

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6219558号
(P6219558)

(45) 発行日 平成29年10月25日(2017.10.25)

(24) 登録日 平成29年10月6日(2017.10.6)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 105A
H01L 21/302 101C

請求項の数 14 外国語出願 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2012-194636 (P2012-194636)
 (22) 出願日 平成24年9月5日 (2012.9.5)
 (65) 公開番号 特開2013-80909 (P2013-80909A)
 (43) 公開日 平成25年5月2日 (2013.5.2)
 審査請求日 平成27年9月4日 (2015.9.4)
 (31) 優先権主張番号 13/226,087
 (32) 優先日 平成23年9月6日 (2011.9.6)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 592010081
 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
 (74) 代理人 110000028
 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 アンヌ・ル・ゴイル
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 945
 36 フレモント、ウォルナット・テラス
 , 639015

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3Dフラッシュ構造用のエッチングプロセス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ処理室において、ウェハ上でスタックを形成するシリコン系の複数の二重層の中にフィーチャをエッチングするための方法であって、

前記プラズマ処理室内にハイドロフルオロカーボンとNF₃とを含む主エッチングガスを流入させ、

30ミリトルから60ミリトルの第1の圧力を提供しながら、前記主エッチングガスをプラズマにし、

10未満のウェハ温度を維持し、

前記プラズマにより前記複数のシリコン系二重層のうちの複数の組を貫いてエッチングする間に、前記第1の圧力よりも低い第2の圧力まで圧力を降下させ、 10

前記複数の二重層のうち第1の複数の組がエッチングされた後に、前記主エッチングガスの前記流入を停止させる

方法。

【請求項 2】

前記主エッチングガスは、前記ウェハの第1の側に配置された上部電源に誘導結合電力を供給し、前記ウェハの前記第1の側と反対側の、前記ウェハの第2の側で下部電極にバイアス電力を供給することでプラズマにし、前記バイアス電力は100kHzから1MHzの間の周波数を有する請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記主エッティングガスの前記流入を停止させた後に、エッティングされていない残りの二重層をエッティングするためのオーバエッティングをさらに含み、該オーバエッティングは、

前記プラズマ処理室に、前記主エッティングガスよりも重合性が高く、 NF_3 を含むオーバエッティングガスを流入させること、

その後、ウェハ温度を、前記主エッティングの際のウェハ温度よりも上昇させることと、

前記オーバエッティングガスをプラズマにすることと、

前記オーバエッティングガスの前記流入を停止させることと、

を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記オーバエッティングの際には、前記オーバーエッティングガスをプラズマにするよりも前に、前記主エッティングの際の圧力よりも圧力を低下させることをさらに含む請求項 3 に記載の方法。 10

【請求項 5】

各々のシリコン系二重層は、ポリシリコン層と酸化ケイ素層とを含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記オーバーエッティングは、エッティング停止層に到達するまで行なわれる請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

前記オーバーエッティングガスは、 CH_3F と CH_4 を含み、前記オーバーエッチは、前記オーバーエッティングガスにおける CH_4 / CH_3F 比を調整することにより、ポリマー層の堆積品質を安定させる請求項 3 記載の方法。 20

【請求項 8】

前記シリコン二重層の各々は、ポリシリコン層と酸化珪素層とを備える請求項 1 記載の方法。

【請求項 9】

プラズマ処理チャンバ内のウェハの二重層をエッティングする方法であって、

最初の 12 組のシリコン二重層を含む、少なくとも 16 組のシリコン二重層を備えたウェハをプラズマ処理チャンバ内に用意し、

前記プラズマ処理チャンバ内に、主エッティングガスを流入させ、

第 1 の圧力を提供しながら、前記主エッティングガスをプラズマにし、

20 未満のウェハ温度を維持し、

前記 12 組のシリコン二重層をエッティングする際には、前記第 1 の圧力より低い第 2 の圧力まで、少なくとも 6 回に亘って圧力を漸減し、

前記 16 組のシリコン二重層のうち最初の 12 組のシリコン二重層がエッティングされた後に、前記主エッティングガスの前記流入を停止させる

方法。

【請求項 10】

請求項 9 記載の方法であって、

前記シリコン二重層の各々は、ポリシリコン層と酸化珪素層とを備え、

前記主エッティングガスは、ハイドロフルオロカーボンと NF_3 とを含み、

前記主エッティングガスをプラズマにすることは、前記ウェハの第 1 の側に配置された上部電源に誘導結合電力を供給することと、前記ウェハの前記第 1 の側と反対側の、前記ウェハの第 2 の側で下部電極にバイアス電力を供給することと、を含み、前記バイアス電力は 100 kHz から 1 MHz の間の周波数を有し、前記第 1 の圧力は、30 ミリトルから 60 ミリトルの間であり、前記ウェハ温度は、10 未満である

方法。

【請求項 11】

前記エッティングにより前記シリコン二重層に形成される特徴は、アスペクト比 20 : 1 のピアである請求項 10 記載の方法。 50

【請求項 1 2】

前記主エッチングガスの前記流入を停止させた後に、エッチングされていない残りの二重層をエッチングするためのオーバエッチングをさらに含み、該オーバエッチングは、

前記プラズマ処理室に、前記主エッチングガスよりも重合性が高く、N F₃を含むオーバエッチングガスを流入させることと、

前記オーバエッチングガスをプラズマにすることと、

前記オーバエッチングガスの前記流入を停止させることと、
を含む請求項 1 1 記載の方法。

【請求項 1 3】

前記オーバエッチングでは、前記主エッチングからウェハ温度を上昇させることと、

10

を含む請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記オーバエッチングは、前記主エッチングから圧力を低下させることをさらに含む請求項 1 3 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、半導体デバイスの形成に関する。より具体的には、本発明は、3次元フラッシュ構造の半導体デバイスの形成に関するものである。

【背景技術】

20

【0 0 0 2】

半導体ウェハ処理では、高アスペクト比ピアが必要となる場合がある。例えば、3次元フラッシュメモリデバイスでは、複数の二重層のスタックにピアが形成される。そのようなデバイスの例は、東芝 BiCS (Bit Cost Scalable : ビットコスト・スケーラブル) である。

【発明の概要】**【0 0 0 3】**

本発明の目的に従って上記のことを達成するため、プラズマ処理室において、ウェハ上でスタックを形成するシリコン系の複数の二重層の中にフィーチャをエッチングするための方法を提供する。プラズマ処理室に主エッチングガスが流入される。第1の圧力を提供しながら、主エッチングガスがプラズマにされる。20 未満のウェハ温度が維持される。プラズマにより上記複数のシリコン系二重層のうちの複数の組を貫いてエッチングする間に、第1の圧力よりも低い第2の圧力まで圧力を降下させる。上記複数の二重層のうち第1の複数の組がエッチングされた後に、主エッチングガスの流入を停止させる。

30

【0 0 0 4】

本発明の別の態様では、プラズマ処理室において、ウェハ上でスタックを形成するシリコン系の複数の二重層の中にフィーチャをエッチングするための方法を提供する。プラズマ処理室に、フッ化炭素とN F₃とを含む主エッチングガスが流入される。30ミリトルから60ミリトルの間の第1の圧力を提供しながら、主エッチングガスがプラズマにされる。10 未満のウェハ温度が維持される。プラズマにより上記複数のシリコン系二重層のうちの複数の組を貫いてエッチングする間に、第1の圧力よりも低い第2の圧力まで圧力を降下させる。上記複数の二重層のうち第1の複数の組がエッチングされた後に、主エッチングガスの流入を停止させる。

40

【0 0 0 5】

本発明のこれらおよび他の特徴について、本発明の以下の詳細な説明において、以下の図面を併用して、より詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】**【0 0 0 6】**

本発明を、限定するものではない例により添付の図面に示しており、それらの図面では、類似の要素を類似の参照符号で示している。

50

【0007】

【図1】本発明の一実施形態において用いることができるプロセスの上位フローチャートである。

【0008】

【図2A】本発明の一実施形態により形成されるメモリスタックの概略断面図である。

【図2B】本発明の一実施形態により形成されるメモリスタックの概略断面図である。

【図2C】本発明の一実施形態により形成されるメモリスタックの概略断面図である。

【0009】

【図3】本発明の実施において使用することができるプラズマ処理室の概略図である。

【0010】

【図4】本発明の実施形態において用いられるコントローラを実現するのに適したコンピュータシステムを示す構成図である。

【0011】

【図5】2通りの異なる圧力におけるエッティング速度対エッティング深さの関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】**【0012】**

本発明について、添付の図面に示すいくつかの好ましい実施形態を参照して、以下で詳細に説明する。本発明についての完全な理解を与えるため、様々な具体的な詳細が以下の説明において記載される。しかしながら、これら特定の詳細の一部または全部がなくても本発明を実施できることは、当業者には明らかであろう。また、本発明を必要に不明瞭にすることがないよう、周知の工程段階および／または構造については詳細に記載していない。

【0013】

高アスペクト比の孔のエッティングでは、CD制御を確保し、弓形プロファイルおよびアンダーカット・プロファイルを回避するため、側壁保護が必要である。しかしながら、ポリマーが多くなると、ピンチオフ断面形状およびエッティングの停止につながることになる。高アスペクト比では、狭視野角であることによって、エッティング表面に到達する反応種の量が大幅に減少する。イオンは、孔の内部でのエッティング副産物もしくはエッチャントとの衝突または孔の側壁との衝突によって、エネルギーを失いやすく、これにより、エッティング速度が低下する。これは、アスペクト比依存エッティング (Aspect Ratio Dependent Etching) と呼ばれる。イオンエネルギーを高めることは、イオンの方向性を維持し、側壁での過度の損失を回避するための助けとなり得るが、マスク選択性とのトレードオフとなる。また、TCPを増加させることによっても、エッチャント種、イオン種、および中性種がより多く提供される。しかしながら、孔への反応拡散によってエッティング速度は制限されるので、TCPを増加させることによってシステムティックにエッティング速度が高くなることはない。

【0014】

理解を助けるため、図1は、本発明の一実施形態において用いることができるプロセスの上位フローチャートであり、これにより、シリコン系の二重層のスタックに高アスペクト比ビアを形成する。ウェハ上のシリコン系の複数の二重層のスタックにマスクが形成される(ステップ104)。ウェハが配置されているプラズマ処理室の中に主エッティングガスを流入させることによって、主エッティング工程が開始される(ステップ108)。主エッティングガスは、第1の圧力でプラズマにされる(ステップ112)。ウェハは、20未満の温度に維持される(ステップ116)。上記複数の二重層のうちの一部がエッティングされる間に、第1の圧力よりも低い第2の圧力まで圧力を降下させる(ステップ120)。主エッティングガスの流れを停止させる(ステップ124)。そして、プラズマ処理室にオーバエッティングガスを流入させることにより、オーバエッティング工程を提供することができる(ステップ128)。オーバエッティングガスは、主エッティングガスよりも重合性の高いものである。ウェハ温度を上昇させる(ステップ132)。処理室圧力を低下させ

10

20

30

40

50

る（ステップ136）。オーバエッティングガスからプラズマを発生させ（ステップ140）、これにより、複数の二重層のエッティングを完了させる。オーバエッティングガスを停止させる（ステップ144）。

【0015】

[実施例]

本発明の実施形態の一例では、ウェハ基板上でスタックを形成するシリコン系の複数の二重層の中に、高アスペクト比ピアをエッティングする。各々の二重層は、好ましくは20～40nmの厚さを有している。複数の二重層の上にマスクが形成される（ステップ104）。図2Aは、ウェハ212上でメモリスタック208を構成する複数の二重層の上に形成されたマスク204の断面図である。本実施形態では、複数の二重層の各々の二重層は、ポリシリコンの層220の下の酸化ケイ素（SiO）の層216によって形成されている。本実施形態では、マスク204は、アモルファスカーボンである。エッティング停止層など1つまたは複数の層を、スタック208とウェハ212との間に配置してもよく、あるいは、ウェハ212をランディング層として用いてもよい。メモリスタック208とマスク204との間に1つまたは複数の層を配置することができる。

【0016】

ウェハ212は、後に続くステップを実行するため、処理ツールの中に配置することができる。図3は、本発明の一実施形態によりシリコンウェハのエッティングプロセスを実行するために使用することができるプラズマ処理システム300の一例を概略的に示している。プラズマ処理システム300は、プラズマ処理室304をその中に有するプラズマ反応器302を備えている。整合回路308により調整されるプラズマ電源306によって、電力窓312の近くに配置されたTCPコイル310に電力を供給し、これにより誘導結合電力を供給することで、プラズマ処理室304においてプラズマ314を発生させる。TCPコイル（上部電源）310は、処理室304内で均等拡散プロファイルを生成するように構成することができる。例えば、TCPコイル310は、プラズマ314にトロイダル電力分布を生成するように構成することができる。電力窓312は、TCPコイル310からプラズマ室304にエネルギーを伝えることを可能にしながら、TCPコイル310をプラズマ室304から切り離すように設けられている。整合回路318により調整されるウェハ・バイアス電圧電源316によって電極320に電力を供給し、これにより、電極320に支持されたウェハ322にバイアス電圧を設定する。コントローラ324は、プラズマ電源306およびウェハ・バイアス電圧電源316のためのポイントを設定する。

【0017】

プラズマ電源306およびウェハ・バイアス電圧電源316は、例えば、13.56MHz、27MHz、2MHz、400kHz、またはそれらの組み合わせなど、特定の無線周波数で動作するように構成することができる。プラズマ電源306およびウェハ・バイアス電源316は、所望のプロセス性能を実現する範囲の電力を供給するのに適当な規模のものとすることができます。例えば、本発明の一実施形態では、プラズマ電源306は、300～10000ワットの範囲の電力を供給するものとすることができます、ウェハ・バイアス電圧電源316は、10～1000Vの範囲のバイアス電圧を供給するものとすることができます。また、TCPコイル310および/または電極320は、2つ以上のサブコイルまたはサブ電極から成るものであってもよく、それらは、単一の電源により電力供給されるか、または複数の電源により電力供給することができる。

【0018】

図3に示すように、プラズマ処理システム300は、さらに、ガス源/ガス供給機構330を備えている。ガス源は、主エッティングガス源332と、オーバエッティングガス源334と、またオプションで追加ガス源336を含んでいる。主エッティングガスは、オーバエッティングガスと同じ成分を一部含んでいることがある。このような場合には、個別の主エッティングガス源とオーバエッティングガス源を備える代わりに、後述のように、ガス源により、主エッティングガスおよびオーバエッティングガスの様々な成分を供給する。ガス源3

10

20

30

40

50

32、334、336は、シャワーヘッド340などのガス注入口を介して処理室304と流体接続されている。ガス注入口は、処理室304内のいずれかの有効な場所に配置することができ、また、ガスを注入するための任意の形態をとることができる。しかしながら、好ましくは、ガス注入口は、処理室304内の複数のゾーンへのガスの流れをそれぞれ個別に調整することができる“調整可能”ガス注入プロファイルを生成するように構成することができる。処理ガスおよび副生成物は、プラズマ処理室304内を特定の圧力に維持するためにも機能する圧力調整バルブ342とポンプ344によって、処理室304から取り除かれる。ガス源／ガス供給機構330は、コントローラ324によって制御される。本発明の実施形態の実施には、ラムリサーチ(L a m R e s e a r c h)社製のKiyōを使用することができる。好ましくは、処理室は、ACMEコーティング(イットリウム被覆)が施された酸化アルミニウム被覆表面を有している。

【0019】

図4は、本発明の実施形態において用いられるコントローラ324を実現するのに適したコンピュータシステム400を示す上位ブロック図である。コンピュータシステムは、集積回路、プリント回路基板、小型携帯端末から、巨大なスーパーコンピュータまで、数多くの物理的形態をとることができる。コンピュータシステム400は、1つまたは複数のプロセッサ402を備えており、さらに、(グラフィックス、テキスト、およびその他のデータの表示用の)電子表示装置404、メインメモリ406(例えば、ランダムアクセスメモリ(RAM))、記憶装置408(例えば、ハードディスクドライブ)、リムーバブル記憶装置410(例えば、光ディスクドライブ)、ユーザインタフェース・デバイス412(例えば、キーボード、タッチスクリーン、キーパッド、マウスまたは他のポイントティングデバイスなど)、および通信インターフェース414(例えば、無線ネットワーク・インターフェース)を備えることができる。通信インターフェース414によって、コンピュータシステム400と外部装置との間でリンクを介したソフトウェアおよびデータの転送が可能となる。システムは、さらに、上記のデバイス/モジュールが接続される通信インフラ416(例えば、通信バス、クロスオーバーバー、またはネットワーク)を含むこともできる。

【0020】

通信インターフェース414を介して転送される情報は、ワイヤもしくはケーブル、光ファイバー、電話回線、携帯電話リンク、無線周波数リンク、および/または他の通信チャネルを用いて実現することができる信号を伝送する通信リンクを介して、通信インターフェース414による受信が可能な、電子信号、電磁信号、光信号、または他の信号といった信号の形式とすることができます。このような通信インターフェースによって、1つまたは複数のプロセッサ402は、上記方法の手順を実行する過程でネットワークから情報を受信したり、あるいはネットワークに情報を出力したりすることがあり得ると考えられる。また、本発明の実施形態の方法は、プロセッサで単独で実行してもよく、あるいはインターネットなどのネットワークを介して処理の一部を共有する遠隔プロセッサと連携して実行してもよい。

【0021】

“非一時的コンピュータ読み取り可能媒体”という用語は、一般に、メインメモリ、二次メモリ、リムーバブルストレージなどの媒体、ハードディスク、フラッシュメモリ、デイスクドライブメモリ、CD-ROMなどの記憶装置、および他の形態の永続メモリを指して用いられており、搬送波または信号などの一時的な対象をカバーするものと解釈されるべきではない。コンピュータコードの例には、コンパイラにより生成されるような機械語コード、およびコンピュータによりインタプリタ用いて実行される高級言語コードを含むファイルが含まれる。コンピュータ読み取り可能媒体は、搬送波で具現化されるコンピュータデータ信号により伝送され、プロセッサにより実行可能な命令列を表すコンピュータコードであってもよい。

【0022】

主エッチングを用いて、シリコン系の二重層の中にフィーチャをエッチングする。本例

10

20

30

40

50

では、フィーチャは、酸化ケイ素とポリシリコンの二重層の中にエッチングされるピアである。主エッチングガスが、ガス源330からプラズマ処理室304に流入される（ステップ108）。本例では、主エッチングガス流は、20～100 sccmのCH₂F₂と、50～300 sccmのN₂と、1～200 sccmのNF₃である。好ましくは、主エッチングガスは、フッ化炭素ガスとNF₃を含んでいる。より好ましくは、フッ化炭素ガスは、ハイドロフルオロカーボンガスである。主エッチングガスは、プラズマにされる（ステップ112）。本例では、TCPコイル310によって、13.6 MHzで1,000～2,000ワットのRF電力が供給される。下部電極320によって、400 kHzで100～700ボルトのバイアスが供給される。処理室圧力は、40ミリトルに設定される。ウェハ温度は、20℃未満に維持される（ステップ116）。本例では、ウェハ温度は0℃に維持される。

【0023】

圧力を降下させる（ステップ120）。本例では、圧力を、40ミリトルから10ミリトルに降下させる。16組の二重層のスタックの場合、好ましくは、圧力を降下させる間に少なくとも4通りの異なる圧力が提供される。より好ましくは、圧力を降下させる間に少なくとも6通りの異なる圧力が提供される。最も好ましくは、その降下は、連続的降下である。本例では、40ミリトルと10ミリトルの圧力エンドポイントが提供される。降下させる際の少なくとも6通りの異なる主エッチング圧力は、エンドポイント間での線形または双曲線形の降下によって提供される。主エッチングガスの流れが停止される（ステップ124）。

【0024】

図2Bは、1回の主エッチング工程を用いて複数の二重層をエッチングすることでエッチング・フィーチャ228が形成された後のスタックの断面図である。本例では、主エッチングによって、テーパ断面形状を提供し、16組の二重層のうち12組を貫いてエッチングする。本例では、結果として得られる断面形状はテーパ状ではあるが、主エッチングによって高速エッチングが提供されるので、主エッチングを用いて二重層のほぼ全てを貫いてエッチングされる。主エッチングを用いて二重層の全てを貫いてエッチングしない主な理由は、二重層のエッチングと下位層のエッチングとの間の選択性が低いためである。もし二重層の全てを主エッチングによりエッチングした場合は、低い選択性に起因して、ウェハ212である下位層のエッチングが生じることがある。図2Bは、一方のエッチング・フィーチャが他方よりも深いことを示している。主エッチングを用いて二重層の全てをエッチングすることはない別の理由は、主エッチングによる不均一なエッチングによって、ウェハ212である下位層のエッチングが引き起こされないようにするためにある。

【0025】

本例では、オーバエッチングを用いてエッチング・フィーチャを完成させる。オーバエッチングでは、主エッチングガスとは異なるオーバエッチングガスをプラズマ処理室内に流入させる（ステップ128）。一般に、オーバエッチングガスは、主エッチングガスよりも重合性が高いものである。これは、炭素成分を、より高い濃度とすることによって実現される。配合の一例では、オーバエッチングガス流は、0～100 sccmのCH₂F₂、1～200 sccmのNF₃、0～100 sccmのCH₃F、および0～100 sccmのCH₄を含んでいる。

【0026】

ウェハ温度を上昇させる（ステップ132）。本例では、ウェハ温度を20℃まで上昇させる。処理室圧力を低下させる（ステップ136）。本例では、処理室圧力を5ミリトルまで減少させる。オーバエッチングガスは、プラズマにされる（ステップ140）。本例では、TCPコイル310によって、13.6 MHzで1,000～2,000ワットのRF電力が供給される。下部電極320によって、400 kHzで100～700ボルトのバイアスが供給される。オーバエッチングガスの流れが停止される（ステップ144）。

【0027】

10

20

30

40

50

図2Cは、オーバエッティングが完了した後のスタックの断面図である。オーバエッティングを用いて残りの二重層を貫いてエッティングすることで、エッティング・フィーチャを、ウェハ212である下位層に届くように、また、エッティング・フィーチャの上部を広げることなくエッティング・フィーチャのテーパ状底部を広げるようにして、完成させる。これによって、上から下まで、より均一なエッティング・フィーチャが提供される。

【0028】

圧力を降下させることで、アスペクト比依存エッティングが軽減されることが分かっており、これによって、エッティングの停止が回避されると共に、エッティング中にバイアスを高める必要性が排除または低減され、これにより、エッティングマスク選択性の低下が回避される。好ましくは、エッティング中のバイアスは一定である。

10

【0029】

図5は、実験により求められた、40ミリトルの場合と10ミリトルの場合の、縦軸のエッティング速度対横軸のエッティング深さのグラフである。結果は、圧力およびアスペクト比がエッティング速度に及ぼす影響を示している。高圧で低アスペクト比のときには、孔エッティング速度は高速である。高圧では、アスペクト比が高くなるにつれて、エッティング速度は遅くなり、最終的にゼロに達することが分かった。実験によって、低圧で低アスペクト比のときには、エッティングが遅いことが分かった。アスペクト比が高くなるにつれて、低圧エッティング速度は、飽和状態に達するまで増加する。低圧では平均自由行程が増加する。本発明は、アスペクト比依存エッティング速度を排除する降下を用いて、高圧で低アスペクト比のエッティング速度がより高速であることと、低圧で高アスペクト比のエッティング速度がより高速であることを利用する。

20

【0030】

圧力の降下は、線形降下のような連続関数であってもよいし、あるいは段階的な降下であってもよい。降下は、主エッティング時間の大部分にわたって生じることが好ましい。例えば12組の二重層がエッティングされる場合、少なくとも6組の二重層をエッティングする間にわたって、降下が生じることが好ましい。降下が段階的である場合は、二重層の組数の少なくとも半分の段階数の降下であることが好ましい。例えば12組の二重層がエッティングされる場合には、降下過程で少なくとも6通りの異なる圧力が提供される。好ましくは、主エッティング圧力を30から60ミリトルの間の圧力で開始させ、これにより、初期の高いエッティング速度を提供する。圧力は、2ミリトルの低さまで降下させることができる。

30

【0031】

エッティング・フィーチャは、トレンチまたはビアとすることができますが、本発明は高アスペクト比エッティングを提供するものであるため、エッティング・フィーチャはビアであることが好ましい。好ましくは、ビアは、80nm以下の幅を有するものである。より好ましくは、ビアは20から80nmの間の幅を有する。さらに好ましくは、ビアは45から60nmの間の幅を有する。ビアの深さは、好ましくは1.4ミクロンより大きい。好ましくは、ビアの幅に対するビアの深さのアスペクト比は、少なくとも20:1である。より好ましくは、アスペクト比は、少なくとも35:1である。

【0032】

40

上記の例は16組の二重層を有するものであるが、本発明の他の実施形態では、32組または64組の二重層など、16組より多くの二重層を有していてもよい。

【0033】

好ましくは、主エッティング中のウェハ温度は、20以下である。より好ましくは、主エッティング中のウェハ温度は、10以下である。

【0034】

NF_3 は、ポリシリコンと酸化ケイ素の両方をエッティングすることができる。好ましくは CH_2F_2 であるフッ化炭素は、ポリマーを形成し、これによって自らエッティング停止を引き起こすことになる。 NF_3 / CH_2F_2 ガス比を調整することによって、エッティング対堆積の良好な制御が提供される。 CH_2F_2 は、酸化ケイ素をエッティングするのに使用され

50

る C F₂を提供するために用いられる。20 以下の、より好ましくは 10 以下のウェハ温度とすることで、付着係数の増加によって、より多くの C F₂が酸化ケイ素に到達すると共に形成されることが分かっており、これが酸化ケイ素のエッティング加わることで、酸化ケイ素のエッティング速度が増加する。さらには、エッティング選択性が向上する。表面上でのそのようなポリマーの形成によって、ポリシリコンのエッティング速度は低下するが、ビア孔のエッティングを持続させるのに十分に高いエッティング速度が維持される。C H₂ F₂の流量は、好ましくは、10 sccmから 100 sccmの間である。N F₃の流量は、好ましくは、20 sccmから 80 sccmの間である。N F₃ / C H₂ F₂の流量比は、好ましくは、1 : 1 から 1 : 2 の間である。

【0035】

10

好ましくは、主エッティング中には、100 kHz から 1 MHz の間の周波数でバイアスが供給される。より好ましくは、バイアスは、300 kHz から 500 kHz の間の周波数で供給される。最も好ましくは、バイアスは、約 400 kHz の周波数で供給される。バイアスは、好ましくは、500 ボルトから 700 ボルトの間に維持される。より低い周波数のバイアスによって、より高いエネルギーのイオンが提供され、これによって、ビアの底部での CD の低減が制限されることにより、主エッティング工程が向上することが分かっている。好ましい実施形態では、圧力を降下させる際に、電力が減少し電圧が一定に保たれるように、バイアス制御は電圧モードで提供される。もしバイアス制御が電力モードで提供されると、圧力を降下させる際にバイアス電圧が減少し、これによってエッティング速度が低下することになる。

20

【0036】

好ましくは、主エッティングでは、1回のエッティングで、二重層のうち半分から全てがエッティングされる。より好ましくは、主エッティングでは、1回のエッティングで、全ての二重層のうちの 8 分の 5 から 8 分の 7 がエッティングされる。最も好ましくは、主エッティングでは、1回のエッティングで、二重層のうちの約 4 分の 3 がエッティングされる。オーバエッティングでは、1回のエッティングで、残りの二重層がエッティングされる。

【0037】

30

オーバエッティングでは、エッティング・フィーチャの底部でのエッティングを向上させるため、さらに圧力が下げられる。より低い圧力によって平均自由行程が増加して、これにより、より多くのエッチャントがフィーチャの底部まで移動することが可能になる。エッティング中の圧力降下の底が十分に低い場合、本発明の一実施形態では、圧力は、その低い圧力に維持され、オーバーエッチ中にさらに降下されることはない。低い圧力は、マスクの上に過度にポリマーが堆積して、ビアを閉鎖すると共にエッティング停止を生じることになることを回避するための助けにもなる。

【0038】

オーバエッティング用の配合の例では、N F₃ / C H₃ F ガス比を用いて、エッティング対堆積およびマスク選択性を制御する。加えて、C H₄ガスが、マスクを保護し、マスクのファセッティングを低減するための、追加パッシバントとなる。堆積量は、フッ素と炭素の比率によって制御される。C H₃ F / C H₄比は、C F_x、C H_xのようなポリマーから、より高いエッティング耐性を通常有する C-C のような、よりカーボンリッチなポリマーまで、堆積品質を制御するためのノブとして作用する。N F₃ / C H₃ F の流量比は、好ましくは、3 : 1 から 1 : 3 の間である。

40

【0039】

オーバエッティング中は、ウェハ温度は少なくとも 20 であることが好ましい。より高い温度によって、エッティング・フィーチャの底部でのポリマーの堆積が減少し、これにより、ピンチオフ断面形状およびエッティングの停止が回避される。主エッティングにおいて C H₂ F₂が酸化ケイ素のエッティングに用いられるようにして、オーバエッティング化学においてポリマー添加剤が酸化ケイ素のエッティングに用いられるわけではないので、オーバエッティング化学は、理論に縛られることなく、より重合性の高いものとすることが可能である。オーバエッティングでは、その代わりに、エッティングが、より多くフッ素に依存する。才

50

ーバエッティングに用いられるポリマー添加剤は、代わりに、主として、マスクを保護するための保護ポリマー層を形成するためのものである。オーバエッティングの際には、アスペクト比が高いので、ポリマーがエッティング・フィーチャの底部にまで達しない。そこで、エッティング・フィーチャの上部には、エッティング・フィーチャの底部よりも多くのポリマー保護が提供され、これにより、エッティング・フィーチャの上部を広げることなく、エッティング・フィーチャの底部をエッティングして広げることを可能にしている。従来のオーバエッティングの配合では、より高い圧力で、より低い重合性の化学物質を使用することになる。

【0040】

好ましくは、オーバエッティング中のバイアスは、100 kHzから1 MHzの間の周波数で供給される。より好ましくは、バイアスは、300 kHzから500 kHzの間の周波数で供給される。最も好ましくは、バイアスは、約400 kHzの周波数で供給される。好ましくは、バイアスは、300ボルトから500ボルトの間に維持される。この電圧範囲は、マスクの過度のスパッタリングを回避しながらエッティングを維持するために好ましい。

10

【0041】

主エッティングとオーバエッティングの両方において、TCPコイル310は、好ましくは、1000ワットから2500ワットの間のRF電力を供給する。より好ましくは、TCPコイル310は、1500ワットから2000ワットの間のRF電力を供給する。TCP電力を増加させることは、飽和状態に達するまでエッティング速度を高める助けとなる。本例では、2000ワットのTCPで、飽和状態が見られた。また、本発明では、二重層の酸化ケイ素とポリシリコンの層の間にスカラッピングがほとんど見られないことも分かっている。主エッティングとその後に続くオーバエッティングにより少なくとも16組の二重層をエッティングする本発明のシングルステップ・プロセスは、各サイクルがポリシリコン・エッティング工程と酸化物エッティング工程を含む少なくとも16サイクルにより少なくとも16組の二重層のエッティングを提供するプロセスに比べて、優れている。1つの利点として、少なくとも16組の二重層をエッティングする本発明のシングルステップは、より高いスループット、より良好な調整可能性、および上部形状制御を有していることがある。

20

【0042】

本発明の他の実施形態では、主エッティング工程とオーバエッティング工程との間に他の工程が生じ得る。例えば、主エッティング工程とオーバエッティング工程との間に1つまたは複数の追加工程が生じることがある。そのような追加工程は、主エッティング工程とオーバエッティング工程との間の遷移工程とすることができる。そのような遷移工程は、主エッティング工程とオーバエッティング工程の特徴を併せ持つことができる。

30

【0043】

本発明の他の実施形態では、各々の二重層は、酸化ケイ素層と窒化ケイ素層とを含むことができる。他の実施形態では、二重層は1つまたは複数の追加層を含んでいてもよく、これにより、二重層は3つまたは4つの層を有することができる。

【0044】

本発明について、いくつかの好適な実施形態によって説明したが、本発明の範囲内に含まれるものとして、変更、置換、および種々の代替均等物がある。また、本発明の方法および装置を実現する数多くの代替的方法があることにも、留意すべきである。よって、以下の添付の請求項は、本発明の真の趣旨および範囲から逸脱しないあらゆる変更、置換、および種々の代替均等物を含むものと解釈されるべきである。例えば、本発明は、以下の適用例として実施することができる。

40

[適用例1] プラズマ処理室において、ウェハ上でスタッカを形成するシリコン系の複数の二重層の中にフィーチャをエッティングするための方法であって、

前記プラズマ処理室内に主エッティングガスを流入させ、

第1の圧力を提供しながら、前記主エッティングガスをプラズマにし、

20 未満のウェハ温度を維持し、

50

前記プラズマにより前記複数のシリコン系二重層のうちの複数の組を貫いてエッチングする間に、前記第1の圧力よりも低い第2の圧力まで圧力を降下させ、
前記複数の二重層のうち第1の複数の組がエッチングされた後に、前記主エッチングガスの前記流入を停止させる
方法。

[適用例2] 前記主エッチングガスは、フッ化炭素とNF₃とを含む適用例1に記載の方法。

[適用例3] 前記ウェハ温度の維持では、10未満のウェハ温度を維持する適用例2に記載の方法。

[適用例4] 前記第1の圧力は、30ミリトルから60ミリトルの間である適用例3に記載の方法。 10

[適用例5] 前記フッ化炭素は、ハイドロフルオロカーボンである適用例4に記載の方法。

[適用例6] 前記主エッチングガスは、前記ウェハの第1の側に配置された上部電源に誘導結合電力を供給し、前記ウェハの前記第1の側と反対側の、前記ウェハの第2の側で下部電極にバイアス電力を供給することでプラズマにし、前記バイアス電力は100kHzから1MHzの間の周波数を有する適用例5に記載の方法。

[適用例7] 各々のシリコン系二重層は、ポリシリコン層と酸化ケイ素層とを含む適用例6に記載の方法。 20

[適用例8] 少なくとも16組の二重層がある場合、前記第1の複数の組は少なくとも12組の二重層であり、前記12組の二重層がエッチングされる間に前記降下によって少なくとも6通りの異なる圧力が提供される適用例7に記載の方法。

[適用例9] 前記エッチング・フィーチャは、少なくとも20:1のアスペクト比を有するビアである適用例8に記載の方法。

[適用例10] 前記主エッチングガスの前記流入を停止させた後に、エッチングされていない残りの二重層をエッチングするためのオーバエッチングをさらに含み、該オーバエッチングは、

前記プラズマ処理室に、前記主エッチングガスよりも重合性が高く、NF₃を含むオーバエッチングガスを流入させることと、

前記オーバエッチングガスをプラズマにすることと、 30

前記オーバエッチングガスの前記流入を停止させることと、を含む適用例9に記載の方法。

[適用例11] 前記オーバエッチングは、主エッチングからウェハ温度を上昇させることをさらに含む適用例10に記載の方法。

[適用例12] 前記オーバエッチングは、主エッチングから圧力を低下させることをさらに含む適用例11に記載の方法。

[適用例13] 前記ウェハ温度を維持することによって、10未満のウェハ温度を維持する適用例1に記載の方法。

[適用例14] 前記第1の圧力は、30ミリトルから60ミリトルの間である適用例1に記載の方法。 40

[適用例15] 前記フッ化炭素は、ハイドロフルオロカーボンである適用例1に記載の方法。

[適用例16] 前記主エッチングガスをプラズマにすることは、前記ウェハの第1の側に配置された上部電源に誘導結合電力を供給することと、前記ウェハの前記第1の側と反対側の、前記ウェハの第2の側で下部電極にバイアス電力を供給することと、を含み、前記バイアス電力は100kHzから1MHzの間の周波数を有する適用例1に記載の方法。

[適用例17] 各々のシリコン系二重層は、ポリシリコン層と酸化ケイ素層とを含む適用例1に記載の方法。

[適用例18] 少なくとも16組の二重層がある場合、前記第1の複数の組は少なくとも12組の二重層であり、前記12組の二重層がエッチングされる間に前記降下によって少 50

なくとも 6 通りの異なる圧力が提供される適用例 1 に記載の方法。

[適用例 19] プラズマ処理室において、ウェハ上でスタックを形成するシリコン系の複数の二重層の中にフィーチャをエッチングするための方法であって、

前記プラズマ処理室に、フッ化炭素と NF₃とを含む主エッチングガスを流入させ、30ミリトルから60ミリトルの間の第1の圧力を提供しながら、前記主エッチングガスを plasma にし、

10 未満のウェハ温度を維持し、

前記プラズマにより前記複数のシリコン系二重層のうちの複数の組を貫いてエッチングする間に、前記第1の圧力よりも低い第2の圧力まで圧力を降下させ、

前記複数の二重層のうち第1の複数の組がエッチングされた後に、前記主エッチングガスの前記流入を停止させる 10
方法。

【図 1】

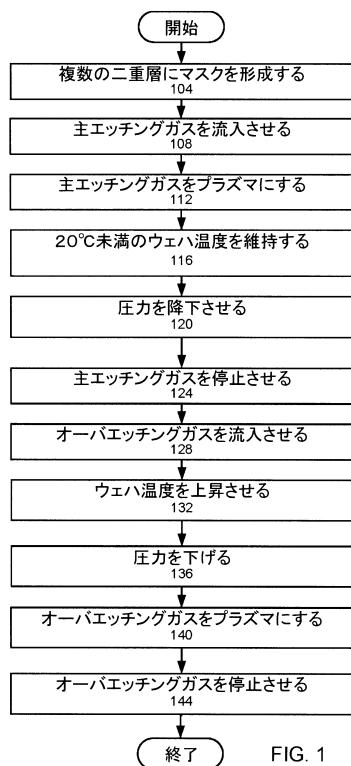


FIG. 1

【図 2 A】

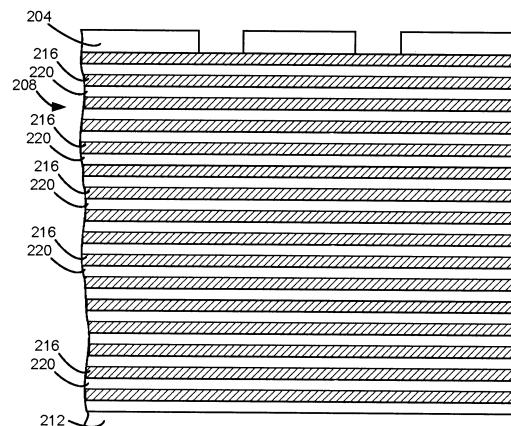


FIG. 2A

【図 2B】

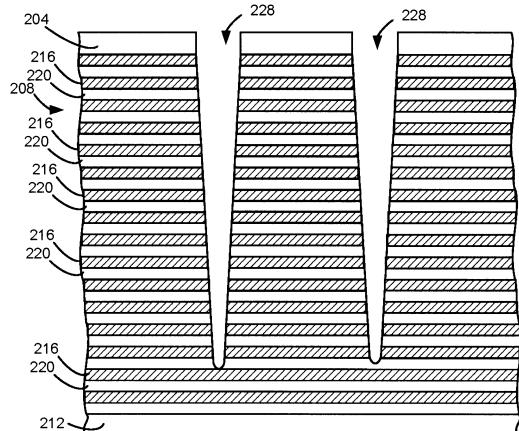


FIG. 2B

【図 2C】

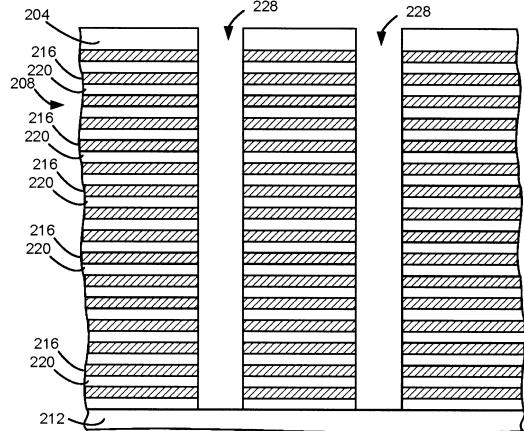


FIG. 2C

【図 3】

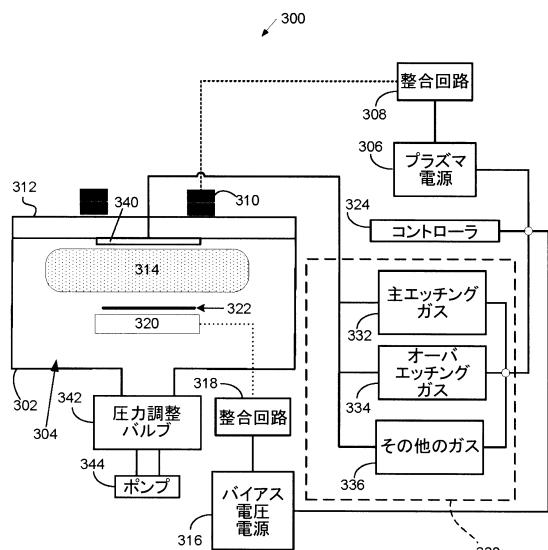


FIG. 3

【図 4】

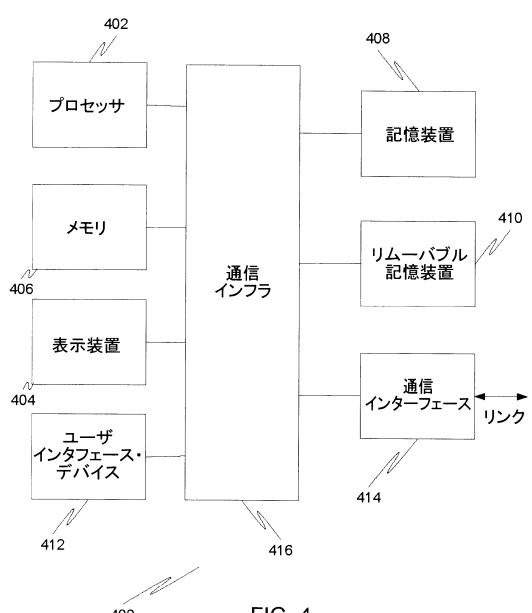


FIG. 4

【図5】

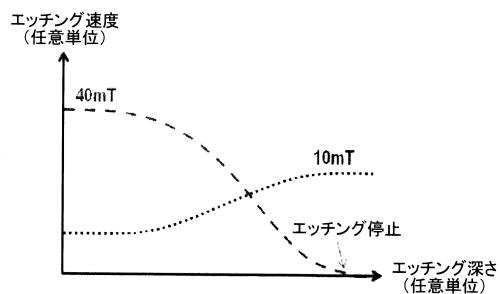


FIG. 5

フロントページの続き

(72)発明者 ジエフリー・アール・・リンデーン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州95377 トレイシー, テルマ・ループ, 1945

(72)発明者 ヤスシ・イシカワ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州94538 フレモント, スティーブンソン・ビルディング・ケイ32, 3400

(72)発明者 ヨウコ・ヤマグチ・アダムズ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州94587 ユニオン・シティ, アッピアン・ウェイ, 514

審査官 鈴木 聰一郎

(56)参考文献 特開2010-272758(JP,A)

特表2002-531946(JP,A)

特開昭62-232925(JP,A)

特開2001-237228(JP,A)

特表2001-517873(JP,A)

特開2006-278436(JP,A)

特開2009-277770(JP,A)

特開2009-088446(JP,A)

特開2004-140391(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/302

H01L 21/3065

H01L 21/461