

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4673290号  
(P4673290)

(45) 発行日 平成23年4月20日(2011.4.20)

(24) 登録日 平成23年1月28日(2011.1.28)

(51) Int.Cl.	F 1
H01L 21/304 (2006.01)	H01L 21/304 6 4 5 Z
C23C 14/02 (2006.01)	C23C 14/02
H01L 21/768 (2006.01)	H01L 21/90 B
H01L 23/522 (2006.01)	B08B 5/02 Z
B08B 5/02 (2006.01)	C23C 14/06

請求項の数 10 (全 28 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2006-503556 (P2006-503556)
(86) (22) 出願日	平成16年2月12日 (2004.2.12)
(65) 公表番号	特表2006-523015 (P2006-523015A)
(43) 公表日	平成18年10月5日 (2006.10.5)
(86) 國際出願番号	PCT/US2004/004278
(87) 國際公開番号	W02004/074932
(87) 國際公開日	平成16年9月2日 (2004.9.2)
審査請求日	平成19年1月29日 (2007.1.29)
(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)

(73) 特許権者	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレ イテッド A P P L I E D M A T E R I A L S, I N C O R P O R A T E D アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 054 サンタ クララ バウアーズ 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 穎男
(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) 【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) 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可能なイオンフィルタであって、該第二比率が該第一比率と異なり、該イオンフィルタは、該ろ過された励起ガスを該チャンバに導入する誘電性のガス分配器上に取り付けられ、又は、該ガス分配器に少なくとも部分的に埋め込まれたワイヤグリッドであって、該ワイヤグリッドの表面は該ガス分配器の表面と物理的に接触し、該ワイヤグリッドにおける開口は該ガス分配器のアパーチャと一致しているワイヤグリッドを有し、該ワイヤグリッドは、該遠隔励起ガスに面して露出した導電性の表面であって、これに衝突するイオン種からの電荷を伝達可能な表面を有する、前記イオンフィルタと、

を備えている、前記装置。

## 【請求項 2】

該イオンフィルタが該遠隔励起ガスをろ過し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、請求項 1 記載の装置。

10

20

**【請求項 3】**

該励起ガスにおけるイオン水素含有化学種の数を減少させる石英表面を備えている、請求項 1 記載の装置。

**【請求項 4】**

該石英表面が、(i) チャンバライナ、又は(ii) 該リモートソースとチャンバを接続するコンジットの少なくとも 1 つの表面である、請求項 3 記載の装置。

**【請求項 5】**

該装置内の 1 つ以上の位置においてラジカル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 6】**

該プロセスチャンバが大気圧未満を維持することができる排気システムを含んでいる、請求項 1 記載の装置。

10

**【請求項 7】**

基板洗浄装置であって、

(a) 遠隔ゾーンと、少なくとも 80% 容積の H<sub>2</sub> を含む洗浄ガスを供給するように適合された洗浄ガスソースと、該洗浄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ガスエナジャイザーと、を有するリモートチャンバを備え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) 該遠隔励起ガスを該チャンバに導入するガス分配器であって、該ガス分配器が、石英ガス分配プレート上に取り付けられ、又は、該石英ガス分配プレートに少なくとも部分的に埋め込まれたワイヤグリッドであって、該ワイヤグリッドの表面は該石英ガス分配プレートの表面と物理的に接触し、該ワイヤグリッドにおける開口は該石英ガス分配プレートのアーチャと一致しているワイヤグリッドを有し、該ワイヤグリッドは、該遠隔励起ガスに面して露出した導電性の表面であって、これに衝突するイオン種からの電荷を伝達可能な表面を有し、該石英ガス分配プレートの該アーチャを通ってろ過された該遠隔励起ガスは該第一比率より低い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前記ガス分配器と、

(iii) 石英チャンバライナと、

20

(iv) 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。

30

**【請求項 8】**

該リモートソースが該石英ガス分配プレートから距離 d に配置され、該距離 d 全体の該遠隔励起ガスの行程によって、イオン水素含有化学種とラジカル水素含有化学種との比率が該第一比率と比較して減少した比率を有するろ過された励起ガスが得られる、請求項 7 記載の装置。

**【請求項 9】**

該第一比率の値が該減少した比率の値の少なくとも約 100 倍である、請求項 8 記載の装置。

40

**【請求項 10】**

基板を洗浄するとともに基板上に金属含有導体を堆積するための装置であって、

(a) 洗浄チャンバであって、

(i) 基板支持体と、

(ii) 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励起ガスを形成するリモートソースと、

(iii) 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可能なイオンフィルタであって、該第二比率が該第一比率と異なり、該イオンフィルタは、該ろ過された励起ガスを該チャンバに導

50

入する石英ガス分配器上に取り付けられ、又は、該ガス分配器に少なくとも部分的に埋め込まれたワイヤグリッドであって、該ワイヤグリッドの表面は該ガス分配器の表面と物理的に接触し、該ワイヤグリッドにおける開口は該ガス分配器のアーチャと一致しているワイヤグリッドを有し、該ワイヤグリッドは、該遠隔励起ガスに面して露出した導電性の表面であって、これに衝突するイオン種からの電荷を伝達可能な表面を有し、該イオンフィルタが更に石英チャンバラインを含んでいる、前記フィルタと、

( i v ) 該ガスを該洗浄チャンバから排気する排気システムであって、該排気システムが該洗浄チャンバにおいて約 10 m Torr 未満の圧力を維持することができる、前記システムと、

を備えているチャンバと、

10

( b ) 堆積チャンバであって、

( i ) 基板支持体と、

( i i i ) ガスを該堆積チャンバに導入するガス分配システムと、

( i v ) 該ガスを励起して該基板上に物質を堆積させるガスエナジヤイザーと、

( v ) 該堆積チャンバから該ガス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、

( c ) 該洗浄チャンバから該堆積チャンバへ該基板を搬送するロボットを備えている搬送チャンバであって、該搬送チャンバが約 10 m Torr 未満の低圧環境において該基板を維持することができるエンクロージャと、ガスを該搬送チャンバから排気して該低圧環境を維持する流出口を備えている、前記チャンバと、

20

( d ) 該洗浄チャンバと、堆積チャンバと、該基板上の第一金属含有導体から堆積物を洗浄するとともに該基板を該堆積チャンバに搬送して該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コントローラと、

を備えている、前記装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【クロスリファレンス】

#### 【0001】

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。

30

#### 【背景】

#### 【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気的に接触する。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。

40

#### 【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

50

、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。

#### 【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プ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<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O、O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O、O<sub>2</sub>/CF<sub>4</sub>及びO<sub>2</sub>/CF<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O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繁に用いられているので、誘電率値に不利に影響せずに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。

#### 【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できることが望ましい。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、基板上の周囲の低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できる。

#### 【概要】

#### 【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。

10

20

30

40

50

**【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10 m Torr 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ヤイザー、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10 m Torr 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

50

**【説明】****【0014】**

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、タンゲステン、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1A-図1D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種との組合せを含むことができる。誘電体層18は、図1Aと図1B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1C及び図1D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と統いての基板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。

10

20

**【0015】**

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つの不対電子を有するので、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·)、ヒドロキシルラジカル(OH·)、窒素含有ラジカル(NH<sub>2</sub>·、NH<sub>3</sub>·)、メチルラジカル(CH<sub>3</sub>·)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。

30

**【0016】**

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であってもよい。

**【0017】**

40

励起洗浄ガスは、例えば、一つ以上のH<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>及びSiH<sub>4</sub>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<sub>2</sub>を含み得る。適切な容量流量の水素含有ガスは、約100sccm～約5リットル/分であってもよい。H<sub>2</sub>O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<sub>2</sub>O、例えば、約1%～約5%容積のH<sub>2</sub>O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50sccm～約1000sccmのH<sub>2</sub>、約300～約600s

50

c c m の H<sub>2</sub>、約 0 ~ 約 1 0 s c c m の H<sub>2</sub>O、例えば、約 1 ~ 約 5 s c c m の H<sub>2</sub>O を含むことができる。

#### 【 0 0 1 8 】

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<sub>3</sub>、( i i ) NH<sub>3</sub> と H<sub>2</sub>O、( i i i ) N<sub>2</sub> と H<sub>2</sub>、( i v ) N<sub>2</sub> と、H<sub>2</sub> と、H<sub>2</sub>O、( v ) NH<sub>3</sub> と、H<sub>2</sub>O と H<sub>2</sub> 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 8 0 % ~ 約 1 0 0 % 容積の H<sub>2</sub>、約 1 % ~ 約 2 0 % 容積の H<sub>2</sub>O、約 1 % ~ 約 2 0 % 容積の NH<sub>3</sub> を含んでいる。洗浄ガスは、また、層 1 8 からエッティ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 1 8 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<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 及び C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 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<sub>2</sub>、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。  
10

#### 【 0 0 1 9 】

洗浄ガスは、例えば、図 2 A に示されるように、遠隔ゾーン 3 0 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 3 0 は洗浄チャンバ 1 0 6 a のプロセスゾーン 1 0 8 から離れた適切な距離に位置し、遠隔ゾーン 3 0 で形成された励起イオン種の多くがプロセス領域 1 0 8 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 3 0 において励起ガスを形成すると、プロセスゾーン 1 0 8 に搬送すべきラジカル種の数が多くなり、イオン種が少なくなることが可能である。遠隔ゾーン 3 0 は、プロセスゾーン 1 0 8 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 3 0 からガス分配ブレート 7 2 までが、ガスをろ過してイオン種の数が減少し、且つラジカル種の数とイオン種の数の比率が高い、励起ガスになる。洗浄チャンバ 1 0 6 a のプロセスゾーン 1 0 8 から遠隔ゾーン 3 0 の適切な距離は、例えば、少なくとも約 1 . 5 インチ ( 3 . 8 cm ) 、例えば、約 1 インチ ( 2 . 5 cm ) ~ 約 4 インチ ( 1 0 cm ) であってもよい。  
20

#### 【 0 0 2 0 】

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 5 0 を通過させて遠隔ゾーン 3 0 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 5 0 が励起洗浄ガスにおけるイオン種の数を減少させて、遠隔ゾーン 3 0 で形成されたろ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<sub>f</sub> ) は、少なくとも約 1 : 1 0 0 、例えば、少なくとも 1 : 5 0 0 、少なくとも約 1 : 1 0 , 0 0 0 だけろ過されていない比 ( R<sub>i</sub> ) より少なくすることができる。ろ過されていない比率 ( R<sub>i</sub> ) 値は、ろ過された比率 ( R<sub>f</sub> ) の少なくとも約 1 0 0 倍、例えば、ろ過された比率の少なくとも約 5 0 0 倍、ろ過された比率の少なくとも約 1 0 , 0 0 0 倍さえあってもよい。例えば、ろ過された比率は、R<sub>f</sub> = ( R<sub>f</sub> / R<sub>i</sub> ) · R<sub>i</sub> に等しくなることができる。ここで、ろ過された比率は R<sub>f</sub> = I<sub>f</sub> / N<sub>f</sub> であり、ろ過されていない比率は R<sub>i</sub> = I<sub>i</sub> / N<sub>i</sub> であり、I<sub>f</sub> と I<sub>i</sub> 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<sub>f</sub> と N<sub>i</sub> 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<sub>f</sub> = ( I<sub>f</sub> / N<sub>f</sub> ) ( N<sub>i</sub> / I<sub>i</sub> ) · R<sub>i</sub> 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、ラジカルの数は約 2 0 % 未満だけ変化し、そのとき N<sub>f</sub> は N<sub>i</sub> に等しく、これらの因子は方程式から取り消され、R<sub>f</sub> = ( I<sub>f</sub> / I<sub>i</sub> ) R<sub>i</sub> 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<sub>f</sub> / I<sub>i</sub> ) 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 : 1 0 0 未満、例えば、約 1 : 5 0 0 未満、約  
30  
40  
50

1 : 1 0 , 0 0 0 未満もの比である。このように、基板 1 0 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 5 0 がさもなければ低 k 誘電体層 1 8 8 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。

#### 【 0 0 2 1 】

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の相対量は、例えば、6 5 6 nm 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の相対量は、例えば、基板支持体 1 1 0 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 1 1 0 上に衝突させ帯電するプラズマの水素の数は、支持体 1 1 0 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 1 1 0 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、Carlie 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。

#### 【 0 0 2 2 】

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 2 0 2 が設けられる。検出器 2 0 2 は、その領域におけるイオン及びラジカルの少なくとも 1 種の濃度を測定するためにチャンバ 1 0 6 と装置 1 0 2 の異なる領域に位置させることができる。検出器 2 0 2 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 種以上の量を検出するために遠隔チャンバ 4 0 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 /  $\text{cm}^3$  オーダーであってもよい。検出器 2 0 2 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 1 0 8 近傍にチャンバ 1 0 6 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 /  $\text{cm}^3$  オーダーであってもよい。従って、装置 1 0 2 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 種の数は、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 1 0 2 によって測定することができる。

#### 【 0 0 2 3 】

一変形例においては、イオンフィルタ 5 0 は、図 2 A と図 2 B 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 5 4 を有する導電性ワイヤグリッド 5 2 を備えている。ワイヤグリッド 5 2 は電気的に接地し得る(図示されるように)のでグリッド 5 2 上に衝突したイオン種からの電荷がグリッド 5 2 を通っ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 5 2 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 5 2 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 5 4 の面積とワイヤグリッド 5 2 の面積比、例えば、約 1 0 : 1 ~ 約 1 : 1 0 の比、少なくとも 1 : 1 さえも含んでいる。ワイヤグリッド 5 2 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。

#### 【 0 0 2 4 】

ワイヤグリッド 5 2 は、例えば、プロセスゾーン 1 0 8 上の遠隔ゾーン 3 0 と基板 1 0 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 2 A と図 2 B に示されるように、ワイヤグリッド 5 2 は、プロセスゾーン 1 0 8 に遠隔ゾーン 3 0 から受容

10

20

30

40

50

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を通っ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ス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から隔離することもできる。また、プレート72が励起ガスフローをそれを使って巻き込んでいるバ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。

#### 【0025】

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い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ので、これらイオンは再結合して電気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。

#### 【0026】

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の表面のような、チャンバ100内に他の表面を裏打ちすることもできる。

#### 【0027】

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。

#### 【0028】

10

20

30

40

50

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、H<sub>2</sub>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 R F 又はマイクロ波エネルギーを結合せずにを行うことができる。

## 【0029】

10

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 °C、例えば、約 150 °C ~ 約 350 °C の温度に加熱される。H<sub>2</sub>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。

## 【0030】

20

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 106 a で行われる。例えば、チャンバ 106 a は、温度制御システム 140 とチャンバ 106 a 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 2 A 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 106 c 内で行われ、その実施形態は図 2 c に示されている。熱処理チャンバ 106 c は、例えば、真空搬送チャンバ 117 によって洗浄チャンバ 106 a 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 106 c から洗浄チャンバ 106 a まで真空を破壊することなく搬送され得る。

## 【0031】

30

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 1 A 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 1 B 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 106 a 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る、ストリッピングチャンバと洗浄チャンバ 106 a 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 106 a 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 106 c が用いられる場合、熱処理チャンバ 106 c 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 106 a 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 1 B 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 106 a への基板 10 の搬送中に周囲雰囲気に晒す際に、金属含有導体 16 の表面 14 上に形成し得る。

## 【0032】

40

適切な洗浄プロセスの一変形例においては、約 50 ~ 約 1000 sccm の H<sub>2</sub>、例えば、300 sccm の H<sub>2</sub> と約 0 ~ 10 sccm の H<sub>2</sub>O、例えば、3 sccm の H<sub>2</sub>O 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 10 Torr 未満、例えば、約 1 Torr 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

50

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 1 C 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。

### 【 0033 】

洗浄プロセスが完了した後、チャンバ 106 a 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 106 a 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 10 mTorr 未満に減圧される。その後、基板 10 は、図 1 D 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、タンゲステン、窒化タンタル及び窒化タンゲ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ロボット 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 106 b に搬送され得る。

10

### 【 0034 】

水素含有ラジカル洗浄プロセスに適した洗浄チャンバ 106 a を含む装置 102 の実施形態は、図 2 A に示されている。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 106 a は、エンクロージャーのような 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トチャ 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 を通ってチャンバ 106 a から排気され、チャンバ 106 a 内のガス圧を制御するためにスロットルバルブ 135 と、 1 つ以上の排気ポンプ 152 、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 144 は、チャンバ 106 a の大気圧未満を維持することができる。

20

### 【 0035 】

洗浄ガスを遠隔励起するのに適したリモートソース 35 は、遠隔ゾーン 30 、洗浄ガスソース 39 、リモートガスエナジャイザー 37 を有するリモートチャンバ 40 を含んでいる。動作中、洗浄ガスはリモートチャンバ 40 における洗浄ガスソース 39 から受容する。リモートチャンバ 40 への洗浄ガスの流量を制御するためにフローバルブ 41 を設けることができる。リモートガスエナジャイザー 37 は、遠隔ゾーン 30 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ャイザー 37 は、例えば、洗浄ガスに RF 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ャイザー 37 は、遠隔領域 30 における洗浄ガスに RF 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 RF 電力レベルは、約 100 ワット ~ 約 10 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ャイザー 37 は、例えば、Smith らの米国特許第 6,150,628 号に記載されるように、遠隔ゾーン 30 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ャ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ャイザーによって印加された適切な RF 電力レベルは、約 1000 ワット ~ 約 10,000 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ャイザー 37 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 300 ワット ~ 約 5 k ワットであってもよい。チャンバ 106 a は、チャンバ 106 a のプロセスゾーン 108 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ャ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ャイザーは、 RF 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。

40

50

## 【0036】

基板10は、基板受容表面180を有する支持110上のプロセスゾーン108に保持される。支持体110は、電圧源91から電力レベルを印加することによって電気的にバイアスをかけ得る電極90を任意に含むことができる。電極90は、支持体110上の基板10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90と基板10は、プロセスの特性、例えば、基板10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ある。しかしながら、支持体110はいかなる帯電可能電極を存在しないこともあります。温度制御システム140は、基板10の温度を維持するために設けられ、例えば、基板10の下の支持体110に抵抗加熱素子111を含むことができる。温度制御システム140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。10

## 【0037】

プロセスチャンバ195を含む装置102は、複数のプロセスチャンバ106a-dを含む大きなマルチチャンバ装置102の一部でもあり得る。基板10を処理するのに適した装置102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106a-dを含んでいる。チャンバ106a-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Precision 5000(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109は、典型的には、処理すべき基板10のカセット115を受容するロードロック113と処理するためにカセット115から異なるチャンバ106a-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119を含む基板搬送チャンバ117を支持する。異なるチャンバ106a-dは、例えば、堆積洗浄チャンバ106a、ウェハ上に物質を堆積するための堆積チャンバ106b、任意に、熱処理チャンバ106c、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106a-d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106a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106b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106cから洗浄チャンバ106aに搬送され得る。チャンバ106a-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106a-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10mTorr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。2030

## 【0038】

基板10上に物質を堆積することができるチャンバ106bの例示的な変形例は、図4Bに概略的に示されている。チャンバ106b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106b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106b内で基板10を支持するために設かれている。基板支持体230は、例えば、RF電源203であってもよい、ペデスタル電源210によって電気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106bの側壁120にある基板装填流入口(図示せず)を通ってチャンバ106b4050

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。

#### 【0039】

スパッタリングガスのようなプロセスガスは、それを通っ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。10

#### 【0040】

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 106 b は、スパッタされた物質からチャンバ 106 b 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、電気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 106 b から電気的に分離され、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ライザ 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 106 b 内に生成された電界は、ターゲットから、また、基板 10 上に物質をスパッタさせるためにターゲット 211 上に励起的に衝突させ、それに衝突させるプラズマを形成するためのスパッタリングガスを励起させる。プロセスガスを励起させるためのパルス DC 電圧の適したパルス周波数は、例えば、少なくとも約 50 kHz、更に好ましくは約 300 kHz 未満であり、最も好ましくは約 100 kHz であってもよい。プロセスガスを励起させるために適した DC 電圧レベルは、例えば約 200 ~ 約 800 ボルトであってもよい。30

#### 【0041】

チャンバ 106 b は、チャンバ 106 b 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 を含むマグネットロン 403 を更に含んでいる。改善されたマグネットロン 403 は、例えば“回転スパッタマグネットロンアセンブリ”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 Gopalrajala 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40

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。

#### 【 0 0 4 2 】

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 を通っ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 を保持するために電気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 を通ってチャンバ 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ルバルブ 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。10

#### 【 0 0 4 3 】

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。20

#### 【 0 0 4 4 】

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ーフェース 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ーフェースカード、インターフェースボード、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 間のインターフェースは、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。3040

#### 【 0 0 4 5 】

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み取り可能プログラム 320 を備えている。コンピュータ読み取り可能なプログラム 320 は、通常は、例えば、チャンバ 106a-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 106a-d で行われるプロセスをモニタするプロセスマ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。コンピュータ読み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み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、CPU306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。

10

#### 【0046】

コンピュータ読み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プ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応答してコンピュータ読み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。コンピュータ読み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ャイザー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。

20

#### 【0047】

プロセスシーケンサプログラムコード322は、コンピュータ読み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106a-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ラムコード324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324には、基板配置プログラムコード326、ガスフロー制御プログラムコード328、ガス圧制御プログラムコード330、温度制御プログラムコード332、ガスエナジャイザー制御プログラムコード334、プロセスマニタリングプログラムコード336が含まれている。

30

#### 【0048】

典型的には、基板配置プログラムコード326は、チャンバ106a-d内で支持体110、230上に基板10を装填し、任意にチャンバ106a-d内で所望の高さに基板10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334は、マルチチャンバ装置102におけるチャンバ間で基板10を搬送するために搬送チャンバ117内のロボット119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328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328は、1つ以上のガスフローバルブ41、158a、c、436の開口サイズを調節してチャンバ106a-cへの所望のガス流量を得る。

40

#### 【0049】

温度制御プログラムコード332は、基板10の温度のようなチャンバ106a-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111のようなヒータ142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106aにおける基板10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142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106cにおいて基板10の温度を制御することができる。ガス

50

ネナジャイザ制御プログラムコード 334 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ャイザー 37 やスパッタリングガスエナジャイザ 180 のようなガスエナジャイザーを制御するための指示を備えている。プロセスマニタリングプログラムコード 334 は、チャンバ 106a-c におけるプロセスをモニタする、例えば、検出器 202 によってろ過されていない励起ガス及びろ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 330 は、例えば、スロットルバルブ 174、135、477 を制御することによって、チャンバ 106a-c や搬送チャンバ 117 における圧力を制御するための指示を備えている。

## 【0050】

10

一変形例においては、コントローラは、洗浄チャンバ 106a において堆積物 12 を基板 10 上の最初の金属含有伝導帯 116 から洗浄し、基板 10 をスパッタリングチャンバ 106b に搬送し、且つ第二金属含有導体 21 を洗浄された第一金属含有導体 16 上に堆積させるために、洗浄チャンバ 106a、スパッタリングチャンバ 106b、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。コントローラ 300 は、堆積物 12 を洗浄する洗浄チャンバ 106a に基板 10 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 106c 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。

## 【0051】

コントローラ 300 より受容及び/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 338 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 318 は、(i) 基板 10 に行われたプロセス、(ii) 基板 10 全体に統計的関係で変化することができる特性、又は(iii) 基板 10 のバッチ全体に統計的関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 106a-d からのデータと、基板 10 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 340 を備えることができる。ホストソフトウェアプログラム 340 は、進行中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ができる。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 WORK STREAM (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。

## 【0052】

20

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。

## 【0053】

30

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 H<sub>2</sub> 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 80 m Torr に維持するこ

40

50

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。

#### 【0054】

【表1】

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

10

#### 【0055】

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。

20

#### 【0056】

##### 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ろ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。

#### 【0057】

30

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。

40

#### 【0058】

##### 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0.5mTorr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80mTorr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。洗浄ブ

50

口セスの結果を、以下表 2 に示す。

【0059】

【表 2】

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

10

【0060】

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、水素含有ガスを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。

20

【0061】

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を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 sccm の H<sub>2</sub> 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。

30

【0062】

【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

40

【0063】

50

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の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、イオン種の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の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。

## 【0064】

10

## 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3000sccmのH<sub>2</sub>と30sccmのH<sub>2</sub>O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。

20

## 【0065】

## 【表4】

基板温度(°C)	Δk(%)
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

30

## 【0066】

40

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。

50

## 【0067】

## 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<sub>2</sub>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。

## 【0068】

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。

## 【0069】

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。

## 【0070】

## 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、バー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、バー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。

## 【0071】

## 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。

## 【0072】

10

20

30

40

50

### 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つた。

【0073】

### 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。

【0074】

本発明の例示的実施形態が図示され説明されるが、当業者は本発明を組込み、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実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なければならない。

### 【図面の簡単な説明】

【0075】

【図 1 A】図 1 A 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 B】図 1 B 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 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、コンピュータ読み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

10

20

30

40

50

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。

#### 【符号の説明】

##### 【0076】

1 0	基板	10
1 2	堆積物	
1 4	表面	
1 6	導体	
1 8	低 k 誘電体層	
2 0	特徴部	20
3 0	リモートゾーン	
3 5	リモートソース	
4 0	リモートチャンバ	
5 0	イオンフィルタ	
5 2	グリッド	
5 4	開口	
6 2	コンジット	
7 0	ガス分配器	
7 2	ガス分配プレート	
1 0 0	プロセスチャンバ	30
1 0 2	装置	
1 0 6	チャンバ	
1 0 8	プロセスゾーン	
1 1 0	基板支持体	
1 1 7	搬送チャンバ	
1 1 9	ロボット	
1 2 8	シールド	
1 2 9	流出口	
1 3 0	ガス供給源	
1 4 0	温度制御システム	40
1 4 2	ヒータ	
1 4 4	排気システム	
1 6 8	排気システム	
1 7 0	排気ポート	
1 7 4	スロットルバルブ	
2 1 1	ターゲット	

【図1A】

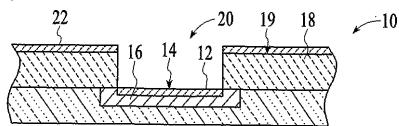


FIG.1A  
【図1B】

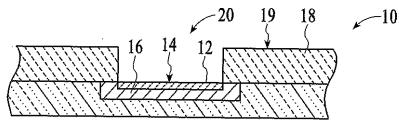


FIG.1B

【図1C】

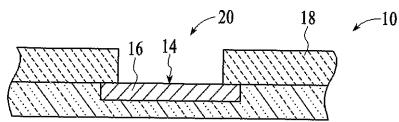


FIG.1C

【図1D】

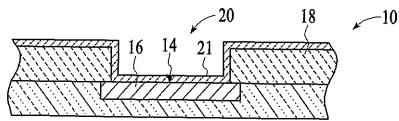
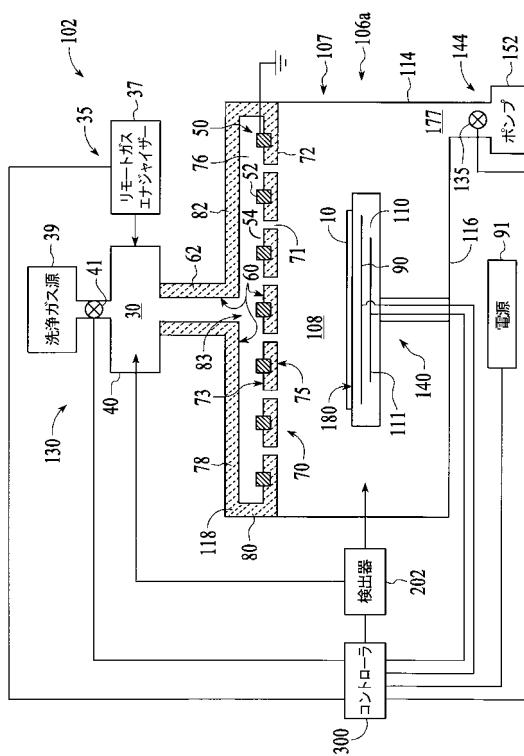


FIG.1D

【図2A】



【図2B】

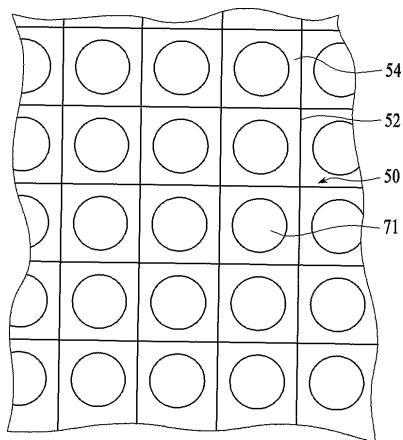


FIG.2B

【図3】

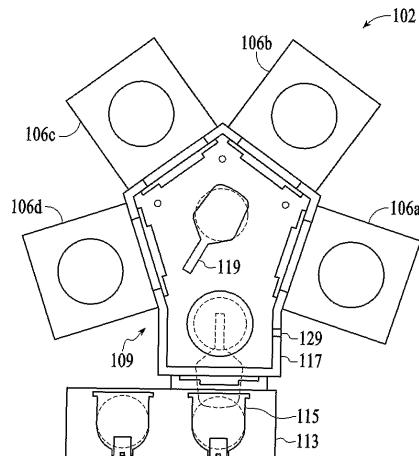
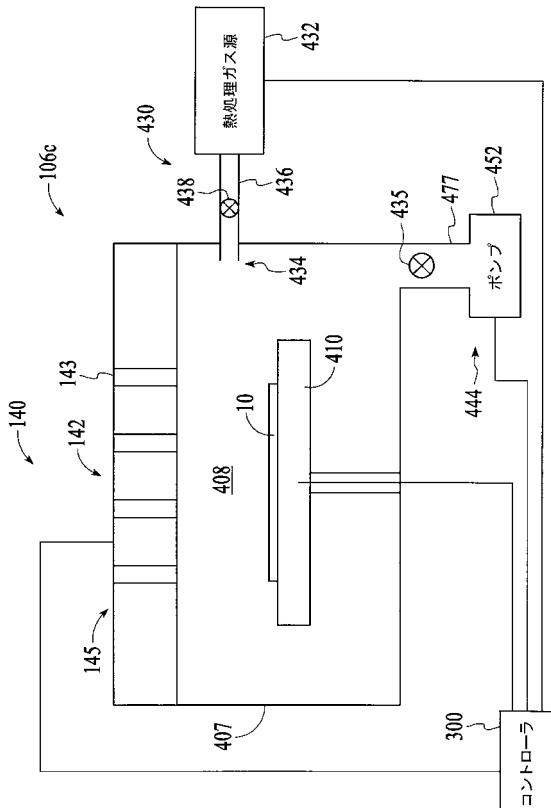
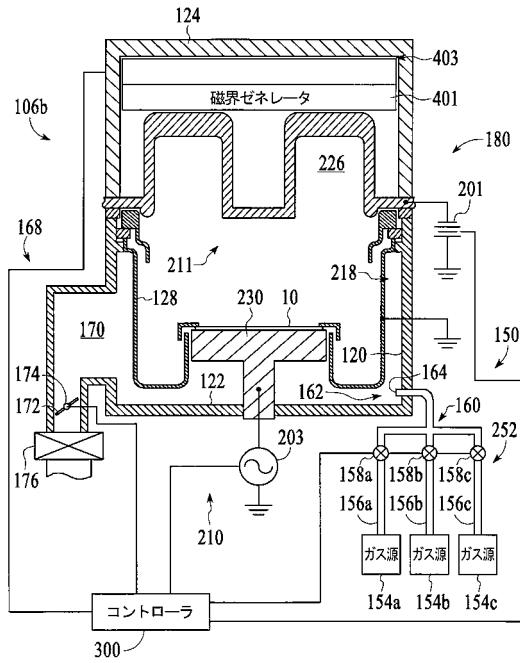


FIG.3

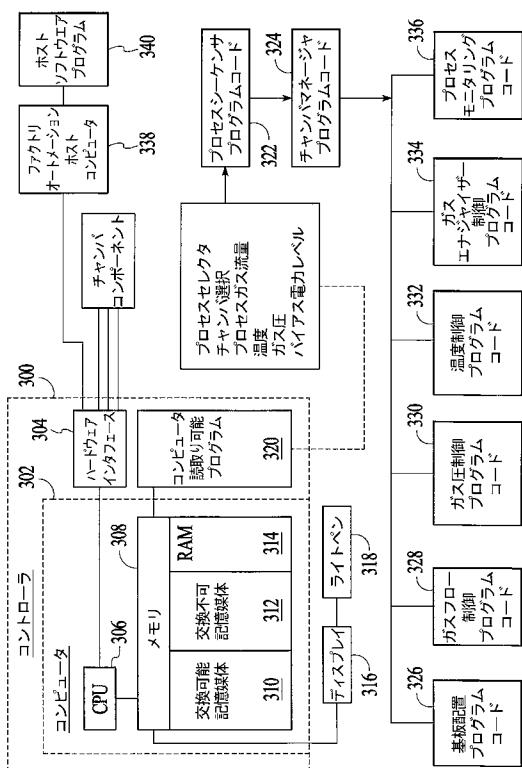
【図4A】



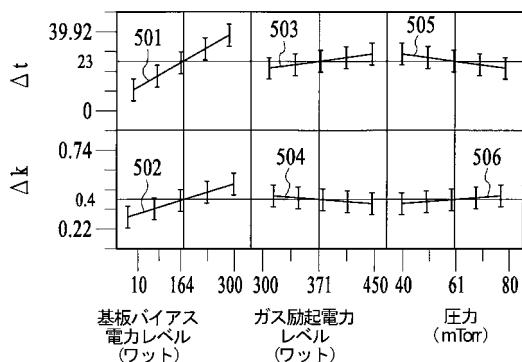
【図4B】



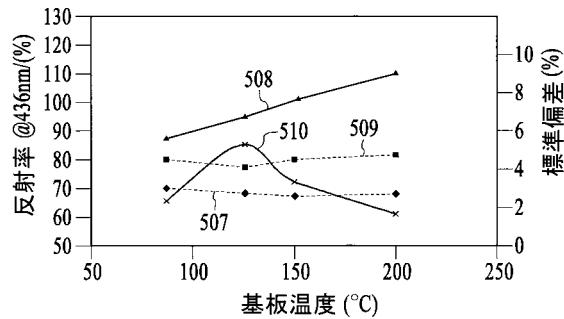
【図5】



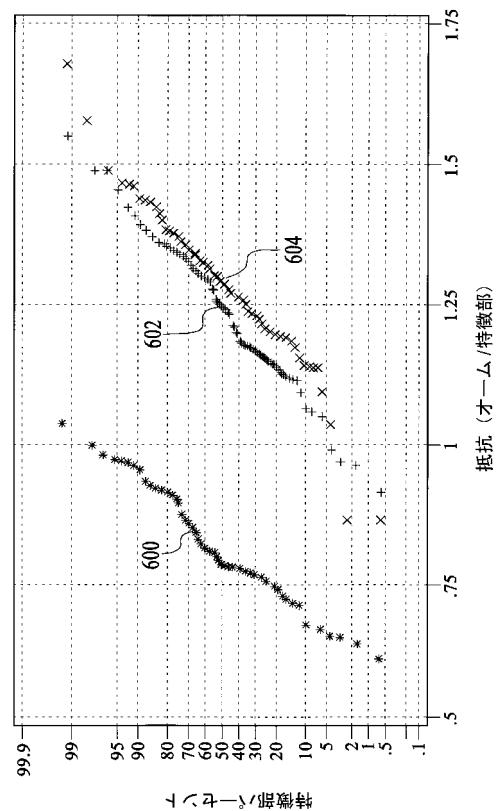
【図6】



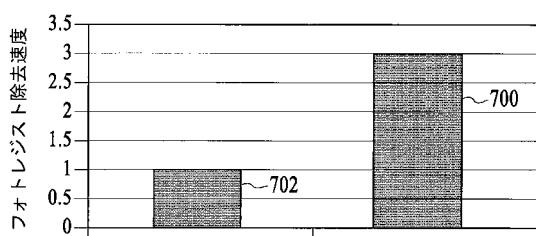
【図7】



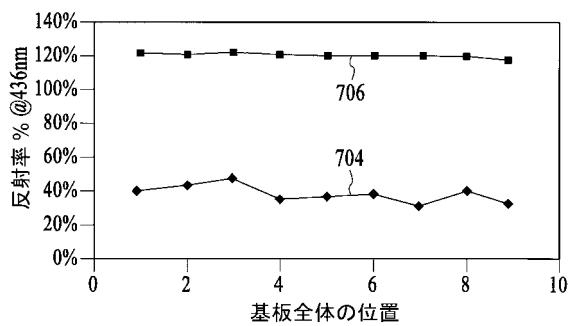
【図8】



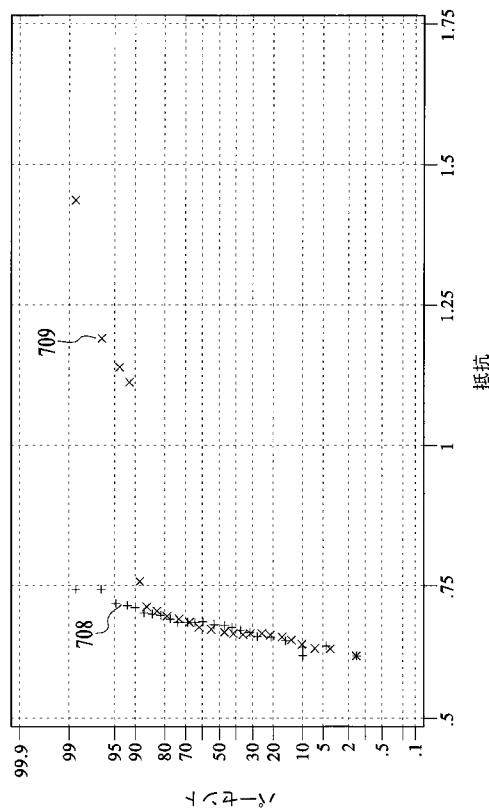
【図9】



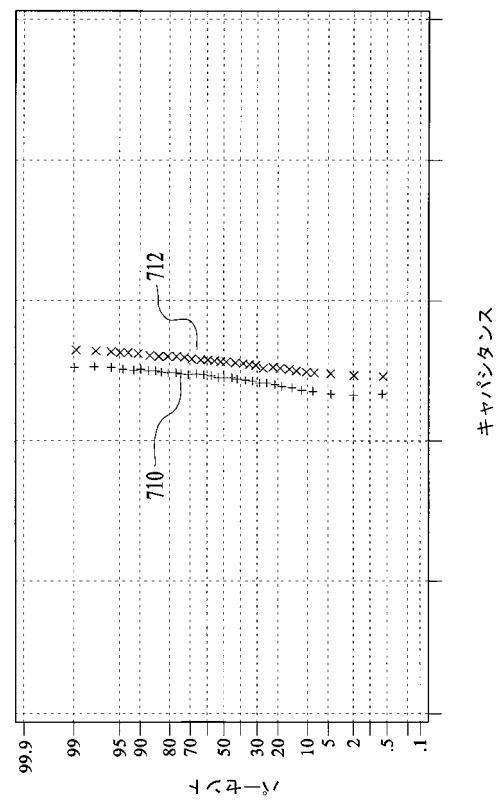
【図10】



【図 1 1】



【図 1 2】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
**C 2 3 C 14/06 (2006.01)**

(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

(74)代理人 100088155  
 弁理士 長谷川 芳樹

(74)代理人 100107456  
 弁理士 池田 成人

(74)代理人 100094318  
 弁理士 山田 行一

(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 51

(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 250 アパートメント 15

(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 351

(72)発明者 モセリー, ロダリック, 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 11801

(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 827

(72)発明者 カオ, チエン - 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 715

(72)発明者 アル, フア  
 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 201 アパートメント 26

(72)発明者 ワン, ウエイ, ダヴィュー.  
 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 2201 ナンバー - 804

審査官 長谷井 雅昭

(56)参考文献 特開2001-203194 (JP, A)  
 特開平09-082689 (JP, A)  
 特開平08-037176 (JP, A)  
 特開平10-022279 (JP, A)  
 特開平05-215064 (JP, A)  
 特表2001-500322 (JP, A)  
 特開平01-290224 (JP, A)  
 特開平04-206719 (JP, A)  
 特開2002-289596 (JP, A)  
 特開2000-150479 (JP, A)  
 特開昭63-224233 (JP, A)

特表2002-505804(JP,A)  
特表2002-500276(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/304  
B08B 1/00-1/04  
5/00-13/00  
C23C 14/00-14/58  
H01L 21/88-21/90