

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-38964  
(P2015-38964A)

(43) 公開日 平成27年2月26日(2015.2.26)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/8247 (2006.01)	HO 1 L 27/10	4 3 4
HO 1 L 27/115 (2006.01)	HO 1 L 21/302	1 O 1 C
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302	1 O 5 Z
HO 1 L 21/336 (2006.01)	HO 1 L 29/78	3 7 1
HO 1 L 29/788 (2006.01)	C 23 C 16/14	
審査請求 未請求 請求項の数 62 O L 外国語出願 (全 49 頁) 最終頁に続く		
(21) 出願番号 特願2014-107102 (P2014-107102)	(71) 出願人 ラム・リサーチ コーポレーション LAM RESEARCH CORPORATION アメリカ合衆国、カリフォルニア 945 38, フレモント, クッシング パークウ エイ 4650	
(22) 出願日 平成26年5月23日 (2014.5.23)		
(31) 優先権主張番号 61/827,511		
(32) 優先日 平成25年5月24日 (2013.5.24)		
(33) 優先権主張国 米国(US)		
	(74) 代理人 1100000028 特許業務法人明成国際特許事務所	
	(74) 代理人 100097146 弁理士 下出 隆史	
	(72) 発明者 アンド・チャンドラシェカ アメリカ合衆国 カリフォルニア州 940 86 サニーベイル, リード・アベニュー , 1180, ナンバー 11	
		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元半導体フィーチャ内での空隙を含まないタングステン充填のための方法および装置

## (57) 【要約】 (修正有)

【課題】 垂直および水平にエッチングするための命令を備える制御装置を有する半導体基板の3D構造を、タンゲステン含有材料で充填する方法を提供する。

【解決手段】 3D構造は、側壁107を含むことがあり、側壁にある複数の開口105が、複数の内部領域110を有する複数のフィーチャに通じている。3D構造内部にタンゲステン含有材料の第1の層を堆積するステップであって、それにより、第1の層が、3D構造の複数の内部領域を部分的に充填するステップと、第1の層を堆積した後に垂直および水平にエッチングするステップと、垂直および水平エッチング後に3D構造内部にタンゲステン含有材料の第2の層を堆積するステップであって、それにより、第2の層が、第1の層によって充填されていない内部領域の少なくとも一部を充填するステップとを含む。

【選択図】 図1D

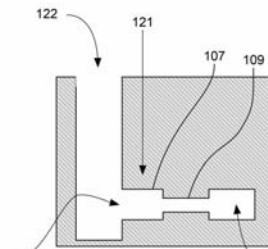


FIG. 1D

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

部分製造された半導体基板の 3D 構造をタングステン含有材料で充填する方法であって、前記 3D 構造が側壁を備え、前記側壁にある複数の開口が、前記開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部領域を有する複数のフィーチャに通じており、前記方法が、

前記 3D 構造を有する基板を処理チャンバに提供するステップと、

前記 3D 構造内部に前記タングステン含有材料の第 1 の層を堆積するステップであって、それにより、前記第 1 の層が、前記 3D 構造の前記複数の内部領域を部分的に充填するステップと、

前記タングステン含有材料の前記第 1 の層を堆積した後に垂直にエッチングするステップであって、前記垂直エッチングが、前記複数の内部領域から前記第 1 の層の一部を実質的に除去することなく、第 1 の活性化エッチング材料を使用して前記側壁から前記第 1 の層の一部を除去することを含むステップと、

前記タングステン含有材料の前記第 1 の層を堆積した後に水平にエッチングするステップであって、前記水平エッチングが、第 2 の活性化エッチング材料を使用して、前記複数の内部領域から前記第 1 の層の一部を除去することを含むステップと、

垂直および水平にエッチングした後に前記 3D 構造内部に前記タングステン含有材料の第 2 の層を堆積するステップであって、それにより、前記第 2 の層が、前記第 1 の層によって充填されていない前記内部領域の少なくとも一部を充填するステップと  
を含む方法。

**【請求項 2】**

前記タングステン含有材料の前記第 1 の層と前記第 2 の層との前記堆積がどちらも、タングステン含有前駆体と還元剤との反応を含む請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記第 1 の活性化エッチング材料が、イオン種を含み、前記第 2 の活性化エッチング材料が、中性種を含む請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記第 2 の活性化エッチング材料が、前記 3D 構造内部での前記第 1 の活性化エッティング材料の変換により生成される請求項 3 に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記第 2 の活性化エッティング材料への前記第 1 の活性化エッティング材料の変換が、前記第 1 の活性化エッティング材料の前記イオン種が 1 つまたは複数の電子を受け取り、前記第 2 の活性化エッティング材料の前記中性種に変換することを含む請求項 4 に記載の方法。

**【請求項 6】**

前記イオン種が、 $\text{NF}_3$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ 、および  $\text{CH}_3\text{F}$  の 1 つまたは複数のイオン化によって前記処理チャンバ内部で生成される請求項 5 に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記第 1 の活性化エッティング材料が、前記処理チャンバ内部で生成されるイオン種を含むプラズマであり、

前記垂直エッティングが、前記イオンの一部が前記 3D 構造の底部に向けて指向されるように前記イオン種に電磁場を印加するステップを含み、

前記第 2 の活性化エッティング材料が、前記処理チャンバから離れた位置で生成され、前記処理チャンバ内に導入される遊離基種を含むプラズマである  
請求項 3 に記載の方法。

**【請求項 8】**

前記イオン種がフッ素を含み、

前記遊離基種がフッ素を含む

請求項 7 に記載の方法。

**【請求項 9】**

前記複数のフィーチャの少なくとも一部が、互いに実質的に垂直な位置合わせで積層さ

10

20

30

40

50

れる請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 0】

前記構造が、互いに垂直に位置合わせされた 16 個以上の垂直に積層されたフィーチャを有する請求項 9 に記載の方法。

【請求項 1 1】

前記構造が、互いに垂直に位置合わせされた 64 個以上の垂直に積層されたフィーチャを有する請求項 10 に記載の方法。

【請求項 1 2】

前記部分製造された半導体基板が、さらに外層を備え、前記外層が、タングステン堆積を受けやすく、前記外層の上に、タングステン含有材料の前記第 1 の層が堆積され、前記垂直エッチングが、前記 3D 構造の前記側壁の少なくとも一部分で前記外層を除去し、それにより、タングステン含有材料の前記第 2 の層の後続の堆積中にタングステン含有材料が前記部分に実質的に堆積されない請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。10

【請求項 1 3】

タングステン堆積を受けやすい前記外層が、金属窒化物を含む請求項 12 に記載の方法。。

【請求項 1 4】

金属窒化物が、窒化チタンである請求項 13 に記載の方法。

【請求項 1 5】

さらに、20

前記垂直エッチングの後、しかし前記水平エッチングの前に、前記複数の内部領域の前記露出面の少なくとも一部を洗浄するステップ

を含む請求項 1 から請求項 3 、および請求項 7 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。。

【請求項 1 6】

前記 3D 構造を有する前記基板が、さらに、複数のポリシリコンピラーを含み、前記ポリシリコンピラーが、前記複数の開口を通した前記複数の内部領域への流体アクセス性を部分的に妨げる請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記ポリシリコンピラーの間の前記水平ギャップが、約 1 ~ 20 nm の間である請求項 16 に記載の方法。30

【請求項 1 8】

さらに、

前記処理チャンバにポリマー前駆体を提供するステップと、

前記 3D 構造の一部分にわたって前記ポリマー前駆体の重合によって保護層を形成するステップであって、前記保護層が、前記垂直エッチングで前記部分がエッチングされる度合いを減少させるステップと

を含む請求項 1 から請求項 3 、および請求項 7 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。。

【請求項 1 9】

前記ポリマー前駆体が、 CF<sub>4</sub> 、 CHF<sub>3</sub> 、 CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 、および CH<sub>3</sub>F から選択され、40

前記ポリマー前駆体を提供するステップが、約 30 ~ 40 sccm の間の流量で前記処理チャンバ内に前記ポリマー前駆体を流すステップを含む

請求項 18 に記載の方法。

【請求項 2 0】

さらに、 NF<sub>3</sub> 、 CF<sub>4</sub> 、 CHF<sub>3</sub> 、 CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 、および CH<sub>3</sub>F の 1 つまたは複数を約 100 ~ 700 sccm の間の流量で前記処理チャンバ内に流し、前記処理チャンバ内部でイオン化することによって、前記処理チャンバに前記第 1 の活性化エッチング材料を提供するステップを含む請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 2 1】

10

20

30

40

50

前記垂直エッティングが、  
 約 10 ~ 120 の間の温度、および  
 約 50 ~ 90 mTorr の間の圧力  
 で維持された前記処理チャンバを用いて行われ、  
 それと同時に、タングステン含有材料の前記第 1 の層の一部を除去する  
 請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 22】**

前記水平エッティングが、  
 約 10 ~ 120 の間の温度、および  
 約 5 mTorr 未満の圧力  
 で維持された前記処理チャンバを用いて行われ、  
 それと同時に、タングステン含有材料の前記第 1 の層の一部を除去する  
 請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 23】**

前記第 1 の活性化エッティング材料が、前記処理チャンバ内部で生成される 1 つまたは複数のイオン種を含むプラズマであり、  
 前記プラズマが、約 13 ~ 60 MHz の間の周波数を有する誘導結合 RF パワーによって発生および維持される誘導結合プラズマであり、また、約 400 kHz ~ 14 MHz の間の周波数を有する基板ビアス RF パワーによって発生および維持される  
 請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 24】**

前記基板ビアス RF パワーが、基板に対して約 100 ~ 500 ボルトの間の電圧を有する請求項 23 に記載の方法。

**【請求項 25】**

前記基板ビアス RF パワーが、約 100 Hz ~ 400 Hz の間のレートで、かつ約 10 % ~ 60 % のデューティサイクルで発振される請求項 24 に記載の方法。

**【請求項 26】**

前記誘導結合 RF パワーが、約 500 ~ 600 ワットの間である請求項 23 に記載の方法。

**【請求項 27】**

前記誘導結合 RF パワーが、第 1 の発生コイルと第 2 の発生コイルとを備える発生コイルによって発生され、前記第 1 の発生コイルが、誘導結合 RF パワーを前記処理チャンバの外部領域に供給し、前記第 2 の発生コイルが、誘導結合 RF パワーを前記処理チャンバの内部領域に供給し、合計の誘導結合 RF パワーが、約 0.1 ~ 1.5 の間の比で、前記第 1 の発生コイルと前記第 2 の発生コイルとの間で分けられる請求項 26 に記載の方法。

**【請求項 28】**

前記水平エッティング中に前記タングステン含有材料の前記第 1 の層の一部を除去することに対応する前記エッティング速度が、実質的に物質移動により律速される請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 29】**

前記タングステン含有材料の前記第 2 の層が、実質的に空隙を含まずに前記複数の内部領域の内部に堆積される請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 30】**

前記垂直エッティングと、前記水平エッティングと、タングステン含有材料の第 1 および第 2 の層の前記堆積とが、同一の処理チャンバ内で行われる請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 31】**

前記垂直エッティングが、前記水平エッティング、ならびにタングステン含有材料の前記第 1 および第 2 の層の前記堆積とは異なる処理チャンバ内で行われる請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の方法。

10

20

30

40

50

**【請求項 3 2】**

さらに、

前記タングステン含有材料の前記第2の層を垂直にエッチングするステップであって、前記垂直エッチングが、前記複数の内部領域から前記第2の層の一部を実質的に除去することなく、第1の活性化エッチング材料を使用して前記側壁から前記第2の層の一部を除去することを含むステップと、

タングステン含有材料の前記第2の層を水平にエッチングするステップであって、前記水平エッチングが、第2の活性化エッチング材料を使用して、前記複数の内部領域から前記第2の層の一部を除去することを含むステップと、

第2の層を水平および垂直にエッチングした後に前記3D構造内部に前記タングステン含有材料の第3の層を堆積するステップであって、それにより、前記第3の層が、前記第1および第2の層によって充填されていない前記内部領域の部分の少なくとも一部を充填するステップと

を含む請求項1から請求項8のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 3 3】**

さらに、前記垂直エッチング中に、約500～2000 sccmの流量で不活性希釈ガスを前記処理チャンバに流すステップを含む請求項1から請求項8のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 3 4】**

前記不活性希釈ガスが、He、またはAr、またはそれら両方を含む請求項33に記載の方法。

**【請求項 3 5】**

部分製造された半導体基板の3D構造をタングステン含有材料で充填するための装置であって、前記3D構造が側壁を備え、前記側壁にある複数の開口が、複数のフィーチャに通じており、前記複数のフィーチャが、前記複数の開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部域を有し、装置が、

処理チャンバと、

前記3D構造を有する前記基板を保持するように構成された前記処理チャンバ内部の基板ホルダと、

タングステン含有前駆体および還元剤を前記処理チャンバ内に導入するように構成された1つまたは複数のガス入口と、

前記処理チャンバ内部で誘導結合プラズマを発生および維持するように構成された第1および第2の電源とを備え、前記第1の電源が、誘導結合RFパワーを前記プラズマに供給し、前記第2の電源が、基板ビアスRFパワーを前記プラズマに供給し、

装置がさらに、機械可読コードの形態での命令を有する制御装置を備え、前記制御装置が、前記命令を実行するように構成され、前記命令が、

約50～500 sccmの間のタングステン含有前駆体の流量および0～10000 sccmの間の還元剤の流量で、前記処理チャンバ内へのタングステン含有前駆体の流れおよび還元剤の流れを導入するように前記1つまたは複数のガス入口を操作し、それとともに、約1～100 Torrの間の前記処理チャンバ内部の圧力と、約200～450の間の前記処理チャンバ内部の温度とを維持し、それにより、タングステン含有材料の層が、前記タングステン含有前駆体と前記還元剤との化学反応によって前記3D構造の内部に堆積されるようにするための命令と、

約13～60 MHzの間の周波数で前記第1の電源を動作させ、約500～600ワットの間のRFパワーを発生させるための命令と、

約400 kHz～14 MHzの間の周波数で、かつ前記基板に対して約100～500ボルトの間の電圧で、約100 Hz～400 Hzの間のパルスレートおよび約10%～60%の間のデューティサイクルで前記第2の電源を動作させるための命令とを含む装置。

**【請求項 3 6】**

10

20

30

40

50

さらに、

前記処理チャンバから離れているが、前記処理チャンバに流体的に結合されたプラズマ発生チャンバ内部で第2のプラズマを発生および維持するように構成された第3の電源を備え、

前記制御装置の前記命令が、さらに、

約400kHz～27MHzの間の周波数で前記第3の電源を動作させ、約400～2000ワットの間のRFパワーを発生させるための命令を含む

請求項35に記載の装置。

#### 【請求項37】

部分製造された半導体基板の3D構造を充填する方法であって、前記3D構造が側壁を備え、前記側壁にある複数の開口が、前記開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部領域を有する複数のフィーチャに通じており、方法が、

前記3D構造を有する基板を提供するステップであって、前記3D構造が、前記3D構造の側壁および／または前記3D構造の側壁にある開口を少なくとも部分的に覆い、かつ前記複数の内部領域を部分的に充填するタンゲステン含有材料の第1の層を既に有し、しかし、前記複数の内部領域の一部が、前記第1の層によって充填されていないステップと、

前記複数の内部領域から前記第1の層の一部を実質的に除去することなく、前記側壁および／または前記側壁の開口から前記タンゲステン含有材料の前記第1の層の一部を除去するために、垂直にエッチングするステップと、

前記複数の内部領域から前記タンゲステン含有材料の前記第1の層の一部を除去するために、水平にエッチングするステップとを含む方法。

#### 【請求項38】

さらに、水平および垂直にエッチングした後に、前記タンゲステン含有材料の第2の層を堆積するステップを含む請求項37に記載の方法。

#### 【請求項39】

前記垂直エッチングが、第1の活性化エッチング材料を利用し、前記水平エッチングが、前記3D構造内部での前記第1の活性化エッチング材料の変換により生成された第2の活性化エッチング材料を利用する請求項37に記載の方法。

#### 【請求項40】

部分製造された半導体基板の3D構造を充填する方法であって、前記3D構造が側壁を備え、前記側壁にある複数の開口が、前記開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部領域を有する複数のフィーチャに通じており、方法が、

前記3次元構造内にタンゲステン含有材料の第1の層を堆積するステップと、

前記第1の層を堆積した後に、イオンエッチング種を含むプラズマを発生させ、前記イオンの一部が前記構造のベースに向かって下に指向されるように前記イオンに電磁場を印加することによって、垂直にエッチングするステップと、

垂直にエッチングした後に、前記3D構造を有する前記基板を保持する前記処理チャンバから離れた位置で遊離基種を発生し、前記遊離基種を前記処理チャンバ内に導入することによって、水平にエッチングするステップと、

前記水平エッチング後に、前記3次元構造内に前記タンゲステン含有材料の第2の層を堆積するステップとを含む方法。

#### 【請求項41】

部分製造された半導体基板の3D構造をタンゲステン含有材料で充填するための装置であって、前記3D構造が側壁を備え、前記側壁にある複数の開口が、複数のフィーチャに通じており、前記複数のフィーチャが、前記複数の開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部域を有し、装置が、

処理チャンバと、

10

20

30

40

50

前記 3 D 構造を有する前記基板を保持するように構成された前記処理チャンバ内部の基板ホルダと、

タングステン含有前駆体および還元剤を前記処理チャンバ内に導入するように構成された 1 つまたは複数のガス入口と、

イオン化されたプラズマを前記処理チャンバ内部で発生および維持するように構成された電源と、

前記 1 つまたは複数のガス入口および電源を動作させるための機械可読コードの形態での命令を有する制御装置とを備え、前記制御装置が、前記命令を実行するように構成され、前記命令が、

前記 3 D 構造内部に前記タングステン含有材料の第 1 の層を堆積するための命令であって、それにより、前記第 1 の層が、前記 3 D 構造の前記複数の内部領域を部分的に充填する命令と、

前記タングステン含有材料の前記第 1 の層を堆積した後に垂直および水平にエッティングするための命令であって、前記垂直エッティングが、前記複数の内部領域から前記第 1 の層の一部を実質的に除去することなく、第 1 の活性化エッティング材料を使用して前記側壁から前記第 1 の層の一部を除去することを含み、前記水平エッティングが、第 2 の活性化エッティング材料を使用して前記複数の内部領域から前記第 1 の層の一部を除去することを含む命令と、

垂直および水平にエッティングした後に前記 3 D 構造内部に前記タングステン含有材料の第 2 の層を堆積するための命令であって、それにより、前記第 2 の層が、前記第 1 の層によって充填されていない前記内部領域の少なくとも一部を充填する命令とを含む装置。

#### 【請求項 4 2】

前記タングステン含有材料の前記第 1 の層と前記第 2 の層との前記堆積がどちらも、タングステン含有前駆体と還元剤との反応を含む請求項 4 1 に記載の装置。

#### 【請求項 4 3】

前記第 1 の活性化エッティング材料が、イオン種を含み、前記第 2 の活性化エッティング材料が、中性種を含む請求項 4 1 に記載の装置。

#### 【請求項 4 4】

前記第 2 の活性化エッティング材料が、前記 3 D 構造内部での前記第 1 の活性化エッティング材料の変換により生成される請求項 4 3 に記載の装置。

#### 【請求項 4 5】

前記第 2 の活性化エッティング材料への前記第 1 の活性化エッティング材料の変換が、前記第 1 の活性化エッティング材料の前記イオン種が 1 つまたは複数の電子を受け取り、前記第 2 の活性化エッティング材料の前記中性種に変換することを含む請求項 4 4 に記載の装置。

#### 【請求項 4 6】

前記第 1 の活性化エッティング材料が、前記処理チャンバ内部で生成されるイオン種を含むプラズマであり、

前記垂直エッティングが、前記イオンの一部が前記 3 D 構造の底部に向けて指向されるよう前記イオン種に電磁場を印加することを含み、

前記第 2 の活性化エッティング材料が、前記処理チャンバから離れた位置で生成され、前記処理チャンバ内に導入される遊離基種を含むプラズマである  
請求項 4 3 に記載の装置。

#### 【請求項 4 7】

前記部分製造された半導体基板が、さらに外層を備え、前記外層が、タングステン堆積を受けやすく、前記外層の上に、タングステン含有材料の前記第 1 の層が堆積され、前記垂直エッティングが、前記 3 D 構造の前記側壁の少なくとも一部分で前記外層を除去し、それにより、タングステン含有材料の前記第 2 の層の後続の堆積中にタングステン含有材料が前記部分に実質的に堆積されない請求項 4 1 から請求項 4 6 のいずれか一項に記載の装置。

10

20

30

40

50

**【請求項 4 8】**

前記制御装置の前記命令が、さらに、前記垂直エッチングの後、しかし前記水平エッチングの前に、前記複数の内部領域の前記露出面の少なくとも一部を洗浄するための命令を含む請求項 4 1 から請求項 4 3、および請求項 4 6 に記載の装置。

**【請求項 4 9】**

前記制御装置の前記命令が、さらに、  
前記処理チャンバ内にポリマー前駆体を流すための命令と、  
前記 3 D 構造の一部分にわたって前記ポリマー前駆体の重合によって保護層を形成するための命令とを含み、前記保護層が、前記垂直エッチングで前記部分がエッチングされる度合いを減少させる  
請求項 4 1 から請求項 4 3、および請求項 4 6 に記載の装置。

10

**【請求項 5 0】**

前記流れが、約 30 ~ 40 sccm の間の流量である請求項 4 9 に記載の装置。

**【請求項 5 1】**

前記制御装置が、さらに、前記第 1 の活性化エッチング材料の前駆体を約 100 ~ 700 sccm の間の流量で前記処理チャンバ内に流し、前記処理チャンバ内でイオン化するための命令を含む請求項 4 1 から請求項 4 6 のいずれか一項に記載の装置。

20

**【請求項 5 2】**

前記垂直エッチングが、  
約 10 ~ 120 の間の温度、および  
約 50 ~ 90 mTorr の間の圧力  
で維持された前記処理チャンバを用いて行われ、  
それと同時に、タンゲステン含有材料の前記第 1 の層の一部を除去する  
請求項 4 1 から請求項 4 6 のいずれか一項に記載の装置。

**【請求項 5 3】**

前記水平エッチングが、  
約 10 ~ 120 の間の温度、および  
約 5 mTorr 未満の圧力  
で維持された前記処理チャンバを用いて行われ、  
それと同時に、タンゲステン含有材料の前記第 1 の層の一部を除去する  
請求項 4 1 から請求項 4 6 のいずれか一項に記載の装置。

30

**【請求項 5 4】**

前記第 1 の活性化エッチング材料が、前記処理チャンバ内部で生成される 1 つまたは複数のイオン種を含むプラズマであり、

前記プラズマが、約 13 ~ 60 MHz の間の周波数を有する誘導結合 RF パワーによって発生および維持される誘導結合プラズマであり、また、約 400 kHz ~ 14 MHz の間の周波数を有する基板ビアス RF パワーによって発生および維持される  
請求項 4 1 に記載の装置。

**【請求項 5 5】**

前記基板ビアス RF パワーが、基板に対して約 100 ~ 500 ボルトの間の電圧を有する請求項 5 4 に記載の装置。

40

**【請求項 5 6】**

前記基板ビアス RF パワーが、約 100 Hz ~ 400 Hz の間のレートで、かつ約 10 % ~ 60 % のデューティサイクルで発振される請求項 5 5 に記載の装置。

**【請求項 5 7】**

前記誘導結合 RF パワーが、約 500 ~ 600 ワットの間である請求項 5 4 に記載の装置。

**【請求項 5 8】**

前記誘導結合 RF パワーが、第 1 の発生コイルと第 2 の発生コイルとを備える発生コイルによって発生され、前記第 1 の発生コイルが、誘導結合 RF パワーを前記処理チャンバ

50

の外部領域に供給し、前記第2の発生コイルが、誘導結合R Fパワーを前記処理チャンバの内部領域に供給し、合計の誘導結合R Fパワーが、約0.1~1.5の間の比で、前記第1の発生コイルと前記第2の発生コイルとの間で分けられる請求項57に記載の装置。

#### 【請求項59】

前記水平エッティング中に前記タンゲステン含有材料の前記第1の層の一部を除去することに対応する前記エッティング速度が、実質的に物質異同により律速される請求項41から請求項46のいずれか一項に記載の装置。

#### 【請求項60】

前記タンゲステン含有材料の前記第2の層が、実質的に空隙を含まずに前記複数の内部領域の内部に堆積される請求項41から請求項46のいずれか一項に記載の装置。 10

#### 【請求項61】

前記制御装置の前記命令が、さらに、

タンゲステン含有材料の前記第2の層を垂直および水平にエッティングするための命令であって、前記垂直エッティングが、前記複数の内部領域から前記第2の層の一部を実質的に除去することなく、第1の活性化エッティング材料を使用して前記側壁から前記第2の層の一部を除去することを含み、前記水平エッティングが、第2の活性化エッティング材料を使用して前記複数の内部領域から前記第2の層の一部を除去することを含む命令と、

前記第2の層を水平および垂直にエッティングした後に前記3D構造内部に前記タンゲステン含有材料の第3の層を堆積するための命令とを含み、それにより、前記第3の層が、前記第1および第2の層によって充填されていない前記内部領域の部分の少なくとも一部を充填する 20

請求項41から請求項46のいずれか一項に記載の装置。

#### 【請求項62】

前記制御装置の前記命令が、さらに、

前記垂直エッティング中に、約500~2000sccmの流量で不活性希釈ガスを前記処理チャンバに流すための命令

を含む請求項41から請求項46のいずれか一項に記載の装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2013年5月24日出願の「METHODS AND APPARATUS FOR VOID-FREE TUNGSTEN FILL IN THREE-DIMENSIONAL SEMICONDUCTOR FEATURES」という名称の米国仮特許出願第61/827,511号に対する優先権を主張する。上記の特許文献の全体を、あらゆる目的で参照により本明細書に援用する。 30

#### 【背景技術】

##### 【0002】

タンゲステンおよびタンゲステン含有材料の堆積は、多くの半導体製造プロセスの一部である。そのような堆積は、化学気相成長(CVD)技法、プラズマCVD(PECVD)技法、原子層堆積(ALD)技法、およびIC製造技術で知られている他の堆積技法、例えば物理気相成長(PVD)などによって達成されることがある。タンゲステンおよびタンゲステン含有材料(本明細書では以後、タンゲステンベース材料、または単にタンゲステン材料と呼ぶ)は、水平相互接続、隣接する金属層の間のビア、第1の金属層とシリコン基板上のデバイスとの間のコンタクト、のために使用されることがあり、一般に、IC設計で利用される様々な高アスペクト比フィーチャの内部で使用されることがある。 40

##### 【0003】

タンゲステン材料を堆積するための従来のプロセスでは、基板は、堆積チャンバ内で所定のプロセス温度まで加熱され、タンゲステン材料の薄層が、シードまたは核生成層として働くように堆積される。その後、タンゲステン材料のバルク層が、核生成層の上に堆積

される。従来、タンゲステン材料は、六フッ化タンゲステン(WF<sub>6</sub>)を水素(H<sub>2</sub>)で還元することによって生成される。典型的には、タンゲステン材料は、1つまたは複数のフィールド領域と様々なICフィーチャとをしばしば含む基板の露出面領域全体にわたって堆積される。これらのフィーチャは、大きく異なるアスペクト比を有することがあり、いくつかの実施形態では、1つまたは複数、あるいは全てのフィーチャが、比較的高いアスペクト比を有することがある。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

本明細書では、部分製造された半導体基板の3D構造をタンゲステン含有材料で充填する方法が開示される。いくつかの実施形態では、3D構造は、側壁を備え、側壁にある複数の開口が、開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部領域を有する複数のフィーチャに通じている。方法は、3D構造を有する基板を処理チャンバに提供するステップと、3D構造内部にタンゲステン含有材料の第1の層を堆積するステップであって、それにより、第1の層が、3D構造の複数の内部領域を部分的に充填するステップと、その後、垂直および水平にエッチングするステップと、垂直および水平エッチング後に、3D構造内部にタンゲステン含有材料の第2の層を堆積するステップであって、それにより、第2の層が、第1の層によって充填されていない内部領域の少なくとも一部を充填するステップとを含むことがある。垂直エッチングは、複数の内部領域から第1の層の一部を実質的に除去することなく、第1の活性化エッチング材料を使用して側壁からタンゲステン含有材料の第1の層の一部を除去するステップを含むことがあり、水平エッチングは、第2の活性化エッチング材料を使用して複数の内部領域からタンゲステン含有材料の第1の層の一部を除去するステップを含むことがある。

10

20

30

【0005】

いくつかの実施形態では、タンゲステン含有材料の第1の層と第2の層との堆積がどちらも、タンゲステン含有前駆体と還元剤との反応を含む。いくつかの実施形態では、第1の活性化エッチング材料は、1つまたは複数のイオン種を含み、第2の活性化エッチング材料は、1つまたは複数の中性種を含み、特定のそのような実施形態では、第2の活性化エッチング材料は、3D構造内部での第1の活性化エッチング材料の変換により生成されることがある。いくつかの実施形態では、第1の活性化エッチング材料を構成するイオン種は、NF<sub>3</sub>、CF<sub>4</sub>、CHF<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、およびCH<sub>3</sub>Fの1つまたは複数のイオン化によって処理チャンバ内部で生成されることがある。いくつかの実施形態では、第1の活性化エッチング材料は、処理チャンバ内部で生成される1つまたは複数のイオン種を含むプラズマであることがある。いくつかの実施形態では、垂直エッチングは、イオンの一部が高アスペクト比フィーチャのベースに向けて指向されるようにイオン種に電磁場を印加するステップを含む。いくつかの実施形態では、第2の活性化エッチング材料は、処理チャンバから離れた位置で生成され、処理チャンバ内に導入される1つまたは複数の遊離基種を含むプラズマであることがある。特定のそのような実施形態では、イオン種と遊離基種は、どちらもフッ素を含有することがある。

40

【0006】

また、本明細書では、堆積されたタンゲステン含有材料の第1の層を既に有する部分製造された半導体基板の3D構造を充填する方法が開示される。3D構造は、側壁と、側壁にある複数の開口とを含むことがある、開口は、開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部領域を有する複数のフィーチャに通じている。タンゲステン含有材料の第1の層は、側壁および/または側壁にある開口を少なくとも部分的に覆い、かつ複数の内部領域を部分的に充填することがあり、しかし、複数の内部領域の一部が、第1の層によって充填されていない。方法は、3D構造を有する基板を提供するステップと、垂直および水平にエッチングするステップとを含むことがある。垂直エッチングは、複数の内部領域から第1の層の一部を実質的に除去することなく、側壁および/または側壁の開口からタンゲステン含有材料の第1の層の一部を除去することがある。水平エッチングは、複数の内部

50

領域からタングステン含有材料の第1の層の一部を除去することがある。特定のそのような実施形態では、方法は、さらに、水平および垂直にエッティングした後に、タングステン含有材料の第2の層を堆積するステップを含むことがある。

#### 【0007】

また、本明細書では、3D構造をタングステン含有材料で充填する代替方法が開示される。いくつかの実施形態では、方法は、3D構造を有する基板を提供するステップであって、3D構造が、側壁と、複数のフィーチャへの複数の開口とを含み、複数のフィーチャが、開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部域を有するステップと、タングステン含有前駆体と還元剤との反応によって、構造内部にタングステン含有材料の第1の層を堆積するステップであって、それにより、第1の層が、複数の内部域を部分的に（または完全に）充填するステップと、タングステン含有材料の第1の層を堆積した後に垂直にエッティングするステップと、垂直エッティング後に水平にエッティングするステップと、水平エッティング後に、タングステン含有前駆体と還元剤との反応によって、構造内部にタングステン含有材料の第2の層を堆積するステップであって、それにより、第2の層が、第1の層によって充填されていない複数の内部域の部分の少なくとも一部を充填するステップとを含む。10

#### 【0008】

いくつかの実施形態では、垂直エッティングは、第1の活性化エッティング材料を提供するステップと、複数のフィーチャの複数の内部域から第1の層の一部を実質的に除去することなく、第1の活性化エッティング材料を使用して3D構造の側壁からタングステン含有材料の第1の層の一部を除去するステップとを含むことがある。いくつかの実施形態では、水平エッティングは、第2の活性化エッティング材料を提供するステップと、第2の活性化エッティング材料を使用して、複数の内部域からタングステン含有材料の第1の層の一部を除去するステップとを含むことがある。いくつかの実施形態では、複数の内部域の露出面の少なくとも一部が、垂直エッティング後、しかし水平エッティング前に行われる洗浄操作によって洗浄される。20

#### 【0009】

いくつかの実施形態では、水平エッティング中にタングステン含有材料の第1の層の一部の除去に対応するエッティング速度（レート）は、実質的に物質移動により律速される。いくつかの実施形態では、タングステン含有材料の第2の層が、実質的に空隙を含まずに複数の内部域の内部に堆積される。30

#### 【0010】

いくつかの実施形態では、材料の垂直エッティングが、プラズマチャンバ内で行われる。プラズマチャンバ内で、ウェハは、ウェハを保持する静電チャック（ESC）上に配置される。無線周波数（RF）パワーがESCに印加され、ESCは、チャンバ内にプラズマが存在する状態で、ウェハ上で自己ビアスを生成する。プラズマがチャンバ内で発生されるとき、供給ガス（プラズマ発生のためにチャンバに供給されるガス）の1つまたは複数の化学種が例えればイオン化または分解されて、反応性イオン（例えれば、 $\text{CHF}_3^+$ や $\text{NF}_2^+$ など）および／または反応性中性種を生成する。ウェハ上のセルフビアスにより、プラズマ中のイオンは、ウェハに向けて加速される。ウェハに衝突するイオンのエネルギーは、ウェハに向かう十分なエネルギーでのイオンの加速により、ESCに印加されたRFパワーによって制御することができる。したがって、いくつかの実施形態では、第1の活性化エッティング材料は、イオン種を含むプラズマでよく、垂直エッティングは、イオン種を有するプラズマを発生させるステップと、イオンの一部が高アスペクト比フィーチャの底部に向けて指向されるようにイオンに電磁場を印加するステップとを含む。いくつかの実施形態では、第2の活性化エッティング材料は、遊離基種を含むプラズマでよく、水平にエッティングするステップは、処理チャンバから離れた遊離基種を生成するステップと、処理チャンバ内に遊離基種を導入するステップとを含む。いくつかの実施形態では、イオン種は、フッ素含有種を含む。いくつかの実施形態では、遊離基種は、フッ素含有種を含む。例えば、いくつかの実施形態では、イオン種は、イオン化された $\text{NF}_3$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{SF}_6$ 、ま40

たはそれらの組合せを含む。いくつかの実施形態では、遊離基種は、フッ素ラジカル(F<sup>\*</sup>)を含む。他の実施形態では、部分製造された半導体基板の3D構造を充填する方法は、ウェットエッチャントを用いたエッチングを含むことがある。採用されることがあるウェットエッチャントの例としては、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、HF、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、HNO<sub>3</sub>、およびNH<sub>4</sub>O<sub>H</sub>の組合せが挙げられる。

#### 【0011】

いくつかの実施形態では、3D構造の複数のフィーチャの少なくとも一部が、互いに実質的に垂直な位置合わせで積層される。例えば、3D構造は、互いに垂直に位置合わせされた16個以上、64個以上、128個以上の垂直に積層されたフィーチャを有することがある。

10

#### 【0012】

いくつかの実施形態では、基板はさらに、タンゲステン堆積を受けやすい外層であって、タンゲステン含有材料の第1の層が上に堆積されることがある外層を含むことがある。いくつかの実施形態では、垂直エッチャントは、構造の側壁の少なくとも一部分で外層を除去することがあり、それにより、タンゲステン含有材料の第2の層の後続の堆積中にタンゲステンが上記部分に実質的に堆積されない。いくつかの実施形態では、タンゲステン堆積を受けやすい外層は、窒化チタンなどの金属窒化物を含む。いくつかの実施形態では、3D構造を有する基板が、さらに、複数のピラー、例えばポリシリコンピラーを含むことがあり、ピラーは、複数の開口を通した複数の内部域への流体アクセス性を部分的に妨げる。いくつかの実施形態では、ピラー間の水平ギャップは、約1～20nmの間である。

20

#### 【0013】

いくつかの実施形態では、垂直エッチャントは、さらに、ポリマー前駆体を提供するステップと、フィーチャの一部分にわたってポリマー前駆体の重合によって保護層を形成するステップであって、保護層が、垂直エッチャント中に上記部分が側方にエッチャントされる度合いを減少させるステップとを含む。いくつかの実施形態では、ポリマー前駆体は、フッ素含有化合物である。そのようなポリマー前駆体の例としては、CF<sub>4</sub>、CHF<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、およびCH<sub>3</sub>Fが挙げられる。

#### 【0014】

いくつかの実施形態では、第1の活性化エッチャント材料を提供するステップは、約300sccm～700scmの間の流量でNF<sub>3</sub>を処理チャンバ内に流すステップを含み、ポリマー前駆体を提供するステップは、約10scm～50scmの間の流量でポリマー前駆体を処理チャンバ内に流すステップを含む。いくつかの実施形態では、垂直エッチャントは、約10～120の間の温度、および/または約5mTorr～100mTorrの間の圧力で維持された処理チャンバ内で行われ、それと同時に、タンゲステン含有材料の第1の層の一部を除去する。いくつかの実施形態では、水平エッチャントは、約0～400の間の温度、および約0.1Torr～10Torrの間の圧力で維持された処理チャンバ内で行われ、それと同時に、タンゲステン含有材料の第1の層の一部を除去する。いくつかの実施形態では、この操作中、圧力は、約5Torr未満、またはさらには約2Torr未満でよい。いくつかの実施形態では、この操作中、温度は、約250未満、またはさらには約150未満でよい。いくつかの実施形態では、この操作中、温度は、約50～400の間、またはより特定的には約10～400の間でよい。

30

#### 【0015】

いくつかの実施形態では、垂直エッチャントで使用されるイオン種を含むプラズマは、誘導結合RFパワーによって発生および維持される誘導結合プラズマである。RFパワーは、約13MHz～60MHzの間の周波数を有することがあり、また、約400kHz～14MHzの間の周波数(約13.56MHzなど)を有する基板ビアスRFパワーによって発生および維持される。いくつかの実施形態では、基板ビアスRFパワーは、基板に対して約100～1000ボルトの間の電圧、またはより特定的には基板に対して約100～500ボルトの間の電圧を有する。いくつかの実施形態では、誘導結合プラズマを採用する方法は、さらに、約100～2000Hzの間のパルスレート、またはより特定的

40

50

には約 100 ~ 300 Hz の間のパルスレートで、かつ約 10 % ~ 90 % の間のデューティサイクル、またはより特定的には約 10 % ~ 60 % の間のデューティサイクルで基板ビアス RF パワーをパルスするステップを含むことがある。いくつかの実施形態では、誘導結合 RF パワーは、約 500 ~ 1900 ワットの間、またはより特定的には約 500 ~ 600 ワットの間である。いくつかの実施形態では、誘導結合 RF パワーは、第 1 の発生コイルと第 2 の発生コイルとを含む発生コイルによって発生され、第 1 の発生コイルは、誘導結合 RF パワーを処理チャンバの内部領域に供給し、第 2 の発生コイルは、誘導結合 RF パワーを処理チャンバの外部領域に供給し、合計の誘導結合 RF パワーは、約 0.1 ~ 1.5 の間の比で、第 1 の発生コイルと第 2 の発生コイルとの間で分けられる。いくつかの実施形態では、水平エッティングで使用される遊離基種を含むプラズマは、RF パワーによって発生および維持される。

10

## 【0016】

いくつかの実施形態では、垂直エッティングと、水平エッティングと、タングステン含有材料の第 1 および第 2 の層を堆積する操作とが、同一の処理チャンバ内で行われる。いくつかの実施形態では、垂直エッティングと水平エッティングの 1 つまたは複数が、タングステン含有材料の第 1 および第 2 の層の堆積とは異なる処理チャンバ内で行われることがある。

## 【0017】

3D 構造内部にタングステン含有材料を充填するための本明細書で開示されるいくつかの方法は、さらに、タングステン含有材料の第 2 の層を堆積した後に垂直および水平にエッティングするステップと、次いで、タングステン含有材料の第 2 の層を水平および垂直にエッティングした後に、タングステン含有材料の第 3 の層を構造内部に堆積するステップとを含むことがある。堆積は、タングステン含有前駆体と還元剤との反応によって行われることがあり、それにより、第 3 の層が、第 1 および第 2 の層によって充填されていない複数の内部域の部分の少なくとも一部を充填する。

20

## 【0018】

また、本明細書には、部分製造された半導体基板の 3D 構造をタングステン含有材料で充填するための 1 つまたは複数の一体型ツールが開示される。いくつかの実施形態では、一体型ツールが、1 つまたは複数の処理チャンバと、3D 構造を有する基板を保持するように構成された各処理チャンバ内部の基板ホルダと、タングステン含有前駆体および還元剤を 1 つまたは複数の処理チャンバの少なくとも 1 つに導入するように構成された 1 つまたは複数のガス入口と、1 つまたは複数の処理チャンバの少なくとも 1 つの内部で誘導結合プラズマを発生および維持するように構成された第 1 および第 2 の電源であって、前記第 1 の電源が、誘導結合 RF パワーをプラズマに供給し、前記第 2 の電源が、基板ビアス RF パワーをプラズマに供給する第 1 , 第 2 の電源と、1 つまたは複数の処理チャンバの少なくとも 1 つから離れているが、処理チャンバに流体的に結合されたプラズマ発生チャンバ内部で第 2 のプラズマを発生および維持するように構成された第 3 の電源と、機械可読コードの形態での命令を有する制御装置と、を含み、前記制御装置が、命令を実行するように構成される。

30

## 【0019】

いくつかの実施形態では、命令は、1 つまたは複数の処理チャンバの少なくとも 1 つにタングステン含有前駆体の流れおよび還元剤の流れを導入するように 1 つまたは複数のガス入口を操作し、それにより、タングステン含有材料の層が、タングステン含有前駆体と還元剤との化学反応によって 3D 構造の内部に堆積されるようにするための命令を含む。

40

## 【0020】

いくつかの実施形態では、命令は、約 13 MHz ~ 60 MHz の間の周波数で第 1 の電源を動作させ、約 500 ~ 1900 ワットの間の RF パワーを発生させるための命令を含む。いくつかの実施形態では、命令は、約 400 kHz ~ 15 MHz の間の(より特定的には 13.56 MHz での)周波数で、かつ基板に対して約 100 ~ 1000 ボルトの間の電圧で、約 100 Hz ~ 2000 Hz の間のパルスレートおよび約 10 % ~ 90 % の間のデューティサイクルで第 2 の電源を動作させるための命令を含む。

50

## 【0021】

また、本明細書には、側壁と、側壁にある複数の開口と、開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部領域とを含む3D構造を充填する方法であって、3D構造内部にタンゲステン含有材料の第1の層を堆積するステップであって、それにより、第1の層が、複数の構造内部域を部分的に充填し、充填されていない構造内部域の部分を残すステップと、タンゲステン含有材料の第1の層を堆積した後に垂直にエッチングするステップであって、それにより、複数の構造内部域から第1の層の一部を実質的に除去することなく、第1の活性化エッチング材料を使用して側壁から第1の層の一部が除去されるステップと、タンゲステン含有材料の第1の層を堆積した後に水平にエッチングするステップであって、それにより、第2の活性化エッチング材料を使用して、複数の構造内部域からタンゲステン含有材料の第1の層の一部が除去されるステップと、垂直および水平にエッチングした後に3D構造内部にタンゲステン含有材料の第2の層を堆積するステップであって、それにより、第2の層が、第1の層によって充填されていない構造内部域の少なくとも一部を充填するステップとを含む方法が開示される。いくつかの実施形態では、第2の活性化エッチング材料が、3D構造内部での第1の活性化エッチング材料の変換により生成される。

10

## 【0022】

また、本明細書には、側壁と、側壁にある複数の開口と、開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部領域とを含む3D構造を充填する方法であって、3D構造を有する基板を提供するステップであって、3D構造が、3D構造の側壁および／または構造開口を覆うタンゲステン含有材料の第1の層を既に有し、3D構造の複数の内部領域を部分的に充填するが、複数の内部領域の一部が第1の層によって充填されずに残されるステップと、複数の構造内部域から第1の層の一部を実質的に除去することなく、側壁および／または構造開口からタンゲステン含有材料の第1の層の一部を均一に除去するために垂直にエッチングするステップと、複数の内部領域からタンゲステン含有材料の第1の層の一部を除去するために水平にエッチングするステップとを含む方法が開示される。いくつかの実施形態では、垂直エッチングは、第1の活性化エッチング材料を利用し、水平エッチングは、3D構造内部での第1の活性化エッチング材料の変換により生成された第2の活性化エッチング材料を利用する。特定のそのような実施形態では、第1の活性化エッチング材料が、1つまたは複数の荷電種を含み、第2の活性化エッチング材料が、1つまたは複数の中性種を含む。特定のそのような方法は、さらに、垂直および水平エッチング後に、タンゲステン含有材料の第2の層を堆積するステップを含むことがある。

20

## 【0023】

また、本明細書には、側壁と、側壁にある複数の開口と、開口を通して流体的にアクセス可能な複数の内部領域とを含む3D構造を充填する方法であって、3D構造内にタンゲステン含有材料の第1の層を堆積するステップと、イオンエッチング種を含むプラズマを発生させ、イオンの一部が構造の底部に向けて指向されるように電磁場をイオンに印加することによって、第1の層を堆積した後に垂直にエッチングするステップと、3D構造を有する基板を保持する処理チャンバから離れた位置で遊離基種を発生させ、遊離基種を処理チャンバ内に導入することによって、垂直エッチング後に水平にエッチングするステップと、水平エッチング後に、3次元構造内にタンゲステン含有材料の第2の層を堆積するステップとを含む方法が開示される。

30

## 【図面の簡単な説明】

## 【0024】

【図1A】タンゲステン材料で充填されるように設計されることがある基板内の垂直フィーチャの断面図である。

40

【図1B】図1Aのフィーチャと同様であるが、フィーチャの底部、側壁、および開口をライニングする下層の存在により、凹角プロファイルを有するフィーチャの一例を示す図である。

【図1C】側壁のほぼ中央にある狭窄部を示す水平フィーチャの上面図である。いくつか

50

の実施形態では、そのような水平フィーチャは、垂直集積型メモリ構造における「ワード線」と呼ばれるものでよい。

【図 1 D】図 1 C に示されるのと同じ水平フィーチャであるが、ここでは、垂直構造への開口を有し、したがって垂直構造の一部を形成する水平フィーチャの側面図である。

【図 2 A】VNAND スタック（左および右）を有する（半導体基板上に形成された）3D 垂直メモリ VNAND（VNAND）構造と、中央垂直構造と、中央垂直構造の両側の側壁に開口を有する複数の積層水平フィーチャとの側断面図である。

【図 2 B】図 2 A に側面図で示される VNAND 構造の上断面図であって、断面が、図 2 A に破線の水平線によって示される水平断面を通して取られている図である。

【図 3 A】図 2 A に示されるものと同様の VNAND 構造の垂直断面（切断）図であり、しかし、図 3 A ではただ 1 対のワード線に注目しており、さらに、ワード線内で空隙の形成をもたらしたタングステン充填プロセスを概略的に例示する図である。 10

【図 3 B】図 2 A に示されるものと同様の VNAND 構造の垂直断面（切断）図であって、やはり図 3 A と同様に空隙の存在を概略的に例示する図である。

【図 3 C】断面で上から見た単一のワード線を示し、図に示されるピラーの存在により、タングステン材料の概して共形な堆積が、示されるワード線の内部を閉塞し始める様子を例示する図である。

【図 4 A】タングステン堆積およびエッチングステップのシーケンス中の様々な段階での、垂直構造内部の異なる垂直深さにある 2 つのワード線と、それらの関連のタングステン堆積パターンとを概略的に例示する図である。 20

【図 4 B】タングステン堆積と、水平エッチングおよび垂直エッチングを含むエッチングステップとのシーケンス中の様々な段階での、垂直構造内部の異なる垂直深さにある 2 つのワード線と、それらの関連のタングステン堆積パターンとを概略的に例示する図である。

【図 4 C】図 4 B の符号 4 B - 1 ~ 4 B - 4 に示されるものと同様のタングステン堆積と水平エッチングおよび垂直エッチングを含むエッチングステップとのシーケンス中の様々な段階での、垂直構造内部の異なる垂直深さにある 2 つのワード線と、それらの関連のタングステン堆積パターンとを概略的に例示する図であり、しかし、ここでは、垂直構造の側壁でのタングステン堆積を防止するために、窒化チタンの薄層を除去するために活性化エッチャント材料が使用される図である。 30

【図 4 D】水平フィーチャを有する 3D 垂直構造の実質的に均一な / 空隙を含まないタングステン充填を実現するための本明細書で開示されるいくつかの技法および操作を採用した結果を例示する電子顕微鏡写真を示す図である。

【図 5 A】特定の実施形態に適合する、垂直タングステンエッチング操作と、それに続く水平タングステンエッチングとを例示する流れ図である。

【図 5 B】図 5 A に示される水平および垂直タングステンエッチング操作のシーケンスを採用するタングステン堆積方法を例示する流れ図である。

【図 5 C】図 5 A および図 5 B に示される垂直エッチング操作と水平エッチング操作との間で介在する洗浄操作を採用するタングステン堆積方法を例示する流れ図である。 40

【図 5 D】複数のタングステン堆積およびエッチング操作のシーケンスを採用するタングステン堆積方法を例示する流れ図である。

【図 6】本明細書で開示される特定の実施形態による、特定のタングステン堆積および / またはエッチング操作を行うために採用されることがある処理チャンバおよび関連のハードウェアを概略的に例示する図である。

【図 7】本明細書で開示される特定の実施形態によるタングステン堆積を行うのに適した CVD 処理システムを概略的に例示する図である。

【図 8】特定のタングステン堆積および / またはエッチング操作を行うために使用されることがあるマルチステーション基板処理装置を概略的に例示する図である。

【図 9】本明細書で開示される特定の垂直エッチング操作で採用される現場プラズマを発生するために使用されることがある誘導結合プラズマリアクタの一実施形態を概略的に例 50

示する図である。

**【発明を実施するための形態】**

**【0025】**

以下の説明では、本発明を完全に理解できるように、いくつかの特定な詳細例を記載する。しかし、本発明は、これらの特定な詳細例のいくつかまたは全てを伴わずに実施することができる。なお、開示される本発明の概念を不要に曖昧にしないように、よく知られているプロセス操作は詳細には述べていない。さらに、本発明を、特定の詳細な実施形態の文脈で述べるが、これらの特定の詳細な実施形態は、開示される本発明の概念の範囲を限定するものとは意図されていないことを理解すべきである。

**【0026】**

I C 設計および製造においてタングステン材料は頻繁に採用されているにもかかわらず、その使用に関連するいくつかの難点が存在する。例えば、小さなフィーチャまたは高アスペクト比を有するフィーチャへのタングステン材料の堆積は、堆積されたタングステン内部の空隙の形成を引き起こすことがある。空隙は、単純に、周囲の領域が充填された後に未充填のままである構造またはフィーチャ内部の領域である。多くの場合、空隙形成は、フィーチャの入口付近での、堆積される材料の過度の蓄積によって引き起こされ、これにより、入口が閉鎖されて、フィーチャの内部体積を閉塞して、内部体積内でのさらなる堆積を妨げる。閉鎖または閉塞後、反応性の堆積前駆体種は、内部体積内への進入経路を有さず、これらの領域内部でさらなる堆積が生じなくなる。他の場合には、閉塞がない場合でさえ、堆積されたタングステン材料に継ぎ目（シーム）が現れることがあり、これは、タングステン材料が、（ボトムアップでの充填を示すのではなく）側壁から堆積される傾向があることに起因する。したがって、そのような継ぎ目は、典型的には、フィーチャの中心軸のかなりの部分に沿って細長く、フィーチャの底部に向かって延びる。時として、例えば、充填プロセスの完了後に継ぎ目がフィールド領域の近くに延び、後続の化学機械的平坦化により継ぎ目が露わになったとき、継ぎ目の存在が空隙形成をもたらすことがある。いずれにせよ、継ぎ目および空隙は、高抵抗、基板汚染、材料の損失を引き起こすことがあり、また、他の形で集積回路の電気的特性に悪影響を及ぼすことがある。したがって、半導体製造分野で、基板構造およびフィーチャの空隙を含まないおよび継ぎ目を含まないタングステン充填を実現するための改良された方法、装置、およびシステムが必要とされる。

**【0027】**

したがって、本明細書では、空隙および継ぎ目の形成を最小限にして、またはなくして、半導体基板構造およびフィーチャの均一なタングステン充填を実現するための方法、装置、およびシステムを述べる。そのような均一なタングステン充填の適用例は、論理およびメモリコンタクト充填、DRAM埋め込みワード線充填、垂直集積メモリゲート／ワード線充填、および3D集積（TSV）を含む。本明細書で述べる方法、装置、およびシステムは、以下でより詳細に述べるように、垂直フィーチャ（例えばピア）、および水平フィーチャ（例えば垂直NAND（VNAND）構造内部の水平ワード線など）を充填するために使用することができる。充填すべき構造またはフィーチャを有する基板は、200、300、もしくは450mm半導体ウェハ、または、約200～300mmの間、もしくは約300～450mmの間、もしくは約450mm超の直径を有するウェハ、または任意の適切なサイズのウェハでよい。さらに、これらの方法、装置、およびシステムは、パネルやディスプレイ基板などを含む他のタイプの基板上でフィーチャにタングステンを充填するために使用することができる。

**【0028】**

上述したように、タングステン材料での半導体基板構造およびフィーチャの充填に関連する大きな問題は、タングステン充填プロセス中の継ぎ目および空隙の形成である。特に、狭い開口および／または凹角の開口、または狭窄部の1つまたは複数を有する、あるいは単に比較的高いアスペクト比を有するものとして特徴付けることができるフィーチャを有する構造が問題となることがある。図1Aは、タングステン材料で充填されるように設

10

20

30

40

50

計されることがある基板 103 内の垂直フィーチャ 101 の断面を示す。そのような垂直フィーチャは、フィーチャ開口 105 と、側壁 107 を有する。垂直フィーチャ 101 は、少なくとも約 2 : 1、または少なくとも約 4 : 1、または少なくとも約 6 : 1、または少なくとも約 10 : 1、または少なくとも約 20 : 1、またはさらに高いアスペクト比を有することがある。フィーチャ開口 105 は、約 10 ナノメートル ~ 500 ナノメートルの間、例えば約 25 ~ 300 ナノメートルの間の直径を有することがある。

#### 【0029】

同様に、図 1B は、同様のフィーチャであるが、フィーチャ 101 の底部、側壁、および開口をライニングする下層 113 の存在により、凹角プロファイルを有するフィーチャ 101 の一例を示す。凹角プロファイルは、フィーチャ開口と、フィーチャの底部または閉じた端部との間のどこかで断面の狭まりを示し、それによりプロファイル内に「ボトルネック」を示すプロファイルである。いくつかの場合には、凹角プロファイルは、フィーチャ開口から内側に徐々に狭まることがあり、またはフィーチャ開口自体に張出部を含む。図 1B は、後者の一例を示し、ここでも、狭まりは下層 113 の存在によるものであり、下層 113 は、フィーチャ開口付近において、フィーチャの底部、またはフィーチャ側壁 107 を下った位置よりも厚く、それにより張出部 115 を形成する。下層 113 は、例えば、拡散障壁層、接着層、核生成層、もしくは上記の層の任意の組合せ、または場合によっては有用もしくは有利な他の任意の材料層でよい。

#### 【0030】

いくつかの実施形態では、フィーチャの側壁での 1 つまたは複数の狭窄部が、均一なタンクスティン充填を実現することを難しくすることがある。図 1C は、内部領域 110 へのアクセスを妨げる側壁 107 のほぼ中央にある狭窄部 109 を示す例示的な水平フィーチャ 121 の上面図を例示する。いくつかの実施形態では、そのような水平フィーチャは、以下でより詳細に述べる 3D 垂直 NAND (VNAND) 構造の 1 つなど、垂直集積型メモリ構造内の「ワード線」と呼ばれるものでよい。図 1D は、垂直構造 122 への開口 105 を有し、したがって垂直構造 122 の一部を形成する同じ水平フィーチャ 121 の側面図を例示する。いくつかの実施形態では、いくつかの堆積化学およびプロセスに関して、そのような構造での均一なタンクスティン充填の実現が難しいことがある。なぜなら、十分な量の各堆積前駆体種が、構造 122 のベースに向けて垂直に下へ進み、次いで水平フィーチャ 121 を通って、特に狭窄部 109 の領域を通って水平に進まなければならないからである。今一度、図 1C が水平フィーチャ 121 および狭窄部 109 の上面図表現を表し、図 1D が同じものの側面図表現を表すことに留意されたい。したがって、これらの図から、この実施形態では、狭窄部 109 が、フィーチャ 121 の側壁 107 から水平方向および垂直方向に内側に延びることが明らかである。しかし、他の実施形態では、フィーチャ内部の狭窄部が、2 つの断面次元の一方にのみ存在することがあり、また、(1 次元である 2 次元である) 任意のタイプの狭窄部が、均一なタンクスティン充填をより難しくすることがあることを理解すべきである。

#### 【0031】

いくつかの実施形態では、半導体基板上の充填すべき構造は、複数の水平フィーチャを有する垂直構造であることがあり、水平フィーチャは、垂直構造の側壁にある開口を有する。開口は、フィーチャ開口を通して主垂直構造から流体的にアクセス可能である(水平フィーチャの)複数の内部体積に通じている。

#### 【0032】

例えば、図 2A は、VNAND スタック(左 205 および右 206)を有する(半導体基板 201 上に形成された)3D 垂直メモリ NAND (VNAND) 構造 200 と、中央垂直構造 210 と、中央垂直構造 210 の両側の側壁 240 に開口 230 を有する複数の積層水平フィーチャ 220 との側断面図を示す。図 2A は、示される VNAND 構造の 2 つの「スタック」を図示し、これらが合わさって「トレンチ状の」中央垂直構造 210 を形成するが、特定の実施形態では、順次に配置され、互いに空間的に平行に延びる 3 つ以上の「スタック」が存在することがあり、各隣接する「スタック」の対の間のギャップが

10

20

30

40

50

、図 2 A に明示的に示されるのと同様の中央垂直構造 210 を形成することに留意されたい。この実施形態では、水平フィーチャ 220 は、実際には、開口 230 を通して垂直構造 210 から流体的にアクセス可能な 3D メモリ「ワード線」である。この図には明示的には示されていないが、図 2 A に示される両方の VNAND スタック 205、206（すなわち左側 VNAND スタック 205 および右側 VNAND スタック 206）に存在する水平フィーチャ 220 は、（図示しないがさらに左側およびさらに右側にある）さらなる VNAND スタックによって形成される同様の垂直構造によって、VNAND スタックの他方の側（それぞれさらに左側およびさらに右側）からもアクセス可能である。すなわち、各 VNAND スタック 205、206 は、中央垂直構造 210 を通して VNAND スタックの両側から流体的にアクセス可能なワード線のスタックを含む。図 2 A に概略的に例示される特定の例では、各 VNAND スタックは、6 対の積層されたワード線を含むが、他の実施形態では、3D VNAND メモリレイアウトが、開口 230 を有する 16 個、または 32 個、または 64 個、または 128 個の積層された水平ワード線フィーチャ 220 に対応する 8 対、または 16 対、または 32 対、または 64 対の垂直に積層されたワード線を含むことがある。VNAND スタック内のワード線は、典型的には、酸化ケイ素層と酸化窒素層との交互のスタックを堆積し、次いで窒化物層を除去するためのプロセスを使用して、間にギャップを有する酸化物層のスタックを残すことによって形成されることに留意されたい。これらのギャップが、ワード線である。基本的には、ワード線を形成するための利用可能な技法、および垂直フィーチャの（実質的に）空隙を含まない充填を首尾よく達成するために利用可能な技法がある限り、そのような VNAND 構造内で任意の数のワード線を垂直に積層することができる。したがって、例えば、VNAND スタックは、2～256 個の間の水平ワード線フィーチャ、または 8～128 個の間の水平ワード線フィーチャ、または 16～64 個の間の水平ワード線フィーチャなどを含むことがある（列挙した範囲は、明記された端点を含むものとする）。 10

#### 【0033】

図 2 B は、図 2 A に側面図で示される同じ VNAND 構造 200 の上断面図を示し、断面は、図 2 A に示される（すなわち、破線の水平線によって示される）水平断面 260 を通して取られている。図 2 B の断面は、ピラー 250 の複数の列を例示し、ピラー 250 は、半導体基板 201 のベースから VNAND スタック 200 の上に垂直に延びるように図 2 A に示されている。いくつかの実施形態では、これらのピラー 250 は、ポリシリコン材料から形成され、VNAND 構造 200 にとって構造的および機能的に重要である。いくつかの実施形態では、そのようなポリシリコンピラーは、ワード線によって形成される積層されたメモリセルのためのゲート電極として働くことがある。図 2 B の上面図は、ピラー 250 が、ワード線 220 への開口 230 内に狭窄部を形成することを示す。すなわち、（図 2 B に矢印によって示される）垂直構造 210 から開口 230 を通るワード線 220 への流体アクセス性がピラー 250 によって妨げられる。いくつかの実施形態では、隣接するポリシリコンピラー間の水平ギャップのサイズは、約 1～20 nm の間である。流体アクセス性のこの減少は、タンクステン材料でワード線 220 を均一に充填する難易度を高める。 20

#### 【0034】

ワード線 220 の構造と、ピラー 250 の存在に起因する、ワード線 220 をタンクステン材料で均一に充填するという問題とが、図 3 A、図 3 B、および図 3 C にさらに例示される。図 3 A は、図 2 A に示されるものと同様の VNAND 構造 200 を通る垂直切断図を示すが、ここでは、ただ 1 対のワード線 220 に注目しており、さらに、ワード線 220 内で空隙 270 の形成をもたらしたタンクステン充填プロセスを概略的に例示する。図 3 B も空隙 270 を概略的に例示するが、この図では、図 2 B に示される水平切断図と同様に、ピラー 250 を通る水平切断図によって例示される。図 3 B は、狭窄形成ピラー 250 の周りのタンクステン材料の蓄積を例示し、この蓄積は、開口 230 の閉塞をもたらし、それにより、空隙 270 の領域内にさらなるタンクステン材料を堆積することができない。図 3 A および図 3 B から明らかなように、ピラー 250 の周りの蓄積されたタン 30

グステン堆積が開口 220 の閉塞を引き起こして、ワード線 230 内へのさらなる前駆体の移動を妨げる前に、十分な量の堆積前駆体が、垂直構造 210 を通り、開口 220 を通り、狭窄するピラー 250 を通り過ぎ、ワード線 220 の最も遠い到達位置まで移動することに依拠して、空隙を含まないタングステン充填が生じる。同様に、図 3C は、断面で上から見た単一のワード線 230 を示し、通常であればワード線 220 を通る開いた経路となる箇所をピラー 250 の大きな幅が部分的に閉鎖する、および / または狭める、および / または狭窄するように作用することにより、タングステン材料の概して共形（コンフォーマル）な堆積がワード線 220 の内部を閉塞し始める様子を例示する（図 3C での例は、図 3B に示されるピラー狭窄部の構造の 3D フィーチャの 2D レンダリングとして理解することができ、したがって、断面図ではなく平面図で見られる狭窄部を例示することに留意すべきである）。

10

#### 【0035】

したがって、半導体フィーチャの狭窄された領域内へのタングステン含有材料の均一な堆積は、大きな課題となることがある。上述した例は、特に、3D V N A N D メモリ構造のメモリワード線を均一に充填するという問題に関するが、本明細書で述べる方法は、タングステン含有材料源から、均一なタングステン堆積が望まれるフィーチャの領域へ、比較的狭窄された経路が存在する任意の種類のフィーチャに適用することができる。

20

#### 【0036】

空隙形成を回避し、水平フィーチャの均一なタングステン充填を実現するための技法の 1 つのクラスは、タングステン堆積操作とタングステンエッチング操作との組合せを含む。全般的な着想は、閉塞が生じるまでタングステンを堆積し、閉塞点をエッチバックして、閉じられた領域を再び開き、次いで、前に閉じられていた領域内にタングステンを再度堆積するというものである。そのような技法が採用されることがあるいくつかの状況では、十分に均一なタングステン充填を完成するのに、（いくつかの水平フィーチャ内部でさえ）1 対の堆積操作の合間の 1 回の介在するエッチング操作で十分であることがある。しかし、より難しい状況では、構造のアスペクト比の大きさや、充填すべき水平フィーチャ内部の狭窄の度合いに応じて、適切な充填のためにさらなる堆積 - エッチングサイクルが必要となることがある。

20

#### 【0037】

図 4A の符号 4A-1 ~ 4A-3 は、前述の堆積 - エッチング - 堆積処置の一例を概略的に例示し、この処置は、多くの場合に改良されたタングステン充填をもたらすことがある。しかし、これらの図はまた、例えば図 2A および図 2B に例示される V N A N D 構造など高アスペクト比構造の内部で異なる垂直深さに位置された水平フィーチャの均一な充填というさらなる問題を示す。図 4A の符号 4A-1 ~ 4A-3 は、単純な堆積 - エッチング - 堆積技法ではそのような構成を適切に取り扱うことができないことを示す。

30

#### 【0038】

特に、図 4A の符号 4A-1 ~ 4A-3 はそれぞれ、2 つのワード線、すなわち上部ワード線 221 と底部ワード線 222 を概略的に例示し、各ワード線 221 および 222 が、特に対称的な 2 対の開口 231 および 232 をそれぞれ通して、同じ隣接する 1 対の中央垂直構造 210 に、しかし異なる垂直深さで開いている。これら各図に関して、これらの図で見られる狭窄部 250 は、実際には「水平」次元で突出していることに留意されたい。図 3C の場合と同様に、これらの図は、ワード線 221 および 222 を有する構造の 3D フィーチャの 2D レンダリングとして理解することができる。これらの図は断面図を示すが、断面図に示される狭窄部 250 は、実際には、上から見た平面図でのみ実際に見られる狭窄部を表す。いずれにせよ、これらの図は、図 2B、図 3B、および図 3C に示されるように水平次元で突出する狭窄ポリシリコンピラーを有する 3D V N A N D 構造と同様のものと考えることができる。

40

#### 【0039】

例示される堆積 - エッチング - 堆積プロセスは、第 1 の堆積操作 510 から始まり、図 4A の符号 4A-1 に示されるタングステン堆積 270 のパターンを生じる。上部ワード

50

線 2 2 1 と底部ワード線 2 2 2 のどちらにおいても、閉塞が生じており、これらのワード線の内部（閉塞）領域内部でのさらなる堆積を妨げて、空隙 2 7 5 を形成する。次に、タンゲステンエッチング操作 5 1 5 が行われ、（エッチング後の）タンゲステン堆積 2 7 0 の残ったパターンが図 4 A の符号 4 A - 2 に示されている。この図に示されるように、いくらかのタンゲステン 2 7 0 が底部ワード線 2 2 2 上に残り、これは、次の堆積操作でのシード層として働くことがある。しかし、典型的なタンゲステンエッチングプロセスは、高アスペクト比構造の上部に向かうほどタンゲステンを優先的にエッチング除去する（これは、しばしば「エッチングローディング」と呼ばれる現象である）ので、上部ワード線 2 2 1 は、そのタンゲステンを完全にエッチング除去されており、後続のタンゲステン堆積操作 5 4 0 でのタンゲステン再成長のためのシード層を残さない。その結果が、図 4 A の符号 4 A - 3 に例示されている。ここで、底部ワード線 2 2 2 は、空隙を含まないタンゲステン充填を実現しているが、上部ワード線 2 2 1 は、エッチング 5 1 5 がタンゲステンシード層を完全に除去しているので、全く充填されていない。さらに、図 4 A の符号 4 A - 1 ~ 4 A - 3 には 2 つのワード線のみが明示的に例示されているが、これらの概略図面の着想において、2 つの明示的に例示されたワード線が、多くの介在するワード線（または他の水平フィーチャ）によって垂直方向で分離されることもある。例えば、いくつかの実施形態では、3 D V N A N D スタックは、2 個以上、8 個以上、16 個以上、32 個以上、64 個以上、128 個以上、または 256 個以上の垂直積層ワード線を採用することがあり、したがって、これらの図に明示的に示される 2 つのワード線は、数十個、さらには数百個の介在するワード線によって垂直方向で互いに離れているワード線を表すことがある。いずれにせよ、典型的には、垂直スタック内の全てのワード線が、空隙を含まずにタンゲステンで均一に充填されることが望ましく、この目標は、前述の「エッチングローディング」現象によって妨げられることがよくある。簡単に言うと、通常のタンゲステンエッチング操作において、「エッチングローディング」は、上側ワード線と下側ワード線との両方において同時に適度な側方 / 水平エッチングを実現することを、不可能ではないにせよ、非常に難しくする。上側ワード線は、水平方向でのエッチングが多すぎる傾向があり、下側ワード線は、水平方向でのエッチングが少なすぎる傾向がある。さらに、一般に、垂直に積層された水平フィーチャの数が増加するにつれてこの問題は大きくなる。

## 【 0 0 4 0 】

したがって、「エッチングローディング」を減少させ（またはなくし）、高アスペクト比構造の最も高いフィーチャから最も低いフィーチャまでタンゲステンを均一に（または少なくとも十分に均一に）エッチングするタンゲステンエッチング方法が望まれる。これを達成するための 1 つの手法が、図 5 A の流れ図によって示されており、図 5 A は、垂直タンゲステンエッチング 5 2 0 と、それに続く、特定の実施形態において行われることがある水平タンゲステンエッチング 5 3 0 操作とを例示する。（図 2 A、図 3 A、図 3 B、および図 4 A の符号 4 A - 1 ~ 4 A - 3 に示されるような）異なる深さの水平フィーチャを有する高アスペクト比構造を再び参照すると、実施形態は、( i ) 垂直エッチング操作 5 2 0（この操作は、半導体構造の上部からそのベースまでタンゲステンをエッチング除去し、上部から底部まで比較的均一にワード線の開口を露出させる（これは「ワード線カット」と呼ばれる））と、( i i ) 水平エッチング操作 5 3 0（この操作は、その後、露出されたワード線をエッチングして、閉塞点をエッチング除去することによってワード線を開く）とを含むことがある。したがって、図 5 B の流れ図に示されるような前述の 2 ステップエッチングを採用するタンゲステン堆積方法は、タンゲステン堆積の操作 5 1 0 から始まり、垂直エッチング操作 5 2 0、次いで水平エッチング操作 5 3 0、その後、第 2 のタンゲステン堆積操作 5 4 0 に進むことがある。いくつかの実施形態では、1 つまたは複数の中間処理操作が、垂直エッチング操作 5 2 0 と水平エッチング操作 5 3 0 との間に介在することがある。例えば、図 5 C は、垂直エッチング操作 5 2 0 と水平エッチング操作 5 3 0 との間に洗浄操作 5 2 5 を介在させる一実施形態の方法を示す。

## 【 0 0 4 1 】

10

20

30

40

50

次に図 5 D を参照すると、代替実施形態において、複数回のエッチング - 堆積サイクルが適切であることがある。この図に示されるように、数回のマルチサイクルプロセスは、決定点 550 を含むことがあり、ここで、タングステン充填が均一である度合いおよび空隙を含まない度合いが査定され、充填が十分に均一であり空隙を含まない場合には、処理が他の処理操作 570 に進み、一方、充填が不十分である場合には、処理は、任意選択で特定の中間処理操作 560 を行った後、もう 1 巡のエッチング - 堆積（例えば、垂直エッチング 520、水平エッチング 530、および堆積 540）に戻る。いくつかの他の実施形態では、マルチサイクルプロセスは、当然、前述の査定を行わずに単に前述のエッチング - 堆積サイクルを所定の回数繰り返すこともある。したがって、実施形態に応じて、1 ~ 25 回の堆積 - エッチングサイクル、例えば、1 ~ 15 回の間、または 5 ~ 20 回の間の堆積 - エッチングサイクルが行われることがある。いくつかの実施形態では、ある範囲の回数の堆積 - エッチングサイクルが行われることがあり、範囲の端点は、前述の値の任意の対（すなわち、1 ~ 25 から選択される値の任意の対）によって定義される。

#### 【0042】

図 5 A ~ 図 5 D での水平エッチング操作 530 は、タングステン堆積 / エッチング装置のオペレータ（人または制御論理）によって垂直エッチングから独立して開始される別個のエッチングではなく、垂直エッチング 520 の化学的特性および物理的特性（および垂直エッチングの選択されたプロセス条件）の結果として生じることもあることに留意すべきである。例えば、いくつかの実施形態では、垂直エッチング操作 520 は、イオン化エッチャント材料を利用することができ、イオン化エッチャント材料は、その電荷により、高アスペクト比垂直フィーチャのベースに向けて（電場により）指向的に集束される（したがって垂直エッチングを達成する）ことがある。しかし、垂直エッチャント材料のイオンがフィーチャのベースと衝突すると、イオンは、電子を受け取って中性エッチャント種を生成することができ、次いで、中性エッチャント種が外方向および側方に水平フィーチャ内へ拡散することができる。いくつかの実施形態では、この物理的 / 化学的プロセスが、図 5 A ~ 図 5 D に示される水平エッチング 530 を成すことがある。より一般的には、垂直なイオン化エッチャント種の物理的 / 化学的変換により生じる、水平フィーチャ内へのエッチャント種の有意な側方拡散または物質移動と、それに伴う水平フィーチャからのタングステン材料の有意なエッチングとが、水平エッチング 530 を成すことがある。しかし、他の実施形態では、水平エッチング 530 は、垂直エッチングの物理的特性、化学的特性、およびプロセス条件とは無関係に、1つまたは複数の操作のシーケンスによって（例えば、タングステン堆積 / エッチング装置のオペレータ（人間であっても制御論理であってもよい）によって開始される独立プロセスによって）達成されることにも留意すべきである。

#### 【0043】

また、図 5 A ~ 図 5 D に示される流れ図は、垂直エッチング 520 と水平エッチング 530 が厳密に順次に行われる（すなわち、水平エッチング 530 が開始される前に垂直エッチング 520 が完了される）ことを示唆するものと解釈すべきではないことにも留意すべきである。事実、多くの場合、側方エッチャント種への変換（例えば、垂直構造のベースで 1 つまたは複数の電子を獲得することによる中性種への変換）が生じる前に、エッチング種の所与の分子が（例えばイオンとして）垂直にエッチングし、したがって、個々のエッチャント分子が、水平にエッチングする前に垂直にエッチングすると言うこともできる。しかし、（エッチャント変換が生じるエッチング技法において）エッチャント分子の集団が見られるとき、明らかに、垂直エッチングと水平エッチングは、ある程度は同時に行われる。当然、垂直エッチングが水平フィーチャをまだ開いていないので、および / または水平フィーチャの位置まで下にエッチングしていないので、水平フィーチャにアクセス可能でない範囲では、その意味で、個々のフィーチャに関して垂直エッチングが水平エッチング前に行われるということもできる。したがって、これらの点に鑑みて、図 5 A ~ 図 5 D は、垂直エッチングが垂直 3D 構造をその構造の水平フィーチャまで下にエッチングし、次いで水平エッチングが水平フィーチャ内にエッチングすることを概念的に例示し

10

20

30

40

50

ていると解釈すべきである。これはまた、図4Aの符号4A-1～図4Cの符号4C-4での図にあっても概念的に例示される（ただし、特定の実施形態では、図5Cでの任意選択の洗浄ステップ525が、2つのエッティング520と530を分ける働きをすることがあることに留意されたい）。

#### 【0044】

図5A～図5Dに関して述べた水平および垂直エッティング手法を利用するタンゲステン堆積処置による水平フィーチャの充填に関する利益が、図4Bおよび図4Cに例示される。特に断りのない限り、図4Aの符号4A-1に明示的に表される（図4Bの符号4B-1および図4Cの符号4C-1で繰り返される）参照番号が、他の図4の各図における対応するフィーチャにも当てはまることに留意されたい。10

#### 【0045】

図4の符号4B-1～4B-4に示されるワード線充填シーケンスは、複合の垂直／水平エッティングを利用する。図4Bに示されるように、タンゲステン充填処置は、（図5Bの流れ図にも示される）タンゲステン堆積操作510から始まり、これは、図4Bの符号4B-1における充填パターンを生成し、この充填パターンは、基本的には図4Aの符号4A-1に概略的に例示されるのと同じ充填パターンである。したがって、この最初の堆積は、狭窄部250（例えばポリシリコンピラー）の近傍でのタンゲステン材料の共形堆積により、図4Bの符号4B-1（および図4Aの符号4A-1）に示される上部ワード線221と底部ワード線222においてほぼ同等の閉塞を生じる。20

#### 【0046】

初期堆積操作510の後、図5Bの流れ図および図4Bの符号4B-2に向けられた矢印で示されるように、（以下でより詳細に述べるように）垂直エッティング操作520が行われ、この垂直エッティング操作520は、図4Bの符号4B-2に示されるように、水平ワード線221および222の内部領域からタンゲステンを除去することなく（または明瞭には除去することなく）、中央垂直構造210の側壁からタンゲステンを除去する。これは、「ワード線カット」と呼ばれることがある。その後、図4Bの符号4B-2に示されるように、ワード線221および222の内部は、狭窄部250でなくされていない閉塞により、アクセス可能でない。しかし、図4Bの符号4B-2に示されるように、明らかな利益は、上部ワード線221と底部ワード線222がほぼ同等にエッティングされていることである。すなわち、「エッティングローディング」効果がない。これは、垂直エッティングの指向性による結果、特に、垂直エッティングが半導体構造のベースに向けて下方に向かされることによる結果として視覚化することができる。したがって、垂直エッティングは、水平フィーチャからタンゲステンを側方に明瞭には除去することなく、中央垂直構造からタンゲステンを実質的に均等かつ均一に垂直に除去する。30

#### 【0047】

中央垂直構造210の側壁からタンゲステンが実質的に除去された状態で、図5B、および図4Bの符号4B-3に向けられた矢印で示されるように、水平エッティング操作530が行われる。一方向に指向性を有するのではなく、いくつかの実施形態では、水平エッティング530は、概して等方性に作用することもあり、活性化エッチャント材料が、水平フィーチャ内に側方にエッティングして、閉塞点を除去し、それにより、ワード線221および222の内部領域を開く。図4Bの符号4B-3は、水平エッティング530の後の残留されたタンゲステン堆積のパターンを例示し、図4Aの符号4A-2に例示されるエッティングローディング効果とは異なり、図4Bの符号4B-3では、上部ワード線221と底部ワード線222が、それらの内部領域内でほぼ等しい量のタンゲステン堆積を保っている。タンゲステンシード層が両方のワード線に残っているので、後続の堆積中に、効果的なタンゲステン再成長が生じ得る。したがって、図5B、および図4Bの符号4B-4に向けられた矢印で示される、タンゲステン充填操作を完了するために続くタンゲステン堆積操作540は、図4Bの符号4B-4に示されるように均一であり空隙を含まないタンゲステン充填をもたらす。これは、図4Aの符号4A-3に示される上側ワード線221でタンゲステン再成長の跡がないこととは対照的である。4050

## 【0048】

また、いくつかの実施形態では、水平エッティング操作530で使用される活性化エッティング材料は、拡散制限エッティングレジームで働くことがあり、したがって、水平エッティング中に高アスペクト比フィーチャの上部と底部を比較したときにいくらかの小さな度合いのエッティングローディングが存在することがあることを理解すべきである（言い換えると、半導体構造のいくつかの領域内において、拡散の速度が、エッティング化学反応の速度に追いつかない）。それにもかかわらず、この小さな度合いのエッティングローディングは、図4Aの符号4A-3によって例示される問題（タングステンシード層が完全になくなり、上側ワード線で再成長が生じないこと）をもたらさない。なぜなら、指向性の垂直エッティング操作520によって、エッティングローディングの大半が回避されているからである。

10

## 【0049】

最後に、図4Cの符号4C-1～4C-4は、図4Bの符号4B-1～B-4に示される垂直および水平エッティング方法とはわずかに異なる実施形態を概略的に例示する。図4の各図において、半導体構造の壁は、窒化チタン（TiN）の薄層でコーティングされる。この窒化チタン層280は、堆積されるタングステン被膜の核生成成長のために働くことがある。タングステン堆積は、裸のシリコン、または酸化ケイ素の層でコーティングされたシリコン上でははるかに遅いか、または生じない（少なくともこのタイプの処置で使用される動作条件の典型的な範囲では、はるかに遅い）ので、TiN層280または適切な代替物なしでは、タングステン成長は一般に生じない。さらに、TiN層の存在は有利であることがあり、必要であることさえあるが、いくつかの実施形態では、TiN層280の選択的な除去も有利であることがある。したがって、図4Cの符号4C-1には、垂直エッティング操作521の結果が概略的に示されており、この操作521は、TiN層280をエッティング除去して、露出された裸のシリコン281を残すことが可能な活性化エッティング材料を利用する。垂直エッティング521の後、水平エッティング530が通常通り進み、その後、第2のタングステン堆積操作540が行われる。図4Cの符号4C-4に示される結果は、（TiN層280が残る唯一の領域であるので）ワード線221および222内部に局所化された、空隙を含まない均一なタングステン材料堆積であり、図4Bの符号4B-4におけるように中央垂直構造210の側壁上にはタングステン成長が延びない。当然、これは、互いに電気的に絶縁された垂直に積層されたワード線を残す。これらの積層されたワード線が3D NANDメモリデバイスにおけるメモリセルとして使用される場合には、これが最終的な目標である。

20

30

## 【0050】

図4Dは、水平フィーチャを有する3D垂直構造の実質的に均一な／空隙を含まないタングステン充填を実現するための本明細書で開示されるいくつかの技法および操作を採用することによって得られる結果を例示する電子顕微鏡写真を示す。

30

## 【0051】

タングステン堆積：

上述したように、半導体構造およびフィーチャをタングステン含有材料で均一に充填するための本明細書に開示される方法は、1つまたは複数のタングステン堆積操作を採用する。いくつかの実施形態では、タングステン堆積は、実質的に共形のものとして表されることがある、タングステン含有前駆体と還元剤との反応によって達成されることがある。特定のそのような実施形態では、まず、タングステンは、裸のシリコン基板（または酸化されたシリコン基板表面）を覆う下層の上に堆積される。

40

## 【0052】

下層は、拡散障壁層として、共形タングステン堆積のための核生成層として、またはそれら両方として働くことがある。上述したように、一般には、半導体製造に関連する熱力学的レジームにおいて、裸のシリコンまたは酸化されたシリコンの上では共形タングステン堆積が生じないので、何らかの種類の下層が一般に必要である。本明細書で言及する「下層」を、本開示では、部分製造された半導体基板の「外層」と呼ぶこともあり、この外

50

層はタングステン堆積を受けやすく、外層の上にタングステンが堆積されることになることに留意されたい。当然、タングステン堆積前の半導体基板の「外層」がタングステン堆積自体に対する「下層」として働くので、用語には一貫性がある。したがって、いくつかの実施形態では、部分製造された半導体基板は、タングステン堆積を受けやすく、タングステン含有材料の層が上に堆積されることがある外層を有する構造を含むことがある。いずれにせよ、基板の外層と呼ぶか、タングステン堆積に対する下層と呼ぶかに関わらず、この層は、1つまたは複数のタイプの金属窒化物、およびいくつかの実施形態では窒化チタン(TiN)および/または窒化タングステン(WN)などを含むことがある。この層は、約10 ~ 500 (オングストローム) の間の厚さ、またはより特定の実施形態では、約25 ~ 200 の間の厚さでよい。さらに、いくつかの実施形態では、構造の側壁からタングステンを除去するための垂直エッチング操作は、タングステン堆積を受けやすく、タングステンが上に堆積される前述の外層に明瞭には影響を及ぼさないことがあるが、他の実施形態では、垂直エッチング操作は、構造の側壁の少なくとも一部で、外層の一部を除去することがある。これらの後者の実施形態では、タングステンは、タングステン含有材料の後続の層の堆積中に、側壁のこれらの部分には実質的に堆積されない。これもまた、図4Cの符号4C-1~4C-4に例示されている。

#### 【0053】

核生成層として働くとき、下層は、典型的には、薄い共形層であり、これは、バルクタングステン含有材料の後続の堆積を容易にする。いくつかの実施形態では、核生成層は、パルス核生成層(PNL)技法を使用して堆積される。PNL技法では、還元剤とタングステン含有前駆体のパルスが、反応チャンバ内に順次に注入され、(バージガスの注入されたパルスによって)バージされる。プロセスは、所望の厚さが実現されるまで、循環的に繰り返される。PNLは、広範には、原子層堆積(ALD)技法を含めた、半導体基板上での反応のための反応物を順次に追加する任意の循環的プロセスを具現化する。タングステン核生成層を堆積するためのPNL技法は、2008年2月13日出願の米国特許出願第12/030,645号、2007年12月5日出願の米国特許出願第11/951,236号、および2009年3月19日出願の米国特許出願第12/407,541号に記載されており、各特許文献の全体を、あらゆる目的で参照により本明細書に援用する。PNLタイプのプロセスに関するさらなる論述は、米国特許第6,635,965号、第6,844,258号、第7,005,372号、および第7,141,494号、ならびに米国特許出願第11/265,531号で見ることができ、各特許文献の全体を、あらゆる目的で参照により本明細書に援用する。本明細書で述べる方法は、タングステン核生成層の堆積の特定の方法には限定されず、PNL、ALD、CVD、PVD、および任意の他の方法を含む任意の方法によって形成されるタングステン核生成層上へのバルクタングステン被膜の堆積を含む。さらに、特定の実施形態では、バルクタングステンは、核生成層を使用せずに直接堆積されることもある。

#### 【0054】

堆積ステーションは、タングステンを堆積するために使用されることがあるが、また、特定の前操作(例えば、拡散障壁層の堆積や、核生成層の堆積)および/または後続の操作(例えば、堆積されたタングステンのエッチング、さらなるタングステン堆積、最終フィーチャ充填)を行うために使用されることもある。特定の実施形態では、堆積ステーションは、図5のタングステン堆積操作510および540を行うように特に設計されることがある。また、装置は、これらの堆積操作を行うためにさらなる堆積ステーションを含むこともある。例えば、初期タングステン堆積(例えば、図5の操作510)が、第1の堆積ステーションで行われることがある。次いで、半導体基板が、例えば垂直または水平エッチング(例えば、図5の操作520および/または530)などのために、エッチング用の別のステーションに移動されることがある。以下にさらに論じる特定の実施形態では、それぞれの操作に関して異なる材料および条件を使用する堆積環境とエッチング環境との間の相互汚染を防止するために、エッチングステーションは、異なるチャンバ内に位置決めされる。次いで、プロセスがさらなる堆積操作(例えば、図5の操作540)を使

用する場合、基板は、第1の堆積ステーションに戻される、または別の堆積ステーションに移動されることがある。複数の基板上での並列堆積操作を行うために、複数の堆積ステーションが使用されることもある。さらなる詳細および装置実施形態は、図6、図7、および図8の文脈で以下に説明する。

#### 【0055】

いくつかの実施形態では、タンゲステン堆積は、化学気相成長(CVD)プロセスを含み、タンゲステン含有前駆体が水素によって還元されてタンゲステンを堆積する。六フッ化タンゲステン(WF<sub>6</sub>)がしばしば使用されるが、プロセスは、他のタンゲステン前駆体を用いて行うこともでき、そのような前駆体は、限定はしないが、六塩化タンゲステン(WCl<sub>6</sub>)、オルガノ金属前駆体、およびフッ素を含有しない前駆体、例えば、MDN OW(メチルシクロペニタジエニル-ジカルボニルニトロシル-タンゲステン)やEDN OW(エチレンシクロペニタジエニル-ジカルボニルニトロシル-タンゲステン)を含む。さらに、バルクタンゲステン層のCVD堆積における還元剤として一般に水素が使用されるが、本発明の範囲から逸脱することなく、水素に加えて、または水素の代わりに、シランを含有する他の還元剤を使用することもできる。別の実施形態では、ヘキサカルボニルタンゲステン(W(CO)<sub>6</sub>)を、還元剤を伴って、または伴わずに使用することができる。上述したPNLプロセスとは異なり、CVD技法では、WF<sub>6</sub>およびH<sub>2</sub>または他の反応物は、反応チャンバ内に同時に導入される。これは、混合反応物ガスの連続的な化学反応を生じ、この化学反応が、基板表面上にタンゲステン被膜を連続的に生成する。化学気相成長(CVD)を使用してタンゲステン被膜を堆積する方法は、2008年8月29日出願の米国特許出願第12/202,126号に記載されており、その特許文献の全体を、堆積プロセスを述べる目的で参照により本明細書に援用する。様々な実施形態によれば、本明細書で述べる方法は、フィーチャを部分的に充填する特定の方法に限定されず、任意の適切な堆積技法を含むことがある。部分製造された半導体基板上にタンゲステンを堆積する方法に関するさらなる詳細は、米国特許第8,124,531号で見ることができ、その特許文献の全体を、あらゆる目的で参照により本明細書に援用する。

#### 【0056】

使用される堆積プロセスに関係なく、堆積操作は、堆積された層が特定の厚さに達するまで続くことがある。いくつかの実施形態では、選択される厚さは、高アスペクト比構造の水平フィーチャ内部の狭窄された領域の幅に依存することがある。例えば、そのような水平フィーチャ内部でピングオフが生じると、フィーチャ内部でのさらなるタンゲステン堆積が妨げられる。したがって、フィーチャ内部の堆積された層の平均厚さが、水平フィーチャ内部の狭窄部の最も狭い点の平均半径にほぼ等しい値に達したとき、その時点が、タンゲステン堆積を停止し、上述したタンゲステンエッチングシーケンスを開始するのに適した時点であることがある。

#### 【0057】

##### 垂直エッチング：

上述したように、本明細書で開示される均一なタンゲステン堆積を実現するための技法は、タンゲステンの初期層を堆積した後に垂直エッチングを採用することがある。ここでも、上述したように、垂直エッチングは、「エッチングローディング」現象を最小限にして、またはなくして、隣接する3D VNANDスタッカによって形成される中央垂直構造への「ワード線カット」を達成するために行われる。やはり上述したように、この垂直エッチングは、(少なくとも相対的に言って)指向性エッチングとして特徴付けられることがあり、したがって、中央垂直構造を開く水平フィーチャからタンゲステンを側方に明瞭にはエッチングしない(しかし、エッチングされる垂直フィーチャのベース/底部で垂直エッチング材料が水平エッチング材料に変換する実施形態では、側方にエッチングしないという特徴は、側方エッチャントへの変換前のエッチャントにのみ当てはまる)ことを理解すべきである)。したがって、いくつかの実施形態では、垂直エッチング操作は、活性化エッチング材料を提供し、活性化エッチング材料を使用して、水平フィーチャの内部から初期堆積タンゲステン層の一部を実質的に除去することなく、垂直構造の側壁からタン

10

20

30

40

50

グステン含有材料の初期堆積層の一部を除去することを含む。

【0058】

活性化エッティング材料は、インサイチュで（処理チャンバ内で）生成される1つまたは複数のイオン種を含むイオン化されたプラズマでよい。したがって、垂直エッティング（指向性ワード線カット）は、プラズマ中のイオンに電磁場を印加し、垂直にエッティングすべき高アスペクト比フィーチャ／3D構造の底部またはベースに向けてイオンを指向させることによって行われることがある。イオン化されたプラズマ種の化学的前駆体（すなわち、処理チャンバ内部でのイオン化によりイオン種を生成するプラズマ試薬）は、様々な形態のフッ素含有化合物を含むことがある。一例は、NF<sub>3</sub>である。他の例としては、CF<sub>4</sub>、CHF<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、CH<sub>3</sub>F、またはSF<sub>6</sub>が挙げられる（しかし、SF<sub>6</sub>は、活発すぎることが判明していることもある）。非フッ素含有プラズマ試薬の例としては、Cl<sub>2</sub>を挙げることができる。イオン化されたプラズマ種を生成するために使用されるプラズマ試薬は、典型的には、処理チャンバに提供され、ここで、エッティングは、処理チャンバに流体的に結合された1つまたは複数の供給ラインを介して行われるものである。処理チャンバ内へのプラズマ試薬の流量は、約100～1000sccmの間、またはより好ましくは約100～700sccmの間、またはさらに好ましくは約300～700sccmの間、またはさらに好ましくは約400～600sccmの間、またはいくつかの実施形態では約100～500sccmの間でよい。10

【0059】

前述したプラズマ試薬に加えて、希釈ガスの使用によって垂直エッティング操作を向上させることができ、希釈ガスは、約500～2000sccm、またはより特定的には約1000～1500sccmの流量で垂直エッティング操作中に処理チャンバに流すことができる。いくつかの実施形態では、希釈ガスは、ヘリウムもしくはアルゴン（もしくはそれら両方）、または何らかの他の不活性ガス（または不活性ガスの組合せ）でよい。希釈剤は、エッティングされる構造の外への（および／または構造から離れる）エッチャント副生成物（典型的にはWF<sub>6</sub>）の拡散の速度を増加させることによって、垂直エッティング操作中にエッティング速度を高める働きをすることがある。例えば、ウェハ基板の上面にわたる高い流量のAr、He、または何らかの他の不活性希釈ガスは、エッティングされる垂直フィーチャの内部と外部とのエッティング副生成物の濃度勾配を高め、それにより、副生成物除去に対する拡散障壁を減少させることができる。20

【0060】

いくつかの実施形態では、犠牲保護層を形成するために、ポリマー犠牲保護材料のポリマー前駆体も処理チャンバに提供されることがある。いくつかの状況では、犠牲保護層は、3D NANDトレンチの中央垂直構造の上側部分がエッティングされる度合いを減らすことができ、それにより上部でのオーバーエッティングを防止する。ある意味、犠牲保護層は、垂直エッティングの指向性を高める。犠牲保護層の化学的ポリマー前駆体は、様々な形態のフッ素含有化合物を含む。具体的な例としては、CF<sub>4</sub>、CHF<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、およびCH<sub>3</sub>Fが挙げられる。また、ポリマー前駆体種は、典型的には、処理チャンバに提供され、ここで、エッティングは、処理チャンバに流体的に結合された1つまたは複数の供給ラインを介して行われるものである。処理チャンバ内へのポリマー前駆体の流量は、約10～100sccmの間、またはより好ましくは約20～60sccmの間、またはさらに好ましくは約30～40sccmの間でよい。30

【0061】

垂直エッティングは、ある範囲のチャンバ動作条件にわたって行われることがある。いくつかの実施形態では、垂直エッティング中の処理チャンバ内部の温度は、約10～140、またはより好ましくは約20～120、またはさらに特定的には約30～100の間、またはさらに特定的には約40～80の間、またはいくつかの実施形態では約60で維持されることがある。いくつかの実施形態では、垂直エッティング中の処理チャンバ内の圧力は、約20～120mTorrの間、またはより好ましくは約30～100mTorrの間、またはさらに好ましくは約50～90mTorr、または約40～80mT40

10

20

30

40

50

o r r の間で維持されることがある。タングステンエッチング操作のためにインサイチュ発生プラズマを採用する装置を以下でより詳細に述べる。

#### 【0062】

いくつかの実施形態では、垂直エッチングで使用されるインサイチュプラズマを発生するために、誘導結合プラズマリアクタが使用される。誘導結合プラズマおよび関連の誘導結合プラズマリアクタは、米国特許第6,184,158号に記載されており、その特許文献の全体を、あらゆる目的で参照により本明細書に援用する。また、誘導結合プラズマリアクタ装置の例は、図9を参照して以下に述べる。

#### 【0063】

いくつかの実施形態では、垂直エッチング操作で使用されるイオン種を含むプラズマは、誘導結合R Fパワーによって発生および維持される誘導結合プラズマである。R Fパワーは、約13MHz～60MHzの間の周波数を有することがあり、また、約400kHz～14MHzの間の周波数（約13.56MHzなど）を有する基板ビアスR Fパワーによって発生および維持される。いくつかの実施形態では、基板ビアスR Fパワーは、基板に対して約100～1000ボルトの間の電圧、またはより特定的には約100～700ボルトの間の電圧、またはさらに特定的には基板に対して約100～500ボルトの間の電圧を有する。いくつかの実施形態では、誘導結合プラズマを採用する方法は、さらに、約100～2000Hzの間のパルスレート、またはより特定的には約100～300Hzの間のパルスレート、または約400～900Hzの間のパルスレートで、かつ約10%～90%の間のデューティサイクル、またはより特定的には約10%～60%の間のデューティサイクルで基板ビアスR Fパワーをパルスするステップを含むことがある。いくつかの実施形態では、このようにしてビアス電圧をパルスすることが垂直エッチング速度を高めることが判明している。1020

#### 【0064】

いくつかの実施形態では、誘導結合R Fパワーは、約500～1900ワットの間、特に約500～600ワットの間、または約1300～1900ワットの間である。いくつかの実施形態では、誘導結合R Fパワーは、第1の発生コイルと第2の発生コイルとを含む発生コイルによって発生され、第1の発生コイルは、誘導結合R Fパワーを処理チャンバの内部領域に供給し、第2の発生コイルは、誘導結合R Fパワーを処理チャンバの外部領域に供給し、合計の誘導結合R Fパワーは、約0.1～1.5の間の比で、第1の発生コイルと第2の発生コイルとの間で分けられる。いくつかの実施形態では、水平エッチング操作で使用される遊離基種を含むプラズマは、R Fパワーによって発生および維持される。30

#### 【0065】

いくつかの実施形態では、水平フィーチャ内へ側方に明瞭にはエッチングすることなく、主に中央垂直構造の側壁からタングステンを除去するためのワード線カットを行うために、ウェットエッチング技法を使用することが実現可能であることに留意されたい。

#### 【0066】

##### 水平エッチング：

上述したように、本明細書で開示される均一なタングステン堆積を実現するための技法は、垂直エッチングに加えて水平エッチングを採用することがある。ここでも、上述したように、水平エッチングを使用して、側方にエッチングして、前に堆積されたタングステン材料によって3D V N A N Dスタッカの水平ワード線内部に形成された閉塞点を開くことができる。いくつかの実施形態では、水平エッチング操作は、活性化エッチング材料を提供し、活性化エッチング材料を使用して、ワード線の内部からタングステン含有材料の初期堆積層の一部を除去することを含むことがある。いくつかの実施形態では、活性化エッチング材料は、（以下に述べるように）処理チャンバから離れた位置で生成され、水平エッチング操作を行うために処理チャンバに流されることがある。他の実施形態では、上述したように、水平エッチング操作で使用される活性化エッチング材料は、垂直エッチング操作で使用される活性化エッチング材料の変換により生成されがあり、変換4050

は、エッティングされる垂直フィーチャ / 構造の内部で生じる。例えば、垂直エッティング材料が（電場によって垂直フィーチャのベースに向けられた）イオン種を含む場合、イオン種は、垂直構造のベースでの基板との衝突後に周囲の材料から電子を受け取ることによって、中性の水平 / 側方エッティング材料に変換することができる。

#### 【0067】

水平エッティングで使用される活性化エッティング材料は、遊離基ベースのプラズマでよい。特定のそのような実施形態では、遊離基ベースのプラズマは、水平エッティングを行うために処理チャンバに導入される前に、処理チャンバから離れた位置で生成されることがある。プラズマを構成する遊離基種は、様々なフッ素ラジカル種を含むことがあり、それに応じて、この遊離基ベースのプラズマの化学的前駆体（すなわちプラズマ試薬）は、様々な形態のフッ素含有化合物を含むことがある。例として、 $NF_3$ が挙げられる。他の例としては、 $CF_4$ 、 $CHF_3$ 、 $CH_2F_2$ 、および $CH_3F$ が挙げられ、いくつかの実施形態では、さらに場合によっては $SF_6$ が挙げられる。さらに、非フッ素含有プラズマ試薬は、塩化物含有化合物など他のエッチャントを含むこともある。

10

#### 【0068】

遠隔発生プラズマを採用する実施形態では、プラズマを含む励起ガスが処理チャンバに供給されることがある、ここで、水平エッティングは、処理チャンバに流体的に結合された1つまたは複数のガス管路または供給ラインを介して行われるものである。タンクステンエッティング操作のために遠隔発生プラズマを採用する装置を以下により詳細に述べる。

20

#### 【0069】

水平エッティングは、ある範囲のチャンバ動作条件にわたって行われることがある。いくつかの実施形態では、水平エッティング中の処理チャンバ内部の温度は、約50～400の間、またはより特定的には約50～250の間で維持されることがある。いくつかの実施形態では、約150未満の温度が使用されることがある。いくつかの実施形態では、垂直エッティング中の処理チャンバ内部の圧力は、約10 Torr 未満、例えば約5 Torr 未満、さらには約2 Torr 未満で維持されることがある。いくつかの実施形態では、例えば、水平エッティングで使用される活性化エッティング材料が、垂直エッティングで使用される活性化エッティング材料の変換により生成されるとき、水平エッティング中のプロセス条件は、垂直エッティング中に採用されるものと同じである。

30

#### 【0070】

水平エッティングに関する様々な技法は、あらゆる目的で参考により本明細書に援用する2013年3月27日出願の米国特許出願第13/851,885号に記載されている。例えば、その特許文献には、エッティング共形性の修正が記載されており、水平エッティング中にフィーチャプロファイルを調整するために採用されることがある。例えば、フッ素ラジカルベースのエッティングのプロファイルを調整するために、温度、圧力、および流量が制御されることがある。より高温では、進入するフッ素原子は、フィーチャ入口ですぐに反応してエッティングし、より共形でないエッティングをもたらす。より低温では、進入するフッ素原子は、フィーチャ内へさらに奥に拡散してエッティングすることができ、より共形のエッティングをもたらす。より高いエッチャント流量は、より多くのフッ素原子を発生させ、これらのフッ素原子は、フィーチャ内へさらに奥に拡散してエッティングし、より共形のエッティングをもたらす。より低いエッチャント流量は、より少ないフッ素原子を発生させ、これらのフッ素原子は、フィーチャ入口で拡散してエッティングする傾向があり、より共形でないエッティングをもたらす。より高い圧力は、より多くのフッ素ラジカルの再結合を引き起こして、フッ素分子を生成させる。フッ素分子は、フッ素ラジカルよりも低い付着係数を有し、したがって、タンクステンをエッティングする前により迅速にフィーチャ内に拡散し、より共形のエッティングをもたらす。

40

#### 【0071】

##### 装置：

本明細書に提示するタンクステン堆積およびエッティング方法は、様々なメーカーから市販されている様々な堆積および / またはエッティング装置で実施することができる。適して

50

いることがある装置の例としては、Novellus Concept-1 ALTUS（商標）、Concept-2 ALTUS（商標）、Concept-2 ALTUS-S（商標）、Concept-3 ALTUS（商標）、およびALTUS Max（商標）堆積システム、または任意の様々な他の市販の化学気相成長（CVD）ツールが挙げられる。様々な垂直および／または水平エッティング操作を行うためにいくつかの実施形態で使用することができる装置の一例は、Lam ResearchのKiyōエッティングツールである。他の例としては、Applied MaterialsのMesaおよびC3製品などが挙げられる。いくつかの実施形態では、側方エッティングのために、Tokyo ElectronicのRLSAなどを使用することができる。Hitachiも、いくつかの実施形態で水平および／または垂直エッティングのために使用することができる様々なツールを製造している。一般に、垂直エッティング操作および場合によっては水平エッティング操作のために使用されるツールは、イオンプラズマを発生し、好ましくは、基板の平面に実質的に垂直な指向性でプラズマのイオンを基板に向けて指向させることができる。

10

#### 【0072】

図6は、特定の実施形態による部分製造された半導体基板を処理するための装置600の概略図を例示する。装置600は、ペデスタル620を有するチャンバ618と、シャワーヘッド614と、インサイチュプラズマ発生器616と、遠隔プラズマ発生器606とを含む。また、装置600は、様々なデバイスへの入力および／または供給制御信号を受信するために、システム制御装置622を含む。

20

#### 【0073】

上述したように、半導体フィーチャの均一な（または少なくとも実質的に均一な、および／または比較的もしくは相対的に均一な）タングステン充填を実現するために本明細書で開示される方法のいくつかは、活性化エッティング材料を使用してタングステンをエッティングする操作を含み、活性化エッティング材料は、1つまたは複数の遊離基種を含むプラズマでよい。いくつかの実施形態では、処理チャンバから離れているが、処理チャンバに流体的に結合されているプラズマ発生器を使用して、プラズマおよび遊離基種を発生することができ、次いで、プラズマおよび遊離基種が、流体結合機構を通して処理チャンバに提供される。図6に概略的に例示される実施形態は、1つのそのような実施形態であり、例えば、接続ライン608を介して処理チャンバ618と流体連絡する遠隔プラズマ発生器606を有する。この図に示されるように、システム制御装置622は、遠隔プラズマ発生器606の動作を制御することがあり、また、遠隔プラズマ発生器606から処理チャンバ618への活性化エッティング材料の供給を制御する。

30

#### 【0074】

チャンバ618内に導入する前にタングステンエッチャントを活性化するために、任意の適切な遠隔プラズマ発生器を使用することができる。例えば、全てMKS Instruments(Andover, Massachusetts)から市販されているASTRON(登録商標)i Type AX7670、ASTRON(登録商標)e Type AX7680、ASTRON(登録商標)ex Type AX7685、ASTRON(登録商標)hf-s Type AX7645などの遠隔プラズマ発生ユニットを使用することができる。一般に、遠隔プラズマ発生器ユニットは、典型的には、供給されるエッチャント試薬を使用して（ある程度、弱くイオン化されていることもある）遊離基ベースのプラズマを発生する自立型デバイスである。遠隔プラズマ発生器は、プラズマ中の電子にエネルギーを提供する高出力RF発生器である。このエネルギーは、次いで、中性エッチャント試薬に移動され、2000K程度の温度を生じ、これらの分子の熱解離を引き起こす。遠隔プラズマ発生器ユニットは、その高いRFエネルギーと、エッチャントにこのエネルギーの大半を吸着させる特別なチャネル幾何形状により、進入するエッチャント試薬の60%超を解離することができる。いくつかの実施形態では、エッチャント試薬の分子を励起するために、マイクロ波源が使用されることがある。いくつかの実施形態では、約400kHz～60MHzの間、または約400kHz～27MHzの間

40

50

、または約27～60MHzの間、または特に13.56MHz、もしくは27MHz、もしくは60MHzのRFで遠隔プラズマ発生器を動作させ、実施形態に応じて約400～2000ワットの間のRFパワーを発生させることによって、適切なプラズマが発生されることがある。

#### 【0075】

図6に例示されるものなど特定の実施形態では、エッチャントは、遠隔プラズマ発生器606から接続ライン608を通してチャンバ618内に流れ、混合物は、シャワーヘッド614を通してチャンバ618に分散される。(遠隔プラズマ発生器内で発生される)活性化エッチング材料の前駆体として働く化学種(すなわちエッチャント試薬)は、エッチャント試薬源602を介して発生器に供給されることがあり、エッチャント試薬源602は貯蔵タンクでよい。さらに、特定の実施形態では、アルゴンやヘリウムなどの不活性ガスも、不活性ガス源603から遠隔プラズマ発生器606に供給され、不活性ガス源603も貯蔵タンクでよい。

10

#### 【0076】

上述したようないくつかの実施形態では、本明細書で開示されるタンゲステン堆積およびエッチング操作は、遠隔プラズマ発生器606でのプラズマ発生など遠隔活性化の代わりに、またはそれに加えて、処理チャンバ618自体の内部(すなわちインサイチュ)で活性化される活性化エッチャント材料を採用することがある。特定のそのような実施形態では、そのようなインサイチュ発生プラズマは、1つまたは複数のイオン化エッチャント種を含むことがある。特定のそのような実施形態では、これらのイオンは、印加された電磁場によって、エッチングすべきタンゲステン材料に向けて指向されることがある。

20

#### 【0077】

様々なフッ素含有化合物など、様々な適した前駆体エッチャント試薬は上述した。インサイチュプラズマ活性化を採用する実施形態では、これらの前駆体種は、例えば、図6の接続ライン608と同様であるが実際には遠隔プラズマ発生器606に接続していない接続ラインを通してエッチャントを直接送給することによって、(遠隔プラズマ発生器606を完全に迂回する形で)処理チャンバに直接提供されることがある。いくつかの実施形態では、遠隔プラズマ発生器が存在しないことさえある。代替として、インサイチュプラズマ発生のためにエッチャント試薬を処理チャンバに送給することは、遠隔プラズマ発生器606をオフに切り替え、エッチャント試薬が遠隔プラズマ発生器606を通り過ぎ、次いでチャンバ618内に流れることによって達成されることがある、チャンバ618内でエッチャント試薬が活性化される。当然、ここでも、このインサイチュプラズマ活性化/発生は、遠隔プラズマ活性化に対する代替でも、追加でもよい。

30

#### 【0078】

前駆体エッチャント試薬が処理チャンバ618内に導入されると、シャワーヘッド614およびペデスタル620に取り付けられた内部プラズマ発生器616によってインサイチュプラズマ活性化を達成することができる。特定の実施形態では、内部プラズマ発生器616は、約1～100MHzの間の周波数で約0W～10000Wの間のパワーを提供することが可能な高周波数(HF)RF発生器である。より特定的な実施形態では、HF RF発生器は、約13.56MHzで、約0～5000Wの間で伝達することができる。

40

#### 【0079】

上述したように、いくつかの実施形態では、そのようなインサイチュプラズマを使用して、垂直構造の側壁に開口を有する水平フィーチャの内部からタンゲステン含有材料を実質的に除去することなく、様々な高アスペクト比垂直構造の側壁から、堆積されたタンゲステン含有材料を除去することができる。いくつかの実施形態では、インサイチュ発生プラズマは、1つまたは複数のイオン種を含むことがある。特定のそのような実施形態では、エッチングされる垂直フィーチャの底部に向けて概して下方向にイオンの一部が指向されるように電場をイオンに印加することによって、水平フィーチャの内部よりも優先的な垂直側壁のエッチングを実現することができる(これも、上でより詳細に説明した)。

#### 【0080】

50

チャンバ 618 は、堆積およびエッティングの度合い、濃度、圧力、温度など様々なプロセスパラメータを感知するためのセンサ 624 を含むことがある。センサ 624 は、プロセス中のチャンバ条件に関する情報をシステム制御装置 622 に提供することができる。センサ 624 の例としては、マスフローコントローラ、圧力センサ、熱電対などが挙げられる。また、センサ 624 は、チャンバ内のガスの存在および制御尺度を監視するために、赤外線検出器または光検出器を含むこともある。センサは、処理チャンバへの還元剤およびタンゲステン含有前駆体の流量、ならびに、遠隔プラズマ発生器 606 からのプラズマ種の流量、および遠隔プラズマ発生器 606 へのそれらの前駆体の流量を決定するために使用されることがある情報を提供することができる。

## 【0081】

10

堆積操作および選択的除去操作は、様々な揮発性種を発生し、それらの揮発性種は、チャンバ 618 から排気される。さらに、処理は、チャンバ 618 内で、何らかの所定の圧力レベルで行われる。これらの機能はどちらも真空出口 626 を使用して実現され、真空出口 626 は真空ポンプでよい。いくつかの実施形態では、図 6 に概略的に例示されるように、任意の必要または有益なプロセスガスが、プロセスガス源 612 から、混合ボウル 610 を通過した後に、チャンバ 618 に提供されることがある。

## 【0082】

20

特定の実施形態では、システム制御装置 622 は、タンゲステン堆積およびエッティング操作中のプロセス条件およびパラメータを制御するために採用される。システム制御装置 622 は、典型的には、1つまたは複数のメモリデバイスおよび1つまたは複数の処理装置を含む。処理装置は、CPU またはコンピュータ、アナログおよび / またはデジタル入出力接続端子、ステッパモータ制御装置ボードなどを含むことがある。典型的には、システム制御装置 622 に関連付けられるユーザインターフェースが存在する。ユーザインターフェースは、表示画面、装置および / またはプロセス条件のグラフィカルソフトウェアディスプレイ、およびユーザ入力デバイス、例えば、ポインティングデバイス、キーボード、タッチスクリーン、マイクロフォンなどを含むことがある。

## 【0083】

30

特定の実施形態では、システム制御装置 622 は、基板温度、チャンバ圧力、エッチャント試薬（活性化エッチャント前駆体）流量、遠隔プラズマ発生器 606 のパワー出力および動作周波数（または周波数範囲）、インサイチュプラズマ発生器 616 のパワー出力および動作周波数（または周波数範囲）、および他のプロセスパラメータを制御する。システム制御装置 622 は、前述した制御を提供するためにシステム制御ソフトウェアおよび命令を実行する。いくつかの実施形態では、制御装置に関連付けられるメモリデバイスに記憶された他のコンピュータプログラムが採用されることがある。

## 【0084】

40

プロセスシーケンスでプロセスを制御するためのコンピュータプログラムコードは、任意の従来のコンピュータ可読プログラミング言語、例えば、アセンブリ言語、C、C++、Pascal、Fortran などで書くことができる。コンパイルされたオブジェクトコードまたはスクリプトが、プログラムで識別されるタスクを行うために処理装置によって実行される。システムソフトウェアは、多くの異なる方法で設計または構成されることがある。例えば、上記のプロセスを実施するのに必要なチャンバ構成要素の操作を制御するために、様々なチャンバ構成要素サブルーチンまたは制御オブジェクトが書かれることがある。この目的でのプログラムまたはプログラムの一部の例としては、基板温度制御コード、チャンバ圧力制御コード、エッチャント試薬（活性化エッチャント前駆体）流量制御コード、プロセスガス制御コード、遠隔プラズマ発生器制御コード（場合によっては、パワー出力および動作周波数制御コードを含む）、インサイチュプラズマ発生器制御コード（場合によっては、パワー出力および動作周波数制御コードを含む）、および他のプロセスパラメータに関する制御コードが挙げられる。

## 【0085】

基板温度、チャンバ圧力、エッチャント試薬（活性化エッチャント前駆体）流量、遠隔

50

プラズマ発生器のパワー出力および動作周波数（または周波数範囲）、インサイチュプラズマ発生器のパワー出力および動作周波数（または周波数範囲）を制御するためのパラメータ、ならびに他のプロセスパラメータは、レシピの形態でユーザによって提供されることがあり、ユーザインターフェースを利用して入力されることがある。

#### 【0086】

プロセスを監視するための信号は、システム制御装置622のアナログおよび／またはデジタル入力接続端子によって提供されることがある。プロセスを制御するための信号は、装置600のアナログおよびデジタル出力接続端子で出力される。

#### 【0087】

図7は、本明細書で開示される様々な実施形態に従って、タンクステン堆積プロセスを実施するのに適したCVD処理システムのブロック図を概略的に例示する。システム700は、移送モジュール703を含む。移送モジュール703は、清浄な加圧環境を提供して、基板が様々なリアクタモジュール間で移動されるときに、処理される基板の汚染のリスクを最小限にする。移送モジュール703の上には、本明細書に開示される様々なタンクステン充填プロセスに従ってPNLおよびCVDプロセスを実施することが可能なマルチステーションリアクタ709が取り付けられる。チャンバ709は、これらの操作を順次に行うことができる複数のステーション711、713、715、および717を含むことがある。例えば、チャンバ709は、ステーション711がPNL堆積を行い、ステーション713が1つまたは複数の処理操作を行い、ステーション715および717がCVDを行うように構成することができる。

10

20

30

#### 【0088】

また、移送モジュール703には、プラズマまたは化学的（非プラズマ）前洗浄、水平エッティング、および／または垂直エッティングを行うことが可能な1つまたは複数のシングルまたはマルチステーションモジュール707が取り付けられる。また、様々な他の処理、例えばライナ窒化タンクステン後処理のためのモジュールが使用されることもある。また、システム700は、処理前および処理後にウェハが格納される1つまたは複数の（この場合には2つの）ウェハ源モジュール701を含む。大気移送チャンバ719内の大気ロボット（図示せず）は、まず、ウェハ源モジュール701からロードロック721にウェハを取り外す。移送モジュール703内のウェハ移送デバイス（一般にロボットアームユニット）は、ロードロック721から、移送モジュール703に取り付けられたモジュールにウェハを移動させ、また、それらのモジュール間でウェハを移動させる。

30

#### 【0089】

図8は、特定のタンクステン堆積および／またはエッティング操作を行うために使用されることのあるマルチステーション装置1300を概略的に例示する。装置1300は、処理チャンバ1301を含み、処理チャンバ1301は、いくつかのステーションを収容する。この特定の実施形態では、処理チャンバ1301は、4つのステーション1331、1332、1333、および1334を収容するが、他の実施形態では、2つ、または3つ、または5つ以上のステーションが適切な処理チャンバ内に収容されることがある。この実施形態では、図面における4つのステーション1331、1332、1333、および1334と一致する4つのウェハキャリアリングが存在し、4つのステーションの間でウェハを保持および回転する働きをする。割出しツール1309は、ステーション1331、1332、1333、および1334の間で回転させることによって、各ウェハをキャリアリングを介して1つのステーションから次のステーションに移送する。

40

#### 【0090】

処理チャンバ1301を有するマルチステーション装置1300内の全てのステーションが、システム制御装置1374によって制御される同じ圧力環境に露出されることがある。また、センサ（図示せず）は、チャンバ圧力読取値を提供するために圧力センサを含むこともある。しかし、各ステーションは、個別の温度条件または他の条件を有することもある。

#### 【0091】

50

さらに図8を参照すると、堆積プロセスにおいて、典型的には、処理すべきウェハは、カセットから、ロードロック1305を通して、ステーション1331に装填される。外部ロボット1307は、ウェハをカセットからロードロック1305内に移送するために使用されることがある。図示される実施形態では、2つの個別のロードロック1305が存在する。これらは、典型的には、ウェハをロードロック1305からステーション1331に移動する、およびステーション1334からロードロック1305に戻して処理チャンバ1301を取り外すために、ウェハ移送デバイスを装備される。

#### 【0092】

システム制御装置1374は、割出しツール1309、ステーション、および処理チャンバ1301の条件、例えばチャンバの圧力を制御することができる。例えば、制御装置1374は、ステーション1331、1332、1333、および1334の間でウェハを移動することがある。

10

#### 【0093】

いくつかの実施形態では、本明細書で開示される均一なタングステン充填操作の特定の堆積およびエッチング操作を行うために、処理チャンバ内部の特定のステーションが使用されることがある。例えば、1つのステーション（例えば、1331）でタングステン堆積が行われることがあり、別のステーション（例えば、1332）で垂直エッチングが行われることがあり、第3のステーション（例えば、1333）で水平エッチングが行われることがあり、最後に、さらに第4のステーション（例えば、1334）で追加のタングステン堆積操作が行われることがある。他の実施形態では、前述の操作の1つまたは複数が、単一のステーションで行われることがある。さらに、異なる半導体基板上で同じ操作を並列に行うために複数のステーションが使用されることがある。例えば、4つの操作と8つのステーションが存在する場合、2つ1組の半導体基板処理が実現可能および／または適切であることがある。

20

#### 【0094】

別の例として、第1のステーション1331がタングステン堆積のために使用される場合、還元ガスとタングステン含有ガスは、代替として、個別のガス供給システムを使用して第1のステーション1331での半導体基板の表面に導入されがあり、基板表面で局所雰囲気を生成する。

30

#### 【0095】

いくつかの実施形態では、上述したように、垂直エッチングで使用されるインサイチュプラズマを発生するために誘導結合プラズマリアクタが使用されることがある。そのようなリアクタの一実施形態は、図9に概略的に例示される。簡潔に言うと、誘導結合プラズマリアクタ20はプロセスチャンバ21を含み、プロセスチャンバ21内で、プラズマ22が基板23に隣接して発生される。基板は、水冷式の基板支持体24上に支持され、基板の温度制御は、基板と基板支持体との間に空間に管路25を通してヘリウムガスを供給することによって実現される。基板支持体は、（加熱されることがある）陽極酸化アルミニウム電極、または内部に埋め込み電極を有するセラミック材料を含むことができ、電極は、RFマッチングなどを提供するためのRF源26および関連の回路27によって電力供給される。基板処理中の基板の温度は、温度プローブ29に取り付けられた温度監視機器28によって監視される。

40

#### 【0096】

チャンバ21内で真空を提供するために、ポンプが出口ポート30に接続され、圧力制御弁を使用して所望の真空圧を維持することができる。誘電体窓33の下側の周りに延在するガス分散リングにプラズマ試薬ガスを供給する供給ラインまたは管路31、32によってチャンバ内にプロセスガスを供給することができ、または、誘電体シャワー・ヘッド窓を通してプロセスガスを供給することができる。窓の近傍でチャンバ外部に位置された外部ICPコイル34は、例えばインピーダンスマッチングのためにRF源35および関連の回路36によってRFパワーを供給される。明らかなように、外部誘導コイルは、実質的に平坦であり、一般に、平坦なスパイラル状に形成された単一の導電性要素、または一

50

連の同心リングを含む。コイル直径を増加させ、したがってより大きな基板に対処するために、平坦構成は、より長い導電性要素を採用することによってコイルを容易に拡大できるようにし、または、広い領域にわたって均一なプラズマを発生させるために複数のコイル構成を使用することができる。基板がチャンバ内で処理されるとき、R F 源 3 5 が、コイル 3 4 に誘導結合 R F パワーを供給し、R F 源 2 6 が、下側電極に基板ビアス R F パワーを供給する。

#### 【 0 0 9 7 】

いくつかの実施形態では、誘導結合 R F パワーは、約 1 3 ~ 6 0 M H z の間の周波数で R F 源 3 5 によって発生されることがある、基板ビアス R F パワーは、約 4 0 0 k H z ~ 1 3 . 5 M H z の間の周波数で R F 源 3 6 によって発生されることがある。いくつかの実施形態では、基板ビアス R F パワーは、基板に対して約 1 0 0 ~ 1 0 0 0 ボルトの間の電圧を有することがある。いくつかの実施形態では、基板ビアス R F パワーは、R F 源 2 6 によって、約 1 0 0 H z ~ 2 0 0 0 H z の間のパルスレートで、かつ約 1 0 % ~ 9 0 % の間のデューティサイクルで発振(パルス)されることがある。いくつかの実施形態では、R F 源 3 5 は、約 5 0 0 ~ 1 9 0 0 ワットの間の誘導結合 R F パワーを発生することができる。

#### 【 0 0 9 8 】

上述したように、より広い領域にわたってプラズマを発生するために、複数の同心の発生コイルが使用されることがある。したがって、いくつかの実施形態では、誘導結合 R F パワーは、1 対の第 1 の発生コイルと第 2 の発生コイルによって発生されることがある。特定のそのような実施形態では、第 1 の発生コイルは、誘導結合 R F パワーを処理チャンバの内部領域に供給することがあり、第 2 の発生コイルは、誘導結合 R F パワーを処理チャンバの外部領域に供給することができる。いくつかの構成では、合計の誘導結合 R F パワーが、約 0 . 1 ~ 1 . 5 の間の比で、第 1 の発生コイルと第 2 の発生コイルの間で分けられることがある。

#### 【 0 0 9 9 】

R F パワーを電極に供給することによって、基板の表面の上で大きな D C シース電圧を提供することができる。典型的には、R F ビアスが基板に印加されて、垂直エッチングの対象である基板上の高アスペクト比構造のベースに向けてプラズマイオンを下に指向させる。いくつかの実施形態では、R F 周波数は、基板の周りの定常状態シース電圧(しばしば数百 k H z )を維持するのに必要な値を超える周波数となるように選択することができる。

#### 【 0 1 0 0 】

いくつかの実施形態では、システム制御装置(1つまたは複数の物理的または論理的制御装置を含むことがある)が、エッチングチャンバ、堆積チャンバ、および/または、1つまたは複数のエッチングモジュールおよび/または1つまたは複数の堆積モジュールを含むマルチモジュールツールの動作のいくつかまたは全てを制御する。システム制御装置は、1つまたは複数のメモリデバイスおよび1つまたは複数の処理装置を含むことがある。処理装置は、中央処理装置(C P U)またはコンピュータ、アナログおよび/またはデジタル入出力接続端子、ステッパモータ制御装置ボード、および他の同様の構成要素を含むことがある。適切な制御操作を実施するための命令が、処理装置で実行される。これらの命令は、制御装置に関連付けられるメモリデバイスに記憶されることがある、またはネットワークを介して提供されることがある。特定の実施形態では、システム制御装置は、システム制御ソフトウェアを実行する。

#### 【 0 1 0 1 】

システム制御ソフトウェアは、以下のチャンバ動作条件の任意の1つまたは複数の適用および/または大きさのタイミングを制御するための命令を含むことがある。ガスの混合および/または組成、チャンバ圧力、チャンバ温度、ウェハ温度、ウェハに印加されるビアス、コイルまたは他のプラズマ発生構成要素に印加される周波数およびパワー、ウェハ位置、ウェハ移動速度、ならびにツールによって行われる特定のプロセスの他のパラメー

10

20

30

40

50

タ。システム制御ソフトウェアは、任意の適切な様式で構成されることがある。例えば、様々なプロセスツールプロセスを実施するのに必要なプロセスツール構成要素の動作を制御するために、様々なプロセスツール構成要素サブルーチンまたは制御オブジェクトが書かれことがある。システム制御ソフトウェアは、任意の適切なコンピュータ可読プログラミング言語でコード化されることがある。

#### 【0102】

いくつかの実施形態では、システム制御ソフトウェアは、上述した様々なパラメータを制御するための入出力制御（I O C）シーケンス命令を含む。例えば、半導体製造プロセスの各段階は、システム制御装置によって実行される1つまたは複数の命令を含むことがある。例えば、エッチング段階に関するプロセス条件を設定するための命令が、対応するエッチングレシピ段階に含まれることがある。いくつかの実施形態では、レシピ段階は、順次に配置されたり、それにより、プロセス段階に関する全ての命令が、そのプロセス段階と同時に実行される。堆積段階に関するプロセス条件を設定するための命令は、対応する堆積レシピ段階に含まれることがある。

10

#### 【0103】

いくつかの実施形態では、他のコンピュータソフトウェアおよび／またはプログラムが採用されることがある。この目的でのプログラムまたはプログラムの一部の例としては、基板位置決めプログラム、プロセスガス組成制御プログラム、圧力制御プログラム、ヒータ制御プログラム、およびR F電源制御プログラムが挙げられる。

20

#### 【0104】

いくつかの場合には、制御装置は、ガス濃度、ウェハ移動、および／または、コイルおよび／または静電チャックに供給されるパワーを制御する。いくつかの場合には、制御装置は、ガス濃度、ウェハ移動、および／または遠隔プラズマ発生器に供給されるパワーを制御する。

#### 【0105】

制御装置は、例えば、必要な反応物を適切な濃度で提供する1つまたは複数の入口ガスストリームを生成するために、関連の弁を開閉することによってガス濃度を制御することがある。ウェハ移動は、例えば、望みに応じて移動するようにウェハ位置決めシステムに指令することによって制御されることがある。コイルおよび／またはチャックおよび／または遠隔プラズマ発生器に供給されるパワーは、特定のR Fパワーレベルを提供するように制御されることがある。制御装置は、センサ出力（例えば、パワー、電位、圧力などが特定のしきい値に達するとき）や、動作のタイミング（例えば、プロセスでの特定の時点で弁を開く）に基づいて、またはユーザからの受信された命令に基づいて、これらまたは他の態様を制御することがある。

30

#### 【0106】

##### フォトリソグラフィ：

本明細書で上述した装置／プロセスは、例えば、半導体デバイス、ディスプレイ、LED、太陽光パネルなどの作製または製造のためのリソグラフィパターン形成ツールまたはプロセスと共に使用することができる。必須ではないが、典型的には、そのようなツール／プロセスは、共通の製造施設で一緒に使用または実施される。被膜のリソグラフィパターン形成は、典型的には、以下の操作のいくつかまたは全てを含み、各操作が、いくつかの使用可能なツールを用いて実現可能にされる。（1）スピノンまたはスプレーオンツールを使用して、ワークピース、すなわち基板にフォトレジストを塗布する操作；（2）ホットプレートまたは炉またはUV硬化ツールを使用してフォトレジストを硬化する操作；（3）ウェハステッパーなどのツールを用いて可視光またはUV光またはX線光にフォトレジストを露出させる操作；（4）ウェットベンチなどのツールを使用して、レジストを現像し、レジストを選択的に除去し、それによりレジストをパターン形成する操作；（5）ドライエッチングまたはプラズマエッチングツールを使用することによって、下にある被膜またはワークピースにレジストパターンを転写する操作；および（6）RFまたはマイクロ波プラズマレジストストリッパなどのツールを使用してレジストを除去する操作。

40

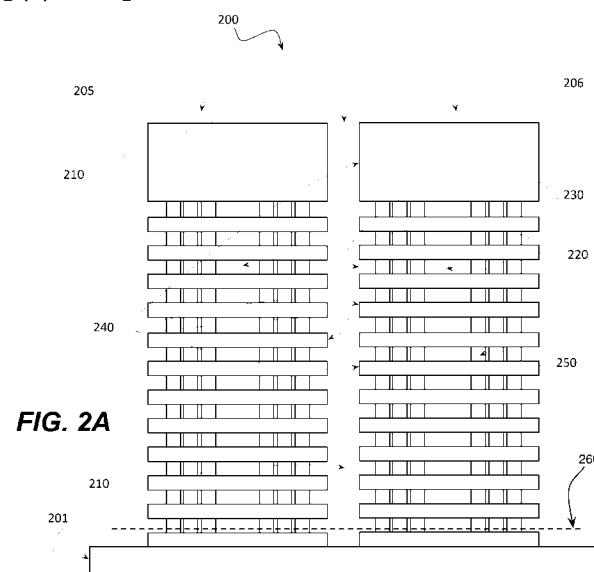
50

## 【0107】

## 他の実施形態：

上で開示したプロセス、方法、システム、装置、および組成物は、見やすくするためにおより理解しやすくなるために特定の実施形態の文脈で詳細に述べてきたが、本開示の精神の範囲内でこれらのプロセス、方法、システム、装置、および組成物を実施する多くの代替法が存在することが当業者には明らかであろう。したがって、本明細書で述べる実施形態は、限定ではなく、開示された本発明の概念の例示とみなすべきであり、本開示の主題を最終的に明らかにしている任意の請求項の範囲を不当に限定するための基礎として使用することは許されない。

【図2A】



【図2B】

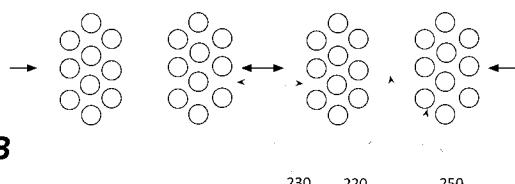


FIG. 2B

【図5A】

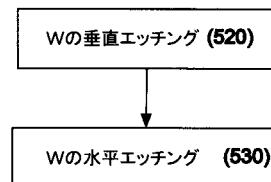


FIG. 5A

【図5B】

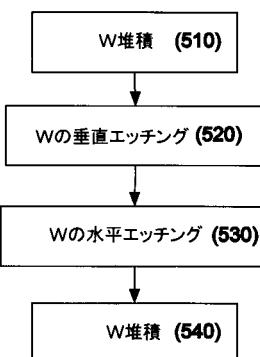


FIG. 5B

【図 5C】

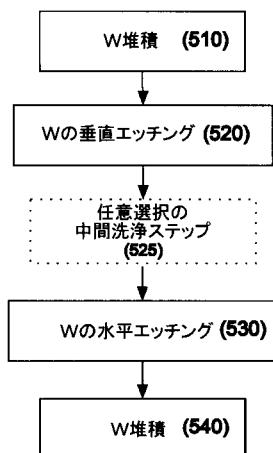


FIG. 5C

【図 5D】

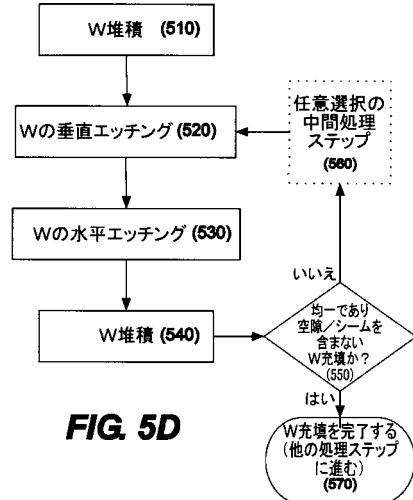


FIG. 5D

【図 6】

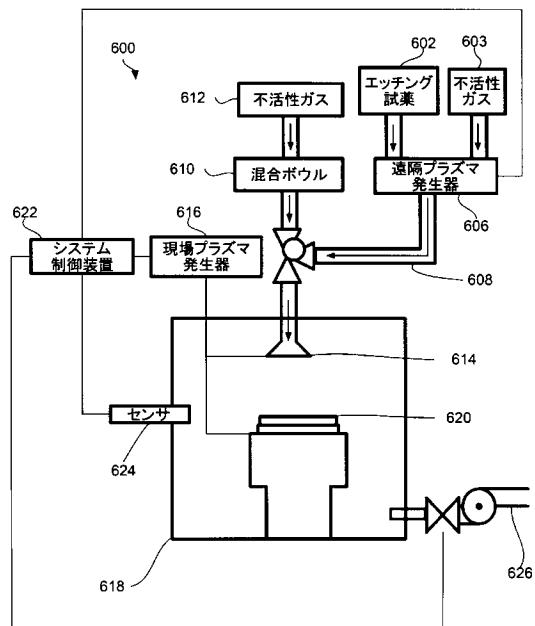


FIG. 6

【図 7】

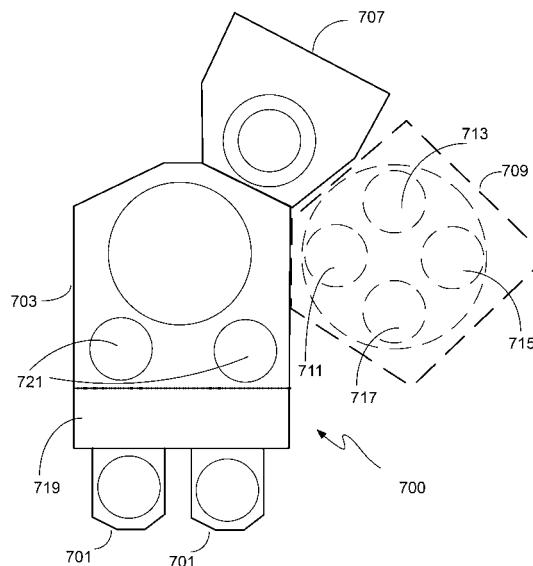


FIG. 7

【図 8】

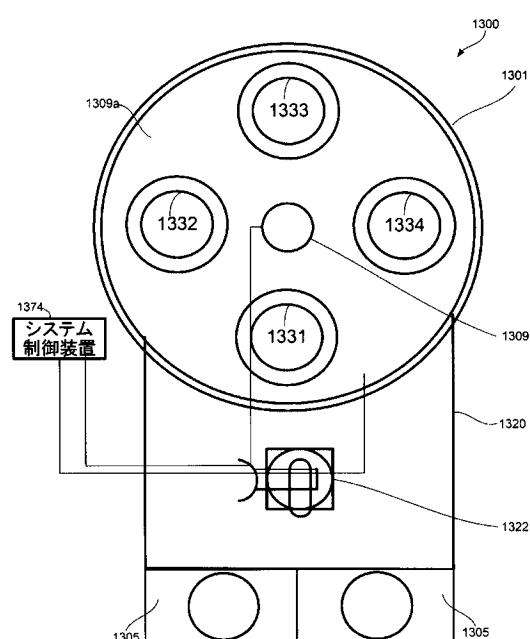


FIG. 8

【図 9】

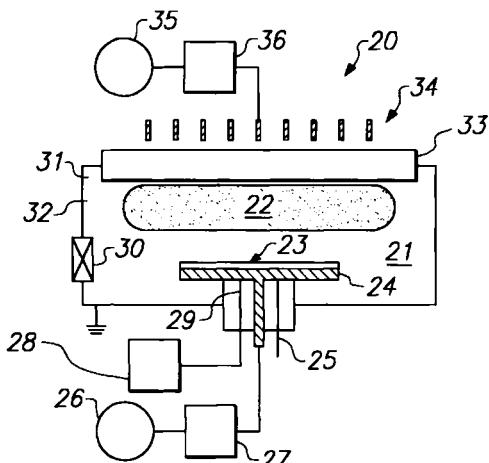


FIG. 9

【図 1A】

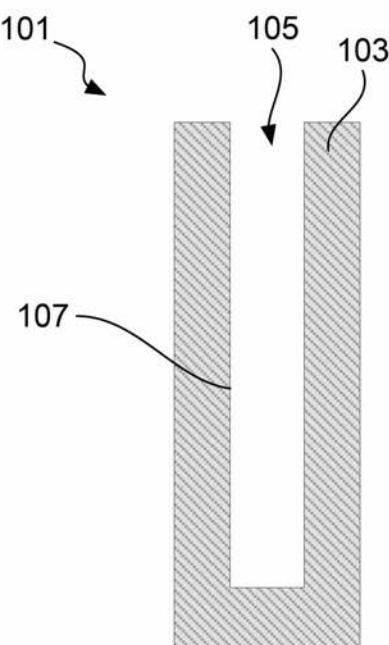
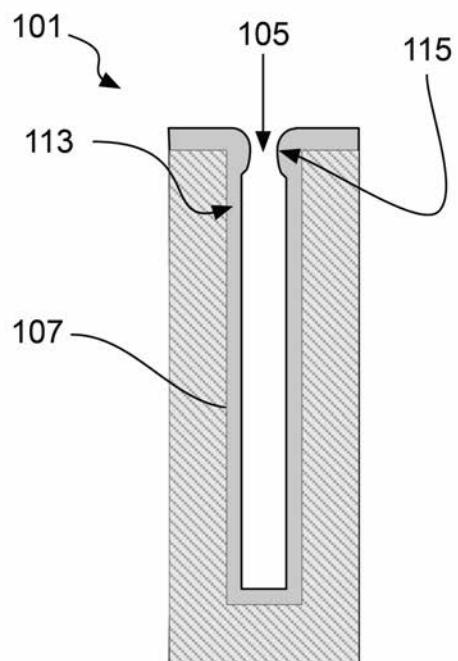
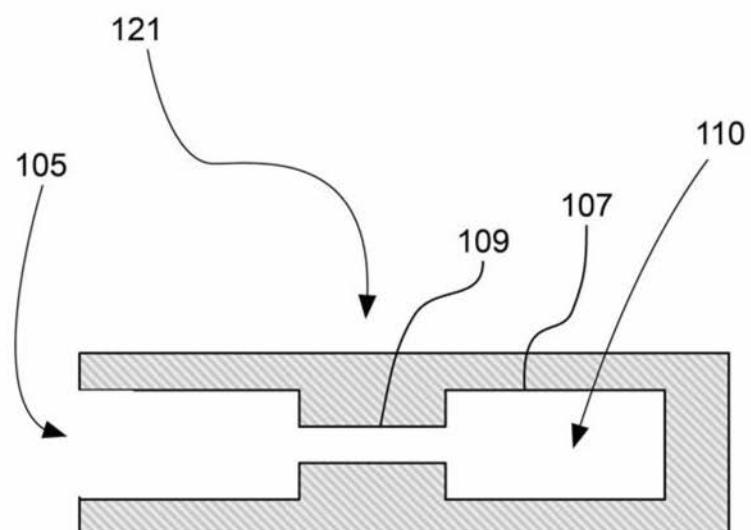


FIG. 1A

【図 1B】

**FIG. 1B**

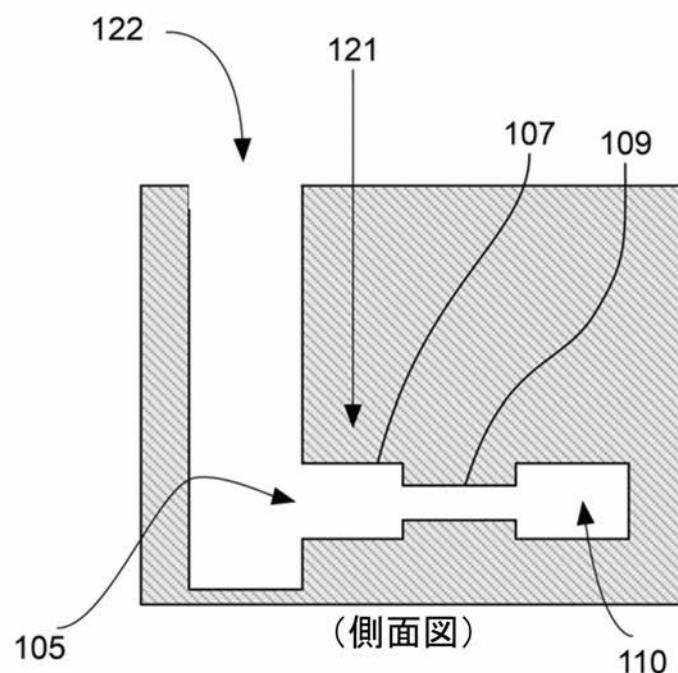
【図 1C】



(上面図)

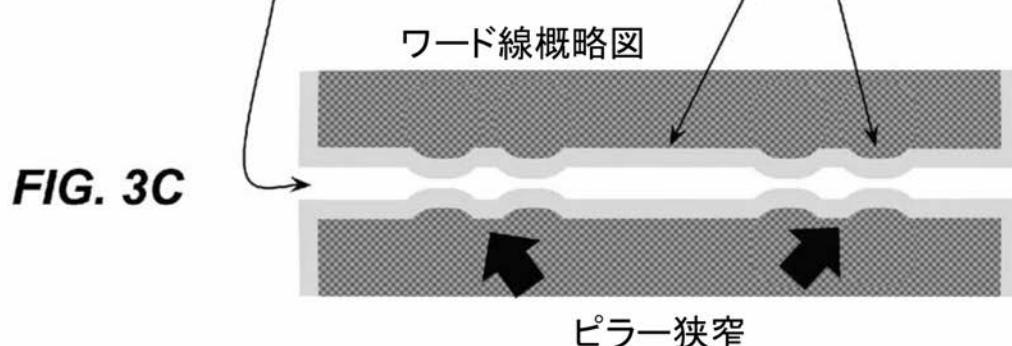
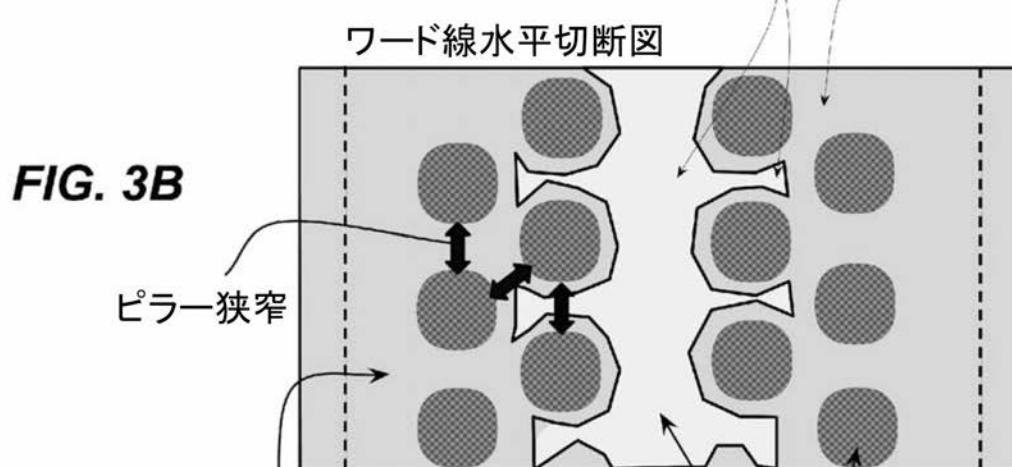
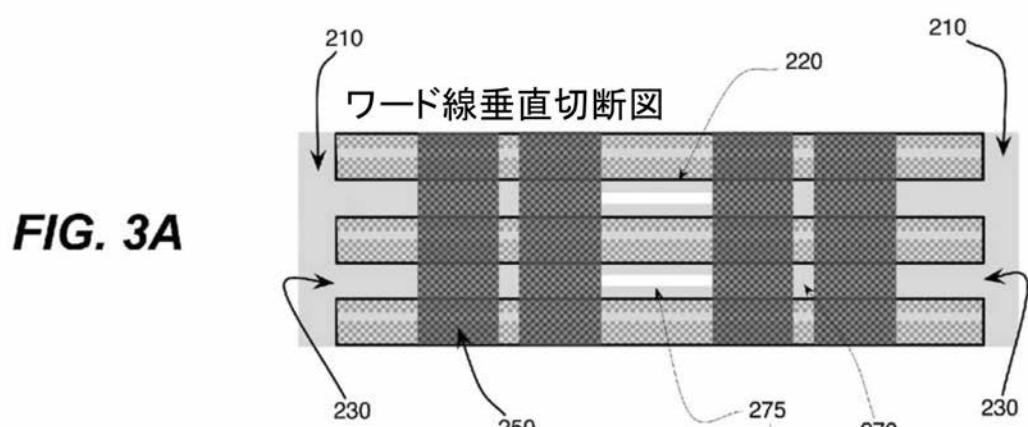
**FIG. 1C**

【図 1D】

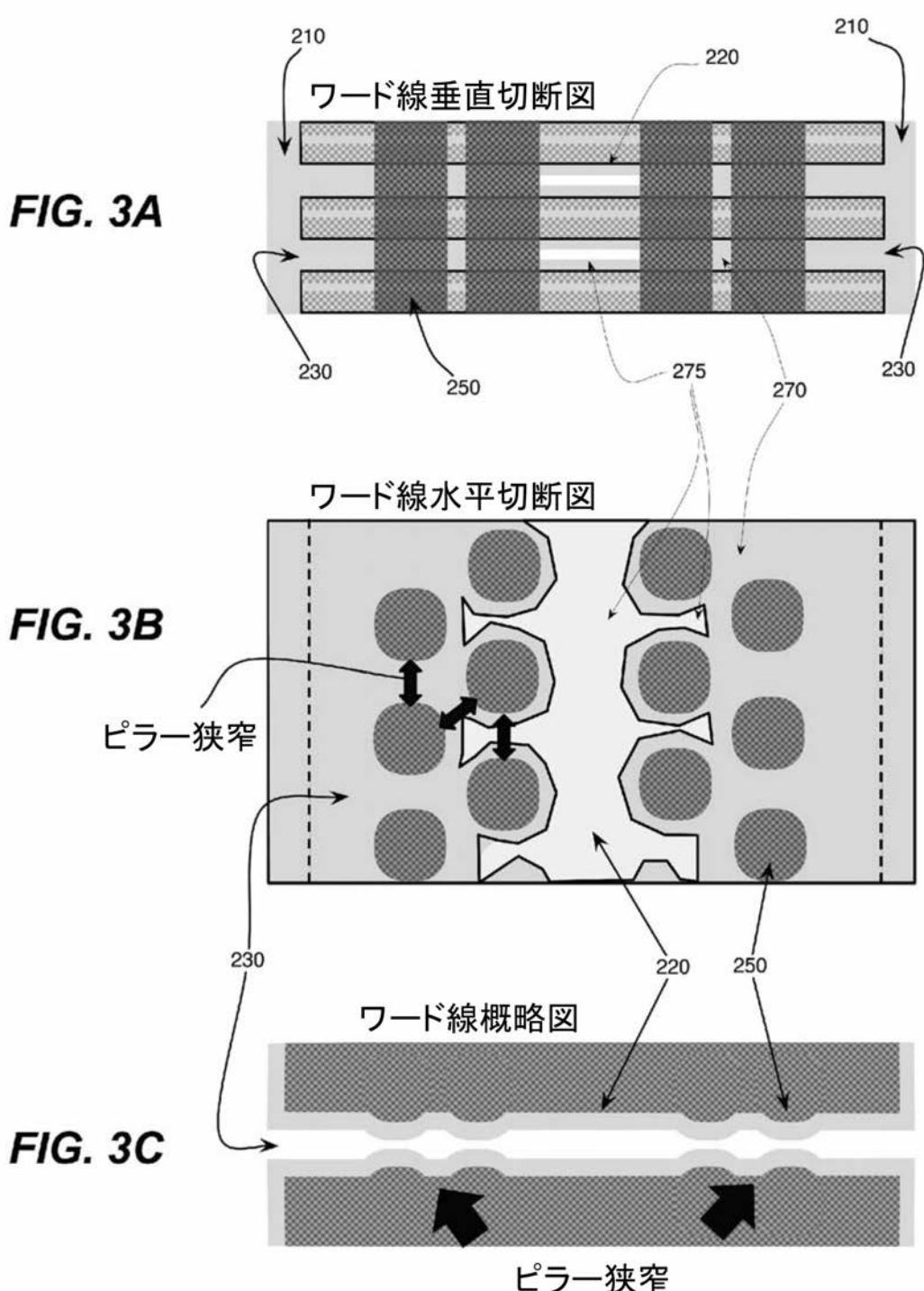


**FIG. 1D**

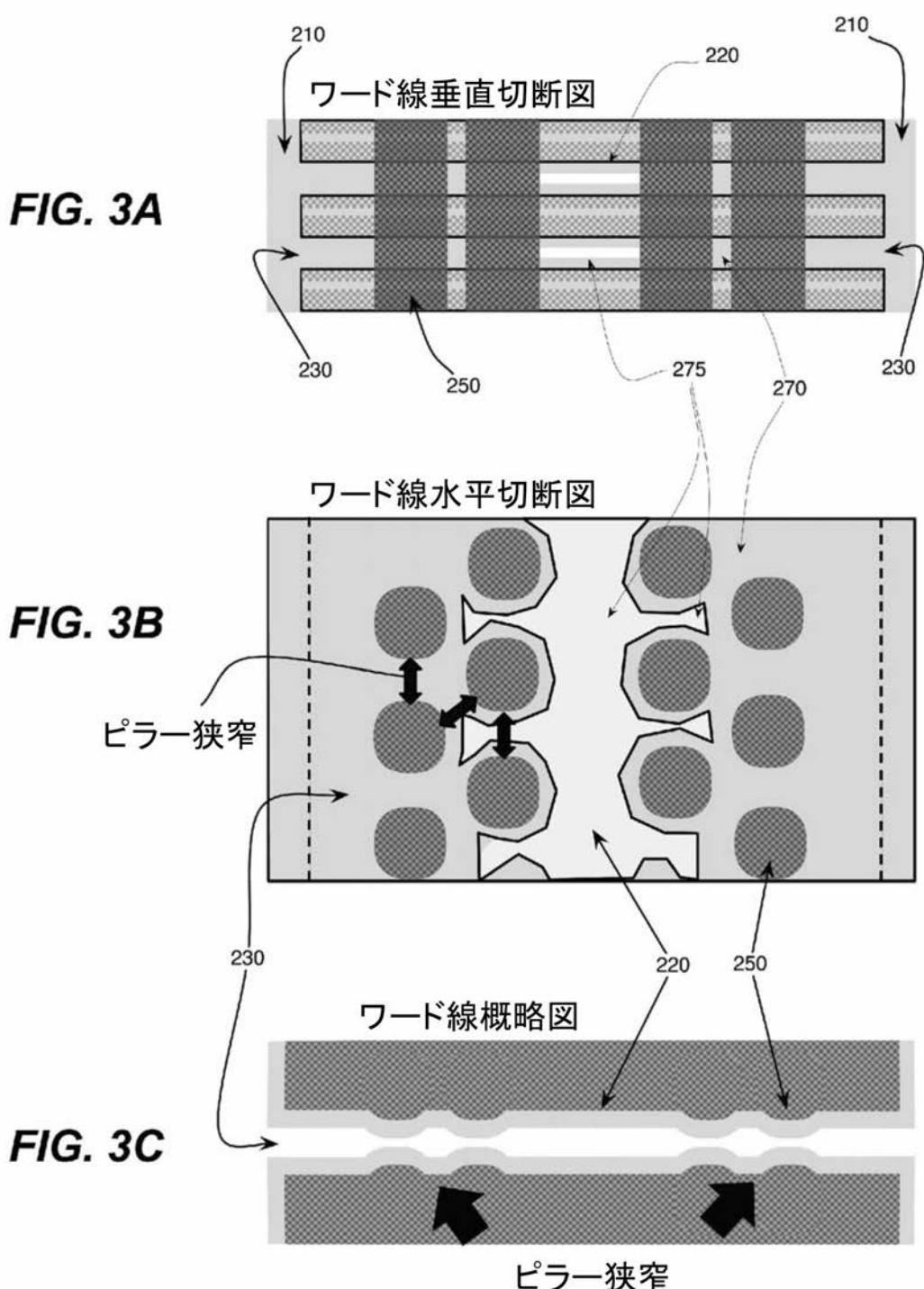
【図 3 A】



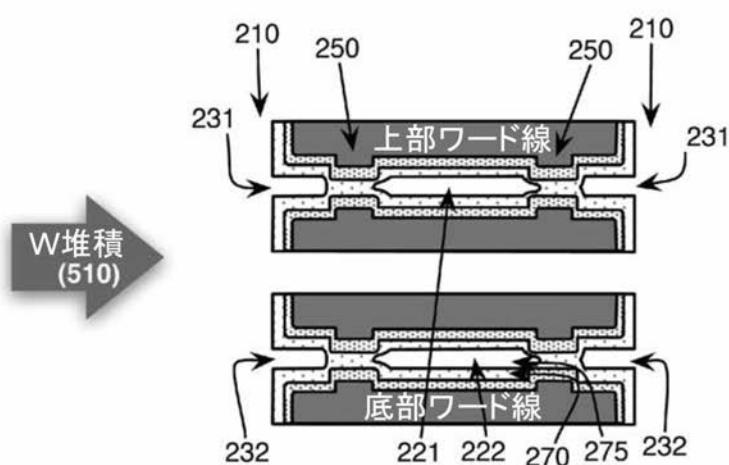
【図 3B】



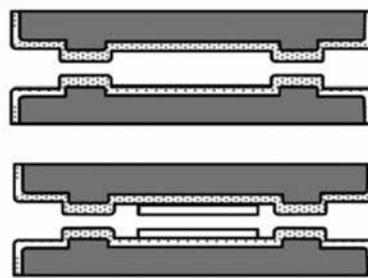
【図 3 C】



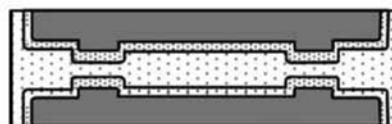
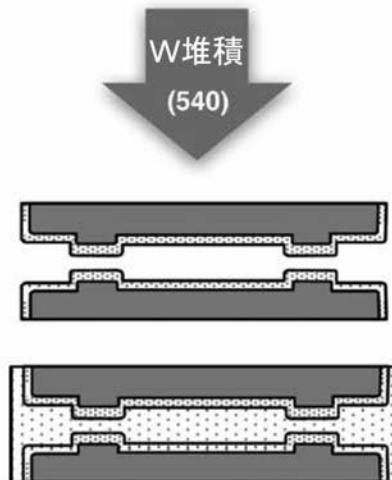
【図 4A】



エッチャング  
(515)



**FIG. 4A**



【図 4B】

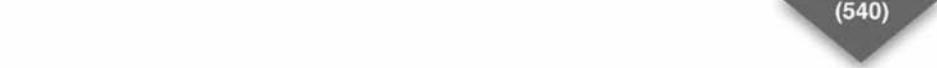
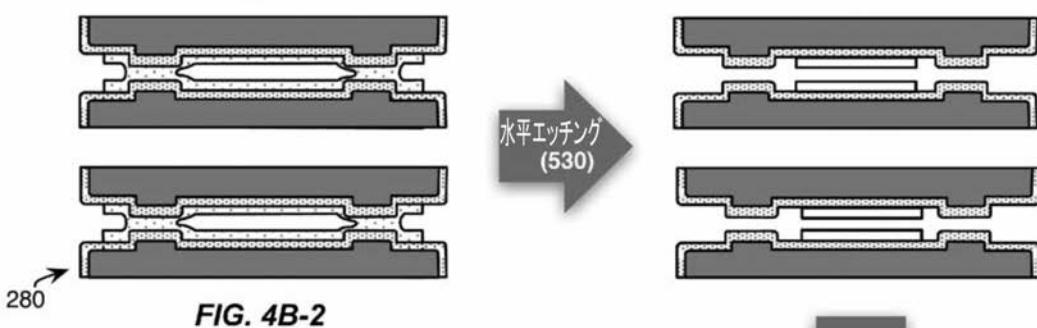
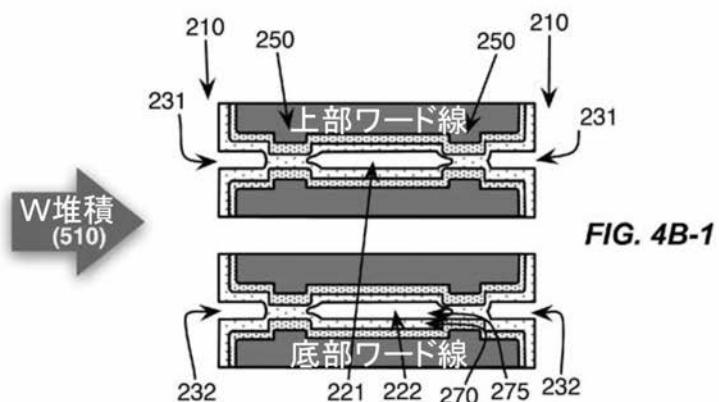
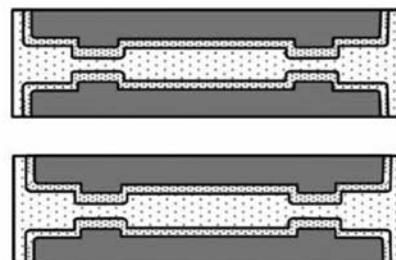
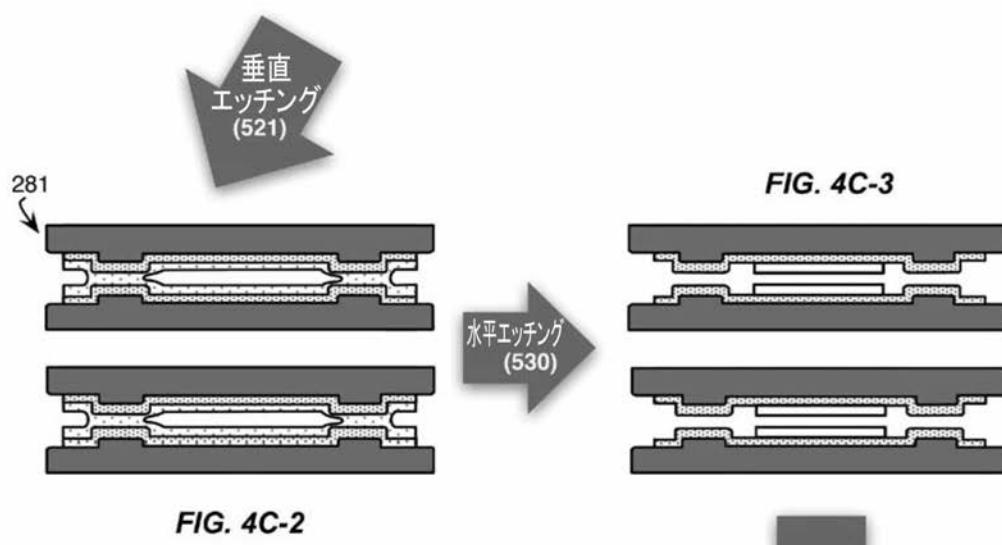
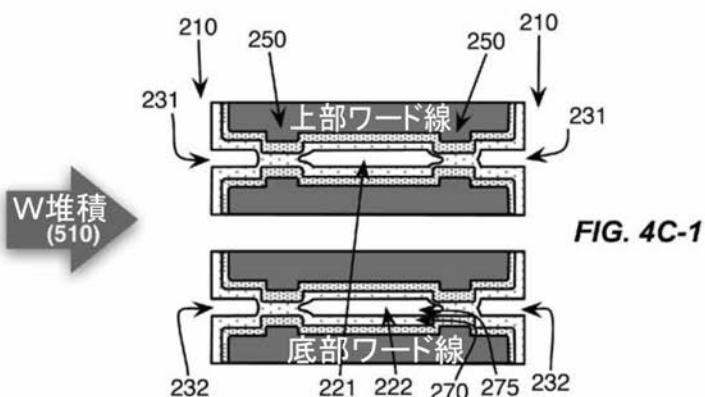
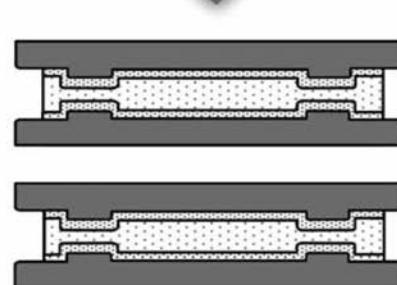


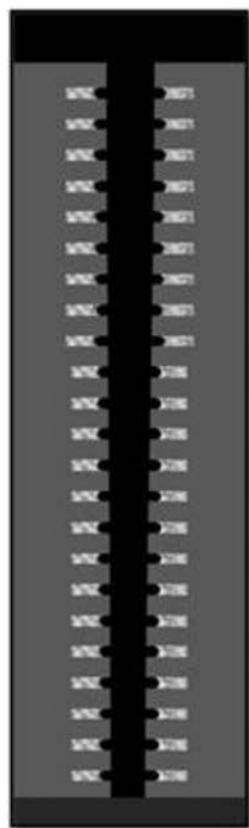
FIG. 4B-4



【図 4C】

**FIG. 4C****FIG. 4C-4**

【図4D】

**FIG. 4D**

---

フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
H 01 L 29/792	(2006.01)	
C 23 C 16/14	(2006.01)	

(72)発明者 ジョイディープ・グーハ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州94506 ダンビル, ハスキンズ・ランチ・サークル, 64  
(72)発明者 ラシーナ・スマウン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州94539 フレモント, ノダウェイ・アベニュー, 784  
(72)発明者 ホワ・シアーン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州94588 プレザントン, サン・ジョルジオ・コート, 40  
57

【外国語明細書】

2015038964000001.pdf