

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6139505号  
(P6139505)

(45) 発行日 平成29年5月31日(2017.5.31)

(24) 登録日 平成29年5月12日(2017.5.12)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/306 (2006.01)

H O 1 L 21/306

J

H O 1 L 21/306

R

請求項の数 24 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2014-502892 (P2014-502892)	(73) 特許権者	000219967
(86) (22) 出願日	平成24年3月31日(2012.3.31)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公表番号	特表2014-511040 (P2014-511040A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公表日	平成26年5月1日(2014.5.1)	(74) 代理人	100107766
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/031739		弁理士 伊東 忠重
(87) 国際公開番号	W02012/135792	(74) 代理人	100070150
(87) 国際公開日	平成24年10月4日(2012.10.4)		弁理士 伊東 忠彦
審査請求日	平成27年3月25日(2015.3.25)	(74) 代理人	100091214
			弁理士 大貫 進介
		(72) 発明者	ブラウン, イアン ジェイ
			アメリカ合衆国 テキサス州 オースティン
			プロディー・ストリート 1011
		(72) 発明者	プリンツ, ウォーレス ピー
			アメリカ合衆国 テキサス州 オースティン
			ラナ・ブラフ・ループ 8933
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 枚葉式基板処理のためのエッチングシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上のマスク層のエッチング速度と選択性を増大させる枚葉式基板処理用エッチング処理システムであって：

前記マスク層とシリコン又はシリコン酸化物の層を含む基板；

前記基板を静止モード又は回転モードで保持して前記基板をエッチングするエッチング処理チャンバ；

前記エッチング処理チャンバと結合して昇圧下でスチーム・水蒸気混合物を供給する沸騰装置；

前記シリコン又はシリコン酸化物の層に対する前記マスク層のエッチング選択比を実現するように選択される処理液体を含む処理液体源；及び、

供給ラインと2つ以上のノズルを有する処理液体供給システム；

を有し、

前記スチーム・水蒸気混合物と前記処理液体が、前記エッチング処理チャンバへ流入する前に混合され、かつ、前記混合されたスチーム・水蒸気混合物と処理液体が前記供給ライン内で沸騰するのを防止するのに十分な流速と圧力で導入され、

当該エッチング処理システムは、目標エッチング速度と、前記シリコン又はシリコン酸化物の層に対する前記マスク層の目標エッチング選択比を維持するように、前記混合されたスチーム・水蒸気混合物と処理液体の流れを制御するように構成される、

システム。

10

20

## 【請求項 2】

前記目標エッチング速度が120 /分よりも速い、請求項1に記載のシステム。

## 【請求項 3】

前記マスク層がシリコン窒化物を有し、  
前記処理液体が溶解シリカを含むリン酸水溶液である、  
請求項2に記載のシステム。

## 【請求項 4】

前記選択されたエッチング選択比が10:1乃至1000:1の範囲内である、請求項3に記載のシステム。

## 【請求項 5】

前記リン酸水溶液の温度が160 乃至220 の範囲内である、請求項3に記載のシステム。

10

## 【請求項 6】

前記処理液体が、リン酸、フッ化水素、又はフッ化水素/エチレングリコールのうちのーを含む、請求項1に記載のシステム。

## 【請求項 7】

前記マスク層が、シリコン窒化物、窒化ガリウム、又は窒化アルミニウムのうちのーを有する、請求項1に記載のシステム。

## 【請求項 8】

前記基板が中心部と端部を有し、かつ、  
前記基板の中心部から端部までの均一な温度を維持するように前記基板を予熱するためにスチームが導入される、  
請求項1に記載のシステム。

20

## 【請求項 9】

前記エッチング処理チャンバが複数の部分に分かれたエッチング処理チャンバを有し、  
前記複数の部分に分かれたエッチング処理チャンバの各部分は、1枚の基板を処理するように構成され、かつ、  
前記複数の部分に分かれたエッチング処理チャンバの各部分に対して基板を搬入出することの可能な基板搬送システムをさらに有する、  
請求項1に記載のシステム。

30

## 【請求項 10】

前記エッチング処理チャンバと結合して、前記処理液体の一部を再循環させる処理液体再循環システムをさらに有する、請求項1に記載のシステム。

## 【請求項 11】

前記処理液体再循環システムがシリカ注入ラインを有し、  
前記シリカ注入ラインは、前記処理液体へシリカを導入するように構成される、  
請求項10に記載のシステム。

## 【請求項 12】

少なくとも1層のシリコン窒化物を含む複数の基板が、前記処理液体内で目標シリカ濃度を実現するように処理される、請求項10に記載のシステム。

40

## 【請求項 13】

基板上のマスク層のエッチング速度と選択性を増大させる枚葉式基板処理用エッチング処理システムであって：

前記マスク層とシリコン又はシリコン酸化物の層を含む基板；

前記基板を静止モード又は回転モードで保持して前記基板をエッチングするエッチング処理チャンバ；

前記エッチング処理チャンバと結合して昇圧下でスチーム・水蒸気混合物を供給する沸騰装置；

前記シリコン又はシリコン酸化物の層に対する前記マスク層のエッチング選択比を実現するように選択される処理液体を含む処理液体源；及び、

50

2つ以上のノズルを有する処理液体供給システム；  
を有し、

当該エッチング処理システムは、目標エッチング速度と、前記シリコン又はシリコン酸化物の層に対する前記マスク層の目標エッチング選択比を維持するように、前記スチーム・水蒸気混合物と前記処理液体との流れを制御し、

前記2つ以上のノズルは：

前記基板を予熱するようにスチーム・水蒸気混合物を導入する第1ノズル；

混合された前記処理液体とスチーム・水蒸気混合物を導入する第2ノズル；及び、

温度の均一性を維持するように前記基板の背面にスチーム・水蒸気混合物を導入する第3ノズル；

を有する、  
システム。

【請求項14】

前記マスク層がシリコン窒化物を有し、

前記処理液体が溶解シリカを含むリン酸水溶液である、

請求項13に記載のシステム。

【請求項15】

エッチング処理チャンバを有する枚葉式基板処理用エッチング処理システム内に設けられる基板上のマスク層のエッチング速度と選択性を増大させる方法であって：

昇圧下でスチーム・水蒸気混合物の供給を得る工程；

設定されたエッチング選択比でシリコン又はシリコン酸化物に対して前記マスク層を選択的にエッチングするための処理液体の供給を得る工程；

前記エッチング処理チャンバ内に前記基板を設ける工程；

前記処理液体と前記スチーム・水蒸気混合物を混合する工程；及び、

前記混合された処理液体とスチーム・水蒸気混合物を前記エッチング処理チャンバへ注入する工程；

を有し、

前記混合された処理液体とスチーム・水蒸気混合物の流れは、設定されたエッチング速度及びシリコン又はシリコン酸化物に対する前記マスク層の前記設定されたエッチング選択比を維持するように制御される、

方法。

【請求項16】

前記マスク層がシリコン窒化物を有し、

前記処理液体が溶解シリカを含むリン酸水溶液である、

請求項15に記載の方法。

【請求項17】

前記設定されたエッチング選択比が10:1乃至1000:1の範囲内である、請求項15に記載の方法。

【請求項18】

前記リン酸水溶液の温度が160 乃至220 の範囲内である、請求項16に記載の方法。

【請求項19】

前記処理液体が、リン酸、フッ化水素、又はフッ化水素/エチレングリコールのうちのーを含み、かつ、

前記マスク層がシリコン窒化物である、

請求項15に記載の方法。

【請求項20】

前記エッチング処理チャンバが複数の部分に分かれたエッチング処理チャンバを有し、

前記複数の部分に分かれたエッチング処理チャンバの各部分は、1枚の基板を処理するように構成され、かつ、

前記複数の部分に分かれたエッチング処理チャンバの各部分に対して基板を搬入出する

10

20

30

40

50

ことの可能な基板搬送システムをさらに有する、  
請求項15に記載の方法。

【請求項 2 1】

エッチング処理チャンバを有する枚葉式基板処理用エッチング処理システム内に設けられる基板上のマスク層のエッチング速度と選択性を増大させる方法であって：

昇圧下でスチーム・水蒸気混合物の供給を得る工程；

目標エッチング選択比でシリコン又はシリコン酸化物に対して前記マスク層を選択的にエッチングするための処理液体の供給を得る工程；

前記エッチング処理チャンバ内に前記基板を設ける工程；及び、

前記処理液体と前記スチーム・水蒸気混合物を前記エッチング処理チャンバへ注入する工程；

を有し、

前記処理液体と前記スチーム・水蒸気混合物の流れは、目標エッチング速度及びシリコン又はシリコン酸化物に対する前記マスク層の前記目標エッチング選択比を維持するように制御される、

方法。

【請求項 2 2】

前記マスク層がシリコン窒化物を有し、

前記処理液体がリン酸水溶液である、

請求項21に記載の方法。

【請求項 2 3】

前記処理液体の一部を再循環させる工程をさらに有する、請求項21に記載の方法。

【請求項 2 4】

前記処理液体中での目標シリカ濃度を維持する工程をさらに有する、請求項21に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は概して、枚葉式エッチング処理を用いたマスク層のエッチングのエッチング速度と選択性を増大させるエッチング処理システム及び方法の設計に関する。

【背景技術】

【0002】

相補型金属 - 酸化物 - 半導体(CMOS)トランジスタを製造する現在の方法は、活性デバイス領域 - たとえば誘電体、金属インターコネク、歪み、ソース/ドレイン等 - を分離及び保護するマスク層を必要とする。シリコン窒化物( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )又はシリコン酸化物( $\text{SiO}_x$ ) ( $x>0$ )は通常マスク層として用いられる。その理由は、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ の電気的特性とモフォロジーが二酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )と似ており、かつ、シリコン窒化物が $\text{SiO}_2$ に容易に結合するためである。一般的にはシリコン窒化物は、エッチストップ層として用いられるが、場合によっては(たとえば「デュアルダマシン」プロセスでは)、シリコン窒化物は、慎重に制御された下地の二酸化シリコン層の厚さを変化させることなくエッチングにより除去されなければならない。そのような場合、シリコン窒化物のエッチング速度を二酸化シリコンのエッチング速度によって除することによって計算される、二酸化シリコンに対するシリコン窒化物のエッチング選択性は、プロセスマージンを改善するように可能な限り高いことが理想的である。デバイスは縮小し続けているので、マスク層と下地層の厚さは共に縮小する。超薄膜のエッチング選択性は将来大きな課題になる。

【0003】

シリコン窒化物を選択的にエッチングする現在の方法は、様々な化学物質及び方法を用いる。乾式プラズマエッチングも水溶性化学エッチングも、シリコン窒化物の除去に用いられる。水溶性化学物質は、希釈フッ化水素(dHF)、フッ化水素/エチレングリコール、及び、リン酸を含んで良い。様々な化学物質を用いる判断は、シリコン窒化物のエッチング

速度と酸化物に対するシリコン窒化物の選択性についての要求によって支配される。水溶性化学物質を用いる方法は、乾式方法と比較してコストが低いため好ましい。リン酸中でのシリコン窒化物のエッチング速度は、温度によって強く影響されることがよく知られている。具体的には、エッチング速度は温度上昇に応じて増大する。ウェットベンチの構成 - たとえばリン酸水溶液の槽に基板を浸漬させる構成 - では、処理温度は、リン酸水溶液の沸点によって制限される。溶液の沸点は、リン酸水溶液中の水の濃度と周辺圧力の関数である。温度を維持する一の方法は、目標温度（典型的な目標温度の範囲は140～160 である）での沸騰状態を維持するように、加えられる水の体積と槽に対するヒータ出力のタイミング間隔を調節しながら、この沸騰状態の存在を測定するフィードバックループ制御装置による方法である。リン酸水溶液が水を加えられることなく加熱されるとき、そのリン酸水溶液から水が蒸発することで、そのリン酸水溶液の沸点は上昇する。

10

#### 【0004】

リン酸の温度上昇は、製造のためのシリコン窒化物のエッチング速度増大にとっては好ましく、かつ、低い選択性を犠牲にして製造コストを低下させる。その理由は、現在のリン酸再循環タンクでは、高い沸点を可能にするには、水の濃度を低下させることになるためである。水は、シリコン酸化物又はシリコンに対するシリコン窒化物のエッチング選択性を制御する上で重要である。実験結果は、昇温した状態で非沸騰状態（つまり低含水量）になっても、好ましいエッチング選択性が得られないことを示している。反対に、選択性を改善させるためには、水の濃度を高める（つまり酸をさらに希釈する）ことが好ましいが、これは現実的ではない。槽中での水の濃度を増大させることで、酸の混合物の沸点は減少する。低温では、シリコン窒化物のエッチング速度は、シリコン窒化物のエッチング速度と温度との間で強いアレニウス関係が存在するため、顕著に減少する。

20

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0005】

【特許文献1】米国特許第4092211号明細書

【特許文献2】米国特許第5332145号明細書

【特許文献3】米国特許第6943900号明細書

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

30

#### 【0006】

現在の技術においては、たとえば特許文献1は、シリコン窒化物絶縁層をマスクする際に用いられるシリコン酸化物層のエッチング速度を、沸騰するリン酸水溶液内で制御する方法を開示している。その方法は、沸騰するリン酸水溶液にシリケート材料を意図的に加える。それに加えて特許文献2は、低固相はんだフラックスの組成を連続的に監視及び制御する方法を開示している。そのフラックスの組成物の比重と略一致する比重を有する溶媒をマスク層の高いエッチング速度を維持し、かつ、シリコン又はシリコン酸化物全体に対するマスク層の高いエッチング選択性をも維持する方法及びシステムが、当技術分野において望まれている。エッチング速度、エッチング選択性、エッチング時間、及び/又はコストの目標を満たすことの可能な、バッチエッチング処理システム及び枚葉式基板システム並びに方法が必要とされている。

40

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0007】

基板上のマスク層のエッチング速度と選択性を増大させる方法及びシステムが供される。当該システムは、前記マスク層とシリコン又はシリコン酸化物の層を含む複数の基板、前記マスク層をエッチングするための処理液体を含んで前記複数の基板を処理するエッチング処理チャンバ、及び、前記エッチング処理チャンバと結合して昇圧してスチーム・水蒸気混合物を供給する沸騰装置を有する。前記スチーム・水蒸気混合物は、選択されたエッチング速度と、前記マスク層とシリコン又はシリコン酸化物とのエッチング選択比の目標値を維持するように、制御された速度で前記エッチング処理チャンバへ導入される。

50

## 【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】従来技術に係るバッチエッチング処理におけるシリコン窒化物のエッチング方法の概略図である。

【図 2】シリコン窒化物をエッチングするのに給水とヒータを利用する従来技術に係るバッチエッチング処理システムの典型的な概略図である。

【図 3】リン酸濃度と温度の関数としてリン酸の沸点を表している典型的なグラフである。

【図 4 A】リン酸の濃度と温度の関数としてのリン酸の沸点を表す典型的なグラフと、エッチング処理システム内での混合物の平衡条件の温度の関数としての蒸気圧を表す典型的なグラフである。

10

【図 4 B】リン酸の濃度と温度の関数としてのリン酸の沸点を表す典型的なグラフと、エッチング処理システム内での2つの蒸気圧での混合物の平衡条件の温度の関数としての蒸気圧を表す典型的なグラフである。

【図 5 A】温度の関数としてのリン酸溶液の組成を表す典型的なグラフである。

【図 5 B】エッチング処理システム内での時間と温度の関数としてのリン酸溶液のエッチング選択性を表すグラフである。

【図 6 A】本発明の実施例によるバッチエッチング処理システムの典型的な概略図を表している。

【図 6 B】本発明の実施例による枚葉式基板エッチング処理システムの典型的な概略図を表している。

20

【図 7 A】本発明の実施例によるノズルを用いてスチームを供給するバッチエッチング処理システムの典型的な概略図を表している。

【図 7 B】本発明の実施例による処理液体循環システムを有する枚葉式エッチング処理システムの典型的な概略図を表している。

【図 8 A】本発明の実施例におけるエッチング処理システム用の搬送システムの概略図である。

【図 8 B】本発明の実施例におけるエッチング処理システム用の搬送システムの概略図である。

【図 8 C】本発明の実施例におけるエッチング処理システム用の搬送システムの概略図である。

30

【図 9】本発明の実施例における処理液体とスチームを用いるバッチエッチング処理システムでの基板のマスク層のエッチング速度とエッチング選択性を増大させる方法の典型的フローチャートである。

【図 10】本発明の実施例における処理液体とスチームの混合物を用いるバッチエッチング処理システムでの基板のマスク層のエッチング速度とエッチング選択性を増大させる方法の典型的フローチャートである。

【図 11】本発明の実施例における注入ノズルを用いるバッチエッチング処理システムでの基板のマスク層のエッチング速度とエッチング選択性を増大させる方法の典型的フローチャートである。

40

【図 12】本発明の実施例における枚葉式基板エッチング処理システムでの基板のマスク層のエッチング速度とエッチング選択性を増大させる方法の典型的フローチャートである。

【図 13】本発明の実施例におけるエッチング速度とエッチング選択性を増大させるように構成されるエッチング処理システムを用いて製造クラスタを制御するプロセス制御システムの典型的な概略図である。

【図 14】本発明の実施例におけるエッチング速度とエッチング選択性を増大させるように構成されるエッチング処理システムを用いて製造クラスタを制御する方法の典型的なフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

50

## 【 0 0 0 9 】

図1を参照すると、概略図10が、従来技術に係るバッチエッチング処理システムでのシリコン窒化物のエッチング方法を表している。前記バッチエッチング処理システムでは、エッチング用化学物質（エッチャント）が、1種類以上の入力ストリーム34と38を用いることによって、複数の基板26が設けられるエッチング処理チャンバ44へ供給される。エッチャントは、オーバーフロータンク42とオーバーフロー噴出口18を用いることによって、再利用、リサイクル、又は供給されて良い。ヒータ22はたとえば、プロセスチャンバ44の側部又は底部にヒータを備えることによって与えられても良い。ヒータ22は外付けであっても良いし、又は内蔵されても良い。

## 【 0 0 1 0 】

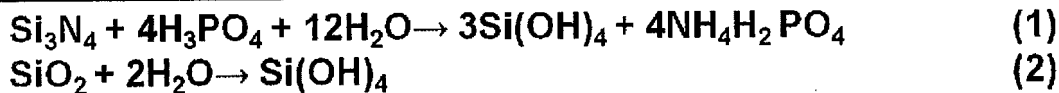
図2は、エッチング処理チャンバ66とスピルタンク58を有する、シリコン窒化物をエッチングするための従来技術に係るバッチエッチング処理システム50を表す概略図である。上述したように、ヒータ70は、エッチング処理チャンバ66の前方、後方、及び下方に供給されて良く、これらのヒータ70は外付けであっても良いし、又は内蔵されても良く、かつ、これらのヒータ70は、処理チャンバ66内の水溶液94へ流入する熱流束46を供して良い。流出する熱流束は、通水62と水90の蒸発を含む。流入する熱流束が、蒸発と通水により流出する熱流束よりも大きい場合、水溶液の温度は、沸騰するまで上昇する。沸点は、酸の濃度と周辺圧力によって調節される。沸騰中、熱が増大することで、水はさらに沸騰されて急速に流出する。水溶液94の沸点を一定に維持するため、処理チャンバ制御装置（図示されていない）は、ヒータ70と、供給ライン78を介して注入される供給水74を同時に制御しなければならない。流入する供給水が、蒸発により失われる水よりも多い場合、水溶液の温度は減少する。その結果酸が希釈されて、沸点が低下する。反対に、流入する供給水が、蒸発により失われる水よりも少ない場合、水溶液の温度は上昇する。その結果酸が濃縮されて、沸点が上昇する。

## 【 0 0 1 1 】

リン酸中でのシリコン窒化物のエッチング速度は、温度による影響を強く受けることがよく知られている。具体的には、エッチング速度は温度上昇に応じて増大する。シリコン窒化物と二酸化シリコンのエッチングの化学反応は以下である。

## 【 0 0 1 2 】

## 【 数 1 】



基板をリン酸水溶液の槽へ浸漬させるウェットベンチ構成 - たとえば東京エレクトロン株式会社(TEL)のEXPEDIUS - では、処理温度は水溶液の沸点によって制限される。水溶液の沸点は、水の濃度と周辺圧力の関数で、かつ、クラジウス - クラペイロンの関係式とラウールの法則によって表されうる。液体 - 気体の境界についてのクラジウス - クラペイロンの式は次式で表されうる。

## 【 0 0 1 3 】

## 【 数 2 】

$$\ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right) = - \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right),$$

Equation 3.0

10

20

30

40

50

ここで、 $\ln$ は自然対数、 $T_1$ と $P_1$ は対応する温度（単位はケルビン又は他の絶対温度の単位）と蒸気圧で、 $T_2$ と $P_2$ は他の点での対応する温度と蒸気圧で、 $H_{vap}$ はモル当たりの蒸発エンタルピーで、 $R$ は気体定数( $8.314\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ )である。

【0014】

ラウールの法則は、理想溶液の蒸気圧が、各化学成分の蒸気圧と、その溶液中に存在する成分のモル分率に依存するという法則である。一旦溶液中での成分が平衡に到達すると、その溶液の全蒸気圧 $p$ は、

$$p = p_A^* x_A + p_B^* x_B + \dots$$

で表される。各成分の個々の蒸気圧は、

$$p_i = p_i^* x_i$$

で表される。ここで、 $p_i$ は混合物中での成分 $i$ の分圧で、 $p_i^*$ は純粋な成分 $i$ の蒸気圧で、 $x_i$ は溶液（混合物）中での成分 $i$ のモル分率である。

【0015】

リン酸と水の平衡状態の例が図5Aに与えられている。温度を維持する現在のTEL EXPED IUS法は、目標温度（160）での沸騰状態を維持するように、加えられる水の体積と槽に対するヒータ出力のタイミング間隔を調節しながら、この沸騰状態の存在を測定するフィードバックループ制御装置による方法である。リン酸水溶液が水を加えられることなく加熱されるとき、そのリン酸水溶液から水が蒸発することで、そのリン酸水溶液の沸点は上昇する。

【0016】

リン酸の温度上昇は、製造のためのシリコン窒化物のエッチング速度増大にとっては好ましく、かつ、低い選択性を犠牲にして製造コストを低下させる。その理由は、現在のリン酸再循環タンクでは、高い沸点を可能にするには、水の濃度を低下させることになるためである。水は、 $\text{SiO}_2$ に対するシリコン窒化物のエッチング選択性を制御する上で重要である（化学式1,2を参照のこと）。実験結果は、昇温した状態で非沸騰状態（つまり低含水量）になっても、図5Bのように好ましいエッチング選択性が得られないことを示している。反対に、選択性を改善させるためには、水の濃度を高める（つまり酸をさらに希釈すること）が好ましいが、これは現実的ではない。槽中での水の濃度を増大させることで、酸の混合物の沸点は減少する。低温では、シリコン窒化物のエッチング速度は、シリコン窒化物のエッチング速度と温度との間で強いアレニウス関係が存在するため、顕著に減少する。

【0017】

処理液体という語句は、使用される溶媒が水又は他の溶媒であって良いことを強調するため、明細書の以降の箇所で用いられる。本発明の焦点は、シリコン窒化物への処理液体の供給温度を増大させることでシリコン窒化物のエッチング速度を増大させながら、シリコン又は二酸化シリコンに対するシリコン窒化物の最適エッチング選択性を維持する新規な方法である。高温は、静止又は回転した1枚の基板に供給される前に、リン酸流へ加圧スチームを注入することによって実現される。スチームが凝集することで、潜熱がリン酸へ向かうように解放される。その結果リン酸の加熱が効率的に行われる。他の利点は、リン酸は自動的に常に水によって飽和されることである。水は、二酸化シリコンに対するシリコン窒化物の高いエッチング選択性を維持するのに必要である。1回通過処理では、選択性の制御を容易にするために溶解シリカがリン酸に供給されることが必要である。循環処理では、シリカは、自然のリン酸中に供給されて良いし、又は、エッチング処理システムを介したシリコン窒化物基板全面で循環されて良い（これは、リン酸槽としても知られるパッチエッチング処理システムにおいて用いられる一般的な処理である）。本発明の実施例では、スチーム噴流が、基板上の中心から端部までのエッチング均一性を保証するように、基板を予熱するのに利用されても良い。

【0018】

本発明によって解決される問題はとりわけ、枚葉式基板処理を実用的かつ費用対効果良くできるように、処理液体 - たとえばリン酸 - を用いるシリコン窒化物エッチング速度の

10

20

30

40

50

処理を改善することである。リン酸処理は一般的には、「汚れた処理」とみなされ、残った粒子を除去する標準洗浄1(SC1)工程が続いて行われる。枚葉式エッチング処理は本質的に、バッチエッチング処理よりも清浄である。その理由は、欠陥の機構/粒子の再堆積及び/又は前面から背面への汚染が回避されるからである。シリコン窒化物エッチング処理は、160℃の熱いリン酸中では遅い(30~60 /min)。シリコン窒化物のエッチング速度が180 /minを超えるまで増大しうる場合、枚葉式基板処理装置でのシリコン窒化物処理が実用的となる。シリコン窒化物を加熱するのに直接スチーム注入を使用することによって、シリコン又はシリコン窒化物に対するシリコン窒化物のエッチング選択性を高くするのに必要とされる飽和水の量を維持しながら、高い処理温度を実現することができる。

【0019】

10

一の実施例では、沸騰装置(周辺温度では液体の水を供給する)が、昇圧下でスチーム・水蒸気混合物を供給するのに用いられる。スチーム・水蒸気混合物の温度は、ボイラー内部の圧力によって制御されて良い。続いてスチーム・水蒸気混合物は、熱いリン酸から枚葉式基板処理チャンバへの化学物質供給ラインへ注入される。スチーム・水蒸気混合物は、槽への熱と湿気の供給源を与える。よってその槽は標準状態の沸点よりも高温となり、気相と液相の両方に過剰な水蒸気が導入されることで、二酸化シリコン及びシリコンに対する窒化物のエッチング選択性が維持される。

【0020】

他の実施例では、スチーム・水蒸気混合物は、エッチング処理チャンバへ流入する前に、昇圧して処理液体と混合される。供給ライン中での沸騰を回避するため十分な圧力が維持されなければならない。続いて処理液体は、周辺圧力でエッチング処理チャンバへ流入する際に、急激な沸騰を開始する。他の実施例では、複数のノズルが基板の上方で用いられて良い。第1ノズルは加熱されたリン酸を導入する。第2ノズル又は他のノズルは、リン酸への導入前に基板表面を予熱するために高温のスチーム・水蒸気混合物を導入する。それにより、基板全体にわたる均一な温度が維持され、ひいてはエッチング均一性が保証され易くなる。この実施例では、ノズルの位置とノズルの数は、基板への熱と処理液体の供給効率を最大化するように設定されて良い。スチーム・水蒸気混合物はまた、温度均一性を維持するように基板背面に注入されても良い。

20

【0021】

図3は、一の周辺圧力でのリン酸濃度と温度の関数としてリン酸の沸点典型的なグラフ300を表している。処理液体の温度と濃度は、エッチング速度と、シリコン又はシリコン窒化物に対するシリコン窒化物のエッチング選択性を決定する2つの重要な因子である。図3は、リン酸濃度に対するシリコン窒化物のバッチエッチング処理温度の沸騰曲線304を表している。沸騰曲線304を参照して、たとえば処理液体が条件Aの初期設定をとるとすると、処理液体は、約120℃の温度で85質量%のリン酸濃度を有する。処理液体は、沸点が点X(308の参照番号が付されている)によって表されている点に到達するまで加熱される。点Xは、典型的なエッチング処理システムの制御限界をも表す沸騰曲線304中の一点である。上述したように、処理液体の温度は、エッチング速度を増大させるために昇温される。同時にシリコン窒化物のエッチング選択性が維持され、かつ、エッチング均一性が維持される。

30

40

【0022】

図4Aは、一の周辺圧力でのリン酸の濃度の関数としてのリン酸の沸騰曲線404(左側縦軸に表されている)と、エッチング処理システム内での混合物の平衡条件の温度の関数としての蒸気圧曲線408(右側縦軸に表されている)を有する典型的なグラフ400である。リン酸濃度は、水溶液中での質量%として表されている。太い点で表される点(1)での処理液体の初期条件の組は、85%のリン酸組成と120℃の温度に対応するものとする。処理液体は、加熱され、かつ、沸騰曲線404の点線部分によって表される沸点に到達する。加熱は、内蔵又は外付けのヒータを利用してよく、かつ、エッチング処理液体へのスチーム・水蒸気混合物の注入によって実行されて良い。一の実施例では、エッチング処理システムは、沸騰曲線404上の点(2)で表される限界高温を有する。ここで、この限界温度に対応する温

50

度は160 である。スチームと水蒸気が一緒になったもの（スチーム・水蒸気混合物）は、処理液体が点(3)に到達するまで、エッチング処理システムの底部へ注入される。点(3)は、92質量%のリン酸組成、180 の温度、及び、約1.0MPaでの蒸気圧に実質的に対応する。スチーム・水蒸気混合物と水溶性リン酸との他の組み合わせが、ある用途の目的を満たすシリコン窒化物のエッチング速度とエッチング選択性を決定するために試されて良い。スチーム・水蒸気混合物の圧力は、0.2～2.0MPaの範囲であって良い。

#### 【 0 0 2 3 】

図4Bを参照して、0.5MPaの圧力が、スチーム・水蒸気混合物の目標圧力として選ばれるものとする。（蒸気圧曲線408上の点Aでの）混合物の対応温度は約152 である。スチーム・水蒸気混合物が、槽又は枚葉式基板エッチング処理システム中の処理液体へ注入されることで、沸点は、点Aと沸騰曲線404の点A' とを接続する垂直線によって決定される。その結果、平衡状態に対応するリン酸濃度は約86%となる。選ばれた目標圧力が2.0MPaである場合、混合物の対応温度（蒸気圧曲線408上の点B）は約214 である。同一の方法を用いることによって、沸点は、点Bと沸騰曲線404の点B' とを接続する垂直線によって決定される。その結果、平衡状態に対応するリン酸濃度は約96%となる。よってスチーム・水蒸気混合物の流速と圧力は、処理液体の温度を制御する変数として用いられて良い。スチーム・水蒸気混合物の流速と圧力は、処理液体の沸点、ひいては処理液体中でのリン酸濃度に影響を及ぼす。処理液体の平衡状態のリン酸濃度と温度は、エッチング速度とエッチング選択性に影響を及ぼす。

#### 【 0 0 2 4 】

図5Aは、温度（ ）の関数として、立方メートル当たりの水溶性分子のモル数(Aq. mo ls/m<sup>3</sup>)として表されるリン酸溶液の組成の第1曲線504と、mo ls/m<sup>3</sup>として表される水の第2曲線508を有する典型的なグラフ500を表す。処理液体が160 ～220 まで加熱される際、リン酸の濃度は基本的に平坦である。他方水の濃度は、温度の上昇に伴って蒸発により低下する。処理液体のエッチング選択性の変化をさらに示すため、図5Bは、エッチング処理システム内での時間と処理液体の温度の関数としてのリン酸溶液のエッチング選択性の典型的なグラフ500を表している。試験開始時、処理液体（水溶性リン酸）が沸騰し、蒸留水(DIW)が、処理液体を加えるのに用いられ、かつ、二酸化シリコンに対するシリコン窒化物のエッチング選択性554は高い。50分後、DIWを加えるのが中止され、処理液体の温度が約220 で最高となった。この温度は、ヒータ電力が減少した後に低下する前の温度と略同一である。エッチング選択性曲線564の下方へ向かう傾斜から明らかなように、エッチング選択性も554から558と低下した。DIWを処理液体へ追加するのを中断した後、処理気体は沸騰状態となり、エッチング選択性は558から562へ増大した。本願発明者等は、処理液体が、160～200 の範囲で有利で、水溶性リン酸を用いた処理液体にとっては約180 が好ましいことを発見した。

#### 【 0 0 2 5 】

図6Aは、本発明の実施例によるバッチエッチング処理システムの典型的な概略図を表している。複数の基板632がエッチング処理チャンバ640内に設けられている。処理液体628がエッチング処理チャンバ640へ導入される。過剰な処理液体は、オーバーフローコンテナ604へ行き、放出口608を介して廃棄されて良い。スチーム発生装置614には、供給ライン620を介して入力液体が供給される。スチーム発生装置614は、スチーム・水蒸気混合物612を生成するヒータ616によって加熱される。スチーム・水蒸気混合物612は、エッチング処理チャンバ640の底部との接続ライン636によって供給される。制御装置（図示されていない）を用いることで、バッチエッチング処理システム600は、処理液体628及びスチーム・水蒸気混合物612の流速を制御することによって、選択されたエッチング処理速度及び選択されたエッチング選択比を満たすように構成される。処理液体628及びスチーム・水蒸気混合物612は、高圧に加圧されても良いし、されなくても良い。スチーム・水蒸気混合物の圧力は0.2～2.0MPaの範囲内であって良い。

#### 【 0 0 2 6 】

図6Bは、本発明の実施例による枚葉式基板エッチング処理システムの典型的な概略図を

表している。1枚の基板654がステージ662上に載置されている。ステージ662は、基板654を静止させたままにするか、又は、基板654を回転させるように構成される。その一方で、処理液体678が供給ライン682から供給され、かつ、スチーム・水蒸気混合物674が供給ライン670から供給される。スチーム・水蒸気混合物674は、基板654全体にわたって均一な処理を実行するように配置されるノズル666によって、基板654全体にわたって供給ライン670を介して供給される。枚葉式基板処理システム650と相似する多重エッチング処理システムの設定は、複数の配置 - たとえば積層、直交、環状、及び、共通の基板搬送システムにより供給可能な他の配置 - をとるように構成されて良い。スチームは、余熱すなわち基板654全体にわたって均一な温度を維持するため、スチーム供給ライン658によって基板背面へ供給されて良い。

10

## 【0027】

図7Aは、本発明の実施例によるノズルを用いてスチーム・水蒸気混合物を供給するバッチエッチング処理システムの典型的な概略図を表している。処理液体738は、エッチング処理チャンバ742の前方と後方に設けられたヒータ716によって加熱されて良い。ヒータ716は外付けであっても良いし、又は内蔵されても良い。ヒータ716は、エッチング処理チャンバ742内の処理液体738に流入する熱流束720を供する。さらに追加の流入する熱流束722が、供給ライン726を介して供給されるスチーム・水蒸気混合物736を処理液体738へ注入することによって供される。流出する熱流束は通水708と水の蒸発734を有する。流入する熱流束が、蒸発による流出する熱流束708と通水による熱流束734よりも大きい場合、処理液体738の温度は沸騰するまで上昇する。沸点は、処理液体738の濃度と周辺圧力によって調節される。沸騰中、熱が増大することで、水はさらに沸騰されて急速に飛び出す。

20

## 【0028】

処理液体738の沸騰温度を一定に維持するため、処理チャンバ制御装置（図示されていない）は、ヒータとノズル730を介するスチーム・水蒸気混合物の注入を同時に制御しなければならない。スチーム・水蒸気混合物の供給が、蒸発による水の損失よりも大きい場合、処理液体738の温度は減少する。その結果、処理液体738は希釈され、沸点は低下する。逆に、水の供給が、蒸発による水の損失よりも少ない場合、処理液体738の温度は上昇する。その結果、酸は濃縮され、沸点は上昇する。エッチング処理チャンバ742の底部にノズル730を設けることで、処理液体738内で均一な温度プロファイルを生成するような混合作用が生じる。処理液体738は、第2供給ライン724を介してノズル730へ導入されて良い。余剰の処理液体738はスピルトank704へ向かう。バッチエッチング処理システム700は、処理液体738の温度を上昇させることによって、マスク層 - たとえばシリコン窒化物 - のエッチング速度を増大させる方法を供する。シリコン窒化物又はシリコンに対するシリコン窒化物の目標となるエッチング選択性すなわち比もまた、処理液体738のモル濃度を制御する - たとえばスチーム・水蒸気混合物の追加及び/又はノズル730を介して分配されるスチーム・水蒸気混合物の温度の変化 - ことによって維持される。

30

## 【0029】

図7Bは、本発明の実施例による処理液体循環システムを有する枚葉式エッチング処理システムの典型的な概略図を表している。処理液体774を循環させることで、化学物質の使用が減少し、かつ、後述するように、左への反応2の平衡を維持するように処理液体中のシリカを高濃度に維持することによって、エッチング選択性が向上する。枚葉式基板エッチング処理システム760を参照すると、1枚の基板796はステージ788上に設けられる。ステージ788は、基板796をエッチング処理チャンバ762内部で静止又は回転させるように構成される。スチーム・水蒸気混合物766は、供給ライン764を用いて供給され、ノズル790を用いることによって基板上に供給される。スチーム796は、スチーム入力ライン768を用いることによって基板796の背面へ供給されることで、基板796の温度は均一に維持される。スチーム769は、スチーム・水蒸気混合物766と同一であって良い。処理液体循環システム783は、エッチング処理チャンバ762の底部と結合する排出ライン786を有する。排出ライン786は、制御バルブ782を通り抜ける。制御バルブ782は、廃棄ライン780を介して処理液体774の一部を廃棄し、かつ、再循環ライン784を介して処理液体774の残りを再循環させ

40

50

る。新たな処理液体774が、処理液体供給ライン776を用いることによって再循環ライン784に導入される。

【0030】

図7Bを参照すると、熔融シリカは、反応2を抑制することによって目標のシリコン窒化物エッチング速度を維持するのを容易にする。一の実施例では、熔融シリカ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ )は、シリカ注入ライン772と供給ライン776を用いることによって注入される。シリカの量は、ある目標の範囲 - たとえば10~30ppmの熔融シリカ - での熔融シリカの量を維持するのに十分なものである。他の実施例では、シリコン窒化物を含む多数の基板796が、再循環する処理液体774中で所望の量の熔融シリカを維持するために処理される。枚葉式基板処理システムを用いる本発明の一の利点は、処理液体中での高濃度のシリカに対する許容度である。リン酸を用いる従来技術に係るパッチエッチング処理システムでは一般的に、シリカの濃度が上昇することで欠陥率が増大する。シリコン酸化物に対するマスク層の安定した選択比の維持を容易にする高濃度シリカの許容度に加えて、枚葉式基板処理システムは、同一ようとであればパッチエッチング処理システムよりも欠陥率が低いので、本質的に有利である。

【0031】

図8A、図8B、及び図8Cは、本発明の実施例におけるエッチング処理システム用の搬送システムの概略図である。一の実施例によると、図8Aは、(複数の)基板上で非プラズマ洗浄処理を実行する処理システム800を表している。処理システム800は、第1処理システム816及び該第1処理システム816と結合する第2処理システム812を有する。たとえば、第1処理システム816は、化学処理システム(又は1つの処理チャンバの化学処理部分)を有して良く、かつ、第2処理システム812は、熱処理システム(又は1つの処理チャンバの熱処理部分)を有して良い。

【0032】

また図8Aに図示されているように、搬送システム808は、第1処理システム816と第2処理システム812に対して(複数の)基板を搬入出し、かつ、多数の構成要素を備える製造システム804と基板を交換するため、第1処理システム816に結合されて良い。第1処理システム816、第2処理システム812、及び搬送システム808はたとえば、多数の構成要素を備える製造システム804内部に処理用構成要素を有して良い。たとえば多数の構成要素を備える製造システム804は、処理用構成要素 - たとえばエッチング処理システム、堆積システム、コーティングシステム、パターンニングシステム、計測システム等を含む - に対して(複数の)基板を搬入出することを可能にする。第1システム内で起こる処理と第2システム内で起こる処理とを隔離するため、隔離集合体820が各システムを結合させるのに利用されて良い。たとえば隔離集合体820は、熱的に隔離する断熱集合体と真空中で隔離するゲートバルブ集合体のうちの少なくとも1つを有して良い。当然のこととして、処理システム812、816と搬送システム808は任意の順序で設けられて良い。

【0033】

あるいはその代わりに、他の実施例では、図8Bは、基板上で非プラズマ洗浄処理を実行する処理システム850を表している。処理システム850は第1処理システム856と第2処理システム858を有する。たとえば、第1処理システム856は化学処理システムを有し、かつ、第2処理システム858は熱処理システムを有して良い。

【0034】

また図8Bで表されているように、搬送システム854は、第1処理システム856に対して(複数の)基板を搬入出するために第1処理システム856と結合され、かつ、第2処理システム858に対して(複数の)基板を搬入出するために第2処理システム858と結合されて良い。それに加えて搬送システム854は、(複数の)基板と1つ以上の基板カセット(図示されていない)とを交換して良い。図8Bには2つの処理システムしか図示されていないが、他の処理システムが搬送システム854 - たとえばエッチング処理システム、堆積システム、コーティングシステム、パターンニングシステム、計測システム等を含む - とアクセスしても良い。第1システム内で起こる処理と第2システム内で起こる処理とを隔離するため、隔

離集合体820が各システムを結合させるのに利用されて良い。たとえば隔離集合体820は、熱的に隔離する断熱集合体と真空中で隔離するゲートバルブ集合体のうちの少なくとも1つを有して良い。それに加えてたとえば、搬送システム854が、隔離集合体862の一部として機能しても良い。

【0035】

あるいはその代わりに、他の実施例では、図8Cは、(複数の)基板上で非プラズマ洗浄処理を実行する処理システム870を表している。処理システム870は第1処理システム886と第2処理システム882を有する。第1処理システム886は、図示されているように第2処理システム882上に垂直方向に積層されている。たとえば、第1処理システム886は化学処理システムを有し、かつ、第2処理システム882は熱処理システムを有して良い。

10

【0036】

また図8Cで表されているように、搬送システム878は、第1処理システム886に対して(複数の)基板を搬入出するために第1処理システム886と結合され、かつ、第2処理システム882に対して(複数の)基板を搬入出するために第2処理システム882と結合されて良い。それに加えて搬送システム878は、(複数の)基板と1つ以上の基板カセット(図示されていない)とを交換して良い。図8Cには2つの処理システムしか図示されていないが、他の処理システムが搬送システム878 - たとえばエッチング処理システム、堆積システム、コーティングシステム、パターンニングシステム、計測システム等を含む - とアクセスしても良い。第1システム内で起こる処理と第2システム内で起こる処理とを隔離するため、隔離集合体874が各システムを結合させるのに利用されて良い。たとえば隔離集合体874は、熱的に隔離する断熱集合体と真空中で隔離するゲートバルブ集合体のうちの少なくとも1つを有して良い。それに加えてたとえば、搬送システム878が、隔離集合体874の一部として機能しても良い。先に示したように、化学処理システムと熱処理システムは、互いに結合する別個の処理チャンバを有して良い。あるいはその代わりに、化学処理システムと熱処理システムは、1つの処理チャンバの構成要素であっても良い。

20

【0037】

図9は、本発明の実施例における処理液体とスチーム・水蒸気混合物を用いるバッチエッチング処理システムでの基板のマスク層のエッチング速度とエッチング選択性を増大させる方法900の典型的フローチャートである。工程904では、基板内のマスク層の目標エッチング速度及びシリコン酸化物又はシリコンに対する前記マスク層のエッチング選択比が選択される。マスク層は、シリコン窒化物、窒化ガリウム、又は窒化アルミニウム等であって良い。工程908では、昇圧してスチーム・水蒸気混合物が供給される。スチーム・水蒸気混合物は、内蔵のスチーム発生装置によって供されて良いし、又は、製造クラスタ内の汎用スチーム源から供されても良い。工程912では、前記マスク層を選択的にエッチングするために処理液体が供給される。処理液体は、リン酸、フッ化水素、又はフッ化水素/エチレングリコール等を有して良い。工程916では、複数の基板がエッチング処理チャンバ内に設けられる。工程920では、前記処理液体が前記エッチング処理チャンバ内に供給される。供給は、供給ライン又はノズルを用いて実行されて良い。工程924では、前記スチーム・水蒸気混合物が前記エッチング処理チャンバへ注入される。前記スチーム・水蒸気混合物の流速は、前記マスク層の選択されたエッチング速度とエッチング選択比を実現するように制御される。前記スチーム・水蒸気混合物の流速は、図4Aと図4Bに示されているように、処理液体の濃度、水溶液の温度、及び蒸気圧に基づくデータと相関しうる。図4Bの説明で述べたように、スチーム・水蒸気混合物の流速と圧力は、処理液体の温度を制御する変数として用いられて良い。スチーム・水蒸気混合物の流速と圧力は、処理液体の沸点、ひいては処理液体中でのリン酸濃度に影響を及ぼす。処理液体の平衡状態のリン酸濃度と温度は、エッチング速度とエッチング選択性に影響を及ぼす。

30

40

【0038】

図10は、本発明の実施例における処理液体とスチーム・水蒸気混合物の混合物を用いるバッチエッチング処理システムでの基板のマスク層のエッチング速度とエッチング選択性を増大させる方法1000の典型的フローチャートである。工程1004では、基板内のマスク層

50

の目標エッチング速度及びシリコン酸化物又はシリコンに対する前記マスク層のエッチング選択比が選択される。マスク層は、シリコン窒化物、窒化ガリウム、又は窒化アルミニウム等であって良い。工程1008では、昇圧してスチーム・水蒸気混合物が供給される。スチーム・水蒸気混合物は、内蔵のスチーム発生装置によって供されて良いし、又は、製造クラスタ内の汎用スチーム源から供されても良い。工程1012では、前記マスク層を選択的にエッチングするために処理液体が供給される。処理液体は、リン酸、フッ化水素、又はフッ化水素/エチレングリコール等を有して良い。工程1016では、複数の基板がエッチング処理チャンバ内に設けられる。工程1020では、混合タンク又は供給ライン内で、前記処理液体が前記スチーム・水蒸気混合物と混合される。供給ライン内での沸騰を回避するため、十分な圧力が維持されなければならない。処理液体は、周辺圧力でエッチング処理チャンバへ流入する際に、急激な沸騰を開始する。

10

#### 【0039】

図10を参照すると、工程1024では、前記の一つにされた処理液体とスチーム・水蒸気混合物が前記処理チャンバへ注入される。スチーム・水蒸気混合物の流速は、前記マスク層の選択されたエッチング速度とエッチング選択比を実現するように制御される。前記スチーム・水蒸気混合物の流速は、図4Aと図4Bに示されているように、処理液体の濃度、水溶液の温度、及び蒸気圧に基づくデータと相関しうる。図4Bの説明で述べたように、スチーム・水蒸気混合物の流速と圧力は、処理液体の温度を制御する変数として用いられて良い。スチーム・水蒸気混合物の流速と圧力は、処理液体の沸点、ひいては処理液体中でのリン酸濃度に影響を及ぼす。処理液体の平衡状態のリン酸濃度と温度は、エッチング速度とエッチング選択性に影響を及ぼす。

20

#### 【0040】

相関は、目標のエッチング速度と目標のエッチング選択性を満たすのに必要な流速を決定するのに用いられて良い。一の実施例では、処理液体とスチーム・水蒸気混合物は、エッチング処理チャンバへ流入する前に、供給ライン内で混合される。他の実施例では、スチーム・水蒸気混合物と処理液体は、エッチング処理チャンバ内の供給ラインを飛び出す直前に混合される。

#### 【0041】

図11は、本発明の実施例における注入ノズルを用いるバッチエッチング処理システムでの基板のマスク層のエッチング速度とエッチング選択性を増大させる方法の典型的フローチャートである。工程1104では、基板内のマスク層の目標エッチング速度及びシリコン酸化物又はシリコンに対する前記マスク層のエッチング選択比が選択される。マスク層は、シリコン窒化物、窒化ガリウム、又は窒化アルミニウム等であって良い。工程1108では、昇圧してスチーム・水蒸気混合物が供給される。スチーム・水蒸気混合物は、内蔵のスチーム発生装置によって供されて良いし、又は、製造クラスタ内の汎用スチーム源から供されても良い。工程1112では、前記マスク層を選択的にエッチングするために処理液体が供給される。処理液体は、リン酸、フッ化水素、又はフッ化水素/エチレングリコール等を有して良い。工程1116では、複数の基板がエッチング処理チャンバ内に設けられる。工程1120では、前記処理液体が前記エッチング処理チャンバ内に供給される。

30

#### 【0042】

工程1124では、前記スチーム・水蒸気混合物と処理液体が一つになった流れが、複数のノズルを用いることによって前記処理チャンバへ注入される。スチーム・水蒸気混合物の流速は、シリコン酸化物又はシリコンに対する前記マスク層の選択されたエッチング速度とエッチング選択比を実現するように制御される。複数のノズルは、エッチング処理チャンバの底部及び/又は側部に設けられて良い。複数のノズルの配置は、温度均一性ひいてはエッチング均一性を保証するように変化して良い。上述したように、前記スチーム・水蒸気混合物の流速は、図4Aと図4Bに示されているように、処理液体の濃度、水溶液の温度、及び蒸気圧に基づくデータと相関しうる。図4Bの説明で述べたように、スチーム・水蒸気混合物の流速と圧力は、処理液体の温度を制御する変数として用いられて良い。スチーム・水蒸気混合物の流速と圧力は、処理液体の沸点、ひいては処理液体中でのリン酸濃度

40

50

に影響を及ぼす。処理液体の平衡状態のリン酸濃度と温度は、エッチング速度とエッチング選択性に影響を及ぼす。

【0043】

図12は、本発明の実施例における枚葉式基板エッチング処理システムでの基板のマスク層のエッチング速度とエッチング選択性を増大させる方法の典型的フローチャートである。工程1204では、基板内のマスク層の目標エッチング速度及びシリコン酸化物若しくはシリコンに対する前記マスク層のエッチング選択比並びに/又は目標完了時間が選択される。マスク層は、シリコン窒化物、窒化ガリウム、又は窒化アルミニウム等であって良い。工程1208では、昇圧してスチーム・水蒸気混合物が供給される。スチーム・水蒸気混合物は、内蔵のスチーム発生装置によって供されて良いし、又は、製造クラスタ内の汎用スチーム源から供されても良い。工程1212では、前記マスク層を選択的にエッチングするために処理液体が供給される。処理液体は、リン酸、フッ化水素、又はフッ化水素/エチレングリコール等を有して良い。工程1216では、1枚の基板がエッチング処理チャンバ内に設けられる。一の実施例では、2つ以上のエッチング処理チャンバの構成は、これらのチャンバへ処理液体を供給することが可能で、スチーム・水蒸気混合物を供給することが可能で、かつ、基板の搬入出が可能となるようなものである。工程1220では、前記処理液体が前記エッチング処理チャンバ内に供給される。供給は、供給ライン又はノズルを用いて実行されて良い。工程1224では、基板を回転させながら、スチーム・水蒸気混合物及び/又は前記処理液体の前記処理チャンバへの流れが、1つ以上のノズルを用いることによって前記エッチング処理チャンバへ注入される。あるいはその代わりに、ノズルが回転して、基板は静止しても良い。

【0044】

図12を参照すると、一の実施例では、スチーム・水蒸気混合物は、エッチング処理チャンバへ流入する前又はエッチング処理チャンバへの流入後であってノズルから流出する前に、処理液体と混合される。供給ライン中での沸騰を回避するため十分な圧力が維持されなければならない。続いて処理液体は、周辺圧力でエッチング処理チャンバへ流入する際に、急激な沸騰を開始する。他の実施例では、複数のノズルが基板の上方で用いられて良い。第1ノズルは加熱されたリン酸を導入する。第2ノズル又は他のノズルは、リン酸への導入前に基板表面を予熱するために高温のスチームを導入する。それにより、基板全体にわたる均一な温度が維持され、ひいてはエッチング均一性が保証され易くなる。他の実施例では、ノズルの位置とノズルの数は、基板への熱と処理液体の供給効率を最大化するように設定されて良い。他の実施例では、スチーム・水蒸気混合物はまた、温度均一性を維持するように基板背面に注入されても良い。

【0045】

図13は、本発明の実施例におけるエッチング速度とエッチング選択性を増大させるように構成されるエッチング処理システムを用いて製造クラスタを制御するプロセス制御システムの典型的な概略図である。前記プロファイルパラメータ値は、自動化されたプロセス及び装置制御に用いられる。システム1300は第1製造クラスタ1302と光学計測システム1304を有する。システム1300はまた第2製造クラスタ1306をも有する。基板上の構造のプロファイルパラメータを決定するのに用いられる光学計測システムの詳細については、特許文献3を参照のこと。図13では第2製造クラスタ1306は、第1製造クラスタ1302の後のプロセスを行うものとして表されているが、第2製造クラスタ1306は、製造プロセスの流れにおいて、システム1300内の第1製造クラスタ1302の前にプロセスを行うように設けられても良いことに留意して欲しい。

【0046】

フォトリソグラフィプロセス - たとえば基板に塗布されたフォトレジスト層の露光及び/又は現像 - が、第1製造クラスタ1302を用いて実行されて良い。一の実施例では、光学計測システム1304は光学計測装置1308とプロセッサ1310を有する。光学計測装置1308は、構造からの回折信号を測定するように構成される。プロセッサ1310は、光学計測装置によって測定された測定回折信号を利用し、信号調節装置を用いてその測定回折信号を調

節することで、調節された計測出力信号を生成するように構成される。さらにプロセッサ1310は、調節された計測出力信号をシミュレーションによる回折信号と比較するように構成される。上述したように、シミュレーションによる回折信号は、光線追跡を利用した光学計測モデル、構造のプロファイルパラメータの組、及び、電磁回折のマクスウエル方程式に基づく数値解析を用いることによって決定される。一の典型的実施例では、光学計測システム1304はまた、複数のシミュレーションによる回折信号、及び、前記複数のシミュレーションによる回折信号に係る1つ以上のプロファイルパラメータの複数の値を備えるライブラリ1312含む。上述したように、ライブラリ1312は事前に生成されて良い。計測プロセッサ1310は、調節された計測出力信号を、ライブラリ内の複数のシミュレーションによる回折信号と比較して良い。一致したシミュレーションによる回折信号が見つかるとき、ライブラリ内での一致したシミュレーションによる回折信号に係るプロファイルパラメータの1つ以上の値は、構造を作製するための基板塗布において用いられるプロファイルパラメータのうちの1つ以上の値であると推定される。

【0047】

システム1300はまた計測プロセッサ1316をも有する。一の典型的実施例では、プロセッサ1310は、1つ以上のプロファイルパラメータの1つ以上の値を計測プロセッサ1316へ送信して良い。続いて計測プロセッサ1316は、光学計測システム1304を用いて決定された1つ以上のプロファイルパラメータの1つ以上の値に基づいて、第1製造クラスタ1302の1つ以上のプロセスパラメータ又は第1製造クラスタ1302の機器設定を調節して良い。計測プロセッサ1316はまた、光学計測システム1304を用いて決定された1つ以上のプロファイルパラメータの1つ以上の値に基づいて、第2製造クラスタ1306の1つ以上のプロセスパラメータ又は第2製造クラスタ1306の機器設定を調節して良い。上述したように、第2製造クラスタ1306は製造クラスタ1302の前に基板を処理しても良いし、又は、製造クラスタ1302の後に基板を処理しても良い。他の典型的実施例では、プロセッサ1310は、機械学習システム1314への入力としての測定回折信号、及び、機械学習システム1314の期待される出力としてのプロファイルパラメータの組を用いることによって、機械学習システム1314を訓練するように構成される。

【0048】

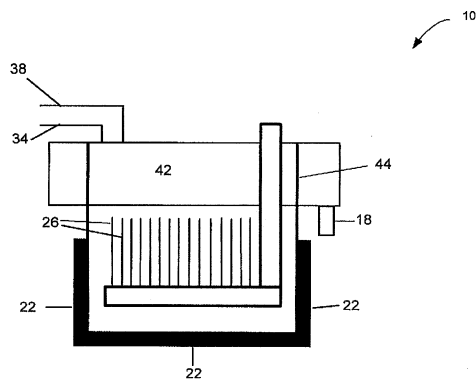
図14は、本発明の実施例におけるエッチング速度とエッチング選択性を増大させるように構成されるエッチング処理システムを用いて製造クラスタを制御する方法の典型的なフローチャートである。図13に記載されたシステムを用いることによって、図3～図12に関して記載されたシステムと方法を用いたエッチング処理後、基板内の構造は、自動化されたプロセス及び装置制御のプロファイルパラメータを決定及び利用するシステムの典型的なブロック図1400と共に記載された方法を用いて測定されて良い。工程1410では、試料構造からの測定された回折信号が光学計測を用いることによって得られる。工程1420では、前記測定された回折信号からの調節された計測出力信号が、光線追跡、校正パラメータ、及び1つ以上の精度基準を用いることによって決定される。工程1430では、前記試料構造の少なくとも1つのプロファイルパラメータが、前記調節された計測出力信号を用いることによって決定される。工程1440では、少なくとも1つの製造プロセスパラメータ又は装置設定が、前記構造の少なくとも1つのプロファイルパラメータを用いて調節される。

【0049】

図6Aと図6Bを参照すると、制御装置（図示されていない）は、処理用液体及びスチーム・水蒸気混合物の流速、処理用液体の圧力、バッチ型又は1枚の基板用の基板剥離用途におけるノズルの使用順序を制御するのに用いられて良い。制御装置のメモリ内に記憶されたプログラムは、記憶されたプロセスレシピに従ってレジスト除去システム600と650（図6Aと図6B）の上記構成要素を制御するのに利用される。プロセスシステムの一例はデルコーポレーション（Dell Corporation）から販売されているDELL PRECISION WORKSTATION 610（商標）である。制御装置は、レジスト除去システム600と650に対して局所的に設置されても良いし、又はインターネット又はイントラネットを介してレジスト除去システム600と650に対して離れた場所に設置されても良い。よって制御装置は、直接接続、イント

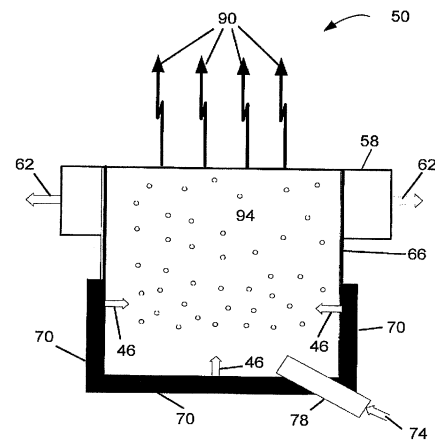
ラネット、インターネット及びワイヤレス接続のうちの少なくとも1を用いることによってレジスト除去システム600と650とのデータのやり取りをして良い。制御装置は、たとえば顧客側（つまりデバイスメーカー等）のイントラネットと結合して良いし、又はたとえば売り手側（つまり装置製造者等）のイントラネットと結合しても良い。さらに別なコンピュータ（つまり制御装置、サーバー等）が、たとえばレジスト除去システム600と650の制御装置とアクセスすることで、直接接続、イントラネット及びインターネットのうちの少なくとも1つを介してデータのやり取りをして良い。

【図1】



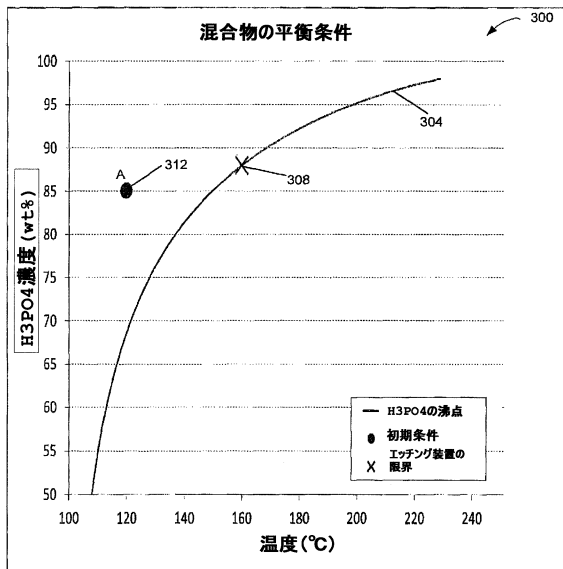
従来技術

【図2】

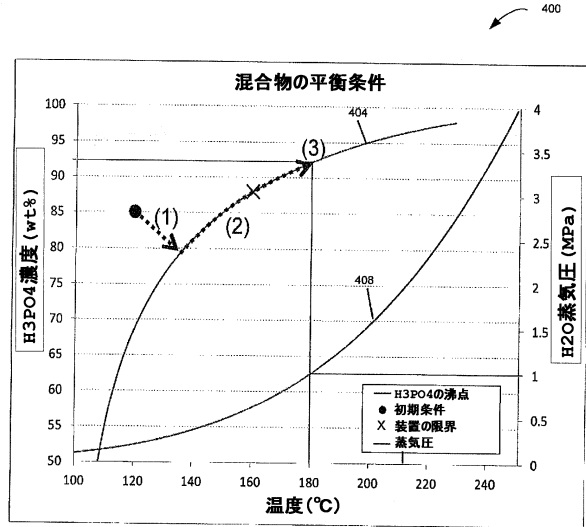


従来技術

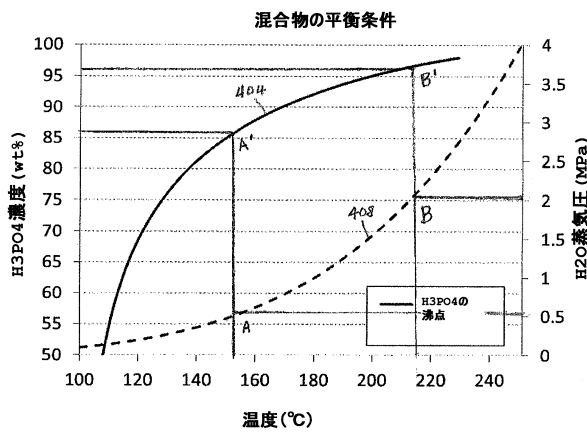
【図 3】



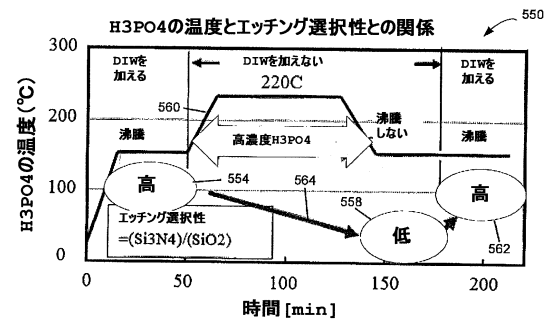
【図 4 A】



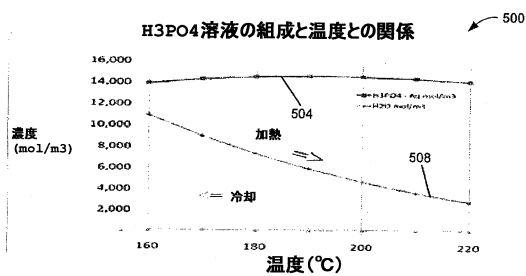
【図 4 B】



【図 5 B】



【図 5 A】



【図 6 A】

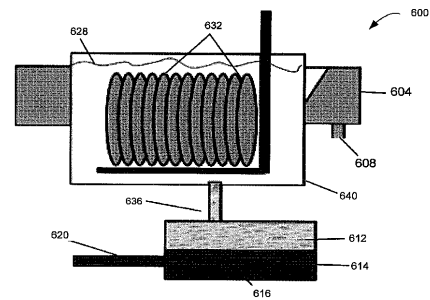


FIG. 6A

【図 6 B】

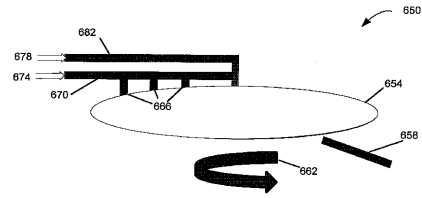


FIG. 6B

【図 7 A】

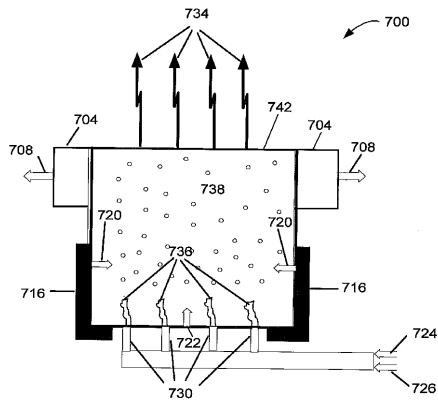


FIG. 7A

【図 8 B】

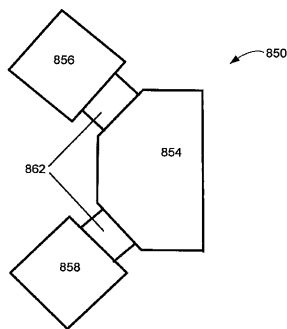


FIG. 8B

【図 8 C】

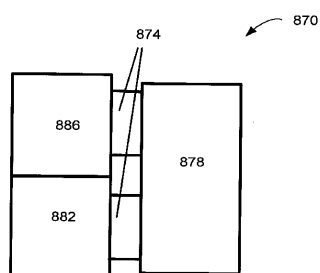


FIG. 8C

【図 7 B】

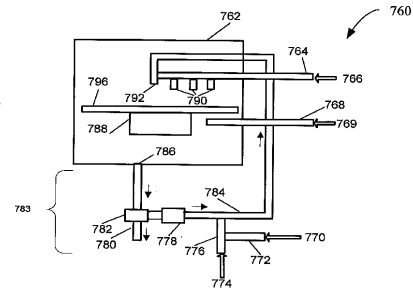


FIG. 7B

【図 8 A】

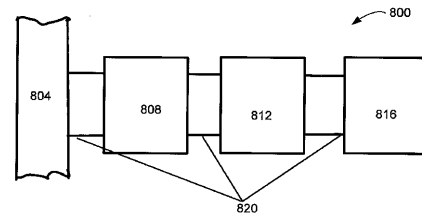
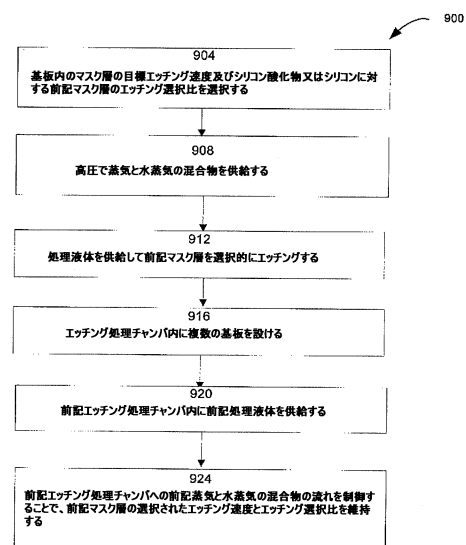
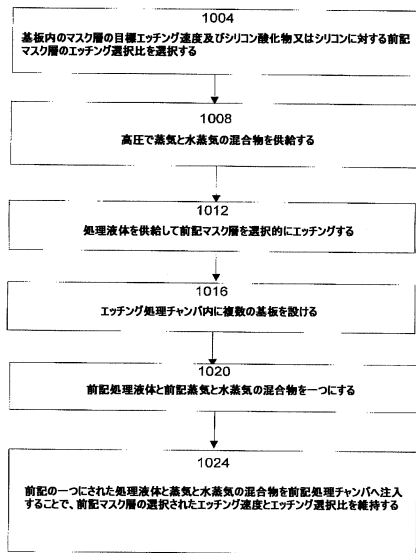


FIG. 8A

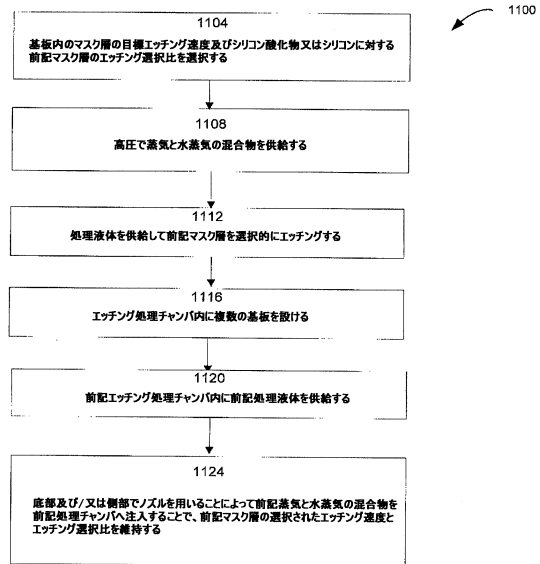
【図 9】



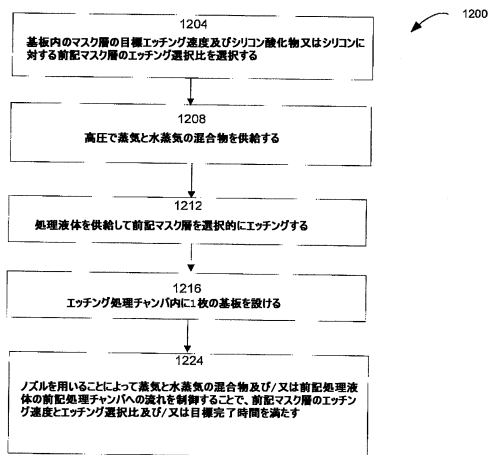
【図 10】



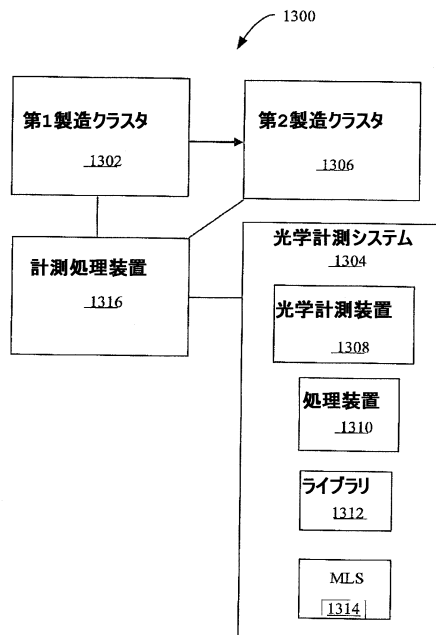
【図 11】



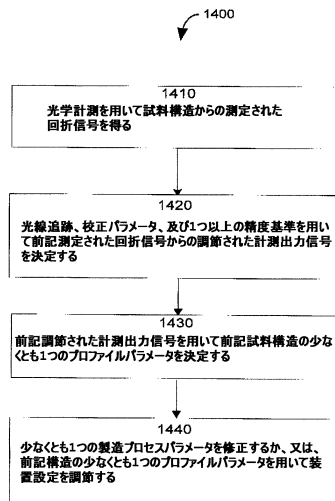
【図 12】



【図 13】



【図 14】



---

フロントページの続き

審査官 鈴木 聡一郎

(56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 0 2 3 3 6 6 ( J P , A )  
特表 2 0 1 0 - 5 2 8 4 5 9 ( J P , A )  
特開 2 0 1 0 - 1 9 9 1 2 5 ( J P , A )  
特開平 0 7 - 0 7 4 3 1 7 ( J P , A )  
特開 2 0 0 7 - 1 6 5 9 2 9 ( J P , A )  
特開平 0 3 - 0 5 0 7 2 4 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 - 2 1 / 3 0 6 3  
H 0 1 L 2 1 / 3 0 8  
H 0 1 L 2 1 / 4 6 5 - 2 1 / 4 6 7