

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5844390号
(P5844390)

(45) 発行日 平成28年1月13日 (2016. 1. 13)

(24) 登録日 平成27年11月27日 (2015. 11. 27)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 21/3065 (2006. 01)	H O 1 L 21/302 I O 1 E
H O 5 H 1/46 (2006. 01)	H O 1 L 21/302 I O 5 A
	H O 5 H 1/46 A

請求項の数 14 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2013-554467 (P2013-554467)	(73) 特許権者	390040660
(86) (22) 出願日	平成24年1月31日 (2012. 1. 31)		アプライド マテリアルズ インコーポレ
(65) 公表番号	特表2014-507073 (P2014-507073A)		イテッド
(43) 公表日	平成26年3月20日 (2014. 3. 20)		APPLIED MATERIALS, I
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/023356		N CORPORATION
(87) 国際公開番号	W02012/115750		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
(87) 国際公開日	平成24年8月30日 (2012. 8. 30)		054 サンタ クララ パウアーズ ア
審査請求日	平成27年2月2日 (2015. 2. 2)		ベニュー 3050
(31) 優先権主張番号	61/445, 295	(74) 代理人	100109726
(32) 優先日	平成23年2月22日 (2011. 2. 22)		弁理士 園田 吉隆
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100101199
(31) 優先権主張番号	13/232, 079		弁理士 小林 義教
(32) 優先日	平成23年9月14日 (2011. 9. 14)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
早期審査対象出願		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 遠隔励起式のフッ素および水蒸気エッチング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

露出された酸化ケイ素領域を有するパターン付きの基板を基板処理チャンバの基板処理領域内でエッチングする方法であって、

遠隔プラズマ領域内で遠隔プラズマを形成しながら、シャワーヘッド内の孔を通して前記基板処理領域に流動的に結合された前記遠隔プラズマ領域内へフッ素含有前駆体を流し込んで、前記遠隔プラズマ領域から出て前記基板処理領域に入るガスである排出プラズマを生じさせることと、

前記遠隔プラズマ領域に通していない水蒸気を、プラズマがない状態の前記基板処理領域内へ流し込むことと、

前記シャワーヘッド内の前記孔を通して前記基板処理領域内へ前記排出プラズマを流し込むことによって、前記露出された酸化ケイ素領域をエッチングすることを含み、前記排出プラズマが前記水蒸気と混合および反応し、前記水蒸気が前記排出プラズマとの相互作用だけによって励起される、方法。

【請求項 2】

前記露出された酸化ケイ素領域をエッチングする動作の前に、前記露出された酸化ケイ素領域が、導電性材料を含む導電性カラムを取り囲んでいる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記露出された酸化ケイ素領域をエッチングする動作の後に、前記露出された酸化ケイ素領域の除去の結果、前記導電性カラムが実質上外側へ反らない、請求項 2 に記載の方法

10

20

。

【請求項 4】

前記導電性材料がチタンを含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 5】

前記導電性材料が窒化チタンを含む、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記導電性カラムが円筒形の形状である、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 7】

前記導電性カラムの直径が約 70 nm 以下である、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記基板処理領域内へ水蒸気を流し込む動作が、最初に前記遠隔プラズマ領域にアルコールを通さずに、前記基板処理領域内へ前記アルコールを流し込むことをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 9】

前記基板処理領域にプラズマがない、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記水蒸気が、前記基板処理領域の外側に形成されたいかなる遠隔プラズマでも励起されない、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記アルコールが、前記基板処理領域の外側に形成されたいかなる遠隔プラズマでも励起されない、請求項 8 に記載の方法。

20

【請求項 12】

前記アルコールが、メタノール、エタノール、およびイソプロピルアルコールからなる群から選択される、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 13】

前記フッ素含有前駆体が、原子フッ素、2 原子フッ素、3 フッ化窒素、4 フッ化炭素、フッ化水素、および 2 フッ化キセノンからなる群から選択される前駆体を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 14】

前記フッ素含有前駆体および前記排出プラズマが、本質的に水素を欠いている、請求項 1 に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本願は、2011 年 9 月 14 日出願の「REMOTELY - EXCITED FLUORINE AND WATER VAPOR ETCH」という名称の米国特許出願第 13 / 232, 079 号の PCT 出願であり、2011 年 2 月 22 日出願の「REMOTELY - EXCITED - FLUORINE AND WATER ETCH」という名称の米国仮特許出願第 61 / 445, 295 号に関し、その利益を主張する。両願は、あらゆる目的で全体として参照により本明細書に組み込まれている。

40

【背景技術】

【0002】

集積回路は、基板表面上に複雑なパターン付きの材料層を作る処理によって可能になる。基板上にパターン付きの材料を作るには、露出された材料を除去するための制御された方法が必要である。フォトリソスト内のパターンを下層内へ転写すること、層を薄くすること、または表面上にすでに存在する特徴の横方向の寸法を薄くすることを含む様々な目的で、化学エッチングが使用される。多くの場合、ある材料を別の材料より速くエッチングするエッチング処理を有することが望ましく、それによってたとえば、パターン転写処理の進行を助ける。そのようなエッチング処理は、第 1 の材料に対して選択的であると考

50

えられる。材料、回路、および処理の多様性の結果、様々な材料に対して選択性を有するエッチング処理が開発されてきた。

【0003】

湿式HFエッチングは、他の誘電体および半導体に比べて酸化ケイ素を優先的に除去する。しかし、湿式処理では、いくつかの抑制されたトレンチに浸透することができず、残りの材料を変形させることがある。局所的なプラズマ（基板処理領域内のプラズマ）内で行われるドライエッチングは、より抑制されたトレンチに浸透することができ、損傷を受けやすい残りの構造はほとんど変形しない。しかし、局所的なプラズマは、放電する際に電気アークを生じることによって基板を損傷する恐れがある。

【0004】

S i c o n i（商標）エッチングは、 H_2 、 NF_3 、および NH_3 のプラズマ副生成物への基板の同時露出を伴う遠隔プラズマ支援型のドライエッチング処理である。水素およびフッ素種の遠隔プラズマ励起により、プラズマ損傷のない基板処理を行うことができる。S i c o n i（商標）エッチングはほぼ共形であり、酸化ケイ素層に対して選択的であるが、シリコンは、そのシリコンがアモルファスであるか、結晶性であるか、それとも多結晶であるかにかかわらず、容易にエッチングされない。窒化ケイ素は通常、シリコンと酸化ケイ素との間の速度でエッチングされるが、窒化ケイ素に優先する酸化ケイ素の選択性は通常、シリコンに優先する酸化ケイ素の選択性ほど明白でない。この選択性は、浅いトレンチ隔離（STI）および層間誘電体（ILD）の凹部形成などの適用分野に対して利点を提供する。S i c o n i（商標）処理は、基板材料が除去されるときに基板の表面上に成長する固体の副生成物を生じさせる。その後、固体の副生成物は、基板の温度が上昇したときに昇華を介して除去される。固体の副生成物が生じた結果、S i c o n i（商標）エッチング処理は、損傷を受けやすい残りの構造も変形させる可能性がある。

【0005】

パターン付きの基板上の損傷を受けやすい構造を崩すことなく酸化ケイ素を選択的に除去する方法が必要とされている。

【発明の概要】

【0006】

パターン付きの不均質な構造上の露出された酸化ケイ素をエッチングする方法が記載されており、この方法は、フッ素含有前駆体から形成される遠隔プラズマエッチングを含む。遠隔プラズマからの排出プラズマが基板処理領域内へ流れ込み、そこで排出プラズマは水蒸気と混ざり合う。こうして混ざり合うことに起因する化学反応によって反応物質が生じ、この反応物質は、パターン付きの不均質な構造をエッチングして、実施形態では、ほとんど変形しない薄い残留構造を生じさせる。これらの方法を使用して、シリコン、ポリシリコン、窒化ケイ素、チタン、または窒化チタンをほとんどまたはまったく除去することなく、酸化ケイ素を共形にトリミングすることができる。例示的な実施形態では、本明細書に記載のエッチング処理は、薄い円筒形の導電構造の周りのモールド酸化物を除去するが、円筒形の構造をあまり変形させないことが分かった。

【0007】

本発明の実施形態は、基板処理チャンバの基板処理領域内でパターン付きの基板をエッチングする方法を含む。パターン付きの基板は、露出された酸化ケイ素領域を有する。これらの方法は、遠隔プラズマ領域内で遠隔プラズマを形成しながら、基板処理領域に流動的に結合された遠隔プラズマ領域内へフッ素含有前駆体を流し込み、排出プラズマを生じさせることを含む。これらの方法は、最初に遠隔プラズマ領域に水蒸気を通さずに、基板処理領域内へ水蒸気を流し込むことをさらに含む。これらの方法は、基板処理領域内へ排出プラズマを流し込むことによって、露出された酸化ケイ素領域をエッチングすることをさらに含む。

【0008】

追加の実施形態および特徴について、一部は以下の説明で述べるが、一部は本明細書の検討時に当業者には明らかになり、または開示の実施形態の実施から学習することができ

10

20

30

40

50

る。開示の実施形態のこれらの特徴および利点は、本明細書に記載する手段、組合せ、および方法を用いて実現および達成することができる。

【0009】

開示の実施形態の本質および利点のさらなる理解は、本明細書の残り部分および図面を参照することによってなされ得る。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】開示の実施形態による酸化ケイ素の選択的エッチング処理の流れ図である。

【図2A】開示の実施形態による酸化ケイ素の選択的エッチング処理に関する基板温度およびチャンバ圧力に対するエッチング速度の依存性の図である。

10

【図2B】開示の実施形態による酸化ケイ素の選択的エッチング処理に関する基板温度およびチャンバ圧力に対するエッチング速度の依存性の図である。

【図3】開示の実施形態による酸化ケイ素の選択的エッチング処理に関する窒化ケイ素およびシリコンと比較した酸化ケイ素の選択性の図である。

【図4A】本発明の実施形態による基板処理チャンバを示す図である。

【図4B】本発明の実施形態による基板処理チャンバのシャワーヘッドを示す図である。

【図5】本発明の実施形態による基板処理システムを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

添付の図では、類似の構成要素および/または特徴は、同じ参照ラベルを有する可能性がある。さらに、同じタイプの様々な構成要素は、ダッシュ記号付きの参照ラベルおよび類似の構成要素を区別する第2のラベルに従って区別することができる。本明細書で第1の参照ラベルだけが使用される場合、その説明は、第2の参照ラベルにかかわらず、同じ第1の参照ラベルを有する類似の構成要素の任意の1つに適用することができる。

20

【0012】

パターン付きの不均質な構造上の露出された酸化ケイ素をエッチングする方法が記載されており、この方法は、フッ素含有前駆体から形成される遠隔プラズマエッチングを含む。遠隔プラズマからの排出プラズマが基板処理領域内へ流れ込み、そこで排出プラズマは水蒸気と混ざり合う。こうして混ざり合うことに起因する化学反応によって反応物質が生じ、この反応物質は、パターン付きの不均質な構造をエッチングして、実施形態では、ほとんど変形しない薄い残留構造を生じさせる。これらの方法を使用して、シリコン、ポリシリコン、窒化ケイ素、チタン、または窒化チタンをほとんどまたはまったく除去することなく、酸化ケイ素を共形にトリミングすることができる。例示的な実施形態では、本明細書に記載のエッチング処理は、薄い円筒形の導電構造の周りのモールド酸化物を除去するが、円筒形の構造をあまり変形させないことが分かった。

30

【0013】

選択的な遠隔の気相エッチング処理では、ともに遠隔プラズマシステム(RPS)を通過して反応領域内へ流れ込むアンモニア(NH_3)の水素源および3フッ化窒素(NF_3)のフッ素源を使用してきた。アンモニアおよび3フッ化窒素の流量は通常、2つのプロセスガスの成分を効率的に利用するため、水素の原子流量がフッ素の原子流量の約2倍になるように選択される。水素およびフッ素が存在することで、比較的低い基板温度で(NH_4)₂SiF₆の固体の副生成物を形成することができる。固体の副生成物は、基板の温度を昇華温度より高く上昇させることによって除去される。遠隔の気相エッチング処理では、たとえばシリコンより酸化物膜をはるかに急速に除去する。しかし、窒化ケイ素と比較すると、従来の選択的な遠隔の気相エッチング処理の選択性は不十分なことがある。本発明者らは、遠隔プラズマ内でフッ素含有前駆体を励起させ、遠隔プラズマシステムを通過しなかった水蒸気と排出プラズマを混ぜ合わせることによって、窒化ケイ素に優先する酸化ケイ素の選択性を高めることができることを発見した。

40

【0014】

本発明をよりよく理解および認識するために、開示の実施形態による酸化ケイ素の選択

50

的エッチング処理 1 0 0 の流れ図である図 1 を次に参照されたい。第 1 の動作の前に、パターン付きの基板内に間隙が形成される。間隙は、窒化チタンカラムの堆積を案内するために使用されるモールド酸化ケイ素で充填される。窒化チタンカラムは、間隙の中心付近に形成され、モールド酸化ケイ素によって取り囲まれる。実施形態では基板を処理領域内へ送出する（動作 1 1 0）前に、酸化ケイ素と窒化チタンはどちらも露出された領域を有する。

【 0 0 1 5 】

処理領域とは別個のプラズマ領域内への 3 フッ化窒素の流れが開始される（動作 1 2 0）。3 フッ化窒素を強化または交換するために、他のフッ素源を使用することができる。通常、フッ素含有前駆体がプラズマ領域内へ流れ込み、このフッ素含有前駆体は、原子フッ素、2 原子フッ素、3 フッ化窒素、4 フッ化炭素、フッ化水素、および 2 フッ化キセノンからなる群から選択される少なくとも 1 つの前駆体を含む。本明細書では、別個のプラズマ領域を遠隔プラズマ領域と呼ぶことができ、処理チャンバとは異なるモジュール内、または処理チャンバ内の一区画内に位置することができる。次いで、遠隔プラズマ領域内で形成される排出プラズマを基板処理領域内へ流し込む（動作 1 2 5）。この時点で、気相エッチングには、酸化ケイ素に対する選択性がほとんどないはずであり、有用性は制限されているはずである。しかし、水蒸気を同時に基板処理領域内へ流し込み（動作 1 3 0）、排出プラズマと反応させる。水蒸気は、遠隔プラズマ領域を通過しておらず、したがって排出プラズマとの相互作用だけによって励起される。

【 0 0 1 6 】

パターン付きの基板は、モールド酸化ケイ素が窒化チタンカラムの周りから除去されるように選択的にエッチングされる（動作 1 3 5）。窒化チタンカラムの周りの除去された材料は、堀の形状で連続するトレンチを形成する。この反応性の化学種は、基板処理領域から除去され、次いで基板は、処理領域から取り出される（動作 1 4 5）。

【 0 0 1 7 】

ダイナミックランダムアクセスメモリ（DRAM）のアーキテクチャは、円筒形の導体、たとえば例示的な処理の流れでは窒化チタンカラムに基づいている。このアーキテクチャは、1 円筒形状ストレージノード（OCN）と呼ばれてきた。異なる実施形態では、この導電性の円筒は、70 nm 未満、50 nm 未満、または 40 nm 未満の直径を有することができる。特に導電性の円筒の直径が小さい場合、その形状は、円筒の形状から大幅にずれることがある。導電カラムは、無数の他の形状に加えて、円筒形、正方形、方形、六角形、または八角形とすることができる。導電カラムは、チタン、窒化チタン、ポリシリコン、タングステン、銅などの様々な導電性材料を含むことができる。DRAM は、容量性ストレージに基づいており、ストレージセルごとのキャパシタンスがより大きいことから利益を得る。キャパシタンスは、円筒（すなわち、カラム）の表面積を選択することだけでなく、後に堆積されるはずの反対側の電極からカラムを分離すること（たとえば、誘電体、次いで金属を堆積するシーケンスによる）によって制御される。この例の窒化チタンのような導電カラムは、モールド酸化ケイ素が除去された後に実質上垂直のままである必要がある。本明細書に提示する選択的な酸化ケイ素エッチングは、このタイプのタスクを実現するのに特に適している。

【 0 0 1 8 】

モールド酸化物を除去するには湿式エッチングが使用されてきたが、互いの方へ傾いた導電カラムを生じさせることが分かった。エッチング前の導電カラムの形状から様々な他のずれが起こる可能性もあり、これらのずれを全体として反りと呼ぶ。たとえば、先端部および基部がエッチング前の位置の比較的近くに留まっている一方、導電カラムの中心は外側へ反ることがある。すべての変形は、DRAM キャパシタセルに対する薄い誘電体層および反対側の電極をさらに堆積させる能力を妨げる可能性がある。フッ素のみを伴う気相エッチング（遠隔または局所的）は、モールド酸化物を除去し、かつパターン付きの基板の他の部分を本質的に崩さないように残すのに必要な選択性をもたない。遠隔の NF_3 / NH_3 エッチングは、所望の選択性の一部、特にシリコンに対する酸化ケイ素の選択性

を提供する。しかし、これらの遠隔エッチングは、昇華を介して除去しなければならない固体の残留物を生じさせる。１円筒形状ストレージノード（ＯＣＳ）のＤＲＡＭのようなアーキテクチャは、固体の残留物が生じた結果として変形することが分かった。本明細書に記載の気相エッチングは、固体の残留物を生じさせないが、それでもなお遠隔の NF_3 / NH_3 エッチングのような高い選択性を提供する。

【００１９】

完全に正しいかどうか分からない理論的な機構に特許請求の範囲を束縛しようとするものではないが、可能な機構に関するある程度の議論は有益であろう。遠隔プラズマ領域内へフッ素含有前駆体を供給することによって、ラジカルフッ素前駆体が作られる。本出願人らは、ある濃度のフッ素イオンおよび原子が作られ、基板処理領域内へ供給されると想定する。水蒸気（ H_2O ）はフッ素と反応して、 HF_2^- などの反応性の低い種を作ることができる。この種は、やはり酸化ケイ素を容易に除去するが、シリコンおよび窒化ケイ素をパターン付きの基板表面から容易に除去することはない。この選択性と、固体の副生成物がないこととを組み合わせることで、これらのエッチング処理は、残りの損傷を受けやすい構造内で変形をほとんど誘発することなく、損傷を受けやすい酸化ケイ素以外の材料からモールドおよび他の酸化ケイ素支持体構造を除去するのにうまく適したものになる。

10

【００２０】

導電カラム（この例では窒化チタン）は、導電カラムの周囲からモールド酸化ケイ素が除去されると物理的な支持体を失う。場合によっては、本明細書に提示する気相エッチングはまた、導電カラムのある程度の許容できる反り（たとえば、傾き）をもたらすこともあるが、これは通常、垂直から数度の範囲内に入るはずである。本出願人らは、基板処理領域内へアルコールを導入することで、導電カラムの変形をもたらす力を低減させる可能性があることをさらに見出した。実施形態では、アルコールには、メタノール、エタノール、およびイソプロピルアルコールの１つまたは複数が含まれる。アルコールは、水蒸気と同様の方法で導入され、すなわちアルコールは、遠隔プラズマを通過することなく基板処理領域に入る。実施形態では、アルコールは水蒸気と混ざり合い、ともに基板処理領域内へ流れ込む。

20

【００２１】

図２Ａ～２Ｂは、開示の実施形態による異なる温度および圧力で行われる酸化ケイ素の遠隔励起式のフッ素および水蒸気エッチングのエッチング速度の図である。このデータは、基板の温度が０ から１５ まで増大するにつれて、エッチング速度が徐々に低減することを示す。実施形態では、本明細書に記載の遠隔励起式のフッ素および水蒸気エッチング中の基板の温度は、異なる実施形態で約１０ 以下、約５ 以下、または約０ 以下である。このデータは、処理圧力に応じてエッチング速度が増大することをさらに示す。図２Ｂでは、ひし形は、約１０トルの処理圧力でエッチングされた酸化ケイ素の量を表し、正方形は、約５トルの処理圧力による測定を表す。開示の実施形態では、基板処理領域内の圧力は、約５０トル以下で約５トルまたは１０トル以上である。この上限といずれかの下限を組み合わせ、本発明の追加の実施形態を形成することができる。

30

【００２２】

図３は、開示の実施形態による酸化ケイ素の選択的エッチング処理に関する窒化ケイ素およびシリコンと比較した酸化ケイ素の選択性の図である。低い基板温度（０ 、左）および「高い」基板温度（１０ 、右）に対する選択性をグラフで示す。どちらの場合も、窒化ケイ素に対する酸化ケイ素のエッチング選択性は約４０：１以上であり、シリコンに対する酸化ケイ素の選択性は約１００：１以上である。

40

【００２３】

追加の水蒸気および遠隔励起されたフッ素のエッチング処理パラメータは、例示的な処理チャンバおよびシステムについて説明する中で開示する。

【００２４】

例示的な処理システム

50

本発明の実施形態を実施できる処理チャンバは、カリフォルニア州サンタクララの Applied Materials, Inc. から入手可能な CENTURA (登録商標) および PRODUCER (登録商標) というシステムなどの処理プラットフォーム内に含むことができる。本発明の例示的な方法で使用できる基板処理チャンバの例は、Lubomirsky らによる 2006 年 5 月 30 日出願の「PROCESS CHAMBER FOR DIELECTRIC GAPFILL」という名称の本願の譲受人に譲渡された米国仮特許出願第 60/803,499 号に図示および記載されているものを含むことができる。同願の内容全体は、あらゆる目的で参照により本明細書に組み込まれている。追加の例示的なシステムは、米国特許第 6,387,207 号および第 6,830,624 号に図示および記載されているものを含むことができる。これらの特許もまた、あらゆる目的で参照により本明細書に組み込まれている。

10

【0025】

図 4A は、開示の実施形態による基板処理チャンバ 400 である。遠隔プラズマシステム (RPS 410) は、フッ素含有前駆体を処理することができ、次いでフッ素含有前駆体は、ガス入り口アセンブリ 411 を通って進む。ガス入り口アセンブリ 411 内に、2 つの異なるガス供給チャネルを見ることができる。第 1 のチャネル 412 は、遠隔プラズマシステム RPS 410 を通過するガスを運び、第 2 のチャネル 413 は、RPS 410 を迂回する。実施形態では、どちらのチャネルもフッ素含有前駆体を使用することができる。他方では、第 1 のチャネル 402 をプロセスガスに使用することができ、第 2 のチャネル 413 を処理ガスに使用することができる。リッド 421 (たとえば、導電性の上部部分) および穿孔された区画 (シャワーヘッド 453) が示されており、絶縁リング 424 を間に有し、それによってシャワーヘッド 453 に対してリッド 421 に AC 電位を印加することができる。AC 電位は、チャンバプラズマ領域 420 内でプラズマに達する。プロセスガスは、第 1 のチャネル 412 を通ってチャンバプラズマ領域 420 内へ進むことができ、チャンバプラズマ領域 420 内のプラズマによって単独で、または RPS 410 と組み合わせて励起させることができる。プロセスガス (フッ素含有前駆体) が第 2 のチャネル 413 を通って流れる場合、チャンバプラズマ領域 420 のみが励起に使用される。本明細書では、チャンバプラズマ領域 420 および / または RPS 410 の組合せを遠隔プラズマシステムと呼ぶことができる。穿孔された区画 (シャワーヘッドとも呼ばれる) 453 は、チャンバプラズマ領域 420 とシャワーヘッド 453 より下の基板処理領域 470 とを分離する。シャワーヘッド 453 により、チャンバプラズマ領域 420 内に存在するプラズマは、基板処理領域 470 内のガスを直接励起できなくなり、それでもなお励起種は、チャンバプラズマ領域 420 から基板処理領域 470 内へ進むことができる。

20

30

【0026】

シャワーヘッド 453 は、チャンバプラズマ領域 420 と基板処理領域 470 との間に位置決めされ、RPS 410 および / またはチャンバプラズマ領域 420 内に生じた排出プラズマ (前駆体または他のガスの励起された誘導体) は、板の厚さを横切る複数の貫通孔 456 を通過することができる。シャワーヘッド 453 はまた、1 つまたは複数の中空体積 451 を有し、中空体積 451 は、蒸気または気体の形の前駆体 (シリコン含有前駆体など) で充填することができ、小さい孔 455 を通って基板処理領域 470 内へ入ることができるが、チャンバプラズマ領域 420 内へ直接入ることはできない。この開示の実施形態では、シャワーヘッド 453 は、貫通孔 456 の最も小さい直径 450 の長さより厚い。チャンバプラズマ領域 420 から基板処理領域 470 へ浸透する励起種の相当な濃度を維持するために、シャワーヘッド 453 を途中まで貫通する貫通孔 456 の直径のより大きい部分を形成することによって、貫通孔の最も小さい直径 450 の長さ 426 を制限することができる。開示の実施形態では、貫通孔 456 の最も小さい直径 450 の長さは、貫通孔 456 の最も小さい直径と同程度の大きさ、またはそれ未満とすることができる。

40

【0027】

50

図示の実施形態では、シャワーヘッド453は、チャンバプラズマ領域420におけるプラズマによる励起時に、酸素、水素、および/もしくは窒素を含有するプロセスガス、ならびに/またはそのようなプロセスガスの排出プラズマを分散させることができる(貫通孔456を介する)。実施形態では、第1のチャンネル412を通してRPS410および/またはチャンバプラズマ領域420内へ導入されるプロセスガスは、フッ素(たとえば、 CF_4 、 NF_3 、または XeF_2)を含有することができる。プロセスガスはまた、ヘリウム、アルゴン、窒素(N_2)などのキャリアガスを含むことができる。排出プラズマは、プロセスガスのイオン化誘導体または中性誘導体を含むことができ、本明細書では、導入されるプロセスガスの原子成分を指して、ラジカルフッ素前駆体と呼ぶこともできる。

10

【0028】

実施形態では、貫通孔456の数は、約60~約2000とすることができる。貫通孔456は、様々な形状を有することができるが、円形にするのが最も容易である。開示の実施形態では、貫通孔456の最も小さい直径450は、約0.5mm~約20mmまたは約1mm~約6mmとすることができる。また、貫通孔の断面形状の選択には自由裁量の範囲があり、円錐形、円筒形、またはこれらの2つの形状の組合せとすることができる。異なる実施形態では、基板処理領域470内へガスを導入するために使用される小さい孔455の数は、約100~約5000または約500~約2000とすることができる。小さい孔455の直径は、約0.1mm~約2mmとすることができる。

【0029】

20

図4Bは、開示の実施形態による処理チャンバで使用するためのシャワーヘッド453の底面図である。シャワーヘッド453は、図4Aに示すシャワーヘッドに相当する。シャワーヘッド453の底部上により大きい内径(ID)を有し、上部により小さいIDを有する貫通孔456を示す。小さい孔455が、シャワーヘッドの表面全体にわたって、貫通孔456の中でも実質上均一に分散され、本明細書に記載の他の実施形態より均一な混合を提供するのを助ける。

【0030】

貫通孔456を通してシャワーヘッド453に到達したフッ素含有排出プラズマが、中空体積451から小さい孔455を通して到達した湿気と混ざり合うとき、基板処理領域470内でペDESTAL(図示せず)によって例示的なパターン付きの基板を支持することができる。本発明の実施形態では、硬化などの他の処理のためにプラズマを支持するように基板処理領域470を装備することができるが、パターン付きの基板のエッチング中にはプラズマは存在しない。

30

【0031】

シャワーヘッド453より上のチャンバプラズマ領域420内、またはシャワーヘッド453より下の基板処理領域470内のいずれかで、プラズマを着火することができる。チャンバプラズマ領域420内にはプラズマが存在し、フッ素含有前駆体の流入からラジカルフッ素前駆体を生じさせる。通常は高周波(RF)範囲内のAC電圧が、処理チャンバの導電性の上部部分421とシャワーヘッド453との間に印加され、堆積中にチャンバプラズマ領域420内でプラズマを着火する。RF電源が13.56MHzの高いRF周波数を生成するが、他の周波数を単独で、または13.56MHzの周波数と組み合わせることもできる。

40

【0032】

膜を硬化させるため、または基板処理領域470と境界をなす内面を洗浄するために、基板処理領域470内の底部のプラズマを点けると、上部のプラズマは、低い出力またはゼロの出力のままとすることができる。基板処理領域470内のプラズマは、シャワーヘッド453とチャンバのペDESTALまたは底部との間にAC電圧を印加することによって着火される。プラズマが存在する間に、基板処理領域470内へ洗浄ガスを導入することができる。

【0033】

50

ペデスタルは、熱交換チャネルを有することができ、熱交換チャネルを通して熱交換流体が流れ、基板の温度を制御する。この構成により、比較的低い温度（室温～約120）を維持するように、基板温度を冷却または加熱することができる。熱交換流体は、エチレングリコールおよび水を含むことができる。比較的高い温度（約120～約1100）を実現するために、平行な同心円の形で完全に2回転するように構成された単ループ式の埋め込みヒータ要素を使用して、ペデスタルのウエハ支持体ブラッタ（好ましくは、アルミニウム、セラミック、またはこれらの組合せ）を抵抗加熱することもできる。ヒータ要素の外側部分は、支持体ブラッタの周囲付近を通ることができ、内側部分は、半径が小さい方の同心円の経路上を通ることができ、ヒータ要素への配線は、ペデスタルの軸を通過する。

10

【0034】

基板処理システムは、システムコントローラによって制御される。例示的な実施形態では、システムコントローラは、ハードディスクドライブ、フロッピーディスクドライブ、およびプロセッサを含む。プロセッサは、シングルボードコンピュータ（SBC）、アナログおよびデジタル入出力ボード、インターフェースボード、ならびにステップモータコントローラボードを含む。CVDシステムの様々な部分は、ボード、カードケージ、およびコネクタの寸法およびタイプを規定するVersa Modular European（VME）標準に準拠する。VME標準はまた、バス構造について、16ビットデータバスおよび24ビットアドレスバスを有するものと規定する。

【0035】

20

システムコントローラは、エッチングチャンバの活動のすべてを制御する。システムコントローラは、コンピュータ可読媒体内に記憶されたコンピュータプログラムであるシステム制御ソフトウェアを実行する。この媒体は、ハードディスクドライブであることが好ましいが、媒体はまた、他の種類のメモリとすることもできる。コンピュータプログラムは、特定の処理のタイミング、ガスの混合、チャンバ圧力、チャンバ温度、RF電力レベル、サセプタ位置、および他のパラメータを指示する命令セットを含む。たとえばフロッピーディスクまたは他の別の適当なドライブを含む他の記憶装置上に記憶されている他のコンピュータプログラムを使用して、システムコントローラに命令することもできる。

【0036】

システムコントローラによって実行されるコンピュータプログラム製品を使用して、基板上に膜スタックを堆積させる処理またはチャンバを洗浄する処理を実施することができる。コンピュータプログラムコードは、任意の従来のコンピュータ可読プログラミング言語、たとえば68000アセンブリ言語、C、C++、Pascal、Fortranなどで書くことができる。従来のテキストエディタを使用して、適したプログラムコードが単一のファイルまたは複数のファイル内へ入力され、コンピュータのメモリシステムなどのコンピュータ可用媒体内で記憶または実施される。入力されたコードテキストが高級言語である場合、コードはコンパイルされ、その結果得られるコンパイラコードは、次いで、事前コンパイル型のMicrosoft Windows（登録商標）のライブラリルーチンのオブジェクトコードとリンクされる。リンクされたコンパイル済みのオブジェクトコードを実行するには、システムユーザがオブジェクトコードを呼び出すと、コンピュータシステムはコードをメモリ内にロードする。CPUは次いで、コードを読み取って実行し、プログラム内で識別されたタスクを実行する。

30

40

【0037】

ユーザとコントローラとの間のインターフェースは、フラットパネル式の接触感知型モニタを介して行われる。好ましい実施形態では、2つのモニタが使用され、一方は、操作者のために洗浄室の壁に取り付けられ、他方は、サービス技師のために壁の後ろに取り付けられる。2つのモニタは、同じ情報を同時に表示することができ、その場合、一度に一方のみが入力を受け付ける。特定のスクリーンまたは機能を選択するには、操作者は、接触感知型モニタの指定の領域に接触する。接触した領域ではその強調色が変化し、または新しいメニューもしくはスクリーンが表示され、操作者と接触感知型モニタとの間の通信

50

を確認する。接触感知型モニタの代わりに、または接触感知型モニタに加えて、キーボード、マウス、または他のポインティングもしくは通信デバイスなどの他のデバイスを使用して、ユーザがシステムコントローラと通信できるようにすることもできる。

【 0 0 3 8 】

チャンバプラズマ領域またはR P S内の領域を、遠隔プラズマ領域と呼ぶことができる。実施形態では、遠隔プラズマ領域内にラジカル前駆体（たとえば、ラジカルフッ素前駆体）が生じ、基板処理領域内へ進んで水蒸気と混ざり合う。実施形態では、水蒸気は、ラジカルフッ素前駆体のみによって励起される。実施形態では、ラジカルフッ素前駆体が水蒸気への主な励起を提供するように、本質的に遠隔プラズマ領域のみにプラズマ出力を印加することができる。

10

【 0 0 3 9 】

チャンバプラズマ領域を用いる実施形態では、励起された排出プラズマは、基板処理領域のうち、堆積領域から分割された部分内で生成される。本明細書では基板処理領域とも呼ばれる堆積領域は、排出プラズマが水蒸気と混合および反応し、パターン付きの基板（たとえば、半導体ウエハ）をエッチングする領域である。励起された排出プラズマはまた、不活性ガス（例示的な場合、アルゴン）を伴うことがある。実施形態では、水蒸気はプラズマを通過しないで基板のプラズマ領域に入る。本明細書では、基板処理領域について、パターン付きの基板のエッチング中に「プラズマがない」と説明することができる。「プラズマがない」とは、その領域がプラズマを欠いていることを必ずしも意味するというわけではない。プラズマ領域内に生じるイオン化種および自由電子は、区画（シャワーヘッド）内の孔（開孔）を通過するが、水蒸気は、プラズマ領域に印加されるプラズマ出力によって実質上励起されない。チャンバプラズマ領域内のプラズマの境界は画定するのが困難であり、シャワーヘッド内の開孔を通して基板処理領域に侵入することがある。誘導結合されたプラズマの場合、基板処理領域内で直接、わずかな量のイオン化をもたらすことがある。さらに、基板処理領域内で低強度のプラズマが生じることがあるが、形成される膜の所望の特徴をなくすことはない。本明細書では、励起された排出プラズマの生成中にプラズマがチャンバプラズマ領域（またはその目的で、遠隔プラズマ領域）よりはるかに低強度のイオン密度を有する原因はすべて、「プラズマがない」という範囲から逸脱しない。

20

【 0 0 4 0 】

異なる実施形態では、3フッ化窒素（または別のフッ素含有前駆体）を約25 sccm～約200 sccm、約50 sccm～約150 sccm、または約75 sccm～約125 sccmの流量でチャンバプラズマ領域420内へ流し込むことができる。異なる実施形態では、水蒸気を約25 sccm～約200 sccm、約50 sccm～約150 sccm、または約75 sccm～約125 sccmの流量で基板処理領域470内へ流し込むことができる。異なる実施形態では、エタノール（または別のアルコール）を約100 sccm以下、約50 sccm以下、または約25 sccm以下の流量で基板処理領域470内へ流し込むことができる。

30

【 0 0 4 1 】

チャンバ内への水蒸気、フッ素含有前駆体、およびアルコールの流量を組み合わせると、体積で混合ガス全体の0.05%～約20%を占めることができ、残りはキャリアガスである。実施形態では、フッ素含有前駆体は遠隔プラズマ領域内へ流れ込むが、排出プラズマは同じ体積流量比を有する。フッ素含有前駆体の場合、最初に遠隔プラズマ領域内へのパージまたはキャリアガスを起動してから、フッ素含有ガスのフッ素含有前駆体を起動して遠隔プラズマ領域内の圧力を安定させることができる。

40

【 0 0 4 2 】

プラズマ出力は、様々な周波数または複数の周波数の組合せとすることができる。例示的な処理システムでは、プラズマは、シャワーヘッド453に対してリッド421に供給されるRF電力によって提供される。異なる実施形態では、RF電力は、約100W～約2000W、約200W～約1500W、または約500W～約1000Wとすることが

50

できる。異なる実施形態では、例示的な処理システム内で印加されるRF周波数は、約200kHz未満の低RF周波数、約10MHz～約15MHzの高RF周波数、または約1GHz以上のマイクロ波周波数とすることができる。

【0043】

基板処理領域470内への水蒸気、任意のキャリアガス、およびプラズマ廃水の流入中、基板処理領域470は、様々な圧力で維持できる。異なる実施形態では、圧力は、約500ミリトル～約30トル、約1トル～約20トル、または約5トル～約15トルで維持することができる。

【0044】

1つまたは複数の実施形態では、基板処理チャンバ400は、カリフォルニア州サンタクララに拠点を置くApplied Materials, Inc. から入手可能なProducer (商標) GT、Centura (商標) AP、およびEndura (商標) のプラットフォームを含む様々な多処理プラットフォーム内へ組み込むことができる。そのような処理プラットフォームは、真空を破ることなくいくつかの処理動作を実行することが可能である。本発明の実施形態を実施できる処理チャンバは、他のタイプのチャンバの中でも、誘電体エッチングチャンバまたは様々な化学気相堆積チャンバを含むことができる。

【0045】

堆積システムの実施形態は、集積回路チップを作るより大きな製造システム内へ組み込むことができる。図5は、開示の実施形態による堆積チャンバ、焼成チャンバ、および硬化チャンバからなる1つのそのようなシステム500を示す。この図では、1対のFOUP (前方開口型統一ポッド) 502が基板 (たとえば、直径300mmのウエハ) を供給し、これらの基板は、ロボットアーム504によって受け取られ、低圧保持領域506内に配置されてから、基板処理チャンバ508a～fの1つの中へ配置される。保持領域506から基板処理チャンバ508a～fへ基板ウエハを輸送し、また元へ戻すために、第2のロボットアーム510を使用することができる。各基板処理チャンバ508a～fは、周期的層堆積 (CLD)、原子層堆積 (ALD)、化学気相堆積 (CVD)、物理的気相堆積 (PVD)、エッチング、前洗浄、ガス抜き、配向、および他の基板処理に加えて、本明細書に記載のドライエッチング処理を含む複数の基板処理動作を実行するように整えることができる。

【0046】

基板処理チャンバ508a～fは、基板ウエハ上で流動性の高い誘電体膜を堆積、アニール、硬化、および/またはエッチングするための1つまたは複数のシステム構成要素を含むことができる。一構成では、2対の処理チャンバ (たとえば、508c～dおよび508e～f) を使用して、基板上に誘電体材料を堆積させることができ、第3の対の処理チャンバ (たとえば、508a～b) を使用して、堆積させた誘電体をエッチングすることができる。別の構成では、3対のチャンバ (たとえば、508a～f) をすべてを、基板上で誘電体膜をエッチングするように構成することができる。異なる実施形態に示す製造システムから分離されたチャンバ (複数可) 上で、記載の処理のいずれか1つまたは複数を実施することができる。

【0047】

本明細書に記載の処理方策を実施するのに必要なモータ、バルブ、流量コントローラ、電源、および他の機能を制御するために、システムコントローラ557が使用される。基板処理チャンバ508a～fの1つまたはすべてへガスを導入するために、ガス取扱いシステム555をシステムコントローラ557によって制御することもできる。システムコントローラ557は、ガス取扱いシステム555および/または基板処理チャンバ508a～f内の可動機械アセンブリの位置を判定および調整するために、光センサからのフィードバックに依拠することができる。機械アセンブリは、システムコントローラ557の制御下でモータによって動かされるロボット、スロットバルブ、およびサセプタを含むことができる。

【0048】

例示的な実施形態では、システムコントローラ 557 は、ハードディスクドライブ（メモリ）、USBポート、フロッピーディスクドライブ、およびプロセッサを含む。システムコントローラ 557 は、アナログおよびデジタル入出力ボード、インターフェースボード、ならびにステップモータコントローラボードを含む。処理チャンバ 400 を含むマルチチャンバ処理システム 500 の様々な部分は、システムコントローラ 557 によって制御される。システムコントローラは、ハードディスク、フロッピーディスク、またはフラッシュメモリサムドライブなどのコンピュータ可読媒体上に記憶されたコンピュータプログラムの形でシステム制御ソフトウェアを実行する。他のタイプのメモリを使用することもできる。コンピュータプログラムは、特定の処理のタイミング、ガスの混合、チャンバ圧力、チャンバ温度、RF電力レベル、サセプタ位置、および他のパラメータを指示する命令セットを含む。

10

【0049】

コントローラによって実行されるコンピュータプログラム製品を使用して、基板上で膜をエッチングし、堆積し、もしくは他の方法で処理する処理またはチャンバを洗浄する処理を実施することができる。コンピュータプログラムコードは、任意の従来のコンピュータ可読プログラミング言語、たとえば 68000 アセンブリ言語、C、C++、Pascal、Fortran など書くことができる。従来のテキストエディタを使用して、適したプログラムコードが単一のファイルまたは複数のファイル内へ入力され、コンピュータのメモリシステムなどのコンピュータ可用媒体内で記憶または実施される。入力されたコードテキストが高級言語である場合、コードはコンパイルされ、その結果得られるコンパイルコードは、次いで、事前コンパイル型の Microsoft Windows（登録商標）のライブラリルーチンのオブジェクトコードとリンクされる。リンクされたコンパイル済みのオブジェクトコードを実行するには、システムユーザはオブジェクトコードを呼び出し、コンピュータシステムはコードをメモリ内にロードする。CPU は次いで、コードを読み取って実行し、プログラム内で識別されたタスクを実行する。

20

【0050】

ユーザとコントローラとの間のインターフェースは、接触感知型モニタを介して行うことができ、マウスおよびキーボードを含むこともできる。一実施形態では、2つのモニタが使用され、一方は、操作者のために洗浄室の壁に取り付けられ、他方は、サービス技師のために壁の後ろに取り付けられる。2つのモニタは、同じ情報を同時に表示することができ、その場合、一度に一方のみが入力を受け付けるように構成される。特定のスクリーンまたは機能を選択するには、操作者は、指またはマウスで表示スクリーン上の指定の領域に接触する。接触した領域ではその強調色が変化し、または新しいメニューもしくはスクリーンが表示され、操作者の選択を確認する。

30

【0051】

本明細書では、「基板」とは、その上に層が形成されるか否かにかかわらず、支持体基板とすることができる。パターン付きの基板は、絶縁体、または様々なドーピング濃度およびプロファイルの半導体とすることができる。たとえば、集積回路の製造で使用されるタイプの半導体基板とすることができる。パターン付きの基板の露出された「酸化ケイ素」は主に SiO_2 であるが、ある濃度の窒素、水素、炭素などの他の元素成分を含むことができる。いくつかの実施形態では、本明細書に開示の方法を使用してエッチングされた酸化ケイ素膜は本質的に、シリコンおよび酸素からなる。「前駆体」という用語は、表面から材料を除去するための反応または表面上へ材料を堆積させるための反応に関与する任意のプロセスガスを指すために使用される。「プラズマ廃水」は、チャンバプラズマ領域から出て基板処理領域に入るガスを表す。プラズマ廃水は「励起状態」であり、ガス分子の少なくとも一部は、振動によって励起、解離、および／またはイオン化された状態である。「ラジカル前駆体」は、表面から材料を除去するための反応または表面上に材料を堆積させるための反応に関与するプラズマ廃水（プラズマを出て励起状態にあるガス）を表すために使用される。「ラジカルフッ素前駆体」とは、フッ素を含有するラジカル前駆体であるが、他の元素成分を含有することもできる。「不活性ガス」という語句は、エッチン

40

50

グされたとき、または膜内へ組み込まれたときに、化学結合を形成しない任意のガスを指す。例示的な不活性ガスには希ガスが含まれるが、（通常）微量が膜内に閉じ込められたときに化学結合が形成されない限り、他のガスを含むこともできる。

【 0 0 5 2 】

本明細書全体にわたって、「間隙」および「トレンチ」という用語を使用した、エッチングされた形状寸法が大きな水平のアスペクト比を有することを示唆するものではない。表面の上から見ると、トレンチは、円形、楕円形、多角形、方形、または様々な他の形状に見えることがある。トレンチは、材料の島（たとえば、実質上円筒形のTiNの柱）の周りに位置する堀の形状とすることができる。「ビア」という用語は、垂直方向の電気的接続を形成するために金属で充填されるかどうかにかかわらず、低アスペクト比のトレン

10

【 0 0 5 3 】

いくつかの実施形態を開示したが、開示の実施形態の精神から逸脱することなく、様々な修正、代替構造、および均等技術を使用できることが、当業者には理解されよう。さらに、本発明を不必要に曖昧にするのを回避するために、複数の周知の処理および要素については説明していない。したがって、上記の説明は、本発明の範囲を限定するものと解釈

20

【 0 0 5 4 】

値の範囲が提供される場合、その範囲の上限と下限との間に介在するそれぞれの値は、文脈上別途明示しない限り下限の単位の10分の1まで、明確に開示されることが理解される。記載の範囲内の任意の記載の値または介在する値と、その記載の範囲内の任意の他の記載の値または介在する値との間のより小さいそれぞれの範囲が包含される。これらのより小さい範囲の上限および下限は、範囲内で独立して包含または除外することができ、また、より小さい範囲内に限度のいずれかを含む範囲、どちらも含まない範囲、またはどちらも含む範囲はそれぞれ、記載の範囲内の任意の明確に除外された限界に応じて、本発明の範囲内に包含される。記載の範囲が限界の一方または両方を含む場合、これらの含ま

30

【 0 0 5 5 】

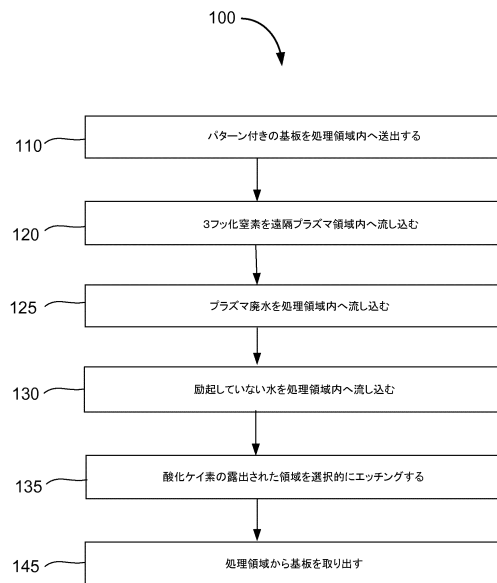
本明細書および添付の特許請求の範囲では、単数形の「a」、「an」、および「the」は、文脈上別途明示しない限り、複数の指示対象を含む。したがって、たとえば「プロセス（a process）」への言及は、複数のそのようなプロセスを含み、「誘電体材料（the dielectric material）」への言及は、当業者に知られている1つまたは複数の誘電体材料およびその均等物への言及を含み、以下同様である。

【 0 0 5 6 】

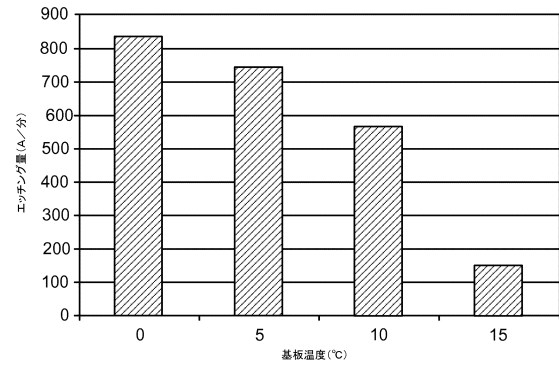
また、本明細書および以下の特許請求の範囲で使用する「含む（comprise）」、「含む（comprising）」、「含む（include）」、「含む（including）」、および「含む（includes）」は、記載の特徴、整数、構成要素、またはステップの存在を指定するものであるが、1つまたは複数の他の特徴、整数、構成要素、ステップ、動作、または群の存在または追加を排除するものではない。

40

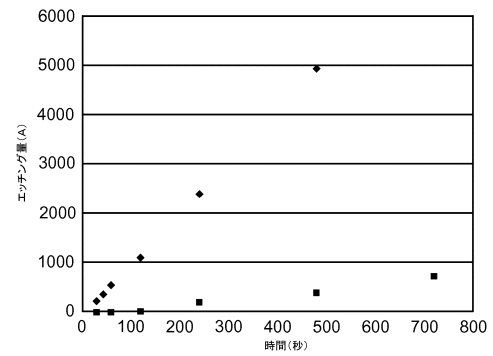
【図 1】



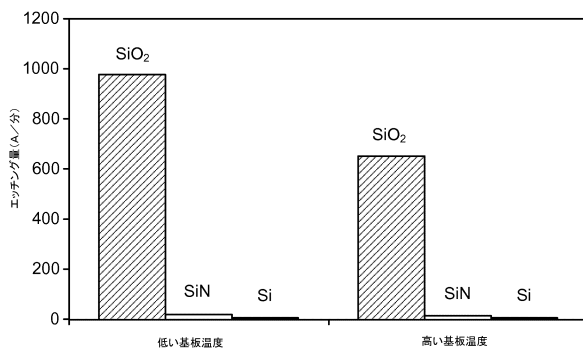
【図 2 A】



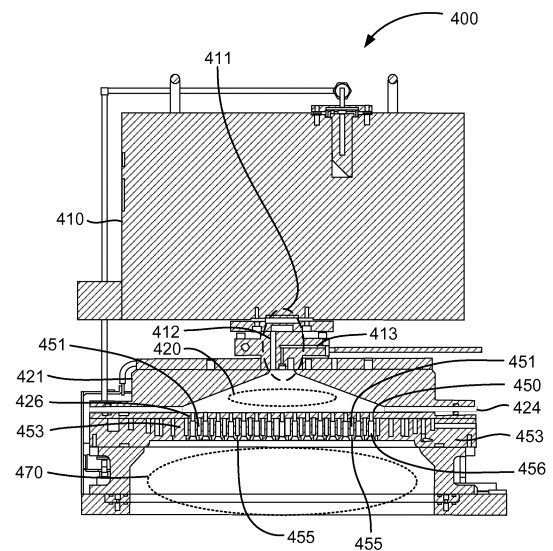
【図 2 B】



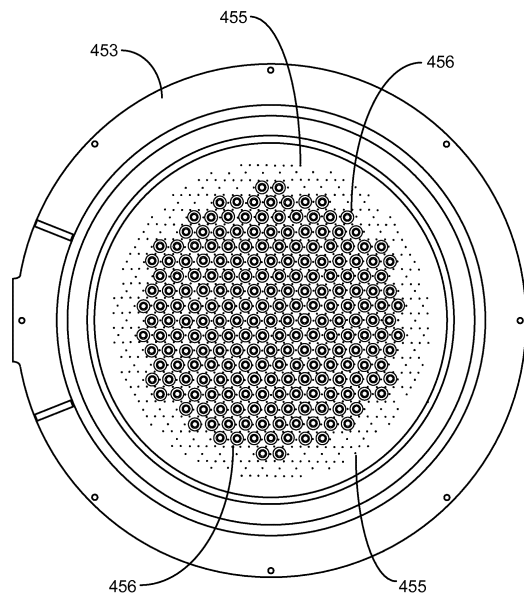
【図 3】



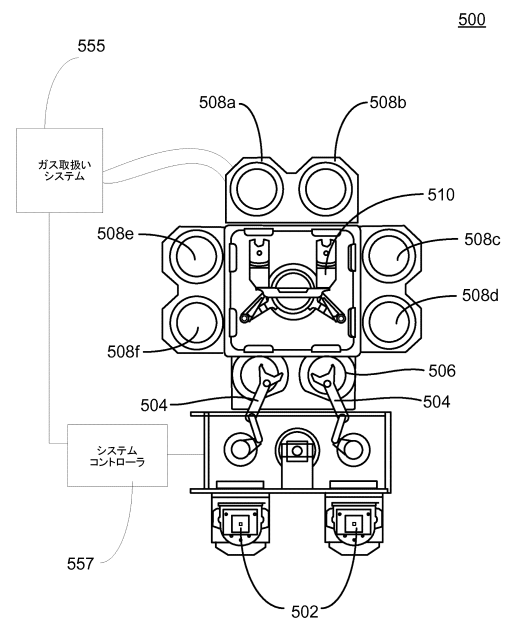
【図 4 A】



【図 4 B】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 チャン, チンチュン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95035, ミルピタス, サウス アベル ストリート
600, 200番

(72)発明者 ワン, アンチョアン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95129, サン ノゼ, ボリンガー ロード 6556

(72)発明者 イングル, ニティン ケー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95129, サン ノゼ, グレーウッド ドライヴ 14
35

審査官 内田 正和

(56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0105209(US, A1)

特表2010-512650(JP, A)

米国特許出願公開第2010/0187588(US, A1)

米国特許出願公開第2001/0008803(US, A1)

特開2000-164559(JP, A)

特開2000-058508(JP, A)

特開2008-235632(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065

H05H 1/46