

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-199576

(P2012-199576A)

(43) 公開日 平成24年10月18日(2012.10.18)

(5) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/304 (2006.01)	HO 1 L 21/304 6 4 5 C	5 F 0 0 4
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 1 0 2	5 F 1 5 7

審査請求 有 請求項の数 19 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2012-127100 (P2012-127100)
 (22) 出願日 平成24年6月4日(2012.6.4)
 (62) 分割の表示 特願2010-255015 (P2010-255015)の分割
 原出願日 平成16年2月12日(2004.2.12)
 (31) 優先権主張番号 60/447,372
 (32) 優先日 平成15年2月14日(2003.2.14)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. ペンティアム
2. フロッピー

(71) 出願人 390040660
 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
 APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
 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
 (74) 代理人 100092093
 弁理士 辻居 幸一
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 禎男
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭

最終頁に続く

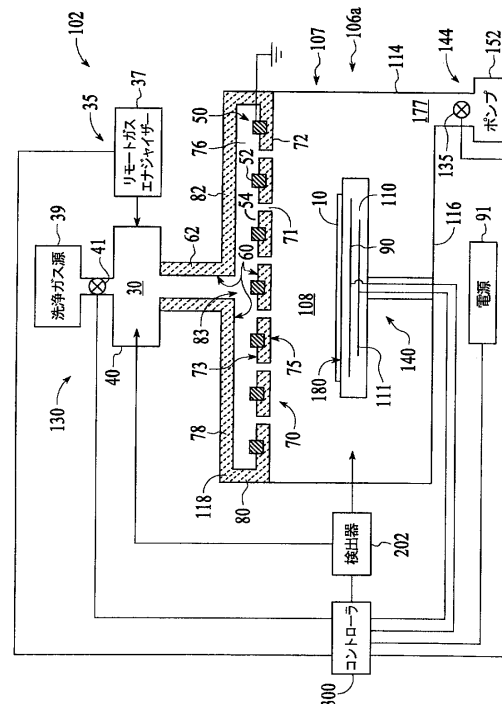
(54) 【発明の名称】 水素含有ラジカルによる未変性酸化物の洗浄

(57) 【要約】

【課題】 誘電率値に不利に影響せずに基板を効果的に洗浄することができる基板洗浄装置を提供する。

【解決手段】 基板洗浄装置は、イオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種との第一比率を有する活性ガスを形成するために水素含有ガスを遠隔励起するリモートソースを有する。本装置は、基板支持体と、遠隔励起ガスをろ過して、イオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種の第二比率を有し、第二比率が第一比率と異なる、ろ過された励起ガスを形成するイオンフィルタと、チャンバにろ過された励起ガスを導入するガス分配器とを備えたプロセスチャンバを有する。

【選択図】 図 2 A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板洗浄方法であって、

(a) プロセスゾーン内に、炭素含有材料を有する k 値が 3 未満の低 k 誘電体層によって取り囲まれた金属含有表面を備える基板を配置するステップと、

(b) リモートゾーンにおいて、少なくとも 80% 容積の H_2 を含む洗浄ガスにエネルギーを結合してイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種との第一比率を含んでいる励起ガスを形成するステップと、

(c) 該励起ガスをろ過してイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種との第二比率を有するろ過された励起ガスを形成し、該第二比率が該第一比率と異なっているステップと、

(d) 該ろ過された励起ガスを該プロセスゾーンに導入して、該基板上的該低 k 誘電体層の損傷を減少させつつ該基板を洗浄するステップと、

を含む、前記方法。

【請求項 2】

(c) が該励起ガスをろ過してろ過された励起ガスを形成し、イオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種との該第二比率が該第一比率より低いステップを含んでいる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

該第一比率が該第二比率の値の少なくとも約 100 倍である、請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

(c) が (i) 該リモートゾーンと該プロセスゾーン間に電氣的に接地されたグリッドを維持する工程と、(ii) 該イオン水素含有化学種の数減少させることができる石英表面全体に該励起ガスを通す工程の少なくとも 1 つを含んでいる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

(b) において、該洗浄ガスが H_2O を含んでいる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

(b) において、該洗浄ガスが窒素含有ガスを含んでいる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 7】

(b) において、該洗浄ガスが NH_3 を含んでいる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 8】

(b) において、該洗浄ガスが約 80% ~ 約 100% 容積の H_2 と約 1% ~ 約 20% 容積の H_2O を含んでいる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 9】

(b) において、該洗浄ガスが約 80% ~ 約 100% 容積の H_2 と、約 1% ~ 約 20% 容積の H_2O と、約 1% ~ 約 20% の NH_3 とを含んでいる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 10】

(d) が該基板の下の電極に約 100 ワット未満のバイアス電力レベルを印加する工程を更に含んでいる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 11】

該基板の温度を約 150 ~ 約 350 に維持するステップを更に含んでいる、請求項 1 記載の方法。

【請求項 12】

下にある金属含有導体を露出する特徴部がその中に形成され、炭素含有材料を有する k 値が 3 未満の低 k 誘電材料を含む基板を洗浄する方法であって、

(a) 熱処理ステップにおいて、少なくとも約 100 の該基板の温度を維持しつつ該基板を水素含有ガスに晒すステップと、

(b) 洗浄ステップにおいて、該基板をろ過された遠隔励起ガスに晒して該基板を洗浄するステップであって、該ろ過された遠隔励起ガスがラジカル水素含有化学種を含んでいる、前記ステップと、

10

20

30

40

50

を含み、該ろ過された遠隔励起ガスは、

(i) リモートゾーンにおいて少なくとも 80 % 容積の H_2 を含む洗浄ガスにエネルギーを結合して遠隔励起ガスを形成する工程であって、該遠隔励起ガスがイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種との第一比率を含んでいる、前記工程と、

(i i) 該遠隔励起ガスをろ過してイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種との第二比率を有するろ過された励起ガスを形成する工程であって、該第二比率が該第一比率より低い、前記工程と、

(i i i) 該基板を該ろ過された励起ガスに晒して、該基板上の炭素を含有する該低 k 誘電材料の損傷を減少させつつ該基板を洗浄する工程と、

により形成される、前記方法。

10

【請求項 13】

(a) が約 150 ~ 約 350 の基板の温度を維持する工程を含んでいる、請求項 12 記載の方法。

【請求項 14】

(a) が約 100 s c c m ~ 毎分約 5 リットルの容量流量でプロセスゾーンに H_2 フローを供給する工程と、約 30 T o r r 未満のプロセスゾーンの圧力を維持する工程を含んでいる、請求項 12 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本出願は、アプライドマテリアルズ社に共同譲渡された Wood らの 2003 年 2 月 13 日出願の米国仮特許出願第 60/447,372 号からの優先権を主張する。その出願の開示内容は本明細書に全体で援用されている。

【背景技術】

【0002】

半導体又はディスプレイのような基板処理においては、基板の上に物質が堆積され、エッチングされて、導電性相互接続部、コンタクト及びバイアを形成する。例えば、電気相互接続ラインのパターンは、基板の上に金属含有導体を堆積し、導体上に抵抗パターンを形成し、導体をエッチングして相互接続ラインを形成し、その後、エッチングされた相互接続ライン上に誘電体層を堆積させることによって形成され得る。誘電体層は、下にある金属含有導体物質又は他の基板領域をそれぞれ露出させるコンタクトホール又はバイアを形成するために更にエッチングすることもできる。その後、導電性物質がエッチングされたホールに堆積されて下にある導体と電氣的に接触する。例えば、銅含有相互接続部形成においては、誘電体層は、下にある銅導体物質を露出するコンタクトホールを形成するためにエッチングされ得る。その後、少なくとも部分的にコンタクトホールを充填する続いての銅電気めっきプロセスを容易にするために、コンタクトホールの露出した銅導体物質と表面上に銅のシード薄層を堆積させることができる。

30

【0003】

しかしながら、金属含有導体物質は、続いてのプロセスステップを行うことができる前に洗浄を必要とする物質の堆積物を含み得る。例えば、堆積物は、中間物プロセスステップ中に導体が酸素化学種に晒される場合に形成する未変性酸化物膜を含み得る。未変性酸化物膜は、酸素含有ガスプラズマが残留抵抗を取り除くために用いられるレジストストリッピングプロセスにおいてしばしば生じる。また、未変性酸化物は、エッチングステップ、ストリッピングステップ、洗浄プロセスステップ間のような異なるプロセスチャンバ間に基板を搬送するときに形成し得る。露出した導体表面と続いて堆積された導電性物質との間の接触界面では電気抵抗が増大することから、未変性酸化物膜が望ましくない。堆積物は、また、以前のプロセスステップから残存している他のプロセス堆積物、例えば、カーボン含有残留物、シリコン含有残留物、フッ素含有残留物、窒素含有残留物を含むことができる。また、例えば、露出物質と堆積物質間の界面にボイド又は不規則性を形成することによる、露出した導体表面上に導電性物質の堆積に不利に影響し得ることから、堆積

40

50

物は望ましくない。

【0004】

未変性酸化物膜は、露出した導体表面上に導電性物質を堆積する前に行われる“前洗浄”プロセスにおいて金属含有導体から除去することができる。典型的な前洗浄プロセスにおいては、金属含有導体の露出した表面は、励起されたアルゴンイオンを基板に物理的に衝撃を加えて膜をスパッタするアルゴンプラズマによって洗浄される。しかしながら、励起されたイオンに適用される正確なエネルギーレベルを求めることは難しい。過度のイオンエネルギーは下にある金属をスパッタすることができ、エネルギーレベルが低すぎると基板上に膜を残留させ得る。膜は、また、例えば、Cohenらの米国特許第6,346,480号に記載されるように、例えば、水素のような励起された還元ガスを用いて洗浄することもでき、膜と化学的に反応させて膜中の酸化物を揮発性ヒドロキシルと水蒸気に還元する。その特許の開示内容は本明細書に全体で援用されている。しかしながら、還元剤は周囲の物質に対して不利な化学作用を有することがあり、例えば、水素化学種は露出した金属と化学反応して金属水素化物を形成し、露出部の導電性に再び望ましくない影響を及ぼす。

10

【0005】

従来の洗浄プロセスは、カリフォルニア州サンタクララのアブライドマテリアルズ社によって製造された、例えば、Black Diamond(登録商標)、低kオキシ炭化シリコンのような低k(低誘電率)物質によって取り囲まれた金属含有表面を洗浄するのに特に適していない。このような洗浄プロセスにおいて、洗浄ガスは低k物質と反応して誘電値を変化させる。例えば、 O_2 、 O_2/N_2 、 O_2/H_2O 、 $O_2/N_2/H_2O$ 、 O_2/CF_4 及び $O_2/CF_4/H_2O$ のような洗浄ガスの組合せを用いた従来の洗浄プロセスは、低k誘電体のk値を約2.7のk値から酸化シリコンのk値と同様の約4.0の高いk値に上げることができる。これらのプロセスにおいて生成されたイオン、及び水素イオンやヘリウムイオンのような特に“軽”イオンが低k物質に深く浸透し膜の構造を損傷させ得ることから、低k物質は、少なくとも一部にはこれらの洗浄プロセスの損傷を特に受けやすいと考えられる。低k誘電体は性能と速度を改善するために半導体デバイスに頻りに用いられているので、誘電率値に不利に影響せずこれらの基板を効果的に洗浄することができるプロセスを有することが望ましい。

20

【0006】

従って、清浄な導電性表面上に未変性酸化物の形成又は他の汚染物質堆積物を表面上に形成することなく金属含有物質を堆積させることが望ましい。更に周囲の物質に不利に影響することなく導体を洗浄することができることが望ましい。例えば、基板上的周囲の低k誘電材料のk値を変化させることなく金属含有導体から未変性酸化物膜を洗浄することが望ましい。

30

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

基板洗浄装置は、イオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種の第一比率を含む遠隔励起ガスを形成するために水素含有ガスを励起させるリモートソースを有する。洗浄装置は、また、基板支持体、遠隔励起ガスをろ過して、第二比率が第一比率と異なる、イオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種の第二比率を有するろ過励起ガスを形成するイオンフィルタ、チャンバ内にろ過励起ガスを導入するガス分配器を有するプロセスチャンバを有する。

40

【0008】

一変形例においては、基板洗浄装置は、遠隔励起ガスをろ過してろ過励起ガスを形成することを援助する石英ガス分配プレートと石英チャンバライナを備えている。

【0009】

装置内の基板を洗浄するために、基板は装置のプロセスゾーンに配置される。遠隔ゾーンにおいて、エネルギーは水素含有ガスに結合してイオン水素含有化学種とラジカル水素

50

含有化学種の第一比率を有する遠隔励起ガスを形成する。遠隔励起ガスをろ過して第一比率と異なるイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種の第二比率を有するろ過励起ガスを形成し、ろ過励起ガスがプロセスゾーンに導入されて基板を洗浄する。

【0010】

装置の他の変形例は、基板から堆積物を洗浄することも基板上に金属含有導体を堆積することもできるものである。この装置においては、洗浄チャンバは、洗浄チャンバ内で約10mTorr未満の圧力を維持する排気システムを含んでいる。装置は、また、基板支持体を有する堆積チャンバ、基板支持体に向いているスパッタリングターゲット、スパッタリングチャンバにガスを導入するガス分配システム、ガスを励起して基板上のターゲットから物質をスパッタするガスエナジIZER、堆積チャンバからガスを排気する排気システムを有する。搬送チャンバは、洗浄チャンバからスパッタリングチャンバに基板を搬送させるロボットを有する。搬送チャンバは、基板を約10mTorr未満の低圧環境で維持することができるエンクロージャーと低圧環境を維持する搬送チャンバからガスを排気する排出口を有する。コントローラは、洗浄チャンバ、スパッタリングチャンバ、基板上の第一金属含有導体から堆積物を洗浄し、その後、基板をスパッタリングチャンバに搬送して洗浄された第一金属含有導体上に第二金属含有導体を堆積させるロボットを作動させる。

10

【0011】

一変形例においては、下にある金属含有導体を露出する特徴部がその中に形成された誘電物質を有する基板から堆積物を洗浄するための方法が提供される。該方法は、熱処理ステップと洗浄ステップとを含んでいる。熱処理ステップにおいては、基板温度を少なくとも約100℃に維持しつつ、基板は水素含有ガスに晒される。洗浄ステップにおいては、基板は遠隔励起ガス、水素含有ラジカル種を有する遠隔励起ガスに晒されて基板を洗浄する。

20

【0012】

基板から堆積物を洗浄するとともに熱処理プロセスを行う装置の一変形例においては、装置は熱処理チャンバと洗浄チャンバを有する。熱処理チャンバは、基板支持体、基板を加熱するヒータ、チャンバに水素含有ガスを導入するガス搬送システム、熱処理チャンバからガスを排気する排気システムを有する。洗浄チャンバは、基板支持体、水素含有ガスを遠隔励起してイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種の第一比率を含む励起ガスを形成するリモートソース、チャンバに遠隔励起ガスを導入するガス分配器、遠隔励起ガスをろ過して第二比率が第一比率と異なるイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種の第二比率を有するろ過された励起ガスを形成するイオンフィルタ、洗浄チャンバからガスを排気する排気システムを有する。装置は、また、熱処理チャンバから洗浄チャンバに基板を搬送するロボットを有する搬送チャンバ、真空環境で基板を維持することができるエンクロージャーを有する搬送チャンバ、搬送チャンバからガスを排気して真空環境を維持するために排出口を有する。装置は、また、熱処理チャンバ、洗浄チャンバ、熱処理チャンバ内で基板を処理するとともに基板を洗浄チャンバに搬送して基板上の金属含有導体から堆積物を洗浄するロボットを作動させるコントローラを有する。

30

【0013】

本発明のこれらの特徴、態様、及び利点は、本発明の例を示す、以下の説明、添付された特許請求の範囲、次の図面に関してより良く理解される。しかしながら、特徴の各々は、単に特定の図面に関連するのではなく、一般に本発明に使用し得ることは理解されるべきであり、本発明はこれらの特徴のあらゆる組み合わせを含んでいる。

40

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1A】図1Aは、基板が金属含有導体と低k誘電体層を有する、様々な処理段階における基板の実施形態の部分断面図である。

【図1B】図1Bは、基板が金属含有導体と低k誘電体層を有する、様々な処理段階における基板の実施形態の部分断面図である。

50

【図 1 C】図 1 C は、基板が金属含有導体と低 k 誘電体層を有する、様々な処理段階における基板の実施形態の部分断面図である。

【図 1 D】図 1 D は、基板が金属含有導体と低 k 誘電体層を有する、様々な処理段階における基板の実施形態の部分断面図である。

【図 2 A】図 2 A は、イオンフィルタを含む洗浄装置の実施形態の断面図である。

【図 2 B】図 2 B は、ガス分配プレート上に取り付けられたワイヤグリッドの実施形態の部分平面図である。

【図 3】図 3 は、マルチチャンバ装置の実施形態の部分平面図である。

【図 4 A】図 4 A は、熱処理チャンバの実施形態の部分断面図である。

【図 4 B】図 4 B は、スパッタリングチャンバの実施形態の部分断面図である。

【図 5】図 5 は、コンピュータ読取り可能プログラムを含む説明的コントローラブロック図である；

【図 6】図 6 は、増加する基板バイアス電力レベル、ガス励起電力レベル、圧力に対する厚さの変化と低 k 誘電体層の k 値変化を示すグラフである。

【図 7】図 7 は、基板洗浄プロセス後の増加する基板温度に対する反射率と反射率パーセントの標準偏差のグラフである。

【図 8】図 8 は、増加する接触抵抗値に対して測定した接触抵抗を有する基板上の特徴部パーセントのグラフである。

【図 9】図 9 は、洗浄プロセスのフォトレジスト除去割合を示す比較図である。

【図 10】図 10 は、基板洗浄プロセス前後の基板全体に測定された反射率パーセントのグラフである。

【図 11】図 11 は、増加する抵抗値に対して測定した抵抗を有する基板上に相互接続構造のパーセントのグラフである。

【図 12】図 12 は、増加するキャパシタンス値に対して測定したキャパシタンスを有する基板上のキャパシタのパーセントのグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

洗浄プロセスは、基板 10 上の金属含有導体 16 の表面 14 を洗浄するために行われる。例えば、洗浄プロセスは、酸素含有環境に表面を晒すことから形成された未変性酸化物膜 12 のような表面 14 上に形成された堆積物 12 を除去するのに有効である。堆積物 12 は、例えば、炭素、窒素、フッ素、シリコンを含有する残留物のような前のプロセスステップにおいて形成されたプロセス残留物、更に、高分子残留物さえも含み得る。洗浄プロセスは、例えば、銅、アルミニウム、チタン、タングステン、又はその合金又は化合物を含む金属含有導体 16 の表面 14 を洗浄することができる。金属含有導体 16 を含む基板 10 の実施形態は、図 1 A - 図 1 D に示されている。基板 10 は、下にある金属含有導体 16 を含み、その上に低 k 誘電体層 18 が形成されている。低 k 誘電体層 18 は、k 値が約 2.0 ~ 約 3.0 のような約 3.0 未満、更に k 値が約 2.7 未満もの誘電体物質を含んでいる。例えば、適した低 k 誘電体層は、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によって製造された Black Diamond (登録商標)、低 k オキシ炭化シリコンを含むことができる。他の適した低 k 誘電体層は、シリコンと酸素、炭素、水素及び他の元素の少なくとも 1 種との組み合わせを含むことができる。誘電体層 18 は、図 1 A と図 1 B に示されるように、堆積物 12 を有する金属含有導体 16 の表面 14 を露出させる特徴部 20 を含んでいる。洗浄プロセスは、図 1 C 及び図 1 D に示されるように、堆積物 12 を金属含有導体 16 の表面 14 から除去して洗浄された表面 14 と続いての基板 10 上に堆積される物質間に良好な電気接触を可能にする。

【0016】

改善された洗浄プロセスが、水素含有ラジカルを含む励起された洗浄ガスに基板 10 を晒すことを含むことが見出された。水素含有ラジカルは、1 つの不对電子を有するので、非常に化学的に反応性であるが、正電荷又は負電荷をもたない水素含有化学種、例えば、水素原子 ($H\cdot$)、ヒドロキシルラジカル ($OH\cdot$)、窒素含有ラジカル ($NH_2\cdot$ 、N

10

20

30

40

50

$H_3 \cdot$ ）、メチルラジカル ($CH_3 \cdot$) のような炭素含有ラジカルである。水素含有ラジカルは、未変性酸化物のような堆積物 12 の酸素成分と化学的に反応することによって比較的緩やかな洗浄プロセスを与えて排気され得る揮発性のヒドロキシルや水蒸気を形成し、それにより堆積物 12 が金属含有導体 16 の表面 14 から除去されると考えられる。従って、励起された水素含有ラジカルは、堆積物 12 と特に相互作用し、周囲の低 k 誘電体層 18 の構造を望ましく損傷する。例えば、水素含有ラジカル洗浄プロセスの層 18 の k 値の増加は、約 0.1 未満、更に約 0.05 未満でさえあってもよい。

【0017】

対照的に、正電荷又は負電荷を有する水素含有化学種である水素含有イオンはしばしば基板 10 エネルギー的に衝突するので、低 k 誘電体層 18 の構造を過度に損傷させるとともに層 18 の k 値を増加させ得る。従って、改善された洗浄プロセスは、水素含有ラジカルを含み、ほとんど水素含有イオンを含まない励起ガスに基板 10 を晒すことが望ましい。例えば、励起洗浄ガスにおける水素含有ラジカルと水素含有イオンの適切な比率は、少なくとも約 10,000 : 1 であってよい。

【0018】

励起洗浄ガスは、例えば、一つ以上の H_2 、 H_2O 、 NH_3 及び SiH_4 の 1 種以上の適切な水素含有ガスにエネルギーを結合することによって形成される。多くの水素含有ラジカルを形成するために、洗浄ガスは大部分の水素含有ガス成分を含むことが望ましい。例えば、洗浄ガスは、少なくとも約 80% 容積の水素含有ガス、少なくとも 90% 容積でさえ、例えば、90% 容積の H_2 を含み得る。適切な容量流量の水素含有ガスは、約 100 sccm ~ 約 5 リットル/分であってよい。 H_2O を供給すると、励起ガスにおける水素含有ラジカルの形成を促進させることができ、チャンバ 106a における部品の腐食を減少させることもできることが見出された。例えば、洗浄ガスは、約 1% ~ 約 20% 容積の H_2O 、例えば、約 1% ~ 約 5% 容積の H_2O を含むことができる。従って、一変形例においては、洗浄ガスは、約 50 sccm ~ 約 1000 sccm の H_2 、約 300 ~ 約 600 sccm の H_2 、約 0 ~ 約 10 sccm の H_2O 、例えば、約 1 ~ 約 5 sccm の H_2O を含むことができる。

【0019】

一変形例においては、洗浄ガスは窒素含有ガスを含んでいる。例えば、洗浄ガスは、水素ラジカルと窒素ラジカルの双方を得るために解離するガス組成物を含むことができる。窒素を含む適切な洗浄ガス組成物の例としては、(i) NH_3 、(ii) NH_3 と H_2O 、(iii) N_2 と H_2 、(iv) N_2 と、 H_2 と、 H_2O 、(v) NH_3 と、 H_2O と H_2 を挙げることができる。一変形例においては、洗浄ガスは、約 80% ~ 約 100% 容積の H_2 、約 1% ~ 約 20% 容積の H_2O 、約 1% ~ 約 20% 容積の NH_3 を含んでいる。洗浄ガスは、また、層 18 からエッチングされた炭素を補充するために炭素源を供給することにより低 k 誘電体層 18 を保護するために炭素含有ガスを含むことができる。適した炭素含有ガスの例としては、 CO 、 CH_4 、 CO_2 及び C_2H_6 の少なくとも 1 種を挙げることができる。洗浄ガスは、また、 N_2 、 Ar 、 He 及び Ne の少なくとも 1 種のような追加ガスを含むこともできる。

【0020】

洗浄ガスは、例えば、図 2A に示されるように、遠隔ゾーン 30 においてガスにエネルギーを結合することによって励起させることができ、それにより、励起されたイオン種とラジカル種を含む遠隔励起ガスが形成される。遠隔ゾーン 30 は洗浄チャンバ 106a のプロセスゾーン 108 から離れた適切な距離に位置し、遠隔ゾーン 30 で形成された励起イオン種の多くがプロセス領域 108 に到達する前に再結合する。ラジカル種は頻繁に再結合せず、平均寿命が同じ距離でイオン種より長いので、遠隔ゾーン 30 において励起ガスを形成すると、プロセスゾーン 108 に搬送すべきラジカル種の数が増え、イオン種が少なくなることが可能である。遠隔ゾーン 30 は、プロセスゾーン 108 から距離 d に配置され、距離 d 全体の遠隔励起ガスの行程、例えば、遠隔ゾーン 30 からガス分配プレート 72 までが、ガスをろ過してイオン種の数が増え、且つラジカル種の数とイオン

10

20

30

40

50

種の数の比率が高い、励起ガスになる。洗浄チャンバ106aのプロセスゾーン108から遠隔ゾーン30の適切な距離は、例えば、少なくとも約1.5インチ(3.8cm)、例えば、約1インチ(2.5cm)~約4インチ(10cm)であってもよい。

【0021】

その後、活性洗浄ガスは、遠隔励起ガスをろ過するイオンフィルタ50を通過させて遠隔ゾーン30で形成された化学種の比率と異なるイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種の比率を有するろ過された励起ガスを形成する。望ましくは、イオンフィルタ50が励起洗浄ガスにおけるイオン種の数減少させて、遠隔ゾーン30で形成されたり過されていない励起ガスの比率より低いろ過ガスにおけるイオン種とラジカル種の比率を得る。ろ過された励起ガスにおけるイオン種とラジカル種の比(R_f)は、少なくとも約1:100、例えば、少なくとも1:500、少なくとも約1:10,000だけろ過されていない比(R_i)より少なくすることができる。ろ過されていない比率(R_i)値は、ろ過された比率(R_f)の少なくとも約100倍、例えば、ろ過された比率の少なくとも約500倍、ろ過された比率の少なくとも約10,000倍さえであってもよい。例えば、ろ過された比率は、 $R_f = (R_f/R_i) \cdot R_i$ に等しくなることができる。ここで、ろ過された比率は $R_f = I_f/N_f$ であり、ろ過されていない比率は $R_i = I_i/N_i$ であり、 I_f と I_i はそれぞれろ過されたガスとろ過されていないガスのイオン数であり、 N_f と N_i はそれぞれろ過されたガスとろ過されていないガスのラジカル種の数である。イオン種とラジカル種の数によって記述されると、ろ過された比率は $R_f = (I_f/N_f) (N_i/I_i) \cdot R_i$ と等しい。ろ過されたガスとろ過されていないガスにおけるラジカル種の数がほぼ同じであることを前提とすると、即ち、ラジカル種数は約20%未満だけ変化し、そのとき N_f は N_i に等しく、これらの因子は方程式から取り消され、 $R_f = (I_f/I_i) R_i$ に等しいろ過された比率が残る。そのようにろ過された比率は、ろ過されたイオンの数とろ過されていないイオン数の比率(I_f/I_i)とほぼ等しい倍率だけ減少したろ過されていない比率に等しくなることができ、望ましくは、約1:100未満、例えば、約1:500未満、約1:10,000未満もの比である。このように、基板10を洗浄するために励起された洗浄ガスにラジカル種が残ることを可能にしつつ、イオンフィルタ50がさもなければ低k誘電体層188に損傷を与えることができる励起ガスからイオン種を除去する。

【0022】

所望された比率が得られたかを求めるために励起ガスにおけるイオン種とラジカル種の相対比率を検出するいくつかの方法がある。プラズマ放射を用いた水素ラジカル種の相対量は、例えば、656nmで水素放出スペクトルの強度を検出することによってモニタすることができる。励起ガスにおける水素ラジカル種の相対量は、通常水素放出ラインの強度に比例するので、放出ライン強度が高いほど水素ラジカル相対濃度が高いことが示される。励起ガスにおける水素イオン種の相対量は、例えば、基板支持体110のDCバイアスの変化を測定することによって測定することができる。支持体110上に衝突させ帯電するプラズマの水素の数は、支持体110で測定されたDCバイアスに比例している。このように、支持体110で測定されたDCバイアスと水素放出ライン強度の比率によって、励起されたガスにおけるイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種の比率を概算することができる。水素イオン濃度は、先端に衝突したイオンによって与えられる電荷からのイオン電流フラックスのようなパラメータを測定するために励起されたガスに挿入される導電性プローブの先端を備えているラングミュアプローブで測定することができる。ラングミュアプローブの例は、Carllileらの米国特許第5,339,039号に記載され、この開示内容は本明細書全体で援用されている。

【0023】

水素放出強度の1つ以上、DCバイアス、ラングミュアプローブ又は他の方法を用いてラジカル種及びイオン種の少なくとも1種の相対量と濃度を測定することができる検出器202が設けられる。検出器202は、その領域におけるイオン及びラジカル種の少なくとも1種の濃度を測定するためにチャンバ106と装置102の異なる領域に位置させることができる。検出器202は、ろ過されていない励起ガスのラジカル及びイオンの1種以

10

20

30

40

50

上の量を検出するために遠隔チャンバ40内又はその周りに位置させることができる。例えば、ろ過されていない励起ガスのイオンの検出濃度は、約 10^{11} ～約 10^{12} イオン/cm³オーダーであってもよい。検出器202は、ろ過されたガスにおけるイオン及びラジカルの1種以上の量を検出するために、例えば、プロセスゾーン108近傍にチャンバ106の周りに位置させることもできる。例えば、ろ過された励起ガスにおけるイオンの検出濃度は、約 10^8 ～約 10^9 イオン/cm³オーダーであってもよい。従って、装置102の異なる領域におけるイオン種及びラジカル種の少なくとも1種の数、ろ過されたガスとろ過されていないガスにおけるイオン種とラジカル種の相対量を求めるために検出器102によって測定することができる。

【0024】

一変形例においては、イオンフィルタ50は、図2Aと図2Bに示されるように、励起洗浄ガスが通過することができるその中に開口54を有する導電性ワイヤグリッド52を備えている。ワイヤグリッド52は電氣的に接地し得る(図示されるように)のでグリッド52上に衝突したイオン種からの電荷がグリッド52を通過して接地電位に伝わり、それによって帯電イオン種が励起洗浄ガスから除去される。ワイヤグリッド52は、帯電されたイオン種に反発する電位ゾーンを生じるように任意にバイアスをかけることもできる。ワイヤグリッド52は、それを通る良好なガスフローを可能にするのに十分に高い開口54の面積とワイヤグリッド52の面積比、例えば、約10:1～約1:10の比、少なくとも1:1さえも含んでいる。ワイヤグリッド52は、例えば、モリブデン、チタン、ニッケルクロム合金及びアルミニウム合金の少なくとも1種の適切な導電性物質を含んでいる。

【0025】

ワイヤグリッド52は、例えば、プロセスゾーン108上の遠隔ゾーン30と基板10間の活性洗浄ガスの流路内に配置されている。一変形例においては、図2Aと図2Bに示されるように、ワイヤグリッド52は、プロセスゾーン108に遠隔ゾーン30から受容した励起洗浄ガスを分配するガス分配プレート72上に取り付けられている。ワイヤグリッド52はガス分配プレート72上に取り付けられ、ワイヤグリッドにおける開口54は、ワイヤグリッド52とガス分配プレート72を通過して励起洗浄ガスフローを可能にするためにガス分配プレート72におけるアパーチャ71と一致している。ワイヤグリッド52は、ガス分配プレート72の上面73上に取り付けられ、ワイヤグリッド52の腐食を抑制するために図2Aに示されるようにガス分配プレート72に少なくとも部分的に埋込まれることさえもできる。ガス分配プレート72は、アルミナ、サファイア、シリカ及び石英の少なくとも1種のような誘電性物質、シリコン、アルミニウム及び炭化シリコンの少なくとも1種のような導電性物質を含むこともできる。ワイヤグリッドは、更に又は或いは、ガス分配プレート72の底面75に取り付けることができ、又はガス分配プレート72から隔置することもできる。また、プレート72が励起ガスフローをそれを通して巻き込んでいるパッフルとして働くので、ガス分配プレート72はそれ自体イオンフィルタ50として作用することができ、それにより励起ラジカル種の再結合を促進させる。

【0026】

励起洗浄ガスは、石英を含む表面60上に励起ガスを通すことによってイオン種を除去するようにろ過することができる。石英表面60は、水素含有種が水素結合し、表面60に吸着することができる表面を設けることによってラジカルの再結合を減少させるためにイオンフィルタ50として作用すると考えられる。石英表面60上に衝突する水素含有化学種は、吸着した水素含有ラジカルを励起ガスに放出し、それにより水素ラジカルが再生する。水素イオンは、石英表面60によって再生されないため、これらイオンは再結合して電氣的に中性の非イオン種を形成する。このように、活性洗浄ガスを石英表面上に通ることにより、イオン種は励起洗浄ガスから効果的にろ過され、ラジカル種は保存される。

【0027】

石英表面60は、励起洗浄ガスから水素イオン種を最適にろ過するように配置されることができる。一変形例において、石英表面60は、図2Aに示されるように、遠隔ゾーン

10

20

30

40

50

30とプロセスチャンバ100間で接続コンジット62の一部の内部表面を含んでいる。例えば、接続コンジット62は石英チューブから構成することができる。他の変形例においては、石英表面60は、図2Aにも示されるように、ガス分配器70の1つ以上の表面を含んでいる。例えば、ガス分配器70は、石英を含んでいるガス分配プレート72を含むことができる。石英表面60は、ガス分配プレート72とガス分配器流入口83との間にあるガス分配プレナム76を取り囲んでいる壁78、80の表面上にあり得る。例えば、上部と側部のプレナム壁78、80は石英から製造され得る。プレナム壁78、80は、壁78、80を並べたライナ82を含むこともでき、石英ラインのような石英表面60を含むこともできる。石英表面60を含むライナ82は、チャンバ側壁114、底面壁116、シーリング118、ガス分配プレート72のような他のコンポーネントの少なくとも一部

10

20

30

40

50

【0028】

基板10の温度は、堆積物12における酸化物の低減に最適条件を与えるように設定され、水素含有ラジカルと堆積物12間の化学反応を促進させるようにさえ設定することができる。例えば、基板の温度は約0 ~ 約500、例えば、約150 ~ 約450、約25 ~ 約350にさえ、例えば、約150 ~ 約350に維持することができる。一変形例においては、高バイアス電力レベルが励起洗浄ガスにおけるイオンによって基板10の衝突を増加させることができるので、洗浄プロセス中に基板10に印加されるバイアス電力レベルは望ましくは低くてもよい。適切なバイアス電力レベルは、約100ワット未満、例えば、約0 ~ 10ワット、約1ワット ~ 約10ワットにさえしてもよく、実質的に0にさえすることができる。他の変形例においては、100ワットより大きい、約100ワット ~ 約200ワットものバイアス電力レベルのような高いバイアス電力レベルは洗浄速度を増加するために適用することができる。

【0029】

基板10の洗浄が、熱処理又はアニールステップを行って基板10から堆積物12を除去することにより改善し得ることが更に見出された。熱処理ステップにおいて、基板10は、例えば、堆積物12を揮発させることにより、基板10から物質を脱ガスするのに十分に高い温度に加熱する。基板10上の酸化物の形成を阻止するために熱処理ステップの間、還元ガスのフローを供給することもできる。適切な還元ガスは、例えば、H₂のような水素含有ガスを含むことができる。熱処理ステップは、遠隔励起水素ラジカル洗浄ステップの前に、基板10の比較的緩やかな初期洗浄を与えるために、実質的に還元ガスを励起させずに、例えば、実質的に還元ガスにRF又はマイクロ波エネルギーを結合せずに行うことができる。

【0030】

熱処理ステップの一変形例においては、基板10は、少なくとも約100、例えば、約150 ~ 約350の温度に加熱される。H₂フローは、約1000 sccm ~ 約5リットル/分の容量の流量で供給される。熱処理ステップ中の圧力は、約100 mTorr ~ 約100 Torr、約30 Torr未満にさえ維持することができ、適切な加熱時間は約1分 ~ 10分であってもよい。

【0031】

一変形例においては、熱処理ステップは水素ラジカル洗浄ステップと同じチャンバ106aで行われる。例えば、チャンバ106aは、温度制御システム140とチャンバ106a内で基板10を加熱するように適合されたヒータ142を含むことができる。図2Aに示された実施形態においては、ヒータ142は基板支持体110の基板10の下に抵抗加熱素子111を含んでいる。ヒータ142は、例えば、頭上式加熱ランプ143の、他の加熱デバイスを含むこともできる。他の変形例においては、熱処理ステップは、別個の熱処理チャンバ106c内で行われ、その実施形態は図2cに示されている。熱処理チャンバ106cは、例えば、真空搬送チャンバ117によって洗浄チャンバ106aと真空接触していることが望ましく、基板10が加熱プロセスチャンバ106cから洗浄チャンバ106aまで真空を破壊することなく搬送され得る。

【0032】

一実施形態においては、下にある低k誘電体層18の表面19を露出するためにほぼ完全にレジスト層22が除去された後、洗浄プロセス、任意の熱処理プロセスが行われる。ストリッピングプロセスは、図1Aに示されるように、レジスト層22を含む基板10をストリッピングチャンバにおいて酸素含有ガスのような励起ストリッピングガスに晒すことを含むことができる。一旦レジスト層22のストリッピングが完了し、図1Bに示されるように、レジスト層22はほぼ完全に除去されると、基板10は別個の洗浄チャンバ106aに搬送される。ストリッピングプロセスが基板10から大量の物質の除去を必要とすることがあり、ストリッピングチャンバと洗浄チャンバ106a又は他のチャンバとの真空統合によってストリッピングチャンバからの汚染を生じ得るので、洗浄チャンバ106aは、ストリッピングチャンバと真空接触していない別個のマルチチャンバ装置の一部であることが望ましい。別個の熱処理チャンバ106cが用いられる場合、熱処理チャンバ106cは、ストリッピングチャンバと真空接触していないことが望ましく、洗浄チャンバ106aを含むマルチチャンバ真空装置の一部であり得る。堆積物12の未変性酸化物成分は、図1Bに示されるように、酸素含有ストリッピング環境に金属含有導体16を晒す際に、又はストリッピングチャンバから洗浄チャンバ106aへの基板10の搬送中に周囲雰囲気中に晒す際に、金属含有導体16の表面14上に形成し得る。

10

【0033】

適切な洗浄プロセスの一変形例においては、約50～約1000sccmの H_2 、例えば、300sccmの H_2 と約0～10sccmの H_2O 、例えば、3sccmの H_2O を含む洗浄ガスは、約300ワット～約3000ワットの電力レベル、例えば、1050ワットを印加することによってリモートソース35で活性化される。チャンバ圧は、約10Torr未満、例えば、約1Torrに維持される。約0～約100ワットのバイアス電力レベル、例えば、50ワットは、基板10にバイアスをかけるために印加され、基板10の温度は、約150～約450、例えば、250に維持される。洗浄プロセスは、図1Cに示されるように、堆積物12をほぼ除去し、洗浄された表面14が得られる。

20

【0034】

洗浄プロセスが完了した後、チャンバ106a内の圧力は廃洗浄ガスと洗浄副生成物を排気するとともに洗浄チャンバ106aのそばのマルチチャンバ装置汚染の可能性を減少させるために約10mTorr未満に減圧される。その後、基板10は、図1Dに示されるように、新たに洗浄された金属含有導体表面14上に、銅、アルミニウム、タンタル、タングステン、窒化タンタル及び窒化タングステンの少なくとも1種のような第二金属含有導体21を堆積するために搬送口ポット119を有する基板搬送チャンバ117によって減圧下で堆積チャンバ106bに搬送され得る。

30

【0035】

水素含有ラジカル洗浄プロセスに適した洗浄チャンバ106aを含む装置102の実施形態は、図2Aに示されてる。本明細書に示される装置102の具体的な実施形態は、半導体ウェハのような基板10を洗浄するのに適し、フラットパネルディスプレイ、ポリマーパネル、又は他の電気回路受容基板10のような他の基板10を洗浄するために当業者によって適合させることができる。一般的に、洗浄チャンバ106aは、エンクロージャのような1つ以上の壁107を含み、プロセスゾーン108を封じるシーリング118、側壁114、底面壁116を含むことができる。励起洗浄ガスは、リモートソース35とガス分配器70を含むガス供給源130によってプロセスゾーン108に供給される。洗浄ガスは、リモートソース35によって励起され、流入口83を有する接続コンジット62を経てガス分配器70に受容される。ガス分配器70は、プロセスゾーン108にガスを分配するためにその中にアパーチャ71を有するガス分配プレート72を含み得る。ガス分配器70は、また、基板10の周辺に1つ以上のコンジットを任意に含むことができる。廃ガスや副生成物は、プロセスゾーン108からガスを受容する排気ポート177を含むことができる排気システム144を通してチャンバ106aから排気され、チャンバ106a内のガス圧を制御するためにスロットバルブ135と、1つ以上の排気ポン

40

50

ブ 1 5 2、例えば、ターボ分子排気ポンプを更に含むことができる。排気システム 1 4 4 は、チャンバ 1 0 6 a の大気圧未満を維持することができる。

【 0 0 3 6 】

洗浄ガスを遠隔励起するのに適したリモートソース 3 5 は、遠隔ゾーン 3 0、洗浄ガスソース 3 9、リモートガスエナジサイザー 3 7 を有するリモートチャンバ 4 0 を含んでいる。動作中、洗浄ガスはリモートチャンバ 4 0 における洗浄ガスソース 3 9 から受容する。リモートチャンバ 4 0 への洗浄ガスの流量を制御するためにフローバルブ 4 1 を設けることができる。リモートガスエナジサイザー 3 7 は、遠隔ゾーン 3 0 で洗浄ガスにエネルギーを結合して洗浄ガスを励起し、それにより励起イオン種とラジカル種を含む励起洗浄ガスが形成される。リモートガスエナジサイザー 3 7 は、例えば、洗浄ガスに R F とマイクロ波エネルギーの少なくとも 1 種を結合することができる。一変形例においては、リモートガスエナジサイザー 3 7 は、遠隔領域 3 0 における洗浄ガスに R F エネルギーを誘導結合させる誘導アンテナを含んでいる。洗浄ガスに結合するのに適した R F 電力レベルは、約 1 0 0 ワット～約 1 0 k ワットであってもよい。他の変形例においては、リモートガスエナジサイザー 3 7 は、例えば、Smithらの米国特許第 6, 1 5 0, 6 2 8 号に記載されるように、遠隔ゾーン 3 0 で洗浄ガスにエネルギーを結合するトロイダル型ガスエナジサイザーを含んでいる。その特許の開示内容は本明細書全体に援用されている。トロイダル型ガスエナジサイザーによって印加された適切な R F 電力レベルは、約 1 0 0 0 ワット～約 1 0, 0 0 0 ワットであってもよい。マイクロ波ガスアクチベータを含むリモートガスエナジサイザー 3 7 を設けることもできる。適切なマイクロ波電力レベルは、約 3 0 0 ワット～約 5 k ワットであってもよい。チャンバ 1 0 6 a は、チャンバ 1 0 6 a のプロセスゾーン 1 0 8 においてガスにエネルギーを結合するチャンバガスエナジサイザーを任意に含むこともできる。例えば、チャンバガスエナジサイザーは、R F エネルギーを結合させる電極及び誘導アンテナの 1 種以上を含むことができる。

10

20

【 0 0 3 7 】

基板 1 0 は、基板受容表面 1 8 0 を有する支持 1 1 0 上のプロセスゾーン 1 0 8 に保持される。支持体 1 1 0 は、電圧源 9 1 から電力レベルを印加することによって電氣的にバイアスをかけ得る電極 9 0 を任意に含むことができる。電極 9 0 は、支持体 1 1 0 上の基板 1 0 を静電的に保持するためにバイアスをかけることができる。電極 9 0 と基板 1 0 は、プロセスの特性、例えば、基板 1 0 へのイオン衝撃の程度に影響するようにバイアスをかけることも可できる。しかしながら、支持体 1 1 0 はいかなる帯電可能電極を存在しないこともあり得る。温度制御システム 1 4 0 は、基板 1 0 の温度を維持するために設けられ、例えば、基板 1 0 の下の支持体 1 1 0 に抵抗加熱素子 1 1 1 を含むことができる。温度制御システム 1 4 0 は、1 種以上の他の熱交換デバイス、例えば、熱交換流体が供給される熱交換コンジットや加熱ランプを含むこともできる。温度制御システム 1 4 0 は、基板 1 0 の温度をモニタするとともにチャンバコントローラ 3 0 0 に温度に関して信号を送る熱電対のような温度モニタを含むこともできる。

30

【 0 0 3 8 】

プロセスチャンバ 1 9 5 を含む装置 1 0 2 は、複数のプロセスチャンバ 1 0 6 a d を含む大きなマルチチャンバ装置 1 0 2 の一部でもあり得る。基板 1 0 を処理するのに適した装置 1 0 2 の実施形態は、図 3 に示されるように、1 つ以上のプロセスチャンバ 1 0 6 a - d を含んでいる。チャンバ 1 0 6 a d は、電気プラミング、及び他の支持機能を設ける、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から P r e c i s i o n 5 0 0 0 (登録商標)のようなプラットフォーム上に取り付けられる。プラットフォーム 1 0 9 は、典型的には、処理すべき基板 1 0 のカセット 1 1 5 を受容するロードロック 1 1 3 と処理するためにカセット 1 1 5 から異なるチャンバ 1 0 6 a d に基板を搬送するとともにプロセス後に基板を戻すためにロボット 1 1 9 を含む基板搬送チャンバ 1 1 7 を支持する。異なるチャンバ 1 0 6 a d は、例えば、堆積洗浄チャンバ 1 0 6 a、ウエハ上に物質を堆積するための堆積チャンバ 1 0 6 b、任意に、熱処理チャンバ 1 0 6 c、他処理チャンバを含むことができる。例えば、一変形例においては、チャンバ 1 0 6 a d

40

50

の一つは、基板 10 上の金属含有導体 16 上に形成された堆積物 12 を除去するための洗浄チャンバ 106 a を含んでいる。洗浄プロセスが終了した後、基板 10 は洗浄された基板上の金属含有導体のような物質を堆積する堆積チャンバ 106 b にロボット 119 によって搬送され得る。基板 10 は、第一チャンバ内で堆積された第一物質上に、他の金属含有導体のような他の物質を堆積することができる第二堆積チャンバ 106 c にロボット 119 によって搬送され得る。また、熱処理プロセス後、基板 10 は、ロボット 119 によって熱処理チャンバ 106 c から洗浄チャンバ 106 a に搬送され得る。チャンバ 106 a d は、プロセスが連続して処理することができる装置 102 内で連続真空環境を形成するために相互接続され、それにより異なるプロセス段階の別個のチャンバ間でウェハを搬送する場合に生じることがある基板 10 の汚染が減少する。搬送チャンバ 117 は、チャンバ 106 a d の汚染を減少させるために、ガスを排気するとともに低圧環境、例えば、約 10 m Torr 未満の圧力を維持する流出口 129 を有する排気システムを備えている。

10

20

30

40

50

【0039】

基板 10 上に物質を堆積することができるチャンバ 106 b の例示的な変形例は、図 4 B に概略的に示されている。チャンバ 106 b は、代表的な自己イオン化プラズマチャンバ、例えば、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によって開発された SIP + 型チャンバである。しかしながら、本発明の態様は、SIP + 型チャンバを含む堆積チャンバに限定されず、他の堆積チャンバも適している。典型的なチャンバ 106 b は、側壁 120、底面壁 122、シーリング 124 を含むエンクロージャー 218 を含んでいる。基板支持体 230 は、チャンバ 106 b 内で基板 10 を支持するために設けられている。基板支持体 230 は、例えば、RF 電源 203 であってもよい、ペDESTAL 電源 210 によって電氣的に浮動してもバイアスがかけられてもよい。基板 10 は、チャンバ 106 b の側壁 120 にある基板装填流入口（図示せず）を通してチャンバ 106 b 内に導入され、支持 230 上に配置される。支持体 230 は、支持リフトベローズ（図示せず）によって持ち上げることも下げることもでき、リフトフィンガーアセンブリ（図示せず）は、チャンバ 106 b 内外へ基板 10 の搬送中に支持体 230 に基板 10 を持ち上げ、下げるために使用し得る。

【0040】

スパッタリングガスのようなプロセスガスは、それを通して設定流量ガスを通過させるマスフローコントローラのようなガスフロー制御バルブ 158 a c を有するコンジット 156 a c にそれぞれ送り込むガスソース 154 a c を含むプロセスガス供給源 252 を通ってチャンバ 160 b に導入される。コンジット 156 a c によって、ガスが所望のプロセスガス組成物を形成するように混合される混合マニホールド 160 にガスが送り込まれる。ガス流出口 164 は、基板支持体 230 の周辺を完了するためにチャンバ側壁 120 を通過することができる。プロセスガスは、ターゲット 211 上に励起的に衝突させるとともにターゲット 211 から物質をスパッタする、アルゴン又はキセノンのような非反応性ガスを含むことができる。プロセスガスは、基板 10 上に層を形成するためにスパッタされた物質と反応することができる酸素含有ガス及び窒素含有ガスの 1 種以上のような反応性ガスを含むこともできる。廃プロセスガスや副生成物は、廃プロセスガスを受容する 1 つ以上の排気ポート 170 を含む排気システム 168 を通ってチャンバ 106 b から排気され、チャンバ 106 b におけるガスの圧力を制御するスロットルバルブ 174 がある排気コンジット 172 に廃ガスを移すことができる。排気コンジット 172 によって、1 つ以上の排気ポンプ 176 に送り込まれる。典型的には、チャンバ 106 b におけるスパッタリングガスの圧力は、大気圧未満レベルに設定される。

【0041】

スパッタリングチャンバ 106 b は、更に、基板 10 と向いたスパッタリングターゲット 211 を含んでいる。スパッタリングターゲット 211 は、図 4 B に示される形状のような所望の形状を含むことができる。スパッタリングターゲット 211 は、ほぼ平面のスパッタリング表面をもつほぼ平面の形状を備えることもできる。スパッタリングチャンバ

106bは、スパッタされた物質からチャンバ106bの壁218を保護するとともに、典型的には、カソードターゲット211についてアノードとしても働くシールド128を備えることもできる。シールド128は、電氣的に浮動していても接地されてもよい。ターゲット211は、チャンバ106bから電氣的に分離され、パルスDC電源のようなターゲット電源201に接続されるが、他のタイプの電圧源であってもよい。一変形例においては、ターゲット電源201、ターゲット211、シールド128は、ターゲット211から物質をスパッタするためにスパッタリングガスを励起することができるガスエナジヤイザー180として作動させる。ターゲット電源201は、シールド128に相対してターゲット211にバイアス電圧を印加する。スパッタリングターゲット211に印加された電圧からチャンバ106b内に生成された電界は、ターゲットから、また、基板10

10

20

30

40

50

【0042】

チャンバ106bは、チャンバ106bのターゲット211近傍に磁界を生成して、ターゲット211に隣接した高密度プラズマ領域226におけるイオン密度を増加させて、ターゲット物質のスパッタリングを改善する、磁界ゼネレータ401を含むマグネトロン403を更に含んでいる。改善されたマグネトロン403は、例えば“回転スパッタマグネトロンアセンブリ”と称するFuの米国特許第6,183,614号、“銅バイア充填のための集積化プロセス”と称するGopalrajaらの米国特許第6,274,008号に記載されるように、ターゲット衝突のために非反応性ガスの要求を最少にしつつ、銅の自己スパッタリング、又はアルミニウム、チタン又は他の金属のスパッタリングを持続させるために用いることができる。それらの特許は共に本明細書に全体で援用されている。

【0043】

任意の熱処理チャンバ106cの実施形態は図4Bに示されている。熱処理チャンバは、プロセスゾーン408を封じるエンクロージャー壁407を備えている。熱処理ガスは、例えば、熱処理ガス源432や接続コンジット436を通過して供給源から熱処理ガスを受容するガス分配器434を備えている、ガス分配システム430によってプロセスゾーン408に供給される。ガス分配システム430は、プロセスゾーン408へのガスフローを制御するためにフローメータ438を更に備えることができる。基板10は、支持体410上のプロセスゾーン408に保持される。支持体410は、支持体410上に基板10を保持させるために電氣的にバイアスをかけ得る電極(図示せず)を任意に備えていてもよい。廃ガスや副生成物は、プロセスゾーン408からガスを受容する排気ポート477を含むことができる排気システム444を通過してチャンバ106cから排気され、チャンバ106aにおけるガス圧を制御するスロットバルブ435と、ターボ分子排気ポンプのような1つ以上の排気ポンプ452を含むこともできる。

【0044】

加熱プロセスチャンバ106cは、所望の温度に基板10を加熱するとともに基板10を所望の温度で維持することができるヒータ142を有する温度制御システムを備えている。図4Aに示されるような実施形態においては、ヒータ142は、基板10の表面上に熱放射を送るように適合された加熱ランプ143のアレイ445を備えている。温度制御システム140は、支持体410における抵抗加熱素子又は熱交換流体を供給する熱交換コンジットのような1つ以上の他の加熱デバイスを備えることもできる。温度制御システム140は、基板10の温度をモニタするとともにチャンバコントローラ300に温度に関する信号を送る熱電対のような温度モニタを備えることもできる。

【0045】

マルチチャンバ装置 102 は、図 5 に示されるように、ハードウェアインタフェース 304 を経てコントローラ 300 によって作動させることができる。コントローラ 300 は、例えば、カリフォルニア州のシナジーマイクロシステムズ社から市販されている 680640 マイクロプロセッサ、又はカリフォルニア州サンタクララのインテル社から市販されているペンティアムプロセッサのような中央プロセッサ装置 (CPU) 306 を有するコンピュータ 302 を備え、メモリ 308 と周辺コンピュータコンポーネントに結合されている。好ましくは、メモリ 308 は、例えば、CD 又はフロッピードライブの交換可能記憶媒体 310、例えば、ハードドライブの交換不可記憶媒体 312、ランダムアクセスメモリ 314 を含むことができる。コントローラ 300 は、例えば、アナログやデジタルの入力や出力のボードを含む複数のインタフェースカード、インタフェースボード、モータコントローラボードを更に備えることができる。オペレータとコントローラ 300 間のインタフェースは、例えば、ディスプレイ 316 やライトペン 318 であり得る。ライトペン 318 は、ライトペン 318 の先端の光センサでモニタディスプレイ 316 によって出される光を検出する。具体的なスクリーン又は機能を選択するために、オペレータはモニタ 316 上のスクリーンの明示領域に触れ、ライトペン 318 でボタンを押す。典型的には、触れた領域は色が変わるか、又は新しいメニューが表示され、ユーザーとコントローラ 300 間の情報が確認される。

10

【0046】

一変形例においては、コントローラ 300 は、例えば、交換不可記憶媒体 312 又は交換可能記憶媒体 310 のメモリ 308 に保存することができるコンピュータ読取り可能プログラム 320 を備えている。コンピュータ読取り可能なプログラム 320 は、通常は、例えば、チャンバ 106 a d とそれらのコンポーネント、搬送チャンバ 117、ロボット 119 を作動させるプログラムコードを備えているプロセス制御ソフトウェア、チャンバ 106 a d で行われるプロセスをモニタするプロセスモニタリングソフトウェア、安全システムソフトウェア、他の制御ソフトウェアを備えている。コンピュータ読取り可能なプログラム 320 は、従来の任意のコンピュータ読取り可能なプログラミング言語、例えば、アセンブリ言語、C++ 又は Fortran で書き込むことができる。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メモリ 308 のコンピュータ使用可能な媒体において保存又は具体化されたシングルファイル又はマルチファイル内に入力される。入力されたコードテキストが高級言語である場合には、コードはコンパイルされ、その後、得られたコンパイラコードがプリコンパイルされたライブラリルーチンのオブジェクトコードにリンクされる。リンクされコンパイルされたオブジェクトコードを実行するために、ユーザーはオブジェクトコードを呼び出し、CPU 306 がコードを読み込み実行させてプログラムで同定されたタスクを行う。

20

30

【0047】

コンピュータ読取り可能なプログラム 320 の個々の実施形態の階層制御構造の説明的ブロックダイアグラムは、図 10 に示されている。ライトペンインタフェースを用いて、ユーザーは CRT ターミナルに表示されたメニュー又はスクリーンに回答してコンピュータ読取り可能なプログラム 320 にプロセス設定とチャンバ番号を入力する。コンピュータ読取り可能なプログラムは、基板位置、ガスフロー、ガス圧、温度、RF 電力レベル、具体的なプロセスの他のパラメータ、チャンバプロセスをモニタするコードを制御するためのプログラムコードを含んでいる。プロセス設定は、指定されたプロセスを行うのに必要なプロセスパラメータの所定のグループである。プロセスパラメータは、ガス組成、ガス流量、温度、圧力、RF 電力レベルのようなガスエナジIZER 設定を含むがそれらに限定されないプロセス条件である。

40

【0048】

プロセスシーケンサプログラムコード 322 は、コンピュータ読取り可能なプログラム 320 からチャンバの種類とプロセスパラメータの設定を受け入れ且つその動作を制御するプログラムコードを備えている。シーケンサプログラムコード 322 は、プロセスチャンバ 106 a d におけるマルチプロセスタスクを制御するチャンバマネージャープログ

50

ラムコード 3 2 4 に具体的なプロセスパラメータを移すことによりプロセス設定の実行を開始する。典型的には、プロセスチャンバプログラムコード 3 2 4 には、基板配置プログラムコード 3 2 6、ガスフロー制御プログラムコード 3 2 8、ガス圧制御プログラムコード 3 3 0、温度制御プログラムコード 3 3 2、ガスエナジイザー制御プログラムコード 3 3 4、プロセスモニタリングプログラムコード 3 3 6 が含まれている。

【 0 0 4 9 】

典型的には、基板配置プログラムコード 3 2 6 は、チャンバ 1 0 6 a d 内で支持体 1 1 0、2 3 0 上に基板 1 0 を装填し、任意にチャンバ 1 0 6 a d 内で所望の高さに基板 1 0 を持ち上げ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指示を備えている。基板配置プログラムコード 3 3 4 は、マルチチャンバ装置 1 0 2 におけるチャンバ間で基板 1 0 を搬送するために搬送チャンバ 1 1 7 内のロボット 1 1 9 を制御することもできる。ガスフロー制御プログラムコード 3 2 8 は、洗浄ガス、熱処理ガス又はスパッタリングガスのようなプロセスガスの異なる成分の流量を制御するための指示を備えている。ガスフロー制御プログラムコード 3 2 8 は、1 つ以上のガスフローバルブ 4 1、1 5 8 a、c、4 3 6 の開口サイズを調節してチャンバ 1 0 6 a c への所望のガス流量を得る。

10

【 0 0 5 0 】

温度制御プログラムコード 3 3 2 は、基板 1 0 の温度のようなチャンバ 1 0 6 a c 内の温度を制御するためのプログラムコードを備えている。例えば、温度制御プログラムコードは、支持体の抵抗加熱素子 1 1 1 のようなヒータ 1 4 2 に加えられる電流を制御するとともに温度センサーから信号をモニタして所望の温度を維持することによって洗浄チャンバ 1 0 6 a における基板 1 0 の温度を制御し得る。温度制御プログラムコードは、同様に、ヒータ 1 4 2 に加えられた電流を制御するとともに基板温度をモニタすることにより、別個の熱処理チャンバ 1 0 6 c において基板 1 0 の温度を制御することができる。ガスエナジイザー制御プログラムコード 3 3 4 は、例えば、ガスを励起させるために印加された電力レベルを設定することにより、リモートガスエナジイザー 3 7 やスパッタリングガスエナジイザー 1 8 0 のようなガスエナジイザーを制御するための指示を備えている。プロセスモニタリングプログラムコード 3 3 4 は、チャンバ 1 0 6 a - c におけるプロセスをモニタする、例えば、検出器 2 0 2 によって過されていない励起ガス及び過された励起ガスの 1 つ以上におけるイオン種とラジカル種の比率をモニタするための指示を備えている。圧力制御プログラムコード 3 3 0 は、例えば、スロットルバルブ 1 7 4、1 3 5、4 7 7 を制御することによって、チャンバ 1 0 6 a - c や搬送チャンバ 1 1 7 における圧力を制御するための指示を備えている。

20

30

【 0 0 5 1 】

一変形例においては、コントローラは、洗浄チャンバ 1 0 6 a において堆積物 1 2 を基板 1 0 上の最初の金属含有伝導帯 1 1 6 から洗浄し、基板 1 0 をスパッタリングチャンバ 1 0 6 b に搬送し、且つ第二金属含有導体 2 1 を洗浄された第一金属含有導体 1 6 上に堆積させるために、洗浄チャンバ 1 0 6 a、スパッタリングチャンバ 1 0 6 b、ロボット 1 1 9 を作動させるプログラムコードを備えている。コントローラ 3 0 0 は、堆積物 1 2 を洗浄する洗浄チャンバ 1 0 6 a に基板 1 0 を搬送する前に、最初の熱処理ステップを行う熱処理チャンバ 1 0 6 c を作動させるプログラムコードを任意に備えていてもよい。

40

【 0 0 5 2 】

コントローラ 3 0 0 によって受容及び/又は評価されたデータ信号は、ファクトリオートメーションホストコンピュータ 3 3 8 に送信することができる。ファクトリオートメーションホストコンピュータ 3 1 8 は、(i) 基板 1 0 に行われたプロセス、(i i) 基板 1 0 全体に統計的關係で変化することができる特性、又は (i i i) 基板 1 0 のバッチ全体に統計的關係で変化することができる特性の統計的プロセス制御パラメータを確認するために、いくつかのシステム、プラットフォーム又はチャンバ 1 0 6 a d からのデータと、基板 1 0 のバッチについて又は長時間にわたるデータを評価するホストソフトウェアプログラム 3 4 0 を備えることができる。ホストソフトウェアプログラム 3 4 0 は、進行中

50

のインサイチュプロセス評価又は他のプロセスパラメータの制御のデータを用いることもできる。適切なホストソフトウェアプログラムは、前述のアプライドマテリアルズ社から入手できるWORKSTREAM(登録商標)ソフトウェアプログラムを備えている。ファクトリオートメーションホストコンピュータ338は、更に、(i)例えば、基板特性が不十分又は統計的に求められた数値の範囲内に入っていない、又はプロセスパラメータが許容範囲からそれている場合には、処理シーケンスから具体的な基板10を取り出す；(ii)具体的なチャンバ106a-dにおけるプロセスを終わらせる、又は(iii)基板10の適していない特性又はプロセスパラメータを求める際にプロセス条件を調節するための指示信号を送るように適合させることができる。ファクトリオートメーションホストコンピュータ338は、ホストソフトウェア340によるデータの評価に応答して基板10の処理の開始又は終了で指示信号を送ることもできる。

【0053】

実施例

以下の実施例は、励起された水素含有ラジカルによって得られた改善された洗浄結果を示すものである。実施例においては、基板10は、その上に低k誘電体層が形成された銅導体16を備えたものである。銅導体16は、低k誘電体層18における特徴部20まで露出したその上に酸化銅12の層を有した。誘電体層のk値の変化は、Hgプローブを用いて測定した。

【0054】

実施例1

本実施例は、異なる厚さの低k誘電体に対する従来の洗浄プロセスによるk値に対する影響を示すものである。従来の洗浄プロセスは、プロセスゾーンにおいて95%のHeと5%のH₂を含む洗浄ガスを供給すること；プロセスゾーンにおいて洗浄ガスに450ワットのRF電力レベルを誘導結合させること；チャンバ圧を80mTorrに維持すること；10ワットのバイアス電力レベルを印加すること含んだものである。基板10を洗浄ガスに40秒間晒した。以下の表1は、低k誘電体層の厚さの関数としてk値の変化を示すものである。

【0055】

【表1】

厚さ(オングストローム)	$\Delta k(\%)$
1000	14.4
1500	12.7
5000	2.3

【0056】

表1は、低k誘電体層18の厚さが減少するにつれて洗浄された基板10のk値の変化が増大することを示している。1500オングストローム以下のような薄い膜厚でのk値の急な増加は、低k誘電体層18の上面19が従来の洗浄プロセスによって最も激しく損傷される領域であるという事実によると考えられる。バルク誘電体層の厚さが減少するにつれて、この上面19のキャパシタンスは層18の全体のキャパシタンスに一層寄与する。従って、従来のプロセスは、低k誘電体層18を有する基板、特に厚さが約1500オングストローム以下の低k誘電体層18を有する基板の十分な洗浄を与えることはできない。

【0057】

実施例2

実施例2は、洗浄プロセスに対する種々のプロセスパラメータの影響を示すものである。これらの実施例においては、出発低k誘電体層の厚さが1500オングストロームである基板10は、励起洗浄ガスがプロセスゾーンで形成され且つ洗浄ガスがイオン数を減少させるように過されなかった従来の洗浄プロセスに供された。基板バイアス電力レベル、ガス励起電力レベル、ガス圧を含む種々のプロセスパラメータで多因子試験を行った。

図 6 は、多因子条件下で処理された基板 10 の低 k 誘電体層の厚さの変化 (t) と k 値への変化 (k) を示している。

【 0 0 5 8 】

図 6 は、基板バイアス電力レベルが k 値の変化と低 k 誘電体層 18 の厚さの変化に対して強い影響を有し、しばしば低 k 誘電体層 18 からスパッタリングすることにより低下することを示している。ライン 501 と 502 が示すように、厚さの変化と k 値の変化は、基板 10 に印加されるバイアス電力レベルが上がるにつれて増大する。対照的に、ガス励起電力レベルと圧力は k 値と厚さに強く影響するようには見えない。ライン 503 と 504 は、増加するガス活性化電力レベルに対して、それぞれ厚さと k 値の変化を示している。ライン 505 と 506 は、増加する圧力に対して、それぞれ厚さと k 値の変化を示している。バイアス電力レベルが増加すると、イオン種による基板 10 の衝撃が増加する。従って、このデータは、k 値の変化の主な要因の 1 つがイオン種による基板 10 へ衝撃であることを示している。従って、改善された洗浄プロセスは、洗浄ガスからイオン種をろ過して基板 10 の衝撃を減少させる。

10

【 0 0 5 9 】

実施例 3

本実施例においては、洗浄ガス組成が異なる従来の洗浄プロセスから生じる k 値の変化を評価した。基板 10 は、厚さが 1500 オングストロームの低 k 誘電体層 18 を含むプロセスで洗浄した。洗浄プロセスにおいては、表 2 に挙げた洗浄ガスをプロセスゾーンにおいてガスをエネルギーに結合することによって励起させた。第一洗浄プロセスにおいては、基板バイアス電力レベルは 300 ワット、ガス圧は 0.5 m T o r r とした。第二洗浄プロセスにおいては、基板バイアス電力レベルは 10 ワット、ガス圧は 80 m T o r r とした。低 k 誘電体層の k 値の変化パーセントは、各洗浄プロセス後に測定した。洗浄プロセスの結果を、以下表 2 に示す。

20

【 0 0 6 0 】

【表 2】

洗浄プロセス	ガス組成	$\Delta k(\%)$
1	He	20
	Ar	5-15
	H ₂	19
	CH ₄ (10%) He(90%)	25
2	He	11
	Ar	9
	H ₂	21
	H ₂ (5%) He(95%)	11
	CH ₄ (10%) He(90%)	25
	H ₂ (5%) N ₂ (95%)	13-30
	O ₂ (5%) Ar(95%)	15

30

【 0 0 6 1 】

このように、表 2 は、タイプの洗浄ガスの種類が異なる従来の洗浄プロセスは、k 値が付随し望ましくない増加をせずに基板 10 の良好な洗浄をもたらすことができないことを示している。k 値の増加は、水素含有ガスによる洗浄プロセスの 30% 程度増加した。Ar 洗浄ガスプロセスに対する k 値変化パーセントは最も小さいが、Ar ガスは k 値の許容できない増加を生じる大きなバイアス電力レベルを印加せずに基板 10 から金属酸化物をしばしばほとんど洗浄しない。

40

【 0 0 6 2 】

実施例 4

本実施例においては、多数の水素ラジカル含有種を供給して基板 10 から金属酸化物を洗浄することによる比較的穏やかな洗浄プロセスにより基板 10 を洗浄した。比較的穏や

50

かな洗浄プロセスは、遠隔ゾーンにおいて励起された水素含有ガスを形成し、ガスにおけるイオン種の数減少させるとともに多くの水素ラジカル含有化学種を供給するために石英表面60上に励起ガスを通すことにより励起ガスをろ過することを必要とした。基板10は、厚さが1500オングストロームの低k誘電体層18を備えたプロセスで洗浄した。洗浄ガスは3000 s c c mの H_2 を含み、洗浄プロセスは以下の表3に挙げたガス励起電力レベルと温度で40秒間行った。誘電体層18のk値の変化を測定し、表3に示す。

【0063】

【表3】

処理条件	$\Delta k(\%)$
1400ワット/175°C	2
	2
	3
500ワット/175°C	2
	1
	2
500ワット/250°C	5
	5
	5

10

20

【0064】

このように、表1、2、3の比較は、冷機洗浄ガスが多くの水素含有ラジカルを含む洗浄プロセスが、結果としてk値の変化がかなり減少するので、ろ過せずにガス中のイオン種数を減少させるプロセスより洗浄ガスが改善することを示している。イオン種をろ過しない従来の洗浄プロセスにより、イオン種数が減少した洗浄ガスプロセスに対するk値の変化パーセントより20倍ほど、30倍さえもあり得るk値の変化パーセントが得られる。従って、低k誘電体層を有する基板10の洗浄改善は、励起水素含有ガスをろ過してガス中のイオン種数を減少させることにより得ることができ、それにより処理された基板10の品質を改善するとともに厚さが薄い誘電体層18を本質的に層を損傷させずに洗浄させることを可能にする。

30

【0065】

実施例5

本実施例は、水素含有ラジカル種を含む励起された洗浄ガスによる基板の洗浄において温度の重要性を示すものである。厚さが1500オングストロームの低k誘電体層を備えた基板10を、1400ワットのマイクロ波電力レベルを印加することによりリモートソース35において3000 s c c mの H_2 と30 s c c mの H_2O を含む洗浄ガスを励起することによって洗浄した。基板10の温度は、以下表4に示されるように、洗浄される各基板10について変化させた。k値を洗浄前後に測定し、k値の変化パーセントを求めた。k値は、洗浄後約3であった。ウェハとウェハ間の変化によるノイズや洗浄される基板が比較的少ないことから、測定されたk値の変化が実際の変化より大きくなり、上記表3に示されたものより大きくなることは留意すべきである。しかしながら、表4は温度の増加によるk値の増加の一般傾向を示している。

40

【0066】

【表 4】

基板温度(°C)	$\Delta k(\%)$
85	8.9
	7.6
	7.8
125	13.6
	10.7
	8.2
150	11.7
	13.2
	9.8
200	16.0
	14.6
	13.4

10

【0067】

洗浄された基板の反射率も測定され、反射率パーセントについて図7において基板温度増加をグラフにした。高い反射率は、より多くの未変性酸化物が銅導体16の表面14から除去されたことを示している。ライン507は、洗浄プロセス前の平均反射率であり、ライン508は洗浄プロセス後の平均反射率であり、ライン509とライン510はそれぞれ洗浄プロセス前後の反射率測定の標準偏差パーセントである。このように、基板10の良好な洗浄プロセスは高い温度で得られるが、良好な洗浄プロセスが80の低い基板温度でもなお得られることをグラフは示している。従って、表4と図7のグラフは、良好な洗浄プロセス結果が水素含有ラジカルによる洗浄で得ることができることを示し、また、温度が低k誘電体層のk値を過度に上げることなく最適な洗浄を与えるように慎重に選ぶべきであることを示している。

20

【0068】

実施例6

本実施例は、熱処理ステップを行うことによって得ることができる改善された結果を示すものである。本実施例においては、 H_2 ガスフローを供給しつつ、銅導体16と低k誘電体層18を備えている基板10を少なくとも約100の温度に基板を加熱することを含む熱処理プロセスで処理した。その後、熱処理基板10をろ過された水素含有ラジカル種を含む遠隔励起ガスによる洗浄プロセスにおいて洗浄して堆積物12を銅導体16の表面14から除去した。その後、洗浄された表面14上に窒化タンタル層を含む第二金属含有導体21を堆積させるために堆積プロセスを行った。銅と窒化タンタル相互接続特徴部20の電気抵抗について、図8におけるライン600に示されるように、基板10全体の特徴部20を測定した。

30

【0069】

熱処理結果を比較するために、基板10を、熱処理ステップを含めずに処理し、基板10全体の特徴部20の電気抵抗を測定した。一プロセスにおいては、基板10上に窒化タンタル層を堆積する前に、別個の熱処理ステップを含めずにろ過された水素含有ラジカルを含む遠隔励起ガスによって基板10を洗浄し、その結果はライン602で示されている。他のプロセスにおいては、前洗浄又は熱処理ステップを行わずに窒化タンタル層を基板10上に堆積し、その結果はライン604で示されている。

40

【0070】

図8は、接触抵抗の低い基板20全体の特徴部20の割合は、洗浄し基板上に物質を堆積する前に熱処理ステップで処理された基板については非常に高いことを示している。図8は、抵抗測定値以下の抵抗を有する特徴部の割合を示すグラフであり、測定された抵抗値はグラフのx軸上に示され、特徴部の割合はグラフのy軸上に示されている。ライン600に示されるように、熱処理ステップは、基板全体の約95%より大きい特徴部20に

50

ついて約 1 オーム/特徴部未満の抵抗を与える。対照的に、熱処理せずに処理された基板 10 は、抵抗が約 1 オーム/特徴部未満である特徴部 20 が約 5 % 未満である。

【0071】

実施例 7

本実施例は、更に、ろ過された水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスによって得られた改善された洗浄結果を示すものである。炭素含有残留物のような堆積物 12 を洗浄する洗浄ガスの能力を求めるために、フォトレジスト層を含む基板 10 を、水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスに晒した。これらの基板のフォトレジスト除去速度を測定し、従来の洗浄ガスに晒された層フォトレジストを有する基板 10 のフォトレジスト除去速度と比較した。図 9 は、パー 700 に示される水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスのフォトレジスト除去速度と、パー 702 に示される従来の洗浄ガスのフォトレジスト除去速度を示している。図 9 が示すように、フォトレジスト除去速度は、ろ過された水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスにより約 3 倍速いので、この洗浄ガスは従来の洗浄ガスより洗浄結果を著しく改善する。

10

【0072】

実施例 8

本実施例は、また、ろ過された水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスによって得られた改善された洗浄結果を示すものである。本実施例においては、図 10 のライン 704 で示されるように、その上に未変性酸化物膜 12 を備えた金属含有導体 16 を有する基板 10 の反射率を測定した。その後、水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスに基板 10 を晒すことにより基板 10 を洗浄し、洗浄された基板 10 の反射率を図 10 のライン 706 に示されるように測定した。洗浄された基板 10 の反射率は基板 10 全体で約 120 % に近く、洗浄されていない基板 10 の約 40 % の比較的低い反射率に比較して、未変性酸化物 12 のほぼ完全な除去が示された。従って、ろ過された水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスによる洗浄によって、基板 10 上の金属含有導体 16 の表面の良好な洗浄が得られる。

20

【0073】

実施例 9

本実施例においては、ろ過された水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスにより洗浄された特徴部 20 の抵抗減少を示したものである。改善された抵抗を示すために、金属含有導体 16 を備えた特徴部 20 を有する基板を、続いての金属含有導体を堆積し複数の特徴部 20 を接続した相互接続構造を形成する前に、水素含有ラジカルを含むガスで洗浄した。その後、オーム/構造の相互接続構造の抵抗を試験し、図 11 のライン 708 で示されるように、測定された抵抗値と測定された抵抗を有する相互接続構造のパーセントをグラフにした。洗浄ステップを含まずに形成された相互接続特徴部の抵抗を測定し、図 11 のライン 709 としてグラフにした。このように、ろ過された水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスによる洗浄プロセスによって、洗浄せずに形成された相互接続構造より抵抗が低い相互接続構造の割合が高くなった。

30

【0074】

実施例 10

本実施例においては、キャパシタンスに対するろ過された水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスによる洗浄プロセスの影響を測定した。その上に続いての金属含有導体を堆積して相互接続構造を形成する前に、金属含有導体 16 を有する基板 10 を洗浄して堆積物を除去した。その後、図 12 のライン 710 で示されるように、処理された基板によって形成されたキャパシタのキャパシタンスを測定した。図 12 のライン 712 で示されるように、洗浄結果を、洗浄ステップを含めずに処理された基板上のキャパシタのキャパシタンスと比較した。このように、図 12 が示すように、ろ過された水素含有ラジカルを含む励起洗浄ガスによる洗浄プロセスは、基板 10 上の構造のキャパシタンスをほとんど変化させない。従って、誘電体層の k 値に対する洗浄プロセスの影響は、望ましく最少であると考えられる。

40

【0075】

50

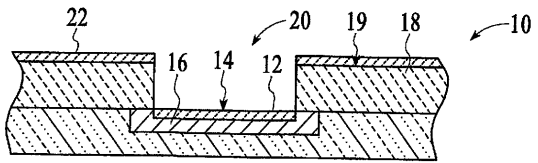
本発明の例示的实施形態が図示され説明されるが、当業者は本発明を組み込み、また、本発明の範囲内にある他の実施形態を講じることができる。例えば、当業者に明らかであるように、チャンバ106aは特に記載された以外のコンポーネントを備えることができる。更に、下に、上に、底面、上面、上へ、下へ、第一、第二という用語、及び他の相対的又は位置の用語は、図面における例示的实施形態に関して示され、置き換えることができる。それ故、添付の特許請求の範囲は、本発明を具体的に説明するために本明細書に記載された好適な変形例、物質、又は空間的配置の説明に制限されるべきでない。

【符号の説明】

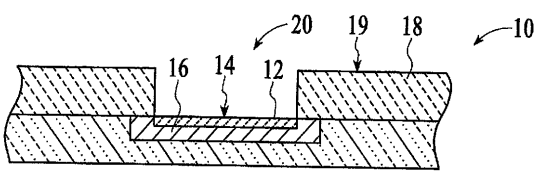
【0076】

10	基板	10
12	堆積物	
14	表面	
16	導体	
18	低k誘電体層	
20	特徴部	
30	リモートゾーン	
35	リモートソース	
40	リモートチャンバ	
50	イオンフィルタ	
52	グリッド	20
54	開口	
62	コンジット	
70	ガス分配器	
72	ガス分配プレート	
100	プロセスチャンバ	
102	装置	
106	チャンバ	
108	プロセスゾーン	
110	基板支持体	
117	搬送チャンバ	30
119	ロボット	
128	シールド	
129	流出口	
130	ガス供給源	
140	温度制御システム	
142	ヒータ	
144	排気システム	
168	排気システム	
170	排気ポート	
174	スロットルバルブ	40
211	ターゲット	

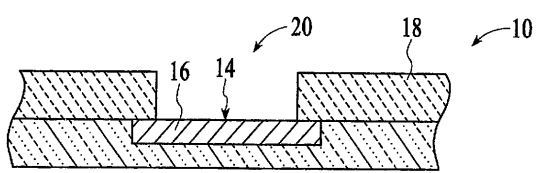
【図1A】



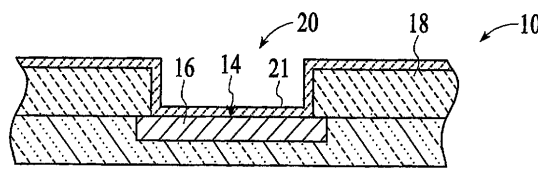
【図1B】



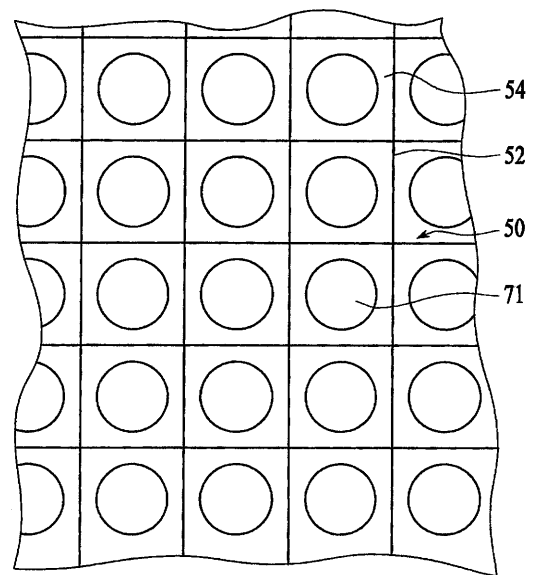
【図1C】



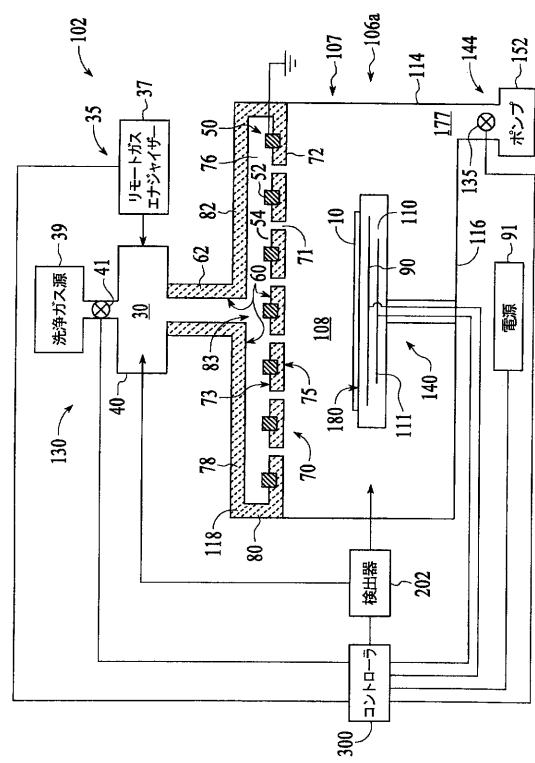
【図1D】



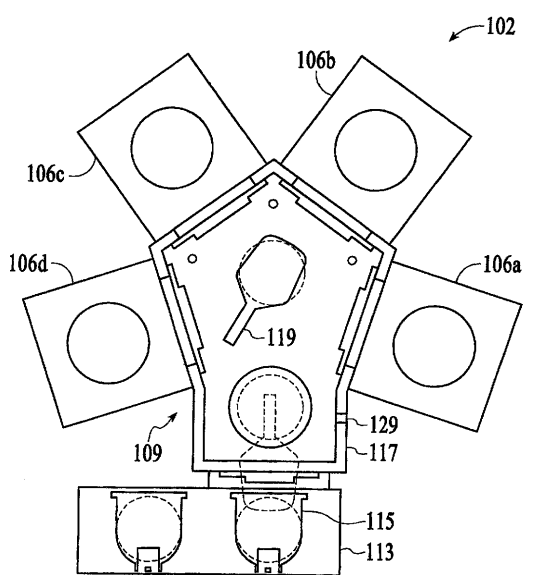
【図2B】



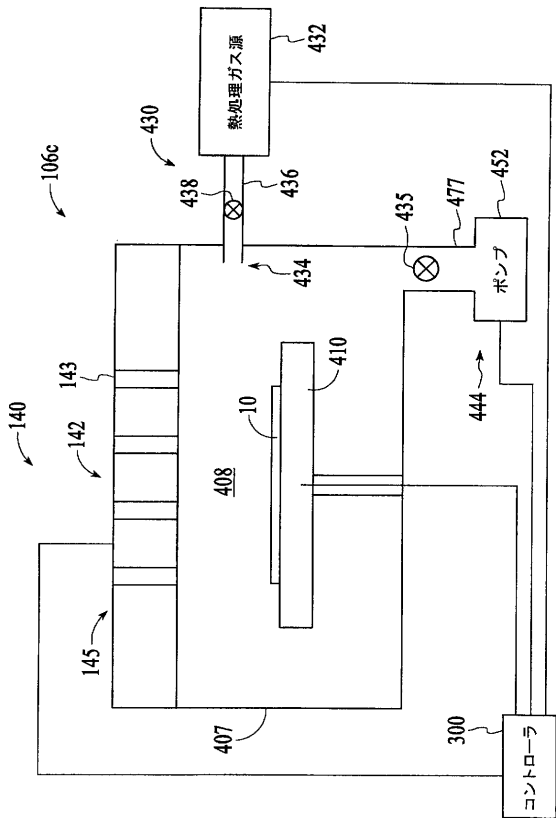
【図2A】



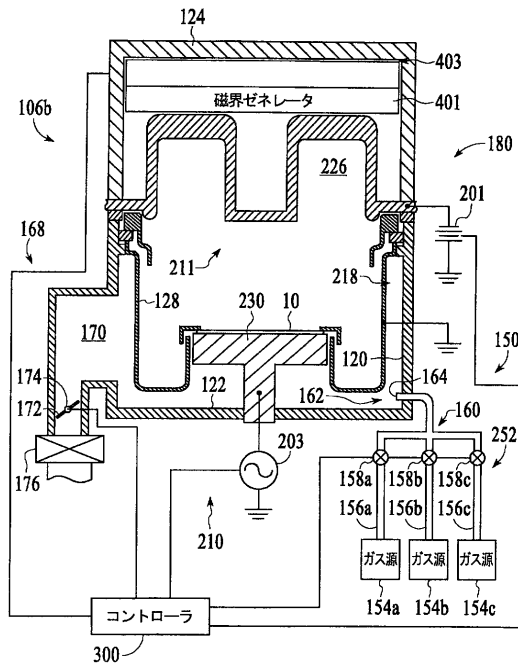
【図3】



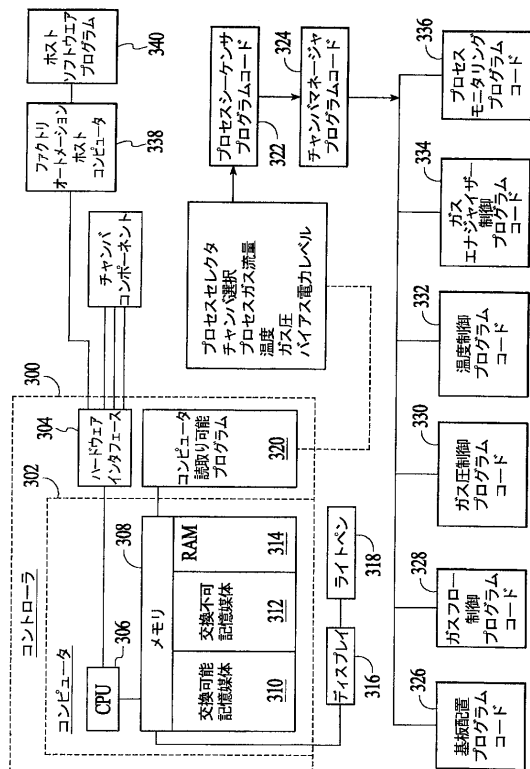
【図4A】



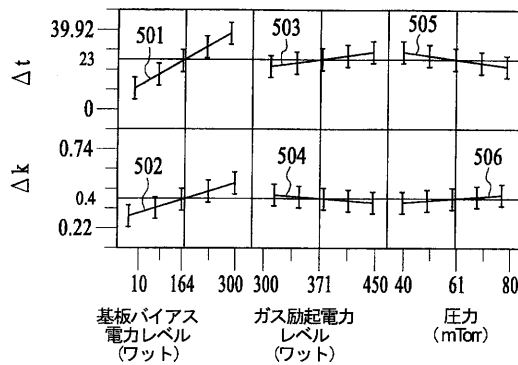
【図4B】



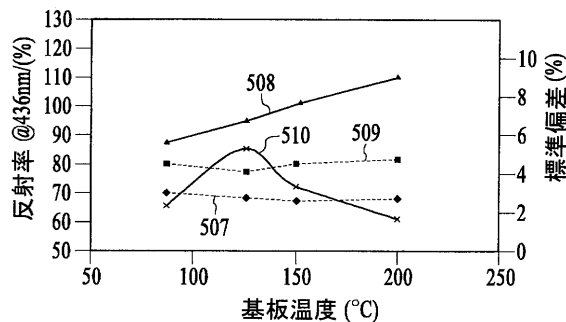
【図5】



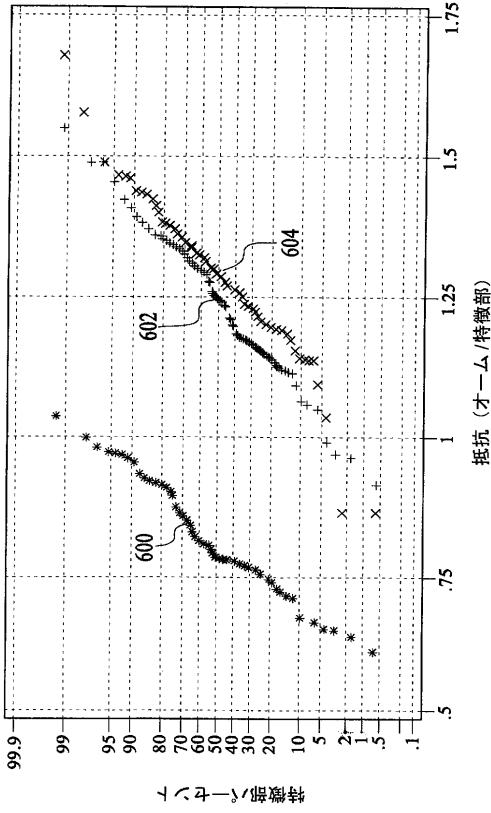
【図6】



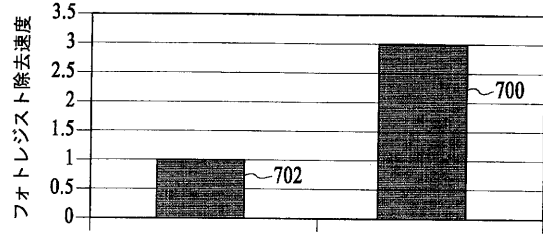
【図7】



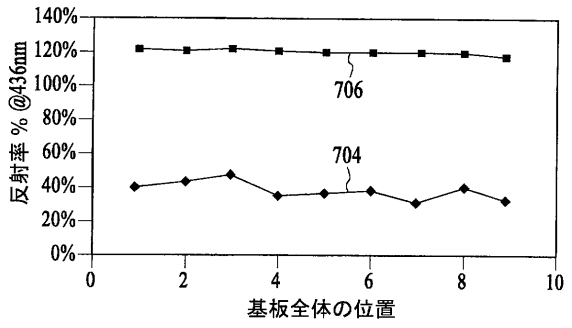
【 図 8 】



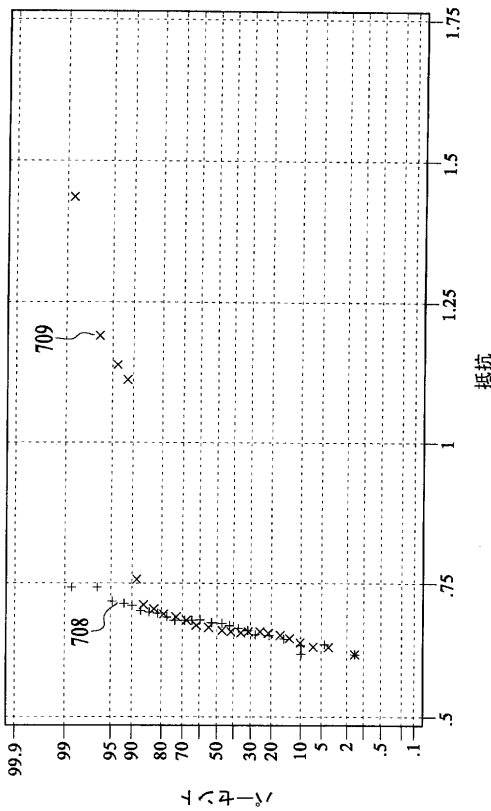
【 図 9 】



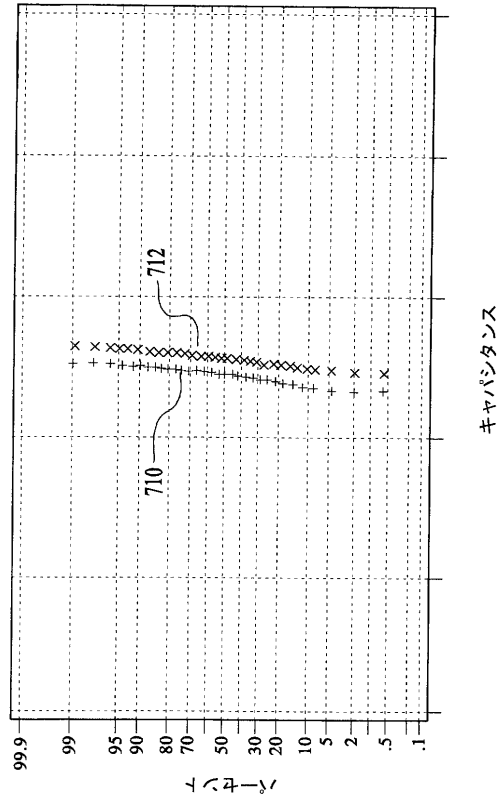
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】



【手続補正書】

【提出日】平成24年6月5日(2012.6.5)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板洗浄装置であって、

(a) 水素含有ガスを遠隔励起してイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種との第一比率を含む遠隔励起ガスを形成するリモートソースと、

(b) プロセスチャンバであって、

(i) 基板支持体と、

(ii) 前記遠隔励起ガスを通過させる開口を有する石英ガス分配プレートと石英チャンバライナとを備えているイオンフィルタと、(c) 廃ガス及び副生成物を排気する排気システムと、

を備えている、前記チャンバと、

を備えている、前記装置。

【請求項2】

該石英ガス分配プレート及び石英チャンバライナが、該励起ガスにおけるイオン水素含有化学種の数減少させて、該第一比率より低い第二比率を有するろ過された励起ガスを形成するのに十分な石英表面を提供する、請求項1記載の装置。

【請求項3】

該リモートソースとチャンバを接続するコンジットが石英表面を備えている、請求項1記載の装置。

【請求項4】

ラジカル濃度とイオン濃度の少なくとも1つを検出するように適合された検出器を備えている、請求項1記載の装置。

【請求項5】

該第一比率の値が該第二比率の値の少なくとも約100倍である、請求項1記載の装置。

【請求項6】

該リモートソースと該プロセスチャンバとの間に電氣的に接地されたグリッドを備えている、請求項1記載の装置。

【請求項7】

H_2 、 H_2O 、 NH_3 及び SiH_4 の1つ以上を含む水素含有ガスを供給する洗浄ガスソースを備えている、請求項1記載の装置。

【請求項8】

(i) 少なくとも80%の H_2 を含む水素含有ガス、

(ii) H_2O を含む水素含有ガス、及び、

(iii) NH_3 を含む水素含有ガス、

の少なくとも1つを供給する洗浄ガスソースを備えている、請求項1記載の装置。

【請求項9】

該水素含有ガスが、約80体積%~約100体積%の H_2 と、約1体積%~約20体積%の H_2O とを含む、請求項8記載の装置。

【請求項10】

該洗浄ガスソースが窒素含有ガスを供給する、請求項8記載の装置。

【請求項11】

該基板の下の電極へバイアス電力を印加する電源を備えている、請求項1記載の装置。

【請求項 1 2】

該基板を約 1 5 0 ~ 約 3 5 0 の温度に維持するヒータを備えている、請求項 1 記載の装置。

【請求項 1 3】

該ヒータが抵抗加熱素子又は加熱ランプである、請求項 1 2 記載の装置。

【請求項 1 4】

プロセスチャンバであって、

- (a) プロセスゾーン内の基板支持体と、
 - (b) エネルギーを水素含有ガスに結合してイオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種との第一比率を含む励起ガスを形成するチャンバガスエナジャイザと、
 - (c) 該励起ガスにおけるイオン水素含有化学種数を減少させて、該第一比率より低い第二比率を有する励起ガスを形成するイオンフィルタであって、石英ガス分配プレートと石英チャンバライナとを備えている、前記イオンフィルタと、
 - (d) 廃ガスを該チャンバから排気する排気システムと、
- を備えている、前記チャンバ。

【請求項 1 5】

該チャンバガスエナジャイザが電極及び誘導アンテナの 1 つ以上を備えている、請求項 1 4 記載の装置。

【請求項 1 6】

該ガスを励起するリモートソースをさらに備えている、請求項 1 4 記載の装置。

【請求項 1 7】

該リモートソースと該チャンバとを接続するコンジットを備え、該コンジットが石英表面を備えている、請求項 1 4 記載の装置。

【請求項 1 8】

該第一比率の値が該第二比率の値の少なくとも約 1 0 0 倍である、請求項 1 4 記載の装置。

【請求項 1 9】

H_2 、 H_2O 、 NH_3 及び SiH_4 の 1 つ以上を含む水素含有ガスを供給する洗浄ガスソースを備えている、請求項 1 4 記載の装置。

フロントページの続き

- (74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之
- (74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩
- (72)発明者 ウッド, ピングク, サン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, スタンフォード, ペーター クウツ サークル 5 1
- (72)発明者 カワグチ, マーク, エヌ.
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, パロ アルト, コートナー アヴェニュー 2 5 0 アパー
トメント 1 5
- (72)発明者 パパヌ, ジェームス, エス.
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン パファエル, ホーリー ドライヴ 3 5 1
- (72)発明者 モセリー, ロドリック, シー.
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, プリザントン, ピー.オー.ボックス 1 1 8 0 1
- (72)発明者 ライ, チウキン, スティーブン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サニーヴェール, グロトン コート 8 2 7
- (72)発明者 カオ, チェン-テウ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サニーヴェール, スターバッシュ ドライヴ 7 1 5
- (72)発明者 アル, ファ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, マウンテン ヴュー, アダ アヴェニュー 2 0 1 アパー
トメント 2 6
- (72)発明者 ワン, ウェイ, ダヴリユー.
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サンタ クララ モントエ ストリート 2 2 0 1 ナンバ
ー 8 0 4
- F ターム(参考) 5F004 AA14 BA03 BB18 CA06 DA22 DA23 DA24 DA25
5F157 AA32 AB03 AB13 AB33 AC01 BG34 BG35 BG39 BG58 BH15
CE10 CE59 CF46 DA21 DB02 DB18