングステップ580中に約5秒にわたってシリコン層をエッチングすることを含むシリコン基板のエッチング方法を示し、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エッチ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、エッチングサイクル550は従来のエッチングサイクル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チ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、エッチングサイクルの第1エッチングステップ中にバイアス電力を使用し、第2エッチ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。

【 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。

【 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リソ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の本発明の実施形態を使用してエッチングした後に行うことができる。

【 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。

【 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、 SF_6 、 NF_3 、 CF_4 、 CHF_3 、 ClF_3 、 BrF_3 、 IF_3 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

10

20

30

40

50

セス変数を調節することによって構成可能である。

【 0 0 4 9 】

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 1 0 0 のチャンバ 2 5 等）に、高速ガス交換システム 2 0 0 及び 3 0 0 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し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可能である。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

【 0 0 5 0 】

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 1 0 0 のチャンバ 2 5 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 2 0 0 及び 3 0 0 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。

【 0 0 5 1 】

20

一実施形態においては、チャンバ（リアクタ 1 0 0 のチャンバ 2 5 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 2 0 0 及び 3 0 0 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

【 0 0 5 2 】

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

【 0 0 5 3 】

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。

【 0 0 5 4 】

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。

10

【 0 0 5 5 】

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。

20

【 0 0 5 6 】

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。

30

【 0 0 5 7 】

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。

【 0 0 5 8 】

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(f o r e l i n e)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、特定のエッチング/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。

40

【 0 0 5 9 】

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

50

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。

【 0 0 6 0 】

図 7 A ~ C は、本明細書に記載のシステム 1 0 0、2 0 0 及び 3 0 0 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 7 1 0 のチャンバ 7 5 0 への送出が停止され、第 2 ガス 7 2 0 の送出が開始される。第 2 ガス 7 2 0 がライン 7 6 0 に流れ込むにつれ、ガス流の先端部がライン 7 6 0 内の第 1 ガス 7 1 0 の残留分と混ざる。第 2 ガス 7 2 0 は残留第 1 ガス 7 1 0 をライン 7 6 0 内を通してチャンバ 7 5 0 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 7 2 0 がチャンバ 7 5 0 に送出されるまでの遅延は、約 8 秒 ~ 約 2 5 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 7 5 0 への特定のエッチング / 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。

10

【 0 0 6 1 】

図 8 A ~ C は、本明細書に記載したシステム 1 0 0、2 0 0 及び 3 0 0 を使用したガス移行プロセスを示す。第 1 ガス 8 1 0 のチャンバ 8 5 0 への（ライン 8 6 0 を介した）送出は、バルブ 8 6 5 を閉鎖し、バルブ 8 7 5 を開放することによって停止され、第 1 ガス 8 1 0 は例えばフォアライン 8 7 0 を使用して排出される。同時に、第 1 ガス 8 1 0 を遮断すると、第 2 ガス 8 2 0 のライン 8 6 0 を通した送出が開始する。第 2 ガス 8 2 0 がライン 8 6 0 内を流れるにつれて、ガス流の先端部がライン 8 7 0 内の第 1 ガス 8 1 0 の残留分と混じり合い、逸れる。第 2 ガス 8 2 0 は残留する第 1 ガス 8 1 0 をライン 8 6 0 を通してフォアライン 8 7 0 内へと押し出す。チャンバ 8 5 0 は、チャンバ内の別の第 1 ガス 8 1 0 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 8 7 5 を閉鎖位置へと作動させ、またバルブ 8 6 5 を開放位置へと作動させて、汚染されていない第 2 ガス 8 2 0 流をチャンバ 8 5 0 に送出することができる。ガス移行タイミングは、約 5 ~ 約 1 0 秒内に起こり得る。ライン 8 6 0 は第 1 ガス 8 1 0 の廃棄中に排気されたため、第 2 ガス 8 2 0 の安定した流れを得るためには、ガス移行命令から約 1 0 秒 ~ 約 3 0 秒が必要とされる。

20

【 0 0 6 2 】

図 9 A ~ D は、本明細書に記載のシステム 1 0 0、2 0 0 及び 3 0 0 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 9 6 0 を通したチャンバ 9 5 0 への第 1 ガス 9 1 0 の送出に関して図 8 A ~ C について上述したプロセスであってもよい。バルブ 9 6 5 は開放位置にあり、その他全てのバルブ 9 6 7、9 7 5、9 8 5、9 8 7 は閉鎖位置にある。ライン 9 8 0 に第 2 ガス 9 2 0 を予備充填すると、ライン 9 8 0 をチャンバ 9 5 0 に接続した場合に、必要な量の第 2 ガス 9 2 0 が既にライン 9 8 0 内にあることからチャンバ 9 5 0 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 9 8 0 で使用する。次にバルブ 9 7 5 を開放位置に作動させ、その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 9 3 0（残留第 1 ガス 9 1 0 等）をチャンバ 9 5 0 から排出部へと例えばフォアライン 9 7 0 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 9 7 0 を通した流れを安定化させることができる。次にバルブ 9 8 5 及び 9 6 7 を開放位置に作動させ、その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 9 2 0 をチャンバ 9 5 0 へとライン 9 8 0 を介して送出し、第 1 ガス 9 1 0 をフォアライン 9 7 0 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、比較的きれいな指数関数的上昇及び減衰を有する。第 2 ガス 9 2 0 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 9 9 0 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。

30

40

【 0 0 6 3 】

図 1 0 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 1 0 0 0 を示す。

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つ以上の切り換えバルブ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】

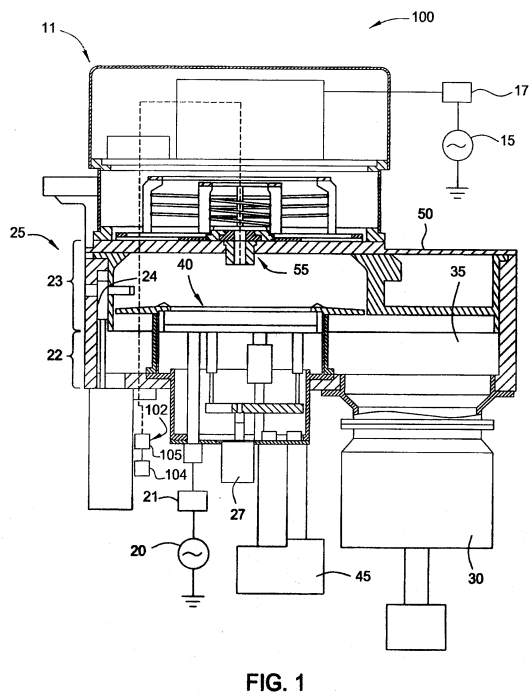
従って、高速排気経路を有するガス送出システムは、有利には、ガス送出システムから処理システムへと処理ガスを安定したガス流及び最低限の変動で供給することを可能にする。高速排気経路を利用して、ガス送出システムからのガス流を別のやり方で検証及び／又は較正し、処理チャンバに供給されるガス流を良好に制御する。

【００６５】

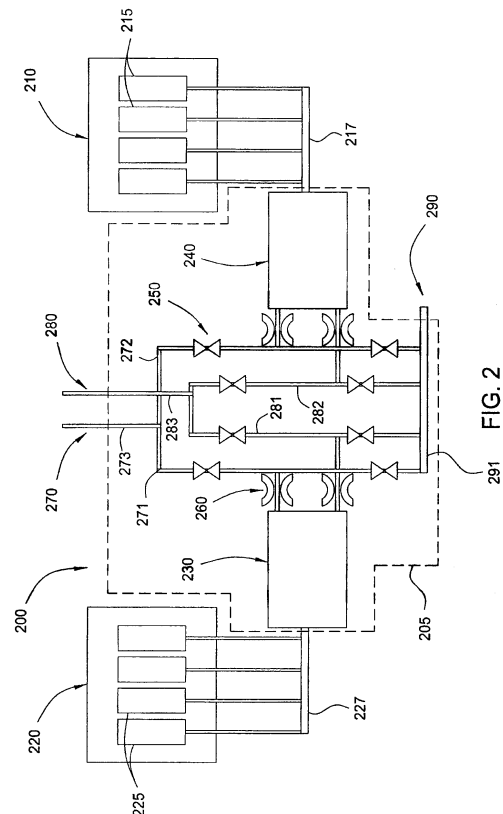
上記は本発明の実施形態を対象としているが、本発明の基本的な範囲から逸脱することなく本発明のその他及び更に別の実施形態を創作することができ、本発明の範囲は以下の特許請求の範囲に基づいて定められる。

10

【図１】



【図２】



【図 3】

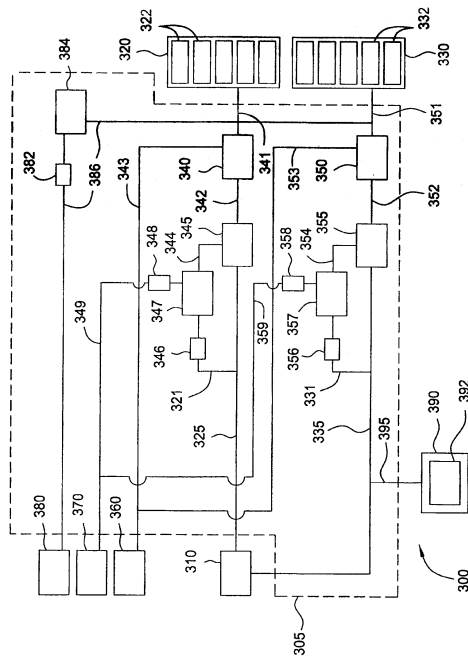


FIG. 3

【図 4 A】

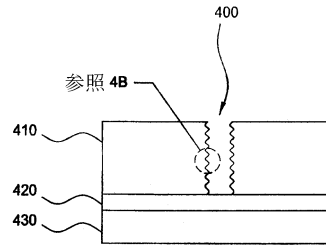


FIG. 4A

【図 4 B】

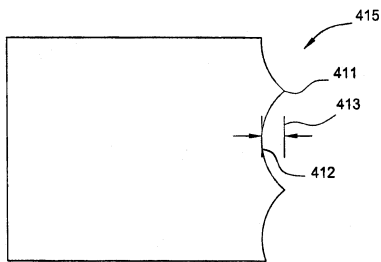


FIG. 4B

【図 5 A】

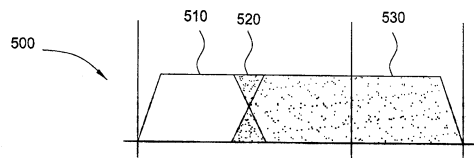
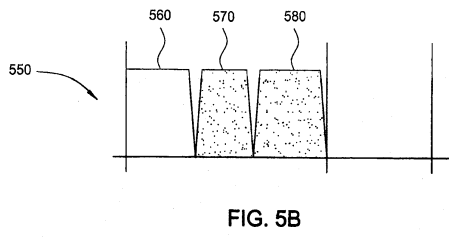


FIG. 5A

【図 5 B】



【図 6 A】

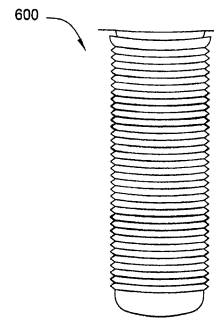


FIG. 6A

【図 6 B】

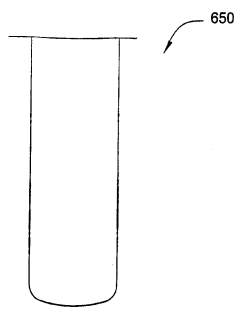


FIG. 6B

【図 7 A】

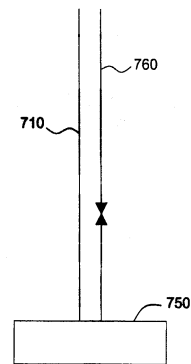


FIG. 7A

【図 7 B】

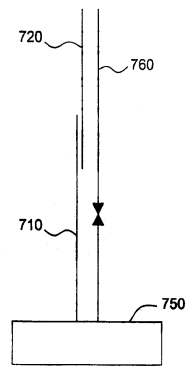


FIG. 7B

【図 7 C】

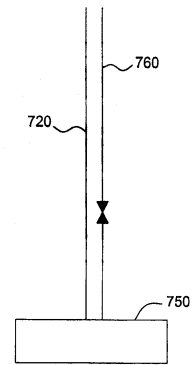


FIG. 7C

【図 8 A】

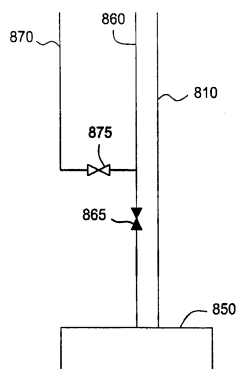


FIG. 8A

【図 8 B】

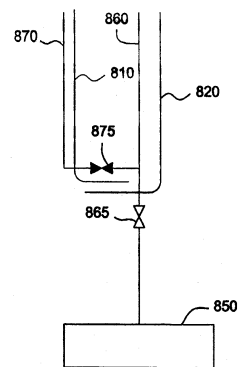


FIG. 8B

【図 8 C】

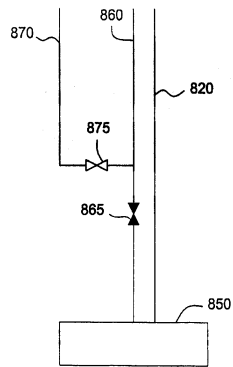


FIG. 8C

【図 9 A】

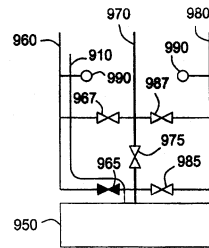


FIG. 9A

【図 9 B】

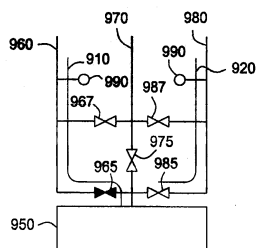


FIG. 9B

【図 9 C】

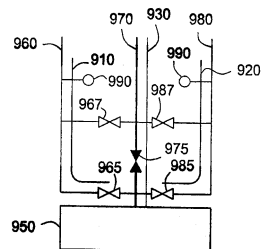


FIG. 9C

【図 9 D】

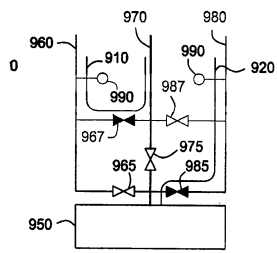


FIG. 9D

【図 1 0】

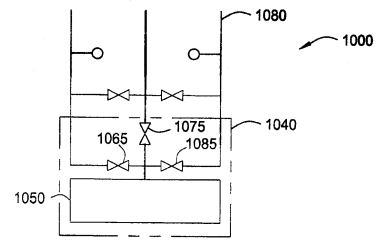


FIG. 10

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 9 4 0 5 7 バレジョ ロイレ コート 6 0 6 7
- (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 9 5 1 3 4 サン ノゼ パルミラ ドライブ 3 5 0 0
ナンバー 2 0 1 2
- (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 9 4 0 8 6 サニーベール エルム コート 1 8 0 ナン
バー 1 8 0 5
- (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 9 5 0 1 0 キャピトラ ピー オー ボックス 1 0 0
- (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 9 4 0 8 7 サニーベール ユコン ドライブ 1 3 9 7
- (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 9 5 0 5 1 サンタ クララ ブルネリッジ アベニュー
3 7 2 5
- (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 9 5 0 5 1 サンタ クララ キエリー ブルバード 1 0
0 0 ナンバー 7 4
- (72)発明者 ブッフバーガー ダグラス エー
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 5 0 リバーモア ピンテージ レーン 2 0 7 6
- (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 9 5 0 5 1 サンタ クララ バッキンガム ドライブ 1
2 1 ナンバー 3 2
- (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 9 5 0 5 1 サンタ クララ フローラ ビスタ アベニ
ュー 2 6 1 2 ナンバー 3 5 0

審査官 栗野 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