

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5916191号

(P5916191)

(45) 発行日 平成28年5月11日(2016.5.11)

(24) 登録日 平成28年4月15日(2016.4.15)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/285 (2006.01)

H O 1 L 21/285 C

H O 1 L 21/28 (2006.01)

H O 1 L 21/28 3 O 1 R

H O 1 L 21/3205 (2006.01)

H O 1 L 21/88 M

H O 1 L 21/768 (2006.01)

H O 1 L 21/88 B

H O 1 L 23/532 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 4 C

請求項の数 19 外国語出願 (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2009-278990 (P2009-278990)
 (22) 出願日 平成21年12月8日 (2009.12.8)
 (65) 公開番号 特開2010-153852 (P2010-153852A)
 (43) 公開日 平成22年7月8日 (2010.7.8)
 審査請求日 平成24年12月7日 (2012.12.7)
 (31) 優先権主張番号 12/332,017
 (32) 優先日 平成20年12月10日 (2008.12.10)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 12/535,377
 (32) 優先日 平成21年8月4日 (2009.8.4)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 513014695
 ノベラス・システムズ・インコーポレーテッド
 NOVELLUS SYSTEMS INCORPORATED
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州945
 38 フレモント, クッシング・パークウ
 ェイ, 4650
 (74) 代理人 110000877
 龍華国際特許業務法人
 (72) 発明者 チャンドラセカール、アナン
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州951
 34 サン・ホセ, ノース・ファースト・
 ストリート, 3970 ノベラス・システ
 ムズ・インコーポレーテッド内
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子デバイスを製造する方法およびタングステンを充填する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板にタングステン構造を有する電子デバイスを製造する方法であって、
 タングステン含有前駆体および還元剤による第1の化学気相成長反応によって、前記基
 板に第1のタングステン層を堆積させる段階と、

前記基板が配置されている堆積チャンバの上流に設けられている遠隔プラズマ生成器に
 おいて生成されたフッ素原子に暴露することにより堆積させた前記第1のタングステン層
 の上部分を除去して、エッチング済みタングステン層を形成して、前記エッチング済みタ
 ングステン層を形成した後で、第2の化学気相成長反応によって、前記基板に第2のタン
 グステン層を堆積させる段階と

を備え、

前記除去にはイオンによるものは含まれず、

前記基板に前記第1のタングステン層を堆積させる段階は、前記基板にある第1の凹状
 特徴部分、および、前記第1の凹状特徴部分のサイズよりも大きいサイズの第2の凹状特
 徴部分をタングステンで少なくとも部分的に充填する段階を含み、

前記基板に前記第1のタングステン層を堆積させる段階において前記第1の凹状特徴部
 分が完全に充填された場合、前記基板に前記第2のタングステン層を堆積させる段階は、
 前記第1の凹状特徴部分からタングステンを除去することなく、前記第2の凹状特徴部分
 の前記第1のタングステン層の上部分を除去して、前記第2のタングステン層を堆積させ
 る段階を含み、

前記基板に前記第 1 のタングステン層を堆積させる段階において前記第 1 の凹状特徴部分が部分的に充填され、前記基板に前記第 2 のタングステン層を堆積させる段階において前記第 1 の凹状特徴部分が完全に充填された場合、前記基板に前記第 2 のタングステン層を堆積させる段階は、前記第 1 の凹状特徴部分からタングステンを除去することなく前記第 2 の凹状特徴部分について除去 - 堆積のサイクルを少なくとも 1 回さらに実行する段階を含む、方法。

【請求項 2】

前記堆積させた前記第 1 のタングステン層の前記上部分を除去する段階は、前記堆積させた前記第 1 のタングステン層の上部 5 % から 80 % の厚みをエッチングする段階を有する請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記堆積させた前記第 1 のタングステン層の前記上部分を除去する段階は、前記堆積させたタングステン層の上部少なくとも 10 % の厚みをエッチングする段階を有する請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記堆積チャンバの上流に設けられている遠隔プラズマ生成器に、フッ素含有化合物を導入する段階と、

前記遠隔プラズマ生成器においてフッ素原子を生成する段階と、

前記遠隔プラズマ生成器から前記堆積チャンバにフッ素原子を流入させて、前記堆積させた前記第 1 のタングステン層の前記上部分を除去する段階と

20

をさらに備える、請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 の凹状特徴部分および前記第 2 の凹状特徴部分の少なくとも一方は、少なくとも 10 nm の幅を持つ開口を有する請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記堆積させた前記第 1 のタングステン層の上部分を除去する段階は、タングステン粒子が堆積させられた面に対して垂直に配向されている、前記タングステン粒子の一部分を選択的に除去する段階を有する請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

タングステンで凹状特徴部分を充填する方法であって、前記凹状特徴部分は堆積チャンバ内に設けられる基板にあり、前記方法は、

30

化学気相成長反応によって第 1 のタングステン層を堆積させて、前記凹状特徴部分を少なくとも部分的に充填する段階と、

堆積させた前記第 1 のタングステン層の上部分を除去して、エッチング済みタングステン層を形成する段階と、

前記上部分を除去した後、化学気相成長反応によって第 2 のタングステン層を堆積させて、前記凹状特徴部分をさらに充填する段階と

を備え、

前記第 1 のタングステン層を堆積することは、核層を堆積することおよび前記核層の上に第 1 のタングステンバルク層を堆積することを含み

40

前記第 2 のタングステン層を積層することは、核層を堆積することなく前記第 1 のタングステンバルク層の上に第 2 のタングステンバルク層を堆積することを含み、

前記凹状特徴部分は、第 1 の凹状特徴部分、および、前記第 1 の凹状特徴部分のサイズよりも大きいサイズの第 2 の凹状特徴部分を含み、

前記凹状特徴部分を少なくとも部分的に充填する段階において前記第 1 の凹状特徴部分が完全に充填された場合、前記エッチング済みタングステン層を形成する段階は、前記第 1 の凹状特徴部分からタングステンを除去することなく、前記第 2 の凹状特徴部分の前記第 1 のタングステン層の上部分を除去して、前記エッチング済みタングステン層を形成する段階を含み、

前記凹状特徴部分を少なくとも部分的に充填する段階において前記第 1 の凹状特徴部分

50

が部分的に充填され、前記凹状特徴部分をさらに充填する段階において前記第 1 の凹状特徴部分が完全に充填された場合、前記凹状特徴部分をさらに充填する段階は、前記第 1 の凹状特徴部分からタングステンを除去することなく前記第 2 の凹状特徴部分について除去 - 堆積のサイクルを少なくとも 1 回さらに実行する段階を含む、方法。

【請求項 8】

前記上部分は、前記凹状特徴部分の全体にわたって、均一に除去される請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

化学気相成長反応によって前記第 2 のタングステン層を堆積させて、前記凹状特徴部分をさらに充填する段階は、堆積 - 除去のサイクルを少なくとも 1 回さらに実行する段階を有する請求項 7 または 8 に記載の方法。

10

【請求項 10】

前記凹状特徴部分をさらに充填する段階は、前記凹状特徴部分を完全に充填する段階を有する請求項 7 から 9 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 11】

前記凹状特徴部分は、幅が 10 nm から 1 μ m である請求項 7 から 10 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 12】

堆積させた前記第 1 のタングステン層の上部分を除去する段階は、反応速度が制限されたエッチングプロセスを有する請求項 7 から 11 の何れか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 13】

前記上部分を除去する段階は、タングステン含有揮発性生成物を生成および除去する化学反応を行う段階を有する請求項 7 から 12 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 14】

前記凹状特徴部分に設けられた開口における前記エッチング済み層の平均厚みは、前記凹状特徴部分内での前記エッチング済み層の平均厚みの 10 % 以内である請求項 7 から 13 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 15】

堆積させた前記第 1 のタングステン層の上部分を除去して、エッチング済みタングステン層を形成する段階は、前記凹状特徴部分の側壁をエッチングする段階を有する請求項 7 から 14 の何れか 1 項に記載の方法。

30

【請求項 16】

前記基板は、タングステンで充填された別の特徴部分を有し、前記別の特徴部分からタングステンを除去することなく、前記凹状特徴部分の側壁から選択的にタングステンを除去する請求項 7 から 15 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 17】

堆積チャンバにおいて基板に堆積させた厚みが T_d であるタングステン層を有する電子デバイスを製造する方法であって、

タングステン含有前駆体および還元剤を前記堆積チャンバに導入する段階と、

前記タングステン含有前駆体および前記還元剤による化学気相成長反応によって、前記基板にタングステン層を堆積させる段階と、

40

堆積させた前記タングステン層の上部約 5 % から 25 % の厚みをエッチングする段階を有し、堆積させた前記タングステン層の上部分を除去して、厚みが T_d であるタングステンバルク層を形成する段階と

を備え、

前記エッチングする段階において、前記タングステン層の除去にはイオンによるものは含まれず、

前記基板に前記タングステン層を堆積させる段階は、前記基板にある第 1 の凹状特徴部分、および、前記第 1 の凹状特徴部分のサイズよりも大きいサイズの第 2 の凹状特徴部分をタングステンで少なくとも部分的に充填する段階を含み、

50

前記基板に前記タングステン層を堆積させる段階において前記第 1 の凹状特徴部分が完全に充填された場合、前記タングステンバルク層を形成する段階は、前記第 1 の凹状特徴部分からタングステンを除去することなく、前記第 2 の凹状特徴部分の前記タングステン層の上部分を除去して、前記タングステンバルク層を形成する段階を含み、

前記基板に前記タングステン層を堆積させる段階において前記第 1 の凹状特徴部分が部分的に充填され、前記タングステンバルク層を形成する段階において前記第 1 の凹状特徴部分が完全に充填された場合、前記タングステンバルク層を形成する段階は、前記第 1 の凹状特徴部分からタングステンを除去することなく前記第 2 の凹状特徴部分について除去 - 形成のサイクルを少なくとも 1 回さらに実行する段階を含む、方法。

【請求項 18】

前記堆積チャンバの上流に設けられている遠隔プラズマ生成器に、フッ素含有化合物を導入する段階と、

前記遠隔プラズマ生成器においてフッ素原子を生成する段階と、

前記遠隔プラズマ生成器から前記堆積チャンバにフッ素原子を流入させて、前記堆積させたタングステン層の前記上部分を除去する段階と

をさらに備え、

前記遠隔プラズマ生成器に導入された前記フッ素含有化合物の分圧は、少なくとも 0.7 Torr である

請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

厚みが T_d である前記タングステンバルク層の反射率は、ベアシリコンウェハの反射率よりも 15% 高い請求項 17 または 18 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

化学気相成長 (CVD) 法を用いるタングステン膜の堆積は、多くの半導体製造プロセスにおいて不可欠な工程である。タングステン膜は、抵抗率が低い電気接続部として利用することができ、水平配線、隣り合う金属層同士を結ぶビア、第 1 の金属層とシリコン基板上のデバイスとを結ぶコンタクトを形成する。従来のタングステン堆積プロセスでは、ウェハを真空チャンバ内でプロセス温度まで加熱して、シード層または核層として利用される、タングステン膜の非常に薄い部分を堆積する。その後、タングステン膜の残りの部分 (バルク層) を核層に堆積する。従来、タングステンバルク層は、成長しているタングステン層において水素 (H_2) で六フッ化タングステン (WF_6) を還元することによって形成される。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0002】

基板上の間隙または凹状特徴部分を充填する方法を提供する。さまざまな実施形態によると、当該方法では、凹状特徴部分を部分的に充填するべくタングステンバルクを堆積した後で、堆積されたタングステンの上部分を除去する。特定の実施形態では、上部分の除去は、活性化されたフッ素種に基板を暴露することによって行われる。堆積されたタングステン粒子のうち急峻で突出している突起の頂点を選択的に除去することによって、除去処理は、凹状特徴部分の側壁に沿ってタングステンを研磨することになる。堆積 - 除去のサイクルを複数回実行して、凹状特徴部分を埋めるとしてよい。このようにして凹状特徴部分が充填されると、CMP においてコアリング (coring) が発生しにくくなる。

【0003】

さらに、反射率が高く、抵抗率が低く、且つ粗度が低い膜を形成するべくタングステン膜の反射率を高くするトップダウン法が提供される。当該方法では、タングステンバルクを堆積させた後、堆積されたタングステンの上部分を除去する。特定の実施形態によると、堆積されたタングステンの上部分の除去は、タングステンをフッ素含有プラズマに暴露

10

20

30

40

50

することによって行われる。当該方法によれば、形成される低抵抗率タングステンバルク層の粗度が低くなると共に、反射率が高くなる。このように円滑で反射率が高いタングステン層は、従来の低抵抗率タングステン膜に比べて、フォトパターニングが容易である。用途としては、タングステンビットラインの形成が挙げられる。

【 0 0 0 4 】

特定の実施形態によると、化学気相成長法を用いるタングステン膜堆積方法が提供される。堆積された膜は、例えば、 NF_3 遠隔プラズマを用いてエッチングされる。堆積された膜の表面は主に急峻なタングステンの突起の頂点およびそれ以外の凹凸で覆われているが、これらをエッチングで除去することによって、タングステン膜の粗度および反射率が改善される。さらに、最終的な厚みが同一である通常の方法で堆積された膜に比べて、抵抗率が改善される。粗度を低減するべく設計されている従来の方法では抵抗率が大きくなるが、本明細書に記載されている方法では抵抗率および粗度が共に改善される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 5 】

以下に詳細な説明を記載するが、図面と組み合わせて参照されたい。図面は以下の通りである。

【 0 0 0 6 】

【図 1】さまざまな実施形態に係る方法の関連処理を示すプロセスフロー図である。

【 0 0 0 7 】

【図 2】さまざまな実施形態に係るエッチングを実行した後の、タングステン膜の粒状構造の変化を示す概略図である。

【 0 0 0 8 】

【図 3】従来の CVD 法を用いて堆積された膜と本明細書に記載する実施形態に係る方法に従って形成された膜とを対比させつつ、膜厚の関数として反射率を示すグラフである。

【 0 0 0 9 】

【図 4】従来の CVD 法を用いて堆積された膜と本明細書に記載する実施形態に係る方法に従って形成された膜とを対比させつつ、膜厚の関数として抵抗率を示すグラフである。

【 0 0 1 0 】

【図 5】さまざまな実施形態に係る方法の関連処理を示すプロセスフロー図である。

【 0 0 1 1 】

【図 6】一段階 CVD 法を用いたタングステンの充填、および、シームが形成されたことによってその後発生し得る CMP コアリングを説明するための概略図である。

【 0 0 1 2 】

【図 7 A】所与の実施形態に係る方法のさまざまな段階における特徴部分を充填する様子を示す図である。

【図 7 B】所与の実施形態に係る方法のさまざまな段階における特徴部分を充填する様子を示す図である。

【 0 0 1 3 】

【図 8】さまざまな実施形態に係る方法の関連処理を示すプロセスフロー図である。

【 0 0 1 4 】

【図 9】部分的に充填された凹状特徴部分の外形に特徴を付与する方法を説明するための概略図である。

【 0 0 1 5 】

【図 10】本発明の実施形態に係るタングステン堆積プロセスを実行するのに適切な処理システムを示すブロック図である。

【 0 0 1 6 】

【図 11】本発明の実施形態に係るタングステン堆積プロセスおよびエッチングプロセスを実行するのに適切なチャンバの構成要素を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 7 】

< 序論 >

以下の説明においては、タングステン薄膜の形成に関する本発明を詳細に説明するべく、
具体的且つ詳細な内容を数多く記載する。本明細書において図示および説明する具体的な
方法および構造をどのように変形、適応、または変更するかは、当業者には明らかであり、
本発明の範囲内に含まれるものである。

【 0 0 1 8 】

本発明の実施形態は、抵抗率および粗度が低いタングステン層を堆積させることを含む。
従前のプロセスでは、タングステン膜について抵抗率と粗度との関係が、抵抗率を下
げると粗度が大きくなってしまい、その逆もまた同様であるというように、反比例的である。
このため、500 以上の低抵抗率タングステン膜の場合、二乗平均平方根 (RMS) 粗度と膜厚との比率が10%を超える場合がある。膜の粗度を低減すると、パターニング
等の後続の処理が容易となる。

10

【 0 0 1 9 】

特定の実施形態によると、本明細書に記載する方法によればさらに、生成する膜の反射
率が高くなる。従来のタングステンバルク層を堆積するプロセスは、化学気相成長 (C
VD) 法に従ってタングステン含有先駆体を水素で還元することを含む。従来の水素還元 C
VD 法によって成長させられた1000 Åの膜の反射率は、シリコン面と比較すると、1
10%以下である。しかし、特定の用途では、これよりも高い反射率を持つタングステン
膜が必要となる。例えば、反射率が低く粗度が高いタングステン膜の場合、例えばビット
ライン等の構造を形成するためのタングステンのフォトリソパターニングがより困難になっ
てしまう可能性がある。

20

【 0 0 2 0 】

窒素ガス交互パルスを与えつつタングステンをCVD堆積させることを含む、抵抗率が
低い反射性タングステン膜を堆積する方法が、米国特許出願第12/202,126号 (発
明の名称: 「タングステンの粗度を低減しつつ反射率を改善する方法」、出願日: 20
08年8月29日) に記載されている。当該米国出願の内容は、参照により本願に組み込
まれるものとする。粗度低減、反射率改善、または抵抗率低減を目的とするその他の先行
技術は、プロセス特性を修正することを含む。しかし、特定の用途では、窒素の追加等の
プロセス特性の修正が、望ましくない場合がある。例えば、このようなボトムアップ法で
は、互いに適切でない元素同士が用いられることによって、ステップカバレッジ、充填不
良、および電気的性能の低下といった問題が発生する。これとは対照的に、本明細書に記
載する方法は、修正することなくどのような堆積特性についても利用することができる。
例えば、特定の実施形態では、堆積中において窒素に暴露されることがない。

30

【 0 0 2 1 】

特定の実施形態によると、本明細書に記載する方法は、基板上に化学気相成長法を用い
てバルクタングステン層を堆積させた後、堆積されたバルク層の上部分をエッチングする。
この結果得られるタングステン膜は、抵抗率はきめの粗いタングステンを形成する従来
のCVD法によって堆積される膜と同等であるが、反射率ははるかに高く、粗度が低くな
っている。

【 0 0 2 2 】

図1は、本発明の特定の実施形態に係るプロセスを示す図である。当該プロセスは、基
板上にタングステン核層を堆積する段階から開始される。ブロック101。一般的に、核
層とは、その上に続いてバルク材料が形成される薄いコンフォーマル層であって、該バル
ク材料の形成を促進する役割を持つ。特定の実施形態によると、核層は、PNL (Pul
sed Nucleation Layer) 法を用いて堆積される。PNL法によると、還元剤、パー
ジガス、およびタングステン含有先駆体のパルスが、対して、反応チャン
バに順次注入され、反応チャンバからパージされる。当該プロセスは、所望の厚みに到達
するまで、周期的に繰り返される。PNLは、応用範囲が幅広く、半導体基板上で反応さ
せるべく、順次反応物を追加していく周期的プロセスであればどのようなプロセスでも実
現する。

40

50

【0023】

P N L 法は特に、低抵抗率膜を小さい特徴部分に堆積させるために利用されるとしてよい。特徴部分が小さくなるにつれて、タングステン (W) コンタクトまたはタングステンラインの抵抗は、タングステン膜が薄くなると散乱効果が生じるので、大きくなる。タングステン堆積プロセスを効率よく実行するにはタングステン核層が必要であるが、タングステン核層の電気抵抗率は通常、タングステンバルク層よりも高い。タングステン膜の抵抗率を低くすると、集積回路設計における電力損失および過熱現象が最小限に抑えられる。核 > バルクのため、核層の厚みは、総抵抗を可能な限り低く抑えるべく最小限にしなければならない。また一方、タングステン核層は、その下方の基板を完全に被覆して高品質のバルク堆積をサポートするべく、十分な厚みを持っていないなければならない。

10

【0024】

低抵抗率タングステンバルク層の堆積をサポートする低抵抗率タングステン核層を堆積するための P N L 法は、米国特許出願 1 2 / 0 3 0 , 6 4 5 号、1 1 / 9 5 1 , 2 3 6 号、6 1 / 0 6 1 , 0 7 8 号に記載されている。当該出願の内容は、参照により本願に組み込まれる。P N L プロセスに関するさらなる説明は、米国特許第 6 , 6 3 5 , 9 6 5 号、第 6 , 8 4 4 , 2 5 8 号、7 , 0 0 5 , 3 7 2 号、および 7 , 1 4 1 , 4 9 4 号、ならびに、米国特許出願第 1 1 / 2 6 5 , 5 3 1 号に記載されている。当該特許および特許出願の内容も、参照により本願に組み込まれる。特定の実施形態によると、低抵抗率処理は、タングステン核層の堆積中または堆積後に実行される。本明細書に記載する方法は、特定のタングステン核層堆積方法に限定されるわけではなく、任意の方法、例えば、P N L 法、原子層堆積 (A t o m i c L a y e r D e p o s i t i o n : A L D) 法、C V D 法等によって形成されたタングステン核層の上にタングステンバルク膜を堆積させることを含む。

20

【0025】

図 1 に戻って、タングステン核層が堆積されて、任意の所望の処理が実行された後、タングステン核層上に、厚みが T 1 のタングステンバルク層が堆積される。ブロック 1 0 3 。厚み T 1 は通常、エッチング処理において除去される部分を考慮して、所望の総厚み T d よりも大きくなっている。特定の実施形態によると、バルク堆積は、タングステン含有先駆体を水素で還元してタングステンを堆積する化学気相成長 (C V D) 法を含む。通常利用されるのは六フッ化タングステン (W F 6) であるが、C V D 法は、その他のタングステン含有先駆体、これに限定されないが、W C l 6 等を用いて実行されるとしてよい。また、タングステンバルク層を C V D 法で堆積させる際に通常用いられる還元剤は水素であるが、本発明の範囲を逸脱することなく、水素に加えて、または、水素に代えて、シラン等のその他の還元剤を用いるとしてよい。別の実施形態によると、還元剤と共に、または、還元剤を用いることなく、W (C O) 6 を利用するとしてよい。上述した P N L プロセスの場合とは異なり、C V D 法を採用する場合は、W F 6 および H 2 またはその他の反応物を、同時に反応チャンバに導入する。このような構成とすることによって、反応ガス混合物において連続的に化学反応を発生させて、基板表面にタングステン膜を連続的に形成する。

30

【0026】

厚み T 1 を持つ層の堆積が完了すると、バルク堆積プロセスを停止する。ブロック 1 0 5 。以下でさらに説明するが、T 1 は最終的に所望されている厚み T d よりも大きく設定されている。その後、堆積された層の上部分を除去またはエッチングする。ブロック 1 0 7 。特定の実施形態によると、エッチングプロセスはプラズマエッチングを含む。プラズマエッチングは、遠隔プラズマ生成器から、活性化された種 (ラジカル、イオン、および / または、高エネルギー分子を含む) を導入することを含むとしてよい。特定の実施形態によると、除去処理は、フッ素ベースのプラズマエッチング、例えば、N F 3 遠隔プラズマエッチングを含む。当該エッチングの程度は、以下でさらに説明するが、特定の実施形態によると、処理 1 0 3 において堆積された層のうち約 1 0 % を除去する。

40

【0027】

50

その後、フッ素ベースの活性化された種（または、除去特性によってはその他の種）の流入を止める。エッチングによって、堆積されたタングステンが所望の総厚みを有するようになっていれば、この時点でプロセスは通常完了となる。特定の実施形態ではさらに、タングステン層を堆積させるべく、堆積 - 除去のサイクルを少なくとも 1 回実行する。

【0028】

上述した方法によれば、従来の方法によって堆積された厚みが同一の膜に比べて、反射率がより高く、且つ、粗度がより低い膜が生成される。例えば、ある実験によると、堆積直後の 1940 の膜の（ベアシリコンウェハと比較した場合の）反射率は 103% であった。NF3 遠隔プラズマに暴露して 200 を除去した後の反射率は 115% であった。これとは対照的に、CVD 法を用いて 1720 の膜を堆積してエッチングを行わない場合の反射率は、106% であった。さらに、エッチングを行った後のタングステン膜の抵抗率は、従来の方法で堆積された膜の抵抗率と比較すると、厚みが同一であれば、低くなっている。特定の実施形態によると、約 20% 低い。従来の方法では反射率が上昇すると抵抗率も大きくなるので、この効果は大きな意義を持つ。

【0029】

抵抗率を低減するためには通常、大きな粒子を成長させるが、円滑性および高反射率を実現するためには、小さい粒子を堆積させる。タングステン粒子は、横方向および垂直方向に成長する。特定の実施形態によると、本明細書に記載されている方法は、バルク堆積プロセスにおいて粒径の大きなタングステンを成長させることを含む。堆積させた後、垂直方向に成長した粒子を選択的にエッチングする。エッチング後、横方向に成長した大きな粒子が残って低抵抗率が実現される一方、反射率が高くなって、粗度が大きく低減される。この様子は図 2 に図示されている。図 2 では、フッ素ベースの遠隔エッチングの前（201）および後（203）のタングステン層を概略的に示している。203 に示されている層は、201 として示されている層の約 90% である。エッチングが実行される前は、急峻な突起の頂点、例えば頂点 205 が見られる。このような頂点があると、この後実行されるリソグラフィパターンニングが難しくなる。しかし、エッチング実行後は、粒子の外形はより平坦になっており、表面の反射率が高くなる。

【0030】

エッチングプロセスを実行すると、図 2 に示すようにエッチングされていない層 201 に比べて、表面の反射率が高くなるだけでなく、同等の厚みを持つ膜に比べて、抵抗率および粗度も改善される。図 3 は、従来の方法を用いて堆積された（指定された厚みまで CVD を用いて堆積を実施）さまざまな厚みの膜、および、本発明の実施形態に従って堆積された膜（CVD を用いて 1940 を堆積して、指定された厚みまでエッチング）の反射率を示すグラフである。大まかなトレンドライン 301 および 303 は、従来の堆積方法と、堆積 + エッチングを用いる方法とについて、厚みの関数として反射率を示している。同図から分かるように、重要でない部分がエッチングされた時点（305）から約 200

がエッチングされるまで、従来の方法で形成される層に比べて、反射率が急激に上昇している。反射率の改善率はその後、膜のエッチングが進むにつれて、横ばいになる。最大効果領域（307 で示す）には、反射率を最も大きく改善するためにエッチング処理において除去されるべき厚みの範囲が示されている。これは、堆積された膜厚の約 10% に対応する。このように、特定の実施形態によると、最終的な膜厚は、堆積された膜厚の約 75% から 95% の範囲内である。または、より具体的には、80% から 95% である。特定の理論に制限されることなく、エッチングを最大効果領域で実行することは、堆積された膜の突起の頂点が除去されることに対応すると考えられている。トップダウンエッチング処理は、堆積された膜の突起の頂点の近傍では表面積がより大きいので、頂点を選択的に除去する。低位の領域がエッチングされる前にエッチングプロセスを止めて、頂点のみを除去し、横方向に成長した粒子はそのままとする。しかし、示されているように、エッチングプロセスが行われた後では、同じ層のエッチング前と比較すると、期待していなかったことであるが、抵抗率もまた低くなっていることが分かる。特定の理論に制限されることなく、このように期待していなかった効果が得られるのは、エッチング処理後では粒

10

20

30

40

50

界の画定があいまいになったためではないかと考えられている。より詳細に後述するが、特定の実施形態によると、特定のエッチング処理条件を設定することによって、抵抗率はより改善（低減）される。

【0031】

除去処理は、堆積された膜の上部分を除去するべく用いられ得る除去処理であれば、どのような物理的処理または化学的処理を用いるとしてもよい。利用され得るエッチング特性は、フッ素含有エッチング特性を含む。例えば、二フッ化キセノン、フッ素分子、三フッ化窒素を利用することが挙げられる。臭素含有化合物および塩素含有化合物としては、三塩化窒素、塩素分子、および臭素分子が含まれる。特定の実施形態によると、エッチングはプラズマエッチングであってよい。プラズマは、遠隔地またはチャンバで生成される
10
としてよい。特定の実施形態によると、NF₃が遠隔プラズマ生成器に与えられる。フッ素原子を含む活性化された種は、遠隔プラズマ生成器内で生成され、化学エッチングを実行するべくチャンバに流入させる。

【0032】

エッチング剤の圧力は、膜の抵抗率に影響を及ぼすことが分かっており、圧力が高くなると抵抗率が低くなる。これは図4に証明されている。図4は、さまざまな厚みの膜の抵抗率を示すグラフである。CVDで堆積させるのみである従来の方法を用いて堆積させた膜（四角）と、1940 nmまで堆積させた後で指定された膜厚までエッチングして得られる膜（ひし形）を示す。同図に示すグラフは、堆積およびエッチングによって形成された膜の厚みのさまざまな値に対応付けて、遠隔プラズマ生成器に導入されたNF₃の分圧を示す。曲線401は、NF₃の分圧を低くして（0.17 Torrおよび0.24 Torr）堆積させた膜の厚みの関数として抵抗率を示すおよそそのトレンドラインであり、曲線403は、NF₃の分圧を高くして（1 Torr）堆積させた膜の厚みの関数として抵抗率を示すおよそそのトレンドラインである。分圧を高くすると、抵抗率が低い膜が形成されている。抵抗率が改善している様子は、データポイント405および407を比較しても分かる。データポイント405および407はそれぞれ、従来の方法に従って堆積された膜の反射率およびNF₃の分圧を高くしてエッチングして得られる膜の反射率を示し、どちらの膜も厚みは約930 nmである。従来の方法に従って堆積された膜の抵抗率は約18マイクロオームセンチメートルである一方、NF₃の分圧を高くしてエッチングした膜の抵抗率は16マイクロオームセンチメートルであり、20%以上の改善が見られる。
20
30

【0033】

特定の実施形態によると、遠隔プラズマ生成器に導入されたエッチング剤の分圧は、0.5 Torrよりも高く、80 Torrにも到達する。特定の実施形態によると、エッチング剤の分圧は、遠隔プラズマ生成器または堆積チャンバに流入する際、約1 Torrである。

【0034】

従来の方法に従って堆積させた膜の抵抗率と、同様の厚みを持つ（例えば、約400 nmおよび約900 nm）エッチングを行って形成された膜の抵抗率とを比較すると、エッチングによって形成された膜の抵抗率は、従来の方法に従って堆積させた膜の抵抗率を下回っている。エッチング剤の流量が高い場合（分圧が高い場合）も、エッチング剤の流量が低い場合（分圧が低い場合）も、従来の方法に従って堆積させた膜の抵抗率に比べて、抵抗率が改善している。この結果を以下の表に示す。
40

【表 1】

プロセス	堆積される 厚み (Å)	最終的な 厚み (Å)	堆積時の抵抗率 〔マイクロオーム〕 〔センチメートル〕	最終的な抵抗率 〔マイクロオーム〕 〔センチメートル〕
従来	1720	1720	15.5	15.5
堆積-低分圧 NF3エッチング	1940	1740	15	15
従来 〔トレンド ラインから 推定〕	1350	1350	17	17
堆積-高分圧 NF3エッチング	1940	1350	15	14.3

【 0 0 3 5 】

従来の堆積方法では、抵抗率と厚みとの関係は反比例的で、厚みが大きくなると抵抗率が低減する。しかし、本明細書に記載する方法を用いると、膜の厚みを薄くしつつ抵抗率を低くすることが可能である。このプロセスを用いて抵抗率が低い薄膜を堆積するとしてよい。この場合、最終的に得られる薄膜の膜厚は、さまざまな実施形態によると、100から1000の範囲内である。薄膜について、最終的に得られる膜厚は、堆積された膜の10%から90%の範囲内であってよい。つまり、堆積させた膜の90%までを低抵抗率薄膜を形成するべく除去するとしてよい。

【 0 0 3 6 】

上部分の除去は、化学的エッチング以外にも、特定の実施形態では、例えばアルゴンを用いたスパッタリング、または、非常にソフトな化学機械研磨(CMP)法、例えば接触CMPによって実行するとしてよい。

【 0 0 3 7 】

別の実施形態によると、エッチングプロセスが行われている間に、チャンバを同時に洗浄する。チャンバにフッ素ベースのエッチング剤を導入することによって、堆積されたタングステン層に対してエッチングが行われている間に、チャンバの内側部分に堆積したタングステンを除去するとしてよい。エッチングと同時にチャンバを洗浄することによって、チャンバ洗浄処理を別個に行う必要性が、小さくなるか、または、なくなる。

【 0 0 3 8 】

本明細書に記載しているプロセスの用途には、ビットライン構造、トレンチライン、ビア構造の形成が含まれる。さまざまな実施形態によると、堆積は、ブランケットウェハまたはパターニングウェハに対して行われるとしてよい。例えば、ビットラインプロセスは通常、平面状にタングステン膜を堆積させることを含む一方、トレンチラインおよびビアの場合には、パターニングウェハに対してタングステンを堆積させることを含む。図5は、堆積サイクル、場合によっては、堆積-エッチングサイクルを複数回実行する、本明細書に記載する実施形態に係るプロセスの処理を示すプロセスフロー図である。図1を参照

しつつ上述したように、核層を堆積するとしてよい。ブロック501。トレンチ等の凹状特徴部分内に、P N L等の方法を用いて、コンフォーマルに核層を堆積する。続いて、核層の上にタングステンバルクを堆積させて、凹状特徴部分を充填する。ブロック503。厚みがT1になった時点でバルク堆積を停止させる。ブロック505。T1は、層の希望の厚みよりも小さい。このプロセスにおいて、T1は、凹状特徴部分が部分的にのみ充填される厚みである。例えば、凹状特徴部分が1ミクロン（幅）である場合、T1は0.5ミクロン未満であり、凹状特徴部分を充填するにはおよそ0.5ミクロンの厚みを堆積させることが必要である。バルク堆積によって凹状特徴部分を部分的に充填した後、堆積された層の上部分を除去する。ブロック507。ここで、突出している頂点をもつ粒子は、側壁に対して垂直に伸びており、図2を参照しつつ上述したように選択的に除去されるとしてよい。堆積と同様に、膜の除去も通常は凹状特徴部分全体にわたって均一に行われる。つまり、側壁から除去されるタングステンの厚みは、凹状特徴部分の上部でも、凹状特徴部分の深い箇所でも、略同じである。その後、堆積処理および除去処理を任意で複数回繰り返して、凹状特徴部分をさらに充填する。ブロック509。特定の実施形態によると、堆積処理および除去処理を繰り返すことは、エッチングで低減されたタングステンの上に直接、例えばCVD法を用いてバルク堆積を実行することを含む。これに代えて、バルク堆積を行う前に、除去処理に続いて別のタングステン核層を形成するか、または、別の処理を実行するとしてよい。1回以上堆積 - 除去のサイクルを行ってこれらのサイクルが完了すると、CVD処理等の堆積処理によって凹状特徴部分の充填が完了する。ブロック511。

【0039】

特定の実施形態によると、本明細書に記載するプロセスによってトレンチラインが充填される。トレンチ等の幅広の特徴部分、例えば、寸法がミクロンまたはサブミクロンである特徴部分は、CMP後コアリングが発生しやすい。図6は、1回の堆積（核生成およびバルク堆積を含む）によって充填されるトレンチライン601を示す図である。トレンチライン601は、ウェハ内、例えば、酸化物層602内にパターンニングされている。1以上の膜605および607が、トレンチの側壁および/または底面に形成されているとしてよい。これらの膜は、接着層、バリア層等のうちいずれを含むとしてもよい。薄膜材料の例を挙げると、チタン、窒化チタン、タンタル、窒化タンタル、タングステン、窒化タングステン、またはこれらの組み合わせを含む。タングステン核層（不図示）を、トレンチの側壁および底面にコンフォーマルに堆積させて、バルクタングステンの形成を促進するとしてよい。明らかではあるが、同図に示す概略図は代表的なもので実寸には即していない。例えば、トレンチの幅はミクロンまたは10分の1ミクロンのオーダーである一方、核層は10オングストロームのオーダーであってよい。

【0040】

CVDプロセスによって堆積させられたタングステン粒子603は、大きくて、且つ、不均一である。上述したが、粒子が大きいタングステン膜では、タングステン膜の抵抗率が低減してしまう。タングステン充填のステップカバレッジは良好であるが、CMP後の問題、例えば、コアリングが発生し得る。タングステン粒子は、不規則且つギザギザの形状に成長してしまう可能性があり、その例を参照番号609で示している。この結果、シーム611のようなシームが形成されてしまう。充填されたトレンチに対してCMPを行った後の様子を603として示す。トレンチである特徴部分のコアまたは中央が、613として示すように中空になっている。これは、シーム607による構造的弱点が原因である。

【0041】

図7Aおよび図7Bは、特定の実施形態に係る充填プロセスのさまざまな段階における様子を示す図である。まず、図7Aにおいて、701として充填されていない様子を示す。同図に示す凹状特徴部分は通常、パターンニングウェハに設けられている多くの凹状特徴部分のうちの1つであり、製造プロセスにおいて形成される誘電材料またはその他の層に形成されるとしてよい。さまざまな実施形態によると、同図に示す凹状特徴部分は、ピア

、トレンチ、またはその他の任意の凹状特徴部分であってよい。先に示唆したが、さまざまな膜（不図示）が凹状特徴部分の側壁および／または底面をコーティングするとしてよく、そのような膜はバリア層、接着層等であってよい。先立ってどのような処理が行われたかによって、凹状特徴部分の露出した側壁および底面は、円滑且つ均一である場合もあれば、不均一である場合もある。特定の実施形態によると、凹状特徴部分の側壁の表面は、底面の表面とは異なっている。さまざまな実施形態によると、凹状特徴部分の幅は10オングストロームから10ミクロンの範囲内であってよく、より具体的には10nmから1ミクロンの範囲内であってよい。アスペクト比の例を挙げると、2：1から30：1、2：1から10：1、または、5：1から10：1である。

【0042】

バルク堆積プロセスを用いて、凹状特徴部分を部分的に充填する。部分的に充填された様子を703に示す。このプロセスは通常、上述したような化学気相成長（CVD）法を用いて実施される。特定の実施形態によると、まず核層を、PNL（Pulsed Nucleation Layer）法、ALD（Atomic Layer Deposition）法、またはその他の適切な方法を用いて堆積させる。先に示唆したように、この層は厚みがT1となるまで堆積させられる。尚、T1は、当該層（最終的に充填される凹状特徴部分のサブ層）の所望の総厚みよりも大きく、当該凹状特徴部分を充填するために必要な厚みより小さい。特定の実施形態によると、厚みT1は、不均一な粒子が中央界面で互いに接して凹状特徴部分を閉じてしまう事態が発生しないように、十分小さく設定されなければならない。この事態は望まれない効果であるが、その例を図6に参照番号609で図示されている。参照番号703で示されているように、充填された凹状特徴部分内に堆積させられた粒子は、比較的大きいが高さにバラツキが見られる。

【0043】

堆積させられた層の上部分はその後、上述したように除去される。図1を参照しつつ説明したように、特定の実施形態によると、化学エッチングを実行する。また上述したように、遠隔プラズマ生成器から与えられる活性化されたフッ素種を利用するとしてよい。この除去プロセスは通常、純粋に化学的に実行される。つまり、イオン衝突またはスパッタリング効果はない。この点を鑑みると、プラズマ生成器で形成されるイオンは再結合することができるので、遠隔プラズマ生成が有用である。タングステンおよびフッ素を含む揮発性化合物、例えば、WF6が生成されて、排出される。

【0044】

除去処理によって、凹状特徴部分の側壁に沿ってタングステンを研磨して、急峻で突出しているタングステンの頂点を除去する。このように除去処理を行った結果、参照番号705で示すように円滑な外形を持つタングステン層が得られる。除去プロセスによって粒子の高さは低くなるが、粒子のサイズはそのままであるので、タングステンの抵抗率が高くなることはない。

【0045】

その後別のバルク層を堆積させる。凹状特徴部分のサイズおよび所望の粒子サイズに応じて、この時点において、凹状特徴部分は完全に充填されて、CMPを実施する準備が整うとしてよい。尚、図7Aおよび図7Bに示したプロセスでは、堆積 - 除去のサイクルを複数回実行する。従って、凹状特徴部分は続いて行われるバルク堆積によって部分的に充填されるのみである。この様子は、図7Bに参照番号707によって示している。堆積させるバルク層の厚み（T2）は、T1と同じであってもよいし、異なるとしてもよい。例えば、特定の実施形態によると、既に堆積させられたサブ層のために間隙が狭くなるにつれて、堆積させるバルク層の厚みは小さくなっていくとしてよい。上述したように、厚みを決める際は、凹状特徴部分が閉じてしまわないように、考慮すべきである。

【0046】

そして堆積されたばかりの層の上部分を、参照番号709で図示するように、除去する。このようにして当該層を研磨して、続いて行われる堆積のために円滑な表面を得る。この時点において、適切であれば、堆積 - 除去のサイクルを複数回実行するとしてよい。図

10

20

30

40

50

示されているプロセスでは、最終バルク堆積によって充填が完了している。堆積された膜の量が比較的少ないので、このバルク層の粒子の高さは、図6に示すように一回の処理で堆積が行われる場合に比べれば、より均一になる。充填された凹状特徴部分を参照番号711で示す。各側壁に成長した粒子は平坦で、シームを形成することなく平坦な界面を形成している。この後、CMPプロセスを実行して、凹状特徴部分は完全に充填されたまま、凹状特徴部分の上方に堆積させられたタングステンを除去するとしてよい。さまざまな実施形態によると、それぞれの除去処理において除去される材料の量の範囲は、タングステン膜の総厚みの約5%から、総厚みの50%以上、または時には、総厚みの80%になるとしてもよい。

【0047】

粒子の高さはエッチングプロセスによって低減されるが、粒子サイズは変わらないままであるので、タングステンの抵抗率が高くなることはない。特定の実施形態によると、凹状特徴部分内におけるタングステンの抵抗率は、孔隙およびシームに代えて、電子の輸送に役立つタングステンが形成されるので、小さくなる。抵抗率はさらに、電子輸送方向に粒子サイズがより大きいタングステンを形成することによって、小さくなるとしてよい。また、特定の実施形態によると、より圧縮されたタングステン膜が得られるので、タングステン膜の密度を調節することができるとともに、CMP率を調節することができるようになる。

【0048】

上述したように、特定の実施形態によると、除去プロセスでは、タングステンは凹状特徴部分全体にわたって均一にエッチングされる。このようにエッチングを実行するには、部分的充填を行う際に、望まれているより早い段階で凹状特徴部分が大きな粒子によって閉じてしまわれないように、堆積を制限する。また、除去プロセスの条件は、質量輸送を制限するのではなく、反応を制限するように除去が進むように決定される。一般的には、凹状特徴部分の寸法および処理装置に応じて変わるが、温度を低くしつつ、流量を大きくする。ウェハ温度を約摂氏250度から約摂氏450度の間に設定して、(遠隔プラズマ生成器への)NF₃の流量を約750 sccm - 4000 sccmにするとよい。当業者であれば、これらの範囲を変更して、反応が拡散によって制限されない条件を得ることに想到するであろう。また、スパッタリングまたは衝突を含まない化学エッチング処理によって均一に除去する。

【0049】

多くの実施形態では、タングステンを堆積させる前の時点、および/または、タングステンを堆積させた後の時点において、凹状特徴部分の外形が均一であるので、凹状特徴部分の入口部分において大きな突起は見られない。特定の実施形態によると、凹状特徴部分全体にわたって平均の厚みのバラツキは30%以下であり、または、特定の実施形態によると、25%または10%である。これは、凹状特徴部分内の平均厚みと、凹状特徴部分の上部の平均厚みとを比較することによって特性化されるとしてよい。凹状特徴部分の上部の平均厚みによって正規化された凹状特徴部分内の平均厚みは、特定の実施形態によると、80%から120%の範囲内であるとしてよく、より具体的には、90%から110%、または95%から105%であるとしてよい。場合によっては、あるパラメータ(例えば、厚み)の値がこれらの位置/領域において特定されると、当該値はこれらの位置/領域内で複数回にわたって測定された値の平均を表すものとする。測定ポイントの例は図8に示している。図8は、基板803内に設けられる凹状特徴部分801を概略的に示す図であって、タングステン層805の厚みに関する測定ポイントの位置を、「ポイント1」「ポイント2」等で示している。厚みの値は、フィールド領域(ポイント1およびポイント16)の値、または、フィールド領域の平均に対して正規化されるとしてよい。ポイント2からポイント15、または、ポイント2からポイント15のうちのサブ群を平均化して、凹状特徴部分内の厚みを特定するとしてよい。

【0050】

特定の実施形態によると、凹状特徴部分の上部において外形が内向きにへこんでいたり

10

20

30

40

50

、または、突起がある基板が準備されると、内向きにへこんでいる外形は、最初のバルク堆積処理の後もそのままである。このような場合、凹状特徴部分の上部に堆積させたタングステンを選択的に除去する最初の除去処理は、本明細書に記載されているように堆積 - エッチングのサイクルが連続して行われる前に、実行されるとしてよい。特徴部分の上部に堆積させられたタングステンを選択的に除去する処理は、本願と同時に出願された米国特許出願第 1 2 / 5 3 5 , 4 6 4 号 (代理人整理番号 NOVLP 3 1 5 / NVLS - 3 4 6 4) に記載されている。当該出願の内容は、参照により本願に組み込まれる。

【 0 0 5 1 】

特定の実施形態によると、本明細書に記載する除去処理を用いることによって、既に充填された特徴部分はそのままにして、粒子の高さの均一性を高め、部分的に充填された特徴部分の粗度を低減するとしてよい。図 9 は、サイズが異なる特徴部分を充填するための、別の実施形態に係る処理を図示するプロセスフロー図を示す図である。まず、寸法が異なる第 1 および第 2 の特徴部分を有するパターンニングウェハが用意される。ブロック 9 0 1。そして、堆積処理を 1 回以上実行して、第 1 の (通常は、小さい方の) 凹状特徴部分を完全に充填し、第 2 の (通常は、大きい方の) 凹状特徴部分を部分的に充填する。ブロック 9 0 3。さまざまな実施形態によると、このように堆積処理を 1 回以上実行する場合、その間にエッチング処理を実行するとしてもよいし、実行しなくてもよい。第 1 の凹状特徴部分が充填された後、例えば、図 7 A および図 7 B を参照しつつ説明したように、第 2 の凹状特徴部分において除去処理を 1 回以上実行して粒子の高さを均一にするとしてよい。ブロック 9 0 5。堆積 - 除去のサイクルにおいて、堆積処理は必要に応じて実行する。第 1 の凹状特徴部分は充填されたままであり、つまり、これらの除去処理は、第 1 の凹状特徴部分を充填している部分を除去することはない。その後、図 7 B を参照しつつ上述したように最後の堆積処理が実行され、第 2 の凹状特徴部分の充填が完了する。ブロック 9 0 7。このように、当該方法は、比較的サイズが小さい特徴部分が閉じた後は、比較的サイズが大きい特徴部分においてのみ、側壁のタングステンを優先的にエッチングする。この点は、デュアル・ダマシン・プロセスにおいて有用であり得る。

【 0 0 5 2 】

< 実験 >

従来方法である WF 6 の水素還元を利用した CVD 法によって、半導体ウェハに設けられたタングステン核層の上にタングステン膜を堆積させた。3 8 9 、 9 3 7 、 1 7 3 9 、 および 1 9 4 2 (中央の厚み) の膜が堆積させられた。全ての膜の反射率および抵抗率を測定した。

【 0 0 5 3 】

図 1 に示す方法に応じた堆積 - エッチングプロセスを用いて、タングステン核層の上にタングステン膜を堆積させた。膜を堆積させる際には、WF 6 の水素還元を利用する CVD プロセスを用いた。堆積条件は、従来の方法に従って膜を堆積させた場合と同一とした。全ての膜について、堆積時の厚みは、約 1 9 4 0 (1 9 3 5 から 1 9 4 7 の範囲内) であった。遠隔 NF 3 プラズマを用いて膜をエッチングし、エッチング量は 1 から 1 7 8 7 の範囲内とした。この結果、最終的な厚みは 1 5 1 から 1 9 4 1 の範囲内となった。NF 3 の分圧は、0 . 0 2 Torr、0 . 1 7 Torr、0 . 2 4 Torr、または 1 Torr のうちいずれか 1 つに設定された。エッチング後にすべての膜について反射率および抵抗率を測定した。

【 0 0 5 4 】

エッチング後の反射率は、同様の厚みを持つ従来の方法で堆積された膜と比較した場合、約 1 0 % 改善している。反射率の測定結果は、図 3 に図示しており、既に説明している。

【 0 0 5 5 】

抵抗率の測定結果は、図 4 に図示しており、既に説明している。

【 0 0 5 6 】

粗度もまた、従来の方法に従って堆積させられた膜に比べて改善している。例えば、堆

10

20

30

40

50

積時に 1940 の膜の AFM 粗度は、9.7 nm であった。約 20 nm を NF3 エッチングして 1740 になった後では、粗度は 2.5 nm だけ低減されて 9.2 nm となった。従来の方法で堆積させられた膜は、厚みが 1720 である場合、粗度は 9 nm であった。粗度は、従来の方法で堆積させられた膜に比べて、約 20 % 改善されている。

【0057】

別の例によると、CVD プロセスによって、0.25 μ m のトレンチライン（アスペクト比は 6 : 1）を部分的に充填するべく、タングステンが約 800 （目標値）だけ堆積させられた。離れた箇所で活性化されたフッ素種（NF3 を流入させることで生成する）を用いて、以下のプロセス条件で堆積させたタングステンを凹状特徴部分からエッチングした。

【表 2】

処理	温度 (摂氏)	NF3 流量 (sccm)	圧力 (Torr)	エッチング時間 (秒)	除去された 厚み (概算値)
1	250	750	8	15	100
2	250	750	8	30	200
3	300	1375	6	7	200
4	300	1375	6	15	450
5	350	2000	8	4	250

堆積させられた層の上部分の約 10 % から 50 % 以上までを、エッチング処理によって除去した。トレンチラインの粒子の高さのバラツキを、エッチングプロセス 4 の前後で測定した。粒子の高さのバラツキは、エッチング処理によって、13.5 % から 6.3 % に減った。再度堆積を行った後、粒子の高さのバラツキは同等であることが分かった（最初の再堆積の後では 7.2 %、2 回目の再堆積の後では 5.7 %）。エッチング処理は最初以外実行されなかった。つまり、エッチング処理が実行されたのは 1 回のみで、最初の再堆積と 2 回目の再堆積との間では、エッチングを行わなかった。

【0058】

< 装置 >

図 10 は、本発明の実施形態に係るタングステン堆積プロセスを実行するのに適している処理システムを示すブロック図である。システム 1000 は、移送モジュール 1003 を備える。移送モジュール 1003 は、さまざまな反応モジュール間で処理対象の基板を移動させる際に、当該基板が汚染される危険性を最小限に抑えるべく、清潔で加圧された環境を提供する。移送モジュール 1003 には、本発明の実施形態に係る PNL 堆積および CVD を実行することができるマルチ・ステーション反応器 1009 が実装されている。チャンバ 1009 は、複数のステーション 1011、1013、1015 および 1017 を有するとしてよく、これらのステーション 1011、1013、1015 および 1017 は順次処理を実行するとしてよい。一例を挙げると、チャンバ 1009 は、ステーション 1011 で PNL 堆積を実行して、ステーション 1013 で核層処理を実行して、ステーション 1013 および 1015 で CVD 処理およびエッチング処理を行うように、構成され得る。これに代えて、エッチング処理は、CVD 堆積とは別のステーションで実行されるとしてよい。特定の実施形態によると、堆積処理およびエッチング処理は、別個のツールを用いて実行されるとしてよい。

【 0 0 5 9 】

移送モジュール 1 0 0 3 にはさらに、プラズマまたは化学（非プラズマ）事前洗浄を実行することができるシングル・ステーション・モジュールまたはマルチ・ステーション・モジュール 1 0 0 7 が 1 以上実装されているとしてよい。当該モジュールはさらに、他にもさまざまな処理を行うべく利用されるときとしてよい。例えば、ライン生成後窒化タングステン処理を実行するために用いられるとしてよい。システム 1 0 0 0 はさらに、処理の前後においてウェハが格納されるウェハソースモジュール 1 0 0 1 を 1 以上（この場合は 2 つ）備える。大気移送チャンバ 1 0 1 9 内の大気ロボット（不図示）はまず、ソースモジュール 1 0 0 1 からロードロック 1 0 2 1 へとウェハを移動させる。移送モジュール 1 0 0 3 内のウェハ移送デバイス（一般的には、ロボットアームユニット）が、ロードロック 1 0 2 1 と、移送モジュール 1 0 0 3 に実装されたモジュールとの間で、ウェハを移動させる。

10

【 0 0 6 0 】

図 1 1 は、エッチング処理に利用されるチャンバまたはステーションを示す概略図である。本発明に係る方法は、エッチング剤、例えばフッ素ベースのエッチング剤を、タングステンを堆積させるウェハを支持する台 1 1 0 8 を有する反応器またはチャンバ 1 1 0 0 に導入する段階を含む。フッ素原子が遠隔プラズマチャンバ 1 1 3 0 で生成される。動作について説明すると、フッ素含有ガス、例えば NF_3 を、バルブ 1 1 3 2 を介して遠隔プラズマチャンバ 1 1 3 0 に導入する。遠隔プラズマチャンバ 1 1 3 0 でフッ素原子が生成される。バルブ 1 1 3 4 を開放すると、原子種がシャワーヘッド 1 1 0 2 を介してチャンバへと導入される。図 1 1 が図示しているのは遠隔プラズマチャンバの一例に過ぎず、その他の装置または構成を利用するときとしてもよい。原子種は、チャンバに導入されて、上述したようにウェハに堆積させられたタングステン膜（不図示）をエッチングする。（当業者であれば、シャワーヘッドから反応器内に導入されるプラズマまたはガスには他の種も含まれていると理解するであろう。例えば、シャワーヘッドから堆積チャンバに導入される種には、フッ素原子以外に、 NF_3 および NF_x が含まれるとしてよい。イオンまたは電子が含まれている量は大きくない。圧力が高くなると、 NF_3 および F_2 が含まれる。）圧力を適切に調整することによって、シャワーヘッドは、所望されるフッ素原子エッチング剤および/またはフッ素分子エッチング剤の調整可能なソースとして機能する。尚、エッチングプロセスに先立って、ウェハにタングステン膜を堆積させるべく、堆積先駆体がシャワーヘッドに導入されるとしてよい。

20

30

【 0 0 6 1 】

センサ 1 1 2 6 は、反応器条件に関して情報を提供するべく利用され得るガスセンサ、圧力センサ等を表す。洗浄中に監視され得るチャンバセンサの例には、質量流量コントローラ、マノメータ等の圧力センサ、台に設置されているサーモカップル、およびチャンバ内の気体の有無を監視する赤外線検出器が含まれる。

【 0 0 6 2 】

タングステンがチャンバから除去されると、六フッ化タングステンが生成される。六フッ化タングステンは、センサ 1 1 2 6 によって感知され、エッチングの進行状態を示す。六フッ化タングステンは、排出口（不図示）を介して反応器から除去されて、洗浄が完了すると、センサが六フッ化タングステンを感知しなくなる。センサ 1 1 2 6 はさらに、チャンバ圧の値を得るべく圧力センサを含むとしてよい。

40

【 0 0 6 3 】

フッ素原子を生成するべく遠隔プラズマチャンバを用いる方法以外の方法によってチャンバにフッ素分子を供給して、上述したように、圧力を制御してフッ素原子とフッ素分子とを結合させるとしてよい。例えば、フッ素ガスは、フッ素ガス供給部からチャンバに供給されるときとしてよい。しかし、上述したようにフッ素原子およびフッ素分子の両方を用いる実施形態では、遠隔プラズマチャンバを利用すると、ステージ間の切り替えを簡単に行うことができるようになる。さらに、遠隔プラズマチャンバによって、システムへの流入ガスとして、フッ素分子よりも取り扱いが容易な NF_3 の利用が可能となる。特定の実施

50

形態では、フッ素原子の生成に、直接（インサイチュ）プラズマを利用するとしてよい。

【 0 0 6 4 】

特定の実施形態によると、システムコントローラ 1 1 2 4 は、堆積処理および除去処理において、プロセス条件を制御するべく利用される。コントローラは通常、1 以上のメモリデバイスおよび 1 以上のプロセッサを有する。プロセッサは、CPU またはコンピュータ、アナログおよび / またはデジタルの入出力接続、ステッパ・モータ・コントローラ・ボード等を含むとしてよい。

【 0 0 6 5 】

コントローラは、堆積装置の動作をすべて制御するとしてよい。システムコントローラは、タイミング、ガスの混合、チャンバ圧、チャンバ温度、ウェハ温度、RF 電力レベル、ウェハチャックまたはウェハ台の位置、およびその他の特定のプロセスのパラメータを制御するための命令列を含むシステム制御ソフトウェアを実行する。一部の実施形態では、コントローラと対応付けてメモリデバイスに記憶されているその他のコンピュータプログラムを利用するとしてよい。

【 0 0 6 6 】

通常、コントローラに対応付けてユーザインターフェースが設けられている。ユーザインターフェースは、ディスプレイスクリーン、装置および / またはプロセスの条件のグラフィカルソフトウェアによる表示、および、ポインティングデバイス、キーボード、タッチスクリーン、マイクロフォン等のユーザ入力デバイスを含むとしてよい。

【 0 0 6 7 】

プロセスシーケンスに含まれる堆積プロセスおよび除去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、従来のコンピュータ読み取り可能プログラミング言語のうちいずれの言語で記述されているとしてもよい。例えば、アセンブリ言語、C 言語、C ++ 言語、パスカル、フォートラン等がある。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は、プロセッサによって実行されて、プログラムで特定されるタスクを実施する。

【 0 0 6 8 】

コントローラのパラメータは、例えば、プロセス用のガスの組成および流量、温度、圧力、RF 電力レベルおよび低周波 RF 周波数等の遠隔プラズマ条件、エッチング剤の流量または分圧、冷却ガス圧力、およびチャンバ壁面温度などのプロセス条件に関する。このようなパラメータは、レシピとしてユーザに与えられ、ユーザインターフェースを用いて導入されるとしてよい。

【 0 0 6 9 】

プロセスを監視するための信号は、システムコントローラが有するアナログおよび / またはデジタルの入力接続部によって与えられるとしてよい。プロセスを制御するための信号は、堆積装置のアナログおよびデジタルの出力接続部から出力される。

【 0 0 7 0 】

システムソフトウェアの設計または設定は、さまざまに異なるとしてよい。例えば、さまざまなチャンバコンポーネントのサブルーチンまたは制御オブジェクトが、本発明に係る堆積プロセスを実行するために必要なチャンバコンポーネントの動作を制御するべく記述されるとしてよい。この目的を実現するためのプログラムまたはプログラム部分の例には、基板位置決めコード、プロセスガス制御コード、圧力制御コード、ヒータ制御コード、およびプラズマ制御コードが含まれる。

【 0 0 7 1 】

基板位置決めプログラムは、基板を台またはチャックにロードして、且つ、基板とチャンバ内の他の部分、例えばガス入口および / またはターゲットとの間の間隙を制御するために用いられるチャンバコンポーネントを制御するためのプログラムコードを含むとしてよい。プロセスガス制御プログラムは、ガスの組成及び流量を制御するためのコード、および、任意で、チャンバ内の圧力を安定化させるべく堆積に先立ってチャンバにガスを流入させるためのコードを含むとしてよい。圧力制御プログラムは、例えば、チャンバの排

10

20

30

40

50

気システム内のスロットルバルブを調節することによって、チャンバ内の圧力を制御するためのコードを含むとしてよい。ヒータ制御プログラムは、基板を加熱するべく利用される加熱部に対する電流を制御するためのコードを含むとしてよい。これに代えて、ヒータ制御プログラムは、ウェハチャックに対する熱伝導ガス、例えばヘリウムの分配を制御するとしてもよい。エッチング剤制御プログラムは、エッチング剤の流量および分圧、キャリアガスの流量および分圧、エッチング時間等を制御するためのコードを含むとしてよい。

【 0 0 7 2 】

堆積を実行している間に監視されるチャンバセンサの例を挙げると、質量流量コントローラ、マノメータ等の圧力センサ、および、台またはチャックに配置されているサーモカップルが含まれる。これらのセンサから得られたデータと共に、適切にプログラミングされたフィードバックアルゴリズムおよび制御アルゴリズムを用いて、所望のプロセス条件を維持するとしてよい。六フッ化タングステン等のエッチングの副産物を感知して、除去されたタングステンの量の目安を得るとしてよい。

【 0 0 7 3 】

上記の説明によると、本発明の実施形態は、1または複数のチャンバを備える半導体プロセスツールで実施される。

【 0 0 7 4 】

< 用途 >

本発明は、多くの異なる用途において、薄くて、且つ、抵抗率の低いタングステン層を堆積させるべく利用されるとしてよい。用途の1つとして、メモリチップおよびマイクロプロセッサ等の集積回路の配線が挙げられる。配線は、単一のメタライゼーション層に設けられる電流ラインで、長くて薄く平坦な構造である場合が多い。これらの配線は、(上述したプロセスを用いて)タングステン層を全面に堆積させ、続いて、通電タングステンラインの位置を画定するパターニング処理、および、タングステンライン以外の領域からタングステンを除去する処理を実行することによって形成されるとしてよい。

【 0 0 7 5 】

配線としての用途の主な例は、メモリチップのビットラインである。言うまでもなく、本発明の用途は、配線に限定されるものではなく、ビア、コンタクト等の、電子デバイスが一般的に有するタングステンから成る構造にも拡大される。

【 0 0 7 6 】

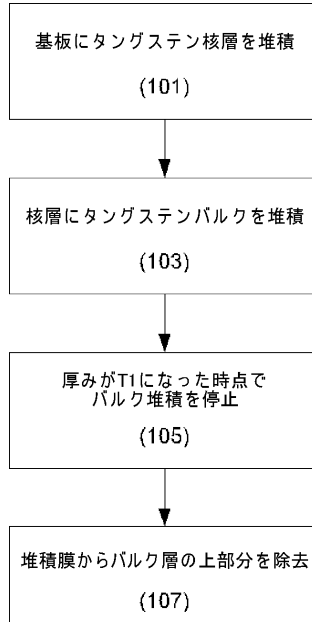
堆積プロセスをビットラインの形成に用いる特定の実施形態によると、タングステン膜の最終的な厚みは、500 から2000 の範囲内であり、堆積させる膜の厚みは500 から2500 の範囲内である。当該プロセスはさらに、必要に応じて、はるかに厚みが大い膜を堆積させるべく利用されるとしてよい。また上述したように、当該プロセスは、抵抗率が低い薄膜、例えば、厚みが100 から1000 の範囲内である膜を堆積させるべく利用されるとしてよい。本発明は概して、薄くて抵抗率が低いタングステン層が必要な環境において利用される。

【 0 0 7 7 】

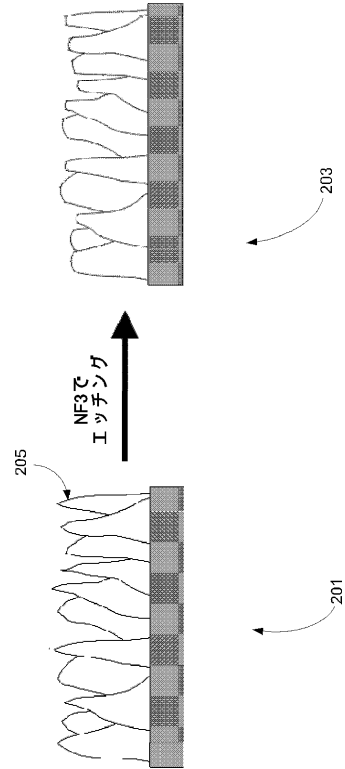
< その他の実施形態 >

幾つかの実施形態を挙げて本発明を説明してきたが、本発明の範囲には、上述した実施形態を変更、変形、置換したもの、および、上述した実施形態に代わる均等物も含まれる。また、本発明に係る方法および装置を実装する方法は上記のもの以外にも多数あると理解されたい。例えば、上記の説明では主にCVD堆積に言及したが、堆積-エッチング方法は、その他の種類のタングステン堆積で実行するとしてもよい。このため、本願特許請求の範囲を解釈する際には、このような、変更、変形、置換、代替均等物がすべて、本発明の真の精神および範囲に含まれることを留意されたい。

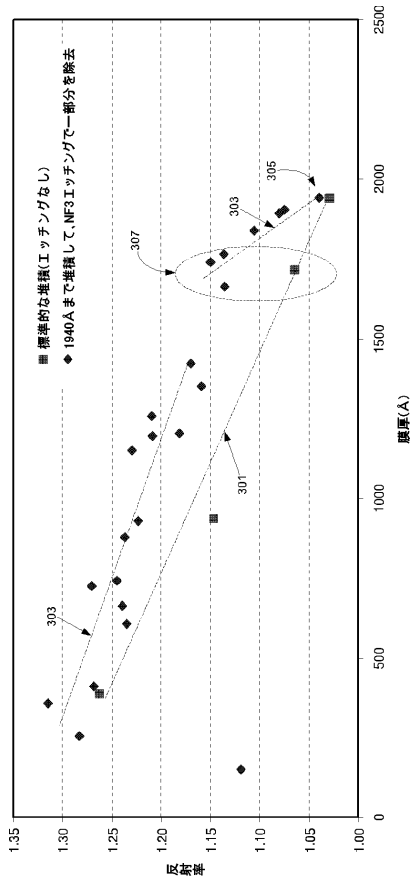
【図 1】



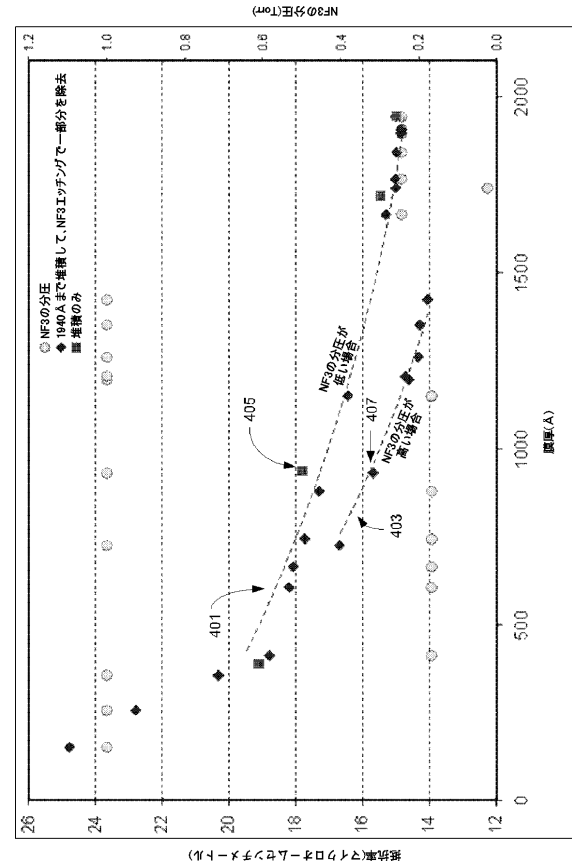
【図 2】



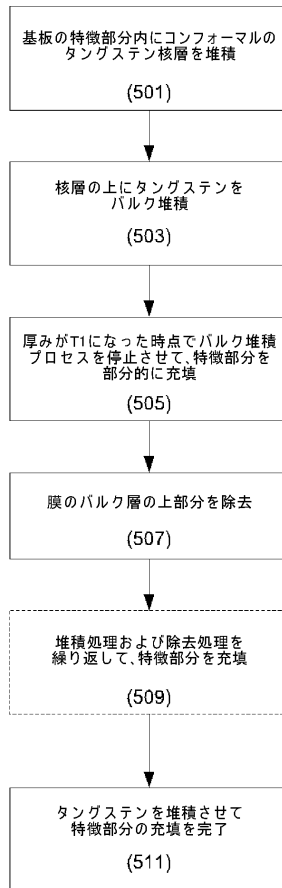
【図 3】



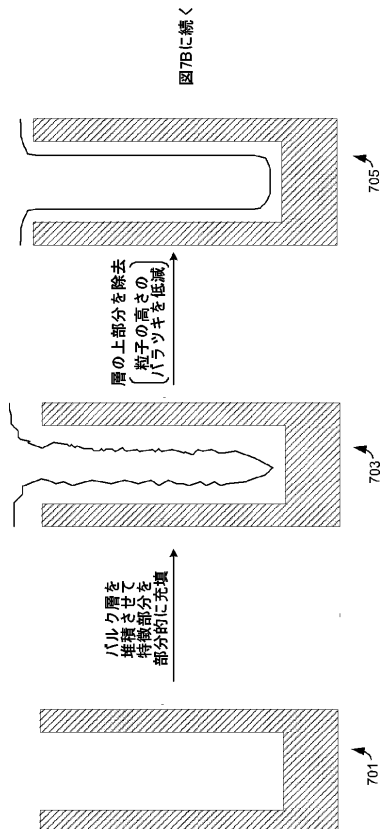
【図 4】



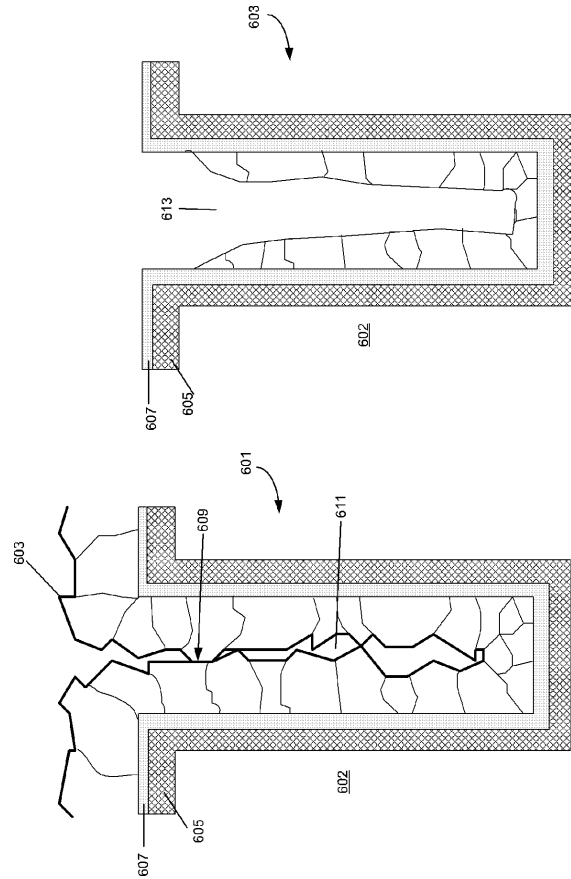
【図 5】



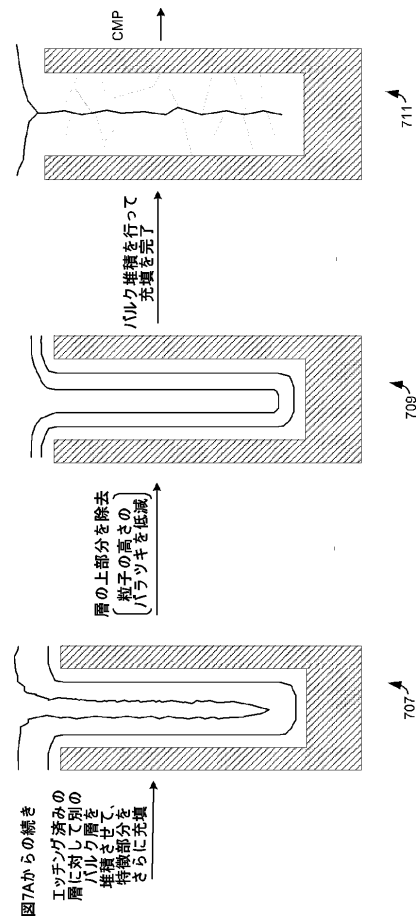
【図 7 A】



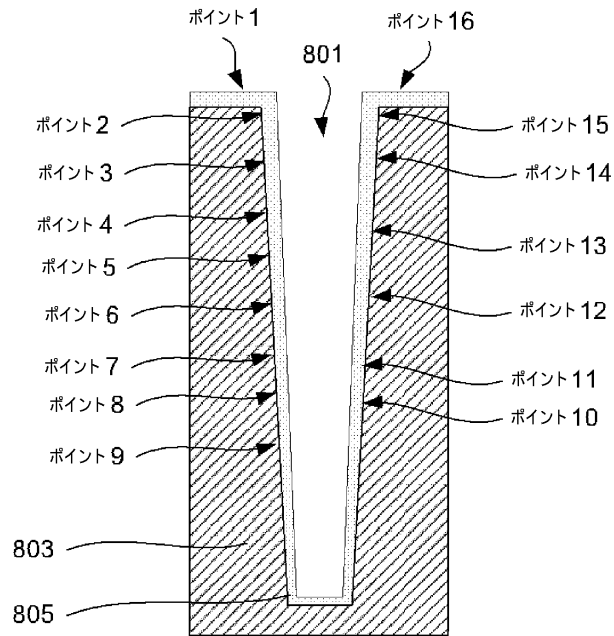
【図 6】



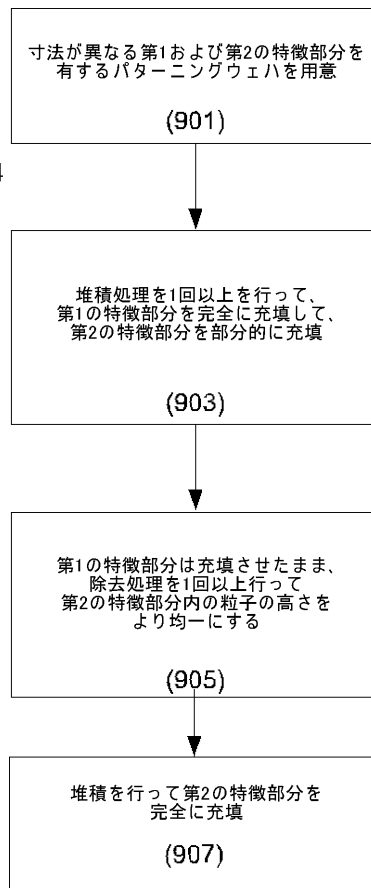
【図 7 B】



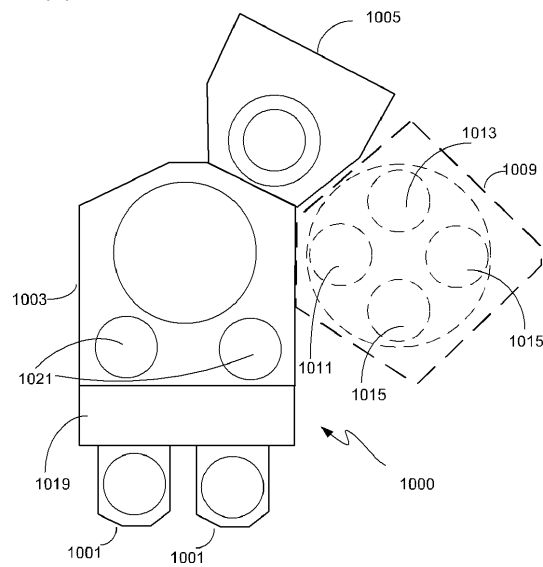
【 図 8 】



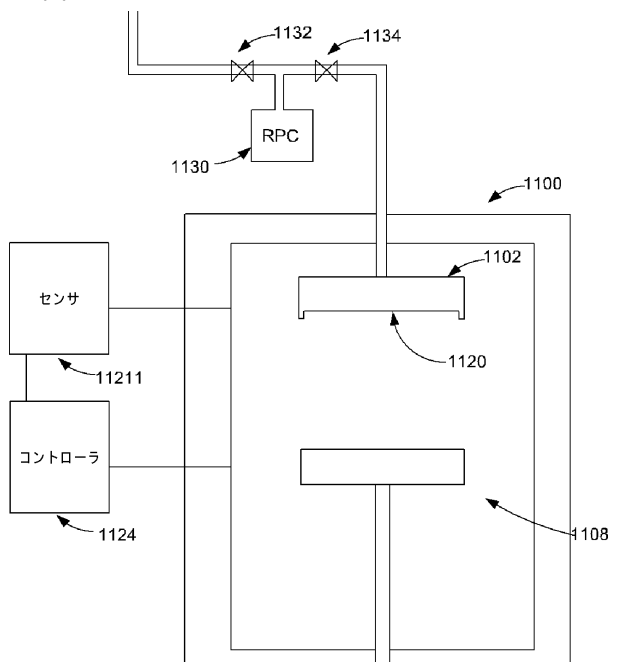
【 図 9 】



【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
H 0 1 L	21/3065	(2006.01)	H 0 1 L	21/302 1 0 5 B
C 2 3 C	16/14	(2006.01)	C 2 3 C	16/14

(72)発明者 フマーユーン、ラッシナ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 4 サン・ホセ, ノース・ファースト・ストリート,
 3 9 7 0 ノベルス・システムズ・インコーポレーテッド内

(72)発明者 ダネク、マイケル
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 3 4 サン・ホセ, ノース・ファースト・ストリート,
 3 9 7 0 ノベルス・システムズ・インコーポレーテッド内

審査官 河合 俊英

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 1 4 2 4 8 4 (J P , A)
 特開 2 0 0 2 - 0 0 9 0 1 7 (J P , A)
 特開平 0 9 - 3 2 6 4 3 6 (J P , A)
 特開平 0 7 - 2 2 6 3 9 3 (J P , A)
 特開平 0 4 - 0 5 6 1 3 0 (J P , A)
 特開 2 0 0 8 - 0 0 0 7 4 2 (J P , A)
 特開 2 0 0 3 - 0 0 7 6 7 7 (J P , A)
 特開 2 0 0 6 - 2 7 8 4 9 6 (J P , A)
 米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 2 5 4 6 2 3 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L	2 1 / 2 8 5
C 2 3 C	1 6 / 1 4
H 0 1 L	2 1 / 2 8
H 0 1 L	2 1 / 3 0 6 5
H 0 1 L	2 1 / 3 2 0 5
H 0 1 L	2 1 / 7 6 8
H 0 1 L	2 3 / 5 3 2