(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3568895号
(P3568895)
(45)発行日　平成16年9月22日(2004.9.22)　(24)登録日　平成16年6月25日(2004.6.25)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H01L 21/316	H01L	21/316	X
C23C 16/40	C23C	16/40	
H01J 37/32	H01J	37/32	
H01L 21/3065	H01L	21/31	C
H01L 21/31	H01L	21/302	B

請求項の数 26　(全 20 頁)

(21)出願番号　特願2000-536906(P2000-536906)
(86)(22)出願日　平成11年3月22日(1999.3.22)
(65)公表番号　特表2002-507067(P2002-507067A)
(43)公表日　平成14年3月5日(2002.3.5)
(86)国際出願番号　PCT/US1999/006326
(87)国際公開番号　WO1999/047728
(87)国際公開日　平成11年9月23日(1999.9.23)
審査請求日　平成14年12月20日(2002.12.20)
(31)優先権主張番号　09/045,278
(32)優先日　平成10年3月20日(1998.3.20)
(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
ＡＰＰＬＩＥＤ　ＭＡＴＥＲＩＡＬＳ，ＩＮＣＯＲＰＯＲＡＴＥＤ
アメリカ合衆国　カリフォルニア州　９５０５４　サンタ　クララ　バウアーズ　アベニュー　３０５０
(74)代理人　100088155
弁理士　長谷川　芳樹
(74)代理人　100094318
弁理士　山田　行一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】誘電層の堆積およびエッチングのための方法および装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

処理チャンバ内に配置された基板上にコンフォーマル層を堆積するための方法であって、
前記処理チャンバ内に堆積ガスおよび不活性ガスソースを流入させるステップと、
プラズマを形成し、前記プラズマが前記処理チャンバ内に存在するステップと、
前記処理チャンバ内に存在する前記堆積ガスを選択的に減少させ、並びに前記処理チャンバ内の圧力を低下させるステップと
を含む、方法。

【請求項２】

前記選択的に減少させるステップが、前記処理チャンバ内に存在する前記堆積ガスを所定の時間量で減少させることを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項３】

前記選択的に減少させるステップが、前記堆積ガスを所定の時間量で前記処理チャンバから排除することを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項４】

前記選択的に減少させるステップが、前記処理チャンバ内に存在する前記堆積ガスを定期的に減少させることを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項５】

前記選択的に減少させるステップが、前記処理チャンバから前記堆積ガスを定期的に排除することを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項６】
前記所定の時間量が１０から１５秒までの範囲内である、請求項２に記載の方法。
【請求項７】
前記堆積ガスが酸素ソースおよびシリコンソースを含む、請求項１に記載の方法。
【請求項８】
前記シリコンソースがシランを含む、請求項７に記載の方法。
【請求項９】
処理チャンバ内に配置された基板上にコンフォーマル層を堆積するための方法であって、
前記処理チャンバ内に堆積ガスおよび不活性ガスソースを流入させるステップと、
前記不活性ガスソースからプラズマを形成し、前記プラズマを前記処理チャンバ内に存在させるステップと、
前記処理チャンバ内の前記不活性ガスの濃度を選択的に増加させ、並びに前記処理チャンバ内の圧力を低下させるステップと
を含む、方法。
【請求項１０】
前記堆積ガスが酸素ソースの流れおよびシリコンソースの流れを含み、前記選択的に増加させるステップが、前記シリコンソースの前記流れおよび前記酸素ソースの前記流れを選択的に減少させることを含む、請求項９に記載の方法。
【請求項１１】
前記選択的に増加させるステップが、前記シリコンソースの前記流れおよび前記酸素ソースの前記流れを停止することを含む、請求項１０に記載の方法。
【請求項１２】
前記選択的に増加させるステップが、前記シリコンソースの前記流れおよび前記酸素ソースの前記流れを同時に減少させることを含む、請求項１０に記載の方法。
【請求項１３】
前記選択的に増加させるステップが、前記シリコンソースの前記流れおよび前記酸素ソースの前記流れを所定の時間量で減少させることを含み、前記所定の時間量が１０から１５秒までの範囲内である、請求項１２に記載の方法。
【請求項１４】
前記選択的に増加させるステップが、前記処理チャンバ内に存在するガス混合物が約１００％の不活性ソース濃度を有するように、前記シリコンソースの前記流れおよび前記酸素ソースの前記流れを減少させることを含む、請求項１３に記載の方法。
【請求項１５】
前記不活性ガスソースがアルゴンガスであり、前記シリコンソースがシランガスであり、前記酸素ソースが分子酸素ガスである、請求項１４に記載の方法。
【請求項１６】
基板処理システムであって、
処理チャンバを画定するハウジングと、
前記処理チャンバと流体連絡して、その中にプラズマを配置するためのＲＦプラズマシステムと、
シリコンソース、酸素ソース、および不活性ガスソースを含み、前記処理チャンバと流体連絡しているガス送出システムと、
前記基板処理システム内の選択された圧力を維持するための圧力制御システムと、
前記ＲＦプラズマシステム、前記ガス送出システム、および前記圧力制御システムを調整するための制御装置と、
請求項１に記載のステップを実行するために、前記基板処理システムの動作を指示するために媒体中に実現されたコンピュータ読出し可能なプログラムを有するコンピュータ読出し可能な媒体を備え、前記制御装置に結合されたメモリと
を含む基板処理システム。
【請求項１７】

前記コンピュータ読出し可能なプログラムが、前記ガス送出システムを制御して、前記処理チャンバ内の前記不活性ガスソースの量を選択的に増加させる１組の命令を含む、請求項１６に記載のシステム。

【請求項１８】

前記１組の命令が、前記ガス送出システムを制御して、前記処理チャンバ内に存在する前記シリコンソースおよび前記酸素ソースの量を選択的に減少させる、請求項１７に記載のシステム。

【請求項１９】

前記１組の命令が、前記ガス送出システムを制御して、前記処理チャンバから前記シリコンソースおよび前記酸素ソースを選択的に排除させる、請求項１７に記載のシステム。

【請求項２０】

基板処理システムであって、

処理チャンバを画定するハウジングと、

前記処理チャンバと流体連絡して、その中にプラズマを配置するためのＲＦプラズマシステムと、

前記処理チャンバと流体連絡しており、シリコンソースおよび酸素ソース含むガス送出システムと、

前記基板処理システム内の選択された圧力を維持するための圧力制御システムと、

前記ＲＦプラズマシステム、前記ガス送出システム、および前記圧力制御システムを調整するための制御装置と、

前記基板処理システムの動作を指示するために媒体中に実現されたコンピュータ読出し可能なプログラムであって、前記ガス送出システムを制御して前記処理チャンバ内に存在する前記シリコンソースガスおよび前記酸素ソースガスの量を選択的に減少させ、前記圧力制御システムを制御して前記選択された圧力を低下させる１組の命令を含む前記コンピュータ読出し可能なプログラムを有するコンピュータ読出し可能な媒体を備え、前記制御装置に結合されたメモリと

を含む基板処理システム。

【請求項２１】

基板処理チャンバ内に配置された基板上に誘電層を堆積する方法であって、前記基板が隣接する段付き表面間に形成されたギャップを有する、前記方法は：

同時に行う堆積およびスパッタリング構成要素を有する高密度プラズマ法を用いて基板上およびギャップ内に誘電層の第１の部分を堆積するステップであって、前記高密度プラズマ法が基板処理チャンバに流入する堆積ガスおよび不活性ガスからプラズマを形成するステップを含む、前記ステップと；

その後、堆積ガスの流れを減らし、前記基板処理チャンバ内の圧力を低下させて、高密度プラズマ法のエッチング速度を増加させるステップと；

その後、堆積ガスの流れを増やし、高密度プラズマ法の堆積速度を増加させ、基板上に誘電層の第２の部分を堆積するステップと、

を備える方法。

【請求項２２】

堆積ガスの流れを増やし、高密度プラズマ法の堆積速度を増加させるステップの後に、（ｉ）堆積ガスの流れを減らし、高密度プラズマ法のエッチング速度を増加させるステップと、（ｉｉ）堆積ガスの流れを増やし、高密度プラズマ法の堆積速度を増加させ、基板上に誘電層の一部を堆積するステップのシーケンスを一度以上繰り返すステップを更に備える、請求項２１記載の方法。

【請求項２３】

堆積ガスの流れを減らし、高密度プラズマ法のエッチング速度を増加させるステップが、シリコンソースの流れを基板処理チャンバで停止するステップを備える、請求項２１記載の方法。

【請求項２４】

堆積ガスの流れを増やし、高密度プラズマ法の堆積速度を増加させるステップが、シリコンソースの流れを基板処理チャンバで再開するステップを備える、請求項２３記載の方法。

【請求項２５】

堆積ガスの流れを減らし、高密度プラズマ法のエッチング速度を増加させるステップが、酸素ソースの流れを基板処理チャンバで減少させるステップを更に備え、堆積ガスの流れを増やし、高密度プラズマ法の堆積速度を増加させるステップが、酸素ソースの流れを基板処理チャンバで増やすステップを更に備える、請求項２４記載の方法。

【請求項２６】

前記プラズマが、エネルギを基板処理チャンバに誘導結合させることによって形成される、請求項２１記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

（技術分野）

本発明は、集積回路の製造に関する。さらに詳しくは、本発明は、段付き表面上に堆積された、優れたギャップ充填特性を有するコンフォーマル誘電層の堆積速度を増加するための方法および装置に向けられる。

【０００２】

（背景技術）

半導体デバイスの幾何学的形状はサイズを縮小し続け、製造されたウェハの単位面積当たりのデバイス数がますます増えている。現在、一部のデバイスは０．１８μｍもの小さい特徴寸法で製造されている。例えば、パターン化されたウエハ上の導電ライン間またはトレース間の間隔を０．１８μｍだけ離し、匹敵するサイズの凹所またはギャップを残すことがある。上述のギャップを充填し、特徴を集積回路の隣接層の他の特徴または同層の隣接する特徴から絶縁するために、二酸化シリコンなどの誘電性材料の非導電層を一般的に特徴の上に堆積する。

【０００３】

集積回路の特徴の寸法が縮小するにつれて発生する１つの問題は、隣接する導電ラインの間のギャップを完全に充填することが困難になることである。この問題はギャップ充填問題と呼ばれ、以下で図１および図２に関連して記述する。図１は、１４として示すギャップを画定する１層の導電性特徴１２を有する、半導体ウェハなどの基板の縦断面図を示す。ギャップの側壁１６は、隣接する導電性特徴１２の１つの縁によって形成される。堆積中、誘電性材料１８は基板１０と同様に導電性特徴１２の表面２０上にも蓄積し、導電性特徴１２の角２４に位置するオーバハング２２を形成する。誘電層１６の堆積が続くにつれて、誘電層２６が形成されるまでギャップ１４が充填されるより速く、オーバハング２２が一般的にひとつに成長し、図２により明瞭に示す内部空隙２８を形成する。このようにして、誘電層２６は内部空隙２８への堆積を妨げる。内部空隙２８は、デバイスの製造、作動、および信頼性にとって問題を含むことがある。

【０００４】

誘電層のギャップ充填特性を改善するために、堆積エッチバック（堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ））技術をはじめとする多くの様々な技術が実現されてきた。１つのそのような堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術は、イオンボンバードメントによって誘電層を物理的にスパッタして、堆積プロセス中の空隙の形成を防止することを含む。物理的スパッタリング・堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術の効果を図３に示す。図３に示すように、誘電性物質に入射するイオン３０は、衝突によってエネルギをそこに移転し、原子３２が局所結合力を克服してそこから飛び出すことを可能にする。堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術中に、誘電性材料はギャップ１４を充填して表面３４を形成する。表面３４は、一般的に側壁１６に対して斜めに伸長する、一般的にファセットと呼ばれる平面内に存在する。この堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術は、誘電層２６を堆積し、次いでその後エッチングし、その後追加の誘電性材料を堆積するよう

に、順次適用することができる。代替的に、堆積プロセスおよびエッチングプロセスを同時に行うことができる。堆積とエッチングが順次か同時かに関係なく、誘電層２６の輪郭の表面に対する一次効果は同じである。

【０００５】

図３および図４を参照すると、拡張堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術の後、導電性特徴１２の間の間隔に関係なく、角２４に隣接して位置する誘電層２６の部分は、基板１０が存在する平面に対して斜角を形成する表面３４を有する。その後、非常に細い特徴が完全に平坦化されるように物理的スパッタリングと堆積が均衡した拡張平坦化エッチング技術によって、平坦化を達成することができる。代替的に、大きい特徴の残りのステップを円滑にするかまたは取り除くことができる、別個の平坦化プロセスを使用することができる。

【０００６】

堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術を使用して誘電層を堆積するために、一般的にプラズマ化学気相成長（ＣＶＤ）法が採用される。例えば、プラズマエンハンスト化学気相成長（ＰＥＣＶＤ）法、または電子サイクロトロン共鳴化学気相成長（ＥＣＲ－ＣＶＤ）法などの高密度プラズマ化学気相成長法を採用することができる。プラズマＣＶＤ法は一般的に、純粋に熱的に活性化されるＣＶＤ法を採用して一般的に可能であるより低温およびより高い堆積速度でより高品質の膜を堆積することができる。しかし、従来のプラズマＣＶＤ法を用いて得られる堆積速度は依然として比較的低い。

【０００７】

必要なものは、先行技術で以前可能であったよりかなり高い速度で、基板の段付き表面上にコンフォーマル誘電層を堆積するための方法および装置である。

【０００８】

（発明の概要）

本発明は、堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術を使用してコンフォーマル誘電層の堆積速度を大きく増大するための方法および装置を提供する。本発明は、チャンバ圧を著しく増大することなく、処理チャンバ内の不活性ガスソース濃度を選択的に高めることによってそれを行う。

【０００９】

誘電層は、アプライド・マテリアルズ社のアルティマＨＤＰ－ＣＶＤシステムなどの高密度プラズマ化学気相成長（ＨＤＰ－ＣＶＤ）システムを使用して堆積する。基板をＨＤＰ－ＣＶＤシステムの処理チャンバに配置して誘電層を堆積する基板上に、一般的に最高２．５：１までの高いアスペクト比を有するギャップが存在することができる。シリコンソースガスおよび酸素ソースガスなどの堆積ガスは、不活性ガスと共に基板の表面に流される。ＲＦソース電源およびＲＦバイアス電源は各々、処理ガスおよび不活性ガスからプラズマを形成するために、処理チャンバと電気的に接続している。

【００１０】

堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ技術の実行中の重要な考慮事項は、オーバエッチングおよび内部空隙の形成を防止するように、堆積対エッチング比（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ比）を所定の範囲内に維持することである。本発明は、最高２．５：１までのアスペクト比を持つギャップの１００％のギャップ充填を行うために誘電層の堆積速度を高めながら、オーバエッチングを防止するのに適した範囲内にｄｅｐ－ｅｔｃｈ比を維持する。これは、誘電層のエッチング速度を急速に増加することによって達成される。それにより、適切な堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を維持しながら、堆積速度を高めることができる。特に、誘電層のエッチング速度は、処理チャンバの圧力だけでなく、その中の不活性ガスの濃度にも依存することが発見された。エッチング速度は処理ガスの圧力に反比例し、その中の不活性ガスの濃度に比例することが明らかになった。スタッガードインシトゥ堆積（ｓｔａｇｇｅｒｅｄ ｉｎ－ｓｉｔｕ ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）技術と呼ばれる、処理チャンバ内の堆積ガスの流れを選択的に停止することにより、不活性ガスの濃度を実質的に高めながら、処理チャンバ内に存在する圧力を低下したり維持することができる。こ

の方法により、誘電層のエッチング速度は実質的に増加する。エッチング速度の増加により、当業者にとって周知のいずれかの堆積技術を使用して堆積速度を高めることが可能になる。これにより、優れたギャップ充填特性を持つ誘電層をもたらすために所望の堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を維持しながら、誘電層を堆積するのに必要な時間が短縮される。

【００１１】

好適な実施形態では、シリコンソースガスはシランガスSiH_4を含み、酸素ソースガスは分子酸素ガスO_2を含む。不活性ガスソースはアルゴンＡｒである。ＲＦソース電源は約２ＭＨｚのソース周波数および約１２－１６Ｗ／ｃｍ^{2}の間のソース電流レベルで作動する。ＲＦバイアス電源は、約１３．５６ＭＨｚの周波数および約７－１３Ｗ／ｃｍ^{2}の間の電力レベルで作動する。処理チャンバの圧力は約２から１０ミリトルの間とすることができ、４－５ミリトルが好適な圧力範囲である。誘電層を堆積するために、シランガス、酸素ガス、およびアルゴンガスを処理チャンバに流入させる。具体的に、シランは毎分４０－１２０標準立法センチメートル（ｓｃｃｍ）の範囲の流量で処理チャンバに流入させる。酸素は８０－２５０ｓｃｃｍの範囲の流量で処理チャンバに流入させ、アルゴンは４０－１２０ｓｃｃｍの範囲の流量で処理チャンバに流入させる。選択的に、堆積プロセス中に、基板に流れるアルゴンの濃度が増加するように、シラン流量か酸素流量のいずれかまたは両方を低下する。一般的に、シランおよび酸素両方の流れを約１．５秒停止させる。その間、処理チャンバ内に存在するアルゴンの濃度はほぼ１００％である。長時間の堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術の間、シランまたは酸素のいずれか、または両方のガスの流量を定期的に所定の時間だけ低下および／または停止する。この方法により、エッチング速度を毎分６０００Åまで実質的に増加することができ、これにより適切な堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を維持しながら、堆積速度を毎分１０，０００Åまで増加することができる。

【００１２】

本発明の目的および利点の理解をさらに深めるために、添付の図面に関連して行う以下の詳細な説明を参考にされたい。

【００１３】

（発明を実施するための最良の形態）

Ｉ．序論

一実施形態では、標準ＨＤＰ－ＣＶＤシステムを使用して、段付き基板上に二酸化シリコンから形成されたコンフォーマル誘電層を堆積する。コンフォーマル誘電層で被覆されべき段付き表面を有する基板が配置された処理チャンバへの堆積ガスの流量を選択的に低下することによって、高い堆積速度が達成される。処理チャンバへの堆積ガスの流量を選択的に低下することにより、処理チャンバ内の圧力を増大することなく、処理チャンバ内の一般的にアルゴンを含むスパッタリングガスの濃度が増加される。この方法により、優れたギャップ充填特性を持つコンフォーマル誘電層のエッチング速度を大幅に高めて、適切なｄｅｐ－ｅｔｃｈ比を維持しながら、その堆積速度を高めることができる。

【００１４】

ＩＩ．例証的ＣＶＤシステム

図５は、本発明による誘電層を堆積することができるＨＤＰ－ＣＶＤシステム３６の一実施形態を示す。システム３６は、処理チャンバ３８、真空システム４０、ソースプラズマシステム４２、バイアスプラズマシステム４４、ガス送出システム４６、および遠隔プラズマクリーニングシステム４８を含む。

【００１５】

処理チャンバ３８の上部は、アルミナまたは窒化アルミニウムなどの誘電性材料から形成されたドーム５０を含む。ドーム５０は、プラズマ処理領域５２の上部境界を画定する。プラズマ処理領域５２の底部の境界は、基板５４の上面および基板支持部材５６によって定められる。

【００１６】

ヒータプレート５８およびコールドプレート６０がドーム５０の上に載り、それに熱的に連結される。ヒータプレート５８およびコールドプレート６０は、ドームの温度を約１００℃から２００℃の範囲から約±１０℃内に制御することを可能にする。これにより、ドーム温度を様々なプロセスに対して最適化することができる。例えば、ドームをクリーニングまたはエッチングプロセスのために、堆積プロセスの場合より高温に維持したい場合がある。ドーム温度の正確な制御はまた、処理チャンバ内のフレークまたは粒子の数をも低下し、堆積層と基板との間の接着を改善する。

【００１７】

処理チャンバ３８の下部は、処理チャンバを真空システムに接合する本体部材６２を含む。基板支持部材５６のベース部６４が本体部材６２上に取り付けられ、それと共に連続内表面を形成する。基板は、ロボットブレード（図示せず）によって、処理チャンバ３８の側面の挿入／取出口を通して処理チャンバ３８内外に移送される。モータ（図示せず）は、ウェハを上昇したり下降させるリフトピン（図示せず）を上昇したり下降させるリフトピンプレート（図示せず）を上昇したり下降させる。処理チャンバ３８内への移送後、基板は上昇したリフトピン上に装填され、次いで基板支持部材５６の基板受容部６６まで下降する。基板受容部６６は、基板処理中に基板を基板支持部材５６に固定する静電チャック６８を含む。

【００１８】

真空システム４０は、ツインブレードスロットル弁７２を収容し、ゲート弁７４およびターボ分子ポンプ７６に取り付けられたスロットル本体７０を含む。スロットル本体７０はガスの流動に対する障害を最小にし、かつ最初に１９９５年１２月１２日に出願され、出願番号第０８／５７４，８３９号が割り当てられ、１９９６年９月１１日に再出願され、出願番号第０８／７１２，７２４号が割り当てられ、「ＳＹＭＭＥＴＲＩＣ　ＣＨＡＭＢＥＲ」と称する、本願と同一人に譲渡された同時係属米国出願に記載されている左右対称ポンピングが可能であることに留意されたい。ゲート弁７４は、ポンプ７６をスロットル本体７０から分離することができ、かつ、スロットル弁７２が完全に開いたときに、排気流量を制限することによって処理チャンバの圧力を制御することもできる。スロットル弁７０、ゲート弁７４、およびターボ分子ポンプ７６の配置は、約１から１００ミリトルまでの処理チャンバ圧力の正確かつ安定した制御を可能にする。

【００１９】

ソースプラズマシステム４２は、ドーム５０に取り付けられた頂部コイル７８および側部コイル８０を含む。左右対称の接地遮蔽（図示せず）は、コイル間の電気的結合を低下する。頂部コイル７８は頂部ＲＦソース電源８２によって付勢され、側部コイル８０はＲＦソース電源８４によって付勢され、各コイルに独立した電力レベルと動作周波数が可能である。この二重コイルシステムにより、処理チャンバ３８内のラジアルイオン密度の制御が可能になり、それによりプラズマの均等性が向上する。側部コイル８０および頂部コイル７８はエネルギをチャンバ３８に誘導結合する。特定の実施形態では、頂部ＲＦソース電源８２は、公称２ＭＨｚで２５００ＷまでのＲＦ電力を供給し、側部ＲＦソース電源８４は、公称２ＭＨｚで５０００ＷまでのＲＦ電力を供給する。頂部および側部ＲＦ電源の動作周波数を公称動作周波数から相殺して（例えば、それぞれ１．７－１．９ＭＨｚおよび１，９－２．１ＭＨｚになる）、プラズマ発生効率を改善することができる。

【００２０】

ＲＦ電源８２および８４は、デジタル制御される合成器を含み、約１．７から約２．１ＭＨｚまでの周波数範囲にわたって作動する。各電源は、当該技術分野の通常の熟練者には理解される通り、処理チャンバおよびコイルから電源に戻る反射電力を測定して、反射電力が最小になるように動作周波数を調整する、ＲＦ制御回路（図示せず）を含む。ＲＦ電源は一般的に、５０Ωの特性インピーダンスの負荷に作動するように設計される。ＲＦ電力は、電源とは異なる特性インピーダンスを有する負荷から反射することがある。これは、負荷に伝達される電力を低下し得る。さらに、負荷から電源に反射する電力は、電源に負担をかけすぎて、それを破損するかもしれない。プラズマのインピーダンスは、数ある

要素の中でもとりわけプラズマイオン密度によって、５Ω未満から９００Ωを超えるまでの範囲に及ぶため、かつ、反射電力は周波数の関数であるため、反射電力によって電源周波数を調整することにより、ＲＦ電源からプラズマに移送される電力が増加し、電源が保護される。反射電力を低下し、効率を高める別の方法は、マッチングネットワークを使用する。

【００２１】

マッチングネットワーク８９および９０は、電源８２および８４の出力インピーダンスをそれぞれコイル７８および８０と一致させる。ＲＦ制御回路は、負荷が変化するとマッチングネットワーク内のコンデンサの値を変更して電源を負荷に整合させることにより、両方のマッチングネットワークを同調させることができる。ＲＦ制御回路は、負荷から電源に反射される電力が特定の限度を超えたときに、マッチングネットワークを同調させることができる。絶えず一致状態を達成し、ＲＦ制御回路がマッチングネットワークを同調することを効果的に不能にする１つの方法は、反射電力のあらゆる予想値を越える反射電力の限度を設定することである。これは、マッチングネットワークをその最も最近の状態で一定に維持することによって、ある条件下でプラズマを安定させるのに役立つことができる。

【００２２】

バイアスプラズマシステム４４は、ＲＦバイアス電源８６およびバイアスマッチングネットワーク８８を含む。バイアスプラズマシステム４４は、基板受容部６６を本体部材６２に容量結合し、これらは相補形電極として作動する。バイアスプラズマシステム４２は、ソースプラズマシステム４２によって形成されたプラズマ種の基板の表面への移送を増強するのに役立つ。特定の実施形態では、ＲＦバイアス電源８６は１３．５６ＭＨｚで最高５０００ＷまでのＲＦ電力を供給する。

【００２３】

別の方法もプラズマを安定化させるのに役立つ。例えば、ＲＦ制御回路を使用して、負荷（プラズマ）に送出される電力を決定することができ、また電源の出力電力を増減して、層の堆積中の送出電力を実質的に一定に維持することができる。

【００２４】

ガス送出システム４６は、複数のガスソース１００ａ、１００ｂ、１００ｃ、１００ｄ、および１００ｅを含む。一実施形態では、上述のガスソースはそれぞれシラン、分子酸素、フッ化シリコン、およびアルゴンからなる。ガス送出システム４６は、基板を処理するためにガス送出管路９２（一部のみを図示）を介して幾つかのソースから処理チャンバへガスを供給する。ガスは、ガスリング９４、頂部ノズル９６、および頂部ベント９８を介して処理チャンバ３８内に導入される。具体的に、ガスソース１００ａおよび１００ｄは、それぞれ流量制御装置１２０ａおよび１２０ｃならびにガス送出管路９２を介して、頂部ノズル９６にガスを供給する。ガスソース１００ｂからのガスは、流量制御装置１２０ｂを介してガスベント９８に供給される。頂部ノズル９６および頂部ベント９８によりガスの頂部および側部流量の独立制御が可能になり、それにより膜の均一性が向上し、膜の堆積およびドーピングパラメータの微調整が可能になる。頂部ベント９８は頂部ノズル９６の周囲の環状開口であり、そこを通してガスがガス送出システムから処理チャンバ内へ流入する。

【００２５】

ガスは、流量制御装置１０２ａ、１０２ｂ、１０２ｃ、１０２ｄおよび１０２ｅならびにガス送出管路９２を介して、上記ガスソースの各々からガスリング９４へ供給される。ガスリング９４は、基板全体にガスの均等な流れを提供する複数のガスノズル１０６および１０８（２つだけを図示）を有する。ノズル長およびノズル角は、ガスリング９４を交換することによって変更することができる。これにより、個々の処理チャンバ内の特定のプロセスに対して均一性プロファイルおよびガス利用効率を適応させることが可能になる。特定の実施形態では、ガスリング９４は、１２個の第１ガスノズル１０８および１２個の第２ガスノズルの合計２４個のガスノズルを有する。一般的にガスノズル１０８（１つだ

けを図示）は第２ガスノズル１０６と共平面であり、それより短い。
【００２６】
幾つかの実施形態では、可燃性、有毒、または腐食性ガスを使用してもよい。これらの場合、堆積後にガス送出管理に残っているガスを除去することが好ましい。これは、弁１１２などの三方弁を使用して、送出管路９２ａから処理チャンバを分離し、送出管路９２ａを例えば真空フォアライン１４につなぐことで達成することができる。図５に示すように、１１２ａおよび１１２ｂなど、他の同様の弁を他のガス送出管理に組み込んでもよい。そのような三方弁は、（三方弁と処理チャンバ間の）ガス抜き口の無いガス送出管路の体積を最小にするために、実務的にできる限り処理チャンバ３８の近くに配置してもよい。さらに、二方（オン－オフ）弁（図示せず）を質量流量制御装置（ＭＦＣ）と処理チャンバの間、またはガスソースとＭＦＣの間に配置してもよい。
【００２７】
堆積残留物を処理チャンバの構成部品から定期的に除去するために、リモートマイクロ波によるプラズマクリーニングシステム４８を設ける。このクリーニングシステムは、反応キャビティ１２６でフッ素、三フッ化窒素、または同等のものなどのクリーニングガスソース１００ｅからプラズマを発生させるリモートマイクロ波発生器１２４を含む。このプラズマから生じる反応種は、アプリケータチューブ１３０を通りクリーニングガス供給口１２８を介して処理チャンバ３８に運ばれる。クリーニングプラズマを包含するために使用される材料（例えばキャビティ１２６およびアプリケータチューブ１３０）は、プラズマによる攻撃に対する抵抗力を持たなければならない。所望のプラズマ種の濃度は反応キャビティ１２６からの距離と共に低下するので、反応キャビティ１２６と供給口１２８との間の距離は、実務的にできる限り短く維持しなければならない。リモートキャビティ内でクリーニングプラズマを生成することにより、効率的なマイクロ波発生器の使用が可能になり、また処理チャンバ構成部品は、インシトゥプラズマに存在するかもしれないグロー放電の温度、放射、またはボンバードメントにをさらされない。したがって、インシトゥプラズマクリーニングプロセスで要求されるように、電磁チャック６８など比較的高感度の構成部品をダミーウェハで被覆したり、その他の方法で保護する必要がない。クリーニングプロセスまたはその他のプロセス中、ターボ分子真空ポンプ７６を処理チャンバから分離するためにゲート弁７４を閉じることができる。この構成では、フォアライン１１４が、一般的に機械的真空ポンプであるリモート真空ポンプによって生成されたプロセス真空を提供する。ゲート弁によりターボ分子ポンプを処理チャンバから分離することにより、ターボ分子ポンプは、処理チャンバのクリーニングまたはその他のプロセスの結果生じる腐食性成分またはその他の潜在的に有害な効果から保護される。
【００２８】
システム制御装置１３２はシステム３６の動作を調整するものであり、その動作を調整するためにそれと電気的に接続されたプロセッサ１３４を含む。一般的にプロセッサ１３４はシングルボードコンピュータ（ＳＢＣ）の一部であり、アナログおよびデジタル入出力ボード、インタフェースボード、およびステップモータ制御ボードを含む。ＣＶＤシステム３６の様々な構成部品は、コネクタ形および寸法だけでなく、ボード、カードケージをも定義するＶｅｒｓａ　Ｍｏｄｕｌａｒ　Ｅｕｒｏｐｅａｎ（ＶＭＥ）標準に準拠する。ＶＭＥ標準はまた、バス構造を１６ビットデータバスおよび２４ビットアドレスバスを持つものと定義する。プロセッサ１３４は、プロセッサ１３４に電子的に結合されたメモリ１３６に格納されたコンピュータプログラムである、システム制御ソフトウェアを実行する。ハードディスクドライブ、フロッピーディスクドライブ、カードラック、またはそれらの組合せなど、任意の形のメモリ装置を使用することができる。システム制御ソフトウェアは、タイミング、ガスの混合、処理チャンバ圧力、処理チャンバ温度、マイクロ波出力レベル、保温筒の位置、および特定のプロセスのその他のパラメータを指示する命令の組を含む。図７に関連して以下でさらに詳しく述べる。
【００２９】
図６を参照すると、ユーザとプロセッサ１３４の間のインタフェースは、ＣＲＴモニタ１

３８およびライトペン１４０を介している。好適な実施形態では、各々対応付けられたそれぞれのライトペン１４０および１４０’を有する２つのモニタ１３８および１３８’を使用する。モニタの１つ１３８は、オペレータ用にクリーンルームの壁１４４に取り付け、もう１つは保守技術者用に壁の後ろに取り付ける。ＣＲＴモニタ１３８および１３８’は同一情報を同時に表示することができるが、任意のある時間に、ライトペン１４０および１４０’の片方のみがデータ入力に使用することができない。プロセッサ１３４と連絡するためにライトペン１４０を使用する場合、オペレータはそれをＣＲＴモニタ１３８の画面上に置く。ライトペン１４０の先端に位置するライトセンサ（図示せず）は、ＣＲＴモニタ１３８によって放射される光を検出する。特定のスクリーンまたは機能を選択するには、オペレータはＣＲＴモニタ１３８の指定された領域に触れて、ライトペン１４０上のボタン（図示せず）を押す。触れられた領域で、色の変化、または新しいメニューまたは画面が表示されるなど、視覚的な応答があり、ライトペン１４０とＣＲＴモニタ１３８との間の連絡が確認される。ユーザがプロセッサ１３４と対話することを可能にするために、ライトペン１４０の代わりに、またはそれに加えて、キーボード、マウス、またはその他のポインティング装置または通信装置など、他の入力装置を使用することもできる。

【００３０】

膜を堆積するためのプロセスは、プロセッサ１３４によって実行されるコンピュータプログラム製品を用いて実行することができる。コンピュータプログラムコードは、例えば６８０００アセンブリ言語、Ｃ、Ｃ＋＋、パスカル、フォートラン、またはその他の任意の従来のコンピュータ読出し可能なプログラム言語で書くことができる。従来のテキストエディタを用いて、適切なプログラムコードを単一ファイルまたは複数のファイルに入力し、図５に示すメモリ１３６などのコンピュータ可用媒体に格納または実現する。入力したコードテキストが高レベル言語である場合、コードはコンパイルされ、その結果得られるコンパイラコードが、プリコンパイルされたウィンドウズ^{TM}ライブラリルーチンの目的コードと連結される。連結されたコンパイル済み目的コードをを実行するには、ユーザが目的コードを呼び出し、プロセッサ１３４にコードをメモリ１３６へロードさせる。プロセッサ１３４は次いでコードを読み出して実行し、プログラムで識別されたタスクを実行する。

【００３１】

図７は、システム制御ソフトウェア１４６の階層制御構造のブロック図を示す。ユーザは、ライトペンインタフェースを使用することによって、ＣＲＴモニタに表示されるメニューまたはスクリーンに応答して、プロセスセレクタサブルーチン１４８にプロセスセット番号および処理チャンバ番号を入力する。プロセスセットは、指定されたプロセスを実行するために必要な予め定められた組のプロセスパラメータであり、予め定義されたセット番号によって識別される。プロセスセレクタサブルーチン１４８は、（ｉ）マルチチャンバシステムの所望の処理チャンバ、および（ｉｉ）所望のプロセスを実行するために処理チャンバを操作するのに必要な所望の組のプロセスパラメータを識別する。特定のプロセスを実行するためのプロセスパラメータは、例えば処理ガス成分および流量、温度、圧力、ＲＦ出力レベルなどのプラズマ状態、および処理チャンバドーム温度などのプロセス条件に関するものであり、レシピの形でユーザに提供される。レシピによって指定されたパラメータは、ライトペン／ＣＲＴモニタインタフェースを利用して入力される。

【００３２】

プロセスを監視するための信号は、システム制御装置のアナログ入力ボードおよ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ための信号は、システム制御装置のアナログ出力ボードおよ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１５０は、識別された処理チャンバおよびプロセスパラメータの組をプロセスセレクタサブルーチン１４８から受け取り、かつ様々な処理チャンバの動作を制御するためのプログラムコードを含む。複数のユーザがプロセスセット番号および処理チャンバ番号を入力することができ、あるいは一人のユーザが複数のプロセス

セット番号および処理チャンバ番号を入力することができるので、シーケンササブルーチン１５０は、選択されたプロセスを所望の順序で実行するスケジュールを立てるように作動する。シーケンササブルーチン１５０は、（ｉ）処理チャンバの動作を監視して処理チャンバが使用中であるかどうかを決定するステップと、（ｉｉ）使用中の処理チャンバでどのプロセスが実行中であるかを決定するステップと、（ｉｉｉ）処理チャンバの利用可能性および実行しようとするプロセスの種類に基づいて、所望のプロセスを実行するステップを実行するプログラムコードを含むことが好ましい。ポーリングなど、処理チャンバを監視する従来の方法を使用することができる。どのプロセスを実行するかスケジュールを立てるときに、シーケンササブルーチン１５０は、選択されたプロセスにとっての所望のプロセス条件と比較した使用中の処理チャンバの現在の条件、またはシステムプログラマがスケジューリングの優先順位を決定するために含めることを希望する、それぞれの特定のユーザが入力した要求の「年齢」またはその他の関連要素を考慮に入れるように設計することができる。

【００３４】

シーケンササブルーチン１５０が、どの処理チャンバとプロセスセットの組合せを次に実行するかを決定した後、シーケンササブルーチン１５０は、特定のプロセスセットパラメータを処理チャンバマネージャサブルーチン１５２、１５４、および１５６に渡すことによってプロセスセットを実行させ、これらの処理チャンバマネージャサブルーチンは、処理チャンバ３８およびおそらく他の処理チャンバ（図示せず）の複数の処理タスクをシーケンササブルーチン１５０によって決定されたプロセスセットに従って制御する。

【００３５】

処理チャンバ構成要素サブルーチンの例として、基板位置決めサブルーチン１５８、処理ガス制御サブルーチン１６０、圧力制御サブルーチン１６２、およびプラズマ制御サブルーチン１６４がある。当該技術分野の通常の熟練者は、処理チャンバ３８でどんなプロセスを実行したいかによって、他の処理チャンバ制御サブルーチンを含めることができることを認識されるであろう。動作中、処理チャンバマネージャサブルーチン１５２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呼び出す。処理チャンバマネージャサブルーチン１５２によるスケジューリングは、シーケンササブルーチン１５０がどの処理チャンバおよびプロセスセットを実行するかスケジュールを立てる際に使用するのと同様の方法で実行される。一般的に、処理チャンバマネージャサブルーチン１５２は、様々な処理チャンバ構成要素を監視するステップと、実行すべきプロセスセットのプロセスパラメータに基づきどの構成部品を作動する必要があるかを決定するステップと、監視ステップおよび決定ステップに応答して処理チャンバ構成要素サブルーチンを実行させるステップとを含む。

【００３６】

図５および図７の両方に関連して、動作中、基板位置決めサブルーチン１５８は、基板５４を基板支持体番号６８に装填するために使用される処理チャンバ構成要素を制御するためのプログラムコードを含む。基板位置決めサブルーチン１５８はまた、他のプロセスが完了した後、例えばＰＥＣＶＤ反応装置またはマルチチャンバシステム内の他の反応装置から処理チャンバ３８への基板の移送を制御することもできる。

【００３７】

処理ガス制御サブルーチン１６０は、処理ガスの成分および流量を制御するためのプログラムコードを有する。サブルーチン１６０は安全遮断弁の開閉位置を制御し、かつ質量流量制御装置を上下して所用のガス流量を得る。処理ガス制御サブルーチン１６０をはじめ、全ての処理チャンバ構成要素サブルーチンは、処理チャンバマネージャサブルーチン１５２によって呼び出される。サブルーチン１６０は、処理チャンバマネージャサブルーチン１５２から所望のガス流量に関連する処理パラメータを受け取る。

【００３８】

一般的に、処理ガス制御サブルーチン１６０は、ガス送出管路を開き、（ｉ）必要な質量流量制御装置を読み取り、（ｉｉ）読みを処理チャンバマネージャサブルーチン１５２か

ら受け取った所望の流量と比較し、（ｉｉｉ）ガス送出管路の流量を必要に応じて調整することを繰り返すことによって作動する。さらに、処理ガス制御サブルーチン１６０は、ガス流量が危険な流量でないかを監視し、危険な状態が検出されると安全遮断弁を起動するためのステップを含むことができる。

【００３９】

幾つのプロセスでは、反応性処理ガスを処理チャンバ内に導入する前に、処理チャンバ内の圧力を安定させるために、アルゴンなどの不活性ガスを処理チャンバ１３内に流入させる。これらの処理のために、処理ガス制御サブルーチン１６０は、処理チャンバ内の圧力を安定させるために必要な時間量だけ不活性ガスを処理チャンバ３８に流入させるためのステップを含むようにプログラムする。その後、上述のステップを実行することができる。

【００４０】

さらに、処理ガスを液体前駆物質、例えばテトラエトキシシラン（ＴＥＯＸ）から気化させる場合、処理ガス制御サブルーチン１６０は、バブラ組立体中で液体前駆物質を介してヘリウムなどの送出ガスを気化するため、またはヘリウムを液体噴射弁に導入するためのステップを含むことができる。この種のプロセスの場合、処理ガス制御サブルーチン１６０は、送出ガスの流量、バブラ内の圧力、およびバブラ温度を調整して、所望の処理ガス流量を得る。上述の通り、所望の処理ガス流量は、プロセスパラメータとして処理ガス制御サブルーチン１６０に転送される。

【００４１】

また、処理ガス制御サブルーチン１６０は、任意の処理ガス流量のための必要な値を含む格納されたテーブルにアクセスすることによって、所望の処理ガス流量のための必要な送出ガス流量、バブラ圧力、およびバブラ温度を得るためのステップを含む。必要な値が得られると、送出ガス流量、バブラ圧力、およびバブラ温度が監視され、必要な値と比較され、それに従って調整される。

【００４２】

処理ガス制御サブルーチン１６０はまた、独立ヘリウム制御（ＩＨＣ）サブルーチン（図示せず）により、ウェハチャックの内側および外側通路内のヘリウム（Ｈｅ）などの熱伝達ガスの流れをも制御することができる。ガス流は、基板を熱的にチャックに結合する。一般的なプロセスでは、ウェハはプラズマや層を形成する化学反応によって加熱され、Ｈｅは、水冷することができるチャックを介して基板を冷却する。これにより、基板は、基板上に事前に存在する特徴を損傷する温度より低温に維持される。

【００４３】

圧力制御サブルーチン１６２は、処理チャンバの排気部のスロットル弁７２の開口の大きさを調整することによって、処理チャンバ３８内の圧力を制御するためのプログラムコードを含む。処理チャンバをスロットル弁で制御する基本的な方法は少なくとも２通りがある。第１の方法は、処理チャンバ圧力を、他のものの中に、全処理ガス流、処理チャンバの大きさ、およびポンピング容量に関係するものとして特徴付けることに依存する。第１の方法は、スロットル弁７２を固定位置に設置する。スロットル弁７２を固定位置に設置することにより、最終的に定常状態圧力を得ることができる。

【００４４】

代替的に、処理チャンバ圧力は例えばマノメータで測定することができ、例えば、スロットル弁７２の位置は、制御点がガス流および排気容量によって設定される境界内にあることを前提として、圧力制御サブルーチン１６２によって調整することができる。前者の方法は、後者の方法に関連付けられる測定、比較、および計算が呼び出されないので、より素早い処理チャンバ圧力変化を生じることができる。処理チャンバ圧力の精密な制御が要求されない場合には、前者の方法が望ましいが、層の堆積中など、正確で反復可能な安定した圧力を希望する場合には、後者の方法が望ましい。

【００４５】

圧力制御サブルーチン１６２が呼び出されると、所望（または目標）の圧力レベルを、処

理チャンバマネージャサブルーチン１５２からパラメータとして受け取る。圧力制御サブルーチン１６２は、処理チャンバに接続された１つまたはそれ以上の従来の圧力マノメータを読み取ることによって処理チャンバ内の圧力を測定し、測定値を目標圧力と比較し、記憶された圧力テーブルから目標圧力に対応する比例、積分、および微分（ＰＩＤ）値を得、圧力表から得たＰＩＤ値によってスロットル値７２を調整するように作動する。代替的に、圧力制御サブルーチン１６２は、スロットル弁７２を特定の開口の大きさに開閉して、処理チャンバ３８の圧力を所望の圧力または圧力範囲に調整することができる。

【００４６】

プラズマ制御サブルーチン１６４は、ＲＦ電源８２および８４の周波数および電力出力設定を制御し、かつマッチングネットワーク８および９０を同調させるためのプログラムコードを含む。プラズマ制御サブルーチン１６４は、前述の処理チャンバ構成要素サブルーチンと同様に、処理チャンバマネージャサブルーチン１５２によって呼び出される。

【００４７】

上述のサブシステムおよびルーチンの一部または全部を組み込むことができるシステムの一例は、本発明を実施するように構成された、アプライド・マテリアルズ社製のアルティマ・システムであろう。

【００４８】

ＩＩＩ．例示的構造

図８は、本発明の特徴を組み込んだ集積回路１６６の簡易断面図を示す。図８に示す通り、集積回路１６６は、フィールド酸化物領域１７２によって分離され電気的に絶縁されたＮＭＯＳおよびＰＭＯＳトランジスタ１６８および１７０を含む。各トランジスタ１６８および１７０は、ソース領域１７４、ゲート領域１７６、およびドレーン領域１７８を含む。

【００４９】

金属前誘電層１８０は、金属層１８２とトランジスタとの間をコンタクト１８４によって接続した状態で、トランジスタ１６８および１７０を金属層１８２から分離する。金属層８２は、集積回路１６６に含まれる４つの金属層１８２、１８６、１８８および１９０の１つである。各金属層１８２、１８６、１８８および１９０は、それぞれの金属間誘電層１９２、１９４および１９６によって隣接金属層から分離され、アルミニウムの堆積およびパターニングなどのプロセスステップによって形成することができる。隣接金属層は、選択された開口部でビア１９８によって接続される。金属層１９０の上に堆積されているのは、平坦化されたパッシベーション層２００である。

【００５０】

本発明の実施形態は金属間誘電（ＩＭＤ）層に特に有用であるが、集積回路１６６に示される各々の誘電層に使用することができる。単純化された集積回路１６６は、解説だけを目的とするものである。当該技術分野の通常の熟練者は、マイクロプロセッサ、用途特定的な集積回路（ＡＳＩＣ）、メモリデバイス、および類似物など、他の集積回路の製造にも実現することができるであろう。さらに、本発明の方法は、ＢｉＣＭＯＳ、ＮＭＯＳ、バイポーラ、およびその他など、他の技術を使用する集積回路の製造にも使用することができる。

【００５１】

ＩＶ．スタッガードインシトゥ堆積

図５および図９の両方に関連して、本発明の方法は、（ＨＤＰ－ＣＶＤ）システム３６に配置された基板５６上に誘電層を堆積するために使用することができる。基板は事実上どんなトポグラフィーでも持つことができるが、基板５４は一般的に段付き表面を持ち、その上に堆積された２０２および２０４として示す１つまたはそれ以上の膜層を有する。膜層２０２は一般的に、本発明を使用する誘電層の堆積の前に、そこに形成された１つまたはそれ以上のビア２０６を有する導電性材料から形成される。アスペクト比をビア２０６の高さＨをビア２０６の幅Ｗで割ったものと定義して、ビア２０６は、最高２．５：１またはそれ以上のアスペクト比を持つことができる。

【００５２】
図５、図９、および図１０に関連して、この方法は、基板５４を処理チャンバ３８内にプラズマプロセス領域５２に近接して配置するステップ２０８を含む。ステップ２０８の後、ステップ２１０中に不活性ガスを処理チャンバ３８に流入させる。不活性ガスを処理チャンバ３８に導入した後、ステップ２１２でプラズマを発生させる。ステップ２１２に続き、ステップ２１４で堆積ガスを処理チャンバ３８に流入させる。上述の不活性ガスは一般的にアルゴンガスＡｒの流れを含む。堆積ガスは例えば、シランガスSiH_4などのシリコンソースガス、および分子酸素ガスO_2などの酸素ソースガスから成る。ステップ２１０中、アルゴンの流量は４０－１２０ｓｃｃｍの範囲内であることが好ましい。シランガスの流量は４０－１２０ｓｃｃｍの範囲内であり、酸素ガスは８０－２５０ｓｃｃｍの範囲の流量で処理チャンバに流入させる。上述のプラズマは、約２ＭＨｚの周波数および約１２－１６Ｗ／cm^2の間の電力レベルを持つプラズマプロセス領域５２にＲＦフィールドを形成するＲＦソース電源８２および８４、ならびに約１３．５６ＭＨｚの周波数および約７－１３Ｗ／cm^2の間の電力レベルを持つＲＦフィールドを形成するＲＦバイアス電源８６によって形成される。一般的に、処理チャンバ内の圧力は約２から１０ミリトルの間に維持され、４－５ミリトルが好適な圧力範囲である。ステップ２１４中に、層２０２および２０４の上に誘電層２１５を堆積してギャップ２０６を充填し（図１０に示す）、かつ同時に、主としてこれはアルゴンガスから発生するイオンによるものと理解される。プラズマのソース成分は処理チャンバガスの原子および分子を解離してプラズマにし、プラズマのバイアス成分は堆積される誘電層の表面にプラズマ種を近付けたり遠ざけたりする。バイアス成分は堆積イオンを誘電層表面に運び、そこに結合したり、それをスパッタリングする。

【００５３】
堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術を用いて誘電層２１４を堆積するときに重要な考慮点は、誘電層２１５のオーバエッチングおよび内部空隙の形成を防止するために、適切な堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を維持することである。本願の場合、堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を次のように定義する。

【００５４】
$D/E = D_S / [D_S - D_{(S+B)}]$
ここで、Ｄ／Ｅは堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比であり、D_SはＲＦソースだけを加えたときの堆積速度であり、$D_{(S+B)}$はＲＦソースおよびＲＦバイアスの両方を加えたときの堆積速度である。堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比の推奨範囲は一般的に、基板表面に存在する最大アスペクト比によって異なる。２．５：１のアスペクト比では、堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を２．８：１から３．２：１の範囲内に維持すべきであることが分かった。この発見に従って、２．８：１より低い堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比では、段のある表面のオーバエッチングが発生することがあり、３．２：１を越える堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比では、内部空隙が形成されることがある。

【００５５】
堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比は、多くの方法で変化させることができる。例えば、堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比は、実質的に一定のエッチング速度で堆積速度を高めるか、または実質的に一定の堆積速度でエッチング速度を低下するかのいずれかによって、増加することができる。逆に、堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比は、実質的に一定のエッチング速度で堆積速度を低下するか、または実質的に一定の堆積速度でエッチング速度を高めるかのいずれかによって、低下することができる。ＲＦバイアスエネルギの変化も、堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比に影響する。特に、ＲＦバイアスエネルギを低下することにより、エッチング速度が低下し、堆積速度が増加し、それによりｄｅｐ－ｅｔｃｈ比が増加すると考えられる。ＲＦバイアスエネルギを増加することにより、同様の方法でｄｅｐ－ｅｔｃｈ比を低下することができる。しかし、ＲＦバイアスエネルギはプラズマの均一性を得るために最適化されているので、それを変化

させることは好ましくない。ＲＦバイアスエネルギの変化はプラズマの均一性を低下させるおそれがあり、それは堆積される誘電層の品質を低下させるおそれがある。

【００５６】

図１０および図１１の両方に関連して、本発明の方法は、適切な堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を維持しながら、プラズマの均一性に影響を及ぼすことなく、つまりＲＦバイアスエネルギを変化させることなく、堆積速度及びエッチング速度の両方を実質的に増加させることができる。この方法は、ステップ２１６で処理チャンバ３８内へのシランソースまたは酸素ソースまたは両方の流れを選択的に減少することによって、それを行う。このようにして、本方法は、誘電層２１５のエッチング速度が処理チャンバの圧力だけでなく、その中の不活性ガスの濃度にも依存するという発見を利用する。特に、任意のＲＦバイアス電力に対し、エッチング速度は処理チャンバ内の圧力に反比例し、その中に存在する不活性ガスの濃度に比例することが明らかになった。例えば、図１２に示す曲線２１８は、６０ミリトルのチャンバ圧で、誘電層のエッチング速度は毎分２００Å未満であることを示す。一方、１０ミリトルのチャンバ圧では、誘電層のエッチング速度が毎分６００Åを越え、３倍に増加する。図１３の曲線２２０に示すように、処理チャンバ３８内のアルゴン濃度もまたエッチング速度に影響する。曲線２２０によって示す通り、２０％から８０％の範囲のアルゴン濃度レベルで、誘電層のエッチング速度が無視しうる変化を有する。しかし、アルゴンガス濃度レベルが１００％に達すると、誘電層のエッチング速度が大幅に増加して、毎分約１，２００Åに達する。これは、例えば適切な堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を維持しながら堆積ガスの流量を増加するなど、当業者に知られている適切な手段を用いて、堆積速度を増加することを可能にする。好ましい場合には、一定の堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を維持しながら、本発明を使用して堆積速度を大幅に増加することができる。

【００５７】

図５、図１０、および図１１に関連して、上述の概念を利用して、誘電層のエッチング速度は、堆積ガスの処理チャンバ３８への流れを選択的に減少することによって大幅に増加できることが発見された。このようにして、不活性ガス濃度を実質的に増加しながら、その中の圧力を低下または維持することができる。上述の通り、エッチング速度を増加することにより、処理チャンバ３８内への堆積ガスの流量を増加し、それによって所望の堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）比を維持しながら堆積速度を増加することができる。これにより、誘電膜の優れたギャップ充填特性を維持しながら、誘電膜を堆積するために必要な時間が短縮される。その目的のため、２１２でプラズマを発生させた後、ステップ２１４のように、存在するプラズマ種および結果的に得られる誘電層の所望の厚さの両方に依存する一定の時間で、シリコンソースガスおよび酸素ソースガスを、処理チャンバ３８内に流入させる。例えば、上述のプラズマでは、約１０，０００Åの厚さを持つ誘電層は、９０ないし１２０秒以内に形成してもよい。

【００５８】

好適な実施形態では、ステップ２１６はステップ２１４から約６０－７０秒後に行われる。ステップ２１６中に、シリコンソースガスおよび酸素ソースガスの両方の流れを同時に約１０－１５秒間停止し、処理チャンバ３８内に存在するアルゴンの濃度を１００％に近付けさせる。その後、ステップ２２２として示すように、シリコンソースガスおよび酸素ソースガスを、ステップ２１０に関して上述した流量で、再び処理チャンバ３８内に流入させる。長時間堆積－エッチング（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ）技術の実行中は、ステップ２２４として示すように、ステップ２１６および２２２を繰り返すことによって、シリコンおよび酸素ソースガスの流量を定期的に低下してもよい。このようにして、適切な堆積対エッチング比（ｄｅｐ－ｅｔｃｈ比）を維持しながら、誘電層２１５のエッチング速度を実質的に増加することができる。上記の方法により、エッチング速度を毎分６０００Åまで或いはそれ以上に実質的に増加してもよい。これによって、ステップ２１４及び２２２で、堆積速度を毎分１０，０００Å以上に増加することができる。

【００５９】

上述の通り、誘電層２１５のエッチング速度の増加は、シランガスまたは酸素ガスのうちの１つの流れを単に減少するだけで達成することができる。その結果、図１４に示した方法は、誘電層を堆積するために使用することができる。ステップ３０８は、図１０で上述したステップ２０８と同じである。しかし、図１４のステップ３１０は、図５に示した処理チャンバ３８内へ不活性ガスおよび酸素ソースガスの両方を流入させることを含む。ステップ３１２で、上記のように、ステップ２１２に関連して上述し、かつ図１１で示した通り、その中でプラズマが形成される。その後、図１４に示すステップ３１４で、シランソースガスを図５に示す処理チャンバ３８に流入させる。ステップ３１６で、堆積されている誘電層の所望のエッチング速度が達成されるように、シランの流れを減少する。ステップ３２２で、シランガスソースの流れを再開して、ステップ３１４のシランガスソースの流量にする。長時間ｄｅｐ－ｅｔｃｈ技術の実行中は、所望の厚さの誘電層を得るために、ステップ３２４として示すように、ステップ３１６および３２２を繰り返すことによって、シランソースガスの流量を定期的に低下すてもよい。この方法は、堆積速度およびエッチング速度の両方を希望通りに制御するように変形してもよい。したがって、本発明の範囲は、以上の説明に関連して決定されるべきではなく、冒頭の請求の範囲と共に全範囲の均等物に関連して決定されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【図１】先行技術の堆積法を使用して誘電性材料をそれに関連付けられる導電性特徴の上に堆積した状態を示す、基板の縦断面図である。

【図２】先行技術の堆積法に関連付けられる内部空隙を示す、図１に示した基板の縦断面図である。

【図３】先行技術の方法に従って、図２に示した内部空隙を除去するために堆積－エッチング法を使用した場合の図１および図２に示した基板の縦断面図である。

【図４】先行技術の堆積エッチング法を使用して堆積した誘電層の輪郭を示す、図１、図２、および図３に示した基板の縦断面図である。

【図５】本発明によるＨＤＰ－ＣＶＤシステムの一実施形態の概略図である。

【図６】図５の例示的ＣＶＤ処理チャンバと一緒に使用することができるモニタおよびライトペンの概略図である。

【図７】図５の例示的ＣＶＤ処理チャンバを制御するために使用される例示プロセス制御コンピュータプログラム製品の流れ図である。

【図８】本発明を使用して形成された集積回路の断面図である。

【図９】本発明で使用される基板の断面図である。

【図１０】本発明による方法の流れ図である。

【図１１】図１０に示した基板の上にギャップ充填誘電層を堆積した状態の断面図である。

【図１２】チャンバ圧と図１１に示した誘電層のエッチング速度との間の関係を示すグラフである。

【図１３】図５に示したＨＤＰ－ＣＶＤシステムの処理チャンバ内のアルゴン濃度と図１２に示した誘電層のエッチング速度との間の関係を示すグラフである。

【図１４】図１０で上に示した方法の代替実施形態の流れ図である。

【図１】

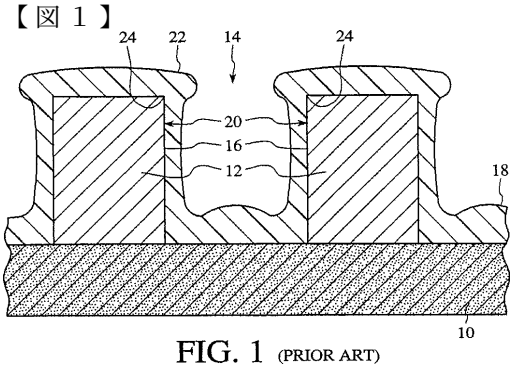


FIG. 1 (PRIOR ART)

【図２】

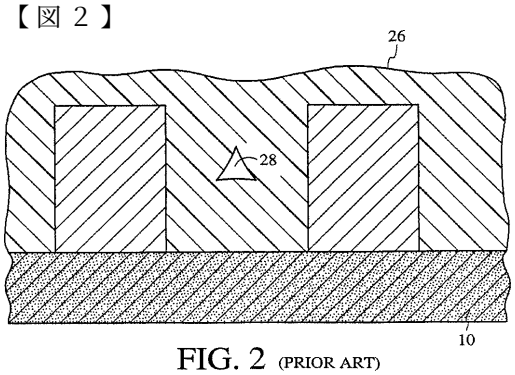


FIG. 2 (PRIOR ART)

【図３】

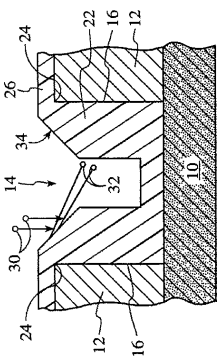


FIG. 3 (PRIOR ART)

【図４】

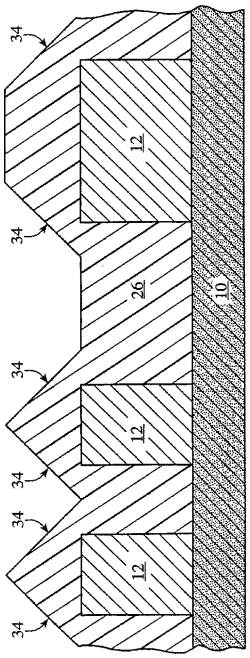


FIG. 4 (PRIOR ART)

【図５】

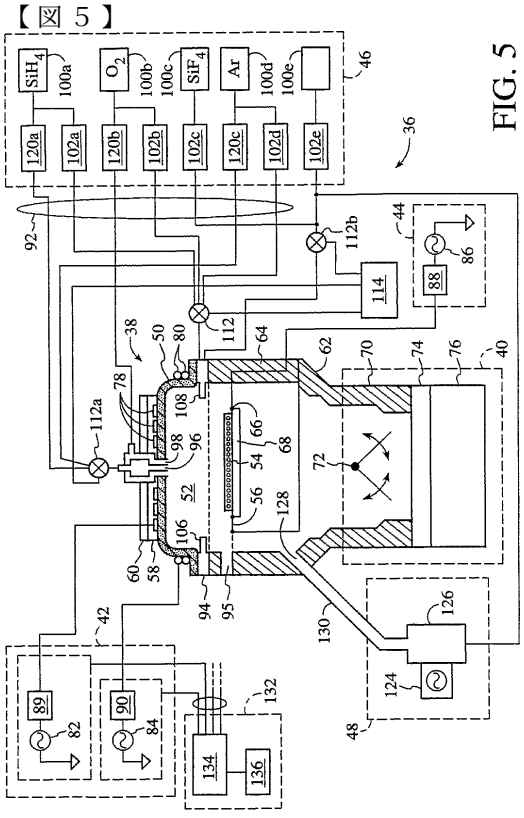


FIG. 5

【図６】

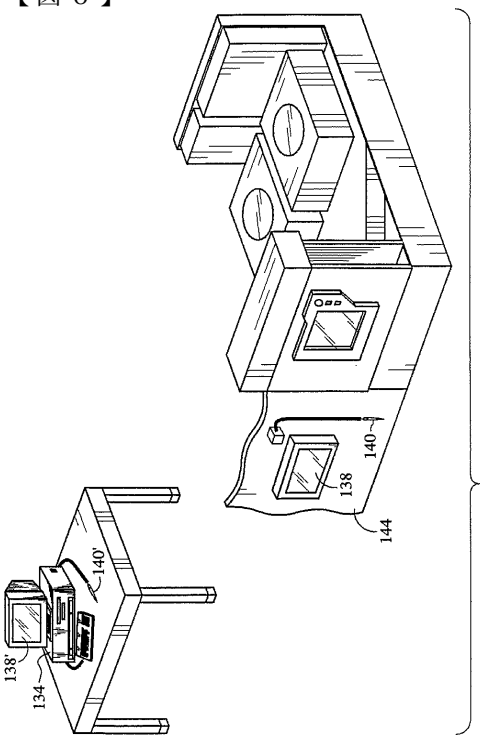
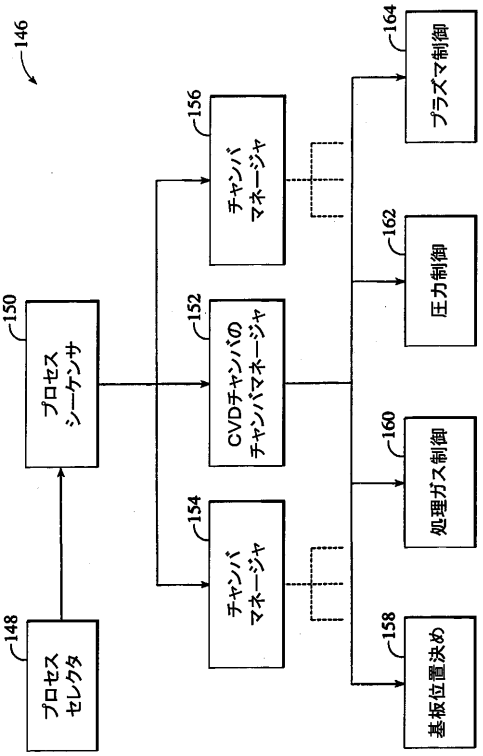


FIG. 6

【図７】



【図８】

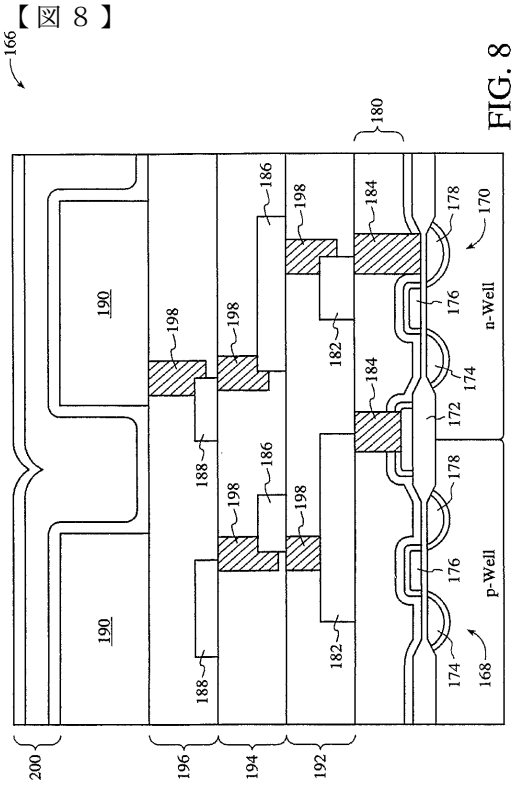


FIG. 8

【図９】

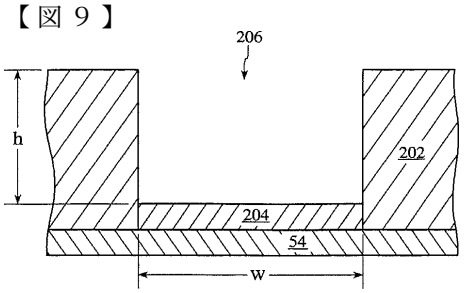
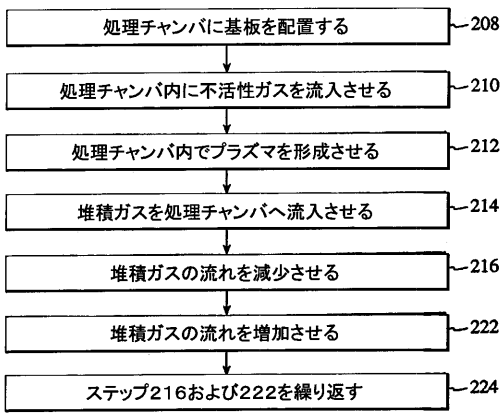


FIG. 9

【図１０】



【図１１】

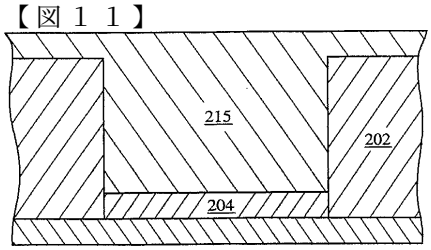
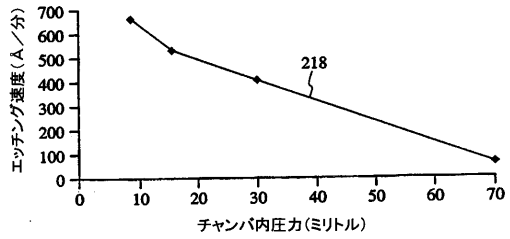
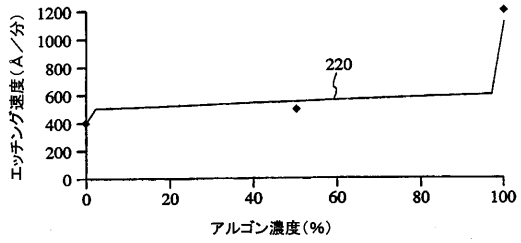


FIG. 11

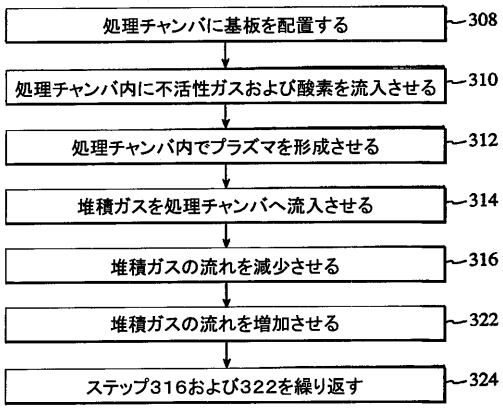
【図１２】



【図１３】



【図１４】



フロントページの続き

(72)発明者 ロッスマン, ケント
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, アラン ヴィレッジ レーン ３０５ナンバー４３４

審査官 田中 永一

(56)参考文献 特開平７－１６１７０３（ＪＰ，Ａ）
特開平９－１８１０６３（ＪＰ，Ａ）
特開平７－５０２９６（ＪＰ，Ａ）
特表平９－５０８７５７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H01L 21/31
H01L 21/312
H01L 21/314
H01L 21/316
H01L 21/318
H01L 21/3065
C23C 16/40
H01J 37/32