

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6217654号
(P6217654)

(45) 発行日 平成29年10月25日(2017.10.25)

(24) 登録日 平成29年10月6日(2017.10.6)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006.01)

HO 1 L 21/31 (2006.01)

HO 1 L 21/302 1 O 5 A

HO 1 L 21/31 C

請求項の数 28 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2014-559290 (P2014-559290)	(73) 特許権者	507329985
(86) (22) 出願日	平成25年2月27日 (2013.2.27)		オックスフォード インストルメンツ ナ
(65) 公表番号	特表2015-511766 (P2015-511766A)		ノテクノロジー ツールズ リミテッド
(43) 公表日	平成27年4月20日 (2015.4.20)		イギリス オーエックス13 5キューエ
(86) 国際出願番号	PCT/GB2013/050481		ックス オックスフォードシャー アービ
(87) 国際公開番号	W02013/128181		ンドン タブニー ウッズ
(87) 国際公開日	平成25年9月6日 (2013.9.6)	(74) 代理人	100092093
審査請求日	平成28年2月29日 (2016.2.29)		弁理士 辻居 幸一
(31) 優先権主張番号	1203530.9	(74) 代理人	100082005
(32) 優先日	平成24年2月29日 (2012.2.29)		弁理士 熊倉 禎男
(33) 優先権主張国	英国 (GB)	(74) 代理人	100088694
			弁理士 弟子丸 健
		(74) 代理人	100095898
			弁理士 松下 満

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板に物質を堆積及び／又は基板から物質をエッチング除去する方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

処理チャンバ、制御器、及び前記処理チャンバ内の処理パラメータを調節する1つ又は2つ以上の装置、を備えた表面処理ツール内の基板上に物質を堆積及び／又は前記基板から物質をエッチング除去する方法であって、

前記制御器が、前記基板上に物質を堆積及び／又は前記基板から物質をエッチング除去するための一連の制御ステップに従って前記1つ又は2つ以上の装置に命令し、各制御ステップは、前記1つ又は2つ以上の装置が実行するよう命令される規定された組をなす処理パラメータを指定し、

前記基板上に物質を堆積及び／又は前記基板から物質をエッチング除去するための前記制御ステップのうちの少なくとも1つでは、前記制御器が該制御ステップの持続時間の間、少なくともチャンバ圧力及び前記処理チャンバを通る全ガス流量を含む規定された組をなす一定の処理パラメータを実行するよう前記1つ又は2つ以上の装置に命令し、前記持続時間は、該制御ステップに関する前記処理チャンバの対応のガス滞留時間（ T_{gr} ）よりも短く、

前記ガス滞留時間は、

$$T_{gr} = \frac{pV}{Q}$$

で定められ、上式において、

p は、Pa 単位で表される前記チャンバ圧力、
 V は、 m^3 単位で表される前記処理チャンバの容積、
 Q は、 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 単位で表される前記処理チャンバを通る全ガス流量であり、
前記処理チャンバの前記ガス滞留時間 (T_{gr}) よりも短い持続時間を有する前記制御ステップのうちの前記少なくとも 1 つの間に実行される前記規定された組をなす一定の処理パラメータは、前の及び／又は次の制御ステップの処理パラメータに対して、前記処理チャンバ内の異なるガス条件を生じさせるように選択された処理パラメータを含み、少なくとも 1 つの入力ガスの異なるガス流量を含む、方法。

【請求項 2】

前記制御ステップのうちの前記少なくとも 1 つに関する前記処理チャンバの前記対応のガス滞留時間は、0.1～5 秒である、請求項 1 記載の方法。

10

【請求項 3】

前記制御ステップ又は各制御ステップでは、前記 1 つ又は 2 つ以上の装置に命令して該装置が前記制御ステップの持続時間の間、規定された組をなす一定の処理パラメータを実行するようにし、

前記持続時間は、前記制御ステップについて前記処理チャンバの前記対応のガス滞留時間 (T_{gr}) よりも短く、前記制御ステップ又は各制御ステップは、1 秒未満の持続時間を有する、請求項 1 又は 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記基板上に物質を堆積及び／又は前記基板から物質をエッチング除去するための前記一連の制御ステップのうちの 1 つ又は 2 つ以上から成る第 1 の順次的部分組は、パッシベーション処理段階を構成し、該パッシベーション処理段階中、前記処理パラメータは、パッシベーション層を前記基板に堆積させるために選択され、

20

前記一連の制御ステップのうちの 1 つ又は 2 つ以上から成る第 2 の順次的部分組は、エッチング処理段階を構成し、該エッチング処理段階中、前記処理パラメータは、前記基板をエッチングするために選択され、

制御ステップの前記第 1 及び第 2 の順次的部分組は、前記パッシベーション処理段階及びエッチング処理段階が交互に実施されるよう繰り返されるサイクルをなす、請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

30

前記エッチング処理段階を構成する、制御ステップの前記第 2 の順次的部分組は、前記処理パラメータがパッシベーション層除去処理部分段階の際に前記パッシベーション層の部分除去を行うために選択される第 1 の部分、及び前記処理パラメータが基板エッチング処理部分段階の際に露出状態の基板のエッチングを行うために選択される第 2 の部分、を含む、請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】

前記サイクルの前記全持続時間の少なくとも 50 % が、前記基板エッチング処理部分段階に対応している、請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

前記処理段階及び部分段階のうちの少なくとも一方は、コア処理ステップ、及び前記コア処理ステップの前及び／又は後の 1 つ又は 2 つ以上の中間制御ステップを含み、

40

前記中間制御ステップ又は各中間制御ステップでは、前記 1 つ又は 2 つ以上の装置に命令して該装置が規定された組をなす一定の処理パラメータを実行するようにし、前記処理パラメータのうちの少なくとも 1 つは、前記コア処理ステップ中、及び前の又は次の処理段階又は部分段階中の同一の処理パラメータの値相互間に存在する値を有する、請求項 4～6 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 8】

前記中間制御ステップ又は各中間制御ステップでは、前記 1 つ又は 2 つ以上の装置に命令して該装置が第 1 の種と第 2 の種の混合物を含むガスを前記処理チャンバ中に入力するようにし、

50

前記コア処理ステップでは、前記１つ又は２つ以上の装置に命令して該装置が主として前記第１の種から成るガスを前記処理チャンバ中に入力するようにし、

前の又は次の処理段階又は部分段階では、前記１つ又は２つ以上の装置に命令して該装置が主として前記第２の種から成るガスを前記処理チャンバ中に入力するようにする、請求項７に記載の方法。

【請求項９】

複数の連続した中間制御ステップでは、前記１つ又は２つ以上の装置は、前記第１及び前記第２の種のそれぞれの混合物を含むガスを前記処理チャンバ中に入力するよう命令され、

各連続した混合物中の前記第１の種と前記第２の種の比は変化し、前記第１のガス種から前記第２のガス種への漸次的移行が行われる、請求項８に記載の方法。

10

【請求項１０】

前記一連の制御ステップは、前記サイクル中の少なくとも１つの対をなす隣り合うコア処理ステップ相互間に複数の中間制御ステップを含み、

前記中間制御ステップの各々によって実行される前記規定された組をなす処理パラメータは、前記対をなす隣り合うコア処理ステップ相互間の処理パラメータの漸次的変化を生じさせるよう１つの中間制御ステップから次の中間制御ステップまで変化する、請求項７～９のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１１】

前記１つ又は２つ以上の装置が前記規定された組をなす一定の中間処理パラメータを実行するよう命令される前記中間処理ステップ又は各中間処理ステップの持続時間は、該制御ステップに関する前記処理チャンバの対応のガス滞留時間（ T_{gr} ）よりも短く、前記ガス滞留時間は、

20

$$T_{gr} = \frac{pV}{Q}$$

で定められ、上式において、

pは、Pa単位で表される前記チャンバ圧力、

Vは、 m^3 単位で表される前記処理チャンバの容積、

Qは、 $Pa \cdot m^3 \cdot s^{-1}$ 単位で表される前記処理チャンバを通るガス流量である、請求項７～１０のいずれか１項に記載の方法。

30

【請求項１２】

前記サイクル中の隣り合うコア処理ステップ相互間の前記中間処理ステップ又は各中間処理ステップの持続時間の合計は、前記中間処理ステップの平均ガス滞留時間（ T_{gr} ）よりも短い、請求項１１に記載の方法。

【請求項１３】

前記処理パラメータは、少なくとも１つの入力ガスのガス流量、前記処理チャンバ内の圧力、排気ポンプ輸送速度、ウェーハ裏側ガス圧力、プラズマ源電力又は周波数、基板バイアス電力又は周波数、及びインピーダンス整合設定値のうちの任意のものを含む、請求項１～１２のいずれか１項に記載の方法。

40

【請求項１４】

前記処理チャンバの前記ガス滞留時間（ T_{gr} ）よりも短い持続時間を有する前記制御ステップのうちの前記少なくとも１つの間に実行される前記規定された組をなす一定の処理パラメータは、前の及び／又は次の制御ステップの処理パラメータに対して、前記処理チャンバ内の異なる圧力、正味の異なる排気ポンプ輸送速度、及び／又は異なる温度を含む、請求項１～１３のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１５】

前記パッシベーション層除去処理部分段階を構成する前記制御ステップのうちの少なくとも１つの間に、前記処理パラメータは、方向性イオンアシストエッチング用に構成される、請求項５～１４のいずれか１項に記載の方法。

50

【請求項 16】

前記基板エッチング処理部分段階を構成する前記制御ステップのうちの少なくとも1つの間に、前記処理パラメータは、実質的に等方性の化学エッチング用に構成される、請求項5～15のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 17】

前記パッシベーション層除去処理部分段階を構成する前記制御ステップのうちの少なくとも1つの間に、前記1つ又は2つ以上の装置は、交流バイアス電圧を前記基板に印加するように命令される、請求項5～16のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 18】

前記パッシベーション層除去処理部分段階は、制御ステップのコアシーケンスを含み、前記制御ステップのコアシーケンスにより、前記1つ又は2つ以上の装置に交互に命令して該装置が1つの制御ステップにおいてゼロ基板バイアス電力又は 300 W/m^2 未満の公称バイアス電力を実行し、次の制御ステップにおいてより高い基板バイアス電力を実行する、請求項5～17のいずれか1項に記載の方法。

10

【請求項 19】

前記1つ又は2つ以上の装置は、複数の装置を含み、前記一連の制御ステップは、1つ又は2つ以上の移行制御ステップを含み、

前記移行制御ステップの各々において、前記装置の1つ又は部分組は、対応の処理パラメータの変化を生じさせるよう命令され、前記移行制御ステップ又は各移行制御ステップのタイミングは、前記命令された装置の既知の応答時間に関連付けられる、請求項1～18のいずれか1項に記載の方法。

20

【請求項 20】

前記一連の制御ステップは、移行制御ステップのシーケンスを含み、

前記移行制御ステップのシーケンスに従って、前記複数の装置のうちの個々の装置又は部分組は、前記装置の既知の応答時間に従ってシーケンスをなして対応の処理パラメータの変化を生じさせるよう命令され、前記対応の処理パラメータに対する命令された前記変化は、実質的に互いに同期して実施される、請求項19記載の方法。

【請求項 21】

前記一連の制御ステップの各々は、該ステップに関する前記処理チャンバの対応の前記ガス滞留時間 (T_{gr}) よりも短い持続時間を有する、請求項1～20のいずれか1項に記載の方法。

30

【請求項 22】

前記一連の制御ステップの正味の効果は、前記基板からの材料のエッチング除去であり、

前記方法では、更に、前記エッチングが進展するにつれて前記基板をモニタし、前記エッチングが所定の終点に達した時点を検出し、そして終点信号を出力する、請求項1～21のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 23】

更に、前記終点信号に応答して前記一連の制御ステップを停止させる、請求項22記載の方法。

40

【請求項 24】

更に、前記終点信号に応答して第2の異なる一連の制御ステップを開始させる、請求項22記載の方法。

【請求項 25】

前記基板の前記モニタでは、前記エッチング深さをモニタし、前記所定の終点は、所定のエッチング深さである、請求項22～24のいずれか1項に記載の方法。

【請求項 26】

前記基板の前記モニタでは、エッチング除去されるべき物質の組成をモニタし、

前記基板は、エッチングされるべき層の下に位置し且つ該層とは異なる組成の停止層を有し、

50

前記終点検出信号は、組成の変化が検出されると出力される、請求項 22～25 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 27】

表面処理ツールによって実行されたときに前記表面処理ツールに請求項 1～26 のいずれか 1 項に記載の方法を実施させるコンピュータプログラム。

【請求項 28】

基板から物質をエッチング除去及び／又は前記基板上に物質を堆積する表面処理ツールであって、

使用の際、基板が収納される処理チャンバと、

前記処理チャンバ内の処理パラメータを調節する 1 つ又は 2 つ以上の装置と、

請求項 1～26 のいずれか 1 項に記載の方法に従って前記 1 つ又は 2 つ以上の装置を制御するように構成された制御器と、を有する、表面処理ツール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表面処理ツール内の基板上に物質を堆積させ及び／又はこの基板から物質をエッチング除去する方法及びこの方法を実施するための装置に関する。開示する技術を有利には、特徴部を基板、例えばシリコンウェーハ中にエッチング形成するためにプラズマ助長されても良く或いはそうでなくても良いデポジション（堆積又は被着）又はエッチング処理に利用でき、かかる処理は、「ボッシュ（Bosch）法」を含む。

【背景技術】

【0002】

多くの表面処理過程、例えば物質デポジション又はエッチングでは、一連の互いに異なる処理ステップを実施する。例えば、化学気相成長（CVD）処理は、2 種類以上の物質の層状構造体を形成するためにシーケンスをなした互いに異なる物質のデポジションを必要とする場合が多い。プラズマ促進化 CVD（PECVD）及び他のプラズマ助長表面処理方法では、当初、プラズマを当て、次にその後の処理の際に使用できるようプラズマを安定化するために一連のステップも又実施する場合がある。

【0003】

別の例は、例えば、独国特許出願公開第 4 2 4 1 0 4 5 号明細書及び米国特許第 5, 5 0 1, 8 9 3 号明細書に記載されている「ボッシュ法」及び欧州特許出願公開第 1 1 3 1 8 4 7 号明細書に記載された改造型バージョンである。これは、特徴部を基板、例えばシリコンウェーハ中にエッチングする方法である。マスクをウェーハの表面に当てて所望の特徴部の側方寸法を定める。次に、ウェーハに一連の交互に行われるパッシベーション（デポジション）及びエッチング処理を施し、これらステップを多回数にわたって繰り返す。パッシベーションステップでは、パッシベーション物質、例えばポリマーの層をエッチングされるべき領域及びマスクを含むウェーハの全ての表面に被着させる。エッチングステップでは、ウェーハに選択的エッチングを施し（方向性又は指向性をこの処理に課すことによって）、この選択的エッチングは、パッシベーション層を特徴部の基部から優先的に除去し、後には側壁が被覆状態で残される（特徴部の基部と同一の向き、例えば水平の向きを有するマスク又は他の表面上に堆積したパッシベーション物質も又除去される）。次に、エッチングを続けると、露出状態の基板材料が主として等方的にエッチングされる。特徴部の深さを増大するにつれて、この等方性エッチングは又、新たな側壁が不活性化されないで新たな側壁から基板材料を除去する。

【0004】

パッシベーションステップとエッチングステップを交互に実施することにより、側壁エッチング量を減少させることができる。と言うのは、新たな側壁が頻繁に不活性化されるからであり、それにより特徴部の側方成長が減少する。このように、エッチング特徴部の側方広がりとその深さ全体を通じて正確に制御することができる。しかしながら、側壁は、依然としてパターンをなす凹部（「スカロップ（scallop）」と通称されている）を示

10

20

30

40

50

し、かかるパターンをなす凹部は、側壁が真の意味で滑らかであるのを阻止し、かくして側壁の位置精度を減少させる。滑らかな側壁は、例えば物質を側壁上に堆積させ又はエッチングされた特徴部を埋めることができる次の処理において良好な結果を達成するためにも好ましい。一例として、導電性材料による貫通 - シリコンビア (v i a) の充填に先立って絶縁性のコンフォーマルデポジションによって電気接触経路を形成することができる。したがって、スカロップのサイズを最小限に抑えることが望ましい。

【0005】

交互の実施されるパッシベーション機構とエッチング機構は、基板を収容した処理チャンバ内の処理パラメータを一連のステップで制御することによって実施される。関連の処理パラメータとしては、チャンバに入力されるガスの種類 (即ち、前駆物質ガス及び／又はキャリアガス)、入力ガスの質量流量、チャンバ圧力、チャンバ温度、及び用いられる場合にはプラズマ条件が挙げられる。基板に向かってイオン流束 (即ち、方向性) を促進するためにDC又はACバイアス電圧も又基板に印加するのが良く、もしそうであれば、そのパラメータ (例えば、電力、周波数) は、関連する場合がある。チャンバ内に一度に確立された処理パラメータの組は、一緒になって、その時点で行われる処理ステップの性状を決定する。例えば、ボッシュ法のパッシベーションステップでは、入力ガスは、パッシベーションガス (例えば、 C_4F_8) であり、基板に向かうイオン流束は好ましくは殆どなく又は全くない (即ち、方向性又は指向性なし)。これとは対照的に、エッチングステップでは、入力ガスは、エッチングガス (例えば、 SF_6) であり、高い方向性が望ましい。典型的には、各ステップについて異なる好ましいチャンバ圧力も又存在する。

【0006】

処理パラメータは、処理チャンバ内の条件を制御する1組の (1つ又は2つ以上の) 装置によって調節される。かかる装置としては、例えば、1種類又は2種類以上のそれぞれの入力ガスを指定された流量でチャンバに導入する1つ又は2つ以上の質量流量制御器、1つ又は2つ以上のプラズマ源、例えばICP (誘導結合プラズマ) 又はCCP (容量結合プラズマ)、基板バイアス電圧源 (DC又はAC)、排気ポンプ、圧力制御弁及び1つ又は2つ以上の加熱器、及び／又は、基板及び／又は処理チャンバの温度を調節する冷却システムが挙げられる。典型的には、制御器、例えばPLC (プログラム可能論理制御回路) があらかじめプログラムされたルーチンに従ってネットワーク又はバスにより指令を装置に提供するために設けられる。

【0007】

ルーチンの各ステップでは、装置に命令して、これら装置が実施されるべき処理ステップについてチャンバ内の適当な処理パラメータを設定するようにする。各ステップについてチャンバ内の所望の条件を確立する上で固有の遅延が存在する。と言うのは、チャンバ内の雰囲気は、移行して装置のうちの1つによる調節を反映するのに有限の長さの時間を必要とするからである。かくして、各処理ステップの最小限の持続時間は、従来、装置の出力に対する変更後、チャンバ内に存在する1つのガス条件を別のガス条件に置き換えることができる速度によって制限される。したがって、典型的な処理ステップは、数秒以上の持続時間を有する。例えば、米国特許第5, 501, 893号明細書では、1分という持続時間を有するパッシベーションステップが開示され、次のエッチングステップは、6秒～1.5分の持続時間を有する。欧州特許出願公開第1131847号明細書は、5秒～12秒の持続時間のパッシベーション及びエッチングステップを開示している。かかる持続時間は、所望の処理パラメータでの (又はこれらの近くにおいて) 各処理ステップについて定常状態を達成するために必要である。同じ検討事項は、他のマルチステップデポジション及び／又はエッチング処理に当てはまる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】 独国特許出願公開第4241045号明細書

【特許文献2】 米国特許第5, 501, 893号明細書

10

20

30

40

50

【特許文献3】欧州特許出願公開第1 1 3 1 8 4 7号明細書

【発明の概要】

【0009】

本発明の第1の観点によれば、処理チャンバ、制御器及び処理チャンバ内の処理パラメータを調節する1つ又は2つ以上の装置を備えた表面処理ツール内の基板上に物質を堆積させると共に／或いは基板から物質をエッチング除去する方法であって、制御器が一連の制御ステップに従って1つ又は2つ以上の装置に命令し、各制御ステップは、1つ又は2つ以上の装置が実行するよう命令される規定された組をなす処理パラメータを指定し、制御ステップのうちの少なくとも1つでは、制御器がこの制御ステップの持続時間の間、少なくともチャンバ圧力及び処理チャンバを通るガス流量を含む規定された組をなす一定の処理パラメータを実行するよう1つ又は2つ以上の装置に命令し、持続時間は、該制御ステップに関する処理チャンバの対応のガス滞留時間 (T_{gr}) よりも短く、ガス滞留時間は、次式、即ち、

$$T_{gr} = \frac{pV}{Q}$$

で定められ、上式において、

pは、Pa単位で表される処理チャンバ圧力、

Vは、 m^3 単位で表される処理チャンバの容積、

Qは、 $Pa \cdot m^3 \cdot s^{-1}$ 単位で表される処理チャンバを通るガス流量であることを特徴とする方法が提供される。

【0010】

チャンバのガス滞留時間は、チャンバ内において1つのガスから別のガスに変化するのがどれほど迅速であるかの尺度であり、即ち、或る特定の圧力及び流量下において1組の条件を別の1組の条件に変えてどれほど迅速に用いることができるかの尺度である。本発明者は、驚くべきこととして、対応のガス滞留時間よりも短い持続時間を有する短い制御ステップがチャンバ内で行われる処理に対して影響を及ぼし、チャンバがこのステップの実施中、定常条件に達する上での時間が不十分であるにもかかわらず、非常に効果的であるという知見を得た。この種の短い制御ステップの利用により、以下に詳細に説明するように顕著な処理利点を達成することができる。

【0011】

本開示内容全体を通じて「基板」といった場合、これは、ベース又は支持基板、例えば非改質シリコン又はサファイアウェーハ並びに多層構造体を有する場合のある処理済み基板を含むことが注目されるべきである。それにより、基板からの物質のエッチング除去は、基板上のベース材料のエッチング除去か被着層のエッチング除去かのいずれか又はこれら両方を意味している。

【0012】

「命令」は、制御器によって装置への指令を出すことを意味し、それ故、各制御ステップにおいて定められた処理パラメータは、チャンバ内の実際の条件ではなく、装置が実行するよう命令される値を意味している。

【0013】

各処理ステップは、少なくとも1つの命令された処理パラメータが連続して行われるステップにおいて異なることによって次の処理ステップとは区別される。換言すると、各処理ステップの開始点及び終点は、少なくとも1つの命令された処理パラメータ、例えば、変化がチャンバ内に互いに異なるガス条件（例えば、ガスの種類、ガス流量、圧力又は排気ポンプ輸送速度）を生じさせるパラメータの変化によって特徴付けられる。

【0014】

好ましい具体化例では、制御ステップのうちの少なくとも1つに関する処理チャンバの対応のガス滞留時間は、0.1～5秒、好ましくは0.5～2秒、更に好ましくは約1秒である。有利には、制御ステップのうちの少なくとも1つは、1秒未満、好ましくは75

0 ミリ秒以下、より好ましくは500 ミリ秒以下、更に好ましくは100 ミリ秒以下、より好ましくは50 ミリ秒以下、最も好ましくは5～50 ミリ秒の持続時間を有する。実際には、一連の制御ステップは、代表的には、種々の持続時間のステップを含み、これら持続時間の幾つか又は全ては、対応のガス滞留時間よりも短いであろう。

【0015】

開示する技術をボッシュ型処理に有利に利用できる。例えば、有利な実施形態では、一連の制御ステップのうちの1つ又は2つ以上から成る第1の順次的部分組は、パッシベーション処理段階を構成し、このパッシベーション処理段階中、処理パラメータは、パッシベーション層を基板に被着させるために選択され、一連の制御ステップのうちの1つ又は2つ以上から成る第2の順次的部分組は、エッチング処理段階を構成し、このエッチング処理段階中、処理パラメータは、基板をエッチングするために選択され、制御ステップの第1及び第2の順次的部分組は、パッシベーション処理段階及びエッチング処理段階が交互に実施されるよう繰り返されるサイクルをなす。対応のガス滞留時間よりも短い持続時間を有するようステップのうちの1つ又は2つ以上を構成することによって、全体的サイクル時間を従来型ボッシュ法と比較して著しく短縮することができる。例示の実施形態では、例えば、サイクルの全持続時間は、10秒未満、好ましくは5秒以下、より好ましくは3秒以下、最も好ましくは2秒以下である。一定のエッチング速度の場合、これにより、側壁に形成される「スカロップ」のサイズが減少する。変形例として、短いサイクル時間を利用すると、スカロップサイズを損なうことなく迅速なエッチング速度を利用することができる。

10

20

【0016】

特定の好ましい実施形態では、エッチング処理段階を構成する制御ステップの第2の順次的部分組は、処理パラメータがパッシベーション層除去処理部分段階の際にパッシベーション層の部分除去（例えば、或る特定の表面だけ、例えばエッチングされるべき特徴部のベースからの除去）を行うために選択される第1の部分及び処理パラメータが基板エッチング処理部分段階の際に露出状態の基板のエッチングを行うために選択される第2の部分を含む。エッチング段階をこのように2つの別々の部分に分割すると、イオン衝撃の物理的エッチング機構を少なくとも特徴部のベースからのパッシベーション層の除去に十分な段階の初期部分に制限する一方でマスク材料を実質的に無傷状態のままにすることによって、マスク選択制が向上する（即ち、マスクがエッチングされるべき特徴部を定めるのではなく基板のエッチングが促進される）。このステップの第2の部分中、イオン衝撃は、停止され又は減少し、その結果、エッチングは、主として化学的な機構を介して進み、その結果、エッチングされるべき露出材料だけが除去されるようになる。

30

【0017】

また、開示した種類の短い処理ステップの利用により、ボッシュ法の効率の向上が可能である。と言うのは、基板材料のエッチングが行われるサイクルの割合を増大させることができるからであり、この場合、望ましくないほど長いサイクル時間を必要としない。有利には、サイクルの全持続時間の少なくとも50%、好ましくは少なくとも60%、より好ましくは少なくとも70%、更により好ましくは80%～99%、最も好ましくは80%～90%が基板エッチング処理部分段階に対応している。

40

【0018】

好ましい実施形態では、パッシベーション処理段階は、50～1000 ミリ秒、好ましくは50～500 ミリ秒、より好ましくは50～250 ミリ秒、更により好ましくは100～200 ミリ秒の持続時間を有する。パッシベーション層除去処理部分段階は、50～1000 ミリ秒、好ましくは50～500 ミリ秒、より好ましくは50～250 ミリ秒、更により好ましくは100～200 ミリ秒の持続時間を有する。上述の理由で、基板エッチング処理部分段階は、好ましくは長時間であり、100 ミリ秒～2秒、好ましくは500 ミリ秒～1.5秒、より好ましくは750 ミリ秒～1.25秒の持続時間を有する。

【0019】

実際の表面処理ツールでは、著しく互いに異なる処理条件が処理の隣り合うステップに

50

ついて望ましい場合、これにより、プラズマ不安定性を含む問題が生じる場合があり、それによりプラズマが潜在的に消えることになる。特に好ましい実施形態では、これは、処理段階及び部分段階のうちの少なくとも一方がコア処理ステップ及びコア処理ステップの前及び／又は後の1つ又は2つ以上の中間制御ステップを含み、その又は各中間制御ステップでは1つ又は2つ以上の装置に命令してかかる装置が規定された組をなす一定の処理パラメータを実行するようにし、処理パラメータのうちの少なくとも1つは、コア処理ステップ及び前の又は次の処理段階又は部分段階中の同一の処理パラメータの値相互間に存在する値を有するようにすることによって、解決される。互いに異なる処理条件を必要とする処理ステップ相互間のこの種の中間制御ステップを互いに異なる処理条件を必要とする処理ステップ相互間に挿入することによって、切り換えをこれが有限期間にわたって起こるよう制御することができ、それにより安定したプラズマの維持が支援される。中間制御ステップのうちの少なくとも1つ、好ましくは幾つか又は全ては、有利には、持続時間の点で、対応のガス滞留時間よりも短く、それによりサイクル時間の増加又はサイクルの効率に著しい低下が回避される。この命令された条件は、制御ステップの持続時間にわたって一定であり、それにより、制御器は、装置の各々に対する中央管理を保持することができる（局所の装置に命令してステップの持続時間にわたってこれらの出力を変化させることにより制御にかかる局所の装置にゆだねるのとは異なり）。

10

【0020】

この技術をボッシュ型処理において処理段階（又は部分段階）相互間の移行の任意のもの又は全てに利用することができる。かくして、好ましい実施形態では、パッシベーション処理段階を構成する制御ステップの第1の順次的部分組は、コアパッシベーションステップ及びコアパッシベーションステップの前及び／又は後の1つ又は2つ以上の中間制御ステップを含み、その又は各中間制御ステップでは、1つ又は2つ以上の装置に命令してかかる装置が規定された組をなす一定の処理パラメータを実行するようにし、処理パラメータのうちの少なくとも1つは、コアパッシベーションステップ及びエッチング処理段階中の同一の処理パラメータの値相互間に存在する値を有する。

20

【0021】

別の好ましい実施形態では、エッチング処理段階を構成する制御ステップの第2の順次的部分組は、コアエッチングステップ及びコアエッチングステップの前及び／又は後の1つ又は2つ以上の中間制御ステップを含み、その又は各中間制御ステップでは、1つ又は2つ以上の装置に命令してかかる装置が規定された組をなす一定の処理パラメータを実行するようにし、処理パラメータのうちの少なくとも1つは、コアエッチングステップ及びパッシベーション処理段階中の同一の処理パラメータの値相互間に存在する値を有する。

30

【0022】

上述の種類の改造型ボッシュ法を実施する場合、パッシベーション層除去処理部分段階を構成する制御ステップの第2の順次的部分組の第1の部分は、コアパッシベーション層除去ステップ及びコアパッシベーション層除去ステップの前及び／又は後の1つ又は2つ以上の中間制御ステップを含み、複数の又は各中間制御ステップでは、1つ又は2つ以上の装置に命令してかかる装置が規定された組をなす一定の処理パラメータを実行するようにし、処理パラメータのうちの少なくとも1つは、コアパッシベーション層除去ステップ及びパッシベーション処理段階又は基板エッチング処理部分段階中の同一の処理パラメータの値の相互間に存在する値を有する。有利には、パッシベーション層除去処理部分段階を構成する制御ステップの少なくとも1つの間、好ましくはコアパッシベーション層除去ステップ中、処理パラメータは、方向性のあるイオンアシストエッチング用に構成される。

40

【0023】

同様に、基板エッチング処理部分段階を構成する制御ステップの第2の順次的部分組の第2の部分は、コア基板エッチングステップ及びコア基板エッチングステップの前及び後の1つ又は2つ以上の中間制御ステップを含み、複数の又は各中間制御ステップでは、1つ又は2つ以上の装置に命令してかかる装置が規定された組をなす一定の処理パラメータ

50

を実行するようにし、処理パラメータのうちの少なくとも1つは、コア基板エッチングステップ及びパッシベーション層除去処理部分段階又はパッシベーション処理段階中の同一の処理パラメータの値相互間に存在する値を有する。有利には、基板エッチング処理部分段階を構成する制御ステップのうちの少なくとも1つ、好ましくは、コア基板エッチングステップ中、処理パラメータは、実質的に等方性の化学エッチング用に構成される。

【0024】

各ステップについて定められる処理パラメータとしては、任意又は他の全てのパラメータ、例えばガス流量、温度、バイアス条件等が挙げられる。1つの処理段階から次の処理段階へのガスの種類の変化がある場合、有利には、少なくとも1つの中間制御ステップにおいて、1つ又は2つ以上の装置は、第1の種と第2の種の混合物を含むガスをチャンバ内に入力するよう命令される。かくして、特に好ましい実施例では、その又は各中間制御ステップでは、1つ又は2つ以上の装置に命令してかかる装置が第1の種と第2の種の混合物を含むガスを処理チャンバ中に入力するようにし、コア処理ステップでは、1つ又は2つ以上の装置に命令してかかる装置が主として第1の種から成るガスを処理チャンバ中に入力するようにし、前の又は次の処理段階又は部分段階では、1つ又は2つ以上の装置に命令してかかる装置が主として第2の種から成るガスを処理チャンバ中に入力するようにする。例えば、少なくとも1つの中間制御ステップにおける第1及び第2の種の混合物は、部分圧力で1:10~10:1、好ましくは1:3~3:1、より好ましくは1:2~2:1、最も好ましくは約1:1の第1の種と第2の種の比を有する。ガス種類にかかる漸次変化は、特に、プラズマが消えるのを阻止するのを助け、もしそうでなければ、異なるガスの突然の流入時にプラズマが消える場合がある。特に好ましい実施形態では、複数の連続して実施される中間制御ステップでは、1つ又は2つ以上の装置は、第1の種と第2の種のそれぞれの混合物を含むガスをチャンバ内に入力するよう命令され、この場合、各連続混合物中の第1の種と第2の種の比は、変化し、第1のガス種から第2のガス種への漸次移行が行われる。

【0025】

処理相互間の単一の中間制御ステップは、有利な作用効果を有すると言える。しかしながら、実際には、一連の制御ステップは、サイクル中の少なくとも1つの対をなす隣り合うコア処理ステップ相互間に複数の中間制御ステップを含み、中間制御ステップの各々によって実行される規定された組をなす処理パラメータは、対をなす隣り合うコア処理ステップ相互間の処理パラメータの漸次的変化を生じさせるよう1つの中間制御ステップから次の中間制御ステップまで変化することが好ましい。

【0026】

特に好ましい実施形態では、1つ又は2つ以上の装置が規定された組をなす一定の中間処理パラメータを実行するよう命令される各中間処理ステップの持続時間は、かかる制御ステップに関する処理チャンバの対応のガス滞留時間 (T_{gr}) よりも短い。有利には、サイクル中の隣り合うコア処理ステップ相互間の各中間処理ステップの持続時間の合計は、中間処理ステップの平均ガス滞留時間 (T_{gr}) よりも短い。

【0027】

各制御ステップについて定められる処理パラメータは、少なくとも1つの入力ガスのガス流量、処理チャンバ内の圧力、排気ポンプ輸送速度、ウェーハ裏側ガス圧力、プラズマ源電力又は周波数、基板バイアス電力又は周波数、及びインピーダンス整合設定値（例えば、キャパシタ若しくはインダクタの値又は対応の可変コンポーネントの設定位置）のうちの任意のものを含むのが良い。

【0028】

特に好ましい実施形態では、処理チャンバのガス滞留時間 (T_{gr}) よりも短い持続時間を有する制御ステップのうちの少なくとも1つの間に実行される規定された組をなす一定の処理パラメータは、前の及び／又は次の制御ステップのガス条件に対して処理チャンバ内で異なるガス条件（例えば、ガス流量、圧力、排気ポンプ輸送速度）を生じさせるよう選択された処理パラメータを含む。当然のことながら、上述したように、ステップの持続

時間は、ガス応答時間よりも短いので、これら命令された値にはサンプルステップ中、実際のチャンバ条件の面で、到達しそうもない。他の変化、例えばバイアス電力又はプラズマ電力に対する調節は、比較的迅速に応動し、したがって、これら調節された値に達することができる。

【0029】

一般的に言えば、高い全体的エッチング速度を達成するためには、

- ・パッシベーション段階を比較的低いチャンバ圧力（例えば、パッシベーション除去部分段階のチャンバ圧力と同等又はこれよりも低く、しかも基板エッチング部分段階のチャンバ圧力よりも低い）で、通常、基板に対するイオン流束が殆どない状態で又はゼロの状態（即ち、低いプラズマ電力及び低い又はゼロの方向性）で作動させ、

- ・パッシベーション除去部分段階をこの場合も又、低い圧力で、しかしながら基板に対するイオン流束が高い状態（即ち、高い基板バイアス）で、作動させ、

- ・多量の反応性種（例えば弗素ラジカル）を生じさせるために比較的高いチャンバ圧力で、しかもマスク選択制を促進するために基板に対するイオン流束が殆どない状態で又はゼロの状態に基板エッチング部分段階を作動させることが望ましい。

【0030】

かくして、例示の具体化例では、パッシベーション処理段階を構成する制御ステップのうちの少なくとも1つ、好ましくはコアパッシベーションステップ中、処理パラメータは、

- ・主としてパッシベーション前駆物質ガスである入力ガス、
- ・3～12 Pa、好ましくは約7 Paのチャンバ圧力、
- ・1～2.5 kW、より好ましくは1.5～2 kWのプラズマ源電力、及び
- ・実質的にゼロの基板バイアス電力又は1500 W/m²未満、好ましくは150 W/m²以下のバイアス電力密度を含む。

【0031】

本明細書で用いられる「パッシベーション前駆物質ガス」という用語は、実行される処理パラメータで基板を不活性化するガスを意味している。ガスの中には、例えば、C₄F₈のように、処理条件に応じてエッチングかパッシベーションかのいずれかを可能にするものがある。同様に、「エッチング前駆物質ガス」という用語は、次に示すように、所与の特定の処理パラメータで除去されるべき材料（即ち、パッシベーション及び／又は基板）をエッチングするガスを意味している。かくして、「パッシベーション前駆物質ガス」（又は単に「パッシベーションガス」という）及び「エッチング前駆物質ガス」（又は単に「エッチングガス」という）は、同一種であるのが良い。変形例として、異なるエッチングガス、例えばSF₆又はNF₃を利用しても良い。また、2つのエッチングステージの各々の間に互いに異なるエッチングガスを用いることができる。

【0032】

パッシベーション除去部分段階の制御ステップでは、方向性イオンアシストエッチング用に構成された処理パラメータは、

- ・主としてエッチング除去前駆物質ガスである入力ガス、
- ・1～10 Pa、好ましくは約3 Paのチャンバ圧力、
- ・1.5～3 kW、好ましくは2～2.5 kWのプラズマ源電力、及び
- ・パッシベーション処理段階又は基板エッチング処理部分段階中に実行される基板バイアス電力密度よりも高い好ましくは1500～8000 W/m²、より好ましくは3000～6000 W/m²の基板バイアス電力密度を含む。

【0033】

基板エッチング部分段階の制御ステップでは、実質的に等方性の化学エッチング用に構成された処理パラメータは、

- ・主としてパッシベーション前駆物質ガスである入力ガス、
- ・7～30 Pa、好ましくは約10 Paのチャンバ圧力、
- ・3～10 kW、より好ましくは3～8 kWのプラズマ源電力、及び

・実質的にゼロの基板バイアス電力又は 300 W/m^2 未満、好ましくは 30 W/m^2 以下の公称バイアス電力密度を含む。

【0034】

基板に印加されるバイアスは、DC電力源からのものであっても良い。しかしながら、好ましい実施例では、パッシベーション層除去処理部分段階を構成する制御ステップのうちの少なくとも1つ、好ましくはコアパッシベーション層除去ステップ中、1つ又は2つ以上の装置は、交流バイアス電圧を基板に印加するよう命令され、バイアス電圧の周波数は、好ましくは、少なくとも 50 kHz である。以下に説明するように、バイアス周波数（好ましくは、低い又は中程度のバイアス周波数）を印加することは、側壁ノッチ形成を減少させる面で利点を有し、もしそうでなければ、かかる側壁ノッチ形成が基板内の半導体材料（又は導電性材料）と絶縁材料との間のインターフェースのところで起こる場合がある。

10

【0035】

特に好ましい具体化例では、パッシベーション層除去処理部分段階は、制御ステップのコアシーケンスを含み、制御ステップのコアシーケンスにより、1つ又は2つ以上の装置に交互に命令して該装置が一制御ステップにおいてゼロ基板バイアス電力又は 300 W/m^2 未満、好ましくは 30 W/m^2 以下の公称バイアス電力を実行し、次の制御ステップにおいてこれよりも高い基板バイアス電力、好ましくは $1500\sim8000\text{ W/m}^2$ 、より好ましくは $3000\sim6000\text{ W/m}^2$ の基板バイアス電力を実行する。かかる方式の利点について以下に説明する。

20

【0036】

注目されるべきこととして、パッシベーション層除去部分段階のステップ以外の処理のステップ中にバイアスを基板に印加するのが良く、かかる場合、この場合も又、以下に更に説明するように、低い又は中程度のバイアス周波数が好ましい場合がある。例えば、エッチングされるべき特徴部のベース表面上に堆積したパッシベーション材料の量を減少させるためにパッシベーションデポジション段階中にバイアスを基板に印加するのが有利な場合がある。

【0037】

実際の表面処理ツールで遭遇する場合のある別の問題は、種々の装置の互いに異なる応答時間が処理チャンバ内の条件を制御するという点にある。代表的には、機械的装置（例えば弁）は、可動部品を備えていない装置（例えば電力供給源）よりも指令を実行するのに長い時間を要する。かくして、幾つかの作業、例えば、電力供給源の出力レベルを変化させることは、ほんの数十ミリ秒で起こる場合があり、小型の弁は、指令を実行するのに数百ミリ秒を要する場合がある。その結果、所望の組をなす出力は、制御ステップの大部分が経過するまでは完全には実行されない場合があり、その結果、命令ステップの有効持続時間が偶発的に短くなる。これは、制御ステップが本発明の第1の観点に関して上述したように本来的に短い持続時間のものである場合に特にそうである。これに取り組むため、特に好ましい実施形態では、1つ又は2つ以上の装置が複数の装置を含む場合、一連の制御ステップは、1つ又は2つ以上の移行制御ステップを含み、移行制御ステップの各々において、装置の1つ又は部分組は、対応の処理パラメータの変化を生じさせるよう命令され、移行制御ステップのタイミングは、命令された装置の既知の応答時間に関連付けられる。このように、個々の装置（又は装置の群）は、互いに異なる時点で命令され、その結果、これらの出力を互いに同期させることができる。例えば、応動するのが遅い装置に命令してこの装置がその出力を第1の移行制御ステップで変更し、次に、第2の移行制御モードでは、応動するのが早い装置に指令を送るようにする。これにより、所望の一連の制御ステップが可能な限りほぼ同期した状態で実行されるようになる。

30

40

【0038】

問題の装置に応じて、単一の移行制御ステップで十分な場合がある。しかしながら、好ましくは、一連の制御ステップは、移行制御ステップのシーケンスを含み、このシーケンスに従って、複数の装置の個々の装置又は部分組に命令してこれらが装置の既知の応答時

50

間に応じてシーケンスをなして対応の処理パラメータの変化を生じさせ、それにより、対応の処理パラメータに対する命令された変更が実質的に互いに同期して、好ましくは実質的に同時に行われる。

【0039】

移行制御ステップは、有利には、チャンバの対応のガス応答時間よりも短い、これは、本質的なことではない。

【0040】

上述したように、短い制御ステップが有利であり、好ましい実施例では、一連の制御ステップの各々は、かかるステップに関する処理チャンバの対応のガス滞留時間 (T_{gr}) よりも短い持続時間を有する。

10

【0041】

任意形式の基板を開示した方法で用いることができるが、有利には、基板は、好ましくはウェーハ上に被着され又はウェーハを形成する半導体層を有する。特徴部が基板中にエッチングされる場合、好ましくは、半導体層上にはマスク層（例えば、フォトレジスト）が支持され、それにより半導体層中にエッチングされるべき特徴部が定められる。

【0042】

好ましい実施形態では、本方法は、特徴部が所望の深さ又は規定された終点に達するとエッチングを停止させるステップを更に含むのが良い。有利には、本方法は、エッチングが進展するにつれて基板をモニタし、エッチングが所定の終点に達した時点を検出し、そして終点信号を出力するステップを更に含む。終点信号に応答して種々の措置を取ることができる。好ましい一具体化例では、本方法は、終点信号に応答して一連の制御ステップを停止させて（例えば、処理を全体的に停止させて）、エッチングがそれ以上行われなようにするステップを更に含む。幾つかの場合、「オーバーエッチング」を可能にするために終点信号を出力した後、あらかじめ設定された遅延期間が経過した後に、処理を停止させるのが良い。

20

【0043】

他の好ましい具体化例では、終点信号の出力は、適用された処理の変化をトリガする。かくして、本方法は、好ましくは所定の遅延後に終点信号に応答して第2の異なる一連の制御ステップを開始させるステップを更に含むのが良い。例えば、第2の一連の制御ステップは、遅いエッチング速度を達成し、過剰エッチング中に引き起こされる場合のある損傷（例えば、以下に説明するノッチ形成）を最小限に抑え、或いは、所望の深さにまだ達していない場合のあるウェーハの領域に対してエッチングを集中させるようパラメータを調節するよう調節される処理パラメータを有するのが良い。第2の一連の制御ステップを固定された持続時間にわたって実施し、次に、処理を完了させるために停止させるのが良い。

30

【0044】

終点を検出するために基板をモニタすることは、種々の仕方で実施できる。好ましい一実施形態では、このモニタでは、好ましくは光学干渉計を用いてエッチング深さ（即ち、エッチングされた特徴部が到達した深さ）をモニタし、所定の終点は、所定のエッチング深さである。別の有利な実施形態では、基板のモニタでは、エッチング除去されるべき物質の組成をモニタし、基板は、エッチングされるべき層の下に位置し且つかかる層とは異なる組成の停止層を有し、終点検出信号は、組成の変化が検出されると出力される。かくして、制御器に所望の深さ値を与えるのではなく、基板それ自体が、エッチングが停止されるべき位置を示す停止層を有する。エッチングされている物質の組成は、関連の原子遷移を示すプラズマチャンバ内で放出された光の或る特定の波長を視認するために分光計又はフィルタを用いることによって検出できる。

40

【0045】

或る特定の用途では、基板は、有利には、半導体層の上に位置し又は下に位置する絶縁層を更に有し又は備えるのが良い。絶縁層は、基板の一体部分であっても良く、そうでなくても良い。例えば、上述したように、絶縁層、例えば酸化シリコンを用いて或る特定の

50

深さを超えてエッチングが進むのを停止させるのが良い。絶縁層は又は、半導体デバイスを互いに隔離し又は電氣的に絶縁されたアイランド特徴部を形成するよう使用できる。しかしながら、上述したように、基板中への絶縁材料の存在により、半導体（又は導体）層と絶縁層との間のインターフェースのところに側壁の「ノッチ」の形成が生じる場合がある。これは、絶縁層がイオン衝撃中に荷電状態になった結果であり、それにより、イオン衝撃は、引き続いて生じるイオンを側壁に向かって反発させる場合があり、それにより望ましくない側方エッチングが生じる。

【0046】

上述した欧州特許出願公開第1131847号明細書は、側壁ノッチ形成を減少させる技術を開示しており、この技術では、方向性イオン衝撃を誘導させるためにイオンに印加されるバイアスが低周波数交番バイアスか、局部電力源に命令してこれがパルス発生器によって変調された信号を出力することによって、パルス変調が適用される交番（低周波数又は高周波数交番）バイアスかのいずれかである。米国特許第6,926,844号明細書は、高周波数・パルス化高周波数電力が基板に印加され、そしてかかる電力に低周波数変調を与える別のシステムを記載している。バンナー等（Banna et al.）, 「インダクティブリー・カップルド・パルスド・プラズマ（Inductively Coupled Pulsed Plasmas）」, 第9号第37欄, インスティテュート・オブ・エレクトロニカル・アンド・エレクトロニクス・エンジニアーズ・トランザクションズ・オン・プラズマ・サイエンス（IEEE Transactions on Plasma Science）, 2009年9月は、同一のパルス化信号発生器を用いて両方の成分について電力供給源を調節することによって基板バイアスとプラズマ電力の両方を同期状態でパルス化することを開示している。かかる技術は、バイアスが、低く又はオフ状態であり、それにより電荷のうちの何割かを中和させた状態の間、プラズマからの電子が絶縁層まで下方に拡散することができるようにすることによって絶縁層上の電荷の減少を達成する。その結果、引き続いて生じるイオンに加わる反発力も又減少し、それにより偏向が小さくなり、それ故にノッチ形成が減少する。

【0047】

本発明の別の観点では、表面処理ツール内の基板から物質をエッチング除去する方法であって、基板は、上に位置し又は下に位置する絶縁層を備えた半導体層又は導電層を有し、表面処理ツールは、処理チャンバと、制御器と、処理チャンバ内の処理パラメータを調節する1つ又は2つ以上の装置とを有し、かかる装置は、バイアス電圧を基板に印加するバイアス電力源を含み、この方法では、

制御器が1つ又は2つ以上の装置に交互に命令してかかる装置がエッチング及びパッシベーション処理段階のサイクルを次々に実行するようにし、

交互の処理段階のうちの少なくとも1つの少なくとも一部の間、電力源をステップのシーケンスで制御し、ステップのシーケンスでは、制御器が電力源に交互に命令してかかる電力源が第1のステップの持続時間の間、比較的小さな又はゼロの振幅をもつバイアス電圧を出力し、次に、第2のステップの持続時間の間、比較的大きな振幅をもつバイアス電力を出力するようにし、

半導体層又は導電層と絶縁層との間のインターフェースのところでの側壁ノッチの形成を減少させることを特徴とする方法が提供される。

【0048】

バイアス電力源は、静的（DC）であっても良く交番（RF）であっても良く、かかるバイアス電力源は、電圧供給源であっても良く電流供給源であっても良い。バイアスの制御をバイアス源それ自体又はパルス化信号発生器にゆだねるのではなく出力が「オン」（高）か「オフ」（ゼロ又は公称、即ち、ゼロに近い）かのいずれかである一連のステップ中においてバイアス源に命令することによって、本発明の第2の観点により、バイアスの詳細な制御をツールの全体的制御に組み込み、そして制御器により実施することができる。かくして、交互のバイアスステップのシーケンスを制御器によって自由に設定して最適な全体的処理結果を達成することができる。例えば、幾つかの場合、バイアスステップを少なくとも1つの他の処理パラメータの変化と同期させ、したがって、好ましい実施形態

では、同期させることが望ましく、したがって、好ましい実施形態では、1つ又は2つ以上の装置のうちの他の装置に追加的に命令し、それによりかかる器具が、第1のステップと第2のステップとの間で対応の処理パラメータの変化を生じさせる。換言すると、制御器は、バイアスの変化と同時に少なくとも1つの他の処理パラメータの変化を命令する。例えば、プラズマ電力も又、バイアスが「オフ」であるステップ中に減少させることができる。

【0049】

また、制御器による基板バイアスの直接的制御により、より複雑な一連のバイアスレベルを適用することが可能である。例えば、パルス化信号発生器を利用する従来型システムでは、加えられたバイアスは、高レベルと低レベル（ゼロである場合がある）とで単に交番する。本発明の好ましい実施形態では、制御器は、電力源に命令して該電力源がエッチング及びパッシベーション処理段階の一サイクルの間、少なくとも3つの互いに異なる振幅（これらのうちの1つは、ゼロであるのが良い）でバイアス電圧を基板に出力するようにする。

【0050】

かくして、幾つかの実施形態では、バイアス出力の振幅をステップのうちの1つ又は2つ以上で（即ち、処理の段階のうちの1つの中で）変更することが望ましい場合がある。例えば、各第2ステップで命令される比較的高い基板バイアス電力の振幅を有利にはステップのシーケンスに沿って変化させるのが良く、好ましくは、シーケンスの終わりに向かって増大させる。これは、マスクの選択制を向上させ又は維持するのを助ける。と言うのは、バイアスを方向性イオン衝撃の開始時に低く保つことができるからであり、それにより、イオンのエネルギーが最小限に抑えられ、かくしてマスクが保護される。エッチングが進むと共に絶縁層上の電荷が増大すると、バイアスが增大し、それにより方向性イオンのエネルギーが増大し、それにより方向性イオンの軌道に対する電荷の影響が減少し、それ故ノッチ形成が減少する。

【0051】

他の実施形態では、印加されたバイアスを1つの処理段階（エッチング又はパッシベーション）中に2つのレベル相互間で交番させるのが良く、少なくとも第3の異なるバイアスレベルを他の処理段階中に印加するのが良い。

【0052】

特に好ましい実施形態では、少なくとも2つの互いに異なるゼロではないバイアス電力振幅がゼロ又はほぼゼロの電力レベルに加えてサイクル中に命令される。

【0053】

別の好ましい実施形態では、シーケンスの各第2ステップの際に命令された比較的高い基板バイアス電力の振幅は、シーケンスの1つの発生から次の発生まで変化し、即ち、サイクル相互間で変化する。それ故、各第2ステップの振幅は、任意1つの処理段階と一致する場合があるが、バイアスが印加される次の処理段階ではこれを増減させる。例えば、ステップのシーケンスが各交番エッチング段階中に起こる場合、振幅を有利には第1のサイクル中に印加された振幅に対して第2サイクルで増大させるのが良い。バイアス振幅を全体的処理の少なくとも一部分の間にこのようにサイクルごとに増大させることは、マスク選択制の向上を助ける一方で、上記において与えられたのと同じ理由で、ノッチ形成を減少させる。と言うのは、代表的には、介在する処理ステップとは無関係に、先のサイクルからの幾分かの電荷が残ったままであるからである。各第2ステップで印加されるバイアスの振幅も又、各サイクル内で変化する（例えば、増大する）場合があり、したがって、例えば各サイクル中、サイクルごとに増大が生じる。サイクル相互間の振幅の変化を具体化する場合、これは、シーケンスの発生ごと相互間で起こる必要はない。例えば、シーケンスは、振幅の変化を命令する前に1つの振幅で数回繰り返しても良い。

【0054】

上記において言及したように、幾つかの場合、電力源を交互の段階のうちの少なくとも1つの少なくとも一部の間、ステップシーケンスで制御することが好ましい。しかしなが

10

20

30

40

50

ら、処理の他の段階中、シーケンスを実行することによって利点も又達成できる。例えば、上述したように、パッシベーション段階中、ステップのシーケンスに従って上述した仕方バイアス源を制御することが有利な場合がある。これにより、エッチングされるべき特徴部のベース上に首尾良く堆積されるパッシベーション材料の量が減少する一方で、バイアスにより課される方向性に起因した側壁上の堆積に対する影響が僅かになる。かくして、全体として、処理のエッチング効率を増大させることができる。と言うのは、パッシベーション除去段階の持続時間を短縮することができ、基板エッチングを早く始めることができるからである。「オン／オフ」バイアスステップの上述のシーケンスは、上述したのと同じ理由でパッシベーション段階中、有益である。と言うのは、実際には、パッシベーション材料は、上に位置する層を基板上に形成する電気絶縁体（例えば、PTFE状）材料である場合が多く、それ故、上に位置する絶縁層まで下にエッチングする際に受ける充填に関する問題と同様な充填に関する問題に遭遇する可能性があるからである。これは、基板が別の絶縁層を有しているにせよそうでないにせよいずれにせよ、具体化される場合がある。

10

【0055】

RFバイアスが用いられる場合、好ましくは、バイアス電力は、シーケンスの各ステップ中、少なくとも100回の振動をもたらす周波数の交番電力（電圧又は電流）であり、周波数は、有利には、50kHz～27MHz、より好ましくは300kHz～13.56MHzである。

【0056】

20

有利には、ステップの少なくとも1つ（好ましくは各々）は、この制御ステップに関する処理チャンバの対応のガス滞留時間（ T_{gr} ）よりも短い持続時間を有する。代表的には、このステップに関する処理チャンバの対応のガス滞留時間は、0.1～5秒、好ましくは0.5～2秒、より好ましくは約1秒である。

【0057】

シーケンスの第1のステップでは、バイアス電力源は、ゼロの基板バイアス電力又は1500W/m²未満、好ましくは150W/m²以下の公称バイアス電力を実行するよう命令される。第2のステップでは、比較的高い基板バイアス電力は、1500～8000W/m²、好ましくは3000～6000W/m²である。

【0058】

30

特に好ましい実施形態では、シーケンス中のステップの各々は、5～100ミリ秒の持続時間を有し、シーケンスの全持続時間は、50～4000ミリ秒、好ましくは50～500ミリ秒、より好ましくは100～200ミリ秒である。一般に、バイアス電力は、これを高いバイアスが（少なくとも処理のパッシベーション除去段階中）印加される短い期間相互間でバイアス電力がゼロ（又は低い値）まで減少する比較的最長い期間を有する。かくして、好ましい実施例では、低いバイアスステップの持続時間は、好ましくは、高いバイアスステップの持続時間よりも長い。

【0059】

本方法は、本発明の第1の観点と関連して上述したように、エッチング深さが所定の終点点に達したことを検出し、次に、処理パラメータの処理又は調節を中断し、互いに異なる交互のエッチング及びパッシベーションステップの新たなサイクルが実施されるようにするステップを更に含むのが良い。

40

【0060】

本発明は又、上述の方法のうちの任意の方法を実施するよう表面処理ツールを制御する指令を収容するコンピュータプログラム製品を提供する。

【0061】

また、基板から物質をエッチング除去すると共に／或いは基板上に物質を堆積させる表面処理ツールであって、使用の際、基板が収納される処理チャンバと、処理チャンバ内の処理パラメータを調節する1つ又は2つ以上の装置と、上述の方法に従って1つ又は2つ以上の装置を制御するようになった制御器とを有することを特徴とする表面処理ツールが

50

提供される。好ましくは、1つ又は2つ以上の装置は、1つ又は2つ以上の質量流量制御器、1つ又は2つ以上のプラズマ源電力供給源、基板バイアス電力源、圧力制御弁及び排気ポンプシステムのうちの任意のものを含む。

【0062】

次に、添付の図面を参照して、エッチング及び／又はデポジション方法及びかかる方法を実施するための装置の実施例について説明する。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】本明細書において開示する技術を実施するようになった例示の表面処理ツールを概略的に示す図である。

【図2】図1に示された表面処理ツールの種々の機能的コンポーネント相互間のデータ結合方式を示す概略ネットワーク図である。

【図3】(i)は、発明の第1の実施形態としての方法で実施される制御ステップの列を示す図、(a)、(b)及び(c)は、それぞれ、3つの選択された処理パラメータのプロット図であり、各制御段階中の各々の例示の値を示す図である。

【図4】(a)～(g)は、第1の実施形態の選択されたステップ中の例示の基板を示す図、(h)は、この実施形態に従ってエッチングにより形成された特徴部の拡大詳細図である。

【図5】本発明の第2の実施形態としての方法で実施される制御ステップの列を示す図である。

【図6】(i)は、本発明の第3の実施形態としての方法で実施される制御ステップの列を示す図、(a)、(b)及び(c)は、それぞれ、各ステップ中の3つの選択された処理パラメータの値を示すプロット図、(d)は、図6(c)の拡大詳細図である。

【図7】(i)は、本発明の第4の実施形態に従って実施される制御ステップの列を示す図、(a)、(b)及び(c)は、それぞれ、各制御ステップ中の3つの選択された処理パラメータの値を示すプロット図である。

【図8】(a)は、本発明の第5の実施形態における基板を概略的に示す図、(b)は、「ノッチ形成」の減少を示す図8(a)の拡大詳細図である。

【図9】別の実施形態に従って実施される一連の制御ステップの基板バイアス電圧源の命令された出力電力を示すプロット図である。

【図10】(a)及び(b)は、実施形態のうちの任意のもので使用できる終点検出装置の2つの実施例を示す図である。

【図11】実施形態のうちの任意のものにおいて終点が検出されたときに処理を制御するオプションを示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0064】

以下の説明は、上述のボッシュ法の仕方で交互に行うエッチングステップとパッシベーションステップを用いて特徴部を基板中にエッチングする方法の実施例に焦点を当てる。しかしながら、上述したように、本明細書において開示する技術は、任意の1つの特定の処理での使用には限定されず、これとは異なり、有利には、多数のステップを必要とする任意のデポジション及び／又はエッチング手順に利用できる。「エッチング処理」は、命令される処理パラメータの正味の作用効果が基板からの物質の除去であり（この材料は、基板それ自体の一部であるにせよ基板に被着された層であるにせよ）、同様に、「エッチングステップ」は、命令された処理パラメータの正味の作用効果が物質の除去であるステップである。これとは対称的に、「デポジション（堆積）処理」は、命令された処理パラメータの結果として、基板への物質の正味の追加である処理であり、「デポジションステップ」は、命令された処理パラメータにより物質の正味の追加が行われるステップである。パッシベーション処理ステップは、以下の説明の目的上、デポジション処理ステップの一例であるが、実際には、パッシベーション層の形成は、前駆物質ガスと基板、例えば、極低温シリコンエッチング処理におけるシリコンオキシフルオライド壁パッシ

10

20

30

40

50

バージョンとの間の反応を含む場合がある。

【0065】

「エッチングガス」及び「パッシベーションガス」という用語は、それぞれ、問題の特定の処理パラメータでのエッチング及び不活性化を可能にするガスを意味するために用いられている。例えば、例えば C_4F_8 のようなガスの中には、実行される他の処理パラメータに応じてエッチングを行い又は堆積することができるものがある。 SF_6 は、他方、エッチングしか行うことができないガスの一例である。

【0066】

理解されるべきこととして、命令された処理パラメータは、有限の応答時間を有するチャンバ並びに他の要因に起因して、任意の一時点において処理チャンバ内で実際に確立される処理パラメータとは同一でなくても良い。「処理パラメータ」が、本発明の開示において言及される場合にはいつでも、かかる言及は、チャンバ内の実際の条件ではなく、命令された値への言及であることが注目されるべきである。

【0067】

図1は、本明細書において開示する方法を具体化するのに適した表面処理ツールの実施形態を示している。表面処理ツール1は、基板30が使用中に収納される処理チャンバ2を有する。エッチング又はデポジションを実施するため、1種類又は2種類以上の入力ガスが処理チャンバ2に導入され、条件は、所望のデポジション又はエッチング機構を実施するために制御される。「入力ガス」という用語は、前駆物質ガス並びに必要なならば不活性のキャリアガスを含む。チャンバ内の処理パラメータは、制御されると共に少なくとも1つ（しかしながら、より代表的には、複数個）で1組の装置3によって調節可能であり、かかる装置の実施例が図1に概略的に示されている。この実施例では、ツール1は、第1及び第2の入力ガス G_1 、 G_2 をそれぞれ処理チャンバ2に供給するための2つの入力ガス供給源4(a)、4(b)を備えている。チャンバ2への各ガスの流入は、それぞれの質量流量制御器6(a)、6(b)によって制御される。これらは、本質的に、各ガスの所望の流量に応じて大きい又は少ない程度まで開放可能な弁から成る。未反応の入力ガス及び任意の反応生成物を含む排ガスは、ダクト7及び関連のポンプ8を経て処理チャンバ2から除去され、ポンプ8は、代表的には、チャンバ内の圧力をほぼ真空の状態に減圧することができる。チャンバ圧力は、大部分が排気ポンプシステム並びに特にポンプ輸送速度及び処理チャンバからポンプまでのポンプ輸送ラインの「コンダクタンス」（これは、ポンプ輸送ラインの幾何学的形状に関連付けられた要因である）によって定められる。しかしながら、処理中、プラズマが生成されると且つ／或いはエッチング又はデポジションが起これば、チャンバ内のガス状態が失われ又は作られる場合があり、それにより圧力に対する影響が生じる。かかるばらつきを調節するため、自動圧力制御弁8aが当該技術分野において知られているように設けられるのが好ましい。弁8aは、ポンプ輸送ラインのコンダクタンスを変化させ、それによりチャンバ圧力を、プラズマを当てて物質をエッチングしているときに所望レベルで実質的に一定に維持することができる。

【0068】

この実施例では、表面処理ツール1は、放電によってプラズマチャンバ内にプラズマを発生させるプラズマ源を備えている。この場合、プラズマ源は、チャンバ2を包囲したコイル9を有する誘導結合プラズマ源として示されており、かかるプラズマ源にはRF整合ユニット11により電力供給源10からのRF電力を供給する。RF整合ユニット11は、プラズマインピーダンスをRF供給源10のインピーダンスに整合させるよう構成されており、その目的は、供給源からプラズマへの電力の移動効率を最大することにある。適当な整合ユニットの一例が国際公開第2010/073006号パンフレットに開示されている。他形式のプラズマ源、例えば容量結合プラズマ(CCP)をその代わりに用いても良い。変形例として、処理のプラズマ促進化がなくても良く、それ故にプラズマ源を省いても良い。プラズマ源が設けられる場合、プラズマ源は、処理ステップの任意の処理中、全ての処理中に利用でき或いはどの処理ステップにも利用されなくても良い。

【0069】

基板 30 は、使用の際、プラテン 14 に取り付けられる。以下に説明するように、或る特定の処理ステップでは、バイアス電圧を基板 30 に印加するのが有利であり、これは、電圧源 12 をプラテン 14 に接続することによって達成される。R F 電力供給源 12 が用いられる場合、自動インピーダンス整合ユニット (Automatic impedance Matching Unit : A M U) が好ましくは、電力供給源 12 からウェーハ台 14 への電力の良好な結合を保証するよう設けられるのが良い。ツール 1 は、基板の処理温度を調節する温度制御ユニット 16、例えば加熱器及び／又は冷却システムを更に有するのが良い (処理チャンバ及びプラズマ源の加熱及び／又は冷却を行うための追加の装置が処理制御を助けると共にハードウェア安定性を維持するために設けられるのが良い)。例えば、主としてエッチングが行われるべき場合、基板は、好ましくは、循環冷却剤を用いて冷却され、それにより基板温度の望ましくない増大を引き起こすイオン衝撃及び／又は発熱化学反応中に相当量のエネルギーが基板に伝えられるのを阻止する。

10

【0070】

装置 3 は、制御器 20、例えばプログラム可能論理制御回路 (P L C) 等からの命令時に動作する。幾つかの場合、2 つ以上の制御器が設けられ、各制御器は、装置のうちの 1 つ又は部分組を制御する。制御器は又、ユーザからの入力を受けると共に／或いは出力を戻すユーザインターフェース装置、例えばコンピュータワークステーション 25 に接続されている。

【0071】

図 1 では、種々の装置 3 と制御器 20 との間のデータ接続が破線で示されている。実際には、これは、例えば図 2 に示されているようなネットワークとして具体化されるのが良い。この場合、制御器 20 は、C A N バスブリッジ 22 に接続された状態で示され、C A N バスブリッジは、装置 3 の各々並びにユーザインターフェース 25 への接続を有する。バス 22 は、代表的には、1 つ又は 2 つ以上のデータチャンネル、例えばシリアルデータチャンネル (例えば、R S 485) 及びオプションとして 1 つ又は 2 つ以上の電力チャンネルを含む多数のネットワークチャンネルを有する。制御器 20 は、バス 22 により指令を出し、バスの各々は、装置のうちの 1 つ又は 2 つ以上にアドレス指定され、各バスは、問題の装置が実行しようとする 1 つ又は 2 つ以上の処理パラメータに関する命令を含む。装置の制御のための指令を出すために使用できるネットワークプロトコルの一例が国際公開第 2010/100425 号パンフレットに記載されている。当然のことながら、当業者であれば理解されるように多くの他のネットワークの具体化が可能である。

20

30

【0072】

装置 3 は、一連の制御ステップで制御器によって制御され、各ステップは、装置 3 が実行するよう命令される規定された組をなす処理パラメータに対応している。実際には、多数の指令が制御器 20 によって装置 3 に送られるのが良く、その目的は、任意の 1 つのステップを実施することにある。例えば、第 1 の指令は、第 1 の質量流量制御器 6 (a) に送られるのが良く、これに対し、第 2 及び次の指令は、質量制御器 6 (b) 及び出力がこのステップで変化させられる任意他の装置に送られる。かくして、任意の 1 つのステップについて完全な組をなす処理パラメータ全体を実行するのに必要な指令の必ずしも全てが同時に送られ又は受け取られるわけではないが、実際には、ネットワーク速度は、ステップのタイミングと比較して迅速であり、かくして、任意の 1 つのステップに関する命令は、実質的に同時に装置 3 に出されると見なすことが可能である。変形例として、例えば国際公開第 2010/100425 号パンフレットに開示されている技術を採用することができ、それにより、各装置に関する命令は、それぞれの装置とそれぞれ関連したインターフェースモジュールに送られて保持されるが、ついには、トリガメッセージが全ての関連のインターフェースモジュールに出され、その時点において、命令がそれぞれの装置に同時に送られる。

40

【0073】

処理パラメータの 1 つの規定された組は、処理パラメータのうちの任意の 1 つの値が 2 つの組相互間で変化する場合、別の規定された組とは異なると見なされる。問題の処理パ

50

ラメータは、実施中の処理で決まるが、代表的には、かかる処理パラメータとしては、1種類又は2種類以上の入力ガス（例えば、この実施例では、 G_1 、 G_2 の流量、チャンバ圧力（排気ポンプ速度及び／又は圧力弁設定値によって制御される）、プラズマ源電力及び／又は周波数、基板に印加される任意のバイアス電圧の電力及び／又は周波数、及びウェーハ台14及び多くの場合処理チャンバ2の温度が上げられる。

【0074】

図3(i)は、エッチング／デポジション方法の第1の実施形態に従って実施される一連の制御ステップを概略的に示している。この場合、ステップの列は、順次サイクル C_1 、 C_2 、 C_3 等から成り、これらサイクルの各々は、3つの制御ステップ S_1 、 S_2 、 S_3 を含む。各制御ステップの開始時では、装置3は、ステップの持続時間にわたり規定された組をなす処理パラメータを実行するよう制御器20によって命令される。或る特定の制御ステップでは、パラメータ値のうちの1つ又は2つ以上は、ステップの持続時間にわたり変化するよう命令されるのが良い。しかしながら、各サイクルのステップのうちの少なくとも1つ、好ましくは全ては、ステップの持続時間にわたる一定の規定された処理パラメータの命令を含む。

【0075】

次に図4を参照して、各制御ステップの機能について説明する。この実施例では、処理は、特徴部を基板30（例えばシリコンウェーハ）中にエッチングする改造型のボッシュ型処理である。図4(a)に示されているように、当初、基板30を処理チャンバ2内のプラテン14上に載せる。基板は、例えばフォトレジストで形成されたマスク32が被着されたシリコンウェーハ31を有する。マスク32は、シリコンウェーハ中にエッチングされるべき所望の特徴部Fの側方広がりを定める。制御ステップ S_1 に対応した第1のステップでは、基板をパッシベーションガス G_1 、例えば C_4F_8 にさらし、このパッシベーションガスは、基板の表面全体にわたってパッシベーション物質又は材料33（例えば、ポリマー）の層を被着させる。ステップ S_2 、 S_3 は、ひとまとまりでエッチングを実施し、元のボッシュ型エッチングステップをこのように2つに分割することによってマスクの選択性を向上させる。ステップ S_2 では、バイアス電圧をプラテン14に印加することによりエッチングガス G_2 、例えば SF_6 をチャンバ中に導入し、例えば被着したパッシベーション材料の方向性イオンアシストエッチングを実施する。バイアス電圧は、電界を作り、この電界は、ほぼ垂直の方向性をガスイオンに与え、それにより水平面の優先的なボンバード（照射）を生じさせる。このように、パッシベーション材料を特徴部のベースから除去して基板材料31を露出させ、更に又マスク32の上面から除去する。しかしながら、エッチングされるべき特徴部の側壁は、パッシベーションカバレッジ33を保持する。図4(d)に示されたステップ S_3 では、エッチングは、エッチングガス G_2 と基板材料31との化学反応により進む。例えば、エッチングガス G_2 が SF_6 （又は弗素を放出する別のありふれたエッチングガス）である場合、プラズマからの弗素ラジカルは、露出状態のシリコンと化学的に反応し、揮発性生成物を生じさせ、この揮発性生成物は、表面から脱離し、それによりシリコンを等方的に除去する。このように、特徴部34のベース表面34aは、深さが増大する。しかしながら、深さが増大するにつれて、新たな側壁領域34bが形成され、基板材料は、側方並びに垂直方向（基板中に下方に）除去される。

【0076】

図4(e)は、ステップ S_1 が繰り返されるサイクル C_2 の始まりを示しており、それによりパッシベーション材料の新たな層33を被着させる。エッチングは、かくして、中断され、新たな側壁領域及び特徴部34のベース表面を再び被覆する。図4(f)及び図4(g)に示されている次のエッチングにより、パッシベーション材料がこの場合も又特徴部のベース表面だけから除去され、それにより下方エッチングの続行を可能にする一方で、特徴部の側方拡張を制御する。何回も繰り返した後、結果として、図4(h)に概略的に示されているようなエッチング特徴部34が得られ、このエッチング特徴部は、マスクされた特徴部と正確に整列した明確なほぼ垂直の側壁34bを有する。しかしながら、各エッチングサイクルは、側壁34bに「スカロップ」34c、即ち凹部を生じさせ、この

スカロップのサイズは、側壁の位置精度を維持するために制御されることが必要である。

【0077】

ステップ S_1 , S_2 , S_3 の各々に関する最適処理パラメータは、大幅に変化する。図3のプロット (a), (b), (c) は、3つの例示の処理パラメータの値を示すと共にステップの列に沿うこれらの変化を示している (各プロット上の y 軸は、概略的であり縮尺通りには描かれていないことは理解されるべきである)。図3 (a) は、処理チャンバ内へのパッシベーションガス G_1 の流量 Q を示しており、この流量は、質量流量制御器 6a によって制御される。実線 (i) は、命令された処理パラメータ値を示し、破線 (i i) は、チャンバ内の実際の条件を概略的に示しており、かかる実際の条件は、以下に説明する理由により、任意の一時点で命令された条件とは極めて異なっている場合がある。理解されるべきこととして、線 (i i) は、純粋に概略的であり、チャンバ条件を正確に示すようにはなっておらず、それどころか、チャンバ条件が命令されたチャンバ条件とは異なる場合のあることを強調するようになっている。

10

【0078】

図3 (b) は、エッチングガス G_2 の入力に関する同一の情報を示すプロット図である。

【0079】

図3 (c) は、ウェーハに印加するよう命令された電力出力 (即ち、基板バイアスを示すプロット図である。一般に、これは、ガス条件に影響を及ぼさないので、実際の電力出力は、命令された電力出力を厳密に反映しており、それ故、実際の条件を示す別の線は、与えられていない。

20

【0080】

かくして、パッシベーションステップ S_1 では、対応の組をなす処理パラメータは、第1の入力ガス G_1 の高い流量、第2の入力ガス G_2 のゼロ (又は公称) 流量及びゼロ (又は公称) バイアス電圧電力を含む。エッチングの第1の部分に対応したステップ S_2 では、第1の入力ガス G_1 の流量をゼロ (又は公称値) まで減少させ、これに対し、第2の入力ガス G_2 の流量を増大させ、バイアス電圧電力をオンに切り換えて基板に対して高いイオン流束を保証する。エッチングの第2の部分に対応したステップ S_3 では、ガス G_2 の質量流量を増大させ、これに対し、基板バイアス電力をオフに切り換える。

【0081】

30

理解されるように、図3は、選択された処理パラメータを示しているに過ぎず、実際には、追加のパラメータを制御すると共に／或いは1つのステップから次のステップに変更するのが良い。特に、高い全体的エッチング速度を達成するため、一般的には、パッシベーションステップ S_1 をパッシベーション材料の様なデポジション (堆積) を可能にするよう最適化された条件で比較的低いチャンバ圧力で動作させることが望ましく、その結果、特徴部の全ての表面上における材料のほどほどにコンフォーマルで様なデポジションが得られる。チャンバ圧力の選択を利用してデポジション速度に影響を及ぼすと共に／或いは堆積材料の化学当量を調節するのが良い。エッチングステップ S_2 は、好ましくは、イオン衝突を減少させると共にシリコンウェーハに対するイオン流束の方向性を促進するよう同様な又はそれどころか低い圧力で実施される。これとは対照的に、各ステップ S_3 は、好ましくは、多量の弗素ラジカルを発生させ、それ故迅速なエッチング速度をもたらすために高い圧力で実施される。

40

【0082】

ステップの各々に関する処理パラメータの例示の組が表1において以下に与えられている。注目されるべきこととして、ここに与えられていると共に本明細書において提供される他の全ての実施例における例示のパラメータは、直径が最高200mmまでの基板を処理することができる装置に適している。当業者であれば理解されるように、他の基板サイズに関し、パラメータは、適当なスケール変更を必要とする。基板バイアス電力がワット (即ち、電力密度ではなく印加された電力) で与えられている場合、これら電力は、 314 cm^2 の基板面積 (例えば、200mm経基板) を仮定している。

50

【0083】

表 1

時間 (ms)	段階	ステップ	持続 時間 (mS)	処理パラメータ								Tgr (mS)
				G1 (sccm)	G1 (Pa.m3/s)	G2 (sccm)	G2 (Pa.m3/s)	Pw (W/m ²)	圧力 (mTorr)	圧力 (Pa)	Pp (kW)	
0	1	1	250	200	0.338	10	0.0169	30	50	6.6661	1.5	845
500	2	2	300	10	0.0169	200	0.338	4750	25	3.33305	2	423
1100	3	3	550	10	0.0169	800	1.352	30	130	17.3319	5	570

10

【0084】

上の表において、時間は、ステップ S_1 の開始時から経過した時間を意味し、持続時間は、各ステップの長さを示し、 G_1 は、ガス G_1 の質量流量であり、 G_2 は、ガス G_2 の質量流量であり（質量流量値は、両方共 sccm 及び $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ の単位で与えられている）、 P_w は、互いに異なるウェーハサイズを考慮するために電力密度という単位で与えられたウェーハに印加された電力密度（基板バイアス）であり（例えば、 $30 \text{ W}/\text{m}^2$ という電力密度は、 200 mm 径にウェーハに印加される約 1 W に相当している）、圧力は、チャンバ圧力を意味し、 P_p は、プラズマ電力であり、 T_{gr} は、以下に定めるガス滞留時間である。

【0085】

20

重要なこととして、従来型処理と比較して、各制御ステップの持続時間は、極めて短い。例えば、上記において与えられた実施例では、パッシベーションステップ S_1 の持続時間 T_{S1} は、約 250 ミリ秒であり、第1のエッチングステップ S_2 の持続時間 T_{S2} は、約 300 ミリ秒であり、第2のエッチングステップ S_3 の持続時間 T_{S3} は、約 550 ミリ秒であり、全サイクル時間 T_{C1} は、約 1.1 秒である。この種のステップ持続時間は、処理チャンバ2がガス条件の変化に応動するのに要する時間と比較して早い。これは、処理チャンバ2の「ガス滞留時間」 T_{gr} として表すことができ、このガス滞留時間は、各処理ステップに関し、次式によって定められ、即ち、

$$T_{gr} = \frac{pV}{Q}$$

30

上式において、 p は、チャンバ2内の圧力であり、 V は、圧力チャンバの容積であり、 Q は、チャンバを通るガス流量（全ガス流量）である。

【0086】

プラズマ源、処理チャンバ及び局部ポンプ輸送ダクトの代表的な形態に関し、この実施例における処理チャンバ2の容積2は、約 45 リットル (0.045 m^3) である。かくして、表1に与えられている例示の処理パラメータに関し、ガス滞留時間は、ステップ S_1 では約 850 ミリ秒であり、 S_2 中は約 400 ミリ秒であり、ステップ S_3 中は約 600 ミリ秒である。これは、処理チャンバ内に含まれているガスの量を別の量で置き換え、即ち、新たな処理パラメータで定常状態に達するのに必要な時間の尺度である。しかしながら、この実施形態では、制御ステップのうちの少なくとも1つ、好ましくは制御ステップの幾つか、最も好ましくは制御ステップの各々の持続時間は、この制御ステップに関する対応のガス滞留時間よりも短い。かかる短いステップは、動作上の作用効果をもたないことが予想されるが、事実、本発明者は、処理チャンバが決して定常状態に達することがないにもかかわらず、極めて良好な結果を達成することができるという知見を得た。理論に束縛されるものではないが、制御ステップのシーケンスにより引き起こされる処理条件の周期的変化は、個々の組をなす処理パラメータがチャンバ内で確立される実際の条件の面で互いに明確に示されていないにもかかわらず、図4に示された種々の機構の所望のサイクルを実施するのに十分であると思われる。

40

【0087】

50

ガス滞留時間よりも短い制御ステップ持続時間が効果的であるという認識により、顕著な利点が得られる。第1に、全体的サイクル時間 T_{C1} を従来型処理と比較して大幅に短縮することができる。例えば、上述の例示の実施形態は、1.1秒のサイクル持続時間を有し、これに対し、従来型ボッシュ法サイクルは、典型的には、10秒以上のオーダーのものである。サイクル時間を短縮することにより、図4の検討から理解できるようスカロップ34cの側方広がりが増加し、個々の化学エッチングステップ S_3 が短く、しかも側壁がより頻繁に不活性化されるので、側方エッチングが可能な広がりが増加することになる。或る特定のエッチング深さの特徴部を作るために用いられるサイクルが多ければ多いほど、個々のスカロップがそれだけ一層小さくなり、したがって側壁34bが滑らかな表面にそれだけ一層近づく。

10

【0088】

この技術的改良は又、例えば、ステップ S_3 中に処理チャンバに導入されるエッチングガスの濃度を増大させることによって、実行されるエッチング速度の増加を相殺するために利用できる。各サイクルの期間を上記した仕方で短くする（又は、類似的にサイクル周波数を増大させる）ことによって、特徴部の側壁を頻繁に不活性化し、かくして迅速なエッチングの悪影響を帳消しにし、したがって、側壁の位置精度を維持しながら所望のエッチング深さを短い期間で達成することができる。

【0089】

別の利点は、エッチング処理の効率を向上させることができるということにある。図4に示されているように、エッチングステップ S_3 中に行われるのは、基板材料を実際に除去し、特徴部の深さを増大させることだけである。ステップ S_1 、 S_2 は、特徴部の側方精度を保証するために必要であるが、これらステップ自体、特徴部の深さの増大には寄与しない。極めて短時間のパッシベーション及びパッシベーション除去ステップ（ S_1 、 S_2 ）の利用により、基板材料自体のエッチング（ステップ S_3 ）に利用可能なサイクル時間の比率を増大させることができる。かかる実施形態の一例が図5に示されており、図5は、第2の実施形態で実施可能な一連の制御ステップを示している。この場合、参照符号は、図3で用いられた参照符号に対応している。理解されるように、ステップ S_1 、 S_2 は、エッチングステップ S_3 が各サイクル C_1 、 C_2 等の最も大きな部分を占めるように著しく短縮されている。エッチングステップ S_3 は、好ましくは、サイクル時間の少なくとも50%の間、より好ましくは約80%の間実施される。表2は、対応のステップ持続時間と並

20

30

【0090】

表2

				処理パラメータ								
時間 (ms)	段階	ステップ	持続 時間 (mS)	G1 (sccm)	G1 (Pa.m3/s)	G2 (sccm)	G2 (Pa.m3/s)	Pw (W/m ²)	圧力 (mTorr)	圧力 (Pa)	Pp (kW)	Tgr (mS)
0	1	1	125	200	0.338	10	0.0169	30	50	6.6661	1.5	845
250	2	2	150	10	0.0169	200	0.338	4750	25	3.33305	2	423
550	3	3	825	10	0.0169	800	1.352	30	130	17.3319	5	570

40

【0091】

理解されるように、各ステップについて選択された例示の処理パラメータ値は、第1の実施形態における処理パラメータ値と同一であり、それ故、各ステップに関するガス滞留時間は、不変であり、ステップ S_1 では約850ミリ秒、ステップ S_2 では400ミリ秒、ステップ S_3 では600ミリ秒である。それ故、この実施例では、ステップ S_1 、 S_2 は、処理チャンバの対応のガス滞留時間よりも短い持続時間を有し、これに対し、ステップ S_3 の持続時間は、これよりも長い。

【0092】

ステップ S_3 が実施される各処理サイクルの比率を増大させることによって、処理の全

50

体的効率が高くなる。と言うのは、基板材料のエッチングは、かかる時間のうちの大きな割合について起こるからである。したがって、特徴部をエッチングする全体的速度を増大させることができる。しかしながら、理解されるように、ステップ S_3 の持続時間の延長により、スカロップサイズが増大し、それ故、これとは異なり、第1の実施形態の原理を第2の実施形態の原理と組み合わせて適用して全体的サイクル時間を一段と短縮することが有益である。

【0093】

理解されるように、第1及び第2の実施形態において上述した例示の処理パラメータは、純粋に例示であり、実際には、使用の際のガス種及び特徴部に関する条件に応じて様々である。例えば、パッシベーションステップ S_1 をウェーハについて必要なプロフィールに 10
応じて、或る範囲の圧力、代表的には約3～約12 Pa、好ましくは約7 Paで実施することができる。同一ステップ中のガス流量は、代表的には、100～500 sccm、より好ましくは200～300 sccmである。典型的には、より高い圧力が用いられるとき、流量は、一般的に増大される。パッシベーション除去ステップ S_2 では、ガス流量は典型的には200～500 sccmの範囲、好ましくは300～400 sccmの範囲であり、チャンバ圧力は、好ましくは、1～10 Pa、より好ましくは約3 Paである。基板エッチングステップ S_3 では、圧力は、一般に、7～30 Paであり、好ましくは約10 Paであるが、ガス流量は、条件に応じて代表的には600～1000 sccmでば 20
らつきを生じる場合がある。パラメータの好ましい選択により、一般に、約2秒以下の各ステップについてのガス滞留時間が与えられ、より好ましい実施形態では、パラメータは、平均で1秒以下のガス滞留時間を与えるよう選択される。

【0094】

上記において示したように、連続した各処理ステップに関する最適処理パラメータは、互いに著しく異なる。例えば、ステップ S_1 、 S_2 相互間において、第1のガス G_1 の流量を停止させ、同様な流量の第2の入力ガス G_2 に置き換えなければならないが、これに対して、ステップ S_2 、 S_3 相互間において、ガス G_2 の流量は、3倍以上増大する。同様に、チャンバ圧力には、更に、ウェーハ又は他の基板(P_w)及びプラズマ源(P_p)に印加される電力レベルにも広い変化が存在する。

【0095】

実際には、この大きさの処理条件の突然の変化により、多くの問題が生じる。例えば、 30
1つのガス種類から別のガス種類への突然の移行により、プラズマが不安定化する場合があり、潜在的に、プラズマが消える。同様に、圧力又はガス流量の突然の大幅の変化により、たとえガスの種類が変えられない場合であっても、不安定化という作用効果が生じる場合がある。加うるに、処理パラメータの変化により、プラズマインピーダンスは変化し、もしこの変化が急激すぎる場合、RF整合システム、例えばモジュール11は、この変化に追従するのに十分には迅速でない場合があり、それにより、送電不良になる。これは、RF整合システムが典型的には、応動するのが比較的遅い1つ又は2つ以上の機械的コンポーネントを含んでいるからである。また、ガス流量の突然の大幅な変化(例えば、1種類の入力ガスから別の入力ガスへの変更又は1つのガスの流量の大幅な変化)により、 40
圧力制御弁8aは、その適当な位置を「オーバーシュート」する場合があり、それにより圧力制御が貧弱になり、それにより、処理がプラズマ促進化されるにせよそうでないにせよいずれにせよ、処理が乱される場合がある。

【0096】

例えばこれらのような問題は、図6に示された本発明の第3の実施形態において取り組まれている。この場合も又、かかる技術を改造型のボッシュ型エッチング処理を参照して説明するが、多数のステップを必要とする任意のデポジション又はエッチング処理に利用することができる。

【0097】

図6(i)は、例えば図1に示された表面処理ツールにより実施されるべき制御ステップの列を示している。上述したように、各制御ステップ S_1 、 S_2 、 S_3 等は、規定された 50

組をなす処理パラメータと関連しており、制御器 20 は、組をなす装置 3 に命令してこれら装置がこの制御ステップの持続時間の間に、かかる処理パラメータを出力する。この場合も又、繰り返されるサイクルを形成する処理には 3 つの主要な部分、即ち、パッシベーション処理段階 P_1 、並びにパッシベーション層除去処理部分段階 P_2 及び基板エッチング処理部分段階 P_3 を含むエッチング処理段階が存在する。これらは、広義には、実施例 1 及び 2 において説明した 3 つの順次制御ステップ S_1 , S_2 , S_3 に対応している。しかしながら、この実施形態では、各処理の段階（部分段階）は、2 つ以上の制御ステップで構成されている。図 6 (i) では、処理段階及び部分段階は、実線を互いに用いて示され、これに対し、任意の 1 つの処理段階又は部分段階に含まれる制御ステップは、破線で境界付けられている。しかしながら、実際には、任意の 1 つの処理段階の終了又は開始時の制御ステップと一連のステップ中の任意他の時点における制御ステップとの間にはかかる区別が存在せず、この表記は、分かりやすくするために用いられているに過ぎない。

10

【0098】

図 6 (a)、図 6 (b) 及び図 6 (c) は、3 つの例示の処理パラメータの値を示すと共に制御器により装置の組に出される命令の観点で 1 つの制御ステップから次の制御ステップへのこれらの変化を示している（処理チャンバ内の実際の状態は、分かりやすくするために示されていない）。上述したように、3 つの部分図 (a), (b), (c) は、それぞれ、第 1 のガス G_1 のガス流量、第 2 の入力ガス G_2 のガス流量及び基板に印加される電力レベル P_w を示している。理解されるように、制御ステップのシーケンスは、今や、互いに異なる処理段階に必要なパラメータ極値相互間の漸次移行を達成するために複数の中間制御ステップを含む。

20

【0099】

所望の出力効果にとって「最適な」処理条件に最も厳密に一致した各処理段階又は部分段階内の制御ステップをこの処理段階又は部分段階に関して「コア」制御ステップと呼ぶ場合がある。例えば、この実施形態では、パッシベーション処理段階 P_1 は、コアパッシベーション処理 S_2 を含み、このコアパッシベーションステップは、その状態をコア制御ステップとして示すために図 6 ではアスタリスクが付けられた状態で強調して示されている。ステップ S_2 の間、装置は、パッシベーションガス G_1 の最大ガス流量、エッチングガス G_2 の最小限又はゼロのガス流量及びゼロ又は公称ウェーハバイアスを出力するよう命令される。パッシベーション除去処理部分段階 P_2 中への漸次移行を行うため、パッシベーション処理段階 P_1 の終わりは、2 つの中間制御ステップ S_3 , S_4 を含み、これら中間制御ステップの間、パッシベーションガス G_1 の質量流量は、減少し、これに対し、エッチングガス G_2 の質量流量は増大し、ついには、所望のパッシベーション除去条件がコアパッシベーション除去ステップ S_7 で達成されるようになる。

30

【0100】

中間制御ステップの各々において、制御器から装置 3 の組に出力された規定された組をなす処理パラメータは、先のステップの処理パラメータと後のステップの処理パラメータの間に存在する。例えば、ステップ S_3 では、パッシベーションガス G_1 の命令された質量流量は、先のステップ S_2 の命令された質量流量よりも少ないが、次の中間制御ステップ S_4 の命令された質量流量よりも多く、これに対し、エッチングガス G_2 の質量流量は、先のステップ S_2 の質量流量よりも大きく且つ後のステップ S_4 の質量流量よりも少ない。注目されるべきこととして、全ての処理パラメータがこのステップに関する中間値に変化して中間制御ステップを構成する必要はなく、処理パラメータの任意の 1 つ又は 2 つ以上が中間値内に変化することになる。しかしながら、ガスの種類の変化（例えば、パッシベーションガス G_1 からエッチングガス G_2 への変化）が存在する場合、代表的には、少なくとも 1 つの中間制御ステップでは、両方のガスの質量流量は、先のステップ及び後のステップに対して中程度であり、その結果、両方のガスは、ステップの持続時間の間、流れることが命令される。例えば、中間ステップ中、部分圧力で、ガス混合物の第 1 の種（例えば、 G_1 ）と第 2 の種（例えば、 G_2 ）の比は、1 : 10 ~ 10 : 1、好ましくは 1 : 3 ~ 3 : 1、より好ましくは 1 : 2 ~ 2 : 1、最も好ましくは約 1 : 1 であるのが良い。これは

40

50

、コア処理ステップ中の好ましいガス入力とは対照的であるはずであり、かかるコア処理ステップ中、必要なエッチング又は不活性化ガスは、重量の面で主要である（例えば、主要なガスと任意の二次ガスの比は、10：1以上、より好ましくは約100：1である）。

【0101】

このように1つ又は2つ以上の中間制御ステップを利用することにより、処理パラメータの1つの極端な組から別の組への移行を有限時間フレームで制御し、それによりプラズマ安定性の維持を助けると共に移行が遅いコンポーネント、例えばRF整合システムが取ることができる速度で起こるようにするのが良い。

【0102】

図6の実施例では、多数の中間制御ステップがコア制御ステップの隣接する各対相互間に（例えば、次のサイクルにおいてステップ S_2 、 S_7 相互間、ステップ S_7 、 S_{12} 相互間及びステップ S_{12} 、 S_2 相互間）に挿入され、実際には、それどころか2つの互いに異なる処理ステップ相互間に単一の移行ステップが有益であると言える。さらに、中間制御ステップは、処理段階相互間のあらゆる移行段階に設けられる必要はなく、一般に、少なくとも1つの中間処理ステップが各サイクルで用いられる。

【0103】

上記において与えられた実施例では、制御ステップは、各ステップにおける命令された処理パラメータの正味の作用効果に従って各処理段階 P_1 、 P_2 、 P_3 に属し、もし正味の作用効果がない場合、処理ステップは、隣り合ういずれかの隣り合う処理段階の一部と見なされるか別の中間の処理段階を形成するものと見なすことができる。

【0104】

第3の実施形態では、制御ステップは、処理チャンバの対応のガス滞留時間よりも長い又は短い持続時間を有する状態で実施可能である。しかしながら、対応のガス滞留時間よりも短い持続時間を有する短い制御ステップの利用は、第1及び第2の実施形態に関連して説明した理由の全てで好ましい。具体的に言えば、中間制御ステップのうちの少なくとも1つは、好ましくは、チャンバの対応のガス滞留時間よりも短い持続時間を有し、より好ましくは、中間制御ステップの各々は、この条件を共有する。

【0105】

以下の表3は、第3の実施形態において示した14個のステップの各々における処理パラメータ及び対応のガス滞留時間（ T_{gr} ）に関する例示の値を記載している。

【0106】

表3

10

20

30

時間 (ms)	段階	ステップ	持続 時間 (mS)	処理パラメータ								Tgr (mS)
				G1 (sccm)	G1 (Pa.m3/s)	G2 (sccm)	G2 (Pa.m3/s)	Pw (W/m ²)	圧力 (mTorr)	圧力 (Pa)	Pp (kW)	
0	1	1	10	150	0.2535	50	0.0845	30	60	7.99932	2	1065
10		2*	235	200	0.338	10	0.0169	30	50	6.6661	1.5	845
245		3	5	175	0.29575	50	0.0845	30	50	6.6661	1.5	789
250		4	5	125	0.21125	100	0.169	2375	45	5.99949	1.5	710
255	2	5	5	75	0.12675	150	0.2535	3950	35	4.66627	2	552
260		6	5	10	0.0169	200	0.338	4750	30	3.99966	2	507
265		7*	250	10	0.0169	200	0.338	4750	25	3.33305	2	423
515		8	40	10	0.0169	400	0.676	4750	30	3.99966	2	260
555	3	9	5	10	0.0169	500	0.845	3950	50	6.6661	3	348
560		10	5	10	0.0169	600	1.014	2375	80	10.6658	4	466
565		11	10	10	0.0169	700	1.183	30	100	13.3322	5	500
575		12*	500	10	0.0169	800	1.352	30	130	17.3319	5	570
1075		13	15	50	0.0845	500	0.845	30	100	13.3322	4	645
1090		14	10	100	0.169	150	0.2535	30	80	10.6658	3	1136

10

【0107】

20

図8及び図9を参照して以下に詳細に説明するように、別の好ましい実施形態では、パッシベーション層除去処理段階P₂は、有利には、図6(i)には示されていない更に多くの制御ステップに細分可能である。図6(d)は、図6(c)の拡大領域を示しており、この図6(d)では、コアパッシベーション層除去ステップS₇は、極めて短い制御ステップのシーケンス(例えば、5ミリ秒以下)で形成され、ウェーハに印加される電力は、ゼロ(又は公称値)と方向性イオンエッチングを行うのに十分な高い値とを交互に取る。電力をこれがこのように高いレベルと低いレベルとを交互に取るよう制御することにより、基板内の絶縁層上の電荷の蓄積が減少し、それにより以下に説明するようにノッチ形成が減少する。個々の各ステップS_{7a}、S_{7b}、S_{7c}等は、上述の他の制御ステップと同様な仕方で制御器によって命令される。

30

【0108】

次に、図7を参照してデポジション及び／又はエッチング処理における短い制御ステップの別の有利な利用について説明する。図7(i)は、本発明の第4の実施形態で周期的に実施される制御ステップの一連の制御ステップを示している。この場合も又、改造型のボッシュ型エッチング処理が一例として用いられる。図6の実施形態の場合と同様、各サイクルは、パッシベーション処理段階P₁、パッシベーション層除去処理部分段階P₂、及び基板エッチング処理部分段階P₃に対応した3つの部分に分割される。各処理段階／部分段階は、複数の制御ステップS₁～S₈を含む。この場合も又、アステリスクを付けて強調して示された制御ステップは、命令された条件が所望の処理機構を実施するために最適化されるコア制御ステップを表している。かくして、S₁は、コアパッシベーションステップであり、S₄は、コアパッシベーション除去ステップであり、S₇は、コア基板エッチングステップである。この場合、コアステップ相互間に介在して存在する制御ステップは、1つの組をなす条件から別の組をなす条件への漸次移行を行うためには用いられず、これとは異なり、ハードウェア応答時間によって生じる遅延を考慮に入れるために用いられる。

40

【0109】

実際の表面処理ツールでは、装置内の互いに異なる装置は、所要の機能を実行するために互いに異なる期間を必要とする。例えば、機械的装置、例えば、弁(例えば、質量流量制御器6a、6bに含まれる)は、閉鎖又はほぼ閉鎖状態からその指定されたレベルまで開き、或いは、開き形態から閉鎖形態を採用することが必要な場合がある。機械的装置が

50

必要な変更を行うようにするには有限期間が必要である。装置が電力供給源（DC又はRFのいずれか）である場合、或る特定の長さの時間が出力をターンオンしてオフ状態から選択されたレベルに設定し又はこの逆の関係が成り立つのに必要であろう。しかしながら、代表的には、必要な時間は、任意の機械的装置の必要とする時間よりも短いであろう。1つの装置と別の装置との間の応答時間のばらつきは、制御器が或る特定の組をなす処理パラメータを実質的に瞬時に採用するよう装置の組に命令を出すにもかかわらず、実際には、変化の必ずしも全てが装置によって同時に出力されるわけではないことを意味している。このことは、所望の組をなす処理パラメータが任意の1つの処理ステップにおける比較的後のステージまで装置によって採用されず、その結果、所望の出力の全てが互いに一致する期間が意図した期間よりも短い場合があることを意味している。

10

【0110】

この実施形態では、これは、装置の既知の応答時間に応じて、互いに異なる時点で命令を個々の装置（又はその部分組）に出すために短い移行制御ステップを利用することによって取り扱われる。例えば、応答するのが遅い装置は、迅速な応答時間の制御ステップよりも早い制御ステップの間、新たな出力値を採用するよう命令されるのが良い。一例として、図7（a）、図7（b）及び図7（c）は、図示の一連のステップ中、3つの処理パラメータ及びこれらの命令された値のプロット図である。図7（a）は、パッシベーションガス G_1 の質量流量の命令された値（ i ）で示された実線）を示し、（ ii ）で示された破線は、質量流量制御器6aによる命令に対する遅延応答を表している。同様に、図7（b）は、エッチングガス G_2 の命令された質量流量（実線（ i ））及び実際の応答の表示（破線（ ii ））を示している。図7（c）は、命令されたウェーハバイアス電力（実線（ i ））及び実際の出力の表示（破線（ ii ））を示している。注目されるべきこととして、図7（a）、図7（b）及び図7（c）の破線は、処理チャンバの全体的条件（図3を参照して上述した）を表しておらず、これとは異なり、それぞれの装置の応答を示している。

20

【0111】

コアパッシベーションステップ S_1 では、パッシベーションガス G_1 の質量流量は、パッシベーションにとってその最適な最大レベルにあり、エッチングガス G_2 の流量は、ゼロ（又は公称値）であり、ウェーハバイアスが印加されていない。制御ステップ S_2 では、制御器は、質量流量制御器に命令してこれら質量流量制御器がパッシベーションガス G_1 の入力をオフに切り換え、エッチングガス G_2 の入力をオンに切り換えてパッシベーション除去に適した第1のレベルにする。ステップ S_2 の持続時間は、質量流量制御器の応答時間 ΔT_{G1} 、 ΔT_{G2} の知見に基づいており、このステップは、各質量流量制御器からの所望の出力がコアパッシベーション層除去ステップ S_4 の開始と一致するよう達成される時点で開始される。他方、移行制御ステップ S_3 では、質量流量制御器に対する命令は、不変であり、電力を基板に供給する電力源は、オンに切り換えられる。この場合も又、ステップ S_3 の持続時間は、電力源の応答時間 ΔT_{pw} の知見に基づいて選択され、かかる応答時間は、代表的には、質量流量制御器の応答時間よりも極めて短いであろう。ステップ S_3 は、所望の電力出力が所望のガス出力と一致するよう達成される選択された時点で、即ち、ステップ S_4 の開始時に開始される。

30

40

【0112】

同様な移行ステップを必要に応じてサイクルの残部全体を通じて実施するのが良い。例えば、パッシベーション層除去部分段階 P_2 の終わりに向かって、第1の移行制御ステップ S_5 がパッシベーション層除去レベルから基板エッチングレベルへのエッチングガス G_2 のガス流量の変化を開始させるよう実施され、ステップ S_6 では、基板バイアス電力源は、所望の出力が基板エッチングステップ S_7 の開始時に同時に達成されるようオフに切り換えられる。同様に、基板エッチング処理部分段階 P_3 の終わりに向かって、移行制御ステップ S_8 は、エッチングガス G_2 の入力オフに切り換え、パッシベーションガス G_1 の入力をオンに切り換えるよう実施される。

【0113】

50

一般に、移行制御ステップは、対応の処理条件を有するチャンバのガス滞留時間よりも短い持続時間を有する。例えば、幾つかの作業、例えば電力供給源の出力レベルを変化させるには、数十ミリ秒が必要であり、小型の弁は、数百ミリ秒内に動作するかもしれない。両方の場合において、かかる持続時間は、代表的には、約 1 又は 2 秒のガス滞留時間よりも著しく短いであろう。

【0114】

以下の表 4 は、第 4 の実施形態において示された 14 個のステップの各々の処理パラメータ及び対応のガス滞留時間 (T_{gr}) に関する例示の値を記載している。

【0115】

表 4

				処理パラメータ									
時間 (ms)	段階	ステ ップ	持続 時間 (mS)	G1 (sccm)	G1 (Pa.m3/s)	G2 (sccm)	G2 (Pa.m3/s)	Pw (W/m ²)	圧力 (mTorr)	圧力 (Pa)	Pp (kW)	Tgr (mS)	
0	1	1	225	200	0.338	10	0.0169	30	50	6.6661	1.5	845	
225		2	20	10	0.0169	200	0.338	30	50	6.6661	1.5	845	
245		3	5	10	0.0169	200	0.338	4750	50	6.6661	1.5	845	
250	2	4	275	10	0.0169	200	0.338	4750	25	3.33305	2	423	
525		5	20	10	0.0169	800	1.352	4750	25	3.33305	2	110	
545		6	5	10	0.0169	800	1.352	30	25	3.33305	2	110	
550	3	7	525	10	0.0169	800	1.352	30	130	17.3319	5	570	
1075		8	25	200	0.338	10	0.0169	30	130	17.3319	5	2198	

【0116】

最も好ましい具体化例では、図 6 及び図 7 の実施形態の原理は、互いに組み合わせて利用される。即ち、中間制御ステップは、更に、各装置の応答時間の遅延を考慮に入れ、それにより上述の追加の利点を達するよう構成される。

【0117】

上述したように、絶縁層を含む基板をエッチングするときに或る特定の追加の問題に遭遇する場合がある。特に、導体又は半導体層、例えばシリコン中に絶縁停止層、例えば埋設酸化物層まで下方にエッチングする際、2つの材料相互間のインターフェースのところに側方「ノッチ」が形成される場合がある。図 8 (a) 及び図 8 (b) は、この現象の背後にある機構を概略的に示している。図 8 (a) は、下に位置する絶縁層 35、例えば酸化シリコンを含む例えばシリコン又は他の半導体層 31 を有する例示の基板 30 を示している。特徴部が上述した仕方で半導体層 31 中にエッチングされる。エッチングが絶縁層 35 に達すると、一般的には、この処理を即座に停止させることができない。と言うのは、ウェーハの他の領域において、絶縁層にはまだ到達していない場合があるからである（ウェーハ全体にわたるエッチング速度のばらつき及び／又はエッチングされるべき層の漸変厚さに起因して）。かくして、或る程度の「オーバーエッチング」は、ウェーハ全体のこのばらつきを打ち消すために必要である。しかしながら、絶縁層 35 が露出されると、方向性イオンエッチングパッシベーション層除去ステップ中にプラズマからの第 1 のイオンが絶縁体に達することにより、絶縁層は、荷電状態になる場合がある。これにより、特徴部の側壁に向かう次のイオン（電荷について同一の符号を有する）の偏向が生じ、その結果、堆積したパッシベーション材料 33 の局所除去が生じて基板材料（例えば、シリコン）が露出され、この基板材料は、次に、化学エッチングを受ける。この結果、側壁には望ましくないノッチ（図 8 (b) において符号 36 で示されている）が生じる。

【0118】

絶縁層 35 上の電荷の蓄積及びそれ故にノッチ形成の度合いを減少させるには、基板に印加されるバイアスのレベルを減少させるのが良い（図 8 (b) では $-V$ で示されている）。しかしながら、これによってもエッチング処理に課される方向性の度合い及びイオン

が基板に当たる際のエネルギーが減少する。幾つかの従来处理、例えば欧州特許出願公開第1131847号明細書及び米国特許第6,926,844号明細書に開示されている処理では、印加されたバイアスが低い周波数であり又は好ましくはパルス化されたバイアスである場合、絶縁層35上に蓄積される電荷のレベルを減少させることができ、他方、適度なエッチングを依然として達成できるということが示されている。これは、基板に加わる電圧がゼロの場合（又はゼロに近い場合）における交番バイアスの間隔の間、プラズマからの幾つかの電子が絶縁層35に達することができ、そして正の電荷のうちの何割かを打ち消すからである。他の方式では、高周波数バイアスがウェーハ台に印加され、この高周波数バイアスは、次に、低い周波数で変調され、それにより電力源の制御下で高周波数バイアスのパルスが作られる。バイアスの周波数は、プラズマが応動するには速すぎ、それにより、バイアスそれ自体の交番という性質は、電荷の蓄積の減少を達成することはない。しかしながら、低周波数パルス化は、プラズマからの幾つかの電子が絶縁層に達して正の電荷のうちの何割かを上述したのと同じの仕方でも打ち消す機会を提供する。

10

【0119】

本発明の別の実施形態では、制御器20によって組をなす装置に命令する制御ステップのシーケンスは、かかるインターフェースノッチの発生を減少させるようになっている。特に、パッシベーション除去処理段階中、制御ステップのシーケンスは、ステップ S_{7a} 、 S_{7b} 、 S_{7c} 等として図6(d)に示されているように実施される。交互ステップの間、ウェーハバイアスは、ゼロ又は公称値（例えば、 30 W/m^2 ）と所望の度合いの方向性を達成するのに十分な高い「オン」値（例えば、 4750 W/m^2 ）との間で切り換えられる。ウェーハバイアスが「オン」である各制御ステップでは、バイアスは、イオンを引きつけ、したがって、方向性を達成して特徴部のベースから堆積状態のポリマーを除去し、他方、ゼロ又は公称バイアスが印加される1つ置きの間の際、電子は、下方に拡散して絶縁層上の正の電荷を打ち消すことができる。従来する方法とは対照的に、ここでは、ウェーハバイアスの制御は、電力源が設定される周波数又は電力源の局所パルス変調によってではなく、制御器20によって達成される。これにより、高度の制御が可能であり、しかも所望ならば個々のステップを他の処理パラメータの変化と同期させることが可能である。例えば、幾つかの実施形態では、1つ置きのウェーハバイアスレベルをプラズマ源電力の変化と同期させることが望ましい場合がある。

20

【0120】

基板バイアスが印加される処理ステップのうちの任意のものは、上述した仕方で「オン」及び「オフ」ステップのシーケンスを用いて実施できる。例えば、図6(d)では、ステップ S_4 、 $S_{5/6}$ が基板に印加された一定の電力を有するものとして示されているが、実際には、これらは、電荷の蓄積を阻止するために数回の「オン」／「オフ」ステップとして具体化されるのが良い。しかしながら、ステップが十分に短い場合、これは、不必要な場合がある。

30

【0121】

図6(d)では、「オン」及び「オフ」ステップが実質的に等しい持続時間（即ち、「マーク：スペース」の比が50%）を有するものとして示されている。しかしながら、実際には、蓄積した電荷を中和するための多くの時間の実現を可能にするために「オン」ステップ相互間に長いギャップを提供することが好ましい場合が多い。それ故、好ましくは、マーク：スペース比は、5~20%である。例えば、バイアスオン時間は、5ミリ秒であるのが良く（例えば、ステップ S_{7A} ）、バイアスオフ時間は、50ミリ秒（例えば、ステップ S_{7B} ）であるのが良く、それにより10%のマーク：スペース比が与えられる。一般に、バイアス電力は、高いバイアスが印加される短い期間（少なくとも、処理のパッシベーション除去段階中）相互間のゼロ（又は小さい値）までバイアス電力を減少させる比較的長い期間を有する。

40

【0122】

代表的には、シーケンス S_{7A} ~ S_{7Z} 中のステップの各々の持続時間は、1~100ミリ秒であり、電荷の蓄積を頻繁に中和するのに十分短く、他方、プラズマが応答することが

50

できるほど長い。各「オン」ステップ中に印加されるバイアスは、DCバイアスであっても良くRFバイアスであっても良い。RF（交番）バイアスの場合、バイアスの周波数は、代表的には、ステップ持続時間と比較して速い（例えば、13.56メガヘルツ）。

【0123】

また、高度の制御が利用可能であれば、多数の互いに異なるバイアスレベルを選択して適用することが可能であり、好ましい実施例では、少なくとも3つの互いに異なるバイアスレベル（これらのうちの1つは、ゼロであるのが良い）が各パッシベーション／エッチングサイクル中に印加される。

【0124】

例えば、別の実施形態では、ウェーハバイアスの振幅がパッシベーション層除去処理中に変化する場合、別の利点を達成することができる。かかる具体化例の一例が図9に示されており、図9は、別の一連の制御ステップ S_{7A} ～ S_{7Z} にわたる例示のウェーハバイアス電力を示しており、これら制御ステップは、ひとまとまりとなって、コアパッシベーション除去層ステップ S_7 を構成する。この実施例では、ウェーハバイアス電力は、ゼロ又は公称値とパッシベーション層除去処理の終わりに向かって増大する高い「オン」振幅との間で交互に切り換えられる。例えば、この実施例では、第1のステップ S_{7A} 及びウェーハバイアスが「オン」である次の4つの制御ステップは、第1のレベルに設定され、ステップ S_{7J} ～ S_{7Z} の振幅は、増大する。例えば、ステップ S_{7A} 、 S_{7C} 、 S_{7E} 等は、約 1600 W/m^2 のウェーハバイアス電力を有するのが良く、これに対し、ステップ S_{7X} 及び S_{7Z} は、約 4750 W/m^2 のウェーハバイアス電力を有するのが良い。かかる形態は、処理のマスク感度を向上させる面で利点を有する。と言うのは、パッシベーション層除去ステップの大部分にわたって、バイアス電力は、比較的低く、それによりイオンを基板に向かって引きつけるエネルギーが比較的低く保たれ、それによりマスク材料がパッシベーション層に加えて除去される可能性が減少するからである。方向性エッチングが続行すると、正の電荷は、上述したように絶縁層35上に蓄積し始め、このステージにおいて、ウェーハバイアス電力を図示のように増大させることによってイオンのエネルギーを増大させることが必要である。これにより、イオンの下向きの速度が増大し、それにより電荷蓄積の効果が減少する。と言うのは、大きな電荷が、もし上述のように構成されていなければこれらの真っ直ぐな経路からイオンをそらすのに必要になるからである。

【0125】

同様な利点は、任意の1つの処理段階に加えて又はこれに代えてサイクル相互間のステップに加わるバイアスの振幅を変化させることによって達成できる。例えば、図6を参照すると、サイクル C_2 においてステップ S_7 を構成するステップのシーケンスは、サイクル C_1 等におけるステップ S_7 を構成するステップのシーケンスと異なるより高い振幅を有するのが良い。処理がこのように進展するにつれてバイアス振幅を増大させることによって、マスク選択性を上述したのと同じ理由で向上させることができる。と言うのは、一般に、何割かの電荷が介在するパッシベーション段階とは無関係に、サイクル相互間で絶縁層上に留まることになるからである。

【0126】

別の実施形態では、例えば図6（d）及び図9に示されているステップシーケンスは、下に位置する絶縁層の有無にかかわらず、変形例として、他の処理段階中に基板上に利用できる。例えば、これは、バイアス電力がパッシベーション段階中に基板に印加される場合、処理の全体的エッチング効率にとって有益な場合がある。これにより、方向性イオン衝撃が誘導され、他方、パッシベーション材料は、堆積され、それによりエッチングされるべき特徴部のベースを含む水平面上のデポジションが減少する。その結果、パッシベーション層の厚さは、特徴部のベースのところで小さく、それによりパッシベーション除去ステップの持続時間の減少が可能であり且つ基板エッチング処理段階の早期の実施が可能である。

【0127】

しかしながら、代表的なパッシベーション材料（例えば、PTFE又はその類似物）は

10

20

30

40

50

、絶縁体であり、したがって、これに電荷イオンを当てると、かかるパッシベーション材料は、上述した理由と同じ理由で偏向及び潜在的な側壁ノッチ形成を生じさせ、パッシベーション層は、効果的に、上に位置する絶縁層となる。それ故、バイアスを段階的な仕方で印加することは、これによりパッシベーション材料上の電荷の幾分かの中和及びかくしてノッチ形成の減少を可能にするので有利である。

【0128】

上述の実施形態のうちの任意のものにおいて、処理をエッチングが所望の深さで停止するように制御することが有利である。これは、処理を所定の期間にわたり実施し、次に停止させることによって達成できる。しかしながら、これは、一般に、十分に正確な結果をもたらすことはない。それ故、更に好ましい実施形態では、装置は、エッチング深さが所望の終点に達したときを検出するための終点検出装置を備える。これは、ウェーハ表面からの深さの面で規定されても良く、或いは、ウェーハの物理的特徴部、例えば、エッチングされるべき層の下に位置する停止層、例えば上述の絶縁層35と関連しても良い。

10

【0129】

図10a及び図10bは、2つの例示の終点検出装置40を示している。図10では、エッチングされた特徴部Fの深さが、電磁放射線（例えば、光）源41及び対応の検出器42を含む光学干渉計によって検出されてモニタされる。1つ又は2つ以上の放射線波長がウェーハ30上でエッチングされている特徴部に向かって下方に差し向けられ、そして、反射放射線は、入射放射線と干渉し、その結果、干渉縞43が生じる。干渉縞43の数を、特徴部Fの深さを推定するために数えることができる（例えば、干渉領域中に検出器42を動かすことによって）。終点には所望の深さに対応した干渉縞43の正しい数が数えられたときに達することが知られている。

20

【0130】

図10bでは、ウェーハ30それ自体は、エッチングされるべき層31の組成とは異なる組成を有する材料、例えば、酸化シリコンの停止層35を備えている。ここでは、現在エッチングされている材料の組成（即ち、任意の一時点においてエッチング特徴部Fのベースを形成している材料の組成）は、処理によって放出されたチャンバ内の放射線を視認するために放射線収集器、例えば光ファイバ45を用いて検出される。収集器45は、関連の材料がエッチングされているときに生じる既知の原子遷移に対応した或る特定の波長を選択するために分光計46に連結されるのが良い。変形例として、センサが同一の作用効果を達成するよう応動する波長を選択するために光フィルタが用いられても良い。エッチング深さが植え込み停止層（又は他の特徴部）に達すると、放出される波長にこれに対応した変化が生じるであろう。例えば、装置40がシリコンエッチング中に適切な弗素ラインを視認するよう構成されている場合（例えば、図10bの位置q）、これら弗素ラインの強度は、エッチング反応における弗素の使用に起因して低いはずである。下に位置する絶縁層（位置r）に達すると、弗素ラインの強度は、弗素がもはや吸収されないので増大するはずである。

30

【0131】

エッチング特徴部が所望の終点に達したことを検出すると、装置40は、信号制御器に向けて出力する。これは、図11の流れ図にまとめて示されているように処理を停止させるために多くの別の仕方で利用できる。当初、ステップ50では、エッチング処理は、先の実施形態のうちの任意のものにおいて説明したように実施される。好ましくは、これは、所望のエッチング速度及び効率を達成するための処理ステップの適当な列を含む「処理サイクルA」として図11に記載されている。ステップ52では、システムは、終点検出装置40が終点が受け取られたことを検出するよう待機し、そのようにする際、終点信号が出力される（ステップ53）。

40

【0132】

第1の具体化例では、終点信号の受け取り時、制御器は、組をなす装置に命令してこれが処理を停止させるようにし、そしてエッチングが停止される。しかしながら、上述したように、終点には他のものよりも前にウェーハの或る特定の領域（代表的には、中心）で

50

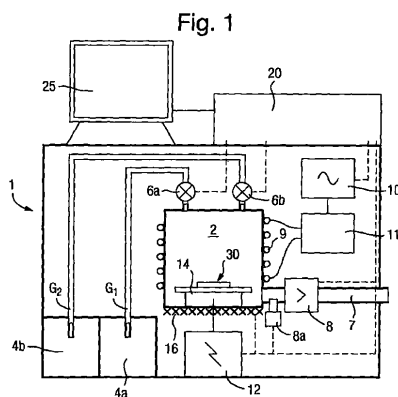
到達する場合が多い。それ故、「オーバーエッチング」を考慮に入れるため、所定の遅延期間が経過するようにするのが良く（ステップ56）、その後、処理を停止させる（ステップ58）。

【0133】

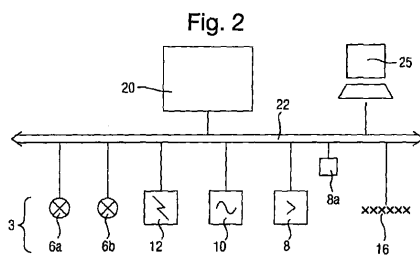
第2の具体化例では、終点信号が受け取られると、処理サイクルAを停止させ、新たな処理サイクル（処理サイクル“B”）を開始させる（ステップ60）。処理サイクルBは、例えば、サイクルAのステップの列とほぼ同じステップの列を含むのが良いが、それほど激しくない（即ち、遅い）エッチングを達成し又はチャンバ内でのエッチング速度の空間的ばらつきを変化させるために調節された処理パラメータ及び／又はタイミングを含む。例えば、処理サイクルBは、ウェーハのエッジの近くでの特徴部のエッチングを完了させる一方でウェーハの中心のところのオーバーエッチングの量を小さく保つよう中心のところよりもウェーハエッジに向かって迅速にエッチングするようになっているのが良い。これは、例えば、パッシベーション処理段階におけるチャンバ圧力を増大させてより多くのパッシベーション材料がウェーハエッジの近くではなくウェーハ中心のところに堆積されるようにすることによって達成できる（ウェーハを横切る堆積プロファイルは、圧力につれて変化する）。変形例として、エッチングステップと比較してパッシベーションステップの長さを増大させることによってエッチング処理を遅くした場合、パッシベーションは、既に下に位置する層まで下方にエッチングされた特徴部のベースの近くの側壁を保護するのに役立ち、それにより、この場合も又、ノッチ形成レベルの減少に役立つ。

10

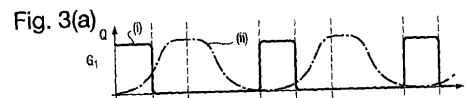
【図1】



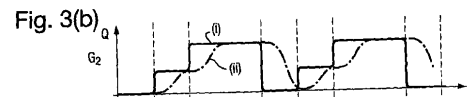
【図2】



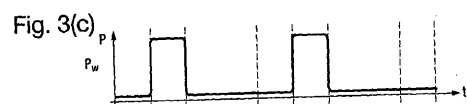
【図3(a)】



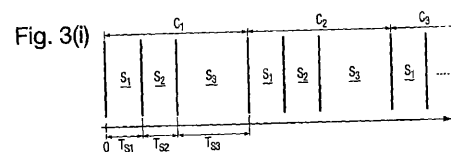
【図3(b)】



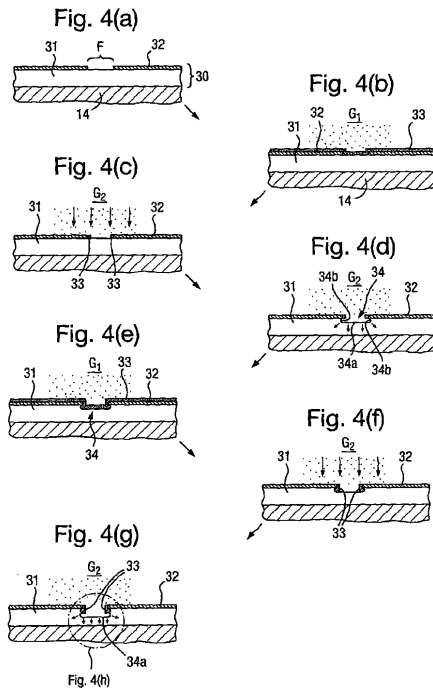
【図3(c)】



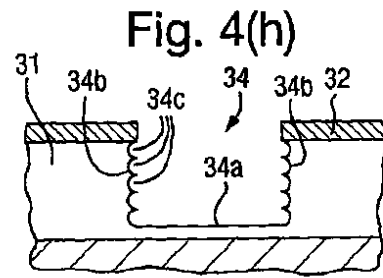
【図3(i)】



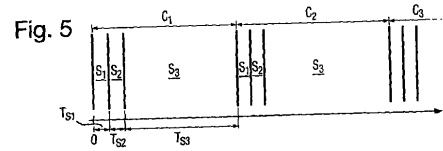
【図 4 (a) - 4 (g) 】



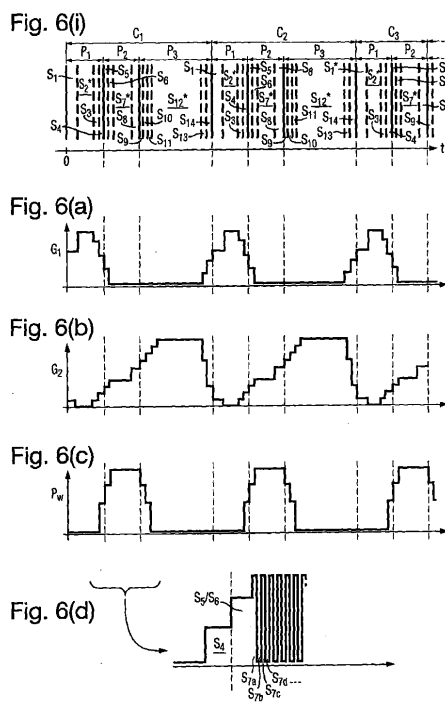
【図 4 (h) 】



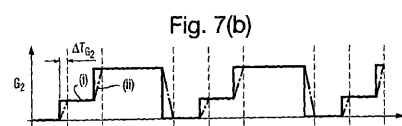
【図 5 】



【図 6 (i) . 6 (a) - 6 (d) 】



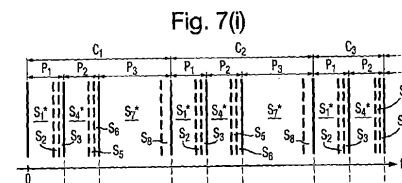
【図 7 (b) 】



【図 7 (c) 】



【図 7 (i) 】



【図 7 (a) 】



フロントページの続き

(74)代理人 100098475

弁理士 倉澤 伊知郎

(74)代理人 100130937

弁理士 山本 泰史

(72)発明者 マクニー マーク エドワード

イギリス ビー60 3イーピー ブロムスグローヴ ストーク ロード 93

(72)発明者 クック マイケル ジョセフ

イギリス ビーエス35 1ジェイジェイ ブリストル ソーンバリー ディーン アベニュー
4

(72)発明者 リー レスリー マイケル

イギリス オーエックス11 9ジェイユー オックスフォードシャー デイドコット イースト
ハグボーン ニュー ロード 16ビー ハイダウェイ

審査官 鈴木 聡一郎

(56)参考文献 特開平08-250479 (JP, A)

特開2004-119994 (JP, A)

特表2008-504975 (JP, A)

特開2001-023909 (JP, A)

特開平08-213372 (JP, A)

特表2009-539267 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B81B 1/00-7/04

B81C 1/00-99/00

C23C 16/00-16/56

H01L 21/205

H01L 21/301-21/302

H01L 21/3065

H01L 21/31

H01L 21/365

H01L 21/461

H01L 21/469

H01L 21/78

H01L 21/86