

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4918190号
(P4918190)

(45) 発行日 平成24年4月18日 (2012.4.18)

(24) 登録日 平成24年2月3日 (2012.2.3)

(51) Int. Cl.		F I		
HO 1 L 21/316	(2006.01)	HO 1 L 21/316		X
HO 1 L 23/522	(2006.01)	HO 1 L 21/90		S
HO 1 L 21/768	(2006.01)			

請求項の数 16 外国語出願 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2001-10570 (P2001-10570)	(73) 特許権者	390040660
(22) 出願日	平成13年1月18日 (2001.1.18)		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2001-298023 (P2001-298023A)		APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
(43) 公開日	平成13年10月26日 (2001.10.26)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
審査請求日	平成19年12月19日 (2007.12.19)	(74) 代理人	100109726
(31) 優先権主張番号	09/484689		弁理士 園田 吉隆
(32) 優先日	平成12年1月18日 (2000.1.18)	(74) 代理人	100101199
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 小林 義教
		(74) 代理人	100104282
			弁理士 鈴木 康仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非常に低い誘電率プラズマ強化CVD膜

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも1つの酸化可能なシリコン含有成分と、熱的不安定な環状基を有する少なくとも1つの非シリコン含有 (non-silicon containing) 分子成分とを含む混合物をプロセスチャンバ内に導入するステップであって、上記混合物の熱的不安定な環状基は、ジオキシニル (-CH=CH-O-CH=CH-O-)、フラニル (-CH=CH-CH=CH-O-)、フルベニル (-CH=CH-CH=CH-C(CH₂)-)、及びそれらのフッ素化炭素 (fluorinated carbon) 誘導体基からなる群から選ばれる、非シリコン含有の多重 (multiply) 不飽和シクロアルケン成分であるステップと、

コンフォーマル層の中に上記熱的不安定な環状基を保持する温度で、上記混合物を酸化用ガスと反応させるステップと、
上記コンフォーマル層の中で、上記熱的不安定な環状基を、分散するボイドに変換するために十分に高い温度に、上記コンフォーマル層をさらすステップと、
を備える、低誘電率膜を堆積する方法。

【請求項 2】

上記少なくとも1つの酸化可能なシリコン含有成分が、メチルシロキシ (CH₃-SiH₂-O-) 或いはジメチルシロキシ (CH₃)₂-SiH-O-) 成分を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

上記混合物の熱的不安定な環状基が、メチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル、2-メチルシロキサニルフラン、3-メチルシロキサニルフラン、2,5-ビス(メチルシロキシ)-1,4-

ジオキシシ、3,4-ビス(メチルシロキサニル)フラン、2,3-ビス(メチルシロキサニル)フラン、2,4-ビス(メチルシロキサニル)フラン、2,5-ビス(メチルシロキサニル)フラン、1-メチルシロキサニルフルベン、2-メチルシロキサニルフルベン、6-メチルシロキサニルフルベン、ビス(メチルシロキサニル)フルベン、ジメチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル、2-ジメチルシロキサニルフラン、3-ジメチルシロキサニルフラン、2,5-ビス(ジメチルシロキシ)-1,4-ジオキシシ、3,4-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、2,3-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、2,4-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、2,5-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、1-ジメチルシロキサニルフルベン、2-ジメチルシロキサニルフルベン、6-ジメチルシロキサニルフルベン、ビス(ジメチルシロキサニル)フルベン、それらのフッ素化炭素誘導体、及びそれらの組み合わせからなる群から選ばれる、請求項1に記載の方法。

10

【請求項4】

上記混合物は、さらに、2,4,6-トリシラオキサシ及びシクロ-1,3,5,7-テトラシリレン-2,6-ジオキシシ-4,8-ジメチレンからなる群から選ばれる非平面リング構造を有する非熱的不安定を与える(non-thermally-labile-imparting)化合物を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

上記混合物は、さらに、ビニル-1,4-ジオキシニルエーテル、ビニルフリルエーテル、ビニル-1,4-ジオキシシ、ビニルフラン、メチルフロアテ、フリルホルマート、フリルアセテート、フルアルデヒド、ジフリルケトン、ジフリルエーテル、ジフルフリルエーテル、フラン、1,4-ジオキシシ、それらのフッ素化誘導体、及びそれらの組み合わせからなる群から選ばれる、非シリコン含有の熱的不安定を与える成分を含む、請求項1に記載の方法。

20

【請求項6】

上記混合物は、さらに、メチルシラン、ジメチルシラン、ジシラノメタン、ビス(メチルシラノ)メタン、2,4,6-トリシラオキサシ、1,3,5-トリシラシクロヘキサシ、シクロ-1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシシ-4,8-ジメチレン、1,3-ジメチルジシロキサシ、1,1,3,3-テトラメチルジシロキサシ、1,1,5,5-テトラメチルトリシラオキサシ、1,1,3,5,5-ペンタメチルトリシラオキサシ、及びそれらのフッ素化炭素誘導体からなる群から選ばれるシリコン含有成分を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項7】

上記混合物は、2,4,6-トリシラオキサシ及びシクロ-1,3,5,7-テトラシリレン-2,6-ジオキシシ-4,8-ジメチレンからなる群から選ばれる非熱的不安定を与える化学成分と、及びメチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル及びメチルシロキサニルフランからなる群から選ばれる、熱的不安定を与える化学成分とを含む、請求項1に記載の方法。

30

【請求項8】

少なくとも1つの酸化可能なシリコン含有成分と、熱的不安定な環状基を有する少なくとも1つの非シリコン含有(non-silicon containing)分子成分とを含む混合物をプロセスチャンパ内に導入するステップであって、上記少なくとも1つの酸化可能なシリコン含有成分は、メチルシラン、ジメチルシラン、ジシラノメタン、ビス(メチルシラノ)メタン、2,4,6-トリシラオキサシ、1,3,5-トリシラシクロヘキサシ、シクロ-1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシシ-4,8-ジメチレン、1,3-ジメチル-ジシロキサシ、1,1,3,3-テトラメチルジシロキサシ、1,1,5,5-テトラメチルトリシラオキサシ、1,1,3,5,5-ペンタメチルトリシラオキサシ、及びそれらのフッ素化炭素誘導体からなる群から選ばれ、熱的不安定基を有する上記少なくとも1つの非シリコン含有分子成分は、ビニル-1,4-ジオキシニルエーテル、ビニルフリルエーテル、ビニル-1,4-ジオキシシ、ビニルフラン、メチルフロアテ、フリルホルマート、フリルアセテート、フルアルデヒド、ジフリルケトン、ジフリルエーテル、ジフルフリルエーテル、フラン、1,4-ジオキシシ、それらのフッ素化誘導体、及びそれらの組み合わせからなる群から選ばれるステップと、
コンフォーマル層の中に上記熱的不安定な環状基を保持する温度で、上記混合物を酸化用ガスと反応させるステップと、
上記コンフォーマル層の中で、上記熱的不安定な環状基を、分散するボイドに変換するた

40

50

めに十分に高い温度に、上記コンフォーマル層をさらすステップと、
を備える、
低誘電率膜を堆積する方法。

【請求項 9】

約350 と約400 の間の温度プロファイルを用いて、上記コンフォーマル層をアニーリングまたは熱的にキュアリングすることによって、上記の分散するボイドが形成される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

1 つ以上の反応性シリコン含有化合物と酸化用ガスとを含むプロセスガスから、パターン化された金属層を有する基板の上に、コンフォーマルライニング層を堆積するステップと、

少なくとも 1 つの酸化可能なシリコン含有成分と、熱的不安定な環状基を有する少なくとも 1 つの非シリコン含有成分とを含む混合物をプロセスチャンバ内に導入するステップであって、上記混合物の熱的不安定な環状基は、メチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル、2-メチルシロキサニルフラン、3-メチルシロキサニルフラン、2,5-ビス(メチルシロキシ)-1,4-ジオキシニル、3,4-ビス(メチルシロキサニル)フラン、2,3-ビス(メチルシロキサニル)フラン、2,4-ビス(メチルシロキサニル)フラン、2,5-ビス(メチルシロキサニル)フラン、1-メチルシロキサニルフルベン、2-メチルシロキサニルフルベン、6-メチルシロキサニルフルベン、ビス(メチルシロキサニル)フルベン、ジメチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル、2-ジメチルシロキサニルフラン、3-ジメチルシロキサニルフラン、2,5-ビス(ジメチルシロキシ)-1,4-ジオキシニル、3,4-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、2,3-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、2,4-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、2,5-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、1-ジメチルシロキサニルフルベン、2-ジメチルシロキサニルフルベン、6-ジメチルシロキサニルフルベン、ビス(ジメチルシロキサニル)フルベン、それらのフッ素化炭素誘導体、及びそれらの組み合わせからなる群から選ばれるステップと、

上記熱的不安定な環状基をコンフォーマル層の中に保持する温度で、上記混合物を酸化用ガスと反応させるステップと、

上記コンフォーマル層の中で、上記熱的不安定な環状基を、分散するボイドに変換するために十分に高い温度に、上記コンフォーマル層をさらすステップと、

を備える、低誘電率膜を堆積する方法。

【請求項 11】

上記混合物は、さらに、2,4,6-トリシラオキサン及びシクロ-1,3,5,7-テトラシリレン-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレンからなる群から選ばれる非平面リング構造を有する非熱的不安定を与える化合物を含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

上記混合物は、さらに、ビニル-1,4-ジオキシニルエーテル、ビニルフリルエーテル、ビニル-1,4-ジオキシニル、ビニルフラン、メチルフロアテ、フリルホルマート、フリルアセテート、フルアルデヒド、ジフリルケトン、ジフリルエーテル、ジフルフリルエーテル、フラン、1,4-ジオキシニル、それらのフッ素化誘導体、及びそれらの組み合わせからなる群から選ばれる非シリコン含有の熱的不安定を与える化合物を含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 13】

上記混合物は、さらに、メチルシラン、ジメチルシラン、ジシラノメタン、ビス(メチルシラノ)メタン、2,4,6-トリシラオキサン、1,3,5-トリシラシクロヘキサン、シクロ-1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレン、1,3-ジメチルジシロキサニル、1,1,3,3-テトラメチルジシロキサニル、1,1,5,5-テトラメチルトリシラオキサン、1,1,3,5,5-ペンタメチルトリシラオキサン、及びそれらのフッ素化炭素誘導体からなる群から選ばれるシリコン含有成分を含む、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 14】

10

20

30

40

50

上記混合物は、2,4,6-トリシラオキサン及びシクロ-1,3,5,7-テトラシリレン-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレンからなる群から選ばれる非熱的不安定を与える化学成分と、メチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル及びメチルシロキサニルフランからなる群から選ばれる熱的不安定を与える化学成分を含む、請求項10に記載の方法。

【請求項15】

さらに、上記コンフォーマル層の上にキャッピング層を堆積するステップを含み、上記キャッピング層材料は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸窒化シリコン、水素化された炭化シリコン、及びそれらの組み合わせからなる群から選ばれる、請求項10に記載の方法。

【請求項16】

約350 と約400 の間の温度プロファイルを用いて、上記コンフォーマル層をアニーリングまたは熱的にキュアリングすることによって、上記の分散ポイドが形成される、請求項10に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(発明の分野)

本発明は、集積回路の製造に関する。本発明は、特に、基板上に誘電層を堆積するためのプロセスに関する。

【0002】

(発明の背景)

現代の半導体デバイスの製造における主要なステップの1つは、ガスの化学反応によって、基板上に金属及び誘電膜を形成することである。このような堆積プロセスは、化学気相堆積またはCVDと呼ばれる。従来の熱CVDプロセスは、基板表面に反応ガスを供給して、そこで、熱誘導化学反応が発生し、所望の膜を生成する。幾つかの熱CVDプロセスが稼動する高温は、予め基板上に形成された層を有するデバイス構造に損害を与えることができる。比較的低い温度で、金属及び誘電膜を堆積する好ましい方法は、アメリカ特許第5,362,526号(発明の名称:「酸化シリコンを堆積するためのTEOSを用いるプラズマ強化CVDプロセス」)に記載されているようなプラズマ強化CVD(PECVD)技術であり、上記特許が参考としてここに取り込まれる。プラズマ強化CVD技術は、基板表面付近の反応ゾーンに高周波(RF)エネルギーを印加することによって、反応ガスの励起及び/或は解離を促進し、それによって、高い反応性種のプラズマを生成する。放出された種の高い反応性は、化学反応の発生に必要なエネルギーを減少し、よって、このようなPECVDプロセスの必要温度を低下させる。

【0003】

半導体デバイスの形状寸法は、数十年前にそのようなデバイスが初めて導入された時から、そのサイズが劇的に減少していた。それ以来、集積回路はほぼ、2年/ハーフサイズの法則(Moorの法則と呼ばれることが多い)に従ってきたが、この意味は、チップ上に嵌め込まれるデバイスの数が2年ごとに倍になるということである。現在の製造プラントは、0.35 μ m、さらに0.25 μ mのフィーチャを有するデバイスを日常的に製造しており、近い将来に、さらに小さな形状寸法を持つデバイスを生産するだろう。

【0004】

集積回路上のデバイスのサイズをさらに減少するために、低抵抗率を有する導電材料及び低k(誘電率<2.5)を有する絶縁体を用いて、隣接する金属ライン間の容量結合を減少することが必要となってきた。1999年8月17日に公開された国際公開第W099/41423号に記載されているように、湿気のような副産物が導電材料上に拡散するのを防ぐために、ライナ/バリア層が導電材料と絶縁体との間に用いられていた。例えば、低k絶縁体の形成中に生成されることが出来る湿気は、導電金属の表面に拡散しやすく、導電金属表面の抵抗率を増大させる。有機シリコン或は窒化オルガノシラン材料から形成されるバリア/ライナ層は、副産物の拡散をブロックすることができる。しかし、バリア/ライナ層は、典型的に、約2.5よりも大きな誘電率を有し、この高い誘電率によって、誘電率が有意義に減少されていない組合せ絶縁体を結果としてもたらす。

10

20

30

40

50

【0005】

Fig.1A-1Eは、国際公開第WO 99/41423号で記載されているような、酸化されたオルガノシラン或はオルガノシロキサンポリマーのPECVDライニング層2を堆積するための三層堆積PECVDプロセスを図示する。ライニング層2は、次の層7と下にある基板表面6及び基板表面上に形成された金属層8、9、10との間の絶縁層として作用する。層7は、酸化オルガノシラン或はオルガノシロキサンポリマーのPECVDキャッピング層12によって、キャッピングされる。PECVDプロセスは、多組成(multi-component)誘電層を堆積し、そこで、二酸化シリコン(SiO₂)を含む炭素が、まず、基板表面6上に形成された金属ライン8、9、10を有するパターン化された金属層の上に堆積される。

【0006】

図1Aに参照すると、PECVDライニング層2は、アルゴンのような不活性ガスの存在下で、約-20 から40 の温度で、メチルシラン(CH₃SiH₃)のようなオルガノシラン或はオルガノシロキサン化合物と、N₂Oのような酸化用ガスとのプラズマ強化反応によって、堆積される。その後、酸化されたオルガノシラン或はオルガノシロキサン層がキュアリングされる。(約2000 /分)で堆積されたPECVDライニング層は、図1Bに示される次の層7の堆積に対して、改善されたバリア特性を有する。メチルシランから得られるライニング層は、疎水性であるのに十分なC-H結合を有し、優れた防湿バリアである。低k誘電層7は、その後、層7の堆積中に、200 以下の温度、約0.2から約0.5Torrの圧力で、シラン化合物と過酸化水素(H₂O₂)との反応によって、ライナ層2の上に堆積される。層7は、図1Cに示されるように、部分的にキュアリングされて、図1Dに示されるようなカップ層12の堆積の前に、水のような溶剤を除去してもよい。キュアリングは、10Torr下の不活性ガス雰囲気中で反応をポンピングダウン(pumping down)することによって、行われる。

【0007】

窒化シリコン(SiN)のような従来のライナ層は、酸化シリコンより高い誘電率を有し、高k誘電体ライナ層と低k誘電層との組み合わせは、スタック全体の誘電率及び容量結合に対して、僅かな改良しか或は改良を提供していない。

図1Dを参照すると、層7の堆積の後、オプションキャッピング層12が、オルガノシラン或はオルガノシロキサン化合物とN₂Oのような酸化用ガスとのプラズマ強化反応によって、低k誘電層7の上に堆積されてもよい。図1Eを参照すると、キャッピング層(もしあれば)の堆積の後、堆積された層が、炉或は他のチャンバの中でキュアリングされて、残留の溶剤或は水を除去する。キャッピング層12は、また、よいバリア特性を有し且つ約3.0の誘電特性を有する酸化オルガノシラン或はオルガノシロキサン膜である。ライナ層2及びカップ層12が、両者とも3.0よりも大きい誘電率を有し、高誘電率層が、低k誘電層7の利益を実質的にそこなう。

【0008】

デバイスがより小さくなるにつれ、比較的高誘電率を有するライナ層及びカップ層が、多組成誘電層の全体誘電率により多く寄与する。さらに、より小さいデバイス形状寸法は、デバイス間の寄生キャパシタンスにおける増加を結果としてもたらず。回路における同一の或は隣接する層の上にある金属相互接続(interconnect)の間の寄生キャパシタンスが、金属ライン或は配線間のクロストーク、及び/或はレジスタンスキャパシタンス(RC)遅延を引き起こし、それによって、デバイスの応答時間を減小し、デバイスの全体性能を低下させる。現在技術の回路が4から5レベルの相互配線を使用しており、次世代のデバイスが6、7またはおそらく8レベルの相互配線を必要とする可能性があるので、回路における同一の或は隣接する層の上にある金属相互配線間の寄生キャパシタンスの影響は、特に、心配事である。

【0009】

誘電体材料によって分離される金属相互配線間の寄生キャパシタンスを低下させることは、誘電体材料の厚さを増加すること、或は誘電体材料の誘電率を低下させることのいずれかによって、完成されることが可能である。しかし、誘電体材料の厚さを増加することは、同じメタライゼッド層或は平面内の寄生キャパシタンスに影響を与えない。結果として、

10

20

30

40

50

同じ或は隣接する層における金属相互配線間の寄生キャパシタンスを減小するために、金属ライン或は相互配線間に用いられる材料を、現在に用いられる材料の誘電率（即ち、 $k=3.0$ ）よりも低い誘電率を有する材料に変えなければならない。

【0010】

従って、よい付着特性を有し、約2.5以下の誘電率を持つ誘電層に対する必要が残されている。

【0011】

（発明の概要）

本発明は、低誘電率を持つナノ多孔質((nano-porous)酸化シリコンを堆積するための方法を提供する。ナノ多孔質酸化シリコン層が、さらに熱的不安定な有機基を含むシリコン/酸素含有材料を堆積して、堆積されたシリコン/酸素含有材料に制御されたアニーリングを行って、酸化シリコン層の中に均一に分散する微細なガスポケット或はボイドを形成することによって、生産される。酸化シリコン層に対する微細なガスポケットの相対体積が、低誘電率を提供するクローズドセルフォーム(closed cell foam)構造を維持するように、制御される。シリコン/酸素材料が、少なくとも1つの酸化可能なシリコン含有成分と、少なくとも1つの熱不安定基を有する非シリコン含有成分とを含む1つ以上の化合物のプラズマ強化化学気相堆積によって、堆積される。反応性化合物或は混合物における不安定基は、堆積された酸化シリコン層がアニーリングされる時、膜から放出しボイドを残す気体生成物に変換するのに、充分の酸素を含む。

【0012】

酸化可能なシリコン含有成分が、同じ分子における熱不安定基を有する非シリコン含有成分から分離されることができる。制御アニーリング下で、ナノ多孔質酸化シリコン系層を形成する成分の好ましいシリコン-酸素リガンドは、メチルシロキシ($\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-}$)或はジメチルシロキシ($\text{CH}_3)_2\text{-SiH-O-}$)基を含む。シリコン成分と共に化合物を形成する非シリコン含有成分が、好ましく、ジオキシニル($\text{-(-CH=CH-O-CH=CH-O-)}$)、フリル($\text{-(-CH=CH-CH=CH-O-)}$)、フルベニル($\text{-(-CH=CH-CH=CH-C(CH}_3)_2\text{-)}$)、或はそれらのフッ素化炭素誘導体基を含む多重不飽和シクロアルケン成分である。これらの成分から形成された好ましい化合物は、メチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル或はメチルシロキサニルフランを含む。2,4,6-トリシラオキサニル及びシクロ-1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレンを用いるボイドの形成は、それらの非平面リング構造によって、強化される。

【0013】

このような化合物は、酸化用ガスと反応して、約50 以下の温度で不安定な有機基の多くを保持するシリコン/酸素含有材料を形成する。反応化合物を、ビニル-1,4-ジオキシニルエーテル、ビニルフリルエーテル、ビニル-1,4-ジオキシニル、ビニルフラン、メチルフロエテ、フリルホルマート、フリルアセテート、フルアルデヒド、ジフリルケトン、ジフリルエーテル、ジフルフリルエーテル、フラン、1,4-ジオキシニル、これらのフッ素化誘導体、及びそれらの組み合わせのような1つ以上の不安定基を含む非シリコン含有成分と混合することによって、不安定基の量を増加させることができる。非シリコン含有成分は、代わりに、メチルシラン、ジメチルシラン、1,1,3,3-テトラメチルジシロキサニル、1,1,5,5-テトラメチルトリシロキサニル、ジシラノメタン、及びそれらのフッ素化炭素誘導体のような熱的に不安定な有機基を含まない反応性シリコン含有材料と混合することができる。

【0014】

シリコン/酸素含有材料は、好ましく、 N_2O 、 O_2 、 O_3 、 CO_2 及びそれらの組み合わせからなる群から選ばれる酸化用ガスにおいて、10から250WからのRFパワーレベルでプラズマを撃ち出すことによって、堆積される。堆積されたシリコン/酸素含有材料は、その後、徐々に上昇する温度プロファイルでアニーリングされて、不安定な有機基を、好ましくクローズドセルフォーム構造に起因すると考えられる低誘電率を有するナノ多孔質酸化シリコン層の中に分散するガスポケットに変換する。アニーリングは、好ましく、堆積された材料の温度を約350 から約400 に上昇する。

【0015】

10

20

30

40

50

好ましい実施例では、1つ以上の反応性シリコン含有化合物のプラズマ補助(plasma assisted)反応によって、パターン化された金属層の上に堆積されたPECVD酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン、或は水素化された炭化シリコンバリア層の上に、本発明のナノ多孔質酸化シリコン層が堆積される。ナノ多孔質酸化シリコン層が、その後、同じチャンバの中で、或は付近のクラスタツールプロセスチャンバの中で堆積される。上記のようなアニーリングの後に、ナノ多孔質酸化シリコンが、同じチャンバの中で或は付近のクラスタツールプロセスチャンバの中で、PECVD酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン或は水素化された炭化シリコンによって、キャッピングされる。ライナ及びキャップ層は、ナノ多孔質酸化シリコン層を保護するバリアの役目を果たす。

【0016】

このように、上記の本発明の特徴、利点及び目的が達成されて、且つ詳細に理解されることができるが、上記のように簡単に説明された本発明の更なる詳細な記載が、添付図面に示される実施例を参照して、与えられるだろう。

【0017】

しかし、添付図面は、本発明の典型的な実施例のみを示し、本発明がこれに限定されなく、他の同等の有効な実施例を認めることを注意すべき。

【0018】

本発明の更なる理解のために、以下の詳細な記載を参照すべき。

【0019】

(好ましい実施例の記載)

本発明は、低誘電率を有するナノ多孔質酸化シリコンを堆積するための方法を提供する。ナノ多孔質酸化シリコン層が、熱的に不安定な有機基を選択的に含むシリコン/酸素含有材料のプラズマ強化(PECVD)或はマイクロ波強化化学気相堆積、及び酸化シリコン層に均一に分散する微細なガスポケットを形成するために行われる堆積されたシリコン/酸素含有材料の制御アニーリングによって、生成される。酸化シリコン層に対する微細なガスポケットの相対体積が、アニーリング後に、低誘電率を提供するクローズドセルフォーム構造を好ましく維持するように、制御される。ナノ多孔質酸化シリコン層は、約2.5未満、好ましくは約2.0未満の誘電率を有する。

【0020】

酸化可能なシリコン含有成分と、熱的不安定な基を有する不飽和の非シリコン含有成分とを含む化合物或は混合物を、酸化用ガスと反応させることによって、シリコン/酸素材料が化学気相堆積される。酸化用ガスは、酸素(O_2)、或は亜酸化窒素(N_2O)、オゾン(O_3)及び二酸化炭素(CO_2)のような酸素含有化合物であり、好ましくは、 N_2O または O_2 である。

【0021】

堆積される膜において所望の炭素含有量を達成する必要がある場合は、酸素及び酸素含有化合物が、好ましく、分解されて反応性を増加する。酸化用化合物の分解を増進ために、RFパワーを堆積チャンバに接続することができる。また、シリコン含有化合物の過度分離を減少するために、酸化用化合物が、堆積チャンバに進入する前に、マイクロ波チャンバの中で分離されるてもよい。酸化シリコン層の堆積は、連続或は不連続であることができる。堆積は、好ましく、単一の堆積チャンバで発生するが、2つ以上の堆積チャンバ内に順番に層を堆積するもできる。さらに、基板の加熱を減少し、堆積される膜のより大きい有孔率を促進するために、RFパワーがサイクル或はパルス化されることができる。

【0022】

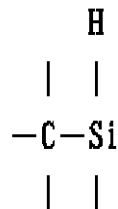
酸化可能なシリコン含有化合物或は混合物の酸化可能なシリコン成分は、一般に下記の構造を含むオルガノシラン或はオルガノシロキサン化合物を含む：

10

20

30

40



式中、各Siが少なくとも1つの水素原子に結合されて、1つ或は2つの炭素原子に結合されてもよい。Cは、有機基の中に、好ましくは、 $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}_2-$ 或は $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ のようなアルキルまたはアルケニル基、或はそれらのフッ素化誘導体の中に含まれている。オルガノシラン或はオルガノシロキサン化合物は2つ以上のSi原子を含む場合、各Siは、 $-\text{O}-$ 、 $-\text{C}-$ 或は $-\text{C}-\text{C}-$ によって、他のSiから分離されて、ここで、各ブリッジングCは、有機基の中に、好ましくは、 $-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}(\text{CH}_3)-$ 、 $-\text{C}(\text{CH}_3)_2-$ のようなアルキルまたはアルケニル基、或はそれらのフッ素化誘導体の中に含まれている。好ましいオルガノシラン及びオルガノシロキサン化合物は、室温の近くで、ガスまたは液体であって、約10Torr以上で揮発することができる。適切なシリコン含有化合物は：

メチルシラン、 CH_3-SiH_3

ジメチルシラン、 $(\text{CH}_3)_2-\text{SiH}_2$

ジシラノメタン、 $\text{SiH}_3-\text{CH}_2-\text{SiH}_3$

ビス(メチルシラノ)メタン、 $\text{CH}_3-\text{SiH}_2-\text{CH}_2-\text{SiH}_2-\text{CH}_3$

2,4,6-トリシラオキサン、 $-(\text{SiH}_2-\text{CH}_2-\text{SiH}_2-\text{CH}_2-\text{SiH}_2-\text{O})-$ (環状)

シクロ-1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレン、
 $-(\text{SiH}_2-\text{CH}_2-\text{SiH}_2-\text{O})_2-$ (環状)

1,3,5-トリシラシクロヘキサン、 $-(\text{SiH}_2-\text{CH}_2)_3-$ (環状)

1,3-ジメチルジシロキサン、 $\text{CH}_3-\text{SiH}_2-\text{O}-\text{SiH}_2-\text{CH}_3$

1,1,3,3-テトラメチルジシロキサン、 $(\text{CH}_3)_2-\text{SiH}-\text{O}-\text{SiH}-(\text{CH}_3)_2$

1,1,5,5-テトラメチルトリシロキサン、 $(\text{CH}_3)_2-\text{SiH}-\text{O}-\text{SiH}_2-\text{O}-\text{SiH}-(\text{CH}_3)_2$

1,1,3,5,5-ペンタメチルトリシロキサン、



及びそれらのフッ素化炭素誘導体(例えば、1,2-ジシラノテトラフルオロエタン)を含む。オルガノシラン及びオルガノシロキサンにおける炭化水素基は、部分的に或は完全にフッ素化されて、C-H結合をC-F結合に変換してもよい。好ましいオルガノシラン及びオルガノシロキサン化合物の多くは市販されている。2つ以上のオルガノシラン或はオルガノシロキサンの組み合わせを利用して、誘電率、酸化物含有量、疎水性、膜応力及びプラズマエッチング特徴などの所望の性質のブレンドを提供することができる。

【0023】

酸化可能なシリコン成分は、熱的不安定な基を有する不飽和の非シリコン含有(non-silicon bearing)成分とともに化合物を形成する場合、オルガノシラン或はオルガノシロキサン化合物は、シリコン酸素結合とシリコン-水素結合との両方を所有する官能基である。結合の必要条件を有する好ましい官能基は、以下を含む：

メチルシロキシ、 $(\text{CH}_3-\text{SiH}_2-\text{O}-)$

ジメチルシロキシ、 $((\text{CH}_3)_2-\text{SiH}-\text{O}-)$

【0024】

熱的不安定な基を有する不飽和の非シリコン含有成分は、プラズマ持続(plasma-sustaine

10

20

30

40

50

d)酸化環境と反応して、熱的不安定な分子を形成する特性を有し、上記熱的不安定な分子は堆積し、その後高温にさらされる場合、熱的に分解して低沸点を有する揮発性種(species)を形成する。堆積された膜から熱的不安定な基の揮発性種の分解及び展開は、構造にポイドを残し、構造の密度を減小する。熱プロセスによって、堆積された膜内に埋め込まれた化学的反應された固体材料を選択的に除去することは、低誘電率を有する低密度膜をもたらす。2,4,6-トリシラオキサン(2,4,6-トリシラテトラヒドロピラン)及びシクロ-1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレンのような幾つかの化合物を用いるポイドの形成は、非平面リング構造：

1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレン、



2,4,6-トリシラテトラヒドロピラン、 $-\text{SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-O- (環状)}$

による不安定基の追加がなしで、アニーリング中に達成される。酸化シリコン層がアニーリングされるとき、気体生成物を形成するために、熱的不安定な有機基は十分な酸素を含む。

【0025】

酸化可能なシリコン成分が、熱的不安定な基を有する不飽和の非シリコン含有成分とともに、化合物を形成する場合、好ましい熱的不安定な基は、分子構造に酸素或は窒素が組み込まれているヘテロシクロジアルケンを含む(2つ以上の炭素-炭素二重結合を有する)多重不飽和の非シリコン含有シクロアルカンであり、一般に、プラズマ環境の中で有利に実行する傾向がある。好ましい不安定な基は、以下を含む：

ジオキシシ、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_2$ 、 $-(\text{-CH=CH-O-CH=CH-O-})\text{- (環状)}$

フラン、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}$ 、 $-(\text{-CH=CH-CH=CH-O-})\text{- (環状)}$

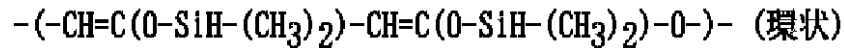
フルベン、 C_6H_6 、 $-(\text{-CH=CH-CH=CH-C(CH}_2\text{)-})\text{- (環状)}$

【0026】

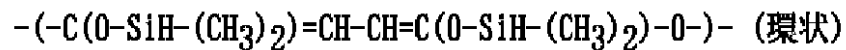
酸化可能なシリコン成分と熱的不安定な基を含む酸化可能なシリコン含有成分は、

- メチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル、 $\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-(C}_4\text{H}_3\text{O}_2)$
- 2-メチルシロキサニルフラン、 $\text{-(-CH=CH-CH=C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)-O)-}$ (環状)
- 3-メチルシロキサニルフラン、 $\text{-(-CH=CH-C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)=CH-O)-}$ (環状)
- 2,5-ビス(メチルシロキシ)-1,4-ジオキシン、
 $\text{-(-CH=C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)-O-CH=C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)-O)-}$ (環状)
- 3,4-ビス(メチルシロキサニル)フラン、
 $\text{-(-CH=C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)-C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)=CH-O)-}$ (環状) 10
- 2,3-ビス(メチルシロキサニル)フラン、
 $\text{-(-CH=CH-C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)=C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)-O)-}$ (環状)
- 2,4-ビス(メチルシロキサニル)フラン、
 $\text{-(-CH=C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)-CH=C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)-O)-}$ (環状)
- 2,5-ビス(メチルシロキサニル)フラン、
 $\text{-(-C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)=CH-CH=C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)-O)-}$ (環状)
- 1-メチルシロキサニルフルベン、 20
 $\text{-(-CH=CH-CH=CH-C(CH}_2\text{(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)))-}$ (環状)
- 2-メチルシロキサニルフルベン、
 $\text{-(-CH=CH-CH=CH-C(CH}_2\text{(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)))-}$ (環状)
- 6-メチルシロキサニルフルベン、
 $\text{-(-C(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)=CH-CH=CH-C=CH)-}$ (環状)
- ビス(メチルシロキサニル)フルベン、 $\text{(C}_6\text{H}_4\text{)(O-SiH}_2\text{-CH}_3\text{)}_2$ (環状)
- ジメチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル、 $\text{(CH}_3\text{)}_2\text{-SiH-O-(C}_4\text{H}_3\text{O}_2)$ (環状) 30
- 2-ジメチルシロキサニルフラン、 $\text{-(-CH=CH-CH=C(O-SiH-(CH}_3\text{)}_2\text{)-O)-}$ (環状)
- 3-ジメチルシロキサニルフラン、 $\text{-(-CH=CH-C(O-SiH-(CH}_3\text{)}_2\text{)=CH-O)-}$ (環状)
- 2,5-ビス(ジメチルシロキシ)-1,4-ジオキシン、
 $\text{-(-CH=C(O-SiH-(CH}_3\text{)}_2\text{)-O-CH=C(O-SiH-(CH}_3\text{)}_2\text{)-O)-}$ (環状)
- 3,4-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、
 $\text{-(-CH=C(O-SiH-(CH}_3\text{)}_2\text{)-C(O-SiH-(CH}_3\text{)}_2\text{)=CH-O)-}$ (環状)
- 2,3-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、 40
 $\text{-(-CH=CH-C(O-SiH-(CH}_3\text{)}_2\text{)=C(O-SiH-(CH}_3\text{)}_2\text{)-O)-}$ (環状)

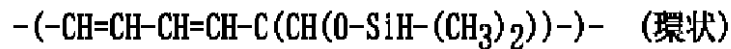
2,4-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、



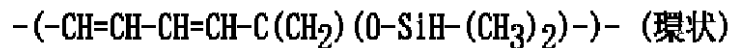
2,5-ビス(ジメチルシロキサニル)フラン、



1-ジメチルシロキサニルフルベン、



2-ジメチルシロキサニルフルベン、



6-ジメチルシロキサニルフルベン、



ビス(ジメチルシロキサニル)フルベン、 $(\text{C}_6\text{H}_4)(\text{O-SiH-(CH}_3)_2)_2$ (環状)

及びそれらのフッ素化炭素誘導体を含む。化合物は、好ましく、室温で液体であって、10 Torr以上の圧力の近くで揮発することができる。そのような化合物は、酸化用ガスと反応して、約50 以下の温度で不安定な有機基の多くを保持するようなゲル状シリコン/酸素含有材料を形成する。

【0027】

堆積されたシリコン/酸素含有材料の中に保持されている不安定な有機基の量は、反応性化合物に、1以上の不安定な有機基を含む非シリコン含有成分を混合させることによって、増加されることができる。不安定な有機基は、シリコン含有反応化合物及び他の酸素含有有機基について記載されたジオキサン、フラン及びフルベン誘導体化学物質を含む。不安定な有機基は、1,4-ジオキシン及びフランのようなメチルシロキサニル基を有しない化学物質以外にも、好ましく、同じ分子内に組み込まれるシリコン含有及び非シリコン含有成分であり、但し、メチルシリル或はメチルシロキサニル基がビニル基によって置換され、或いはメチルシロキサニル基エステル基によって置換され、或はメチルシロキサニル基が他の非シリコン含有有機基によって置換される。(少なくとも2つ以上の炭素-炭素二重結合を持つ)好ましい非シリコン含有多重不飽和シクロアルカンは：

ビニル-1,4-ジオキシンエーテル、 $\text{CH}_2=\text{CH}_2\text{-O-(C}_4\text{H}_3\text{O}_2)$ (環状)

ビニルフリルエーテル、 $\text{CH}_2=\text{CH}_2\text{-O-(C}_4\text{H}_3\text{O)}$ (環状)

ビニル-1,4-ジオキシン、 $\text{CH}_2=\text{CH}_2\text{-(C}_4\text{H}_3\text{O}_2)$ (環状)

ビニルフラン、 $\text{CH}_2=\text{CH}_2\text{-O-(C}_4\text{H}_3\text{O)}$ (環状)

メチルフロアテ、 $\text{CH}_3\text{C(O)-O-(C}_4\text{H}_3\text{O)}$ (環状)

フリルホルマート、 $(\text{C}_4\text{H}_3\text{O})\text{-COOH}$ (環状)

フリルアセテート、 $(\text{C}_4\text{H}_3\text{O})\text{-CH}_2\text{COOH}$ (環状)

フルアルデヒド、 $\text{CH(O)-(C}_4\text{H}_3\text{O)}$ (環状)

ジフリルケトン、 $(\text{C}_4\text{H}_3\text{O})_2\text{C(O)}$ (環状)

ジフリルエーテル、 $(\text{C}_4\text{H}_3\text{O})\text{-O-(C}_4\text{H}_3\text{O)}$ (環状)

ジフルフリルエーテル、 $(\text{C}_4\text{H}_3\text{O})\text{C(O)-O-C(O)(C}_4\text{H}_3\text{O)}$ (環状)

フラン、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}$ (環状)

1,4-ジオキシン、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_2$ (環状)

10

20

30

40

50

及びそれらのフッ素化炭素誘導体を含む。

【0028】

非シリコン含有成分を、代りに、

メチルシラン、 $\text{CH}_3\text{-SiH}_3$

ジメチルシラン、 $(\text{CH}_3)_2\text{-SiH}_2$

ジシラノメタン、 $\text{SiH}_3\text{-CH}_2\text{-SiH}_3$

ビス(メチルシラノ)メタン、 $\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-CH}_3$

2,4,6-トリシラオキサン、 $-(\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-O-})-$ (環状) 10

1,3,5-トリシラシクロヘキサン、 $-(\text{-SiH}_2\text{CH}_2\text{-})_3$ (環状)

シクロ-1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレン、

$-(\text{-SiH}_2\text{-CH}_2\text{-SiH}_2\text{-O-})_2-$ (環状)

1,3-ジメチルジシロキサン、 $\text{CH}_3\text{-SiH}_2\text{-O-SiH}_2\text{-CH}_3$

1,1,3,3-テトラメチルジシロキサン、 $(\text{CH}_3)_2\text{-SiH-O-SiH-(CH}_3)_2$

1,1,5,5-テトラメチルトリシロキサン、 $(\text{CH}_3)_2\text{-SiH-O-SiH}_2\text{-O-SiH-(CH}_3)_2$

1,1,3,5,5-ペンタメチルトリシロキサン、 20

$(\text{CH}_3)_2\text{-SiH-O-SiH(CH}_3\text{)-O-SiH-(CH}_3)_2$

及びそれらのフッ素化炭素誘導体のような不安定有機基を含まない反応性シリコン含有材料と混合させることができる。

【0029】

熱的不安定を与える化合物と非熱的不安定を与える化合物との組み合わせが、膜性質に合せて調整するために、共同堆積されることができる。共同堆積化合物の好ましい実施例は、メチルシリル-1,4-ジオキシニルエーテル或は2-メチルシロキサニルフランのいずれかから選ばれる熱的不安定を与える化合物と、2,4,6-トリシラオキサン(2,4,6-トリシラテトラヒドロピラン)或はシクロ-1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレンのいずれかから選ばれる非熱的不安定を与える化合物とを含む。 30

【0030】

有利に用いられることができる共同堆積される非熱的不安定を与えるヘテロ脂環式分子は、軽微な環ひずみを有し、ランダムな配向で堆積する非平面環状分子である。2,4,6-トリシラオキサン及びシクロ-1,3,5,7-テトラシラノ-2,6-ジオキシ-4,8-ジメチレンについて、メチレン基へのシリル官能基の二重結合が、結果として得られる膜の改善された熱安定性及びよりよい機械的性質を提供することができる。非平面分子は、堆積記された膜内に比較的減小されたスタック密度を提供し、それによって、低誘電性膜を生産する。

【0031】

シリコン/酸素含有材料が膜として堆積された後、その膜が、好ましく、徐々に上昇する温度でアニーリングされて、不安定な基を、クロズドセルフォーム構造に帰因するとされる低誘電率を有するナノ多孔質酸化シリコン層の中に分散するガスポケットに変換させる。 40

【0032】

好ましい実施例では、本発明のナノ多孔質酸化シリコン層が、1つ以上の反応性シリコン含有化合物のプラズマ補助反応によって、パターン化された金属層の上に堆積されたPECVD酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン、或は水素化された炭化シリコン(例えば、サンタクララ(カリフォルニア)にあるアブライド・マテリアルズ・インコーポラテッドから提供されるBLOK(商標名))バリア層の上に、堆積される。その後、ナノ多孔質酸化シリコン層は、RFパワー或はリモートマイクロ波パワーを印可しながら、同一のマルチチ 50

チャンバクラスタCVDシステムの中で堆積されて、次に、上昇する温度プロファイルを用いて、選択的に、約350 から約400 の間に加熱される。ナノ多孔質酸化シリコン層が、選択的に、同じチャンバにおいて、或は近くのクラスタツールプロセスチャンバにおいて、例えば、水素化された炭化シリコン (BLOk(商標名)) によって、キャッピングされる。ライナとキャップ層は、ナノ多孔質酸化シリコン層を保護するバリヤとしての役目を果たす。

【0033】

高温でのキュアリング中或はその後に、疎水性を与える化学物質による多孔質酸化シリコン層の処理は、堆積された膜の耐湿性を改善する。用いられる化学物質は、好ましく、ヘキサメチルジシラザン、トリメチルシリルジエチルアミン、フェニルジメチルシリルジメチルアミン、トリメトキシシリルジメチルアミン、トリス(トリフルオロメチル)シリルジメチルアミン、ビス(トリメチル-シリル)ヒドラジン、1-フェニルジメチルシリル-2-メチル-ヒドラジン、1-トリメトキシシリル-2-メチル-ヒドラジン、1-トリス(トリフルオロメチルシリル-2-メチル-ヒドラジン、トリメチルクロロシラン、トリメチルブロムシラン、トリメチルシラン、或はそれらの組み合わせからなる群から選ばれる。

10

【0034】

ライナとキャップ層は、酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン或は水素化された炭化シリコン(BLOk(商標名))のプラズマ補助化学気相堆積(CVD)によって、堆積されることができる。

【0035】

発明の更なる記述は、本発明のナノ多孔質酸化シリコン層を堆積するための特定の装置に向けられる。

20

【0036】

(例示的なCVDプラズマリアクタ)

本発明の方法が実行されることができる1つの適当なCVDプラズマリアクタは、サンタクララ(カリフォルニア)にあるアプライド・マテリアルズ・インコーポレイテッドから提供される「DLK」チャンバであって、高真空領域115を有する平行プレート化学気相堆積リアクタ110の縦断面図である図2に示されている。リアクタ110は、ガス分配マニホールド111を含み、プロセスガスが、上記マニホールドに穿孔された孔を通して、リフトモーター114によって昇降される基板支持プレート或はサセプタ112の上に載せている基板或は基板(図示せず)に、分散させる。又、液体反応物を噴射するために、典型的にはTEOSの液体噴射に用いられるような液体噴射システム(図示せず)を設けてもよい。好ましい液体噴射システムは、AMATガス精密液体噴射システム(AMAT Gas Precision Liquid Injection System (GPLIS))及びAMAT拡張精密液体噴射システム(AMAT Precision Liquid Injection System (EPLIS))を含み、両者ともアプライド・マテリアルズ・インコーポレイテッドから提供される。

30

【0037】

リアクタ110は、抵抗性加熱コイル(図示せず)或は外部ランプ(図示せず)によるような、プロセスガス及び基板の加熱を含む。図2を参照すると、サセプタ112(及びサセプタ112の上部表面に支持されている基板)が、下部ローディング/オフローディング位置と、マニホールド111に密接に隣接する上部プロセス位置との間に制御可能に移動することができるように、サセプタ112が支持システム113の上に取り付けられている。

40

【0038】

サセプタ112及び基板がプロセス位置114にあるとき、それらは絶縁体117によって囲まれていて、プロセスガスがマニホールド124に排出される。プロセス中に、マニホールド111へのガスインレットは、基板表面にわたって半径方向に均一に分配される。スロットバルブを有する真空ポンプ132は、チャンバからのガスの排出速度を制御する。

【0039】

マニホールド111に到着する前に、堆積及びキャリヤガスが、ガスライン118を通して混合システム119内に導入されて、そこで混合されて、その後、マニホールド111に送られる。(図3に示されているように)、アプリケーションチューブ120を有するオプションなマ

50

マイクロ波システム150は、リアクタ110への進入の前に酸化用ガスのみを分離する付加のエネルギーを提供するために、酸化用ガスのインプットガスライン上に位置してもよい。マイクロ波アプリケーションは、約0から約6000W間のパワーを提供する。一般に、各プロセスガスのためのプロセスガス供給ライン18は、(i)チャンバ内へのプロセスガス流を自動的に或は手動に遮断するために用いられることができる安全遮断弁（図示せず）、及び(ii)ガス供給ラインを通るガス流を測定するマスフローコントローラ（図示せず）を含む。有毒ガスがプロセスの中で用いられる場合、従来構造において、幾つかの安全遮断弁が各ガス供給ラインに設置されている。

【0040】

リアクタ110の中で実行される堆積プロセスは、冷却された基板ペDESTAL上の非プラズマプロセス或はプラズマ強化プロセスのいずれかであることができる。プラズマプロセスにおいて、制御されたプラズマは、典型的に、（サセプタ112が接地されている）RFパワーサプライ125から分配マニホールド111に印加されるRFエネルギーによって、基板の近くに形成される。代わりに、RFパワーがサセプタ112に提供されることができ、或は、RFパワーが、異なる周波数で異なるコンポーネントに提供されることができ、高真空領域115に導入される反応種の堆積を促進するために、RFパワーサプライ125は、単一の或いは混成周波数のRFパワーを供給することができる。混成周波数RFパワーサプライは、典型的に、約13.56MHzの高RF周波数（RF1）でパワーを分配マニホールド111に供給し、約360KHzの低RF周波数（RF2）でパワーをサセプタ112に供給する。本発明の酸化シリコン層は、最も好ましくは、低レベル或はパルス化されたレベルの高周波数RFパワーを用いて、生成される。パルス化されたRFパワーは、好ましく、デューティサイクルの約10%から約30%の間に、約20から約30Wで、13.56MHzのパワーを提供する。下記の更なる詳細な記載のように、非パルス化RFパワーは、好ましく、約10から約150Wまでの13.56MHzRFパワーを提供する。低パワー堆積は、好ましく、約20から約40までの温度範囲で、発生する。好ましい温度範囲において、堆積される膜が、堆積中に、部分的に重合されて、その後の膜のキュアリング中に、重合が完成される。

【0041】

酸化用ガスの付加解離が望まれる場合、オプションなマイクロ波チャンバを用いて、堆積チャンバに入る前の酸化用ガスに約0から約3000Wのマイクロ波パワーをインプットすることができる。マイクロ波パワーの分離附加は、酸化用ガスと反応する前のシリコン化合物の過度解離を避けるだろう。マイクロ波パワーを酸化用ガスに加える場合、シリコン化合物と酸化用ガスのために別々の通路を持つガス分配プレートが好まれる。

【0042】

典型的に、チャンバライニング、ガス入口マニホールドフェースプレート、支持ステム113、及び種々の他のリアクタハードウェアは、何れか或いは全てが、アルミニウムまたは陽極処理されたアルミニウムのような材料から製造される。そのようなCVDリアクタの例は、Wangらに付与されて、本発明の譲受人でもあるアプライド・マテリアルズ・インコーポレイテッドに譲渡されたアメリカ特許第5,000,113号（発明の名称「熱的CVD/PECVDリアクタ及び二酸化シリコンの熱的気相堆積における用途及びインサイチュ(In-situ)マルチステップ平坦化プロセス(Thermal CVD/PECVD Reactor and Use for Thermal Chemical Vapor Deposition of Silicon Dioxide and In-situ Multi-step Planarized Process)」に記載されている。

【0043】

リフトモータ114は、サセプタ112を、プロセス位置と下部の基板ローディング位置との間に、昇降させる。モータ、ガス混合システム119及びRFパワーサプライ125は、制御線136の上方のシステムコントローラ134によって、制御される。リアクタは、マスフローコントローラ（MFCs）及び標準或はパルス化されたRF発生器のようなアナログアセンブリを含み、これらは、好ましい実施例においてハードディスクドライブであるメモリ210に記憶されているシステム制御ソフトウェアを実行するシステムコントローラ134によって、制御される。モータ及び光センサは、真空ポンプ132のスロットルバルブ及びサセプタ112の

10

20

30

40

50

位置決定用モータのような可動な機械的アセンブリの位置を移動させ且つ決定するために、用いられる。

【0044】

システムコントローラ134は、CVDリアクタの全ての活動を制御し、コントローラ134の好ましい実施例は、ハードディスクドライブ、フロッピーディスクドライブ及びカードラックを含む。カードラックは、単一のボードコンピューター(SBC)、アナログとデジタル入力/出力ボード、インターフェースボード及びステップモータコントローラボードを含む。システムコントローラは、ボード、カード・ケージ及コネクタの寸法とタイプを定義するバルサ・モジュール・ヨーロッパ(Versa Modular Europeans(VME))標準に一致する。VME標準は、また、16ビットデータバスと24-ビットアドレスバスを有するバス構造を定義する。

10

【0045】

図3は、本発明の実施例に従って、DLKリアクタ110を入れる前の水のようなプロセスガスを解離するための遠隔マイクロ波システム150の簡略図である。遠隔マイクロ波システム150は、アプリケーションチューブ120、紫外線(UV)ランプ154とUV電源155とを含むプラズマイグニションシステム、及び、接続部157で一緒に接続されてもよい導波カップリング158と、様々な長さを持つストレートな或は湾曲な導波セクション156と、出力導波セクション160と、マグネトロン168とを含むマイクロ波導波システムを含む。アームベース166上に装着されているピボットアーム164への取付けのために、導波セクション156は、さらに、それに形成されたアーム支持体162を有してもよい。ピボットアームは、アームジョイント163に連結されているアームピース165を備え、アームジョイント163は、アームピースの垂直隔離距離を提供し、アームジョイント163のまわりのアーム164の回転運動を可能にする。アームジョイント163は、縦に配置されたシリンダーであり、アームジョイント163の底部で1つのアームピース165に連結され、アームピースの頂部で第2のアームピース165に連結されている。アームジョイント163の端部でのアームピース165の取り付けは、アームピースの縦隔離及びアーム164の位置可撓性を考慮に入れ、よって、プロセス・リアクタ110の操作及びメンテナンス中に、マイクロ波システム150の位置可撓性を考慮に入れる。

20

【0046】

マグネトロン168は、典型的に、約2.45ギガヘルツ(GHz)周波数のマイクロ波の持続波(CW)或はパルス出力のために、約0から3000ワット間で動作できるマグネトロンソースである。もちろん、他のマグネトロンを利用してもよい。サーキュレータ(図示せず)は、アプリケーションチューブ120の方へ向うマグネトロン168からの前進マイクロ波伝送のみを許す。スタブチューナ或は他のチューニング素子を用いてもよいチューニングシステム170は、導波セクション160での負荷を導波の特徴インピーダンスにマッチンさせる能力を、マイクロ波システム150に与える。特定の実施例によれば、チューニングシステム170は、固定されたチューニング、手動チューニング或は自動チューニングを提供してもよい。特定の実施例において、導波セクションが矩形の断面を有するが、他のタイプの導波管を用いてもよい。

30

【0047】

アプリケーションチューブ120は、複合材或はセラミック材料、好ましくは、アルミナ、或はラジカルによるエッチングに対する抵抗性を持つ他の材料から製造された円状の(或はその断面の)チューブである。特定の実施例において、アプリケーションチューブ120は、約18から24インチの長さとして約3から4インチの断面直径を有する。アプリケーションチューブ120は、一端がマイクロ波を伝送するために開口されて、他の端で金属壁により成端されている導波セクション160を通して、配置される。マイクロ波が、導波セクション160の開口端を通して、マイクロ波に透過的であるアプリケーションチューブ120内のガスに伝送される。もちろん、サファイヤのような他の材料も、アプリケーションチューブ120の内部に用いられてもよい。他の実施例では、アプリケーションチューブ120は、金属外部と、複合材或はセラミック材料から製造された内部とを有してもよく、ここで、導波セクション160におけるマイ

40

50

ク波が、アプリケーションチューブ120の外部を貫通するウィンドを進入して、チューブ120の露出された内部に至り、ガスを励磁する。

【0048】

上記の方法は、図2に示されているコントローラ134のようなプロセッサ系コントローラによって制御されるシステムにおいて実行されることができる。図4は、このようなキャパシティで利用されることができるこのようなシステムコントローラ134を有するプロセスシステム或は図2に示されてるようなリアクタ110の構成図である。システムコントローラ134は、メモリ210、大容量記憶デバイス215、入力制御装置245及び表示装置255と共に操作できるプログラム可能な中央処理装置（CPU）220を含む。システムコントローラは、さらに、電源、クロック225、キャッシュ235、入力/出力（I/O）回路240等のような周知のサポート回路214を含み、DLKプロセスリアクタ110の種々のコンポーネントに連結されて、堆積プロセスの制御を容易にする。コントローラ134は、また、チャンバ110内のセンサー（図示せず）を通して基板処理を監視するためのハードウェアを含む。そのようなセンサーは、基板温度、チャンバ気圧等のシステムパラメータを測定する。上記全ての素子が、コントロールシステムバス230に連結される。

10

【0049】

上記のチャンバ制御を容易にするために、CPU 220は、種々のチャンバ及びサブプロセッサを制御するために産業設定中に用いられ得る汎用コンピュータプロセッサの任意の形式の1つであってもよい。メモリ210は、CPU 220に連結されており、システムバス230にアクセス可能である。メモリ210或はコンピュータ読取可能な媒体215は、1つ以上の、ランダムアクセスメモリ（RAM）、読取り専用メモリ（ROM）、フロッピーディスクドライブ、ハードディスクのような容易に入手できるメモリ、或はデジタル記憶、ローカル或はリモートの任意の他の形式であってもよい。サポート回路214は、従来の方法でプロセッサをサポートするために、CPU 220に連結されている。一般に、堆積プロセスが、典型的には、ソフトウェア・ルーチンとしてメモリ210の中に記憶されている。ソフトウェア・ルーチンは、また、CPU 220によって制御されているハードウェアから離れて位置する第2のCPU（図示せず）で記憶及び/或は実行されてもよい。

20

【0050】

メモリ210は、CPU 220が実行してプロセスシステム10の運転性能を容易にするインストラクションを含む。メモリ210におけるインストラクションは、本発明の方法を実行するプログラム200のようなプログラムコードの形である。プログラムコードは、多数の異なるプログラミング言語の任意の1つに従ってもよい。例えば、プログラムコードはC、C++、BASIC、Pascalまたは他の多数の言語で書かれることができる。

30

【0051】

大容量記憶デバイス215は、データ及びインストラクションを記憶し、磁気ディスクまたは磁気テープのようなプロセッサ読取可能な記憶媒体からデータ及びプログラムコードインストラクションを取ってくる。例えば、大容量記憶装置215は、ハードディスクドライブ、フロッピーディスクドライブ、テープドライブ或は光ディスクドライブであることができる。大容量記憶装置215は、CPU 220から受け取る指示に応じて、インストラクションを記憶し且つ検索する。大容量記憶装置215によって記憶され且つ検索されるデータ及びプログラムコードインストラクションは、処理システムを操作するために、プロセッサユニット220によって使用される。データ及びプログラムコードインストラクションは、まず、大容量記憶装置215によって媒体から取ってきて、その後、CPU 220による使用のために、メモリ210へ伝送される。

40

【0052】

入力制御装置245は、キーボード、マウス或はライトペンのようなデータ入力装置を、システムバス230を介して、プロセッサ装置220に連結して、チャンバ・オペレーターの入力の受信を提供する。表示装置255は、CPU 220の制御下のグラフィック表示と英数字との形で、情報をチャンバオペレーターに提供する。

【0053】

50

制御システムバス230は、制御システムバス230に連結されている全ての装置の間にデータと制御信号の転送を提供する。制御システムバスは、CPU220における装置と直接に接続している単一のバスとして表示されるが、制御システムバス230は、また、複数のバスの集合であることもできる。例えば、CPU 220及びメモリ210がローカルプロセッサバスに接続されているが、表示装置225、（入力装置を有する）入力制御装置245及び大容量記憶装置215は、入出力周辺バスに接続することができる。ローカルプロセッサバス及び入出力周辺バスが、一緒に接続されて、制御システムバス230を形成する。

【0054】

システムコントローラ134は、システムバス230とI/O回路240とを通して、本発明の誘電体堆積プロセスに用いられるプロセスシステム10の素子に接続される。I/O回路240は、CPU 220とシステムバス230を通してメモリ210に記憶されているプログラム200から、インストラクションを受け取る。プログラム200は、I/O回路240が、リアクタ110の、基板位置決め制御250、プロセスガス制御260、圧力制御270、ヒータ制御280及びプラズマ/マイクロ波制御290を講じることを可能にするプログラム・サブルーチンを提供する。

【0055】

CPU220は、図4の流れ図に示されている本発明の方法の実施例のプログラム200のようなプログラムを実行するとき、特定の目的コンピューターになる汎用コンピューターを形成する。ここで、本発明は、ソフトウェアの中でインプリメントされて、汎用コンピューターで実行されるものとして記述されているが、当業者は、本発明が特定用途向け集積回路（ASIC）或いは他のハードウェアサーキットリーのようなハードウェアを用いて実行されることができたと理解する。

よって、本発明は、全体に或いは部分的に、ソフトウェア、ハードウェア或いは両方において実行されることができると理解されるべき。

【0056】

上記のCVDシステム記載は主に実例的な目的のためにであり、電極サイクロトロン共鳴（ECR）プラズマCVD装置、誘導結合RF高密度プラズマCVD装置等のような他のプラズマCVD装置は使用してもよい。さらに、サセプタ設計、ヒータ設計、RFパワー接続の位置などにおける変更のような上記システムの変更も可能である。例えば、基板が、抵抗的に加熱されたサセプタによって支持且つ加熱されることができる。本発明の前処理された層を形成するための前処理及び方法は、特定の装置或いは特定のプラズマ励起法にも制限されない。

【0057】

（ナノ多孔質酸化シリコン層の堆積）

本発明のナノ多孔質酸化シリコン層は、図2のPECVD或いはマイクロ波チャンバを用いて、図5に示されている3層プロセスで、堆積されることができる。図5を参照すると、基板がリアクタ100内に置かれて(300)、反応性シリコン含有化合物を備えるプラズマから、PECVDプロセスによって、バリヤ層が堆積される(305)。堆積ステップ305は、当該技術分野で知られている方法に従って、プロセスチャンバ15における容量結合プラズマ或いは誘導及び容量結合プラズマの両者を含むことができる。ヘリウムのような不活性ガスが、プラズマ生成を援助するために、PECVD堆積の中で一般に使われる。その後、本発明のナノ多孔質層がライナ層の上に下記のように堆積される(310)：即ち、さらに不安定な有機基を含むシリコン/酸素含有材料を堆積して、堆積されたシリコン/酸素含有材料に制御されているアニーリングを行って、層の中に均一に分散する微細なガスポケットを形成する。次に、その層の上に、好ましくはライニング層の堆積に用いられるプロセスと類似したプロセスによって、キャップ層を堆積する(315)。基板は、その後、リアクタ110から取り除かれる(320)。

【0058】

図6A-6Eに示されるように、3層プロセスは、PECVDライニング層400を設ける。ライニング層400は、次のナノ多孔質層402と下の基板表面404及び基板表面上に形成される金属ライン406、408、410との間の隔離層として作用する。ナノ多孔質層402は、シリコン含有化

10

20

30

40

50

合物のPECVDキャッピング層412によって覆われる。このプロセスは、CVDリアクタ110用コンピュータコントローラ134のメモリ220に記憶されているコンピュータプログラムを用いて、実行且つ制御される。

【0059】

図6Aに示されるように、PECVDライニング層400が、リアクタ110の中で、反応性シリコン含有化合物及び酸化用ガスを導入することによって、堆積される。プロセスガスはプラズマ強化環境の中で反応して、基板表面404及び金属ライン406、408、410の上にコンフォーマル酸化シリコン層400を形成する。

【0060】

図6Bに示されるように、ナノ多孔質層402は、シリコン及び不安定基を含有する化合物と酸化用ガスとからなるプロセスガスから、堆積される。プロセスガス流は、シリコン及び不安定を含有する化合物が約20から約1000sccmの範囲であり、酸化用ガスが約5から約4000sccmの範囲である。好ましいガス流は、シリコン及び不安定を含有する化合物が約50から約500sccmの範囲であり、酸化用ガスが約5から約2000sccmの範囲である。これらの流速は、約5.5から6.5リットルの容積を有するチャンバのために与えられる。好ましくは、ナノ多孔質層402の堆積中に、リアクタ110の圧力が、約0.2から約5Torrまでに維持される。図6Dに示されるようなキャップ層412の堆積の前に、揮発性成分を除去するために、ナノ多孔質層402が、Fig. 6Cに示されるように、キュアリングされる。基板を次第により高い温度に加熱しながら、不活性ガス雰囲気中でリアクタ110において、キュアリングが行われることができる。

【0061】

分散する微細なバブルとしてガス生成物を保持し、且つ/或いはオプションな不安定有機基を、好ましいクロズドセル構造のポイドとしてキュアリングされた酸化シリコン層の中で保持される分散する微細なガスバブルに変換するために、ナノ多孔質層402が、好ましく、徐々に上昇する温度でアニーリングされる。好ましいアニーリングプロセスは、約5分間の加熱期間を備え、約350 から約400 の間の最終温度までに、約50 /分で温度を徐々に上昇させることを含む。温度/時間プロファイルを変化させ、堆積膜内の不安定有機基の濃度を制御することによって、ガスバブルの分散を制御することができる。

【0062】

図6Dに示されるように、リアクタ110は、好ましく、PECVDライナ層400の堆積に用いられる同様なプロセスによって、同様な材料のキャッピング層412を堆積する。図6Eに示されているように、キャッピング層412の堆積層の後に、堆積された層が、約200 から約450 までの温度で炉或いは他のチャンバにおいて、さらにアニーリングされて、水などの残留する揮発性生成物を除去する。もちろん、プロセス条件は、堆積膜の所望の特徴に従って変化する。

【0063】

(デュアルダマシン構造の堆積)

本発明に従って製造される好ましいデュアルダマシン構造500は図7に示されており、続いて、その構造を製造する方法がFigs.8A-8Hに概略的に示されている。これらの図は、基板上に本発明のステップが形成させられる基板の断面である。

【0064】

ナノ多孔質金属間(intermetal)誘電層510を含むデュアルダマシン構造500は、Fig 7に示されている。本発明に従って堆積された金属間誘電層510と514は、3未満の極めて低い誘電率を有し、たびたび極めて低k或いはELk誘電層と称される。好ましく本発明のナノ多孔質酸化シリコン層からなる第1の誘電層51は、基板502上に堆積される。基板は、コンタクトレベル基板材504の中に形成されたパターン化導電ライン506と、その上に堆積された酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン、或いはアモルファスの水素化された炭化シリコン(BLOk(商標名)、好ましくは、窒化シリコンからなる第1の(或いは基板の)エッチングストップ508とを備える。

【0065】

酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン或いは水素化された炭化シリコン (BLOk(商標名)) からなる第2のエッチングストップ512は、第1の誘電層510の上に堆積される。好ましくは、本発明のナノ多孔質酸化シリコン層からなる第2の誘電層514は、第2のエッチングストップ512の上に堆積されて、第3のエッチングストップ516が、第2の誘電層514の上に堆積される。堆積された層がエッチングされてバイアを形成する。その後、バイア520内にコンフォーマル的に堆積されたバリア層522の上に、導電金属524、好ましくは、銅でバイアを充填する。その後、構造が平坦化されて、その上に、窒化シリコン、酸化シリコン、酸窒化シリコン或いは水素化された炭化シリコン素、好ましくは、窒化シリコンを含むキャッピング層518が堆積される。キャッピング層518は、また、基板エッチングストップとして作用し、次のデュアルダマシンマルチレベル相互接続のための第1のエッチングストップ508に対応する。

10

【0066】

図8Aに示されているように、酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン或いはアモルファスな水素化された炭化シリコン、好ましくは、窒化シリコンからなる第1の(或いは基板の)エッチングストップ508は、基板502上に、約1000 の厚さまでに堆積される。基板502は、コンタクトレベル基板材料504の中に形成されたパターン化導電相互接続或いはライン506を備える。第1のナノ多孔質誘電層510は、第1のエッチングストップ508の上に、本発明に従って、堆積される。第1の誘電層510は、製造されるべき構造のサイズに従い、約5,000 から約10,000 の厚さを有するが、好ましくは、約5,000 の厚さを有する。その後、第1の誘電層510が、約350 から約400 の温度でアニーリングされて、層510から揮発性汚染物を除去する。酸窒化シリコンのような第2のエッチングストップ512は、誘電層510の上に、約500 の厚さに堆積される。その後、本発明に従って、第2のナノ多孔質誘電層514が、第1のエッチングストップ508の上に、約5,000 から約10,000 の厚さ、好ましくは、約5,000 の厚さまでに堆積されて、その後、約350 から約400 の温度でアニーリングされる。

20

【0067】

酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン或いはアモルファスな水素化された炭化シリコン(BLOk(商標名))、好ましくは、窒素シリコンである第3のエッチングストップ516が、第2の誘電層514の上に、約500 から約1000、好ましくは、約1000 の厚さに堆積される。約2000 の厚さを有する酸化シリコン層517は、第3のエッチングストップ516の上に堆積されて、ハードエッチングマスク及び化学機械研磨(CMP)ステップにおける将来使用のためのものの両方として作用する。その後、反射防止コーティング(ARC)519及びフォトレジスト層521を含んでいるトレンチフォトマスクは、それぞれ、酸化シリコン層517の上に堆積される。その後、フォトレジスト層521は、この技術分野で知られている従来のフォトリソグラフィ手段によって、パターン化される。

30

【0068】

その後、酸化シリコン層517は、この技術分野で知られている従来手段によって、好ましくは、フルオロカーボン化学物質を用いるエッチングプロセスによって、エッチングされて、図8Bに示されるように、第3のエッチング516を露出させる。酸化シリコン層517の最初のエッチングは、デュアルダマシン構造500の開口(opening)幅或いはまたはトレンチ幅を確立する。酸化シリコン層517に形成された開口幅は、第2のエッチングストップ514の上に形成されるデュアルダマシン構造500の水平相互接続を画成する。残留するフォトレジスト521は、その後、バイア・アエッチングの準備のために、アッシング或いは乾燥除去される。デュアルダマシン構造のコンタクトまたはバイア幅の形成のために、その後、第2の反射防止コーティング519及びフォトレジスト層521は、それぞれ、薄い酸化シリコン層517の上に堆積されて、その後、フォトリソグラフィによってパターン化されて、図8Cで示すように、バイア幅で、第3のエッチング層516を露出させる。

40

【0069】

図8Dを参照すると、第3のエッチングストップ516及び第2の誘電層514が、トレンチを形成するようにエッチングされて、第2のエッチングストップ512を露出させる。その後、

50

異方性エッチング技術を用いて、第2のエッチングストップ512までに第2の誘電層514をバイアエッチングすることによって、酸化シリコン層517により確立された幅で、メタライゼーション構造（即ち、相互接続及びコンタクトノバイア）を画成し、そして、第3のエッチング・ストップ516、第2の誘電514、及び第2のエッチングストップ512のエッチング中に確立されたバイア幅で、第1のエッチングストップ508までに、第1の誘電層510をエッチングすることによって、図8Eに示されているようなバイア520が形成される。第2のエッチングストップ512或いは第2の誘電層514をパターン化するために用いられた任意なフォトリソグラフィ材料が、酸素ストリップ或いは他の適切なプロセスによって、除去される。図8Fは、基板502を保護する第1のエッチングストップ508をエッチングして、コンタクトレベル基板材料504における下のパターン化された金属ライン506を露出させることを示す。パターン化された金属ライン506は、好ましく、銅のような導電性金属を含む。その後、デュアルダマシン構造500は、次の層堆積の前に、この技術分野で知られている従来の手段によって、プリクレーニングされる。

【0070】

メタライゼーション構造は、その後、アルミニウム、銅、タンゲステン或いはそれらの組合せのような導電材料で形成される。現在、（アルミニウムの3.1mW-cmと比較して、1.7mW-cmという）低い抵抗率を有する銅を用いて、より小さなフィーチャを形成する傾向がある。好ましくは、図8Gに示されているように、まず、窒化タンタルのような適切なバリア層をメタライゼーションパターン520にコンフォーマルに堆積して、周囲のシリコン及び/或いは誘電材料への銅移動を防ぐ。その後、銅層524が、化学気相堆積、物理気相堆積、電気めっきのいずれかによって、好ましくは、電気めっきによって、堆積される。構造が、一旦、銅または他の金属によって充填されたら、表面が化学機械研磨によって平坦化（planarized）され、そして、図8Hで示されるような、好ましくは、窒化シリコンを含み約1000 の厚さを有するキャッピング層518でキャッピングされる。銅充填材を再結晶させて、構造500の中に形成しえるボイドを除去するために、表面を平坦化する前に、水素雰囲気の中で金属をアニーリングをしてもよい。図示されていないが、電気めっきプロセスによって、銅層524を堆積する場合、銅層524の前に、銅シード層を堆積してもよい。その後、デュアルダマシン形成プロセスが繰り返されて、更なる相互接続レベルを堆積してもよく、現代のマイクロプロセッサ集積回路は5つ或いは6つの相互接続レベルを有する。

【0071】

（実施例）

以下の実施例は、微細なガスボイドが分散しているナノ多孔質酸化シリコン系膜の堆積を例示する。この例は、化学気相堆積チャンバ、特に、カリフォルニアのサンタクララにあるアプライド・マテリアルズインコーポレイテッドにより製造販売されているCENTURA「DLK」システムを用いて、行われる。

【0072】

シリコンを含有し熱的不安定を与える成分を有するシリコン化合物（仮定）

ナノ多孔質酸化シリコン系膜が、1.0Torrのチャンバ圧力と30 の温度で、下記のような気化されてリアクタに流入される反応性ガスから、堆積される：

150 sccmでメチルシリル-2-フリルエーテル、

1000sccmで亜酸化窒素（N₂O）

チャンバに入る前に、2000Wのマイクロ波エネルギーを提供するマイクロ波アプリケーションにおいて、亜酸化窒素が分離される。基板が、ガス分配シャワーヘッドから600ミルのところで配置されて、反応性ガスが2分間導入される。その後、基板が5分間にわたって加熱されて、基板の温度を、50 /分で約400 の温度に上昇させて、ナノ多孔質酸化シリコン系膜をキュアリング且つアニーリングする。

【0073】

シリコン含有化合物と添加された熱的不安定を与える化合物との混合物（仮定）

ナノ多孔質酸化シリコン系膜は、1.0Torrのチャンバ圧力と30 の温度で、下記のような

気化されてリアクタに流入される反応性ガスから、堆積される：

100 sccmでシクロ-1,3,5,7-テトラシリレン-2,6-ジオキシ-4,8ジメチレン

50sccmでビニル-2-フリルエーテル

1000sccmで亜酸化窒素

チャンバに入る前に、2000Wのマイクロ波エネルギーを提供するマイクロ波アプリケーションにおいて、亜酸化窒素が分離される。基板が、ガス分配シャワーヘッドから600ミルのところで配置されて、反応性ガスが2分間導入される。その後、基板が5分間にわたって加熱されて、基板の温度を、50 /分で約400 の温度に上昇させて、ナノ多孔質酸化シリコン系膜をキュアリング且つアニーリングする。

【0074】

シリコンを含有し熱的不安定を与える成分を有するシリコン化合物及び添加されたシリコン含有化合物（仮定）

ナノ多孔質酸化シリコン系膜は、1.0Torrのチャンバ圧力と30 の温度で、下記のような気化されてリアクタに流入される反応性ガスから、堆積される：

100sccmでメチルシリル-2-フリルエーテル

50sccmでシクロ-1,3,5,7-テトラシリレン-2,6-ジオキシ-4,8ジメチレン

1000sccmで亜酸化窒素（N₂O）

チャンバに入る前に、2000Wのマイクロ波エネルギーを提供するマイクロ波アプリケーションにおいて、亜酸化窒素が分離される。基板が、ガス分配シャワーヘッドから600ミルのところで配置されて、反応性ガスが2分間導入される。その後、基板が5分間にわたって加熱されて、基板の温度を、50 /分で約400 の温度に上昇させて、ナノ多孔質酸化シリコン系膜をキュアリング且つアニーリングする。

【0075】

以上の記述が本発明の好ましい実施例に向けられているが、本発明の他の及びさらなる実施例が、本発明の基礎範囲から逸脱せずに、考案されることができ、その範囲は、特許請求の範囲によって決定される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 (A)から(E)は 該技術分野の既知のプロセスによって、基板上に堆積される誘電層の概略図である（従来技術）。

【図2】 本発明の使用のために構成される例示的なCVDリアクタの断面図である。

【図3】 図2のリアクタに進入する前に、プロセスガスの分解のためのリモートマイクロウェーブチャンバの概略図である。

【図4】 図2の例示的なCVDリアクタとともに用いられるプロセス・コントロール・コンピューター・プログラム・プロダクトのフローチャートである。

【図5】 本発明の1つの実施例による堆積プロセスにおいて、ライナ及びキャップ層を堆積する際に着手されるステップを図示しているフローチャートである。

【図6】 (A)から(E)は 図5のプロセスによって、基板上に堆積される層の概略図である。

【図7】 本発明の酸化シリコン層を備えるデュアルダマシン構造を示す断面図である。

【図8】 (A)から(H)は 本発明のデュアルダマシン堆積シーケンスの1つの実施例を示す断面図である。

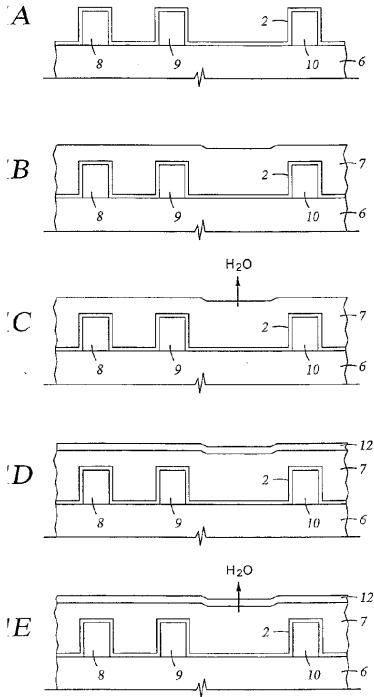
10

20

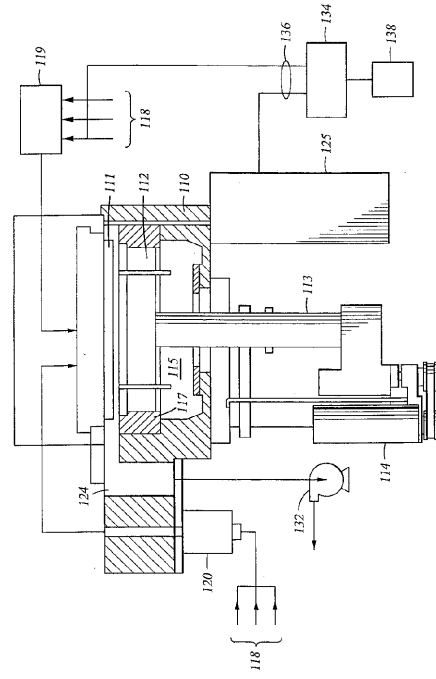
30

40

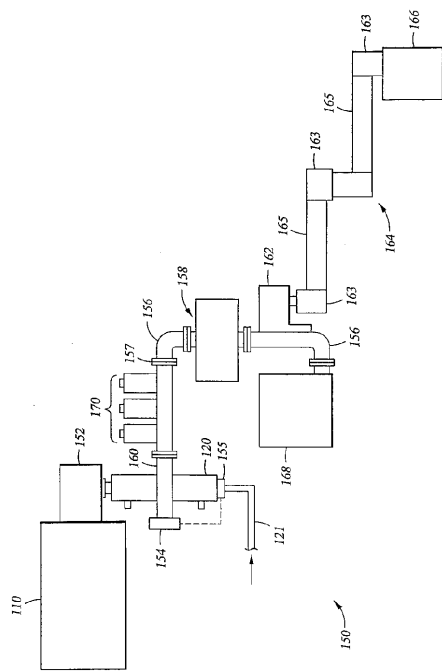
【図1】



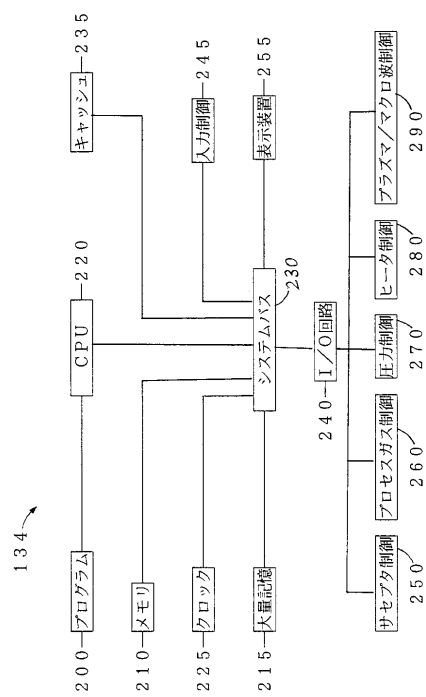
【図2】



【図3】



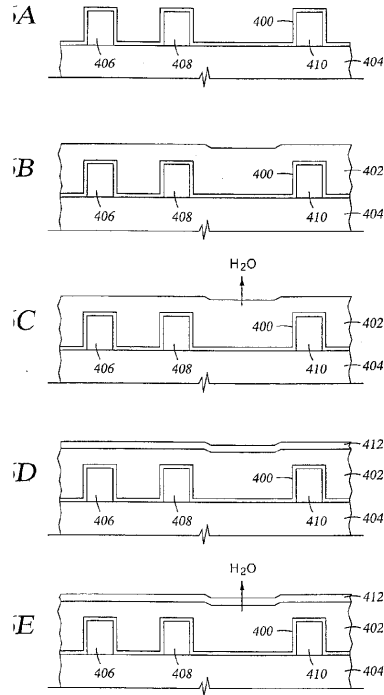
【図4】



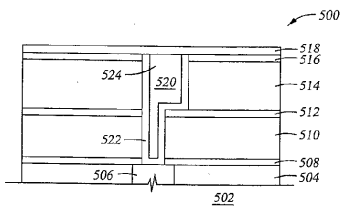
【図5】

- 300 - ウェーハを位置する
- ↓
- 305 - ライニング層を堆積する
- ↓
- 310 - ナノ多孔質層を堆積する
- ↓
- 315 - キャップ層を堆積する
- ↓
- 320 - ウェーハを取り除く

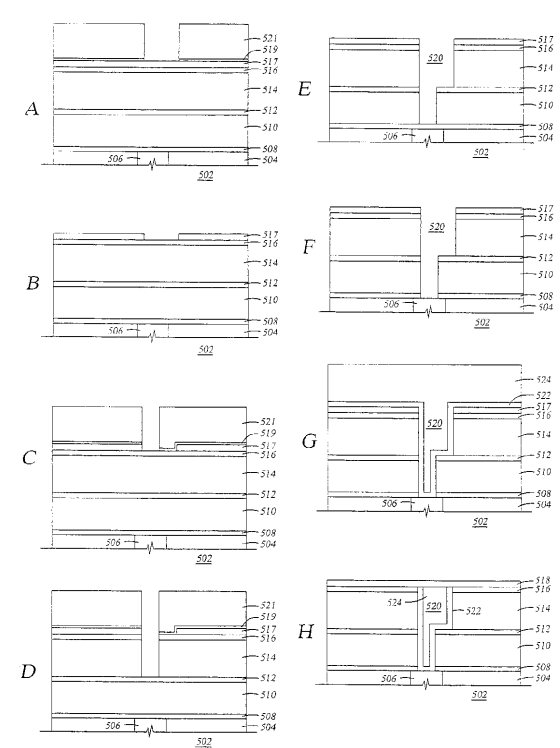
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 ロバート ピー . マンダル
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サラトガ, アローヨ デ アルグエロ 1 2 4 7 2

審査官 今井 淳一

(56)参考文献 特開平 1 1 - 3 3 0 0 6 9 (J P , A)
特開平 1 0 - 3 3 5 5 9 2 (J P , A)
国際公開第 9 9 / 0 4 1 4 2 3 (W O , A 1)
国際公開第 9 9 / 0 6 3 5 8 7 (W O , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 21/316

H01L 21/768

H01L 23/522