

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4364320号
(P4364320)

(45) 発行日 平成21年11月18日(2009.11.18)

(24) 登録日 平成21年8月28日(2009.8.28)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 21/31 (2006.01)	HO 1 L 21/31 C
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 7 4

請求項の数 9 外国語出願 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願平10-162729	(73) 特許権者	390040660
(22) 出願日	平成10年5月7日(1998.5.7)		アプライド マテリアルズ インコーポレ イテッド
(65) 公開番号	特開平11-67744		APPLIED MATERIALS, I NCORPORATED
(43) 公開日	平成11年3月9日(1999.3.9)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95
審査請求日	平成17年4月28日(2005.4.28)		054 サンタ クララ バウアーズ ア ベニュー 3050
(31) 優先権主張番号	08/852788	(74) 代理人	100088155
(32) 優先日	平成9年5月7日(1997.5.7)		弁理士 長谷川 芳樹
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100107456
			弁理士 池田 成人
		(74) 代理人	100140453
			弁理士 戸津 洋介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘電酸化物層及び反射防止膜のインサイチュ堆積方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ケイ素含有ガスと酸素含有ガスと窒素含有ガスとを含む第1組のプロセスガスを処理チャンバ内に導入するステップと、

前記第1組のプロセスガスにエネルギーを印加して、基板の上に第1層を堆積するステップと、

ケイ素含有ガスと酸素含有ガスとを含む第2組のプロセスガスを前記処理チャンバ内に導入するステップと、

前記第2組のプロセスガスにエネルギーを印加して、前記第1層の上に第2層を堆積するステップと、

ケイ素含有ガスと酸素含有ガスと窒素含有ガスとを含む第3組のプロセスガスを前記処理チャンバ内に導入するステップと、

前記第3組のプロセスガスにエネルギーを印加して、前記第2層の上に第3層を堆積するステップと、

前記第3層の上に形成される第4層内で入射放射エネルギーによって反応が引き起こされる前記第4層内の前記入射放射エネルギーの反射及び屈折を低減する厚さにまで前記第3層を堆積するために、前記第3組のプロセスガスに印加する前記エネルギーをある時間維持するステップと、

を含み、

前記ステップ全体を通して前記基板を前記処理チャンバ内に維持する、処理チャンバ内

10

20

に配置した基板上に多層薄膜を堆積する方法。

【請求項 2】

前記第 3 組のプロセスガスを導入する前記ステップが、
希釈ガスを導入するステップ、を更に含む請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記希釈ガスが処理チャンバ内に 2 torr ~ 10 torr の圧力を維持する第 1 速度で導入され、前記圧力の前記維持によって、前記第 1 速度を、前記第 3 層が 2000 オングストローム / 分未満の堆積速度で堆積されるレベルに設定することができる請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

ケイ素を含む第 1 プロセスガスを処理チャンバに導入するステップと、
酸素を含む第 2 プロセスガスを前記処理チャンバに導入するステップと、
前記第 1 及び前記第 2 プロセスガスから第 1 プラズマを生成して、基板上に第 1 層を堆積するステップと、

前記第 1 プラズマを消失させるステップと、

窒素を含む第 3 プロセスガスを前記処理チャンバに導入するステップと、

前記第 1 及び前記第 3 プロセスガスから第 2 プラズマを生成して、前記第 1 層の上に第 2 層を堆積するステップと、

前記第 2 層の上に形成される第 3 層内で入射放射エネルギーによって反応が引き起こされる前記第 3 層内の前記入射放射エネルギーの反射及び屈折を減少する厚さにまで前記第 2 層を堆積させるために、前記第 2 プラズマをある時間維持するステップと、
を含み、

前記ステップ全体を通して前記基板を前記処理チャンバ内に維持する、処理チャンバ内に配置した基板上に多層薄膜を堆積する方法。

【請求項 5】

前記第 3 プロセスガスを導入する前記ステップが、
希釈ガスを導入するステップ、を更に含む請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 プロセスガスがシランであり、

前記第 2 プロセスガスが酸化窒素であり、

前記第 3 プロセスガスが酸化窒素である、請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

前記希釈ガスがヘリウムである請求項 5 記載の方法。

【請求項 8】

前記希釈ガスが窒素を含む請求項 5 記載の方法。

【請求項 9】

基板上に多層薄膜を堆積し、パターン化する方法において、

ケイ素を含む第 1 プロセスガス、酸素を含む第 2 プロセスガス及びハロゲン元素を含む第 3 プロセスガスを処理チャンバ内に導入するステップと、

前記第 1、前記第 2 及び前記第 3 プロセスガスから第 1 プラズマを生成して、ケイ素と酸素とハロゲン元素を含む第 1 層を前記基板上に堆積させるステップと、

前記第 1 プラズマを消失させるステップと、

その後、ハロゲン元素を含む前記第 3 プロセスガスを前記処理チャンバから排気するステップと、

窒素を含む第 4 プロセスガスを前記処理チャンバ内に導入するステップと、

ケイ素、酸素及び窒素を含む第 2 層を前記第 1 層の上に堆積させるために、前記第 1 層を堆積した後で、基板を処理チャンバから取り出すことなく、前記第 1、前記第 2 及び前記第 4 プロセスガスから第 2 プラズマを生成するステップと、

第 3 層内における入射放射エネルギーの反射及び屈折を減少させる第 2 層の厚さが得られるように、前記第 2 層の堆積を制御するステップと、

前記第 2 層の上に、前記第 3 層を形成するステップと、

前記第 3 層に投射されるパターンを含むマスクを使用して、前記第 3 層の第 1 部分内で反応を引き起こす前記入射放射エネルギーに、前記第 3 層の前記第 1 部分を露出させるステップと、

前記第 3 層の前記第 1 部分を除去し、前記第 3 層の第 2 部分であって、前記パターンの形状と実質的に類似した前記第 3 層の前記第 2 部分を残すステップと、

前記第 2 層の第 1 部分及び前記第 1 層の第 1 部分を除去し、前記第 2 層の第 2 部分と前記第 1 層の第 2 部分であって、前記第 3 層の前記第 2 部分の形状と実質的に類似した前記第 2 層の前記第 2 部分と前記第 1 層の前記第 2 部分とを残すステップと、によって構成される方法。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の背景】

本発明は、半導体基板の処理及びそのための装置に関する。特に、本発明は、基板処理中における誘電体層及び反射防止膜のインサイチュ堆積、及びそのような膜のパターン化に関する。

【0002】

数十年前に半導体デバイスが初めて導入されたとき以来、半導体デバイスの形状寸法は劇的に小型化されてきた。この間に、集積回路は一般的に 2 年でサイズ半減の規則（しばしば「ムーアの法則」と呼ばれる）に従ってきた。これは、一つのチップ上に収まるデバイスの数が 2 年ごとに 2 倍になることを意味する。今日の半導体製造工場は通常、0.5 ミクロン或いは 0.35 ミクロンにも及ぶサイズを特徴とするデバイスを製造しており、明日の工場では、更に小型化した特徴サイズのデバイスを製造するであろう。

20

【0003】

こうしたデバイスの製造における共通のステップとして、ガスの化学反応による基板上的パターン化薄膜の形成がある。薄膜をパターン化するときは、線幅やその他の重要な寸法の変動を最小限に抑えることが望ましい。これらの寸法の誤差は結果的に、デバイスの特性の変動又は開放回路 / 短絡デバイスを発生させ、それはデバイスの歩留まりに悪影響を及ぼす。従って、特徴のサイズが減少するにつれて、より高い精度で構造を製造しなければならない。その結果、現在、製造者の中には、パターン化作業の寸法精度の変動を、設計者に指定された寸法の 5 % 以内に維持することを要求するものもいる。

30

【0004】

これらの薄膜はしばしば、堆積されたブランケット層の一部分をエッチングで除去することによって形成される。最新の基板処理装置は、フォトリソグラフィック技術を使用して、層のパターン化を行う。一般的にそうしたフォトリソグラフィック技術は、ウェーハ上に堆積したフォトレジスト又はその他の感光性材料を利用する。所望のパターンを実現する透明な領域と不透明な領域を有するフォトマスク（単にマスクとしても知られる）を、フォトレジストの上に配置する。マスクに光を当てると、透明な領域のフォトレジストは露光するが、マスクの不透明な領域では露光しない。光は、フォトレジストの露光した部分に化学反応（例えば光溶解(photosolubilization)や重合）を引き起こす。次に適切な化学薬品、化学気相法、又はイオン衝撃法を使用して、フォトレジストの反応部又は非反応部を選択的に攻撃する。次に、マスクとして作用する残りのフォトレジストパターンを用いて、下の層に更なる処理を行うことができる。例えば、層にドーピングやエッチングを行ったり、その他の処理を実行することができる。

40

【0005】

最新のフォトリソグラフィック技術はしばしば、ステッパとして知られる装置の使用を含む。これは、フォトレジスト層のマスキング及び露光のために使用される。ステッパはしばしば単色（単一波長）光を使用し、微細形状デバイスの製造に必要な詳細パターンを形成することを可能にする。しかし、基板が処理されるにつれて、基板の上面のトポロジは徐々に平坦でなくなる。この不均等なトポロジは、単色光の反射及び屈折を生じることが

50

あり、結果的に、マスクの不透明部の下のフォトレジストの一部が露光することがある。その結果、この不均等な表面のトポロジは、フォトレジスト層に転写されるマスクパターンを変化させることがあり、それによって、その後に製造される構造の所望の寸法が変化してしまう。

【 0 0 0 6 】

これらの反射から生じる一つの現象は、定在波として知られている。フォトレジスト層を反射性の下層の上に堆積し、単色放射（例えば真空紫外（UV）光）に暴露すると、フォトレジスト層内に定在波が発生することがある。このような状況で、反射光は入射光と干渉し、フォトレジスト層内に垂直方向の強度の定期的変動を引き起こす。酸化物、窒化物、及びポリケイ素などの材料の表面は、真空紫外線の波長でより多く反射するので、定在波の影響は通常、より長い波長の場合より、最新のステッパで使用される真空UV波長では、一層顕著になる。露光中にフォトレジスト層に定在波が存在すると、パターン化中にフォトレジスト層の一部分が除去されるときに形成される垂直の壁に凸凹ができ、それが線幅、間隔、及びその他の重要な寸法を変動させる。

10

【 0 0 0 7 】

必要な寸法精度を達成するのに有用な一つの技術として、反射防止被膜（ARC）の使用がある。ARCの光学的特性が大きいので、層間の界面で発生する反射は最小限に抑制される。ARCの吸収率は、（いずれかの方向に）透過する単色光の量を最小にし、それにより透過入射光と反射の両方を減衰するような大きさである。ARCの屈折率と反射率は、それでもなお発生する反射を消去するような値に設定される。

20

【 0 0 0 8 】

所定の層のエッチングに使用するエッチング剤に対する堆積材料の反応性も、マスクパターンの正確な転写を達成する上で重要である。所定のエッチング剤に関する、ある材料の別材料に対する反応性は、その材料のエッチング選択比として知られる。エッチング選択比は通常、除去される材料のエッチング速度と、別の材料のエッチング速度との比として表わされる。従って、理想的には、エッチング剤は、エッチング対象の層の意図された部分だけを選択的にエッチングすべきであり、被処理基板上にすでに存在する他の構造は腐食すべきでないので、高いエッチング選択比がしばしば望ましい。言い換えると、高いエッチング選択比の材料は、別の材料のエッチングが意図されているときに、意図に反するエッチングに事実上抵抗する。

30

【 0 0 0 9 】

例えば、第1層及び第2層に異なるパターンをエッチングする場合、上の層である第2層に対し、第1層が高いエッチング選択比であることが望ましい。このような状況では、第2層がエッチングにより完全に除去される領域でも、下の層が著しく食刻されないので、高いエッチング選択比が望ましい。第1層のエッチング選択比が低ければ、エッチング作業により、第2層の意図された領域だけでなく、その下にある第1層の部分も除去される。このような状況では、第1層も少量は除去されるのが通常であるが、極端に低いエッチング選択比では、第1層がかなりエッチングされる。

【 0 0 1 0 】

例えば、ダマシンプロセスでは、このような高いエッチング選択比が望ましい。ダマシーンとは、基板のプロセスにおいて、誘電体層にトラフをパターン形成することによって平坦な誘電体層に相互接続ラインを凹部形成し、次に誘電体層の表面を金属の層で覆い、もってトラフに金属を埋め込むメタライゼーションプロセスを表現するために採用された宝飾品製造用語である。余分の金属（つまりトラフに充填されない金属）は、その後化学機械的研磨（CMP）により除去される。これは、最初に誘電体層の上に金属相互接続ラインを形成し、その後で構造全体を1層以上の誘電体材料で覆う、金属相互接続ラインを形成するために使用される従来のプロセスとは対照的である。

40

【 0 0 1 1 】

ダマシンプロセスの一つの利点は、金属層をエッチングする必要性が省かれ、金属組成の柔軟性が高まることである。例えばアルミニウム-銅合金のドライエッチングは、銅成

50

分が増加するにつれて難しくなる。エッチングの必要がなければ、より多くの銅（又はその他の成分）を合金に加えることができ、それによりエレクトロマイグレーションに対する金属の耐性が向上する。ダマシーン相互接続技術は、タングステン、アルミニウム合金、銅、及び銀をはじめとする、様々な相互接続材料に使用されるようになってきた。また、その結果得られる表面は、従来のプロセスによって形成される表面より平坦である。

【 0 0 1 2 】

しかし、パターン化する層とその下の層を同率でエッチングすると（つまり、下の層が誘電体層に対して低いエッチング選択比を示す場合）、パターン化プロセスが完了する前に、下の層が損傷するおそれがある。これは例えば、起こり得ることであるが、パターン化される誘電体層の下の層が、それ自体同様の組成の誘電体層である場合に発生する。二つの層の間の界面付近の位置でエッチング剤の作用を停止する手段がなければ、そうしたプロセスを正確に制御することは困難である。

10

【 0 0 1 3 】

ダマシーン法の延長が、デュアルダマシーン技術である。デュアルダマシーン技術を使用すると、スタッド（つまり、ビアやコンタクト）と相互接続ラインの両方を形成するために、一つの平坦化ステップのみが必要である。このプロセスにより、こうして形成されるデバイスの密度、性能、及び信頼性が向上する。このプロセスシーケンスは、最初に、二つの連続マスキングステップで、平坦な絶縁体表面に相互接続用トラフ及びコンタクトの開口部を画成することによって始まる。即ち絶縁体にコンタクトが選択的且つ部分的にエッチングされる。次に、トラフ領域のマスクが除去され、その他の場所は十分なマスキング材が残る深さまで、マスキング材がエッチングされる。次に、マスキング材が除去され、金属層が堆積され、（例えばCMPなどの平坦化技術により）研磨される。この研磨により、金属の上面が絶縁材の表面と同じ高さにされる。

20

【 0 0 1 4 】

スタッド及び相互接続を同一材料で形成することにより、異種材料間の界面の数が減少し、メタライゼーション装置の信頼性が高められる。しかし、ここでもまた、下の誘電体のエッチング選択比が低い場合には、問題が発生する。また、こうした構造を形成するために必要なマスキング／エッチングステップの数も問題である。誘電体層は、何度も堆積されてマスキング及びエッチングされなければならない。

【 0 0 1 5 】

従って、パターン化される層の下にある層の望ましくないエッチングを回避する構造を提供することが望ましい。また、最小限の数の処理ステップを用いて、そうした層を形成することも望ましい。更に、フォトリソグラフィプロセスは、ARC層の使用等の、パターン化を一層正確に行うことのできる技術から利益を得る。特に、そうした層により、ダマシンプロセスを使用することが可能になり、もって金属相互接続が正確且つ好適な組成で堆積されることができる。最終的に、このようなプロセスにより、堆積された層間の遷移を正確に制御することができ、またクリーニングステップ等の中間処理ステップの必要が無くなる。

30

【 0 0 1 6 】

【発明の概要】

本発明は、処理チャンバから処理対象基板を取り出すことを必要とせず、且つ処理チャンバのクリーニング作業などの中間処理ステップを必要とせずに、誘電体層及びARCを堆積する方法及び装置を提供することによって、先行技術の上記問題を解決する。従って、このプロセスを本明細書では、インサイチュ(in situ)プロセスと呼ぶ。更に、本発明のARCは、ARCの上の層のパターン化の実行中に、対応する誘電体層を保護するためのエッチング停止層（例えばダマシンプロセスにおいて）として使用することができる。

40

【 0 0 1 7 】

本発明の方法に従って、処理チャンバ内に配置した基板上に多層薄膜を堆積するためのプロセスを説明する。このプロセスは、基板上に第1層を堆積することによって開始される。次に、ケイ素含有ガス、窒素含有ガス、及び任意選択的に酸素含有ガスを含むプロセス

50

ガスが、処理チャンバに導入される。次に、プロセスガスにエネルギーが印加されて、第 1 層の上に第 2 層が堆積される。プロセスガスへのエネルギーの印加が、所定の時間維持される。この時間は、第 3 層内における入射放射エネルギーの反射及び屈折を減少することができる厚さに第 2 層を堆積するのに十分な長さである。第 3 層は通常、第 2 層の上に形成されるフォトリソ材料の層であり、従って入射放射エネルギーにより第 3 層で反応が起こる。このプロセス全体を通して、基板は処理チャンバ内に維持される。第 1 層の堆積と第 2 層の堆積の間に、処理チャンバのクリーニング等のために基板を処理チャンバから取り出す必要性を省くことにより、スループットを向上し、停止時間が減少し、汚染が減少するなど、多数の利益が達成される。更に、このインサイチュプロセスにより、第 1 層と第 2 層の間の遷移率(rate of transition)を正確に制御することが可能になる。

10

【 0 0 1 8 】

本発明の別の態様では、幾つかの構成要素を含む基板処理装置について説明する。これらの構成要素は、処理チャンバを形成するハウジングと、理チャンバに連結された基板搬送装置と、理チャンバに連結されたエネルギー印加装置と、理チャンバに連結されたガス分配装置と、ガス分配装置、基板搬送装置、及びエネルギー印加装置を制御するための制御装置と、処理チャンバ内に配置された基板上に多層薄膜を堆積するための基板処理装置の作動を指示する、コンピュータ読取可能プログラムを内部に実現したコンピュータ読取可能媒体を含む制御装置に連結されたメモリとを含む。

【 0 0 1 9 】

コンピュータ読取可能プログラムは、最初に基板搬送装置を制御して基板を処理チャンバ内に配置し、ガス分配装置を制御してケイ素を含む第 1 プロセスガス及び酸素を含む第 2 プロセスガスを処理チャンバに導入することによって、処理装置に本発明の多層膜を形成させる。次に、プログラムは、エネルギー印加装置に第 1 及び第 2 プロセスガスにエネルギーを印加させ、基板上に第 1 層を堆積させる。次に、窒素を含む第 3 プロセスガスを、ガス分配装置によって処理チャンバに導入させる。次にプログラムは、エネルギー印加装置にエネルギーを第 1 及び第 3 プロセスガスに印加させ、第 1 層の上に第 2 層を堆積させる。エネルギーの印加は、第 2 層を特定の厚さに堆積するのに十分な長さの時間だけ持続される。最後に、基板搬送装置が基板を処理チャンバから取り出す。

20

【 0 0 2 0 】

従って、基板は、プログラムの実行中ずっと、処理チャンバ内に維持される。指定された厚さにより、第 2 層は、第 3 層内における入射放射エネルギーの反射及び屈折を減少することができる。入射放射エネルギーに敏感な第 3 層は、第 2 層の上に形成される。入射放射エネルギーを使用して第 3 層の上にパターンを投射し、パターン化層を形成する。入射放射エネルギーは、第 3 層内で、特定のフォトリソで発生する光溶解 / 重合反応などの反応を発生させる。その後、パターンは、パターン化層から第 2 層に転写される。

30

【 0 0 2 1 】

本発明の特性及び利点は、明細書の以下の部分及び図面を参照することによって、更に深く理解することができるであろう。

【 0 0 2 2 】

【 好ましい実施形態の詳細な説明 】

40

I . 序論

本発明の好適な実施形態では、ケイ素、酸素及び窒素を含む誘電体反射防止膜 (D A R C) がインサイチュでケイ素、酸素及び任意選択的にハロゲンドーパントを含む誘電体層上に堆積される。これらの層は、基板をその基板が置かれた処理チャンバから除去することなしで堆積され、そのような構造の堆積に要求される処理ステップ数を低減し、オリジナルのマスクパターンの精確な転写を提供する。更に、本構造における D A R C は後続層のパターン化エッチング停止層としても機能し、デュアルダマシーン技術等の基板処理法を使用可能にする。

【 0 0 2 3 】

本発明によると、誘電体 / D A R C 構造は、プラズマ促進化学気相堆積 (P E C V D) 技

50

術を用いて基板上に堆積されることができる。この技術は、誘電体 / D A R C 構造を堆積するために、基板の表面にほぼ隣接する二つの化学反応を促進することによって使用されることができる。誘電体層を堆積するために、シラン (SiH_4) と、酸化窒素 (N_2O) と、四フッ化ケイ素 (SiF_4) と間の化学反応が好ましくは促進される。D A R C を堆積するために、ヘリウム (He) 等の希釈ガスの存在下で、シランと酸化窒素との間の化学反応が促進される。ヘリウムも誘電体層の堆積に使用されうる。更に、一以上の窒素含有基板 (例えばアンモニア (NH_3)) も、結果の D A R C の光学的特性に合わせるために加えることができる。

【0024】

上記のプロセスガスが望ましいが、これらは決して、本発明の方法で使用できる唯一の組合せではない。異なる処理条件が必要になるかもしれないが、例えば、テトラエトキシシラン (TEOS) 等といった他のケイ素含有化合物、酸素 (O_2)、オゾン (O_3) 等といった他の酸素源、及びその他の窒素源なども使用され得る。

【0025】

II. 代表的な C V D 装置

本発明の方法を実行することができる好適な C V D 装置の一つを図 1 及び図 2 に示す。これらの図は化学気相堆積装置 10 の垂直断面図であって、その装置 10 には真空チャンバ又はプロセスチャンバ 15 が設けられ、そのチャンバ 15 には、チャンバ壁 15a 及びチャンバ蓋アセンブリ 15b が設けられている。チャンバ壁 15a 及びチャンバ蓋アセンブリ 15b を、図 3 及び図 4 に分解斜視図として示す。

【0026】

リアクタ 10 にはガス分配マニホールド 11 が設けられており、そのガス分配マニホールドによって、プロセスガスがプロセスチャンバ内の中心にある加熱されたペDESTAL 12 に載置された基板 (図示せず) に分配される。処理中に、基板 (例えば半導体ウェーハ) はペDESTAL 12 の平らな (又は僅かに凸曲線状の) 面 12a に配置される。ペDESTAL は、下方のローディング / オフローディング位置 (図 1 に示す) と、マニホールド 11 に近接した上方処理位置 (図 1 では点線 14 で示し、図 2 では実線で表わしている) との間を制御可能な状態で移動される。センタボード (図示せず) はセンサを有し、ウェーハの位置に関する情報を提供する。

【0027】

堆積ガス及びキャリアガスは、従来の平坦で円形なガス分配面板 13a の穿孔 13b (図 4 に示す) を通ってチャンバ 15 に導入される。更に詳細には、堆積プロセスガスは、吸込みマニホールド 11 (図 2 に矢印 40 で示す) を通り、従来の穿孔されたブロッカ板 42 を通り、そして分配面板 13a の孔 13b を通ってチャンバに流入される。堆積ガス及びキャリアガスは、マニホールドに達する前にガス源からガス供給ライン 8 を通して混合装置 9 に入れられて混合され、それからマニホールド 11 に送られる。通常、各プロセスガスの供給ラインには、(i) プロセスガスのチャンバ流入を自動的に又は手動で遮断するために用いることができる数個の安全遮断バルブ (図示せず) と、(ii) 供給ラインを通るガスの流れを測定する質量流量コントローラ (これも図示せず) とが設けられている。有毒ガスがプロセスで使用される場合は、数個の安全遮断バルブが従来の配置で各供給ラインに置かれる。

【0028】

リアクタ 10 で行われる堆積プロセスは、熱プロセス又はプラズマ促進プロセスのどちらかであろう。プラズマ促進プロセスにおいて、RF 電源 44 は、ガス分配面板 13a とペDESTAL との間に電力を供給し、プロセスガス混合物を励起して、面板 13a とペDESTAL との間の円柱形領域にプラズマを形成する (この領域を本明細書では「反応領域」と呼ぶ)。プラズマ成分は、反応して、所望の膜がペDESTAL 12 に支持された半導体ウェーハの表面に堆積される。RF 電源 44 は、混合周波数 RF 電源であり、通常、13.56 MHz の高 RF 周波 (RF1)、360 KHz の低周波 (RF2) を供給し、真空チャンバ 15 に導入された反応種の分解を促進する。

【 0 0 2 9 】

堆積プロセス中、排出路 2 3 及び遮断バルブ 2 4 を取り囲むチャンバ本体の壁部 1 5 a を含むプロセスチャンバ 1 0 の全体がプラズマによって加熱される。プラズマがオンされていないときは、高温の液体がプロセスチャンバの壁 1 5 a を通って循環し、チャンバは高温に維持される。チャンバ壁 1 5 a を加熱するために用いられる流体は、代表的な流体の種類、即ち水ベースのエチレングリコール又はオイルベースの伝熱流体を含んでいる。この加熱によって、望ましくない反応生成物の凝縮が有益に低減又は排除される。またこの加熱によって、低温の真空通路の壁に凝縮して、ガスが流れていないときにプロセスチャンバに移動して戻った場合にプロセスを汚染する可能性のある、プロセスガスの揮発性生成物及び他の汚染物質が一層排除される。

10

【 0 0 3 0 】

層に堆積されなかったガス混合物の残余物（反応生成物を含む）は、チャンバから真空ポンプ（図示せず）によって排気される。特にガスは、反応領域を包囲している環状のスロット形オリフィス 1 6 を通して、環状の排気プリナム 1 7 に排気される。環状のスロット 1 6 及びプリナム 1 7 はチャンバの円筒形側壁 1 5 a（壁にある上部絶縁ライニング 1 9 を含む）の頂部と、円形チャンバ蓋 2 0 の底部との間の隙間によって画されている。360°の円対称で均一なスロットオリフィス 1 6 及びプリナム 1 7 は、基板上にプロセスガスの均一な流れを達成し、番上に均一な膜を堆積するのに重要である。

【 0 0 3 1 】

ガスは、排気プリナム 1 7 から排気プリナム 1 7 の横延長部 2 1 の下を流れ、のぞき窓 2 2 を過ぎ、下方に延びるガス路 2 3 を通り、真空遮断バルブ 2 4（本体は下部チャンバ壁 1 5 a と一体になっている）を過ぎ、フォアライン(foreline)（図示せず）を通して外部真空ポンプ（図示せず）に連結されている排出口 2 5 に入る。

20

【 0 0 3 2 】

ペDESTAL 1 2（好ましくはアルミニウム）の基板支持プラタ(platter)は、平行な同心円形状のダブルフルターン埋込型シングルループヒータ部材を用いて加熱される。このヒータ部材の外側部分は支持プラタの外周に隣接して通され、内側部分は小さな半径を有している方の同心円の軌跡上に通される。ヒータ用の電熱線はペDESTAL 1 2 のステムを通過する。

【 0 0 3 3 】

通常、チャンバライニング、ガス吹込みマニホールド面板及び他の多様なリアクタハードウェアのどれもが又は全てがアルミニウム又は陽極処理されたアルミニウム等の材料から作られている。このような C V D 装置の例が、「C V D プロセスチャンバ」という名称の Zhao 等に付与された米国特許第 5,558,717 号明細書の記載されている。第 5,558,717 号の特許は、譲受人であるアプライドマテリアルズ社に譲渡され、本明細書に全体で援用されている。

30

【 0 0 3 4 】

基板がロボットブレード（図示せず）によって、チャンバ 1 0 の側部の挿入／取出し口 2 6 を通してチャンバの本体の中に及び中から移送されると、加熱ペDESTAL アセンブリ 1 2 及び基板リフトピン 1 2 b はリフト機構及びモータ 3 2 によって上下動される。ペDESTAL 1 2 は、モータ 3 2 によって処理位置 1 4 とそれより低い基板ローディング位置との間を上下動される。モータ、供給ライン 8 に連結されているバルブ又は流量コントローラ 2 0、ガス送出装置、スロットルバルブ 3 2、RF 電源 4 4 並びにチャンバ及び基板の加熱装置は、コントロールライン 3 6（数本のみが図示されている）を介してそれら全てが装置コントローラ 3 4 によって制御されている。コントローラ 3 4 は、光センサからのフィードバックによってスロットルバルブ及びサセプタ等の可動式機械アセンブリの位置を決定し、コントローラ 3 4 の制御の下、適切なモータによって移動される。

40

【 0 0 3 5 】

好ましい実施形態において、装置コントローラは、ハードディスクドライブ（メモリ 3 8）、フロッピディスクドライブ及びプロセッサ 3 7 を有している。プロセッサは、シング

50

ルボードコンピュータ(SBC)、アナログインプット/アウトプットボード及びデジタルインプット/アウトプットボード、インターフェースボード並びにステップモータコントローラボードを有している。CVD装置10の様々な部分が、ボード、カードケージ及びコネクタの寸法及び型を定めるベルサモジューラヨーロッパ(Versa Modular Europeans(VME))規格に従っている。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VME規格によって定められている。

【0036】

装置コントローラ34によって、CVD装置の全ての動きが制御されている。装置コントローラは装置制御ソフトウェアを実行する。そのソフトウェアは、メモリ38等のコンピュータ読取可能媒体に記憶されているコンピュータプログラムである。メモリ38は、好ましくはハードディスクドライブであるが、他の種類のものであってもよい。コンピュータプログラムは、命令集合を含んでおり、その命令集合は、特定のプロセスのタイミング、ガスの混合、チャンバ圧、チャンバ温度、RF電力レベル、サセプタ位置及び他のパラメータを指示するものである。例えばフロッピディスク又は他の適当なドライブを含む他のメモリ素子に記憶されているもの等の他のコンピュータプログラムも、コントローラ34を操作するのに用いることができる。

【0037】

図5に示すように、使用者とコントローラ34とのインターフェースは、CRTモニタ50a及びライトペン50bによってなされる。この図5は1以上のチャンバを含むことのできるマルチチャンバ装置のCVD装置10及び装置モニタの略図である。好ましい実施形態で、二つのモニタ50aが使用されており、一つはオペレータ用にクリーンルーム壁に取り付けられており、他方はサービス技術者用に壁の裏側に取り付けられている。両モニタ50aは同時に同じ情報を表示するが、ライトペン50bは一つのみが可能である。ライトペン50bはCRTディスプレイによって発せられた光をペンの先端にあるライトセンサで検出する。特定の表示面又は機能を選択するために、オペレータはディスプレイ表示面の指定された領域に触れ、ペン50bのボタンを押す。接触領域は特に明るい色に変化するが、新しいメニュー又は表示面がディスプレイされ、ライトペンとディスプレイ表示面との間で通信できたことが確認される。使用者がコントローラ34と通信するために、キーボード、マウス又は他の指示若しくは通信装置等の他の装置を、ライトペン50bの代わりに又はライトペン50bに加えて使用することもできる。

【0038】

膜を堆積するプロセスは、コントローラ34で実行されるコンピュータプログラムプログラムコードを用いて実施され得る。コンピュータプログラムコードは、68000アセンブリ言語、C、C++、パスカ、フォートラン又は他のもの等の従来のどのコンピュータ読取可能プログラミング言語によっても書かれることができる。プログラムコードとしては、単一のファイル又は複数のファイルに入力されており、従来のテキストエディタを使用して、コンピュータのメモリ装置等のコンピュータ使用可能媒体で具現化又はストアされているものが好適である。入力されたコードテキストが高級言語の場合、コードはコンパイルされ、その結果生じたコンパイラコードは次に、コンパイルされたウィンドウズ(商標)ライブラリルーチンのオブジェクトコードとリンクする。装置使用者は、リンクされ且つ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、オブジェクトコードを呼び出し、そのコードをコンピュータ装置によってメモリにロードさせ、そのメモリからCPUにそのコードを読取らせてコードを実行させ、プログラムで識別されたタスクを行わせる。

【0039】

図6は、特定の実施形態に従った、装置制御ソフトウェア、コンピュータプログラム70の階層的コントロール構造を示したブロック図である。使用者は、CRTモニタに表示されたメニュー又は表示面に応じてプロセスセット番号及びプロセスチャンバ番号を、ライトペンを用いてプロセス選択サブルーチン73に入力する。プロセスセットは、特定のプロセスを実行するのに必要なプロセスパラメータの所定の組合せであり、予め決められたセット番号で識別される。プロセス選択サブルーチン73は、(i)所望のプロセスチャ

ンバ、(i i) 所望のプロセスを実行するようにプロセスチャンバを操作するのに必要な所望のプロセスパラメータのセットとを識別する。特定のプロセスを行うためのプロセスパラメータは、例えば、プロセスガスの組成及び流量、温度、圧力、R F 電力レベル並びに R F 周波の低周波数等のプラズマ条件、冷却ガス圧及びチャンバ壁温度等のプロセス条件と関係している。プロセス条件は使用者にレシピの形で提供されており、そのプロセスレシピによって特定されたパラメータは、ライトペン / C R T モニタインターフェースを用いて入力される。プロセスをモニタする信号は、装置コントローラのアナログ入力ボード及びデジタル入力ボードによって提供され、プロセスを制御する信号は、C V D 装置 10 のアナログ出力ボード及びデジタル出力ボードに出力される。

【 0 0 4 0 】

プロセスシーケンササブルーチン 7 5 は、識別されたプロセスチャンバ及びプロセスパラメータのセットをプロセス選択サブルーチン 7 3 から読み込むためと、多様なプロセスチャンバの制御操作のためとのプログラムコードを含んでいる。多数の使用者がプロセス組合せ番号及びプロセスチャンバ番号を入力することができ、或いは一人の使用者が多数のプロセス組合せ番号及びプロセスチャンバ番号を入力することができ、シーケンササブルーチン 7 5 によって、選択されたプロセスが所望の順序にスケジュールされるように操作される。好ましくは、シーケンササブルーチン 7 5 は以下のプロセスを行うプログラムコードを含んでいる。即ち、(i) プロセスチャンバの作動状況をモニタしてチャンバが使用されているか否かを決定するプロセス、(i i) 何のプロセスが使用されているチャンバ内で行われているかを決定するプロセス、(i i i) 実行されるプロセスの型及びプロセスチャンバのアベイラビリティ (availability) をベースにして所望のプロセスを実行するプロセス。プロセスチャンバが使用可能かをモニタする従来の方法はポーリング等であった。シーケンササブルーチン 7 5 は、どのプロセスが実行されるかをスケジュールするときに、どのプロセスを優先させるかといったスケジュールを決定するために、選択したプロセスに対する、所望のプロセス状況と対比した使用プロセスチャンバの現状若しくは使用者が入力した各々の特定のリクエストの「年代 (age)」、又は装置プログラマが含めることを望む他の関連あるファクタを考慮するように設計されることができる。

【 0 0 4 1 】

シーケンササブルーチン 7 5 によって、どのプロセスチャンバ及びプロセスセットの組合せが次に実行されるかが決定されると、シーケンササブルーチン 7 5 は、特定のプロセスセットパラメータをチャンバ管理サブルーチン 7 7 a ~ c に渡してプロセスセットが実行される。チャンバ管理サブルーチン 7 7 a ~ c は、複数の処理タスクを、シーケンササブルーチン 7 5 によって決定されたプロセスセットに従ってプロセスチャンバ 1 5 内で制御するものである。例えば、チャンバ管理サブルーチン 7 7 a はプロセスチャンバ 1 5 内のスパッタ及び C V D プロセスの操作を制御するプログラムコードを含んでいる。チャンバ管理サブルーチン 7 7 は、また多様なチャンバ構成要素サブルーチンを実行を制御し、それらのサブルーチンは、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操作を制御する。チャンバ構成要素サブルーチンの例としては、基板位置決めサブルーチン 8 0、プロセスガス制御サブルーチン 8 3、圧力制御サブルーチン 8 5、ヒータ制御サブルーチン 8 7 及びプラズマ制御サブルーチン 9 0 がある。当業者は、チャンバ 1 5 内でどのようなプロセスの実行が望まれるかによって、他のチャンバ制御サブルーチンが含まれ得ることを容易に認識するであろう。操作中に、チャンバ管理サブルーチン 7 7 a は、実行される特定のプロセスセットに従って、プロセス構成要素サブルーチンを選択的にスケジュールするか又は呼び出す。チャンバ管理サブルーチン 7 7 a は、シーケンササブルーチン 7 5 がどのプロセスチャンバ 1 5 及びプロセスセットが次に実行されるかをスケジュールしたのと同様にプロセス構成要素サブルーチンをスケジュールする。通常、チャンバ管理サブルーチン 7 7 a は、個々の構成要素をモニタするプロセスと、実行されるプロセスセットのプロセスパラメータをベースにしてどの構成要素に操作が必要かを決定するプロセスと、モニタプロセス及び決定プロセスに応答してチャンバ構成要素サブルーチンを実行するプロセスとを含んでいる。

【 0 0 4 2 】

特定のチャンバ構成要素サブルーチンを図 6 を参照して説明する。基板位置決めサブルーチン 8 0 はチャンバ構成要素を制御するプログラムコードを含んでおり、そのプログラムコードは基板をサセプタ 1 2 上にロードするためと、基板と基板をチャンバ 1 5 内で望ましい高さに持ち上げてガス分配マニホールド 1 1 との間の間隔を制御するため（これは任意事項である）に用いられるものである。基板がプロセスチャンバ 1 5 内にロードされると、サセプタ 1 2 は基板を受けるように下げられ、その後サセプタ 1 2 はチャンバ内で所望の高さに持ち上げられ、CVD プロセス中にガス分配マニホールドから第 1 の距離又は間隔で基板は維持される。操作中、チャンバ管理サブルーチン 7 7 a から転送されたサポート高さに関するプロセスセットパラメータに応じて、基板位置決めサブルーチン 8 0 はサセプタの移動を制御する。

10

【 0 0 4 3 】

プロセスガス制御サブルーチン 8 3 は、プロセスガス組成及び流量を制御するプログラムコードを有する。プロセスガス制御サブルーチン 8 3 は、安全遮断バルブの開閉位置を制御し、また所望のガス流量を得るために質量流量コントローラの流量をランプ増減（ramp s up/down）する。プロセスガス制御サブルーチン 8 3 は、全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 7 7 a によって呼び出され、チャンバ管理サブルーチンから所望のガス流量に関するプロセスパラメータを受け取る。基本的に、プロセスガス流量制御サブルーチン 8 3 は、ガス供給ラインを開けて、繰り返して（i）必要な質量流量コントローラを読取ること、（i i）読取値を、チャンバ管理サブルーチン 7 7 a から受け取った所望のガス流量と比較すること、（i i i）必要に応じてガス供給ラインの流量調整することの操作を行う。更に、プロセスガス制御サブルーチン 8 3 は、ガス流量を危険流量に対してモニタするプロセスと、危険な状態が検出されたら安全遮断バルブを動作させるプロセスとを含んでいる。

20

【 0 0 4 4 】

プロセスの中には、反応プロセスガスがチャンバ内に導入される前にチャンバ内の圧力を安定させるために、ヘリウム又はアルゴン等の不活性ガスがチャンバ 1 5 に流入されるものもある。プロセスガス制御サブルーチン 8 3 は、これらのプロセスに対しては不活性ガスをチャンバ内の圧力を安定するために必要な時間チャンバ 1 5 に流入するプロセスを含むようにプログラムされ、そして上述のプロセスは実行される。更に、プロセスガスが、例えばテトラエチルオルソシラン（TEOS）といった液体前駆物質から気化される場合、プロセスガス制御サブルーチン 8 3 は、ヘリウム等の送出ガスをバブラ（bubbler）アセンブリ内の液体前駆物質に通して泡立てるプロセス又はヘリウム等のキャリアガスを液体噴射装置に導入するプロセスを含むように書込まれる。このタイプのプロセスにバブラが使用されると、プロセスガス制御サブルーチン 8 3 は送出ガスの流れ、バブラ内の圧力及びバブラ温度を、所望のプロセスガス流量を得るように調整する。上述したように、所望のプロセスガス流量はプロセスパラメータとしてプロセスガス制御サブルーチン 8 3 に転送される。更に、プロセスガス制御サブルーチン 8 3 は、所望のプロセスガス流量を得るために必要な送出ガス流量、バブラ圧及びバブラ温度を、所定のガス流量に対する必要な値を含んでいる記憶された表にアクセスすることによって得るためのプロセスを含んでいる。一旦必要な値が得られると、それに応じて送出ガス流量、バブラ圧及びバブラ温度がモニタされ、必要な値と比較され、調整される。

30

40

【 0 0 4 5 】

圧力制御サブルーチン 8 5 は、チャンバの排気装置のスロットルバルブの開口部の大きさを調整することによって、チャンバ 1 5 内の圧力を制御するためのプログラムコードを含んでいる。スロットルバルブの開口部の大きさは、全プロセスガス流、プロセスチャンバの大きさ及び排気装置 1 1 5 のポンピングの設定圧力に対応して、チャンバ圧を所望のレベルに制御するように設定されている。圧力制御サブルーチン 8 5 が呼び出されると、所望の又は目標の圧力レベルが、チャンバ管理サブルーチン 7 7 a からパラメータとして受入れられる。圧力制御サブルーチン 8 5 は、チャンバに連結された 1 以上の従来圧力計を

50

読むことによってチャンバ 15 内の圧力を測定し、測定値を目標圧力と比較し、PID (比例、積分及び微分) 値を目標圧力に対応させて記憶圧力表から得て、スロットルバルブを圧力表から得られた PID 値に従って調整するように作動する。また、圧力制御サブルーチン 85 は、開口部がチャンバ 15 を所望の圧力に調整する特定の大きさになるようにスロットルバルブを開閉するように書込まれることもできる。

【0046】

ヒータ制御サブルーチン 87 は、基板 20 を加熱するのに用いられる加熱ユニットへの電流を制御するプログラムコードを含んでいる。加熱制御サブルーチン 87 はまたチャンバ管理サブルーチン 77a によって呼び出され、目標値又は設定値の温度パラメータを受信する。ヒータ制御サブルーチン 87 は、サセプタ 12 に配置されている熱電対の電圧出力を測定することによって温度を測定し、測定温度を設定温度と比較し、加熱ユニットに加えられる電流を増減し、設定温度を得る。温度は、記憶換算表の対応する温度を測定電圧から調べることにより、又は 4 次の多項式(a fourth order polynominal)を用いて温度を計算することによって得られる。埋込型ループ状体がサセプタ 12 を加熱するのに用いられる場合、ヒータ制御サブルーチン 87 は、ループ状体に加えられる電流のランプ増減を漸次制御する。漸次的なランプ増減は、ランプの寿命と信頼性の増加する。加えて、プロセス安全コンプライアンスを検出するように組込みフェールセーフモードを含めることができ、プロセスチャンバ 15 が適当に準備されていない場合、加熱ユニットの操作を停止することができる。

【0047】

プラズマ制御サブルーチン 90 は、チャンバ 15 内のプロセス電極に印加される RF 電力レベルの低周波数及び高周波数をセットするためと、低周波数を使用される周波数にセットするためのプログラムコードを含んでいる。前に説明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 90 はチャンバ管理サブルーチン 77a によって呼び出される。

【0048】

上述のリアクタの記載は、主に説明するためのものであり、電子サイクロトロン共鳴 (ECR) プラズマ CVD 装置、誘導結合式 RF 高密度プラズマ装置等の他のプラズマ CVD 装置が用いられ得る。加えて、上述の装置の変形、例えばサセプタの設計、ヒータの設計、RF 電力周波数、RF 電力の接続位置及び他の部分の変更等を行うことも可能である。例えば、基板は、カリフォルニアのサンタクララのアブライド マテリアルズ インコーポレイテッドで製造されたセンチュラ 5000 DHL チャンバでなされるように石英ランプによって支持されて加熱されることも可能である。本発明の層及びその層を形成するための方法は、いかなる特定の方法或いはいかなる特定のプラズマ励起方法にも限定されない。

【0049】

本発明の膜及び同様のものを形成する方法は、特定の装置及び特定のプラズマ

III. 誘電体 / DAR C 構造の堆積

図 7 は、本発明の一実施形態による誘電体 / DAR C 構造を堆積する際に実行するステップを示すフローチャートである。このフローチャートは、図 1 に示す代表的 PECVD 装置に関連して説明するものである。このプロセスは、真空チャンバ 15 内に配置された基板の上面に誘電体層を堆積することによって開始される。ステップ 210 で、誘電体層を堆積するために使用するプロセスガスが、真空チャンバ 15 内に導入される。これらのプロセスガスは、シラン、酸化窒素、及び四フッ化ケイ素を含む。シランは、好ましくは約 10 sccm ~ 400 sccm の速度で真空チャンバ 15 に導入される。酸化窒素は、好ましくは約 100 sccm ~ 3000 sccm の速度で真空チャンバ 15 に導入される。四フッ化ケイ素は、好ましくは約 10 sccm ~ 700 sccm の速度で真空チャンバ 15 に導入される。

【0050】

次に、ステップ 220 で、チャンバ内の環境パラメータが適切なレベルに設定される。プロセスガスが導入されるとき真空チャンバ 15 内の圧力は、約 2 torr ~ 10 torr に維持

される。基板温度は、約 200 ~ 400 に維持される。ペDESTAL 12 と面板 13 a との間の間隔は、200 ~ 650 mil である。ステップ 220 で、マニホールド 11 (及び従って面板 13 a) に RF エネルギーを供給する RF 電源 44 のスイッチが入れられ、基板に隣接してプロセスガスから制御されたプラズマが発生される。RF 電源 44 から、好ましくは約 50 W ~ 1200 W の RF 電力が提供される。これは、約 0.12 W/cm^2 ~ 3.10 W/cm^2 のプラズマ密度になる。上記状態は、DARC の堆積中ずっと維持されることが望ましい。ステップ 230 では、誘電体層を所望の厚さまで堆積するのに十分な長さの時間だけ、プラズマが維持される。

【0051】

次に、本発明による DARC が誘電体層上に堆積される。ステップ 240 で、DARC を堆積するために使用するプロセスガスが、真空チャンバ 15 に導入される。これらのプロセスガスには、好ましくはシラン、酸化窒素、及びヘリウムが含まれる。シランは、好ましくは約 10 sccm ~ 300 sccm の速度で真空チャンバ 15 に導入される。酸化窒素は、好ましくは約 10 sccm ~ 300 sccm の速度で処理チャンバに導入される。ヘリウムは、好ましくは約 100 sccm ~ 4000 sccm の速度で真空チャンバ 15 に導入される。

【0052】

次に、ステップ 250 で、真空チャンバ内の処理パラメータが適切なレベルに設定される。ペDESTAL 12 と面板 13 a の間の間隔は、200 ~ 650 mil である。プロセスガスを導入するときの真空チャンバ 15 の圧力は、約 2 torr ~ 10 torr に維持される。基板温度は、約 200 ~ 400 に維持される。ステップ 230 で、マニホールド 11 (及び従って面板 13 a) に RF エネルギーを供給する RF 電源 44 のスイッチが投入されて、基板に隣接してプロセスガスから制御されたプラズマが発生される。RF 電源 44 から、約 50 W ~ 500 W の RF 電力が提供されることが望ましい。これらの RF 電力レベルによって、プラズマ密度は約 0.12 W/cm^2 ~ 1.29 W/cm^2 になる。上記状態は、DARC の堆積中ずっと維持されることが望ましい。ステップ 260 で、DARC を約 100 オングストローム ~ 2000 オングストロームの厚さに堆積するのに十分な長さの時間、プラズマが維持される。

【0053】

二つの層の間の遷移は、層を堆積するのに使用する化学物質間の遷移及びそれらの関連プロセスパラメータによって制御される。本発明の方法は、プラズマ、プロセスガス流量、及びその他の処理パラメータの制御により、この遷移を正確に制御することができる。二つの層間の遷移は急激的であることが望ましい。これは、例えば、誘電体層と DARC の堆積の間でプラズマを消失させることによって達成される。しかし、被処理基板は、処理チャンバから取り出さない。漸進的遷移を達成することもできる。例えば、これは、プロセスガスの流量を変化させることによって行われる。前述のようなフッ化ケイ酸塩ガラス (FSG) の誘電体とオキシ窒化ケイ素の DARC を堆積するプロセスでは、ヘリウムの流量を増加しながら、四フッ化ケイ素の流量を低下し、誘電体層から DARC に移行することができる。これにより、誘電体層と DARC の間の平滑な遷移が形成される。この柔軟性は、本発明のインサイチュの特性によって可能になる。

【0054】

本明細書に記載したプロセスパラメータ及びガスの導入速度は、8 インチ基板処理用に装備された、アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド製の抵抗加熱式センチラ D x Z チャンバを使用する場合の代表的値である。このプロセスにより本発明の方法を限定することは意図していない。他のチャンバサイズや他のメーカ製のチャンバは、異なる値を取ることができる。前述の通り、他の反応ガス (例えば TEOS) や処理パラメータ (例えば、ヘリウムの流量の低下と窒素の流量の増加) を使用して、ここで記載する種類の誘電体 / DARC 構造を堆積することができる。例えば、TEOS と酸素の組合せを使用して、誘電体層 (特に 1 層の酸化ケイ素) を堆積し、これにフッ素などのハロゲン元素をドーピングして、層の物理的及び電気的特性を向上することができる。

【0055】

本発明のインサイチュプロセスは、幾つかの利点を提供する。使用されるプロセスによっては、誘電体層とDARCの堆積に使用される化学物質のおかげで、この方法を使用して堆積間でプロセスガス及び環境パラメータを変化するだけですむ。このようなプロセスを使用するときは、堆積の間に基板を取り出したり、クリーニング作業などの中間ステップを実行する必要がない。これは、より安定したプロセスを促進し、歩留まりを向上する。より少ないプロセスステップの使用は、装置の摩耗の低下及び消耗部品費用の低下につながる。

【0056】

本プロセスのインサイチュ特性は、従来のプロセス（二つ層を、間にクリーニング等の中間ステップを挟んで別個に堆積する）に比べて、スループットの向上にもつながる。例えば、単に誘電体/DARC構造を堆積する場合、本発明の方法は、従来のステップにおいて40枚にそのような構造を形成するため要した時間で、約67枚の基板を処理することができる。完全なデュアルダマシーン構造を形成する場合、この開きは更に大きくなり、従来の技術では40枚の基板を処理するのに対し、本発明の処理方法では約94枚の基板を処理することができる。

【0057】

IV．代表的誘電体/DARC構造

図8は、デュアルダマシンプロセスで実行されるステップを示しており、図9～図13に示す製造プロセスにおける様々なステップでの縦断面図に関連して記載されている。デュアルダマシーン技術を使用すると、単一の平坦化ステップだけで、スタッド（つまりビアやコンタクト）及び相互接続ラインの両方を形成することができ、こうして製造されたデバイスの密度、性能、及び信頼性が向上する。本節に記載するデュアルダマシーン構造は、金属相互接続層（この場合、形成されるスタッドはビアと呼ばれる）やタブ（この場合、形成されるスタッドはコンタクトと呼ばれる）として知られるドーブされた領域など、様々な種類の構造の上に形成することができる。この技術は、DARCをエッチング停止として使用する能力を利用し、誘電体材料の完全な除去を促進する。この種の層を、ここではDARC/エッチング停止（DARC/ES）層と呼ぶ。

【0058】

この例では、図9に示すように、金属相互接続層400（第1誘電体層420内に埋め込まれた金属ライン405、410によって代表される）の上に、デュアルダマシーン構造が形成される。デュアルダマシンプロセスは、前述のPECVDプロセスのような適当な堆積方法を使用してステップ300でDARC/ES層430を堆積することから開始される。第1DARC/ES層430が金属相互接続層400の上に堆積されているのが図9で示されている。

【0059】

ステップ310では、本発明のインサイチュプロセスを使用してダマシーン構造の次の部分が堆積される。最初に、予め堆積されたDARC/ES層の上に誘電体層が堆積される。これを、図10では、第1DARC/ES層430の上に堆積された金属間誘電体（IMD）440として示す。インサイチュプロセスの一部として、次にDARC/ES層が堆積される。これを、図10では、IMD440の上に堆積した第2DARC/ES層450として示す。本発明の方法を使用して、これらの層は、中間ステップを使用せずに堆積され、従って、このプロセスの上記利益を提供する。

【0060】

第2DARC/ES層450の堆積に続いて、フォトレジスト材の塗布及びパターン化が行われ、ステップ320でパターン化フォトレジスト層が形成される（図示せず）。このフォトレジスト層にエッチングされたパターンは、次に、エッチング作業によって第2DARC/ES層450に転写される（ステップ330）。このエッチング作業は、DARC/ES材料（例えば窒化ケイ素やケイ素オキシ窒化物）だけをエッチングするのに特に適したエッチング剤を使用し、これによりIMD440の望ましくないエッチングが防止される。次にフォトレジスト層がほぼ除去される。パターン化プロセスが完了され、フォ

トレジスト層が除去された後の第2 D A R C / E S 層 4 5 0 を、図 1 0 に示す。

【 0 0 6 1 】

第2 D A R C / E S 層 4 5 0 は、後の処理ステップにおけるエッチング停止層としての用途以外に、フォトレジスト層のパターン化の精度をも向上する。第2 D A R C / E S 層 4 5 0 は、フォトレジスト層を露光するために使用される入射放射エネルギーの反射及び屈折を軽減することにより、フォトレジスト材の意図されない露光を軽減する。従って第2 D A R C / E S 層 4 5 0 は、反射防止膜及びエッチング停止層の両方として作用することができる。

【 0 0 6 2 】

ステップ 3 4 0 で、本発明の方法を再び使用して、第2 誘電体層 / D A R C 構造を堆積する。図 1 1 に示すように、第2 誘電体層 4 6 0 は、第2 D A R C / E S 層 4 5 0 の上に堆積する。本発明の方法に従って、次に D A R C / E S 層を堆積する。これを、図 1 1 に、第3 D A R C / E S 層 4 7 0 として示す。再び、インサイチュプロセスの上記の利益が提供される。第3 D A R C / E S 層 4 7 0 は、その後のプロセスにおけるエッチング停止層としても使用することができ、第2 D A R C / E S 層 4 5 0 と同様の方法で、I M D 4 4 0 をパターン化するために使用されるフォトレジスト層のパターン化の精度が向上される。

10

【 0 0 6 3 】

次に、ステップ 3 5 0 で、1 層のフォトレジスト材が塗布されて、マスクパターンを用いてパターン化され、パターン化フォトレジスト層（図示せず）が形成される。パターンは、エッチング作業によって第3 D A R C / E S 層 4 7 0 に転写される（ステップ 3 6 0）。このエッチング作業では再び、D A R C / E S 材料（例えば窒化ケイ素又はケイ素オキシ窒化物）をエッチングするのに特に適したエッチング剤が使用される。次にフォトレジスト層が除去される。

20

【 0 0 6 4 】

ステップ 3 7 0 では、第1 D A R C / E S 層 4 3 0 をマスクング層として使用するエッチング作業によって、第2 誘電体層 4 6 0 及び I M D 4 4 0 がパターン化される。このステップで、第2 D A R C / E S 層 4 5 0 及び第3 D A R C / E S 層 4 7 0 は、エッチング停止層として作用する。この作業の結果を、図 1 2 に示す。この図は、第3 D A R C / E S 層 4 7 0 のパターン化の結果をも示す。図 1 2 は、エッチング後の第2 誘電体層 4 6 0 及び I M D 4 4 0 を示し、D A R C / E S 層によってもたらされる保護を例示している。このエッチング作業は、誘電体材料をエッチングするのに特に適したエッチング剤を使用する。しかし、このエッチング剤は、D A R C / E S 層に対してはほとんど効果がないように選択されている。例えば、第1 D A R C / E S 層 4 3 0 は、金属相互接続層 4 0 0 及び特に第1 誘電体層を実質的に保護する。第1 誘電体層 4 2 0 は、その上のどの誘電体層とも同じようにこれらのエッチング剤に弱いので、これは重要である。

30

【 0 0 6 5 】

次に、D A R C / E S 層の露出した部分を、D A R C / E S 材料をエッチングするのに特に適したエッチング剤を用いて除去する。次に、ステップ 3 9 0 で、金属層（金属ライン 4 8 0、4 9 0 で表わされる）を堆積し、研磨する（C M P などの平坦化技術によって）。この研磨により余分な金属が除去され、図 1 3 で明らかなように、金属の上面を第3 D A R C / E S 層 4 7 0 の上面と同じ高さにする。代替的に、第3 D A R C / E S 層 4 7 0 が部分的に除去されるまで、平坦化を続けてもよい。

40

【 0 0 6 6 】

ここで述べたデュアルダマシンプロセスは、そのデュアル化学的特性によって可能になる。使用するエッチング剤は、誘電体材料又は D A R C / E S 材料のどちらを除去するかによって異なる。例えば、誘電体材料を除去するために使用するエッチング剤は、D A R C / E S 材料に対しては最小限の効果しか有していない。逆に、D A R C / E S 材料を除去するために使用するエッチング剤は、誘電体材料に対しては最小限の効果しか有していない。これにより、I M D 4 4 0 をエッチングせずに第2 D A R C / E S 層 4 5 0 をパタ

50

ーン化したり、D A R C / E S 層によって定義されるプロファイルを維持しながら、誘電体層 4 6 0 と I M D 4 4 0 を 1 回の操作でエッチングするなどの作業を行うことができる。しかし、ここで説明したプロセスは、本発明の方法及び装置の多くの用途の単なる代表的なものにすぎない。

【 0 0 6 7 】

本発明の方法は、上記実験で記載した特定のパラメータによって限定することを意図してはいない。当業者であれば、本発明の精神から逸脱することなく、異なる処理条件及び異なる反応物質源を使用できることを理解されるであろう。本発明に従って誘電体 / D A R C 構造を堆積する他の同等又は代替的方法是、当業者には明白であろう。例えば、好適な実施形態では、D A R C / E S 層を堆積するためにヘリウムを使用するが、ケイ素や酸素の他の物質源と同様に、他の希釈ガスを使用することもできる。プロセスのステップは再度順番付けられ、誘導体層が続く D A R C が堆積され、或いは複数の対になった誘電層 / D A R C がインサイチュに堆積されるであろう。これらの同等物及び代替物を本発明の範囲内に含めるつもりである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による化学気相堆積 (C V D) 装置の一実施形態の縦断面図である。

【図 2】本発明による化学気相堆積 (C V D) 装置の一実施形態の縦断面図である。

【図 3】図 1 に示す C V D チャンバの一部分の拡大斜視図である。

【図 4】図 1 に示す C V D チャンバの一部分の拡大斜視図である。

【図 5】マルチチャンバ装置における装置モニタ及び C V D 装置 1 0 の簡易図である。

【図 6】特定の実施形態によるコンピュータプログラム 7 0 の装置制御ソフトウェアの階層制御構造の図解的ブロック図である。

【図 7】本発明の方法に従って誘電体層及び A R C 層を堆積するステップのフローチャートである。

【図 8】本発明の方法に従って形成する誘電体層 / A R C 構造を使用して、デュアルダマシン構造を堆積する代表的プロセスのフローチャートである。

【図 9】図 8 のプロセスに従って形成された、製造プロセスの様々な点における構造の簡易断面図である。

【図 1 0】図 8 のプロセスに従って形成された、製造プロセスの様々な点における構造の簡易断面図である。

【図 1 1】図 8 のプロセスに従って形成された、製造プロセスの様々な点における構造の簡易断面図である。

【図 1 2】図 8 のプロセスに従って形成された、製造プロセスの様々な点における構造の簡易断面図である。

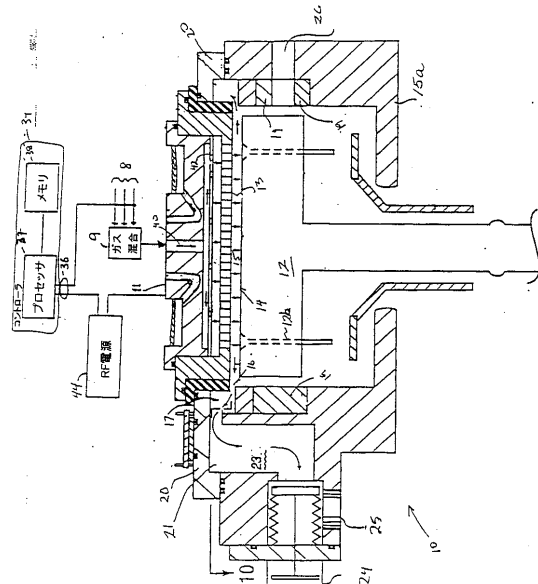
【図 1 3】図 8 のプロセスに従って形成された、製造プロセスの様々な点における構造の簡易断面図である。

10

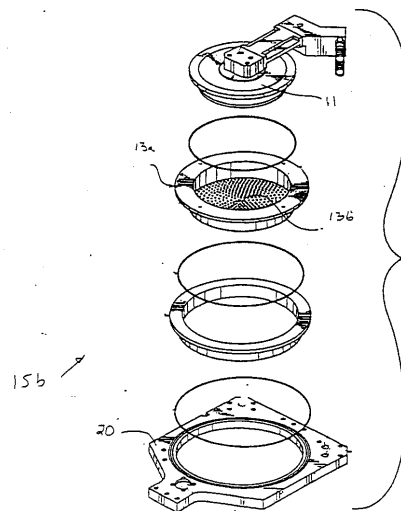
20

30

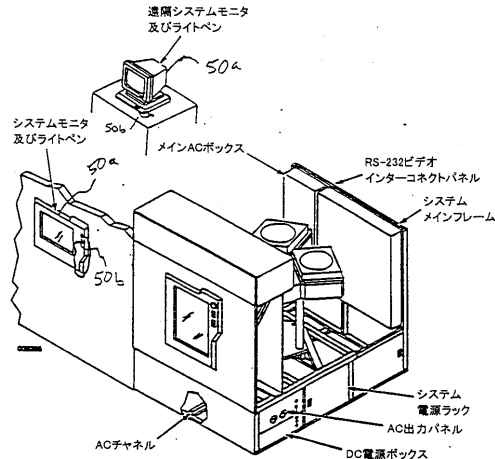
【 図 2 】



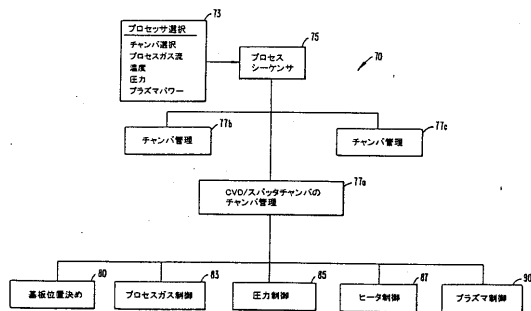
【 図 4 】



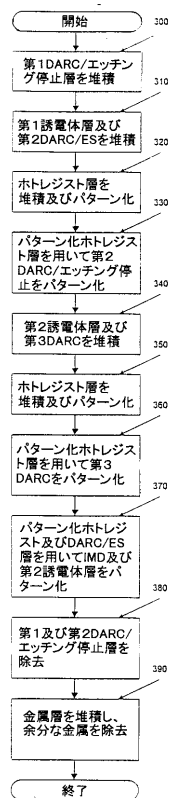
【図5】



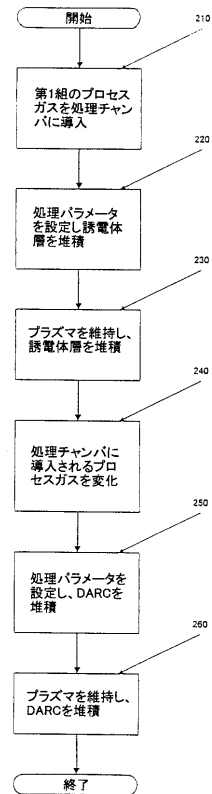
【図6】



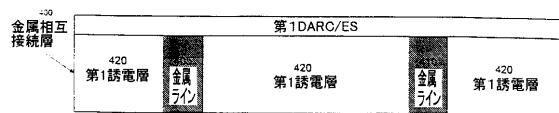
【図8】



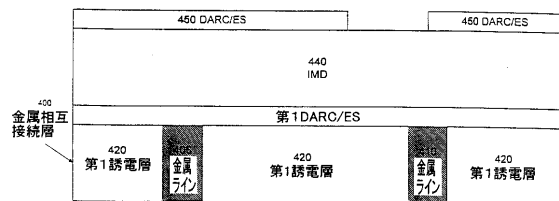
【図7】



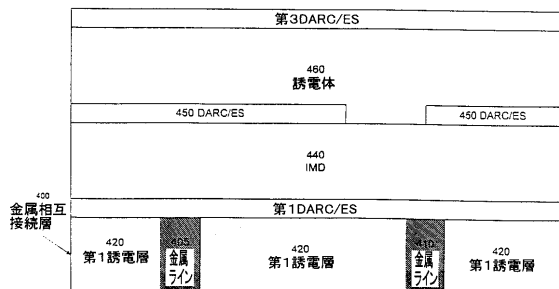
【図9】



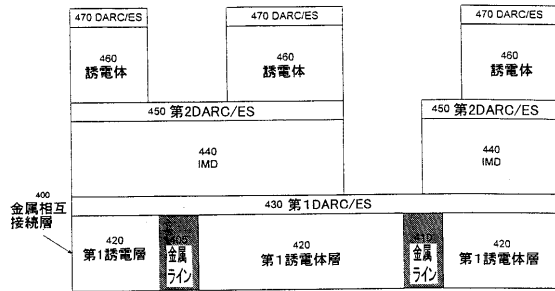
【図10】



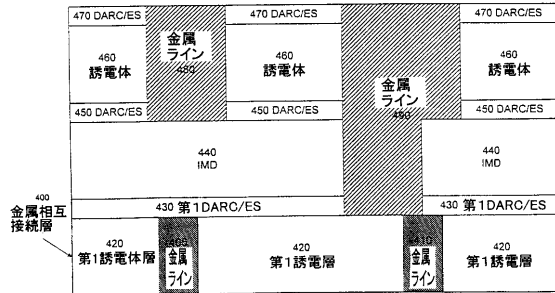
【図11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

- (74)代理人 100089978
弁理士 塩田 辰也
- (74)代理人 100092657
弁理士 寺崎 史朗
- (74)代理人 100094318
弁理士 山田 行一
- (74)代理人 100094008
弁理士 沖本 一暁
- (72)発明者 デイヴィッド チュング
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, フォースター シティ, ビリングスゲート レーン
2 3 5
- (72)発明者 ジュディー エイチ. ハング
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, ロス ガトス, リロイ アヴェニュー 1 6 7 8 8
- (72)発明者 ワイ - ファン ヤウ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, マウンテン ヴュー, グレテル レーン 1 5 6 8

審査官 大塚 徹

- (56)参考文献 特開平 0 6 - 2 3 2 1 1 3 (J P , A)
特開平 0 7 - 1 2 2 6 4 3 (J P , A)
特開平 0 7 - 0 7 4 1 7 0 (J P , A)
特開平 0 9 - 0 6 9 5 1 8 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H01L 21/31
H01L 21/027