

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4511721号  
(P4511721)

(45) 発行日 平成22年7月28日 (2010.7.28)

(24) 登録日 平成22年5月14日 (2010.5.14)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/285 (2006.01)	HO 1 L 21/285 C
HO 1 L 21/28 (2006.01)	HO 1 L 21/28 3 O 1 R
C 2 3 C 16/14 (2006.01)	C 2 3 C 16/14

請求項の数 7 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2000-523700 (P2000-523700)	(73) 特許権者	390040660
(86) (22) 出願日	平成10年11月6日 (1998.11.6)		アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2001-525613 (P2001-525613A)		APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
(43) 公表日	平成13年12月11日 (2001.12.11)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
(86) 国際出願番号	PCT/US1998/023740	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開番号	W01999/028955		弁理士 長谷川 芳樹
(87) 国際公開日	平成11年6月10日 (1999.6.10)	(74) 代理人	100107456
審査請求日	平成17年11月7日 (2005.11.7)		弁理士 池田 成人
(31) 優先権主張番号	08/982, 872	(74) 代理人	100094318
(32) 優先日	平成9年12月2日 (1997.12.2)		弁理士 山田 行一
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インサイチュプレクリーニングステップを含むウェーハ上のチタン化学気相堆積法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

すでに形成された絶縁層を有する基板上にチタン膜を堆積するための化学気相堆積方法であって、

チタン含有原料ガス、アルゴン及び水素を含む処理ガスを、前記チタン含有原料ガスは400 s c c mの流量で、前記水素は5000 s c c mの流量で堆積区域内に流すステップと、

前記処理ガスからプラズマを形成するステップと、

前記基板上にチタン層を堆積させるために適した状態で前記堆積区域を維持するステップと、

前記堆積区域からプラズマをパージするステップと、

NH<sub>3</sub>、アルゴン及び水素を含む処理ガスを前記堆積区域内に流すステップと、

前記チタン層をパッシベーションするステップと、

を含む方法。

【請求項 2】

前記チタン含有原料ガスは、TiCl<sub>4</sub>を含む請求項1記載の方法。

【請求項 3】

前記絶縁層は、ドーブしていないケイ酸塩ガラス(USG)、リンをドーブしたケイ酸塩ガラス(PSG)、リン化ホウ素ケイ酸塩ガラス(BPSG)及びフッ素をドーブしたケイ酸塩ガラス(FSG)の群から選択される請求項2記載の方法。

## 【請求項 4】

前記基板はシリコン基板であり、前記絶縁層はエッチングされた少なくとも1つのコンタクト開口を有し、前記チタン層は前記コンタクト開口の底部を被覆し前記底部でケイ化チタン層を形成するように堆積される請求項 3 記載の方法。

## 【請求項 5】

前記ケイ化チタン層は、前記堆積されたチタン層の少なくとも3倍の厚みを有する請求項 4 記載の方法。

## 【請求項 6】

前記チタン膜の堆積が完了した後に、基板がマルチチャンバ基板処理システムの第2のチャンバに真空状態で輸送され、化学気相堆積法は、堆積されたチタン層上に窒化チタン膜を堆積するために使用される請求項 5 記載の方法。

10

## 【請求項 7】

前記プラズマは、チャンバ内に配置された電極に低周波 R F エネルギーを印加することによって形成される請求項 6 記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

(発明の背景)

本発明は、半導体基板上の高融点金属層の堆積に関する。更に詳しく言えば、本発明は、シート抵抗の均一性が向上し、かつコンタクトのボトムカバレッジが良好なチタン層を堆積するための改良形化学気相堆積法及びその装置に関する。本発明は、さまざまなチタン堆積処理に応用可能であり、チタン源として四塩化チタン ( $TiCl_4$ ) を含む処理に実用的に応用可能である。

20

## 【0002】

現在の半導体装置の主要な製造ステップのうちの1つに、半導体基板上に絶縁層及び金属層を含むさまざまな層を形成するステップがある。公知のように、これらの層は、さまざまな方法の中でも化学気相堆積法 (CVD: Chemical Vapor Deposition) が若しくは物理気相堆積法 (PVD: Physical Vapor Deposition) を用いて堆積することができる。従来の熱 CVD 処理では、基板表面に反応ガスが供給され、熱誘導化学反応が起こり、所望の膜を形成する。従来のプラズマ CVD 処理では、制御されたプラズマが形成されて反応種を分解及び/又は励起させて、所望の膜を形成する。一般に、熱処理及びプラズマ処理の反応速度は、温度、圧力、プラズマ密度、反応ガスの流量、パワー周波数、パワーレベル、チャンバの物理的形狀などのうち1以上のものを制御することによって制御される場合がある。

30

## 【0003】

PVD システムの例を挙げると、ターゲット (堆積しようとする材料の板) がマイナスの電圧供給源 (直流 (DC) が若しくは高周波数 (RF)) に接続されており、ターゲットと対向する基板ホルダが、接地、浮動、バイアス、加熱、冷却されているか、若しくはそれらの幾つかを組み合わせられて設けられている。アルゴンなどのガスが PVD システム内に導入され、通常は数ミリ Torr (mTorr) から約 100 Torr の圧力で維持されて、媒体内にグロー放電が起こり維持される。グロー放電が始まると、正のイオンがターゲットに衝突し、ターゲット原子が運動量の輸送により除去される。これらのターゲット原子は、基板ホルダ上に配置される基板上に次々と堆積されて薄膜となる。

40

## 【0004】

半導体デバイスが最初に導入されてからこれまでの数10年間、半導体デバイスの形状サイズは急速に小型化されている。今日のウェーハ製造工場では、日常的に  $0.5 \mu m$  や更に小型の  $0.35 \mu m$  の特徴サイズのデバイスが製造されており、近い将来の工場では、更に小型の特徴サイズが製造されることになるであろう。特徴サイズが小型化して集積密度が高まるにつれ、半導体産業界においてこれまで考慮していなかった非常に重要な問題への関心が高まっている。例えば、集積密度がかなり高いデバイスの特徴部のアスペクト比が高くなる (例えば、 $0.35 \mu m$  の特徴サイズのデバイスに対して約 6 : 1 以上) 問

50

題などがそうである。(アスペクト比とは、2つの隣接するステップの高さと幅の比である。)ギャップ等のアスペクト比が高い特徴は、多くの応用では層を堆積させて適切に充填される必要がある。

#### 【0005】

このような高集積デバイスの製造に対する要求は当然かなり厳しいものとなるため、従来の基板処理システムではこのような要求を満たすには不十分である。更に、デバイス設計の進化に伴い、これらのデバイスを実行するのに必要な特性を備えた膜を堆積させるために用いる基板処理システムにも更に高度な能力が要求される。例えば、チタンの使用がこれまでよりも集積回路製造プロセスに組み込まれている。半導体デバイスでの使用において、チタンは望ましい特徴を多く備えている。例えば、チタンは金ボンディングパッドと半導体の間の拡散障壁として、ある原子種が隣りの原子種へと移動しないように作用させることもある。また、チタンを用いて、シリコンやアルミニウムなどの2つの層の間の密着性を高めることもある。更に、チタンを用いて、シリコンと混合させてケイ化チタン(TiSi<sub>x</sub>)の合金を作ること、例えば、オーム接触が形成される。このようなチタン膜を堆積させるために用いるのに共通した堆積システムの1つに、チタンスパッタリング堆積(PVD)システムがある。しかしながら、このようなスパッタリングシステムでは、より高度な処理及び製造要求でデバイス形成を行うには不十分であることが多い。特に、スパッタリングを施すと、このようなデバイスのすでに堆積した層や構造にダメージを与えることで、性能及び/又は歩留りの低下につながることもある。また、チタンスパッタリングシステムでは、スパッタリングを施すことでシャドーイング効果が生じるため、高アスペクト比のギャップに均一なコンフォーマル層を堆積できなくなることもある。

#### 【0006】

スパッタリングシステムと比べると、プラズマ強化化学気相堆積(PECVD: Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition)システムの方が、高アスペクト比のギャップをもつ基板上にチタン膜を形成するのにより適していることがある。よく知られているように、プラズマはイオンとガス分子との混合物であり、例えば、チャンバ圧、温度、RFパワーなどの適切な条件下で堆積チャンバの処理ガスに、高周波(RF)エネルギーなどのエネルギーを印加することで形成されることがある。プラズマはしきい値密度に達すると、グロー放電(プラズマの「打ち込み」又は「点火」と呼ばれることが多い)が形成されることが知られている自己持続状態になる。このRFエネルギーによって、処理ガスの分子のエネルギー状態が上がり、分子からイオン種を形成する。励起された分子とイオン種は共に、通常処理ガスよりも反応性が高いため、所望の膜を形成しやすい。プラズマはまた、チタン膜の形成時、基板表面全体での反応種の移動度を高めることにより、ギャップ充填能力が良好な膜が得られるという利点がある。

#### 【0007】

チタン膜を堆積させるためのある公知のCVD方法には、標準的なPECVDプロセスにおいて、TiCl<sub>4</sub>原料ガスと水素(H<sub>2</sub>)反応ガスを含む処理ガスからプラズマを形成するステップが含まれている。このようなTiCl<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>のPECVD処理を施すことにより、バイアの充填、均一性、接触抵抗特性が良好なチタン膜を堆積でき、多くの異なる商業的に入手可能な集積回路の製造時に適切に使用できる膜が作られる。これらの処理がある製造使用に適したものであるか否かにかかわらず、TiCl<sub>4</sub>とH<sub>2</sub>の前駆体ガスから堆積させたものなどのチタン膜のバイア充填、均一性及び接触抵抗を更に高めることが変わらず求められている。

#### 【0008】

(発明の開示)

本発明は、チタン膜の堆積処理法を改善したCVD法と、この堆積を行うための改良された装置に関する。本発明の方法によると、基板上にチタン膜を堆積させるためのマルチステップを含む化学気相堆積法が教示されている。通常、本発明のチタン層は、基板上にある酸化シリコン膜などの絶縁膜をエッチングして形成したコンタクト領域に第1の層として堆積されるが、他のチタン堆積用途でも使用することが可能である。

## 【 0 0 0 9 】

マルチステップ堆積法の第1のステップは、プラズマ前処理ステップを含み、基板処理チャンバの堆積区域内に水素含有ガスと不活性ガスを含む前処理ガスが流入される。この第1の堆積ステップ中、プラズマが前処理ガスから形成されて、少なくとも約5秒間維持され、基板のコンタクト領域内に残るあらゆる絶縁材料をエッチングして取り除き、チタン層を堆積する前にコンタクト領域を洗浄する。次に、第1ステップが終了した後の第2の堆積ステップの間、堆積区域内にチタンを含む原料と還元剤が導入され、第1ステップで形成されたプラズマが維持されて、基板上にチタン層を堆積させる。好適な実施形態では、前処理ガスに含まれる水素含有原料と、第2ステップの処理ガス内の還元剤は、 $H_2$ の同じ連続流れである。また、別の好適な実施形態では、プラズマ前処理ステップは、約5秒から60秒間続く。

10

## 【 0 0 1 0 】

任意に、酸素及び/又は炭素などの空気から生じた不純物で汚染しないように、チタン層にパッシベーションを施してもよい。パッシベーションを施すには、チタン層に近接した堆積区域に、(1)窒素を流入させるステップと、(2)窒素プラズマを打ち込むステップの何れか一方か又はその両方のステップを行う。チタン層を窒素に晒すことにより、チタン層の表面に窒化チタンの薄い層が形成される。窒化チタン層はチタン層をパッシベーションして、不純物がチタン層内に吸着しないようにする。このように、チタン層は、表面抵抗などの特性が安定しており、また引き続き窒化チタンバリア層を堆積するための表面がクリーンな状態になる。更に、安定且つパッシベーションを施したチタン層を作ることによって、更に処理を施すために別の処理チャンバへと移動する際、チタン層が汚染される危険性がなく、ウェーハを大気に晒すことができる。このことから、本発明のチャンバを独立形のチタン膜堆積チャンバとして使用することもできる。

20

## 【 0 0 1 1 】

本発明の方法の別の実施形態によると、チタン源の流入は、第2の堆積ステップの前の少なくとも6~8秒で開始される。しかしながら、このようにチャンバ内に流入させる代わりに、前方のラインに流入させる。このようにして、チタン源の流入は、堆積ステップの前に安定化されて、延長されたウェーハランの複数のウェーハ上に堆積させたチタン膜の膜の均一性が更に良好になる。

## 【 0 0 1 2 】

本発明の前記及び他の実施形態、ならびにその利点及び特徴は、以下の記載及び添付の図面と組み合わせてより詳細に記載される。

30

## 【 0 0 1 3 】

(好ましい実施形態の詳細な説明)

## I. 序論

本発明により、前処理プラズマステップでチタン膜が堆積される基板を前処理することで、チタン膜をより良好に堆積することが可能となる。本願発明者等は、このようなプラズマ前処理ステップは、酸化シリコン層などの絶縁層を介してエッチングされるコンタクト領域で半導体基板とオーム接触させる多層スタック(例えば、チタン/窒化チタンスタックなど)の一部として堆積されたチタン層が使用される場合に特に有益であることを発見した。プラズマ前処理ステップでは、基板のコンタクト領域に残ったあらゆる残留絶縁材料がエッチングされ、チタン層が堆積される前にコンタクト領域が洗浄される。プラズマ前処理ステップが完了した後に、前に形成したプラズマを維持しながらチタン含有原料ガスを導入することによって、チタン層が堆積される。本発明の方法により堆積されたチタン層は、0.35から0.11ミクロン以下の特徴サイズを有する集積回路を製造する際に用いるのに適したものである。また、本発明は、容易に入手可能なガスを用いて従来形のデザインのCVDチャンバでチタン膜を堆積するために用いることも可能である。

40

## 【 0 0 1 4 】

## II. CVDチャンバの典型例

図1Aは、本発明によりチタン層が堆積される簡潔な平行板化学気相堆積(CVD)シス

50

テム10の1つの実施形態を示すものである。CVDシステム10は、ガス搬送システム89からガスライン92A~C(他にもラインが存在する場合もあるが図示せず)を介してガスを受け取る反応チャンバ30を含む。反応チャンバを特定の圧力に維持するために真空システム88が使用され、気体の副生成物と使用済みのガスが反応チャンバから取り除かれる。低周波RF電源5により反応チャンバに無線周波パワーを与えて、チタンを堆積している間は堆積ガスから、そしてチャンバの洗浄動作中は反応チャンバ洗浄ガスからプラズマを形成する。熱交換システム6には、水が若しくは水とグルコースの混合物などの液体熱伝達媒体が用いられて、反応チャンバから熱を除去して反応チャンバのある部分を適切に冷却した状態で保つことによって、安定したプロセス温度に室温を維持したり、必要であれば、反応チャンバ部分を加熱することができる。制御ライン3、3A~D(そのうちの一部のみが図示されている)を介してメモリ86に格納されている命令に従って、プロセッサ85が反応チャンバとサブシステムの動作を制御する。

10

**【0015】**

ガス搬送システム89には、ガス供給パネル90とガス又は液体供給源(ソース)91A~C(必要に応じて更に供給源を追加する場合もある)を含み、特定の用途で使用される所望のプロセスに応じて変化するガス又は液体を含む。液体供給源の温度は室温よりもかなり高くされており、室温の変化による供給源の変動を最小限に抑える。ガス供給パネル90には、供給ライン92A~Cを介してガス供給カバープレート45の中央ガス入口部44に混合及び輸送するために、供給源91A~Cから堆積プロセス及びキャリアガス(若しくは気化液体)を受け取る混合システムがある。液体供給源は加熱されて、チャンバ動作圧を超える圧力で蒸気を発生させてもよいし、又はHe、Ar、若しくはN<sub>2</sub>などのキャリアガスが液体(若しくは加熱液体)で気泡化させて蒸気を生成してもよい。一般に、処理ガスのそれぞれの供給ラインには、処理ガスの流れを自動的か若しくは手動で締め出すために使用される閉止弁(図示せず)と、供給ラインを介してガスか若しくは液体の流量を測定する質量流量コントローラ(図示せず)が含まれている。有害ガス(例えば、オゾンガスやハロゲン化ガスなど)がプロセスで使用されると、従来形の構造では数個の閉止弁が核ガス供給ラインに配置されていることもある。例えば、四塩化チタン(TiCl<sub>4</sub>)蒸気、水素(H<sub>2</sub>)、ヘリウム(He)、アルゴン(Ar)、窒素(N<sub>2</sub>)及び/又は他のドーパントや反応源などを含む堆積及びキャリアガスが反応チャンバ30に供給される速度も、液体又はガス質量コントローラ(MFC)(図示せず)及び/又は弁(図示せず)により制御される。好適な実施形態では、ガス混合システム(図示せず)には、反応液(例えば、TiCl<sub>4</sub>)を気化するための液体噴射システムが含まれている。液体噴射システムは、バブラタイプの供給源と比較すると、ガス混合システム内に導入された反応液の量をより良好に制御できるため好ましいものである。次いで、蒸発されたガスがガスパネル内で、ヘリウムなどのキャリアガスと混合された後、供給ラインへと搬送される。当然のごとく、他の化合物も堆積源として使用されることがあることもある。

20

30

**【0016】**

熱交換システム6は、反応チャンバ30のさまざまな要素に冷却剤を搬送して、高温処理中これらの構成要素を冷却する。熱交換システム6は、これらの反応チャンバの要素の温度を下げて、高温処理によりこれらの要素に望ましくない堆積が生じないようにする。熱交換システム6には、面板40(以下に記載)を含むガス搬送システムに冷却剤を搬送するための冷却材マニホールド(図示せず)を介して冷却水を供給する接続部(図示せず)が含まれている。水流検出器が熱交換器(図示せず)から筐体アセンブリへの水流を検出する。

40

**【0017】**

抵抗加熱したペDESTAL32で、ウェーハポケット34にあるウェーハ36が支持される。ペDESTAL32の断面図を簡略的に表わした図1Bに示すように、ペDESTAL32には、組み込まれたモリブデンメッシュなどの組込形電極22と、組み込まれたモリブデンワイヤコイルなどの加熱要素33が含まれている。ペDESTAL32は、高処理温度に耐性にするために窒化アルミニウム製のものが好ましく、更にリフトモータと噛み合う水冷アル

50

ミニウムシャフト28(図1Bには図示していないが、図1Cには図示している)に固定されたセラミック製の支持ステム26に拡散接合されることが好ましい。セラミック製支持ステム26とアルミニウムシャフト28は、電極22を接地するニッケルロッド25が占める中央通路を有する。中央通路は大気圧に維持されて、金属と金属の接続部分が腐食しないようにする。

#### 【0018】

基板ホルダ表面の下側にRF電極22を均一な深さで埋め込むことによって静電容量を一定にするようにセラミック製のペDESTAL32が製造される。RF電極22は、セラミック材料にもよるが、最大の静電容量を供給しながらRF電極22を被覆する薄いセラミック層が割れたり剥がれたりしないように最小の深さの位置に配置されることが好ましい。1つの実施形態では、RF電極22はペDESTAL32の上側表面の下、約40milの位置に埋め込まれている。セラミック製のペDESTAL32に関しては、本願と同一の譲受人に譲渡され、Sebastien Raoux、Mandar Mudholkar、William N. Taylor、Mark Fodor、Judy Huang、David Silveti、David Cheung、Kevin Fairbairnが共同発明者である「混合周波数CVDプロセス及びその装置(Mixed Frequency CVD Process And Apparatus)」と題した1997年12月1日出願の米国特許出願第 / 号(代理人事件整理No.16301-019900)により詳細に記載されており、それらの内容全体は本願明細書に援用されている。

#### 【0019】

ペDESTAL32は、処理位置(図1Cに示されている位置)と更に下がった積載位置(図示せず)との間を自己調整メカニズムを用いて垂直方向に移動させてもよく、この自己調整メカニズムに関しては、本願と同一の譲受人に譲渡され、「自己整合リフトメカニズム(Self-Aligning Lift Mechanism)」と題した1996年10月25日出願の米国特許出願第08/738,240号により詳細に記載されており、それらの内容全体を参照により本願明細書に引用したものとす。図1Cを参照すると、リフトピン38(図には2つのみしか示していない)がペDESTAL32内で摺動可能な状態に設けられているが、ピンの上側端部に円錐形のヘッド部により下に落ちて外れないようになっている。リフトピン38の下側端部は、垂直方向に移動可能なリフトリング39と噛み合い、ペDESTALの表面よりも上側に持ち上げられる。ペDESTAL32が下側の積載位置(スリット弁56よりも僅かに下側)にあるとき、リフトピン及びリフトリングと連動するロボットブレード(図示せず)が、スリット弁56を介してウェーハ36を反応チャンバに搬入又は反応チャンバから搬出させ、スリット弁56を介してガスが反応室内に流入又は反応チャンバから流出しないように真空密閉される。リフトピン38は、挿入したウェーハ(図示せず)をロボットブレードから持ち上げ、次いでペDESTALが上昇して、ペDESTALの上側表面にあるウェーハポケットにウェーハをリフトピンから離して持ち上げる。適切なロボット輸送アセンブリが、本願と同一の譲受人に譲渡されたMaydanの米国特許第4,951,601号に記載されており、それらの内容全体を参照により本願明細書に引用したものとす。

#### 【0020】

ペDESTAL32は、ウェーハ36を更に処理位置まで持ち上げて、処理ガスを処理区域58内に噴射するための多数の穴又は通路42を含むガス分配面板(以下、「シャワヘッド」)40に近接させる。処理ガスは、第1の円盤状のマニホールド48のガス供給カバープレート45にある中央ガス入口44を通り、次いで第2の円盤状のマニホールド54のそらせ板(若しくは遮断板)52にある通路50を通過して、反応チャンバ30内に注入される。

#### 【0021】

矢印で示されるように、処理ガスは、シャワヘッド40の穴42から、シャワヘッドとペDESTALの間にある処理区域58(「堆積区域」とも称される)内に噴入されて、ウェーハ36の表面で反応を起こす。次いで、ウェーハ36と、ペDESTALが処理位置にあるときにペDESTAL32の上側周辺部上に位置する流量リストラクタリング46(以下によ

10

20

30

40

50

り詳細に記載する)にある処理ガスの副生成物が、それら両方の隅から隅まで直ちに外側に流出される。その後、処理ガスが、流量リストラクタリング46の上部と環状のアイソレータ53の底部との間に形成されたチョーク穴50を通過してポンプチャンネル60内に流入する。ポンプチャンネル60に入るとすぐに、排気ガスが処理チャンバ周辺に流して、真空ポンプ82によって排出される。排気孔74を介してポンププレナム76にポンプチャンネル60が接続されている。排気穴74は、ポンプチャンネルとポンププレナムとの間の流量を制限する。弁78が排気ベント80から真空ポンプ82への排気をゲート制御する。システムコントローラ(図3には図示せず)は、マノメータなどの圧力センサ(図示せず)からの測定信号を、メモリに格納されているか若しくは圧力制御プログラムにより発生させた所望の値と比較するメモリ(図示せず)内に格納された圧力制御プログラムに従って、絞り弁83を制御する。

10

#### 【0022】

環状のポンプチャンネル60の側面は、セラミックリング64、チャンバ蓋ライナ70、チャンバ壁ライナ72及び環状のアイソレータ53で概ね画定されている。図1Eは、ペDESTAL32、流量リストラクタリング46、ライナ70及び72、アイソレータ53、セラミックリング64及びポンプチャンネル60の簡略化し部分的に切断した斜視図である。この図には、シャワヘッド40にあるノズル42からウェーハ36の方向に処理ガスが流入した後、ウェーハ36上を放射状に外側に流れている状態84が示されている。その後、ガスの流れが上側方向に偏向されて、リストラクタリング46の上面を超えてポンプチャンネル60内に入る。ポンプチャンネル60では、円周通路86に沿って真空ポンプの方向へとガスが流れる。

20

#### 【0023】

ポンプチャンネル60とその構成要素は、処理ガスと副生成物を排気システム内に向けることによって、望ましくない膜堆積による影響を最小限に抑えるためのものである。排気の流れには、ほとんどガスの動きがない「デッドゾーン」が形成される。これらのデッドゾーンは、その領域内にある反応ガスを置き換え、望ましくない堆積物を減少させるパージガスブランクセットに近いものである。また、パージガス(例えば、アルゴン)が、ガスノズル(図示せず)からセラミック部分やヒータの縁部や裏側などのブランクセットの重要部位に導入されて、それらの領域に堆積する望ましくない堆積物を更に減少させる。

30

#### 【0024】

反応チャンバのペDESTALや他の部品上に堆積する望ましくない堆積物は、他の方法でも最小に抑えられる。更に詳しく言えば、流量リストラクタリング46は、ペDESTALを超えて反応チャンバの底部に流れるガスの流量を最小限に抑える。本発明の実施形態によれば、TiCl<sub>4</sub>を用いたチタンの堆積(以下により詳細に記載される)は、他のチタン膜を形成するための従来の堆積システムに用いられる従来の方法よりも、かなり大きな流量をもつ。チタン堆積に適切な好適な実施形態では、流量リストラクタリング46は、熱伝導率が比較的低く非導電性の性質を備えているという理由から融点石英製のものである。別の実施形態では、流量リストラクタリングは、リング材料が堆積層を汚染しないという点から、チタン含有層の堆積プロセスで用いるチタン製のものであってもよい。

40

#### 【0025】

さまざまな実施形態において、リストラクタリングはペDESTALの上面及び縁部分を覆っているため、反応チャンバのペDESTALや底上ではなく、リング上に望ましくない膜が堆積する。流量リストラクタリングにより、このような大きい流量で生じてしまう可能性がある望ましくない堆積(及びそれに付随する問題)の危険性が最小限に抑えられる利点がある。チャンバ蓋66は、洗浄用に容易に取外して、比較的低価格のリストラクタリングまで近づけるため、持ち上げた後、化学及び/又は機械的プロセスを用いて完全に洗浄される。

#### 【0026】

図1Aを再度参照すると、上述したように、プロセス中、ペDESTAL32によって流量リストラクタリング46が支持されている。ウェーハを下ろしたり載せたりするためにペ

50

ペDESTALが下げられるとき、リストラクタリングは棚部69のセラミックリング64上に載る。次のウェーハを支持するペDESTALが処理位置内まで上昇させられると、ペDESTALは流量リストラクタリングを持ち上げる。本発明の実施形態によるチタン処理に使用される反応チャンバの圧力では、ペDESTAL上にウェーハ（ウェーハポケット内に置かれる）とリストラクタリングの両方を保持するには重力で十分である。

**【0027】**

絞り弁83やペDESTAL32などの可動式機械アセンブリの位置を動かし決定するために、モータ及び光センサ（図示せず）が使用される。ペDESTAL32と反応チャンバ本体76の底に取り付けたペローズ（図示せず）がペDESTAL周辺に可動気密シール部を形成する。ペDESTALリフトシステム、モータ、仕切弁、光学遠隔プラズマシステム4（マイクロ波源などを用いて形成される遠隔プラズマを用いて反応チャンバを洗浄できるようにしようしてもよい）を含むプラズマシステム及び他のシステムの構成要素は、ここでは一部しか図示していないが、制御ライン3及び3A～Dを介してプロセッサ85により制御される。

**【0028】**

プロセッサ85は、プロセッサ85に接続されたメモリ86に格納されたコンピュータプログラムであるシステム制御ソフトウェアを実行する。メモリ86はハードディスクドライブであることが好ましいが、勿論、メモリ86は他の種類のメモリであってもよい。ハードディスクドライブ（例えば、メモリ86）以外に、ある特定の実施形態において、CVD装置10はフロッピーディスクドライブやカードラックを含む。プロセッサ85は、システム制御ソフトウェアの制御下で動作し、このソフトウェアには、ある特定のプロセスでのタイミング、ガスの混合、ガスの流量、室圧、室温、RFパワーレベル、ヒータのペDESTAL位置、ヒータの温度及び他のパラメータを要求する命令のセットが含まれている。例えば、ディスクドライブや他の適切なドライブに挿入されるフロッピーディスクや他のコンピュータプログラム製品などの他のメモリ上に格納されているものなどの他のコンピュータプログラムは、プロセッサ85を動作するために使用されることもある。システム制御ソフトウェアに関しては以下に詳細に記載する。カードラックは、シングルボードコンピュータ、アナログ・デジタル入力/出力ボード、インタフェースボード及びステップモータコントローラボードを含む。CVD装置10のさまざまな部品は、ボード、カードケース、コネクタの寸法や種類を規定するVME（Versa Modular European）規格に準拠するものである。VME規格はまた、16ビットデータバス及び24ビットアドレスバスを有するバス構造も規定する。

**【0029】**

ユーザとプロセッサ85間のインタフェースは、マルチチャンバシステムの複数のチャンバの1つとして示したCVD装置10を用いたシステムモニタの簡略図である図1Dに示すように、CRTモニタ93aとライトペン93bを介したものである。CVD装置10は、装置10の電気的な配管や他の支持機能を備えて供給するメインフレームユニット95に取り付けられることが好ましい。CVD装置10の実施形態と一致する例示的なメインフレームユニットは、カリフォルニア州、サンタクララのアプライドマテリアルズ社のプレジジョン5000（商標）、センチラ5200（商標）、デन्दュラ5500（商標）として現在商業的に入手可能である。マルチチャンバシステムによって、真空状態を破壊しないで、更にウェーハをマルチチャンバシステムの外側にある湿気や他の汚染物に露出させないで、ウェーハをチャンバ間に輸送することができる。マルチチャンバシステムの利点は、マルチチャンバシステムの異なるチャンバを全体のプロセスで異なる目的で使用してもよいという点である。例えば、本発明の好適な実施形態では、チタン膜のCVD堆積用に用いられるチャンバもあれば、窒化チタン膜のCVD堆積に用いられるチャンバもある。このようにして、以下図2Aを参照して記載するコンタクト構造の形成時に一般に使用されるチタン/窒化チタンスタックの堆積を、マルチチャンバシステム内で中断されることなく進めることによって、チタン/窒化チタンスタックプロセスで、さまざまな別々の個々のチャンバ（マルチチャンバシステムにおいてではない）の間でウェーハを

10

20

30

40

50

輸送するときによく生じるウェーハの汚染を防止することができる。

【 0 0 3 0 】

好適な実施形態では、2つのモニタ93aが使用されており、1つのモニタはオペレータ用のものでクリーンルームの壁に取り付けられており、もう1つのモニタはサービス技術者用に壁の後ろ側に設けられたものである。両方のモニタ93aは同時に同じ情報を表示するが、ライトペン93bは1つしか使えない。ライトペン93bは、ペンの先端にある光センサでCRTディスプレイが放出する光を検出する。ある特定のスクリーンや機能を選択するために、オペレータはディスプレイスクリーンの指定領域に触って、ペン93bのボタンを押す。接触した領域の色が明るくなるか、若しくは新しいメニュー又はスクリーンが表示され、ライトペンとディスプレイスクリーンの間の通信状態を確認する。勿論、キーボード、マウス、若しくは他のポインティングデバイス又は通信デバイスを、ライトペン93bの代わりに用いたり、ライトペン93bに追加して用いることもあり、これを使用してプロセッサ85とユーザが通信できる。

10

【 0 0 3 1 】

膜を堆積し、反応チャンバをドライクリーニングするための処理は、プロセッサ85(図1A)で実行されるコンピュータプログラム製品を用いて実行される。コンピュータプログラムコードは、例えば、68000アセンブリ言語、C、C++、パスカル、フォートルラン又は他の言語などのあらゆる従来のコンピュータ読出し可能なプログラミング言語で書かれる。適切なプログラムコードは、従来のテキストエディタを用いて、単一のファイルか若しくは複数のファイル内に入力され、コンピュータのメモリシステムなどのコンピュータ使用可能媒体内に格納又は取り入れられる。入力されたコードテキストが高水準言語であれば、コードはコンパイルされて、次いで、その結果得られたコンパイラコードは事前にコンパイルしたウィンドウズのライブラリルーチンのオブジェクトコードでリンクされる。リンクしたコンパイルオブジェクトコードを実行するには、システムユーザがオブジェクトコードを呼出し、コンピュータシステムにコードをメモリにロードさせて、そこからCPUがコードを読出し実行して、プログラムで識別されたタスクを実行する。

20

【 0 0 3 2 】

図1Fは、特定の実施形態によるもので、システム制御ソフトウェアの階層制御構造であるコンピュータプログラム160を示すブロック図である。ライトペンインタフェースを用いて、CRTモニタに表示されるメニューやスクリーンにตอบสนองして、プロセス番号やプロセスチャンバ番号をプロセス選択サブルーチン161内に入力する。特定の処理を実行するのに必要なプロセスパラメータの所定数のセットであるプロセスセットは、予め規定したセット番号で識別される。プロセス選択サブルーチン161は、(i)所望のプロセスチャンバと、(ii)所望のプロセスを実行するためにプロセスチャンバを動作するのに必要なプロセスパラメータの所望のセットを識別する。ある特定のプロセスを実行するためのプロセスパラメータは、例えば、プロセスガス組成及び流量、温度、圧力、高周波及び低周波RFパワーレベルや高周波及び低周波RF周波数(更に、遠隔マイクロ波プラズマシステムを備えた実施形態の場合は、マイクロ波発生器パワーレベル)などのプラズマ状態、冷却ガス圧及びチャンバ壁温度などのプロセス条件に関するものである。プロセス選択サブルーチン161は、どのタイプのプロセス(堆積、ウェーハクリーニング、チャンバクリーニング、チャンバゲッタリング、リフロ)がチャンバ30内のある時点で実行されるかを制御する。幾つかの実施形態では、2以上のプロセス選択サブルーチンがあってもよい。プロセスパラメータはレシビ形式でユーザに与えられ、ライトペン/CRTモニタインタフェースを使って入力してもよい。

30

40

【 0 0 3 3 】

プロセスをモニタリングするための信号は、システムコントローラのアナログ入力ボードとデジタル入力ボードで与えられ、プロセスを制御するための信号は、CVDシステム10のアナログ出力ボードやデジタル出力ボードで出力される。

【 0 0 3 4 】

プロセスシーケンササブルーチン162は、識別されたプロセスチャンバとプロセスパラ

50

メータのセットをプロセス選択サブルーチン161から受け、更にさまざまなプロセスチャンバの動作を制御するためのプログラムコードとを含む。複数のユーザがプロセスセット番号とプロセスチャンバ番号を入力してもよいし、又は1人のユーザが複数の処理セット番号とプロセスチャンバ番号を入力してもよく、そうすることでシーケンササブルーチン162は、所望のシーケンスで選択したプロセス通りに動作する。シーケンササブルーチン162は、(i)チャンバが使用されているかどうかを決定するためにプロセスチャンバの動作をモニタリングするステップと、(ii)使用されているチャンバ内でどのプロセスが実行されているかを決定するステップと、(iii)プロセスチャンバの利用可能性と実行されるべきプロセスの種類をもとに所望のプロセスを実行するステップとを実行するためのプログラムコードを含むことが好ましい。ポーリングなどのプロセスチャンバをモニタリングする従来の方法が使用される。どのプロセスを実行すべきかをスケジューリングするとき、シーケンササブルーチン162は、選択したプロセスの所望のプロセス状態と比較して使用されているプロセスチャンバの現在の状態か、それぞれ特定のユーザ入力要求の「エージ(age)」か、若しくはシステムプログラマがスケジューリングの優先順位を決定するために含んでいてほしいとされるあらゆる他の関連する要因を考慮するようになされる。

#### 【0035】

シーケンササブルーチン162がどのプロセスチャンバとプロセスセットの組み合わせが次に実行されるのかを決定すると、シーケンササブルーチン162は、シーケンササブルーチン162により決定されたプロセスセットにより、プロセスチャンバ30でのマルチ処理タスクを制御するチャンバ管理サブルーチン163a~cへと、特定の処理セットパラメータを渡してプロセスセットの実行を開始する。例えば、チャンバ管理サブルーチン163bは、処理チャンバ30でCVD動作を制御するためのプログラムコードを含む。チャンバ管理サブルーチン163bはまた、選択されたプロセスセットを実行するのに必要なチャンバ構成要素の制御を行うさまざまなチャンバ構成要素サブルーチンの実行を制御する。チャンバ構成要素サブルーチンの例は、基板位置付けサブルーチン164、処理ガス制御サブルーチン165、圧力制御サブルーチン166、ヒータ制御サブルーチン167及びプラズマ制御サブルーチン168である。CVDチャンバの特定の構造に左右されるが、上述したすべてのサブルーチンが含まれる実施形態もあれば、これらのサブルーチンの一部しか含まない実施形態もある。プロセスチャンバ30にどのプロセスを実行すべきかを考慮しながら、他のチャンバ制御サブルーチンも含むことができることは、当業者により容易に認識されることであろう。動作中、チャンバ管理サブルーチン163bは、実行される特定の処理セットに応じてプロセス構成要素サブルーチンを選択的にスケジューリングするか若しくは呼出す。チャンバ管理サブルーチン163bは、シーケンササブルーチン162がプロセスチャンバ30とプロセスセットの次の実行順番をスケジューリングするのとほとんど同様に、プロセス構成要素のサブルーチンをスケジューリングする。通常、チャンバ管理サブルーチン163bは、さまざまなチャンバ構成要素をモニタリングするステップと、実行されるべきプロセスセットのプロセスパラメータに基づいてどの構成要素を動作する必要があるかを決定するステップと、これらのモニタリングステップと決定ステップに応じてチャンバ構成要素サブルーチンの実行を開始するステップとを含む。

#### 【0036】

図1Fに示す特定のチャンバ構成要素サブルーチンの動作に関しては、図1Aを参照してこれから記載する。基板位置決めサブルーチン164は、基板をペDESTAL32に積載するためと、更に任意に、基板をチャンバ30の所望の高さまで持ち上げて基板とシャワヘッド40間の間隔を制御するために用いられるチャンバ構成要素を制御するためのプログラムコードを含む。基板がプロセスチャンバ30内に積載されると、ヒータアセンブリ33が下がって、ウェーハポケット34に基板を受け入れ、次いで所望の高さまで持ち上げられる。動作中、基板位置決めサブルーチン164は、チャンバ管理サブルーチン163bから転送される支持の高さに関するプロセスセットパラメータに応答して、ペDESTAL

10

20

30

40

50

32の動きを制御する。

【0037】

処理ガス制御サブルーチン165は、処理ガスの組成と流量を制御するためのプログラムコードを備えている。処理ガス制御サブルーチン165は、安全遮断弁の開/閉位置を制御し、更に所望のガス流量を得るために質量流量コントローラを立ち上げ/立ち下げたりする。処理ガス制御サブルーチン165は、すべてのチャンバ構成要素サブルーチンと同様に、チャンバ管理サブルーチン163bによって実行され、所望のガス流量に関するサブルーチンプロセスパラメータをチャンバ管理プログラムから受け取る。通常、処理ガス制御サブルーチン165は、ガス供給ラインを開けて、(i)必要な質量流量コントローラを読み出し、(ii)その読み出したものをチャンバ管理サブルーチン163bから受けた所望の流量と比較し、(iii)必要であればガス供給ラインの流量を調整することを繰り返し行うことによって動作する。更に、処理ガス制御サブルーチン163は、流量が安全な範囲内からはずれていないかガス流量をモニタリングするステップと、安全でない状態が検出されれば安全遮断弁を作動させるステップとを含む。処理ガス制御サブルーチン165はまた、選択される所望のプロセス(クリーン、堆積など)によるが、クリーンガスや更に堆積ガスのガス組成や流量を制御する。代替実施形態では、2以上の処理ガス制御サブルーチンを有することもあり、それぞれのサブルーチンが特定の種類のプロセスやガスラインの特定のセットを制御する。

10

【0038】

幾つかのプロセスにおいて、窒素やアルゴンなどの不活性ガスがチャンバ内に流入されて、反応処理ガスが導入される前にチャンバ内の圧力を安定にする。これらのプロセスでは、処理ガス制御サブルーチン165が、チャンバ内の圧力を安定させるのに必要な時間の間不活性ガスをチャンバ内に流入させるためのステップを含むようにプログラムされて、上述したステップが実行される。更に、処理ガスが、例えば、 $TiCl_4$ などの液体前駆体から蒸発される場合、処理ガス制御サブルーチン165は、ヘリウムなどの搬送ガスをバブラアセンブリの液体前駆体を介して気泡化するステップか、若しくはヘリウムなどのキャリアガスを液体噴射システムに導入するステップを含むように書き換えられる。バブラがこのタイプのプロセスに使用される場合、処理ガス制御サブルーチン165は、所望の処理ガス流量を得るために、搬送ガスの流量と、バブラの圧力と、バブラの温度を調整する。上述したように、所望の処理ガスの流量はプロセスパラメータとして処理ガス制御サブルーチン165に転送される。更に、処理ガス制御サブルーチン165は、所与の処理ガス流量に必要な値を含む格納されたテーブルにアクセスして、所望の処理ガス流量に必要な搬送ガス流量、バブラ圧力及びバブラ温度を得るためのステップを含む。必要な値が得られると、必要な値と比較しながら、搬送ガス流量、バブラ圧力及びバブラ温度がモニタされ、それに応じて調整される。

20

30

【0039】

圧力制御サブルーチン166は、チャンバの排気システムにある絞り弁の開口サイズを調整することによって、チャンバ30内の圧力を制御するためのプログラムコードを備えている。絞り弁の開口サイズは、処理ガスの全流量、プロセスチャンバの大きさ及び排気システムのポンプ設定圧力に関連させて、所望のレベルのチャンバ圧力を制御するように設定される。圧力制御サブルーチン166が実行される場合、所望若しくは目標とする圧力レベルをチャンバ管理サブルーチン163bからパラメータとして受け取る。圧力制御サブルーチン166は、チャンバに接続された1以上の従来の圧力マノメータを読み出すことによってチャンバ30内の圧力を測定し、測定値を目標圧力と比較し、格納された圧力テーブルからの目標圧力に対応する比例、微分、積分(PID)値を得て、圧力テーブルから得たPID値に従って絞り弁を調整する。その替わりとして、圧力制御サブルーチン166は、チャンバ30のポンプ能力を所望のレベルに調整するために、絞り弁を特定の開口サイズに開けたり閉じたりするように書き換えることも可能である。

40

【0040】

ヒータ制御サブルーチン167は、ペDESTAL32(およびその上にあるあらゆる基板)

50

を抵抗加熱するために用いられるヒータコイル 33 の温度を制御するためのプログラムコードを備える。ヒータ制御サブルーチンもチャンバ管理サブルーチンによって実行され、目標とする温度パラメータか若しくは設定温度パラメータを受け取る。ヒータ制御サブルーチンは、測定温度と設定温度を比較しながら、ペDESTAL 32 に設置された熱電対の電圧出力を測定し、更に設定温度を得るために加熱ユニットに印加される電流を増加若しくは減少させることによって温度を測定する。温度は、格納された変換テーブルの対応温度を探るか、若しくは 4 次多項式を用いて温度を計算することによって、測定された電圧から得られる。組み込まれたループがペDESTAL 32 を加熱するために使用される場合、ヒータ制御サブルーチン 167 は、ループに印加される電流の立ち上げ/立ち下げを徐々に制御する。更に、組込みフェールセーフモードがプロセスの安全性の状態を検出するために含まれることもあり、プロセスチャンバ 30 が適切に設定されていなければ、加熱ユニットの動作を遮断させることができる。使用できるヒータ制御の代替方法は、ランプ制御アルゴリズムを用いることであり、これに関しては、本願と同一の譲受人に譲渡され、発明者が Jonathan Frankel の「気相堆積装置の温度制御システム及びその方法 (Systems and Methods for Controlling the Temperature of a Vapor Deposition Apparatus)」と題した 1996 年 11 月 13 日に出願され同時継続出願である米国特許出願第 08/746,657 号 (代理人事件番号 16301-017000) に記載されており、それらの内容全体を参照により本願明細書に引用したものとす。

10

## 【0041】

プラズマ制御サブルーチン 168 は、チャンバ 30 とヒータアセンブリ 32 のプロセス電極に印加する低周波及び高周波 RF パワーレベルを設定し、採用した低い RF 周波数を設定するためのプログラムコードを備える。前述したチャンバ構成要素サブルーチンと同様に、プラズマ制御サブルーチン 168 もチャンバ管理サブルーチン 163b により実行される。遠隔プラズマ発生器 4 を含む実施形態の場合、プラズマ制御サブルーチン 168 はまた、遠隔プラズマ発生器を制御するためのプログラムコードも含む。

20

## 【0042】

上述した CVD システムに関して、本願と同一の譲受人に譲渡され、「チタン層を堆積するための高温高成膜速度のプロセス及び装置 (A High Temperature, High Deposition Rate Process and Apparatus for Depositing Titanium Layers)」と題した 1997 年 8 月 22 日出願の米国特許出願第 08/918,706 号 (代理人事件番号 16301-017930) により詳細に記載されており、それらの内容全体を参照により本願明細書に引用したものとす。しかしながら、上記リアクタに関する記載は主に説明を目的として記載したものであって、電子共鳴 (ECR) プラズマ CVD 装置、誘導結合形 RF 高密度プラズマ CVD 装置などの他のプラズマ CVD 装置が用いられてもよい。更に、ペDESTAL のデザイン、ヒータのデザイン、ポンプチャネルのデザイン、RF パワー接続の位置やその他のあらゆる変形など、上述したシステムの変形例も可能である。本発明によるチタン層形成の方法は、ある特定の CVD 装置に限られるものではない。

30

## 【0043】

## III. 改良形 CVD チタンプロセス

本発明の方法は、上述した CVD チャンバの例のように、基板処理チャンバ内でこれまでより優れたチタン膜を堆積するために用いられてもよい。上述したように、チタン膜は今日の集積回路製造時において多く使用されるものである。このようなチタン膜の主要な使用目的の 1 つは、コンタクト構造の一部であるチタン/窒化チタンスタックの最初の接着層である。このようなコンタクト構造は、本発明が用いられる実施形態における例示的なコンタクト構造の断面図である図 2A に示されている。

40

## 【0044】

図 2A に示されているように、結晶シリコン又は多結晶シリコンの表面を有する基板 205 上に、約  $1\ \mu\text{m}$  の厚みをもつ酸化物層 200 (例えば、 $\text{SiO}_x$  膜) が堆積されている。酸化物層 200 は、集積回路でプレメタル絶縁体若しくは層間絶縁体として作用してもよい。層間の電氣的接触を得るために、コンタクトホール 210 が酸化物層 200 を通る

50

のようにエッチングされて、アルミニウムなどの金属で充填される。

【0045】

ほとんどの最新の集積回路において、コンタクトホール210は、幅が狭く、 $0.35\mu\text{m}$ 幅よりも狭いものが多く、アスペクト比は約6:1か若しくはそれよりも大きいものとなっている。このようなホールの充填作業は非常に困難であるが、幾分標準的なプロセスが開発されており、この方法では、ホール210がチタン層215で最初にコンフォーマルに被覆される。次いで、チタン(Ti)層215が窒化チタン(TiN)層220でコンフォーマルに被覆される。その後、アルミニウム層225が、主に物理気相堆積法を用いて堆積され、コンタクトホール225を充填して、上層との電氣的相互接続ラインを形成する。チタン層215は、下地シリコンとその側壁にある酸化物層の両方に対する接着層となる。また、オーム接触を形成するために、下地シリコンで珪化することができる。TiN層220は、Ti層215としっかりと結合し、アルミニウム層225はTiNにしっかりとウェットしているため、アルミニウムはボイドを形成することなく、コンタクトホール210を良好に充填できる。また、TiN層220は、拡散バリアとしても作用して、アルミニウム225がシリコン205に移動しないようにして導電性に影響を与えることを防止する。

10

【0046】

この目的を適切に達成するためには、チタン層215は、複数の特性のなかでも、良好なボトムカバレッジ、低抵抗率、均一な抵抗率と均一な堆積の厚みを、コンタクトの底部全体及びウェーハ全体(中心から縁部)の両方にもつものでなければならない。また、チタン層215はコンタクト210の底に沿って均一に堆積されるが、側壁には全く堆積されないことが好ましい。チタンが側壁に堆積されないようにすることによって、コンタクト領域からのシリコンが側壁でチタンと反応して、コンタクトの底部から側壁へと輸送される「シリコンクリープ」として知られる現象が発生するのを防ぐことができる。本発明の方法により堆積されるチタン層は、これらすべての特性を満たすもので、従来技術のチタン堆積プロセスと比較すると、格段に優れたボトムカバレッジとシート抵抗の均一性を示すものである。これらの改良は、主要なチタンバルク堆積ステップよりも優れ、かつそれに追従する新規且つ特有のステップを組み合わせることで達成される。

20

【0047】

これらのステップの1つに、チタン堆積ステップの前に実行される新規且つ特有のプラズマ処理ステップがある。このプラズマ処理ステップでは、ウェーハは、 $\text{H}_2$ 及びArの処理ガスから形成したプラズマに比較的短時間(例えば、好適な実施形態では5秒から60秒の間)晒す。このようにして、ウェーハの上面の少量部分が堆積ステップの前にエッチングされる。本願発明者等は、このエッチングステップが、(1)コンタクトホール210を形成した後にウェーハのコンタクト領域に成長したあらゆる酸化物( $\text{SiO}_x$ )を除去するとき、(2)ホールの形成(エッチング)ステップ後にコンタクトホール210に意図せず残った層200からのあらゆる酸化シリコンを更にエッチングするときに特に有効であることを発見した。コンタクト形成前にかかなりの時間、ウェーハが大気に晒されると、10~50オングストロームの厚みをもつ酸化物が一般に形成される。また、本願発明者等は、多くの商用製造プロセスが、層200を完全にエッチングせずに、コンタクト領域上に薄いエッチングされていない酸化シリコン層を残すことが分かっていた。このような層が、層230として図2Bに示されており、プロセスによっても異なるが、100~250オングストローム以上の厚みをもつ場合がある。

30

40

【0048】

このようなエッチングされていない層230が若しくはウェーハ上に形成されたあらゆる酸化物の厚みにもよるが、チタン層215が本発明の利点を用いずに堆積される場合、電氣的な接触が下地基板表面に形成されないため、製造プロセスの全体的な歩留りを下げる部品故障につながる。他の例では、層230や酸化形成物が、抵抗レベルが高くなった状態で電氣的接触を下地シリコンに形成できる厚みのものである。このため、製造されたデバイスが製造者の特性要求には見合わないものとなることがある。これらのうちどちらの

50

場合でも、本発明の前処理ステップを用いれば、残留層 230 若しくは酸化形成物のすべてか若しくは一部をエッチングすることで、基板 200 に対する電氣的接触を向上させることが可能となる。本発明のこの態様に関しては、図 3 を参照しながら以下に更に詳細に記載する。

#### 【0049】

図 3 は、本発明の好適な実施形態によるもので、チタン膜を堆積するために用いるステップを詳細に示した流れ図である。図 3 に示しているステップは、好適なプロセスのみを示しているもので、本発明の他の実施形態はここに開示したステップの幾つかを一緒に用いるか、若しくはこれらのステップの形式や順番を変更して用いる場合もあることを理解されたい。図 3 に示すように、チタン層の堆積を始める前に、ウェーハがチャンバ 30 に積載され（ステップ 300）、プロセッサ 85 が現在のウェーハ数（N：以下に記載するようにクリーニング目的で使用される）を 1 に設定する（ステップ 305）。ウェーハがチャンバ内に積載された後、ペDESTAL 32 がガス分配シャウヘッド 40 から一般に 250 ~ 500 mil の間にある処理位置に移動される。1 つの特定の好適な実施形態では、ペDESTAL 32 はシャウヘッド 40 から 329 mil の位置に配置される。このようなウェーハ位置決めステップ中、チャンバは、アルゴンなどの非腐食性ガスで堆積が起こる圧力よりも上まで加圧される。アルゴンは、チャンバ内の空所や中空空間、特にヒータペDESTAL の内部を満たすため、チャンバ圧が堆積圧（ある特定の実施形態では 5.0 torr）まで引き続き減圧されるように、ガス抜きされる。このようにして、ステップ 310 は、ヒータペDESTAL 又はチャンバ部分を腐食又は酸化させる可能性がある処理ガスの侵入を最小限に抑える。Ar 加圧ガスは、上側の Ar の流れとしてシャウヘッド 40 を介して流れ、更に下側の Ar の流れとしてウェーハ 36 の下側にある場所から流れる。チャンバ圧は、このステップを実行している間、約 5 ~ 90 torr の間に設定されることが好ましい。

#### 【0050】

更にステップ 310 では、ペDESTAL の温度は、実際のプロセス温度の  $\pm 15$  の間に設定される。約 400 ~ 750 の間にあればどの温度でプロセスを実行してもよいが、ペDESTAL の温度が約 630 ~ 700（約 535 ~ 635 のウェーハ温度に対応）に設定されることがより好ましく、ある特定の実施形態では約 680（約 605 のウェーハ温度に対応）に設定されることが最も好ましい。ある特定の実施形態では、処理ガスが流れ始めるときヒータ及びウェーハを冷却するため、ステップ 310 で温度は最初約 690（プロセス温度よりも 10 高い）に設定される。このようにプロセス温度よりもウェーハを最初に加熱することによって、ウェーハのサイクル時間が更に短くなり、従来はガスが流れ始めた後にヒータパワーを増大させてヒータを処理温度まで戻すときに生じるヒータ要素とヒータ表面との間の熱勾配によるヒータへの温度衝撃が減少される。

#### 【0051】

ステップ 310 の開始後約 10 秒で、温度は実際のプロセス温度（その後全体の堆積プロセス中維持されることが好ましい）に下げられ、反応ガス（好ましくは  $H_2$ ）の流れは最初の流量でオンに換え、上側のアルゴンの流量は増大される（ステップ 315）。反応ガスにより、所望の膜を形成するために原料ガス（後で導入される）の堆積に必要なエネルギー量が減り、更に塩素の一部を Cl 若しくは  $Cl_2$  として残す以外にそれを塩化水素（HCl）に転化して生じる堆積副生成物の腐食度も下げる。次いで、ステップ 320 の 2 秒後に、ガスの流量が更に増大し、更にステップ 325 の 3 秒後に更に増大する。ガスの流量は、ステップ 310 ~ 325 の間、最初の流量から最後の流量まで階段状にインクリメントされる（若しくはその代わりに、立ち上げられる）ことによって、ヒータに対する温度衝撃を下げるができる。つまり、ガスの最終流量が非常に大きく、一度にオン状態にするとウェーハを過度に冷却してしまう可能性がある。このようなガスのステップ的又は立ち上がりの始め方は、ヘリウムや水素などのガスが高い熱転移特性を有するため、特に重要なことである。

#### 【0052】

次のステップであるステップ325は、上述したプラズマ前処理ステップである。プラズマ前処理ステップでは、低周波数（例えば、300～450kHzであり、350kHzのものが最も好ましい）RFエネルギーがシャワヘッド40に印加されて、H<sub>2</sub>とアルゴン処理ガスからプラズマを形成する。上述したように、このプラズマはコンタクトホール210の形成後に基板200上に成長された薄い酸化物層が、若しくはコンタクトホール210内にエッチングされずに残った層230をすべてか若しくは部分的にエッチングすることで、基板200に対する電氣的接触を向上させることができる。このようなエッチングプロセスは、基本的な化学反応であるSiO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>Oで表わすことができ、ここでシラン（SiH<sub>4</sub>）と水（H<sub>2</sub>O）は共にチャンバから排気されるものとされる。勿論、他の中間反応も起こり、排気される化合物はこれらの中間反応からのイオンや他の分子も含むものとされる。

10

#### 【0053】

酸化形成物やシリコン酸化物の残留物をエッチングするために、ステップ320において、前処理ガスと称される他のガスを用いることができる。前処理ガスは、シリコン酸化物とシリコン基板との間のエッチング選択性が高いものでなければならぬことから、シリコンのコンタクト領域にダメージを与えることなく、酸化形成物や残留酸化物をエッチングすることができる。ステップ320で使用することができる他の前処理ガスは、アンモニア（NH<sub>3</sub>）とさまざまなハロゲン種を含み、シリコン酸化物をエッチングするためのものとして知られているものである。フッ素含有ガス（例えば、CHF<sub>3</sub>、CF<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、BF<sub>3</sub>、NH<sub>3</sub>など）は、最も好適なハロゲン種とされるのに対し、ヨウ素含有原料は、ヨウ素原料が室温では固体で作用させにくいことから最も好ましくないものとされる。また、臭素含有種は、次の堆積プロセスへの影響が少ないとされる点から、塩素含有種よりも一般に好ましいものである。このような前処理ガスのうちのどれでもキャリアガス又は別の不活性ガスと混合でき、また混合することが好ましく、そうすることによってプラズマやその結果生じたエッチングプロセスを安定化させることができる。

20

#### 【0054】

ステップ325中、TiCl<sub>4</sub>（原料ガス）及びヘリウムの流入が開始される。しかしながら、この時、これらの流れをチャンバ30内に導入せずに、これらの流れを前方のラインに直接向けて逸らす。このようにして、流れ、特にTiCl<sub>4</sub>の流れを方向転換することによって、堆積が始まる前に流れを安定させることができ、マルチウェーハ堆積シーケンス（例えば、2,000ウェーハラン）でのさまざまなチタン堆積ステップでの処理条件が更に均一化できる。任意に、別のステップ330の一部として、プラズマ開始後すぐにTiCl<sub>4</sub>とヘリウムの流れを開始させることも可能である。何れの場合にせよ、堆積ステップ335の前に少なくとも6～8秒間、TiCl<sub>4</sub>の流れを安定化させることが好ましい。

30

#### 【0055】

堆積ステップ335では、TiCl<sub>4</sub>とヘリウムガスの流れがアルゴンとH<sub>2</sub>の流れと共に再方向付けされ、プラズマは継続してRFパワーをシャワヘッド40に印加することで維持される。TiCl<sub>4</sub>は、液状のもので、ヘリウムキャリアガスと混合される前に、STEC Corporationにより製造されているガスパネル精密液体噴射システム（GPLIS: gas panel precision liquid injection System）などの液体噴射システムを用いて気化される。以下の表1に示すように、現在好適とされる実施形態では、H<sub>2</sub>とTiCl<sub>4</sub>の比率は、106:1である。この比率は、当業者によってなされているように、表に与えられたTiCl<sub>4</sub>のmgm流量をそれと同等のsccm流量へと変換することによって算出できる。この場合、TiCl<sub>4</sub>は400mg/mの速度で導入され、これは47.23sccmのガスの流量に相当するものである。

40

#### 【0056】

堆積ステップ335は、膜の厚みが選択した厚みに堆積されるまで維持される。堆積温度が高く、ガス流量や他の要因も増大しているため、本発明のチタン膜は、少なくとも100オングストローム/分から約400オングストローム/分よりも高い成膜速度で堆積さ

50

れる。従って、ステップ335の全体の時間は、従来技術のプロセスに必要なものよりも一般に短いものとなり、つまりウェーハのスループットが増大することにつながる。

【0057】

堆積ステップ335が完了した後、 $H_2$ 、 $TiCl_4$ 及びヘリウムの流れがオフに換わり、RFパワーが急激に下げられて、上側のアルゴンの流れが急激に減少されて(ステップ340)、堆積ステップ中にチャンバ上に形成された可能性があるあらゆる大きな粒子を遊離させる。次に、約3秒後、RFパワーがオフに切り換えられ、チタン層がパッシベーションされてもよい。チタン層のパッシベーションは、炭素や酸素などの不純物がチタン内に吸着できないように、チタン層の表面に薄膜の窒化チタン層を形成することによってなされる。このような不純物はチタン層の抵抗率を変えて、窒化チタンバリア層を堆積するための表面が不適切な表面となることもある。パッシベーションは、パッシベーションステップ345として $H_2$ と $N_2$ の流れをアルゴンの流れに加え、更にステップ350で窒素プラズマを形成することの両方が若しくはそれらのどちらかのステップによって達成してもよい。両方のステップ345と350が共に実行されることが好ましい。このように行う場合、ステップ345により堆積後のプラズマ処理ステップ350の前にチャンバが安定化され、更にチャンバからの $TiCl_4$ の残留物を一掃できる。また、窒素が表面のチタンと反応して、薄膜の窒化チタン層を形成しはじめる。

10

【0058】

ステップ345の後、ステップ350において、プラズマを形成するためにチャンバ内の $H_2/N_2/Ar$ パッシベーションガスにRFエネルギーを印加することによって、チタン層は更にパッシベーションされる。その代わりに、パッシベーションプラズマは、遠隔プラズマ源で形成され、チャンバにチャンネルで運ばれてもよい。パッシベーションプラズマでイオン化された窒素は、チタン層の表面と反応して、約10秒の露出中に薄膜の窒化チタン層の形成を終了する。チャンバ内にプラズマを形成するために、RFパワーは一般にシャワヘッド40に印加される。しかしながら、RFパワーはペDESTAL電極22か、若しくはペDESTAL電極22とシャワヘッド40の両方に印加されてもよい。両方のステップ345と350を用いる好適な実施形態では、ステップ345は約8秒間続く。ステップ345か若しくはステップ350のみが用いられる他の実施形態では、ステップはより長い時間、例えば、約10~30秒の間用いてもよい。

20

【0059】

ステップ350の後、第2のプラズマパージステップ355が実行されて、チャンバに存在する可能性があるあらゆる大きな粒子を更に遊離させる。プラズマパージステップ355は、プラズマパージステップ340と類似しているが、異なる点は、ステップ355では $N_2$ と $H_2$ の流れがアルゴンの流れに加えて維持されることである。最後に、ステップ360では、すべてのガスの流れが遮断されて、チャンバは排気され、次いで、ウェーハがチャンバから取外される(ステップ365)。ウェーハは一般にパッシベーションされているので、チタン層が酸素や炭素などの不純物を吸収して有害な状態にならずに、大気に露出させることができる。このように、長期間、例えば、何日間も空気に晒しても、チタン層の特性は劣化しない。更に、窒化チタンのパッシベーション層により、次の処理で窒化チタンバリア層を堆積する表面が「クリーンな」状態になる。ウェーハが除去された後、次のウェーハが積載され(ステップ410)、プロセス85がウェーハカウントを増加させる(ステップ415)前に、温度は約680に予め設定される(ステップ405)。

30

【0060】

各ウェーハ堆積後に実行されるプラズマパージステップ340と355に加えて、ドライクリーンプロセス(チャンバの蓋を開けずに行う)が、所定数のウェーハ堆積プロセス後にチャンバに周期的に実行され、更にウェーハが汚染されないようにする。本発明によれば、このドライクリーンプロセス中、チャンバにはウェーハ(例えば、ダミーウェーハ)がない。ドライクリーンプロセスは一般に「X」枚毎のウェーハに実行され、2~300枚ごとのウェーハに実行されることが好ましい。例えば、ある特定の実施形態では、3

40

50

～ 5枚毎のウェーハにドライクリーンが実行されているものもある。システム全体のウェーハ生産数にあまり影響を及ぼさないように、ドライクリーンプロセスを効率的維持することが望まれる。ある特定の実施形態による好適なドライクリーニングプロセスが以下に更に詳細に記載される。

#### 【0061】

図3を再度参照すると、X（ここでは、例えば $X = 3$ ）枚のウェーハが処理されると（ステップ370）、チャンバはドライクリーンの対象となる。最初に、ヒータがシャワヘッドから約650mil離されるように移動させ（ステップ375）、680の処理温度に維持される。このとき、 $N_2$ 又は同様の非反応性ガスがチャンバ内に流入され、チャンバは、約0.1～10torrの範囲にあり、好ましくは約5torrより低く、さらにある特定の実施形態では約0.6torrのクリーニング圧力で維持される。これにより、シャワヘッドへのヒータからの熱流量が減少することで、ヒータに対してシャワヘッドが冷却されることになる。

#### 【0062】

ステップ375の3秒後、塩素ガス（ $Cl_2$ ）が約250sccmの流速でチャンバ内に流入され、ペDESTALはシャワヘッド40から600milの位置まで持ち上げられる（ステップ380）。次に、2秒後、プラズマが約400wattのパワーで打ち込まれる（ステップ385）。この状態がある一定の時間保持されることによって、塩素種が望ましくない堆積物を反応して、チャンバ構成要素からその堆積物をエッチングする。堆積処理から生じた望ましくない堆積物は一般に、チャンバの最も熱い露出部分、即ちウェーハによって被覆されていないか、若しくは流量リストラクタリングで保護されていないヒータの上面上が最も厚くなっている。ヒータをシャワヘッドから移動させて離すことにより、上記の状態、チャンバのあらゆる構成要素、特にシャワヘッドをオーバエッチングすることなく、チャンバの構成要素すべてを十分に確実にクリーニングすることができる。

#### 【0063】

ステップ390の長さは、チャンバ30内の堆積形成物の量にもより、言い換えれば、色々な要因の中でも、ドライクリーン動作間に処理されたウェーハの枚数及び堆積プロセスの長さ（即ち、ウェーハ36上に堆積されるチタン膜の厚み）に左右される。ある特定の実施形態では、ステップ390の継続時間は15秒である。その替わりに、ステップ390の長さは、クリーニングエンドポイント技術を用いて決定してもよい。この技術は公知のもので、光学式エンドポイント検出方法及び圧力ベースのエンドポイント検出方法を含む。光学式エンドポイント検出方法では、適切に動作させるためにチャンバ30の壁に石英又は同様に不透明のウィンドウが必要であり、このようなウィンドウは適切なエンドポイント検出を妨害するチタン堆積の影響を受けやすいため、あまり好ましくない結果を生じる実施形態もある。同様に、既知の圧力ベースのエンドポイント検出方法に関しても、このような圧力ベースのエンドポイント検出方法は、クリーンステップ390の終了時を的確且つ正確に識別するために、各チャンバ30に対して個々に較正しなければならないため、理想的なものとはいえない。

#### 【0064】

本願発明者等は、測定した反射RFパワーをもとにしたステップ390の新規なエンドポイント検出法を開発した。このエンドポイント検出法は、全クリーンステップ390を通して、チャンバ30からRF電源5（図1A）のパワー供給ラインに反射されたパワーを測定する。クリーンステップ390の開始時は、反射パワーは堆積物がチャンバ壁からエッチングされるにつれて増大する。このような反射パワーの増大は、エッチングされたチタン堆積物からのイオン種と活性化分子を組み込むにつれて、クリーニングプラズマの密度が高くなっていることを示している。堆積された材料がチャンバ壁からエッチングされるほど、測定される反射パワーはピークに達し、その後下がり始める。このような結果は、チタン堆積ステップ335の時間と長さの関数として、クリーンステップ390中測定した反射パワーを示すグラフである図4に明らかにしている。図4に示すデータは、 $X =$

10

20

30

40

50

1、即ち、チャンバ30が1枚のウェーハの処理が終了とドライクリーニングプロセスを受けた場合の実施形態を示している。

【0065】

チャンバクリーニングプロセスは、測定された反射パワーが最小速度以下で減少するときに終了される。例えば、ある実施形態では、ステップ390は、測定された反射パワーが0ワット/秒まで下がった後の10秒で止められる。別の実施形態では、ステップ390は、測定された反射パワーの減少速度が、2ワット/秒以下になるときに停止される。

【0066】

プラズマクリーン後、塩素ガスがオフにされて、プラズマパワーがOFFに切り換えられる(ステップ390)。N<sub>2</sub>の流量は、約3秒間チャンバをパージするために維持される。次いで、ペDESTALは約650m1間隔に戻されて(ステップ395)、下側のアルゴン流量は10秒間増量されて、更にチャンバをパージする。最後に、チャンバは約5秒間排出される(ステップ400)。勿論、「ウェットクリーン」又は予防メンテナンスクリーニング(処理されるウェーハの数百から数千枚毎に生じる)がチャンバの蓋を開けることで実行され、さまざまなチャンバの部分を手動で洗浄する。

【0067】

ウェーハ堆積の間に周期的にドライクリーニングプロセスを実行することによって、時間のかかることが多いこれらのウェットクリーン予防メンテナンスの回数が最小限に抑えられ、更に堆積プロセスの効率性を上げ堆積速度の高速化に貢献されるとされるクリーンチャンバが供給される。更に、周期的なドライクリーニングプロセスを用いることによって、延長されたウェーハランでのチタン堆積プロセスの繰返し性が向上する。即ち、例えば、2,000ウェーハの延長されたウェーハランの間、このような周期的なドライクリーニングが用いられない延長されたウェーハランと比較して、第1の複数のウェーハでの堆積されたチタン層の特性は、最後の複数のウェーハでの堆積された層の特性にかなり類似している。

【0068】

本願発明者等はまた、TiCl<sub>4</sub>の流れが停止した(ステップ340)後、ガスラインに残る液体TiCl<sub>4</sub>で、プロセスの繰返し性に支障をきたすことを発見した。即ち、ラインに接続された適切な流量制御弁を遮断することによって堆積ステップ340でTiCl<sub>4</sub>の流れが停止されるとき、ラインに一部残留したTiCl<sub>4</sub>液が残る。本願発明者等は、この残留液体の量がある堆積プロセスから次のプロセスへと変化し、残留TiCl<sub>4</sub>によって、堆積が不安定になり、堆積プロセスに悪影響を与えることを発見した。例えば、TiCl<sub>4</sub>の残留量が変化するため、延長されたウェーハランにおいて任意の2つの個々の基板のチャンバ内に流入されるTiCl<sub>4</sub>の量は異なる場合があり、特定の基板上に多少の堆積が生じることになる。また、残留しているTiCl<sub>4</sub>は、チャンバ内に輸送されるときに新しい基板上に存在する湿気と反応して、TiO<sub>2</sub>を形成して望ましくない粒子を作り出すこともある。最後に、残留しているTiCl<sub>4</sub>は、ウェーハ堆積ステップ間でチャンバ内に漏れ、チャンバ又はチャンバの構成要素の部分を被覆することによって、被覆された部分の色が変わり、チャンバや構成要素の同じ部分の放射率も変化してしまう。表面の放射率が変化することによって、表面の温度や他の特性を望ましくない状態に変化することもある。

【0069】

この残留TiCl<sub>4</sub>の悪影響をなくすために、本願発明者等は、ドライクリーニングプロセス中にラインを介してヘリウム又は別の不活性ガス原料(残留TiCl<sub>4</sub>と反応しないガス)を流すことで、TiCl<sub>4</sub>のガスラインを乾燥される新規且つ特有のステップを考案した。例えば、ステップ375~395のそれぞれにおいて、500sccmのヘリウムの流れがTiCl<sub>4</sub>のライン内に導入されて、ラインから残留TiCl<sub>4</sub>を乾燥させてパージする。このようにして、本発明の方法により、すべてのウェーハに堆積する前に、確実にガスラインが再生可能な状態にされる。また、TiCl<sub>4</sub>のラインをパージした後、流入させたヘリウムが堆積チャンバに入り込み、ドライクリーニングプラズマを安定化させる

10

20

30

40

50

。ヘリウムの流れは、当業者に理解されているように、適切な弁と流量コントローラを用いて、TiCl<sub>4</sub>のラインに従って進む。

【0070】

図3に対して記載した本発明の現在好適とされる実施形態によるガス流量、圧カレベル及び他の情報は、以下の表1（堆積プロセス）及び表2（クリーニングプロセス）で示している。表1及び表2に示したガス導入速度は、8インチウェーハで供給されるアプライドマテリアルズ社社により製造された抵抗加熱されたTi×Z CVDチャンバにおいて、図3に示すプロセスの使用に基づいたものである。当業者には理解されているように、他の実施形態においてガスが導入される実際の速度は、異なるデザイン及び/又は容積の他のチャンバが用いられる場合異なるものとなるであろう。

10

【0071】

【表1】

表1

好適なCVDチャンバプロセス											
	ステップ° 310	ステップ° 315	ステップ° 320	ステップ° 325	ステップ° 330	ステップ° 335	ステップ° 340	ステップ° 345	ステップ° 350	ステップ° 355	ステップ° 360
圧力 (torr)	60	TFO	5	5	5	5	1.5	1.5	1.5	TFO	TFO
間隔 (mil)	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329
RF電力 (W)	0	0	0	900	900	900	50	0	600	50	0
Ar (下側) (sccm)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	0
Ar (上側) (sccm)	2000	5000	7500	10000	10000	10000	500	500	500	500	0
H <sub>2</sub> (sccm)	0	1000	3000	5000	5000	5000	0	800	800	800	0
He (sccm)	0	0	0	100 (方向転換)	100 (方向転換)	100	0	0	0	0	0
TiCl <sub>4</sub> (mgm)	0	0	0	400 (方向転換)	400 (方向転換)	400	0	0	0	0	0
N <sub>2</sub> (sccm)	0	0	0	0	0	0	0	800	800	800	0

\*TFO=完全に開いた絞り弁

20

【0072】

【表2】

30

表 2

好適な CVD チタンクリーンアッププロセス						
	ステップ° 375	ステップ° 380	ステップ° 385	ステップ° 390	ステップ° 395	ステップ° 400
圧力 (torr)	TF0	0.8	0.8	0.6	4	TF0
間隔 (mil)	650	600	600	600	650	650
RF 電力 (W)	0	0	400	0	0	0
Ar(下側) (sccm)	200	200	200	200	500	0
Ar(上側) (sccm)	0	0	0	0	0	0
H <sub>2</sub> (sccm)	0	0	0	0	0	0
He (sccm)	500 (TiCl <sub>4</sub> ライン)	0				
TiCl <sub>4</sub> (mgm)	0	0	0	0	0	0
N <sub>2</sub> (sccm)	500	500	500	500	500	0
Cl <sub>2</sub> (sccm)	0	250	250	0	0	0

## 【 0 0 7 3 】

上記の表 1 及び表 2 に示された堆積条件と流量は、本発明の現在好適とされる実施形態に用いられた流量を表わしているが、他の堆積条件及び他の流量も使用可能であることを理解されたい。例えば、原料ガス及び反応ガスが堆積ステージ中に導入される速度に対して、本願発明者等は、H<sub>2</sub>とTiCl<sub>4</sub>の比率を約64:1と2034:1の間にすべきであることを発見した。好適な比率は、堆積温度、圧力、ペDESTALの間隔、RFパワーレベル及び他の要因を含む他の堆積条件に一部依存している。しかしながら、本願発明者等は、上述した比率は、少なくとも630~700のヒータ温度範囲と、少なくとも1~10 torrの堆積圧力範囲を含む好適な堆積条件で高品質のチタン膜を堆積するために用いることができることを発見した。ある特定のテストでは、高品質のチタン膜は、3,000 sccmのH<sub>2</sub>の流れと400 mg/m(47.23 sccmに相当)のTiCl<sub>4</sub>の流量を用いて64:1のH<sub>2</sub>/TiCl<sub>4</sub>の比率で堆積されたものと、12,000 sccmのH<sub>2</sub>の流れと50 mg/m(5.9 sccmに相当)のTiCl<sub>4</sub>の流量を用いて2034:1のH<sub>2</sub>/TiCl<sub>4</sub>の比率で堆積されたものである。H<sub>2</sub>/TiCl<sub>4</sub>の流れの比率が64:1よりも小さい場合、反応時の水素が足りず不安定になり、流れの比率が2034:1よりも大きい場合、堆積膜は、コンタクト内のボトムカバレッジが劣化し始め受け入れがたいものとなり、更に排気管理がしにくくなる。

## 【 0 0 7 4 】

## I V . テスト結果及び測定

本発明の効率性を示すために、本発明の方法を用いた場合と用いていない場合とでチタン層を堆積する実験を行った。実験は、アブライドマテリアルズ社で製造される抵抗加熱Ti x Zチャンバで行われた。Ti x Zチャンバは、200 mmウェーハ用に供給されたもので、これもアブライドマテリアルズ社により製造されたセンチラマルチチャンバ基板処理システムに載置されたものである。

## 【 0 0 7 5 】

これらの実験セットの1つにおいて、チタン堆積ステップの前に、酸化シリコン層が上に堆積されたウェーハに対してさまざまな前処理ステップ(ステップ325)が実行された。これらの前処理ステップの第1のステップは、Cl<sub>2</sub>(125 sccm)、N<sub>2</sub>(500

s c c m) 及び A r ( 2 0 0 s c c m) 処理ガスからプラズマを形成した。プラズマは、4 0 0 W の R F パワーレベルを用いて形成され、異なるテストで 4 0 ~ 1 0 0 秒間維持された。テスト結果によると、このステップは 1 . 1 オングストローム / s e c の速度で酸化シリコン層をエッチングしたが、エッチングはあまり均一性がなく、かなり制御不能で、酸化シリコンだけでなく、シリコンもエッチングしてしまうほど強いものであった。

【 0 0 7 6 】

さらなるテストにより、C l<sub>2</sub> プラズマ前処理ステップからの塩素で、次のチタン堆積ステップに支障をきたすことが分かった。更に詳しく言えば、残量塩素は、ステップ 3 3 5 でのチタンフィルムの堆積速度が遅くする原因であるとされている。また、その結果生じたチタン層は、C l<sub>2</sub> プラズマ前処理ステップを用いずに堆積したチタン層よりも均一性が  
10

【 0 0 7 7 】

本願発明者等はまた、本発明の現在好適とされる実施形態により、H<sub>2</sub>を用いてプラズマ前処理ステップを実験した。これらのテストの結果から、H<sub>2</sub> ( 1 2 s l m) 及び A r ( 5 , 5 0 0 s c c m) プラズマ ( R F パワー 9 0 0 W ) は、約 0 . 8 オングストローム / s e c の速度で酸化シリコンを均一にエッチングすることが分かった。また、エッチングプロセスは、シリコンにダメージを与える兆候がないという点から比較的穏やかなものであった。図 5 A 及び図 5 B は、この処理を用いて得られるエッチングの均一性を示すものである。図 5 A は、本発明のプラズマ前処理を受ける前のウェーハの結果の前にウェーハ上に堆積された酸化シリコン層の厚みを示している。測定は、当業者に公知のルドルフ  
20  
フォーカス エリプソメータ ( Rudolph Focus Ellipsometer ) を用いて行われ、測定結果によると、前処理ステップの前の酸化物層の厚みは、1 3 2 ± 1 5 . 6 1 オングストロームであった。図 5 B は、9 0 秒の前処理ステップの直後の酸化物層の厚みを示すものである。図 5 B において、酸化物層の厚みは 5 8 ± 1 6 . 7 オングストロームである。図 5 A と図 5 B を比較すると明らかなように、図 5 B の酸化物層の厚みの変化は、図 5 A に示す変化とほとんど同一のものである。従って、この比較から、このステップ 3 2 5 のエッチングは非常に均一であることが明らかである。

【 0 0 7 8 】

また、本願発明者等は、チタン堆積の前に酸化物を除去するために、半導体製造業社で通常一般に用いられているもので、本発明により堆積されたチタン層と、同様のプロセスで  
30  
堆積させたチタン層の抵抗率を、プラズマ前処理ステップを用いないものと、標準 H F 浸せきステップを用いずに測定した。これらのテスト結果によると、3 0 0 オングストロームのチタン層では、プラズマ前処理ステップで処理したチタン膜と比較すると、プラズマ前処理ステップで処理していないチタン膜の層の抵抗率は 0 . 5 ~ 1 . 0 / 高いものとなった。

【 0 0 7 9 】

これらの結果から分かることは、本発明のプラズマ前処理ステップは、チタン層の堆積前にシリコン酸化物上の望ましくない酸化物をエッチングするための使用に有効なことである。前述したように、このような酸化物は、基板上に定期的に形成され、以前は H F 溶液への浸せきなどの別の処理ステップを用いて、基板をチタン膜の堆積用に別のチャンバへ  
40  
と転送する前に形成されたものをエッチングする必要がある。このような H F 浸せきステップでは、ウェーハを後で乾燥させて、更に酸化が起こる前にすぐに堆積チャンバへと転送しなければならない。このプロセスは煩雑で時間がかかり、本発明のプロセスよりも本来信頼性が低くなるものである。

【 0 0 8 0 】

他のテストから分かったことは、本発明のプロセスは、ホール 2 1 0 ( 図 2 A ) などのコンタクトホールの側壁上にチタンが堆積せず、更にボトムカバレッジも 3 0 0 % を超える結果を得ている。3 0 0 % のボトムカバレッジを示す膜は、1 0 0 オングストロームのチタン層がコンタクト内に堆積されるとき、コンタクトの底部に形成されるチタンケイ化物が 3 0 0 オングストロームをもつ。  
50

## 【 0 0 8 1 】

上述のプロセス及び実験で挙げたパラメータは、ここに記載するように請求の範囲に限定されるべきものではない。当業者であれば、好適な実施形態に対してここで記載した以外の化学薬品、チャンバパラメータや条件を用いて上述したプロセスを修正できる。このように、上記の記載は例示的なものであり制限的なものではなく、本発明はさまざまな異なる堆積及びクリーニングプロセスでチタン膜を堆積するために応用可能である。例えば、ドライクリーニングプロセスは、遠隔プラズマシステム4を用いて、 $Cl_2$ ガス分子及び/又は他のガスを分解することが可能である。同様に、遠隔マイクロ波プラズマシステム4を用いて、堆積プロセス中にチタンや他の処理ガス分子を分解することが可能であり、分解されたイオンはチャンバ30の方へと送ることも可能である。本発明は、 $F_2$ 、 $ClF_3$ などを含む異なるクリーニング源を用いて使用することも可能であり、本発明の技術を、例えば、 $TiI_4$  (固体) 及びあらゆる他のチタンハロゲン化合物などの異なるチタン源を用いて使用することも可能である。また、プラズマ前処理ステップ325は、ウェーハを加熱して、堆積ステップの前にウェーハ全体を均一な温度に安定化させるために用いることも可能である。更に、例えば、 $N_2$ や $NH_3$ などの他のガスを、ステップ345と350でチタン層をパッシベーションするために使用することも可能である。従って、本発明の範囲は、上述の記載を参照して限定されるものではなく、それと同等のすべての範囲のものと共に添付の請求の範囲を参照して限定されるべきである。

10

## 【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 A 】 本発明による簡略化したプラズマ強化化学気相堆積システムの1つの実施形態を示す垂直断面図である。

20

【 図 1 B 】 本発明の1つの実施形態によるもので、図1Aに示したセラミックベDESTAL 36の簡略化した断面図である。

【 図 1 C 】 本発明の実施形態によるもので、図1Aに示した堆積チャンバ30の簡略化した断面図である。

【 図 1 D 】 本発明の堆積システムを制御できるユーザ及びプロセッサ間のインタフェースを示す図である。

【 図 1 E 】 本発明の1つの実施形態によるもので、ウェーハに渡って排気システム内に流れ込むガスを示した簡略化した部分的に切断した斜視図である。

【 図 1 F 】 本発明のある実施形態によるもので、システム制御ソフトウェアの階層制御構造を示す説明的ブロック図である。

30

【 図 2 A 】 本発明により堆積されたチタン層が用いられた例示的なコンタクト構造を示す簡略化した断面図である。

【 図 2 B 】 図2Aのコンタクト構造内の欠陥形成を示す簡略化した断面図である。

【 図 3 】 本発明の方法の現在の好適な実施形態によるもので、チタン層を堆積するために用いる処理シーケンスの流れ図である。

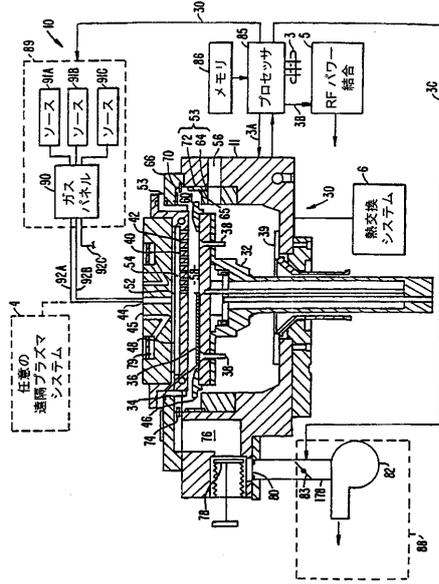
【 図 4 】 チャンバのクリーンステップ中の時間と堆積長の関数として測定した反射力を示すグラフである。

【 図 5 A 】 本発明の実験結果を示す膜圧測定結果である。

【 図 5 B 】 本発明の実験結果を示す膜圧測定結果である。

40

【図1A】



【図1B】

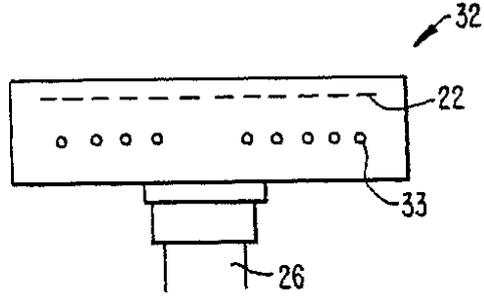


FIG. 1B.

【図1D】

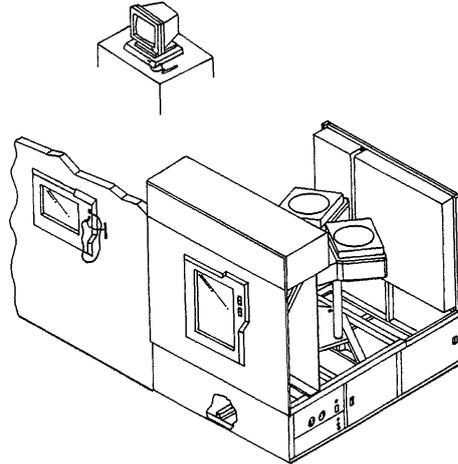


FIG. 1D.

【図1C】

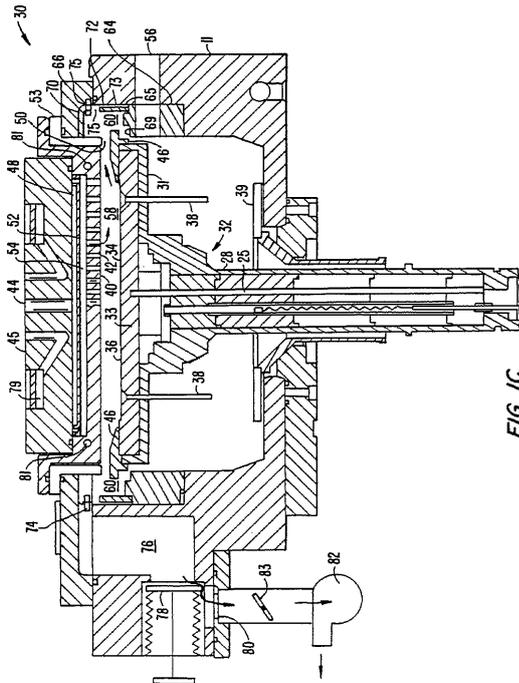


FIG. 1C.

【図1E】

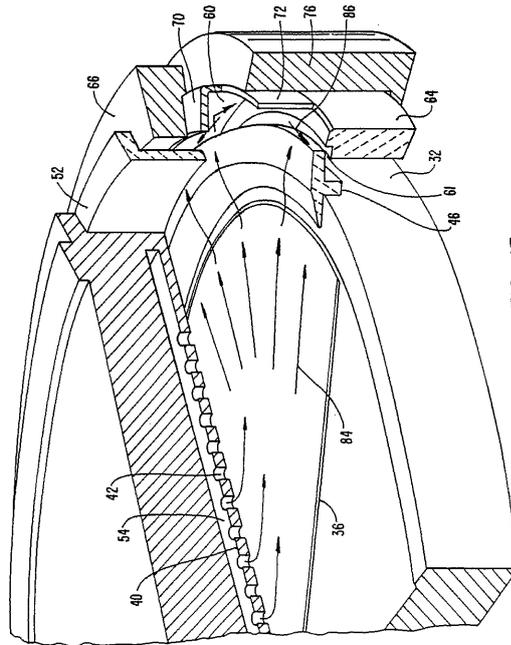
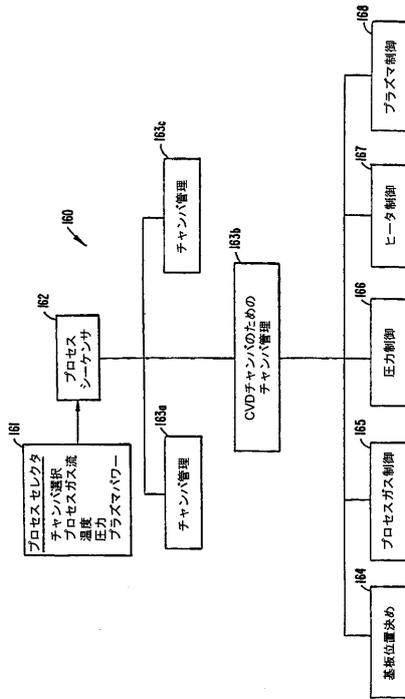


FIG. 1E.

【図 1 F】



【図 2 A】

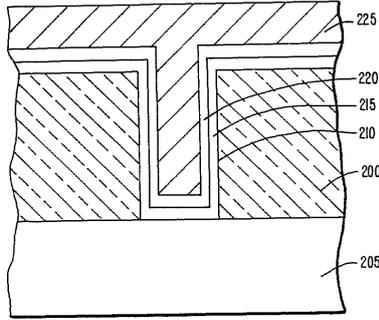


FIG. 2A.

【図 2 B】

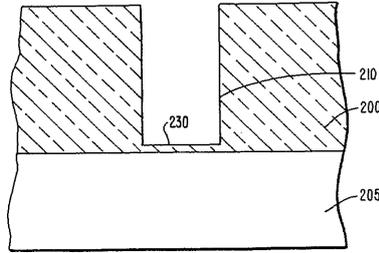
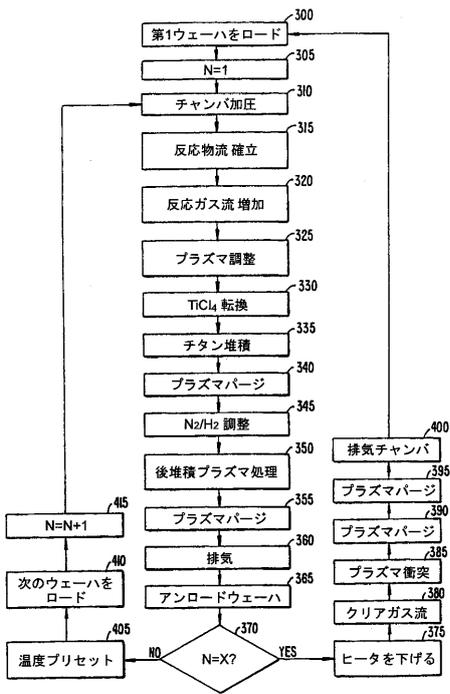
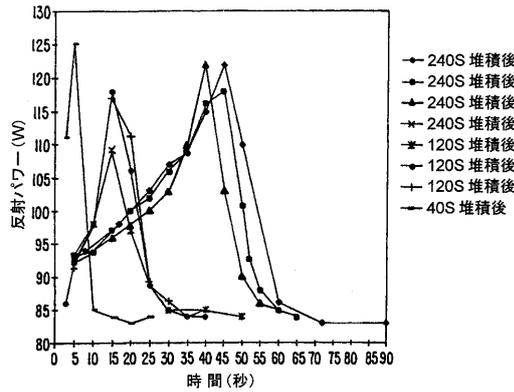


FIG. 2B.

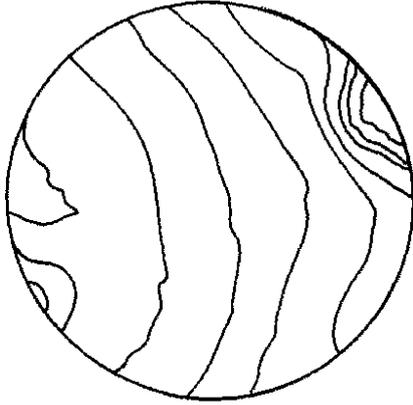
【図 3】



【図 4】

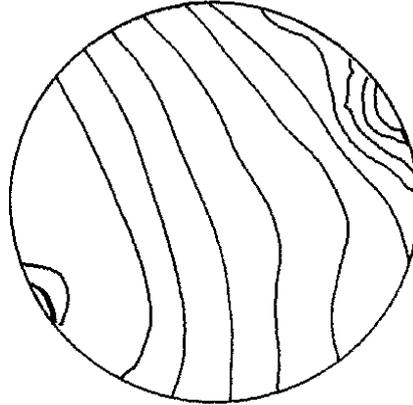


【 5 A】



**FIG. 5A.**

【 5 B】



**FIG. 5B.**

## フロントページの続き

- (72)発明者 スリニヴァス, ラマヌジャブラム, エー.  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, マウント ホーリー ドライブ 660  
9
- (72)発明者 フー, フレデリック, シー.  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, クパティノ, オリオン プレイス 7771
- (72)発明者 ヴァスデヴ, アナンド  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, インディアン クリーク コート 18  
59
- (72)発明者 チャン, メイ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サラトガ, コート ドゥ アルジェロ 12881
- (72)発明者 ビュックレイ, ローレンス, ディ., ジュニア  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サンタ クララ, サラトガ アヴェニュー 141  
アパートメント1132
- (72)発明者 フー, リー  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, パーチメドウ コート 1524
- (72)発明者 ボイル, ブライアン, ピー.  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン フランシスコ, マリエッタ ドライブ 193
- (72)発明者 ヒズメ, シュンイチ  
日本千葉県成田市加良部4-25-1 4-106
- (72)発明者 ジェニングス, パトリシア  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, フェルプス アヴェニュー 1311

審査官 長谷山 健

- (56)参考文献 特開平08-176823(JP,A)  
特開平09-148268(JP,A)  
特開平09-181061(JP,A)  
特開平05-211134(JP,A)  
特開平07-004554(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/285

H01L 21/28

C23C 16/14