

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4138052号  
(P4138052)

(45) 発行日 平成20年8月20日 (2008. 8. 20)

(24) 登録日 平成20年6月13日 (2008. 6. 13)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/31 (2006. 01)	HO 1 L 21/31 C
HO 1 L 21/316 (2006. 01)	HO 1 L 21/316 X

請求項の数 9 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願平9-292781	(73) 特許権者	390040660
(22) 出願日	平成9年10月24日 (1997. 10. 24)		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10-199873		APPLIED MATERIALS, I NCORPORATED
(43) 公開日	平成10年7月31日 (1998. 7. 31)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 054 サンタ クララ パウアーズ ア ベニュー 3050
審査請求日	平成16年10月6日 (2004. 10. 6)		
(31) 優先権主張番号	08/736555	(74) 代理人	100107456
(32) 優先日	平成8年10月24日 (1996. 10. 24)		弁理士 池田 成人
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100089978
			弁理士 塩田 辰也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フッ化ケイ酸ガラス膜の膜安定性向上のための方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

リアクタチャンバ内の基板の上にフッ素ドーブシリコン酸化層を堆積するための方法であって、

第1のフッ素ソース、前記第1のフッ素ソースと異なる第2のフッ素ソース、シリコンソース及び酸素ソースを含むプロセスガスを前記チャンバ内に導入するステップと、

前記プロセスガスからプラズマを形成し、前記フッ素ドーブシリコン酸化層を前記基板上に堆積するステップと、

を含む方法。

【請求項 2】

前記第1のフッ素ソースが SiF<sub>4</sub> を含み、前記シリコンソースが気化されたテトラエトキシシラン (TEOS) を含む請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第2のフッ素ソースが NF<sub>3</sub> 又は F<sub>2</sub> を含む請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記第2のフッ素ソースの前記第1に対する比が、0.0125 : 1 ~ 0.5 : 1 である、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記フッ素ドーブシリコン酸化層の堆積中、1 ~ 5 トールの圧力を設定し、維持するステップを更に含む、請求項 3 に記載の方法。

## 【請求項 6】

真空チャンバを形成するためのハウジングと、

基板を保持するための、前記ハウジングの中に配置された基板ホルダと、

プロセスガスを前記真空チャンバに導入して、前記基板上に層を堆積するためのガス送  
出し装置と、

前記プロセスガスからプラズマを形成するように構成されているプラズマ発生装置と、

前記ガス送出し装置及び前記プラズマ発生装置を制御するためのコントローラと、

前記化学気相堆積リアクタ装置の操作管理を具現化したコンピュータ読取り可能プログラ  
ムを有するコンピュータ読取り可能媒体を含む、前記コントローラに連結されているメモ  
リと、

10

を具備する基板処理装置であって、前記コンピュータ読取り可能プログラムは、

第 1 のフッ素ソース、前記第 1 のフッ素ソースと異なる第 2 のフッ素ソース、シリコン  
ソース及び酸素ソースを含むプロセスガスを前記チャンバ内に導入するように前記ガス送  
出しシステムを制御する第 1 の命令集合と、

前記プロセスガスからプラズマを形成して、前記基板上に前記フッ素ドーブシリコン酸  
化層を堆積するように前記プラズマ発生装置を制御する第 2 の命令集合と、

を備える、基板処理装置。

## 【請求項 7】

前記第 1 の命令集合が、前記シリコンソースとして気化された T E O S を前記チャンバ  
に導入するように前記ガス送出し装置を制御する請求項 6 に記載の基板処理装置。

20

## 【請求項 8】

前記第 1 の命令集合が、前記第 1 のフッ素ソースとして S i F<sub>4</sub> を前記チャンバに導入す  
るように前記ガス送出し装置を制御する請求項 7 に記載の基板処理装置。

## 【請求項 9】

前記第 1 の命令集合が、前記第 2 のフッ素ソースとして N F<sub>3</sub> 又は F<sub>2</sub> を前記チャンバに  
導入するように前記ガス送出し装置を制御する請求項 8 に記載の基板処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明はウエハ処理中のハロゲンドーブ誘電層の堆積に関し、より詳細には、低い比誘電  
率、高い膜安定性及び良好なギャップ充填特性を有するフッ素ドーブシリコン酸化層を形  
成するための方法及び装置に関する。

30

## 【0002】

## 【従来の技術】

現在の半導体デバイス製造における基本的なステップの 1 つに、気体の化学反応により半  
導体基板上に薄膜を形成する工程が挙げられる。このような堆積方法は、化学気相堆積法  
(chemical vapor deposition)ないし C V D と呼ばれる。従来からの熱 C V D プロセスで  
は、反応性ガスを基板表面に供給して、熱により化学反応を引き起こして所望の膜を生成  
する。熱 C V D プロセスが行われる高い温度では、メタル層を有するデバイス構造体にダ  
メージを与えることがある。

40

## 【0003】

比較的低温でメタル層上に層を堆積する他の C V D 法の中には、プラズマ励起 C V D ( P  
E C V D : plasma enhanced CVD ) 法がある。プラズマ C V D 法は、基板表面に近い反応  
領域に高周波 ( R F ) エネルギーを印加して、反応ガスの分解及び / 又は励起を促進し、  
プラズマを生成する。プラズマ中の種の反応性が高いため、化学反応を引き起こすため  
に要するエネルギーが低減でき、そのためこれら C V D プロセスに必要な温度を下げるこ  
とができる。このように P E C V D プロセスの温度は比較的低いいため、堆積したメタル層  
の上の絶縁層の形成及び他の絶縁層の形成には理想的となっている。

## 【0004】

半導体デバイスの幾何学的関係は、半導体デバイスが初めて導入された数十年前に比べて劇

50

的に小さくなってきた。それ以降、集積回路は、2年でサイズが半分の法則（しばしば「ムーアの法則」と呼ばれる）に概ね従ってきており、これは2年毎に1つのチップにフィットするデバイスの数が倍になることを意味している。今日のウエハ製造プラントでは、表面形状のサイズが0.5ミクロン、更に0.35ミクロンの集積回路を製造しており、明日のプラントではこれよりも小さな表面形状サイズのデバイスを間もなく製造することになるだろう。

#### 【0005】

デバイスのサイズがより一層小さくなり集積密度が高くなるにつれて、産業界でかつては重要ではないと思われていた問題が顕在化してきている。3層、4層またはそれ以上の多層のメタルを半導体上に形成するマルチレベルメタルの技術の出現により、メタル間誘電（IMD：intermetal dielectric）層等の絶縁層の比誘電率を下げるのが、半導体製造者の1つの目標となった。インターコネクタメタライゼーションのRC時間遅れを低減してメタライゼーションの異なるレベルの間のクロストークを防止しまた電力消費を低減するためには、メタル間誘電層は低い比誘電率を有することが特に望ましい。

#### 【0006】

低い比誘電率を得るために様々なアプローチがなされてきた。その中でもっとも有望な解決策の1つは、シリコン酸化物層にフッ素又は塩素若しくは臭素等のその他のハロゲン元素を包含させることである。フッ素は、シリコン酸化膜に好ましいハロゲンドーパントであって、SiO<sub>2</sub>の網状組織全体に亘る分極を低減する陰性原子であるので、シリコン酸化膜の比誘電率を低減すると信じられている。フッ素ドーパされたシリコン酸化膜は、フッ化ケイ酸ガラス（FSG：fluoro silicate glass）膜とも呼ばれている。

#### 【0007】

FSG膜を堆積する方法としては、プラズマを、プラズマになる前段階の物質（前駆物質）（precursor）としてSiF<sub>4</sub>、テトラエトキシシラン（TEOS）及び酸素を含むプロセスガスから形成するものがある。ガス分子中で4つのフッ素原子がシリコン原子に結合しているため、他のフッ素ソースと比較した場合に所定の流量に対して高いパーセンテージのフッ素を堆積チャンバ内に供給するという理由から、SiF<sub>4</sub>はFSG膜に対して特に効果的なフッ素ソースであると信じられている。更にSiF<sub>4</sub>は、プラズマ反応に用いることのできるシリコンに結合したフッ素を他のフッ素ソースよりも多く有している。FSG膜のためのフッ素ソースとしてのSiF<sub>4</sub>の使用は、上述した米国特許出願第08/538,696号明細書及び米国特許出願第08/616,707号明細書により詳細に論ぜられている。

#### 【0008】

メタル間シリコン酸化層にフッ素を包含させることは、比誘電率を低減するだけではなく、半導体構造体で近接して配置されるギャップを充填するなど、小さな幾何学的関係のデバイスを製造する際に生じる共通の問題を解決するためにも役に立つ。フッ素はエッチング種であるため、フッ素をドーパすることにより成長中の膜にエッチング効果が持ち込まれると考えられる。このように堆積とエッチングを同時に行う効果により、FSG膜のギャップ充填の性能を向上することが可能になり、アスペクト比が1.8以上のメタル層が隣接し合うところを膜が適正に覆うことができるようになる。

#### 【0009】

##### 【発明が解決しようとする課題】

このように、製造者はフッ素を様々な誘電層に包含させること、特にメタル間誘電層に包含させることを所望する。FSG層の堆積において生じる問題の1つに膜の安定性がある。FSG膜によっては、その格子構造の中に緩く結合したフッ素原子により、膜が吸湿し易くなることがある。吸湿により、膜の比誘電率は上昇し、膜がアニール等の熱プロセスに曝露されたときに更に問題を生じさせることがある。熱プロセスの高温が、吸収された水の分子や緩く結合しているフッ素原子を酸化層から追い出してメタル層やその他の次に堆積する層の中へ移動させる。このような態様で分子や原子が移動することを、アウトガスと称する。このようなアウトガスは、膜を所定の温度に加熱したときに膜を離れるHFやH<sub>2</sub>Oを検出することによって測定されることができ、FSG膜が堆積された後、

10

20

30

40

50

基板処理中の少なくとも最高温度（例えば450）まではアウトガスが少ないか又は無いことが好ましい。

#### 【0010】

一般的に、FSG膜の比誘電率及びギャップ充填能力は膜に含まれるフッ素の量に依存している。フッ素含有量を増加すると、比誘電率は低減されギャップ充填が改善される。しかし、フッ素含有率が高い（例えば7原子重量パーセント[at.wt.%]又は8原子重量パーセントより多いフッ素）FSG膜は、フッ素含有率（例えば7原子重量パーセント[at.wt.%]又は8原子重量パーセントより少ないフッ素）が低い膜より吸湿性が高く、アウトガスの問題を有する傾向がある。

#### 【0011】

上記より、低い比誘電率を有する酸化膜が、進歩する技術と歩調を合わせる必要があることが理解されよう。また、ハロゲンドーブ酸化膜、特にフッ素を多く含むFSG膜の安定性を向上させて、膜における吸湿の及びアウトガスを低減するような方法が望まれることが理解されよう。

#### 【0012】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は、低い比誘電率を有し且つ改善された高い安定性を有するハロゲンドーブ層を提供する。また、本発明は、このような層を形成するための方法及び装置を提供する。プラズマ堆積操作中に第1のハロゲンソースガス及び第1のハロゲンソースと異なる第2のハロゲンソースガスを、堆積チャンバ内にシリコン及び酸素ソースと共に導入することにより、膜の安定性が向上する。プラズマはガスから形成されてチャンバ内に配置された基板上にハロゲンドーブ層を堆積する。更にハロゲンソースを導入すると、プラズマのために余分の自由フッ素が提供され、膜のエッチング効果が向上される。膜堆積における向上されたエッチング成分は、膜のギャップ充填能力を改善し、膜の安定性に貢献する。

#### 【0013】

本発明の好ましい態様に従ってFSG膜を堆積する。この態様では第1のハロゲンソースガスは $\text{SiF}_4$ で、シリコンソースはTEOSである。酸素ソースとしては $\text{O}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 又はこれらと同様のガスが可能で、第2のハロゲンソースとしては $\text{NF}_3$ 、 $\text{F}_2$ 又はこれらと同様のソースのいずれかである。TEOSの酸素に対する比は比較的高く、約1.9:1~5.8:1であり、第2のハロゲンソースの第1に対する比は、約0.0125:1~0.5:1である。この態様に従って堆積されたFSG膜は少なくとも9~10at.wt.%のフッ素を含んでおり、加熱が少なくとも450までの温度であれば、層からの $\text{H}_2\text{O}$ 又はHFアウトガスは実質的に存在しない。

#### 【0014】

本発明の以上の態様及びその他の態様を、利点及び特徴と共に、以下の文章及び添付図面と関連して詳細に説明する。

#### 【0015】

##### 【発明の実施の形態】

##### I. 予備的説明

本発明は、低い比誘電率（実施形態のなかには約3.5より低いものもある）と、所望のギャップ充填特性とを有する絶縁層の堆積を可能にするものである。本発明の絶縁層は、少なくとも450までの温度に晒されても安定しており、従来の設計のCVDチャンバ内で堆積され得る。

#### 【0016】

##### II. 代表的なCVD装置

本発明の方法を実行することができる好適なCVD装置の1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、すなわちプロセスチャンバ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。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 7 】

リアクタ 1 0 にはガス分散マニホールド 1 1 が設けられており、そのガス分散マニホールドは、プロセスガスをプロセスチャンバ内の中心にある加熱式ペDESTAL 1 2 に載置されている基板（図示せず）に分散する。処理中に、基板（例えば半導体ウエハ）はペDESTAL 1 2 の平らな（又は僅かに凸曲線状の）面 1 2 a 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 1 1 に近接している上方の処理位置（図 1 では点線で示し、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する。センターボード（図示せず）はセンサーを有し、ウエハの位置に関する情報を提供する。

## 【 0 0 1 8 】

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散面板 1 3 a の穿孔 1 3 b（図 4 に示す）を通してチャンバ 1 5 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 1 1（図 2 に矢印 4 0 で示す）を通り、従来の穿孔されたブロッカー板 4 2 を通り、そして分散面板 1 3 a の孔 1 3 b を通ってチャンバに流入される。

## 【 0 0 1 9 】

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供給ライン 8 を通して混合装置 9 に入って混合され、それからマニホールド 1 1 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。

## 【 0 0 2 0 】

リアクタ 1 0 で行われる堆積プロセスは、熱処理プロセス又はプラズマ励起プロセスのどちらかでありうる。プラズマ励起プロセスにおいて、RF パワー供給源 4 4 は、ガス分散面板 1 3 a 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 1 3 a 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）。プラズマの成分は、反応し、ペDESTAL 1 2 に支持されている半導体ウエハの表面に所望の膜が堆積される。RF パワー供給源 4 4 は、混合周波数 RF パワー供給源であり、通常、1 3 . 5 6 M H z の高 RF 周波（RF 1）、3 6 0 K H z の低 RF 周波（RF 2）を供給し、真空チャンバ 1 5 に導入された反応種の分解を促進する。

## 【 0 0 2 1 】

堆積プロセス中、排出路 2 3 及び遮断バルブ 2 4 を取り囲んでいる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、典型的な流体の種類、すなわ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。

## 【 0 0 2 2 】

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。3 6 0 ° の円対称で均一なロットオリフィス 1 6 及びプリナム 1 7 は、ウエハ上にプロセスガスの均一な流れを達成し、ウエハ上に均一な膜を堆積するのに重要である。

## 【 0 0 2 3 】

ガスは、排気プリナム 17 から排気プリナム 17 の横延長部 21 の下を流れ、のぞき窓 22 を過ぎ、下方に延びるガス路 23 を通り、真空遮断バルブ 24 (本体は下部チャンバ壁 15a と一体化している) 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 25 に入る。

【0024】

好ましくはアルミニウムのペDESTAL 12 のウエハ支持プラタ (platter) は、平行な同心円をなすように構成されているダブルフルターンシングルループ埋込み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 12 のステムを通過する。

10

【0025】

一般的に、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 CVD 装置の例が、「CVD 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インコーポレイテッドに譲渡され、本明細書に全体で援用されている。

【0026】

ウエハがロボットブレード (図示せず) によって、チャンバ 10 の側部の挿入 / 取出し口 26 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 12 及びウエハリフトピン 12b はリフト機構及びモータ 32 によって上下動される。ペDESTAL 12 は、モータ 32 によって処理位置 14 とそれより低いウエハ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 20、ガス送出し装置、スロットルバルブ 32、RF パワー供給源 44 並びにチャンバ及び基板の加熱システムは、コントロールライン 36 (数本のみが図示されている) を介してそれら全てがシステムコントローラ 34 によって制御されている。コントローラ 34 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 34 の制御の下、適切なモータによって移動される。

20

【0027】

好ましい実施形態において、システムコントローラは、ハードディスクドライブ (メモリ 38)、フロッピディスクドライブ及びプロセッサ 37 を有している。プロセッサは、シング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 システム 10 の様々な部分が、ベルサモジュラヨーロッパ (Versa Modular Europeans (VME)) 規格に従っており、その規格によってボード、カードケージ及びコネクタの寸法及び型が定められている。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。

30

【0028】

システムコントローラ 34 によって、CVD 装置の全ての動きが制御されている。システムコントローラはシステムコントロール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り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。勿論、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。

40

【0029】

50

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システムのCVDシステム10及びシステムモニタの略図である。好ましい実施形態で、2つのモニタ50aが使用されており、1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1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。勿論、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。

#### 【0030】

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ダクト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++、パスカル、フォートラン又は他のもの等の従来どのコンピュータ読取り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、従来テキストエディタを使用して、コンピュータのメモリシステム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インド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。システム使用者は、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ーシステム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。

#### 【0031】

図6は、特定の実施形態に従った、システムコントロールソフトウェア、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わせであり、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、(ii)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、RFパワーレベル並びにRF周波数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おり、そのプロセス条件は使用者にレシピの形で提供されている。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/CRTモニタインターフェースを用いて入力される。

#### 【0032】

プロセスをモニタする信号は、システム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、CVD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。

#### 【0033】

プロセスシーケンササブルーチン75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73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

10

20

30

40

50

ーチン75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75は以下のステップを行うプログラムコードを含んでいる。(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ステップ、(ii)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ステップ、(iii)実行されるプロセスの型及びプロセスチャンバの可用性(availability)をベースにして所望のプロセスを実行するステップ。ポーリング(polling)のような、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を用いることができる。シーケンササブルーチン75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、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)」、又はシステム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。

10

#### 【0034】

一旦、シーケンササブルーチン75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み合わ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75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77a~77c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77a~77cは、複数の処理タスクを、シーケンササブルーチン75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15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77aはプロセスチャンバ15内のスパッタ及びCVD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77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80、プロセスガス制御サブルーチン83、圧力制御サブルーチン85、ヒータ制御サブルーチン87及びプラズマ制御サブルーチン90がある。当業者は、チャンバ15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77a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77aは、シーケンササブルーチン75がどのプロセスチャンバ15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77aは、個々の構成要素をモニタするステップと、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ステップと、モニタステップ及び決定ステップに応答してチャンバ構成要素サブルーチンを実行するステップとを含んでいる。

20

30

#### 【0035】

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80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12上にローディングするためと、基板と基板をチャンバ15内で望ましい高さに持ち上げてガス分散マニホールド11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15内にローディングされると、サセプタ12は基板を受けるように下げられ、その後サセプタ12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散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77a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80はサセプタの移動を制御する。

40

#### 【0036】

プロセスガス制御サブルーチン83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83は、安全遮断バルブの開閉位置を制

50

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増減する。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み取ること、(ii)読取り値を、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、(iii)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ステップと、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ステップとを含んでいる。

10

**【 0 0 3 7 】**

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 に流入するステップを含むようにプログラムされ、そして上述のステップは実行される。更に、プロセスガスが、例えばテトラエチルオルソシラン ( T E O S ) 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、ヘリウム等の送出しガス ( delivery gas ) 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ステップ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ステップ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 は送出しガスの流れ、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しガス流量、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ステップを含んでいる。一旦必要な値が得られると、それに依りて送出しガス流量、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。

20

**【 0 0 3 8 】**

圧力制御サブルーチン 8 5 は、チャンバの排気装置 1 1 5 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け入れられる。圧力制御サブルーチン 1 4 7 は、チャンバに連結された 1 以上の従来圧力計を読むことによってチャンバ 1 5 内の圧力を測定し、測定値を目標圧力と比較し、P I D ( 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 P I D 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 8 5 は、開口部がチャンバ 1 5 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。

30

40

**【 0 0 3 9 】**

ヒータ制御サブルーチン 8 7 は、基板 2 0 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 8 7 はまたチャンバ管理サブルーチン 7 7 a 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 8 7 は、サセプタ 1 2 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。埋込み型ループ状体がサセプタ 1 2 を加熱するのに用い

50

られる場合、ヒータ制御サブルーチン 87 は、ループ状態に加えらる電流のランプ増減 (ramp up/down) を漸次制御する。漸次的なランプ増減は、ランプの寿命を延ばしその信頼性を増加する。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。

【0040】

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 パワーレベルの低周波数及び高周波数をセットするためと、使用される低周波数の RF 周波数を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。

10

【0041】

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 パワー周波数、RF パワー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、ウエハは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、特定の装置及び特定のプラズマ励起方法に限定されない。

【0042】

20

III. 安定したハロゲンドーブシリコン酸化膜の堆積

本発明は低い比誘電率、良好なギャップ充填特性及び高安定性を有する、共形なハロゲンドーブ層を提供する。FSG フィルムが、 $\text{SiF}_4$ 、TEOS、 $\text{O}_2$  及び第 2 のフッ素ソースを含む処理ガスから堆積される本発明の好ましい実施形態は、以下に例として説明及び記載されている。本発明は、この好ましい実施形態のどの方法にも限定されることを意図するものでなく、他のプロセスガスからの他の FSG 膜の形成及びハロゲンドーブシリコン酸化膜に適應できる。

【0043】

本発明の好ましい実施形態に従って  $\text{SiF}_4$  - FSG 膜を形成するために、真空ロックドアを通して真空チャンバ 15 にウエハがローディングされ、サセプタ 12 上に載置される (図 7、ステップ 200)。サセプタは、次に処理位置 14 に移動される (ステップ 205)。処理位置 14 内でウエハは、ガス分散マニホールド 11 から約 200 ~ 600 mil (5.08 ~ 15.24 mm) (好ましくは約 220 ~ 300 mil (5.59 ~ 7.62 mm)) に置かれている。

30

【0044】

ウエハが適当に配置されたならば、ウエハ及びサセプタは、200 ~ 500 の温度に加熱され (ステップ 210)、プロセスガスがガス分散マニホールドから反応チャンバに導入される (ステップ 215)。好ましくは、ウエハ及びサセプタは約 300 ~ 450 に加熱される。プロセスガスは、第 1 のフッ素ソースとして  $\text{SiF}_4$  と、TEOS と、 $\text{O}_2$  の形での酸素と、比較的容易に自由フッ素に分解する  $\text{NF}_3$  又は  $\text{F}_2$  等の第 2 のフッ素ソースとを含んでいる。実施の態様の中には、他のフッ素ソース (例えば、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$ 、TEFS、FASI-4 等) を、第 2 のフッ素ソースとして使用することが可能なものもある。しかしながら、膜を不安定にする一因となる炭素又は他の元素を含まない第 2 のフッ素ソースを使用することが好ましい。

40

【0045】

第 2 のフッ素ソースの含有はプラズマの中に更なる自由フッ素を提供し、その自由フッ素は膜の成長のエッチング効果が向上されると考えられている。エッチングが向上すると、より良いギャップ充填能力と改善された安定性が提供される。第 1 のフッ素ソースの第 2 のフッ素ソースに対する比は、膜の安定特性及びギャップ充填を最大にするように正確に制御され得る。例えば、第 1 のフッ素ソースとして  $\text{SiF}_4$  が、第 2 のフッ素ソースとし

50

て $\text{NF}_3$ が使用された場合、チャンバへの過剰な $\text{NF}_3$ の導入は膜の均一性、安定性及び堆積率に逆に作用する。各々のガスが導入される率は、ファクタの中でチャンバの堆積及び設計に依存しており、以下により詳細に論ずる。

【0046】

約1～100 torr（好ましくは約2～10 torr）の間で選択される圧力が反応チャンバ内でセットされ、堆積中に真空ポンプ装置及びプロセスガスの導入（ステップ220）と関連してスロットバルブ32によって維持される。プロセス条件がセットされると、混合周波数RFパワー源を用いてプラズマが形成される（ステップ225）。プラズマは選択された時間維持され、所望の厚さを有する層を堆積する。

【0047】

パワー源は、高周波数が3～14 MHz（好ましくは13.56 MHz）且つ50～2000 W（約0.1～3.95 W/cm<sup>2</sup>のパワー密度）、低周波数が約500 KHz以下（好ましくは約350 KHz）且つ300 W以下で操作される。低周波数パワー源は、膜の堆積中のイオン衝撃を制御する。低周波数源が操作される場所でパワーを増加すると、イオン衝撃が増加し、膜の成長が更に安定する。従って低周波数パワー源400 W以上で操作されることが好ましく、所定のハードウェア形状に対して適当ならば、低周波数パワー源が約800 W以上で操作されることが更に一層好ましい。

【0048】

堆積が完了した後、シリコン、酸素及びハロゲン元素の導入は止められ、プラズマは消える。そして、「ハロゲンドープシリコン酸化膜の安定性を改善する方法及び装置」という名称で、アブライドマテリアルズインコーポレイテッドに譲渡されている米国特許出願第08/616707号明細書に記載されているように、ヘリウム流は更に5～120秒以上維持されて、膜がより一層安定化される（ステップ230）。この米国特許出願第08/616707号明細書は1996年3月15日に出願されており、本明細書に援用されている。好ましくは、ヘリウム流は少なくとも更に約10秒間維持される。この間、チャンバ温度及び圧力は変わらない。米国特許出願第08/616707号明細書に記載されているように、ヘリウムのみを流すステップは膜をアニールして、緩く結合した原子のより強い結合の形成及び/又は堆積膜からの移動を可能にすると考えられている。原子が堆積膜からガス放出すると、ヘリウム流はガス放出した原子を運び去るので、原子は膜表面の他の原子と結合又は反応して更なる緩い結合を形成することはない。ヘリウムアニールステップ中に、堆積温度（例えば～600）より高い温度にチャンバを加熱して、更に膜を安定させることも可能である。しかし、好ましくはチャンバ温度は、堆積金属ラインが損傷をうけないように約450以下に維持される。

【0049】

本発明の、この好ましい実施形態で、ガスは以下に示すステップ215の範囲の速度で導入される。TEOSは、室温では液体であるが、液体噴射バルブ等を用いて気化された後、ヘリウムキャリアガスと混合される。TEOSは、液体噴射バルブへ、約500～3000 mgm（正味流量約960～5760 sccmに相当する）で導入される。O<sub>2</sub>はチャンバに約200～2000 sccmで導入される。ヘリウムは本明細書に援用されている米国特許出願第08/616707号明細書に記載されているように、高速で導入される。一実施形態において、高速のヘリウム導入速度は、TEOSに対して1600 sccmのヘリウムキャリアガス流量であり、異なったガスラインから導入されるヘリウム流量は1000 sccmで提供される。

【0050】

SiF<sub>4</sub>がチャンバに導入される速度は、FSG膜の所望のフッ素濃度に依存しているが、0.5～5.7パーセント（フーリエ変換赤外分光（FTIR）のSiF結合に対するSiF+SiO結合のピーク面積の比によって測定）のSiF<sub>4</sub>-FSGを含むFSG膜に対して一般的に約100～4000 sccmであろう。選択したパーセントを有するSiF<sub>4</sub>-FSGのFSG膜の堆積に使用されるSiF<sub>4</sub>のTEOSに対する最適な比は、プラズマのパワー密度及び他のファクタに依存している。高周波数RFパワーが1350 W

10

20

30

40

50

(パワー密度  $2.67 \text{ W/cm}^2$ ) のとき、 $\text{SiF}_4$  の  $\text{TEOS}$  に対する最適な比は、1% の  $\text{SiF}_4$  -  $\text{FSG}$  膜に対して約  $0.169 : 1$  ( $2000 \text{ mgm}$  に対して  $650 \text{ sccm}$  であり、約  $3840 \text{ sccm}$  の正味流量と等価) で、5.7% の  $\text{SiF}_4$  -  $\text{FSG}$  膜に対して約  $1.823 : 1$  ( $1000 \text{ mgm}$  に対して  $3500 \text{ sccm}$  であり、約  $1920 \text{ sccm}$  の正味流量と等価) である。高パワー密度のときは、同様の膜を堆積するのに少ない  $\text{SiF}_4$  が使用される。

#### 【0051】

本実施形態の第2のフッ素ソース ( $\text{NF}_3$  又は  $\text{F}_2$ ) が  $30 \sim 500 \text{ sccm}$  の割合で導入される。プロセスガスでの  $\text{SiF}_4$  と第2のフッ素ソースの組み合わせは、安定した膜の堆積をもたらす、ただ  $\text{SiF}_4$ 、 $\text{NF}_3$  又は  $\text{F}_2$  等の一つのフッ素ソースから堆積された  $\text{FSG}$  膜よりも良好なギャップ充填及び他の特性を有する

$\text{SiF}_4$  を使用すると、プラズマ内に余分のシリコンが提供され、もって膜の堆積率が増加する。 $\text{SiF}_4$  は、また安定した  $\text{SiF}$  の網目の成長を促進する。一方  $\text{NF}_3$  又は  $\text{F}_2$  は、プラズマ内で分解されるのが比較的容易であり、更なる自由フッ素ソースを提供し、成長する膜のエッチング効果を向上し、もってギャップ充填能力を増加する。 $\text{NF}_3$  又は  $\text{F}_2$  が導入される比は、プラズマに対して過剰な自由フッ素を提供しないように制御されるべきである。過剰な  $\text{NF}_3$  又は  $\text{F}_2$  がチャンバに導入されると、プラズマ中の過剰なフッ素が、成長している膜を過剰にエッチングし、堆積速度の減少及び均一性の問題をもたらす。従って、 $\text{NF}_3$  又は  $\text{F}_2$  のいずれかの、 $\text{SiF}_4$  に対する比は、約  $0.0125 : 1$  から  $0.5 : 1$  までの間にあるのが好ましい。

#### 【0052】

更に、シリコンソースの酸素ソースに対する比は或る所定の比を越えて大きくされるのが好ましい (所定の比とは、そのように比を大きくせずに、単一のハロゲンドーパントのみを用いて膜を堆積する場合に最適となる比)。好ましい一実施形態において、 $\text{TEOS}$  の酸素に対する比は約  $1.9 : 1$  から  $5.8 : 1$  までの間である。更に好ましくは、比は約  $3.851 : 1$  (例えば  $2000 \text{ mgm}$  ( $3840 \text{ sccm}$  と等価) の  $\text{TEOS}$  及び  $1000 \text{ sccm}$  の  $\text{O}_2$ )。反応に用いることのできる酸素の量が、シリコンの量と比べて比較的少ない場合、成長している膜の  $\text{OH}$  結合の形成を低減し、むしろ水分を吸収し膜の不安定性をもたらすと信じられている。

#### 【0053】

上述したガス導入速度はアブライドマテリアルズインコーポレイテッドによって製造された  $5.9$  リットルの堆積を有する抵抗加熱  $\text{D} \times \text{Z}$   $\text{DCVD}$  チャンバをベースにしていることを理解されたい。他の実施形態において、ガスが導入される実際の速度は、設計及び/又は容積が異なると変化するであろう。

#### 【0054】

一実施形態においては、プロセスガスの全ての成分が最初に同時にチャンバに導入される。ステップ 215 のこのようなガス成分の同時導入の変形として、本発明の好ましい実施形態では、成分の導入は厳密な順序で行われる。これらの実施形態において、ヘリウム又は他のガスが、堆積チャンバに始めに導入され、 $\text{TEOS}$  及びフッ素ソースが導入される前にヘリウムからプラズマが形成される。次に、「境界面でのプラズマ励起  $\text{CVD}$  膜の膜質を改良する方法及び装置」という名称の、1996年2月9日に出願された、発明者 Anand Gupta, Virendra V.S.Rana, Amrita Verma, Mohan K.Bhan 及び Sudhakar Subrahmanyam による米国特許出願第 08/599,270 号明細書に記載されているように、 $\text{TEOS}$ 、 $\text{SiF}_4$  及び第2のフッ素ソースはプラズマが全出力に達した後に導入される。この米国特許出願第 08/599,270 号は、アブライドマテリアルズインコーポレイテッドに譲渡され、本明細書に全ての用途において援用されている。このようなプロセス順序は、プラズマが起こる一方で反応ガス同士に起こる可能性のある不完全な反応を最小にし、従って更に膜の安定性及び品質を改善する。

#### 【0055】

IV. 試験結果及び測定値

10

20

30

40

50

本発明の有効性を示すため、本発明の方法の利益を用いる場合と用いない場合で様々なFSG膜を堆積する実験を行った。これらの実験は、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D×Zチャンバで行われた。D×Zチャンバは、200mmウエハ用であり、同様にアプライドマテリアルズインコーポレイテッド製のP5000基板プロセスシステム内に置かれている。

【0056】

実験では、3つの異なったFSG膜が低抵抗シリコンウエハ上に堆積された。各々の膜の堆積は、チャンバ内への2100sccmの速度のSiF<sub>4</sub>、1000sccmのO<sub>2</sub>、1600sccmのヘリウムキャリアガスと混合された2000mgmのTEOS及びチャンバ内へ1000sccmで導入される第2のヘリウムソースの導入を含んでいる。第1の膜（基板1）の場合、NF<sub>3</sub>はプロセスガスに加えられない。第2及び第3の膜（基板2及び基板3）の場合、NF<sub>3</sub>はそれぞれ50sccm及び100sccmで加えられる。それぞれの膜に対して均一性、応力、反射率及び比誘電率を測定した。測定結果を以下の表1に示す。

【0057】

【表1】

FSG膜の特徴								
基板	SiF <sub>4</sub> (sccm)	NF <sub>3</sub> (sccm)	堆積速度 (Å/min)	均一性 (%)	反射率	応力 (1e9)	%F (FTIR)	比誘電率
1	2100	0	15630	1.2	1.418	-0.70	2.45	3.42
2	2100	50	15300	2.0	1.4123	-0.55	2.65	3.38
3	2100	100	15200	4.0	1.4094	-0.48	2.75	3.36

表1から明らかなように、プロセスガス内へ比較的少ない量のNF<sub>3</sub>が導入されると、膜に含まれるフッ素の量が増加し、よって膜の比誘電率が減少される。また、熱離脱スペクトル(TDS: thermal desorption spectrum)のデータは、比較的少ない量のNF<sub>3</sub>を含んだプロセスガスから堆積される膜が、NF<sub>3</sub>の添加なしで堆積された膜より安定していることを示している。図8(A)は、本発明の利益を受けないで、第1の基板上に堆積された膜からのH<sub>2</sub>O、F及びHFのアウトガスを測定したTDSのデータを示すグラフであり、図8(B)は、50sccmのNF<sub>3</sub>プロセスガスを導入して第2の基板上に堆積されたFSG膜に対する同様のTDSのデータのグラフである。図8(A)では、約400~450でH<sub>2</sub>O及びHFのアウトガスがいくらか発生することは明らかである。一方、図8(B)から明らかなように、少なくとも約600まで、HF及びH<sub>2</sub>Oのアウトガスは実質的に発生しない。

【0058】

V. 代表的な構造体

図9は、本発明に従ったCMOS集積回路400の簡略化した断面図である。図示の如く、集積回路400はNMOSTランジスタ403とPMOSTランジスタ406とを有しており、これらは、フィールド酸化物領域420によって分離し電氣的に絶縁される。トランジスタ403と406はそれぞれ、ソース領域412と、ドレイン領域415と、ゲート領域418とを有している。

【0059】

プリメタル誘電層421が、トランジスタ403とトランジスタ406をメタル層M1から隔て、コンタクト424によりメタル層M1とこれらトランジスタの間を接続している。メタル層M1は、集積回路400に含まれる4つのメタル層M1~M4の中の1つであ

る。メタル層 M 1 ~ M 4 のそれぞれは、メタル間誘電層 I M D 1、I M D 2、I M D 3 によりそれぞれ、隣接メタル層から隔てられている。この隣接メタル層は、バイア 4 2 6 によって所定の開口部に接続される。メタル層 M 4 の上には、平坦化されたパッシベーション層 4 3 0 が堆積する。

【 0 0 6 0 】

本発明の誘電層を、集積回路 4 0 0 に示されるそれぞれの誘電層に用いてもよいが、この場合は、好ましい具体例の形成に用いられる P E C V D と共に、低比誘電率、良好なギャップ充填特性等の膜の物理的特性が、I M D 1 ~ I M D 3 のメタル間誘電層で示されている隣接メタル層同士の間絶縁層として更に有用である。通常、このようなメタル間誘電層は、厚さ 0 . 2 ~ 0 . 3 ミクロンである。

10

【 0 0 6 1 】

また、本発明の誘電層は、集積回路によっては含まれていることもあるダマシーン層 (damascene layers) に用いてもよい。ダマシーン層では、ブランケット F S G 層が基板上に形成され、選択的に基板までのエッチングがなされた後メタルで充填され、エッチバック又は研磨がなされて、M 1 のようなメタルコンタクトを形成する。メタル層を堆積した後、第 2 のブランケット F S G 層を堆積し、選択的にエッチングする。そして、エッチング領域をメタルで充填し、エッチバック又は研磨を行いバイア 4 2 6 を形成する。

【 0 0 6 2 】

この簡略化した集積回路 2 0 0 は、例示の目的のみのためのものであることが理解されよう。いわゆる当業者は、本発明の方法を用いてマイクロプロセッサ、アプリケーションスペシフィック集積回路 ( A S I C S )、メモリーデバイス等のその他の集積回路を製造することができる。更に、本発明の方法は、B i C M O S、N M O S、及びバイポーラ等の技術を用いる集積回路の製造に用いられる。

20

【 0 0 6 3 】

本発明のいくつかの実施形態について十分に説明したが、当業者には、本発明に従って低い比誘電率の酸化物層を堆積する他の均等な方法又は代替的な方法が明らかであろう。例えば、ここに説明した具体例は T E O S をシリコンソースとして用い O<sub>2</sub> を酸素ソースとして用いているが、シラン等の他のシリコンソース、N<sub>2</sub>O、CO などの他の酸素ソースなど、他のソースを用いることも可能である。また S i F<sub>4</sub> 以外のフッ素ソース ( 例えば C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 又は T E F S ) を用いてもよい。このような代替なものや均等なものは、本発明の範囲に含まれる。

30

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明に従った化学気相堆積装置の一実施形態の垂直断面図である。

【 図 2 】 本発明に従った化学気相堆積装置の一実施形態の垂直縦断面図である。

【 図 3 】 図 1 に示す C V D チャンバの部分的な分解斜視図である

【 図 4 】 図 1 に示す C V D チャンバの部分的な分解斜視図である

【 図 5 】 1 以上のチャンバを設けることの可能なマルチチャンバ装置内の装置モニタ及び C V D 装置 1 0 の簡略図である。

【 図 6 】 本発明にしたがった、システム制御ソフトウェア ( コンピュータプログラム 7 0 ) の階層制御構造のブロック図である。

40

【 図 7 】 本発明の方法の実施形態に従ったハロゲンドーブシリコン酸化膜の形成のプロセスステップを示したフローチャートである。

【 図 8 】 ( A ) 及び ( B ) は、本発明の利益がある場合とない場合の、堆積膜内の H<sub>2</sub>O、HF 及び F のアウトガスを比較した熱吸収スペクトルのグラフである。

【 図 9 】 本発明の方法に従って製造された半導体デバイスの簡略断面図である。

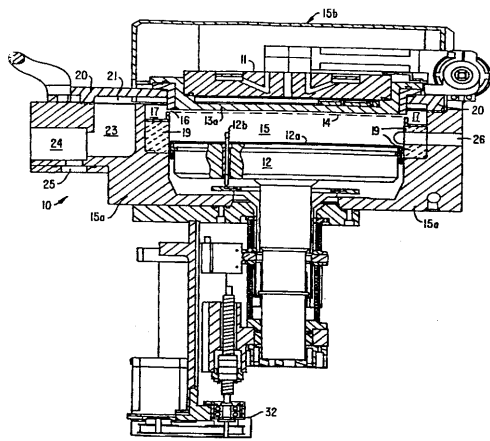
【 符号の説明 】

1 0 ... 化学気相堆積装置、 1 1 ... ガス散布マニホールド、 1 2 ... ペDESTAL、 1 4 ... 処理位置、 1 5 ... プロセスチャンバ ( リアクタチャンバ )、 2 0 ... チャンバ蓋、 2 4 ... 遮断バルブ、 3 4 ... コントローラ、 3 7 ... プロセッサ、 3 8 ... メモリ、 4 4 ... R F パワー供給源、 5 0 a ... C R T モニタ、 5 0 b ... ライトペン、 7 3 ... プロセス選択サブルーチン、 7 5

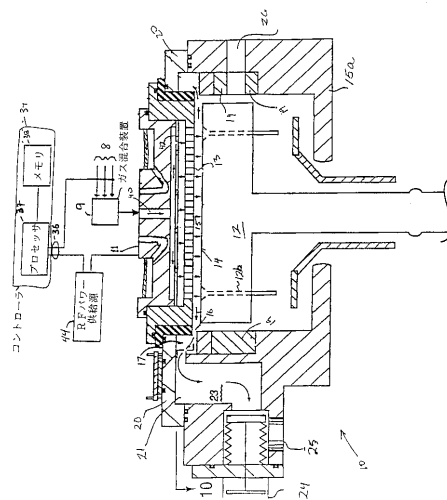
50

...シーケンササブルーチン、77...チャンバ管理サブルーチン、80...基板位置決めサブルーチン、83...プロセスガス制御サブルーチン、85...圧力制御サブルーチン、87...ヒータ制御サブルーチン、90...プラズマ制御サブルーチン、400...集積回路、403...NMOSトランジスタ、406...PMOSトランジスタ、412...ソース領域、415...ドレイン領域、418...ゲート領域、421...プリメタル層、424...コンタクト、426...バイア、430...パッシベーション層。

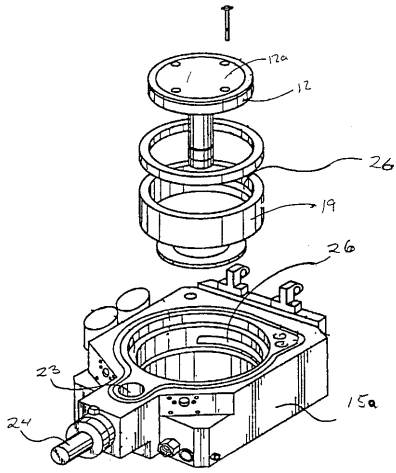
【図1】



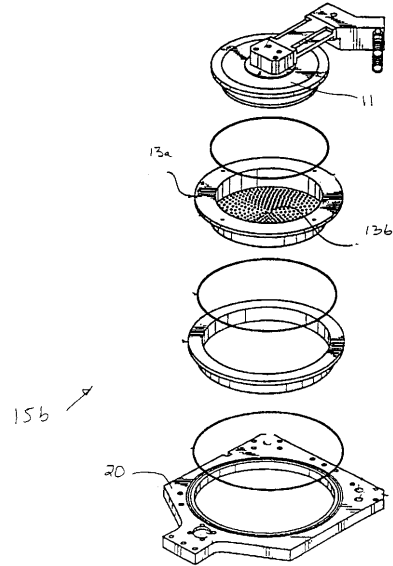
【図2】



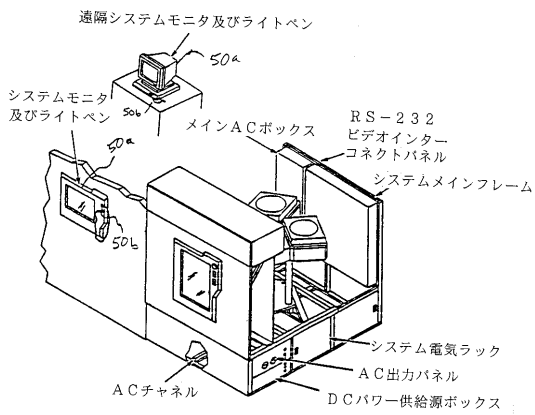
【図3】



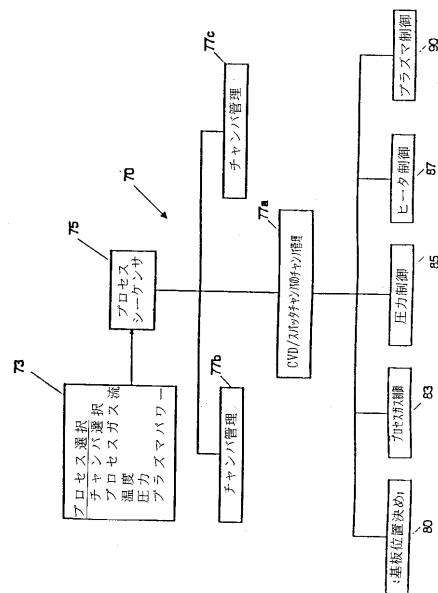
【図4】



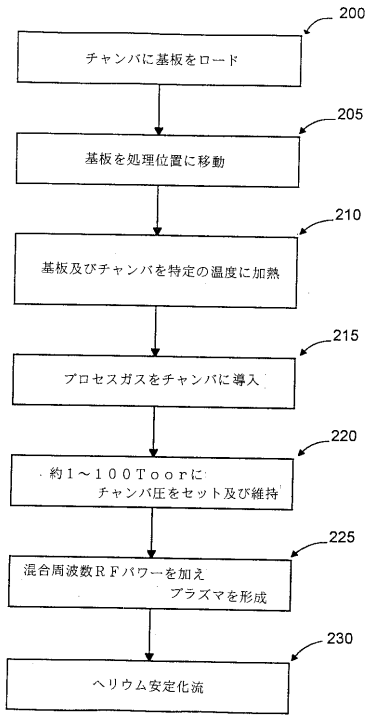
【図5】



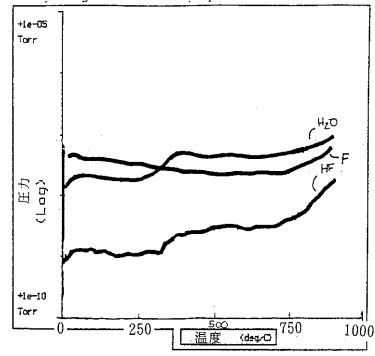
【図6】



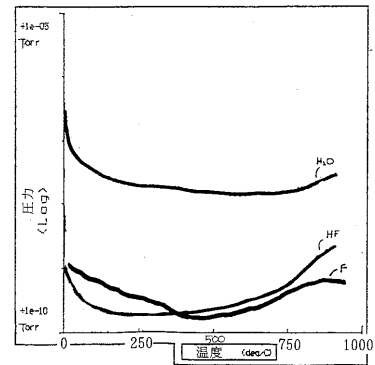
【図7】



【図8】

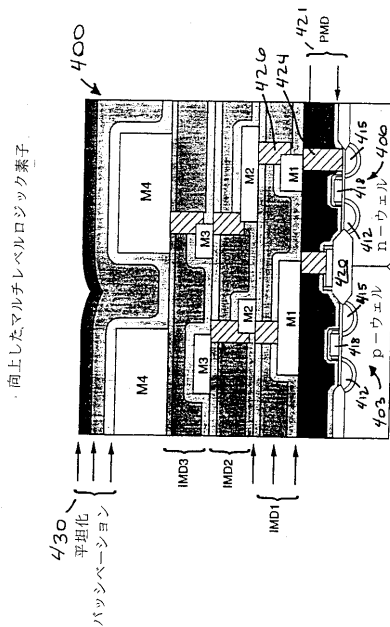


(A)



(B)

【図9】



## フロントページの続き

- (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 モハン ケー . パン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, クパティノ, ルーシール アヴェニュー 20200  
, アpartment ナンバー101
- (72)発明者 スダハカー スブラマニウム  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サニーヴェイル, ワイルドウッド アヴェニュー 1  
235, ナンバー168
- (72)発明者 アナンド グプタ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, ブライアークリーク コート 1270
- (72)発明者 ヴィレンドラ ヴィー . エス . ラナ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, ロス ガトス, アンドレ コート 101

審査官 大塚 徹

- (56)参考文献 特開平06-326026(JP,A)  
米国特許第04894352(US,A)  
M.J.Shapiro et al., CVD of fluorosilicateglass for ULSI applications, Thin Solid Films  
, NE, ELSEVIER, 1995年12月 1日, Vol.270, No.1/2, 503-507

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/31

H01L 21/316