

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-509218
(P2025-509218A)

(43)公表日 令和7年4月11日(2025.4.11)

(51)国際特許分類
H 0 1 L 21/3065(2006.01)

F I
H 0 1 L 21/302 1 0 5 A
H 0 1 L 21/302 1 0 1 B

テーマコード (参考)
5 F 0 0 4

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全22頁)			
(21)出願番号	特願2024-552716(P2024-552716)	(71)出願人	000219967
(86)(22)出願日	令和5年3月23日(2023.3.23)		東京エレクトロン株式会社
(85)翻訳文提出日	令和6年9月4日(2024.9.4)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(86)国際出願番号	PCT/US2023/016163	(71)出願人	514028776
(87)国際公開番号	WO2023/183539		トーキョー エレクトロン ユーエス ホールディングス、インコーポレーテッド
(87)国際公開日	令和5年9月28日(2023.9.28)		Tokyo Electron U. S. Holdings, Inc.
(31)優先権主張番号	17/704,372		アメリカ合衆国 テキサス州 78704
(32)優先日	令和4年3月25日(2022.3.25)		オースティン サウス 1スト ストリート
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		401 스위트 900
(81)指定国・地域	AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV	(74)代理人	110004381
	最終頁に続く		最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体製造のためのエッチング方法

(57)【要約】

基板を処理する方法は、誘電体層の上にマスクをパターニングすることと、誘電体層に開口をエッチングすることを含む。誘電体層は、基板の上に配置される。エッチングは、エッチング剤、極性ガス又はH含有ガス及びハロゲン化リンガスを流すことを含む。方法は、開口に導電性材料を充填することによってコンタクトを形成することを更に含み得る。

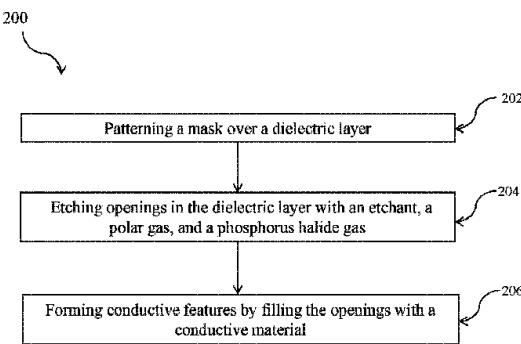


Fig. 7

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板を処理する方法であって、
前記基板の上に配置された誘電体層の上にマスクをパターニングするステップと、
前記誘電体層に開口をエッチングするステップであって、該エッチングするステップは、エッチング剤、極性ガス又はH含有ガス、及びハロゲン化リンガスを流すステップを有する、ステップと、
前記開口に導電性材料を充填することにより、コンタクトを形成するステップと、
を有する、方法。

【請求項 2】

前記エッチング剤は、HF又はHClである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記極性ガス又はH含有ガスは、水蒸気 (H_2O)、過酸化水素 (H_2O_2)、水素 (H_2)、水素 (H_2) と酸素 (O_2) との混合物、又は臭化水素 (HBr) を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記ハロゲン化リンガスは、三フッ化リン (PF_3)、三塩化リン (PCl_3)、フッ化ホスホリル (POF_3)、又は塩化ホスホリル ($POCl_3$) を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記誘電体層は、酸化ケイ素又は窒化ケイ素を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記誘電体層は、O/N/O/N スタックを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記エッチングするステップでは、異方性エッチングプロセスで前記開口を異方性エッチングする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記異方性エッチングプロセスは、プラズマ処理システムにおいてプラズマプロセスとして実施される、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記コンタクトは、50 : 1 を超えるそれぞれのアスペクト比を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

基板を処理する方法であって、
周期的なエッチングプロセスを実施するステップを有し、
前記周期的なエッチングプロセスの各サイクルは、
プロセスチャンバ内にある前記基板上的誘電体層の上にエッチング剤を流すステップと、
前記プロセスチャンバ内で前記誘電体層の上に極性ガス又はH含有ガス、及びハロゲン化リンガスを流すことにより、前記プロセスチャンバ内に触媒を形成するステップと、
前記プロセスチャンバから前記触媒をパージするステップと、
を有する、方法。

【請求項 11】

前記エッチング剤は、HFである、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記ハロゲン化リンガスは、三フッ化リン (PF_3) である、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

前記触媒は、 PF_2OH を含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 14】

前記周期的なエッチングプロセスは、プラズマプロセスである、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 15】

前記周期的なエッチングプロセスは、異方性である、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 16】

プロセスチャンバ内で基板を処理する方法であって、

前記基板の露出面を有する誘電体層の上にエッチング剤及び極性ガス又は H 含有ガスを流すステップと、

周期的チューニングプロセスを実施するステップと、

を有し、

前記周期的チューニングプロセスの各サイクルは、

前記プロセスチャンバの温度を調整するステップと、

前記誘電体層の上にハロゲン化リンガスを流すステップと、

を有する、方法。

【請求項 17】

前記極性ガス又は H 含有ガスは、 H_2O を含む、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 18】

前記ハロゲン化リンガスは、リン及びフッ素を含む、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 19】

前記誘電体層は、酸化ケイ素を含む、請求項 16 に記載の方法。

【請求項 20】

さらに、前記誘電体層に開口を形成するステップを有し、

前記開口は、50 : 1 を超えるアスペクト比を有する、請求項 16 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連特許及び出願の相互参照

本出願は、2022年3月25日に出願された米国非仮特許出願第 17 / 704 , 372 号明細書に対する優先権及びその出願日の利益を主張するものであり、この出願は、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本発明は、概して、半導体製造のシステム及び方法に関し、特定の実施形態では、ハロゲン化リンガスで誘電材料をエッチングするためのシステム及び方法に関する。

【背景技術】

【0003】

一般に、集積回路 (IC) などの半導体デバイスは、基板の上に誘電材料、導電材料及び半導体材料の層を順次堆積させてパターニングして、モノリシック構造で一体化された電子部品及び相互接続要素 (例えば、トランジスタ、抵抗器、コンデンサ、金属線、コンタクト及びビア) のネットワークを形成することによって製造される。半導体デバイスの構成構造を形成するために使用される処理ステップの多くは、エッチングプロセスを使用して実施される。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

半導体産業は、構成要素の集積密度を高めるために、半導体デバイスの最小特徴部サイズを数ナノメートルまで繰り返し縮小してきた。それに応じて、半導体産業は、正確性、精度及びプロファイル制御を伴って、多くの場合に原子スケールの寸法で特徴部をパターニングするプロセスを提供するためのエッチング技術を一層要求している。IC の大量生産に必要な均一性及び再現性を伴ってこの課題に対処することは、エッチング技術の更なる革新を必要とする。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一実施形態によれば、基板を処理する方法は、基板の上に配置された誘電体層の上にマスクをパターニングすることと、誘電体層に開口をエッチングすることとであって、エッチング剤、極性ガス又はH含有ガス及びハロゲン化リンガスを流すことを含む、エッチングすることと、開口に導電性材料を充填することによってコンタクトを形成することを含む。

【0006】

別の実施形態によれば、基板を処理する方法は、周期的なエッチングプロセスを実施することを含み、周期的なエッチングプロセスの各サイクルは、プロセスチャンバ内にある基板上の誘電体層の上にエッチング剤を流すことと、プロセスチャンバ内で誘電体層の上に極性ガス又はH含有ガス及びハロゲン化リンガスを流すことにより、プロセスチャンバ内で触媒を形成することと、プロセスチャンバから触媒をパージすることを含む。

【0007】

更に別の実施形態によれば、プロセスチャンバ内で基板を処理する方法は、基板の露出面を含む誘電体層の上にエッチング剤及び極性ガス又はH含有ガスを流すことと、周期的チューニングプロセスを実施することとを含み、周期的チューニングプロセスの各サイクルは、プロセスチャンバの温度を調整することと、誘電体層の上にハロゲン化リンガスを流すこととを含む。

【0008】

前述の概要及び以下の詳細な説明の両方は、例示的且つ説明的なものに過ぎず、特許請求されるように本開示を限定するものではないことを理解すべきである。

【0009】

本発明及びその利点のより詳細な理解のために、ここで、以下の記載を添付図面と併せて参照する。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】様々な実施形態による、基板上に高アスペクト比（HAR）特徴部を形成するためのエッチングプロセスを含む半導体製造の例示的なプロセス中の基板の断面を示す。図1は、誘電体層及びパターニングされたハードマスク層を含む、入来する基板を示し、図2～3は、エッチングプロセスによる高アスペクト比特徴部の形成中の基板を示し、図4は、エッチングプロセスを完了した後の基板を示し、図5は、高アスペクト比特徴部が形成された後の基板を示す。

【図2】様々な実施形態による、基板上に高アスペクト比（HAR）特徴部を形成するためのエッチングプロセスを含む半導体製造の例示的なプロセス中の基板の断面を示す。図1は、誘電体層及びパターニングされたハードマスク層を含む、入来する基板を示し、図2～3は、エッチングプロセスによる高アスペクト比特徴部の形成中の基板を示し、図4は、エッチングプロセスを完了した後の基板を示し、図5は、高アスペクト比特徴部が形成された後の基板を示す。

【図3】様々な実施形態による、基板上に高アスペクト比（HAR）特徴部を形成するためのエッチングプロセスを含む半導体製造の例示的なプロセス中の基板の断面を示す。図1は、誘電体層及びパターニングされたハードマスク層を含む、入来する基板を示し、図2～3は、エッチングプロセスによる高アスペクト比特徴部の形成中の基板を示し、図4は、エッチングプロセスを完了した後の基板を示し、図5は、高アスペクト比特徴部が形成された後の基板を示す。

【図4】様々な実施形態による、基板上に高アスペクト比（HAR）特徴部を形成するためのエッチングプロセスを含む半導体製造の例示的なプロセス中の基板の断面を示す。図1は、誘電体層及びパターニングされたハードマスク層を含む、入来する基板を示し、図2～3は、エッチングプロセスによる高アスペクト比特徴部の形成中の基板を示し、図4は、エッチングプロセスを完了した後の基板を示し、図5は、高アスペクト比特徴部が形

成された後の基板を示す。

【図 5】様々な実施形態による、基板上に高アスペクト比（HAR）特徴部を形成するためのエッチングプロセスを含む半導体製造の例示的なプロセス中の基板の断面を示す。図 1 は、誘電体層及びパターニングされたハードマスク層を含む、入来する基板を示し、図 2～3 は、エッチングプロセスによる高アスペクト比特徴部の形成中の基板を示し、図 4 は、エッチングプロセスを完了した後の基板を示し、図 5 は、高アスペクト比特徴部が形成された後の基板を示す。

【図 6 A】様々な実施形態による、水の存在による酸化物エッチングの触媒作用を示す。

【図 6 B】様々な実施形態による、ハロゲン化リンとヒドロキシル基との組合せによる酸の形成を示す。

【図 6 C】様々な実施形態による、酸性分子の存在による表面水分保持の増加を示す。

【図 6 D】様々な実施形態による、異なるフッ素含有ガスに対して実現されたエッチング速度対流量を示す。

【図 6 E】様々な実施形態による、 H_2O 、 HF 及び PF_2OH に対する四重極型質量分光計（QMS）強度対温度を示す。

【図 7】様々な実施形態による、エッチング処理の方法のプロセスフローチャート図を示す。

【図 8】様々な実施形態による、エッチング処理の方法のプロセスフローチャート図を示す。

【図 9】様々な実施形態による、エッチング処理の方法のプロセスフローチャート図を示す。

【図 10】様々な実施形態による、半導体製造のプロセスを実施するためのプラズマシステムを示す。

【発明を実施するための形態】

【0011】

異なる図面の対応する数字及び記号は、別途指示しない限り、一般に対応する部分を指す。図面は、実施形態の関連する態様を明確に示すように描かれ、必ずしも縮尺通りに描かれていない。図面で描かれた特徴部のエッジは、必ずしも特徴部の範囲の終端を示すものではない。

【0012】

様々な実施形態の作成及び使用に関して以下で詳述する。しかしながら、本明細書で説明する様々な実施形態は、多様な具体的な文脈で適用可能であることを理解されたい。論じられる具体的な実施形態は、様々な実施形態を作成及び使用する具体的な方法を例示するに過ぎず、限定された範囲で解釈されるべきではない。

【0013】

本明細書の枠組みにおける「一実施形態」又は「1つの実施形態」の参照は、その実施形態に関して説明される特定の構成、構造又は特徴が少なくとも1つの実施形態に含まれることを示すことを意図する。そのため、本明細書の1つ以上の箇所に存在し得る「一実施形態では」又は「1つの実施形態では」などの語句は、必ずしも1つの同じ実施形態を参照するわけではない。更に、特定の形態、構造又は特徴は、1つ以上の実施形態において任意の適切な方法で組み合わせられ得る。

【0014】

本明細書で使用される参照は、単に便宜のために提供され、したがって保護の範囲又は実施形態の領域を定めるわけではない。本開示の1つ以上の実施形態によれば、本出願は、半導体デバイス、例えば半導体デバイスを含む集積回路、より具体的には3D-NAND（又は垂直NAND）、3D-NOR又はダイナミックランダムアクセスメモリ（DRAM）デバイスなどの大容量3次元（3D）メモリデバイスの製造に関する。そのようなデバイスの製造は、一般に、回路要素のコンフォーマルな高アスペクト比特徴部（例えば、コンタクトホール）を形成することを必要とし得る。50：1より高いアスペクト比（特徴部の幅に対する特徴部の高さの比率）を有する特徴部は、一般に、高アスペクト比特

10

20

30

40

50

微部であると考えられ、場合により、100:1のようなより高いアスペクト比を作製することが、高度な3D半導体デバイスにとって望まれる場合がある。しかしながら、従来の高アスペクト比エッチング方法は、通常、数十、ときに数百の処理ステップを含む場合があり、したがって、それは、プロセスの最適化及びエッチングのスループットを複雑にする。したがって、単純であるが、効果的な高アスペクト比プロセスが望まれ得る。本出願の実施形態は、エッチング剤、極性ガス又はH含有ガス及びハロゲン化リンガスの組合せに基づくエッチングプロセスにより、高アスペクト比特徴部を作製する方法を開示する。高アスペクト比特徴部ではない他の半導体特徴部を作製するために、エッチングプロセスは、例えば、等方性エッチングプロセスを用いて更に適用され得る。開示されるエッチングプロセスの増加したエッチング速度は、より速い生産時間及び費用削減を可能にし得る。

10

【0015】

本開示で説明されるエッチング方法は、高アスペクト比特徴部のためのエッチングプロセスに対して提起される様々な課題を克服し得る。様々な実施形態では、エッチング剤、極性ガス又はH含有ガス及びハロゲン化リンガスの組合せを用いるエッチングプロセスは、高アスペクト比特徴部の異方性のエッチングに役立ち得る増加したエッチング速度を提供する。開示されるエッチングプロセスは、誘電材料上での等方性エッチングプロセスに対して向上したエッチング速度を実現することにも有用であり得る。

【0016】

以下では、図1～図5は、最初に、様々な実施形態による、所望の高アスペクト比特徴部を形成するための例示的なエッチングプロセスを示す。エッチング速度に対するエッチング化学物質の影響が説明される。次に、エッチング化学物質の背後にある原理が図6A～図6Eで説明される。次いで、例示的なプロセスフロー図を図7、図8及び図9に示す。図10は、様々な実施形態による半導体製造のプロセスを実施するための例示的なプラズマシステムを提供する。全ての図面は、例示の目的でのみ描かれており、縮尺通りではない。

20

【0017】

図1～図5は、様々な実施形態による、基板上に高アスペクト比特徴部を形成するためのエッチングプロセスを含む半導体製造の例示的なプロセス中の基板100の断面図を示す。

30

【0018】

図1は、誘電体層110及びパターニングされたハードマスク層120（マスクとも呼ばれる）を含む、入来する基板100を示す。1つ以上の実施形態では、基板100は、シリコンウェハ又はシリコンオンインシュレータ（SOI）ウェハであり得る。特定の実施形態では、基板は、シリコンゲルマニウムウェハ、シリコンカーバイドウェハ、ヒ化ガリウムウェハ、窒化ガリウムウェハ及び他の化合物半導体を含み得る。他の実施形態では、基板は、シリコンゲルマニウムオンシリコン、窒化ガリウムオンシリコン、シリコンカーボンオンシリコンなどのヘテロジニアス層及びシリコンオンシリコン層又はSOI基板を含む。

【0019】

様々な実施形態では、基板100は、半導体デバイスの一部であり、例えば従来のプロセスに続く処理のいくつかのステップを経ている場合がある。例えば、半導体構造は、様々なデバイス領域が形成された基板100を含み得る。この段階では、基板100は、シャロートレンチアイソレーション（STI）領域などの分離領域及びその中に形成された他の領域を含み得る。

40

【0020】

誘電体層110は、基板100の上に形成され得る。様々な実施形態では、誘電体層110は、1つ以上の高アスペクト比特徴部にパターニングされることになるターゲット層である。特定の実施形態では、誘電体層110中にエッチングされている高アスペクト比特徴部は、コンタクト孔、スリット又は凹部を含む他の好適な構造であり得る。いくつか

50

の実施形態では、誘電体層 110 は、酸化物（例えば、酸化ケイ素）、窒化ケイ素、酸化シリコン、O/N/O/N スタック（酸化物及び窒化物を積み重ねた層）などを含む。誘電体層 110 は、化学気相成長法（CVD）、物理気相成長法（PVD）、原子層堆積法（ALD）を含む気相堆積並びにプラズマエンハンスド CVD（PECVD）及び他のプロセスなどの他のプラズマプロセスなど、適切な技術を使用して堆積させることができる。一実施形態では、誘電体層 110 は、O/N/O/N スタックであり、1 μm ~ 10 μm の総厚さを有し、積層体の各層が 50 nm ~ 2.5 μm の範囲の厚さを有する。

【0021】

依然として図 1 を参照すると、パターニングされたハードマスク層 120 は、誘電体層 110 の上に形成される。様々な実施形態では、パターニングされたハードマスク層 120 は、非晶質炭素層（ACL）を含み得る。パターニングされたハードマスク層 120 は、例えば、適切なスピンコーティング技術又は化学気相成長法（CVD）、物理気相成長法（PVD）、原子層堆積法（ALD）などの気相成長技術並びにプラズマエンハンスド CVD（PECVD）及び他のプロセスなどの他のプラズマプロセスを使用して、最初にハードマスク層を堆積させることによって形成され得る。次いで、堆積されたハードマスク層は、リソグラフィプロセス及び異方性エッチングプロセスを使用してパターニングされ得る。パターニングされたハードマスク層 120 及び誘電体層 110 の相対的厚さは、任意の好適な関係を有し得る。例えば、パターニングされたハードマスク層 120 は、誘電体層 110 より厚くてもよいか、誘電体層 110 より薄くてもよいか、又は誘電体層 110 と同じ厚さであり得る。特定の実施形態では、パターニングされたハードマスク層 120 は、1 μm ~ 4 μm の範囲の厚さを有する。

【0022】

パターニングされたハードマスク層 120 及び／又は誘電体層 110 は、集合的に基板 100 の一部と見なすことができる。更に、基板 100 は、他の層を含み得る。例えば、ハードマスク層をパターニングするために、フォトリジスト層、SiON 層及び光学平面化層（OPL）を含む三層構造が存在し得る。

【0023】

図 2 は、1 つ以上の高アスペクト比特徴部（例えば、メモリアレイのために誘電体層又はスタックを貫通して形成されたコンタクトプラグ）の形成のためのエッチングプロセスの開始時における基板 100 を示す。エッチングプロセスは、プラズマ処理チャンバ 510（例えば、以下の図 10 を参照されたい）などのプロセスチャンバ内で実施され得る。しかしながら、いかなる好適なプロセスチャンバも使用され得る。

【0024】

誘電体層 110 中に高アスペクト比特徴部を作製することは、様々な実施形態による、ガスの組合せを用いるエッチングプロセスによって実施される。具体的には、エッチング剤 130、極性ガス又は H 含有ガス 140 及びハロゲン化リンガス 150 が使用される。必要とされる高アスペクト比を実現するため、エッチングプロセスは、増加したエッチング速度を有することが有利である。しかしながら、形成される高アスペクト比開口の形状は、高アスペクト比開口の底面上のエッチング界面におけるエッチング剤のラジカルの供給を抑制し得る。このように、開示されるエッチングプロセスは、エッチング界面におけるエッチング剤の濃度を増加させることができ、より速いエッチング速度がもたらされる。

【0025】

エッチング剤 130 は、誘電体層 110 の露出面上に保持された極性分子によって触媒作用を受け得る誘電材料（例えば、誘電体層 110）をエッチングするのに好適な化学物質である。様々な実施形態では、エッチング剤 130 は、フッ化水素（HF）、塩化水素（HCl）など、又はこれらの組合せである。極性ガス又は H 含有ガス 140 は、極性分子を含むガス又は誘電体層 110 の露出面上に極性分子を形成するガスである。様々な実施形態では、極性ガス又は H 含有ガス 140 は、水蒸気（H₂O）、過酸化水素（H₂O₂）、水素（H₂）、水素（H₂）と酸素（O₂）との混合物、臭化水素（HBr）など

、又はこれらの組合せを含む。しかしながら、任意の好適な極性ガス又はH含有ガスが使用され得る。ハロゲン化リンガス150は、誘電体層110の露出面上で極性分子と相互作用して、エッチング剤130のための触媒を形成する。様々な実施形態では、ハロゲン化リンガス150は、三フッ化リン(PF_3)、三塩化リン(PCl_3)、フッ化ホスホリル(POF_3)、塩化ホスホリル(POCl_3)、式 PX_n (式中、Xは、H、F、Cl、Br又はこれらの組合せを表す)を有するリン含有ガスなど、又はこれらの組合せである。

【0026】

エッチングプロセス中、極性ガス又はH含有ガス140は、ハロゲン化リンガス150と相互作用して、ハロゲン化リンガス150のハロゲン原子を-OH基に置換して、リン含有酸160を形成する。このリン含有酸160は、極性分子(例えば、水)に対する共吸着物質として機能し、誘電体層110のエッチング界面上にエッチング剤130を保持することを促進する。結果として得られる、エッチング界面上でのエッチング剤130のより高い密度は、有利には、エッチング速度を増加させ得る。

10

【0027】

水などの水素含有極性分子も誘電体層110のエッチング界面上に保持され得、それにより誘電体層110に対するエッチング剤130の反応に更なる触媒作用を及ぼし得る。例えば、エッチング剤130がHFである場合、誘電体層110のエッチング界面上に保持された水は、HFと反応してフッ化水素酸を生成し、それによりエッチング速度が増加し得る。リン含有酸160は、誘電体層110に対するエッチング剤130の反応に更に触媒作用を及ぼし得る。

20

【0028】

図3は、1つ以上の高アスペクト比特徴部の形成のためのエッチングプロセスの後期段階における基板100を示す。高アスペクト比を有する開口170は、誘電体層110中に延びる。図3に示すエッチングプロセスは、異方性であり、したがって、開口170は、高アスペクト比を伴って生成される。

【0029】

いくつかの実施形態では、異方性エッチングは、図10に関して以下に説明するような好適なプラズマ処理システムで実施されるプラズマプロセスを用いて、エッチング剤130、極性ガス又はH含有ガス140及びハロゲン化リンガス150を供給することによって可能になる。誘導されたプラズマ衝撃に起因して、リン含有酸160及び極性分子(例えば、水、ヒドロキシル等)は、開口170の側壁上よりも開口170の底面上により大きい程度で形成される。プラズマプロセスの高電力は、極性ガス又はH含有ガス140と、誘電体層110の酸素又は窒素原子との間の反応を誘起して、極性分子を開口170の底面上に選択的に形成し得る。次いで、開口170の底面上の極性分子は、ハロゲン化リンガス150と相互作用して、開口170の底面上にリン含有酸160を共吸着物質として形成する。プラズマプロセスも、開口170の側壁上よりも開口170の底面上により大きい程度でエッチング剤130を供給する。加えて、開口170の底面上でのより多くの量の極性分子は、エッチング剤130を更に保持することを促進する。これは、誘電体層110の材料に対するエッチング剤130の触媒作用による反応を主に基板100に向かって誘導して、異方性エッチングを可能にし得る。

30

40

【0030】

いくつかの実施形態では、等方性エッチングは、プラズマ処理なしで、炭化水素ガス及びリン含有ガスの流量をチューニングして、開口170の露出面上での H_2O 及びエッチング剤130の吸着を促進することによって可能になる。これは、開口170の露出面上でのエッチング剤130による等方性エッチングプロセスに触媒作用を及ぼし得る。

【0031】

また、図2～図3の例では、十分なエッチング速度により、従来の高アスペクト比エッチング方法と比較して短いプロセス時間で開口170が高アスペクト比を有することが可能になる。同時に、エッチングプロセス中のパターニングされたハードマスク層120に

50

対する良好な選択性に起因して、パターニングされたハードマスク層 120 のごく僅かな割合のみが消費され得る。

【0032】

図 4 では、パターニングされたハードマスク層 120 が誘電体層 110 の上から除去され、エッチングプロセスによる残渣が除去される。パターニングされたハードマスク層 120 は、好適なプロセス、例えば平坦化プロセス（例えば、CMP）等を用いて除去され得る。いくつかの実施形態では、エッチングプロセスによる残渣は、脱イオン水、過酸化水素、SC-1 など、又はこれらの組合せを用いたリンスなどの好適なクリーニングプロセスで除去される。

【0033】

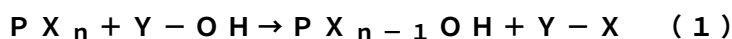
図 5 では、開口 170（上記の図 4 を参照されたい）内に導電性特徴部 180 が形成される。様々な実施形態では、導電性特徴部 180 は、高アスペクト比特徴部である。導電性特徴部 180 は、基板 100 の導電性部分に物理的且つ電氣的に結合するように形成され得る。導電性特徴部 180 を形成する例として、誘電体層 110 及び基板 100 の露出面の上にコンフォーマルなバリア金属（例えば、TiN 又は TaN）ライナが形成される。次に、開口 170 は、金属などの導電性材料で充填される。例えば、導電性材料は、電気めっきを使用して形成される銅であり得る。しかしながら、いかなる好適な導電性材料及び堆積方法も使用され得る。次いで、平坦化プロセス（例えば、CMP）を使用して誘電体層 110 の上面から過剰な導電性材料が除去され、それにより誘電体層 110 中に嵌め込まれた導電性特徴部 180 が形成される。

【0034】

図 6 A は、様々な実施形態による、水の存在による酸化物エッチングの触媒作用のモデル化を示す。様々な表面エネルギー及び反応障壁は、密度関数理論などの好適な方法を用いて計算できる。左側に酸化物の分子構造又は原子構造を示す。酸化物は、ケイ素原子を含み得（例えば、酸化物は、酸化ケイ素であり得）、酸化物は、その表面上にヒドロキシル（OH）基を有し得る。エッチング剤 HF は、ヒドロキシル基を置換することができ、フッ素原子 F は、ケイ素原子と結合して、SiF 基を形成することができる。このプロセスは、酸化物を分解し、エッチングして除去し得る。しかしながら、酸化物に対する HF の化学反応の予測される反応障壁は、0.76 eV である。中央下に示すように、極性分子（例えば、H₂O）が追加されて酸化物の表面に付着すると、酸化物表面への H₂O の付着が（例えば、初期状態よりも 0.24 eV だけ低いエネルギー状態を有して）選好されるため、極性分子は、反応のための触媒として機能し得る。その後、付着した H₂O に対して酸化物が反応して、（例えば、SiF 基を有する）エッチングされた酸化物と H₂O とが形成されることが（例えば、初期状態よりも 0.33 eV だけ低いエネルギー状態を有して）更に選好される。図 6 A は、誘電材料としての酸化物、エッチング剤としての HF 及び極性分子としての H₂O を示すが、触媒作用は、他の誘電材料（例えば、窒化物）、エッチング剤（例えば、HCl）又は極性分子若しくは H 含有ガス（例えば、HBr）を用いて可能になり得る。このように、図 6 A は、極性分子が反応障壁エネルギーを低減させることにより、誘電材料のエッチング速度の増加を可能にし得る。

【0035】

図 6 B は、様々な実施形態による、ハロゲン化リンとヒドロキシル基との組合せによる酸の形成を示す。例えば、ヒドロキシル（OH）基がハロゲン化リンのハロゲン原子を置換してリン含有酸を形成するように、ハロゲン化リンは、H₂O と反応し得る。反応は、式（1）によって記述され得る。



【0036】

上記の式（1）では、X は、ハロゲン原子（例えば、フッ素、塩素等）を表し、Y は、ヒドロキシル（OH）基に結合した原子又は原子団を表す。式（1）が、反応物 PX_n 及び Y-OH の系が生成物 PX_{n-1}OH 及び Y-X を形成する加水分解反応を表す例では、Y は、水素原子であり、Y-OH は、水（H₂O）分子であり、PX_{n-1}OH は、

10

20

30

40

50

リン含有酸を表し、 $Y-X$ は、ハロゲン原子 X の1つに水素原子が付着していることを表す。 PX_n が PF_3 である場合、加水分解反応は、 -0.1 eV のシステムの内部エネルギーの変化 ΔE を有し得る。 PX_n が PCl_3 である場合、加水分解反応は、 -0.2 eV のシステムの内部エネルギーの変化 ΔE を有し得る。 PX_n が POF_3 である場合、加水分解反応は、 -0.3 eV のシステムの内部エネルギーの変化 ΔE を有し得る。 PX_n が $POCl_3$ である場合、加水分解反応は、 -0.33 eV のシステムの内部エネルギーの変化 ΔE を有し得る。しかしながら、いかなる好適な PX_n ガスも極性ガス又はH含有ガスと反応して、リン含有酸を形成し得る。

【0037】

図6Cは、様々な実施形態による、酸性分子の存在による表面水分保持の増加のデータのモデル化を示す。HFを用いる酸化物のエッチングプロセス中に生成され得るような、フッ素原子が結合した酸化物（例えば、酸化ケイ素）の原子構造が左上に示される。酸化物の表面は、フッ素原子の存在に起因して比較的疎水性であり得る。右上には、水に対する酸化物の吸着反応が示される。酸化物表面に対する水の吸着エネルギー $E_{ads}(H_2O)$ は、 -0.24 eV であり得る。

【0038】

図6Cに更に示すように、酸化物表面上の水の吸着は、リン含有酸の共吸着によって触媒作用を受ける場合がある。左下には、酸化物に対するリン含有酸分子（ $\alpha-OH$ 、 α は、リンを含む）の吸着反応が示される。酸化物表面に対する水の吸着エネルギー $E_{ads}(H_2O)$ は、 -0.50 eV であり得る。水に対するリン含有酸を有する酸化物の更なる吸着反応が右下に示され、吸着エネルギー $E_{ads}(H_2O)$ は、 -0.54 eV である。共吸着されたリン含有酸がないときの吸着エネルギー $E_{ads}(H_2O)$ から -0.3 eV の減少があり、全吸着エネルギーは、2倍超の大きさである。共吸着されたリン含有酸が存在する場合のこの増加した吸着エネルギーは、酸化物の表面上に吸着された水（又は他の極性分子）の濃度を増加させ得、それによりエッチング反応の触媒作用が増加し、エッチングプロセスの動作条件が広がる。リン含有酸との共吸着反応によって増加した水の吸着は、水蒸気圧も低下させ得、それは、触媒作用を受けたエッチングプロセスの動作温度領域を増加させ得る。

【0039】

図6Dは、様々な実施形態による、異なるフッ素含有ガスに対して実現されたエッチング速度対流量の実験結果を示す。x軸は、酸化物上でのそれぞれのエッチングプロセス（例えば、HFを用いる酸化ケイ素のエッチングプロセス）中に流される異なるフッ素含有ガス PF_3 、 NF_3 及び SF_6 の相対的流量を示し、y軸は、酸化物上でのそれぞれのエッチングプロセスの相対的エッチング速度（酸化物エッチング速度）を示す。図6Dに示すように、相対的エッチング速度は、リンを含有しない NF_3 及び SF_6 よりもリンを含有する PF_3 について、流量の増加に比例して最も増加する。 PF_3 を用いたときのエッチング速度のこのような大きい増加は、 NF_3 及び SF_6 が PF_3 と同程度又はより多くのフッ素を供給する場合でも生じる。これは、 PF_3 を流すことによって観察されるエッチング速度のより大きい増加が、図2及び図6Cに関して上述したメカニズムによってエッチングプロセスに触媒作用を及ぼし得るリンの存在に起因し得ることを示唆している。

【0040】

図6Eは、様々な実施形態による、酸化物（例えば、酸化ケイ素）の上にHF、 H_2O 及び PF_3 を流すことによって実施されるエッチングプロセス中に実験的に測定した、規格化された四重極型質量分析計（QMS）強度対温度をHF、 H_2O 及び PF_2OH に対して示す。温度が減少するにつれて、HF及び H_2O の規格化されたQMS強度が減少し、これは、酸化物表面上でのHF及び H_2O の吸着の増加を示す。加えて、 PF_2OH の規格化されたQMS強度は、温度の減少に伴って増加し、これは、より多くの量の PF_2OH が、吸着された H_2O の量の増加による酸化物の表面の近くでのより多くの量の加水分解反応に起因することを意味する。これは、 PF_3 を含めることによって観察される図6Dのエッチング速度の増加が、 PF_2OH の共吸着物質の形成が水の吸着に触媒作用を

及ぼすことと、吸着された水によってHFのエッチング反応が更に触媒作用を受けることとに起因し得ることを更に示唆する。

【0041】

図7は、いくつかの実施形態による、連続触媒エッチング処理の方法200のプロセスフローチャート図を示す。ステップ202では、図1に関して上述したように、誘電体層110の上にマスク（例えば、パターニングされたハードマスク層120）がパターニングされる。

【0042】

ステップ204では、図2～図3に関して上述したように、エッチング剤130、極性ガス又はH含有ガス140及びハロゲン化リンガス150を流すことにより、誘電体層110中に開口170がエッチングされる。エッチングプロセスは、誘電体層110を含むプロセスチャンバ内にエッチング剤130、極性ガス又はH含有ガス140及びハロゲン化リンガス150が連続的に流される連続触媒エッチングである。極性ガス又はH含有ガス140は、ハロゲン化リンガス150と相互作用して、ハロゲン化リンガス150のハロゲン原子を-OH基に置換して、リン含有酸160を形成する。このリン含有酸160は、共吸着物質として機能し、誘電体層110のエッチング界面上で極性分子（例えば、水、ヒドロキシル等）をエッチング剤130と共に保持することを促進する。結果として生じる、エッチング界面上でのエッチング剤130及び極性分子（例えば、水、ヒドロキシル等）のより高い密度は、エッチングプロセスに触媒作用を及ぼすことができ、エッチング速度を増加させることができる。

【0043】

いくつかの実施形態では、連続触媒エッチングは、プラズマ処理システム（下記の図10を参照されたい）を用いて実施される異方性プラズマエッチングである。いくつかの実施形態では、連続触媒エッチングは、等方性エッチングである。等方性エッチングは、炭化水素ガス及びリン含有ガスの流量をチューニングして、開口170の露出面上でのH₂O及びエッチング剤130の吸着を促進し、それにより等方性エッチングプロセスに触媒作用を及ぼすことによって実施され得る。

【0044】

連続触媒プラズマエッチングの一実施形態では、エッチング剤130（例えば、HF、HCl等）の流量は、1sccm～1000sccmの範囲であり、極性ガス又はH含有ガス140（例えば、H₂O、HBr等）の流量は、1sccm～1000sccmの範囲であり、ハロゲン化リンガス150の流量は、1sccm～1000sccmの範囲である。連続触媒プラズマエッチングは、-200℃～250℃の範囲の温度及び0.1mTorr～1000mTorrの範囲の圧力で実施される。連続触媒プラズマエッチングは、50W～15000Wの範囲のプラズマ電力で実施される。

【0045】

ステップ206では、図5に関して上述したように、開口170に導電性材料を充填することにより、導電性特徴部180（例えば、メモリアレイのためのコンタクトプラグ）が形成される。導電性特徴部180は、例えば、50:1を超えるアスペクト比を有する高アスペクト比特徴部であり得る。

【0046】

図8は、いくつかの実施形態による、準原子層触媒エッチング処理の方法300のプロセスフローチャート図を示す。準原子層触媒エッチング処理は、形成される開口170の異方性を増加させること（図3を参照されたい）又はエッチング深さを制御することなど、エッチングプロセスの可制御性を向上させ得る。

【0047】

ステップ302では、プロセスチャンバ内の誘電体層110の上にエッチング剤130（例えば、HF、HCl等）が流される。一実施形態では、エッチング剤130の流量は、1sccm～1000sccmの範囲である。エッチング剤130は、1秒～300秒の範囲の期間にわたり、-200℃～50℃の範囲の温度及び0.1mTorr～100

0 mTorr の範囲の圧力で流される。誘電体層 110 の露出面上に少量のエッチング剤 130（例えば、単分子層又は二分子層）が形成される。

【0048】

ステップ 304 では、誘電体層 110 を含むプロセスチャンバ内に極性ガス又は H 含有ガス 140（例えば、 H_2O 、 HBr 等）及びハロゲン化リンガス 150 を流すことにより、エッチングプロセスのための触媒が形成される。ハロゲン化リンガス 150 は、極性ガス又は H 含有ガス 140 と相互作用して、誘電体層 110 のエッチング界面上にリン含有酸 160（上記の図 2～図 3 を参照されたい）及び極性分子などの触媒を形成する。これは、図 2～図 3 に関して上述したように、エッチングプロセスに触媒作用を及ぼし、エッチング速度を増加させる。エッチングプロセスは、誘電体層 110 の露出面上のエッチング剤の少量を消費して、リン含有酸 160 及び極性分子などの触媒を残す。

10

【0049】

いくつかの実施形態では、触媒を形成することは、1 sccm～1000 sccm の範囲の極性ガス又は H 含有ガス 140 の流量及び 0.1 sccm～1000 sccm の範囲のハロゲン化リンガス 150 の流量を含む。極性ガス又は H 含有ガス 140 及びハロゲン化リンガス 150 は、1 秒～300 秒の範囲の期間にわたり、 $-200^{\circ}C \sim 250^{\circ}C$ の範囲の温度及び 0.1 mTorr～1000 mTorr の範囲の圧力で流される。

【0050】

ステップ 306 では、リン含有酸 160 及び極性分子などの残存する触媒を除去するために、プロセスチャンバがパージされる。いかなる残存するエッチング剤 130 もパージされ得る。パージは、プロセスチャンバ内に不活性ガス（例えば、アルゴン等）を流すこと、真空ポンプでプロセスチャンバを排気すること又はこれらの組合せによって実施され得る。パージを用いて触媒を除去することは、準原子層触媒エッチングプロセスの以降のステップの可制御性を向上させることができ、例えばそれにより各エッチングステップで誘電体層 110 の所望の量がエッチングされ、形成される開口 170 の所望の形状（上記の図 3 を参照されたい）が実現される。

20

【0051】

誘電体層 110 を所望の深さにエッチングするため、ステップ 302～306 は、任意の好適な数のサイクルにわたって繰り返され得る。いくつかの実施形態では、準原子層触媒エッチング処理は、1 サイクル～1000 サイクルのステップ 302～306 を含む。

30

【0052】

図 9 は、いくつかの実施形態による、温度チューニングを伴うエッチング処理方法のための方法 400 のプロセスフローチャート図を示す。温度をチューニングすることにより、温度とエッチング速度とを切り離すことができ、それにより所望のエッチング速度が実現され得る。

【0053】

ステップ 402 では、プロセスチャンバ内の誘電体層 110 の上にエッチング剤 130（例えば、 HF 又は HCl ）及び極性ガス又は H 含有ガス 140（例えば、 H_2O 、 H_2O_2 、 H_2 、 HBr など、又はそれらの組合せ）が流される。一実施形態では、エッチング剤 130 の流量は、1 sccm～1000 sccm の範囲であり、極性ガス又は H 含有ガス 140 の流量は、1 sccm～1000 sccm の範囲である。エッチング剤 130 及び極性ガス又は H 含有ガス 140 は、1 秒～300 秒の範囲の期間にわたって 1 mTorr～1000 mTorr の範囲の圧力で流される。ステップ 402 におけるプロセスチャンバ内の温度は、 $-200^{\circ}C \sim 250^{\circ}C$ の範囲であり、これは、誘電体層 110 の表面上に保持される極性ガス又は H 含有ガス 140 の量を制御するのに有用である。例えば、より低い温度は、誘電体層 110 の表面上に保持される極性ガス又は H 含有ガス 140 の量を増加させることができ、これは、エッチング速度を増加させるのに有利である。

40

【0054】

ステップ 404 では、所望のエッチング速度を提供するために、プロセスチャンバの温度が調整される。いくつかの実施形態では、方法 400 の第 1 のサイクルにおける初期プ

50

ロセス温度は、 $-200^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ の範囲である。以降のサイクルでは、エッチング速度を変化させるのに好適であるように温度が上向き又は下向きにチューニングされ得る。

【0055】

ステップ406では、プロセスチャンバ内にハロゲン化リンガス150が流される。ハロゲン化リンガス150は、極性ガス又はH含有ガスと相互作用して、誘電体層110のエッチング界面上にリン含有酸160（上記の図2～図3を参照されたい）及び極性分子などの触媒を形成する。これは、図2～図3に関して上述したように、エッチングプロセスに触媒作用を及ぼし、エッチング速度を増加させる。ハロゲン化リンガス150の相互作用は、極性ガス又はH含有ガスと相互作用し、その後の誘電体層110に対するエッチング剤130の反応の触媒作用は、ステップ404で設定されたプロセス温度の温度によって制御され得る。

10

【0056】

一実施形態では、ハロゲン化リンガス150は、 $1\text{ sccm}\sim 1000\text{ sccm}$ の範囲の流量において、1秒～300秒の範囲の期間にわたって $0.1\text{ mTorr}\sim 1000\text{ mTorr}$ の範囲の圧力でプロセスチャンバ内に流される。ハロゲン化リンガス150の流量は、所望のエッチング速度を実現するために、各繰り返しステップ406で増減される。

【0057】

誘電体層110を所望の深さにエッチングするため、ステップ404～406が任意の好適なサイクルにわたって繰り返され得る。いくつかの実施形態では、処理は、1サイクル～1000サイクルのステップ404～406を含む。ステップ406で所望のエッチング速度を実現するために、プロセスチャンバの温度は、各ステップ404でチューニングされ得る。

20

【0058】

図10は、様々な実施形態による、半導体製造のプロセスを実施するためのプラズマ処理システム500を示す。例示のため、図10は、底部付近のプラズマ処理チャンバ510内部の基板ホルダ554（例えば、円形静電チャック（ESC））上に配置された基板100を示す。基板100は、任意選択で、基板ホルダ554を取り囲むヒータ／クーラ556を使用して、所望の温度に維持され得る。基板100の温度は、基板ホルダ554及びヒータ／クーラ556に接続された温度コントローラ540によって維持され得る。ESCは、基板ホルダ554に電気的接続が行われ得るように、導電性材料（例えば、炭素ベース又は金属窒化物ベースのコーティング）でコーティングされ得る。

30

【0059】

図10に示すように、基板ホルダ554は、プラズマ処理チャンバ510の底部電極であり得る。図5の例示的な例では、基板ホルダ554は、阻止コンデンサ590及び591を介して2つのRFバイアス電源570及び580に接続される。いくつかの実施形態では、プラズマ処理チャンバ510内部の上部付近の導電性円形板は、上部電極552である。図5では、上部電極552は、プラズマ処理システム500のDC電源550に接続される。

【0060】

ガスは、ガス送達システム520によってプラズマ処理チャンバ510内に導入され得る。ガス送達システム520は、チャンバ内への複数のガスの流れを制御するための複数のガス流量コントローラを含む。ガス送達システム520の各ガス流コントローラの各々は、エッチング剤130、極性ガス若しくはH含有ガス140及び／又はハロゲン化リンガス150（上記の図2～図3を参照されたい）の各々に割り当てられ得る。いくつかの実施形態では、任意選択の中心／エッジスプリッタを使用して、基板100の中心及びエッジにおけるガス流量を独立して調整することができる。

40

【0061】

RFバイアス電源570及び580は、プラズマ560などのプラズマを維持するために連続波（CW）電力又はパルスRF電力を供給するために使用され得る。上部電極55

50

2と底部電極（基板ホルダ554でもある）との間に示されるプラズマ560は、プラズマ処理システム500のプラズマ処理チャンバ510内で基板100の近くで生成される直接プラズマを例示する。プラズマ560は、エッチング剤130、極性ガス若しくはH含有ガス140及び／又はハロゲン化リンガス150からのイオンを含み得る。エッチングは、RFバイアス電源570、580を用いて基板ホルダ554に給電し、DC電源550を用いて上部電極552に給電しながら、基板100をプラズマ560に曝すことによって実施され得る。実施されるエッチングプロセスは、方法200（上記の図7を参照されたい）、方法300（上記の図8を参照されたい）、方法400（上記の図9を参照されたい）など、又はそれらの組合せを使用する、図2～図3で上述するような高アスペクト比特徴部のエッチングであり得る。

10

【0062】

上述のプラズマ処理システム500の構成は、単なる例示に過ぎない。代替実施形態では、プラズマ処理システム500の様々な代替構成を使用することができる。例えば、誘導結合プラズマ（ICP）は、上部誘電体カバーの上の平面コイルに結合されたRFソース電力で使用され得、ガス入口及び／又はガス出口は、上部壁などに結合され得る。様々な実施形態では、RF電力、チャンバ圧力、基板温度、ガス流量及び他のプラズマ処理パラメータは、それぞれのプロセスレシピに従って選択され得る。いくつかの実施形態では、プラズマ処理システム500は、ヘリカル共振器などの共振器であり得る。

【0063】

本明細書では説明されないが、本発明の実施形態は、リモートプラズマシステム及びバッチシステムにも適用され得る。例えば、基板ホルダは、異なるプラズマゾーンを通過するときに中心軸の周りでスピンされる複数のウェハを支持することができ得る。

20

【0064】

ここで、本開示の例示的な実施形態を要約する。他の実施形態も本明細書の全体及び本出願の特許請求の範囲から理解され得る。

【0065】

例1．基板を処理する方法であって、基板の上に配置された誘電体層の上にマスクをパターンニングすることと、誘電体層に開口をエッチングすることであって、エッチング剤、極性ガス又はH含有ガス及びハロゲン化リンガスを流すことを含む、エッチングすることと、開口に導電性材料を充填することによってコンタクトを形成することを含む方法。

30

【0066】

例2．エッチング剤は、HF又はHClである、例1に記載の方法。

【0067】

例3．極性ガス又はH含有ガスは、水蒸気（ H_2O ）、過酸化水素（ H_2O_2 ）、水素（ H_2 ）、水素（ H_2 ）と酸素（ O_2 ）との混合物又は臭化水素（HBr）を含む、例1に記載の方法。

【0068】

例4．ハロゲン化リンガスは、三フッ化リン（ PF_3 ）、三塩化リン（ PCl_3 ）、フッ化ホスホリル（ POF_3 ）又は塩化ホスホリル（ $POCl_3$ ）を含む、例1に記載の方法。

40

【0069】

例5．誘電体層は、酸化ケイ素又は窒化ケイ素を含む、例1に記載の方法。

【0070】

例6．誘電体層は、O／N／O／Nスタックを含む、例5に記載の方法。

【0071】

例7．エッチングは、開口を異方性エッチングプロセスで異方性エッチングする、例1に記載の方法。

【0072】

例8．異方性エッチングプロセスは、プラズマ処理システムにおいてプラズマプロセスとして実施される、例7に記載の方法。

50

【0073】

例9．コンタクトは、50：1を超えるそれぞれのアスペクト比を有する、例1に記載の方法。

【0074】

例10．基板を処理する方法であって、周期的なエッチングプロセスを実施することを含み、周期的なエッチングプロセスの各サイクルは、プロセスチャンバ内にある基板上の誘電体層の上にエッチング剤を流すことと、プロセスチャンバ内で誘電体層の上に極性ガス又はH含有ガス及びハロゲン化リンガスを流すことにより、プロセスチャンバ内で触媒を形成することと、プロセスチャンバから触媒をパージすることを含む、方法。

【0075】

例11．エッチング剤は、HFである、例10に記載の方法。

【0076】

例12．ハロゲン化リンガスは、三フッ化リン（PF₃）である、例10に記載の方法。

【0077】

例13．触媒は、PF₂OHを含む、例10に記載の方法。

【0078】

例14．エッチングプロセスは、プラズマプロセスである、例10に記載の方法。

【0079】

例15．エッチングプロセスは、異方性である、例10に記載の方法。

【0080】

例16．プロセスチャンバ内で基板を処理する方法であって、基板の露出面を含む誘電体層の上にエッチング剤及び極性ガス又はH含有ガスを流すことと、周期的チューニングプロセスを実施することを含み、周期的チューニングプロセスの各サイクルは、プロセスチャンバの温度を調整することと、誘電体層の上にハロゲン化リンガスを流すこととを含む、方法。

【0081】

例17．極性ガス又はH含有ガスは、H₂Oを含む、例16に記載の方法。

【0082】

例18．ハロゲン化リンガスは、リン及びフッ素を含む、例16に記載の方法。

【0083】

例19．誘電体層は、酸化ケイ素を含む、例16に記載の方法。

【0084】

例20．誘電体層に開口を形成することを更に含み、開口は、50：1を超えるアスペクト比を有する、例16に記載の方法。

【0085】

本発明について例示的实施形態を参照して説明したが、本明細書は、限定的な意味で解釈されることを意図しない。例示的实施形態の様々な変更形態及び組合せ並びに本開示の他の実施形態は、本明細書を参照することで当業者に明らかであろう。したがって、添付の特許請求の範囲は、そのようないかなる修正形態又は実施形態も包含することが意図される。

10

20

30

40

50

【図面】
【図 1】

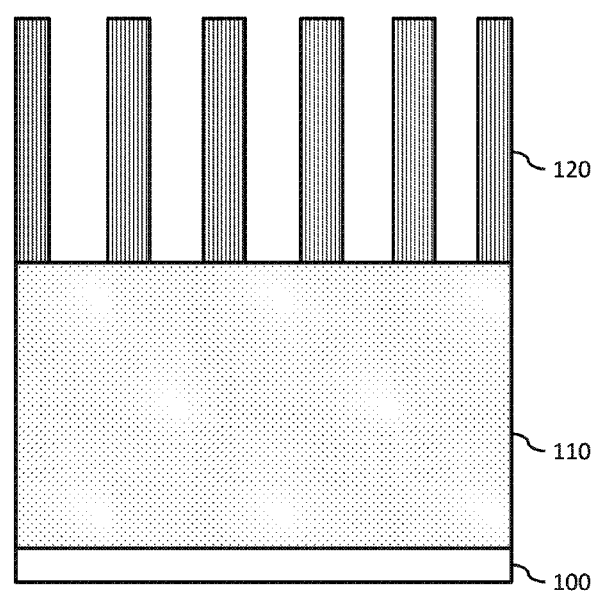


Fig. 1

【図 2】

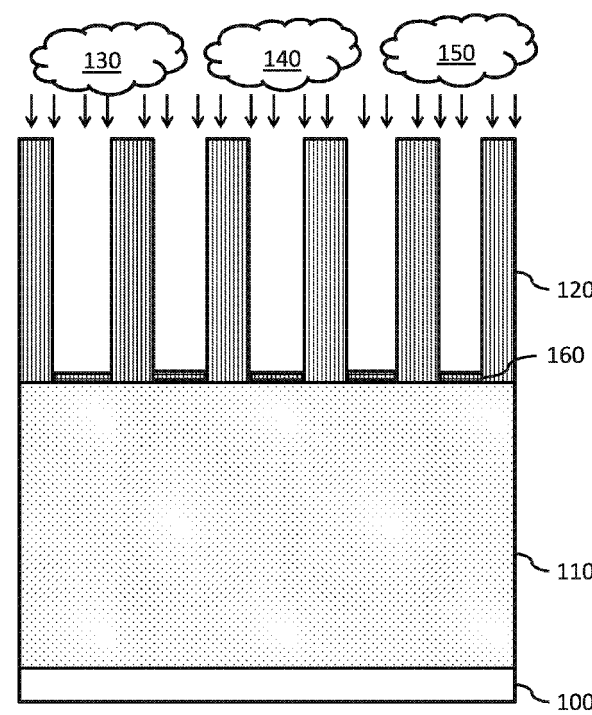


Fig. 2

【図 3】

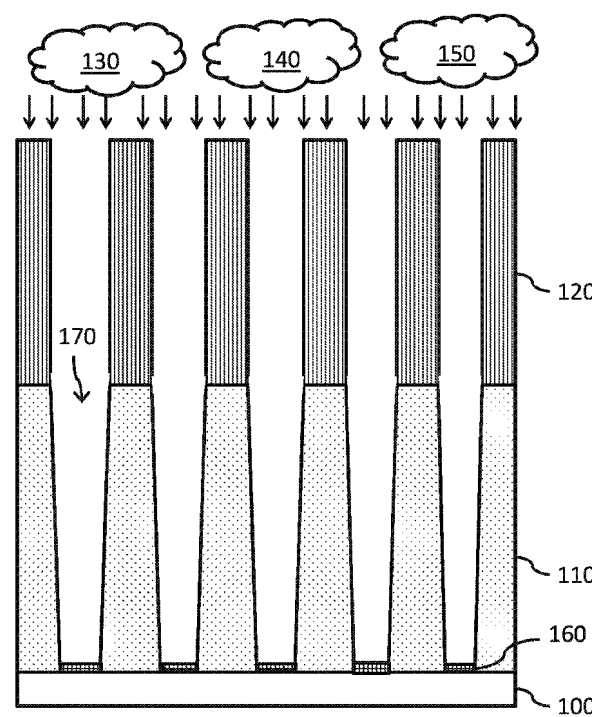


Fig. 3

【図 4】

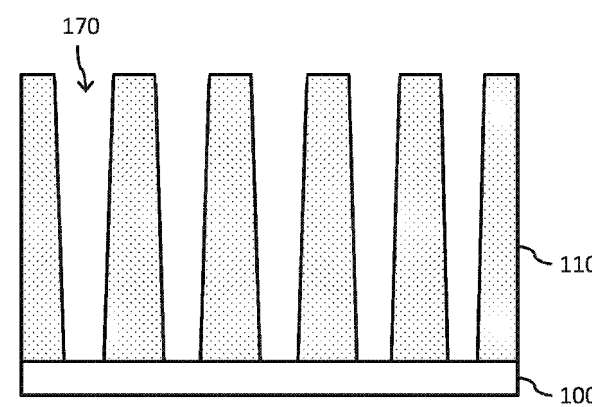


Fig. 4

10

20

30

40

50

【図 5】

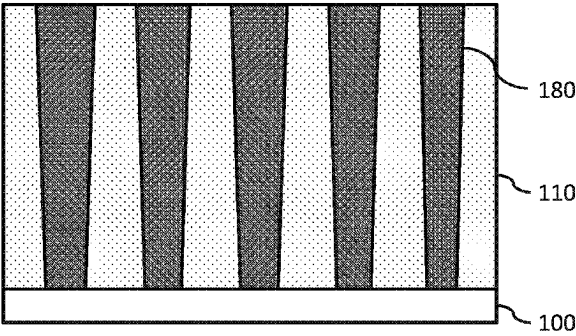


Fig. 5

【図 6 A】

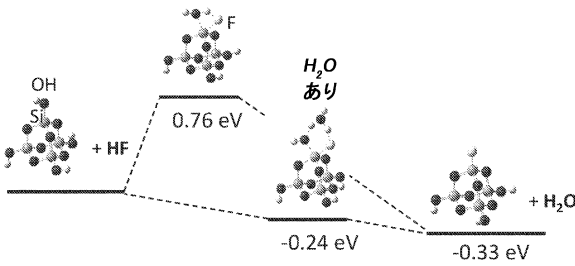


図 6A

10

【図 6 B】



図 6B

【図 6 C】

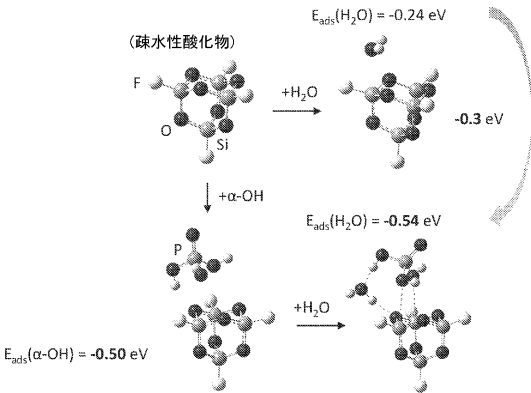


図 6C

20

30

40

50

【図 6 D】

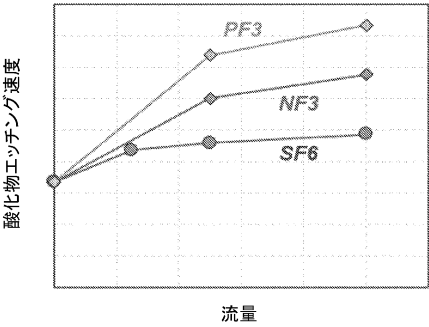


図 6D

【図 6 E】

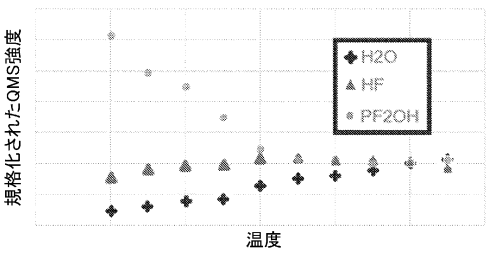


図 6E

【図 7】

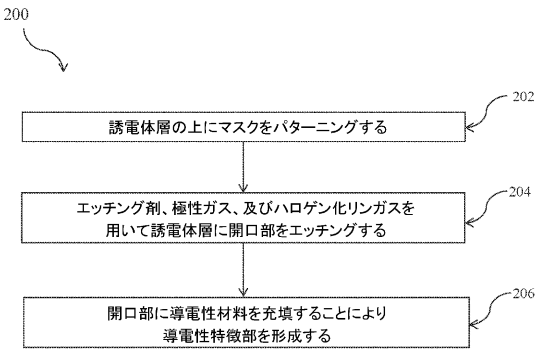


図 7

【図 8】

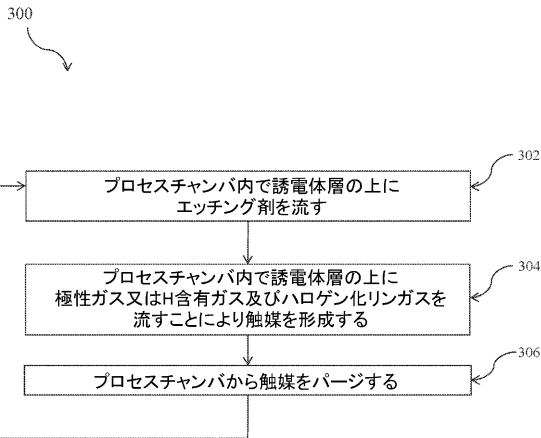


図 8

【図 9】

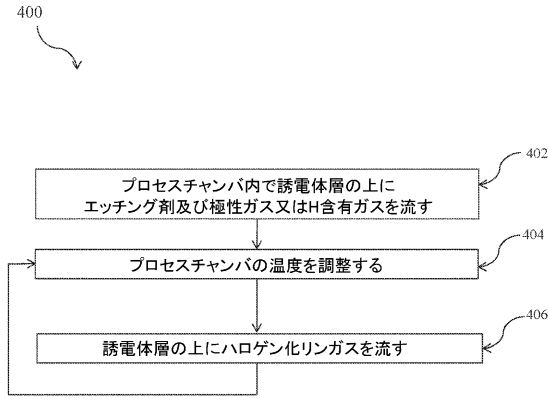


図 9

【図 10】

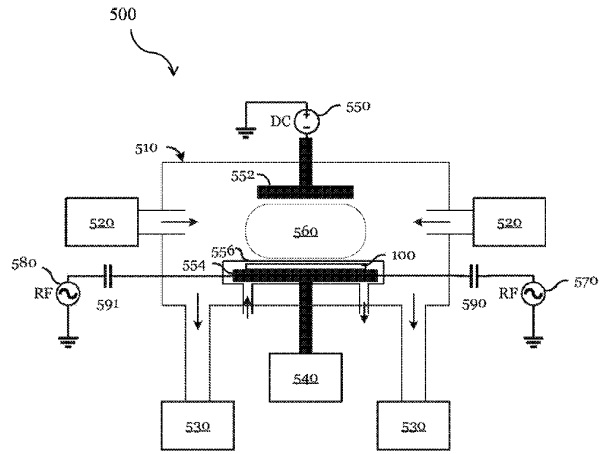


Fig. 10

10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2023/016163
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L 21/311(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L 21/311(2006.01); C09K 3/00(2006.01); H01J 37/32(2006.01); H01L 21/265(2006.01); H01L 21/67(2006.01); H01L 43/02(2006.01); H01L 43/12(2006.01) Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: etching, dielectric layer, etchant, polar gas, H-containing gas, phosphorus-halide gas		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2021-0143028 A1 (TOKYO ELECTRON LIMITED) 13 May 2021 (2021-05-13) See paragraphs [0034]-[0037], [0068]-[0071], claims 1, 4, 6 and figures 1-2, 4A, 5A.	1-9
A		10-20
A	US 2015-0214474 A1 (TOKYO ELECTRON LIMITED) 30 July 2015 (2015-07-30) See paragraph [0061] and figure 8.	1-20
A	US 3867218 A (LOÏC HENRY) 18 February 1975 (1975-02-18) See claims 1-14.	1-20
A	US 2004-0171211 A1 (SUNG-BAE LEE et al.) 02 September 2004 (2004-09-02) See paragraphs [0025]-[0032] and figures 2A-2C.	1-20
A	US 2019-0189462 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 20 June 2019 (2019-06-20) See paragraphs [0020]-[0024] and figures 2A-2D.	1-20
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 17 July 2023		Date of mailing of the international search report 17 July 2023
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsu-ro, Seo-gu, Daejeon 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer PARK, Hye Lyun Telephone No. +82-42-481-3463

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2022)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/US2023/016163

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2021-0143028	A1	13 May 2021	CN	112786440	A	11 May 2021
				CN	112786441	A	11 May 2021
				CN	114175214	A	11 March 2022
				CN	114175214	B	31 January 2023
				CN	116169018	A	26 May 2023
				EP	4050641	A1	31 August 2022
				JP	2021-077865	A	20 May 2021
				JP	2021-153170	A	30 September 2021
				JP	2022-020007	A	27 January 2022
				JP	6990799	B2	03 February 2022
				KR	10-2021-0056240	A	18 May 2021
				KR	10-2021-0056241	A	18 May 2021
				KR	10-2021-0057061	A	20 May 2021
				KR	10-2022-0082068	A	16 June 2022
				KR	10-2401025	B1	24 May 2022
				SG	10202010798	QA	29 June 2021
				TW	202125583	A	01 July 2021
				TW	202125624	A	01 July 2021
				TW	202125625	A	01 July 2021
				US	11417535	B2	16 August 2022
				US	11456180	B2	27 September 2022
				US	11551937	B2	10 January 2023
				US	11600501	B2	07 March 2023
				US	11615964	B2	28 March 2023
				US	2021-0143016	A1	13 May 2021
				US	2021-0143017	A1	13 May 2021
				US	2022-0157610	A1	19 May 2022
				US	2022-0199412	A1	23 June 2022
				US	2022-0328323	A1	13 October 2022
				US	2023-0197458	A1	22 June 2023
				WO	2021-090516	A1	14 May 2021
				WO	2021-090798	A1	14 May 2021
US	2015-0214474	A1	30 July 2015	JP	2014-049466	A	17 March 2014
				KR	10-1926478	B1	07 December 2018
				KR	10-2015-0041190	A	15 April 2015
				TW	201423860	A	16 June 2014
				TW	1602241	B	11 October 2017
				US	9882124	B2	30 January 2018
				WO	2014-034666	A1	06 March 2014
US	3867218	A	18 February 1975	None			
US	2004-0171211	A1	02 September 2004	JP	2004-266276	A	24 September 2004
				JP	4718785	B2	06 July 2011
				KR	10-0485388	B1	27 April 2005
				KR	10-2004-0077265	A	04 September 2004
				US	2007-0117378	A1	24 May 2007
				US	7183226	B2	27 February 2007
US	2019-0189462	A1	20 June 2019	US	10541144	B2	21 January 2020
				WO	2019-125721	A1	27 June 2019

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2022)

10

20

30

40

50

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,
ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,C
O,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,I
R,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MU,MW
,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL
,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

弁理士法人 I T O H

(72)発明者 ツァイ, ユ - ハオ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 2 2 0 3, オールバニー, フラー ロード 2 5 5, スイート
2 1 4, ナノファブ 3 0 0 サウス

(72)発明者 ジャン, ドゥ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 2 2 0 3, オールバニー, フラー ロード 2 5 5, スイート
2 1 4, ナノファブ 3 0 0 サウス

(72)発明者 ワン, ミンメイ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 2 2 0 3, オールバニー, フラー ロード 2 5 5, スイート
2 1 4, ナノファブ 3 0 0 サウス

(72)発明者 大類 貴俊

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ 1 番

(72)発明者 高橋 基

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ 1 番

(72)発明者 横井 雅彦

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ 1 番

(72)発明者 田中 康基

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ 1 番

(72)発明者 木原 嘉英

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ 1 番

F ターム (参考) 5F004 AA09 BA03 BA04 BA20 BB12 BB13 BB22 BB25 BB26 CA02

CA03 CA04 DA00 DA12 DA20 DA24 DA26 DA29 DB03 DB07 EA03

EB01